

まちなかの暑熱環境対策評価

モデル街区WG主査：神戸大学大学院 准教授 竹林 英樹

モデル街区WG幹事：神戸大学大学院 技術職員 橘高 康介

モデル街区WGの活動報告

(アドバイザー) 森山正和, 吉田篤正, 梶元慶子

- 大阪府クールスポットモデル拠点推進事業実施箇所をモデル街区に選定した。建物形状、地表面被覆を再現し、日射量、地表面温度、気温、湿度、風速の分布を算出した。当該事業の暑さ対策は、主に日除け、ミスト噴霧、地上部緑化により構成され、日除け、ミスト噴霧による暑さ対策効果の再現に焦点が絞られる。
- ミスト噴霧による暑さ対策効果の再現に注目し、神戸市内で実施したミスト噴霧の影響範囲に関する測定結果について噴霧箇所からの距離やバス停構造物の影響などを議論した。
- 万博会場での暑さ対策提案の可能性について、帯水層蓄熱冷房の還水温度利用の可能性を検討した。

発表の内容

(竹林)

- まちなかの暑熱環境対策評価の事例紹介（神戸市と連携した検討結果より）

(橘高) 都合によりキャンセル

- 大阪府クールスポットモデル拠点推進事業実施箇所における暑熱環境対策（日除け、ミスト噴霧、地上部緑化）の評価結果

まちなかの暑熱環境対策評価の事例紹介 (神戸市と連携した検討結果より)

- 神戸市では様々な（日除け，ミスト，散水，水盤など）暑熱環境対策の実践が行われている。

H. Takebayashi, H. Danno, U. Tozawa, Study on appropriate heat mitigation technologies for urban block redevelopment based on demonstration experiments in Kobe city, Energy & Buildings, 250, 2021.11

戸澤潮，佐野俊幸，竹林英樹，神戸市の異常高温対策に関する実証実験，日本ヒートアイランド学会第16回全国大会，2021.9

- モデル街区，及び，まちなかの暑熱環境対策の評価の観点から，神戸市の今後の暑さ対策の実践に向けて検討した，車道の歩行空間利用の可能性の検討事例を紹介する。

計算対象領域の建物形状と車線状況



建物と構成部材特性を基に2m間隔のグリッドで日射量解析を行い、表面温度、MRT、SET*を算出。

計算対象日：2020年8月5日

気温、湿度は神戸地方気象台の測定データを用いた。

代謝量1.4met，着衣量0.6cloとした。

東西道路，南北道路，斜め道路，交差点の4領域に分類し，車線ごとに分析を行った。

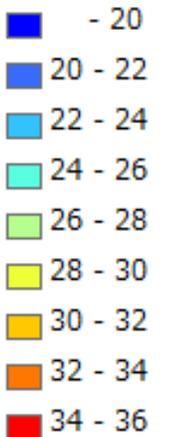
計算結果の例 (12:00のSET*分布)



散水無

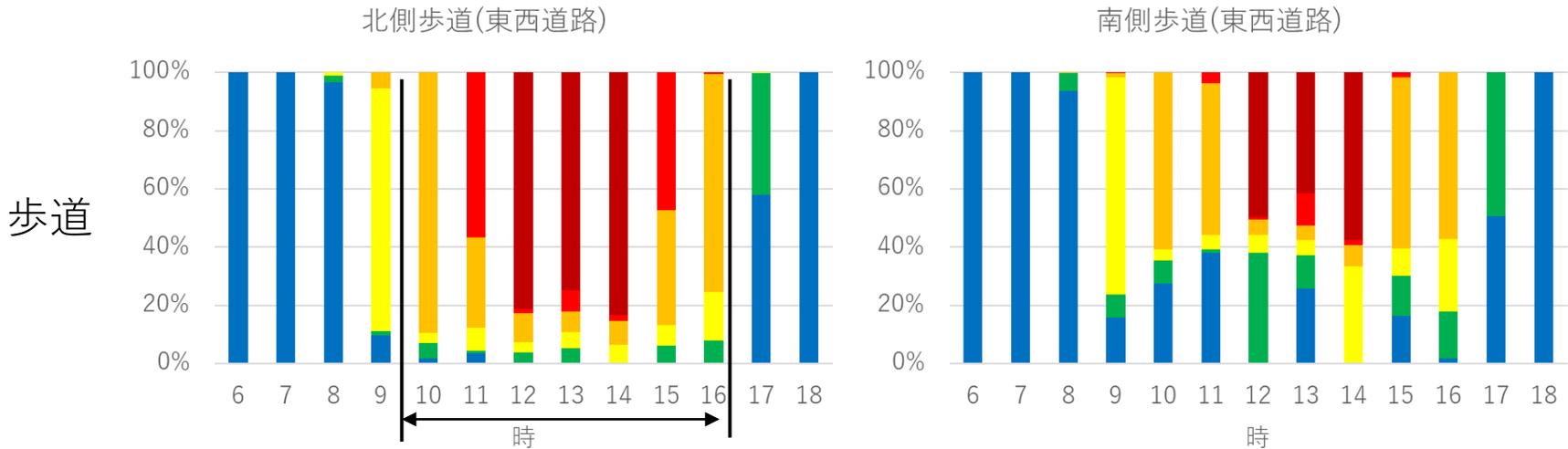
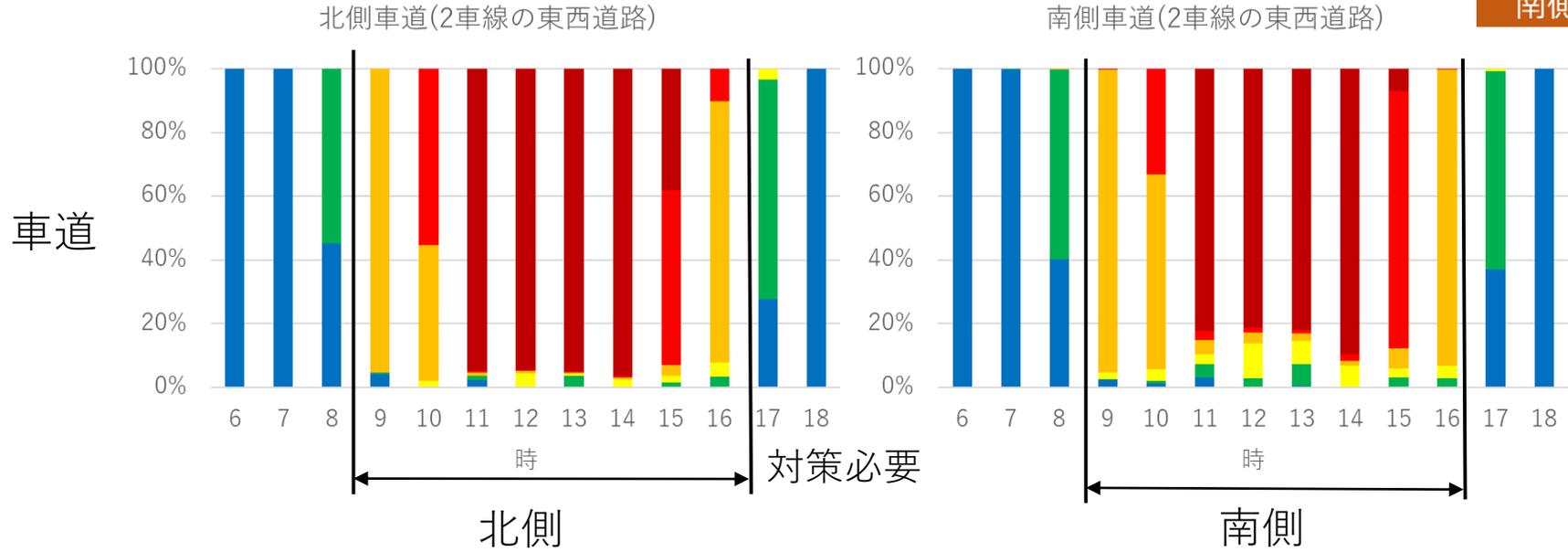


