

持続的な安全社会の構築に資する先端的マルチスケール環境予測シミュレーション[所内課題*]

海洋研究開発機構 地球情報基盤センター(CEIST)
大西 領

佐々木 亘(CEIST)、河野明男(CEIST)、松田景吾(CEIST)、杉山徹(CEIST)、
淵上弘光(NEC情報システムズ)、後藤浩二(NEC)、Li-Feng Lu(CEIST)

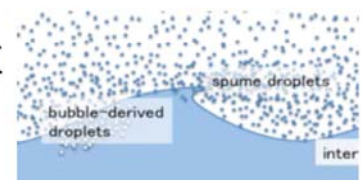
ES利用報告会, コクヨホール,
2016/3/11

*関連中期計画項目: I1(5)2(イ) 先進的プロセスモデルの研究開発

報告内容

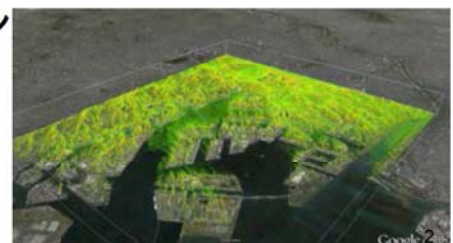
“持続的な安全社会の構築”のための 【極端現象予測】台風の大規模数値シミュレーション

- 全球7km解像度大気・海洋結合計算
 - ・ 特別07「複数の次世代非静力学全球(大気)モデルを用いた高解像度台風予測実験(気象研・竹内先生)」と連携
- 「波しぶき蒸発層」解像、大気・波浪結合計算
 - ・ ビン法雲微物理計算



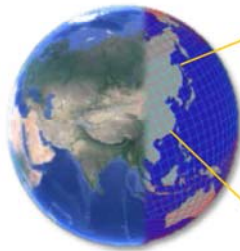
【環境との調和、ヒートアイランド緩和】

- 都市港湾域の暑熱環境シミュレーション
 - ・ 建物・樹冠解像計算



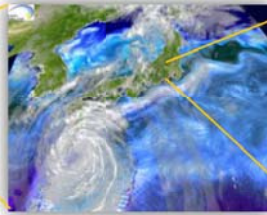
使用した基盤モデル: MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment)

Takahashi et al. (2013), Onishi&Takahashi (2012)など



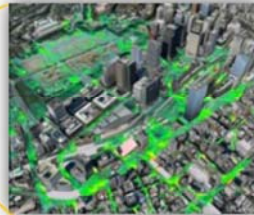
地球スケール

O(1~10 km)解像度



領域スケール

O(100 m~1km)解像度

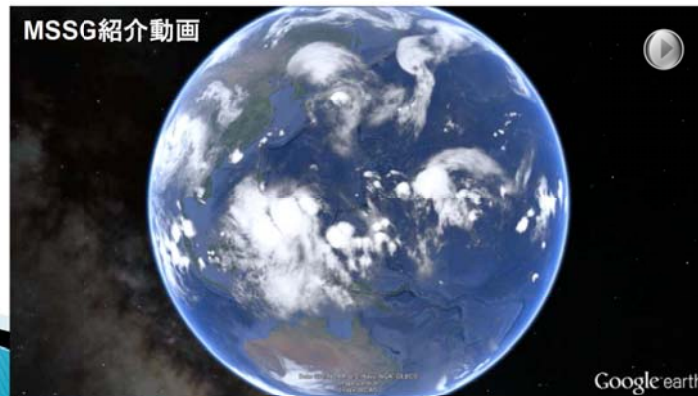


都市スケール

O(1~10 m)解像度

- MSSGは、地球一領域一都市のシームレスなシミュレーションが可能
- 大気、海洋単体計算だけでなく大気・海洋結合計算が可能
- 地球シミュレータに高度に最適化されている

