

河川環境調査と被験者実験による河川空間の快適性評価

Comfort Sensation Analysis of Riverine areas based on Environment Measurement and Questionnaire

栗城 稔*, 木内 豪**, 小林 裕明***

By, Minoru KURIKI, Tsuyoshi KINOCHI and Hiroaki KOBAYASHI

In this paper, an attempt is shown to make clear factors important for space-designing of riverine areas and to establish a procedure of space-design considering human's comfort sensation. Measurements relevant to thermal, visual and sound environment were carried out in riverine areas along with questionnaires on comfort sensation and other sensations supposed to be related to comfort sensation. As a result, temperature, openness and noisiness sensations showed relatively high correlation to comfort sensation.

Key words: Space design, Riverine area, Comfort sensation

1. はじめに

河川空間の持つ様々な効用・機能はとりわけ都市の密集市街地では貴重な存在であり、親水活動ができる、余暇活動ができる、交流の場となる、生態系が豊かである、開放感があるといった潜在的に高い価値を有するものの、河川空間づくりにおいて様々な機能が調和のとれた形で計画されているとは言えないように思われる。河川周辺の市街地との関係も考慮し、街づくりと一体の河川整備を行っていくためにも、様々な機能を適正に評価する枠組みと選択する判断基準や地域の特性を活かした河川空間づくりのための指針が必要である。

本研究では河川空間を散策や休憩などで利用する人々を対象として、心理的な作用（快適感）を河川空間の設計の達成目標にしたときに拠り所となる設計指標を得ることを目的とする。この指標は河川空間の各種環境条件と空間の快適性の関係を示すものであり、この関係が分かれば快適性の高い河川空間を創造するために要求される環境改善項目を明らかにすることができる。

本論文では、全国の21河川を対象に行った夏季の河川空間の各種環境に関連する物理量（気温・風速・騒音・河道形状等）の測定結果と被験者実験から得られた快適感等の感覚量の回答を解析して判明した河川空間の快適性を支配する要因と快適性の指標について紹介する。なお、河川における環境調査と被験者実験は建設省河川局都市河川室、各地方建設局と北海道開発局の協力の下に行われたものである。

2. 環境調査と被験者実験の方法

快適現象は外部環境からの刺激の種類によって感覚的快適と感性的快適に分けられる。感覚的な快適は熱・音・光・臭気・力学等の感覚的刺激により引き起こされるのに対して、感性的な快適は喜びや悲しみのような高度な情動を引き起こす価値的な感性刺激により引き起こされる¹⁾。河川空間は時として感性的な快適感を生み出す舞台にもなるが、基本的には感覚的な快適感を達成目標とすることが重要であると考えられる。

快適性を向上させるには、快適性を支配する環境要素と、それぞれの要素が快適性に与える影響の度合を明らかにする必要がある。図-1は各種環境に関連する物理量と人間の心理的生理的反応を表す感覚量との関係について整理したものである。快適性に関連すると考えられる環境として熱環境、音環境、視環境、大気

* 正会員 工修 建設省土木研究所都市河川研究室 室長（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

** 正会員 工修 建設省土木研究所都市河川研究室 研究員

*** 正会員 建設省土木研究所都市河川研究室

環境がある。それぞれの環境の物理的要素は直接的な心理反応（暑い、うるさいなど）を促し、それらの心理反応が快適性の判断材料となるものと考えられる。図-1の関係はあくまでも仮定であり、これ以外の環境要素と心理反応が快適性に影響を及ぼす可能性があるが、それらの存在の有無と重要度は本論文で以下に示す調査結果からある程度判断できる。本研究では図-1に示した因果関係を検証するために環境要素の物理量を計測する環境調査と人間の反応について感覚量の段階評価を行う被験者実験を行う。図中、太い枠で囲んだものは今回の環境調査と被験者実験で対象とした項目である。

環境調査と被験者実験は全国21河川（河川幅は約10m～700m）で7月下旬から8月上旬にかけて行われた。環境調査では、河道から堤内地にかけた観測横断面内に5～9の調査地点を設け、高さ1.5mにて気温、湿度、風速、黒球温度、騒音等を計測した。空間規模については河道から堤内地にかけての地盤高と各地点の天空率を測定した。天空率とは建物の遮蔽から残された天空から水平面上の点への立体角投射率で、正射影型の魚眼レンズ付きのカメラにより、光軸を天頂に向けて撮影し、写真の全面積と天空面積の比により計測される²⁾。熱環境に関連する要素の観測では各地点10分間計測した後、次の地点に移動し、同様の計測を繰り返した。温度と湿度のセンサーは日射を遮蔽するステンレス製強制通風管の中に装着した状態で計測した。黒球温度計は1つの機器で観測地点を移動させてしまうと測定値から前の地点の影響がなくなるまで長時間を要するため、それぞれの観測地点に予め設置しておき、地点毎に記録計との接続を変えながら測定した。器差は測定前後に同一条件のもとで確認し、器差が許容値よりも大きい場合はアスマン通風乾湿計等を用いて校正曲線を作成し観測データを補正した。観測結果の整理にあたり、温度、湿度、風速は10分平均値を用いた。騒音は計測時間内の平均値で表した。

