

## 2. まちなかの暑熱対策の推進

### 1) 目的

地方公共団体が夏季に実施するイベントにおいて、イベント参加者による施設間等の移動で使う屋外経路を対象に、暑熱対策を組み合わせた効果を調査した。地方公共団体が実施するイベントとして、横浜トリエンナーレ 2020 を対象とした。また、対策の効果・影響として、日傘による日射遮蔽効果とマスクによる影響を対象とした。

### 2) 調査内容

調査は、アンケート調査、温熱環境調査、被験者を用いた調査の3つを実施する予定であったが、アンケート調査については実施直前に、新型コロナウイルス感染症対策として、対面によるイベント参加者への声かけをしない方針が地方公共団体から示されたため、温熱環境調査と被験者を用いた調査の2つを実施した。アンケート調査の調査票等の事前検討内容は参考として巻末に添付した。

なお、調査計画の策定から調査の実施、とりまとめについて、以下の2名の有識者からの助言を得つつ実施した。

- ・三坂育正氏 日本工業大学建築学科
- ・仲吉信人氏 東京理科大学理工学部土木工学科

#### (1) 横浜トリエンナーレとは

横浜トリエンナーレは、横浜市で3年に一度開催する現代アートの国際展で、横浜トリエンナーレ 2020 は7回目の開催となる。開催期間は2020年7月11日～10月17日である。新型コロナウイルス感染症が拡大するなか、来場については予約制となったが、期間中の総来場者は約145,000人、一日当たり平均来場者は約1,900人であった。2020のメイン会場は、横浜美術館とプロット48の2会場であり、来場者がこの2つの会場間を移動した。



図 2-1 横浜トリエンナーレ会場間移動経路

2つの会場間の移動の際の暑さ対策として、各会場の出入り口にオリジナル日傘が置かれ、無料で貸出しが行われた。



図 2-2 オリジナル日傘の設置状況（左）と利用状況（右）

## (2) 温熱環境調査

2つの会場間の移動経路を対象に、暑さ対策効果を把握するための温熱環境測定を実施した。測定は定点での観測と、(3)の被験者の移動に合わせた移動観測を実施し、移動観測については測定機器の時定数等を考慮した適切な手法について、既往文献<sup>1</sup>を参考に実施した。

### ①調査期間

定点観測：8月4日、5日、7日、8日の4日間  
 移動観測：8月4日、5日、7日、8日の4日間

### ②場所

定点観測：プロット48屋上駐車場（日向）と被験者用テント下（日陰）  
 移動観測：2つの会場間の移動経路（被験者の移動に合わせて実施）

### ③測定項目

定点観測、移動観測で以下の項目を測定した。

表 2-1 定点観測項目

測定項目	センサー	備考
気温	Pt1000	強制通風式
相対湿度	静電容量式	
風向風速	2次元超音波式	
黒球温度	ベルノン式 (Pt100)	

<sup>1</sup> Nakayoshi, M., Kanda, M. & de Dear, R. Globe Anemo-radiometer. *Boundary-Layer Meteorol* 155, 209-227 (2015).

表 2-2 移動観測項目

測定項目	センサー	備考
気温	熱電対	強制通風式
相対湿度	静電容量式	
黒球温度	直径 12mm (センサーは熱電対)	
白球温度	直径 12mm (センサーは熱電対)	
加熱黒球温度	直径 12mm (センサーは熱電対)	



図 2-3 測定状況 (左：定点観測 (日向)、右：移動観測)



図 2-4 測定位置

(3) 被験者を用いた調査

2つの会場間の移動経路を対象に、暑さ対策等（日傘の利用、マスクの有無等）の比較検証が行えるように歩行条件を設定し、体表面温度、心拍数、体重減少量、主観申告を調査した。歩行についてはプロット 48 からスタートして横浜美術館までの経路を時速 4km のペースで往復した。

### ①調査期間

8月4日、5日、7日、8日の4日間

### ②場所

2つの会場間の移動経路（片道約600m：プロット48からスタートして横浜美術館までの経路を往復）

### ③測定項目

- ・体表面温度（7点法+頬）
- ・心拍数
- ・体重減少量（発汗量）
- ・主観申告（温冷感、快適感、湿度感、気流感、日射感、満足感、許容度等）

### ④実施手順

- ・当日の健康状態を確認
- ・半袖半ズボンの着衣に着替
- ・心拍計や皮膚温センサー等の装着
- ・適宜、主観申告アンケートの実施
- ・日陰空間滞在後に約15分間の日向歩行または日陰歩行（4回/日）
- ・歩行の前後に体重測定

