

第13回 環境研究シンポジウム

「2050年の地球と暮らし ―環境技術と地球規模課題―」

@一橋大学一橋講堂

2015年11月10日（火）



都市気候とエネルギー需要の将来予測

国立研究開発法人産業技術総合研究所
環境管理研究部門 大気環境動態評価研究グループ 研究員

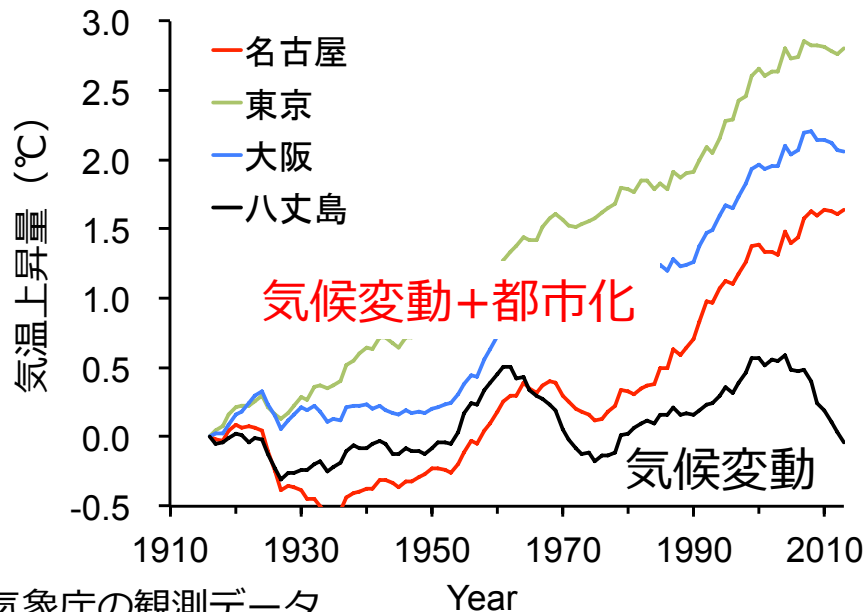
高根 雄也

共同研究者：亀卦川幸浩（明星大）、近藤裕昭（産総研）、井原智彦（東大）
原政之（埼玉県環境科学国際センター）、日下博幸（筑波大）
飯塚悟（名大）、神田学（東工大）

都市の気温は顕著に上昇

⇒ 社会問題化（エネルギー、人間健康等）

二つの温暖化 { 地球温暖化（気候変動）
都市温暖化（ヒートアイランド）



エネルギー需給

熱中症・睡眠障害等
健康リスクの増大

生態系、水循環、etc.

さらに顕在化する諸問題を予測し
都市レベルでの対策を考える必要がある



国家戦略としての「**適応計画**」

気象庁の観測データ
から作成

気候変動の影響への**適応計画**

<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/2siryu2.pdf>

第2部 分野別施策の基本的方向

第1章 農業、森林・林業、水産業

第2章 水環境・水資源

第3章 自然生態系

第4章 自然災害・沿岸域

第5章 健康

第6章 産業・経済活動

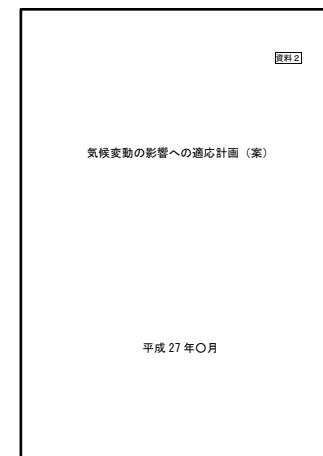
第1節 産業・経済活動に関する適応の基本的な施策

「製造業、エネルギー需給、商業、建設業、医療の各分野においては、現時点で気候変動が及ぼす影響についての研究事例が少ないため、科学的知見の集積を図る」

第7章 国民生活・都市生活

第3節 その他（暑熱による生活への影響）に関する基本的な施策

「ヒートアイランド現象の緩和には長時間を要することを踏まえ、ヒートアイランド現象の実態監視や、ヒートアイランド対策の技術調査研究を行う」



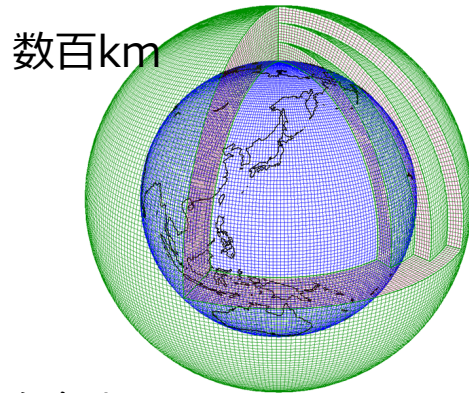
- ❶ 将来、都市部ではどの程度の気温変化に適応する必要があるか？
- ❷ このまま温暖化が続いたら、将来の我々の暮らし（に關係する値）はどうなるのか？
- ❸ 対策したら、どの程度の効果があるのか？

都市環境ダウンスケールシステム (AIST-UEDS)

全球気候モデル (粗い)

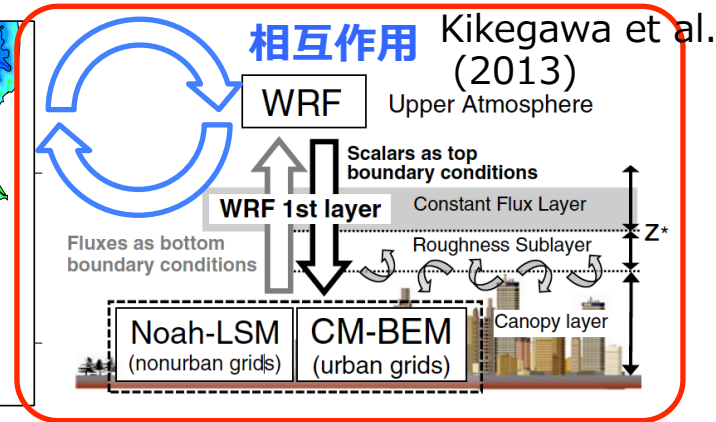
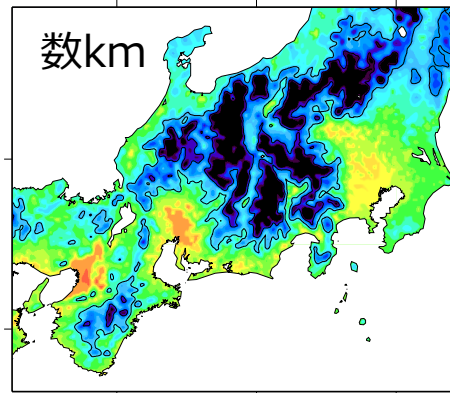
地域気候モデル (細かい)

+都市・建物エネルギーモデル



インプット

ダウンスケール
(空間詳細化)



