

アスリート・観客にやさしい道づくりに向けた提言

参考資料

・大会開催概要

- 《オリンピック》 開催期間：2020年7月24日（金）～ 8月9日（日）（24日は開会式）
競技数：33競技
参加実績：205国と地域、それに難民五輪選手団、11,000選手
（2016年リオデジャネイロ大会の例）
- 《パラリンピック》 開催期間：2020年8月25日（火）～ 9月6日（日）
競技数：22競技
参加実績：159国と地域、それに難民五輪選手団、4,400選手
（2020年東京大会の例）



・公道を使用する競技と競技日程

<オリンピック>

陸上競技(マラソン)	男子、女子:42.195km	男子:8月 9日(日) 7:30~11:00 女子:8月 2日(日) 7:30~11:30
陸上競技(競歩)	男子:20km 男子:50km 女子:20km	男子:8月 1日(土) 9:00~13:15 男子:8月 7日(金) 7:30~15:00 女子:8月 6日(木) 9:00~13:30
自転車(ロード)	男子:276km 女子:139km	男子:7月25日(土) 11:00~17:15 女子:7月26日(日) 13:00~17:15
自転車(タイムトライアル)	男子:45km 女子:30km	男子:7月29日(水) 13:15~15:30 女子:7月29日(水) 11:30~13:00
トライアスロン(バイク/ラン)	男子、女子:40km/10km	男子:8月 4日(火) 10:00~12:30 女子:8月 3日(月) 10:00~12:40

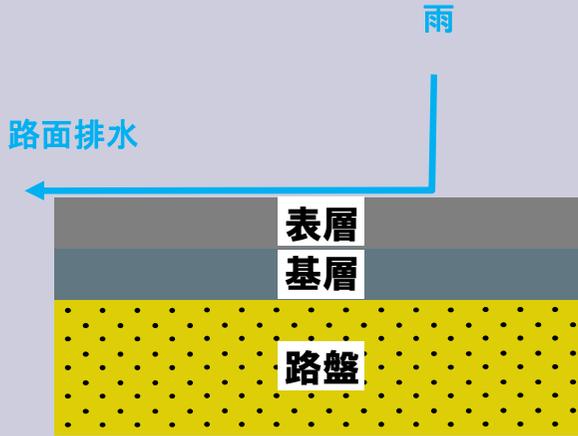
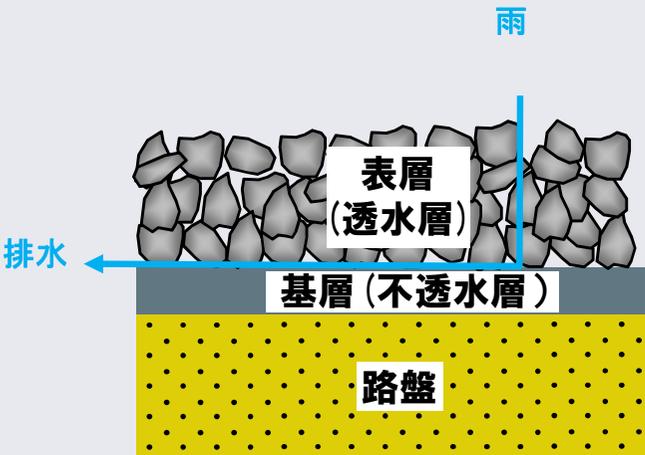
<パラリンピック>

陸上競技(車椅子マラソン/ 盲人マラソン)	男子、女子:42.195km	9月6日(日)
自転車(ロード)	男子、女子、男女混合:障害の程度による	9月2日(水)~5日(土)
自転車(タイムトライアル)	男子、女子、男女混合:障害の程度による	9月2日(水)~5日(土)
自転車(チームリレー)	男女混合:障害の程度による	9月2日(水)~5日(土)
トライアスロン(バイク/ラン)	男子、女子:20km/5km	8月29日(土)~30日(日)

○路面温度上昇抑制機能を有する舗装には、主なものとして、保水性舗装と遮熱性舗装がある。

	概要	イメージ図	施工方法
<p>保水性舗装</p>	<p>舗装の空隙に 保水材を充填し、それに吸収された水が蒸発散する際の気化熱によって路面温度を低減する舗装</p>		<p>振動ローラによる保水材注入</p>
<p>遮熱性舗装</p>	<p>表面で赤外線を反射させて路面温度の上昇を抑制する舗装</p>		<p>遮熱材の吹き付け</p>

○その他の代表的な舗装として、密粒舗装（一般的な舗装）、排水性舗装が挙げられる。

	概要	イメージ図
(一般的な舗装) 密粒舗装	水密性が高く、雨水は路面上を流れて排水される。 交差点付近は密粒舗装で施工。	 <p>雨</p> <p>路面排水</p> <p>表層</p> <p>基層</p> <p>路盤</p>
排水性舗装	空隙率が大きい透水層を通りぬけた雨水が不透水性の層の上を流れることで、車の雨天走行時の安全性向上と、道路交通騒音減少の効果をもつ舗装。	 <p>雨</p> <p>排水</p> <p>表層 (透水層)</p> <p>基層 (不透水層)</p> <p>路盤</p>

・国道246号において舗装を施工し、路面温度の上昇を抑制する機能の検証及び競技の際のアスリート等の走りやすさの検証に活用するための基礎データを収集した。

路面温度上昇抑制機能検証

【H27.7.15～9.27の間、連続調査】

- 1) 路面温度: 舗装表面から1cm下で連続計測
- 2) WBGT : 気温、湿度と黒球温度から算出
- 3) 気象状況: 日射量、降水量、気温・湿度、風向・風力

【H27.8.1、散水実験実施】

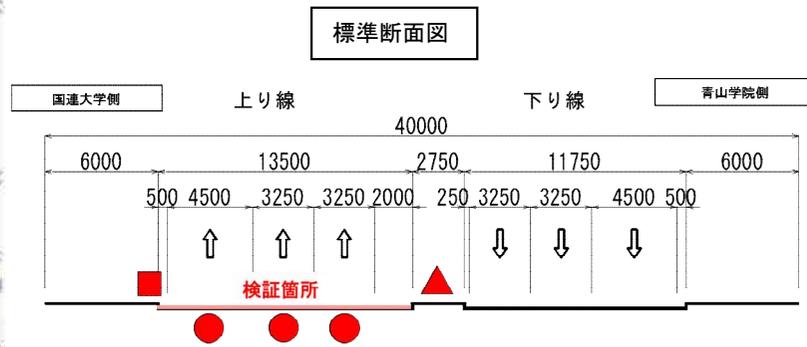
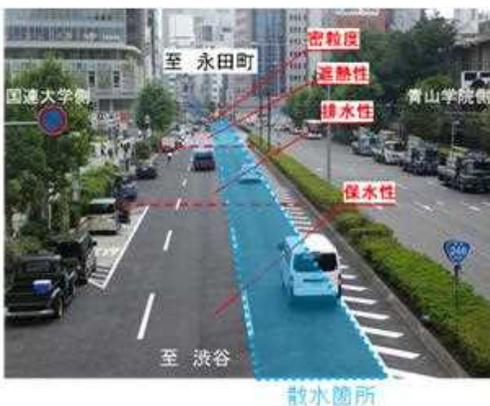
- 1) 7～10時台に計5mm散水
- 2) 13時台に1mmを散水

競技の際にアスリート等の走りやすさの検証に活用するための基礎データ

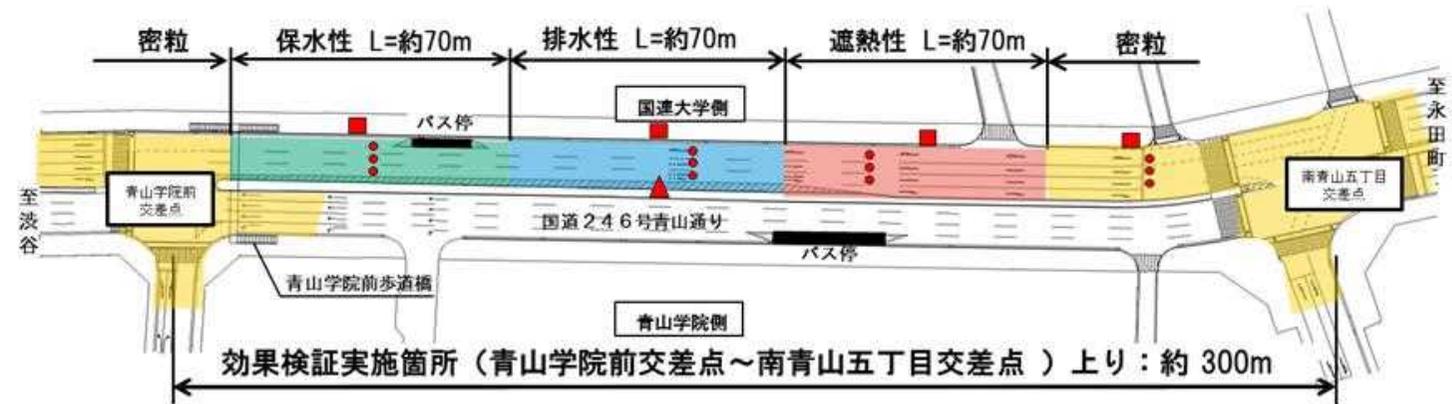
【施工時に測定】

- 1) まぶしさ : 色彩色度計から明度を測定
- 2) 滑り抵抗 : 測定器により動的摩擦係数を測定
- 3) 平坦性 : 路面性状測定車による測定
- 4) 透水性 : 現場透水試験による測定

参考—5



▲	: 気象観測 (日射量、降水量、気温・湿度、風向・風力)
●	: 路面温度
■	: WBGT



各舗装の路面温度上昇抑制効果 (国道246号)

晴天・曇天・雨天の代表的な一日の例

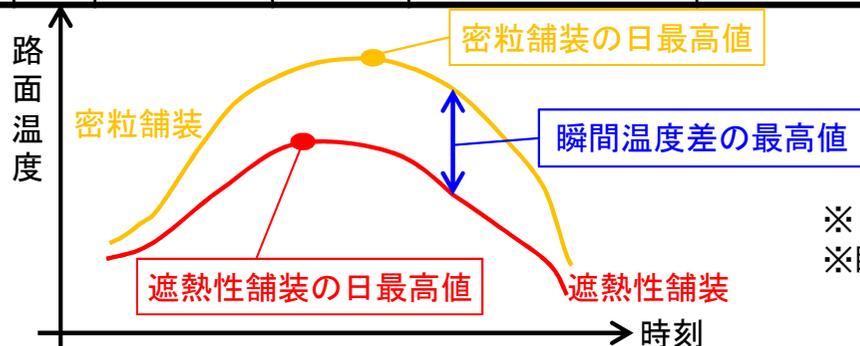
天気	散水	年月日	路面温度			参考
			密粒舗装	遮熱性舗装	保水性舗装	
晴天	-	平成27年 7月22日	日最高値 57.4℃	日最高値 47.9℃ 瞬間温度差の最高値 9.8℃	日最高値 54.1℃ 瞬間温度差の最高値 4.3℃	7月18日以 降連続4日 降雨無し
			7時半 35.4℃ 10時 49.4℃	34.3℃(密粒との差1.1℃) 42.9℃(密粒との差6.6℃)	35.6℃(密粒との差-0.2℃) 46.7℃(密粒との差2.8℃)	
	○	平成27年 8月1日	日最高値 53.8℃	日最高値 46.2℃ 瞬間温度差の最高値 7.6℃	日最高値 45.3℃ 瞬間温度差の最高値 9.3℃	7月26日以 降連続6日 降雨無し
曇天	-	平成27年 7月29日	日最高値 43.7℃	日最高値 40.0℃ 瞬間温度差の最高値 4.4℃	日最高値 42.2℃ 瞬間温度差の最高値 2.8℃	7月26日以 降連続3日 降雨無し
			7時半 37.7℃ 10時 39.5℃	36.0℃(密粒との差1.7℃) 37.0℃(密粒との差2.5℃)	36.8℃(密粒との差0.9℃) 38.2℃(密粒との差1.3℃)	
雨天	-	平成27年 7月16日		有意な差は見られなかった		

P参考-7

P参考-8

P参考-9

P参考-10



※日最高値: 一日のうちで、最も路面温度が高くなった時の値
 ※瞬間温度差の最高値: 一日のうちで、「遮熱性舗装又は保水性舗装」と「密粒舗装」の路面温度の差が最も大きくなった時の値

