

A blue sky with white clouds and a faint rainbow. The rainbow is visible in the upper right and lower right portions of the image, arching across the sky. The clouds are scattered and vary in density and color, from white to light blue.

地球温暖化の適応に向けて

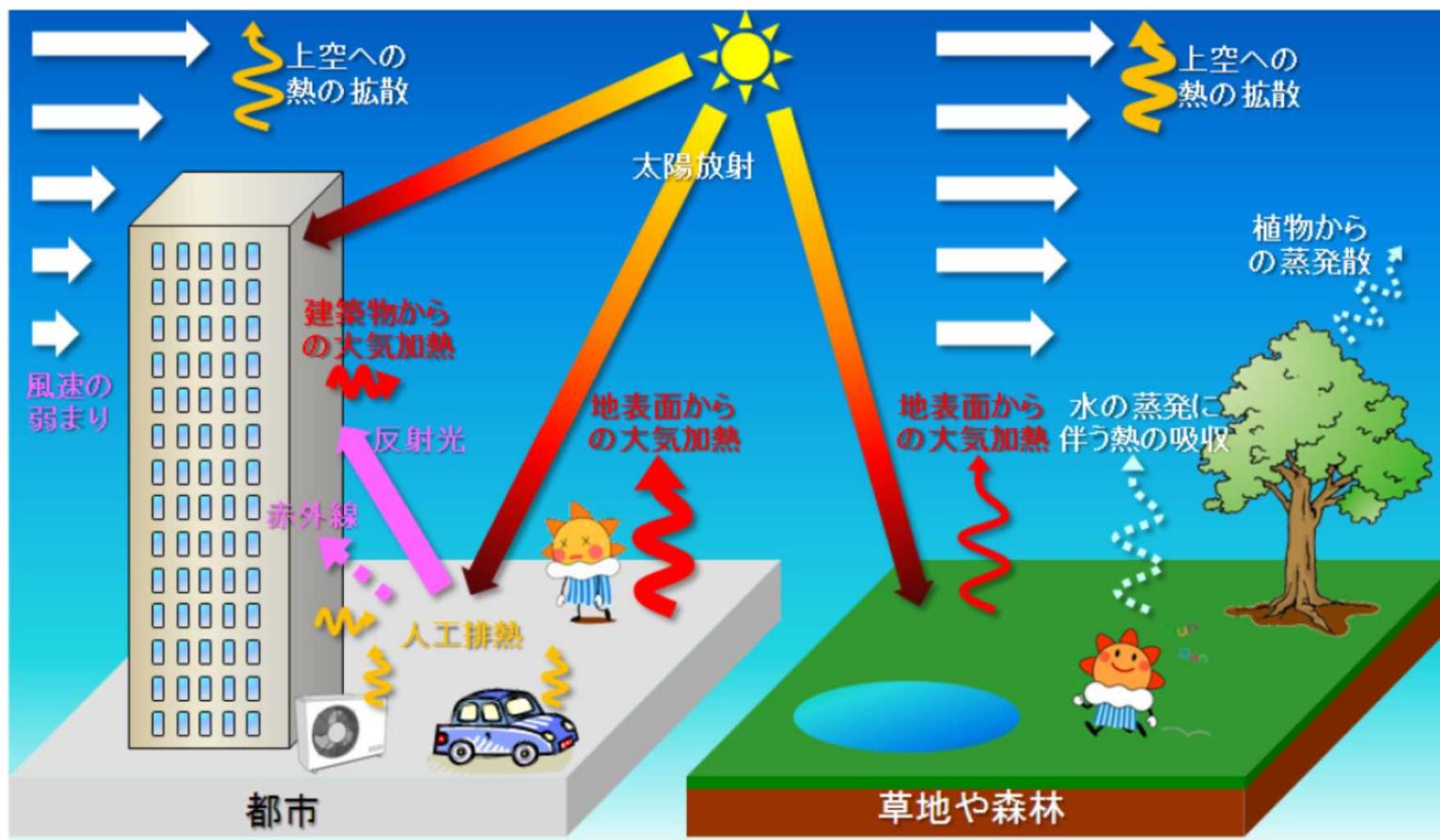
筑波大学 計算科学研究センター
日下博幸



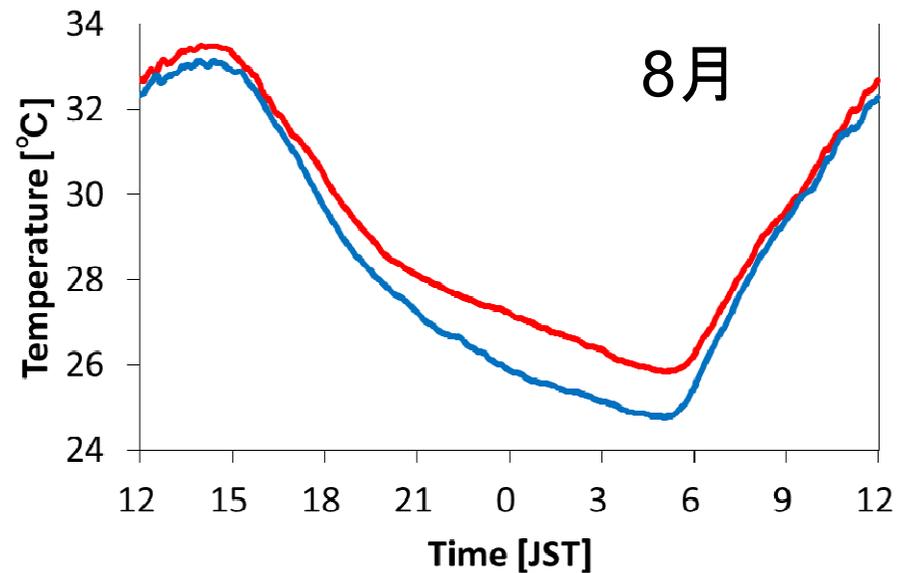
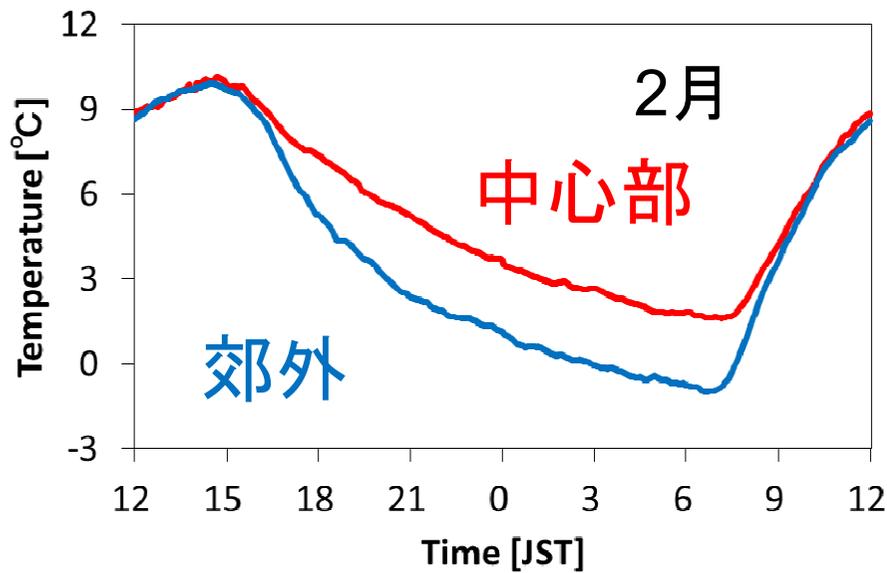
本日の話題

