

20230713

大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム  
ヒートアイランド対策技術セミナー

# 神戸市における 水を活用した夏季対策 (クールスポットと道路散水の実践報告)

---

神戸市建設局技術管理課 戸澤 潮

# 1. はじめに

神戸市では現在、都心部三宮駅前の大規模再開発、市内主要駅前リニューアルを推進している。

これらの再開発による快適な屋外公共空間の実現を目的として、**2018年**より神戸大学と、**2020年**より神戸高専とともに、道路散水をはじめ様々な夏期異常高温対策の実証試験等に取り組み、実際のまちなかでの効果を測定・評価している。

本報では、本市で取り組んで来た実証試験等について、水の活用を中心に実践的な立場から報告する。

# 2. 都心三宮再整備計画

えき~まち空間

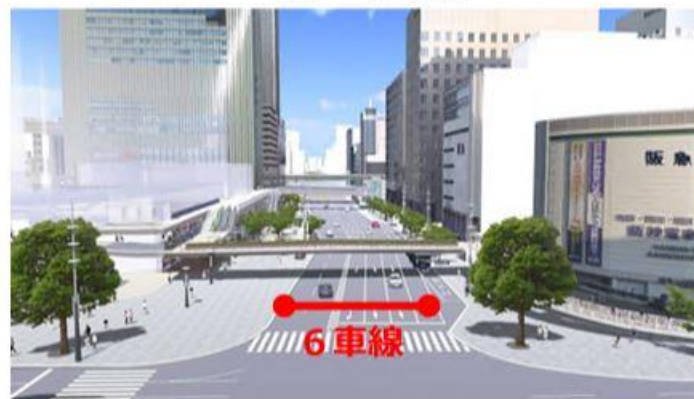
## 三宮クロススクエア（東側・段階整備のイメージ）

※VRによるイメージ

現況

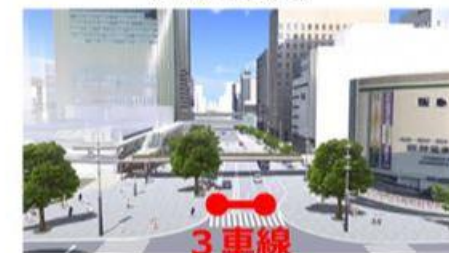


第1段階



2029年度目標（JR新駅ビル開業と同時期）

第2段階



（大阪湾岸道路西伸部供用後）

駅前の幹線道路を人中心の広場空間へ転換し、沿道建築物と一体となったにぎわいを創出するとともに、駅から周辺のまちへのつながりを強化し、神戸の玄関口にふさわしい空間を創出する。デザインコードに夏期異常高温対策の観点。



駅北側(サンキタ通り歩道化)



サンキタ広場

# 3. これまでの取り組み



- 2018
  - 12 国際ワークショップ(技術系課長級)  
神戸大学調査報告(神戸市への施策提言)
- 2019
  - 7 異常高温対策シンポジウム(市民・一般職員対象)
  - 7-9 クールスポット実証実験(微細ミスト、フラクタル日除)
  - 12 異常高温対策ワークショップ(技術系課長級)
- 2020
  - 5 都市環境計画学研修(技術系職員対象)
  - 7-9 車道散水、歩道散水、ミスト(東遊園地)、  
クールベンチ、ペットボトル給水ステーション
- 2021
  - 7-9 車道散水、歩道散水、ミスト(東遊園地、バス停)、  
クールベンチ、温度可視化
- 2022
  - 7-9 車道散水(湧水)、歩道自動散水、  
ミスト(東遊園地、バス停、駅前広場)、クールベンチ、  
温度可視化、自律走行散水ロボット、  
室外機ミスト、クールスポットマップ(市民向情報サイト)
- 2023
  - 7-9 車道散水、ミスト、水盤・噴水・ミスト(東遊園地)  
路面太陽光発電オフグリッドクールベンチ

## 都心部のクールスポット～三宮駅周辺～



フラクタル日除+微細ミスト2019



車道散水 2020~



歩道散水 2020~2022



クールベンチ 2020~



バス停 微細ミスト 2021~



東遊園地 微細ミスト 2021



東遊園地 花時計前ミスト 2022～



サンキタ広場 2022～



磯上体育館室外機ミスト 2022



自律走行散水ロボット 2021～2022



温度可視化 2021～2022



東遊園地 噴水・水盤・ミスト 2023～

# 4. 道路散水

- ・日射遮蔽が最も効果的だが現実的に街中の道路に日よけを設置することは困難
- ・都心部ではビルや街路樹の日影によるクールスポットの有効活用が期待できるため、都市の構造に基づき必要となる箇所(ホットスポット)に集中的に対策することが合理的
- ・太陽は時間とともに動くため、場所に固定的されず柔軟な対応が可能な道路散水に着目

## 1) 夏季対策手法の検討

### ① 対策必要箇所の把握：温熱環境シミュレーション SET\* (神戸大学)

SET\*13時



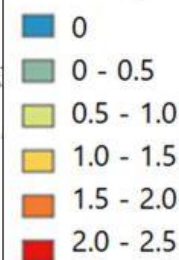
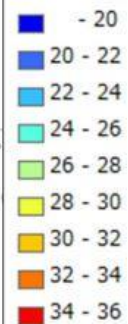
散水無