MSSG紹介動画



3

室内風波実験装置内で見られる波しぶき



京都大学小森悟教授の大型風波風洞

4

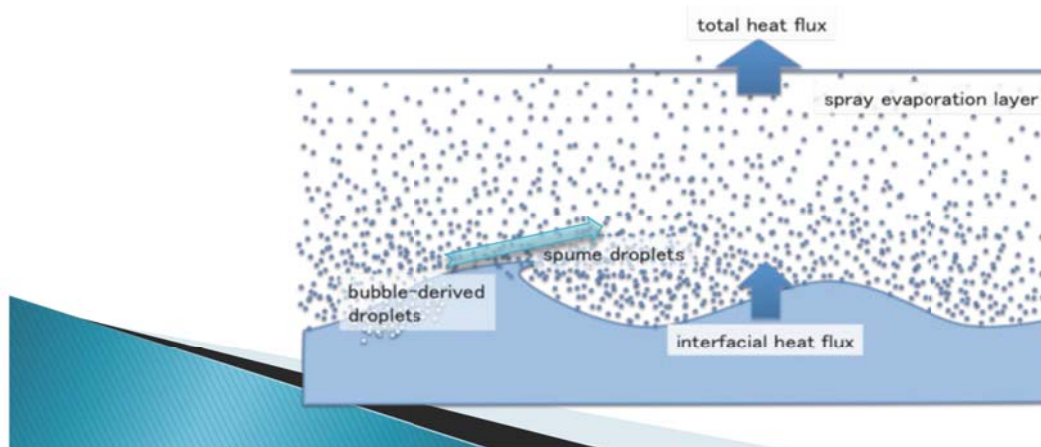
波しぶき蒸発層 (Evaporation layer)

潜熱移動係数, C_e

$$Q_{\text{flux, total}} = -C_e * |U_I| * (q_{v,I} - q_{v,\text{sat}}(SST))$$

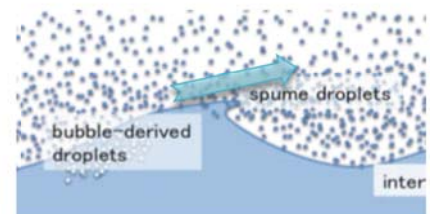
$$= wq_v|_{\text{surf}} + \int_{V_{\text{evap}}} L_{\text{evap}} dV,$$

蒸発層内での交換量



5

波しぶき発生モデル



SSGF (Sea Spray Generation Function)

- 気泡破裂由来しぶき (bubble-derived droplets) (Zhao & Toba, 2001)

$$\frac{dF}{dr_{sp}} = 0.506 R_B^{1.09} r_{sp}^{-2.95} (1 + 0.029 r_{sp}^{1.02}) \times 10^{1.19 \exp(-B_0^2)}$$

- せん断由来しぶき (spume droplets) (Zhao et al. 2006; Sugioka & Komori, 2005)

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{dF}{dr_{sp}} = 7.84 \times 10^{-3} R_B^{1.5} r_{sp}^{-1} & \text{for } 30 < r_{sp} < 75 \mu\text{m}, \\ \frac{dF}{dr_{sp}} = 4.41 \times 10^1 R_B^{1.5} r_{sp}^{-3} & \text{for } 75 < r_{sp} < 200 \mu\text{m}, \\ \frac{dF}{dr_{sp}} = 1.41 \times 10^{13} R_B^{1.5} r_{sp}^{-8} & \text{for } 200 < r_{sp} < 500 \mu\text{m}. \end{array} \right.$$

r_{sp} : 波しぶき粒子の半径

$R_B (= u_*^2 / \omega_p \nu)$: 風波レイノルズ数 (大気摩擦速度、波浪に依存)

