

歩行者意識からみた道路空間の熱環境評価に関する分析*

An Analysis on evaluation for thermal condition of urban road space by pedestrian consciousness *

吉田 長裕**・西村 昂***・日野 泰雄****

by Nagahiro YOSHIDA, Takashi NISHIMURA and Yasuo HINO

1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象等の温暖化問題が、地球や都市など様々な規模の空間において論じられている。特に都市部における熱環境問題は、消費エネルギーの増大や、土地利用の形態の変化によってもたらされていると指摘されており^{1) 2)}、そのメカニズムを解明するため様々な角度から研究が行われている^{3) 4)}。

筆者らは、この土地利用形態の中で都市に占める面積割合の高い道路を対象としてとりあげ、その表面温度の特性を分析した結果⁵⁾、とくに夏季においては日中 60℃を越えることもあり、また、1 年の半分以上が約 35℃以上になっていることがわかった。このことは、熱帯夜の原因になっているだけでなく、熱中症など人体への直接の悪影響をも示唆していると言える。

一方、最近の道路環境整備においては、これまでの量的な議論に加えて質的なアプローチの必要性が指摘されることが多いものの、熱環境の視点では、その両側面ともに扱われた事例は少ない。また、歩行者環境について考えると、特に夏季においては、直射日光のみならず、日射によって高温になった道路表面が、接地層付近の大気温度の過度な上昇をもたらし、照り返しによる暑さや不快感を与えているとも考えられるため、歩行者意識からの十分な検討も必要であるといえる。

そこで本研究では、まず、日射量や地表面温度などの外的条件が暑さの感じ方に及ぼす影響について把握するため、温度関連データの収集と同時に、通行中の歩行者に対してヒアリング調査を行い、意識面と物理面の関連性について把握することとした。次に、道路種類や路面状況の異なる 4 箇所においてアンケート調査を行うことで、異なる道路空間が沿道居住者や道路利用者の暑さの感じ方に及ぼす影響について把握することとした。

2. 調査概要

本研究では、以下に詳述するようにヒアリング調査（調査 A）とアンケート調査（調査 B）を行った。調査 A では、道路種類（道路幅員構成や交通量等）や外的条件（日射量や表面温度）の異なる状況において、歩行者が感じる暑さの要因の抽出と物理指標との関係进行分析し、調査 B では、道路種類によって暑さの感じ方が大きく異なった調査 A の結果を踏まえて、複数の道路種類の沿道居住者による自宅前道路の熱環境に対する意識と感覚の評価、またそれぞれの道路条件に応じた道路空間の熱環境改善策について検討することとした。

（1）ヒアリング調査の概要（調査 A）

1998 年 9 月から 10 月にかけての晴天 4 日間の日中（およそ 10 時～17 時）を選び、表面温度上昇抑制効果があるとされている排水性舗装の施工されている大阪市内の幹線道路沿いの歩道上及び地区内道路において、主に歩行者を対象にインタビュー形式によって、次のような内容について調査を実施した（表-1）。

- 暑さの種類とその感じ方
- 暑さによる通行頻度への影響と暑さ軽減のための道路空間構成要素
- 暑さの感じ方と物理指標値との関連性

表-1 ヒアリング調査箇所の概要と
サンプルデータ数（調査 A）

地点名	鶴見緑地	鶴ヶ丘
所在地	大阪市鶴見区	大阪市住吉区
歩道設置状況	あり	なし
道路ランク	幹線	非幹線
車線数	4	2
植樹帯	あり(歩車境界部)	なし
沿道土地利用	公園・商業	住居
自動車交通量	多い	少ない
ヒアリング数	118	92
		全体:210件

本研究の主な目的の 1 つは、暑さの感じ方と物理指標値の関係を明らかにし、施設側対応による熱環境改善の評価や環境保全のための基準の提示を試みることである。そのため暑さの感じ方を左右すると考えられる指標として、ここでは表面温度と日射量を測定することとし

*Key words :意識調査、表面温度、排水性舗装、歩行環境

** 学生員, 工修, 大阪市立大学大学院後期博士課程

(〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL/FAX (06) 6605-2731)

