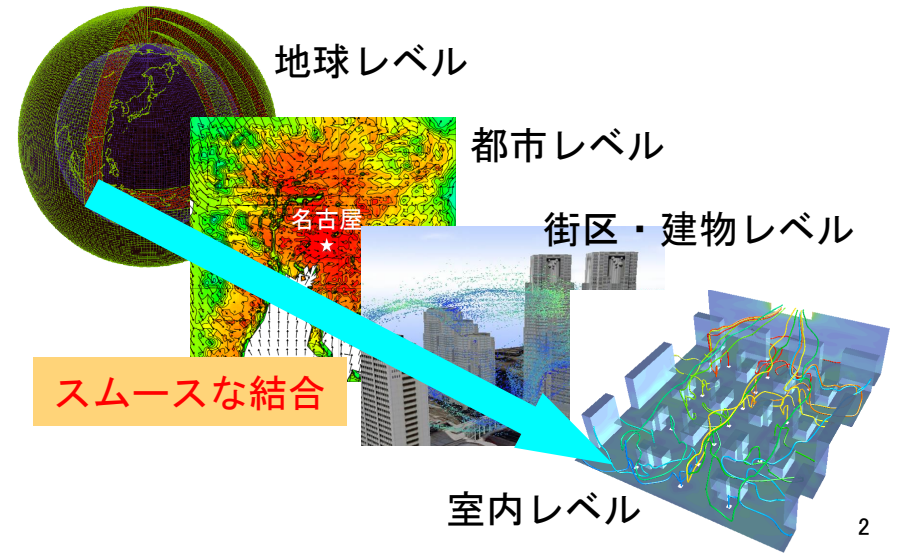


温暖化ダウンスケーリング

飯塚 悟

大学院環境学研究科／都市環境学専攻

ダウンスケーリングとは？



なぜダウンスケーリングが必要か？

1. 人体・居住域快適性の検討

→ より大きなスケールから様々な影響

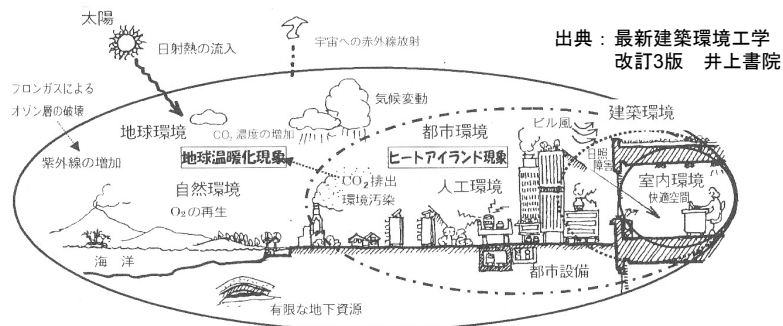
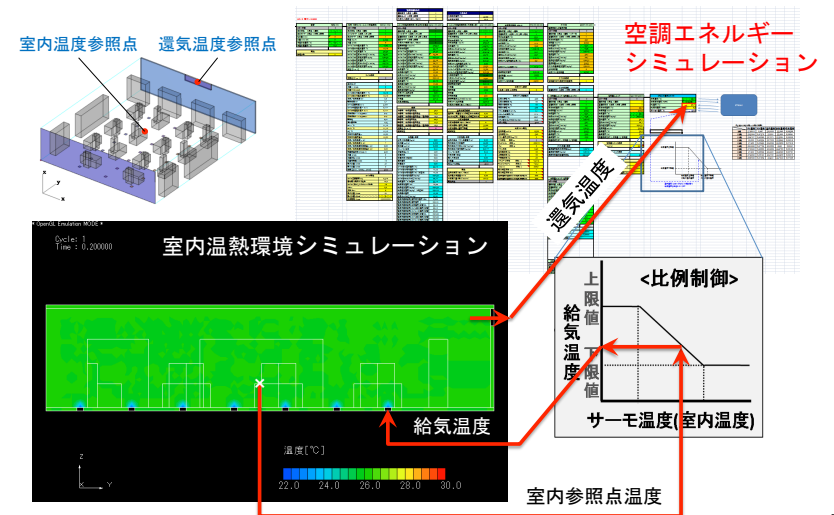


図 1-1 地球環境問題と建築環境

室内環境へのダウンスケーリング

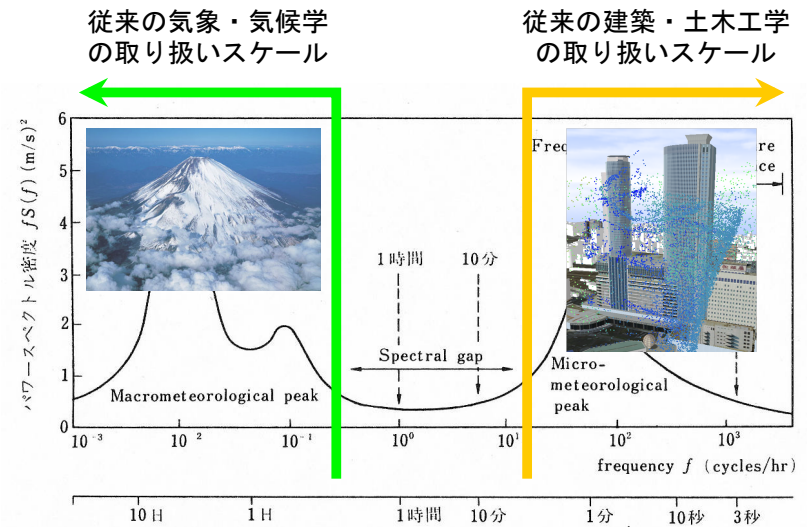


なぜダウンスケーリングが必要か？

1. **人体・居住域快適性**の検討
→ より大きなスケールから様々な影響
2. 将来の温暖化緩和策・適応策の検討
→ **都市温暖化（ヒートアイランド）の mitigation（緩和）は地球温暖化の adaptation（適応）**

5

未踏の大地 Wyngaard (2004)



6

コンピュータ性能・並列処理技術の進展



京速コンピュータ
「京（けい）」
理化学研究所・富士通共同開発
864筐体 88,128 CPU

LINPACK性能：
10.51ペタフロップス
10 PFlopsが毎秒1京回の演算速度
2011/11/14現在・世界最高速



出典：理化学研究所HP

工学（CFD）シミュレーションの広域化

Table 2. Examples of recent CFD simulations that resolve individual buildings in urban areas.