- ヒートアイランドの将来予測について
- ヒートアイランド現象と気候変動による暑熱環境の悪化に対する適応策の必要性
- ヒートアイランド現象への適応に対する都市気候モデルの役割と有効性

ヒートアイランドの要因

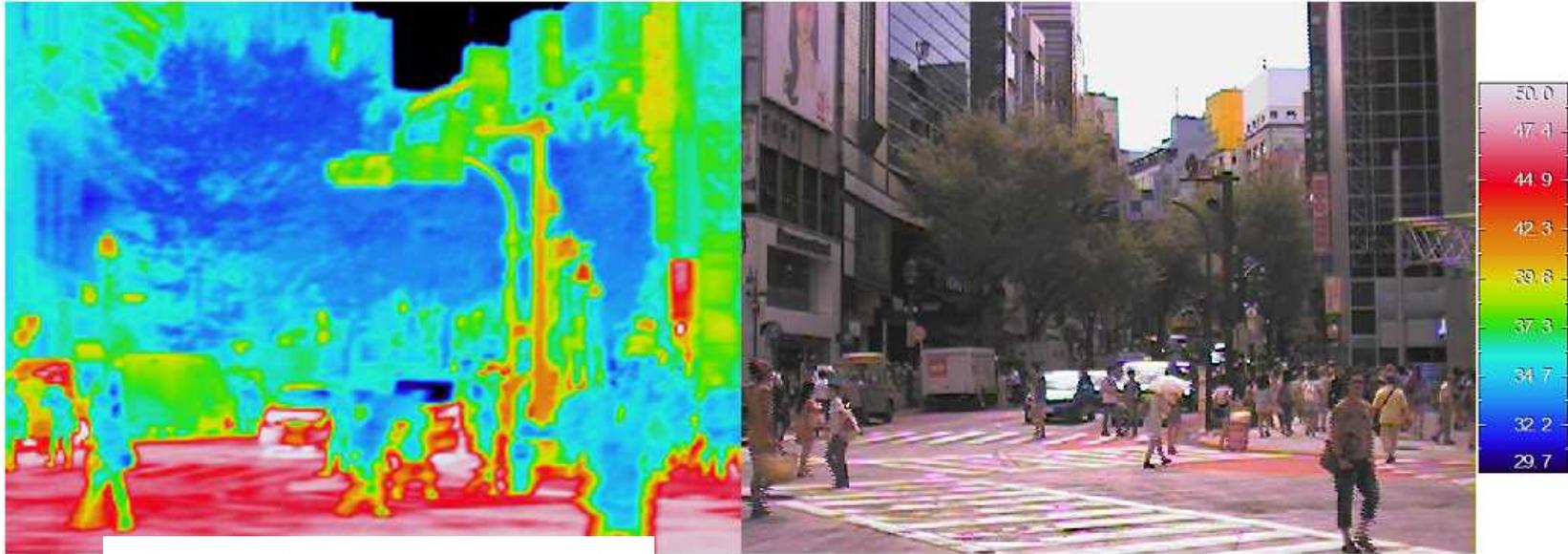


つくばの中心地と郊外の気温



夏の日中の気温は、
つくばの中心と郊外でそれほど大きな違いはない

人が暑く感じるのは高温だけのせいじゃない



赤外線カメラの画像



人の感じる暑さ～温熱4要素

- 気温（高温だと暑い）
- 湿度（蒸し蒸しすると暑く感じる）
- 風（風がないと暑く感じる）
- 放射（日射だけでなく、赤外線も大事）

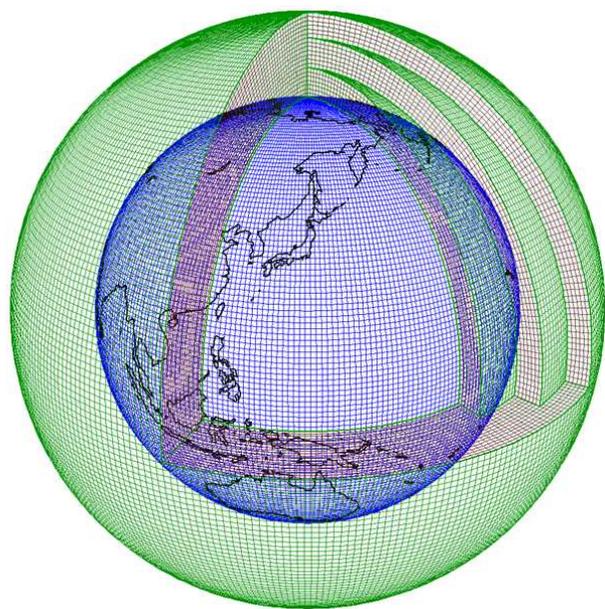
（例）遠赤外線ストーブ、焼き肉の炭火、熱したフライパン

これらすべてを考慮した指標が**WBGT**（湿球黒球温度）
→ いわゆる暑さ指数（TVの天気予報でおなじみ）



将来の都市暑熱環境の予測

天気予報は、スパコンと方程式で



気象庁HPより

- 地球の大気を細かく分割する
- 各点で、気象の予測計算を行う
- 地球全体の気象がわかる
- 天気予報ができる

天気予報は、物理学の運動方程式や熱力学の方程式をスーパーコンピュータで解く数値シミュレーションの手法を使っている

u:風、F:風を吹かす力(気圧差等)、
T:気温、Q:熱
t:時間

風の予測式(運動方程式)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F$$

$$(u^{t=2} - u^{t=1}) / \Delta t = F^{t=1}$$

$$u^{t=2} = u^{t=1} + F^{t=1} \Delta t$$

$$u^{t=3} = u^{t=2} + F^{t=2} \Delta t$$

この計算を繰り返せば未来予測ができる

気温の予測式(熱力学第一法則の式)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = Q$$

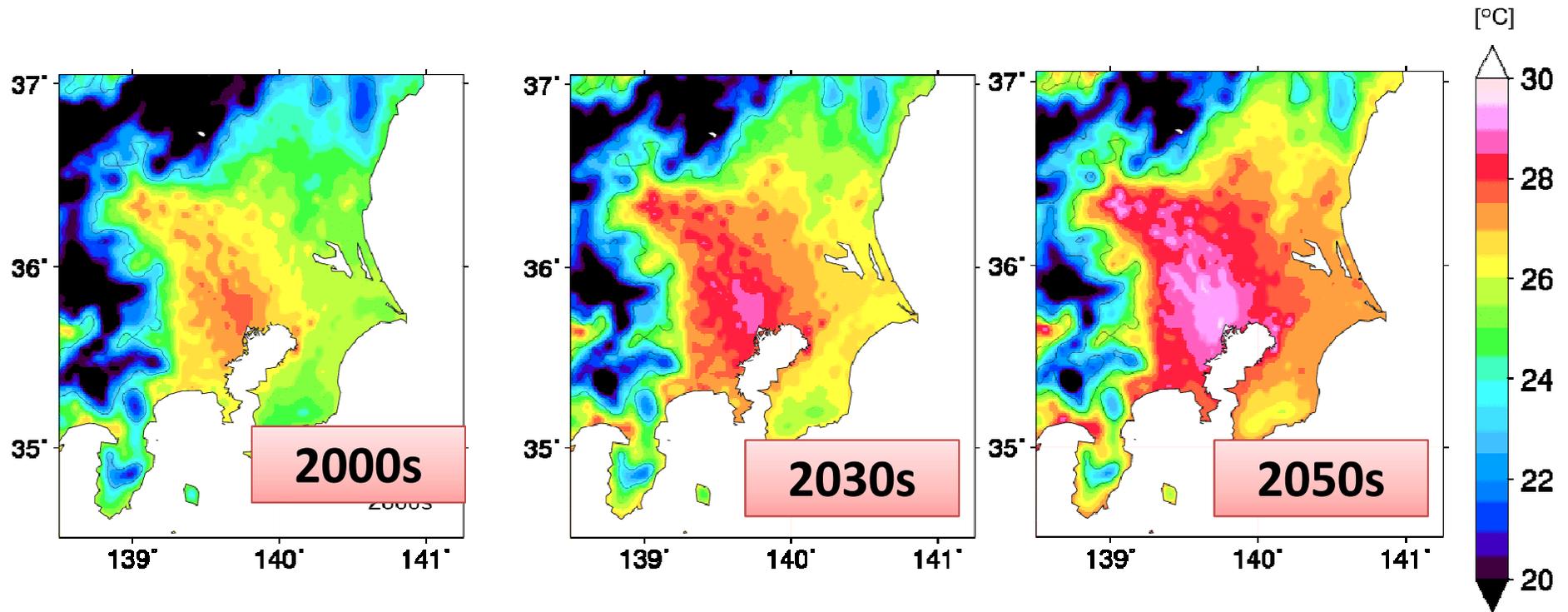
$$(T^{t=2} - T^{t=1}) / \Delta t = Q^{t=1}$$

$$T^{t=2} = T^{t=1} + Q^{t=1} \Delta t$$

$$T^{t=3} = T^{t=2} + Q^{t=2} \Delta t$$

t=2(Δt秒後)

8月平均気温分布(予測値)

