

1.2 人の行動に係る評価手法の検討

1.2.1 目的

ヒートアイランド現象の影響等により、屋外における歩行者を取り巻く温熱環境が厳しくなっている。一方、室内や地下街では、空調設備により比較的快適に過ごすことが可能となっており、屋外と室内との温熱環境の差が顕著になりつつある。このような急激な温熱環境の変化も加わり、熱中症やヒートショックにより体調不良をおこす人々が増えていると考えられる。このような問題へのアプローチとして、歩行者にとって過度な温熱環境の差を小さくするための街路空間の改善や、温熱環境に関する情報を積極的に提供することにより、歩行者の外出行動の変更を促し、街路空間の温熱環境への適応を支援することも考えられる。しかしながら、これらに関連する歩行者行動の実態については明らかになっていない。

そこで、本調査では、街路空間における熱環境の違いが歩行者の経路選択行動等の外出行動に与える影響を検討するため、実測調査とともにヒアリング調査を実施した。

なお、本調査は環境省の協力のもと大阪市立大学大学院工学研究科都市基盤計画研究室（代表：吉田長裕）、地域環境計画研究室（代表：鍋島美奈子）で実施したものである。

1.2.2 調査概要

街路樹や建物高さなどによって屋外温熱環境の異なる3地区を選定し、それぞれの地区においてヒアリング調査と実測調査を実施することで、地区や季節による変化を把握する。

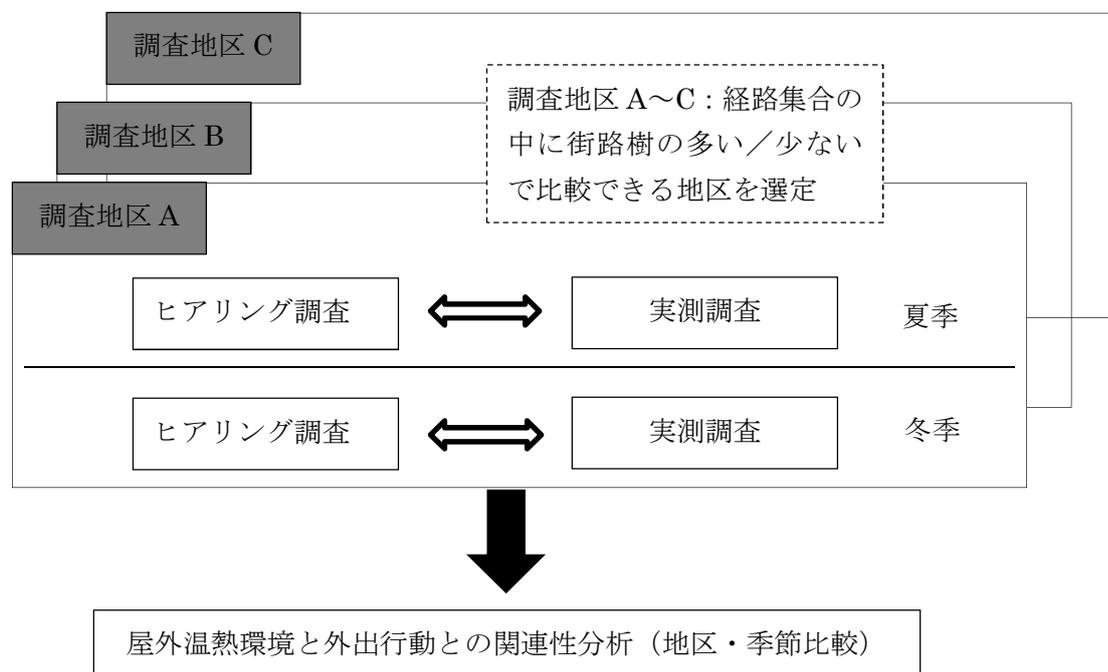


図 1.25 調査概要図

1.2.2.1 ヒアリング調査

1) 調査期間

時期：7月末～9月中旬（夏期）、12月中旬（冬期：比較ケースのため規模を縮小して実施）

曜日：季節ごとに平日、休日（土日祭日）

時間帯：9時～18時（主に自由目的の歩行者を対象とするため）

2) 調査地区

中央区、西区、大正区を街路樹やクールスポットといった存在によって屋外温熱環境の異なる3つの地区として調査地区に設定した。以下に調査地区の位置を示す。

(1)中央区（地下鉄谷町線天満橋周辺地区）

- ・概要：全体の道路延長に占める街路樹のある道路の割合は2割程度となっている
- ・集客施設地点：天満橋駅、天満公園、北大江公園、スーパーライフ天神橋店、大手橋下遊歩道
- ・ヒアリング地点：北大江公園、天満公園、大手橋下遊歩道

(2)西区（大阪市西区西長堀駅周辺地区）

- ・概要：街路樹のある通りが地区内にいくつかあり、全体の道路延長に占める街路樹のある道路の割合は1割程度となっている
- ・集客施設地点：西長堀駅、関西スーパー南堀江店、市立中央図書館、日吉公園、土佐公園、西区役所、長堀通り内遊歩道
- ・ヒアリング地点：日吉公園、土佐公園、長堀通り内



図 1.26 調査地区の位置

(3)大正区（大阪市大正区大正区役所周辺地区）

- ・概要：日陰をつくるような街路樹のある道路がほとんどない
- ・集客施設地点：大正駅、大正郵便局、三軒家公園
- ・ヒアリング地点：三軒家公園、大正橋横公園

3) ヒアリングサンプル数

総サンプル数は496件で、冬季は夏季の比較ケースのためサンプル数は少ない(表1.5)。属性に関しては、約73%が通勤・通学目的以外となっており、45~64歳が約33.7%、65歳以上が全体の約25.6%となっている。

表 1.5 ヒアリングサンプル数の内訳 (括弧内調査日)

		西区	中央区	大正区
夏季	平日	62 (7/26)	48 (9/10)	52 (8/5)
	休日	52 (7/27)	78 (9/11)	73 (8/3)
冬季	平日	42 (12/10)	44 (12/11)	—
	休日	—	—	45 (12/15)

