

MASCOT Basic

Microclimate Analysis System for COmplex Terrain.

ユーザーズマニュアル

Ver. 3.2

第四版



2017年3月

株式会社 水域ネットワーク

目次

インストール前に必ずお読みください.....	1
I. ソフトウェア使用許諾書.....	2
II. ソフトウェア製品使用許諾契約書.....	2
III. ご注意.....	4
IV. サポート.....	4
第 1 章 Getting Started (概説)	1-1
1-1. はじめに	1-2
1-2. マニュアルの表記について.....	1-4
1-3. MASCOT におけるプロジェクトとは.....	1-6
1-4. 動作環境	1-8
1-5. インストールとアンインストール	1-9
1-6. アプリケーションの起動と終了.....	1-35
1-7. 表編集の基本操作.....	1-37
第 2 章 Quick Start Tutorial (解析手順)	2-1
2-1. Measurement プロジェクト (風況観測データを用いた風況予測)	2-2
2-2. Meso-scale プロジェクト (地域気象解析結果データを用いた風況予測)	2-20
2-3. Design wind speed プロジェクト (平均風速の割増係数および変動風速の補正係数算定)	2-38
第 3 章 User Interface (ユーザー・インターフェース)	3-1
3-1. メニュー一覧	3-2
3-2. ツールバー一覧.....	3-3
3-3. ダイアログ・ビュー一覧 (メニュー別)	3-9
第 4 章 Modelling (理論)	4-1
4-1. 数値モデル.....	4-2
4-2. 境界処理手法	4-4
4-3. 流入風の設定	4-9
4-4. 粗度変換	4-11
第 5 章 Data Format (データフォーマット)	5-1
5-1. 地図データフォーマット	5-2
5-2. MASCOT Utility (MASCOT ユーティリティ)	5-6
5-3. エラーメッセージ.....	5-35
第 6 章 Reference (参考文献)	6-1

インストール前に必ずお読みください

当製品をインストールする前に、下記のソフトウェア使用許諾書を必ずお読みください。

I. ソフトウェア使用許諾書.....	2
II. ソフトウェア製品使用許諾契約書.....	2
1. 使用許諾	2
2. 「許諾プログラム」の複製.....	2
3. 保証.....	3
4. 保証の否認・免責	3
5. 輸出.....	3
6. 契約期間	3
7. 一般条項	4
III. ご注意.....	4
IV. サポート	4

I. ソフトウェア使用許諾書

このたびは、弊社商品をご購入いただき、誠にありがとうございます。

本風況予測ソフトウェアは、『MASCOT(注1)』、『MASCOT SYSTEM』および『数値地図 50mメッシュ(標高)(注2)』のライセンスを取得し、株式会社水域ネットワークが商品化しました。

弊社では、当ソフトウェア商品につきまして、下記のソフトウェア製品使用許諾契約書を設けさせていただいており、お客様が下記契約書にご同意いただいた場合のみソフトウェア製品をご使用いただいております。お手数ではございますが、本ソフトウェア製品のインストール前に下記契約書を十分にお読みください。下記契約にご同意いただけない場合には、本ソフトウェア製品を速やかに弊社までご返送ください。なお、本ソフトウェア製品をインストールした場合には、お客様が下記契約にご同意いただいたものとさせていただきます。

(注1) 『MASCOT(高度な風況予測プログラムおよび関連データベース)』は、東京大学橋梁研究室の研究成果によるものです。

(注2) この地図の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図 50mメッシュ(標高)を使用したものです。(承認番号 平15総使、第438号)

II. ソフトウェア製品使用許諾契約書

株式会社水域ネットワーク(以下、AQUANETといたします。)は、お客様に対し、本契約書とともにご提供するソフトウェア製品(当該商品のマニュアルを含みます。以下、「許諾プログラム」といいます。)の日本国内における譲渡不能の非独占的使用権を下記条項に基づき許諾し、お客様は下記条項にご同意いただくものとします。「許諾プログラム」およびその複製物に関する権利はAQUANETに帰属します。

1. 使用許諾

お客様は、「許諾プログラム」を一時に一台のコンピュータにおいてのみ使用することができます。お客様が、同時に複数台のコンピュータで「許諾プログラム」を使用したり、また「許諾プログラム」をコンピュータネットワーク上の複数のコンピュータで使用する場合には、別途AQUANETよりその使用権を取得することが必要です。

お客様は、「許諾プログラム」の全部または一部を再使用許諾、譲渡、頒布、貸与、その他の方法により第三者に使用もしくは利用させることは出来ません。

お客様は、「許諾プログラム」の全部または一部を修正、改変、リバース・エンジニアリング、逆コンパイルまたは逆アセンブル等することは出来ません。また第三者にこのような行為をさせてはなりません。

2. 「許諾プログラム」の複製

お客様は、バックアップのために必要な場合に限り、「許諾プログラム」中のソフトウェア・プログラムを1コピーだけ複製することができます。あるいは、オリジナルをバックアップの目的で保持し、「許諾プログラム」中のソフトウェア・プログラムをお客様がご使用のコンピュータのハードディスク等の記憶装置1台のみにコピーすることができます。しかし、これら以外の場合にはいかなる方法によっても「許諾プログラム」を複製できません。お客様には、「許諾プログラム」の複製物上に「許諾プログラム」に表示されているものと同一の著作権表示を行っていただきます。

3. 保証

AQUANET は、お客様が「許諾プログラム」を購入した日から 90 日の間、「許諾プログラム」が格納されているディスク(以下単に「ディスク」といいます。)に物理的な欠陥が無いことを保証します。当該保証期間中に「ディスク」に物理的な欠陥が発見された場合には、AQUANET は、「ディスク」を交換いたします。但し、お客様が「許諾プログラム」を AQUANET に返還すること、並びに前項による「許諾プログラム」の複製物を AQUANET に引き渡すかもしくは消去したうえ消去したことを証する書面を AQUANET に送付することを条件とします。

AQUANET は「許諾プログラム」の仕様について事前の通告なしに変更することがあるものとします。また、AQUANET はユーザーサポート、バージョンアップおよび新製品の案内など「許諾プログラム」に関するサービスを無償、又は有償でお客様に提供いたします。

4. 保証の否認・免責

前項に定める場合を除き、AQUANET は「許諾プログラム」がお客様の特定の目的のために適切であること、もしくは有用であること、その他「許諾プログラム」に関していかなる保証もいたしません。

AQUANET は「許諾プログラム」の使用に付随または関連して生ずる直接的または間接的な損失、損害等について、いかなる場合においても一切の責任を負わず、また「許諾プログラム」の使用に起因または関連してお客様と第三者との間に生じたいかなる紛争についても一切の責任を負いません。プロテクトユニット付「許諾プログラム」のプロテクトユニットを破損および紛失等により、納入させていただいたプロテクトユニットと認識できない場合、プロテクトユニットの交換・再発行は行いません。

5. 輸出

お客様は、日本政府または該当国の政府より必要な認可等を得ることなしに、一部または全部を問わず「許諾プログラム」を、直接または間接に輸出してはなりません。

6. 契約期間

本契約は、お客様が「許諾プログラム」をインストールした時点で発効します。

お客様は、AQUANET に対して 30 日前の書面による通知をなすことにより本契約を終了させることができます。

AQUANET は、お客様が本契約のいずれかの条項に違反した場合、直ちに本契約を終了させることができます。

本契約は、上記 または により終了するまで有効に存続します。上記 または により本契約が終了した場合、AQUANET は「許諾プログラム」の代金をお返しいたしません。お客様は「許諾プログラム」の代金を AQUANET に請求できません。

お客様には、本契約の終了後 2 週間以内に、「許諾プログラム」およびその複製物を破棄または消去したうえ、破棄または消去したことを証する書面を AQUANET に送付していただきます。

7. 一般条項

- ① 本契約のいずれかの条項またはその一部が法律により無効となっても、本契約の他の部分に影響を与えません。
- ② 本契約に関わる紛争は、東京地方裁判所を管轄裁判所として解決するものとします。

以上

III. ご注意

本書は、株式会社水域ネットワークによる、MASCOT ソフトウェア契約ユーザー様に対する情報提供を唯一の目的とし、明示あるいは暗示であるに問わず、内容に関して一切の保証をするものではありません。

Windows2000,WindowsXP,Windows Vista は、米 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

Acrobat(R) Reader Copyright(c) 1987-2002 Adobe Systems Incorporated、All rights Adobe Systems Incorporated、Adobe、Adobe ロゴ、Adobe Acrobat、および Adobe Acrobat ロゴは、Adobe Systems Incorporated (アドビシステムズ社) の商標です。

※ その他すべてのブランド名および製品名は個々の所有者の登録商標もしくは商標です。

本書の内容は、バージョンアップ等に伴い、予告なく変更することがございますので予めご了承ください。

IV. サポート

本製品の技術的な内容に関するお問い合わせは、下記へお願い致します。

株式会社 水域ネットワーク

URL : <http://www.aquanet21.co.jp>
E-Mail : mascot_support@aquanet21.co.jp
FAX : 03-5667-6889

第1章 Getting Started (概説)

本章では、MASCOT Basic についての概説、MASCOT Basic を使用するに当たっての準備等を説明します。

1-1. はじめに.....	1-2
1-1-1. MASCOT について.....	1-2
1-1-2. 主要な機能について.....	1-2
1-1-3. MASCOT の使用について.....	1-3
1-2. マニュアルの表記について.....	1-4
1-2-1. メニュー・コマンド・ツールボタン等の表記.....	1-4
1-2-2. キーの表記.....	1-4
1-2-3. マウス操作の表記.....	1-4
1-2-4. その他の表記.....	1-4
1-2-5. ウィンドウの表記.....	1-5
1-3. MASCOT におけるプロジェクトとは.....	1-6
1-4. 動作環境.....	1-8
1-5. インストールとアンインストール.....	1-9
1-5-1. インストールの前に.....	1-9
1-5-2. インストールの概要.....	1-10
1-5-3. ライセンス・キー・ドライバのインストール.....	1-12
1-5-4. ライセンス・キーをインストール前に接続した場合.....	1-16
1-5-5. ライセンス・キーが認識されない場合.....	1-17
1-5-6. アプリケーションのインストール.....	1-19
1-5-7. ライセンス・キーの書き換え.....	1-23
1-5-8. ライセンス・キー書き換えツール起動時にエラー表示される場合.....	1-26
1-5-9. 地図データベース (Terrain and Landuse Database) のインストール.....	1-31
1-5-10. アンインストール.....	1-33
1-6. アプリケーションの起動と終了.....	1-35
1-6-1. 起動.....	1-35
1-6-2. 終了.....	1-36
1-7. 表編集の基本操作.....	1-37

1-1. はじめに

1-1-1. MASCOT について

MASCOT は、風況予測からウインドファームの発電量の予測、設計風速の評価までの風力開発を支援するソフトウェア群であります。

<MASCOT の構成>

MASCOT は、MASCOT Basic、MASCOT Energy および MASCOT Engineering の三つのモジュールから構成されます。

MASCOT Basic は、三次元気流予測を行うモジュールです。付属の標高と土地利用データベースを用いる場合には、緯度・経度および簡単な解析条件を入力するだけで、境界条件が自動的に設定され、三次元気流予測を行うことができます。

MASCOT Energy は、対象地点近傍の1年間の風観測データおよび Basic による気流予測結果を基に、パワーカーブおよびスラスト係数から、風車の発電量および風車の後流の影響を予測します。また気象シミュレーションやNEDO[※]データベースにより得られた地域風況データおよび Basic による気流予測結果を基に、局所風況に変換し、対象地域の風力エネルギー賦蔵量を予測し、風観測によらない発電量の予測を実現しています。

MASCOT Engineering は、Basic による気流予測結果を基に、風車設置地点における設計風速（建築基準法等）、吹上角度、乱れ強度などを予測します。また風観測データやNEDOデータベース等より得られた地域風況データおよび Basic による気流予測結果を基に、対象地域の詳細風況を予測できます。

※) NEDO : 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

1-1-2. 主要な機能について

<MASCOT Basic ライセンス>の主要機能を以下に示します。

- ・ 3次元非線形気流予測モデルによる複雑地形上の気流予測
- ・ データベースによる全国任意地点の標高、土地利用データの抽出
- ・ グラフィック・ユーザー・インターフェースによる解析条件の設定及び格子の自動生成
- ・ 標高、地表面粗度、格子、風車設置地点、観測地点などの入力表示
- ・ 気流解析経過のリアルタイム表示
- ・ 風速、乱流量などの解析結果のベクトルやコンターによる可視化
- ・ 風観測の時系列データからの風況解析（CUIによる操作）
- ・ 風車の年間発電量の予測（CUIによる操作）

<MASCOT Version3.0 ライセンス>の主要機能を以下に示します。

上記<MASCOT Basic ライセンス>の主要機能の他に、下記機能が含まれます。

(1) MASCOT Basic の追加機能

- ・ 地域風況による風況精査に用いる細地形および粗地形の気流予測の自動実行
- ・ 平均風速の割増係数と変動風速の補正係数の算定に用いる実地形および平坦地形の気流予測の自動実行
- ・ 地形のスージングツール

(2) MASCOT Energy の主要機能

- ・ 風観測の時系列データからの風況解析 (GUI による操作、TSA Wizard)
- ・ 風車の年間発電量の予測 (GUI による操作)
- ・ NEDO - DB の風況ファイルコンバートツール

(3) MASCOT Engineering の主要機能

- ・ 平均風速の割増係数と変動風速の補正係数の算定ツール

本マニュアルは MASCOT Basic の主要機能について説明しています。

1-1-3. MASCOT の使用について

本製品を使用するには、付属のライセンス・キー (ハードウェア・プロテクト・キー) が必要です。

1-2. マニュアルの表記について

1-2-1. メニュー・コマンド・ツールボタン等の表記

メニュー名、コマンド名、ツールバーのボタン名、ウィンドウ名、ダイアログボックス名、ダイアログボックス内の項目名は、[] で囲って表記しています。

ダイアログボックス内のボタン名は<>で囲って表記しています。

例) [Edit]-[Casefile]

[Edit Casefile]ダイアログの、[Wind Direction]を変更し、<Save>を押します。

1-2-2. キーの表記

キーは「 」で囲って表記しています。複数のキーを組み合わせる場合は、プラス記号 (+) で結んでいます。

例) 「Ctrl」キーを押しながら「C」を押す → 「Ctrl + C」

1-2-3. マウス操作の表記

・クリック

マウスのボタンを押して離す動作です。本マニュアルでは、左ボタンを押す動作を指します。

・ダブルクリック (Wクリック)

マウスのボタンを押して離す動作を連続 2 回行ないます。本マニュアルでは、左ボタンを押す動作を指します。

・右クリック

マウスの右ボタンをクリックする動作です。

・ドラッグ

マウスの左ボタンをクリックしたままマウスを動かして、アイコンなどを移動させたり、選択範囲を広げたりする動作です。

1-2-4. その他の表記

・ライセンス・キー

付属のハードウェア・プロテクト・キー (USB コネクタ接続) を指します。

本マニュアルでの解説画面は、Windows XP のスクリーンショットを使用しています。

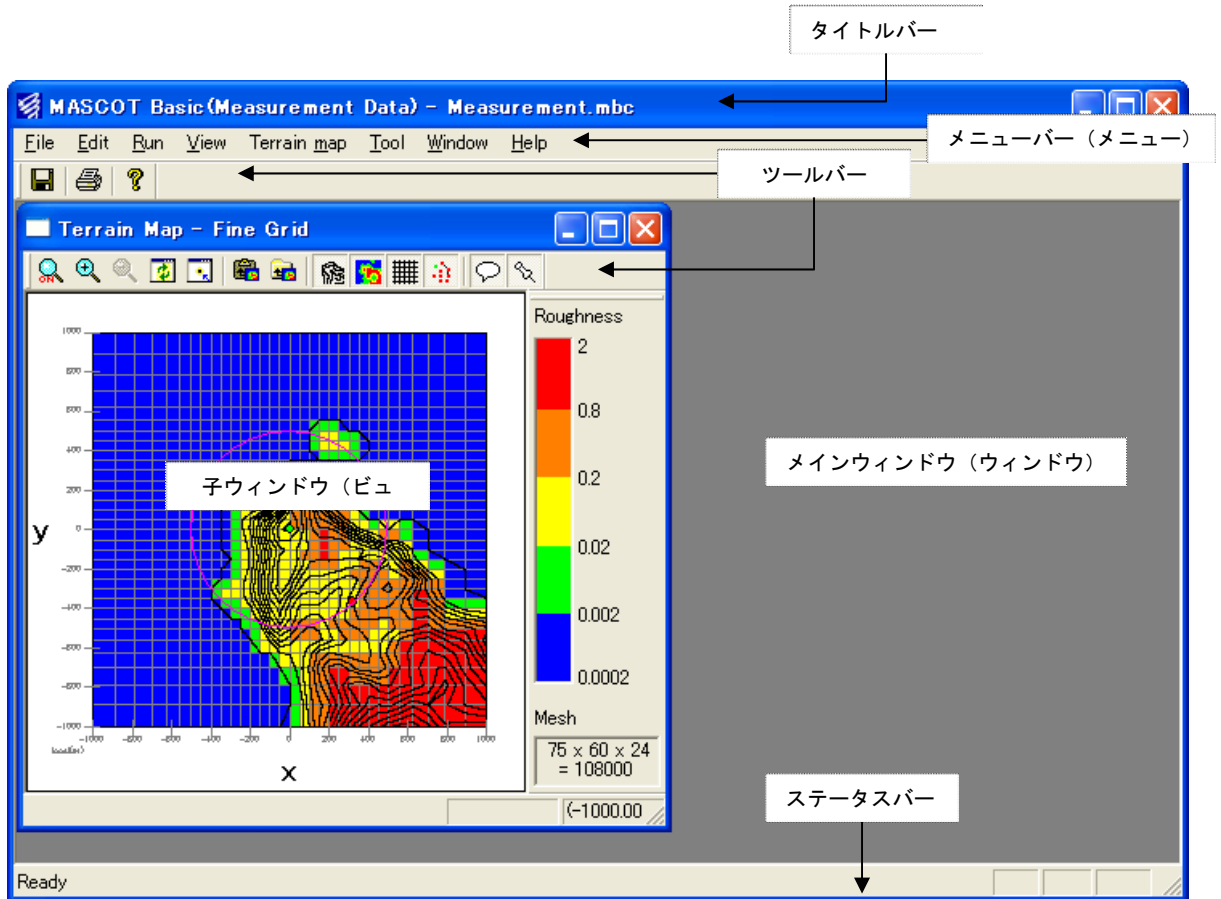
その他のバージョンの Windows OS で本製品をお使いになる場合、デザイン、スタートメニュー等に違いがある場合があります。

本マニュアルでは、特に配慮が必要な場合を除き、これらの差異についての記述はしていません。

1-2-5. ウィンドウの表記

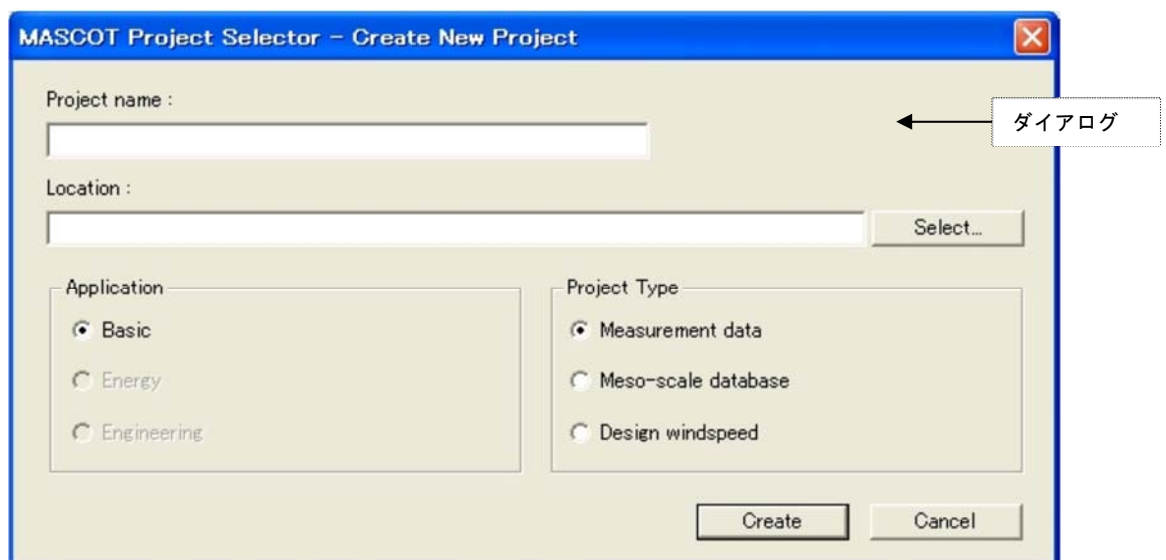
・ ウィンドウ

本製品では、MDI (Multiple Document Interface) 形式を採用しており、アプリケーションウィンドウ (メインウィンドウ) 内の複数のドキュメントウィンドウを子ウィンドウ、またはビューと表記しています。



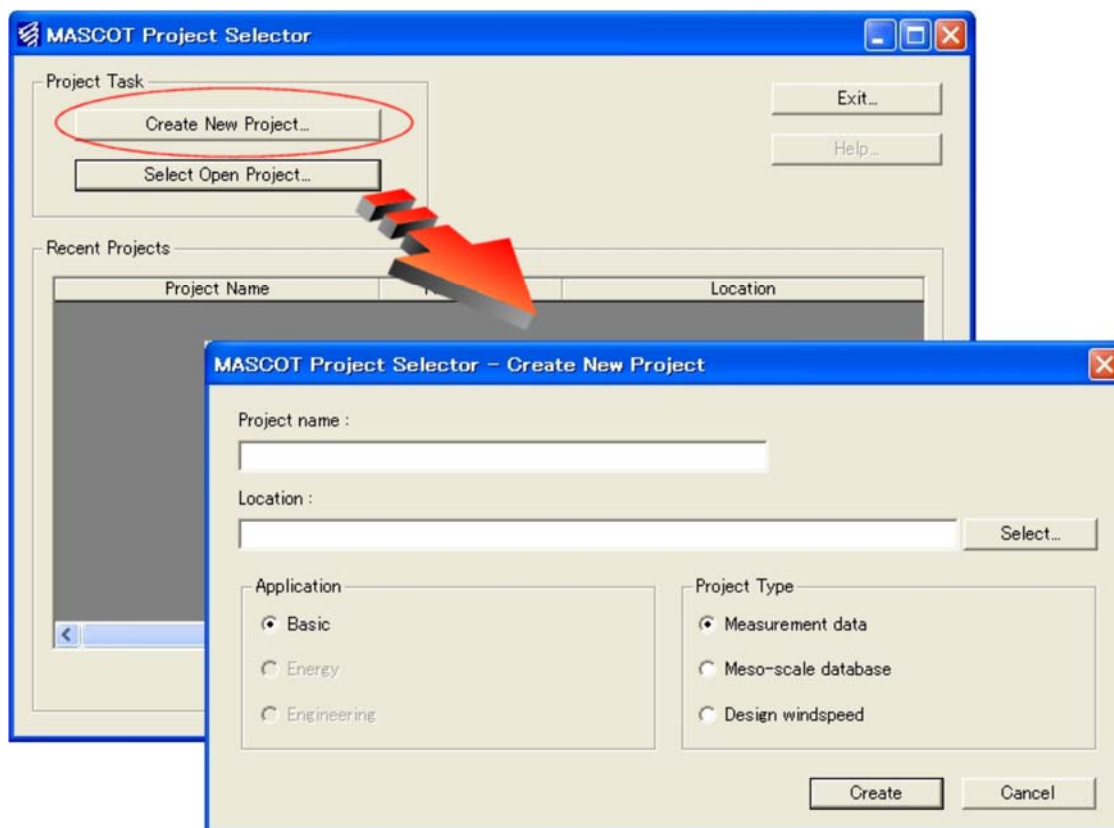
・ ダイアログ

本マニュアルでは、項目の設定など、何かの操作を行うときに、確認や動作の設定を求めてくるウィンドウ (ダイアログボックス) を**ダイアログ**と表記しています。



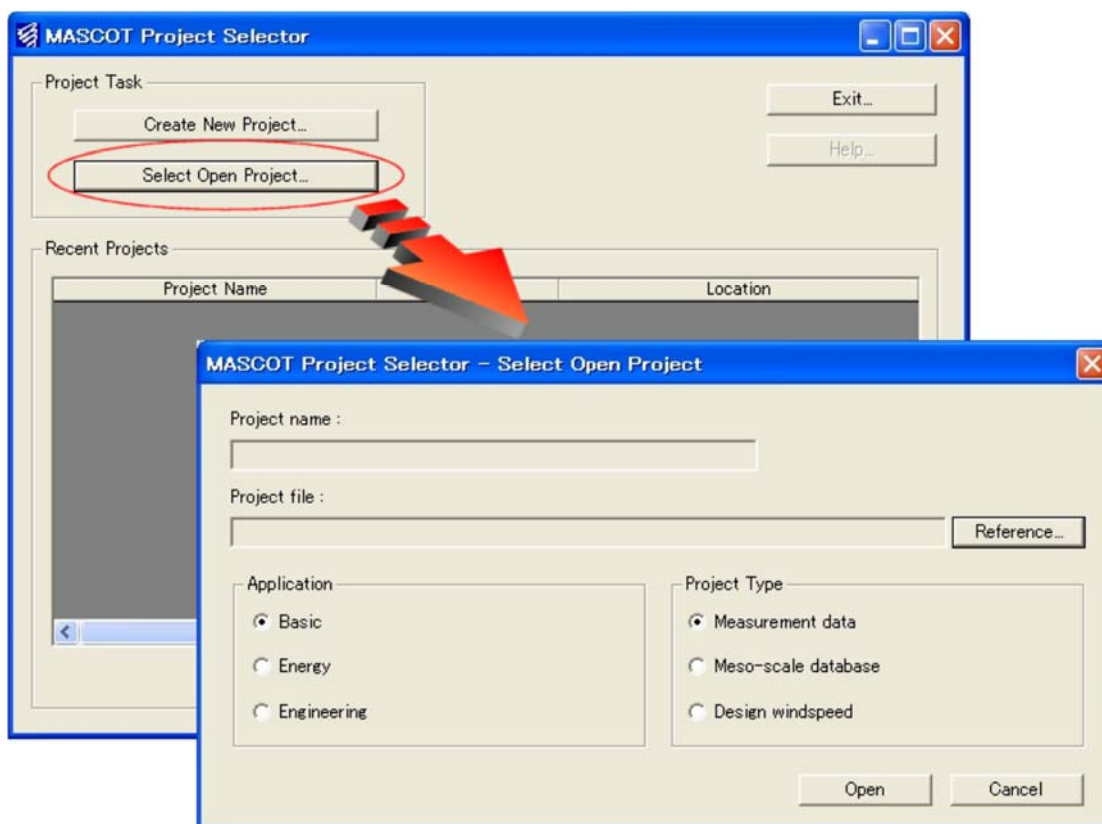
1-3. MASCOT におけるプロジェクトとは

- 1つのプロジェクトは1つのフォルダ（プロジェクトフォルダ）から構成されています。
- プロジェクト関係のファイルは全て、プロジェクトフォルダ内に作成・保存されます。
- プロジェクトフォルダは、エクスプローラー等で任意のフォルダ（ネットワークフォルダを除く）に移動やコピーを行うことが可能です。
- [スタート] - [すべてのプログラム] - [MASCOT] - [MASCOT Project Selector] - [Create New Project] メニューを選択すると、新たなプロジェクト用のフォルダが作成されます。



- ・既存のプロジェクトを開くには、[スタート] - [すべてのプログラム] - [MASCOT] - [MASCOT Project Selector] - [Select Open Project] メニューを選択し、プロジェクトフォルダ内の *project.mbc*^{※)} を選択します。

※) *project* は任意の文字列



- ・プロジェクトフォルダは、全ての MASCOT (Basic、Energy、Engineering、Tool) で共通に使用されます。

1-4. 動作環境

動作環境

OS	Windows7以降 (32bit/64bit) (他のOSは動作保証外です)
CPU	1GHz以上
メモリ	2GB以上 (解析メッシュ数により異なります)
ハードディスク	2GB以上の空き容量 (インストールに必要な容量です。データ用に別途必要です)
ディスプレイ	解像度 1024×768 以上
その他	CD-ROM ドライブ USB コネクタ (タイプA) ×1 (プロテクトキー接続に必須)

推奨環境

CPU	3GHz以上
メモリ	8GB以上 (4GBの空き) (4GBの空きで、500~550万メッシュ程度の解析が可能です)
ハードディスク	100GB以上の空き容量

1-5. インストールとアンインストール

1-5-1. インストールの前に

<インストールに関するご注意>

- ・ MASCOT インストールは、必ず「Administrator」または「管理者」権限で行って下さい。
 - ・ ライセンスキー・ドライバをインストールする前に、ライセンスキーをパソコンに接続しないで下さい。
- ※ ライセンスキー・ドライバをインストール前にライセンスキーを接続してしまった場合、Windows によるドライバのインストール画面が表示されることがありますので、「1-5-4. ライセンス・キーをインストール前に接続した場合」に従って、ドライバのインストールを中止して下さい。

<MASCOT の実行に関するご注意>

- ・ MASCOT の実行は、必ず「Administrator」または「管理者」権限で行って下さい。
その他の権限で実行しますと、正しく機能しない場合がございます。

<OS(オペレーティングシステム)に Windows Vista を使用している場合のご注意>

- ・ Windows Vista では“Program Files”内のファイルの書き換えが許可されていません。MASCOT を“Program Files”内にインストールした場合、お使いの環境によっては、サンプルデータを直接使用することが出来なくなります。MASCOT を Windows Vista でご使用になる場合には、インストール先を任意のフォルダに変更して、インストールすることをお勧めします。

(例) デフォルト : C:\Program Files\MASCOT\

↓

任意 : C:\MASCOT\

1-5-2. インストールの概要

1. パソコンの電源を入れ、Windows を起動します。
2. CD-ROM ドライブに、「MASCOT Disk1」の CD を入れます。
自動的にセットアップのタイトル画面が表示されます。



※CD を入れてもセットアップ画面が表示されない

CD-ROM ドライブの自動起動が OFF になっていると、CD を入れてもセットアップが開始されません。その場合は、以下の2通りのうち、どちらかを行って下さい。

(A) CD-ROM ドライブを右クリックにより、表示されるメニューを選択

1. デスクトップ上の[マイコンピュータ]をダブルクリックします。
2. CD-ROM ドライブを右クリックします。
「MASCOT」の CD を入れると、CD-ROM ドライブは「MASCOT」と表示されます。
3. ポップアップメニューから、[Install(I)...]を選択します。

(B) セットアップランチャー(EXE)をダブルクリック

1. デスクトップ上の[マイコンピュータ]をダブルクリックします。
2. CD-ROM ドライブをダブルクリックします。
3. セットアップランチャー (MASCOTSetup.exe) をダブルクリックする。

3. タイトルメニューより、<Install license key>を選択し、プロテクト・キー・ドライバをインストールします。

※インストール手順は、「1-5-3. ライセンス・キー・ドライバのインストール」を参照

4. タイトルメニューより、<Install MASCOT>を選択し、「MASCOT」アプリケーション本体をインストールします。

※インストール手順は、「1-5-6. アプリケーションのインストール」を参照

5. 必要に応じ<MASCOT License Publishing Tool>を選択し、「MASCOT Basic」および「MASCOT Version1」でお使いのライセンス・キー（USB キー）を、「MASCOT Version2」でもお使いいただけるようにライセンス内容を書き換えます。

※書き換え手順は、「1-5-7. ライセンス・キーの書き換え」を参照

6. 「地図データベース (Terrain and Landuse Database)」をハードディスクにコピーし使用する場合は、CD-ROM ドライブに、「MASCOT Disk2」の CD を入れます。自動的にセットアップのタイトル画面が表示されます。



7. タイトルメニューより、<Install Terrain and Landuse Database>を選択しインストールします。

※インストール手順は、「1-5-9. 地図データベース (Terrain and Landuse Database) のインストール」

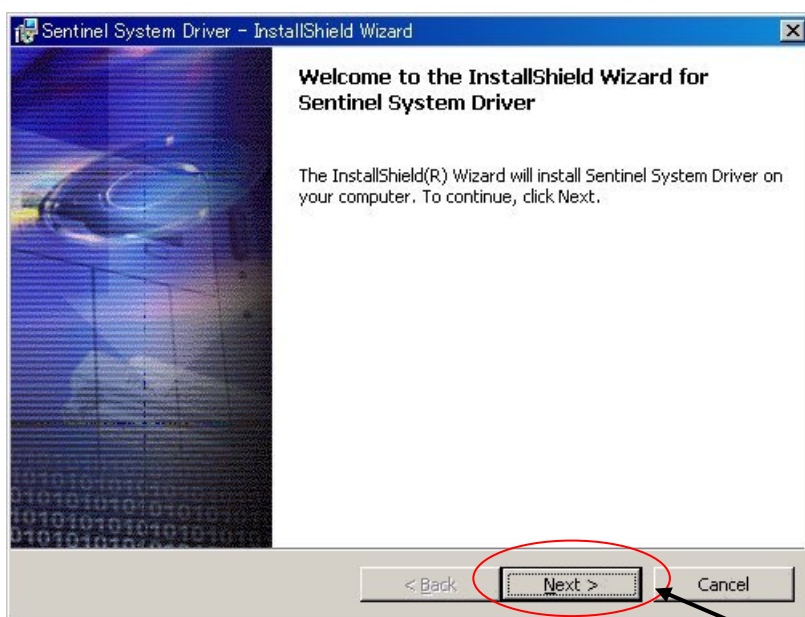
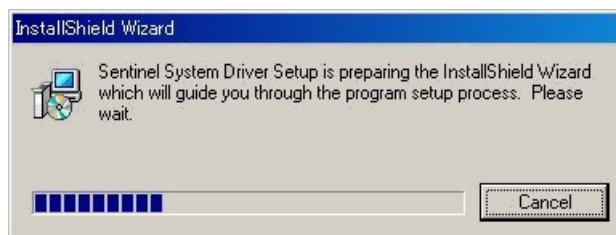
を参照

※地図データベース (Terrain and Landuse Database) のインストールは、ハードディスクを 422MB ほど使用します。必ずインストールする必要はありませんが、「地形データ・粗度データ」を作成する際に使用しますので、ハードディスクに余裕がある場合は、インストールすることをお勧めします。

8. 以上で、インストールは完了です。

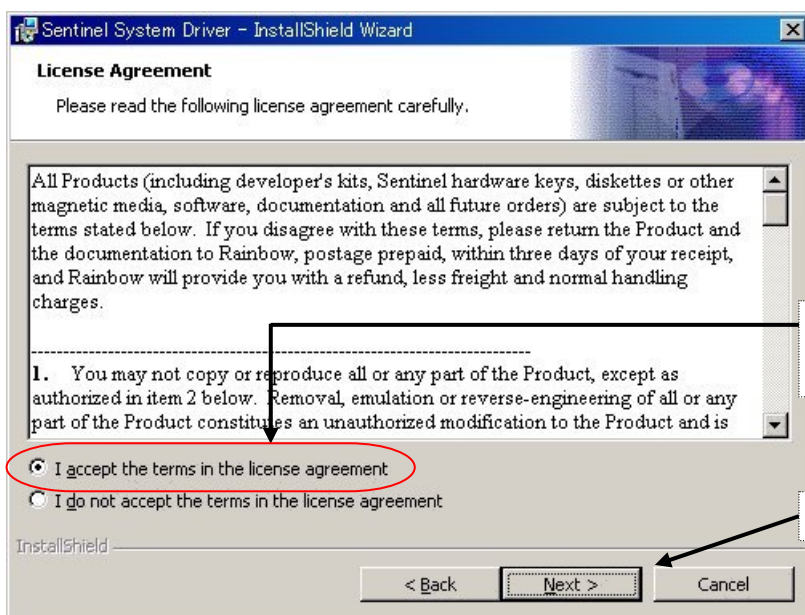
1-5-3. ライセンス・キー・ドライバのインストール

1. セットアップランチャーのタイトルメニューより、<Install license key>を押すと、ドライバのインストールウィザードが起動します。



<Next>をクリックします。

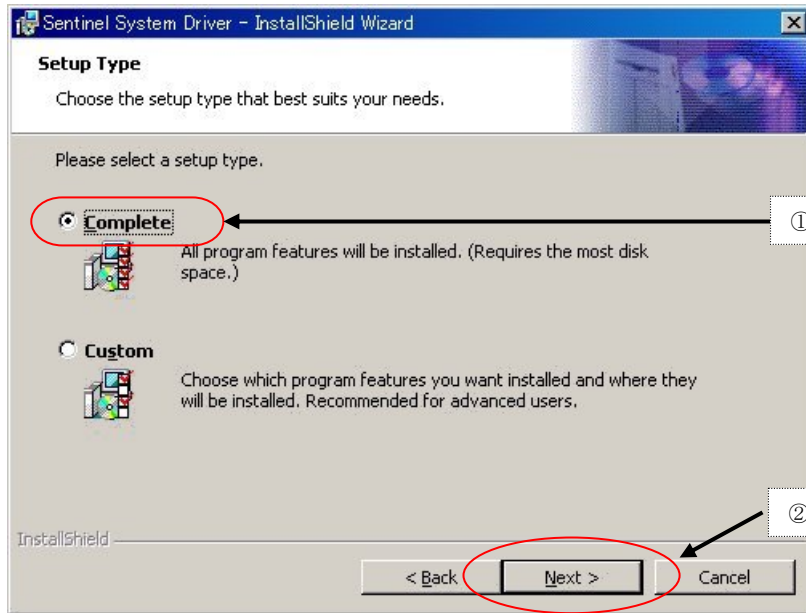
- 2.



① [I accept the terms in the license agreement]

<Next>をクリックします。

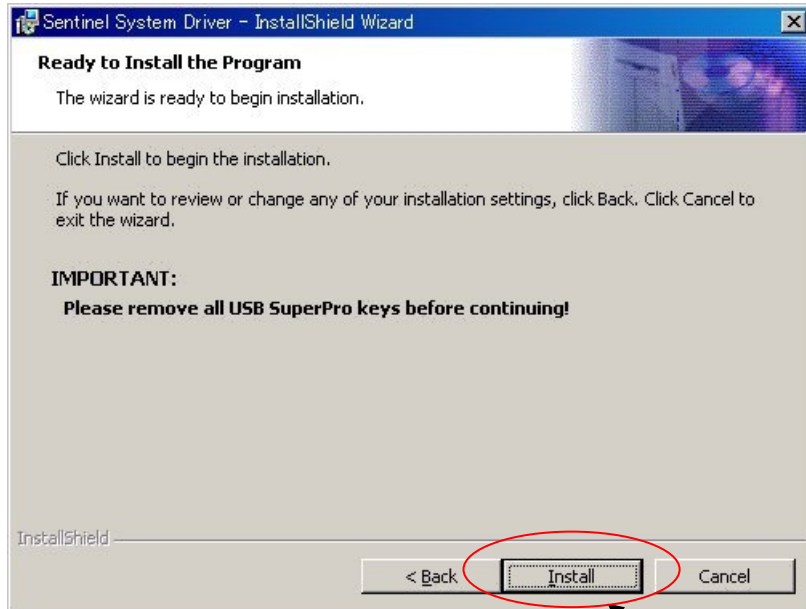
3.



① [Complete] を選択します。

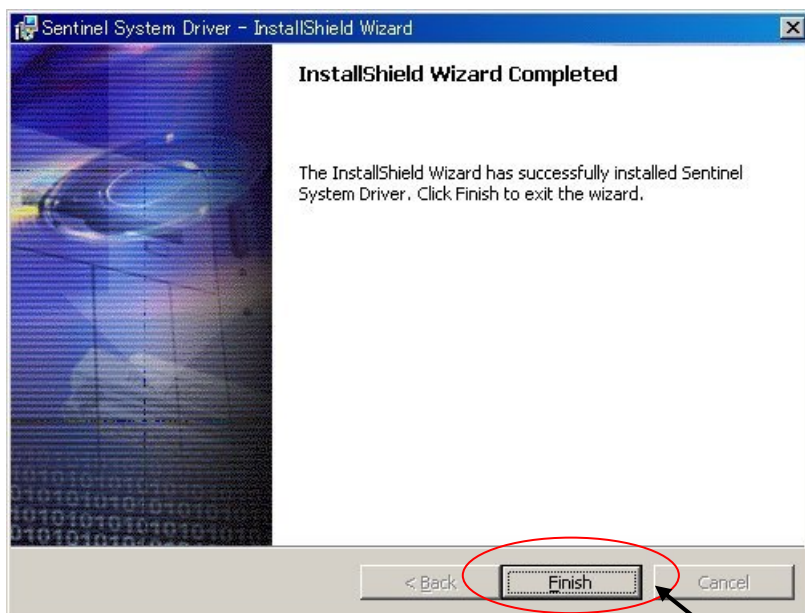
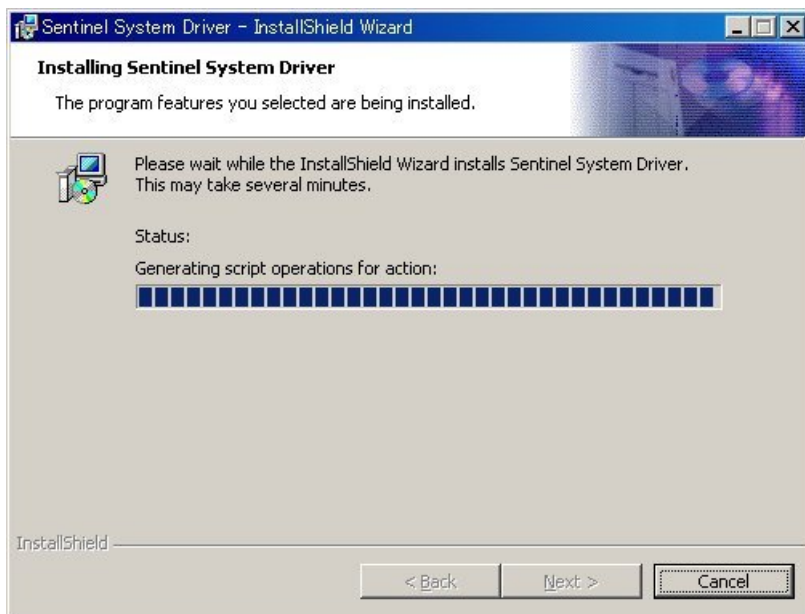
② <Next> をクリックします。

4.



<Install> をクリックします。

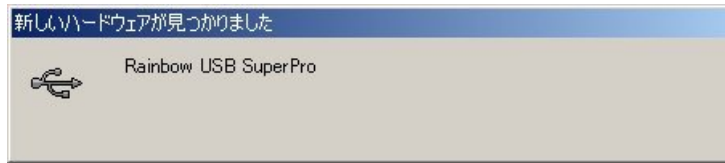
5.



<Finish>をクリックします。

※ <Finish>を押した後、Windows の再起動を促すメッセージが表示された場合は、メッセージに従い再起動を行って下さい。

6. ライセンス・キーを USB コネクタに接続します。

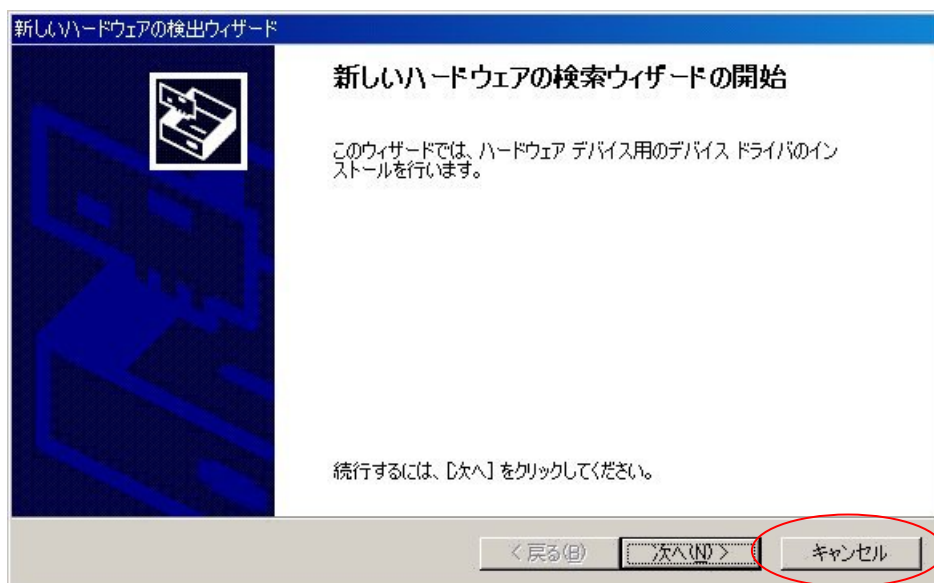


Windows がライセンス・キーの認識を自動的に行います。

以上でライセンス・キー・ドライバのインストールは完了です。

1-5-4. ライセンス・キーをインストール前に接続した場合

Windows がライセンス・キーの接続を認識して、ドライバのインストール画面が表示されます。



ここでは<キャンセル>をクリックして、ハードウェアの検出ウィザードを終了させます。

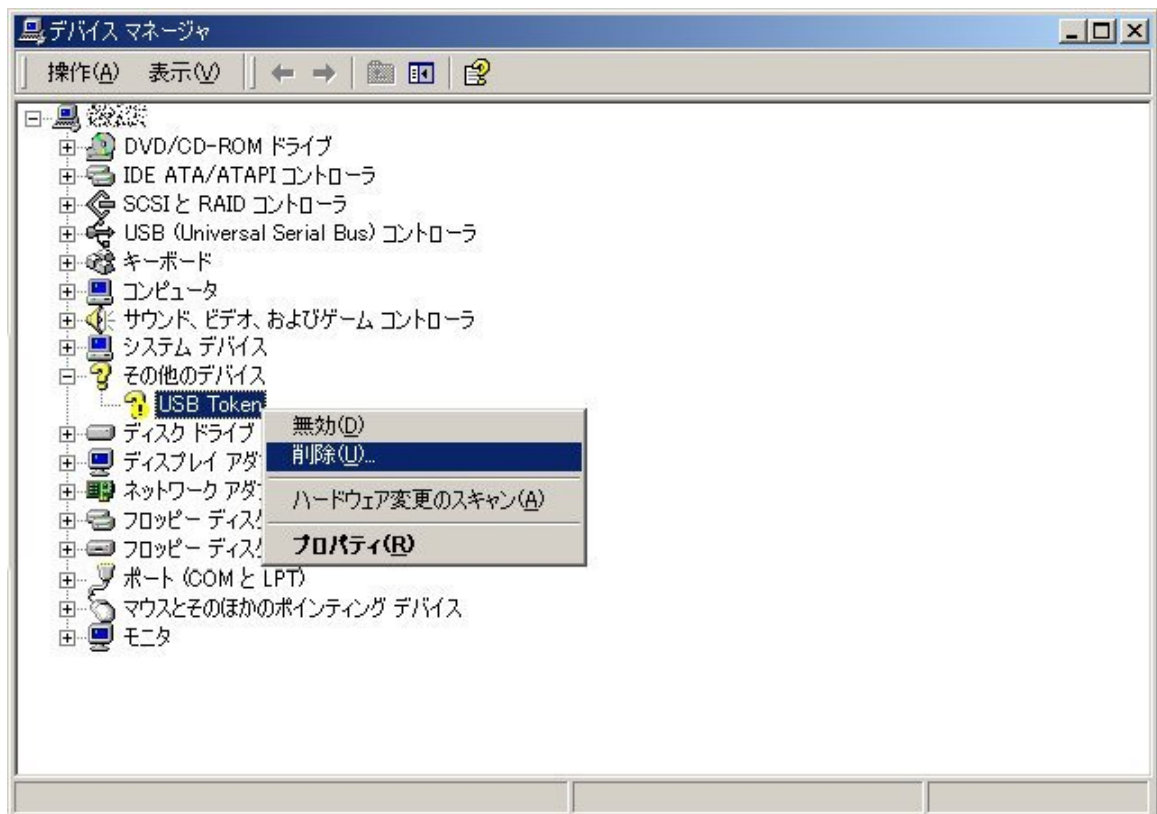
1-5-5. ライセンス・キーが認識されない場合

一般的に、ライセンス・キーのドライバが誤認識している場合が考えられます。

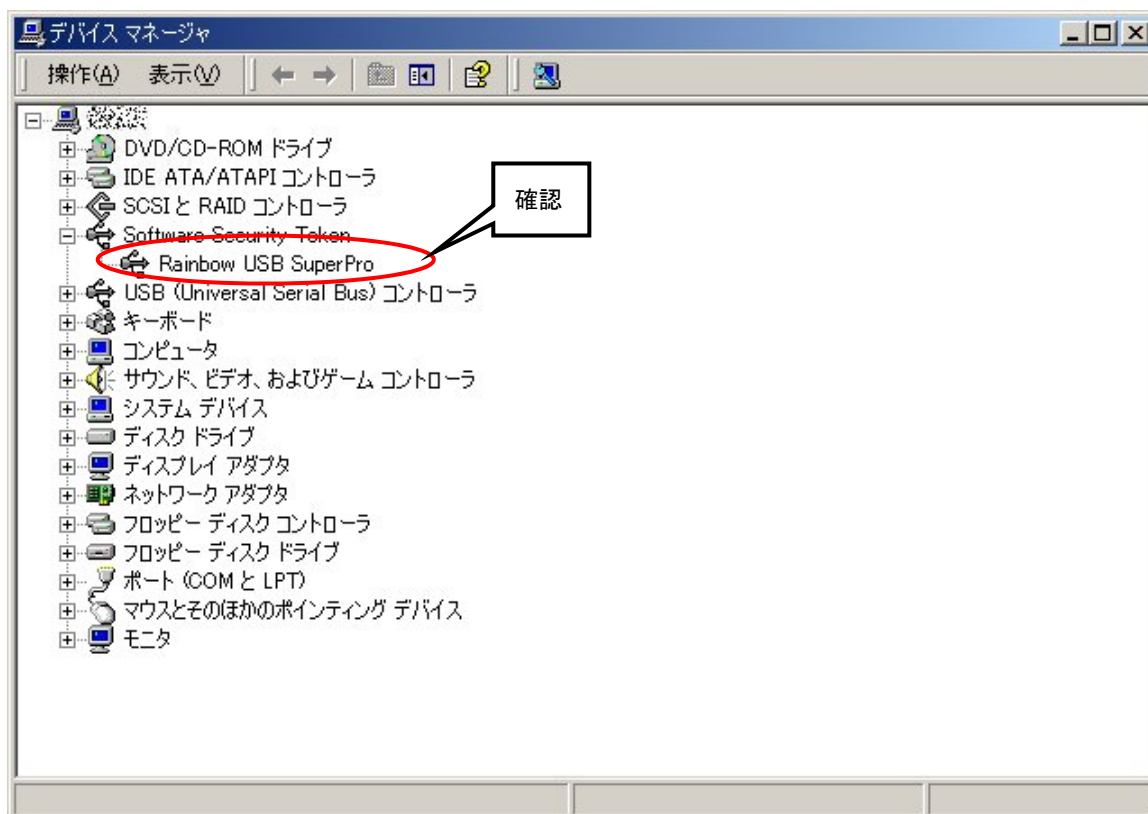
この場合は、次の手順で誤認識したドライバを削除し、再起動することによって解消できます。

ライセンス・キーを PC に接続します。

1. [デバイスマネージャ]を起動します。
2. [その他のデバイス]項目に、アイコンに黄色い“!”記号の付いた[USB Token]が表示されていますので、そのアイコンを右クリックし、“削除”します（下図を参照）。

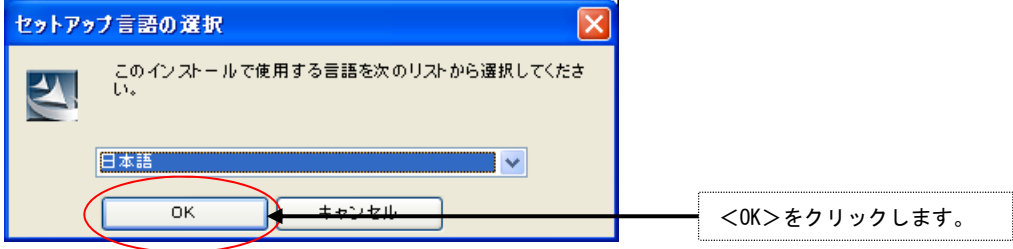


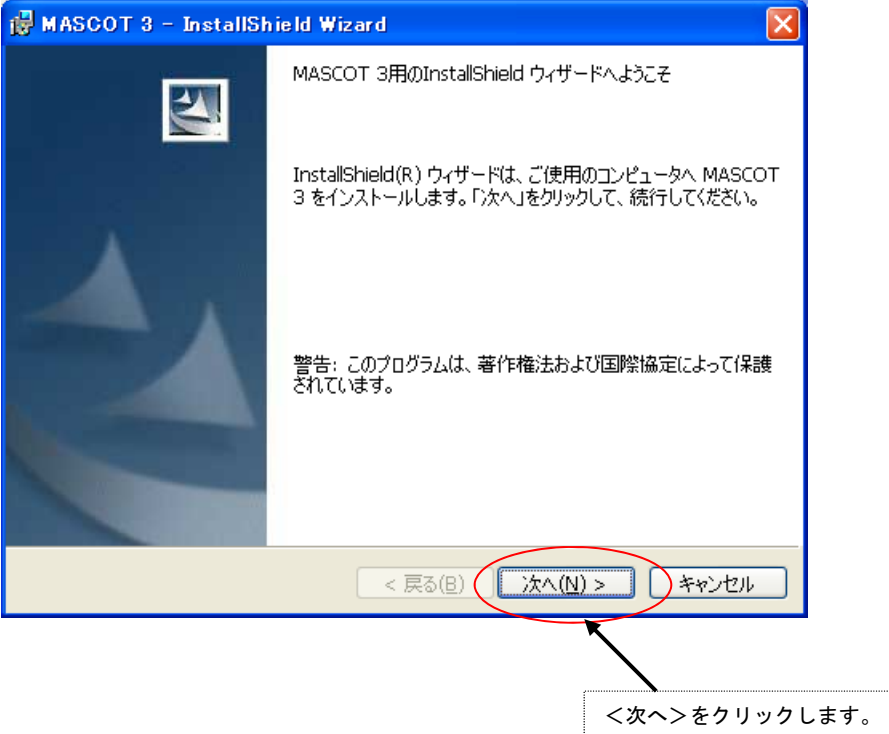
3. ライセンス・キーを PC から取り外し、PC を再起動します。
4. PC が起動したら、[Administrator]権限を持つユーザー名で、ログインします。
5. ライセンス・キーを PC に接続します。正しいドライバのインストールを開始しますので、ウィンドウの指示に従い、進めて下さい。
6. 終わりましたら、再度[デバイスマネージャ]を起動し、ドライバが正しく認識されたかを確認します。次図のようにドライバが組み込まれていましたら、正常です。



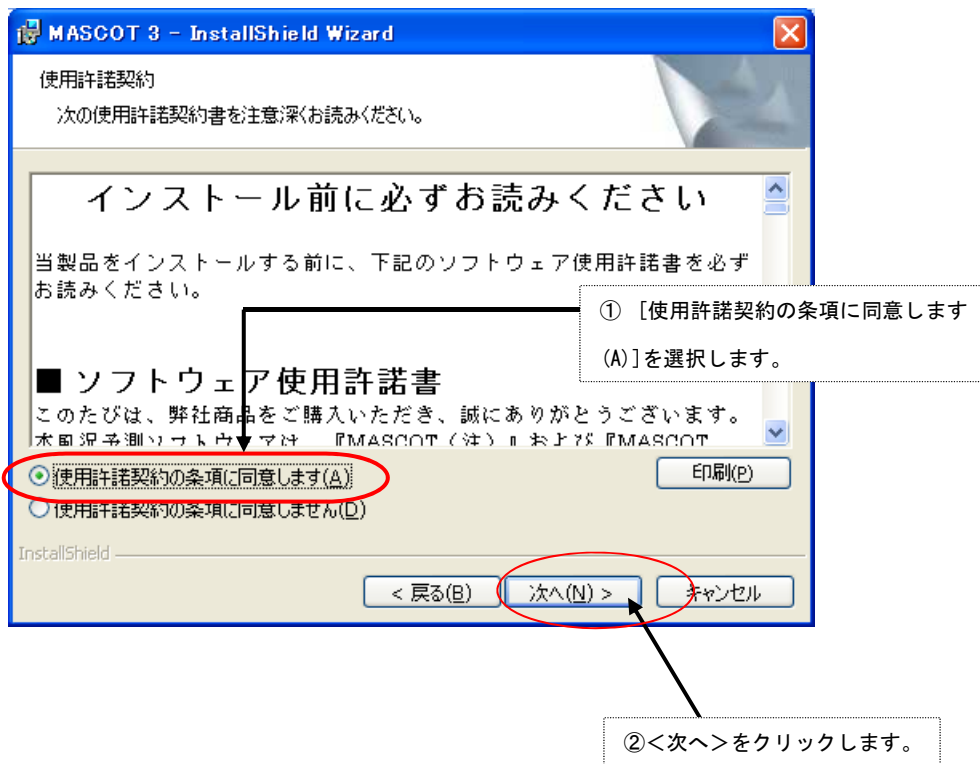
1-5-6. アプリケーションのインストール

1. セットアップランチャーのタイトルメニューより、<Install MASCOT>を押すと、「MASCOT」アプリケーション本体のインストールウィザードが起動します。

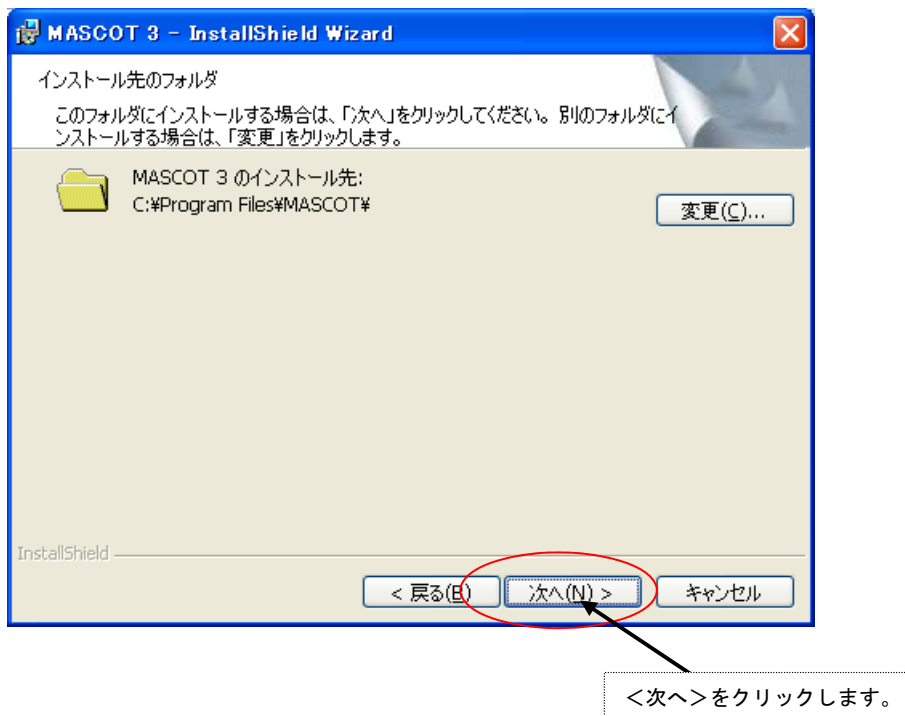
2. 

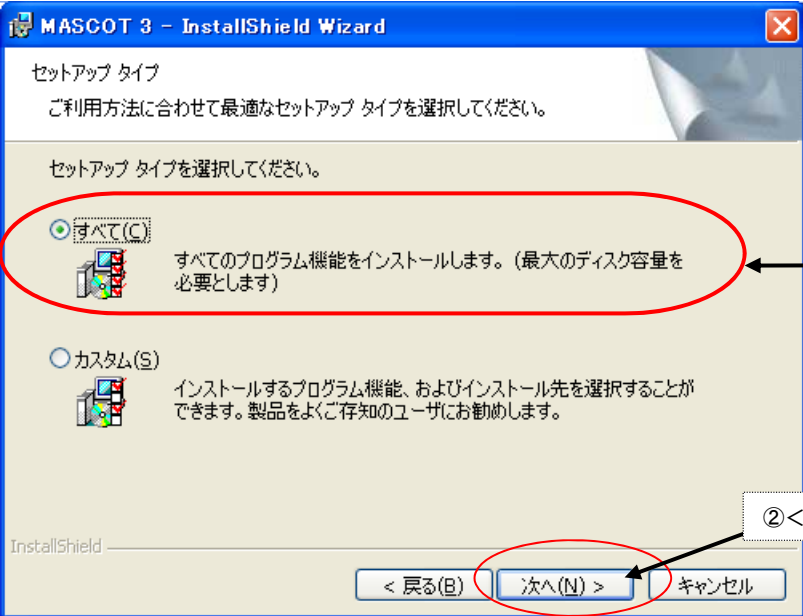
3. 

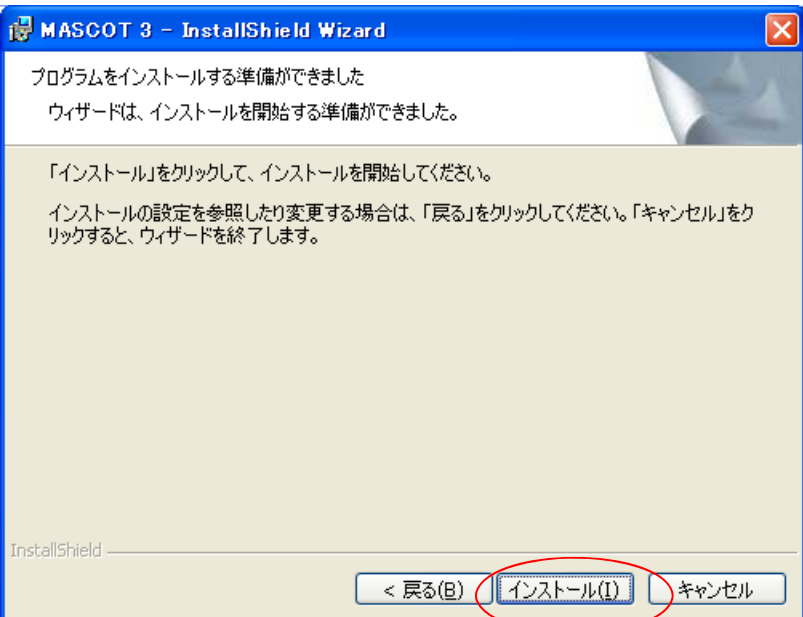
4.

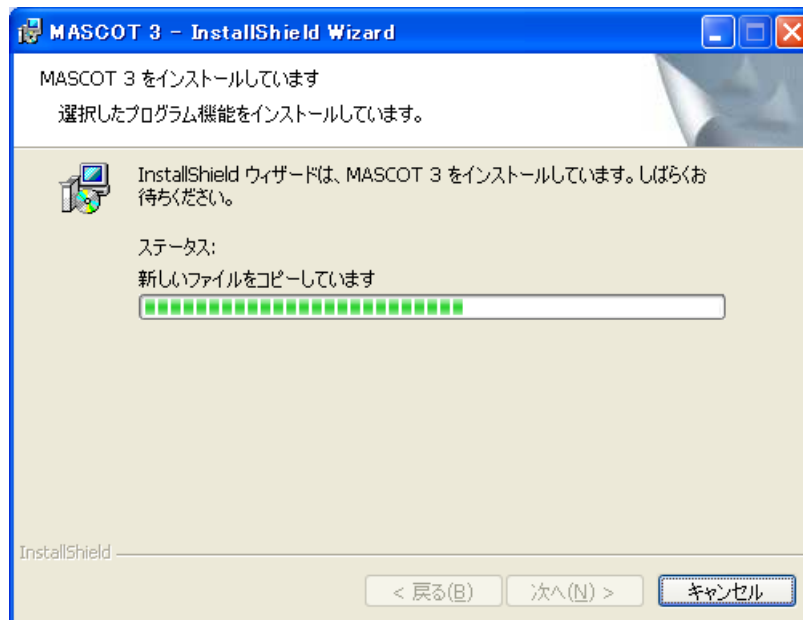


5.

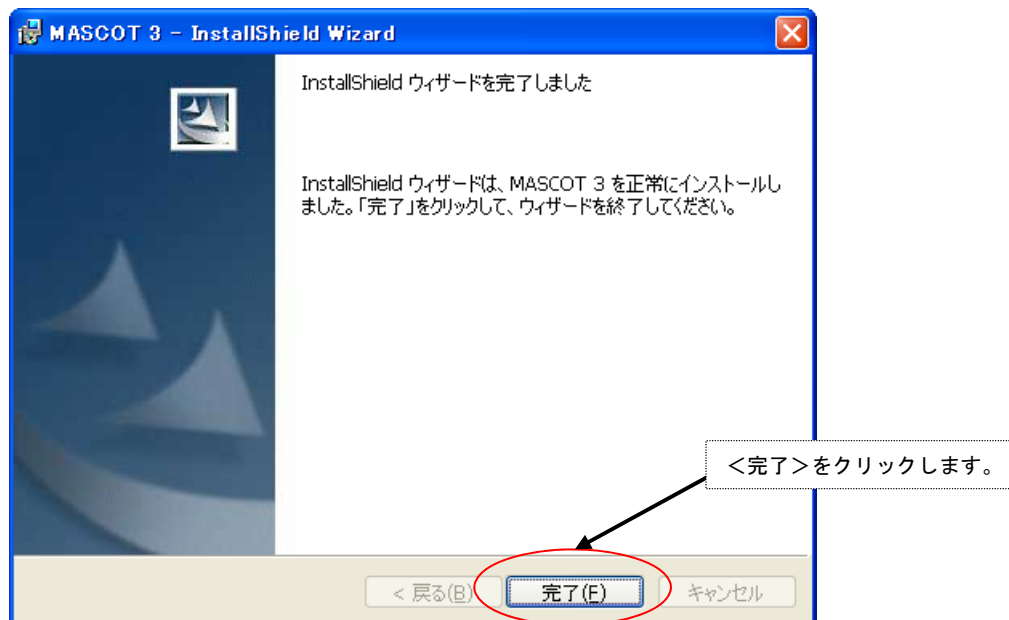


6. 
- ① [すべて] を選択します。
- ② <次へ> をクリックします。

7. 
- <インストール> をクリックします。



9.



10. インストールが正常終了しますと、Windows の[スタート]メニューの[プログラム]に [MASCOT]という名前のメニューが作成されます。

以上でアプリケーションのインストールは完了です。

1-5-7. ライセンス・キーの書き換え

現在お使いの、「MASCOT Version3」以前のライセンス・キー（USB キー）を、「MASCOT Version3」でご使用いただくには、ライセンス内容を書き換える必要がございます。

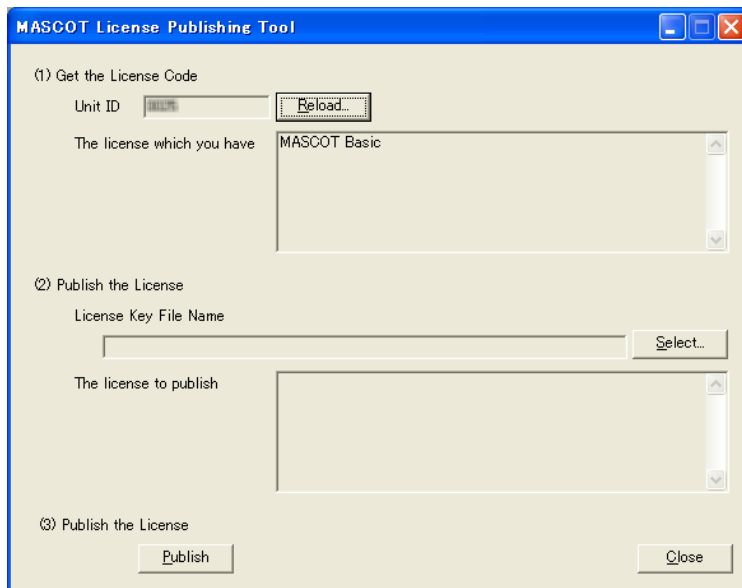
以下の手順に従い、書き換え作業を行ってください。

1. 書き換え作業はライセンス・キーのドライバがインストールされている PC で作業してください。
2. MASCOT インストールディスク 1 を CD-ROM ドライブにセットし起動画面を表示させ、<MASCOT License Publishing Tool>をクリックしてください。

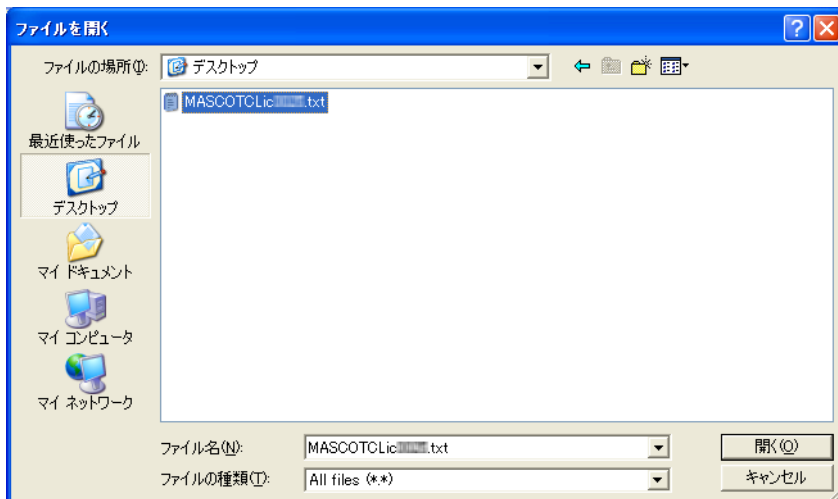
※ エラーが表示される場合は「1-5-8. ライセンス・キー書き換えツール起動時にエラー表示される場合」を参照してください。



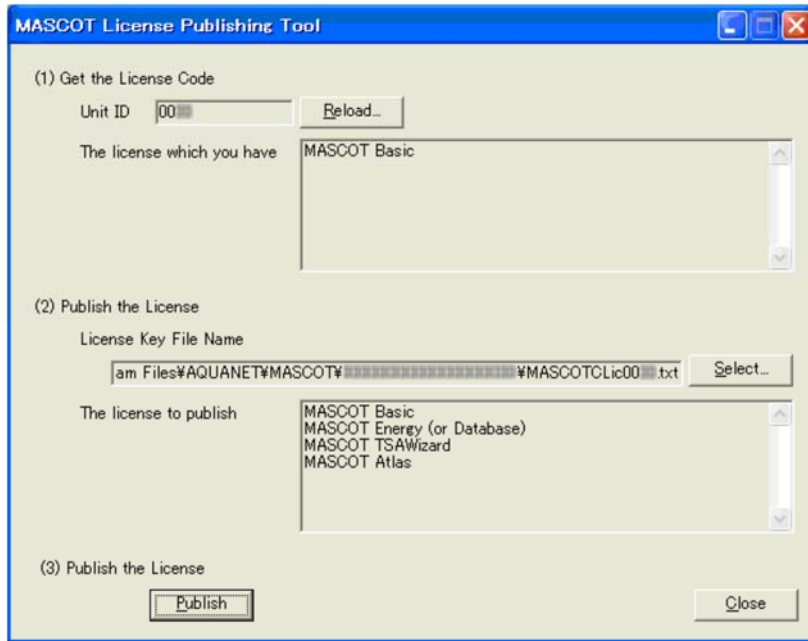
3. [Unit ID]が表示されていない場合は、<Reload>をクリックしてください。
現在ライセンスされている製品名が[The License which you have]に表示されます。



4. [(2)Publish the License]-[License Key File Name]-<Select>をクリックし、別途メールもしくは[MASCOT ライセンスファイル CD]で送られたライセンスファイル (Ex.*MASCOTLic0000.txt*) を選択してください。



5. [The License to publish]に新たにライセンスされる製品名が表示されます。
<Publish>をクリックしてライセンス・キーを書き換えます。

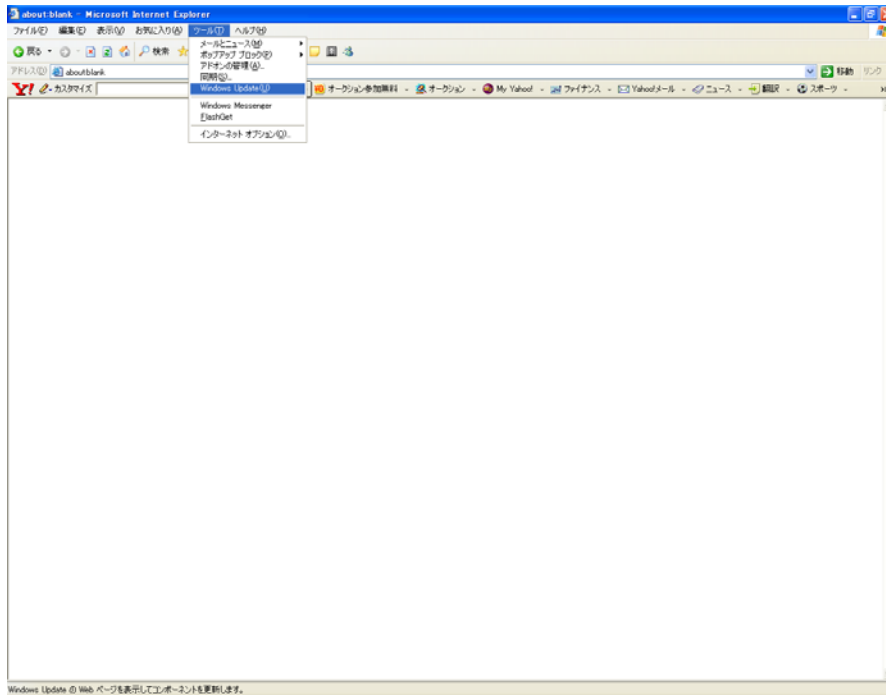


1-5-8. ライセンス・キー書き換えツール起動時にエラー表示される場合

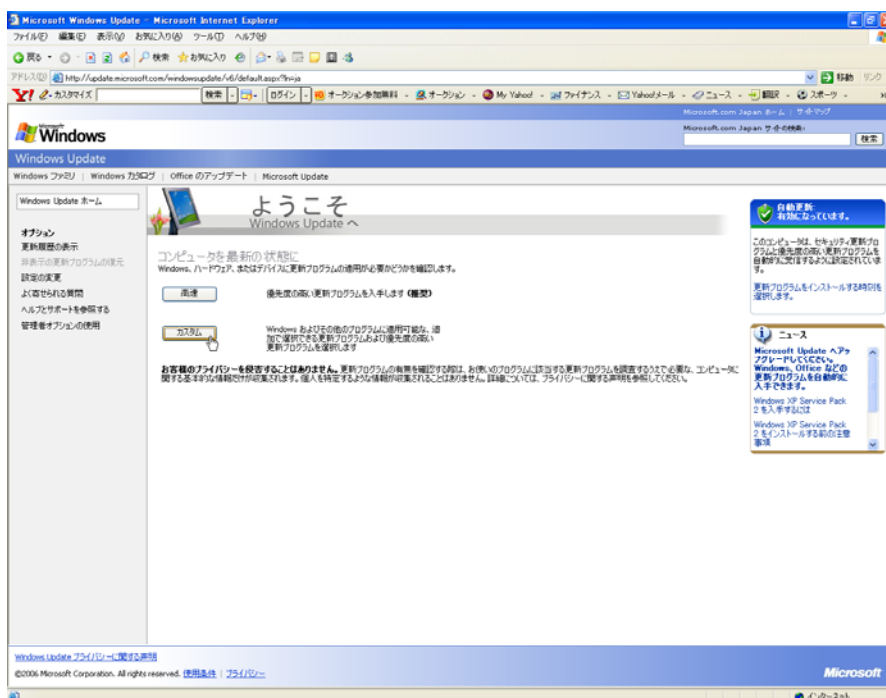
ライセンス・キー書き換えツール起動時にエラー表示される場合は以下の手順で[Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]以降をインストールしてください。

[Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]のインストールには Microsoft のホームページにアクセスする必要があります。また、ホームページの更新等の事由により本マニュアルに記載されている内容と異なる場合があります。その際には Microsoft にお問い合わせください。

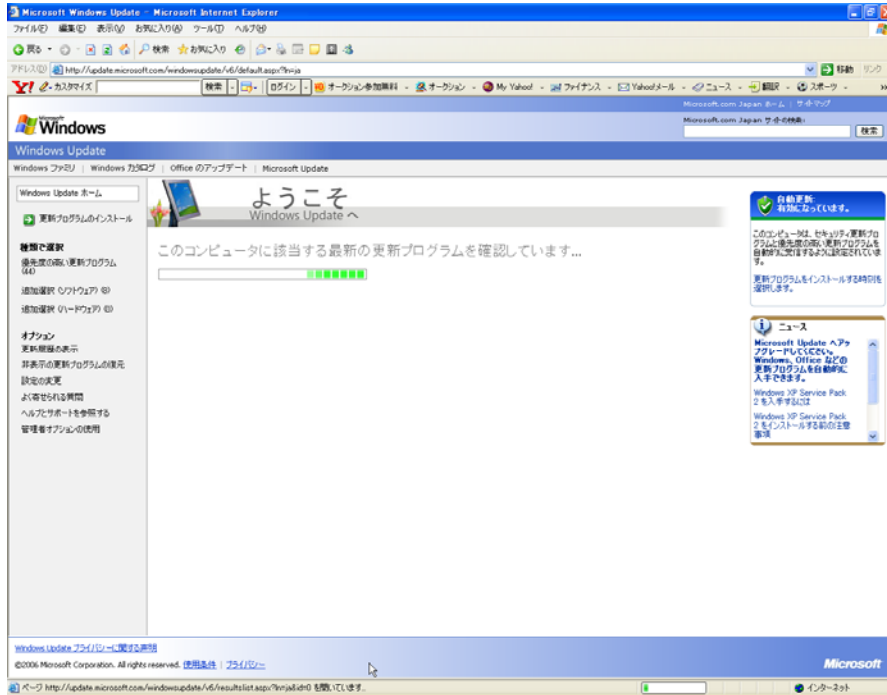
1. インターネットエクスプローラを起動し、[ツール]-[Windows Update]をクリックします。



2. [Windows Update]画面が表示されるので<カスタム>をクリックします。

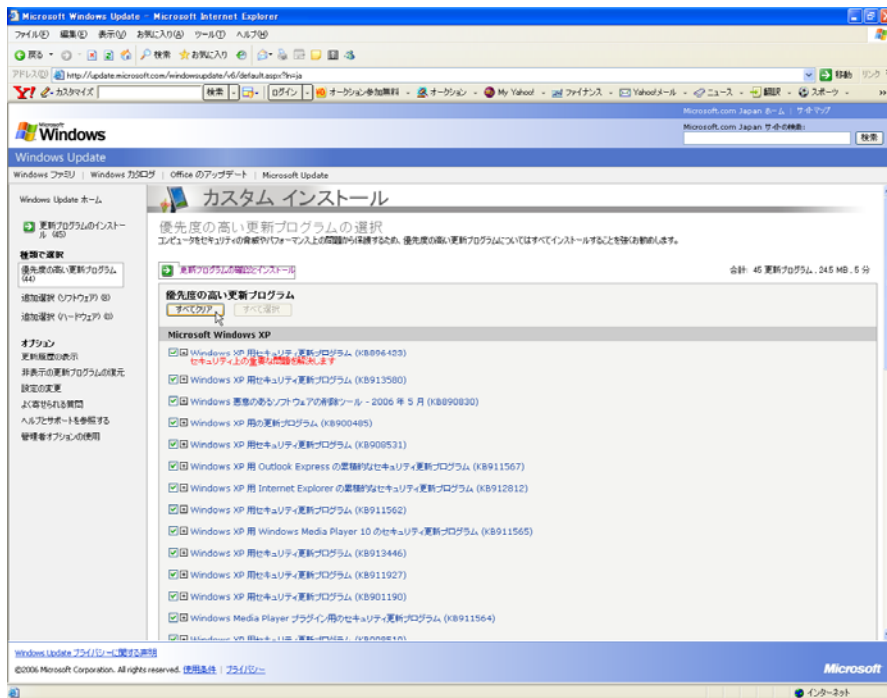


3. お使いのPCの更新プログラムの確認が行われます。

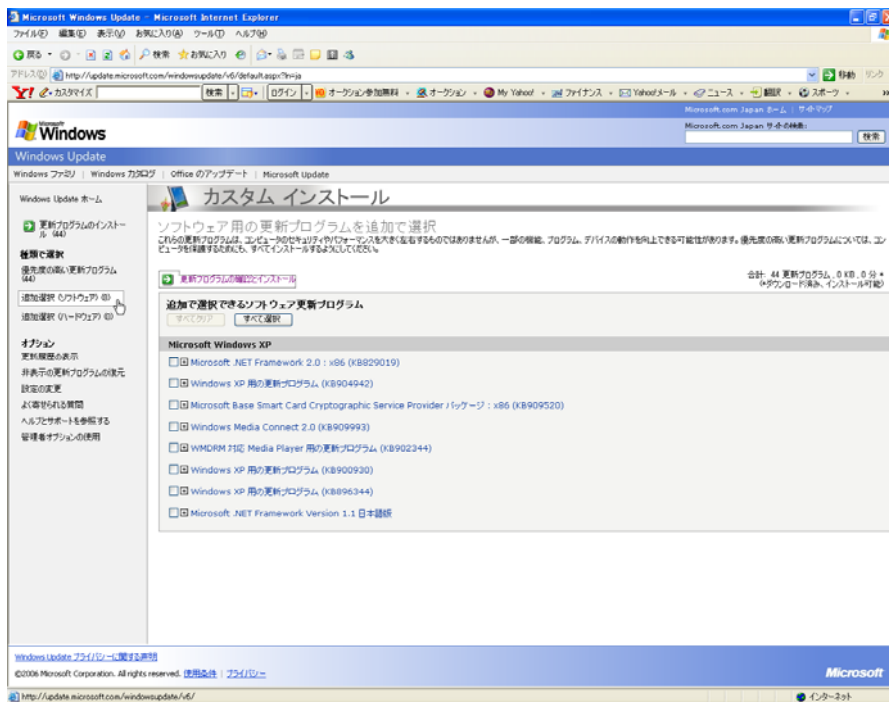


4. 左のフレームで[優先度の高い更新プログラム]が選択されていることを確認し、<すべてクリア>をクリックします。

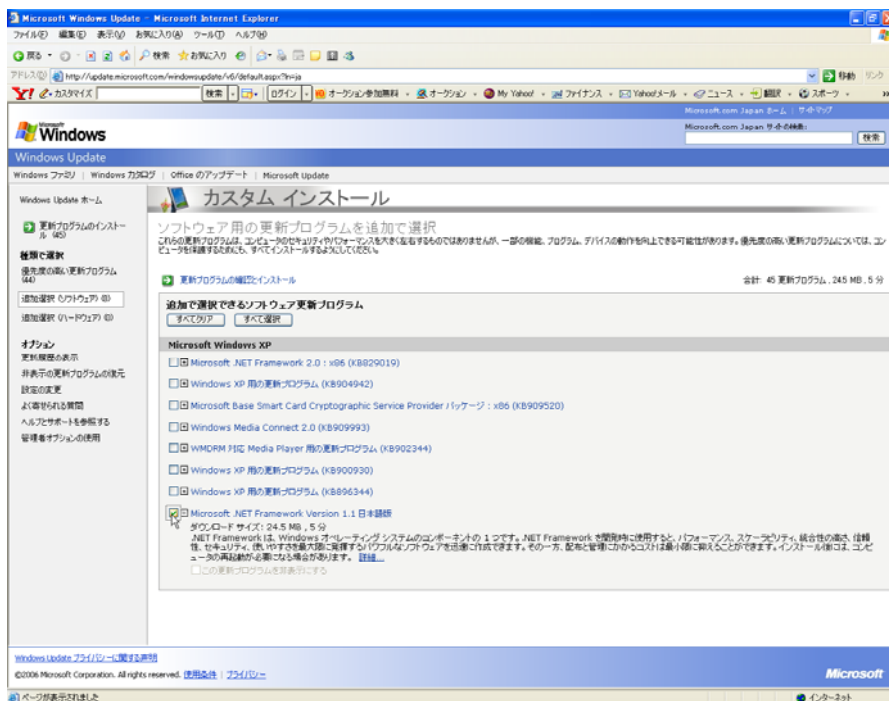
※ ここでの作業は必ずしも<すべてクリア>とせず、必要に応じ更新プログラムを選択してもかまいません。



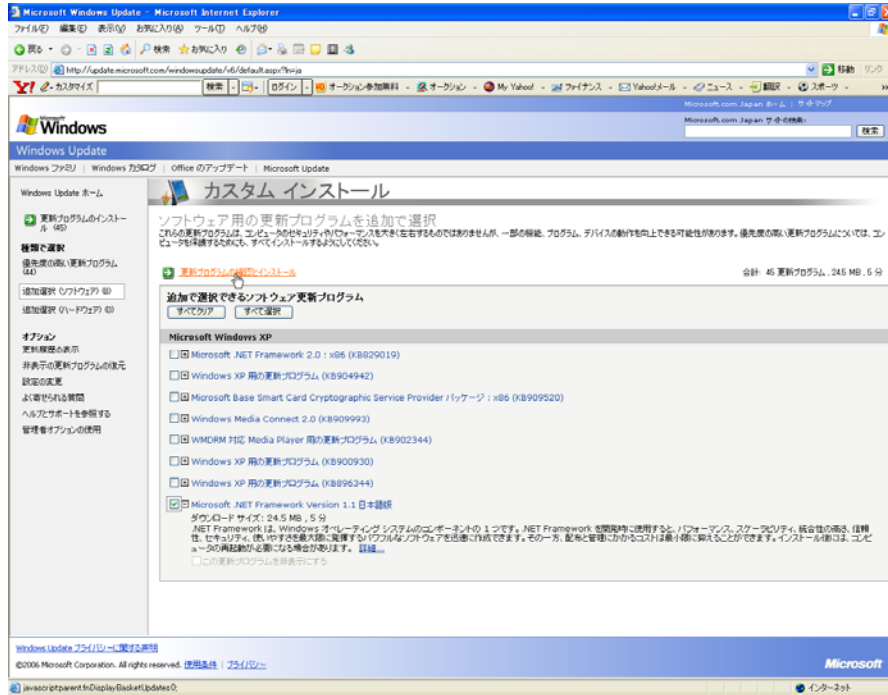
5. 左のフレームで[追加選択 (ソフトウェア)]が選択を選択し、[追加で選択できるソフトウェア更新プログラム]一覧を表示します。



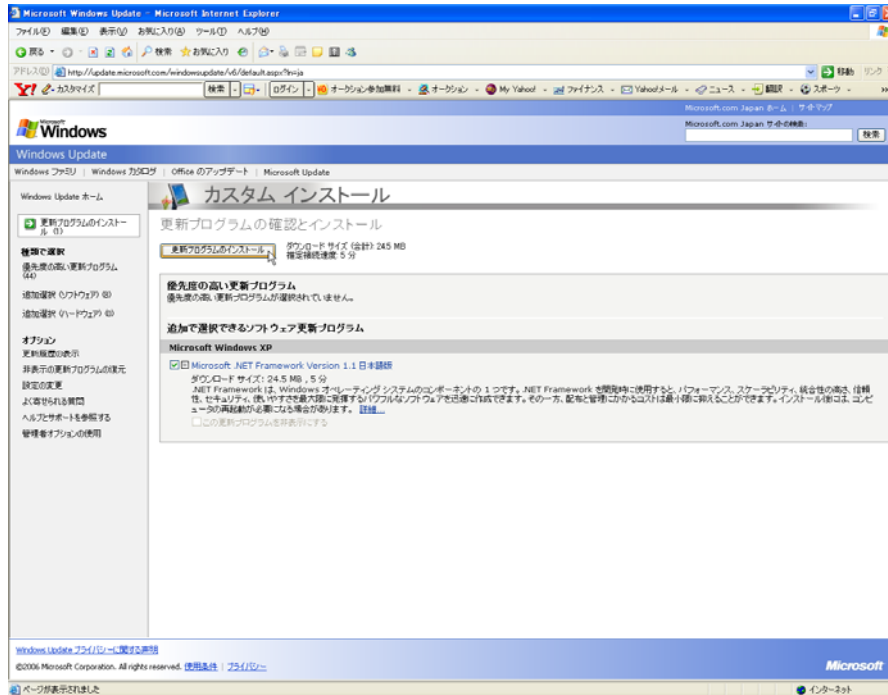
6. [Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]以降を選択します。



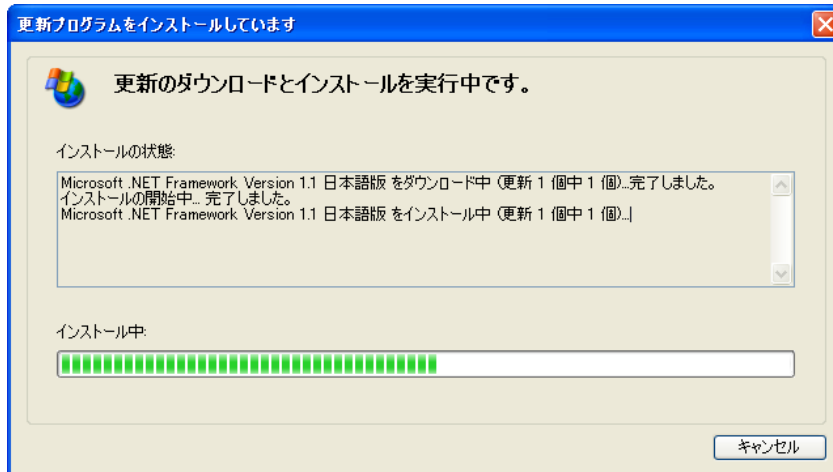
7. [更新プログラムの確認とインストール]をクリックします。



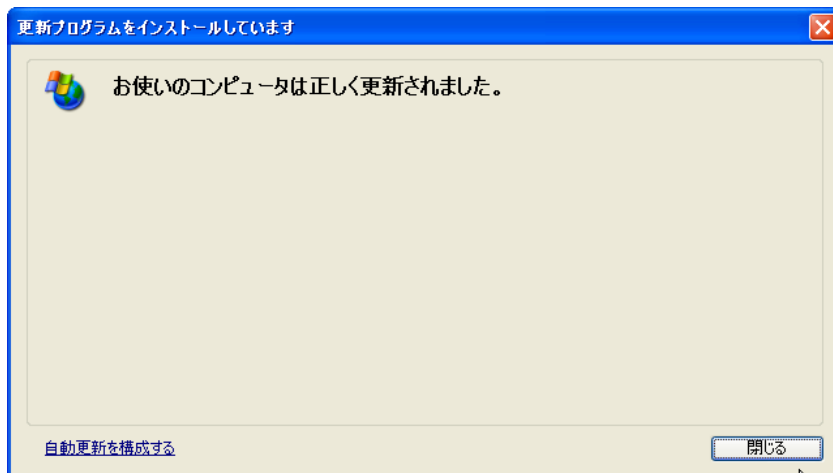
8. [Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]以降が選択されていることを確認し、<更新プログラムのインストール>をクリックします。



9. 更新のダウンロードとインストールが実行されます。



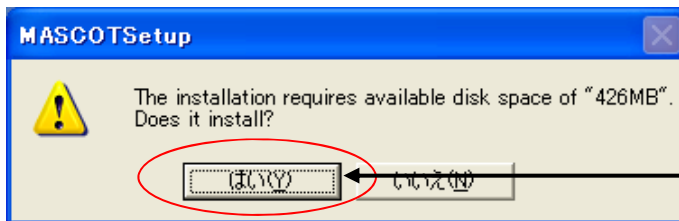
10. インストールの完了です。PCの再起動を要求される場合がありますので、画面の指示に従い再起動してください。



重要：[Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]以降のインストールに関する障害等につきましては対応いたしかねますのでご了承ください。

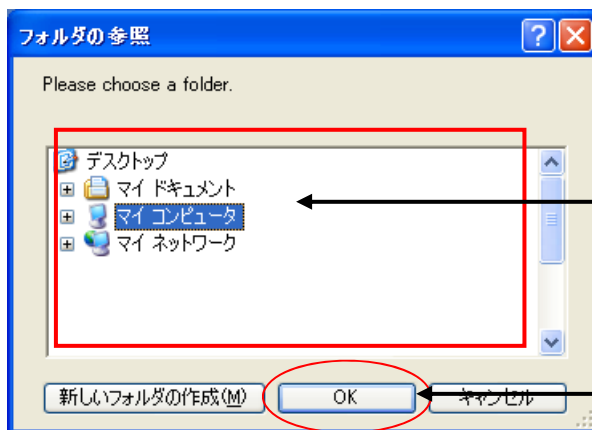
1-5-9. 地図データベース (Terrain and Landuse Database) のインストール

1. セットアップランチャーのタイトルメニューより、<Install Terrain and Landuse Database>を押すと、インストールに必要なハードディスクの空き容量が表示され、インストールの実行に関する問い合わせメッセージが表示されます。



ハードディスクの容量が、表示されたサイズよりも多く空いていることを確認し、<はい>をクリックします。

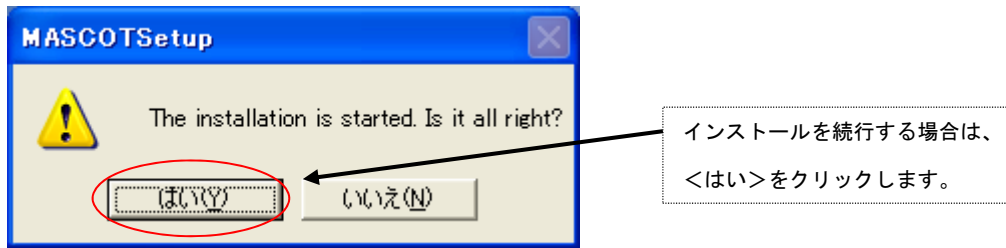
2. 「地図データベース (Terrain and Landuse Database)」のインストール先を指定するダイアログが表示されます。



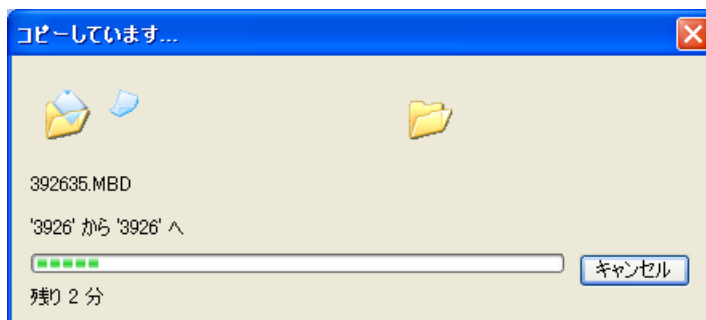
ここでインストール先を選択します。フォルダを新たに作成する場合は、作成したい場所を選択し、<新しいフォルダの作成>を押して下さい。

<OK>をクリックします。

3. インストールの最終確認メッセージが表示されます。



4. インストールが開始しますので、終了するまでお待ち下さい。



5. 終了のダイアログが表示されましたら、インストール完了です。

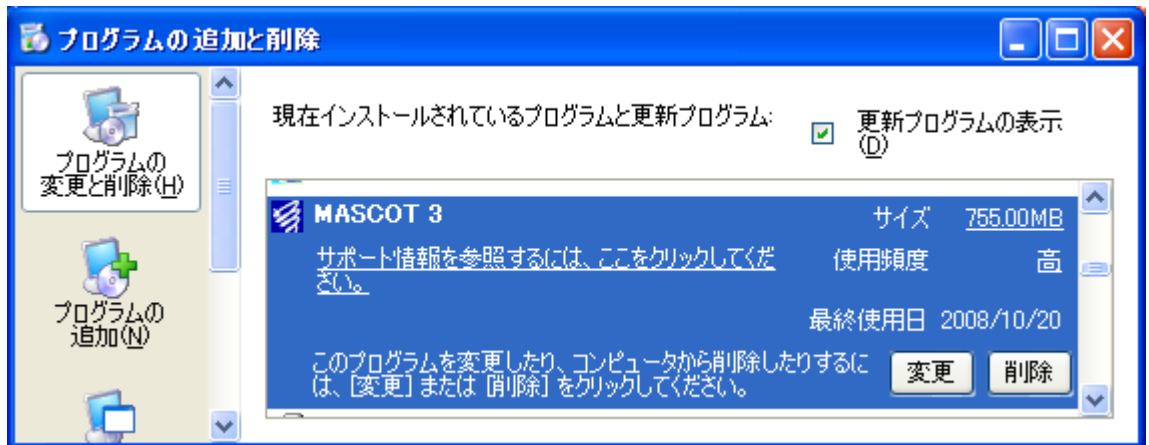


以上で地図データベース (Terrain and Landuse Database) のインストールは完了です。

1-5-10. アンインストール

<アプリケーションのアンインストール>

1. Windows の[スタート]メニューの[設定]から、[コントロールパネル]を開きます。
2. [プログラムの追加と削除]を選択します。
3. 表示されたダイアログのリストから、[MASCOT 3]を選択し、<削除>を押します。



4. 削除の確認を問わせてきますので、<削除>を押します。
5. アンインストールが開始されます。
6. アンインストールが終了すると、終了したことを告げるメッセージが表示されますので、<OK>を選択して、アンインストールを完了します。

<プロテクト・キー・ドライバのアンインストール>

1. Windows の[スタート]メニューの[設定]から、[コントロールパネル]を開きます。
2. [アプリケーションの追加と削除]を選択します。
3. 表示されたダイアログのリストから、[Sentinel System Driver]を選択し、<削除>を押します。
4. 削除の確認を問われますので、<削除>を押します。
5. アンインストールが開始されます。
6. アンインストールが終了すると、終了したことを告げるメッセージが表示されますので、<OK>を選択して、アンインストールを完了します。