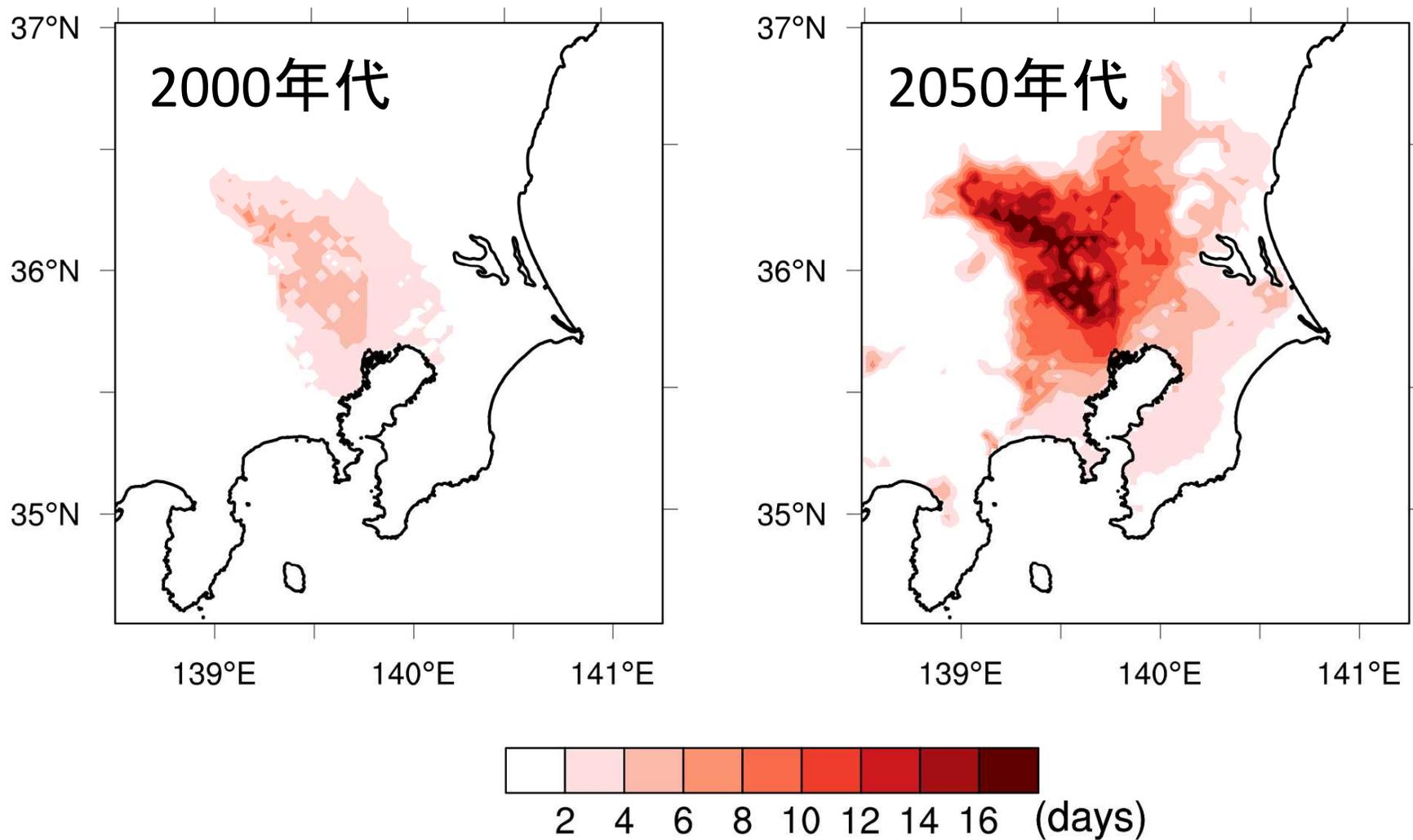


気温上昇量

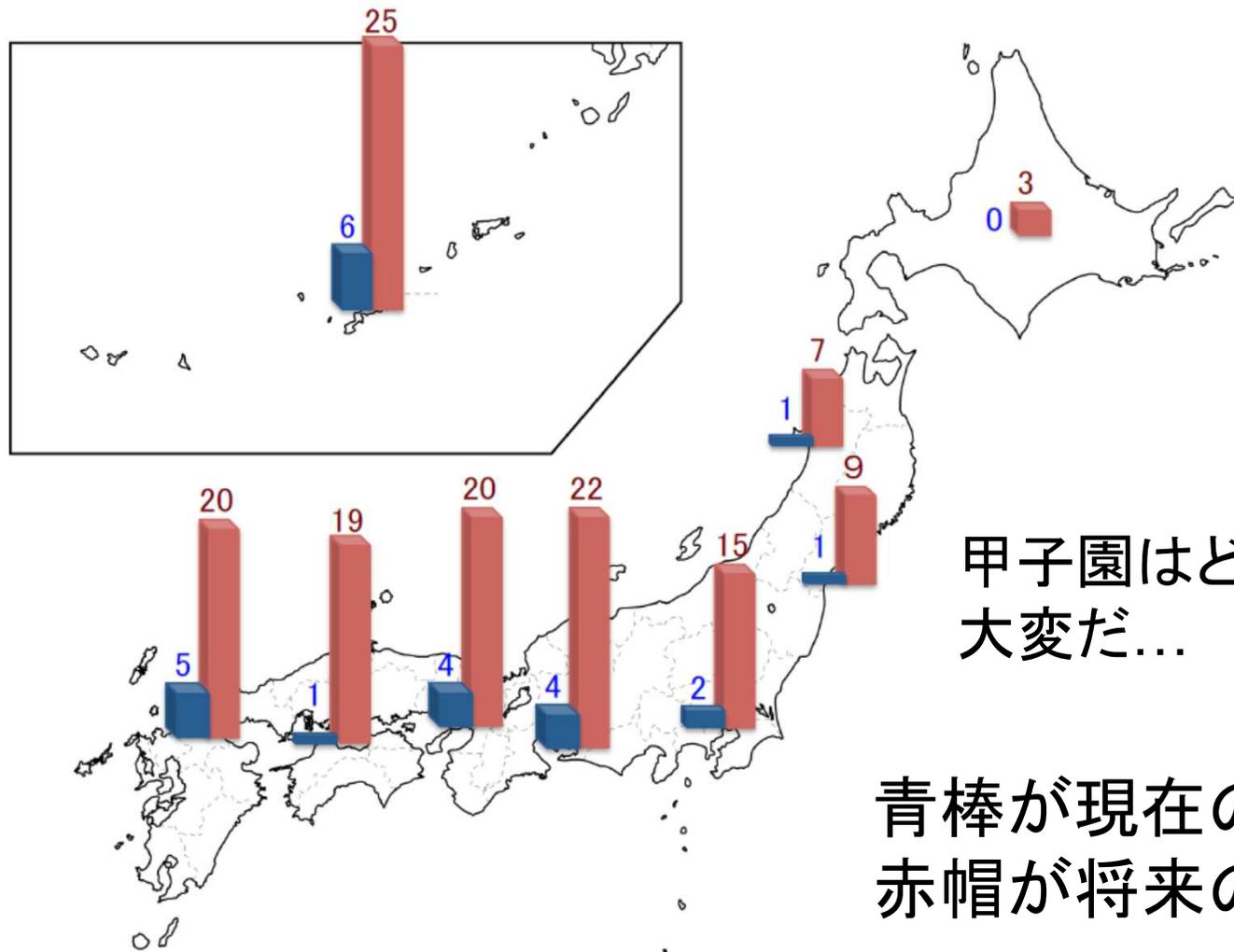
2030年代→約1.0 °C

2050年代→約1.8 °C

8月の猛暑日数予測



日本全国の屋外での運動禁止日数マップ



甲子園はどうなるの？
大変だ...

青棒が現在の禁止日数
赤帽が将来の禁止日数



暑熱環境悪化に対する適応策

岐阜県多治見市で木陰・ドライミストの効果进行调查

