

# MASCOT Typhoon<sup>Light</sup>

Microclimate Analysis System for COmplex Terrain.

ユーザーズマニュアル

Ver. 1.0

第七版



2018年11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	1-3
1-3. MASCOT Typhoon (Light) 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	1-33
1-7. 表編集の基本操作	1-35
第2章 Quick Start Tutorial (解析手順)	2-1
2-1. 例題の解説	2-2
2-2. MASCOT Typhoon (Light) による割増係数の算定手順	2-3
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)	3-4
第4章 Modelling (理論)	4-1
4-1. 台風シミュレーション手法の流れ	4-2
4-2. 台風データベースの概要	4-3
4-3. 台風パラメータの確率分布の推定	4-4
4-4. 台風の発生	4-7
4-5. 上空風の推定	4-9
4-6. 一様粗度上の風向・風速の算定	4-10
4-7. 実地形上の風向・風速の算定	4-11
4-8. 台風シミュレーションによる平均風速の地形による割増係数の評価	4-13
第5章 Data Format (データフォーマット)	5-1
5-1. MASCOT Typhoon (Light) ファイルフォーマット	5-2
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 といいます。）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

- ① 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。
- ② 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

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 本契約は、上記②または③により終了するまで有効に存続します。上記②または③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。
- ⑤ 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。

Windows7/8/10 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。

Adobe、Adobe ロゴ、Acrobat、Photoshop および PostScript 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/mascot/>

E-Mail : [mascot\\_support@aquanet21.co.jp](mailto:mascot_support@aquanet21.co.jp)

FAX : 03-5667-6889

電話でのお問い合わせは受け付けておりません。

※ MASCOT をご使用になる上で、以下の注意事項が御座います。

1. MASCOT は、気流解析や風力発電など、風況解析における基本的な知識が必要になります。風況解析に関する情報の提供や教育に関しては一切行っておりません。
2. MASCOT はサポート料を含んでおりません。  
不具合に関するお問い合わせに関しましては受け付けておりますが、業務に関わる技術的なご質問に関しては有償となります（別途見積り）。



# 第1章 Getting Started (概説)

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

第1章 Getting Started (概説)	1-1
1-1. はじめに	1-2
1-1-1. MASCOT について	1-2
1-1-2. MASCOT Typhoon (Light) の主要な機能について	1-2
1-1-3. MASCOT の使用について	1-2
1-2. マニュアルの表記について	1-3
1-2-1. メニュー・コマンド・ツールボタン等の表記	1-3
1-2-2. キーの表記	1-3
1-2-3. マウス操作の表記	1-3
1-2-4. その他の表記	1-3
1-2-5. ウィンドウの表記	1-4
1-3. MASCOT Typhoon (Light) 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. アンインストール	1-31
1-6. アプリケーションの起動と終了	1-33
1-6-1. 起動	1-33
1-6-2. 終了	1-34
1-7. 表編集の基本操作	1-35

## 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、MASCOT Engineering および MASCOT Typhoon (Light) の4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<sup>※)</sup>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。

MASCOT Typhoon (Light) は、台風モンテカルロシミュレーションおよび Engineering による平均風速の地形による割増係数を基に、指針に準拠した風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数を算定します。

※) NEDO：独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

※) 指針：社団法人土木学会、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2010年版]

### 1-1-2. MASCOT Typhoon (Light) の主要な機能について

MASCOT Typhoon (Light) の主要な機能を以下に示します。

- ・ データベースによる全国任意地点の台風最接近パラメータの抽出
- ・ 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
- ・ 解析地点、風向別風速比・風向偏角などの入力表示
- ・ 台風最接近パラメータの確率分布推定結果などの表示
- ・ モンテカルロ法による台風最接近パラメータの人工的に擬似台風を発生結果等の表示
- ・ 指針に準拠した風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数および照査対象風向の算定

### 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) メニューの[Edit]-[Casefile]を選択し、[Edit Casefile]ダイアログを表示します。

[Edit Casefile]ダイアログの、[Wind Direction]を変更し、<OK>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 8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。

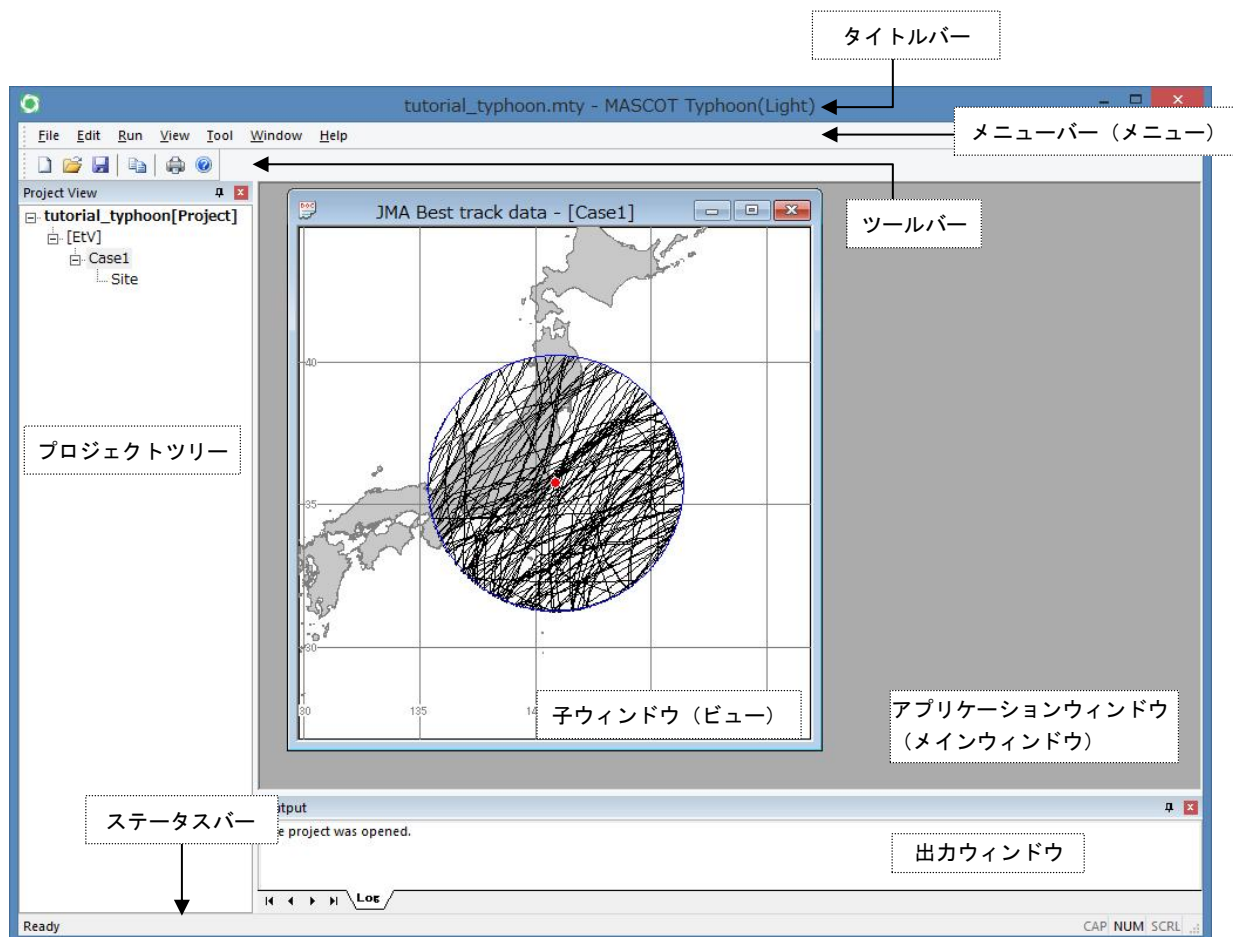
本マニュアルでは、特に配慮が必要な場合を除き、これらの差異についての記述はしていません。



## 1-2-5. ウィンドウの表記

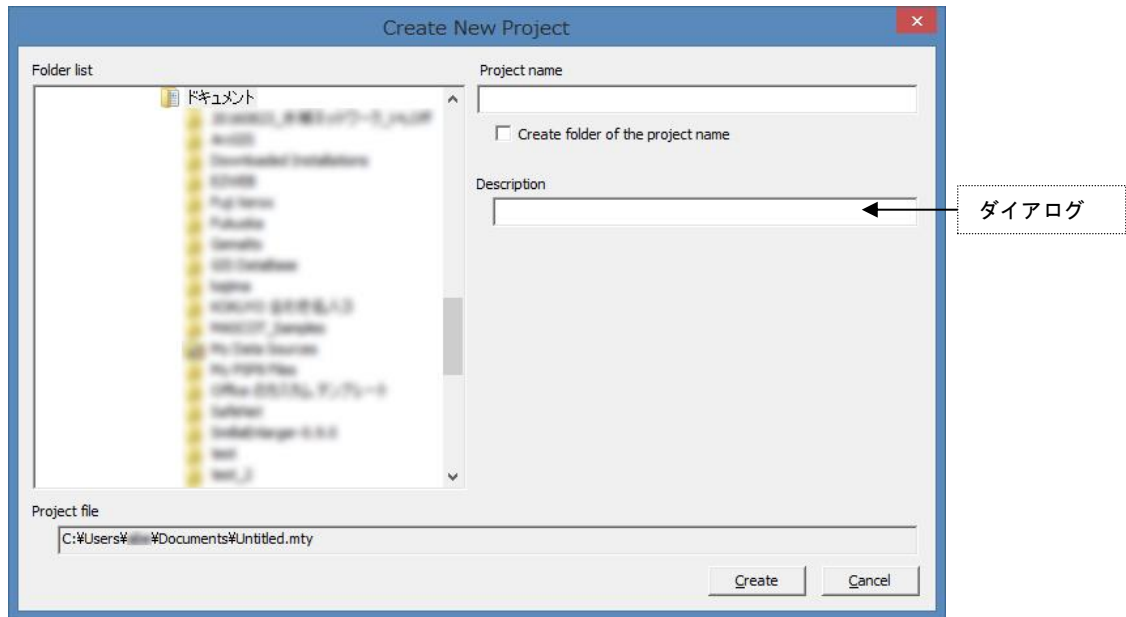
## ・ ウィンドウ

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。



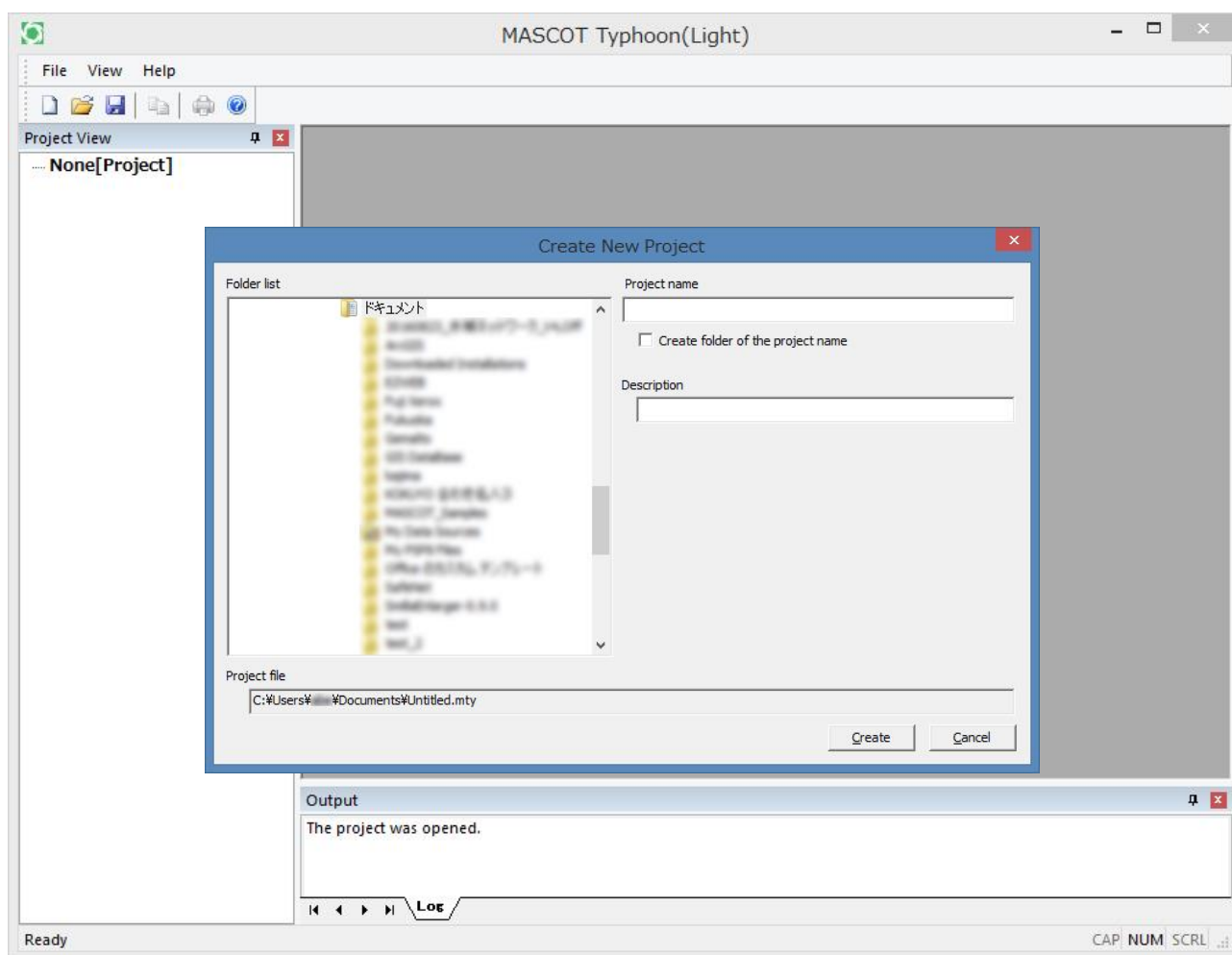
## • ダイアログ

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。

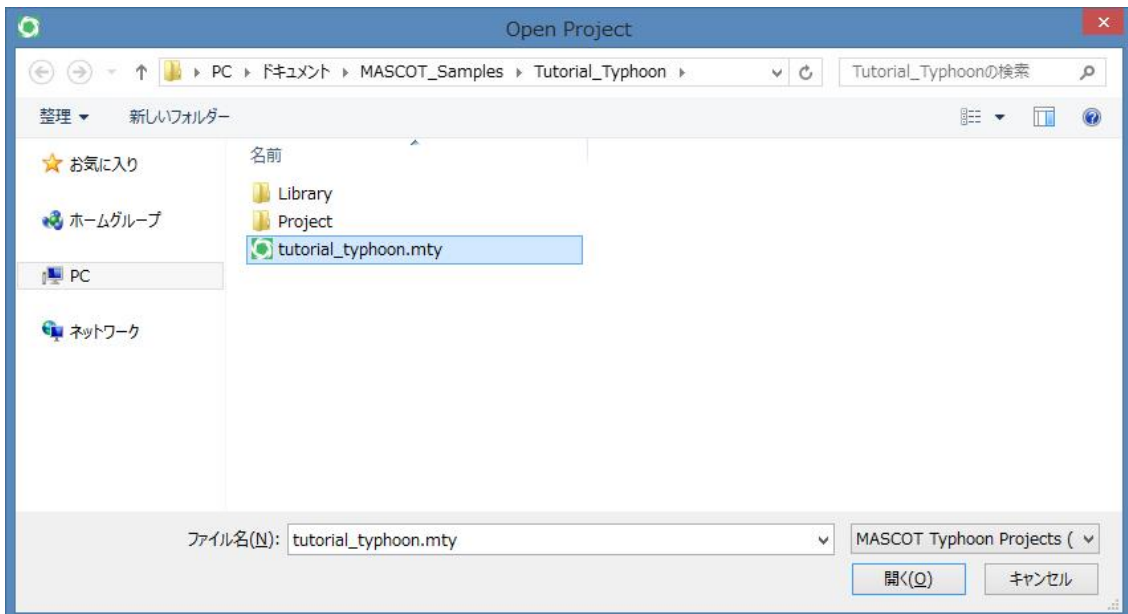
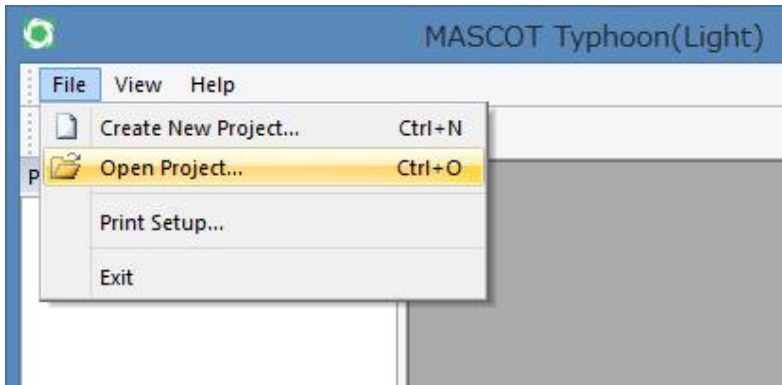


### 1-3. MASCOT Typhoon (Light) におけるプロジェクトとは

- 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] - [Typhoon] - [MASCOT Typhoon (Light) ] を起動し、[File]- [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、[すべてのプログラム] - [MASCOT] - [Typhoon] - [MASCOT Typhoon (Light)] を起動し、[File]-[Open Project] メニューを選択し、次画面を表示してプロジェクトファイルを選択して<開く>をクリックします。



## 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)
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」権限で行ってください。
  - ・ 既に MASCOT Basic デモ版をインストールしている場合は、MASCOT Basic デモ版をアンインストールしてからインストールしてください。
  - ・ 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」権限で行ってください。  
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 以降を使用している場合のご注意>

- ・ Windows Vista 以降では“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 以降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、追加で導入していただいたモジュールを所有されているライセンス・キー（USB キー）で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。

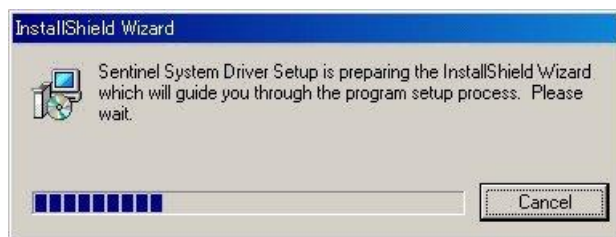
※書き換え手順は、1-5-7. ライセンス・キーの書き換えを参照

6. 以上で、インストールは完了です。



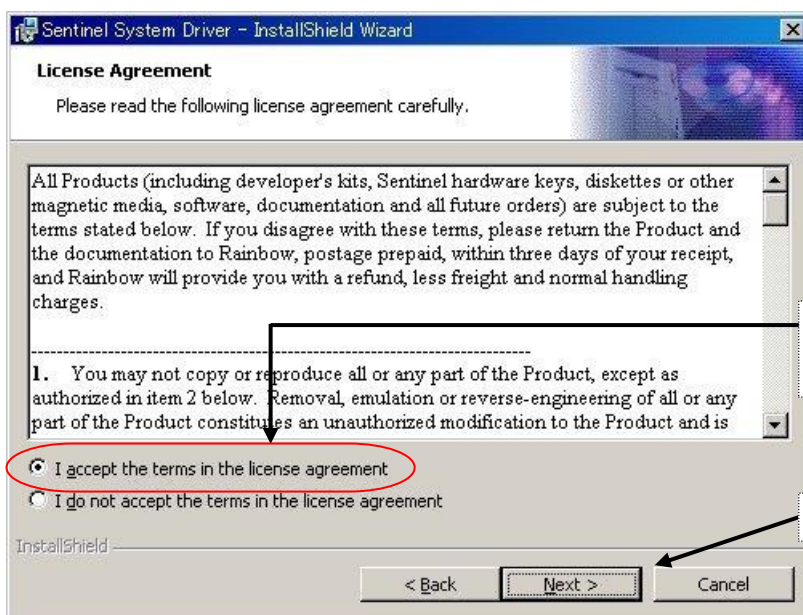
## 1-5-3. ライセンス・キー・ドライバのインストール

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。

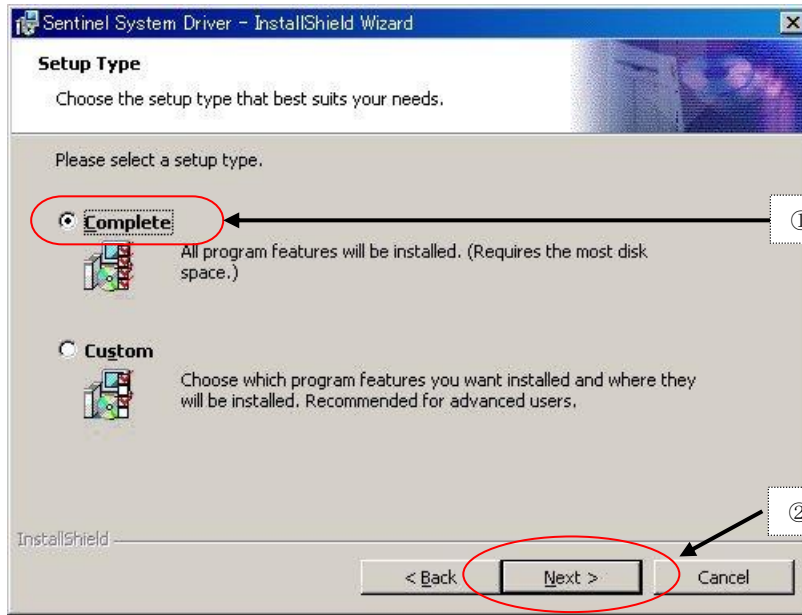
- 2.



① [I accept the terms in the license agreement]を選択します。

<Next>をクリックします。

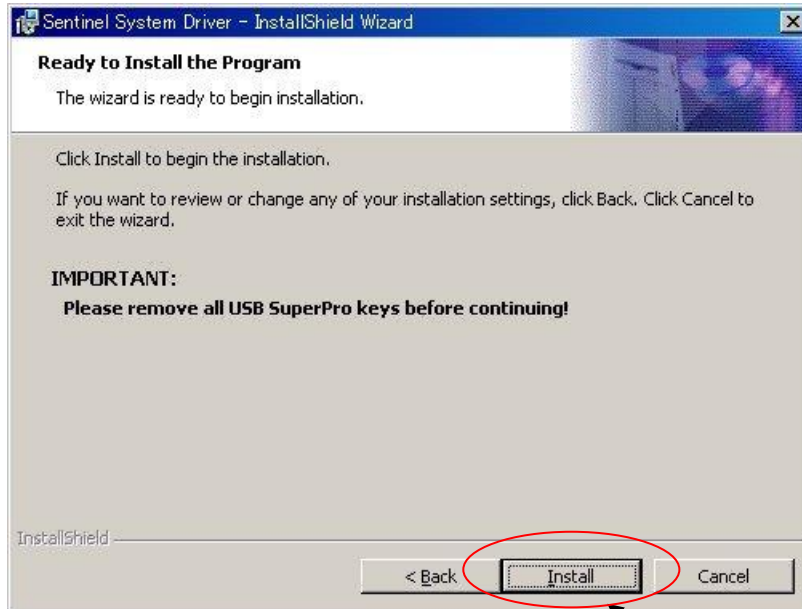
3.



① [Complete]を選択します。

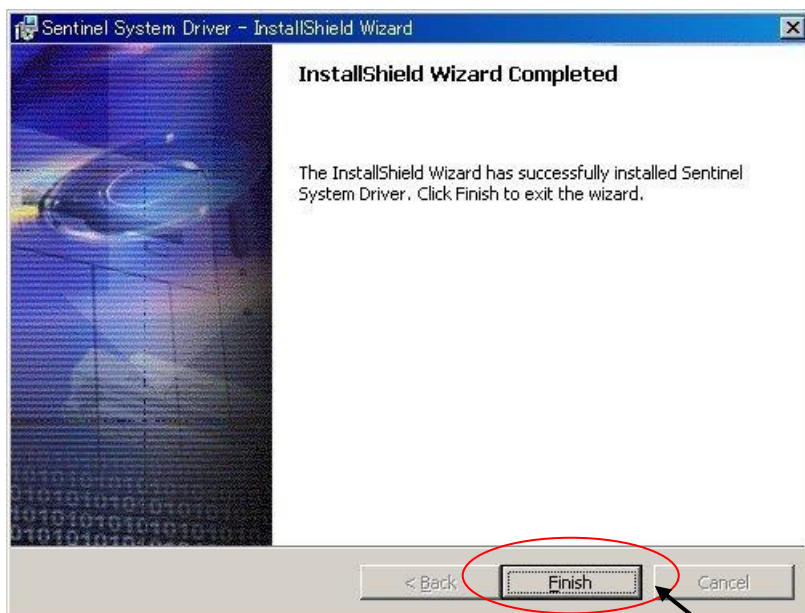
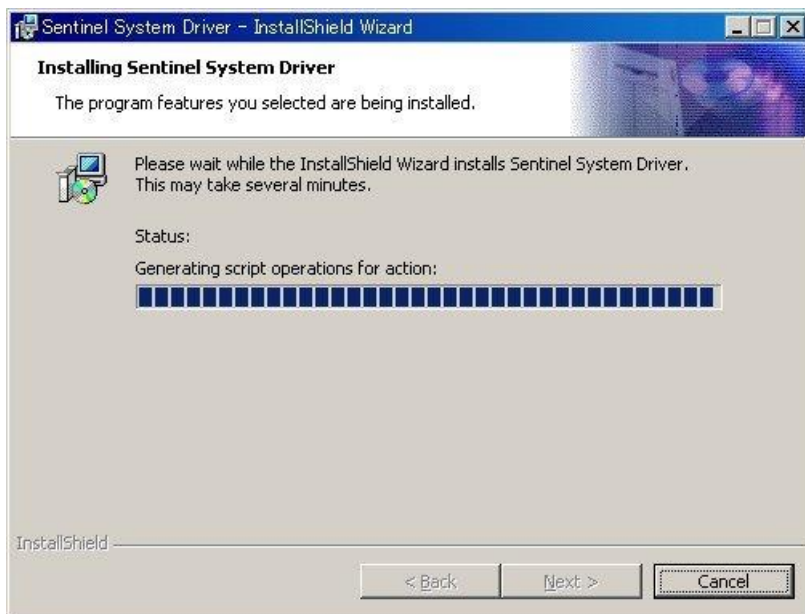
② <Next>をクリックします。

4.



<Install>をクリックします。

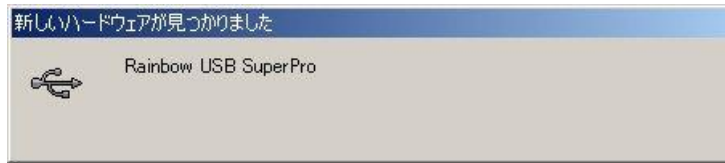
5.



<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。

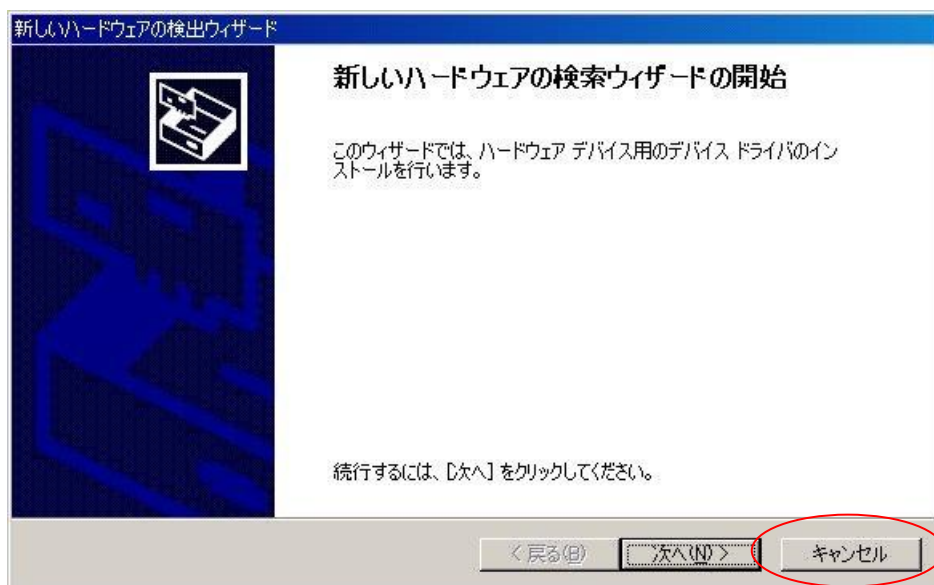


Windows がライセンス・キーの認識を自動的に行います。

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。

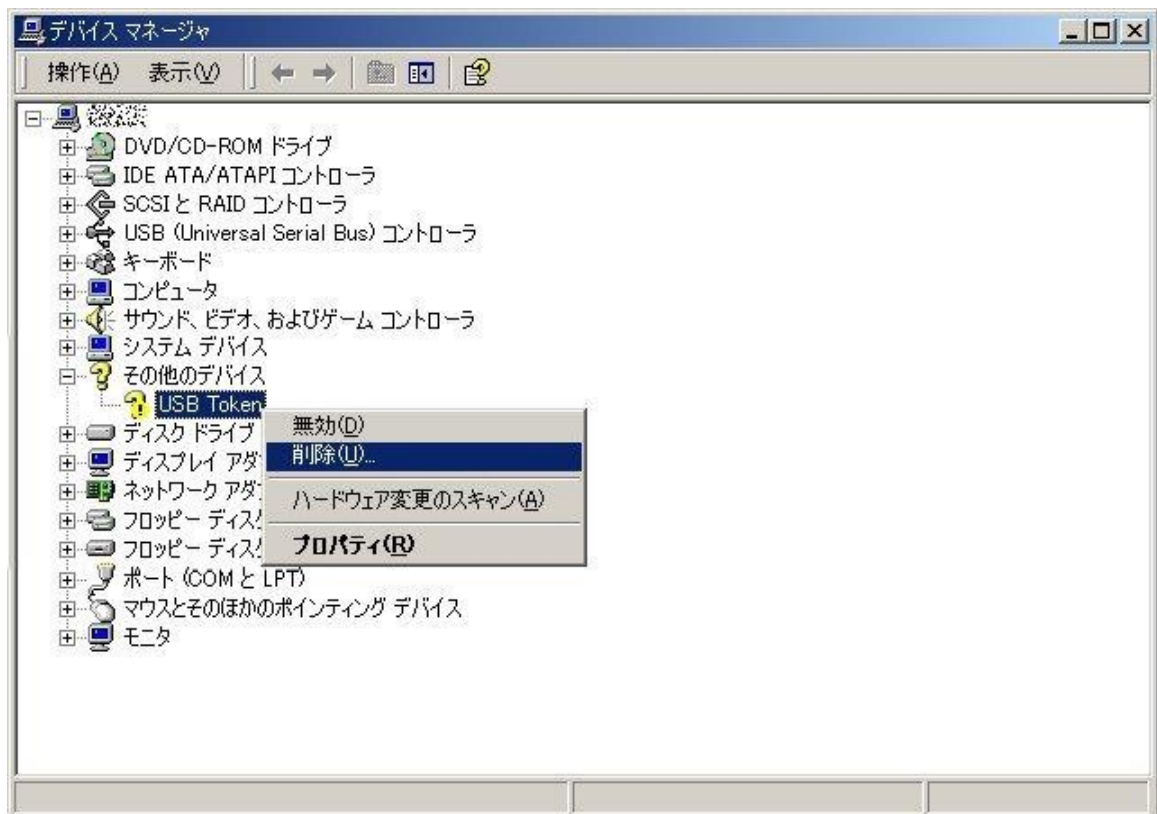
### 1-5-5. ライセンス・キーが認識されない場合

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。

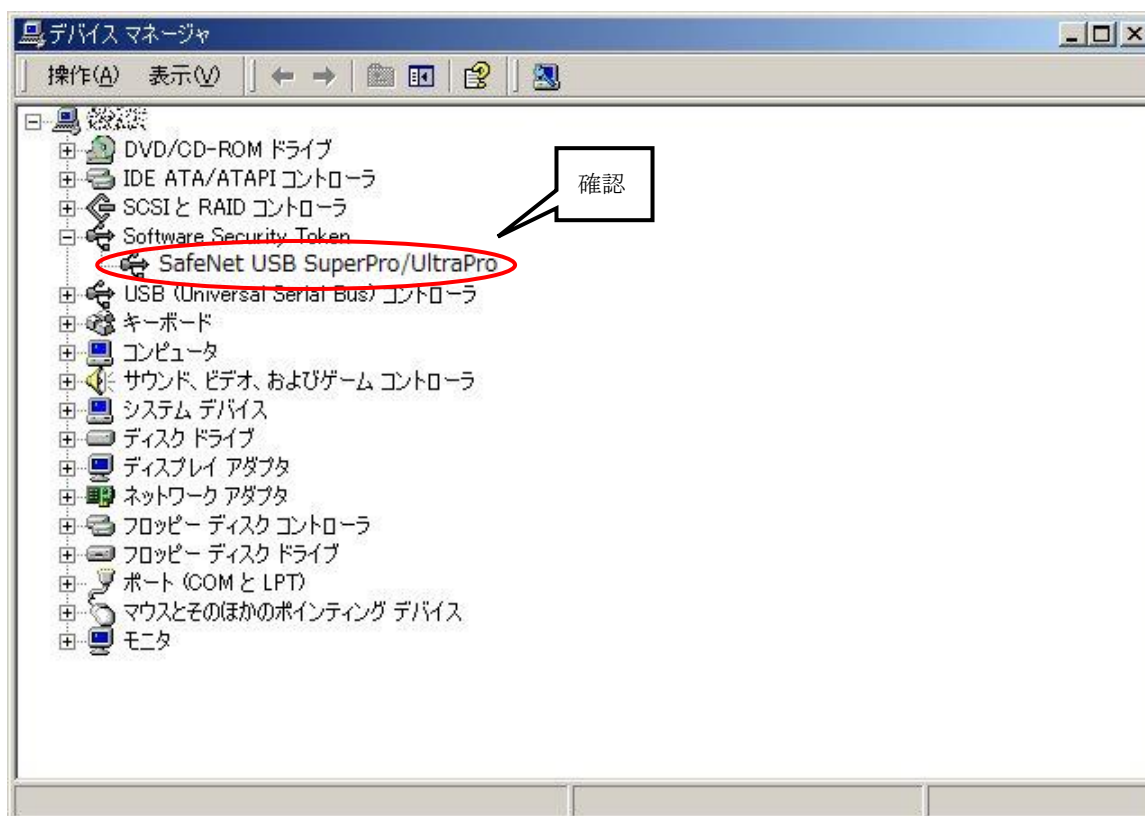
この場合は、次の手順で誤認識したドライバを削除し、再起動することによって解消できます。

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）。



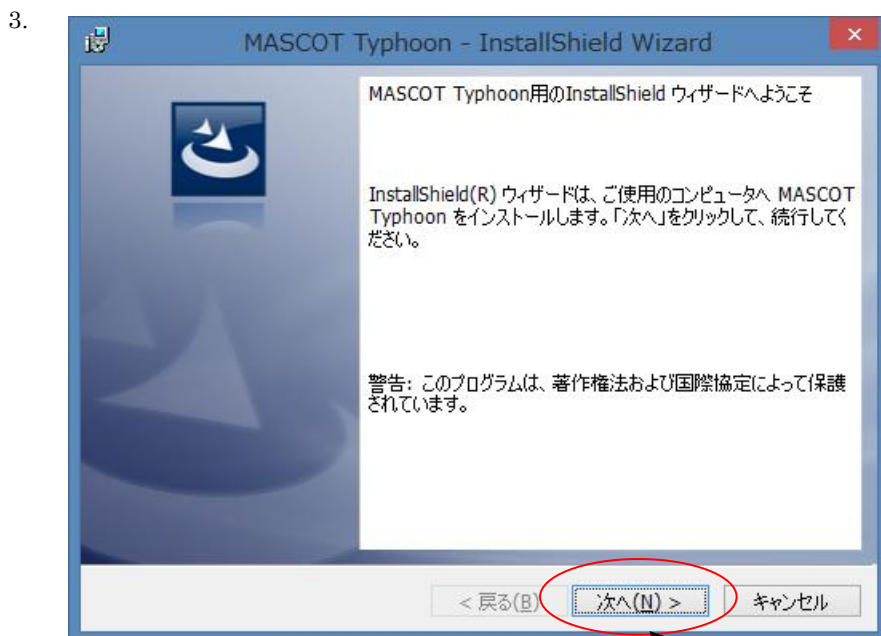
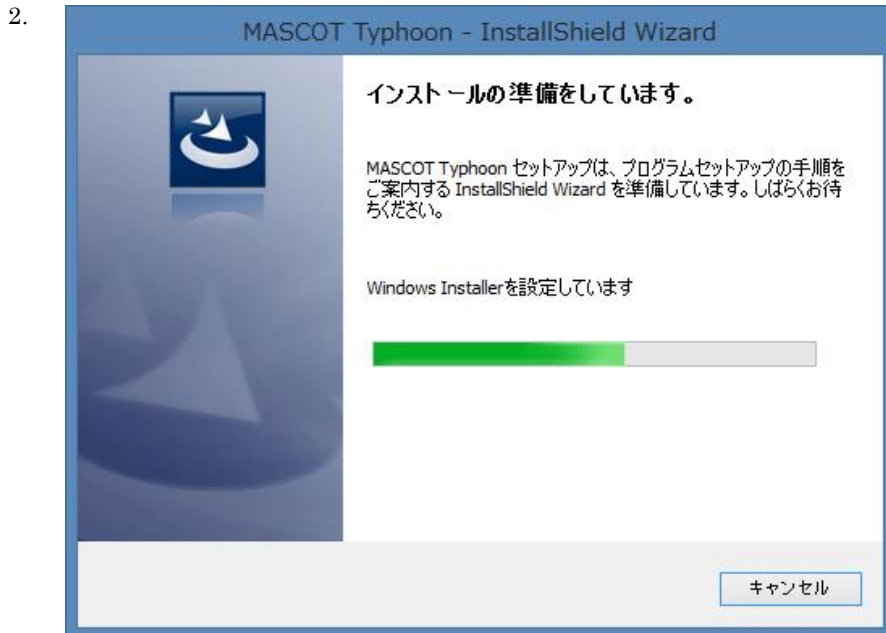
3. ライセンス・キーを PC から取り外し、PC を再起動します。
4. PC が起動したら、[Administrator]権限を持つユーザー名で、ログインします。
5. ライセンス・キーを PC に接続します。正しいドライバのインストールを開始しますので、ウィンドウの指示に従い、進めて下さい。
6. 終わりましたら、再度[デバイスマネージャ]を起動し、ドライバが正しく認識されたかを確認します。次図のようにドライバが組み込まれていましたら、正常です。





## 1-5-6. アプリケーションのインストール

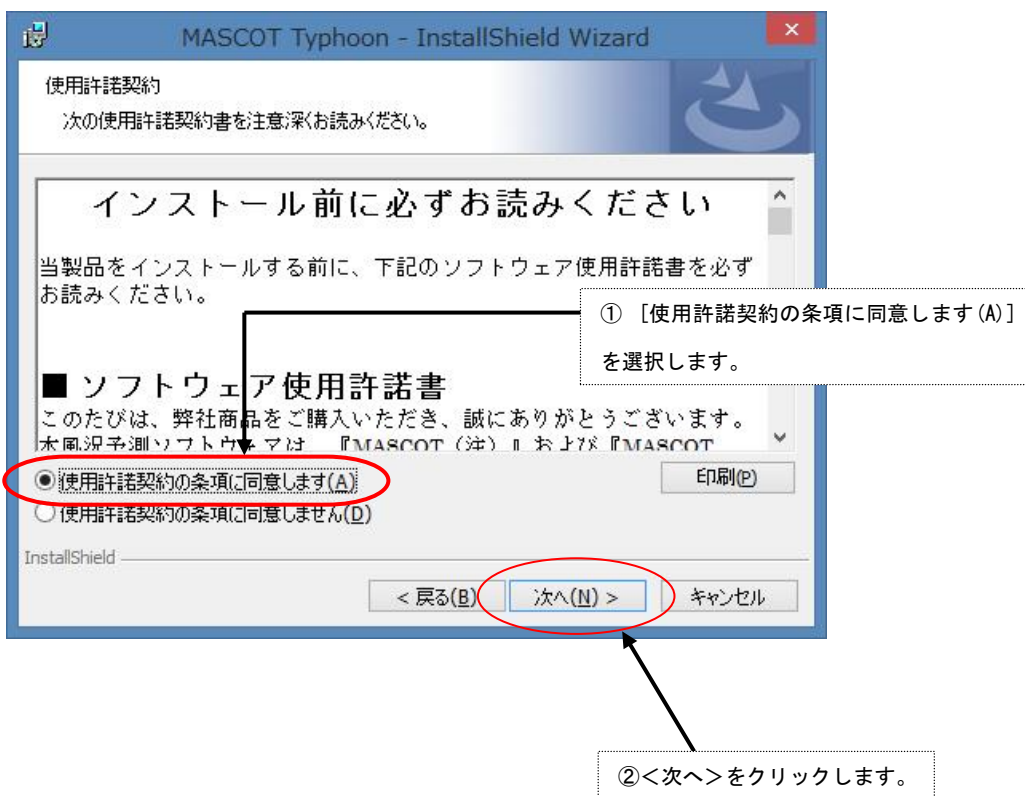
1. セットアップランチャーのタイトルメニューより、<Install MASCOT>を押すと、「MASCOT」アプリケーション本体のインストールウィザードが起動します。



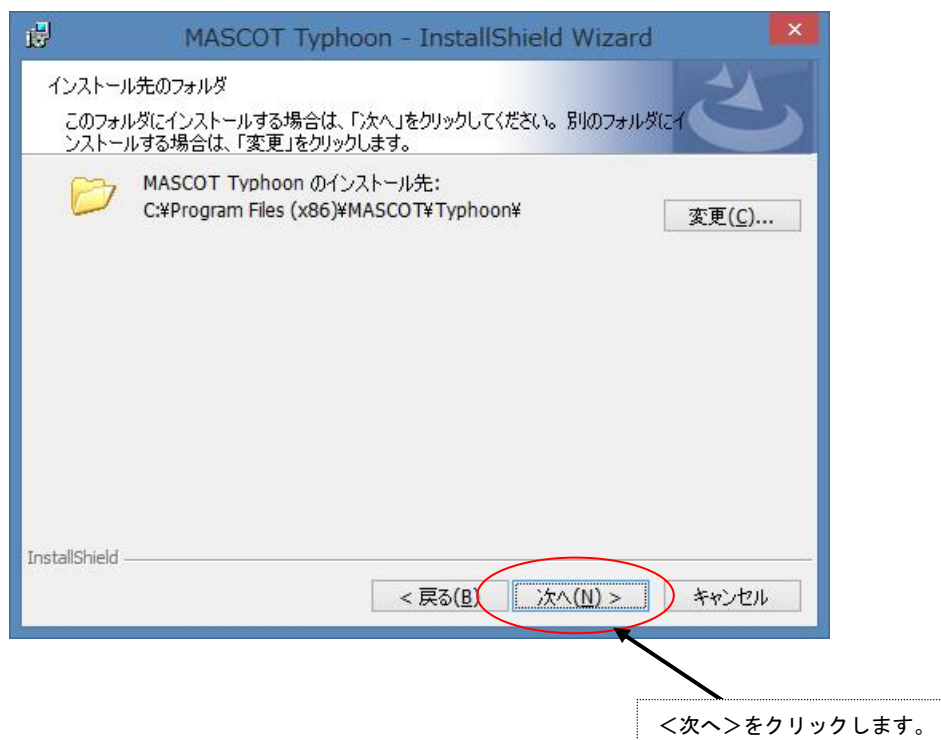
<次へ>をクリックします。



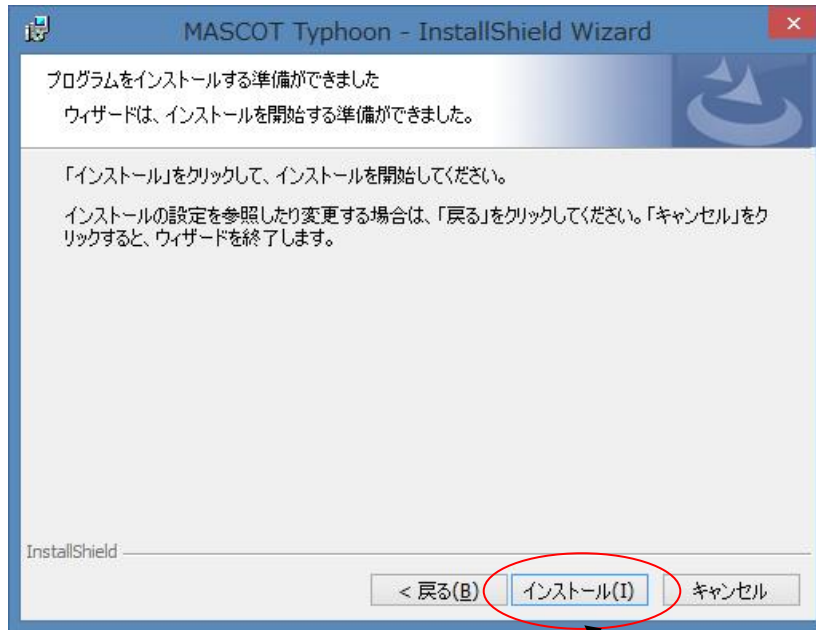
4.



5.

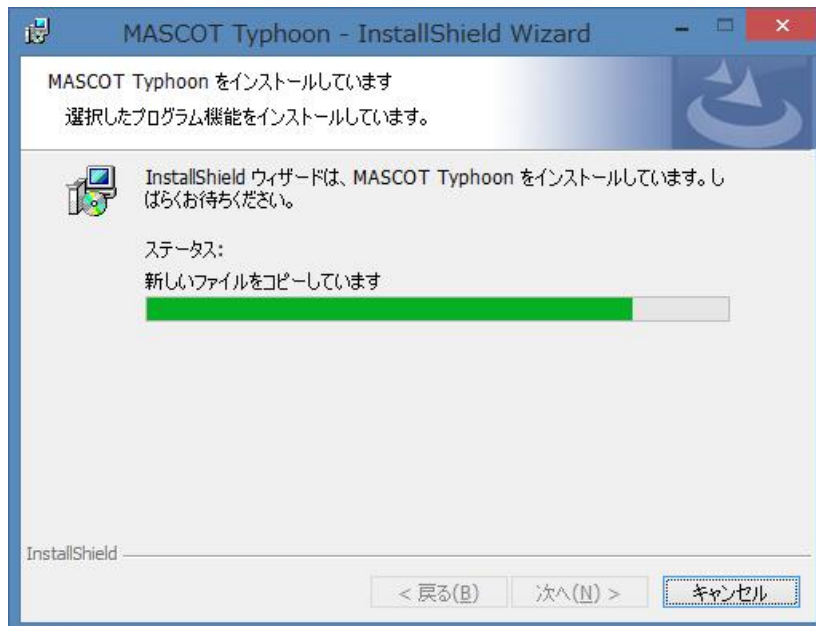


6.



<インストール>をクリックします。

7.





9. 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 Version4」以前のライセンス・キー（USB キー）で、「MASCOT Typhoon (Light)」をご使用いただくなど、MASCOT のモジュールを追加導入していただいた際には、ライセンス内容を書き換える必要があります。

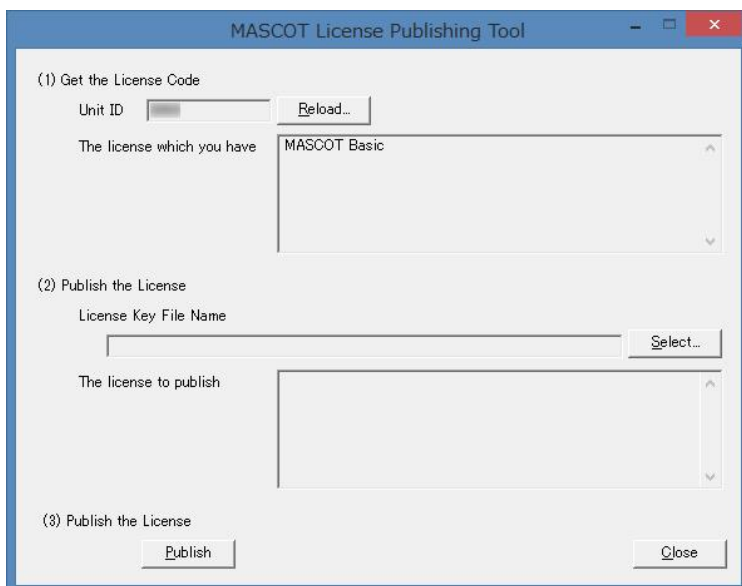
以下の手順に従い、書き換え作業を行ってください。

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。

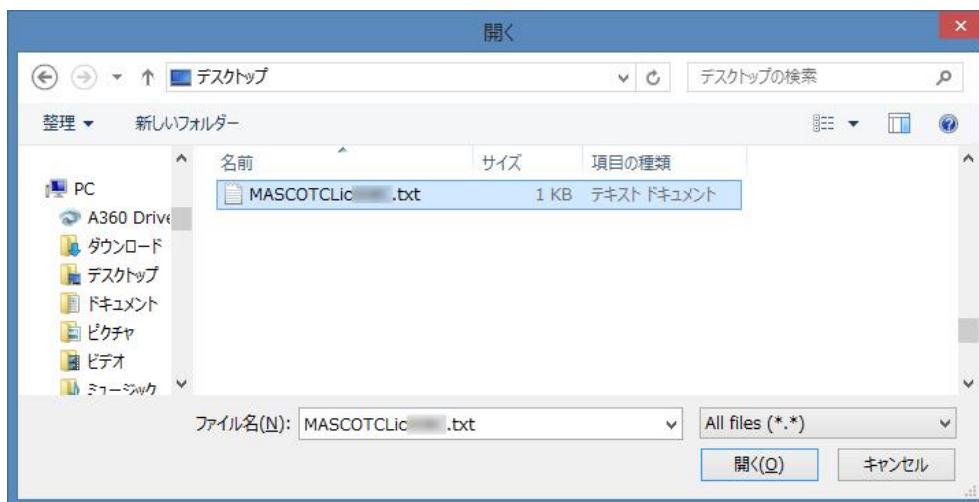
※ エラーが表示される場合は「1-5-8. ライセンス・キー書き換えツール起動時にエラー表示される場合」を参照してください。



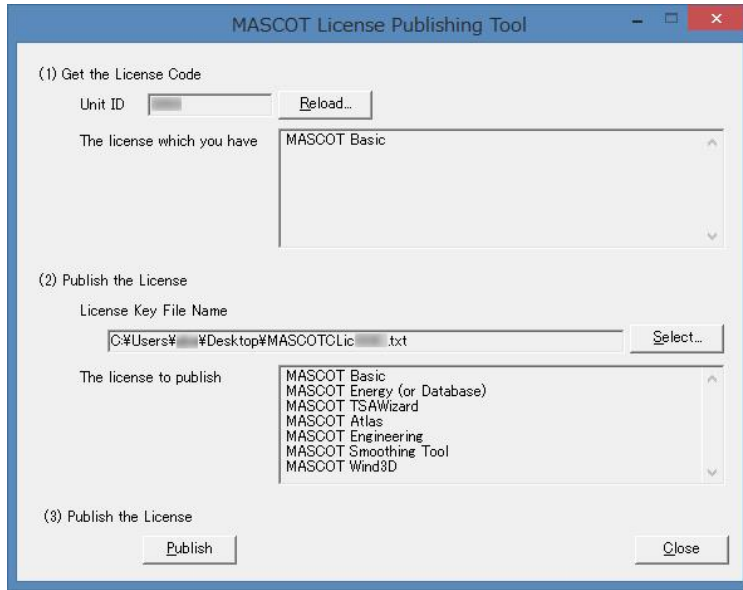
3. [Unit ID]が表示されていない場合は、<Reload>をクリックしてください。  
現在ライセンスされている製品名が[The license which you have]に表示されます。



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。

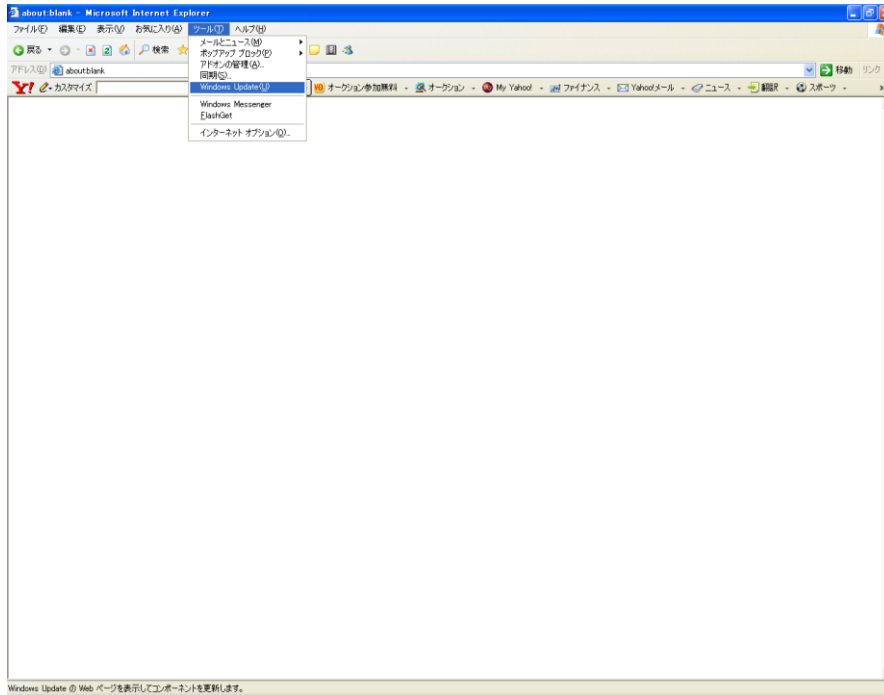


## 1-5-8. ライセンス・キー書き換えツール起動時にエラー表示される場合

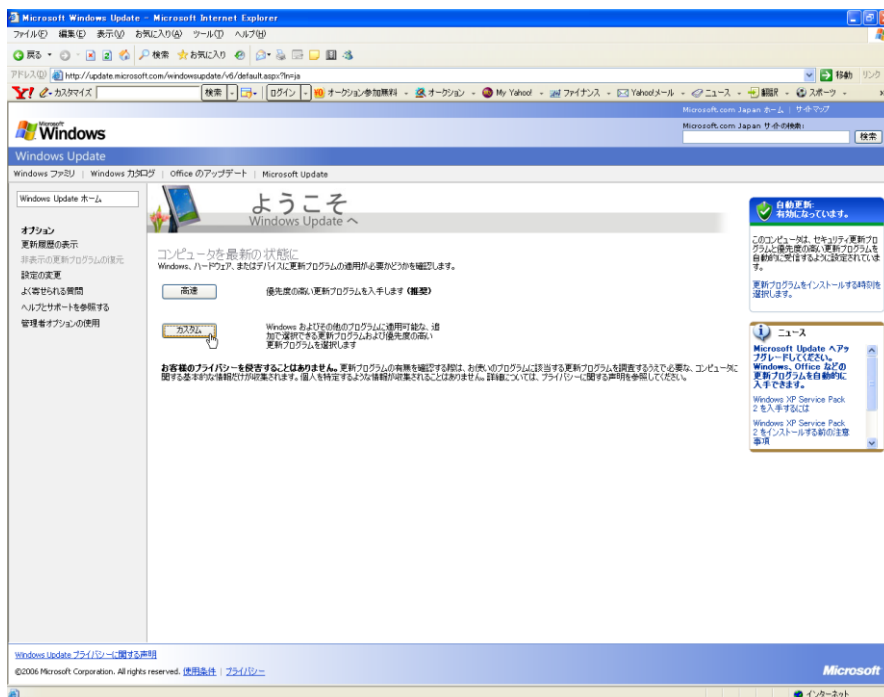
ライセンス・キー書き換えツール起動時にエラー表示される場合は以下の手順で [Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版] 以降をインストールしてください。