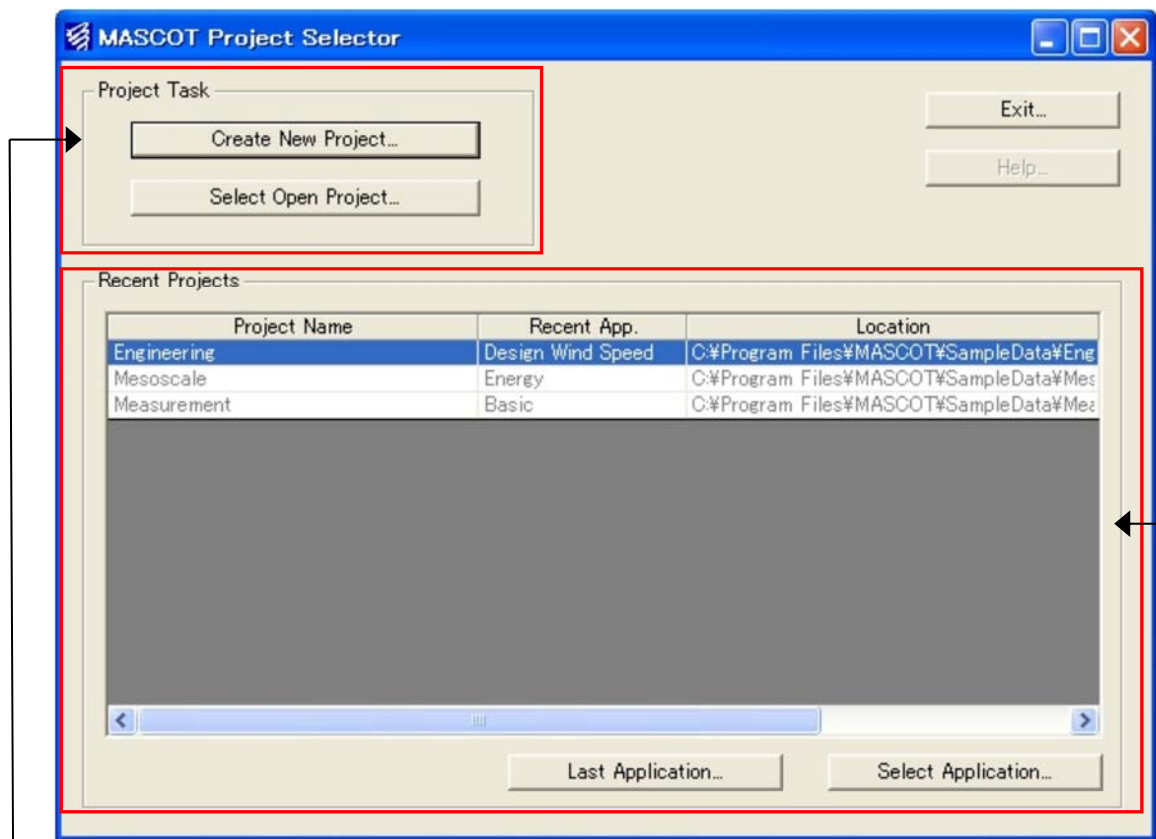
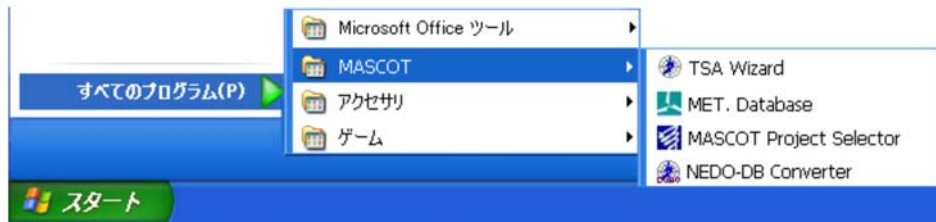
<地図データベース (Terrain and Landuse Database) のアンインストール>

エクスプローラなどにより、インストールしたフォルダを削除して下さい。

1-6. アプリケーションの起動と終了

1-6-1. 起動

1. USB・ライセンス・キーを、USB コネクタに接続します。
2. Windows の[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[MASCOT Project Selector]のメニュー画面より、MASCOT Basic を起動します（下記の流れ図を参照）。



Project Task : プロジェクトの処理方法

Create New Project : プロジェクト新規作成

Select Open Project : 既存プロジェクトを開く

Recent Projects : プロジェクトの履歴

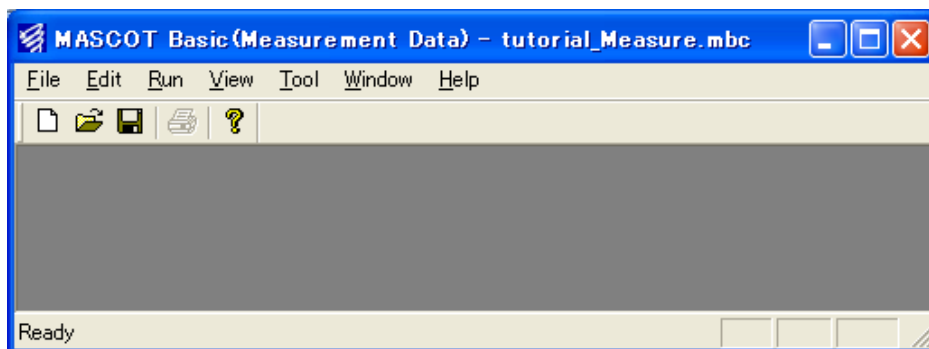
Project Name : プロジェクト名

Recent App. : 前回プロジェクトに使用したモジュール

Location : プロジェクトの場所

Last Application : 前回のアプリケーションで開く

Select Application : アプリケーションを選択して開く




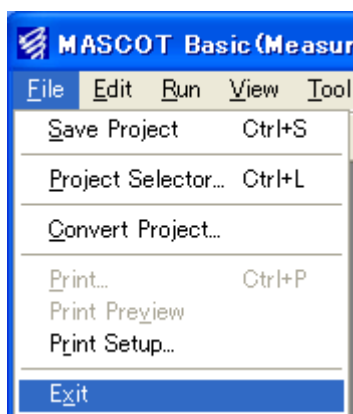
◇MASCOT モジュール (Basic、Energy、Engineering) の多重起動方法

MASCOT の各モジュールは、モジュールを終了せずに上記 2 を行うことで、多重起動を行うことが可能です。

※[MASCOT Project Selector]は単独起動の為、各モジュール (MASCOT Basic 等) を起動している状態 ([MASCOT Project Selector]が終了している状態) で、スタートメニューより起動してください。

1-6-2. 終了

MASCOT Basic の[File]-[Exit]メニューを選択、もしくはウィンドウの  ボタンをクリックすることにより、MASCOT Basic を終了します。



1-7. 表編集の基本操作

<キーと動作の対応>

キー	動作
「Ctrl+Insert」	行挿入
「Ctrl+Delete」	行削除
「Ctrl+C」	選択部分をコピー
「Ctrl+V」	コピーした内容を挿入
「Ctrl+E」	コピーした内容を貼り付け

<操作例>

label	latitude			longitude		
	Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
LightHouse	41	15	20.6	140	20	45.1



label	latitude			longitude		
	Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
LightHouse	41	15	20.6	140	20	45.1

コピーしたい箇所をマウスでドラッグして選択
選択した箇所が反転表示される



「Ctrl+C」



label	latitude			longitude		
	Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
LightHouse	41	15	20.6	140	20	45.1

挿入したい行をマウスで選択



「Ctrl+V」



label	latitude			longitude		
	Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
LightHouse	41	15	20.6	140	20	45.1
LightHouse	41	15	20.6	140	20	45.1

コピー完了

第2章 Quick Start Tutorial (解析手順)

本章では、MASCOT Basic の基本的な使い方を理解するために、簡単な例を用いて説明します。

2-1. Measurement プロジェクト (風況観測データを用いた風況予測)	2-2
2-1-1. MASCOT Basic による気流予測の手順.....	2-3
2-1-2. MASCOT Project Selector の起動.....	2-4
2-1-3. プロジェクトの作成	2-5
2-1-4. 標高と粗度のデータファイルの作成	2-8
2-1-5. 計算条件の設定.....	2-10
2-1-6. メッシュの生成と確認.....	2-11
2-1-7. 観測地点と予測地点の設定.....	2-12
2-1-8. 計算実行	2-14
2-1-9. 計算結果の可視化.....	2-16
2-2. Meso-scale プロジェクト (地域気象解析結果データを用いた風況予測)	2-20
2-2-1. MASCOT Basic による気流予測の手順.....	2-21
2-2-2. MASCOT Project Selector の起動.....	2-22
2-2-3. プロジェクトの作成	2-23
2-2-4. 標高と粗度のデータファイルの作成	2-26
2-2-5. 計算条件の設定.....	2-28
2-2-6. メッシュの生成と確認.....	2-30
2-2-7. 予測地点と風況データ地点の設定	2-32
2-2-8. 計算実行	2-34
2-2-9. 計算結果の可視化.....	2-36
2-3. Design wind speed プロジェクト (平均風速の割増係数および変動風速の補正係数を算定)	2-38
2-3-1. MASCOT Basic による気流予測の手順.....	2-39
2-3-2. MASCOT Project Selector の起動.....	2-40
2-3-3. プロジェクトの作成	2-41
2-3-4. 標高と粗度のデータファイルの作成	2-44
2-3-5. 計算条件の設定.....	2-46
2-3-6. メッシュの生成と確認.....	2-47
2-3-7. 平均風速の割増係数および変動風速の補正係数の算定地点の設定	2-49
2-3-8. 解析領域高さの設定	2-51
2-3-9. 計算実行	2-53
2-3-10. 計算結果の可視化.....	2-55

2-1. Measurement プロジェクト (風況観測データを用いた風況予測)

風況観測データを用いた MASCOT Basic による風況予測を下図に示す青森県竜飛崎を例として説明します。ここでは、灯台の南東およそ 500m の地点を対象とし、ハブ高さ 50m の風車を建設することを想定しています。観測データとしては、竜飛崎灯台の地上高 20m の風速計における 1997 年の風向・風速データを用います。

例題におけるプロジェクト名は、"tutorial_measure" とし、プロジェクトを作成する場所は、
"C:\Users\×××\Documents\MASCOT_Samples" とします。(×××=ユーザー名)



風況予測の例題地点

2-1-1. MASCOT Basic による気流予測の手順

1. [MASCOT Project Selector]-[Create New Project]メニューの設定画面で、アプリケーションを[Basic]、プロジェクトタイプを[Measurement data]と選択し、プロジェクトを作成します。
2. MASCOT Basic の[Tool]-[Create Basic Map]メニューの入力画面を使って、付属のデータベースから基本的な標高データ・地表面粗度データファイルを作成します。
3. [Edit]-[Casefile] メニューの入力画面から解析領域、メッシュ間隔、計算する風向などの計算条件を設定・保存します。ここでは、竜飛崎灯台の位置を中心とした解析領域にしています（解析中心位置は無条件に表示されます）。
4. [View]-[Fine Grid]-[Terrain Map] メニューを選択すると、上記で設定した標高・地表面粗度のメッシュデータが作成され、それを画面上で表示されます。
5. [Edit]-[option]-[site] メニューの入力画面で風車設置位置と観測点の位置の緯度・経度を登録します。その後、再度 [Fine Grid]-[Terrain Map]のビュー で、登録した地点が最小メッシュを用いた解析領域内（ピンク円）にあることを確認します。
6. [Run]-[Start]-[Fine Grid]メニューで計算を実行します。実行中には4種類のモニター画面が表示されますので、解析されている風向や計算の収束状況などを確認することができます。
7. [View]-[Fine Grid]-[Result] メニューを選択すると、各風向の風速ベクトルや等値面などを表示して結果を確認することができます。データの表示は、平面・縦断面・横断面を任意に指定できます。

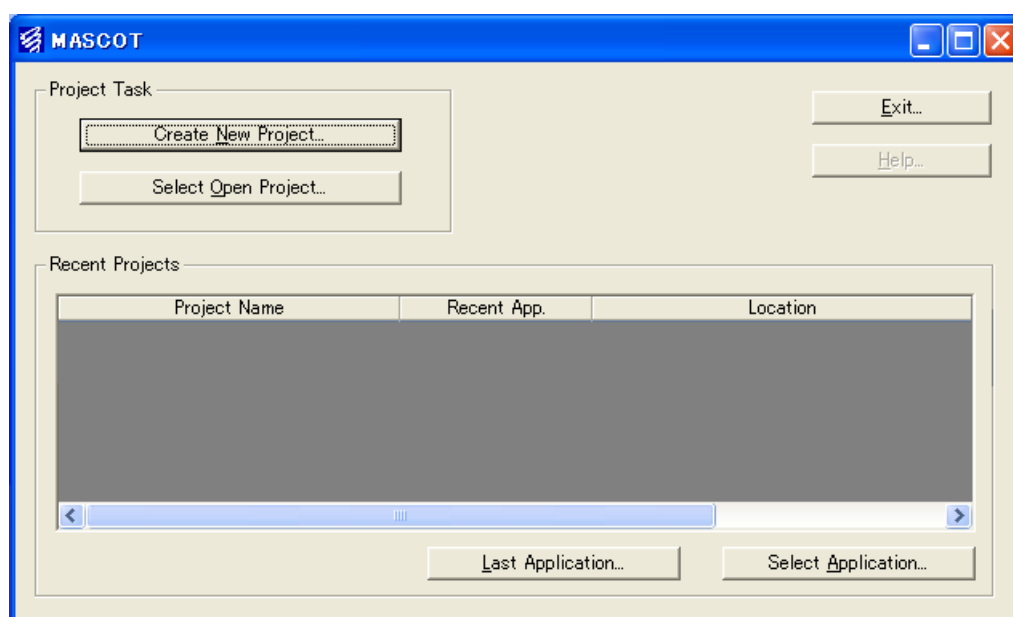
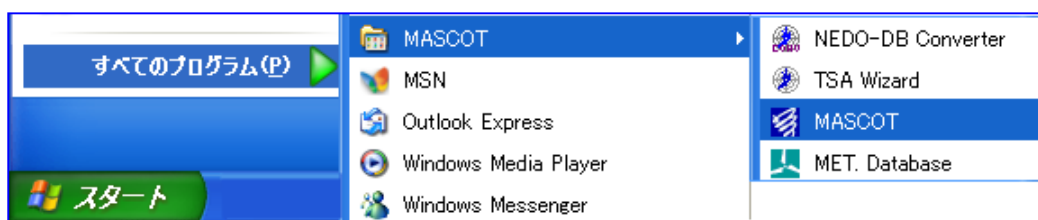
以上、風況観測データを用いる際の MASCOT Basic による気流予測の手順を示しました。

例題として示した竜飛崎周辺の気流予測結果から風車設置地点の風況や発電量を得るには、MASCOT Energy モジュール<MASCOT Version3.0 ライセンス>または MASCOT Utility<MASCOT Basic ライセンス>を用いて求める必要があります。

以降の操作手順は気流予測の手順を示します。MASCOT Energy モジュールの操作手順は MASCOT Energy ユーザーズマニュアルを参照してください。また、MASCOT Utility についての詳細は本マニュアルの「MASCOT Utility」を参照してください。

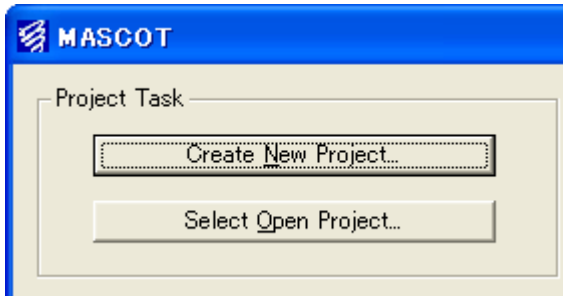
2-1-2. MASCOT Project Selector の起動

1. Windows の[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[MASCOT Project Selector]を選択し、MASCOT Project Selector を起動します。

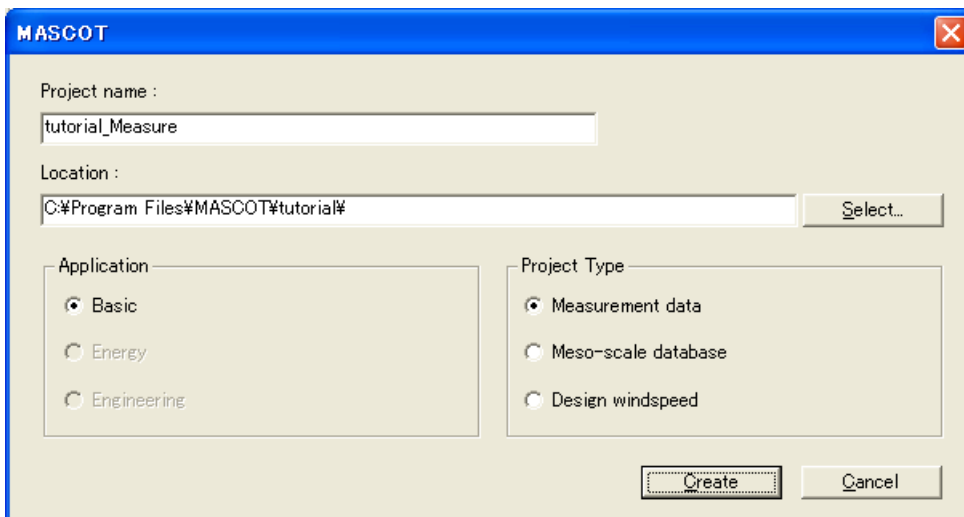


2-1-3. プロジェクトの作成

1. [MASCOT Project Selector]ダイアログで<Create New Project>ボタンをクリックします。



2. 表示されたダイアログで、プロジェクト名 (Project name)、プロジェクトの作成場所 (Location)、アプリケーション種類 (Application)、プロジェクトタイプ (Project Type) を設定します。本項は観測データ用いた風況予測ですので、[Application]を[Basic]、[Project Type]を[Measurement data]選択します。



```

Project name      : tutorial_measure
Location※1)     : C:\Users\¥××¥Documents\MASCOT_Samples
Application※2)  : Basic
Project type※3) : Measurement data
  
```

※1) [Location]に指定するフォルダが存在しない場合は、予めエクスプローラ、または<Select...>を押すと表示される[フォルダの参照]ダイアログにより作成して下さい。

※2) Application :

[Basic] : 三次元気流予測

[Energy] : 任意地点の発電量予測

[Engineering] : 任意地点における設計風速算定および風況予測

※3) Project type :

[Measurement data] : 観測データを用いた発電量予測および風況予測

[Meso-scale database] : メソスケール気象モデルの解析データを用いた発電量予測および風況予

測

[Design wind speed] : 設計風速算定

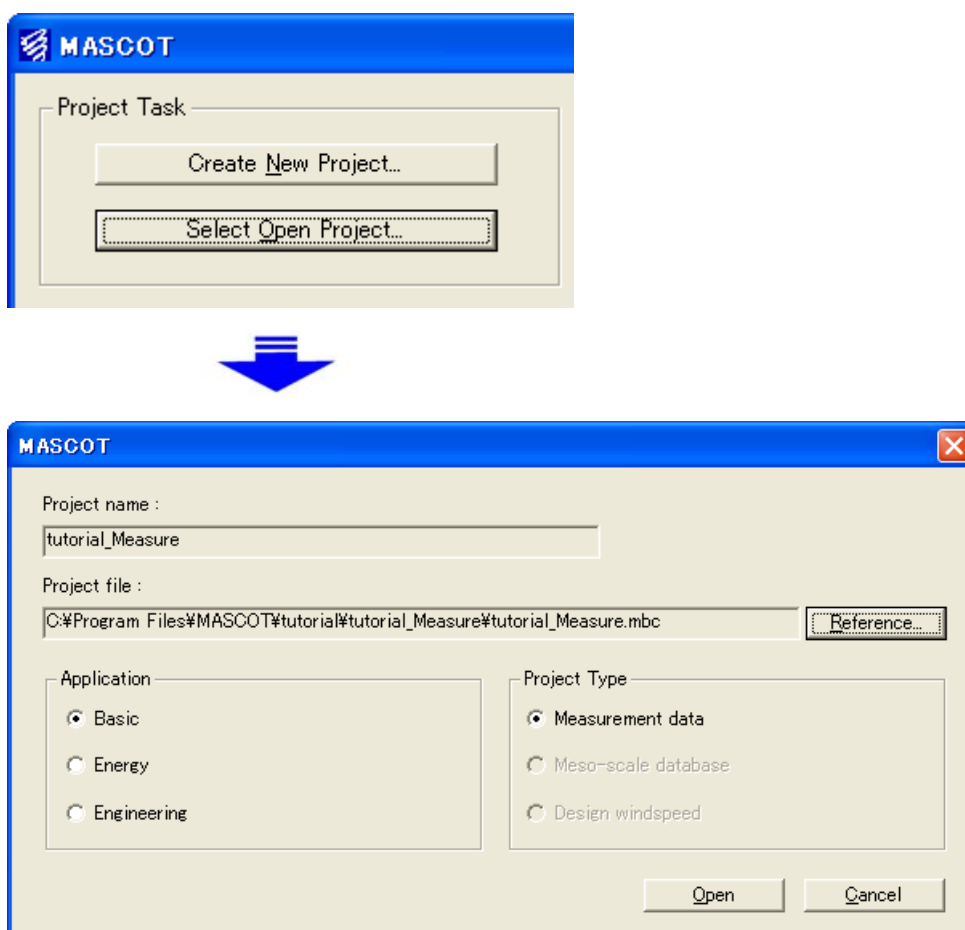
3. 次に、<Create>を押し、プロジェクトを作成します。

作成されたフォルダ : C:\Users\¥×××¥Documents¥MASCOT_Samples ¥tutorial_measure

プロジェクトファイル : tutorial_measure.mbc

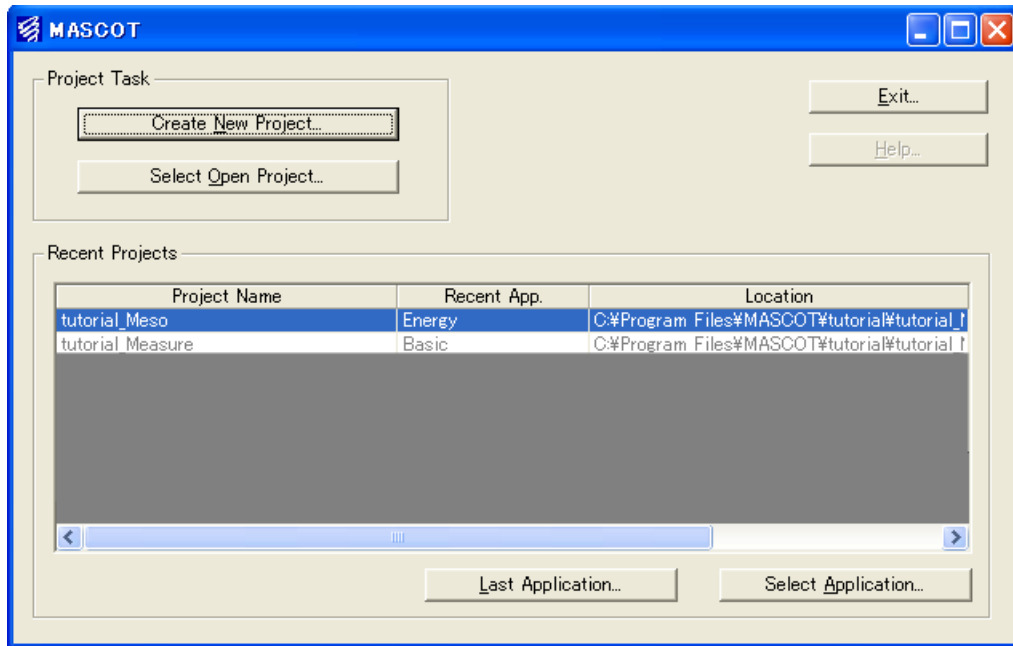
次回、プロジェクトを開く際には、この作成されたプロジェクトファイルを起動する方法は以下2種類あります。

1. MASCOT Project Selector を起動し、[Select Open Project]で選択します。



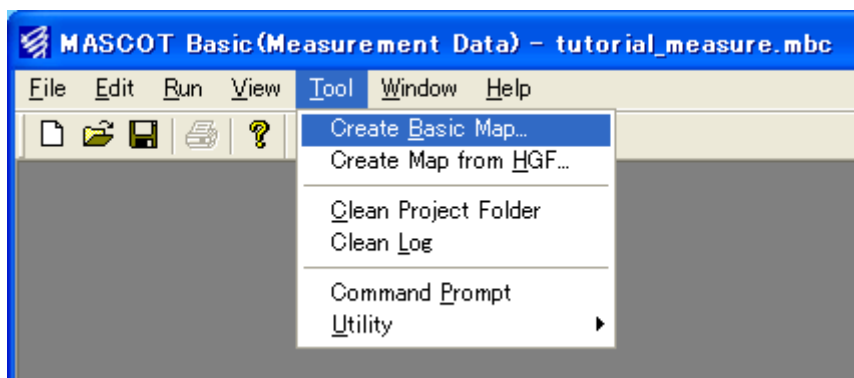
2. MASCOT Project Selector を起動し、履歴から起動します。

[Recent Project]エリアに表示されたプロジェクト名をダブルクリックで選択します。



2-1-4. 標高と粗度のデータファイルの作成

1. [Tool]-[Create Basic Map]メニューを選択します。



2. 表示された[Create Basic Map]ダイアログの各項目を設定します。

緯度

経度

東西方向の解析領域の大きさ

南北方向の解析領域の大きさ

任意のファイル名

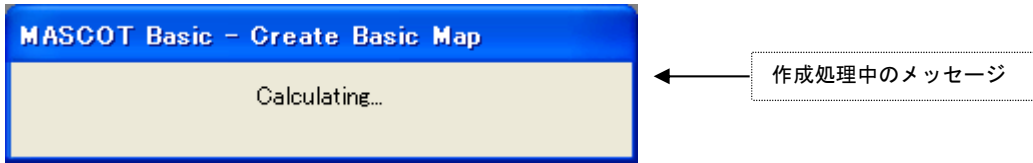
標高と土地利用データの解像度設定
Measurement プロジェクトの場合、標高データの解像度は 50m を選択します。粗度データは 100m が選択されます。

標高と土地利用データベースのあるフォルダまたはドライブを指定
この例では D ドライブの trdb というフォルダ内に標高と土地利用データベースが格納されています。

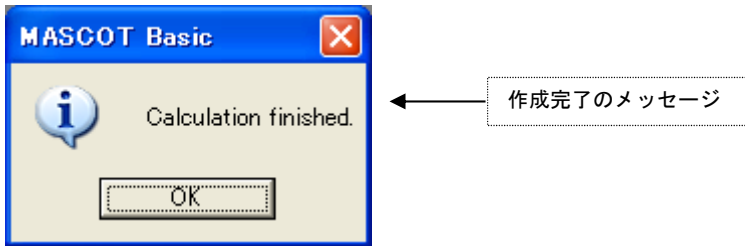
ローカル ディスク (D:)

- trdb
- 1kmav_dem
- landuse
- terrain

3. 項目の設定の後、<Apply>を押しますと、標高と粗度のデータファイルの作成処理が行われます。

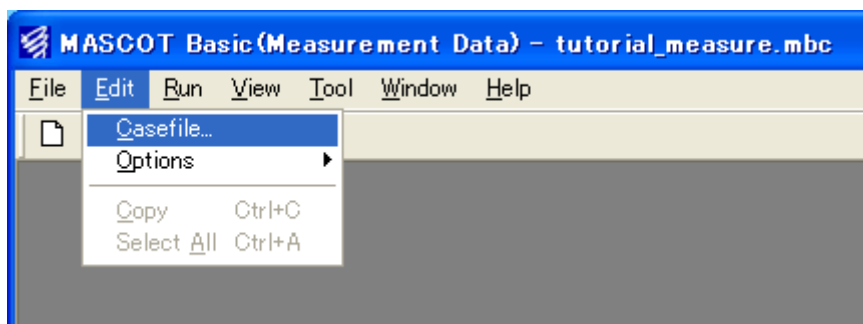


4. 作成完了のメッセージが表示されましたら、標高と粗度のデータファイルの作成完了です。

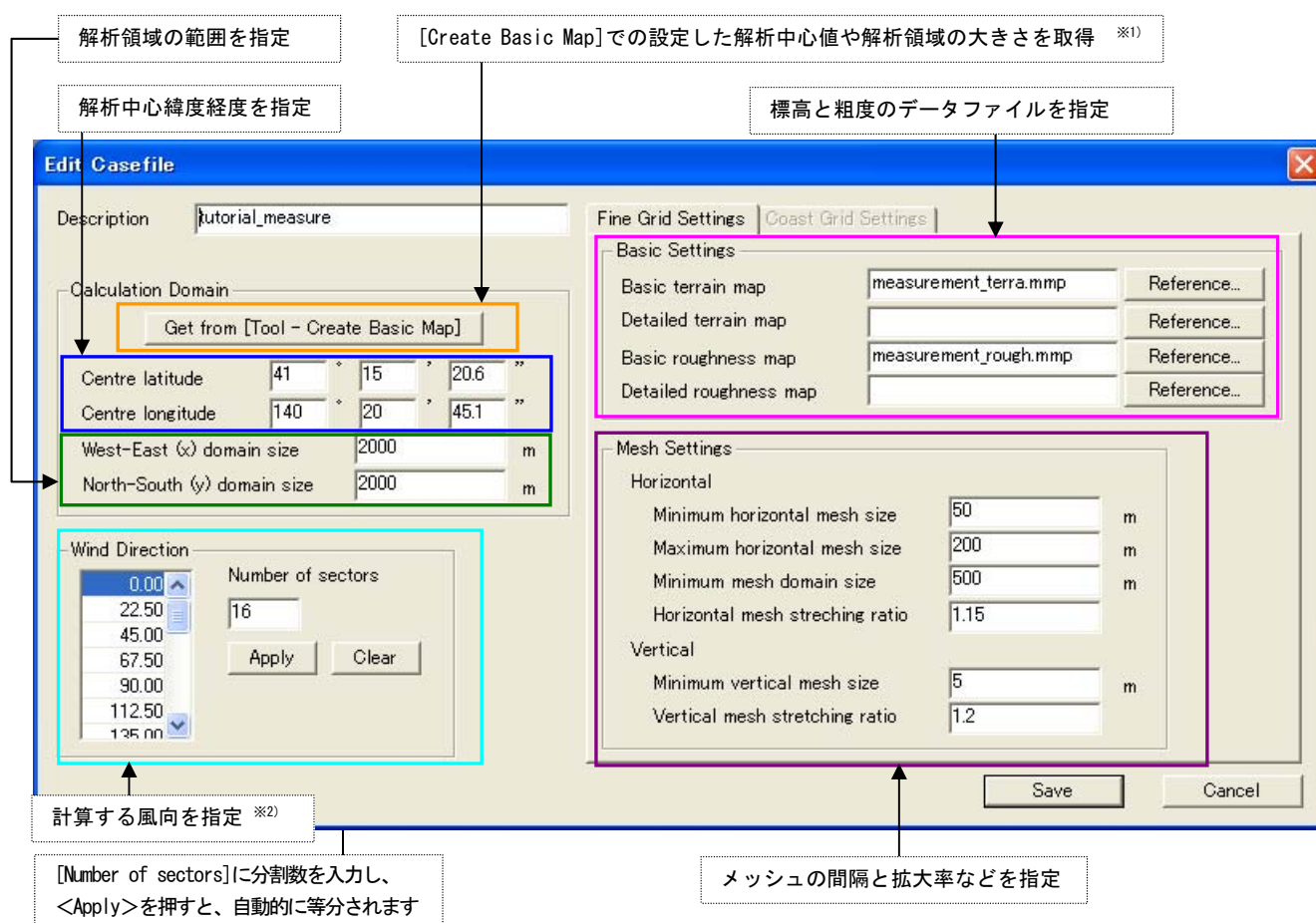


2-1-5. 計算条件の設定

1. [Edit]-[Casefile]メニューを選択します。



2. 表示された[Edit Casefile]ダイアログの各項目を設定します。



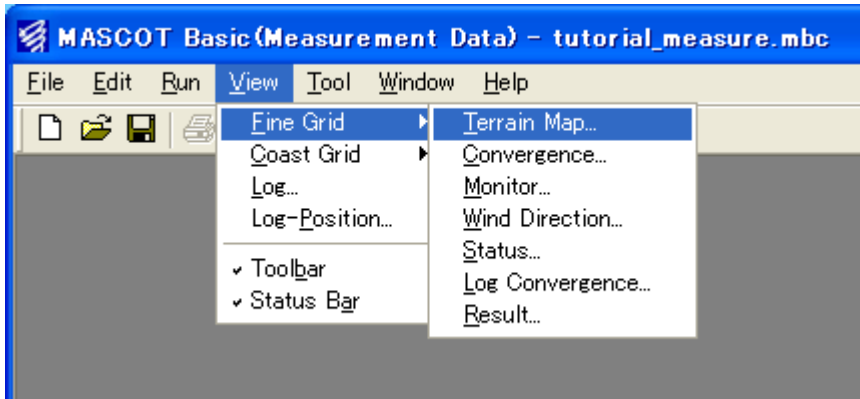
※1) この機能は、直前に [Tool]-[Create Basic Map] で設定された解析中心値や解析領域の大きさを取得する機能で、[Basic Settings]で設定した標高データおよび粗度長データの中心座標や領域を取得するものではありません。

※2) 風況予測の為に、一般に16風向の計算が必要です。

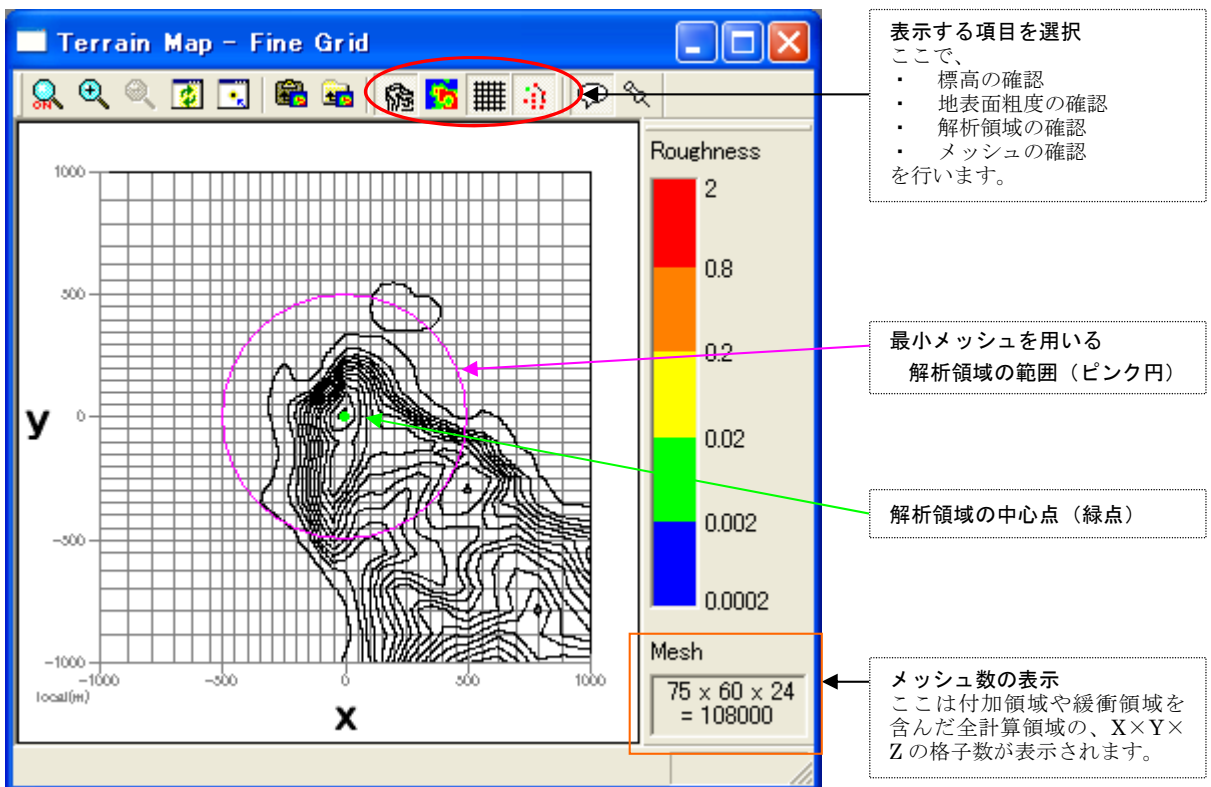
3. 項目の設定が終わりましたら、<Save>を押して、計算条件を保存します。

2-1-6. メッシュの生成と確認

1. [View]-[Fine Grid]-[Terrain Map]メニューを選択しますと、メッシュが自動的に生成されます。

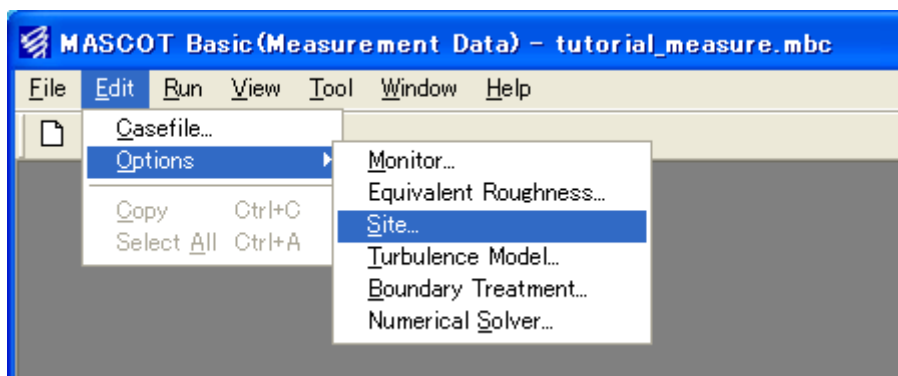


2. [Terrain Map]ビューで表示されている標高、粗度、メッシュなどを確認します。

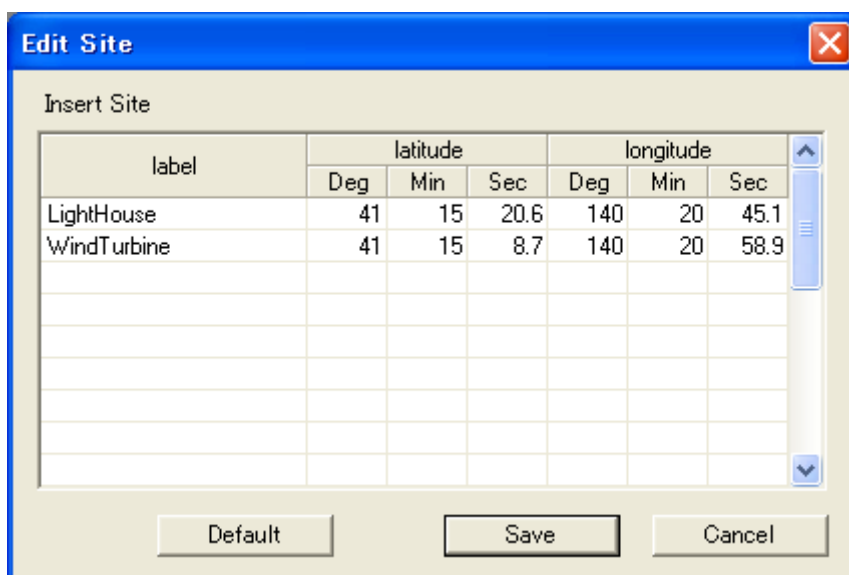


2-1-7. 観測地点と予測地点の設定

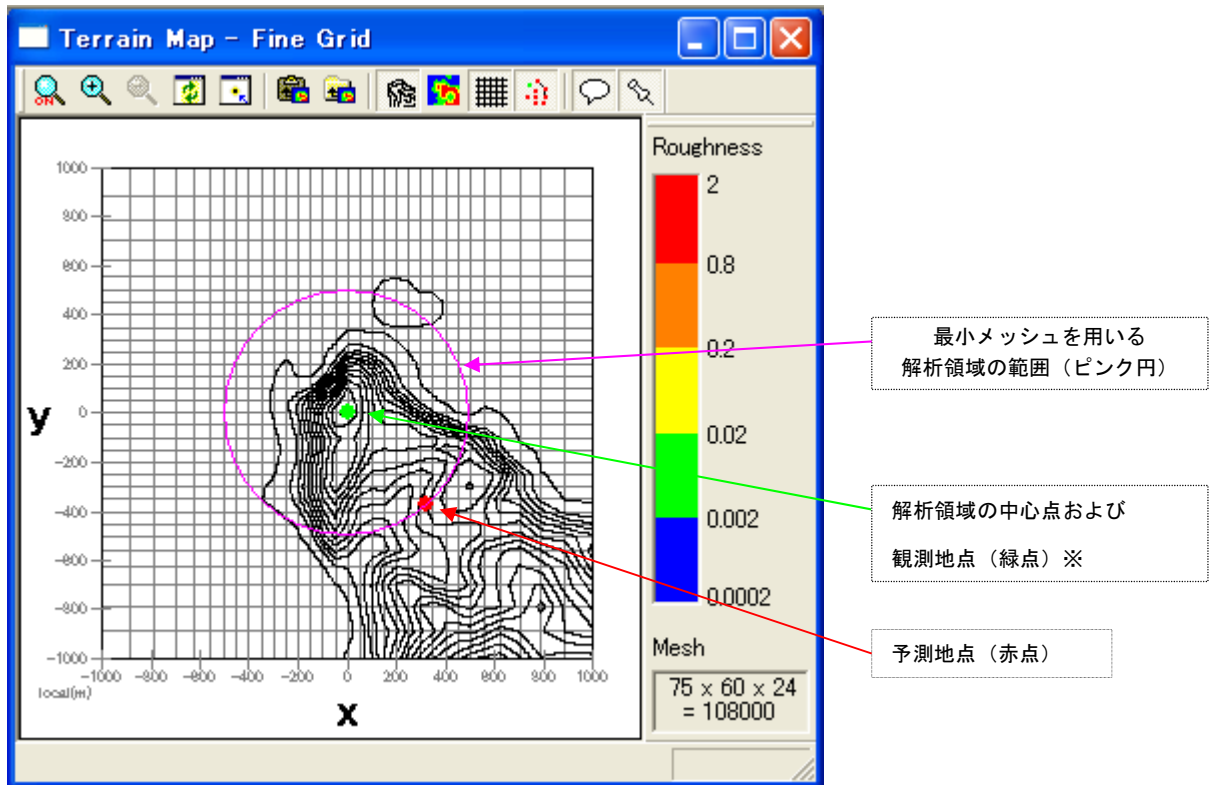
1. [Edit]-[Options]-[Site]メニューを選択します。



2. 表示された[Edit Site]ダイアログで、観測地点と予測地点の登録を行います。



3. <Save>を押して、観測地点（LightHouse）と予測地点（WindTurbine）を保存します。
4. 再度、[View]-[Fine Grid]-[Terrain Map]ビューを開き、登録した観測地点と予測地点が最小メッシュを用いる解析領域の範囲内にあるかを確認します。
 ([Fine Grid]-[Terrain Map]ビューが既に開いている場合は、自動的にビューが更新されます)

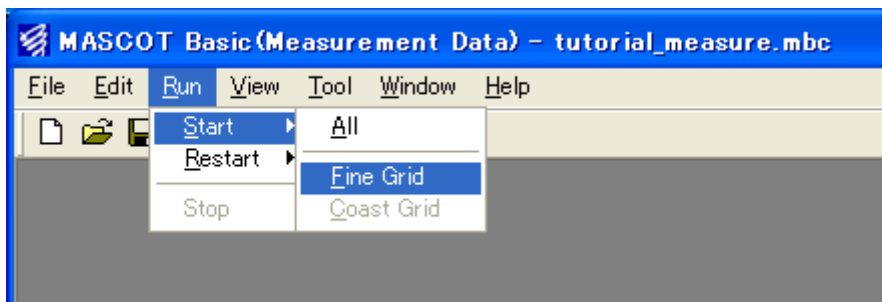


※ [Edit Site] で設定した予測地点や観測地点の位置は赤点で表示され、解析中心点は緑点で表示されます。
 本例では [Edit Site] で登録した観測地点 (LightHouse) と解析中心点の座標と同じなので、緑色で表示されます。

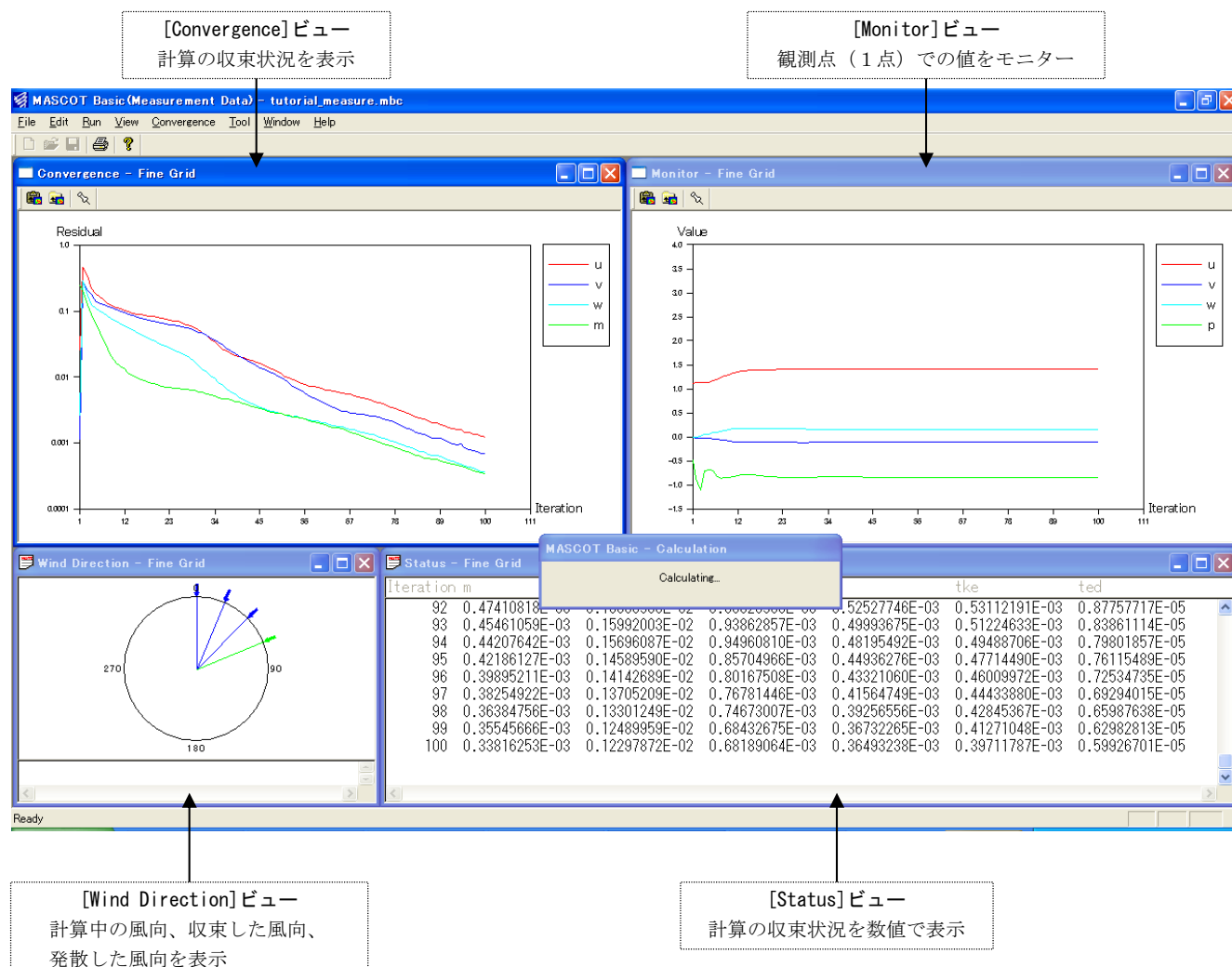
以上で、観測地点と予測地点の設定は完了です。

2-1-8. 計算実行

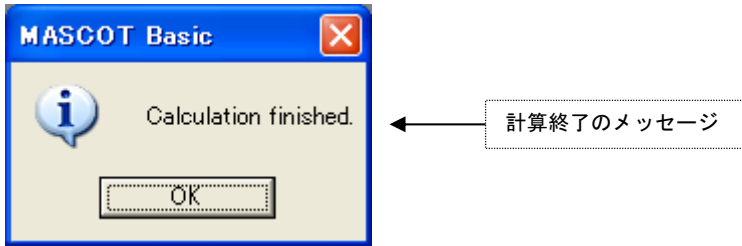
1. [Run]-[Start]-[Fine Grid] (または[Run]-[Start]-[All]) メニューを選択します。



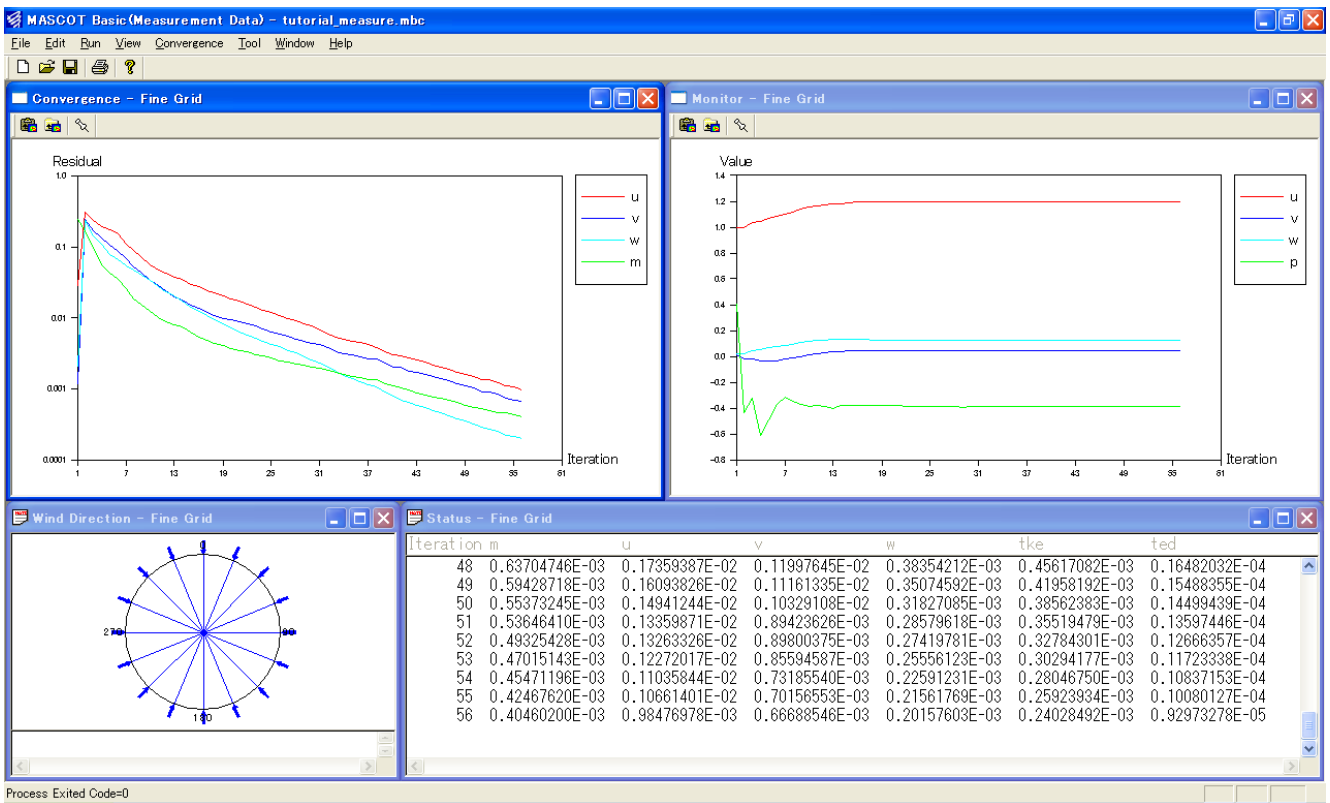
2. 計算が始まると、収束状況などを表示する子ウィンドウが表示されます。



3. 計算終了のメッセージが表示されましたら、計算完了です。

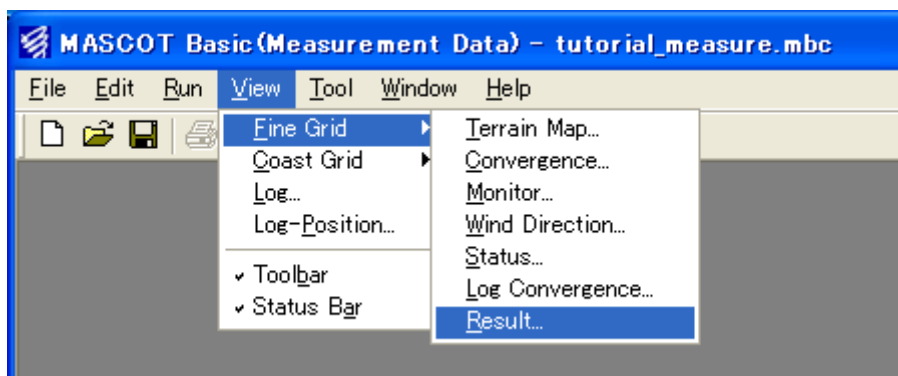


<計算終了画面>

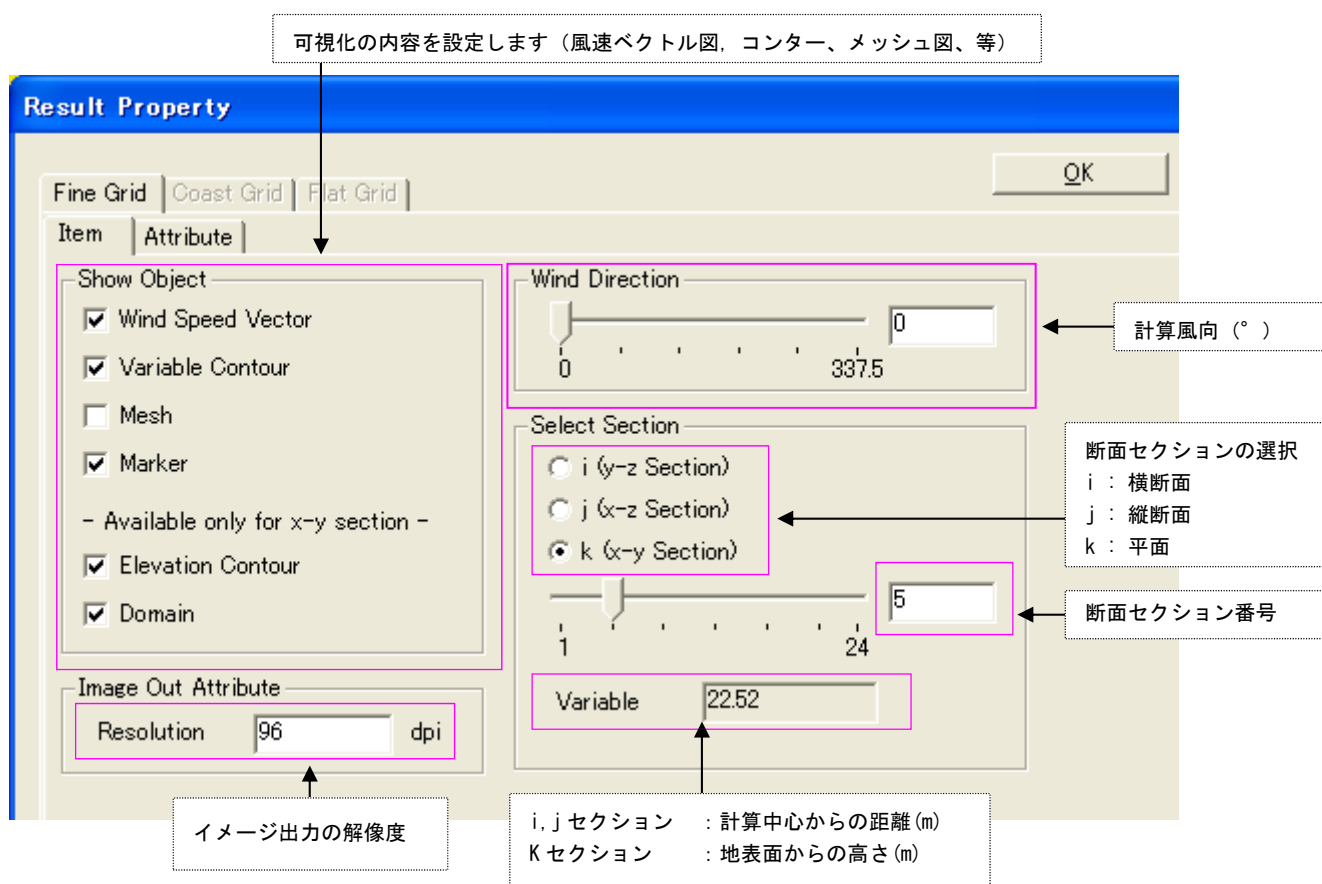


2-1-9. 計算結果の可視化

1. [View]-[Fine Grid]-[Result]メニューを選択します。

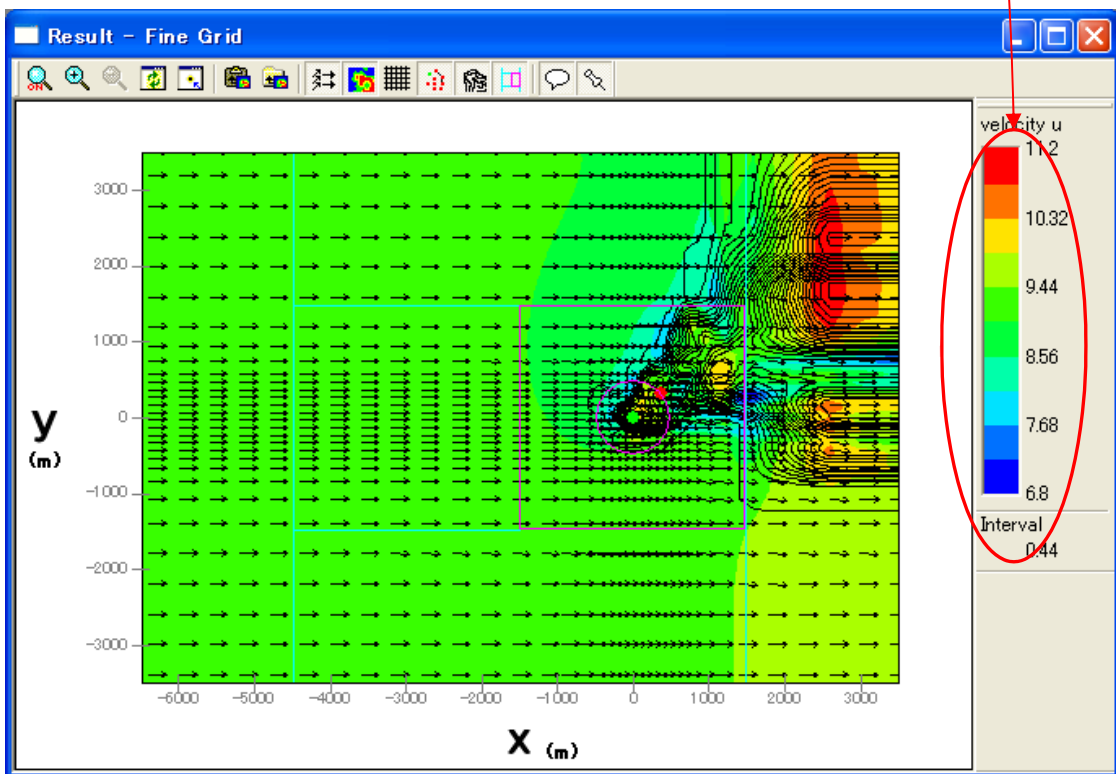
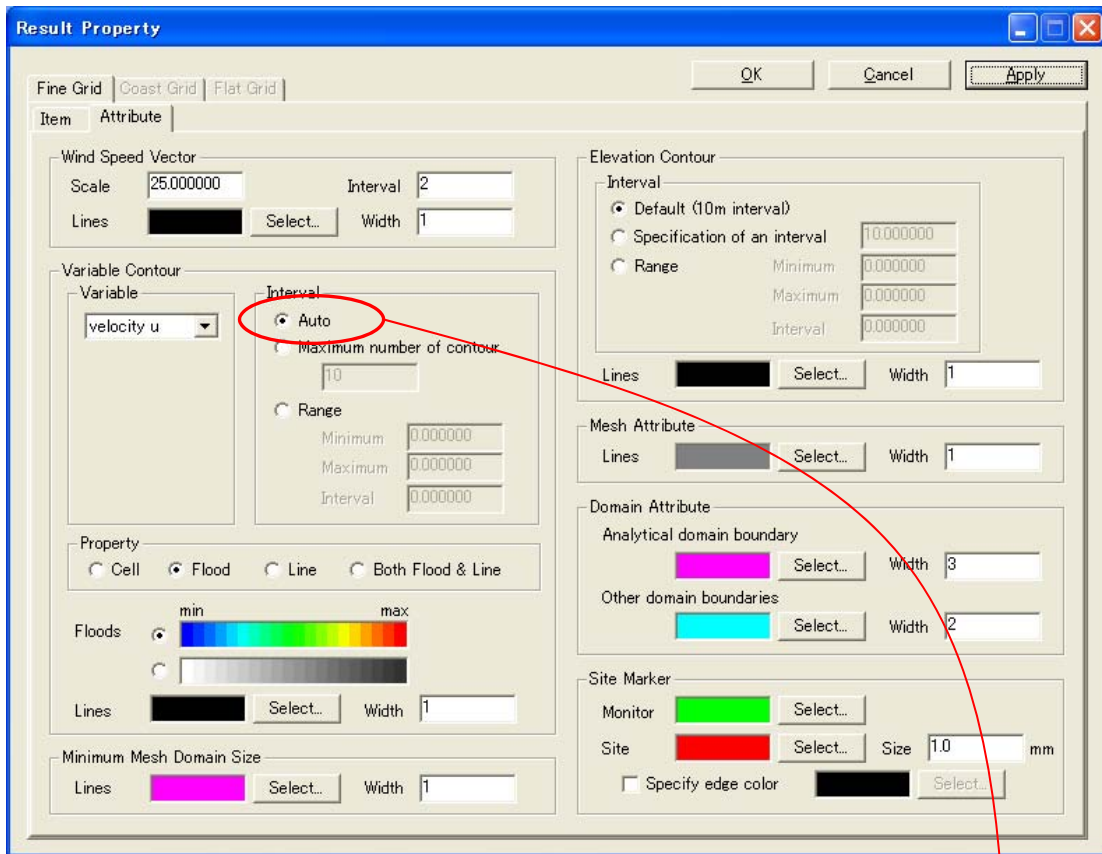


2. メニューを選択すると、[Result]ビュー、[Result Property]ダイアログが表示されます。

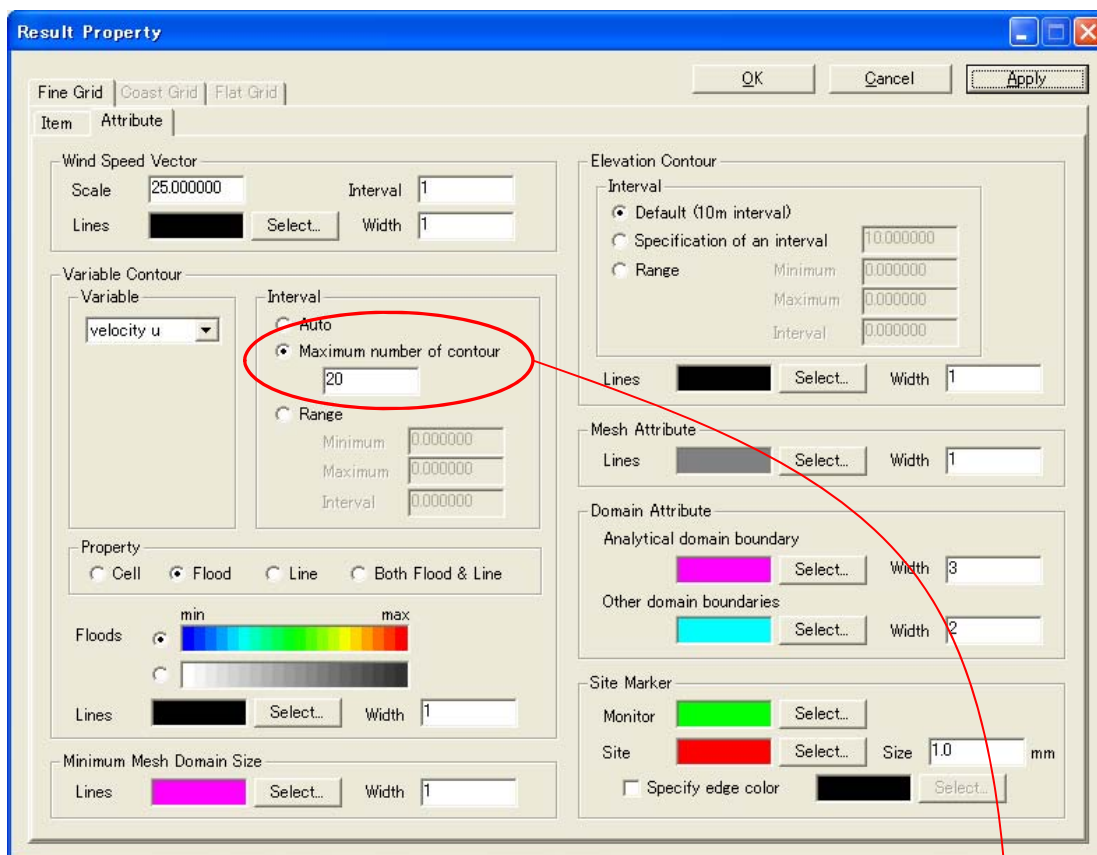


[Result Property]ダイアログの詳細内容の説明や設定方法は「第3章 3-3-8」を参照してください。

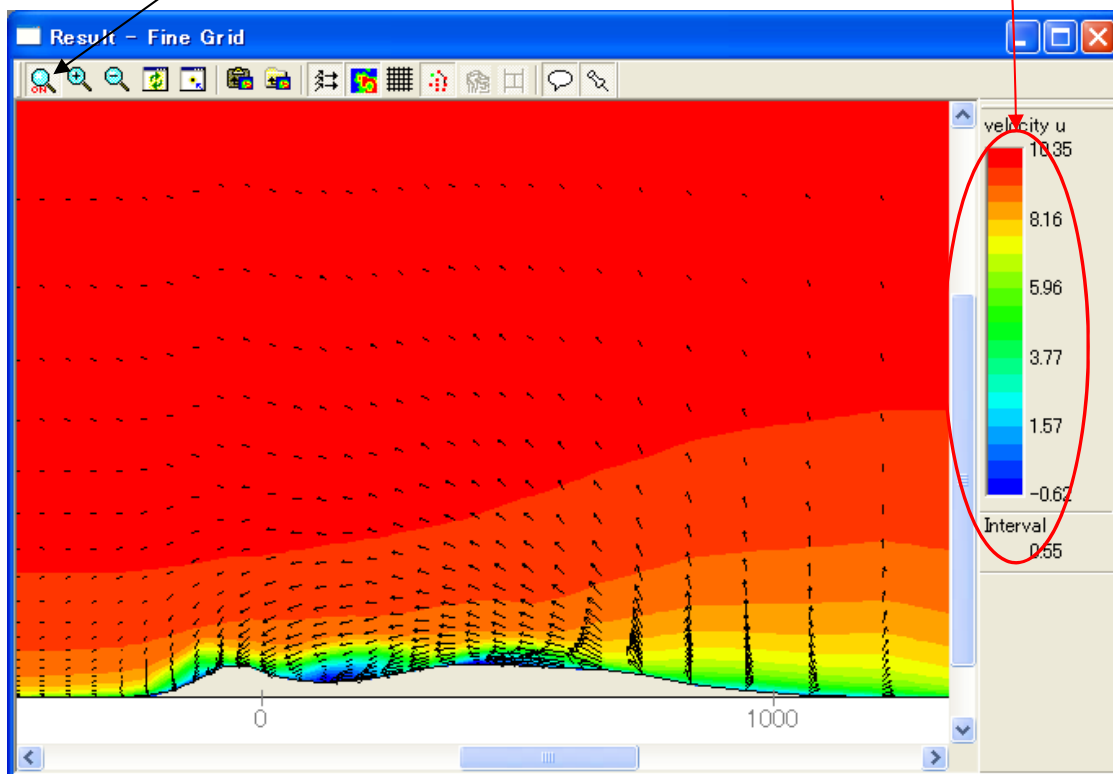
3. k セクション[平面(x-y)]の流れ方向風速成分 (velocity u) のコンター図 (k=10)
 ([Variable Contour]-[Interval]を[Auto]に設定した場合)



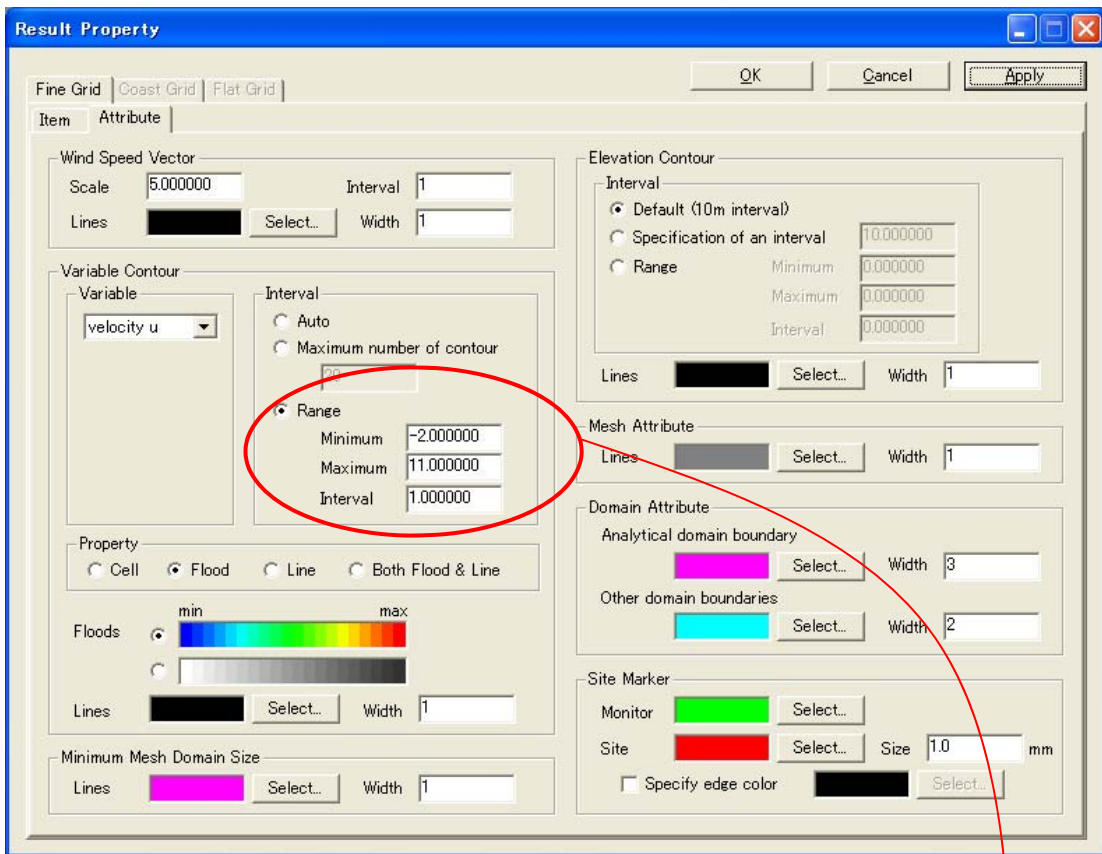
4. i セクション[横断面(y-z)]の流れ風速成分 (velocity u) のコンター図 (i=54)
 ([Variable Contour]-[Interval])を[Maximum number of contour]に設定した場合)



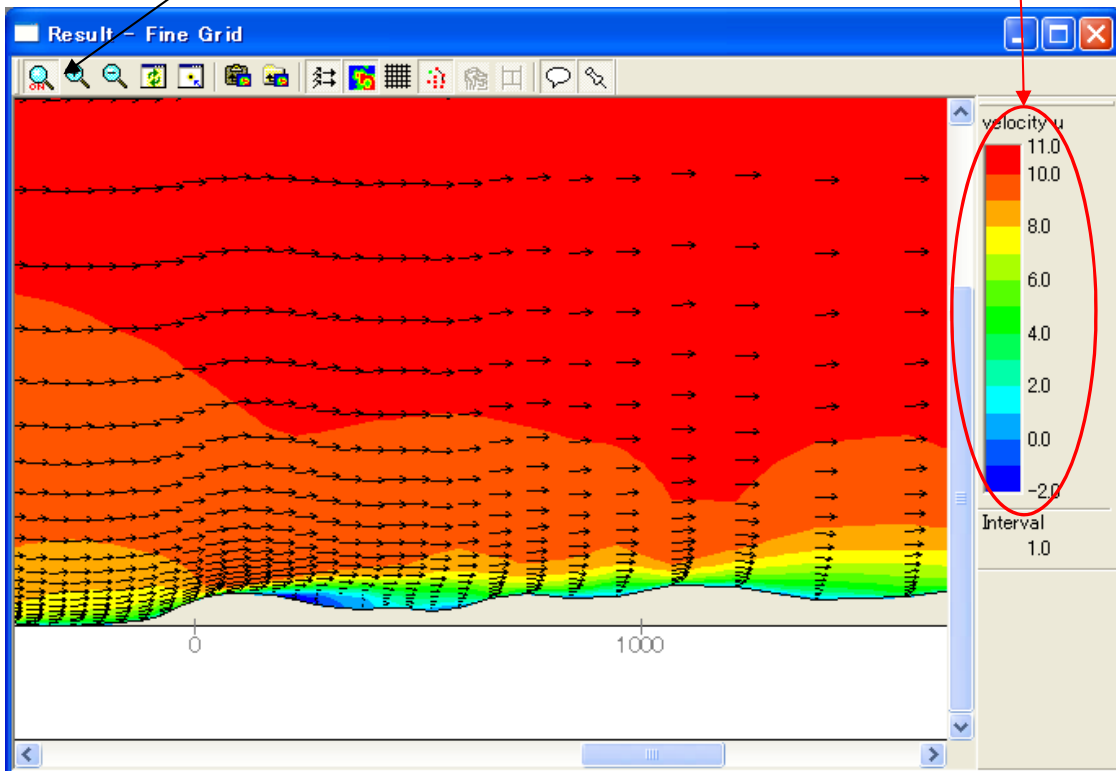
Zoom In モード使用



5. j セクション[縦断面(x-z)]の流れ方向風速成分 (velocity u) のコンター図(j=35)
 ([Variable Contour]-[Interval]を[Range]に設定した場合)



Zoom In モード使用



2-2. Meso-scale プロジェクト (地域気象解析結果データを用いた風況予測)

地域気象解析結果より得られた風況データを用いた MASCOT Basic による風況予測を下図に示す青森県竜飛崎を例として説明します。ここでは、地域気象解析結果を用い竜飛崎灯台の地上高 20m の風速計位置における風況を予測します。風況データは NEDO-DB の内、灯台に最も近い南東およそ 1,400m 地点に位置するメッシュ番号 [016221_020_100_1] 番を 사용합니다。

例題におけるプロジェクト名は、"tutorial_meso"とし、プロジェクトを作成する場所は、
" C:\Users\×××\Documents\MASCOT_Samples\tutorial"とします。



風況予測の例題地点

2-2-1. MASCOT Basic による気流予測の手順

1. MASCOT Project Selector の[Create New Project]メニューの設定画面で、アプリケーションを[Basic]、プロジェクトタイプを[Meso-scale]と選択し、プロジェクトを作成します。
2. MASCOT Basic の[Tool]-[Create Basic Map]メニューの入力画面を使って、付属のデータベースから基本的な標高データ・地表面粗度データファイル（細かい地形と粗い地形用 2 種類）を作成します。
3. [Edit]-[Casefile] メニューの入力画面から解析領域、メッシュ間隔、計算する風向などの計算条件を設定・保存します（細かい地形と粗い地形用 2 種類）。ここでは、竜飛崎灯台の位置を中心とした解析領域にしています（解析中心位置は無条件に表示されます）。
4. [View]-[Find Grid]-[Terrain Map]（または[View]-[Coast Grid]-[Terrain Map]メニューを選択すると、上記で設定した標高・地表面粗度のメッシュデータが作成され、それを画面上で表示されます）。
5. [Edit]-[option]-[site] メニューの入力画面で予測地点と風況データ地点の緯度・経度を登録します。その後、再度 [View]-[Fine Grid]-[Terrain Map]のビュー で、登録した地点が最小メッシュを用いた解析領域内（ピンク円）にあることを確認します。
6. [Run]-[Start]-[All]メニューで計算を実行します。実行中には 4 種類のモニター画面が表示されますので、解析されている風向や計算の収束状況などを確認することができます。
7. [View]-[Fine Grid]-[Result]（または[View]-[Coast Grid]-[Result]）メニューを選択すると、細かい地形（または粗い地形）の各風向の風速ベクトルや等値面などを表示して結果を確認することができます。データの表示は、平面・縦断面・横断面を任意に指定できます。

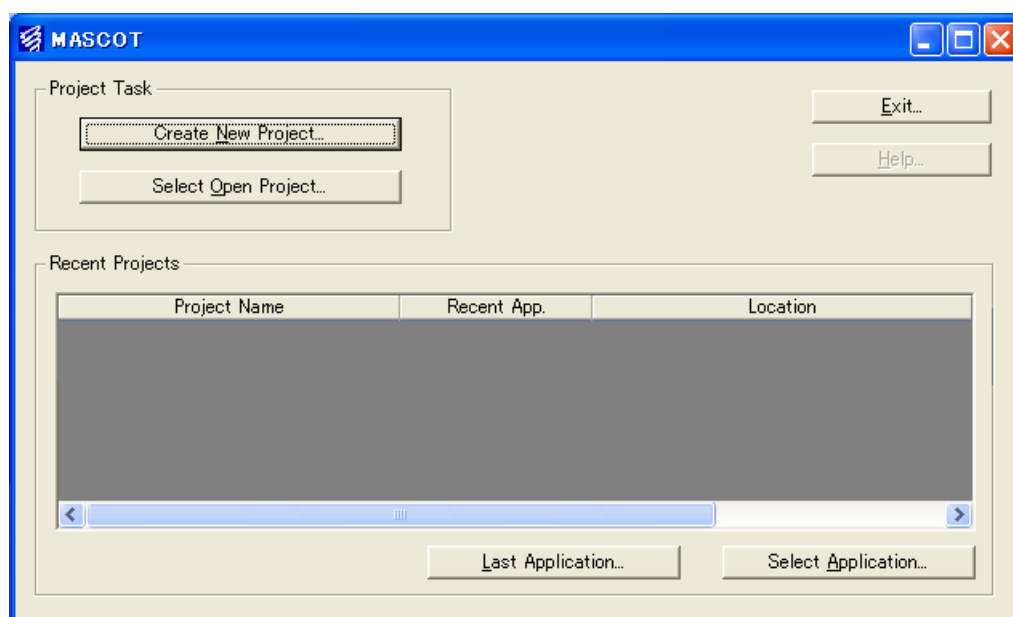
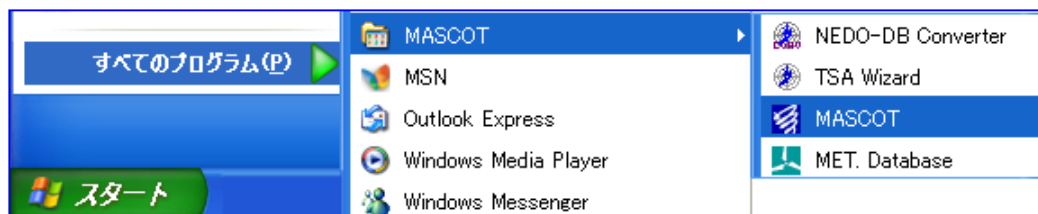
以上、地域気象解析結果より得られた風況データを用いる際の MASCOT Basic による気流予測の手順を示しました。

例題として示した竜飛崎周辺の気流予測結果から風車設置地点の風況や発電量を得るには、MASCOT Energy モジュールを用いて求める必要があります。

以降の操作手順は気流予測の手順を示します。MASCOT Energy モジュールの操作手順は MASCOT Energy ユーザーズマニュアルを参照してください。

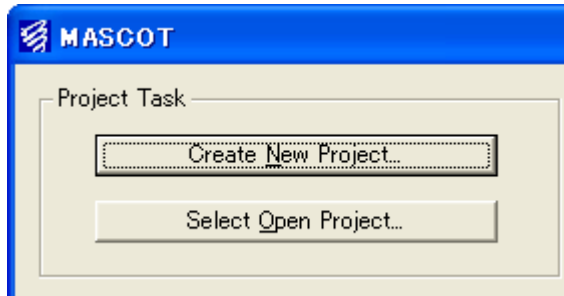
2-2-2. MASCOT Project Selector の起動

1. Windows の[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[MASCOT Project Selector]を選択し、MASCOT Project Selector を起動します。

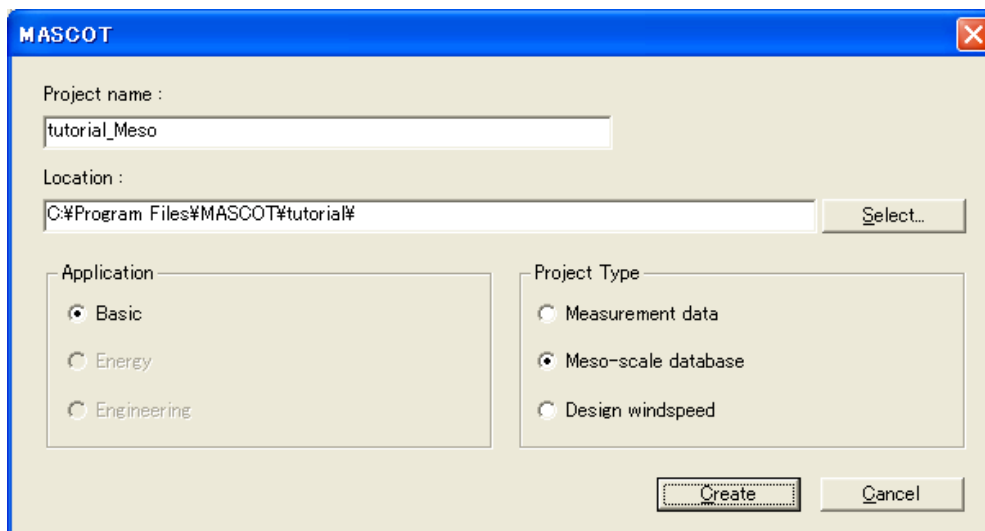


2-2-3. プロジェクトの作成

1. <Create New Project> ボタンを押します。



2. 表示されたダイアログで、プロジェクト名 (Project name)、プロジェクトの作成場所 (Location)、アプリケーション種類 (Application)、プロジェクトタイプ (Project Type) を設定します。本項は地域気象解析結果を用いた風況精査ですので、[Application]を[Basic]、[Project Type]を[Meso-scale database]と選択します。



```

Project name       : tutorial_meso
Location※1)      : C:\Users\×××\Documents\MASCOT_Samples\tutorial
Application※2)   : Basic
Project type※3)  : Meso-scale database
  
```

※1) [Location]に指定するフォルダが存在しない場合は、予めエクスプローラ、または<Select...>を押すと表示される[フォルダの参照]ダイアログにより作成して下さい。

※2) Application :

[Basic] : 三次元気流予測

[Energy] : 任意地点の発電量予測

[Engineering] : 任意地点における設計風速算定および風況予測

※3) Project type :

[Measurement data] : 観測データを用いた発電量予測および風況予測

[Meso-scale database] : メソスケール気象モデルの解析データを用いた発電量予測および風況予測

[Design wind speed] : 設計風速算定

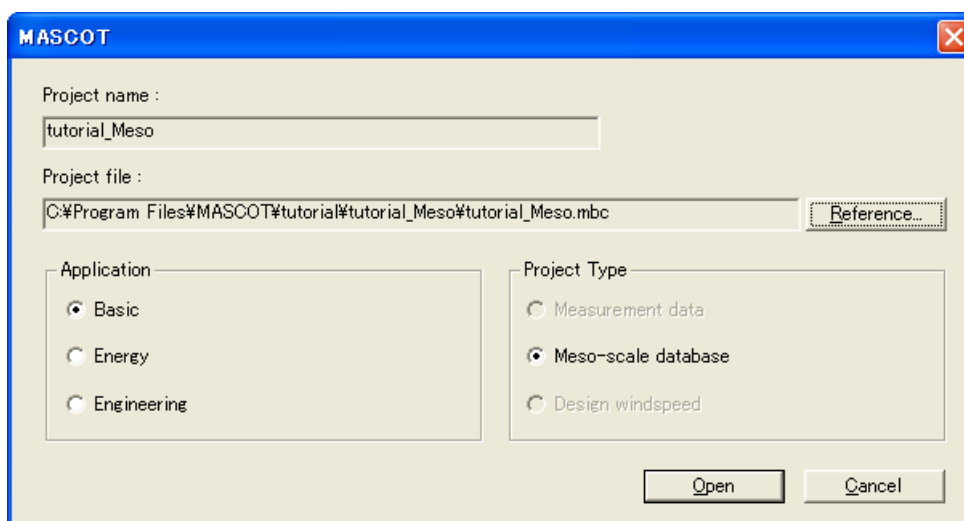
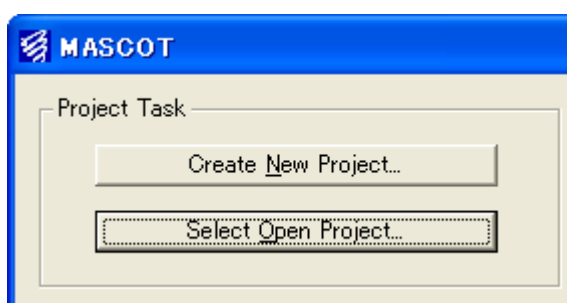
3. 次に、<Create>を押し、プロジェクトを作成します。

作成されたフォルダ : C:\Users\¥×××¥Documents\MASCOT_Samples ¥tutorial¥tutorial_meso

プロジェクトファイル : tutorial_meso.mbc

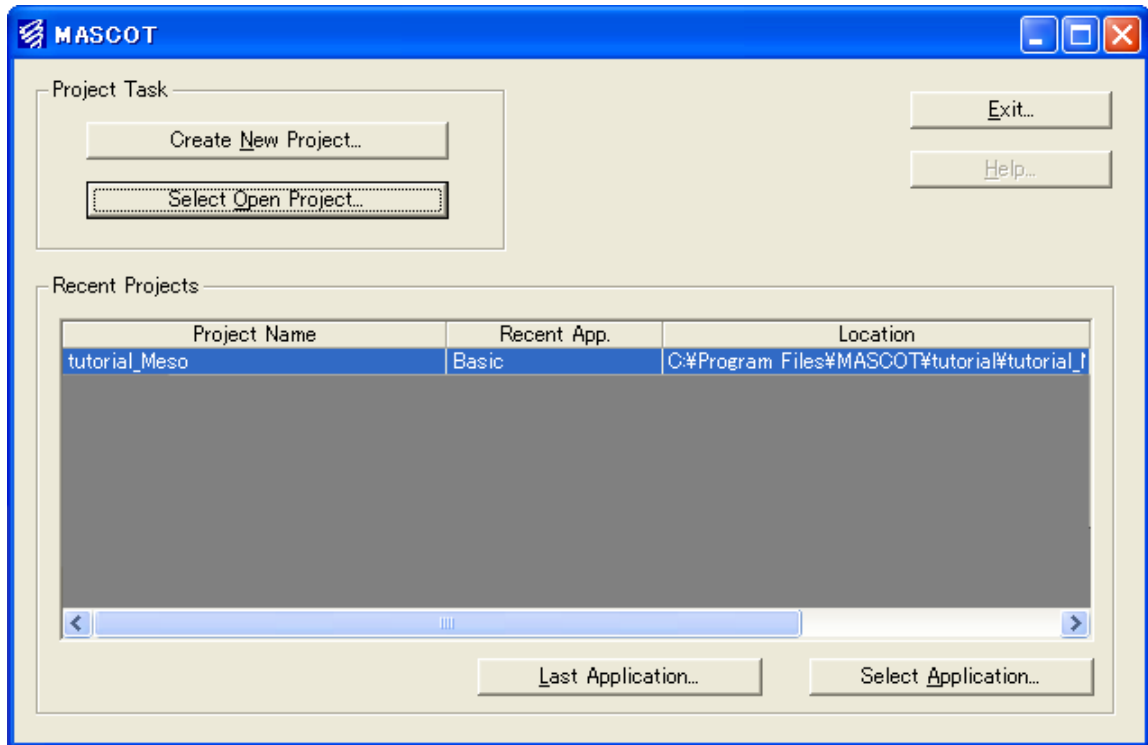
次回、プロジェクトを開く際には、この作成されたプロジェクトファイルを起動する方法は以下2種類あります。

1. MASCOT Project Selector を起動し、[Select Open Project]で選択します。



- MASCOT Project Selector を起動し、履歴から起動します。

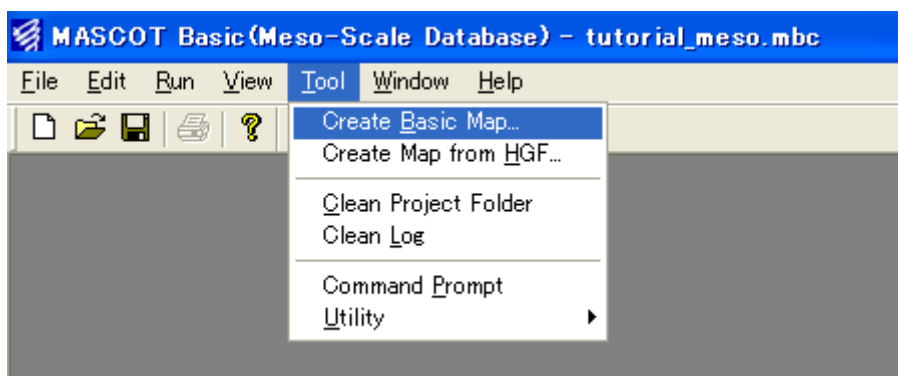
[Recent Project]エリアに表示されたプロジェクト名をダブルクリックで選択します。



2-2-4. 標高と粗度のデータファイルの作成

地域気象解析結果を用いた風況精査用の気流解析では、細かい地形と粗い地形による2種類の気流解析を行う必要があります。まず、細かい地形用のデータファイル作成手順を示し、最後に粗い地形用のデータファイル作成のための設定値を示します。

1. [Tool]-[Create Basic Map]メニューを選択します。



2. 表示された[Create Basic Map]ダイアログの各項目を設定します。

緯度

経度

東西方向の解析領域の大きさ

南北方向の解析領域の大きさ

任意のファイル名

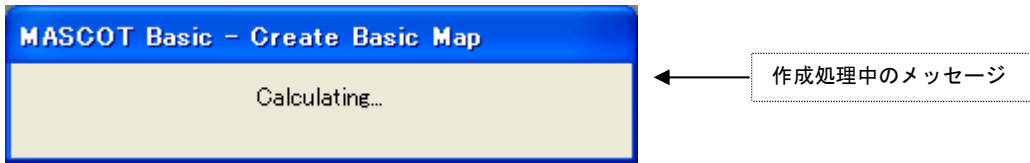
標高と土地利用データベースのあるフォルダまたはドライブを指定
この例では D ドライブの trdb というフォルダ内に標高と土地利用データベースが格納されています。

ローカル ディスク (D:)

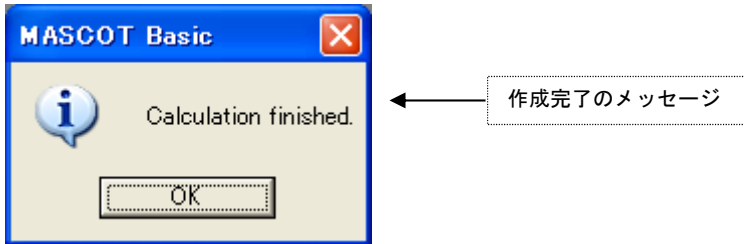
- trdb
- 1kmav_dem
- landuse
- terrain

標高と土地利用データの解像度設定
Meso-scale プロジェクトの細かい地形用には標高データの解像度は 50m を選択します。粗度データは 100m が選択されます。

3. 項目の設定の後、<Apply>を押しますと、標高と粗度のデータファイルの作成処理が行われます。



4. 作成完了のメッセージが表示されましたら、細かい地形用の標高と粗度のデータファイルの作成完了です。



5. 粗い地形用のデータファイル作成のための設定値画面を以下に示します。

緯度・経度および東西・南北方向の解析領域の大きさ
細かい地形用のデータファイル作成時の設定値と同じ値を入力します

任意のファイル名

標高と土地利用データの解像度設定
Meso-scale プロジェクトの粗い地形用には地域気象モデル解析を行ったときの解像度と同じ解像度を選択してください
通常は、1kmを選択します。

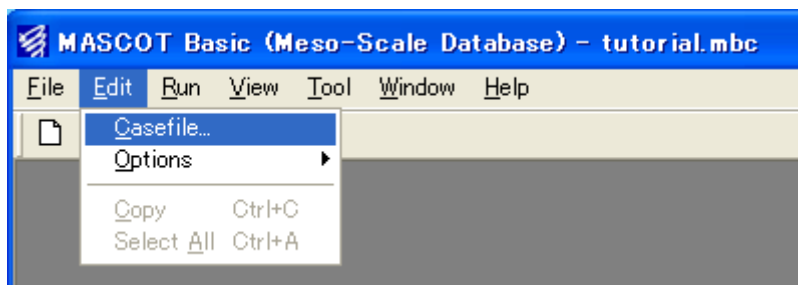
標高と土地利用データベースのあるフォルダまたはドライブを指定
この例では D ドライブの trdb というフォルダ内に標高と土地利用データベースが格納されています。

ローカル ディスク (D)
trdb
1kmav_dem
landuse
terrain

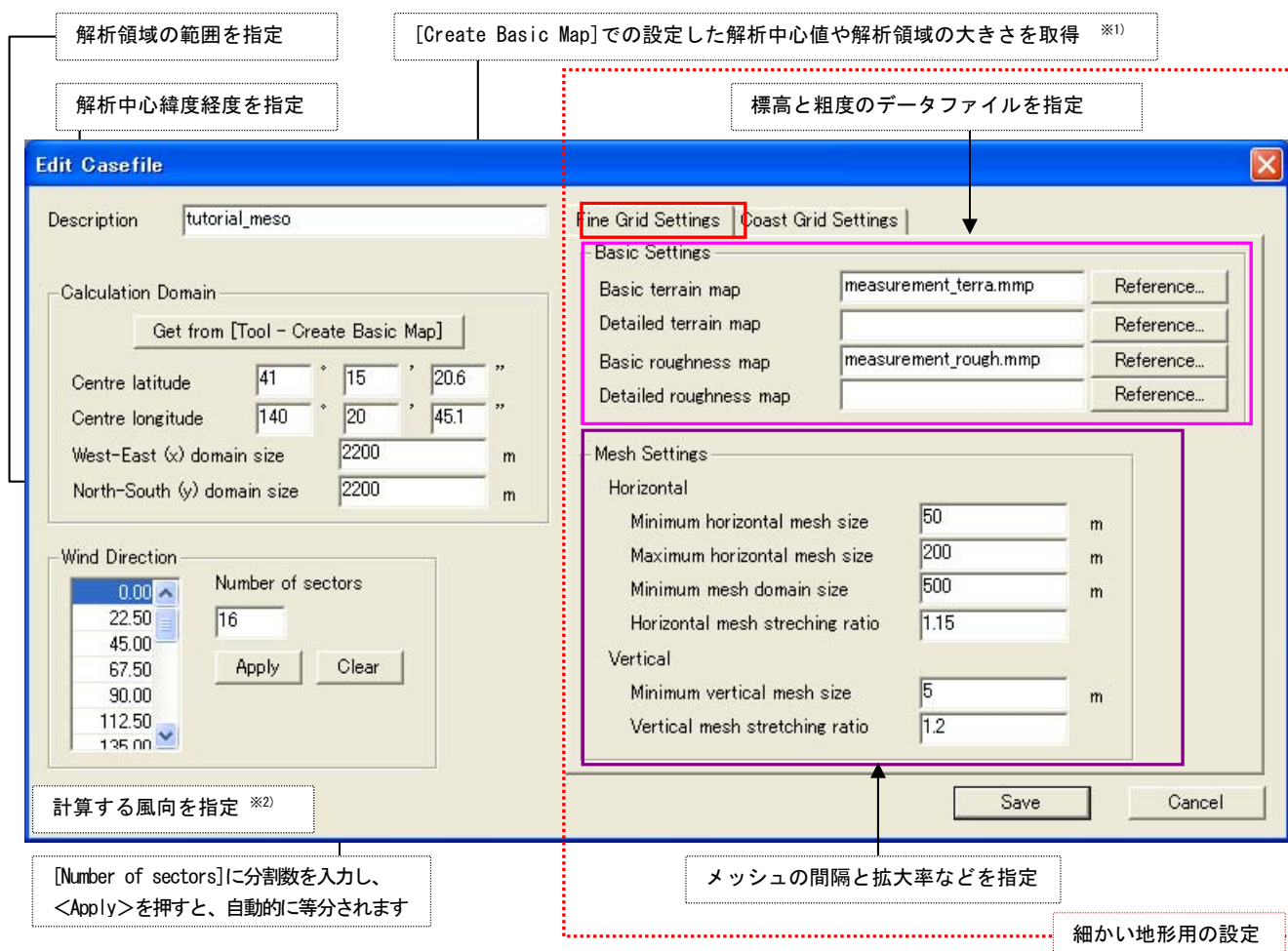
2-2-5. 計算条件の設定

細かい地形と粗い地形による 2 種類の気流解析の計算条件を設定する必要があります。

1. [Edit]-[Casefile]メニューを選択します。



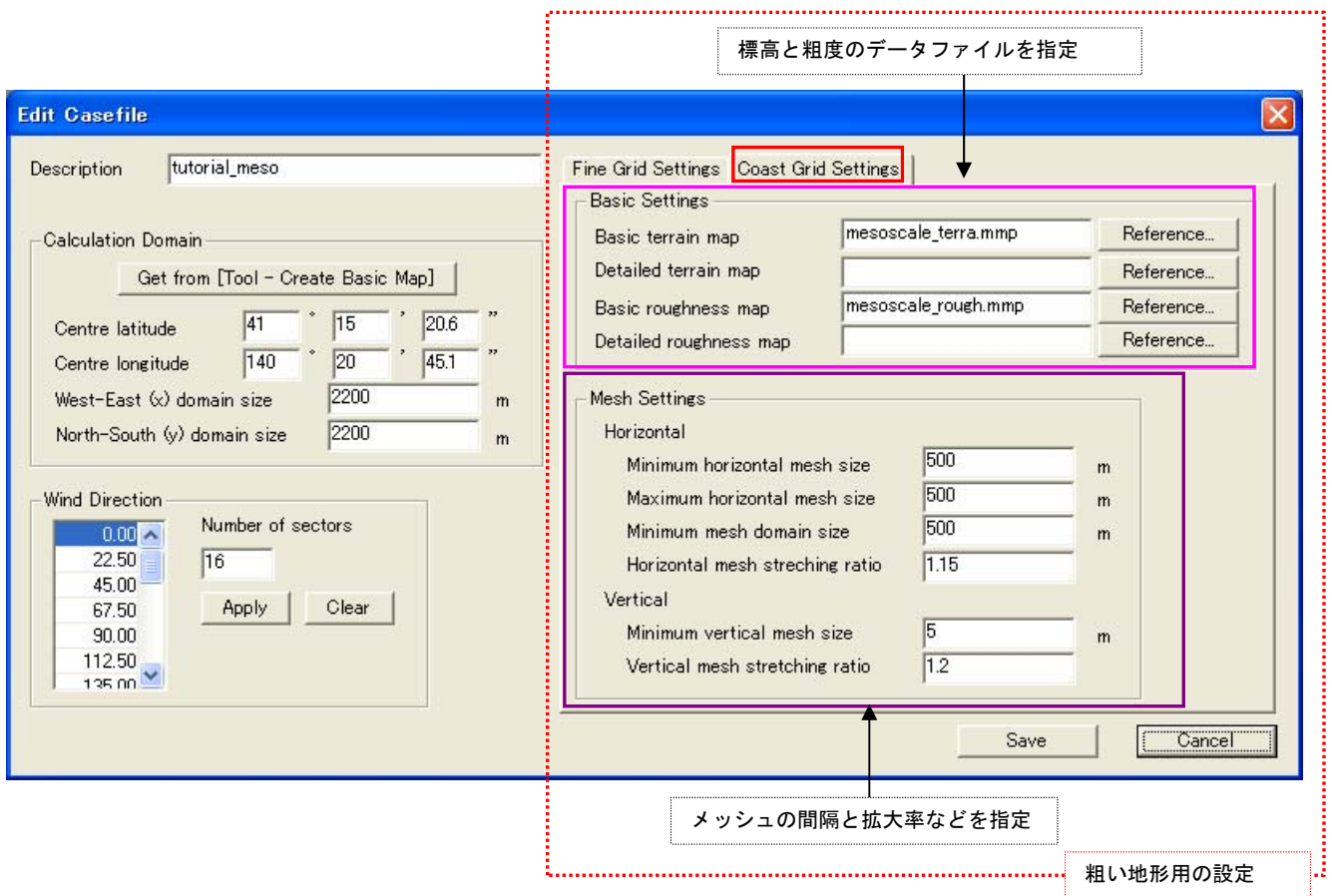
2. 表示された[Edit Casefile]ダイアログの各項目に 2 種類の解析で共通の[解析領域の範囲]、[解析風向]の設定をし、[Fine Grid Settings]タブを選択して細かい地形用の設定を行ないます。