散水有



SET\*低下量



SET\* の時間・空間分布を分析し、高温化適応策を優先的に導入すべき箇所を検討。

東西道路の南側、南北道路の東側(午前)、西側(午後)に歩行者を誘導しても、正午前後では歩行者の南北方向の移動に適した経路選定は困難であり、暑さ対策技術の導入が必要。

## ② 期待される効果と概算経費による比較検討 (神戸市試算)

		As			ILB				
		車道			歩道				
		As 黒色	散水	遮熱性	As黒色	淡色	淡色	散水保水	遮熱
蒸発効率			0.1					0.1	
日射反射率		0.1		0.35	0.1	0.35	0.35	0.35	0.5
表面温度(°C、12:30)		62.2	55.5	54.4	62.2	54.4	54.4	49.5	49.7
低下温度			-6.7	-7.8		-7.8		-4.9	-5
形態係数 SET*換算	SET*低下	車道中央	-0.66	-0.78		-0.78		-0.48	-0.49
	(°C)	歩車境界	-0.41	-0.48					
		境界-2m	-0.11	-0.13					

形態係数 SET\*換算  
0.378 0.098  
0.204 0.061  
0.055 0.017

車道散水も遮熱性舗装も  
体感気温低下効果は  
ほぼ同じ

32ton/日散水すれば  
地域平均気温を  
0.15°C程度低下

費用	(千円)	6,000/2月	593,400
	(m <sup>2</sup> 単価)		115(夜間)
平均気温低下	(°C)	-0.15	-0.29

32ton/日 5.2万m<sup>2</sup>

アスファルトを  
淡色インロクに変更すれば  
体感温度は  
0.8°C下がる

歩道散水は車道より  
路面温度低下小だが  
体感温度低下効果大  
↓  
歩道散水が効果的

シミュレーション計算から、車道散水(含む保水性)と遮熱性舗装の効果はほぼ同じ。  
車道散水より歩道散水の方が効果的(ただし歩行者への水はね、沿道土地利用上の問題有)。  
実証試験は、初期費用も掛からず、時間帯や箇所の弾力的な運用が可能な道路散水で効果評価実施。



## 2) 効果的な車道散水方法の検討

2020年の夏期(7/20-9/18)に神戸市都心部である旧居留地の車道(総延長6.5km)に降雨日を除く毎日2回、散水車2台を用い、様々な時間帯、箇所で散水(日32ton)し効果を確認。

散水により夏期日中の地表面温度は約10°C低下し、効果は30分程度継続したが、近傍歩道上の歩行者のSET\*低下効果は1°C弱と評価された。歩道近傍の車線に散水出来ない場合、歩行者の温熱環境改善効果は小さいと評価された。

路面温度が40°C以上となる時間帯、広幅員道路を対象に1-1.5時間毎に散水する方法がこの現場条件では効果的と推定した。

7月30日(木)13時~15時の地表面温度(°C)の測定結果

地点	散水直後		散水30分後		散水直後の効果		散水30分後の効果		日射条件
	散水無	散水有	散水無	散水有	散水無-散水有	散水無-散水有	散水無-散水有		
E東・西	39.7	36.4	46.0	36.4	3.3	9.6	日向		
F東	48.5	38.8	40.2	38.4	9.7	1.8	日向		
F西	48.3	39.7	45.3	40.8	8.6	4.5	日向		
H東・西	41.6	36.5	44.5	35.5	5.1	9.0	日向		
I東	35.8	32.1	36.1	31.5	3.7	4.6	日向		
I西	38.3	34.6	38.4	33.3	3.7	5.1	日向		