散水有



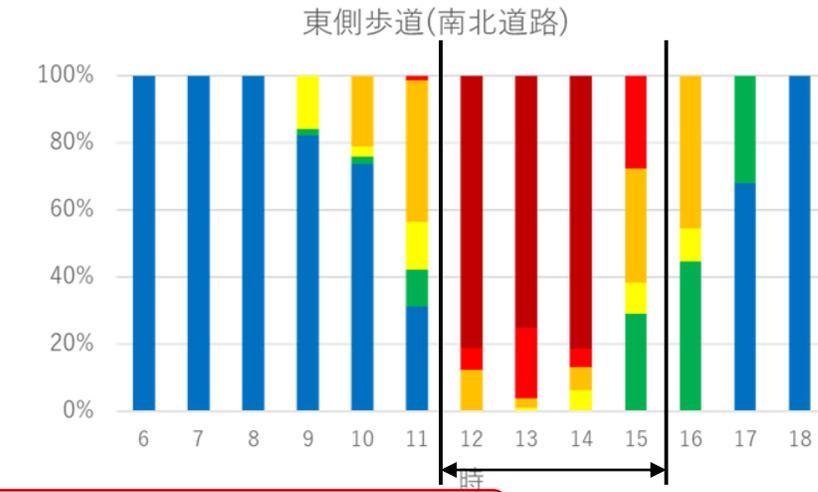
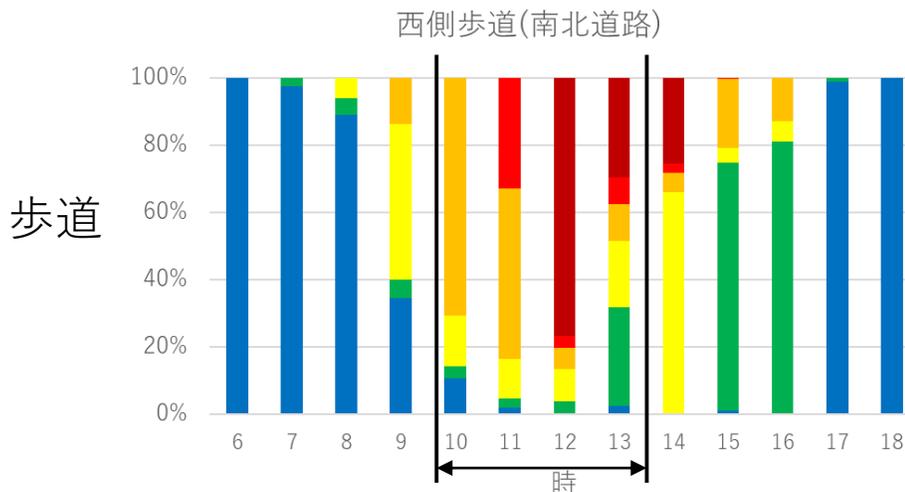
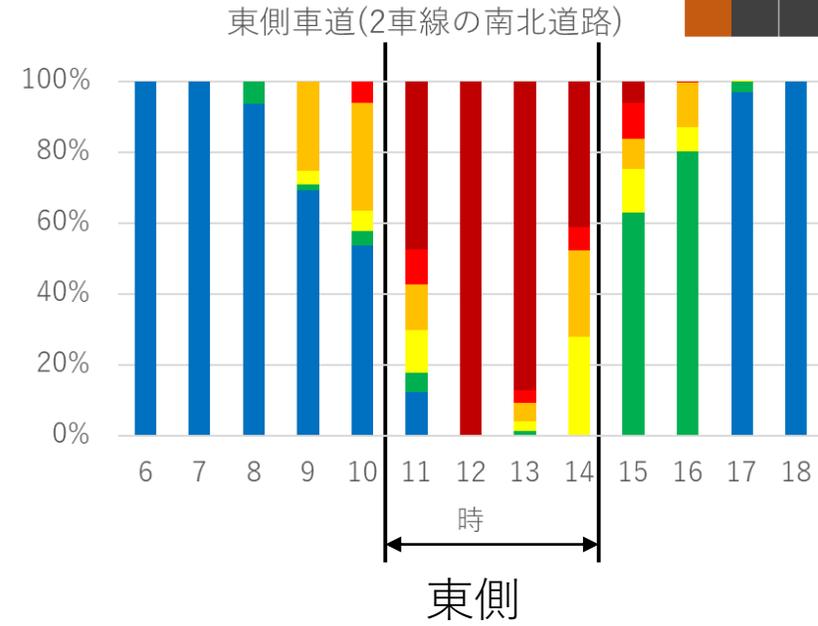
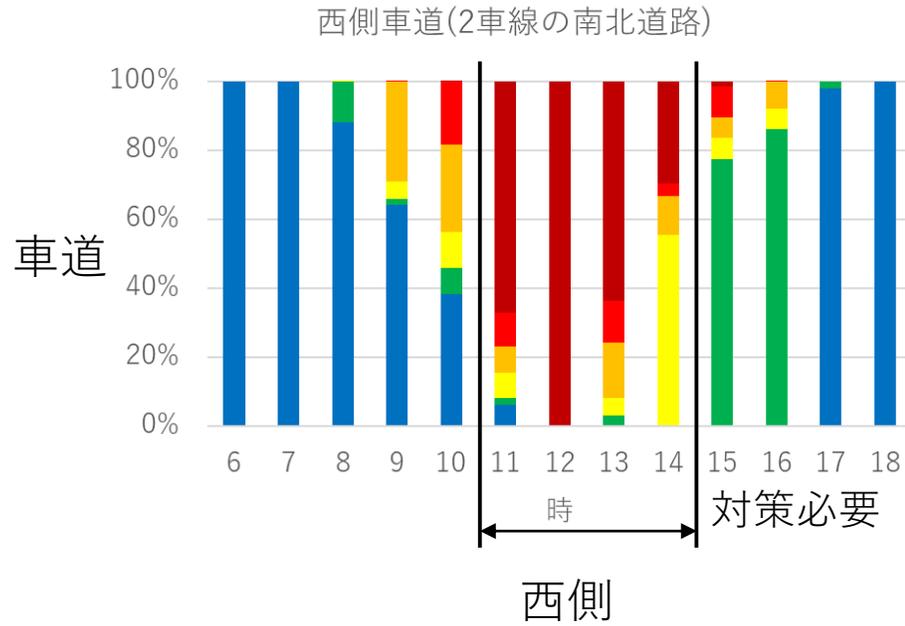
東西道路のSET*

北側歩道
北側車道
南側車道
南側歩道



■ ~26.5
 ■ ~27.5
 ■ ~29.5
 ■ ~31.5
 ■ ~32.5
 ■ ~40.0
 対策必要

南北道路のSET*



■ ~26.5
 ■ ~27.5
 ■ ~29.5
 ■ ~31.5
 ■ ~32.5
 ■ ~40.0
 対策必要

考察

- 南北道路より東西道路の対策必要時間が長い
- 東西道路の南側歩道は暑さ対策の必要性が終日緩和される
- 南北道路の対策必要時間は、歩道が車道より朝方（西側）、夕方（東側）にずれる
- 南北道路の建物間距離が大きくなると、利用可能な時間が限られる

⇒ 東西道路の南側歩道、狭幅員の南北道路の歩行空間利用の可能性が高い

環境省のまちなかの暑さ対策ガイドライン（2016）

「暑さの要因を理解し、暑くても待たなければならない場所、快適に過ごしたい場所などに適切な暑さ対策を実施することで、健康で快適なまちなかの環境づくりを進めることができます」と述べられている。



適応策メニューと評価指標の整理, 主な効果のメカニズム

まちなかの暑さ対策ガイドライン(メニュー, 評価指標, 主な効果メカニズム)		
樹冠・藤棚等による緑陰	日射透過率, 蒸発効率	日射遮蔽, 蒸発冷却
人工日除け	日射透過率, 対流熱伝達率	日射遮蔽, 対流熱伝達促進
壁面等の再帰反射化	下方反射率	日射反射
地表面等の保水化	蒸発効率	蒸発冷却
地表面等の遮熱化	日射反射率	日射反射
地表面等の緑化	蒸発効率	蒸発冷却
壁面等の緑化	蒸発効率	蒸発冷却
壁面等の保水化・親水化	蒸発効率	蒸発冷却
微細ミスト噴霧	蒸発量	蒸発冷却
2016年度環境省報告書案(メニュー, 評価指標, 主な効果メカニズム)		
オーニング	日射透過率	日射遮蔽
フラクタル形状の日除け	日射透過率, 対流熱伝達率	日射遮蔽, 対流熱伝達促進
メッシュ日除け(+散水)	日射透過率, 蒸発効率	日射遮蔽, 蒸発冷却
冷却ルーバー	蒸発効率	蒸発冷却
緑化冷却ルーバー	蒸発効率	蒸発冷却
樹木ポット	日射透過率, 蒸発効率	蒸発冷却, 日射遮蔽
保水ブロック	蒸発効率	蒸発冷却
水景施設	蒸発効率	蒸発冷却
送風機付き微細ミスト噴霧	蒸発量	蒸発冷却
天井冷却システム(半屋外空間での設置)	表面温度	冷房
水冷ベンチ	表面温度	冷房
大阪HITECコンペアイデア(メニュー, 評価指標, 主な効果メカニズム)		
水路ネットワーク・水景	蒸発効率	蒸発冷却
打ち水・散水	蒸発効率	蒸発冷却
ドライミスト	蒸発量	蒸発冷却
日よけ	日射透過率	日射遮蔽
緑陰・並木	日射透過率, 蒸発効率	日射遮蔽, 蒸発冷却
緑化(屋上, 地上)	蒸発効率	蒸発冷却
風利用	対流熱伝達率	対流熱伝達促進
交通モード	人工排熱	排熱削減
未利用, 自然エネルギー	人工排熱	排熱削減
ICT活用	人体生理量	人体熱負荷削減

主に日射遮蔽, 蒸発冷却

他に, 日射反射,
対流熱伝達促進, 冷房,
排熱削減, 人体熱負荷削減

実証実験の状況



車道散水



フラクタル日除けとミスト



バス停の日除けとミスト



公園内の水盤



ミスト広場



公園内のミスト

様々な暑さ対策技術の 温熱環境改善効果（神戸市内での測定に基づく）

	地表面温度低下量	MRT低下量	SET*低下量	暴露条件
車道散水	10°C*1	1.9°C	<u>0.8°C</u>	<u>歩道近傍</u> の車道に散水した場合
		0.25°C	0.07°C	離れた車道に散水した場合
水盤	15°C	0.2°C	0.1°C	3.75m離れた歩道において
		1.6°C	<u>1.2°C</u>	<u>水盤上</u> （水路幅1m）
歩道散水	5~10°C	1.3~4.0°C	0.9~ <u>2.5°C</u>	<u>歩道上</u>
ミスト	—*2	2.9~19.4°C	1.2~ <u>8.2°C</u>	<u>人体に付着</u> した場合
樹木	17.4°C	16.1°C	<u>6.8°C</u>	人体、地表面に <u>日陰が及ぶ</u> 場合
日除け*3	—	15°C	<u>7°C</u>	人体に <u>日陰が及ぶ</u> 場合

*1：散水前の地表面温度が40°Cを超える場合

*2：ミスト近傍における気温低下は約1°C，湿度上昇は約1%であった。

*3：2019年度のフラクタル日除け（三宮，元町）の測定結果より

(提言) 様々な暑さ対策技術の 適材適所の選定に向けて

以下の点などを考慮して適材適所の選定が望ましい。

(ミスト) ミストが**人体に付着**することが許容されるか

(水盤) **水盤上**に配置された歩行空間が許容されるか

(歩道散水) **足元**の舗装が濡れることが許容されるか

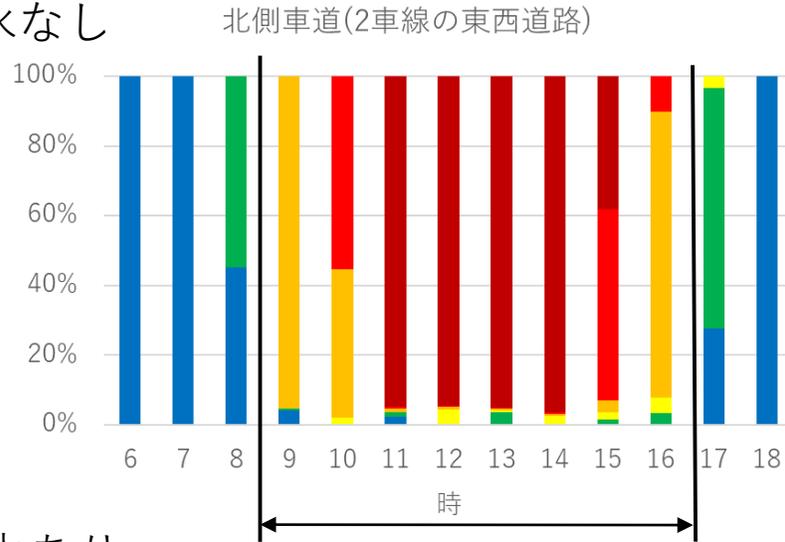
(車道散水) **道路端**まで散水が可能か

(樹木) 剪定などの**維持管理**が可能か

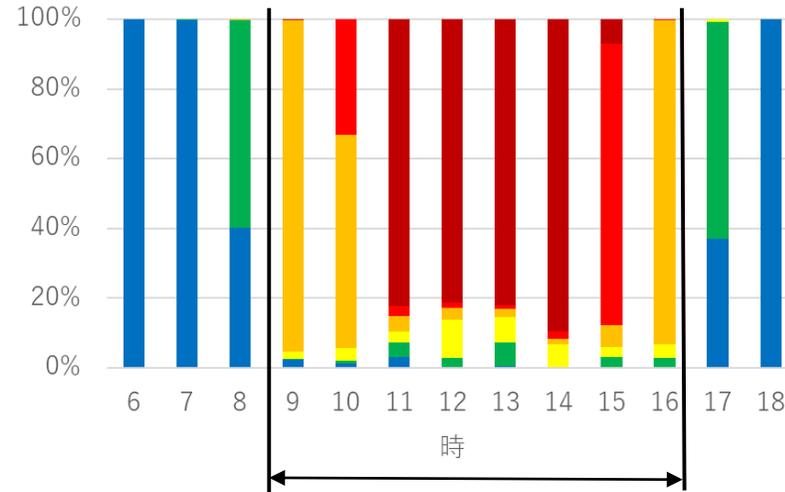
(日除け) **日陰の範囲**が滞在者の位置と整合するか

散水の効果 (東西道路車道)

