NEDO事業「数値シミュレーション技術を用いた風車性能評価技術等の国際標準化に係る研究開発」

2011.12.16
2016.06.08

非定常・非線形風況シミュレータ RIAM-COMPACT®を用いた数値風況予測

九州大学 応用力学研究所
新エネルギー力学部門
風工学分野
内田　孝紀

takanori@riam.kyushu-u.ac.jp
092-583-7776

Bolund Experiment 観測サイト @ Denmark

概要

■実地形版RIAM-COMPACT®を用いて数値風況予測を実施.

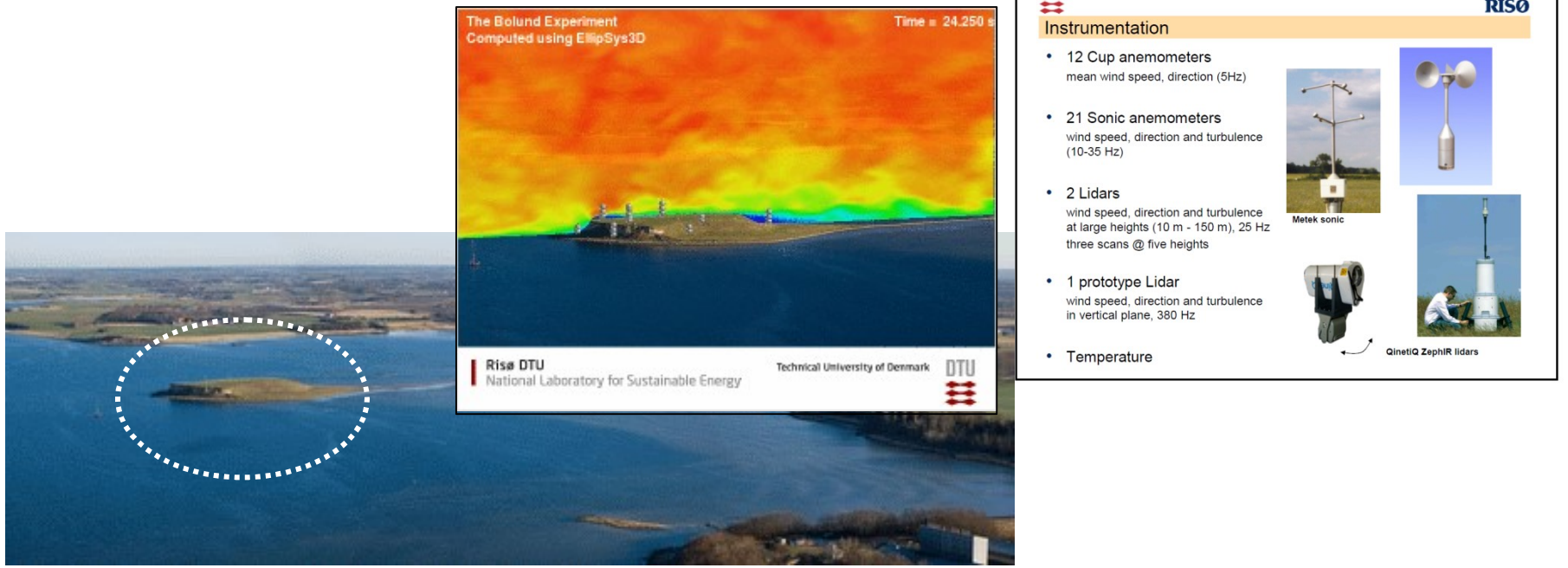
■東京大学生産技術研究所(加藤研究室)の境界層風洞にて,
スプリットファイバープローブによる気流計測を実施.

■Bolund Experiment 観測サイト周辺の気流性状を明らかにするとともに, 数値シミュレーションの予測精度を検証する.

CFDの検証対象サイト

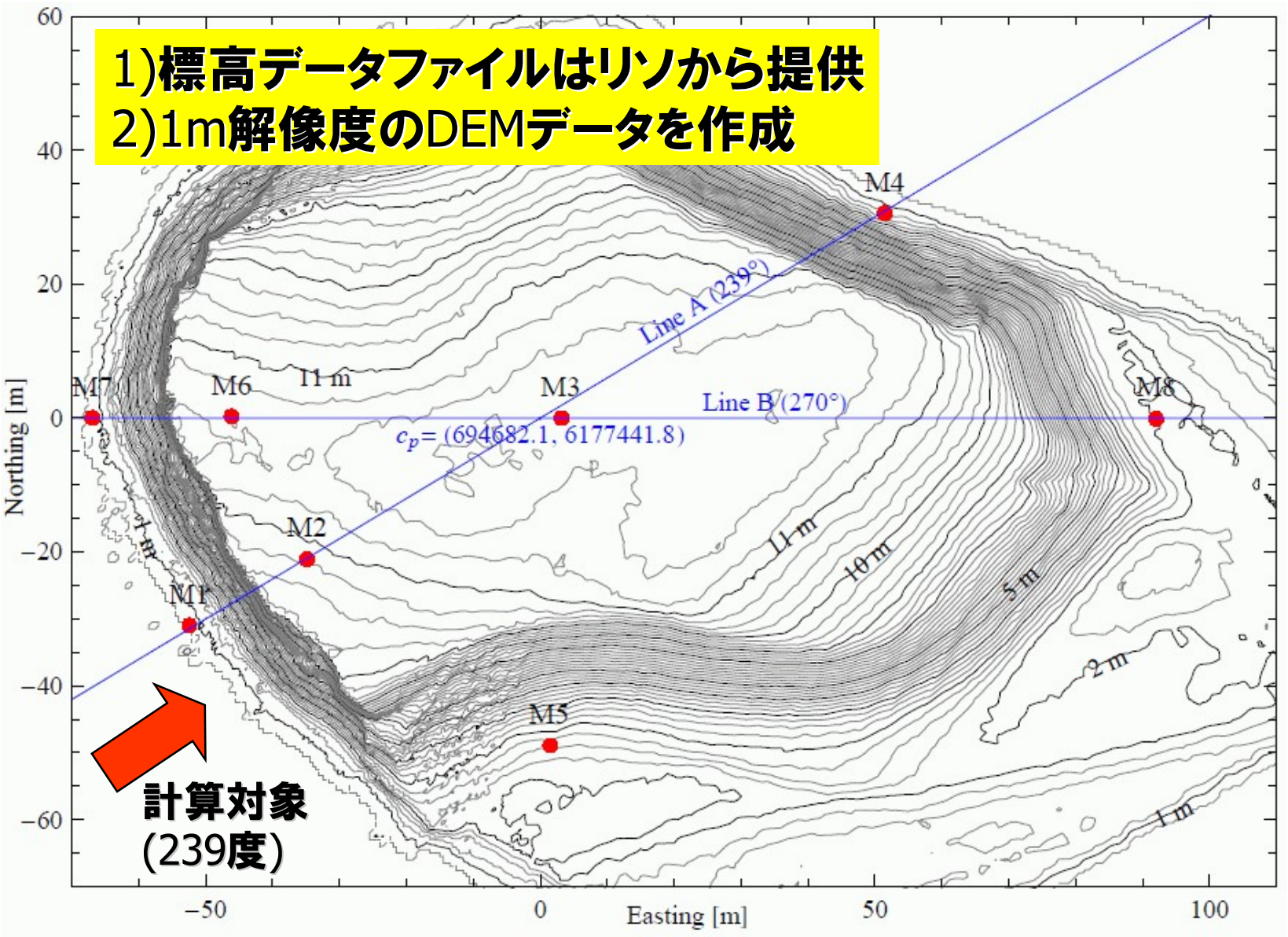
Bolund Experiment観測サイト（複雑度中）

- ✓ Riso研究所中心が中心となり，**海上にある孤立丘上の流れ場**を対象とし，**風況観測**（カップ式，超音波式風速計およびLIDAR）および**数値シミュレーション**が実施されている。
- ✓ 本プロジェクトでは，LES（空間平均モデル）よりも，欧州の非線形風況解析モデルとして主流になっているRANS系（時間平均モデル）が比較的高い評価を受けている。
- ✓ 日本ではLES系のモデルも高い評価を受けていることから，改めてその評価を行って，得られた結果を国際的に情報発信する。