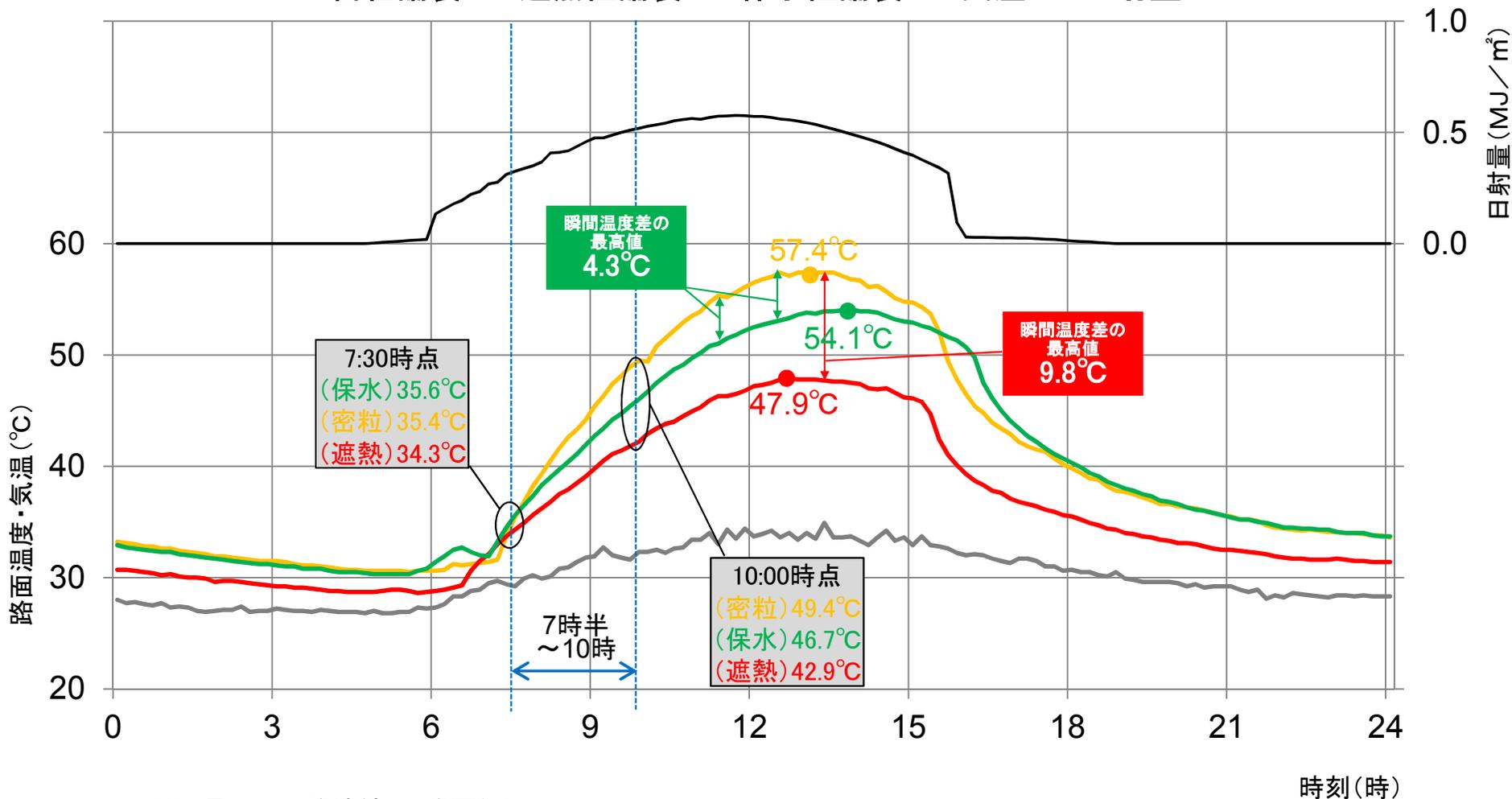
比較している温度のイメージ(遮熱性舗装の場合)

各舗装の路面温度上昇抑制効果(晴天時・散水なし)

・「晴天時・散水なし」の場合は、遮熱性舗装の効果が保水性舗装より大きい。

【晴天時の路面温度変化の例】平成27年7月22日国道246号(第3通行帯)

密粒舗装 遮熱性舗装 保水性舗装 気温 日射量



※ 7月18日以降連続4日降雨無し

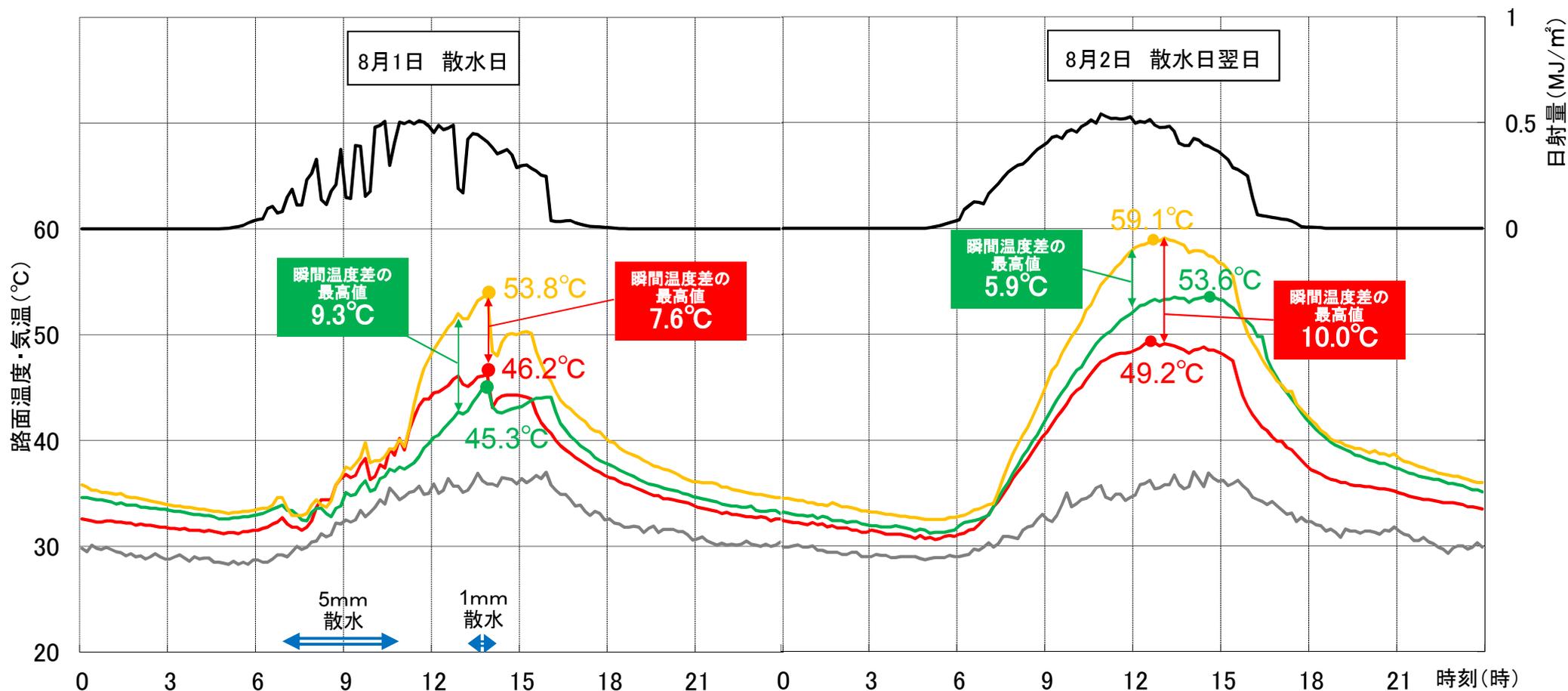
各舗装の路面温度上昇抑制効果(晴天時・散水あり)

- ・散水を行った場合は、保水性舗装の効果が遮熱性舗装より大きい。
- ・散水の効果は長続きせず、継続的な効果発現には、継続的な散水が必要となる。

【晴天時・散水ありの路面温度変化の例】平成27年8月1日～2日国道246号(第3通行帯)

— 密粒舗装 — 遮熱性舗装 — 保水性舗装 — 気温 — 日射量

参考—8

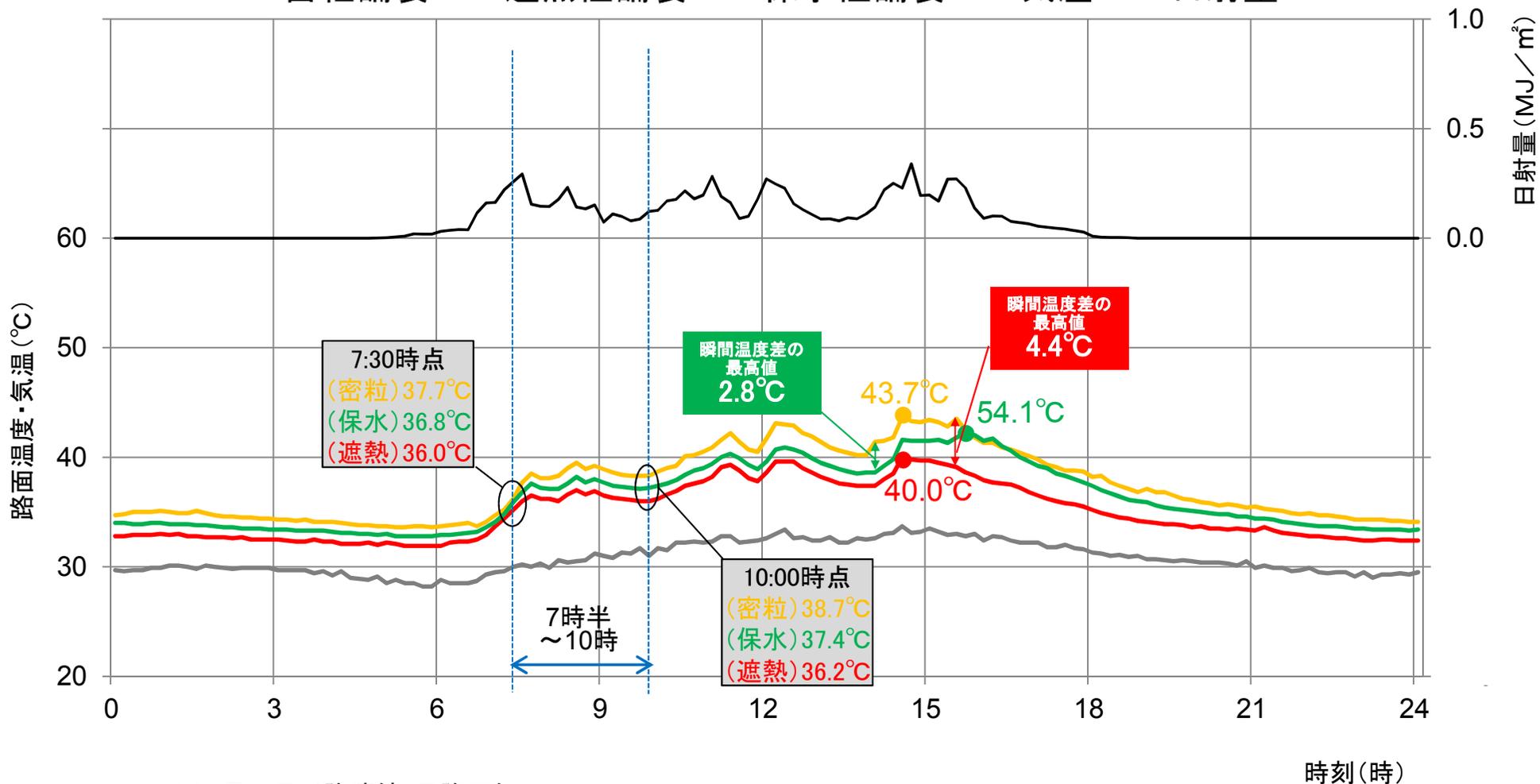


各舗装の路面温度上昇抑制効果(曇天時)

・曇天の場合、各舗装の温度上昇抑制効果は晴天時より小さくなる。

【曇天時の路面温度変化の例】平成27年7月29日国道246号(第3通行帯)