散水なし

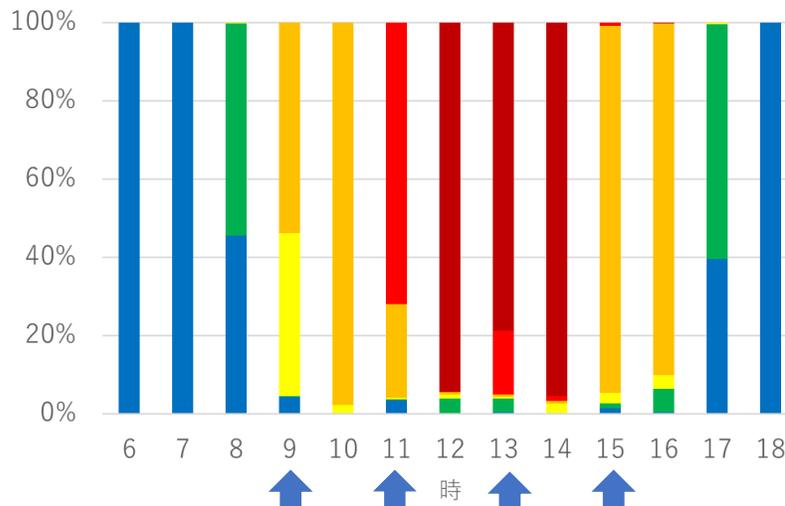


南側車道(2車線の東西道路)

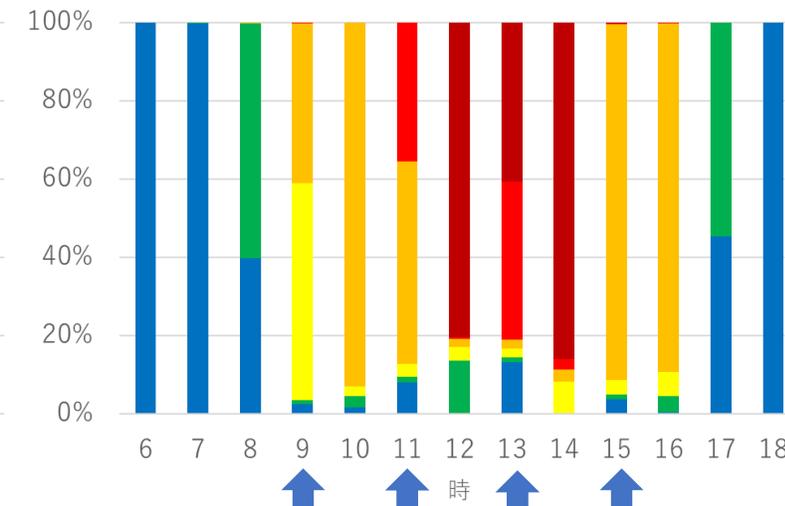


散水あり

北側車線(東西道路)



南側車線(東西道路)



散水

■ ~26.5

■ ~27.5

■ ~29.5

■ ~31.5

■ ~32.5

■ ~40.0

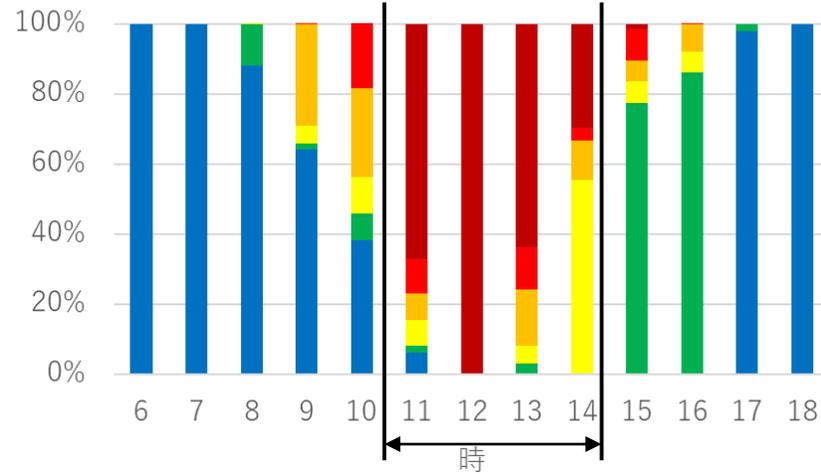
散水時間

蒸発効率0.15を設定

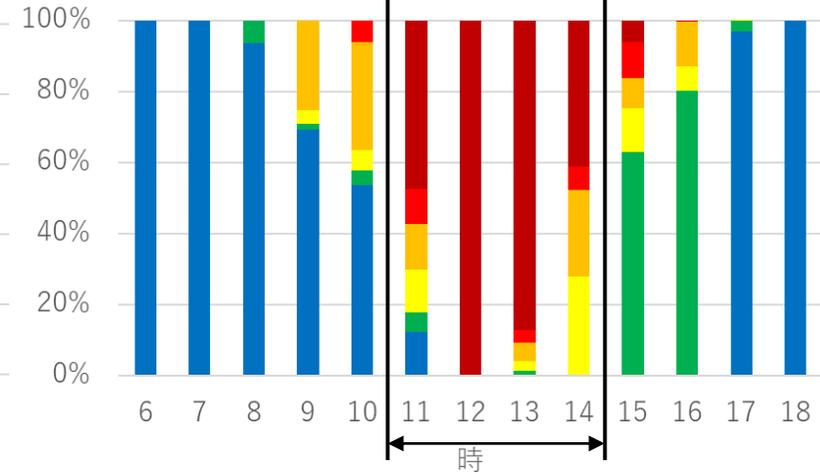
散水の効果 (南北道路車道)

散水なし

西側車道(2車線の南北道路)

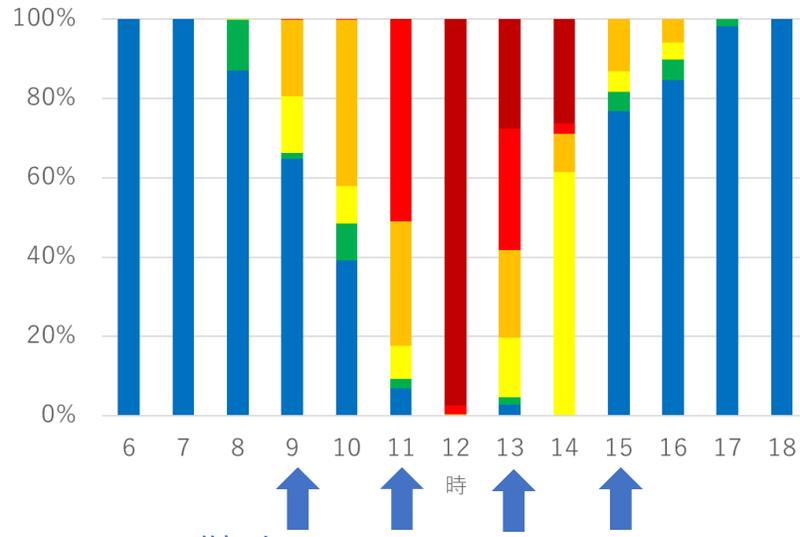


東側車道(2車線の南北道路)

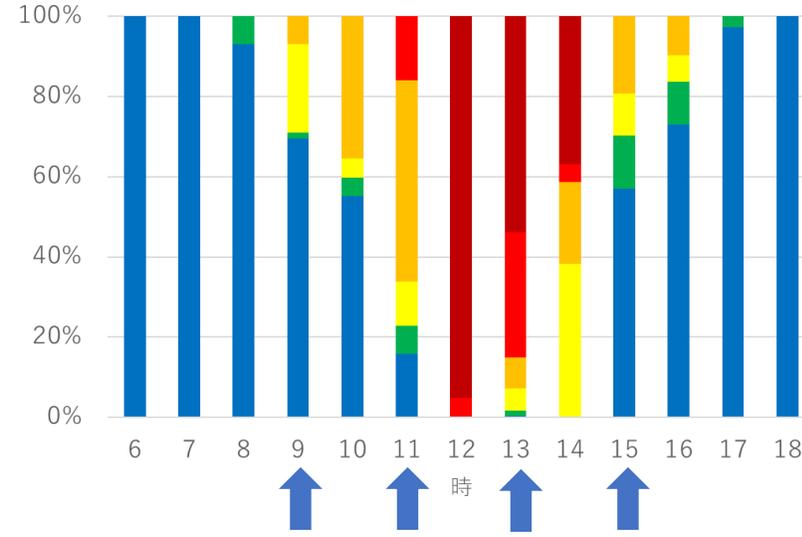


散水あり

西側車線(南北道路)



東側車線(南北道路)



散水

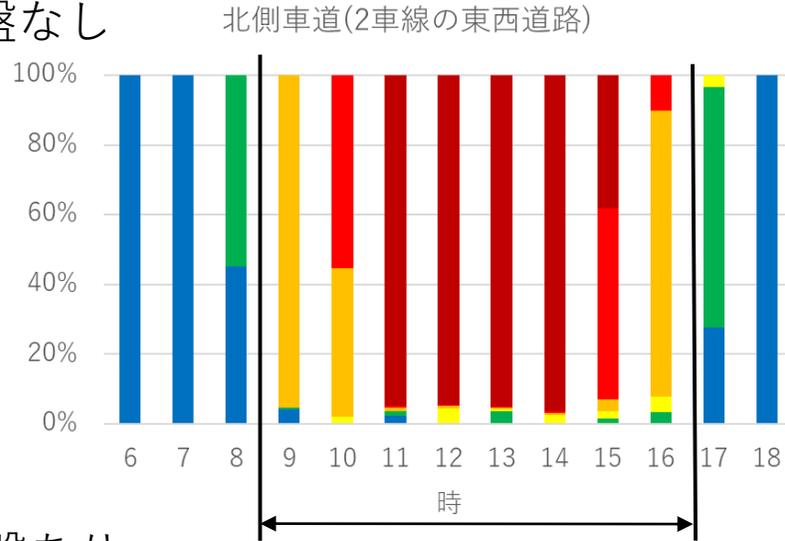
■ ~26.5 ■ ~27.5 ■ ~29.5 ■ ~31.5 ■ ~32.5 ■ ~40.0