日向

木陰

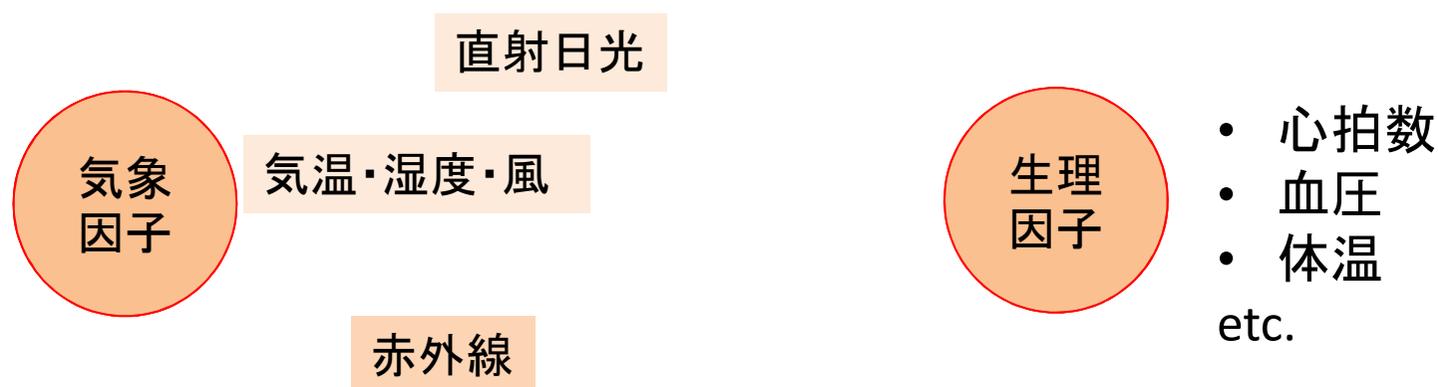
ドライミスト

街中の”暑さ”対策

- ① 通勤通学路への街路樹の植樹
- ② ドライミストの設置

これらの対策で、人への熱ストレスが低減されるかどうか。

暑さに関わる因子



目的

- 人と環境にどのくらい効果があるか、それぞれの環境下における、人間の生理因子と気象環境因子の特徴を捉える。
- 局所的な暑さ対策の実効性について、社会実装の適応に向けた知見を得る。