気象庁HPより

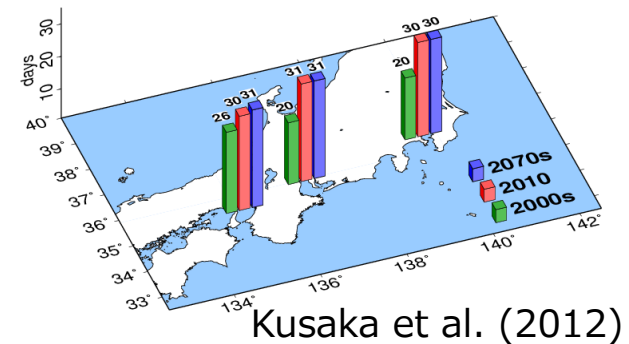
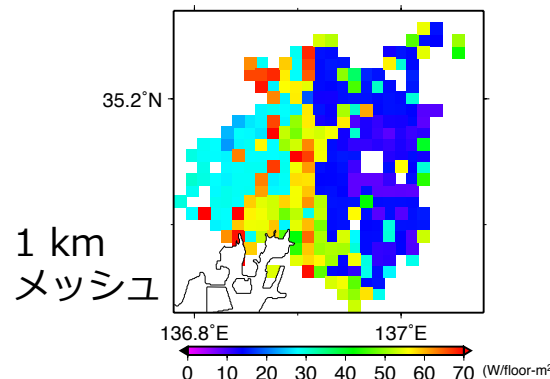
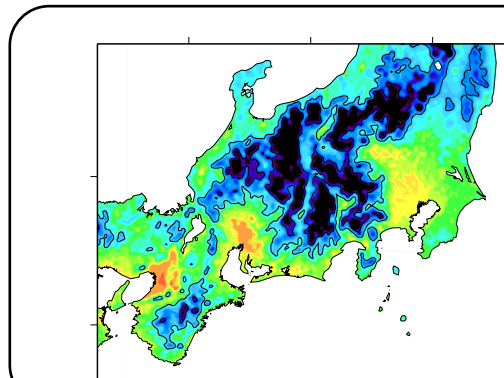
アウトプット

一般気象要素
(気温、湿度、風、降水他)

エネルギー関係
(需要量、空調負荷、空調排熱)

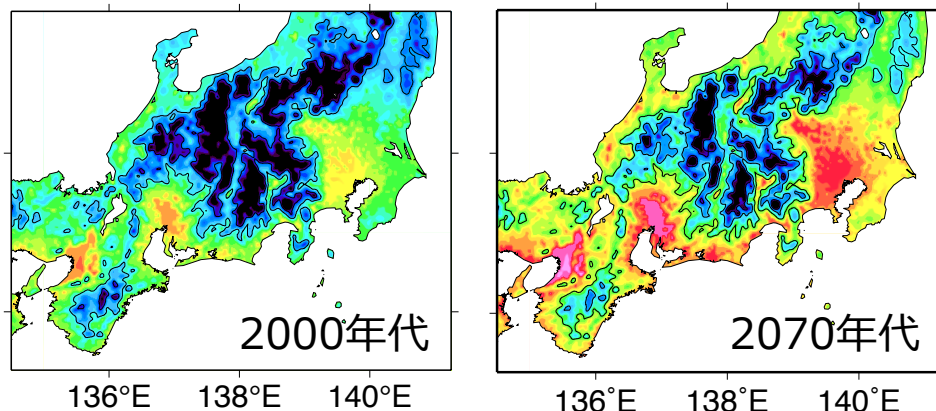
健康関係
(熱中症・睡眠・疲労)

従来技術にはない／アドバンテージ

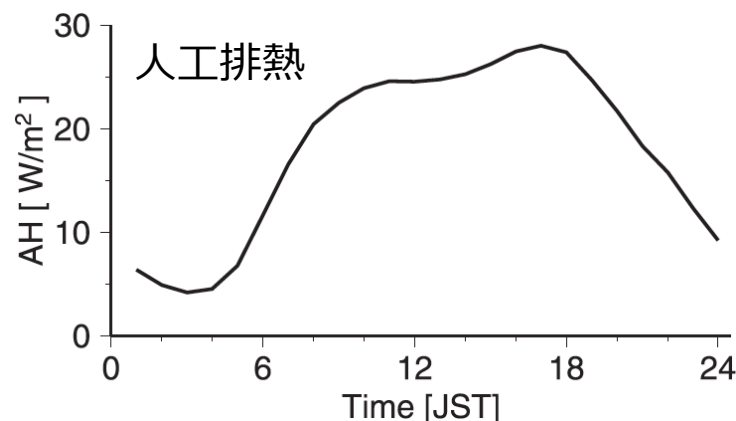


都市気候とエネルギー需要の将来予測（長期予測）

これまでの都市気候の将来予測研究 ⇨ 問題：将来の人工排熱 = 現在の人工排熱
(非現実的な仮定)



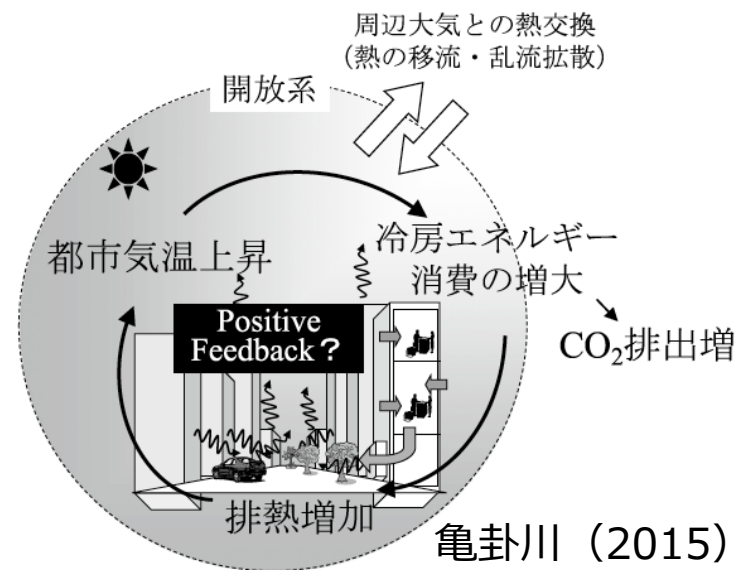
Kusaka, Hara, and Takane (2012) JMSJ



排熱フィードバックプロセスに着目
(IPCC AR5でも考慮されていない)