散水時間

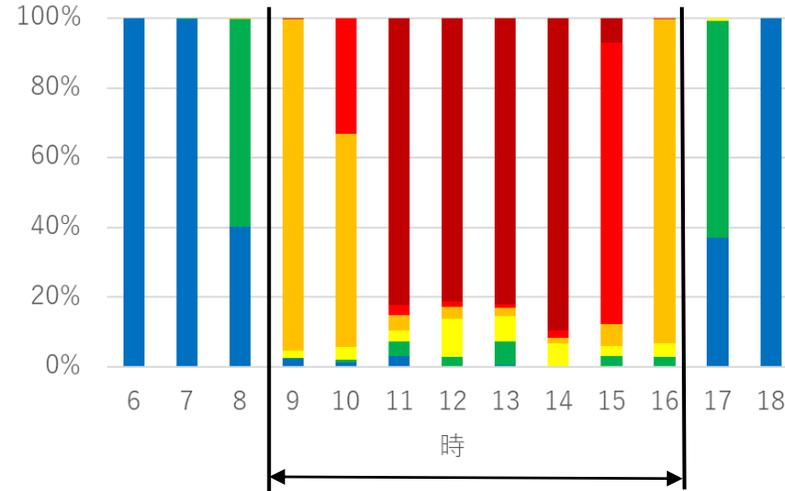
蒸発効率0.15を設定

水盤の効果 (東西道路車道)

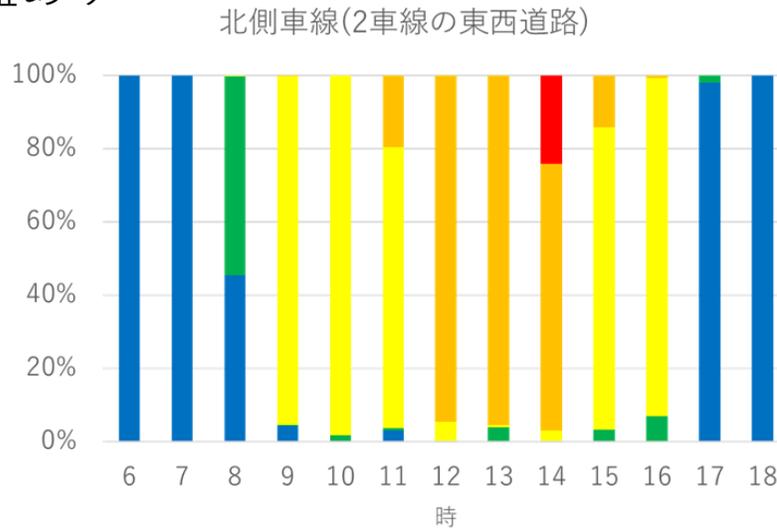
水盤なし



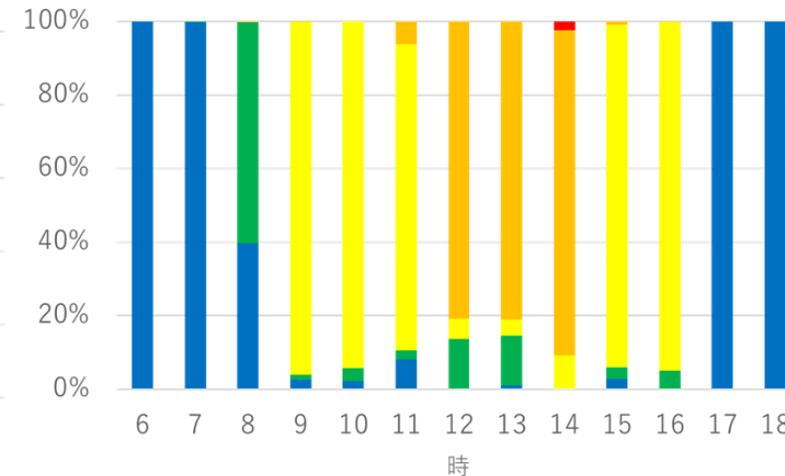
南側車道(2車線の東西道路)



水盤あり



南側車線(2車線の東西道路)



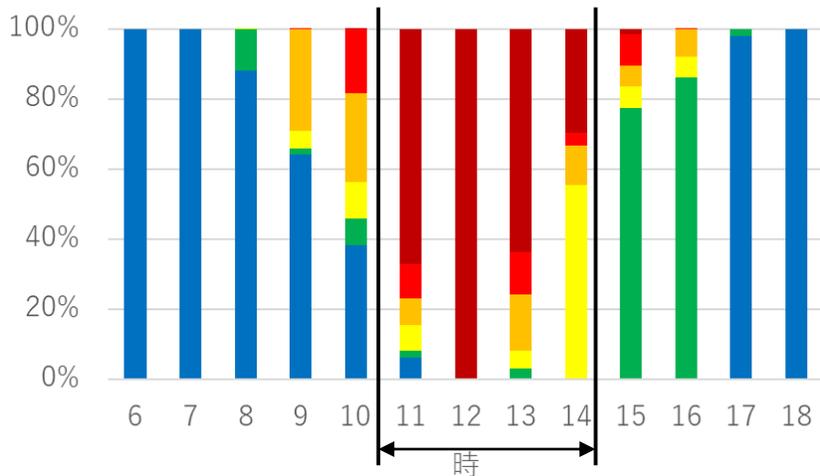
水盤には一定温度32°Cで給水されると仮定



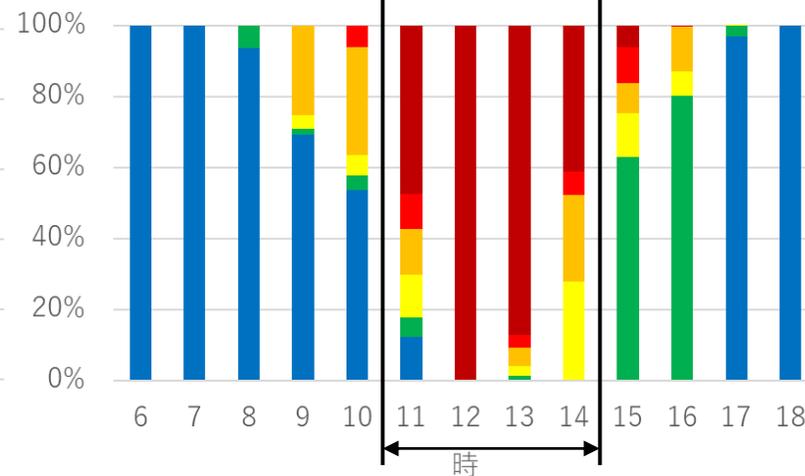
水盤の効果 (南北道路車道)

水盤なし

西側車道(2車線の南北道路)

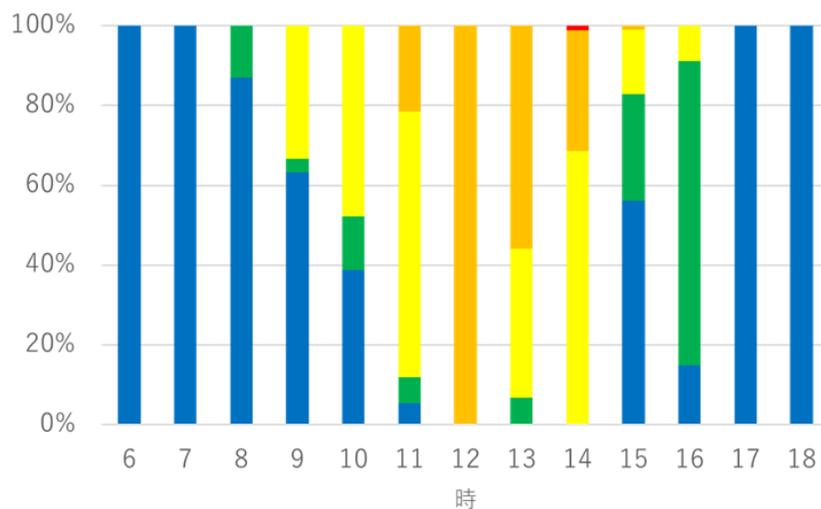


東側車道(2車線の南北道路)

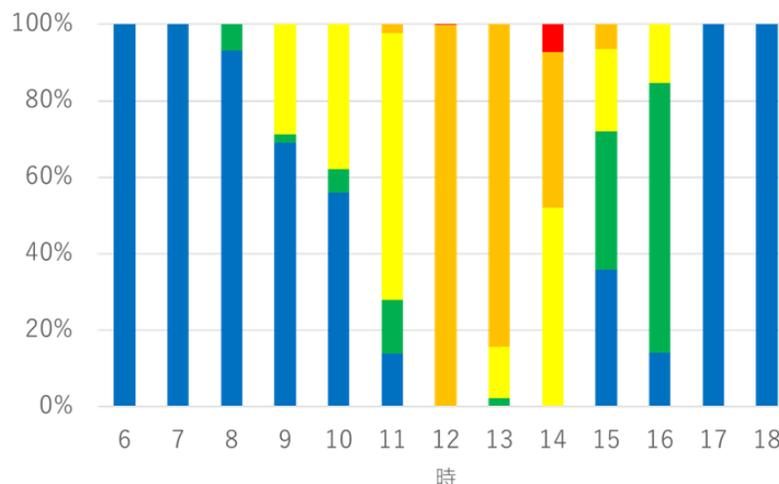


水盤あり

西側車線(2車線の南北道路)



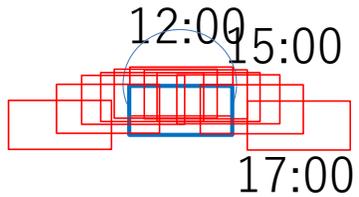
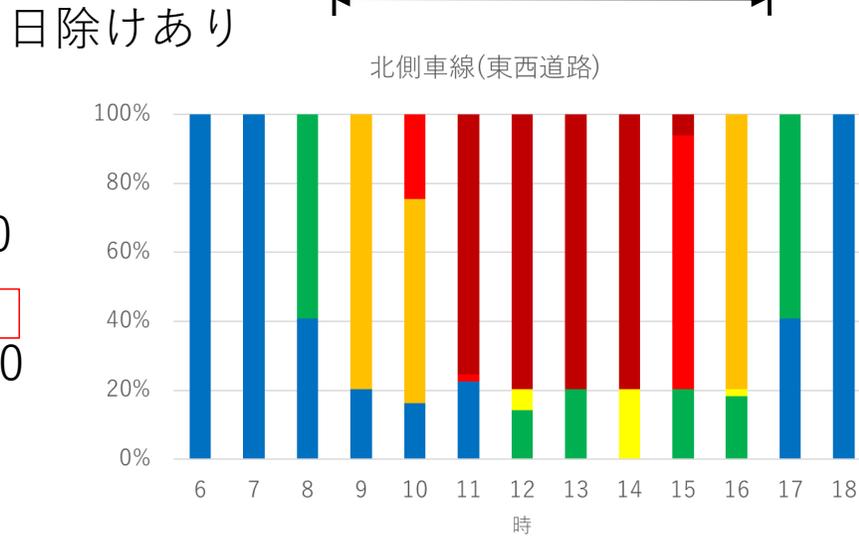
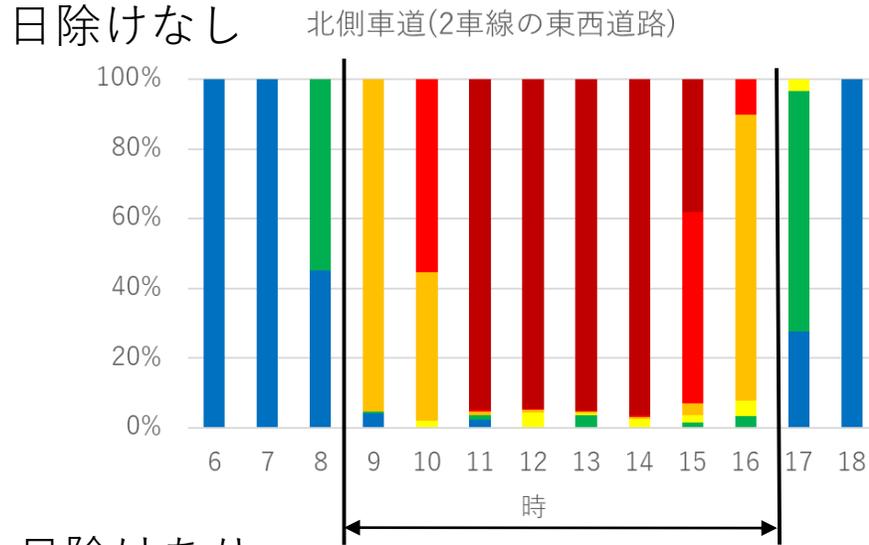
東側車線(2車線の南北道路)