観測日・観測地点

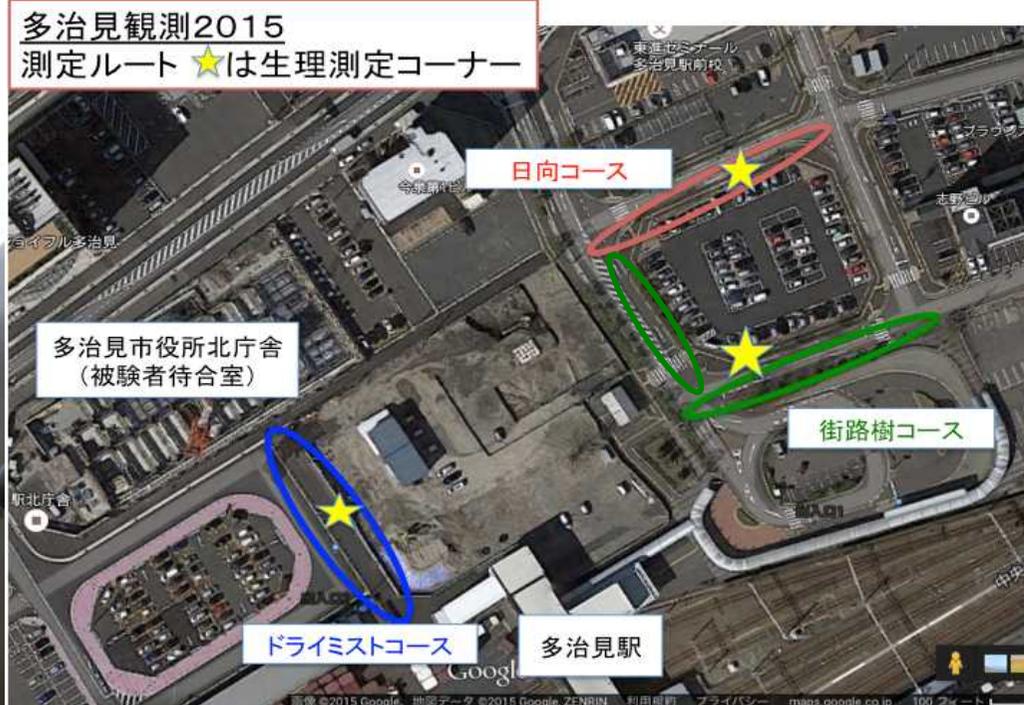
観測期間： 2015年8月22日、**23日**、24日 3日間

今回の解析対象は晴れた**23日**

ドライミスト
コース



多治見観測2015
測定ルート ☆は生理測定コーナー



日向コース



街路樹コース



観測項目

生理測定(歩行前後)



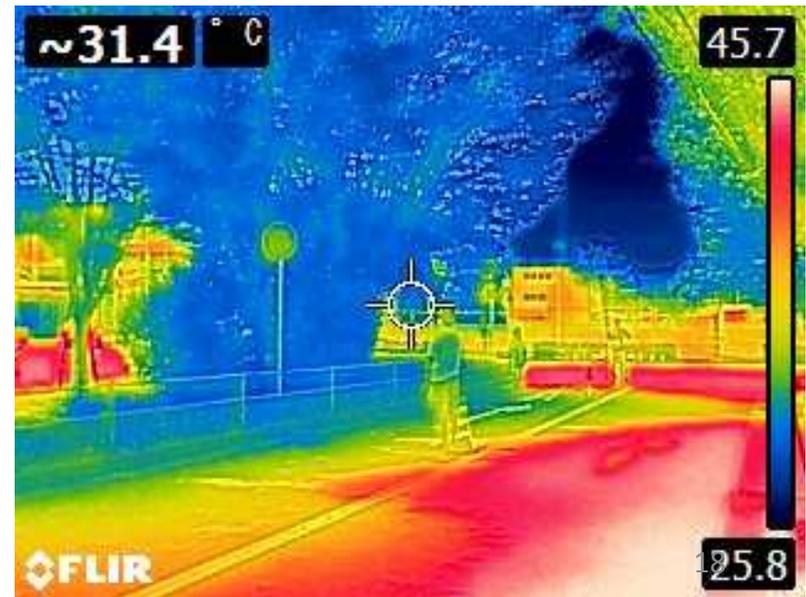
- ✓ 深部体温(鼓膜温度)
- ✓ 血圧/脈拍
- ✓ 唾液アミラーゼ(ストレス度)
- ✓ 温熱感申告
- ✓ 運動強度申告



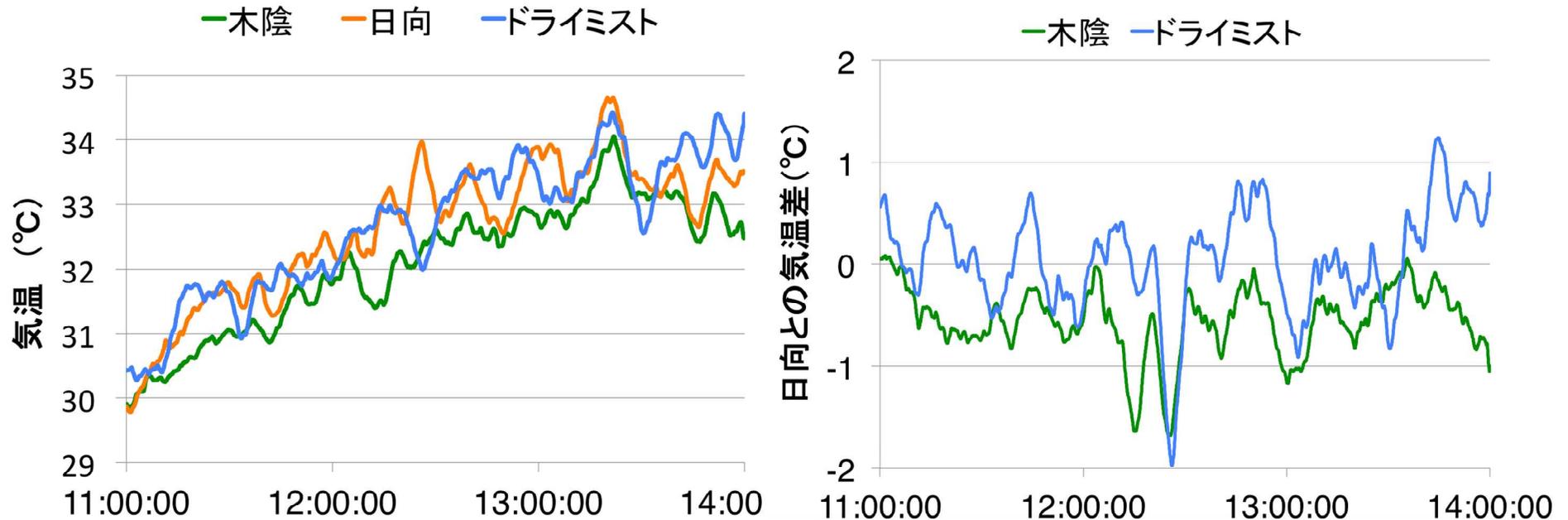
観測項目

気象観測

- ✓ 乾球温度(気温)、湿球温度(アスマン通風乾湿計、1.5m)
- ✓ 気温、湿度(おんどとり、自然通風、1.5m)
- ✓ 黒球温度(1.5m)
- ✓ 風向・風速(1.5m)
- ✓ 日射量
- ✓ 環境温度(サーモ画像)



