

# RC-Solverの使用方法 (数値風況ソルバー)



株式会社リアムコンパクト

## 1) 最初に行う設定



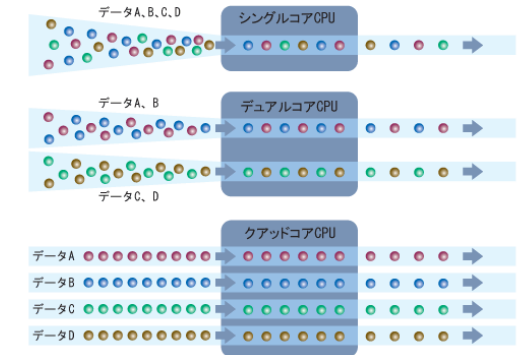
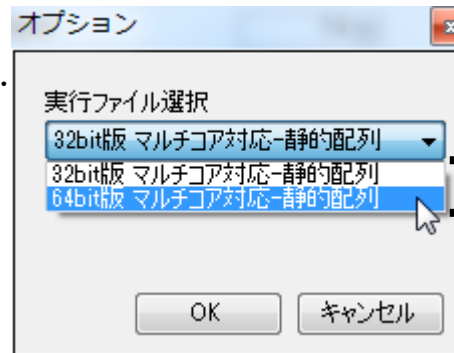
使用しているPCのOSに応じて、どちらかを選択してください。

備考)

■静的配列とは、あらかじめ配列数が決められているという意味。

$NX=201$ ,  $NY=201$ ,  $NZ=51$

■動的配列とは、PCに搭載されているメモリ量だけ自由に配列数を利用することができるという意味。  
よって、メモリ量が多いほど大規模計算が可能になる。



マルチコアCPUの処理イメージ

## ◎実行モジュールの選択

■32bit版マルチコアCPU対応-静的配列(go\_32cpu\_static.exe):デフォルト

■64bit版マルチコアCPU対応-静的配列(go\_64cpu\_static.exe):デフォルト

■64bit版マルチコアCPU対応-動的配列(go\_64cpu\_dynamic.exe):オプション(50万円+税)

■64bit版GPGPU対応-静的配列(go\_64gpu\_static.exe):オプション(55万円+税)

■64bit版GPGPU対応-動的配列(go\_64gpu\_dynamic.exe):オプション(60万円+税)

## 2) 基本設定

### 流入風速プロファイルの設定

無題 - RC-Solver

ファイル(F) ヘルプ(H)

流入風速プロファイル設定 各種パラメータ設定 地表面粗度設定 風速: 10.0 m/s

計算種別

☒ 発電量評価

☒ ベキ指数 7.0

流入風速 10.0 m/s

☐ 任意流入プロファイル (ファイル指定)

☐ 設計風速評価

地表面粗度区分 I

注意:「RC-Explorer」にて設計風速を評価する場合には、こちらを選択する。

処理モード ☒ シングル ☐ バッチ

ソルバー実行

付録10を参照

### 各種パラメータの設定

無題 - RC-Solver

ファイル(F) ヘルプ(H)

流入風速プロファイル設定 各種パラメータ設定 地表面粗度設定 風速: 10.0 m/s

初期条件 ☒ 新規 ☐ 継続

アニメーション間隔 100 ステップ毎

アニメーション開始ステップ 25000 ステップ

アニメーション終了ステップ 50000 ステップ

時間平均開始ステップ 25000 ステップ

総ステップ数 50000 ステップ

250コマのデータセットが出力される。

☐ 詳細設定 計算不安定や発散が生じる際に変更する → 付録2

詳細

計算安定化パラメータ 0.5 (推奨値 = 0.5) → 付録2, 12

無次元時間刻み 0.002 (推奨値 = 0.002)

袖領域付加パラメータ 1.1 (推奨値 = 1.1)

袖領域メッシュ数 10 (推奨値 = 10) → 付録2, 11

処理モード ☒ シングル ☐ バッチ

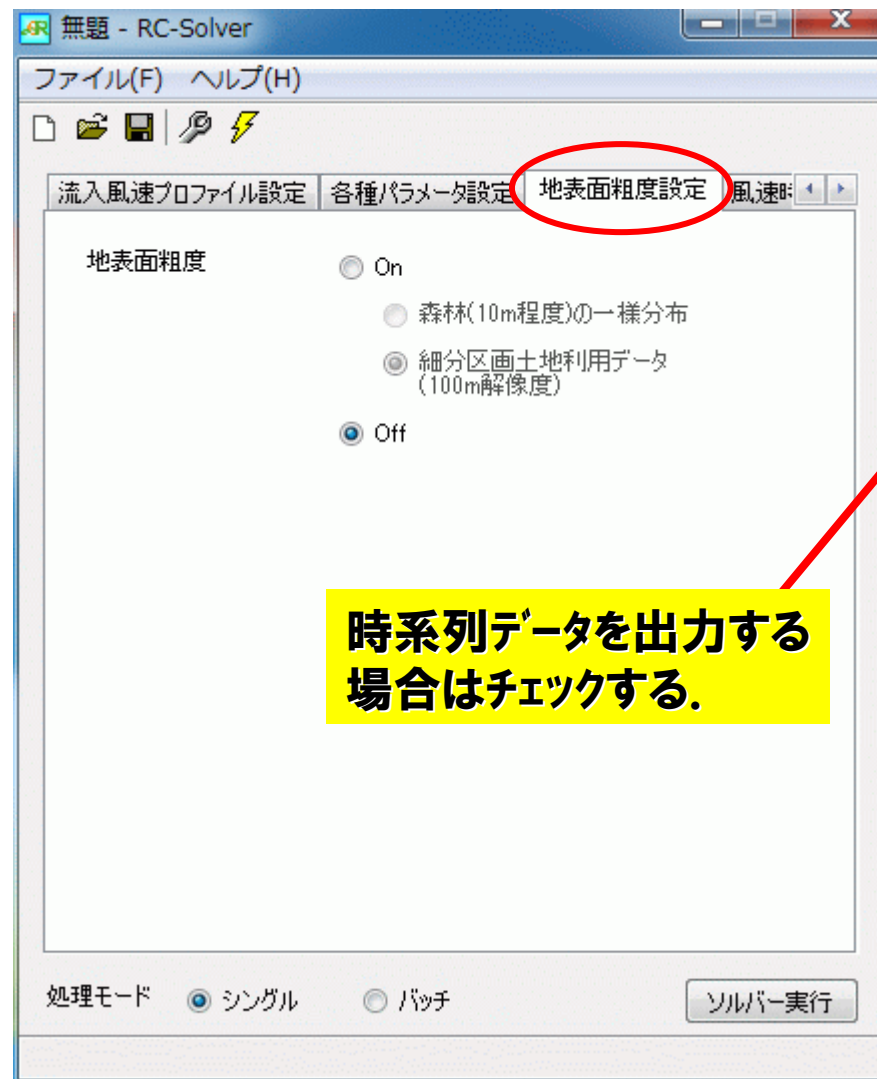
ソルバー実行

0 step 25,000 step 50,000 step 計算ステップ数

→ アニメーションデータの取得開始

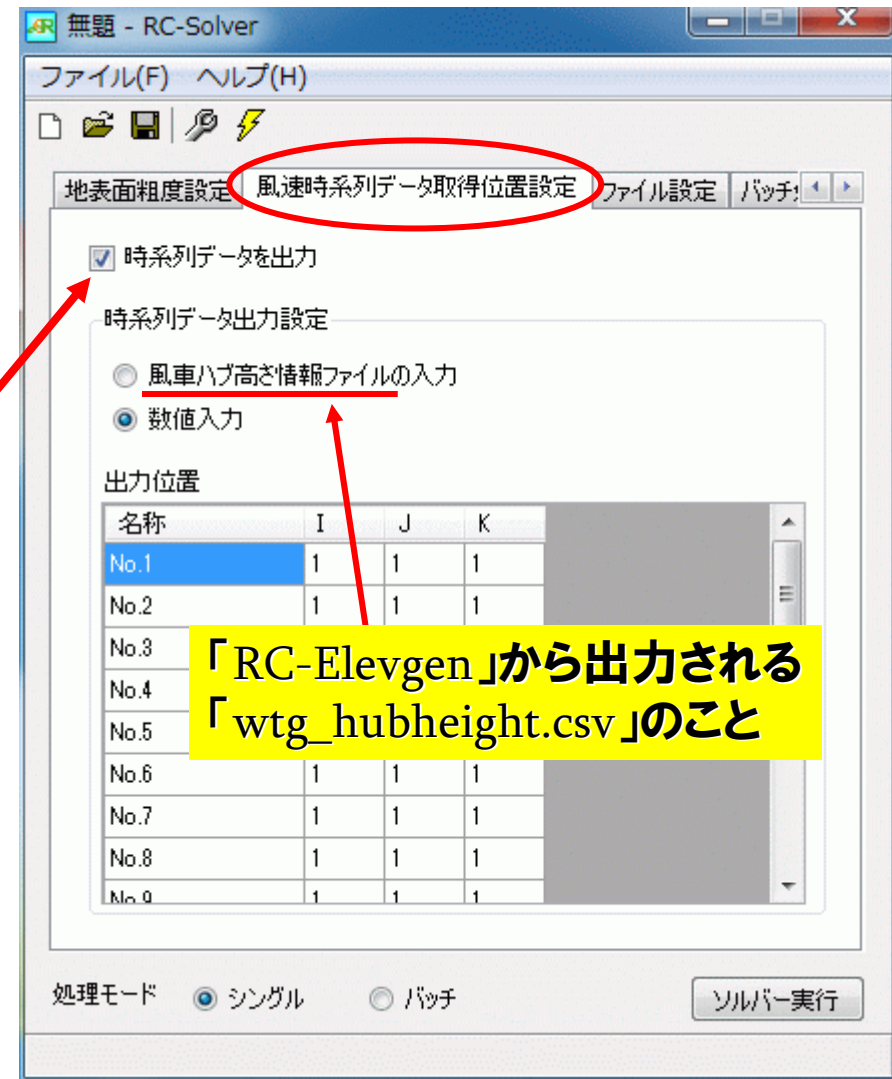
助走計算（スピニングアップ計算） 本計算（乱流諸量の評価）

## 地表面粗度の設定



時系列データを出力する場合はチェックする。

## 風速時系列データ取得位置の設定



「RC-Elevgen」から出力される「wtg\_hubheight.csv」のこと

付録9を参照

## 風向設定の考え方

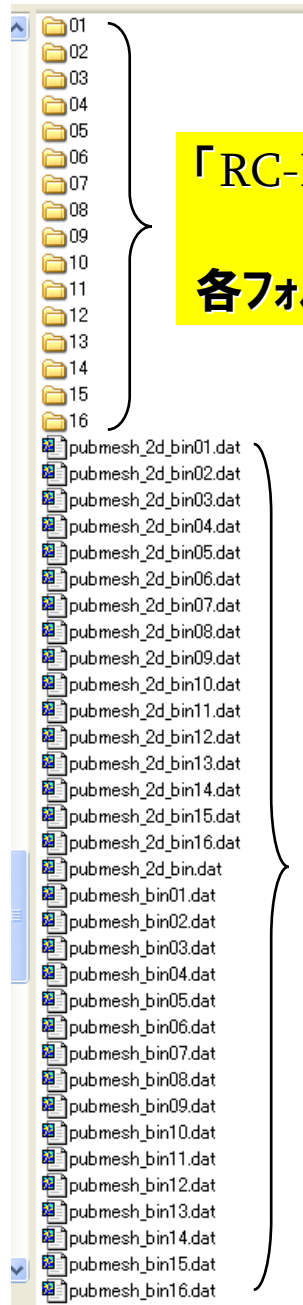
「RC-Elevgen」で「16方位の一括保存」を指定すると自動的に作成される。

各フォルダの番号と風向の対応関係は下記の通りである。

### 風向

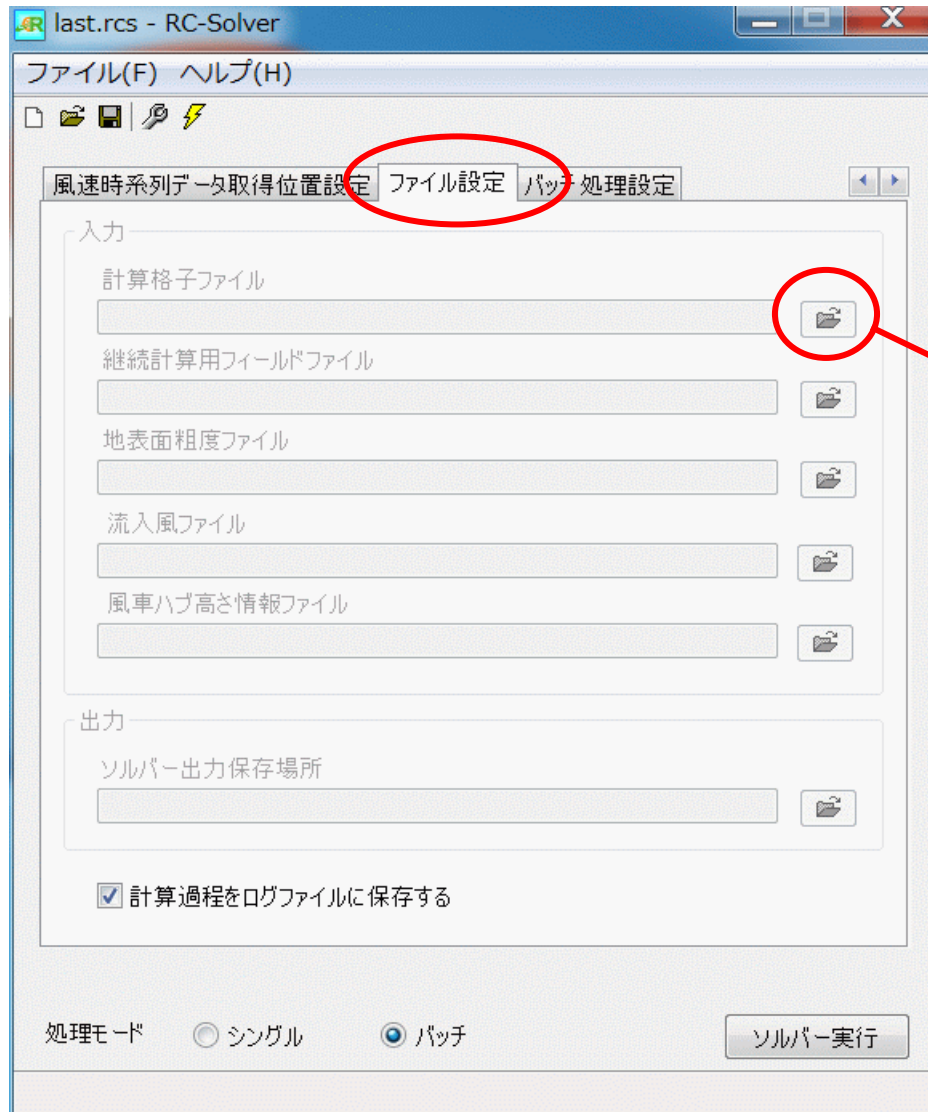
- |                                       |                               |                              |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> 北(1) | <input type="radio"/> 北北東(2)  | <input type="radio"/> 北東(3)  | <input type="radio"/> 東北東(4)  |
| <input type="radio"/> 東(5)            | <input type="radio"/> 東南東(6)  | <input type="radio"/> 南東(7)  | <input type="radio"/> 南南東(8)  |
| <input type="radio"/> 南(9)            | <input type="radio"/> 南南西(10) | <input type="radio"/> 南西(11) | <input type="radio"/> 西南西(12) |
| <input type="radio"/> 西(13)           | <input type="radio"/> 西北西(14) | <input type="radio"/> 北西(15) | <input type="radio"/> 北北西(16) |