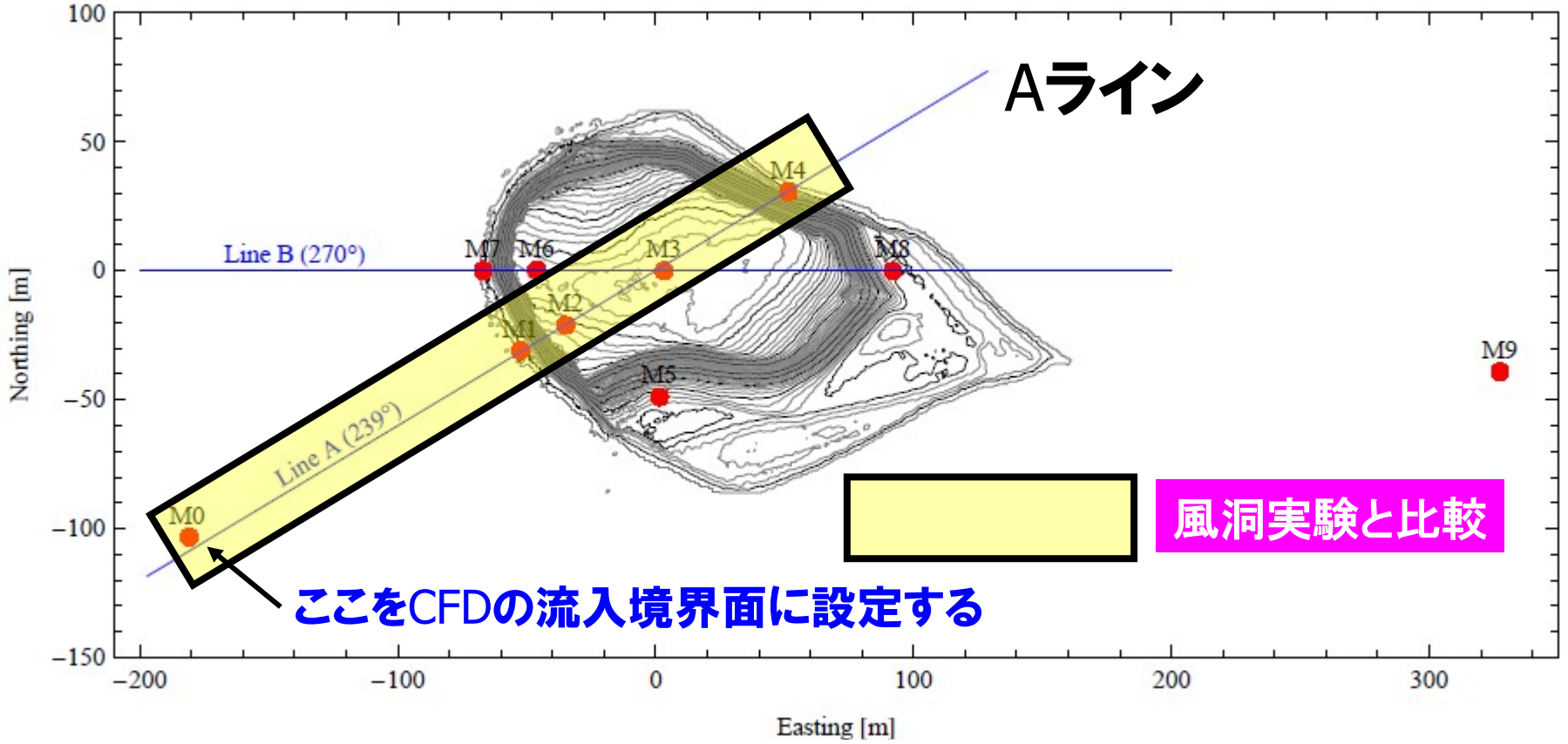


Bolund Experimentプロジェクトにおける対象サイトおよびシミュレーション例（J.Johansen，2009）

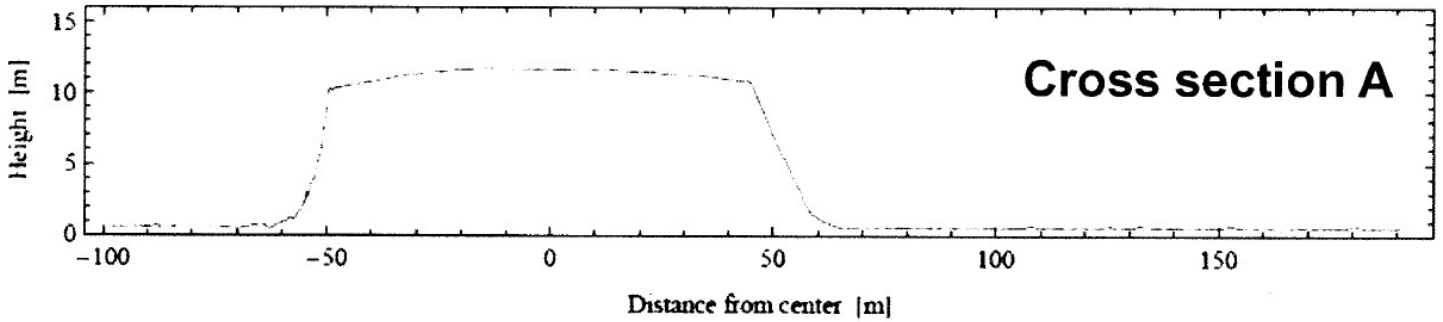
計算領域など①


1)標高データファイルはリソから提供
2)1m解像度のDEMデータを作成
M1
M2
M3
M4
M5
M6
M7
M8
Line A (239°)
Line B (270°)
c_p = (694682.1, 6177441.8)
1 m
1 m
5 m
10 m
2 m
1 m
計算対象
(239度)
Northing [m]
Easting [m]
60
40
20
0
−20
−40
−60
−50
0
50
100

計算領域など②



計算対象
(239度)