4) 調査項目

経路選択状況をはじめとする大きく6項目について質問を行った(表1.6)。主に、歩行者が主観的に答えた経路選択理由と実際の歩行経路、代替経路のある場合にはさらにその違いを分析できるようにした。ヒアリングシートについては巻末に参考資料として添付した。

表 1.6 調査項目

項目	内容
回答者属性	性別、年齢、居住地、交通手段等
経路選択	経路選択理由、代替経路の有無
経路記入	実際の歩行経路を地図中に記入
知識・関心	熱環境への関心・情報必要性
外出行動の変更経験	外出頻度、手段、時間の変更経験
熱中症等の知識・経験	熱中症・ヒートショックの経験・知識

1.2.2.2 熱環境の実測調査

1) 観測地区

ヒアリング調査を実施した3地区のうち、西区、大正区を観測地区に選定し定点観測と移動観測を実施した。

2) 観測期間

西区、大正区の定点観測と移動観測の観測期間を表1.7に示す。

表 1.7 西区、大正区の観測期間

	7月24日	7月25日	7月26日	7月27日	7月28日	7月29日	7月30日	7月31日
定点観測(西区)	設置	←						→
自転車観測			←	→				
自動車観測			←	→				
台車観測			←	→				

	8月1日	8月2日	8月3日	8月4日	8月5日	8月6日
定点観測(西区)	←					→
定点観測(大正区)	設置	←				→
自転車観測			←	→	←	→
自動車観測			←	→	←	→
台車観測			←	→	←	→

3) 観測項目

定点観測、移動観測での観測項目、使用した測器を表1.8に示す。また使用した測器の図面を図1.27～図1.30に示す。

表 1.8 各観測における観測項目および使用測器

	観測項目	使用センサー	記録機器	記録間隔
定点観測	気温	熱電対	campbell CR1000	1分
	湿度	温湿度センサー		
	放射 (長波、短波)	長短波放射計		
		短波放射計		
	放射	グローブ温度計(直径150mm) ピンポン球グローブ温度計(直径40mm)		
風向・風速	三杯矢羽式風向風速計			
自転車観測	気温	極細熱電対	graphtec GL200	1秒
	放射	ピンポン球グローブ温度計(直径40mm) +極細熱電対		
	路面温度	放射温度計		
自動車観測	気温	極細熱電対	campbell CR1000	4秒
	放射	日射計・精密赤外放射計		
	路面温度	放射温度計		
台車観測	放射 (長波、短波)	長短波放射計	campbell CR23X	1分

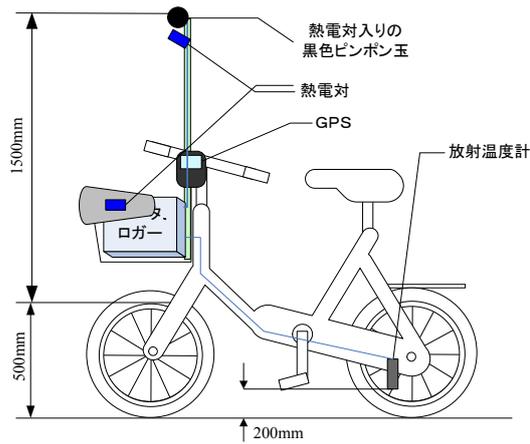


図 1.27 観測用自転車

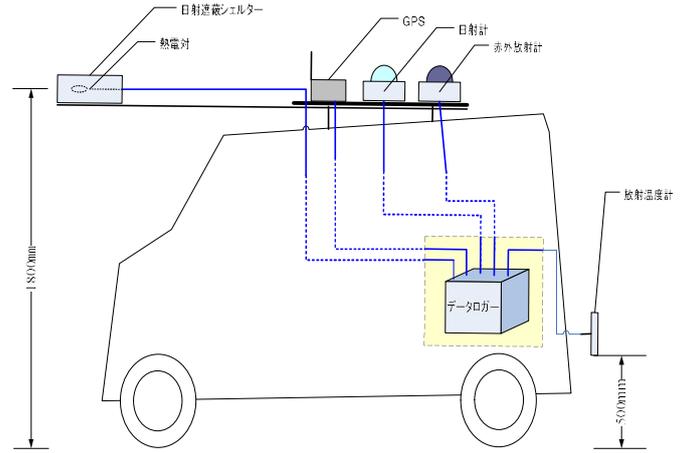


図 1.28 観測用自動車

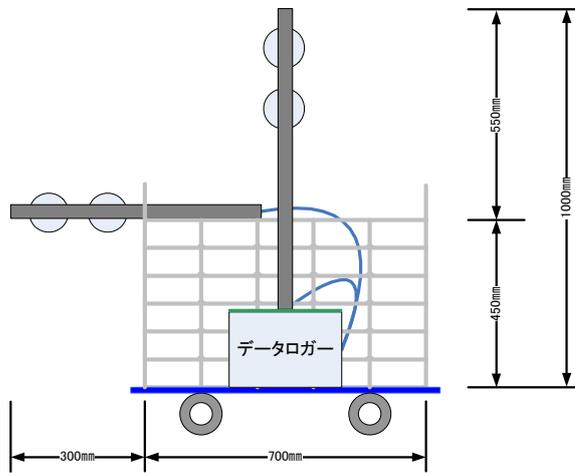


図 1.29 観測用手押し車

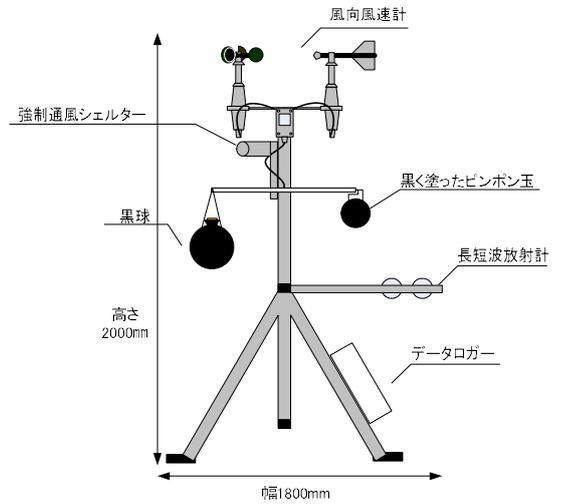


図 1.30 観測用定点

4) 欠損期間

機器の故障や不具合などにより実測データが欠損していた期間を表 1.9、表 1.10 に示す。

表 1.10 の自転車観測における△は、ロガーと熱電対の接触不良になっていたため、記録データが度々欠損したことを示している。

表 1.9 欠損期間(定点観測)