*** 工博, 大阪市立大学工学部土木工学科教授 (同上)

**** 正員, 工博, 大阪市立大学工学部土木工学科助教授 (同上)

た。まず、表面温度については、調査地点で赤外線温度計（NEC 三栄：TH1011）を用いて測定し、日射量については、大阪市立大学工学部建物C棟屋上で連続測定中のデータから、ヒアリング調査実施同時時間帯のデータを抽出することにした。

（2）歩行空間の熱環境に関する意識調査（調査B）

路面の違いによる暑さの感じ方の違いを評価するために、同地区で道路規模や路面材料の異なる4箇所に住民に対する意識調査を実施した（表-2）。回答対象者は中学生以上とし、世帯毎に対象者分の複数票を留め置き、後日訪問、もしくは郵便で回収した。調査は1999年12月に行ったため、同年夏の状況を想定して、主に自宅前道路の歩行中における暑さの感じ方と、一般的な暑さに対する主観的、潜在的な評価についても質問した。回収率（部数）は82%で、有効回答数は398票であった。

表-2 調査箇所の条件とアンケート回収状況（調査B）

調査箇所	幹線白歩道	幹線黒歩道	非幹線歩道	非幹線歩道なし
歩道設置状況	あり	あり	あり	なし
道路ランク	幹線	幹線	非幹線	非幹線
車線数	4	2	1-2	1-2
代表幅員	24	11-15	8	6
内歩道幅員(m)	両側(3.6)	両側(2-3)	片側(2)	
植樹帯	あり	なし	なし	なし
沿道土地利用	商業	商業・住宅	住宅	住宅
路面材質	擬石平板	アスファルト	アスファルト	アスファルト
表面色	白	黒	黒	黒
交通量	多い	中程度	少ない	少ない
配布世帯数	100	100	100	100
回収世帯数	76	84	82	85
有効票	95	110	94	99
		回数世帯数:327		有効票:398

3. 熱環境評価の意識構造と物理指標の関係（調査A）

（1）地区別にみた暑さに対する評価

調査地区別に暑さの要因を比較した結果（図-1）、暑さの主要素は直射日光であるが、それ以外の要素については、地区の空間や交通条件、あるいは気象条件によって異なっており、自動車交通量の多い鶴見緑地地点では車の排熱、自動車の通行量の少ない鶴ヶ丘地点では照り返しが二次的要素として挙げられた。

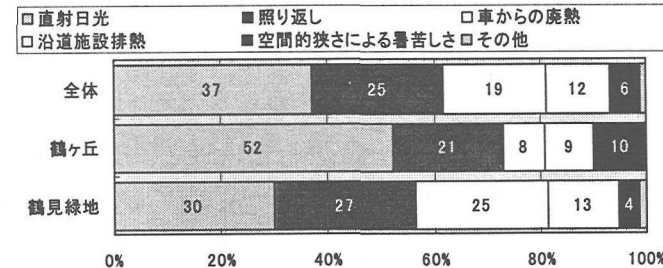


図-1 地区別にみた暑さの要因の内容

（2）感覚尺度による熱環境評価

ここでは、熱環境（暑さ）に対する主観的評価が、具体的には何に基づくものであるのかを分析することとした。そこで、この内容をより詳しく見るために、暑さに対する総合的評価を外的基準とした数量化Ⅱ類分析を行った（表-3）。これより、分析精度を表す相関比は0.45とやや低いものの、暑さの感じ方を判別する場合の要因の影響程度は判断できるものと考えられる。暑さに対する総合的な評価は、基本的には日射量と表面温度に強く影響されており、レンジ（範囲）、偏相関係数の順位からは、暑さの総合評価に対する「地域」要因の寄与率の高いことがわかる。このことは、地域要因に支配的である交通や道路条件による感覚の差が大きいことを示唆していると言える。したがって、自動車交通量の多い場所、あるいは道路空間に制限のある場所においては、直接暑さを体感させる日射や温度に加えて、道路・交通条件をも考慮した熱環境対策が必要といえる。