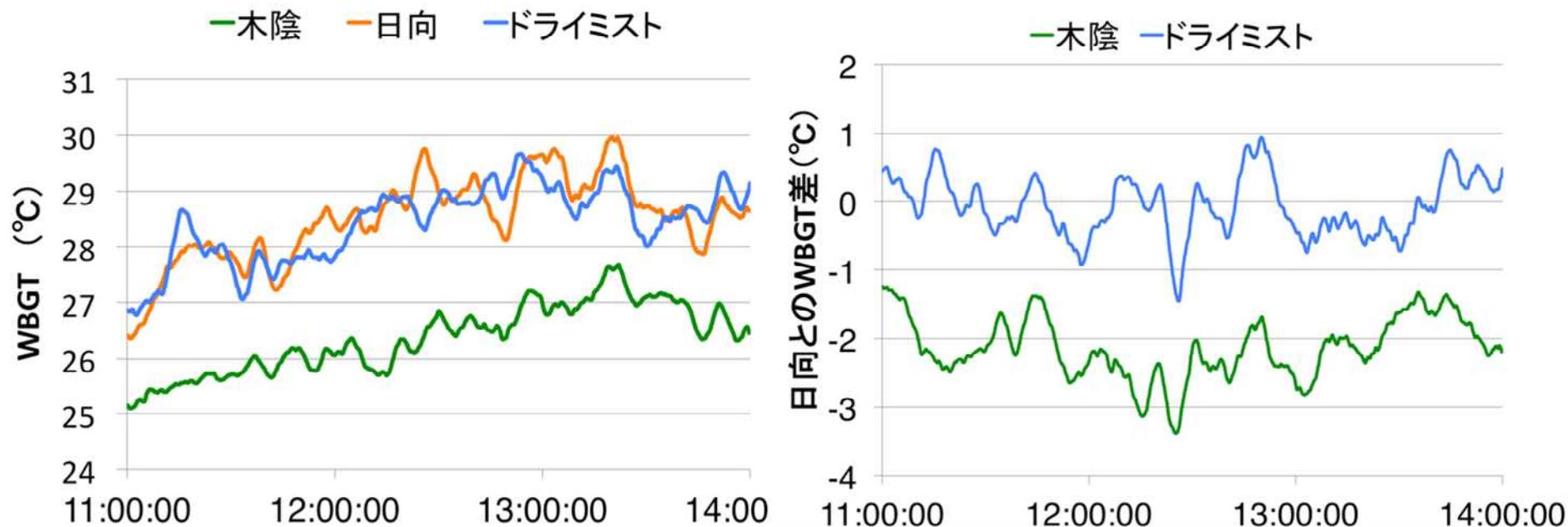
観測結果(気温)



結果:

- 木陰は日向に比べて気温が 0.5°C 前後低い。
- ドライミストと日向との気温差はほとんどなかった。

観測結果(WBGT)



結果:

- 木陰は日向に比べてWBGTが2°C前後低い。
- ドライミストと日向とのWBGT差はほとんどない。

木陰の暑さ緩和効果

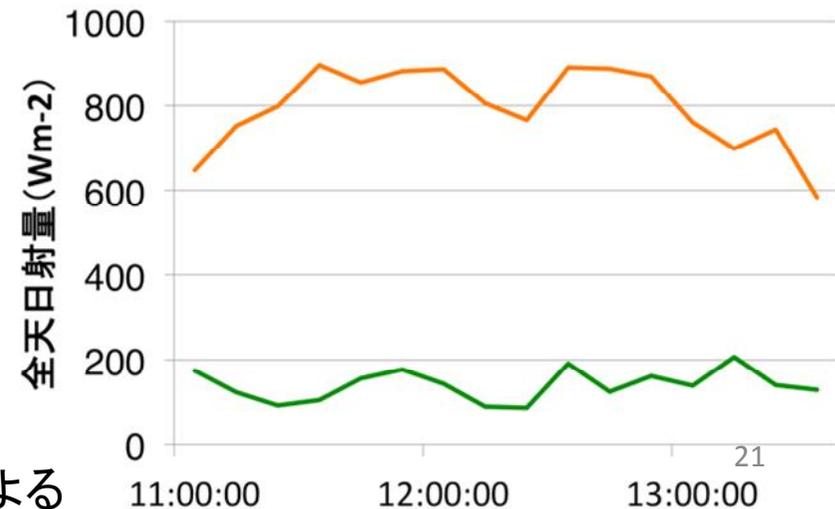
直射日光遮断

赤外線量低下



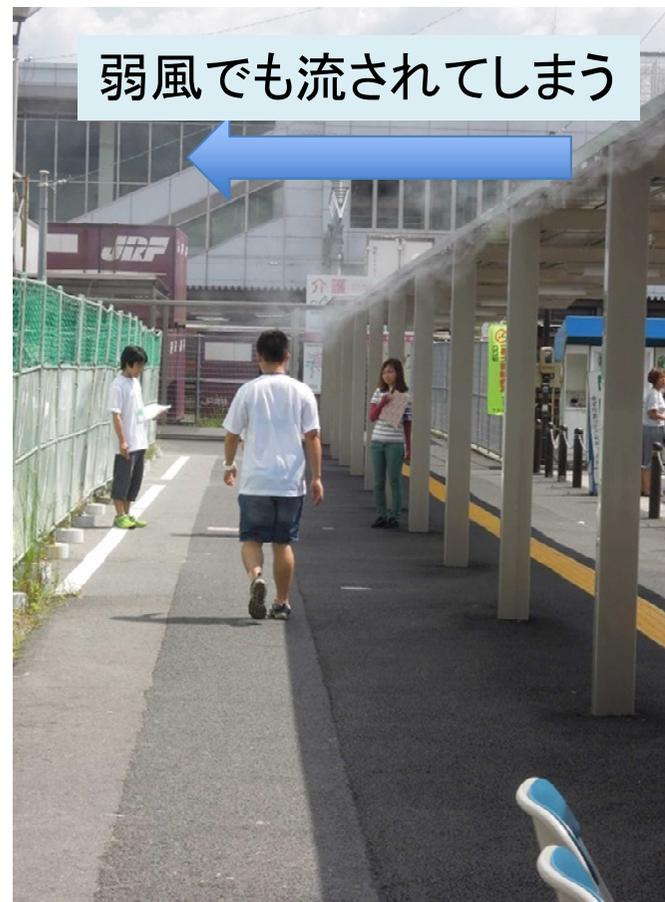
—日向 —街路樹(陰)