[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。

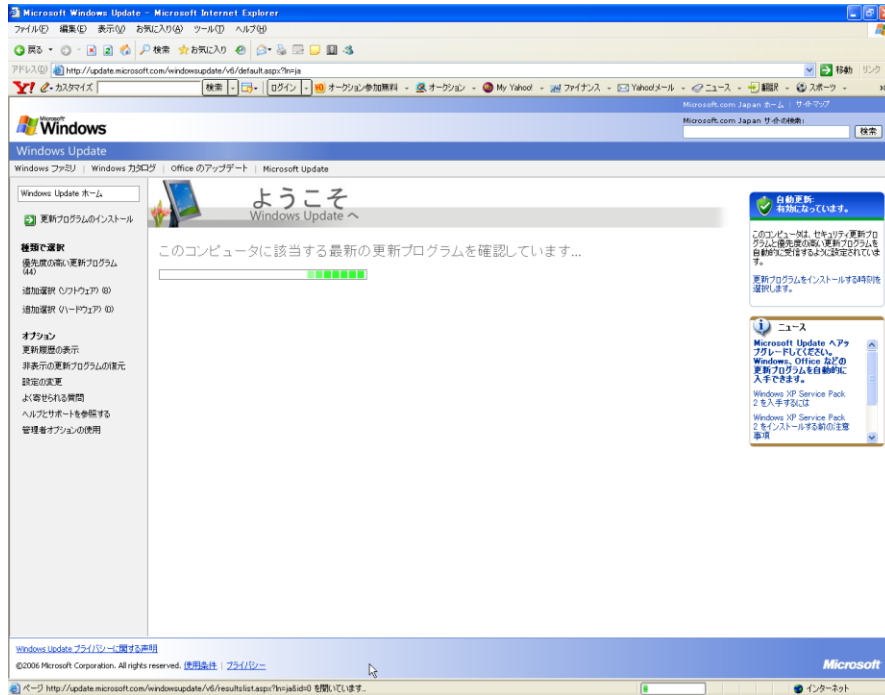
1. インターネットエクスプローラを起動し、[ツール]-[Windows Update]をクリックします。



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。

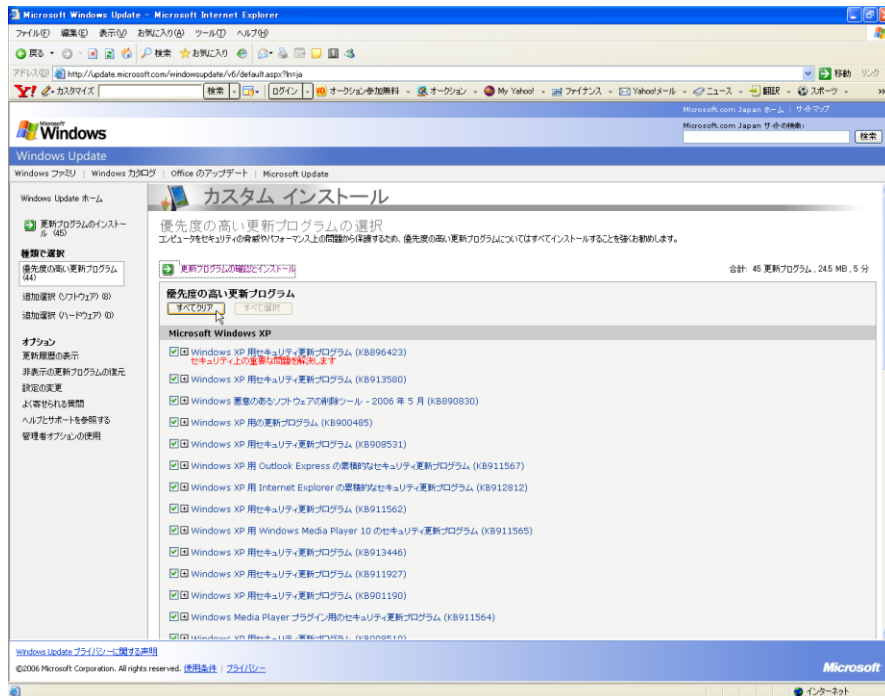


3. お使いの PC の更新プログラムの確認が行われます。



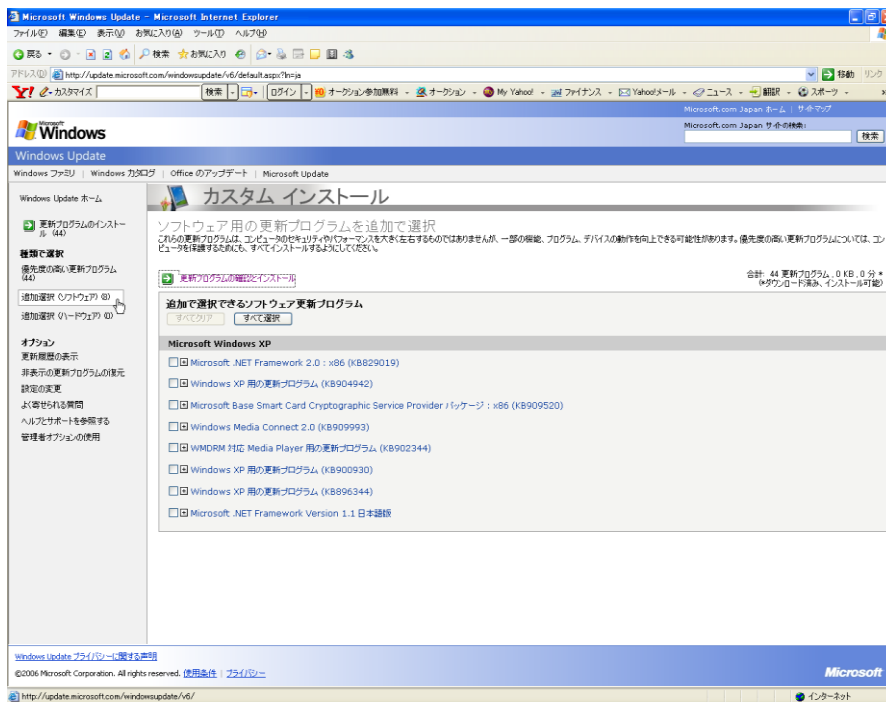
4. 左のフレームで[優先度の高い更新プログラム]が選択されていることを確認し、<すべてクリア>をクリックします。

※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。

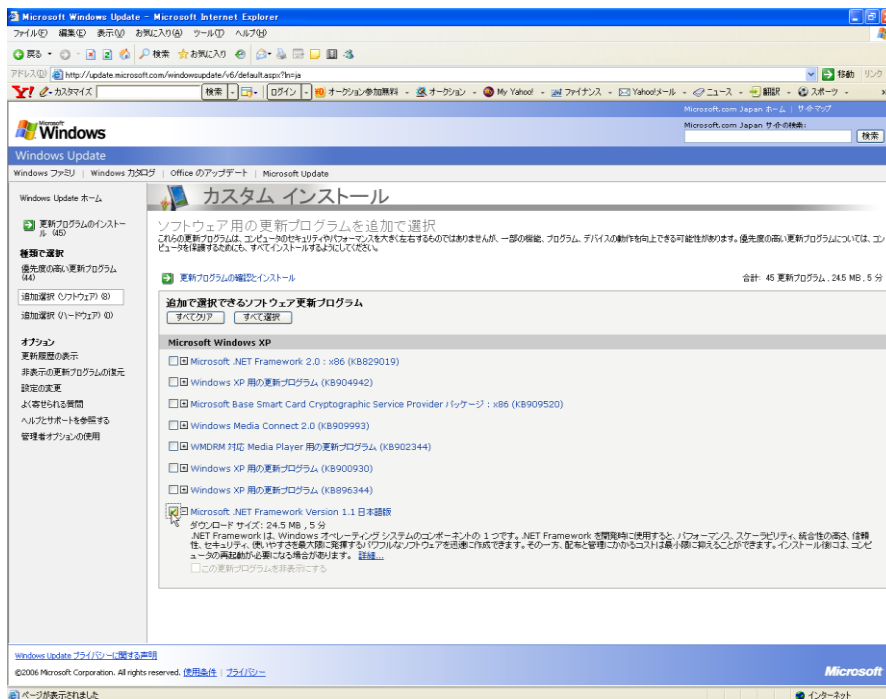




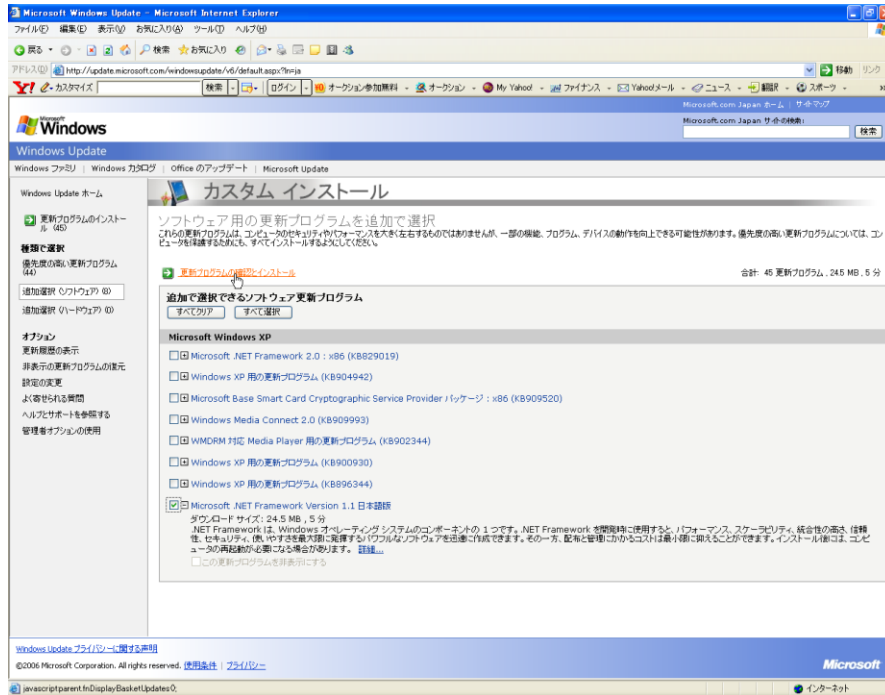
5. 左のフレームで[追加選択 (ソフトウェア)]が選択を選択し、[追加で選択できるソフトウェア更新プログラム]一覧を表示します。



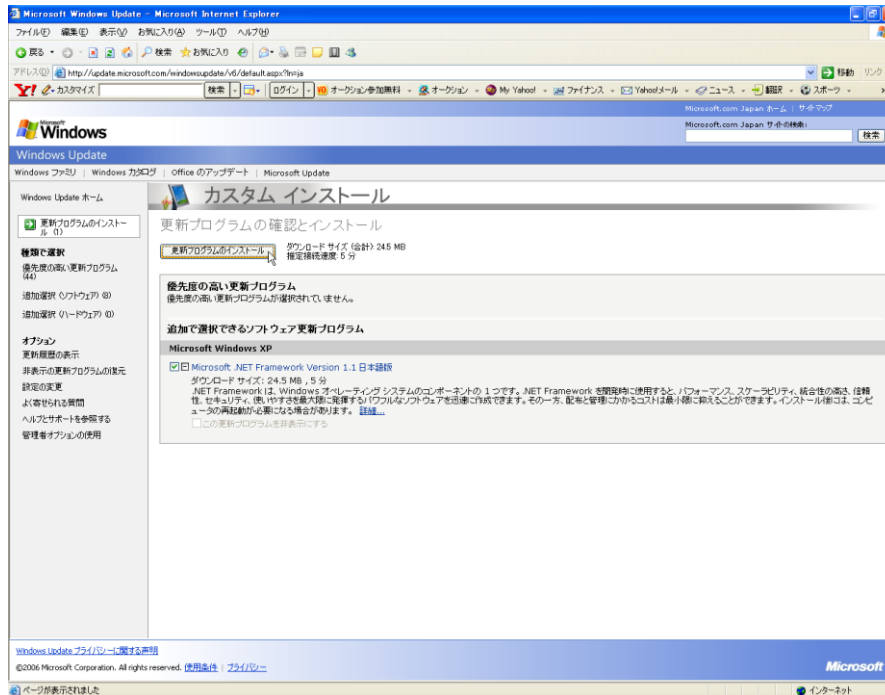
6. [Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]以降を選択します。



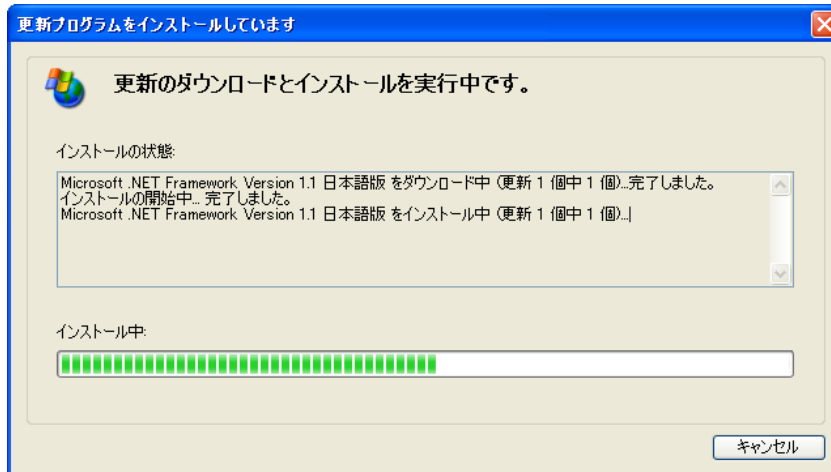
7. [更新プログラムの確認とインストール]をクリックします。



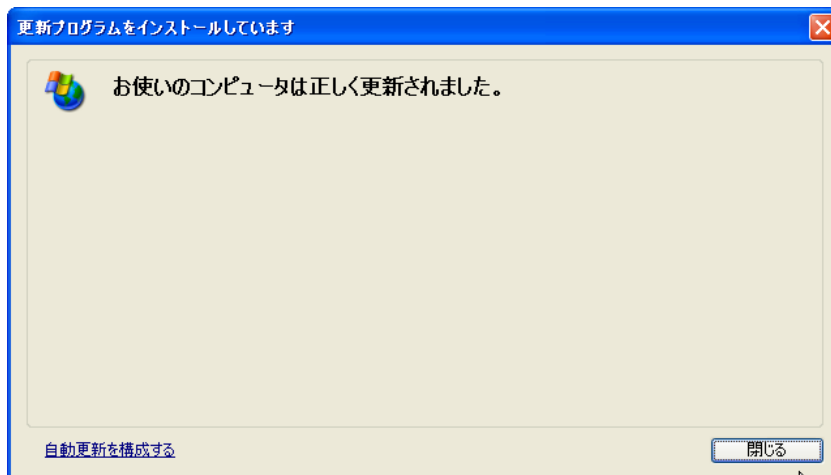
8. [Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]以降が選択されていることを確認し、<更新プログラムのインストール>をクリックします。



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。

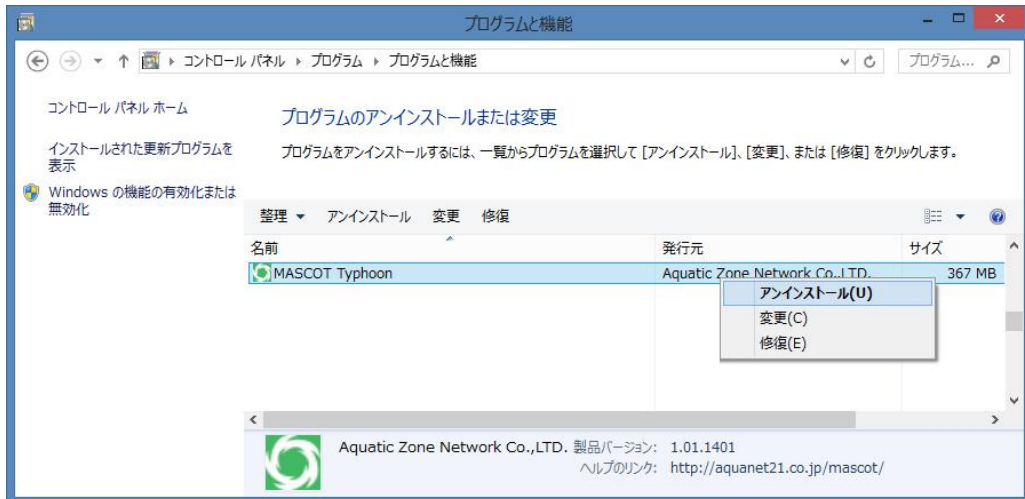


**重要 : [Microsoft .NET Framework Version 1.1 日本語版]以降のインストールに関する障害等については対応いたしかねますのでご了承ください。**

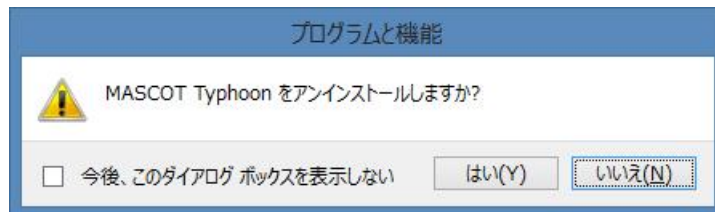
## 1-5-9. アンインストール

## &lt;アプリケーションのアンインストール&gt;

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 Typhoon]を選択し、<アンインストール>を押します。



4. 削除の確認を問い合わせてきますので、<はい>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。

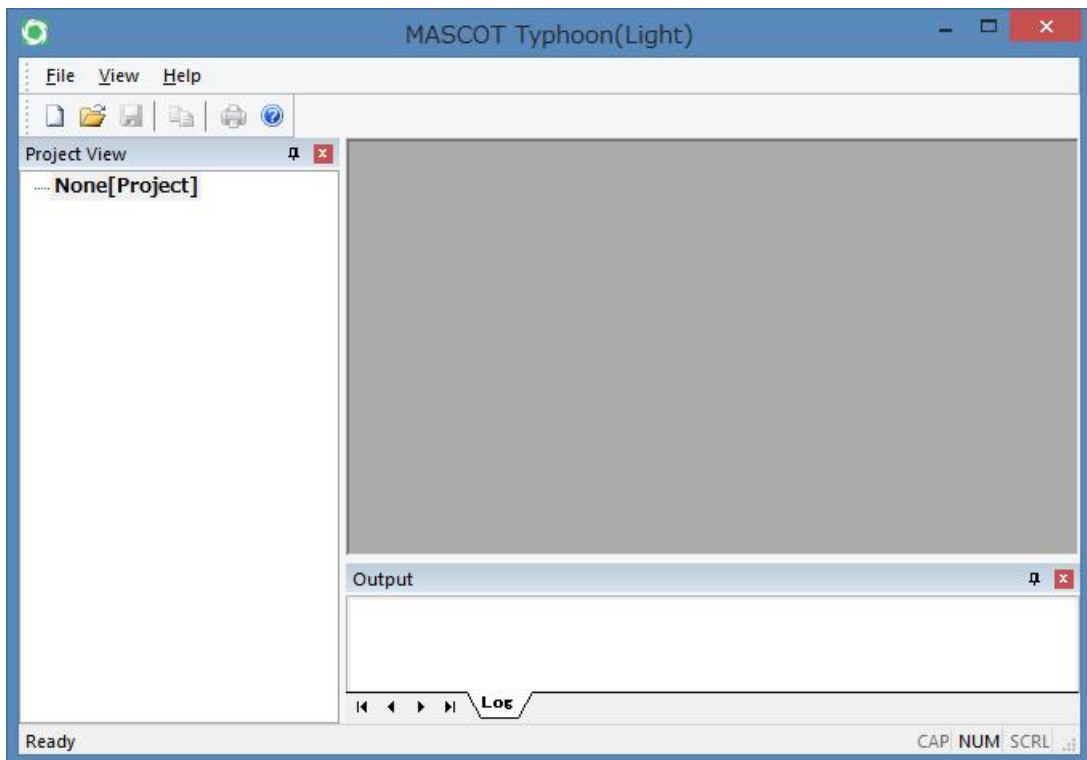
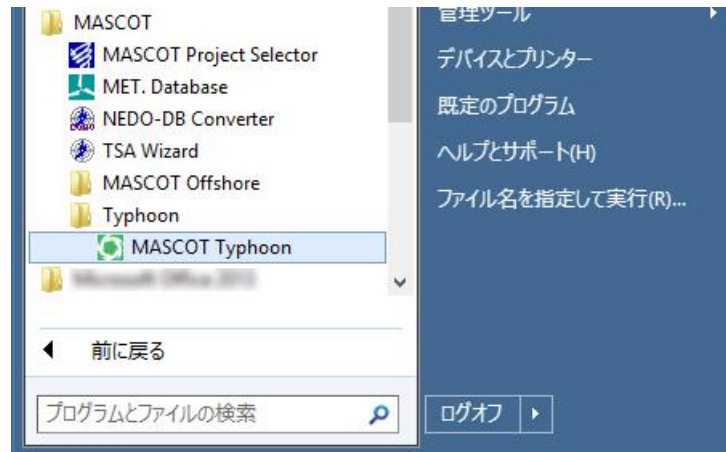
**<プロテクト・キー・ドライバのアンインストール>**

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。


## 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]-[Typhoon]-[MASCOT Typhoon]のメニュー画面より、MASCOT Typhoon(Light)を起動します（下記の流れ図を参照）。



## 1-6-2. 終了

MASCOT Typhoon(Light)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 Typhoon(Light)を終了します。

## 1-7. 表編集の基本操作

## &lt;キーと動作の対応&gt;

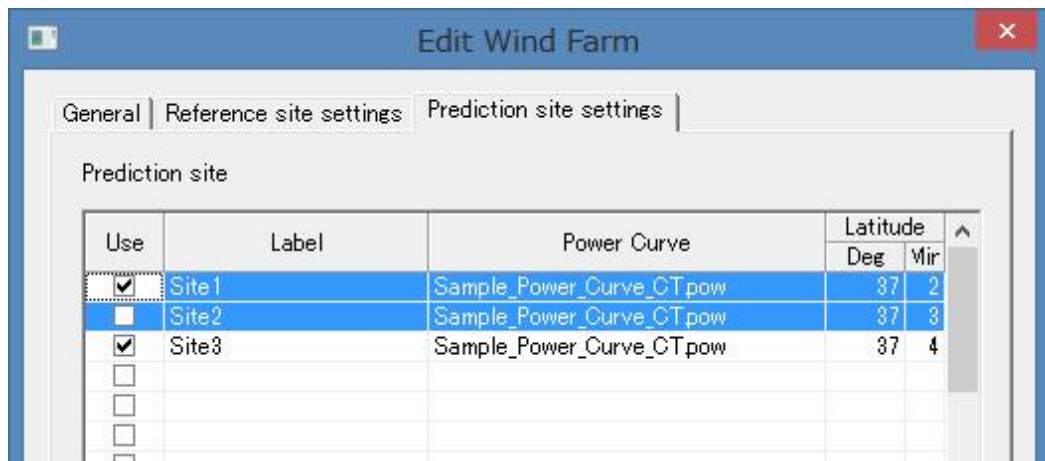
キー	動作
「Ctrl+Insert」	行挿入
「Ctrl+Delete」	行削除
「Ctrl+C」	選択部分をコピー
「Ctrl+V」	コピーした内容を挿入
「Ctrl+E」	コピーした内容を貼り付け

## &lt;操作例：行コピー&gt;

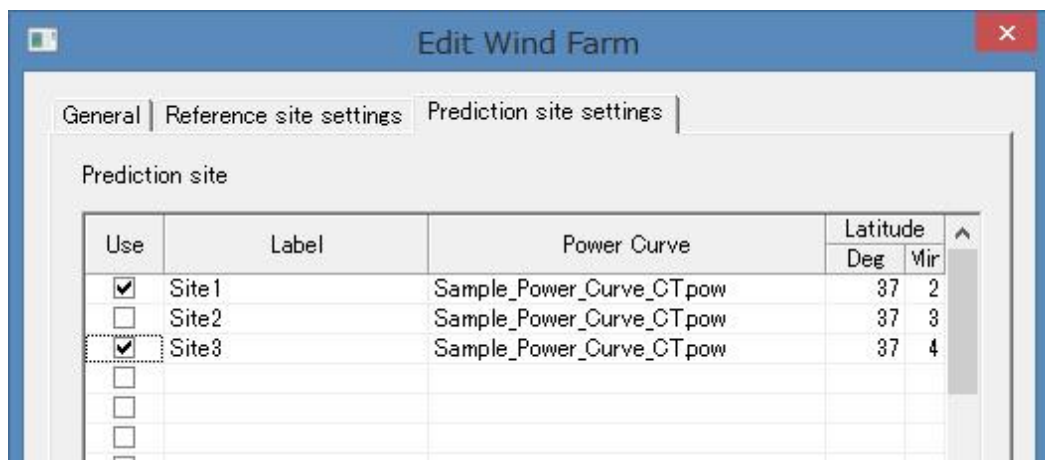
1. コピーしたい行をマウスでドラッグして選択

選択された行が反転表示される

「Ctrl+C」を押します

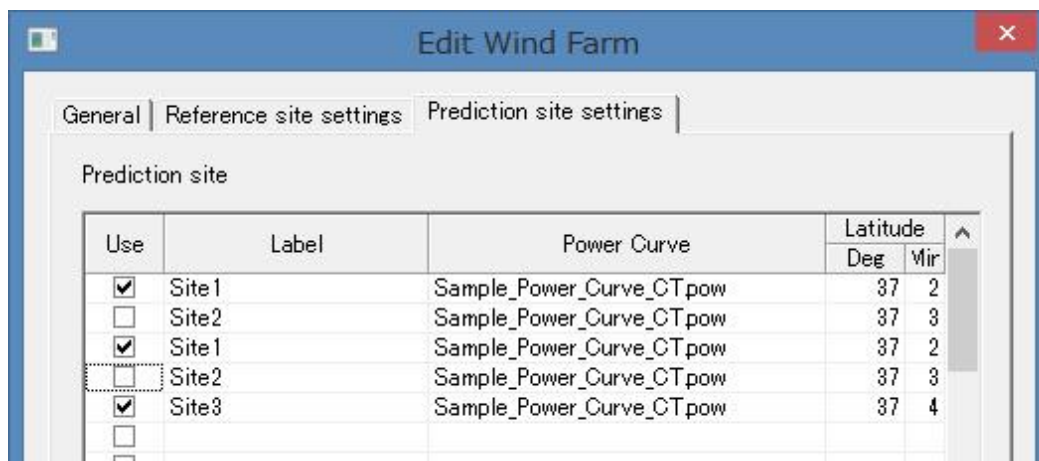


2. 挿入したい行をマウスで選択

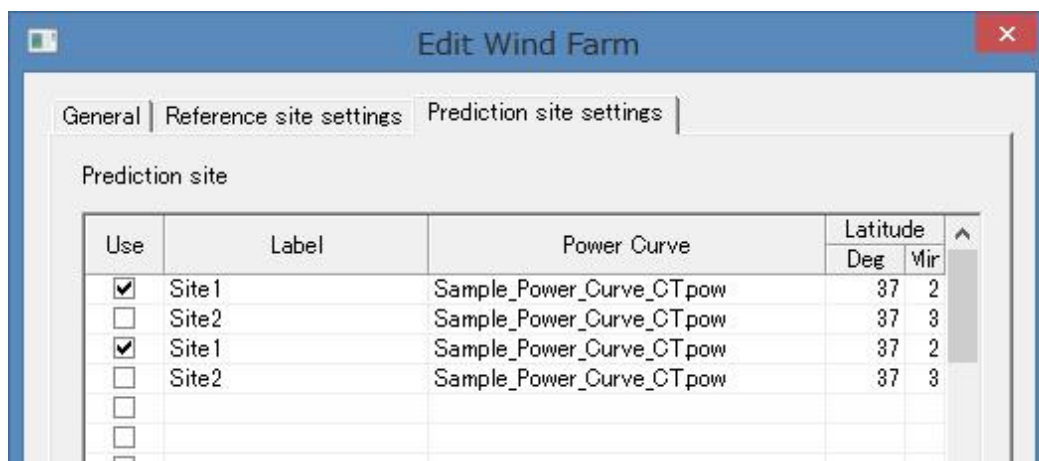




3. 行追加の場合 : 「Ctrl+V」 を押します



4. 行上書きの場合 : 「Ctrl+E」 を押します





## 第2章 Quick Start Tutorial (解析手順)

本章では、MASCOT Typhoon (Light) 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。

第2章 Quick Start Tutorial (解析手順) .....	2-1
2-1. 例題の解説 .....	2-2
2-2. MASCOT Typhoon (Light) による割増係数の算定手順 .....	2-3
2-2-1. MASCOT Typhoon (Light) の起動 .....	2-4
2-2-2. プロジェクトの作成 .....	2-5
2-2-3. 台風データベース情報の登録 .....	2-7
2-2-4. 解析地点毎の風速比等の登録 .....	2-8
2-2-5. 計算条件の設定 .....	2-11
2-2-6. 解析の実行 .....	2-13
2-2-7. 解析結果の表示 .....	2-14

## 2-1. 例題の解説

MASCOT Typhoon (Light) による風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数の算定を下図に示す千葉県銚子半島にハブ高さ 100.0m の風車を建設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\_typhoon”とし、プロジェクトの作成場所は“C:\¥ tutorial”とします。



図 2-1 割増係数算定の例題地点

## 2-2. MASCOT Typhoon (Light) による割増係数の算定手順

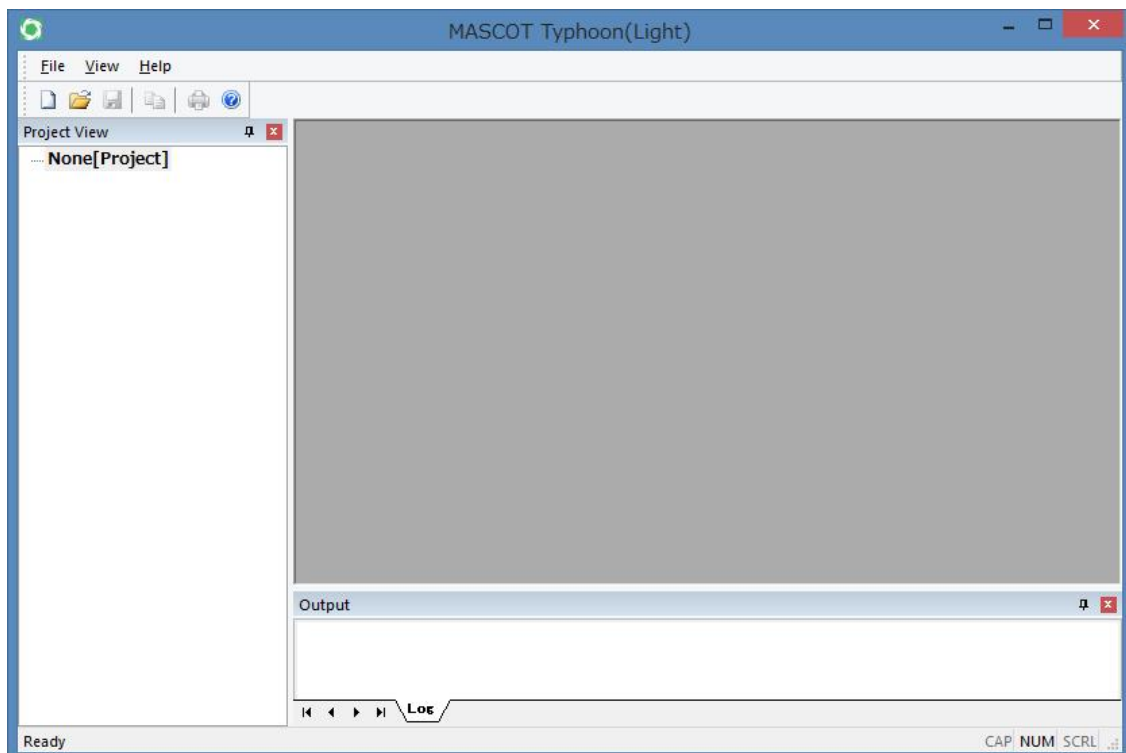
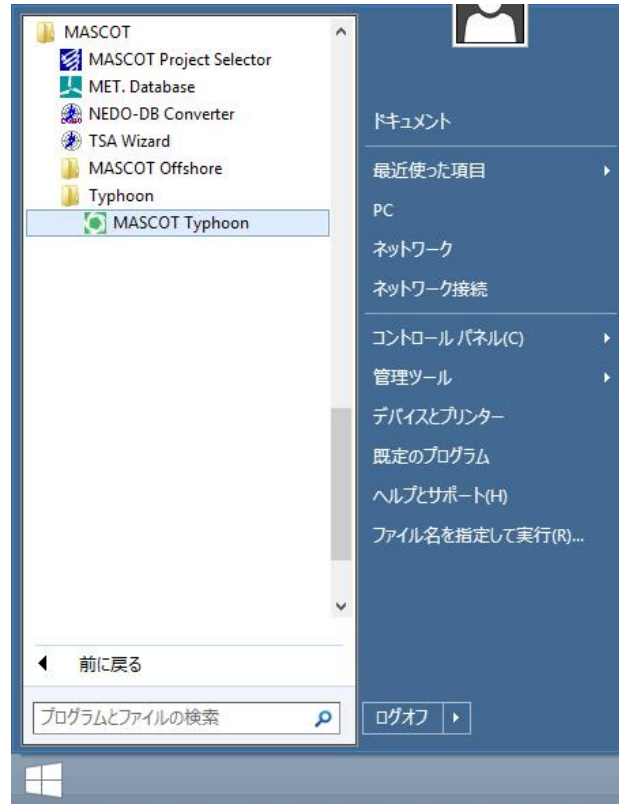
風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数を算定するためには、MASCOT Engineering により得られた風車設置地点における平均風速の地形による割増係数（平坦地形上と実地形上との風速比）および風向変化を用いて、MASCOT Typhoon (Light) を使用して求めます。

手順：

1. Windows の[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[Typhoon]-[MASCOT Typhoon]を選択し、MASCOT Typhoon (Light) を起動します。
2. MASCOT Typhoon (Light) の[File]-[Create New Project]メニューから作業を行うプロジェクトを作成します。
3. MASCOT Typhoon (Light) の[Tool]-[Typhoon database...]メニューの入力画面を使って、台風データベース情報の登録を行います。
4. MASCOT Typhoon (Light) の[Tool]-[Design site & Speed up ratio]メニューの入力画面を使って、解析地点毎の位置情報や風向別風速比情報の登録を行います。
5. [Edit]-[Create New Case]メニューの入力画面から台風パラメータの分布関数、解析期間、再現期間などの解析条件を設定・保存します。
6. [Run] メニューから解析の実行を行います。
7. [View] メニューから、解析条件および解析結果の確認を行います。

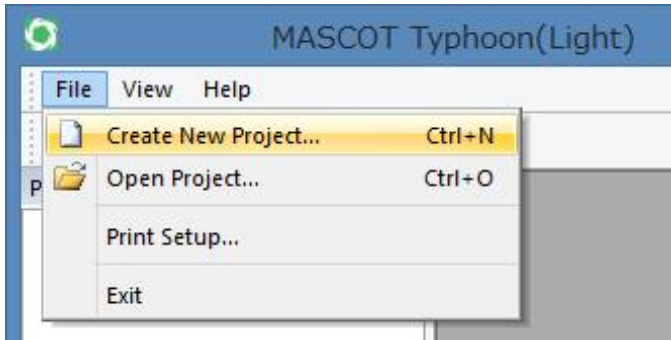
### 2-2-1. MASCOT Typhoon (Light) の起動


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



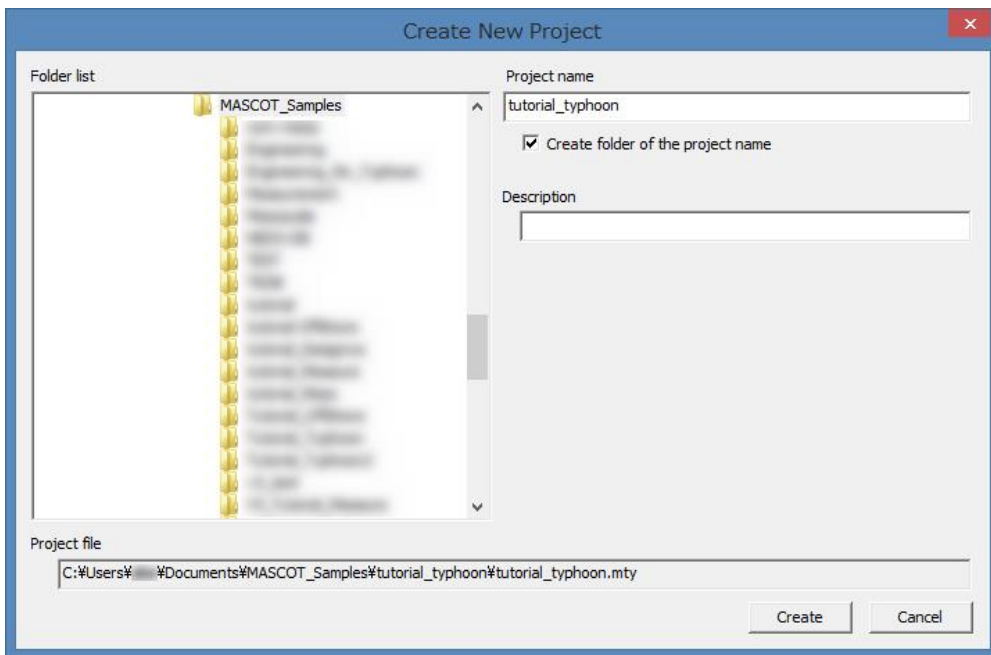
## 2-2-2. プロジェクトの作成

1. [File]メニューから[Create New Project... Ctrl+N]を選択します。

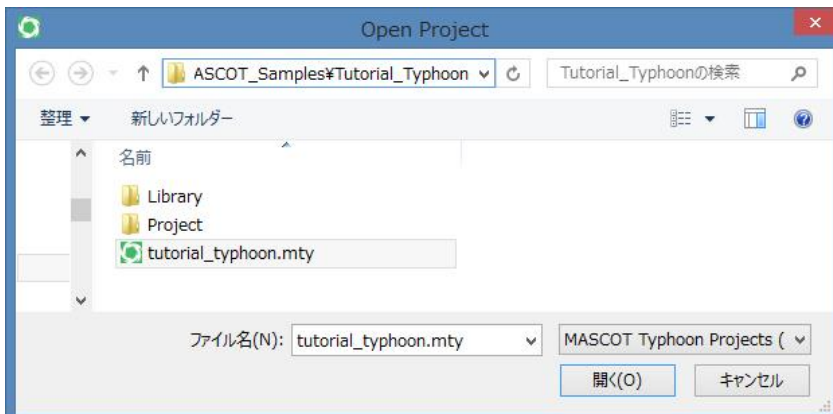


2. 表示されたダイアログ (A 画面) で、[New project file]のフォルダアイコン  をクリックし、[ファイルを開く]ダイアログ (B 画面) を表示します。プロジェクトを保存するフォルダを選択し、ファイル名にプロジェクト名を入力して<開く>をクリックします。さらに、A 画面の[Description]にプロジェクト名を入力します。

(A 画面)



(B 画面)

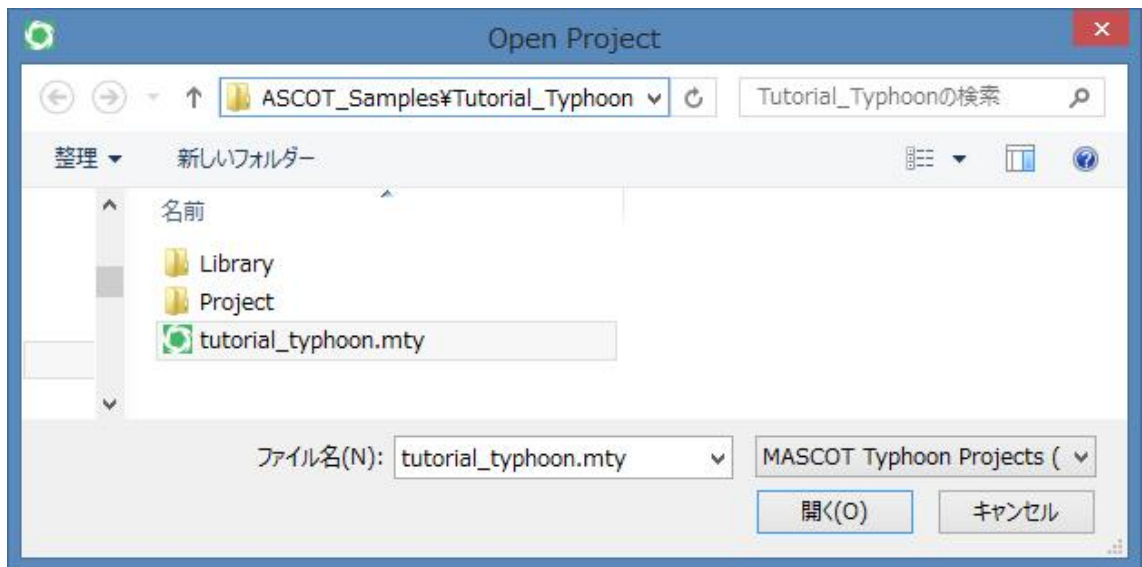
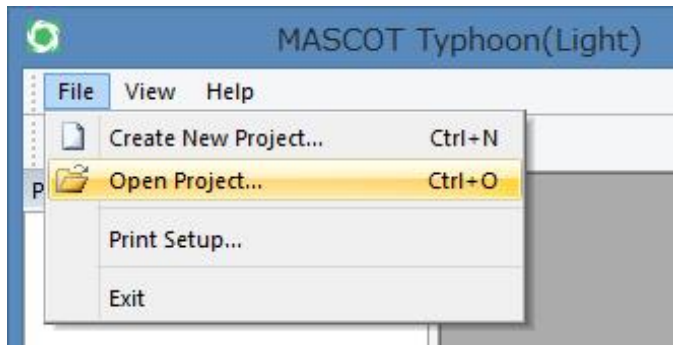


- 次に、<Create>を押し、プロジェクトを作成します。

作成されたフォルダ : C:\¥tutorial¥tutorial\_typhoon

プロジェクトファイル : tutorial\_typhoon.mty

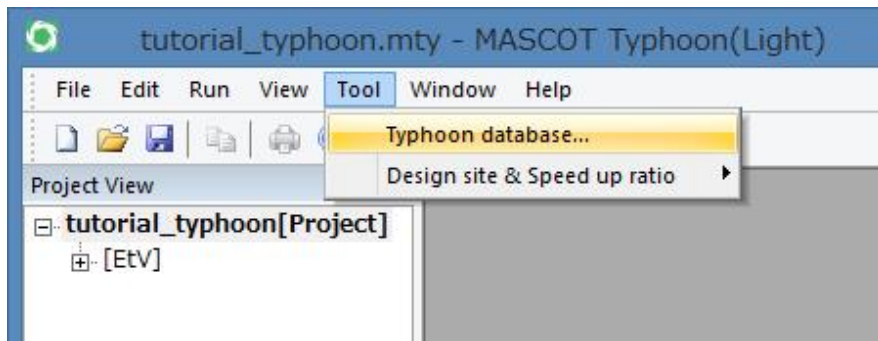
- 次回、プロジェクトを開く際には MASCOT Typhoon を起動し、[File]-[Open Project... Ctrl+O]を選択し、次画面を表示してプロジェクトファイルを選択して<開く>をクリックします。



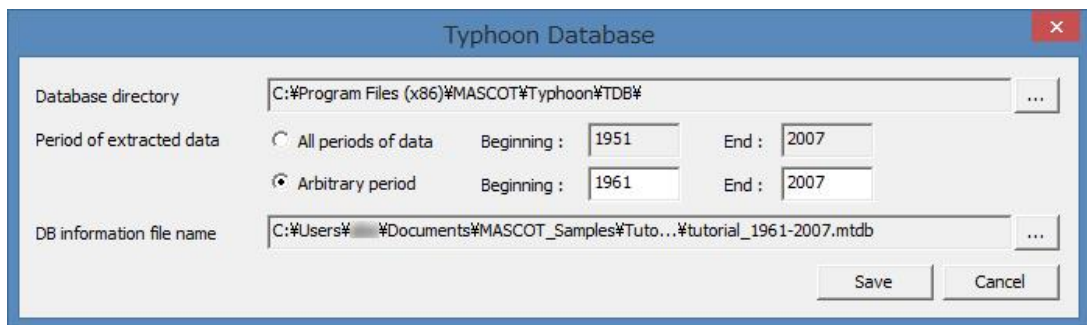


## 2-2-3. 台風データベース情報の登録

1. [Tool]-[Typhoon database...]メニューを選択します。



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



**Database directory** : 台風データベースの保存されているフォルダを指定します。

PCのシステムがCドライブの場合、通常は以下のフォルダ[TDB]を指定します。

C:\Program Files\MASCOT\Typhoon\TDB

**Period of extracted data** : 解析に用いる台風データベースの期間を指定します。

通常は、[Arbitrary periods]の1961年から2007年を選択します。

**DB information file name** : 解析に用いる台風データベース情報を保存するファイル名を指定します。

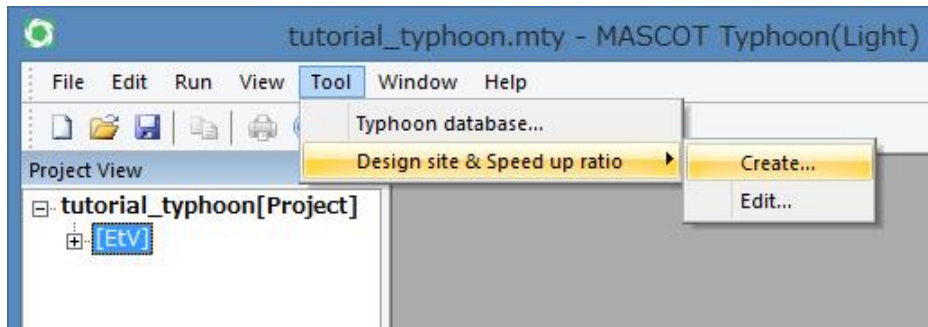
台風データベース情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の  
[Library]-[Typhoon\_DB]です。

<Save> : 設定値の保存を行います。

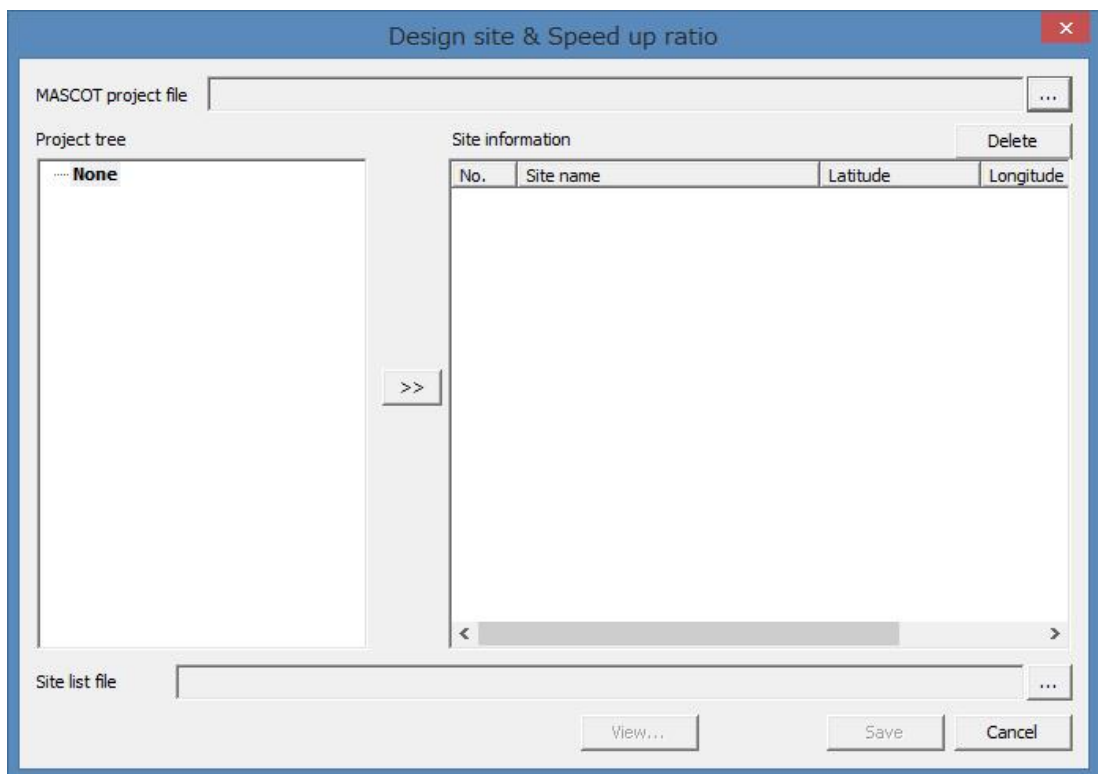
<Cancel> : 設定値を破棄して前画面に戻ります。

## 2-2-4. 解析地点毎の風速比等の登録

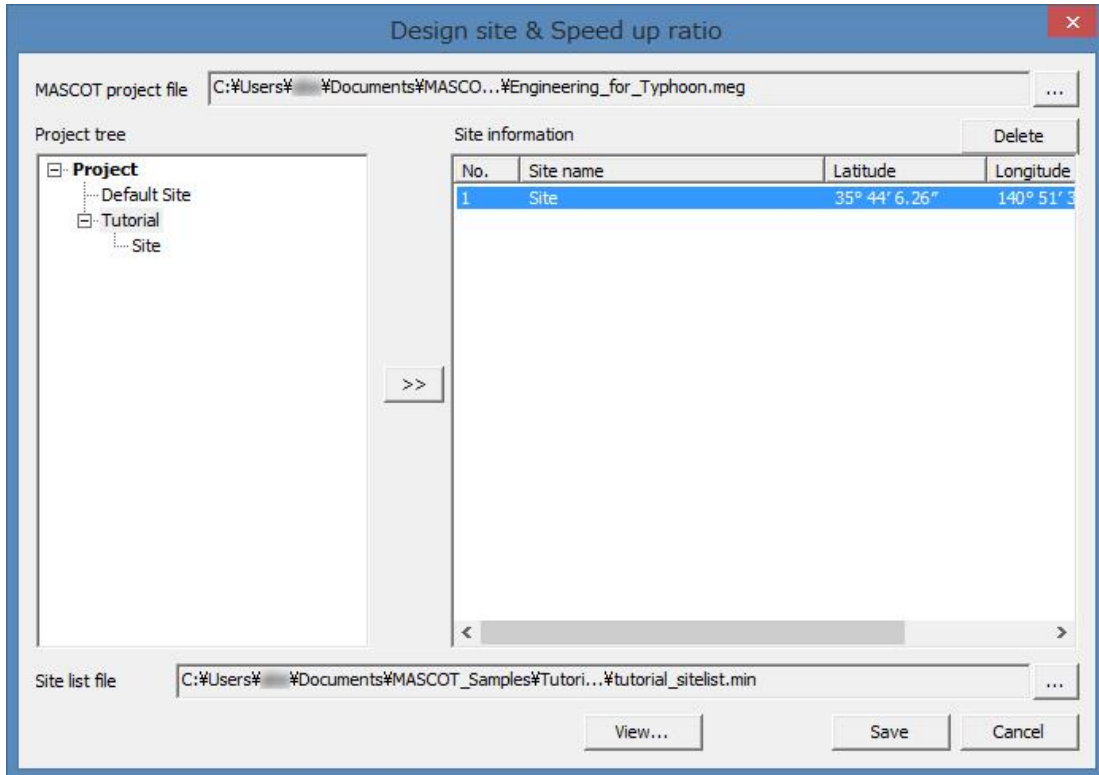
1. [Tool]-[Design site & Speed up ratio]メニューを選択します。



2. 表示された[Design site & Speed up ratio] ダイアログの各項目を設定します。



設定例 :



MASCOT Project file : MASCOT Engineering のプロジェクトファイルを指定します。

事前に MASCOT Engineering で平均風速の地形による割増係数を算定しておく必要があります。

Project tree : [MASCOT Project file] で指定した project tree が表示されます。

**>>** : [Project tree] で選択したプロジェクト情報を MASCOT Typhoon のプロジェクトにインポートします。  
インポートされるプロジェクト情報は以下の 5 つです。

- Site name
- Latitude
- Longitude
- Height
- 風向別の平均風速の地形による割増係数[E<sub>TV</sub>]
- 風向別の風向偏角[Yew]
- 風向別の変動風速の地形による補正係数[E<sub>TS</sub>]
- 上記以外の風向別の情報についても保存されていますが、画面上では確認することはできません。確認が必要な場合は、MASCOT Engineering から確認してください。

Site information : インポートした解析地点情報のリストが表示されます。

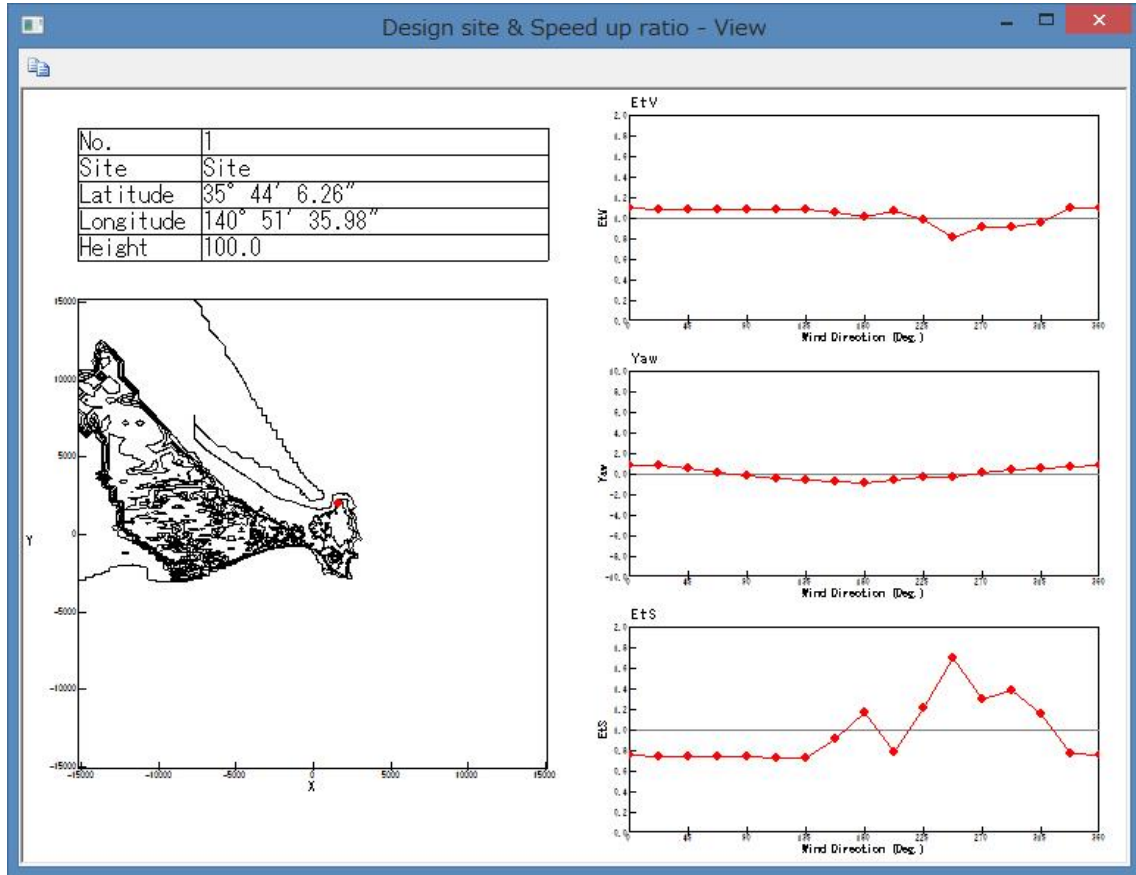
Site list file : 解析地点毎の風速比等の情報を保存するファイル名を指定します。  
解析地点毎の風速比情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の [Library]-[ WS\_Ratio] です。