### ① 被験者

被験者は20歳代、30歳代の健康な男性8名で、各被験者共に2日間の調査を実施した。被験者の年齢、身長、体重等を以下に示す。

表 2-3 被験者の概要（8名）

	年齢（歳）	身長（cm）	体重（kg）
最大値	39	179	87
平均値	32.3	173.6	65.3
最小値	22	165	57
標準偏差	6.92	4.84	10.30

### ② 各歩行条件の実施スケジュール

8名を2グループに分け、4名ずつ実施した。各被験者共に2日間の調査を実施し、各日、以下の4条件で歩行を実施した。なお、新型コロナ感染症対策のため、マスク無しの条件についてはフェイスシールドを着用した。

- ・日傘有り（umb）+マスク（mask）
- ・日傘有り（umb）+フェイスシールド（shield）
- ・日傘無し（sun）+マスク（mask）
- ・日傘無し（sun）+フェイスシールド（shield）

表 2-4 実験スケジュール (およそ 10:00~14:30 で実施)

被験者	30分	15分	20分	15分	15分	15分	20分	15分	30分	15分	20分	15分	15分	15分	20分	15分
A	準備 日陰着座 (アンケート回答等)	日陰着座	日傘有 マスク	日陰着座	休憩	日陰着座	日傘有 フェイスシールド*	日陰着座	休憩 (昼食)	日陰着座	日傘無 マスク	日陰着座	休憩	日陰着座	日傘無 フェイスシールド*	日陰着座
B			日傘有 フェイスシールド*				日傘無 マスク				日傘無 フェイスシールド*					
C			日傘無 マスク				日傘有 フェイスシールド*				日傘有 フェイスシールド*					
D			日傘無 フェイスシールド*				日傘無 フェイスシールド*				日傘有 マスク					

⑦倫理審査

本実験は、「まちなかにおける人の暑さ対策行動の検証研究」として、日本工業大学の「人を対象とする研究倫理委員会」の審査を経て実施した。



図 2-5 被験者調査の実施状況 (上左：日陰休憩時、上右・下：歩行時)

### 3) 調査結果

#### (1) 温熱環境調査

##### ① 定点観測 (日向)

4日間の気温、湿度、WBGT、日射量の推移を以下に示した。気温は8月8日の午前を除き32～35℃程度と比較的安定していたが、WBGTは29～32℃程度内で不安定に推移した。日射量は7日午後と8日は安定せず、風速は7日が強く、これらの影響を受け、7日、8日のWBGTが不安定な推移となった。

