

グリーンインフラを導入した公園の暑熱環境について

—実測調査と数値シミュレーションによる解析—

小田切幸次（横浜市環境科学研究所）、榎原正敬（横浜市資源循環局）、佐藤玲子（横浜市環境創造局）
杉山徹、川原慎太郎（国立研究開発法人海洋研究開発機構付加価値情報創成部門）

Study on heat environment in the park with green infrastructures

- Analysis by measurement survey and numerical simulation -

Koji Otagiri (Yokohama Environmental Science Research Institute), Masataka Umehara (Yokohama Resources and Waste Recycling Bureau), Reiko Sato (Yokohama Environmental Planning Bureau), Toru Sugiyama, Shintaro Kawahara (Japan Agency Marine Earth Science and Technology Research Institute for Value Added Information Generation)

キーワード：グリーンインフラ、公園再整備、微気象観測、数値シミュレーション

要 旨

横浜市金沢区にある泥亀公園では、2019年にグリーンインフラ（以下、GI）の視点を取り入れた再整備工事が行われた。GI自体が持つ暑熱緩和効果を把握するため、実測調査と数値シミュレーションを実施した。実測調査から、園内の芝生や日陰の場所では暑さが緩和されており、芝生では蒸散、日陰では日射の低減により、地表面温度の上昇が抑えられたためであると考えられた。一方、数値シミュレーションによる解析では、園内の暑さの状況を面的に捉えることができたほか、園内に導入された特殊舗装について、保水状況の違いによる暑熱環境の変化を捉えることができた。GIの導入に伴う暑熱緩和効果を実測調査のみで定量的に把握することは困難であるが、今回、数値シミュレーションによる解析を併用することで、多角的に解析することができた。

1. はじめに

地球温暖化や都市部で特有のヒートアイランド現象などの気候変動の影響により、横浜市でも長期的に気温が上昇傾向にあり¹⁾、夏季の日中は熱中症に罹るリスクが高まってきている。このため、CO₂の削減や吸収などによる緩和を進めつつも、今後も気温上昇は避けられないため、その影響を軽減するための適応も進めていかなければならない。この両輪を担う対策の1つとして、GIが有効であると言われている²⁾。

GIとは社会資本整備、土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能（生物の生息・生育の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制等）を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくりを進める取組である³⁾。

横浜市においても、今後4年間の市政運営の方向性を示した「横浜市中期計画 2022-2025」の9つの戦略の1つである「花・緑・農・水の豊かな魅力あふれるガーデンシティ横浜の実現」の中で、GIを活用したまちづくりの推進などを掲げている。ここでは、暑熱緩和や浸水被害軽減などの気候変動への適応だけでなく、生物多様性の保全など、GIが持つ多様な機能による効果を見据え、すでに公園、旧河道など様々な場所でGIを導入してきている（図1）⁴⁾。

今回、泥亀公園でGIの視点を取り入れた再整備工事が行われたことから、GI導入エリアと非導入エリアの暑熱

環境の比較や、GI自体が持つ暑熱緩和効果を把握するため、2019年夏季に実測調査と数値シミュレーションを実施したので、これを報告する。

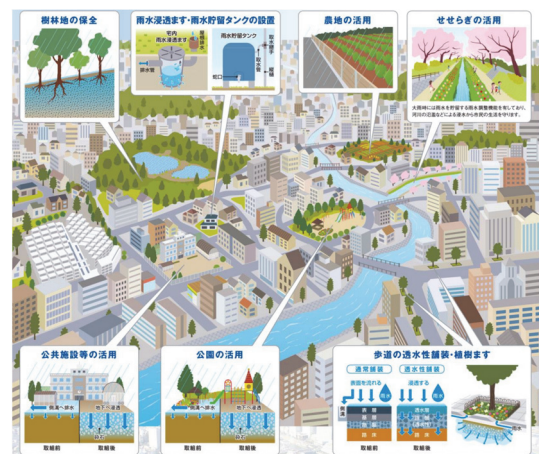


図1 横浜市におけるGIの活用イメージ⁴⁾

2. 方法

2-1 実測調査

2-1-1 実施場所及び実施期間

調査実施場所である泥亀公園は、横浜市南部の金沢区にある都市公園で、京浜急行金沢文庫駅から南南東方向に直線で約650mに位置し、公園の北側には金沢区役所が隣接している（図2）。



図2 調査実施場所の広域図

泥亀公園は、金沢区役所の建て替えに伴い再整備が行われ、2019年3月に完成しており、園内は、北側にイベント広場、中央部に芝生広場、南側にはパーゴラ（日よけ）やミスト、遊具などが設けられている（図3）。また歩道上には透水性舗装や保水性舗装などの特殊舗装が設けられているほか、公園の地面の下には、雨水貯留浸透基盤材が導入されており、各種GIを取り入れている。実測調査は、2019年8月21日10:00～15:00に行った。