<View> : [Site information] で選択した解析地点の位置情報、風向別情報が表示されます (A 画面 参照)。

<Save> : 設定値の保存を行います。

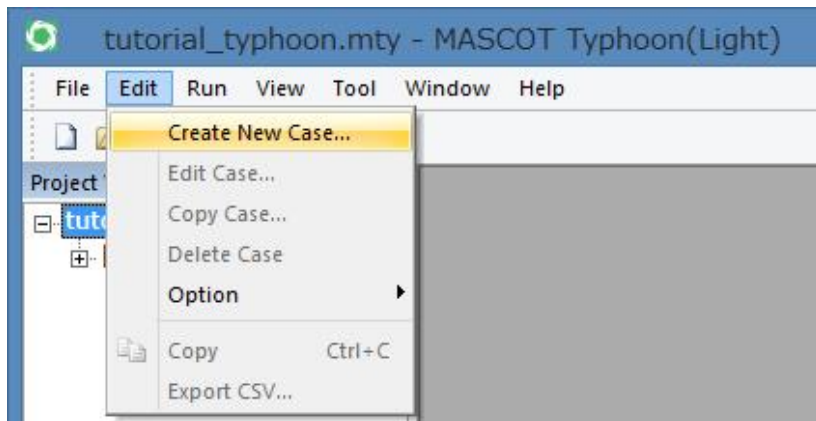
<Cancel> : 設定値を破棄して前画面に戻ります。

(A 画面)

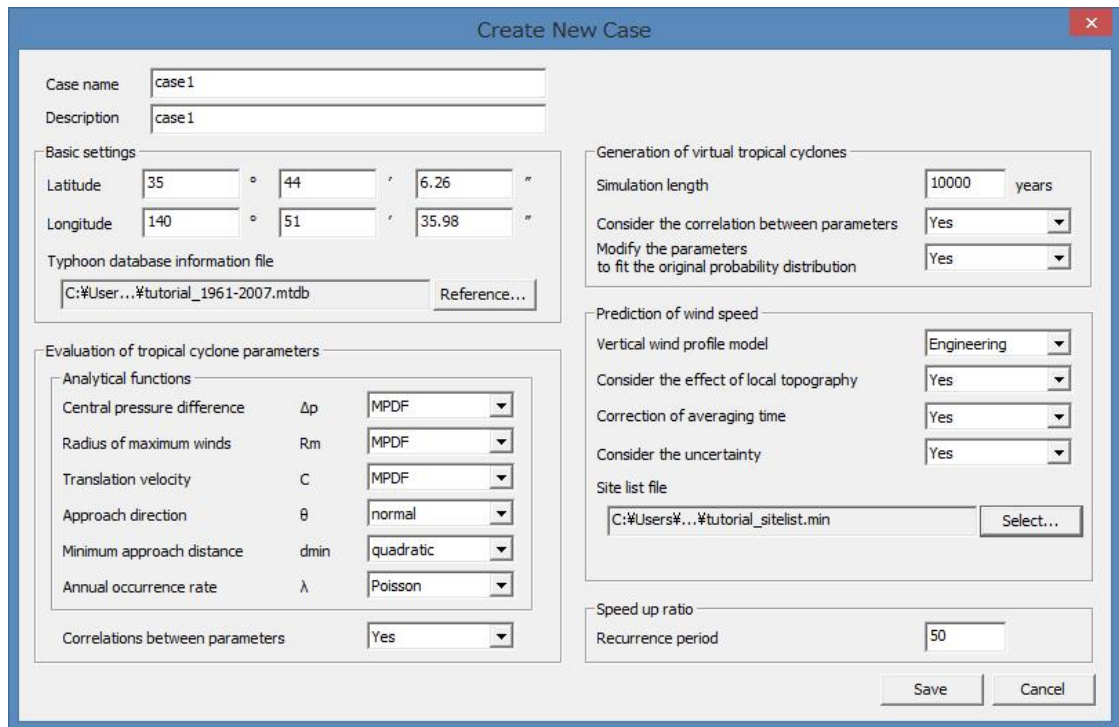


## 2-2-5. 計算条件の設定

1. [Edit]-[Create New Case]メニューを選択します。



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



[Case name] : 計算ケース名を設定

[Description] : プロジェクト内容を記述する

[Basic settings] : 解析条件の基本情報を設定

Latitude : 最接近パラメータの抽出点の緯度(度、分、秒)※北緯+、南緯-、日本測地系

Longitude : 最接近パラメータの抽出点の経度(度、分、秒)※東経+、西経-、日本測地系

[Typhoon data base information file] : [Tool]-[Typhoon database]で設定した、台風データベース情報  
ファイルを指定

< Reference > 台風データベース情報ファイルを選択→指定

[Evaluation of tropical cyclone parameters] : 台風パラメータの確率分布算定の条件を設定

[Analytical functions] : 確率分布関数を指定

[Central pressure difference  $\Delta P$ ] : 中心気圧低下量

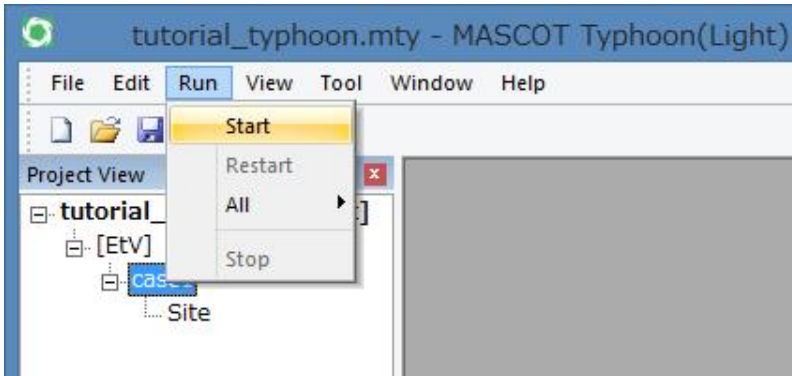
・MPDF : 混合確率分布

・ Lognormal	: 対数正規分布※
・ Weibull	: ワイブル分布※
[Radius of maximum winds $R_m$ ]	: 最大旋衡風速半径
・ MPDF	: 混合確率分布
・ Lognormal	: 対数正規分布※
・ Weibull	: ワイブル分布※
[Translation velocity $C$ ]	: 進行速度
・ MPDF	: 混合確率分布
・ Lognormal	: 対数正規分布※
・ Weibull	: ワイブル分布※
[Approach direction $\theta$ ]	: 進行方向
・ normal	: 正規分布
[Minimum approach distance $d_{\min}$ ]	: 最接近距離
・ quadratic	: 二次関数
[Annual occurrence rate $\lambda$ ]	: 台風年間発生数択
・ Poisson	: ポアソン分布
[Correlations between parameters]	: 台風パラメータ間の相関係数の算定を行うか否か※の選択
[Generation of virtual tropical cyclones]	: 仮想台風発生の条件を設定
[Simulation length]	: 仮想台風を発生する年数を設定 (10 万年未満としてください)
[Consider the correlation between parameters]	: 台風パラメータ間の相関係数を考慮した発生を行うか否かの選択
[Modify the parameters to fit the original probability distribution]	: 目標とした確率分布に沿うように、発生したパラメータの微小修正を行うか否かの選択
[Prediction of wind speed]	: 風速、風向時系列算定条件を設定
[Vertical wind profile model]	: 鉛直モデルの選択
・ Engineering model	: 工学的モデル
・ Meteorological model	: 気象学的モデル※
[Consider the effect of local topography]	: 局所地形による風速の増速と風向偏角を考慮するか否かの設定
[Correction of averaging time]	: 風速の平均化時間の補正を行うか否かの設定
[Consider the uncertainty]※	: 誤差を考慮するか否かの設定
[Site list file]	: 風車設計地点ファイルの指定
< Reference >	風車設計地点ファイルを選択→指定
< View >	風車設計地点の位置情報、風向別情報が表示されます
[Speed up ratio]	: 風向特性を考慮した地形による平均風速の割り増し係数算定の条件を設定
[Recurrence period]	: 割り増し係数を算定する再現期間を設定
< Save >	: 設定値を保存
< Cancel >	: 新規入力、変更した設定値を破棄し画面を閉じる

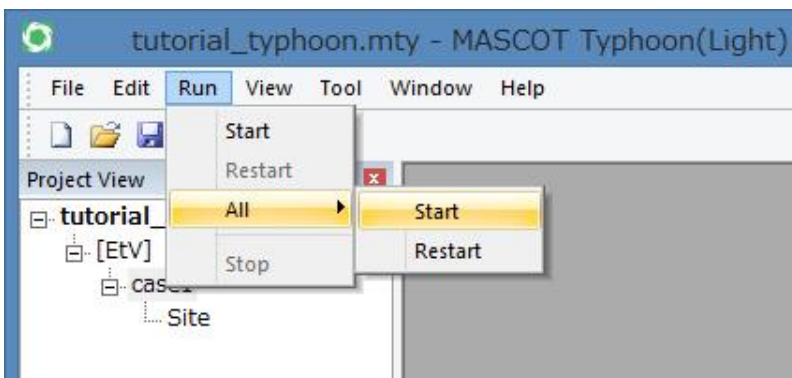
※は選択不可能な項目を表しています

## 2-2-6. 解析の実行

計算実行、再計算実行、計算中止を行います。



または



### (1) Start

選択中の計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平均風速の割り増し係数の算定を行います。

### (2) Restart

選択中の計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

### (3) All - Start

全ての計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平均風速の割り増し係数の算定を行います。

### (4) All - Restart

全ての計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

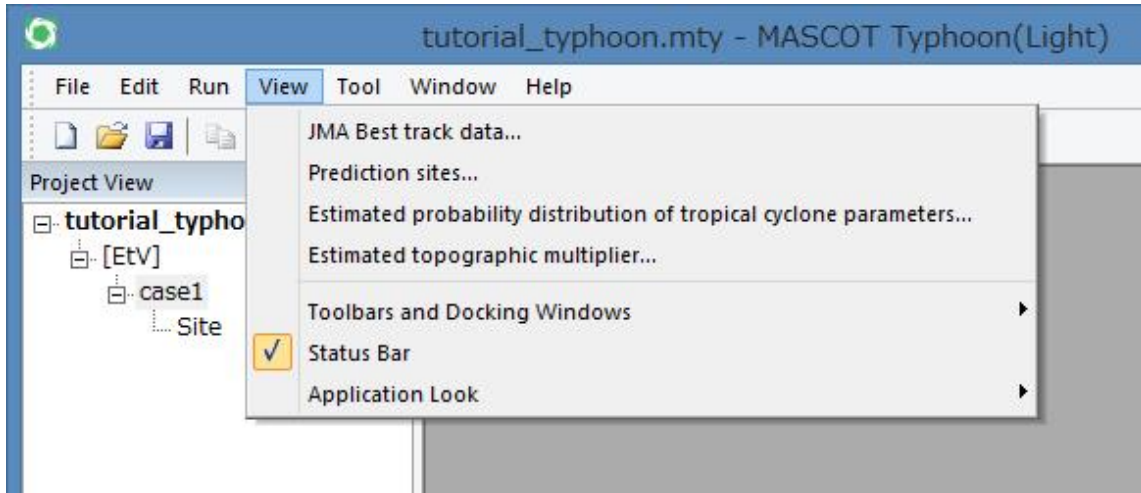
### (5) Stop

計算を中止する。中止した場合は途中の計算結果は破棄されます。



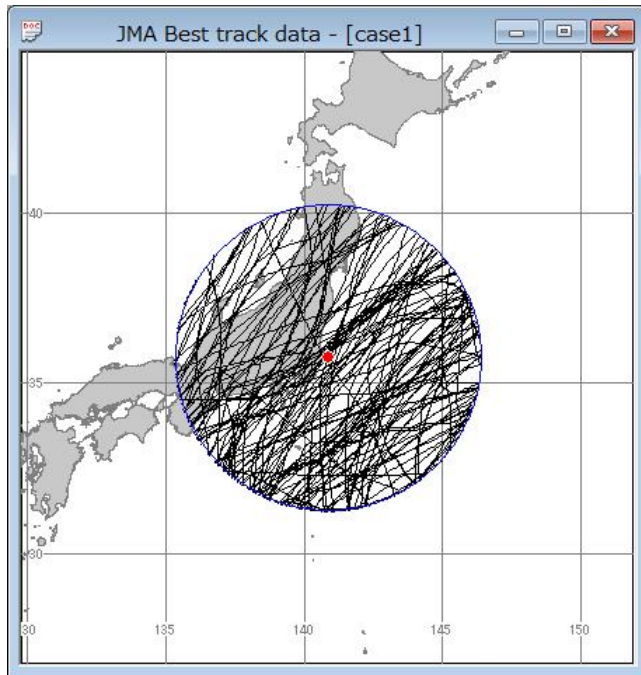
## 2-2-7. 解析結果の表示

台風経路図、台風パラメータの確率分布図、計算結果等を表示します。



### (1) JMA Best track data

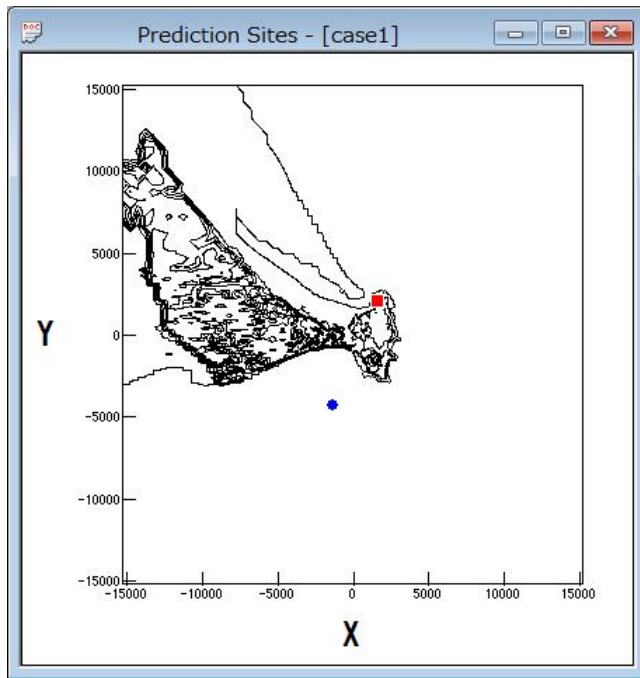
最接近パラメータ抽出対象となった台風の実台風パスを描画します。





(2) Prediction sites

最接近パラメータ抽出位置と風車建設位置の平面図を描画します。

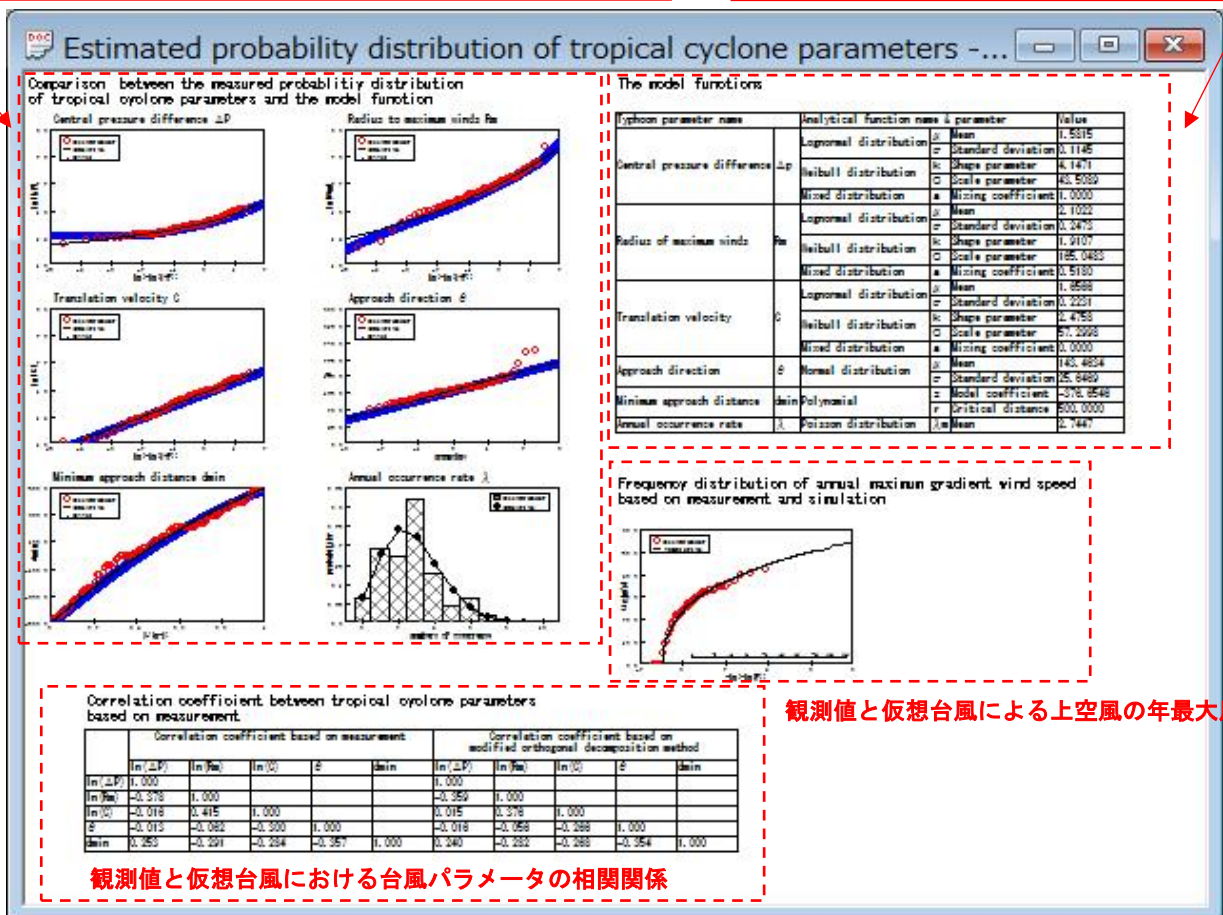


(3) Estimated probability distribution of tropical cyclone parameters

台風パラメータの確率分布算定結果を描画します。

観測値、仮想台風および分布関数による台風パラメータの確率分布

台風パラメータの確率分布関数および特性

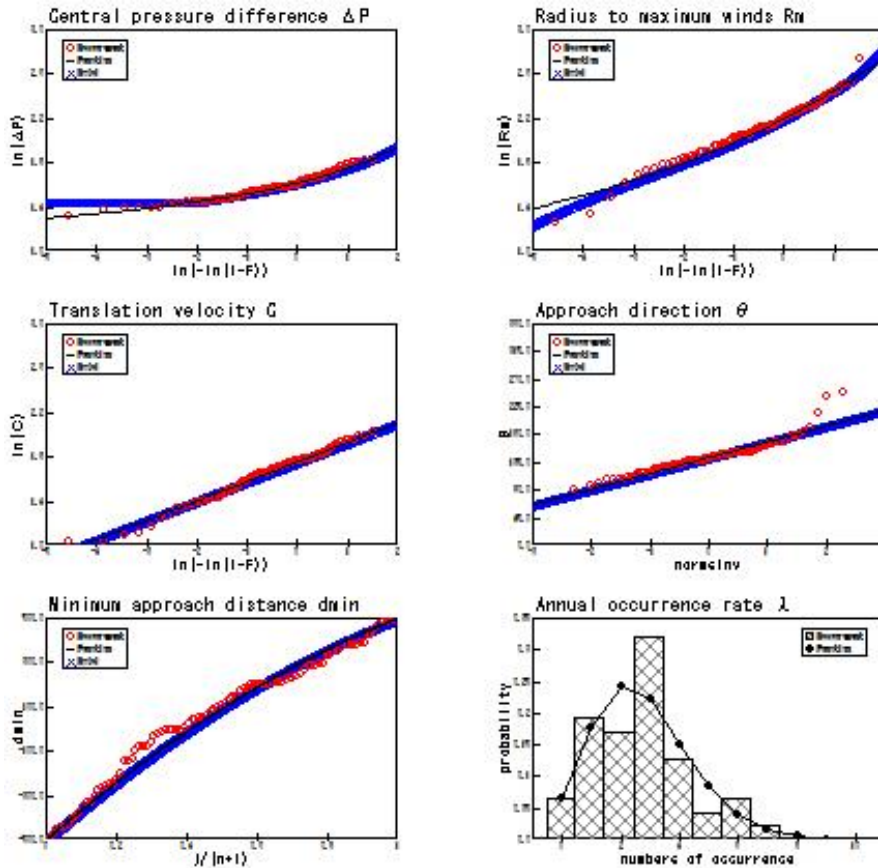


観測値と仮想台風における台風パラメータの相関関係

観測値と仮想台風による上空風の年最大風速

・ Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function  
 (観測値と分布関数による台風パラメータの確率分布)

Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function (観測値、仮想台風および分布関数による台風パラメータの確率分布)



- |                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| [Central pressure difference $\Delta P$ ] | : 中心気圧低下量  |
| [Radius to maximum wind $R_m$ ]           | : 最大旋衡風速半径 |
| [Translation velocity $C$ ]               | : 進行速度     |
| [Approach direction $\theta$ ]            | : 進行方向     |
| [Minimum approach distance $d_{min}$ ]    | : 最接近距離    |
| [Annual occurrence rate $\lambda$ ]       | : 台風年間発生数  |

観測値 : ● (赤丸) (ただし, 台風年間発生数は棒グラフ)  
 モデル : — (黒線)  
 仮想台風 : × (青バツ) (ただし, 台風年間発生数は非表示)

・ The model functions (台風パラメータの確率分布関数および特性)

Typhoon parameter name		Analytical function name & parameter			Value
Central pressure difference	$\Delta p$	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	1.5815
			$\sigma$	Standard deviation	0.1145
		Weibull distribution	k	Shape parameter	4.1471
			C	Scale parameter	43.5089
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	1.0000		
Radius of maximum winds	$R_m$	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	2.1022
			$\sigma$	Standard deviation	0.2473
		Weibull distribution	k	Shape parameter	1.9107
			C	Scale parameter	165.0483
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	0.5180		
Translation velocity	C	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	1.6566
			$\sigma$	Standard deviation	0.2231
		Weibull distribution	k	Shape parameter	2.4758
			C	Scale parameter	57.2998
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	0.0000		
Approach direction	$\theta$	Normal distribution	$\mu$	Mean	143.4634
			$\sigma$	Standard deviation	25.6469
Minimum approach distance	$d_{min}$	Polynomial	z	Model coefficient	-376.6546
			r	Critical distance	500.0000
Annual occurrence rate	$\lambda$	Poisson distribution	$\lambda m$	Mean	2.7447

[Typhoon parameter name] : 台風パラメータ名

[Analytical function name & parameter] : 確率分布関数名と関数パラメータ名

[Value] : 関数パラメータ設定値

[Central pressure difference  $\Delta P$ ] : 中心気圧低下量

[Lognormal distribution] : 対数正規分布

[ $\mu$  Mean] : 平均値

[ $\sigma$  Standard deviation] : 標準偏差

[Weibull distribution] : ワイブル分布

[K Shape parameter] : 形状係数

[C Scale parameter] : 尺度係数

[Mixed distribution] : 混合分布

[a Mixing coefficient] : 混合係数

[Radius to maximum winds  $R_m$ ] : 最大旋衡風速半径

[Lognormal distribution] : 対数正規分布

[ $\mu$  Mean] : 平均値

[ $\sigma$  Standard deviation] : 標準偏差

[Weibull distribution] : ワイブル分布

[K Shape parameter] : 形状係数

[C Scale parameter] : 尺度係数

[Mixed distribution] : 混合分布

[a Mixing coefficient] : 混合係数

[Translation velocity C] : 進行速度

[Lognormal distribution] : 対数正規分布

[ $\mu$  Mean] : 平均値

[ $\sigma$ Standard deviation]	: 標準偏差
[Weibull distribution]	: ワイブル分布
[K Shape parameter]	: 形状係数
[C Scale parameter]	: 尺度係数
[Mixed distribution]	: 混合分布
[a Mixing coefficient]	: 混合係数
[Approach direction $\theta$ ]	: 進行方向
[Normal distribution]	: 正規分布
[ $\mu$ Mean]	: 平均値
[ $\sigma$ Standard deviation]	: 標準偏差
[Minimum approach distance $d_{\min}$ ]	: 最接近距離
[Polynomial]	: 二次関数
[z Model coefficient]	: 近似係数
[r Critical distance]	: 限界距離
[Annual occurrence rate $\lambda$ ]	: 台風の年間発生数
[Poisson distribution]	: ポアソン分布
[ $\lambda_m$ Mean]	: 平均年間発生数

・ Correlation coefficient between the tropical cyclone parameters based on measurement (観測値による台風パラメータの相関係数)

	Correlation coefficient based on measurement					Correlation coefficient based on modified orthogonal decomposition method				
	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{\min}$	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{\min}$
$\ln(\Delta P)$	1.000					1.000				
$\ln(R_m)$	-0.378	1.000				-0.359	1.000			
$\ln(C)$	-0.016	0.415	1.000			0.015	0.376	1.000		
$\theta$	-0.013	-0.062	-0.300	1.000		-0.016	-0.056	-0.266	1.000	
$d_{\min}$	0.253	-0.291	-0.284	-0.357	1.000	0.240	-0.282	-0.268	-0.354	1.000

[Correlation coefficient based on measurement] : 観測値による台風パラメータ間の相関

[Correlation coefficient based on modified orthogonal decomposition method]

: 修正直交変換法による仮想台風の台風パラメータ間の相関

[ $\ln(\Delta P)$ ] : 中心気圧低下量の対数値

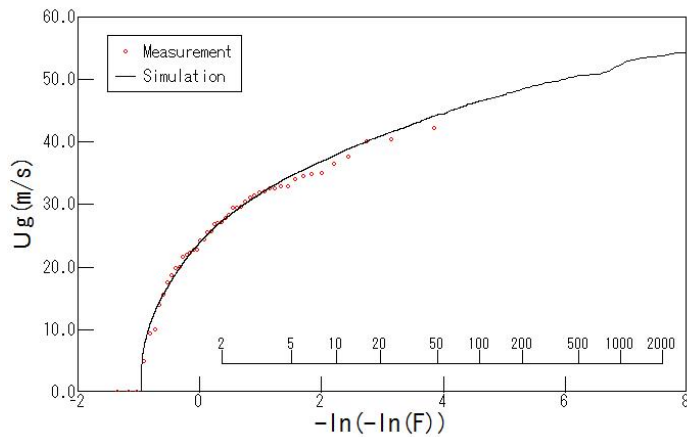
[ $\ln(R_m)$ ] : 最大旋衡風速半径の対数値

[ $\ln(C)$ ] : 進行速度の対数値

[ $\theta$ ] : 進行方向

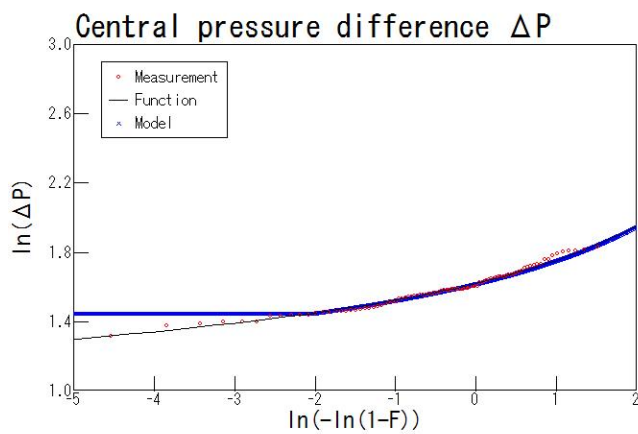
[ $d_{\min}$ ] : 最接近距離



・ Frequency distribution of annual maximum gradient wind speed based on measurement and simulation (観測値と仮想台風による上空風の年最大風速)



上記の解析結果表示画面「(2)、(3)」は、グラフおよび表をマウス左ボタンでダブルクリックすると、選択位置のグラフおよび表が別ウィンドウで表示されます。

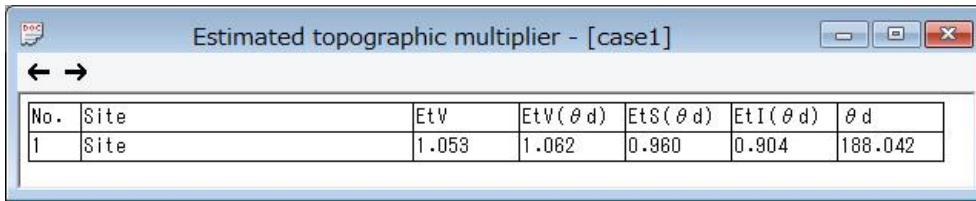
例：(3) の[Central pressure difference  $\Delta P$ ]のグラフをマウス左ボタンでダブルクリックすると、下図が表示されます。



さらに、ツールバー  の  ボタンをクリックすると、選択されているビューの内容をクリックボードへコピーできます。

**(4) Estimated topographic multiplier**

風向特性を考慮した地形による平均風速の割り増し係数の算定結果を表示します。



No.	Site	EtV	EtV( $\theta d$ )	EtS( $\theta d$ )	EtI( $\theta d$ )	$\theta d$
1	Site	1.053	1.062	0.960	0.904	188.042

[No] : 風車建設地点 No

[Site] : 風車建設地点名称

[EtV] : 50年再現期待値に対応する風速比 (Typhoon 結果)

[EtV( $\theta d$ )] : 風向特性を考慮した地形による風速の割り増し係数  
(Engineering 結果 - 16 風向の風速比)

[EtS( $\theta d$ )] : 地形による変動風速の補正係数

[EtI( $\theta d$ )] : 地形による乱流強度の補正係数

[ $\theta d$ ] : 照査対象風向 (度、北から時計回りの角度)



## 第3章 User Interface (ユーザー・インターフェース)

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

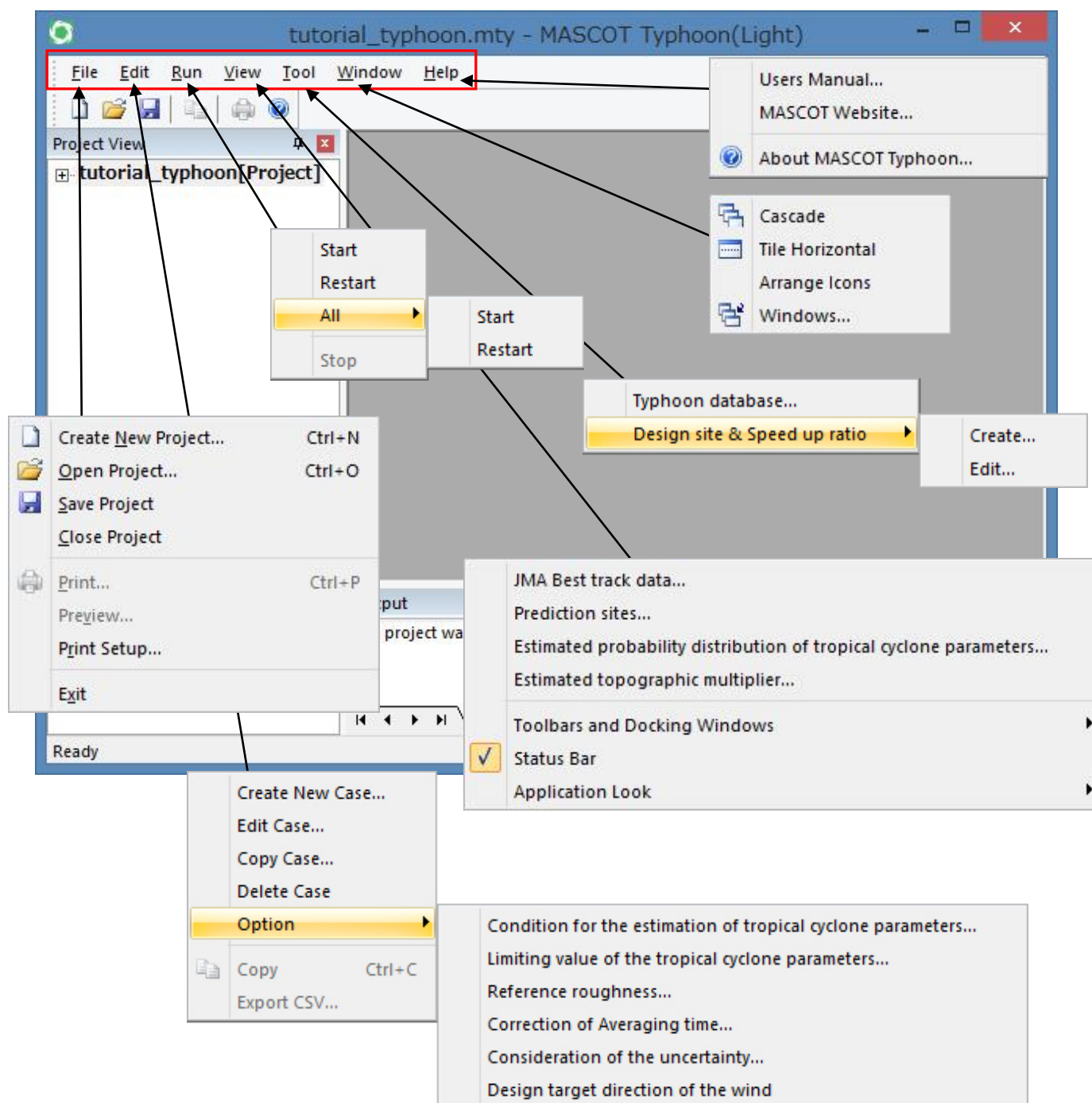
第3章 USER INTERFACE (ユーザー・インターフェース) .....	3-1
3-1. メニュー一覧 .....	3-2
3-2. ツールバー一覧 .....	3-3
3-3. ダイアログ・ビュー一覧 (メニュー別) .....	3-4
3-3-1. [File]メニュー .....	3-4
3-3-2. [Edit]メニュー .....	3-5
3-3-3. [Run]メニュー .....	3-11
3-3-4. [View]メニュー .....	3-12
3-3-5. [Tool]メニュー .....	3-19
3-3-6. [Window]メニュー .....	3-25
3-3-7. [Help]メニュー .....	3-26



## 3-1. メニュー一覧







MASCOT Typhoon (Light) のメインメニューは以下の7つから構成されます。

- [File] : プロジェクトの生成、読み込み、保存、プリンタの設定、プログラムの終了等
- [Edit] : 解析ケースの設定、編集、コピー、削除、オプション設定等
- [Run] : 計算実行、再計算実行、計算中止
- [View] : 台風経路図、台風パラメータの確率分布図、計算結果等の表示
- [Tool] : 設計対象地点登録、風速比・風向偏角の登録
- [Window] : ウィンドウ、アイコン等の表示、整理等
- [Help] : バージョン情報、ユーザーマニュアルの表示



### 3-2. ツールバー一覧

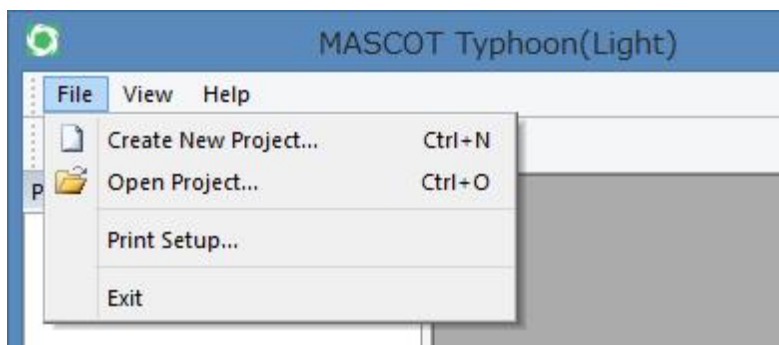


-  . . . . . プロジェクトを新規作成します。  
([File]-[Create New Project...]メニュー)
-  . . . . . プロジェクトを読み込みします。  
([File]-[Open Project...]メニュー)
-  . . . . . 作業中のプロジェクトを保存します。  
([File]-[Save Project...]メニュー)
-  . . . . . 選択されているビューの内容 (図やログなど) をクリックボードへコピーします。  
([Edit]-[Copy...]メニュー)
-  . . . . . 選択されているビューの内容 (図やログなど) を印刷します。  
([File]- [Print...]メニュー)
-  . . . . . MASCOT Typhoon のバージョン情報を表示します。  
([Help]-[About MASCOT Typhoon...]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の生成、読み込み、保存、プリンタの設定、プログラムの終了等を行うメニューです。



##### [Create New Project...]

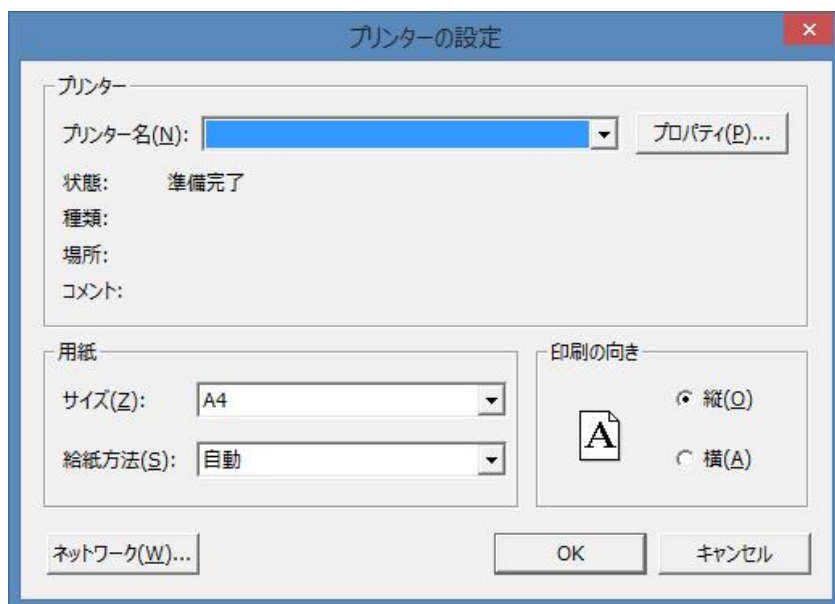
MASCOT Typhoon のプロジェクトを新規作成します（ツールバー  ）。

##### [Open Project...]

プロジェクトを読み込みます（ツールバー  ）。

##### [Print Setup...]

用紙のサイズ、印刷の向きなどの設定を行います。

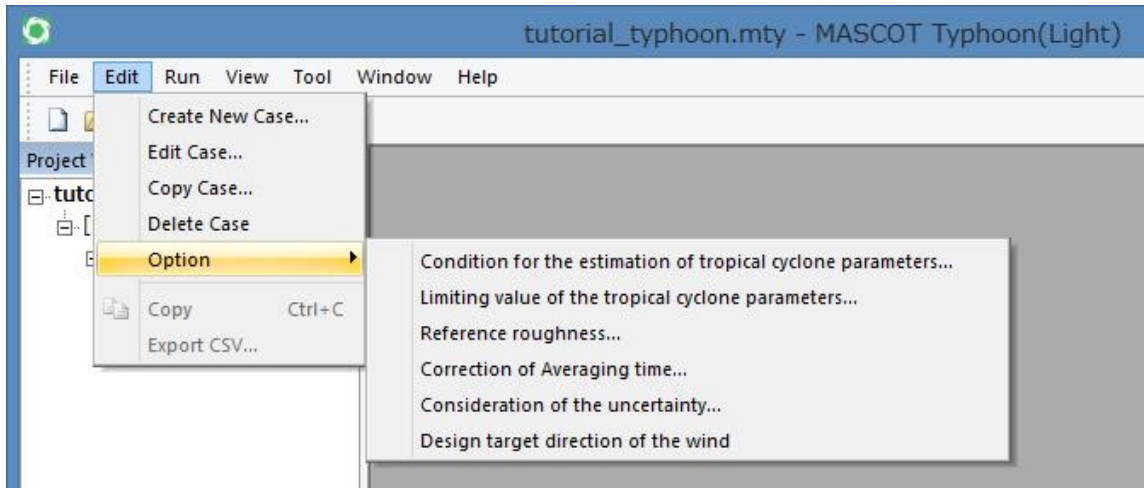


##### [Exit]

MASCOT Typhoon を終了します。

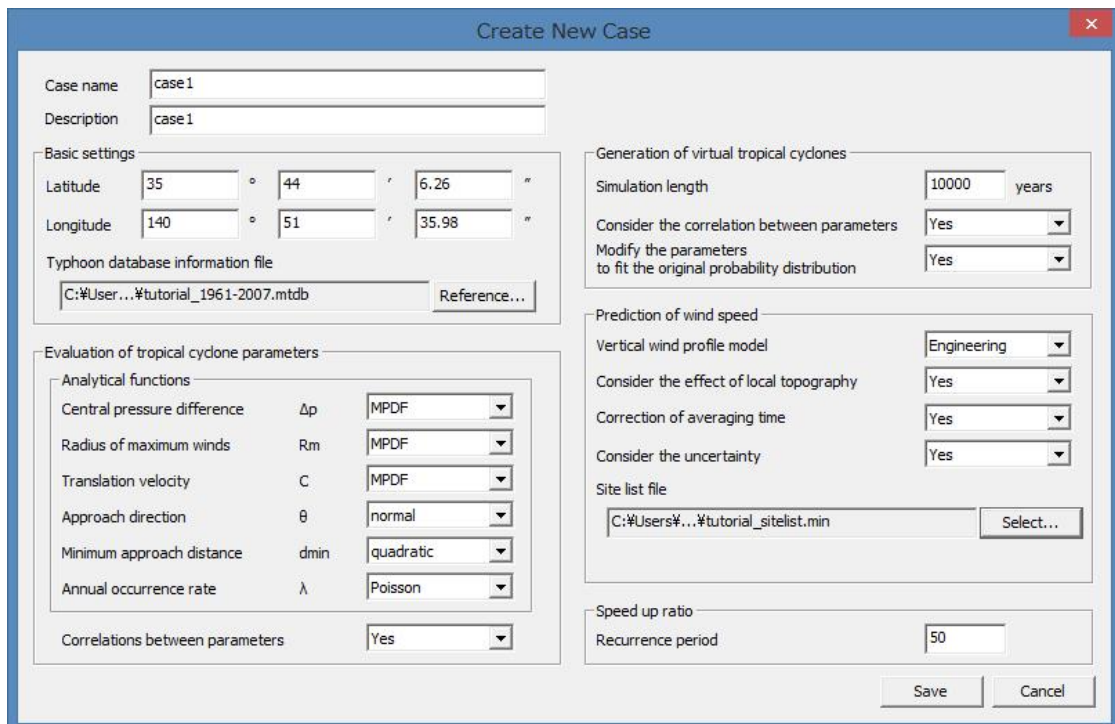
### 3-3-2. [Edit]メニュー

計算条件の設定、最接近台風パラメータ抽出地点の登録など、解析条件を設定するメニューです。[Create New Case...] メニューはユーザーが必ず設定する必要があるメニューで、台風データベースファイルの指定、解析対象地点の緯度と経度の入力の設定を行います。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。



#### [Create New Case...]

計算ケースを新規作成します。[Basic Settings] [Evaluation of tropical cyclone parameters] [Generation of virtual tropical cyclones] [Prediction of wind speed] [Speed up ratio] の5つの部分から構成されます。



- [Case name] : 計算ケース名を設定
- [Description] : プロジェクト内容を記述する
- [Basic settings] : 解析条件の基本情報を設定
- Latitude : 最接近パラメータの抽出点の緯度(度、分、秒)※北緯+、南緯-、日本測地系
- Longitude : 最接近パラメータの抽出点の経度(度、分、秒)※東経+、西経-、日本測地系
- [Typhoon data base information file] : [Tool]-[Typhoon database]で設定した、台風データベース情報ファイルを指定
- < Reference > 台風データベース情報ファイルを選択→指定
- [Evaluation of tropical cyclone parameters] : 台風パラメータの確率分布算定の条件を設定
- [Analytical functions] : 確率分布関数を指定
- [Central pressure difference  $\Delta P$ ] : 中心気圧低下量
- MPDF : 混合確率分布
  - Lognormal : 対数正規分布\*
  - Weibull : ワイブル分布\*
- [Radius of maximum winds  $R_m$ ] : 最大旋衡風速半径
- MPDF : 混合確率分布
  - Lognormal : 対数正規分布\*
  - Weibull : ワイブル分布\*
- [Translation velocity  $C$ ] : 進行速度
- MPDF : 混合確率分布
  - Lognormal : 対数正規分布\*
  - Weibull : ワイブル分布\*
- [Approach direction  $\theta$ ] : 進行方向
- normal : 正規分布
- [Minimum approach distance  $d_{\min}$ ] : 最接近距離
- quadratic : 二次関数
- [Annual occurrence rate  $\lambda$ ] : 台風年間発生数択
- Poisson : ポアソン分布
- [Correlations between parameters] : 台風パラメータ間の相関係数の算定を行うか否か\*の選択
- [Generation of virtual tropical cyclones] : 仮想台風発生の条件を設定
- [Simulation length] : 仮想台風を発生する年数を設定 (10 万年未満としてください)
- [Consider the correlation between parameters] : 台風パラメータ間の相関係数を考慮した発生を行うか否かの選択
- [Modify the parameters to fit the original probability distribution] : 目標とした確率分布に沿うように、発生したパラメータの微小修正を行うか否かの選択
- [Prediction of wind speed] : 風速、風向時系列算定条件を設定
- [Vertical wind profile model] : 鉛直モデルの選択
- Engineering model : 工学的モデル
  - Meteorological model : 気象学的モデル\*
- [Consider the effect of local topography] : 局所地形による風速の増速と風向偏角を考慮するか否かの設定

- [Correction of averaging time] : 風速の平均化時間の補正を行うか否かの設定
- [Consider the uncertainty]<sup>\*</sup> : 誤差を考慮するか否かの設定
- [Site list file] : 風車設計地点ファイルの指定
- < Reference > 風車設計地点ファイルを選択→指定
- < View > 風車設計地点の位置情報、風向別情報が表示されます
- [Speed up ratio] : 風向特性を考慮した地形による平均風速の割り増し係数算定の条件を設定
- [Recurrence period] : 割り増し係数を算定する再現期間を設定
- < Save > : 設定値を保存
- < Cancel > : 新規入力、変更した設定値を破棄し画面を閉じる

※は選択不可能な項目を表しています

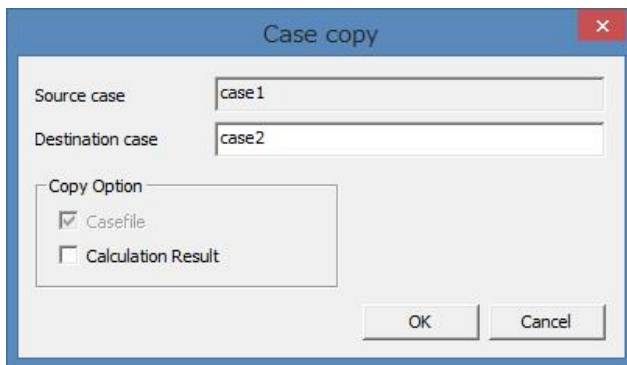
### [Edit Case...]

選択している計算ケースを編集します。

※項目内容は、「Create New Case」と同一

**[Copy Case...]**

選択している計算ケースをコピーします。



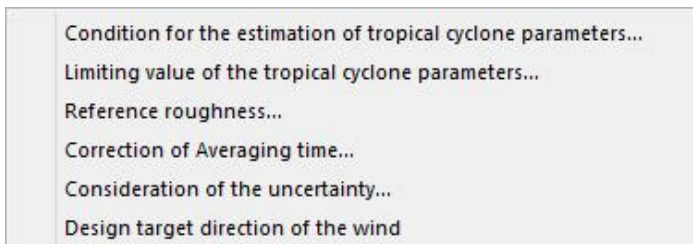
Source case : コピー元ケース名  
 Destination case : コピー先のケース名  
 Copy Option : 計算結果のコピーの有無を選択します。

**[Delete Case...]**

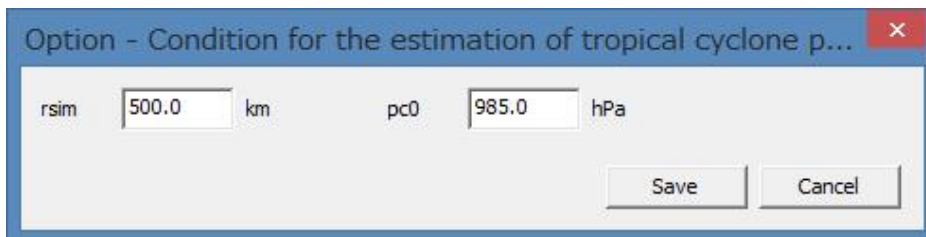
選択している計算ケースを削除します。

**[Option...]**

計算に関するオプションを設定します。

**(1) [Option]-[Condition for the estimation of tropical cyclone parameters...]**

台風データベース (DB) より最接近台風パラメータの抽出を行う際に対象とする台風の条件を設定します。

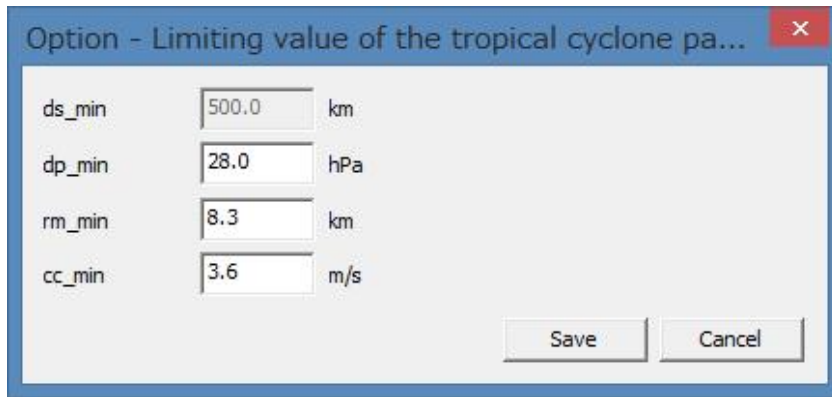


rsim : 抽出地点からの半径を指定 (デフォルト値 500 km)  
 pc0 : 台風期間中の最低中心気圧を指定 (デフォルト値 985 hPa)

**(2) [Option] - [Limiting value of the tropical cyclone parameters...]**

仮想台風発生時に各台風パラメータの上限値および下限値を設定します。





ds\_min : 最接近距離の上限値 (設定不可: 最接近台風パラメータの抽出を行う際に対象とする台風の条件)

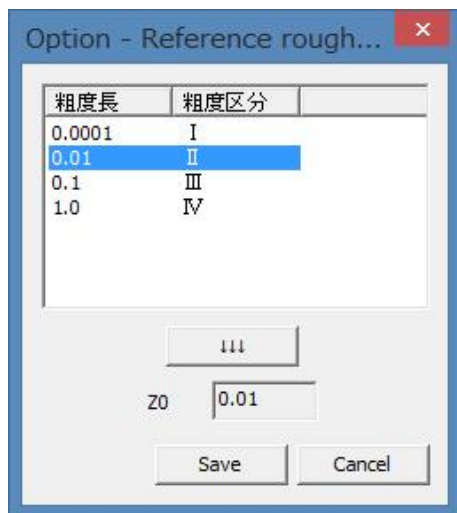
dp\_min : 中心気圧低下量の下限值 (デフォルト値 28.0hPa)

rm\_min : 最大旋衡風半径の下限值 (デフォルト値 8.3Km)

cc\_min : 進行速度の下限值 (デフォルト値 3.6m/s)

### (3) [Option] - [Reference roughness...]

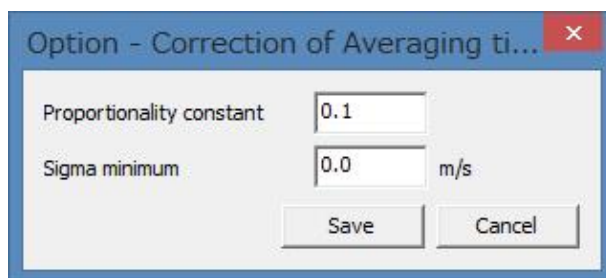
平坦で一般的な粗度上の風速を算定する際の粗度長を設定します。



Z0 : 平坦地形上粗度長 (MASCOT Basic の解析時に設定した平坦地形上の粗度区分を設定します)

### (4) [Option] - [Correction of Averaging time...]

平均化時間補正時のパラメータを設定します。



Gama : 補正前風速に対する割合  $\gamma$  (デフォルト値  $\gamma=0.1$ )

Sigma minimum : 補正風速の下限值  $\sigma_{\min}$  (デフォルト値  $\sigma_{\min}=0.00\text{m/s}$ )

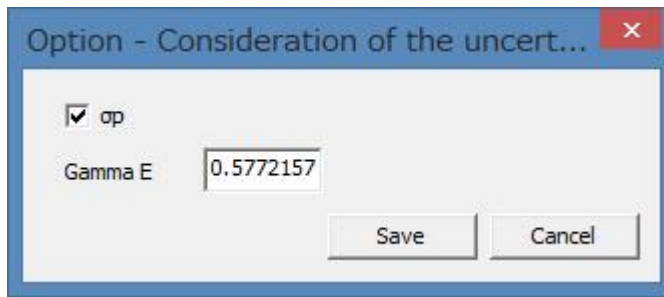
※補正風速  $\sigma_a$  は次式により与えられる

$$\sigma_a = \max(\gamma \times u_t, \sigma_{\min})$$



**(5) [Option]- [Consideration of the uncertainty...]**

ガンベル分布の理論による誤差評価のパラメータを設定します。

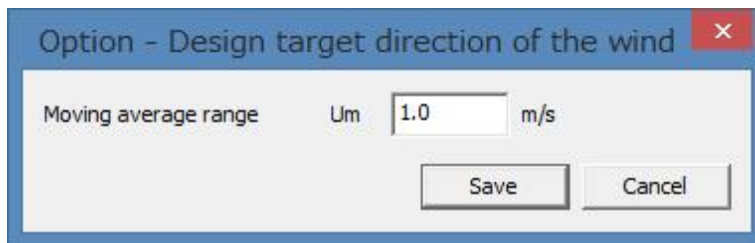


$\sigma p$  : 極値風速の不確か性における気圧の観測年数の影響を考慮する場合にチェックします。

Gamma E : オイラー定数 (デフォルト値 Gamma E = 0.5772)