環境調査を行った地点は河道内、堤内地、橋上の合計198地点である。地点数の内訳を河川の規模（河川幅）と地点種別に整理すると表-1のようになる。被験者実験は環境調査を行った地点と同一とし、1地点あたり5名の被験者が立位あるいは座位の状態で図-2に示す6～7段階評価で用紙に記入した。被験者実験と各種環境調査は厳密に同調して同時に行ったわけではなく、環境要素の値はある時間内の平均であるのに対して、実験結果はどちらかといえば瞬時的な判断によるものである。被験者数は表-2のとおりで、年齢は18歳から71歳までの間に分布し、男女共に20代が最も多かった。

評価項目には熱環境、音環境、視環境、大気環境に関連する感覚量が含まれる。熱環境の感覚量は石井ら³⁾を参考にした。開放感は乾ら⁴⁾が室内空間の視環境を評価する指標として導入したものであり、本研究では開放感を空間の大きさ（容積感）と位置づけ、閉鎖的－開放的の7段階で分類した。快適感はある地点における快適性について総合的に判断してもらう項目である。快適性と類似の総合的な指標として精神的な安定感やリラックスの度合いが考えられるが今回は質問項目を設けなかった。

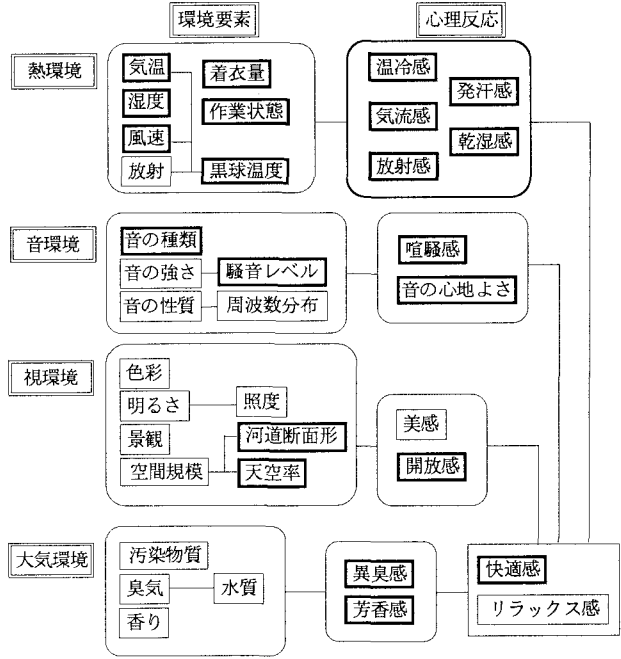


図-1 環境要素と人間の心理反応の関連

表-1 環境調査地点の内訳

地点種別	川幅B ≤100m	100<B ≤300	300m <B
堤内地	25	23	9
堤防上	22	23	10
堤防法尻	3	10	8
高水敷上	0	7	3
水際	9	12	7
流路内	5	4	1
橋上	6	7	1
堤防斜面	2	1	0

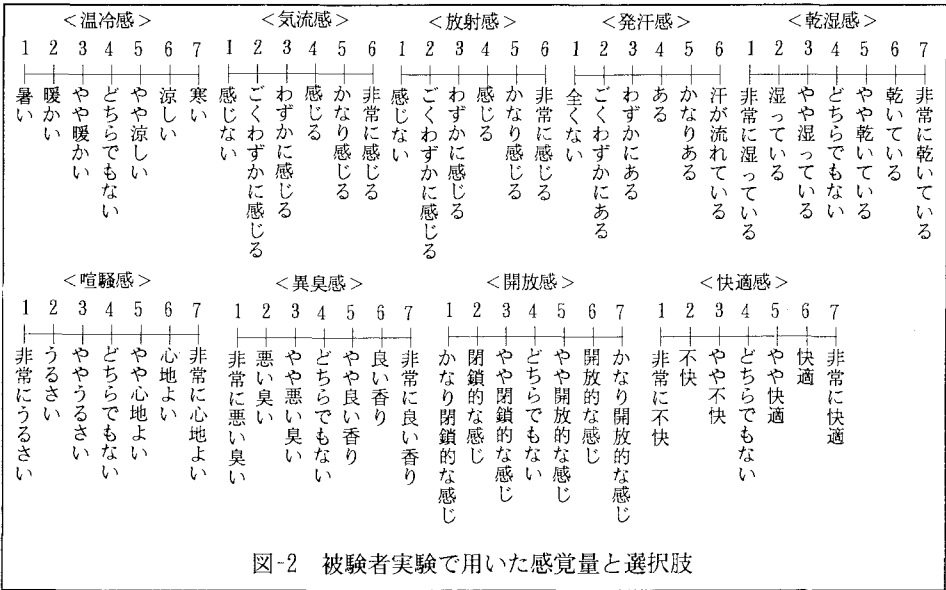
表-2 アンケート回答者数

男性	女性	18-29歳	30-49歳	50-71歳
82	54	61	54	21

3. 解析結果

3. 1 快適感と他の感覚量との関係

表-3に被験者実験の回答をもとに整理した快適感と他の感覚量との相関係数の値を示す。上段は個人データを用いたもの、下段は同一時間、同一地点における5名の回答データを平均したのべ211地点分についてのものである。個人データで快適感との相関が高いのは順に



