

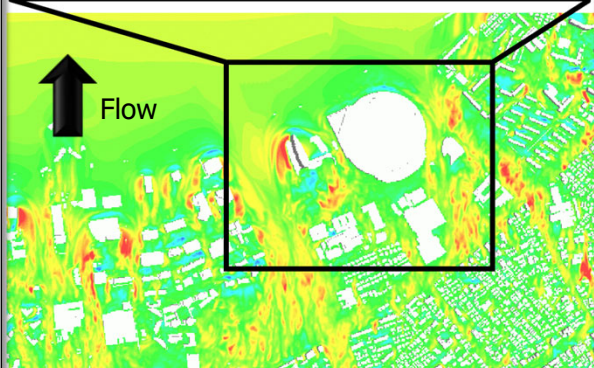
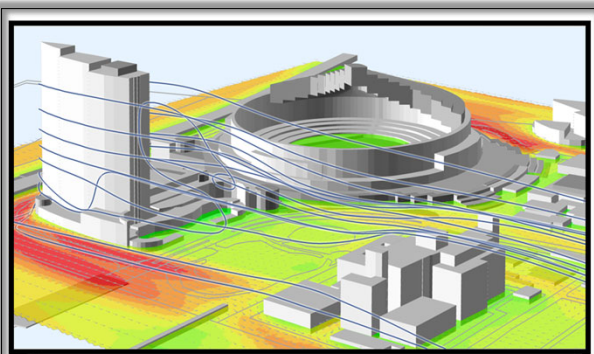
数値風況予測モデルRIAM-COMPACT(リアムコンパクト)を用いた狭域風況研究の現状と将来展望



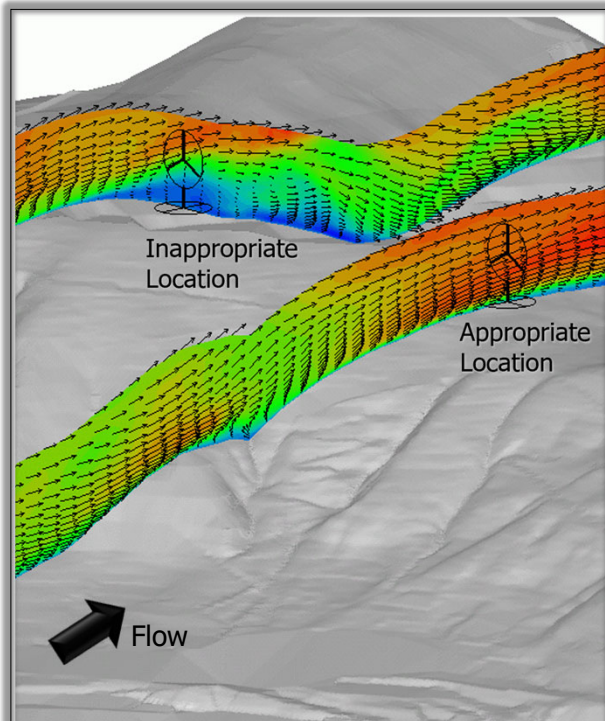
内田 孝紀 / Uchida Takanori

応用力学研究所 / 再生可能流体エネルギー研究センター / 洋上風力エネルギー高度利用分野

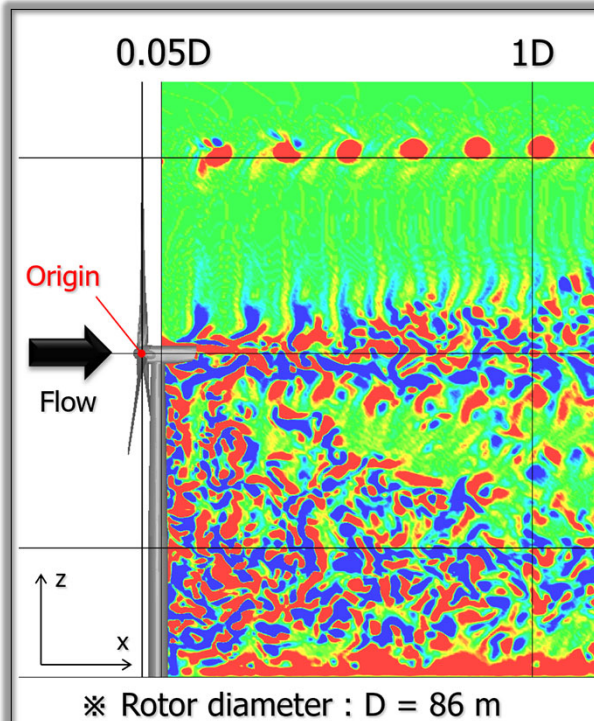
兼務：洋上風力研究教育センター / マルチスケール洋上風況研究部門 / 部門長



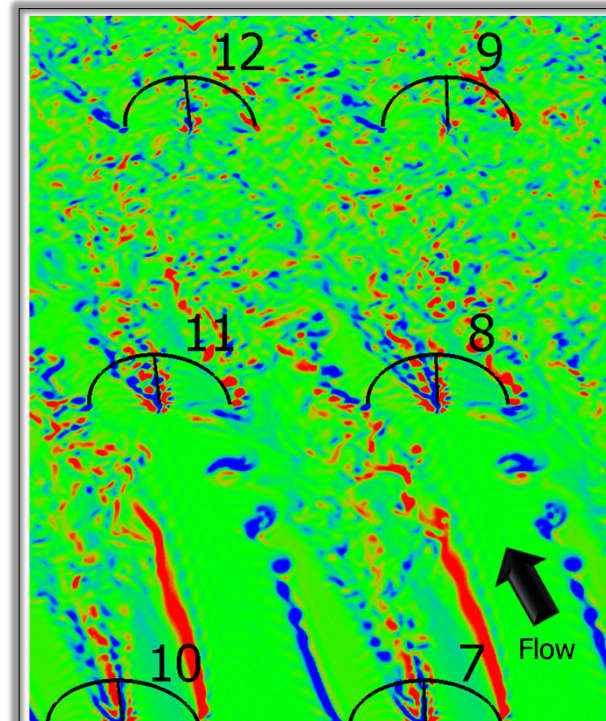
Wind simulation around real urban area (Fukuoka city)



Wind simulation of wind power plant over complex terrain



Wind turbine wake simulation



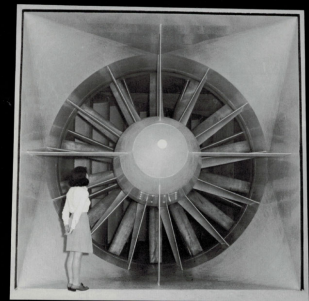
Offshore wind farm wake simulation

研究室の沿革 / Laboratory History

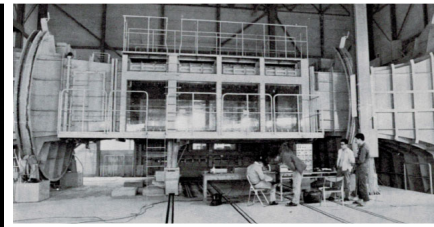
1942年(昭和17) 1月24日: 九州帝国大学・流体工学研究所
(当初2部門、翌年2部門増設)の設置



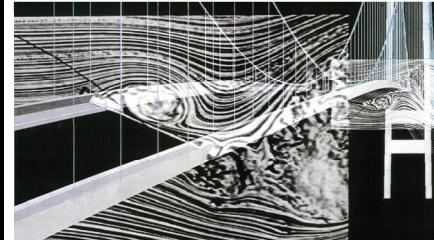
台風災害実験用風洞装置



九州大学 応用力学研究所

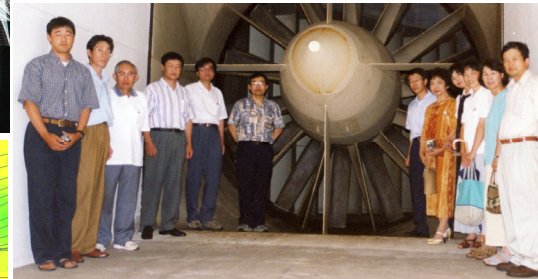
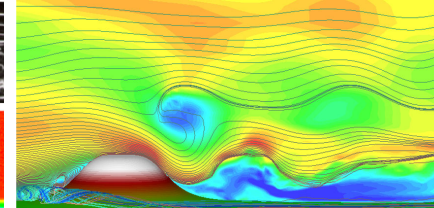
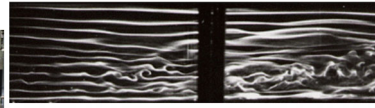
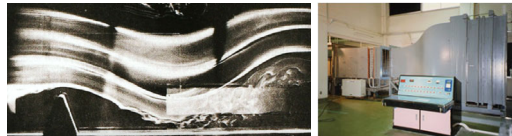


1951年(昭和26) 4月: 応用力学研究所の発足(流体工学研究所と弾性工学研究所を統合)
流体研究部 / 流体工学部門(第三研究室)の設立



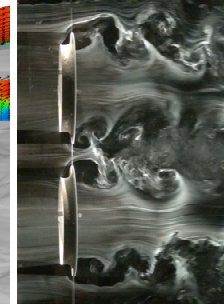
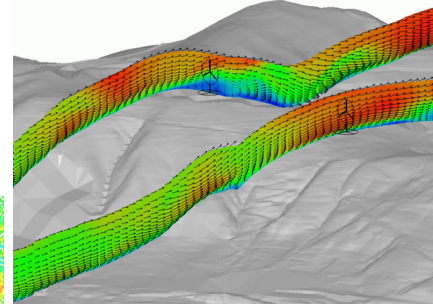
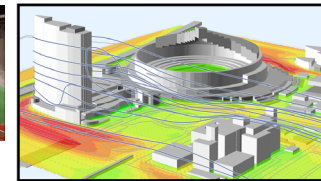
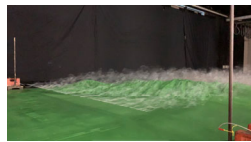
1968年(昭和43): 中村 泰治 教授着任

1994年(平成6) 4月: 内田 孝紀 九州大学大学院 総理工学研究所
大気海洋環境システム学専攻 修士課程入学



1995年(平成7) 3月: 中村 泰治 退職

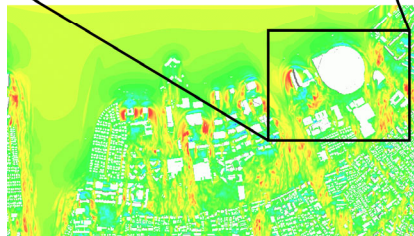
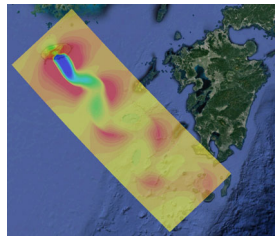
1997年(平成9) 4月: 大屋 裕二 教授昇任 / 海洋大気力学部門 / 大気流体工学分野へ移行



2000年(平成12) 4月: 内田 孝紀 助手採用

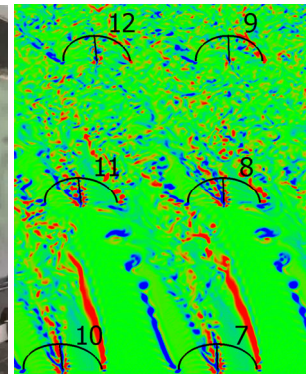
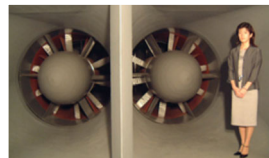
2010年(平成22) 4月: 新エネルギー力学部門 / 風工学分野へ移行

2011年(平成23) 9月: 内田 孝紀 准教授昇任



2017年(平成29) 3月: 大屋 裕二 退職

2022年(令和4) 4月: 洋上風力研究教育センターの発足
(内田孝紀 マルチスケール洋上風況研究部門長を兼務)