図3 泥亀公園の外観（金沢区役所屋上より撮影）

2-1-2 測定項目及び調査地点の概況

実測調査における測定項目及び調査地点の概要を表1、調査地点の位置図を図4に示す。

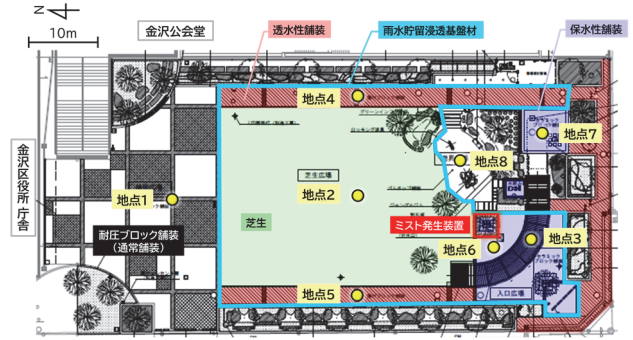


図4 調査地点の位置図

2-1-3 測定機器の仕様・測定間隔・設置方法

測定機器の仕様及び測定間隔を表2に示す。このうち、気温及び相対湿度は、温度・湿度センサーを自作の自然通風式シェルターに格納し、気象庁での温度計設置の基準⁵⁾に準拠して、地表面から高さ約1.5mの位置で測定を行った。黒球温度は、温度センサーを直径約15cmの銅製の黒球（株）安藤計器製工所製CK-150の中心に格納し、地表面から高さ約1.5mの位置で測定を行った。なお、黒球の表面はほとんど反射しない黒い塗料が塗られているため、黒球温度は直射日光にさらされた状態での球の中の平衡温度を示し、弱風時の日なたでの体感温度と良い相関があるとされる⁶⁾。風向風速について、高さの規定はないが、周辺の地物の影響を受けないことが望ましいとある⁵⁾。このため、風向風速計は観測機器の近傍にある自然通風式シェルターの影響を受けないよう、三脚に取り付けたものを、地表面から高さ約1.6mの位置に設定した。上（天空）と下（地表面）からの日射量及び下（地表面）からの赤外放射量は、地表面からの影響を測定することが主であるため、日射計及び赤外放射計を地表面から高さ約0.3mに設置し、測定を行った。測定機器の設置状況の一例を図5に示す。



図5 測定機器の外観

表1 測定項目及び調査地点の概要

地点名	気温	黒球温度	相対湿度	WBGT	日射量	地表面温度	風向	風速	地表面の性状	測定地点の環境
地点1	●	●	●	●	●	●			耐圧ブロック舗装(通常舗装)	遮蔽物が少ない
地点2	●	●	●	●	●	●	●	●	芝生+貯留浸透基盤	遮蔽物が少ない
地点3	●	●	●	●	●	●	●	●	保水性舗装+貯留浸透基盤	パーゴラ下、近くにミストあり
地点4	●	●	●	●	●	●			透水性舗装+貯留浸透基盤	東側に建物
地点5	●	●	●	●	●	●			透水性舗装+貯留浸透基盤	道路近傍で、遮蔽物が少ない
地点6	●	●	●	●	●	●			保水性舗装+貯留浸透基盤	ミストの直近
地点7	●	●	●	●	●	●	●	●	保水性舗装	遮蔽物が少ない
地点8	●	●	●	●	●	●			ゴムチップ舗装	遮蔽物が少ない

表 2 測定機器の仕様及び測定間隔

測定項目	メーカー	型番	測定範囲	測定精度	測定分解能	測定間隔
気温・黒球温度	(株)T&D	TR-52i	-60~155℃	±0.3℃	0.1℃	1分
相対湿度	(株)T&D	TR-72wf	10~95%RH	±5%RH	1%RH	1分
風向風速	NIELSEN-KELLERMAN	Kestrel 4500	0.4~40 m/s	±3%	0.1 m/s	1分
日射量	Hukseflux	LP-02	0~2000 W/m ²	±5%	—	1分
	Kipp&Zonen	CMP-3E	0~2000 W/m ²	±5%	—	1分
赤外放射量	Hukseflux	IR-02	-300~300 W/m ²	±10%	—	1分
地表面温度	A&D(株)	AD-5635	-38~365℃	±2.5%	0.1℃	30分
熱画像	日本アビックス(株)	R500S	-40~120℃	±2℃	0.03℃	30分

そのほかに 10:00~15:00 の間、30 分に 1 度、各地点の地表面温度をレーザー温度計で測定したほか、公園全体の熱画像（物体の表面温度を RGB で表現した画像）を赤外線サーモグラフィカメラで撮影した。

2-1-4 WBGT の算出

暑さ指数（WBGT: Wet-Bulb Globe Temperature）は熱中症予防を目的として、1957 年に Yaglou⁷⁾ らによって提案された指標である。これは人体と外気との熱収支に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい湿度、日射・放射などの周辺の熱環境、温度の 3 つを取り入れたものである。WBGT は労働環境や運動環境の指針として有効であると考えられており、日常生活における熱中症予防指針⁸⁾ や熱中症予防のための運動指針⁹⁾ に採用されている。両指針で示されている WBGT に応じた注意事項を表 3 に示す。