Literature	Application (turbulence model)	Horizontal domain size [m ²]	Vertical domain height [m]
Ashie & Kono (2011)	Thermal environment (RANS)	33000 x 33000	500
Baik <i>et al.</i> (2009)	Pollution dispersion (RANS)	980 x 1140	500
Blocken & Pearson (2009)	Wind environment (RANS)	3000 x 3000	500
Bou-Zeid <i>et al.</i> (2009)	Wind environment (LES)	1500 x 1500	500
Hanna <i>et al.</i> (2009)	Pollution dispersion (RANS)	Approximately 3200 x 900	Approximately 650
Xie & Castro (2009)	Pollution dispersion (LES)	1200 x 800	200
Nozu <i>et al.</i> (2008)	Wind load (LES)	2048 x 1024	800
Oguro <i>et al.</i> (2008)	Wind environment (RANS)	10000 x 10000	400
Tamura (2008)	Wind load (LES)	2900 x 1200	1000
Burrows <i>et al.</i> (2007)	Wind environment (RANS)	2100 x 2100	300
Chan <i>et al.</i> (2007)	Pollution dispersion (RANS)	1030 x 3010	425
Flaherty <i>et al.</i> (2007)	Pollution dispersion (RANS)	900 x 1200	300
Hendricks <i>et al.</i> (2007)	Pollution dispersion (RANS)	1400 x 1400	200
Huang <i>et al.</i> (2005)	Thermal environment (RANS)	400 x 400	450

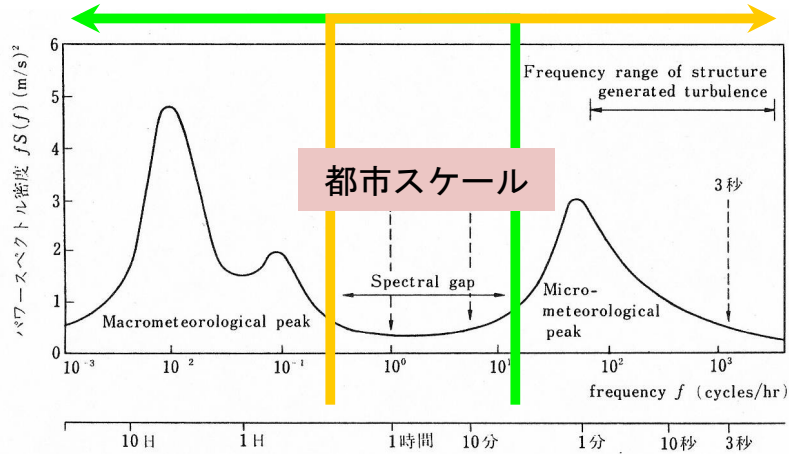
出典：Urban Climate News, Quarterly Newsletter of the IAUC, No. 41, Sep. 2011

8

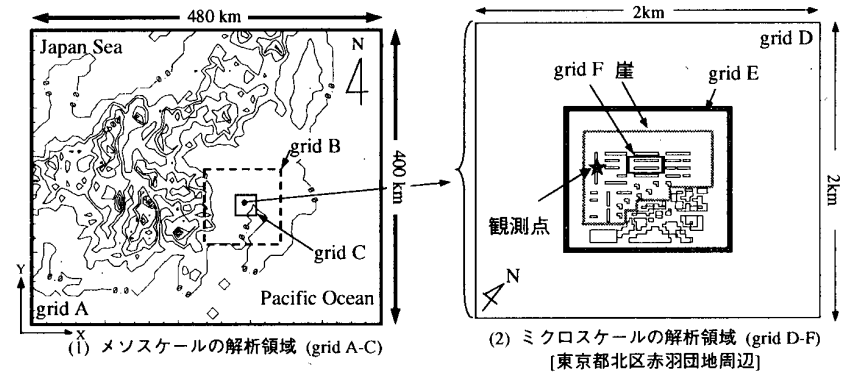
未踏の大地の開拓

現在の気象・気候学
の取り扱いスケール？

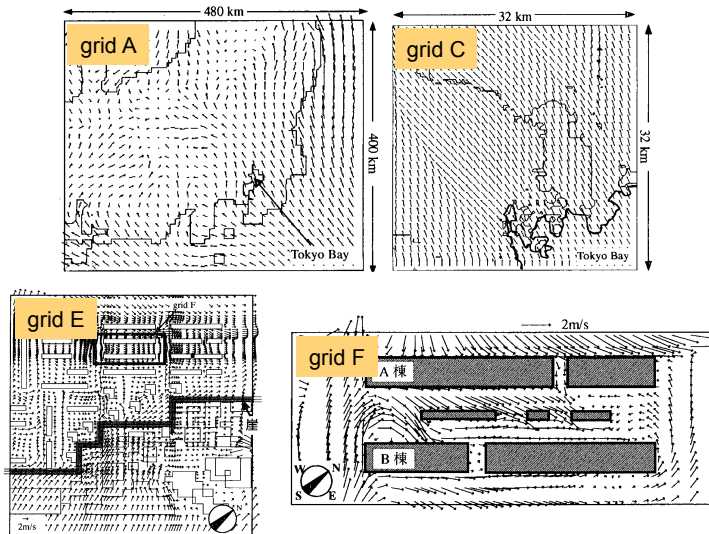
現在の建築・土木工学
の取り扱いスケール？



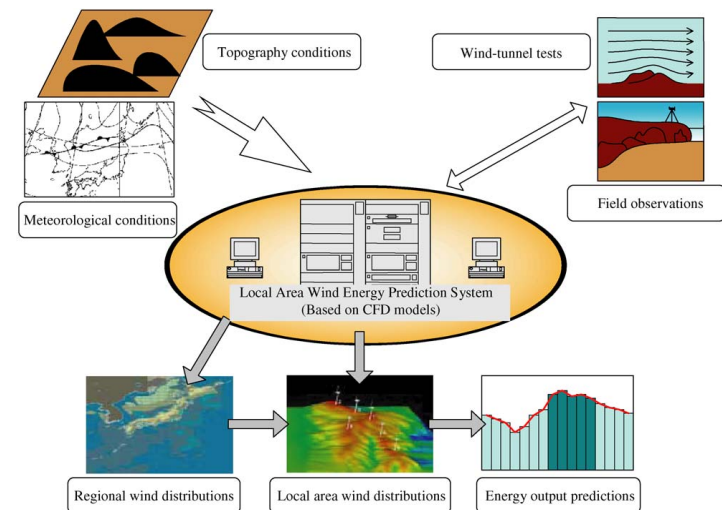
Software Platform 村上・持田ら (2000)