喧騒感、開放感、発汗感、温冷感であった。平均データを用いると地点ごとのばらつきが平均化されるため相関係数は大きくなるが、相関が高い上位4項目は上記と同様である。西欧ではしばしば閉鎖性が望ましいものと考えられているのに対して日本では都市にとって望ましい開放性の程度が扱われている⁵⁾が、表-3からも開放性が快適性を向上させることがわかる。

次に、上記4項目と快適感との関連

性を性別、年齢別に整理したものが表-4、5である。年齢別にみると10代では発汗感と快適感の相関が極端に小さく、

また、60代以降で喧騒感と快適感との相関が他の年代よりも高めている。他に、着衣量、体格の違いの影響も調べたが特に傾向は見られなかった。さらに、各感覚量と環境要素（黒球温度と騒音レベル(A)）との相関係数も調べたところ、10代で騒音レベルと喧騒感の相関が低いこと、薄着の場合に黒球温度と発汗感の相関が高いという特徴が見られたが、それ以外に顕著な傾向はなく、回答結果のばらつきは個人の感覚の違い、経験、育った環境に影響されるところが大きいと推測される。

3. 2 感覚量を用いた快適感指標

表-3で相関の高かった温冷感、発汗感、喧騒感、開放感と快適感の関係を表す重回帰式を平均データを用

表-3 快適感と他の感覚指標との相関係数

	温冷感	気流感	放射感	発汗感	乾湿感	喧騒感	異臭感	開放感
個人データ	0.32	0.22	-0.28	-0.33	-0.01	0.48	0.28	0.43
平均データ	0.49	0.37	-0.35	-0.47	-0.10	0.56	0.41	0.58

表-4 快適感と他の感覚指標との相関係数(男女の違い)

	母数	喧騒感	開放感	発汗感	温冷感
男性	630	0.52	0.44	-0.36	0.34
女性	425	0.41	0.41	-0.29	0.28

表-5 快適感と他の感覚との相関係数(年齢の違い)

	母数	喧騒感	開放感	発汗感	温冷感
～19歳	53	0.60	0.57	-0.04	0.11
20～29歳	432	0.43	0.47	-0.36	0.38
30～39歳	210	0.58	0.39	-0.28	0.24
40～49歳	200	0.36	0.36	-0.39	0.33
50～59歳	93	0.30	0.42	-0.17	0.39
60歳～	67	0.76	0.52	-0.25	0.21

快適感=0.31+0.44×温冷感+0.35×喧騒感+0.28×開放感(相関係数0.80)(1)
快適感=2.63-0.45×発汗感+0.36×喧騒感+0.29×開放感(相関係数0.81)(2)

いて求めたところ、式(1)と式(2)が得られた。これより、平均データで見るとかなり相関の高い重回帰式が得られるということと、室内環境についての研究成果⁶⁾と同様に、各種環境条件に対する感覚量が線形的に快適感に寄与していることが伺える。ただし、後述するように、熱環境が快適感に与える影響は酷暑環境で顕著になることや音環境、視環境についても騒音や空間規模のしきい値が存在し、そのしきい値以下(あるいは以上)では快適感にあまり影響を及ぼさないことから、環境要素の物理量と快適感との関係式について検討する際にはこの点を考慮する必要がある。

環境要素と生理反応の関係において、個人差は物理的な環境要素(感覚刺激)から心理的な反応(温冷感

などの感覚量)に至る過程と、各感覚量から総合的な快適感を判断する過程の2段階で表れる。このような場合、ある生理反応に関する個人の満足度ではなく、集団のなかで満足と感じる人の割合をある値以上にできる環境条件を知る必要がある。例えば、アメリカ空調学会(ASHRAE)の基準⁷⁾では集団の構成員のうち80%以上のものがその環境に満足であればその環境を快適と判定している。図-3は式(1)と(2)による快適感の予測値と回答値について個人データを用いて整理したもので、縦軸には快適度として選択肢5~7を選んだ人の割合を示した。この結果から、例えば80%以上の人が少なからず快適と感じるような環境を作り出すには予測値を6以上にする必要があることがわかる。

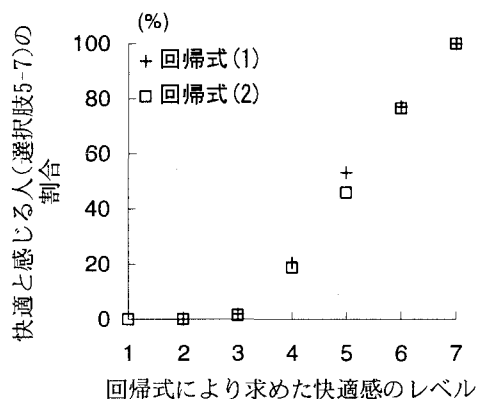


図-3 快適度と快適感ランクの予測値の関係

3. 3 環境要素の物理量と生理反応の感覚量の関係

本節では環境要素の測定値と感覚量の回答結果の関係について整理する。環境要素として気温、黒球温度、騒音レベル(A特性)、河川幅、天空率をとり、回答結果を選択肢(1~6あるいは1~7)別に累積頻度として表示したものが図-4~図-10である。