2023年(令和5) 4月: 再生可能流体エネルギー研究センター /
洋上風力エネルギー力学分野へ移行

2023年(令和5) 12月: 内田 孝紀 教授昇任
同センター / 洋上風力エネルギー高度利用分野へ移行



数値風況予測モデルRIAM-COMPACTの研究開発

数値風況予測モデル・RIAM-COMPACTとは

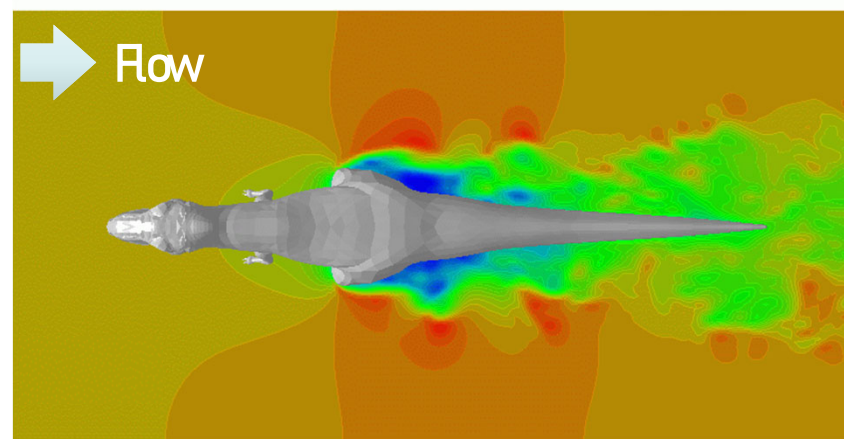
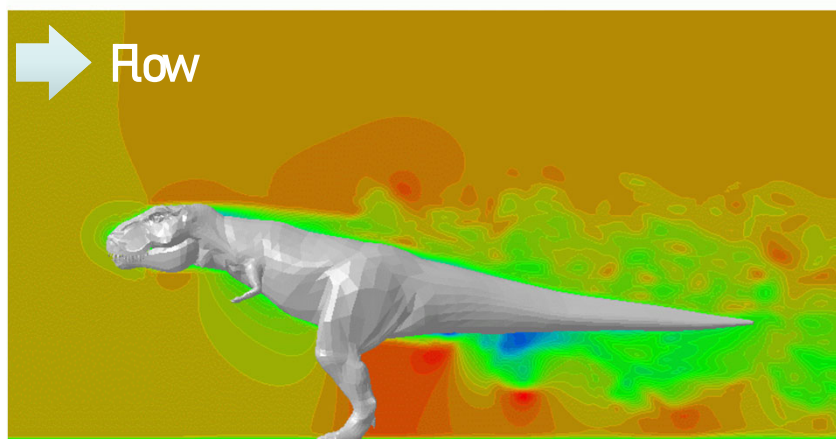
- 数値流体力学(**C**omputational **F**luid **D**ynamics:**CFD**)に基づいたコンピュータシミュレーション技術

リアムコンパクト / RIAM-COMPACT

Computed using RIAM-COMPACT LES model

流体運動に関する方程式(連続の式、ナビエ・ストークス方程式およびその派生方程式)をコンピュータで解くことによって流れ場および拡散場を数値予測する手法

- 広範囲な風工学研究の中で生まれ育ったコンピュータシミュレーション技術
- 1996年(内田、博士課程進学)～現在:**25年以上にわたる研究開発の歴史**

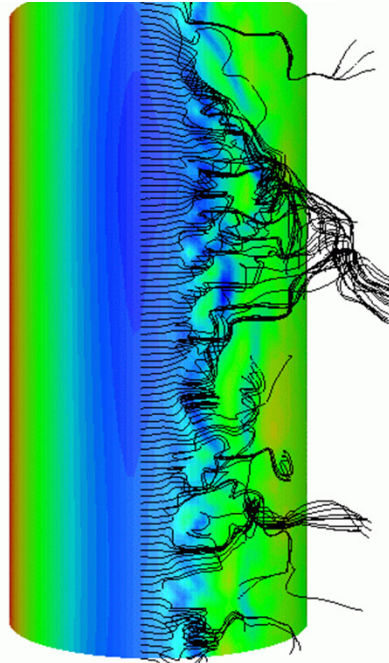


数値風況予測モデル・RIAM-COMPACTの着眼点

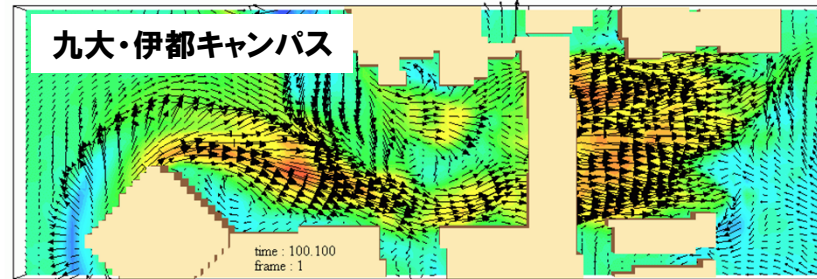
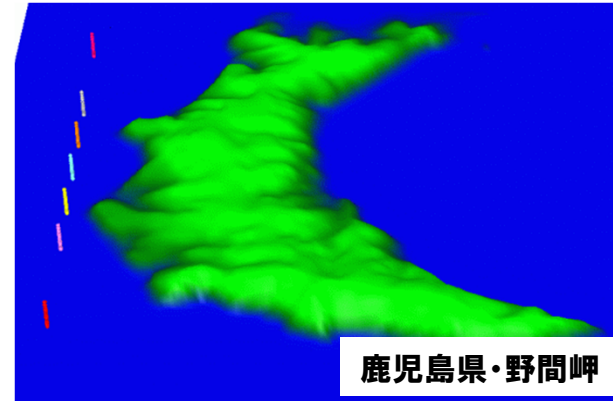
Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University,
Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain

- 九州先端科学技術研究開発表彰IT賞, ISIT, 2015
- 第11回産学官連携功労者表彰・環境大臣賞, 内閣府, 2013
- 文部科学大臣表彰「若手科学者賞」, 文部科学省, 2010
- 所長賞, 九州大学応用力学研究所(RIAMフォーラム), 2007
- 船井情報科学奨励賞, 船井情報科学振興財団, 2006
- 研究奨励賞受賞, 日本風工学会, 2001

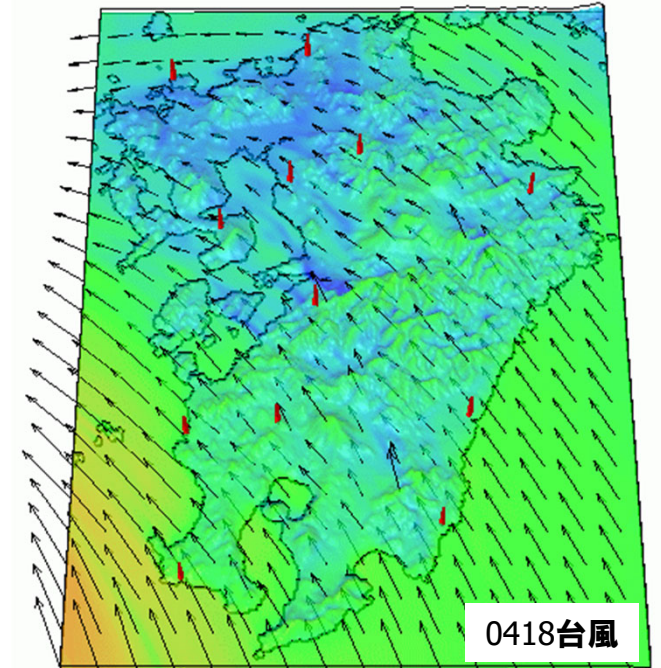
円柱 / Drag Crisis現象



数m以下の物体スケール



数m～数十kmのマイクロスケール



数十km以上のメソスケール

- 1996年当時(博士課程進学)、数m以下の物体スケール(工学分野)、数十km以上のメソスケール(気象分野)が主な研究対象であった。一方、その中間領域の数m～数十kmのマイクロスケールは、私達の実生活に関連した身近な風環境にも関わらず、それを忠実に再現可能な数値風況予測モデルの重要性は、十分に認識されていなかった。
- 我々は、物体スケールとメソスケールの「スケールギャップ」に着目し、世界最先端の流体計算技術に基づいた斬新で汎用的な数値風況予測モデル(RIAM-COMPACT: リアムコンパクト)の開発に成功し、この分野の新たな道を拓いた。

数値風況予測モデル・RIAM-COMPACTの特長

Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University,
COMputational Prediction of Airflow over Complex Terrain

RIAM-COMPACTの強み
 ■完全in-house CFD (※1)モデル, 25年以上の開発
 ■非定常乱流モデルLES (※2)
 ■CPU, GPU, スパコン対応 → 数十億格子点

※1 Computational Fluid Dynamics, ※2 Large-Eddy Simulation

1. 広範囲の風工学研究から生まれ育ったRIAM発の完全in-house CFDモデル、25年以上の開発の歴史、数十km以下の局所域スケールのあらゆる風況場、拡散場を再現可能
2. 乱流モデリングLESを省いた支配方程式(ナビエストークス方程式、圧力のポアソン方程式)の離散化に関して、元の微分方程式の性質を保持するよう、各項の保存性に優れた高次差分スキームを採用、特に非線形項である対流項の保存性には格段の注意を払ってコード開発を実施
3. 圧力のポアソン方程式の離散化では高次精度化の導入、緩和解法の高速化を同時に実現(修正SOR法, Red-Black SOR法, Bi-CGSTAB法など)
4. ナビエストークス方程式、圧力のポアソン方程式のカップリングアルゴリズム(FS法など)と時間積分スキームの精度についても、現在提案されているスキームはほぼ網羅
5. 2~4の各種組み合わせに関する膨大なパラメトリック計算を実施し、計算アルゴリズムおよび差分スキームの最適な組み合わせを発見(博士課程の3年間で重点的に実施)
6. 2~5の終了後、LESの種々のSGSモデリングを検討し(混合時間スケールモデルなど)、数値粘性項やモデル係数を風洞実験や野外計測から、特に風力分野向けに最適化を実施

⇒ きめ細やかなチューニングと独自の様々な工夫が施されている
 国内の風力業界の標準モデルとして広く認知されている
 ⇒ CPUおよびGPU、ノートPCからスパコンまで、あらゆる計算機リソースに対応可能(世界初)
 計算規模は数十万点~数十億点
 ⇒ 特にスパコン版RIAM-COMPACTでは、計算機性能を最大限に引き出すため、以下を検討

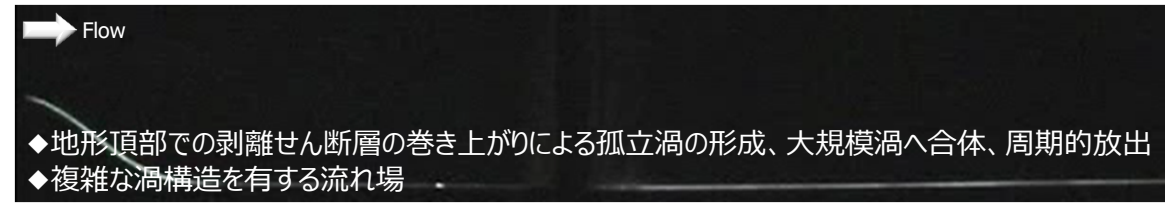
- ◆ 効率的な並列実行を考慮した領域分割
- ◆ SIMD性能を考慮した空間三重ループの交換、例えば $P(i, j, k) \Rightarrow P(k, i, j)$
- ◆ 低Byte/Flopsアーキ対応(ループ内のメモリアクセスを減らし、演算数を増やすため、メトリック計算を展開)

風力分野における風況予測手法の分類

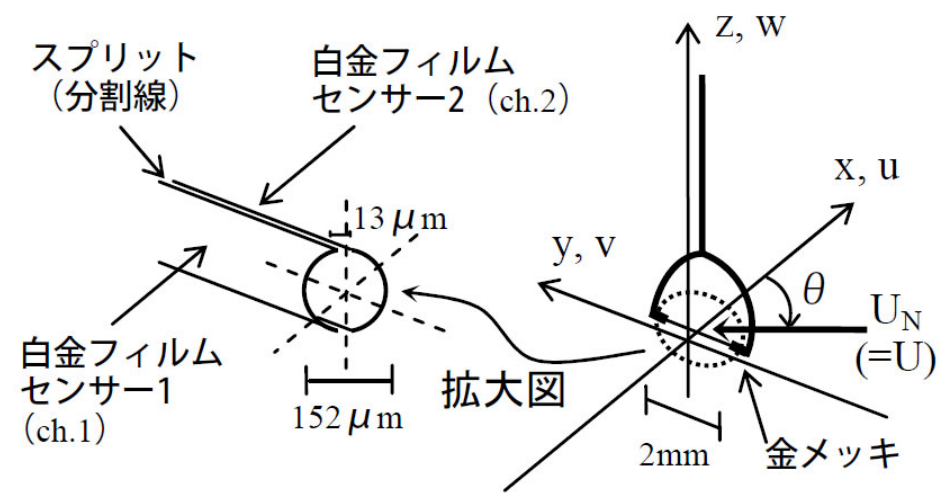
分類	細分類	入力データ	シミュレーションモデル
非線形	気象モデル (メソスケール)	GPVデータ	LAWEPS (1-3次)
			ANEMOS
	工学モデル (マイクロスケール)	GPVデータ + 風況観測データ	MM5, RAMS等
			LOCALS
線形		風況観測データ、シミュレーション結果	MASCOT
			RIAM-COMPACT
			LAWEPS (4-5次)
線形		風況観測データ	WAsP, AVENU等