7月30日(木)13時~15時のSET\*(°C)の計算結果

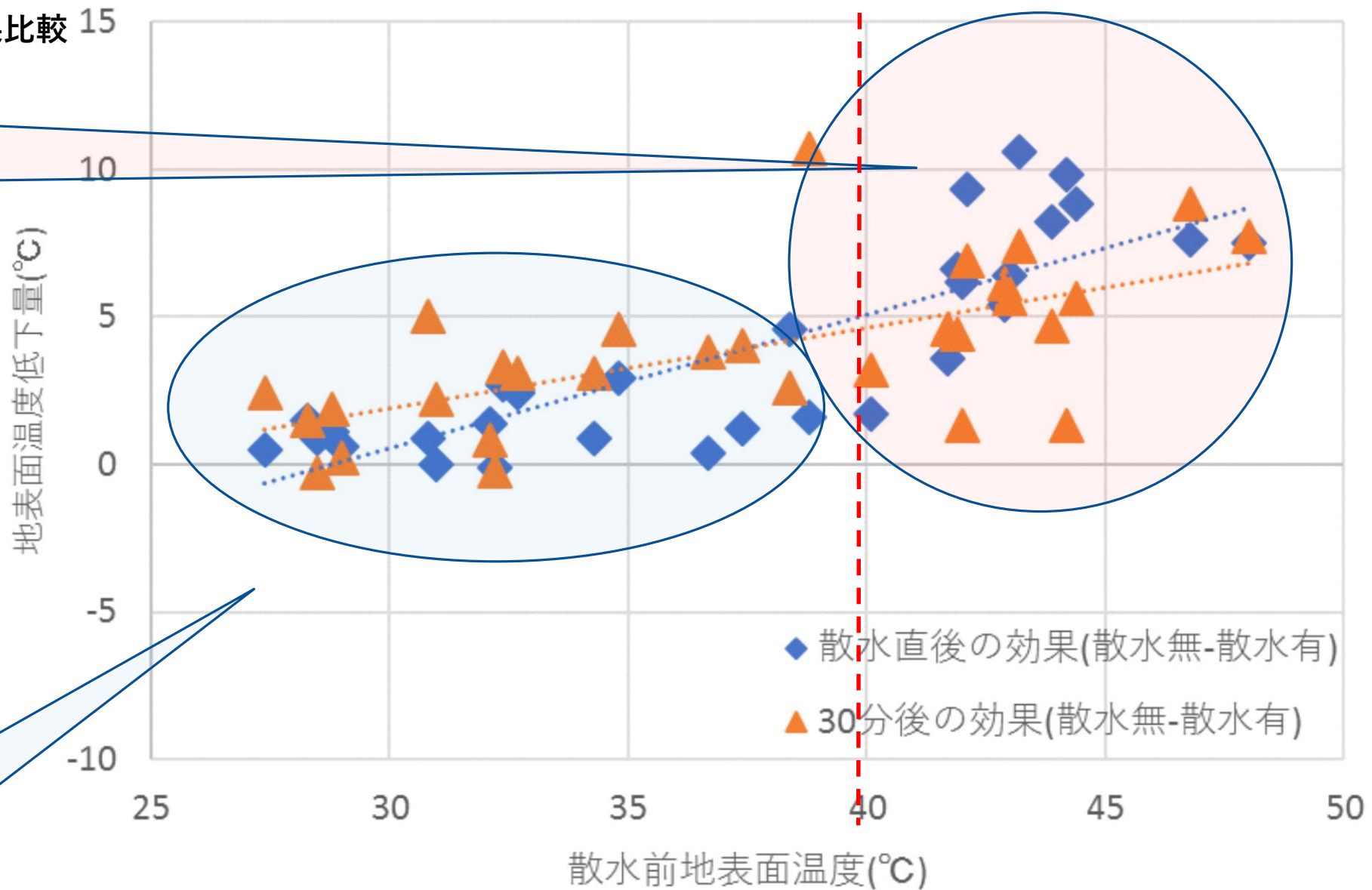
地点	散水直後		散水30分後		散水直後の効果		散水30分後の効果		日射条件
	散水無	散水有	散水無	散水有	散水無-散水有	散水無-散水有	散水無-散水有		
E東・西	35.4	35.1	33.6	32.8	0.3	0.8	日向		
F東	35.1	34.3	30.7	30.5	0.8	0.2	日向		
F西	40.1	39.4	34.2	33.8	0.7	0.4	日向		
H東・西	37.1	36.7	37.7	37.0	0.4	0.7	日向		
I東	31.2	30.9	29.9	29.5	0.3	0.4	日向		
I西	31.3	31.0	29.0	28.5	0.3	0.5	日向		



# 道路表面温度別 散水効果比較

道路表面温度が高いと  
温度低下効果大  
5~10°C

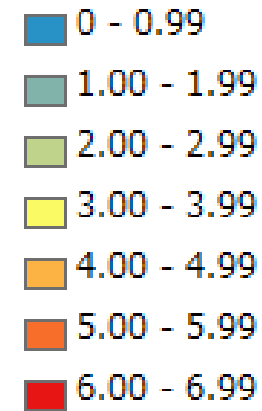
道路表面温度が低いと  
温度低下効果小  
1~2°C  
早朝、曇天、緑陰



## 地表面温度40°C以上となる積算時間



### 積算時間(h)



### 運用実績に基づく実行可能な散水方法:

散水車2台各4サイクル(1サイクル100分:給水60分+散水40分)  
走行速度2.4km/h、延長13km、散水量2.5ℓ/m(0.8ℓ/m<sup>2</sup>):0.8mm/m<sup>2</sup>、総散水量32ton  
(散水量を増やし大量散水しても街渠に流出するだけで表面温度低下に寄与せず)

### 分析結果に基づく効果的な散水方法:

車道表面温度が高温(40°C)となる時間帯(1000~1600:コアタイム)  
表面温度が高温(40°C)以上の日累積時間が6時間以上となる箇所(2.4km:コア箇所)  
に対して  
散水間隔1時間(効果持続時間)確保

### 効果的散水計画

コアタイム・箇所に対し散水間隔1時間をキープする散水プログラムを検討する(上記 散水方法を維持しながら一日6回以上散水出来る箇所はせいぜい1.7kmと見込まれる)