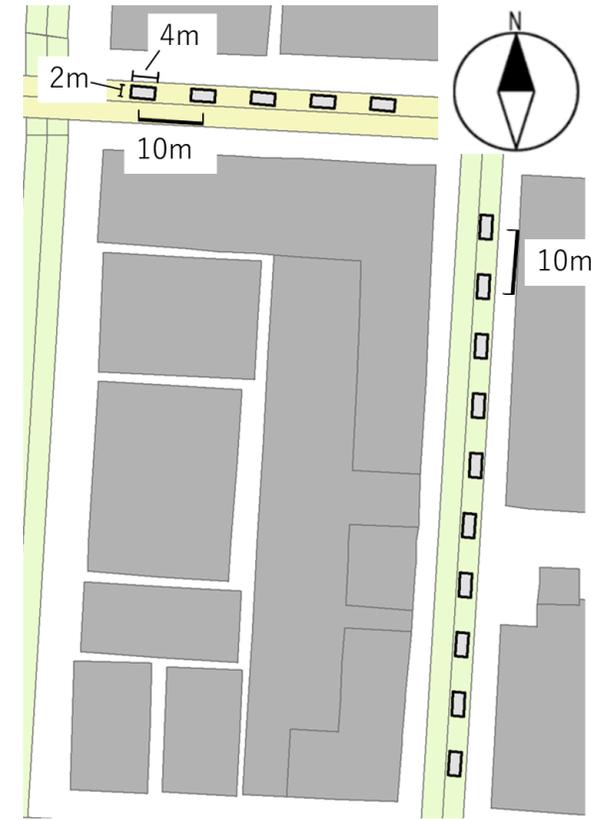
水盤には一定温度32°Cで給水されると仮定

■ ~26.5
 ■ ~27.5
 ■ ~29.5
 ■ ~31.5
 ■ ~32.5
 ■ ~40.0

日除けの効果（東西道路車道）



南側車線も同様の傾向

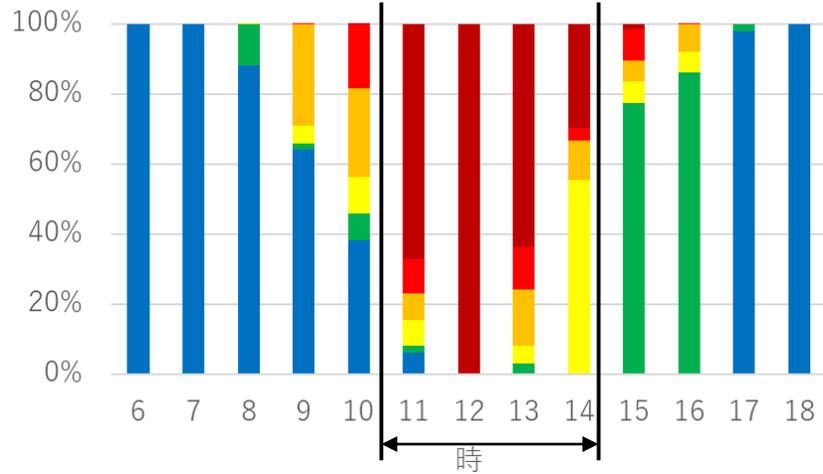


- ・車線幅3.5mに対して、日除けの幅2m
- ・日除けの長手方向（4m）を車線に沿って車線の中央に設置
- ・日除け間の距離は10m
- ・車線に占める日除け面積の割合は23%

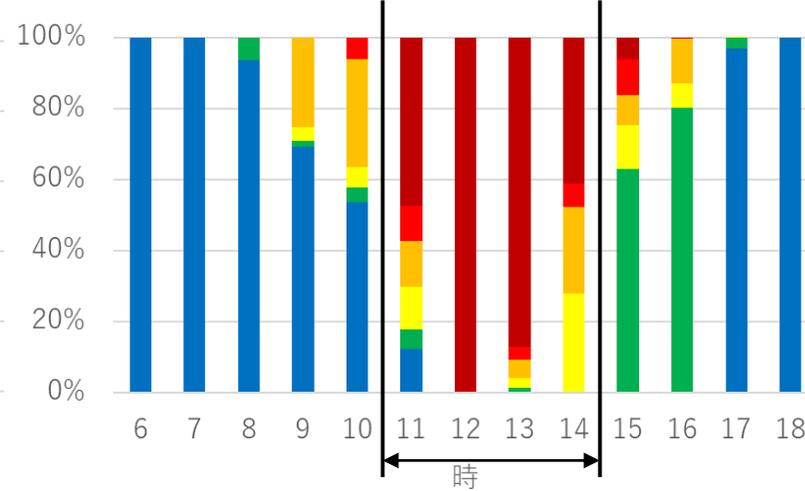
■ ~26.5 ■ ~27.5 ■ ~29.5 ■ ~31.5 ■ ~32.5 ■ ~40.0

日除けの効果 (南北道路車道)

日除けなし 西側車道(2車線の南北道路)

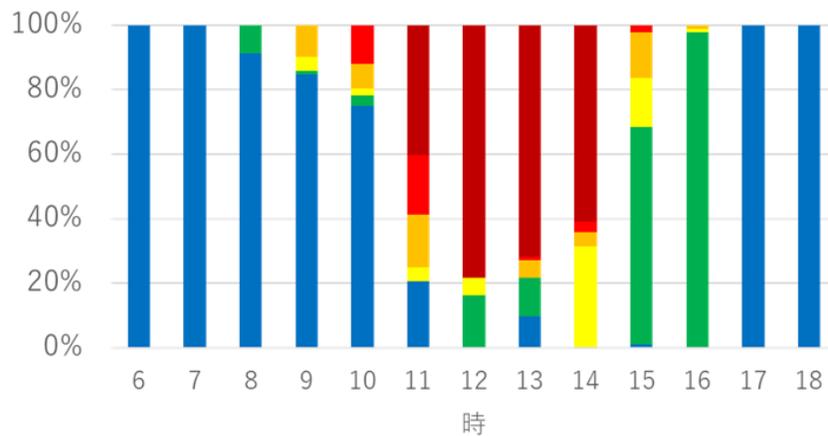


東側車道(2車線の南北道路)

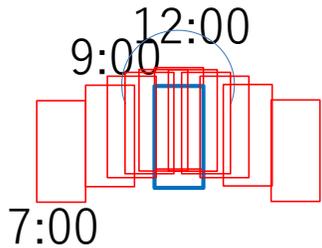
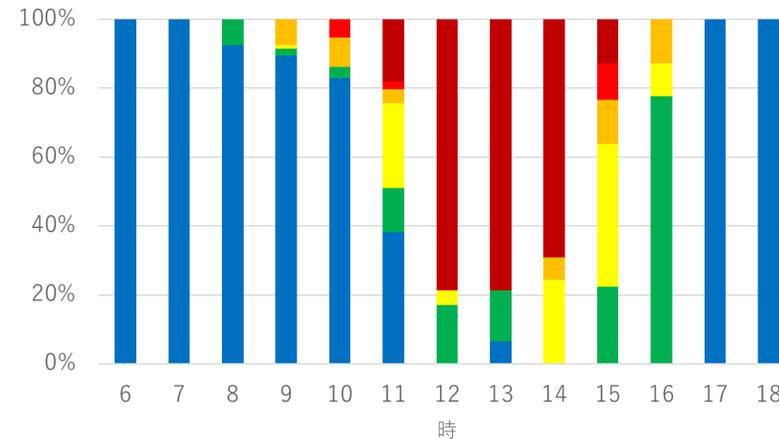


日除けあり

西側車線(南北道路)



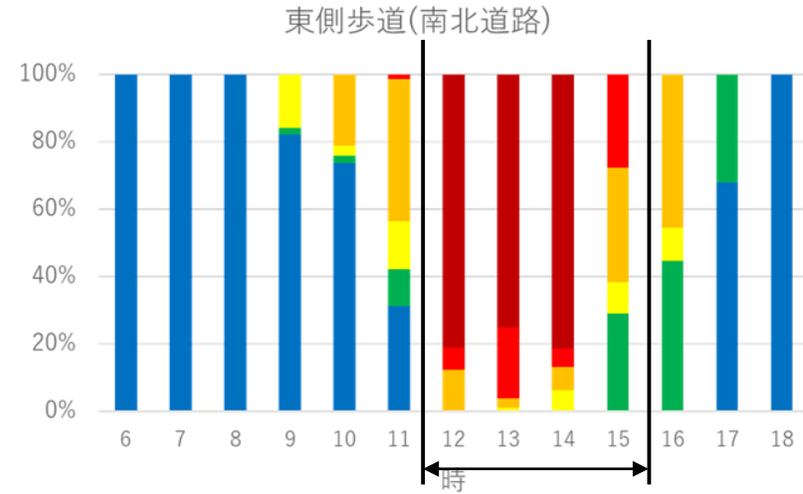
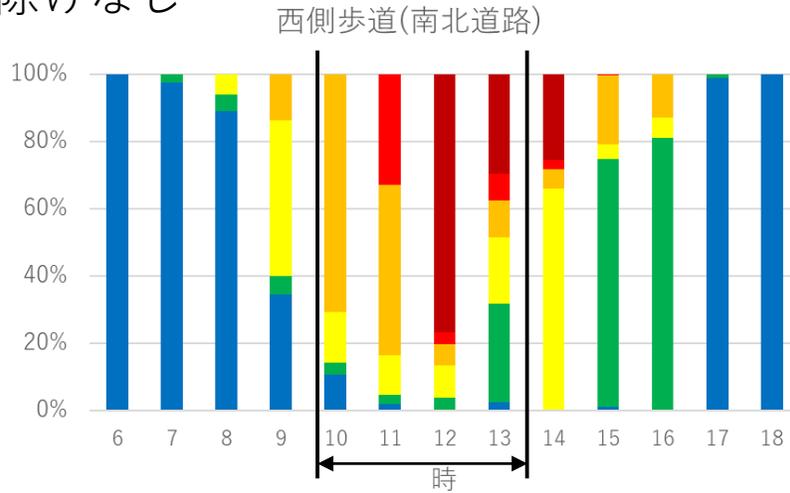
東側車線(南北道路)



