

気象学・気候学分野における 数値シミュレーションとデータ解析

筑波大学 計算科学研究センター
講師 日下博幸 (Kusaka, Hiroyuki)

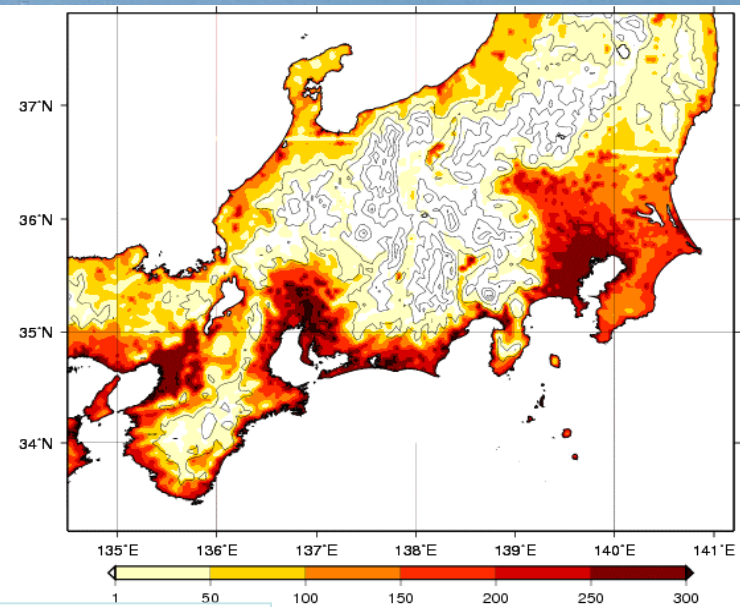
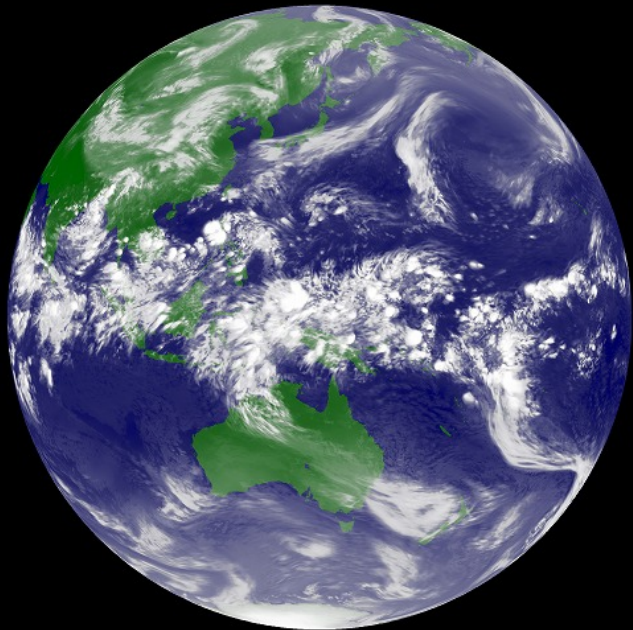




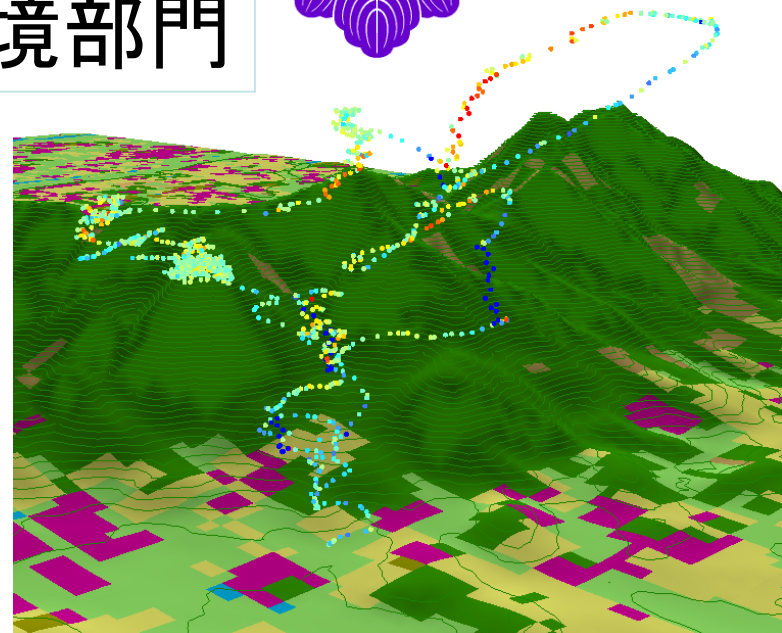
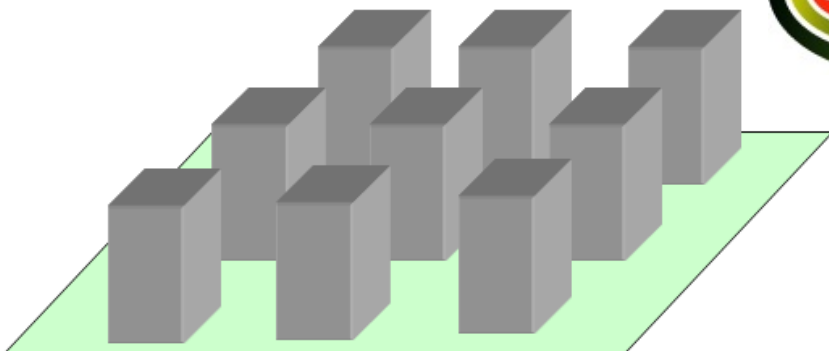
本日の講演

- 気象学・気候学分野では、大規模な数値シミュレーションが実施されている。
- 大気の3次元的なふるまいの予測・再現結果は、4次元データである。
- 本日は、講演者の専門である数値シミュレーションの現状について紹介する。

NICAM glevel-10
2004060212 Z



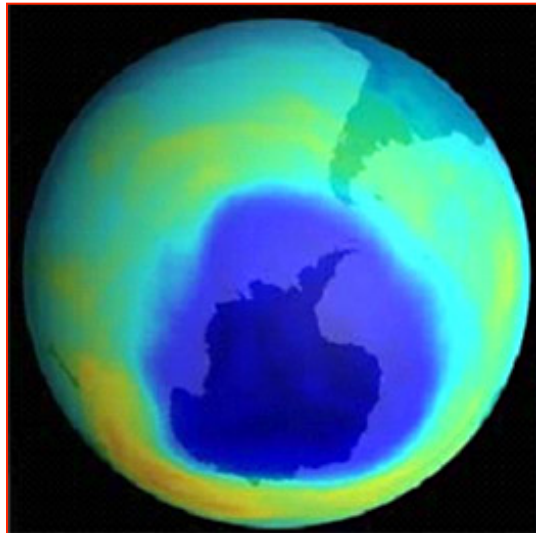
CCS
地球環境部門



筑波大学CCSの取り組み(1)