	定点観測									
	気温 (日なた)	気温 (日陰)	湿度 (日なた)	湿度 (日陰)	放射 (日なた)	放射 (日陰)	風向・風速 (日なた)	風向・風速 (日陰)	グローブ温度 (日なた)	グローブ温度 (日陰)
7月24日	○		○		○		○		○	
7月25日	○	西区設置前	○	西区設置前	○	西区設置前	○	西区設置前	○	西区設置前
7月26日	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○
7月27日	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7月28日	○	撤去	○	撤去	○	撤去	○	撤去	○	撤去
7月29日	○		○		○		○		○	
7月30日	○		○		○		○		○	
7月31日	○		○		○		○		○	
8月1日	○	大正区設置前	○	大正区設置前	○	大正区設置前	×	大正区設置前	○	大正区設置前
8月2日	○		○		○		×		○	
8月3日	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○
8月4日	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×
8月5日	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×
8月6日	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×

表 1.10 欠損期間(移動観測)

	自転車観測				自動車観測				台車観測	
	気温	グローブ温度	路面温度	位置情報	気温	日射量・赤外放射量	路面温度	位置情報	長短波放射(上下東西南北)	位置情報
7月26日1回目	○	△	○	△	×	×	×	○	△	○
7月26日2回目	○	△	○	△	○	○	○	○		
7月27日1回目	○	○	×	×	○	○	○	○		
7月27日2回目	○	○	×	×	○	○	○	○		
8月3日1回目	○	○	×	△	×	×	×	○	○ (1回のみ観測)	○ (1回のみ観測)
8月3日2回目	○	○	×	△	×	×	×	○		
8月3日3回目	○	○	×	○	×	×	×	○		
8月5日1回目	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○
8月5日2回目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

5) 観測ルート

定点観測を行った位置と移動観測で通ったルートを図 1.31、図 1.32 に示す。また、各観測ルートの詳細を表 1.11 に示す。手押し車観測ルートは図 1.33～図 1.36 である。



図 1.31 大正区の観測ルート



図 1.32 西区の観測ルート

表 1.11 各観測ルートの詳細

大正区(街路樹が整備されていない)	
a1とa2	商店街の内外による比較
A1とA2、B1とB2	大通りと細街路の比較(東西方向)
b1とb2、c1とc2	大通りと細街路の比較(南北方向)
B2とB3	公園周りを通るか通らないかの比較
C1とC2	街路樹の有無による比較
西区(街路樹が比較的整備されている)	
a1とa2	大通りと細街路の比較(南北方向)
A1とA3	大通りと細街路の比較(東西方向)
A2とA3	街路樹の有無による比較
B1とB2	舗装の違いによる比較
C1とC2	異樹種による比較
b1とb2	同樹種による比較



図 1.33 手押し車観測ルート (7月27日 1回目)
地下鉄西長堀駅～日吉小学校



図 1.34 手押し車観測ルート (7月27日 2回目)
地下鉄西長堀駅～日吉小学校



図 1.35 手押し車観測ルート (8月3日)
三軒家公園～郵便局



図 1.36 手押し車観測ルート (8月5日)
スーパーライフ～大正区役所

1.2.3 調査結果

1.2.3.1 ヒアリング調査

1) 外出行動の変更経験

外出行動の変更経験を季節間で比較したところ、目的地や外出時間の変更は約4割程度で、夏季の変更経験のほうが若干高いことがわかった(図1.37)。

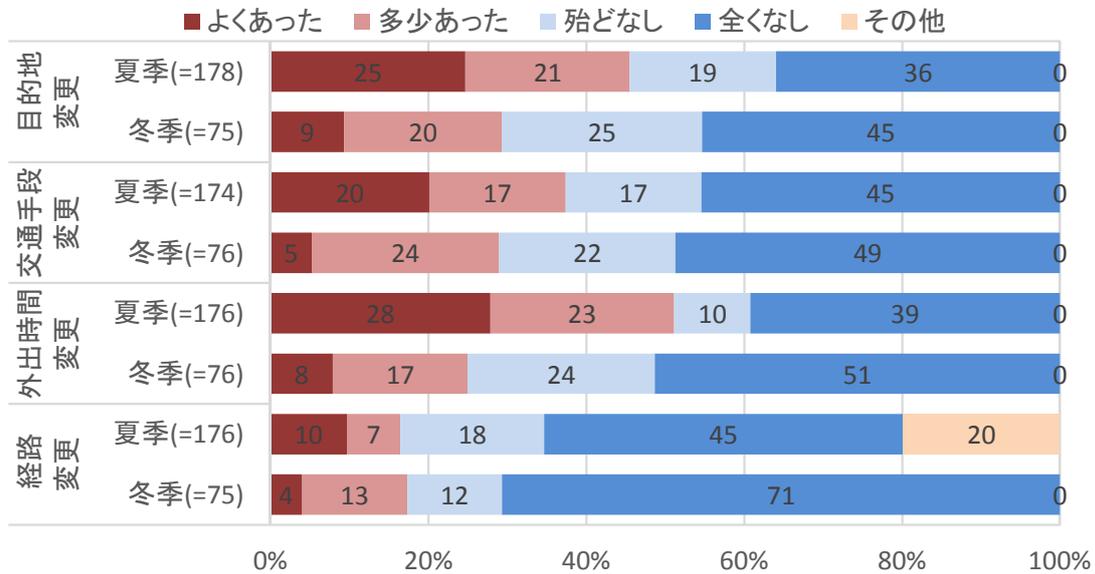


図 1.37 外出行動の変更経験について

2) 主経路・代替経路の選択要因

主経路・代替経路の選択要因を季節別・地区別に比較したところ(図1.38)、いずれの地区においても冬季よりも夏季の方が快適性の選択割合が高かった。また、代替経路は主経路と比較して快適性の選択割合が高く、代替経路の保有割合を地区別に比較した結果では、街路樹の多い中央区よりも街路樹の少ない西区・大正区で高い傾向にあった。