**(6) [Option]- [Design target direction of the wind...]**

照査対象風向算定時の再現期待風速周りの風速範囲を指定します。



Moving average range : 風速範囲 (デフォルト値  $U_m=1.00\text{m/s} = U_R \pm 0.5\text{m/s}$ )

$$\theta_d = \frac{1}{N} \sum_{n=U_R-0.5U_m}^{U_R+0.5U_m} \theta(U_R)$$

**[Copy... Ctrl+C]**

View で表示される計算結果 (グラフや表) をクリップボードへコピーします。

**[Export CSV...]**

解析結果の数表を CSV ファイル形式で保存します。

### 3-3-3. [Run]メニュー

計算実行、再計算実行、計算中止を行うに関するメニューです。



#### (1) Start

選択中の計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平均風速の割り増し係数の算定を行います。

#### (2) Restart

選択中の計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

#### (3) All - Start

全ての計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平均風速の割り増し係数の算定を行います。

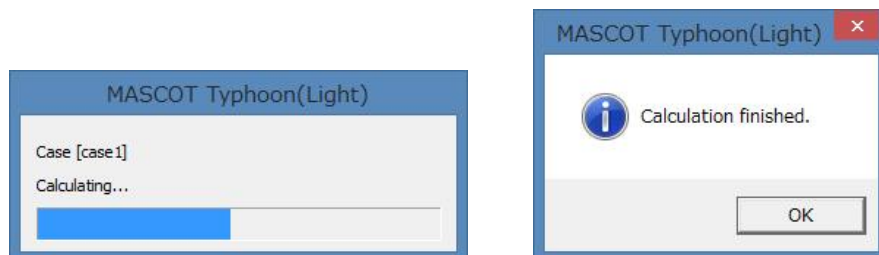
#### (4) All- Restart

全ての計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

#### (5) Stop

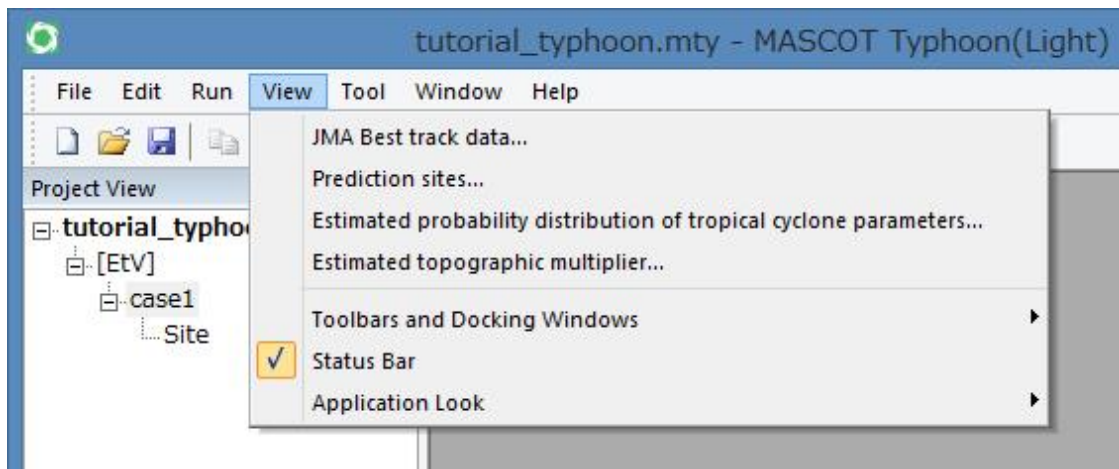
計算を中止します。中止した場合は途中の計算結果は破棄されます。


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

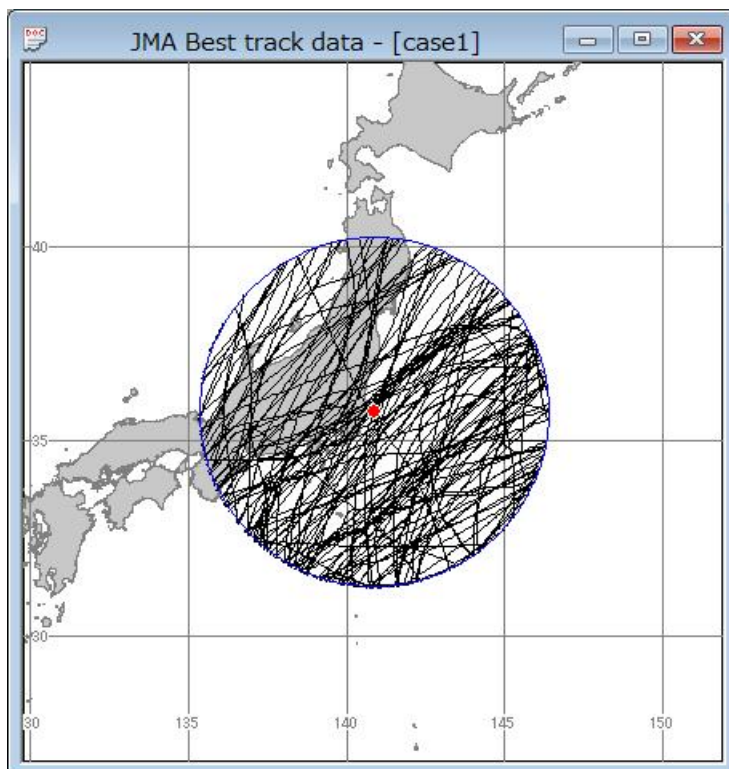
台風経路図、台風パラメータの確率分布図、計算結果の表示に関するメニューです。



選択したビュー画面に対し  ボタンをクリックすることにより、クリックボードへのコピーができます。

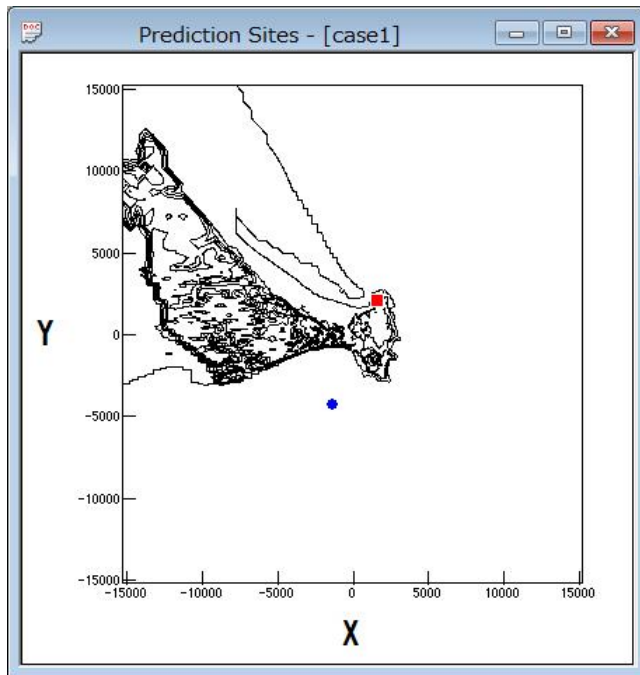
#### (1) JMA Best track data

最接近パラメータ抽出対象となった台風の実台風パスを描画します



(2) Prediction sites

最接近パラメータ抽出位置と風車建設位置の平面図を描画します。

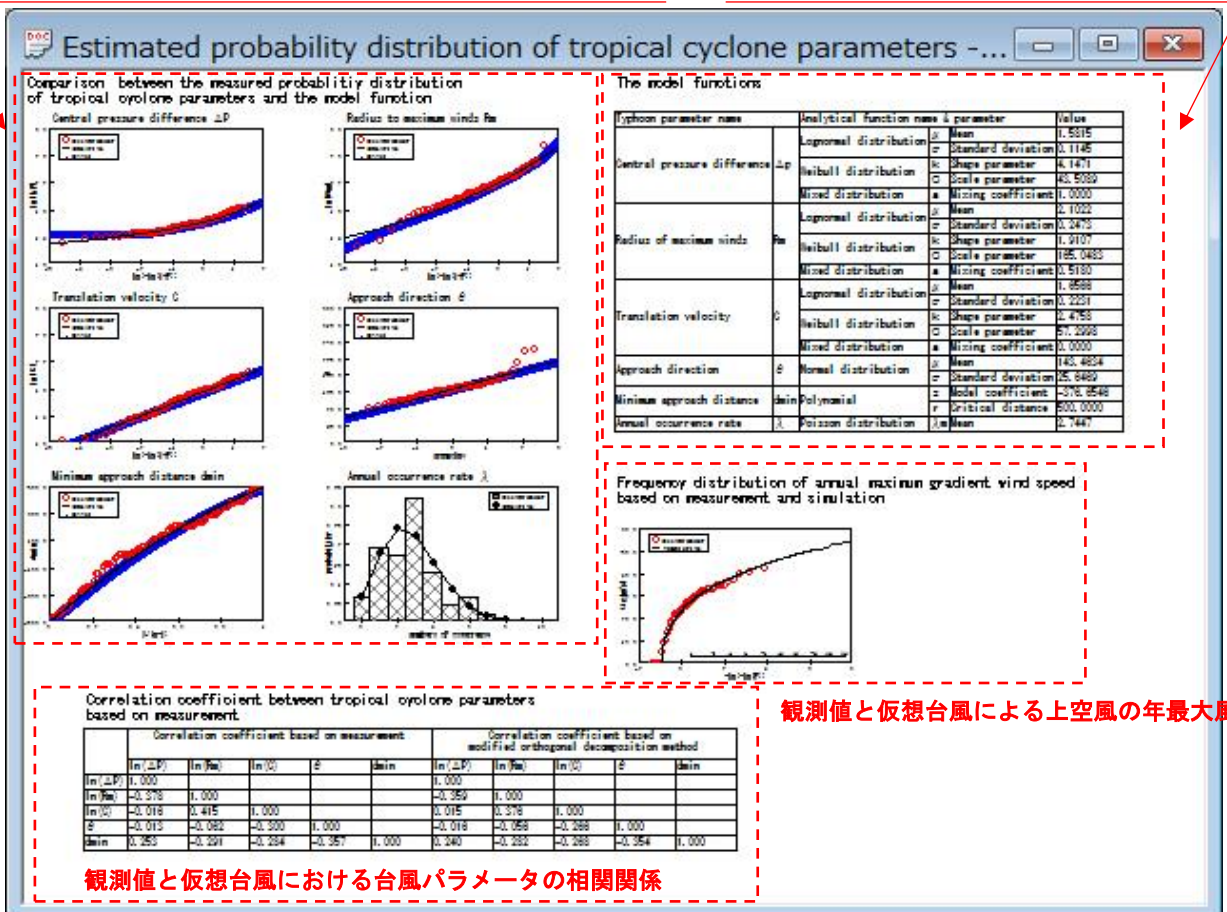


(3) Estimated probability distribution of tropical cyclone parameters

台風パラメータの確率分布算定結果を描画します。

観測値、仮想台風および分布関数による台風パラメータの確率分布

台風パラメータの確率分布関数および特性

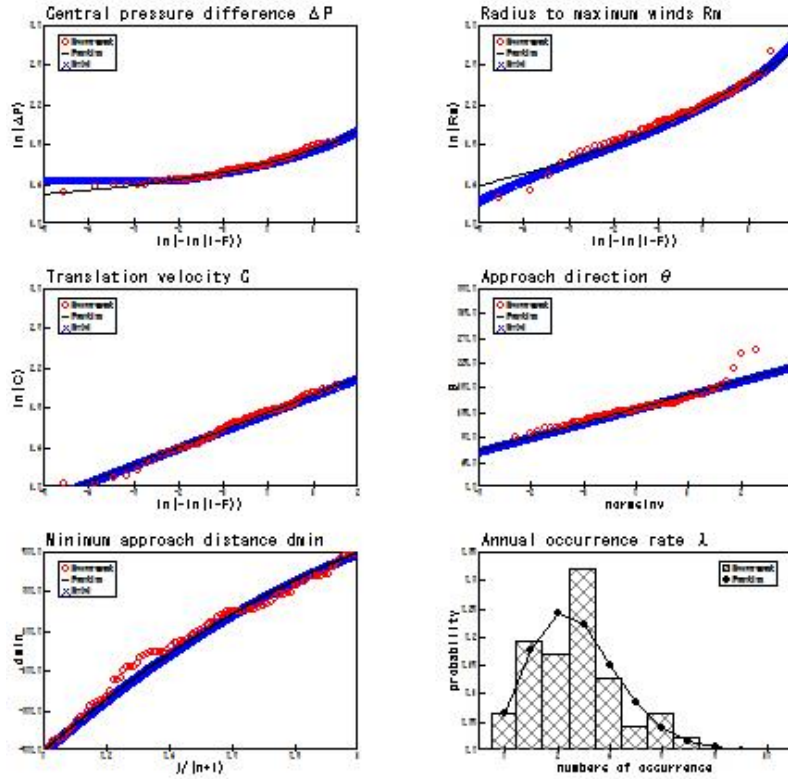


観測値と仮想台風による上空風の年最大風速

観測値と仮想台風における台風パラメータの相関関係

- Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function (観測値と分布関数による台風パラメータの確率分布)

Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function (観測値、仮想台風および分布関数による台風パラメータの確率分布)



- [Central pressure difference  $\Delta P$ ] : 中心気圧低下量
- [Radius of maximum wind  $R_m$ ] : 最大旋衡風速半径
- [Translation velocity  $C$ ] : 進行速度
- [Approach direction  $\theta$ ] : 進行方向
- [Minimum approach distance  $d_{\min}$ ] : 最接近距離
- [Annual occurrence rate  $\lambda$ ] : 台風年間発生数

観測値 : ● (赤丸) (ただし、台風年間発生数は棒グラフ)  
 モデル : — (黒線)  
 仮想台風 : × (青バツ) (ただし、台風年間発生数は非表示)

・ The model functions (台風パラメータの確率分布関数および特性)

Typhoon parameter name		Analytical function name & parameter			Value
Central pressure difference	$\Delta p$	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	1.5815
			$\sigma$	Standard deviation	0.1145
		Weibull distribution	k	Shape parameter	4.1471
			C	Scale parameter	43.5089
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	1.0000		
Radius of maximum winds	$R_m$	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	2.1022
			$\sigma$	Standard deviation	0.2473
		Weibull distribution	k	Shape parameter	1.9107
			C	Scale parameter	165.0483
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	0.5180		
Translation velocity	C	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	1.6566
			$\sigma$	Standard deviation	0.2231
		Weibull distribution	k	Shape parameter	2.4758
			C	Scale parameter	57.2998
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	0.0000		
Approach direction	$\theta$	Normal distribution	$\mu$	Mean	143.4634
			$\sigma$	Standard deviation	25.6469
Minimum approach distance	$d_{min}$	Polynomial	z	Model coefficient	-376.6546
			r	Critical distance	500.0000
Annual occurrence rate	$\lambda$	Poisson distribution	$\lambda$	Mean	2.7447

[Typhoon parameter name] : 台風パラメータ名

[Analytical function name & parameter] : 確率分布関数名と関数パラメータ名

[Value] : 関数パラメータ設定値

[Central pressure difference  $\Delta P$ ] : 中心気圧低下量

[Lognormal distribution] : 対数正規分布

[ $\mu$  Mean] : 平均値

[ $\sigma$  Standard deviation] : 標準偏差

[Weibull distribution] : ワイブル分布

[K Shape parameter] : 形状係数

[C Scale parameter] : 尺度係数

[Mixed distribution] : 混合分布

[a Mixing coefficient] : 混合係数

[Radius to maximum winds  $R_m$ ] : 最大旋衡風速半径

[Lognormal distribution] : 対数正規分布

[ $\mu$  Mean] : 平均値

[ $\sigma$  Standard deviation] : 標準偏差

[Weibull distribution] : ワイブル分布

[K Shape parameter] : 形状係数

[C Scale parameter] : 尺度係数

[Mixed distribution] : 混合分布

[a Mixing coefficient] : 混合係数

[Translation velocity C] : 進行速度

[Lognormal distribution] : 対数正規分布

[ $\mu$  Mean] : 平均値

- [ $\sigma$  Standard deviation] : 標準偏差
- [Weibull distribution] : ワイブル分布
- [K Shape parameter] : 形状係数
- [C Scale parameter] : 尺度係数
- [Mixed distribution] : 混合分布
- [a Mixing coefficient] : 混合係数
- [Approach direction  $\theta$ ] : 進行方向
- [Normal distribution] : 正規分布
- [ $\mu$  Mean] : 平均値
- [ $\sigma$  Standard deviation] : 標準偏差
- [Minimum approach distance  $d_{\min}$ ] : 最接近距離
- [Polynomial] : 二次関数
- [z Model coefficient] : 近似係数
- [r Critical distance] : 限界距離
- [Annual occurrence rate  $\lambda$ ] : 台風の年間発生数
- [Poisson distribution] : ポアソン分布
- [ $\lambda_m$  Mean] : 平均年間発生数

・ Correlation coefficient between the tropical cyclone parameters based on measurement (観測値による台風パラメータの相関係数)

	Correlation coefficient based on measurement					Correlation coefficient based on modified orthogonal decomposition method				
	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{\min}$	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{\min}$
$\ln(\Delta P)$	1.000					1.000				
$\ln(R_m)$	-0.378	1.000				-0.359	1.000			
$\ln(C)$	-0.016	0.415	1.000			0.015	0.376	1.000		
$\theta$	-0.013	-0.062	-0.300	1.000		-0.016	-0.056	-0.266	1.000	
$d_{\min}$	0.253	-0.291	-0.284	-0.357	1.000	0.240	-0.282	-0.268	-0.354	1.000

[Correlation coefficient based on measurement] : 観測値による台風パラメータ間の相関

[Correlation coefficient based on modified orthogonal decomposition method]

: 修正直交変換法による仮想台風の台風パラメータ間の相関

[ $\log(\Delta P)$ ] : 中心気圧低下量の対数値

[ $\log(R_m)$ ] : 最大旋衡風速半径の対数値

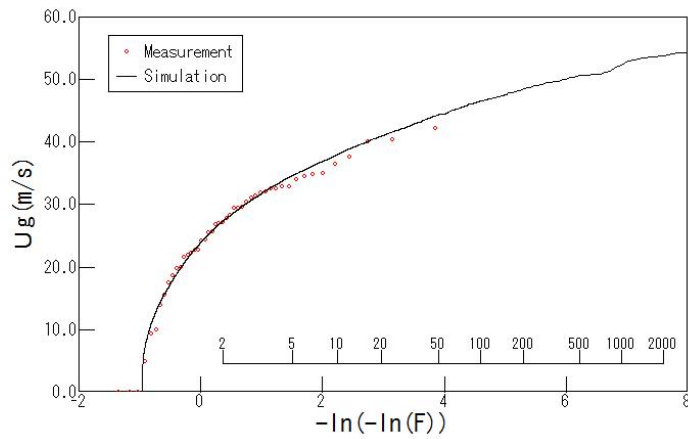
[ $\log(C)$ ] : 進行速度の対数値

[ $\theta$ ] : 進行方向

[ $d_{\min}$ ] : 最接近距離

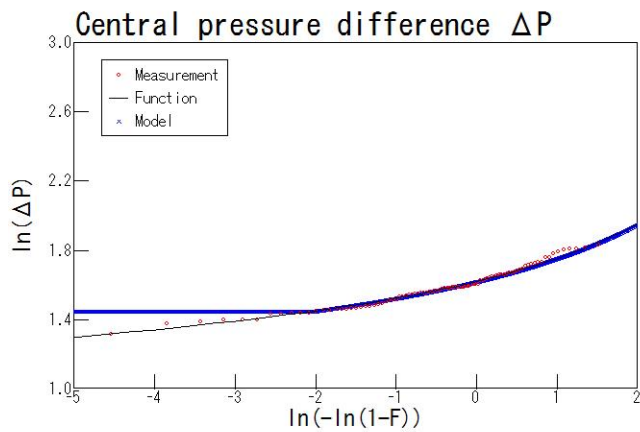




- ・ Frequency distribution of annual maximum gradient wind speed based on measurement and simulation (観測値と仮想台風による上空風の年最大風速)



上記の解析結果表示画面「(3)、(4)」は、グラフおよび表をマウス左ボタンでダブルクリックすると、選択位置のグラフおよび表が別ウィンドウで表示されます。

例：(4) の[Central pressure difference  $\Delta P$ ]のグラフをマウス左ボタンでダブルクリックすると、下図が表示されます。

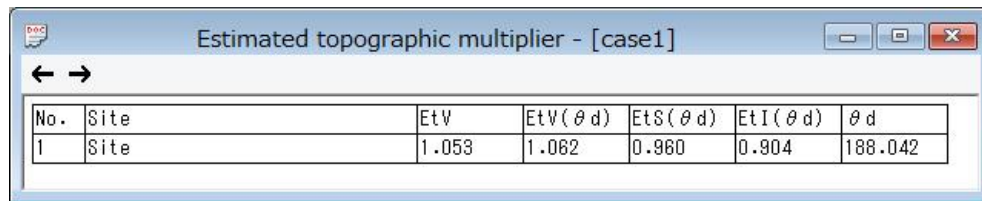


さらに、ツールバー  の  ボタンをクリックすると、選択されているビューの内容をクリップボードへコピーできます。



**(4) Estimated topographic multiplier**

風向特性を考慮した地形による平均風速の割り増し係数の算定結果を表示します。



No.	Site	EtV	EtV( $\theta d$ )	EtS( $\theta d$ )	EtI( $\theta d$ )	$\theta d$
1	Site	1.053	1.062	0.960	0.904	188.042

[No] : 風車建設地点 No

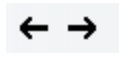
[Site] : 風車建設地点名称

[EtV( $\theta d$ )] : 風向特性を考慮した地形による風速の割り増し係数

[EtS( $\theta d$ )] : 地形による変動風速の補正係数

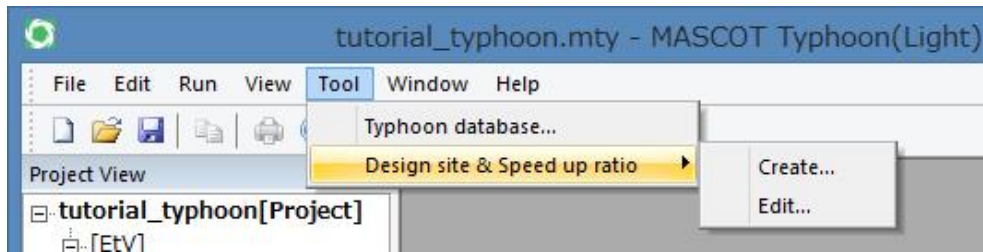
[EtI( $\theta d$ )] : 地形による乱流強度の補正係数

[ $\theta d$ ] : 照査対象風向 (度、北から時計回りの角度)

 : 登録地点が 1 ページに表示きれない時に前後ページの選択を行います。

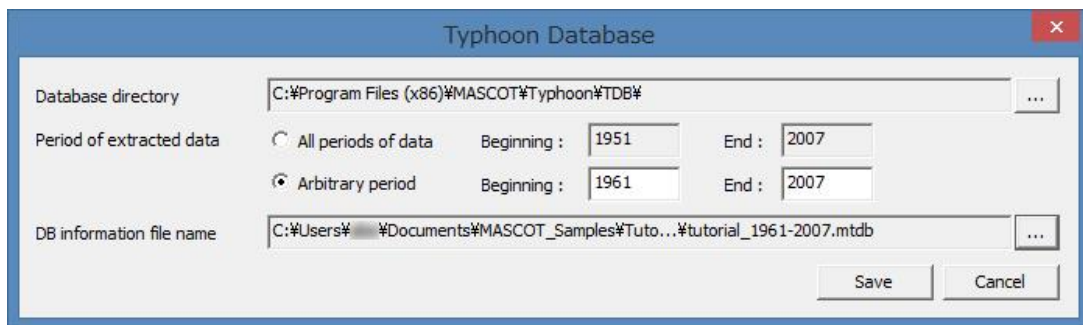
### 3-3-5. [Tool]メニュー

台風データベース、風車建設地点および風速比の設定に関するメニューです。



#### [Typhoon database...]

台風データベースに関する設定を行います。



**Database directory** : 台風データベースの保存されているフォルダを指定します。

通常は、MASCOT Typhoon のインストールフォルダ内の[TDB]を指定します。

**Period of extracted data** : 解析に用いる台風データベースの期間を指定します。

通常は、[Arbitrary periods ]の 1961 年から 2007 年を選択します。

**DB information file name** : 解析に用いる台風データベースの情報を保存するファイル名を指定します。

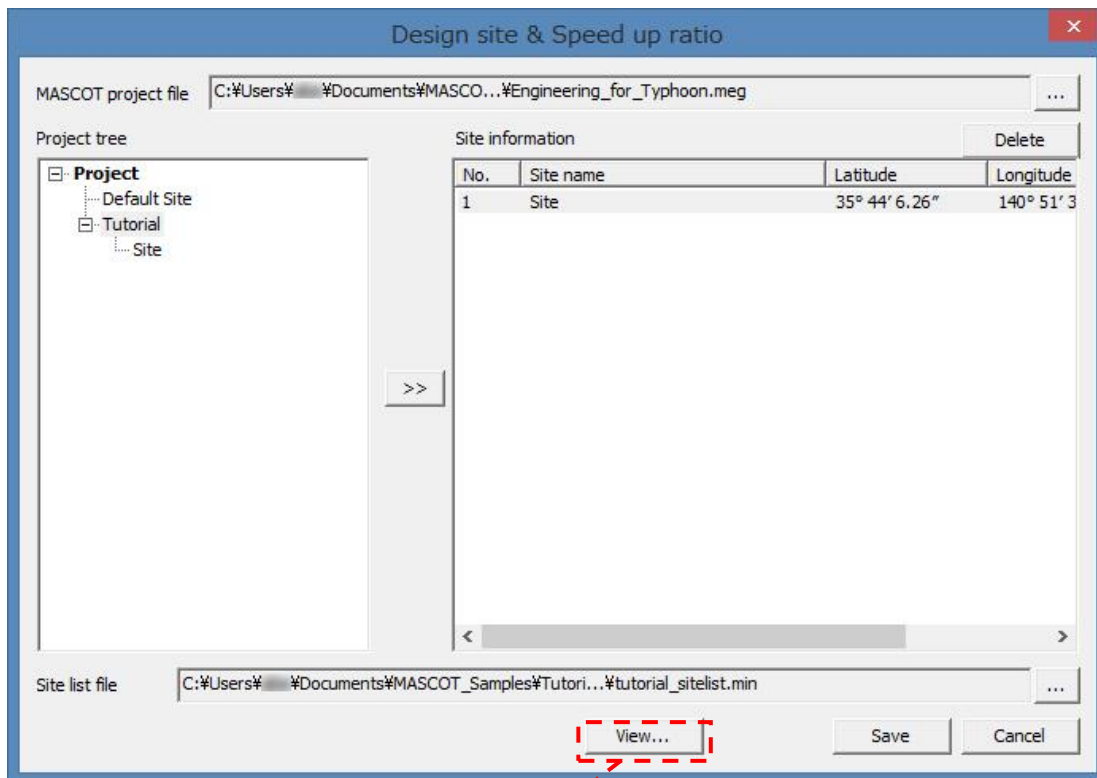
台風データベース情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の [Library]-[Typhoon\_DB]です。

<Save> : 設定値の保存を行います。

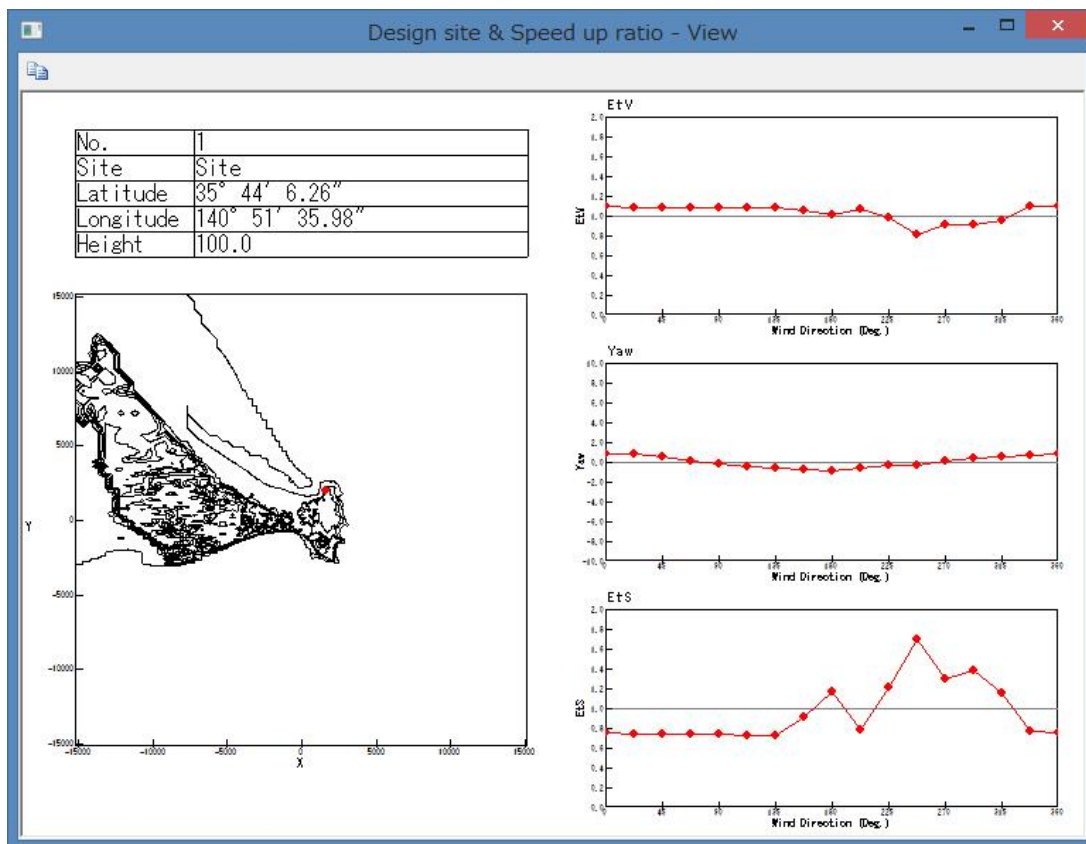
<Cancel> : 設定値を破棄して前画面に戻ります。

#### (1) [Design site & Speed up ratio]-[Create...]

風車建設地点に関する設定を行います。



(A 画面)




MASCOT Project file : MASCOT Engineering のプロジェクトファイルを指定します。

事前に MASCOT Engineering で平均風速の地形による割増係数を算定しておく必要があ

ります。

**Project tree** : [MASCOT Project file]で指定した **project tree** が表示されます。

 : [Project tree]で選択したプロジェクト情報を MASCOT Typhoon のプロジェクトにインポートします。  
インポートされるプロジェクト情報は以下の5つです。

- Site
- Latitude
- Longitude
- Height
- 風向別の平均風速の地形による割増係数 [E<sub>TV</sub>]
- 風向別の風向偏角 [Yew]
- 風向別の変動風速の地形による補正係数 [E<sub>TS</sub>]
- 上記以外の風向別の情報についても保存されていますが、画面上では確認することはできません。確認が必要な場合は、MASCOT Engineering から確認してください。

**Site information** : インポートした解析地点情報のリストが表示されます。

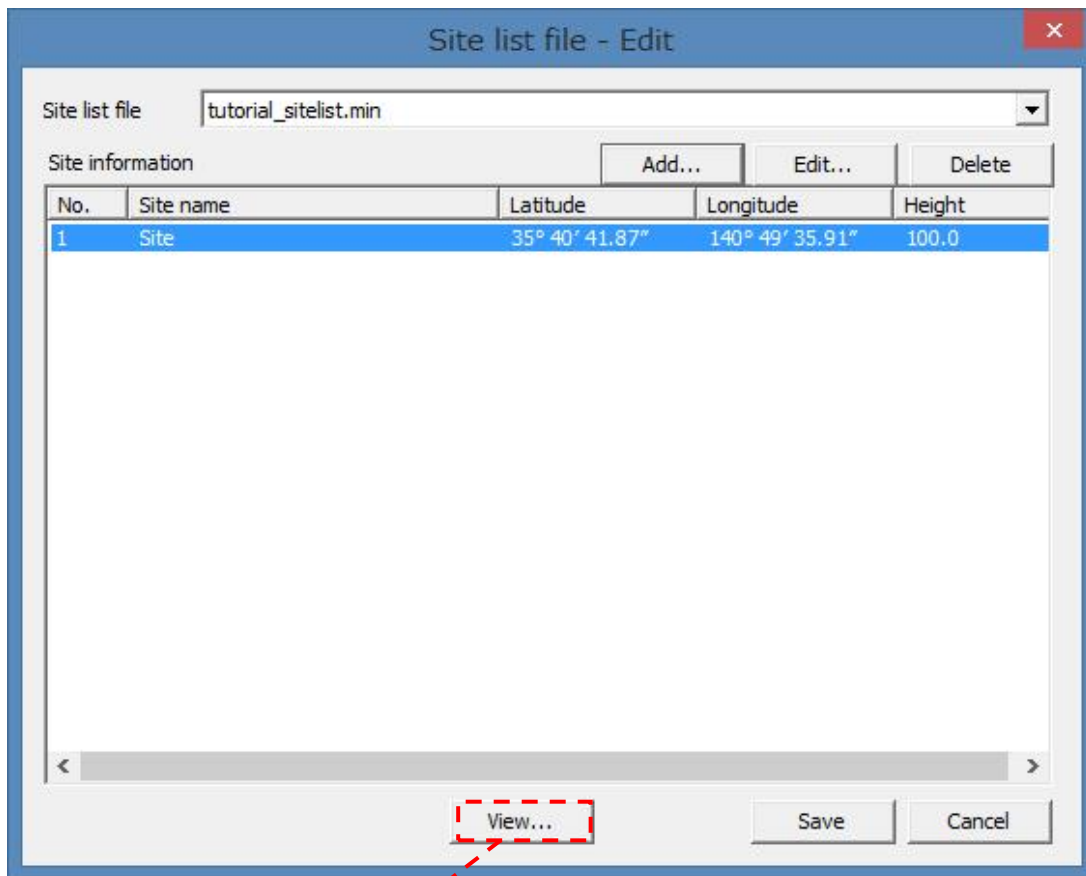
**Site list file** : 解析地点毎の風速比等の情報を保存するファイル名を指定します。  
解析地点毎の風速比情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の  
[Library]-[WS\_Ratio]です。

<View> : [Site information]で選択した解析地点の位置情報、風向別情報が表示されます (A画面 参照)。

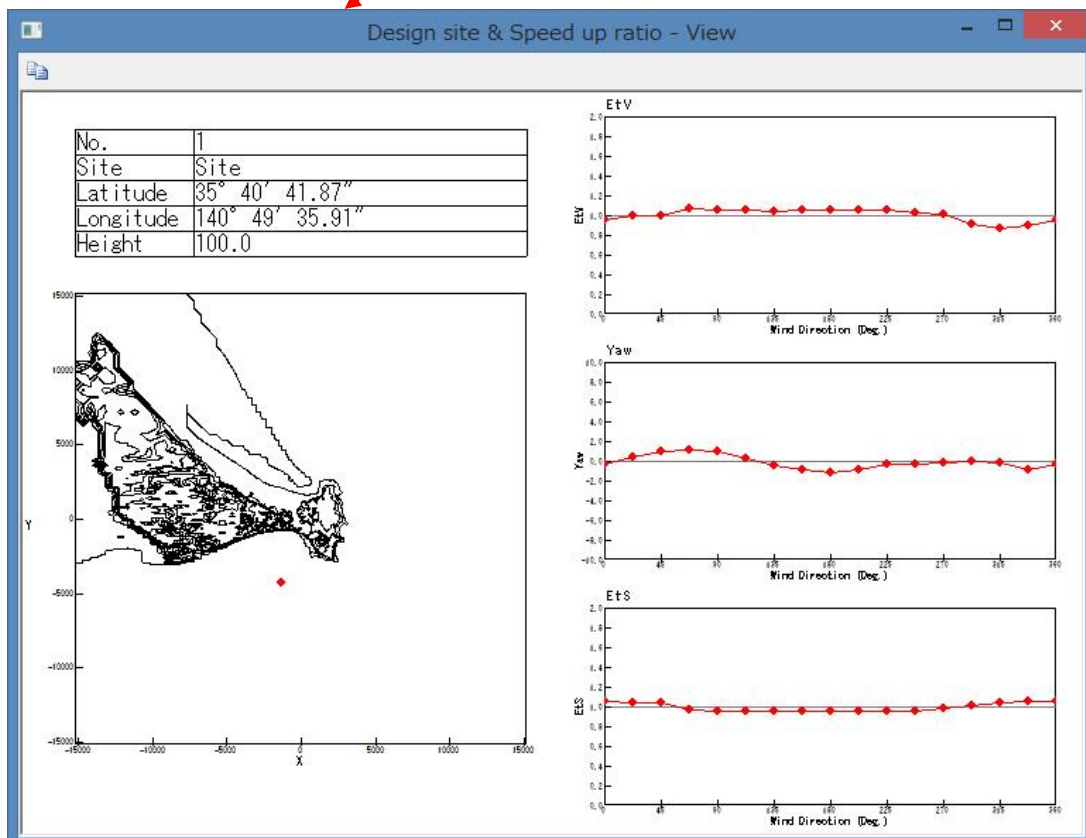
<Save> : 設定値の保存を行います。

<Cancel> : 設定値を破棄して前画面に戻ります。

(2) [Design site & Speed up ratio]-[Edit...]



(B画面)



<Add...> :

Design site & Speed up ratio - Add site

Site name:

Latitude:  °  '  "

Longitude:  °  '  "

Height:  m

Speed up ratio Edit...

No.	Direction	Etv	Yaw	Ets
1	0.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
2	22.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99
3	45.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
4	67.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99
5	90.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
6	112.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99
7	135.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
8	157.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99
9	180.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
10	202.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99
11	225.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
12	247.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99
13	270.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
14	292.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99
15	315.0	-99999.99	-99999.99	-99999.99
16	337.5	-99999.99	-99999.99	-99999.99

OK キャンセル

< Edit... > :

Design site & Speed up ratio - Edit ...

Direction:  0.0

Etv:  -99999.99

Yaw:  -99999.99

Ets:  -99999.99

OK キャンセル

< Edit... > :

Design site & Speed up ratio - Edit

Site name: Site

Latitude: 35 ° 40 ' 41.87 "

Longitude: 140 ° 49 ' 35.91 "

Height: 100.0 m

Speed up ratio Edit...

No.	Direction	EtV	Yaw	ETS
1	0.0	0.959	-0.352	1.059
2	22.5	0.998	0.478	1.038
3	45.0	0.998	1.071	1.038
4	67.5	1.07	1.17	0.969
5	90.0	1.06	0.939	0.959
6	112.5	1.052	0.268	0.953
7	135.0	1.049	-0.414	0.951
8	157.5	1.05	-0.858	0.953
9	180.0	1.062	-1.09	0.96
10	202.5	1.057	-0.831	0.955
11	225.0	1.061	-0.218	0.959
12	247.5	1.034	-0.327	0.962
13	270.0	1.013	-0.168	0.986
14	292.5	0.908	-0.045	1.016
15	315.0	0.866	-0.128	1.038
16	337.5	0.898	-0.807	1.053

OK キャンセル

< Edit... > : 選択行の値を編集します。

Design site & Speed up ratio - Edit ...

Direction: 0.0

EtV: 0.959

Yaw: -0.352

ETS: 1.059

OK キャンセル

< Delete > : 設定値を破棄して前画面に戻ります。

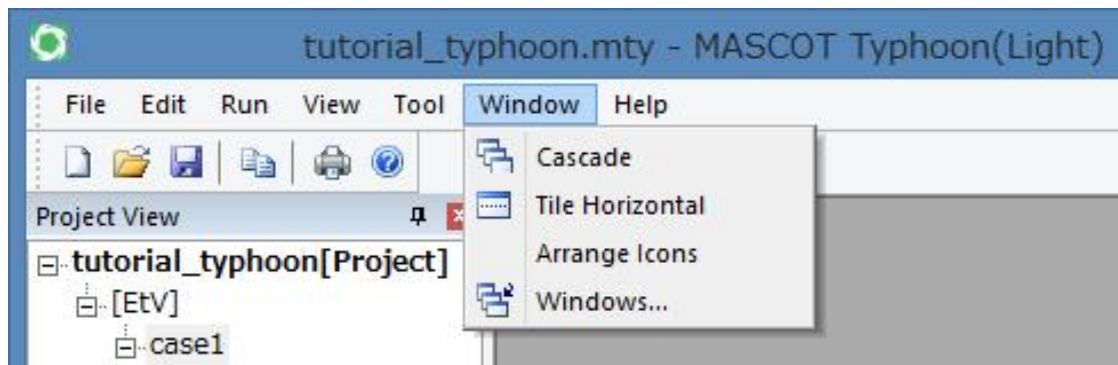
< Save > : 設定値の保存を行います。

< View > : [Site information]で選択した解析地点の位置情報、風向別情報が表示されます (B画面 参照)。

< Cancel > : 設定値を破棄して前画面に戻ります。

### 3-3-6. [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。



#### [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 Horizontal]

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。

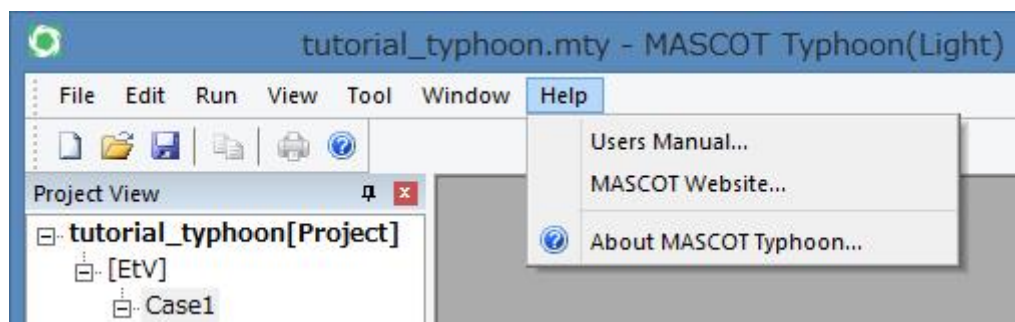
#### [Windows...]

表示されたビューを操作します。



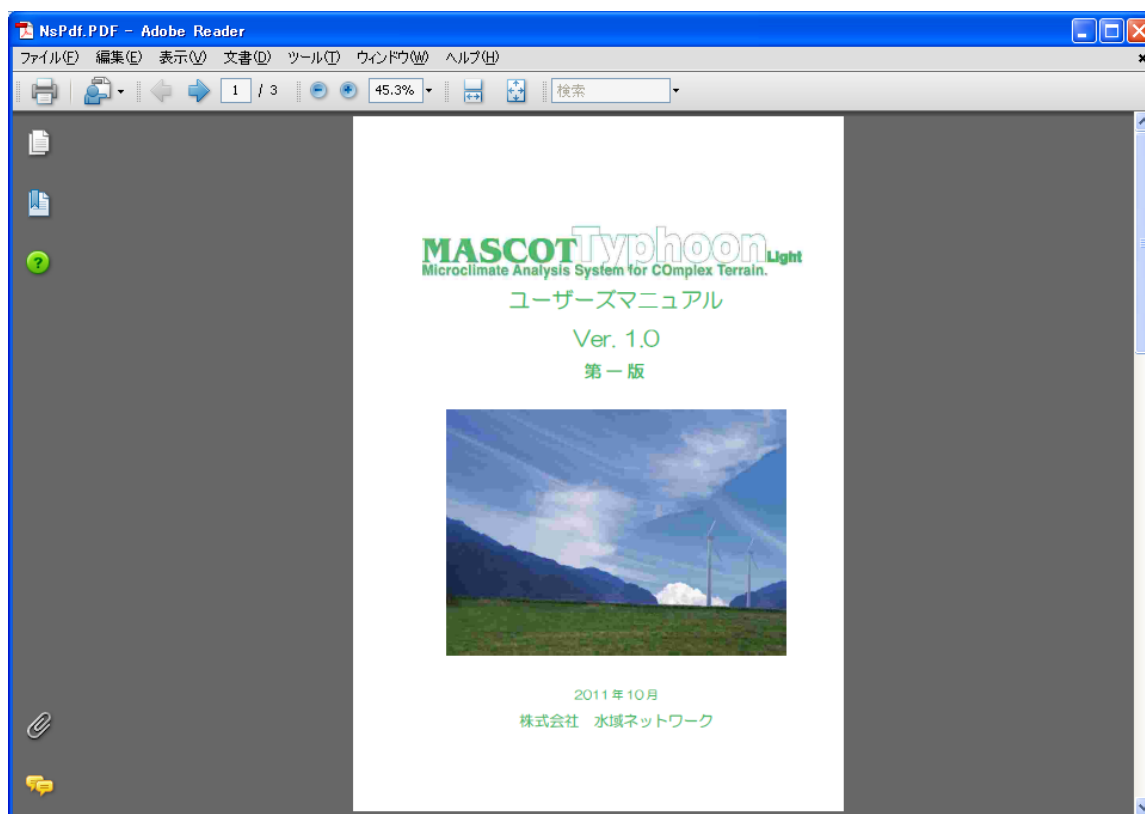
### 3-3-7. [Help]メニュー

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



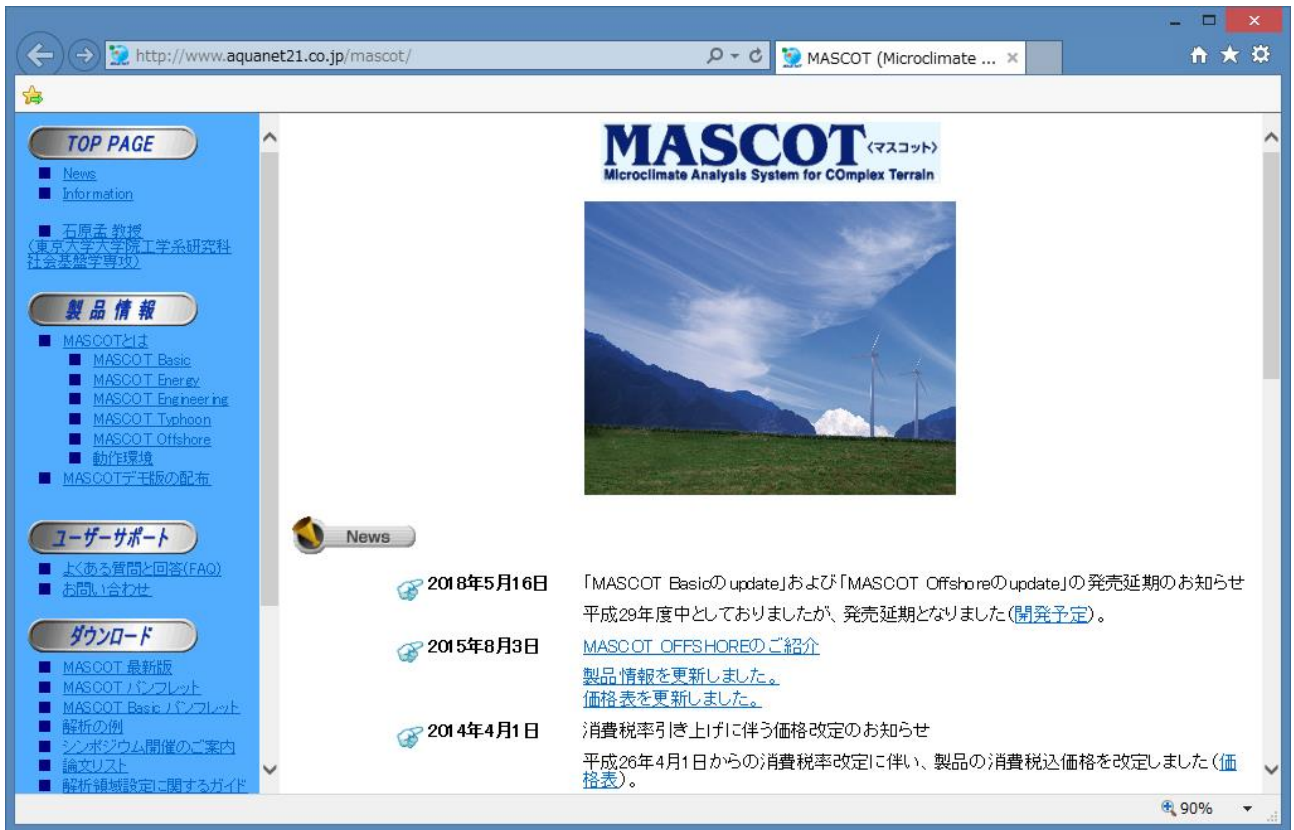
### [Users Manual...]

ユーザーズ・マニュアルを表示します (PDF 形式)。




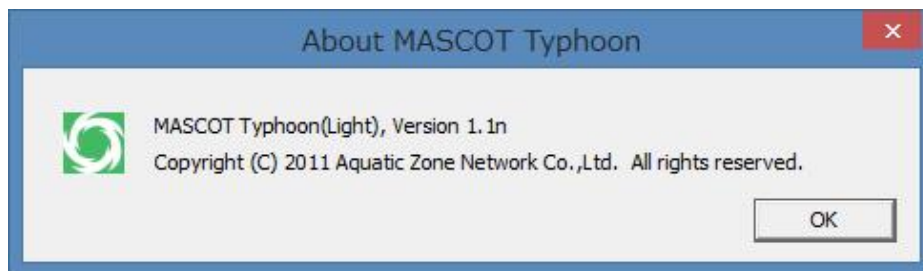
[MASCOT Web Site...]

MASCOT のホームページを表示します。



[About MASCOT Typhoon...]