参考:「RC-Explorer」で必要になる(インプットする)公共座標データ



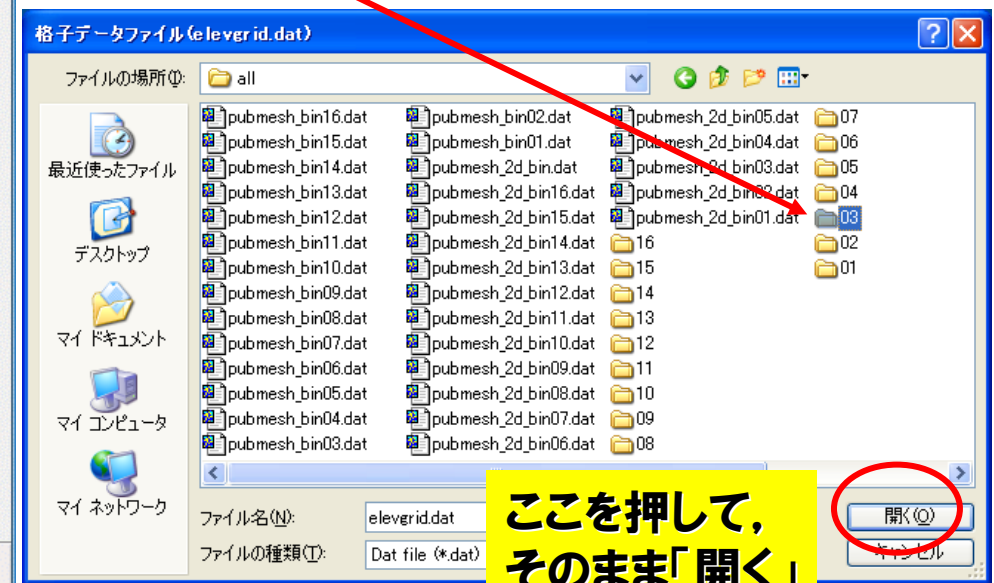


## ファイルの設定①



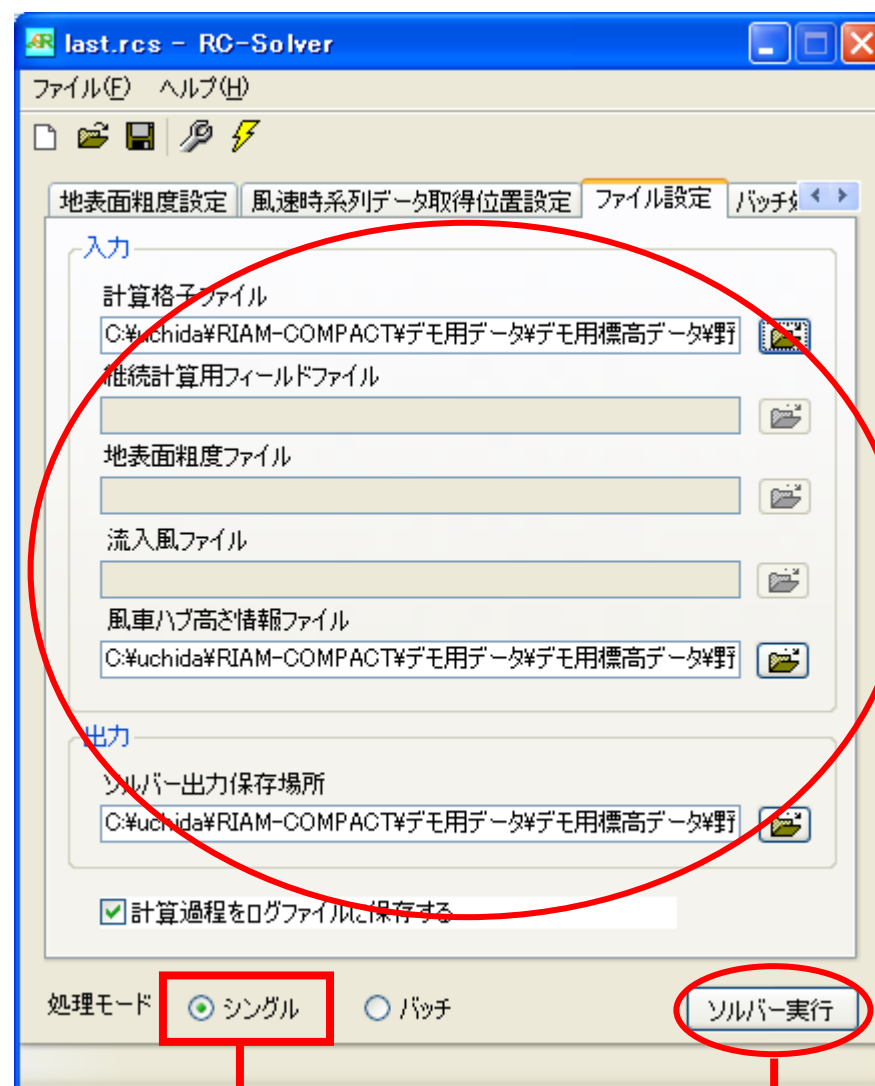
計算したいフォルダ(風向)を指定する。

この場合は、「03」なので、  
「北東」を意味する。



ここを押して、  
そのまま「開く」  
を押す。

## ファイルの設定②

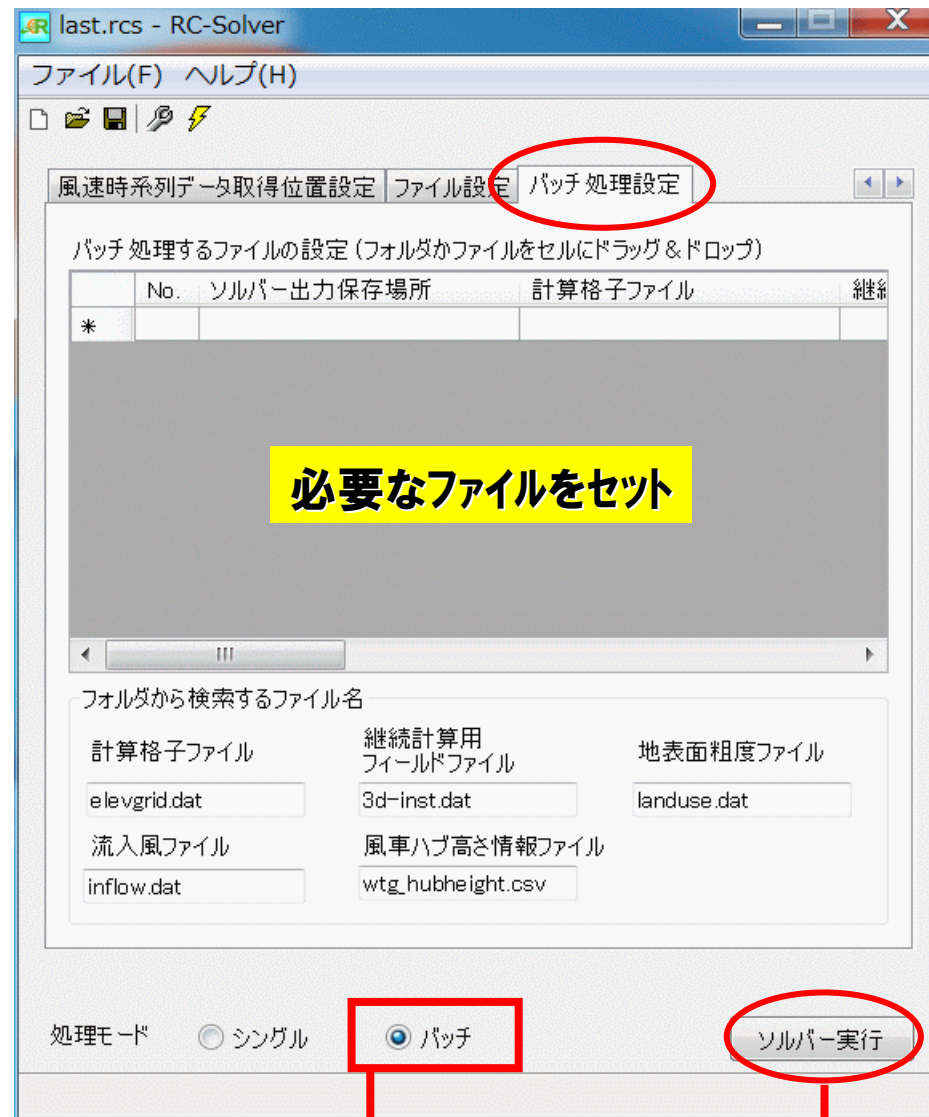


必要なファイル等が自動的にセットされる。

シングル計算(1計算)が開始される。

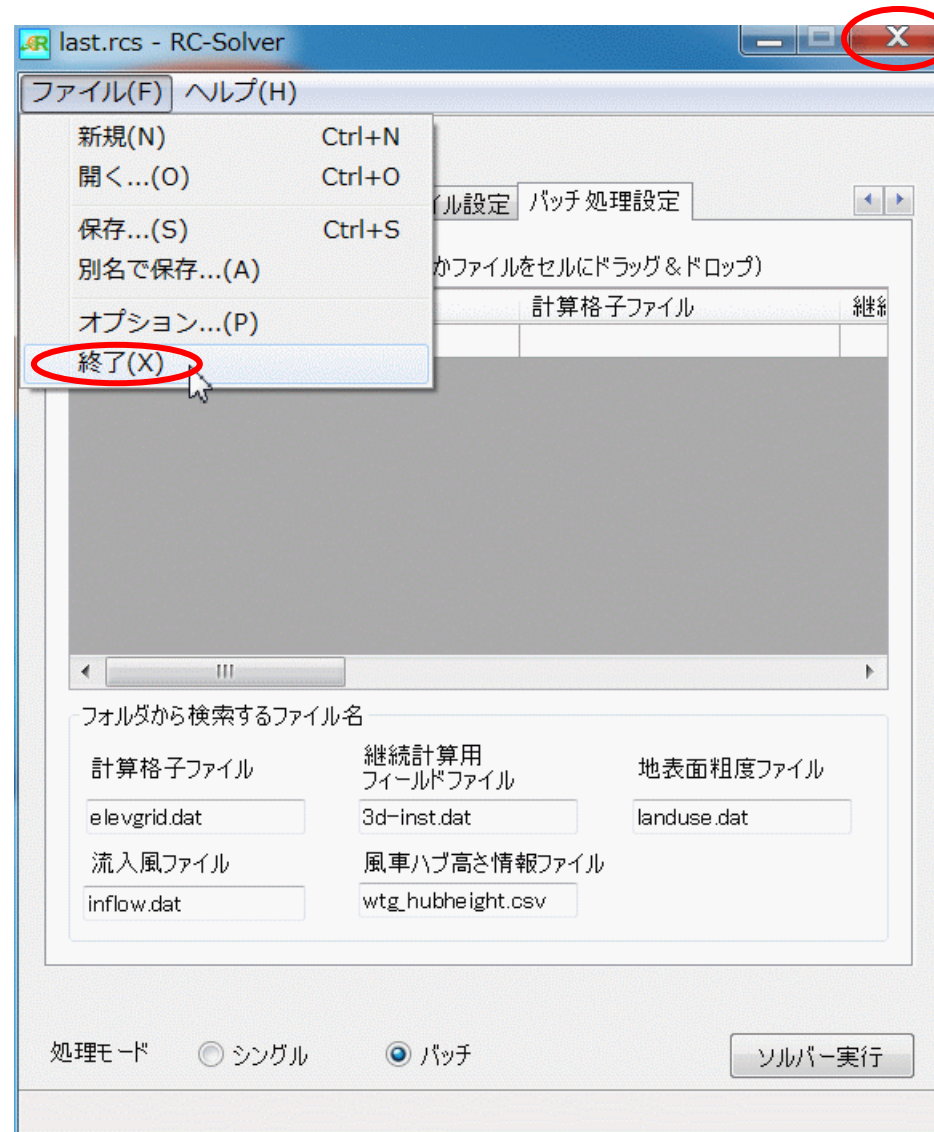


## バッチ処理の設定

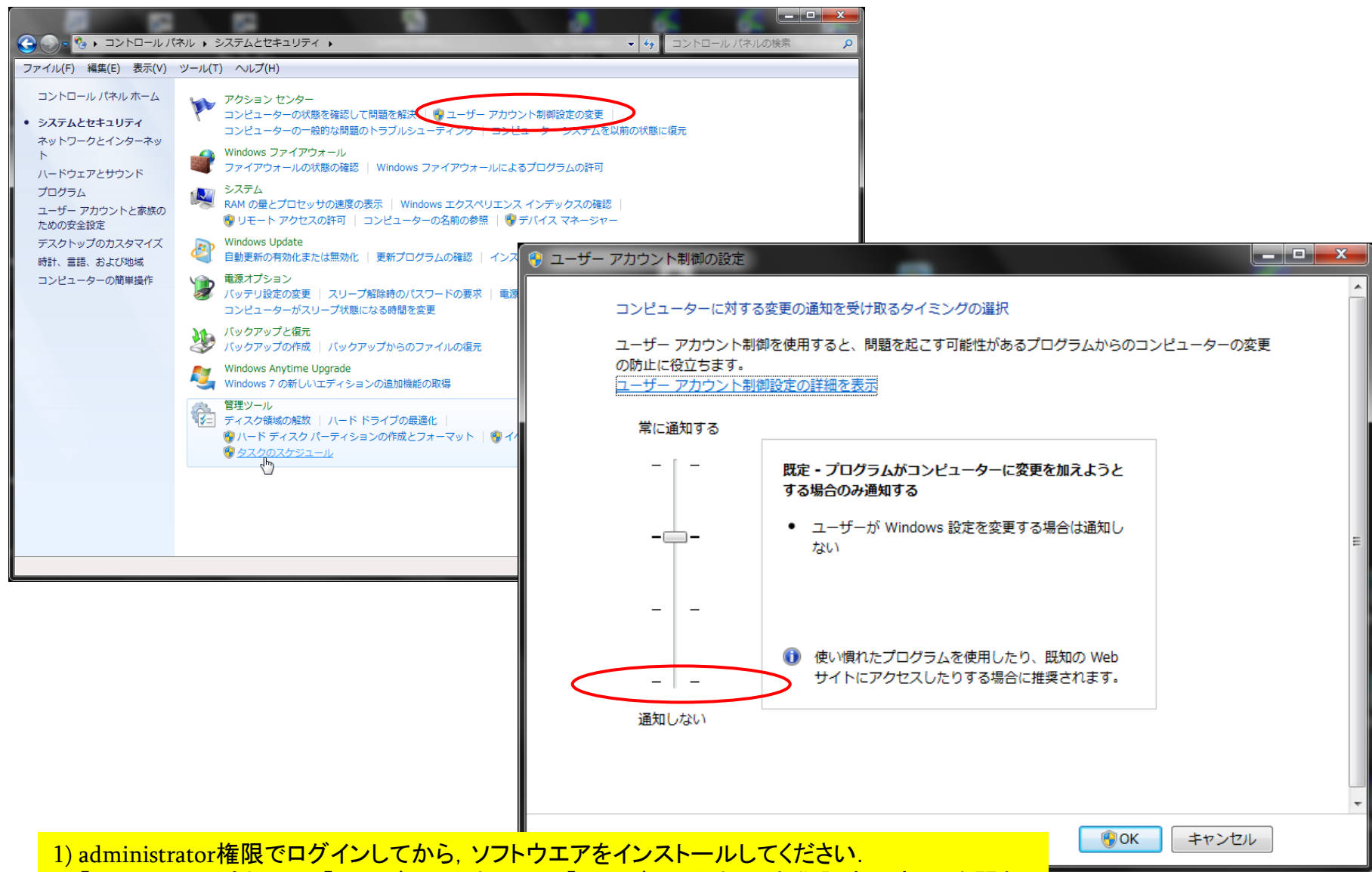


バッチ計算(複数計算)が開始される。

### 3) 終了

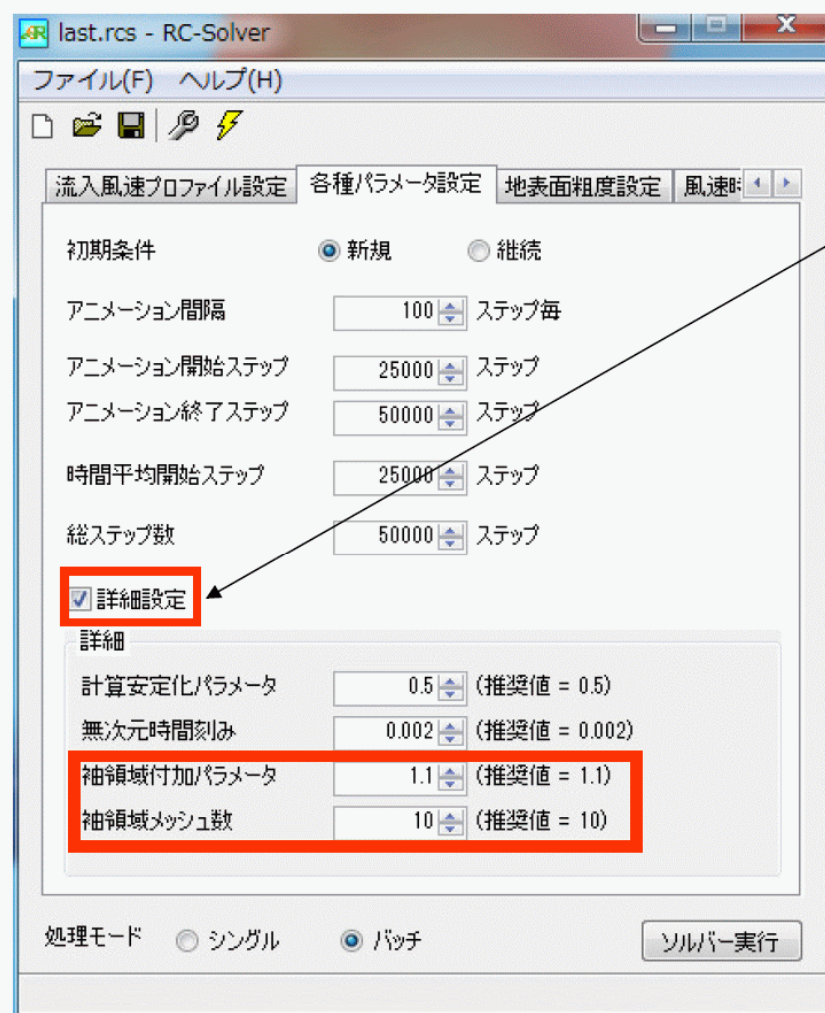


## 付録1 エラー対策方法



- 1) administrator権限でログインしてから、ソフトウェアをインストールしてください。
- 2) 「コントロールパネル」→「ユーザーアカウント」→「ユーザーアカウント制御設定の変更」を開き、スライダーを「通知しない」に設定してください。

## 付録2 収束改善方法



詳細設定を編集できるようにします。

手順①  
袖領域メッシュ数は10のまま、  
袖付加パラメータを1.1から1.3に変更

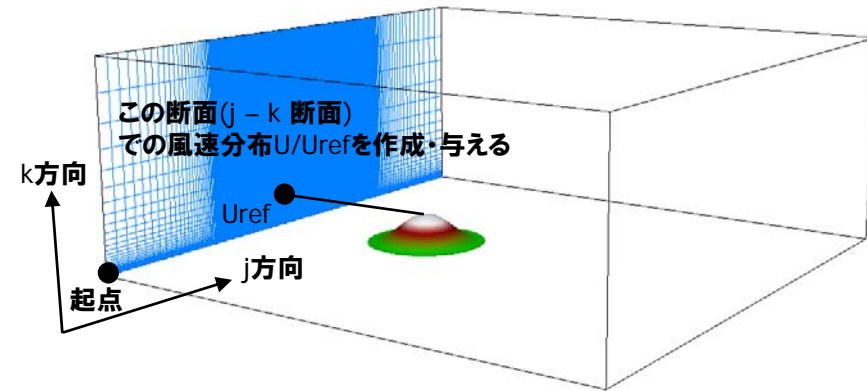
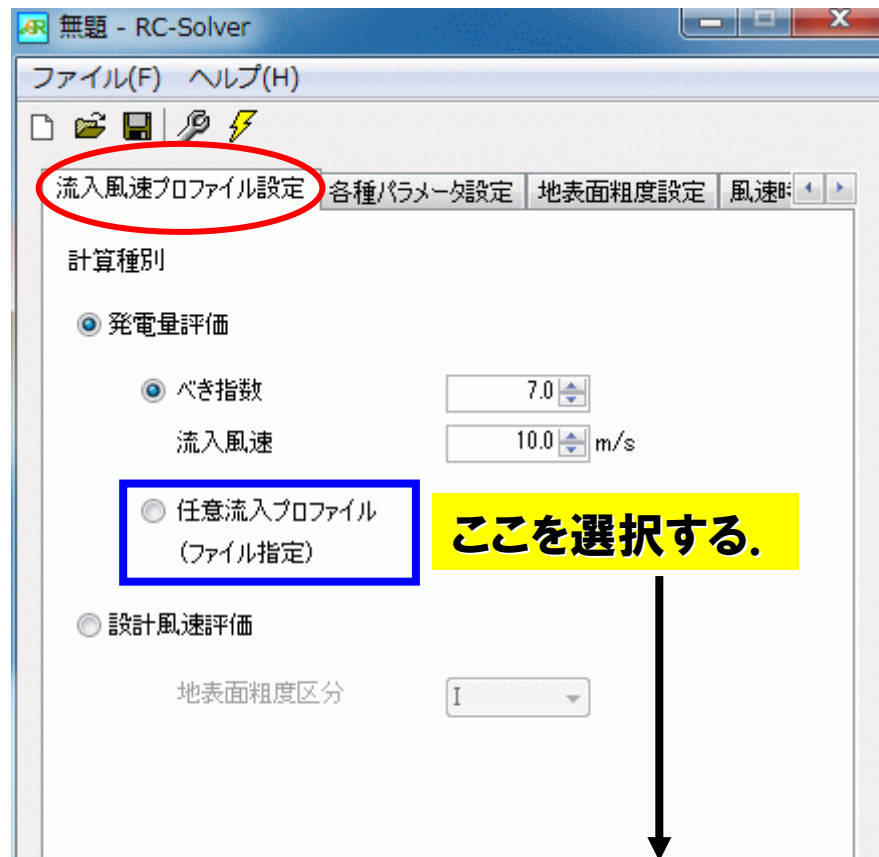
これで解決しなければ、

手順②  
袖付加パラメータは1.3のまま、  
袖領域メッシュ数を20へ変更

これで解決しなければ、

手順③  
袖付加パラメータは1.3のまま、  
袖領域メッシュ数を30へ変更

## 付録3 任意流入プロフィールの設定方法①



```
C....<<ARBITRARY U-PROFILE : NORMALIZED VALUE>>
      IF (IPROF. EQ. 0. AND. IFLOW. EQ. 1) THEN
        OPEN (1, FILE=NAME8, FORM='FORMATTED', STATUS='UNKNOWN')
        READ (1, *) ((PROFU (J, K), J=1, NY), K=1, NZ) *
        CLOSE (1)
      END IF
```

\* NYはj方向の最大数, NZはk方向の最大数

**注意①:** 上記のフォーマットに従って、ユーザーが「inflow.dat」というファイルを作成する。

**注意②:** 風速値はUrefで正規化しておく。  
Urefは、流入境界面における最大標高差位置での風速のこと。

参考:「para1.dat」は下記のようにになっています。

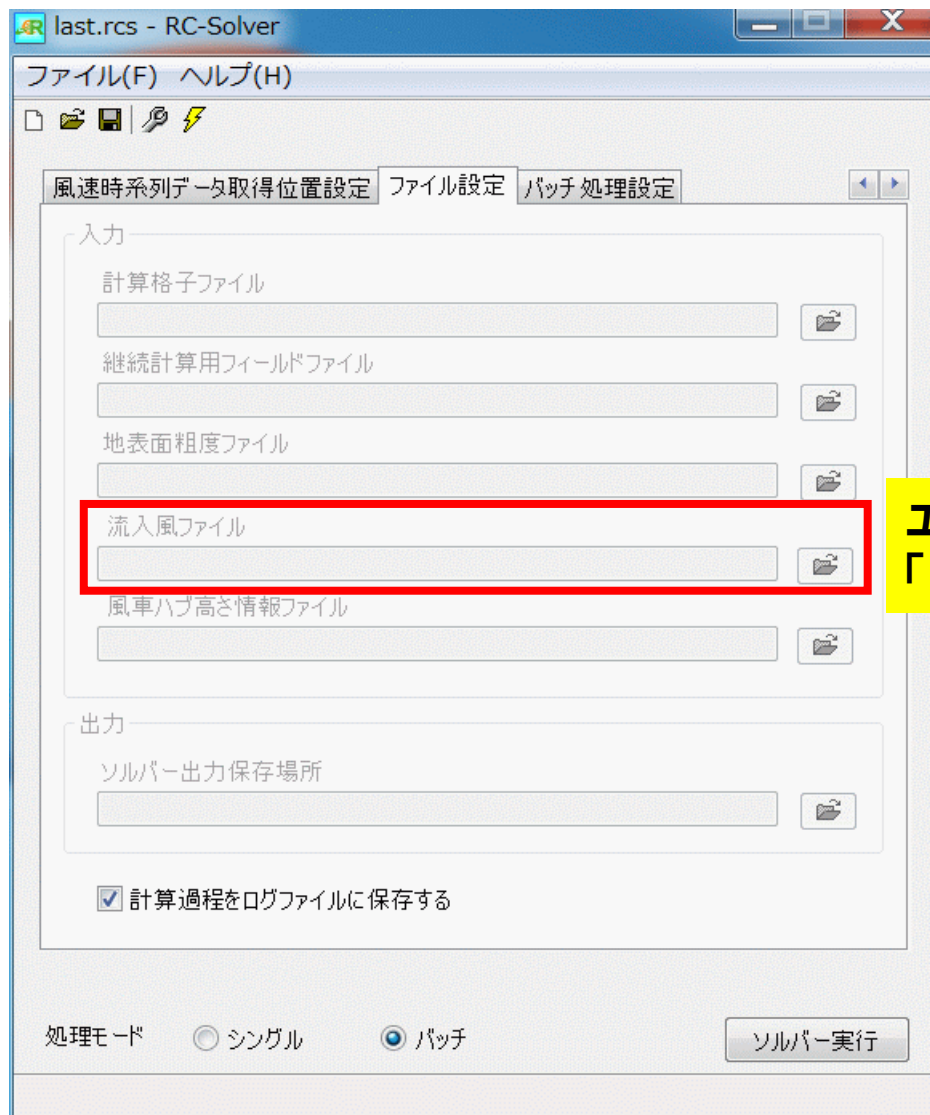
◆発電量評価＋任意流入プロフィール, が選択された場合

&NM1 IPROF=0, IFLOW=1, &END

&NM2 UVEC=10.0D0, BEKI=7.0D0, &END



## 付録3 任意流入プロフィールの設定方法②



ユーザーが作成した  
「inflow.dat」ファイルを指定する。

## 付録4 各ファイルの説明①

infile.dat

エンドユーザの環境に合わせて変更



```
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥para1.dat "  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥para2.dat "  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥para3.dat "  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥para4.dat "  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥elevgrid.dat " ①  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥3d-inst.dat " ②  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥landuse.dat " ③  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥inflow.dat " ④
```

ファイル名と並びは変更しない！

①: 計算格子ファイル

②: 継続計算用の計算結果ファイル

(継続計算用のファイルが存在しない場合でも、  
上記のように記述しておいてください)

③: 地表面粗度データ (通常は使用しない)

④: 流入気流データ (通常は使用しない)



## 付録4 各ファイルの説明②

outfile.dat

"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥3d-inst-vis.dat" ①  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥3d-tave-vis.dat" ②  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥3d-inst.dat" ③  
"C:¥uchida¥MULTI-CPU¥3d-tave.dat" ④

- ①: RC-Scope用の計算結果ファイル, バイナリ形式, 瞬間場
- ②: RC-Scope用の計算結果ファイル, バイナリ形式, 時間平均場
- ③: 最終時刻の計算結果ファイル, テキスト形式
- ④: 時間平均された計算結果ファイル, テキスト形式

## 付録4 各ファイルの説明③

para1.dat

```
&NM1 IPROF=0 , IFLOW=0 , &END  
&NM2 UVEC=10.0D0 , BEKI=7.0D0 , &END  
&NM3 INUM=3 , &END
```

■べき指数の流入プロファイルを設定する際は,

IPROF=0 AND IFLOW=0 とする.

■べき指数の値は,

BEKI で変更する.

## 付録4 各ファイルの説明④

### para2.dat

&NM1 ALPHA=0.5D0,DT=0.002D0,&END : この行は基本的に変更しない.

&NM2 NSTART=1,NSTEP=5000,NANISTA=1,NANIEND=5000,NSOR=1000,ICON=1,IPROG=5000,&END

&NM3 RATE=1.0D0,NA=0,&END

#### NM2の説明

NSTART : 計算開始ステップ数

NSTEP : 総計算ステップ数

NANISTA : アニメーション開始ステップ数(RC-Scope用)

NANIEND : アニメーション終了ステップ数(RC-Scope用)

NSOR : 進捗状況の画面表示間隔

ICON : 新規計算の場合ICON=0, 継続計算の場合ICON=1

IPROG : アニメーションファイル出力間隔(RC-Scope用)

#### NM3の説明

RATE : 袖領域パラメータ

NA : 袖領域メッシュ数

## 付録4 各ファイルの説明⑤

para3.dat

&NM1 IROUGH=0 , &END

&NM2 IP1=1 , CD1=0.50D0 , ZONE1=10.0D0 , &END

### NM1の説明

IROUGH=0の場合、地表面粗度を考慮しない(通常はこの設定).

### NM2の説明

IROUGH=1の場合に有効となるパラメータ

CD1 : 抵抗係数

ZONE1 : 地表面粗度モデルを有効にする(地面からの)空気層(m)

## 付録4 各ファイルの説明⑥

### para4.dat

```
&NM1  IHIST=0 , &END
&NM2  I1=1 , J1=1 , K1=1 , &END
&NM3  I2=1 , J2=1 , K2=1 , &END
&NM4  I3=1 , J3=1 , K3=1 , &END
&NM5  I4=1 , J4=1 , K4=1 , &END
&NM6  I5=1 , J5=1 , K5=1 , &END
&NM7  I6=1 , J6=1 , K6=1 , &END
&NM8  I7=1 , J7=1 , K7=1 , &END
&NM9  I8=1 , J8=1 , K8=1 , &END
      .
      .
&NM51 I50=1 , J50=1 , K50=1 , &END
```

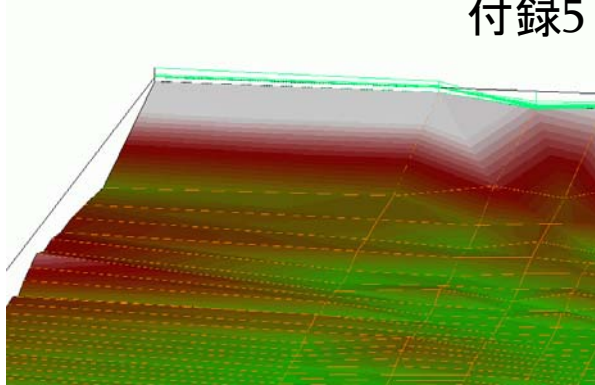
#### **NM1の説明**

**IHIST=0の場合, 時系列データは出力しない.  
IHIST=1の場合, 時系列データを出力する.**

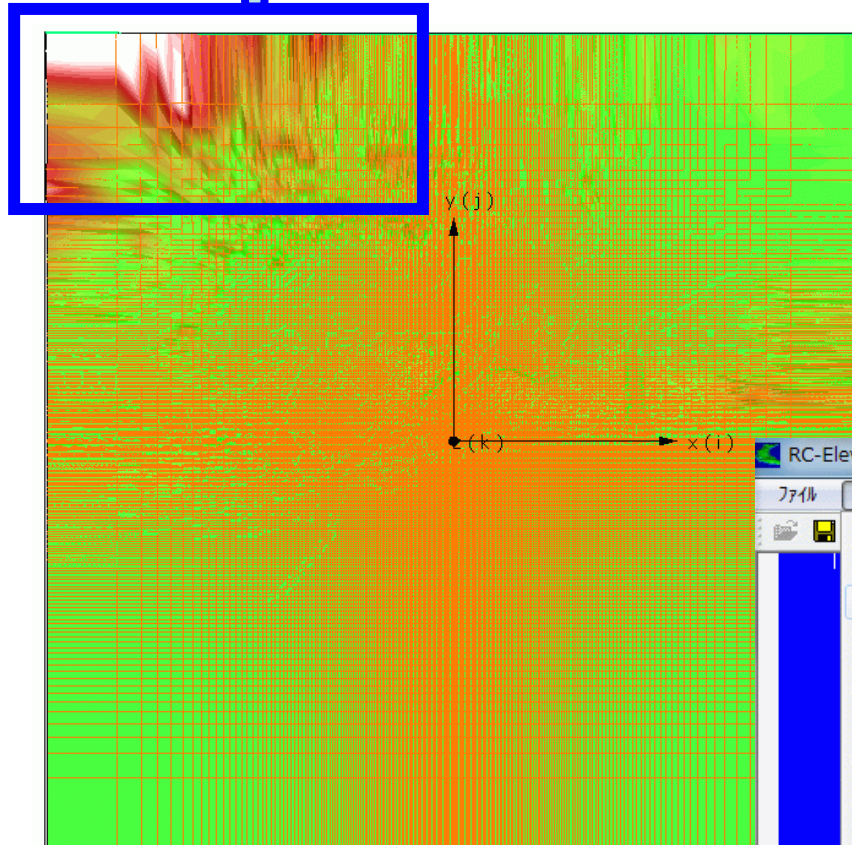
#### **NM2の説明**

**IHIST=1の場合に有効  
時系列データを出力する場所(i, j, k)**

## 付録5 平坦地での計算不安定の改善方法



↑ 拡大図

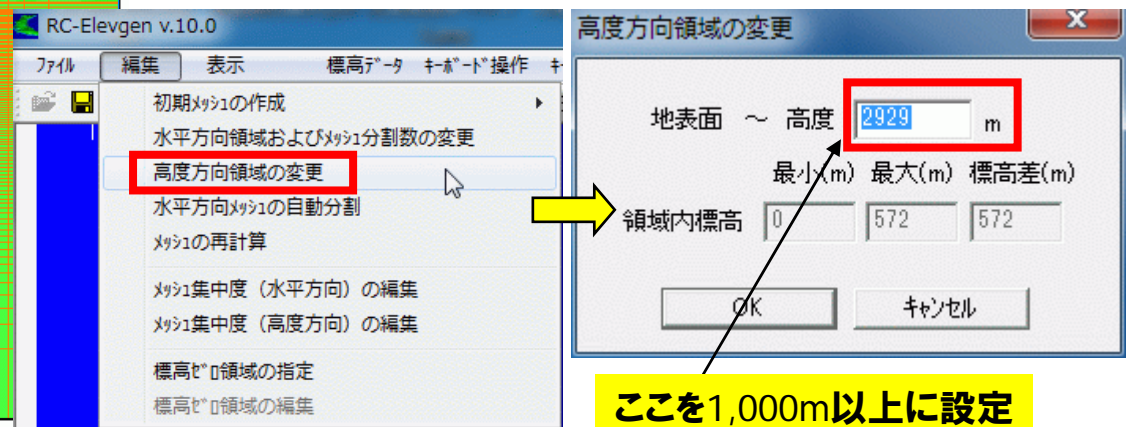


平坦地(地形の起伏が少ない)を対象にRC-Elevgenのデフォルト設定で格子を生成すると、計算不安定がしばしば発生する。

その理由は、左の拡大図に示すように高度(鉛直)方向領域が極端に低くなるからである。  
(格子を必ず鳥瞰的に見て確認してください)

改善方法(RC-Elevgenにて行う)

- 1)出来るだけ、地形の起伏が存在するところまでを計算領域内に含める。
- 2)水平方向の格子幅は等間隔に設定する。
- 3)高度方向領域を強制的に引き上げる(下図)。

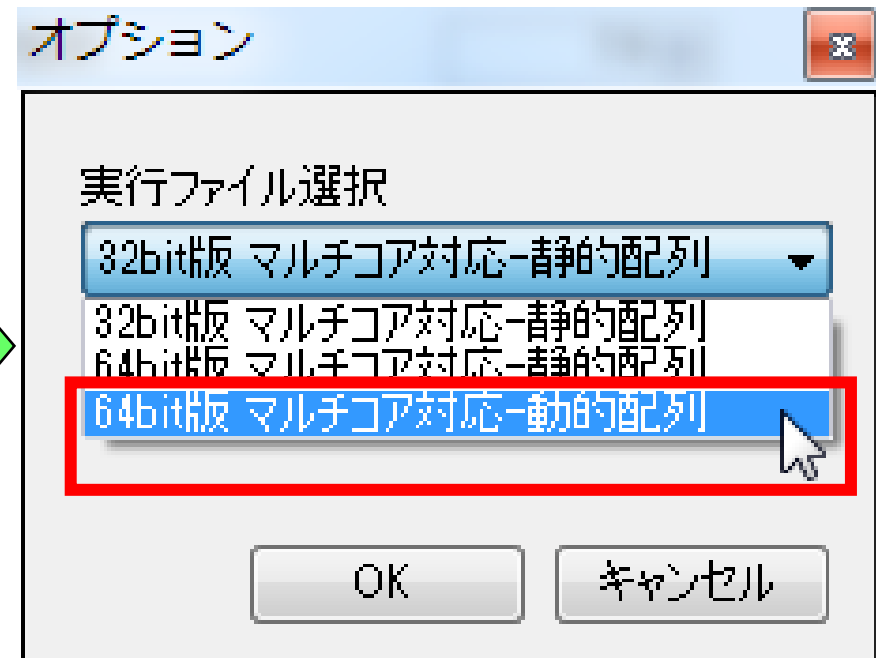
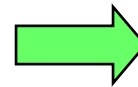
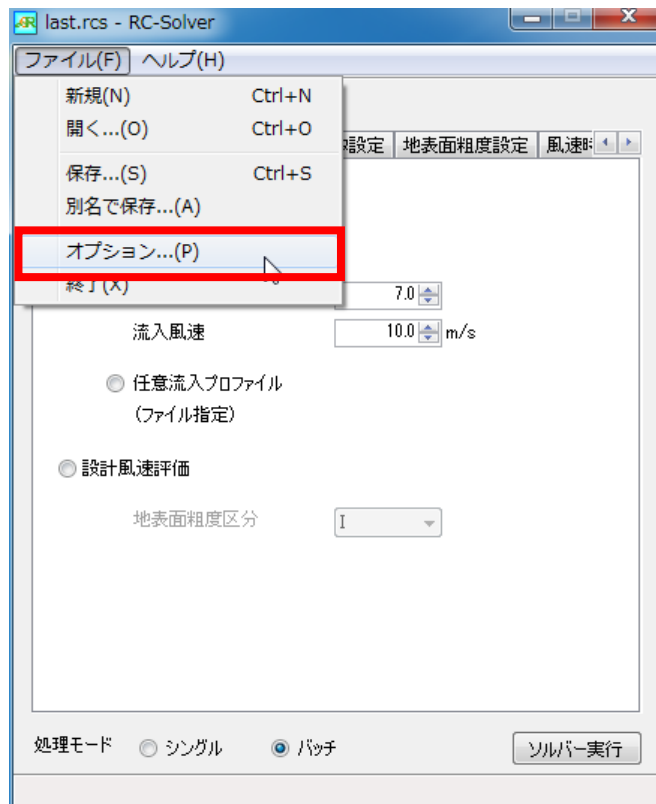


## 付録6 64bit版マルチコアCPU対応：動的配列(go\_64cpu\_dynamic.exe)のセットアップ方法

1. 「go\_64cpu\_dynamic.exe」を「go\_64cpu\_static.exe」が保存してあるフォルダへ移動する。

(例) C:\Program Files (x86)\RIAM-COMPACT\RC-Solver\bin\afa\_bin\_t64

2. 「オプション」→「実行ファイル選択」→「go\_64cpu\_dynamic.exe」を選択する。





## 付録7 静的配列および動的配列とは？

### Fortran言語による記述

```
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
C
  ALLOCATABLE::X(:, :, :)
C
C....<<INPUT GRID DATA>>
  READ(*,*)NX,NY,NZ
C
  ALLOCATE(X(NX,NY,NZ))
```

#### 動的配列 (自動割付配列)

- ◆コンパイル時に動的に記憶領域を確保する.  
(次期バージョンで採用)
- ◆任意の格子規模で計算が可能.
- ◆64ビットWindows7の環境などでスパコン並みの大規模計算が実現可能.