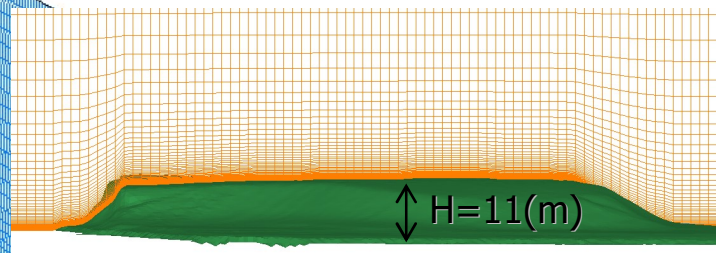


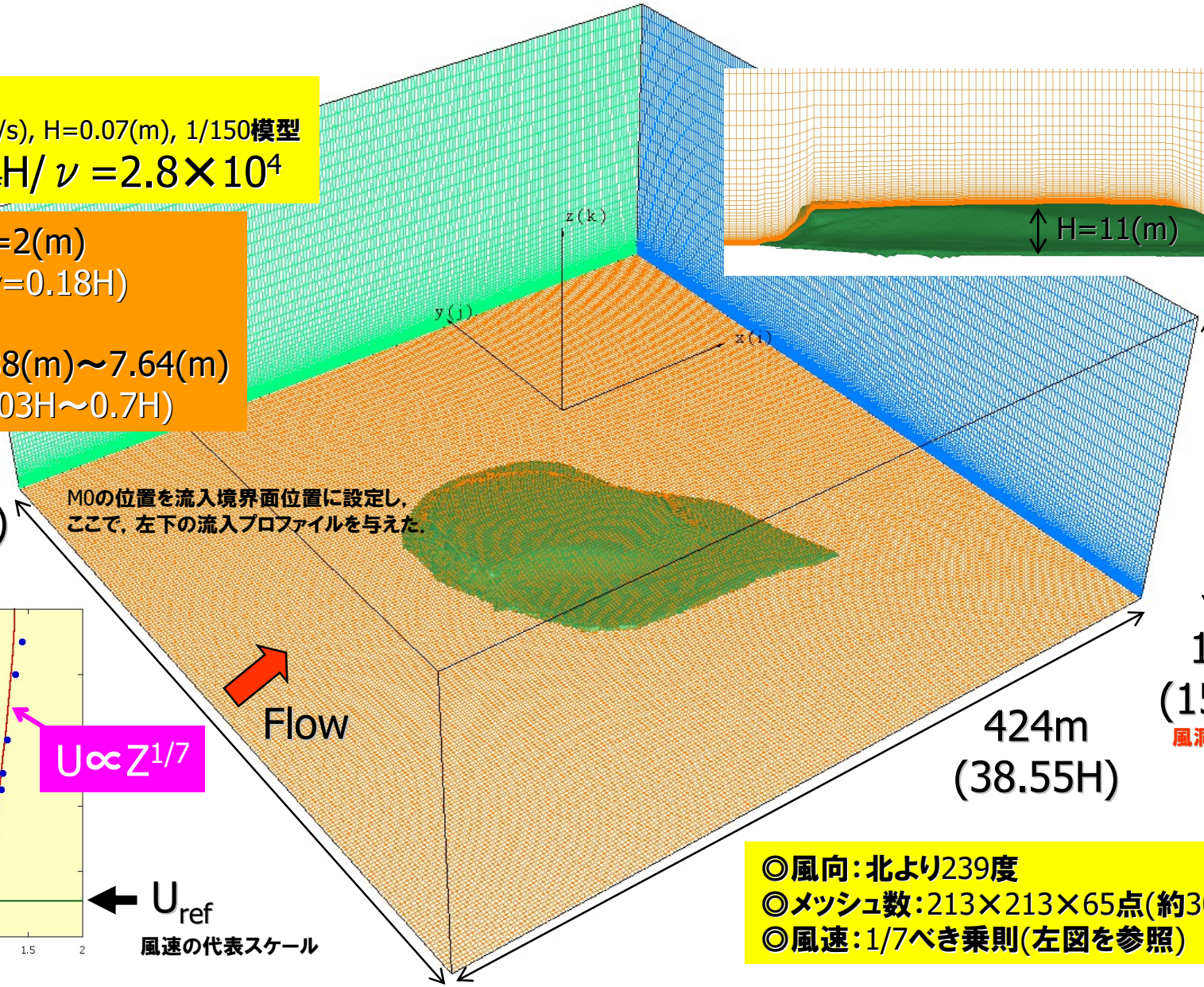
計算領域など③

風洞実験
U_{ref}=6.08(m/s), H=0.07(m), 1/150**模型**
$Re=U_{ref}H/\nu=2.8\times10^4$

$\Delta x=\Delta y=2$(m)
($\Delta x=\Delta y=0.18H$)

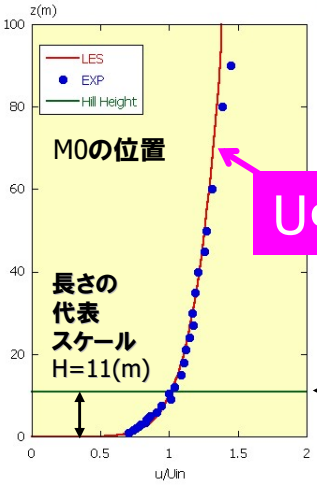
$\Delta z=0.038$(m)～7.64(m)
($\Delta z=0.003H$～$0.7H$)





424m
(38.55H)

M0の位置を流入境界面位置に設定し，
ここで，左下の流入プロファイルを与えた．



$U\propto Z^{1/7}$

Flow

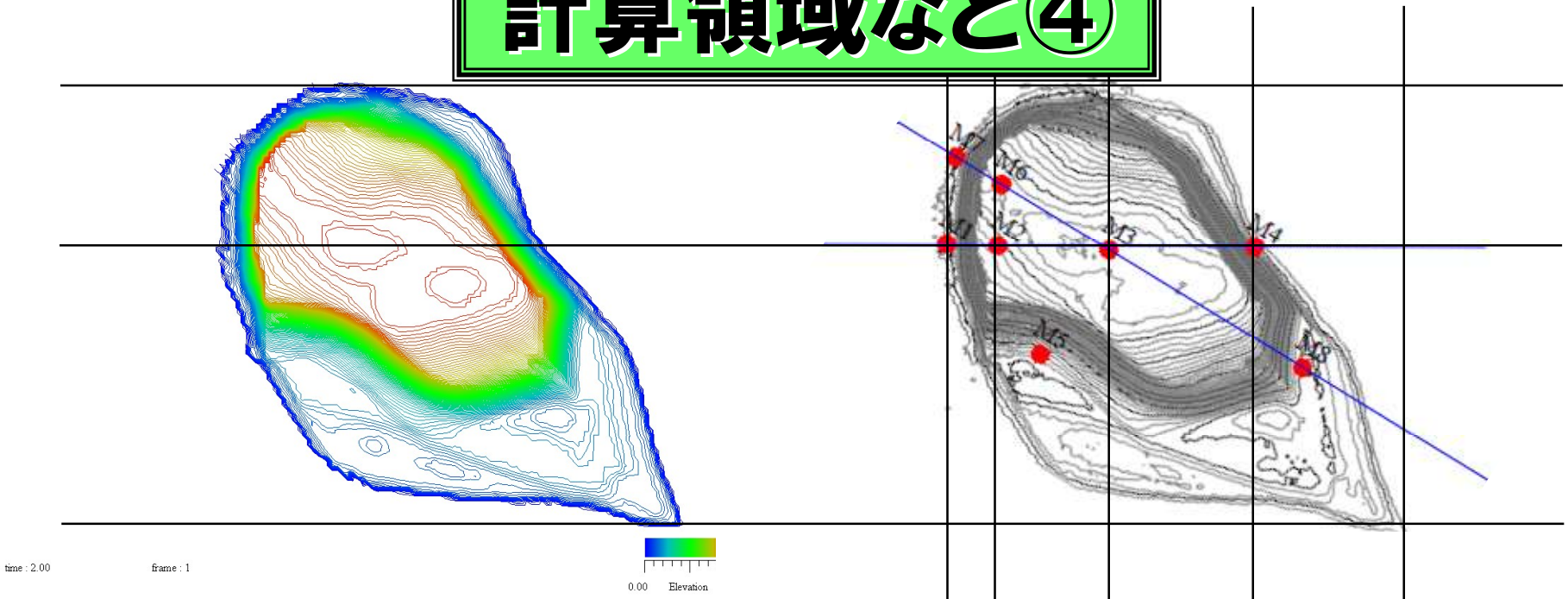
U_{ref}
風速の代表スケール

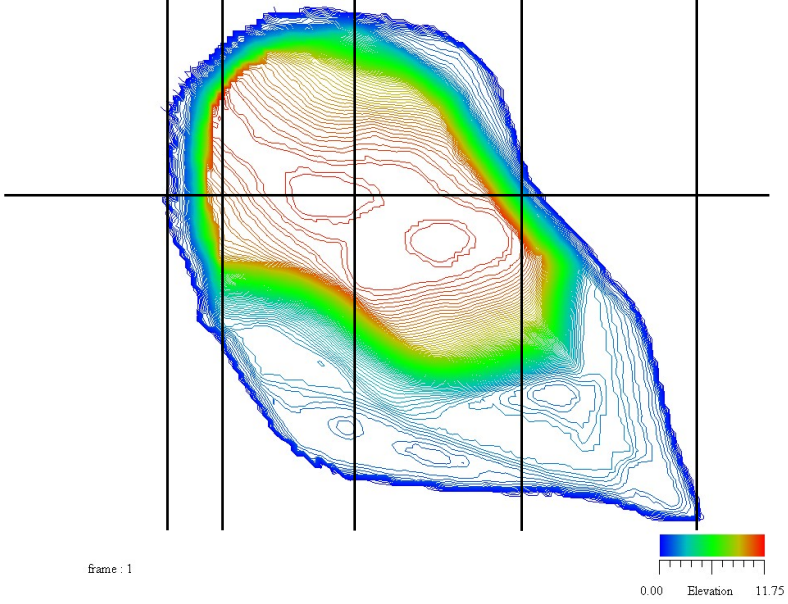
424m
(38.55H)

170m
(15.45H)
風洞実験と同じ

◎風向：北より239度
◎メッシュ数：213×213×65点(約300万点)
◎風速：1/7べき乗則(左図を参照)