MASCOT Typhoon 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 Typhoon (Light) の理論について説明します。

第4章 Modelling (理論).....	4-1
4-1. 台風シミュレーション手法の流れ.....	4-2
4-2. 台風データベースの概要.....	4-3
4-3. 台風パラメータの確率分布の推定.....	4-4
4-4. 台風の発生.....	4-6
4-5. 上空風の推定.....	4-8
4-6. 一様粗度上の風向・風速の算定.....	4-9
4-7. 実地形上の風向・風速の算定.....	4-10
4-8. 台風シミュレーションによる平均風速の地形による割増係数の評価.....	4-12

#### 4-1. 台風シミュレーション手法の流れ

図 - 4.1 には台風シミュレーション手法の流れを示します。はじめに過去の台風観測データベースより、台風の気圧場を表す5つのパラメータである中心気圧低下量  $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径  $R_m$ 、進行速度  $C$ 、進行方向  $\theta$ 、最接近距離  $d_{\min}$  および台風の年発生数  $\lambda$  に対してモデル化をして確率分布を求めます。次に、台風の気圧場パラメータおよび台風の年発生数  $\lambda$  の確率分布に従い、人工的に台風の気圧場を発生させます。そして、発生させた台風の気圧場から上空風を求め、強風の鉛直分布特性を考慮して一様粗度上の風速を算定します。さらに、別途気流シミュレーションより求めた風向別風速割増係数により地表面の粗度や地形の効果を考慮した地上風を算出します。最後に、台風シミュレーションにより求めた10分平均風速および風向を算出し、年最大風速と風向を抽出すると共に、空間の風向特性を考慮した地形による平均風速の割増係数を評価します。

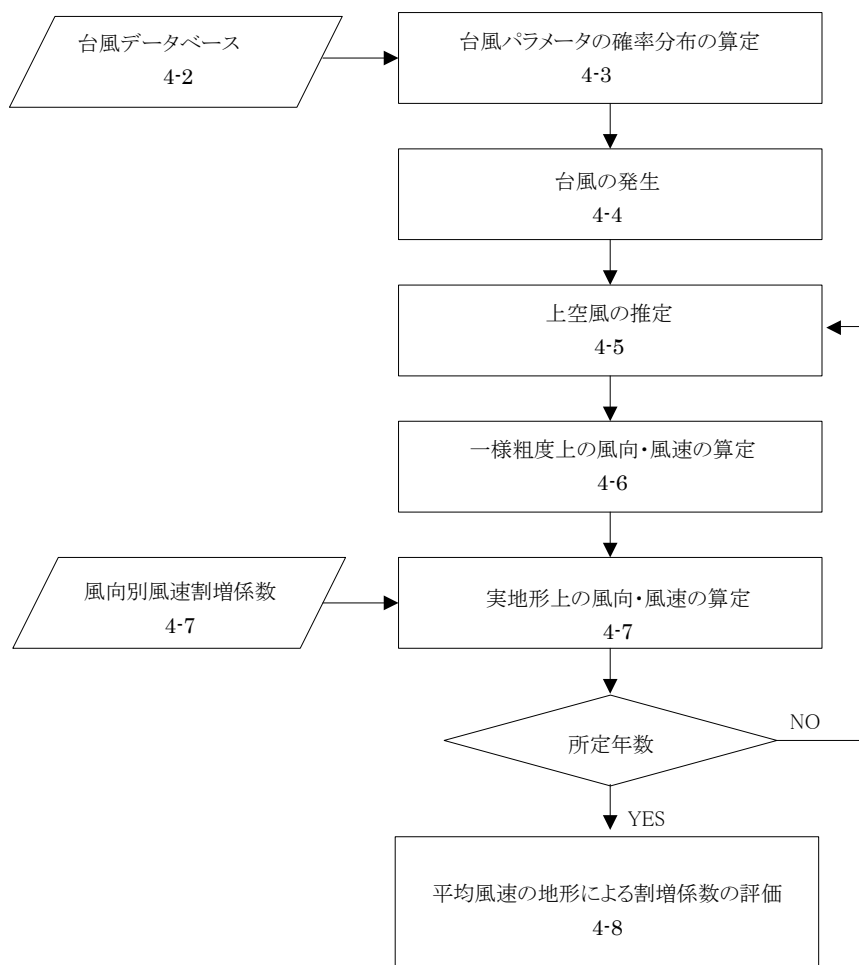


図 - 4.1 台風シミュレーションのフロー

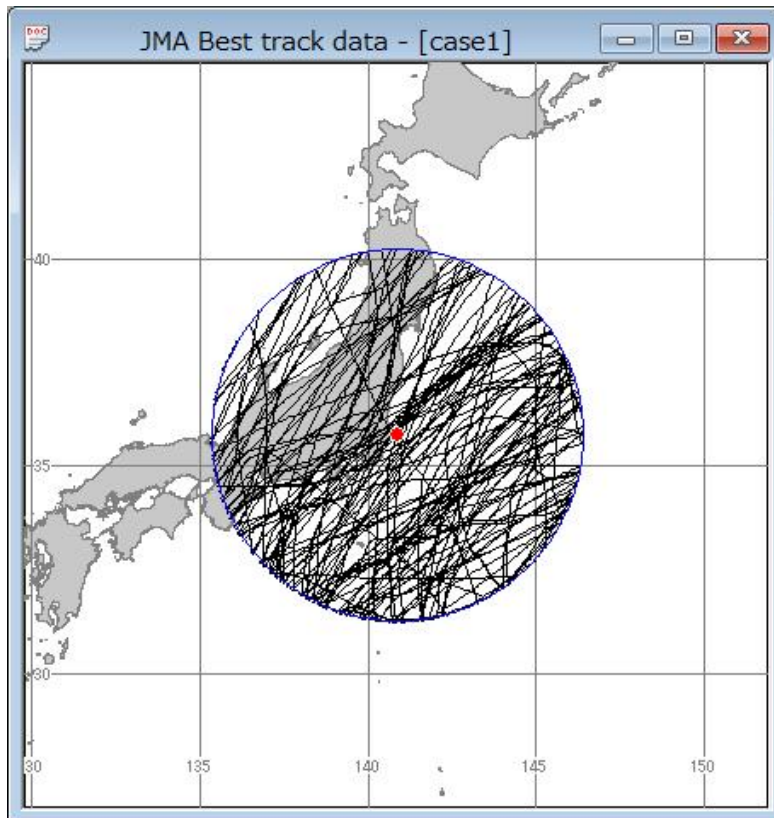
## 4-2. 台風データベースの概要

台風データベースは表 - 4.1 に示す観測資料を基に作成した。台風データベースに記述されている値は台風番号、最接近時の月日時、緯度、経度のほか、台風の気圧場を表すパラメータである中心気圧低下量 $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径 $R_m$ 、進行速度 $C$ 、進行方向 $\theta$ 、最接近距離 $d_{\min}$ 等が記述されています。

表 - 4.1 台風に関する観測資料

	期間 (year)	時間間隔 (hour)	気圧精度 (hPa)	出典
台風経路データ	1951-1990	6	5	気象庁
	1991-2008	3~6		
海面気圧データ	1961-1990	3	0.1	気象庁
	1991-2008	1	0.1	
天気図	1951-1995	12	5	気象庁
	1996-2008	6	5	

台風データベースから最接近パラメータ抽出対象となった台風の実台風パスの例を下図に示します。



### 4-3. 台風パラメータの確率分布の推定

本節では、モンテカルロ法により人工的に台風を発生させる際に基となる、台風の気圧場を表す台風パラメータおよび台風の年発生数の確率分布の推定方法について述べます。

まず、気象台における過去に観測された台風時の気圧場より、対象地点から半径 500km 以内の地点を通過し、中心気圧が 985hPa 以下となった台風を台風の気圧場を表す 5 つの台風パラメータ、中心気圧低下量  $\Delta p$ 、最大旋衡風速半径  $R_m$ 、進行速度  $C$ 、進行方向  $\theta$ 、最接近距離  $d_{\min}$  および台風の年発生数  $\lambda$  により表す。台風の年発生数  $\lambda$  はポアソン分布関数、最接近距離  $d_{\min}$  は二次関数、進行方向  $\theta$  は正規分布関数でモデル化し、中心気圧低下量  $\Delta p$ 、最大旋衡風速半径  $R_m$ 、進行速度  $C$  は石原ら<sup>1)</sup>によって提案された対数正規分布とワイブル分布に基づく混合確率分布関数 MPDF (Mixed Probabilistic Distribution Function) によりモデル化します(表 - 4.2)。ここで、混合確率分布関数の右辺第一項は対数正規分布関数、右辺第二項はワイブル分布関数を表す。それぞれの関数のパラメータは、 $\mu$  は平均値、 $\sigma$  は標準偏差、 $k$  は形状係数、 $c$  は尺度係数、 $a$  は混合係数、 $z$  は近似係数、 $r$  は限界距離、 $\lambda_m$  は平均年発生回数、 $x$  は年間発生数である。図 - 4.2 には銚子気象台における各台風パラメータの確率分布の推定結果を観測値とともに示します。なお、観測値は前出の表 - 4.1 に示した台風に関する観測資料を基とした台風最接近時における値である。さらに、中心気圧低下量  $\Delta p$ 、最大旋衡風速半径  $R_m$  については式(4.1)、(4.2)により同定しました。

$$p(r) = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{R_m}{r}\right) \quad (4.1)$$

$$\Delta p = p_\infty - p_c \quad (4.2)$$

ここで、 $p(r)$  は半径  $r$  における気圧、 $p_c$  は中心気圧、 $\Delta p$  は中心気圧低下量、 $R_m$  は最大旋衡風速半径、 $r$  は台風中心からの距離、 $p_\infty$  は周辺気圧を示します。

表 - 4.2 台風パラメータの確率分布関数

台風パラメータ	確率分布関数	
中心気圧低下量 $\Delta p$	混合確率分布 (MPDF)	$F_M(x) = a \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] + (1-a) \times \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right]$
最大旋衡風速半径 $R_m$		
進行速度 $C$		
進行方向 $\theta$	正規分布	$F_S(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$
最接近距離 $d_{\min}$	二次関数	$d_{\min}(x) = zx^2 - (z - 2r)x - r$
台風の年発生数 $\lambda$	ポアソン分布	$\lambda(x) = \frac{\lambda_m^x \exp(-\lambda_m)}{x!}$

## 本プログラム実行例

Typhoon parameter name		Analytical function name & parameter			Value
Central pressure difference	$\Delta p$	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	1.5815
			$\sigma$	Standard deviation	0.1145
		Weibull distribution	k	Shape parameter	4.1471
			C	Scale parameter	43.5089
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	1.0000		
Radius of maximum winds	$R_m$	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	2.1022
			$\sigma$	Standard deviation	0.2473
		Weibull distribution	k	Shape parameter	1.9107
			C	Scale parameter	165.0483
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	0.5180		
Translation velocity	C	Lognormal distribution	$\mu$	Mean	1.6566
			$\sigma$	Standard deviation	0.2231
		Weibull distribution	k	Shape parameter	2.4758
			C	Scale parameter	57.2998
Mixed distribution	a	Mixing coefficient	0.0000		
Approach direction	$\theta$	Normal distribution	$\mu$	Mean	143.4634
			$\sigma$	Standard deviation	25.6469
Minimum approach distance	$d_{min}$	Polynomial	z	Model coefficient	-376.6546
			r	Critical distance	500.0000
Annual occurrence rate	$\lambda$	Poisson distribution	$\lambda_m$	Mean	2.7447



#### 4-4. 台風の発生

本節では前節の手法により推定した台風の気圧場を表す 5 つの台風パラメータおよび台風の年発生数の確率分布に基づきモンテカルロ法により人工的に擬似台風を発生させる方法について述べます。

台風パラメータの確率分布に基づきモンテカルロ法により人工的に擬似台風を発生させる際には、台風パラメータの確率分布を正確に再現するだけでなく、パラメータ間の相関関係も忠実に再現する必要があります。ここでは石原ら<sup>1)</sup>によって提案された修正直交変換法 MOD(Modified Orthogonal Decomposition)を用います。この手法は以下の三つのステップからなります。

##### (1) 独立パラメータへの直交変換

まず相関をもつ台風パラメータを独立パラメータへの直交変換を行ないます。台風の気圧場を表すパラメータ、気圧低下量  $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径  $R_m$ 、進行速度  $C$ 、進行方向  $\theta$ 、最接近距離  $d_{\min}$  から構成されるベクトルは次式により表します。

$$\{x_i\}^T = \{\ln(\Delta P), \ln(R_m), \ln(C), \theta, d_{\min}\} \quad (4.3)$$

台風パラメータ間の共分散行列を  $[S]$  とし、固有値  $\lambda_k$  と固有ベクトル  $\{\phi_k\}$  の関係は次式により表すことができます。

$$[S - \lambda_k E]\{\phi_k\} = 0 \quad (4.4)$$

独立パラメータ  $\{z_i\}$  は相関をもつ台風パラメータ  $\{x_i\}$  と固有ベクトルの行列  $[\phi]$  により次式から求めることができます。

$$\{z_i\} = [\phi]\{x_i\} \quad (4.5)$$

このように得られた独立パラメータ  $\{z_i\}$  は正規分布と一様分布に基づく混合確率分布関数により近似します。

##### (2) 相関の持つ台風パラメータへの逆変換

次に、独立パラメータ  $\{z_i\}$  の確率分布に基づき、モンテカルロ法により発生した台風パラメータ  $\{z_i'\}$  に固有ベクトルの逆行列をかけて、相関の持つ台風パラメータ  $\{x_i'\}$  への逆変換を次式により行います。

$$\{x_i'\} = [\phi]^{-1}\{z_i'\} \quad (4.6)$$

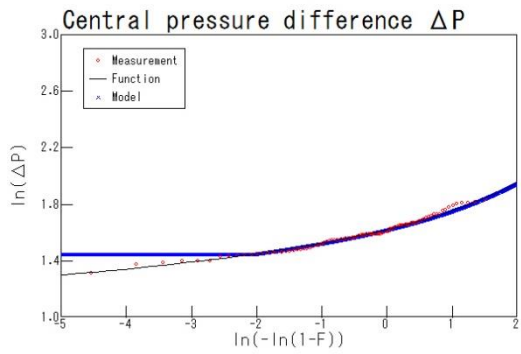
##### (3) 目標とした確率分布への修正

逆変換により求められた台風パラメータ  $\{x_i'\}$  を台風パラメータの目標確率分布と完全に一致させるために、台風パラメータ  $\{x_i'\}$  と目標確率分布により発生した台風パラメータ  $\{z_i\}$  をそれぞれ昇順に並べ、目標確率モデルにより発生した台風パラメータ  $\{z_i\}$  の値に合うように逆変換された台風パラメータ  $\{x_i'\}$  の値を修正します。このように修正された台風パラメータ  $\{x_i'\}$  は台風パラメータの組みを変えないため、目標確率分布と一致するとともに、相関関係も満足しています。

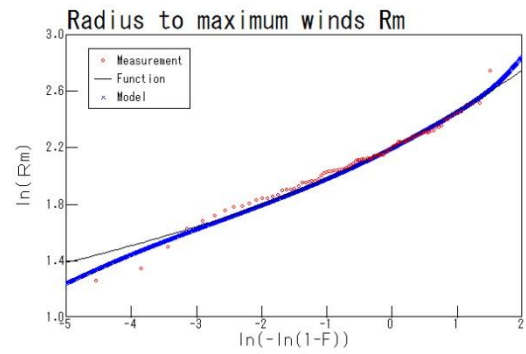
表 - 4.3 に示した修正直交変換法により求めた相関関係は、台風の観測データにより求めた相関関係を精度よく再現しており、**エラー! 参照元が見つかりません。** に示したように目標とした確率分布とも一致しています。

表 - 4.3 台風パラメータの相関関係の例

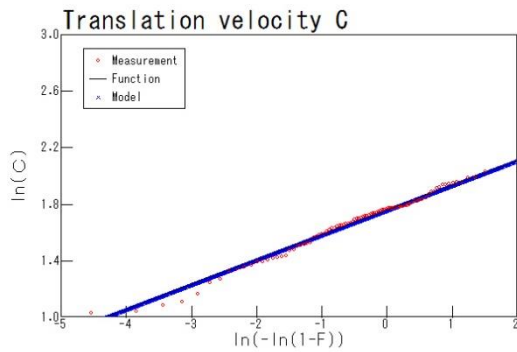
	Correlation coefficient based on measurement					Correlation coefficient based on modified orthogonal decomposition method				
	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{min}$	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{min}$
$\ln(\Delta P)$	1.000					1.000				
$\ln(R_m)$	-0.378	1.000				-0.359	1.000			
$\ln(C)$	-0.016	0.415	1.000			0.015	0.376	1.000		
$\theta$	-0.013	-0.062	-0.300	1.000		-0.016	-0.056	-0.266	1.000	
$d_{min}$	0.253	-0.291	-0.284	-0.357	1.000	0.240	-0.282	-0.268	-0.354	1.000



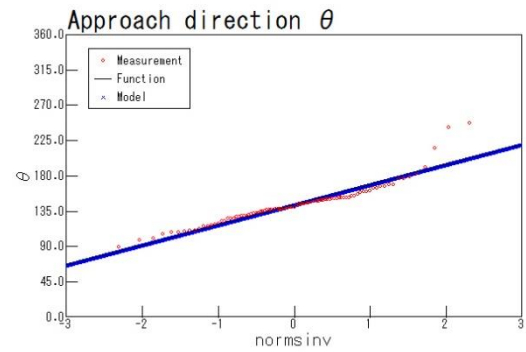
a) 中心気圧低下量  $\Delta P$



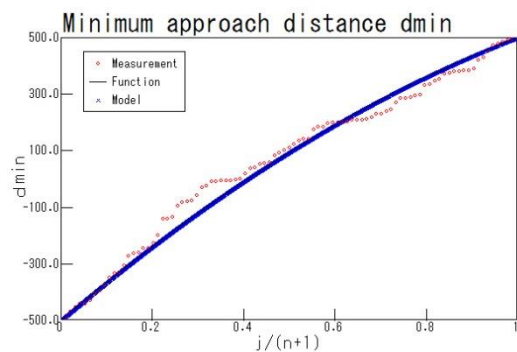
b) 最大旋衡風速半径  $R_m$



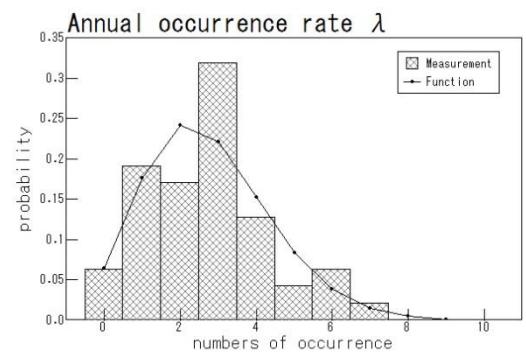
c) 進行速度  $C$



d) 進行方向  $\theta$



e) 最接近距離  $d_{min}$



f) 年発生頻度  $\lambda$

図 - 4.2 台風パラメータ、修正直行変換法による台風パラメータの確率分布の例

#### 4-5. 上空風の推定

本節では、前節で人工的に発生させた5つの台風パラメータにより上空風を推定する手法について述べます。

上空風の推定は石原ら<sup>2)</sup>によって提案された台風モデルを用いて算出します。この手法では上空風は台風時の気圧分布を Schloemer の式(式(4.7))で表し、傾度風平衡に基づいて式(4.8)から算出します。上空風は周方向成分 $v_{\theta g}$ のみを持つと仮定し、式(4.9)に示すように半径方向成分 $v_{rg}$ の風速は0としました。

$$p(r) = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{R_m}{r}\right) \quad (4.7)$$

$$v_{\theta g} = \frac{c_\theta - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{c_\theta - fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}} \quad (4.8)$$

$$v_{rg} = 0 \quad (4.9)$$

ここで、 $p(r)$ は半径 $r$ における気圧、 $p_c$ は中心気圧、 $\Delta p$ は中心気圧低下量、 $R_m$ は最大旋衡風速半径、 $r$ は台風中心からの距離を示す。 $v_{\theta g}$ は傾度風の円周方向成分、 $v_{rg}$ は傾度風の半径方向成分、 $c_\theta$ は台風移動速度の周方向成分、 $f$ はコリオリパラメータ、 $\rho$ は密度です。

図 - 4.3には台風モデルにより推定した1万年間の個々の台風の10分平均風速の時系列データより、1年毎に年最大風速を抽出して年最大風速の非超過確率分布を算定し、観測値とともにプロットしました。推定された年最大風速は観測値と一致していることから、本手法により推定した台風パラメータが精度よく観測値を再現していることが分かります。

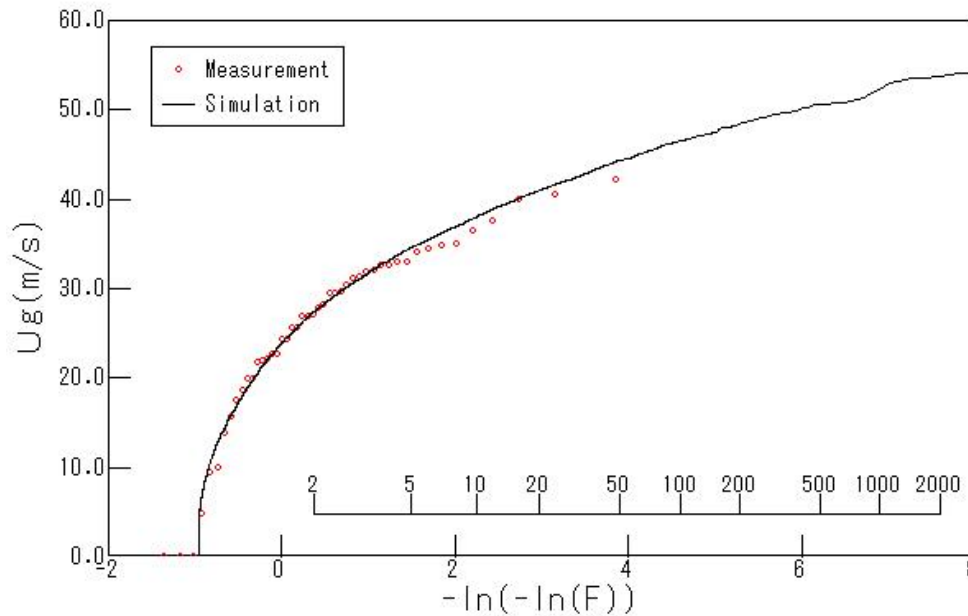


図 - 4.3 上空風の年最大風速の例

## 4-6. 一様粗度上の風向・風速の算定

本節では、前節で推定した上空風から台風時の強風特性を考慮した平坦地形の一様粗度上の風向・風速を算定する手法について述べます。

一様粗度上の風向・風速の算定は石原ら<sup>2)</sup>により提案された強風の鉛直分布特性により算定しました。台風時の大気境界層内の風速分布  $u_{T,F}(z)$  と風向分布  $\theta_{T,F}(z)$  は次式により求めます。

$$u_{T,F}(H_h, t) = u_g \left( H_h / z_g \right)^{\alpha_u}, \quad u_g = \sqrt{v_{\theta_g}^2 + v_{r_g}^2} \quad (4.10)$$

$$\theta_{T,F}(H_h, t) = \theta_g + \theta_s \left( 1.0 - 0.4 \left( H_h / z_g \right) \right)^{1.1}, \quad \theta_g = 0 \quad (4.11)$$

ここで、 $u_g$  と  $\theta_g$  は傾度風速と風向を表し、台風の移動とともに変化している。 $H_h$  はハブ高さ、 $z_g$  は傾度風高さ、 $\alpha_u$  は風速の鉛直分布を表すべき指数、 $\theta_s$  は傾度風高さで地表面における風向偏角です。これらのパラメータは地表面粗度長  $z_0$ 、絶対渦度  $f_\lambda$ 、渦度の非一様性を表すパラメータ  $\xi$  修正地表ロスビー数  $R_{O\lambda}$  を用いて以下のように求めることができます。

$$\alpha_u = 0.27 + 0.09 \log z_0 + 0.018 (\log z_0)^2 + 0.0016 (\log z_0)^3 \quad (4.12)$$

$$z_g = 0.06 \frac{v_{\theta_g}}{f_\lambda} (\log R_{O\lambda})^{-1.45} \quad (4.13)$$

$$\theta_s = (69 + 100\xi) (\log R_{O\lambda})^{-1.13} \quad (4.14)$$

$$R_{O\lambda} = \frac{v_{\theta_g}}{f_\lambda z_0} \quad (4.15)$$

$$f_\lambda = \left( \frac{\partial v_{\theta_g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta_g}}{r} + f \right)^{0.5} \left( 2 \frac{v_{\theta_g}}{r} + f \right)^{0.5} \quad (4.16)$$

$$\xi = \left( 2 \frac{v_{\theta_g}}{r} + f \right)^{0.5} / \left( \frac{\partial v_{\theta_g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta_g}}{r} + f \right)^{0.5} \quad (4.17)$$

## 4-7. 実地形上の風向・風速の算定

本節では、気流解析によって、台風シミュレーションより推定した平坦地形の一様粗度上の風向・風速を実地形上の風向・風速へと変換する手法について述べます。

風向・風速を変換するための風向偏角と風速比を求めるため、非線形風況予測モデル MASCOT を用いて実地形上の気流と平坦地形上の気流を解析します。実地形上の気流解析（図 - 4.4 a）では、建設地周辺の地形および土地利用を可能な限り詳細に再現し、風向別に 16 風向の解析を行います。この結果、流入風速・風向に対して、対象地点における風速・風向が求まる。流入風向風速（それぞれ  $\theta_I$ 、 $u_I$ ）と建設対象地点における風向風速（それぞれ  $\theta_R$ 、 $u_R$ ）の差および比を、風向偏差  $D_{IR}$  および風速比  $C_{IR}$  として風向別に求める（式(4.18)(4.19)）。ここで  $D_{IR}$  および  $C_{IR}$  は、流入風向  $\theta_I$  の関数として示しています。

$$C_{IR}(\theta_I) = u_R / u_I \quad (4.18)$$

$$D_{IR}(\theta_I) = \theta_R - \theta_I \quad (4.19)$$

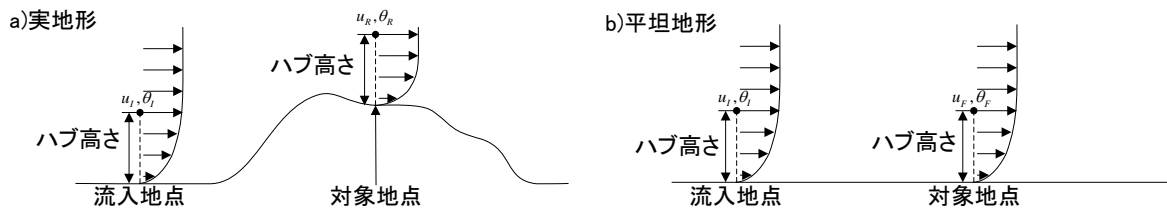


図 - 4.4 実地形上と平坦地形上における気流解析の模式図

平坦地形上の気流解析（図 - 4.4 b）についても同様に気流解析を行い、風上側境界における流入風速  $u_I$  と建設対象地点における風速  $u_F$  の比を風速比  $C_{IF}$  として算出する。平坦地形上の気流解析の際、建設対象地点を解析中心付近で十分に広い解析領域を設定した場合には対象地点における風速  $u_F$  は流入風向に依存せず一定であるため、 $C_{IF}$  は流入風向  $\theta_I$  の関数とはなりません（式(4.20)）。

平坦地形上の気流解析では建設対象地点における風向  $\theta_F$  は、風上側境界における流入風向  $\theta_I$  と同じです（式(4.21)）。

$$C_{IF} = u_F / u_I \quad (4.20)$$

$$\theta_F = \theta_I \quad (4.21)$$

式(4.18)および式(4.20)から  $u_I$  を消去し変形すると式(4.22)となります。

$$u_R = \frac{C_{IR}(\theta_I)}{C_{IF}} \times u_F \quad (4.22)$$

また、式(4.21)を式(4.19)(4.22)に代入すると式(4.23)(4.24)を得ます。

$$u_R = \frac{C_{IR}(\theta_F)}{C_{IF}} \times u_F \quad (4.23)$$

$$\theta_R = D_{IR}(\theta_F) + \theta_F \quad (4.24)$$

式(4.23)(4.24)は、2 ケースの気流解析により評価した風向偏差 ( $D_{IR}$ ) および風速比 ( $C_{IR}/C_{IF}$ ) を用いれば、平坦地上における風向風速 (それぞれ  $\theta_F$ 、 $u_F$ ) を、実地形上の風向風速 (それぞれ  $\theta_R$ 、 $u_R$ ) に変換できることから、風向偏差 ( $D_{IR}$ ) と風速比 ( $C_{IR}/C_{IF}$ ) を式(4.25)(4.26)のように表すことができます。

$$C_{FR}(\theta_F) = \frac{C_{IR}(\theta_F)}{C_{IF}} \quad (4.25)$$

$$D_{FR}(\theta_F) = D_{IR}(\theta_F) \quad (4.26)$$

図 - 4.5 には本手法により求めた平坦地形上と実地形上における風速比および風向偏差の風向変化図を示します。

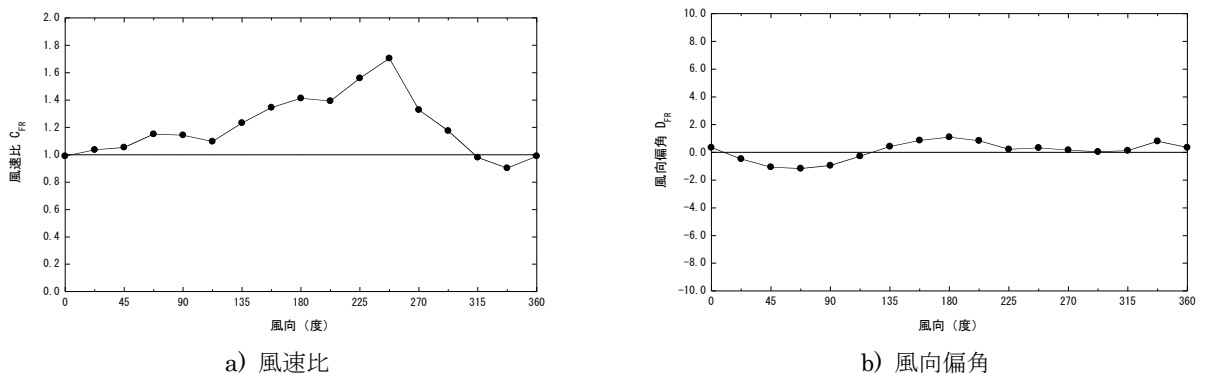


図 - 4.5 気流解析からより求めた風速比および風向偏差の風向変化

また、式(4.25)(4.26)を式(4.23)(4.24)に代入すると式(4.27)(4.28)を得る。

$$u_R = C_{FR}(\theta_F) \times u_F \quad (4.27)$$

$$\theta_R = D_{FR}(\theta_F) + \theta_F \quad (4.28)$$

風向偏差 ( $D_{FR}$ ) および風速比 ( $C_{FR}$ ) は、平坦地上における風向  $\theta_F$  (=流入風向  $\theta_I$ ) に関して 16 個 (16 風向) の離散的な変数として評価しました。また、台風モデルによって得られた平坦地上の風向風速を、実地形上の風向風速に変換するには、台風モデルによって得られた風向を 16 風向に分類し、該当する風向の風向偏差 ( $D_{FR}$ ) および風速比 ( $C_{FR}$ ) を利用します。

式(4.27)(4.28)の全ての変数にハブ高さおよび時系列データの関数あることを示す  $H_h$  および  $t$  と、台風を表す添え字  $T$  を付加すると次式のように表すことができます。

$$u_{T,R}(H_h, t) = C_{FR}(\theta_{T,F}(H_h, t)) u_{T,F}(H_h, t) \quad (4.29)$$

$$\theta_{T,R}(H_h, t) = D_{FR}(\theta_{T,F}(H_h, t)) + \theta_{T,F}(H_h, t) \quad (4.30)$$

#### 4-8. 台風シミュレーションによる平均風速の地形による割増係数の評価

建築基準法により定められた基準風速  $V_0$  が存在する建設対象地点では、設計風速を評価する場合に地形による平均風速の割増係数を算定する必要があります。本節では台風シミュレーションを利用した地形による平均風速の割増係数の算定方法ならびに設計風速評価方法について述べます。

##### (1) 台風の風向特性を考慮した地形による平均風速の割増係数の算定

建築基準法により定められた基準風速  $V_0$  を用いて設計風速を評価する場合には、地形による平均風速の割増係数を算定する必要があります。従来の気流解析による地形効果のみを考慮する方法は、風向別の地形による平均風速の割増係数の最大値を設計に用いる割増係数として用います。この方法は強風の風向特性との関係を考慮していないため、本項で述べる強風の風向特性を考慮する手法と比較して常に安全側の評価となり、時に過大評価となる問題があります。強風の出現頻度は風向によって異なるため、風向別の地形による平均風速の割増係数の最大値を設計に用いることは必ずしも合理的ではありません。

これらの問題を解決するため、菊池・石原<sup>3)</sup>によって提案された地形による平均風速の割増係数算定手法を用います。

図-4.6には台風シミュレーションより求めた風車建設地点におけるハブ高さでの平坦地形上（点線）および実地形上（実線）の年最大風速の非超過確率分布を示します。

地形による平均風速の割増係数  $E_{IV}(H_h)$  は実地形上における50年再現期待値  $U_{50}(H_h)$  と平坦地形上における50年再現期待値  $U_{50F}(H_h)$  の比として式(4.31)により求めることができます。なお、地形による平均風速の割増係数は1以下の場合に1とします。

$$E_{IV}(\theta_d) = \max\left[U_{50}(H_h)/U_{50F}(H_h), 1.0\right] \quad (4.31)$$

ここで、 $\theta_d$  は  $U_{50}(H_h)$  に対応する風向である。また、地形による変動風速の補正係数は式(4.32)により求めます。

$$E_{IS}(\theta_d) = \sigma_{50}(H_h)/\sigma_{50F}(H_h) \quad (4.32)$$

$\sigma_{50}(H_h)$  は照査対象風向  $\theta_d$  における実地形上の風車ハブ高さの風方向の変動風速の標準偏差、 $\sigma_{50F}(H_h)$  は平坦地形上の風車ハブ高さにおける風方向の変動風速の標準偏差です。

さらに、地形による乱れ強度の補正係数  $E_{II}(\theta_d)$  は地形による変動風速の補正係数  $E_{IS}(\theta_d)$  と地形による平均風速の割増係数  $E_{IV}(\theta_d)$  の比として式(4.33)により求めます。なお、地形による乱れ強度の補正係数  $E_{II}(\theta_d)$  は1以下の場合に1とします。

$$E_{II}(\theta_d) = \max\left[E_{IS}(\theta_d)/E_{IV}(\theta_d), 1.0\right] \quad (4.33)$$

照査対象風向  $\theta_d$  は再現期待値  $\pm 0.5\text{m/s}$  の風速範囲における平均風向を求め、照査対象風向とします<sup>5)</sup>。

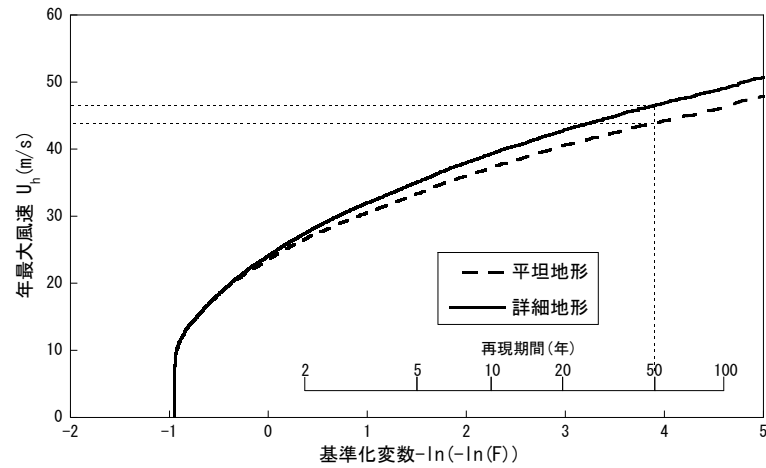


図 - 4.6 平坦地形と実地形上の台風による年最大風速の非超過確率分布の例

(2) 設計風速の評価

ハブ高さにおける地形による平均風速の割増係数  $E_{IV}(H_h)$  と平坦とみなせる地点における平均風速の高度補正係数  $E_{pV}$  を基準風速  $V_0$  に乗じて、建設対象地点のハブ高さにおける設計風速  $U_h$  を式(4.35)により求めます。

$$U_h = E_{IV}(\theta_d) \cdot E_{pV} \cdot V_0 \tag{4.35}$$

ここで、平坦とみなせる地点における平均風速の高度補正係数  $E_{pV}$  は式(4.36)により求めます。

$$E_{pV} = \begin{cases} 1.7 \left( \frac{H_h}{Z_G} \right)^\alpha & Z_b < H_h \leq Z_G \\ 1.7 \left( \frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha & H_h \leq Z_b \end{cases} \tag{4.36}$$

ここで、 $H_h$  はハブ高さ(m)であり、 $Z_b$ 、 $Z_G$ 、 $\alpha$  は風速の鉛直分布を示すパラメータです。

(3) 乱れ強度の評価

ハブ高さにおける乱れ強度の風方向成分  $I_{h1}$  の評価は、平坦とみなせる地点におけるハブ高さでの乱れ強度  $I_p$  に地形による乱れ強度の補正係数  $E_{II}(\theta_d)$  を乗じたものとし、式(4.37)により求めます。

$$I_{h1} = E_{II}(\theta_d) \cdot I_p \tag{4.37}$$

平坦とみなせる地点におけるハブ高さでの乱れ強度  $I_p$  は式(4.38)により求めます。

$$I_p = \begin{cases} 0.1 \left( \frac{H_h}{Z_G} \right)^{-\alpha-0.05} & Z_b < H_h \leq Z_G \\ 0.1 \left( \frac{Z_b}{Z_G} \right)^{-\alpha-0.05} & H_h \leq Z_b \end{cases} \tag{4.38}$$

ここで、 $H_h$  はハブ高さ(m)であり、 $Z_b$ 、 $Z_G$ 、 $\alpha$  は風速の鉛直分布を示すパラメータです。





## 第5章 Data Format (データフォーマット)

本章では、MASCOT Typhoon (Light) におけるデータフォーマットについて説明します。

第5章 Data Format (データフォーマット) .....	5-1
5-1. MASCOT Typhoon (Light) ファイルフォーマット .....	5-2
5-1-1. 台風データベース (y[ <i>TYID</i> ].txt) .....	5-2
5-1-2. 最接近台風パラメータファイル (y2out[ <i>SID</i> ]) .....	5-3
5-1-3. 分布関数および相関係数算定用の最接近台風パラメータファイル (correl[ <i>SID</i> ]* ) .....	5-4
5-1-4. 仮想台風における台風パラメータファイル (dprm[ <i>SID</i> ].txt) .....	5-5
5-1-5. 年別最大風速ファイル ([ <i>CaseName</i> ]_result_ymxV.txt) .....	5-6

## 5-1. MASCOT Typhoon (Light) ファイルフォーマット

本節では、Mascot Typhoon (Light) で扱うファイルのフォーマットについて解説します。

### 5-1-1. 台風データベース(y[TYID].txt)

台風毎の台風パラメータ時系列ファイルです。図- 5.1には台風データベースファイルの例を示し、表- 5.1には記述されている変数の一覧を示します。

```

72, 7,3169, 7, 5,21, 7,27,21
7, 5,21.0, 9.00,150.00,1008.00, -1.00, -1.00, 0.00, 0.0
7, 5,21.2, 9.00,150.00,1008.00, -1.00, -1.00, 0.00, 0.0
7, 5,21.3, 9.00,150.00,1007.99, -1.00, -1.00, 0.00, 0.0
7, 5,21.5, 9.01,149.99,1007.97, -1.00, -1.00, 3.12, 134.6
7, 5,21.7, 9.01,149.99,1007.95, -1.00, -1.00, 2.34, 134.6
7, 5,21.8, 9.01,149.98,1007.92, -1.00, -1.00, 3.19, 153.1
7, 5,22.0, 9.02,149.98,1007.89, -1.00, -1.00, 3.76, 134.6
7, 5,22.2, 9.03,149.97,1007.85, -1.00, -1.00, 4.56, 134.6
7, 5,22.3, 9.04,149.96,1007.81, -1.00, -1.00, 5.16, 134.6
7, 5,22.5, 9.05,149.95,1007.76, -1.00, -1.00, 5.63, 134.6
7, 5,22.7, 9.06,149.94,1007.71, -1.00, -1.00, 6.00, 134.6
7, 5,22.8, 9.07,149.93,1007.66, -1.00, -1.00, 6.31, 134.6
7, 5,23.0, 9.08,149.91,1007.60, -1.00, -1.00, 7.01, 138.0
7, 5,23.2, 9.09,149.90,1007.54, -1.00, -1.00, 7.19, 137.6
7, 5,23.3, 9.10,149.88,1007.48, -1.00, -1.00, 7.73, 139.8
7, 5,23.5, 9.12,149.87,1007.41, -1.00, -1.00, 8.20, 136.9
7, 5,23.7, 9.13,149.85,1007.34, -1.00, -1.00, 8.61, 138.7
7, 5,23.8, 9.15,149.84,1007.27, -1.00, -1.00, 8.98, 136.5
7, 6, 0.0, 9.16,149.82,1007.20, -1.00, -1.00, 9.30, 138.0

```

図- 5.1 y[TYID]の例

表- 5.1 y[TYID]に記述される変数の一覧

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1	YY	台風発生年の西暦下 2 桁	整数
	2	ID	台風番号	整数
	3	N	データ数	整数
	4	SM	台風発生月	整数
	5	SD	台風発生日	整数
	6	SH	台風発生時間	整数
	7	EM	台風消滅月	整数
	8	ED	台風消滅日	整数
	9	EH	台風消滅時間	整数
2	1	MM	月	整数
	2	DD	日	整数
	3	HH	時間	実数
	4	CN	緯度(度、N:+、S:-)	実数
	5	CE	経度(度、E:+、W:-)	実数
	6	PC	中心気圧(hPs)	実数
	7	DP	気圧深度(hPs)	実数
	8	RM	最大旋衡風半径(Km)	実数
	9	C	最接近時進行速度(Km/h)	実数
	10	DIR	最接近時進行方向(度、3 時から反時計回りの角度)	実数

## 5-1-2. 最接近台風パラメータファイル(y2out[SID])

台風データベースから抽出した最接近時における台風パラメータファイルです。図- 5.2には最接近台風パラメータファイルの例を示し、表- 5.2には記述されている変数の一覧を示します。

yyid	mm	dd	hh	cn	ce	pc	dp	rm	cc	dir	dx_min	ddp	drm	dcc	N
6104	5,27	4,2	23.46	121.38	980.00	52.78	194.28	25.57	92.40	-422.76	-100.000	-100.000	0.000	42	
6108	7,13	9,0	21.40	122.50	985.00	-1.00	-1.00	11.83	142.90	-471.10	-100.000	-100.000	0.000	43	
6113	8, 7,14.7	23.75	121.42	979.63	-1.00	-1.00	18.80	102.60	-408.34	-100.000	-100.000	0.000	44		
6116	8,25	2,2	21.68	121.83	950.00	50.22	69.71	18.20	132.10	-493.09	-100.000	-100.000	0.000	45	
6118	9,14,16.3	24.85	128.80	905.68	108.49	86.06	28.04	96.20	355.99	-100.000	-100.000	0.000	46		
6120	9,11,16.8	23.70	125.27	912.77	95.72	41.84	29.57	179.80	-120.76	-100.000	-100.000	0.000	47		
6122	9,27,23.5	21.66	125.46	980.00	33.28	194.68	34.29	-177.70	-347.14	-100.000	0.000	0.000	48		
6123	10, 3, 9.5	26.51	125.61	940.00	74.46	85.47	16.77	172.10	193.37	-100.000	0.000	0.000	49		
6203	5,21	1,8	22.25	128.77	980.89	-1.00	-1.00	31.23	55.10	454.08	-100.000	-100.000	0.000	50	
6205	7, 9,11.2	25.49	126.48	985.00	-1.00	-1.00	24.87	128.60	143.78	-100.000	-100.000	0.000	51		
6206	7,23	5,2	24.53	121.33	977.17	29.31	133.75	31.30	93.10	-400.70	-100.000	-100.000	0.000	52	
6209	7,31,21.8	25.44	126.70	969.88	41.26	176.42	21.64	126.10	160.37	-100.000	0.000	0.000	53		
6210	8, 5,20.3	23.46	122.38	909.14	100.75	45.29	25.81	101.40	-329.41	-100.000	-100.000	0.000	54		
6213	8,19	3,7	24.74	126.11	975.30	-1.00	-1.00	27.15	86.40	84.24	-100.000	-100.000	0.000	55	
6217	9, 5, 4.7	23.03	122.91	940.00	68.90	77.71	26.26	128.70	-310.10	-100.000	-100.000	0.000	56		
6221	10, 2, 9.8	20.69	125.60	955.00	57.29	90.37	24.26	-174.80	-455.22	-100.000	0.000	0.000	57		
6228	11,15,14.8	23.46	128.78	934.56	89.57	101.26	30.90	76.60	385.14	-100.000	-100.000	0.000	58		
6304	6,18	8,7	24.83	125.34	960.00	55.93	85.35	24.78	113.30	7.59	-100.000	-100.000	0.000	59	
6307	7,16	5,0	22.96	122.80	936.71	77.85	57.58	25.64	127.00	-323.73	-100.000	0.000	0.000	60	
6314	9,10,19.0	24.19	124.83	921.74	90.19	87.29	16.54	143.80	-80.56	0.000	-100.000	0.000	61		

図- 5.2 y2out[SID]の例

表- 5.2 y2out[SID]に記述される変数の一覧

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1~15		2行目以降に記述される変数の説明	文字
	16	im	Rmとdrmの両方がエラーフラグではない台風数。両変数のエラーフラグはそれぞれ、[-1.0]と[-100.000]	整数
2	1	yyid	台風番号	整数
	2	mm	最接近月	整数
	3	dd	最接近日	実数
	4	hh	最接近時(hour)	実数
	5	cn	緯度(N:+, S:-)	実数
	6	ce	経度(E:+, W:-)	実数
	7	pc	最接近時中心気圧	実数
	8	dp	最接近時気圧深度	実数
	9	rm	最接近時最大旋衡風半径	実数
	10	cc	最接近時進行速度	実数
	11	dir	最接近時進行方向	実数
	12	dx_min	最接近距離	実数
	13	ddp	最接近時前後6時間のdp差チェック(1hPs以上はエラー[-100.0])	実数
	14	drm	最接近時前後6時間のrm差チェック(1km以上はエラー[-100.0])	実数
	15	dcc	最接近時前後6時間のcc差チェック(1m/s以上はエラー[-100.0])	実数
	16	N	台風数	整数

## 5-1-3. 分布関数および相関係数算定用の最接近台風パラメータファイル(correl[SID]\*)

前出の最接近パラメータファイル(y2out[SID])から台風パラメータを同定できた台風のみを抽出したファイルです。図- 5.3には分布関数および相関係数算定用の最接近台風パラメータファイルの例を示し、表- 5.3には記述されている変数の一覧を示します。

dp	rm	cc	dir	dx_min		
1.809896231		2.243236542		1.985606074	154.60	-394.05
1.627979994		1.958802700		1.769525051	137.90	-7.99
1.728191376		1.837525368		1.243781924	151.70	142.17
1.566319585		2.253895044		1.661528707	144.20	199.47
1.547651649		2.286927700		1.946599603	122.40	-273.43
1.430880904		2.143451929		1.954435468	137.40	-23.82
1.638988137		2.121986389		1.887673497	152.90	-428.73
1.669595718		2.212533951		1.914660454	152.40	-241.88
1.669130802		2.101781368		2.023663998	128.40	296.68
1.591954589		2.269839764		1.800579667	138.60	83.58
1.587935328		1.952598810		1.112269759	140.50	232.35
1.649724126		2.210826635		1.629307628	134.50	-197.67
1.586899843		1.829946637		1.393575191	241.90	-453.91
1.658297658		1.899601698		1.166430116	160.40	372.51
1.465977311		2.396687508		1.784260631	169.30	-305.90
1.509605765		2.117470264		1.941461682	132.00	212.08

図- 5.3 correl[SID].txt の例

表- 5.3 correl[SID].txt に記述される変数の一覧

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1~5		2行目以降に記述される変数の説明	文字
2	1	dp	最接近パラメータ:log(dp) (hPs)	実数
	2	rm	最接近パラメータ:log(rm) (km)	実数
	3	cc	最接近パラメータ:log(cc) (m/s)	実数
	4	dir	最接近パラメータ:dir (度)	実数
	5	dmin	最接近パラメータ:dmin (km)	実数
3~	1~5	(dp,rm,cc,dir,dmin)	以降、台風判定された台風数分記述	実数

## 5-1-4. 仮想台風における台風パラメータファイル(dprm[SID].txt)

最接近時の台風パラメータの確率分布に従い、モンテカルロシミュレーションにより人工的に発生させた台風パラメータファイルです。図- 5.4には仮想台風における台風パラメータファイルの例を示し、表- 5.4には記述されている変数の一覧を示します。

ファイル(F)	編集(E)	書式(O)	表示(V)	ヘルプ(H)
1.447157979	2.452754259	1.685050011	1.481875300	-0.762599707
1.636887312	1.761244893	1.963505507	1.525303364	-1.019697309
1.774634242	1.886928082	1.451792836	1.994878531	-0.415521562
1.447157979	2.372326374	1.943839312	1.392047524	-0.280815959
1.579796672	2.376841068	2.010619402	0.950777531	0.083365381
1.657273769	2.352661133	1.913529515	1.663447022	-0.597893536
1.479808807	2.248568535	1.686475396	1.305703878	0.514052629
1.707171679	2.086342335	1.580178261	1.548241735	1.250000000
1.519712329	2.156241655	1.430875897	1.407061696	-0.192691043
1.644890785	1.865648985	2.242467403	1.587234974	-0.519675314
1.539054036	2.103735447	1.108001471	1.679790854	0.285431862
1.447157979	1.749854088	1.319089293	1.499390244	0.164460182
1.773464799	2.184417486	1.897906899	1.767054796	-0.440407753
1.675627112	2.434323788	1.807075739	1.432320595	0.474133551
1.660994887	1.912610054	1.571809888	1.032834888	-0.272817552
1.468758370	1.674671888	1.647285819	1.382595539	-0.218306229

図- 5.4 dprma[SID].txt の例

表- 5.4 dprma[SID].txt に記述される変数の一覧

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1	dp	最接近パラメータ: log(dp) (hPs)	実数
	2	rm	最接近パラメータ: log(rm) (km)	実数
	3	cc	最接近パラメータ: log(cc) (m/s)	実数
	4	dir	最接近パラメータ: dir/100 (度)	実数
	5	dmin	最接近パラメータ: dmin/400 (km)	実数
2~	1~5	(dp,rm,cc,dir,dmin)	以降、人工的に発生した擬似台風数分記述	実数

## 5-1-5. 年別最大風速ファイル([CaseName]\_result\_ymxV.txt)

台風モデルにより算定した風速の時系列より抽出した年最大の上空風および地上風データファイルです。図-5.5には年最大風速ファイルの例を示し、表-5.5には記述されている変数の一覧を示します。

1	ymxg	ymxgdir	ymxgAve	ymxgAve_d	ymx	ymxdir	ymxAve	ymxAvedir	con_ymx	conymxdir	conymxAve	conymxA_d	Peak
2	18.82	211.16	23.68	213.46	8.76	184.52	10.83	186.96	11.29	194.82	14.33	206.77	20.24
3	40.58	142.45	55.81	154.72	20.67	112.57	28.42	125.85	27.83	96.46	35.88	125.85	50.68
4	24.36	162.07	31.13	26.25	12.86	131.53	15.28	359.32	16.00	128.97	18.04	121.58	25.48
5	36.07	193.01	48.74	200.94	16.55	165.23	22.19	173.75	20.03	178.28	27.05	173.75	36.21
6	45.53	177.48	53.09	185.83	22.19	149.15	25.83	157.80	26.65	136.77	30.49	141.10	43.06
7	23.56	42.14	31.86	5.49	11.28	15.71	14.60	339.12	12.58	67.19	14.97	67.27	21.15
8	38.99	255.23	52.25	272.40	20.94	225.66	27.87	243.98	31.63	228.59	42.30	243.98	59.75
9	21.62	33.85	26.55	12.48	10.70	4.88	12.97	16.32	9.65	68.00	11.60	77.25	16.39
10	11.64	61.98	14.03	61.08	5.64	36.19	6.65	35.34	6.74	64.66	7.42	54.68	10.49
11	14.28	78.83	17.24	75.74	7.03	49.87	8.41	47.21	9.60	67.94	10.48	70.96	14.80
12	35.41	225.22	43.36	198.85	16.27	198.02	20.49	59.29	22.37	216.75	26.63	214.49	37.61
13	25.47	176.35	35.51	185.75	12.24	146.01	17.06	156.97	14.85	134.85	19.48	156.97	27.51
14	8.86	20.36	11.53	33.66	4.50	352.98	5.70	6.85	2.89	337.69	3.36	336.97	4.75
15	19.97	30.99	25.25	29.19	8.27	4.36	11.53	2.71	7.53	50.71	7.84	44.13	11.08

図-5.5 年別最大風速ファイルの例

表-5.5 年別最大風速ファイルに記述される変数の一覧

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1~13		2行目以降に記述される変数の説明	文字
2	1	ymxg	傾度風風速(m/s)	実数
	2	ymxgdir	傾度風風向(度)	実数
	3	ymxgAve	平均化時間補正後傾度風風速(m/s)[現在の版では ymxg と同値]	実数
	4	ymxgAve_d	平均化時間補正後傾度風風向(度) [現在の版では ymxg と同値]	実数
	5	ymx	平坦地形上風速(m/s)	実数
	6	ymxdir	平坦地形上風向(度)	実数
	7	ymxAve	平均化時間補正後平坦地形上風速(m/s)	実数
	8	ymxAvedir	平均化時間補正後平坦地形上風向(度)	実数
	9	con_ymx	実地形上風速(m/s)	実数
	10	conymxdir	実地形上風向(度)	実数
	11	conymxAve	平均化時間補正後実地形上風速(m/s)	実数
	12	conymxA_d	平均化時間補正後実地形上風向(度)	実数
	13	Peak	瞬間最大風速[conymxAve × sqrt(Gf)] (m/s)	実数
3	1~13		以降、2行目と同様に各年の年最大風速に関する変数が記述	---





## 第6章 Reference (参考文献)

- 1) 孟岩、松井正宏、日比一喜、中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性 その2 台風時の強風、日本風工会誌、第66号、平成8年1月
- 2) 石原孟、ホタイホム、チョンチーリョン、藤野陽三、台風シミュレーションのための混合確立分布関数と修正直交変換法の提案、第18回 風工学シンポジウム(2004)
- 3) 菊地由佳、石原孟、台風時の風向特性と複雑地形の増速特性を考慮した風速割増係数の評価手法の提案、第21回 風工学シンポジウム(2010)
- 4) 石原孟、榎木康太、高原景滋、荒川洋、気流解析と台風シミュレーションに基づく配電設備のリスクマネジメント、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.67, No.2, 360-373, 2011.
- 5) 石原孟、山口敦: モンテカルロシミュレーションと MCP 法を用いた混合気候における極値風速の予測、日本風工学論文集、2012. (投稿中)

J. of Wind Engineering  
No. 66 January 1998

日本風工学会誌  
第66号 平成8年1月



## 論文

### 中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性

#### その2 台風時の強風

Characteristics of the vertical wind profile in neutrally atmospheric boundary layers

Part 2: Strong winds during typhoon climates

孟 岩\*<sup>1</sup> 松井正宏\*<sup>2</sup> 日比一喜\*<sup>3</sup>

Yan MENG, Masahiro MATSUI, Kazuki HIBI

#### SUMMARY

The wind field in a typhoon boundary layer (TBL) has been investigated by a numerical model. The results show that vertical profiles of wind speed and turbulence intensity in the TBL can be satisfactorily expressed by conventional power law expressions. Basic parameters in the expressions, with the exception of the gradient height  $z_g$ , can also be predicted by formulas proposed in Part 1 of this paper. To describe characteristics of the TBL, two new parameters have been suggested: one is a dimensional parameter,  $f_\lambda$ , representing the absolute vorticity in the wind field, and the other is a non-dimensional parameter,  $\xi$ , characterizing heterogeneity of vorticity in the radial direction of typhoon. Substituting Coriolis parameter  $f$  with the parameter  $f_\lambda$ , the gradient height  $z_g$  during typhoons can be presented by the same formula as that during non-typhoon climates. The characteristics of the drag coefficient  $C_g$  ( $= u_* / U_g$ ) and the surface stress angle  $\gamma_s$  in the TBL are also examined using the present numerical model. The results indicate that  $C_g$  and  $\gamma_s$  are a function of a modified surface Rossby number  $R_{o\lambda}$  ( $= U_g / (f_\lambda z_0)$ ) and the parameter  $\xi$ .