温冷感と黒球温度の関係(図-4)では「暑い」の頻度曲線がそれ以外のものよりも右側にずれており、黒球温度が44℃程度になると「暑い」と答える人が増加する傾向が表れている。一方、「暖かい」~「涼しい」の選択肢の頻度曲線はほぼ重なり合っており、いずれも黒球温度が40℃付近に最も回答が集中することがわかる。曲線が重なりあった理由として、酷暑のところが多かったため「暑い」に回答が偏った分それ以外の回答数が少なくなり有意な傾向が現れなかったことが考えられる。酷暑にもかかわらず「かなり暑い」や「非常に暑い」などの選択肢がなかったことも「暑い」に回答が集中した理由である。気温と温冷感の関係についても同様の傾向がみられた。

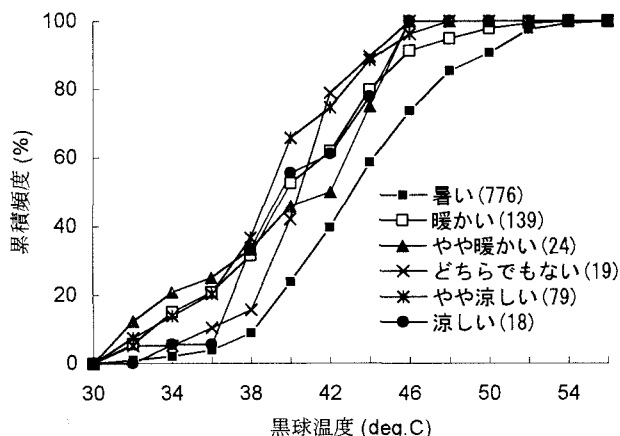


図-4 温冷感の累積頻度分布と黒球温度の関係

次に、発汗感と黒球温度、気温の関係について見てみる。図-5では選択肢別の頻度曲線がほぼ重なることなく平行にずれており、黒球温度が高くなるにしたがって発汗度の高い回答が出現しはじめる。曲線の傾向は正規分布の累積分布関数に類似している。気温との関係について図-6でみると、気温が34℃程度まではそれぞれの曲線が異なる軌跡を描くものの、34℃を越えると発汗度の高い選択肢では重なり合ったり、上下が逆転する。図-5, 6から気温が高くなると放射の影響が顕著になることが伺え、暑熱環境を表す基本量としては黒球温度が気温よりも優れていると考えられる。同時に、発汗は体温調節機能であると同時に外部空間の暑熱環境を表すよい感覚量であると考えられる。ただし、発汗の起こりにくい夏期以外の温熱環境下で通常の作業状態のときには発汗感は温熱指標とはなりにくい。