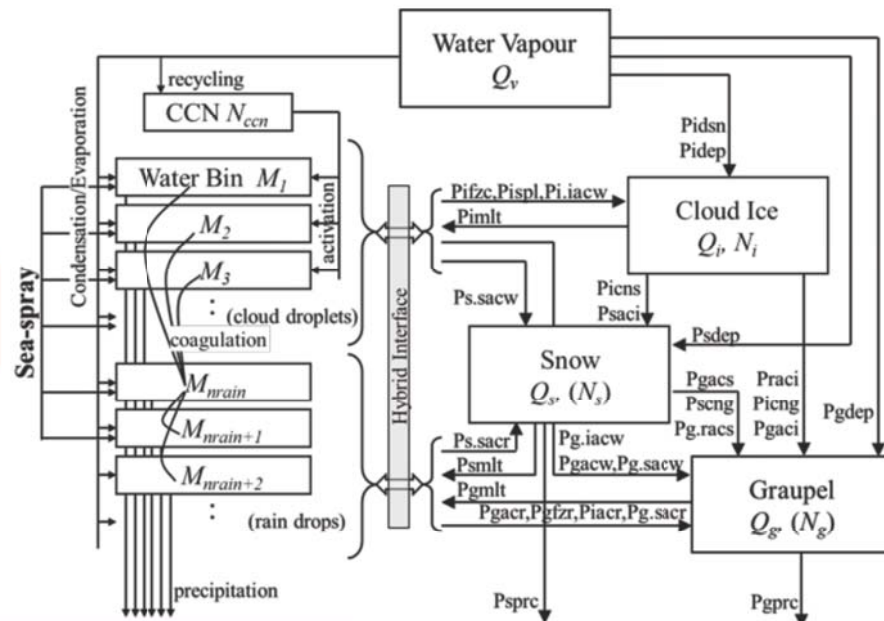
発生した波しぶきを“水滴”として雲微物理モデルの中で扱う。

6

ビン法雲微物理計算法

Warm-Bin/Cold-Bulk ハイブリッドモデル

水滴径を陽に扱う



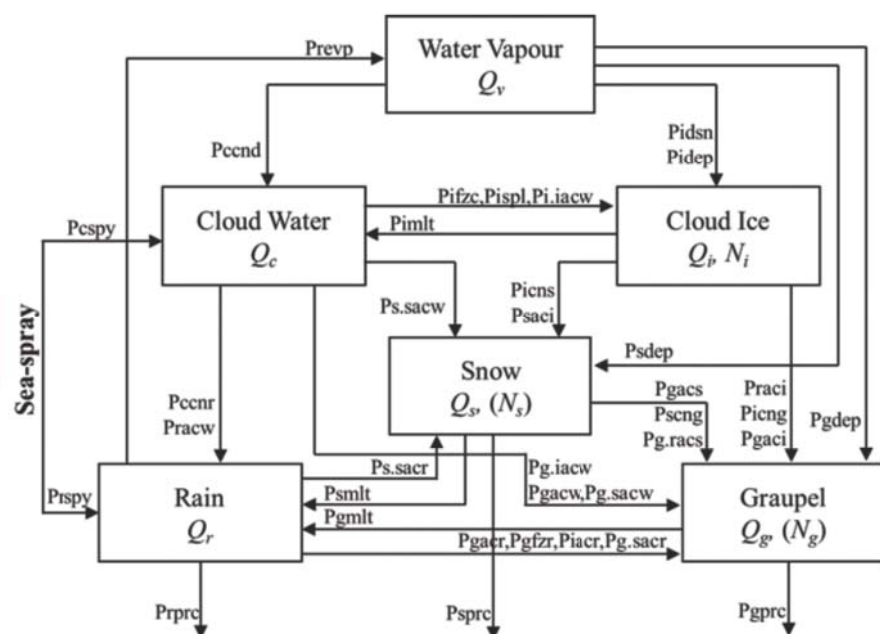
液滴に関しては純粋なビン法

MSSG-Bin model
(Onishi & Takahashi (2012) JAS)

7

バルク雲微物理計算法

水滴径を陽に扱えない



MSSG-Bulk model (Onishi and Takahashi, 2012 JAS)
(Reisner et al. (1998) with modification by Thompson (2004))