計算領域など④





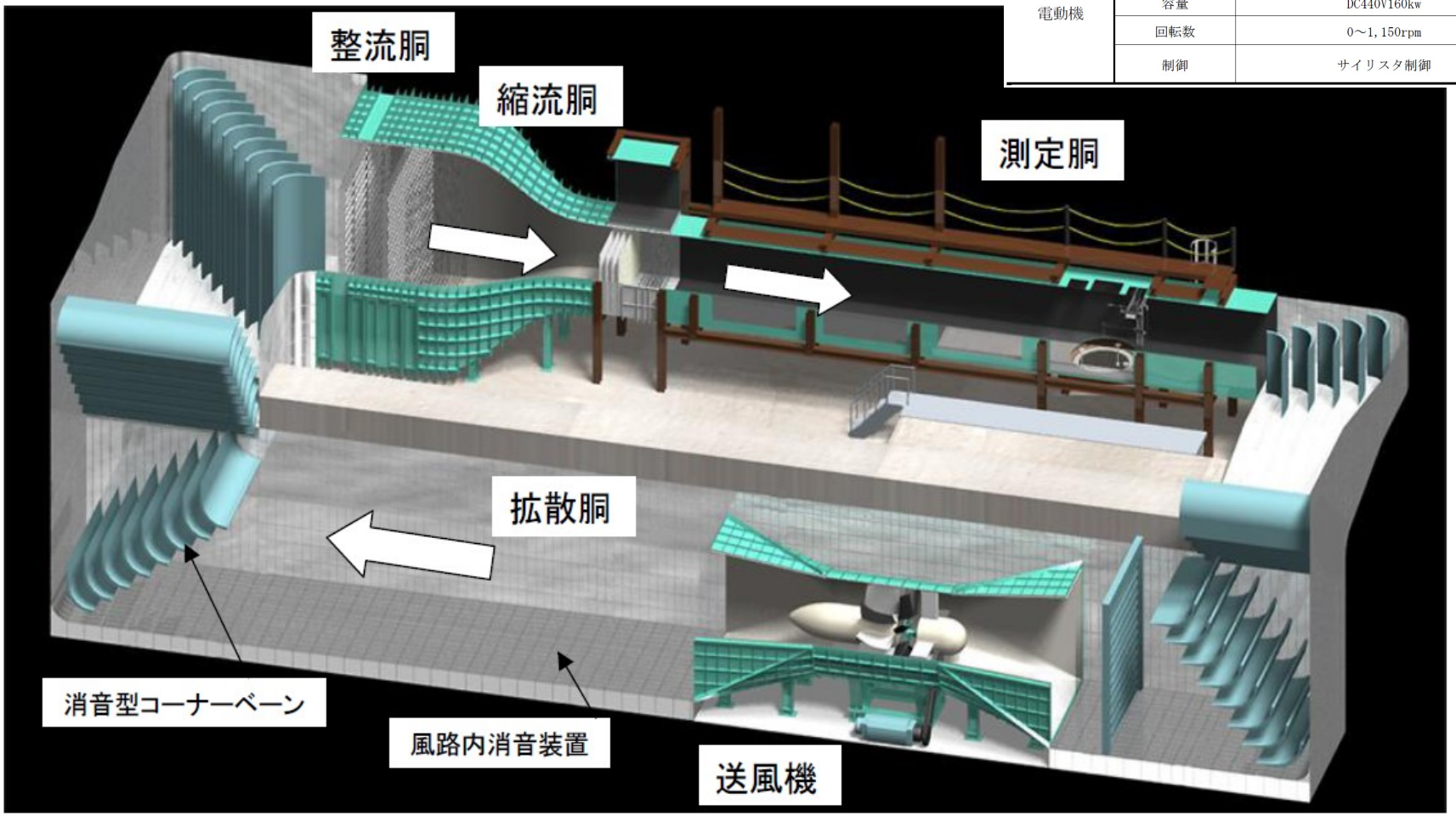
CFDにおける評価ポイント

M1 (i,j) = (72, 115)
M2 (i,j) = (82, 115)
M1 (i,j) = (104, 115)
M2 (i,j) = (132, 115)

風洞実験①

風洞本体	測定部断面	2,200㎜(幅)×1,800㎜(高さ)
	測定胴長さ	161,470㎜
	境界層長さ	12,850㎜
	風速範囲	0.2～20m/s
送風機	型式	手動可変ピッチ付 低騒音型軸流送風機
	風量	80m^3/sec
	静圧	80㎜Aq
電動機	型式	他力強制冷却型直流電動機
	容量	DC440V160kw
	回転数	0～1,150rpm
	制御	サイリスタ制御

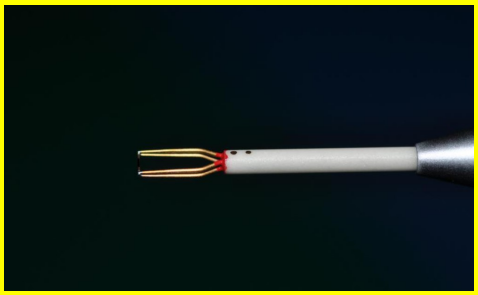
風洞全体図



東京大学生産技術研究所所属の境界層型風洞
（測定部長さ16.5m，幅2.2m，高さ1.8m）

風洞実験②

［計測機器など］



・スプリットファイバープローブ

・1点あたりの計測時間：サンプリング間隔1kHZで60秒

・測定高さ:地表面近くを密にし，上空に向かって粗.

M1からM8における測定高さ(実スケール換算)

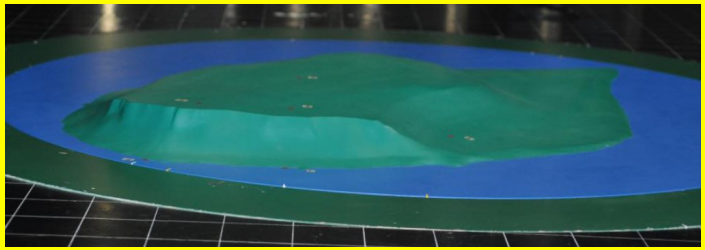
1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, 5m, 6m, 7.5m, 9m, 10.5m, 12m, 15m ,18m, 21m, 24m, 27m, 30m, 35m, 40m, 45m, 50m, 60m, 80m の計26点.

M0ではさらに, 90m, 120m, 150m, 165m の計30点.