また、労働環境における WBGT について、国際的には ISO 7243¹⁰⁾、国内では JIS Z 8504¹¹⁾ として規格化されている。

WBGT [℃] は、湿球温度^{*1} を t_w [℃]、黒球温度を t_g [℃]、乾球温度^{*2} を t_d [℃] とすると、式(1)で与えられる。

$$WBGT = 0.7 t_w + 0.2 t_g + 0.1 t_d \quad (1)$$

実測調査では、乾球温度 t_d 及び黒球温度 t_g については実測値、湿球温度 t_w については乾球温度及び相対湿度から算出した計算値を用いて、WBGT を算出した。

なお湿球温度 t_w の算出には Sprung の式¹²⁾ を使用し、水の飽和蒸気圧の近似式には Tetens のパラメータ値¹³⁾ による August-Roche-Magnus の式^{14)、15)} を使用した。

表 3 WBGT に応じた注意事項

WBGT (暑さ指数)	日常生活における注意事項	熱中症予防運動指針
31℃以上 【危険】	外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。	運動は原則中止
28~31℃ 【厳重警戒】	外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。	激しい運動は中止
25~28℃ 【警戒】	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。	積極的に休憩
21~25℃ 【注意】	一般に危険性は少ないが、激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。	積極的に水分補給
21℃未満 【ほぼ安全】		適宜、水分補給

2-2 数値シミュレーション

2-2-1 共同研究の概要

横浜市環境科学研究所（以下、環科研）と国立研究開発法人海洋研究開発機構（以下、JAMSTEC）は、相互に連携し、それぞれのノウハウを活かすことで、市内の熱環境の改善に向けた取り組みを進めることを目的として、2019 年 8 月に「横浜における都市の熱環境の改善に向けた研究」に関する覚書を締結し、以後 2023 年 3 月までの期間、共同研究を実施した¹⁶⁾。今回の取組においては、環科研が実測調査を、JAMSTEC が数値シミュレーションを担当した。

2-2-2 シミュレーションモデル

本数値シミュレーションでは、JAMSTEC で開発されたマルチスケール大気・海洋結合モデル MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) を用いた。MSSG は全球スケール及びメソスケールでの気象シミュレーションと、都市街区スケールでの数 m 単位の気温や湿度などの細かな気象を予測する微気象シミュレーションをシームレスに実行できるように設計されている（図 6）。各スケールでは、計算領域サイズに応じて異なる解像度が用いられ、高解像度の場合には、全球スケールで数 km、メソスケールで数百 m、都市街区スケールで数 m の解像度でのシミュレーションが可能である。建物について、全球及びメソスケールでは、建物群としての影響を都市キャンपीモデルにより考慮する一方、都市街区スケールでは、建物形状を陽に解像した LES (Large Eddy Simulation) により実行することができる^{17)、18)}。

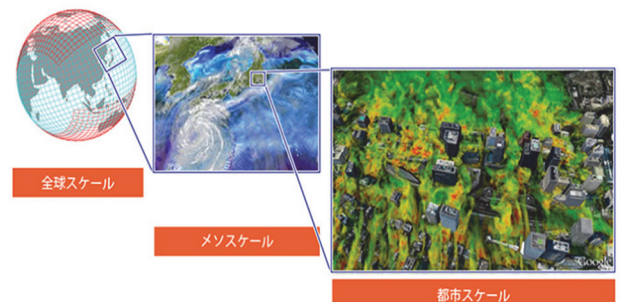


図 6 様々なモデルを 1 つのモデルで扱うことのできる MSSG のイメージ図¹⁹⁾

2-2-3 設定条件

観測日の気象条件に合わせたメソスケールでの気象シミュレーションと微気象シミュレーションを行った。外部境界条件は、気象庁のメソ数値予報モデル GPV (MSM) と海面水温データ SST (MGDSST) を用いた。ECMWF オゾン量、NCEP 土壌などの気候値を使用し、気象シミュレーションを双方向ネストにより 3300 m、1000 m、320 m、100 m まで力学的ダウンスケーリングにより高解像度化した。

その後、100 m 解像度の計算結果から微気象シミュレーションを単方向ネストにより 20 m、5 m、1 m 解像度まで高解像度化を行った。微気象シミュレーションでは、水平方向と鉛直方向の解像度はそれぞれ同じである。また微気象シミュレーションを実行する際には、横浜市建築局による都市計画基礎調査 (GIS データ) を用いて建物構造や土地利用種別のデータを作成した。なお、今回の微気象シミュレーションでは、人工排熱は取り入れていない。

3. 結果と考察

3-1 実測調査

3-1-1 調査期間中の気象概況

調査期間中に横浜地方気象台で観測された気象概況を表4に示す²⁰⁾。調査期間中、11:00~12:00は雲が多く日射がほとんどなかったが、それ以外の時間では、時折晴れる天候であった。気温は10:30頃から30℃を超え、最高気温は32.5℃を記録した。また湿度は60%前後と高く、蒸し暑い1日となった。風は午前中は東寄りの風で、午後は南東寄りの風となっており、風速は午前と比べて午後の方が、やや強い状況にあった。