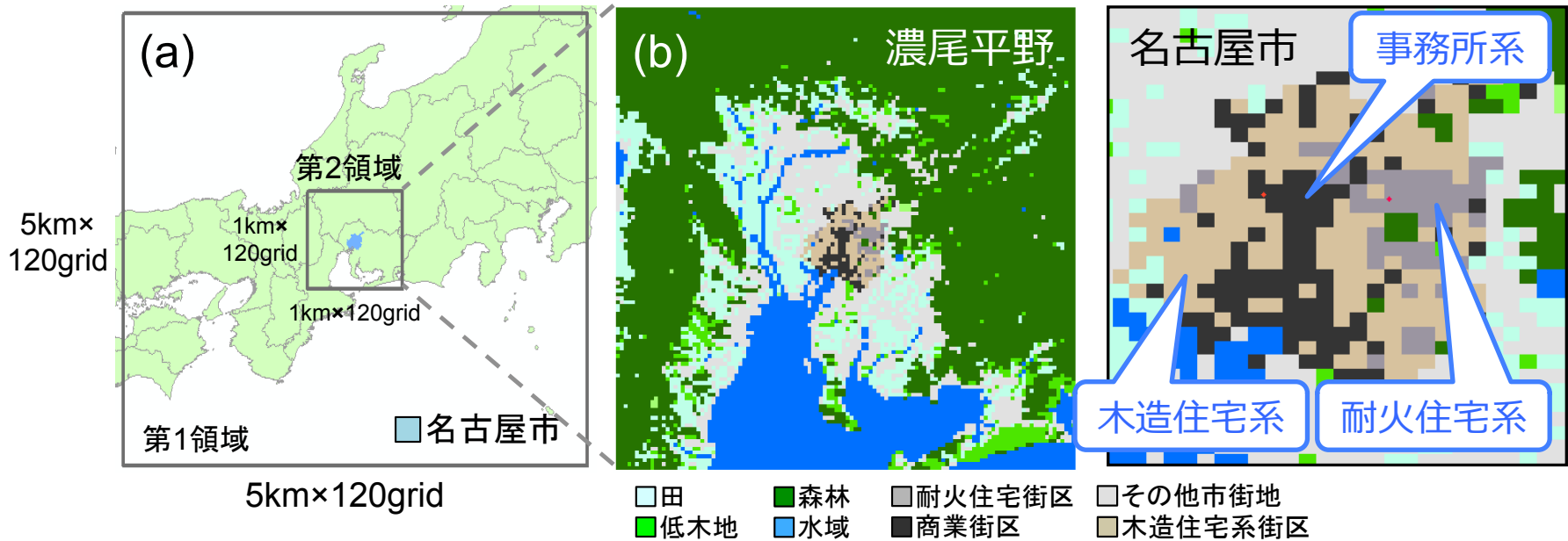


より高精度な予測を目指し、
排熱フィードバックを考慮した将来予測実験を実施



亀卦川 (2015)

計算設定



高根ほか (2015)

	ケース	年代・月	人工 排熱	緑被率 ^{※1}		
				地表面	壁面	屋根面
現状再現実験 2030年代 2030年代緑化	→ CTRL	2010年8月	ON	0.17 ^{※2}	0.00	0.00
	→ PGW30	2030年代8月	ON	0.17 ^{※2}	0.00	0.00
	→ PGW30_GRN		ON	0.30	0.40 ^{※3} 0.49 ^{※4}	0.60
2030年代排熱0 2070年代 2070年代緑化	→ PGW30_noAH		OFF	0.17 ^{※2}	0.00	0.00
	→ PGW70	2070年代8月	ON	0.17 ^{※2}	0.00	0.00
	→ PGW70_GRN		ON	0.30	0.40 ^{※3} 0.49 ^{※4}	0.60
2070年代排熱0	→ PGW70_noAH		OFF	0.17 ^{※2}	0.00	0.00

入力パラメータ

都市カテゴリ毎に
値を設定できる

Table2 Parameter settings for CM-BEM. ※: Composite value

	材料	熱伝導率 (W/m K)	体積熱容量 (10 ⁶ J/m ³ K)	アルベド (表面)	射出率 (表面)
建物 事務所系 (C)	屋根面 (0.301 m/16 層)	軽量コンクリート・岩綿板 (5 層目以外) 断熱材 (空気層・発泡スチロール) (5 層目)	0.477※ 0.026※	1.600※ 0.051※	0.20 -
	壁面 (0.225 m/16 層)	タイル・モルタル・コンクリート・空気層シールド・石膏ボード 窓 (ガラス) 壁に対する割合: 0.33、日射の透過率: 0.5 (ブラインド)	0.673※	1.790※ 0.20	0.97 0.87
	空調システム (冷却運転)	システム 1 (33%): 吸収式冷温水発生器 (屋上に設置された冷却塔より排熱) 定格 COP=0.97 システム 2 (67%): 空冷式ヒートポンプ (室外機は各階に設置) 定格 COP=2.58 設定温度: 26℃、全熱交換器: 有			
	耐火集合 住宅系 (Rr)	屋根面 (0.225 m/16 層)	コンクリート・発泡スチロール・アスファルト 0.410		
		壁面 (0.234 m/16 層)	コンクリート・石膏ボード 窓 (ガラス) 壁に対する割合: 0.18、日射の透過率: 0.3 (カーテン)	1.071※	
木造住宅 系 (Rw)	空調システム (冷却運転)	システム 1 (100%): 家庭用エアコン (室外機は各階に設置) 定格 COP=5.03 設定温度: 28℃、全熱交換器: 無			
	屋根面 (0.096 m/5 層)	スレート・ベニヤ板・石膏ボード (4 層目以外) 断熱材 (空気層・ガラス綿) (4 層目)	0.181※ 0.032※	0.528※ 0.026※	0.20 -
	壁面 (0.111 m/5 層)	モルタル・ベニヤ板・石膏ボード (4 層目以外) 断熱材 (空気層・ガラス綿) (4 層目)	0.324※ 0.032※	0.008※ 0.026※	0.20 -
	窓 (ガラス)	壁に対する割合: 0.18、日射の透過率: 0.3 (カーテン)	0.324※	0.008※	0.20
	空調システム (冷却運転)	システム 1 (100%): 家庭用エアコン (室外機は各階に設置) 定格 COP=5.03 設定温度: 28℃、全熱交換器: 無			
地表面 (1.55 m/31 層)	植生	地面に対する割合: 国土地理院の土地利用土地被覆データより格子毎に設定 (表 3)		0.15	0.97
	舗装道路	アスファルト・碎石 (1~6 層目)	1.390※	1.930※	0.12
	土壌	(7~31 層目)	1.000	1.740	-