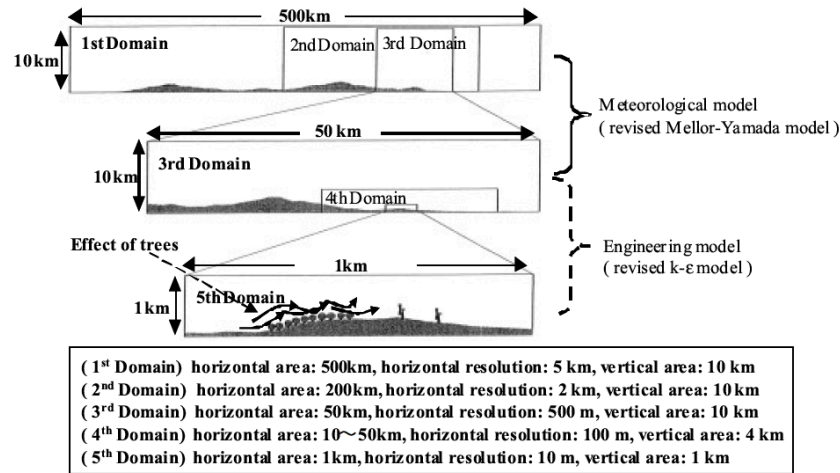
Software Platform 村上・持田ら (2000)



局所風況予測システム Murakamiら (2003)

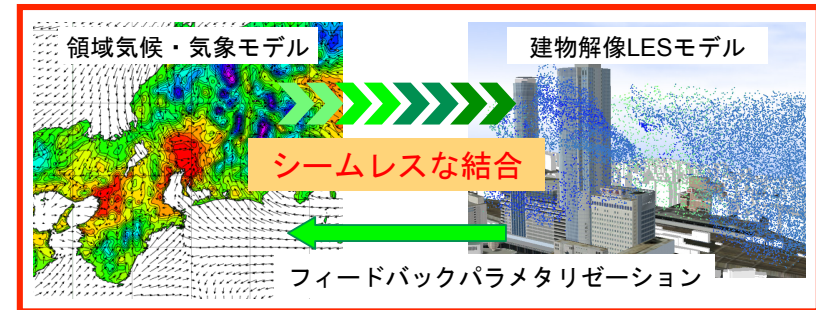


局所風況予測システム Murakamiら (2003)



13

H22-26文科省プロジェクト 研究代表者 飯塚

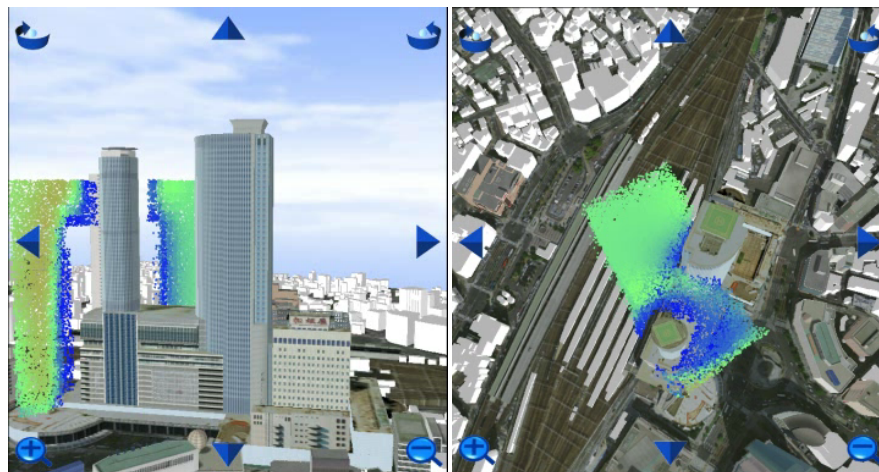


世界最先端の高性能なダウンスケールモデルの開発

1. 高品質・低コストの解析・予測が可能
2. 低コストでアンサンブル実験 → 不確実性の評価が可能
3. フィードバックパラメタリゼーションは様々な気候・気象モデルにも適用可能
4. 環境評価ツールとしての汎用性・実用性が高い

14

ダウンスケーリング 飯塚ら (2011)



15

気象・気候学 vs. 建築・土木工学

◎ 気象・気候学 (理学)

- ・ 自然現象の解明
- ・ 都市「上部」が主な興味の対象
→ 都市は「粗度」「キャノピーモデル」
- ・ 時間変化が重要

◎ 建築・土木工学 (工学)

- ・ 人間社会のための実用化
- ・ 都市「内部」(居住域)が主な興味の対象
→ 都市内の建造物を正しく解像
- ・ 空間変化が重要

16

なぜダウンスケーリングが必要か？

1. 人体・居住域快適性の検討
→ より大きなスケールから様々な影響

2. 将来の温暖化緩和策・適応策の検討
→ 都市温暖化（ヒートアイランド）の mitigation（緩和）は地球温暖化の adaptation（適応）

名古屋都市圏を対象として

名古屋の気候的特徴①

大都市および中小都市における気温上昇率
(統計期間：1931年～2009年)

都市	気温の変化量 (°C/100年)				
	平均気温			日最高気温	日最低気温
	年	1月	8月		
札幌	+2.6	+3.8	+1.0	+0.8	+4.5
仙台	+2.3	+3.2	+0.3	+0.9	+3.1
東京	+3.3	+4.8	+1.5	+1.4	+4.6
新潟	+2.1	+2.8	+1.2	+1.9	+2.3
名古屋	+2.9	+3.4	+2.2	+1.0	+4.1
大阪	+2.9	+2.7	+2.4	+2.3	+3.9
広島	+2.1	+2.2	+1.4	+1.0	+3.2
福岡	+3.2	+3.3	+2.3	+1.6	+5.2
鹿児島	+3.0	+3.4	+2.6	+1.4	+4.3
中小都市	+1.5	+1.9	+0.7	+0.9	+1.8