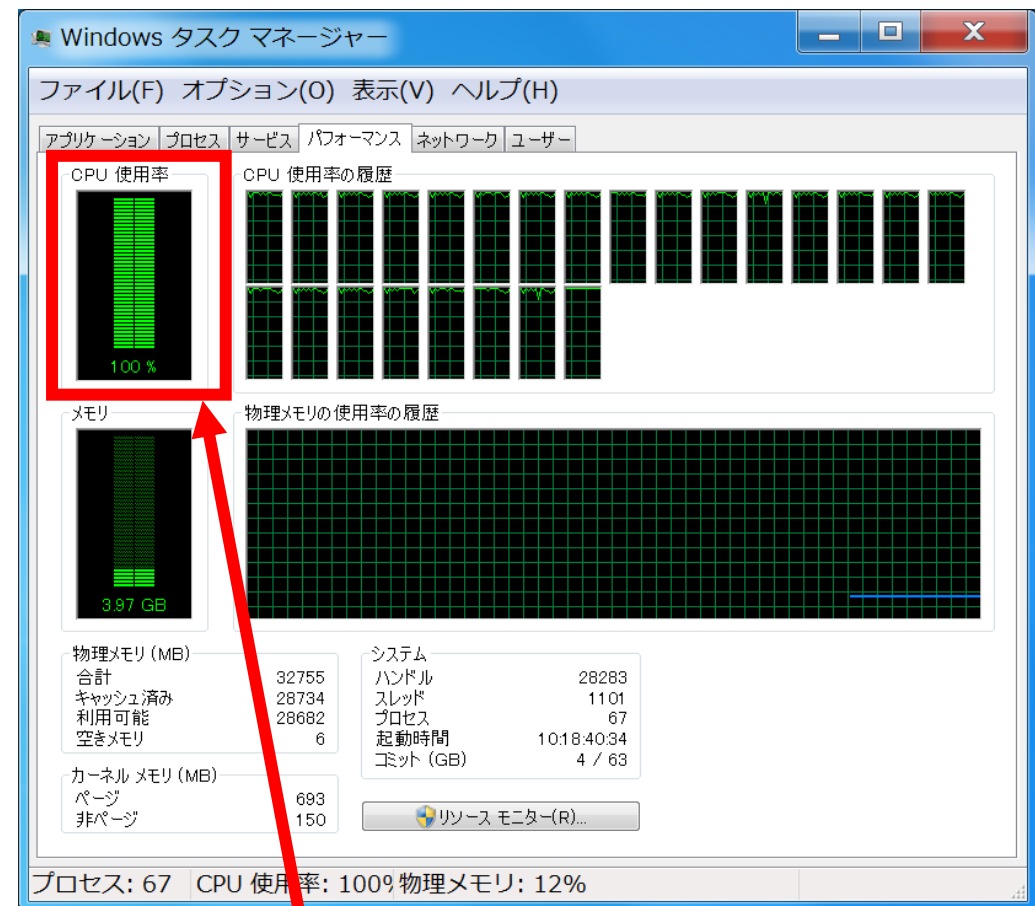
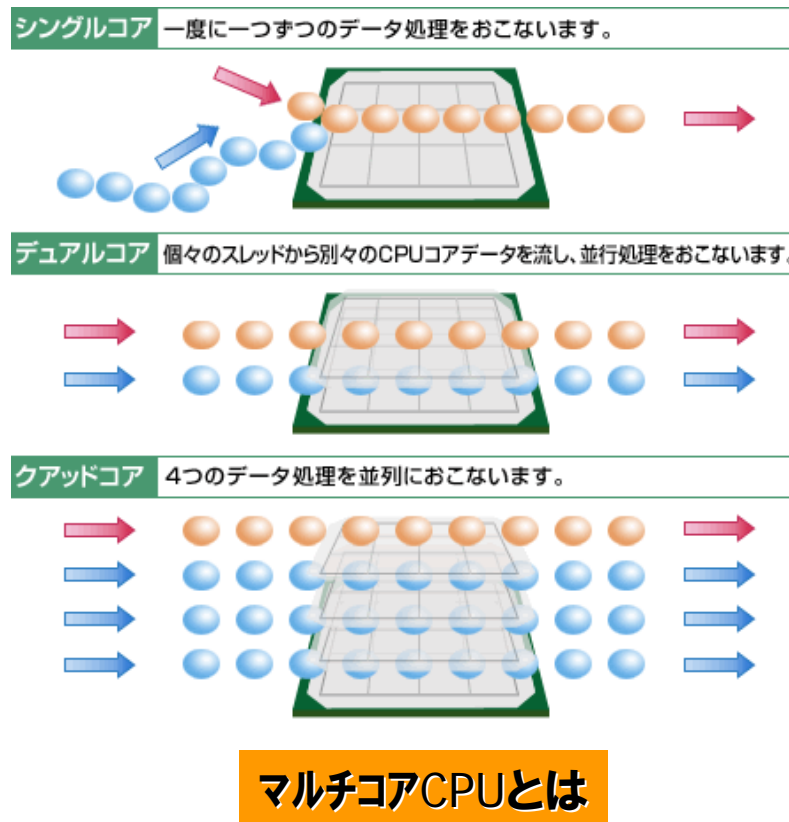
```
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
PARAMETER(MX=201,MY=201,MZ=51)
C
  DIMENSION X(MX,MY,MZ)
```

#### 静的配列

- ◆コンパイル時に静的に記憶領域を確保する.  
(基本的な記述)
- ◆プログラム中に宣言した配列を超えることはできない.

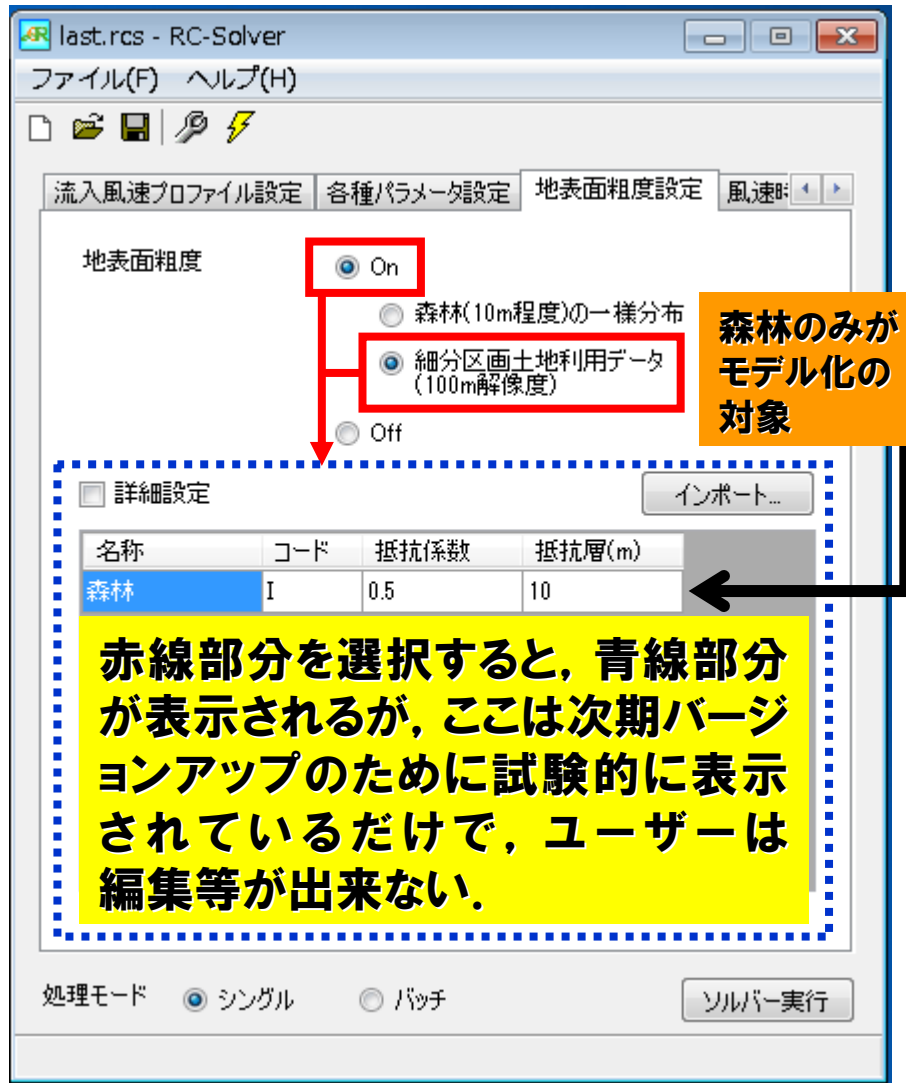
## 付録8 マルチコアCPUの動作状況の確認方法

Ctrl+Alt+Del キーを押し、現れたメニューから「タスクマネージャー」の「起動」を選択する。



100%に近い数値になっているかを確認する。

## 付録9 地表面粗度の取り扱いについて



現バージョンでは、

「地表面粗度」→「細分区画土地利用データ」

を選択した場合、「森林」のみがモデル化の対象となっている。

その「森林」も「10mの高さ」を仮定している。



■ 10mの高さを有する森林が、一様に分布

あるいは、

■ 10mの高さを有する森林が、国土地理院の細分区画土地利用データ(100m空間解像度)に基づいて非一様に分布

している状況がモデルの対象になっている。

## 付録10 流入風速プロファイルについて①

発電量評価  
(通常はこちらを用いる)

### 【べき法則(経験式)】

$$U_z = U_{10} \times \left( \frac{z}{10} \right)^\alpha$$

$U_z$ は高度 $z$ (m)での風速,  $\alpha (=1/n)$ はべき指数で高度による風速の変化率を表す.  $\alpha (=1/n)$ は地表面粗度に応じて平均的に下記の値を取るとされる.

■ 平坦な地形の草原, 海岸地帯:  $1/10 \sim 1/7$

■ 田園地帯:  $1/6 \sim 1/4$

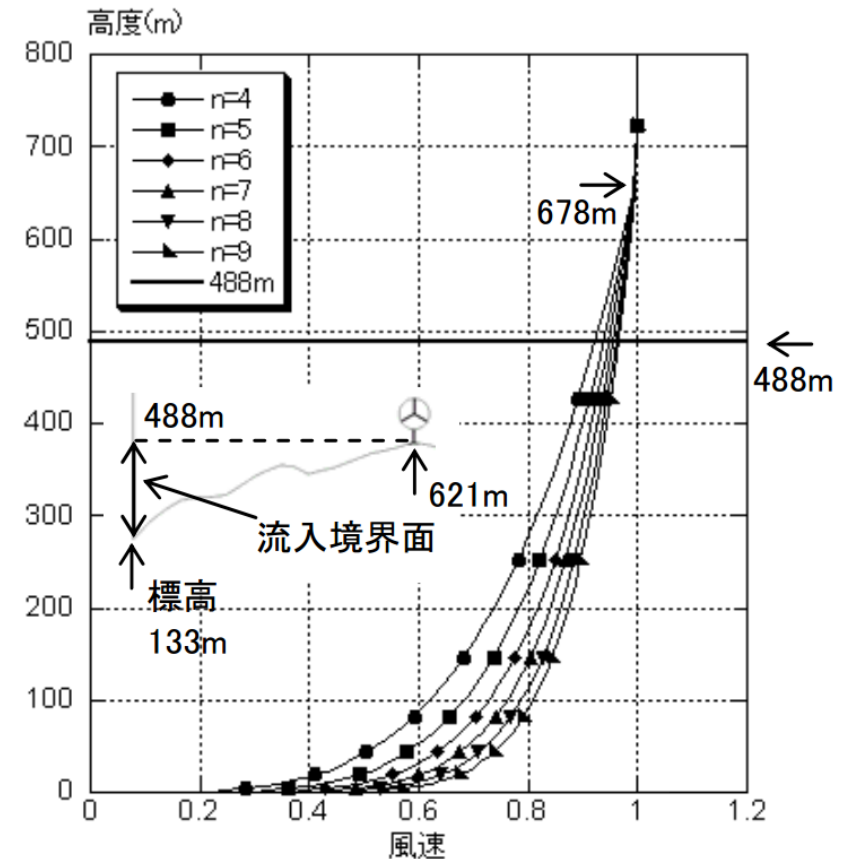
■ 森林地帯, 市街地:  $1/4 \sim 1/2$

補足

### 【対数則(理論式)】

$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0}$$

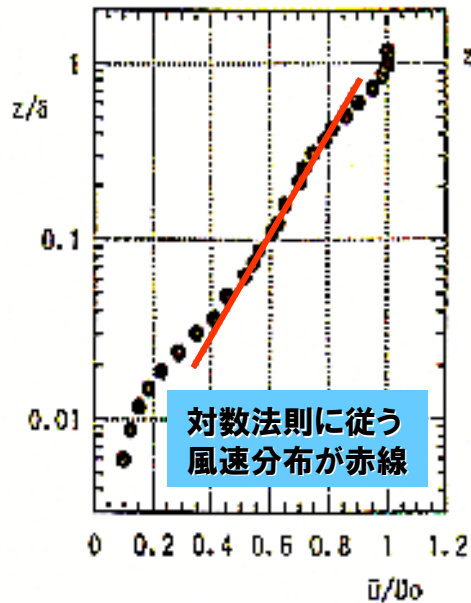
$U_z$ は高度 $z$ (m)での風速,  $u^*$ は摩擦速度,  $\kappa (\cong 0.4)$ はカルマン定数,  $z_0$ は粗度長である.



「複雑地形上の風車ハブ高さ風速に与える流入気流性状と標高データの影響」  
内田孝紀, その他4名, 第20回風工学シンポジウム論文集, pp.139-144, 2008  
より引用

## 付録10 流入風速プロファイルについて②

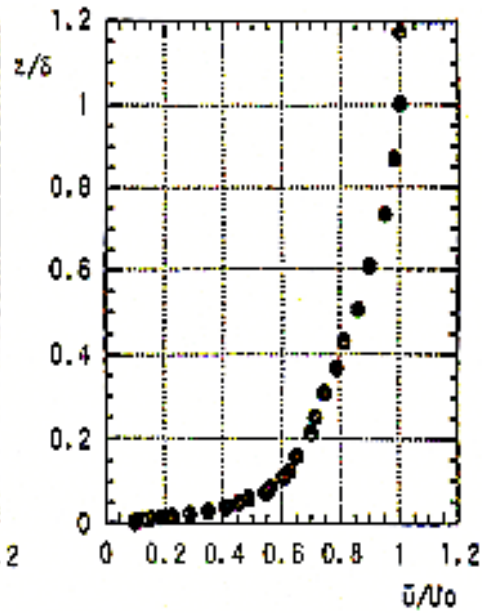
【対数則(理論式)】



a :  $u$ を横軸に,  $z$ を縦軸に示す。縦軸には対数軸を用いている。図中, 対数法則に従う風速分布を実線で示した。

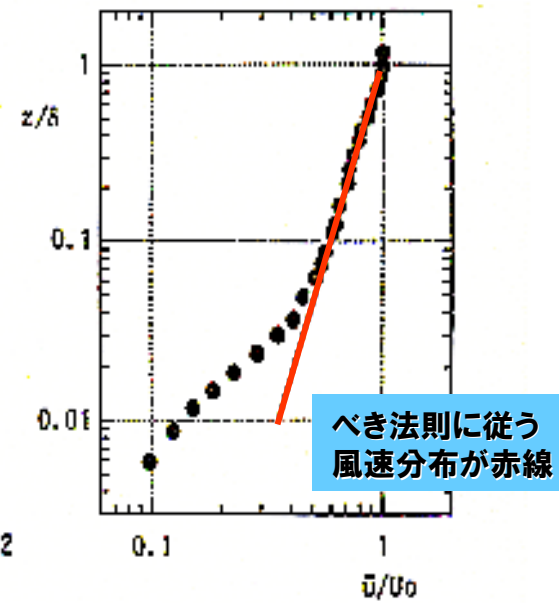
縦軸(対数軸): 高度  
横軸(線形軸): 風速

【べき法則(経験式)】



b :  $u$ を横軸に,  $z$ を縦軸に示す。

縦軸(線形軸): 高度  
横軸(線形軸): 風速



c :  $u$ を横軸に,  $z$ を縦軸に示す。縦・横軸とも対数軸を用いている。図中, べき法則に従う風速分布を実線で示した。

縦軸(対数軸): 高度  
横軸(対数軸): 風速

同じ風速分布を表示方法を変えた結果

## 付録10 流入風速プロファイルについて③

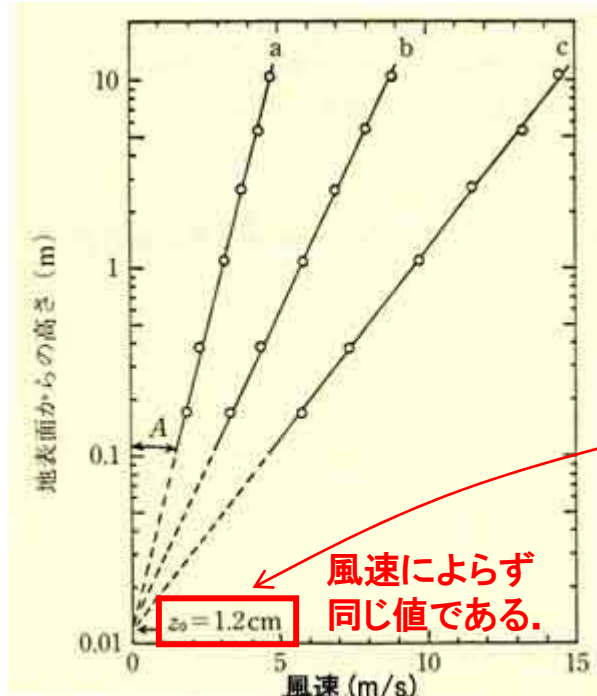
### 対数則(大気安定度は中立)

中立とは、上下の温度差に対して、風速が強い場合である。具体的には、高度10mと1mの温度差が1℃で、風速が10m/sであれば高度10m以下の大気層は近似的に中立状態とみなしてよい。

$$u(z) = \boxed{u_* / \kappa} \ln(z/z_0) \quad \text{傾き(下図のA)}$$

$\kappa$ : カルマン定数で0.4が一般的である。  $u_*$ : 摩擦速度,  $z_0$ : 粗度長

a: 弱風時, b: 並みの風速時, c: 強風時



風速の変化割合が急激なところを詳しく見るために、高さを対数目盛りのグラフで見ると分かりやすい。

→ 下層の風速分布が拡大される！

「空気力学的粗度」, 略して「粗度」という。

「粗度 $z_0$ 」の意味は、実際の風速が高度 $z_0$ でゼロになるのではなく、接地境界層内で成立する風速分布(実線)を下方に点線で示すように延長して $U=0$ の座標軸を切る高さのことである。



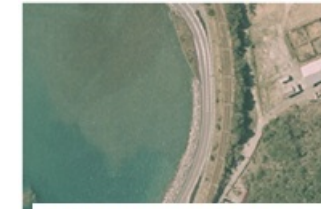
# 付録10 流入風速プロファイルについて④

## 設計風速評価

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

地表面粗度区分	I	II	III	IV
$Z_b$ (m)	5	5	10	20
$Z_G$ (m)	250	350	450	550
$\alpha$	0.1	0.15	0.2	0.27

10 6.7 5 3.7



地表面粗度区分 I



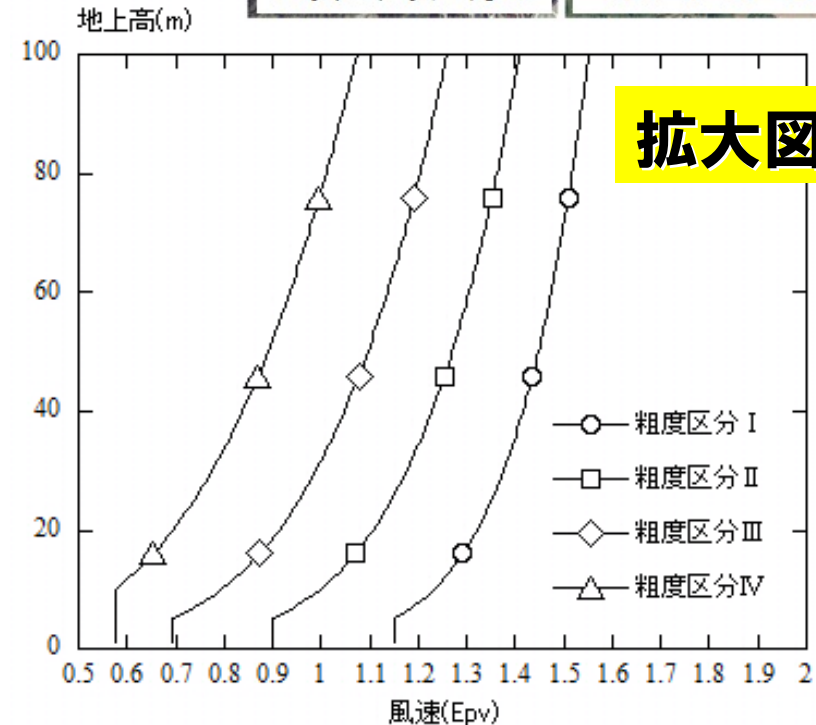
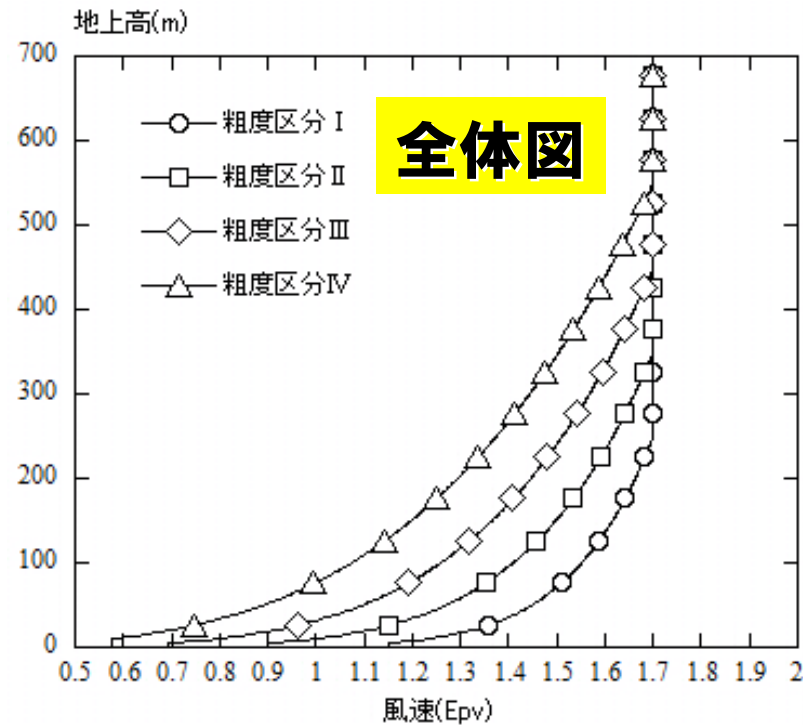
地表面粗度区分 II



地表面粗度区分 III



地表面粗度区分 IV

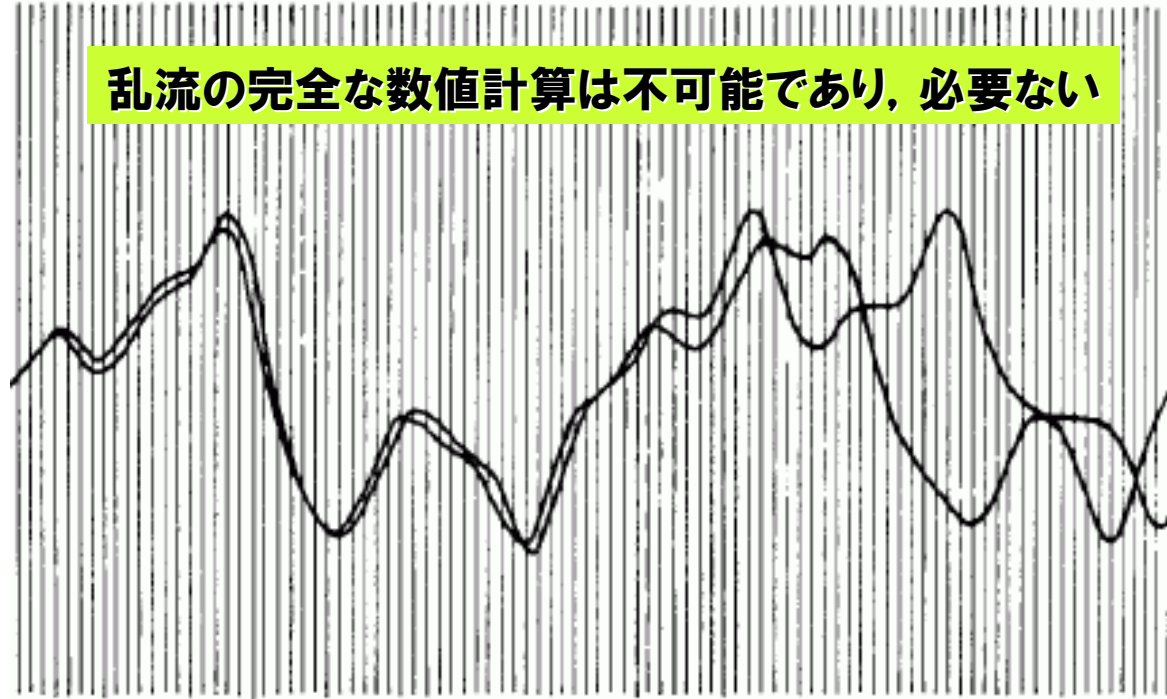




## 付録10 流入風速プロファイルについて⑤

### 初期値敏感性

乱流の完全な数値計算は不可能であり、必要ない



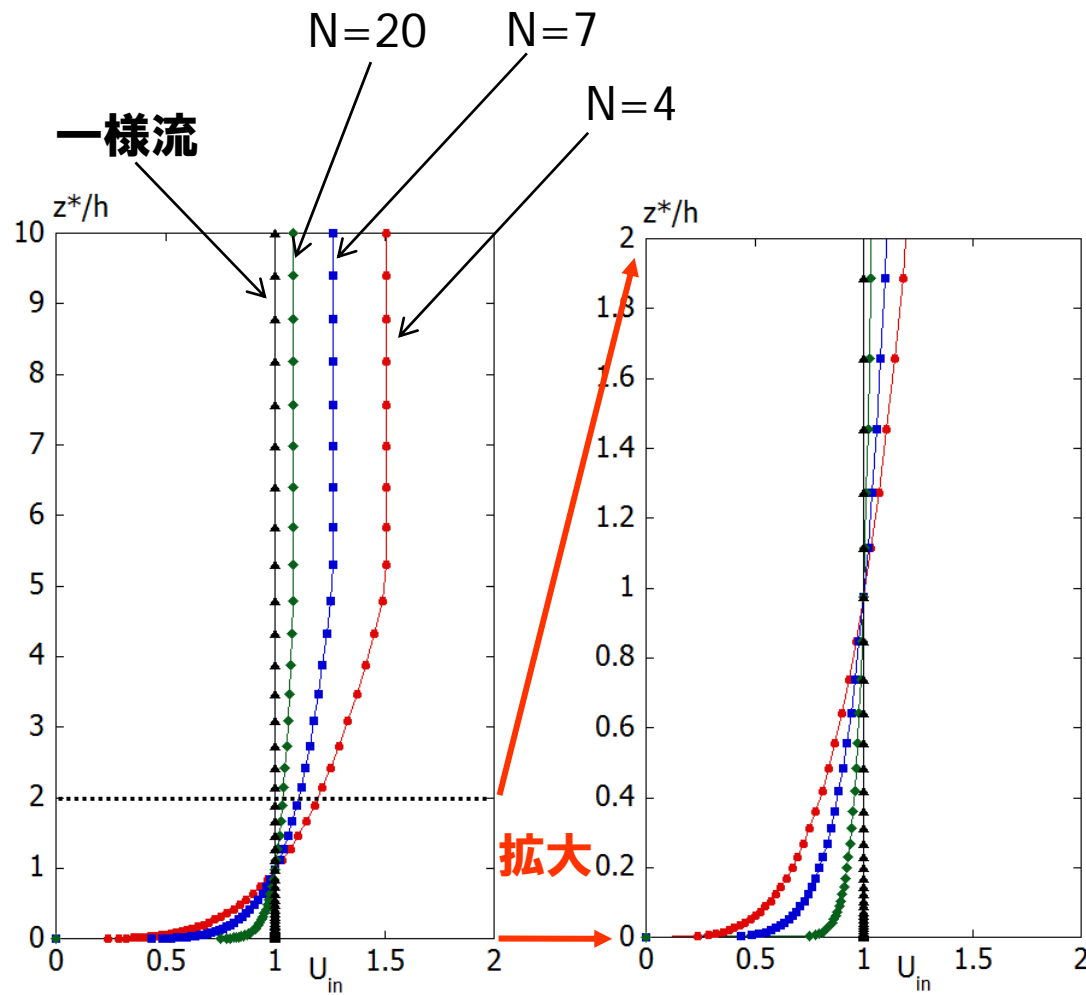
初期値の1/1000の違いによる天気予報のずれ(バタフライ効果)



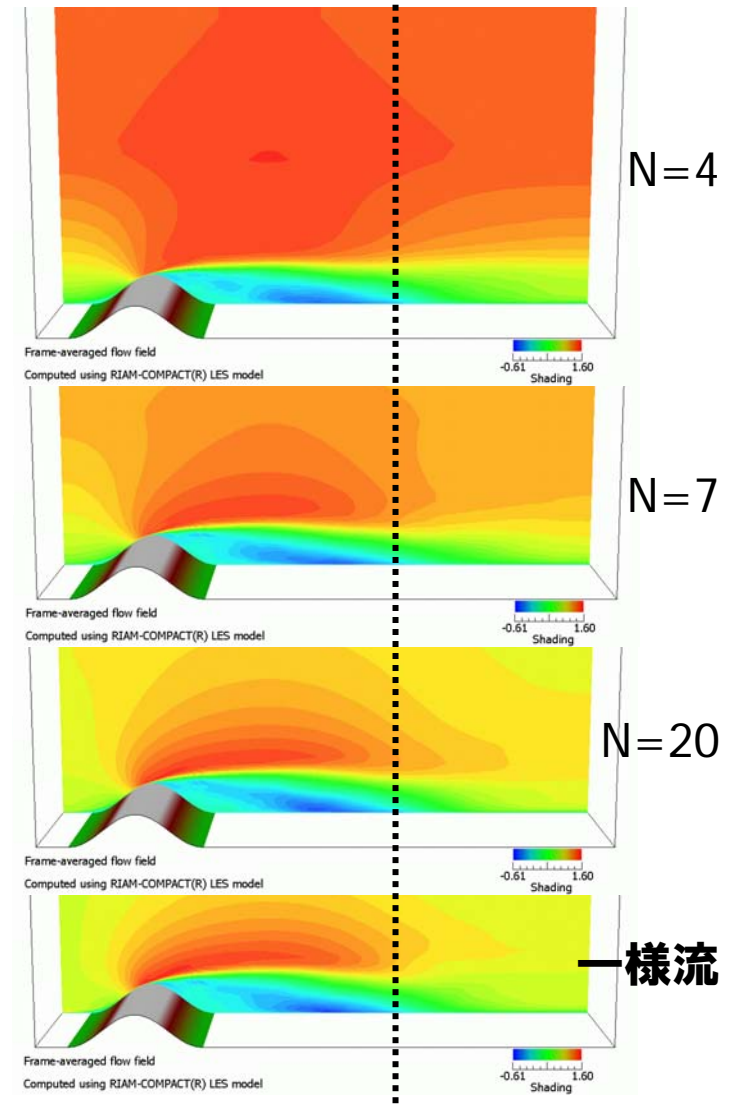
エドワード・ローレンツ(Edward Norton Lorenz):