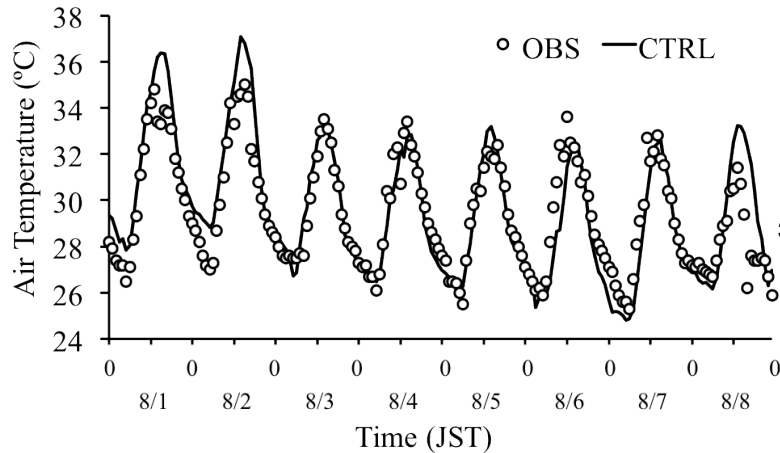
複数の空調システム
を考慮できる

建物の材質を
細かく設定できる

建物の材質や空調システム、ライフスタイルの設定を変えれば、
それに応じた電力需要が物理的に計算できる

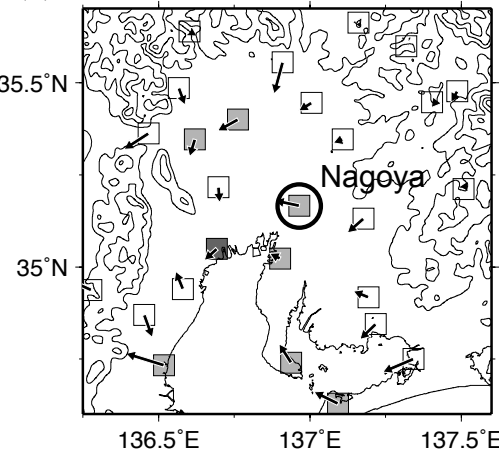
2010年8月の気候の再現

名古屋地方気象台

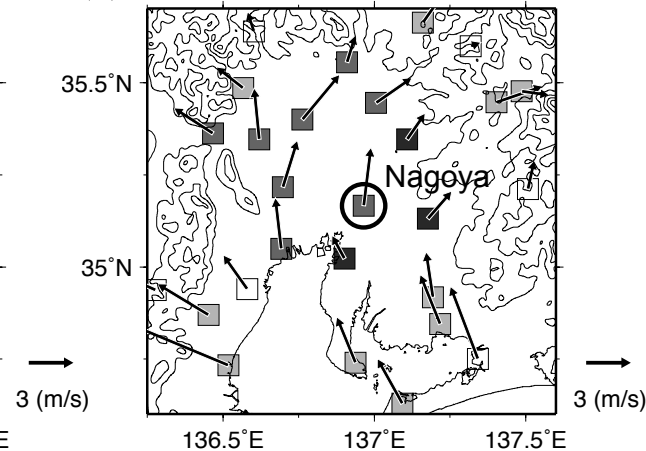


8月の晴天日の平均

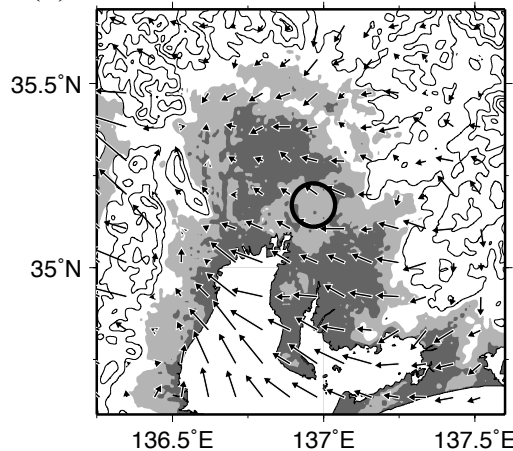
(a) OBS 05 JST



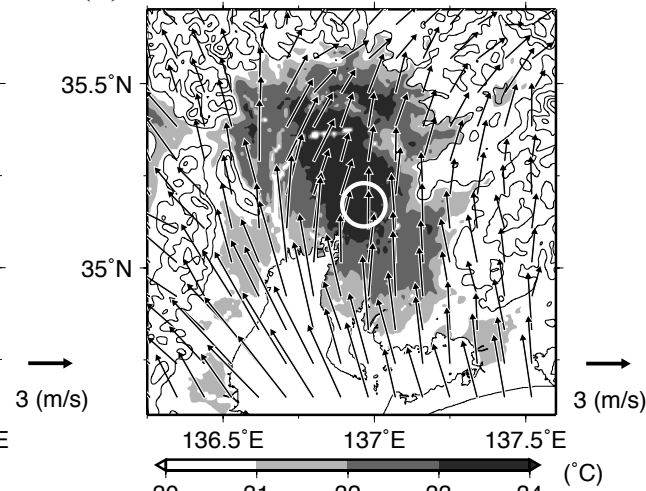
(b) OBS 14 JST



(c) CTRL 05 JST



(d) CTRL 14 JST

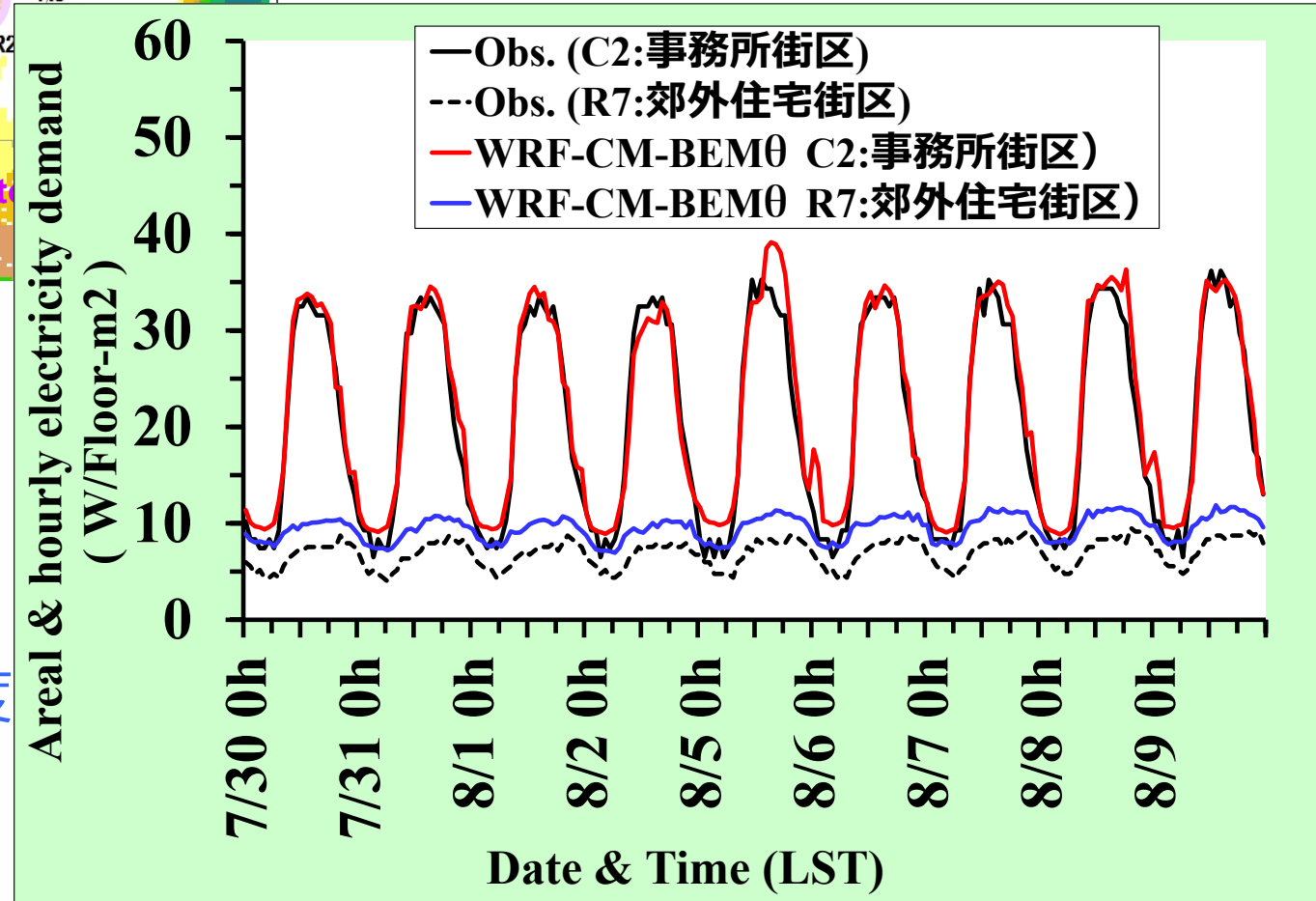
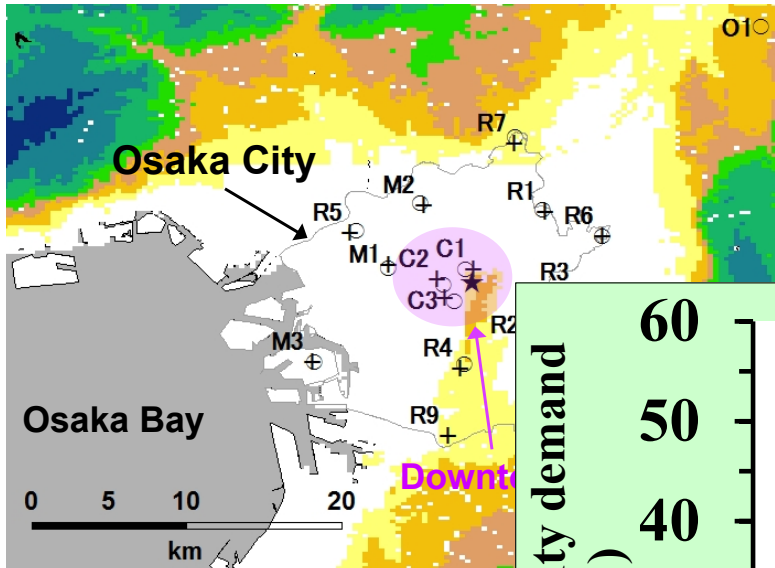