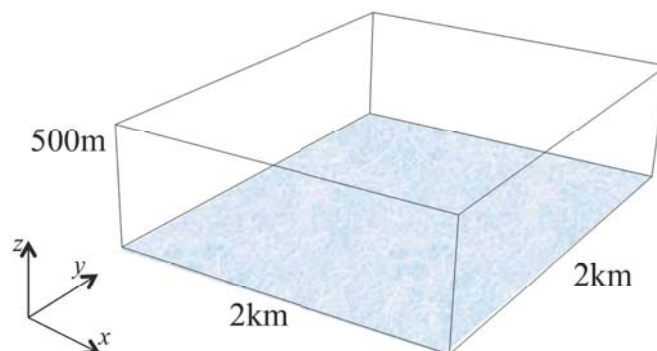
8

既往研究との比較

	Mueller & Veron (2014)	Schpund et al. (2011)	Liu et al. (2011)	Present
SSGF	Mueller & Veron (2009), Fairall et al. (1994)	compilation of Gong, Clarke, Martensson, Monahan, Fairall, Angdreas	compilation of Zhao, Toba, Komori & Sugioka	compilation of Zhao, Toba, Komori & Sugioka
spray physics	Lagrangian droplet	Lagrangian air parcel	no (surface flux modified)	Eulerian Bin cloud
drop-size evolution	droplet-base	Bin cloud model	no	Bin cloud model
flow dynamics	similarity theory	prescribed	explicit	explicit
Spray feedback on flow	coupled	not coupled	coupled (through modified surface flux)	fully coupled
spray impact on CCN	no	considered	no	considered
Domain	2D BL (~O(1,000)x100m)	2D BL (600x400m)	3D (4,320x3,600x40km)	3D (5,000x4,000x40km)
misc.	wave shape considered		atmos.-ocean-wave coupled	atmos.-ocean-wave coupled

9

理想テスト実験



x- & y-方向は周期境界
100x100x25 grids, i.e.,
 $dx=dy=dz=20\text{m}$

- ▶ RICOモデル比較実験(van Zanten et al., 2011)の設定を踏襲
- ▶ 12時間積分
- ▶ 海面潜熱フラックスモデル

$$wq_v|_{surf} = -1.13e-3 * |U_1| * (q_{v,1} - q_{v,sat}(SST))$$

+ 蒸発層での潜熱交換を考慮.

$$Q_{flux,total} = wq_v|_{surf} + \int_{vevap} L_{evap} dV$$

10

蒸発層の時間発展

ビン法を用いた計算結果

バルク法を用いた計算結果



- ▶ バルク法では蒸発層をうまく表現できない。
 - SSGFを精度よく扱うことができない
 - 水滴の蒸発モデルが不完全

11

潜熱移動係数, C_e

$$Q_{\text{flux, total}} = -C_e * |U_I| * (q_{v, I} - q_{v, \text{sat}}(SST))$$

ビン法を用いた計算結果

バルク法を用いた計算結果

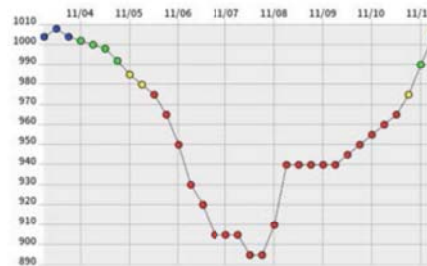
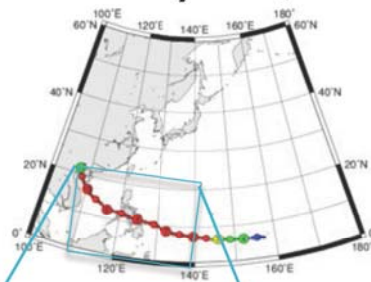


- ▶ $U_{10} > 10 \text{ m/s}$ のとき、Sea sprayはバルク C_e を有意に増大させる。
- ▶ バルク C_e の増大率は、 U_{10} だけでなく、気側バルク比湿(大気状態)にも依存する。
→ 波しぶきと大気の相互発展を同時に計算することが必要

12

台風実験

▶ Typhoon Haiyan (No.13 in 2013)



▶ Model configuration



Model: MSSG
 Cloud model: MSSGビン法
 Grids: 1680x1024 @3.0km for horizontal
 55 vertical layers for 40km height
 Period: 3 days from 2013/11/05 18UTC