全球雲解像モデルNICAM

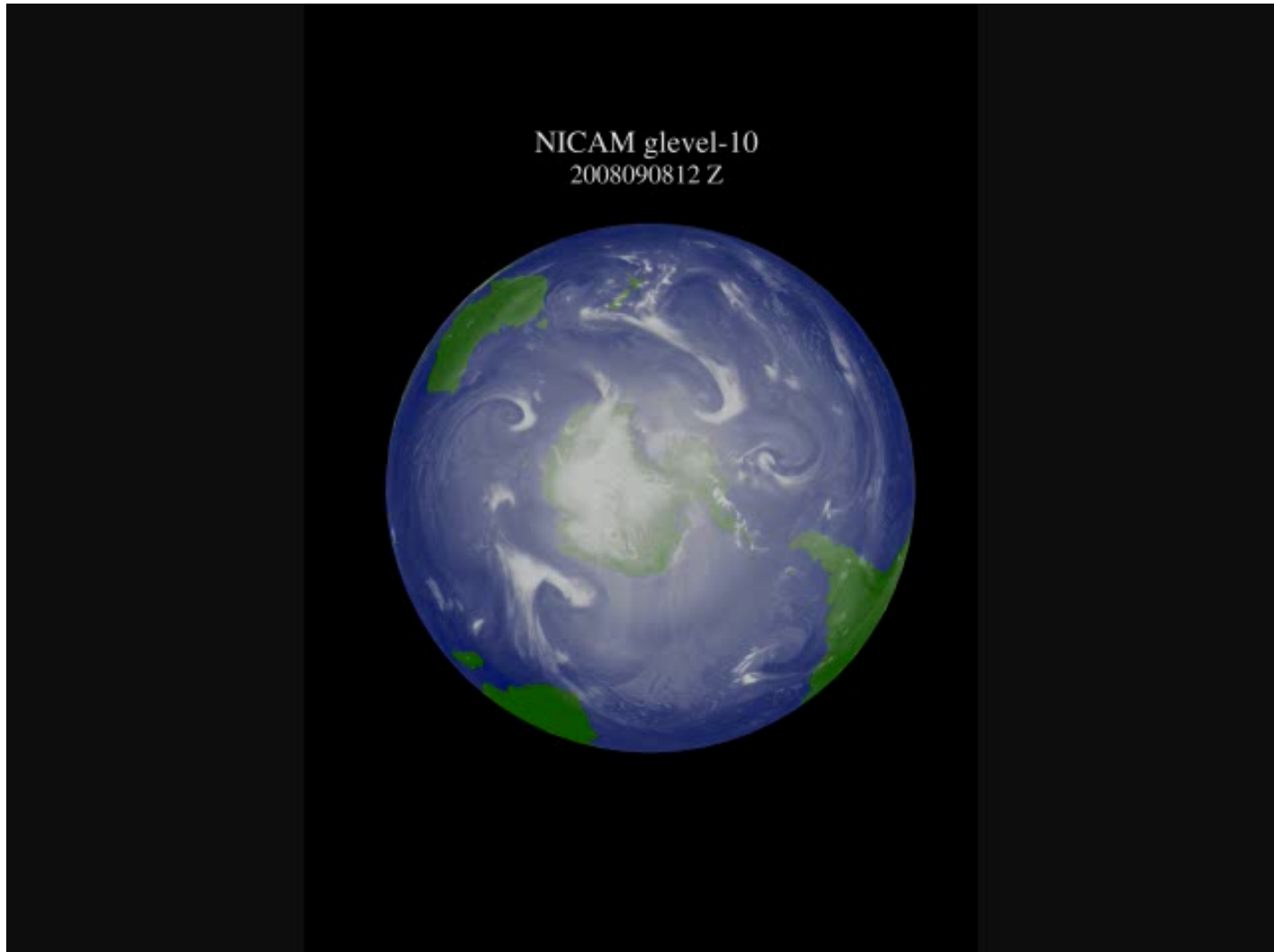
南極オゾンホール



極成層圏雲(PSC):
オゾンホールの原因

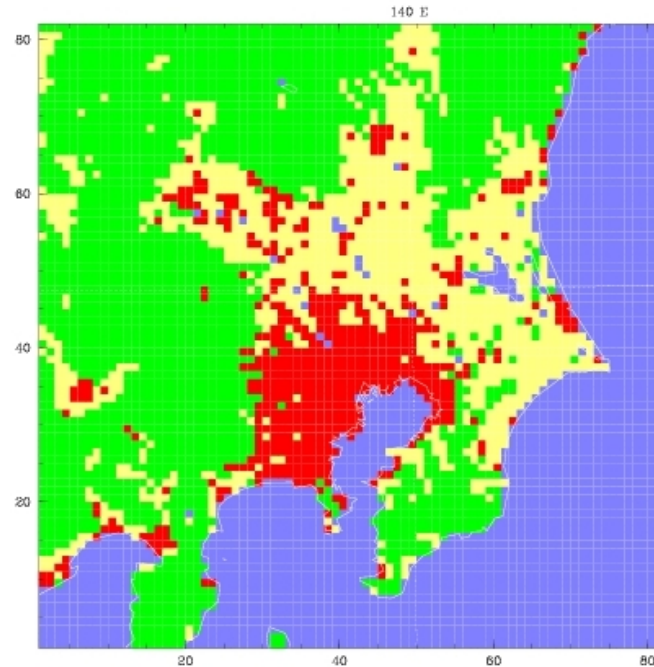
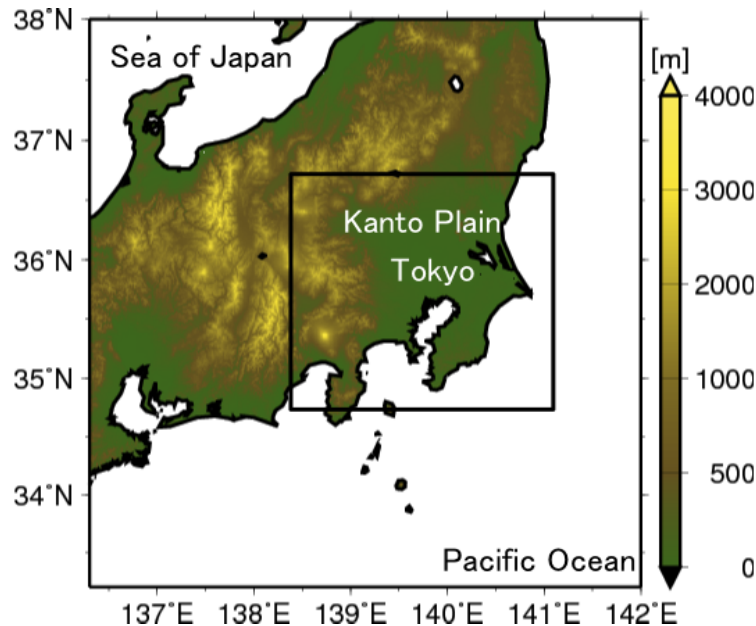
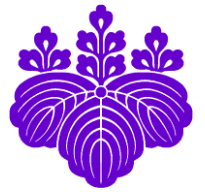


Glevel-10 ~ 全球7kmメッシュ 14日ラン
T2K-Tsukuba 160-node 140時間 2.2TB出力



筑波大学CCCSの取り組み(2)

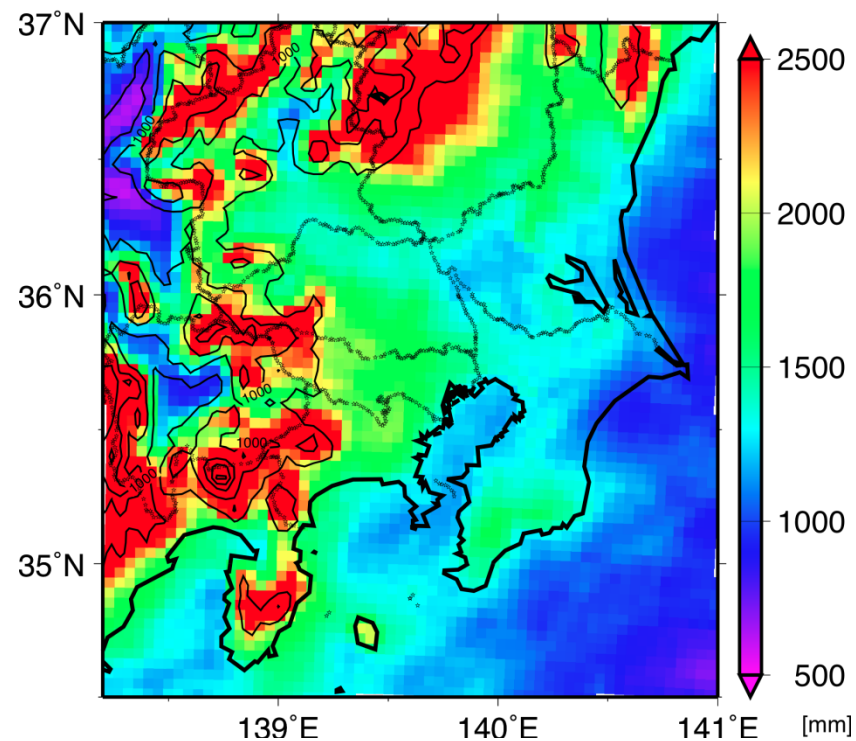
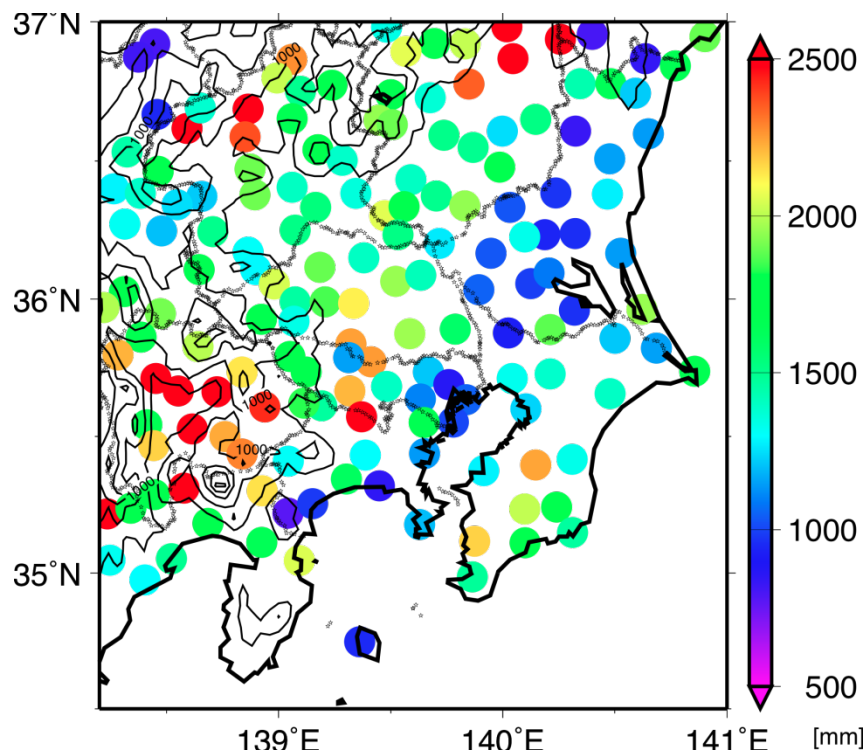
領域気象モデルWRF

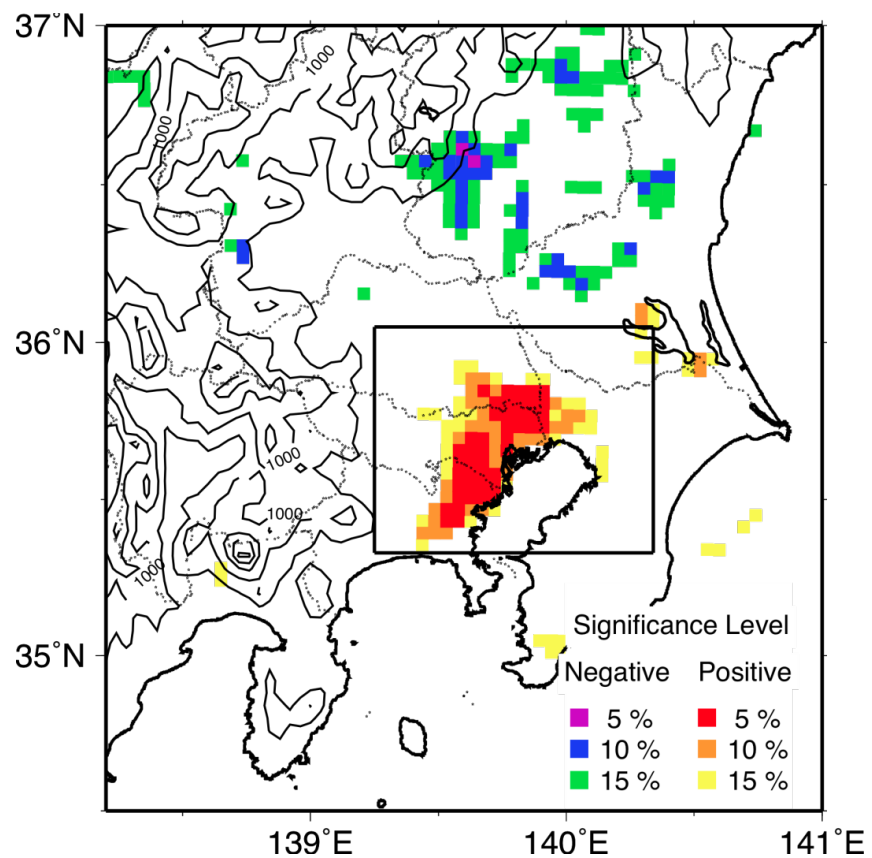
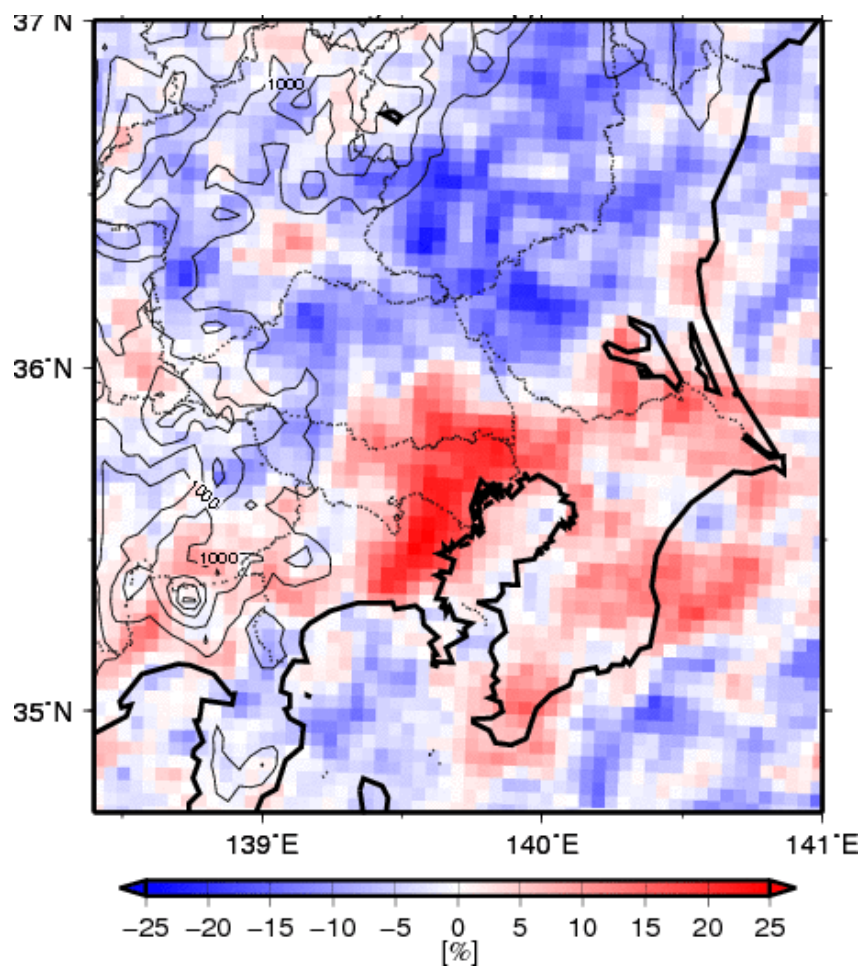