— 密粒舗装 — 遮熱性舗装 — 保水性舗装 — 気温 — 日射量



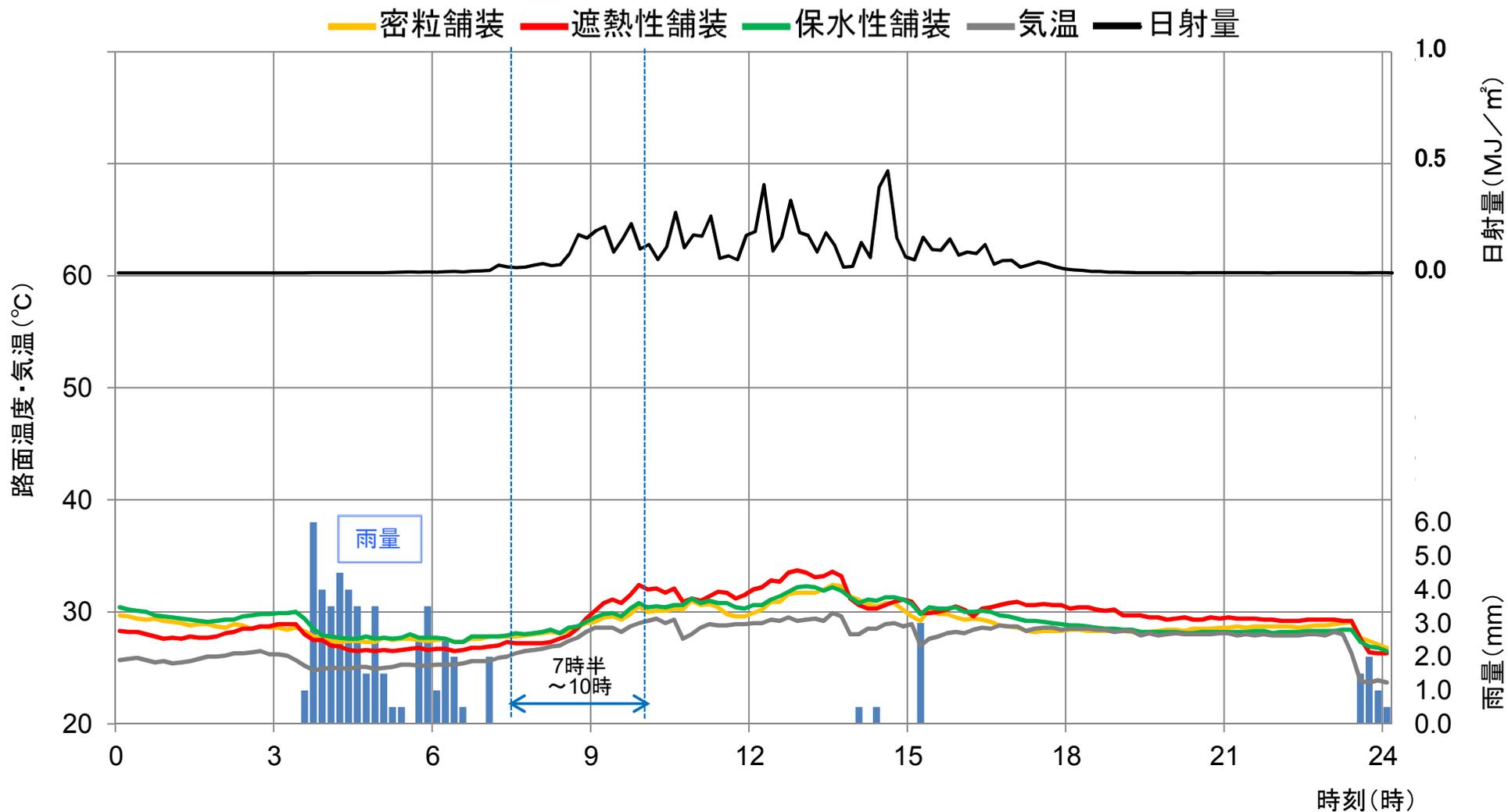
※ 7月26日以降連続3日降雨無し

参考一9

各舗装の路面温度上昇抑制効果(雨天時)

・雨天時では、遮熱性舗装、保水性舗装の有意な差は見られなかった。

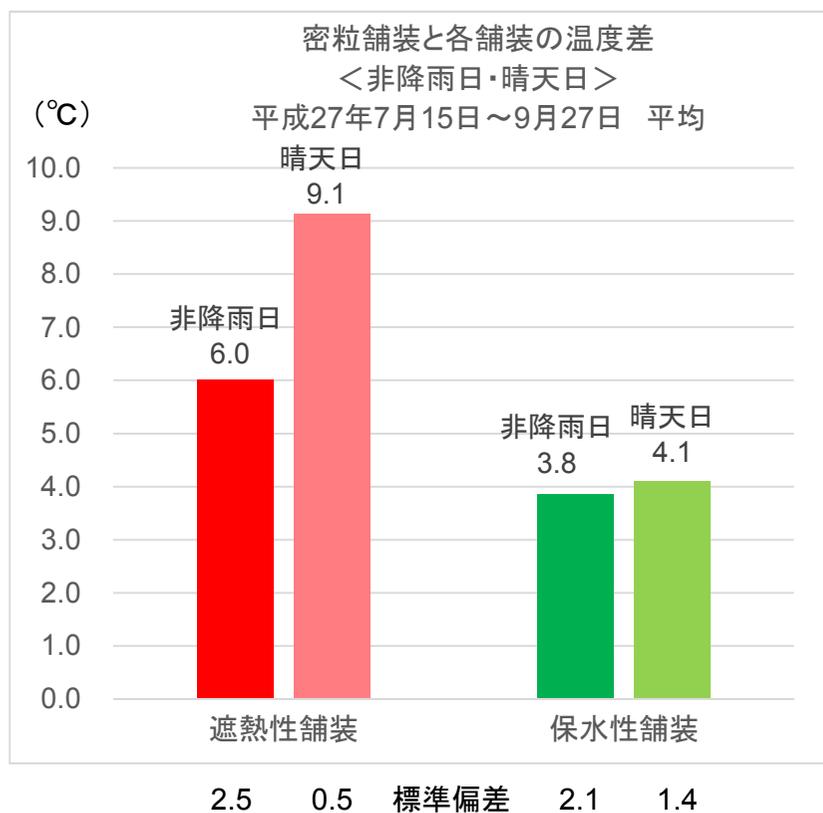
【雨天時の路面温度変化の例】平成27年7月16日国道246号(第3通行帯)



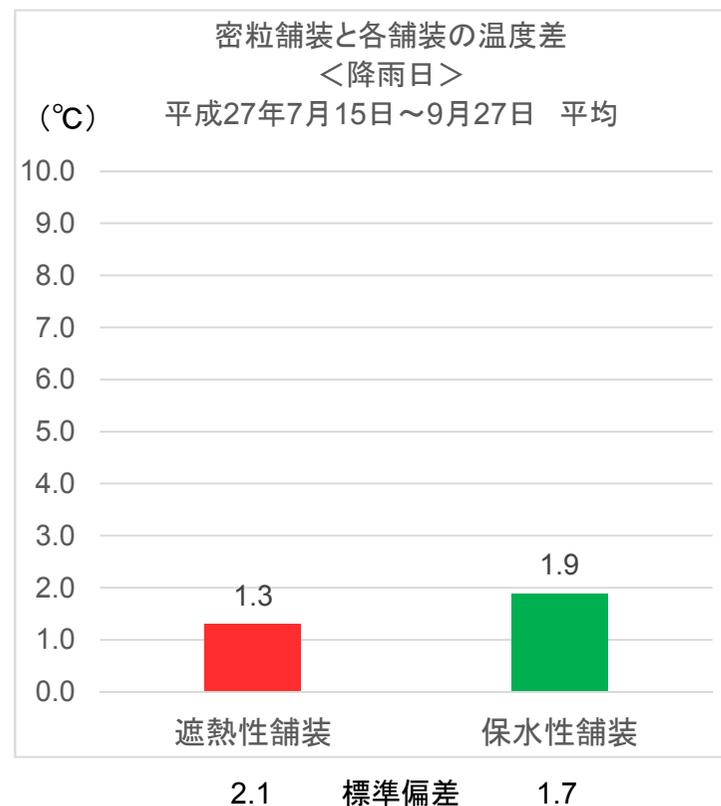
各舗装の路面温度上昇抑制効果(期間中総括)

- ・非降雨日及び晴天日で平均値を比較すると、遮熱性舗装の効果が保水性舗装より大きい。
- ・降雨日で平均値を比較すると、わずかに保水性舗装の効果が遮熱性舗装より大きくなるが、その値はいずれも小さく、差も小さい。

＜非降雨日(49日)・晴天日(7日)＞ 国道246号 (第3通行帯)



＜降雨日(26日)＞ 国道246号 (第3通行帯)



※非降雨日:終日晴れまたは曇天、晴天日:1日の日射時間が9時間以上、降雨日:降雨(散水含む)が認められた日

※温度差:一日のうちで、「遮熱性舗装又は保水性舗装」と「密粒舗装」の路面温度の差が最も大きくなった時の値

※標準偏差:各データが平均値からどれだけ離れているかを平均的に表した数値

暑さ指数(WBGT)とは

Wet Bulb Globe Temperatureの略称。人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温の3つを取り入れた指標で、乾球温度、湿球温度、黒球温度の値を使い計算。

暑さ指数(WBGT)の算出式

屋外での算出式

$$WBGT(^{\circ}C) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$$

今回使用している算出式

(湿球温度は湿度と乾球温度から算出)

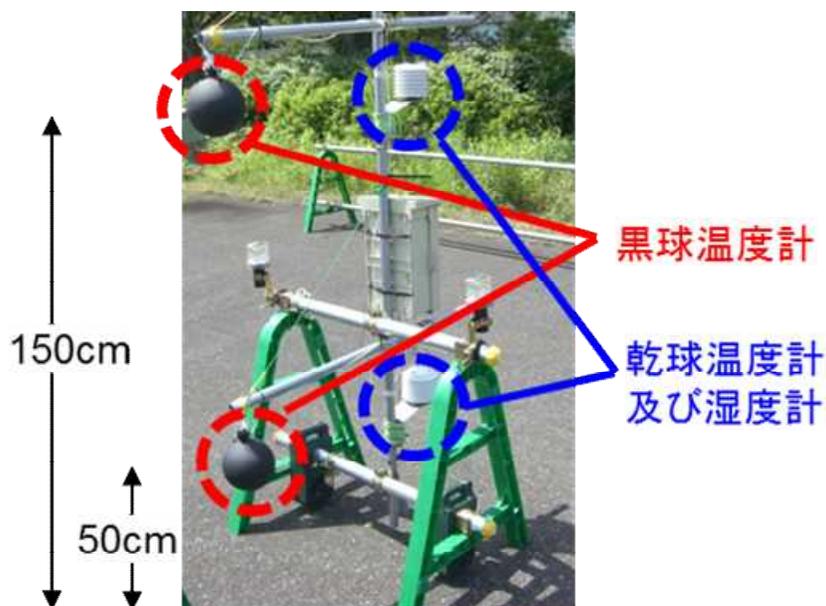
屋内での算出式

$$WBGT(^{\circ}C) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$$

運動に関する指針

WBGT	熱中症予防運動指針	
31°C以上	運動は原則禁止	WBGT温度が31度以上では、皮膚温より気温の方が高くなる。特別の場合以外は運動は中止する。
28~31°C	嚴重警戒(激しい運動は中止)	熱中症の危険が高いため激しい運動や持久走など熱負担の大きい運動は避ける。運動する場合には積極的に休息をとり水分補給を行う。体力低いもの、暑さに慣れていないものは運動中止。
25~28°C	警戒(積極的に休息)	熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり、水分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休息をとる。
21~25°C	注意(積極的に水分補給)	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに運動の合間に積極的に水を飲むようにする。
21°C未満	ほぼ安全(適宜水分補給)	通常は熱中症の危険性は小さいが、適宜水分の補給は必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