※1) この機能は、直前に [Tool]-[Create Basic Map] で設定された解析中心値や解析領域の大きさを取得する機能で、[Basic Settings]で設定した標高データおよび粗度長データの中心座標や領域を取得するものではありません。

※2) 風況予測の為に、一般に 16 風向の計算が必要です。

3. [Coast Grid Settings]タブを選択して粗い地形用の設定を行ないます。

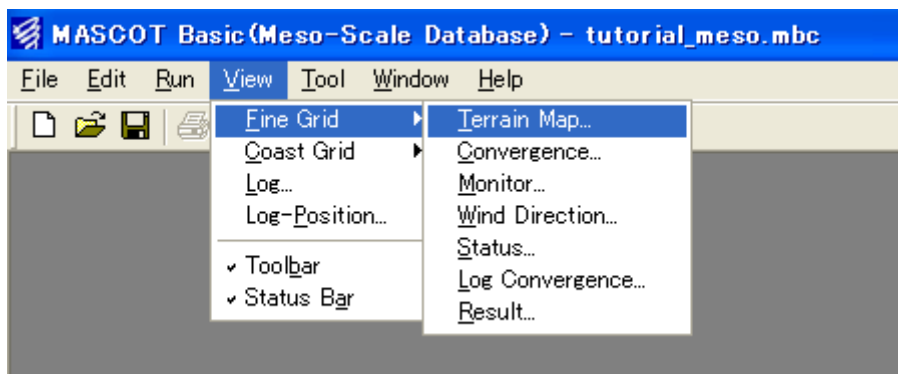


4. 項目の設定が終わりましたら、<Save>を押して、計算条件を保存します。

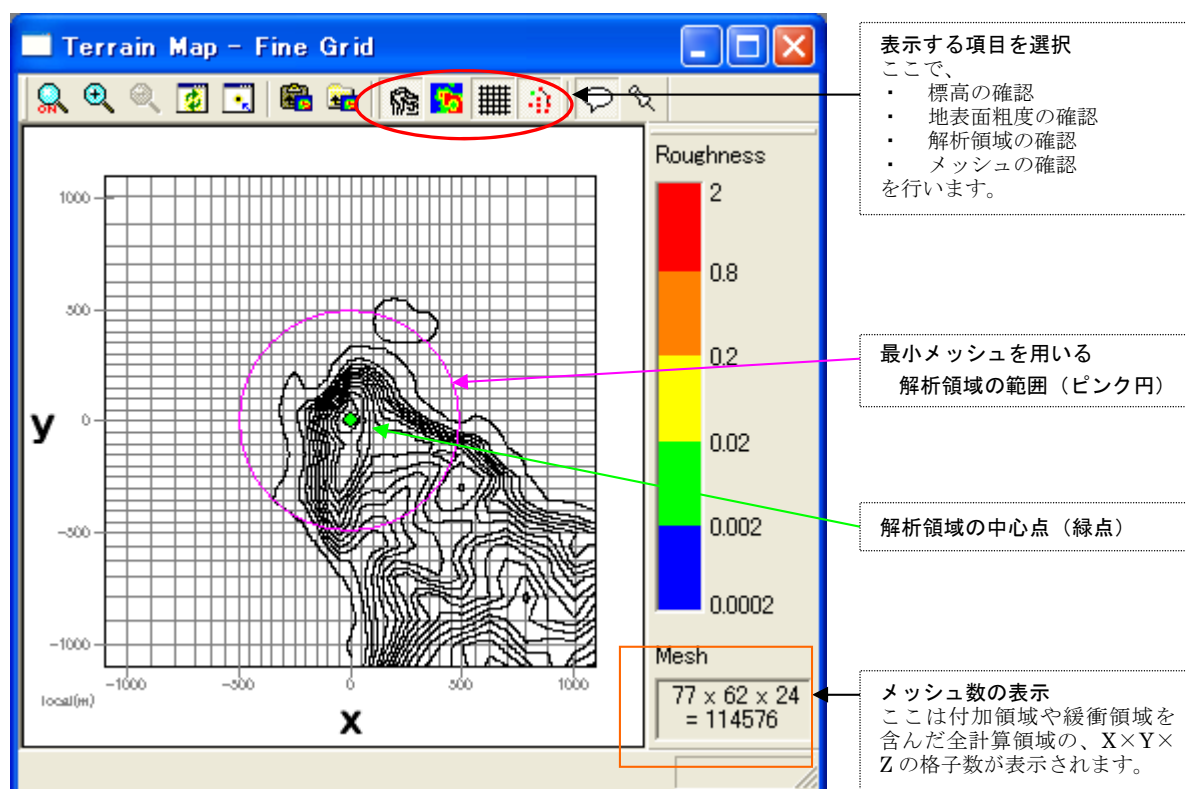
2-2-6. メッシュの生成と確認

細かい地形と粗い地形による2種類の気流解析のメッシュ生成と確認をする必要があります。

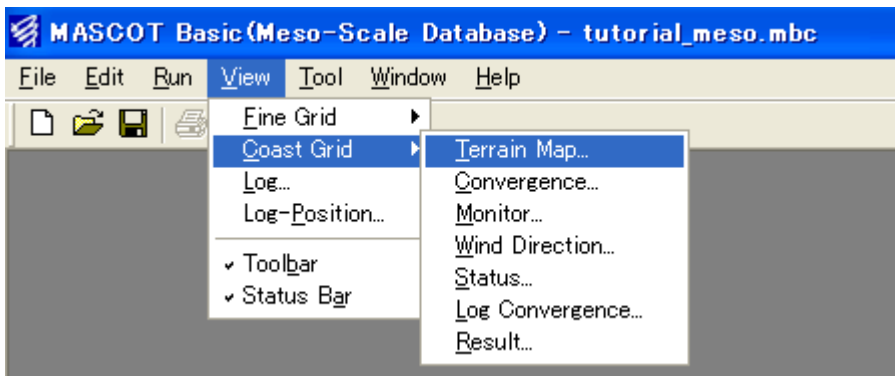
1. [View]-[Fine Grid]-[Terrain Map]メニューを選択しますと、細かい地形のメッシュが自動的に生成されます。



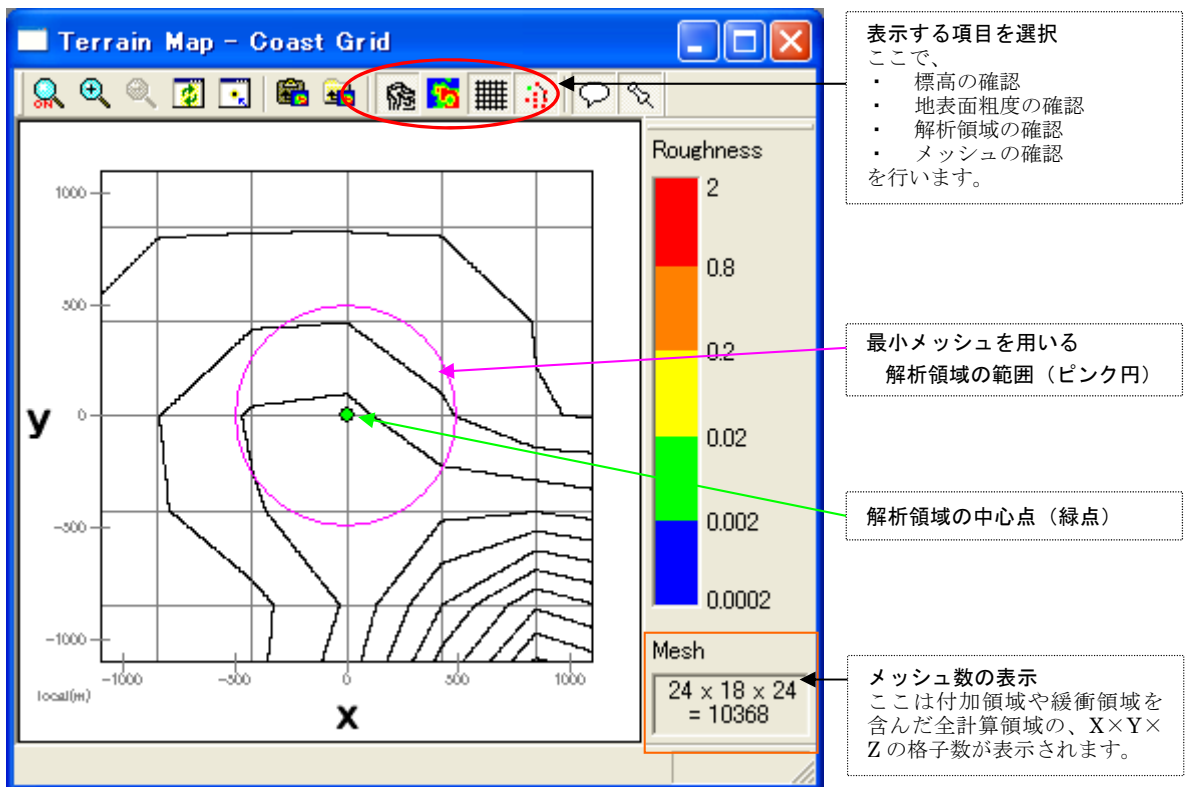
2. [Terrain Map]ビューで表示されている標高、粗度、メッシュなどを確認します。



3. [View]-[Coast Grid]-[Terrain Map]メニューを選択しますと、粗い地形のメッシュが自動的に生成されます。

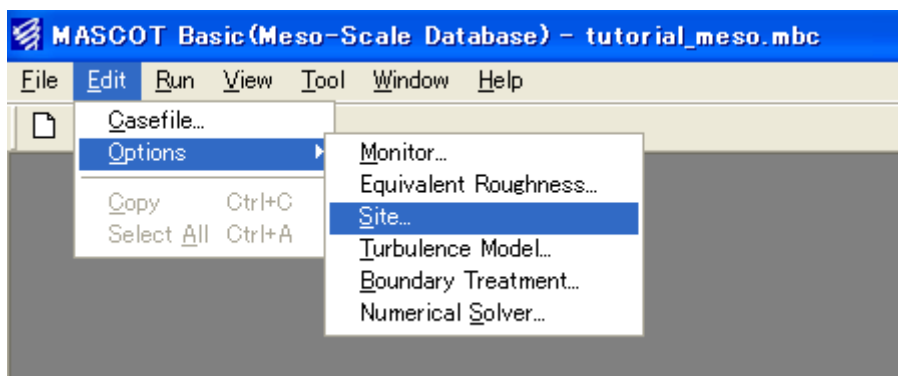


4. [Terrain Map]ビューで表示されている標高、粗度、メッシュなどを確認します。

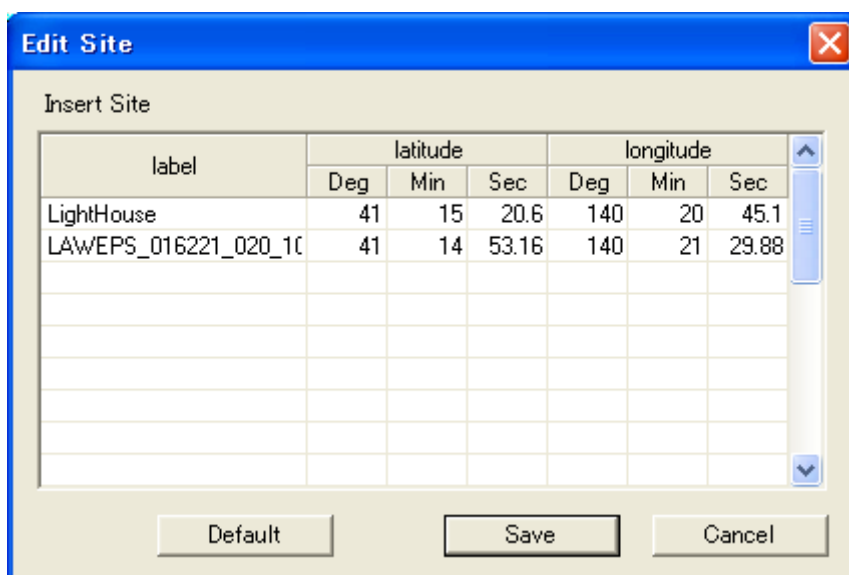


2-2-7. 予測地点と風況データ地点の設定

1. [Edit]-[Options]-[Site]メニューを選択します。

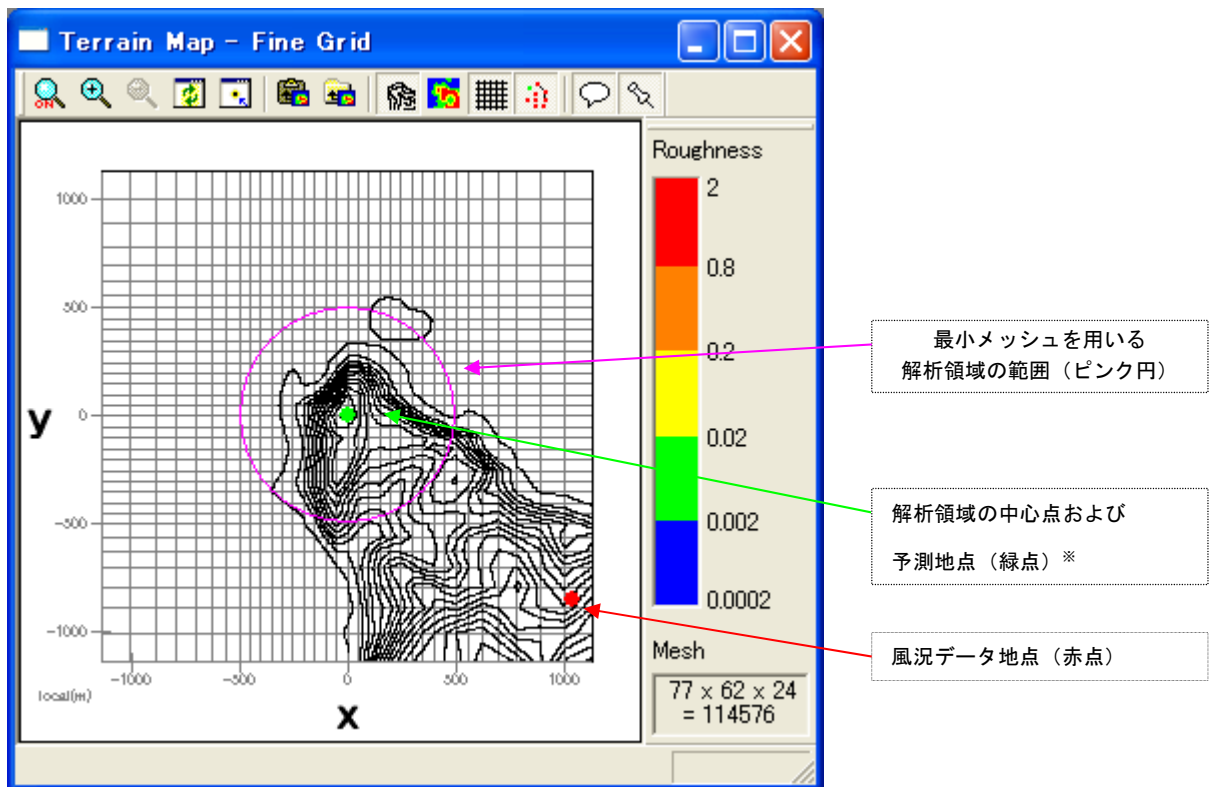


2. 表示された[Edit Site]ダイアログで、予測地点と風況データ地点の登録を行います。



3. <Save>を押して、予測地点（LightHouse）と風況データ地点（LAWEPS_016221_020_100_1）を保存します。
4. 再度、[View]-[Fine Grid]-[Terrain Map]ビューを開き、登録した予測地点が最小メッシュを用いる解析領域の範囲内にあり、かつ風況データ地点が解析領域の範囲内にあることを確認します。
([View]-[Fine Grid]-[Terrain Map]ビューが既に開いている場合は、自動的にビューが更新されます)

細かい地形による確認で風況データ地点が解析領域内にあれば、粗い地形でも必ず領域内に設定されているので、粗い地形による確認を行なう必要はありません。

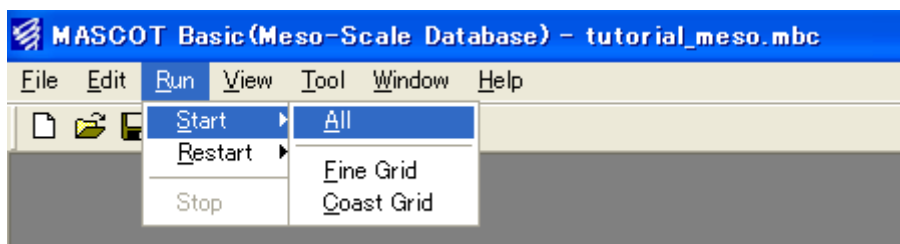


※ [Edit Site]で設定した予測地点や風況データ地点の位置は赤点で表示され、解析中心点は緑点で表示されます。本例では [Edit Site]で登録した予測地点 (LightHouse) と解析中心点の座標と同じなので、緑色で表示されます。

以上で、予測地点と風況データ地点の設定は完了です。

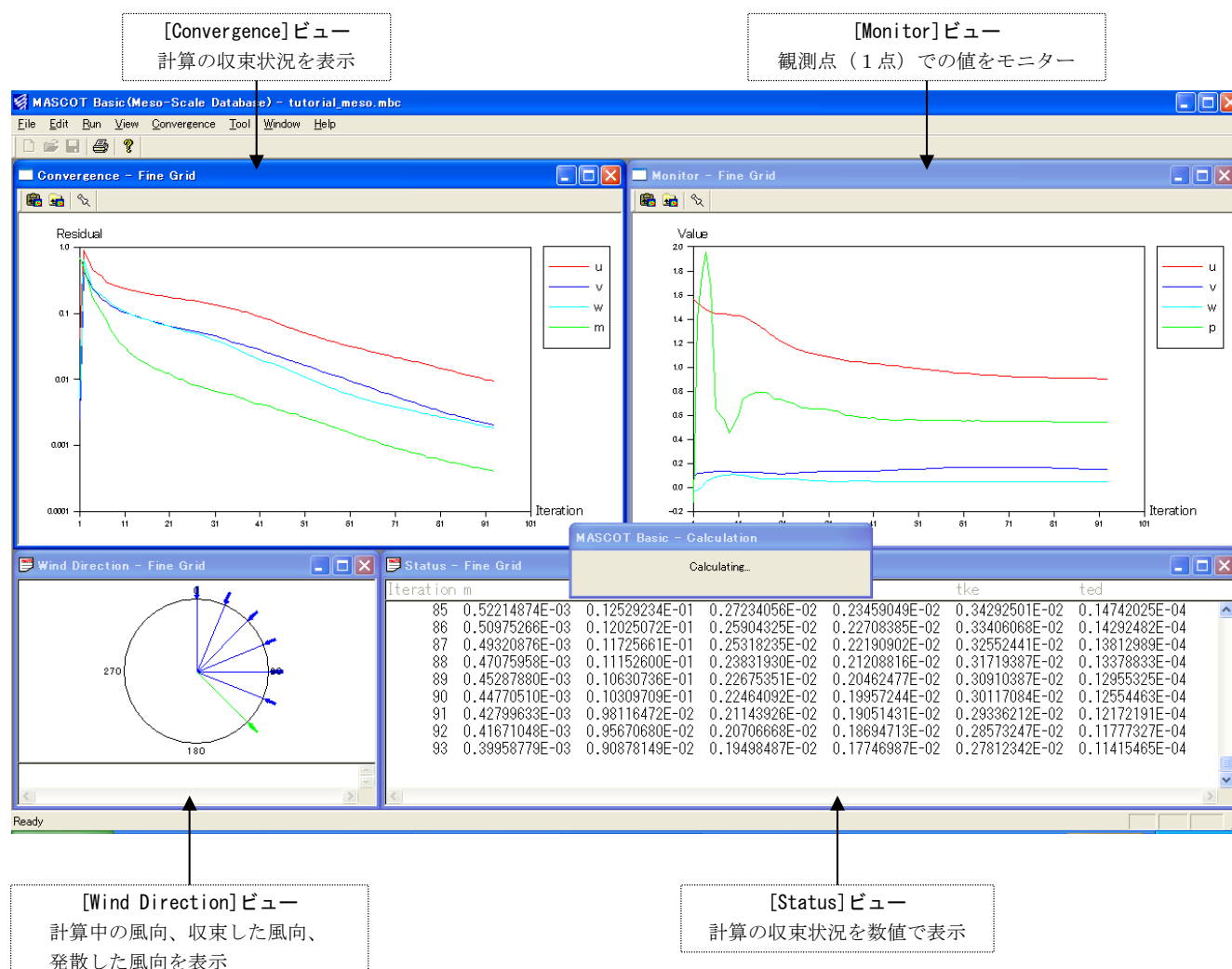
2-2-8. 計算実行

1. [Run]-[Start]-[All]*メニューを選択し、計算を実行します。

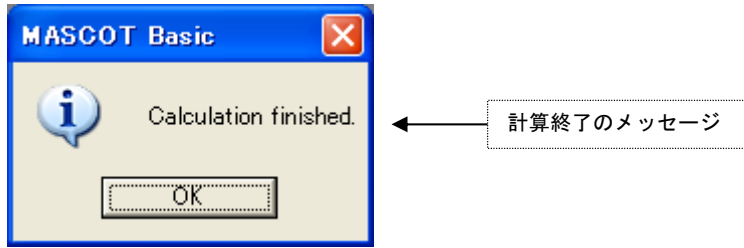


※細かい地形[Fine Grid]や粗い地形[Coast Grid]を個別に計算することもできます。その際、例えば細かい地形の場合、[Run]-[Start]-[Fine Grid]メニューを選択し、計算を実行します。

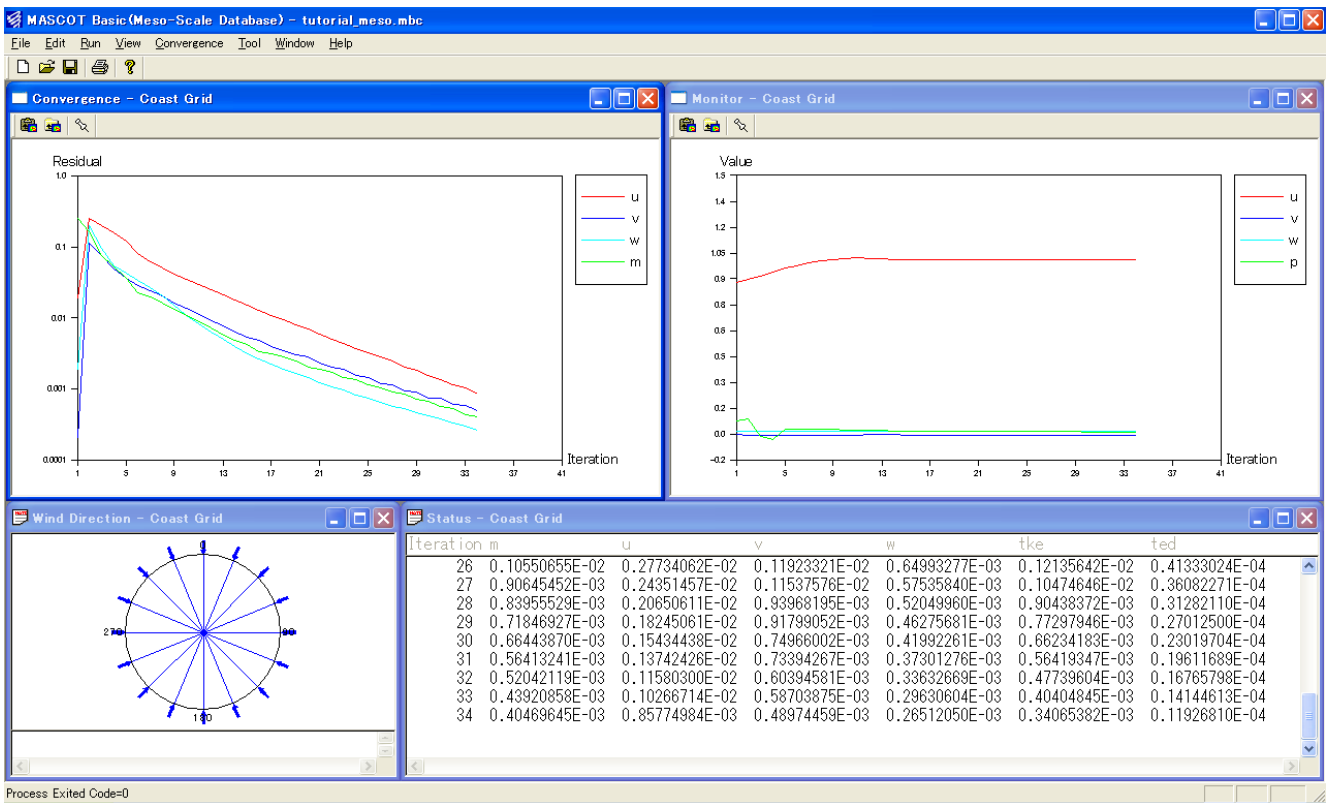
2. 計算が始まると、収束状況などを表示する子ウィンドウが表示されます。



3. 計算終了のメッセージが表示されましたら、計算完了です。



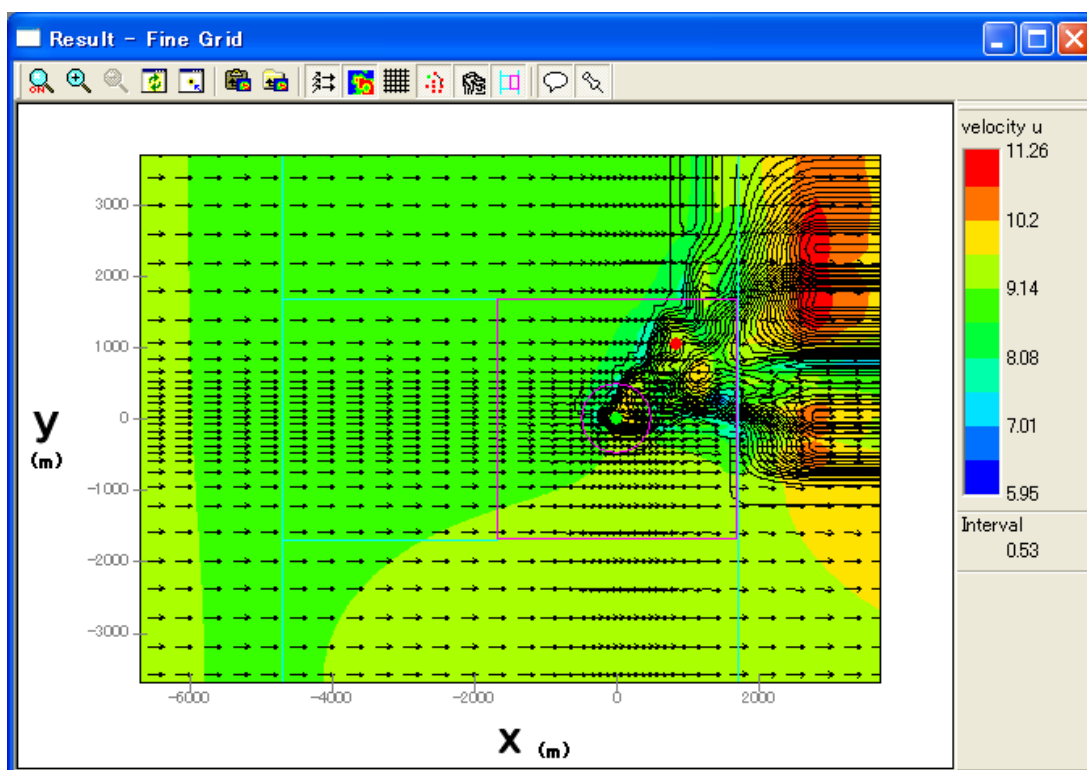
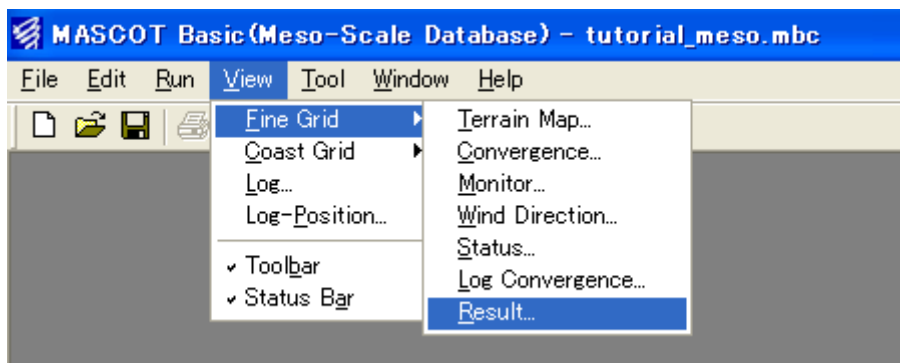
<計算終了画面>



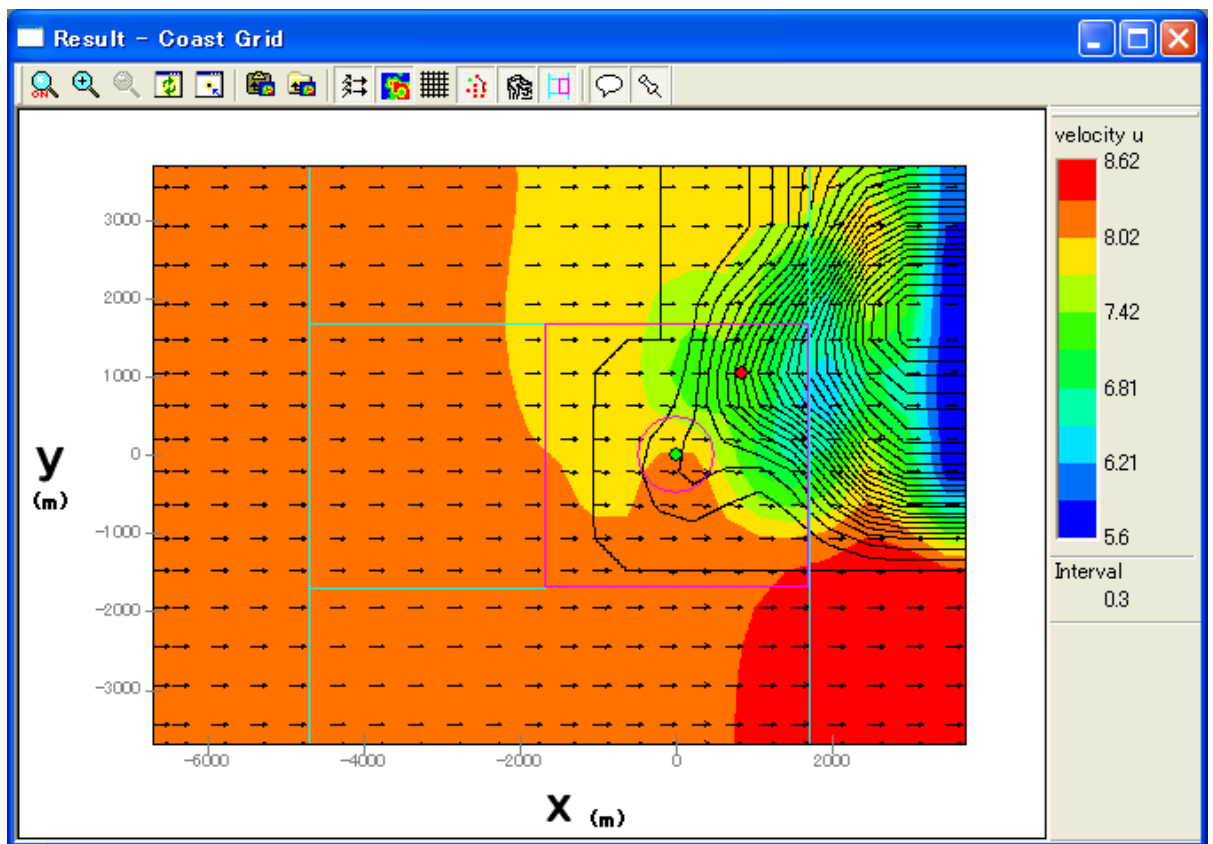
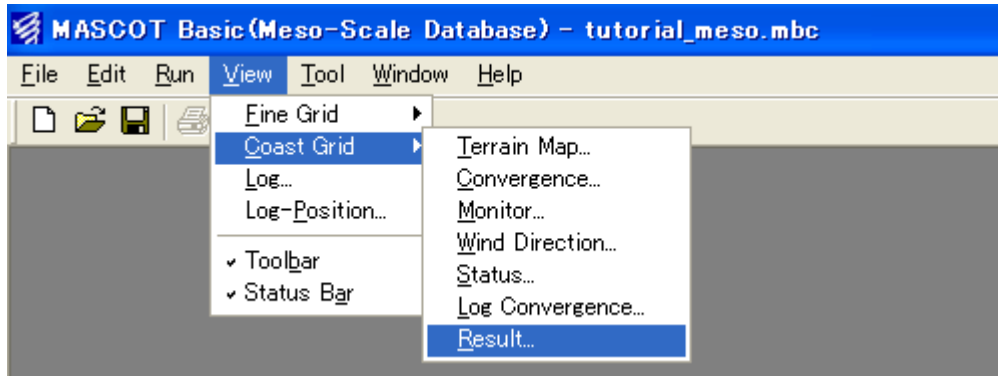
2-2-9. 計算結果の可視化

細かい地形と粗い地形による2種類の気流解析結果を可視化することができます。

1. [View]-[Fine Grid]-[Result]メニューを選択し、細かい地形の気流解析結果を可視化します。



2. [View]-[Coast Grid]-[Result]メニューを選択し、粗い地形の気流解析結果を可視化します。



可視化に関する詳細設定方法及び表示例は「第2章 2-1」を参照してください。

2-3. Design wind speed プロジェクト

(平均風速の割増係数および変動風速の補正係数を算定)

平均風速の割増係数および変動風速の補正係数の算定手順を下図に示す青森県竜飛崎を例として説明します。
ここでは、灯台の南東約500mの地点を対象とし、地表面高さ20mにおける平均風速の割増係数および変動風速の補正係数を算定することを想定しています。

例題におけるプロジェクト名は、”tutorial_Designws”とし、プロジェクトを作成する場所は、
”C:\Users\¥×××¥Documents\MASCOT_Samples ¥tutorial¥”とします。



風況予測の例題地点

2-3-1. MASCOT Basic による気流予測の手順

1. MASCOT Project Selector の[Create New Project]メニューの設定画面で、アプリケーションを[Basic]、プロジェクトタイプを[Design wind speed]と選択し、プロジェクトファイルを作成します。
2. MASCOT Basic の[Tool]-[Create Basic Map]メニューの入力画面を使って、付属のデータベースから基本的な標高データ・地表面粗度データファイルを作成します。
3. [Edit]-[Casefile] メニューの入力画面から解析領域、メッシュ間隔、計算する風向、平坦地形の粗度区分などの計算条件を設定・保存します。ここでは、竜飛崎灯台の位置を中心とした解析領域にしています（解析中心位置は無条件に表示されます）。
4. [View]-[Real Grid]-[Terrain Map]（[View]-[Flat Grid]-[Terrain Map]）メニューを選択すると、上記で設定した実地形および平坦地形の標高・地表面粗度のメッシュデータが作成され、それを画面上で表示されます。
5. [Edit]-[option]-[site] メニューの入力画面で算定地点の位置の緯度・経度を登録します。その後、再度 [View]-[Real Grid]-[Terrain Map]のビュー で、登録した地点が最小メッシュを用いた解析領域内（ピンク円）にあることを確認します。
6. [Run]-[Start]-[All]メニューで計算を実行します。実行中には4種類のモニター画面が表示されますので、解析されている風向や計算の収束状況などを確認することができます。
7. [View]-[Real Grid]-[Result]（[View]-[Flat Grid]-[Result]）メニューを選択すると、実地形および平坦地形における各風向の風速ベクトルや等値面などを表示して結果を確認することができます。データの表示は、平面・縦断面・横断面を任意に指定できます。

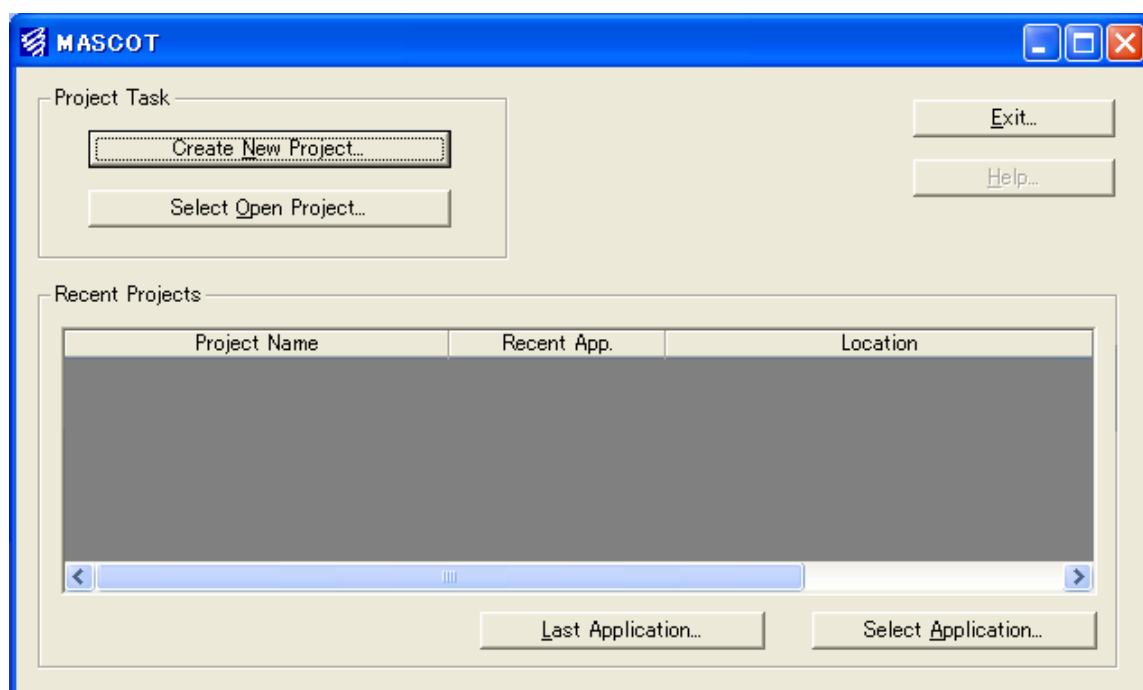
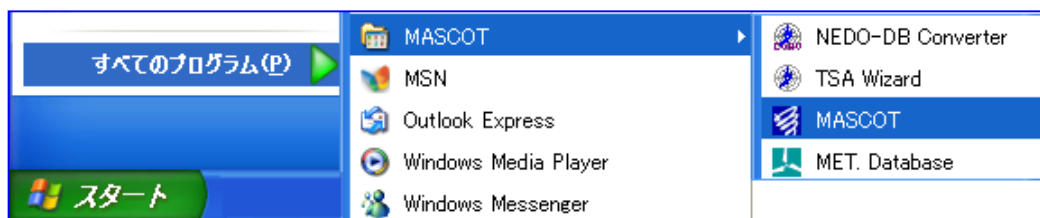
以上、平均風速の割増係数および変動風速の補正係数を算定するための MASCOT Basic による気流予測の手順を示しました。

例題として示した竜飛崎周辺の気流予測結果から設計地点における平均風速の割増係数および変動風速の補正係数を得るには、MASCOT Utility を用いる必要があります。

以降の操作手順は気流予測の手順を示します。MASCOT Utility についての詳細は本マニュアルの「MASCOT Utility」を参照してください。

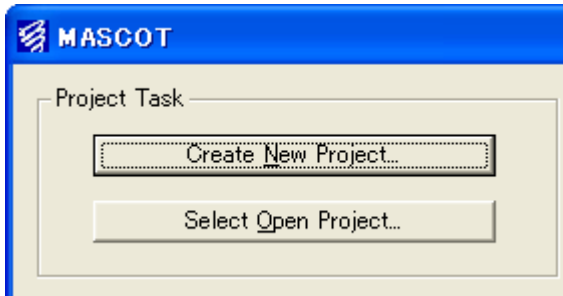
2-3-2. MASCOT Project Selector の起動

1. Windows の[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[MASCOT Project Selector]を選択し、MASCOT Project Selector を起動します。

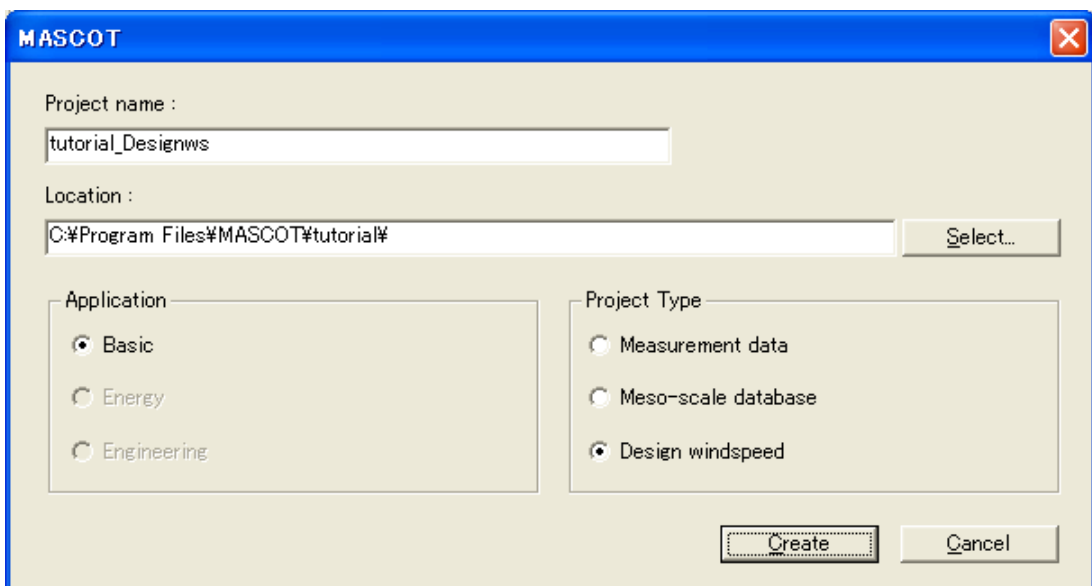


2-3-3. プロジェクトの作成

1. [MASCOT Project Selector]ダイアログで<Create New Project>ボタンをクリックします。



2. 表示されたダイアログで、プロジェクト名 (Project name)、プロジェクトの作成場所 (Location)、プロジェクト種類 (Application)、プロジェクトタイプ (Project Type) を設定します。本項は平均風速の割増係数および変動風速の補正係数の算定ですので、[Application]を[Basic]、[Project Type]を[Design wind speed]と選択します。



```

Project name      : tutorial_Designws
Location※1)     : C:\Users\×××\Documents\MASCOT_Samples\tutorial#
Application※2)  : Basic
Project type※3) : Design wind speed
  
```

※1) [Location]に指定するフォルダが存在しない場合は、予めエクスプローラ、または<Select...>を押すと表示される[フォルダの参照]ダイアログにより作成して下さい。

※2) Application :

[Basic] : 三次元気流予測

[Energy] : 任意地点の発電量予測

[Engineering] : 任意地点における設計風速算定および風況予測

※3) Project type :

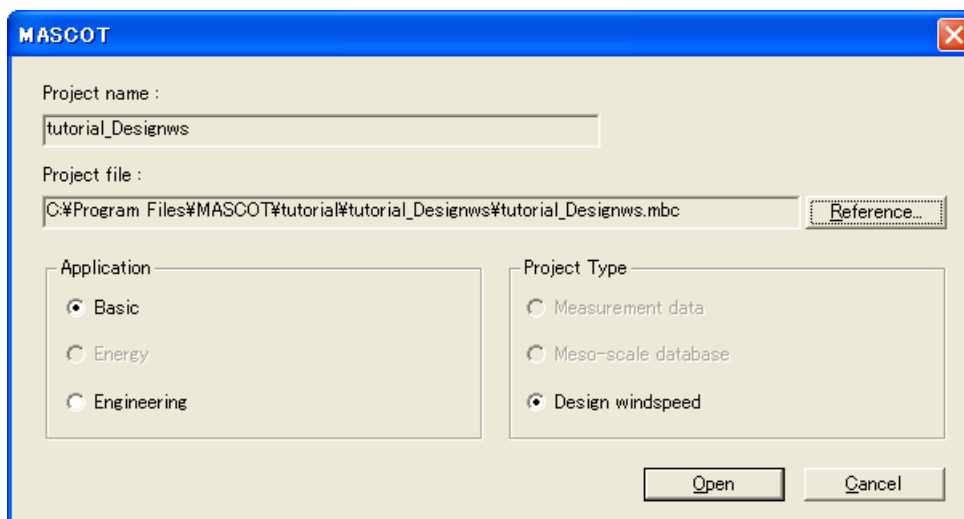
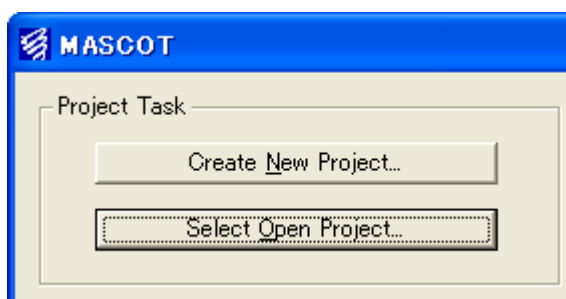
[Measurement data]	: 観測データを用いた発電量予測および風況予測
[Meso-scale database]	: メソスケール気象モデルの解析データを用いた発電量予測および風況予測
[Design wind speed]	: 設計風速算定

4. 次に、<Create>を押し、プロジェクトを作成します。

作成されたフォルダ : C:\Users\×××\Documents\MASCOT_Samples\tutorial\tutorial_Designws
プロジェクトファイル : tutorial_designws.mbc

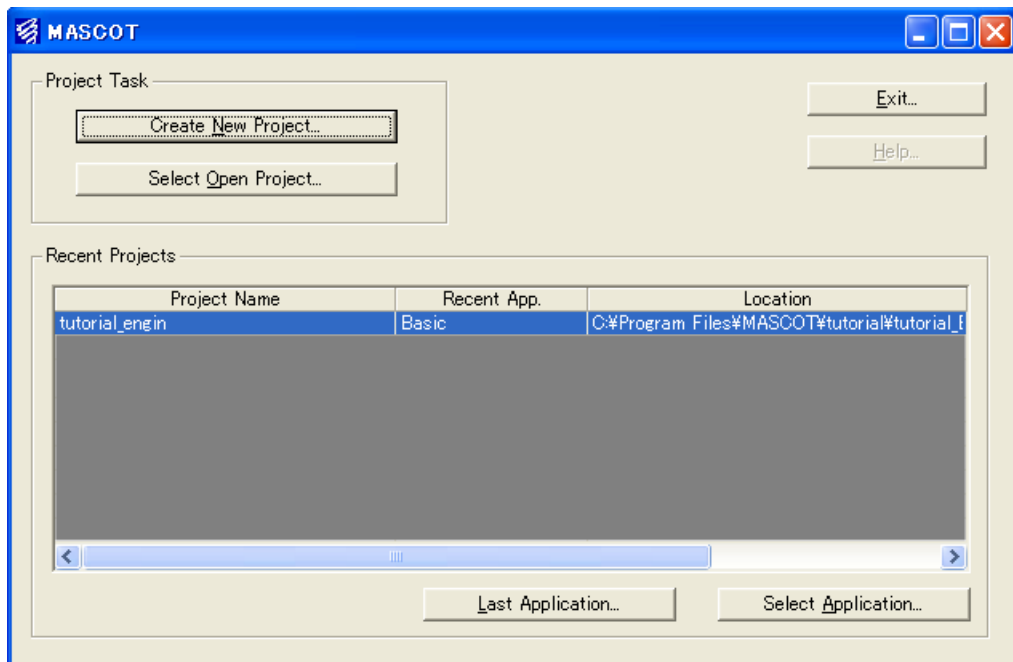
次回、プロジェクトを開く際には、この作成されたプロジェクトファイルを起動する方法は以下2種類あります。

1. MASCOT Project Selector を起動し、[Select Open Project]で選択します。



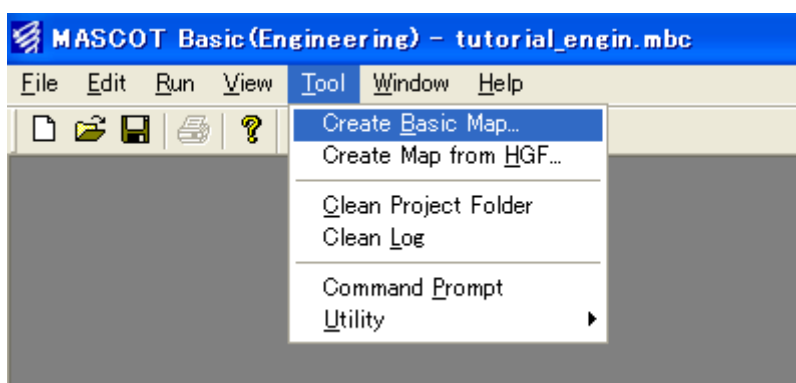
2. MASCOT Project Selector を起動し、履歴から起動します。

[Recent Project]エリアに表示されたプロジェクト名をダブルクリックで選択します。



2-3-4. 標高と粗度のデータファイルの作成

1. [Tool]-[Create Basic Map]メニューを選択します。



2. 表示された[Create Basic Map]ダイアログの各項目を設定します。

緯度

経度

東西方向の解析領域の大きさ

南北方向の解析領域の大きさ

任意のファイル名

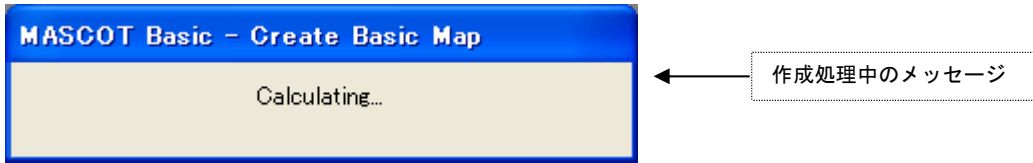
標高と土地利用データの解像度設定
Engineering プロジェクト用には標高データの解像度は 50m を選択します。粗度データは 100m が選択されます。

標高と土地利用データベースのあるフォルダまたはドライブを指定
この例では D ドライブの trdb というフォルダ内に標高と土地利用データベースが格納されています。

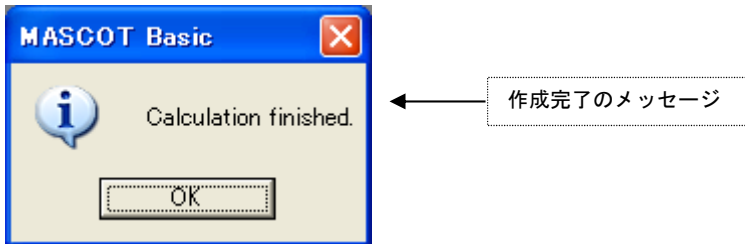
ローカル ディスク (D:)

- trdb
- 1kmav_dem
- landuse
- terrain

3. 項目の設定の後、<Apply>を押しますと、標高と粗度のデータファイルの作成処理が行われます。

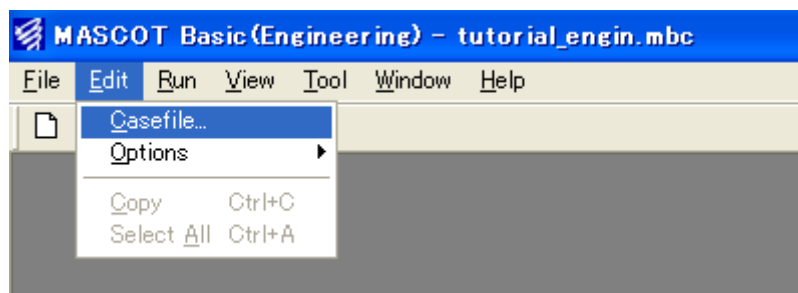


4. 作成完了のメッセージが表示されましたら、標高と粗度のデータファイルの作成完了です。



2-3-5. 計算条件の設定

1. [Edit]-[Casefile]メニューを選択します。



2. 表示された[Edit Casefile]ダイアログの各項目を設定します。

解析領域の範囲を指定

解析中心緯度経度を指定

[Create Basic Map]での設定した解析中心値や解析領域の大きさを取得 ※1)

標高と粗度のデータファイルを指定

計算する風向を指定 ※2)

[Number of sectors]に分割数を入力し、[Apply]を押すと、自動的に等分されます

平坦地形用粗度区分の設定

メッシュの間隔と拡大率などを指定

Basic Settings

Basic terrain map: designws_terra.mmp Reference...

Detailed terrain map: Reference...

Basic roughness map: designws_rough.mmp Reference...

Detailed roughness map: Reference...

Flat Roughness Settings

Choose roughness class of "Flat terrain" & "Upper boundary"

	Class P	α	Z0
<input type="radio"/>	I	0.10	0.0001
<input type="radio"/>	II	0.15	0.01
<input checked="" type="radio"/>	III	0.20	0.1
<input type="radio"/>	IV	0.27	1.0

Mesh Settings

Horizontal

Minimum horizontal mesh size: 50 m

Maximum horizontal mesh size: 200 m

Minimum mesh domain size: 500 m

Horizontal mesh stretching ratio: 1.15

Vertical

Minimum vertical mesh size: 5 m

Vertical mesh stretching ratio: 1.2

Save Cancel

※1) この機能は、直前に [Tool]-[Create Basic Map] で設定された解析中心値や解析領域の大きさを取得する機能で、[Basic Settings]で設定した標高データおよび粗度長データの中心座標や領域を取得するものではありません。

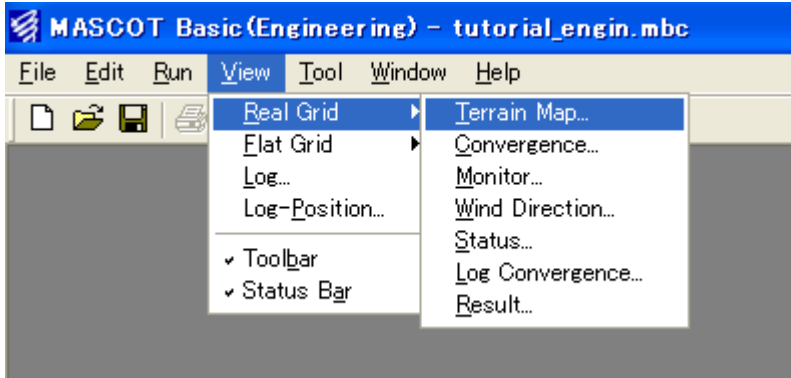
※2) 風況予測の為に、一般に16風向の計算が必要です。

3. 項目の設定が終わりでしたら、<Save>を押して、計算条件を保存します。

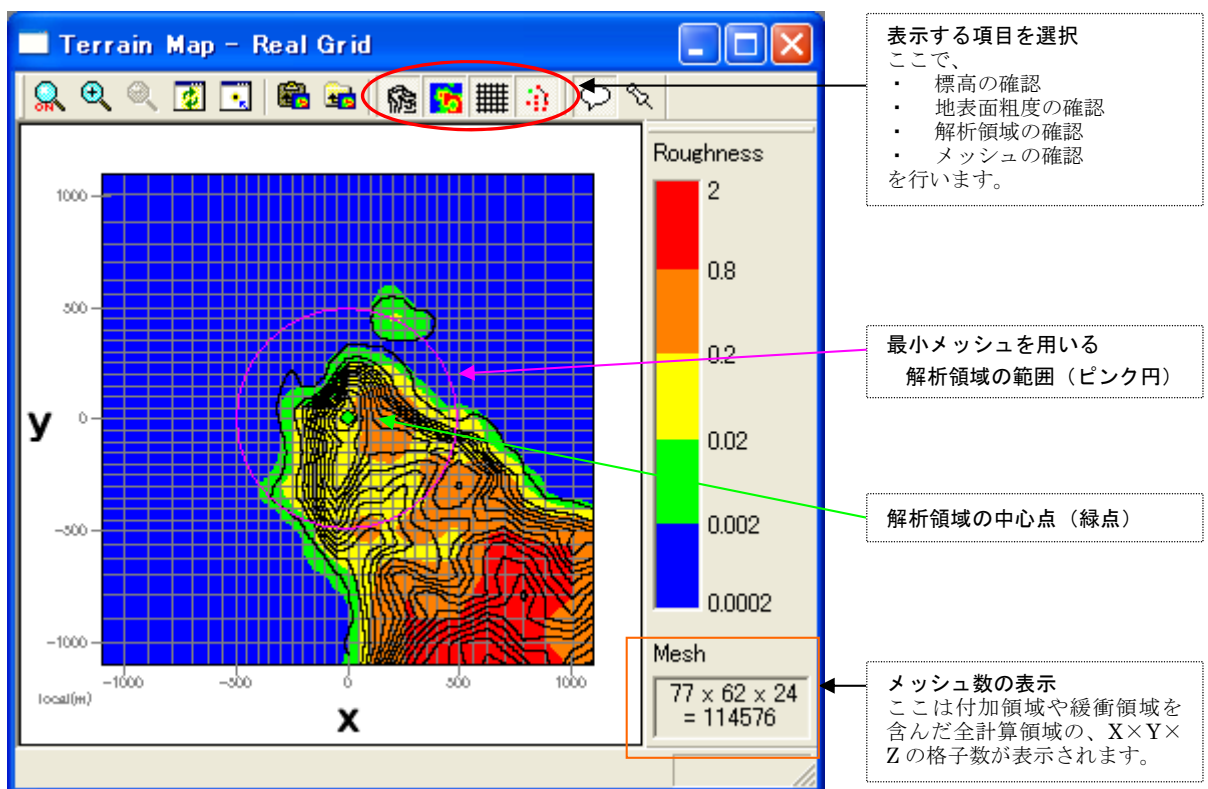
2-3-6. メッシュの生成と確認

実地形と平坦地形による2種類の気流解析のメッシュ生成と確認をする必要があります。

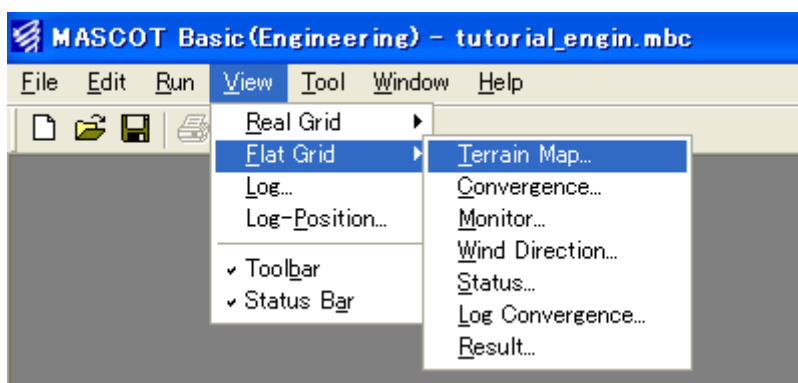
1. [View]-[Real Grid]-[Terrain Map]メニューを選択しますと、実地形のメッシュが自動的に生成されます。



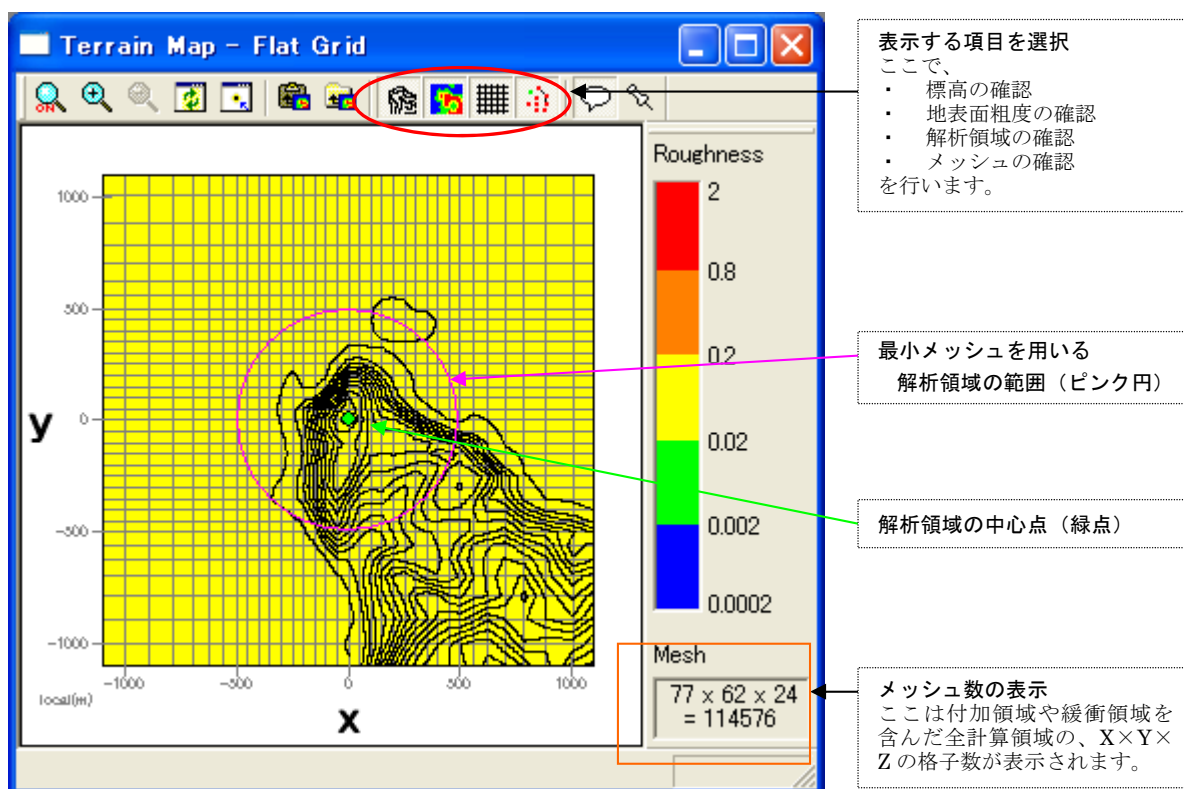
2. [Terrain Map]ビューで表示されている標高、粗度、メッシュなどを確認します。



3. [View]-[Flat Grid]-[Terrain Map]メニューを選択しますと、平坦地形のメッシュが自動的に生成されます。

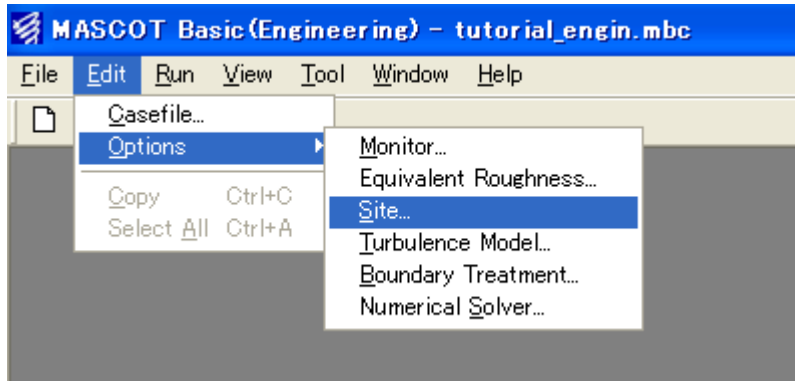


4. [Terrain Map]ビューで表示されている標高、粗度、メッシュなどを確認します。

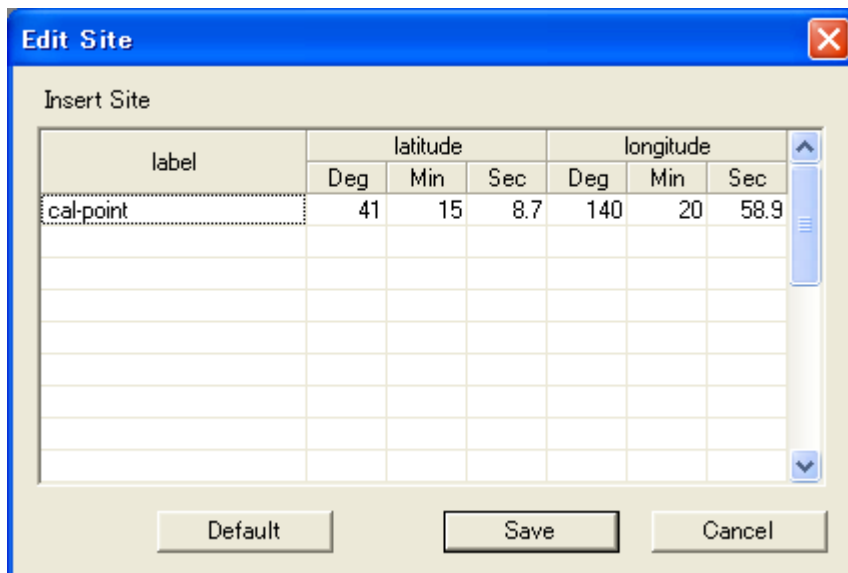


2-3-7. 平均風速の割増係数および変動風速の補正係数の算定地点の設定

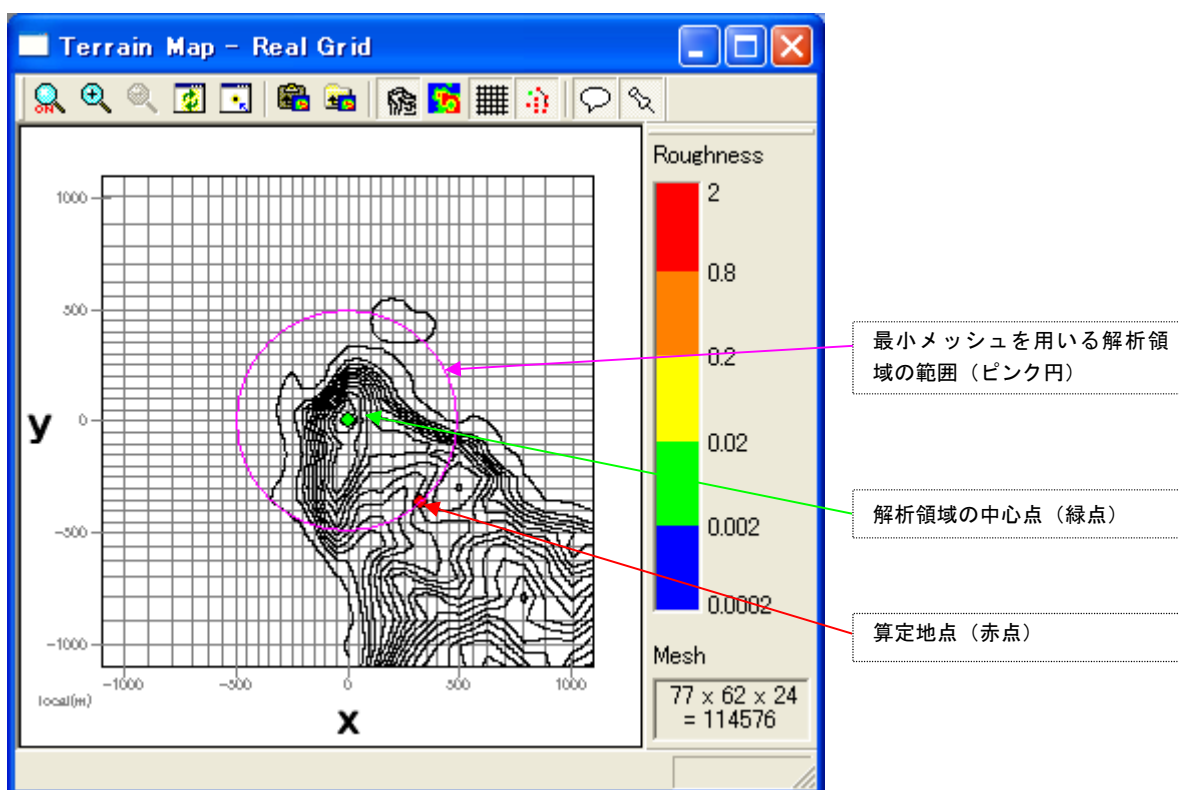
1. [Edit]-[Options]-[Site]メニューを選択します。



2. 表示された[Edit Site]ダイアログで、算定地点の登録を行います。



3. <Save>を押して、算定地点 (cal-point) を保存します。
4. 再度、[View]-[Real Grid]-[Terrain Map]ビューを開き、登録した算定地点が最小メッシュを用いる解析領域の範囲内にあることを確認します。
([View]-[Real Grid]-[Terrain Map]ビューが既に開いている場合は、自動的にビューが更新されます)



2-3-8. 解析領域高さの設定

石原ら¹⁾によれば解析領域高さが解析結果に影響を与えないためには、解析領域の閉塞率を5%以下とする必要があります。解析領域内の最大標高差の20倍に解析領域内の最低標高値を加えた数値を解析領域高さとして設定することによって、閉塞率5%以下の条件を満たすことができます。ただし、大気特性上、成層圏界面(高度約10km)を超える解析領域の高さを取ることは現実的でないため、解析領域高さの上限を10kmとします。すなわち、解析領域高さ Z_H は

$$Z_H = \min(20 \times (H_{\max} - H_{\min}) + H_{\min}, 10000\text{m}) \quad (1)$$

と計算することができます。ここで、 H_{\max} 、 H_{\min} はそれぞれ解析領域内の最大標高値および最低標高値であり、図1に示します。また式(1)にある20は、地形が2次元であると仮定し、閉塞率5%の条件($1/20=0.05=5\%$)を満たすように設定した数値です。

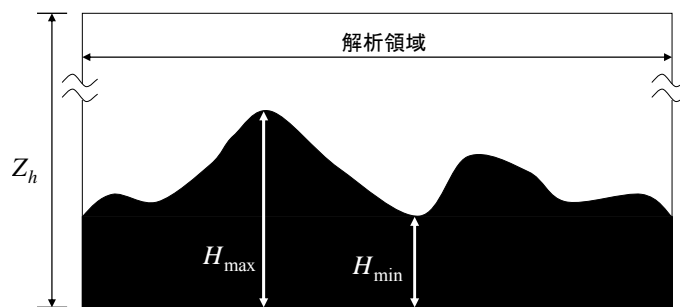
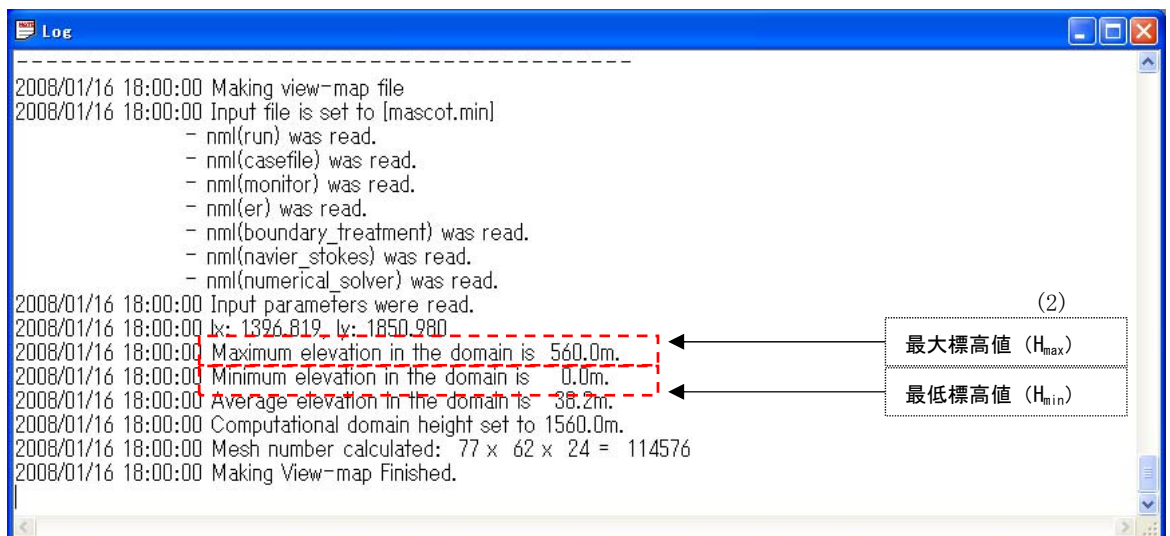


図1 解析領域の一例と記号の定義

この条件を満たした解析領域高さの設定方法の具体的な設定手順を以下に示します。

1. [View]-[log]メニューを選択します。この操作により、「2-3-6. メッシュの生成と確認」でログファイルに記録された解析領域内の最大および最小標高値を参照することができます。図2に[View]-[log]メニューを選択した際に表示されるログファイルを示します。



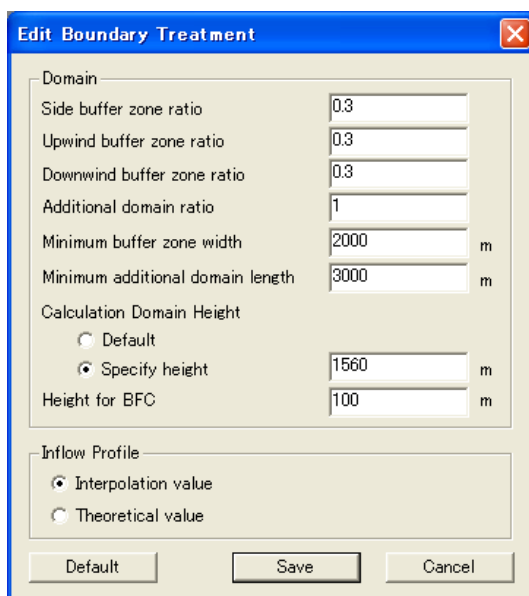
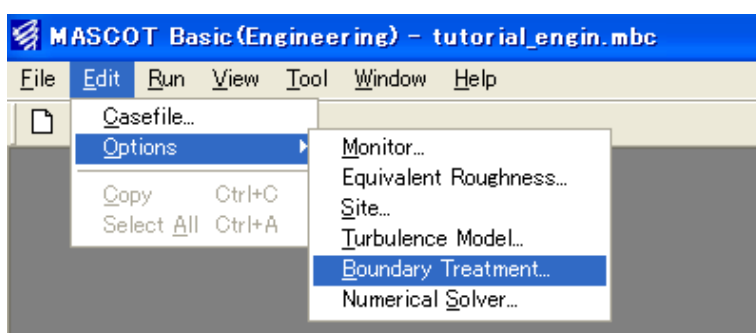
2. 式(1)に従い、(2)で参照した解析領域内の最大標高値および最低標高値から解析領域高さを計算します。本例では、解析領域高さ Z_H は

$$\begin{aligned} Z_H &= \min(20 \times (H_{\max} - H_{\min}) + H_{\min}, 10000\text{m}) \\ &= \min(20 \times (560.0\text{m} - 0.0\text{m}) + 0.0\text{m}, 10000\text{m}) \\ &= 10000\text{m} \end{aligned} \quad (3)$$

となります。

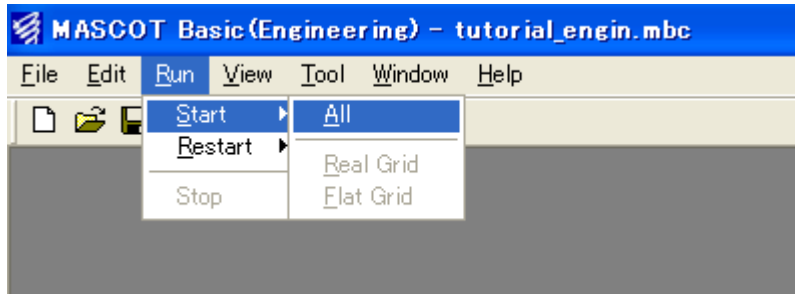
3. 以上求めた解析領域高さを設定します。[Edit]-[Options]-[Boundary Treatment]メニューを選択すると、[Edit Boundary Treatment]ダイアログが表示されます。

表示された[Edit Boundary Treatment]ダイアログ中の[Calculation Domain Height]-[Specify height]に、(2)で求めた解析領域の高さを入力します。以上で設定は終了です。

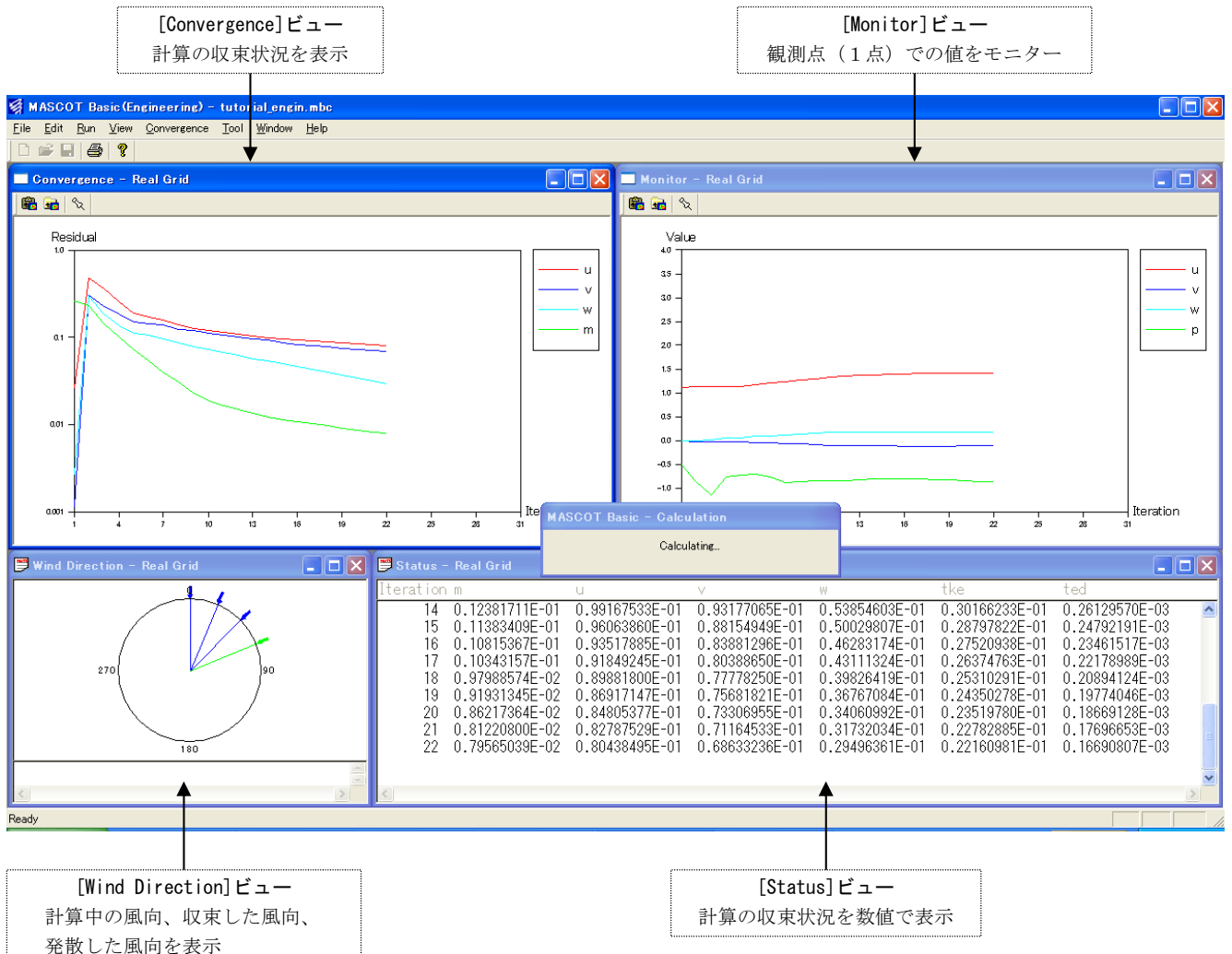


2-3-9. 計算実行

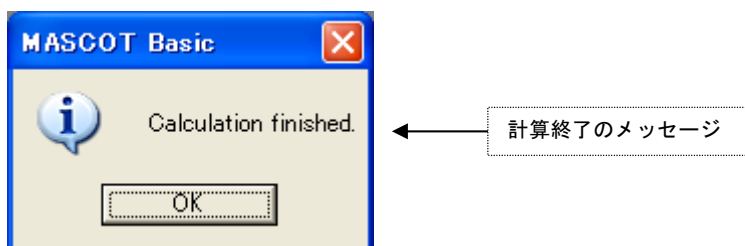
1. [Run]-[Start]-[All]メニューを選択します。



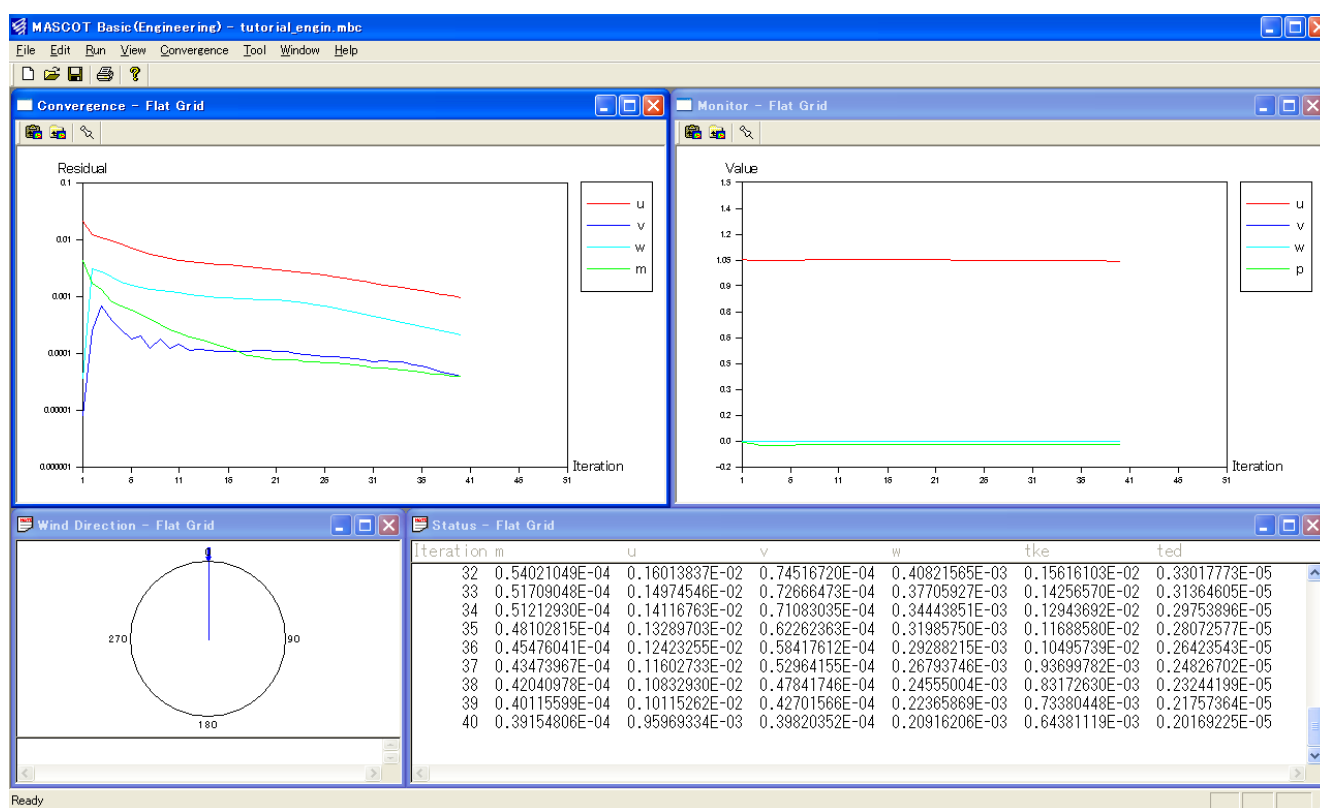
2. 計算が開始すると、収束状況などを表示する子ウィンドウが表示されます。



3. 計算終了のメッセージが表示されましたら、計算完了です。



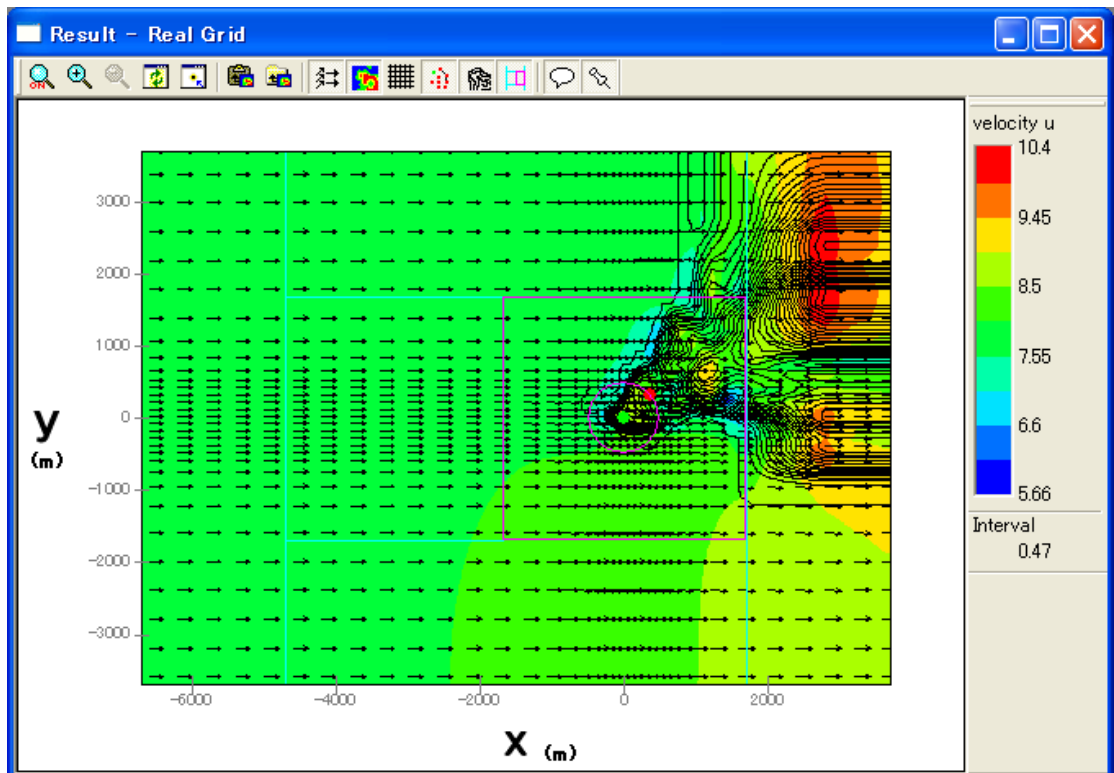
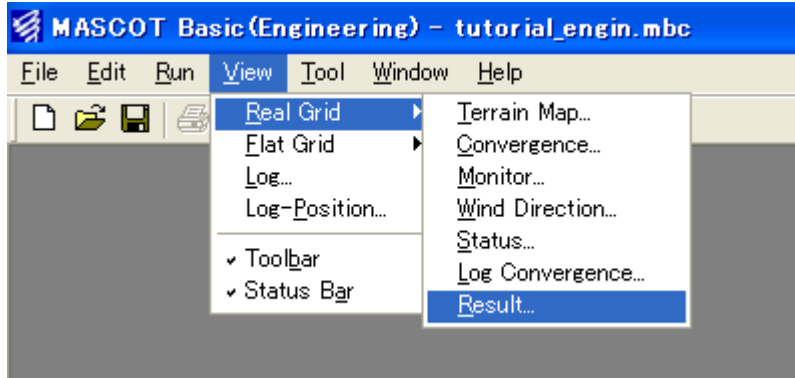
<計算終了画面>



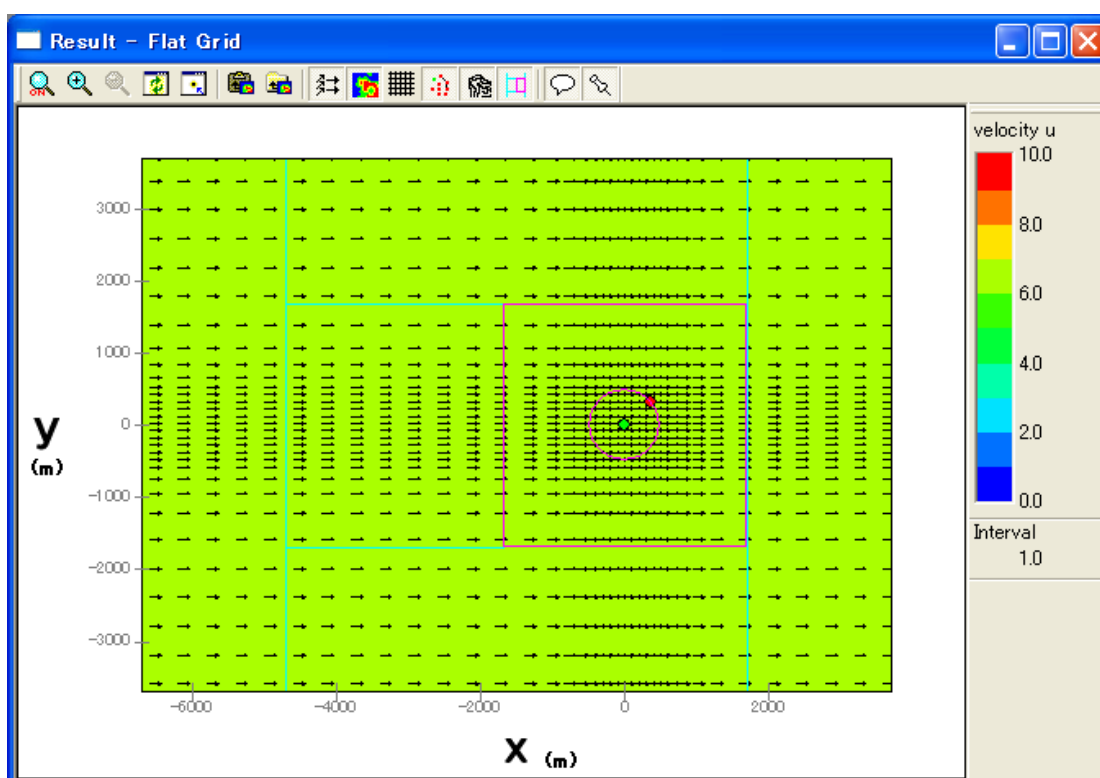
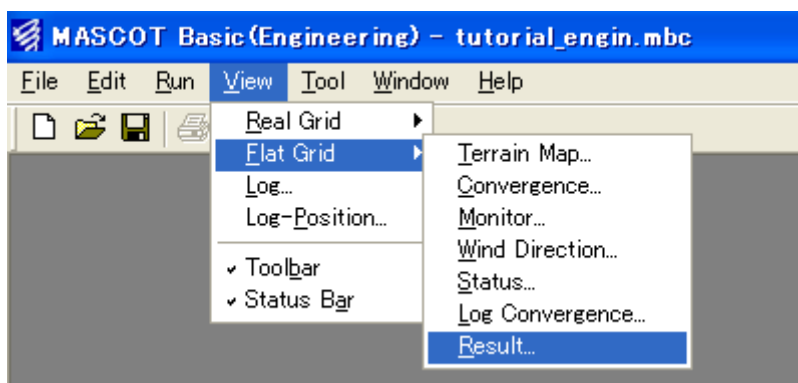
2-3-10. 計算結果の可視化

実地形と平坦地形による2種類の気流解析結果を可視化することができます。

1. [View]-[Real Grid]-[Result]メニューを選択し、実地形の気流解析結果を可視化します。



2. [View]-[Flat Grid]-[Result]メニューを選択し、平坦地形の気流解析結果を可視化します。



可視化に関する詳細設定方法及び表示例は「第2章 2-1」を参照してください。

対象地点の平均風速の割増係数および変動風速の補正係数の求め方法は「第5章 5-2」を参照してください。

第3章 User Interface (ユーザー・インターフェース)

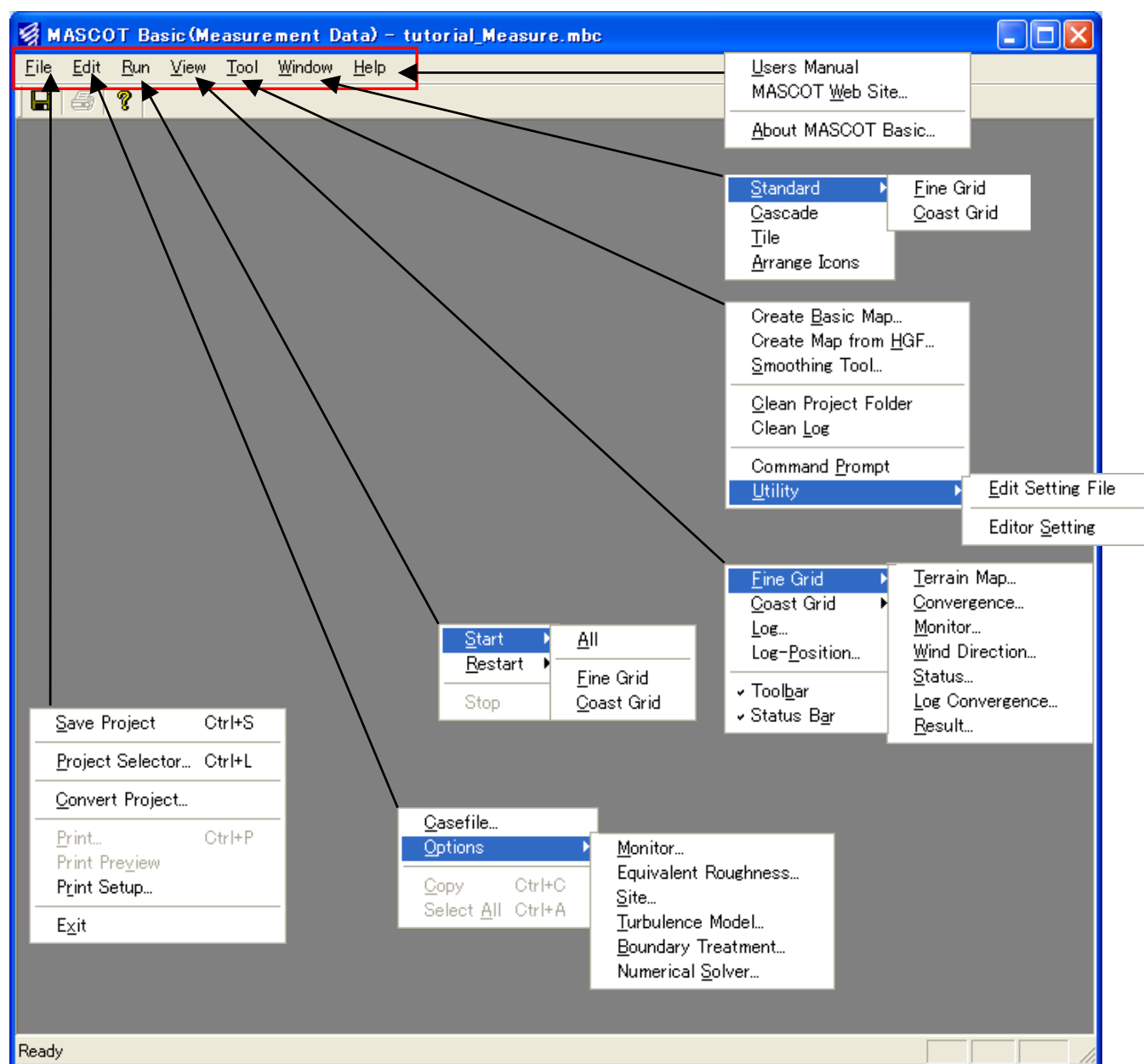
本章では、MASCOT Basic のユーザー・インターフェースについて説明します。

3-1. メニュー一覧.....	3-2
3-2. ツールバー一覧.....	3-3
3-2-1. メインウィンドウ.....	3-3
3-2-2. [View]-[Fine Grid/Coast Grid]-[Terrain Map]ビュー.....	3-4
3-2-3. [View]-[Fine Grid/Coast Grid]-[Convergence / Monitor]ビュー.....	3-6
3-2-4. [View]-[Fine Grid/Coast Grid]-[Result]ビュー.....	3-7
3-3. ダイアログ・ビュー一覧 (メニュー別).....	3-9
3-3-1. [File]メニュー.....	3-9
3-3-2. [Edit]メニュー.....	3-15
3-3-3. [Run]メニュー.....	3-31
3-3-4. [View]メニュー.....	3-32
3-3-5. [Terrain Map]メニュー.....	3-39
3-3-6. [Convergence]メニュー.....	3-44
3-3-7. [Monitor]メニュー.....	3-46
3-3-8. [Result]メニュー.....	3-48
3-3-9. [Tool]メニュー.....	3-54
3-3-10. [Window]メニュー.....	3-62
3-3-11. [Help]メニュー.....	3-66

3-1. メニュー一覧

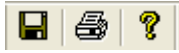
MASCOT Basic のメインメニューは以下の7つのメニューから構成されます。

- [File]メニュー : プロジェクトの生成、読込、保存、プリンタの設定などを行うメニューです。
- [Edit]メニュー : 計算領域、計算メッシュ、解析条件、観測地点の設定などを行うメニューです。
- [Run]メニュー : 計算の実行、再計算、計算の中止を行うメニューです。
- [View]メニュー : 標高や粗度の分布、解析の収束状況、計算結果などの図示を行うメニューです。
- [Tool]メニュー : 基本標高マップ、基本粗度マップなどの作成を行うメニューです。
- [Window]メニュー : ウィンドウ、アイコンなどの表示、整理などを行うメニューです。
- [Help]メニュー : MASCOT のバージョン情報、ユーザーマニュアルなどを示すメニューです。



3-2. ツールバー一覧

3-2-1. メインウィンドウ



..... 作業中のプロジェクトを保存します。
([File]-[Save Project...]メニュー)




..... 選択されているビューの内容 (図やログなど) を印刷します。
([File]-[Print]メニュー)





..... MASCOT Basic のバージョン情報を表示します。
([Help]-[About MASCOT Basic...]メニュー)


3-2-2. [View]-[Fine Grid/Coast Grid]-[Terrain Map]ビュー





- 


.....ズーム処理を開始/終了します。
([Terrain map]-[Zoom]メニュー)
- 


.....ビューに表示されているイメージを拡大します。(拡大率 1.2倍)
([Terrain map]-[Zoom In]メニュー)
- 


.....ビューに表示されているイメージを縮小します。(縮小率 1.2倍)
([Terrain map]-[Zoom Out]メニュー)
- 


.....ビューに表示されているイメージを再描画します。拡大表示している場合は、初期表示状態にします。
([Terrain map]-[Reset]メニュー)
- 


.....ビューに表示されているイメージを、マウスで指定した点が中心になるように移動します。
([Terrain map]-[Centering]メニュー)
- 

.....ビューに表示されているイメージを、クリップボードにコピーします。
([Terrain map]-[Clipboard Copy]メニュー)
- 

.....ビューに表示されているイメージを、画像ファイル(形式: bmp/emf)として保存します。
([Terrain map]-[Image Out]メニュー)
- 

.....地形コンターを表示/非表示します。
([Terrain map]-[Show]-[Elevation Contour]メニュー)
- 

.....粗度分布を表示/非表示します。
([Terrain map]-[Show]-[Roughness]メニュー)
- 

.....メッシュを表示/非表示します。
([Terrain map]-[Show]-[Mesh]メニュー)
- 

.....計算点、観測点などのマーカを表示/非表示します。
([Terrain map]-[Show]-[Maker]メニュー)



- 凡例を表示 / 非表示します。
([Terrain map]-[Show]-[Notes]メニュー)



- プロパティを開きます。
([Terrain map]-[Property]メニュー)

3-2-3. [View]-[Fine Grid/Coast Grid]-[Convergence / Monitor]ビュー



..... ビューに表示されているイメージを、クリップボードにコピーします。

([Convergence]-[Clipboard Copy]メニュー
/ [Monitor]-[Clipboard Copy]メニュー)



..... ビューに表示されているイメージを、画像ファイル(形式: bmp/emf)として保存します。

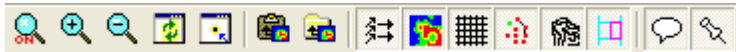
([Convergence]-[Image Out]メニュー / [Monitor]-[Image Out]メニュー)





..... プロパティを開きます。


([Convergence]-[Property]メニュー / [Monitor]-[Property]メニュー)


3-2-4. [View]-[Fine Grid/Coast Grid]-[Result]ビュー





- 


..... ズーム処理を開始 / 終了します。
([Result]-[Zoom]メニュー)
- 


..... ビューに表示されているイメージを拡大します。(拡大率 1.2 倍)
([Result]-[Zoom In]メニュー)
- 


..... ビューに表示されているイメージを縮小します。(縮小率 1.2 倍)
([Result]-[Zoom Out]メニュー)
- 


..... ビューに表示されているイメージを再描画します。拡大表示している場合は、初期表示状態にします。
([Result]-[Reset]メニュー)
- 


..... ビューに表示されているイメージを、マウスで指定した点を中心になるように移動します。
([Result]-[Centering]メニュー)
- 

..... ビューに表示されているイメージを、クリップボードにコピーします。
([Result]-[Clipboard Copy]メニュー)
- 

..... ビューに表示されているイメージを、画像ファイル (形式 : bmp/emf) として保存します。
([Result]-[Image Out]メニュー)
- 

..... ベクトルを表示 / 非表示します。
([Result]-[Show]-[Vector]メニュー)
- 

..... 速度比分布を色で表示 / 非表示します。
([Result]-[Show]-[Variable Contour]メニュー)
- 

..... 格子を表示 / 非表示します。
([Result]-[Show]-[Mesh]メニュー)
- 

..... 計算点、観測点などのマーカを表示 / 非表示します。
([Result]-[Show]-[Maker]メニュー)



- 地形コンターを表示 / 非表示します。
([Result]-[Show]-[Elevation Contour]メニュー)



- 計算領域を表示 / 非表示します。
([Result]-[Show]-[Domain]メニュー)



- 凡例を表示 / 非表示します。
([Result]-[Show]-[Note]メニュー)

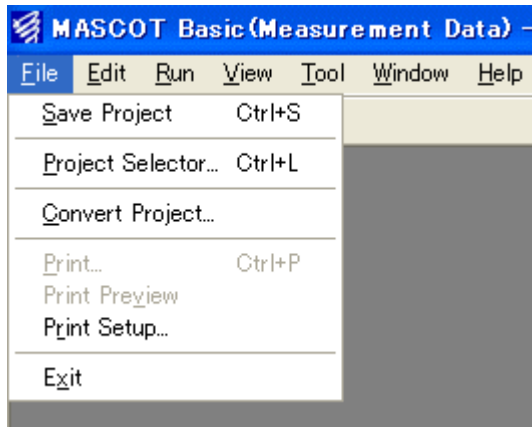


- プロパティを開きます。
([Result]-[Property]メニュー)


3-3. ダイアログ・ビュー一覧 (メニュー別)

3-3-1. [File]メニュー

このメニューはプロジェクト読み込み、保存、プリンタの設定などを行うメニューです。



[Save Project]

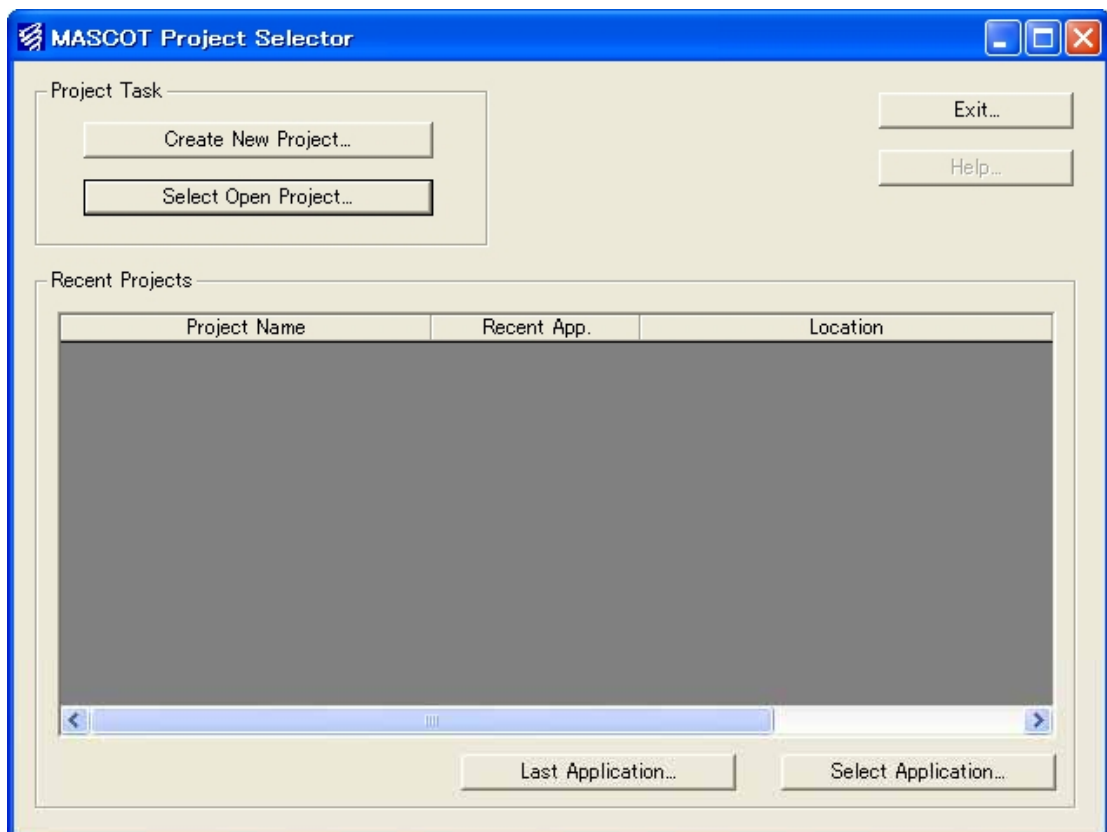
作業中のプロジェクトを保存します。(ツールバー )

[Project Selector...]