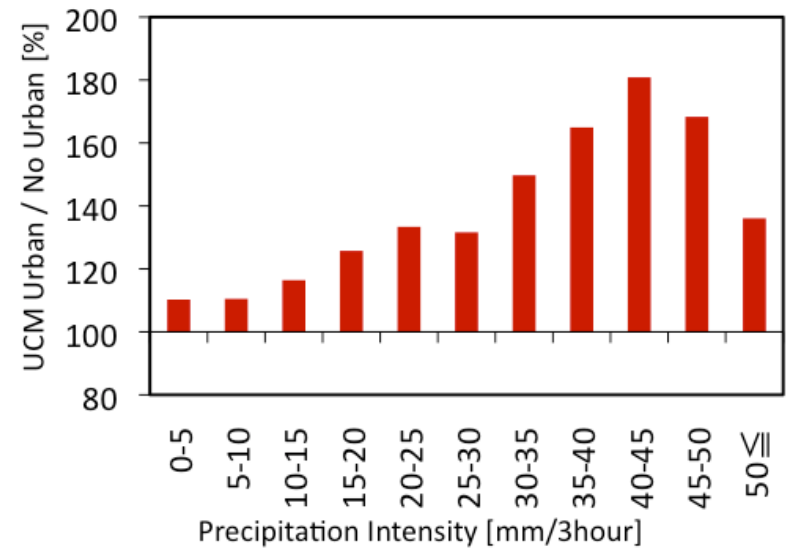
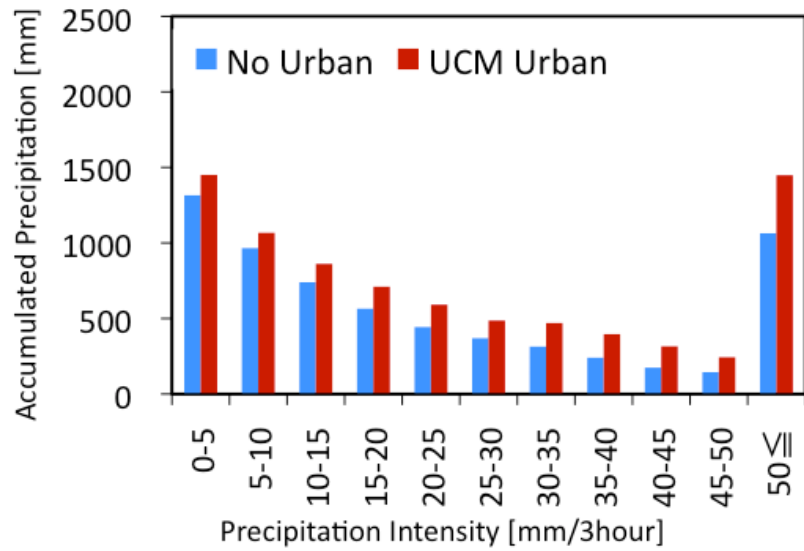
空間分解能4km
格子点数: 192*168*31
2000年代8月

T2K-Tsukuba 64-core
計算時間: 100時間
出力データ: 約500GB

都市は降水量を増加させる？

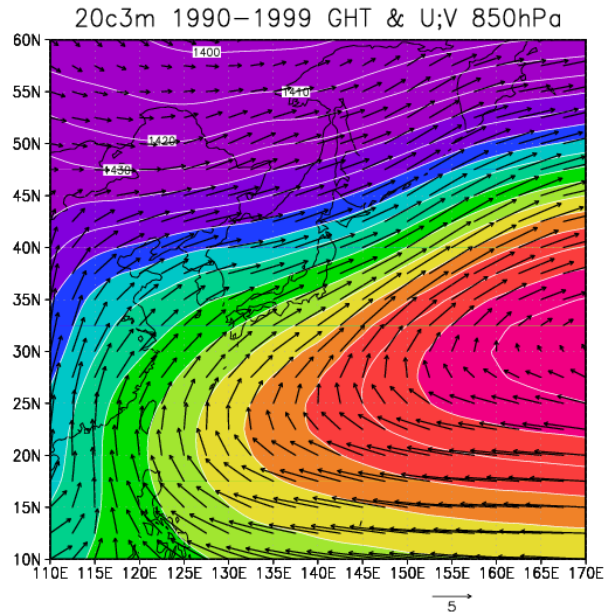




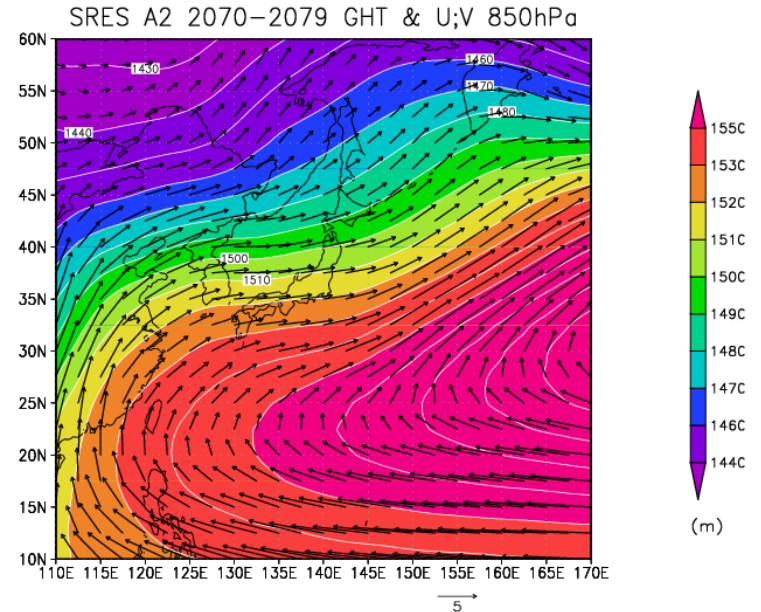


都市気候の将来予測計算

現在(1990年代)の 太平洋高気圧



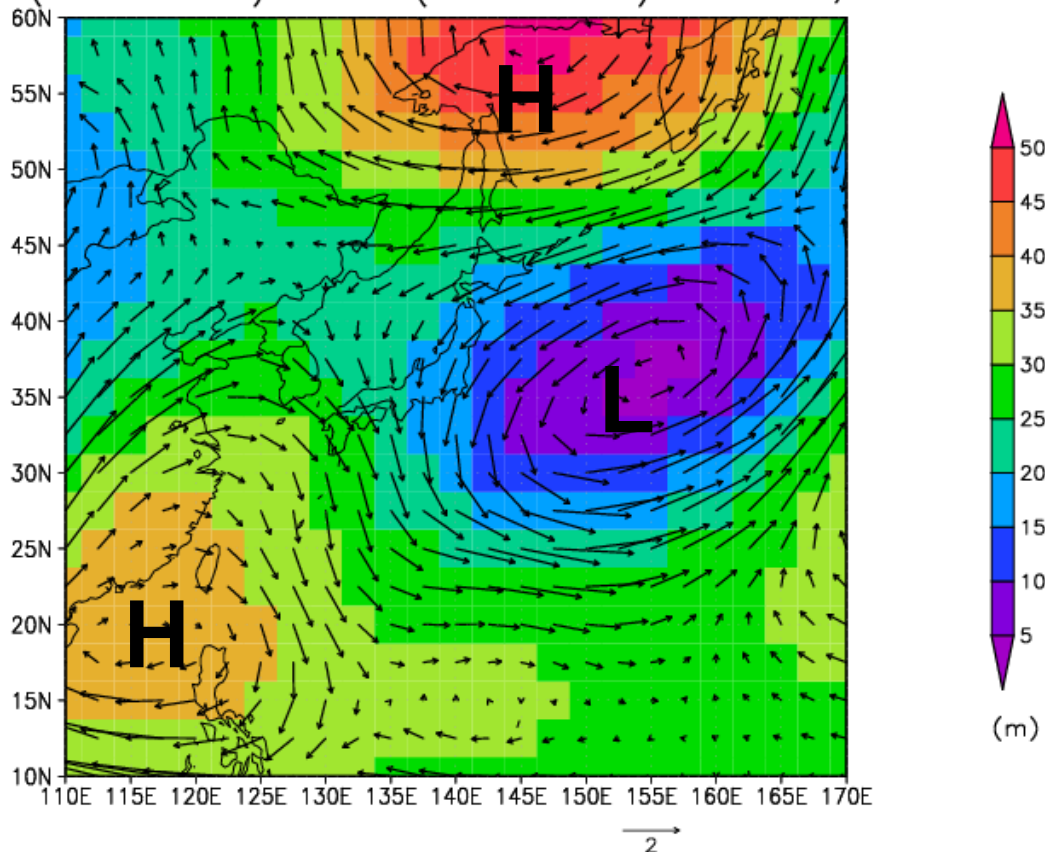
将来(2070年代)の太平洋 高気圧



将来、太平洋高気圧は、西に伸張する。

GCMによって予測された太平洋高気圧の変化

SRESA2(2070-2079)-20C3M(1990-1999) GHT & U;V 850hPa

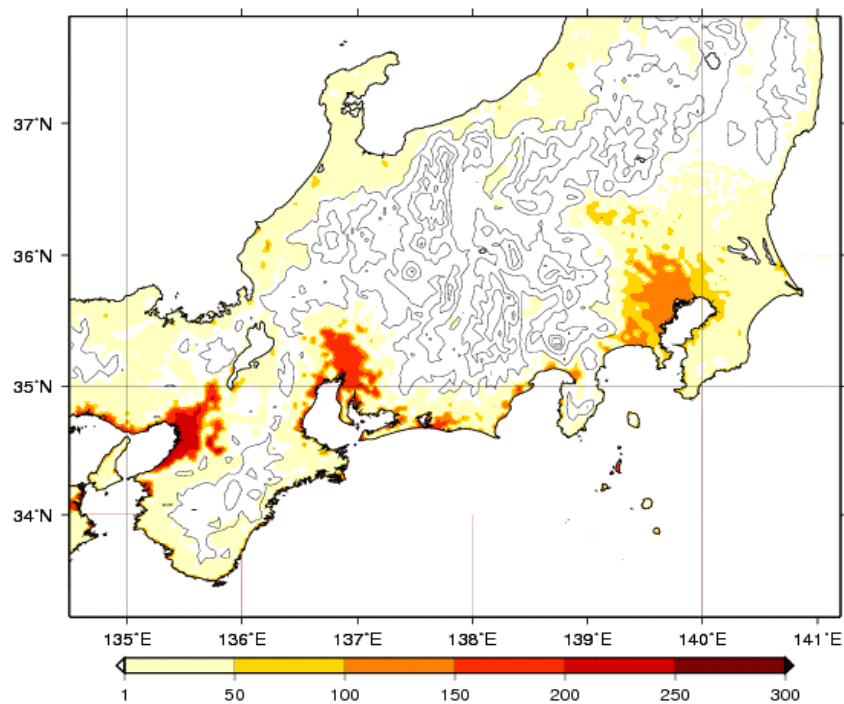


日本の東海上を中心
に、低気圧偏差.