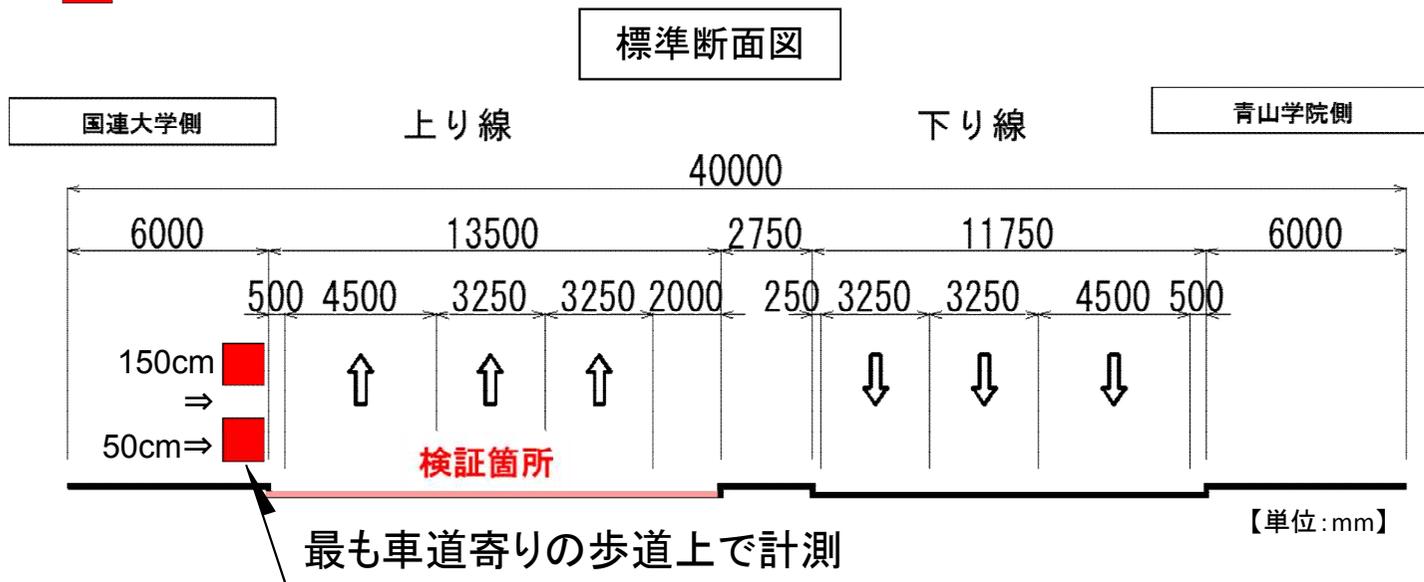
(環境省ホームページをもとに編集)



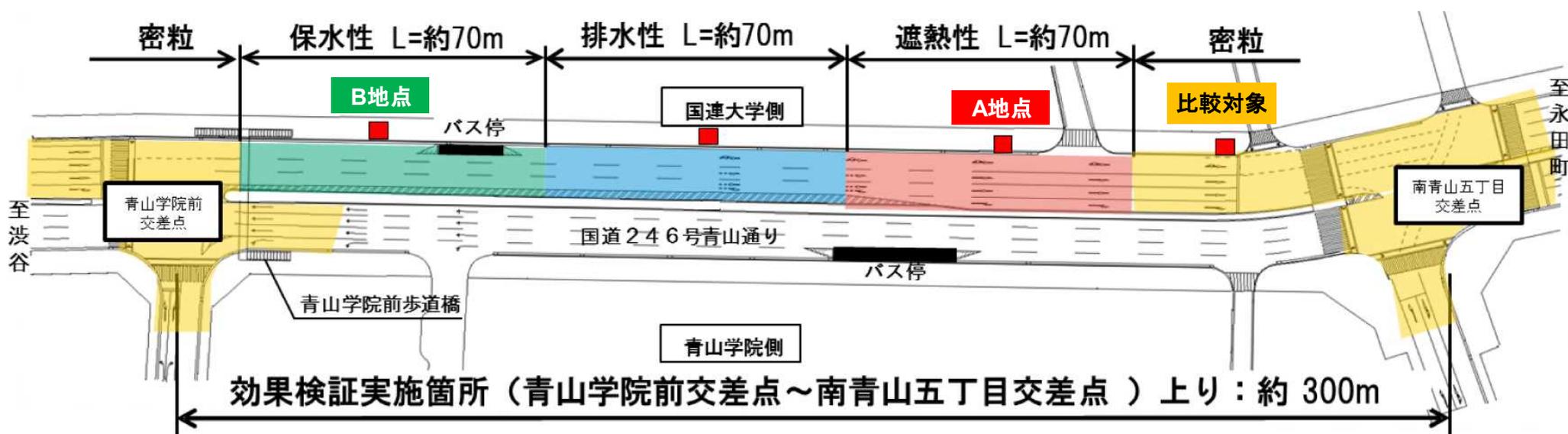
今回使用したWBGT測定装置

人体への影響(暑さ指数(WBGT))の計測箇所

■ : WGBT計測箇所



国道246号での実際の計測状況



人体への影響(暑さ指数(WBGT)の舗装による違い)

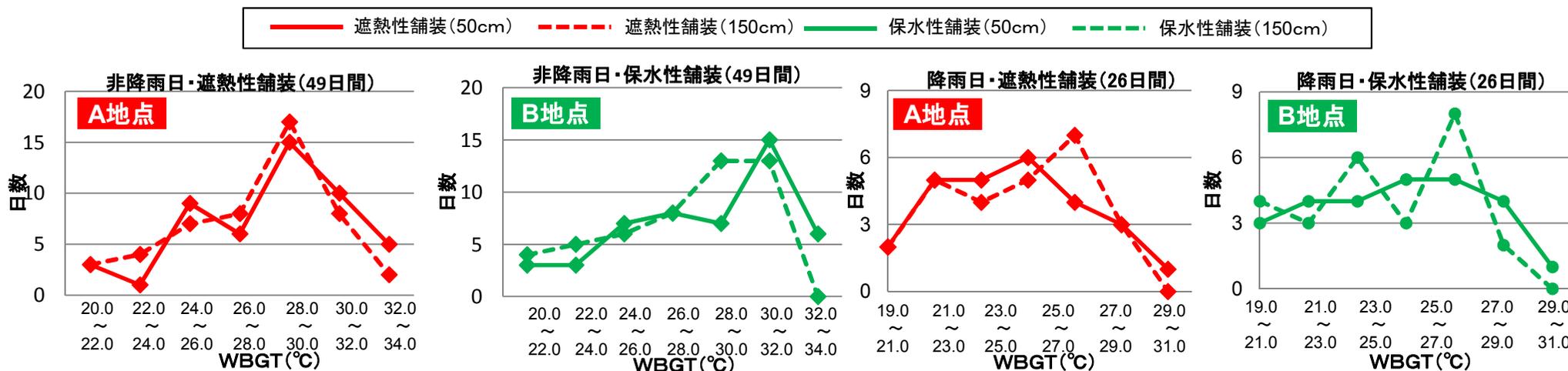
・WBGTを環境舗装(遮熱性・保水性)と密粒舗装とで比較すると、差分の大半が±1°C以内に分布しており、環境舗装と密粒舗装の間に有意な差は見られなかった。

	高さ	差分※の 平均値	標準 偏差	-1.0~1.0°Cでの データ集中度合い
A地点 遮熱性舗装 (密粒舗装のWBGT との差分の比較)	150cm	-0.10°C	0.50	97%
	50cm	0.21°C	0.53	94%
B地点 保水性舗装 (密粒舗装のWBGT との差分の比較)	150cm	0.13°C	0.78	88%
	50cm	0.12°C	0.78	89%

※差分: 密粒舗装のWBGTから遮熱性または保水性舗装のWBGTを引いたもの
※国道246号での計測期間中平均値

・非降雨日のWBGTは、路面から50cm地点では、150cm地点よりも高い傾向を示している。

日最高WBGTの分布

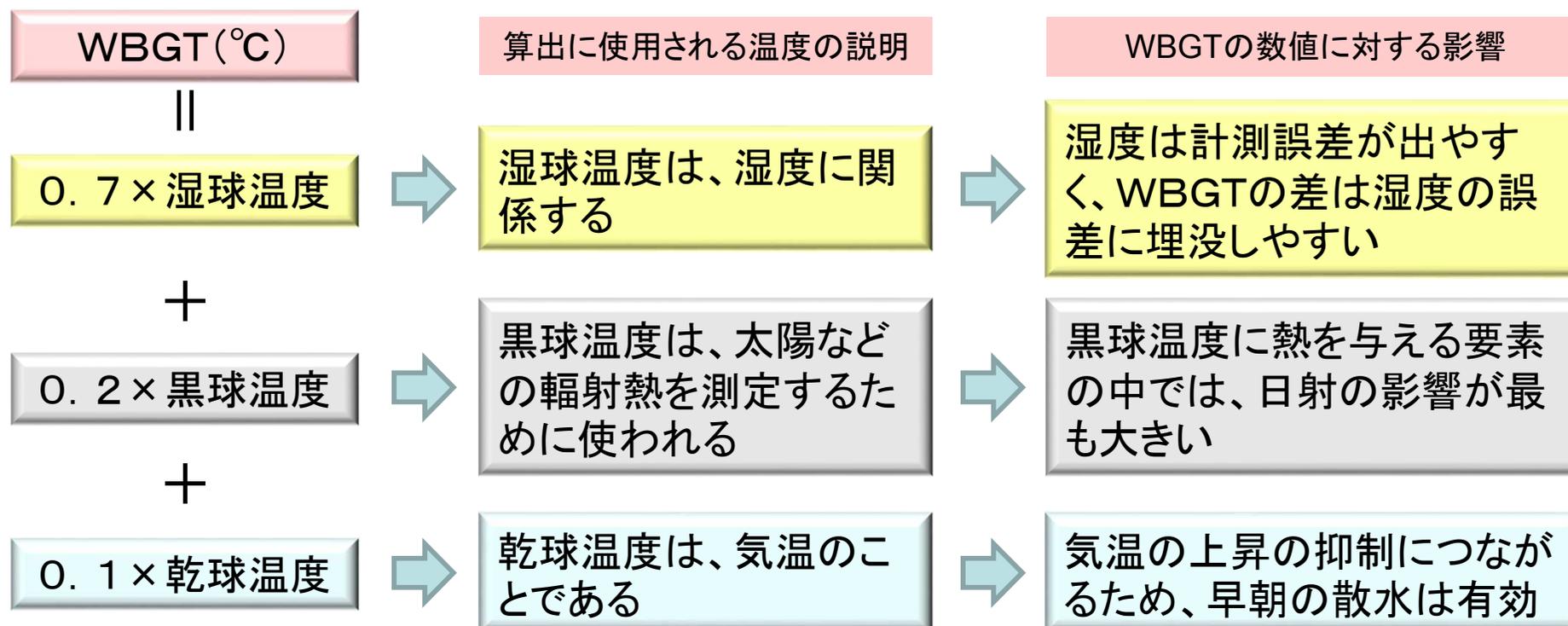


※7月15日~9月27日の各舗装のWBGTの最高温度を比較

舗装の種類ごとのWBGTには有意な差がみられないのは、次の理由が考えられる。

- ・計算式から見て分かるとおり、7割を占める湿球の差が大きく影響する。
- ・湿度は計測誤差が出やすく、複数のロットで湿度を測定する時は、丁寧に補正をしないと、WBGTの差は湿度の誤差に埋もれてしまう。
- ・また、WBGTは、月平均などの長期間の値で1℃下がれば効果は大きいと言えるが、瞬間値の1℃を評価して対策の効果とするのは、あまり意味がない。

【(一財)気象業務支援センター 気象予報士 登内道彦氏へのヒアリングに基づく】



・関東地方整備局関東技術事務所の試験フィールドを活用し、路面温度の低減が効果的に得られる散水量及びタイミング等の基礎データを収集した。

路面温度上昇抑制機能検証

【H27.7.15 ~9.27の間、連続調査】

- 1) 路面温度: 舗装表面から1cm下で連続計測
- 2) WBGT : 気温、湿度と黒球温度から算出
- 3) 気象状況: 日射量、降水量、気温・湿度、風向・風力、

【散水実験実施】

- ・9時散水: 1,5,10mmずつ散水(H27.7.27)
- ・19時散水: 1,5,10mmずつ散水(H27.8.5)
- ・14時散水: 1mmずつ散水(H28.8.5)