MASCOT Project Selector を起動します。

他のプロジェクトの読み込みやプロジェクトの新規作成などは、起動される MASCOT Project Selector で行います。

本メニューを選択しますと、起動中の MASCOT Basic は終了します。



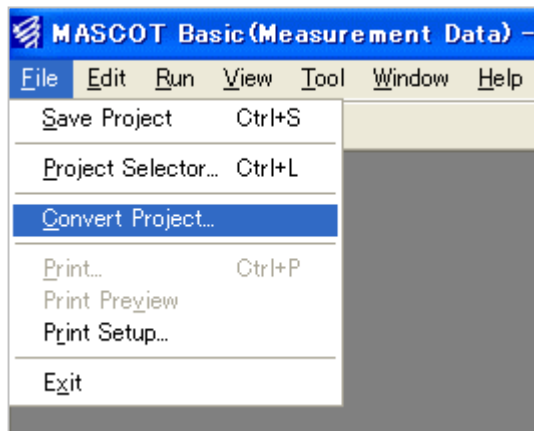
[Converter Project...]

既存のプロジェクトを元に、タイプの異なるプロジェクトを作成します。

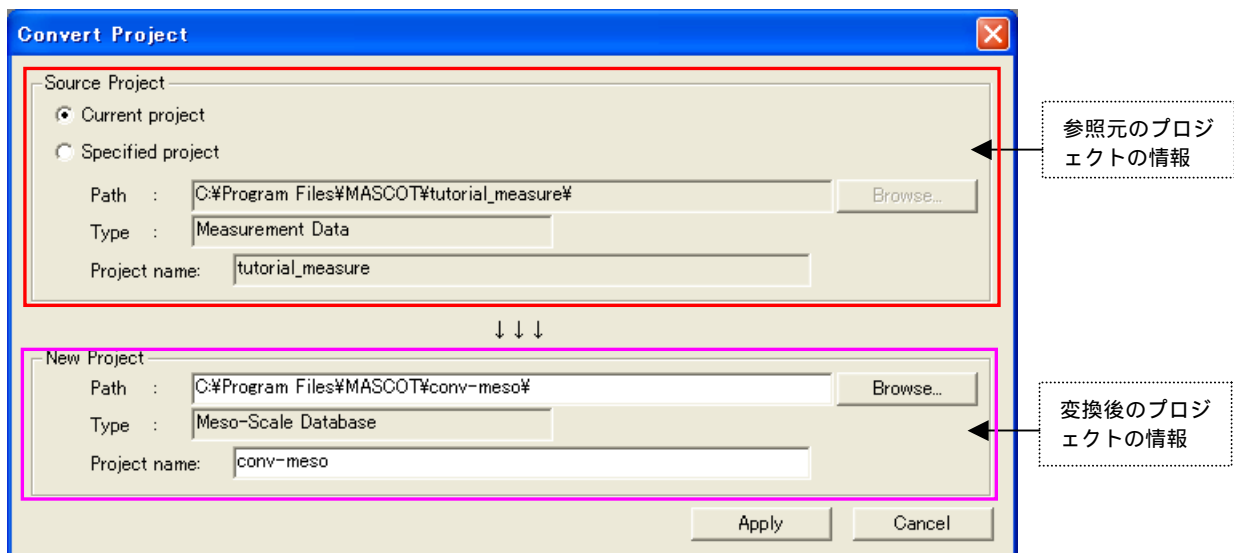
[Converter Project...]を用いることにより、計算済みの気流計算結果を異なるプロジェクトタイプに変換することが出来るので、同じ解析領域を異なるプロジェクトタイプで解析する際に計算時間の節約に役立ちます。

例： 観測データを用いた風況・発電量予測用のプロジェクト(Measurement data プロジェクト)を基に、メソスケール気象モデルの解析データを用いた風況精査用プロジェクト(Meso-scale database プロジェクト)を作成します。

1. [File]-[Converter Project...]を選択します。



2. 参照元と変換後の作成プロジェクトの情報(プロジェクトファイル所在フォルダ、プロジェクトタイプ、プロジェクト名など)を入力します。

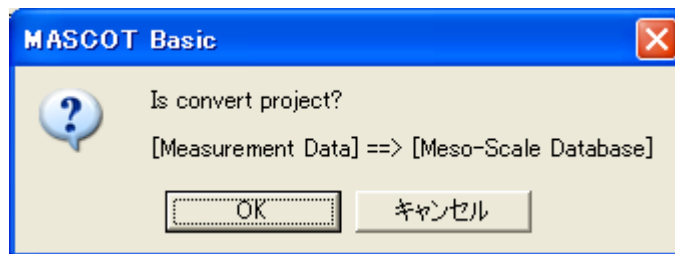


- ・ [Source Project] :参照元のプロジェクト情報を指定します。
- ・ [Current Project] : MASCOT Basic で開いているプロジェクトを変換元プロジェクトとします。
- ・ [Specified Project] : MASCOT Basic で開いているプロジェクト以外を変換元プロジェクトとします。
- ・ [Path] : プロジェクトファイルの存在するパスを表示します。
- ・ < Browse... > : [Specified Project]を選択した場合、プロジェクトファイルの存在するパスを指定します。

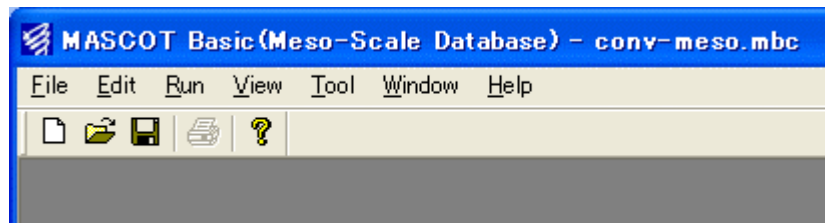
- ・ [Type] : 変換元のプロジェクトタイプを表示します。
 - ・ [Project Name] : 変換元のプロジェクト名を表示します。

 - ・ [New Project] : 変換後のプロジェクト情報を指定します。
 - ・ [Path] : 変換後のプロジェクトを保存するパスを表示します。
 - ・ <Browse...> : 変換後のプロジェクトファイルを保存するパスを指定します。
 - ・ [Type] : 変換後のプロジェクトタイプを表示します。
 - ・ [Project Name] : 変換後のプロジェクト名を表示します。

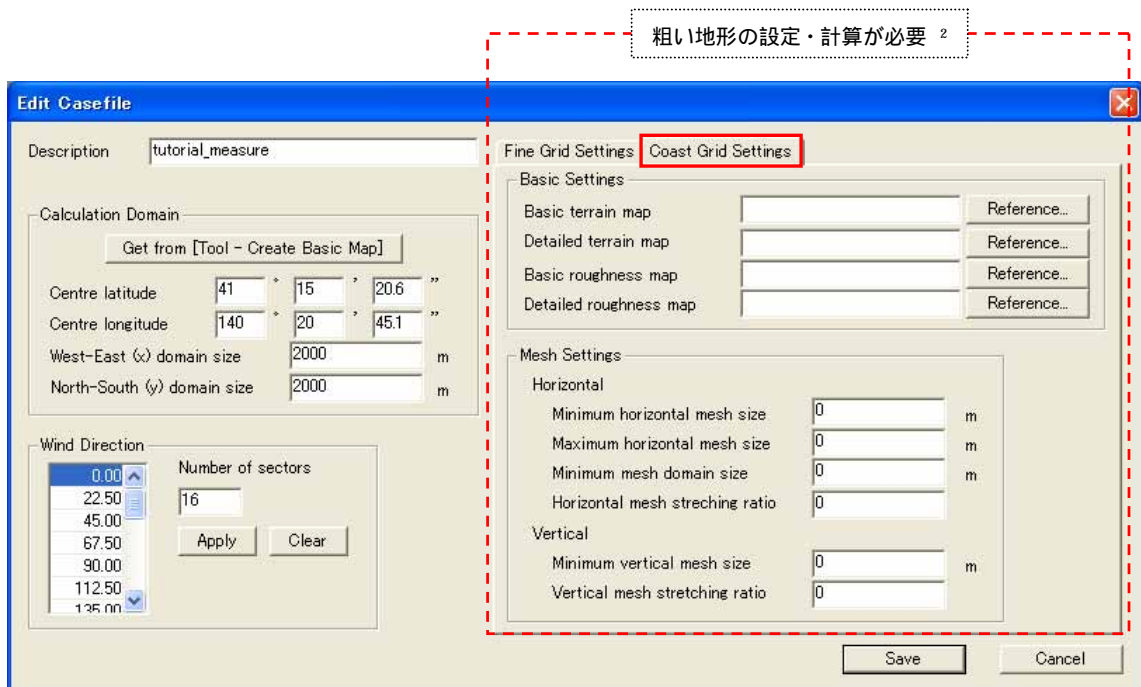
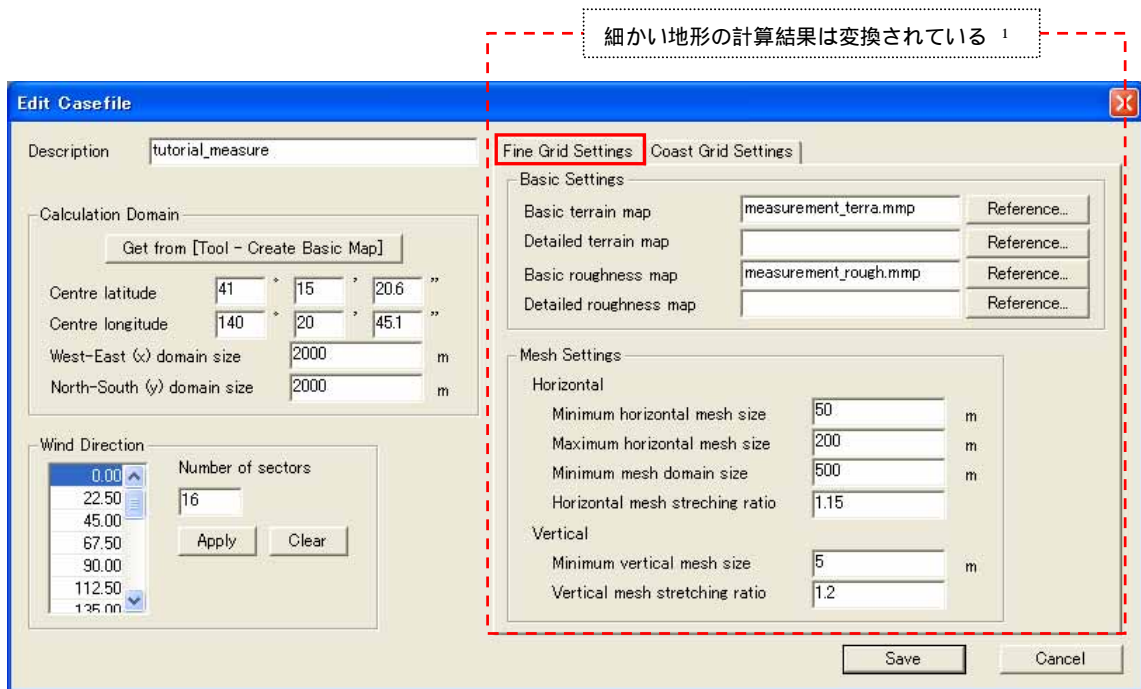
 - ・ <Apply> : 設定値を保存し、変換確認画面を表示します。
 - ・ <Cancel> : 設定値を破棄し、変換作業を終了します。
3. <OK>をクリックし、変換を実行します。変換設定画面へ戻る場合は<キャンセル>をクリックします。



4. 変換完了後、変換後のプロジェクトが MASCOT Basic で開かれます。




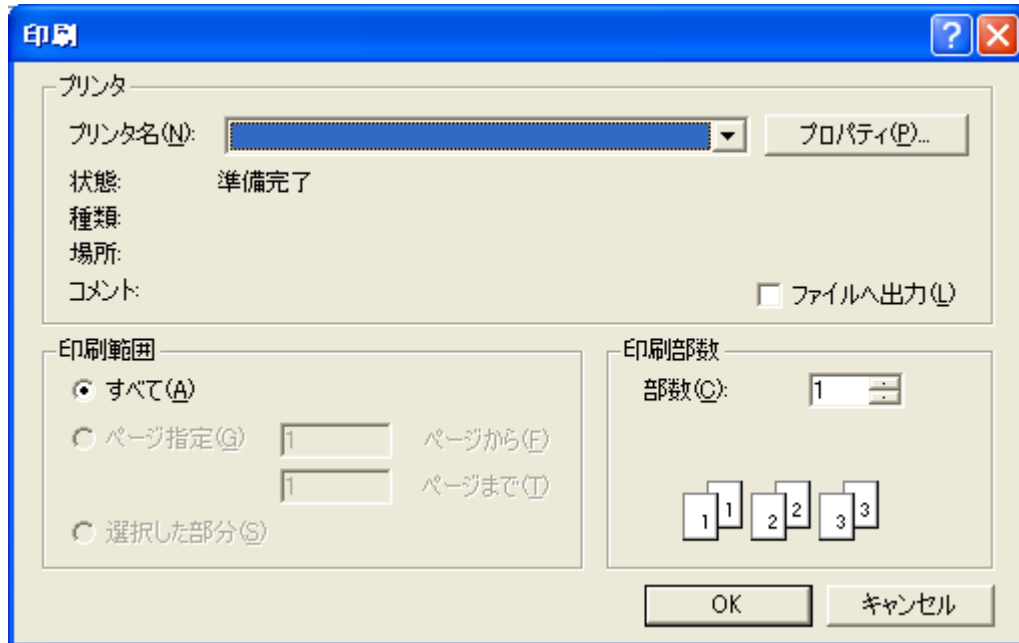
5. 変換元のプロジェクトが計算済みの場合は、変換後の細かい地形 (Fine Grid) の計算結果も変換されています。Measurement Project Type から Meso-scale Project Type へ変換した場合は、[Coast Grid Settings]を行い粗い地形の計算実行を行なう必要があります。



- 1 変換基のプロジェクトが計算済みである必要があります。
- 2 ケースファイルの設定は[Edit]-[Casefile...] を参照してください。

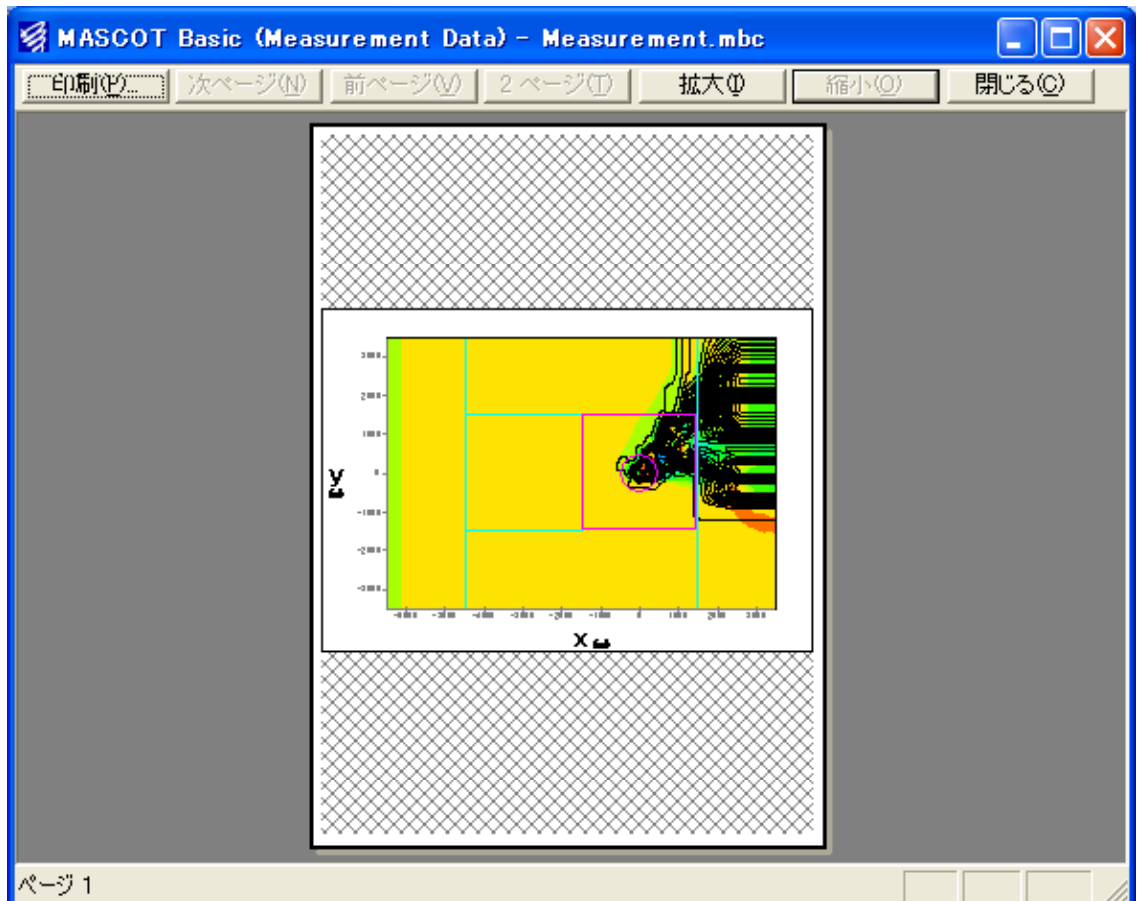
[Print...]

選択されているビューの内容（図やログなど）を印刷します。（ツールバー  ）



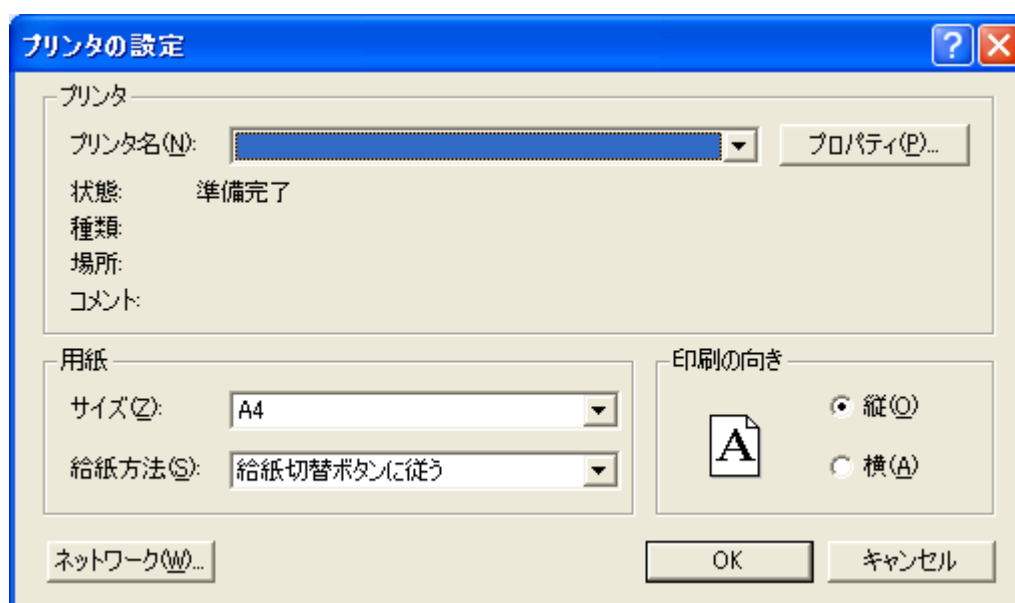
[Print Preview...]

選択されているビューの内容（図やログなど）を、用紙に印刷したときのイメージを表示します。



[Print Setup...]

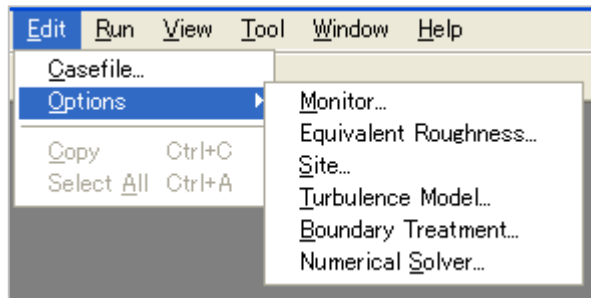
用紙のサイズ、印刷の向きなどの設定を行います。

**[Exit]**

MASCOT Basic を終了します。

3-3-2. [Edit]メニュー

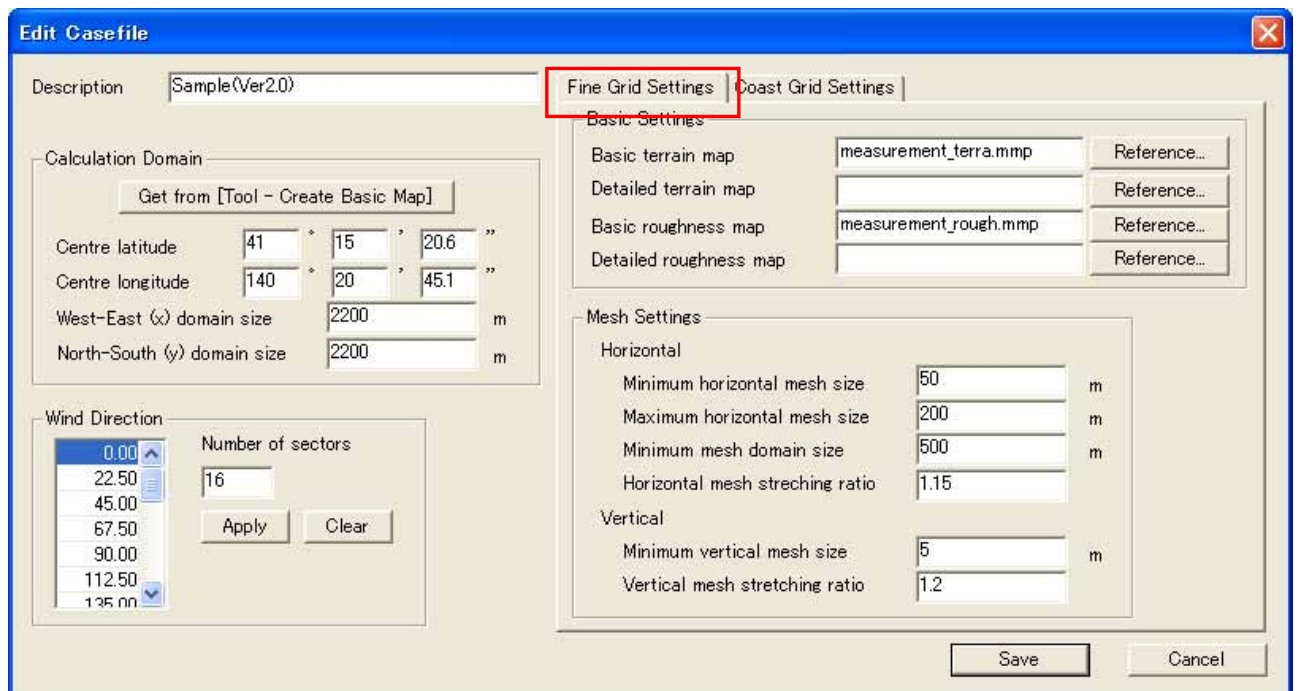
計算条件の設定、観測点の登録など、解析条件を設定するメニューです。[Casefile]メニューはユーザーが必ず設定する必要のあるメニューで、標高と地表面粗度のファイルの指定、解析対象地点の緯度と経度の入力、対象領域の大きさや格子間隔の設定を行います。一方、[Option]メニュー以下の設定項目にはデフォルトの値が設定されており、必要に応じて設定値の変更を行います。



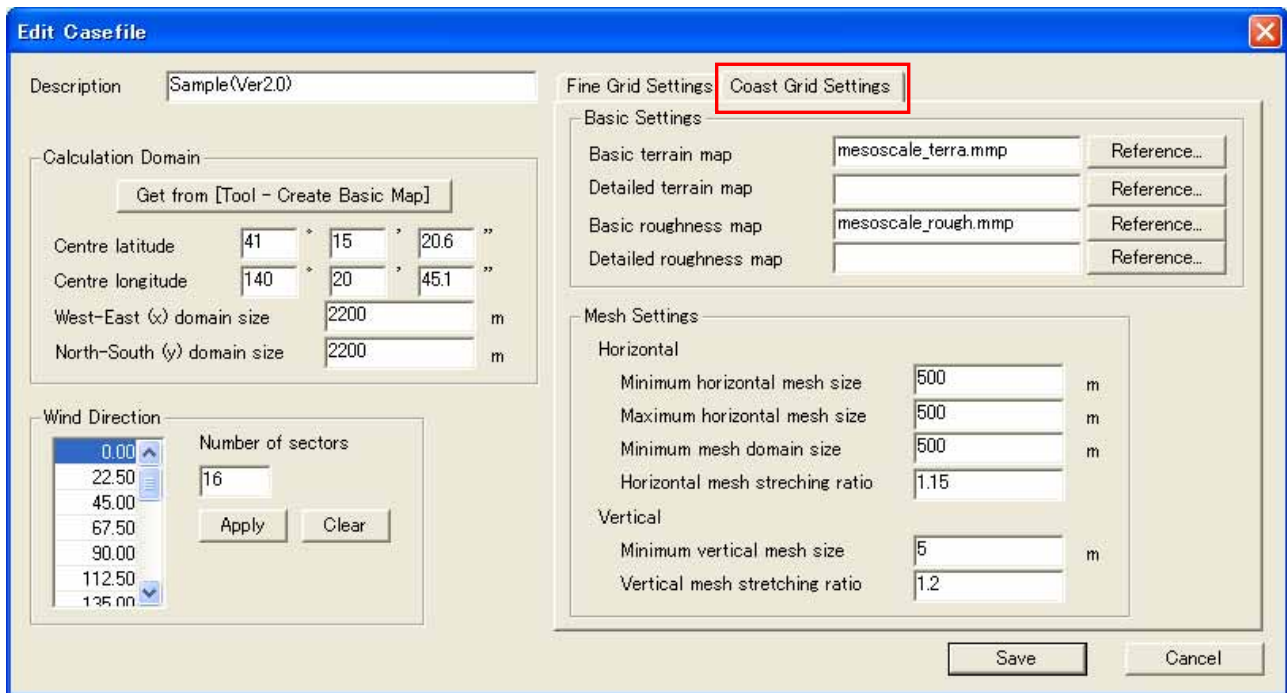
[Casefile...]

計算条件の設定を行います。[Calculation Domain] [Wind Direction] [Basic Settings] [Mesh Settings]の4つの部分から構成されます。

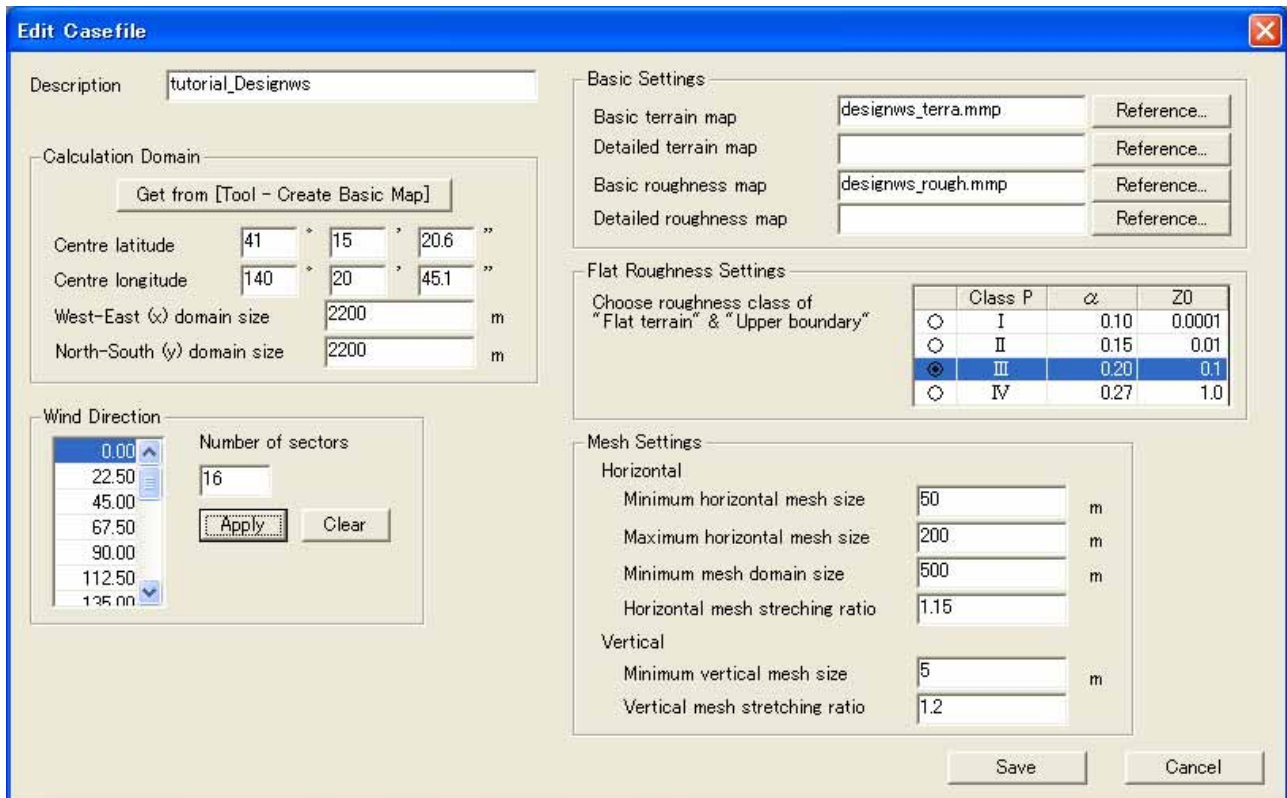
Measurement data project (観測データを用いた風況・発電量予測)の場合、[Basic Settings] [Mesh Settings]は[Fine Grid Settings]のみの設定となります。



Meso-scale database project (メソスケール気象モデルの解析データを用いた風況精査) の場合、
[Basic Settings]と [Mesh Settings]は[Fine Grid Settings]と[Coast Grid Settings]の設定が必要です。



Design wind speed project (平均風速の割増係数および変動風速の補正係数算定) の場合、以下の設定画面が表示され、[Basic Settings] [Flat Roughness Settings] [Mesh Settings]の設定が必要です。



- ・ [Description] : プロジェクトの詳細について記述します (省略可)。
- ・ [Calculation Domain] : 計算範囲の指定
 - ・ < Get from [Tool]-[Create Basic Map] > ¹
 - : [Tool]-[Create Basic Map] (3-3-9 を参照) で設定した対象領域中心の緯度、経度、領域の大きさを取得します。
 - ・ [Centre latitude] : 対象領域中心の緯度を設定します。
 - ・ [Centre longitude] : 対象領域中心の経度を設定します。
 - ・ [West-East domain size] : 東西方向の対象領域の大きさを設定します。
 - ・ [North-South domain size] : 南北方向の対象領域の大きさを設定します。

1 この機能は、直前に [Tool]-[Create Basic Map] で設定された解析中心値や解析領域の大きさを取得する機能で、[Basic Setting]で設定したデータの中心座標や領域を取得するものではありません

ここで指定されている計算範囲は対象領域と呼ばれ、この領域の風上側には上流地形の影響を考慮するために、付加領域が設置されます。対象領域と付加領域についての詳細な説明は第4章を参照してください。

- ・ [Wind Direction] : 計算風向の指定
 - ・ [Wind Direction] : 計算対象風向を設定します。自動的に設定する場合には入力が必要ありません。
 - ・ [Number of sectors] : 計算したい風向の数を入力します。16 を入力した場合には 16 風向の解析を行います。
 - ・ < Apply > : 入力した数で 360° を分割し、計算対象風向を自動的に [Wind Direction] に表示します。
 - ・ < Clear > : [Wind Direction] リストに設定されている風向をクリアします。

ユーザーは計算したい風向を 1 つずつ入力することができると同時に、計算したい風向の数を入力することにより、自動的に計算風向を設定することもできます。16 風向の解析を行いたい場合には [Number of sectors] に 16 を入力し、< Apply > を押すだけで、16 風向が計算され、自動的に [Wind Direction] リストに表示されます。

- ・ [Basic Settings] : 標高と粗度長に関するデータファイルの指定
 - ・ [Basic terrain map] : 基本標高データファイルを指定します ¹。
 - ・ [Detailed terrain map] : 詳細標高データファイルを指定します (省略可)。
 - ・ [Basic roughness map] : 基本粗度データファイルを指定します ¹。
 - ・ [Detailed roughness map] : 詳細粗度データファイルを指定します (省略可)。

1 標高と粗度のデータファイルは、第4章に述べられているデータフォーマットに従ってユーザー自身が作成できると同時に、ツールメニューにあるツール並びに本プログラムに付属しているデータベース (trdb) により作成することもできます。基本標高と基本粗度データファイルを付属データベースから作成する場合にはツールメニューにある [Create Basic Map] を用います。付属データベースは国土地理院発行の 50m メッシュの数値標高データと 100m メッシュの土地利用データに基づいて作成したもので、日本全域をカバーしています。一方、詳細標高データファイルはツールメニューにある [Create Map from HGF] を用いて作成することができます。この場合には北海道地図(株)発行の 10m メッシュの数値標高データ (ユーザーが購入) のみに対応し、データフォーマットは第4章を参照してください。

- ・ [Mesh Settings] : 格子間隔の設定
 - ・ [Horizontal] : 水平方向の格子間隔の設定
 - ・ [Minimum horizontal mesh size] ^{1,2} : 水平方向の最小格子間隔を設定します。
 - ・ [Maximum horizontal mesh size] ³ : 水平方向の最大格子間隔を設定します。最小格子間隔の 10 倍以内の値を推奨します。
 - ・ [Minimum mesh domain size] : 最小格子間隔範囲を設定します。この範囲の中では最小格子間隔が使用されません。
 - ・ [Horizontal mesh stretching ratio] : 水平方向の格子の伸び率を設定します。1.05 ~ 1.2 の間の値を推奨します。
 - ・ [Vertical] : 垂直方向の格子間隔の設定
 - ・ [Minimum Vertical mesh size] : 垂直方向の最小格子間隔を設定します。一般的に 5m が妥当値です。
 - ・ [Vertical mesh stretching ratio] : 垂直方向の格子の伸び率を設定します。1.05 ~ 1.2 の間の値を推奨します。

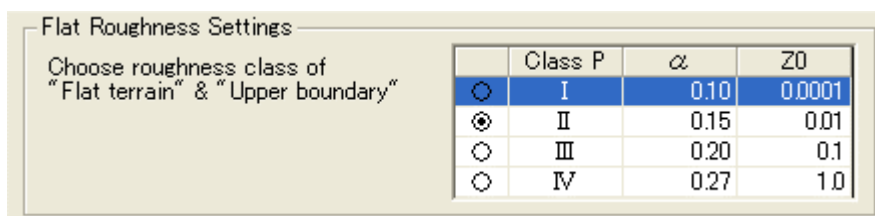
1 一般的に、地形の起伏がそれほど激しくない場合には水平方向の最小格子間隔を 25m とするのが妥当ですが、地形が非常に急峻でかつ起伏の変化が激しい場所においては 10m メッシュを用いることにより、精度が向上されることがあります。ただし、水平面の格子間隔を半分にした場合にはメッシュ数が 4 倍に増え、計算時間はその分長くなります。MASCOT Basic の総計算メッシュの数は 50 万から 150 万までの範囲内とするのが妥当です。

2 Meso-scale database project の[Coast Mesh Settings]ではメソスケール気象モデル解析に用いた格子幅の半分程度の値を設定します。

3 Meso-scale database project の[Coast Mesh Settings]では解析領域全域を同一格子幅に設定するため、[Minimum horizontal mesh size]と同じ値を設定します。

- ・ [Flat Roughness Settings] : 平坦地形の粗度区分設定

Design wind speed project (平均風速の割増係数および変動風速の補正係数算定) の場合、平坦地形の粗度区分を設定します。

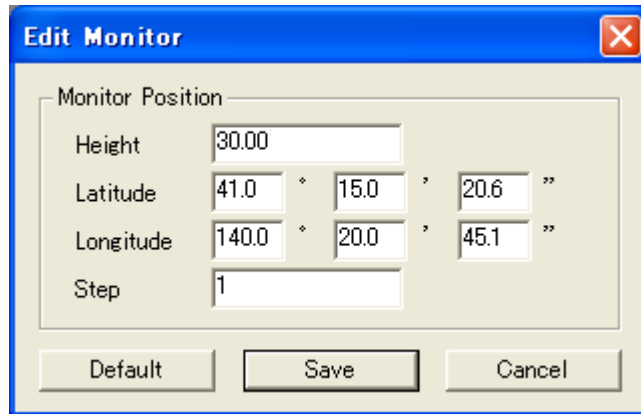


地表面粗度区分	建設地周辺の地表面の状況	パラメータ	粗度Z ₀
	海面又は湖面のような殆ど障害物のない地域	0.10	0.0001
	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木・低層建築物などが散在している地域	0.15	0.01
	樹木・低層建築物などが多数存在する地域、あるいは中層建築物(4から9階)が散在している地域	0.20	0.1
	中層建築物が主となる市街地	0.27	1.0

- ・ <Save > :解析条件をファイルに保存して、ダイアログを閉じます。
- ・ <Cancel > :解析条件を保存せずに、ダイアログを閉じます。

[Options]-[Monitor...]

流れ場の収束状況をモニターする地点を登録します。デフォルトでは対象領域の中心地点における地上 30m の高さでの速度成分 u 、 v 、 w と圧力 p をモニターします。各速度成分と圧力は入口地点での風速と速度圧により無次元化されています。



・ [Monitor Position]

- ・ [Height] : モニター地点の高さを設定します。
- ・ [Latitude] : モニター地点の緯度を設定します。
- ・ [Longitude] : モニター地点の経度を設定します。
- ・ [Step] ¹ : モニタリング間隔を設定します。

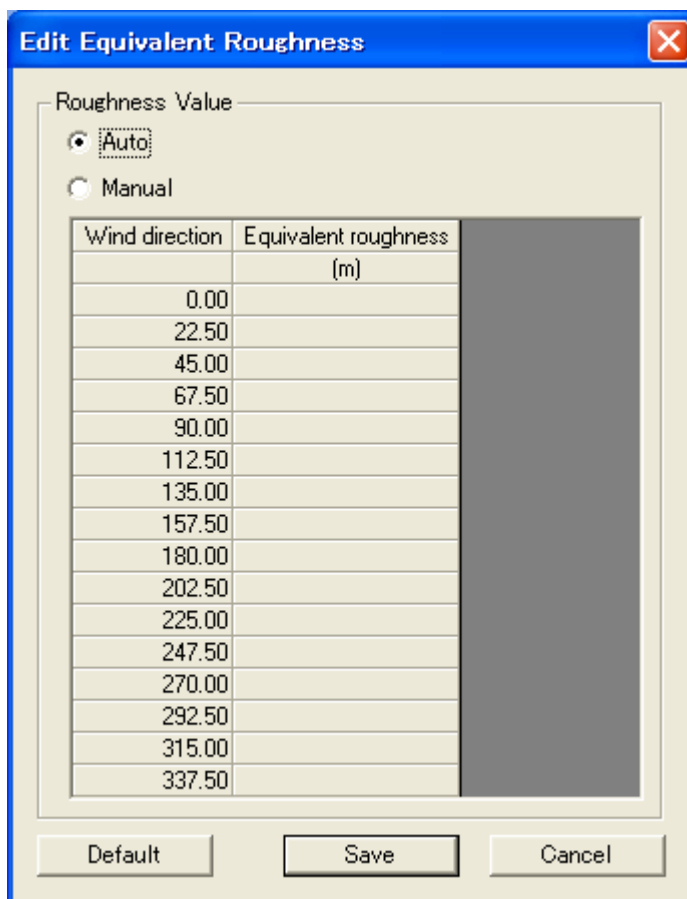
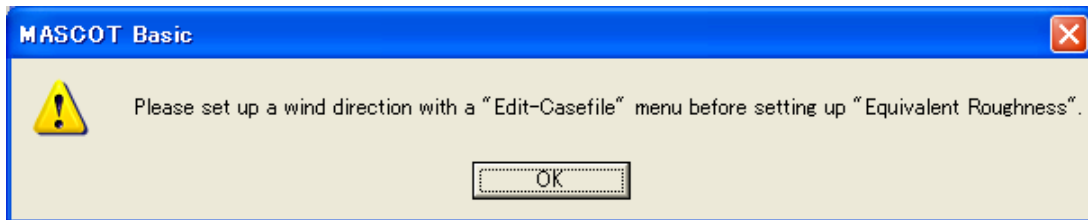
- ・ <Default > : [Edit Monitor]ダイアログ上の全ての項目を、デフォルトの値に戻します。
- ・ <Save > : 設定した値をファイルに保存して、ダイアログを閉じます。
- ・ <Cancel > : 設定した値を保存せずに、ダイアログを閉じます。

1 モニタリング間隔のデフォルト値は 1 となっており、反復計算 1 回ごとに収束状況を画面上に示します。2 を設定した場合には反復計算 2 回ごとに収束状況を画面上に示すことになります。

[Options]-[Equivalent Roughness...]

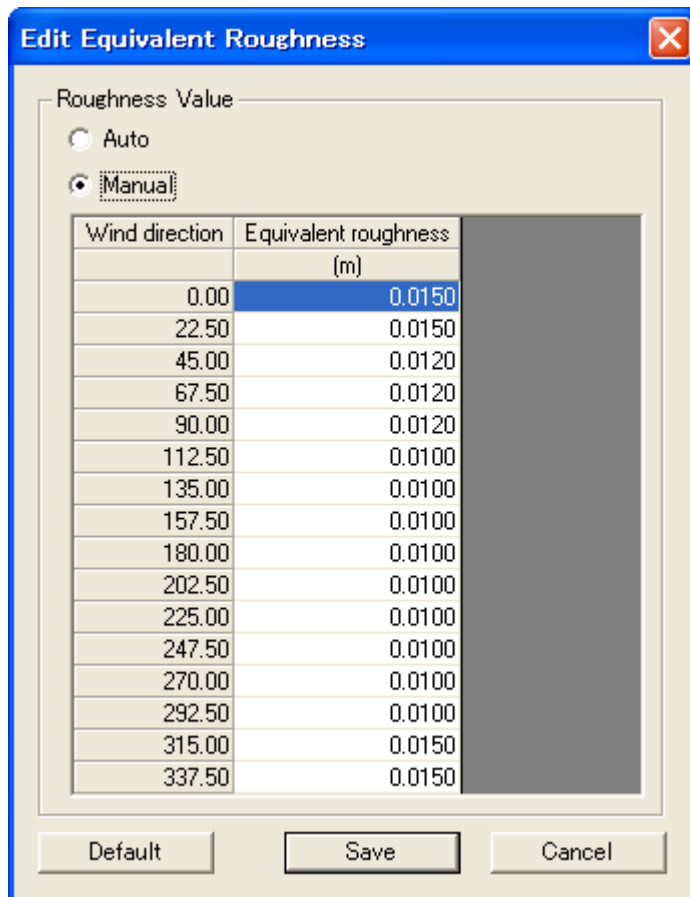
各風向の上流域における等価粗度長を設定します。デフォルトでは入口付近に設けられている緩衝領域内の平均粗度長を採用しています。緩衝領域内の平均粗度が上流域の等価粗度を代表できない場合にはユーザーにより直接に設定することが可能です。ただし、プロジェクトタイプが Design wind speed の場合は、平坦地形の粗度区分設定値が上流域の等価粗度として設定されるため、ユーザーによる設定は出来ません。

このオプション機能を使う前に[Edit]-[Casefile]で計算風向の設定を行う必要があります。計算風向の設定を行う前に、[Edit]-[Options]-[Equivalent Roughness]を使うと、以下のメッセージが表示されます。

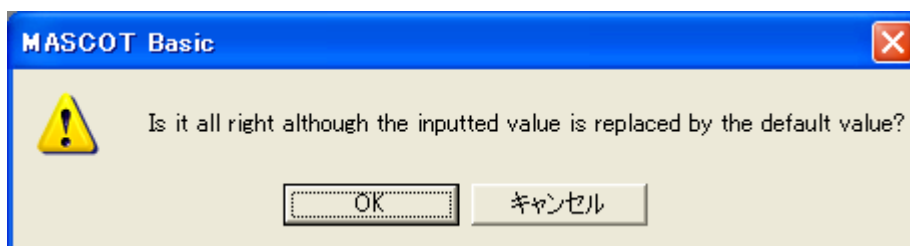


・ [Roughness Value]

- ・ [Auto] : 各風向の上流域における等価粗度長に緩衝領域内の平均粗度長を用います。
- ・ [Manual] : 各風向の上流域における等価粗度長をユーザーが設定します。

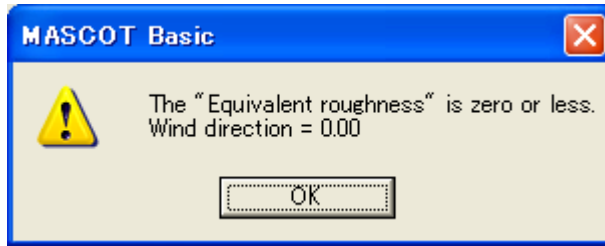


- ・ [Wind direction] : [Edit]-[Casefile]で設定した計算風向を表示し、編集したい場合には[Edit]-[Casefile]で行います。ただし、新たに追加した風向については等価粗度を設定する必要があります。
- ・ [Equivalent roughness] : 計算風向に対応する等価粗度を設定します(小数点以下4桁まで入力可能)。設定しない場合には等価粗度長が0.0となり解析不能となりますので、必ず正しい粗度値を入力してください。
- ・ <Default> : 等価粗度は非設定となり、デフォルトの状態に戻ります。以下のメッセージが出ます。



- ・ <OK> : 等価粗度は非設定となり、ダイアログを閉じます。
- ・ <キャンセル> : [Equivalent Roughness]設定画面に戻ります。
- ・ <Save> : 入力した値をファイルに保存して、ダイアログを閉じます。

[Equivalent roughness]欄に入力した粗度値が0か負の値または空欄の場合、<Save>をクリックすると以下のメッセージが表示されます。



< OK >をクリックし、正しい粗度値を入力してください。

・ < Cancel > : 入力した値を保存せずに、ダイアログを閉じます。

[Options]–[Site...]

予測地点または観測地点の位置を登録します。

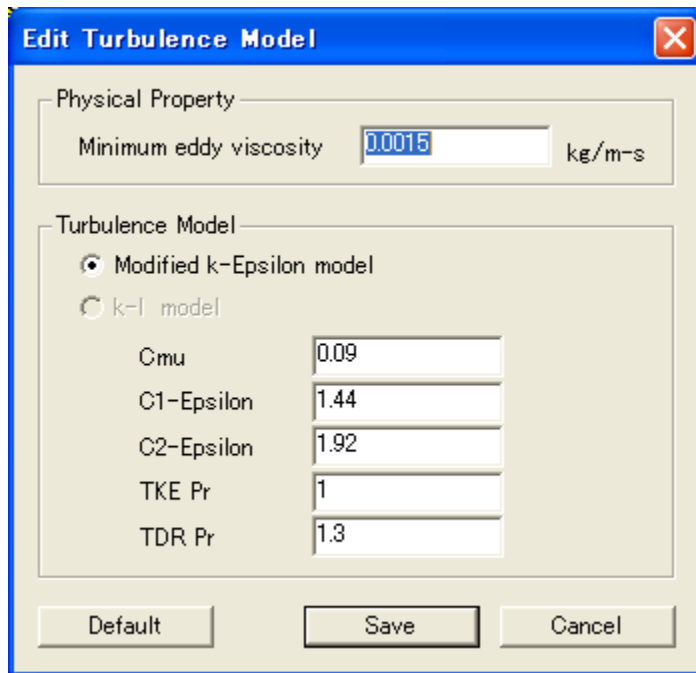
label	latitude			longitude		
	Deg	Min	Sec	Deg	Min	Sec
LightHouse	41	15	20.6	140	20	45.1
LAWEPS_016221_020_10	41	14	53.16	140	21	29.88

- [Insert Site]

- [label] : 地点のラベルを設定します。
- [latitude] : 観測点の緯度を設定します
 - [Deg] : 度を設定します。
 - [Min] : 分を設定します。
 - [Sec] : 秒を設定します。
- [longitude] : 観測点の経度を設定します。
 - [Deg] : 度を設定します。
 - [Min] : 分を設定します。
 - [Sec] : 秒を設定します。
- < Default > : 入力した値をデフォルトの値に戻します。ここでは入力した値をクリアします。
- < Save > : 入力した値をファイルに保存して、ダイアログを閉じます。
- < Cancel > : 入力した値を保存せずに、ダイアログを閉じます。

[Options]-[Turbulence Model...]

解析に使われる乱流モデルを選択し、モデル定数を設定します。本バージョンでは修正 $k-\varepsilon$ モデルを選択しても、標準 $k-\varepsilon$ モデルを使用することになります。また、 $k-l$ モデルは未実装です。



- ・ [Physical Property] 流れの特性値
 - ・ [Minimum eddy viscosity] : 最小渦粘性を設定します。

- ・ [Turbulence Model] 乱流モデル
 - ・ [Modified k-Epsilon model] : 修正 $k-\varepsilon$ モデル
 - ・ [Cmu] : 渦粘性に関するモデル定数を設定します。
 - ・ [C1-Epsilon] : ε 輸送方程式の生産項に関するモデル定数を設定します。
 - ・ [C2-Epsilon] : ε 輸送方程式の消散項に関するモデル定数を設定します。
 - ・ [TKE Pr] : k 輸送方程式の拡散項に関するモデル定数を設定します。
 - ・ [TDR Pr] : ε 輸送方程式の拡散項に関するモデル定数を設定します。
 - ・ [$k-l$ model] : $k-l$ モデル (未実装)
 - ・ [Cmu] : 渦粘性に関するモデル定数を設定します。
 - ・ [TKE Pr] : k 輸送方程式の拡散項に関するモデル定数を設定します。
 - ・ [Alpha] : 乱流長さスケールの診断式に関するモデル定数を設定します。

- ・ <Default> : 入力した値をデフォルト値に戻します。
- ・ <Save> : 入力した値をファイルに保存して、ダイアログを閉じます。
- ・ <Cancel> : 入力した値を保存せずに、ダイアログを閉じます。

[Options]-[Boundary Treatment...]

実地形の一部を取り出して解析する場合に対象領域の側面と上下流に緩衝領域を設置し、緩衝領域内での地形の体積を一定とする境界処理手法を採用しました。詳しい説明は第4章4-2. 境界処理手法を参照してください。

境界処理手法の中で採用されている緩衝領域や付加領域などの設定並びに対象領域高さの指定を行います。

また、流入風は流入境界の平均地表面粗度に対応した鉛直分布を与える必要があります。詳しい説明は第4章4-3. 流入風の設定を参照してください。

平均風速のべき指数毎の気流解析結果から得られた鉛直分布を内挿し用いる方法[Interpolation value]か、理論解から得られた鉛直分布を用いる方法[Theoretical value]を選択します。

- ・ [Domain] :境界処理
 - ・ [Side buffer zone ratio] : 側面の緩衝領域が対象領域に対する比率を設定します。
 - ・ [Upwind buffer zone ratio] : 上流緩衝領域が対象領域に対する比率を設定します。
 - ・ [Downwind buffer zone ratio] : 下流緩衝領域が対象領域に対する比率を設定します。
 - ・ [Additional domain ratio] : 付加領域が対象領域に対する比率を設定します。
 - ・ [Minimum buffer zone width] : 緩衝領域の最小幅を設定します。
 - ・ [Minimum additional domain length] : 付加領域の最小長さを設定します。
 - ・ [Calculation Domain Height] : 対象領域の高さの指定方法を選択します。
 - ・ [Default] : デフォルトの値を使用する場合はこちらを選びます。
 - ・ [Specify height] : 対象領域の高さをユーザーにより指定する場合はこちらを選択します。
 - ・ [Height for BFC] : 境界適合座標を使用する高さを設定します。

対象領域の高さは、対象領域内の最大標高に 1000mを加えた高さが 1500m より高い場合にその高さとし、1500m

より低い場合に 1500m とします。これは、大気境界層の高さが約 1500m にあることを考慮して設定された高さです。また風車などの構造物が通常 100m より低いことを考慮し、100m 以下の高さでは境界適合座標を使用しました。地上から 100m までの鉛直メッシュは場所によらず同じような分布となっていますが、100m より高い場所ではメッシュ数が標高の高い地点でのメッシュが密に、標高の低い地点でのメッシュが粗になるように設定されます。

- ・ [Inflow Profile] : 流入風鉛直分布の設定方法を指定します。
 - ・ [Interpolation value] : 平均風速のべき指数毎の気流解析結果から得られた鉛直分布を内挿し設定します。
 - ・ [Theoretical value] : 平均風速のべき法則により得られた流入風の鉛直分布を設定します。
-
- ・ <Default > : 入力した値をデフォルト値に戻します。
 - ・ <Save > : 入力した値をファイルに保存して、ダイアログを閉じます。
 - ・ <Cancel > : 入力した値を保存せずに、ダイアログを閉じます。

[Options]-[Numerical Solver...]

本プログラムで使われている数値解法に関する諸パラメータを設定します。

Edit Numerical Solver

Spatial Descretization

Blending factor: 1
Scheme-related parameter: 0.5

Iterate

Steady
 Unsteady
Maximum iteration number: 500

Convergence Criteria

Inner Iteration		Outer Iteration	
u	0.1	u	0.001
v	0.1	v	0.001
w	0.1	w	0.001
pp	0.1	m	0.001
k	0.1	k	0.001
Epsilon	0.1	Epsilon	0.001

Relaxation Parameter

u	0.7
v	0.7
w	0.7
pp	0.3
k	0.7
Epsilon	0.7

Solver For Linear Equation

Number Of Maximum Iteration	
u	10
v	10
w	10
pp	20
k	10
Epsilon	10

SIP Parameter

alpha: 0.9

RCM Parameter

L: 4
N: 7

Default Save Cancel

- [Spatial Descretization] : 空間の離散化
 - [Blending factor] : 1次精度風上差分近似と高次精度差分近似との割合を設定します。
 - [Scheme-related parameter] : 差分近似スキームに関連するパラメータを設定します。

[Blending factor]を1に設定した場合は高次精度差分近似、0は1次精度風上差分近似を用います。

[Scheme-related parameter]を1.0に設定した場合には直線近似、0.5はQUICKを用います。近似精度の低いスキームを設定しますと、解が滑らかになり、収束が早くなりますが、解の精度が低くなります。

- [Iterate] : 反復計算
 - [Maximum iteration number] : 反復計算の最大回数

- [Relaxation Parameter] : 緩和係数
 - [u] : x 方向速度成分の緩和係数を設定します。
 - [v] : y 方向速度成分の緩和係数を設定します。
 - [w] : z 方向速度成分の緩和係数を設定します。
 - [pp] : 圧力の緩和係数を設定します。
 - [k] : 乱流エネルギーの緩和係数を設定します。
 - [Epsilon] : エネルギー散逸の緩和係数を設定します。

デフォルトで設定されている緩和係数は数値解析の理論により導かれた最適値で、早い収束を与えますが、地形が極めて急峻の場合には緩和係数を小さく設定しないと、計算が発散することもあります。一般に緩和係数を大きくしますと、収束が早くなりますが、発散する確率が高くなります。一方、緩和係数を小さくしますと、発散する確率が低くなりますが、収束が遅くなります。

- [Convergence Criteria] : 収束基準
 - [Inner Iteration] : 内部反復
 - [u] : x 方向速度成分に関する線形代数方程式の収束基準を設定します。
 - [v] : y 方向速度成分に関する線形代数方程式の収束基準を設定します。
 - [w] : z 方向速度成分に関する線形代数方程式の収束基準を設定します。
 - [pp] : 圧力補正量に関する線形代数方程式の収束基準を設定します。
 - [k] : 乱流エネルギーに関する線形代数方程式の収束基準を設定します。
 - [Epsilon] : 乱流散逸率に関する線形代数方程式の収束基準を設定します。
 - [Outer Iteration] : 外部反復
 - [u] : x 方向速度成分に関する運動方程式の収束基準を設定します。
 - [v] : y 方向速度成分に関する運動方程式の収束基準を設定します。
 - [w] : z 方向速度成分に関する運動方程式の収束基準を設定します。
 - [pp] : 連続方程式の収束基準を設定します。
 - [k] : 乱流エネルギーに関する輸送方程式の収束基準を設定します。
 - [Epsilon] : 乱流散逸率に関する輸送方程式の収束基準を設定します。

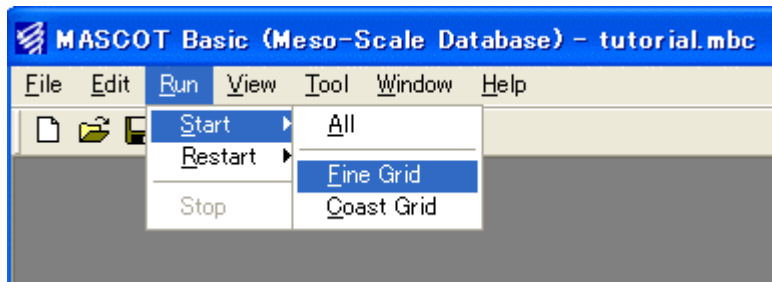
外部反復の収束基準に設定されている値は 30 万格子のケースに合わせて設定したもので、格子数が 30 万を超える場合には収束基準が自動的に緩和されます。例えば、300 万の格子を用いた解析の場合には収束基準が自動的に設定されている値の 10 倍になります。これにより 1 格子点あたりの収束基準が総格子数に依存せず一定となります。

- [Solver For Linear Equation] : 線形方程式の反復回数
 - [Number Of Maximum Iteration]
 - [u] : x 方向速度成分に関する線形代数方程式の最大反復回数を設定します。
 - [v] : y 方向速度成分に関する線形代数方程式の最大反復回数を設定します。
 - [w] : z 方向速度成分に関する線形代数方程式の最大反復回数を設定します。
 - [pp] : 圧力に関する線形代数方程式の最大反復回数を設定します。
 - [k] : 乱流エネルギーに関する線形代数方程式の最大反復回数を設定します。
 - [Epsilon] : 乱流散逸率に関する線形代数方程式の最大反復回数を設定します。
 - [SIP Parameter] : SIP 法 (Strong Implicit Procedure) に関するパラメータ
 - [alpha] : 緩和係数を設定します。
 - [RCM Parameter] : 残差切除法 (Residual Cutting Method) に関するパラメータ
 - [L] : 修正量の次数を設定します。
 - [N] : 反復計算の回数を設定します。

- <Default > : 入力した値をデフォルト値に戻します。
- <Save > : 入力した値をファイルに保存して、ダイアログを閉じます。
- <Cancel > : 入力した値を保存せずに、ダイアログを閉じます。

3-3-3. [Run]メニュー

計算の実行に関するメニューです。



[Start]

計算実行を新規で行ないます。本メニューを実行すると、既存の計算結果は破棄されます。

- ・「Measurement data」プロジェクトタイプ
 - ・ [All] : 本メニューのみが選択可能です。
- ・「Meso-scale database」プロジェクトタイプ
 - ・ [All] : [Fine Grid]、[Coast Grid]の計算実行を連続して行ないます。
 - ・ [Fine Grid] : [Fine Grid]のみ計算実行を行ないます。
 - ・ [Coast Grid] : [Coast Grid]のみ計算実行を行ないます。
- ・「Design wind speed」プロジェクトタイプ
 - ・ [All] : 本メニューのみが選択可能です。

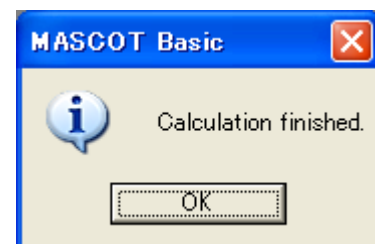
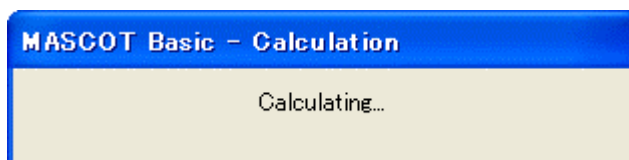
[Restart]

計算を再実行します。既存の計算結果のうち、発散また未収束の風向についてのみ追加計算を行います。例えば、反復計算回数を 500 回に設定し一度計算実行したプロジェクトで、本メニューを実行すると未収束の風向について 501 回から追加計算が行なわれます。通算反復計算回数が 1000 回までに収束に達しない場合は未収束として計算終了します。

[Stop]

計算を中止します。ただし、計算が終了した風向（収束、未収束は問いません）や、再計算が実行されていない風向についての計算結果は破棄されません。

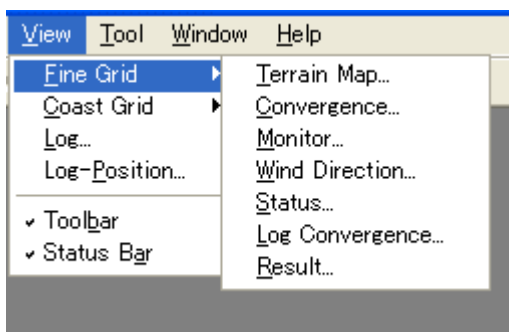
計算中は左側のダイアログが表示され、計算が正常終了しますと右側のメッセージが表示されます。



3-3-4. [View]メニュー

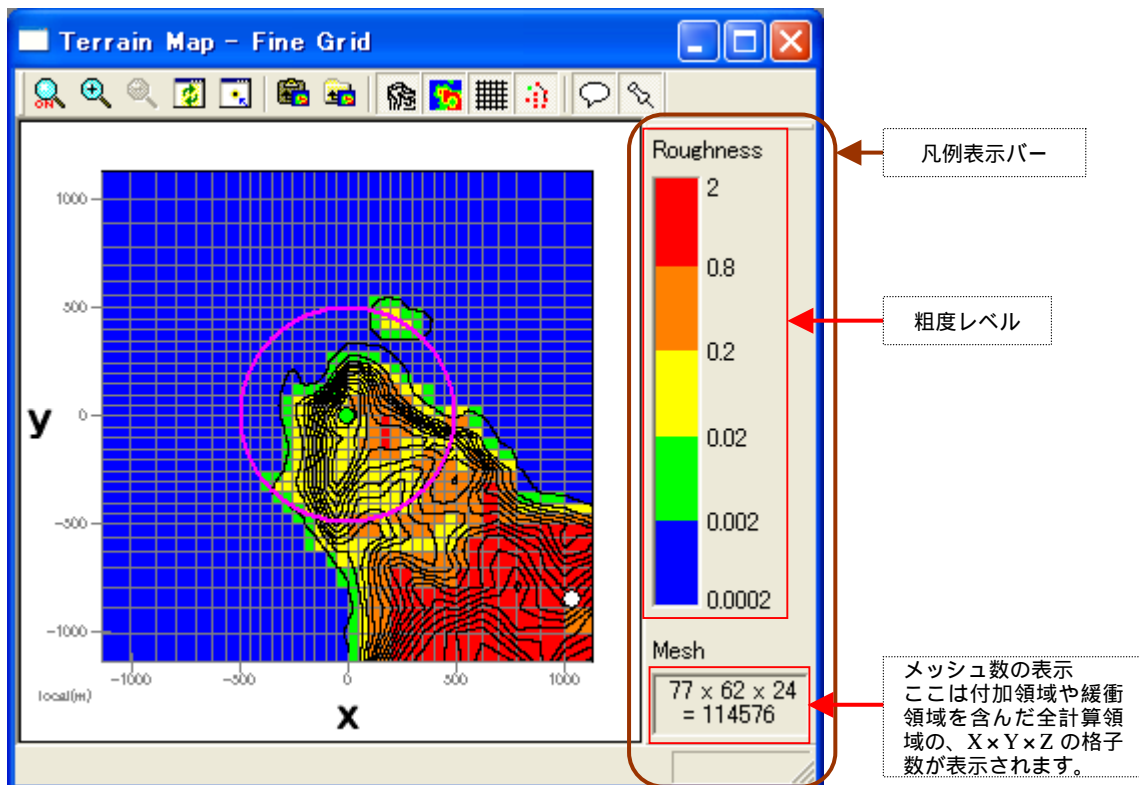
ビュー（子ウィンドウ）の表示に関するメニューです。

- ・「Measurement data」プロジェクトタイプ
 - ・ [Fine Grid] : 本メニューのみが選択可能です。
- ・「Meso-scale database」プロジェクトタイプ
 - ・ [Fine Grid] : [Edit]-[case file]で設定した細かい地形の View を表示します。
 - ・ [Coast Grid] : [Edit]-[case file]で設定した粗い地形の View を表示します。
- ・「Design wind speed」プロジェクトタイプ
 - ・ [Real Grid] : [Edit]-[case file]で設定した実地形の View を表示します。
 - ・ [Flat Grid] : [Edit]-[case file]で設定した平坦地形の View を表示します。



[Terrain Map...]

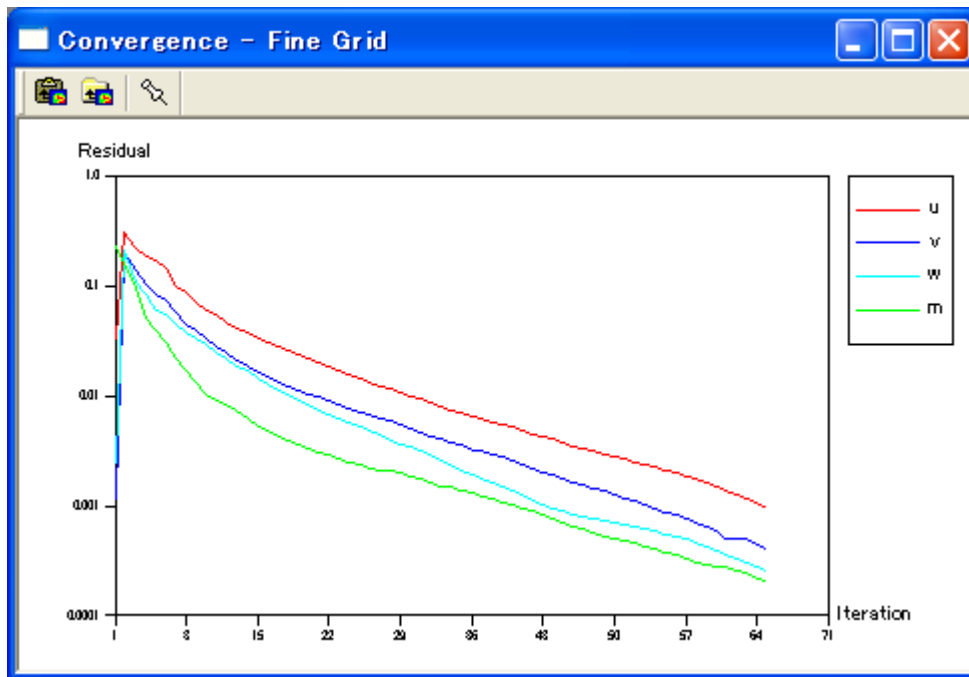
標高と地表面粗度を表示するビューを開きます。



色の変更などは、[Terrain Map]-[Property]メニュー選択により開かれる、[Terrain Map Property]ダイアログで行います。

[Convergence...]

解析の収束状況を表示するビューを開きます。

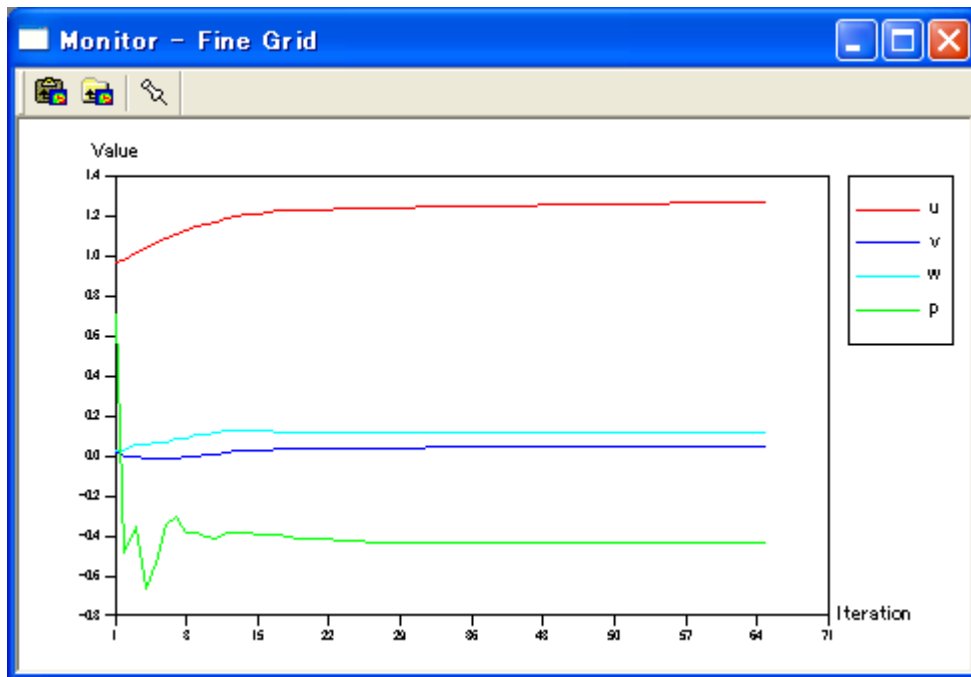


表示範囲や色の変更などは、[Convergence]-[Property]メニュー選択により開かれる、[Convergence Property]ダイアログで行います。

- ・ [u] : x 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [v] : y 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [w] : z 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [m] : 連続方程式の収束状況を示します。

[Monitor...]

[Edit]-[Monitor]メニューで指定した地点での解析値をモニターするビューを開きます。



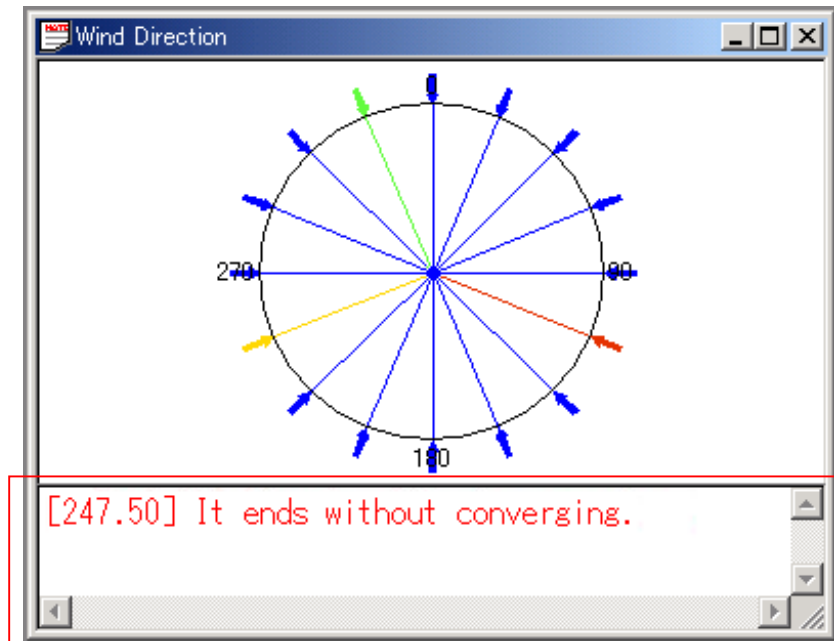
表示範囲や色の変更などは、[Monitor]-[Property]メニュー選択により開かれる、[Monitor Property]ダイアログで行います。

- ・ [u] : x 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [v] : y 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [w] : z 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [p] : 圧力の収束状況を示します。

[Monitor]メニューで指定した地点の速度精度と圧力の値を示します。収束した場合はすべての量が一定となります。従って、この図から収束の度合いを判断することができます。

[Wind Direction...]

現在計算中の風向、収束・発散した風向を表示するビューを開きます。



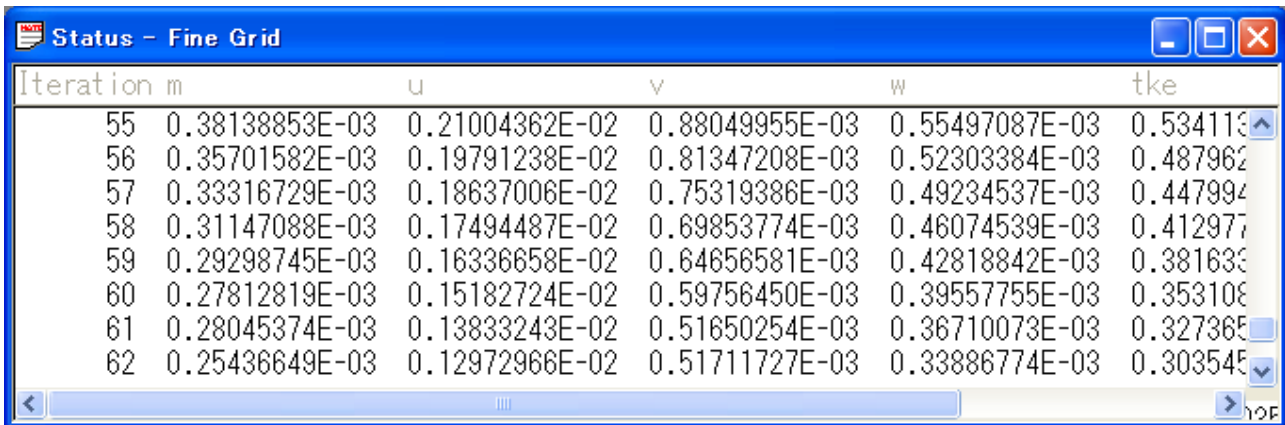
発散(赤色)また収束していない(黄色)場合に警告メッセージが表示されます。

表示色と解析状況の関係

表示色	解析状況
緑	計算中
青	収束して終了
黄	収束せずに終了
赤	発散

[Status...]

現在計算中の収束状況を数値で表示するビューを開きます。



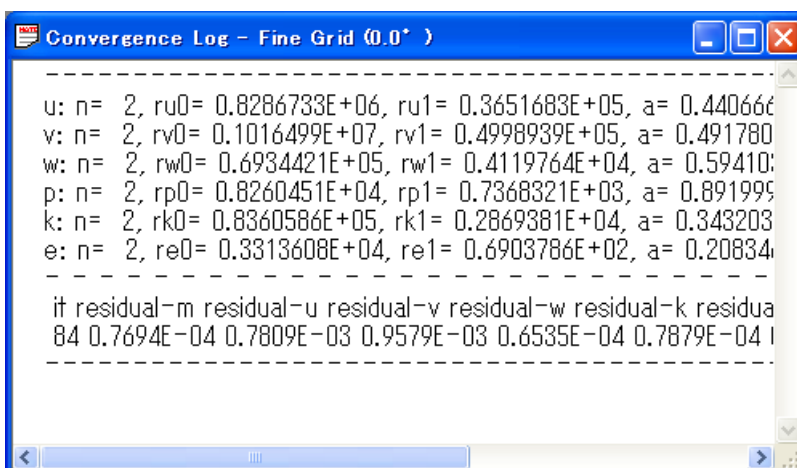
Iteration	m	u	v	w	tke
55	0.38138853E-03	0.21004362E-02	0.88049955E-03	0.55497087E-03	0.534113
56	0.35701582E-03	0.19791238E-02	0.81347208E-03	0.52303384E-03	0.487962
57	0.33316729E-03	0.18637006E-02	0.75319386E-03	0.49234537E-03	0.447994
58	0.31147088E-03	0.17494487E-02	0.69853774E-03	0.46074539E-03	0.412977
59	0.29298745E-03	0.16336658E-02	0.64656581E-03	0.42818842E-03	0.381633
60	0.27812819E-03	0.15182724E-02	0.59756450E-03	0.39557755E-03	0.353108
61	0.28045374E-03	0.13833243E-02	0.51650254E-03	0.36710073E-03	0.327365
62	0.25436649E-03	0.12972966E-02	0.51711727E-03	0.33886774E-03	0.303545

- ・ [u] : x 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [v] : y 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [w] : z 方向速度成分に関する運動方程式の収束状況を示します。
- ・ [m] : 連続方程式の収束状況を示します。
- ・ [tke] : 乱流エネルギー。乱流モデルの方程式の収束状況を示します。
- ・ [ted] : 乱流散逸。乱流モデルの方程式の収束状況を示します。

[Log Convergence...]

計算結果のログを表示するビューを開きます。

[view]-[Fine Grid]-[Log Convergence...]



```

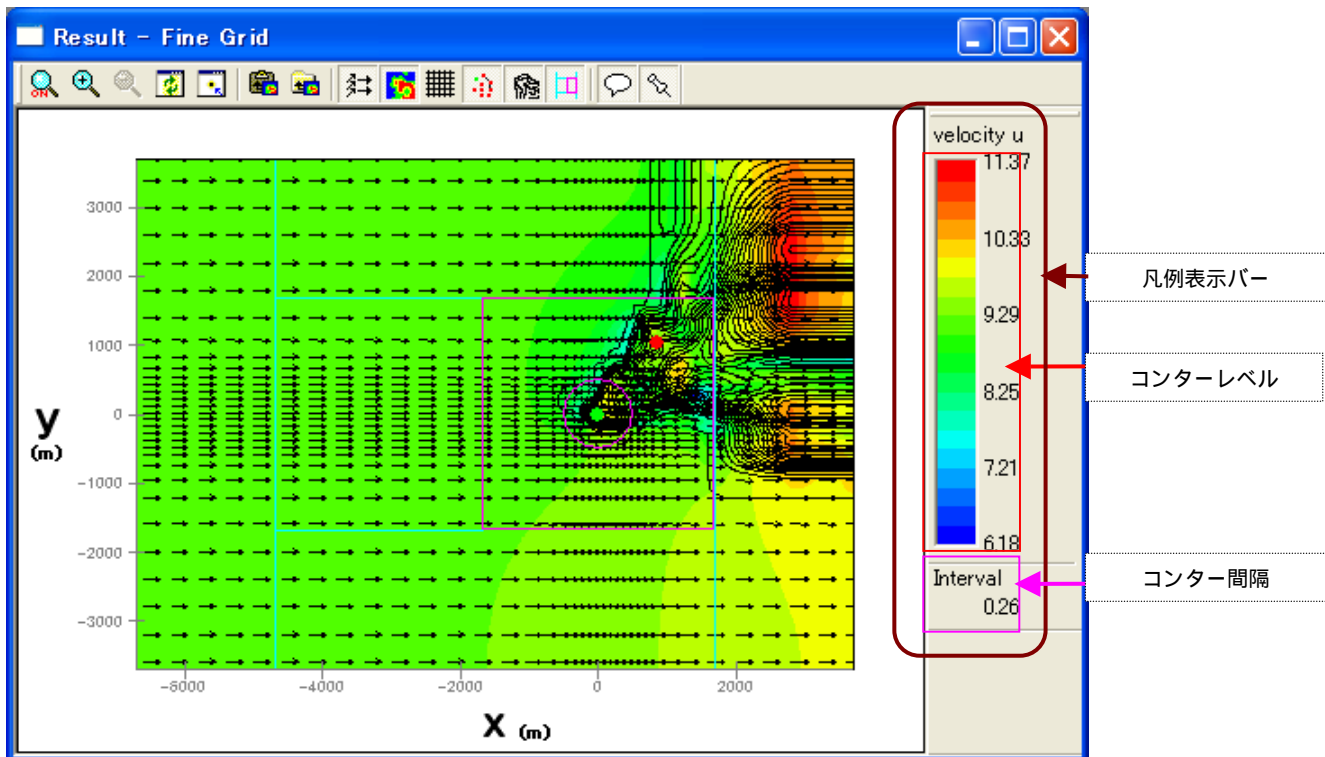
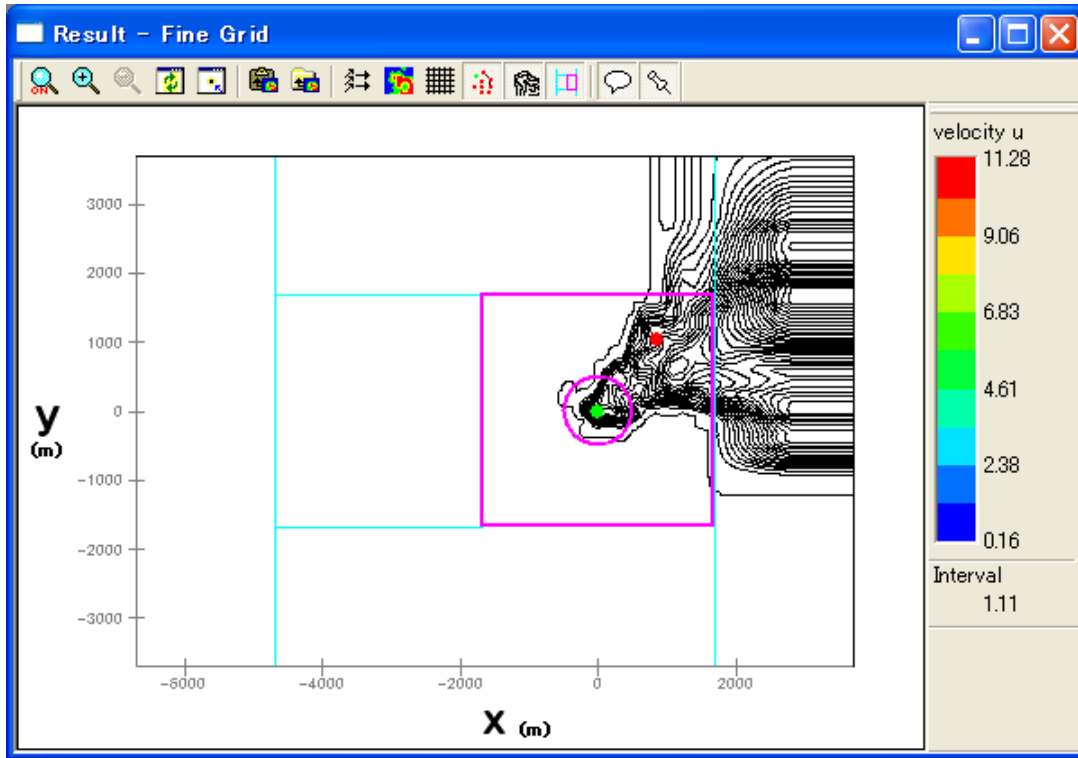
-----
u: n= 2, ru0= 0.8286733E+06, ru1= 0.3651683E+05, a= 0.440666
v: n= 2, rv0= 0.1016499E+07, rv1= 0.4998939E+05, a= 0.491780
w: n= 2, rw0= 0.6934421E+05, rw1= 0.4119764E+04, a= 0.594101
p: n= 2, rp0= 0.8260451E+04, rp1= 0.7368321E+03, a= 0.891999
k: n= 2, rk0= 0.8360586E+05, rk1= 0.2869381E+04, a= 0.343203
e: n= 2, re0= 0.3313608E+04, re1= 0.6903786E+02, a= 0.208341
-----

it residual-m residual-u residual-v residual-w residual-k residual-e
84 0.7694E-04 0.7809E-03 0.9579E-03 0.6535E-04 0.7879E-04 1.0000E-04
-----


```

[Result...]

計算結果の可視化ビューを開きます。



描画変数の変更等，詳細な設定は[Result Property]ダイアログで行います（3-3-8 参照）

（[Result]-[Property]メニュー（又は  ）で表示）

[Log ...]

計算結果のログを表示するビューを開きます。

```

Log
2007/05/23 15:59:28 WD 315.0: Default upwind z0 is 0.00020 (m)
2007/05/23 15:59:28 WD 315.0: Atlas mode roughness, 0.00020 (m) is used.
2007/05/23 15:59:28 WD 315.0: Inflow: alph=0.102, Zg=234.7(m)
2007/05/23 15:59:33 WD 315.0: Converged. 45 it.
      resid-m: 0.1665E-03 resid-u: 0.9084E-03
      resid-v: 0.9993E-03 resid-w: 0.1365E-03
      resid-k: 0.2050E-03 resid-e: 0.9265E-05
2007/05/23 15:59:33 WD 337.5: Entered
2007/05/23 15:59:34 WD 337.5: Default upwind z0 is 0.00020 (m)
2007/05/23 15:59:34 WD 337.5: Atlas mode roughness, 0.00020 (m) is used.
2007/05/23 15:59:34 WD 337.5: Inflow: alph=0.102, Zg=234.7(m)
2007/05/23 15:59:38 WD 337.5: Converged. 39 it.
      resid-m: 0.1702E-03 resid-u: 0.8949E-03
      resid-v: 0.2639E-03 resid-w: 0.1753E-03
      resid-k: 0.2380E-03 resid-e: 0.7718E-05
2007/05/23 15:59:38 Computation Finished.
  
```

[Log Position...]

参照点の位置などを表示するビューを開きます。

==== LABEL =====	[Latitude =====]		[Longitude =====]		[= x0 =]		[= y0 =]		==== 000.0 ====		==== 022.5 ====		==== 045.0 =====	
	[x =]	[y =]	[x =]	[y =]	[x =]	[y =]	[x =]	[y =]	[x =]	[y =]	[x =]	[y =]	[x =]	[y =]
MONITOR	41.00	15.00	20.80	140.00	20.00	45.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lighthouse	41.00	15.00	20.80	140.00	20.00	45.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LANEPS_016221_020_10	41.00	14.00	53.18	140.00	21.00	29.88	1042.5	-846.5	846.5	1042.5	383.1	1287.1	-138.6	1335.7

[Toolbar...]

ツールバーの表示 / 非表示を行います。

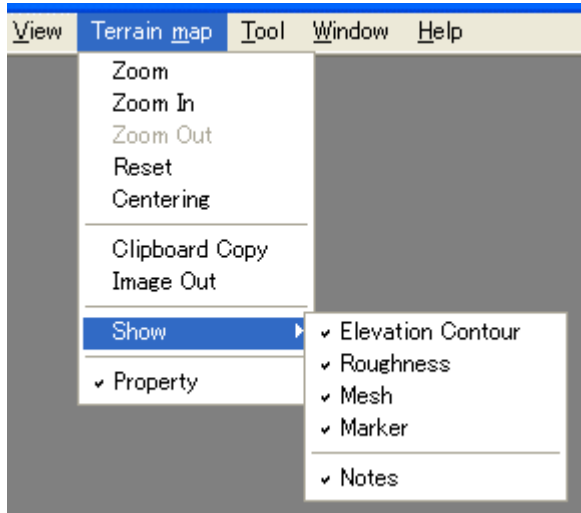
[Status Bar...]