表 4 調査期間中の気象概況 (横浜地方気象台) ²⁰⁾

時刻	降水量 [mm]	気温 [°C]	湿度 [%]	風向 [16方位]	風速 [m/s]	日照時間 [h]	天候
10:00	-	29.0	67	東	2.6	0.3	晴れ
11:00	-	30.3	66	東北東	2.0	0.4	晴れ
12:00	0.0	29.9	67	東	2.2	0.0	曇
13:00	-	32.3	60	南東	3.4	0.8	曇
14:00	-	32.8	60	東南東	2.8	0.6	曇
15:00	-	31.3	59	南南東	4.3	0.6	曇

3-1-2 気温・相対湿度・黒球温度

各測定地点での気温・相対湿度・黒球温度の時間変化を図7に、結果一覧を表5に示す。時間変化から、気温は31℃前後、相対湿度は57%前後で推移した。黒球温度は11:00頃と13:00過ぎに高くなったが、14:00頃からは雲の影響により日射が少なくなったため、大きく低下した。なお、地点間を比較すると、大まかな傾向は一致しており、平均値も地点2を除くと同程度であった。気温や黒球温度の平均値は地点2の芝生で低く、これは芝生の蒸散効果により植物の葉が熱くならず、地面からの熱が低減されたためと考えられる。また地点6では近傍でミストが噴霧されていたものの、気温や黒球温度は下がっていない。これは、設置されているミストが地面付近の開口部から上に向かって噴霧するタイプであったため、地上高1.5 m

に設置した測定器まで影響しなかったことや、風によりミスト粒子が流されてしまったことなどが考えられる。

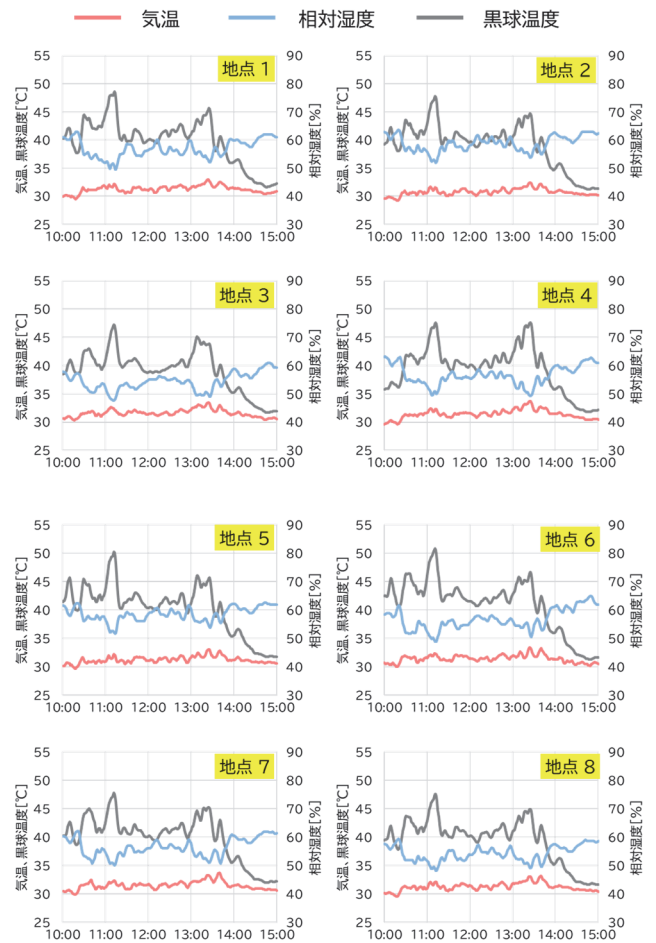


図 7 各測定地点での気温・相対湿度・黒球温度の時間変化

表 5 気温・相対湿度・黒球温度の結果一覧

	気温 [°C]			黒球温度 [°C]			相対湿度 [%]		
	最低値	平均値	最高値	最低値	平均値	最高値	最低値	平均値	最高値
地点1	29.4	31.3	33.1	31.5	39.8	50.0	49	57	64
地点2	29.0	30.8	33.1	31.2	39.1	48.9	50	59	64
地点3	30.2	31.6	34.0	31.7	39.1	47.6	47	54	61
地点4	29.5	31.4	34.0	31.8	39.4	48.8	48	57	64
地点5	29.4	31.2	33.5	31.7	40.3	51.2	50	59	63
地点6	29.5	31.4	33.9	31.2	41.0	51.4	48	57	65
地点7	29.6	31.5	34.2	31.9	39.9	48.7	49	56	63
地点8	29.2	31.3	33.8	31.6	39.5	48.7	47	54	60

※ 各測定項目の平均値について、最も高い値を赤色、最も低い値を青色で表記

3-1-3 WBGT (暑さ指数)