競技の際にアスリート等の走りやすさの検証に活用するための基礎データ

【舗装性能検証】

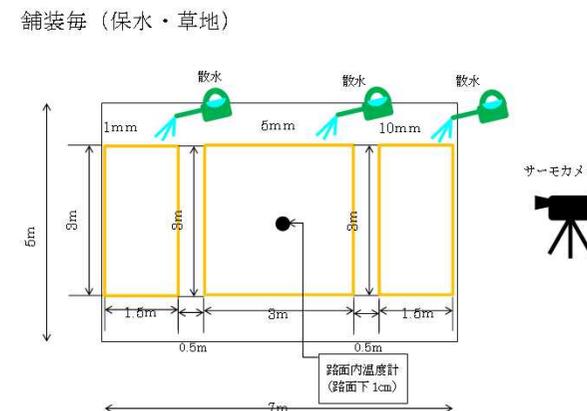
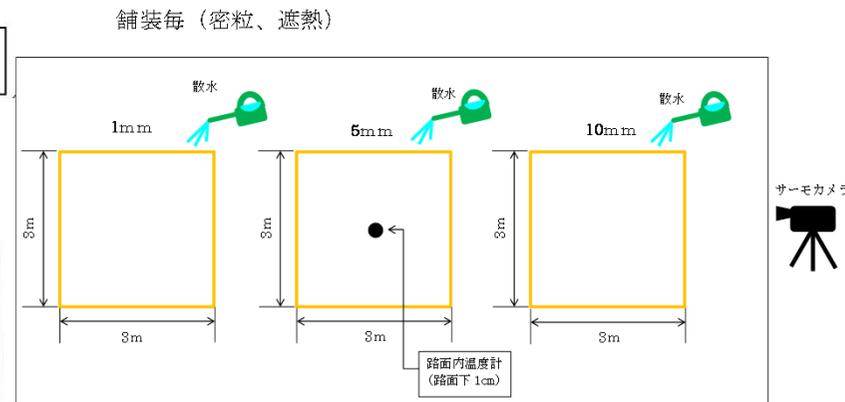
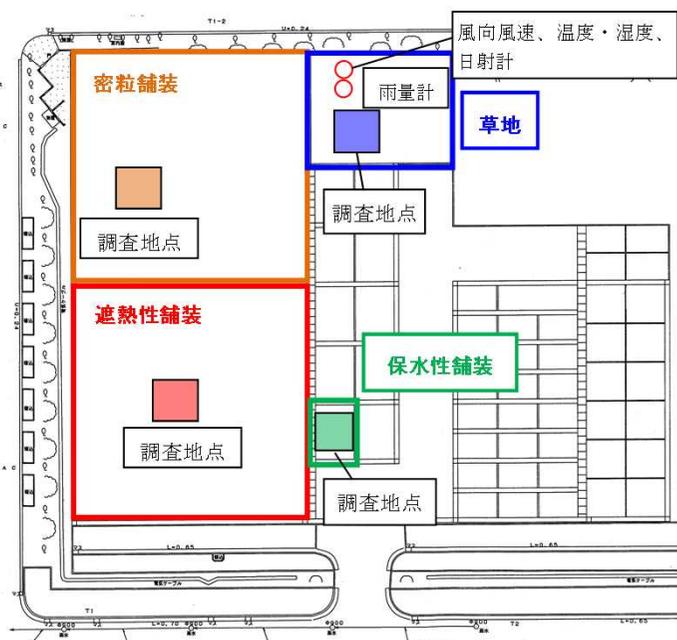
- 1) 滑り抵抗
- 2) 明度



散水イメージ



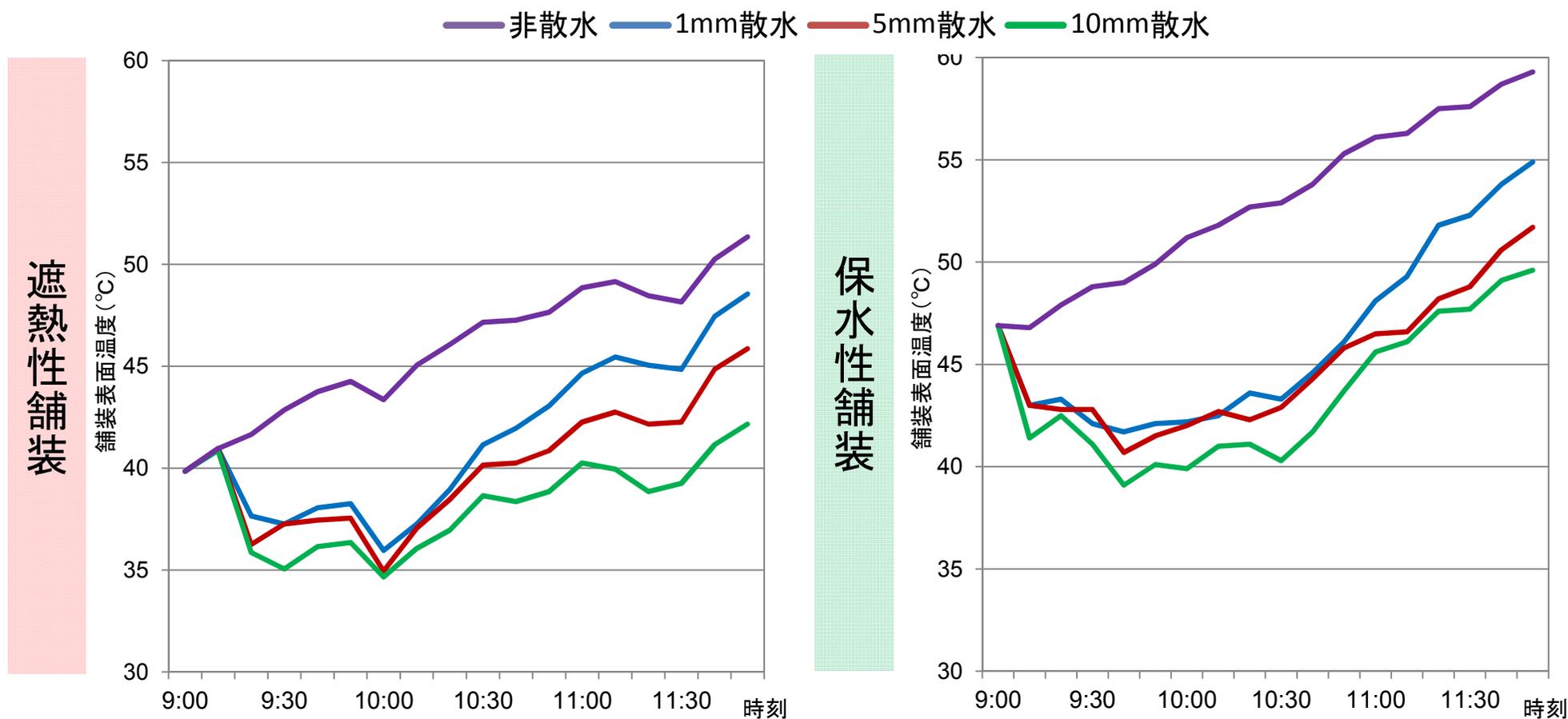
関東技術事務所 試験フィールド



散水量の検討(舗装別・散水量別の散水効果の確認)

- ・非散水と3種類の散水量(1mm、5mm、10mm)で、舗装別・散水量別に表面温度を計測。
- ・遮熱性舗装では、散水直後は散水量による差は小さいが、時間が経過するほど散水量が少ない方が温度上昇が大きい。
- ・保水性舗装でも、散水直後は散水量による差は小さいが、時間の経過とともに散水量の少ない方から温度上昇速度が速くなる。

参考-17

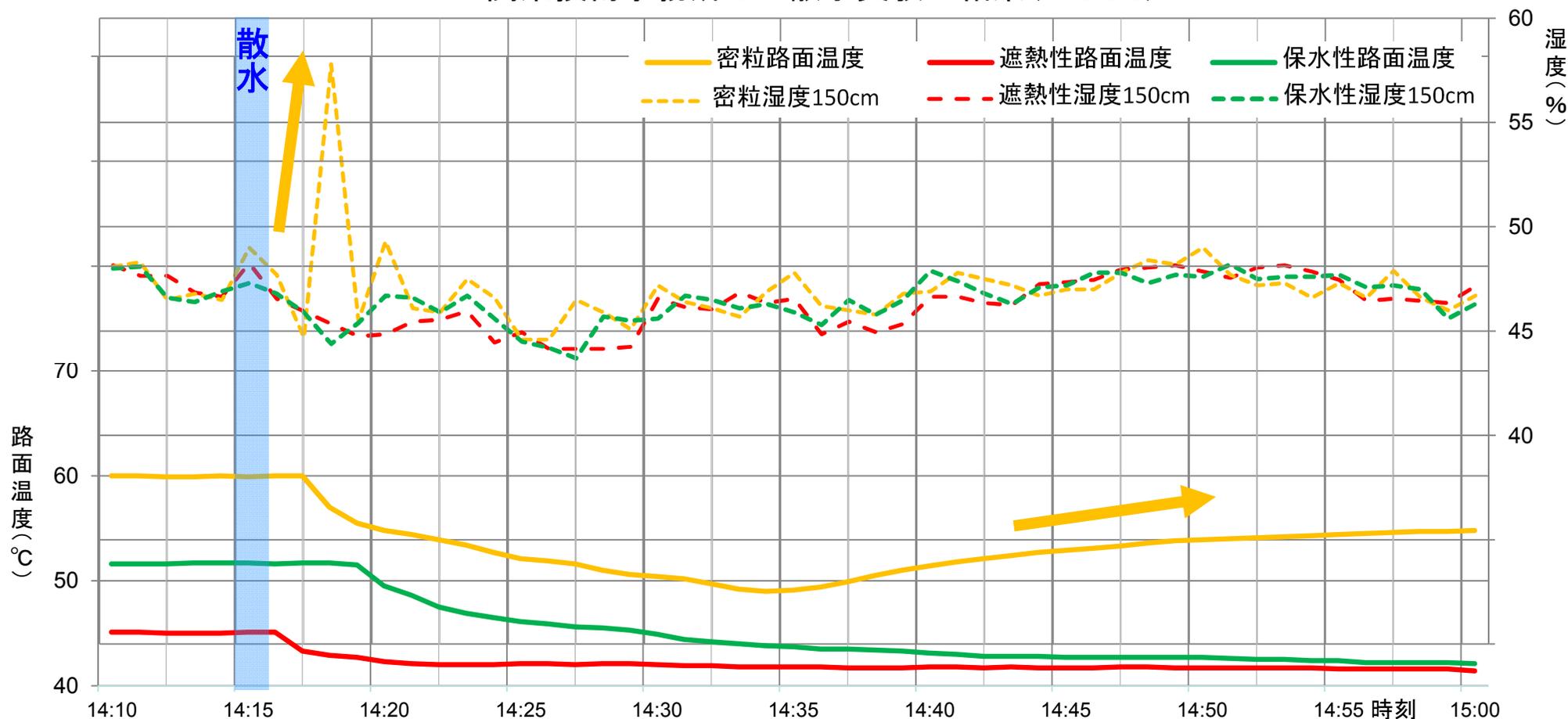


※関東技術事務所試験フィールドでの計測結果(H27.7.27(9時散水))

散水による湿度・路面温度変化

- ・密粒舗装では、散水直後に湿度が一時的に上昇。遮熱性、保水性舗装は湿度への影響は少ない。
- ・密粒舗装では、散水後30分程度で路面温度が上昇。遮熱性、保水性舗装は効果が継続。

関東技術事務所での散水実験の結果(H28.8.5)



参考-18

現地試走会の概要(実施内容)

平成28年8月31日(水)10:30~13:00(実験実施時間)

- モニター実験 : 各種舗装の違いを体感 (10:30~)
- 試走 : 各種舗装の違いを体感 (11:00~)
- 舗装デモ : 各種舗装の特徴説明 (11:25~)
- 散水 : 第1、第2走行車線に散水 (11:26~)
- 試走 : 散水の効果について体感 (11:35~)
- ぶらさがり取材 : 感想や質疑応答 (11:50~)
- モニター実験 : 散水後の違い等を体感 (11:50~)