よく合っている

空調使用に伴う電力需要の再現・予測精度

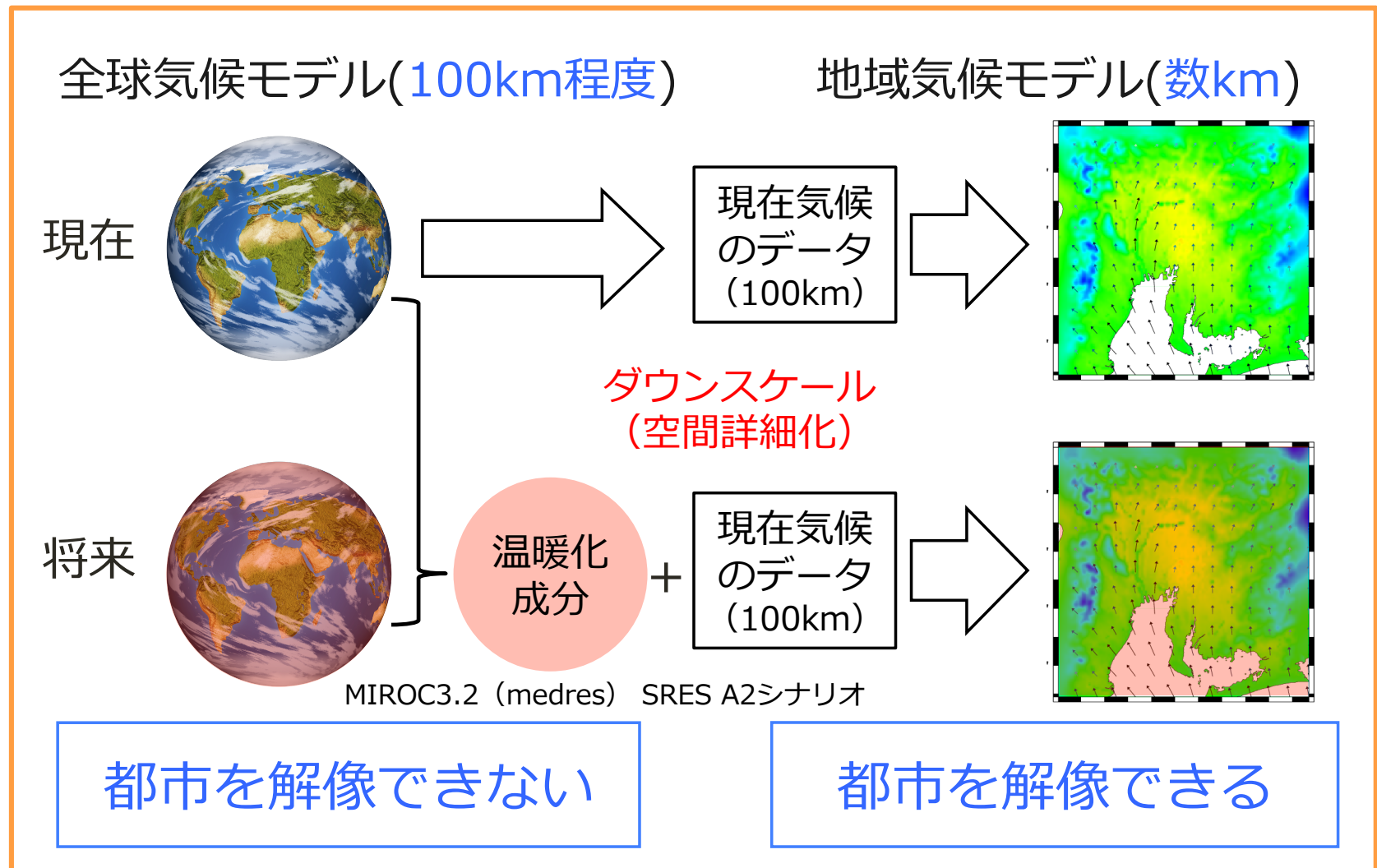
大阪市の例

事務所街区は
よく合っている

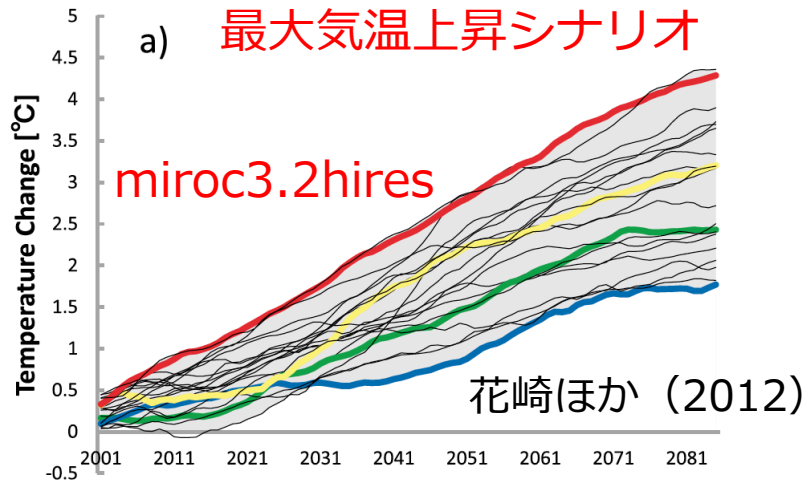


東京23区でも
同程度の再現精度

温暖化ダウンスケール（地域の温暖化予測）



将来予測のシナリオと結果



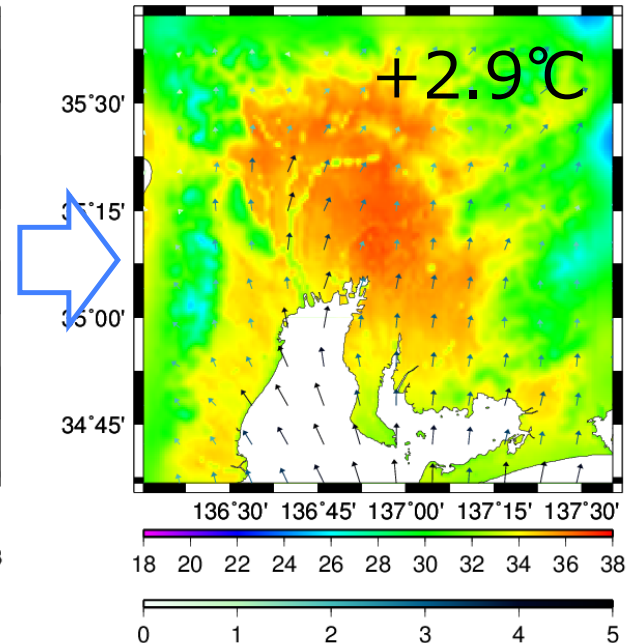
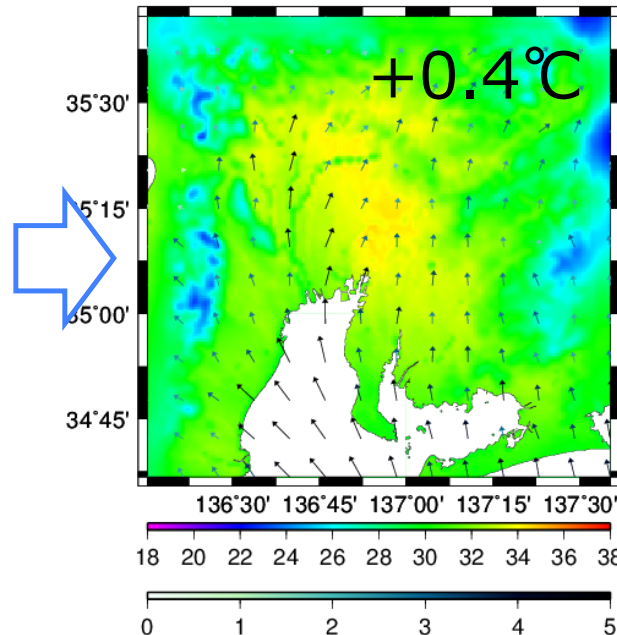
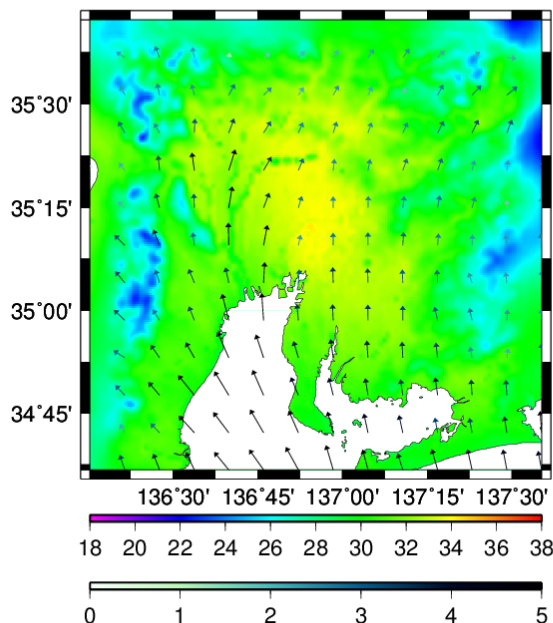
以下は現状維持シナリオ

- 土地利用分布
- 人口
- 空調システムの性能 (COP)
- 建物の性能 (材質等)
- ライフスタイル

CTRL (2010年8月)

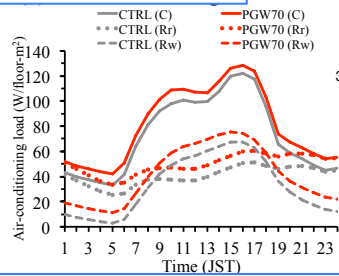
PGW30 (2030年代8月)

PGW70 (2070年代8月)

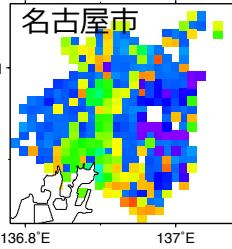


現在に比べて、2030年代では0.4℃の気温上昇
2070年代では2.9℃の気温上昇