数値風況予測モデル・RIAM-COMPACTの予測精度

2次元尾根地形を過ぎる複雑乱流場(Re=10000)
温度成層風洞による室内実験：流れ場の可視化と気流計測



スモークワイヤー法による流れ場の可視化

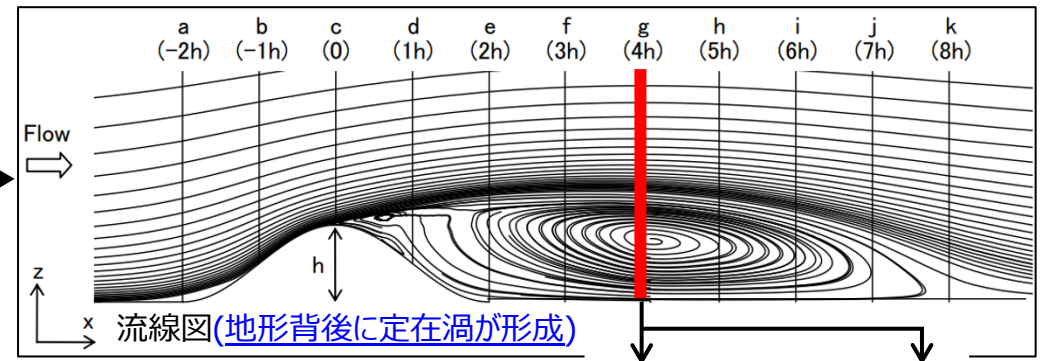


順流と逆流が検出可能なスプリットフィルムプローブによる気流計測

Takanori UCHIDA and Yuji OHYA,
Micro-siting technique for wind turbine generators by using large-eddy simulation,
Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics (Elsevier), 96, 2121-2138, 2008

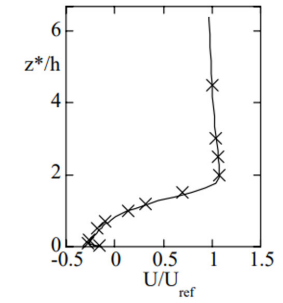


時間平均

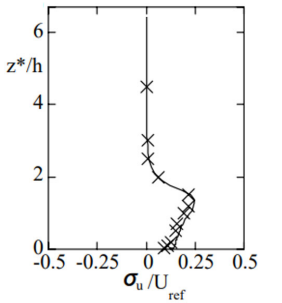


— : 数値シミュレーション
× : 風洞実験

両者の定性的・定量的
一致を得た



平均風速分布



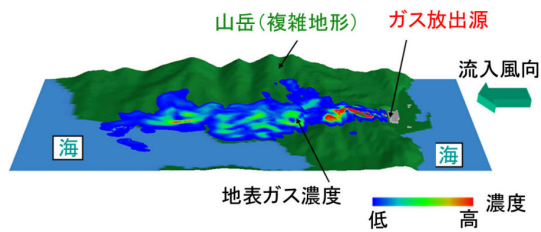
標準偏差分布

大気環境予測に関する取り組み

- 事例① 三菱重工との共同研究
- 事例② 三宅島火山ガスの研究
- 事例③ 福岡市からの委託プロジェクト
- 事例④ 東京大学との共同研究:TAC計画
- 事例⑤ JAXAとの共同研究
- 事例⑥ 南極・昭和基地プロジェクト
- 事例⑦ 鉄道総合研究所との共同研究
- 事例⑧ RKB毎日放送からの委託プロジェクト
- 事例⑨ 東京2020オリンピック/国立競技場の風力換気の研究

複雑地形へ適用可能な非定常乱流拡散 数値シミュレーション技術の開発 —風洞実験代替に向けて—

Development of Unsteady Numerical Simulation Model
for Gas Diffusion Over Complicated Terrains by Using Large-Eddy Simulation
—Numerical Model for Replacement of Wind Tunnel Experiments—



岡林 一木*1
Kazuki Okabayashi

永山 圭憲*2
Yoshinori Nagayama

原 智宏*3
Tomohiro Hara

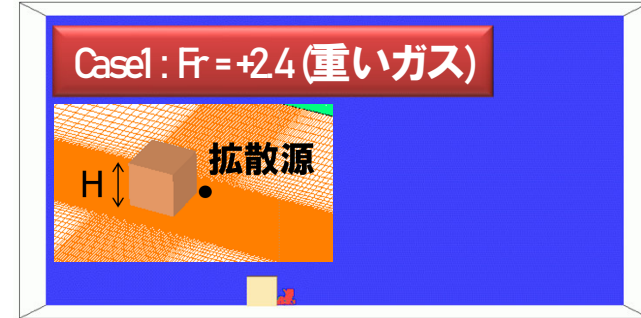
堀 英一*4
Eiichi Hori

大屋 裕二*5
Yuji Ohya

内田 孝紀*6
Takanori Uchida

今般, 原子力学会標準委員会では, **原子力関連施設の安全審査における周辺被ばく評価**に関して, 従来行われてきた風洞実験の代わりに数値シミュレーションを用いるための基準作りが始められている. これに対応するために, 乱流モデルの1つであるラージ・エディ・シミュレーション (LES) を用いた非定常乱流計算を複雑地形上の拡散場へ適用して, これまでの風洞実験結果との比較検証を行った. その結果, 実用的な計算時間内で, 精度の良い予測結果が得られ, 本解析技術が風洞実験に代替可能な非定常乱流拡散計算法となることが確認された.

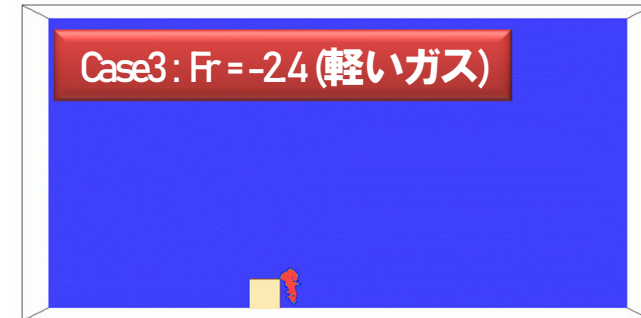
関連する研究



Flow



Flow



Flow

内田 孝紀, 荒屋 亮
実在市街地における浮力効果を考慮したガス拡散の大規模数値予測
九州大学応用力学研究所所報, 第142号, pp.63-70, 2012

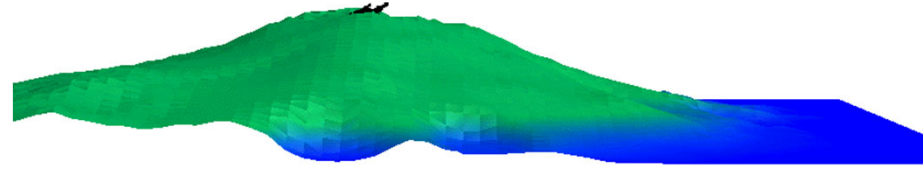
事例② 三宅島火山ガスの研究

2003

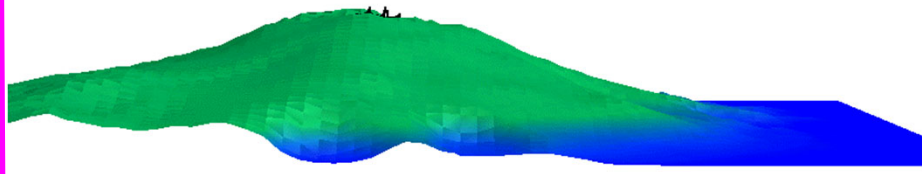
NHK「ニュース10」,
TBS「報道特集」で紹介

大気はほとんどの場合、鉛直方向に密度（あるいは温度）が変化した成層状態にある。この大気成層流中に現れる様々な流動、波動現象の解明を目指している。

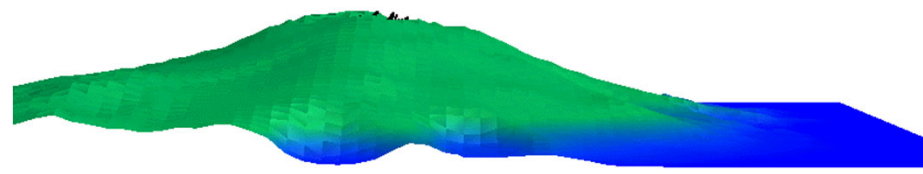
West Wind →



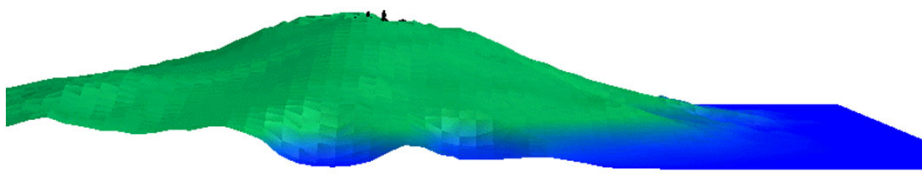
中立流 (Fr=∞)



安定成層流 (Fr=1)



安定成層流 (Fr=0.5)



安定成層流 (Fr=0.1)

主に夜間に出現

大気安定度パラメータ：
フルード数 $Fr(=U/Nh)$

U：風速(m/s)
N：浮力振動数(1/s)
h：山の高さ(m)

内田 孝紀, 大屋 裕二

パッシブ粒子追跡法による三宅島火山ガス挙動の可視化, 可視化情報学会論文集, 23巻, 7号, p.58-65, 2003

三宅島火山ガスの研究

NHK「ニュース10」,
TBS「報道特集」で紹介

West Wind →

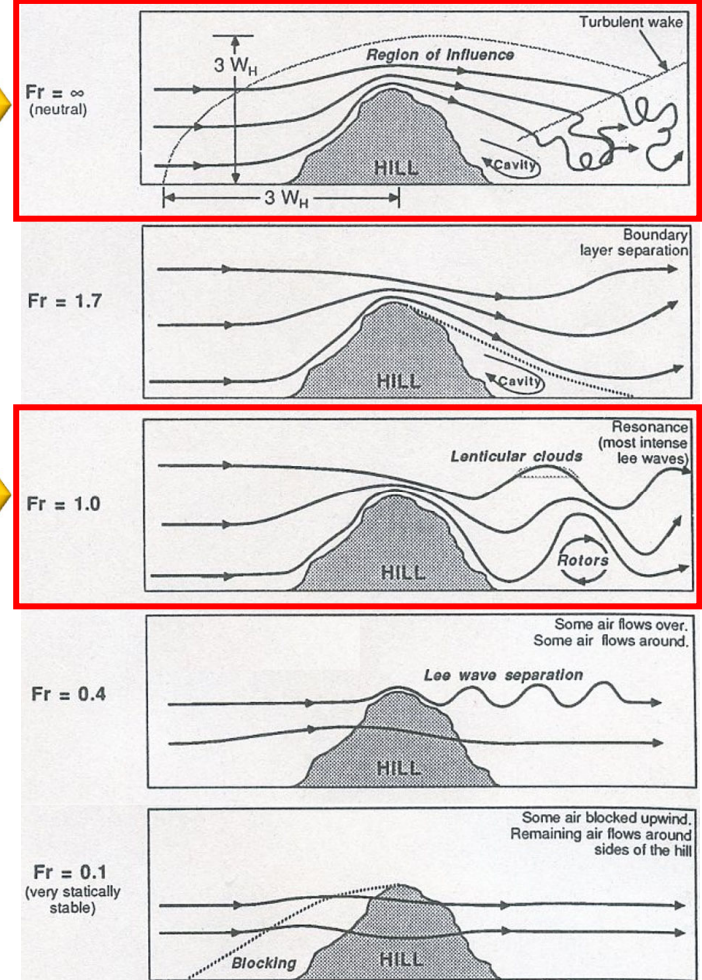
- 中立成層の $Fr = \infty$ では、大規模渦の放出(剥離域)が形成
- 火山ガスの高濃度域の出現
- 風下波の出現
- 安定成層の $Fr = 1$ では、流れ場に劇的な変化が生じる
- 長波長の風下波とこれに起因した強い下降流が誘起される
- その結果として、火山ガスの高濃度域が風下側に出現する