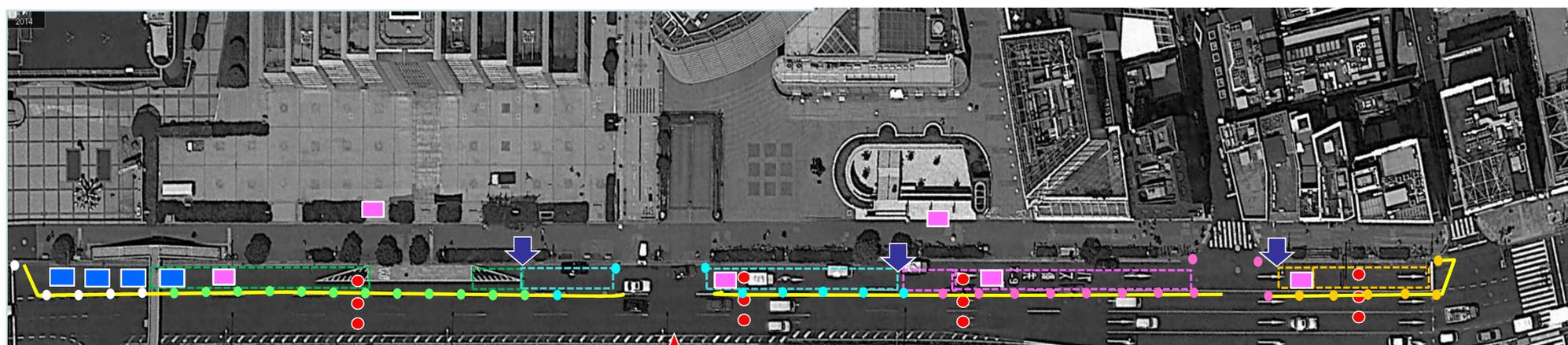
計測機器(常設)

●	路面温度
▲	気象観測

計測機器等(当日設置)

■	暑さ指数
■	散水車
↓	サーモグラフィ

※青字部分は現地試走会の前後で実施



保水性舗装

排水性舗装

遮熱性舗装

密粒舗装



【主催者挨拶】
田中 良生
国土交通副大臣



【来賓挨拶】
丸川 珠代
東京オリンピック・パラリンピック大臣



【座長挨拶】
屋井 鉄雄
東京工業大学大学院教授



【試走】



【舗装温度の確認】



【舗装デモンストレーション】



【散水】



【報道機関の取材】

試走された方の主な意見

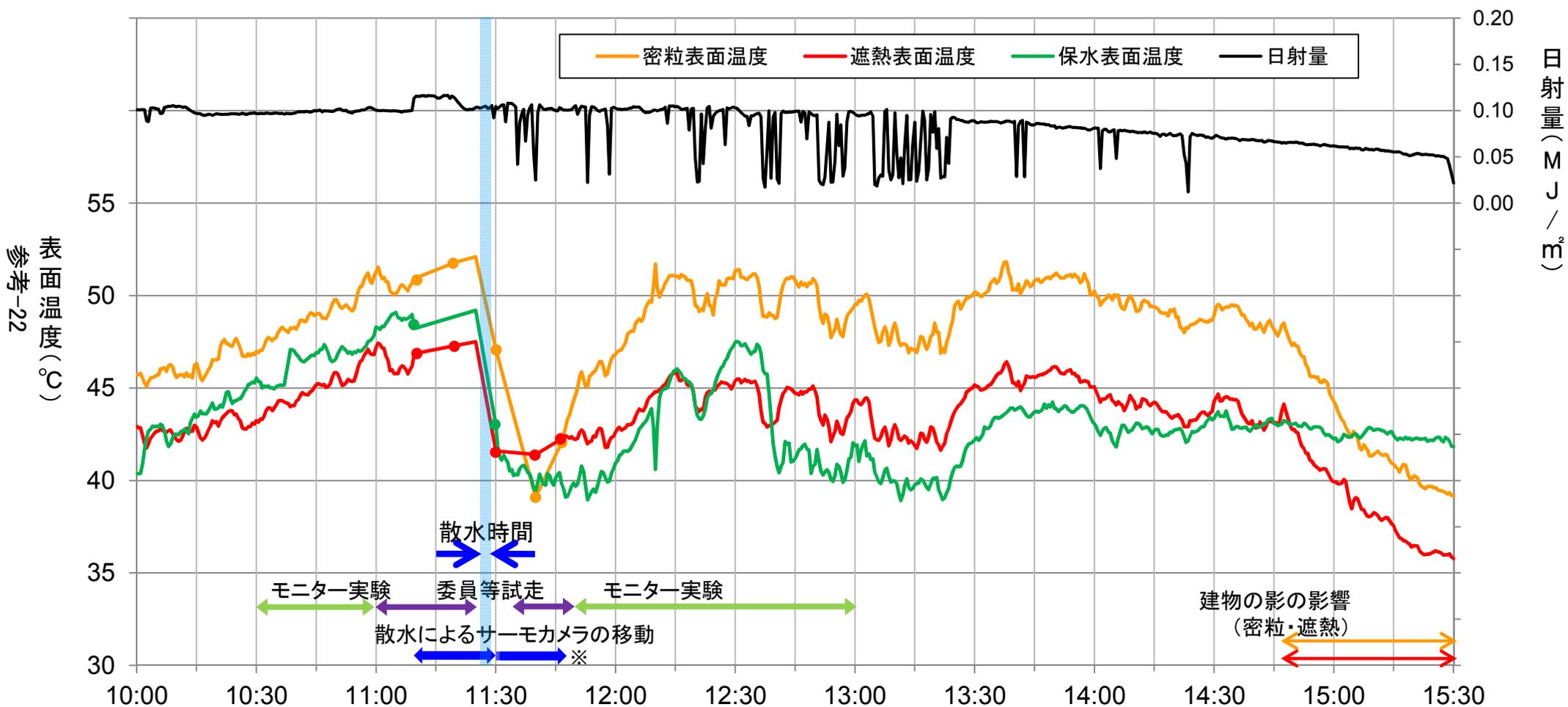
- 遮熱性舗装は、散水しても蒸し暑くない。他の舗装は、湿気が上がってきていた。
- 私たちはタイヤを使って走るのだから、心配になるのだが、日本の道路は心配が少ない。バリアフリーや沿道の整備も含めて、車いすやベビーカーも通しやすい道路を世界に広めてほしい。
- 快適な道づくりは、舗装だけで対応できるものではなく、観客にもやさしい道である必要がある。沿道の協力も得て、バリアフリー化、緑化等、行政がトータルで考えて議論を続けてほしい。

現地試走会時における表面温度の推移

舗装種類	観測値（試走会当日報告された速報値）			
	9:00	11:00 （散水約25分前）	11:30 （散水直後）	12:10 （散水約40分後）
密粒舗装	40.5°C	52.0°C	47.1°C	51.7°C
遮熱性舗装	33.8°C	47.2°C	41.6°C	44.8°C
保水性舗装	35.9°C	48.3°C	43.0°C	40.6°C

現地試走会時における表面温度の推移

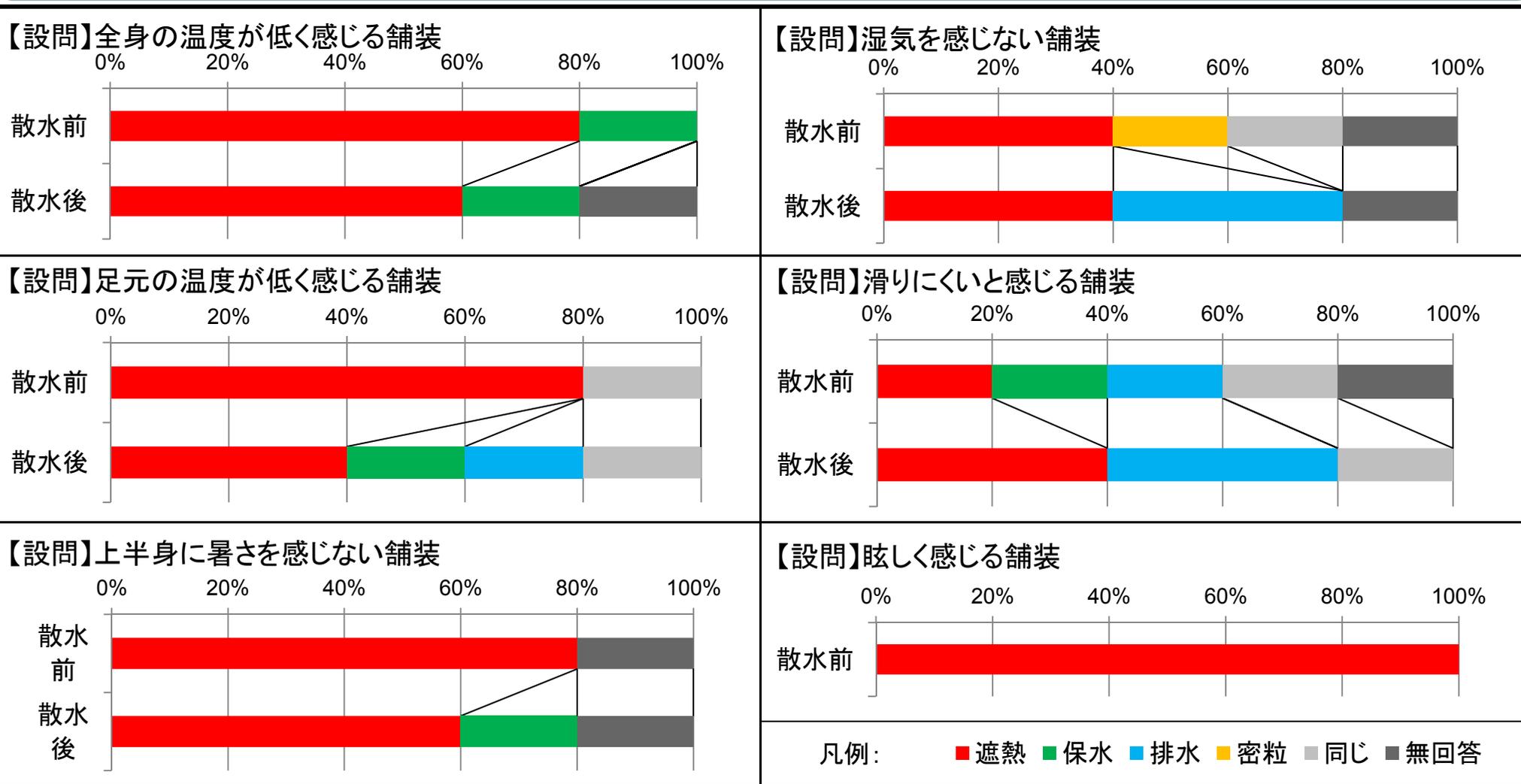
- ・散水前は、遮熱性舗装の温度低減効果が優れている。
- ・散水後、しばらくすると温度低減効果やその持続性において、保水性舗装が優れていた。



※ 散水によるサーモカメラ移動により、連続観測が欠測。10分毎のサーモカメラデータ(● ● ●)で欠測を補完している。

※ 11:25の数値は、グラフの傾きに合わせ、散水直前の表面温度を推定

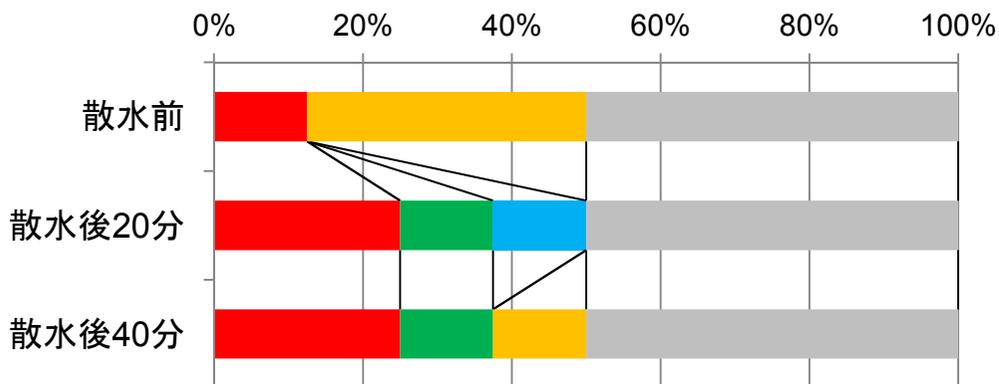
・遮熱性舗装は、温度感、照り返し感、湿度感、滑りにくさについて優れた舗装と評価されたが、眩しさの課題が残った。
 ・散水後は、暑さの感覚について保水性舗装も評価された。