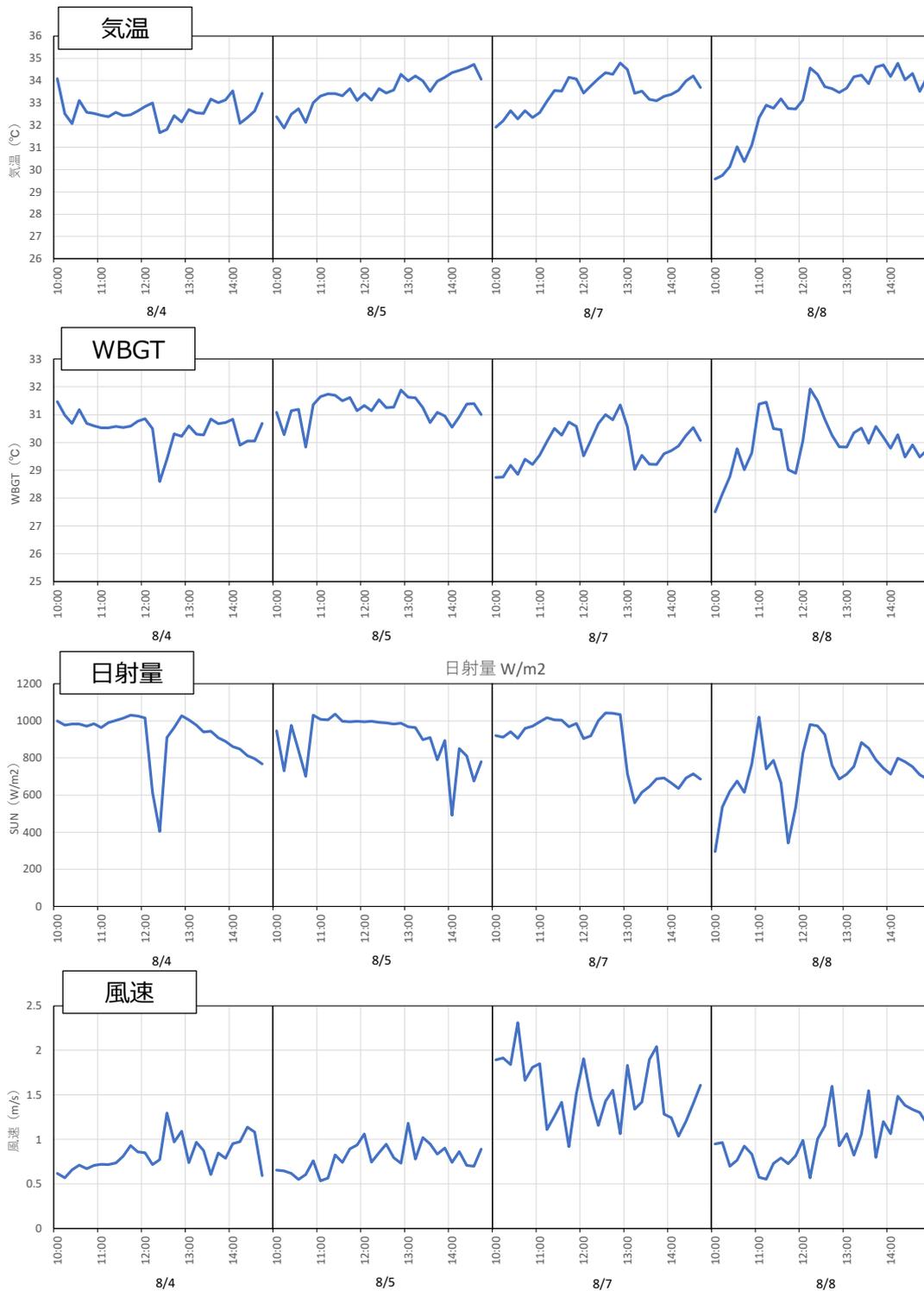


図 2-6 定点観測結果 (上から気温、WBGT、日射量、風速)

## ②移動観測

移動観測は、被験者を用いた調査の移動時と合わせ、プロット 48 からスタートし、信号を 4 か所通り横浜美術館前で折り返し、再び同じルートを通してプロット 48 に戻った。往路は日傘を使わず、復路は測定器の上に日傘をさして観測した。