表-3 暑さの総合的感覚に関する数量化Ⅱ類分析結果

アイテム	カテゴリ	度数	カテゴリ数	範囲	偏相関	カテゴリ数グラフ
地域	鶴ヶ丘	78	-0.513	1.445	0.473	
	鶴見緑地	53	0.756	①	①	
性別	男性	33	0.399	0.001	0.004	
	女性	98	-0.134	⑨	⑨	
居住地	沿道住民	76	0.048	0.069	0.028	
	その他	55	-0.066	⑧	⑧	
年齢	29歳以下	45	-0.130	1.006	0.292	
	30歳代	22	0.511	④	②	
	40歳代	13	0.200			
	50歳代	8	0.288			
	60歳代	43	-0.236			
	その他	17	0.353			
目的	通勤・通学	26	0.141	0.819	0.198	
	仕事	9	-0.916	⑤	⑥	
	買物・通院	44	-0.008			
	帰宅	15	-0.325			
	散歩	20	0.191			
	その他	17	0.353			
通行頻度	ほぼ毎日	75	-0.102	0.480	0.107	
	週2-3回	23	0.321	⑦	⑦	
	週1回	11	-0.144			
	月1回	9	0.856			
	偶々・その他	13	-0.452			
	その他	17	0.353			
手段	徒歩	97	0.036	0.722	0.219	
	自転車	25	-0.010	⑥	⑤	
	その他	9	-0.363			
	その他	17	0.353			
通行時表面温度	42-44	25	0.377	1.037	0.275	
	40-42	20	0.359	③	④	
	38-40	23	0.038			
	36-38	20	-0.199			
	34-36	11	-0.538			
	30-34	16	-0.371			
	20-30	16	-0.101			
	その他	17	-0.101			
通行時日射量	700+	13	-0.023	1.275	0.276	
	600-700	13	-0.197	②	③	
	500-600	15	0.502			
	400-500	39	-0.079			
	300-400	20	0.023			
	200-300	14	-0.132			
	100-200	17	-0.012			
	その他	17	-0.012			
群	選択肢			軸の重心	相関比	
第1群	強く・多少感じる		0.496	0.45		-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0
第2群	あまり・全く感じない		-0.898			←(感じない) (感じる)→

（3）物理的熱指標と暑さの感じ方

（2）における暑さの総合的感覚に関する分析結果を踏まえて、ここでは個別の暑さ要因の感じ方が物理指標とどの程度関連するのかを分析するため、ここでは、日

射量と表面温度をとりあげることにした。図-2には日射に対する暑さの感じ方の程度を示した。これをみると、300 (W/m²) を超えると約 8 割以上の人が暑さを感じており、さらに日射量が多くなると暑さを感じる人の割合が高くなっていることがわかる。

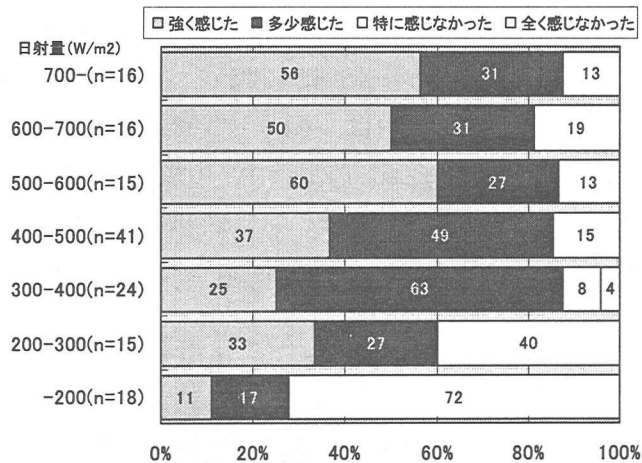


図-2 日射量と日射による暑さの感じ方

一方、表面温度と照り返しによる暑さの感じ方との関係 (図-3) をみると、表面温度の上昇に対応して照り返しによる暑さを感じる人の割合が顕著に増加していることがわかる。特に、36℃を超えると強く感じる人の割合が急激に増加し始め、42℃以上になるとその割合は60%に達していることから、感覚尺度から判断される照り返し暑さに対する表面温度の上限値は 42℃程度であり、歩行環境面からは36℃以下が望ましいと言えそうである。但し、表-3 で示したように、暑さに対する感覚を緩和させるためには、道路交通条件への対応、日射、表面温度への対応の両面からの検討が必要といえる。