内田 孝紀, 大屋 裕二
パッシブ粒子追跡法による三宅島火山ガス挙動の可視化
可視化情報学会論文集, 23巻, 7号, p.58-65, 2003

大気安定度パラメータ：
フルード数 $Fr(=U/Nh)$

U : 風速(m/s)
N : 浮力振動数(1/s)
h : 山の高さ(m)

参考：
種々のフルード数(Fr)における流れパターン

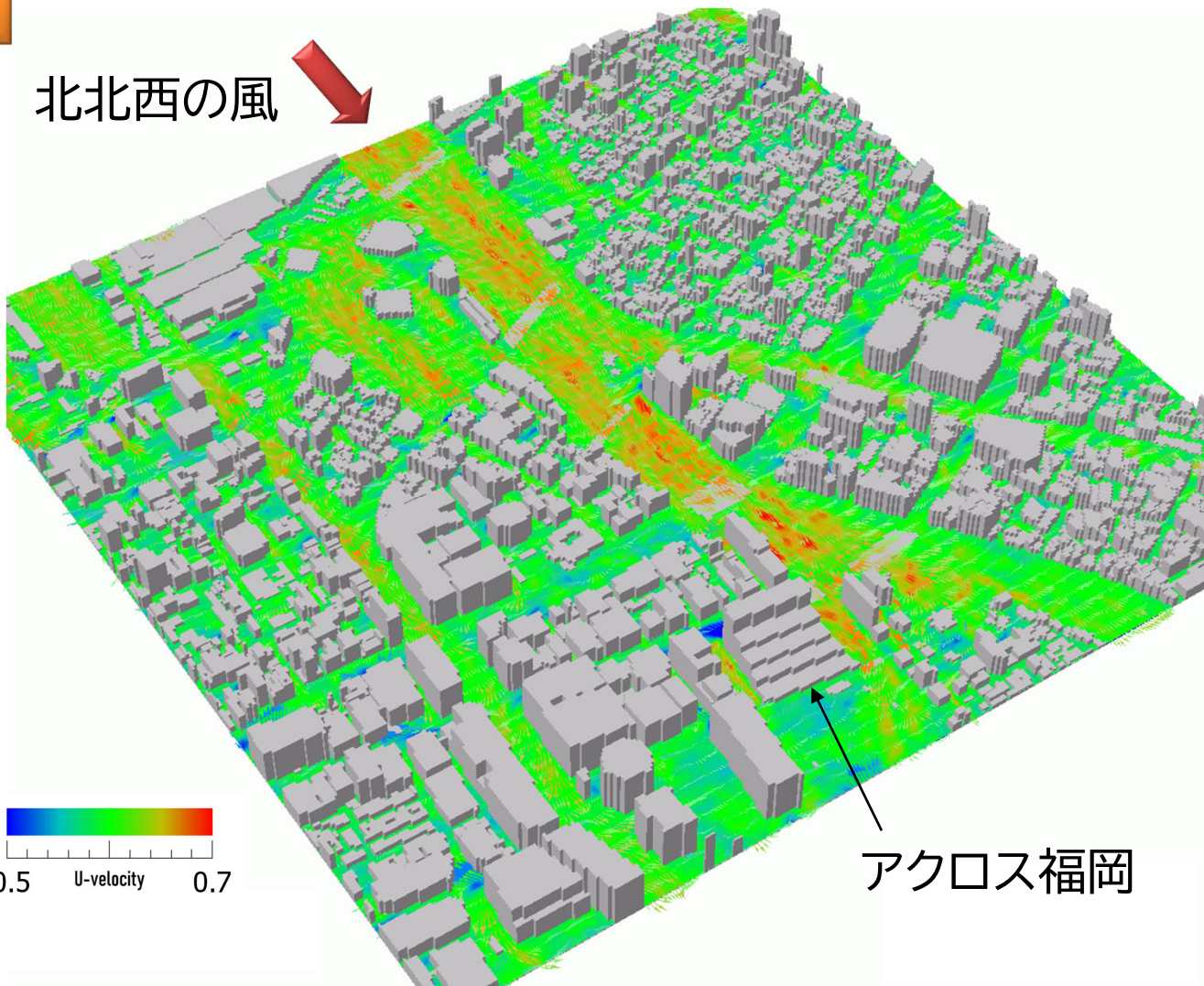


Roland B. Stull, An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Springer Science & Business Media, 1988

事例③ 福岡市からの委託プロジェクト

2012

北北西の風



アクロス福岡

福岡市天神地区の風の流れ(地上高2m)

福岡都心クール構想

福岡市は、都心部の風を利用してヒートアイランド現象を緩和する「クールスポット」を生み出そうという構想を進めている。市から依頼された九州大の内田孝紀准教授（風工学）が同市の天神地区や博多駅周辺の風の動きをコンピュータで解析。植栽で冷やされた風がビル街に流れ込み、辺りの温度を下げる効果が確認できたという。ヒートアイランド現象の緩和は、節電にもつながることから、今後の市の街づくりの進め方が注目される。（帆足英夫）

市が九大准教授に依頼

風の流れ 街づくりに活用



より4度高く、市はヒートアイランド現象の発生が確認できたとしている。この現象を緩和し、クールスポットをつくり出すためには、風の流れが重要な。市は昨年度、約440万円の予算で内田准教授に調査を委託。内田准教授は、天神地区と博多駅地区のそれぞれ、1㎡四方のエリアを対象に8月の日中を想定したシミュレーション（模擬実験）を実施した。建物の高さや形状、道路舗装や芝生の有無、樹木の高さ、日射量などのデータを入手。風の流れを解析するとともに、風の影響で地表付近の温度がどのように変わるのかも再現した。福岡の街には、年間を通して北北西からの風が吹くことが多い。解析結果によると、天神中央公園の南側では、同公園の植栽部分を通して冷やされた風が流れ込み、本来なら40度近くになる地表付近の気温が30度程度に、本来なら50度近

読売新聞
2012年7月10日

その他
NHK RKB毎日放送
にてTV放送

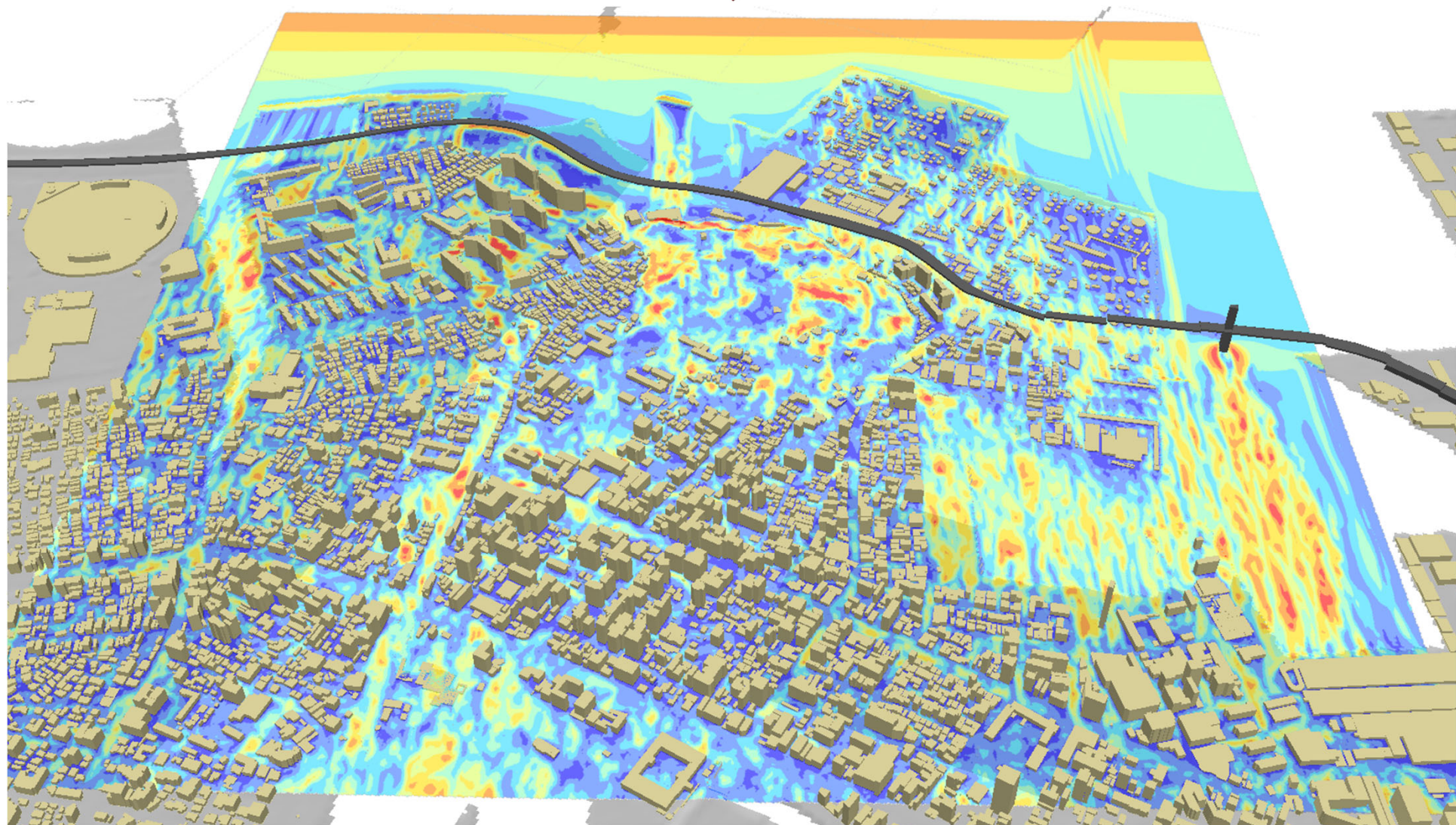
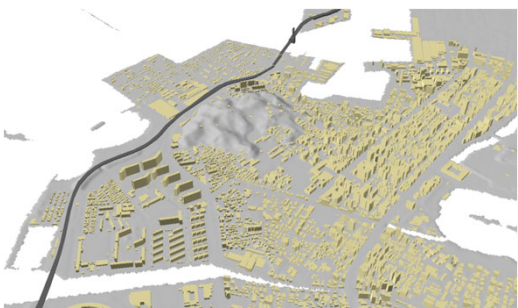
くなら地表温度が35度程度に下がる」ことが示された。植栽の冷却効果は公園だけでなく、周囲にも及んでいく。また、狭いビル街では、入ってきた風が行き場を失って渦を巻くような動きを「渦巻」が判明。周囲の地形や建物の形によって、風が入ってきた時より出ていく時の方が速くなることも分かった。内田准教授は「都心部の複雑な風の流れを把握することで、涼しい街づくりにつながる」と話している。同市の天神、博多両地区には、築30年以上建て替えて時期を迎えるビルが多い。市都心再生課は「植栽で冷やされた風がビル街をうまく流れることを目指し、模擬実験の結果をビルの建て替えや緑地の配置に生かしたい」としている。

