

土 木 研 究 所 資 料

海岸の温熱環境と快適性の
関係および海岸の空間規模
の評価法に関する研究

平成3年3月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

「Copyright © (1991) by P. W. R. I.

All rights reserved. No Part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

海岸の温熱環境と快適性の関係および 海岸の空間規模の評価法に関する研究

海岸研究室 室 長 宇 多 高 明

研 究 員 小 俣 篤

部外研究員 浅 対 享

要 旨

海岸の温熱環境と快適性の関係を検討するために、温度、湿度、風速および日射量等により定まる温熱指標を文献調査によって調べるとともに、風洞内および屋外において体感試験を実施した。これらの結果より、海岸などの屋外環境にも適用が可能な、快適性から見た温熱環境の判定基準を作成した。また、海岸の空間規模を評価する上で必要とされる種々の空間スケールに関して文献調査を行い、これに基づいて空間スケールの分類整理を試みた。更に、海岸の空間規模を評価することへのこれら空間スケールの適用性について述べた。

キーワード：海岸環境、快適性、温熱環境、温熱指標、風洞試験、体感試験、空間規模、空間スケール

は じ め に

海岸環境の持つ魅力に配慮した海岸事業を可能とするための第一歩として、本研究では、まず気温、湿度、風速および日射量等により定まる温熱指標を得ることを目的として文献調査を行うとともに、快適性に関する体感試験を実施した。次に、海岸の空間規模を評価する指標を得るために、文献調査に基づいて海岸への適用が可能な空間スケールを分類整理した。

目 次

1. 序論	1
参考文献	1
2. 海岸における温熱環境と快適性の関係	2
2. 1 まえがき	2
2. 2 温熱環境に関する既往の研究	2
2. 2. 1 温冷感と快適感の関係	2
2. 2. 2 室内を対象とした温熱指標	3
2. 2. 3 屋外を対象とした温熱指標	5
2. 2. 4 温熱指標の海岸への適用性	8
2. 3 温熱環境に関する体感試験	9
2. 3. 1 試験方法	9
2. 3. 2 試験Ⅰ（風洞試験）の結果	14
2. 3. 3 試験Ⅱ（屋外試験）の結果	30
2. 3. 4 まとめ	35
2. 4 現地海岸における温熱環境の評価例	36
2. 5 結論	38
参考文献	38
3. 海岸の空間規模の評価法	40
3. 1 まえがき	40
3. 2 空間規模の評価法に関する文献調査	42
3. 3 空間規模の評価法の分類	52
3. 4 種々の空間スケールの海岸への適用	53
3. 5 結論	56
参考文献	56
付録	59

第1章 序 論

近年、ウォーターフロントに注目が集まるとともに、海岸環境に関する研究も盛んになってきた（例えば、堀川ほか，1972；佐々木ほか，1974；井上・島田，1982；小舟，1989）。筆者らも、良好な海岸環境を整備するための指針を得ることを最終目標として研究を進めてきており（宇多ほか，1989；1990；1991）、その中で、海岸環境には海岸においてのみ感じられる特徴的な雰囲気があることを指摘した。これは、従来の研究ではほとんど考慮されていない点であり、わずかに灘岡・徳見（1988）、灘岡・玉嶋（1989）により波の音に関連した雰囲気が触れられているに過ぎない。筆者らは、さらに海岸の雰囲気が表面感覚、聴覚、視覚、嗅覚などの五感を通じて知覚されることから、これら個々の感覚ごとに区別して海岸の雰囲気を捉えるべきことを示した。そして、これらのうち視覚に関係する要素である海岸の「明るさ」を特に選んで検討を加えた。本論文はこの研究に続くものであり、表面感覚の面から、海岸の快適性を判断する上で重要な因子になると考えられる温熱環境を取り上げ、既存の温熱指標と本研究で実施する体感試験の結果より、温熱環境と快適性の関係について考察する。また、視覚の面からは、開放感などの海岸の雰囲気に強く関連すると考えられる海岸の空間規模を取り上げ、文献調査を基にしてその評価法について検討する。

参考文献

- 井上雅夫・島田広昭（1982）：海水浴場に関する海岸工学的研究（第2報），第29回海岸工学講演会論文集，pp. 633～637.
- 宇多高明・小俣 篤・浅対 享（1989）：海岸環境の構成要素および海岸の利用形態に関する研究，土木研究所資料，第2807号，51p.
- 宇多高明・小俣 篤・浅対 享（1990）：明るさと海岸環境の関係，第37回海岸工学論文集，pp. 888～892.
- 宇多高明・小俣 篤・石井佐武郎・富田成秋・羽成英臣・鈴木則夫（1991）：海岸の雰囲気・利用形態およびマリンスポーツに適した自然条件に関する研究，共同研究報告書，第49号，123p
- 小舟浩治（1989）：ウォーターフロント開発における水理学的計画手法に関する検討，海洋開発論文集，Vol. 5，pp. 167～172.
- 佐々木民雄・堀田新太郎・五十嵐元・久保田進（1974）：海洋性レクリエーションに関する研究（第2報），第21回海岸工学講演会論文集，pp. 471～475.
- 灘岡和夫・徳見敏夫（1988）：海岸の音環境に関する基礎的研究，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 757～761.
- 灘岡和夫・玉嶋克彦（1989）：海岸環境要素としての波の音の特性について，海岸工学論文集，第36巻，pp. 869～873.
- 堀川清司・佐々木民雄・五十嵐 元（1972）：海洋性レクリエーションとその環境，第19回海岸工学講演会論文集，pp. 83～91.