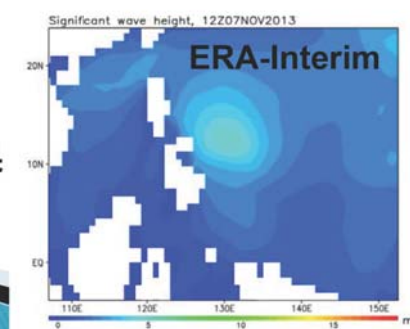
13

大気-波浪結合計算

- ▶ 波しぶき発生モデルは波浪に依存
- ▶ MSSG-AとWave Watch III(WW3)のオフライン結合計算



波高の計算結果



本WW3

非公開

14

台風発達に対するsea sprayの影響

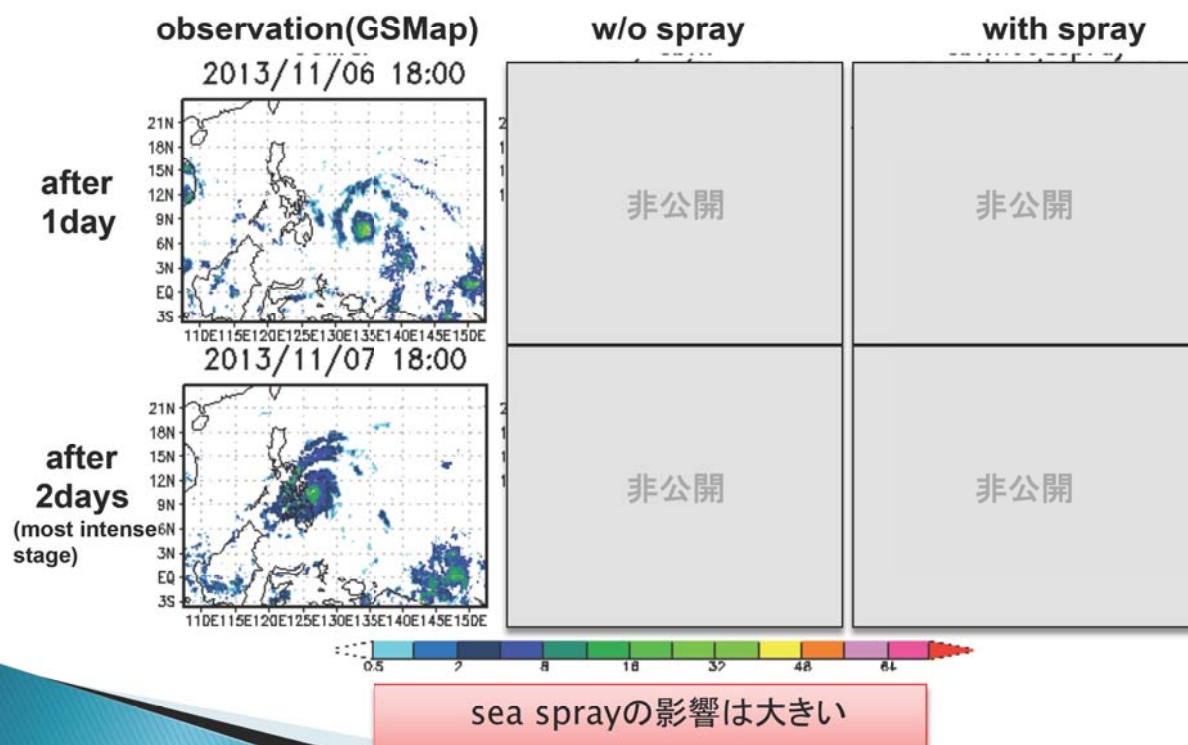
— observation
— w/o spray
— with spray



1. トラックはほとんど変化しなかった。
2. 最低気圧は10hPaほどの差が見られた(改善方向)。

15

地表面降水に対するsea sprayの影響



16

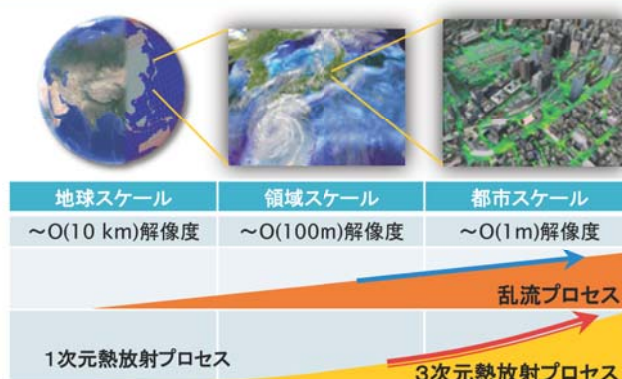
報告1

まとめ

- ▶ 「波しぶき蒸発層」解像、大気・波浪結合シミュレーション法を開発した
 - MSSG-Bin (ハイブリッドビン法) + Zhao SSGF (compilation of Zhao, Toba, Komori, Sugioka et al.)
 - 波しぶき(水滴)を雲微物理の範疇で扱う
- ▶ 波しぶき蒸発による潜熱交換促進効果は、台風強度の発達に影響を及ぼし得る。
- ▶ (future work)
 - Sea sprayによるCCN供給の効果を分離して議論する。

17

MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment)