出典：気象庁・気候変動監視レポート2009

名古屋の気候的特徴②

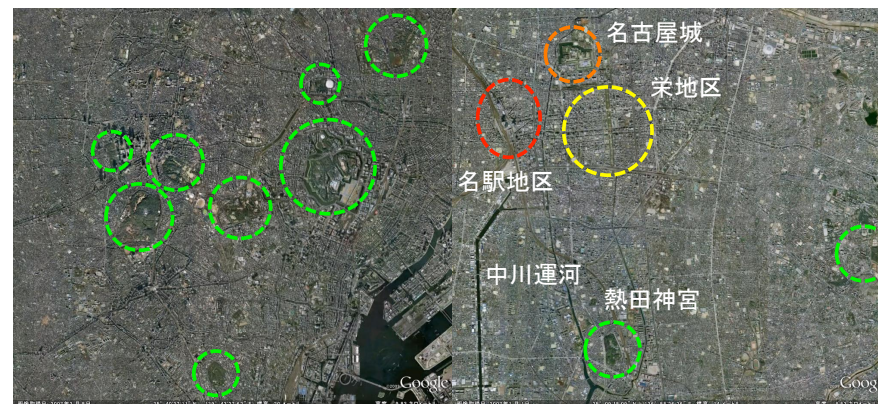
冬日・熱帯夜・猛暑日の年間日数の変化率
(統計期間：1931(1961(猛暑日のみ))年～2008年)

都市	年間階級日数の変化率 (日/10年)		
	冬日	熱帯夜	猛暑日
札幌	-4.9	0.0	0.0
仙台	-6.4	+0.2	+0.1
東京	-8.9	+3.5	+0.5
新潟	-	-	+0.8
名古屋	-7.6	+3.4	+2.3
福岡	-5.6	+4.7	+1.0
中小都市	-2.2	+1.3	+0.4

出典：気象庁・ヒートアイランド監視報告（平成20年 東海地方）

名古屋の地理的特徴①

大規模緑地・オープンスペースが少ない



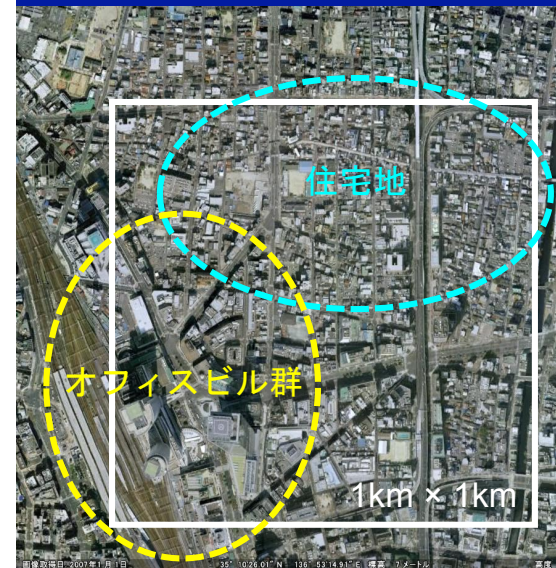
東京

名古屋

名古屋の地理的特徴②



名古屋の地理的特徴③



コンパクト

都市シミュレーション
水平解像度
1km程度

+

街区シミュレーション

22

名古屋の温暖化シミュレーション

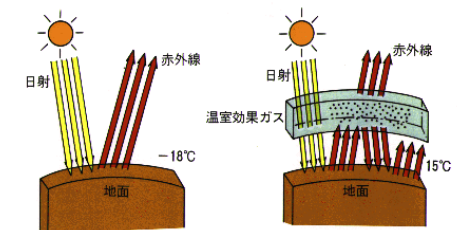
1. 都市スケールから街区・建物スケールへのダウンスケーリングの必要性
→ 都市気象モデル + 工学CFDモデル
2. 地球スケールから都市スケールへのダウンスケーリングの必要性
→ 全球モデル + 都市気象モデル

都市の昇温に対して
都市温暖化（ヒートアイランド）の影響
と地球温暖化の影響の明確な区別は困難！

23

都市温暖化と地球温暖化① 原因

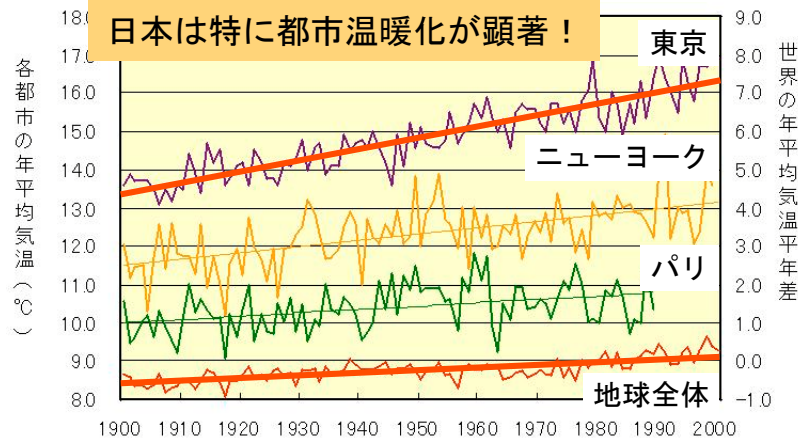
- ◎ 都市温暖化（ヒートアイランド）
都市化（水辺や緑地の減少、エネルギー消費の増加など）に伴う熱収支の変化
- ◎ 地球温暖化
温室効果ガスの過剰な増加



出典：東京大学CCSRホームページ

24

都市温暖化と地球温暖化② 進行速度



出典：気象庁・異常気象レポート2005

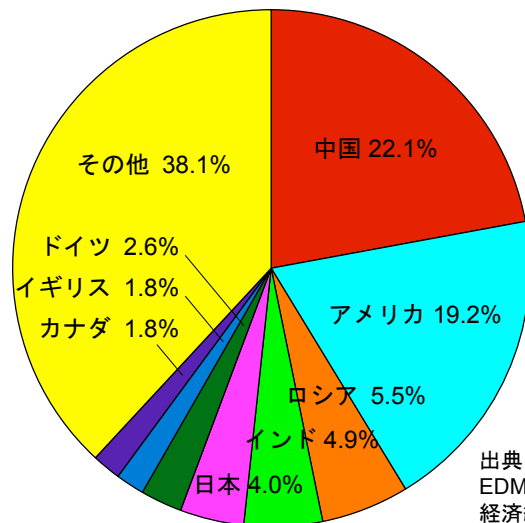
25

地球温暖化の実態 IPCC AR4

- ◎ 気候システムの**温暖化は疑う余地がない**
Warming of the climate system is unequivocal.
- ◎ 最も厳しい緩和努力をしても、今後数十年の気候変動の更なる影響を回避できないため、**適応は避けられない**
Even the most stringent mitigation efforts cannot avoid further impacts of climate change in the next few decades, which makes adaptation unavoidable.