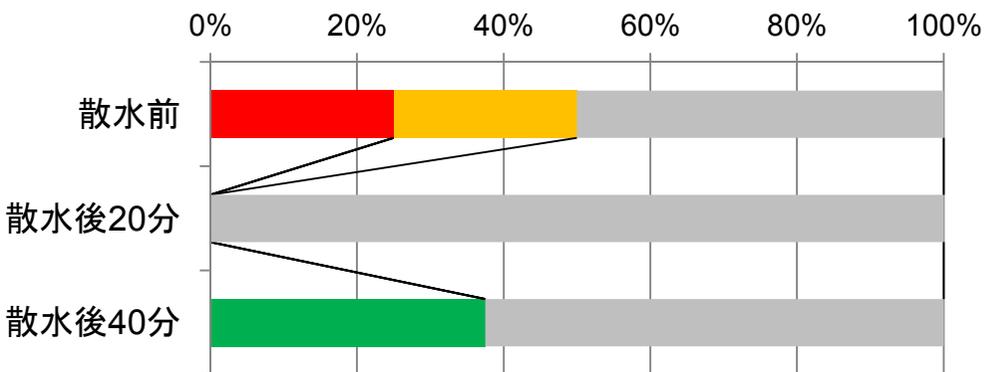
※ 散水前後に4種類の舗装全てを体感した5名(内2名は車いすモニター)のアスリートモニターの回答を集計
 ※ 「もっとも眩しく感じる舗装」は、散水前のみの設問
 ※ 「同じ」とは、舗装間の差を感じないこと

・散水後に足元の温度差で保水性舗装、湿気を感じない舗装として遮熱性舗装の評価が高くなったが、全体としてアスリートへのアンケート結果程の差はない。

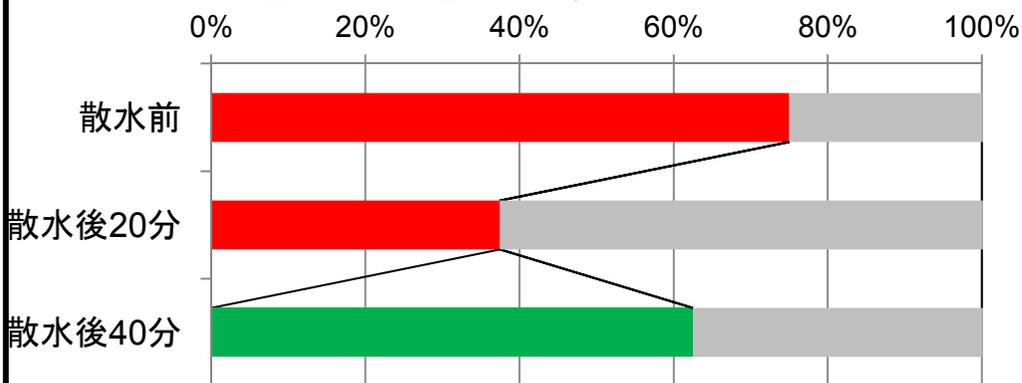
【設問】全身の温度が低く感じる舗装



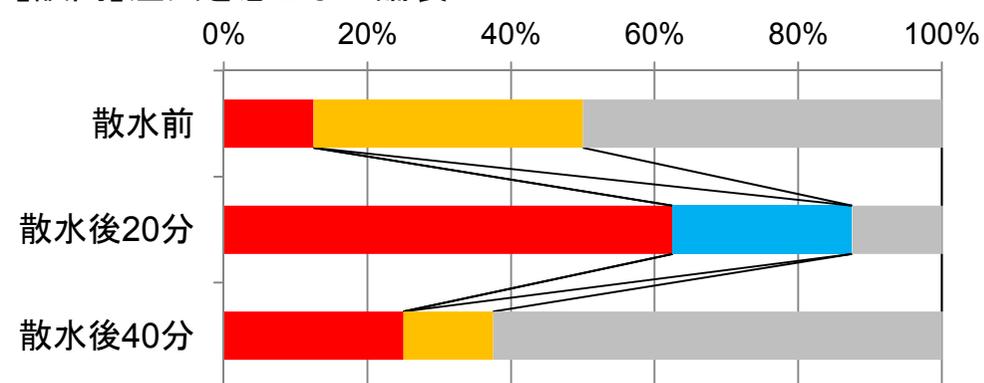
【設問】上半身に暑さを感じない舗装



【設問】足元の温度が低く感じる舗装



【設問】湿気を感じない舗装



■ 遮熱性 ■ 保水性 ■ 排水性 ■ 密粒 ■ 同じ

※ 8名のアンケート結果を集計
 ※ 散水前は、時間の関係で遮熱性と密粒のみの比較となっている
 ※ 「同じ」とは、舗装間の差を感じないこと

- 遮熱性舗装は、足の裏から顔にかけての温度感が違い、最も優れていた。
- 遮熱性舗装は、散水しても滑る感覚は無く、水が溜まることもなかった。
- 遮熱性舗装は、車いすをしっかりとグリップした感覚で、安全面でも優れている。
- 遮熱性舗装は、色合いが白っぽく、舗装の黒いところから移ると眩しさを感じた。
- 保水性舗装は、水が溜まると車いすのブレーキが効かず滑った。
- 排水性舗装は、散水後に水蒸気の上昇を感じた。

モニターアンケート(自由回答)

(1)環境舗装について感じたこと

モニター	回答
車いす(1)	・遮熱性舗装は、比較的涼しく走れた。
車いす(1)	・遮熱性舗装は、暑さを感じた。
ランナー(3)	・遮熱性舗装は、地面からの熱を感じず総合的に走り易かった。
ランナー(1)	・遮熱性舗装は、路面が乾いた時にべたべたした感じがした。
ランナー(1)	・保水性舗装は、着地・接地の感覚が良い。
ランナー、観客(2)	・遮熱性舗装は、日が差すと照り返しが強くまぶしかった。
観客(1)	・湿度を感じる舗装は、路面の暑さより不快だった。
観客(1)	・風の有無等で、快適性の評価が難しかった。

(2)散水の効果について感じたこと

モニター	回答
車いす(1)	・保水性舗装以外は、散水後も下からの照り返しが少なく、すぐ乾いて良い。
ランナー(1)	・遮熱性舗装は、熱気が薄れて、体感する風もより涼しく感じた。
ランナー(1)	・散水することで、体感温度の上昇の抑制や精神的に涼しく感じる効果がある。
ランナー(1)	・散水後の道路は、割と滑りにくく涼しく走りやすかった。
ランナー(1)	・遮熱性、保水性舗装は、散水前後の影響が少なく、一定の安定感がある。
ランナー(1)	・遮熱性舗装は、散水前後があまり変わらなかった。
ランナー(1)	・環境舗装は、散水前は快適だったが、散水後は密粒に比べて照り返しが強く、あまり涼しさを感じられなかった。
ランナー(1)	・密粒舗装は水が残り、排水性舗装は蒸した感じや匂いが不快だった。
ランナー(1)	・保水性舗装は、散水後の路面の水溜りが気になった。
ランナー、観客(2)	・保水性舗装は、散水直後に湿度や臭いを感じた。保水効果は感じたが、不快だった。
観客(5)	・散水前と比べ、散水後は全体的に路面の温度が下がり涼しくなった。
観客(1)	・散水による効果は、特に足元に出ていると感じた。

(3)アスリート・観客にやさしい道づくりのために必要なこと

モニター	回答
車いす、ランナー(2)	・凹凸や穴などのない道が必要である。
ランナー(1)	・日差しによって体感は変わるように思ったので、目に優しい方が良い。
ランナー(1)	・環境的(暑さ、寒さなど)にも、身体的(舗装の固さなど)にも配慮されていると、とても良い。
ランナー(2)、観客(3)	・植物による日陰を増やして直射日光を減らすと良い。景観的にも良い。
観客(1)	・暑さよりも湿度を抑えられると不快さは減る。日本の湿度の高さは、どの国の人でも不快だと思う。
観客(1)	・観客が密集するところでは、舗装よりミストがあると、散水同様の効果がある。

※ ()内は同趣旨の回答数

道路緑化の効果(樹冠拡大による効果の検証(概要))

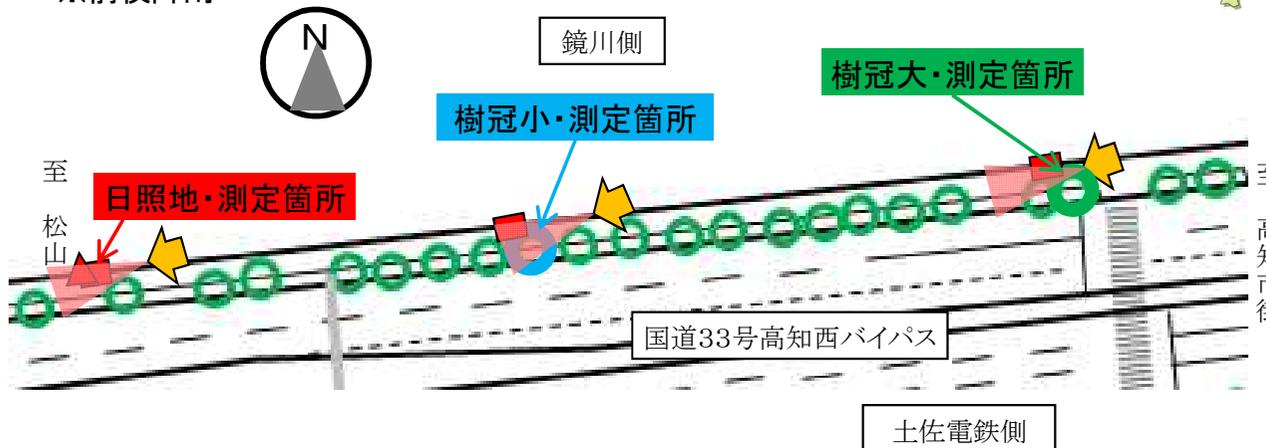
樹冠幅5mのケヤキと樹冠幅3mのケヤキが連続する区間において、温度等を計測することにより、街路樹の樹冠拡大の効果を検証した。

計測項目 (平成28年9月17日8:00~13:30に実施)

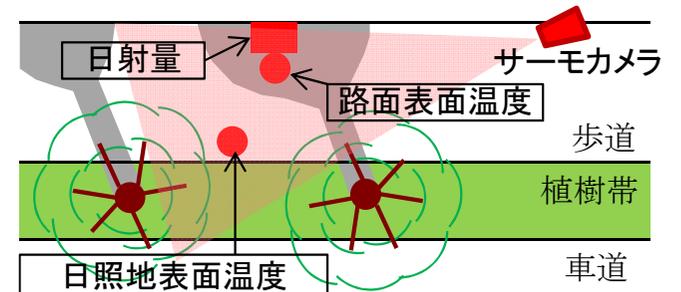
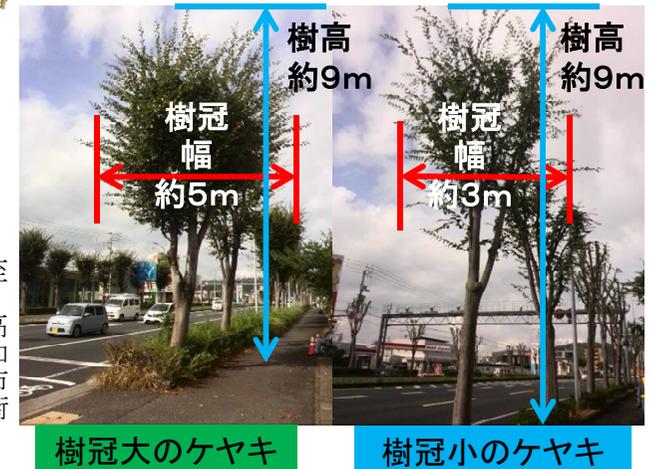
- | | |
|---------|------------------------|
| 1) 暑さ指数 | 黒球温度、温湿度 (地上0.5m・1.5m) |
| 2) 表面温度 | サーモカメラ (固定計測, 移動計測) |
| 3) 気象状況 | 日射量、気温・湿度、風向・風力 等 |