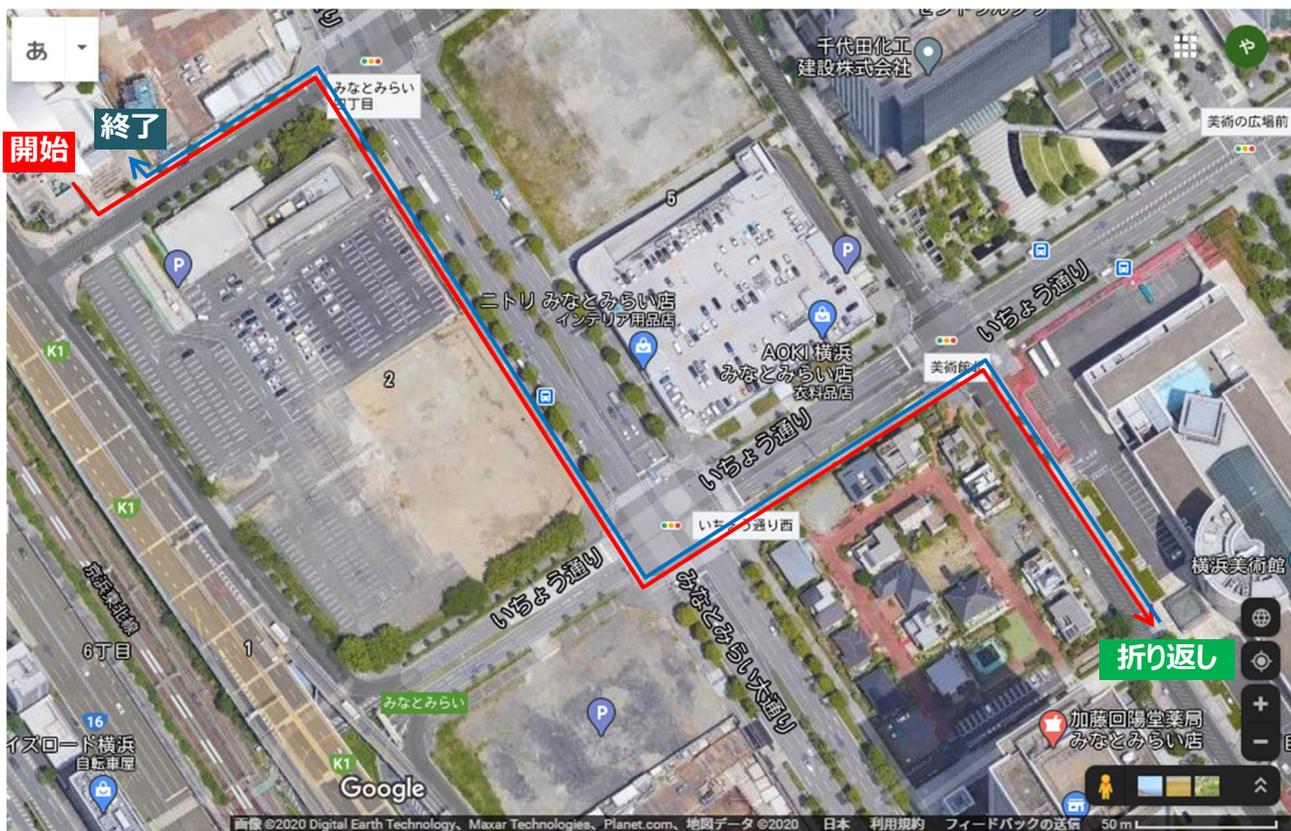


図 2-7 移動観測のルート

### 【移動時の経時変化】

図 2-8 に、例として、8 月 5 日の 2 回目の歩行時の観測データを示す。風速は、白球・黒球・加熱黒球それぞれについての熱収支式を連立することで求め、WBGT と相対風速の 10 秒値の推移を示した。往路（日傘無し）の方が、復路（日傘有り）に比べて全般的に WBGT が 1°C 程度高くなっていた。WBGT の変動を見ると、往路では、2 か所の信号待ちで急激に WBGT が上昇していた。

### 【日傘有り・日傘無しの比較】

図 2-9 左に、日傘有りと日傘無しの WBGT を比べた。日傘有りの WBGT は、日傘無しより平均して 1°C 低くなっていた。なお、往路（日傘無し）と復路（日傘有り）で定点観測の日射量が 10% 以上、異なるデータは除いた。参考として図 2-9 右には、定点観測における日向と日陰のデータを示したが、日向に比べて日陰の WBGT は平均して 2.7°C 低くなっていた。

### 【移動観測と定点観測の比較】

図 2-10 に日向（日傘無し）と日陰（日傘有り）の定点観測と移動観測の WBGT を比べた。日向（日傘無し）の場合（図 2-1 左）は、移動観測より定点観測の方が高くなる傾向がある。一方、日陰（日傘有り）の場合（図 2-1 右）は、逆に定点観測より移動観測の方が高くなる傾向が見られた。