1960年、気象の数値モデルで初期条件の小さな違いが結果に大きな違いをもたらすことを発見。チョウの羽ばたきが竜巻を起こし得ることに例えて「バタフライ効果」と表現されるカオス理論を提唱した。

# 付録10 流入風速プロファイルについて⑥



有意な差異は無い！



## 付録11 流出境界面に自動的に付加する袖領域①

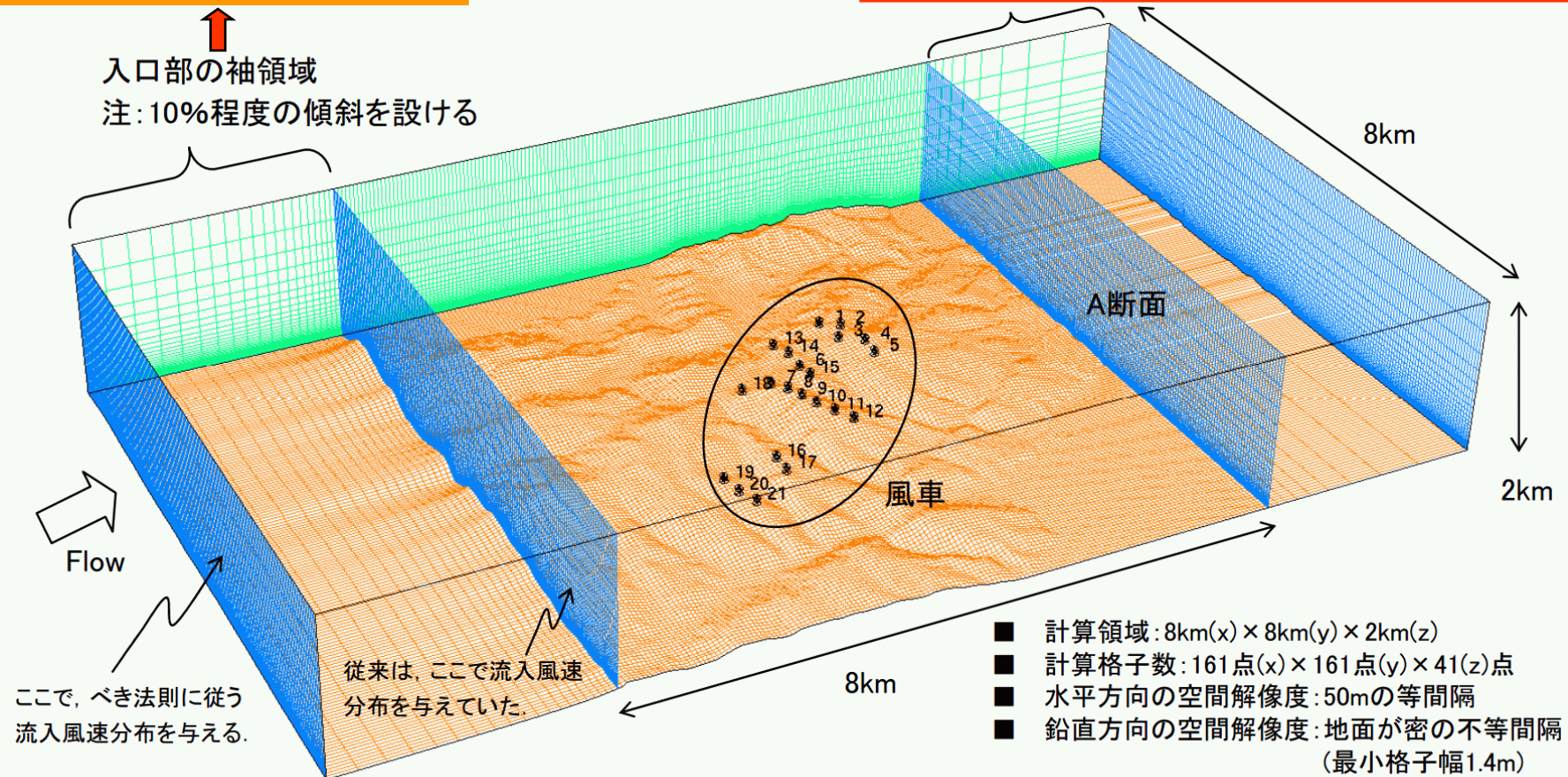
- 計算を安定に進めるため、数値風況ソルバー内で(計算が開始されると同時に)自動的に流出境界面に袖領域を付加している。
- ユーザーは特に意識する必要はない。

次期バージョンアップで実装予定

↑  
入口部の袖領域  
注: 10%程度の傾斜を設ける

出口部の袖領域  
注: A断面を延長

→ 現行バージョンアップで実装済



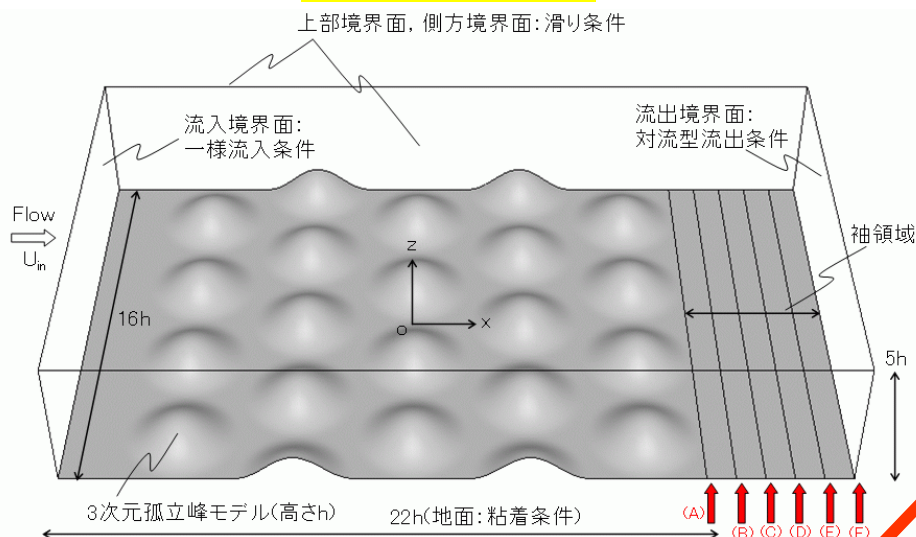
「複雑地形上の風車サイトを対象にした風況の品質管理と風車の運転制御」

内田孝紀, その他2名, 日本風力エネルギー学会誌, Vol.38, No.3, 通巻111, pp.344-349, 2014 より引用



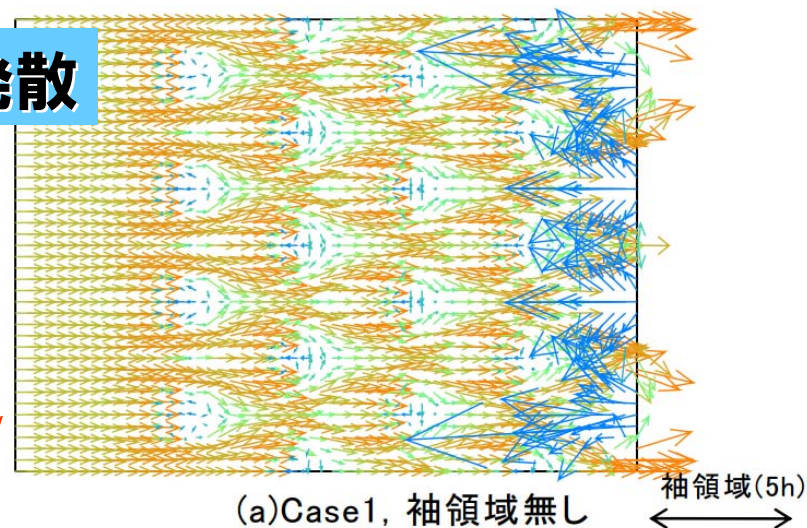
## 付録11 流出境界面に自動的に付加する袖領域②

### 解析事例



	追加した袖領域	主流方向全体の長さ	メッシュ数
Case1 Fig.1(A)	0h	22h	111 × 81 × 41
Case2 Fig.1(B)	1h	23h	116 × 81 × 41
Case3 Fig.1(C)	2h	24h	121 × 81 × 41
Case4 Fig.1(D)	3h	25h	126 × 81 × 41
Case5 Fig.1(E)	4h	26h	131 × 81 × 41
Case6 Fig.1(F)	5h	27h	136 × 81 × 41

発散



安定

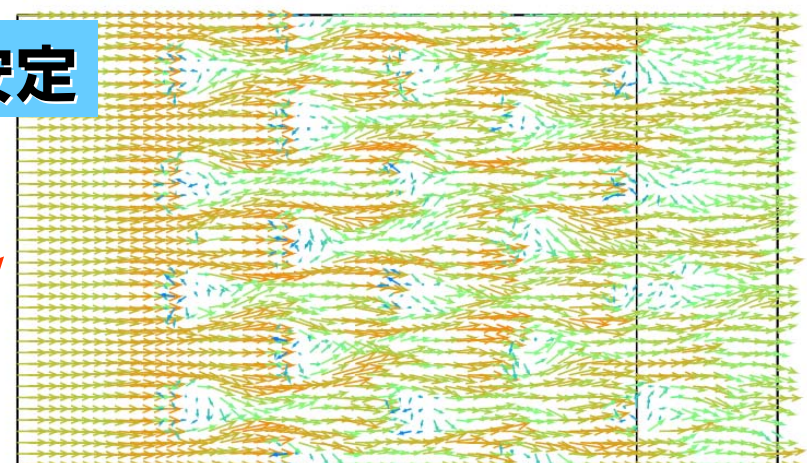


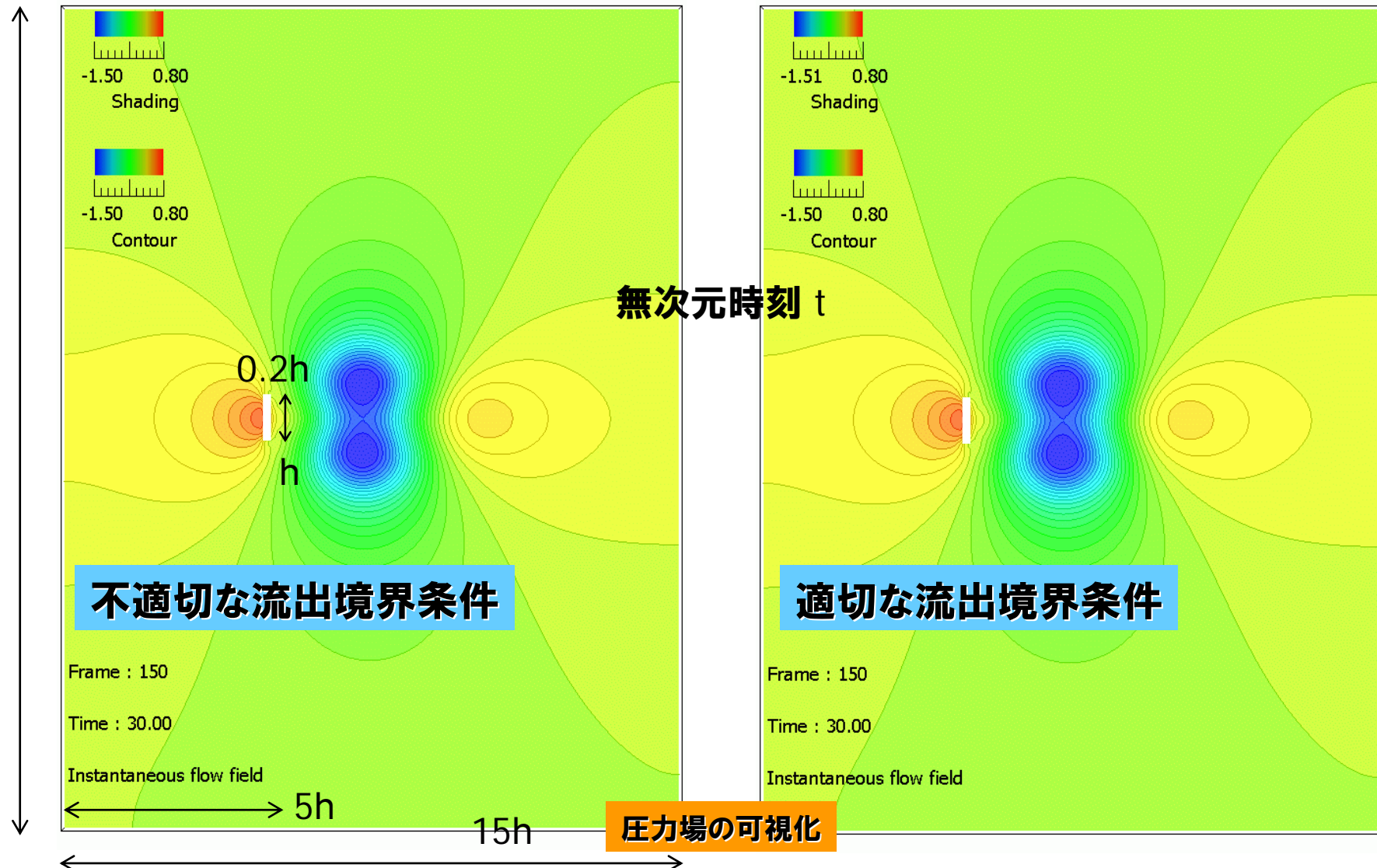
Fig.3 Comparison of velocity vector at  $z^*=0.5h$

「複雑地形上の非定常風況シミュレーションにおける流出境界断面の取扱いについて」  
内田孝紀, 大屋裕二, 九州大学応用力学研究所所報, 第129号, 129-133, 2005 より引用

# 付録11 流境界面に自動的に付加する袖領域③

## 一流境界条件の重要性

20h

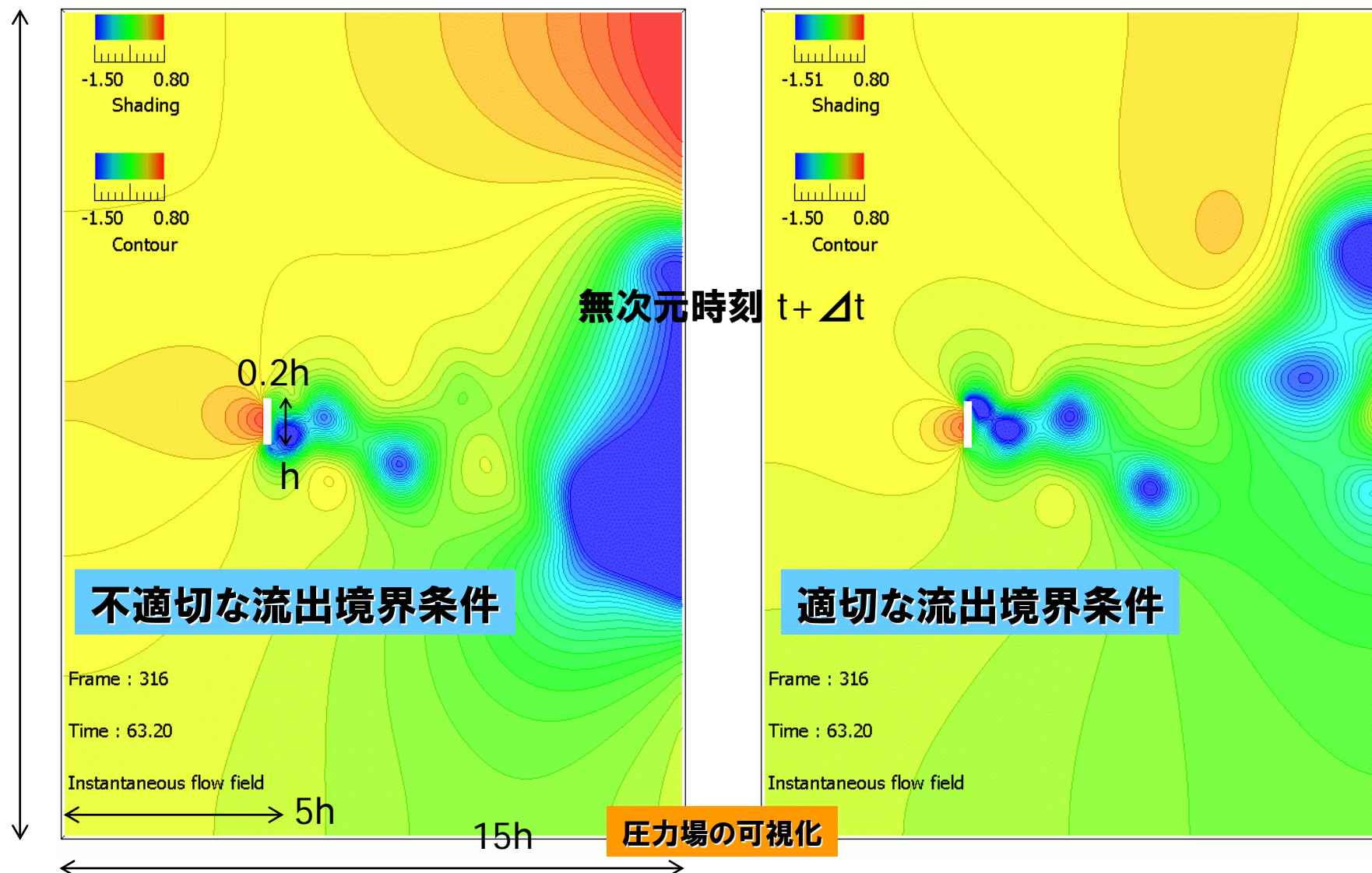




## 付録11 流出境界面に自動的に付加する袖領域④

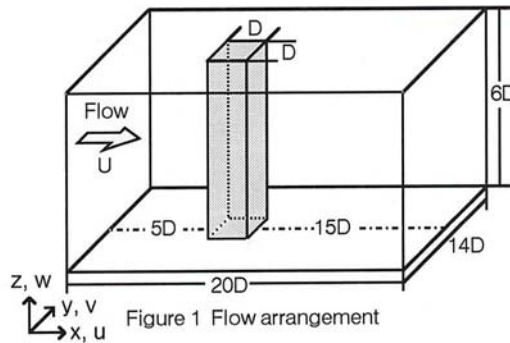
### 一流出境界条件の重要性—

20h



## 付録12 計算安定化パラメータについて

「計算安定化パラメータ」とは、「数値粘性項の係数」のこと。



	Finite difference scheme of convective term	
	Central difference scheme	Additional numerical viscosity
DNS1	2nd-order accuracy <sup>5)</sup>	no
DNS2	4th-order accuracy <sup>5)</sup>	6th-order derivative <sup>6)</sup>
DNS3		4th-order derivative ( $\alpha=0.1$ )
DNS4		4th-order derivative ( $\alpha=3$ , K-K type <sup>7)</sup> )

Reynolds number :  $Re=UD/\nu=1000$   
 Mesh points (x)×(y)×(z) : 201×101×61, DNS1 ;  
 101×71×31, DNS2—DNS4  
 Time step : 0.001, DNS1 ; 0.002, DNS2—DNS4

Table 1 Calculation condition

$$\left[ u \frac{\partial u}{\partial x} \right]_{i,j,k} = \left[ \bar{u}^x \delta_x u^x \right]_{i,j,k} +$$

staggered gridに適した中心差分

計算安定化  
パラメータ

$$\alpha \left| u_{i,j,k} \right| \frac{u_{i+2,j,k} - 4u_{i+1,j,k} + 6u_{i,j,k} - 4u_{i-1,j,k} + u_{i-2,j,k}}{12\Delta x}$$

4階微分の数値粘性項  $\Rightarrow \alpha=0.05, 0.1, 3$ (K-Kスキームタイプ)

本研究：中心差分項 $\Rightarrow$ 4次精度中心差分(4点差分・4点補間)

【4点差分】  $[\delta_x f]_{i,j,k} = \frac{-f_{i+3/2,j,k} + 27(f_{i+1/2,j,k} - f_{i-1/2,j,k}) + f_{i-3/2,j,k}}{24\Delta x}$

【4点補間】  $[\bar{f}^x]_{i,j,k} = \frac{-f_{i+3/2,j,k} + 9(f_{i+1/2,j,k} + f_{i-1/2,j,k}) - f_{i-3/2,j,k}}{16}$

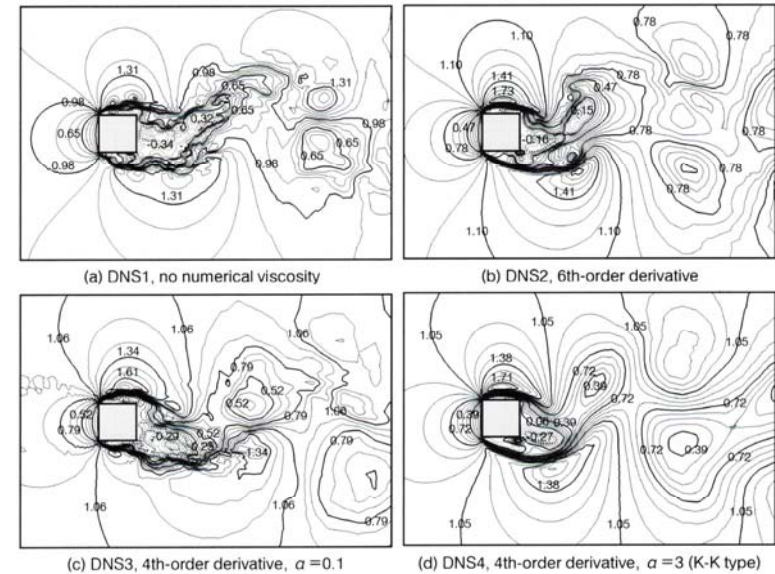
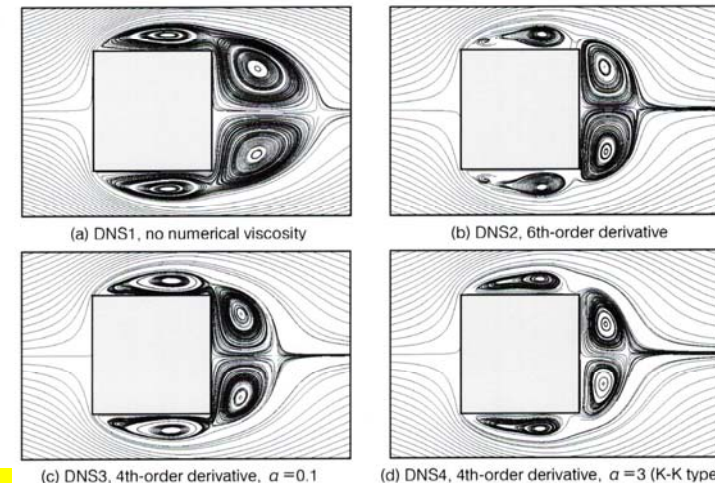


Figure 2 Instantaneous contour lines of the streamwise velocity component ( $u/U$ ) in the x-y plane ( $z=3D$ ),  $Re=1000$ , (a) 201×101×61 mesh points, (b)-(d) 101×71×31 mesh points



(c) DNS3, 4th-order derivative,  $\alpha=0.1$  (d) DNS4, 4th-order derivative,  $\alpha=3$  (K-K type)

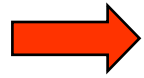
Figure 3 Streamlines for the time-averaged flow field,  $Re=1000$ , (a) 201×101×61 mesh points, (b)-(d) 101×71×31 mesh points, The spatial averaging in the spanwise direction ( $z$ ) was made.

内田孝紀, 大屋裕二, 角柱周辺流れの3次元数値シミュレーション

-風上差分による数値粘性の影響-, 日本風工学会 年次研究発表会, 1999年5月より引用

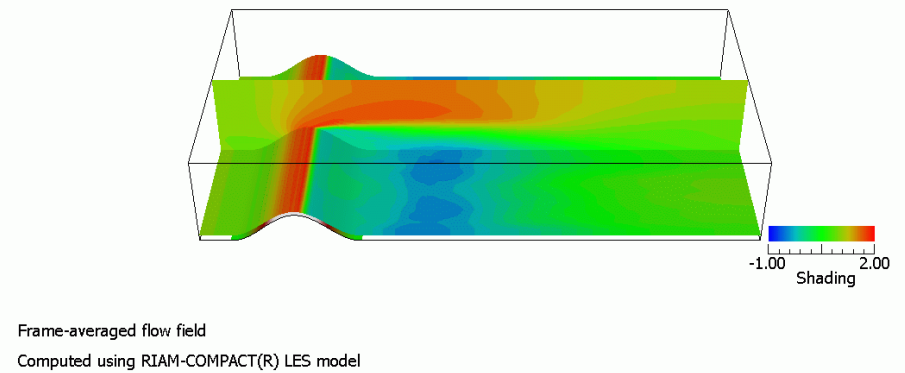
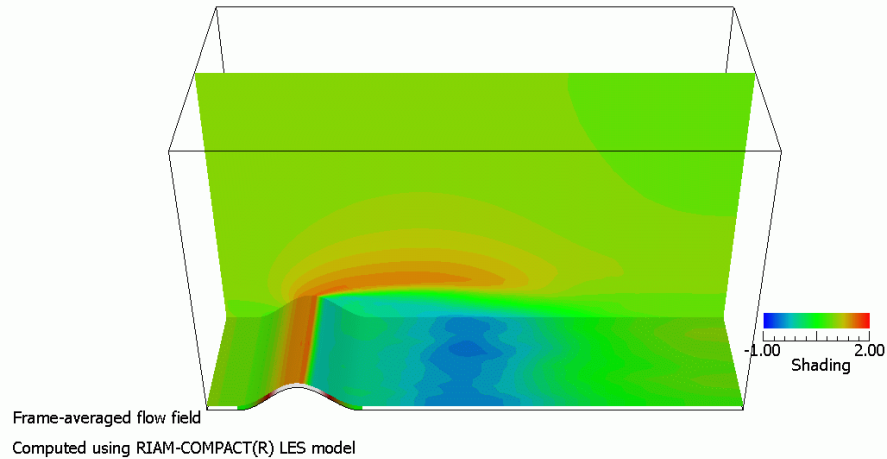
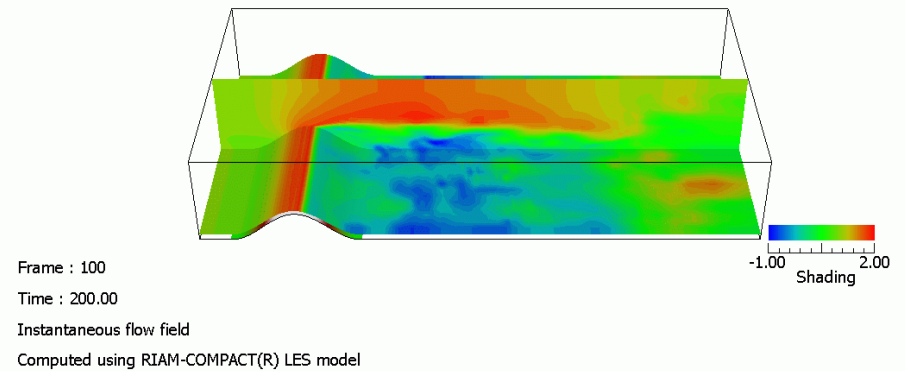
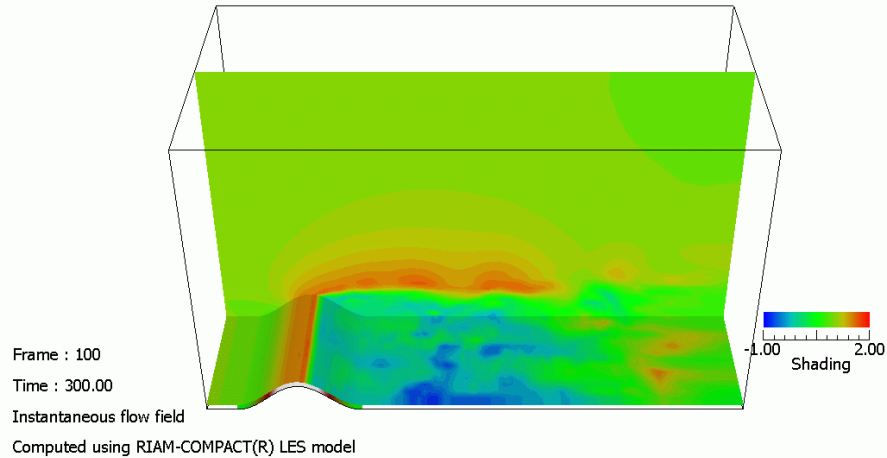


## 付録13 鉛直方向の領域(ブロッケージ比)について



一様流入条件,  $Re=10^4$

山の頂上付近の風速に明らかな違いがある！



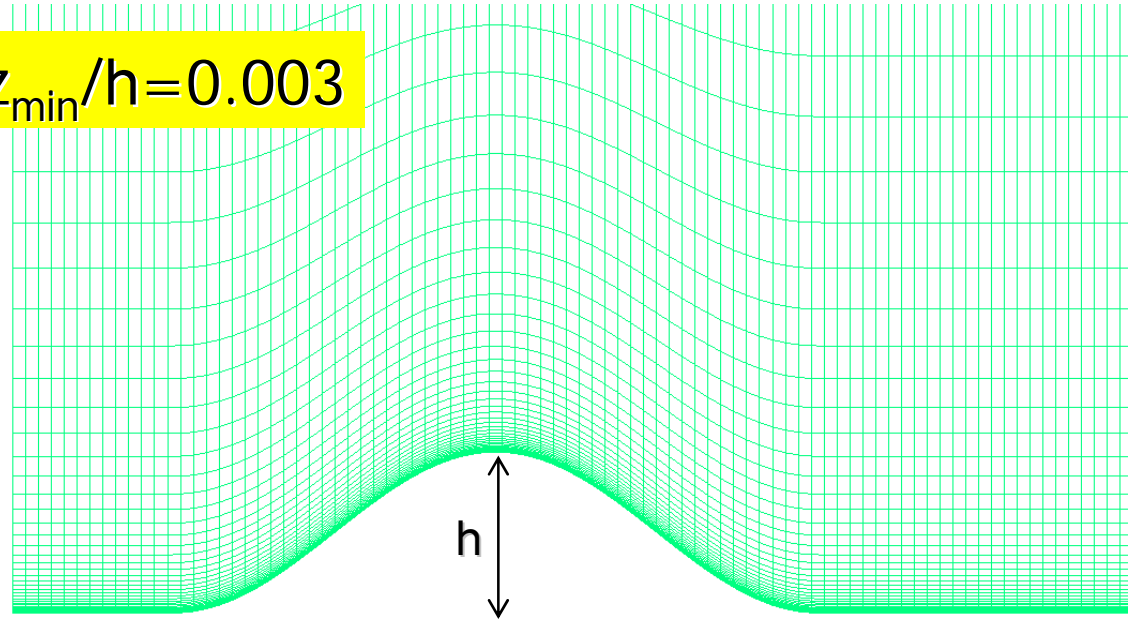
$H/h=10$

H: 計算領域の鉛直方向高さ, h: 山の高さ

$H/h=3$

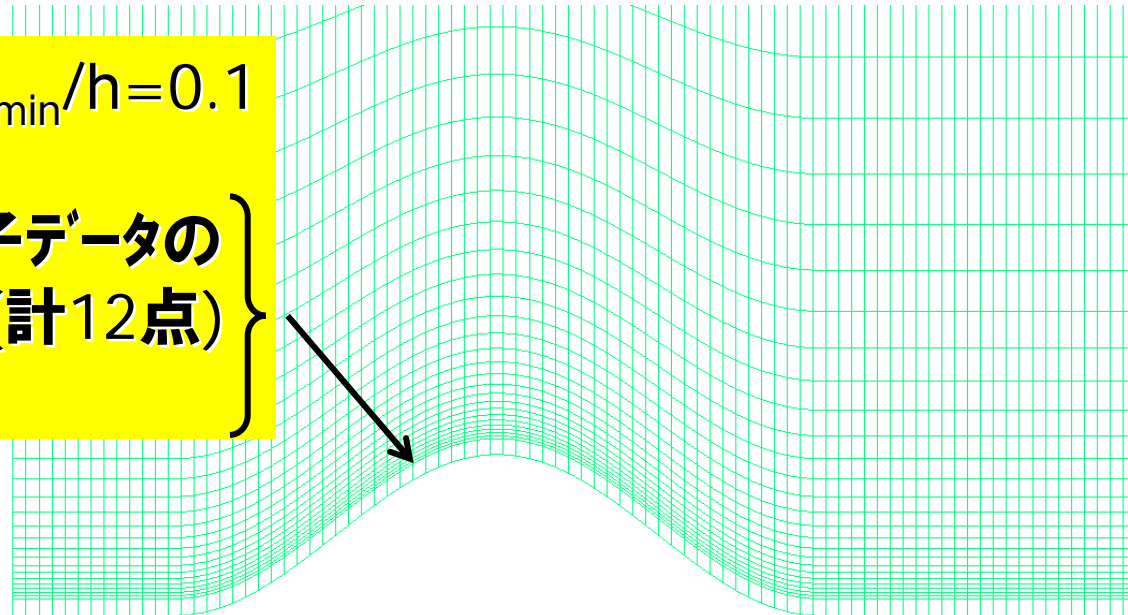
付録14 鉛直方向の最小メッシュ幅について①

Case1 :  $\Delta z_{\min}/h=0.003$

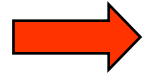


Case2 :  $\Delta z_{\min}/h=0.1$

Case1の格子データの  
k=2~13点(計12点)  
を削除した.