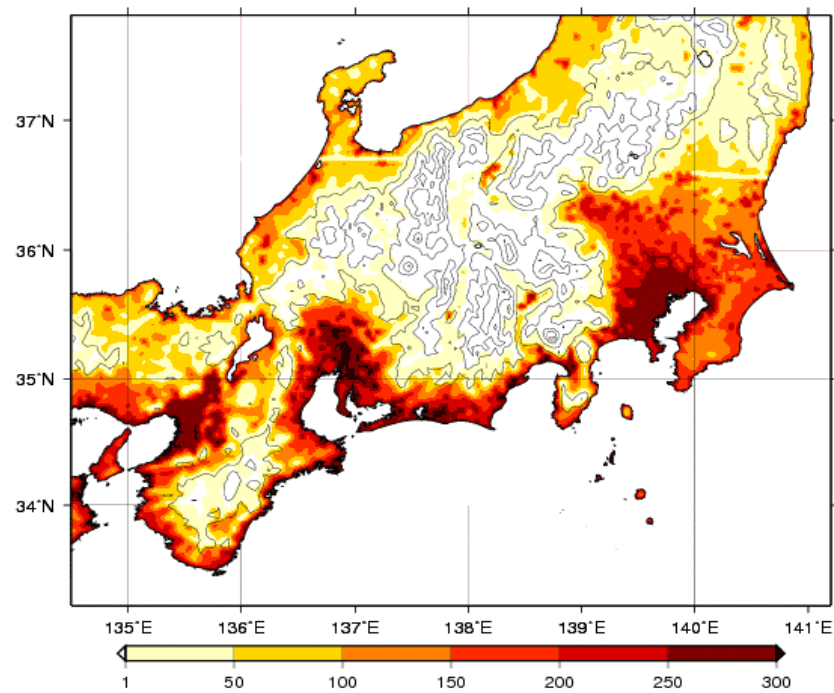
南北に高気圧偏差.

本州では、北風偏差
(850hPa).

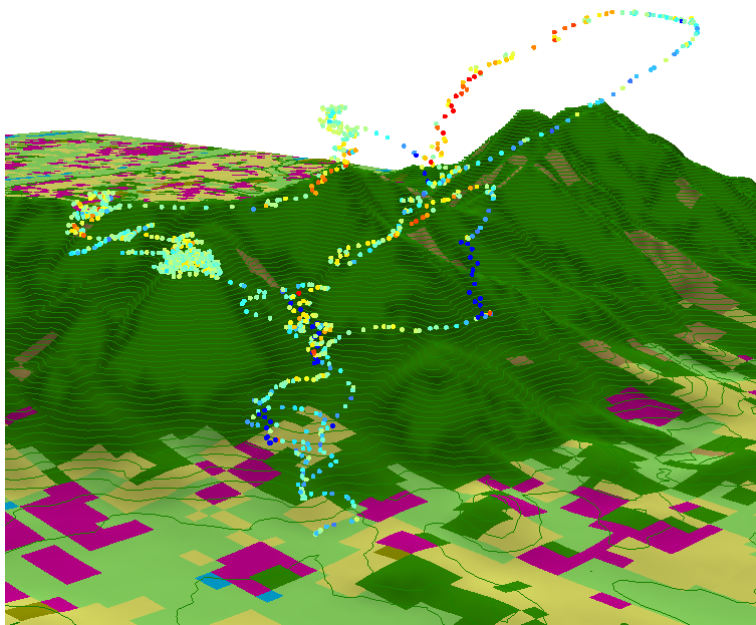
熱帯夜日数 (2000年代)



熱帯夜日数 (2070年代)



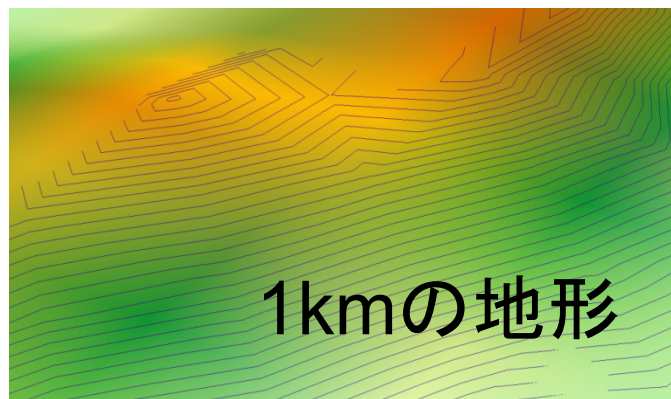
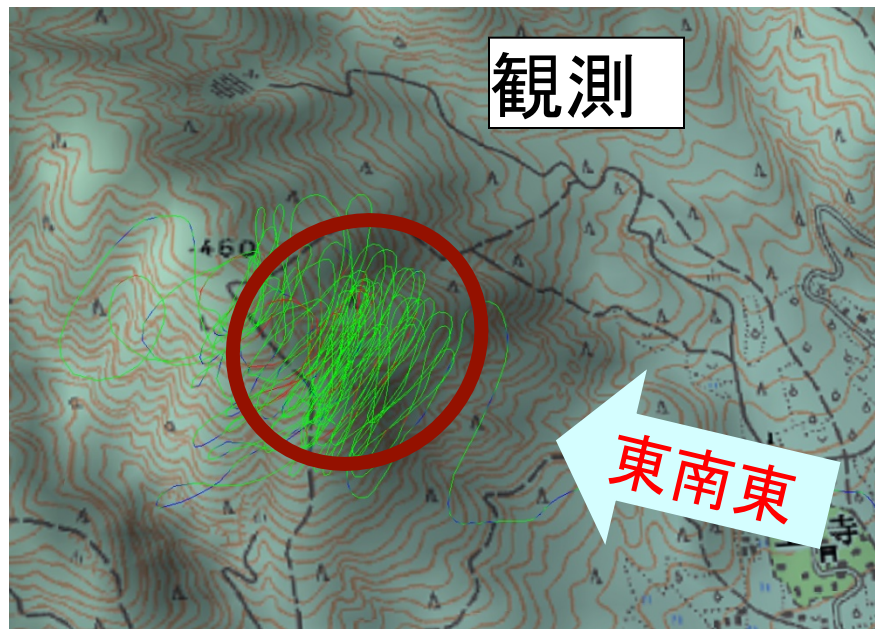
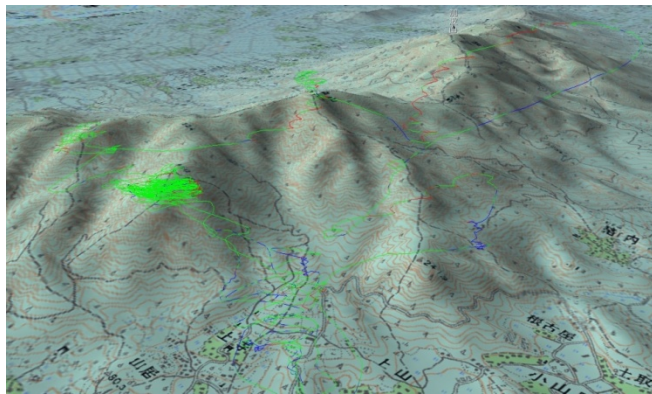
筑波大学CCSの取り組み(3) 複雑地形・都市を対象としたLESの開発



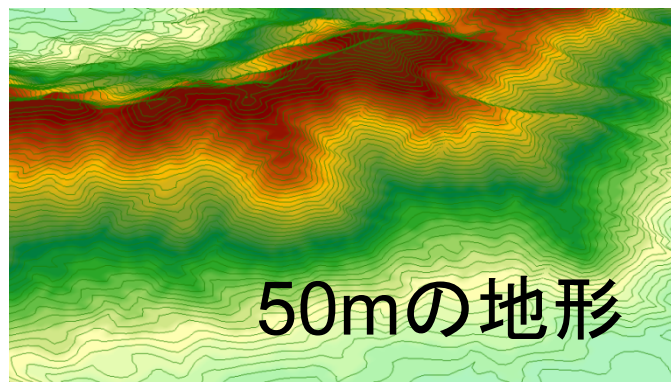
アーベントテルミックに乗って飛行するパラグライダーの軌跡



パラグライダーはアーベントテルミックに乗って飛行する



1kmの地形



50mの地形

50m-LESで計算予定

ヒートアイランドの実態解明(つくば市)