ステータスバーの表示 / 非表示を行います。

3-3-5. [Terrain Map]メニュー

標高と地表面粗度を表示するビューを開きます。

[View]-[Find Grid]-[Terrain Map]又は[View]-[Coast Grid]-[Terrain Map]の[Terrain Map]ビューでの、図のズーム・縮小など、ビューの操作に関するメニューです。



[Zoom]



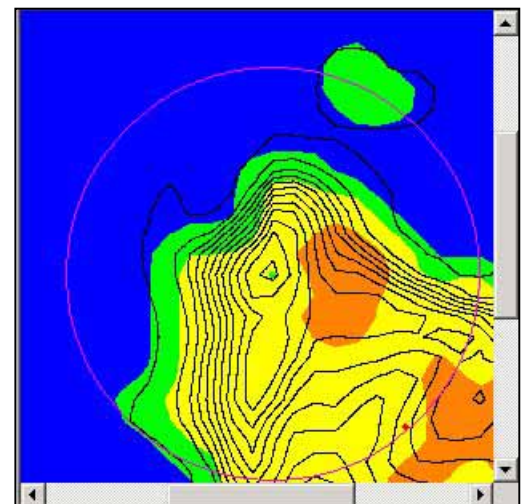
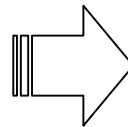
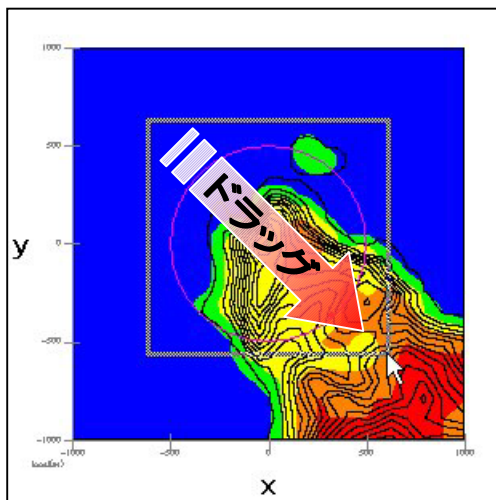
ズーム処理を開始 / 終了します。

ズーム処理を開始すると、マウスをドラッグすることによりラバーバンドが表示されます。

マウスをドラッグする方向により、拡大 / 縮小が変わります。

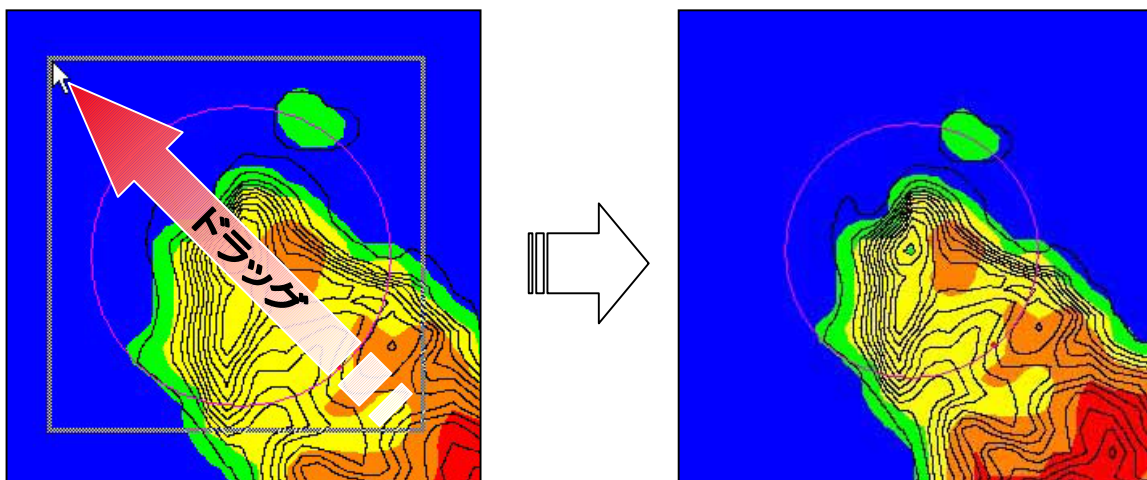
拡大 (ドラッグ方向 : 左上 右下)

ラバーバンドで囲まれた範囲を拡大表示します。



縮小（ドラッグ方向：右下 左上）

[Zoom Out]と同様の縮小処理を行います。



[Zoom In]



ビューに表示されているイメージを拡大します。（拡大率 1.2 倍）

[Zoom Out]



ビューに表示されているイメージを縮小します。（縮小率 1.2 倍）

[Reset]



ビューに表示されているイメージを再描画します。拡大表示している場合は、初期表示状態にします。

[Centering]



ビューに表示されているイメージを、マウスで指定した点が中心になるように移動します。

[Clipboard Copy]



ビューに表示されているイメージを、クリップボードにコピーします。

[Image Out]



ビューに表示されているイメージを、画像データ（形式：bmp/emf）として保存します。

[Show]-[Elevation Contour]



標高線の表示 / 非表示を切り替えます。

[Show]-[Roughness]



粗度分布の表示 / 非表示を切り替えます。

[Show]-[Mesh]



格子の表示 / 非表示を切り替えます。

[Show]-[Maker]

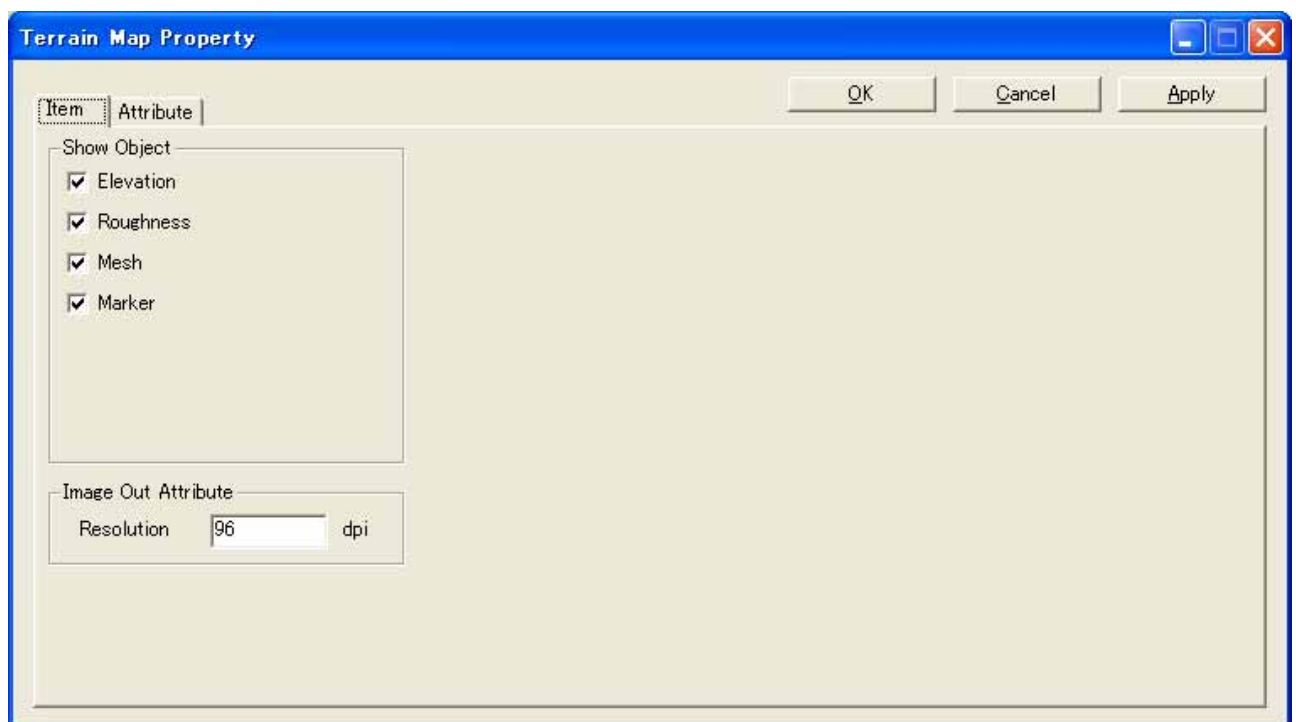
計算点、観測点などのマーカの表示 / 非表示を切り替えます。

[Show]-[Note]

凡例の表示 / 非表示を切り替えます。

[Property]

[Terrain Map]ビューに表示されている図の項目や範囲、色などを変更するダイアログを開きます。

[Item] タブ

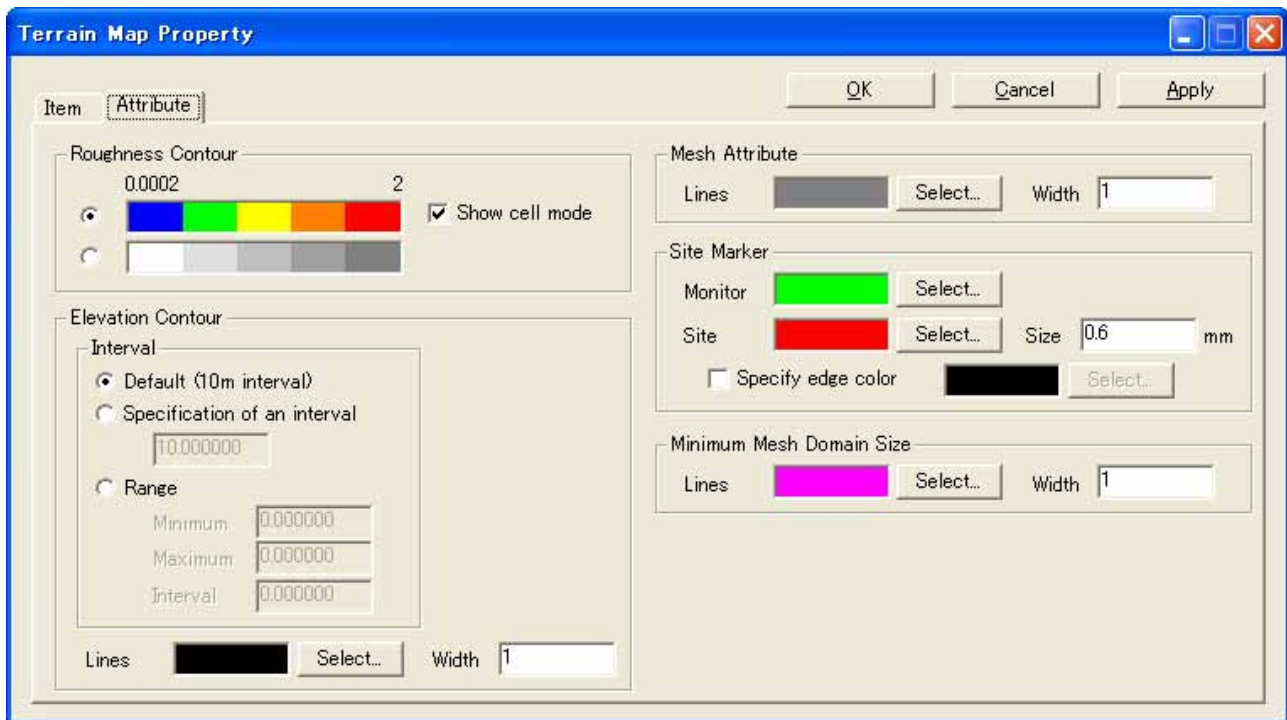
- [Show Object]



- [Elevation] : 標高線の表示 / 非表示を切り替えます。
- [Roughness] : 粗度分布の表示 / 非表示を切り替えます。
- [Mesh] : メッシュの表示 / 非表示を切り替えます。
- [Marker] : 計算点、観測点などのマーカの表示 / 非表示を切り替えます。

- [Image Out Attribute]

- [Resolution (dpi)] : イメージ出力時の解像度を指定します。

[Attribute] タブ



- ・ [Roughness Contour] : 粗度コンター
 - ・  : 青から赤までの5色で、粗度レベルを表示する場合に選択します。
 - ・  : 白から灰の5階調で、粗度レベルを表示する場合に選択します。
 - ・ [Show cell mode] : 粗度分布を格子で表示するか、コンターによって分けられた等値領域を塗りつぶし表示するかを選択します。
 コンター表示では滑らかな境界となりますが描画に時間が掛かる場合があります。コンター表示の場合はチェックをはずします。

 - ・ [Elevation Contour] : 標高コンター
 - ・ [Interval] : コンター間隔
 - ・ [Default (10m interval)] : デフォルトの設定です。10m 間隔で標高線を描画します。
 - ・ [Specification of an interval] : 標高線の間隔を指定して描画する場合に選択します。
 - ・ [Range] : 描画する標高線の標高範囲を指定する場合に選択します。
 - ・ [Minimum] : 描画するコンター線の最小値を設定します。
 - ・ [Maximum] : 描画するコンター線の最大値を設定します。
 - ・ [Interval] 1 : 描画するコンター線の間隔を設定します。
 - ・ [Lines] : 標高線の線色を指定します。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Width] : 標高線の太さを設定します（整数）。
 1 以下を設定すると標高線が非表示となります。
- 1 分割数が 20 ランク以上となると、描画に時間が掛かります。

- ・ [Mesh Attribute] : 格子 (メッシュ) 属性
 - ・ [Lines] : メッシュの線色を指定します。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Width] : メッシュの線の太さを設定します (整数)。
 1 以下を設定するとメッシュが非表示となります。

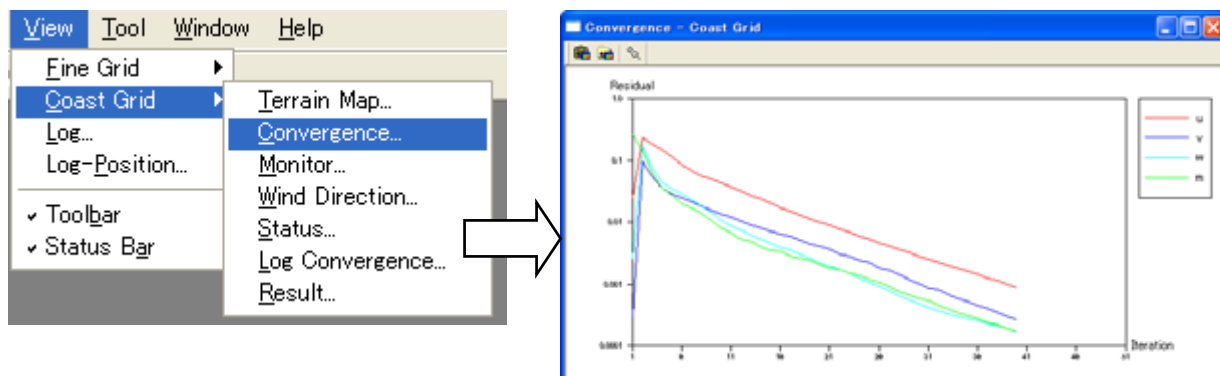
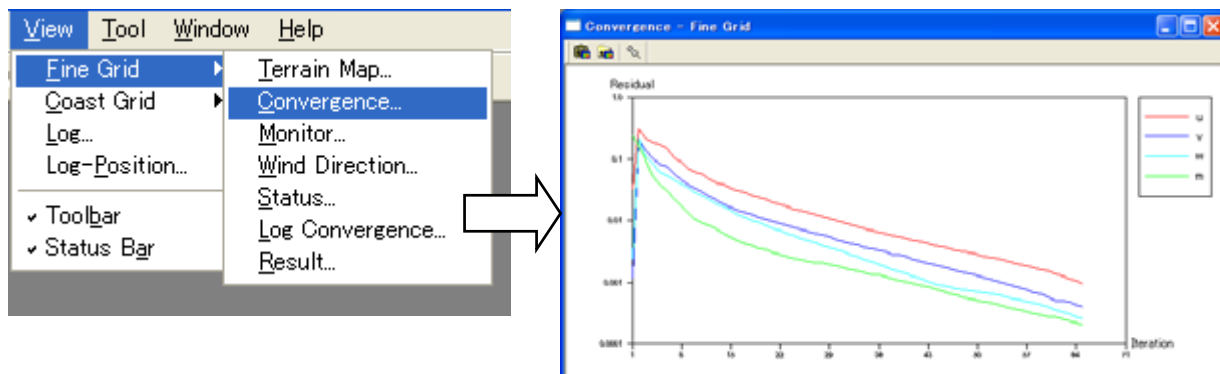
- ・ [Site Marker] : 計算点、観測点などのマーカーの色とサイズの設定
 - ・ [Monitor] : [Edit]-[Option]-[Monitor]メニューで登録したモニター地点
 - ・ [Select] : モニター点を表示するマーカーの色を指定します。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Site] : [Edit]-[Option]-[Site]メニューで登録した風車または観測地点
 - ・ [Select] : 風車または観測地点を表示するマーカーの色を指定します。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Size] : サイトマーカーのサイズを設定します。
 - ・ [Specify edge color] : サイトマーカーの端色が表示 / 非表示を切り替えます。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。

- ・ [Minimum Mesh Domain Size] : 最小格子間隔範囲。この範囲の中では最小格子間隔が使用されます。
 - ・ [Lines] : 最小格子間隔範囲を示す円の線色を指定します。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Width] : 最小格子間隔範囲を示す円の線の太さを設定します (整数)。
 1 以下を設定すると最小格子間隔範囲を示す円が非表示となります。

- ・ <OK> : 設定した内容をビューに反映させて、ダイアログを閉じます。
 - ・ <Cancel> : 設定した内容をビューに反映させずに、ダイアログを閉じます。
 - ・ <Apply> : 設定した内容をビューに反映させます。

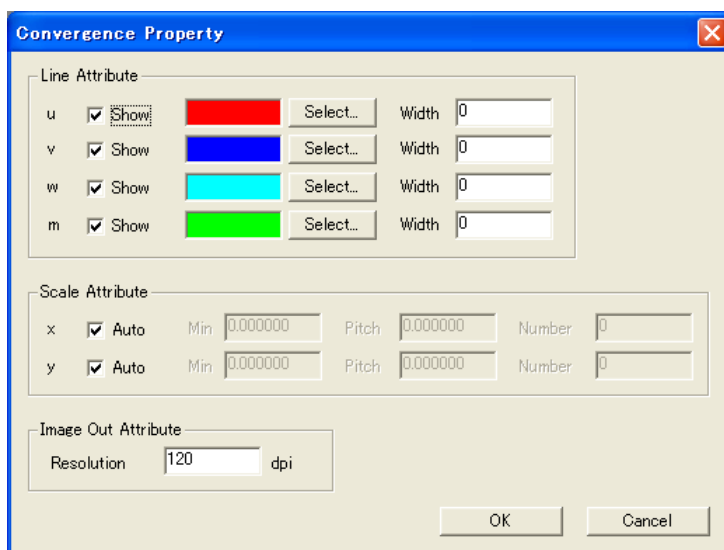
3-3-6. [Convergence]メニュー

[Convergence]ビューでの、表示内容の変更や、作図イメージの出力に関するメニューです。



[Property]

[Convergence]ビューに表示されている図の項目や範囲、色などを変更するダイアログを開きます。



- [Line Attribute]
 - [Show] : 対象項目線の表示 / 非表示を切り替えます。
 - [Select] : 対象項目線の線色を指定します。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - [Width] : 対象項目線の太さを設定します (整数) 。

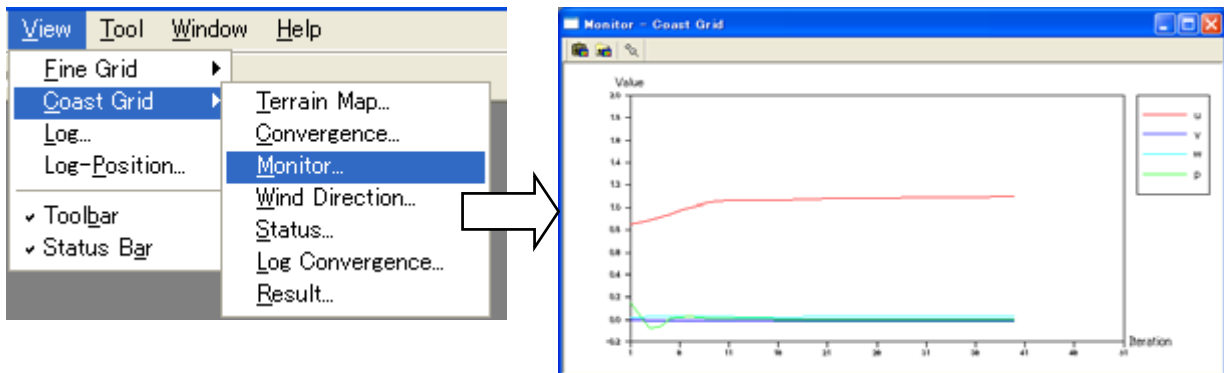
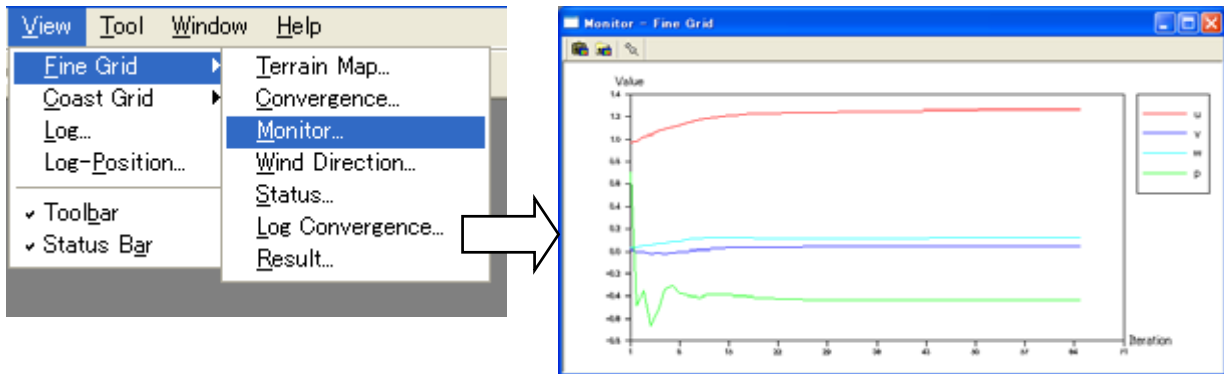
- [Scale Attribute]
 - [x] : x 軸の表示範囲を指定します。[Auto] を選択すると、自動的に表示範囲が設定されます。
 - [y] : y 軸の表示範囲を指定します。[Auto] を選択すると、自動的に表示範囲が設定されます。

- [Image Out Attribute]
 - [Resolution (dpi)] : イメージ出力時の解像度を指定します。

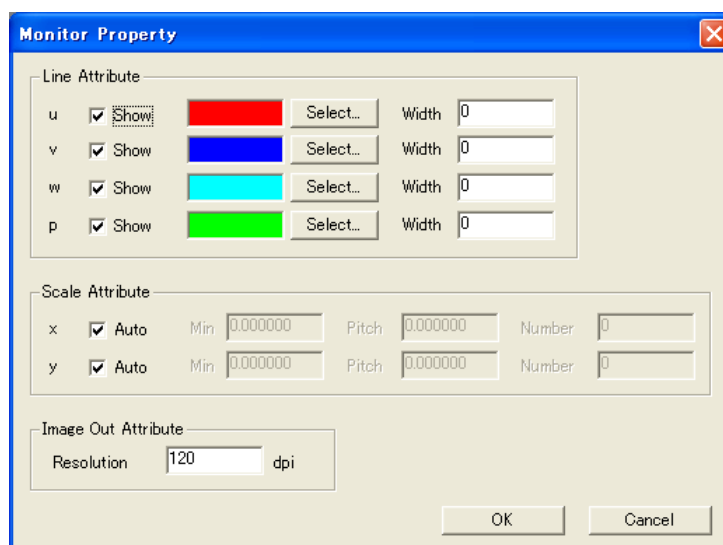
- <OK> : 設定した内容をビューに反映させて、ダイアログを閉じます。
- <Cancel> : 設定した内容をビューに反映させずに、ダイアログを閉じます。

3-3-7. [Monitor]メニュー

[Monitor]ビューでの、表示内容の変更や、作図イメージの出力に関するメニューです。

[Property] 

[Monitor]ビューに表示されている図の項目や範囲、色などを変更するダイアログを開きます。



- [Line Attribute]
 - [Show] : 対象項目線の表示 / 非表示を切り替えます。
 - [Select] : 対象項目線の線色を指定します。
 <Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - [Width] : 対象項目線の太さを設定します (整数) 。

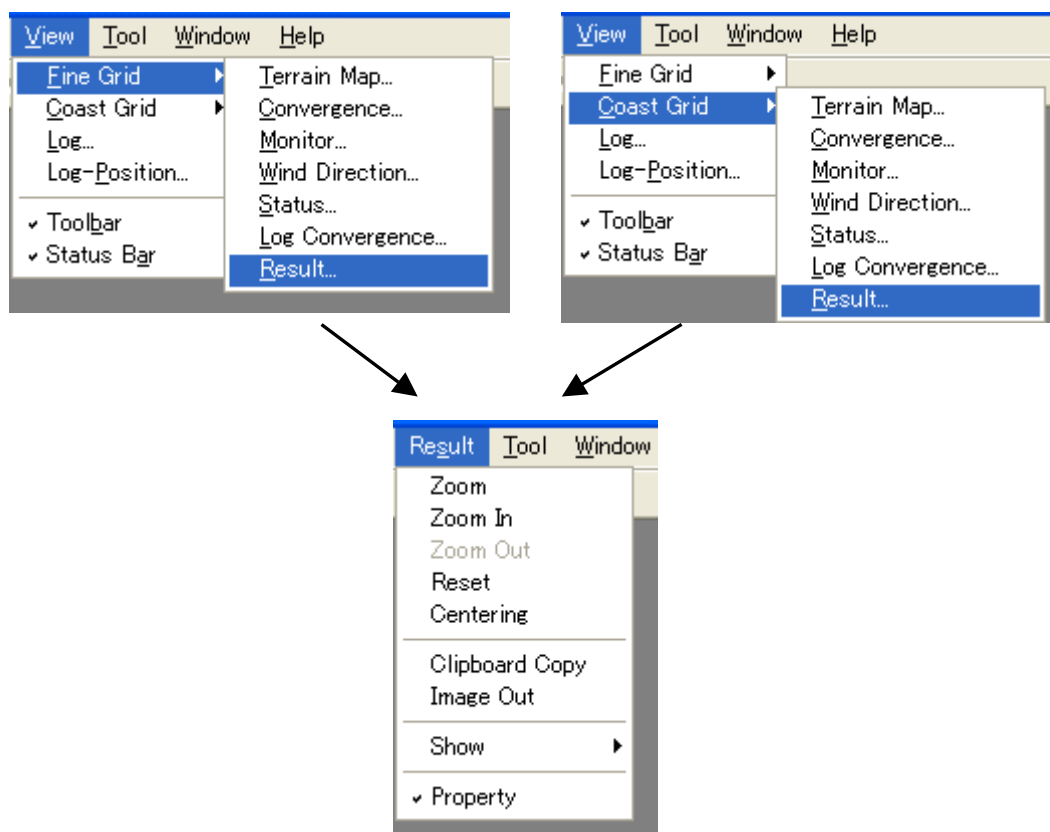
- [Scale Attribute]
 - [x] : x 軸の表示範囲を指定します。[Auto]を選択すると、自動的に表示範囲が設定されます。
 - [y] : y 軸の表示範囲を指定します。[Auto]を選択すると、自動的に表示範囲が設定されます。

- [Image Out Attribute]
 - [Resolution (dpi)] : イメージ出力時の解像度を指定します。

- <OK> : 設定した内容をビューに反映させて、ダイアログを閉じます。
- <Cancel> : 設定した内容をビューに反映させずに、ダイアログを閉じます。

3-3-8. [Result]メニュー

[Result]ビューでの、図のズーム・縮小など、ビューの操作に関するメニューです。

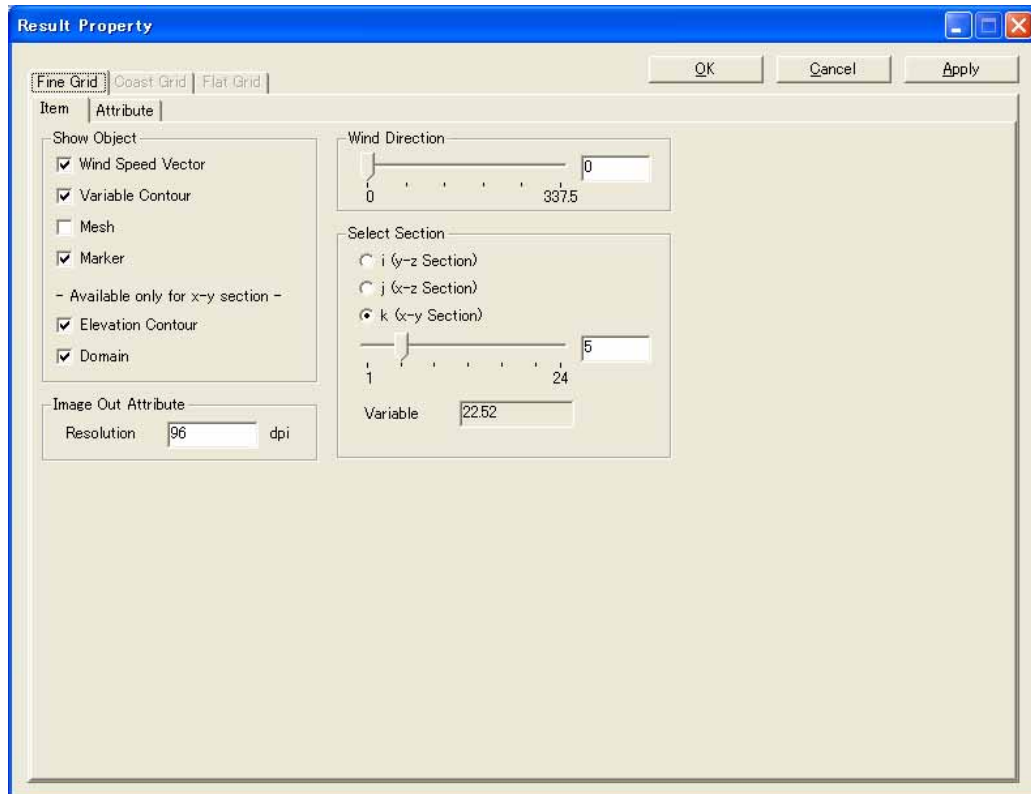


[Property]

[Result]ビューに表示されている図の項目や範囲、色などを変更するダイアログを開きます。

[Fine Grid]

細かいメッシュを表示するプロパティ

[Item]

- [Show Object]

- [Wind Speed Vector] : 風速ベクトルの表示 / 非表示を切り替えます。
- [Variable Contour] : 選択した項目の値の、コンター線の表示 / 非表示を切り替えます。
- [Mesh] : メッシュの表示 / 非表示を切り替えます。
- [Marker] : 計算点、観測点などのマーカの表示 / 非表示を切り替えます。
- [Elevation Contour] : 標高線の表示 / 非表示を切り替えます。(k-section 選択時のみ有効)
- [Domain] : 計算領域線の表示 / 非表示を切り替えます。(k-section 選択時のみ有効)

- [Image Out Attribute]

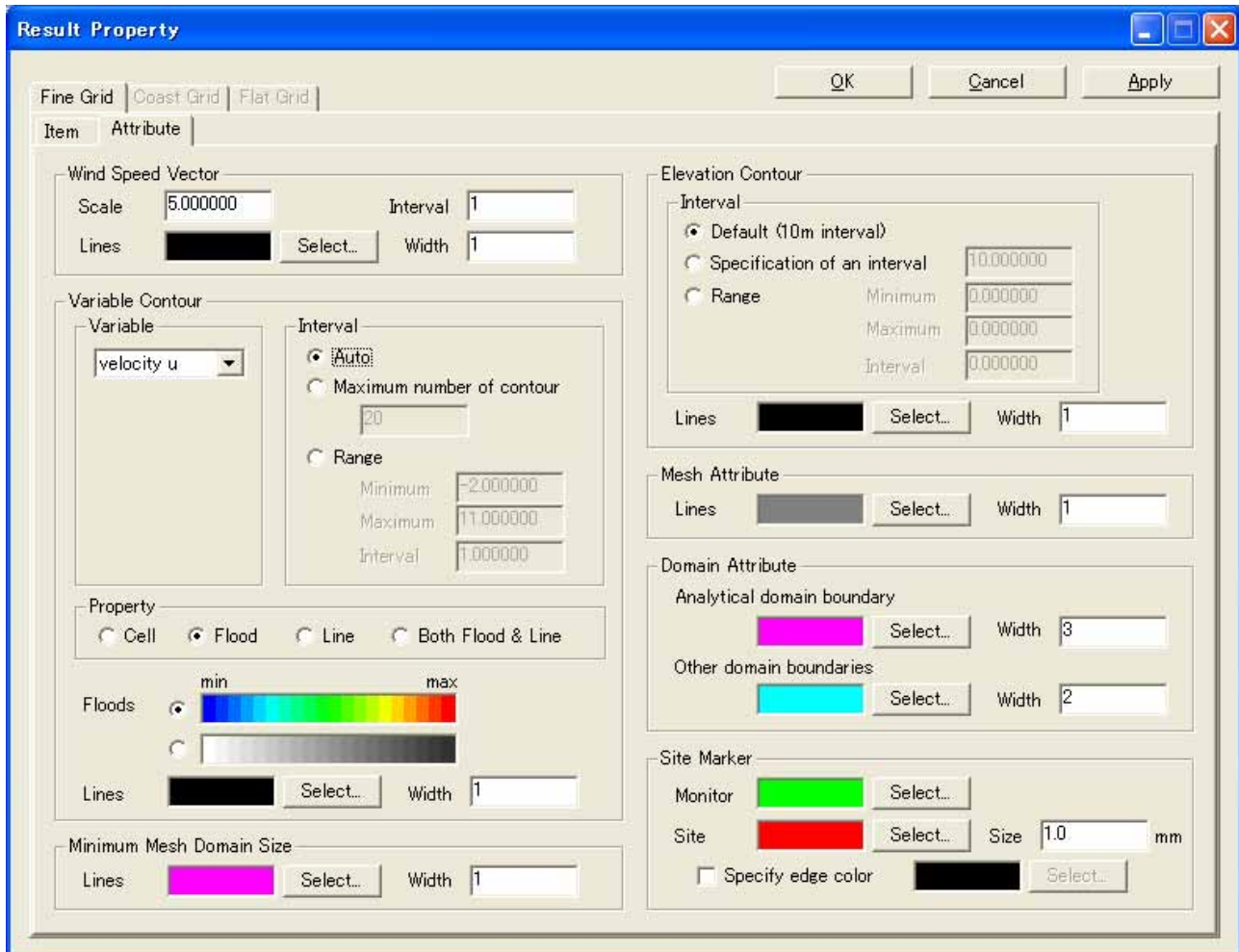
- [Resolution (dpi)] : イメージ出力時の解像度を指定します。

- [Wind Direction]

- : 可視する風向を指定します。

- ・ [Select Section] : セクションを選択します。
- ・ [Variable]
 - i セクション : 計算中心からの距離(m),
 - j セクション : 計算中心からの距離(m),
 - k セクション : 地表面座標からの高さ(m)

[Attribute]

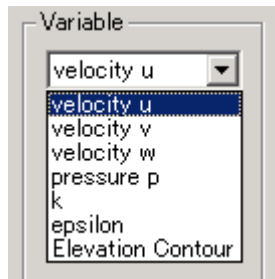


- ・ [Wind Speed Vector] : ベクトル表示の設定
 - ・ [Scale] : ベクトルの表示スケールを指定します。
 - ・ [Interval] : ベクトルの表示間隔を設定します。
 - ・ [Lines] : ベクトルの線色を指定します。
<Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Width] : ベクトルの線の太さを設定します (整数) 。

1 以下を設定するとベクトルが非表示となります。

- ・ [Variable Contour] : コンター表示の設定
- ・ [Variable] : 計算結果の表示項目をドロップダウンメニューから選択します。

Mascot_Basicの計算結果は以下の7項目がメニューに表示されます¹⁾。



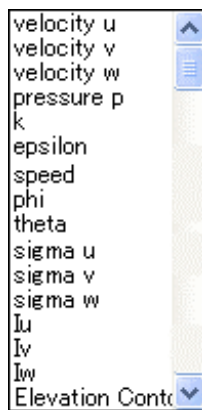
- ・ [velocity u] : 速度の流れ方向成分 (u)
- ・ [velocity v] : 速度の直角方向成分 (v)
- ・ [velocity w] : 速度の垂直方向成分 (w)
- ・ [pressure p] : 圧力成分 (p)
- ・ [k] : 乱流エネルギー成分 (k)
- ・ [epsilon] : 乱流散逸 ()
- ・ [Elevation Contour] : 標高コンター

- ・ [Interval]
 - ・ [Auto] : コンター線の表示範囲や間隔を自動で設定します。
 - ・ [Maximum number of contour] ¹ : コンター線の表示間隔を指定して描画する場合に選択します。
 - ・ [Range] : 描画するコンター線の表示範囲を指定する場合に選択します。
 - ・ [Minimum] : 描画するコンター線の最小値を設定します。
 - ・ [Maximum] : 描画するコンター線の最大値を設定します。
 - ・ [Interval] ¹ : 描画するコンター線の間隔を設定します。
- ・ [Property] : 項目値の表示方法を選択します。(塗り潰し / 線 / 塗り潰し + 線)
 - ・ [Cell] : 解析格子セル毎に設定されたランク色で表示します。
 - ・ [Flood] ¹ : コンターによって区分けされた等値領域を設定されたランク色で表示します。
 - ・ [Line] : コンターを表示します。
 - ・ [Both Flood & Line] : コンターと区分けされた等値領域を設定されたランク色で表示します。
- ・ [Flood] : ランク色を青から赤、または白から黒のグラデーションから選択します。
- ・ [Lines] : 項目値のコンター色を指定します。
 - ・ <Select> : 色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Width] : コンター線の太さを設定します(整数)。1以下を設定すると非表示となります。
- ・ [Minimum Mesh Domain Size] : 最小格子間隔範囲。この範囲の中では最小格子間隔が使用されます。
- ・ [Line] : 最小格子間隔範囲を示す円の線色を指定します。
 - ・ <Select> : <Select>を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - ・ [Width] : 最小格子間隔範囲を示す円の線の太さを設定します(整数)。1以下を設定すると最小格子間隔範囲を示す円が非表示となります。

- [Elevation Contour] : 標高コンター表示の設定
 - [Interval]
 - [Default (10m interval)] : デフォルトの設定です。0m 基準から 10m 間隔で標高線を描画します。
 - [Specification of an interval] : 標高線の間隔を 0m 基準から指定して描画する場合に選択します。
 - [Range] : 描画する標高線の標高範囲を指定する場合に選択します。
 - [Minimum] : 描画するコンター線の最小値を設定します。
 - [Maximum] : 描画するコンター線の最大値を設定します。
 - [Interval] : 描画するコンター線の間隔を設定します。
 - [Lines] : 標高線の線色を指定します。
<Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - [Width] : 標高線の太さを設定します (整数)。
1 以下を設定すると標高線を非表示となります。
- 1) [Flood]を選択し、コンター間隔を設定する場合は、分割数が 20 ランク以下となるようにしてください。
分割数が 20 ランク以上となると、描画に時間がかかります。
- [Mesh Attribute] : メッシュ表示の設定
 - [Lines] : メッシュの線色を指定します。
<Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - [Width] : メッシュの線の太さを設定します (整数)。
1 以下を設定するとメッシュを非表示となります。
 - [Domain Attribute] : 計算領域表示の設定
 - [Analytical domain boundary] : 解析対象領域
 - [Select] : 解析対象領域の線色を指定します。
<Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - [Width] : 解析対象領域の線の太さを設定します (整数)。
1 以下を設定すると解析対象領域を非表示となります。
 - [Other domain boundaries] : 付加領域
 - [Select] : 付加領域の線色を指定します。
<Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
 - [Width] : 付加領域の線の太さを設定します (整数)。
1 以下を設定すると付加領域が非表示となります。
 - [Site Marker] : 計算点、観測点などのマーカーの色とサイズの設定
 - [Monitor] : [Edit]-[Option]-[Monitor]メニューで登録したモニター地点
 - [Select] : モニター点を表示するマーカーの色を指定します。
<Select> を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。

- ・ [Site] : [Edit]-[Option]-[Site]メニューで登録した風車または観測地点
- ・ [Select] : 風車または観測地点を表示するマーカーの色を指定します。
 <Select>を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
- ・ [Size] : モニター点と風車または観測地点を表示するマーカーのサイズを設定します。
- ・ [Specify edge color] : 計算点、観測点などのマーカーの端色が表示 / 非表示を切り替えます。
 <Select>を押して、色を選択することによって、色の変更が行えます。
- ・ <OK> : 設定した内容をビューに反映させて、ダイアログを閉じます。
- ・ <Cancel> : 設定した内容をビューに反映させずに、ダイアログを閉じます。
- ・ <Apply> : 設定した内容をビューに反映させます。

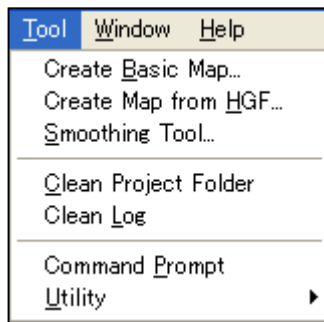
1 : プロジェクトタイプが「Design wind speed」時の計算結果は以下の16項目がメニューに表示されます
 (詳しい説明は第5章 5-2-3を参照してください)



- ・ [velocity u] : 速度の流れ方向成分 (u)
- ・ [velocity v] : 速度の直角方向成分 (v)
- ・ [velocity w] : 速度の垂直方向成分 (w)
- ・ [pressure p] : 圧力成分 (p)
- ・ [k] : 乱流エネルギー成分 (k)
- ・ [epsilon] : 乱流散逸 ()
- ・ [speed] : 水平風速
- ・ [phi] : 偏角 ϕ (°)
- ・ [theta] : 吹上角度 θ (°)
- ・ [sigma u] : 標準偏差 σ_u
- ・ [sigma v] : 標準偏差 σ_v
- ・ [sigma w] : 標準偏差 σ_w
- ・ [Iu] : 乱れの強さ I_u (%)
- ・ [Iv] : 乱れの強さ I_v (%)
- ・ [Iw] : 乱れの強さ I_w (%)
- ・ [Elevation Contour] : 標高コンター

3-3-9. [Tool]メニュー

MASCOT 拡張ツールの起動に関するメニューです。

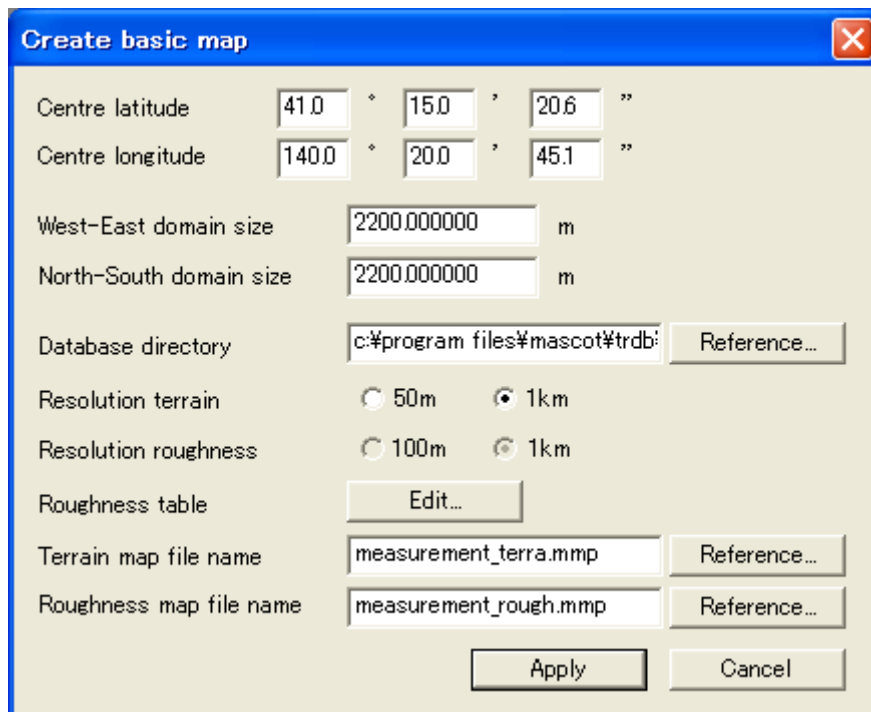


[Create Basic Map...]

標高と粗度のデータファイルの作成ツールを起動します。

MASCOT Basic による計算を行なうためには、地形のデータと地表面粗度のデータが必要です。第4章で示したように設定した領域の外側に上流領域、緩衝領域等を設定するため、計算領域の東西距離[West-East Domain Size]を x 、南北距離[North-South Domain Size]を y としたとき、計算中心[Centre Latitude] [Centre longitude]を中心として式(5-1)で計算される半径(r)の円を含む広い領域の地形データと地表面粗度が必要となります。この広い地形データを**基本標高地図**(*Basic Terrain Map*)、地表面粗度データを「**基本粗度地図**(*Basic Roughness Map*)」と呼びます。詳しい説明は第5章 5-1 を参照してください。

$$r = \sqrt{5.0 \times (x^2 + y^2)}$$



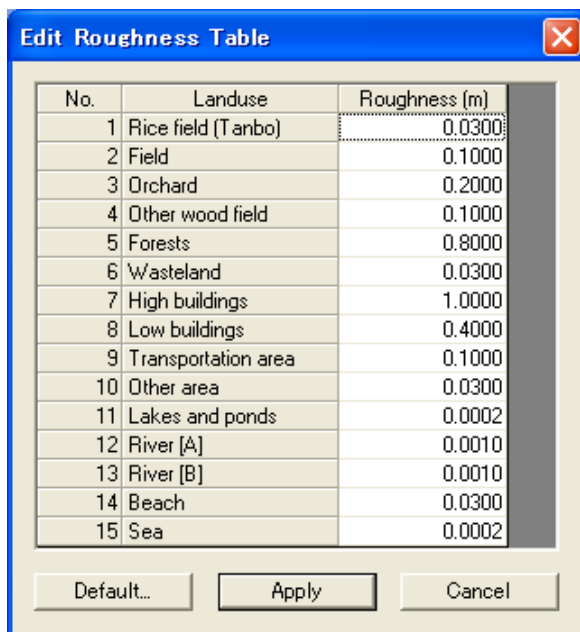
- ・ [Centre latitude] : 解析中心緯度を設定します。
- ・ [Centre longitude] : 解析中心経度を設定します。
- ・ [West-East domain size] : 東西方向の対象領域サイズを設定します。
- ・ [North-South domain size] : 南北方向の対象領域サイズを設定します。
- ・ [Database directory] : 標高と土地利用データベースを格納されているディレクトリを選択します。
- ・ [Resolution terrain] : 標高データの解像度 ¹
- ・ [Resolution roughness] : 土地利用データの解像度 ^{1、2}
- ・ [Roughness table] : 粗度長変換テーブルを編集する場合は、< Edit... > を押して編集します。
- ・ [Terrain map file name] : 標高データの保存先ファイル名を指定します。
- ・ [Roughness map file name] : 粗度データの保存先ファイル名を指定します。

1: 「Meso-scale database」プロジェクトの[Coast Grid]には地域気象解析を行った際の解像度を選択します。通常は1kmの解像度を用い、それ以外のプロジェクトタイプおよび格子設定には50m(土地利用データは100m)を用います。

2: 標高データの解像度に50mを選択した場合は土地利用データの解像度は100mとなり、標高データの解像度に1kmを選択した場合は土地利用データの解像度も1kmとなります。

[Edit Roughness Table...]

地表面の土地利用区分を粗度長に変換する値を編集します。



粗度変換係数区分

区分	説明		粗度長(m) (デフォルト値)
Rice field (Tanbo)	田	湿田、乾田、沼田、蓮田	0.03
Field	畑	麦、陸稲、野菜、牧草等の栽培地	0.1
Orchard	果樹園	りんご、梨、桃、ぶどう等の栽培地	0.2
Other wood field	その他の樹木畑	桑、茶等の栽培地、苗木畑	0.1
Forests	森林	高さ 2m 以上の多年生植物の密生地	0.8
Wasteland	荒地	篠地、雑草地、裸地、崖、岩、湿地等	0.03
High buildings	建物用地[A]	建物密集地、工場、学校、高層建物	1.0
Low buildings	建物用地[B]	独立建物(小)、民家等	0.4
Transportation area	幹線交通用地	道路、インターチェンジ、鉄道、操車場等	0.1
Other area	その他の用地	空き地、ゴルフ場、空港、運動場	0.03
Lakes and ponds	湖沼	自然湖、人造湖、池、養魚場	0.0002
River [A]	河川敷[A]	河川区域の河川敷、人工利用地は含まない	0.001
River [B]	河川敷[B]	河川敷内の人工利用地	0.001
Beach	海浜	海岸に接する砂、れき、岩の区域	0.03
Sea	海水域	隠顕岩、干潟を含む海水域	0.0002

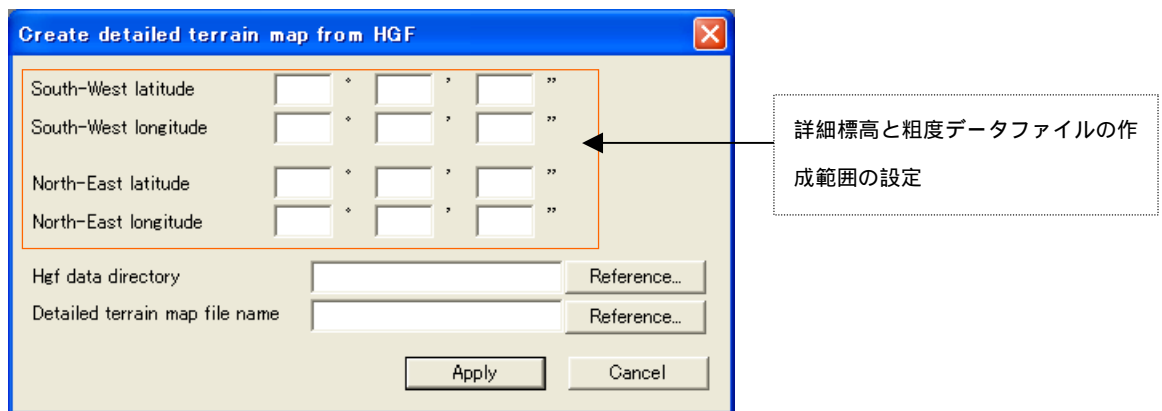
[Create Map from HGF...]

詳細な標高と粗度のデータファイル作成ツールを起動します。

風車や観測点近傍では基本標高地図に比べてさらに細かい解像度の地図を使用することができます。この細かい解像度の地図を「**詳細標高地図(Detailed Terrain Map)**」と呼びます。MASCOT Basic がメッシュを生成する際には基本標高地図と詳細標高地図の両方を参照し、詳細標高地図がある場所は詳細標高地図のデータを用い、基本標高地図のデータのみがある領域では基本標高地図のデータを用います。このため、基本標高地図と異なり、詳細標高地図の大きさには制限はありません。

また、詳細標高地図と同様に、風車や観測地点近傍で、より細かい地表面粗度のデータを用いることができます。この地図を「**詳細粗度地図(Detailed Roughness Map)**」と呼びます。

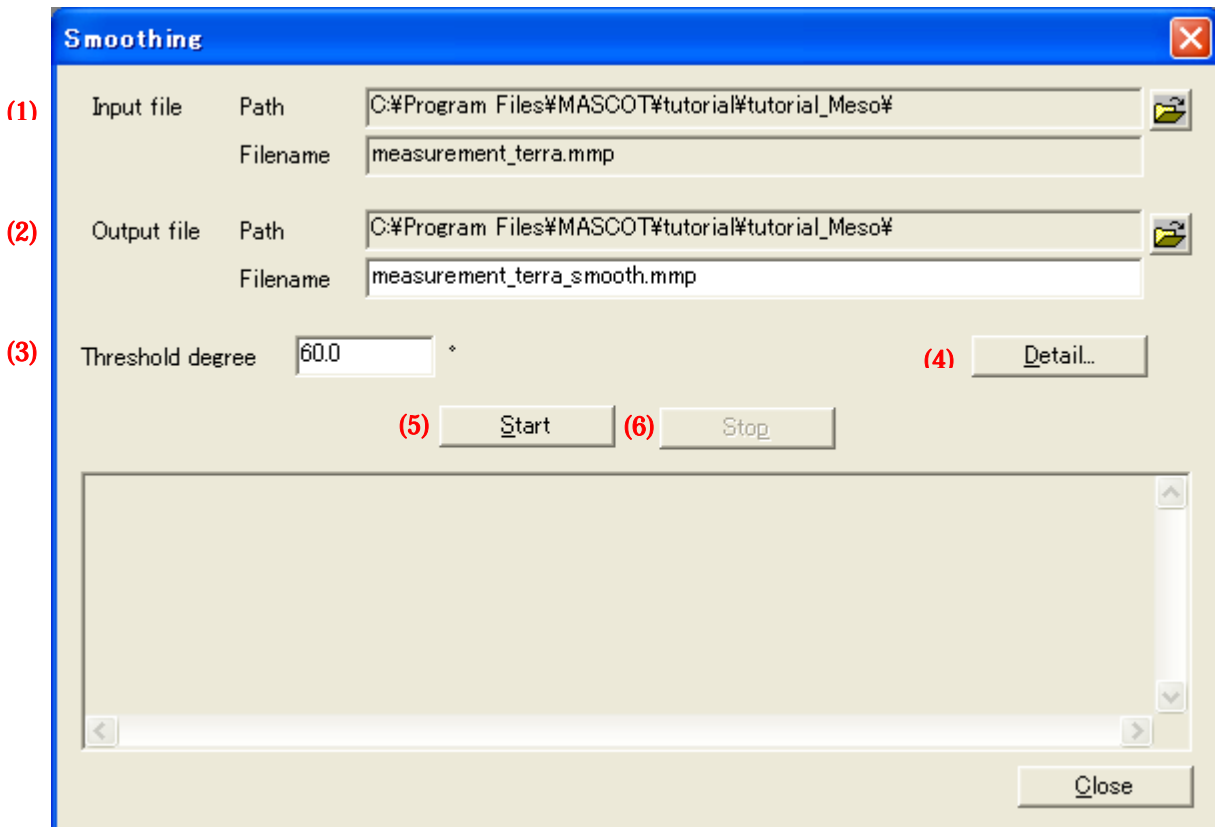
MASCOT Basic の[Tool]-[Create Map from HGF]メニューを用いて詳細標高地図および詳細粗度地図を作成するには北海道地図株式会社の発行する 10mメッシュ DEM を購入する必要があります。詳細は 5-1-5 節を参照してください。



- ・ [Create detailed terrain Map from HGF] : 地図の左下(南西)隅の経度
 - ・ [South-West latitude] : 地図の左下(南西)隅の緯度を設定します。
 - ・ [South-West longitude] : 地図の左下(南西)隅の経度を設定します。
 - ・ [North-East latitude] : 地図の右上(北東)隅の緯度を設定します。
 - ・ [North-East longitude] : 地図の右上(北東)隅の経度を設定します。
 - ・ [Hgf data directory] : 10mメッシュの数値標高データを格納されているディレクトリを選択します。
 - ・ [Detailed terrain map file name] : 詳細な標高と粗度のデータファイルの保存先ファイル名を指定します。

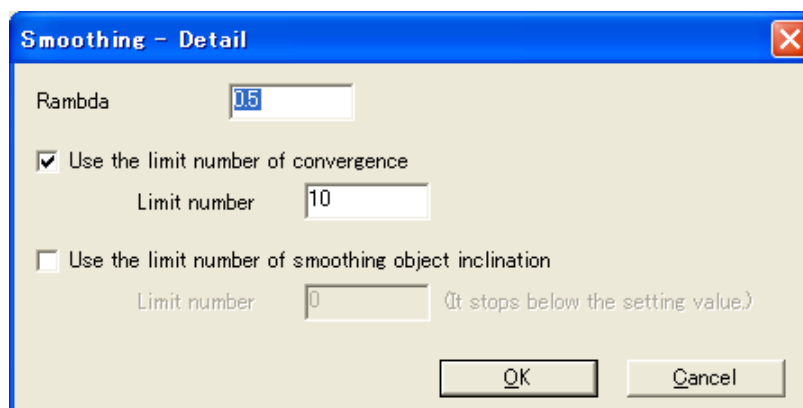
[Smoothing Tool...]

急峻地形をスムージング化する計算ツールを起動します。



[Smoothing] : 地形のスムージング

- | | |
|-----------------------|-------------------------------------|
| (1)[Input file] | : スムージング前のファイルを設定します。 |
| [Path] | : ファイル所在フォルダを指定します。 |
| [Filename] | : ファイル名を指定します。 |
| (2)[Output file] | : スムージング後のファイルを設定します。 |
| [Path] | : ファイル所在フォルダを指定します。 |
| [Filename] | : ファイル名を指定します。 |
| (3)[Threshold degree] | : スムージング対象とする勾配角度閾値（設定値以上対象）を設定します。 |
| (4)[Detail] | : 詳細設定を行います。 |



Rambda : 係数

$$y = (1 - \text{Rambda}) \cdot y + 0.25 \cdot (i+1,j + i,j+1 + i-1,j + i,j-1)$$

i,j: 格子番号

対象格子点の値は周り4格子点より計算します。

Use the limit number of convergence : 収束回数による停止の使用 / 非使用を選択します。

limit number : 停止させる収束回数 (設定回数実行後に停止)

Use the limit number of smoothing object inclination : スムージング対象勾配数による停止の使用 / 非使用を選択します。

limit number : 停止させるスムージング対象勾配数 (設定値以下で停止)

<OK> 係数の設定値を保存します。

詳細設定を中止し、前の画面に戻ります。

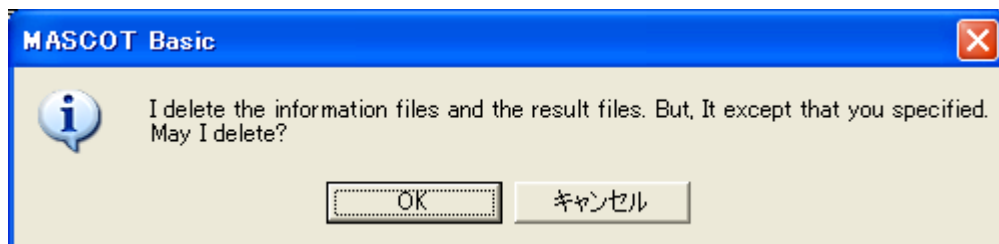
(5)[Start] : 計算スタート

(6)[Stop] : 計算ストップ

MASCOT Version3.0 以上で標準装備となります。MASCOT Basic および以前のバージョンでご使用になる場合には、[Smoothing Tool]のライセンスをご購入の上、MASCOTの最新バージョンをインストールしていただく必要があります。

[Clean Project Folder...]

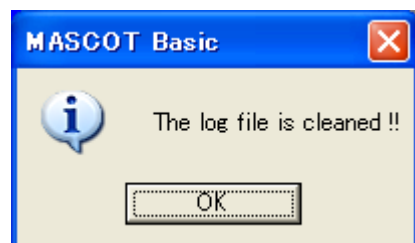
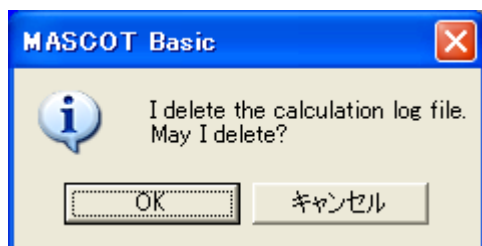
MASCOT Basic では[Restart]を行なった際に、未収束の結果ファイルを保存したまま追加計算を行なうため、最終的に使用する収束した計算結果以外も保存されます。本メニューにより収束した計算結果以外のファイルの削除を行います。



[Clean Log...]

MASCOT Basic では計算実行や作図などのログがプロジェクトを作成した直後から全て保存されています。既存のプロジェクトの解析条件等を変更し始めから再計算を行なう場合などは、本メニューより以前のログを削除し

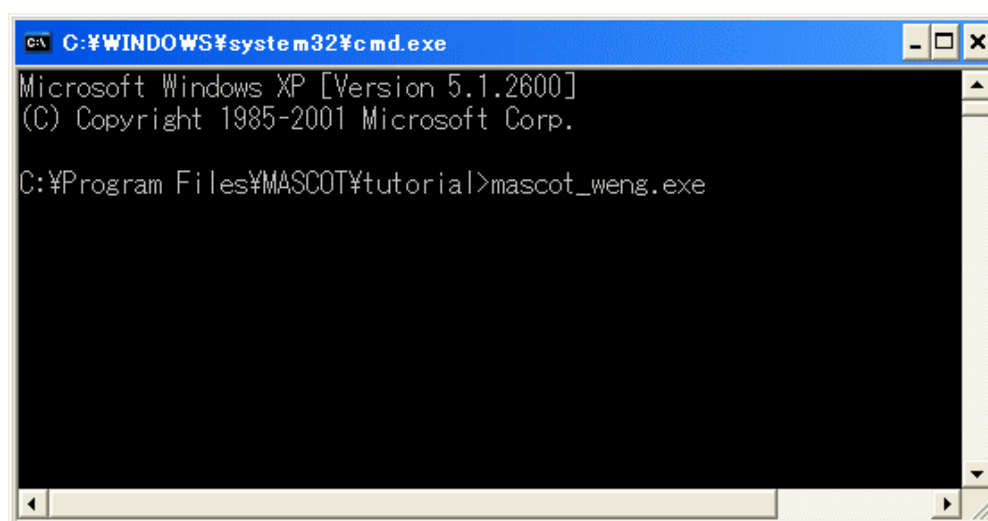
その後、再設定 計算を行ないます。



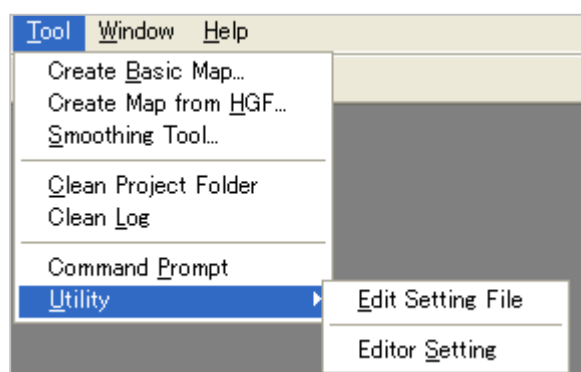
[Command Prompt...]

Command Prompt は MASCOT Utility にあるキャラクタ・ユーザー・インターフェース(CUI)ベースのプログラム群を起動し、MASCOT Basic の解析結果から対象領域内の風況及び発電量を求めます。

詳細は第5章 5-2 MASCOT Utility を参照してください。



[Utility ...]



MASCOT Basicの解析結果から対象領域内の風況及び発電量を求めるための設定ファイル¹を編集します。詳細は第5章 5-2 MASCOT Utility を参照してください。

[Edit Setting File]

設定ファイル¹をメモ帳等のテキストエディタで開きます。

[Edit Setting]

設定ファイル¹を開くためのエディタを設定します。未設定時は拡張子に割り当てられたエディタとなります。

¹ mascot_tsa.min , mascot_wene.min , mascot_weng.min (Version2.0以降のみ)

3-3-10. [Window]メニュー

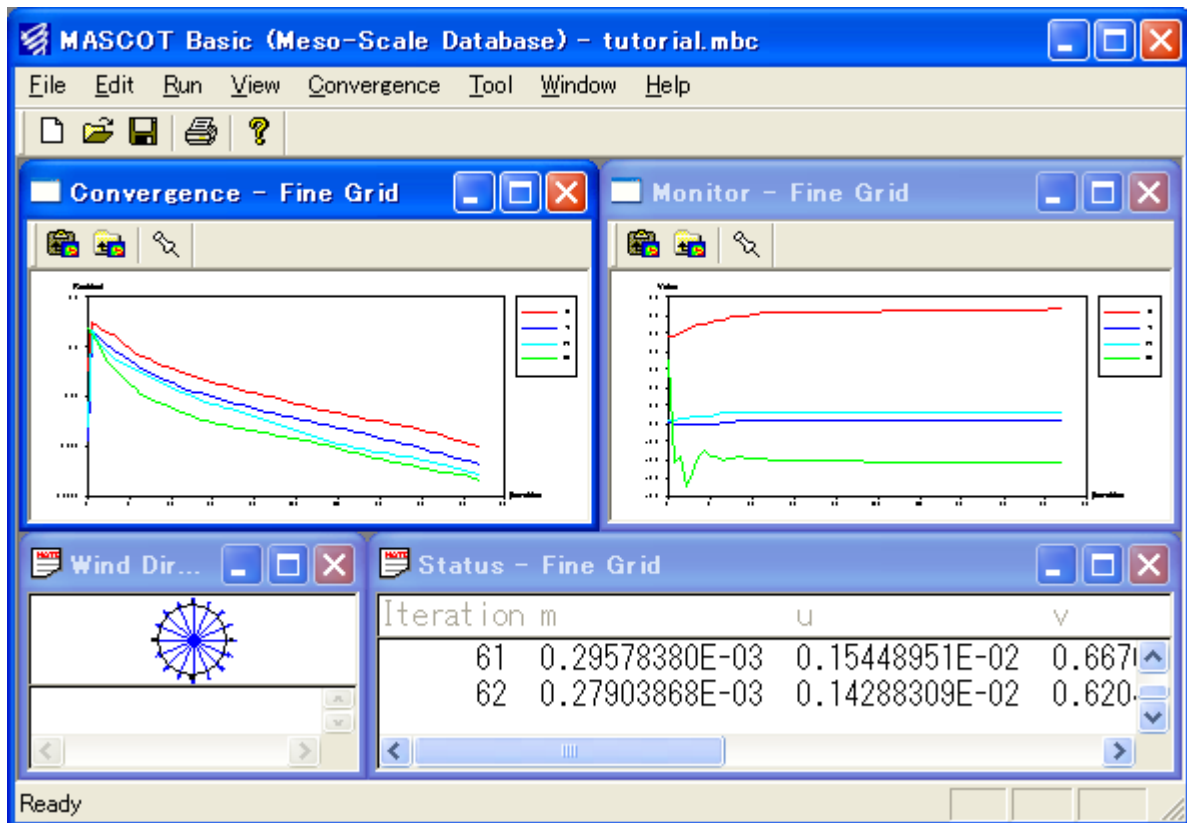
ビュー（子ウィンドウ）の表示 / 非表示、メインウィンドウへの配置に関するメニューです。



[Standard...]

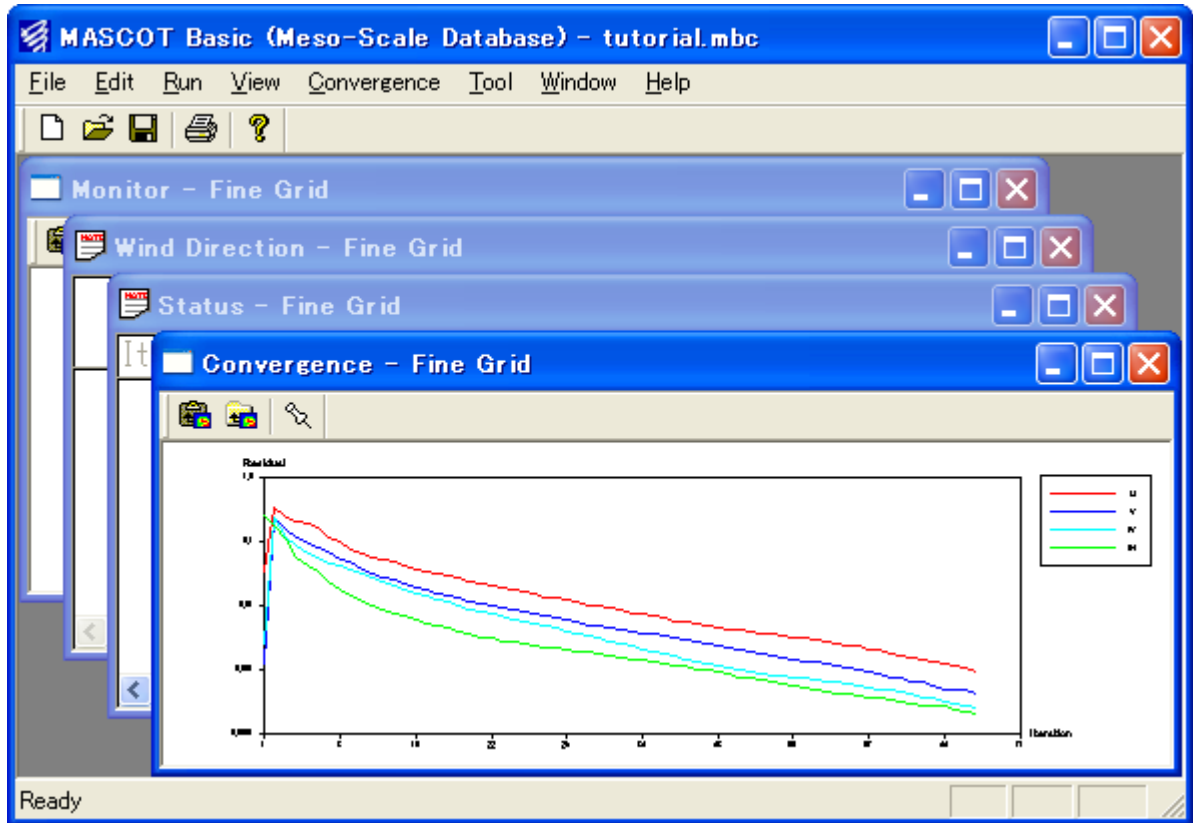
[Convergence]、[Monitor]、[Wind Direction]、[Status]ビューを開き、標準位置に配置します。

細かいメッシュのビューを表示する時[Standard]-[Fine Grid]、粗いメッシュのビューを表示する時[Standard]-[Coast Grid]を選択します。



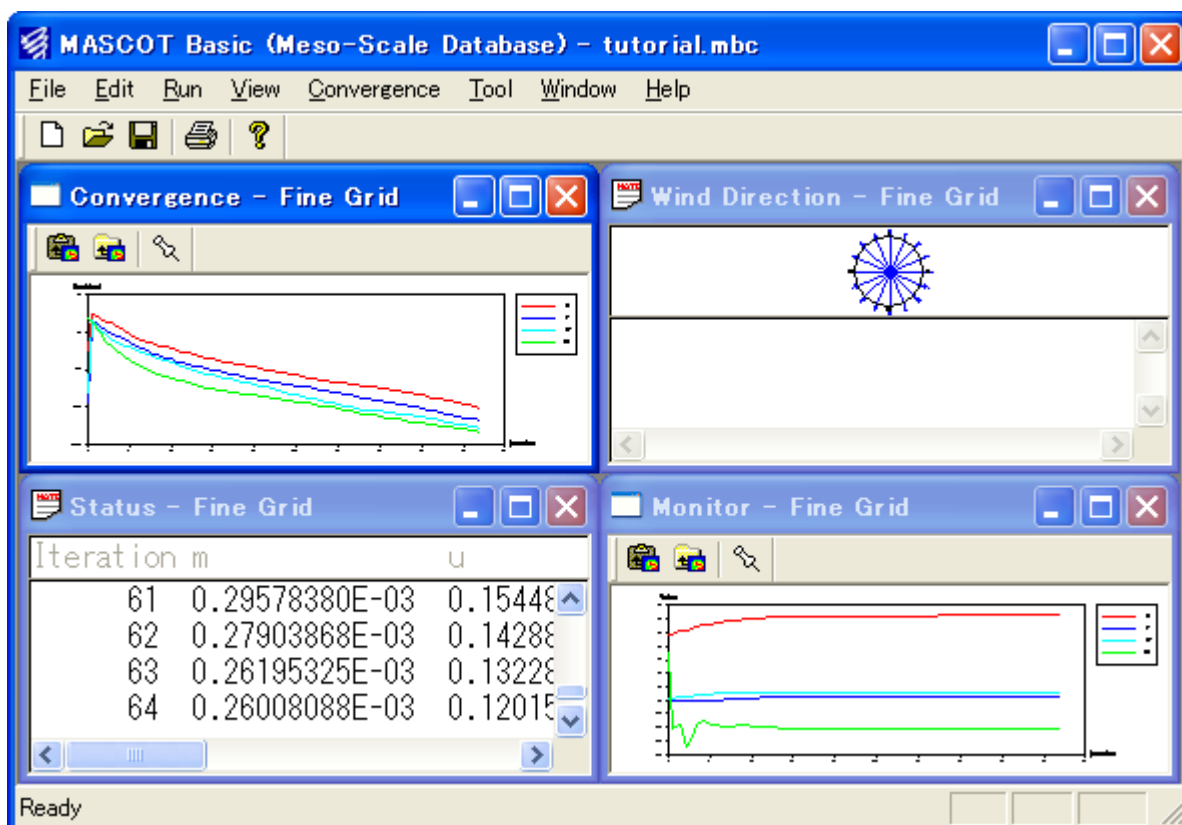
[Cascade...]

複数のウィンドウを少しずつずらしながら重ねて表示します。



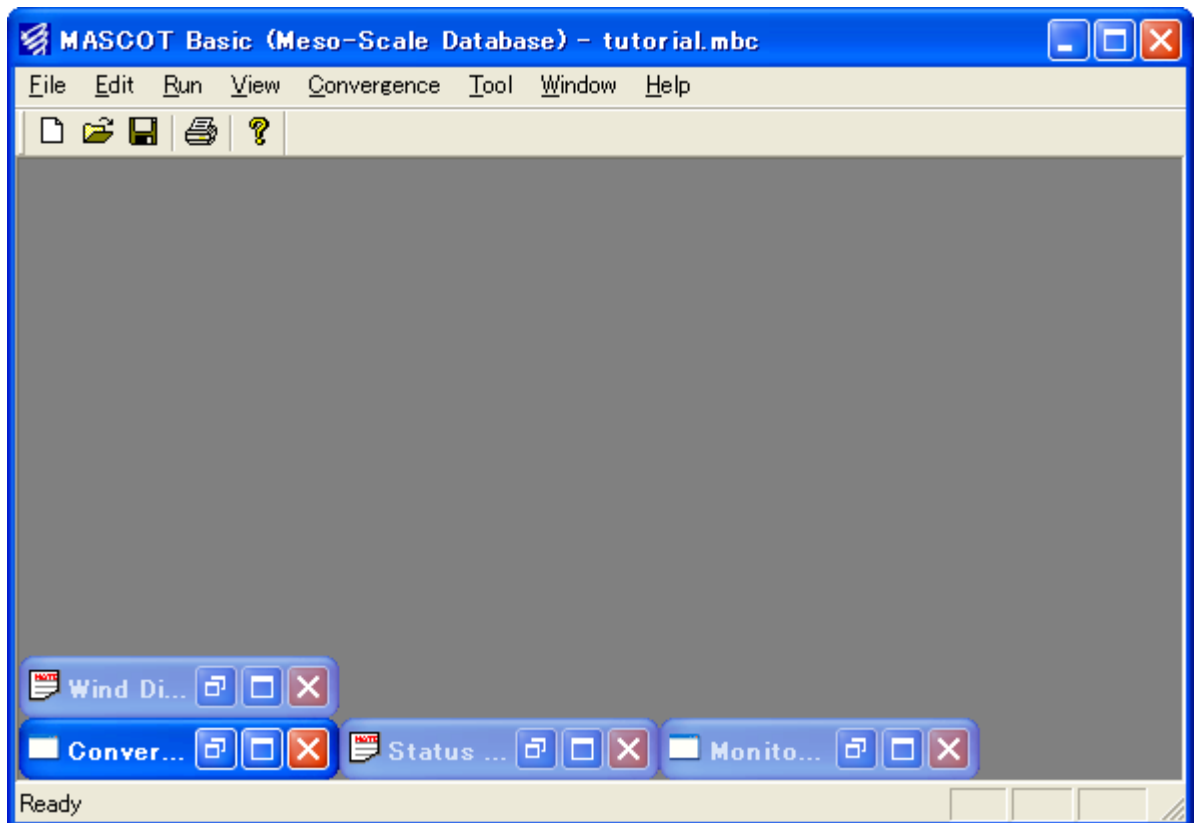
[Tile...]

複数のウィンドウを、各ウィンドウが重ならないようにタイル状に並べて表示します。



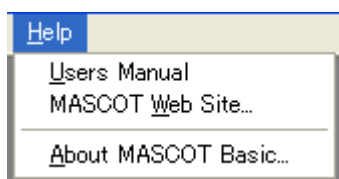
[Arrange Icons...]

ビューを最小化しメインウィンドウの左下から並べます。



3-3-11. [Help]メニュー

MASCOT Basic についての情報、ユーザズ・マニュアルの表示などのメニューです。



[Users Manual...]

ユーザズ・マニュアルを表示します (PDF 形式)




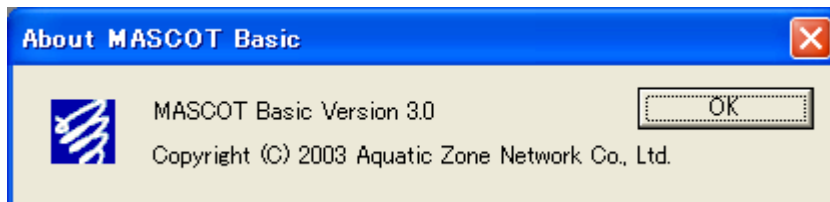
[MASCOT Web Site...]

MASCOT のホームページを表示します。



[About MASCOT Basic...]

MASCOT Basic のバージョン情報を表示します。(ツールバー )



第4章 Modelling (理論)

本章では、MASCOT Basic の理論について説明します。

4-1. 数値モデル	4-2
4-1-1. 基礎方程式	4-2
4-1-2. 乱流モデル	4-2
4-1-3. 数値解法	4-3
4-1-4. 格子系	4-3
4-2. 境界処理手法	4-4
4-2-1. 上流緩衝領域	4-5
4-2-2. 下流緩衝領域	4-6
4-2-3. 側面緩衝領域	4-7
4-2-4. 付加領域	4-8
4-3. 流入風の設定	4-9
4-4. 粗度変換	4-11

3次元風況予測システムMASCOT (Micro-wind-climate Analysis System for Complex Terrain) では流体力学の基礎方程式である質量保存の式と運動量保存の式を有限体積法により数値的に解くことによって流れ場の数値解を求めます。乱流モデルとしては $k-\varepsilon$ モデルと呼ばれる2方程式モデルを用いました。数値モデルの詳細とMASCOTの利用例については第6章の参考文献1及び参考文献2を参照してください。

4-1. 数値モデル

4-1-1. 基礎方程式

非圧縮の流れに対して、直交座標系における質量及び運動量のレイノルズ平均方程式は次式で与えられます。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

ここで、 \bar{u}_i と u'_i は物理空間での x_i 方向の速度成分の平均値と変動値を表わし、 \bar{p} は圧力、 ρ は流体の密度、 μ は粘性係数、レイノルズ応力 $\rho \overline{u'_i u'_j}$ は線形渦粘性型モデルにより近似すると、次のようになります。

$$\overline{\rho u'_i u'_j} = \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} - \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

ここで、 μ_t は乱流粘性係数であり、乱流エネルギー k と乱流エネルギー散逸率 ε により、次式のように表す。

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いる場合には C_μ の値を0.09とします。

4-1-2. 乱流モデル

本システムでは $k-\varepsilon$ モデルを用い、乱流エネルギー k 及び乱流エネルギーの散逸率 ε は以下の輸送方程式を解くことにより求めます。

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\rho \varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

式中の定数は標準 $k-\varepsilon$ モデルの値を用い、 $\sigma_k = 1.0$ 、 $\sigma_\varepsilon = 1.3$ 、 $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ 、 $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ としました。

4-1-3. 数値解法

以上の保存式は、従属変数を ϕ として直交座標系 $x_j (j=1, 2, 3 \text{ for } x, y, z)$ で書くと、次式ようになります。

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j \phi}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (7)$$

ここで、 Γ_ϕ は拡散係数、 S_ϕ はソース項を表します。

解析はコロケート格子 (collocated grid) に基づく有限体積法を用いて行います。壁面近傍の解析精度を確保するために、一般曲線座標系 $\xi_j (j=1, 2, 3 \text{ for } \xi, \eta, \zeta)$ を用い、一般曲線座標における保存式は以下のように表されます。

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j \phi}{\partial \xi_j} = \frac{\partial}{\partial \xi_j} \left(\Gamma_\phi J q_{jk} \frac{\partial \phi}{\partial \xi_k} \right) + JS_\phi \quad (8)$$

ここで、 $U_j (j=1, 2, 3 \text{ for } U, V, W)$ は反変速度成分で、保存式の離散化は Patankar の方法に従って行います。最終的に離散化した保存式は次のように表されます。

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b_\phi \quad (9)$$

ここで、 a は保存式の流れ項、拡散項、非定常項の係数を表し、 b_ϕ はソース項、 nb (neighbor point) は要素 P に接する各要素を表します。

数値解法は Patankar により提案された SIMPLE 法に準じます。また数値的な振動を防ぐために、Rhie & Chow により提案された圧力加重補間法を用い、圧力と速度との結合を強化しました。対流項の差分近似については速度に対して QUICK、乱流特性量である k, ε に対して一次風上差分を使用しました。線形方程式の解法としては RCM 法を用いました。

4-1-4. 格子系

本モデルは一般曲線座標を採用し、任意傾斜角度を持つ地形を対応する。鉛直方向に境界適合格子 (図 4-1)、水平方向にズームング格子 (図 4-2) を採用することにより、必要な領域に格子を集中させることができます。

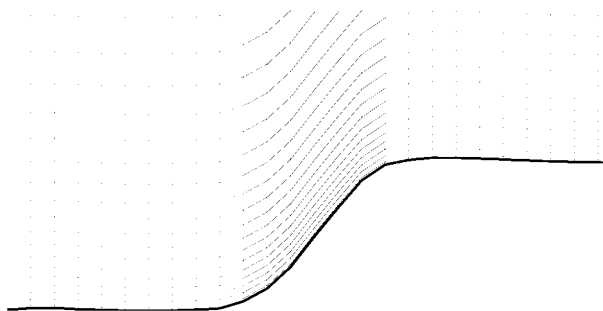


図 4-1 鉛直曲線座標系

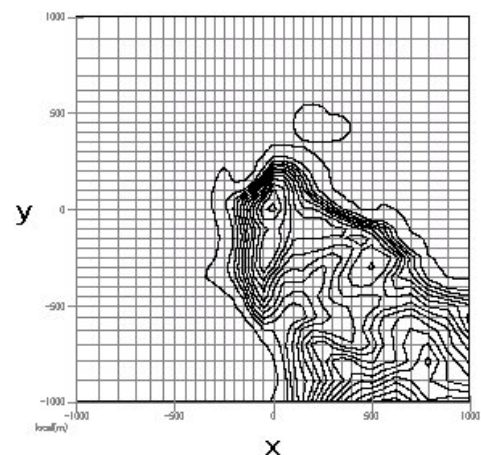


図 4-2 平面ズームング格子座標系

4-2. 境界処理手法

実地形の一部を取り出して解析する場合に対象領域の側面と上下流に緩衝領域を設置し、緩衝領域内での地形の体積を一定とする境界処理手法を採用しました。本手法を用いる場合、元の地形上の流れ場に近い流れ場が再現され、従来の手法による風速の過大または過小が解消されます。

また、上流の地形の影響を考慮するため、対象領域の上流側の境界には緩衝領域のほかに対象領域と同じ大きさの付加領域を設けることにより上流の地形の影響を考慮でき、対象領域内の流れ場の予測精度が向上します。

図 4-3 には解析の対象とする各領域を示し、図中に斜線で示す正方形が風況予測の対象領域、その上流に付加領域、さらにその周囲に緩衝領域があります。計算領域はこれら全ての領域を含む領域となります。また x は風方向、 y は風直角方向を表します。詳細については第 6 章の参考文献 3 を参照してください。

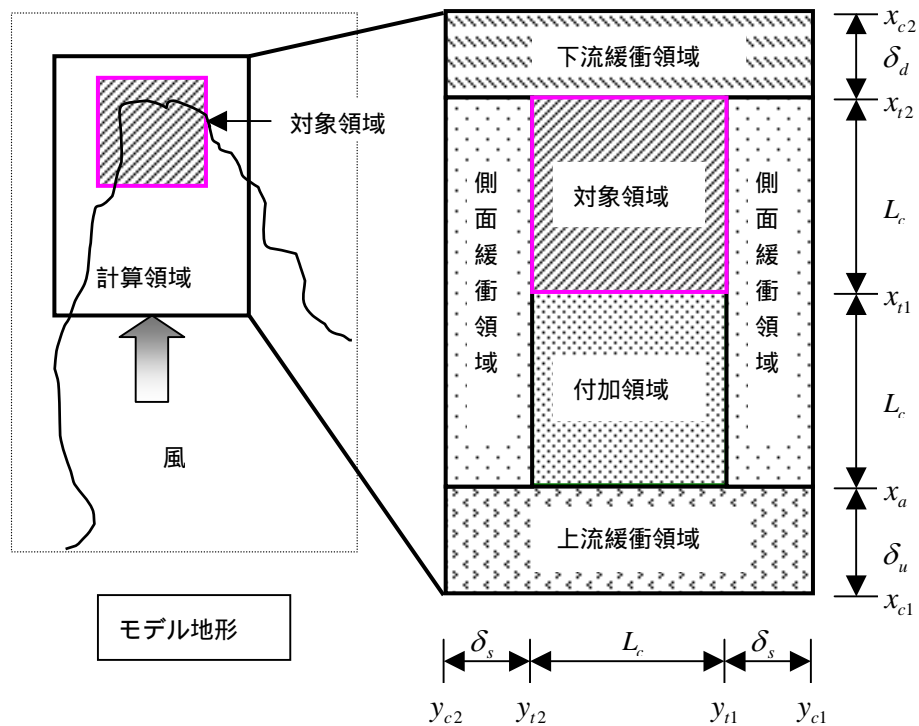


図 4-3 解析の対象とする各領域の定義

4-2-1. 上流緩衝領域

図 4-4 には上流緩衝領域の定義を示します。ここでは x_{c1} 地点が計算領域の端部を表し, x_a が緩衝領域と付加領域の境界を示します。上流緩衝領域内の地形の体積が元の地形の体積と同じになるように設定します。上流緩衝領域の上流側半分では風方向にも風直角方向にも一定の標高 H_{ub} とし, 残り半分では対象領域の標高と直線で結びます。境界処理後の地形 $\hat{h}(x, y)$ は境界処理前の地形 $h(x, y)$ に基づき次式のように求められます。

$$\hat{h}(x, y) = \begin{cases} H_{ub} & (x_{c1} \leq x < x_{m1}) \\ H_{ub} + \frac{2(x - x_{m1})}{\delta_u} [h(x_a, y) - H_{ub}] & (x_{m1} \leq x < x_a) \end{cases} \quad (8)$$

ここで, x_{m1} は x_a と x_{c1} の中点です。また H_{ub} は地形処理前後で緩衝領域内の地形の体積が一定となるように次式から求めます。

$$H_{ub} = \frac{1}{3\Delta y} \int_{y_{c1}}^{y_{c2}} \left[\frac{4}{\delta_u} \int_{x_{c1}}^{x_a} h(x, y) dx - h(x_a, y) \right] dy \quad (9)$$

$\Delta y (= y_{c1} - y_{c2})$ は緩衝領域の幅, $\delta_u (= x_a - x_{c1})$ は緩衝領域の奥行きを表します。

上流緩衝域の大きさは、対象領域の0.3倍とし、その最小値は1kmを設定されています。各領域のデフォルト値は第3章 3-3-2 . [Edit]メニューの[Options]-[Boundary Treatment...]を参照してください。

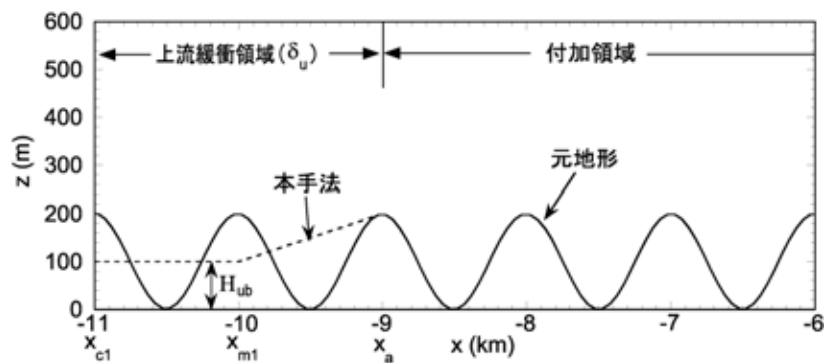


図 4-4 上流緩衝領域の定義

4-2-2. 下流緩衝領域

下流緩衝領域も上流領域と同じ考え方に基づいて設定します。図 4-5 には下流緩衝領域の定義を示します。ただし、上流領域と異なり、下流緩衝領域の下流側半分での高さ H_{db} は風直角方向に変化するように設定されています。

$$\hat{h}(x, y) = \begin{cases} H_{db}(y) & (x_{c2} \leq x < x_{m2}) \\ H_{db}(y) + \frac{2(x - x_{m2})}{\delta_d} [h(x_{r2}, y) - H_{db}] & (x_{m2} \leq x < x_{r2}) \end{cases} \quad (10)$$

ここで x_{m2} は x_{c2} と x_{r2} の中点です。また $H_{db}(y)$ は地形処理前後で緩衝領域内の地形の面積が一定となるように次式から求められます。

$$H_{db}(y) = \frac{1}{3} \left[\frac{4}{\delta_d} \int_{x_{c2}}^{x_{r2}} h(x, y) dx - h(x_{r2}, y) \right] \quad (11)$$

$\delta_d (= x_{r2} - x_{c2})$ は下流緩衝領域の奥行きを表します。

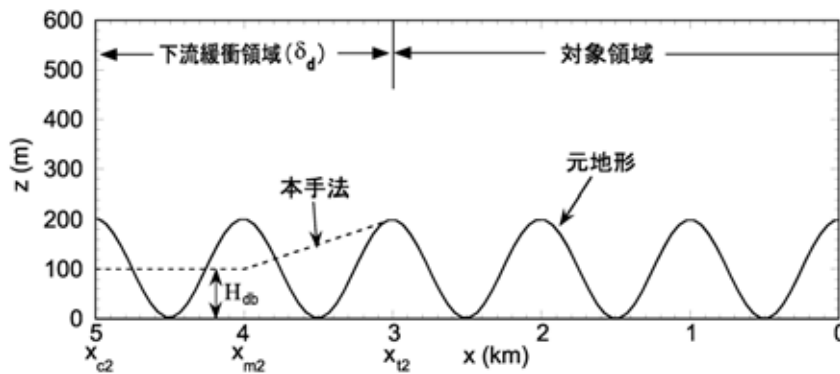


図 4-5 下流緩衝領域の定義

4-2-3. 側面緩衝領域

図 4-6 には側面緩衝領域の定義を示します。ここでは y_{c1} が計算領域の側面端部を表し、 y_{t1} が対象領域と緩衝領域の境界を示します。緩衝領域外側での標高 $H_{sb}(x)$ は緩衝領域の半分のところまで一定とし、そこから対象領域境界での標高 $h(x, y_{t1})$ まで直線で結びます。境界境界処理後の地形 $\hat{h}(x, y)$ は次式のように表します。

$$\hat{h}(x, y) = \begin{cases} H_{sb}(x) & (y_{c1} \leq y < y_{m1}) \\ H_{sb}(x) + \frac{2(y - y_{m1})}{\delta_s} [h(x, y_{t1}) - H_{sb}(x)] & (y_{m1} \leq y < y_{t1}) \end{cases} \quad (12)$$

ここで、 y_{m1} は y_{c1} と y_{t1} の中点です。また、高さ $H_{sb}(x)$ は、元地形と断面積が等しくなるように、次式により算出します。

$$H_{sb}(x) = \frac{1}{3} \left[\frac{4}{\delta_s} \int_{y_{c1}}^{y_{t1}} h(x, y) dy - h(x, y_{t1}) \right] \quad (13)$$

$\delta_s (= y_{t1} - y_{c1})$ は側面緩衝領域の幅を表します。

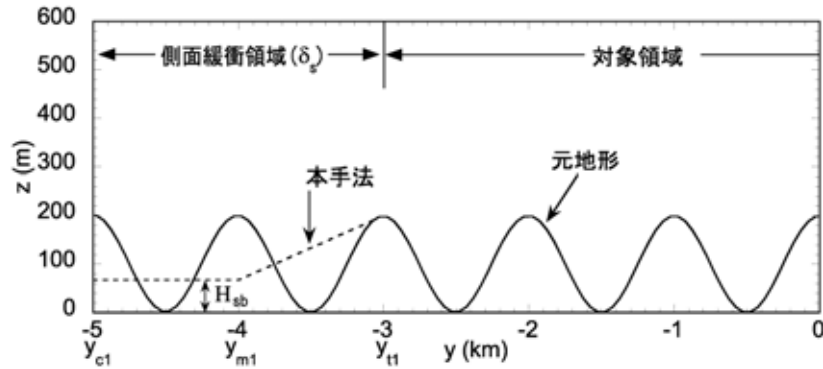


図 4-6 側面緩衝領域の定義

4-2-4. 付加領域

一般に対象領域内の流れ場はその上流の地形の影響を強く受けるため、上流境界に緩衝領域を設けるだけでは上流の地形の影響を正確に反映することができません。MASCOTは図 4-3 に示すように対象領域の上流に付加領域を設けています。

付加領域の大きさの目安は対象領域と同じ大きさを取り、その最小値は3kmと設定されています(第3章 3-3-2 .[Edit]メニューの[Options]-[Boundary Treatment...]を参照してください)。

4-3. 流入風の設定

局所地形における風速と乱れを予測する際には風洞実験と同様に、対象地形の上流側における気流の鉛直分布を与える必要があります。2方程式乱流モデルを用いて流れ場を求める場合には平均風速 \bar{u} 、乱流エネルギー k とエネルギー散逸率 ε を地表面の状態に応じて定めなければなりません。

Version2.0以降では、MASCOTの気流解析から得られた地表面粗度毎の鉛直分布を用い、上流側の緩衝領域内の平均粗度に内挿した鉛直分布をデフォルト値としています。また、平均風速および乱れの強さのべき法則により以下のように流入風を設定することも可能です。

平均風速については、べき法則を用い、次式により表します。

$$\bar{u}(z) = \begin{cases} \bar{u}_G \left(\frac{z}{z_G} \right)^\alpha, & z < z_G \\ \bar{u}_G, & z \geq z_G \end{cases} \quad (14)$$

ここで、 \bar{u}_G は上空風、 z_G は上空風高さを表します。地表面粗度 z_0 は土地利用区分により算出されれば、平均風速のべき指数は次式により求めることができます。

$$\alpha = 0.27 + 0.09 \log z_0 + 0.018 (\log z_0)^2 + 0.0016 (\log z_0)^3 \quad (15)$$

乱れの強さの鉛直分布もべき法則を用いれば、主流方向の風速変動の標準偏差は次式により求められます。

$$\sigma_u(z) = \bar{u}(z) I_u(z) = \bar{u}(z) \times \begin{cases} 0.01 \left(\frac{z}{z_G} \right)^{-0.05-\alpha} \left(1 - 0.7 \frac{z}{z_G} \right)^{0.25}, & z < z_G \\ I_G, & z \geq z_G \end{cases} \quad (16)$$

そして、乱流エネルギー k は主流方向の風速変動の標準偏差から次式により算出されます。

$$k(z) = \frac{\sigma_u^2(z)}{1.2} \quad (17)$$

最後に、エネルギー散逸率 ε は乱流エネルギー k の分布から次式により求めることができます。

$$\varepsilon(z) = \frac{C_\mu^{3/4} k(z)^{3/2}}{l}, \quad l = \min(\kappa z, \kappa z_G) \quad (18)$$

ここで、 z は壁面までの垂直距離を表し、 κ はカルマン定数を表します。

図4-7には平均風速および乱れの強さのべき法則と気流解析から求めた平均風速と変動風速の標準偏差の鉛直分布の内、粗度区分 I, II, III, IV に対応するものを示します。

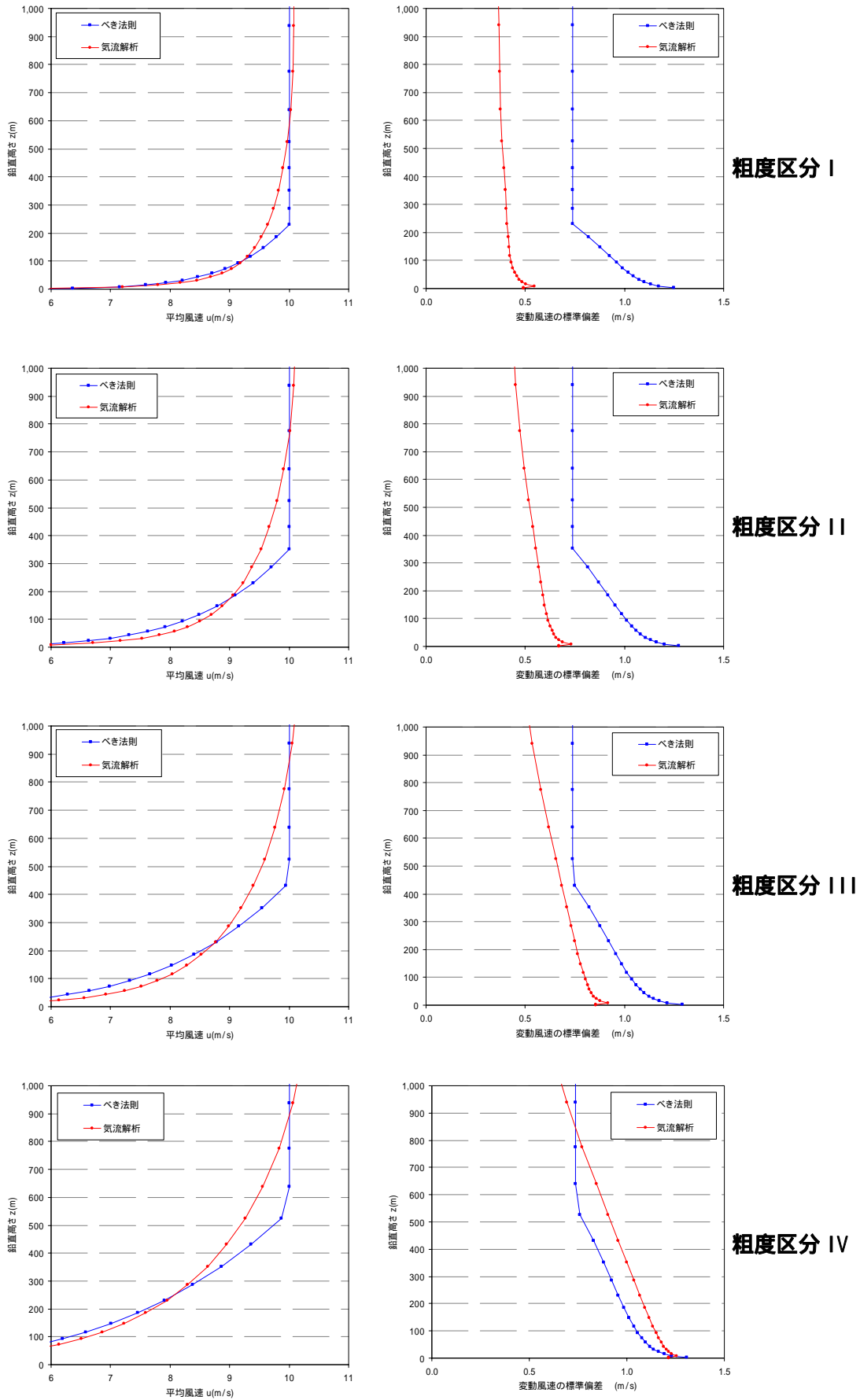


図 4-7 粗度区分毎の平均風速と変動風速の標準偏差の鉛直分布

4-4. 粗度変換

地表面の粗度は一般に粗度長 z_0 (m) で表します。粗度長を区分する基準としては土地利用に対応させる方法があり、風工学の分野で多く使用されているのが日本地図センターから発行されている国土数値情報で定められた区分です。本モデルでは従来の区分に手を加え独自に定義した粗度区分を使用することにしました。

表 4-1 本プログラムにおける粗度区分

区分	説明		デフォルト値
Rice field (Tanbo)	田	湿田、乾田、沼田、蓮田	0.03
Field	畑	麦、陸稲、野菜、牧草等の栽培地	0.1
Orchard	果樹園	りんご、梨、桃、ぶどう等の栽培地	0.2
Other wood field	その他の樹木畑	桑、茶等の栽培地、苗木畑	0.1
Forests	森林	高さ 2m 以上の多年生植物の密生地	0.8
Wasteland	荒地	篠地、雑草地、裸地、崖、岩、湿地等	0.03
High buildings	建物用地[A]	建物密集地、工場、学校、高層建物	1.0
Low buildings	建物用地[B]	独立建物(小)、民家等	0.4
Transportation area	幹線交通用地	道路、インターチェンジ、鉄道、操車場等	0.1
Other area	その他の用地	空き地、ゴルフ場、空港、運動場	0.03
Lakes and ponds	湖沼	自然湖、人造湖、池、養魚場	0.0002
River [A]	河川敷[A]	河川区域の河川敷、人工利用地は含まない	0.001
River [B]	河川敷[B]	河川敷内の人工利用地	0.001
Beach	海浜	海岸に接する砂、れき、岩の区域	0.03
Sea	海水域	隠顕岩、干潟を含む海水域	0.0002

第5章 Data Format (データフォーマット)

本章では、MASCOT Basic のデータフォーマット等について説明します。

5-1.	地図データフォーマット	5-2
5-1-1.	基本標高地図(Basic Terrain Map).....	5-2
5-1-2.	詳細標高地図(Detailed Terrain Map).....	5-3
5-1-3.	基本粗度地図(Basic Roughness Map)	5-4
5-1-4.	詳細粗度地図(Detailed Roughness Map)	5-4
5-1-5.	北海道地図.....	5-4
5-2.	MASCOT Utility (MASCOTユーティリティ)	5-6
5-2-1.	mascot_tsa.exe (時系列風況データの統計解析)	5-6
5-2-2.	mascot_wene.exe (風況精査 - 任意地点での風況 / 風力発電量予測)	5-16
5-2-3.	mascot_weng.exe (吹上角度、乱れの強さ等の算定または平均風速の割増係数等の算定)	5-24
5-2-4.	気流解析結果の3次元データの切り出し.....	5-30
5-2-5.	Smoothing (スムージング) ツール	5-34
5-3.	エラーメッセージ	5-35
5-3-1.	MASCOT Basicエラーメッセージ	5-36
5-3-2.	mascot_tsa.exeエラーメッセージ	5-39
5-3-3.	mascot_wene.exeエラーメッセージ	5-40
5-3-4.	mascot_weng.exeエラーメッセージ	5-41

5-1. 地図データフォーマット

本節では MASCOT に必要な地図データのファイルフォーマットを説明します。MASCOT Utility で必要となる設定ファイル (* .min) のフォーマットに関しては 5-2 を参照してください。

5-1-1. 基本標高地図(Basic Terrain Map)

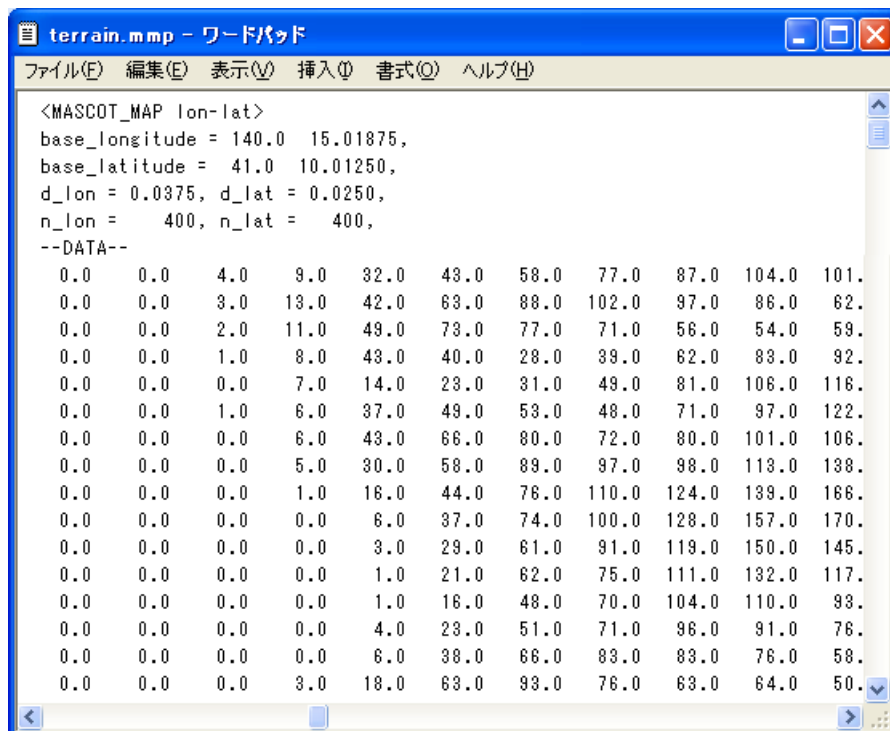
MASCOT Basic による計算を行なうためには、地形のデータが必要です。第 4 章で示したように設定した領域の外側に上流領域、緩衝領域等を設定するため、計算領域の東西距離(West-East Domain Size)を x 、南北距離(North-South Domain Size)を y としたとき、計算中心(Centre Latitude, Centre longitude)を中心として式(5-1)で計算される半径(r)の円を含む広い領域の地形データが必要となります。この広い地形データを**基本標高地図(Basic Terrain Map)**と呼びます。基本標高地図の領域が小さすぎる場合、計算を実行した際にエラーとなります。

$$r = \sqrt{5.0 \times (x^2 + y^2)} \quad (5-1)$$

MASCOT Basic ver.1.0 で基本標高地図として利用可能なデータは緯度・経度方向にそれぞれ等間隔な緯度・経度座標系のラスタデータ(メッシュデータ)で、拡張子が“mmp”の ASCII(テキスト)ファイルに保存されたものです。このファイルのフォーマットは以下に示す通りで、自分で作成することも可能ですし、MASCOT Basic の[Tool]-[Create Basic Map]メニューを用いて作成することもできます。このメニューを用いて作成したデータは自動的に式(5-1)の半径(r)の領域を含むようになっています。

基本標高地図の例を

図 5-1 に示します。基本標高地図はヘッダ部とデータ部から成り立っており、それぞれの意味と説明は以下の通りです。



```

terrain.mmp - ワードパッド
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ヘルプ(H)

<MASCOT_MAP lon-lat>
base_longitude = 140.0 15.01875,
base_latitude = 41.0 10.01250,
d_lon = 0.0375, d_lat = 0.0250,
n_lon = 400, n_lat = 400,
--DATA--
0.0 0.0 4.0 9.0 32.0 43.0 58.0 77.0 87.0 104.0 101.
0.0 0.0 3.0 13.0 42.0 63.0 88.0 102.0 97.0 86.0 62.
0.0 0.0 2.0 11.0 49.0 73.0 77.0 71.0 56.0 54.0 59.
0.0 0.0 1.0 8.0 43.0 40.0 28.0 39.0 62.0 83.0 92.
0.0 0.0 0.0 7.0 14.0 23.0 31.0 49.0 81.0 106.0 116.
0.0 0.0 1.0 6.0 37.0 49.0 53.0 48.0 71.0 97.0 122.
0.0 0.0 0.0 6.0 43.0 66.0 80.0 72.0 80.0 101.0 106.
0.0 0.0 0.0 5.0 30.0 58.0 89.0 97.0 98.0 113.0 138.
0.0 0.0 0.0 1.0 16.0 44.0 76.0 110.0 124.0 139.0 166.
0.0 0.0 0.0 0.0 6.0 37.0 74.0 100.0 128.0 157.0 170.
0.0 0.0 0.0 0.0 3.0 29.0 61.0 91.0 119.0 150.0 145.
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 21.0 62.0 75.0 111.0 132.0 117.
0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 16.0 48.0 70.0 104.0 110.0 93.
0.0 0.0 0.0 0.0 4.0 23.0 51.0 71.0 96.0 91.0 76.
0.0 0.0 0.0 0.0 6.0 38.0 66.0 83.0 83.0 76.0 58.
0.0 0.0 0.0 3.0 18.0 63.0 93.0 76.0 63.0 64.0 50.