26

国別CO₂排出量 2008年



出典：EDMC/エネルギー・経済統計要覧2011年版

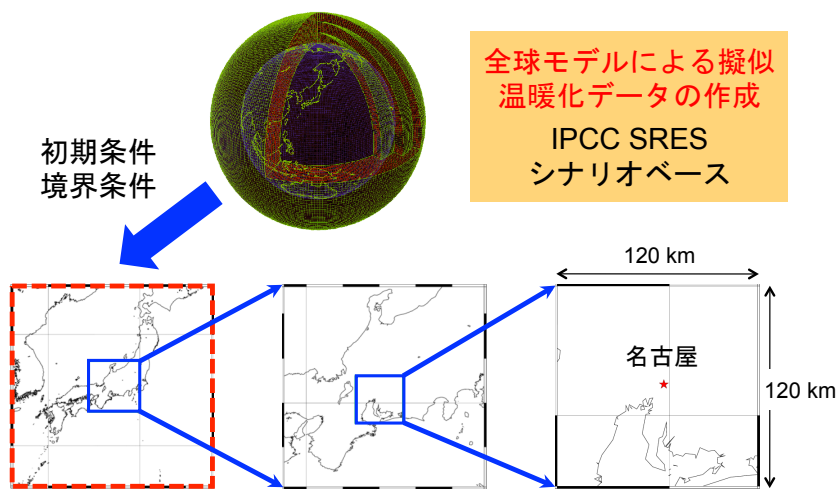
27

気候変動への賢い対応 2008年6月

- ◎ 温暖化対策は「緩和策」と「適応策」の二正面作戦で
環境省 地球温暖化影響・適応研究委員会
座長 三村信男教授（茨城大学）
- 緩和 mitigation**：
温室効果ガスの排出を抑制すること
- 適応 adaptation**：
気候変動に対して自然や人間社会の在り方を調整すること

28

ダウンスケーリング 2070年代将来予測



29

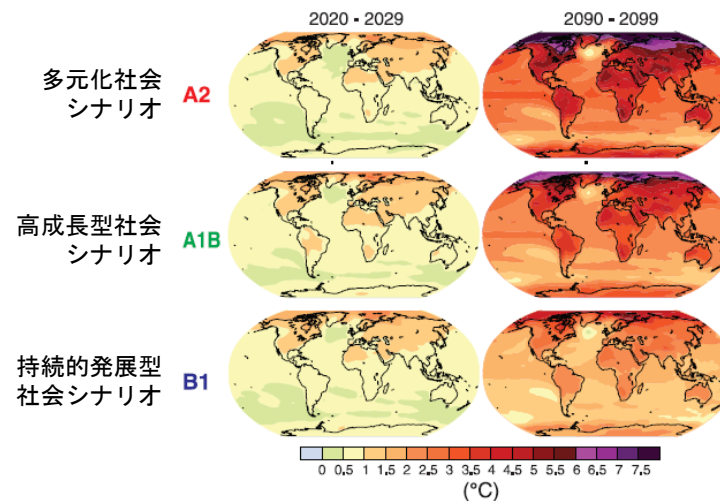
2070年代擬似温暖化データの作成

- ◎ Kimuraら（2007）の擬似温暖化手法
大気海洋結合モデル MIROC により
- ① 2070年代の10年平均気候値
IPCC SRES A2シナリオベース
- ② 1990年代の10年平均気候値
を予測し、①-②の気候差分を現状の客観
解析データ（NCEPデータ）に付加

水平風速・温位・気圧・海水面温度

31

IPCC SRESシナリオ



出典：IPCC AR4 Synthesis Report

30

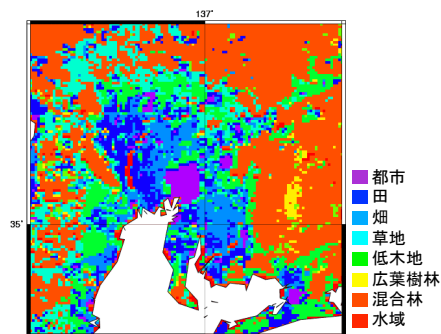
都市気象シミュレーションモデル

- ◎ Weather Research and Forecasting
世界最新鋭の完全圧縮・非静力学気象モデル
アメリカ気象研究機関（NCARなど）の共同開発
適用可能範囲は数10mスケールから全球スケールまで
- ◎ 土地利用データ
平成18年国土数値情報土地利用3次メッ
シュデータ
- ◎ 標高（地形）データ
アメリカ地質調査所USGSデータ

32

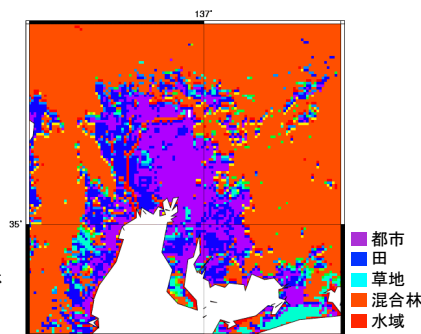
土地利用データ

USGS土地利用データ



都市率：2.7%

国土数値情報土地利用データ



都市率：15%

33

解析領域と格子数



領域	解析領域	格子数
第1領域	1975 km × 1975 km × 21 km	79 × 79 × 34 (水平格子：25 km)
第2領域	500 km × 500 km × 21 km	100 × 100 × 34 (水平格子：5 km)
第3領域	120 km × 120 km × 21 km	120 × 120 × 34 (水平格子：1 km)

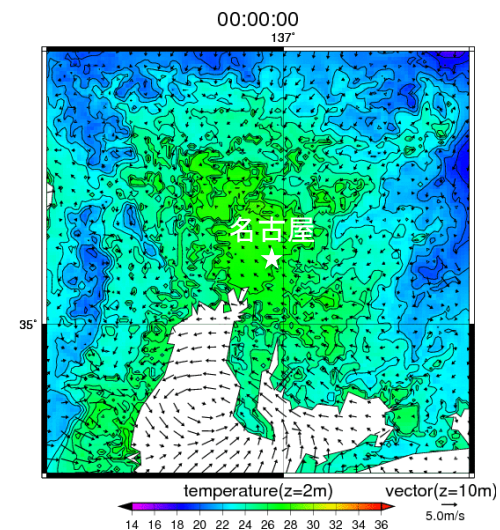
34

各種物理パラメタリゼーション／モデル

物理過程	
雲物理	WRF Single-Moment 3-classスキーム
積雲パラメタリゼーション	Kain-Fritschスキーム (第1領域のみ)
地表面	Noah-LSM+都市キャノピーモデル
大気境界層	Mellor-Yamada-Janjicモデル
短波放射	Dudhia (MM5) スキーム
長波放射	Rapid Radiative Transfer Model