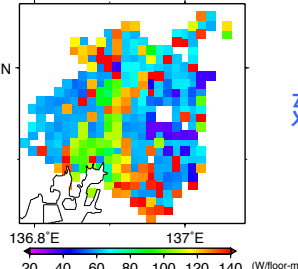
建物への熱負荷



(b) CTRL 14 JST

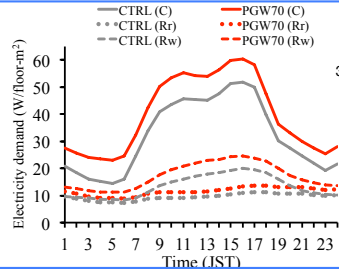


(c) PGW70 14 JST

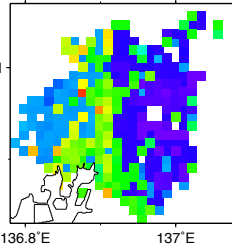


建物への熱負荷が増加

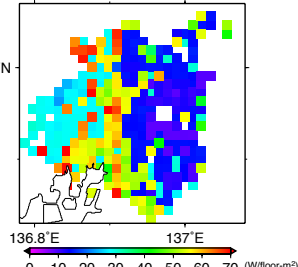
空調使用に伴う電力需要



CTRL 14 JST

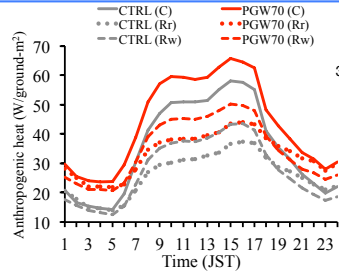


(c) PGW70 14 JST

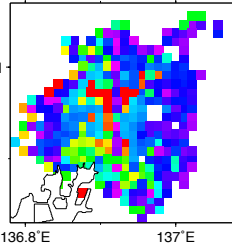


電力需要が増加

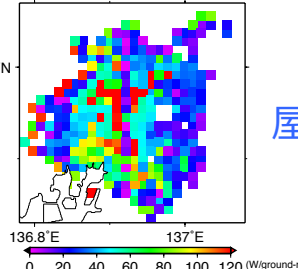
空調使用に伴う人工排熱



CTRL 14 JST



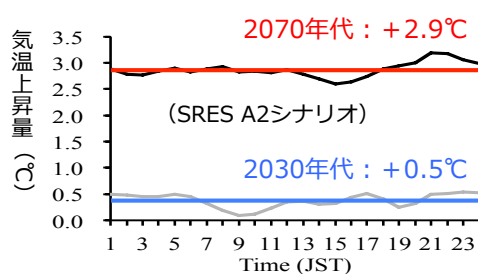
(c) PGW70 14 JST



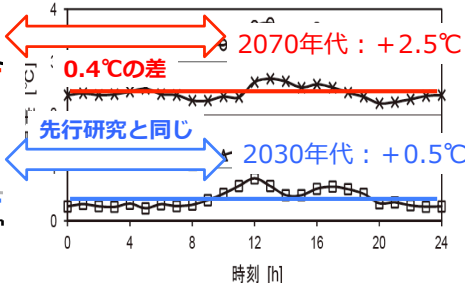
屋外への人工排熱が増加

排熱
フィードバック

本研究 (排熱フィードバックを考慮)



先行研究 (考慮していない)