```

図 5-1 基本標高地図の例

ヘッダ部

1 行目には、ファイル識別子として行頭から"<MASCOT_MAP lon-lat>"と記述します。

2 行目以降には、"変数名 = 値"の形でヘッダ情報を記述します。1 行に複数の"変数名 = 値"を記述しても構いません。改行をする場合は、カンマ(,)を記述後に改行をします。

変数の一覧と記述する内容は表 5-1-1 の通りです。余分な空行を入れるとエラーになります。

表 5-1-1 地図ファイルのヘッダに記述する変数の一覧

変数名	単位	値	備考
base_longitude	度 分	地図の左下(南西)隅の経度	度、分を1つ以上のスペースで区切って記述する
base_latitude	度 分	地図の左下(南西)隅の緯度	
d_lat	分	データの緯度方向の間隔	
d_lon	分	データの経度方向の間隔	
n_lat	-	緯度方向のデータ数	
n_lon	-	経度方向のデータ数	

データ部

データ部の先頭には行頭から"--DATA--"と記述します。行頭に空白があってははいけません。

2 行目以降には標高のデータを記述します。単位はメートル(m)です。一行目には、南西隅から始めて南東隅までの n_lon で指定した数のデータを記述し、次の行には同様に一つ北のデータを記述します。データの行数は n_lat に一致します。行内のデータの区切りにはスペース、カンマ、またはタブを用います。

図 5-1 の例ではスペースを用いています。

5-1-2. 詳細標高地図(Detailed Terrain Map)

風車や観測点近傍では基本標高地図に比べてさらに細かい解像度の地図を使うことができます。この細かい解像度の地図を「**詳細標高地図(Detailed Terrain Map)**」と呼びます。MASCOT Basic がメッシュを生成する際には基本標高地図と詳細標高地図の両方を参照し、詳細標高地図がある場所は詳細標高地図のデータを用い、基本標高地図のデータのみがある領域では基本標高地図のデータを用います。このため、基本標高地図と異なり、詳細標高地図の大きさには制限はありません。

詳細標高地図のフォーマットは基本標高地図と全く同じで、自分で作成することも可能ですし、MASCOT Basic の [Tool]-[Create Map from HGF]メニューで、北海道地図株式会社が発行する 10m メッシュ DEM より作成することもできます。北海道地図発行の 10m メッシュ DEM のフォーマットについては 5-1-5 を参照してください。

5-1-3. 基本粗度地図(Basic Roughness Map)

MASCOT Basic による計算では、地形データに加え地表面粗度のデータも必要となります。基本標高地図同様に(5-1)式で計算される半径(r)の領域をカバーする地表面粗度データを「**基本粗度地図(Basic Roughness Map)**」と呼びます。基本粗度地図に使用可能な地表面粗度のデータは、地形データと同様、緯度・経度方向に等間隔な緯度・経度座標系のラスタデータです。データのフォーマットは基本標高地図と全く同じで、データフィールドの標高値の代わりに粗度長(単位はメートル)を記述します。基本粗度地図も基本標高地図と同様に MASCOT Basic の[Tool]-[Create Basic Map]メニューを用いて作成することができます。

5-1-4. 詳細粗度地図(Detailed Roughness Map)

詳細標高地図と同様に、風車や観測地点近傍で、より細かい地表面粗度のデータを用いることができます。この地図を**詳細粗度地図(Detailed Roughness Map)**と呼びます。詳細粗度地図のフォーマットは基本粗度地図のフォーマットと全く同じです。

5-1-5. 北海道地図

MASCOT Basic の[Tool]-[Create Map from HGF]メニューを用いて詳細標高地図を作成するには北海道地図株式会社(以後、北海道地図(株)と略します)の発行する 10mメッシュ DEM を購入する必要があります。北海道地図(株)は何種類かのフォーマットで提供していますが、MASCOT が対応しているのは「**北海道地図(株)格子フォーマット Ver. 1.00**」のみですので、購入時にはこのフォーマットを指定して購入する必要があります。このフォーマットを以下に示します。

北海道地図(株)格子フォーマット(HGF)仕様

Version 1.00

1. 履歴

2000/07/03 ~ Version 1.00 - Release

2. 概要

本仕様書では北海道地図(株)格子フォーマット(以下"HGF"と略記)仕様について詳述する。

HGF は可変長のテキストファイル形式で記述され、各々の行レコードは空白コード(0x20)で区切られる任意数のフィールドより成る。

3. データ構造

以下では、格子データを構成する識別タグとその構造について列挙する。

各説明の冒頭に記述された**ボールド表記**は実際の書式を表しており、**イタリック表記**はその省略可能部分を示している。

また、< >で囲まれた部分が単一のフィールドを表しており、実際には具体的な数値ないし文字列データが格納される。

4. コメント(%%)

%% <文字列>

本タグで始まるレコードはコメントとして見なされ、処理上は無視される。

5. メタデータ

メタデータは[格子データ](#)に先立って記述されねばならない。

6. キーワード(%HGF)

%HGF <バージョン番号>

キーワードはファイルの先頭レコードに記述されねばならない。

本仕様書の定めるHGFのバージョン番号は"1.00"である。

7. 格子列数(%COLS)

%COLS <格子列数>

DEMデータの格子列数（X方向の数）を記述する。

8. 格子行数(%ROWS)

%ROWS <格子行数>

DEMデータの格子行数（Y方向の数）を記述する。

9. 格子データ

格子データは、格子行列の左から右方向へ上から下方向の順に[格子行数](#)×[格子列数](#)分記述される。

10. 記述例

100×100 の格子行列に標高値を記述した例

```
%HGF 1.00
%% メタデータ
%COLS 100
%ROWS 100
%% 格子データ
254 263 250 232 181 ....
211 242 253 270 280 ....
.....
```

5-2. MASCOT Utility (MASCOT ユーティリティ)

MASCOT Utility は MASCOT による風況精査・設計風速算定を支援するためのキャラクタユーザインタフェース (CUI) のプログラム群です。プロジェクトフォルダ内のテキスト形式の設定ファイルを編集し、コマンドプロンプトから実行ファイルを実行することにより結果が得られます。

MASCOT Utility は以下のプログラム群から構成されています。

- 5-2-1 mascot_tsa.exe ¹⁾ (時系列風況データの統計解析)
- 5-2-2 mascot_wene.exe ¹⁾ (風況精査)
- 5-2-3 mascot_weng.exe /0 ²⁾ (吹上角度, 乱れ強さ等の算定)
- 5-2-4 mascot_weng.exe ²⁾ (平均風速の割増係数等の算定)

- 1) MASCOT Version1.0 以上のライセンスでは、GUI で簡単に同様の解析が可能ですので MASCOT TSA Wizard および MASCOT Energy を使用してください。
- 2) 平均風速の割増係数等の算定は、Design wind speed プロジェクトでのみ解析可能です。MASCOT Version2.0 以上のライセンスが必要となります。

5-2-1. mascot_tsa.exe (時系列風況データの統計解析)

時系列の観測データ(カンマ、空白またはタブ区切りのテキストファイル)を解析し、統計量(風向・風速別出現頻度)を求め、風況ファイル(*.tab または *.mwt ファイル)に出力します。解析の手順、設定ファイル、入力ファイル、出力ファイルのフォーマットを以下に示します。

5-2-1-1. 解析の手順

1. 設定ファイル(mascot_tsa.min)を編集します。
[Tool]-[Utility]-[Edit Setting File]メニューで表 5-2-2 の説明に従って設定ファイルを編集します。
2. 入力ファイル(時系列の観測データ、例: Sample_Obs_data.csv)がプロジェクトフォルダ内にあることを確認します。
3. MASCOT Basic の[Tool]-[Command Prompt]メニューでコマンドプロンプト画面を出します。
4. 図 5-2 に示すようにコマンドプロンプト画面で"mascot_tsa.exe"とタイプしてプログラムを実行します。

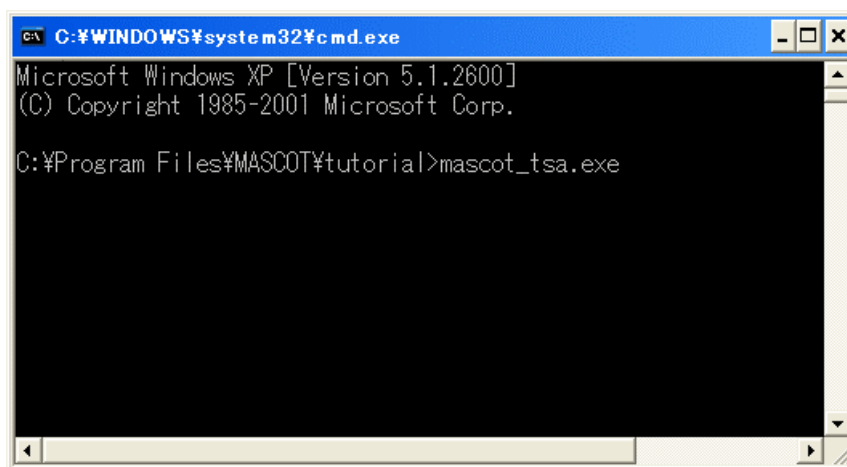


図 5-2 mascot_tsa.exe の実行

5. 計算実行パスに風況ファイルが作成されます。風況ファイルは風向・風速階級別の出現頻度の情報が記述されて

おり、フォーマット詳細については「5-2-1-4 出力ファイル」の説明を参照してください。

5-2-1-2. 設定ファイル(mascot_tsa.min)の説明

MASCOT Utility の設定ファイルは拡張子が“min”のテキスト(ASCII)ファイルです。設定ファイル内の、“!” (エクスクラメーション) で始まる行は全てコメント (無効) とみなされます。設定ファイルで設定する変数はネームリストと呼ばれるグループに分かれており、それぞれのネームリストは“& (アンパサンド) ネームリスト名”と記述された行で始まり、“変数名 = 値”の形で設定すべき変数の値を記述した行が続き、“/” (スラッシュ) と記述された行で終わります。1つのネームリスト内では空行は許されません。設定する変数は、実数型、整数型、論理型のいずれかに分類されます。表 5-2-1 に示すように、変数の型により値の書式が異なります。

表 5-2-1 変数の型と値の書式

変数の型	値の書式
実数型	「1.0」、 「2.5」、 「125.34」 などの小数点を含む数字
整数型	「1」、 「99」 などの小数点を含まない数字
文字列型	「'abc'」、 「'123'」 などの、シングルクォーテーションで囲まれた文字列
論理型	「.true.」 (真) または 「.false.」 (偽)

設定ファイル(mascot_tsa.min)の例は図 5-3、設定ファイルに記述する変数の一覧を表 5-2-2、例で示した設定ファイルに対応する時系列風況ファイルを図 5-4 に示します。

```

|! mascot_tsa.min
&tsa_general
description='LightHouse_20m',
lon = 140.0 20.0 45.1,
lat = 41.00 15.0 20.6,
height=20.0,
source_type='observation',
/

&tsa_files
n_in_file=1,
in_file(1)='Sample_Obs_data.csv',
first_low=2,
last_low=8761,
read_to_end=.true.,
out_file='LightHouse.mwt',
/

&tsa_condition
u_clmn=7,
u_ofst=0.0,
u_mtpl=1.0,
u_uplim=90.0,
u_lwlim=0.0,
d_clmn=8,
d_ofst=0.0,
d_mtpl=1.0,
d_uplim=900.0,
d_lwlim=-90.0,
monthly=.true.,
m_clmn=3,
hourly=.true.,
h_clmn=5,
yearly=.false.,
y_clmn=2,
da_clmn=4,
mi_clmn=6,
advanced_analysis=1,
time_definition='end',
/

&tsa_bin_setting
nwd=16.0,
max_class=30.0,
du=1.0,
/

```

ヘッダ情報の設定

入力ファイルの設定

解析条件の設定

風速風向階級の設定

図 5-3 mascot_tsa.min の例

表 5-2-2 mascot_tsa.min で設定する変数の一覧

ネームリスト名	変数名	説明	型
tsa_general (一般的な設定)	description	観測地点の説明	文字列 ¹⁾
	lon	観測地点の経度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数
	lat	観測地点の緯度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数
	height	観測地点の地上高(m)	実数
	Source type	時系列風況データの種類 “Observation” : 観測データ “atlas” : 気象解析データ	文字列
tsa_file (入出力ファイルの設定)	n_in_file	入力として用いる時系列データのファイル数	整数 (< 12)
	in_file(n)	入力として用いる時系列データのファイル名(n_in_file 個)	文字列 ²⁾
	first_low	入力ファイルにおけるデータの開始行	整数
	last_low	入力ファイルにおけるデータの終了行 read_to_end=false.の時のみ有効	整数
	read_to_end	入力ファイルにおけるデータの読み込み範囲 = .true. : first_low から最後まで .false. : first_low から last_low まで	論理
out_file	出力ファイル名。拡張子は変数名: Advanced_analysis に依存します	文字列 ²⁾	
tsa_condition (解析条件の設定)	u_clmn	入力ファイルにおいて風速データが記述されている列の位置	整数
	u_ofst u_mtpl	風速補正係数 $u_{out} = u_m \times u_mtpl + u_ofst$	実数
	u_uplim u_lwlim	有効風速の上限値(m/s) 有効風速の下限値(m/s) $u_lwlim < u < u_uplim$ の範囲の風速が有効風速となります	実数
	d_clmn	入力ファイルにおいて風向データが記述されている列の位置	整数
	d_ofst d_mtpl	風向補正係数 $d_{out} = d_m \times d_mtpl + d_ofst$	実数
	d_uplim d_lwlim	有効風向の上限値(°) 有効風向の下限値(°) $d_lwlim < d < d_uplim$ の範囲の風向が有効風向となります	実数
	monthly	月毎統計結果の出力の有無 = .false. : 出力しない .true. : 出力する	論理
	m_clmn	入力ファイルにおいて月データが記述されている列の位置 (monthly = .true.の時のみ有効)	整数
	hourly	時間毎統計結果の出力の有無 = .false. : 出力しない .true. : 出力する	論理
	h_clmn	入力ファイルにおいて時データが記述されている列の位置 (hourly = .true.の時のみ有効)	整数
	yearly	年毎統計結果の出力の有無 = .false. : 出力しない .true. : 出力する	論理
	y_clmn	入力ファイルにおいて年データが記述されている列の位置 (yearly = .true.の時のみ有効)	整数
	da_clmn	入力ファイルにおいて日データが記述されている列の位置	整数
	mi_clmn	入力ファイルにおいて分データが記述されている列の位置	整数
	Advanced_analysis	出力フォーマットタイプ =0: WAsP_type フォーマット (* .tab) =1: mascot_type フォーマット (* .mwt)	整数
	time_definition	入力ファイルにおいてタイムスタンプが平均化時間のどこに対応するかを示します。デフォルトは time_definition='end'で、気象庁と同様に、平均化時間の最後の時間をタイムスタンプとしています。他に'beginning'と'center'が選べます。	文字列 ³⁾
tsa_bin_setting (離散化の設定)	nwd	風向数	整数
	max_class	風速階級の最大値(m/s)	実数
	du	風速階級のきざみ幅(m/s)	実数

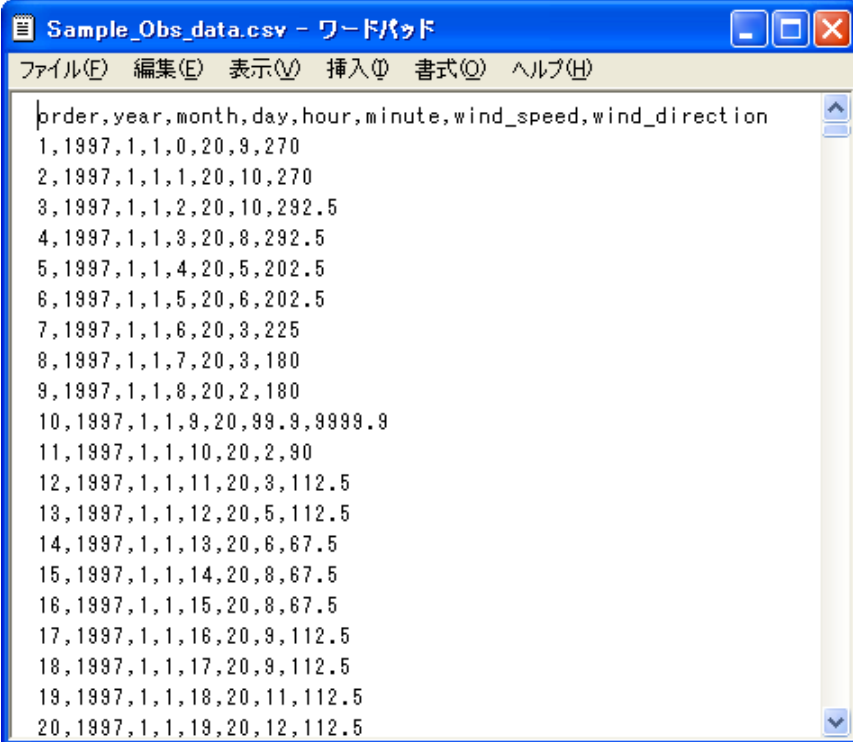
1)文字数制限は半角 20 文字以内

2)文字数制限は半角 256 文字以内

3)説明に記述された値のみを記述できます

5-2-1-3. 入力ファイルの説明【時系列の観測データのフォーマット】

入力として与えることのできる観測データはカンマ(,) スペース、またはタブを列の区切りとし、改行を行の区切りとする ASCII ファイルです。日本語文字(2 バイトの文字)が含まれていると問題が生じる可能性があるため、日本語の文字が含まれている時はあらかじめ取り除いておいてください。また、行内にスラッシュ(/)が含まれていると、正しい解析ができませんので日付等の列にスラッシュ(/)が含まれていないことを確認してください。日付の列にスラッシュが含まれている場合はあらかじめ他の文字列に変換しておく必要があります。以下に入力ファイルの例を示します。この例ではカンマ(,)を列の区切りとしています。



```

order,year,month,day,hour,minute,wind_speed,wind_direction
1,1997,1,1,0,20,9,270
2,1997,1,1,1,20,10,270
3,1997,1,1,2,20,10,292.5
4,1997,1,1,3,20,8,292.5
5,1997,1,1,4,20,5,202.5
6,1997,1,1,5,20,6,202.5
7,1997,1,1,6,20,3,225
8,1997,1,1,7,20,3,180
9,1997,1,1,8,20,2,180
10,1997,1,1,9,20,99.9,9999.9
11,1997,1,1,10,20,2,90
12,1997,1,1,11,20,3,112.5
13,1997,1,1,12,20,5,112.5
14,1997,1,1,13,20,6,67.5
15,1997,1,1,14,20,8,67.5
16,1997,1,1,15,20,8,67.5
17,1997,1,1,16,20,9,112.5
18,1997,1,1,17,20,9,112.5
19,1997,1,1,18,20,11,112.5
20,1997,1,1,19,20,12,112.5

```

図 5-4 入力として用いる時系列データの例

図 5-4 の例では 2 行目からデータが始まります。7 列目に風速、8 列目に風向のデータが格納されています。風速の単位は(m/s)、風向の単位は(°)で北から時計回りで定義される方向です。風向の定義方法や単位が違う場合は設定ファイル内のパラメータ `u_ofst`、`u_mtpl`、`d_ofst`、`d_mtpl` 等を調整してください。

風速や風向の欠測値がある場合には 99.9 や 999 など大きい数値を入力した上で、設定ファイル内のパラメータ `u_uplim`、`d_uplim` 等を調整して明示的に有効データから省くようにしてください。風速、風向データの中に空欄があると正しい解析ができません。

5-2-1-4. 出力ファイルの説明【風況ファイル(*.tabファイル)のフォーマット】

mascot_tsa.min で設定する変数の Advanced_analysis = 0 を設定した場合、風況ファイルは拡張子が"tab"の WAsP_type フォーマットで風向・風速階級別の出現頻度が記述されています。ファイルフォーマットを以下に記述します。

図 5-5 出力ファイル(*.tabファイル)の例

- 1 行目：説明行。設定ファイルの description（変数名）で設定した観測地点の説明が記述されています。
- 2 行目：観測地点の緯度(°)、経度(°)および風速計の高さ(m)
- 3 行目：風向数、風速補正係数(1.0)¹⁾、風向補正係数(0.00)¹⁾
- 4 行目：各風向の出現頻度(%)
- 5 行目：風速階級 1 の上限値(m/s)、各風向内での風速階級 1 の出現率(‰)
- 6 行目：風速階級 2 の上限値(m/s)、各風向内での風速階級 2 の出現率(‰)
- 7 - n 行目～：風速階級 3～(n-4)の上限値(m/s)、各風向内での風速階級 3～(n-4)の出現率(‰)

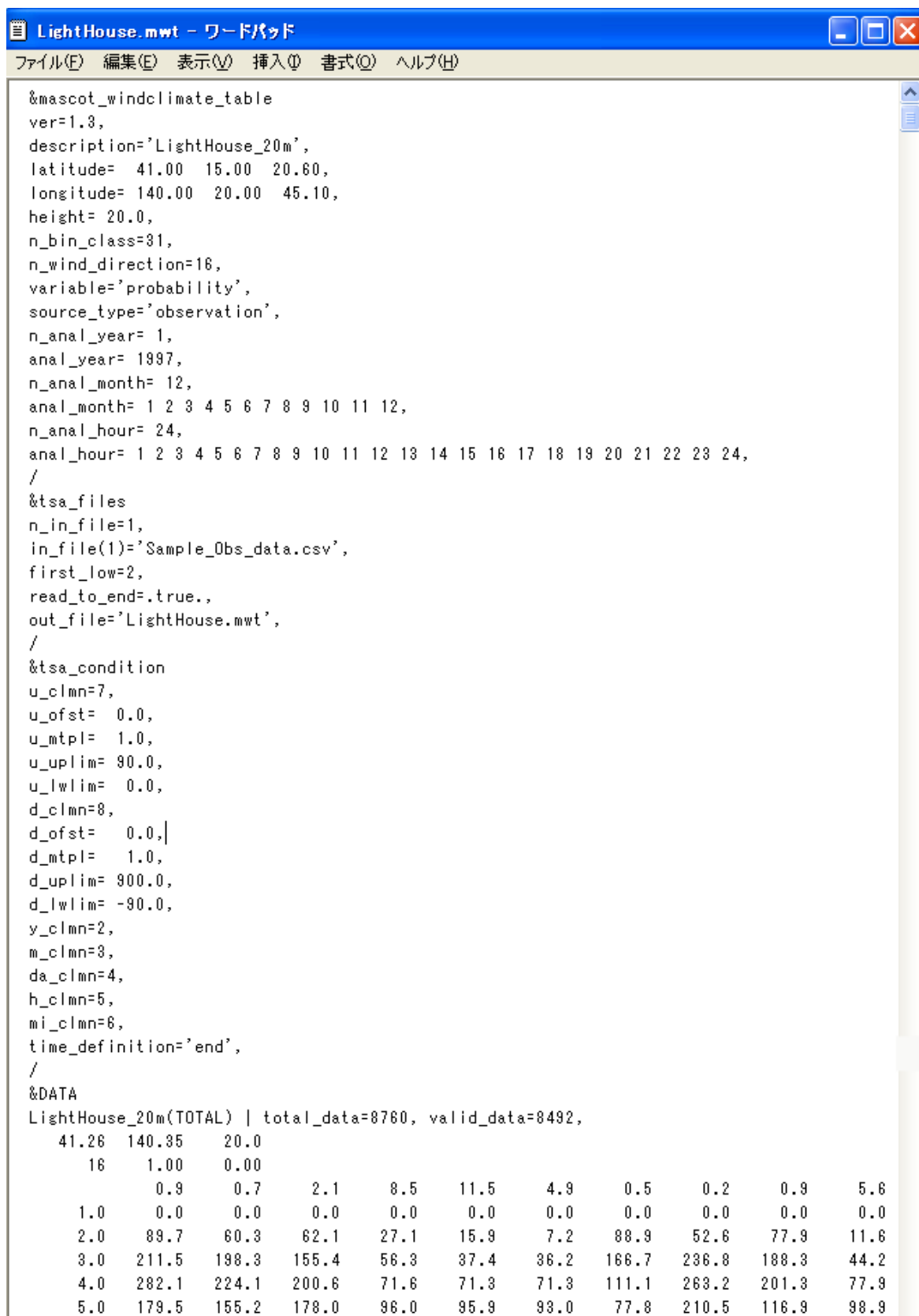
風速階級数に上限はありませんが、風向数は 360 (1.0 度刻み) 以下でなければなりません。また、風速階級の幅は等しくなくても構いませんが、各風向の幅は等しくなければいけません。風速の発生頻度はパーミル(‰)で記述されており、各風向内での階級別風速発生頻度の合計値は 1000 になります。

2 行目の観測地点の位置は緯度・経度で記述されますが、正の値は北緯・東経を、負の値は南緯・西経を示します。つまり、緯度は-90°~+90°の間の値、経度は-180°~+180°の間の値でなければいけません。

1) 本来、この係数を指定することで風向や風速の補正ができるようになってはいますが、MASCOT Basic Ver. 2.0 ではこの機能はサポートされていません。したがって、風速補正係数の値は 1.0、風向補正係数の値は 0.0 でなければいけません。

5-2-1-5. 出力ファイルの説明【風況ファイル(*.mwt ファイル)のフォーマット】

mascot_tsa.min で設定する変数の Advanced_analysis = 1 を設定した場合、風況ファイルは拡張子が“mwt”の MASCOT_type フォーマットで風向・風速階級別の出現頻度が記述されています。ファイルフォーマットを以下に記述します。



```

&mascot_windclimate_table
ver=1.3,
description='LightHouse_20m',
latitude= 41.00 15.00 20.60,
longitude= 140.00 20.00 45.10,
height= 20.0,
n_bin_class=31,
n_wind_direction=16,
variable='probability',
source_type='observation',
n_anal_year= 1,
anal_year= 1997,
n_anal_month= 12,
anal_month= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12,
n_anal_hour= 24,
anal_hour= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24,
/
&tsa_files
n_in_file=1,
in_file(1)='Sample_Obs_data.csv',
first_low=2,
read_to_end=.true.,
out_file='LightHouse.mwt',
/
&tsa_condition
u_clmn=7,
u_ofst= 0.0,
u_mtpl= 1.0,
u_uplim= 90.0,
u_lwlim= 0.0,
d_clmn=8,
d_ofst= 0.0,
d_mtpl= 1.0,
d_uplim= 900.0,
d_lwlim= -90.0,
y_clmn=2,
m_clmn=3,
da_clmn=4,
h_clmn=5,
mi_clmn=6,
time_definition='end',
/
&DATA
LightHouse_20m(TOTAL) | total_data=8760, valid_data=8492,
  41.26 140.35 20.0
    16  1.00  0.00
      0.9  0.7  2.1  8.5 11.5  4.9  0.5  0.2  0.9  5.6
    1.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
    2.0 89.7 60.3 62.1 27.1 15.9  7.2 88.9 52.6 77.9 11.6
    3.0 211.5 198.3 155.4 56.3 37.4 36.2 166.7 236.8 188.3 44.2
    4.0 282.1 224.1 200.6 71.6 71.3 71.3 111.1 263.2 201.3 77.9
    5.0 179.5 155.2 178.0 96.0 95.9 93.0 77.8 210.5 116.9 98.9

```

図 5-6 出力ファイル(*.mwt)の例

ヘッダ部

ヘッダ部のフォーマットは Fortran90 のネームリスト形式に従います。ネームリスト形式では、変数がネームリストと呼ばれるグループに分かれています。それぞれのネームリストは” & (アンパサンド) ネームリスト名 ”と記述された行で始まり、” パラメータ = 値、 ” の形で設定すべき変数の値を記述した行が続き、” / ” (スラッシュ) と記述された行で終わります。時系列観測データから mascot_tsa.exe によって作られた *.mwt ファイルでは図 5-6 に示すようにヘッダ部に ” mascot_windclimate_table ”、” tsa_files ”、” tsa_condition ” の3つのネームリストが定義されています。このうち、” mascot_windclimate_table ” の情報は MASCOT による風況精査に用いますので、自身で *.mwt ファイルを作成する際には ” mascot_windclimate_table ” の情報を最低限記述する必要があります。

表 5-2-3 出力ファイル (*.mwt) のヘッダ部の説明

ネームリスト名	変数名	説明	型
mascot_windclimate_table (一般的な設定)	Ver	*.mwt ファイルのバージョン番号(ユーザーが編集しないこと)	実数
	description	説明文字列	文字列 ¹⁾
	latitude	緯度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数×3 ²⁾
	longitude	経度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数×3 ²⁾
	height	観測地点の地上高(m)	実数
	elevation	地表面高さ(m)	実数
	n_bin_class	風速階級の数	整数
	n_wind_direction	風向の数	整数
	variables	このファイルに記述されている内容 ³⁾ “probability” : 風向・風速別出現頻度 “energy_density” : 風力エネルギー密度 “power_production” : 風力発電量	文字列 ¹⁾
	Source_type	統計に用いた観測データの種類 “Observation” : 観測から得た風況データ “atlas” : 気象解析から得た風況データ	文字列
	n_anal_year	年別解析を行った年数 ⁴⁾	整数
	anal_year	年別解析を行った年(西暦) ⁵⁾	整数
	n_anal_month	月別解析を行った月数 ⁴⁾	整数
	anal_month	月別解析を行った月 ⁵⁾	整数
	n_anal_hour	時間別解析を行った時間数 ⁴⁾	整数
anal_hour	時間別解析を行った時間 ⁵⁾	整数	
tsa_file (mascot_tsa.exe において設定された入出力ファイルに関する設定)	n_in_file	入力として用いる時系列データのファイル数	整数
	in_file(n)	入力として用いる時系列データのファイル名(n_in_file個) ⁶⁾	文字列 ¹⁾
	first_low	入力ファイルにおけるデータの開始行	整数
	read_to_end	入力ファイルにおけるデータの読み込み範囲 = .true. : first_low から最後まで .false. : first_low から last_low まで	論理
	last_low	入力ファイルにおけるデータの終了行 read_to_end=.false.の時のみ記述される	整数
out_file	出力ファイル名	文字列 ¹⁾	
tsa_condition (mascot_tsa.exe によって設定された解析条件の設定)	u_clmn	入力ファイルにおいて風速データが記述されている列の位置	整数
	u_ofst	風速補正係数	実数
	u_mtpl	$u_{out} = u_{in} \times u_mtpl + u_ofst$	
	u_uplim	有効風速の上限值(m/s)	実数
	u_lwlim	有効風速の下限值(m/s) $u_lwlim < u < u_uplim$ の範囲の風速が有効風速となります	
	d_clmn	入力ファイルにおいて風向データが記述されている列の位置	整数
	d_ofst	風向補正係数	実数
	d_mtpl	$d_{out} = d_{in} \times d_mtpl + d_ofst$	
	d_uplim	有効風向の上限值(°)	実数
	d_lwlim	有効風向の下限值(°) $d_lwlim < d < d_uplim$ の範囲の風向が有効風向となります	
	y_clmn	入力ファイルにおいて年データが記述されている列の位置	整数
	m_clmn	入力ファイルにおいて月データが記述されている列の位置	整数
	da_clmn	入力ファイルにおいて日データが記述されている列の位置	整数
	h_clmn	入力ファイルにおいて時データが記述されている列の位置	整数
mi_clmn	入力ファイルにおいて分データが記述されている列の位置	整数	
time_definition	タイムスタンプの位置 ⁷⁾ 'end'=最後 'center'=中央 beginning'=最初	文字列 ⁸⁾	

データ部

データ部は"&DATA"とのみ記述された 1 行から始まります。データ部は、解析ケース別のブロックとなっています。't_case'で示された解析ケースのリストの順番に、'n_case'で指定された数だけ、ブロックが続きます。各ブロック内のフォーマットは以下のようになっています。なお、各ブロック内のデータフォーマットは WAsP の *.tab 形式のファイルと同一のものとなっています。

1 行目：説明行。設定ファイルの description (変数名) で設定した観測地点の説明が記述されています。

2 行目：観測地点の緯度(°)、経度(°)および風速計の高さ(m)

3 行目：風向数、風速補正係数(1.0)、風向補正係数(0.00) ⁹⁾

4 行目：各風向の出現頻度(%)

5 行目：風速階級 1 の上限値(m/s)、各風向内での風速階級 1 の出現率(%)

6 行目：風速階級 2 の上限値(m/s)、各風向内での風速階級 2 の出現率(%)

7 - n 行目 ~ : 風速階級 3 ~ (n-4)の上限値(m/s)、各風向内での風速階級 3 ~ (n-4)の出現率(%)

風速階級数に上限はありませんが、風向数は 360 以下でなければなりません。また、風速階級の幅は等しくなくとも構いませんが、各風向の幅は等しくなければいけません。風速の発生頻度はパーミル(‰)で記述されており、各風向内での階級別風速発生頻度の合計値は 1000 になります。

2 行目の観測地点の位置は緯度・経度で記述されますが、正の値は北緯・東経を、負の値は南緯・西経を示します。つまり、緯度は-90°~+90°の間の値、経度は-180°~+180°の間の値でなければいけません。

注：

- 1) 文字列としては ASCII 文字(半角英数字)のみが許され、文字数の上限値は 256 文字です。
- 2) 緯度・経度の指定は実数値を度、分、秒の順にスペースで区切って並べます。なお、全て実数型として記述する必要がありますので、例えば東経 135 度 20 分 34.5 秒を指定したい場合は、"135.0 20.0 34.5"のように全ての数字に小数点をつける必要があります。また、MASCOT における測地系は现阶段では全て旧測地系(東京測地系)です。
- 3) 本ファイルは、風向・風速階級別出現頻度だけでなく、MASCOT Energy で解析した結果得られた風力エネルギー密度、風力発電量の風向・風速別の値を保存するためにも用います。variable='probability'であれば保存されている量が風向・風速別の出現頻度であることを、variable='energy_density'であれば風力エネルギー密度であることを、variable='power_production'であれば風力発電量であることを示します。
- 4) *.mwt ファイルは全データに基づく出現頻度の他に、月別・時間別などの出現頻度の情報を持つことができます。

'n_anal_year=0'以外である場合は、年別の出現頻度が追加記述されています。従って、元の時系列ファイルが 3 年間のデータがあれば'n_anal_year=3'と記述され、全データに基づく出現頻度 1 ケースと、年別の出現頻度 3 ケースの計 4 ケースがこのファイルに含まれます。

'n_anal_month=0'以外である場合は、月別の出現頻度が追加記述されています。従って、元の時系列ファイルが 3 年間であり、全月のデータがあれば'n_anal_month=12'と記述され、全データに基づく出現頻度 1 ケースと、年別の出現頻度 3 ケース、月別の出現頻度 12 ケースの計 16 ケースがこのファイルに含まれます。

同様に'n_anal_hour=0'以外である場合は、時間別の出現頻度が追加記述されています。従って、元の時系列ファイルが 3 年間、全月、毎正時のデータがあれば'n_anal_hour=24'と記述され、全データに基づく出現頻度 1 ケースと、年別の出現頻度 3 ケース、月別の出現頻度 12 ケース、時間別の出現頻度 24 ケースの計 40 ケースが

このファイルに含まれます。

ただし、TSA Wizard には、年別解析機能は実装されていないので、'n_anal_year=0'となります。

- 5) 'n_anal_year=0'の場合、記述されません。
'n_anal_month=0'の場合、記述されません。
'n_anal_hour=0'の場合、記述されません。
- 6) 元となる時系列データのファイル名が順に'in_file(1)=', 'in_file(2)=', ...と記述されます。
ただし、TSA Wizard には、複数の時系列データファイルを読み込む機能は実装されていないので、'n_in_file=1'となります。
- 7) 入力ファイルにおいてタイムスタンプは平均化時間のどこに対応するかを示します。デフォルトはtime_definition='end'で、気象庁と同様に、平均化時間の最後の時間をタイムスタンプとしています。
- 8) 説明に記述された値のみを記述できます。
- 9) 本来、この係数を指定することで風向や風速の補正ができるようになっていますが、MASCOT Basic Ver. 2.0ではこの機能はサポートされていません。したがって、風速補正係数の値は1.0、風向補正係数の値は0.0でなければいけません。

5-2-2. mascot_wene.exe (風況精査 - 任意地点での風況 / 風力発電量予測)

MASCOT Basic によって計算された気流場と、領域内での 1 点の風況(前節で作成した風況ファイル)、および風車のパワーカーブ(*.pow ファイル)から領域内の任意の地点での風況(風向・風速別出現頻度)、年間風力発電量を予測します。解析手順、設定ファイル、入力ファイル、出力ファイルのフォーマットを以下に示します。

5-2-2-1. 解析手順

1. 設定ファイル(mascot_wene.min)を編集します。
[Tool]-[Utility]-[Edit Setting File]メニューで、表 5-2-4 の説明に従って設定ファイル mascot_wene.min を編集します。
2. 解析に必要な観測風況ファイル(*.tab または *.mwt ファイル)、風車のパワーカーブファイル(*.pow ファイル)がプロジェクトフォルダにあることを確認します。
3. MASCOT Basic の[Tool]-[Command Prompt]メニューでコマンドプロンプト画面を出します。
4. 図 5-7 に示すようにコマンドプロンプトで"mascot_wene.exe"とタイプしてプログラムを実行します。

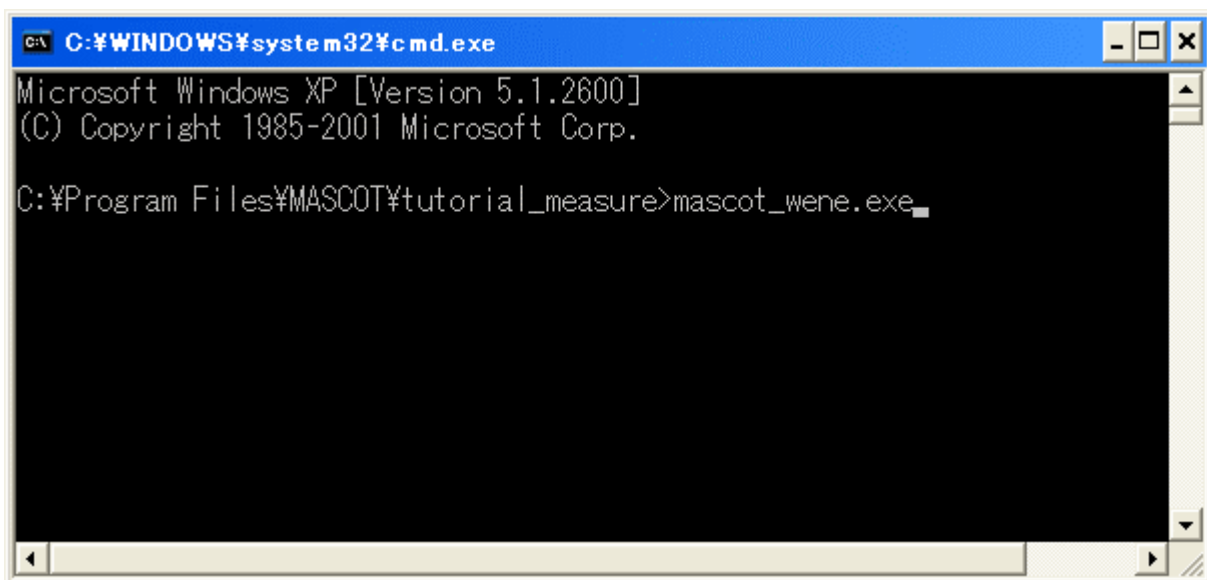


図 5-7 mascot_wene.exe の実行

5. カレントディレクトリに wind_energy-*site-label*.tab(例: wind_energy-LightHouse_20m.tab)というファイルと、wind_energy-*site-label*.mwp(例 : wind_energy-LightHouse_20m.mwp) というファイルができます。wind_energy-*site-label*.tab は入力に用いた風況ファイルと同じフォーマットで、各風車位置での予測された風況(風向・風速別出現頻度)が記述されています。また、wind_energy-*site-label*.mwp には、各風車位置での風向別と全風向のワイブルパラメータ、平均風速、年間風力発電量が記述されており、そのフォーマットは 5-2-2-4 節に示します。

標記中の斜体文字はユーザーの設定した任意の文字列を示します。

5-2-2-2. 設定ファイル(mascot_wene.min)の説明

mascot_wene.exe の設定ファイル(mascot_wene.min)も拡張子が"min"の ASCII ファイルで、mascot_tsa.min とほぼ同じフォーマットですが、mascot_wene.min にはただ一つのネームリスト mascot_wene_input_parameters しかありません。図 5-8 に設定ファイルの例を示し、

表 5-2-4 に設定ファイルに記述すべき変数の一覧をまとめます。

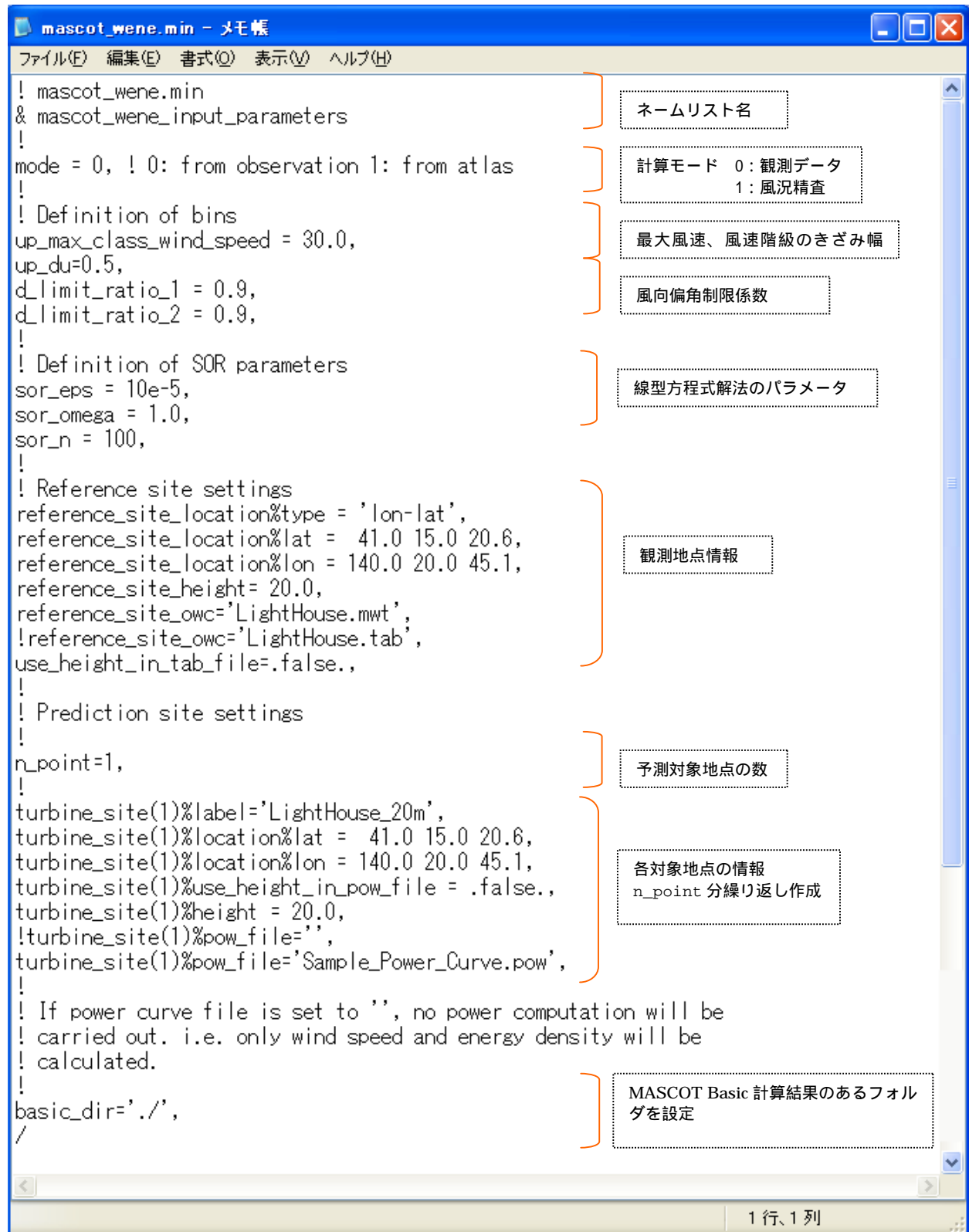


図 5-8 mascot_wene.min の例

表 5-2-4 mascot_wene.min で設定する変数の一覧

変数名	説明	型
mode	計算モード = 0 : 観測結果から予測 = 1 : 気象モデルから予測	整数
up_max_class_wind_speed	最大風速階級の風速値(m/s)	実数
up_du	風速階級のきざみ幅(m/s)	実数
d_limit_ratio_1 d_limit_ratio_2	逆解析時の風向偏差制限係数 順解析時の風向偏差制限係数	実数
sor_eps sor_omega sor_n	線形 1 次方程式の解法(SOR 法)のパラメータ	実数
reference_site_location%lat	観測地点の緯度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数 × 3
reference_site_location%lon	観測地点の経度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数 × 3
reference_site_height	観測地点の高さ(m) use_height_in_tab_file=false. の時のみ有効	実数
reference_site_owc	観測地点の風況ファイル名	文字列 ¹⁾
use_height_in_tab_file	観測地点で風況ファイル中の風車高さの使用の有無 = .false. : 使用しない .true. : 使用する	論理
n_point	予測地点の数	整数
turbine_site(n)%label	n 番目の予測地点のラベル	文字列 ²⁾
turbine_site(n)%location%lat	n 番目の予測地点の緯度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数
turbine_site(n)%location%lon	n 番目の予測地点の経度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数
turbine_site(n)%use_height_in_pow_file	n 番目の予測地点においてパワーカーブファイル(*.pow) 内の風車高さの使用の有無 = .false. : 使用しない .true. : 使用する	論理
turbine_site(n)%height	n 番目の予測地点の高さ(m) turbine_site(n)%use_height_in_pow_file=false. の時のみ有効	実数
turbine_site(n)%pow_file	n 番目の予測地点の風車のパワーカーブファイル名	文字列 ¹⁾
basic_dir	MASCOT Basic 計算結果のあるフォルダを設定	文字列 ¹⁾

1) reference_site_owc、turbine_site(n)%pow_file、basic_dir の文字数は半角 256 文字以内

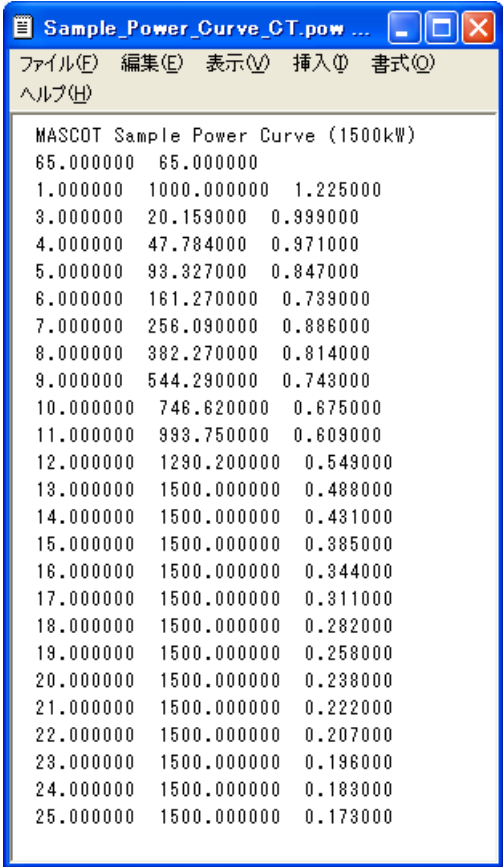
2) turbine_site(n)%label の文字数は半角 20 文字以内

5-2-2-3. 入力ファイルの説明

A . 風況ファイル(*.tab , *.mwt ファイル)については 5-2-1-3 節と 5-2-1-4 節を参照してください。

B . パワーカーブファイル(*.pow ファイル)

パワーカーブファイルは拡張子が“pow”の ASCII(テキスト)ファイル形式で、風速に対応する発電量が記述されています。パワーカーブは各風車メーカーから入手することができます。図 5-9 にパワーカーブファイルの例を示します。



```

MASCOT Sample Power Curve (1500kW)
65.000000 65.000000
1.000000 1000.000000 1.225000
3.000000 20.159000 0.999000
4.000000 47.784000 0.971000
5.000000 93.327000 0.847000
6.000000 161.270000 0.739000
7.000000 256.090000 0.886000
8.000000 382.270000 0.814000
9.000000 544.290000 0.743000
10.000000 746.620000 0.675000
11.000000 993.750000 0.609000
12.000000 1290.200000 0.549000
13.000000 1500.000000 0.488000
14.000000 1500.000000 0.431000
15.000000 1500.000000 0.385000
16.000000 1500.000000 0.344000
17.000000 1500.000000 0.311000
18.000000 1500.000000 0.282000
19.000000 1500.000000 0.258000
20.000000 1500.000000 0.238000
21.000000 1500.000000 0.222000
22.000000 1500.000000 0.207000
23.000000 1500.000000 0.196000
24.000000 1500.000000 0.183000
25.000000 1500.000000 0.173000

```

図 5-9 パワーカーブファイルの例

1 行目：説明行。このパワーカーブの説明が記述されています。

2 行目：風車のハブ高さ(m)、ロータ直径(m)

3 行目：風速補正係数 f_u 、発電量補正係数 f_p 、標準空気密度(kg/m^3)

4 行目～：風速階級の上限值(m/s)、発電量(W)、スラスト係数(省略)

$$\text{風速(m/s)} = \text{風速補正係数 } f_u \times \text{風速階級の上限值 (m/s)}$$

$$\text{発電量(W)} = \text{発電量補正係数 } f_p \times \text{発電量 (W)}$$

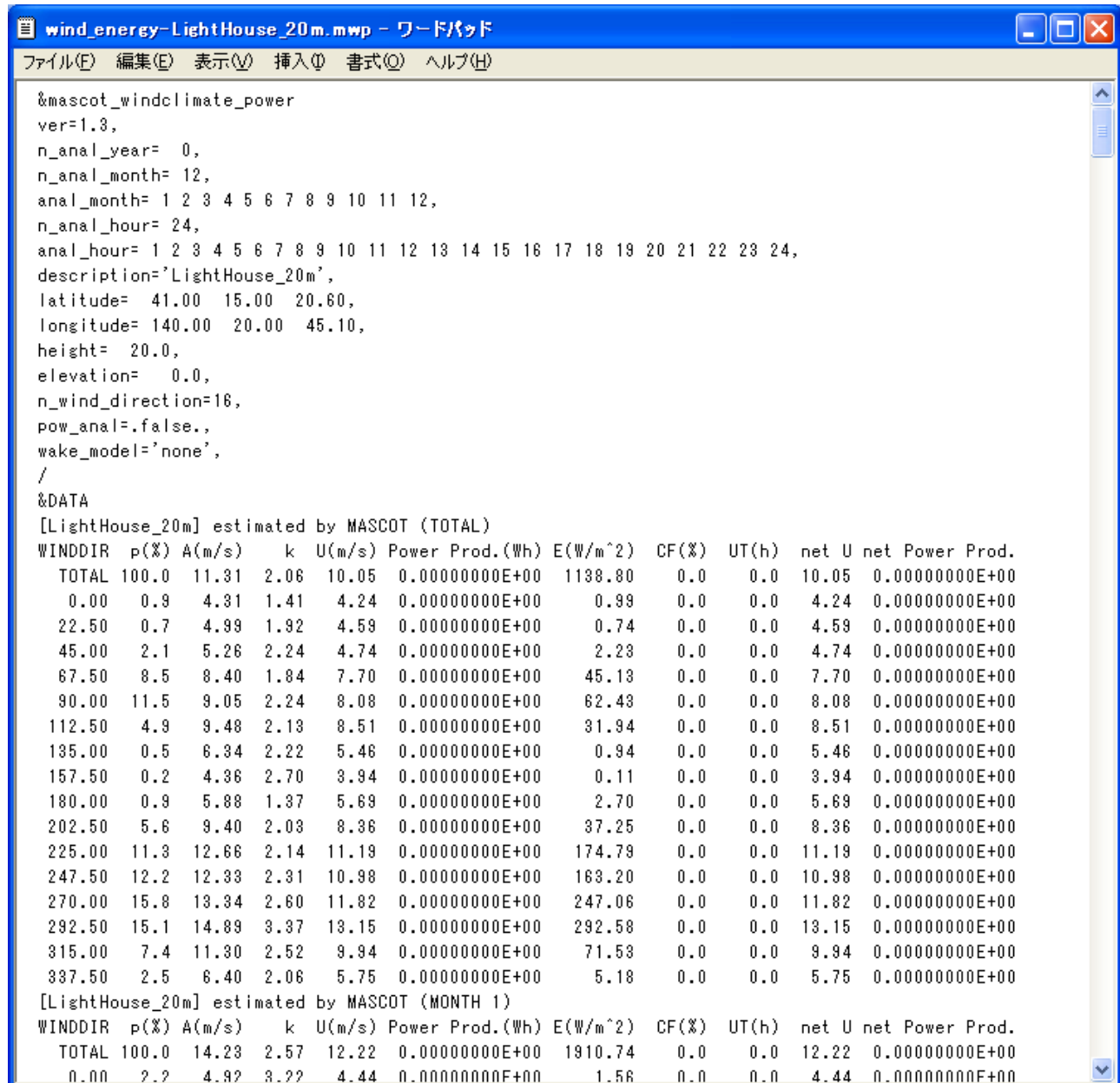
発電量補正係数 f_p と発電量の単位は (W) または (kW) のどちらかに統一しなければいけません。発電量を (kW) で与える場合は、3 行目の発電量補正係数 f_p は 1000 にします。また、この発電量補正係数 f_p は標準空気密度 $1.225\text{kg}/\text{m}^3$ (大気圧 1013.25hPa 、気温 15) の場合の値であり、気温や気圧が異なる場合、 f_p を修正しなければいけません。例えば平均気温が 20 で、風車高さは海拔 400m 、発電量が(kW)で与えられた場合、発電量補正係数 f_p は 938.8 になります。

5-2-2-4. 出力ファイルの説明

A. 風況ファイル(*.tab, *.mwt ファイル)については5-2-1-3節と5-2-1-4節を参照してください。

B. 予測発電量ファイル(*.mwp ファイル)

予測発電量ファイルは拡張子が“mwp”のASCIIファイルで、全風向・風向別の出現頻度、ワイブル係数、平均風速、風力発電量が記述されています。図5-10に予測発電量ファイルの例を示します。



```

wind_energy-LightHouse_20m.mwp - ワードパッド
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 挿入(I) 書式(O) ヘルプ(H)

&mascot_windclimate_power
ver=1.3,
n_anal_year= 0,
n_anal_month= 12,
anal_month= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12,
n_anal_hour= 24,
anal_hour= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24,
description='LightHouse_20m',
latitude= 41.00 15.00 20.60,
longitude= 140.00 20.00 45.10,
height= 20.0,
elevation= 0.0,
n_wind_direction=16,
pow_anal=.false.,
wake_model='none',
/
&DATA
[LightHouse_20m] estimated by MASCOT (TOTAL)
WINDDIR p(%) A(m/s) k U(m/s) Power Prod.(Wh) E(W/m^2) CF(%) UT(h) net U net Power Prod.
TOTAL 100.0 11.31 2.06 10.05 0.00000000E+00 1138.80 0.0 0.0 10.05 0.00000000E+00
0.00 0.9 4.31 1.41 4.24 0.00000000E+00 0.99 0.0 0.0 4.24 0.00000000E+00
22.50 0.7 4.99 1.92 4.59 0.00000000E+00 0.74 0.0 0.0 4.59 0.00000000E+00
45.00 2.1 5.26 2.24 4.74 0.00000000E+00 2.23 0.0 0.0 4.74 0.00000000E+00
67.50 8.5 8.40 1.84 7.70 0.00000000E+00 45.13 0.0 0.0 7.70 0.00000000E+00
90.00 11.5 9.05 2.24 8.08 0.00000000E+00 62.43 0.0 0.0 8.08 0.00000000E+00
112.50 4.9 9.48 2.13 8.51 0.00000000E+00 31.94 0.0 0.0 8.51 0.00000000E+00
135.00 0.5 6.34 2.22 5.46 0.00000000E+00 0.94 0.0 0.0 5.46 0.00000000E+00
157.50 0.2 4.36 2.70 3.94 0.00000000E+00 0.11 0.0 0.0 3.94 0.00000000E+00
180.00 0.9 5.88 1.37 5.69 0.00000000E+00 2.70 0.0 0.0 5.69 0.00000000E+00
202.50 5.6 9.40 2.03 8.36 0.00000000E+00 37.25 0.0 0.0 8.36 0.00000000E+00
225.00 11.3 12.66 2.14 11.19 0.00000000E+00 174.79 0.0 0.0 11.19 0.00000000E+00
247.50 12.2 12.33 2.31 10.98 0.00000000E+00 163.20 0.0 0.0 10.98 0.00000000E+00
270.00 15.8 13.34 2.60 11.82 0.00000000E+00 247.06 0.0 0.0 11.82 0.00000000E+00
292.50 15.1 14.89 3.37 13.15 0.00000000E+00 292.58 0.0 0.0 13.15 0.00000000E+00
315.00 7.4 11.30 2.52 9.94 0.00000000E+00 71.53 0.0 0.0 9.94 0.00000000E+00
337.50 2.5 6.40 2.06 5.75 0.00000000E+00 5.18 0.0 0.0 5.75 0.00000000E+00
[LightHouse_20m] estimated by MASCOT (MONTH 1)
WINDDIR p(%) A(m/s) k U(m/s) Power Prod.(Wh) E(W/m^2) CF(%) UT(h) net U net Power Prod.
TOTAL 100.0 14.23 2.57 12.22 0.00000000E+00 1910.74 0.0 0.0 12.22 0.00000000E+00
0.00 2.2 4.92 3.22 4.44 0.00000000E+00 1.56 0.0 0.0 4.44 0.00000000E+00

```

図 5-10 予測発電量ファイルの例

ヘッダ部

ヘッダ部は Fortran90 のネームリスト形式で、ただ一つのネームリスト "mascot_windclimate_power"からなります。Fortran90 のネームリスト形式の詳細については 5-2-1-5 節を参照してください。記述すべきパラメータとその意味を表 5-2-5 に示します。

表 5-2-5 予測発電量ファイル(*.mwp ファイル)に記述するパラメータ

変数名	説明	型
ver	*.mwp ファイルのバージョン番号 (ユーザーが編集しないこと)	実数
n_anal_year	年別解析を行った年数 ¹⁾	整数
anal_year	年別解析を行った年 (西暦) ²⁾	整数
n_anal_month	月別解析を行った月数 ¹⁾	整数
anal_month	月別解析を行った月 ²⁾	整数
n_anal_hour	時間別解析を行った時間数 ¹⁾	整数
anal_hour	時間別解析を行った時間 ²⁾	整数
description	説明文字列	文字列 ³⁾
latitude	緯度 (度、分、秒をスペースで区切る)	実数 × 3 ⁴⁾
longitude	経度 (度、分、秒をスペースで区切る)	実数 × 3 ⁴⁾
height	計算高さ (m)	実数
elevation	地表面高さ (m)	実数
n_wind_direction	解析した風向の数	整数
Pow_anal = .true. .fause.	発電量計算の有無	論理
Pow_file	パワーカーブファイルの指定 (Pow_anal = .true.時のみ有効)	文字列 ³⁾
Wake_model	ウェイクロス解析の有無 0 : ウェイクロスなし 1 : Katic(WASP) モデル	整数

データ部

ヘッダ部のすぐ後からデータ部がはじまります。データは解析ケース別 (年別、月別、時間別) のブロックに収められています。各ブロックの 3 行目以降には風況の統計量と発電量の予測結果が記述されており、3 行目には全風向の、4 行目以降には各風向の出現頻度 p(%), ワイブルパラメータ A(m/s), ワイブルパラメータ k, 年平均風速 U(m/s), 年間発電量 (グロス値) Power Prod.(Wh), 風力エネルギー密度 E (W/m²), 風車の設備利用率 CF (%), 風車の設備利用時間 UT (h), 年平均風速 (ネット値) UT(m/s), 年間発電量 (ネット値) Net Power Prod.(Wh)が記述されています。

注：

- 1) *.mwp ファイルは全データに基づく出現頻度の他に、月別・時間別などの出現頻度の情報を持つことができます。

'n_anal_year=0'以外である場合は、年別の出現頻度が追加記述されています。従って、元の時系列ファイルが 3 年間のデータがあれば'n_anal_year=3'と記述され、全データに基づく出現頻度 1 ケースと、年別の出現頻度 3 ケースの計 4 ケースがこのファイルに含まれます。

'n_anal_month=0'以外である場合は、月別の出現頻度が追加記述されています。従って、元の時系列ファイルが 3 年間であり、全月のデータがあれば'n_anal_month=12'と記述され、全データに基づく出現頻度 1 ケースと、年別の出現頻度 3 ケース、月別の出現頻度 12 ケースの計 16 ケースがこのファイルに含まれます。

同様に'n_anal_hour=0'以外である場合は、時間別の出現頻度が追加記述されています。従って、元の時系列ファイルが 3 年間、全月、毎正時のデータがあれば'n_anal_hour=24'と記述され、全データに基づく出現頻度 1 ケースと、年別の出現頻度 3 ケース、月別の出現頻度 12 ケース、時間別の出現頻度 24 ケースの計 40 ケースがこのファイルに含まれます。

ただし、TSA Wizard には、年別解析機能は実装されていないので、'n_anal_year=0'となります
- 2) 'n_anal_year=0'の場合、記述されません。

'n_anal_month=0'の場合、記述されません。

'n_anal_hour=0'の場合、記述されません。
- 3) 文字列としては ASCII 文字(半角英数字)のみが許され、文字数の上限値は 256 文字です。
- 4) 緯度・経度の指定は実数値を度、分、秒の順にスペースで区切って並べます。なお、全て実数型として記述する必要があるため、例えば東経 135 度 20 分 34.5 秒を指定したい場合は、"135.0 20.0 34.5"のように全ての数字に小数点をつける必要があります。また、MASCOT における測地系は現段階では全て旧測地系(東京測地系)です。

C . 鉛直プロフィールファイル(*.mpd ファイル)

鉛直プロフィールファイルは拡張子が“mpd”の ASCII ファイルで、表 5-4 (mascot_wene.min) で設定した予測地点の風速、乱流エネルギー、乱流散逸の鉛直分布が記述されています。ある風向の鉛直プロフィールファイルは‘sites-**風向ラベル**-**予測地点の緯度経度**’で始まるファイル名の付いたファイルにまとめられています (例 : sites-000_0-N41d15m20_60s_E140d20m45_10s.mpd) .

ただし、MASCOT Basic の [Edit]-[Options]-[site] で登録されている地点については、MASCOT Basic 実行時に既に作成されています。

図 5-11 に鉛直プロフィールファイルの例を示します。

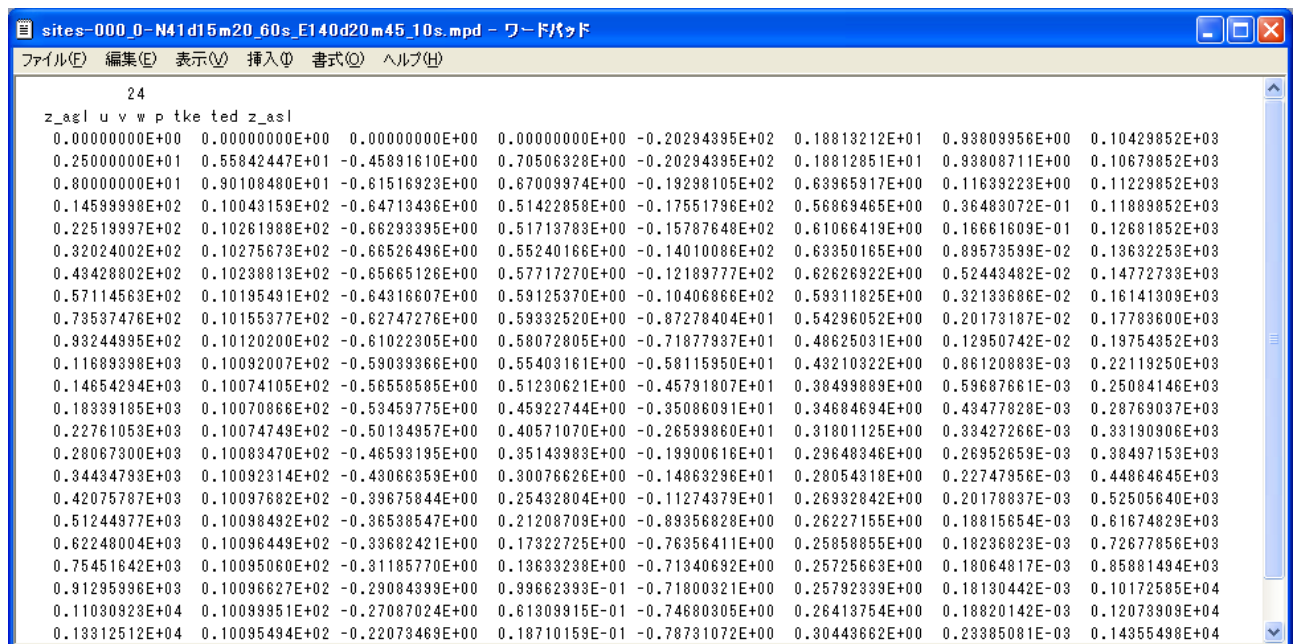


図 5-11 鉛直プロフィールファイルの例

- 1 行目：鉛直断面のメッシュの数。
- 2 行目：鉛直プロフィールファイルの内容の記述行。
- 3 行目～：各メッシュの地表面からの高さ Z_{agl} (m)、風速 (m/s) の u 成分、 v 成分、 w 成分、圧力 p 、乱流エネルギー tke 、乱流散逸 tkd と海拔高さ Z_{asl} (m) が記述されています。

標記中の斜体文字はユーザーの設定した任意の文字列を示します。

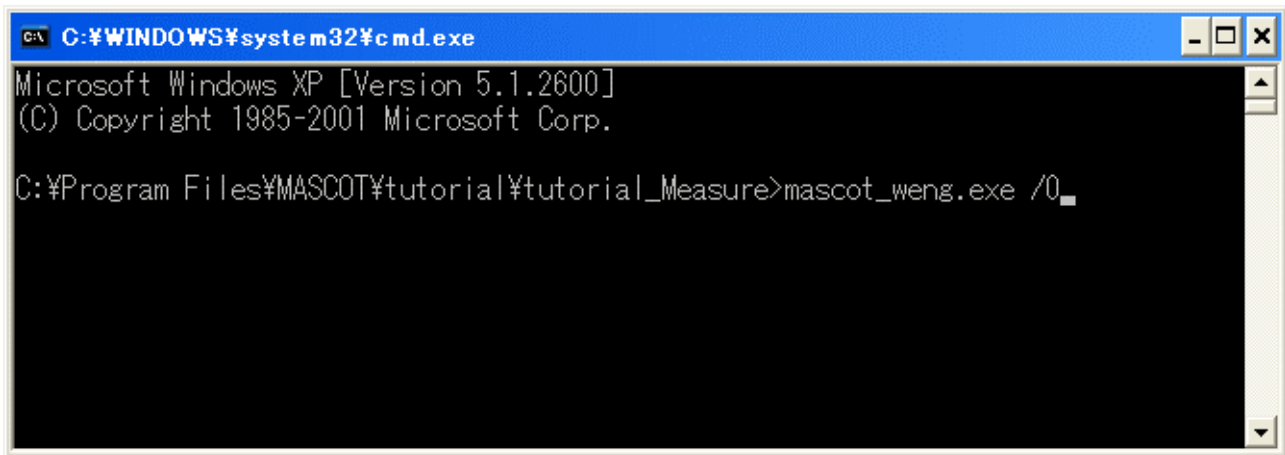
5-2-3. mascot_weng.exe (吹上角度、乱れの強さ等の算定または平均風速の割増係数等の算定)

Mascot Basic による気流解析の結果を基に、対象地点における水平風速比、偏角、吹上角度、標準偏差、乱れの強さを予測、または対象地点における地形による平均風速の割増係数および変動風速の補正係数を算定します。設定ファイル、解析手順、出力ファイルのフォーマットを以下に示します。

なお、吹上角度、乱れ強さ等の算定はDesign wind speedプロジェクトのみ、MASCOT Basicの計算終了後自動実行されず (Version3 以降)。

5-2-3-1. 任意地点での吹上角度、乱れの強さ等の解析手順

1. MASCOT Basic の[Tool]-[Command Prompt]メニューでコマンドプロンプト画面を出します。
2. 図 5-12 に示すようにコマンドプロンプトで"mascot_weng.exe /0"とタイプしてプログラムを実行します。



```
C:\>C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

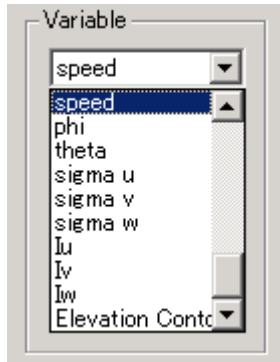
C:\Program Files\MASCOT\tutorial\tutorial_Measure>mascot_weng.exe /0
```

図 5-12 mascot_weng.exe の実行

3. 計算結果の可視化

計算結果は'restart-**風向ラベル**-vpkeout_**収束回数ラベル**.muf'という名前のついたファイルに追記されています。収束回数ラベルとはその計算結果が反復計算を何回行なった後の結果であることを示すもので、例えば風向 0 度での 150 回の反復計算後の結果は、'restart-000_0-vpkeout_00150.muf'というファイルに保存されています。

任意地点での吹上角度、乱れの強さ等の解析結果は以下 9 項目が [Result Property]-[Attribute] の [Variable Contour]-[Variable] メニューに追加され (speed ~ Iw) 選択することにより結果が表示されます。



• [speed]	: 水平風速	1
• [phi]	: 偏角 ϕ (°)	2
• [theta]	: 吹上角度 θ (°)	3
• [sigma u]	: 標準偏差 σ_u	4
• [sigma v]	: 標準偏差 σ_v	4
• [sigma w]	: 標準偏差 σ_w	4
• [Iu]	: 乱れの強さ I_u	5
• [Iv]	: 乱れの強さ I_v	5
• [Iw]	: 乱れの強さ I_w	5

1 水平風速	$speed = \sqrt{u^2 + v^2}$
2 偏角	$\phi = \tan^{-1}(v/u)$
3 吹上げ角	$\theta = \tan^{-1}(w/u)$
4 標準偏差	$\sigma_u = \sqrt{1.2 \times k}$ (第 4 章 Modelling4-3 を参照)
	$\sigma_v = \sqrt{0.56 \times k}$
	$\sigma_w = \sqrt{0.24 \times k}$
5 乱れの強さ	$I_u = \sqrt{1.2 \times k} / u$
	$I_v = \sqrt{0.56 \times k} / u$
	$I_w = \sqrt{0.24 \times k} / u$

u : 観測地点の風方向成分

v : 観測地点の風直角方向成分

w : 観測地点の風鉛直方向成分

k : 乱流エネルギー

表記中の解析風向・解析時収束回数に依存した任意の文字列を示します。

例：j セクション[鉛直断面(x - z) (j=33)]における吹上角度の分布を図 5-13 に示します。

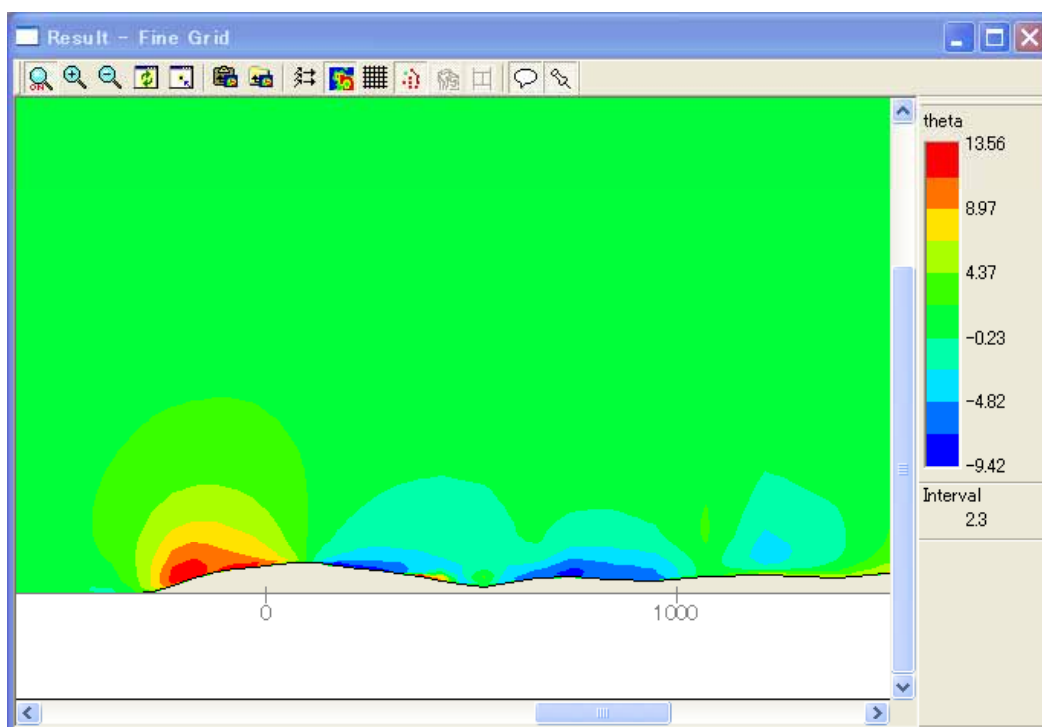


図 5-13 mascot_weng.exe の結果の可視化（吹上角度の分布図）

5-2-3-2. 平均風速の割増係数および変動風速の補正係数の算定手順

MASCOT Version2 のライセンスをお持ちの方は、以下の手順により平均風速の割増係数および変動風速の補正係数の算定を行なってください。

MASCOT Version3 以降のライセンスを持ちの方は、Engineering モジュールを利用してください。

1. 設定ファイル (mascot_weng.min) を編集します。

[Tool]-[Utility]-[Edit Setting File]メニューで表 5-6 の説明に従って設定ファイル mascot_weng.min を編集します。(Mode = 1 を設定します)。

mascot_weng.exe の設定ファイル(mascot_weng.min)は拡張子が"min"の ASCII ファイルです。図 5-14 に設定ファイル mascot_weng.min の例を、表 5-6 に設定ファイルに記述すべき変数の一覧を示します。

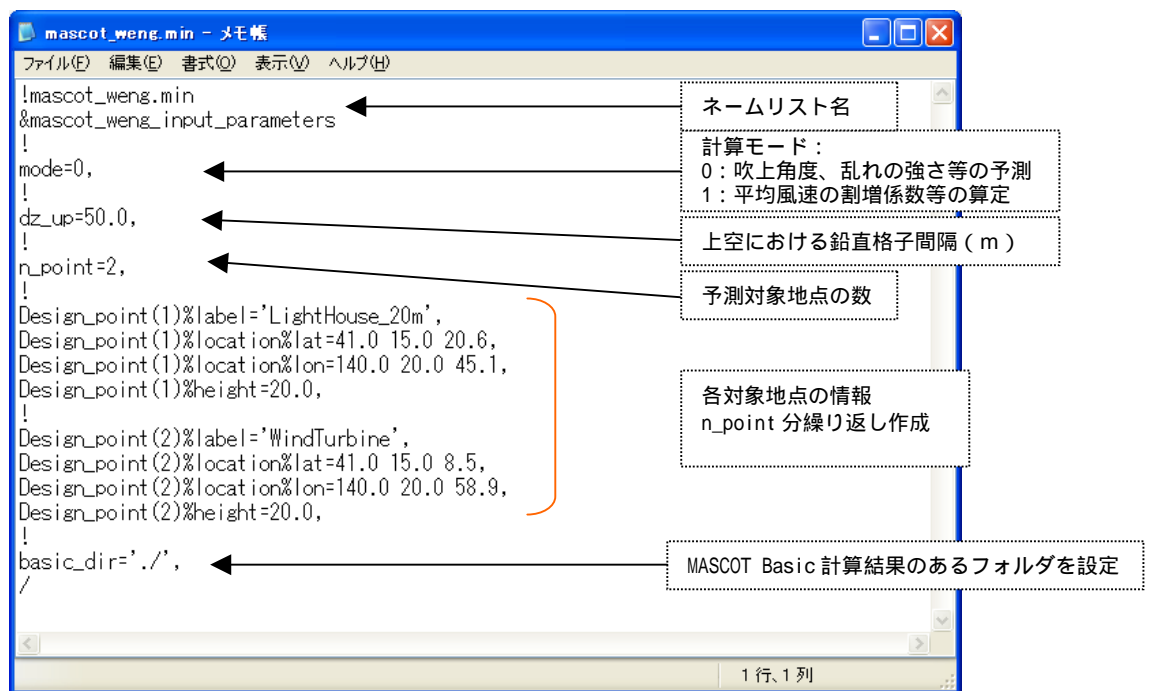


図 5-14 mascot_weng.min の例

表 5-6 mascot_weng.min で設定する変数の一覧

変数名	説明	型
mode	計算モード = 0: 吹上角度、乱れの強さ等の予測 = 1: 平均風速の割増係数等の算定	整数(1)
dz_up	上空における鉛直格子間隔(m)	実数(2)
n_point	予測地点の数	整数
Design_point(n)%label	n 番目の予測地点のラベル	文字列(3)
Design_point(n)%location%lat	n 番目の予測地点の緯度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数
Design_point(n)%location%lon	n 番目の予測地点の経度(度、分、秒をスペースで区切る)	実数
Design_point(1)%height	n 番目の予測地点の計算高さ(m)	
basic_dir	MASCOT Basic 計算結果のフォルダ設定	文字列(4)

- 1) mode=1 は MASCOT Basic のプロジェクトタイプが[Engineering]の時のみ有効
 - 2) [Edit]-[Options]-[Boundary Treatment]-[Height for BFC]で設定された境界適合座標を使用する高さ以上では、実地形と平坦地形の格子間隔が異なります。よって、本パラメータを設定し、上空における格子間隔を統一します。
 - 3) design_point(n)%label の文字数は半角 20 文字以内
 - 4) basic_dir の文字数は半角 256 文字以内
2. MASCOT Basic の[Tool]-[Command Prompt]メニューでコマンドプロンプト画面を出します。
 3. 図 5-12 に示すようにコマンドプロンプトで"mascot_weng.exe"とタイプしてプログラムを実行します。
 4. 計算結果は Engineering.txt という名前のファイルに表示されます。

```

&mascot_weng_output_value
! ANGLE:Wind Direction
! EV:topographic multiplier for mean wind speed
! ES:topographic multiplier for fluctuating wind speed
!
n_point=2,
!
Design_point(1)%label='LightHouse_20m',
Design_point(1)%location%lat= 41.0 15.0 20.6,
Design_point(1)%location%lon= 140.0 20.0 45.1,
Design_point(1)%height=20.0,
Design_point(1)%data(1)%label='ANGLE',
Design_point(1)%data(1)%value= 0.0 22.5 45.0 67.5 90.0 112.5 135.0 157.5 180.0 202.5 225.0 247.5 270.0 292.5 315.0 337.5,
Design_point(1)%data(2)%label='EV',
Design_point(1)%data(2)%value= 1.36 1.44 1.52 1.56 1.34 1.20 0.66 0.75 0.81 1.37 1.44 1.47 1.49 1.46 1.13 1.24,
Design_point(1)%data(3)%label='ES',
Design_point(1)%data(3)%value= 1.21 1.18 1.30 1.29 1.25 1.46 1.43 1.84 1.55 1.07 1.20 1.32 1.36 1.36 1.63 1.48,
!
Design_point(2)%label='WindTurbine',
Design_point(2)%location%lat= 41.0 15.0 8.5,
Design_point(2)%location%lon= 140.0 20.0 58.9,
Design_point(2)%height=20.0,
Design_point(2)%data(1)%label='ANGLE',
Design_point(2)%data(1)%value= 0.0 22.5 45.0 67.5 90.0 112.5 135.0 157.5 180.0 202.5 225.0 247.5 270.0 292.5 315.0 337.5,
Design_point(2)%data(2)%label='EV',
Design_point(2)%data(2)%value= 0.82 1.15 1.03 0.82 0.54 0.66 0.35 0.53 0.48 0.86 1.24 1.26 1.08 0.50 0.53 0.73,
Design_point(2)%data(3)%label='ES',
Design_point(2)%data(3)%value= 1.41 1.22 1.72 2.04 2.18 1.92 1.22 1.64 1.51 1.47 0.88 0.95 1.41 2.22 2.26 1.80,
/

```

図 5-15 出力ファイル“Engineering.txt”の例

- 1 行目：記述行。
- 2～5 行目：記号の説明
- 2 行目 (ANGLE)：風向
- 3 行目 (EV)：平均風速の割増係数
- 4 行目 (ES)：変動風速の補正係数
- 5 行目：改行
- 6 行目 (n_point)：予測地点の数
- 7 行目～17 行目：予測地点 1 の位置情報と予測結果
- 7 行目：改行
- 8 行目 (Design_point(1)%label)：予測地点名
- 9 行目 (Design_point(1)%location%lat)：予測地点の緯度

- 10 行目 (Design_point(1)%location%lon): 予測地点の経度
- 11 行目 (Design_point(1)%height): 予測地点の計算高さ (m)
- 12 行目 (Design_point(1)%data(1)%label): 予測地点の計算結果内容説明行 (風向)
- 13 行目 (Design_point(1)%data(1)%value): 予測地点の風向
- 14 行目 (Design_point(1)%data(2)%label): 予測地点の計算結果内容説明行 (平均風速の割増係数)
- 15 行目 (Design_point(1)%data(2)%value): 予測地点の各風向における平均風速の割増係数
- 16 行目 (Design_point(1)%data(3)%label): 予測地点の計算結果内容説明行 (変動風速の補正係数)
- 17 行目 (Design_point(1)%data(3)%value): 予測地点の各風向における変動風速の補正係数
- 18 行目 ~ 28 行目 : 予測地点 2 の位置情報と予測結果 (7 ~ 17 行と同じ)
(以降 n_point 分繰り返す)

5-2-4. 気流解析結果の3次元データの切り出し

MASCOT Basic による気流解析の結果はプロジェクトフォルダの下に FORTRAN の unformatted のファイルとして保存されています。このデータを抽出する手順を以下に示します。また、この方法に従ってデータを3次元配列に収めるまでのサンプルコードがインストール時に mascot utility のフォルダにコピーされています。サンプルコードのファイル名は FORTRAN 版が view_sample.f, Fortran90 版が view_sample.f90, C 版が view_sample.c (予定) となっています。使い慣れた可視化ツールのフォーマットに変換する場合は、このプログラムを参考にしてください。

5-2-4-1. データの抽出方法

1) 計算格子数の抽出

プロジェクトフォルダの下に 'log-meshnumber' というファイルがあります。このファイルは ASCII ファイルで、気流解析に用いた計算格子の格子数が書かれています。この格子数は全風向に共通の数字です。

図 5-16 に 'log-meshnumber' の例を示します。先頭から3行にわたって、 x (流れ)方向のメッシュ数(n_x), y (流れ直角)方向のメッシュ数(n_y), z (鉛直)方向のメッシュ数(n_z) が書かれています。4行目以降は特に使いません。

```

24 (nk)
-0.44892920E+04 (x1)
-0.14892921E+04 (x2)
0.14892921E+04 (x3)
-0.14892921E+04 (y1)
0.14892921E+04 (y2)
#=x(i)=
-0.64892920E+04
-0.63892920E+04
-0.61892920E+04
-0.59892920E+04
-0.57892920E+04
-0.55892920E+04
-0.53892920E+04
-0.51892920E+04
-0.49892920E+04
-0.47892920E+04
-0.45892920E+04
-0.43892920E+04

```

図 5-16 log-meshnumber の例

2) 風向ラベルの取得

ある風向の計算結果は'restart-**風向ラベル**'で始まるファイルにまとめてあります。**風向ラベル**は 5 半角文字で表しています。例えば風向が 22.5 度(北北東の風)の時、'022_5'となり、計算結果は'restart-022_5'で始まるファイルとなります。風向の角度が小数点第 2 位以下の数字を持つ場合は、**風向ラベル**は小数点第 1 位までに四捨五入した風向から求められたものになります。例えば風向が 11.25 度の計算結果は、'restart-011_3'で始まるファイルとなります。

3) 計算定義点の取得

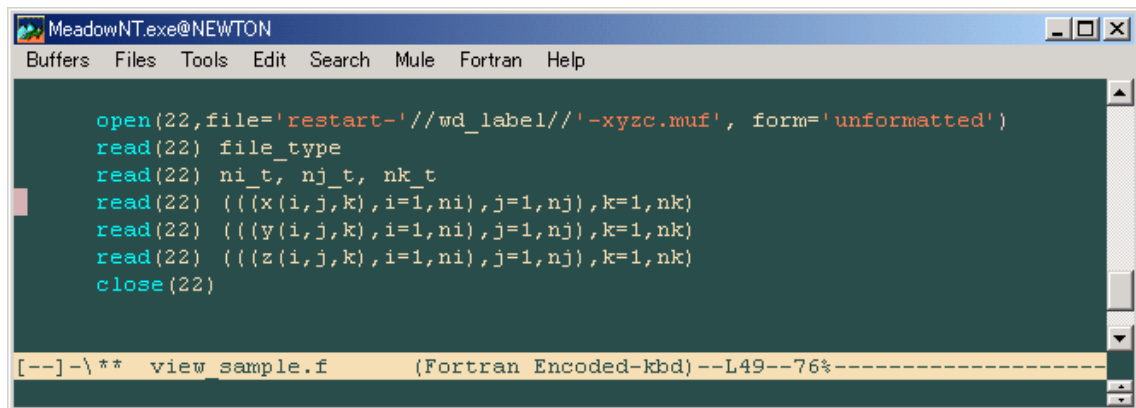
ここでは、プログラミング言語「FORTRAN 90」を用いて、計算定義点の取得方法を説明します。

風向が 0 度(北風)の時の気流解析を例にしますと、計算ノードが収まっているファイルは'restart-000_0-xyzc.muf'となります。フォーマットは「書式なし」で、次のように記述されています。

1 レコード目	: ファイルの種類	32 ビットの整数 (integer(kind=4))
2 レコード目	: 各方向のメッシュ数(ni, nj, nk)	32 ビットの整数 (integer(kind=4)) × 方向数
3 レコード目	: 各計算ノードの x 座標値	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数
4 レコード目	: 各計算ノードの y 座標値	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数
5 レコード目	: 各計算ノードの z 座標値	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数

このファイルを読む FORTRAN のサンプルプログラムは図 5-17 のようになります。

図中の'wd_label'は、**風向ラベル**を示す 5 バイトの文字変数です。



```

MeadowNT.exe@NEWTON
Buffers Files Tools Edit Search Mule Fortran Help

open(22,file='restart-'//wd_label/'-xyzc.muf', form='unformatted')
read(22) file_type
read(22) ni_t, nj_t, nk_t
read(22) ((x(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
read(22) ((y(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
read(22) ((z(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
close(22)

[---]-\ ** view sample.f (Fortran Encoded-kbd) --L49--76%-----

```

図 5-17 計算ノード情報を読み出す FORTRAN のサンプルプログラムの例

4) 計算結果の取得

計算結果は'restart-**風向ラベル**-vpkeout_**収束回数ラベル**.muf'という名前のついたファイルに格納されています。収束回数ラベルとはその計算結果が反復計算を何回行った後の結果であることを示すもので、例えば風向 0 度での 150 回の反復計算後の結果は、'restart-000_0-vpkeout_00150.muf'というファイルに保存されています。最新の計算結果が、何回収束後の計算結果であるかという情報は図 5-18 に示すように、'restart-**風向ラベル**-restart.info'というファイルの 1 行目に保存されています。

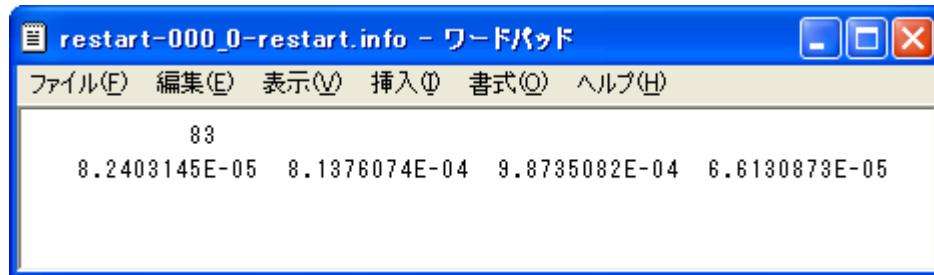


図 5-18 restart-**風向ラベル**-restart.info の例

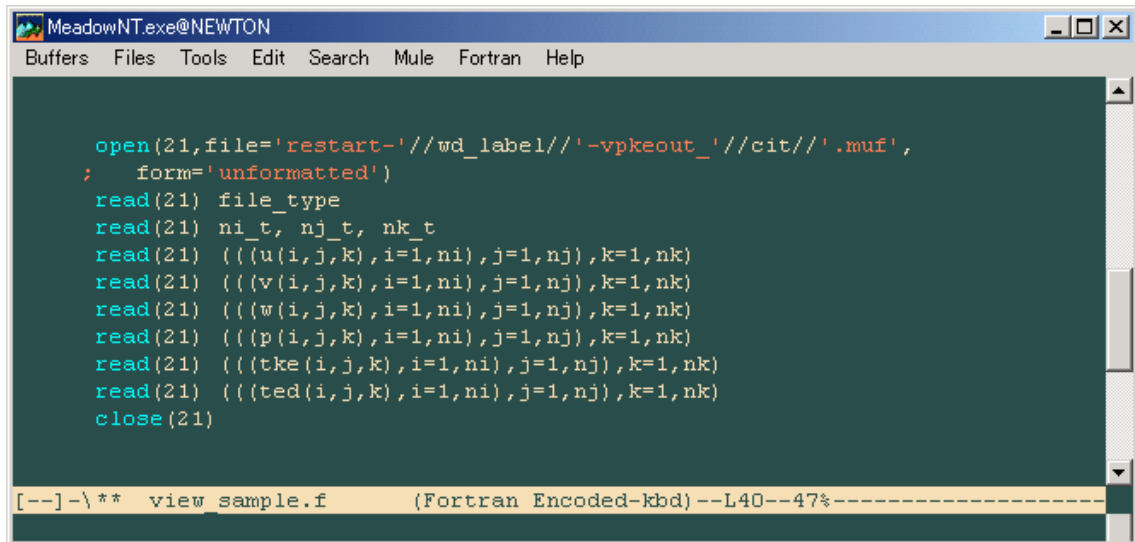
この例では、最新の計算結果は 83 回反復後の計算結果であることがわかります。

'restart-**風向ラベル**-vpkeout_**収束回数ラベル**.muf' ファイルのフォーマットは、前述の'restart-**風向ラベル**-xyzc.muf'とほとんど同じです。