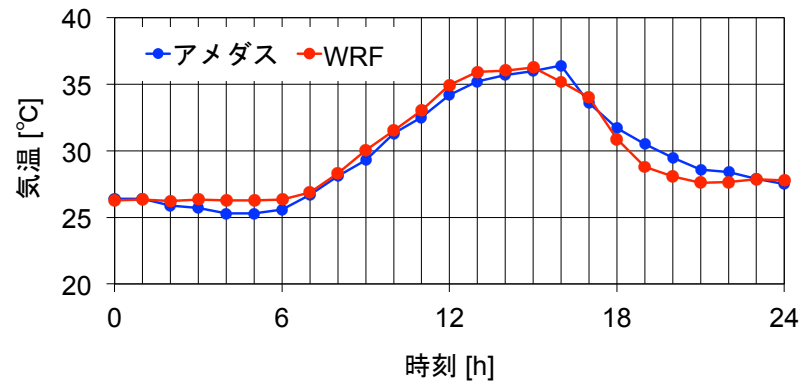
35

気温・風の日変化 2006年8月5日



36

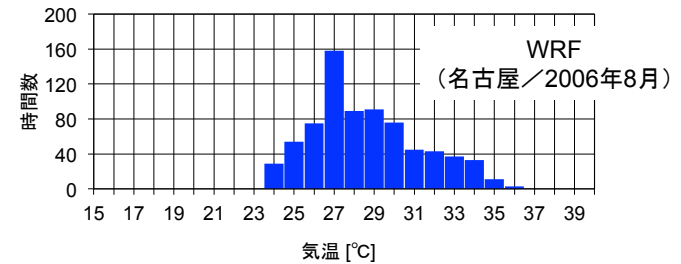
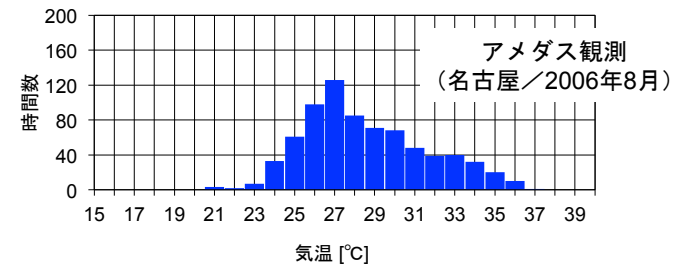
精度検証① 気温の日変化



名古屋／2006年8月5日
(アメダス：高さ1.5 m WRF：高さ2 m)

37

精度検証② 気温ヒストグラム



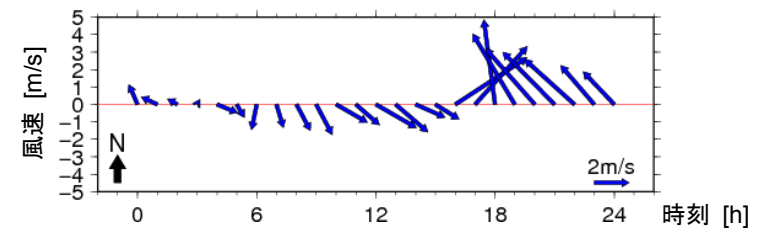
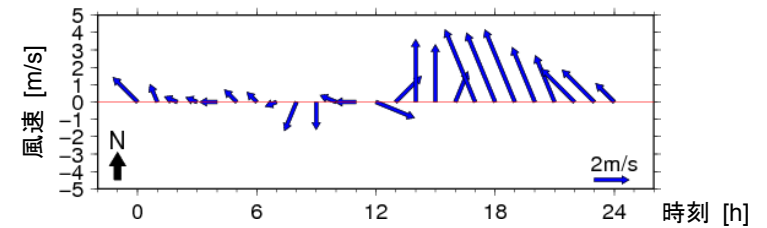
38

精度検証③ 平均誤差・RMS誤差

	ME	RMSE		ME	RSME
名古屋	0.057	0.767	金山	-1.486	2.685
愛西	-2.216	2.340	黒川	-1.250	1.680
セントレア	-2.419	3.016	美濃	-1.965	2.114
蒲郡	-2.545	2.783	美濃加茂	-2.805	2.928
稲武	-0.257	1.222	中津川	-1.508	1.763
伊良湖	-1.251	1.463	大垣	-1.859	2.052
南知多	-1.432	1.719	関ヶ原	-1.802	2.113
岡崎	-0.742	1.450	多治見	-0.933	1.517
新城	-0.969	1.325	樽見	-1.639	2.510
東海	-0.729	1.470	津	-1.243	1.600
豊橋	-0.584	0.808	亀山	-1.486	2.394
豊田	-1.874	2.161	桑名	-1.443	1.894
岐阜	-1.254	1.426	四日市	1.294	1.902
恵那	-1.823	2.091	米原	-1.120	1.861
揖斐川	-1.358	1.748	土山	-1.941	2.854
			30点平均	-0.845	1.570