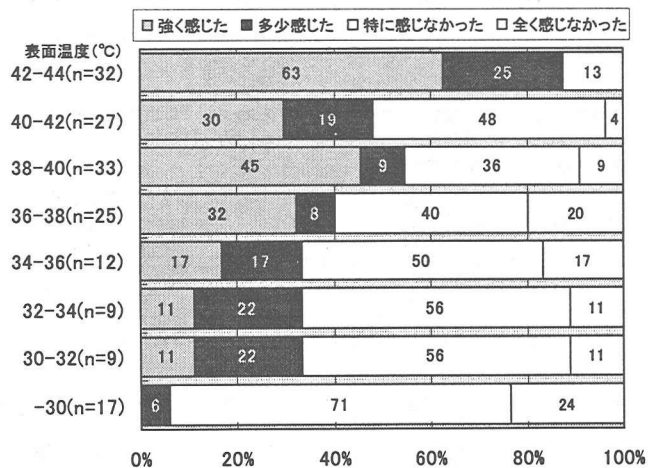


図-3 照り返しによる暑さの感じ方と表面温度の関係

4.歩行時の熱環境の実態（調査 B）

ここでは、暑さに対する潜在的意識を考慮して、調査 B の結果を用いて熱環境の実態について分析することとした。

（1）熱環境の実態

1999 年夏、道路歩行時に暑さを感じた経験のある人は 8 割程度にも達しており、そのうちの半数近くの人、頻繁に暑さを感じていたことがわかった (図-4)。また暑さに対して不快を感じている割合もほぼ同程度と高いことがわかる。

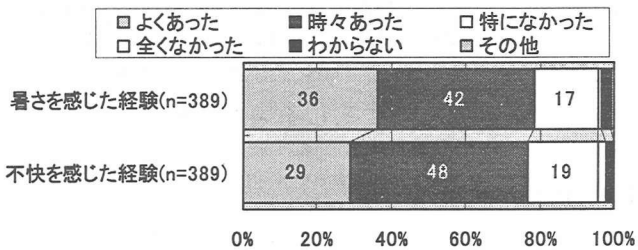


図-4 歩行時の暑さと不快を感じた割合（1999 年夏）

（2）暑さが外出に与える影響

暑さが原因となる徒歩外出特性への影響をみると (図-5)、55%の人が必要以上の外出を控え、外出時間帯を変更したり、徒歩での通行を止めるといった交通手段の変更などの対応をしていることがわかった。中でも、無職や主婦層による時間や目的の自由度の高い外出について、その傾向が顕著であった。これに対して、通勤や仕事等の自由度の低いトリップをもつ職業では、「嫌だが暑さで予定をかえるまでではない」の回答割合が高く、暑さに対する抵抗感はあるものの、我慢を強いられているのが実状と考えられる。