各測定地点での WBGT の時間変化を図 8 に、WBGT の結果一覧を表 6 に示す。なお、28℃以上の時間割合とは、10:00~15:00 の測定時間内に占める、WBGT28℃以上の嚴重警戒ランクを超えた時間を百分率で示したものである。時間変化のグラフから、各地点で共通していることとして、黒球温度が上昇した 11:00 過ぎと 13:00 過ぎに WBGT は高くなり、14:00 頃からは大きく低下していた。また WBGT の平均値は地点 5 と地点 6 で高く、平均値が最も低かった地点 8 より 0.7℃高い結果となった。

また WBGT が 28℃以上 (嚴重警戒ランク) になると熱中症の搬送者数が増えると言われており、28℃以上

の時間割合は、各地点で差があった。暑熱対策をしていない地点1と比較して、地点2、3では時間割合が約15ポイント低く、地点8では約19ポイント低かった。地点2では芝生、地点3では日陰の効果が表れているためと考えられる。また地点8では、相対湿度が若干低かったため、WBGT28℃以上の時間割合が低くなっているが、この原因については不明である。

一方、地点5~7は28℃以上の時間割合が高くなっており、熱が滞留しやすい、あるいは車道からの自動車排熱などが影響している可能性がある。

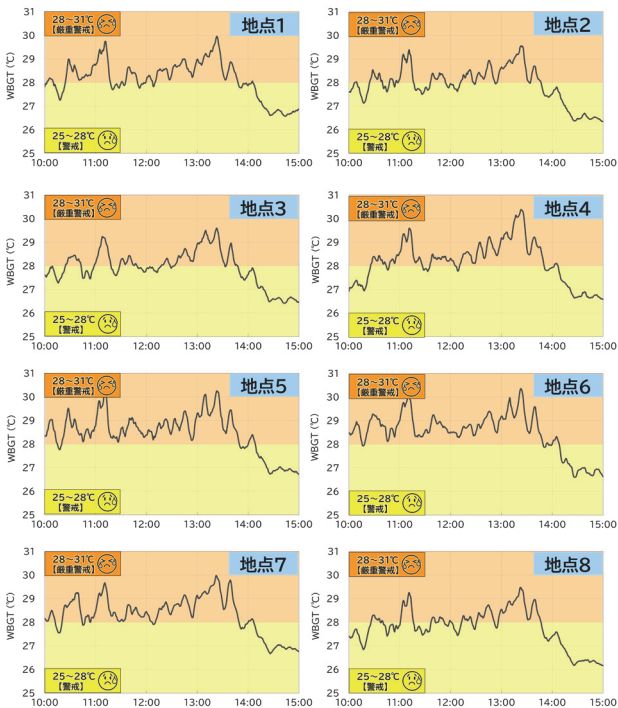


図8 各測定地点でのWBGTの時間変化

表6 WBGTの結果一覧

	WBGT [°C]			WBGT28℃以上の時間割合 [%]
	最低値	平均値	最高値	
地点1	26.5	28.1	30.1	60.8
地点2	26.3	27.9	30.2	45.8
地点3	26.3	27.9	29.9	45.8
地点4	26.5	28.2	30.6	59.8
地点5	26.5	28.5	30.8	74.1
地点6	26.2	28.5	30.8	76.4
地点7	26.6	28.3	30.4	68.8
地点8	26.1	27.8	30.0	41.9

※ 最低値、平均値、最高値について、各地点の中で最も高い値を赤色、最も低い値を青色で表記

3-1-4 地表面温度

各測定地点での地表面温度の時間変化を図9に示す。地点8は地表面温度が高く、平均で51.3℃、最大で61.2℃を観測している。これは地表面がゴムチップ舗装となっており、熱を吸収しやすいためであると考えられる。

一方、地点2は地表面温度が低く、平均で30.1℃、最大でも33.7℃に留まっている。これは地表面が芝生になっており、熱を吸収しにくいこと、また蒸散により芝生自体の温度上昇が抑制されているためであると考えられる。

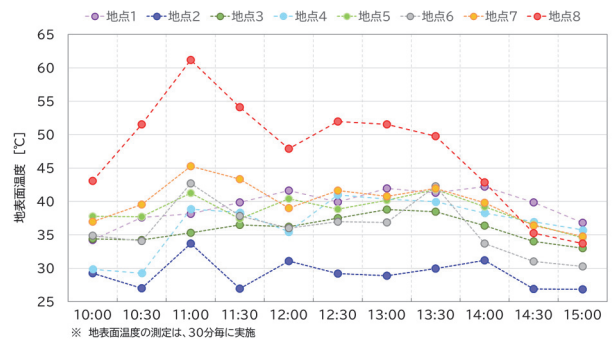


図9 各測定地点での地表面温度の時間変化

3-1-5 日射量

各測定地点での上方向及び下方向からの日射量の時間変化を図10に示す。

上からの日射量について、地点1及び2と比較して地点3では常に3~4割ほど低くなっているが、これは地点3にパーゴラが設置されており、日射の一部が遮られているためである。同様の理由で、地表面で跳ね返ってくる下からの日射量についても、地点1及び2と比較して地点3では常に2~3割ほど低くなっている。