- 地球規模—領域規模—都市規模までのシームレスな結合を実現
- 大気と海洋を同時に計算可能

シミュレーションの高解像度化に伴い、乱流プロセスや3次元熱放射プロセスの重要性が増していく。

先進的乱流プロセスモデルの例:

樹木を考慮した
3次元熱放射・乱流モデル



樹木が生活空間の熱・風環境に与える影響を考慮できるようになった。

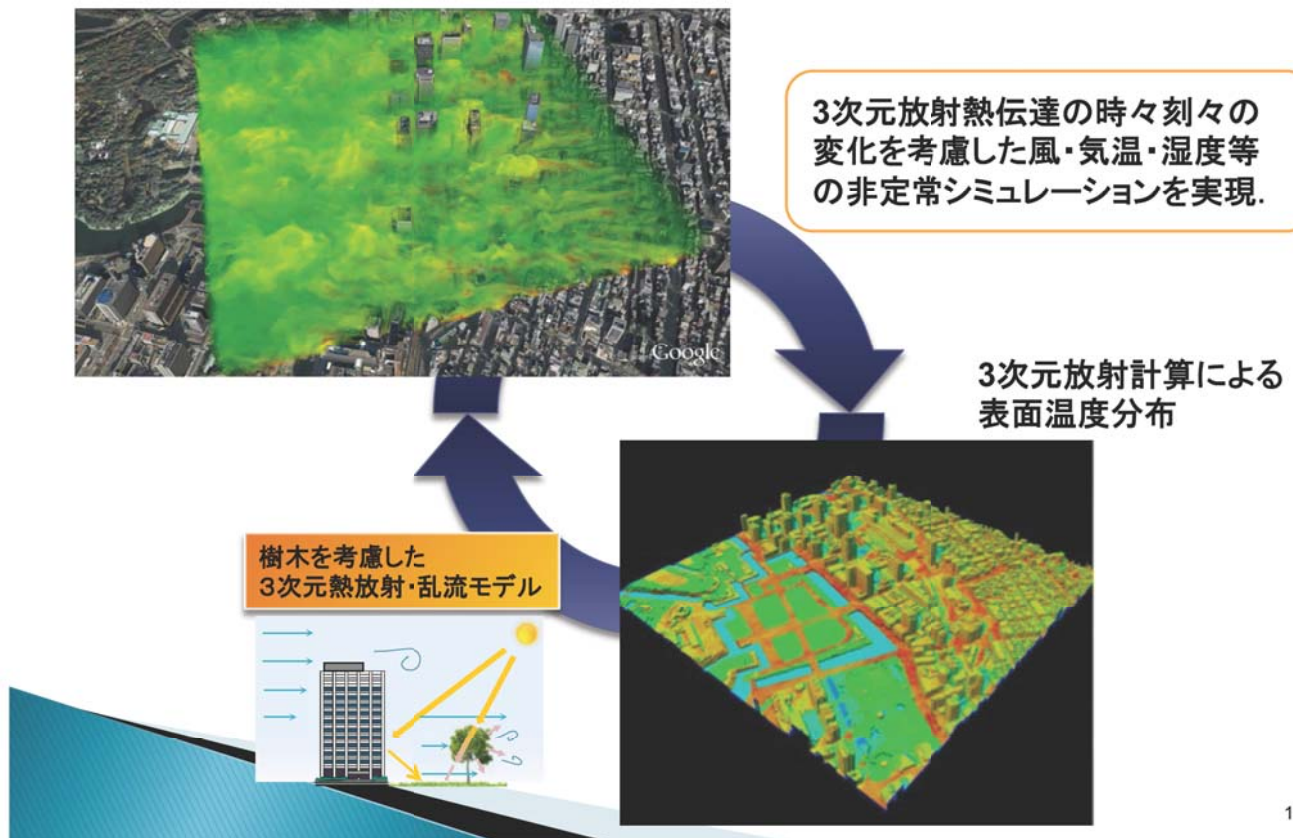
適用

実施例:
東京23区、横浜、川崎



18

風の流れと気温・湿度の輸送の非定常シミュレーション



19

MSSGによる都市街区暑熱環境シミュレーション(1m解像度)