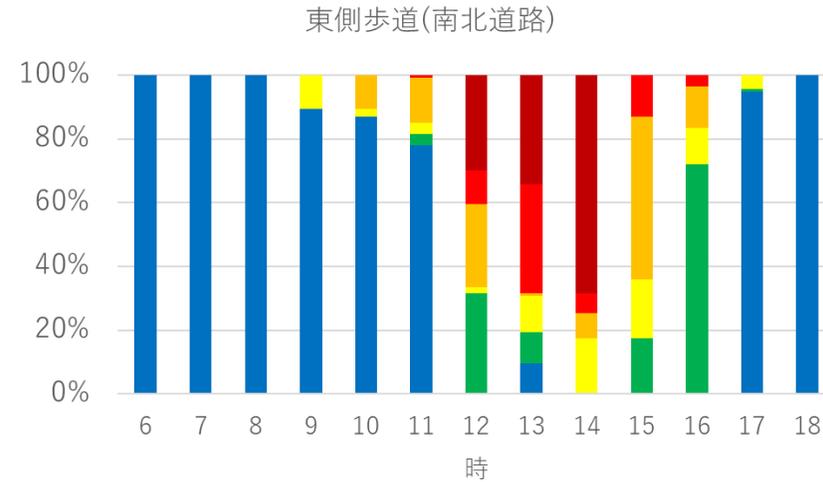
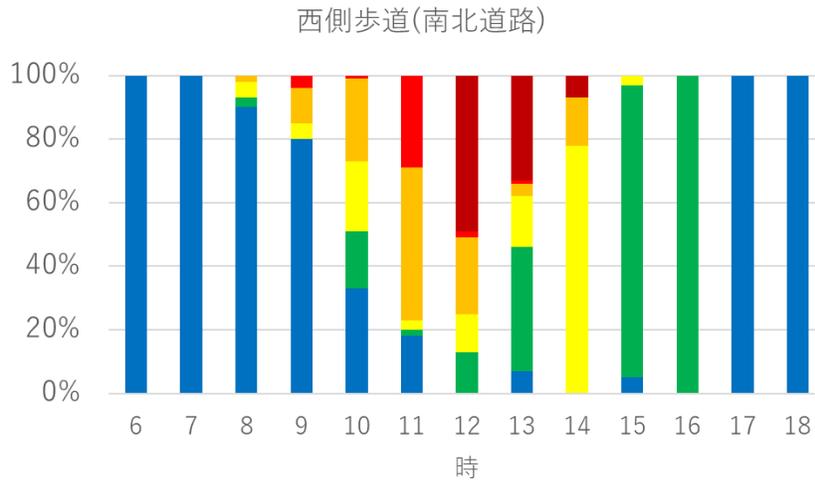
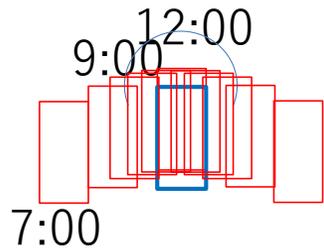
■ ~26.5
 ■ ~27.5
 ■ ~29.5
 ■ ~31.5
 ■ ~32.5
 ■ ~40.0

日除けの効果 (南北道路歩道)

日除けなし



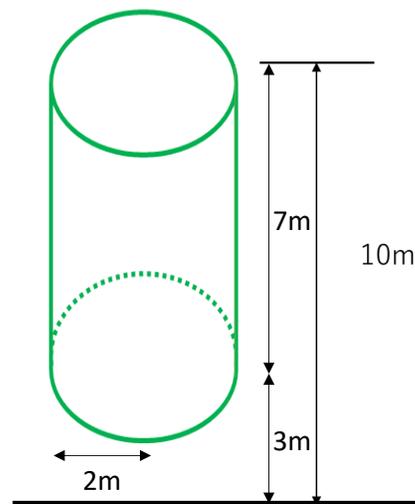
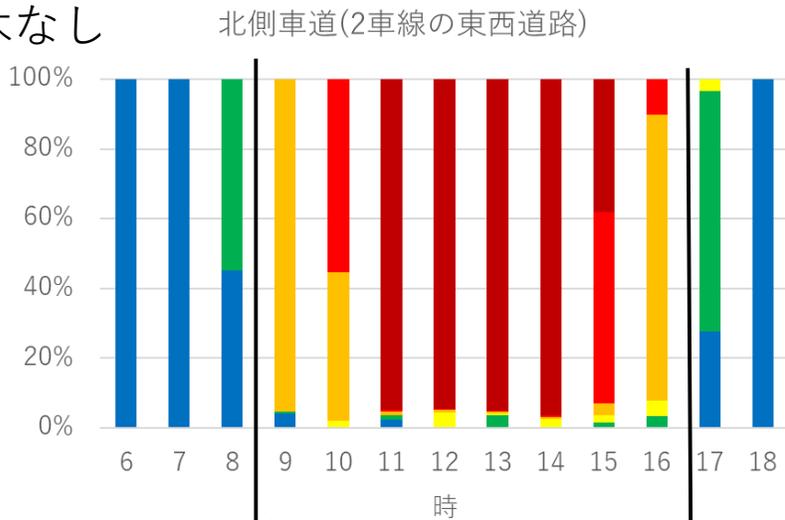
日除けあり



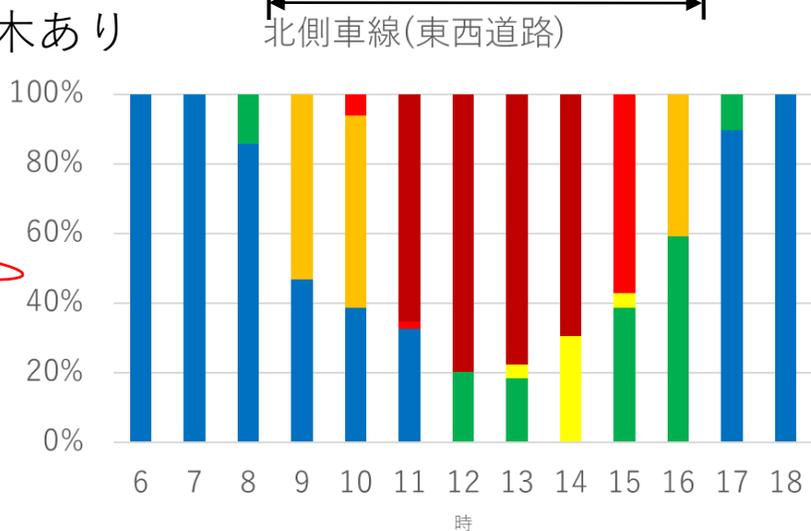
■ ~26.5 ■ ~27.5 ■ ~29.5 ■ ~31.5 ■ ~32.5 ■ ~40.0

樹木の効果 (東西道路車道)

樹木なし

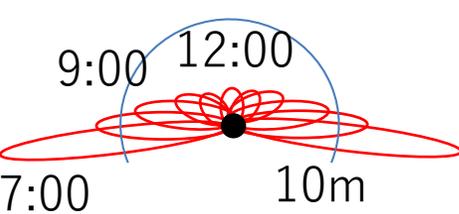


樹木あり



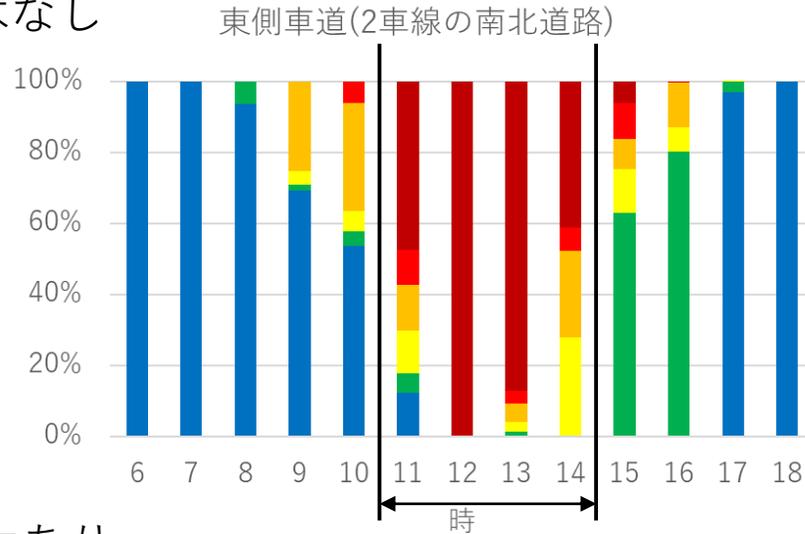
- ・ 半径2m、高さ7mの円柱形の樹冠が、地表面より3m~10mに位置すると設定
- ・ 15m間隔で設置
- ・ 車線に占める樹冠面積の割合は23%

南側車線も同様の傾向

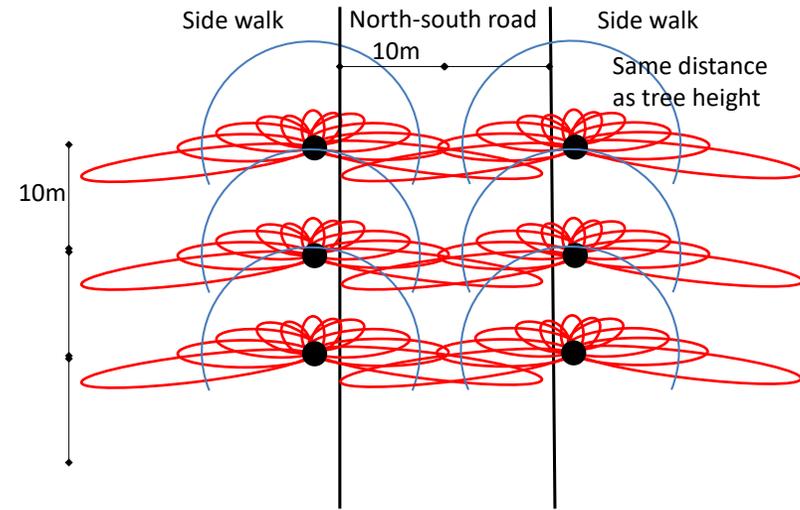
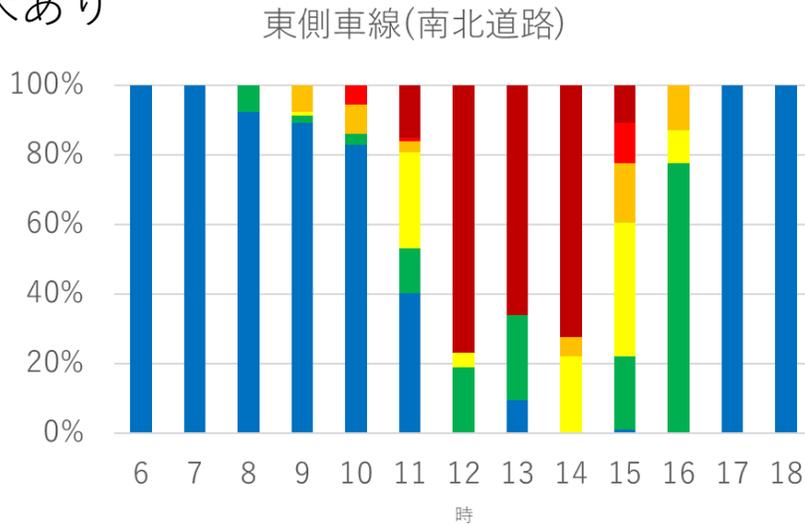