1. はじめに  
台風時の平均風速とその乱れの強さの鉛直分布を精度よく求めることは耐風設計上重要である。特に、日本は台風の進路にあるため、多くの都市と地域の年最大風速が台風 (typhoon) によってもたらされている。しかし、現在風工学の分野で提案された平均風速及び乱れの強さの鉛直分布を求めるためのモデルは、非台風時の強風の観測データに基づいて作られたもので、台風時の強

- \* 1 清水建設(株)技術研究所 研究員 工博  
Researcher, DR. ENG., Institute of Technology, SHIMIZU CORPORATION.
- \* 2 清水建設(株)技術研究所 研究員  
Researcher, Institute of Technology, SHIMIZU CORPORATION.
- \* 3 清水建設(株)技術研究所 主席研究員 工博  
Chief, Researcher, DR. ENG., Institute of Technology, SHIMIZU CORPORATION.  
(原稿受理:平成7年9月6日)

風場の予測に適用できるかどうかは不明である。

台風に伴う強風場は、非台風時の強風場に比べ、その水平スケール(300~500km)が小さく、また、発生頻度も低い。そのために、台風時の境界層高さまでの平均風速及びその乱れの強さの鉛直分布が観測された例は極めて少ない。これまでのところ、台風時の高高度での平均風速に関しては、Choi(1983)<sup>1)</sup>の研究論文があるのみである。この論文の中では、ラジオ・ゾンデにより得られた9つの台風の平均風速の鉛直分布が示された。個々の台風をみると、傾度風高さ $z_g$ の値は大きく異なっており、300mとなっているケースもある。しかし、観測時の上空風速 $U_g$ が25m/sを超えていることを考えると、 $z_g = 300\text{m}$ という傾度風高さの値はかなり低く、非台風時の予測式<sup>2)</sup>により求めた値の数分の1となっている。台風時の傾度風高さがMonsoon時の値より低くなることは、Choi<sup>1)</sup>により指摘されたが、その理由については明らかにされていない。

高高度での台風観測に比べ、地表面付近での台風観測は、比較的多く行われてきた<sup>3)~7)</sup>。その中で、香港島のCape D'Aguilarでの観測においては、Monsoon時の強風観測も行ったため、台風時と非台風時の強風の性質についての比較が行われた。その結果、台風時の平均風速のべき指数と乱れの強さは、Monsoon時の値よりそれぞれ50%と75%大きくなっていると報告された<sup>4)</sup>。Cape D'Aguilarでの観測地点においては、南と東側が太平洋に面しているが、その北西側1km離れたところに300mを超える山(D'Aguilar Peakの高さは326mである)が存在する。風速記録に基づき計算された台風時の粗度長 $z_0$ の値はMonsoon時の値よりはるかに大きくなっている(2mを越えたケースもある)ことを考えれば、そこでの台風時の強風記録には北西側の山の影響が含まれている可能性が極めて大きい<sup>8)</sup>。一般に、非台風時の強風には卓越風向が存在する(例えば、香港では夏のMonsoonによる強風の風向は南よりである)。一方、台風による強風の風向は、台風の通過に伴い大きく変化し、強風は全方位から吹いてくる可能性がある。従って、非台風時の強風の卓越風向以外の方向に大きな地形(山、丘陵等)があれば、非台風時の強風に見られない大きなべき指数と乱れの強さが台風時に観測される可能性がある。Cape D'Aguilarでの強風観測結果は、台風と非台風時の強風場の違いを反映しているというより、地形の影響を表していると解釈した方が妥当である。

台風中心付近での強風の性質についても、これまでに

不明な点が残されている。台風中心の通過時の強風の性質を詳細に調べた例としては、潮岬を通過した台風T7220<sup>5)</sup>、筑波を通過した台風T8115<sup>6)</sup>及び長崎のHuis Ten Boschを通過した台風T9119<sup>7)</sup>などに関する研究が上げられる。筑波<sup>5)</sup>での観測結果によると、台風時の強風の乱れの強さはほとんど変化せず、その値は非台風時の強風の観測値ともほぼ一致する。一方、長崎のHuis Ten Boschの台風T9119の観測<sup>7)</sup>では、乱れの強さの値が台風の通過時に大きく変化するという結果が得られた。しかし、Huis Ten Boschでの観測記録には周辺地形の影響が含まれていることは著者ら<sup>8)</sup>の最近の研究により明らかにされている。

このように、台風の来襲頻度の低さと観測地点の周辺の地形の影響を考えると、台風時の強風の一般的な性質を観測から明かにするのはかなり困難である。従って、台風時の強風の性質を明かにするため、数値解析的な研究手法が最も有効であると考えられる。そこで、本論文(その2)では、まず、台風時の大気境界層を記述できる数値モデルを構築し、台風時の大気境界層の特性を表す外部パラメータを抽出する。そして、台風T9119をシミュレートすることにより、台風時の平均風速と乱れの強さの鉛直分布の特性を明らかにすると共に、これまでに観測から見られた台風時の強風場の特有な現象を説明する。更に、台風と非台風時の強風場の比較を行うことにより、台風と非台風時の風速場の螺旋構造及びその乱流特性の相違を明らかにすると共に、台風を含む中立時の大気境界層の抵抗則(抵抗係数 $C_D = u_*^2/U_g$ と表面剪断応力角度 $\tau_s$ )を表す一般式を提案する。

## 2. 台風時の大気境界層の数値モデル

### 2.1 数値モデル

強風時の大気境界層が中立であると仮定すれば、台風に伴う強風場を、ナビエー・ストークス(N-S)方程式で記述することができ、この方程式を数値的に直接解くことにより、台風時の強風場が求められる。しかし、N-S方程式を数値的に直接解くことは、膨大な計算時間を要する上、台風時の大気境界層の性質を表すパラメータを抽出しにくいという点もある。そこで、本研究では、台風時の大気境界層を記述できる近似方程式を用いる。

これまで、著者らは台風に伴う強風場を求めるための台風モデルを提案してきた<sup>9)</sup>。この台風モデルでは、台風場を巨視的に取り扱うこととし、また、台風に伴う平均風速 $\bar{u}$ を、鉛直方向の剪断力を無視できる自由大気中の傾度風速(Gradient Wind) $\bar{u}_g$ と地表面の摩擦によ

参考文献 1

る成分  $\vec{v}'$  との和で表すことにより、N-S 方程式を、傾度風速  $\vec{v}_g$  の方程式と、地表面の摩擦による成分  $\vec{v}'$  に関する方程式に分けた。そして、これらの方程式の中の非定常項に対するモデル化を行うことにより、台風時の大気境界層を記述できる近似方程式を導出した。更に、これらの方程式に対する摂動解析を行い、傾度風速  $\vec{v}_g$  と地表面の摩擦による成分  $\vec{v}'$  に関する近似式が得られた。Fig. 1 は台風モデルの概要を示す。最終的に、傾度風速  $\vec{v}_g$  に関する式は

$$v_{\theta g} = \frac{c_\theta - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{c_\theta - fr}{2}\right)^2 + \frac{\gamma}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}} \quad (1)$$

$$v_{r g} = 0 \quad (2)$$

となり、また、地表面の摩擦による成分  $\vec{v}'$  は近似式 (3)、(4) により表される。

$$-\left(2\frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)v'_\theta = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m \frac{\partial v'_r}{\partial z}\right) \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)v'_r = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m \frac{\partial v'_\theta}{\partial z}\right) \quad (4)$$

方程式 (3)、(4) の中の乱流拡散係数  $K_m$  の値は一定と仮定すれば、方程式の解が解析的に求められる。解析解による地表風の予測結果は台風時の風向、風速の観測記録をよく再現することが確認されている<sup>9)</sup>。しかし、この解析解は平均風速を近似的に求めるためのものであり、この解により台風時の強風場の乱流特性を論じることができない。そこで、本論文では、Mellor and Yamada (1974)<sup>10)</sup> により提案された乱流 closure model を用いて、式 (3)、(4) を数値的に解くことにした。乱流モデルと数値解析の方法についての詳しい説明は、本論文その 1 を参照されたい。

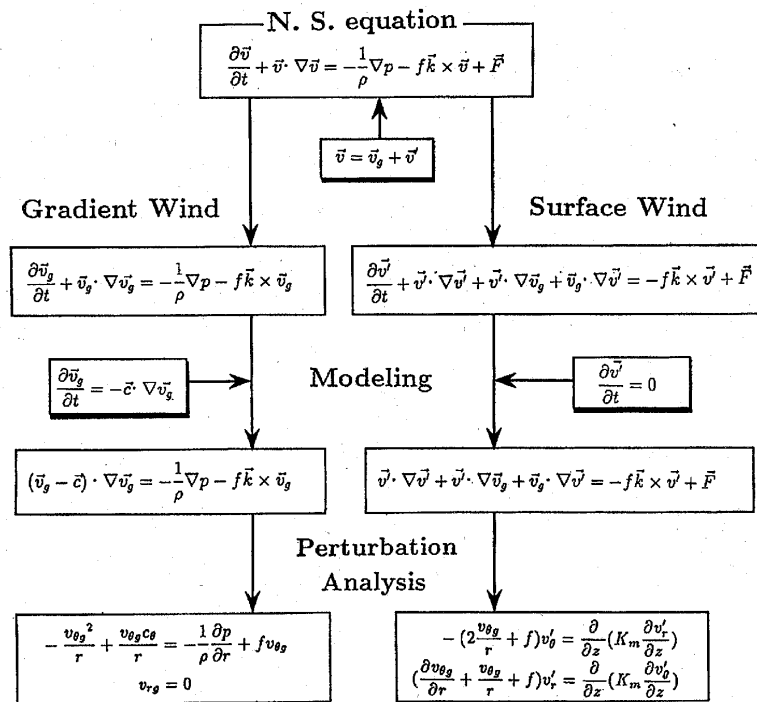


Fig. 1 台風モデルの概要  
(Summary of a model for describing the wind field during a typhoon)

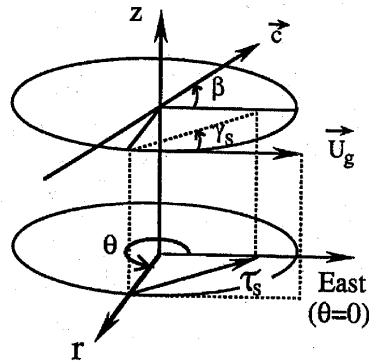


Fig. 2 本論文に用いた座標 (Coordinate system in this study)

式 (3), (4) についての境界条件は, 上空では

$$\vec{v}|_{z \rightarrow \infty} = 0 \quad (5)$$

とし, また, 地表面近傍では, 対数分布が成り立つと仮定し,

$$U = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad (6)$$

とする。ここで,  $U = \sqrt{v_\theta^2 + v_r^2}$  は主流風速,  $\kappa$  は Karman 定数,  $z_0$  は地表面粗度である。Fig. 2 は本論文に用いた座標系を示す。 $\beta$  は移動方向と座標軸  $r$  ( $\theta=0$ ) との間の反時計回りを正にとる角度である。また, (1) 式の中の  $c_\theta$  は台風の移動速度の  $\theta$  方向の成分で,  $c_\theta = -c \sin(\theta-\beta)$  である。 $c$  は台風の移動速度を表す。

台風時の大気境界層の性質を吟味するために, ここで

$$f_\lambda = \left( \frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \left( 2 \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \quad (7)$$

$$\xi = \left( 2 \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \left( \frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \quad (8)$$

とおくと, 方程式 (3), (4) を次のように書き直すことができる。

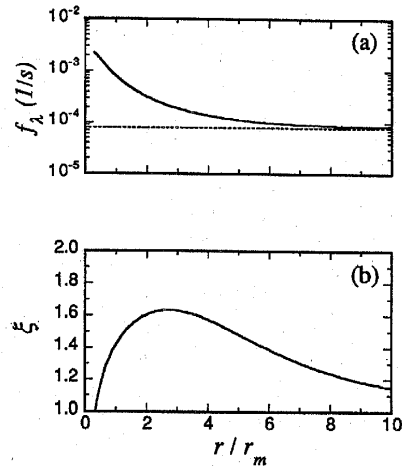


Fig. 3  $f_\lambda$  と  $\xi$  の台風半径方向の変化 (Variation of the parameters  $f_\lambda$  and  $\xi$  with radial distance  $r$ )

$$-E f_\lambda v'_\theta = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial v'_r}{\partial z} \right) \quad (9)$$

$$\frac{1}{\xi} f_\lambda v'_r = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial v'_\theta}{\partial z} \right) \quad (10)$$

ここで,  $f_\lambda$  は渦度の次元をもつパラメータで,  $\xi$  は渦度の次元を持つ物理量の比からなる無次元パラメータである。この二つのパラメータの空間分布及びその物理的な意味については次の節で詳しく説明する。

### 2.2 台風時の大気境界層の外部パラメータ

既に本論文その1で示したように, 非台風時の大気境界層の外部パラメータは  $U_g, f, z_0$  からなっている。一方, 台風時の大気境界層の外部パラメータは  $U_g, f_\lambda, z_0, \xi$  から構成される。これらのパラメータの中では,  $f_\lambda$  と  $\xi$  が本論文で初めて定義されたもので, その性質についてここでまず明らかにする。解析対象は1991年に観測された台風 T9119 とする。気圧データとしては, 台風 T9119 が長崎 Huis Ten Bosch に接近した時の値を用いる。台風パラメータを Table 1 にまとめており,  $r_m$  以

Data (J.S.T)	Time (J.S.T)	Latitude (deg)	Longitude (deg)	$\beta$ (deg)	$C$ (m/s)	$P_c$ ( $hPa_s$ )	$\Delta P$ ( $hPa_s$ )	$r_m$ (km)
91.09.27	16	32.8	129.7	50.09	17.13	940.0	73.0	85.43

Table 1 台風パラメータの一覧表 (Summary of the typhoon parameters used in this study)

参考文献 1

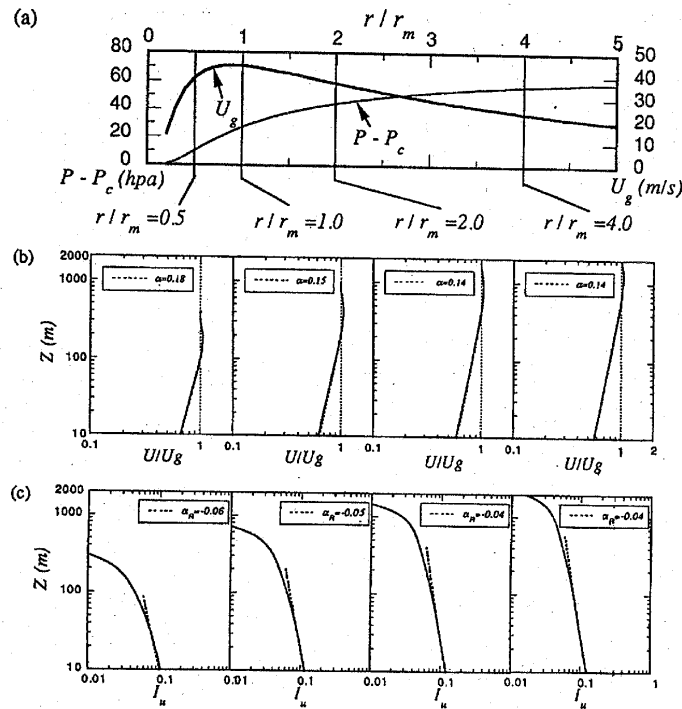


Fig. 4 平均風速と乱れの強さの鉛直分布の台風半径方向の変化  
 (Vertical profiles of (a) wind speed and (b) turbulence intensity at various positions in the radial direction)

外のものはすべて気象庁が発表したデータである。 $r_m$ についてはSchloemerの式を用いて、最小自乗法で求めた。問題を簡単化するため、ここで、解析の範囲内のCoriolis因子の緯度による変化を無視する。また、解析は、台風進行方向の $r$ 軸上( $\theta = \beta$ の軸)に限定した。

Fig. 3 (a) はパラメーター $f_1$ の台風半径方向の変化を示す。図中の破線は対象地点のCoriolis因子の値を表している。台風の中心に近づくとき、 $f_1$ の値は、Coriolis因子 $f$ の値よりかなり大きくなるが、台風中心から離れるにつれて、 $f_1$ の値は次第に小さくなる。Coriolis因子 $f$ の値は、地球の持つ渦度(気象の分野ではそれを惑星渦度と呼んでいる)の大きさを表している。一方、 $f_1$ を記述する(7)式に台風に伴う強風場の持つ渦度( $\partial v_{\theta g} / \partial r + v_{\theta g} / r$ )とCoriolis因子 $f$ との和からなる項が含まれているため、 $f_1$ は、台風時の大気境界層内の絶対渦度を表している。台風の中心から離れるにつれて

に伴う強風場の持つ渦度は次第に小さくなり、最終的に $f_1 = f$ となる。台風時の風速場の持つ渦度が台風中心に近づくにつれて急速に増大することは、台風観測結果にも見られた<sup>10)</sup>。

Fig. 3 (b) はパラメーター $\xi$ の台風半径方向の変化を示す。 $\xi$ の値は、台風の中心領域と台風中心からかなり離れた領域では1に近い値をとり、それ以外の域では1より大きい値をとることが分かる。 $\xi$ の値が1となる場所では、 $\xi$ を記述する(8)式から分かるように、渦度の軸方向の分布が一様になっている。すなわち、 $\xi$ は台風に伴う強風場の持つ渦度の軸 $r$ 方向の非一様性を表すパラメーターとなっている。 $\xi$ の値が1より大きくなると、(9)式左辺の $v_{\theta}$ にかかる係数は、(10)式左辺の $v_r$ にかかる係数より大きくなり、速度成分 $v_{\theta}$ と速度成分 $v_r$ との比は $\xi = 1$ の場合の値と異なってくる。

以上の分析から、台風時の大気境界層の外部パラメー

タ ( $U_g, f_\lambda, z_0, \xi$ ) は、中立時の大気境界層の性質を表す一般的なパラメータであることが分かる。この4つの外部パラメータから2つの長さスケール ( $U_g/f_\lambda, z_0$ ) と2つの無次元パラメータ ( $R_{\alpha}, \xi$ ) を作る事ができる。無次元パラメータ  $R_{\alpha} (= U_g/f_\lambda z_0)$  は表面ロスビー数と同じ形をしており、本研究ではこのパラメータを修正表面ロスビー数と呼ぶことにする。以下の節で、中立時の大気境界層における強風の性質とこれらのパラメータとの関係を詳細に調べる。

3. 台風に伴う強風場の性質

3.1 ケース・スタディ

台風時の平均風速と乱れの強さの鉛直分布の特性を明らかにするため、ここで、まず台風 T9119 時の強風場を調べることとする。解析の対象と解析条件は2.2節に示した通りである。粗度長  $z_0$  の値は、海岸域を対象として、0.001, 0.01, 0.1m と変化させた。

解析は、最大旋衡風速半径内外7つの場所を選んで行った。その中の4つの場所での解析結果を Fig. 4 に示す。参考のために、気圧 (中心気圧を引いた値) と傾度風速の半径方向の分布を Fig. 4 (a) に示した。図中の縦の実線は解析対象場所を表している。これらの場所での平均風速と乱れの強さの解析結果は Fig. 4 (b), (c) に示す。見やすくするために、 $z_0 = 0.01m$  のケースの解析結果のみを図に示した。図中の実線は解析結果で、破線はべき法則モデルを用いて計算値を fitting したものである。台風時の平均風速と乱れの強さの鉛直分布は、非台風時の強風と同様にべき法則モデルで近似することができる。平均風速のべき法則モデルの適用範囲が台風中心に近づくにつれ低くなっていることが分かる。このことは、台風中心に近づくにつれ、傾度風高さ  $z_g$  が低くなっていることを表している。平均風速のべき指数  $\alpha_u$  は最大旋衡風速半径までにはほぼ一定の値を示しているが、最大旋衡風速半径の中では、傾度風高さ  $z_g$  の急速な減少に伴いべき指数の値が大きくなる傾向がある。一方、乱れの強さにおいては、地表面付近での値 ( $I_u(30)$ ) が最大旋衡風速半径までにはほぼ一定値を示しているが、最大旋衡風速半径の中では、傾度風高さの急速の減少に伴い乱れの強さの値が若干減少する。また、変動風速の標準偏差のべき指数  $\alpha_R$  も、台風中心に近づくにつれ若干小さくなっている。同様な傾向は他のケースにも見られる。

3.2 べき法則モデルの基本パラメータの台風半径方向

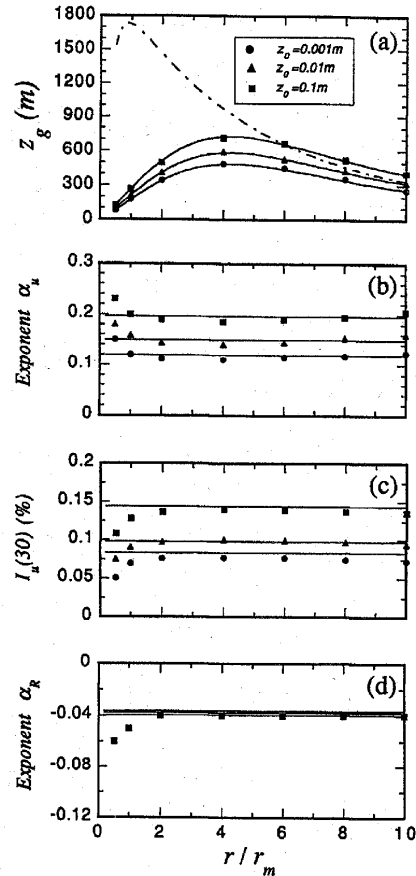


Fig. 5 べき法則モデルの基本パラメータの台風半径方向の変化 (Variation of the basic parameters in the power law expressions with radial distance  $r$ )

の変化

次に、数値解析結果に基づいて、べき法則モデルの基本パラメータ ( $z_g, \alpha_u, I_u(30), \alpha_R$ ) の台風半径方向の変化を調べてみる。

Fig. 5 (a) は、傾度風高さの台風半径方向の変化を示す。黒丸、黒三角、黒四角はそれぞれ  $z_0 = 0.001, 0.01, 0.1m$  の時の計算値を示している。一点鎖線は本論文その1で提案された非台風時の予測式により求めたもので、見やすくするために、 $z_0 = 0.01m$  のケー

参考文献 1

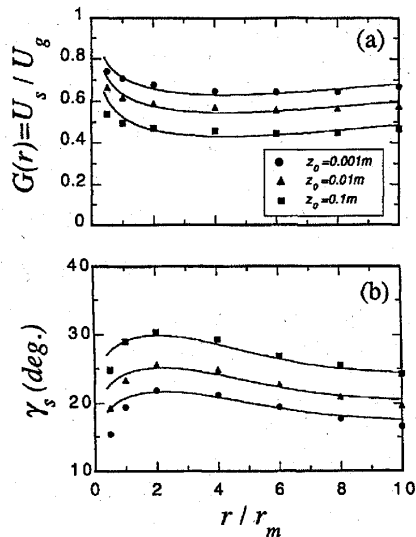


Fig. 6 風速比とinflow角度の台風半径方向の変化 (Variation of the wind speed ratio  $G(r)$  and inflow angle  $\gamma_s$  with radial distance  $r$ )

の結果のみを図中に示した。解析から得られた台風時の傾度風高さは、台風中心付近で低く、最大旋衡風速半径  $r_m$  の約4倍の位置にピークをとり、それより外側に行くにつれ再び減少する。それに対して、非台風時の予測式により求められた傾度風高さは傾度風速の増大に伴い単調に増大し、最大旋衡風速半径  $r_m$  のところで最大値をとる。この予測結果は、解析から得られた結果と全く異なる傾向を示している。このことから、台風時の大気境界層の性質は、非台風時の大気境界層の外部パラメータにより表せないことが分かる。

既に本論文その1から分かるように、非台風時の傾度風高さ  $z_g$  は大気境界層の持つ大きい長さスケール  $U_g/f$  と表面ロスビー数  $R_0$  の関数となっている。非台風時と同様に、台風時の傾度風高さ  $z_g$  は、台風時の大気境界層のもつ大きな長さスケール  $U_g/f_\lambda$  と修正表面ロスビー数  $R_{0\lambda}$  の関数として次式により表せると考えられる。

$$z_g = 0.06 \frac{U_g}{f_\lambda} (\log R_{0\lambda})^{-1.45} \quad (11)$$

この式は、非台風時の式に比べ、 $f$  の代わりに  $f_\lambda$  が用いられたところ以外、同じ形となっている。この考え方の

妥当性を示すため、(11) 式により求めた傾度風高さの値を実線で図中に示した。予測結果は数値解析の結果によく一致し、(11) 式の有効性が確かめられた。

以上の分析から分かるように、同一地点において、非台風時の傾度風高さは、傾度風速の増大に伴い単調に増大するが、台風時の傾度風高さは、傾度風速の増大に伴い減少することもある。それは台風時に傾度風速  $U_g$  が大きくなると同時に、境界層内の渦度も大きくなっている (Fig. 3 (a)) ことによるものである。台風時の大気境界層のもつ渦度の増加率が、ある位置から傾度風速の増加率を超えれば、そこから長さスケール  $U_g/f_\lambda$  が減少し、傾度風高さも減少し始める。Fig. 5 (a) に見られるような傾度風高さ  $z_g$  の半径方向の変化は、台風時の大気境界層のもつ長さスケール  $U_g/f_\lambda$  の半径方向の変化を反映している。一般に、台風時の大気境界層のもつ渦度が非台風時の値より大きくなっているため、上空風速  $U_g$  の値が同じであっても、台風時の傾度風高さは非台風時の値より低くなる。台風時の傾度風高さが Monsoon 時の値より低くなるという Choi<sup>1)</sup> の指摘は、以上に述べた理由によるものと説明される。

Fig. 5 (b) ~ (d) はそれぞれ平均風速のべき指数  $\alpha_u$ 、地表面付近の乱れの強さ  $I(30)$  及び変動風速の標準偏差のべき指数  $\alpha_R$  の台風半径方向の変化を示す。図中の実線は論文その1で提案した予測式 (A-2~A-4) により求めた値を示す。台風の最大旋衡風速半径以外の領域においては、予測値が数値解析結果にはほぼ一致する。このことは、 $\alpha_u$ 、 $I(30)$  及び  $\alpha_R$  に関する非台風時の予測式が台風時の強風場の予測にそのまま使用できることを意味する。実際、傾度風高さ  $z_g$  を除いて、べき法則モデルに関する他の基本パラメータ ( $\alpha_u$ 、 $I(30)$ 、 $\alpha_R$ ) が大気境界層の持つ小さな長さスケール  $z_0$  によってほぼ決定されていることを考えると、この結果は当然なことと言える。台風の中心域 ( $r \leq r_m$ ) においては、傾度風高さ  $z_g$  の急速な低下に伴い、予測式により求めた値と解析結果との差が大きくなるが、台風の中心域では台風中心に近づくにつれ風速の値が急速に低下し、そこでの風速の近似精度は最大風速の予測精度に影響を与えない。従って、予測式の簡潔さを保つことを考えると、付録にまとめた一連の式は、台風の中心域 ( $r \leq r_m$ ) における強風場の予測にもそのまま適用する。

3.3 風速比  $G(r)$  と inflow 角度  $\gamma_s$

台風時の風速比  $G(r)$  と inflow 角度  $\gamma_s$  については、これまでの台風観測結果<sup>11)~14)</sup> からいくつかの特徴的な現象が見られた。その一つは、台風中心に近づくにつれ風



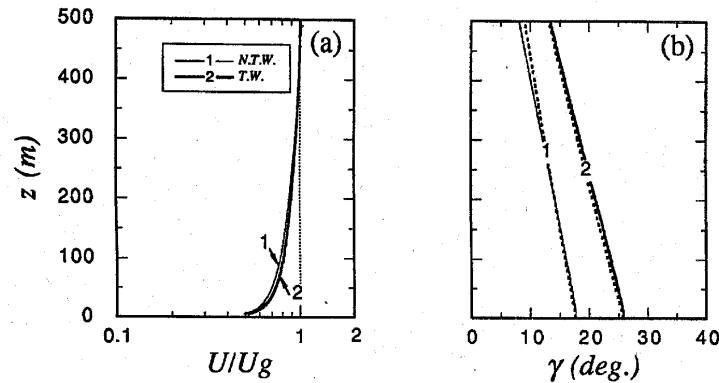


Fig. 7 台風と非台風時の平均風速の鉛直分布の比較  
 (a) Wind speed and (b) shear stress angle profiles showing a comparison of the results during typhoon and those during non-typhoon wind climate)

速比が大きくなるという現象である。その理由についてはここで調べてみる。

Fig. 6 (a) は風速比  $G(r) (= U_s/U_g, U_g$ : 地上10mでの風速) の台風半径方向の変化を示す。黒丸, 黒三角, 黒四角は計算値で, 実線はべき法則モデルにより求めた値である。求め方としては, べき指数  $\alpha_u$  を式 (A-2) により計算し, 傾度風高さ  $z_g$  を (11) 式により求めた。台風中心に近づくにつれ風速比が大きくなるという傾向は, 数値解析からも, また上述した簡単な計算からも捕らえた。数値解析結果に比べ, 最大旋風半径  $r_m$  内の予測値は, 若干高くなっているものの, 全体的に見れば解析結果をよく表している。このように, 台風中心に近づくにつれ風速比が大きくなるという特徴的な現象が傾度風高さの変化を考慮した方法により再現されたことを考えると, 台風時の風速比の変化は台風時の傾度風高さの変化によるものであると説明できる。

Fig. 6 (b) は表面剪断応力角度  $\gamma_s$  の台風半径方向の変化を示す。この剪断応力角度  $\gamma_s$  は台風時に inflow 角とも呼ばれている。黒丸, 黒三角, 黒四角は計算値で, 実線は (16) 式により求めた値である。台風表面剪断応力角度  $\gamma_s$  の値は, 台風中心付近で小さく, 最大旋風半径  $r_m$  の約3倍の位置にピークをもち, その外側では再び減少する。剪断応力角度  $\gamma_s$  の台風半径方向の変化は  $\xi$  の半径方向の変化 (Fig. 3 (b)) によく対応している。

#### 4. 台風と非台風時の強風場との比較

##### 4.1 風速場

台風と非台風時の大気境界層における長さスケールが等しければ, 台風と非台風時の風速場の鉛直特性の相違は, 無次元パラメーター  $\xi$  のみによって説明される。ここで, 長さスケール  $\frac{U_g}{f}$  と  $\frac{U_g}{f_\lambda}$  は  $1.25 \times 10^4$  とし, 非台風時 (Case1) と台風時 (Case2) の風速場を調べた。Case1 は, 地衡風近似で表せられる非台風時の風速場 ( $U_g = 9.88\text{m/s}, f = 0.788 \times 10^{-4} \text{ 1/s}$ , 緯度: 32.8度) を代表し, Case2 は, 台風時の風速場 ( $r/r_m = 2.2, U_g = 35.14\text{m/s}, f_\lambda = 2.8 \times 10^{-4} \text{ 1/s}, \xi = 1.616$ , ) を代表する。地表面粗度長  $z_0$  は  $0.01\text{m}$  (Case1, 2) とした。

Fig. 7 (a), (b) はそれぞれ傾度風速  $U_g$  で無次元化した平均風速と剪断応力角度  $\gamma$  の鉛直分布を示す。太い実線は台風時の値 (T.W.: Typhoon-induced Wind) で, 細い実線は非台風時の値 (N.T.W.: Non-typhoon Wind) を示す。低層大気での平均風速については, 台風時の値が非台風時の値より若干大きく, べき指数の値は若干小さくなっている。傾度風高さ  $z_g$  は, 予測されたように台風時と非台風時の値はほぼ同じである。一方, 剪断応力角度については台風時の値が非台風時の値より大きくなっている。  $\tan(\gamma)$  の値が軸方向の速度成分 ( $v_r$ ) と切線方向の速度成分 ( $v_\theta$ ) との比を表していることを考えると, 台風時の値が非台風時の値より大きくなっていることは, 台風時の速度成分比 ( $v_r/v_\theta$ ) が非台風時の速度成分比 ( $v_r/v_\theta$ ) より大きくなっていることを意味する。すなわち, 台風時の平均風速場は, 非台風時のそれに比べてよりねじれている螺旋構造となっている。角度  $\gamma$  の

参考文献 1

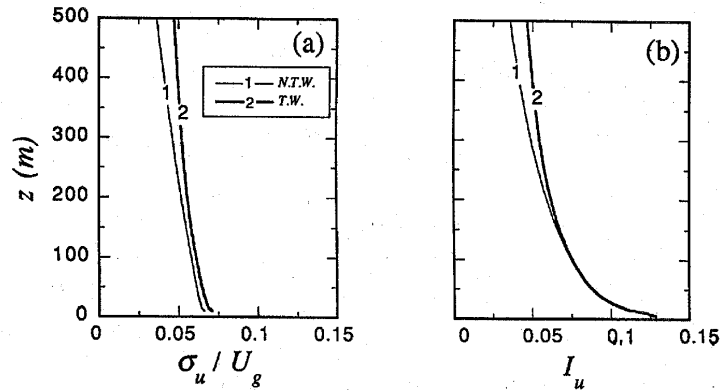


Fig. 8 台風と非台風時の無次元変動風速標準偏差と乱れの強さの鉛直分布の比較  
 ((a) Normalized standard deviation  $\sigma_u/U_g$  and (b) turbulence intensity profiles showing a comparison of the results during typhoon and those during non-typhoon wind climate)

鉛直分布は、これまでの強風観測<sup>15)</sup>と本解析結果から分かるように、高さとともにほぼ直線的に減少し、次式のように近似される。

$$\gamma(z) = \gamma_s \left(1.0 - 0.4 \frac{z}{z_g}\right)^{1.1} \quad (12)$$

図中の破線は(12)式により求めたもので、解析結果をよく近似していることが分かる。

Fig. 8 (a), (b) はそれぞれ傾度風速  $U_g$  で無次元化した変動風速の標準偏差と乱れの強さの鉛直分布を示す。太い実線は台風時の値で、細い実線は非台風時の値を示す。無次元変動風速の標準偏差については台風時の値が非台風時の値より大きくなっているが、乱れの強さは、低層大気において両者の間にほとんど差が見られない。それより上層部分においては、台風時の値が非台風時の値より若干大きくなっている。低層大気での乱れの強さに差が見られない理由は、台風時の平均風速と変動風速の標準偏差とも非台風時の値より大きくなったため、変動風速標準偏差と平均風速との比からなる乱れの強さがほぼ同じになったことによるものである。台風時と非台風時の乱れの強さとの間にほとんど差が見られなかった筑波での観測結果<sup>9)</sup>は台風時の強風の性質を反映していると言える。このように、本数値解析は台風時の強風観測結果に理論的な解釈を与えることができた。

4.2 大気境界層の抵抗則

非台風時の大気境界層における抵抗則は、1961年に

KazaskyとMonin<sup>16)</sup>により初めて導出され、その後は同じ時期にまた、Csanady (1967)<sup>17)</sup>, Gill(1968)<sup>18)</sup>, BlackadarとTennekes (1968)<sup>19)</sup>, ZilitinkevichとChalikov (1968)<sup>20)</sup>によって研究された。この抵抗則は、表面剪断応力と表面ロスビー数  $R_o$  との関係を表す法則で、表面剪断応力の大きさ(抵抗係数  $C_g = u_* / U_g$  と呼ばれる)とその角度は次のような2つの式によって表わされる。

$$\ln(C_g R_o) - B_0 = \sqrt{\left(\frac{\kappa}{C_g}\right)^2 - A_0^2} \quad (13)$$

$$\sin \gamma_s = \frac{A_0}{\kappa} C_g \quad (14)$$

ここで、 $A_0, B_0$  は無次元普遍常数である。最近、Zilitinkevich<sup>21)</sup>は過去に発表された抵抗則に関する論文を整理し、 $A_0, B_0$ の平均的な値がそれぞれ4.5, 1.7であることを報告した。しかし、(13)と(14)式で表される表面剪断応力と表面ロスビー数との関係は陰的な形となっているため、使用上不便である。また、この式は非台風時の大気境界層の抵抗則を表しているため、台風時の大気境界層の予測に適用できない。そこで、本研究では、数値解析結果を用いて台風を含む中立時の大気境界層の表面剪断応力とその角度を表す陽的な式を作成する。

ここで、長さスケール  $U_g / f_\lambda$  を一定 ( $10^5 \text{m}$ ) とし、地表面粗度長  $z_0$  と無次元パラメータ  $\beta$  を系統的に変化させた。粗度長  $z_0$  の値が、平坦な海岸域から大都市の都心

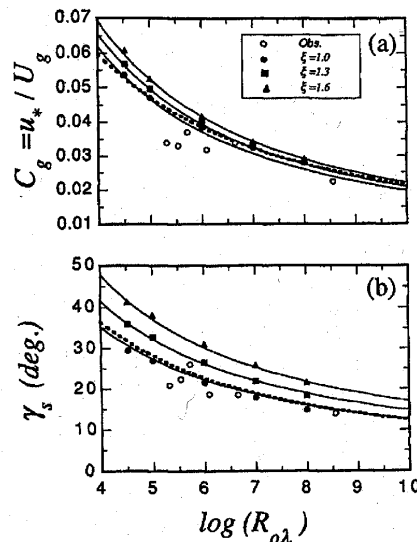


Fig. 9 抵抗係数  $C_g$  と表面せん断応力角度  $\gamma_s$  の修正表面ロスビー数  $R_{ol}$  とパラメータ  $\xi$  による変化 (Variation of (a) the drag coefficient  $C_g$  and (b) surface shear stress angle  $\gamma_s$  with the modified surface Rossby number  $R_{ol}$  and parameter  $\xi$ )

部までの広い範囲をカバーできるように5つのカテゴリ (0.001, 0.01, 0.1, 1.0, 3.0m) に分け、また、無次元パラメータ  $\xi$  の値を1~1.6までに変化させた。Fig. 9 (a), (b) は抵抗係数  $C_g$  と表面剪断応力角  $\gamma_s$  の  $R_{ol}$  による変化を示す。白丸は文献<sup>17)</sup> に示された非台風時の観測結果 (傾度風速10m/s以上のデータのみ使用) を表す。また、図中の破線は (13), (14) 式により求めたものを表し、 $A_0, B_0$  の値はそれぞれ4.0, 1.0とした。黒丸、黒四角、黒三角はそれぞれ  $\xi = 1, 1.3, 1.6$  の場合の数値解析結果を示す。 $\xi = 1$  の場合 (非台風) に抵抗係数  $C_g$  と角度  $\gamma_s$  の数値解析結果は、非台風時の観測データ平均的な傾向に一致しているが、 $\xi$  の値が1より大きくなる場合 (台風時)、 $\xi$  の増加とともに、抵抗係数  $C_g$  と角度  $\gamma_s$  とも大きくなっている。 $\xi$  が大気境界層内の渦度の空間分布の非一様性を表すパラメータとなっていることを考えると、この結果は渦度の空間分布の非一様性が大気境界層の螺旋構造に与える影響を表している。図中の実線は、(15) と (16) 式により求めた結果で、解析結果をよく近似していることが分かる。

$$C_g = (0.28 + 0.07 \xi) (\log R_{ol})^{-1.25} \quad (15)$$

$$\gamma_s = (69 + 100 \xi) (\log R_{ol})^{-1.13} \quad (16)$$

このように、台風と非台風時の大気境界層の抵抗係数  $C_g$  と角度  $\gamma_s$  を修正表面ロスビー数  $R_{ol}$  とパラメータ  $\xi$  によって統一的に表すことができた。

### 5. まとめ

本研究では、台風時の大気境界層を記述できる数値モデルを構築し、台風時の大気境界層の性質を表す新しいパラメータ  $f_\lambda$  と  $\xi$  を提案した。そして、台風 T9119 をシミュレートすることにより、台風時の平均風速と乱れの強さの鉛直分布の特性を調べた。更に、台風と非台風時の強風場の比較を行うことにより、台風と非台風時の風速場の螺旋構造及びその乱流特性の相違を検討した。その結果、以下ようになる。

- 1) 台風時の平均風速及び乱れの強さの鉛直分布はべき法則モデルによって近似的に表すことができ、また、べき法則モデル中の基本パラメータも、傾度風高さ  $z_g$  を除いて、本論文その1で提案された一連の式により予測できることが分かった。また、台風時の傾度風高さ  $z_g$  は、非台風時と同様に、大気境界層のもつ大きな長さスケール  $U_g/f_\lambda$  と修正表面ロスビー数  $R_{ol}$  の関数として表すことができた。
- 2) これまでの観測から見られた台風時の強風場のいくつかの特有な現象が本研究により明らかにされた。台風中心に近づくにつれ風速比が大きくなるのは、台風中心付近域における傾度風高さの減少によるものと説明でき、また、台風時の傾度風高さが Monsoon 時の値より低くなるというのは、台風時の大気境界層のもつ渦度が非台風時の値より大きくなっていることによるものと説明できた。
- 3) 台風と非台風時の長さスケール  $U_g/f_\lambda$  と  $U_g/f$  が同じであれば、台風と非台風時の無次元平均風速の鉛直分布はほぼ同じで、風速そのものは台風時の値が若干大きくなっている。一方、剪断応力角度については、非台風時の値より台風時の値がかなり大きくなっている。また、傾度風速で無次元した変動風速標準偏差は、非台風時の値より台風時の値が若干大きくなるが、乱れの強さについては、低層大気において台風時と非台風時の値にほとんど差が見られない。これは、台風時の平均風速と変動風速の標準偏差の値が同時に大きくなったためと説明できた。

## 参考文献 1

4) 抵抗係数  $C_g$  と表面剪断応力角度  $\gamma_s$  は、修正表面ロスビー数  $R_{\alpha\lambda}$  とパラメータ  $\xi$  の関数となっていることが分かった。更に、本研究では、これらの量を表す実験式を提案した。

## 付 録

本研究から得られた中立時の大気境界層の特性量とその鉛直分布に関する予測式は、以下のようにまとめた。

・傾度風高さ  $z_g$  ;  

$$z_g = 0.06 \frac{U_g}{f_\lambda} (\log R_{\alpha\lambda})^{-1.45} \quad (\text{A-1})$$

・平均風速のべき指数  $a_u$  ;  

$$a_u = 0.27 + 0.09 \log z_0 + 0.018 (\log z_0)^2 + 0.0018 (\log z_0)^3 \quad (\text{A-2})$$

・乱れの強さ  $I_u(z)$  ;  

$$I_u(z) = 0.253 + 0.15 \log z_0 + 0.0462 (\log z_0)^2 + 0.005 (\log z_0)^3 \quad (\text{A-3})$$

・変動風速標準偏差のべき指数  $a_R$  ;  

$$a_R = -0.0025 - 0.73 a_u + 4.8 a_u^2 - 10.5 a_u^3 \quad (\text{A-4})$$

・抵抗係数  $C_g (= u_* / U_g)$  ;  

$$C_g = (0.28 + 0.07 \xi) (\log R_{\alpha\lambda})^{-1.25} \quad (\text{A-5})$$

・表面剪断応力角度  $\gamma_s$  ;  

$$\gamma_s = (69 + 100 \xi) (\log R_{\alpha\lambda})^{-1.13} \quad (\text{A-6})$$

・剪断応力角度  $\gamma$  の鉛直分布 ;  

$$\gamma(z) = \gamma_s (1.0 - 0.4z/z_g)^{1.1} \quad (\text{A-7})$$

・変動風速の標準偏差  $\sigma_u$  の鉛直分布 ;  

$$\sigma_u(z) = 2.1 u_* (1.0 - 0.7z/Z_G)^{0.7} \quad (\text{A-8})$$

・乱れの強さ  $I_u$  の鉛直分布 ;  

$$I_u(z) = I_u(30) (z/30)^{2R^{-a_u}} (1.0 - 0.7z/z_g)^{0.25} \quad (\text{A-9})$$

ここで、 $Z_G = 0.17 u_* / f_\lambda$  である。また、台風時では  
 $f_\lambda = \left( \frac{\partial v_{0g}}{\partial r} + \frac{v_{0g}}{r} + f \right)^{1/2} \left( 2 \frac{v_{0g}}{r} + f \right)^{1/2}$ ,  $\xi = \left( 2 \frac{v_{0g}}{r} + f \right)^{1/2} / \left( \frac{\partial v_{0g}}{\partial r} + \frac{v_{0g}}{r} + f \right)^{1/2}$  であり、非台風時では  $f_\lambda = f$ ,  $\xi = 1$  である。

## 参考文献

- 1) E.C.C. Choi : Gradient height and velocity profile during Typhoons. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 13, 1983, pp.31 - 41.
- 2) 孟岩, 松井正宏, 日比一喜 : 中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性, その1 非台風時の強風, 日本風工学会誌, No. 65, 1995, pp.1 - 15.
- 3) 光田・塚本・坂本 : 多良間島における台風観測研究総合報告書, 台風研究委員会, 1980, 229pp.
- 4) E.C.C. Choi ; Characteristics of Typhoons over the South China sea, Journal of Industrial Aerodynamics, Vol. 3, 1978, pp. 353 - 365.
- 5) 光田・森 : 潮岬において観測された台風眼通過時の風の特性について, 京大防災研究所年報, 16 - B, 1973, pp.285 - 291.
- 6) 甲斐 : 台風 8115 号の乱流特性について, 第7回風工学シンポジウム論文集, 1982, pp.23 - 30.
- 7) Y.Tamura, K.Shimada, K.Hibi : Wind Response of a tower (Typhoon observation at the Nagasaki Huis Ten Bosch Domtoren), J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 50, 1993, pp.309 - 318.
- 8) 孟, 松井, 嶋田, 日比 : 台風時の平均風速と乱れ強度の鉛直分布, 清水建設研究報告, 1994, pp.57 - 64.
- 9) Y.Meng, M.Matsui, K.Hibi : An analytical model for simulation of the wind field in a typhoon boundary layer, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., No.56, 1995, pp.291 - 310.
- 10) G. L. Mellor and T. Yamada : A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layer, J. Atmos. Sci., Vol. 31, 1974 pp.1791 - 1804.
- 11) 光田, 文字, 塚本, 浅井 : 八重山群島を襲った台風 5 号 (7705) の気象学的特性について, 京大防災研究所年報第 21 号, B - 1, 1978, pp.405 - 415.
- 12) P.N. Georgiou, A.G. Davenport and B.J. Vickery : Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 13, 1983, pp.139 - 152.
- 13) 山元, 光田, 文字, 塚本, 末延 : 沖永良部島を襲っ

- た台風9号(7709)の気象学的特性について,  
京都大学防災研究所年報, 第21号, B-1, 1978,  
pp.417-425.
- 14) 藤井, 光田: 台風の確率モデルによる強風のシミュレーション, 日本風工学会誌, No.28, 1986, pp.1-12.
- 15) G. M. B. Dobson : Pilot balloon ascents at the central flying school, Upavon during the year 1913. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 1961, Vol. 40, pp.123-135.
- 16) A. B. Kazansky and A. S. Monin : On dynamic interaction between atmosphere and earth surface, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geofiz*, No. 5, 1961, pp.786-788.
- 17) G. T. Csanady : On the "Resistance Law" of a turbulent Ekman layer, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 24, 1967, pp.467-471.
- 18) A.E. Gill : Similarity theory and geostrophic adjustment, *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 94, 1968, pp.586-588.
- 19) A. K. Blackadar and H. Tennekes : Asymptotic similarity in neutral Barotropic planetary boundary layer, *J. Atmos. Sci.* Vol. 25, 1968, pp.1015-1020
- 20) S.S. Zilitinkevich and D. V. Chalikov : On resistance law and heat and moisture transfer laws in interaction of atmosphere with underlying surface, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Fizika Atmosfery i Okeana*, Vol. 4, 1968, pp.765-772.
- 21) S.S. Zilitinkevich : Velocity profiles, the resistance law and the dissipation rate of mean flow kinetic energy in a neutrally and stably stratified planetary boundary layer, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 46, 1989, pp.367-387.

## 台風シミュレーションのための混合確率分布関数と修正直交変換法の提案

A Mixed Probability Distribution Function and Modified Orthogonal Decomposition for Typhoon Simulation

石原 孟<sup>1)</sup> ホタイホム<sup>2)</sup> チョンチーリョン<sup>3)</sup> 藤野陽三<sup>4)</sup>  
Takeshi ISHIHARA<sup>1)</sup>, Ho Thai HUNG<sup>2)</sup>, CHEONG Chee Leong<sup>3)</sup> and Yozo FUJINO<sup>4)</sup>

## ABSTRACT

A mixed probability distribution function (MPDF) was proposed for typhoon simulation, which is applicable to any locations by changing a weighted parameter. A modified orthogonal decomposition (MOD) was also proposed to simultaneously reproduce probability-distributions of typhoon parameters and their correlations. The annual maximum wind speeds at the five typical sites in Japan simulated with the proposed methods showed favorable agreements with the observations, while the conventional methods overestimated those for the long-term return period.

Key Words: Typhoon Simulation, Mixed Probability Distribution Function, Typhoon Parameters, Modified Orthogonal Decomposition

## 1. はじめに

近年構造物の大型化に伴い、構造物の耐風安全性の向上や耐風設計の合理化のために長い再現期間の設計風速が必要となる。現在日本における風観測は最長 70 年間しかないため、長い再現期間（例えば、1000 年）に対する年最大風速の算定は外挿となってしまう問題がある。この問題を解決するために、台風シミュレーションによる設計風速の評価手法が提案されてきた<sup>1)~5)</sup>。

台風シミュレーションにより設計風速を評価する際には台風パラメータの確率分布を精度よく近似することが重要である。しかし、従来の研究に用いられた確率分布関数は国によって異なる。日本<sup>1),2)</sup>では台風の中心気圧低下量 $\Delta P$ を対数正規分布で近似しているのに対して、アメリカではワイブル分布が用いられている<sup>3),4)</sup>。また本研究で示したようにある地点の台風パラメータをよく近似する確率分布を他の地点に適用すると、大きな誤差が生じてしまう。本来、台風パラメータの統計的な性質は場所によって異なる可能性があり、単一の確率分布ですべての地点の台風パラメータを近似することは困難である。

従来のシミュレーション手法では台風パラメータの間の相関を同時に再現できない問題もある。その結果、現在使用されている台風シミュレーション手法より求められた年最大風速は台風パラメータの実測データから直接求められた年最大風速に比べ、長い再現期間の風速値が過大に評価されてしまう。Vickery ら<sup>4)</sup>は2つの台風パラメータ間の相関関係を再現する手法を提案したが、すべての台風パラメータ間の相関を同時に再現することができない。一方、松井ら<sup>5)</sup>は直交変換法に基づき、台風進行方向、進行速度、中心気圧低下量と最大旋衡風速半径間の相関関係を同時に考慮する手法を提案したが、台風パラメータ間の相関とパラメータの確率分布を同時に精度良く再現することができないという問題もある。

<sup>1)</sup> 東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構 助教授

(〒113-8656 文京区弥生)

<sup>2),3)</sup> 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 大学院生<sup>4)</sup> 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

(〒113-8656 文京区本郷)

そこで、本研究ではまずどの国と地域にも適用できる普遍的な確率分布関数を提案し、そして台風パラメータ間の相関関係を正しく再現でき、かつ台風パラメータの確率分布の近似精度を損なわないシミュレーション手法を提案する。本研究で提案された新しい手法の有効性を示すために、地表面の影響を受けない上空風の年最大風速の確率分布と比較することとした。

2. 台風シミュレーションの概要

台風シミュレーションでは①まず過去の台風観測データにより、台風の年発生数 $\lambda$ 、最接近距離 $d_{min}$ 、進行方向 $\theta$ 、進行速度 $C$ 、中心気圧低下量 $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径 $R_m$ の6つのパラメータの確率分布を求める。次に、②各パラメータの確率分布に従い、人工的に台風を発生させる。そして、③発生された台風の気圧場から上空風を求め、地表面の粗度や地形の効果を考慮して地上風に変換し、地上風の年最大風速を求める。最後に、④シミュレートした数千年～数万年間の年最大風速を大きい順に並べ、年最大風速の確率分布を求め、任意再現期間の風速を算出する。

台風時の上空風は、発生された台風の経路、進行速度、気圧場に依存するため、個々の台風パラメータの確率分布を正確に再現するだけでなく、台風パラメータ間の相関関係の再現も重要である。そこで、本研究では台風シミュレーション手法の再現精度を検証ために、最終的に台風パラメータにより算出される風速値を用いた比較検討を行った。本研究では、台風時の上空風の算定には石原ら<sup>9)</sup>により提案された解析モデルを用いた。また台風パラメータに関する観測データは文献 7 に示す台風データベースを用い、台風の発生は著者らが開発した台風シミュレーションプログラム MOST (MOnTe-Carlo Simulation for Typhoon) を使用した。

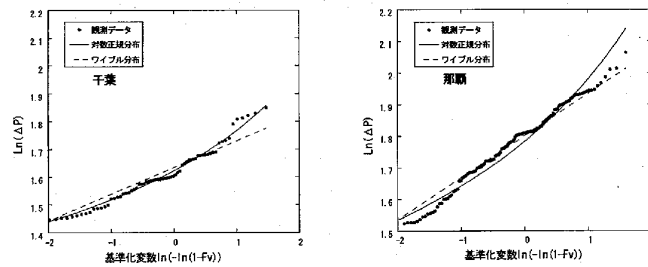


図 1 気圧低下量の対数正規分布とワイブル分布による近似

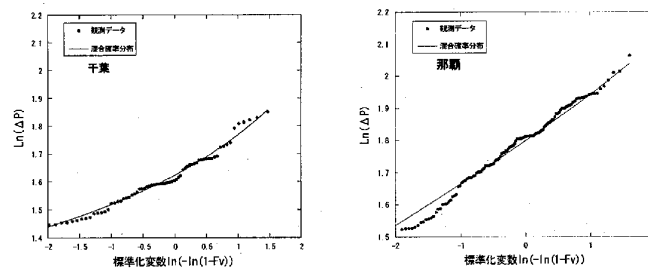


図 2 気圧低下量の混合確率分布関数による近似

3. 混合確率分布関数の提案

従来日本で行われてきた台風シミュレーションでは年発生数 $\lambda$ はポアソン分布、最接近距離 $d_{min}$ は一様分布、進行方向 $\theta$ は正規分布、進行速度 $C$ 、中心気圧低下量 $\Delta P$ 、最大風速半径 $R_m$ は対数正規分布が使用されてきた。中心気圧低下量の確率分布の近似式としては日本では対数正規分布が用いられているのに対して、アメリカではワイ

参考文献 2

ブル分布が推奨されている<sup>3), 4)</sup>。中心気圧低下量の確率分布は風速の評価に最も大きな影響を与えることを考えると、まず気圧低下量に対して対数正規分布とワイブル分布の近似精度及びその適用可能性を明らかにする。

図 1 に千葉および那覇における気圧低下量の観測データと既存の確率分布によるフィッティング曲線との比較を示す。縦軸は気圧低下量を対数で表示し、横軸は基準化変数を表す。基準化変数が大きいほど再現期間が長いことに対応している。また図中の黒丸は観測データを示す。これらの図から分かるように、対数正規分布（実線）は千葉での観測データをよく近似できるが、那覇での観測データを精度よく近似できない。一方、ワイブル分布（点線）は那覇の観測データをよく近似できるのに対して、千葉での観測データをよく近似できないことが分かる。これは千葉と那覇における強い台風の襲来頻度の違いによるものである。千葉では強い台風がまれにしか来ないのに対して、那覇では強い台風がよく襲来する。このように気候的に異なる地域に対して、単一の確率分布による精度のよい近似は困難であり、普遍的な確率分布の提案が必要である。因みに Georgiou ら<sup>3)</sup> がワイブル分布の近似精度がよいとされた地点フロリダは緯度的に那覇に近い。

そこで、本研究では対数正規分布とワイブル分布との組み合わせによる混合確率分布関数 MPDF (Mixed Probability Distribution Function) を提案する。この確率密度関数は次式により表させる。

$$MPDF = a \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln x}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}\right)^2\right] + (1-a) \times \frac{k}{C} \left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{C}\right)^k\right) \quad a \in (0, 1) \quad (1)$$

ここで、 $a$  は混合パラメータであり、0 はワイブル分布、1 は対数正規分布を表す。このパラメータは最小二乗法により求められる。この混合確率分布を千葉と那覇気象台に適用すると、千葉では  $a=1$ 、すなわち、対数正規分布となり、一方、那覇では  $a=0.2$ 、ワイブル分布に近い分布となった。図 2 には混合確率分布を気圧低下量に適用した結果を示し、観測データをよくフィッティングしていることがわかる。

図 3 には日本全国をカバーする 5 地点（那覇、宮崎、大阪、千葉、仙台）に混合確率分布関数を適用し得られた混合パラメータの値を示す。南から北に行くにしたがって、混合パラメータ  $a$  の値は約 0.2 から単調に増加し、北緯 34 度を超えると 1 に漸近する。すなわち、気圧低下量  $\Delta P$  の分布はワイブル分布から対数正規分布に移行していることが分かる。これは強い台風の襲来頻度が南から北へ行くに従って減少していくことに対応している。混合確率分布は中心気圧低下量のみならず、最大旋衡風速半径と進行速度  $C$  にも適用でき、よい近似精度が得られている。特に進行速度における混合パラメータは中心気圧低下量と反対な傾向を示し、南から北へ行くに従って、混合パラメータが減少することがわかる。これは台風の進行速度が北へ行くにしたがって速くなっていることに対応している。

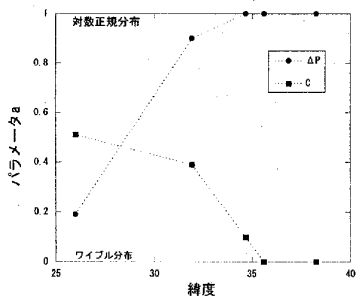


図 3 混合パラメータ  $a$  の緯度による変化

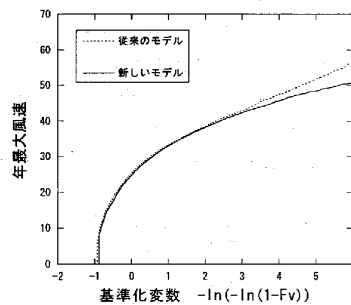


図 4 千葉における上空風の年最大風速確率分布

新しく提案した混合確率分布の効果を確認するために、台風パラメータの観測値より算定された上空風の年最大風速と、観測値を近似した確率分布に従い発生した台風パラメータにより求められた上空風の年最大風速を比較した。図 4 には千葉における上空風の年最大風速の比較結果を示す。従来の手法（対数正規分布）による長い



再現期間の年最大風速の過大評価は本研究で提案した混合確率分布により大きく改善された。なお、千葉においては進行速度の確率分布における混合確率分布の適用が年最大風速の再現期待値に最も大きな影響を与えた。

4. 修正直交変換法の提案

表1a)には千葉気象台を中心とし、半径500km以内に通過した台風のパラメータ間の相関係数を示す。パラメータによって0.3を超える相関係数が見られる。例えば、 $\Delta P$ と $d_{min}$ との間に正の相関が見られた。これは千葉気象台に対して右側に通過する台風が強いことを示し、太平洋側に通過した台風と比べると、上陸側に通過した台風の方が上陸に伴い減衰していることに対応している。このような相関を無視すると陸側を通過した台風の強さが過大に評価され、年最大風速の過大評価につながる。従って、モンテカルロシミュレーションにより台風を作り出す時、台風パラメータの確率分布を正しく再現するだけでなく、パラメータの間の相関関係も忠実に再現する必要がある。

表1 千葉における台風パラメータの相関係数

千葉	a)観測値					b)直交変換法					c)修正直交変換法				
	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{min}$	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{min}$	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{min}$
$\ln(\Delta P)$	1.00					1.00					1.00				
$\ln(R_m)$	-0.28	1.00				-0.28	1.00				-0.28	1.00			
$\ln(C)$	0.01	0.37	1.00			0.02	0.35	1.00			0.02	0.35	1.00		
$\theta$	-0.03	-0.03	-0.27	1.00		-0.04	-0.02	-0.25	1.00		-0.04	-0.02	-0.25	1.00	
$d_{min}$	0.33	-0.25	-0.37	-0.28	1.00	0.33	-0.24	-0.37	-0.29	1.00	0.33	-0.24	0.37	-0.28	1.00

表2 Vickeryの手法<sup>4)</sup>

パラメータ	分布	確率密度関数	相関関係
$\Delta P(\text{hPa})$	Weibull	$\frac{k}{C} \left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{C}\right)^k\right)$	$C = a_1 - b_1\varphi$ $k = c_1$
$R_m(\text{km})$	LogNormal	$\frac{1}{R_m \sqrt{2\pi} \sigma_{\ln(R_m)}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu_{\ln(R_m)}}{\sigma_{\ln(R_m)}}\right)^2\right]$	$\mu_{\ln(R_m)} = a_2 - b_2\Delta P$ $\sigma_{\ln(R_m)} = c_2$
$C(\text{m/s})$	LogNormal	$\frac{1}{C \sqrt{2\pi} \sigma_{\ln(C)}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu_{\ln(C)}}{\sigma_{\ln(C)}}\right)^2\right]$	$\mu_{\ln(C)} = a_3 - b_3\varphi$ $\sigma_{\ln(C)} = c_3$

従来から台風パラメータ間の相関を考慮する手法は提案されてきた。表2にはVickery手法<sup>4)</sup>による各パラメータの確率分布と相関関係を示す。気圧低下量と進行速度は緯度 $\varphi$ の関数、最大旋衡風速半径は気圧低下量の関数として表されている。例えば、 $R_m$ と $\Delta P$ の間の相関関係は式(2)のように表されている。ここで、 $f(R_m)$ は確率密度関数を表し、 $\mu_{\ln(R_m)}$ と $\sigma_{\ln(R_m)}$ はそれぞれの $\ln(R_m)$ の平均値と標準偏差である。

$$f(R_m) = \frac{1}{R_m \sqrt{2\pi} \sigma_{\ln(R_m)}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(R_m) - \mu_{\ln(R_m)}}{\sigma_{\ln(R_m)}}\right)^2\right] \tag{2}$$

ここで、 $\mu_{\ln(R_m)}$ を $\Delta P$ の関数として式(3)で表す。この式により、 $R_m$ と $\Delta P$ の相関関係を再現した。

$$\mu_{\ln(R_m)} = a\Delta P + b \tag{3}$$

a, bは係数である。式(2)と式(3)により発生した $R_m$ と $\Delta P$ の相関係数は-0.26となり、観測値とほぼ一致することが分かる。

参考文献2

しかし、Vickery らの手法には幾つかの問題がある。図5には目標とした  $R_m$  の確率分布と Vickery 手法により求められた最大旋衡風速半径  $R_m$  の確率分布を示す。シミュレートされた  $R_m$  の確率分布は目標とした確率分布と一致しないことが分かる。これは相関を考慮するために  $R_m$  の平均値を変化させたことによるものである。つまり、Vickery 手法は台風パラメータの確率分布と相関が同時に再現していないことがわかる。またこの手法では、二つの台風パラメータ間の相関しか再現できないという制約もある。

本研究では、台風パラメータ間の相関関係と確率分布を同時に満足するために、修正直交変換法 MOD(Modified Orthogonal Decomposition)を提案する。この手法は以下の三つのステップからなる。

1) 独立パラメータへの直交変換

台風を記述するパラメータとしては気圧低下量  $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径  $R_m$ 、進行速度  $C$ 、進行方向  $\theta$ 、最接近距離  $d_{min}$  がある。これらの台風パラメータから構成されるベクトルは次式により表す。

$$\{x_i\}^T = \{\ln(\Delta P), \ln(R_m), \ln(C), \theta, d_{min}\} \quad (4)$$

台風パラメータ間の相関行列を  $S$  とし、固有値  $\lambda_k$  と固有ベクトル  $\phi_k$  の関係は以下ようになる。

$$[S - \lambda_k E] \{\phi\}_k = 0 \quad (5)$$

相関をもつ台風パラメータの観測データ  $x_i$  から無相関の独立パラメータ  $z_i$  に式(6)のように変換することができる。

$$\{z_i\} = [\phi] \{x_i\} \quad (6)$$

このように得られた独立パラメータ  $z_i$  は正規分布と一様分布からなる混合確率分布関数により近似する。

2) 相関を持つ台風パラメータへの逆変換

次に、推定された確率分布に従って、所定年数分の台風に関する独立パラメータ  $z_i'$  を発生し、固有ベクトルの逆行列をかけて相関を持つ台風パラメータに逆変換する。

$$\{x_i\} = [\phi]^{-1} \{z_i\} \quad (7)$$

このように再現した台風パラメータから求められた相関係数(表1b)は観測データから直接に求められた相関係数(表1a)と良く一致していることがわかる。ただし、このように発生した台風パラメータの確率分布は図6のように目標とした確率分布と完全に一致していない。

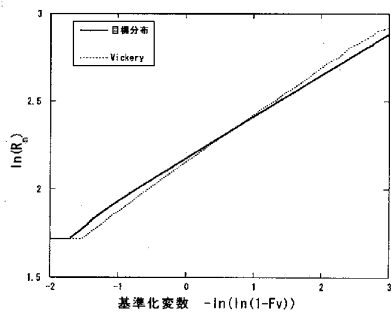


図5 Vickery 手法による  $\ln(R_m)$  の確率分布

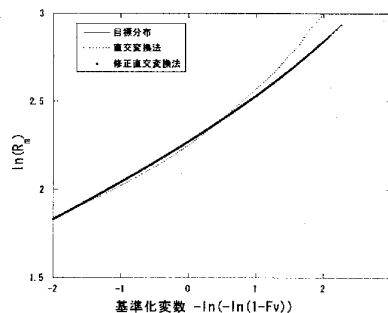


図6 修正直交変換法による  $\ln(R_m)$  の確率分布

3) 目標とした確率分布への修正

この問題を解決するために、逆変換された台風パラメータに微小修正を加えることにした。逆変換された台風パラメータと目標とした確率モデルにより発生した値を同時に昇順で並べ、逆変換された台風パラメータは目標とする確率モデルにより発生した値に合うように修正する。この補正は相関関係を考慮して決定されたパラメータに対して微小修正を加えるが、パラメータの組みを変えずに覚えておくことが鍵である。このように修正されたパラメータ間の相関係数(表1c)にはほとんど影響を与えない。修正された  $\ln(R_m)$  の確率分布は図6に示す。

最後に台風パラメータの観測値を用いて本手法の有効性を検証した。図7には千葉気象台における再現期間と上空風の関係を示す。従来の手法に比べ、本研究に提案した手法により求められた年最大風速は観測データをよく再現していることが分かる。また図8に示すように本手法による求めた那覇、宮崎、大阪、千葉、仙台の上空風の年最大風速の50年再現期待値は北へ行くにつれ単調に減少する結果を得た。この結果は台風が北上するにつれ、弱くなっていくことに対応している。それに対して、台風パラメータの確率分布並びにパラメータ間の相関関係を同時に再現していない従来の手法により求められた年最大風速の50年再現期待値は、北緯34度を越えると、再び大きくなるような不自然の結果となった。

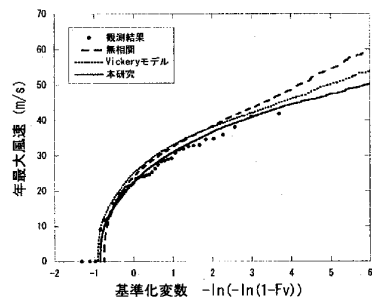


図7 千葉における上空風の年最大風速

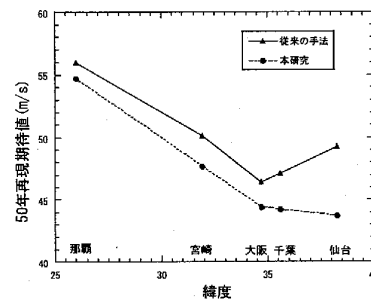


図8 年最大風速の50年再現期待値

## 5. まとめ

本研究では任意地点における台風パラメータを近似できる混合確率分布関数(MPDF)並びに台風パラメータ間の相関関係と確率分布を同時に再現できる修正直交変換法(MOD)を提案し、以下の結論を得た。

- 1) 対数正規分布とワイブル分布を組み合わせることにより、任意地点に適用できる混合確率分布関数を提案し、台風パラメータの観測データにおけるフィッティング精度を向上させた。
- 2) 直交変換法により発生した台風パラメータを修正し、目標確率分布と完全に一致する修正直交変換法を提案した。本変換法により発生した台風パラメータは、パラメータ間の相関関係と各個々のパラメータの確率分布を同時に満たすことができた。
- 3) 本手法により計算された上空風の年最大風速の確率分布は、観測値とよく一致し、従来の手法により年最大風速の過大評価を改善した。

謝辞：本研究は、平成13～14年度において文部科学省科学研究費補助金（課題番号1355125、研究代表者 石原孟）を受けた。また本研究にあたり、ご助言、ご指導を頂いた東京工芸大学工学部建築学科の松井正宏先生に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 光田寧, 藤井健: 日本南方洋上における台風の確率モデルの作成, 京大防災研究年報, No.32B-1, pp.335-348, 1989.
- 2) 松井正宏, 石原孟, 日比一喜: 実測と台風モデルの平均化時間の違いを考慮した台風シミュレーションによる年最大風速の予測法, 日本建築学会構造系論文集, No. 506, pp.67-74, 1998.
- 3) P.N.Georgiou, A.G.Davenport, B.J.Vickery: Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, J. Wind Eng. and Ind. Aerodyn., 13(1-3), pp.139-152, 1983.
- 4) J.Vickery, L.A.Twisdale: Prediction of hurricane wind speeds in the United States, J. Struct. Div. ASCE, 121(11), pp.1691-1699, 1995.
- 5) 松井正宏, 田村幸雄, 田中俊輔: 風向特性を考慮した矩形高層建物の風荷重評価, 第17回風工学シンポジウム論文集, 2002, pp.499-504.
- 6) 石原孟, 松井正宏, 日比一喜: 台風に伴う強風場を求めるための解析モデルの提案, 日本風工学会誌, No. 57, pp.1-12, 1993.
- 7) ホタイホーム: 台風における新しい確率モデルの提案と実測による検証, 東京大学修士論文, 2004.