冷却ミストの気温低下効果を再現

樹冠が風の流れや乱流放射熱フラックスに及ぼす影響を考慮することができる樹木モデルに加え、さらにドライミストの効果を再現できるモデルを実装し、夏季の日中の熱環境に及ぼす樹木と冷却ミストの効果を調べた。その結果、観測された状況をよく再現できることを確認した上で、緑陰の効果と冷却ミストの効果を定量的に明らかにした。

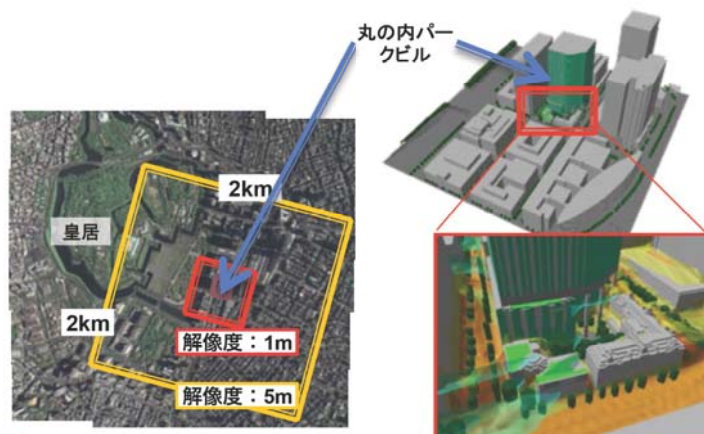


図1: 計算対象領域の全体像(左図)と1m解像度計算の対象領域(右上図)、気温分布の結果例(右下図)。

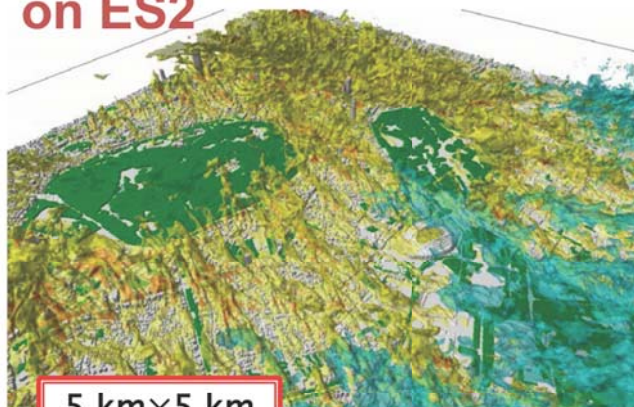


図2: 冷却ミストを噴霧した場合の地上気温(℃)と風の流線。ミストにより局所的に3℃以上低い領域が見られる。

20

MSSGによる都市街区暑熱環境シミュレーション(5m解像度)

on ES2



5 km×5 km
(5m解像度)

緑地による東京湾臨海部の夏季暑熱環境緩和効果の解析(環境省オリパラ環境配慮推進)

on 現行ES

12.5 km×14 km
(5m解像度)

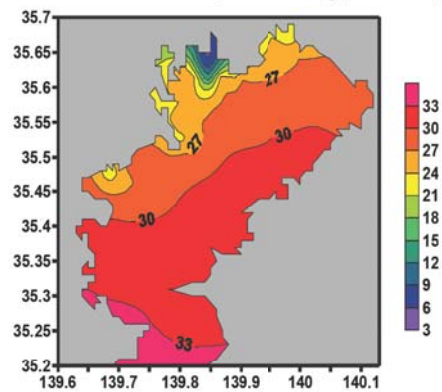


【背景図出典：東京都・特定非営利活動法人 東京2020オリンピック・パラリンピック組織委員会「東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会 初期段階環境影響評価書」,平成25年2月】

気温分布の例

2007年8月11日13時頃(典型的なヒートアイランド日、東京大手町で最高気温36.4度)

非公開



非公開

北八門

非公開

23

非公開

24

まとめ

報告1

- ▶ 「波しぶき蒸発層」解像シミュレーション
 - 波しぶき(水滴)を雲微物理の範疇で扱う
 - 大気・波浪結合計算
 - 波しぶきが台風の発達に影響を及ぼしうることを明らかにした。

報告2

- ▶ 暑熱環境シミュレーションを実施した。
 - 建物・樹冠が流れと3次元放射に及ぼす影響を考慮
 - 潜熱&顕熱&放射熱と流れの連成計算@1~5m解像度
 - 最大で12.5km×14km領域、港湾都市の超大規模計算により街区の暑熱環境を評価

25