樹木の効果 (南北道路車道)

樹木なし



樹木あり



西側車線も同様の傾向

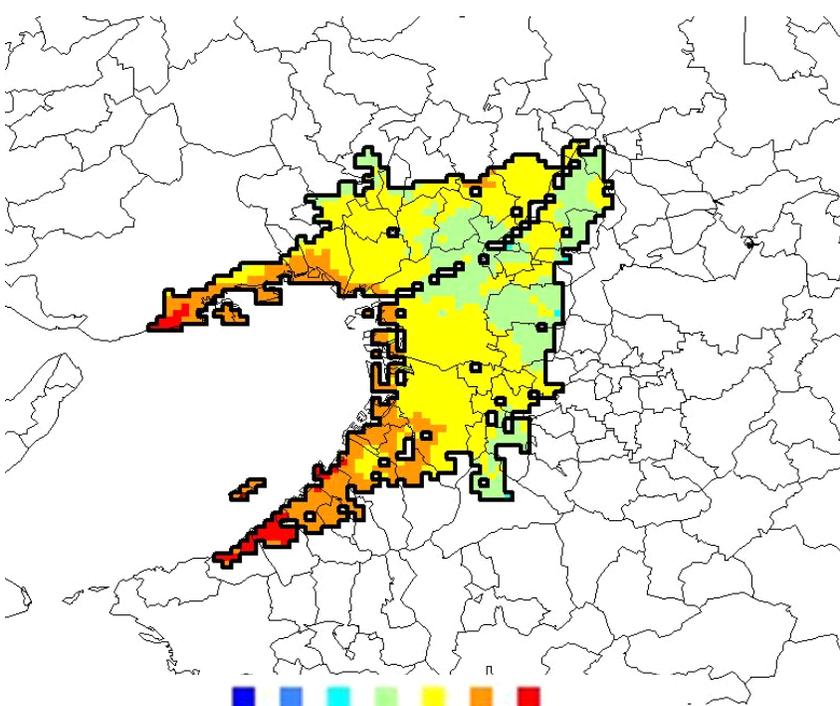


まとめ

- 連続的に給水され水盤の表面温度が低温に保たれると想定すると、散水より大きな効果が期待できる。（生田川湧水利用）
- 東西道路に日除け，樹木を導入すると，終日導入車線に効果が期待できる。
- 南北道路に日除け，樹木を導入すると，導入車線への効果は正午前後に限定されるが，対策の必要性も正午前後のため有効である。

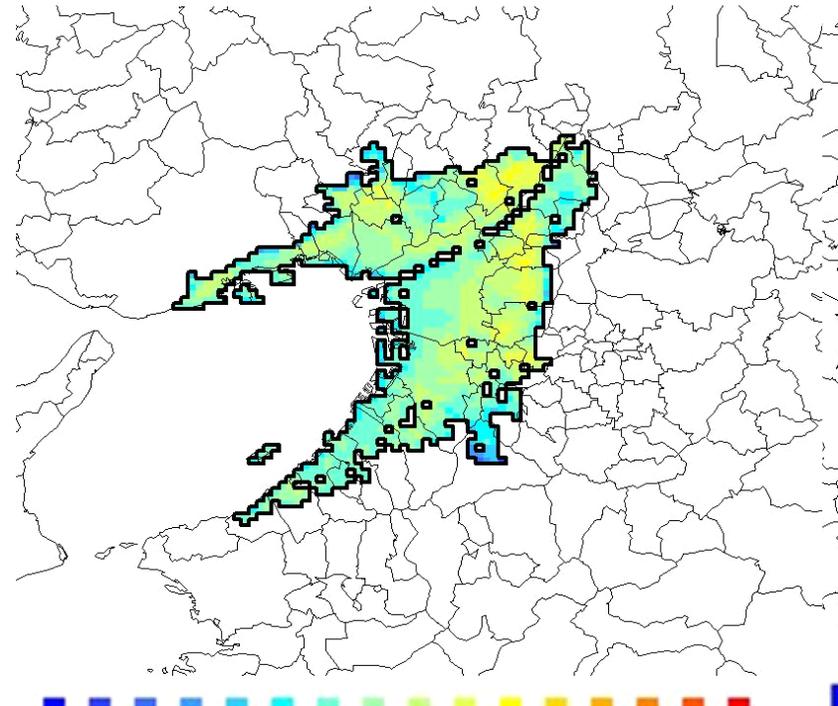
(以降はディスカッションのための補足資料です)

典型的な夏期海風日 14時の エンタルピー， WBGT， SET*分布 (1kmメッシュ)



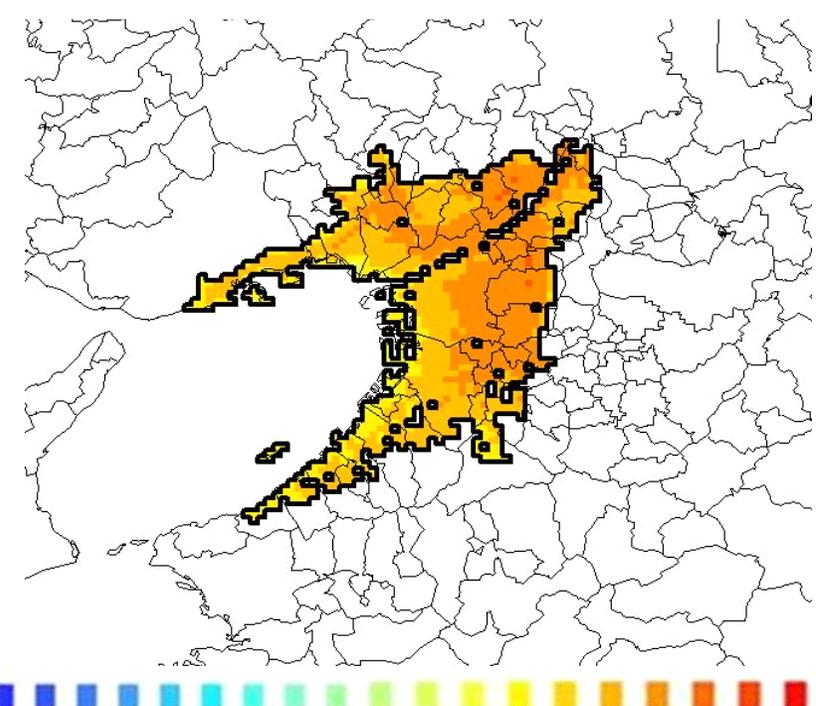
~74 79~(kJ)