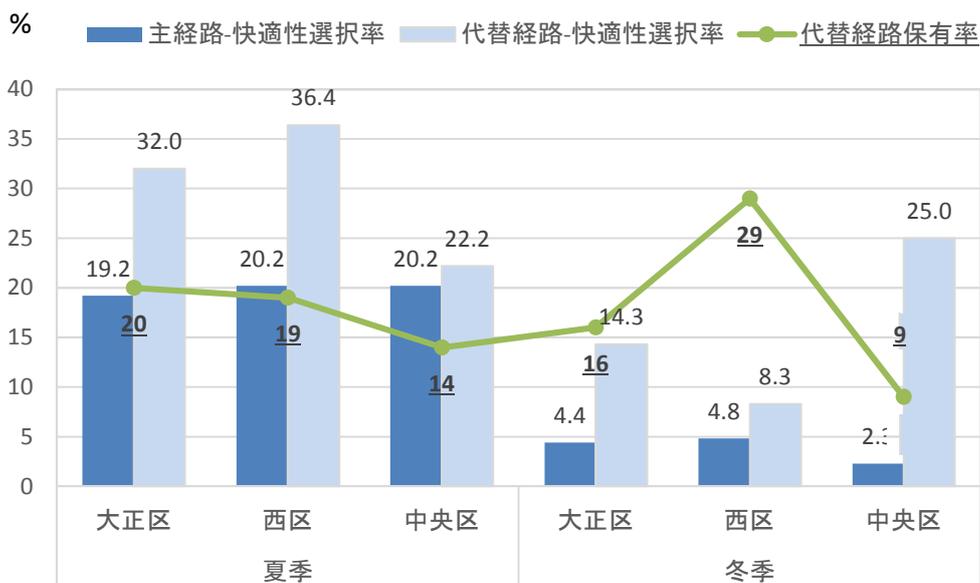


図 1.38 主経路・代替経路別の快適性要因の比較

3) 季節間の経路選択の比較

主経路選択状況を季節間で比較したところ、いずれの地区においても基本的には大通りを選択する割合が高く、西区では夏季の方が街路樹のある経路を選択する割合（リンク選択率）が高くなる傾向にあることを確認した（図 1.39）。

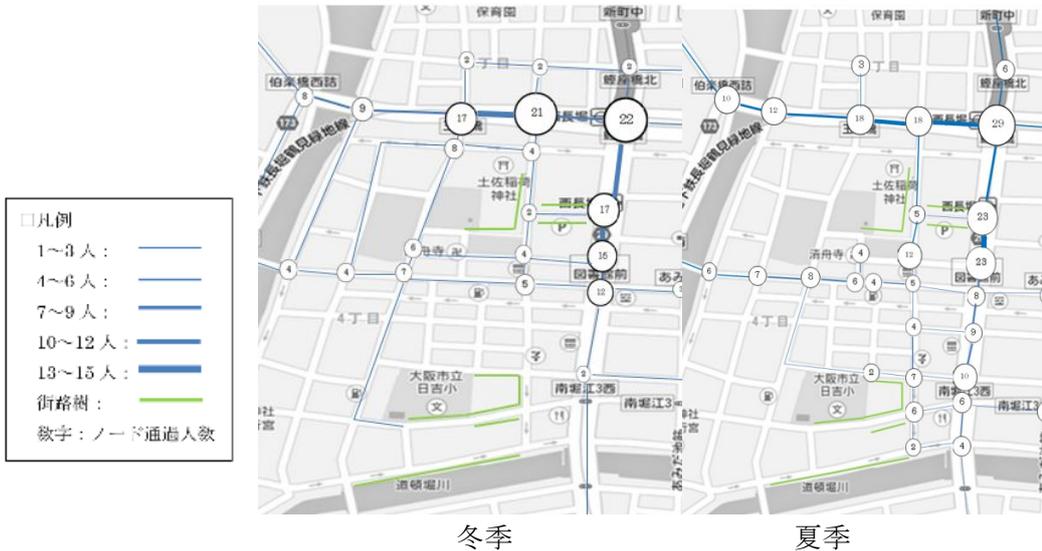


図 1.39 季節別主経路選択状況の比較（西区）

4) 環境情報の必要性

熱環境を表す指標をいくつか提示し、知識の有無および情報の必要性を比較したところ、気温、日陰、風通しの情報が他より若干高いことがわかる（図 1.40）。また、過去の熱中症などの経験や関心が高いほど情報提供を求める傾向にあり、経路変更の経験も多かった。このことから熱中症に関心が高い人に熱環境情報を提供する事で経路変更に活用される可能性を示唆できる。