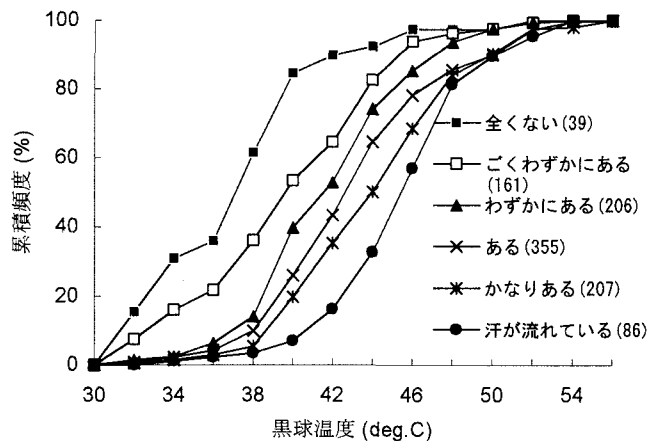


図-5 発汗感の累積頻度分布と黒球温度の関係

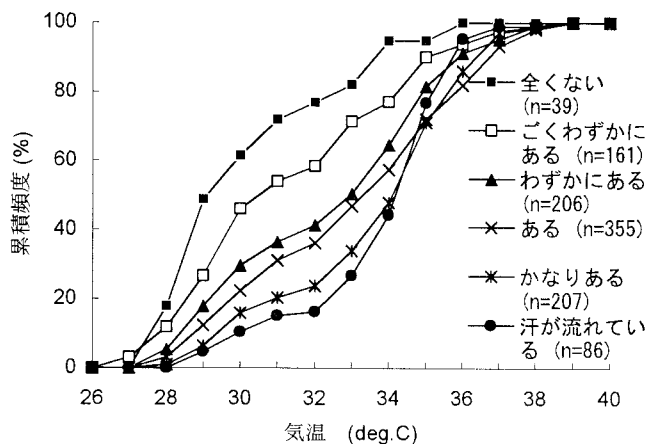


図-6 発汗感の累積頻度分布と気温の関係

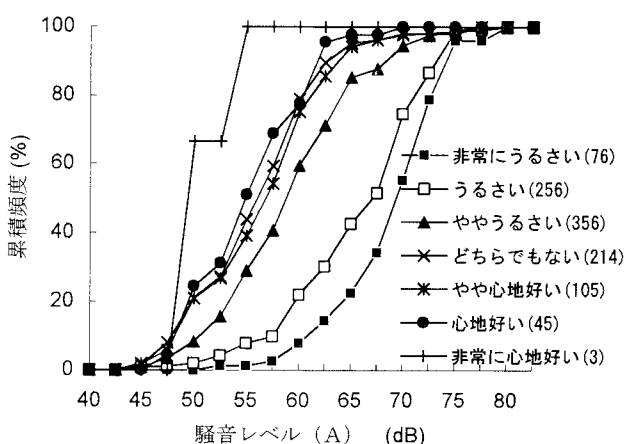


図-7 喧騒感の累積頻度分布と騒音レベルの関係

喧騒感と騒音レベルの関係について図-7に示す。比較的回答数の得られた「非常にうるさい」から「心地よい」までの間で比較すると、選択肢1～3の頻度曲線は平行にずれているが、選択肢4～6の頻度曲線はほとんど重なり合っている。これには選択肢の設定の仕方が影響したのではないかと考えられる。つまり、「心地よい」という感覚は「うるさい」と反対のものではないため、音がある程度あっても（騒音レベルがある程度の値を示していても）音の種類によってそれほど気にならないものならば「心地よい」と選択しうる。「心地よい」の代わりに「静か」という感覚を用いたならばこのような重なりは無かつただろうと推測される。逆に、「心地よい」が快適感と関連しているとすれば、騒音レベルのみで音環境の快適性を評価するのは限界がある。

図-8は複断面河道の堤防上と単断面河道の護岸上での開放感の回答結果の累積頻度分布を河川幅との関係で表したものである。堤防・護岸上における閉鎖的な感じは選択肢1～3ともにほぼ同様な曲線を描いていたが、開放的な感じは選択肢5～7まで異なる傾向を示している。川幅の小さい河川の開放感は周辺の建築物の密集度や高さの影響も大きく受けるので、ここで示した結果はそれを物語っているものと解釈できる。一方、図-9は全ての回答データを用いて整理した天空率と開放感の関係であるが、回答数の少なかった「かなり閉鎖的」を除けばそれぞれの曲線が異なる軌跡を描き、かつ、開放感の高い回答ほど天空率が大きくなってから急激な曲線の立ち上がりが見られる。

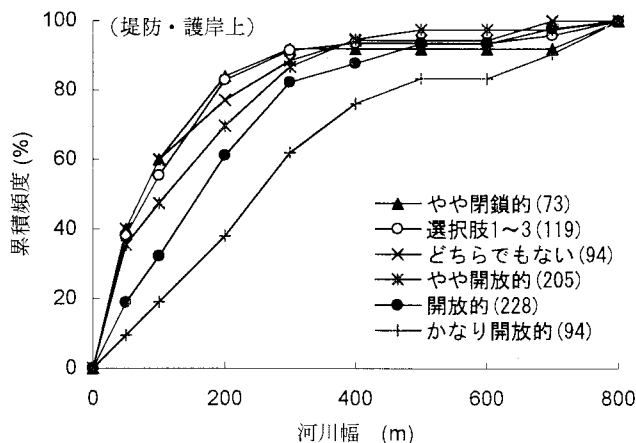


図-8 開放感の累積頻度分布と河川幅の関係

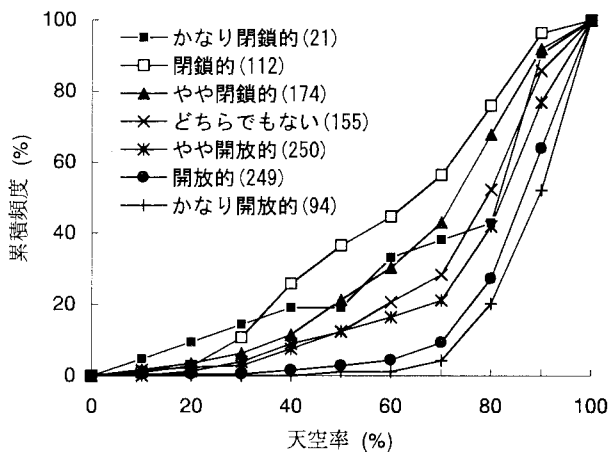


図-9 開放感の累積頻度分布と天空率の関係

快適感と黒球温度の関係について図-10に示す。「非常に不快」や「不快」の頻度曲線は互いに平行な軌跡を描いており、この2つの不快感は温熱環境（黒球温度）の影響を大きく受けていると考えられる。しかし、選択肢3～5はほとんど重なっており熱環境以外の要素も影響したことが表われている。図には示していないが、快適感と騒音レベルについては55dB付近よりも高い騒音レベルではレベル1～3とレベル4～6が異なった傾向を示していた。このことから騒音レベルが快適感の微妙な違い（「やや不快」と「不快」の違いなど）にまで大きな影響を及ぼすには至らないことがわかる。