・10分ごとに計算された温度から時間を算出し、積算時間(h)に換算

### 3) 効果的散水計画による道路表面温度低下の検証

#### ①LTE赤外線カメラによる車道表面温度連続把握2021-2022（神戸高专との共同実証）

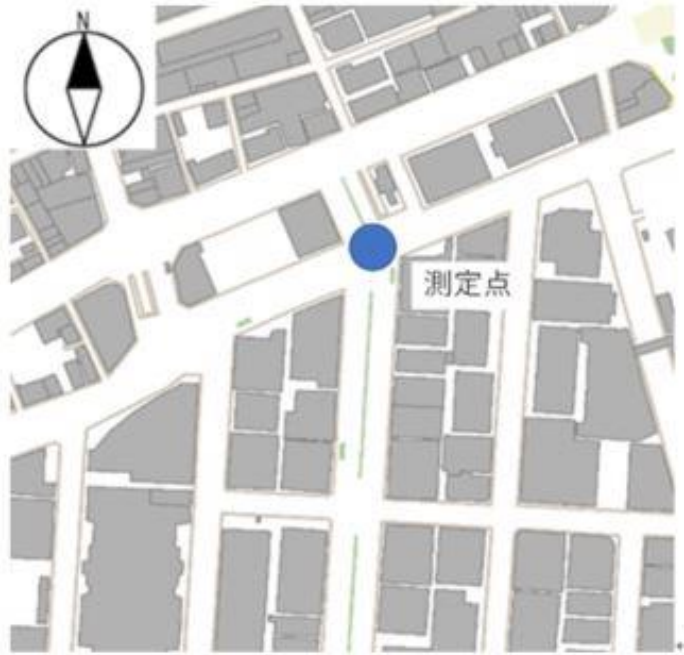


図3-42 地表面温度の連続測定地点



図3-43 測定された地表面温度（2021年8月6日）

2021年、前年度調査に基づく効果的な散水方法で散水.交差点内に赤外線カメラを設置し赤外線動画を記録.動画上に表示される温度情報を読み取り、赤外線カメラによる表面温度計測の有効性を検証.

9時散水の地表面温度差は終日継続し、12時30分、14時散水は散水効果が顕著で、30分、1時間後と徐々に低下.

地表面温度が45°C以下となる9時、10時30分の散水効果は少ない.

2022年は、熱画像動画ではなく数値データを記録.映りこむ車両や人による異常値を排除し詳細な解析を実施.

日中の地表面温度低下の継続時間(散水前の温度より低い時間)は、晴天日は散水後25～30分平均6°C程度.30分間隔散水で温度低下継続可能.