39

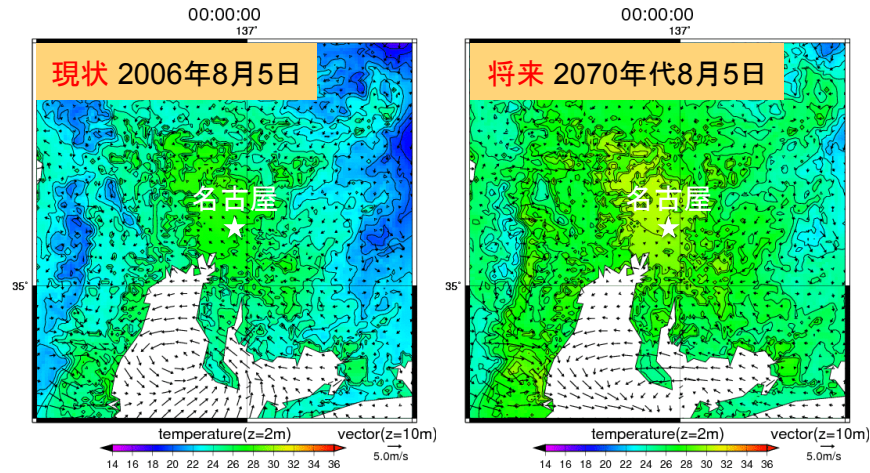
精度検証④ 風向・風速の日変化



名古屋／2006年8月5日／高さ17.9 m

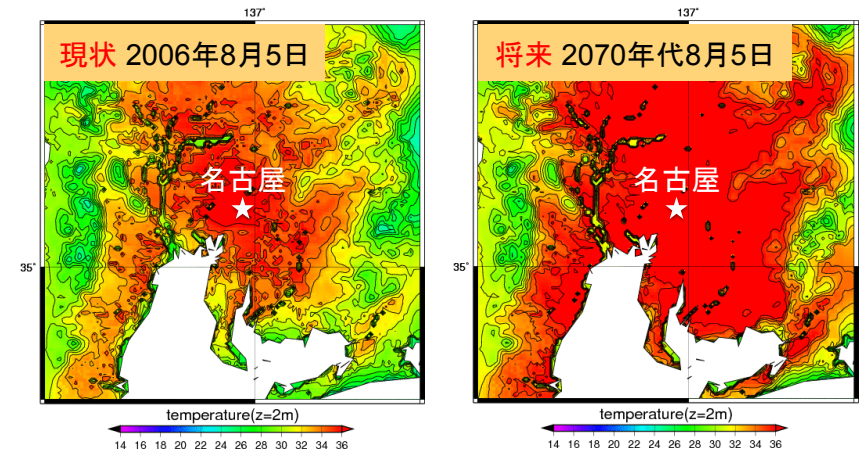
40

現状と将来の比較① 気温・風の日変化



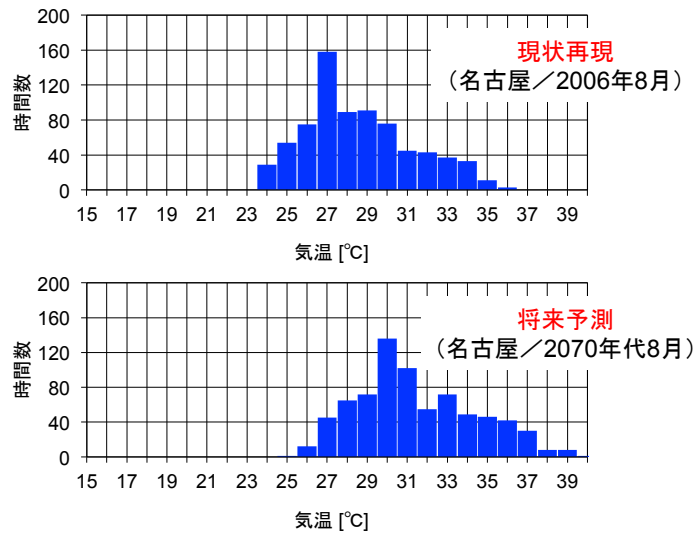
41

現状と将来の比較② 気温/14時



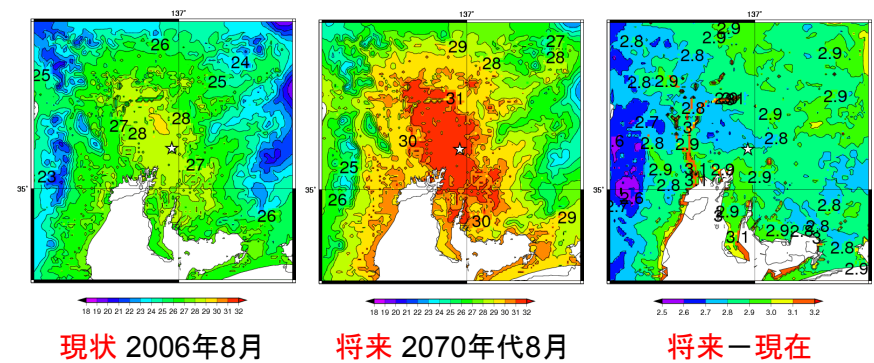
42

現状と将来の比較③ 気温ヒストグラム



43

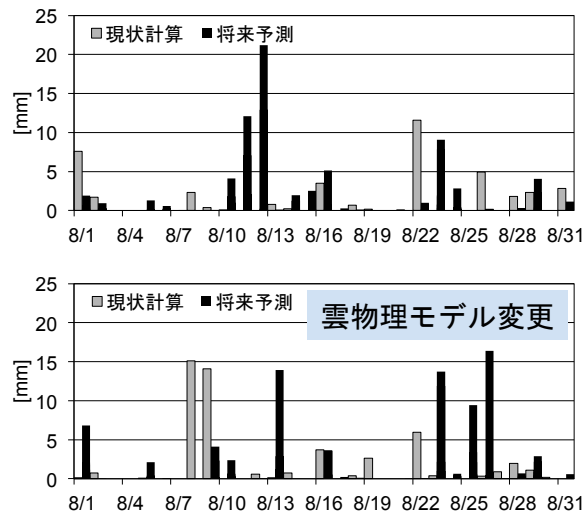
現状と将来の比較④ 月平均気温



ここに示す将来予測は地球温暖化の影響のみ
を考慮していることに注意！
(土地利用データや人工排熱データは現状のまま)