図-4～図-10からは個人差のため同一の環境条件でも一義的に生理反応を特定し得ないことがわかる。そこで、図-3と同様に整理して集団としての満足度について検討する。図-11は黒球温度が同一な条件のもとでの発汗感の回答について、発汗が全くない（選択肢1）、わずかに感じる（選択肢2～3）、かなりある（選択肢4～6）のそれぞれを選んだ人の割合を黒球温度別に算出したものである。ここで、黒球温度の範囲は2度刻みとした。これより、選択肢4～6を選んだ人と選択肢2～3を選んだ人の割合が全体の過半数に達するのはそれぞれ黒球温度が約40℃と約38℃の時であることがわかる。同様に、温冷感について涼しい（選択肢5～6）、どちらでもない（選択肢4）、暖かい（選択肢2,3）、暑い（選択肢1）のそれぞれを選んだ人の割合と黒球温度の関係を図-12に示す。黒球温度が30℃程度であれば、「暑い」と感じる人を2割程度にすることができる。

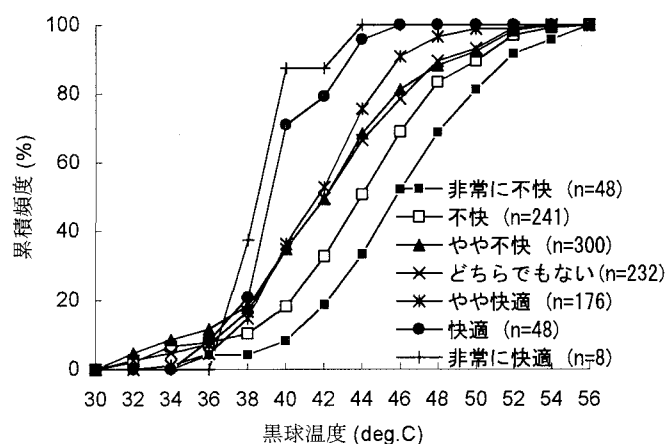


図-10 快適感の累積頻度分布と黒球温度の関係

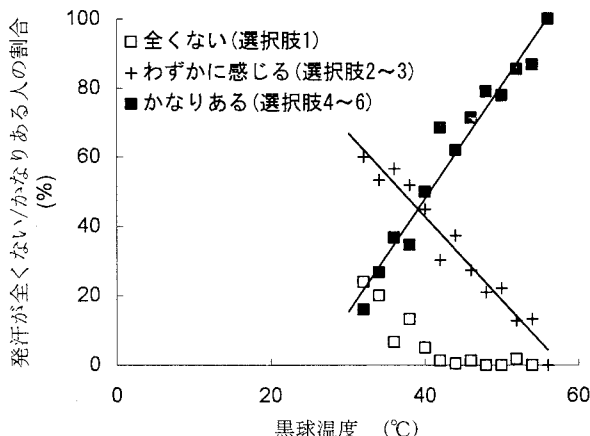


図-11 発汗感の選択肢別回答割合と黒球温度の関係

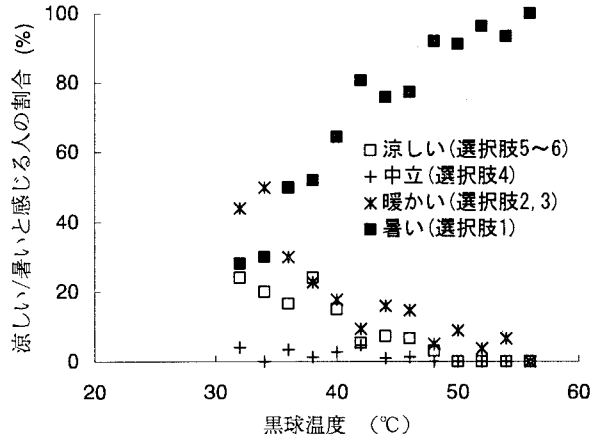


図-12 温冷感の選択肢別回答割合と黒球温度の関係

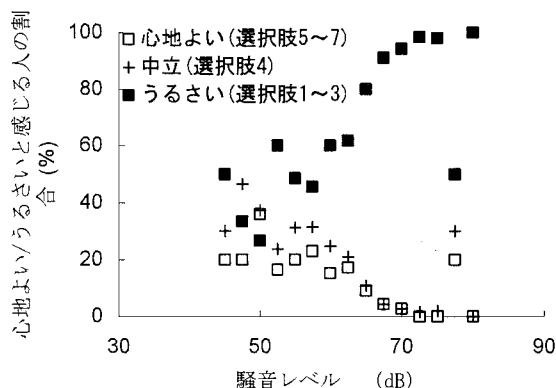


図-13 喧騒感の選択肢別回答割合と騒音レベルの関係

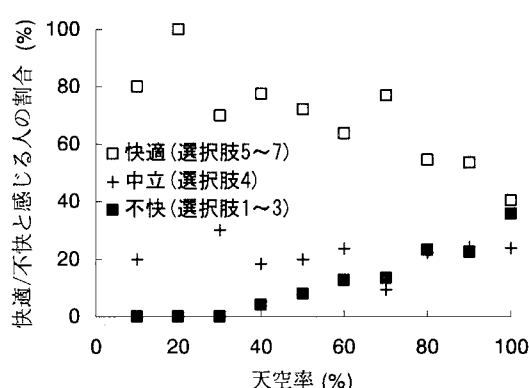


図-14 開放感の選択肢別回答割合と天空率の関係

図-13は喧騒感について同様に整理した心地よい／中立／うるさいのそれぞれを選んだ人の割合を示している。図-13で過半数の人がうるさいと感じる騒音レベルは約55dBであった。騒音に係る環境基準でも昼間の騒音が60dB（地域類型B）以下にすることが望ましいとしており、ここで得られた結果に近い値である。