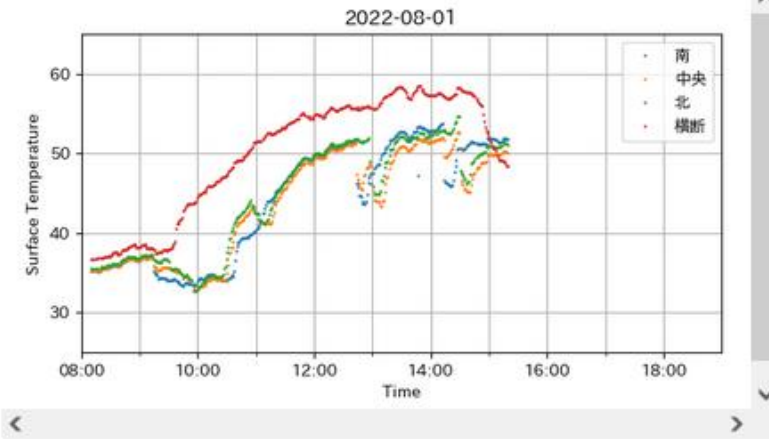
## ②都心外部空間熱環境可視化実証試験 2021~2022

### 神戸高专 異常高温対策

#### 京町筋交差点の熱環境

実環境における路面温度の検出実験を兼ねており、都度パラメタ調整を行います。都合により更新できないことがあります。

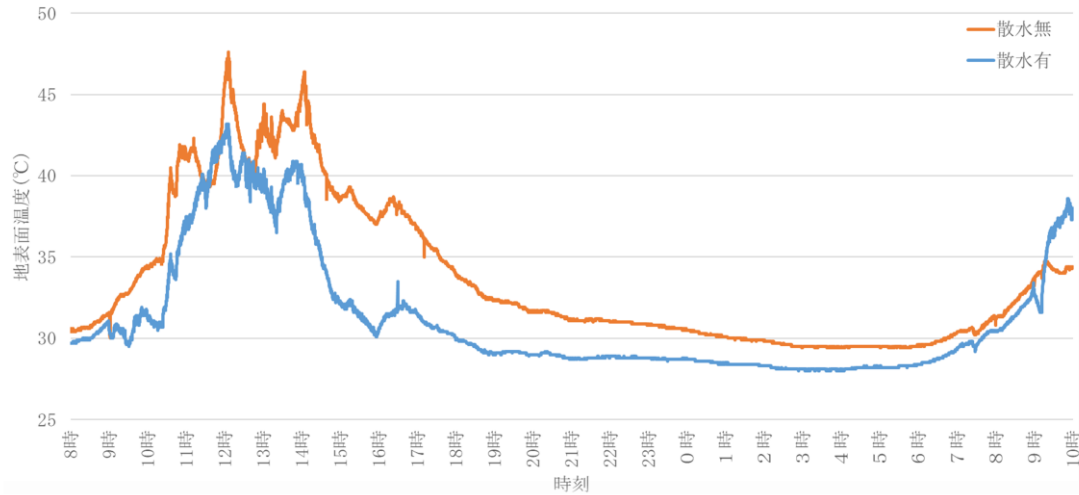
画像が表示されない方は、下の口をクリックしてください。



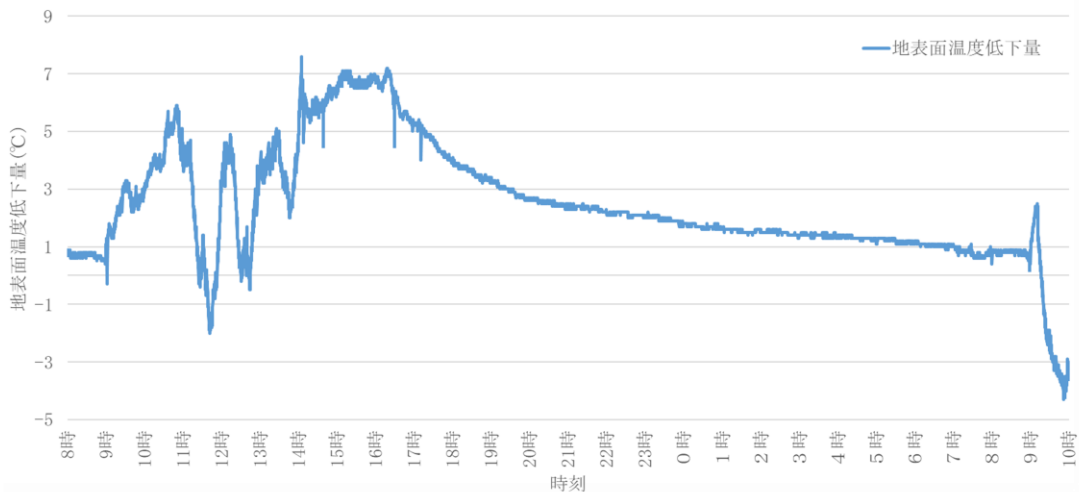
熱画像の見方はページ下部に掲載しています。  
画像が表示されない方は、下の口をクリックしてください。



## 4) 歩道連続散水の継続効果



地表面温度の測定結果（2021年8月6日8時～8月7日10時）



地表面温度差（散水無－散水有，2021年8月6日8時～8月7日10時

2021年、2022年夏、東遊園地内歩道において、簡易ミストを歩道端地表部に設置し、ミストノズルから連続的に自動散水実施。

2021年8月6日8時～8月7日10時の間、東遊園地内の歩道において散水有、散水無の2地点で地上高さ1.2mの気温、湿度、風速、グローブ温度を1分間隔で、日射量、地表面温度を10秒間隔で連続測定(散水時間9時～16時)。

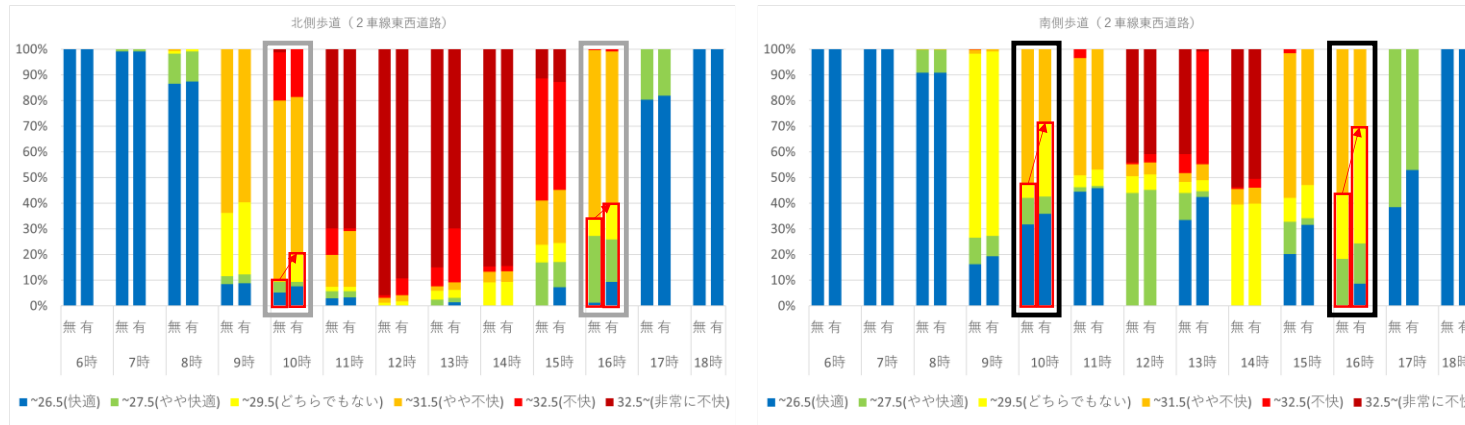
地表面温度差は最大7°C程度であるが、散水無の地点が日陰になった時間には解消される。

散水終了後は両地点とも日射を受けず、温度差は徐々に縮小するが、翌朝になっても1°C程度は保持されている。※

散水無の歩道では日中に吸収した日射熱が舗装内に蓄熱され、夜間に放熱されることで高温が維持されていると考えられる。

※ 地表面熱収支モデルに地中深さ別に実際の舗装構成に基づき熱伝導率を設定して本状況の再現を試みたが、シミュレーションモデル上で歩道散水箇所でも夜間に継続して1°C低温となる状況は再現できていない。計算上、地中条件が地表面温度に顕著に影響するのは深さ10cm程度までであったため、計測日の日射条件、日影等、他の要素の影響があると想定される。