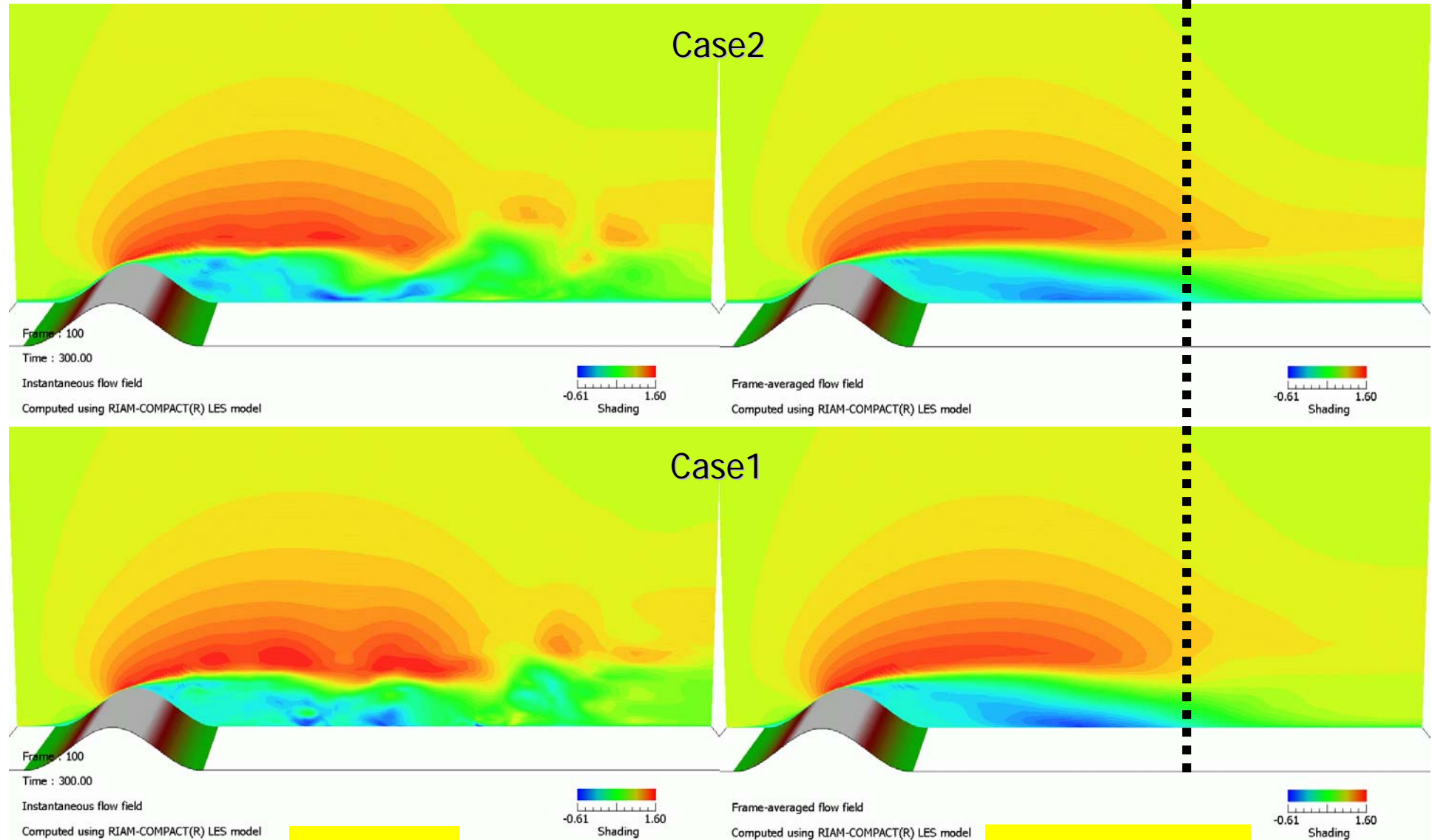


## 付録14 鉛直方向の最小メッシュ幅について②



一様流入条件,  $Re=10^4$

有意な差異は無い！



瞬間場

時間平均場

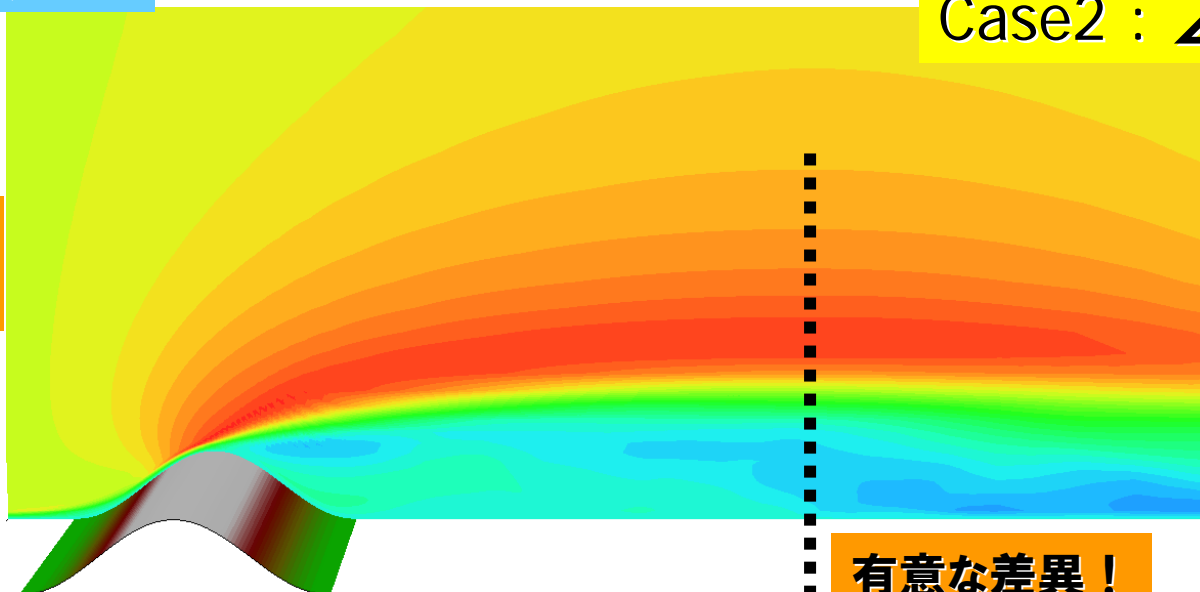
# 付録14 鉛直方向の最小メッシュ幅について③



一様流入条件,  $Re=10^4$

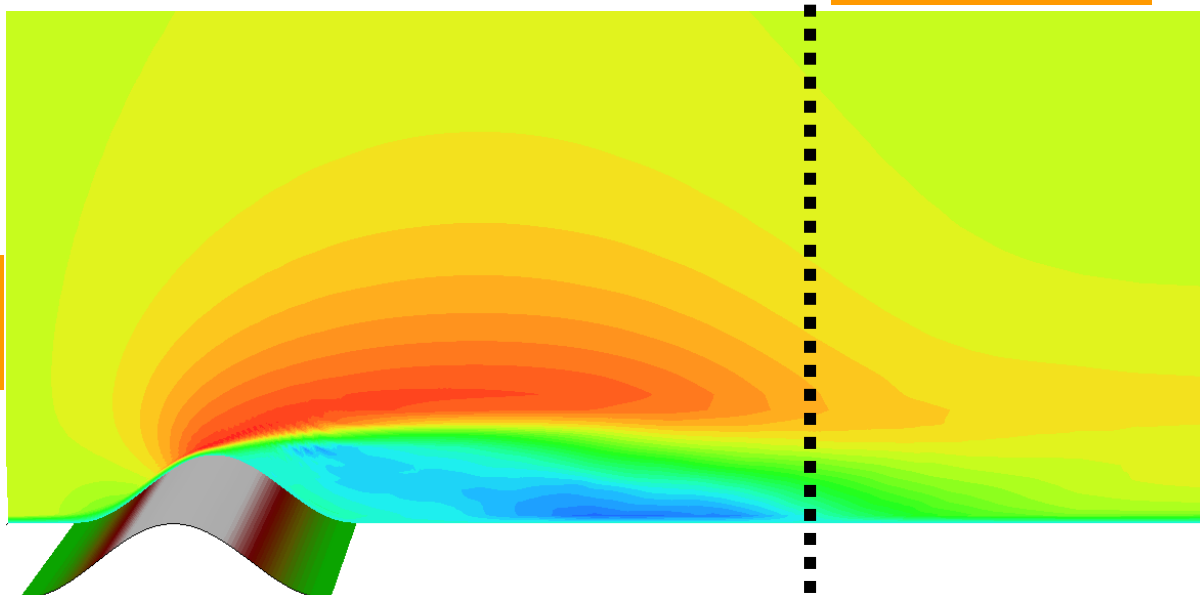
Case2 :  $\Delta z_{min}/h=0.1$

数値粘性項の  
係数 = 3.0

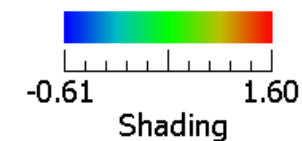


有意な差異！

数値粘性項の  
係数 = 0.5



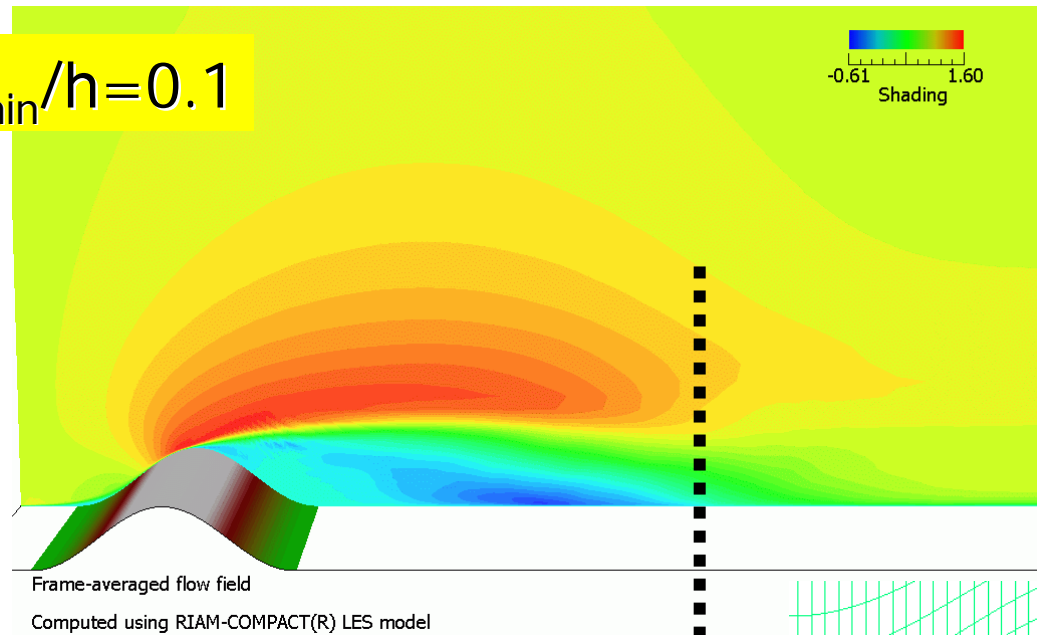
時間平均場



# 付録14 鉛直方向の最小メッシュ幅について④

Case2 :  $\Delta z_{\min}/h=0.1$

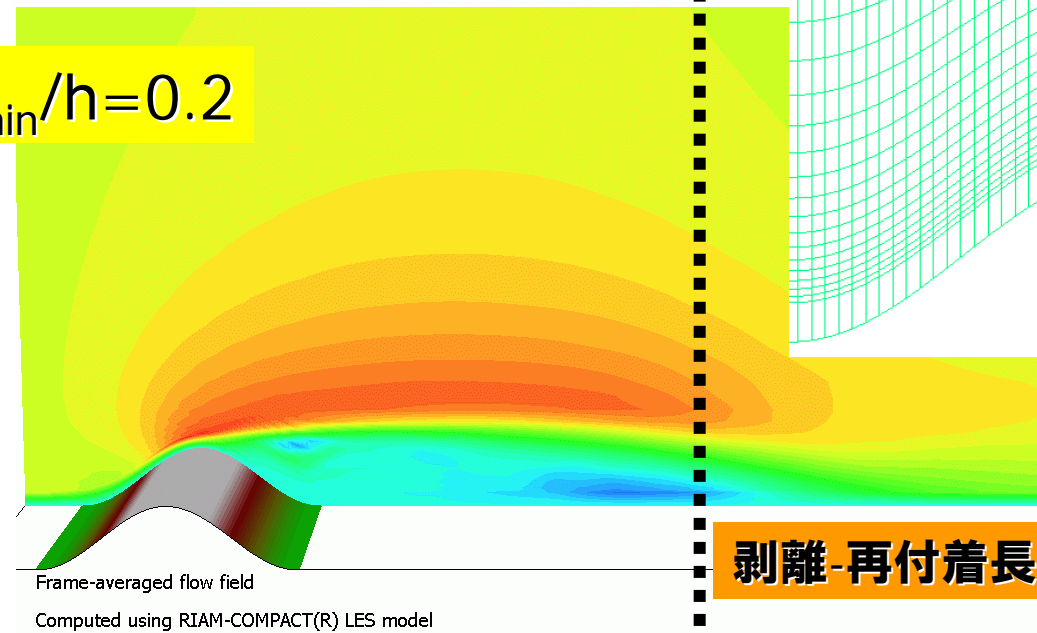
一様流入条件,  $Re=10^4$



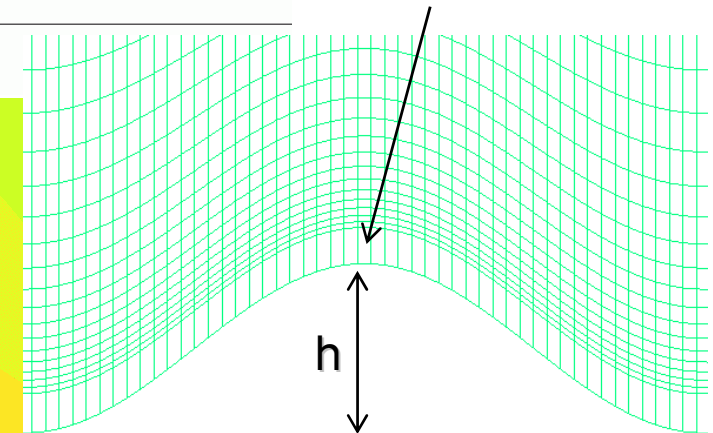
Case1の格子データの  
 $k=2\sim 18$ 点(計17点)  
を削除した。

$\Delta z_{\min}/h=0.2$

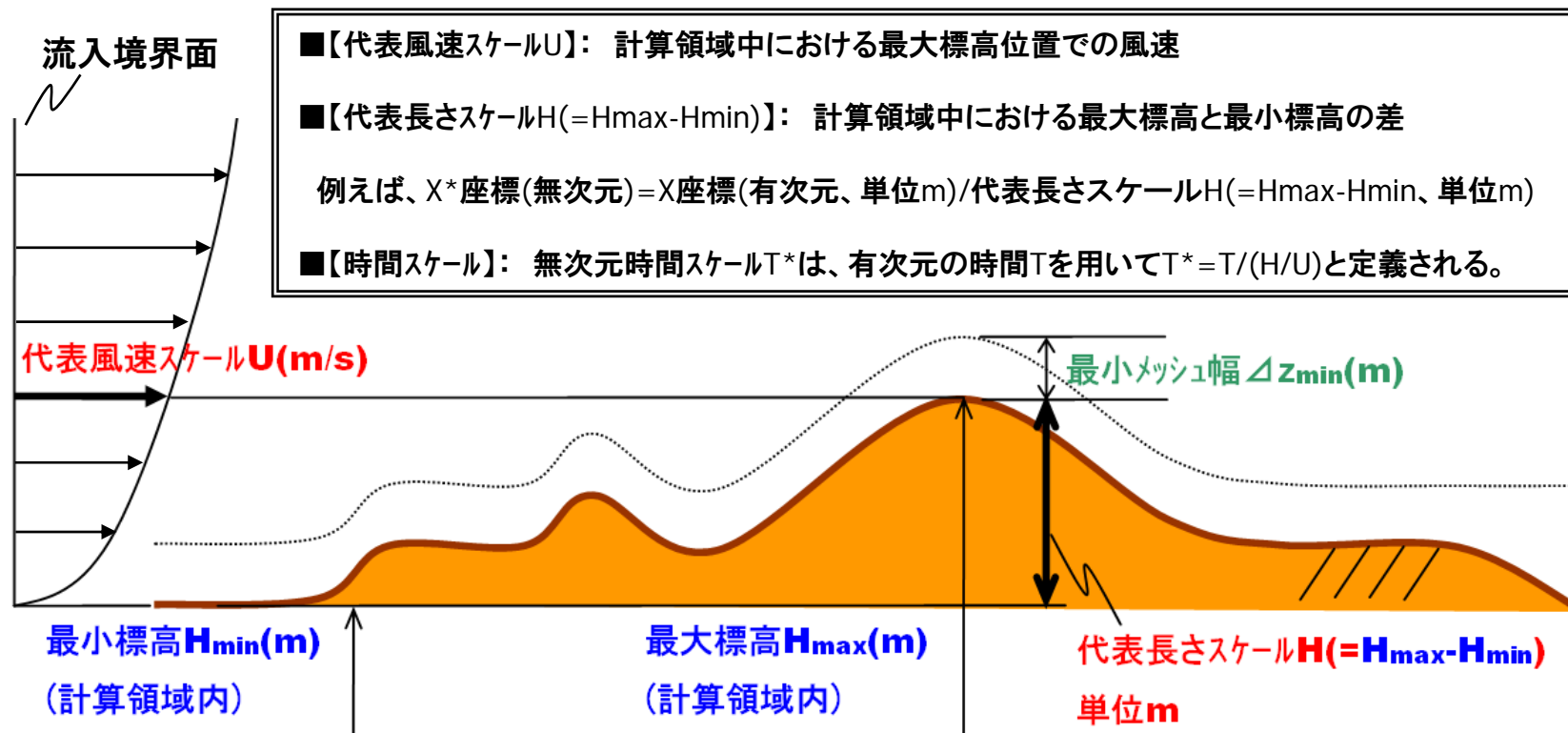
Case3 :  $\Delta z_{\min}/h=0.2$



剥離-再付着長さの伸長



## 付録15 代表スケールの取り扱い①



上記の代表スケール  $U$  (m/s) および  $H$  (m) から、無次元パラメータ  $Re$  数(レイノルズ数)が定義される。



23 Aug 1842 - 21 Feb 1912, England

$$Re = \frac{\text{Inertial Force}}{\text{Viscous Force}} = \frac{UH}{(\mu / \rho)} = \frac{UH}{\nu}$$

但し、空気の動粘性係数:  $\nu = 1.5 \times 10^{-5} \text{ (m}^2/\text{s)}$



## 付録15 代表スケールの取り扱い②

■数値風況ソルバーでは、室内風洞実験を数値的に再現しているイメージである。  
(流体工学的なCFDは屋外スケールの風速階級を再現するものではない)

■風速の設定は有次元で $U=10(\text{m/s})$ と指定しているが、内部では前ページのレイノルズ数に換算し直している(つまり、無次元スケールとして取り扱っている)。

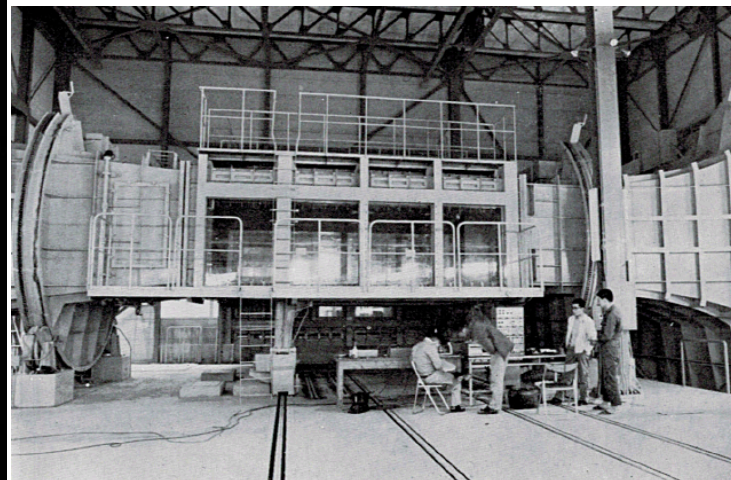
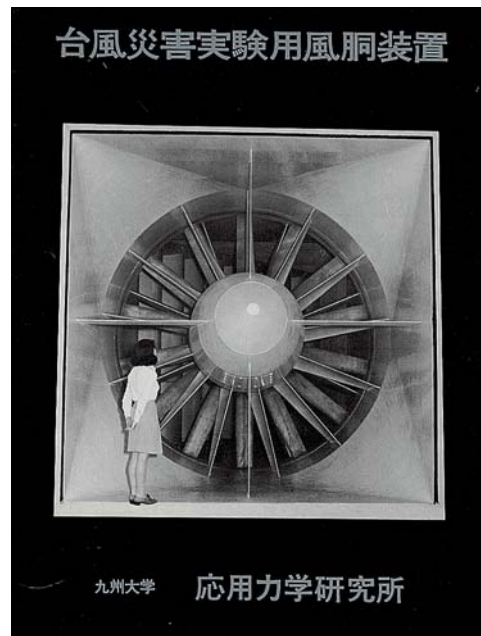
RC内の基準

$$U = 10(\text{m/s}) \Rightarrow Re = 10^4$$

プログラム内での記述は下記の通り  
 $RE = 10000.DO / 10.DO * UVEC$   
RE:レイノルズ数, UVEC:設定風速

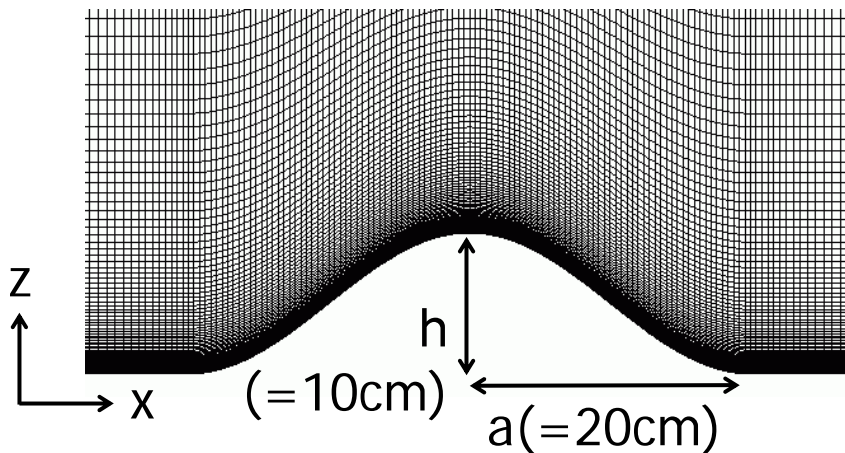
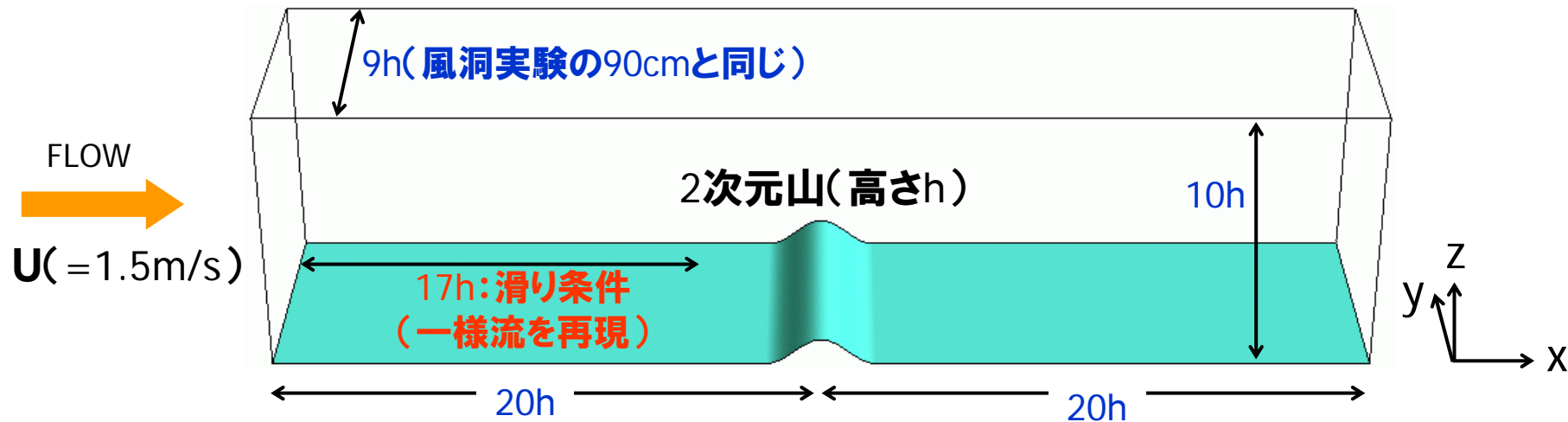
■レイノルズ数のオーダーを1ケタ上げたい場合には、  
 $U=100(\text{m/s})$ と設定する必要がある。