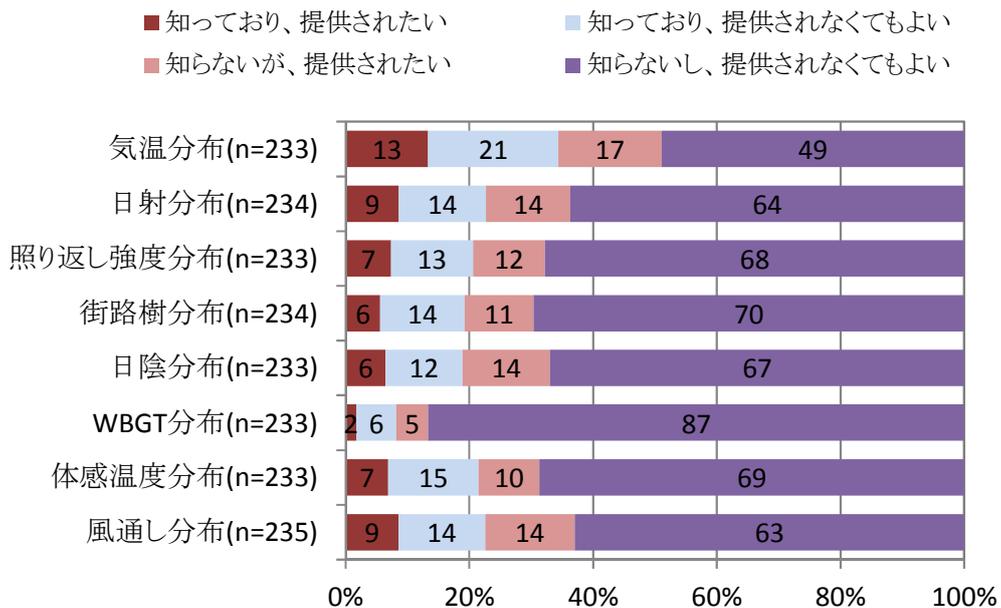


図 1.40 熱環境に関する知識と情報提供の必要性

1.2.3.2 熱環境の実測調査

街路空間における熱環境の違いを表すために、実測調査の結果から MRT、SET*、WBGT の各温熱指標を算出する。

1) 温熱指標に用いた入力値の詳細

MRT、SET*、WBGT の各温熱指標を算出する際に用いた入力値の詳細を表 1.12 に示す。

MRT の入力項目の一つである風速は、GPS で記録した自転車速度をルート別に平均した値を用いる。また SET* や WBGT の入力値の湿度や湿球温度は、日なたの定点での観測値を使用する。

MRT は、指向性は考慮できないが簡易に計測できるグローブ温度から算出する。この方法は人体を球体として考えて算出する方法で、自転車観測に用いたピンポン球グローブ温度を式 1 で補正し、式 2 に代入し MRT を算出する。詳細は巻末の参考資料に記載する。WBGT の算出には式 3 を用いる。

表 1.12 温熱指標の入力値の詳細

温熱指標	入力項目	入力値の詳細	算出方法
MRT	気温	自転車観測から得られた値	数式4に入力値を代入し求める
	風速	無風状態と仮定した時の自転車速度のルート別の平均値	
	グローブ温度	自転車観測から得られた値	
SET*	気温	自転車観測から得られた値	日本建築学会熱環境シミュレーション小委員会よりダウンロードしたエクセルマクロにより算出
	湿度	移動観測を行った時間帯での定点観測の湿度	
	風速	移動観測を行った時間帯での定点観測の風速	
	MRT	MRT	
WBGT	気温	自転車観測から得られた値	数式5に入力値を代入し求める
	湿球温度	移動観測を行った時間帯での定点観測の湿球温度	
	グローブ温度	自転車観測から得られた値	

$$t_g - t_a = 1.9 \times (t_{pg} - t_a) \quad \text{式 1} \quad t_{pg} : \text{ピンポン球グローブ温度}(\text{°C}) \quad t_a : \text{気温}(\text{°C})$$

$$t_r = t_g + 2.37 \times \sqrt{v} (t_g - t_a) \quad \text{式 2} \quad t_g : \text{黒球グローブ温度}(\text{°C}) \quad v : \text{風速}(\text{m/s})$$

$$\text{WBGT} = 0.7t_s + 0.2t_g + 0.1t_a \quad \text{式 3} \quad t_r : \text{平均放射温度}(\text{°C}) \quad t_s : \text{湿球温度}(\text{°C})$$

2) 定点観測結果

代表的な例として大正区の JR 大正駅周辺で行った 8 月 3 日の定点観測の結果を図 1.41 に示す。

移動観測を行っている時間帯(11:00~17:30)において各観測項目の日なたと日陰の差の平均値と最大を比較すると、日射量では平均で約 440W/m²、最大で約 980W/m² (12:00) の差となり、気温では平均で約 1.1°C、最大で 1.9°C(14:21)の差になり、またグローブ温度では平均で約 7.8°C、最大で 14.5°C(12:42)の差となった。この結果から観測日は日なたと日陰の差がはっきりとわかるような温熱環境であった。しかし、湿球温度では平均で約 0.2°C、最大でも約 0.5°C(15:48)となった。大正区では日なたの定点(住宅街のアスファルト敷駐車場)と日陰の定点(公園の木陰)との差はほとんどないということがわかった。

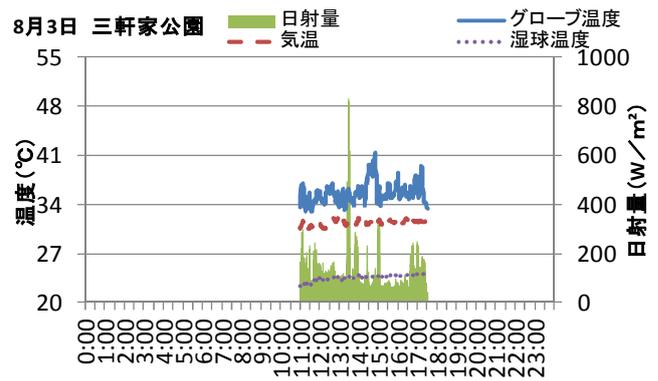
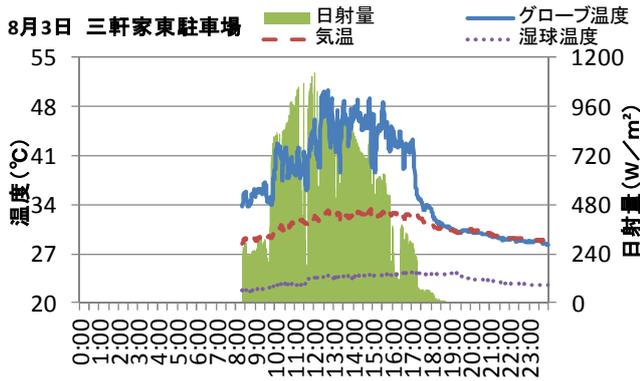