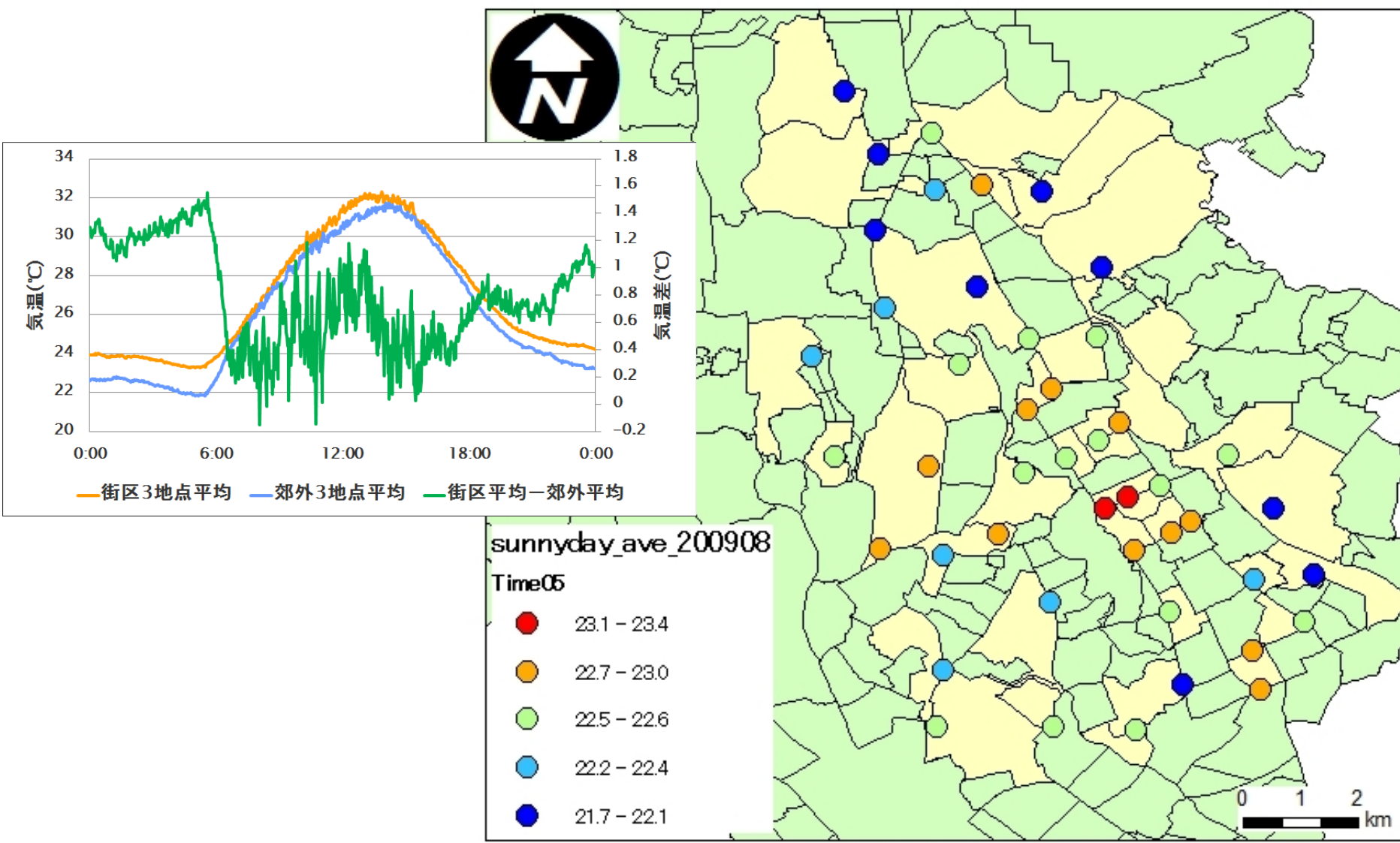


つくば市は過去40年間で急激な発展をとげている

昔からヒートアイランド観測が実施されている

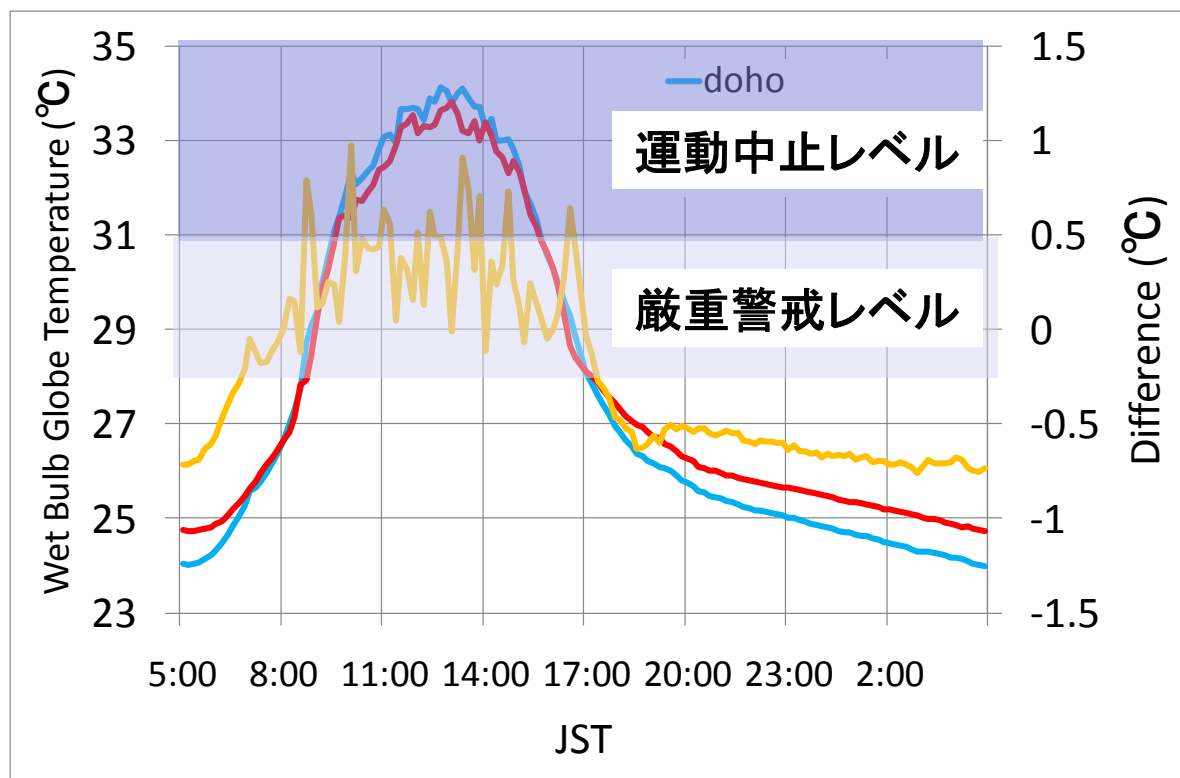
公園が多い





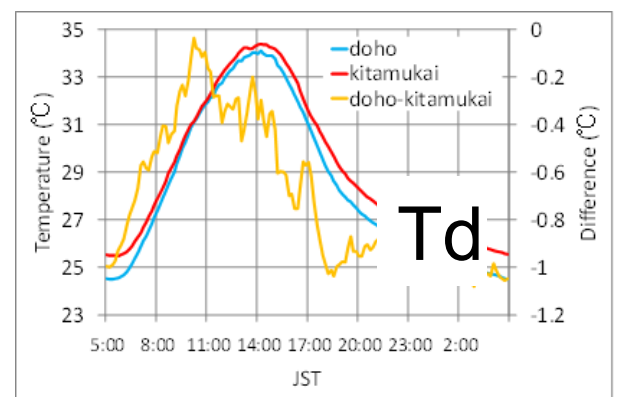
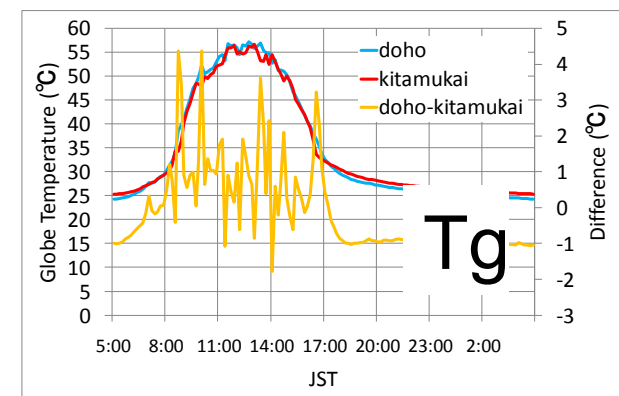
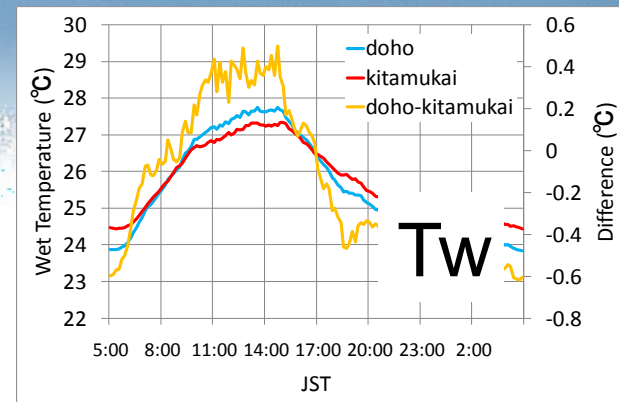


熱中症指数(WBGT) 晴天日4日平均値



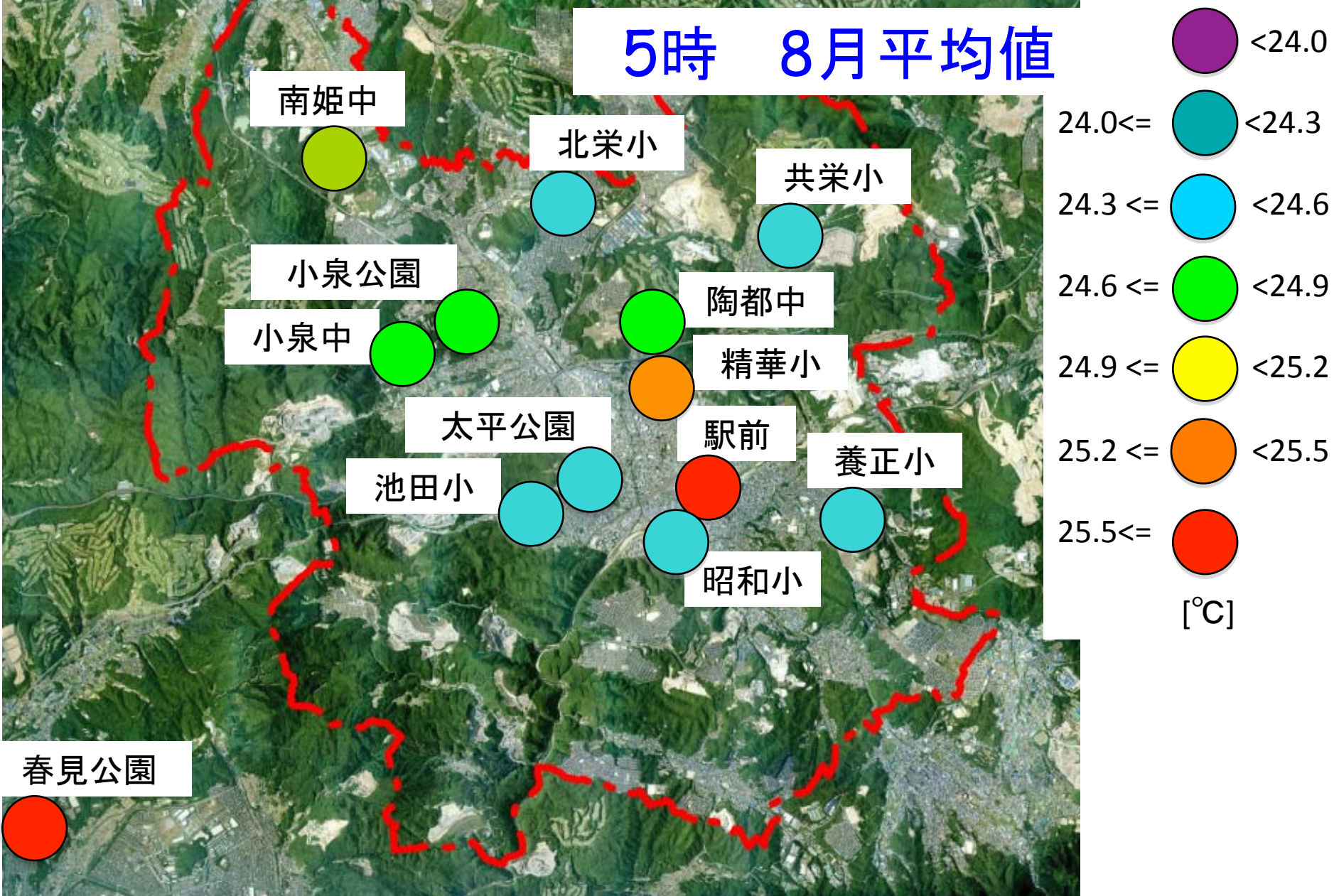
— 洞峯公園 — 北向児童公園

洞峯公園の方が熱中症指数が高い



多治見のヒートアイランド観測

5時 8月平均値



14時 8月平均値

<32.0

32.0<= <32.3

32.3 <= <32.6

32.6 <= <32.9

32.9 <= <33.2

33.2 <= <33.5

33.5<= [°C]