事例③ 福岡市からの委託プロジェクト

2012

地形と建物が複合した計算

↓ 海風

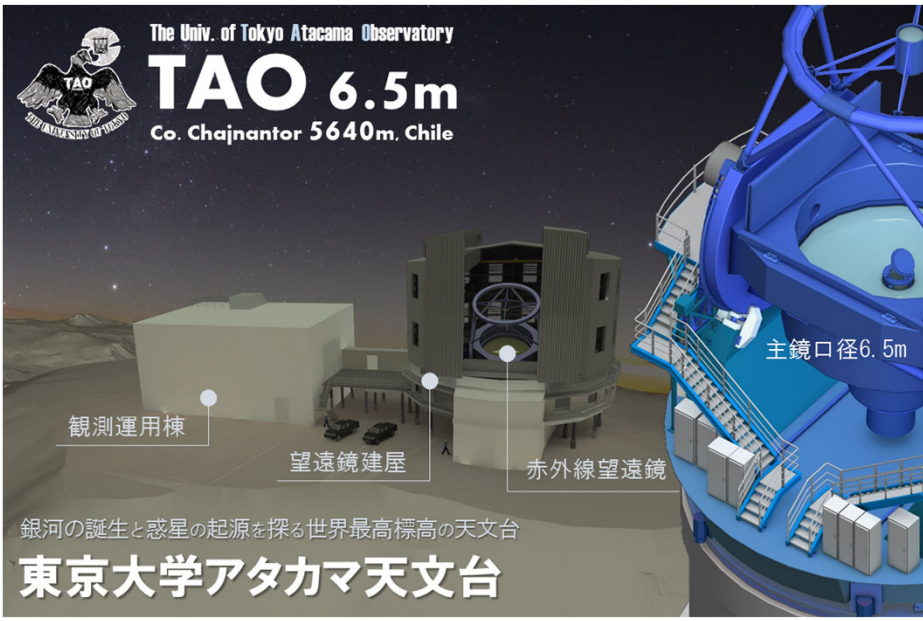


内田 孝紀, 荒屋 亮

福岡市街地を対象とした大規模数値風況予測, 九州大学応用力学研究所所報, 第142号, pp.55-62, 2012

事例④ 東京大学との共同研究:TAO計画

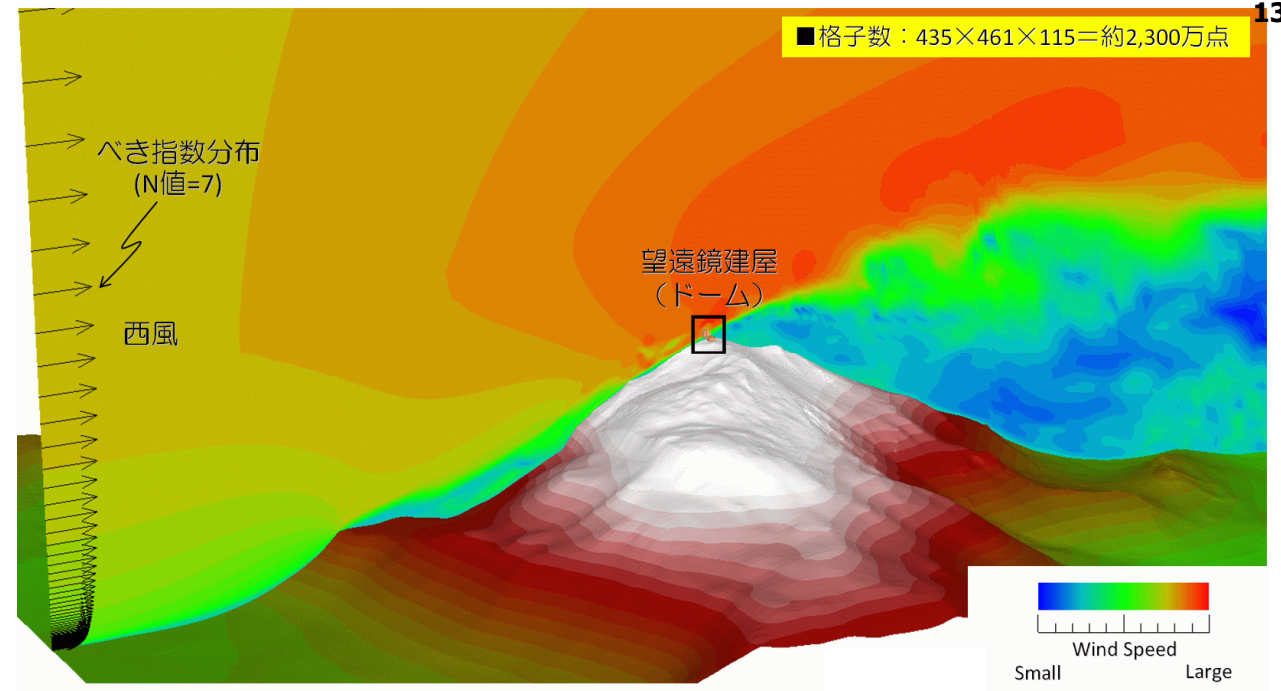
2014~2016



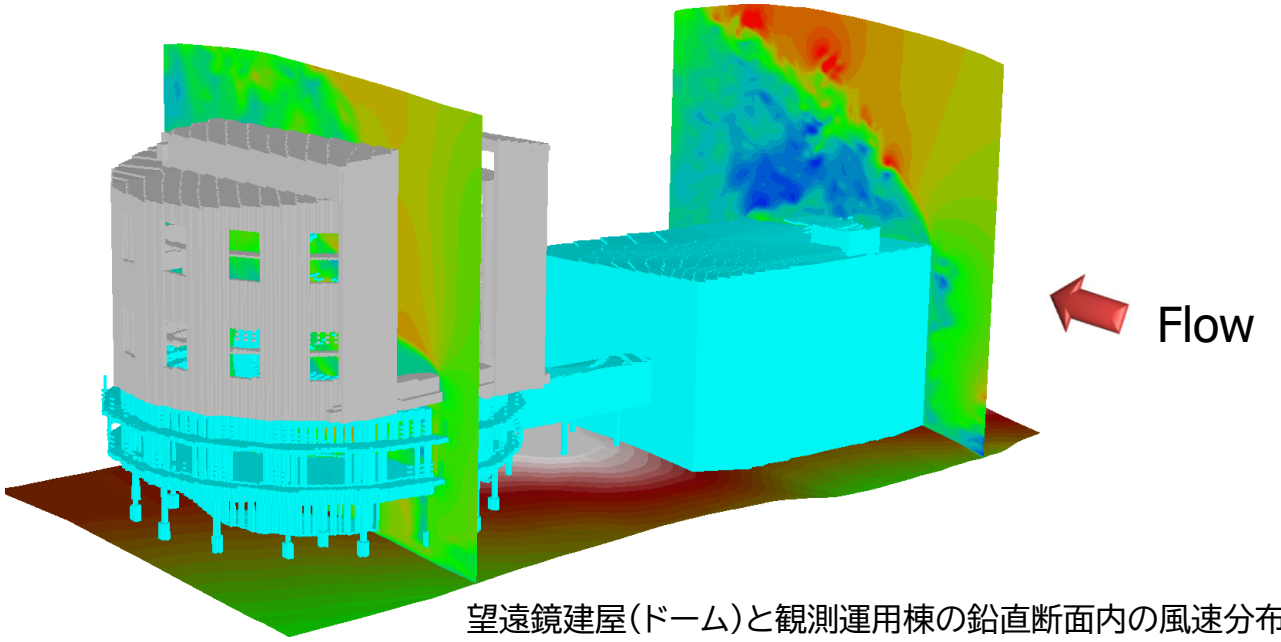
TAO(東京大学アタカマ天文台)計画Webサイト
<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/>

(※)TAO計画...TAO(東京大学アタカマ天文台; The University of Tokyo Atacama Observatory)計画とは、口径6.5mの大型赤外線望遠鏡をチリ共和国北部アタカマ砂漠のチャナントール山頂(標高5,640m)に建設し、ダークエネルギー(宇宙の膨張を加速するもとなる未知のエネルギー)、銀河・惑星系の起源の謎など天文学の最新トピックスを解明するために集中的に観測を推進することを目指すもので、東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センターが中心となって進めているプロジェクトです。

相手先	研究題目	期間
国立大学法人東京大学、 大学共同利用機関法人 情報・システム 研究機構 国立極地研究所、 (株)環境GIS研究所	数値風況解析と模型風洞実験による極地設置に関する 共同研究	2014年08月~ 2016年03月



チャナントール山の山頂を通る鉛直断面内の風速分布



望遠鏡建屋(ドーム)と観測運用棟の鉛直断面内の風速分布

事例⑤ JAXAとの共同研究

2012~2016

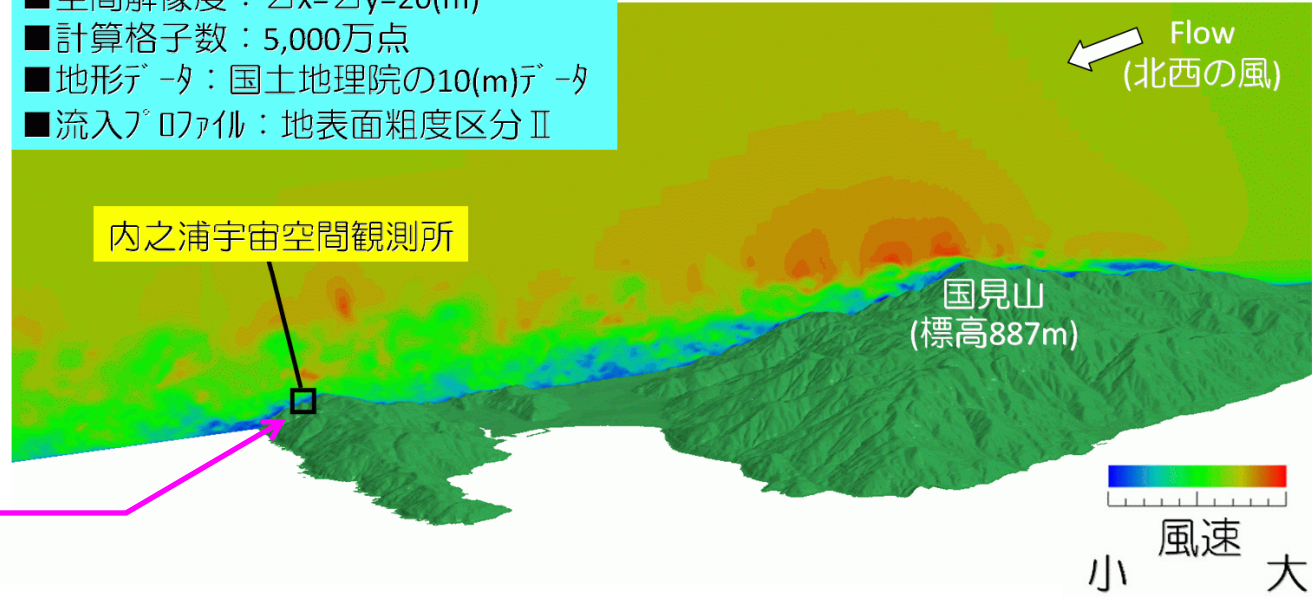
内之浦宇宙空間観測所



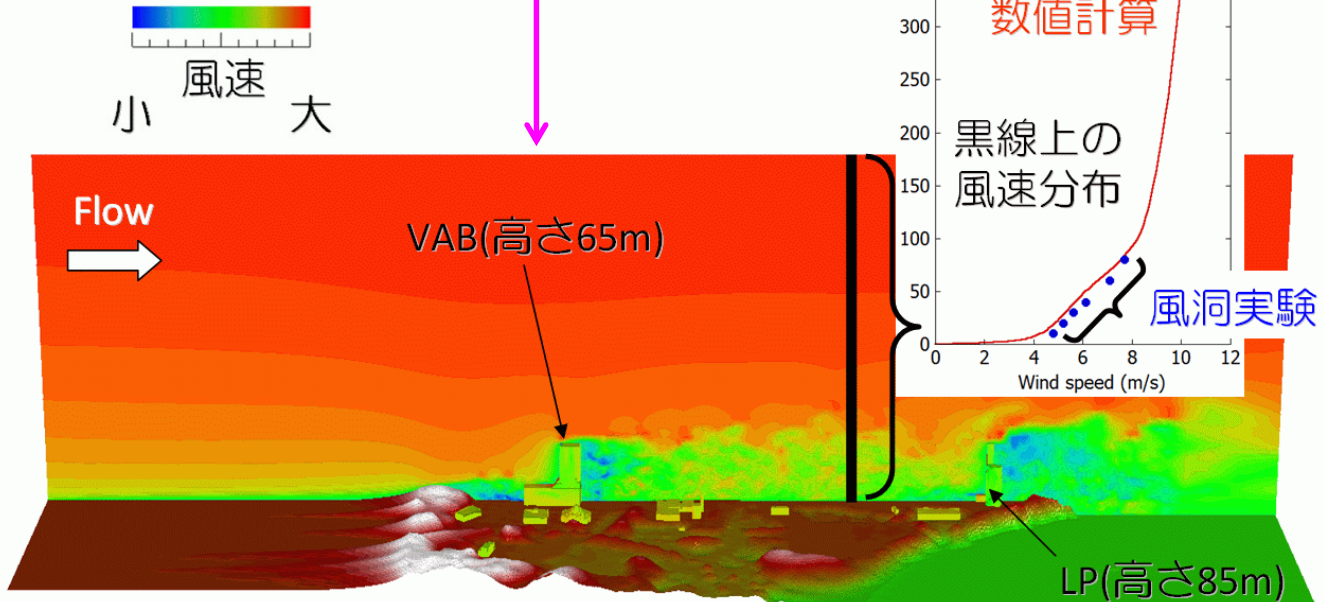
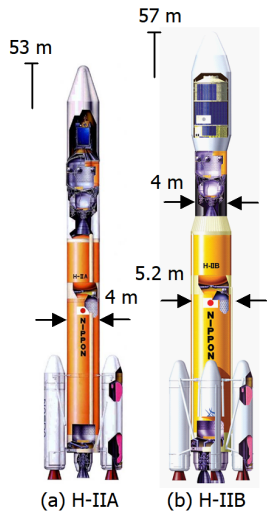
種子島宇宙センター