エンタルピー (気温, 湿度) :
海岸付近が若干高い



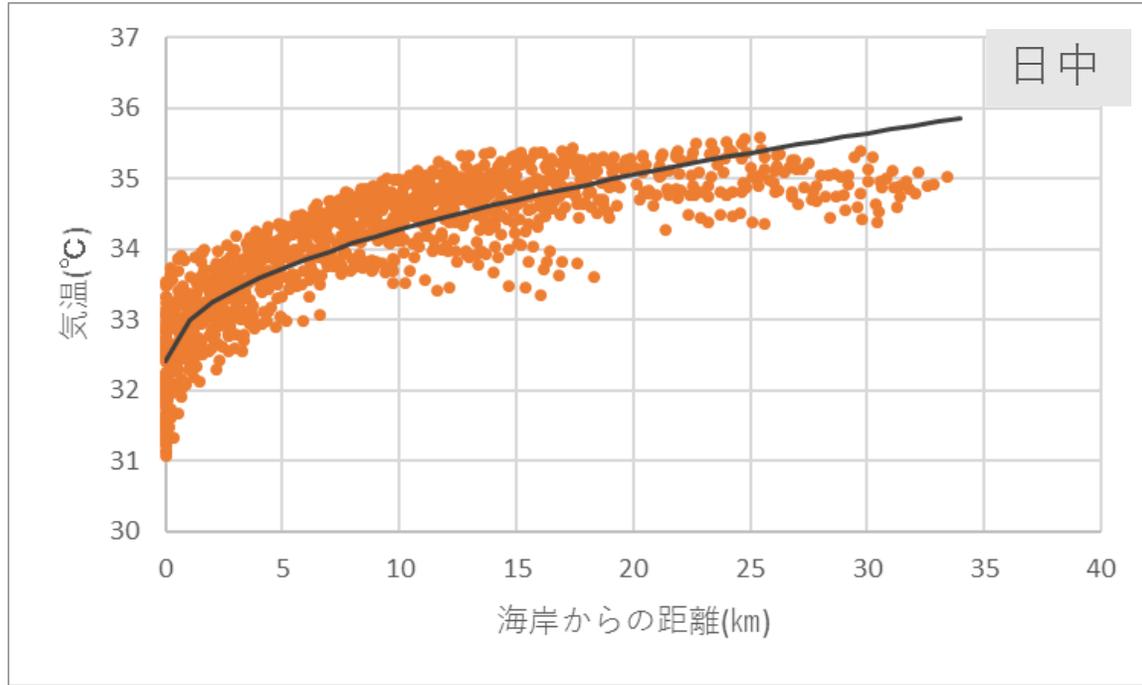
28.9 29.5 30.3~ 30

WBGT, SET* (気温, 湿度, 風速, 放射 (一様)) :
内陸側が若干高い



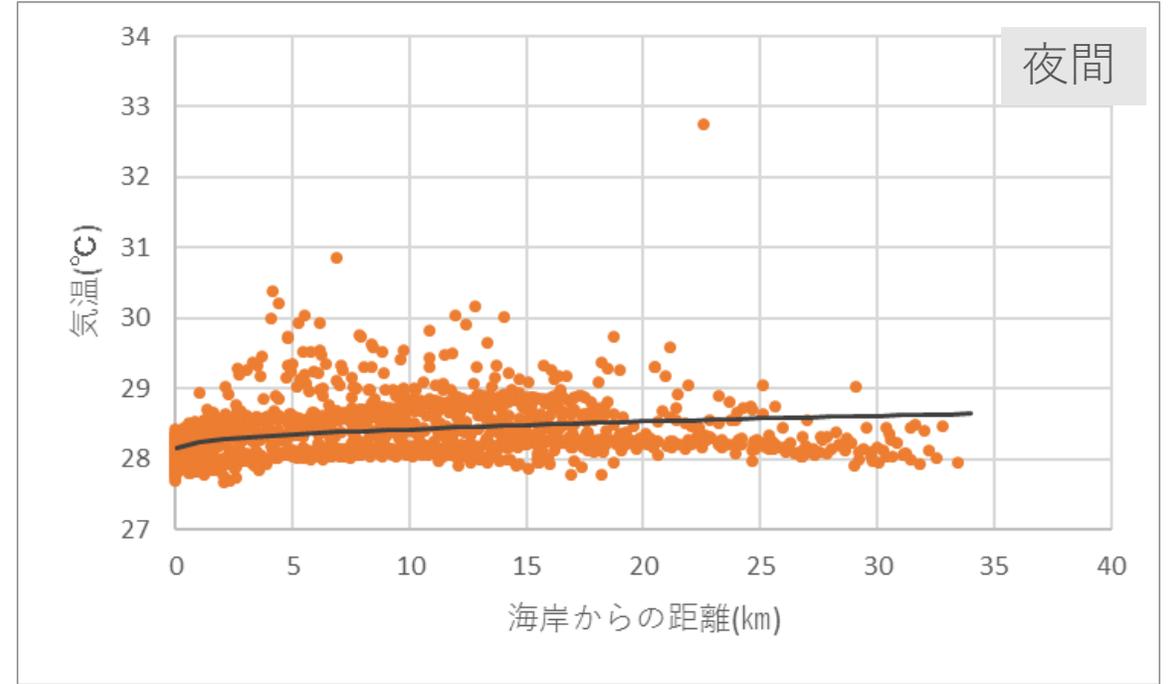
35 39

海岸からの距離と気温の関係（メソスケールの計算結果より）



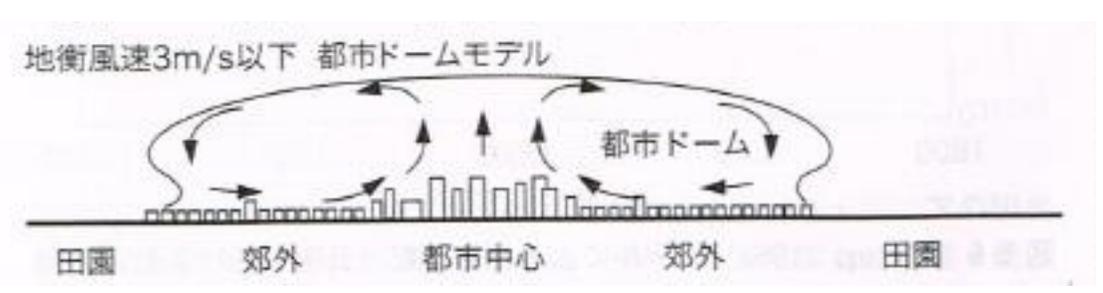
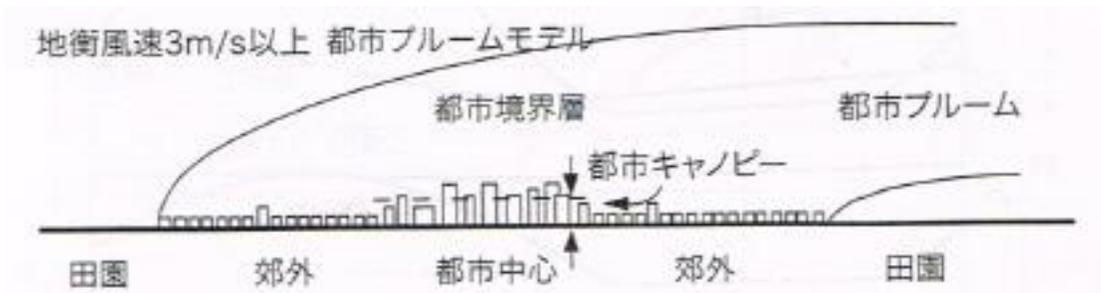
大阪 15時 晴天海風日平均

海岸からの距離に応じた気温分布



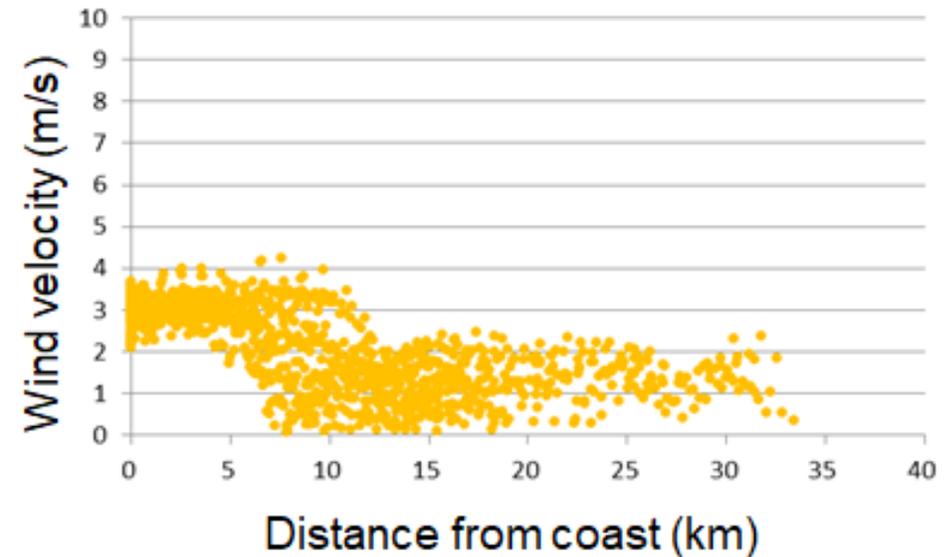
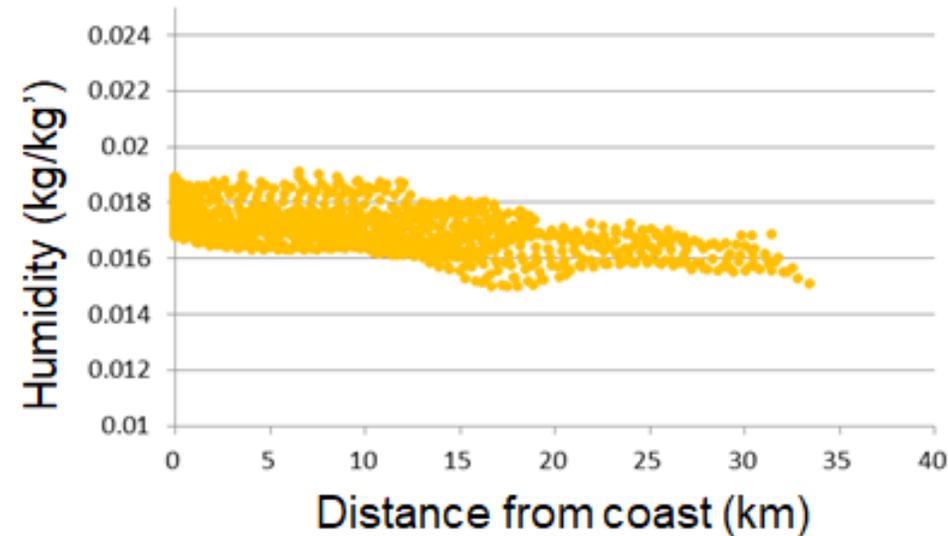
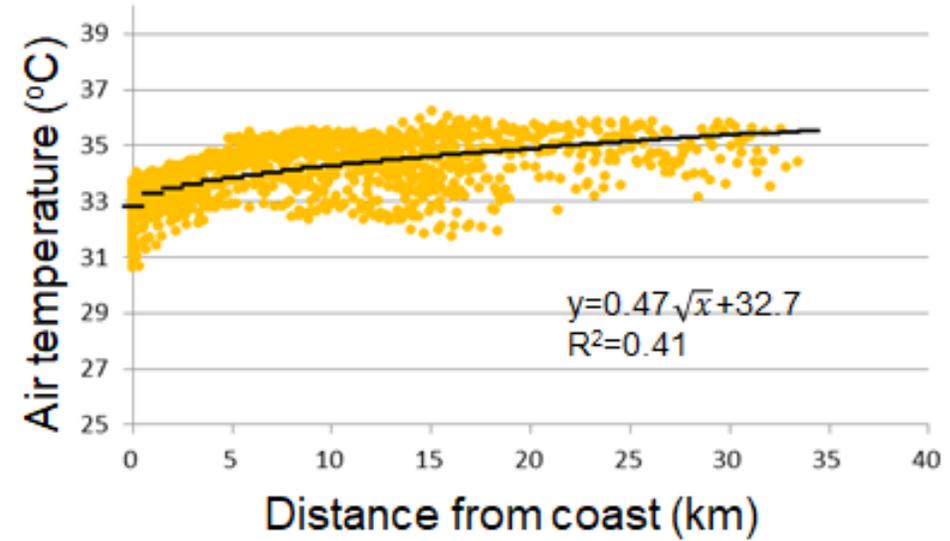
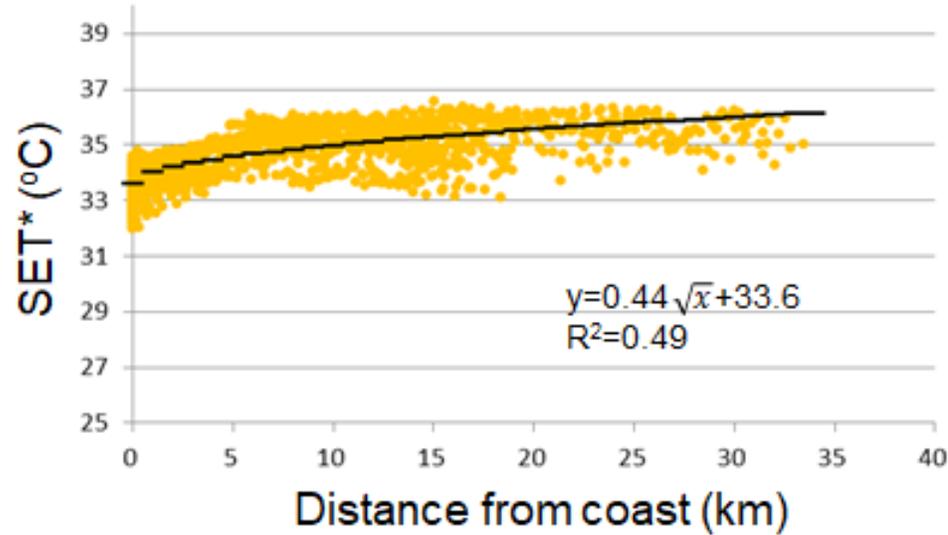
大阪 3時 晴天海風日平均

ほぼ一様な気温分布



都市ブルームモデルと都市ドームモデル（Gyr and Rysによる）

夏期海風晴天日14時の海岸からの距離とSET*, 気温, 湿度, 風速 (大阪地域)



H. Takebayashi, Effects of air temperature, humidity, and wind velocity distribution on indoor cooling load and outdoor human thermal environment at urban scale, Energy & Buildings, 257, 2022.2