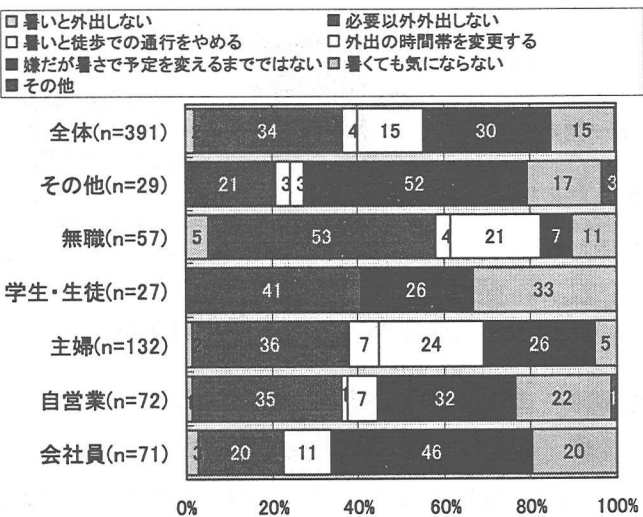


図-5 職業別にみたの暑さによる徒歩外出への影響

一方、暑さに対する不快感の要因としては、「直射日光」、「路面の熱気」、「路面の反射」に加えて「自動車排熱」や「沿道排熱」といった人工排熱を指摘する声も大きいことがわかった(図-6)。このことから、日射とそれによる道路表面の温度が暑さの主要原因であり、これに人工排熱が影響して道路の熱環境をさらに悪化させているといえる。

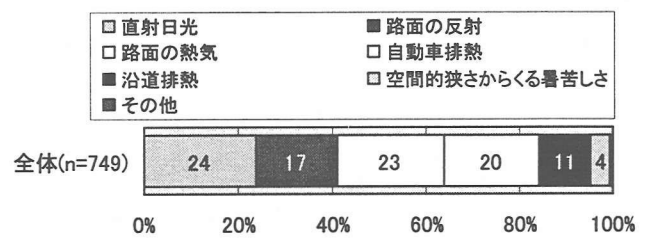
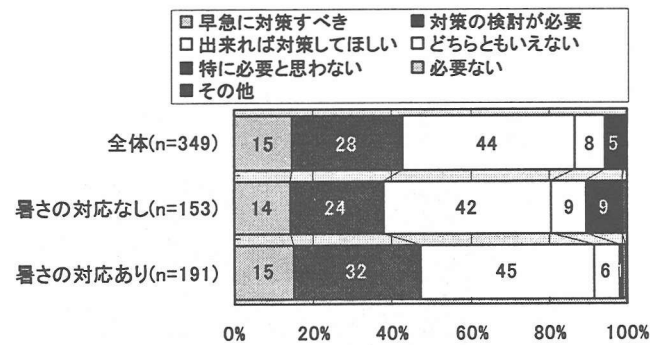


図-6 不快に感じる暑さの要因

(3) 暑さ対策の必要性

次に、このような暑さへの対応策に対する要望の程度をみてみた(図-7)。これによると、暑さによる通行時間帯変更や徒歩通行をやめるといった暑さへの自主的対応を実行している人の方が当然対策の実施・検討を強く望んでいるが、そうでない場合でも約半数の人が何らかの対策を期待していることが分かる。これについては、暑さを感じる種類(要因)とも密接に関係しており、照り返しによる暑さや空間的な狭さが関与する暑苦しさをを感じる人ほど対策を望んでいる傾向が強いことがわかっており、属性や目的に関わらず、道路施設や空間整備面をはじめとして、広く熱環境の改善が求められているといえる。



注) 暑さの対応なし: 嫌だが暑いでは変わらない・暑くても気にしない
図-7 暑さへの対応の有無別の要望

5. 歩行者のための熱環境改善策の検討(調査 B)

前節で歩行者の暑さ軽減策の検討には、道路交通条件(交通量)と熱環境条件(路面条件)の改善が必要であることが指摘された。そこで、それぞれの暑さの感じ方

の違いをより詳細に把握することとした。

(1) 交通条件と沿道住民意識の関係

交通条件による自動車排熱の影響を比較するために、歩道設置の有無とその材質の異なる地区別に、自宅前の自動車排熱による暑さの感じ方の比較を行った(図-8)。これを見ると、幹線白歩道では、その交通量の多さから自動車排熱を強く感じた割合が高く、また非幹線道路においては、その交通量が少ないにも関わらず感じる割合が高いことがわかる。これは、幅員が狭いために自動車との距離が近く、また空間的な制約から街路樹などの緩衝帯を確保できないため、結果としてその地区の交通量以上にその暑さを強く感じる傾向にあると考えられる。