台風時の風向特性と複雑地形の増速特性を考慮した風速割増係数の評価手法の提案  
Prediction of Wind Speedup Ratio Considering Wind Direction of Typhoon and Speed-up of Complex Terrain

菊地 由佳 石原 孟  
Yuka KIKUCHI<sup>1)</sup> Takeshi ISHIHARA<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

It is important to assess the design wind speed reasonably for wind resistant design. In the current design in Japan, the maximum of the topographical wind speed-up ratio over all the directions is used, which may overestimate the design wind speed. This paper proposed a method for evaluation of speedup ratio considering wind direction of typhoon and speed-up due to the complex terrain. Speedup ratio is defined as the ratio of 50-year-recurrence wind speed over a real terrain to that in a flat surface. The wind speed estimated by the proposed method shows a good agreement with the measurement data at meteorological stations of JMA. Finally, the reduction factor and coefficient of variation of topography are proposed and the relationship between speedup ratio and topography is investigated by using several three-dimensional steep hills.

Key Words: Speedup ratio, Typhoon simulation, Reduction factor, Coefficient of variation of topography

## 1. はじめに

風車は大量に生産される工業製品であるため、設置地点毎の環境条件に基づき設計風速を求め、風車の健全性を評価することが重要である。2005年に発行された風車に関する国際基準 IEC61400-1 の第3版<sup>1)</sup>においては、風車を建設する際には設置地点の風条件に基づき風車に作用する荷重を算出し、風車の健全性を評価することが求められている。欧州と異なり、日本における強風の主要因は台風であり、また局所的な地形による増速効果が設計風速に大きな影響を与える。建築基準法にも、「局所的な地形や地物の影響により平均風速が割増されるおそれのある場合においては、その影響を考慮しなければならない」との記述がある。ただし、その評価手法については規定していない。一方、近年台風による風車の倒壊事故が発生したことを受け、2007年に土木学会により「風力発電支持物構造設計指針・同解説」<sup>2)</sup>が制定された。本指針では、地形による風速の割増効果を風向別の風速割増係数の最大値で評価し、基準風速に乗じることにより設計風速を評価している。しかしながら、この手法では台風時の風向特性を考慮しておらず、設計風速を過大に評価する可能性がある。

そこで、本研究では台風時の風向特性と複雑地形の増速特性を同時に考慮した風速割増係数の評価手法を提案し、気象台における風観測データを用いて本提案手法の妥当性を検証する。そして、風速割増減係数及び地形変動係数を提案し、地形特性が風速割増係数に与える影響をモデル地形を用いて調べる。

## 2. 風速割増係数の評価手法の提案と検証

## 2.1. 風速割増係数の評価手法の提案

現在、局所的な地形の影響を受ける場合の設計風速を評価する際には、50年再現期待風速である基準風速  $U_{50}$  に地形による風向別風速割増係数の最大値を乗じることにより以下のように評価される。

<sup>1)</sup> 2) 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 大学院生、教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

$$U_d = U_{50}(x, y, z) \times \max(C_i) \quad (1)$$

ここで、 $U_d$ は設計風速、 $C_i$ は*i*方向における地形による風速割増係数であり、定義は式(8)に示す。この評価手法は設計風速を過大評価する可能性がある。そこで、本研究では、新たに風速割増係数 $C_{50}$ を定義し、設計風速を次式より評価することを提案する。

$$U_d = U_{50} \times C_{50}, \quad C_{50} = \frac{U_{f50}}{U_{j50}} \quad (2)$$

ここで、 $U_{f50}$ は平坦地形上の50年再現期待風速、 $U_{j50}$ は実地形上の50年再現期待風速を表す。以下、 $U_{f50}$ 、 $U_{j50}$ の算定手順を詳細に示す。

まず、熱帯低気圧に伴う傾度風速場及び台風時の海面気圧場は、次式のように算出できる。<sup>3)</sup>

$$v_{\theta r} = \frac{c_{\theta} - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{c_{\theta} - fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}}, \quad v_{r\theta} = 0 \quad (3)$$

$$p(r) = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{R_m}{r}\right), \quad \Delta p = p_w - p_c \quad (4)$$

ここで、 $v_{\theta r}$ は傾度風の円周方向成分、 $v_{r\theta}$ は傾度風の半径方向成分、 $\rho$ は密度、 $c_{\theta}$ は台風移動速度の円周方向成分、 $p_c$ は中心気圧低下量、 $r$ は台風中心からの距離、 $R_m$ は最大旋衡風速半径である。

次に、台風時の大気境界層内の風速分布 $u_r(z)$ と風向分布 $\theta_r(z)$ は次のように求める。<sup>3)</sup>

$$u_r(z) = u_G (z/z_0)^{\alpha_G} \quad (5)$$

$$\theta_r(z) = \theta_G + \theta_s (1.0 - 0.4(z/z_0))^{1.1} \quad (6)$$

ここで、 $u_G (= \sqrt{v_{\theta G}^2 + v_{rG}^2})$ は傾度風、 $z_0$ は傾度風高さ、 $z$ は地表面からの高さ、 $\alpha_G$ は鉛直プロファイルを表すべき指数、 $\theta_s$ は風向の偏角である。またこれらのパラメータは傾度風 $u_G$ 、地表面粗度長 $z_0$ 、絶対渦度 $f_s$ 、渦度の非一様性を表すパラメータ $\xi$ を用いて以下のように表すことができる。

$$\alpha_G = 0.27 + 0.09 \log z_0 + 0.018 \log^2 z_0 + 0.0016 \log^3 z_0 \quad (7)$$

$$z_0 = 0.06(u_G/f_s)(\log R_{0.2})^{-1.45} \quad (8)$$

$$\theta_s = (69 + 100\xi)(\log R_{0.2})^{-1.15} \quad (9)$$

ここで、 $R_{0.2} (= U_G/f_s z_0)$ は地表ロスビー数と呼ばれる無次元数である。以上に示す式により、粗度が一樣な平坦地形上の台風時の任意高さでの風速と風向が求められる。

そして、局所地形の影響を考慮した実地形上の風速の求め方を説明する。気流解析により、次式に示すように実地形と粗度一樣な平坦地形の風速比及び風向偏角を風向の関数として求める。

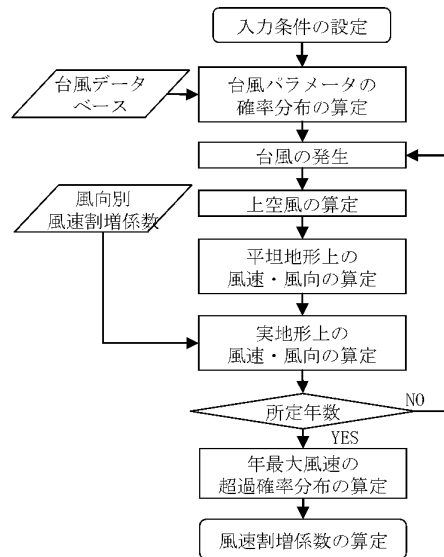


図1 風速割増係数算定の手順



図2 対象地点の周辺地形 (積丹半島)<sup>5)</sup>

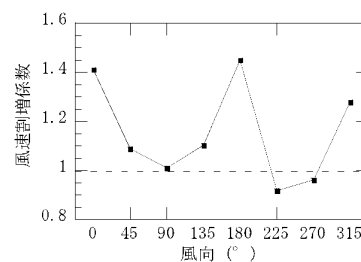


図3 対象地点における風向別風速割増係数<sup>5)</sup>

参考文献 3

$$C_f(x, y, z, \theta_f) = \frac{u_f(x, y, z, \theta_f)}{u_f(x, y, z, \theta_f)} \quad (10)$$

$$D_f(x, y, z, \theta_f) = \theta_f(x, y, z, \theta_f) - \theta_f \quad (11)$$

ここで、 $u_f(x, y, z, \theta_f)$ 、 $u_f(x, y, z, \theta_f)$  は気流解析により求めた実地形と平坦地形上の風速であり、 $\theta_f(x, y, z, \theta_f)$ 、 $\theta_f$  は実地形と平坦地形上の風向を表す。詳細については、文献 4)、5) を参考されたい。

局所地形は総観場に影響を与えないと仮定すると、局所地形の影響を考慮した台風時の風速と風向は、平坦地形上の風速と風向及び式(10)、(11)により求めた実地形と平坦地形の風速比と風向偏角を用いて、次式のように求めることができる。<sup>6)</sup>

$$u_e(x, y, z, t) = u_f(t) \times C_f(x, y, z, \theta_f(t)) \quad (12)$$

$$\theta_e(x, y, z, t) = \theta_f(t) + D_f(x, y, z, \theta_f) \quad (13)$$

最後に台風モンテカルロシミュレーションにより平坦地形上の風速の時系列と実地形上の風速の時系列を求める。

まず、過去観測された台風経路と気圧分布から対象地点における台風パラメータの確率分布を求める。次に求められた確率分布に従い、台風を人工的に発生させるとともに、それぞれの台風に対して、対象地点における平坦地形上と実地形上の風速の時系列を求める。本研究では石原らにより提案された台風モンテカルロシミュレーション手法<sup>7)</sup>を用いて1万年分の台風モンテカルロシミュレーションを実施した。台風モンテカルロシミュレーションにより求めた年最大風速を昇順に並び替え、年最大風速の超過確率分布を求め、平坦地形上の50年再現期待風速 $U_{f50}$ および実地形上の50年再現期待風速割増係数 $U_{e50}$ を求めた。

図4には、積丹半島のある地点で提案手法により求めた年最大風速の超過確率分布を示す。図2には対象地点周辺の地形を示し、図3には対象地点における風向別風速割増係数を示す<sup>8)</sup>。図4から分かるように、平坦地形上の50年再現期待風速 $U_{f50}$ は30.4m/s、実地形上の50年再現期待風速 $U_{e50}$ は40.1m/sであり、式(2)により定義される風速割増係数は1.32となった。風向別風速割増係数の最大値は1.45であることを考えると、従来手法に比べ、本提案手法による風速割増係数が9%低減していることが分かる。

2.2. 気象台の風観測データによる検証

提案した手法の有効性を示すために気象台の風観測データを用いた検証を行った。気象台は全国で157箇所あり、そのうちの約1割が複雑地形の影響を受けることが言われている。本研究では、地形により増速する室戸岬特別地域気象観測所、減速する長崎海洋気象台、地形の影響を受けない宮古島地方気象台を選択した。気象台の風観測データは風速と風向の10分間平均値が揃っている1995年以降から2006年までのデータを用いた。

まず気流解析により風向別風速割増係数を算出した。本研究では、気流解析に局所風況予測モデルMASCOTを用いた。表1に気流解析の条件を示し、気流解析による風向別風速割増係数を図6に示した。風向別風速割増係数の最大値は各々1.51、1.00、1.13であることが分かる。

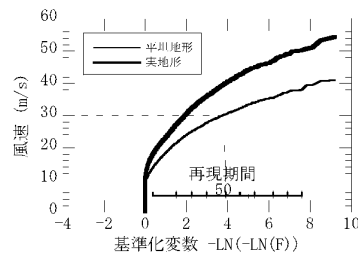


図4 対象地点における年最大風速の超過確率分布

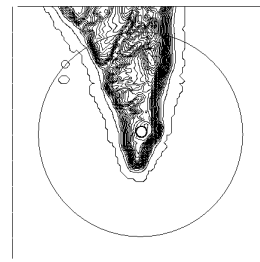


図5 対象地形と解析格子

表1 気流解析の諸条件

値		
位置	室戸岬	N33°15'06"E134°10'36"
	長崎	N32°44'00"E129°52'00"
	宮古島	N24°47'36"E125°16'36"
領域	5km×5km×10km	
最小格子	50m(水平)	
	5m(垂直)	
標高	国土地理院 50m	
土地利用	国土地理院 100m	
流入風	室戸岬	粗度区分Ⅲに対応
	長崎	粗度区分Ⅰに対応
	宮古島	粗度区分Ⅲに対応

次に、気象台における過去に観測された台風時の海面気圧場の統計分析を行い、台風気圧場の確率分布を求めた。ここでは、対象地点の半径500kmを通過し、中心気圧が985hPa以下となった台風に関する観測データから、台風中心気圧低下量 $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径 $R_m$ 、進行速度 $C$ 、進行方向 $\theta$ 、最接近距離 $d_{min}$ 及び年発生頻度 $\lambda$ を調べた。表2には台風パラメータに関する確率モデル及びモデル係数の一覧を示す。 $\mu$ は平均風速、 $\sigma$ は風速の標準偏差、 $k$ は形状係数、 $c$ は尺度係数、 $a$ は混合係数、 $z$ は二次関数の係数、 $\lambda$ は年発生回数の平均値である。

表2 室戸岬特別地域気象観測所における各台風パラメータに関する統計モデルおよびモデル係数の例

台風パラメータ	確率分布関数	モデル係数
中心気圧低下量 $\Delta P$	$F_m(x) = a \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{w,x}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{w,x}}{\sigma_{w,x}}\right)^2\right] + (1-a) \times \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right]$	$\mu=1.64, \sigma=0.12, k=4.01, c=49.7, a=0.99$
最大旋衡風速半径 $R_m$		$\mu=1.98, \sigma=0.22, k=2.16, c=122.74, a=0.57$
進行速度 $C$		$\mu=1.54, \sigma=0.21, k=2.43, c=43.07, a=0.40$
進行方向 $\theta$	標準正規分布 $F_\theta(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$	$\mu=161.02, \sigma=36.29$
再接近距離 $d_{min}$	二次関数 $d_{min} = z(x^2 - x) + 1000x - 500$	$z=-166.11$
台風の発生数 $\lambda$	ポアソン分布 $\frac{\lambda^x \exp(-\lambda)}{x!}$	$\lambda=3.30$

これらの確率分布に基づき、前述の手法により年最大風速の超過確率分布を求め、台風による年最大風速の観測値と一緒に図7に示す。本手法による年最大風速の超過確率分布と風観測データによる台風時の年最大風速の超過確率分布がよく一致し、本手法の妥当性が示された。また風向別風速割増係数の最大値に対する本手法による風速割増係数は、室戸岬では1.51に対し1.43、長崎では1.00に対し0.76、宮古島では1.13に対し1.00となり、風速割増係数は各々5%、20%、11%低減した。

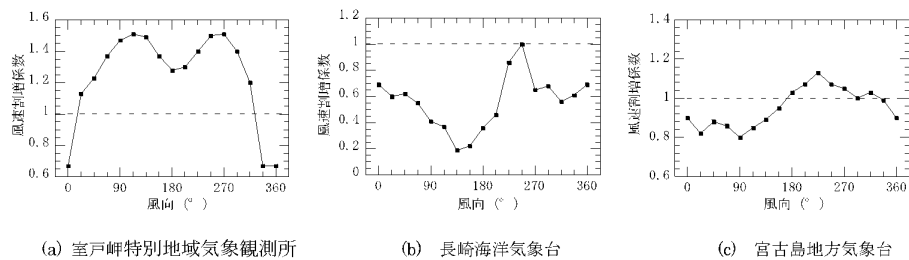


図6 気象台における風向別風速割増係数

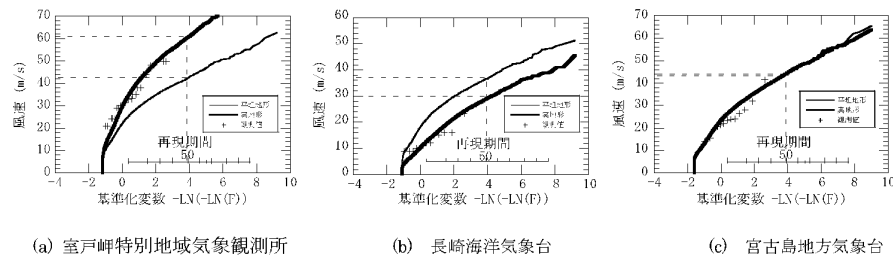


図7 気象台における年最大風速の超過確率の予測値と観測値の比較

参考文献 3

3. 風速割増低減係数と地形変動係数の提案

前節から台風時の風向特性を考慮することにより風速割増係数を低減できることが明らかになった。しかしながら、風向別風速割増係数が風向によらずすべて同じである場合には、風向別風速割増係数の低減は見込めない。孤立峰はその一例である。一方、尾根のように風向別風速割増係数が風向によって大きく異なる場合には、風速割増係数が低減することが予想される。風速割増係数の低減の度合は、実際に台風モンテカルロシミュレーションを行う前に予測可能であれば、シミュレーションの必要性を判断できる。そこで、本研究では地形の形状を代表する長さのアスペクト比を変化させることにより、地形の形状が風速割増係数に与える影響を調べる。

まず風速割増低減係数  $r_f$  を次式のように定義する。

$$r_f = C_{50} / \max(C_i) \tag{14}$$

ここで、 $C_{50}$  は本提案手法により求めた風速割増係数、 $C_i$  は風向別の風速割増係数である。風速割増低減係数は風向別風速割増係数の最大値に対する低減率を表す。

次に、地形の変動を表す指標として地形変動係数  $\sigma_t$  を次式により定義する。

$$\sigma_t = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^n (C_i / \max(C_i) - 1)^2 \right\} / 16} \tag{15}$$

ここで、 $n$  は方位を表わす。この係数はすべての風向における風速割増係数が同じ値であれば 0 となる。

最後に、モデル化した地形に対して気流解析することにより提案した地形変動係数と風速割増低減係数の関係を調べた。モデル地形には、過去に行われた風洞実験<sup>9)</sup>に基づき作成された風洞実験におけるモデル地形の 5000 倍の地形を用いた。モデル地形の式を以下に示す。

$$z = \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \sqrt{\left( \frac{x}{L_x} \right)^2 + \left( \frac{y}{L_y} \right)^2} \right) \tag{16}$$

図8には風洞実験に用いられたモデル地形の断面図と座標系及び正面図を示す。y軸方向を風向0°とし、時計回りを正とした。また本研究で設定したモデル地形のアスペクト比  $L_x : L_y$  は 1:2~1:8 に変化させた。表3はモデル地形の寸法を示す。

気流解析に対しての妥当性と予測精度について確認するため、まず風洞実験におけるモデル山を 1000 倍にしたケース (Case 1) について気流解析を行った。そして、モデル地形の山頂における風速と平坦地形上との風速比を求め、風洞実験の結果と比較した。気流解析は、解析領域を水平方向 3500m×3500m、鉛直方向 900m とし、水平方向、鉛直方向最少格子をそれぞれ 10m、3m とした。粗度長は風洞実験にならい 0.3m とした。気流解析により

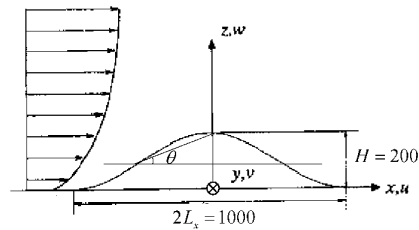


図8 モデル地形とその座標系

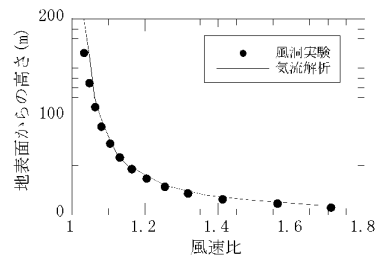


図9 気流解析により得られた風速比と風洞実験により得られた風速比の比較

表3 モデル地形の寸法とアスペクト比

	$\theta$ (°)	$2L_x$ (m)	$2L_y$ (m)	$H$ (m)	$L_x/L_y$
Case 1	21.8	1000	1000	200	1/1
Case 2	11.3	1000	2000	200	1/2
Case 3	5.7	1000	4000	200	1/4
Case 4	2.9	1000	8000	200	1/8

表4 モデル地形における気流解析の諸条件

	格子間隔 (m)			最小格子領域 (m×m)
	水平		鉛直	
	最小	最大	最小	
Case 1	20	200	5	3500×3500
Case 2	50	200	5	7000×7000
Case 3	50	200	5	8000×8000
Case 4	50	300	5	1600×1600



得られた頂上部における平坦地形と実地形上の風速比を図 9 に示し、風洞実験より得られた風速比とよく一致していることがわかる。

次に、各モデル地形に対して風向別風速割増係数の最大値によって規準化した風向別風速割増係数を求めた。それぞれの地形における気流解析の諸条件を表 4 に、解析により求めたモデル地形頂上部における規準化風速割増係数の結果を図 10 に示す。モデル地形のアスペクト比が大きくなるにつれ、規準化された風向別風速割増係数は大きく変動する。本研究では、これらの地形が室戸岬特別地域観測所にあると仮定し、風速割増係数を求めた。結果を、図 11 および表 5 に示す。地形変動係数が大きくなるにつれ、風速割増低減係数は小さくなること分かる。

最後に、台風の風向特性と風速割増低減係数の関係について考慮する必要がある。本研究では、室戸岬特別地域気象観測所において Case 2~Case 4 の 4 つのモデル地形について地形の主軸を  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$  の 4 方位に回転させ、12 ケースについて風速割増係数を求めた。その結果を図 11 に示す。地形変動係数が 0 の場合は風向に影響されないため風速割増低減係数の値は変わらないが、地形変動係数が大きくなると風向により値が変動する。よって、厳密に風速割増低減係数を求めるためには台風モンテカルロシミュレーションが必要であることがわかる。

#### 4. まとめ

本研究では台風モンテカルロシミュレーションと気流解析を用いることにより、台風時の風向特性と複雑地形の増速特性を考慮した風速割増係数の評価手法を提案し、以下の結論を得た。

- 1) 従来の設計風速の評価手法に比べ、台風時の風向特性を考慮した本評価手法は、地形による風速割増係数を低減可能であることを示した。
- 2) 本提案手法により求めた年最大風速の超過確率は 3 つの代表的な気象台で検証し、風観測データによる超過確率することを確認でき、本提案手法の有効性を示した。
- 3) 地形の変動を表す地形変動係数を提案することにより、風速割増低減係数と地形の形状との関係を評価できることを示した。しかし、台風の風向特性を考慮するため厳密な風速割増低減係数の評価には台風モンテカルロシミュレーションが必要である。

#### 参考文献

- 1) IEC 61400-1: Wind turbines-Part1: Design requirements, Ed.3, 2005. 2) 土木学会：風力発電設備支持物構造設計指針・同解説(2007年版). 構造工学シリーズ 17, 2007. 3) 石原孟, 松井正宏, 日比一喜：中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性 その 2 台風時の強風, 日本風工学会誌, No.66, pp.3-14, 1996. 4) 石原孟, 日比一喜：急峻な山を越える乱流場の数値予測, 日本風工学会論文集, No.83, pp.175-188, 2000. 5) 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. 6) Ishihara, T., Siang, K. K., Leong, C. C. and Fujino, Y. (2005), Wind field model and mixed probability distribution function for typhoon simulation, The Sixth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, pp. 412-426. 7) 石原孟, ホタイホム, チョンチーリョン, 藤野陽三：台風シミュレーションのための混合確率分布関数と修正直交変換法の提案, 第18回風工学シンポジウム論文集, pp.5-10, 2004. 8) 石原孟, 日比一喜：急峻な山を越える乱流境界層に関する実験的研究, 第15回風工学シンポジウム論文集, pp.61-66, 1998.

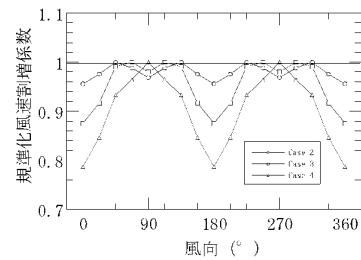


図 10 各モデル地形における規準化風速割増係数の風向による変化

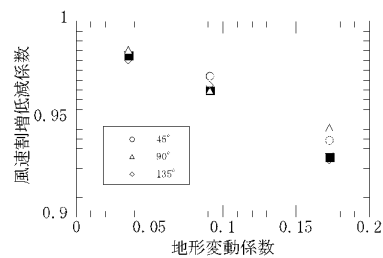


図 11 風速割増低減係数の地形変動係数による変化

## 気流解析と台風シミュレーションに基づく 配電設備のリスクマネジメント

石原孟<sup>1</sup>・榎木康太<sup>2</sup>・高原景滋<sup>3</sup>・荒川洋<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学教授 大学院工学系研究科社会基盤学専攻(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail: ishihara@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 東京大学大学院生 大学院工学系研究科社会基盤学専攻(同上)

(現・(株)大林組研究員 技術研究所 環境技術研究部)

E-mail: enoki.kota@obayashi.co.jp

<sup>3</sup>非会員 沖縄電力株式会社グループリーダー IT推進本部(〒901-2602 沖縄県浦添市牧港5-2-1)

E-mail: keiji\_takahara@okiden.co.jp

<sup>4</sup>正会員 株式会社水城ネットワーク部長 環境計画部(〒134-0088 東京都江戸川区西葛西6-8-10)

E-mail: arakawa@aquanet21.co.jp

本研究では電柱損傷度曲線, 台風ハザード曲線および期待総建設費最小化原則に基づく配電設備のリスクマネジメント手法を提案した。台風0314号による被害データ分析および数値流体解析に基づく宮古島全域の瞬間風速の推定を行うことにより, 1度の台風被害データから電柱の損傷度曲線の作成を可能とした。また台風シミュレーションと気流解析を組み合わせることで, 宮古島に設置されたすべての電柱位置における台風ハザード曲線を作成することを可能とした。最後に期待総建設費最小化原則に基づく最適設計風速を電柱の損傷度曲線と台風ハザード曲線を用いて求めた。その結果, 全ての電柱に各々の最適設計風速を用いた場合では現状の設計風速を用いた場合の期待総建設費用に比べて, 13%のコストを削減できることを明らかにした。

**Key Words:** risk management, power distributions, damage data, gust wind prediction, fragility curve, typhoon simulation, typhoon hazard curve, minimization of expected total cost

### 1. はじめに

沖縄, 九州, 四国地方では台風の襲来により, 送配電設備が大きな被害を受けることがある<sup>1)2)</sup>。2003年に発生した台風0314号(以下, 台風14号)は宮古島の全電柱約20,000本のうち約1,000本に折損や傾斜などの被害をもたらした。電柱倒壊により電力の供給がストップしただけでなく, 車両の通行を遮断し, 災害復旧にも大きな影響を与えた(図-1)。そのため, 台風による配電柱の大量倒壊を未然に防ぐために, 電柱の強風リスクを定量的に評価し, 費用対効果の高い対策の実施が急務である。

電柱の強風リスクを定量的に評価するには, 被害電柱の位置情報と設置地点における風速情報から求められた電柱の損傷度曲線 (fragility curve) と電柱の設置地点における風速の確率分布を表す台風ハザード曲線 (typhoon hazard curve) が必要である。

強風災害に関するこれまでの研究の多く<sup>1)6)</sup>は電柱や

建物の損傷度と台風時の最大瞬間風速との関係を調べているが, その際には, 被害電柱や建物の設置地点における最大瞬間風速ではなく, 気象台で観測された最大瞬間風速が用いられている。しかし, 宮古島のように風速の観測データが1箇所の気象台からしか得られない場合には, 電柱の損傷度曲線を得るには複数回の台風被害データが必要となる。このような方法では時間がかかる上, 気象台の風速を用いて島全体の風速を代表させるには精度の面においても問題がある。

また九州地方を襲った台風9117号と9119号による配電設備の被害状況を分析した前田<sup>1)2)</sup>の研究では, 各県を2, 3の大きいエリアに分け, 気象台から得られた最大瞬間風速と配電設備の倒壊の関連性を分析した。その結果, 台風通過に伴う被害状況は連続的ではなく, 特定の地域に集中していることが明らかになれば, エリア内の地形や地表面粗度がエリア内の最大瞬間風速に与える影響を考慮する必要があることが示唆された。

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

さらに神田ら<sup>3)</sup>の建築物の強風危険度の評価法に関する研究では、建物の一部損壊、半壊、全壊に対する被害率を対数正規分布に当てはめることにより、それぞれのケースに対応する対数正規分布の平均値と標準偏差を求めた。いずれのケースにおいても標準偏差が0.3であり、大きな変動係数を示している。このような大きな変動係数は建物強度のばらつきの他、周辺建物、地形、地表面粗度の影響も含まれている可能性がある。

以上のことを踏まえ、本研究では、まず台風14号による宮古島の倒壊電柱の位置同定を行い、宮古地方気象台における台風14号時の風向・風速観測データを用いて気流解析により宮古島全域の最大瞬間風速を求め、同定された被害電柱の位置情報と合わせて電柱の損傷度曲線を作成する。次に、台風シミュレーションを行い、気流解析の結果と合わせて、宮古島における電柱毎の台風ハザード曲線を求める。最後に、宮古島における電柱毎の損傷度曲線と強風ハザード曲線を用い、電柱毎のリスク評価を行う。期待総建設費最小化原則に基づき、宮古島における配電用電柱毎の最適設計風速を求めると共に、島全体の配電設備における設計風速階級別の期待総建設費を算出し、最適な設計風速を提案する。

## 2. 台風14号の被害データと気流解析による電柱の損傷度曲線の作成

瞬間風速と電柱の被害率との関係を表わす損傷度曲線を作成するためには、複数の地域における風速の情報とそれらの地域における電柱の被害率の情報が必要である。しかし、宮古島のように1箇所の気象官署の風速データしか得られない場合には1度の台風被害データから損傷度曲線を作成することができない。

そこで、本研究では、宮古島に設置された電柱の被害位置を正確に同定し、1kmメッシュ毎の被害率を算定すると共に、気象台で観測された風速を基に気流解析により宮古島全域における1kmメッシュ毎の最大瞬間風速分布を求め、現在使用されている電柱における損傷度曲線を求めた。

### (1) 台風14号の被害データによる電柱被害率の算定

台風14号における宮古島の被害電柱位置を同定するため、表-1に示す(1)~(6)のデータを使用した。同定手順は図-2に示すように現地踏査を踏まえ、(4)国道・県道沿い(図-3)と(5)国道・県道以外の被害電柱図に基づき(1)1/25000地図上に倒壊位置をマーキングし、デジタル化により座標変換を行った。このようにデジタル化された第1次被害電柱位置マップに対して、(2)航空写真、(3)

被害写真(図-1)を用いて修正し、第2次被害電柱位置マップを作成した。最後に、(6)倒壊前の電柱位置と照合し、被害電柱の正確な位置を同定した。図-4には島内の全電柱と被害電柱の位置を示す。

電柱の被害率は、林<sup>9)</sup>、林・光田<sup>9)</sup>の定義に準じ、あるメッシュ内の電柱の総本数に対する被害電柱の割合で求めた。被害率の算定に用いるメッシュ幅が大きすぎると風速の代表性が悪くなり、小さすぎると電柱が含まれないメッシュ数が多くなり、風速と電柱の被害率との関係を正確に評価することができなくなる。1km幅のメッシュを用いる場合には、ほぼ全てのメッシュ内に電柱が含まれる。本研究では1kmメッシュ毎に被害率を算定し、図-5に示した。図中には倒壊電柱の位置も併記した。図-5から、宮古島の中央部と平良市の市街地では被害率が小さく、海岸線に近い郊外での被害率が大きい。また被害率の高いメッシュには電柱の連続倒壊が含まれていることが分かる。

### (2) 気流解析から島全域における最大瞬間風速の算定

台風14号時の宮古島全域における最大瞬間風速の分布を以下に示す手順により求めた。まず、宮古地方気象台近傍の地形、地表面粗度および建物等の影響を考慮した気流解析から風向別風速比(平坦地形に対するもの)を求め、台風14号接近時の気象台で観測された10分平均風向・風速の時系列データを平坦地形上の風向・風速の時系列データに変換した。次に、宮古島全域を対象とする気流解析から島内の任意地点における風向別風速比を算出し、その地点における10分平均風向・風速の時系列データを算出した。最後に、気流解析から得られた乱れ強度を用いて、島全域における台風14号時の最大瞬間風速を算出する。

#### a) 気流解析の概要と精度検証

本研究では非線形局所風況予測モデルMASCOT<sup>8),9),10),11)</sup>を用いて、宮古地方気象台近傍の地形、地表面粗度および建物等が風観測データに与える影響を評価した。MASCOTはレイノルズ平均非圧縮ナビエストークス方程式に基づく非線形モデルであり、風速、圧力、乱流統計量を従属変数とする質量保存則、運動量保存則、乱流統計量の保存則を数値的に解くことにより、風速の増減、風向変化を求める。

質量保存則は次式により表される。

$$\frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

ここで、 $u_j$ は3つの風速成分、 $\rho$ は空気密度を示す。

また3つの風速成分の運動量保存則は次のようになる。

参考文献 4

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.



図-1 被災した配電用電柱

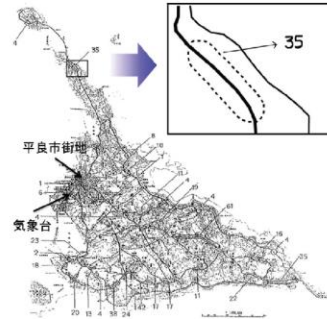


図-3 国道・県道沿い被害電柱図

表-1 被害電柱位置同定作業に用いた資料

資料番号	資料名	出典
(1)	1/25000地形図(宮古島全土)	国土地理院
(2)	航空写真(宮古島全土)	国土地理院
(3)	被害写真(1000枚)	宮古支庁
(4)	国道・県道沿い被害電柱図	沖縄電力
(5)	国道・県道以外の被害電柱図	沖縄電力
(6)	倒壊前電柱位置情報	沖縄電力

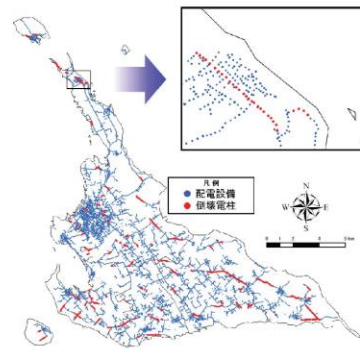


図-4 被害電柱位置の同定結果

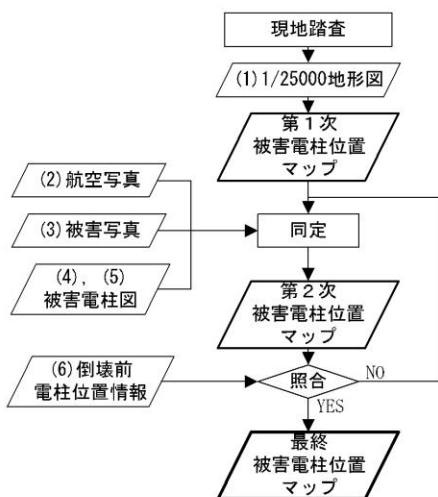


図-2 被害電柱位置同定作業のフロー図

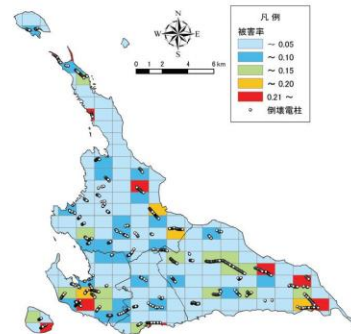


図-5 1kmメッシュ毎の電柱被害率の分布

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i' u_j'} \right) + f_{u,i} \quad (2)$$

ここで、 $p$ は圧力、 $\mu$ は分子粘性係数である。 $f_{u,i}$ はキャノピーモデル<sup>11)</sup>の流体力を表す。レイノルズ応力 $\overline{\rho u_i' u_j'}$ は、渦粘性モデルを用いて近似される。

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

ここで、 $k$ は乱流エネルギー、 $\varepsilon$ は乱流散逸率を表す。 $k$ と $\varepsilon$ に関する輸送方程式は次式により表される。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \overline{\rho u_j' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + f_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\rho \varepsilon^2}{k} + f_\varepsilon \quad (5)$$

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

ここで、 $f_k$  及び  $f_\epsilon$  はそれぞれキャノピー層内の乱流エネルギー及び乱流逸散の生成と消散を表した項<sup>11)</sup>である。また式中のモデル定数は標準  $k-\epsilon$  モデルの値を採用した。

本研究では、宮古島地方気象台及び宮古島全域を対象とした2つの気流解析を行った。宮古島地方気象台を対象とした気流解析では、気象台周辺市街地が台風14号時の風観測記録に与える影響を調べると共に、石原らの風洞実験<sup>7)</sup>の結果と比較することにより本研究で用いた気流解析手法の精度検証を行う。また宮古島全域を対象とした気流解析では平坦地形及び実地形に関して16風向の解析を行い、風向別風速比を求め、風向風速の時系列データの変換に用いる。表-2には各対象領域の解析条件を示す。また図-6には宮古島全域を対象とした気流解析に用いた流入風の鉛直分布を示す。

宮古島地方気象台を対象とした気流解析では、実験に用いられた市街地模型を参考に建物及び植生の電子地図データを作成して用いた。また気流解析では風洞実験<sup>7)</sup>と同様に、市街地模型を設置した場合と設置していない場合の風観測高さでの風速比及び乱れ強度を求めた。

図-7には風観測塔高さにおける風速比及び乱れ強度の風向による変化を示す。実測値は石原ら<sup>7)</sup>による風洞実験の結果を、解析値は気流解析の結果を示す。図-7(a)から、気流解析により求めた風速比は風洞実験から得られた風速比とよく一致することが分かる。いずれの風向も風速比は1より小さく、市街地の影響により平均風速が平坦な地形上の風速より減少していることが分かる。特に、測風塔の上流に市営団地及び気象台庁舎が存在する東風向及び北北西から西北西にかけての風向では、これらの建物の存在が気象台で観測された平均風速の減少が顕著に見られた。台風14号時に最大風速が記録された北風における風速比は0.73となっており、平坦地形上の風に比べ、平均風速が3割程小さいことが分かる。図-7(b)には風観測高さでの乱れ強度の風向による変化を示す。風速比が大きく減少している風向では乱れ強度が大きくなっていることが分かる。

b) 平坦地形上の風向・風速の時系列データの算出

台風14号の時の島内任意地点における風向・風速の時系列データを求めるため、まず、気象台での風観測記録から周辺市街地の影響を取り除いて、平坦地形上の風向・風速の時系列データを求める必要がある。

本研究では、時刻  $t$  における平坦な地形上の風速  $\bar{U}_{F,A}(t)$  は気象台で観測された風速  $\bar{U}_{T,A}(t)$  と気流解析から得られた風速比  $C_{i,A}$ 、平坦な地形上の風向  $\bar{\theta}_{F,A}(t)$  は気象台で観測された風向  $\bar{\theta}_{T,A}(t)$  と気流解析から得られた風向偏角  $\Delta\theta_{i,A}$  から次のように求めた。

表-2 解析条件

(a) 宮古島地方気象台

解析ケース	平坦地形	実地形
流入風	実測値 <sup>7)</sup>	
標高	一定値(0m)	10m 数値地図 <sup>12)</sup>
地表粗度長	一定値(0.02m)*	付表-1
電子地図	-	市街地模型 <sup>7)</sup> を参考に作成
解析領域	10.0km×3.2km×1.5km	
最小格子	25m(水平), 5m(鉛直)	25m(水平), 3m(鉛直)

\*風洞実面より決定

(b) 宮古島全域

解析ケース	平坦地形	実地形
流入風	粗度区分IIに対応する流入風	
標高	一定値(0m)	50m 数値地図 <sup>13)</sup>
地表粗度長	一定値(0.01m)*	付表-1
電子地図	-	電子住宅地図 <sup>14)</sup>
解析領域	44.0km×44.0km×1.5km	
最小格子	25m(水平), 5m(鉛直)	25m(水平), 3m(鉛直)

\*粗度区分II

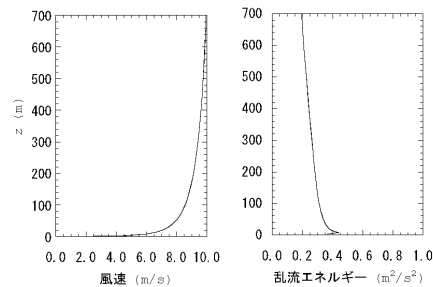
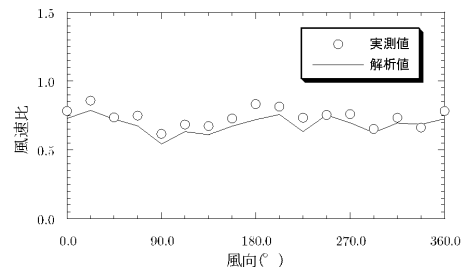
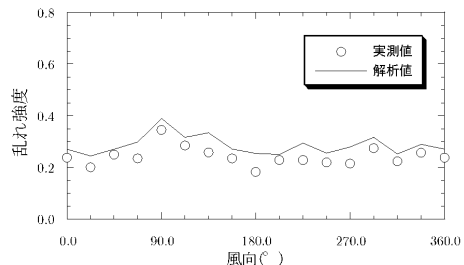


図-6 気流解析に用いた流入風の鉛直分布



(a) 風速比



(b) 乱れ強度

図-7 風速比及び乱れ強度の風向による変化

参考文献 4

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

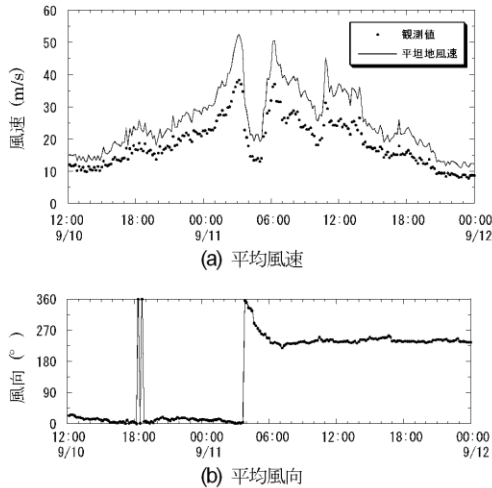


図-8 気象台風観測記録と平坦地形上の平均風速と風向の推定値との比較

$$\bar{U}_{F,A}(t) = \bar{U}_{T,A}(t) / C_{i,A} \quad (6)$$

$$C_{i,A} = \frac{U_{T,A}}{U_{F,A}}$$

$$\bar{\theta}_{F,A}(t) = \bar{\theta}_{T,A}(t) - \Delta\theta_{i,A} \quad (7)$$

$$\Delta\theta_{i,A} = \theta_{T,A} - \theta_{F,A}$$

ここで、 $U_{T,A}$ 、 $\theta_{T,A}$  は実地形を対象とした気流解析から求めた風向 $i$ の時の気象台における風速計設置地点での風速と風向を表し、また $U_{F,A}$ 、 $\theta_{F,A}$  は同地点とその周辺を平坦地と仮定し気流解析から求めた風速と風向を表す。図-8には式(6)と式(7)により求められた平坦地形上の風速と風向の時系列データを示す。この図から、11日3時に気象台で記録された最大風速38.4m/sは気象台の周辺市街地の影響を取り除いた平坦地形上に変換した場合に52.5m/sとなることが分かる。

c) 島全域における風向・風速の時系列データの推定

次に、推定された平坦地形上の風向・風速に基づき島内の任意地点での10分平均風向・風速を当該地点の風速比及び風向偏角を用いて式(8)と式(9)により算出する。

$$\bar{U}_{T_i}(x, y, z, t) = \bar{U}_{F,A}(z, t) \times C_i(x, y, z) \quad (8)$$

$$C_i(x, y, z) = \frac{U_{T_i}(x, y, z)}{U_{F_i}(x, y, z)}$$

$$\bar{\theta}_{T_i}(x, y, z, t) = \bar{\theta}_{F,A}(z, t) - \Delta\theta_i(x, y, z) \quad (9)$$

$$\Delta\theta_i(x, y, z) = \theta_{T_i}(x, y, z) - \theta_{F_i}(x, y, z)$$

ここで、地上高さ $z$ での実地形上の10分平均風速 $\bar{U}_{T_i}$ は

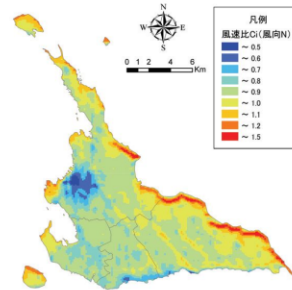


図-9 風速比 $C_i$ の分布(風向N)

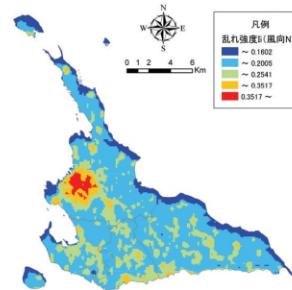


図-10 乱れ強度 $I_i$ の分布(風向N)

同じ高さの平坦地形上の10分平均風速 $\bar{U}_F(z, t)$ に風速比 $C_i$ を乗じて求められる。風速比 $C_i$ は、気流解析から得られた実地形上の風速 $U_{T_i}$ と気流解析から得られた平坦地形上の風速 $U_{F_i}$ との比である。また実地形上の10分平均風向 $\bar{\theta}_T$ は、気流解析から求められた平坦地形上の10分平均風向 $\bar{\theta}_F$ と風向偏角 $\Delta\theta_i$ との和により求められる。風向偏角 $\Delta\theta_i$ は気流解析から得た実地形上の風向 $\theta_{T_i}$ と平坦地形上の風向 $\theta_{F_i}$ との差である。なお、平坦地形上の地上高さ $z$ における風速 $\bar{U}_F(z, t)$ は次式に示す測風塔位置の平坦地形上の水平風速の鉛直分布から次式により求める。

$$\bar{U}_{F,A}(z, t) = \bar{U}_{F,A}(t) \times C_{F,A}(z), \quad C_{F,A}(z) = \frac{U_{F,A}(z)}{U_{F,A}} \quad (10)$$

ここで、 $C_{F,A}(z)$ は平坦地形上の測風塔位置における地上高さ $z$ での風速 $U_{F,A}(z)$ と風速計高さでの風速 $U_{F,A}$ との比を表す。式(8)と式(10)をまとめると、任意地点・任意高さにおける平均風速の時系列 $\bar{U}_{T_i}(x, y, z, t)$ は平坦地形上の平均風速の時系列 $\bar{U}_{F,A}(t)$ から式(11)により求めることができる。また平坦地形上の平均風向は地表面付近では高さによって変化しないことを考えると、任意地点・任意高さにおける平均風向の時系列 $\bar{\theta}_{T_i}(x, y, z, t)$ は

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

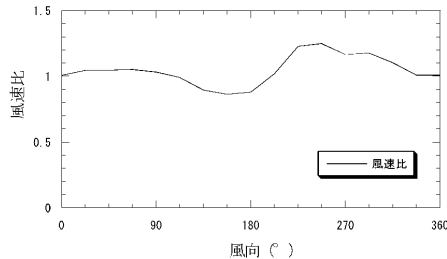


図-11 沖縄電力宮古支店風速計位置(地上高さ22.0m)における風向別風速比

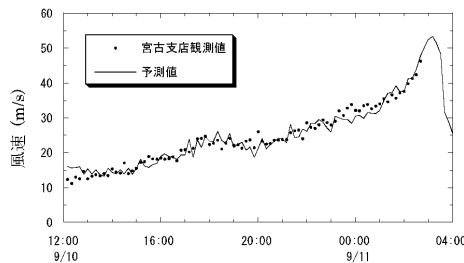


図-12 沖縄電力宮古支店風速計位置における平均風速の観測値と予測値の比較

平坦地形上の平均風向の時系列  $\bar{\theta}_{F,A}(t)$  から式(12)により求めることができる。

$$\begin{aligned} \bar{U}_{Ti}(x, y, z, t) &= C_{i,A}(x, y, z) \times \bar{U}_{F,A}(t) \\ C_{i,A}(x, y, z) &= C_i(x, y, z) \times C_{F,A}(z) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_{Ti}(x, y, z, t) &= \bar{\theta}_{F,A}(t) - \Delta\theta_{i,A}(x, y, z) \\ \Delta\theta_{i,A}(x, y, z) &= \theta_{Ti}(x, y, z) - \theta_F(x, y, z) \end{aligned} \quad (12)$$

図-9と図-10には、風向Nにおける宮古島全域の電柱高さ10.8mにおける風速比  $C_i$  と乱れ強度  $I_i$  の分布を示す。これらの図から、市街地における風速比が小さく、乱れ強度が大きいことが分かる。一方、島の北側の海岸付近では風速比が大きく、乱れ強度が小さくなっていることが分かる。

本研究で提案した予測手法を検証するために、台風14号接近時の平均風速及び風向の観測値が得られている沖縄電力宮古支店における地上高さ  $z = 22.0\text{m}$  での平均風向・風速を予測した。沖縄電力宮古支店は、宮古島地方気象台の北約4kmの地点に位置する。図-11には同地点における風向別風速比を示す。沖縄電力宮古支店周辺は地形の起伏が緩やかであり、建物も気象台周辺と比較して少ないため、大きな減速は見られない。また西側は海に面しているため、風速比は1より大きくなっている。