※前夜降雨

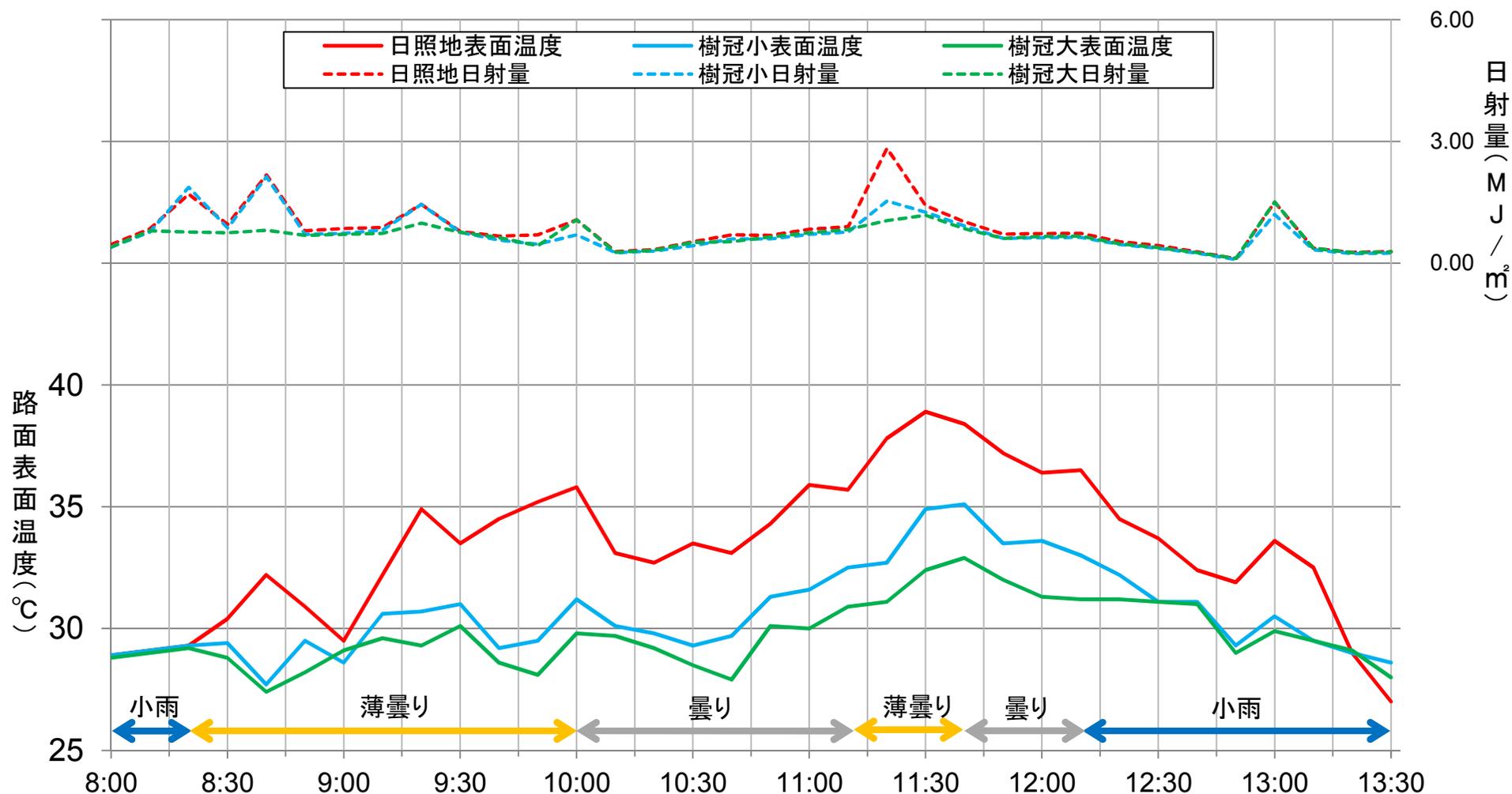


- : ケヤキ
- ▲ : 気象観測
- : 日射量
- ▼ : サーモグラフィ



計測位置の模式図

- ・曇天のため日射量が少なく、日照地と樹冠下との差が現れる時間帯は限られたが、樹冠の下では薄曇りの中でも日射が遮られ、歩道の表面温度が抑制された。
- ・樹冠を拡大し、枝葉の密度を高く維持すれば、強剪定を施した街路樹に比較して、日影の広さや時間が拡大するため、より効果が高くなると考えられる。

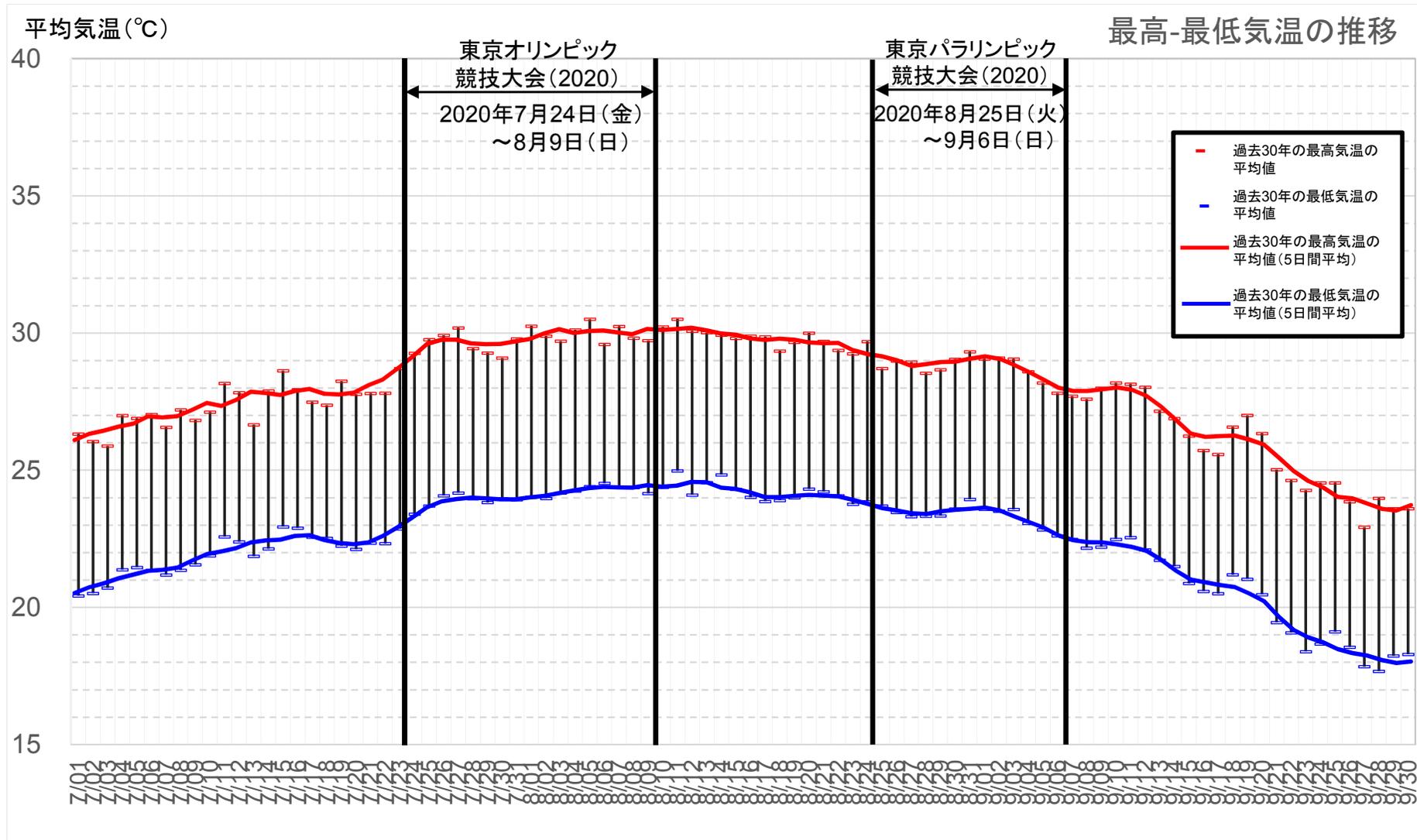


道路緑化の効果(樹冠拡大による効果の検証(サーモグラフィ))

	日影の状況 (11:20)	8:40 薄日が当たり出すが 差は見られない	9:40 日照地と樹冠大の 差が拡大	11:30 日照地の表面温度 が最大	12:10 降雨の直前で温度 の上がり始め
日照地		日照地32.7℃	日照地34.5℃	日照地38.9℃	日照地36.5℃
樹冠小		日影29.7℃ 日照地33.0℃	日影29.2℃ 日照地30.6℃	日影34.9℃ 日照地37.0℃	日影33.0℃ 日照地34.3℃
樹冠大		日影29.2℃ 日照地33.0℃	日影28.6℃ 日照地31.3℃	日影32.4℃ 日照地37.4℃	日影31.2℃ 日照地34.0℃

東京の気温について(日別最低最高気温)

・過去30年の夏の日別の最低気温・最高気温を見ると、オリンピック期間中は最高気温が高い時期が続く傾向にある。



参考-30

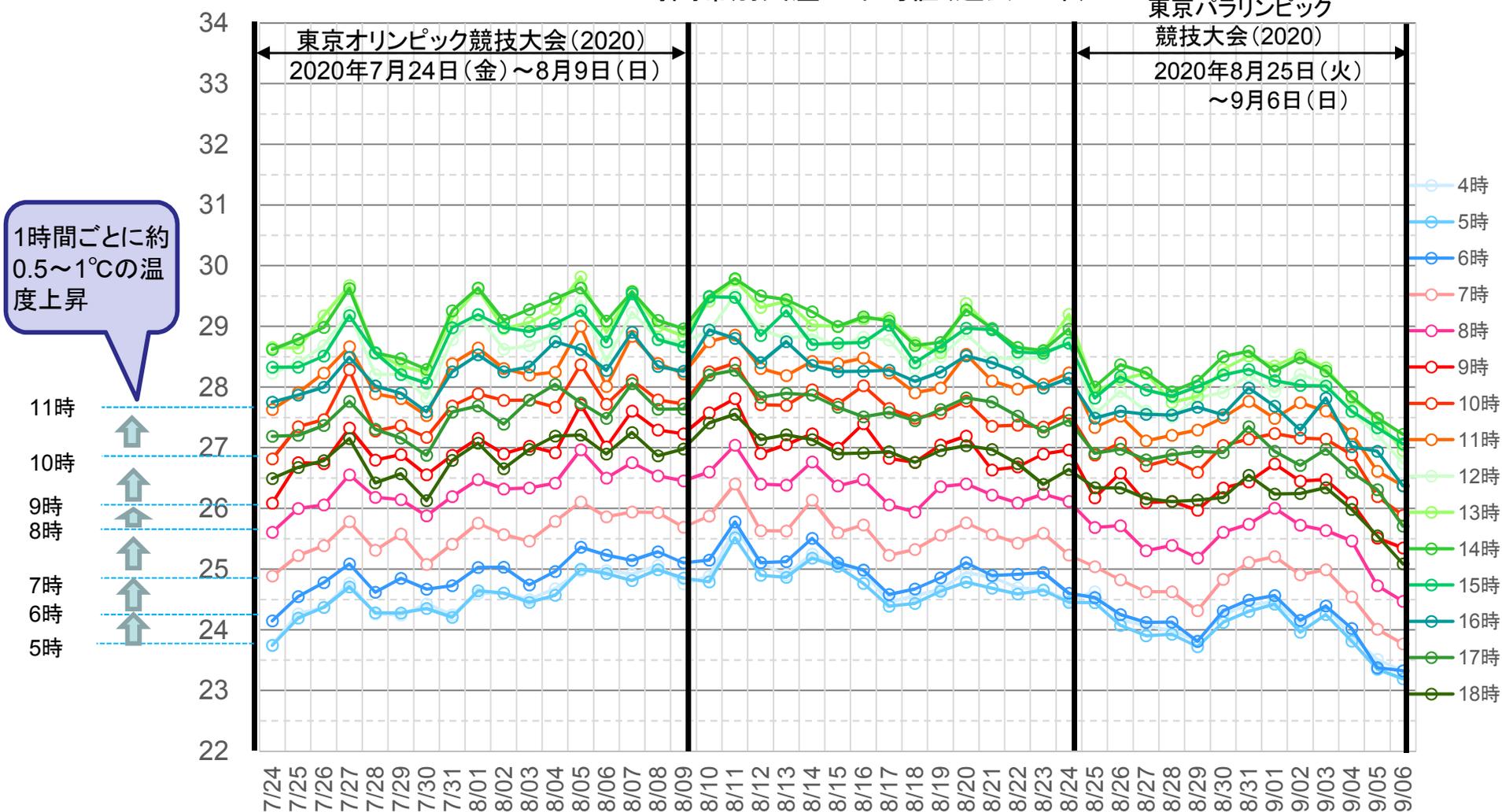
※出典: 気象庁データより作成

※過去30年間: 1986年~2015年の平均

東京の気温について(時間ごとの気温変化)

・オリンピック開催予定期間について、過去30年の時間ごとの東京の気温変化を見ると、午前中では1時間ごとに約0.5~1℃程度気温が上昇している。

時間帯別気温の平均値(過去30年)



※出典: 気象庁データより作成

※過去30年間: 1986年~2015年の平均