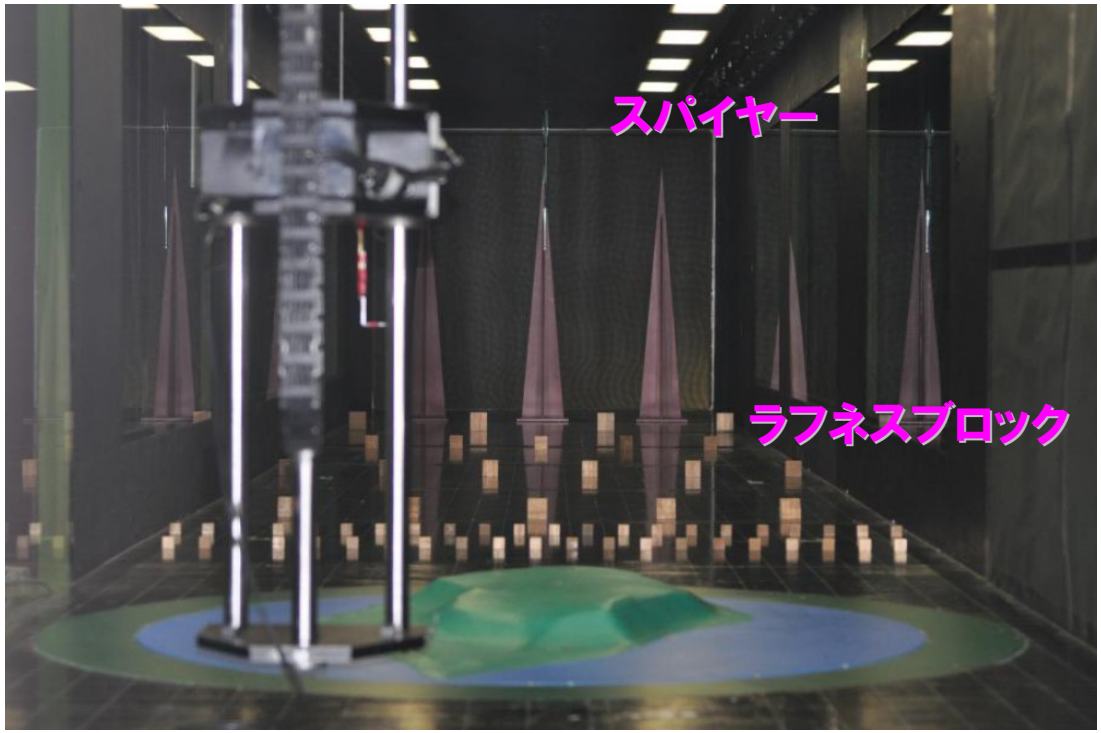
風洞実験③

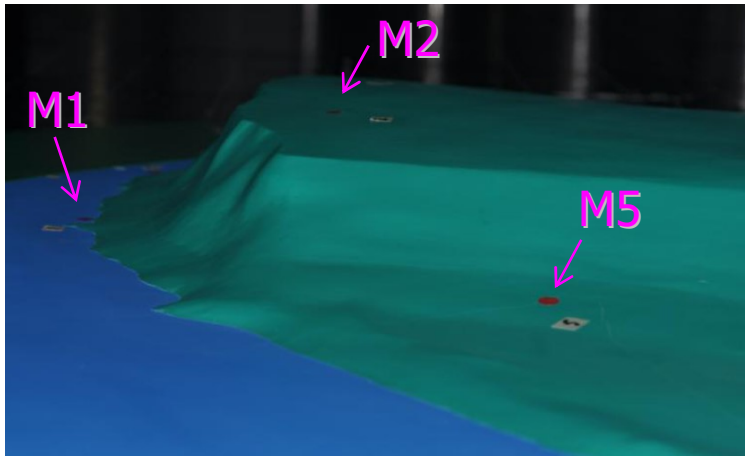
［地形模型］

・スケール：1/150



実スケールの丘の高さ11(m)は，風洞実験では7(cm)