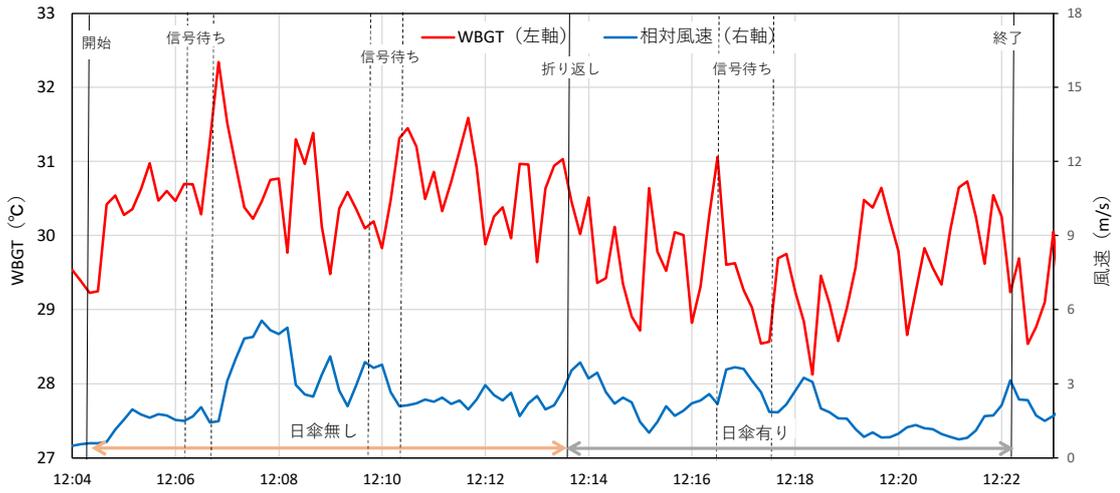


図 2-8 移動観測結果の例（8月5日、2回目の歩行時）

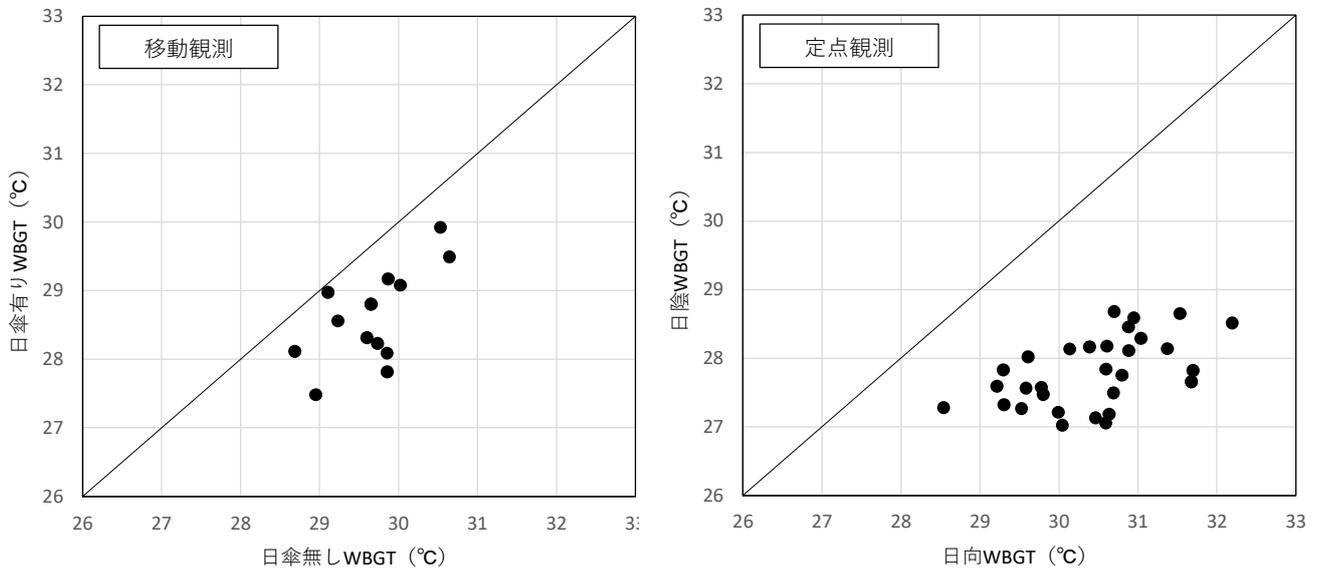


図 2-9 日向（日傘無し）と日陰（日傘有り）の WBGT（左：移動観測、右：定点観測）

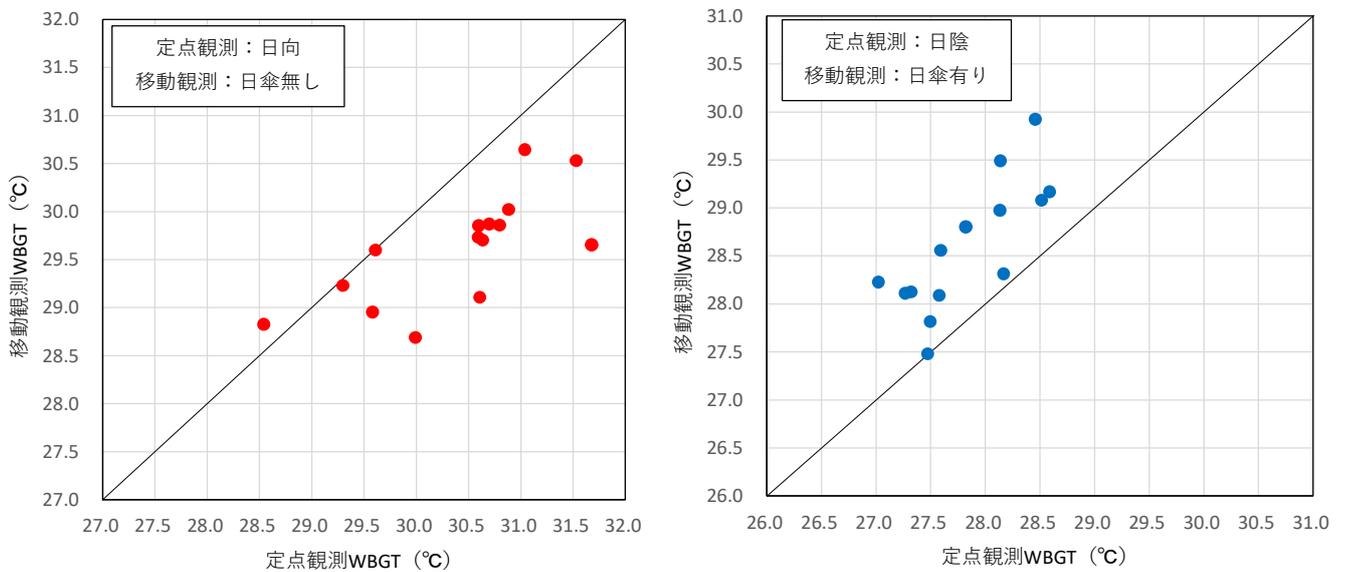


図 2-10 移動観測と定点観測の WBGT（左：日向（日傘無し）、右：日陰（日傘有り））

### 【風速の違い】

定点観測と移動観測の結果に差が生じる要因の一つに風速が考えられる。図 2-11 に日向の定点観測と移動観測の風速を比べた。移動観測時の風速は定点観測に比べて 2~3 倍程度となっており、人の移動が相対風速を高めることなどが影響していると考えられる。そのため、日傘無しでの移動観測では、風速が高いことで黒球温度が低下し（図 12 左）、WBGT が定点観測よりも低下したと考えられる。