1 レコード目	: ファイルの種類	32 ビットの整数 (integer(kind=4))
2 レコード目	: 各方向のメッシュ数(ni, nj, nk)	32 ビットの整数 (integer(kind=4)) × 方向数
3 レコード目	: 流れ方向(x方向)の風速 u	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数
4 レコード目	: 流れ直角方向(y方向)の風速 v	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数
5 レコード目	: 鉛直方向(z方向)の風速 w	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数
6 レコード目	: 圧力 p	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数
7 レコード目	: 乱流エネルギー k	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数
8 レコード目	: 乱流散逸	32 ビットの実数 (real(kind=4)) × メッシュ合計数

このファイルからデータを読み出す FORTRAN のサンプルプログラムは図 5-19 のようになります。

図中の'wd_label'は**風向ラベル**を、cit は**収束回数ラベル**を示す 5 バイトの文字変数です。



```

MeadowNT.exe@NEWTON
Buffers Files Tools Edit Search Mule Fortran Help

open(21,file='restart-1//wd_label//'-vpkeout_'//cit//'.muf',
; form='unformatted')
read(21) file_type
read(21) ni_t, nj_t, nk_t
read(21) ((u(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
read(21) ((v(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
read(21) ((w(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
read(21) ((p(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
read(21) ((tke(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
read(21) ((ted(i,j,k), i=1,ni), j=1,nj), k=1,nk)
close(21)

[---]-\ ** view_sample.f (Fortran Encoded-kbd) --L40--47%-----

```

図 5-19 計算結果を読み出す FORTRAN のサンプルプログラムの例

5) コンパイル時の注意

MASCOT で用いている FORTRAN の書式なしの形式はレコード長の情報がバイトを単位として記録されているものです。コンパイラによっては、プログラムをコンパイルする際にこれを明示的に指示する必要があります。Compaq の Visual FORTRAN を使う際には、コンパイル時にコンパイルオプションとして、`/assume:byterecl` を付け加える必要があります。

6) 計算結果についての注意

計算結果ファイル内の風速(u, v, w)の単位は(m/s)、乱流エネルギーの単位は(m^2/s^2)ですが、これらは上空(境界層外)の風速を 10m/sとしたときの相対値です。実際の風速をあらわすものではありません。

5-2-5. Smoothing (スムージング) ツール

急峻地形の計算の発散を解消するために、地形をスムージング化することが有効な手法の一つと考えられます。本ソフトに搭載するスムージングツールは、以下の式に基づき、各格子点についてスムージングをします。

$$i,j = (1 - \theta) \cdot i,j + 0.25 \cdot (\theta \cdot (i+1,j + i,j+1 + i-1,j + i,j-1))$$

θ : スムージング対象とする勾配閾値 (デフォルト: $\theta = 0.5$)

設定した閾値より大きい角度はスムージングの対象になります。

5-3. エラーメッセージ

本節では MASCOT の解析時に表示されるエラーメッセージについて解説します。表 5-3-1 には、以下の項で示されるエラーメッセージのエラー属性一覧を示します。

表 5-3-1 エラー属性の一覧

エラー属性	説明
A	ライセンスに関するエラー
B	オプションに関するエラー
C	地図ファイル(*.mmp ファイル)に関するエラー
D	ケースファイルに関するエラー
E	Restart に関するエラー これらのエラーが出た場合には、Restart に必要なファイルが不足しているか、壊れているため、Restart ができません。
F	計算結果に関するエラー これらのエラーが出た場合には、計算結果に必要な情報が不足しているか、壊れているため、読み込みができません。再計算が必要です。
G	計算結果に関するエラー
H	時系列観測データファイルに関するエラー
I	観測風況ファイル(*.tab ファイル)に関するエラー
J	観測地点、風車建設地点に関するエラー
K	観測風況ファイル(*.mwt ファイル)に関するエラー
L	リソースグリッドモードに関するエラー
M	パワーカーブファイルに関するエラー
N	MASCOT Basic の計算結果ファイルに関するエラー MASCOT Basic の計算結果ファイルが壊れている可能性があります。
O	ウェイクロスの計算エラー

5-3-1. MASCOT Basic エラーメッセージ

表 5-3-2 MASCOT Basic エラーメッセージ一覧表 (その 1)

エラー番号	エラーメッセージ	説明	属性
101	USB license key is missing.	USB ライセンスキーが挿入されていません。USB ライセンスキーが挿入されているにも関わらずこのメッセージが出る場合は、ライセンスキーのドライバが正しくインストールされているかどうかを確認してください。 また、計算中にキーを抜くことによってもこのメッセージが出ます。計算中にキーを抜くと、計算が停止してしまいますので、絶対に抜かないようにしてください。	A
102	Unknown option.	無効なオプションが設定されています。	B
105	This calculation cannot be carried out by demo version of MASCOT.	MASCOT デモバージョンのため、計算ができません。	A
111	Basic Terrain Map File Error. This file is not supported by the current version of MASCOT.	基本標高地図の先頭行が"<MASCOT_MAP lon-lat>"ではありません。自分で作成した地図ファイルのヘッダの先頭行が正しいか確認してください。	C
112	Basic Terrain Map File Error. Some information is missing in the header.	基本標高地図のヘッダに、欠けている情報があります。自分で作成した地図ファイルが 5-1-1 のフォーマットに従っているか確認してください。	C
113	Basic Terrain Map File Error. Unable to read file header.	基本標高地図のヘッダが正しくありません。自分で作成した地図ファイルのヘッダが正しく 5-1-1 のフォーマットに従っているか確認してください。	C
121	Detailed Terrain Map File Error. This file is not supported by the current version of MASCOT.	詳細標高地図の先頭行が"<MASCOT_MAP lon-lat>"ではありません。自分で作成した地図ファイルの先頭行が正しいか確認してください。	C
122	Detailed Terrain Map File Error. Some information is missing in the header.	詳細標高地図のヘッダに、欠けている情報があります。自分で作成した地図ファイルが 5-1-2 のフォーマットに従っているかどうか確認してください。	C
123	Detailed Terrain Map File Error. Unable to read file header.	詳細標高地図のヘッダが正しくありません。自分で作成した地図ファイルのヘッダが正しく 5-1-2 のフォーマットに従っているか確認してください。	C
131	Basic Roughness Map File Error. This file is not supported by the current version of MASCOT.	基本粗度地図のヘッダの先頭行が"<MASCOT_MAP lon-lat>"ではありません。自分で作成した地図ファイルのヘッダの先頭行が正しいか確認してください。	C
132	Basic Roughness Map File Error. Some information is missing in the header.	基本粗度地図のヘッダに、欠けている情報があります。自分で作成した地図ファイルが 5-1-3 のフォーマットに従っているかどうか確認してください。	C
133	Basic Roughness Map File Error. Unable to read file header.	基本粗度地図のヘッダが正しくありません。自分で作成した地図ファイルのヘッダが正しく 5-1-3 のフォーマットに従っているか確認してください。	C
134	Basic Roughness Map File Error. Zero or negative roughness length is found in the basic roughness map.	基本粗度地図において、粗度長として 0 以下の値が記述されています。粗度長は正の値でなければなりません。	C
141	Detailed Roughness Map File Error. This file is not supported by the current version of MASCOT.	詳細粗度地図のヘッダの先頭行が"<MASCOT_MAP lon-lat>"ではありません。自分で作成した地図ファイルのヘッダの先頭行が正しいか確認してください。	C
142	Detailed Roughness Map File Error. Some information is missing in the header.	詳細粗度地図のヘッダに、欠けている情報があります。自分で作成した地図ファイルが 5-1-4 のフォーマットに従っているかどうか確認してください。	C
143	Detailed Roughness Map File Error. Unable to read file header.	詳細粗度地図のヘッダが正しくありません。自分で作成した地図ファイルのヘッダが正しく 5-1-4 のフォーマットに従っているか確認してください。	C
144	Detailed Roughness Map File Error. Zero or negative roughness length is found in the detailed roughness map.	詳細粗度地図において、粗度長として 0 以下の値が設定されています。粗度長は正の値でなければなりません。	C
151	Mesh Generation Error. Specified computational domain is out of map domain.	指定した計算領域に対し、基本地図ファイル(地形・粗度のどちらか)の大きさが十分ではありません。自分で標準地図を用意した場合は、地図ファイルが 5-1-1 の(5-1)式の半径を含む領域をより大きいことを確認してください。付属のツールで作成した場合は、[Tool]-[Create Basic Map]メニューで指定した領域と[Edit]-[Casefile]メニューで指定した領域が一致していることを確認してください。	D

表 5-3-3 MASCOT Basic エラーメッセージ一覧表 (その2)

エラー番号	エラーメッセージ	説明	属性
152	Mesh Generation Error. Computational domain height is too small or height for BFC is too large.	計算領域の高さに対し、“Height for BFC”の値が大きすぎるため計算格子の生成ができません。デフォルトの設定ではこのエラーは出ませんが、[Edit]-[Option]-[Boundary Treatment]メニューの設定を変更した場合に、このエラーが出る可能性があります。Specify height で設定した計算領域の高さを高くするか、“Height for BFC”の値を低くしてください。	D
153	Mesh Generation Error. Side buffer zone width is not enough.	側面緩衝領域の大きさが小さすぎてメッシュが生成できません。デフォルトの設定ではこのエラーは出ませんが、[Edit]-[Option]-[Boundary Treatment]メニューの設定を変更した場合に、このエラーが出る可能性があります。“Minimum buffer zone width”か“Site buffer zone ratio”の値を大きくしてください。	D
154	Mesh Generation Error. Upwind buffer zone width is not enough.	上流緩衝領域の大きさが小さすぎてメッシュが生成できません。デフォルトの設定ではこのエラーは出ませんが、[Edit]-[Option]-[Boundary Treatment]メニューの設定を変更した場合に、このエラーが出る可能性があります。“Minimum buffer zone width”か“Upwind buffer zone ratio”の値を大きくしてください。	D
155	Mesh Generation Error. Downwind buffer zone width is not enough.	下流緩衝領域の大きさが小さすぎてメッシュが生成できません。デフォルトの設定ではこのエラーは出ませんが、[Edit]-[Option]-[Boundary Treatment]メニューの設定を変更した場合に、このエラーが出る可能性があります。“Minimum buffer zone width”か“Downwind buffer zone ratio”の値を大きくしてください。	D
156	Mesh Generation Error. 'min_dx' is larger than 'max_dx'.	[Edit]-[Casefile]メニューにおいて、“Maximum horizontal mesh size”の値より大きい“Minimum horizontal mesh size”の値が設定されているため、メッシュを生成することができません。“Minimum horizontal mesh size”の値が“Maximum horizontal mesh size”の値以下となるように再設定してください。	D
157	Mesh Generation Error. 'mesh_hratio' is smaller than 1.0.	[Edit]-[Casefile]メニューにおいて、1.0 より小さい“Vertical mesh stretching ratio”の値が設定されているため、メッシュの生成ができません。“Vertical mesh stretching ratio”の値が1.0以上となるように再設定してください。	D
158	Mesh Generation Error. Zero or negative roughness is specified as "Equivalent Roughness".	[Edit]-[Options]-[Equivalent Roughness]メニューにおいて、0.0 以下の粗度長が設定されています。粗度長の値は0より大きくなければなりません。	D
161	Monitoring Position Error. Monitoring Position is out of computational domain.	モニター点が計算領域の外側にあります。計算領域に含まれるように再設定してください。	D
162	Monitoring Position Error. Monitoring position height is too large.	モニター点の高さが高すぎます。モニター点の高さを低くしてください。	D
163	Monitoring Position Error. Monitoring position height must be positive.	モニター点の高さが負の値になっています。正の値を入力してください。	D
171	Site Position Error. Site Position is out of computational domain.	サイト点が計算領域の外側にあります。計算領域に含まれるよう再設定してください。	D
210	Restart Error. Mesh file does not exist.	メッシュファイルが存在しません。	E
211	Restart Error. Error in mesh file header	メッシュファイルのヘッダ部分に誤りがあります。	E
212	Restart Error. Error in mesh file mesh number	メッシュファイルのメッシュ番号に誤りがあります。	E
213	Restart Error. Error in mesh file data field	メッシュファイルデータ部分に誤りがあります。	E
220	Restart Error. Roughness file does not exist	粗度ファイルが存在しません。	E
221	Restart Error. Error in roughness file header	粗度ファイルのヘッダ部分に誤りがあります。	E
222	Restart Error. Error in roughness file mesh number	粗度ファイルのメッシュ番号に誤りがあります。	E
223	Restart Error. Error in roughness file data field	粗度ファイルのデータ部分に誤りがあります。	E

表 5-3-4 MASCOT Basic エラーメッセージ一覧表 (その 3)

エラー番号	エラーメッセージ	説明	属性
230	Restart Error. Restart file does not exist.	Restart ファイルがありません。	E
231	Restart Error. Error in restart file header.	Restart ファイルのヘッダ部分に誤りがあります。	E
232	Restart Error. Error in restart file mesh number.	Restart ファイルのメッシュ番号に誤りがあります。	E
233	Restart Error. Error in restart file data field.	Restart ファイルのデータ部分に誤りがあります。	E
1001	Calculation Result Error. Wrong header in mesh file (xyz file)	メッシュファイル(xyz ファイル)中のヘッダ情報が間違っています。	F
1002	Calculation Result Error. Wrong header in result file (vpke file)	結果ファイル(vpke ファイル)中のヘッダ情報が間違っています。	F
1003	Calculation Result Error. Mesh size info in xyz file and vpke file does not match.	xyz ファイルおよび vpke ファイル中のメッシュ・サイズ情報が一致しません。	F
1004	Calculation Result Error. The Calculation result of this wind direction does not exist.	この風向の計算結果はありません。	F
1005	Calculation Result Error. The calculation result of this wind direction has broken.	この風向の計算結果は壊れています。	F
1006	Calculation Result Error. Allocation of the memory went wrong.	メモリの割り当てに失敗しました。マシンのメモリを増やしてください。	G

5-3-2. mascot_tsa.exe エラーメッセージ

表 5-3-5 mascot_tsa.exe エラーメッセージ一覧表

エラー番号	エラーメッセージ	説明	属性
0		正常終了	---
1		解析は終了していますが、警告が発生しています。	---
101	USB license key is missing.	USB ライセンスキーが挿入されていないか、mascot_tsa.exe を実行する権利がありません。	A
102	unknown options	無効なオプションが設定されています。	B
104	casefile not found	ケースファイル (mascot.min) が存在しません。	D
105	Error while reading casefile, nml:tsa_general	ケースファイルの読み込みエラー。(&tsa_general 部分)	D
106	Error while reading casefile, nml:tsa_files	ケースファイルの読み込みエラー。(&tsa_files 部分)	D
107	Error while reading casefile, nml:tsa_condition	ケースファイルの読み込みエラー。(&tsa_condition 部分)	D
108	Error while reading casefile, nml:tsa_bin_settings	ケースファイルの読み込みエラー。(&tsa_bin_setting 部分)	D
111	Unsupported analysis type	出力フォーマットタイプがサポート外です。Mascot_tsa.min の中の出力モード advanced_analysis は 1 以上を設定した場合表示されます。	D
112	n_in_file invalid	n_in_file の値が無効。(n_in_file=0)	D
113	input file empty	観測データファイルを設定してありません。	D
114	last row must be specified if not read_to_end	read_to_end=false を選択時は、データ最後の行 (last_row) を指定しなければなりません。	D
115	u_clmn is empty	風速データ列の指定がありません。 u_clmn = 0	D
116	d_clmn is empty	風向データ列の指定がありません。 d_clmn = 0	D
117	year must be specified if yearly	年計算をするときは年データの設定が必要です。	D
118	y_clmn is empty	年データ列の指定がありません。	D
119	m_clmn is empty	月データ列の指定がありません。 m_clmn = 0	D
120	h_clmn is empty	時間データ列の指定がありません。 h_clmn = 0	D
121	output file is empty	出力ファイルの指定がありません。	D
131	Input file not found	観測データが存在しません。	H
132	Error. While reading input file	観測データの読み込み時に誤りがあります。	H
133	Error. While reading wind speed in input file	観測データの読み込み時に誤りがあります。(風速データ)	H
134	Error. While reading wind direction in input file	観測データの読み込み時に誤りがあります。(風向データ)	H
135	Error. While reading year in input file	観測データの読み込み時に誤りがあります。(年データ)	H
136	Error. While reading month in input file	観測データの読み込み時に誤りがあります。(月、日データ)	H
137	Error. While reading hour in input file	入力ファイルの読み込み時に誤りがあります。(時間データ)	H

5-3-3. mascot_wene.exe エラーメッセージ

表 5-3-6 mascot_wene.exe エラーメッセージ一覧表

エラー番号	エラーメッセージ	説明	属性
101	USB license key is missing	USB ライセンスキーが挿入されていないか、mascot_wene.exe を実行する権利がありません。	A
102	unknown options	無効なオプションが設定されています。	B
103	Basic casefile not found.	MASCOT Basic のケースファイルがありません。	D
104	Error while reading basic casefile.	MASCOT Basic のケースファイルに誤りがあります。	D
105	Energy casefile not found.	MASCOT Energy のケースファイルがありません。	D
106	Error while reading energy casefile.	MASCOT Energy のケースファイルに誤りがあります。	D
107	Error. [log-meshnumber] file not found.	[log-meshnumber]ファイルがありません。	D
108	Error. USB License key is not valid.	USB License キーは、有効ではありません。	A
109	Demo Version Error.	デモバージョンでサポートしていないプロジェクトです。デモバージョンではインストールされたサンプルデータのみ有効です。	A
110	Error. Power Curve File must be specified if use height in power curve file.	パワーカーブの高さを使用するなら、パワーカーブファイルの指定が必要です。	D
111	WAsP style (*.tab) file error. File not found.	WAsP タイプ風況ファイル (*.tab) が見つかりません。	I
112	WAsP style (*.tab) file error. Error while reading observed wind climate file.	指定した WAsP タイプ風況ファイルのヘッダ部分に誤りがあります。	I
113	WAsP style (*.tab) file error. Number of wind direction sector is not consistent with input file.	風向セクターの数は入力ファイルと一致していません。	I
115	Site error. This position type is not supported.	この位置タイプは、サポートされません。	J
116	Site error. Specified observation site, turbine site or resource grid is out of computational domain.	指定した観測地点、風車建設地点あるいはリソースグリッドの領域が Mascot Basic で解析した領域の外側にあります。観測地点及び風車建設地点は Mascot Basic で解析した領域内部になければいけません。	J
117	Reference site height is not appropriate.	風況参照地点の高さが適切ではありません。	J
118	Turbine site height is not appropriate.	風況予測地点の解析高さが適切ではありません。	J
119	Resource Grid height is not appropriate.	Resource Grid の解析高さが適切ではありません。	J
121	Error. Wind climate file not found.	指定した観測風況ファイルがありません。指定した観測風況ファイルが存在するかどうか確認してください。	K
122	Error while reading mwt file header.	指定した観測風況ファイルのヘッダ部分に誤りがあります。	K
123	Error. Variables in *.mwt file is not a 'probability'	*.mwt ファイルにある変数は、有効ではありません。	K
124	Error. Data part delimiter not found in *.mwt file.	*.mwt ファイルにデータ部分の区切りはありません。	K
125	Error while reading data part of *.mwt file	*.mwt ファイルのデータ部分の読み込み中に誤りがあります。	K
130	rg_mode must be 0 or 1	リソースグリッドモードは 0 または 1 設定してください。	L
140	Power Curve file not found.	パワーカーブがありません。	M
141	Error During reading power curve file	パワーカーブの読み込み中に誤りがあります。	M
201	3D file error. Mesh file does not exist.	メッシュファイルがありません。	N
2111	The 'Thrust factor' is not found in the Power curve file.	パワーカーブファイルにスラスト係数がありません。	O

5-3-4. mascot_weng.exe エラーメッセージ

表 5-3-7 mascot_weng.exe エラーメッセージ一覧表

エラー番号	エラーメッセージ	説明	属性
101	USB license key is missing	USB ライセンスキーが挿入されていないか、mascot_weng.exe を実行する権利がありません。	A
102	unknown options	無効なオプションが設定されています。	B
105	This calculation cannot be carried out by demo version of MASCOT.	デモバージョンのため計算ができません。	B
121	Error on log-meshnumber file	[log-meshnumber]ファイルに誤りがあります。	D
122	Error while reading log meshnumber file	[log-meshnumber]ファイルの読み込み中に誤りがあります。	D
123	Error on restart.info file	Restart.info ファイルにエラーが発生しました。	E
124	Error while reading restart.info file.	Restart.info ファイルの読み込み中に誤りがあります。	E
131	xyz file not found	XYZ ファイルが見つかりません。	F
132	Error while reading file_type in xyz file	XYZ ファイルのファイルタイプの読み込み中に誤りがあります。	F
133	Error file_type in xyz file is not appropriate	XYZ ファイルのファイルタイプが適切ではありません。	F
134	Error while reading mesh number in xyz file	XYZ ファイルのメッシュナンバーの読み込み中に誤りがあります。	F
135	Error mesh number in xyz file is different from log-meshnumber	XYZ ファイルのメッシュナンバーと log-meshnumber のメッシュナンバーが異なります。	F
136	Error while reading xyz file data	XYZ ファイルデータの読み込み中に誤りがあります。	F
141	vpkeout file not found	Vpkeout ファイルが見つかりません。	F
142	Error while reading file_type in vpkeout file	Vpkeout ファイルのファイルタイプの読み込み中に誤りがあります。	F
143	Error file_type in vpkeout file is not appropriate	Vpkeout ファイルのファイルタイプが適切ではありません。	F
144	Error while reading mesh number in vpkeout file	Vpkeout ファイルのメッシュナンバーの読み込み中に誤りがあります。	F
145	Error mesh number in vpkeout file is different from log-meshnumber	Vpkeout ファイルのメッシュナンバーと log-meshnumber のメッシュナンバーが異なります。	F
146	Error while reading vpkeout file data	Vpkeout ファイルデータの読み込み中に誤りがあります。	F
151	Error in position of x	x 座標が計算領域の外にあります。	J
152	Error in position of y	y 座標が計算領域の外にあります。	J
181	Error. Basic casefile not found.	MASCOT Basic のケースファイルが見つかりません。	D
182	Error. MASCOT Wind Engineering casefile not found.	MASCOT Design wind speed のケースファイルが見つかりません。	D
183	Error on log-meshnumber file	log-meshnumber ファイルにエラーがあります。	D

第6章 Reference (参考文献)

- 1) 石原孟, 日比一喜, 急峻な山を越える乱流場の数値予測, 日本風工学論文集, No.83, pp.175-188, 2000.
- 2) 石原孟, 非線形風況予測モデル MASCOT の開発とその実用化, 日本流体力学会誌, 第 22 巻 第 2 号, pp.387-396, 2003 .
- 3) 石原孟, 山口敦, 藤野陽三, 複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証, 土木学会論文集, No.731/I-63, pp.195-221, 2003 .



論文

急峻な山を越える乱流場の数値予測

Numerical Simulation of Turbulent Flow Over a Steep Hill

石原 孟^{*1} 日比一喜^{*2}

Takeshi ISHIHARA, Kazuki HIBI

SUMMARY

A numerical investigation on the turbulent flows over a steep hill is presented. The numerical model developed for the present work is based on the finite volume method and the SIMPLE algorithm with a collocated grid system. Standard $k-\varepsilon$ model and Shih's non-linear $k-\varepsilon$ model are tested for the validation of the prediction accuracy in the 2-D and 3-D separated flows. Comparisons of the mean velocity and turbulence profiles between the numerical predictions and the measurements show good agreement. The Shih's non-linear $k-\varepsilon$ model is found to predict mean flow and turbulence better than the Standard $k-\varepsilon$. Flow patterns have also been examined to explain the difference in the cavity zone between 2-D and 3-D hills.

1. はじめに

急峻な地形上の乱流場を定量的に予測することは構造物の安全性、風力エネルギーの利用、大気汚染物の拡散などの工学問題を考える上で重要である。急峻な地形上の乱流場を定量的に評価する手法としては風洞実験と数値解析が考えられる。

風洞実験はこれまで長い間利用され、信頼性と予測精度が高い。しかし、地形上の流れ場を風洞の中で再現するには地形模型が必要となる。一般に地形模型を製作するには多くの時間と費用がかかる上、再現可能な範囲も風洞の大きさにより制限される。一方、数値解析は風洞実験のような制約を受けることがなく、広い範囲の地形を取り扱うことができる。また数値解析では解析空間内のすべての風速データを一度に得るこ

とができるため、風洞実験に比べて低コストかつ短時間で複雑地形上の流れ場を予測できる。ただし、地形上の乱流場を数値解析により調べる際には数値解法や乱流モデルに伴う不確定性も解析結果に含まれる。そのため数値解析により得られた結果はどの程度の予測精度があるかについて十分に検証する必要がある。

緩やかな地形の場合は流れの剥離を伴わないため、地形の存在が元の乱流境界層に与える影響を微少擾乱として近似的に評価することができる。緩やかな地形上の流れ場の近似解法としては Jackson & Hunt (1975)¹⁾ により提案された線形モデル (以下 JH モデルと呼ぶ) が最も有名である。このモデルでは 2 次元地形上の乱流境界層が地表付近の内部層 (inner layer) とその外側の外部層 (outer layer) に分けられ

*1 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤工学専攻 助教授 工博
Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Tokyo

*2 清水建設(株)技術研究所 主席研究員 工博
Chief Researcher, Institute of Technology, SHIMIZU CORPORATION
(原稿受理:平成11年11月1日)

それぞれの層に対してモデル化が行われている。内部層では平均流れ場が乱流剪断応力の影響を直接に受け、またそこでの乱流場が平衡状態にあると仮定されている。一方、外部層では平均流れ場を非粘性、非回転と仮定し、地形の影響による速度と圧力の変化をオイラ方程式により求める。JH モデルはその後 Mason & Sykes (1979)²⁾により3次元に、また Walmsley ら (1982)³⁾、Walmsley ら (1986)⁴⁾により任意地形に適用できるように拡張された。JH モデルは 1988 年に Hunt ら⁵⁾ (以下修正 JH モデルと呼ぶ) によって改良され、内部層と外部層との間に新たに中間層 (middle layer) が設けられた。中間層では乱流剪断応力の影響が無視されるが、平均速度勾配による影響が考慮されている。この改良により大きな速度勾配をもつ流れ場に対する JH モデルの予測精度が改善された。JH モデルに対する改良はその後も続けられ、中間層を設けない新しい漸近法は Zou (1998)⁶⁾により提案されている。JH モデルは単純な地形及び実地形上の流れ場の予測に適用されている^{7)~11)}。実地形上の流れ場の予測結果については Walmsley & Taylor (1996)¹²⁾により詳しくレビューされ、それによると線形モデルは山の頂上における風速の増加を精度よく予測するが、山背後の風速の減少をうまく再現できない。また最近大木ら¹³⁾は修正 JH モデルを用い、傾斜角 7.5 度から 45 度までの幾つかの傾斜地及び山型地形について解析を行った。その結果、修正 JH モデルは傾斜角 30 度以下の傾斜地に対して 20% 以下の予測誤差で実験結果を再現する一方、山型地形に対しては傾斜角 15 度を超えると 50% 以上の予測誤差が風下斜面で生じる。全体的に見ると、地形の傾斜角が大きくなると線形モデルによる予測は山頂における最大増速率を過大に評価し、山背後の風速の減少を過小に評価する傾向がある。このように線形モデルは緩やかな地形上の流れの増速率を求めることが可能であるが、山の後流や急峻な地形上の流れ場の予測には問題が残されている。特に日本の山地の殆どは平均傾斜角が 15 度を超す急峻な山地¹⁴⁾であるために、流れの剥離を再現できる非線形モデルの適用が望まれる。

線形モデルの制約を回避するために、有限差分または有限体積法に基づく非線形モデルが開発され、地形上の流れ場の解析に適用されてきた^{15)~23)}。非線形モデルと線形モデルとの比較は Xu ら (1994)²¹⁾によって詳しく行われ、線形モデルの使用限界が明らかにされている。Xu らの研究によると、非線形モデルによ

り予測される山頂での最大増速率は線形モデルより小さく、山背後での風速の減少量は線形モデルより大きい。この傾向は山の傾斜角が大きくなるにつれ顕著になる。非線形モデルはその後実地形上の流れ場の予測に適用され、観測結果との比較も行われた^{24)~25)}。線形モデルに比べ、非線形モデルにより予測された山背後の風速値は観測結果に近く、線形モデルによる山背後の風速の過大評価が大きく改善された¹¹⁾。これらの例では線形モデルと非線形モデルとも山の風上斜面及び山頂での風速変化をうまく再現したが、これは解析の対象となった山の傾斜角が小さかったためによるものであり、Xu らの解析結果からも予想されることである。

一般に山の平均傾斜角度が 15 度を超すと²⁶⁾、山の背後にはっきりした剥離域が形成される。この時の山背後の流れ場は元の乱流境界層とまったく異なる性質を示す。緩やかな地形に比べ、剥離を伴う急峻な地形上の流れ場を数値解析により調べた例^{27)~31)}は少ない。曲面をもつ 2 次元山背後の剥離流を調べた最初の例としては Coelho & Pereira (1992)²⁷⁾の研究が挙げられる。彼らは一般曲線座標系に基づく有限体積法を用い、標準 $k-\epsilon$ モデルと低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルにより、2 次元山の背後の剥離流を詳しく調べた。その結果、平均速度の予測結果は実験値とよく一致したが、乱流剪断応力及び乱れの標準偏差の予測結果は実験値を大きく下回った。その後、Kobayashi ら (1994)²⁸⁾は森に覆われた 3 つの 2 次元山を解析し、山の傾斜角と剥離の発生との関係を調べた。彼らの解析は平均速度場について実験値を概ね再現したが、風上斜面及び山頂での乱流エネルギーと乱流剪断応力がかなり過大に評価された。このような過大評価は Coelho & Pereira の予測結果にも見られた。単体の 2 次元山の他に、複合山や 3 次元山を越える乱流場についても数値解析により調べられた。Kim ら (1997)³⁰⁾は 3 種類の $k-\epsilon$ モデル (標準, RNG, 低レイノルズ数) を用いて、高さの異なる 2 つの山が連なっている場合の流れ場を調べた。全体的に平均速度に関する予測結果は実験値とよく一致したが、山背後の剥離流については実験データが得られていなかったために、詳しい検討が行われていない。3 次元山の後流は山を回り込む流れの影響を受けるため、2 次元山の後流と異なる流れの構造となっている³²⁾。3 次元山の後流を解析した例としては Utnes & Eidsvik (1996)³¹⁾の研究が挙げられる。彼らは最大傾斜角 50 度の 2 次元と 3 次元山を越える

参考文献 1

流れ場を標準 $k-\varepsilon$ モデルにより調べ、3次元山背後の剥離域が2次元山の剥離域より狭いことや剥離域での変動速度が小さいことを解析により明らかにした。ただし、Utne & Eidsvik の論文の中では3次元山のケースについて実験との比較が行われておらず、数値モデルによる3次元複雑剥離流の予測精度は不明である。

そこで、本研究では、2次元及び3次元山を越える乱流場を2種類の乱流モデルにより解析し、急峻な山を越える乱流場を詳しく調べるとともに、風洞実験の結果との比較を行うことにより数値モデルの予測精度を明らかにする。具体的には、まず本研究で用いられた解析手法及び乱流モデルを述べ、そして、数値モデルを用いて、2次元及び3次元山を越える乱流場を解析し、乱流モデルによる山後流の平均速度分布及び乱流統計量の予測精度を検証するとともに、乱流モデルの違いが流れ場の予測結果に与える影響を検討する。

2. 数値モデル

2.1 支配方程式と乱流モデル

非圧縮の定常流れ（時間平均的に）に対して、直交座標系における質量及び運動量の時間平均方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho} \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_i u'_j}) \quad (2)$$

ここで、 \bar{u}_i と u'_i は物理空間での x_i 方向の速度成分の平均値と変動値を表わし、 \bar{p} は圧力、 ρ は流体の密度、 μ は粘性係数である。

レイノルズ応力 $-\overline{\rho u'_i u'_j}$ は線形渦粘性型モデルにより近似すると、次のようになる。

$$\overline{\rho u'_i u'_j} = \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} - 2C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} S_{ij} \quad (3)$$

標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いる場合、 C_μ の値を 0.09 とする（以下 $C_\mu=0.09$ の線形渦粘性型モデルを標準モデルと呼ぶ）。

一方、レイノルズ応力は Shih ら³³⁾ により提案された非線形渦粘性型モデル（以下 Shih のモデルと呼ぶ）を用いて近似する場合、次のようになる。

$$\begin{aligned} \overline{\rho u'_i u'_j} = & \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} - 2C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} S_{ij} \\ & + 2C_2 \rho \frac{k^3}{\varepsilon^2} (-S_{ik} \Omega_{kj} + \Omega_{ik} S_{kj}) \end{aligned} \quad (4)$$

ここでパラメータ C_μ と C_2 は次の式により表わされる。

$$C_\mu = \frac{1}{6.5 + A_s^* U^* (k/\varepsilon)} \quad (5)$$

$$C_2 = \frac{\sqrt{1 - 9C_\mu^2 (Sk/\varepsilon)^2}}{1 + 6S\Omega (k^2/\varepsilon^2)}, \quad (6)$$

また、

$$S = \sqrt{S_{ij} S_{ij}}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right),$$

$$\Omega = \sqrt{\Omega_{ij} \Omega_{ij}}, \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right),$$

$$U^* = \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \Omega_{ij} \Omega_{ij}},$$

$$A_s^* = \sqrt{6} \cos \phi, \quad \phi = \frac{1}{3} \arccos \sqrt{6} W^*,$$

$$W^* = \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{S^3}. \quad (7)$$

Shih のモデルは標準モデルに含まれる幾つかの問題点を改善している。一つは標準モデルにない歪み速度テンソル S_{ij} と渦度テンソル Ω_{ij} の積からなる項を新たに付け加えることにより、レイノルズ応力の非等方性の再現を可能にした。もう一つは流れの実現性 (Realizability) の条件が満たされている。すなわち、ノーマルストレスが正 ($\overline{u'_i{}^2} \geq 0$) であることと、速度のクロス相関は 1 を超えてはならないこと ($\overline{u'_i u'_j{}^2} / (\overline{u'_i{}^2} \overline{u'_j{}^2}) \leq 1$) である^{34),35)}。単純な流れ場を計算する場合には流れの実現性が大きな問題にならないが、流れが急に変化するような山の風上斜面では標準モデルを用いると負のノーマルストレスが予測される。これは標準モデル中のモデル係数 C_μ を一定としたことによるものである。すなわち、 $S_{11} k/\varepsilon > 1/0.27$ の時に $\overline{u'_1{}^2} < 0$ となり、 $S_{12} k/\varepsilon > 1/0.27$ の時に u'_1 と u'_2 の相関

係数が1を超えてしまう。一方, Shih のモデルでは C_μ が流れ場の関数となっているために, 負のノーマルストレスの予測が発生しない。

本研究ではレイノルズ応力 $-\overline{\rho u_i' u_j'}$ のモデル式が予測結果に与える影響を明らかにするため, 乱流エネルギー k 及び乱流エネルギーの散逸率 ϵ の計算はレイノルズ応力の近似方法によらず, 次式により行う。

$$\frac{\partial \overline{\rho u_j} k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \overline{\rho u_i' u_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} - \rho \epsilon \quad (8)$$

$$\frac{\partial \overline{\rho u_j} \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \overline{\rho u_i' u_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} - C_{\epsilon 2} \frac{\rho \epsilon^2}{k} \quad (9)$$

式中の定数は標準 $k-\epsilon$ モデル³⁶⁾の値を用い, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\epsilon = 1.3$, $C_{\epsilon 1} = 1.44$, $C_{\epsilon 2} = 1.92$ とした。また乱流粘性係数 μ_t は, 乱流エネルギー k と乱流エネルギー散逸率 ϵ により, 次式のように表す。

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (10)$$

以上の保存式は, 従属変数を ϕ として直交座標系 $x_j (j=1, 2, 3 \text{ for } x, y, z)$ で書くと, 次式のようになる。

$$\frac{\partial \rho u_j \phi}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (11)$$

ここで, Γ_ϕ は拡散係数, S_ϕ はソース項である。各保存式に対する $\phi, \Gamma_\phi, S_\phi$ を Table1 に示す。

Table 1 支配方式中の $\phi, \Gamma_\phi, S_\phi$ の定義
($\phi, \Gamma_\phi, S_\phi$ for the governing equations.)

Equation	ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ
Mass	1	-	0
Momentum	u_i	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\overline{\rho u_i' u_j'})$
Turbulence Energy	k	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}$	$-\overline{\rho u_i' u_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} - \rho \epsilon$
Dissipation	ϵ	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}$	$-C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \overline{\rho u_i' u_j' \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} - C_{\epsilon 2} \frac{\rho \epsilon^2}{k}$

2.2 数値解法

本解析は, コロケート格子 (collocated grid) に基づく有限体積法を用いて行った。壁面近傍の解析精度を確保するために, 一般曲線座標系 $\xi_j (j=1, 2, 3 \text{ for } \xi, \eta, \zeta)$ を用いた。一般曲線座標における保存式は以下のように表される。

$$\frac{\partial \rho U_j \phi}{\partial \xi_j} = \frac{\partial}{\partial \xi_j} \left(\Gamma_\phi J q_{jk} \frac{\partial \phi}{\partial \xi_k} \right) + J S_\phi \quad (12)$$

ここで, $U_j (j=1, 2, 3 \text{ for } U, V, W)$ は反変速度成分であり,

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \xi_x & \xi_y & \xi_z \\ \eta_x & \eta_y & \eta_z \\ \zeta_x & \zeta_y & \zeta_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (13)$$

また J は変換のヤコビアンである。

$$J = \frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\xi, \eta, \zeta)} = \begin{bmatrix} x_\xi & y_\xi & z_\xi \\ x_\eta & y_\eta & z_\eta \\ x_\zeta & y_\zeta & z_\zeta \end{bmatrix} \quad (14)$$

また, q_{jk} は次のように定義される。

$$q_{jk} = \frac{\partial \xi_j}{\partial x_i} \frac{\partial \xi_k}{\partial x_i} \quad (15)$$

本研究では保存式の離散化は Patankar³⁷⁾の方法に従って行う。最終的に離散化した保存式は次のように表される。

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b_p \quad (16)$$

ここで, a は保存式の対流と拡散項を表し, b_p はソース項, nb (neighbor point) は Fig.1 に示す要素 (中心 P) に接する各要素を表す。

数値解法は Patankar により提案された SIMPLE 法に準じる。また数値的な振動を防ぐために, Rhie & Chow³⁸⁾により提案された圧力加重補間法を用い, 圧力と速度との結合を強化した。対流項の差分近似については速度に対して QUICK³⁹⁾, 乱流特性量である k, ϵ に対して一次風上差分を使用した。線形方程式の解法としては運動方程式について SIP 法⁴⁰⁾, 圧力補正

参考文献 1

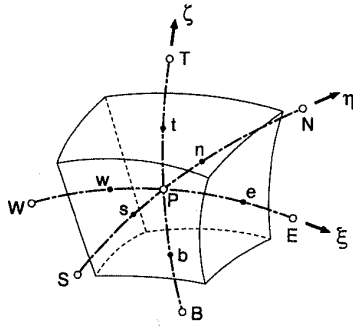


Fig. 1 典型的なコントロール・ボリューム (Typical control volume.)

式は ICCG 法⁴¹⁾を用いた。

2.3 境界条件

入りの境界は山の影響を無視できる上流 $30H$ の位置に設置した。そこでの平均速度 U と乱流エネルギー k の分布は山を設置しない時の風洞実験³²⁾の結果を用いた。乱流エネルギーの散逸率 ε は次式より算出した。

$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{l}, \quad l = \min(\kappa z_n, \kappa \delta) \quad (17)$$

ここで、 z_n は壁面までの垂直距離を表し、 δ は境界層厚さ、 κ はカルマン常数である。解析領域のトップでの平均流速と乱流量の値は流れ方向に変化しないと仮定し、入りの値をそのまま用いる。流出境界は山の downstream $30H$ の位置に設置し、そこでの平均流速と乱流量は勾配 0 の条件を与えた。側面境界についても同様である。圧力についてはすべての境界面において勾配 0 の条件を適用した。

壁面境界処理は以下に示す方法を用いる。すなわち、壁面第 1 セル内の平均速度と乱流エネルギーは運動方程式と乱流エネルギーの保存式を解くことにより求め、乱流の散逸率 ε は乱流エネルギーから直接に算出する。

この場合、壁面における剪断力は対数則⁴²⁾から次式により求める。

$$\tau_w = \frac{\rho \kappa C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} U_p}{\ln(z_p/z_0)} \quad (18)$$

ここで、添字 P は壁面第 1 セルの中心点を表し、 U_p と k_p は壁面第 1 セルの中心での接線方向流速と乱流エ

ネルギー、 z_p は壁面第 1 セルの中心から壁面までの垂直距離、 z_0 は粗度長である。なお、本研究では解析領域の底面をゼロ変位の高さに設置した。また解析に用いた粗度長とゼロ変位の値は風洞実験³²⁾から得られた値を用い、それぞれ 0.3mm と 3mm と設定した。

壁面第 1 セル内の乱流エネルギーの生成 \bar{P}_k と消散率 $\bar{\varepsilon}$ は P_k と ε の体積平均値を用い、次式により求める。

$$\begin{aligned} \bar{P}_k &= \frac{1}{2z_p} \int_0^{2z_p} \tau_w \frac{\partial U}{\partial z_n} dz_n \\ &= \frac{\tau_w^2}{2z_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} \kappa \rho} \ln\left(\frac{2z_p}{z_0}\right) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon} &= \frac{1}{2z_p} \int_0^{2z_p} \varepsilon dz_n \\ &= \frac{C_\mu^{3/4} k_p^{3/2}}{2z_p \kappa} \ln\left(\frac{2z_p}{z_0}\right) \end{aligned} \quad (20)$$

ここで、壁面第 1 セル内の剪断力 τ と乱流エネルギー k はそれぞれ τ_w と k_p と仮定し、 ε は(17)式により評価した。(18)~(20)式による境界処理は流れの状態が急激に変化する場所においてもうまく機能するが、壁面剪断力の大きい場所では乱流エネルギーの生成項 \bar{P}_k を過大に評価する傾向があり、壁面近傍での乱流エネルギーを過大に評価してしまうことがある。これを防ぐために、本研究では壁面第 1 セル内の乱流エネルギーの値が極大値にならないように、生成項 \bar{P}_k の値を解析結果により自動的に修正されるアルゴリズムを導入した。具体的には壁面第 1 セルの k の値がその一つ上のセルの値より大きくなった時に、(19)式の右側に 1 より小さい修正係数を乗じることにより、生成項 \bar{P}_k の値を下方に修正する。この操作は $\partial k / \partial n \geq 0$ という境界条件が満たされるまでに行う。

3. 数値結果

3.1 解析条件

Fig.2 には解析の対象とした山の断面形状及びその代表寸法を示し、山の高さ H は 40mm、底面長さ $2L$ は 200mm である。山の断面形状は余弦の 2 乗 (cosine-squared shape) となっており、次式のように表される。

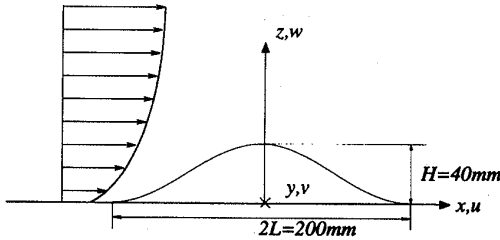


Fig. 2 座標系と符号
(Coordinate system and notations.)

$$z_s = \begin{cases} H \cos^2\left(\pi \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{2L}\right), & \sqrt{x^2 + y^2} < L \\ 0, & \sqrt{x^2 + y^2} \geq L \end{cases} \quad (21)$$

本研究では、 x, y, z 軸をそれぞれ流れ方向、流れ直角方向、鉛直方向にとり、山の中心軸の位置を x と y 軸の原点とする。また解析領域の底面からの高さは第2の鉛直軸 z' で表す。

解析は Table 2 に示す2つのケースについて行った。ケース1は2次元山を対象としたもので、流れの剥離が山を越える乱流境界層に与える影響を明らかにする。ケース2は3次元山を対象としたもので、流れの3次元性が山の後流に与える影響を調べる。各ケースの解析領域及び解析に用いたメッシュ数は Table 2 に示す。Fig.3 には計算格子の一例を示す。山を越える流れ場の解像度を上げるために、山頂近傍に格子を集めた。また格子依存性を調べるために、メッシュ数を2倍に増やした解析も行い、解析結果が殆ど変化しないことを確認した。

3.2 2次元山を越える乱流場

急峻な2次元山を越える流れ場は Fig.4 に示すように5つの領域に分けることができる。すなわち、山の影響を受けない上流域、山の風上麓における減速域、山頂での増速域、そして山背後の剥離域とその後のウェーク域である。本研究では山近傍の流れ場に注目して、平均速度及び乱流統計量の数値予測結果と風洞実験との比較を行う。

Fig.5 には2次元山における平均速度成分 U, W の鉛直分布を示す。全体的に見ると、Shih の非線形 $k-\varepsilon$ モデルによる予測結果は標準 $k-\varepsilon$ モデルより実験値に近く、再付着点の位置も正確に再現している。

Table 2 解析領域
(Integration domain.)

Case	Dimensions	X_L/H	Y_L/H	Z_L/H	$N_x \times N_y \times N_z$
1	2D hill	60	—	22.5	$71 \times 1 \times 32$
2	3D hill	60	20	22.5	$71 \times 35 \times 32$

X_L, Y_L and Z_L are length, width and height of the integration domain. N_x, N_y and N_z are grid points in x, y, z directions.

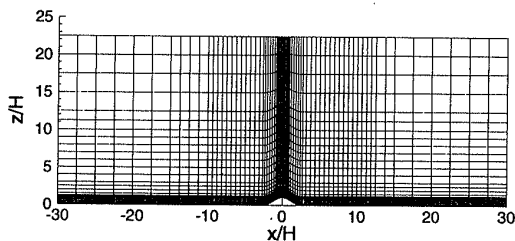


Fig. 3 解析に用いた格子
(Typical mesh used in the simulations.)

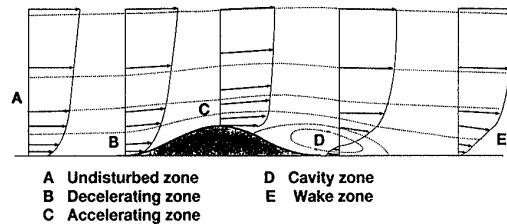


Fig. 4 急峻な2次元山を越える流れ場の概念図
(Schematic diagram of flow field over a 2-D steep hill.)

一方、標準 $k-\varepsilon$ モデルの解析結果は風上斜面及び山頂において実験値より若干大きく、再付着距離は実験値より短い。再付着距離の実験値³²⁾が $X_r = 6.4H$ であるのに対して、Shih のモデルの予測値は $6.5H$ 、標準 $k-\varepsilon$ モデルの予測値は $5.3H$ である。標準 $k-\varepsilon$ モデルが短い再付着距離を予測することはバックステップ流れの予測からも知られており、剥離域における乱流エネルギーの過大評価によるものと言われている⁴³⁾。しかし、標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いた Coelho & Pereira²⁷⁾ の解析結果からは顕著な再付着距離の過小評価が見られなかった。Coelho & Pereira²⁷⁾ の解析結果を詳しく調べると、山頂付近での乱流エネルギーが過大に評価されていることが分かる。因みに、壁面付近での乱流エネルギーの過大生成を制限する条件を外した場合、標準 $k-\varepsilon$ モデルにより予測される再付着距離は

参考文献 1

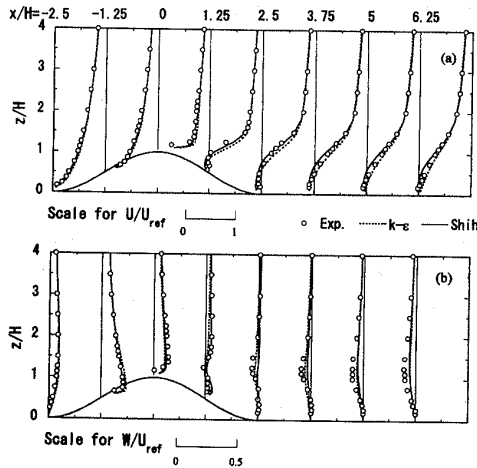


Fig. 5 2次元山における平均速度成分 U, W の鉛直分布 (Vertical profiles of mean velocities for the 2-D hill.)

6.0H と長くなるが、風上斜面及び山頂付近における乱流エネルギーの過大評価が見られる⁴⁴⁾。Fig.7 の中の細かい実線 (山頂) はその一例を示す。壁面付近での乱流エネルギーの値は急に大きくなっていることが分かる。このように剥離域の上流側の乱流エネルギーが正しく予測されていない場合、剥離域の予測結果 (例えば、平均風速分布) から乱流モデルの善し悪しを判断すると、誤った評価になる危険性があり注意を要する。

Fig.6 には2次元山における平均速度のベクトル (Shih のモデルによる) を示し、図中の実線は流線を表している。山の登り斜面では流れの上昇が見られ、山の頂点を越えると流れの剥離が見られる。この剥離流に伴い、山の背後に大きな循環流が形成される。2次元山の場合、連続式を満たすために流線が閉じるのが特徴である。

変動風速の予測は構造物に作用する動的な風荷重の評価に重要であり、高い予測精度が要求される。Fig.7 には2次元山における乱流エネルギーの鉛直分布を示す。全体的に見ると、Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる予測結果は標準 $k-\epsilon$ モデルより実験値に近い。特に剥離域における乱流エネルギーの過大評価は Shih のモデルにより大きく改善されていることが分かる。剥離域での乱流エネルギーの過大評価はバックステップ流れの予測結果にも見られている⁴¹⁾。Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる乱流エネルギーの予測精度の向上

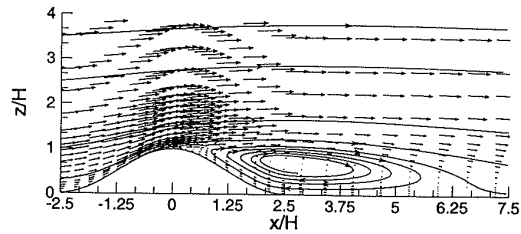


Fig. 6 2次元山における平均速度ベクトルと流線 (Mean velocity vectors and streamlines for the 2-D hill.)

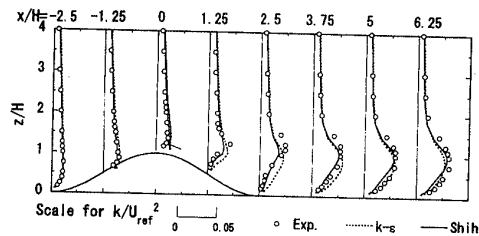


Fig. 7 2次元山における乱流エネルギーの鉛直分布 (Vertical profiles of the turbulent kinetic energy for the 2-D hill.)

は剥離域に限らず、山の風上斜面及び山頂付近においても見られた。これは非線形 $k-\epsilon$ モデルを用いることにより、レイノルズ応力の非等方性の予測精度が改善されたことによるものと考えられる。

Fig.8 には2次元山における3成分のノーマルストレスの鉛直分布を示す。標準 $k-\epsilon$ モデルは3成分のノーマルストレスを等方的に評価してしまうために、流れ方向のノーマルストレスを過小に評価し、鉛直方向のノーマルストレスを過大に評価する。それに対して Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる予測はノーマルストレスの非等方性をよく再現している。ただし、風上斜面及び山頂においては Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる改善効果が見られたものの、流れ方向のノーマルストレスの過小評価及び鉛直方向のノーマルストレスの過大評価は完全には解消されていない。この結果は山の風上斜面における平均流れ場の急激な変化に関係している。すなわち、流れの移流効果の大きい風上斜面においては2方程式モデルがノーマルストレスにおける流れの移流効果を正しく反映できず、平均速度の局所的な変化を過大に評価してしまうと考えられる。移流効果の大きい風上斜面及び山頂においては乱流統計量の予測にレイノルズ応力モデルの使用が有効である²³⁾。

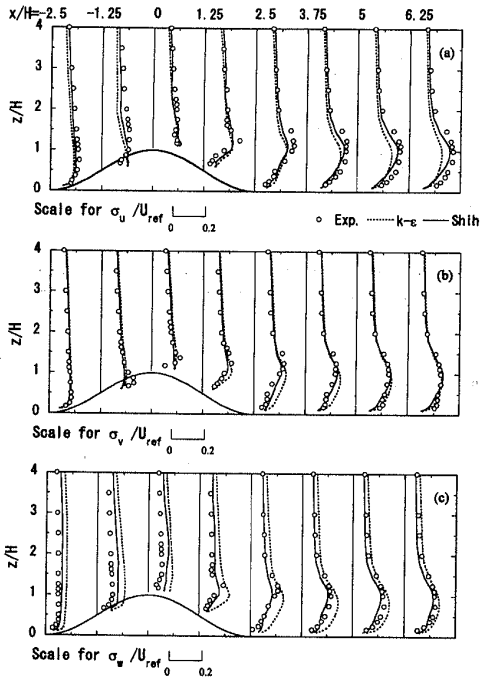


Fig. 8 2次元山における3成分のノーマルストレスの鉛直分布
(Vertical profiles of three normal stresses for the 2-D hill.)

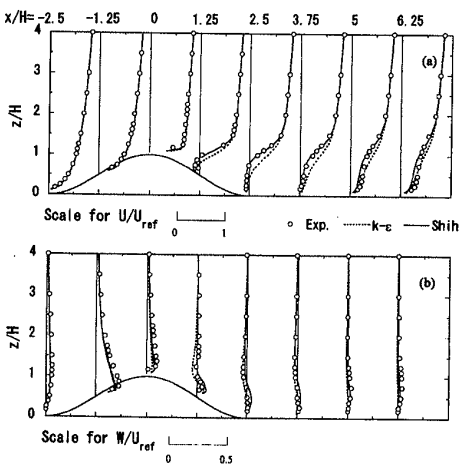


Fig. 9 3次元山の中心断面における平均速度成分U, Wの鉛直分布
(Vertical profiles of mean velocities in the central plane of the 3-D hill.)

3.3 3次元山を越える乱流場

2次元山を越える乱流場に比べ、3次元山を越える乱流場は流れの3次元性の影響を受け、一層複雑になっている。これまでに数値解析による3次元山を越える乱流場を調べた例が少なく、3次元山背後の流れ構造については不明な点が残されている。

Fig.9には3次元山の中心断面における平均速度成分U, Wの鉛直分布を示す。全体的に見ると、Shihの非線形k-εモデルによる解析結果は標準k-εモデルより実験値に近く、山背後の剥離域での流速分布も正確に再現している。一方、標準k-εモデルの解析結果は剥離域での平均流速成分Uを過大に評価し、また山を回り込む流れの収束により形成された上昇流を正確に再現していないことが分かる。標準k-εモデルが剥離域での平均流速成分Uを過大に評価する理由は2次元山の場合と同じであり、乱流エネルギーの過大評価によるものと考えられる。Fig.10には山の側

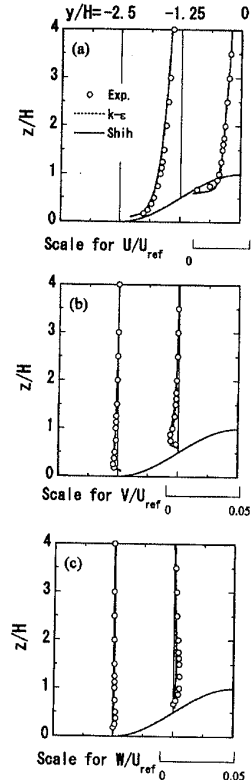


Fig.10 x/H=0断面における平均速度成分U, V, Wの鉛直分布
(Vertical profiles of mean velocities in the x/H=0 plane.)

参考文献 1

面における平均流速成分 U , V , W の鉛直分布を示す。山の側面における流れ場は剥離を伴わないために、標準 $k-\epsilon$ モデルによる予測結果も実験値とよく一致している。

Fig.11 には 3 次元山における流線を示す。山背後に回り込んだ流線は山の風下斜面に生じた上昇流によって山頂まで持ち上げられた後に下流方向に流れていく。この流れパターンは 2 次元山背後の流れパターンとかなり異なっていることが分かる。3 次元山背後の流れ構造を詳しく調べるため、幾つかの代表的な地点での平均速度ベクトル図を作成した。

Fig.12 には 3 次元山の中心断面における平均速度のベクトルと流線 (Shih のモデルによる) を示す。2 次元山と同様に、山の登り斜面では流れの上昇が見られ、山の頂点を越えると流れの剥離が見られる。剥離するまでに 2 次元山と 3 次元山を越える流れ場のパターンには大きな差が見られないが、剥離した後の流れのパターンは 2 次元と 3 次元とは全く異なる。2 次元の剥離泡には閉じた流線が形成されるのに対して、3 次元の剥離泡には開いた流線が形成される。2 次元剥離の場合は流れが連続式を満たすために循環流を形成しなければならない。一方、3 次元剥離の場合はスパン方向の流れが存在するために、循環流がなくても流れの連続式を満たすことができる。すなわち、3 次元山の中心断面内の流れ場を 2 次元場と見なす時に、速度成分 V のスパン方向の変化量は 2 次元場の中のソースあるいはシンクとなる。連続式 $(\partial U / \partial x + \partial W / \partial z = -\partial V / \partial y)$ から分かるように、 $\partial V / \partial y$ が負の時にソースとなり、正の時にシンクとなる。実際に山の風下麓では回り込む流れが存在し、 $\partial V / \partial y$ が負になっていることが解析結果から分かる。

山を回り込む流れの動きは山の表面に平行な面内の流速分布から容易に観察することができる。Fig.13 には $z/H = 0.025$ 内の平均速度ベクトルと流れパターンを示す。山の風下斜面には山を回り込む流れにより山の表面に垂直な軸をもつ渦が形成されている。この渦は少なくとも 3 つの方向からの流れによって維持されている。このような流れパターンは three-way-encounter pattern と呼ばれ、3 次元剥離流のみに見られる。この渦に伴い山の風下麓に中心断面に向かう流れが形成される。この流れに伴う速度成分 V のスパン方向の変化は仮想的な 2 次元場 (中心断面) の中のソースとなる。

Fig.14(a)~(c)には主流に垂直となる鉛直断面内の

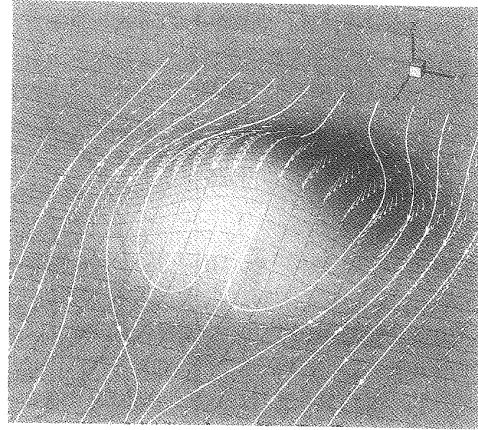


Fig. 11 3 次元山における流線
(Streamlines for the 3-D hill.)

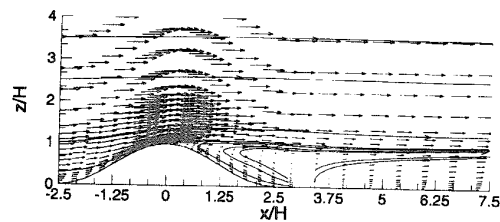


Fig. 12 3 次元山の中心断面 ($y/H=0$) における平均速度ベクトルと流線
(Mean velocity vectors and streamlines in the central plane of the 3-D hill.)

平均速度ベクトルと流れパターンを示す。流れ場は上流から下流に向かって示されている。山の風上麓を通る ($x/H = -2.5$) 鉛直断面 (Fig.14(a)) には山を回ろうとする流れの影響を受け、主流に直角となる速度成分がすべて上向きあるいは外向きとなっている。この流れは壁面付近において山の右側に時計回りの渦度また山の左側に反時計回りの渦度を作り出す。Fig.14(b)には山の風下麓を通る鉛直断面内 ($x/H = 2.5$) の流れパターンを示す。この断面では山を回り込む流れの影響で中心断面に向かう流れ成分がかなり強くなっている。また山の高さより少し低い位置には中心断面に挟んで一対の縦渦が存在しており、この一対の渦により山の背後に 'upwash' と呼ばれる上向きの流れが作り出されていることが分かる。山背後の縦渦は山の壁面近傍で作られた渦度に強く関係し、縦渦のもつ渦度の符号は山の風上側の壁面近傍で作られた渦度の流れ方向成分の符号と同じである。Fig.14(c)には山の downstream 側の

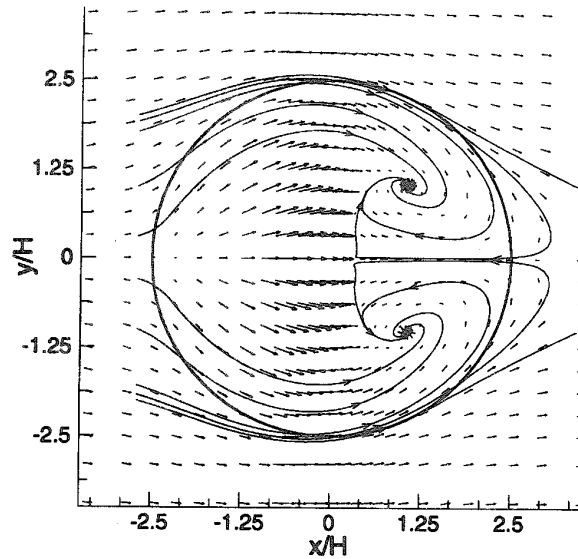


Fig. 13 3次元山の表面に平行な面 ($z/H=0.025$) 内の平均速度ベクトルと流れパターン
(Mean velocity vectors and flow pattern in the parallel surface of the 3-D hill.)

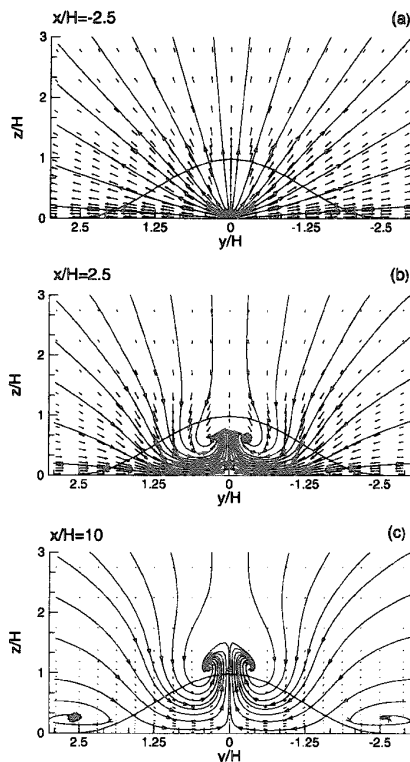


Fig. 14 yz断面内の平均速度ベクトルと流れパターン
(Mean velocity vectors and flow patterns in the yz sections.)

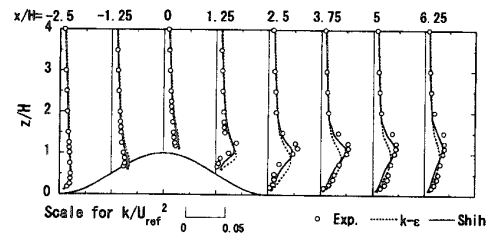


Fig. 15 3次元山の中心断面 ($y/H=0$) における乱流エネルギーの鉛直分布
(Vertical profiles of the turbulent kinetic energy in the central plane of the 3-D hill.)

鉛直断面内 ($x/H=10$) の流れパターンを示す。主流に直角となる速度成分は弱くなっているものの、一対の縦渦はしっかりと残されている。この一対の縦渦は下流にいくに従って縦渦自身により作り出された上向きの流れによって高く持ち上げられていることが分かる。またこの断面では元の縦渦の外側壁面付近に新たに一対の縦渦が現れている。この2次渦は元の縦渦と反対向きの渦度をもっている。ただし、これらの渦は流れを時間平均的に見た場合に現れるもので、流れ場に瞬間的に存在するものではないことに注意されたい。

急峻な3次元山を越える流れ場の乱流特性を数値解析により調べた例が少なく、乱流モデルの違いが変動

参考文献 1

風速の予測精度に与える影響について不明な点が多く残されている。Fig.15 には3次元山の中心断面 ($y/H=0$) における乱流エネルギーの鉛直分布を示す。2次元山の場合と同様に、Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる予測結果は標準 $k-\epsilon$ モデルより実験値に近い。特に標準 $k-\epsilon$ モデルによる乱流エネルギーの過大評価は Shih のモデルにより大きく改善されている。Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる乱流エネルギーの予測精度の向上は山の風上斜面及び山頂付近にも見られた。これは非線形 $k-\epsilon$ モデルを用いることにより、レイノルズ応力の非等方性の予測精度が改善されたことによるものと考えられる。

Fig.16 には3次元山の中心断面 ($y/H=0$) における3成分のノーマルストレスの鉛直分布を示す。標準 $k-\epsilon$ モデルは3成分のノーマルストレスを等方的に評価してしまうために、 σ_u を過小に評価し、 σ_w を過大に評価する。それに対して Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる予測はノーマルストレスの非等方性をよく再現している。ただし、後流域での σ_v の鉛直分布に見

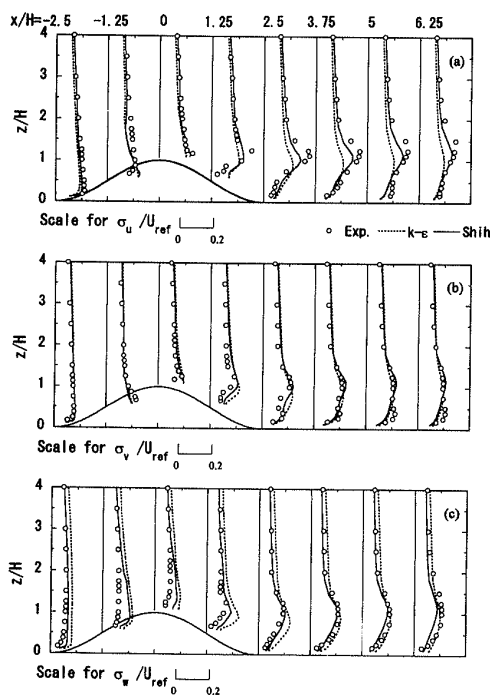


Fig. 16 3次元山の中心断面 ($y/H=0$) における3成分のノーマルストレスの鉛直分布 (Vertical profiles of three normal stresses in the central plane of the 3-D hill.)

られた壁面付近の2番目のピークは Shih のモデルも十分に再現していない。また風上斜面及び山頂においては Shih のモデルによる改善効果が見られたものの、 σ_u の過小評価及び σ_w の過大評価は完全には解消されていないことが分かる。これは2次元山の場合と同じ理由によるものと思われる。すなわち、流れの移流効果の大きい風上斜面においては2方程式モデルがノーマルストレスにおける流れの移流効果を正しく反映できず、平均速度の局所的な変化を過大に評価してしまうと考えられる。Fig.17 には $x/H=0$ 断面における3成分のノーマルストレスの鉛直分布を示す。全体的に見ると、Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる予測結果は標準 $k-\epsilon$ モデルより実験値に近い。またノーマルストレスの非等方性も Shih のモデルにより再現されていることが分かる。

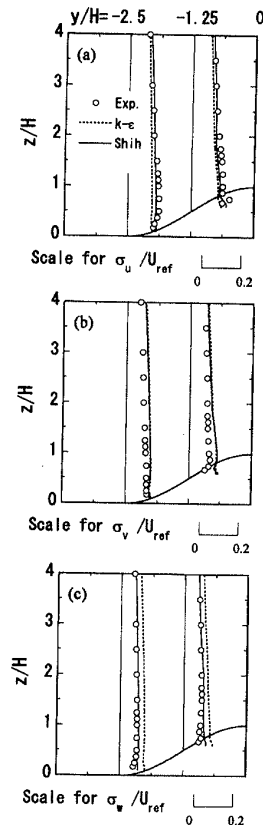


Fig. 17 $x/H=0$ 断面における3成分のノーマルストレスの鉛直分布 (Vertical profiles of three normal stresses in the $x/H=0$ plane.)

4. まとめ

本研究では、2次元及び3次元山を越える乱流場を標準 $k-\varepsilon$ モデル及び Shih の非線形 $k-\varepsilon$ モデルにより解析し、山の後流域での流れ構造を詳しく調べるとともに、風洞実験結果との比較を行うことにより数値モデルによる平均速度及びレイノルズ応力の予測精度を明らかにした。その結果、以下のような結論が得られた。

- (1) 平均速度場については Shih の非線形 $k-\varepsilon$ モデルによる予測結果が標準 $k-\varepsilon$ モデルより実験値に近い。また標準 $k-\varepsilon$ モデルによる再付着距離の過小評価は Shih のモデルにより改善されている。
- (2) 変動風速場については Shih のモデルによる予測結果が標準 $k-\varepsilon$ モデルより実験値に近く、ノーマルストレスの非等方性もよく再現している。また標準 $k-\varepsilon$ モデルによる乱流エネルギーの過大評価は Shih のモデルにより大きく改善されている。ただし、流れの移流効果の大きい風上斜面及び山頂における Shih のモデルの予測精度は改善の余地が残されている。
- (3) 風上斜面及び山頂における壁面付近の乱流エネルギーの過大評価は剥離域における平均速度分布及び再付着距離の予測に大きな影響を与えることが解析結果から分かった。また本研究では乱流エネルギーの過大生産を制限する方法を用いることにより、風上斜面及び山頂における乱流エネルギーの過大評価が解消され、乱流モデルの正確な評価が可能になった。
- (4) 山背後の流れ構造については流れが剥離するまでに2次元山と3次元山を越える流れ場のパターンには大きな差が見られないが、剥離した後の流れのパターンは2次元と3次元とは全く異なる。2次元の剥離泡に閉じた流線が形成されるのに対して、3次元の剥離泡には開いた流線が形成される。
- (5) 3次元山の後流には一対の縦渦が存在することが分かった。山背後の縦渦は山の壁面近傍で作られた渦度に強く関係し、縦渦のもつ渦度の符号は山の壁面近傍で作られた渦度の流れ方向成分の符号と同じである。

参考文献

- 1) P. S. Jackson and J. C. R. Hunt : Turbulent wind flow over a low hill, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 101, 1975, pp. 929-955.
- 2) P.J. Mason and R.I. Sykes : Flow over an isolated hill of moderate slope, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 105, 1979, pp. 383-395.
- 3) J. L. Walmsley, J.R. Salmon and P.A. Taylor : On the application of a model of boundary layer flow over low hills to real terrain, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.23, 1982, pp.17-46.
- 4) J. L. Walmsley, P.A. Taylor and T. Keith : A simple model of neutrally stratified boundary layer flow over complex terrain with surface roughness modulations (MS3DJH/3R), *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.36, 1986, pp.157-186.
- 5) J. C. R. Hunt, S. Leibovich and K. J. Richards : Turbulent wind flow over a low hill, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 114, 1988, pp.1435-1470.
- 6) Q. P. Zou : A viscoelastic model for turbulent flow over undulating topography. *J. Fluid Mech.* Vol.355, 1998, pp.81-112.
- 7) P.J. Mason and J.C. King : Measurements and predictions of flow and turbulence over an isolated hill of moderate slope, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol.111, 1985, pp.617-640.
- 8) J.R. Salmon, H.W. Teunissen, R.E. Mickle and P.A. Taylor : The Kettles Hill Project : Field observations, wind-tunnel simulations and numerical model predictions for flow over a low hill, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol.43, 1988, pp.309-343.
- 9) A.C.M. Beljaars, J. L. Walmsley and P.A. Taylor : A mixed spectral finite-difference model for neutrally stratified boundary-layer flow over roughness changes and topography, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol.38, 1987, pp.273-303.
- 10) J. L. Walmsley and J. Padro : Shear stress results from a mixed spectral finite difference model: Application to the Askevein Hill Project Data, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.51, 1990, pp.169-178.
- 11) K.W. Ayotte, D. Xu and P.A. Taylor : The impact of different turbulence closures on predictions of the mixed spectral finite difference model for flow over topography, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.68, 1994, pp.1-33.

参考文献 1

- 12) J. L. Walmsley and P.A. Taylor : Boundary-layer flow over topography : Impacts of the Askervein study, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.78, 1996, pp.291-320.
- 13) 大木祥光, 河井宏允, 藤波 潔 : 風に及ぼす地形の影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998, pp.119-120.
- 14) 西村健二 : 日本山地地形の数量的考察, 1958, 複写印刷。
- 15) P.A. Taylor: Some numerical studies of surface boundary-layer flow above gentle topography, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.11, 1977, pp.439-465.
- 16) D. M. Deaves: Wind over hills: A numerical approach, *J. Indust. Aerodynamics*, Vol.1, 1976, pp.371-391.
- 17) D. M. Deaves: Computations of wind flow over two-dimensional hills and embankments, *J. Wind Eng. and Indust. Aerodyn.*, Vol.6, 1980, pp.81-111.
- 18) O. Zeman and N. O. Jensen : Modification of turbulence characteristics in flow over hills, *Quart. J. R. Met. Soc.*, Vol. 113, 1987, pp.55-80.
- 19) D. A. Paterson and J.D. Holms: Computation of wind flow over topography, *J. Wind Eng. and Indust. Aerodyn.*, Vol.46/47, 1993, pp.471-476.
- 20) D. Xu, and P.A. Taylor: A non-linear extension of the mixed spectral finite-difference model for neutrally stratified turbulent flow over topography, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.59, 1992, pp.177-186.
- 21) D. Xu, K.W. Ayotte and P.A. Taylor: Development of a non-linear mixed spectral finite-difference model for turbulent boundary-layer flow over topography, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.70, 1994, pp.341-367.
- 22) R.Ying and V.M. Canuto: Turbulence modelling over two-dimensional hills using an algebraic Reynolds stress expression, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol.77, 1995, pp.69-99.
- 23) R.Ying and V.M. Canuto: Numerical simulation of flow over two-dimensional hills using a second-order turbulence closure model, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol.85, 1997, pp.447-474.
- 24) G. D. Raithby, G.D. Stubble and P.A. Taylor: Askervein Hill Project: A finite control volume prediction of three-dimensional flows over the hill, *Boundary-Layer Meteorol.* Vol.39, 1987, pp.247-267.
- 25) J. L. Walmsley, K. Wang, S.R. Karpik, D. Xu, and P.A. Taylor : Applications of the mixed spectral finite difference (MSFD) and its nonlinear extension (NLMSFD) to wind flow over Blashaval Hill, *Proc. 20th ITM on Air Pollution Modelling and its Application*, 1994.
- 26) J.J. Finnigan : Air flow over complex terrain, *In Flow and Transport in the Natural Environment* (ed. W. L. Steffen and O. T. Denmead), Springer, 1988, pp.183-229.
- 27) P.J. Coelho and J.C.F. Pereira: Finite volume computation of the turbulent flow over a hill employing 2D or 3D non-orthogonal collocated grid systems, *Int. J. Num. Methods Fluids*, Vol. 14, 1992, pp.423-441.
- 28) M.H. Kobayashi J.C.F. Pereira and M.B.B. Siqueira: Numerical study of turbulent flow over and in a model forest on a 2D hill, *J. Wind Eng. and Indust. Aerodyn.*, Vol.53, 1994, pp.357-374.
- 29) A.D. Ferreira, A.M.G. Lopes, D.X. Viegas, A.C.M. Sousa: Experimental and numerical simulation of flow around two-dimensional hills, *J. Wind Eng. and Indust. Aerodyn.*, Vol.54/55, 1995, pp.173-181.
- 30) H.J. Kim, C.M. Lee, H.C. Lim and N.H. Kyong: An experimental and numerical study on the flow over two-dimensional hills, *J. Wind Eng. and Indust. Aerodyn.*, Vol.66, 1997, pp.17-33.
- 31) T. Utnes and K. J. Eidsvik: Turbulent flows over mountainous terrain modelled by the Reynolds equations, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol.79, 1996, pp.393-416.
- 32) 石原 孟, 日比一喜 : 急峻な山を越える乱流場に関する実験的研究, 第15回風工学シンポジウム論文集, 1998, pp.61-66.
- 33) T. H. Shih, J. Zhu and J.L. Lumley : A new Reynolds stress algebraic equation model, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, Vol.125,

- 1995, pp.287-302.
- 34) U. Schumann : Realizability of Reynolds-stress turbulence models, *Phys. Fluids*, Vol. 20, 1977, pp.721-75.
- 35) J. L. Lumley : Computational modeling of turbulent flows, *Adv. Appl. Mech.* Vol. 18, 1978, pp.124-176.
- 36) W.P. Jones and B.E. Launder: The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 15, 1972, pp.301-314.
- 37) S. V. Patankar : Numerical heat transfer and fluid flow, McGraw-Hill, New York, 1980.
- 38) C. M. Rhie and W. L. Chow : Numerical study of the turbulent flow past an airfoil with trailing edge separation, *AIAA J.* Vol. 21 1983, pp.1525-1532.
- 39) B. P. Leonard : A stable and accurate convective modelling procedure based on quadratic upstream interpolation, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* Vol.19, 1979, pp.59-98.
- 40) H.L. Stone : Iterative solution of implicit approximation of multidimensional partial differential equations, *SIAM J. Numer. Anal.*, Vol. 5, 1968, pp.530-558.
- 41) D. Keshaw : The incomplete Cholesky conjugate gradient method for the iterative solution of system of linear equations, *J. Comput. Phys.* Vol.26, 1970, pp.43-65.
- 42) B. E. Launder and D. B. Spalding : The Numerical computation of turbulent flows, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, Vol.3, 1974, pp.269-289.
- 43) 長野靖尚, 森西洋平, 笠木伸英 : バックステップ流れの数値解析とその検証, 流れ解析プログラム検証研究分科会 (RC104) 成果報告書, 日本機会学会, 1994, pp.239-255.
- 44) 石原 孟, 老川 進 : 急峻な山を越える流れと拡散に関する研究, その2 流れ場の数値予測, 大気環境学会年会講演要旨集, 1998, pp.337.

〔特集〕 複雑地形上の風況予測法

非線形風況予測モデル MASCOT の開発とその実用化

A Nonlinear Wind Prediction Model MASCOT
: Development and Application*東京大学大学院工学系研究科 石原 孟†
Takeshi ISHIHARA

1. はじめに

風力発電量は風速の3乗に比例することから、小さな風速の予測誤差が大きな風力発電量の予測誤差につながる。そのため風力発電機設置位置における正確な風況予測が大変重要である。

現在風力発電量を予測するためには風況予測モデルが用いられている。その代表的な例は Jackson & Hunt¹⁾により提案された線形モデルに基づく WAsP²⁾があり、世界的に広く使われている。しかし、線形モデルは地形の傾斜勾配が大きくなるにつれ、山頂での予測精度が悪くなる³⁾。また山の背後においては線形モデルが風速を過大に評価することがよく知られている⁴⁾。更に、WAsPにより竜飛ウィンドパークにおける年平均風速を求める場合には地点によって予測誤差が非常に大きいことが Matsuzakaら⁵⁾の研究によって明らかにされている。従って、わが国のような急峻な地形における複雑風況を精度よく予測するには非線形風況予測モデルが必要となる。

一方、風力開発を行う際には、建設地点の風況を事前に把握することが重要である。現在全国をカバーする風況マップは10数kmに1点の気象観測データを内挿して作られたものであるため、局所地形の影響を反映しておらず、詳細風況マップとして使うことができない。そのため、現状では最低1年間の風観測による風況精査を行う必要

がある。風況精査は開発時間の半分以上を占めるため、迅速な風況精査手法の確立が急務と言える。

観測を行わずに気象モデルを用いて風況精査を行うための方法としてはネスティング (Nesting method) と呼ばれる手法と、統計・力学的局所化 (Statistical Dynamical Downscaling) と呼ばれる手法⁶⁾が提案されている。ネスティング手法では気象予測モデルの結果を境界条件として、順次高解像度の小さな領域をネスティングさせることにより、局所風況を予測する。NEDOが開発を進めている風況予測モデル⁷⁾は地域気象モデルと工学モデルを用いて最小格子間隔10mのグリッドまで5段にネスティングさせることによって局所風況予測を行う。この方法ではネスティングされた全領域に対し、最低1年分の時系列計算を行う必要があり、計算時間が膨大となるため、6日おき、1日4回の計算のみを行っている。このように予測された風況は実際の風況と異なる恐れがある。谷川ら⁸⁾は同様に気象モデルを最小格子間隔500mまでネスティングさせることによって風況精査を行っている。しかし、日本のような急峻地形上の流れ場を正しく予測するためには最低でも50mの格子を用いる必要があり、500mの格子間隔は本研究で対象とした竜飛岬では明らかに不十分である。一方、統計・力学的局所化手法として、Frank et al.⁹⁾は全球モデルの解析結果を統計処理し、それぞれのケースに対し力学的に地域風況を予測し、さらに局所的な地形、地表面粗度の影響を考慮に入れた局所風況への変換のために、線形風況予測モデル WAsP を用いた。しかし、この

*〒13-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

†E-mail: ishihara@bridgat.u-tokyo.ac.jp

手法は、海陸風や山谷風などの局地循環を再現できず、また局所風況の予測に線形モデル WAsP を用いているため、急峻な地形が多い日本には適用できないという問題点がある。

本報告では、まず流れの剥離を含む複雑地上の局所風況を高精度で予測できる非線形モデル MASCOT (Microclimate Analysis System for Complex Terrain)¹⁰⁻¹⁴⁾ を説明し、3次元孤立峰、複雑地形及び竜飛ウィンドパークに適用したときの予測精度を調べると共に、線形モデル WAsP の適用限界を明らかにする。そして、地域気象モデル RAMS と非線形モデル MASCOT を利用した新しい風況精査手法(力学統計的局所化)を紹介し、実測データとの比較検証によりその有効性を示す。

2. 非線形風況予測モデル MASCOT の開発

2.1 プログラムの特徴

非線形風況予測モデル MASCOT は従来の線形モデルに比べ、以下の特徴を持っている。

- 1) 本モデルは一般座標系を採用し、任意傾斜角度をもつ地形を対応でき、また鉛直方向に不等間隔格子、水平方向にズームング格子を採用することにより、必要な領域に格子を集中させることができる¹⁰⁾。
- 2) 離散化手法としては質量及び運動量の保存則を満足する有限体積法を用い、数値解法には安定性の高い半陰解法 SIMPLE 法を採用している¹⁰⁾。
- 3) 乱流モデルとしては標準 $k-\epsilon$ または修正 $k-\epsilon$ モデルを用いることにより、平均風速場のみならず、剥離を含む複雑流れ場の変動風速の標準偏差を精度よく予測することが可能である¹⁰⁾。
- 4) また複雑地形における局所風況を予測するため、新しい境界処理手法を開発し、境界処理が内部領域に与える影響を最小限にした¹³⁾。
- 5) 大規模線形連立方程式を高速かつ安定に解くための手法を提案し、100万格子を用いた10km四方の風況予測は1台のコンピュータ

で1時間以内に解析することが可能である¹³⁾。

- 6) 本プログラムは標高(50m分解能)と地表面粗度(100m分解能)に関するデータ・ベースを備えており、任意地点における緯度、経度を入力すれば、風況解析が可能となる。
- 7) 更に対象領域内の1地点における風速・風向の時系列データ(観測または気象予測から)が得られていれば、年平均風速、平均風速の日変化や月変化、または平均風速のワイブル分布が得られる。
- 8) 本プログラムはグラフィック・ユーザー・インターフェイスと流れ場の可視化ツールが備えており、解析開始する前に、対象地点の標高、地表面粗度、また解析に使用される格子、観測地点や風車の位置を確認できる。更に解析結果は等値線、風速ベクトルなどの可視化ツールにより見ることも可能である。

2.2 MASCOT の応用例

非線形風況予測モデルの有用性を示すために、MASCOT を用いた解析例を幾つか紹介する。まず3次元孤立峰を対象とした解析を行い、非線形風況予測モデルの予測精度を明らかにする。そして、複雑地形における風況予測を行い、剥離を伴う流れ場に対する非線形風況予測モデル MASCOT の有用性を明らかにする。最後に、竜飛ウィンドパークを対象に風況予測を実施し、予測結果と実測結果とを比較することにより、年平均風速における線形モデルと非線形モデルの予測精度を明らかにする。

a) 3次元孤立峰

非線形風況予測モデルの予測精度を検証するために、余弦の2乗の形状をもつ3次元孤立峰を対象とした。図1には3次元孤立峰の断面形状及び座標系を示す。孤立峰の高さ H は40mm、底面長さ $2L$ は200mm、山の最大傾斜角度は 32° である。山の表面には毛足の長さ5mmの人工芝で覆われている。検証に用いた風洞実験データの詳細

参考文献2

石原 孟

389

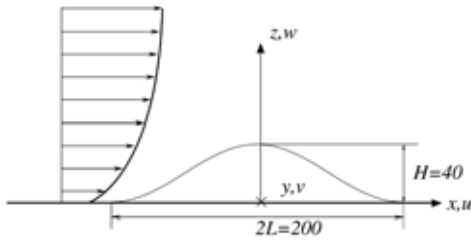


図1 3次元孤立峰の断面形状と座標系

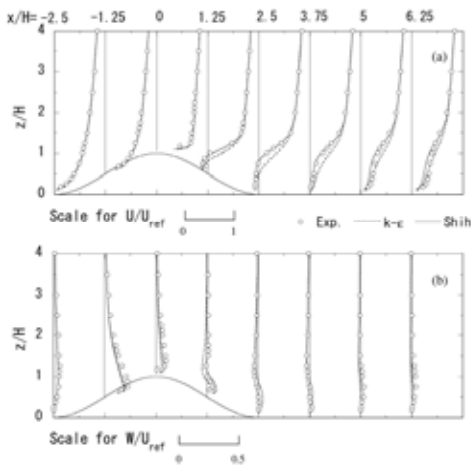


図2 3次元山の中心断面における平均速度成分 U , W

については文献10を参照されたい。

図2には3次元孤立峰の中心断面における平均速度成分 U , W の鉛直分布を示す。全体的に見ると、Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる解析結果は実験値によく一致し、山背後の剥離域での流速分布も正確に再現している。一方、標準 $k-\epsilon$ モデルの解析結果は剥離域での平均流速成分 U を若干過大に評価し、また山を回り込む流れの収束により形成された上昇流を過小に評価していることが分かる。標準モデルが剥離域での平均流速成分 U を過大に評価する理由は乱流エネルギーの過大評価によるものと考えられる。

3次元孤立峰周りの流れ場の構造を理解するために、3次元流線を図3に示した。山背後に回り込んだ流線は山の風下斜面に生じた上昇流にのっ

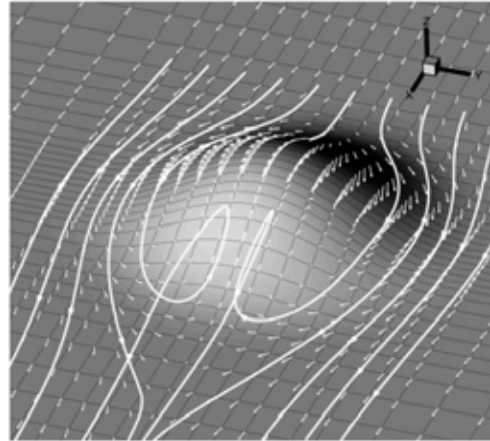


図3 3次元孤立峰における流線

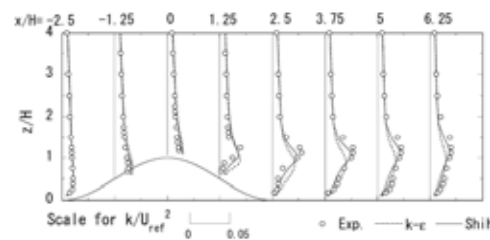


図4 3次元山の中心断面における乱流エネルギー

て山頂まで持ち上げられた後に下流方向に流れていく。山背後に回り込む流れの存在は3次元の剥離域に開いた流線パターンを形成される理由となっている。

風車の耐風安全性と耐久性を考える際に、変動風速の予測精度も重要である。急峻な3次元山を越える流れ場の乱流特性を過去に数値解析により調べた例が少なく、乱流モデルによる変動風速の予測精度について不明な点が多く残されている。図4には3次元山の中心断面における乱流エネルギーの鉛直分布を示す。Shih の非線形モデルによる予測結果は標準モデルより実験値に近い。特に標準モデルによる乱流エネルギーの過大評価はShih のモデルにより大きく改善されている。Shih の非線形モデルによる乱流エネルギーの予測精度の向上は山の風上斜面及び山頂付近にも見られた。これは非線形モデルを用いることにより、レ

イノルズ応力の非等方性の予測精度が改善されたことによるものと考えられる。

b) 複雑地形

次に北海道積丹半島先端の一部を対象とした解析例を紹介する。この場所は北海道代表的地形であり、縮尺 1/2,000 の地形模型を用いた風洞実験も実施されている¹²⁾。図 5 に地形の等高線と測定点の配置を示す。この図から分かるように、測定点 B, C, D では S 風向から W 風向にかけて複雑に入り組んだ地形が広がり、谷に沿う風が大きく増速することが予測される。事実、風洞実験から、地上 40 m の高さでは 30% 以上の風速の増加が予測されている。ここでは、風洞実験で測定した代表的な地点における流れ場を解析し、本研究で開発した非線形モデルによる予測結果と風洞実

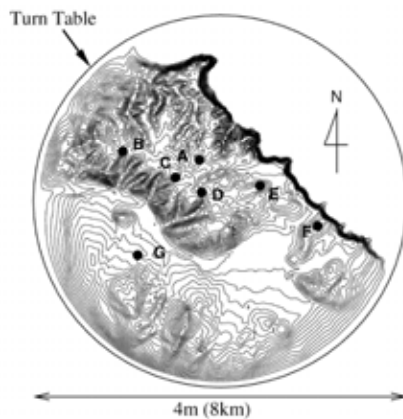


図 5 地形の等高線と測定点の配置

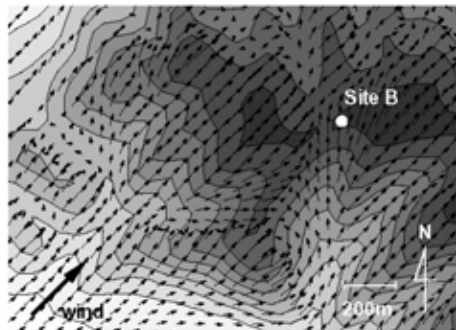


図 6 B地点 SW 風向における地上 10 m での風速分布

験結果と比較し、その有用性を明らかにする。

まず尾根の上に位置する B 地点について調べる。この地点の周りは複雑に入り組んだ谷があり、風向によって風速の変化が大きい。図 6 には B 地点付近における南西風向の地上 10 m での風速ベクトルを示す。図中に地形の標高を記し、色の濃いところは高い標高を表す。B 地点の南には南南西向きに深い谷があり、風が南西から吹くときに、B 地点での地表面付近の風の風向は南向きに変化している。線形モデルによる予測では B 点付近の風向は地形がないときの風向とほとんど変わらず、このような風向の変化は全く見られない。

図 7 には B 地点での地上 40 m における風向別風速比を示す。横軸は風向を表し、0 度は北風、180 度は南風に対応している。縦軸は風速比を表す。点線が実験値、実線は本研究で開発した非線形モデルによる予測結果、一点鎖線は線形モデルによる予測結果を示す。線形モデルは全体的に風速を過大に評価している。特に、風が南西 (225 度) から吹いてくるときの過大評価が顕著である。一方、本研究で開発された線形モデルによる予測結果は偏りがなく風洞実験の結果を再現している。速が過大に評価されていることが分かる。

次に、線形モデルによる予測誤差が最も大きかった F 地点について調べる。図 8 には測定点 F 地点を通る鉛直断面内における風速ベクトルを示す。風が崖に直角となる北東方向から吹くときに急峻な崖の前縁から流れの剥離が起こる。このような剥離は線形モデルから全く予想されない。その結果、線形モデルによる平均風速値は風洞実験による結果より大きくなる。

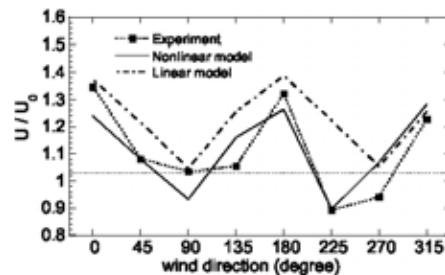


図 7 B 地点での地上 40 m における風向別風速比

参考文献2

石原 孟

391

図9にはF地点での風向別風速比を示す。B地点と同様に線形モデルは全体的に風速を過大評価していることがわかる。特に流れの剥離が起こる北東風向では、実験値は大きな減速を示しているのに対し、線形モデルの値は他の風向とほぼ変わらない。これは線形モデルが流れの剥離を再現できないことによるものである。一方非線形モデルによる予測結果は風洞実験結果とよく一致している。

c) 竜飛ウインドパーク

最後に青森県の竜飛岬を対象した解析例を紹介する。竜飛岬には東北電力㈱の集合型風力発電基地があり、11台の風車が設置されている。図10には竜飛ウインドパーク内の風車の配置を示す。風車1～10号機の本セルの上に風車型風向風速計が設置されており、風速・風向の10分平均値が観測されている。この例ではウインドパークから1 km 離れた灯台で得られた風向・風速データを参照観測データとして用いた。

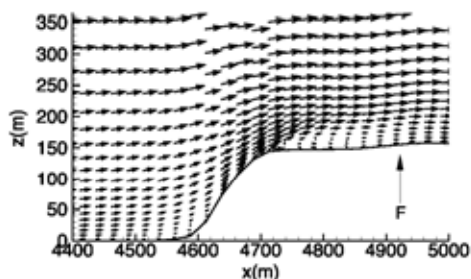


図8 F地点NE風向における垂直断面内の風速分布

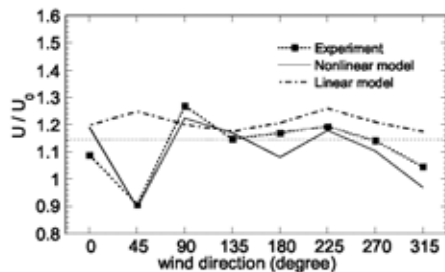


図9 F地点での地上40mにおける風向別風速比

複雑地形が平均風速場と与える影響を調べるために、5号機と10号機の位置におけるE-W断面内の平均風速ベクトルを図11に示す。5号機は山頂の窪んだ地点に位置しているため、風車高さでの風速が大きく減少している。一方10号機は上り斜面の増速場所に位置しているため、風車高さにおける平均風速が大きくなっている。

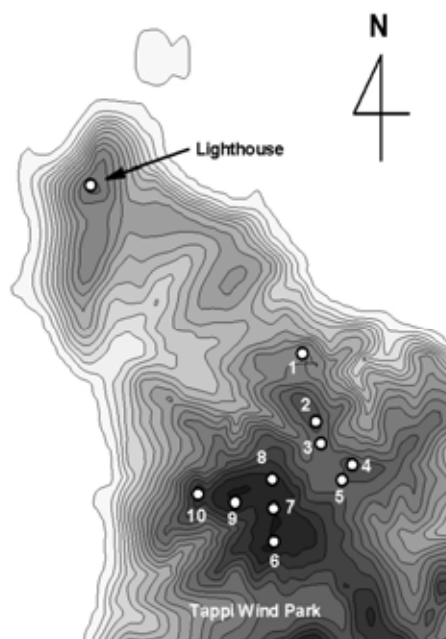


図10 竜飛ウインドパーク内の風車の配置図

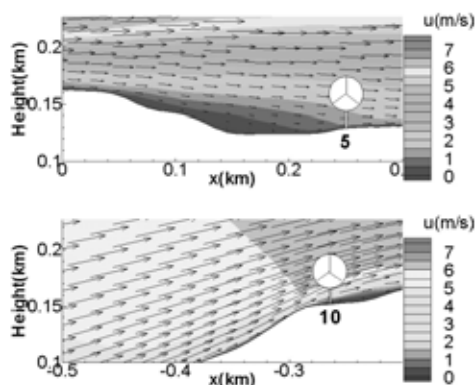


図11 E-W断面内の平均風速ベクトル (上: 5号機 下: 10号機)

図 12 には年平均風速の予測結果を示す。図中の黒四角は局地風モデルによる予測結果、黒三角は従来の線形モデルの予測結果を表す。局地風モデルによる予測値が観測値とよく一致しているのに対して、線形モデル WAsP は 2～5 号機の年平均風速を過大に評価している。2～5 号機では山頂のやや低い場所に位置するため、主風向 W に対して上流側の地形の影響を受け、風速が減少している。従来の線形モデルではこのような風速の減少を再現できない。10 機平均では線形モデル WAsP の予測誤差が 14.2% であるのに対して、非線形モデルである MASCOT は 4.9% となる。非線形モデルによる予測精度は格段に向上していることが分かる。

3. MASCOT による高度な風況精査

3.1 力学統計的局所化手法の提案

気象モデルを利用した従来の風況精査手法の問題点を解決するために、本研究では地域気象モデル RAMS と非線形モデル MASCOT を利用した新しい風況精査手法（力学統計的局所化）を提案した^{15, 16)}。

図 13 には本手法の概要を示す。全球モデルの計算結果を初期条件ならびに境界条件として地域気象モデルをその内側に順次ネスティングさせ、1 年分の時系列計算を行う。最も内側の計算グリッドは格子間隔を 1～2 km 程度とする。このようにして計算された 1 年分の風速場に対し統計処理を行い、地域風況を求める。地域風況には大地形や局地循環の効果は含まれているが、1～2 km の格子で解像できない小地形の効果は考慮されて

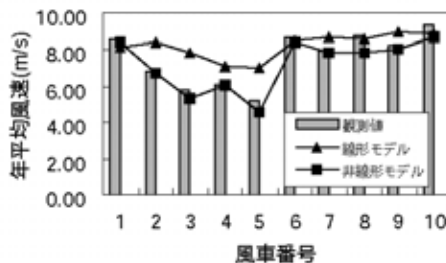


図 12 年平均風速の予測結果と観測値との比較

いない。そこで小地形の影響を考慮するために非線形局所風況予測モデル MASCOT を用い、地域風況を局所風況に変換する。

以上のように、この手法では、まず地域気象モデルをネスティングさせ、力学的に風速場の時系列データを求める。次に統計解析により地域風況を求め、最後に局所風況への変換を行う。従って、この手法は力学統計的局所化手法（DSD: Dynamical Statistical Downscaling）と呼ぶことができる。表 1 には従来の予測手法と本研究で提案した力学・統計的局所化手法の特徴を示す。

図 14 に本研究で提案した地域風況から局所風況への変換手法の概念図を示す。地域風況には局地循環及び大地形の効果は含まれているが、図 14 (a) に示すように局所地形の解像度は不十分である。そこで気象モデルで解像できる粗い局所地形の効果と実際の局所地形の効果との差を補正することにより実地形上の局所風況を再現する。

まず、気象モデルで用いた 1～2 km 程度の解像度を持つ粗い地形と粗度を用い、MASCOT による風況シミュレーションを行い、地域風況から仮想領域の風況への変換を行う（図 14(a)）。次に、

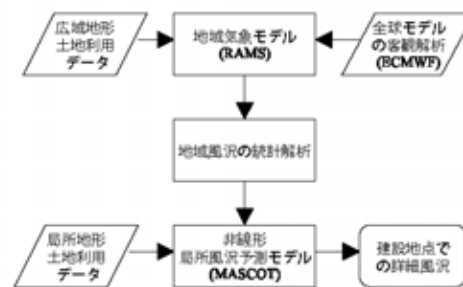


図 13 力学・統計的局所化の流れ

表 1 各風況精査手法の比較

手法	特徴
ネスティング	各スケールの物理現象を厳密に取り扱える。統計処理をしないため、計算時間が膨大
統計・力学的局所化	経観スケール(数百 km)の現象を統計処理することにより、計算時間を短縮できるが、局地循環を再現できない。
力学・統計的局所化	局地循環を再現し、メソスケール(数 km)の現象を統計処理することにより、計算時間を短縮できる。

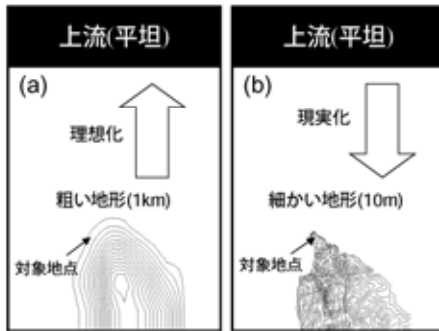


図 14 標準実風況変換の概念図

10 m ~ 50 m 程度の解像度を持つ細かい地形と地表粗度を用いた風況シミュレーションを行い、仮想領域の風況から対象地点での実風況へと変換する(図 14(b))。すなわち、本手法では、まず仮想領域での標準風況を求め、次に対象地点の実風況に変換する。この手法を標準実風況変換(IRA: Idealizing and Realizing Approach)と呼ぶ。

3.2 実測による検証

本研究では提案された力学統計的局所化手法の有効性を示すため、観測データが揃っている青森県竜飛岬を対象とした。竜飛岬は年間を通じて強風が吹き、東北電力㈱の集約型風力発電基地竜飛ウィンドパークがあり、11機の風車が設置されており、各風車のナセル上で風観測が行われている。また竜飛岬先端には灯台があり、1時間ごとの10分平均風速が観測されている。本研究では1997年の1年間の観測データを検証データとして用いた。

a) 気象モデル RAMS による地域風況の予測

本研究で用いた地域気象モデル RAMS¹⁷⁾ はナビエ-ストークス方程式を基本とする非静水圧大気力学モデルであり、雲・放射過程、陸面過程がモデル化されている。

境界条件にはヨーロッパ中期気象予報センター(ECMWF)による客観解析値(6時間ごと)を内挿して用いた。解析は図 15 に示すような4段にネスティングされた格子を用いた。東北と北海道を含む領域に 8 km メッシュ、津軽海峡を含む領

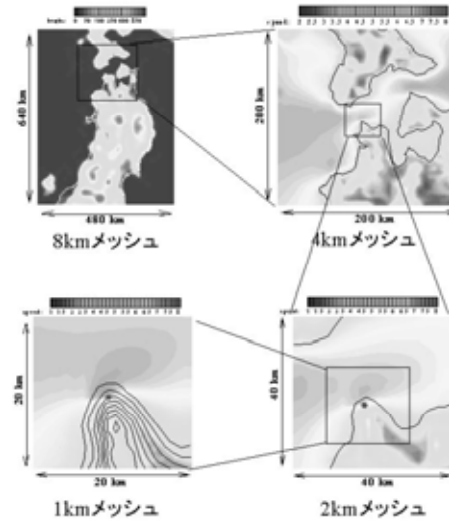


図 15 地域気象モデルの計算領域

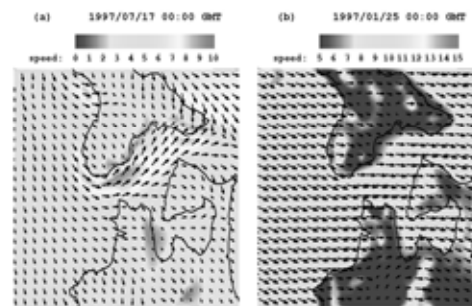


図 16 地域気象モデルによって計算された風速場

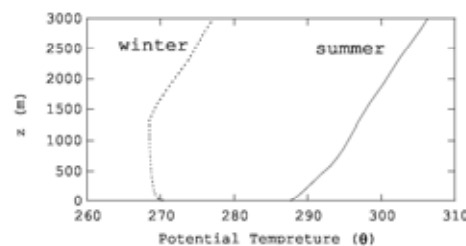


図 17 竜飛岬での冬季と夏季の温位の鉛直分布

域に 4 km メッシュ、竜飛岬周辺に 2 km メッシュ、竜飛岬に 1 km メッシュを用いて計算を行った。

図 16 に地域気象モデルによって計算された竜飛岬を含む津軽海峡付近での西風の時の流れ場を示す。また図 17 には、それぞれの時期に対応す

る温位の鉛直分布を示し、夏季には大気は安定成層しているのに対して、冬季には地表面付近で大気の状態が中立である。図16(a)には夏季の代表的な風速場を示し、大気の状態(図17)が安定のため、流れが岬を回りこむことにより、津軽海峡に風が集中し強くなっていることが分かる。一方、図16(b)には冬季の代表的な風速場を示し、大気の状態(図17)がほぼ中立のため、流れが岬を回りこむことなく、山を越えている。このように、地域気象モデルによる時系列解析結果は風速場に大地形や大気安定度が与える影響を正しく反映していることがわかる。

b) MASCOT による局所風況の予測

地域風況から局所風況への変換手法としては、地表面粗度、地形、障害物の影響が線形的に重ね合わせられると仮定し、その影響を除去し標準風況を求め、更に局所風況に変換する手法が提案されている⁹⁾。しかし、日本では、地形が急峻なため、線形モデルを用いた変換手法を適用することができない。そこで本研究では非線形モデル MASCOT を用い、上流の仮想領域(平坦で粗度一様)の風況を介して地域風況を局所風況に変換する手法を提案し、対象地点における16方位の風速比・風向偏角を計算した。解析では対象地点を中心に10 km 四方の領域をとり、竜飛岬付近での水平格子間隔を10 m とした。

図18には竜飛岬灯台における10分平均風速の時系列の一部を示す。一点鎖線が地域気象モデルのみの予測結果、鎖線が標準・実風況変換法を用いて局所地形の効果を取り入れた予測値、実線が

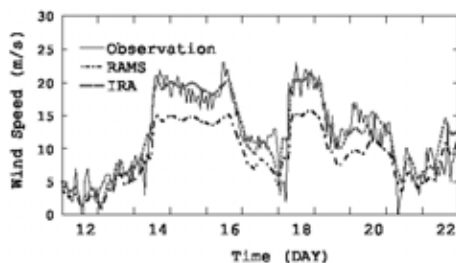


図18 竜飛岬灯台での10分平均風速の時系列(1月)

観測値である。地域気象モデルのみの予測結果は全体的な傾向を捕らえているものの、風速を過小評価しており、年間の平均風速の予測誤差は25.4%に達した。これは水平スケール1 km 以下の小スケールの地形が考慮されていないためであり、格子間隔1 km の地域気象モデルのみでは実際の風況精査を行うことはできない。一方、標準実風況変換を行った場合、この過小評価は大きく改善され、年平均風速の予測誤差は3.5%に減少している。

図19には竜飛ウィンドパーク内の各風車のナセル上で測定された年平均風速と本手法により予測された年平均風速との比較を示す。本手法による年平均風速の平均予測誤差は約8%となり、従来手法の予測誤差の約3分の1以下になっていることがわかる。

4. まとめ

本研究では、非線形風況予測モデル MASCOT を開発し、3次元孤立峰、複雑地形及び竜飛ウィンドパークにおける風況予測に適用し、風洞実験と観測データと比較することにより、その有用性を明らかにした。また観測によらない新しい風況精査手法、すなわち力学統計的局所化手法を提案し、全国任意地点の詳細風況の予測が可能になった。本研究から得られた主な結論は以下に示す。

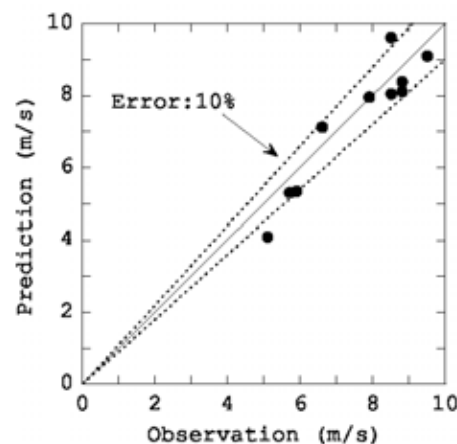


図19 年平均風速の実測値と予測値との比較

参考文献2

石原 孟

395

- 1) 本研究により開発された3次元風況予測プログラムは剥離に伴う急峻な地形や実際の複雑地形を越える流れ場を高い精度で予測できることが分かった。
- 2) 非線形モデルMASCOTを竜飛ウィンドパークに適用した場合に、10機の風車における年平均風速の予測誤差は5%以下であり、それに対して線形モデルWAsPによる年平均風速の予測誤差は14.2%である。
- 3) 地域気象モデルRAMSと局所風況予測モデルMASCOTに基づく新しい風況精査手法を用いることにより、観測を行わずに風況精査を行うことが可能となり、風況精査に要する時間を1週間に短縮でき、年平均風速の予測精度は従来の手法に比べ、予測誤差は3分の1程度に低減し、数パーセント程度で予測可能となった。
- 4) T. Matsuzaka, K. tsuchiya and N. Tanaka : Wind resource estimation of Tappi Wind Park, Proc. European Wind Energy Conference, 1997.
- 5) F. Frey-Bunes et al., : A Statistical-Dynamical Downscaling Procedure for Global Climate Simulations, Theor. Appl. Climatol., vol. 50, pp. 117-131, 1993.
- 6) 村上周三ほか：風力発電サイト立地選定のための局所風況予測モデルの開発，日本風工学会誌，No.91, pp.9-16, 2002.
- 7) 谷川亮一ほか：「風力発電機位置決定方法及び風力発電量予測方法」に基づく風況評価，第24回風力エネルギー利用シンポジウム，pp. 119-122, 2002.
- 8) H. P. Frank et al., : The Numerical Wind Atlas - the KAMM/WAsP Method, Risoe National Laboratory, 2001.
- 9) 石原孟，日比一喜：急峻な山を越える乱流場の数値予測，日本風工学論文集，No.83, pp.175-188, 2000.
- 10) 石原孟，山口敦，藤野陽三：複雑地形における高精度風況予測モデルの開発へ向けて，第22回風力エネルギー利用シンポジウム，pp.63-66, 2000.
- 11) A.Yamaguchi, T. Ishihara, Y. Fujino : Experimental study of the wind flow in a coastal region of Japan, J. of Wind Eng. Indus. Aerodyn., Vol.91, pp.247-264, 2003.
- 12) 石原孟，山口敦，藤野陽三，日比一喜：非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその応用，第24回風力エネルギー利用シンポジウム，pp.91-94, 2002.
- 13) 石原孟，山口敦，藤野陽三：複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証，土木学会論文集，No.731/I-63, pp.195-221, 2003.
- 14) 石原孟，山口敦，鶴野伊津志，藤野陽三：新しい風況精査手法の提案と実測による検証，その1，力学・統計的局所化手法，日本風工学会誌，No.95, pp.53-54, 2003.
- 15) 山口敦，石原孟，鶴野伊津志，藤野陽三：新しい風況精査手法の提案と実測による検証，その2，

謝 辞

本研究では東北電力株式会社より竜飛ウィンドパークにおける風向・風速の観測データを提供して頂いた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) P. S. Jackson and J. C. R. Hunt : Turbulent flow over a low hill, Quart. J. R. Meteorol. Soc., Vol. 101, 1975.
- 2) N.G. Mortensen, L. Landberg, I. Troen And E.L. Petersen : Wind Atlas Analysis and Application Program (WasP), Risoe National Laboratory, Denmark, 1993.
- 3) D. Xu, and P.A. Taylor : A non-linear extension of the mixed spectral finite-difference model for neutrally stratified turbulent flow over topography, Boundary-Layer Meteorol. Vol.59, pp.177-186, 1992.
- 4) F. E. Hewer : Non-linear numerical model predictions of flow over an isolated hill of moderate slope, Boundary-Layer Meteorol. Vol. 87, pp.381-408, 1998.