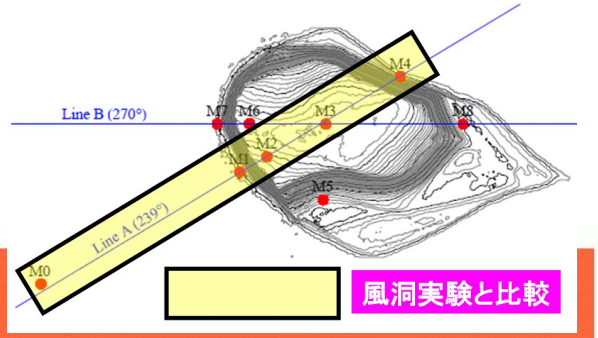


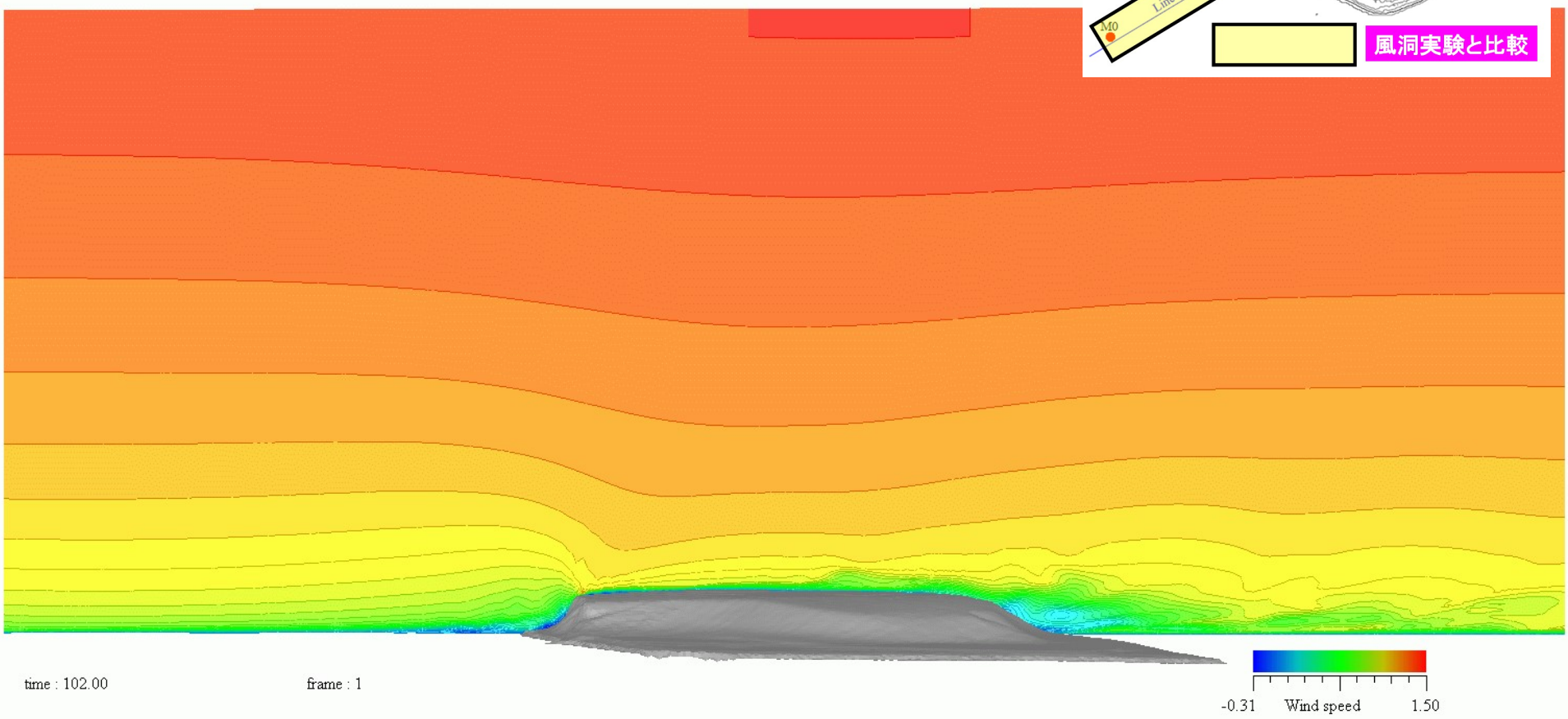
風向Aラインの風上端部

風洞内の様子
（Rear View）

計算結果①

Flow

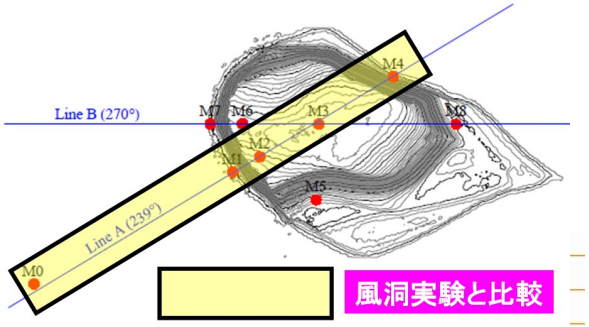


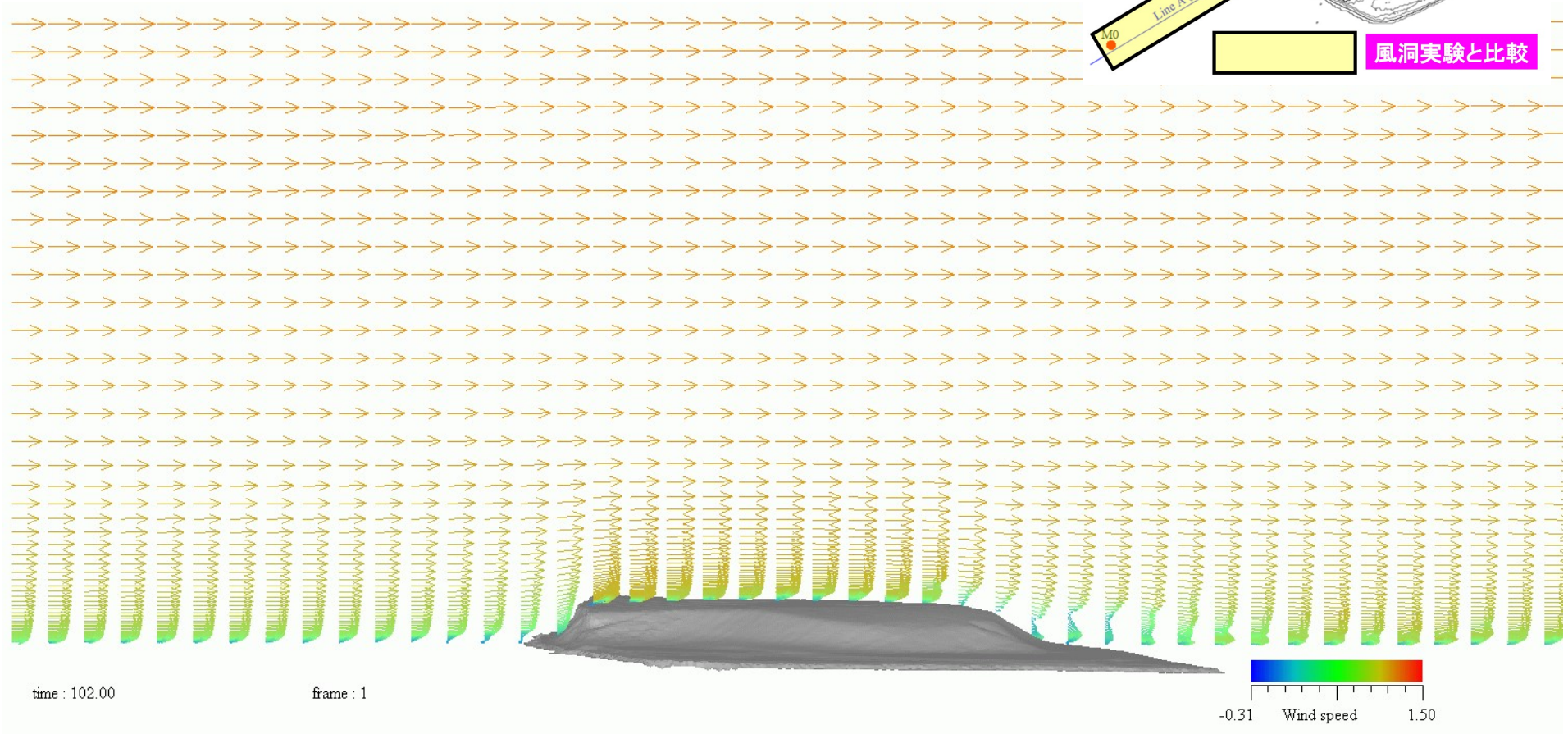


Aラインを含む鉛直断面内の主流方向速度成分の分布，瞬間場(t=100～200)のアニメーション

計算結果②

Flow

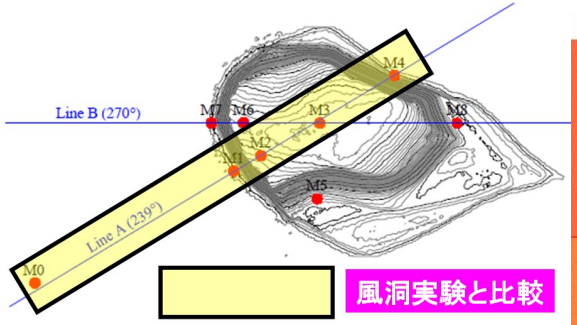




Aラインを含む鉛直断面内の速度ベクトル，瞬間場(t=100～200)のアニメーション

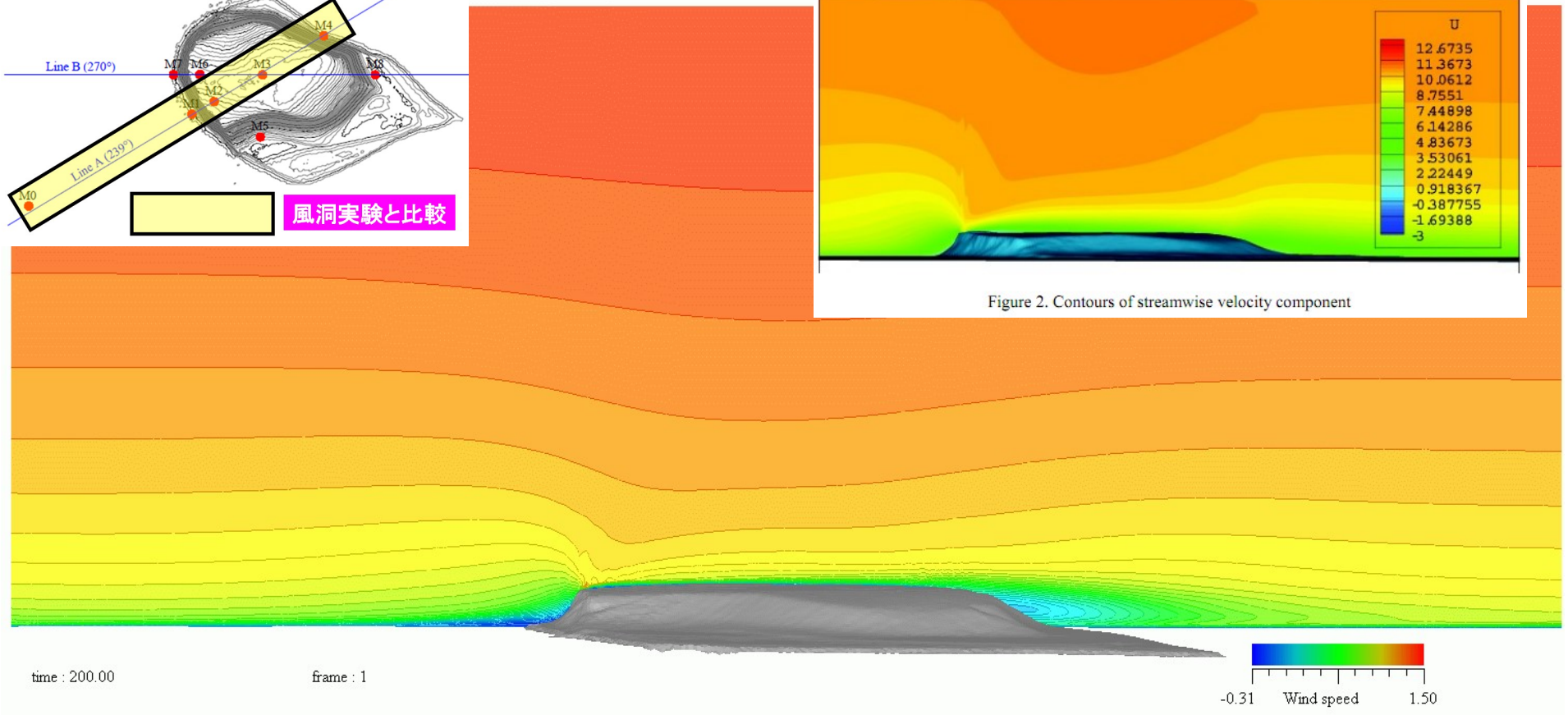
計算結果③

Numerical simulation of atmospheric boundary layer flow over complex terrain The Bolund hill case
Nikola Mirkov * and Saša Kenjereš **
* Laboratory for Thermal Engineering and Energy,
Institute of Nuclear Sciences „Vin č a", Serbia
**Department of Multi-Scale Physics, TU Delft, The Netherlands