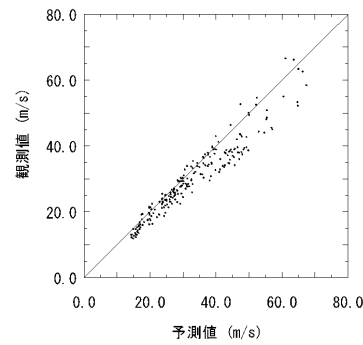


図-13 宮古島地方気象台における瞬間風速の観測値と予測値の比較

図-12には提案した手法による平均風速の予測結果を示す。予測された平均風速は宮古支店での観測結果とよく一致し、予測誤差の平均値は-0.14m/s、標準偏差は1.98m/sである。本提案手法により、気象台風観測記録から島内の他の地点における風向・風速を精度よく推定できることが示された。

#### d) 最大瞬間風速の推定

最後に、島内の任意地点における平均風速の推定値と気流解析により得られる乱れ強度により、台風接近時の最大瞬間風速を推定する。瞬間風速は気象庁の定義に従い、風速の3秒間の平均値を算出した。本研究では最大瞬間風速  $U_E$  を100mメッシュ毎に求められた10分平均風速の時系列データにガストファクター  $G_{u,i}$  を乗じて次式により求めた。

$$U_E(x, y, z) = \max(\bar{U}_{Ti}(x, y, z, t) \times G_i) \quad (13)$$

ここで、ガストファクター  $G_i$  は以下の式により表される。

$$G_i = 1 + I_i P_f, \quad I_i = \sqrt{I_{u,i}^2 + I_B^2} \quad (14)$$

$$P_f = 0.5 \ln\left(\frac{T}{t}\right) \quad (15)$$

式(14)中の乱れ強度  $I_i$  は、ウインドシアーにより作られた乱れ強度で、気流解析により得られる乱れ強度  $I_{u,i}$  と、バックグラウンドの乱れ強度  $I_B$  から求める。なお  $I_B$  は観測に基づき10%と設定した。また、式(14)中のピークファクター  $P_f$  はIshizaki<sup>15)</sup>により提案された式(15)を用い、10分間( $T=600$ 秒)平均風速より最大瞬間風速( $t=3$ 秒)を算出する。本研究では、最大瞬間風速の推定手法を検証するために、台風14号接近時の宮古島地方気象台における10分間の最大瞬間風速の観測記録と、10分間平均風速から求めた最大瞬間風速を図-13に示す。予測された最

参考文献 4

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

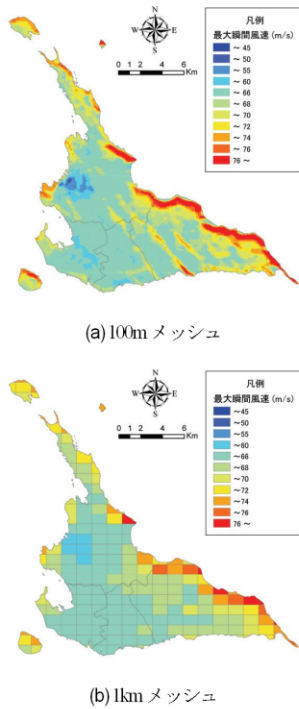


図-14 最大瞬間風速 $U_E$ の分布

大瞬間風速は観測値とよく一致し、予測誤差の平均値は-2.84m/s、標準偏差4.5m/sである。これにより本手法の有効性が確認された。図-14(a)には100mメッシュ毎の最大瞬間風速の分布を示し、図-14(b)に100mメッシュ毎の最大瞬間風速を1kmメッシュ毎に平均した分布図を示す。平良市街地で最大瞬間風速が低く、海岸付近で最大瞬間風速が高いことが分かる。これらの結果は、市街地の粗度が大きいことや海岸付近において海風の影響を強く受けることに対応している。

(3) 電柱の損傷度曲線の作成

本研究では1kmメッシュ毎の電柱被害率と1kmメッシュ毎の最大瞬間風速を用いて電柱の損傷度曲線を求めた。図-15には1km毎の電柱の被害率と最大瞬間風速との関係を示す。また比較するために、宮古地方気象台で観測された台風14号の平均風速から求めた最大瞬間風速と電柱被害率との関係も図中に併記した。1箇所の気象台で観測された風速を用いる場合には、風速と被害率の関係は1直線になり、損傷度曲線を作成できないことがわかる。一方、本研究で提案した手法により1度の台風被害データと1箇所気象台で観測された風速から電柱の損傷率と最大瞬間風速の関係を求めることが可能となる。

図中の実線は式(16)に示す対数正規分布を最小二乗法

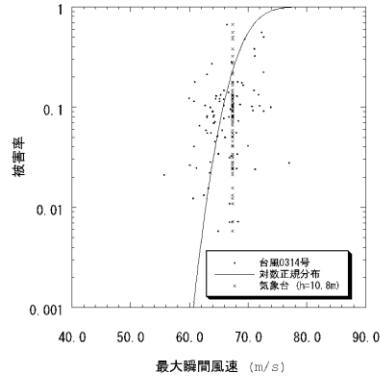


図-15 配電用電柱の損傷度曲線

表-3 設計風速別の最頻値

設計風速 $U$ (m/s)	35	40	45	50	55	60
比率 $R_M$	1.74					
最頻値 $U_M$ (m/s)	61.0	69.7	78.4	87.1	95.8	104.5
平均値 $\mu_{\ln U_E}$	4.110	4.243	4.362	4.467	4.562	4.649
標準偏差 $\sigma_{\ln U_E}$	0.044					

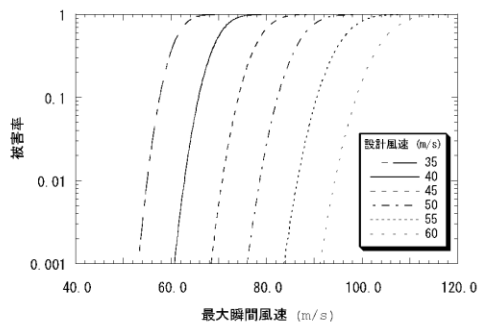


図-16 設計風速別の損傷度曲線

により同定した近似曲線である。

$$F_F(U_E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln U_E}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{\ln U_E}}{\sigma_{\ln U_E}}\right)^2\right] \quad (16)$$

ここで、 $F_F(U_E)$ は対数正規累積分布、 $\mu_{\ln U_E}$ と $\sigma_{\ln U_E}$ はそれぞれ最大瞬間風速 $U_E$ の対数の平均値と標準偏差を表す。同定された対数正規分布の平均値 $\mu_{\ln U_E}$ は4.243、標準偏差 $\sigma_{\ln U_E}$ は0.044である。それに対応する最大瞬間風速 $U_E$ の最頻値と標準偏差は式(17)、式(18)より求められ、それぞれ69.7m/s、3.07m/sであり、変動係数は約4%である。

$$\mu_{U_E} = \exp\left(\mu_{\ln U_E} + \frac{1}{2}\sigma_{\ln U_E}^2\right) \quad (17)$$

$$\sigma_{U_E}^2 = \mu_{U_E}^2 \left(e^{\sigma_{\ln U_E}^2} - 1\right) \quad (18)$$



土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

表4 宮古島における各台風パラメータに関する統計モデルおよびモデル係数

台風パラメータ		確率密度関数	モデル係数
中心気圧低下量 $\Delta P$			$\mu = 1.7537$ $\sigma = 0.1498$ $k = 3.3334$ $c = 66.9012$ $a = 0.907$
最大旋衡風速半径 $R_m$	混合確率分布	$F_M(x) = a \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln x}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}\right)^2\right] + (1-a) \times \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right]$	$\mu = 1.8649$ $\sigma = 0.2052$ $k = 2.1155$ $c = 92.4527$ $a = 0.981$
進行速度 $C$			$\mu = 1.2554$ $\sigma = 0.1930$ $k = 2.7487$ $c = 22.0978$ $a = 0.0$
進行方向 $\theta$	正規分布	$F_S(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$	$\mu = 199.7945$ $\sigma = 50.9627$
最接近距離 $d_{\min}$	二次関数	$d_{\min}(x) = zx^2 - (z-2r)x - r$	$z = -340.795$ $r = 500$
台風の年発生数 $\lambda$	ポアソン分布	$\lambda(x) = \frac{\lambda_m^x \exp(-\lambda_m)}{x!}$	$\lambda_m = 4.925$

配電設備のリスクマネジメントを行うためには、設計風速別の損傷度曲線が必要である。本研究では台風14号の被害率と最大瞬間風速から求めた電柱の損傷度曲線を現在採用されている設計風速40m/sのものとして代表させ、それを基に設計風速別の損傷度曲線を作成した。その際には対数正規分布における標準偏差（最大瞬間風速の変動係数）は電柱の設計風速によらず、一定と仮定した。また最大瞬間風速の最頻値  $U_M$  と電柱の設計風速  $U$  との比率  $R_M$  は設計風速によらず一定とし、対数正規分布における平均  $\mu_{\ln U_g}$  は次式により求めた。

$$\mu_{\ln U_g} = \ln(U_M) \tag{19}$$

$$U_M = R_M \times U \tag{20}$$

図-16と表-3には設計風速別電柱の損傷度曲線とそのパラメータを示す。最大瞬間風速の最頻値と設計風速との比は図-15から同定した最大瞬間風速の最頻値と現在採用されている電柱の設計風速40m/sとの比により求めた。

### 3. 台風シミュレーションによるハザード曲線の作成

配電設備のリスクマネジメントを行う際には、配電用電柱の損傷度曲線の他に、電柱毎の台風ハザード曲線が

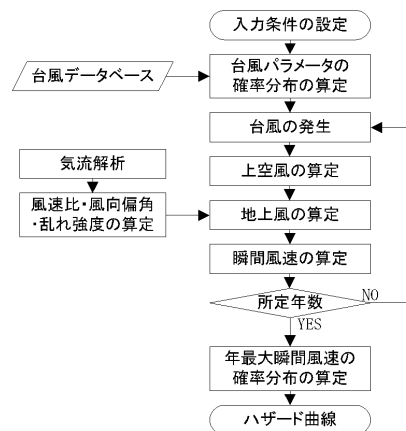


図-17 台風ハザード曲線作成のフロー図

必要となる。現在日本における風観測は最長70年間程度しかないため、超過確率の低い風速の算定は外挿となってしまう問題がある。この問題を解決するために、本研究では台風シミュレーションにより年最大瞬間風速の超過確率を評価する。

台風時における地表面付近の風速場は台風に伴う気圧場により支配され、対象地点周辺の局所地形や地表面粗度の影響も受ける。ただし、台風に伴う気圧場のスケールと局所地形や地表面粗度のスケールが大きく異なることに着目し、二つの効果を分離し評価した。具体的には、

参考文献 4

表-5 台風パラメータ間の相関係数

	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	$\theta$	$d_{min}$
$\ln(\Delta P)$	1.00	-0.383	-0.042	0.058	0.066
$\ln(R_m)$	-0.383	1.00	0.072	0.128	-0.024
$\ln(C)$	-0.042	0.072	1.00	-0.031	-0.219
$\theta$	0.058	0.128	-0.031	1.00	-0.130
$d_{min}$	0.066	-0.024	-0.219	-0.130	1.00

一様粗度の平坦地形上の風速場を解析的に求めることのできる石原ら<sup>16)</sup>の半理論モデルと対象地点周辺の局所地形や地表面粗度の影響を評価できる気流解析より求めた風速比・風向偏角を組み合わせるにより、台風時における地表面付近の風速場を推定し、宮古島における電柱毎の台風ハザード曲線を作成する。図-17には台風ハザード曲線作成の手順を示す。

(1) 台風シミュレーション

台風シミュレーションではまず過去の台風観測データにより、台風の年発生数 $\lambda$ 、最接近距離 $d_{min}$ 、進行方向 $\theta$ 、進行速度 $C$ 、中心気圧低下量 $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径 $R_m$ の6つのパラメータの確率分布を求める。次に、各パラメータの確率分布に従い、人工的に台風を発生させる。本研究では5000年間の台風を発生させた。そして、発生させた台風の気圧場から上空風を求め、地表面粗度や地形の効果を考慮して地上風に変換し、さらに台風シミュレーションにより求めた風速を瞬間風速に変換し、年最大瞬間風速を求める。

本研究において台風パラメータの確率分布を近似する際に、気象庁によりデジタル化された1951年から2005年までの台風経路データ、1961年から2005年までの気圧の地上観測データおよび天気図からデジタル化された中心位置と等圧線情報により構築された台風データベース<sup>17)</sup>を用いた。

台風シミュレーションにより設計風速を評価する際には台風パラメータの確率分布を精度よく近似することが重要である。台風パラメータの統計的な性質は場所によって異なるため、単一の確率分布ですべての地点の台風パラメータを近似することは困難である。そこで、本研究では、進行速度 $C$ 、中心気圧低下量 $\Delta P$ 、最大旋衡風速半径 $R_m$ の3つのパラメータについて石原ら<sup>17)</sup>の開発した混合確率分布関数MPDF(Mixed Probability Distribution Function)を用いた。また、台風の年発生数 $\lambda$ についてはポアソン分布、最接近距離 $d_{min}$ は二次関数、進行方向 $\theta$ は正規分布により近似した。宮古島における台風パラメータの近似に用いた確率分布関数と変数の一覧を表-4に示す。ここで、 $\mu$ は対象とするパラメータの平均値、 $\sigma$ は対象とするパラメータの標準偏差、 $k$ は形状係数、 $c$ は尺度係数、 $a$ は混合係数、 $z$ は二次関数の係数、

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

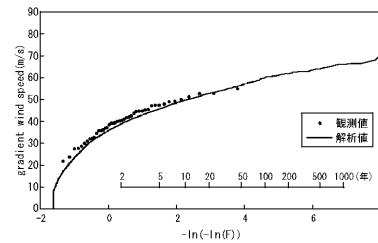


図-18 上空における年最大風速の確率分布

$\lambda_m$ は平均年発生回数、 $x \in (0,1)$ である。また $r$ は半径500kmを表す。

表-5には宮古島地方気象台を中心とし、半径500km以内に通過した台風のパラメータ間の相関係数を示す。パラメータによって高い相関関係が見られる。例えば、中心気圧低下量 $\Delta P$ と最大旋衡風速半径 $R_m$ との間に負の相関が見られるが、最大旋衡風速半径が大きい程中心気圧低下量が小さい。また、進行速度 $C$ と最接近距離 $d_{min}$ の間にも負の相関が見られるが、西進する台風が大陸の高気圧によって進路を北に変える場所が、宮古島の東側(最接近距離の符号はプラス)に比べて西側(最接近距離の符号はマイナス)を通過した場合に進行速度を増すことに対応している。本研究では、モンテカルロシミュレーションにより台風を作り出す際に、台風パラメータの確率分布を正しく再現するだけでなく、パラメータの間の相関関係も忠実に再現できる石原ら<sup>17)</sup>の開発した修正直交変換法MOD (Modified Orthogonal Decomposition)を用いた。

(2) 台風時の地上風の算定

強風時の大気境界層が中立であると仮定すれば、台風に伴う強風場を、ナビエ-ストークス(N-S)方程式で記述することができ、この方程式を数値的に直接解くことにより、台風時の強風場が求められる。しかし、N-S方程式を数値的に直接解くことは、膨大な計算時間を要する。そこで、本研究では、石原ら<sup>16)</sup>の提案した台風モデルを用いた。この台風モデルでは、台風場を巨視的に取り扱うこととし、上空風の風速は台風の移動効果を考慮し、気圧の勾配、コリオリ力および遠心力のバランスから求め、式(21)、式(22)により示される。

$$v_{rg} = 0 \tag{21}$$

$$v_{\theta g} = \frac{C \sin \theta - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{C \sin \theta - fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial r}} \tag{22}$$

ここで、 $v_{rg}$ と $v_{\theta g}$ はそれぞれ半径方向と接線方向の速度成分を示し、 $C$ は台風移動速度、 $\theta$ は台風中心とサ

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

イト位置のなす角度,  $f$  はコリオリパラメータ,  $\rho$  は空気密度である. 図-18には宮古島地方気象台における上空風の年最大風速の確率分布を示す. 図中の実線は表4に示す台風パラメータに関する統計モデルにより発生した台風の気圧場から求めた年最大風速, 黒丸は観測された気圧分布から求めた年最大風速を示し, 両者はよく一致し, 本台風シミュレーションから得られた気圧場は実際に観測された気圧場を精度良く再現していることが分かる.

台風時の上空風を地形, 地表面粗度, 市街地内の建物の影響を考慮した電柱の高さでの風速へ変換するために, まず石原<sup>10)</sup>により提案された台風時の大気境界層モデルを用い一様粗度の平坦地形上10.8m(電柱の高さ)での風速・風向を求めた. このモデルでは, 台風時の大気境界層内の風速分布  $U(z)$  と風向分布  $\gamma(z)$  は次式のように表される.

$$U(z) = U_g \left( \frac{z}{z_g} \right)^{\alpha_u} \quad (23)$$

$$\gamma(z) = \gamma_s \left( 1.0 - 0.4 \frac{z}{z_g} \right)^{11} \quad (24)$$

ここで,  $U_g (= \sqrt{v_{\theta g}^2 + v_r^2})$  は傾度風,  $z_g$  は傾度風高さ,  $z$  は地表面からの高さ,  $\alpha_u$  は鉛直プロファイルを表すべき指数,  $\gamma_s$  は風向の偏角である. またこれらのパラメータは傾度風  $U_g$ , 地表面粗度長  $z_0$ , 絶対渦度  $f_\lambda$ , 渦度の非一様性を表すパラメータ  $\xi$  を用いて以下のように表すことができる.

$$\alpha_u = 0.27 + 0.09 \log(z_0) + 0.018 \log^2(z_0) + 0.0016 \log^3(z_0) \quad (25)$$

$$z_g = 0.052 \frac{U_g}{f_\lambda} (\log Ro_\lambda)^{-1.45} \quad (26)$$

$$\gamma_s = (69 + 100\xi) (\log Ro_\lambda)^{-1.13} \quad (27)$$

$$f_\lambda = \left( \frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \left( 2 \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \quad (28)$$

$$\xi = \left( 2 \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} / \left( \frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \quad (29)$$

ここで,  $Ro_\lambda (= U_g / f_\lambda z_0)$  は修正地表ロスビー数と呼ばれる無次元数である.

この台風モデルの特徴は, 従来風工学の分野で用いられてきたべき法則モデルの扱い易さという長所を兼ね備えつつ, 風速の鉛直分布のべき指数, 傾度風高さ, 風向

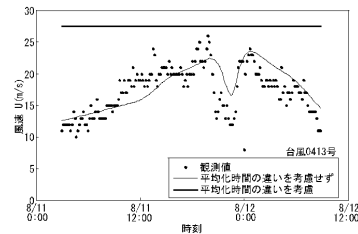


図-19 台風 14 号における平均風速の時間変化

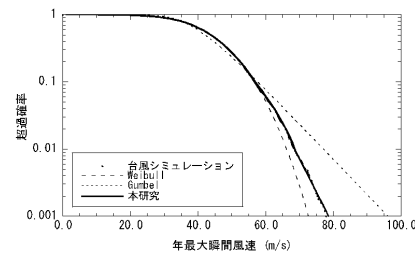


図-20 年最大瞬間風速の超過確率分布

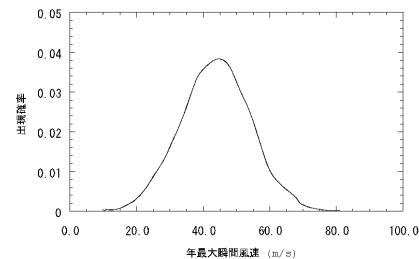


図-21 年最大瞬間風速の確率密度分布

の偏角と地表面粗度長との関係が半理論的に与えられた点である. このように, 対象地点における地表面粗度長を定めると, 一様粗度をもつ平坦地形上の台風時の風向・風速が式(23)と式(24)により求められる. またこのモデルにより算出した台風時の地上風の最大風速は傾度風が最大となる位置より内側で生じていることが分かる. さらに台風時の地上風は台風中心に向かって吹き込む性質も表現されている. 本研究では電柱に位置する周辺地形, 建物, 地表面粗度の違いを考慮するため, 気流解析により求めた宮古島全域の風速比と風向偏角を用いて, 一様粗度をもつ平坦地形上の台風時の風向・風速から電柱位置における風速・風向を式算出した.

台風シミュレーションで用いられている気圧場のモデルは台風に伴う数100kmの渦運動のみを表しており, 実際の台風内に含まれる積乱雲に代表される小さな渦運動を再現していない. このため, 台風シミュレーションより得られた風速の平均化時間は観測値の10分平均風速と

## 参考文献 4

異なる。Vickery and Twisdale<sup>18)</sup>によると、台風シミュレーションの計算結果の平均化時間はおよそ1時間である。この問題を解決するために、本研究では松井<sup>19)</sup>の提案した平均化時間の違いを補正する手法を用い、10分平均風速の最大値を求めた。図-19には台風14号時に観測された10分平均風速、平均化時間の違いを考慮していない10分平均風速の予測値および平均化時間の違いを考慮した10分平均風速の最大値を示す。平均化時間の違いを考慮することにより、観測期間中の10分平均風速の最大値を精度良く再現できることが分かる。

## (3) 台風ハザード曲線の作成

第2章に述べた瞬間風速を求める方法を用い、平均化時間の違いを考慮した10分平均風速から電柱位置における年最大瞬間風速を算出した。シミュレートした5000年間の年最大瞬間風速を大きい順に並べ、年最大瞬間風速の超過確率分布、すなわち台風ハザード曲線を求め、図-20に示す。図中には、Gumbel分布とWeibull分布により近似した年最大瞬間風速の超過確率分布も併記した。Gumbel分布とWeibull分布はそれぞれ台風シミュレーションの値を過大または過小に評価していることが分かる。本研究では最小二乗法により台風時の超過確率分布を以下に示す帰式で近似した。

$$F_V(U_E) = \begin{cases} f(a_i U_E + b_i) & (U_E < U_{E,100}) \\ \exp(AU_E + B) & (U_E \geq U_{E,100}) \end{cases} \quad (30)$$

ここで、 $F_V$  は超過確率分布関数、 $U_E$  は年最大瞬間風速、 $U_{E,100}$  は年最大瞬間風速  $U_E$  のうち高風速側から数えて総データ数  $N$  (5000) の1%にあたる年最大瞬間風速であり、再現期間100年の年最大瞬間風速にあたる。 $U_{E,100}$  より低い年最大瞬間風速はノンパラメトリック回帰<sup>20)</sup>、また  $U_{E,100}$  より高い年最大瞬間風速は指数関数で近似した。係数  $a_i$  及び  $b_i$  は、1m/sごとに設定した風速ビンにおける中央値  $\hat{U}_{E,i}$  から  $\pm 5\text{m/s}$  の範囲のデータに基づき重み付き最小二乗法により決定した。なお、重み付けにはtricube型<sup>21)</sup>の重み関数を用いた。一方、 $U_{E,100}$  より高風速の範囲では、データ数が少ないため、全データ数  $N$  の上位1%の風速値を用いて指数係数にある係数  $A$  及び  $B$  を最小二乗法により推定した。図-20から本提案手法により台風シミュレーションから得られた年最大瞬間風速の超過確率分布を精度良く近似できることが分かる。年最大瞬間風速の確率密度関数  $f_V$  は年最大瞬間風速の超過確率分布関数から式(31)により求める。

$$f_V(U_E) = -\frac{d}{dU_E} F_V(U_E) \quad (31)$$

図-21には図-20に示した台風ハザード曲線を基に求めた年最大瞬間風速の確率密度関数  $f_V$  を示す。 $U_{E,100}$  より

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

低い年最大瞬間風速域では  $f_V = a_i$  となり、また  $U_{E,100}$  より高い風速域では  $f_V = A \exp(AU_E + B)$  となる。

## 4. 配電設備のリスクマネジメント

本章では、電柱損傷度曲線と台風ハザード曲線を用いて配電用電柱のリスク評価を実施すると共に、期待総建設費最小化原則に基づき宮古島における全ての電柱の最適設計風速を求め、配電用電柱のリスクマネジメントを行う。

## (1) 期待総建設費最小化原則と費用の算定

期待総建設費最小化原則<sup>22) 23)</sup>に基づく配電用電柱のリスクマネジメントは、式(32)に示すような期待総建設費が最小となる最適設計風速を導くことである。

$$C_T = C_I + P_F C_F, \quad P_F = R \times T \quad (32)$$

ここで、 $C_T$  は期待総建設費、 $C_I$  は期待初期建設費、 $P_F$  は耐用期間中の破壊確率、 $C_F$  は期待再建費、 $R$  は年間台風リスクである。 $T$  は耐用年数であり、本研究では42年と設定した。電柱の年間台風リスク  $R$  は電柱の損傷度曲線より求めた各風速階級の損傷発生確率(被害率)と台風ハザード曲線より求めた各風速階級の年最大瞬間風速の確率密度関数との積の累積値から次式により求めることができる。

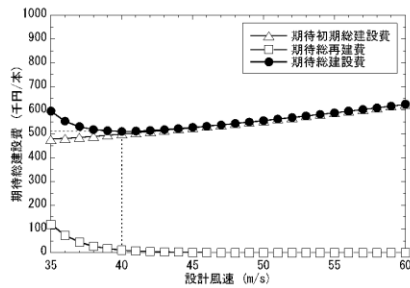
$$R = \sum_{U_E=1}^{100} F_E(U_E) f_V(U_E) \quad (33)$$

電柱の期待総建設費は、電柱の耐用年数が一定の場合に電柱の期待初期建設費と期待再建費の他、電柱設置地点での電柱の年間台風リスク  $R$  に依存することが分かる。電柱の期待初期建設費、期待再建費および年間台風リスクは電柱の設計風速の関数であることから、電柱毎の最適設計風速を決定するためには設計風速を変化させ、期待総費用の最小値を求める必要がある。

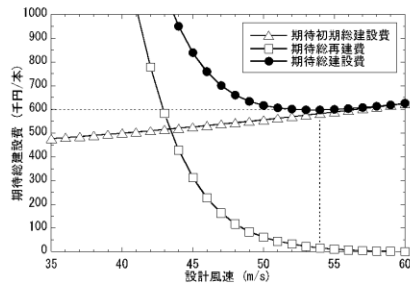
配電設備の期待初期建設費には電柱費用の他、配電線、柱上機器、電柱設置費も含まれる。現在一般に使用される設計風速40m/sの配電設備の初期建設費の電柱費用とその他の費用をそれぞれ10万円と40万円と仮定した。また期待再建費は初期建設費に被害電柱の撤去費用などが加算されるため初期建設費より高い。本研究では台風14号における送配電用設備の復興費用約7.7億円より求めた1本当たりの復興費用77万円から電柱費用10万円を差引いた67万円を電柱費用を含まない期待再建費と設定した。設計風速の異なる電柱の期待再建費はこの費用にそれぞれの設計風速の電柱費用を加えて求める。

設計風速別の期待初期建設費と期待再建費は電柱の設

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.



(a) 地点A



(b) 地点B

図-22 設計風速別期待総建設費

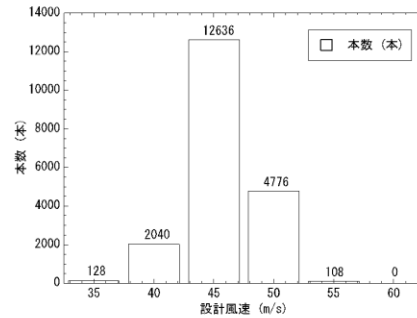


図-24 最適設計風速別の電柱設置本数

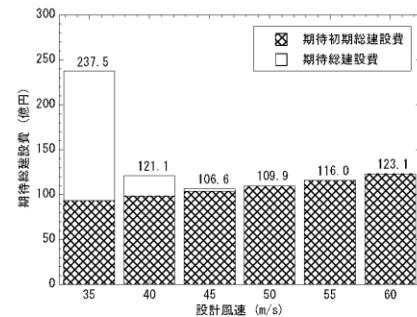


図-25 設計風速別の島内期待総建設費

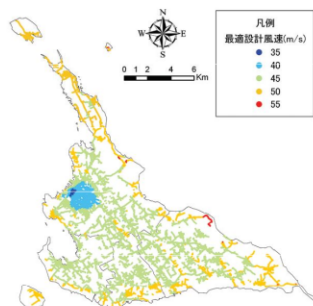


図-23 島内電柱毎の最適設計風速

計風速が高くなるにつれ、電柱費用が高くなるように設定した。電柱にかかる荷重が風速の2乗に比例することから、電柱費用は設計風速の2乗に比例して増大すると仮定し、またその他の費用は設計風速によらず一定とし、期待初期建設費  $C_I$  と期待再建費  $C_F$  を次式により算出する。

$$C_I(U_M) = C_{IP}(U_M) + C_{IC} = C_{IP40} \left( \frac{U_M^2}{U_{M40}^2} \right) + C_{IC} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} C_F(U_M) &= C_{IP}(U_M) - C_{IP40} + C_{F40} \\ &= C_{IP40} \left( \frac{U_M^2}{U_{M40}^2} - 1 \right) + C_{F40} \end{aligned} \quad (35)$$

ここで、 $C_{IP}$  は電柱費用、 $C_{IC}$  は電柱費用を除いた配電線、柱上機器、建設等の費用(40万円)、 $C_{IP40}$  は設計風速40m/sの電柱費用(10万円)、 $U_M$  はそれぞれの設計風速に対応する最頻値、 $U_{M40}$  は設計風速40m/sに対応する最頻値、 $C_{F40}$  は設計風速40m/sの電柱における期待再建費(77万円)である。

(2) 期待総建設費最小化原則に基づいた最適設計風速の評価

最適設計風速は設計風速を35m/sから60m/sまで1m/s刻みで変化させ、各設計風速における期待総建設費が最小となる風速を最適設計風速とした。

図-22には宮古島のある地点Aと地点Bに設置した電柱の設計風速別期待総建設費を示す。この図から、初期建設費は設計風速の増加につれ増大し、期待再建費は反対に減少することが分かる。地点Aでは設計風速40m/s、地点Bでは55m/sにおいて期待総建設費が最小となり、建設地点の違いにより期待総建設費に大きな差が生じることがわかる。

最適設計風速を求めた後、55~60m/sは設計風速60m/sの電柱を適用するというように5m/s刻みに正規化した場合の島内における全ての電柱の最適設計風速の分布を図-23に示し、平良市の市街地では最適設計風速が低く、

## 参考文献 4

郊外や海岸部では高くなっていることが分かる。図-24には5m/s刻みの設置本数を示し、設計風速45m/sの電柱が全電柱の64%を占めていることがわかる。

図-25には電柱の設計風速を一律35m/sから60m/sまで5m/s刻みで変化させた場合の宮古島における全電柱の期待総建設費を示す。この図から一律に設計風速を設置した場合には、設計風速45m/sの電柱を採用した時に全電柱の期待総建設費が最小となることが分かる。また、島内における全ての電柱に最適設計風速を採用した場合の期待総建設費は104.8億円であり、設計風速45m/sを一律に設置した場合の期待総建設費106.6億円と大きな差はないが、現状の設計風速40m/sを用いた場合の期待総建設費用に比べ、コストを13%削減できることが分かる。

## 5. まとめ

本研究では台風14号による被害電柱位置の同定を行い、宮古島全体における1km毎の電柱被害率を算出すると共に、宮古地方気象台における台風14号時の風向・風速の観測値と気流解析により求められた島全体の風向別風速比から宮古島全体の風速分布を推定することにより宮古島における配電用電柱の損傷度曲線を求めた。本研究で提案した手法は、1度の台風被害データから配電用電柱の損傷度曲線を求めることができ、これにより迅速な被害対策の検討が可能になった。次に台風シミュレーションにより島内電柱毎の台風ハザード曲線を作成し、設計風速別の損傷度曲線とあわせて、期待総建設費最小化原則に基づき電柱毎の最適設計風速を求めた。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 台風14号により宮古島で倒壊した電柱の位置情報をデジタル化し、電柱被害率のマップを作成すると共に、宮古島の中央部と市街地で被害が少なく、郊外では連続倒壊を含む被害が顕著であることを明らかにした。また本研究で提案した気流解析から島全域における最大瞬間風速の推定手法により、1度の台風被害データと一地点における風観測記録から電柱の被害率と最大瞬間風速の関係を表す損傷度曲線を求めることを可能とした。
- 2) 台風シミュレーションと気流解析を組み合わせることにより、電柱周辺の地形、地表面粗度、建物の影響を考慮した宮古島全域の地上風を予測し、個々の電柱の台風ハザード曲線を作成することに成功した。
- 3) 設計風速40m/sの電柱の損傷度曲線から、設計風速を変化させた場合の損傷度曲線を作成し、台風ハザード曲線と組み合わせることにより、個々の電柱の最適設計風速を明らかにした。

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

付表-1 土地利用区分データ<sup>7)</sup>と対応地表面粗度

土地利用区分	地表面粗度長(m)	土地利用区分	地表面粗度長(m)
1.田	0.03	A.その他用地	0.03
2.その他農用地	0.03	B.河川・湖沼	0.0002
5.森林	0.1	E.海浜	0.01
6.荒地	0.03	F.海水域	0.0002
7.建物	0.03	G.ゴルフ場	0.03
9.幹線交通用地	0.03		

- 4) 島全域の電柱に最適設計風速を用いる場合の期待総建設費は、設計風速一律45m/sの電柱を用いる場合の期待総建設費との差が小さいが、現状の設計風速を用いる場合の期待総建設費用に比べ、コストを13%削減できることを明らかにした。

謝辞: 本研究の実施にあたり、東京大学大学院工学系研究科修士2年(研究当時)南邦毅氏、クー・カイ・シアン氏にご協力を頂いた。ここに記して、謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 前田潤滋: 台風9119号による九州地区における強風分布と送電用鉄塔および配電柱の被害状況, 日本風工学会誌, 第50号, pp.27-30, 1992.
- 2) 前田潤滋: 台風9117号と9119号による九州地区における強風分布特性と建築物および送電用施設の配電柱の被害分布, 日本風工学会誌, 第53号, pp.15-26, 1992.
- 3) 神田順, 高田毅士, 崔恒, 岩崎良二, 諏訪仁, 近藤宏二, 中村豊, 坂本成弘, 谷口元, 神田誠一, 越智沙香: 建築物の標準的構造性能評価法の開発, 平成13年度国土交通省建設技術開発費補助金研究成果報告書, 2001.
- 4) 近藤宏二, 神田順, 崔恒: 建築物の危険度の評価法に関する研究, 第17回風工学シンポジウム, pp191-196, 2002.
- 5) 林泰一: 1991年台風19号の強風による強風被害の研究, 平成3年度文部省科学研究費(総合研究(A)03306022)突風災害研究成果報告書(自然災害総合研究班: 代表研究者 光田), 8.台風9119号による住宅の災害について, 1992.
- 6) 林泰一, 光田寧: 台風9119号による被害について, 第12回風工学シンポジウム, 1992.
- 7) 石原孟, 山口敦, 高原景滋, 銘苺荘宏, 新城文博: 風洞実験と気流解析に基づく台風0314号の最大風速の推定, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.911-920, 2005.
- 8) 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.

- 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.
- 9) 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.
  - 10) 石原孟, 日比一喜: 急峻な山を越える乱流場の数値予測, 日本風工学会論文集, No.83, pp.175-188, 2000.
  - 11) 榎木康太, 石原孟: 一般化キャノピーモデルの提案と都市域における風況予測への応用, 土木学会論文集, (投稿中).
  - 12) 北海道地図株式会社: GISMAP(ジスマップ) Terrain Ver.2.00 標準仕様書, 2006.
  - 13) 国土交通省: 国土数値情報, <http://www.mlit.go.jp>.
  - 14) 株式会社ゼンリン: 住宅地図データベース製品説明書, 2006.
  - 15) Ishizaki, H.: Wind profiles, turbulence intensities and gust factors for design in typhoon prone regions, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.13, pp.55-66, 1983.
  - 16) 石原孟, 松井正宏, 日比一喜: 中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性 その2台風時の強風, 日本風工学会誌, 第66号, pp.3-14, 1996.
  - 17) 石原孟, ホタイホーム, チョンチーリョン, 藤野陽三: 台風シミュレーションのための混合確率分布関数と修正直交変換法の提案, 第18回風工学シンポジウム論文集, pp.5-10, 2004.
  - 18) Vickery, P. J. and Twisdale, L. A.: Wind-field and filling models for hurricane wind speed prediction, *J. Struct. Eng.*, Vol. 121, No. 11, pp.1700-1709, 1995.
  - 19) 松井正宏: 建造物の耐風設計における台風モデルを用いた風速の評価とその応用に関する研究, 京都大学, 博士論文, 1999.
  - 20) Nielsen, T. S.: Online Prediction and Control in Nonlinear Stochastic Systems, Department of Mathematical Modeling Technical University of Denmark Ph.D. Thesis No. 84, July 2002.
  - 21) William, S. C.: Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.74, No.368, 1979.
  - 22) 星谷勝, 中村孝明: 建造物の地震リスクマネジメント, 山海堂, 2002.
  - 23) 長尚: 改定新版 基礎知識としての構造信頼性設計, 山海堂, 1995.

(2010. 6. 16 受付)

## RISK MANAGEMENT FOR POWER DISTRIBUTIONS BASED ON LOCAL WIND PREDICTION AND TYPHOON SIMULATION

Takeshi ISHIHARA, Kota ENOKI, Keiji TAKAHARA and Hiroshi ARAKAWA

A framework for the risk management of power distributions was developed, which consists of the fragility curve of the electric pole, the typhoon hazard curve and the minimization method of expected total cost. The fragility curve of the electric pole was constructed by the damage data caused by Typhoon 0314 and the local gust wind speed in Miyakojima evaluated by a CFD model. The typhoon hazard curve at the individual location of electric pole was constructed based on the annual maximum gust wind speeds obtained from the typhoon simulation and the local wind prediction. The optimum design wind speed for each pole was decided by using the minimization method of expected total cost. The expected total cost in the design life of the poles by the proposed mitigation measure was reduced by 13% comparing that by the current design.

## モンテカルロシミュレーションと MCP 法を用いた混合気候における 極値風速の予測

Prediction of the extreme wind speed in mixed climate regions by using Monte Carlo simulation and Measure-Correlate-Predict method

石原 孟\*\*      山口 敦\*\*      老川 進\*\*  
Takeshi ISHIHARA    Atsushi YAMAGUCHI    Susumu OIKAWA

### 1. はじめに

風力発電設備の設計風速を評価するためには、年最大風速の非超過確率分布を精度よく求める必要がある。強風の成因が温帯低気圧である地域においては、国際基準 IEC61400-1 Annex E<sup>1)</sup> に示されるように、MCP(Measure-Correlate-Predict)法を用いて、近隣の気象官署での最低10年の長期観測記録から対象地点における風速を推定し、ガンベル分布を仮定することにより年最大風速の50年再現期待値を求めることができる。一方、日本のように熱帯低気圧および温帯低気圧の両方が強風の支配要因となる混合気候では、強風の成因を考慮した年最大風速の確率分布を評価する必要がある<sup>2)</sup>。

熱帯低気圧に起因する強風の非超過確率を求めるために、モンテカルロシミュレーションによる手法<sup>3)</sup>が提案されている。年最大風速の観測データからガンベル分布などの分布関数を仮定して極値風速を求める従来手法に比べ、統計的に安定し予測の不確実性が小さいと言われていた。しかし、これまでの研究では予測の不確実性について定量的に評価した例はほとんどない。

そこで、本研究では、まず MCP 法により、気象官署で観測された風速を対象地点に変換し、温帯低気圧に起因する強風についてはガンベル分布を、熱帯低気圧に起因する強風については、本研究で提案する修正ガンベル分布により成因別の極値風速を評価する。次に、モンテカルロシミュレーションにより年最大風速の確率分布を求め、風観測データの年最大風速の確率分布および年最大風速の観測値と比べ各推定手法の予測精度を評価する。また、ガンベル理論に基づき各推定手法による50年再現期待値の不確実性を評価するとともに、これらの不確実性を考慮した極値風速の評価手法を提案する。

### 2. 確率分布関数による成因別の極値風速の評価

#### 2.1 MCP 法による観測データの変換

本研究で対象とした地点は、千葉県銚子市沖の北緯35度40分41.87秒、東経140度49分35.91秒(日本測地系)、海上高度100mの洋上地点である。観測データは1995年～2007年までの13年間の銚子地方気象台における観測データを用い、風速の時系列をMCP法により洋上の対象地点に変換した<sup>4)</sup>。対象地点を中心に半径500kmの円内を熱帯低気圧が通過した時間の風速データを熱帯低気圧による風速データとし、それ以外のデータを温帯低気圧による風速データとした。

#### 2.2 温帯低気圧による極値風速の評価

対象地点に変換された風速の時系列データから確率分布を求める際には、1年ごとの年最大風速を抽出し、年最大風速を昇順に並び替えた。この年最大風速の非超過確率分布はガンベルの方法により次式で表される。

$$F(u_i) = i/(N+1) \quad (1)$$

観測データをプロットするために、縦軸に  $u_i$ 、横軸には  $F(u_i)$  のかわりに次式に示す基準化変数  $y_i$  を用いる。

$$y_i = -\ln(-\ln(F(u_i))) \quad (2)$$

温帯低気圧による年最大風速はガンベル分布に従うことがよく知られている。非超過確率  $F$  がガンベル分布に従う時、温帯低気圧による年最大風速  $u_E$  は、積率法により式(3)で表わせる<sup>5)</sup>。

$$u_E = V + \sigma_p(y - \gamma)/(\pi/\sqrt{6}) \quad (3)$$

ここで、 $V$  と  $\sigma_p$  は、それぞれ観測から得られる年最大風速の平均値と標準偏差を表し、 $\gamma$  はオイラー定数(0.57722)である。

図1には、ガンベル分布を仮定して求めた確率分布と年最大風速の観測データを示す。図中の横軸の再現期間  $R$  と非超過確率  $F(u)$  の関係は式(4)により表せる。また、50年再現期間に対応する基準化変数  $y$  は3.90となり、この時の風速が50年再現期間の年最大風速の推定値となる。

$$F(u) = 1 - 1/R \quad (4)$$

\* 平成23年11月30日第33回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

\*\* 会員 東京大学大学院工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1



図1より、13年間の観測値から求めたガンベル分布は、温帯低気圧による年最大風速をよく表していることが分かる。

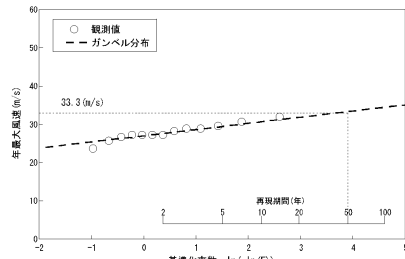


図1 温帯低気圧の年最大風速の確率分布

### 2.3 熱帯低気圧による極値風速の評価

温帯低気圧による年最大風速と異なり、熱帯低気圧に起因する年最大風速は 0m/s となる年があるためガンベル分布をそのまま用いることができない。そこで、本研究では、熱帯低気圧に起因する年最大風速が 0m/s となる年の確率分布を  $F_{zero}$ 、それ以外の年の確率分布を  $F_{nonzero}$  とし、式(5)に示す修正ガンベル分布を提案する。

$$F_{mod} = F_{zero} + F_{nonzero} \quad (5)$$

観測年数を  $n$ 、そのうち熱帯低気圧による年最大風速が 0m/s である年数を  $n_0$  とすると、 $F_{zero}$  は次式により表すことができる。

$$F_{zero} = n_0/n \quad (6)$$

また、年最大風速が 0m/s ではない年の年最大風速はガンベル分布  $G(u)$  に従うとし、 $F_{nonzero}$  を次式により表した。

$$F_{nonzero}(u) = (n - n_0)/n \times G(u) \quad (7)$$

熱帯低気圧に起因する年最大風速  $u_T$  は、式(8)により表し、修正基準化変数  $y'$  は、式(9)により求める。

$$u_T = V + \sigma_p(y' - \gamma)/(\pi/\sqrt{6}) \quad (8)$$

$$y' = -\ln(-\ln(F_{nonzero}) \times n/(n - n_0)) \quad (9)$$

ここで、 $V$ 、 $\sigma_p$  はそれぞれ年最大風速 0m/s を除いた年最大風速の平均値と標準偏差である。この修正ガンベル分布は  $n_0 = 0$  の時にガンベル分布と一致する。

図2には、熱帯低気圧による年最大風速の確率分布を示す。図中の白丸は、13年間の熱帯低気圧による年最大風速から求めた確率分布を表し、破線は、本研究で提案した修正ガンベル分布により求めた確率分布を表す。修正ガンベル分布による推定値は、5年より短い再現期間で観測とよく一致し、それより長い再現期間は観測値を過小評価している。これは熱帯低気圧による極値風速を13年の観測データから求める場合に不確実性が高い

ことを示唆している。この極値風速の不確実性については4節に示す。

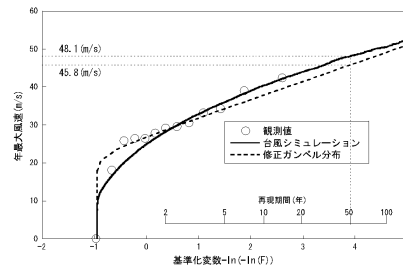


図2 熱帯低気圧の年最大風速の確率分布

### 3. 混合気候における極値風速の評価

#### 3.1 モンテカルロシミュレーションによる極値風速の評価

モンテカルロシミュレーションを用いて年最大風速の確率分布を評価する場合、長期間のシミュレーションができるため風観測に基づく評価に比べ、不確実性が低いと期待される。本研究では、Ishihara ら(2005)<sup>9)</sup>の研究に基づき1万年を解析期間としたモンテカルロシミュレーションを行った。

図2の実線は、モンテカルロシミュレーションによる年最大風速の確率分布を示す。シミュレーションの結果は、2年以上の再現期間において観測データ(白丸)と一致していることが分かる。

#### 3.2 混合気候帯における極値風速の評価

日本のような混合気候では、熱帯低気圧と温帯低気圧による強風に分けて成因別の確率分布を評価した後、確率分布を合成する必要がある。温帯低気圧に起因する年最大風速  $u_E$  と熱帯低気圧に起因する年最大風速  $u_T$  は独立の事象であると仮定すると、温帯低気圧に起因する年最大風速の非超過確率  $F_E(u_E)$  と熱帯低気圧に起因する年最大風速の非超過確率  $F_T(u_T)$  とを合成した合成確率分布  $F_c(u_c)$  は次式より評価できる。

$$F_c(u_c) = F_E(u_E) \times F_T(u_T) \quad (10)$$

図3には、温帯低気圧による年最大風速の非超過確率と台風シミュレーションによる年最大風速の非超過確率を合成した合成確率分布を実線で示す。合成確率分布は、広い範囲の再現期間において観測値(白丸)をよく表している。合成した50年再現期待値は、48.1m/sであり、合成前(図2)と同じ値であることから、温帯低気圧より熱帯低気圧の方が極値風速への寄与が大きいたことが分かる。図中には、温帯低気圧によるガンベル分布と熱帯低気圧に

参考文献 5

よる修正ガンベル分布から求めた合成確率分布の合成値を破線で示す。この合成確率分布関数から求めた 50 年再現期待値 45.8m/s は台風シミュレーションから求めた値 48.1m/s より小さい。このことから混合気候では、台風シミュレーションの結果を用いた合成確率分布を求め、極値風速を評価する必要があることが分かる。

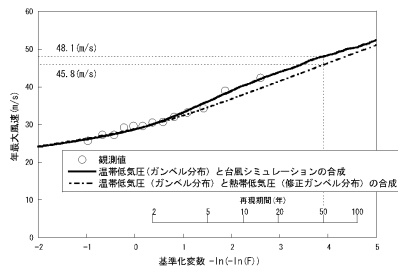


図3 熱帯低気圧と温帯低気圧による年最大風速の非超過確率の合成

4. 不確実性を考慮した極値風速の評価

4.1 不確実性の評価

有限の観測データから年最大風速の非超過確率を推定する際の不確実性はガンベルの理論により推定することが可能であり、ある再現期間に対応する年最大風速の分散  $\sigma^2$  は、次式により表される。

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_p^2}{L} [1 + 0.885(y - \gamma) + 0.6687(y - \gamma)^2] \quad (11)$$

ここで、 $L$  は推定に用いた母集団のデータ数を、 $\sigma_p$  は母集団の標準偏差、 $y$  は求めたい再現期間に対応する標準化変数である。

式(11)により求めた温帯低気圧と熱帯低気圧に起因する年最大風速の 50 年再現期待値の標準偏差をそれぞれ図 4 の黒色の棒グラフで示す。両者とも 13 年の観測データからの値であるが、母集団の標準偏差  $\sigma_p$  が異なるため、推定値の標準偏差が大きく異なる。温帯低気圧の場合には 50 年再現期待値の標準偏差は 1.9m/s(推定値の 5.7%) であるのに対し、熱帯低気圧の場合には 5.7m/s(推定値の 12.5%) に達する。このことから、温帯低気圧に起因する強風の場合にはガンベルの理論に基づき 50 年再現期待値を外挿することが妥当であるが、熱帯低気圧に起因する強風に適用する場合には不確実性が大きいことがわかる。

ちなみに、10000 年の熱帯低気圧のモンテカルロシミュレーションによる 50 年再現期待値の標準偏差を、斜線の棒グラフで図 4 にあわせて示した。標準偏差の値は 0.29m/s(推定値の 0.6%) であり、観測から推定される極値

風速の不確実性よりもかなり小さいことがわかる。

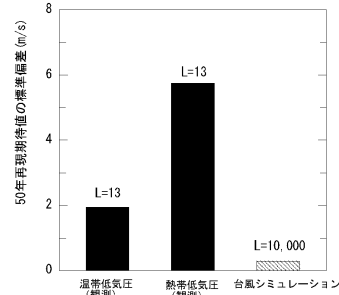


図4 50年再現期待値の標準偏差の比較

最後に、不確実性評価におけるガンベル理論の有効性を、モンテカルロシミュレーションの結果を用いて検証した。図 5 には、解析期間  $L$  を 10~1 万年の範囲で変化させ式(11)により算定した 50 年再現期待値の標準偏差を点線で示した。図には、あわせてモンテカルロシミュレーションにより求めた 50 年再現期待値の標準偏差を黒丸で示した。シミュレーションによる標準偏差は、1 万年のシミュレーションによる年最大風速のデータから 100, 200, 500, 1000, 2000 年の 100 個のデータセットを各々作り、50 年再現期間における平均値と標準偏差を求め、図中に標準偏差の値を示した。

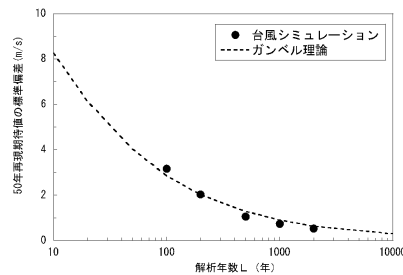


図5 ガンベル理論とモンテカルロシミュレーションにより求めた 50 年再現期待値の標準偏差の比較

図 5 から、ガンベル理論により求めた標準偏差は、解析年数  $L$  が短い場合に大きく、解析年数が長くなるに従い小さくなることが分かる。また、ガンベル理論の標準偏差(点線)は、モンテカルロシミュレーションから求めた標準偏差(黒丸)とよく一致している。ガンベル理論から算出された標準偏差は、十分な精度をもつことが検証された。

4.2 不確実性を考慮した極値風速の評価

前節で説明したように観測値から推定された値には不

確実性が内在している。本研究では、この不確実性を評価し、式(12)に示すように、温帯低気圧と熱帯低気圧双方の不確実性を考慮した極値風速  $\hat{u}_c$  の評価式を提案した。

$$\hat{u}_c = u_c + \sigma_c \tag{12}$$

ここで、標準偏差  $\sigma_c$  は、(13)式により表す。

$$\sigma_c = \alpha \sigma_E + (1 - \alpha) \sigma_T \tag{13}$$

ここで、 $\sigma_E$ 、 $\sigma_T$  は各々式(11)により算定される温帯低気圧と熱帯低気圧による年最大風速の標準偏差である。また、重み  $\alpha$  は次式により求める。

$$\alpha = (u_c - u_T) / [(u_c - u_T) + (u_c - u_E)] \tag{14}$$

熱帯低気圧に支配される時は  $u_c = u_T$  となり式(14)の分子は0となり重み  $\alpha$  は0である。一方、温帯低気圧に支配される時は、 $u_c = u_E$  となり重み  $\alpha$  は1である。図6には、ある再現期間  $R$  に対応する基準化変数  $y$  における重み  $\alpha$  の変化を示した。図に示されるように基準化変数  $y$  が大きい場合は、熱帯低気圧が支配し重み  $\alpha$  は0に漸近し、 $y$  が小さい場合は温帯低気圧が支配することになり、重み  $\alpha$  は1に漸近する。

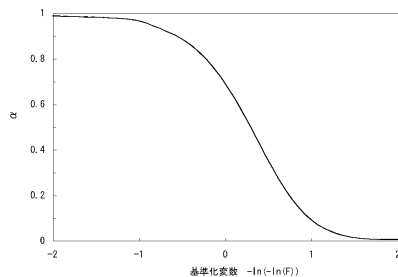


図6 重み  $\alpha$  の基準化変数による変化

表1に不確実性を考慮しない場合と考慮した場合の50年再現期待値の評価結果を示す。ここで台風シミュレーションにおける母集団のデータ数  $L$  は100年と仮定した。これは、台風シミュレーションに用いられた気圧の観測年数を考慮したためである。不確実性を考慮しない場合の台風シミュレーションによる年最大風速の50年再現期待値は48.1m/sであるのに対し、13年間の観測データにより推定された50年再現期待値は45.8m/sであり、その差が大きい。一方、13年間の観測データによる極値風速は51.5 m/sとなり、台風シミュレーションからの推定値の51.1 m/sと概ね同じ値となる。

表1 50年再現期待値の評価結果

不確実性	観測データ	モンテカルロシミュレーション
考慮せず	45.8 m/s	48.1 m/s
考慮あり	51.5 m/s	51.1 m/s

5. まとめ

モンテカルロシミュレーションとMCP法を用いて銚子沖における極値風速の予測を行い、以下の結論を得た。

- 1) 熱帯低気圧に起因する強風の非超過確率を表す修正ガンベル分布を提案し、観測データとの比較を行った。熱帯低気圧の極値風速は温帯低気圧の極値風速に比べ不確実性が高い。
- 2) ガンベル理論より求めた温帯低気圧の50年再現期待値の標準偏差は1.9m/sであり、熱帯低気圧の50年再現期待値の標準偏差5.7m/sに比べ不確実性が小さい。モンテカルロシミュレーションから求めた標準偏差の値は0.29m/sであり、さらに不確実性が小さい。
- 3) 不確実性を考慮した設計風速を推定する手法を提案した。50年再現期待値の標準偏差を考慮した極値風速は、観測による極値風速と台風シミュレーションによる推定値との差が小さくなり、観測データをほぼカバーできるようになる。

謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務で得られた研究成果である。ここに関係者の皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) IEC 61400-1: Wind turbines-Part 1 Design requirements, Ed.3, 2005.
- 2) Gomes, L. and Vickery, B. J.: Extreme wind speeds in mixed climates, J. Wind Eng. Indust. Aerodyn., 2, 331-334, 1978.
- 3) Georgiou, P. N., Davenport, A. G. and Vickery, B. J.: Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, J. Wind Eng. Indust. Aerodyn., 13, 139-152, 1983.
- 4) 石原孟, 榎木康太, 高原景滋, 荒川洋: 気流解析と台風シミュレーションに基づく配電設備のリスクマネジメント, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.67, No.2, pp.360-373, 2011.
- 5) Guidelines for Design of Wind Turbines, 2nd Ed., DNV/Riso, 2002.
- 6) Ishihara, T., Siang, K. K., Leong, C. C. and Fujino, Y.: Wind field model and mixed probability distribution function for typhoon simulation, The Sixth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 412-426, 2005.







***AQUATIC ZONE NETWORK co.,ltd.***