- 空間解像度: $\Delta x = \Delta y = 20(m)$
- 計算格子数: 5,000万点
- 地形データ: 国土地理院の10(m)データ
- 流入プロファイル: 地表面粗度区分II



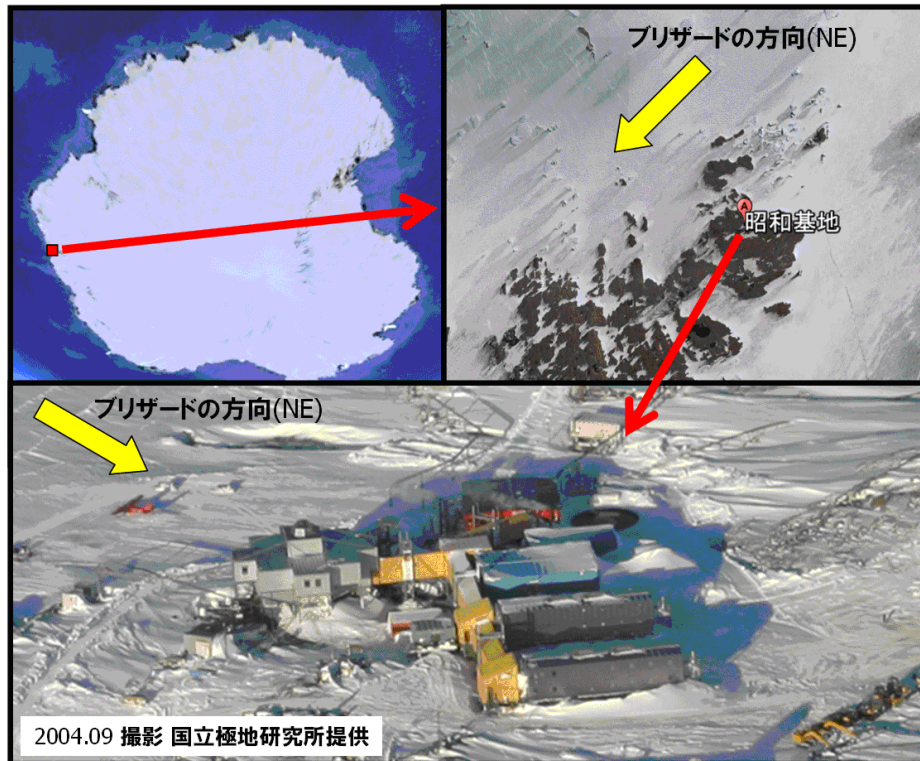
相手先	研究題目	期間
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構	内之浦宇宙空間観測所における数値風況シミュレーション	2015年12月~ 2016年03月
独立行政法人 宇宙航空研究開発機構, (株)環境GIS研究所	ロケット打上げにおける地上風の空間構造の研究	2014年10月~ 2015年03月
独立行政法人 宇宙航空研究開発機構, (株)環境GIS研究所	ロケット打上げにおける地上風の空間構造の研究	2013年12月~ 2014年03月
独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 筑波宇宙センター、(株)環境GIS研究所	ロケット打上げにおける地上風の空間構造の研究	2012年11月~ 2013年03月



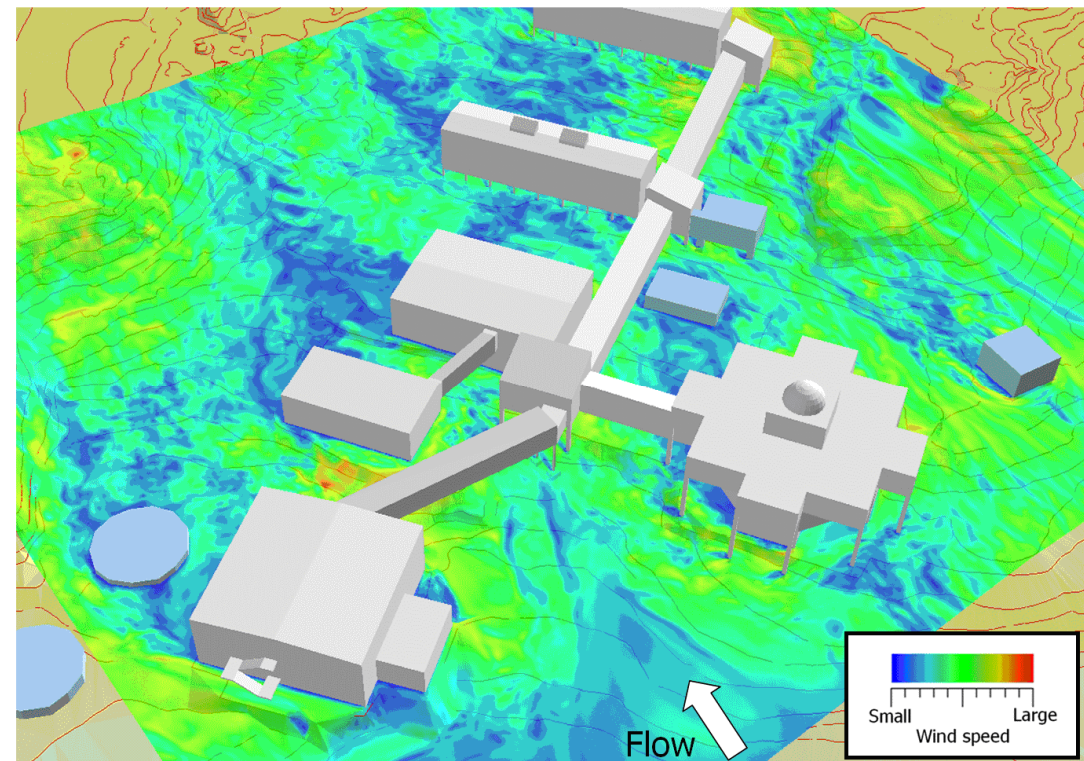
事例⑥ 南極・昭和基地プロジェクト

2014

“風を制するものが南極を制する”，“南極建築の最大の課題はスノードリフト(雪の吹き溜まり)だ”
第53次南極観測隊の越冬隊長を務めた石沢 賢二氏



南極昭和基地・管理棟建物群の位置と形状



地面付近の風速分布, 瞬間場

相手先	研究題目	期間
大学共同利用機関法人 情報・システム 研究機構 国立極地研究所, (株)環境GIS研究所	数値風況解析による極地設営に関する共同研究	2014年02月～ 2014年03月

事例⑦ 鉄道総合研究所との共同研究

2019



Modelling and Simulation in Engineering

Research Article | Open Access

Volume 2019 | Article ID 7378315 | 12 pages | <https://doi.org/10.1155/2019/7378315>

Reproduction of Local Strong Wind Area Induced in the Downstream of Small-Scale Terrain by Computational Fluid Dynamic (CFD) Approach

Takanori Uchida¹ and Keiji Araki²

Show more

Academic Editor: Parviz Ghadimi

Received	Revised	Accepted	Published
22 Apr 2019	02 Aug 2019	17 Sep 2019	04 Dec 2019

Abstract

In this research, the computational fluid dynamic (CFD) approach was applied for the solution of the problems of local strong wind areas in railway fields, and the mechanism of wind generation was discussed. The problem of local wind occurring on a railway line in winter was taken up in this research. A computational simulation for the prediction of wind conditions by large-eddy simulation (LES) was implemented, and it was clarified that local strong wind areas are mainly caused by separated flows originating from small-scale terrain positioned at its upstream (at approximately 180 m above sea level). Meanwhile, the effects of the size of the calculation area and spatial grid resolution on the result of calculation and the effect of atmospheric stability were also discussed. It was clarified that in order to simulate the air flow characteristic of the separated flow originating from the small-scale terrain (at an altitude of approximately 180 m) targeted in the present research, approximately 10 m of spatial resolution of computational cell in the horizontal direction is required. In addition, the effect of stable stratification on the flow was also examined. As a result, lee waves were excited at the downstream of the terrain over time in the case of stably stratified flow ($Fr = 1.0$). The reverse-flow region lying behind the terrain, which had been observed at a neutral time, was strongly inhibited. Consequently, a local strong wind area was generated at the downstream of the terrain, and a strong wind area passing through the observation mast was observed. By investigating the increasing rate of speed of the local strong wind area induced at the time of stable stratification, it was found that the wind was approximately 1.2 times stronger than what was generated at a neutral time.

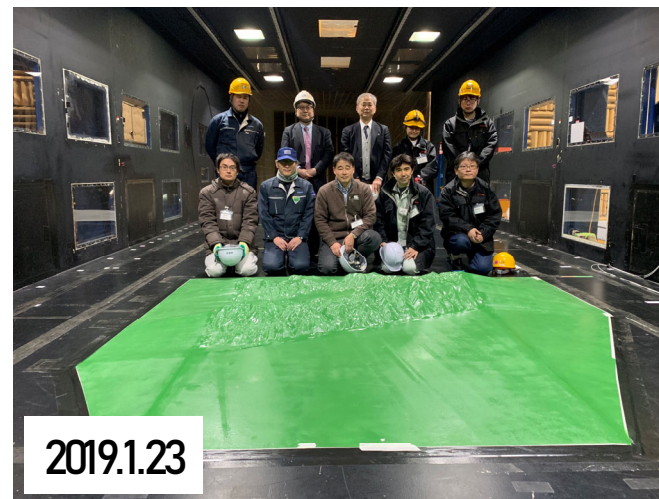


Figure 7

Wind speed distribution in the mainstream direction x , instantaneous flow field, and horizontal cross-section 5 m above ground.