風洞実験と比較

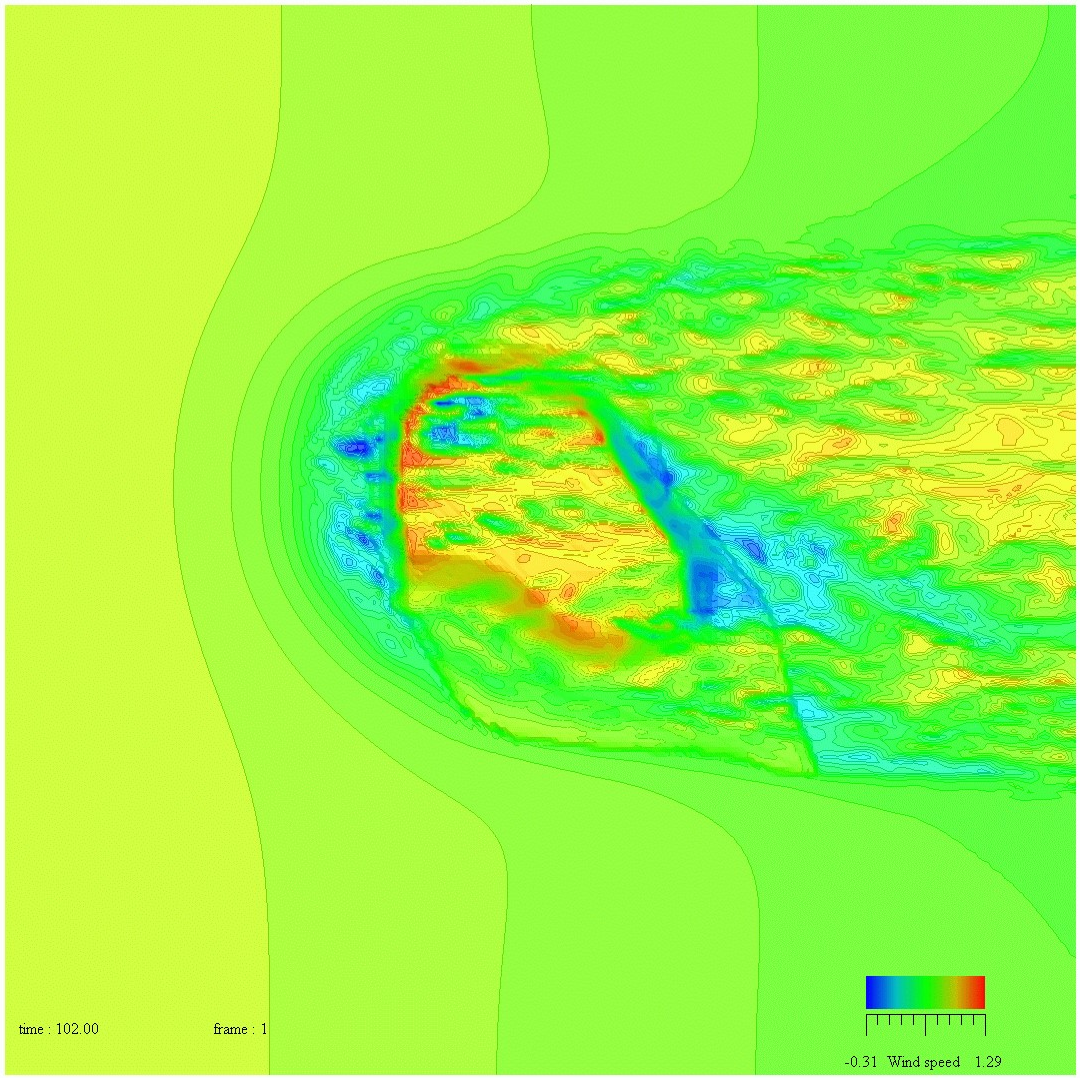
Figure 2. Contours of streamwise velocity component



Flow

Aラインを含む鉛直断面内の主流方向速度成分の分布，時間平均場(t=100～200)