南姫中

北栄小

共栄小

小泉公園

陶都中

小泉中

精華小

太平公園

駅前

養正小

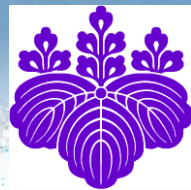
池田小

昭和小

春見公園

33.6

33.6



LESモデルの基礎方程式



名古屋大学

気候変動適応戦略イニシアチブ

$$\frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_j} = -c_p \theta_0 \frac{\partial \overline{\pi'}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\tau_{ij} + \nu \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} \right) + g \frac{\overline{\theta'}}{\theta_0} \delta_{i3} + F_i$$

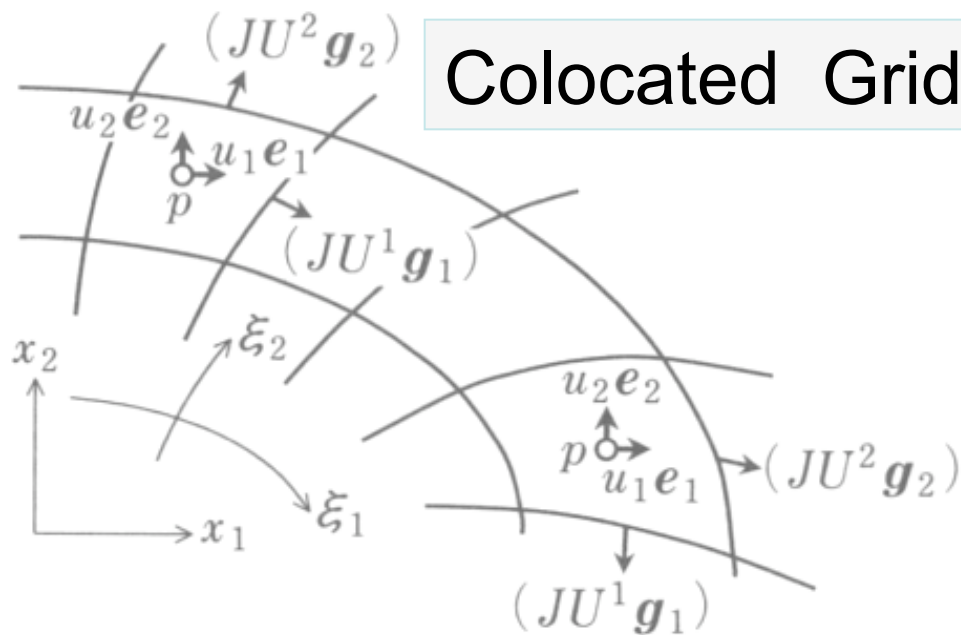
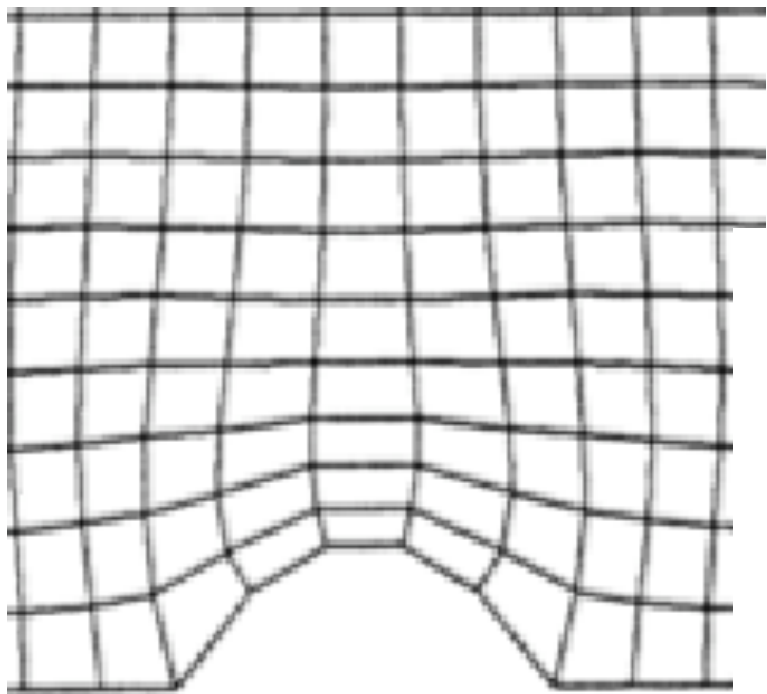
$$\frac{\partial \overline{\theta'}}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_j \theta'}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\tau_{\theta j} + K \frac{\partial \overline{\theta'}}{\partial x_j} \right)$$

名古屋大建築CFD(飯塚悟准教授)
を気象モデルに改良

SGS model: Smagorinsky or Deardorff (1980)

座標系：複雑地形に対応

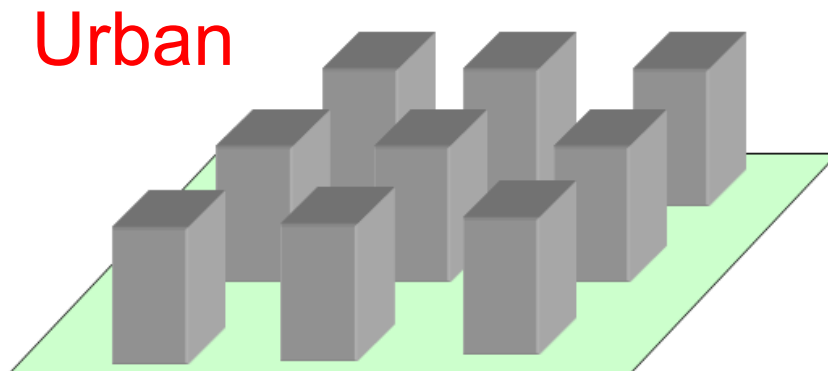
Generalized Curvilinear Coordinate



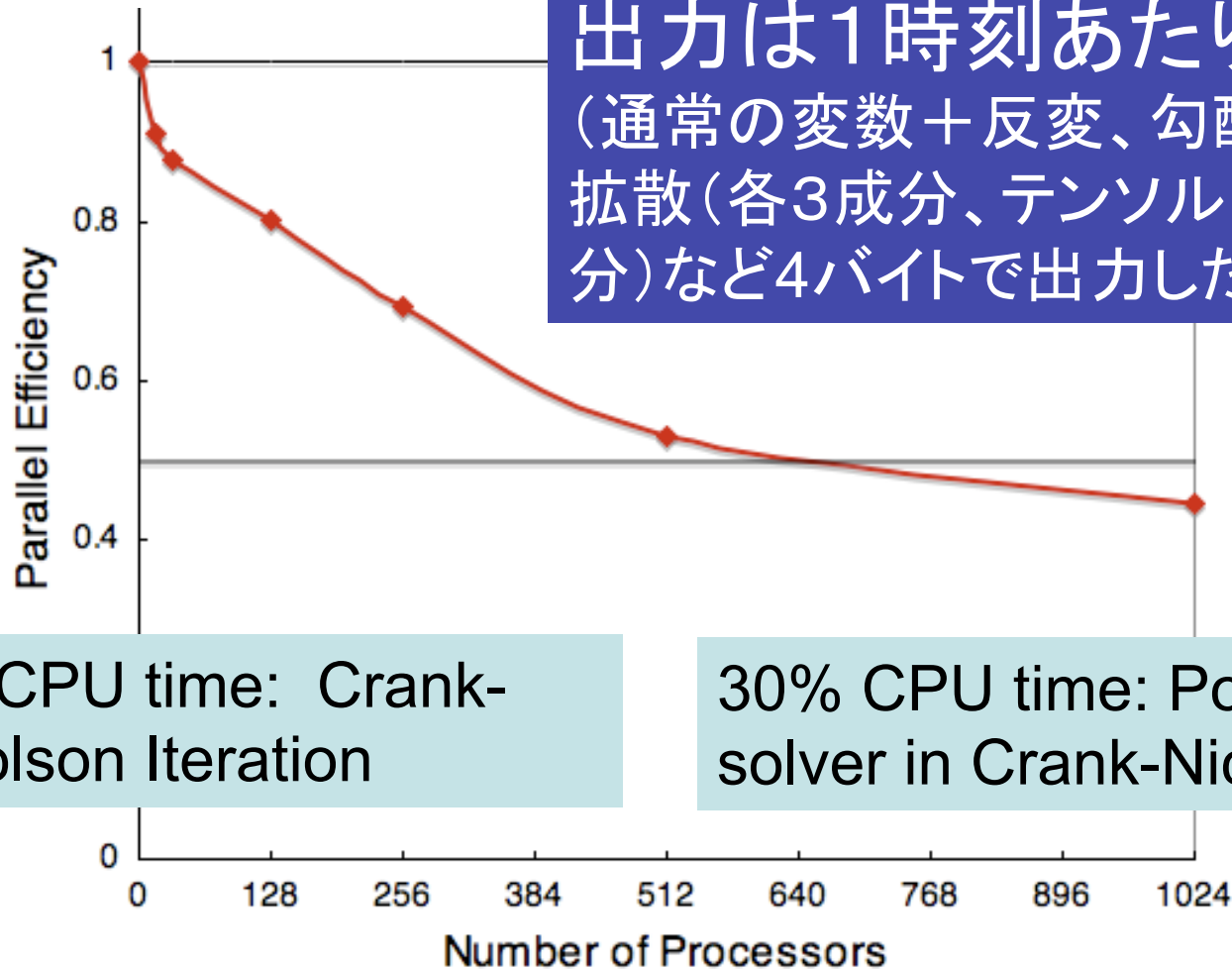
Collocated Grid

物理過程：都市や霧に対応

- **Surface Layer**: Louis (1974) or M-O Iteration
- **Land Surface**: SLAB or ML-UCM (Ikeda and Kusaka 2010)
- **Radiation**: Gray body (Stephans 1978, Roach and Slingo 1979)
- **Cloud**: Warm rain



並列化効率 (320*320*100格子点)