### 【放射環境の違い】

テントによる日陰（定点観測）と日傘有り（移動観測）の黒球温度を比べると（図 2-12 右）、日傘有り（移動観測）の方が高かった。テントに比べて日傘による天空の遮蔽割合が小さいために、天空からの散乱日射が増加することや、日影面積が小さいために路面からの照り返しが強く、移動しているために足元の路面の表面温度が高く、輻射熱が大きいことが影響していると推察される。

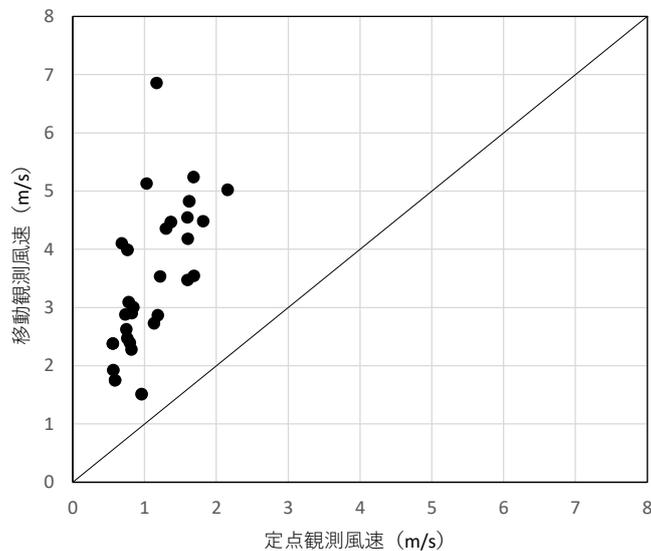


図 2-11 移動観測と定点観測の風速

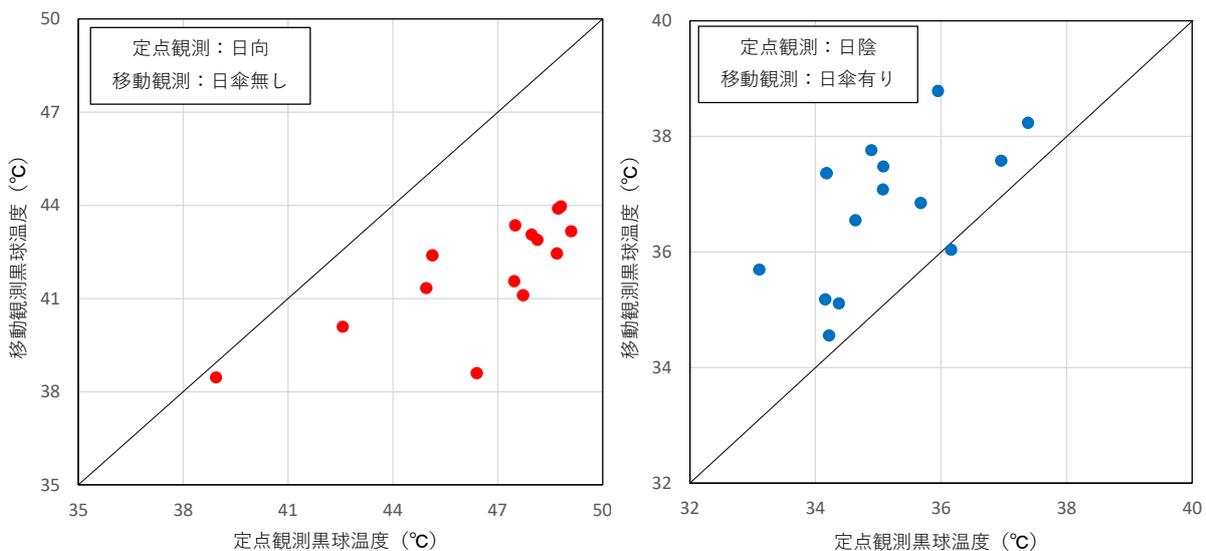


図 2-12 移動観測と定点観測の黒球温度（左：日向（日傘無し）、右：日陰（日傘有り））

(2) 被験者を用いた調査

被験者を用いた調査では、体表面温度、心拍数、体重減少量（発汗量）、主観申告のデータを示す。体表面温度、心拍数については歩行直前の着座時の値と歩行時の平均値との差分を評価した。体重減少量については歩行前の測定値から歩行後の測定値を引いた値で評価した。

表 2-5 実験条件

実験条件	略称
日傘無し・マスク	sun-mask
日傘無し・フェイスシールド	sun-shield
日傘有り・マスク	umb-mask
日傘有り・フェイスシールド	umb-shield