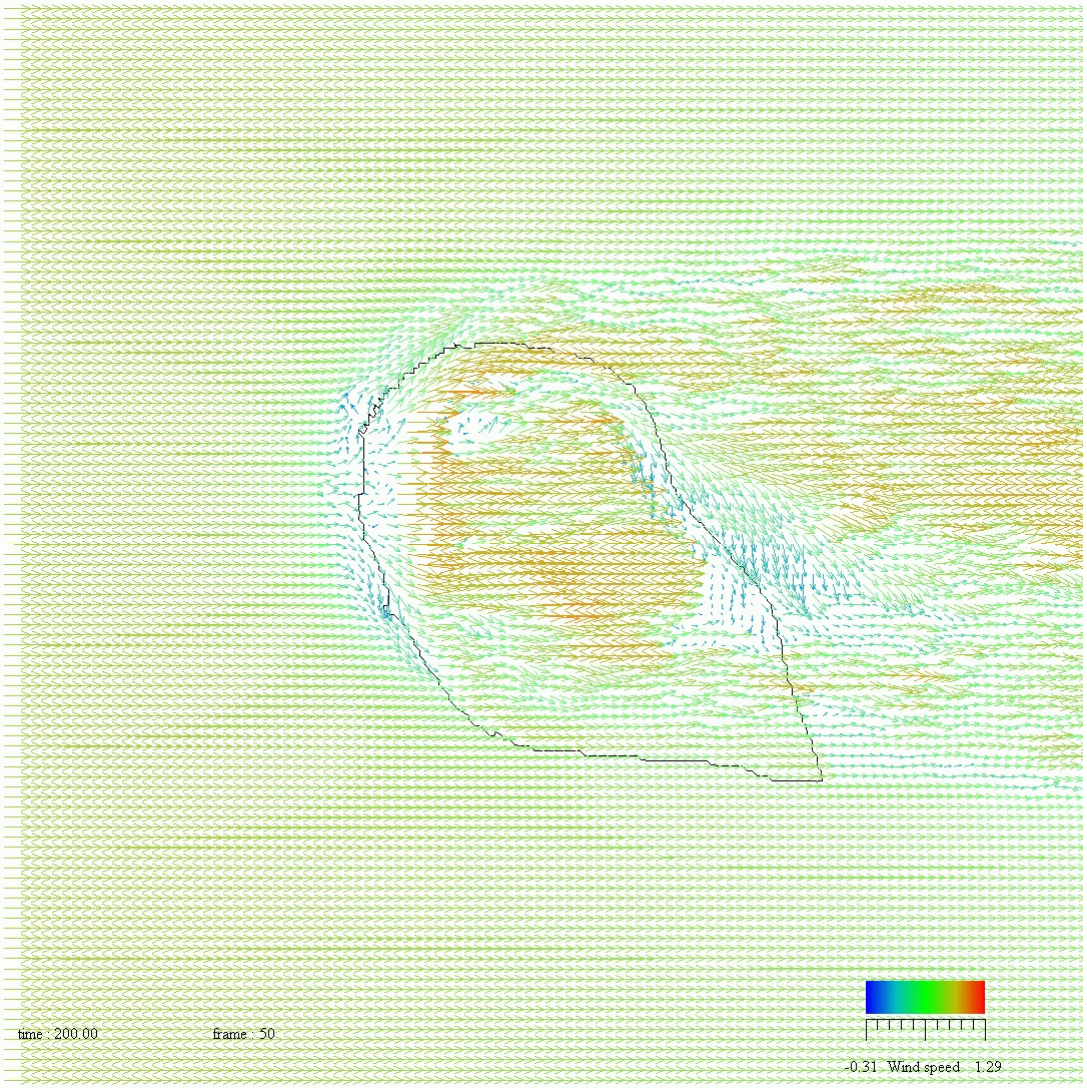
計算結果④



地上高(2m)における主流方向速度成分の分布，瞬間場(t=100～200)のアニメーション

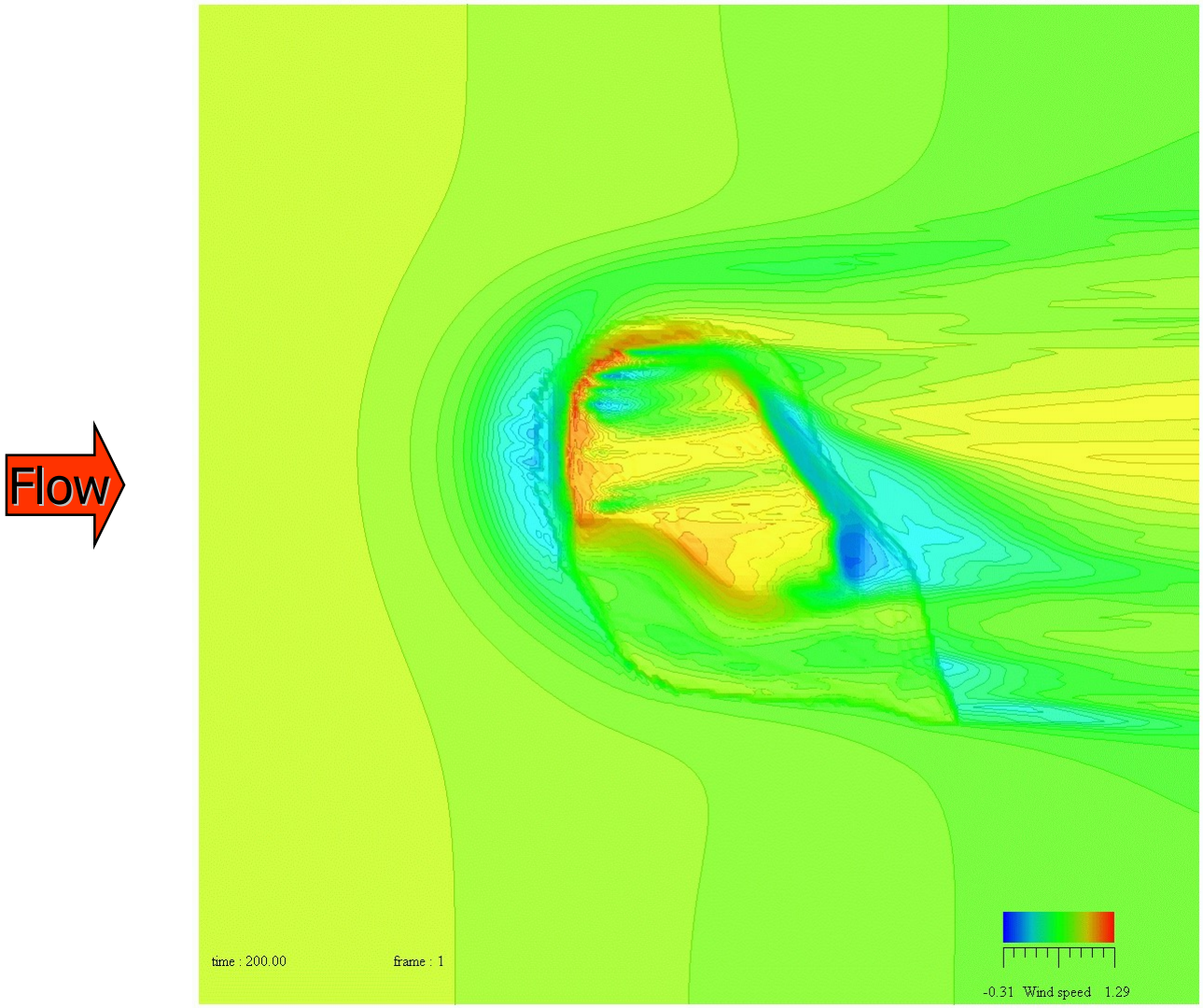
計算結果⑤

Flow



地上高(2m)における速度ベクトル，瞬間場(t=100～200)のアニメーション

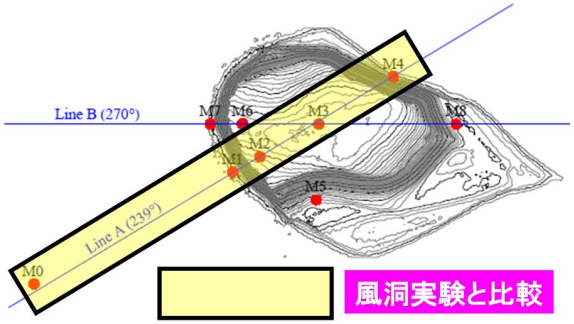
計算結果⑥

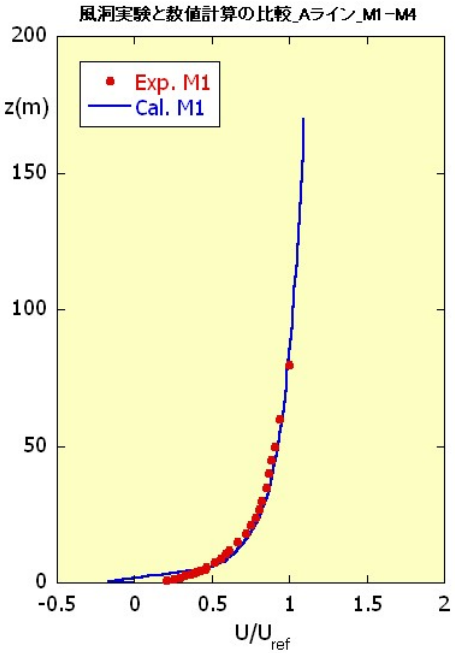


地上高(2m)における主流方向速度成分の分布，
時間平均場(t=100～200)

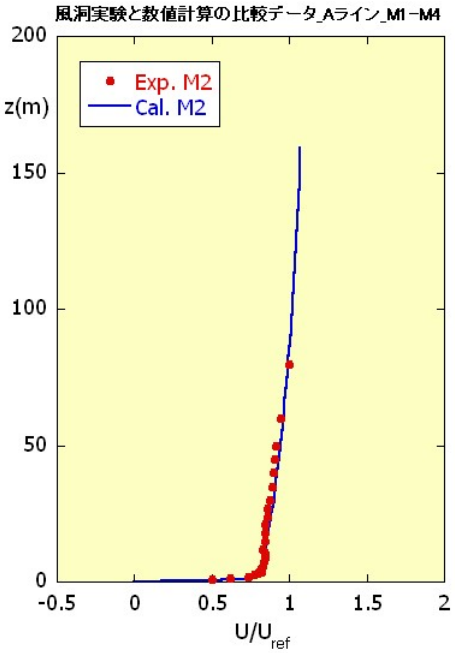
計算結果⑦

数値計算および風洞実験ともに
z*=80(m)の風速で無次元化

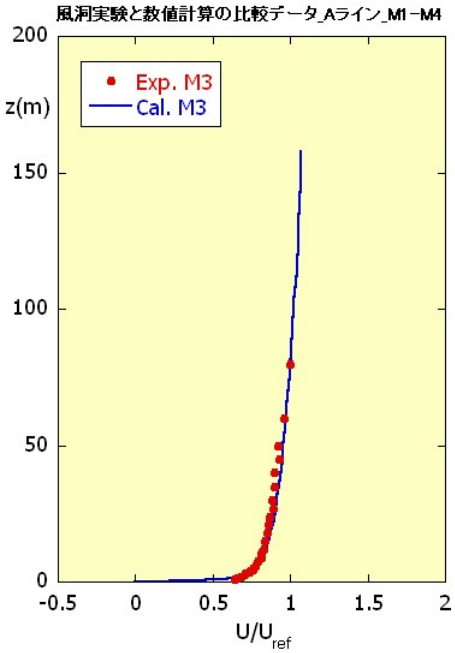




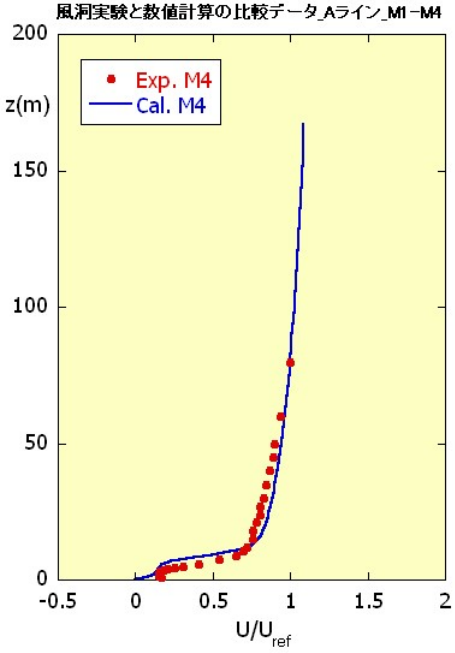
M1地点



M2地点



M3地点



M4地点

平均速度プロファイルの比較
シンボル：風洞実験，ライン：数値計算

ま と め

- LES乱流モデルに基づいた実地形版RIAM-COMPACT®を用いて数値風況予測を実施した.
- 東京大学生産技術研究所(加藤研究室)の境界層風洞にて，スプリットファイバープローブによる気流計測を実施した.
- Bolund Experiment 観測サイト周辺の気流性状を明らかにするとともに(流れの可視化)，数値シミュレーションの予測精度を検証した.
- その結果，CFDによる予測値は，すべての地点において風洞実験結果と良好な一致を示し，LES乱流モデルに基づいたCFDの有効が明らかになった.