# 5) 歩行者の温熱環境緩和効果に着目した車道散水計画の検討



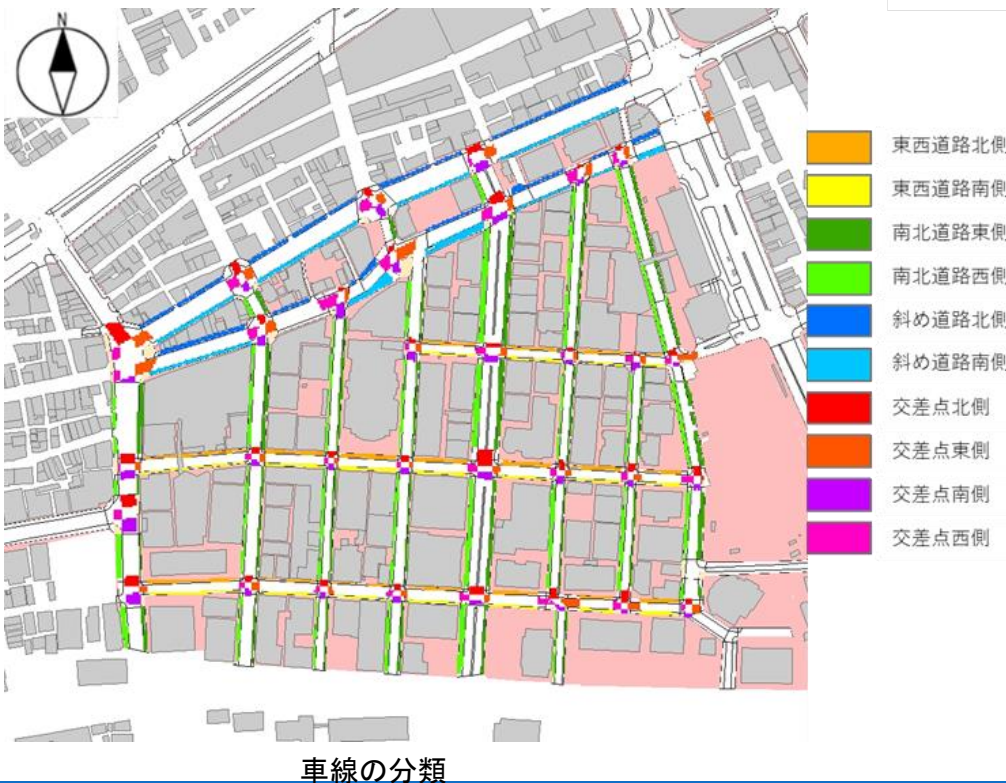
2車線東西道路北側歩道（左），南側歩道（右）の時刻別のSET\*の頻度分布  
（左棒：車道散水無，右棒：車道散水有）

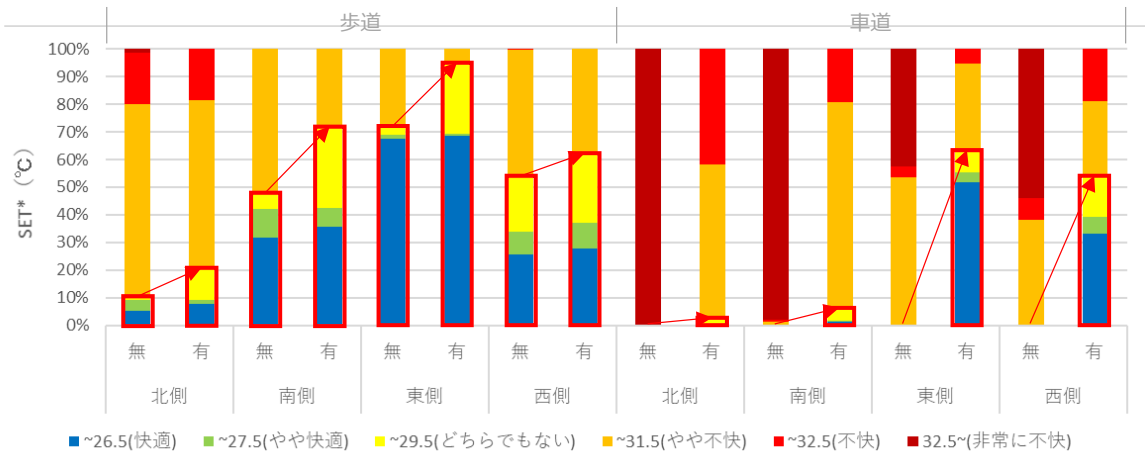
車道散水によるSET\*の評価がどちらでもない以下の頻度変化  
（東西道路の北側歩道，南側歩道）