- 直射日光の遮断。日射量は日向の約1/5。
- 路面温度の低下。葉面温度は35°C程度で気温とほぼ同じ。人体が受け取る赤外線量の低下。
- 気温は僅かに低下。



多治見市連携協定による

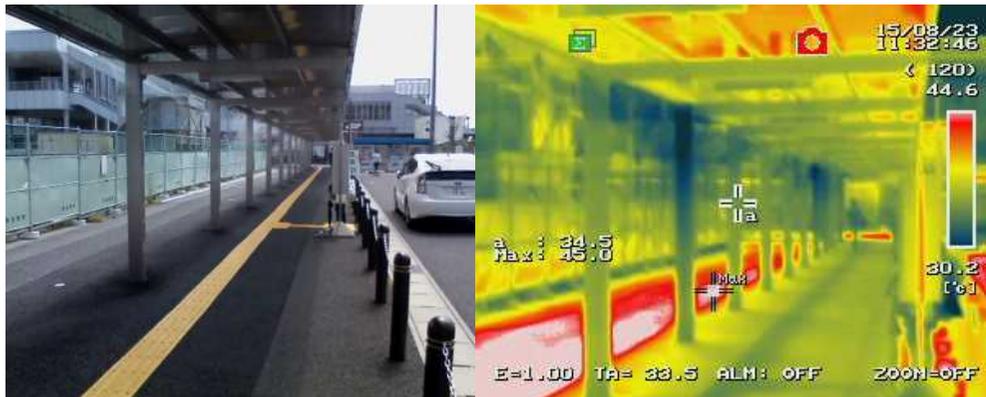
ドライミストの効果



ドライミストは気温を下げる効果があるが、弱風であっても効果が弱まってしまう。

ひさしの効果は？

路面温度



- ひさしは直射日光を遮断する。
- ひさし自体が日射で熱くなる。
- 昼間はひさしが50°C近く。
- 街路樹ほど効果は期待できない？

ひさしの温度



今後の課題



適応策の効果を数値モデルで評価

City-LESとは？



City-LESで予測計算

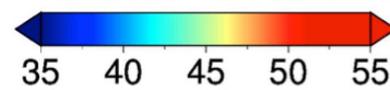
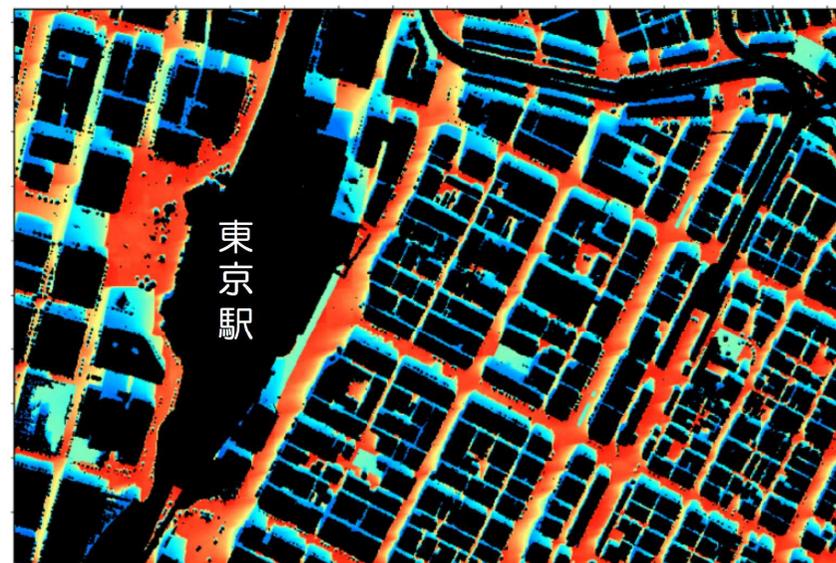
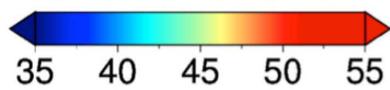
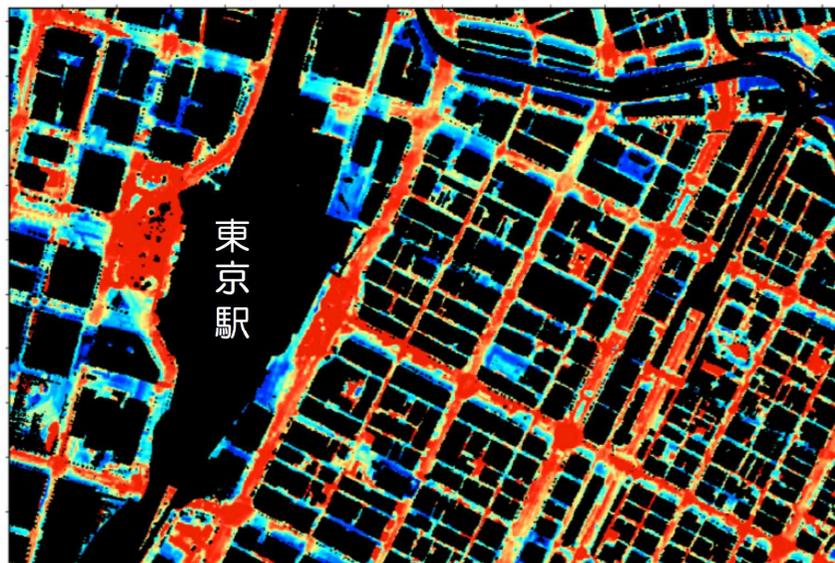
計算