### 参考資料



## ギャラリー①

一様流中の単純地形を対象とした予測精度の検証: 2次元山の場合



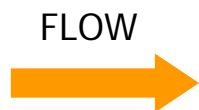
2次元山近傍の計算格子

- ◎レイノルズ数:  $Re(=Uh/\nu)=10000$
- ◎格子点数:  $241(x) \times 91(y) \times 101(z)$  点
- ◎格子幅:  $\Delta x=0.04h \sim 1h$ ,  $\Delta y=0.1h$ (等間隔),  $\Delta z=0.0035h \sim 0.5h$
- ◎2次元山の断面形状: コサイン形状  
 $z(x)=0.5h \times (1+\cos(\pi x/a))$ , 但し,  $a=2h$
- ◎無次元時間刻み:  $\Delta t=0.002$

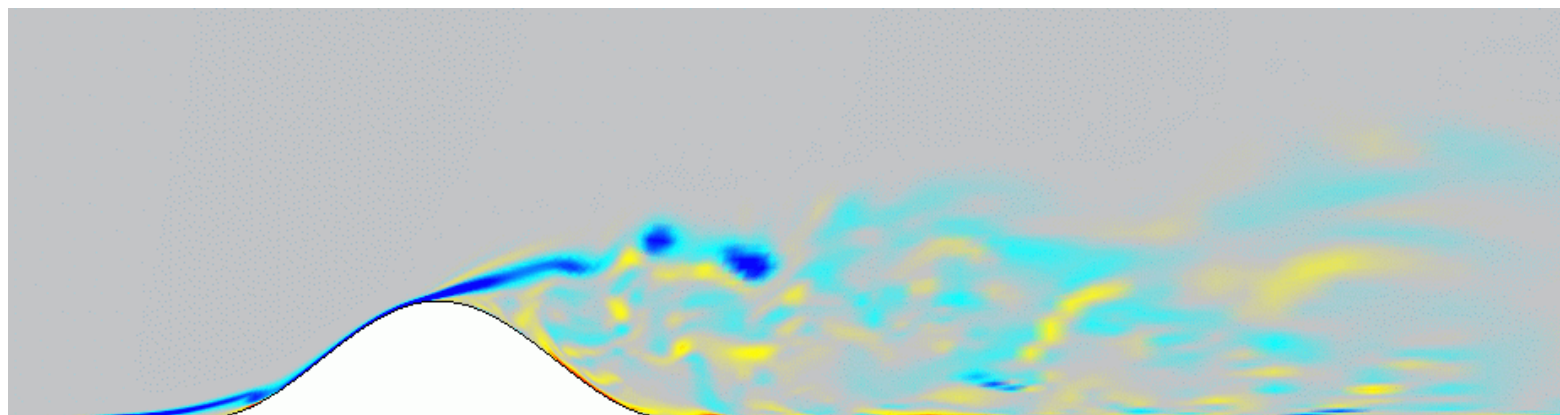
「一様流中に置かれた急峻な単純地形まわりの気流性状の評価—2次元尾根モデルの場合—」

内田 孝紀, 杉谷 賢一郎, 大屋 裕二, 日本風工学会論文集, No.100, pp.35-43, 2004 より引用

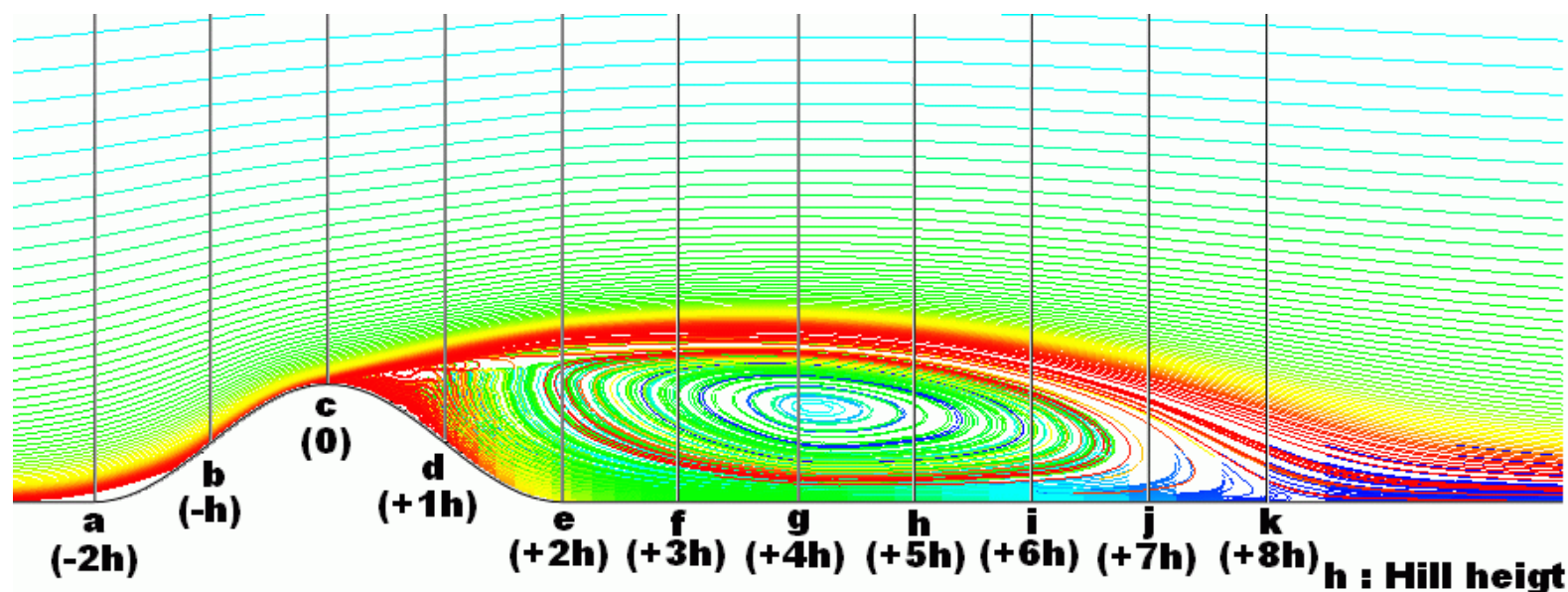
[http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus\\_detail\\_image/JWEA\\_Ridge\\_2004.pdf](http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus_detail_image/JWEA_Ridge_2004.pdf)



## 流れの可視化



瞬間場, 渦度の分布( $\omega_y = \pm 12$ ), スパン中央断面( $y=0$ )

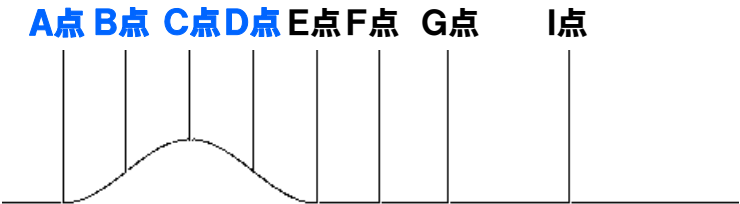


時間平均場( $\Delta t=100$ ), 流線図, スパン方向平均有り, 再付着長さは約 $8h$

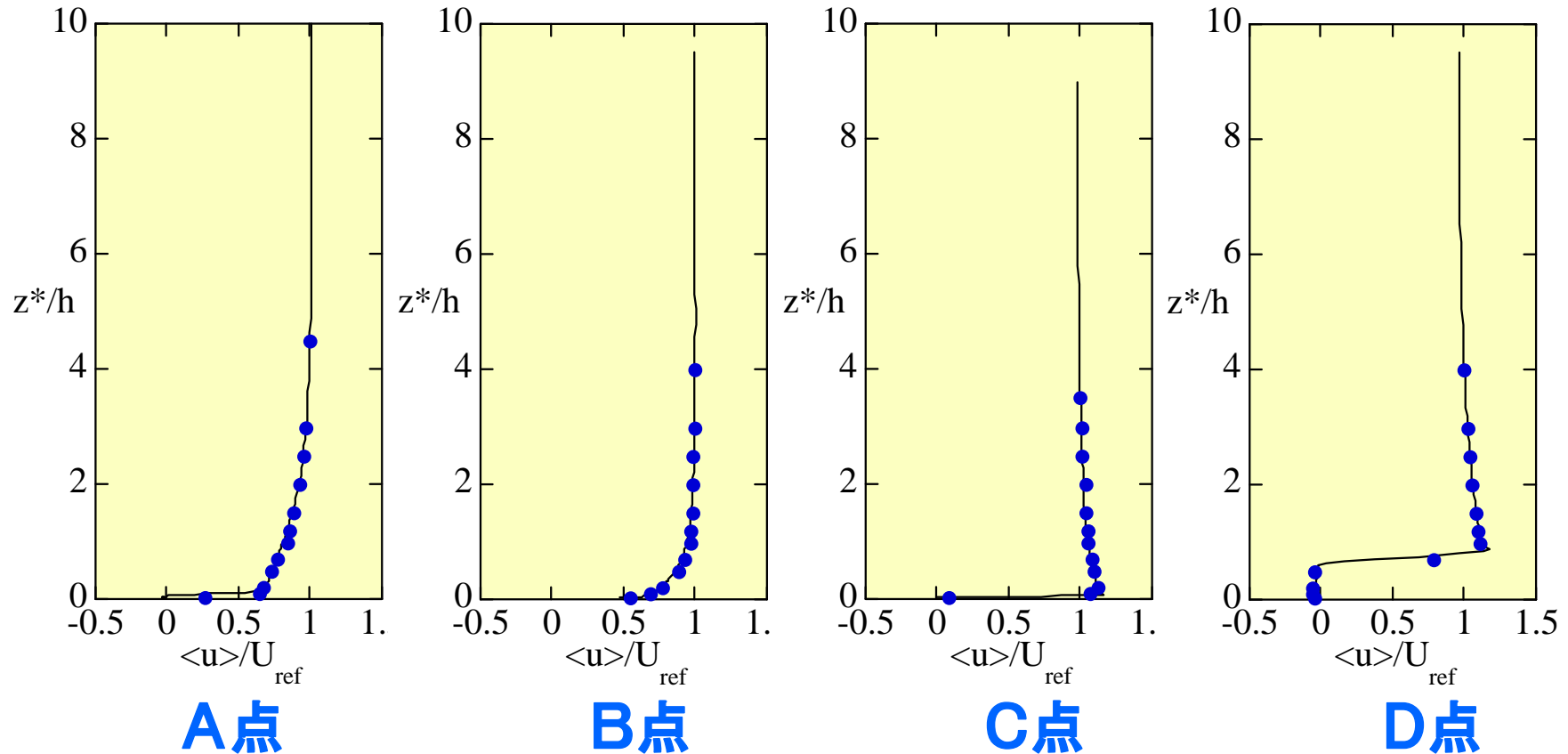
# 実験結果との比較(1)

— : RIAM-COMPACT® (数値計算)  
● : 風洞実験

測定点(スパン中央断面)



## 主流方向(x)の平均速度プロファイル

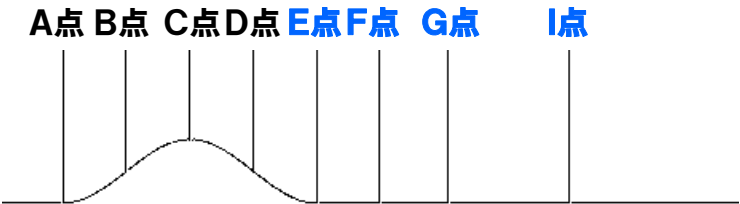


\* 数値計算と風洞実験ともに、各測定点において上空風速 $U_{ref}$ で正規化

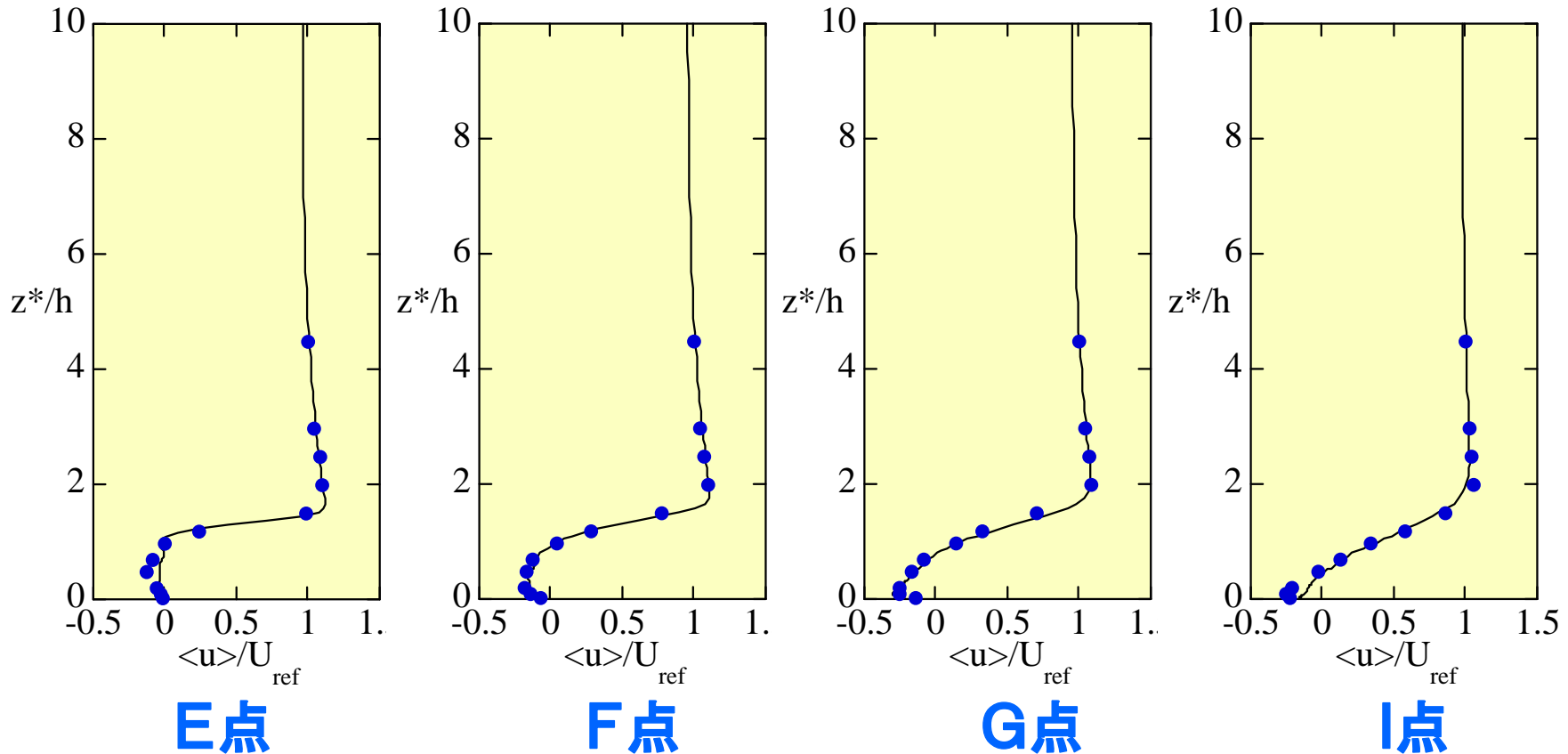
## 実験結果との比較(2)

—— : RIAM-COMPACT®(数値計算)  
● : 風洞実験

測定点(スパン中央断面)



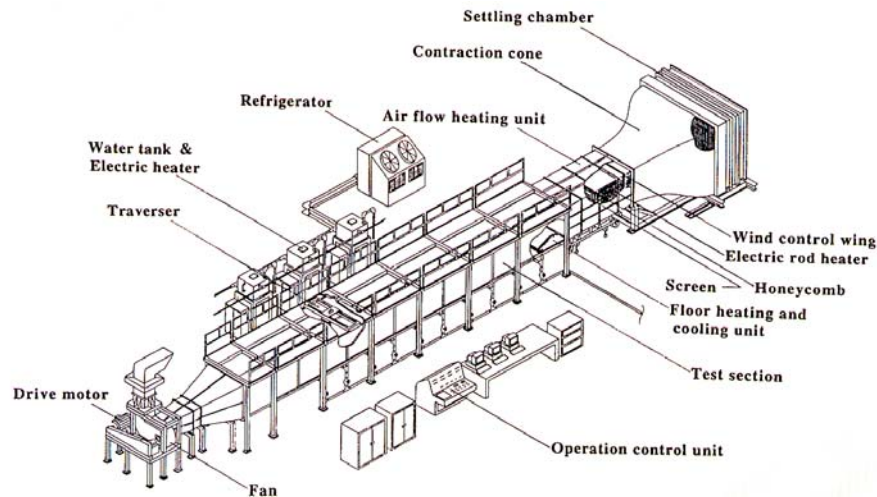
### 主流方向(x)の平均速度プロファイル



\*数値計算と風洞実験ともに、各測定点において上空風速 $U_{ref}$ で正規化



## 風洞設備とセンサープローブ



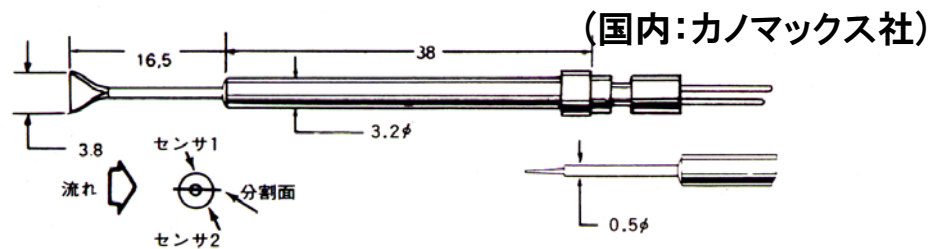
### 温度成層風洞(中立流を対象)

形式: 単回路吸い込み式

測定胴: 長さ13.5×幅1.5×高さ1.2 [m]

風速: 0.1~2 [m/s], **本実験では1.5 [m/s]**

### ■ スプリットフィルム MODEL 1288



**逆流を検出可能**

カットオフ周波数: 200 [Hz]

サンプリング周波数: 500 [Hz]

サンプリング時間: 100 [s]

オフセット電圧: 2.5 [V]

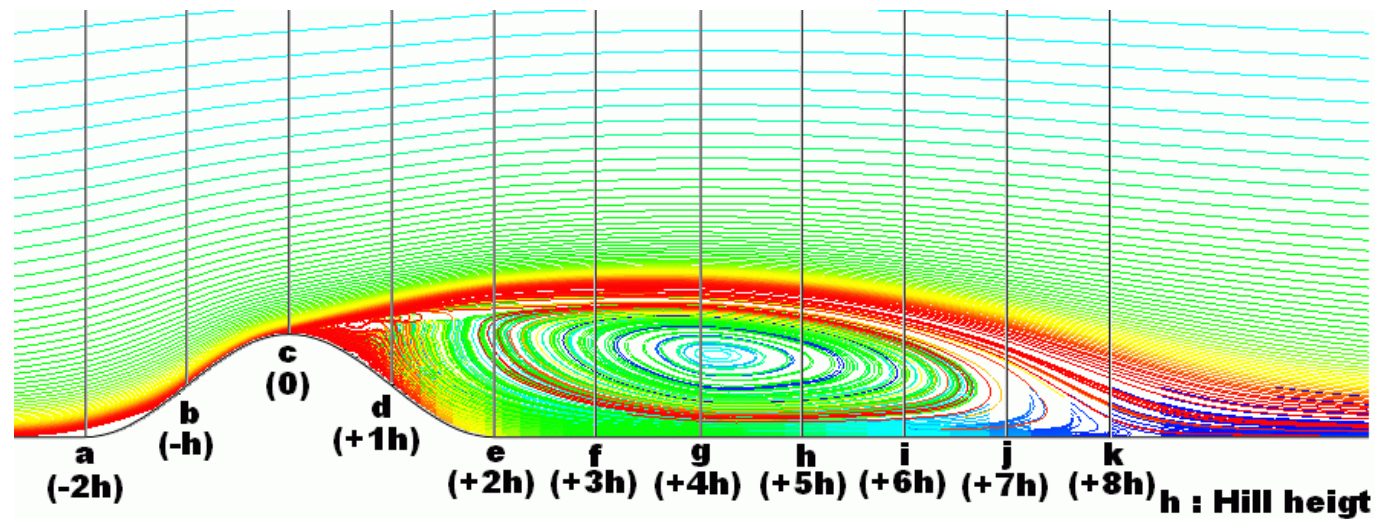
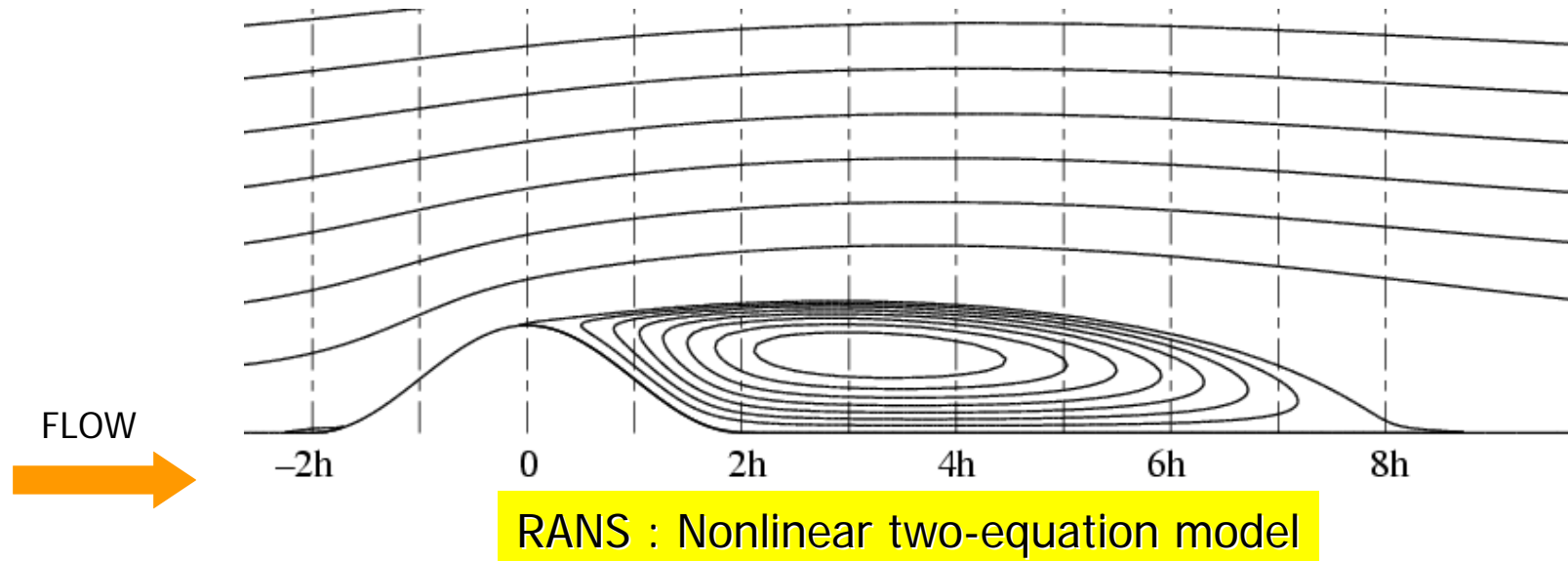
アンプ(ゲイン): 1 [倍]

取り込みレンジ:  $\pm 10$  [V]



## ギャラリー②

### 一様流中の2次元山を対象にしたRANSとLESの比較

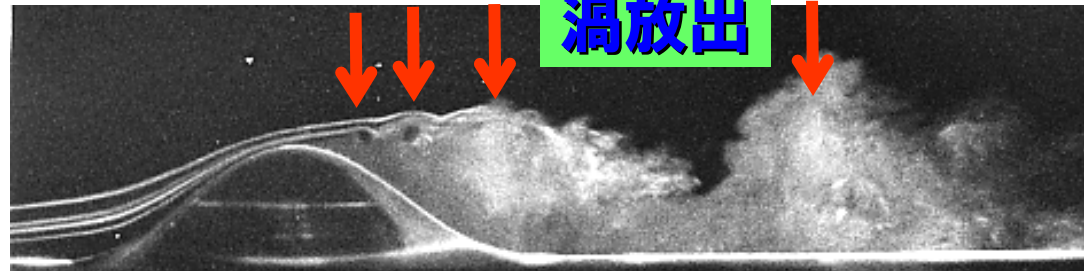
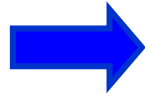


LES (RIAM-COMPACT®) : Standard Smagorinsky model

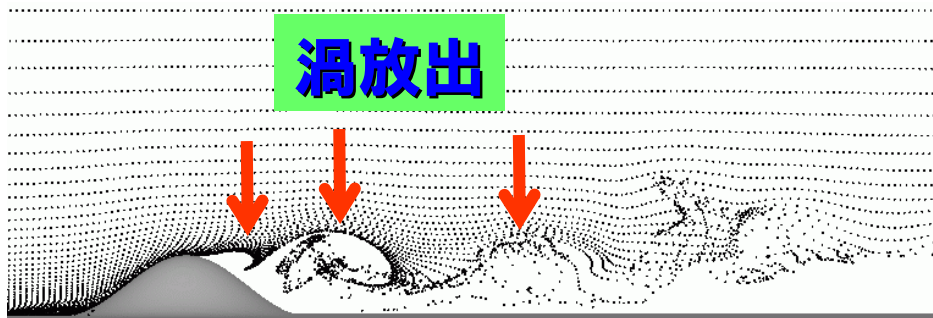
### ギャラリー③

一様流中の単純地形を対象とした予測精度の検証: 3次元山の場合

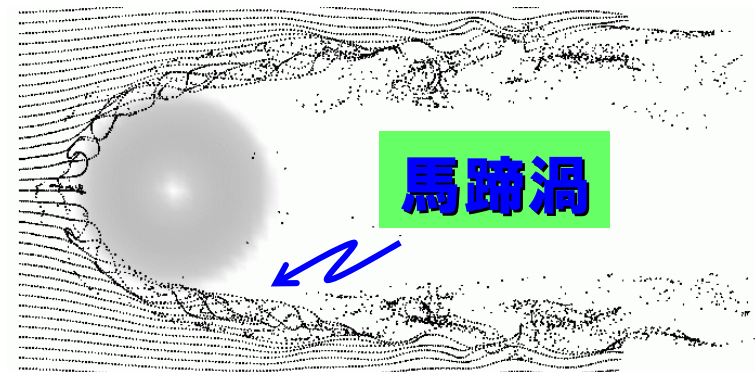
Flow



(a) 風洞実験, スモークワイヤー法, Side view(スパン中央)



Side view(スパン中央)



Top view(地面近傍)

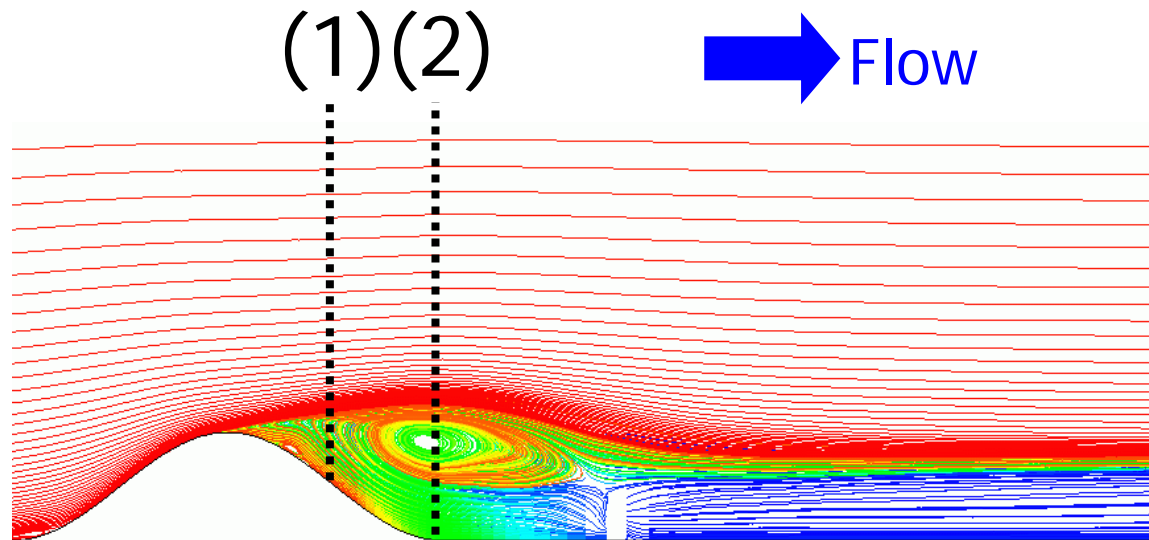
(b) 数値計算, パッシブ粒子追跡法

「一様流中に置かれた急峻な単純地形まわりの気流性状の評価—3次元孤立峰モデルの場合—」

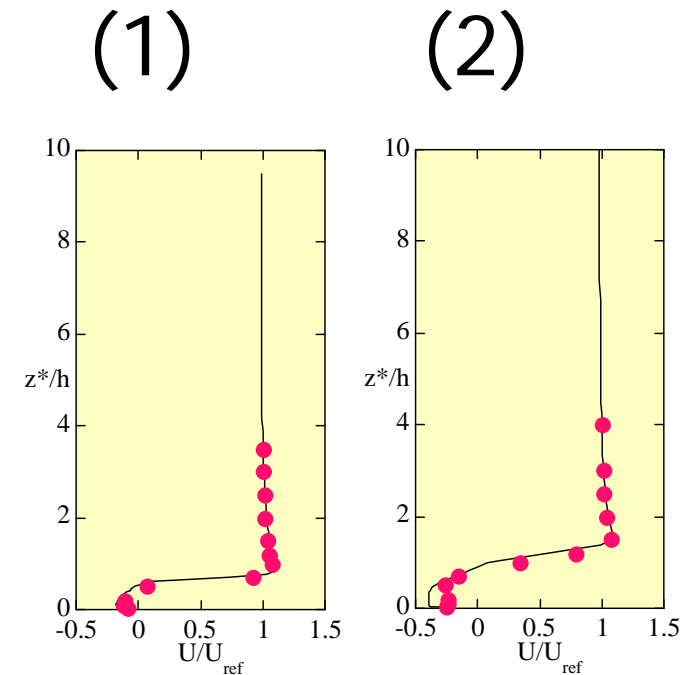
内田 孝紀, 杉谷 賢一郎, 大屋 裕二, 日本風工学会論文集, Vol.31, No.2, pp.63-74, 2006 より引用