図 1.41 日なた（左図）と日陰（右図）の定点観測結果(8月3日)

3) 総合的な温熱指標による評価

温熱環境を評価する総合的な指標の SET*、WBGT による評価を行った。MRT は放射環境を表す指標であり、放射のみを考慮した指標であるが、SET*は MRT の他に気温や湿度、風速などの影響や発汗などの人体側の影響を考慮した総合的な指標である。また WBGT は主に湿度による影響を考慮しており、熱中症の危険性を表す指標として用いられている。

これら二つの指標を使って街路ごとの比較を行うために SET*や WBGT を算出し地図上に表現した。図 1.31 の「c1」と「c2」の街路の WBGT、SET*の分布を図 1.42、図 1.43 に示す。図 1.42～図 1.44 から WBGT、SET*の街路ごとの差は MRT の差に比べて小さくなっており、街路樹の日射遮蔽効果による影響を評価することはできなかった。しかし大通りの東側歩道と西側歩道と比べると SET*では約 1.1°C程度、WBGT は約 3.4°C程度違うことが表現できた。また大通りと細街路を比べると、SET*では約 1.5°C程度、WBGT では約 2.8°C程度違うことが表現できた。よって自転車・自動車観測の結果から算出した SET*や WBGT は、街路の幅員の違いによる影響や歩道位置の違いによる影響を評価できた。

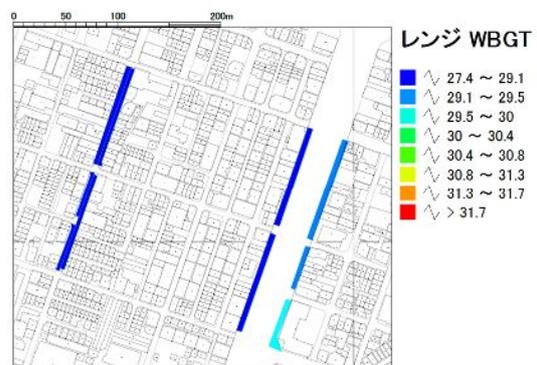


図 1.42 歩道の WBGT(15:00)

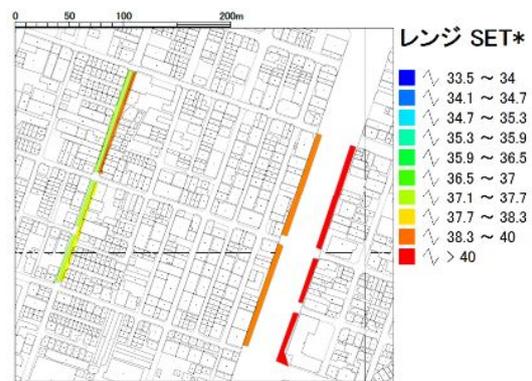


図 1.43 歩道の SET*(15:00)

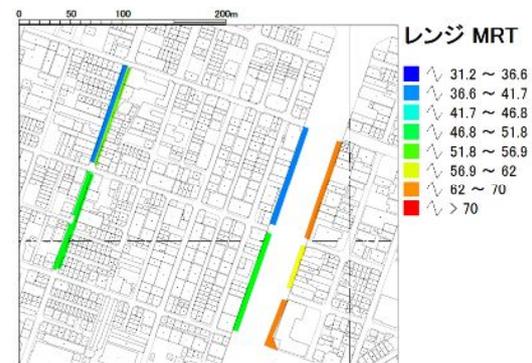


図 1.44 歩道の MRT(15:00)

4) MRT、SET*、WBGT マップ作成

実測していない街路について各温熱指標の推定を行い、マップ上に表現したものを図 1.45～図 1.50 に示す。これらの推定方法については巻末の参考資料で記載する。