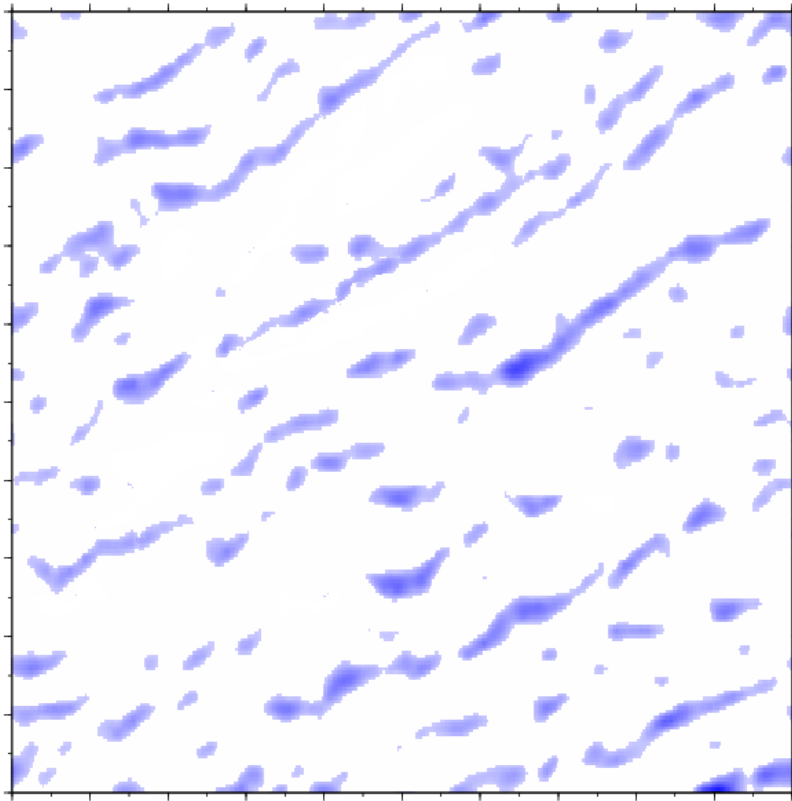
出力は1時刻あたり4.8GB
(通常の変数+反変、勾配、移流、
拡散(各3成分、テンソルは9成
分)など4バイトで出力した場合)

90% CPU time: Crank-
Nicholson Iteration

30% CPU time: Poisson
solver in Crank-Nicholson

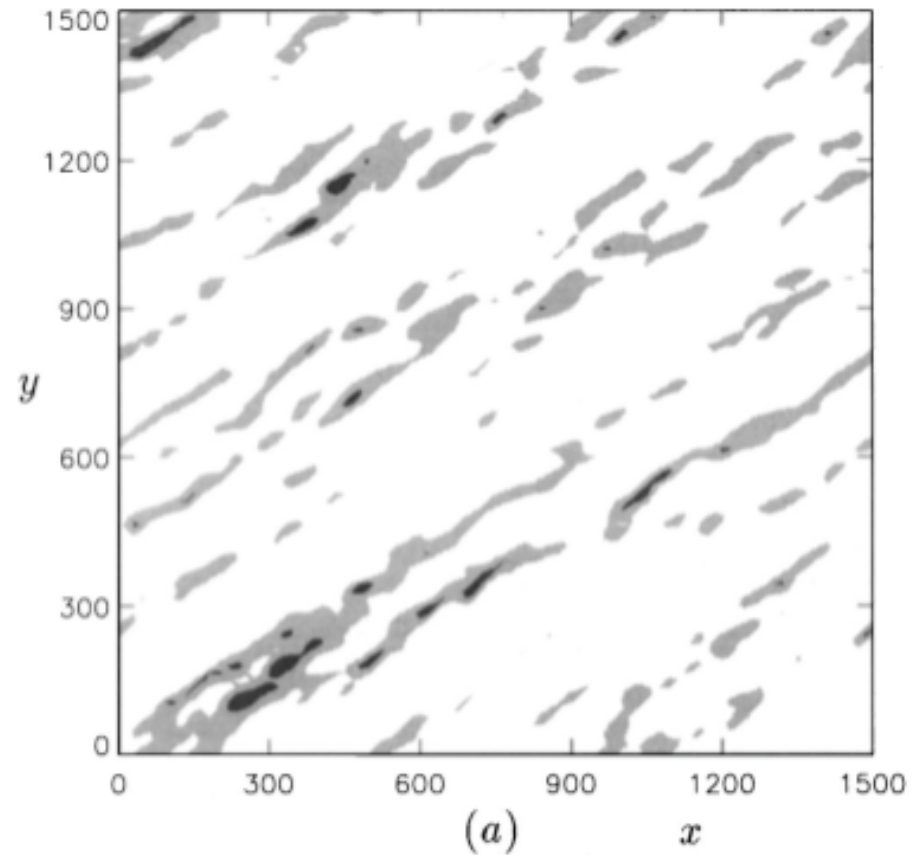
力学モデルのテスト: 大気境界層のシミュレーション

Tsukuba-LES

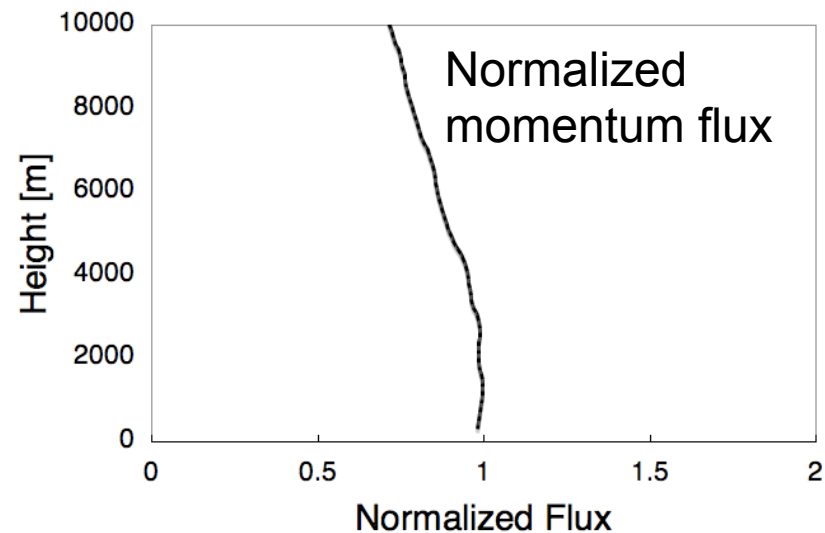
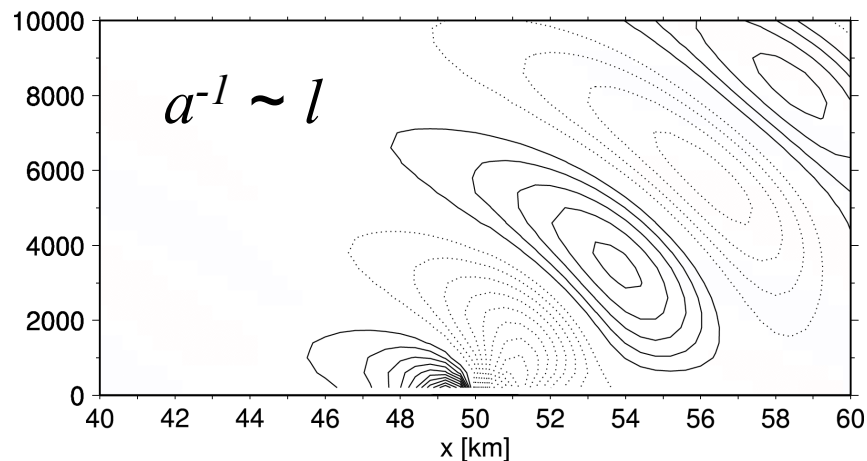
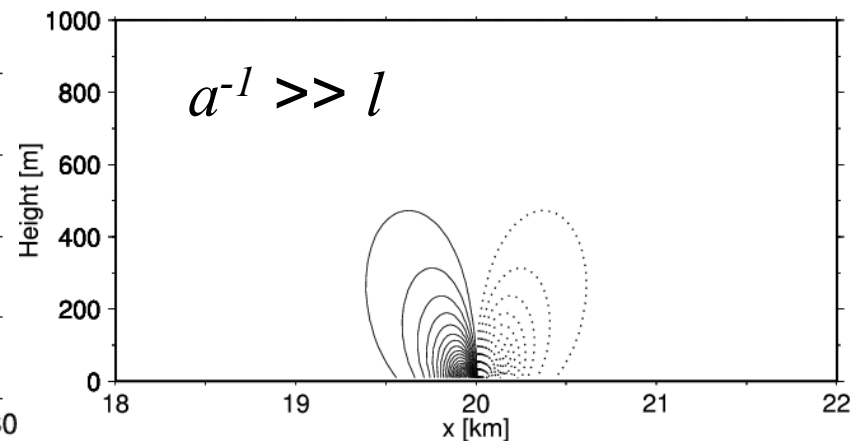
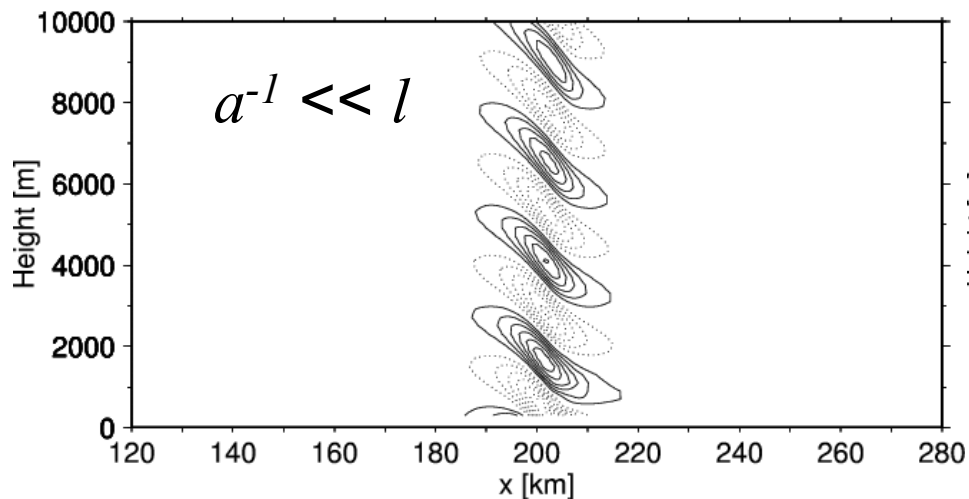


$$z = 0.1z_i$$

Lin et al. (1998)