①体表面温度

7点法で求めた歩行時の平均体表面温度上昇量を各条件で比較した。sun-mask で約 0.3℃、sun-shield で約 0.2℃、umb-mask、umb-shield では約 0.1℃の上昇量であり、日傘有り（umb）の方が体表面温度上昇量が僅かながら小さかった。ただし、統計学的には有意な違いは認められなかった。

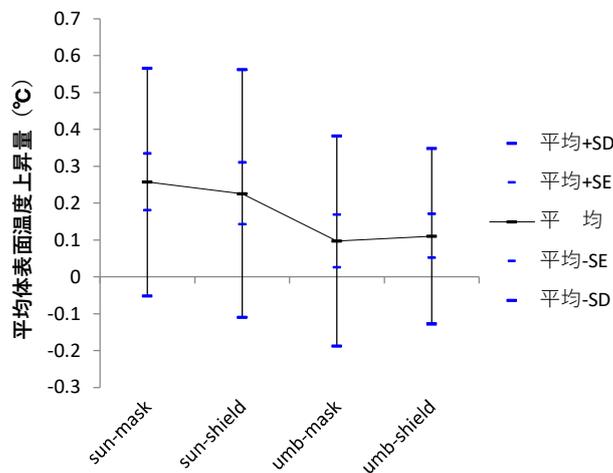


図 2-13 平均体表面温度上昇量

マスクによって覆われる頬の表面温度上昇量を各条件で比較した。mask 条件では、shield 条件に比べて頬の表面温度上昇量が 0.2℃程度高くなっていた。統計学的には、umb-mask と sun-shield・umb-shield の間に有意な差が確認された（Bonferroni、 $P < 0.05$ ）。

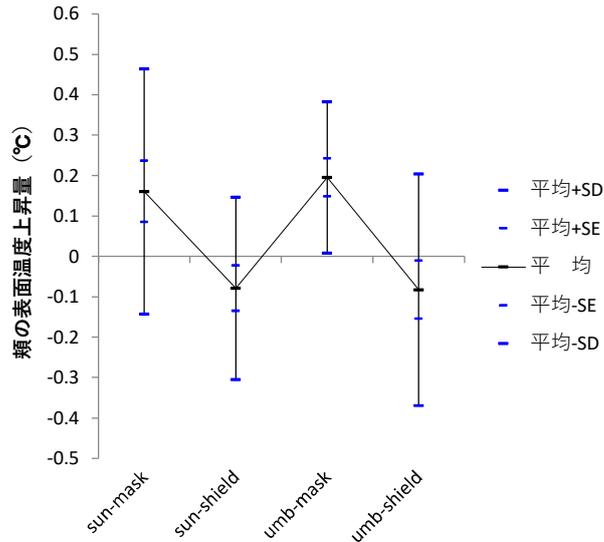


図 2-14 頬の表面温度上昇量

### ②心拍数

歩行時の平均心拍数上昇量を各条件で比較した。sun-mask で 19.0bpm、sun-shield で 18.1bpm、umb-mask で 18.7bpm、umb-shield で 17.5bpm の上昇量であった。mask 条件より、shield 条件の方が僅かながら心拍上昇量が低くなっていたが、統計学的には有意な違いは認められなかった。

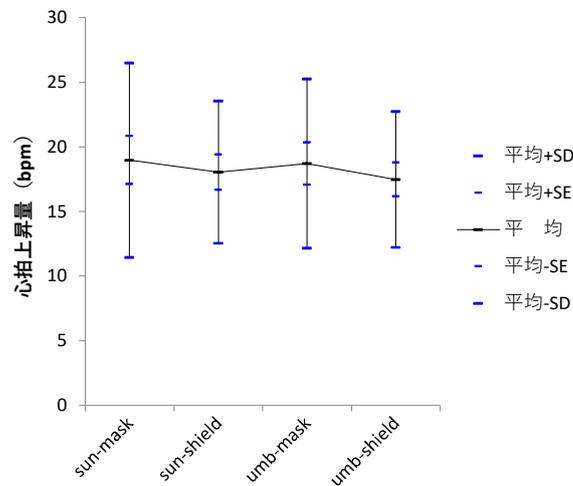


図 2-15 平均心拍上昇量

### ③体重減少量（発汗量）

歩行による体重減少量を各条件で比較した。sun-mask で 260g/m<sup>2</sup> hr、sun-shield で 269 g/m<sup>2</sup> hr、umb-mask で 266 g/m<sup>2</sup> hr、umb-shield で 299 g/m<sup>2</sup> hr の減少量であったが、統計学的には有意な違いは認められなかった。