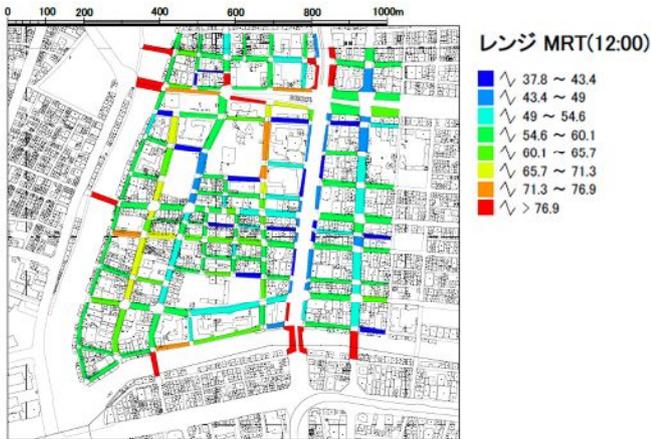


図 1.45 西区の 12:00 における MRT 分布

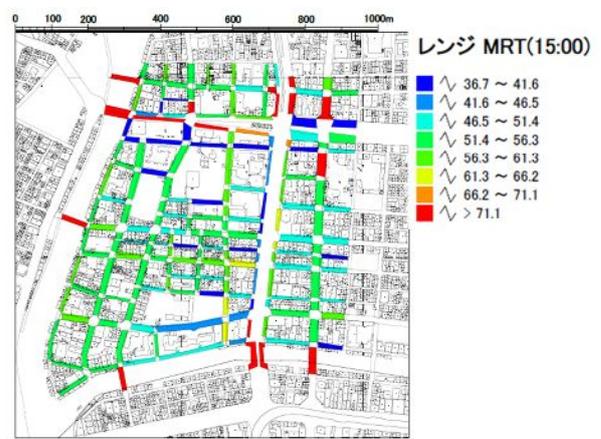


図 1.46 西区の 15:00 における MRT 分布

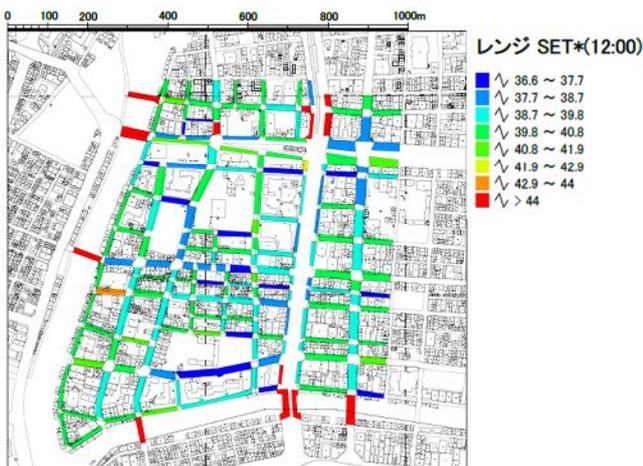


図 1.47 西区の 12:00 における SET*分布

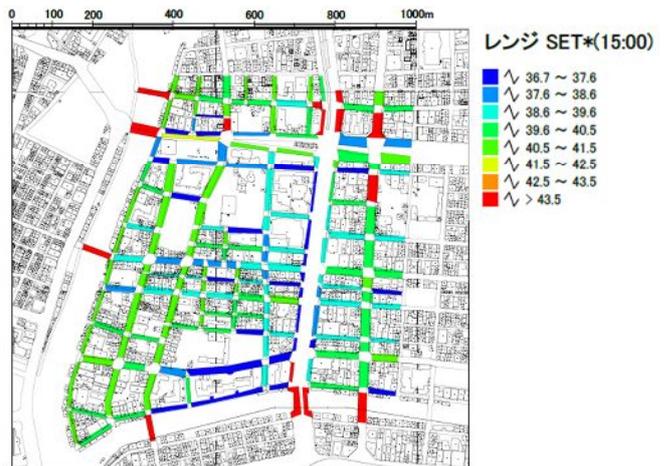


図 1.48 西区の 15:00 における SET*分布



図 1.49 西区の 12:00 における WBGT 分布

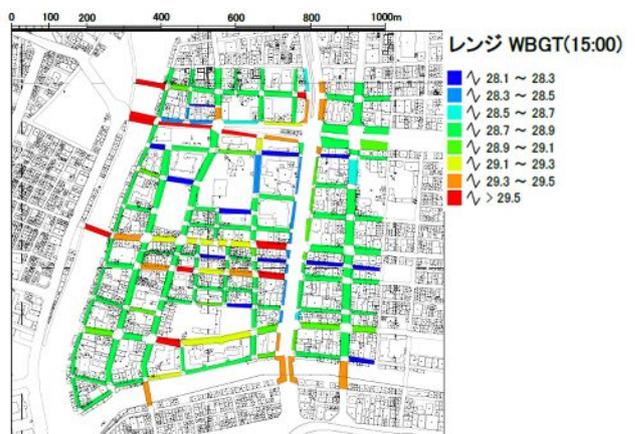


図 1.50 西区の 15:00 における WBGT 分布

1.2.4 考察

ヒアリング調査と実測調査により得られた結果から、街路空間における熱環境の違いと歩行者の経路選択行動について考察を行った。

1) 熱環境と経路選択の比較

現地にて12時、15時に計測した平均放射温度の推定値(MRT)と主経路の経路を選択する割合(リンク選択率)の関係を見るために、13時以前のアンケート調査の回答者を12時(午前)、13時以降の回答者を15時(午後)の計測結果と対応させたところ、平均放射温度が高くなるとリンク選択率が減少する傾向を確認できた(図1.51)。

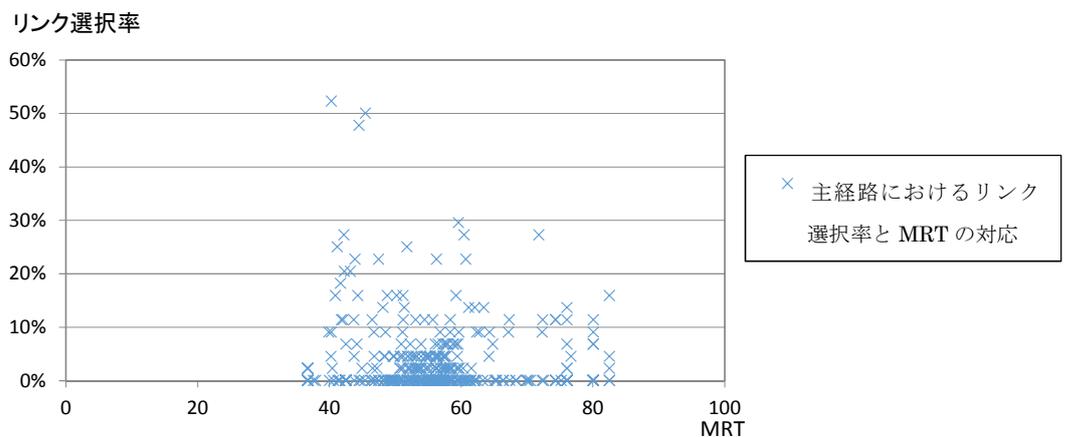


図 1.51 平均放射温度とリンク選択率の関係(西区)

2) 経路選択の要因分析

リンク選択率に影響する要因を把握するため、ロジット変換した選択率を目的変数として重回帰分析を実施した(表1.13)。用いた説明変数は、道路リンクに対するクールスポットの有無(回答者が指摘したクールスポットの存在するリンク)、歩道の有無、幹線/非幹線と現地計測を用いたリンク毎の平均放射温度(MRT)、標準新有効温度(SET*)、湿球黒球温度(WBGT)の推定値である。それぞれの構成要素を表1.14に示す。その結果、WBGTを採用したモデルが最も適合度が高くなった。説明変数では幹線道路はいずれのモデルでも有意となっており、計測変数の中ではWBGTのみが有意となった。係数が負であることから、WBGTが高くなるとリンク選択率が低下することが示された。