空間分解能1-10mで、時々刻々と変化する3次元の風、気温、湿度、気圧、雲などを計算することができる

建物、植生が周囲の気温、湿度、風などを与える影響を評価できる

環境場の気象・気候の変化が都市街区内の微気象・微気候におよぼす影響を評価できる



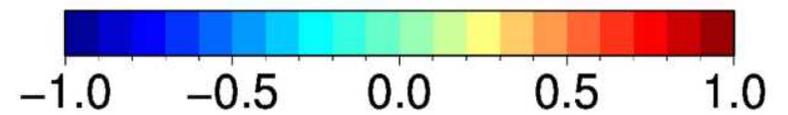
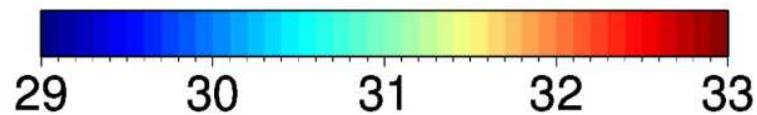
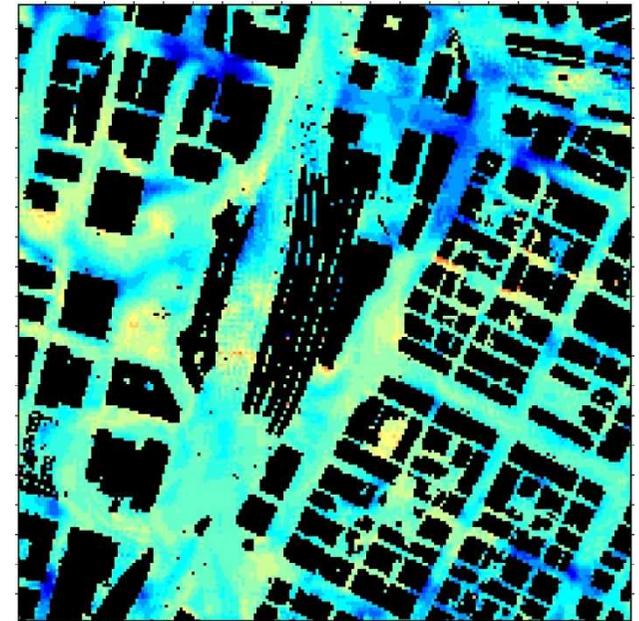
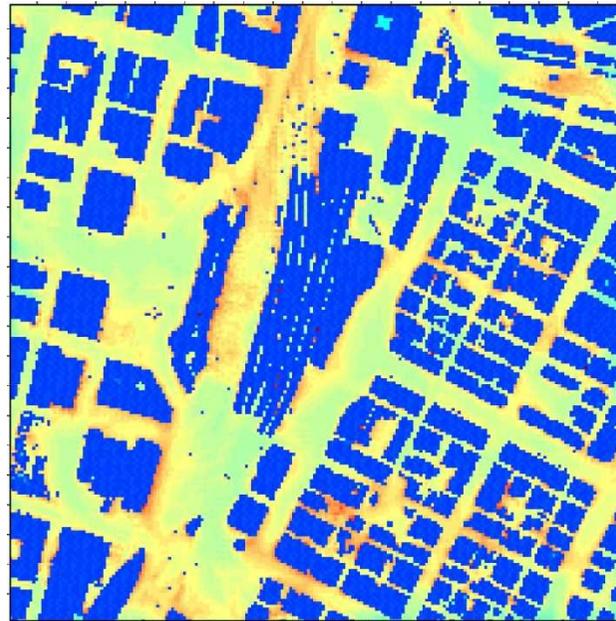
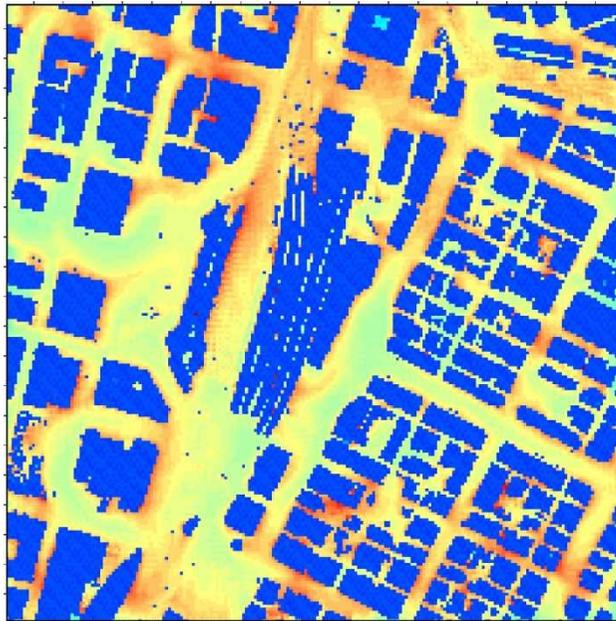
左図のデータは東京都環境科学研究所より提供

街路樹による暑熱環境緩和効果： 地上気温分布(12時)

街路樹なし

街路樹あり

気温差
(街路樹ありーなし)

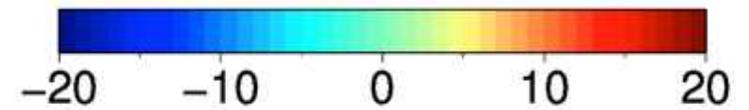
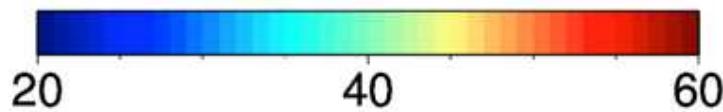
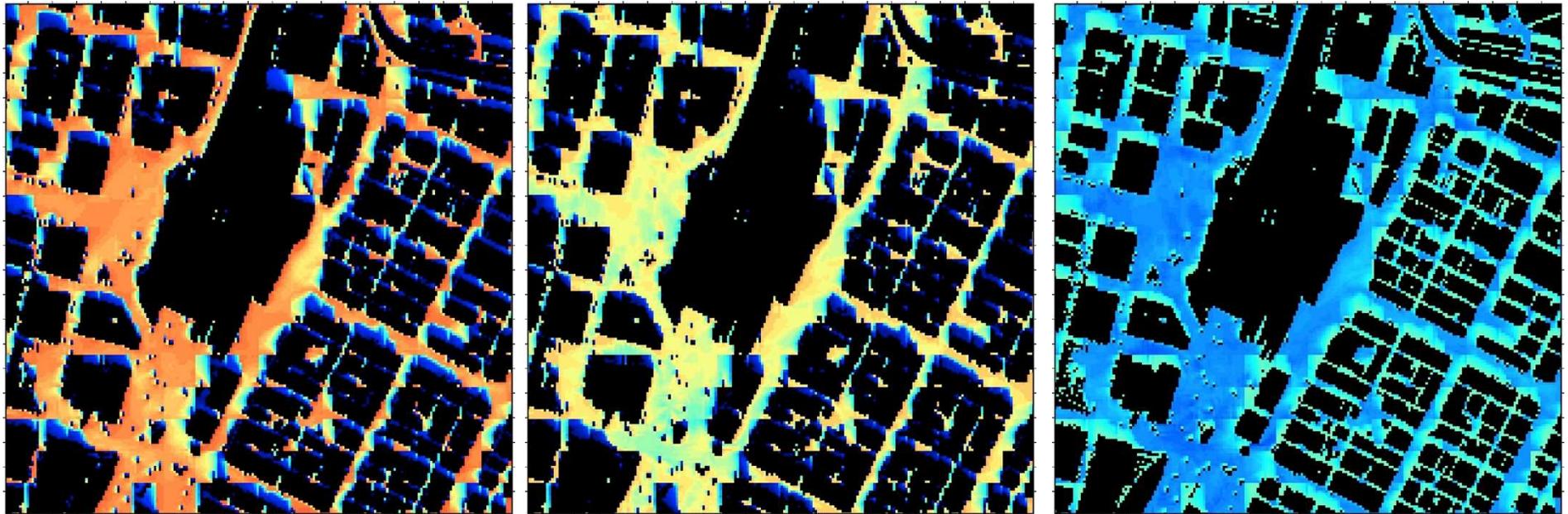


街路樹による暑熱環境緩和効果： 道路面温度分布(12時)

街路樹なし

街路樹あり

温度差
(街路樹ありーなし)





まとめ

- 都市の暑熱環境は、温暖化＋ヒートアイランドによって悪化している
- 将来の温暖化により、さらに悪化する
- ヒートアイランド適応策は温暖化の適応策にもなる(どちらも暑熱環境適応策)
- 適切な適応策には、観測と数値モデルで実験
- 実験に必要な数値モデルは、GCM、RCM、LES