また11:00~13:00前後で、日射量が低くなっているのは、雲が多くなり、日射が遮られたためである。

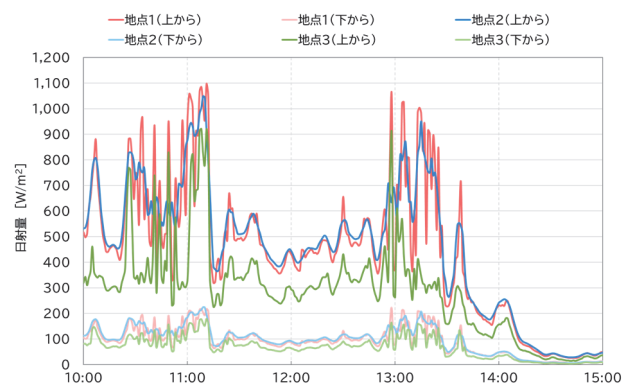


図10 各測定地点での日射量の時間変化

3-1-6 熱画像

泥亀公園北側にある金沢区役所屋上から、泥亀公園方向に向けて撮影した熱画像の一例(2019年8月21日13:00撮影)を図11に示す。3-1-4章で示した地表面温度の測定結果と傾向は類似しており、園内ではゴムチップ舗装(地点8)付近で約55℃、通常舗装のうち暗灰色の部分(地点1)で約48℃と表面温度が高いほか、周辺では金沢公会堂の屋上で約54℃、国道16号沿いの歩道部分で約48℃と表面温度が高い傾向にあった。

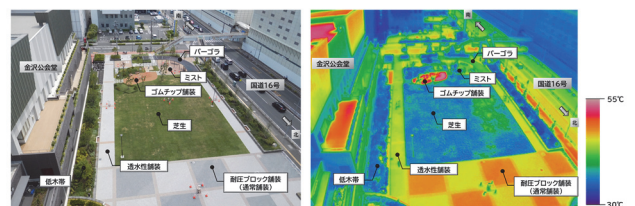


図11 泥亀公園の表面温度の様子 (左) 可視画像 (右) 熱画像

一方、表面温度が低いエリアとして、園内中央の芝生（地点5）で約36℃、園内の外縁部にある低木帯付近で約35℃と、緑で覆われている部分で表面温度が低かった。

3-2 数値シミュレーション

3-2-1 実測調査当日の暑熱環境

実測調査当日10:00～11:30における微気象シミュレーションの結果の一例として、日射量が特に強かった11:40～11:50の高さ0.5 mにおけるWBGTの空間分布を図12に示す。園内のWBGTの特徴として、金沢公会堂の建物に近い通常舗装の日なたで相対的に高く、中央部にある芝生エリアで相対的に低くなっていた。また細かく見ると、公園の西側外縁部に植えられた樹木付近ではWBGTが低く、芝生エリアの南側にあるゴムチップ舗装ではWBGTが高い状況にあった。また、同じ芝生エリアであっても、金沢公会堂に近い側では、WBGTが高くなっていた。

これらの要因としては、地表面温度の違いが大きく影響しており、地表面温度が高い場所のWBGTは高い傾向にある。これに加えて、園内に吹く風が、金沢公会堂南側の車道から園内中央に流れ込む向きであり、金沢公会堂南側の車道に在る暑い空気が園内に広がる影響が見られている。一方、公園内西側は実測調査結果とは異なり、WBGTが低くなっている。公園外の西側の車道(国道16号)部分も含めて自動車等の人工排熱を設定していないことも理由として考えられるが、主として、公園内に国道側から風が流れ込まないこと、すなわち、高温の空気が流れ込まないことが理由として挙げられる。

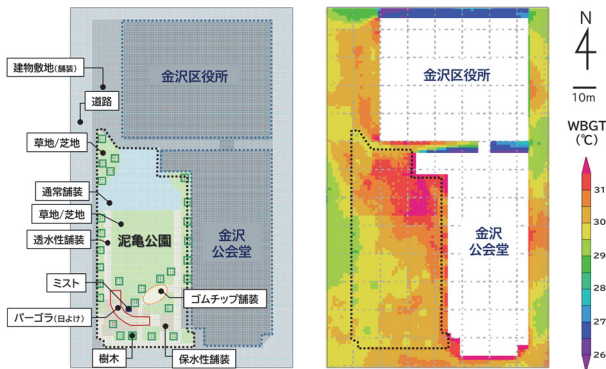


図12 泥亀公園内の設定条件(左)とWBGTのシミュレーション結果(右)