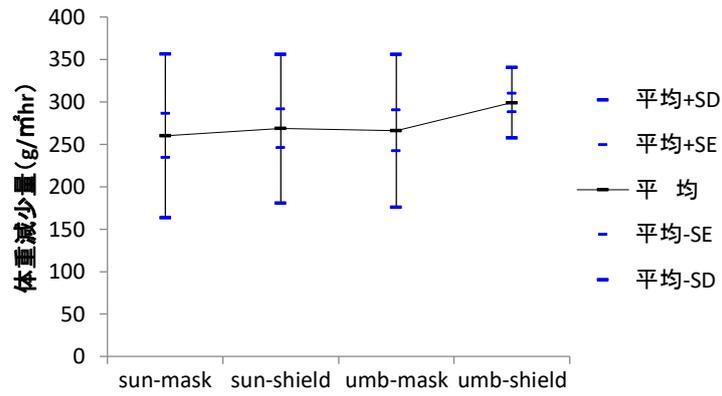


図 2-16 体重減少量

④主観申告

温冷感は sun 条件の方が umb 条件に比べて僅かながら『暑い』側の申告になった。快適感は僅かながら shield 条件の方が mask 条件よりも『不快』側の申告になった。

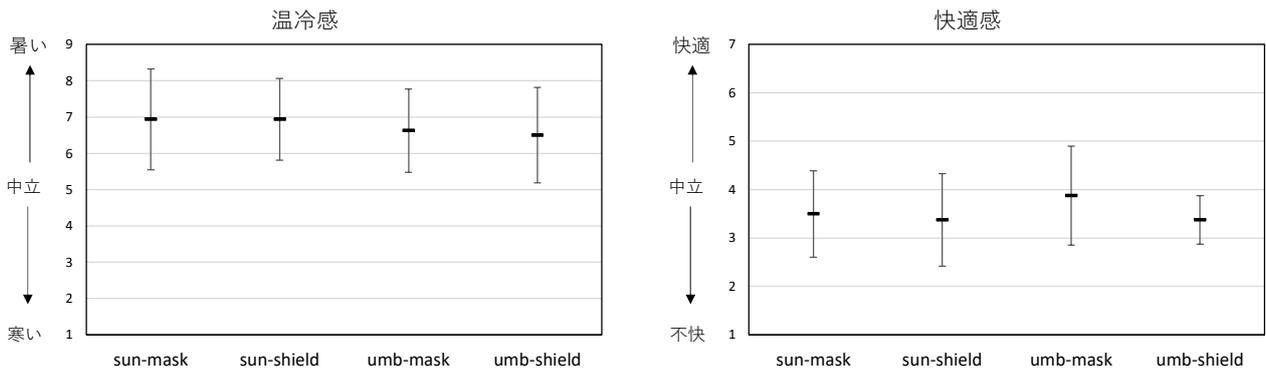


図 2-17 主観申告 (左：温冷感、右：快適感)

#### 4) まとめ

国際的な現代アートの展示会である横浜トリエンナーレの展示施設間の屋外移動経路を対象に、温熱環境測定と被験者を用いた調査を実施し、日傘とマスクによる暑さ対策効果の検証を行った。

##### ①温熱環境調査

###### 【移動観測による日傘の日射遮蔽効果】

移動観測による WBGT の測定結果は、日傘を使うことで日傘無しに比べて約 1℃低くなっており、移動観測においても日傘の効果が認められた。なお、過年度の人工気象室での風速が変化しない条件での計測結果に比べて日傘の日射遮蔽効果が小さくなる傾向が認められた。

###### 【移動観測による効果が低くなった要因】

移動観測時の相対風速が定点観測の風速に比べて 2～3 倍程度、強くなっており、人の移動が相対風速を高めることなどが一因として考えられる。風速が強くなったことで、日傘無しの移動観測の黒球温度の上昇量が小さくなり、WBGT が低くなったと考えられる。また、日傘有りの移動観測では、日傘による天空の遮蔽割合が小さいために、大きなテント下よりも散乱日射が増加することや日影面積が小さいために路面からの照り返しと輻射熱が増加し、WBGT が高くなったと考えられる。

###### 【移動観測で新たに得られた知見】

移動観測により人の動きの変化と環境の変化を同時に計測することで、これまで捉えきれなかった WBGT の局所的な変動を捉えることができた。例えば、日向での信号待ちで静止する場合には WBGT が急激に高くなり、局所的に暑さを感じやすくなっている可能性が示唆された。

##### ②被験者を用いた調査

被験者を用いた調査結果からは、日傘有りの場合で、日傘無しに比べて体表面温度の上昇量が抑制される傾向が見られた。また、頬の表面温度の上昇量は、フェイスシールドに比べてマスクをすることで統計学的に有意に上昇することが分かった。このことがマスクで暑さを感じやすくなっている要因の一つであることが考えられる。尚、心拍数や体重減少量には統計学的に有意な違いは見られなかった。