44

温暖化で降雨は増えるのか？

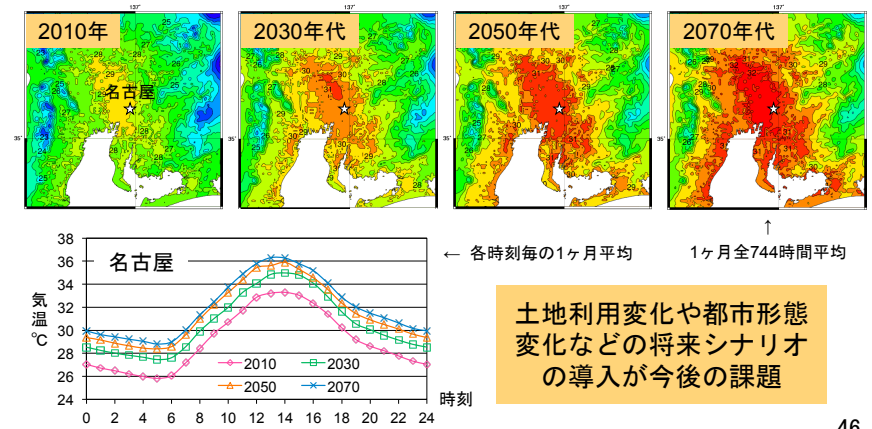


45

名古屋ヒートアイランドの将来推移予測

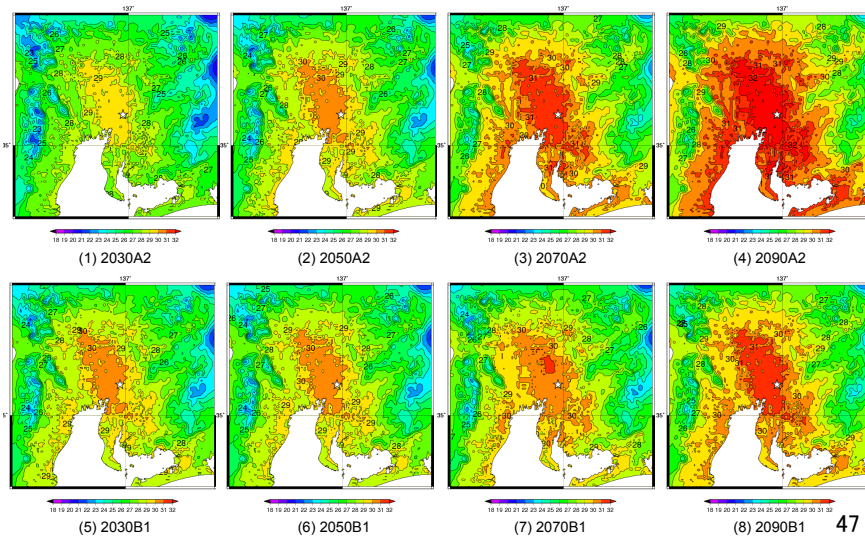
8月1ヶ月平均気温分布（高さ 2m）

（将来予測にはKimuraら（2007）の擬似温暖化手法を使用）



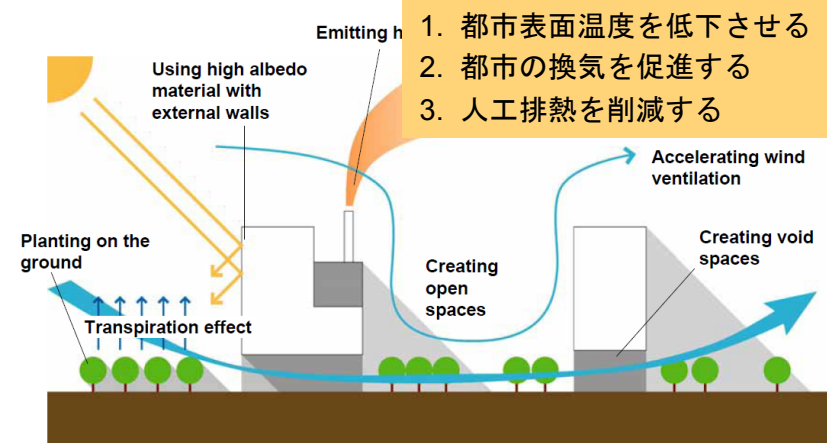
46

名古屋ヒートアイランドの将来推移予測



47

緩和策の検討

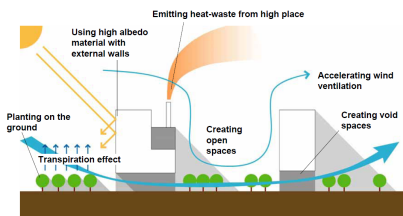


出典：大岡龍三（2006）ヒートアイランド対策国際ワークショップ

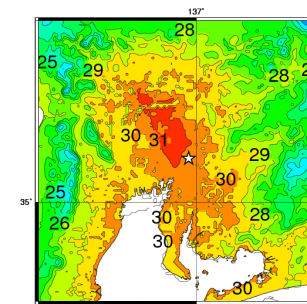
48

緩和策の検討

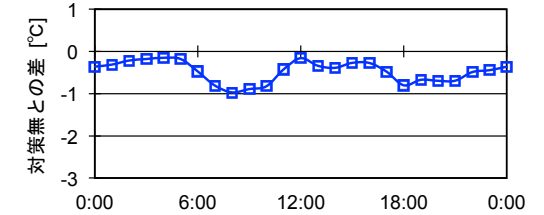
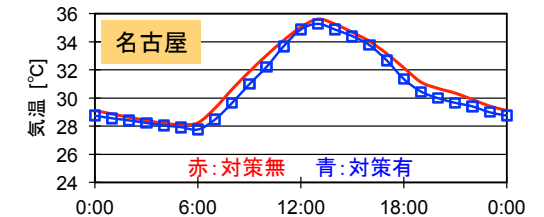
1. 人工排熱の削減
2. 日射反射率の増加
3. 蒸発効率の増加



緩和策① 人工排熱の削減（有→無）

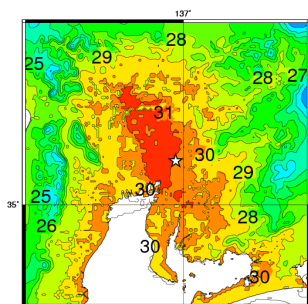


月平均気温
(2070年代8月)

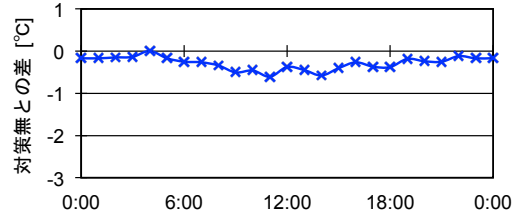
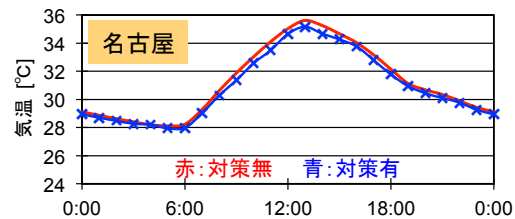


50

緩和策② 日射反射率の増加（0.1→0.3）

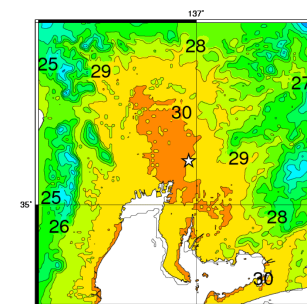


月平均気温
(2070年代8月)

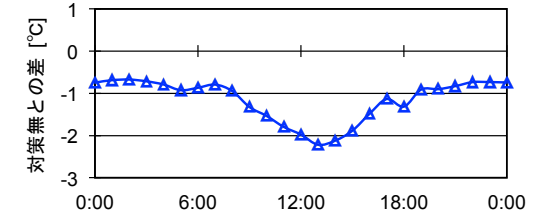
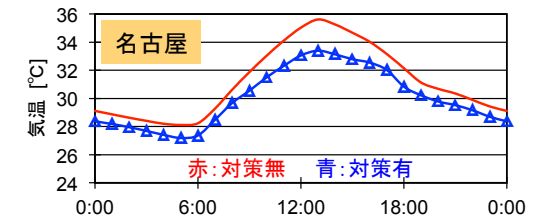


51

緩和策③ 蒸発効率の増加（0.0→0.3）



月平均気温
(2070年代8月)



52