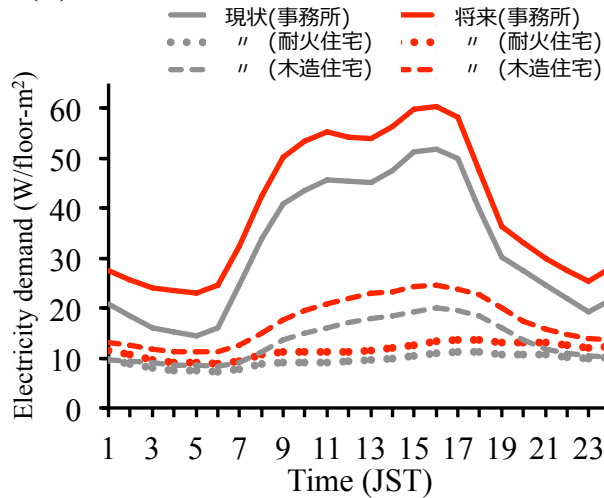
都市で更なる気温上昇

高根ほか (2015)

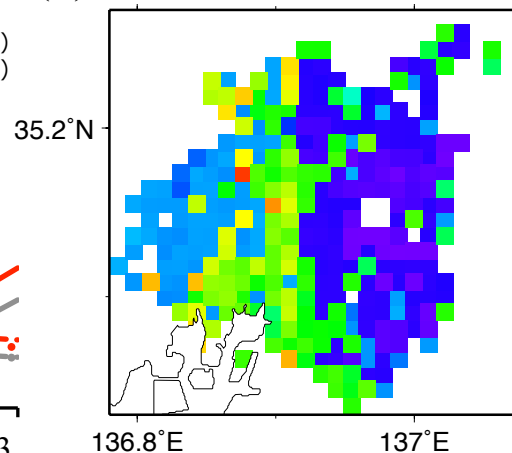
温暖化したら空調電力需要はどうなるか？

名古屋市の

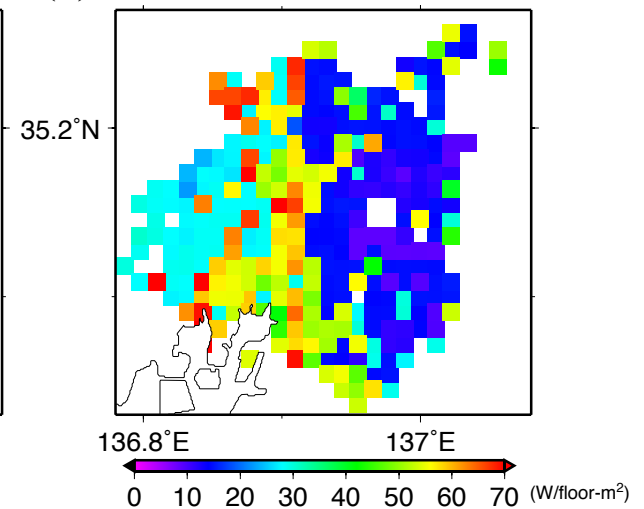
(a) 空調電力需要の時間変化



(b) 2010年8月 14時



(c) 2070年代8月 14時

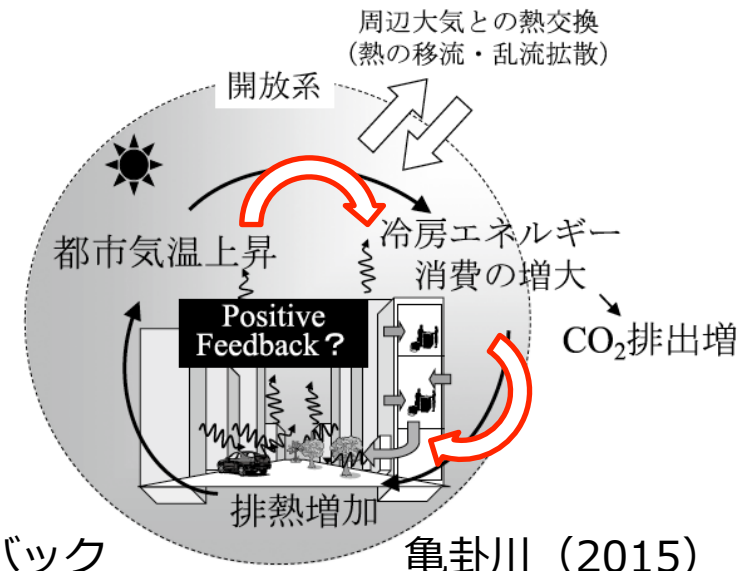


・ 街区区分依存性がある

- ・ 事務所：+7.8 W/floor m²
- ・ 木造住宅：+3.9 W/floor m²
- ・ 耐火住宅：+2.0 W/floor m²

・ 名古屋市全体で100万kW原発1.1基分に相当

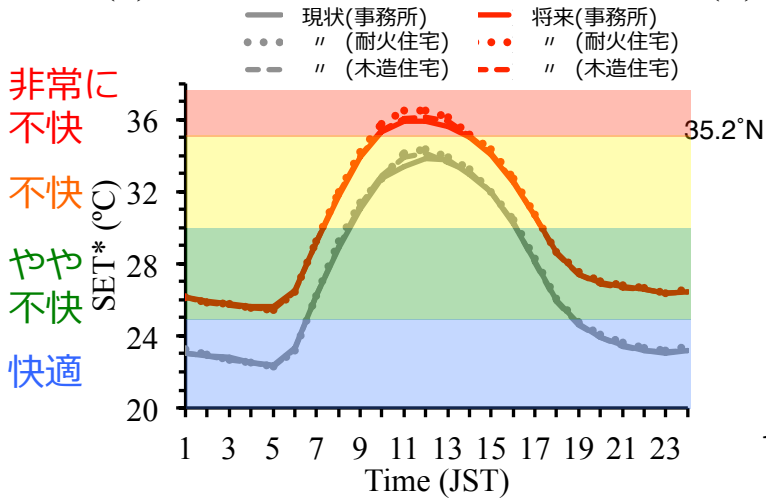
・ 気温上昇→空調電力需要増加



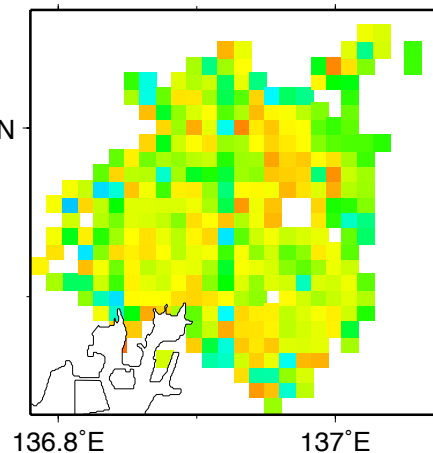
温暖化したら**温熱快適性**はどうなるか？

名古屋市の

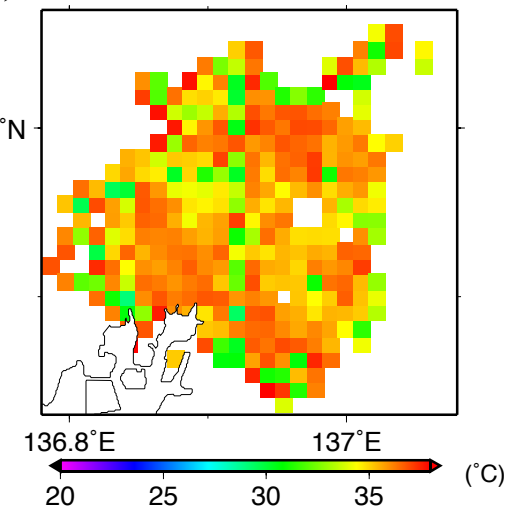
(a) 温熱快適性の時間変化



(b) 2010年8月 14時



(c) 2070年代8月 14時



• 街区区分依存性がない

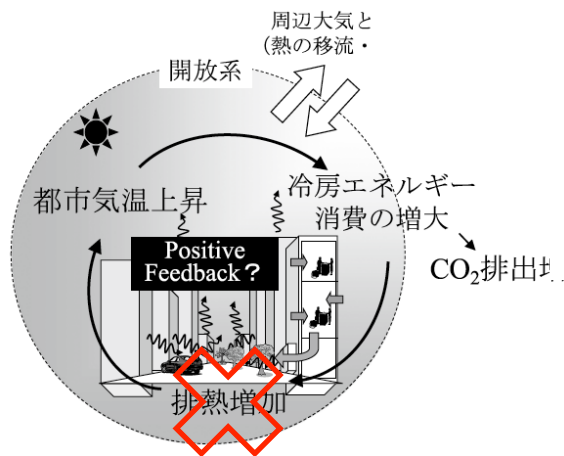
- 事務所：+2.8°C
- 木造住宅：+2.8°C
- 耐火住宅：+2.8°C

- **快適**な時間がなくなり、
非常に不快な時間が出現する

温熱快適性 (SET*)

- 温熱4要素
 - 気温
 - 湿度
 - 放射
 - 気流
- 人体側2要素
 - 代謝量
 - 着衣量

気候変動適応策としてのヒートアイランド対策



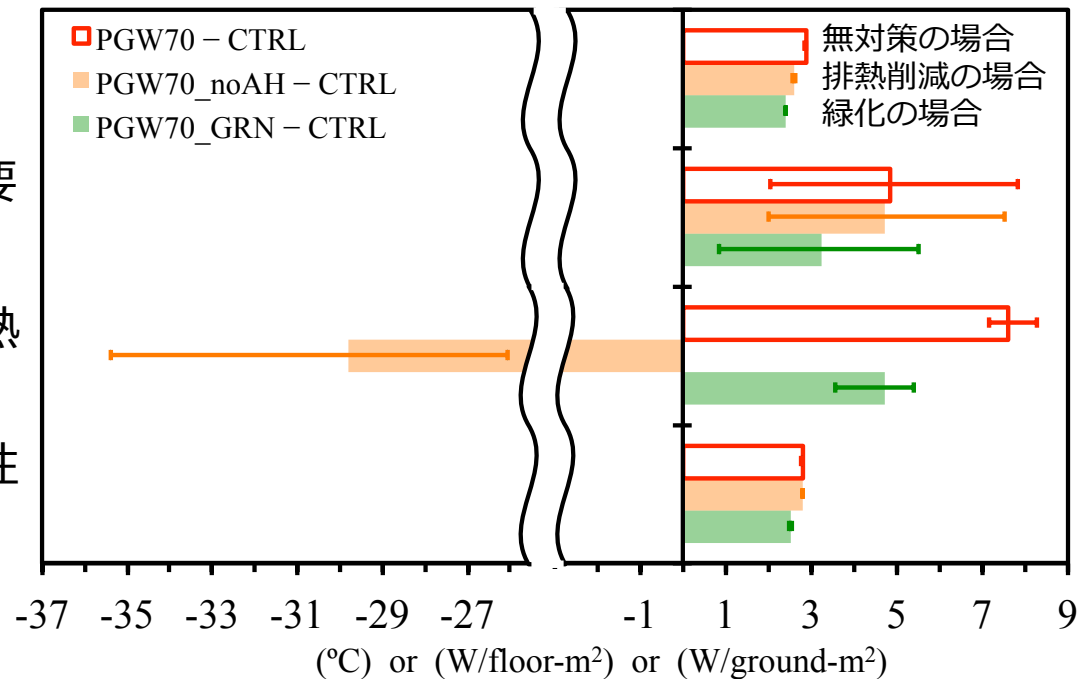
気温 (°C)

電力需要
/floor m²)

人工排熱
ound m²)

温熱快適性
(°C)

(b) 2070s