つぎに、WBGT推定値の温度分布を時間別対象地区の全リンク、主経路、代替経路別でみたところ(図1.52)、午前中は必ずしも温度の低いリンクが選択されているわけではないが、午後になると温度の低いリンクの割合が主経路で増加していることがわかる。さらに、午後の代替経路では、高温の構成率が低下していることから、歩行者は最も暑い場所を回避して経路を選択している可能性も考えられる。

しかしながら、なぜWBGTが歩行者の経路選択に対する説明力が高くなったのかという点については本研究だけでは説明ができないため、計測結果と歩行環境との関係、推定値の算定方法、歩行者の暑熱知覚について精緻化等を図る必要がある。

表 1.13 各計測推定値を用いたロジスティック回帰分析の結果

	MRT モデル			SET*モデル			WBGT モデル		
	係数	t 値		係数	t 値		係数	t 値	
切片	-3.340	-8.224	***	-2.468	-1.632		11.205	2.429	**
クールスポット有無	0.275	1.766	*	0.242	1.494		0.212	1.404	
歩道の有無	0.183	0.983		0.197	1.056		0.234	1.293	
幹線ダミー	1.268	7.542	***	1.256	7.453	***	1.278	7.834	***
MRT	0.005	0.712							
SET*				-0.015	-0.399				
WBGT							-0.497	-3.096	***
重相関 R	0.61			0.61			0.64		
サンプル数	154			154			154		

表 1.14 計測項目とその構成要素

項目	気温	湿度	湿球温度	風速	グローブ温度	MRT
MRT	○			○	○	
SET*	○	○		○		○
WBGT	○		○		○	

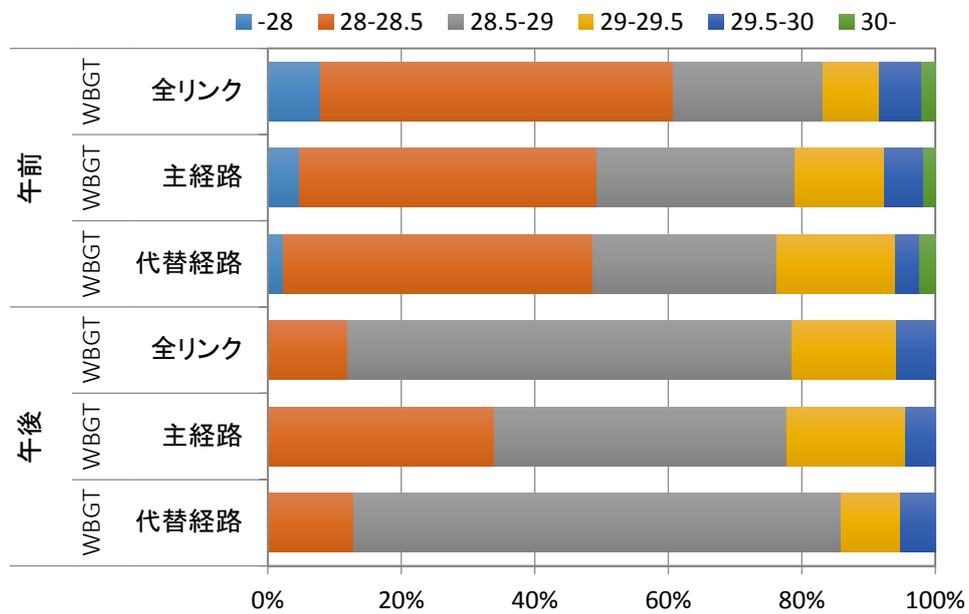


図 1.52 リンク集合別に見た WBGT の構成割合 (西区)

3) まとめ

以下に本研究で得られた結果をまとめて示す。

- 夏季と冬季との比較により、寒い季節よりも暑い季節の方が快適性を求めた経路選択傾向が強い
- 代替経路保有率、街路構成関連分析から、熱環境性能面に優れた地区と比較して、乏しい地区の方が快適性を求めた外出行動変更を行う歩行者の割合が高くなる
- 熱環境情報に対して必要性を感じる人ほどそれを活用して経路を変更する可能性が高い
- 幹線道路や温度の低い道路が選択されやすく、WBGT がリンク選択率と有意な関係にあった
- 温度計測に関しては、道路の両サイドで異なる環境を表現できている一方で（図 1.53）、アンケート結果においては「日影のない道は避けて違う道を通る」が 64%、「同じ道でも影の多い歩道側を通る」が 80%となっていることから、今後は主経路/代替経路の環境性能の違いを定量的に表現する必要がある。

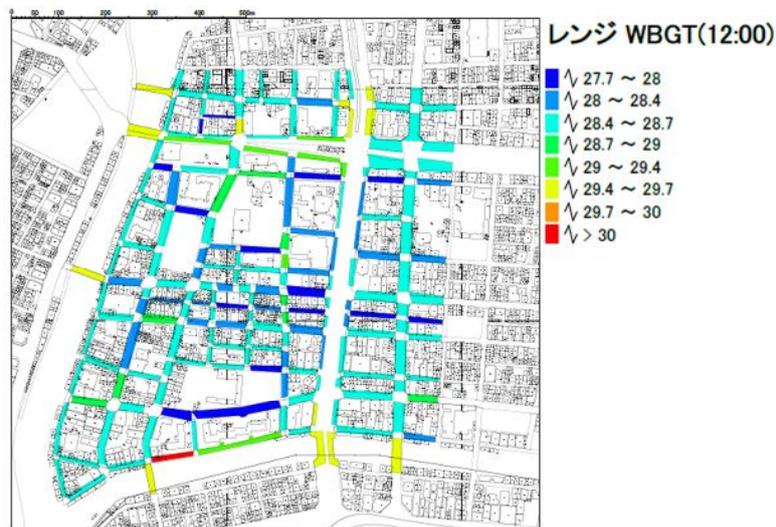


図 1.53 リンク集合別に見た WBGT の構成割合（西区）