	10時	16時
北側歩道	10%→20%（10%増加）	34%→39%（5%増加）
南側歩道	47%→71%（24%増加）	43%→69%（26%増加）

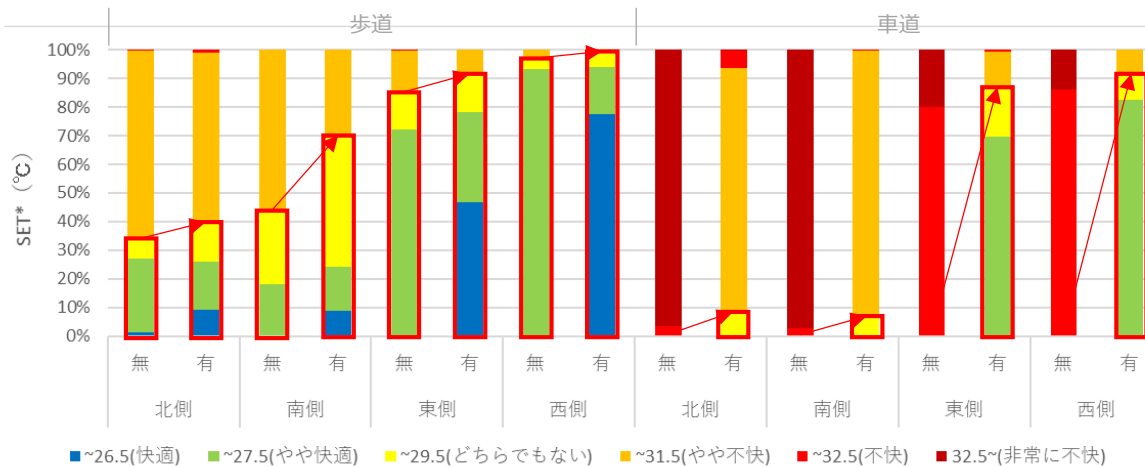
歩道を10分類(左図)し、9時、11時、13時15時散水として、表面熱収支モデルシミュレーションからSET\*を2mメッシュで計算、散水非散水別で各歩道上のSET\*の頻度分布を集計。

2車線東西道路の場合、北側歩道は10～16時が不快・非常に不快となり対策必要。南側歩道は、8時までと17時以降のみ快適に利用可能  
散水による快適性の向上は南側歩道の10時、16時散水が効果的





車道散水による歩道上，車道上のSET\*の変化（10時）



車道散水による歩道上，車道上のSET\*の変化（16時）

車道散水によるSET\*の評価がどちらでもない以下の頻度変化

		10時		16時	
東西道路	北側	歩道	10%→20% (10%増加)	34%→39% (5%増加)	
		車道	0%→2% (2%増加)	0%→8% (8%増加)	
	南側	歩道	47%→71% (24%増加)	43%→69% (26%増加)	
		車道	0%→6% (6%増加)	0%→6% (6%増加)	
南北道路	東側	歩道	72%→94% (22%増加)	85%→91% (6%増加)	
		車道	0%→62% (62%増加)	0%→87% (87%増加)	
	西側	歩道	53%→62% (9%増加)	97%→99% (2%増加)	
		車道	0%→54% (54%増加)	0%→92% (92%増加)	

10時，16時に東西道路の南側車道に散水すると，車道上は日向のため快適にならないが，日陰の南側歩道上は快適に近づく。

同じ時刻に南北道路の東側，西側車道に散水すると，車道上，歩道上ともに快適に近づく。

そのため，歩行者を日陰の歩道に誘導したうえで，近傍の日向の車道に散水して地表面温度を低下させることが，より効果的な車道散水の方策であると考えられる。

具体的には，東西道路の南側車線で10～11時頃，15～16時頃，南北道路の東側車線で10～11時頃，南北道路の西側車線で15～16時頃に散水するのが歩行者の体感温度緩和に有効である。

また，南北道路では東側車線の10～11時頃にも，上記に準じた改善効果が期待できる。

南北道路では道路幅が極端に大きい場合を除いて両側建物の日影になる時間が長いため，正午頃を除いて日射が入射している車線に散水すると，近傍歩道の温熱環境改善の効果が期待できる。

2023夏散水は、上記の考え方でオペレーション方法を見直している



# 5. おわりに

## ① 様々な暑さ対策技術の温熱環境改善効果 (2020神戸大学測定)

	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: 黒球にミスト水滴が付着した影響がある。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。

2021年測定では、風による拡散の影響を受けにくいバス停に設置されたミスト噴霧装置の効果は、公園内のミスト噴霧装置の効果より大きく、気温低下量は1~1.5°C程度、湿度増加量は1g/kgDA程度、SET\*低下量は0.5~1°C程度であった。

\*3: 2019年度のフラクタル日除け(三宮, 元町)の測定結果より

## ② 暑さ対策技術の適材適所の選定に向けた配慮事項

---

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

# ③ えき~まち空間 景観デザインコード(2022.6.6)へ反映

## 整備の考え方

- 神戸の玄関口にふさわしい高質な素材と洗練されたデザインの採用
- 公共空間と沿道建築物の一体的な空間形成によるにぎわいと回遊性の創出
- エリアマネジメントによるにぎわい利用を想定した、多様なアクティビティに対応可能な空間構成
- 歩行者空間と自転車走行空間の分離による安全・快適でウォークアブルな空間創出
- 異常高温対策の導入による快適で持続可能性の高い空間の実現
- 帰宅困難者の滞留機能など高い防災性能を有した空間の実現
- 感染症に強い新たな生活様式に対応したフレキシビリティのある空間構成とファニチャー配置

3. 三宮クロススクエア東エリア | 日常時

交通結節機能とにぎわい空間が融合  
神戸三宮の「まち」へのエントランス



• 水や花・緑などのうらおいある空間

4. 三宮クロススクエア東エリア | 大規模イベント時

• 多様なアクティビティに対応可能な空間構成  
(水盤の水をおとして使用)

• デッキ広場との  
にぎわいの連携



• 移動型店舗によるにぎわい

# 異常高温対策

近年、「これまでに経験したことのないような」異常高温が発生し続けており、屋外公共空間においても、異常高温対策の取り組みを強化してきました。人が集中する三宮都心部においても、効果的な異常高温対策を組合せ、重点的に実施します。