396

非線形風況予測モデル MASCOT の開発とその実用化

実測による検証, 日本風工学会誌, No.95, pp.55-56, 2003.

hensive Meteorological Modeling System - RAMS, Phys., vol. 49, pp. 69-91, 1992.

17) R. A. Pielke et al., : Meteorol. Atmos. A Compre-

複雑地形における局所風況の数値予測と 大型風洞実験による検証

石原 孟¹・山口 敦²・藤野 陽三³

¹ 正会員 工博 東京大学助教授 大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: isihara@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

² 学生員 工修 東京大学 大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (同上)

E-mail: atsushi@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

³ フェロー会員 Ph.D. 東京大学教授 大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (同上)

E-mail: fujino@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では複雑地形における局所風況を数値的に予測するために必要な計算領域の大きさを明らかにするとともに、新しい境界処理手法と数値解法を提案し、大型風洞実験によりその妥当性を検証した。まず計算領域の大きさに関して、計算領域の高さ、幅、上流境界の位置が流れ場に与える影響を明らかにした。また境界処理方法として、地形の体積が一定となるような緩衝領域を境界付近に設置するとともに、対象領域と同じ程度の大きさの付加領域を上流に設置する手法を提案した。さらに大規模線形連立方程式の数値解法について詳細な比較検討を行い、高速かつ安定な数値解法を提案した。最後に実地形模型を用いた大型風洞実験を行い、本研究で開発した数値予測手法が従来の手法より複雑地形上の局所風況を精度よく予測できることを実証した。

Key Words: *complex terrain, local wind prediction, non-linear model, boundary condition, solution method, wind tunnel test*

1. はじめに

複雑地形上の風は地形の影響を受けて局所的に大きく変化する。構造物の風荷重や風力発電量は風速の2~3乗に比例するため、複雑地形上に建設される構造物の風荷重や風力発電量を正確に評価するためには、風速を精度よく予測する必要がある。特に日本では国土の4分の3が山地であり、橋梁、送電線鉄塔、大型風車などの構造物は山岳地帯に多く建設されているため、複雑地形に適用できる局所風況予測手法の開発が強く望まれる。

複雑地形上の局所風況を定量的に予測する手法としてはこれまでに風洞実験が広く用いられてきた。風洞実験は一般に流体力学の相似則に基づいているため、風洞内に作られた流れ場は実際の風を再現しており、この流れ場を正しく計測できれば、風洞実験から得られた風速データは信頼性が高い。しかし、地形上の風を風洞内に再現するには地形模型が必要となる。一般に地形模型を製作するには多大な時間と費用がかかる上、再現可能な範囲も風洞の大きさにより制限される。これまでに建設された土木構造物の数の膨大さとその分

布の広さを考えると、広域風況データを風洞実験により求めることは困難である。一方、数値解析は風洞実験のような制約を受けることがなく、広い範囲の地形を取り扱うことができる。また数値解析では解析空間内のすべての風速データを一度に得ることができるため、風洞実験に比べて低コストかつ短時間で複雑地形上の局所風況を予測できるメリットがあり、局地風況の詳細データの取得や広域風況マップの作成に適している。複雑地形における局所風況の高精度数値予測モデルの開発は複雑な地形に囲まれる橋梁や架空送電施設の耐風安全性の向上、強風災害の低減、列車運行の安全性の確保に貢献すると共に、山地の多い我が国における風力エネルギー資源の有効利用にも寄与する。

緩やかな地形の場合には流れの剥離を伴わないため、地形の存在が元の乱流境界層に与える影響を微小擾乱と考え、流れの支配方程式を線形化することができる。緩やかな地形上の流れ場の近似解法としては、Jackson and Hunt (1975)¹⁾により提案された線形モデルが最も有名である。線形モデルはその後改良を重ね、Mason and Sykes (1979)²⁾により3次元に、またWalmsley et al. (1986)³⁾により任意地形に適用できるように拡張さ

れた。線形モデルは風況予測システム WAsP⁴⁾として、風力エネルギーの分野でヨーロッパを中心に広く使われている。しかし、地形の勾配が大きくなると線形モデルの予測精度は悪くなる。大木ほか⁵⁾は傾斜角7.5度~45度までの斜面を持った山型斜面を越える流れを線形モデルを用いて解析し、傾斜角が15度以上のときに山の下り斜面において線形モデルによる風速の予測が実験値を大きく過大評価することを示した。これは線形モデルが急峻な地形に伴う流れの剥離とそれに伴う減速を再現できないためである。日本の地形は急峻であり、線形モデルを用いて風速を予測した場合には誤差が大きいたことが報告されている^{6),7)}。

流れの支配方程式を線形化せずに数値的に解く手法も研究されている。前述の線形モデルに対して、この手法は非線形モデルと呼ばれている。非線形モデルでは用いる地形の傾斜に対して制限はなく、剥離を含む流れを再現することができる。非線形モデルを用いて剥離を含む地形上の流れを解析した最初の例としては Coelho and Pereira (1992)⁸⁾の研究が挙げられる。彼らは曲面をもつ2次元山に対し、一般曲線座標系に基づく有限体積法を用い、標準 $k-\epsilon$ モデルと低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデルにより、2次元山の背後の剥離流を調べた。その結果、平均速度の予測結果は実験値とよく一致したが、乱流剪断応力及び乱れの標準偏差の予測結果は実験値を大きく下回った。3次元山の後流を解析した例としては Utnes and Eidsvik (1996)⁹⁾の研究が挙げられる。彼らは最大傾斜角50度の2次元と3次元山を越える流れ場を標準 $k-\epsilon$ モデルにより調べ、3次元山背後の剥離域が2次元山の剥離域より狭いことや剥離域での変動速度が小さいことを解析により明らかにした。ただし、この論文の中では3次元山のケースについて実験との比較が行われておらず、数値モデルによる3次元複雑剥離流の予測精度は不明である。最近、石原と日比^{10),11)}は3次元と2次元の山を越える流れを標準 $k-\epsilon$ モデルと Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルを用いて解析し、風洞実験と比較した結果、山の下り斜面で Shih の非線形 $k-\epsilon$ モデルによる予測が実験値との整合性がよいことを示した。非線形モデルはいろいろなタイプの地形上の流れにも適用されてきた^{13)~23)}が、いくつかの問題点が残されている。

まず、非線形モデルは境界の影響を敏感に受けるため、非線形モデルを用いて地形上の風の流れを解析するには、計算領域の設定が問題となる。例えば計算領域の高さが低い場合は流れ場は上面境界の影響、計算領域の幅が狭い場合は側面境界の影響を受ける。これはいわゆる閉塞率の問題である。風洞実験では閉塞率を5%以下に設定することを推奨している¹²⁾。これ以外に、上流境界の問題もある。一般に風洞実験では

境界層を発達させるために、地形の上流側に長い助走領域が設けられ、上流境界が流れ場に影響を与えることは殆どない。一方、数値解析においては計算格子数を節約するために上流境界の位置は地形になるべく近い場所に設置する傾向が見られる。従って、解析領域の設定が流れ場の予測に悪影響を与えないように考慮する必要がある。しかし、計算領域の設定方法に関しては系統的に行った研究例は殆ど見当たらない。

さらに、境界の処理手法についても問題が残されている。例えば、Hewer (1998)¹⁷⁾は $k-l$ モデルに基づく非線形モデルを用いて、単純な形をした実地形上の流れを計算した。境界条件としては周期境界条件を採用したが、周期境界条件は一般の複雑地形上の流れの解析に使用することはできない。串岡ほか (1994)¹⁵⁾は標準 $k-\epsilon$ モデルに基づく非線形モデルを用いて実地形上の流れを解析した。境界条件としては対称面境界条件を採用した。対称面境界条件は計算領域内の流れ場に影響を与え、また地球の自転によるコリオリ力を考慮した支配方程式を用いる際には利用できないという欠点がある。Maurizi et al. (1998)¹⁸⁾も標準 $k-\epsilon$ モデルに基づく非線形モデルを用いて実地形上の流れを解析した。境界処理手法としては、計算領域境界近傍に緩衝領域を設ける手法を用いた。しかし Maurizi et al. の境界処理手法では単に領域の端部の標高を水平に延ばしただけであり、緩衝領域内の地形の体積は元の地形の体積と異なるという問題がある。更に複雑地形上の流れ場を考える際には上流地形の影響を考慮しなければならない。現時点ではこの影響を考慮した境界処理手法は提案されていない。

最後に、実地形上の流れ場を解析するには数十万から数百万の計算格子を要するため、計算時間も問題となる。例えば、Hewer の研究¹⁷⁾では陽解法を用いて15万の計算格子の解析を行い、1風向の計算に18日を要した。陽解法は数値安定性の制約を受けるため、格子間隔が小さくなるにつれ解析時間が急速に増大する。この問題を回避するために、Maurizi et al.¹⁸⁾は半陰解法の SIMPLE 解法を用いて30万の計算格子の解析を行い、1風向の計算時間を1日にまで短縮した。この解析では間隔200mの格子を使用した。日本の複雑地形上の流れ場の解析には最低50mの格子間隔を用いなければならない。10km程度の領域を解析しようとする100万以上の計算格子数が必要となる²¹⁾。また、実際の風況予測には少なくとも16風向の解析が必要であり、実用的な計算時間内(例えば1日)に解析を行うためには高速な数値解法が求められる。

以上のことをふまえ、本研究ではまず、地形上の流れを解析する際に必要な計算領域を明らかにする。次に、複雑地形に適用可能、かつ内部領域に与える影響

参考文献3

が少ない新しい境界処理手法を提案する。さらに大規模線形連立方程式の数値解法について詳細な比較検討を行い、複雑地形上の流れの解析に適した数値解法を提案する。最後に実地形模型を用いた大型風洞実験を行い、本研究で開発した境界処理手法と数値解法の有効性を調べるとともに、従来の線形風況予測モデルの問題点を明らかにする。

2. 数値モデル

複雑地形上の局所風況予測にはレイノルズ平均型モデルと空間平均型 LES (Large Eddy Simulation) モデルが用いられてきた。

レイノルズ平均型モデルはアンサンブル平均に基づくモデルであり、このモデルから得られる平均風速成分は、周期的な流れ成分の弱い境界層乱流の場合には時間平均となるが、物体後流内のカルマン渦の場合には位相平均となる。レイノルズ平均型モデルではアンサンブル平均からのずれはすべて乱流成分としてモデル化される。その結果、レイノルズ平均型モデルにより得られた風速場は一定または周期的である。1周期分の風速場が得られれば、流れの統計量が求まる。

これに対して、空間平均に基づく LES モデルは格子サイズ以下の変動成分しかモデル化されていないため、LES モデルから得られた風速場は基本的に乱流的であり、流れ場の統計量を求めるには支配的な渦成分の数十周期分の風速データが必要となり、計算時間はレイノルズ平均型モデルの場合に比べ格段に増える。

本研究ではレイノルズ平均型モデルを用いることにした。なお、第4、5章で提案する境界処理方法と数値解法はこれらのいずれのモデルについても適用できる。

(1) 支配方程式と乱流モデル

直交座標系におけるレイノルズ平均型モデルの質量保存式と運動量方程式はそれぞれ以下のように表される。

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_i u'_j} \right) \quad (2)$$

ここで、 \bar{u}_i と u'_i は物理空間での x_i 方向の速度成分の平均成分と変動成分を表わし、 \bar{p} は圧力、 ρ は流体の密度、 μ は分子粘性係数である。レイノルズ応力 $-\overline{\rho u'_i u'_j}$ は乱流エネルギー k と乱流散逸 ϵ を用いて次式により評価される。

$$\overline{\rho u'_i u'_j} = \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} - C_{\mu} \rho \frac{k^2}{\epsilon} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

表-1 各方程式に対応する ϕ , Γ_{ϕ} , S_{ϕ} の値

ϕ	Γ_{ϕ}	S_{ϕ}
1	0	0
u_i	$\mu + \mu_t$	$-\frac{\partial p}{\partial x_i}$
k	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}$	$\mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon$
ϵ	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\epsilon}}$	$C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\epsilon 2} \frac{\rho \epsilon^2}{k}$

また、 k と ϵ は式 (4), (5) で表される輸送方程式により求める。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_j \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\epsilon}} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{\epsilon 2} \frac{\rho \epsilon^2}{k} \quad (5)$$

式中の定数は標準 k - ϵ モデル²⁴⁾ の値を用い、 $C_{\mu} = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_{\epsilon} = 1.3$, $C_{\epsilon 1} = 1.44$, $C_{\epsilon 2} = 1.92$ とした。また乱流粘性係数 μ_t は乱流エネルギー k と乱流エネルギー散逸率 ϵ により、次式により計算される。

$$\mu_t = C_{\mu} \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

式 (1)~(5) は、従属変数を ϕ として書くと次式のようになる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j \phi}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_{\phi} \quad (7)$$

ここで、速度成分の平均値を表す“ $\bar{\cdot}$ ”を省略した。各方程式に対応する ϕ , Γ_{ϕ} , S_{ϕ} を表-1 に示す。

(2) 数値解法

本解析はコロケート格子に基づく有限体積法を用いて行った。地表面近傍の解像度を高めるために、解析格子として図-1 に示すような地表面に沿った曲線座標系 ξ_j を用いた。直交座標で記述されている方程式 (7) を曲線座標系 ξ_j に変換すると、次式となる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j \phi}{\partial \xi_j} = \frac{\partial}{\partial \xi_j} \left(\Gamma_{\phi} J q_{jk} \frac{\partial \phi}{\partial \xi_k} \right) + JS_{\phi} \quad (8)$$

ここで、 U_j は反変速度成分であり、

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} \xi_x & \xi_y & \xi_z \\ \eta_x & \eta_y & \eta_z \\ \zeta_x & \zeta_y & \zeta_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} \quad (9)$$

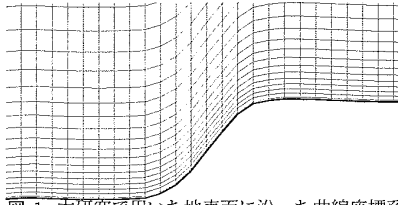


図-1 本研究で用いた地表面に沿った曲線座標系

J は変換のヤコビアンである.

$$J = \frac{\partial(x, y, z)}{\partial(\xi, \eta, \zeta)} = \begin{vmatrix} x_\xi & y_\xi & z_\xi \\ x_\eta & y_\eta & z_\eta \\ x_\zeta & y_\zeta & z_\zeta \end{vmatrix} \quad (10)$$

また q_{jk} は次のように定義される.

$$q_{jk} = \frac{\partial \xi_j}{\partial x_i} \frac{\partial \xi_k}{\partial x_l} \quad (11)$$

方程式の離散化は Patanker²⁵⁾ の方法に従った. 離散化された方程式は最終的に次のようになる.

$$a_P \phi_P = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b_\phi \quad (12)$$

ここで a_P , a_{nb} は保存式の移流項と拡散項を表し, b_ϕ はソース項を表す. また, nb (neighbouring point) は対象とする要素に接する各要素を示す.

離散化した方程式の数値解法には Patanker²⁵⁾ により提案された SIMPLE 法を用いた. 図-2 に SIMPLE 法のアルゴリズムを示す. SIMPLE 法では, 離散化された非線形の代数方程式を線形化して反復計算により解を求める. この反復を外部反復 (outer iteration)²⁶⁾ と呼ぶ.

図中の (1)(2)(3) では各速度成分に関する線形化された方程式を構築する. これらの式は式 (12) と同じ形になる. これらの線形方程式を第4章に述べる数値解法 (ソルバ) を用いて解くことにより u^* , v^* , w^* を求める. この際にも反復計算が必要であるが, この反復は内部反復 (inner iteration) と呼び²⁶⁾, 前述の外部反復と区別する. このように求められた各速度成分 (u^* , v^* , w^*) は連続の式を満たしていないため, 修正を要する. そこで, 圧力補正方程式を (4) で解くことにより圧力の修正量を求め, 各速度成分を (5) で修正する. 最後に (6), (7) で残りの乱流量に関する輸送方程式を解き, 収束判定を行う.

(1)~(7) の過程を運動方程式と連続の方程式の相対残差が 10^{-3} 以下になるまで繰り返す. 相対残差が 10^{-3} 以下になった時点で次の時間ステップ $n+1$ に進み, $t^{n+1} \geq t_{max}$ となるまで計算を繰り返す. また, 流れ場の定常解を求める場合には, Δt を時間微分項が無視できる程度に大きい値 (例えば 10^{30}) とし, 図-2 の一番外

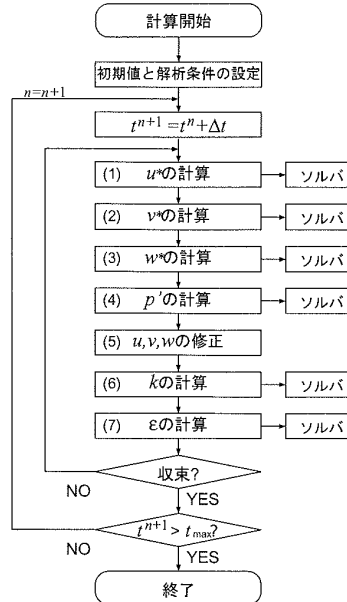


図-2 SIMPLE 法のアルゴリズム

側の反復は行わずに外部反復が収束した時点で計算を終了させる. 乱流境界層内の地形上の流れは剥離を伴う場合であっても定常解が風洞実験結果と一致することが示されている¹⁰⁾. このことから, 本研究で行った計算は全て定常解を求めたものである.

(3) 境界条件

本研究では風向に平行となるように計算領域を回転させ, 境界条件を流入面, 流出面, 側面, 地表面, 上面の5種類に分けて与える.

流入面では, 平均風速の風方向の成分 u と乱流エネルギー k は地面からの高さのみの関数として風洞実験または予測式から求めた値を与える. 一方, 平均速度の風直角方向の成分 v , w は0を与える. 圧力は勾配0の条件を与え, ϵ は次式により乱流エネルギー k と乱流の長さスケール l から求める.

$$\epsilon = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{l}, \quad l = \min(\kappa z, \kappa Z_G) \quad (13)$$

ここで, κ はカルマン定数, Z_G は境界層の厚さである.

流出面では全ての変数に対して勾配0の条件を与える. ただし, 計算領域全体で流入量と流出量が等しくなるように流出面で平均速度成分 u に修正量を加える.

側面境界では, 第一セル内の流れ場を2次元と仮定して求めた流れ場を境界条件とする. この手法は対称面境界条件とは異なり, 地球の自転によるコリオリの力を含んだ支配方程式を用いる場合にも適用可能である.

上面では $v=0$, $w=0$ を与え, u , k , ϵ に関しては流入面で与えた値を用いる. 圧力は勾配0の条件を与える.

参考文献3

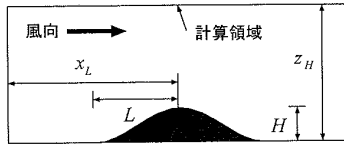


図-3 計算領域と記号の定義

地表面では、風速成分 u, v, w は0を与える。また、地表面第1セルにおける運動方程式を解く際には対数則に基づき、壁面に作用する剪断力を次式により求める。

$$\tau_w = \frac{\rho \kappa C_\mu^{1/4} k_P^{1/2} U_P}{\ln(z_P/z_0)} \quad (14)$$

ここで、添字 P は壁面第1セルの中心点を表し、 U_P は壁面第1セルの中心での接線方向流速、 z_P は壁面第1セルの中心から壁面までの垂直距離、 z_0 は粗度長である。

乱流エネルギー k と乱流の散逸率 ϵ に関しても同様に第1セル内の保存式を解くことによって求める。その時の壁面第1セル内の乱流エネルギーの生成 \bar{P}_k と消散率 $\bar{\epsilon}$ は P_k は ϵ の体積平均値を用い、次式により求める。

$$\begin{aligned} \bar{P}_k &= \frac{1}{2z_P} \int_0^{2z_P} \tau_w \frac{\partial U}{\partial z_n} dz_n \\ &= \frac{\tau_w^2}{2z_P C_\mu^{1/4} k_P^{1/2} \kappa \rho} \ln\left(\frac{2z_P}{z_0}\right) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon} &= \frac{1}{2z_P} \int_0^{2z_P} \epsilon dz_n \\ &= \frac{C_\mu^{3/4} k_P^{3/2}}{2z_P \kappa} \ln\left(\frac{2z_P}{z_0}\right) \end{aligned} \quad (16)$$

ここで、壁面第1セル内の剪断力 τ と乱流エネルギー k はそれぞれ τ_w と k_P と仮定し、 ϵ は式(13)により評価した。地表面での圧力境界条件は他の境界同様、勾配0の条件を用いた。

3. 計算領域の設定

非線形モデルを用いて地形上の流れを計算する際には、まず計算領域の大きさを決定しなければならない。計算領域を広くとれば、実際の流れ場に近い流れを再現できるが、計算コストは増大する。解析領域の大きさが地形上の流れ場に与える影響を明らかにするため、本研究では2種類の地形を例として用いた。

1つは余弦の2乗の断面形状を持つ2次元尾根、もう一つは同じ断面形状を持つ3次元孤立峰である。図-3には計算領域の中心位置での xz 断面を示す。山の高さ H は40m、山の中心から麓までの距離 L は100mとした。また、山頂から流入境界までの距離を x_L 、計算領

表-2 各ケースの計算領域と計算結果

ケース	x_L	z_H	y_W	E_{top}^H	閉塞率
2D-std.	30H	22.5H	—	—	4.4%
2D-z1	30H	50H	—	0.6%	2.0%
2D-z2	30H	10H	—	4.4%	10.0%
2D-z3	30H	5H	—	12.4%	20.0%
2D-x1	20H	22.5H	—	0.8%	4.4%
2D-x2	10H	22.5H	—	3.5%	4.4%
2D-x3	5H	22.5H	—	9.5%	4.4%
3D-std.	30H	22.5H	20H	—	0.6%
3D-z1	30H	50H	20H	0.4%	0.3%
3D-z2	30H	10H	20H	0.8%	1.3%
3D-z3	30H	5H	20H	1.2%	2.5%
3D-y1	30H	22.5H	10H	0.4%	1.1%
3D-y2	30H	22.5H	5H	2.1%	2.2%
3D-x1	20H	22.5H	20H	0.1%	0.6%
3D-x2	10H	22.5H	20H	0.3%	0.6%
3D-x3	5H	22.5H	20H	1.5%	0.6%

域の高さを z_H とし、計算領域の風直角方向の幅を y_W とする。

本研究ではこれらの2次元尾根と3次元孤立峰に対し、 $x_L=30H$ (=1200m)、 $z_H=22.5H$ (=900m)、 $y_W=20H$ (=800m) のケースを標準ケース(2D-std., 3D-std.)とし、表-2に示すように計算領域を変化させ、計16ケースの計算を行い、計算領域の大きさが流れ場に与える影響を明らかにした。また、山頂での地面から H の高さにおける各ケースの平均風速 (U) の標準ケース (U_{std}) に対する差 ($E_{top}^H = \left| \frac{U_{std} - U}{U_{std}} \right| \times 100$) を計算し、計算領域断面積に対する地形の断面積の割合(閉塞率)とあわせて表-2に示した。

(1) 計算領域の高さの影響

計算領域の高さは、計算領域上面の境界が地形上の流れ場に影響を与えないように設定する必要がある。風洞実験では閉塞率が5%以下であれば地形上の流れ場が境界の影響を殆ど受けないとされている。本研究の2次元標準ケースでは閉塞率が4.4%となっており、この条件を満たしているため閉塞率の影響は殆どないと予想される。このことを確かめるために、計算領域の高さを50Hとしたケース(2D-z1)との比較を行った。また、閉塞率を標準ケースより大きくしたときに、流れ場がどのような影響を受けるかを調べるために、計算領域の高さを10H、5Hとしたケース(2D-z2, 2D-z3)の計算も行った。

2次元尾根を越える流れに対し、計算領域の高さ z_H を変化した場合の山頂での平均風速の鉛直分布を図-4(a)に示す。実線が計算領域の高さを22.5H、点線が

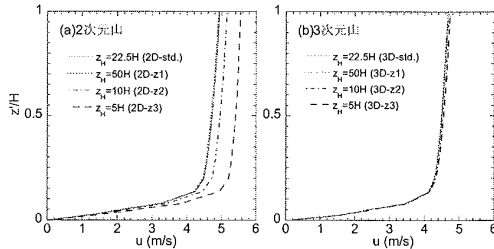


図-4 計算領域の高さによる山頂での平均風速の鉛直分布の違い

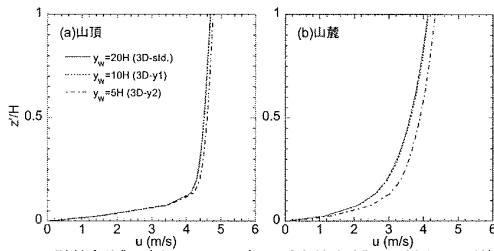


図-5 計算領域の幅による3次元孤立峰を越える流れの平均風速鉛直分布の違い

50H、一点鎖線が10H、鎖線が5Hとした場合の計算結果を示す。各ケースの閉塞率はそれぞれ、4.4%、2.0%、10.0%、20.0%となっている。計算領域の高さを22.5Hとしたケースと50Hとしたケースの間にはほとんど差が見られない。一方、計算領域の高さを10Hや5Hとしたケースでは、標準ケースに対しそれぞれ風速を4.4%と12.4%過大評価している。図-4(b)には3次元孤立峰を越える流れに対し、山頂での平均風速の鉛直分布を示す。各ケースの間に顕著な差は見られず、地面から1Hの高さにおける平均風速の差は最大で1.2%である。これは、3次元孤立峰を越える流れ場の場合には閉塞率は2次元山に比べ小さいためである。本研究の各ケースでの閉塞率はそれぞれ、0.6%、0.3%、1.3%、2.5%であり、全てのケースで5%以下となっていることが分かる。

以上の結果から、地形風を数値解析により予測する場合は風洞実験と同様に閉塞率を5%以下とすることが望ましい。

(2) 計算領域の幅の影響

3次元孤立峰に対しては、風直角方向の計算領域の幅(y_w)も流れ場に影響を与える。本研究では3次元孤立峰を越える流れ場に対し、計算領域の幅を20Hとしたケースを標準ケースとし、計算領域の幅を縮めて10H、5Hとしたケースについて解析を行った。最後のケースでは計算領域の幅と山の幅が等しい。

図-5に計算領域の幅を変化させたときの3次元孤立峰の山頂(a)と側面の麓(b)での平均風速の鉛直分布を示す。実線が計算領域の幅を20H、点線が10H、一点鎖線が5Hとしたときの結果を表す。計算領域の幅を

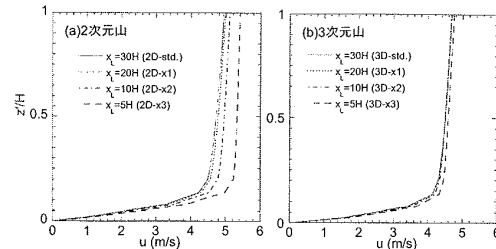


図-6 流入境界面の位置による山頂での平均風速の鉛直分布の違い

20Hとした場合と10Hとした場合には、顕著な差は見られない。しかし、計算領域の幅を5Hとしたときには平均風速の過大評価が見られる。特に、山麓ではこの傾向が顕著である。計算領域の幅を5Hとしたときの山麓で地面からの1Hの高さでの平均風速の過大評価は標準ケースに対して5.1%に達する。このケースの閉塞率は2.2%に過ぎないが、計算領域の幅が狭いと流れ場は境界の影響を強く受けることがわかる。実際、対称面条件を側面境界に適用した場合、あたかも計算領域の外側に同様な地形が存在することになる。この場合は計算領域の幅が狭いと、仮想的な地形との干渉が発生し、流れの収束が生じる。

このことから、3次元地形上の流れを予測する際には閉塞率に関係なく計算領域の幅を広くとる必要がある。

(3) 上流境界の位置の影響

計算格子数を節約するために上流境界の位置は地形になるべく近い場所に設置する傾向がある。しかし、上流境界が地形に近すぎると圧力の反射により、流れ場が上流境界の影響を受けてしまうことがある。本研究では流入境界までの距離として十分に長い距離(30H)をとったケースを標準とし、流入境界までの距離を短くして20Hとしたケース、10Hとしたケース、5Hとしたケースについて解析を行い、上流境界の設置場所の影響を検討した。

図-6(a)に、2次元尾根を越える流れについて、流入境界までの距離 x_H を変化させたときの山頂での平均風速の鉛直分布を示す。実線が流入境界までの距離を30H、点線が20H、一点鎖線が10H、鎖線が5Hとしたケースの計算結果を示す。最初の2つのケースの間には大きな差は見られないことから、流入境界を20Hの位置に設置しても境界の影響は殆どないことがわかる。これに対し、流入境界までの距離が10H以下となると、流れは流入境界の影響を強く受けることがわかる。流入境界までの距離5Hのケースでは平均風速の誤差は9.3%に達する。このことから、2次元尾根を越える流れを解析する際には閉塞率に関係なく、上流の境界は山の高さの少なくとも20倍離れた位置に設置する必要があることがわかる。

参考文献3

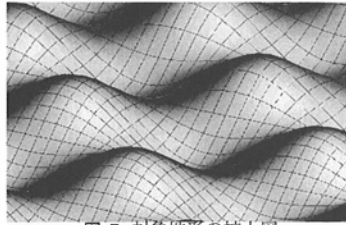


図-7 対象地形の拡大図

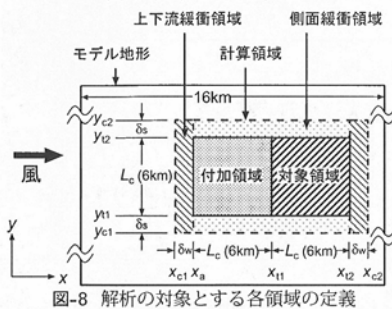


図-8 解析の対象とする各領域の定義

図-6(b)に3次元孤立峰を越える流れの結果を示す。2次元尾根に比べ、3次元孤立峰では流入境界の影響が小さい。3次元孤立峰を越える流れの場合、どのケースにも顕著な差は見られない。流入境界までの距離を10Hとしたケースでは、地面からの1Hの高さでの平均風速の標準ケースに対する差は0.3%である。これらのことから3次元孤立峰型の地形に対しては上流境界の位置は山の高さの10倍以上離れた位置に設置すればよいことがわかる。

4. 境界処理手法の提案

単純地形と異なり、複雑地形上の流れを数値的に解析する場合には、連綿と連なる実地形の一部を取り出して計算する必要がある。その際に、取り出した計算領域の境界をどのように処理するのか、また上流の地形の影響をどのように考慮するのが問題となる。本章では実地形上の流れの解析に適用できる境界処理手法と上流地形の影響について述べる。

(1) 地形のモデル化

実際の地形は千差万別であり、一つの地形で代表させることは難しい。そこで本研究では二重余弦波の形状を持つ3次元地形をモデル地形として用いた。この地形の表面形状 $h(x, y)$ は次の式で表される。

$$h(x, y) = \frac{H}{2} + \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \cos\left(\frac{2\pi y}{L}\right) \quad (17)$$

ここで、 $H/2$ は波高、 L は波長である。 x, y はそれぞれ風方向、風直角方向とし、 z は鉛直方向を表す。また、地面からの高さは z' と定義する。本研究では、 $H=200\text{m}$,

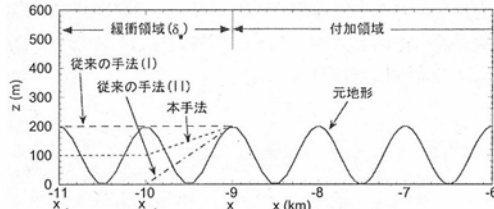


図-9 各種の上流緩衝領域の比較

$L=1000\text{m}$ とした急峻な地形を例として用いた。図-7にはモデル地形の拡大図を示す。この地形は y 方向には無限に連なり、 x 方向には16kmの広がりを持っている。また、 y が L の整数倍に等しい鉛直断面(x - z 断面)は風に対して対称面となる。

図-8には解析の対象とする各領域を示し、図中に斜線で示す正方形(一辺の長さ6km)が風況予測の対象領域、その上流に付加領域、さらにその周囲に緩衝領域がある。計算領域はこれら全ての領域を含む領域で、図に点線で示す。本研究では対象領域の中心に原点をとり、また各領域の大きさを表す記号を図-8に併記した。

(2) 境界の処理

境界の影響が対象領域に伝わらないように境界付近に緩衝領域を設ける方法がこれまで用いられてきた。Maurizi et al.¹⁸⁾は対象領域の端点の標高をそのまま水平方向に延長し、緩衝領域とした。また風洞実験では、対象領域の端点から、標高0の高さ、すなわち風洞床面の高さまで地形を直線的に下げ、この直線部分と風洞の側面までの床面とを合わせて緩衝領域としている。本研究ではこれらの二つの方法をそれぞれ従来手法(I)、従来手法(II)と呼ぶこととする。これらの方法で作成された緩衝領域を用いる場合、境界処理前後で緩衝領域内の地形の断面積や体積が変化し、結果的に対象領域内の平均風速が変化するという問題がある。そこで本研究では処理前後での地形の断面積または体積を一定とする手法を提案する。

a) 上下流緩衝領域

図-9は各種の上流境界処理手法による地形の x - z 断面図を示す。ここでは $x_{c1}=-11\text{km}$ の地点が計算領域の端部を表し、 $x_a=-9\text{km}$ の地点が緩衝領域と付加領域の境界を示す。このケースでは緩衝領域の広さは対象領域の1/3とした。図中の実線がモデル地形、鎖線が従来手法(I)による地形、一点鎖線が従来手法(II)による地形を示す。従来手法(I)と(II)により作成された地形の断面積は元の地形の断面積と異なる。緩衝領域全体で考えた場合は地形の体積が変化することとなる。そこで本研究では上流緩衝領域内の地形の体積が元の地形の体積と同じになるような境界処理方法を提案する。上流緩衝領域の上流側半分では風方向にも風

直角方向にも一定の標高 (H_{wb}) とし, 残り半分では対象領域の標高と直線で結ぶ. 境界処理後の地形 $\hat{h}(x, y)$ は次のように表される.

$$\hat{h}(x, y) = \begin{cases} H_{wb} & (x_{c1} \leq x < x_{m1}) \\ H_{wb} + \frac{2(x - x_{m1})}{\delta_w} [h(x_a, y) - H_{wb}] & (x_{m1} \leq x < x_a) \end{cases} \quad (18)$$

ここで x_{m1} は x_a と x_{c1} の中点である. また H_{wb} は地形処理前後で緩衝領域内の地形の体積が一定となるように次式から求める.

$$H_{wb} = \frac{1}{3\Delta y} \int_{y_{c1}}^{y_{c2}} \left[\frac{4}{\delta_w} \int_{x_{c1}}^{x_a} h(x, y) dx - h(x_a, y) \right] dy \quad (19)$$

ここで, $\Delta y (= y_{c1} - y_{c2})$ は緩衝領域の幅, $\delta_w (= x_a - x_{c1})$ は緩衝領域の奥行きである.

下流緩衝領域も上流と同じ方法で求める.

b) 側面緩衝領域

図-10 には y - z 断面におけるモデル地形と各種の境界処理手法によって作られた地形を示す. 領域が対称であるため, 図-10 には領域全体の半分を示す. ここでは $y_{c1} = -5\text{km}$ の地点が計算領域の端部を表し, $y_{t1} = -3\text{km}$ の地点が対象領域と緩衝領域の境界を示す. このケースでは緩衝領域の広さは対象領域の $1/3$ とした. 図中の実線がモデル地形, 鎖線が従来の手法 (I) による地形, 一点鎖線が従来の手法 (II) による地形を示す. また, 本研究で提案する手法による地形を点線を示す. ここでは緩衝領域外側での標高を $H_{sb}(x)$ とする. この高さは緩衝領域の半分のところまで一定とし, そこから対象領域境界での標高 ($h(x, y_{t1})$) まで直線で結ぶ. 境界境界処理後の地形 $\hat{h}(x, y)$ は次のように表される.

$$\hat{h}(x, y) = \begin{cases} H_{sb}(x) & (y_{c1} \leq y \leq y_{m1}) \\ H_{sb}(x) + \frac{2(y - y_{m1})}{\delta_s} [h(x, y_{t1}) - H_{sb}(x)] & (y_{m1} \leq y \leq y_{t1}) \end{cases} \quad (20)$$

ここで y_{m1} は y_{c1} と y_{t1} の中点である. また, 高さ $H_{sb}(x)$ は, 元地形と断面積が等しくなるように, 次式により求める.

$$H_{sb}(x) = \frac{1}{3} \left[\frac{4}{\delta_s} \int_{y_{c1}}^{y_{t1}} h(x, y) dy - h(x, y_{t1}) \right] \quad (21)$$

c) 各種境界処理手法の比較

本研究で提案した手法の有効性を示すため, 側面境界を例に各種の境界処理手法を用いて地形上の流れを計算し, 元の地形を用いた場合の計算結果 (参照値) と比較する. 元の地形は周期的な地形であるため, 計算領

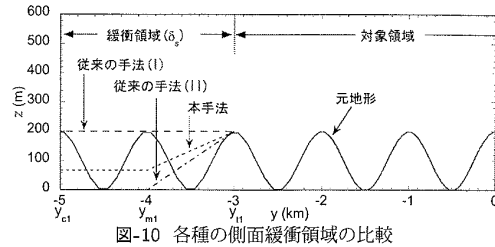


図-10 各種の側面緩衝領域の比較

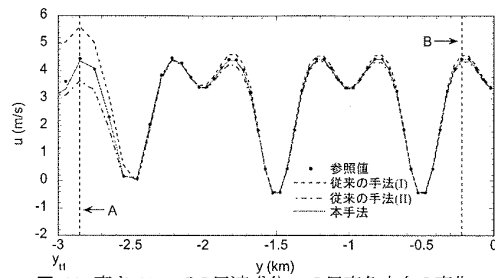


図-11 高さ 41m での風速成分 u の風直角方向の変化

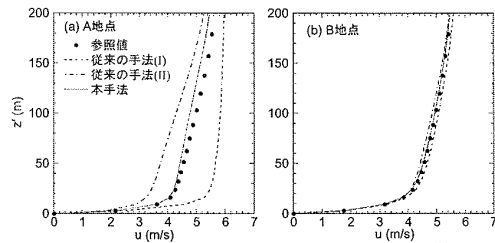


図-12 A 地点と B 地点での平均風速の鉛直分布

域の境界面に対称面境界条件を用いることにより, 参照値を求める.

図-11 に, 各境界処理手法を用いて求めた地表面から 41m の高さにおける平均風速の風直角方向 (y 方向) の変化を示す. 黒丸は参照値, 鎖線は従来の手法 (I), 一点鎖線は従来の手法 (II), 実線は今回提案した境界処理手法により計算した平均風速を示す. 境界処理手法によって, 対象領域内の平均風速が大きく異なる. 従来の手法 (I) を用いたケースでは風速が参照値に比べ過大に評価されている. 一方, 従来の手法 (II) を用いたケースでは風速が過小に評価されている. これは緩衝領域上の流量が過小または過大に評価されているためである. それに対し, 今回提案した境界処理手法により計算した平均風速は参照値とほぼ同じ値を示す. この傾向は他の高さにおいても見られる.

図-12(a) には A 地点 (図-11) での平均風速の鉛直分布を示す. 鉛直方向全域にわたって, 上で述べたような傾向が見られ, また高さが高くなるにつれて, 参照値との差が小さくなる. 従来の手法による平均風速の過大または過小評価は対象領域の中央にまで及ぶ. 図-12(b) には図-11 中の B 地点での平均風速の鉛直分布を示す.

参考文献3

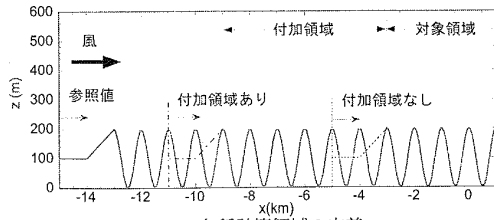


図-13 各種計算領域の定義

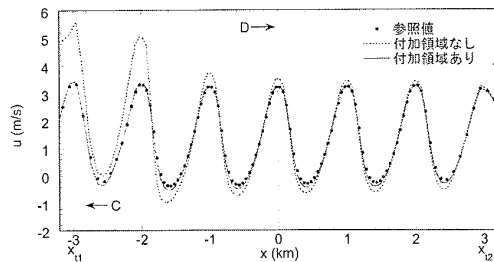


図-14 高さ41mでの風速成分uの風方向の変化

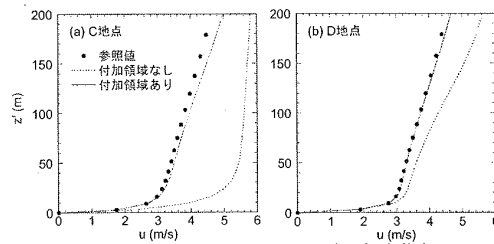


図-15 C地点とD地点での風速の鉛直分布

参照値との差は小さくなるものの傾向は同じである。いずれの地点においても本研究で提案された手法により計算された平均風速は参照値との差が小さい。

(3) 上流地形の影響

一般に対象領域内の流れ場はその上流の地形の影響を強く受けるため、上流境界に緩衝領域を設けるだけでは上流の地形の影響を正確に反映することができない。そこで本研究では図-8に示すように対象領域の上流に付加領域を設けることを提案する。

付加領域の効果を調べるために、上流に対象領域と同じ大きさの付加領域を設けたケースと上流に付加領域を設けなかったケースを対象に解析を行い、モデル地形全領域を考慮して解析した結果(参照値)との比較を行った。図-13には $x-z$ 断面内のモデル地形とそれぞれのケースの計算領域を示す。実線がモデル地形、一点鎖線が上流に付加領域を設けたケース、点線が上流に付加領域を設けなかったケースの計算領域を示す。

図-14にそれらのケースの計算結果から得られた、地表面から41mの高さにおける平均風速 u の風方向 (x 方向) の変化を示す。黒丸は参照値、点線は上流に付加

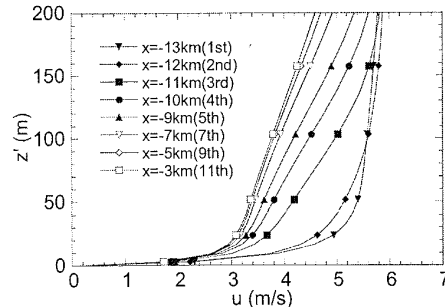


図-16 山頂位置での平均風速

領域を設けなかったケース、実線は付加領域を設けたケースにより求められた平均風速を表す。付加領域を設けたケースでは参照値とほぼ同じ値を示す一方、付加領域を設けなかったケースでは参照値と大きく異なる。その差は上流境界に近づくにつれ大きくなる。

付加領域の効果は高さ方向にも現れている。図-15(a)は図-14中のC点での平均風速の鉛直分布を示す。どの高度においても付加領域を設けなかったケースでは風速が過大に評価されているのがわかる。上流地形の影響は対象領域の中心地のD点でも見られる(図-15(b))。

以上のことから上流地形の影響を正しく反映するために、対象領域の上流に付加領域を設ける必要があり、本研究のケースでは付加領域は対象領域と同じ程度であれば十分であることがわかる。

付加領域の大きさの目安を考えるために、図-16には $y=0\text{km}$ における断面内の山頂位置での平均風速分布を示す。この図から、平均風速の変化が下流に行くにつれ、小さくなることがわかる。100m以下の高度における平均風速は9番目の山以降、ほとんど変化しなくなる。高い高度での平均風速を必要とする場合、広い付加領域、反対に低い高度での風速を必要とする場合には狭い付加領域をとればよいことがわかる。

5. 線形連立方程式の数値解法

実地形上の流れ場を解析する場合には数十万から数百万の計算格子を要し、結果的に格子数と同じ数の線形連立方程式を解く必要があるため、高速な数値解法を用いる必要がある。また複雑地形上の流れの解析の際には地表面付近の解像度を維持するために地表面に沿った非直交性の強いメッシュを用いる必要があり、結果的に解くべき方程式の係数が複雑になるため、このような方程式にも適用可能な高速解法が望まれる。

大規模線形連立方程式を高速に解く手法としては複数の違った大きさの格子を用いるマルチグリッド法がよく知られている。しかし、複雑な境界を持つ問題ではその効果が小さい²⁷⁾。単一格子に対して従来からよく使

われてきた数値解法は古典的な反復解法と共役勾配法に大別できる。古典的な反復法ではGS (Gauss Seidel) 法やSIP (Strongly Implicit Procedure) 法²⁸⁾、共役勾配法ではICCG 法²⁹⁾、CGSTAB 法³⁰⁾がよく用いられている。更に最近では残差切除法 (Residual Cutting Method) と呼ばれる手法が提案されている³¹⁾。本研究ではこれらの数値解法に関する詳細な比較を行い、複雑境界を有する実地形上の流れ場を高速に計算できる数値解法を明らかにする。

(1) 数値解法の比較

a) 古典的な反復解法

解くべき線形方程式を

$$A \cdot \phi = Q \quad (22)$$

とする。ただし、 A 、 Q が既知で、 ϕ が未知数である。 $n+1$ 回目の反復後の解を ϕ^{n+1} とする。古典的な反復法では $n+1$ 回反復後の近似解 ϕ^* を以下のような一般的な式で表す²⁶⁾。

$$M\phi^* = N\phi^n + Q \quad (23)$$

ここで、 $M - N = A$ である。解が収束した時点では $\phi^* = \phi^n = \phi$ となり、式(23)は元の線形方程式(22)に帰着する。 $n+1$ 回反復後の最終的な解 ϕ^{n+1} は n 回目の反復後の解 ϕ^n に修正量 δ^n を加えることにより次式から求める。

$$\phi^{n+1} = \phi^n + \delta^n \quad (24)$$

修正量 δ^n は、 $n+1$ 回目の反復で得られた修正量の近似値 $\delta^* (= \phi^* - \phi^n)$ を用いて次式により求める。

$$\delta^n = \alpha \delta^* \quad (25)$$

ここで、 α は緩和係数である。 α の値は一般に0と2の間の値をとり、 α が1より小さい場合は不足緩和、 α が1より大きい場合は過緩和と呼ぶ。古典的な反復解法の違いは行列 M の違いによる。例えば M を A の下三角行列と置いた場合はGS法となり、 M をILU (Incomplete LU decomposition)により得られた三角行列を修正して求めた場合はSIP法となる。一般に M が元の行列 A に近いほど収束が速い²⁶⁾。

古典的な反復手法は短い波長の誤差を速く減少させることができ、解の収束に時間はかかるが緩和係数を適切にとれば発散はしないという特徴を持っている。一方、古典的な手法の短所としては方程式の数(格子数)が多くなると収束が急速に遅くなるという点が挙げられる。これは古典的な反復解法では1回の反復の間に隣のセルにまでしか情報が伝わらず、長い波長の誤差を減少させるのに時間がかかるためである。

b) 共役勾配法

共役勾配法は前述の古典的な手法とは異なり、線形方程式(22)を解く代わりに次式により定義される関数 F を最小化することにより ϕ を求める。

$$F = \frac{1}{2} \phi^T A \phi - \phi^T Q = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n A_{ij} \phi_i \phi_j - \sum_{i=1}^n \phi_i Q_i \quad (26)$$

ここで n は方程式の数を表す。 ϕ は n 次元のベクトルであり、基底 p^i を用いて次式により表されている。

$$\phi = \phi_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i p^i \quad (27)$$

ここで ϕ_0 は ϕ の第0次近似であり、基底ベクトル p^i は行列 A に関して互いに共役である。すなわち、任意の i, j に対し、

$$p^i \cdot A p^j = 0 \quad (28)$$

である。それぞれの p^i に対し α_i を決め、 F を最小化するような ϕ を求めるのが共役勾配法である。反復回数 m が方程式の数 n と同じであれば式(27)は方程式の厳密解を与える。しかし実際には n よりずっと少ない回数の反復を行えば十分である。

共役勾配法では方程式の解をグローバルに探すため、方程式の数が多くなっても収束はそれほど遅くならない。したがって、大規模線形方程式を解く場合には古典的な手法に比べ収束が速い。しかし、適切な基底ベクトルが見つからない場合に収束が不安定になることがある。

c) 残差切除法 (RCM)

GS法に代表される古典的な反復手法は安定であるが収束が遅い。一方、共役勾配法は高速であるが不安定となることがある。これらの手法の問題を解決するために、最近田村ほか³¹⁾は残差切除法 (RCM) と呼ばれる手法を提案した。本研究では残差切除法の実地形上の流れの解析への適用可能性を検討する。

まず、残差切除法のアルゴリズムについて説明する。線形方程式(22)に対して、 n 回目、 $n+1$ 回目の反復後の近似解をそれぞれ ϕ^n 、 ϕ^{n+1} とし、そのときの方程式の残差 ρ^n 、 ρ^{n+1} を次式により定義する。

$$\rho^n = Q - A \cdot \phi^n \quad (29)$$

$$\rho^{n+1} = Q - A \cdot \phi^{n+1} \quad (30)$$

式(29)、(30)より、 n 回目の反復後の解の修正量 $\delta^n (= \phi^{n+1} - \phi^n)$ と残差の関係式が得られる。

$$A \cdot \delta^n = \rho^n - \rho^{n+1} \quad (31)$$

参考文献3

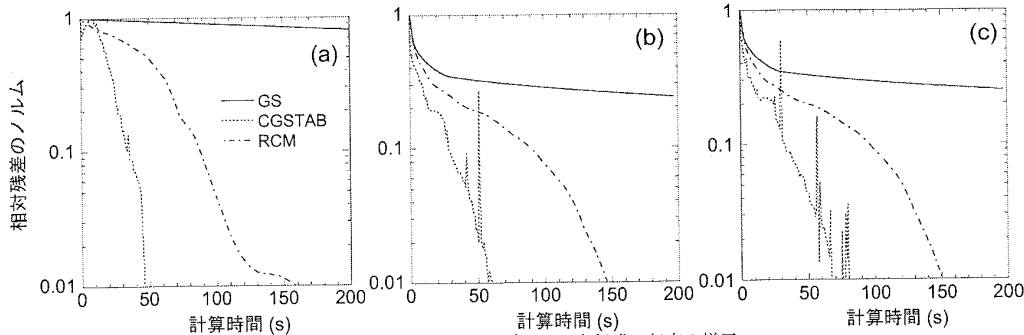


図-17 各種の解法によるポワソン方程式の収束の様子

ここで ρ^{n+1} が 0 となることを期待して、

$$A \cdot \delta^n = \rho^n \quad (32)$$

を解く。しかしこの方程式を解くことは元の線形方程式 (22) を解くことと等価である。

そこで残差切除法ではまず、式 (32) の近似解 δ^* を求める。田村ほか³¹⁾ ではこの近似計算に ADI を用いているが、本研究では非構造格子でも用いることができ、並列化も容易な GS 法を用いた。近似計算に必要な反復の回数は 10 回程度が最適である。次に δ^n を次式に示すように過去の反復計算から得られた修正量の線形和として表す。

$$\delta^n = \alpha_1 \delta^* + \sum_{l=2}^L \alpha_l \delta^{n-l+1}, \quad (33)$$

ここで L は用いる過去の修正量の数で、一般に 4 程度とすれば十分である³¹⁾。また、 α_l は、残差 ρ^{n+1} のノルムの 2 乗 ($\|\rho^{n+1}\|^2$) が最小となるように最小自乗法により決定する。 $n+1$ 回目の反復後の残差 ρ^{n+1} は、式 (31) と (33) から次式となる。

$$\rho^{n+1} = \rho^n - A \cdot \left(\alpha_1 \delta^* + \sum_{l=2}^L \alpha_l \delta^{n-l+1} \right) \quad (34)$$

ここで、 $\|\rho^{n+1}\|^2$ を最小化するように次式を解いて α_l を決定する。

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_l} \|\rho^{n+1}\|^2 = 0 \quad (35)$$

$n+1$ 回反復後の解 ϕ^{n+1} は式 (24) により求める。

残差切除法は、古典的な反復法と同じように n 回目の反復後の解 ϕ^n に修正量 δ^n を加えることにより、 $n+1$ 回目の解 ϕ^{n+1} を求めるため、収束が安定であることが予想される。古典的な反復法においては、 α は定数であるが、残差切除法では α_l は全体の残差が最小となるように最小自乗法により決定する。この点では、残差切除法は、共役勾配法と考え方が共通である。従って、残差切除法も高速であることが予想される。

表-3 ポワソン方程式の係数とソース項の一覧

	ケース I	ケース II	ケース III
D_1	1	1	$\prod_i [\sin(10\pi x_i)] + 4$
D_2	1	1	$\prod_i [\sin(30\pi x_i)] + 4$
D_3	1	1	$\prod_i [\sin(50\pi x_i)] + 4$
Q	$\prod_i \sin(\pi x_i)$	$\prod_i \sum_j \sin(k_j \pi x_i)$	$\prod_i \sum_j \sin(k_j \pi x_i)$

$[k_j = (1, 3, 7, 13, 21)]$

(2) ポワソン方程式による検証

SIMPLE 法を用いて流れ場を解く際には、ポワソン方程式の形をした圧力補正方程式を解く必要がある。したがって各種の数値解法の性質を調べるために、ポワソン方程式を例とし、古典的な反復法の代表である GS 法、共役勾配法の一つである CGSTAB、そして残差切除法を用いて解析を行った。用いたポワソン方程式は次式により表される。

$$D_1(x_1, x_2, x_3) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x_1^2} + D_2(x_1, x_2, x_3) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x_2^2} + D_3(x_1, x_2, x_3) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x_3^2} = Q(x_1, x_2, x_3) \quad (36)$$

ここで、係数 D_i とソース項 Q を表-3 に示すように変化させ、3 ケースの計算を行った。計算領域は $0 \leq x_i \leq 1$ の範囲とし、ノイマン境界条件を与えた。メッシュ数は $128 \times 128 \times 128$ とした。

ケース I では係数 D_i を全て 1 とし、ソース項は単一波長の正弦波のみを含む。一方、ケース II ではケース I と同様に係数 D_i を全て 1 としたが、ソース項はいくつかの波長を持つ正弦波の和としたものを用いた。ケース III はケース II と同じソース項を用い、さらに異なった係数 D_i を用いた。このケースは 3 ケースの中で最も解きにくく、実地形上の流れ場を解く際に現れる圧力補正方程式に近い。

図-17 に各解法を用いてポワソン方程式を解いたとき

の相対残差の収束の様子を示す。横軸が計算時間、縦軸が残差のノルムの相対値を表す。実線がGS法、点線がCGSTAB法、一点鎖線が残差切除法による収束の様子を示す。

ケースIでは、GS法の収束が最も遅く、CGSTABの収束が最も速い。またこのケースではCGSTABの収束も安定していることがわかる。

一方、ケースIIではケースIに比べ、CGSTABによる収束計算が少し不安定になり、時間50s付近で大きな変動が見られる。GS法ではケースIに比べ、初期に残差が大きく減少するが、その後はケースIと同じ傾向を示す。これはケースIIではソース項に短波長成分が含まれていることによるものである。

最後に、ケースIIIではケースIIに比べ、CGSTABの収束が更に不安定になり、収束速度も遅くなっている。それに対し、残差切除法の収束はいずれのケースにおいてもほぼ同じである。

以上のことから、古典的な反復法では残差は単調に減少するが収束速度は非常に遅く、また、共役勾配法は方程式の係数やソース項が複雑になればなるほど収束の不安定性が増し、かつ収束速度が低下することがわかる。実際の複雑地形上の流れ場における圧力補正方程式は方程式の係数とソース項がさらに複雑になるため、共役勾配法の不安定性が更に深刻になることが予想される。一方、残差切除法は方程式の係数やソース項に依らず安定、かつ高速に収束解を得ることができた。このことから、残差切除法は複雑地形上の流れ場の解析にも有効であることが予想される。

6. 大型風洞実験による検証

実地形上の流れ場を数値的に予測する際には計算領域の大きさや境界の処理が計算結果に大きな影響を与える。本章では実地形模型を用いた大型風洞実験の結果を用いて、計算領域の設定と境界処理手法が実地形上の流れ場の解析に与える影響を定量的に評価する。また第4章で調べた各種の線形方程式の数値解法を実地形上の流れ場の解析に適用し、その有効性を検証する。最後に複雑地形上の代表的な地点における流れ場を調べ、線形風況予測モデルの問題を明らかにするとともに本研究で開発した非線形モデルの有効性を示す。

(1) 大型風洞実験

本研究では北海道積丹半島先端の一部を対象とし、縮尺1/2000の地形模型を製作し、東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻風工学実験室にある大型風洞を用いて風洞実験を行った。実験の詳細は文献^{21), 32)}を参照されたい。図-18に風洞実験の全景を示す。

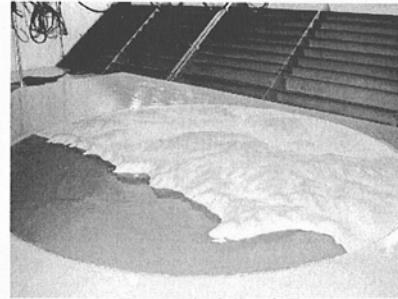


図-18 風洞実験の全景



図-19 地形の等高線図と測定点配置

図-19は地形模型の等高線図である。この模型は、半径3km内の領域においては実地形を忠実に再現し、その外側では半径4kmの位置で地形の高さが0になるように標高を下げた。地形模型は風洞内のターンテーブル上に設置し、模型を回転させることにより8風向における風速の測定を行った。

図-19中の点A～Fの7点は風速の測定点を示し、測定高さは実スケールでそれぞれ10m, 20m, 40m, 70m, 100m, 150m, 200m, 300mの7高度とした。風速の測定には逆流の測定も可能なスプリットファイバークロップ³³⁾を用いた。

(2) 計算領域の設定

本研究では風洞実験との比較を行ったため、鉛直方向の計算領域は風洞高さと同じ1.76mとした。また地形模型表面の粗度を決定するために地形模型と同じ材質の平板上の風速分布を測定し、対数則にあてはめることにより z_0 を同定した。図-20は平板上の模型中心位置における平均風速分布を示す。平板上の風速分布が本解析により、再現できていることがわかる。水平方向の計算領域は広ければ広いほど、実際に近い流れ場を捉えるが計算時間が増える。計算領域の一边を倍にすれば計算格子は4倍になり、計算時間は4倍以上となる。本研究では測定点Cでの北東風向の風を対象とし、図-21に示す3種類の計算領域を用いて解析を行

参考文献3

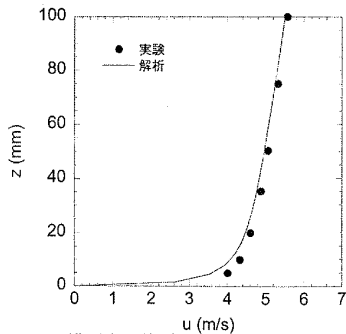


図-20 模型中心位置における平板上の風速分布

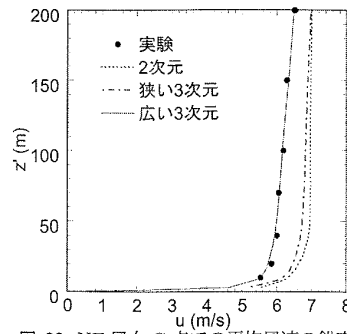


図-22 NE風向C点での平均風速の鉛直分布

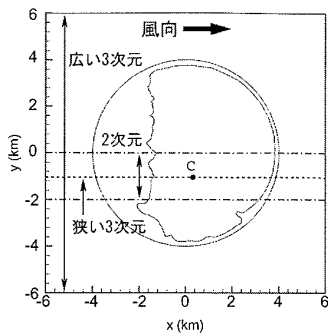


図-21 計算領域

い、実験値と比較することにより、計算領域の幅が解析結果に与える影響を調べた。図-21の点線は流れ方向の地形の変化だけを考慮に入れた2次元領域、一点鎖線は流れ直角方向に幅2kmのみをとった狭い3次元領域、実線は地形模型全体を含む幅12kmの広い3次元領域を示す。

図-22にはC点での平均風速の鉛直分布を示す。縦軸が地面からの高さ、横軸が平均風速である。黒丸が風洞実験、点線が2次元領域、一点鎖線が狭い3次元領域、実線が広い3次元領域を用いた場合の平均風速を示す。地形模型全体を計算領域にとった場合には実験値と予測値がほぼ一致したのに対し、2次元または狭い3次元計算領域を用いた場合には平均風速を過大に評価した。本研究で対象とした地形に関しては、2km程度の計算領域は明らかに狭すぎる。また、次節に示すように、10km程度の計算領域を用いれば実際の流れ場を再現できる。

(3) 境界処理

第3章で述べたように、境界の処理が実地形上の流れ場の解析結果に大きな影響を与え、またその影響は境界に近い程顕著である。ここで、風洞実験で用いた実地形を対象に境界処理手法の違いが流れ場の予測結果に与える影響を調べる。対象領域の大きさを6km四方とし、その中心を地形模型の中心に一致させた。また

表-4 対象領域と境界処理

	対象領域 (km×km)	計算領域 (km×km)	側面境界 処理手法	上下流境界 処理手法
1	6×6	10×10	従来 (I)	本手法
2	6×6	10×10	従来 (II)	本手法
3	6×6	10×10	本手法	本手法
4	6×16	10×20	本手法	本手法

風向はNE風向とした。この風向では対象領域の上流が海であるため、付加領域を設置する必要がない。表-4には各ケースにおける計算条件を示す。すべてのケースの対象領域の風方向(x方向)の長さは同じであり、上下流境界処理も同じであるが、ケース1, 2, 3では側面境界処理手法が異なる。ケース1, 2, 3では緩衝領域の幅は対象領域の幅の1/3とした。ケース4は対象領域の幅のみを広くしたもので、境界処理方法と側面緩衝領域の幅はケース3と同じである。ケース4の結果は最も側面の境界の影響を受けていないと考えられるので、参照値として用いる。

図-23にy=0km(地形模型中心)での地面からの高さ41mにおける風直角方向の平均風速の変化を示す。黒丸は参照値、実線は本研究で提案した境界処理手法、一点鎖線で従来の手法(I)、点線で従来の手法(II)を用いた場合の平均風速を示す。この図から、領域中央部(-1km ≤ y ≤ 1km)ではどの境界処理手法を用いた計算結果もほぼ同じ値を示すことがわかる。しかし、領域中央部から離れると境界処理手法の違いによる差が見られる。本研究で提案した境界処理手法を用いた場合には、境界近傍を除いて参照値とほぼ一致しており、境界処理の影響は全領域の3%程度である。それに対し、従来の手法(II)を用いた場合には境界処理の影響が全領域の半分程度に及ぶ。ちなみに本風洞実験ではB, F, Gの各点が境界処理の影響を受けている可能性がある。

なお、今回解析の対象とした地形は海岸沿いの台地であり、流れ直角方向の一様性が強い地形であったため、境界処理の手法の違いによる流れの違いが、第4章

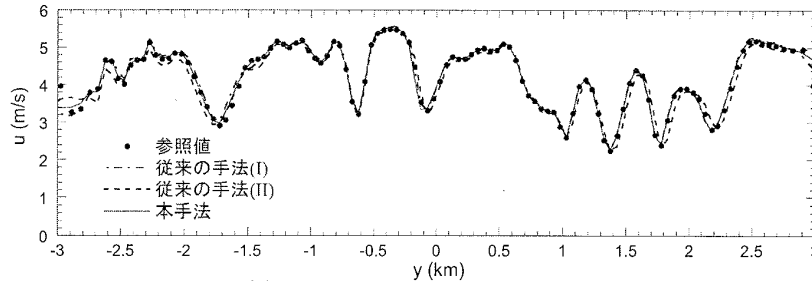


図-23 地上41mでの平均風速の風直角方向の分布 (x=0)

表-5 各種の数値解法による収束回数と時間の違い

解法	反復回数	計算時間(秒)
GS	201	18914
CGSTAB	1598	38106
RCM	194	3348

で議論したモデル地形に比べ顕著ではなかったと考えられる。モデル地形のように流れ直角方向に山と谷が連なるような地形であれば、もっと大きな差が出るものと考えられる。

(4) 数値解法

第4章で述べた各種の数値解法が実地形上の流れ場の解析に与える影響を調べるために、まず実際の流れ場の解析に用いられている圧力補正方程式をGS法、CGSTAB法及び残差切除法を用いて解くことにした。図-24がその結果である。横軸に計算時間、縦軸に相対残差のノルムを示す。実線がGS法、一点鎖線がCGSTAB法、点線が残差切除法による収束の様子である。GS法と残差切除法の結果は第4章で示した結果とほぼ同じであるが、CGSTAB法に関してはポワソン方程式に比べ、圧力補正方程式を解いた時の収束は更に不安定となっていることがわかる。実際、圧力補正方程式を解く際には最大反復回数を50回と設定しているため、計算を打ち切った際に残差が計算開始時より10倍以上に増大している。

線形方程式の収束(内部反復の収束)は流れ場の計算の収束(外部反復の収束)にも影響を与える。圧力補正方程式の残差が10倍に増えた時の解により修正された速度場は前回の反復よりも悪い値となり、外部反復の収束に悪影響を与える。図-25は各数値解法による速度成分uの運動方程式の収束の様子である。横軸に計算時間、縦軸にuの運動方程式の相対残差を示す。この図から分かるようにCGSTAB法を用いた場合に、残差が大きく変動し、結果的に収束がGS法よりも遅くなっている。

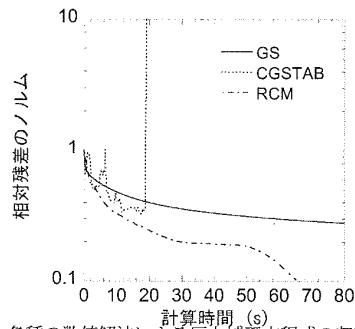


図-24 各種の数値解法による圧力補正方程式の収束の様子

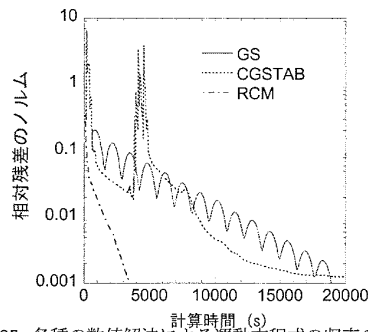


図-25 各種の数値解法による運動方程式の収束の様子

表-5には連続方程式と運動方程式の残差が 10^{-3} 以下になった時の、各種の数値解法による収束回数と収束時間を示す。CGSTAB法を用いた場合には収束が最も遅く、10時間以上の計算時間を要した。これはGS法を用いた場合の5時間よりも長い。それに対し、残差切除法を用いた場合には約1時間で計算が収束する。

以上の結果から、複雑地形上の流れ場の解析においては線形方程式の解法には残差切除法が最も適しており、従来の古典的な反復法や共役勾配法に比べ流れ場全体の収束が大幅に高速化された。

(5) 複雑地形上の流れ場

最後に従来の線形風況予測モデル³⁴⁾の問題点を明らかにするため、風洞実験で測定した代表的な地点にお

参考文献3

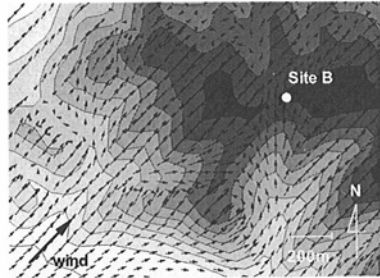


図-26 B地点SW風向における地上10mでの風速ベクトル図

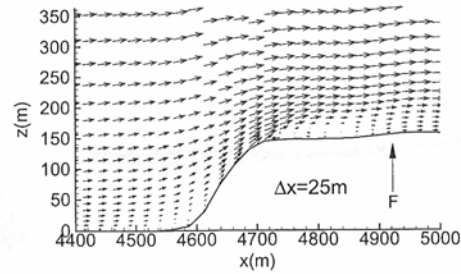


図-28 F地点NE風向における垂直断面内の風速ベクトル図

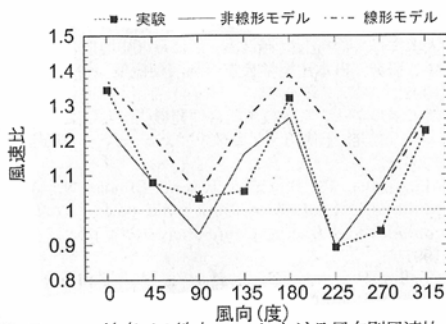


図-27 B地点での地上40mにおける風向別風速比

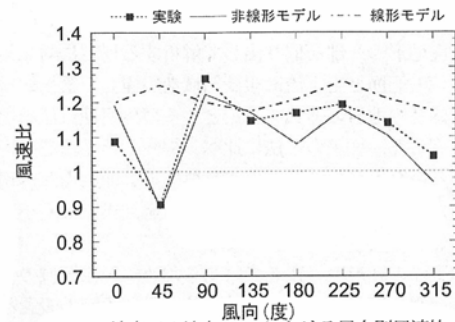


図-29 F地点での地上40mにおける風向別風速比

ける流れ場を解析し、風洞実験結果及び本研究で開発した非線形モデルによる予測結果と比較した。

まず尾根の上に位置するB地点について調べる。この地点の周りは複雑に入り組んだ谷があり、風向によって風速の変化が大きい。図-26にはB地点付近における南西風向の地上10mでの風速ベクトルを示す。図中に地形の標高を記し、色の濃いところは高い標高を表す。B地点の南には南南西向きの深い谷があり、風が南西から吹くときに、B地点での地表面付近の風の風向は南向きに变化している。線形モデルによる予測ではB地点付近の風向は地形がないときの風向とほとんど変わらず、このような風向の変化は全く見られない。図-27にはB地点での地上40mにおける風向別風速比を示す。ここで風速比は、地形上での風速を地形がないときの風速で割ったものとして定義され、1より大きいとき増速、1より小さいときは減速を意味する。横軸は風向を表し、0度は北風、180度は南風に対応している。縦軸は風速比を表す。点線が実験値、実線は本研究で開発した非線形モデルによる予測結果、一点鎖線は線形モデルによる予測結果を示す。線形モデルは全体的に風速を過大に評価している。特に、風が南西(225度)から吹いてくるときの過大評価が顕著である。一方、本研究で開発された非線形モデルによる予測結果は偏りがなく風洞実験の結果を再現している。

次に、線形モデルによる予測誤差が最も大きかったF地点について調べる。図-28には測定点F地点を通る

鉛直断面内における風速ベクトルを示す。風が崖に直角となる北東方向から吹くときに急峻な崖の前縁から流れの剥離が起こる。このような剥離は線形モデルから全く予想されない。その結果、線形モデルによる平均風速値は風洞実験による結果より大きくなる。図-29にはF地点での風向別風速比を示す。B地点と同様に線形モデルは全体的に風速を過大評価していることがわかる。特に流れの剥離が起こる北東風向では、実験値は大きな減速を示しているのに対し、線形モデルの値は他の風向とほぼ変わらない。これは線形モデルが流れの剥離を再現できないことによるものである。一方非線形モデルによる予測結果は風洞実験結果とよく一致している。

以上の結果から、線形モデルは全体的に風速を過大に評価する傾向があり、特に剥離を含む流れにおいてはその過大評価は顕著である。また本研究で開発した非線形モデルは剥離を含む流れ場を正確に再現でき、複雑地形上の流れ場を精度よく予測できることがわかった。

7. まとめ

本研究では数値流体力学に基づく非線形風況予測モデルを開発し、実地形上の流れ場を解析する際に必要な境界処理手法を提案した。そして大規模線形連立方程式の数値解法について詳細な比較検討を行い、複雑地形上の流れの解析に適した数値解法を提案した。最

後に実地形模型を用いた大型風洞実験を行い、本研究で開発した境界処理手法と数値解法の有効性を調べるとともに、従来の線形風況予測モデルの問題点を明らかにした。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 地形上の流れ場を解析する際には地形による閉塞率が5%以内となるように計算領域の高さを設定する必要がある。ただし、計算領域の幅は閉塞率に関係なく、十分に広くとる必要がある。上流境界は、2次元尾根の場合には山の高さの20倍以上、3次元孤立峰の場合には山の高さの5倍以上離れた位置に設置する必要がある。
- 2) 実地形の一部を取り出して解析する場合に対象領域の側面と上下流に緩衝領域を設置し、緩衝領域内での地形の体積を一定とする境界処理手法を提案した。従来の手法に比べ、提案した手法を用いる場合、元の地形上の流れ場に近い流れ場が再現され、従来の手法による風速の過大または過小評価が解消された。
- 3) 上流の地形の影響を考慮するため、対象領域の上流側の境界には緩衝領域の他に付加領域の設置を提案した。対象領域と同じ大きさの付加領域を設けることにより上流の地形の影響を考慮でき、対象領域内の流れ場の予測精度が向上することがわかった。
- 4) 連立線形方程式における各種の数値解法に関する詳細な比較検討を行うことにより、従来の古典的な反復法と共役勾配法の問題点を明らかにした。また、残差切除法を用いることにより安定かつ高速に解を得ることができ、従来の数値解法を用いた場合に比べ5倍~10倍の高速化を実現することができた。
- 5) 実地形模型を用いた大型風洞実験から得られた結果と比較することにより、従来の線形風況予測モデルが風速を過大に評価する問題を明らかにした。また本研究で開発した非線形モデルは剥離を含む流れ場を正確に再現でき、複雑地形上の流れ場を精度よく予測できることがわかった。その結果、本研究で提案した境界処理手法と数値解法が複雑地形における局所風況の数値予測に有効であることを明らかにした。

謝辞：本研究は、平成12~14年度において、文部科学省科学研究費補助金（課題番号12450181、研究代表者藤野陽三、及び課題番号1355125、研究代表者石原孟）を受けた。また大型風洞実験の実施については東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻技官の大竹完治氏、東京大学工学部土木工学科4年（研究当時）の三輪康宏氏に協力をして頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Jackson, P. S. and Hunt, J. C. R.: Turbulent wind flow over a low hill, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 101, pp. 929-955, 1975.
- 2) Mason, P. J. and Sykes, R. I.: Flow over an isolated hill of moderate slope, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 105, pp. 383-395, 1979.
- 3) Beljaars, A. C. M., Walmsley, J. L. and Taylor, P. A.: A mixed spectral finite-difference model for neutrally stratified boundary-layer flow over roughness changes and topography, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 38, pp. 273-303, 1987.
- 4) Mortensen, N. G., Troen, I., Landberg, L. and Petersen, E. L.: Wind atlas analysis and application program (WAsP), Risø National Laboratory, Denmark, 1993.
- 5) 大木祥光, 河井宏允, 藤波潔: 風に及ぼす地形の影響に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 119-120, 1998.
- 6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 大型風力発電システム開発, 千代田ディムス・アンド・ムーア株式会社, 1998.
- 7) Matsuzaka, T., Tsuchiya, K. and Tanaka, N.: Wind resource estimation of tappi wind park, *Proc. European Wind Energy Conference, 1997*, pp. 377-380, 1997.
- 8) Coelho, P. J. and Pereira, J. C. F.: Finite volume computation of the turbulent flow over a hill employing 2d or 3d non-orthogonal collocated grid systems, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, Vol. 14, pp. 423-441, 1992.
- 9) Utne, T. and Eidsvik, K. J.: Turbulent flows over mountainous terrain modelled by the reynolds equations, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 79, pp. 393-416, 1996.
- 10) 石原孟, 日比一喜: 急峻な山を越える乱流場の数値予測, 日本風工学会誌, Vol. 83, pp. 175-188, 2000.
- 11) Ishihara, T. and Hibi, K.: Numerical study of turbulent wake flow behind a three-dimensional steep hill, *Wind and Structures*, Vol. 5, pp. 317-328, 2002.
- 12) 建築物風洞実験ガイドブック, 日本建築センター, 1995.
- 13) 清水幸丸, 前田太佳夫, 遠藤剛, 山岸英明, 大野寛之: 地形と風速分布の関係, 第16回風力エネルギー利用シンポジウム, pp. 29-32, 1994.
- 14) 佐藤沢, 田村哲朗, 桑原邦郎: 鐘状丘陵周辺非定常流れのシミュレーション結果に対する定量的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 267-268, 1994.
- 15) 串岡清則, 斎藤通, 本田明弘: 複雑地形まわり流れへの流動解析の適用, 第13回風工学シンポジウム, pp. 579-584, 1994.
- 16) 山口敏, 清水仁, 櫻山和男: 地形風大規模解析のための並列有限要素解析システム, 第12回数値流体力学シンポジウム, pp. 535-536, 1998.
- 17) Hewer, F. E.: Non-linear numerical model predictions of flow over an isolated hill of moderate slope, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 87, pp. 381-408, 1998.
- 18) Maurizi, A., Palma, J. M. L. M. and Castro, F. A.: Numerical simulation of the atmospheric flow in a mountainous region of the north of Portugal, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 74-76, pp. 219-228, 1998.
- 19) 中山昭彦, 岸修士郎: ラージ・エディター・シミュレーションによる実地形上気流の予測, 応用力学論文集, Vol. 3, pp. 737-744, 2000.
- 20) Lun, Y. F., Mochida, A., Murakami, S., Yoshino, H.

参考文献 3

- and Shirasawa, T.: Numerical simulation of flow over topographic features by revised $k-\epsilon$ models, *J. of Wind Engineering*, No. 89, pp.205-208, 2001
- 21) 石原孟, 山口敦, 藤野陽三: 複雑地形における風況の測定と予測, 風力エネルギー, Vol. 26, No. 1, pp. 63-66, 2002.
- 22) 飯塚悟, 近藤裕昭: 各種 SGS モデルによる山岳地形上流れの LES, 日本流体力学会年会 2002, pp. 338-339, 2002.
- 23) 内田孝紀, 大屋裕二: ネストグリッドを用いた複雑地形上の風況予測シミュレーション, 日本風工学会論文集, No. 92, pp. 135-144, 2002.
- 24) Jones, W. P. and Launder, B. E.: The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 301-314, 1972.
- 25) Patanker, S. V.: コンピュータによる熱移動と流れの数値解析, 森北出版, 1980.
- 26) Ferziger, J. H. and Perić, M.: *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 2002.
- 27) Cornelius, C., Volgmann, W. and Stoff, H.: Calculation of three-dimensional turbulent flow with a finite volume multigrid method, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, Vol. 31, pp. 703-720, 1999.
- 28) Stone, H. L.: Iterative solution of implicit approximations of multidimensional partial differential equations, *SIAM J. Numer. Anal.*, Vol. 5, pp. 530-558, 1968.
- 29) Kershaw, D.: The incomplete cholesky-conjugate gradient method for the iterative solution of systems of linear equations, *J. comput. phys.*, Vol. 26, pp. 43-65, 1978.
- 30) Van den Vorst, H. A. and Sonneveld, P.: BI-CGSTAB: a fast and smoothly converging variant of BI-CG for the solution of non-symmetric linear systems, *SIAM J. Sci. Stat. Comput.*, vol. 13, pp. 631-644, 1992.
- 31) 田村敦宏, 菊池一雄, 高橋匡康: だ円形境界値問題の数値解法—残差切除法について, 日本機械学会論文集, Vol. 62, pp. 4076-4083, 1996.
- 32) Yamaguchi, A., Ishihara, T. and Fujino, Y.: Experimental and numerical study of the wind flow in a coastal region of the north of Japan, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 91, pp. 247-264, 2003.
- 33) Ishihara, T., Hibi, K. and Oikawa, S.: A wind tunnel study of turbulent flow over a three-dimensional steep hill, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol. 83, pp. 95-107, 1999.
- 34) Santabárbara, J. M., Mikkelsen, T., Kamada, R., Lai, G., and Sempreviva, A. M.: Lincom. wind flow model, Risø National Laboratory, Denmark, 1994.

(2002.5.13 受付)

NUMERICAL MODELLING OF LOCAL WIND IN COMPLEX TERRAIN
AND ITS VERIFICATION BY A WIND TUNNEL TEST

Takeshi ISHIHARA, Atsushi YAMAGUCHI and Yozo FUJINO

Required computational domain size was investigated and new boundary treatments and numerical solution method were proposed for the numerical prediction of local wind in complex terrain and were verified by a wind tunnel test. The effect of computational domain height, width and the position of the inlet boundary on the flow field was examined. Buffer zones were added at inlet, outlet and side boundaries, in which the volume of the terrain is maintained. An additional domain was introduced at the windward of the analytical domain to take the effect of the upwind terrain into account. Numerical methods for linear equation systems were examined in detail and new method was proposed, which was found to be fast and stable. Comparison of the mean wind velocity field between the numerical predictions and the measurements shows that the proposed nonlinear model is significantly better than the conventional linear model.

MASCOT Manual 改訂履歴

2017.3.2 >MASCOT Basic Ver.3.2 第四版

マニュアル内の記述変更

- ・インストール前に必ずお読みください p.p.4 IV.サポート

2017.2.14 >MASCOT Basic Ver.3.2 第三版

マニュアル内の記述変更

- ・第1章 p.p.1-8 動作環境
- ・第2章 p.p.2-2~p.p.2-42 プロジェクト作成場所
- ・第2章 p.p.2-51 解析領域高さの設定

2016.9.15 >MASCOT Basic Ver.3.2 第一版

パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更

2009.7.3 >MASCOT Basic Ver.3.0 第三版

マニュアル内の記述に加筆

- ・第5章 p.p.5-39 mascot_tsa.exe エラーメッセージ一覧表

2009.3.30 >MASCOT Basic Ver.3.0 第二版

パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更

- ・機能追加および修正に伴う変更

2008.12.25 >MASCOT Basic Ver.3.0 第一版

パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更

- ・MASCOT Project Selector の追加
- ・標高地形データスムージングツールの追加 (Version3 標準・Basic オプション)
- ・その他、機能追加および修正に伴う変更

>MASCOT Energy Ver.3.0 第一版

パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更

- ・機能追加および修正に伴う変更

>MASCOT Engineering Ver.3.0 第一版

MASCOT Engineering リリース開始

- ・NEDO データベース等地域気象解析データによる任意地点の風況予測
- ・風車設置地点における設計風速の評価
- ・風車設置地点における吹上角・乱れ強度等の予測
- ・準定常理論に基づくガスト応答解析を行なうための変動風生成機能

- 2008.1.17 ➤MASCOT Basic Ver.2.0 第三版
プログラムの修正に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- ・(Engineering プロジェクト)流入境界処理方法を修正
 - ・上記の修正に伴うマニュアルの修正
- 2007.12.15 ➤MASCOT Basic Ver.2.0 第二版
プログラムの修正に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- ・(NEDO-DB コンバータ)風配が反時計回りに 1 方位ずれる瑕疵を修正
 - ・(Engineering プロジェクト)流入境界条件が正しく設定されない瑕疵を修正
 - ・上記の修正に伴うマニュアルの修正
- 2007.10.5 ➤MASCOT Basic Ver.2.0 第一版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- ・気象解析による風況データを用いた風況精査用の気流解析機能の追加
 - ・平均風速の割り増し係数と変動風速の補正係数算定用の機能の気流解析機能の追加
 - ・平均風速の割り増し係数と変動風速の補正係数算定用の機能の追加(CUI)
- MASCOT Energy Ver.2.0 第一版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- ・気象解析による風況データを用いた風況精査機能の追加
 - ・NEDO-DB Converter 機能の追加
 - ・MASCOT TSA Wizard に気象解析より得た時系列データ解析機能の追加
 - ・スラスト係数が 1.0 より大きい時に異常終了する不具合を修正
- 2007.6.6 ➤MASCOT Energy Ver.1.0 第一版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- ・ウェーク計算実行時に異常終了する不具合を修正
 - ・ウェーク計算実行後に View_Map 関連のコマンドを選択すると異常終了する不具合を修正
 - ・風速階級毎の発電量 (AEP) ネット値を表示するように修正
 - ・リソースグリッドの結果表示画面に標高コンターのプロパティを追加
- 2007.3.28 ➤MASCOT Energy Ver.0.7 第一版
MASCOT Energy マニュアル第一章の章題を修正
- 2006.10.20 ➤MASCOT Energy Ver.0.7 第一版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- ・発電量計算実行ファイルのバグ修正
 - ・ワイブル係数 k が 0.5~4.0 の範囲外のとき、[2.0]に置き換えるように修正
 - ・ワイブル係数 k が 0.5~4.0 の範囲外のとき、平均風速が計算されないバグを修正

- 2006.8.20 >MASCOT Energy Ver.0.6 第四版
第4章 Modelling (理論)
[4-1-6 風況観測データの利用]の記述変更
- 2006.7.5 >MASCOT Energy Ver.0.6 第三版
マニュアル全体
各頁の右上に章・節番号を追加
- 2006.6.16 >MASCOT Energy Ver.0.6 第二版
第1章 Getting Started (概説)
[1.6 ライセンスキーの書き換え]追加、および項番号の変更
- 2006.6.6 >MASCOT Energy Ver.0.6 第一版
MASCOT Energy の暫定版として Ver.0.6 をリリース
- 2005.2.21 >MASCOT Basic Ver.1.2 第一版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- 2004.7.12 >MASCOT Basic Ver.1.1 第一版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- 2004.3.15 >MASCOT Basic Ver.1.0 第三版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- 2004.2.20 >MASCOT Basic Ver.1.0 第二版
パッケージバージョン変更に伴い、マニュアルのバージョン番号を変更
- 2004.1.15 >MASCOT Basic Ver.1.0 第一版
MASCOT Basic リリース開始

以上



AQUATIC ZONE NETWORK co.,ltd.