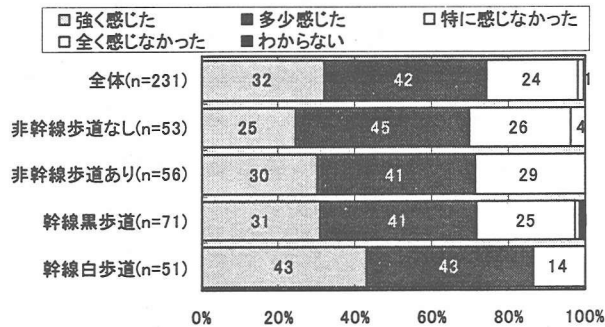


図-8 道路・舗装種別にみた自動車排熱による感じ方

(2) 熱環境条件と意識の関係

路面の種類によって暑さの感じ方の差異では、全体の47%が違いを感じたとしている(図-9)。中でも、半数の人が黒色アスファルトでの暑さを指摘している(図-10)。

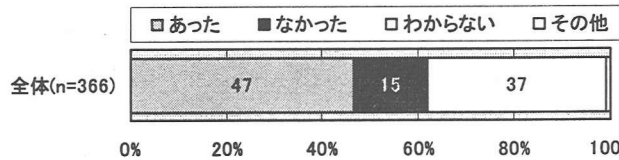


図-9 路面の種類による暑さの感じ方の違い

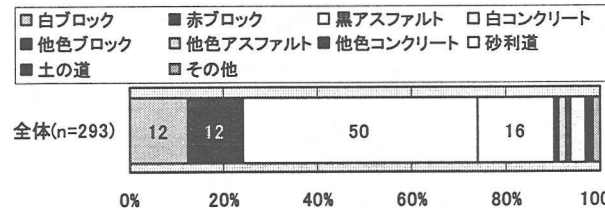


図-10 暑く感じた路面材料の割合

そこで、これらの路面の種類を材質と色に分けて歩行時の問題点を整理してみると(図-11、12)、とくに暑さについては、黒色アスファルトを指摘する割合が著しく高いことがわかる。一方、白色の場合では、まぶしさや

汚れといった問題点を指摘している割合が高いこともわかった。

以上のことから、路面材料は、排水性舗装や保水性舗装などの熱緩和効果のあるものが有効と考えられ⁶⁾、色についても、白色が表面温度の低下に効果的である一方で、まぶしさや汚れといった不快感を与える恐れがあるため、適度な明度をコントロールすることによってこれらの問題点を改善することが可能であると考えられる⁶⁾。

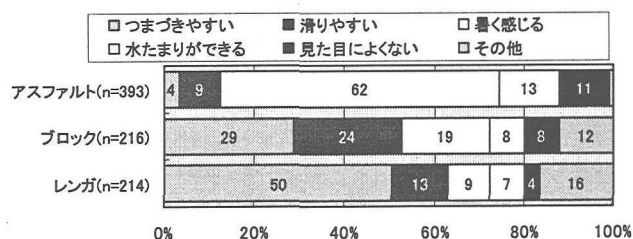


図-11 路面材料別にみた歩行時の問題点

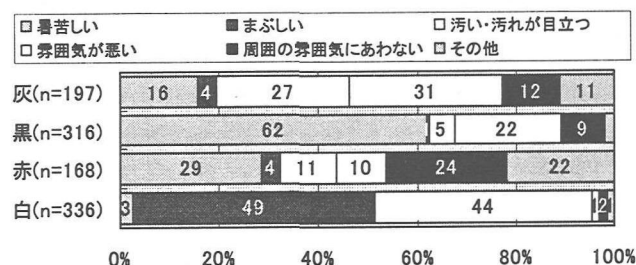


図-12 路面の色別と歩行時の問題点

(3) 地区特性に対応した熱環境改善策の検討

これまでに、歩行者のための暑さ軽減策の検討には、交通条件と熱環境条件の改善が必要であることを指摘したが、他の一般的な条件による影響を調べるために、各種条件別に暑さの緩和の可能性を質問した。その結果、歩車分離を図り、自動車の排熱や暑苦しさを緩和させつつ、直射日光を遮り、風と影を供給する植樹帯の設置に対する効果が期待されていることがわかる(図-13)。