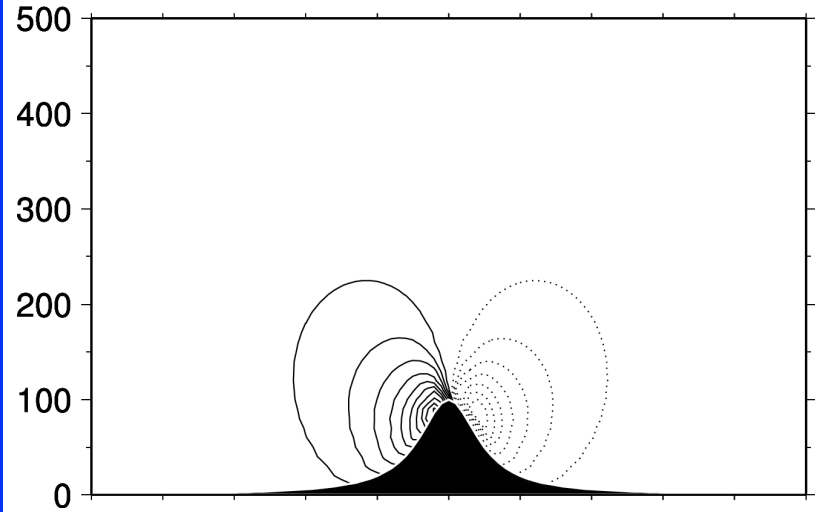
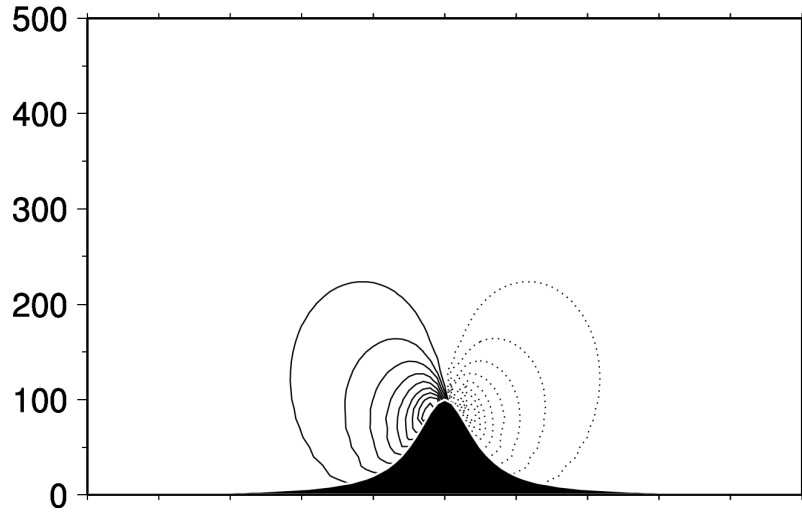
座標系のテスト: 山岳波のシミュレーション



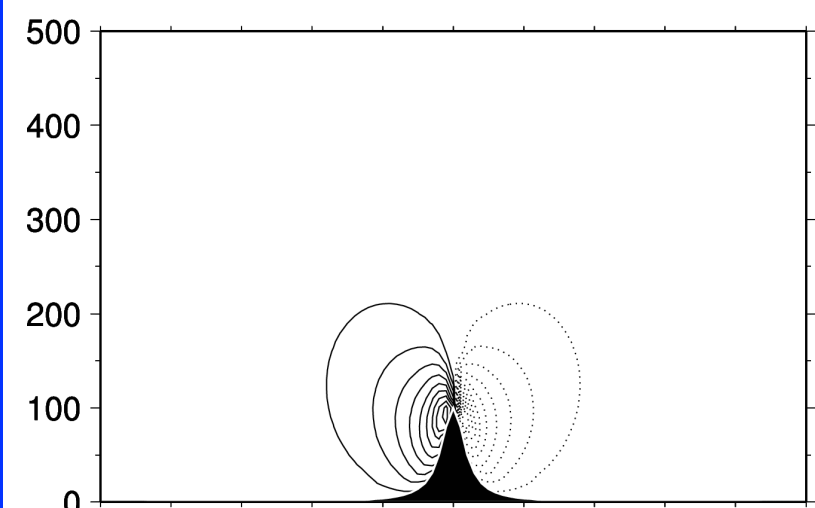
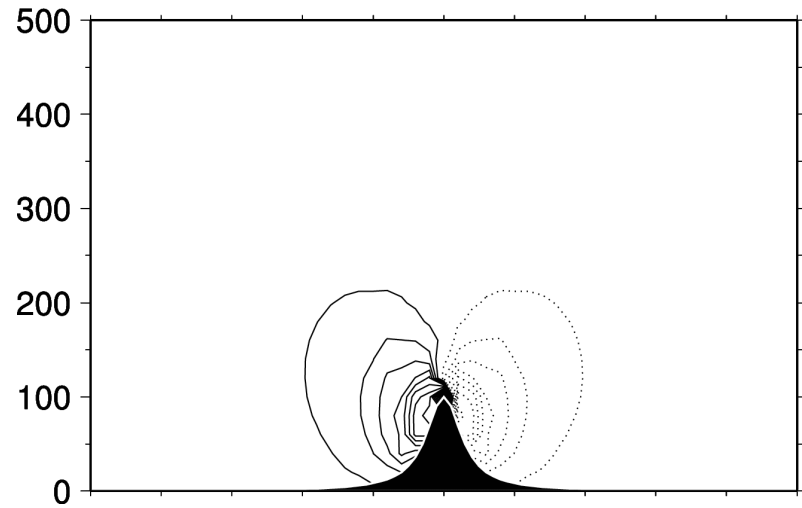
$z *$

Generalized Curvilinear

45°



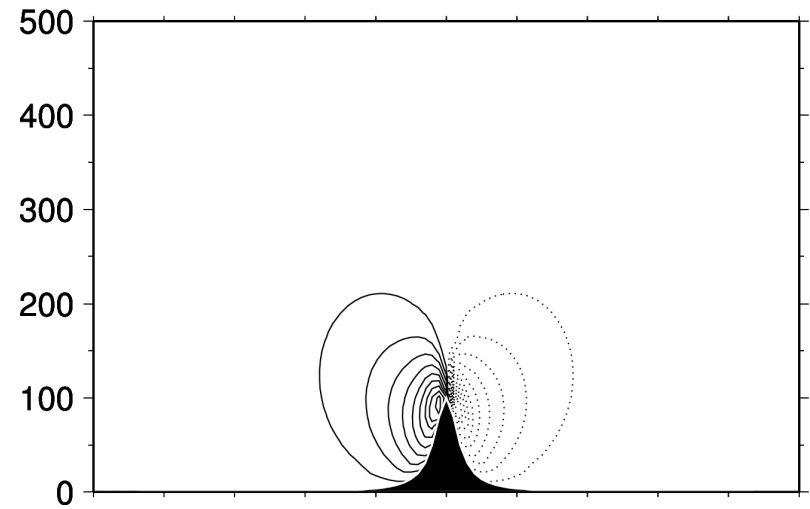
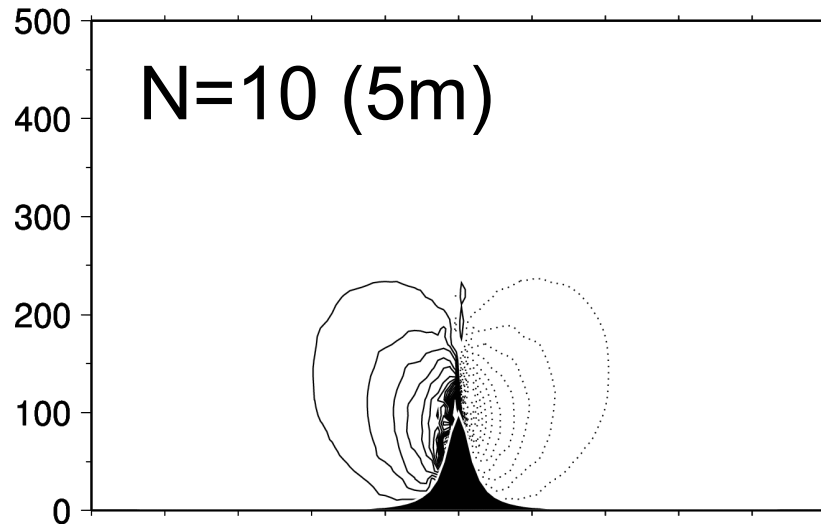
59°



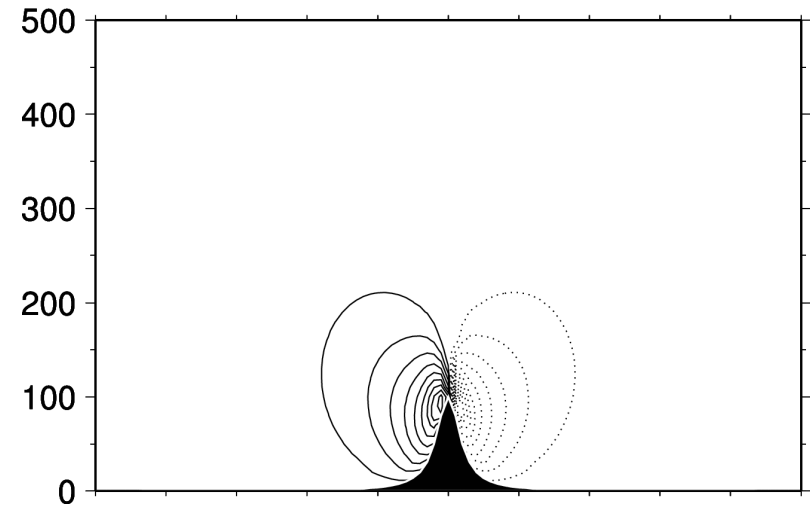
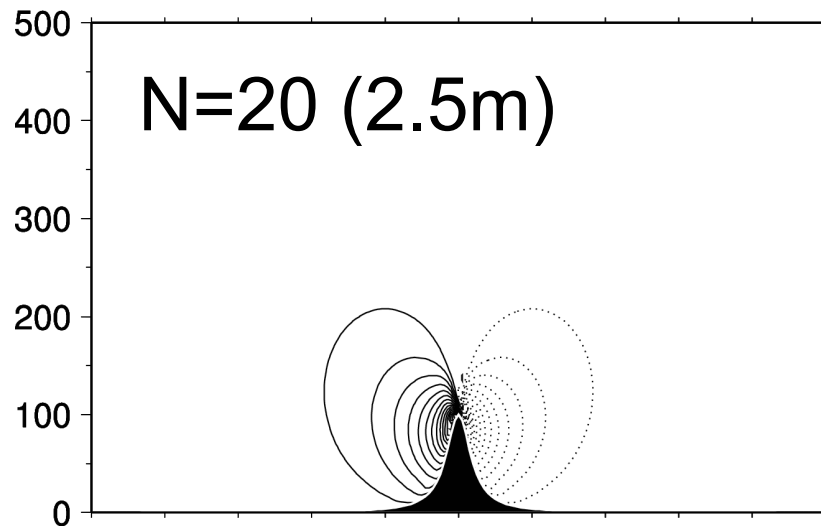
$z *$

Generalized Curvilinear

63.4



63.4





ご静聴ありがとうございました

- 本研究の一部は環境省の地球環境研究総合推進費(S5-3)の支援を受けました。
- 本研究の一部は文科省の気候変動適応イニシアティブの支援を受けました。
- 数値シミュレーションには学際共同利用研究としてT2K-Tsukubaを利用しました。