[http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus\\_detail\\_image/JWEA\\_Hill\\_2006.pdf](http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus_detail_image/JWEA_Hill_2006.pdf)

# 実験結果との比較



(a) 時間平均場に対する流線図,  
数値計算, Side view(スパン中央)



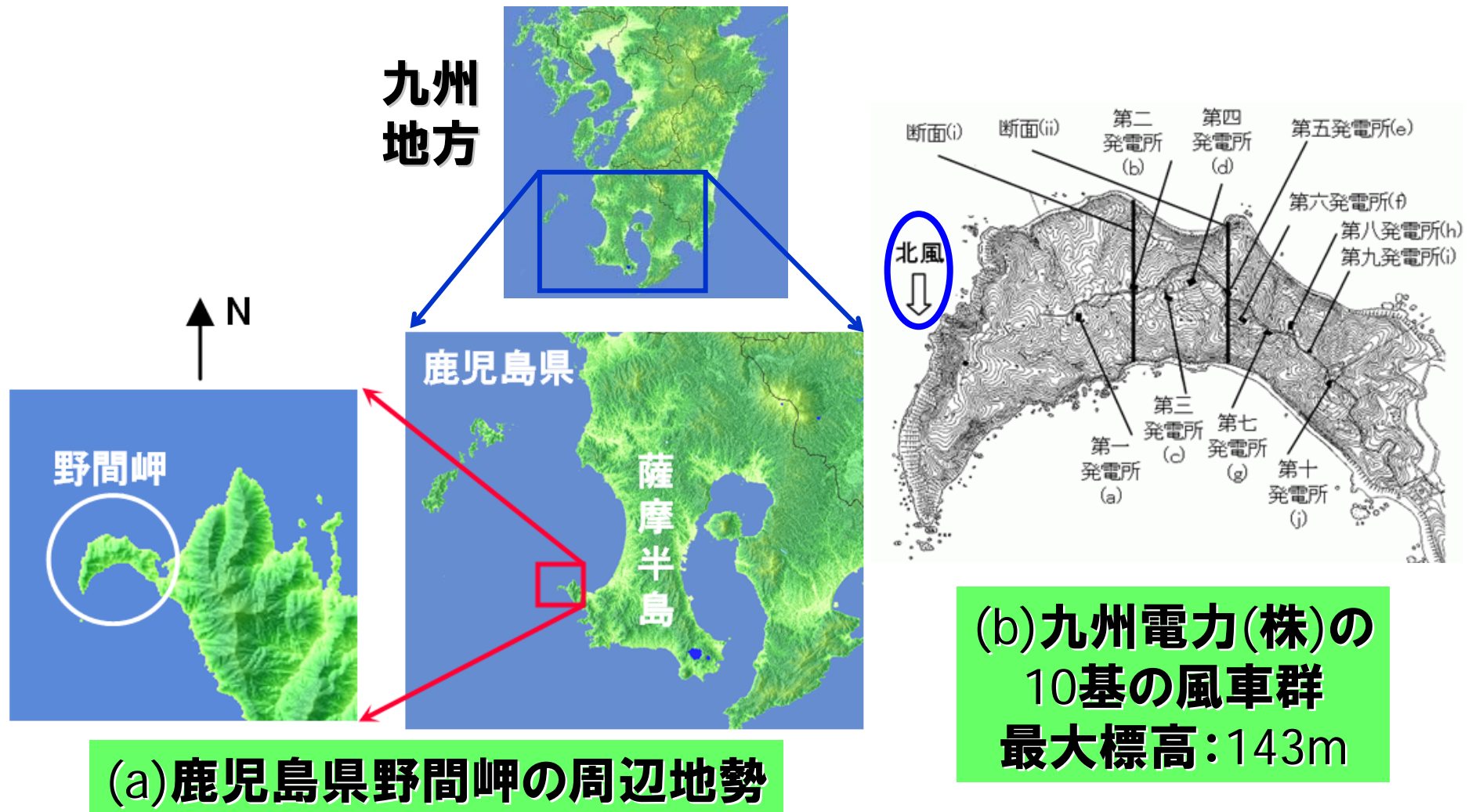
(b) 平均速度プロファイル  
の比較

実線: RIAM-COMPACT<sup>®</sup>による数値計算

シンボル: スプリットフィルムプローブ(SFP)による風洞実験

## ギャラリー④

一様流中の複雑地形を対象とした予測精度の検証：野間岬の場合



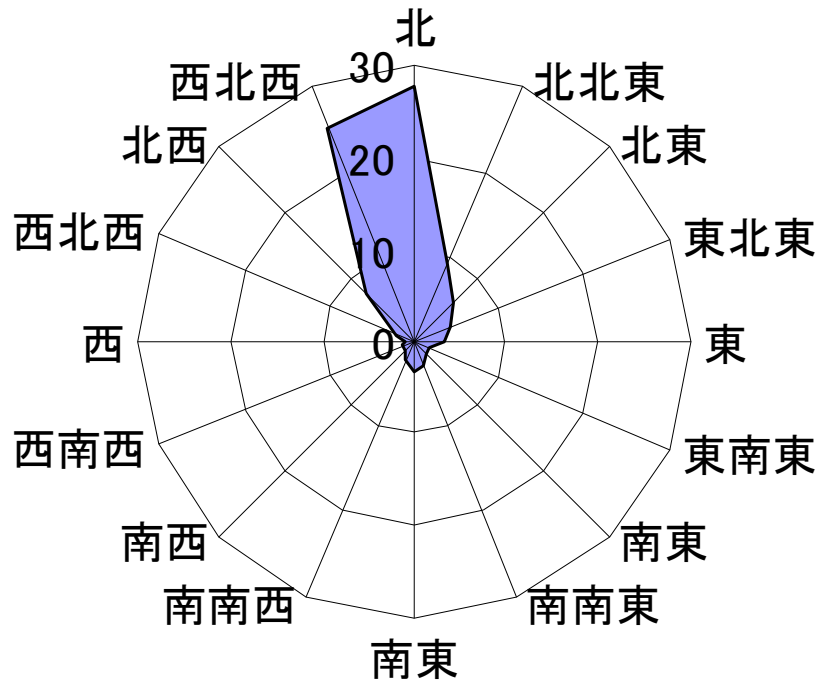
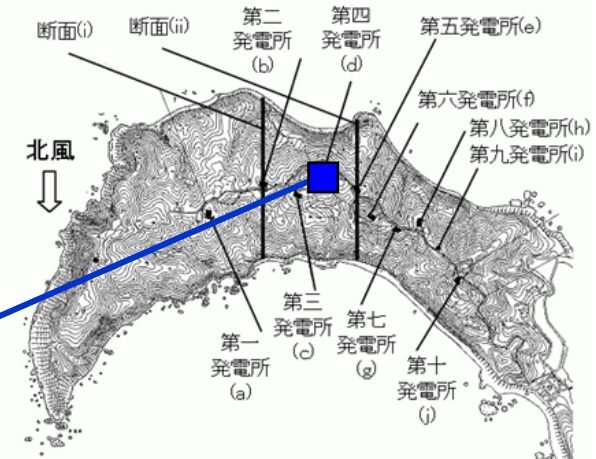
「Micro-siting technique for wind turbine generators by using large-eddy simulation」

Takanori Uchida and Yuji Ohya, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol.96, pp.2121-2138, 2008 より引用

[http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus\\_detail\\_image/paper1\\_2008.pdf](http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus_detail_image/paper1_2008.pdf)

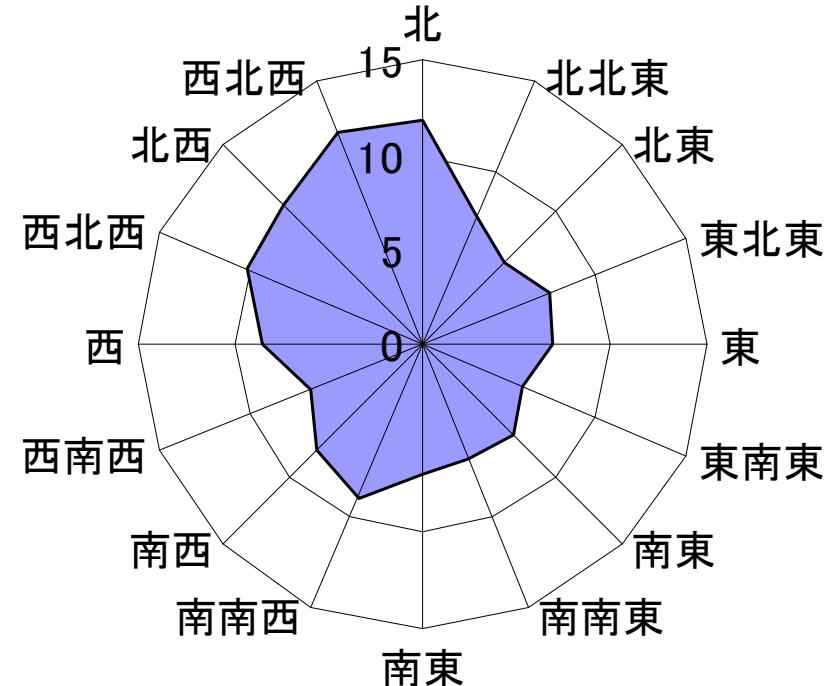
# 4号基における風況特性 ～2003年1月～

風車のハブ中心高さ:45m



風向の発生頻度(%)

→北風が卓越している



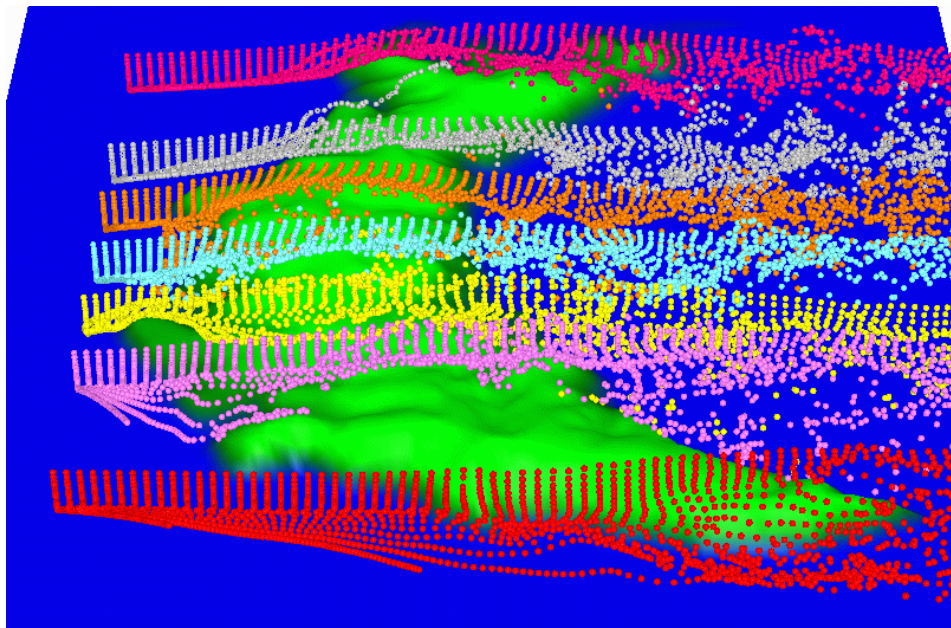
平均風速(m/s)

→非常に強い風が吹いている

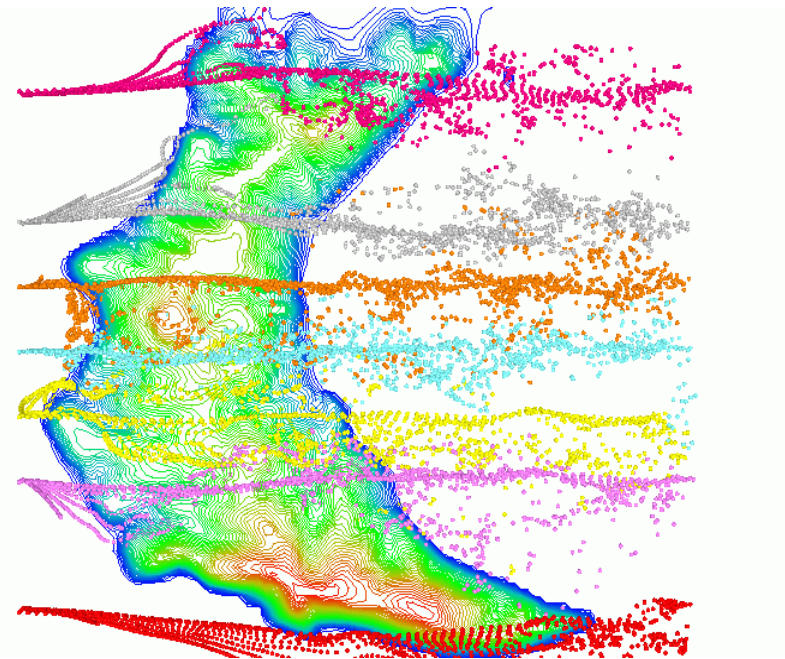


# 野間岬上の風況特性(1), パッシブ粒子追跡法の結果, 瞬間場

➡ 北風



(a) Bird's eye view

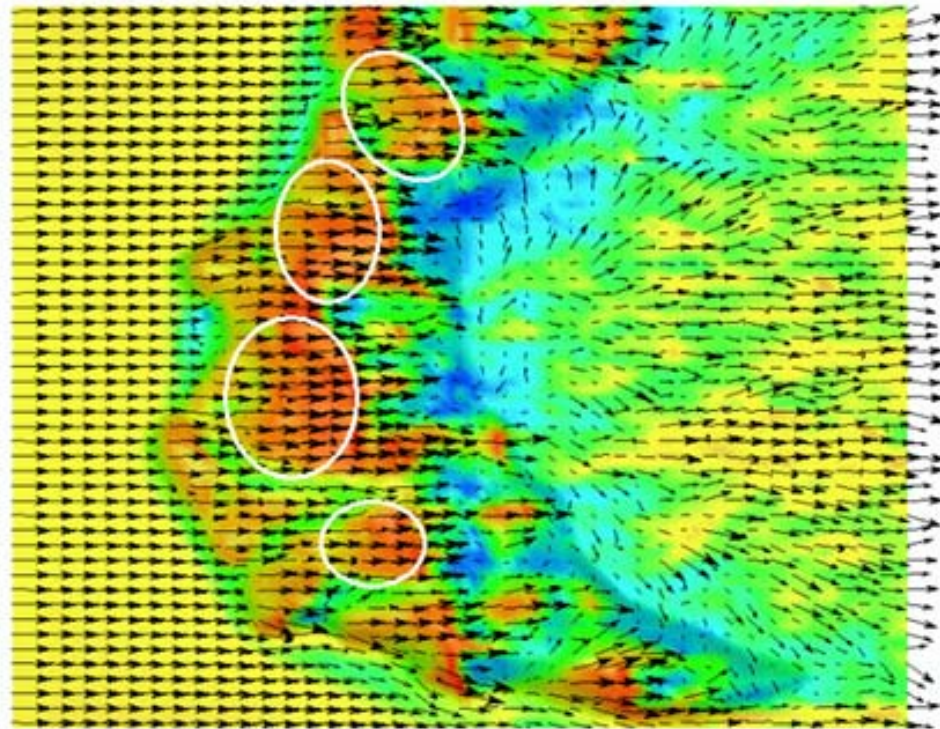


(b) Top view



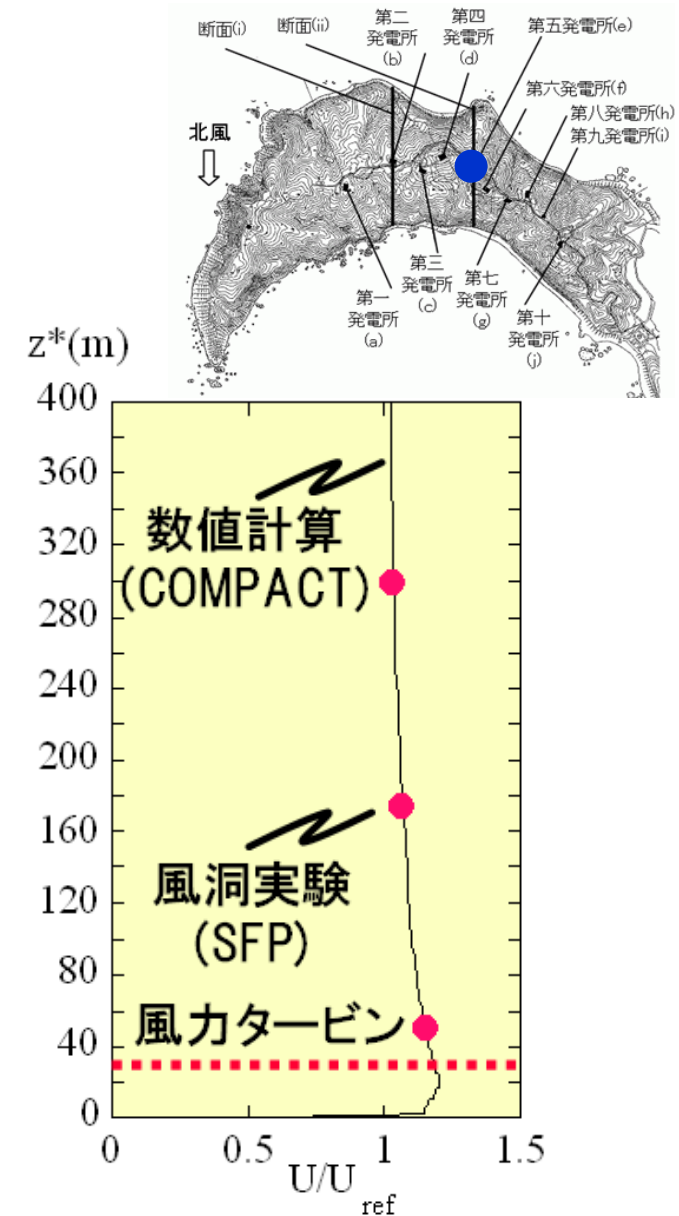
# 野間岬上の風況特性(2), 風速分布と風洞実験との比較

→ 北風



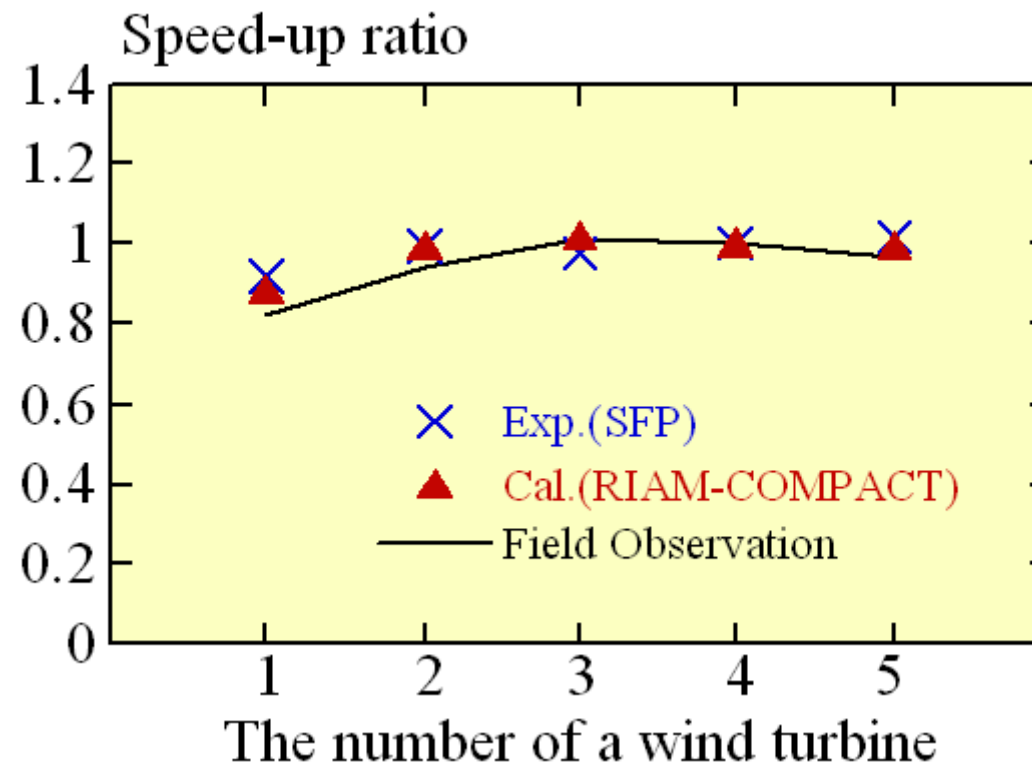
\* 実線で囲んだ地域は風が局所的に増速している  
→ 風力タービンを設置するのに最適な場所である

(a) 野間岬上の風速分布, 地上45m



(b) 5号基における平均風速  
プロファイルの比較

## 野間岬上の風況特性(3), 野外観測値と風洞実験との比較

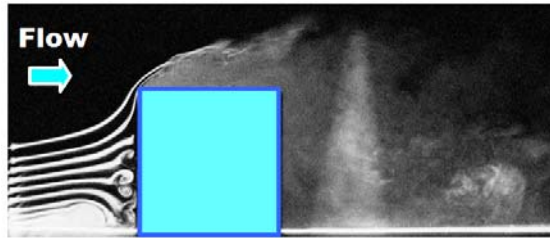


1号基～5号基における平均風速の増速率の比較,  
2003年1月, 4号基を基準, 北風

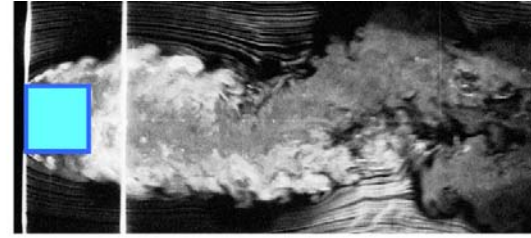
## ギャラリー⑤

### 一様流中の単純地形を対象とした予測精度の検証: 3次元立方体の場合

立方体を過ぎる流れ場の可視化, 風洞実験, スモークワイヤー法, 瞬間場

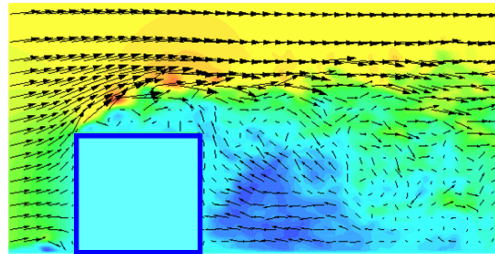


(a) スパン中央鉛直断面

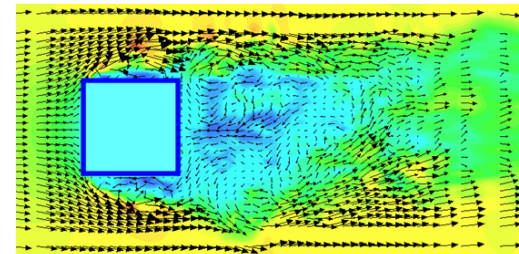


(b) 水平断面,  $z=0.5h$  ( $h$ は立方体一辺)

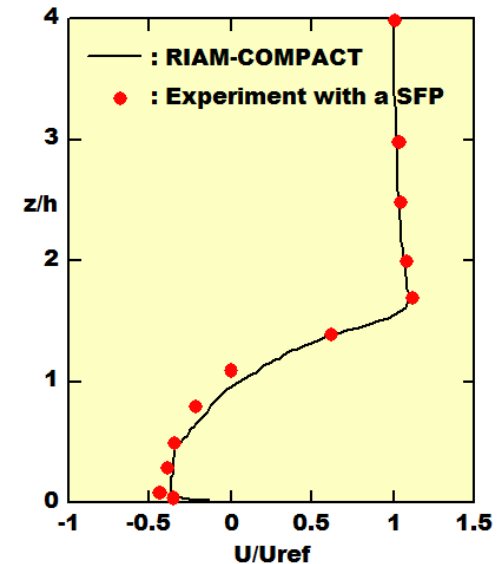
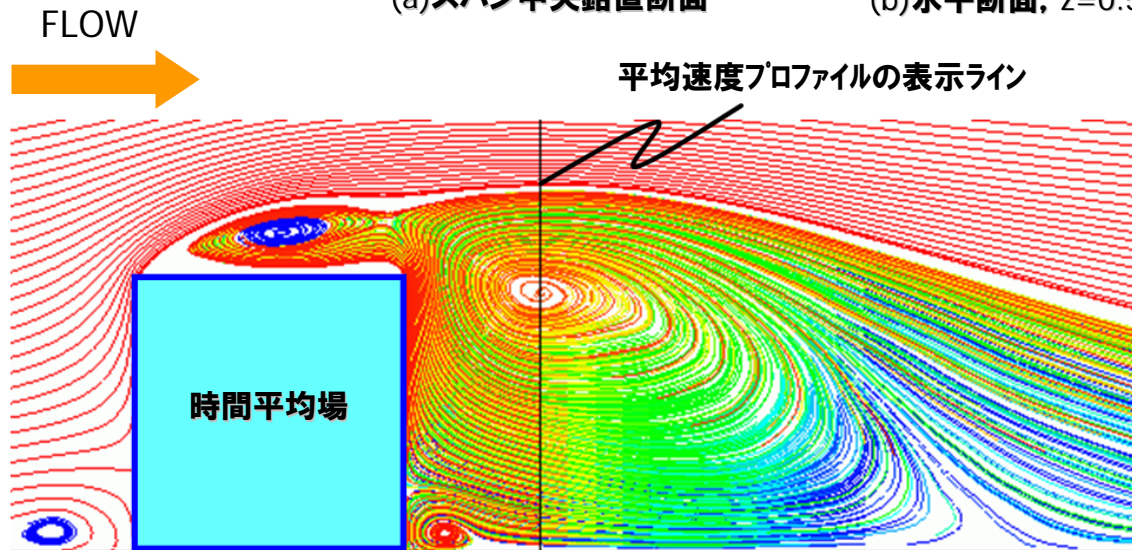
立方体を過ぎる流れ場の可視化, 数値計算, 瞬間場