九大・東芝・鉄道総研
の共同研究へ発展

鉄道総研 風洞技術センターにて



事例⑧ RKB毎日放送からの委託プロジェクト

2012～2013



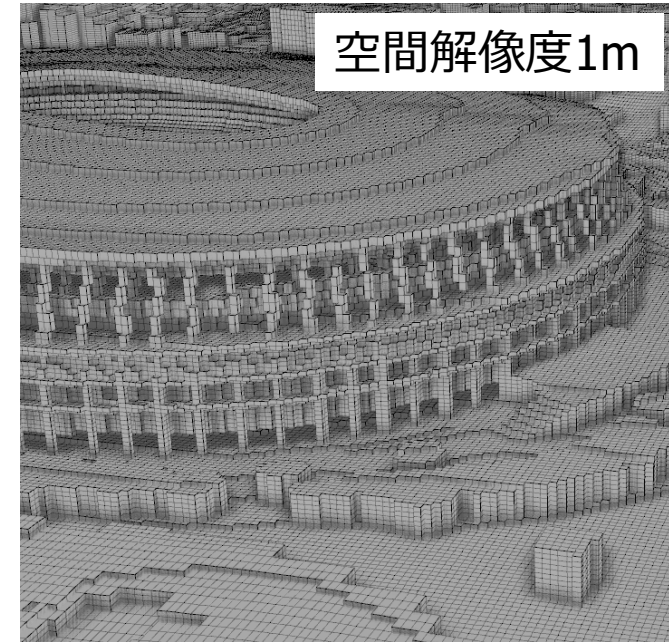
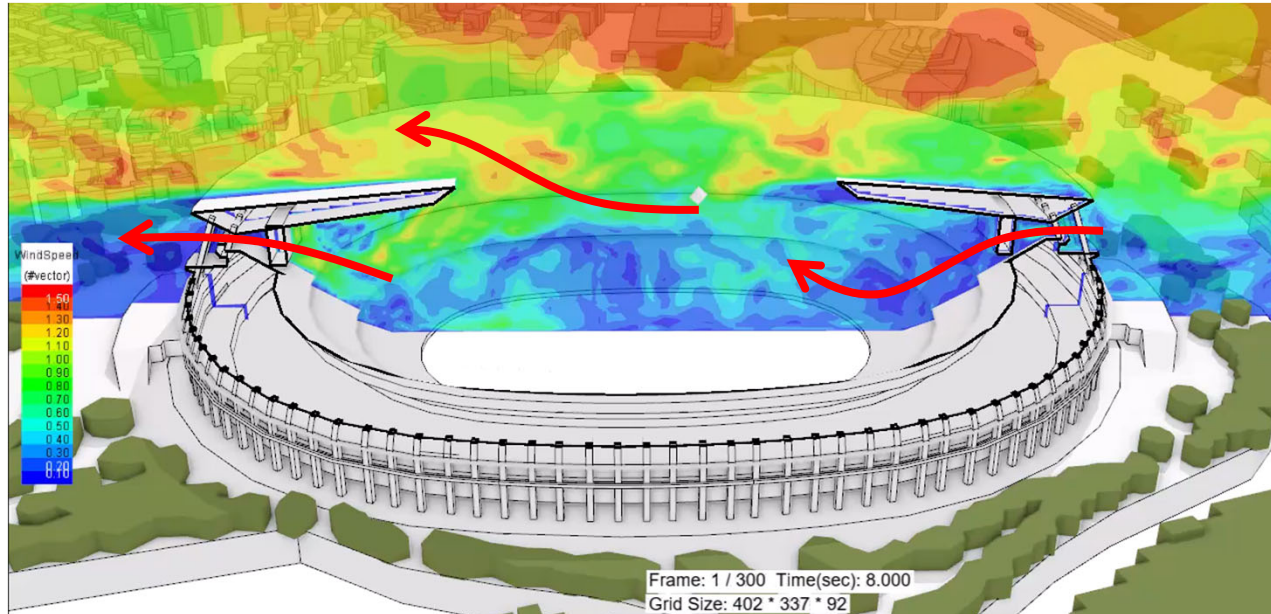
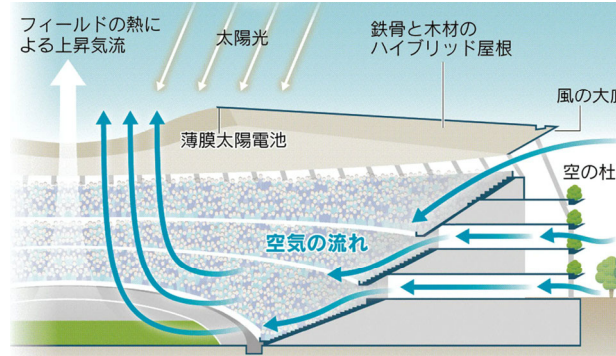
- TBS系「報道特集 甦る元寇の船～神風の正体に迫る～」
2012年7月7日(全国)
- RKB毎日放送 2012年12月31日(福岡・佐賀)
- NHKテレ(教育) 2013年5月26日(全国)
- TBSニュースバード 2013年9月24日(全国)

事例⑨ 東京2020オリンピック / 国立競技場の風力換気の研究

2019～2021

- 3次元の建物形状をコンピュータ内に精密に再現(空間解像度1m)
- 庇(ひさし)で自然の風を取り込み、「涼」をとる設計(空気の流れを確認したい)
- 風速3m/sの北風、約22分で空気が入れ替わる(赤線で示す流れに起因)

0.1 Non-Dimensional U-velocity 1.5 Flow ←



NTT DATA AW3D
(3D DATA)
+
SketchUp
(3D CAD)
+
ArcGIS Pro
(ESRI)

Takanori UCHIDA and Ryo ARAYA, Applications of the Atmospheric Transport and Diffusion of LES Modeling to the Spread and Dissipation of COVID-19 Aerosol Particles inside and outside the Japan National Stadium (Tokyo Olympic Stadium), Modelling and Simulation in Engineering (Hindawi), Volume 2021, ID:8822548

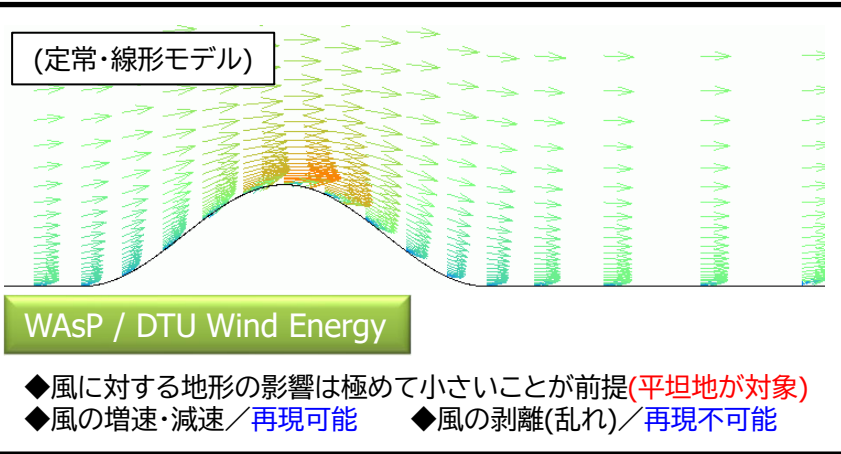
NHK「おはよう日本」
で紹介

風力分野に関する取り組み

参考文献 ※内田が編集員委員として「特集：複雑地形上の風況予測法」を企画(2003)

- 村上 周三 その他3名, 局所風況予測システムLAWEPSの開発と検証, 日本流体力学会誌「ながれ」, 22巻5号, p.375-386, 2003
- 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「ながれ」, 22巻5号, p.387-396, 2003
- 内田 孝紀, 大屋 裕二, 風況予測シミュレータRIAM-COMPACTの開発・風況精査とリアルタイムシミュレーション, 日本流体力学会誌「ながれ」, 22巻5号, p.417-428, 2003

風力分野における風況予測手法

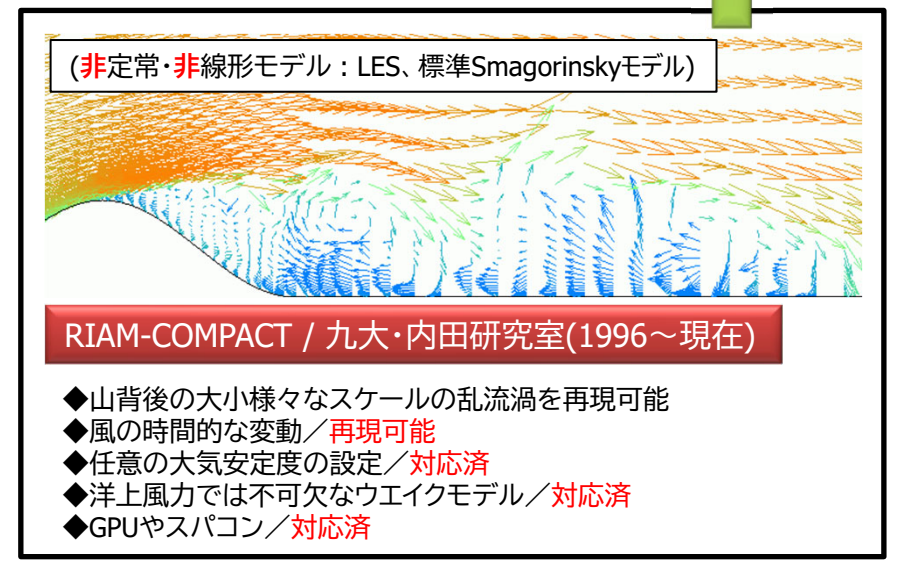
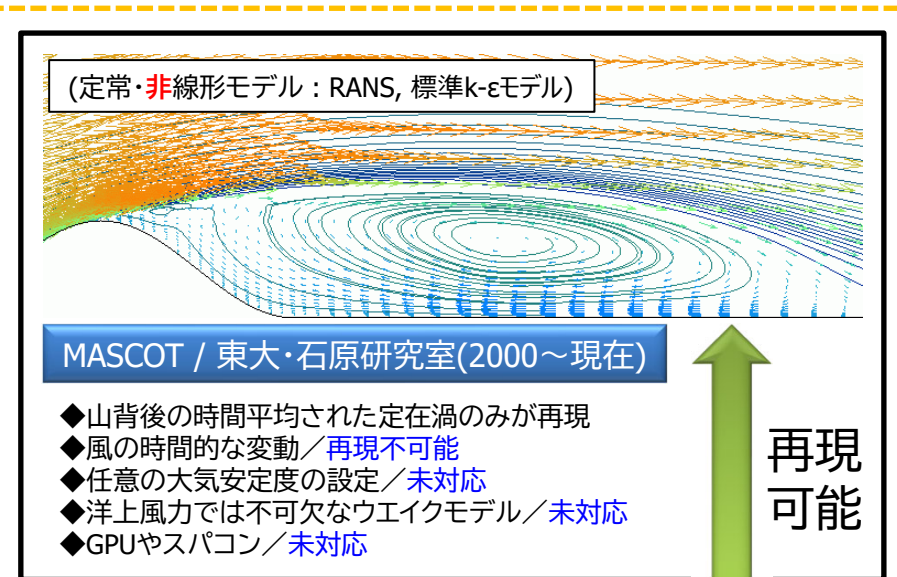
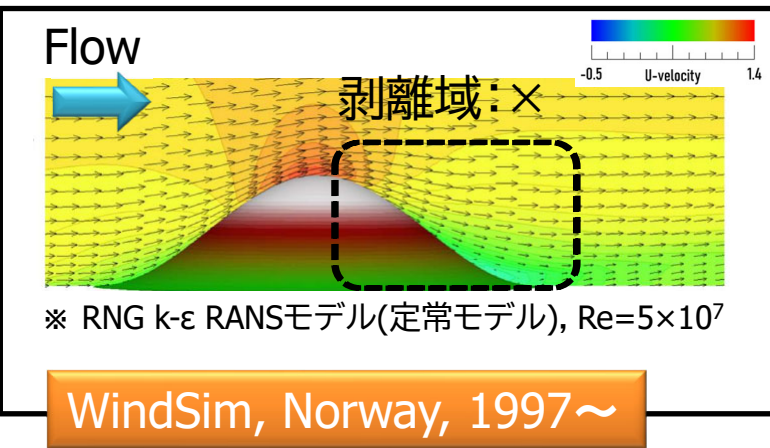
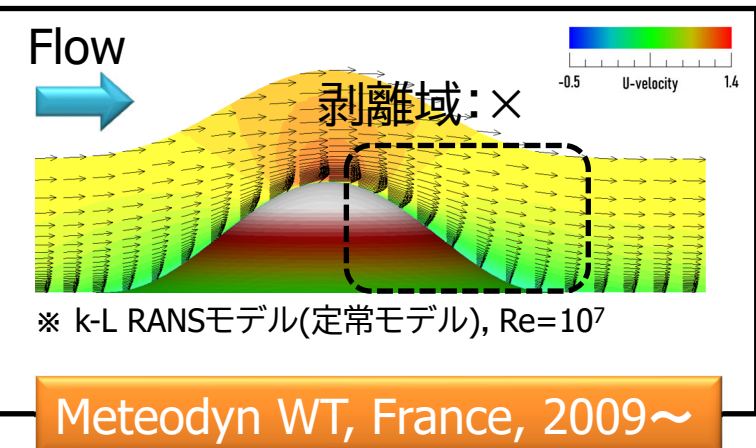


日本の急峻な地形に対応可能なCFDモデルの開発が急務

ほとんど普及しなかった

LAWEPS (NEDO PJ : 1999年度~2002年度)
開発元: 名工大・東大・東北大・大林組・日本気象協会
数値目標: 年平均風速の予測/10%以内の誤差

欧州における風力分野に特化したCFDモデル



日本国内の風力業界における標準モデル(現在)

Takanori UCHIDA and Graham Li, Comparison of RANS and LES in the Prediction of Airflow Field over Steep Complex Terrain, Open Journal of Fluid Dynamics, Vol.8, pp.286-307, 2018

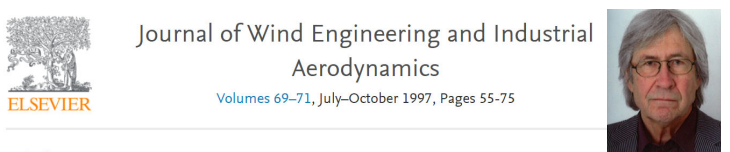
※ 汎用熱流体CFDソフトウェアとの比較検証も既に実施済(2013~2016)

- OpenFOAM (RANS : SST k- ω 2方程式モデル)
- STAR-CCM+ (RANS : Spalart-Allmaras1方程式モデル/ SST k- ω 2方程式モデル, LES : Smagorinskyモデル/WALEモデル)