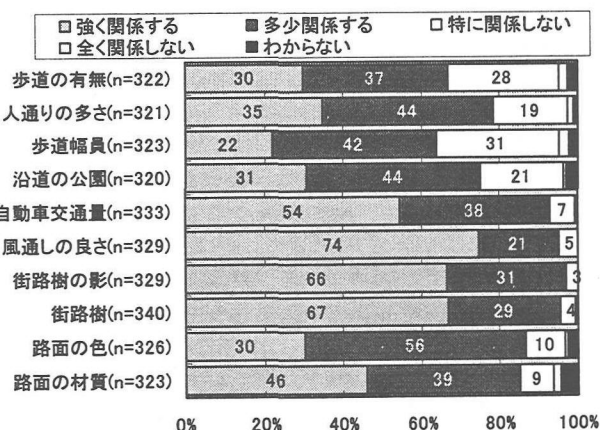


図-13 歩行者からみた各種要因と暑さ緩和の可能性

また、地区別に見た暑さ対策の要望の程度をみると、非幹線歩道なし地区においては若干低い傾向を示している(図-14)。これには、幅員が狭いため建物による日影が確保されやすいことも一因と考えられる。また、歩道整備が暑さの緩和につながるかという問いに対しては、空間的な制限と暑さ対策(歩道や街路樹の整備)がトレードオフの関係にあるため、一概に整備を望んでいるわけではないという結果も得られていることから、空間的制約が大きい地区においては、道路面の色や材質による対策がより一層効果的といえよう。

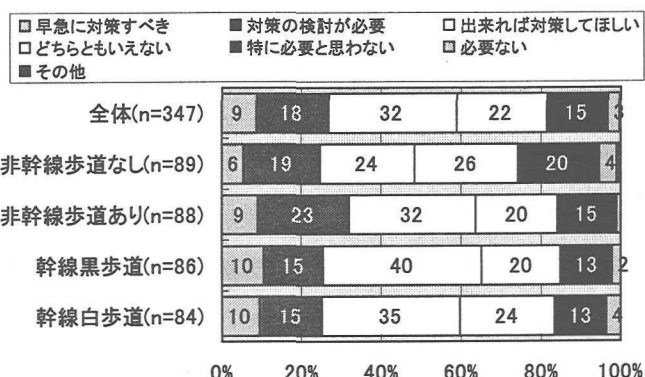


図-14 地区にみた暑さ対策の要望

夏の歩行時を想定した、改善策の対比較結果(図-15)をみると、歩道が整備されている箇所については、歩車分離を空間的に供給する街路樹の整備、特に間隔をおいた高木が求められている一方で、歩道が狭くても何らかの植栽が求められるなど、街路樹に期待するところの大きさがうかがわれる。また、歩道がなくても交通量の少ない道路を選択していることから、自動車交通量の抑制が効果的であるといえる。

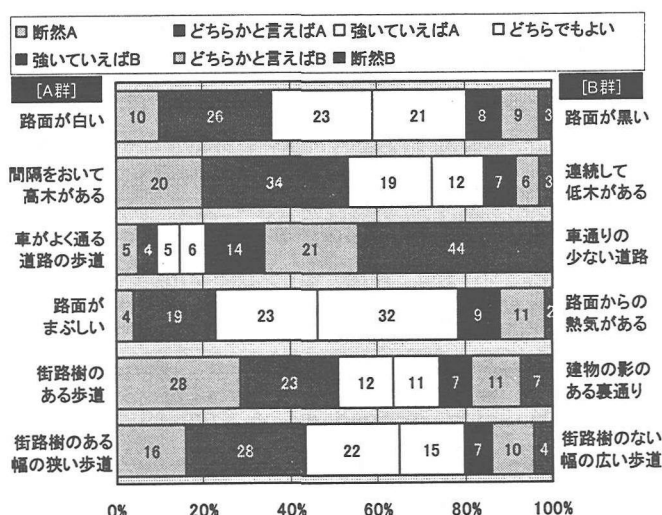


図-15 夏の歩行に関する歩行者の求める条件

以上のことから、道路表面の改善や、その地区特性に応じた様々なデバイスを組み合わせることで、暑さの対策の有効な手段になりえるものと期待される。

6. まとめと今後の課題

本稿では、歩行者に対する暑さに関する意識と、その暑さをもたらす熱関連物理指標を調査・分析することで、物理的要因に対応した暑さの感じ方（種類）とその程度を明らかにするとともに、住民意識からみた道路空間における熱環境の改善策について検討した。