(a) スパン中央鉛直断面



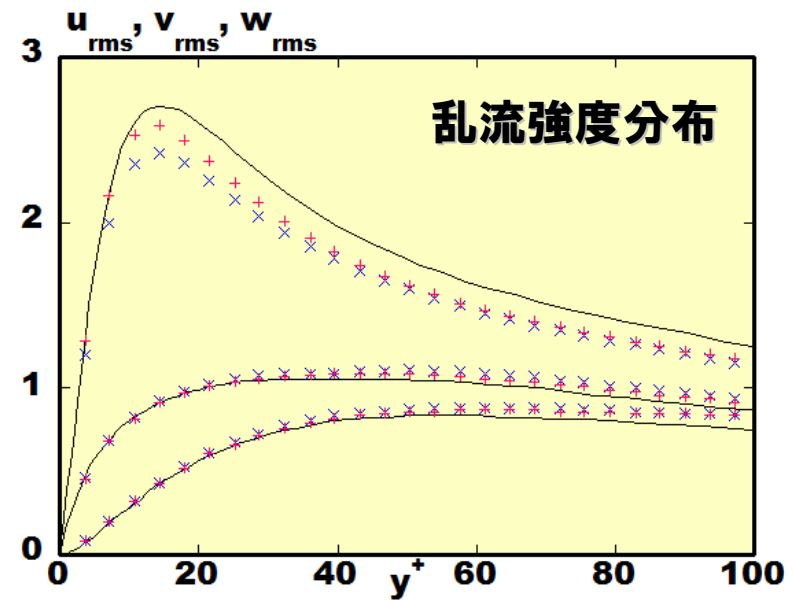
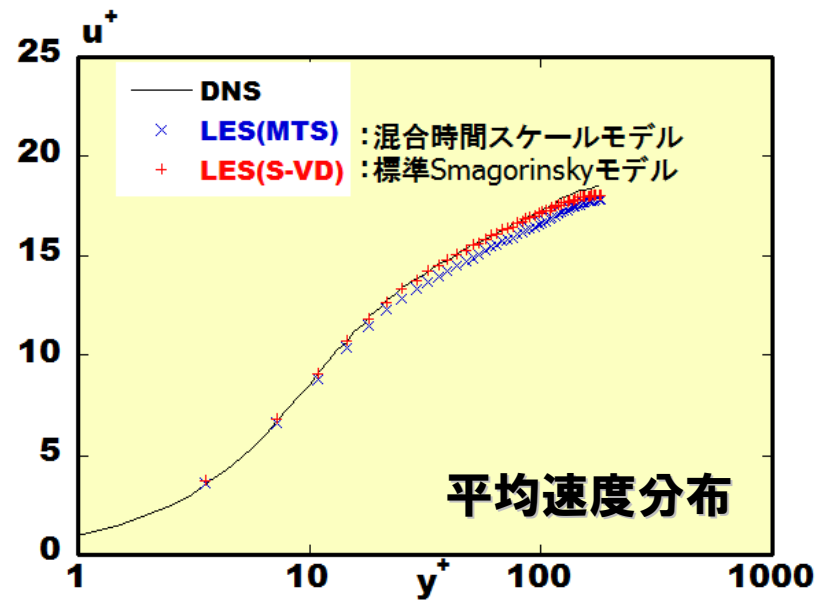
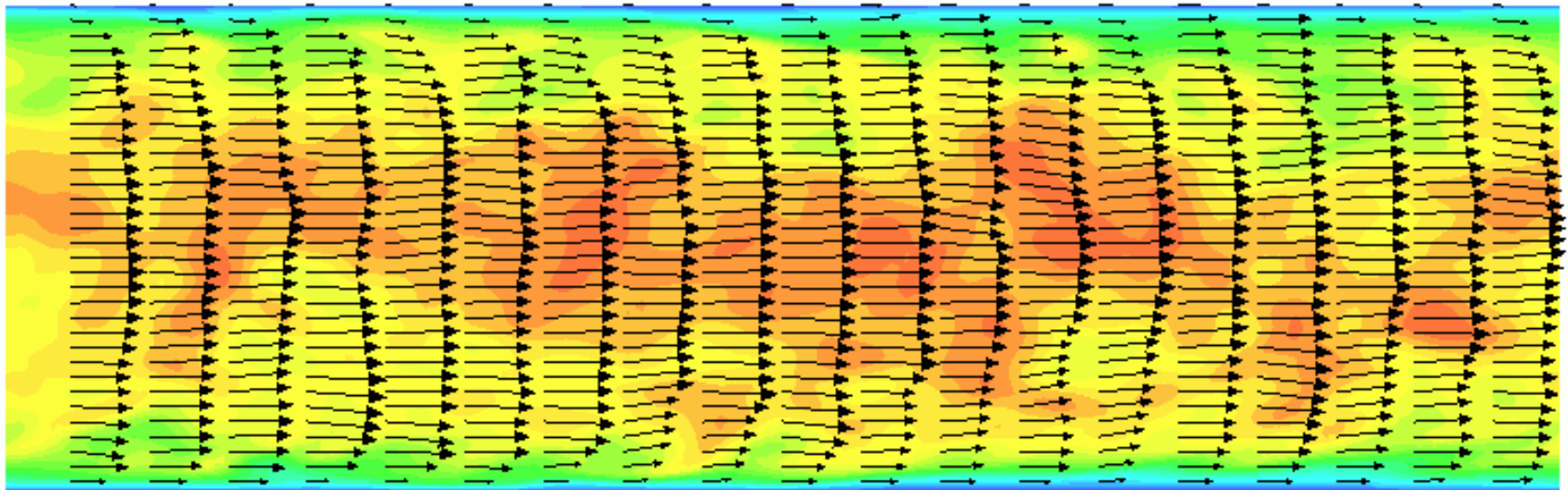
(b) 水平断面,  $z=0.5h$  ( $h$ は立方体一辺)



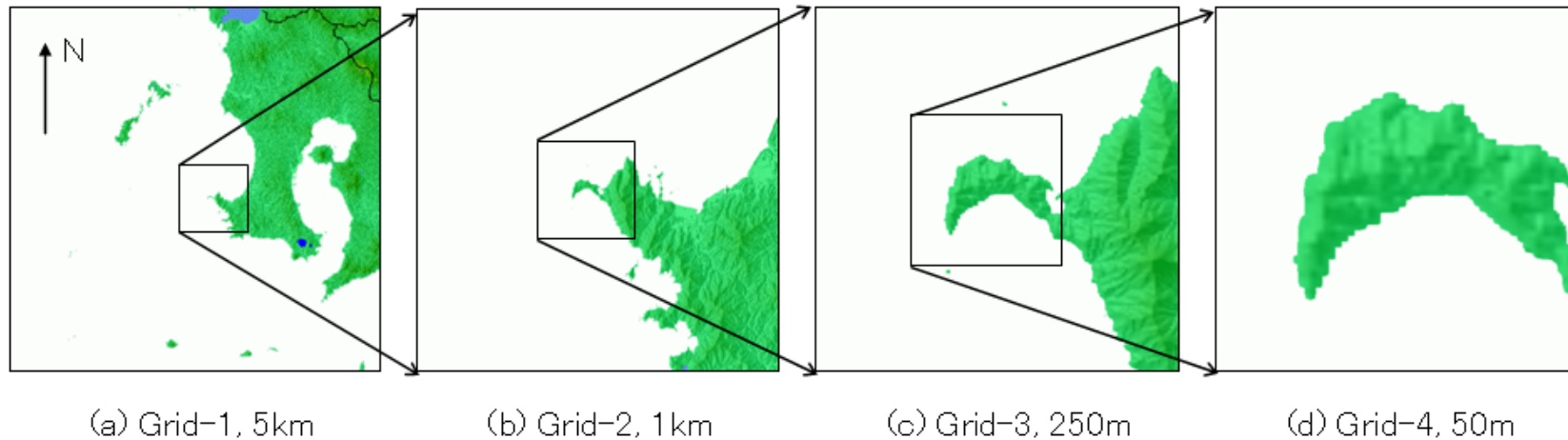


## ギャラリー⑥

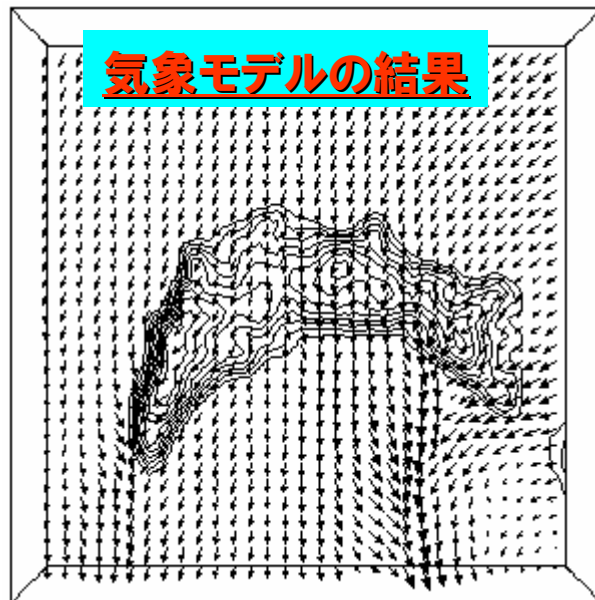
予測精度の検証: チャンネル乱流 ( $Re_\tau = 180$ ) の場合



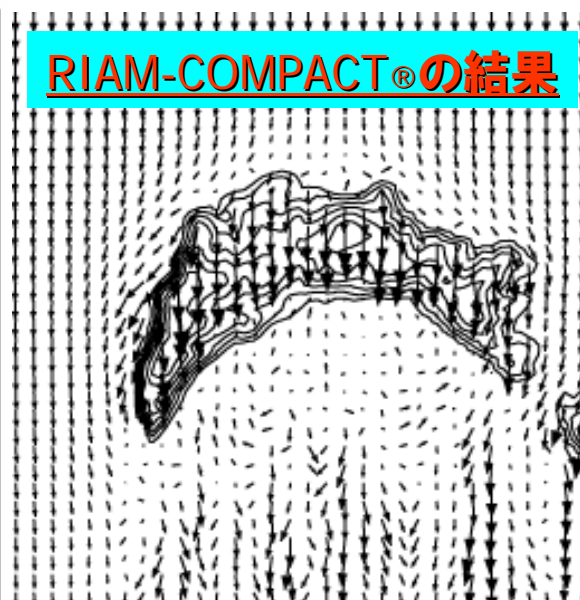
## ギャラリー⑥ メソ気象モデルとの比較



メソ気象モデル(CSU-RAMS)で用いた計算領域, 4重ネストシステム



気象モデルの結果



RIAM-COMPACT®の結果

気象モデルとは...

⇒時間平均型の乱流モデル

⇒水平解像度を増加しても  
モデルの性質上, 風の乱れ  
は再現されない!



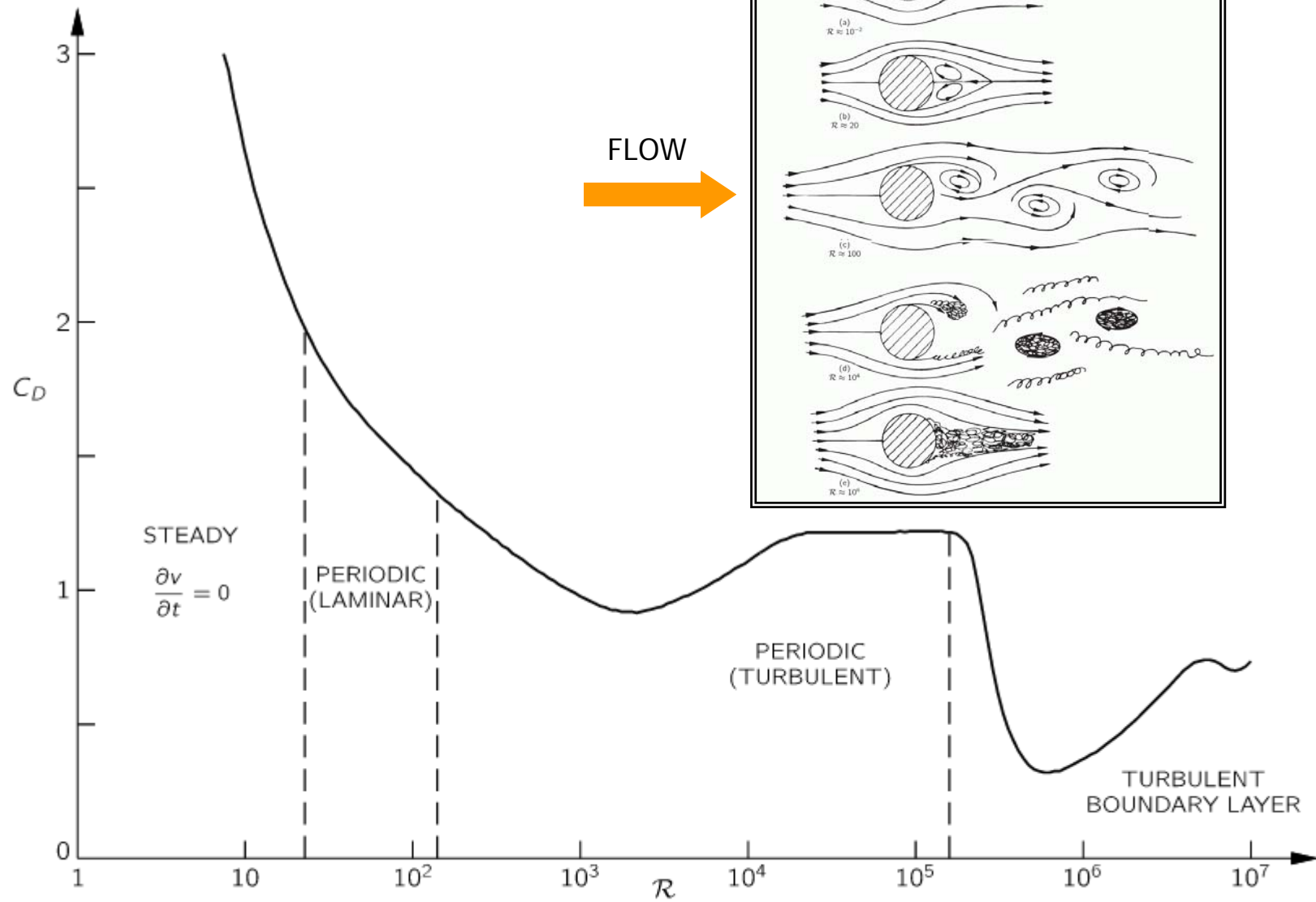
微地形の影響を考慮し,  
風の乱れを把握するためには  
RIAM-COMPACT®が必要!

「急峻な岬まわりの気流場シミュレーション—気象力学モデルCSU-RAMSと流体力学モデルRIAM-COMPACT®の適用性について—」  
内田 孝紀, 大屋 裕二, 第18回風工学シンポジウム論文集, pp.35-40, 2004 より引用  
[http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus\\_detail\\_image/JAWE\\_symposium\\_2004.pdf](http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/img/aboutus_detail_image/JAWE_symposium_2004.pdf)





カルマン渦列 (流れパターン) の  
流速による種々の変化



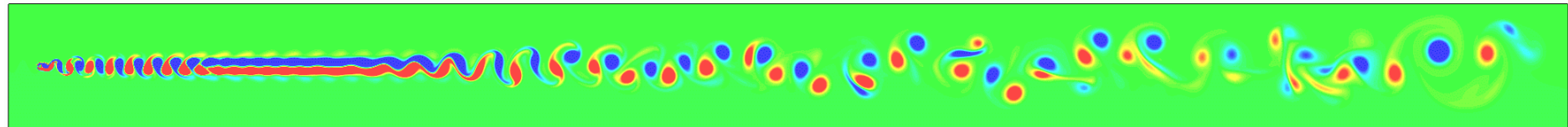
The drag coefficient  $C_D$  of a circular cylinder as a function of the Reynolds number.

## カルマン渦列の再配置問題

FLOW



正方形角柱を過ぎる流れ

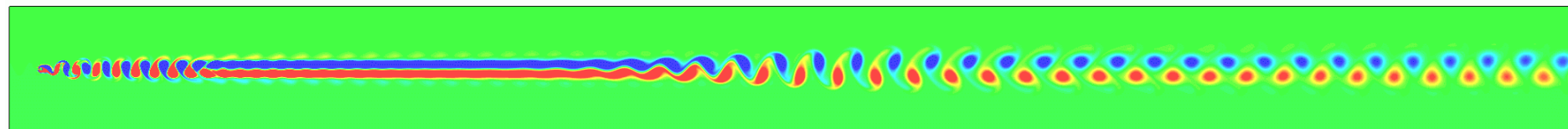


Frame : 105  
Time : 525.00  
Instantaneous flow field

Re=200

Non-Dimensional Time=525

-0.11 0.10  
Shading

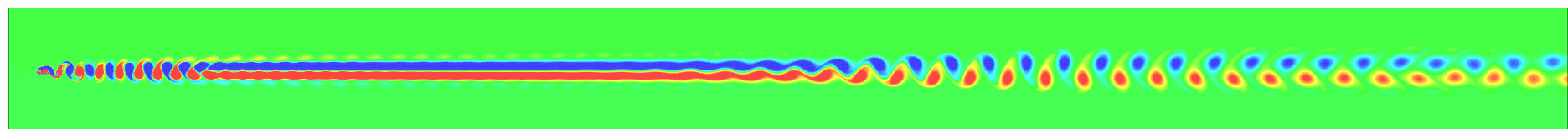


Frame : 400  
Time : 4000.00  
Instantaneous flow field

Re=200

Non-Dimensional Time=4000

-0.11 0.10  
Shading



Frame : 400  
Time : 6000.00  
Instantaneous flow field

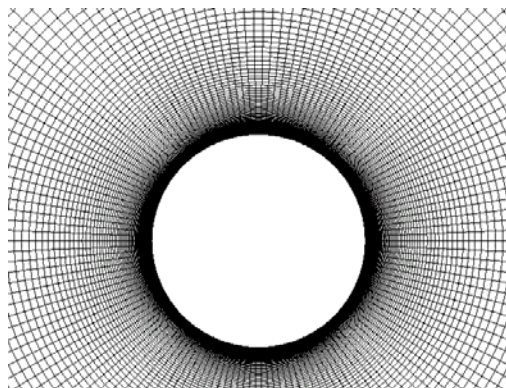
Re=200

Non-Dimensional Time=6000

-0.11 0.10  
Shading

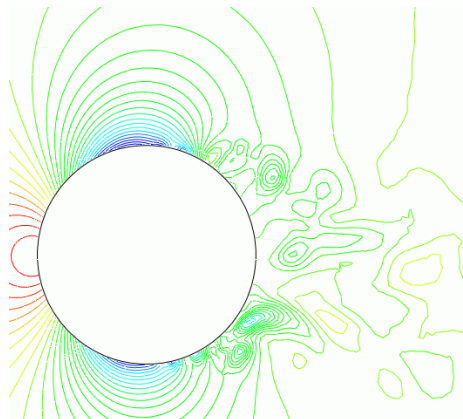
計算領域:  $5000h(x) \times 400h(y)$   
格子点数: 5001点(x)  $\times$  401点(y)

## Drag crisis ( $Re = 5 \times 10^5$ )

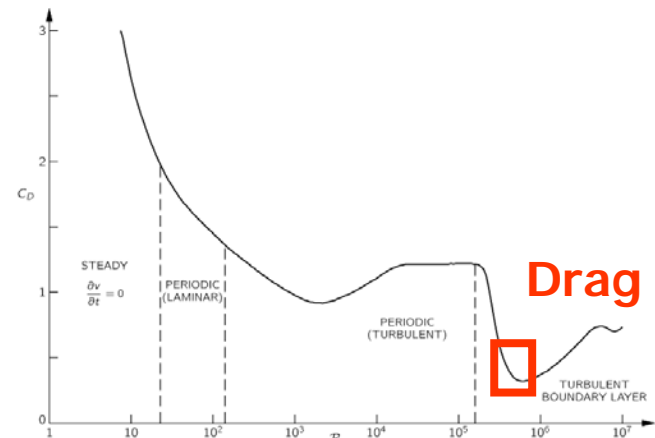


円柱近傍のメッシュ図

( $\Delta y_{\min} = 3 \times 10^{-4}h$ ,  $h$ は円柱の直径)



圧力分布, スパン中央断面



The drag coefficient  $C_D$  of a circular cylinder as a function of the Reynolds number.



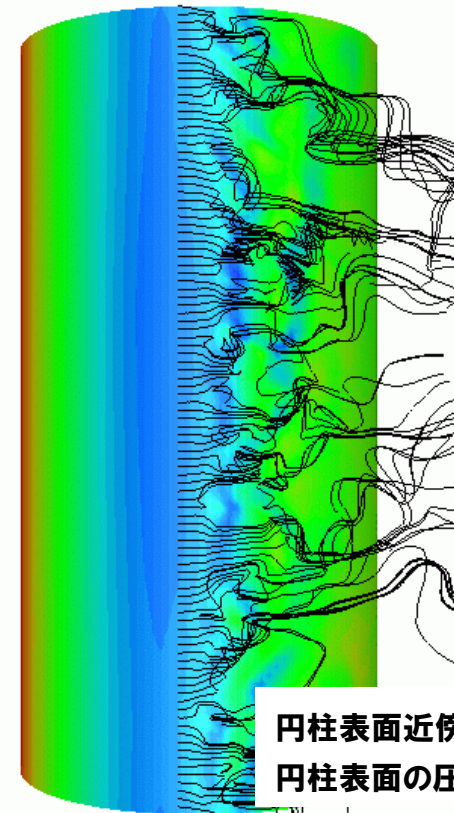
流線, スパン中央断面

$\Delta t = 1 \times 10^{-4}$

スパン方向( $z$ )の長さ:  $2h$ ,

計算メッシュ:  $151(x) \times 151(y) \times 101(z)$ 点

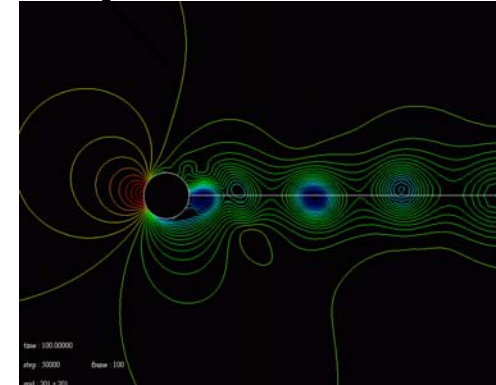
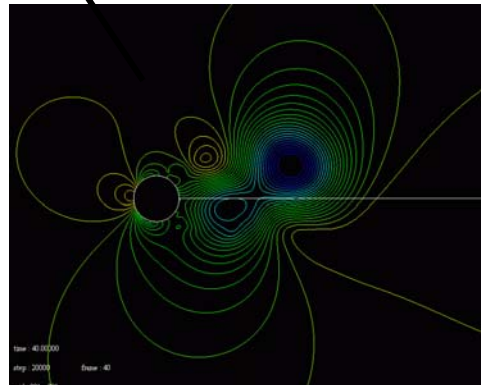
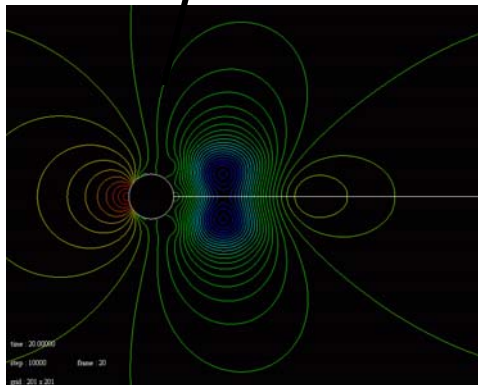
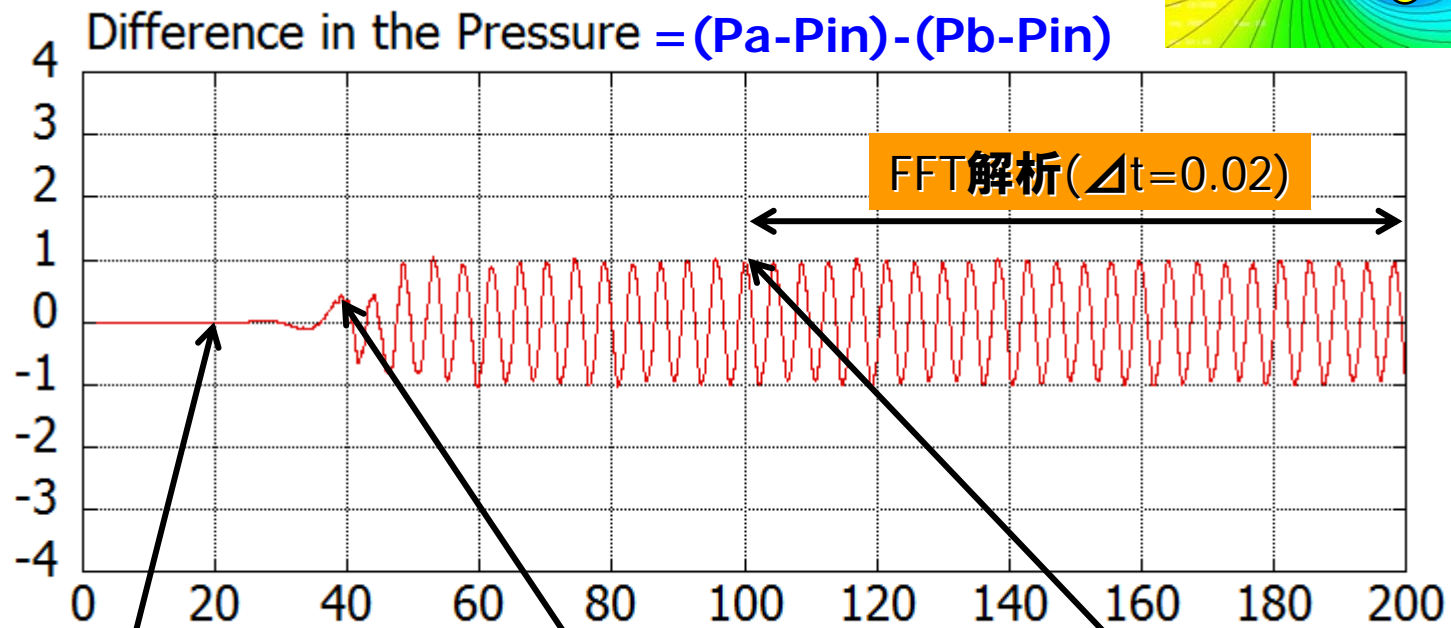
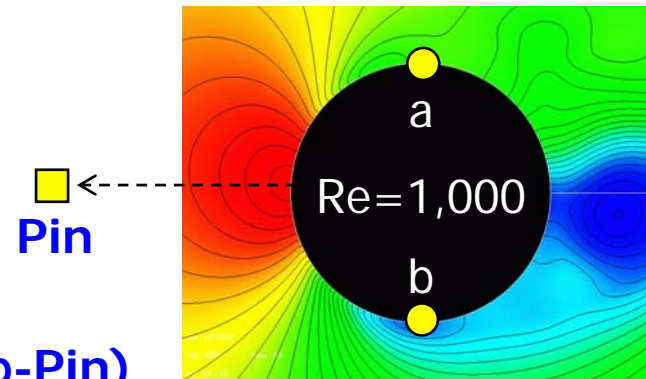
$Re = 500000$   
time : 72.000  
frame : 100



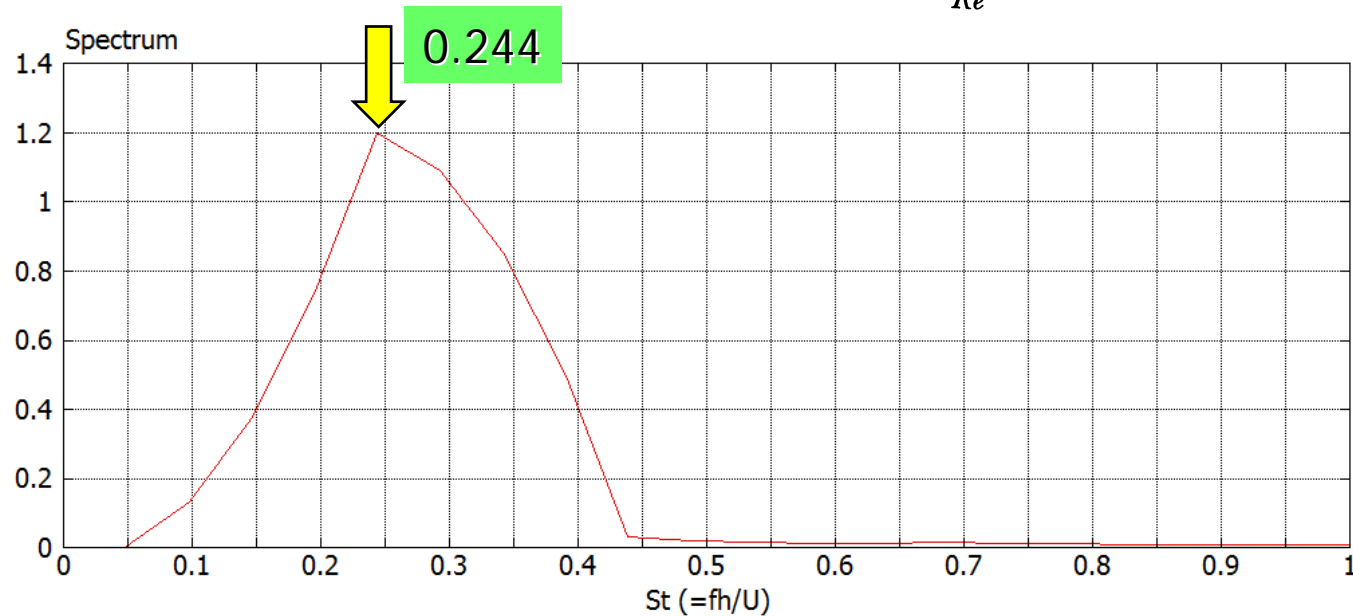
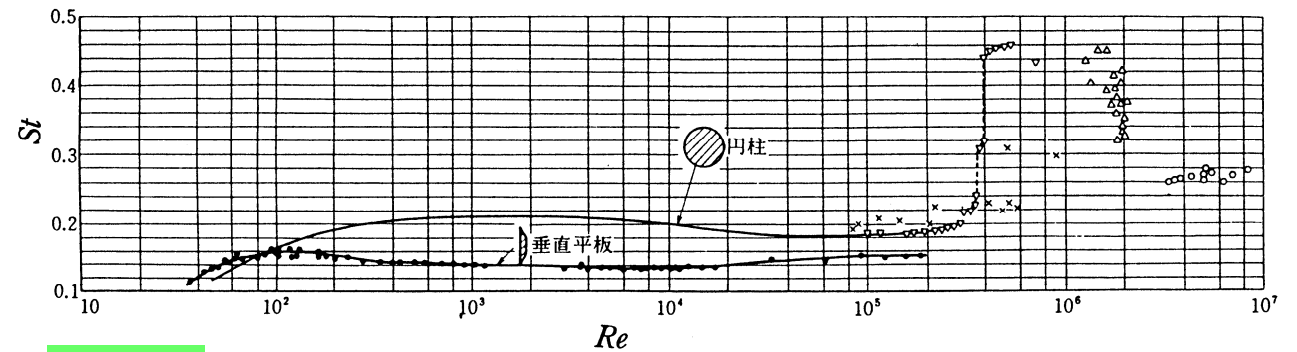
円柱表面近傍からの流線図と  
円柱表面の圧力分布図



# ギャラリー⑧ カルマン渦列とスペクトル解析







**ストローハル数(無次元周波数)**

備考)

例えば、今回の数値シミュレーションを風洞実験で再現したとして、  
 $Re=1000$ より、 $U=0.1(\text{m/s})$ ,  $h=0.15(\text{m})$ となる。時間 $T=t(h/U)$ として有次元に変換し、  
 FFT解析を行って卓越周波数 $f(\text{Hz})$ を求めて、 $St=fh/U$ を計算しても同じ値になる。