また、開放感についても同様の整理を行うと（図-14）、80％の人が開放的と感じる空間規模としては天空率が100％に近い値が要求されることが読みとれる。また、閉鎖的と感じる人を20％以下にするためには天空率を90％以上確保する必要があることになる。

3. 4 温熱指標SET*を用いた熱環境の評価

前節では、気象要素としては気温よりも黒球温度を用いた方が発汗感の回答の違いを表しうることが確認された。黒球温度はその場の気温、風速や周囲からの放射の状態が集約された物理量であるので、放射や風速の影響の無視できない外部空間では当然有効な指標となることは予想されるが、人間の着衣状態や作業状態、発汗作用を反映していないという欠点がある。本節ではASHRAEの温熱指標のスタンダードとして採用されているSET*（標準新有効温度：standard new effective temperature）により日射や風の条件の他に代謝量や着衣量を考慮した場合、黒球温度を直接用いるのに比べてどの程度、心理反応と環境要素を関係付ける温熱指標としての性能が向上するかを見る。

SET*は人体の熱平衡式に基づく温熱指標で、発汗による体温調節機能を含む熱平衡モデルに基づき気温、放射、湿度、気流、着衣、作業量などの環境変数を入力すると、生理因子として皮膚温、体内温、発汗量、貯熱などを総合的に評価できる。SET*は相対湿度50%、着衣量0.6クロー、静穏な風速(0.1~0.15m/s)を標準とする仮想の等温環境を意味する。SET*の計算方法はGaggeら⁸⁾を参考にした。SET*の計算では平均放射温度(MRT)が必要になるので、神田ら⁹⁾に従い、黒球のアルベドと人体のアルベドを等しいと仮定して黒球温度計の指示値からMRTを求めた。着衣量のクロー値は実験時の写真と着衣状態の申告結果をもとに、文献10), 11)に基づき算出した。作業状態は立位か座位なので、代謝量をそれぞれ59w/m²と71w/m²と仮定した。

以上により求めたSET*と発汗感の関係について累積頻度分布を図-15に示す。また、SET*、黒球温度と温冷感、発汗感、快適感の相関係数を表-6に示す。この結果を見る限りではSET*を用いてもほとんど温熱指標としての改善は見られない。この原因として被験者実験の方法の問題とSET*の適用限界の2つが考えられる。被験者実験では、各地点とも5分程度付んでから回答をしているものの、熱的な平衡状態になるには2時間程度は必要であるといわれており、前の地点の環境情報の影響を受けている可能性があることが挙げられる。気象要素については10分間の平均値を用いており、瞬間的に吹く涼しい風の効果が黒球温度に反映されるまでの遅れ時間を考慮すると、回答を行った瞬時の気象の値を用いるよりはむしろこの方が妥当であると考ええる。SET*はそもそも熱的な平衡状態のもとでの等温環境を表すことから、時事刻々変化するような非定常性の強い環境下での使用には限界があるといえる。

表-6 温熱感覚・快適性と熱環境要素の相関係数

	温冷感	発汗感	快適感
気温	-0.26 (-0.38)	0.30 (0.43)	-0.25 (-0.35)
黒球温度	-0.29 (-0.42)	0.40 (0.58)	-0.24 (-0.34)
SET*	-0.28 (-0.40)	0.41 (0.57)	-0.27 (-0.39)

()内の値は平均データについての相関係数

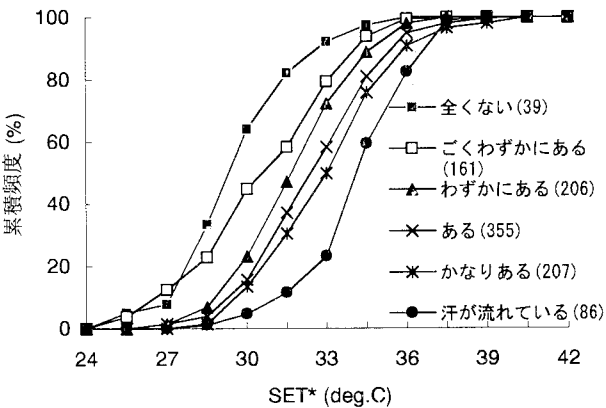


図-15 発汗感の累積頻度分布とSET*の関係

3. 5 開放感を指標とする河川空間規模の評価

3. 3では天空率と開放感の関係について個人データを整理したが、ここでは、同一時間、同一地点での5名の回答を平均した平均データを用いて、天空率と開放感の関係について考察を加える。

図-16は天空率と開放感の平均データの対応を河川空間内（堤防上から河道内まで）と堤内地に区別して表したものである。図中、緑陰とは護岸付近や堤内地の公園などで樹木に覆われた地点を示している。緑陰とそれ以外では明らかに天空率と開放感の関係が異なる。参考に、図中にはつくば市内の公園内で行った同様の調査結果¹²⁾も示したが、これも同様の傾向を示した。緑陰の天空率の算定にあたっては地上近くの間と幹の間の天空はカウントしたが、葉や小枝の間にある微少な天空は無視して包絡的に扱ったため、この影響が天空率の値の誤差となったということも考えられるが、それにより天空率が20%~40%も変化するとは考えられない。したがって、樹木の存在により眼前の天空率は減少するものの遮蔽感が少ないため、建築物があ