乱流モデル(RANS / LES)の比較: Review

ブラフボディーフロー研究では、過去に乱流モデル (RANS / LES)に関する世界的な論争があった。

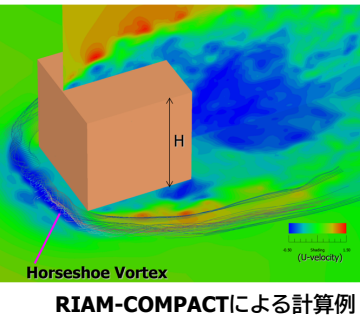
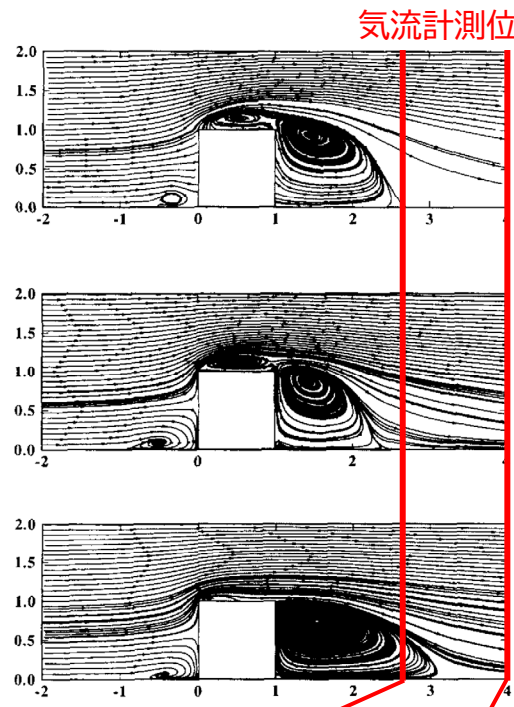
Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics
 Volumes 69-71, July-October 1997, Pages 55-75
 Invited paper
 Comparison of LES and RANS calculations of the flow around bluff bodies
 Prof. Dr. Wolfgang Rodi (カールスルーエ工科大学, Germany)
 被引用数 447回 (2023.1.18)



LESとRANSの剥離域の予測精度について言及
 風洞による可視化実験 (内田研究室, 2004)



Horseshoe Vortex
 RIAM-COMPACTによる計算例

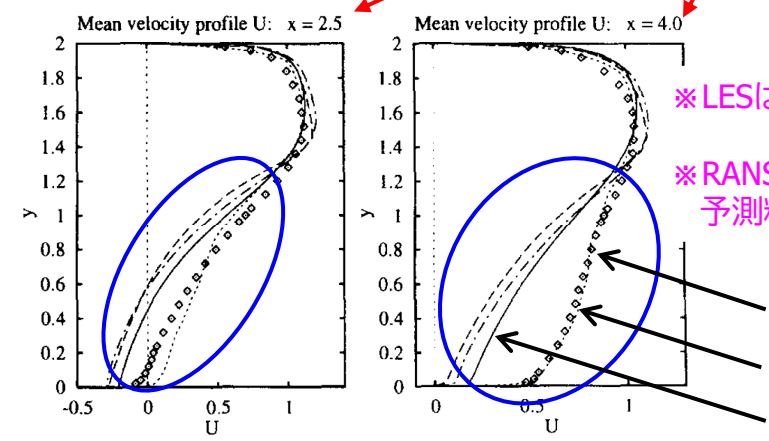



風洞実験
 LES (標準Smagorinskyモデル)
 RANS (標準k-εモデル)

Fig. 8. Streamlines in the symmetry plane (left) and near the channel floor (right) for flow around cube

RANS methods with statistical turbulence models will be needed and used for many years to come in engineering calculations of the flow past bluff bodies. However, inaccuracies must be accepted, and this comparative study has demonstrated that LES is clearly more suited and has great potential for calculating these complex flows. Further development and testing is certainly necessary, but with the recent advances in computing power LES will soon be ready and feasible for practical applications.

- 風力分野に特化したCFDモデルの中で、非定常乱流モデル(LES)を採用しているのは世界的にRIAM-COMPACTが唯一である。
- 2006年頃、計算速度の問題から、風力業界におけるRIAM-COMPACTの利用には悲観的な意見も多かった(計算時間がRANSと比較してかかりすぎるのでは?)。
- こうした状況の中、このレビュー論文には勇気づけられた。同時に、計算機性能の飛躍的な向上を信じ、開発を継続した。
- 現在では、きめ細やかなチューニングと計算コードの最適化、計算機性能の飛躍的な向上に伴い、実務利用における計算時間の問題は完全に克服することに成功した。



※LESは風洞実験を良好に再現
 ※RANS(標準k-εモデル)は剥離域の予測精度が低下

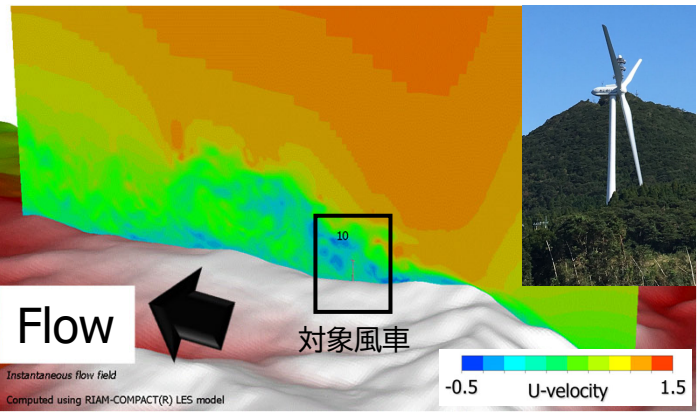
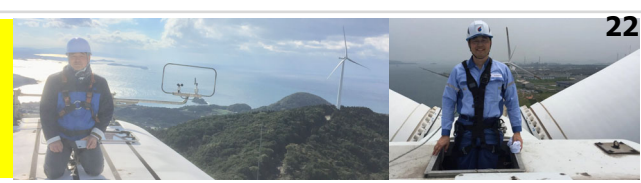
風洞実験
 LES
 RANS

Fig. 10. Profiles of \bar{U} , $\overline{u'v'}$ and k in symmetry plane of cube.

研究成果

解析対象が、『陸上(Onshore)』から『洋上(Offshore)』へ！

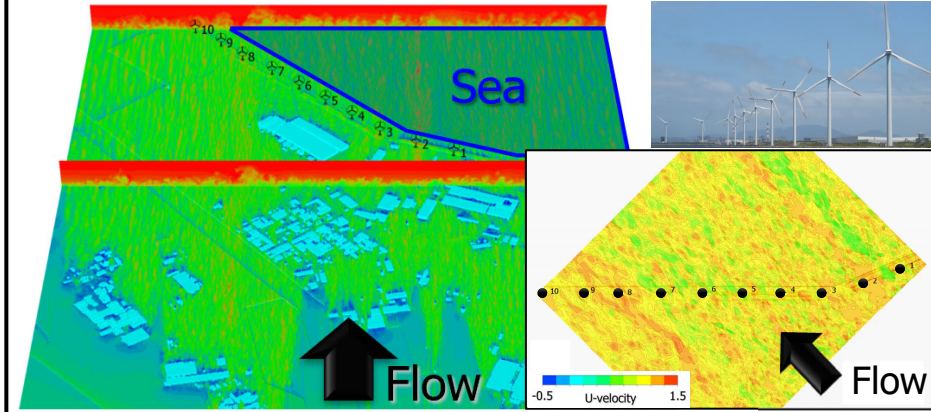
※陸上風力における長年の研究実績も強みの一つである



Key word : **地形起因の大気乱流**

陸上風力(山間部 / 複雑地形)

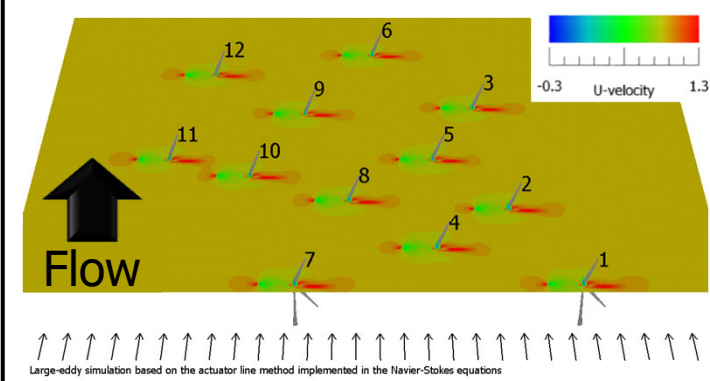
1996年～現在



Key word : **建物起因の大気乱流** ● : 風車位置

陸上風力(沿岸部)と洋上風力(着床式)が混在

2013年～現在



Key word : **風車ウエイク起因の大気乱流**

洋上風力(浮体式)

2014年～現在

関連する外部資金(代表)

- NEDO, 産業技術研究助成事業(若手研究 Grant), 空間解像度10m以下の詳細地形構築技術の開発とそれを用いた風力タービンハブ高さ周辺の風の乱れの視覚的評価, 2005年度～2007年度
- MEXT, 科研費, 基盤研究(B), 2MW大型風車ブレードとナセル内部機器に与える地形起因の乱流影響に関する実証研究, 2021年～2023年度
- JST, A-STEP 産学共同(本格型), 洋上ウインドファームの採算性と耐久性の最適設計に資する日本型ウエイクモデルの開発と社会実装, 2022年度～2024年度

関連する受賞歴

- 科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」, 文部科学省, 2010年
- 第54回 市村賞「市村地球環境学術賞貢献賞」, 公益財団法人市村清新技術財団, 2022年
- 令和3年度 新エネ大賞「審査委員長特別賞」, 一般社団法人新エネルギー財団, 2022年



関連する国際論文

1. Takanori UCHIDA and Yasushi KAWASHIMA, New Assessment Scales for Evaluating the Degree of Risk of Wind Turbine Blade Damage Caused by Terrain-Induced Turbulence, *Energies*, 12(13), 2624, 2019
2. Takanori UCHIDA and Yves GAGNON, Effects of continuously changing inlet wind direction on near-to-far wake characteristics behind wind turbines over flat terrain, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, Volume 220, January 2022, 104869
3. Takanori UCHIDA, Tadasuke YOSHIDA, Masaki INUI and Yoshihiro TANIYAMA, Doppler Lidar Investigations of Wind Turbine Near-Wakes and LES Modeling with New Porous Disc Approach, *Energies* 2021, 14(8), 2101

風車ウエイク実現象の再現を目的とした革新的CFD技術の開発(4つの独自技術)

3次元的なウエイク拡散率(気流構造)の予測精度が格段に向上することを期待

クリックすると時間スライダのアニメーションのオンとオフが切り替わります。

Flow

可動翼列/不規則振動

スカラー濃度場 (Volume Source)

2022.8.29 (ドローンによる撮影)

Vestas社製 3.3MW 大型風車(洋上設置タイプ) 平成30年1月1日運転開始

- 北九州市響灘地区
- 最大到達点 140m
- ハブ高 84m
- ブレード直径 112m

Top View

Computed using RIAM-COMPACT(R) LES model

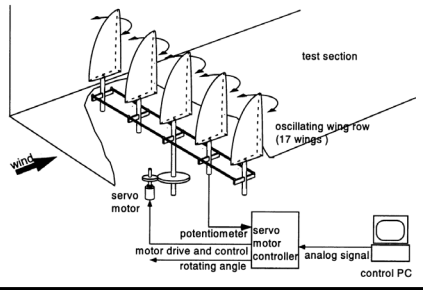
ENEOS リニューアブル・エナジー株式会社

エネルギー・フロンティア TOKYO GAS

Google Earth

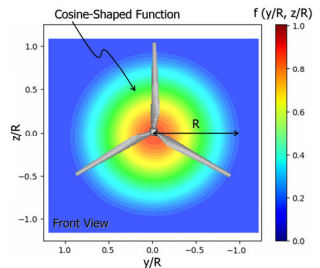
独自技術①

風洞実験で自然風(大気乱流)を模擬する可動翼列を再現



独自技術②

CFDポーラスディスク・ウエイクモデルの開発/適用 (特許取得済)



独自技術③

スカラー濃度場による風車ウエイク現象の可視化



独自技術④

シミュレーション結果のGoogle Earthへの投影

ご清聴ありがとうございました

KYOTO, JAPAN- NOVEMBER 22 2015: Ancient paintings of Wind and Thunder Gods on partitions at Kenninji Temple



<https://www.shutterstock.com/ja/image-photo/kyoto-japan-november-22-2015-ancient-463824266>

風車建設の予定地周辺の風を、風の神様からお借りする…