①都市部ではどの程度の気温変化に適応する必要があるか？

⇒最大気温上昇シナリオの2070年代夏季で**約+3℃**

②このまま温暖化が続いたら、将来の我々の暮らしに
(関係する値) はどうなるのか？

⇒**電力需要**：名古屋市全体で100万kW**原発1.1基分**相当の増加
温熱快適性：**快適な時間がなくなり、
非常に不快な時間**が出現する

③対策したら、どの程度の効果があるのか？

⇒**気温**：名古屋市平均で**-0.5℃程度**

緑化の場合

電力需要：名古屋市全体で100万kW**原発0.4基分**相当

温熱快適性：名古屋市平均で**-0.3℃程度**

(**非常に不快な時間はなくなる**ない)

アジアのメガシティへの展開



環境省環境研究総合推進費戦略研究プロジェクト S-14

気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究



Google
mapより

インドネシア

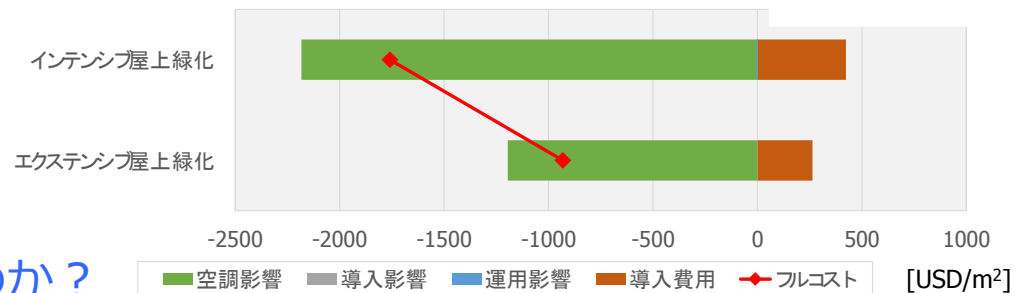
ジャカルタ

インドネシア気象庁(BMKG)

- ・ 急激な発展が予測（土地利用改変、人口増）
- ・ 年中暑い
- ・ エアコン普及

◆費用便益分析

- ・ 費用評価(導入時のみ)
 - インテンシブ屋上緑化 $\Delta 421 \text{ USD/m}^2$
 - エクステンシブ屋上緑化 $\Delta 263 \text{ USD/m}^2$
- ・ フルコストアセスメント(=便益+費用)
(耐用年数10年として評価)



どのような適応策が最も有効なのか？
を費用便益分析により明らかにする

謝辞



本研究は、文部科学省「気候変動適応研究推進プログラム」の1研究課題（研究代表者：飯塚悟）および、環境省の環境研究総合推進費（S-14）のサポートを受けました。また、本研究で実施した数値シミュレーションは、筑波大学計算科学研究センター学際共同利用プログラムの一環で実施しました。

※この資料は2015年11月10日開催の第13回環境シンポジウムで行った講演資料を修正したものです。