るときよりも閉鎖的と感じる程度が小さくなる心理的效果があるものと考えられる。また、木漏れ日や色彩の効果が関連しているのではないかと推察される。

また、緑陰以外では開放感が「どちらでもない」（天空率でいうと80%前後）を境に天空率の影響度合いが大きく異なり、閉鎖感が天空率により余り変化しないのに対して開放感は天空率に敏感に影響される。これは、内部空間の延長として外部空間を捉えたときに、外部空間を「かなり閉鎖的」とするのは当たらないという被験者の意志が表れて「閉鎖的」と「やや閉鎖的」に回答が集まった結果であると解釈できる。

空間の容積感は同じ天空率をもつ空間でも代表長さにより異なる。内田¹³⁾は天空率の他に代表長さとして道路幅を用いて開放感を表す指標を提案している。これに習えば、河川空間であれば河川幅を開放感の評価尺度に加える方が良いように思えるが、河川幅と天空率のそれぞれのべき乗の積と開放感との関係を調べたがデータのばらつきは図-16と同じ程度であり、ほとんど改善はみられなかった。

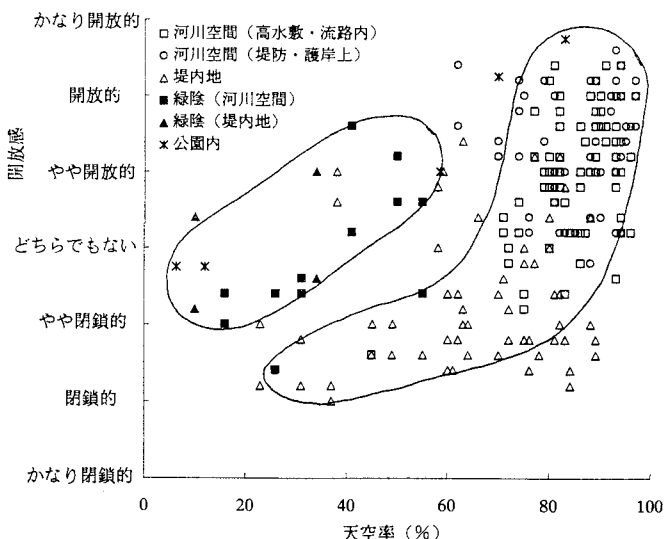


図-16 開放感と天空率の関係（平均データ）

4. 結論

本研究から以下の結論が得られた。

- 1) 河川空間とその周辺での夏期の快適感は熱環境、視環境、音環境に関連する感覚量の線形和として表しうる。
- 2) 熱環境に関する感覚量のうち、発汗感の回答は放射の影響を含んだ物理量である黒球温度との相関が高い。
- 3) 河川空間とその周辺ではSET*が黒球温度に比べて優位な温熱指標であるかどうかは判明しなかった。計測方法、被験者実験の方法、発汗作用のモデル化など複数の要因が絡んでおり、さらに検討が必要である。
- 4) 天空率を単独で用いても開放感を表す比較的良好な指標であることがわかった。また、緑陰と建築物に囲まれた空間では、天空率が同一でも開放感は異なることがわかった。

参考文献

- 1) 瀬尾文彰，坊垣和明：快適性の評価構造に関する基礎的研究，平成4年度建築研究所年報，H5. 9.
- 2) 武井正昭：建築群密集状態の判定手段に関する研究(第1部)，日本建築学会論文報告集No. 162，1969.
- 3) 石井昭夫，片山忠久，塩月義隆，吉水久雅，阿部嘉孝：屋外気候環境における快適感に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文報告集No. 386，1988.
- 4) 乾正雄，宮田紀元，渡辺圭子：開放感に関する研究1，日本建築学会論文報告集No. 192，1972.
- 5) 乾正雄，長田泰公，渡部仁史，穂山貞登：環境心理，新建築学体系11，彰国社，1985.
- 6) 堀江悟郎，桜井美政，松原斉樹，野口太郎：室内における異種環境要因がもたらす不快さの加算的表現，日本建築学会計画系論文報告集No. 387，1988.
- 7) 中山昭夫編：温熱生理学，理工学社，1981.
- 8) Gagge, A.P., Nishi, Y., and Nevins, R.G.: The role of clothing in meeting FEA conservation guidelines, ASHRAE Transactions, 234/247, No.2417, 1976.
- 9) 神田学，土屋信人：微気象観測に基づく人間熱収支解析の試み，水工学論文集Vol. 38，1994.
- 10) 日本建築学会編：建築設計資料集成1，丸善，1990.
- 11) (社)空気調和・衛生工学会編：空気調和衛生工学便覧I基礎編，第3章 室内熱・空気環境
- 12) 木内豪，栗城稔，小林裕明：水辺と緑地による快適空間設計に関する基礎的研究，土木技術資料Vol. 37, No. 8, 1995.
- 13) 内田茂：閉空間に対する感覚量に関する実験的研究(1)，日本建築学会論文報告集No. 282，1979.