モノの温度を抑制する  
(地表面の温度抑制)

- ・ 温度上昇を抑える舗装材の使用  
(色彩、雨水貯留、保水)
- ・ 木陰、緑陰空間の増加

夏季に涼しさを感じる  
居心地の良い空間へ  
(体感温度の抑制)

- ・ クールスポットの導入  
(ミスト、水盤、せせらぎ等)

- ▶ 雨水貯留浸透基盤の整備イメージ  
※東遊園地内で試験的に実施した後、三宮クロススクエアや税関前で実施を検討  
図：(一社)グリーンインフラ協賛



- ▶ 緑陰空間のイメージ

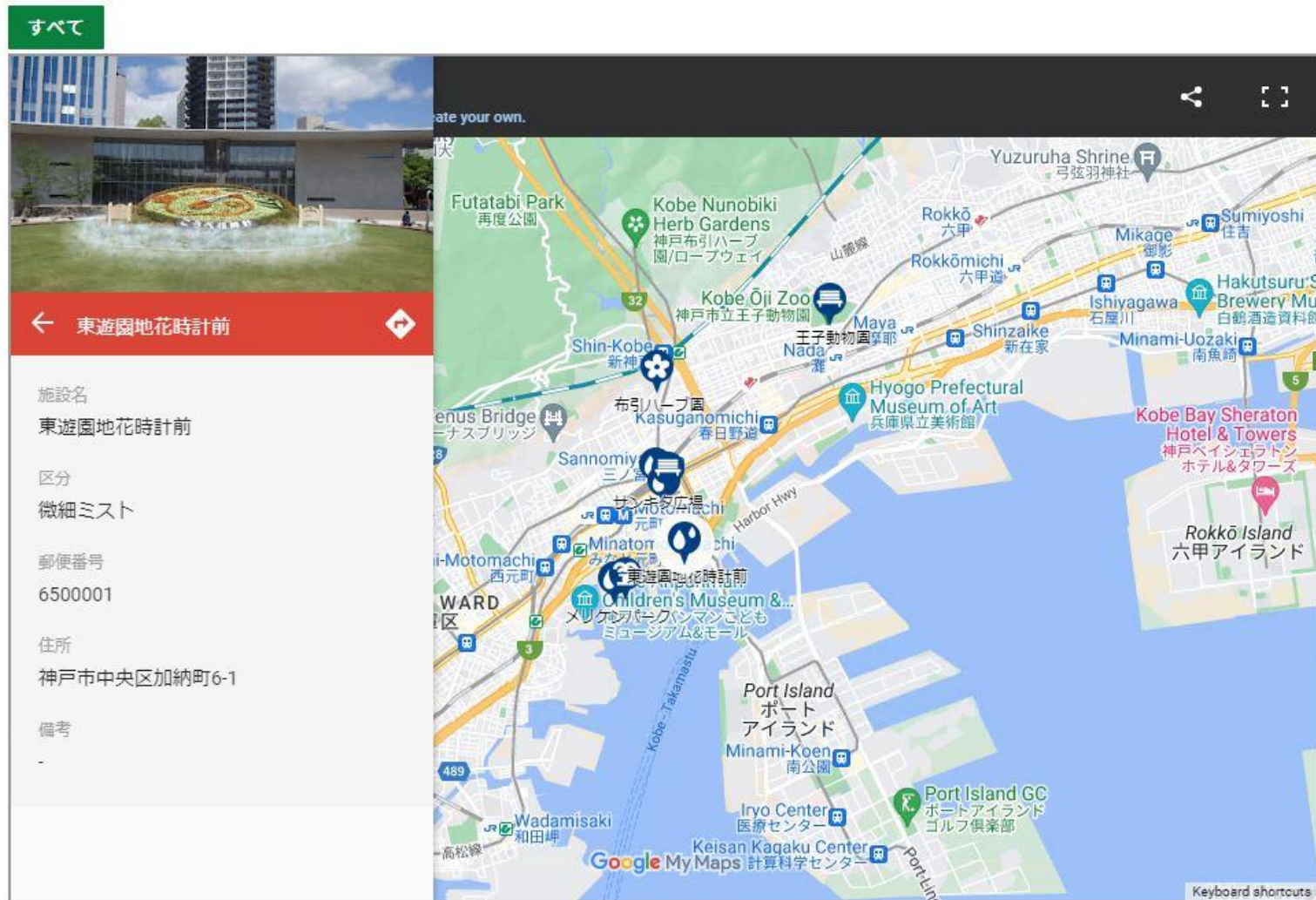


- ▲ クールスポットのイメージ

# 補足 クールスポットマップ (2022～)

神戸市では、人が多く集まる三宮の広場や駅周辺、公園などにおいて、様々な異常高温対策を進めています。それらの対策のうち、皆さまにご利用いただけるクールスポットの場所をマップ化しました。

【ベンチマーク】のピンはクールベンチ、【水滴マーク】のピンはミスト、【花マーク】のピンはフラワークールスポット、【噴水マーク】のピンは噴水の場所を示しています。それぞれのピンをクリックすると詳細情報が表示されます。



# 補足 2023夏 郊外部駅前再整備での新規導入事例 地下鉄西神中央駅前 プレンティー広場 吹上ミスト+水盤