3-2-2 舗装の保水率の違いによる暑熱環境の差

園内には保水性舗装や透水性舗装などの特殊舗装が導入されており、特殊舗装面からの蒸発潜熱を利用した暑熱環境の改善が図られている(舗装の種類と施工場所は図13(a)上図を参照)。しかし、夏季の天候によって、特殊舗装の保水率等が変わることから、特殊舗装面からの蒸発効率も日々変化する。このことから、特殊舗装面の保水状況の違いによる暑熱環境への影響を舗装面の蒸発効率を変化させることで、微気象シミュレーションにより考察した。設定した蒸発効率は、乾燥時(蒸発効率5%)、通常時(蒸発効率10～30%)、湿潤時(蒸発効率50～60%)の3ケースである(図13(a)下表)。

蒸発効率の違いにより、地面からの熱フラックス量が

変わるため、地表面温度が大きく変化する。その変化量を通常時と比較した結果を図13(b)、(c)に示す。保水性舗装や透水性舗装の場所では、通常時と比較すると、乾燥時の地表面温度は2～8℃高く、湿潤時の地表面温度は4～8℃低い結果となった。特殊舗装では、乾燥時は地表面からの潜熱が減少し、地表面温度が上がるため、舗装面から近い高さの気温も上がると考えられる。一方、湿潤時は地表面からの潜熱が増加し、地表面温度が上がりにくくなるため、舗装面に近い高さの気温の上昇も抑えられると考えられる。

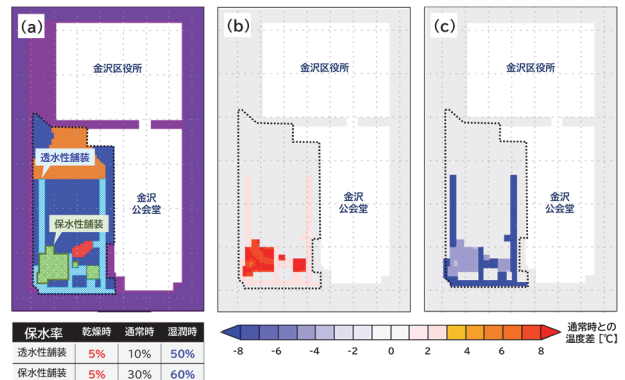


図13 舗装の保水状況の違いによる地表面温度の差 (a) 設定条件 (b) 乾燥時 - 通常時 (c) 湿潤時 - 通常時

高さ0.5 mでの気温について、舗装の保水状況毎にシミュレーションした結果を図14(a)～(c)に、通常時との差分を図14(d)、(e)に示す。

通常時と比較して乾燥時は地表面温度が高くなったため、気温も通常時と比較すると、公園南側の保水性舗装の辺りで最大0.3～0.4℃高くなっていたが、公園全体での気温差は小さい傾向にあった。

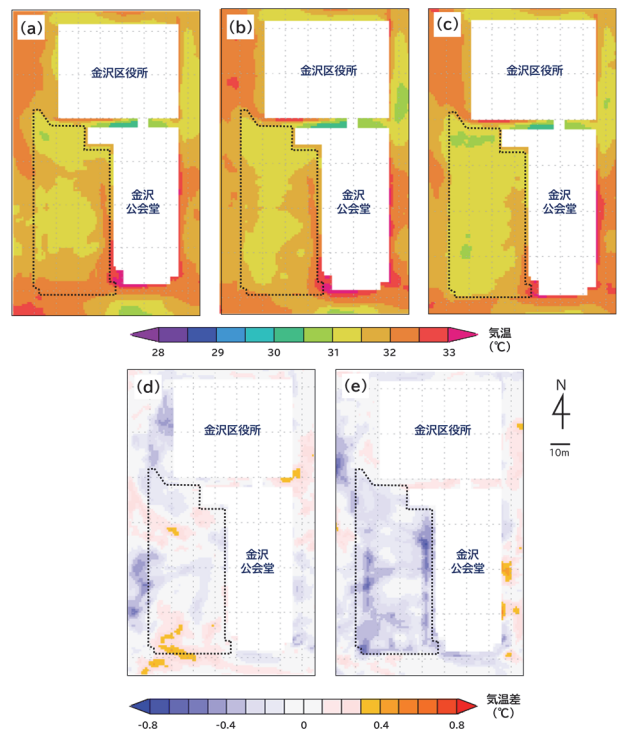


図14 舗装の保水状況の違いによる気温の状況 (a) 乾燥時 (b) 通常時 (c) 湿潤時 (d) 気温(a) - (b) (e) 気温(c) - (b)

一方、乾燥時とは逆に湿潤時は保水性舗装や透水性舗装のエリアを中心に、地表面温度が下がったことにより、湿潤時の気温は通常時と比較すると、保水性舗装や透水性舗装のエリアに沿って最大で約 0.7℃の気温低下がみられ、公園内全体での気温の低下も確認できた。金沢公会堂に沿った透水性舗装付近で生成された気温の低い空気が、風とともに園内に広がったためと考えられる。

4. まとめ

横浜市金沢区にある泥亀公園で GI の視点を取り入れた再整備工事が行われたことから、GI 自体が持つ暑熱緩和効果を把握するため、実測調査と数値シミュレーションを実施した。