それらの主な成果をまとめると、以下のようである。

- 1) 暑さの総合感覚に関する分析結果から、熱環境対策の検討にあたっては、直接暑さを体感させる日射や温度に加えて、道路・交通条件をも考慮する必要がある。
- 2) 夏季の歩行に際しては、暑さのみならず不快さを感じるまでに至っている。その主な要因は、日射とそれによる道路表面の温度の上昇であるが、これに自動車排熱や沿道排熱などの人工排熱が影響して道路の熱環境をさらに悪化させていると言える。
- 3) 自由度の高い外出の場合、とくに直射日光や路面の熱気に対する不快感を避けるため、暑さによる外出の時間帯の変更や徒歩での通行をやめて他の交通手段を用いるなどの対応をしていることがわかった。
- 4) 歩行者は路面の種類による暑さの違いを感じている

ことから、地区の道路条件や交通条件などに応じた対策案の検討が必要であるといえる。

以上のことから、道路計画段階において、これらの歩行者や沿道居住者の意識を含む熱環境に対する評価を勘案することによって、人にやさしい道路づくりに役立つものと期待されよう。しかしながら、そのためには、この成果を踏まえた上で、今後は、交通条件の感覚的熱環境に対する寄与度を明確にすることによって、歩行者のための熱環境を改善するための方策を検討するとともに、沿道居住者による熱環境の評価を含めた都市や道路空間の熱環境改善のあり方を議論する必要がある。

< 参考文献 >

- 1) 齊藤武雄「地球と都市の温暖化」、森北出版、1992
- 2) 大阪市環境保健局他「大阪市ヒートアイランド対策検討調査報告書」、1994
- 3) 梅干野晃「都市エネルギーに関する実態把握とモデル化」、日本建築学会環境工学委員会都市エネルギー小委員会シンポジウム、27～30、1995
- 4) 吉田長裕「都市内における表面温度の変動特性と道路舗装の散水効果に関する基礎的研究」、大阪市立大学修士論文、1997
- 5) 吉田長裕他「排水性舗装による温度上昇抑制効果に関する実験的研究」、土木計画学研究、講演集No21(2)、pp.677-680、1998
- 6) 吉田長裕他「舗装材の表面特性と表面温度の関連性に関する実験的研究」(環境技術研究論文投稿中)

歩行者意識からみた道路空間の熱環境評価に関する分析

吉田 長裕 西村 昂 日野泰雄

近年の環境問題の中でも、都市特有の熱環境は様々な規模で問題を引き起こしている。特に夏季においては、日射によって高温になった道路表面が接地層付近の過度な大気温度の上昇をもたらしているため、歩行者や沿道居住者に対して様々な不快感を与えていると考えられる。

そこで本研究では、道路空間の熱環境を把握するとともに、道路空間における外的条件の物理量の測定と歩行者への意識調査を実施し、これらの関連性を分析することによって、道路空間熱環境の評価とその改善策を得るための課題について検討した。

An Analysis on evaluation for thermal condition of urban road space by pedestrian consciousness

By Nagahiro Yoshida, Takashi Nishimura and Yasuo Hino

Recently, heat pollution peculiar to city brings some problems in various environments. Especially in road space, high surface temperature of road pavement causes a rise to excess of air temperature above ground surface. As a result, it is considered that this thermal condition has unfavorable effect upon pedestrians or residents in summer. Therefore, in this study, the heat environment in road space from the viewpoint of pedestrian consciousness was evaluated. In addition, based on analysis of some relationships between pedestrian's perception and some physical indicator, some issues to evaluate and improve the thermal condition of urban road space were investigated.