実測調査では、気温や黒球温度は芝生のエリアで低く、これは芝生からの蒸散により葉が熱くならず、地表面温度の上昇が抑制されていたためと考えられる。このため WBGT が 28℃以上の時間割合についても、芝生エリアで低かったほか、パーゴラによって日陰になっていたエリアでも低かった。また地表面温度の測定結果や熱画像の撮影データから、公園内では芝生や低木帯などの緑化部分で地表面温度が低く、ゴムチップ舗装や通常舗装の暗灰色部分で地表面温度が高かった。地表面温度が高い理由としては、熱を吸収しやすい素材や色調が影響しているものと考えられる。

一方、数値シミュレーションによる解析では、WBGT の空間分布により公園内で WBGT が高い/低いエリアを、面的にとらえることができた。WBGT の値に影響する一因として、地表面温度の違いが大きく影響しているほか、当日の風の流れも影響していると示唆され、今後 JAMSTEC において、さらなる解析を予定している。

また園内に導入された透水性舗装や保水性舗装による暑熱緩和効果について、実際に実測調査で保水の状況をコントロールして検証することは不可能であるが、数値シミュレーションでは保水率を複数設定することで、保水状況の違いによる暑熱環境の変化を仮想実験することができた。同じエリアでも乾燥時の地表面温度は湿潤時の地表面温度と比較して、10℃前後高いことが分かった。これは、保水状況の違いにより、地表面からの潜熱が変わり、地表面温度や気温に影響するためと考えられる。

GI の導入に伴う暑熱緩和効果を実測調査のみで定量的に把握することは困難であるが、今回、数値シミュレーションによる解析を併用することで、多角的に解析することができた。今後も市内の様々な場所に GI が導入されることを見込まれる中、本報告が GI の効果を評価する際の助となるよう、活用していきたい。

謝 辞

本調査の実施に当たり、公園の再整備を計画した横浜市環境創造局公園緑地整備課及び公園を管理する金沢土木事務所には調査の企画や調査実施の際にご協力をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

注 釈

※1

水で湿らせたガーゼを温度計の球部に巻き、温度計表面にある水分が蒸発した時の冷却熱と平衡した時の温度

※2

通常の温度計を用いて、測定した温度（気温）

文 献

- 1) 気象庁：ヒートアイランド監視報告 2017、66pp. (2018)
- 2) 国土交通省：グリーンインフラ推進戦略、21pp. (2019)
- 3) 国土交通省：国土形成計画(全国計画)、173pp. (2015)
- 4) 横浜市環境創造局政策課，気候変動に適応したグリーンインフラの活用、https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/kasen-gesuido/gesuido/bousai/green_infrastructure.html (2023年10月時点)
- 5) 気象庁：気象観測の手引き、81pp. (1998)
- 6) 環境省：熱中症予防情報サイト、https://www.wbgt.env.go.jp/doc_observation.php (2023年10月時点)
- 7) C. P. Yaglou and D. Minard : Control of heat casualties at military training centers, *A. M. A. Arch. Ind. Health*, 16, 302-316 (1957)
- 8) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針 Ver. 4、<https://seikishou.jp/cms/wp-content/uploads/20220523-v4.pdf> (2023年10月時点)
- 9) 公益財団法人日本体育協会：スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック（第5版）、56pp. (2019)
- 10) International Organization for Standardization : ISO 7243:1989 Hot environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature) (1989)
- 11) 日本産業規格：JIS Z 8504:1999 人間工学—WBGT (湿球黒球温度) 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価—暑熱環境 (1999)
- 12) 日本産業規格：JIS Z 8806:2001 湿度—測定方法 (2001)
- 13) O. Tetens : Uber einige meteorologische Begriffe, *Z. Geophys.*, 6, 297-309 (1930)
- 14) O. A. Alduchov and R. E. Eskridge : Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure, *J. Appl. Meteor.*, 35, 601-609 (1996)
- 15) M. G. Lawrence : The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 225-233 (2005)
- 16) 横浜市：横浜における都市の熱環境の改善に向けた研究 成果報告書、https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/kankyohozen/kansoku/science/naiyou/heat/kyodokenkyu/gaiyo_houkokusho.files/seikahoukokusho_kyodokenkyu.pdf (2023年10月時点)

- 17) K. Takahashi, R. Onishi, Y. Baba, S. Kida, K. Matsuda, K. Goto, and H. Fuchigami : Challenge toward the prediction of typhoon behavior and down pour, *J. Physics*, 454, 012072 (2013)
- 18) K. Matsuda, R. Onishi, and K. Takahashi : Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 173, 53-66 (2018)
- 19) 海洋研究開発機構 : 最新スーパーコンピュータ技術を駆使して暑さから人々を守る！ ヒートアイランド対策に「地球シミュレータ」による予測結果を活用、<https://www.jamstec.go.jp/j/pr/topics/quest-20180621-2/3/> (2023年10月時点)
- 20) 気象庁 : 過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2023年10月時点)