第2章 海岸における温熱環境と快適性の関係

2.1 まえがき

暖かさや涼しさと快適性の関係は、温熱環境として議論されている。本来温熱環境は屋外、屋内を問わず対象とされうるが、これに関する大部分の研究は室内の温熱環境に関するものである。例えば、アメリカ空調学会（ASHRAE）は、室内を対象とした温熱環境の快適性評価基準を示している。海岸においても温熱環境は海岸利用を制約する因子として、あるいは海岸の雰囲気に影響する因子として重要である。一般に、屋外での温熱環境は温度、湿度、風速、日射量等の条件によって支配されるが、屋外においても風速数10cmの低風速で日射のない場合には、室内における様々な調査研究例や評価基準をもとにその温熱環境を評価することが可能である。しかしながら、海岸のように風や日射の影響が無視できない環境ではそれらの適用は困難であり、このような環境条件の下で適用可能な評価法はないと言って良いのが現状である。例えば、春先や秋の海岸を考えると、そこでは風による冷却効果が大きいので長時間の滞在は難しく、これは夏期以外における海岸利用を制約する大きな要因にもなっている。しかしながら、そのような環境条件を定量的に評価しうる指標は存在しない。

以上の点より、海岸の利用計画を検討する際には、海岸の温熱環境を評価可能とすることが是非とも必要とされる。また、海岸の温熱環境を把握することは、利用に適する海岸を選定する場合や、ある海岸での局所的な風向風速分布に基づいてゾーニングを行う場合などにも有効と考えられる。さらに、場合によっては植栽等により風を制御しようとする場合にも役立つはずである。

本論文では、まず温熱環境に関する既往の研究を調査し、それらのうち屋外の温熱環境の指標として利用可能なものを選び出す。次に、風や日射の影響に関する体感試験を実施し、これらの指標の海岸への適用性について検討する。

2.2 温熱環境に関する既往の研究

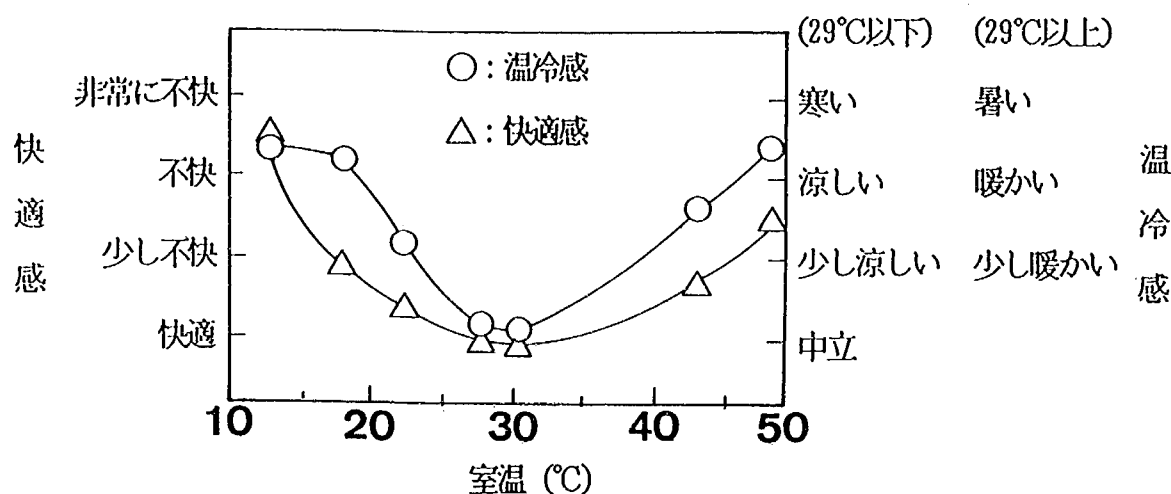
2.2.1 温冷感と快適感の関係

人は、寒い時には震え、暑い時には汗をかくなどの生理反応により、温熱環境の変化に対して体温、血糖値等の恒常性を維持し適応している（例えば、黒島，1986）。温熱環境の変化に対するこのような適応の過程において、暑い、寒い等の感覚（温冷感：Temperature Sensation）や快適、不快等の感覚（快適感：Comfort Sensation）などを持つようになる。温冷感と快適感については、主として生理学、心理学、空調学等の分野で検討されている（例えば、西，1986）。

温熱環境に関する初期の研究においては、温冷感と快適感とが混同されて用いられていた。快適感を最初に定義したのは、Houghten and Yaglou（1923）である。彼らは「快適」を暑くもなく寒くもない状態と定義した。その後、Gagge et al.（1967）は、温冷感と快適感を明確に区別し、それらを表-2.1のように分類した。温冷感は「寒い」から「暑い」の7段階に、快適感は「非常に不快」から「快適」の4段階に分類されている。室内空調等における温熱環境の評価には、現在でもこの表が一般的に用いられている。

表－2.1 温冷感と快適感の段階 (Gagge et al., 1967)

温 冷 感		快 適 感	
1	寒い (cold)	1	非常に不快 (very uncomfortable)
2	涼しい (cool)	2	不快 (uncomfortable)
3	少し涼しい (slightly cool)	3	少し不快 (slightly uncomfortable)
4	中立 (neutral)	4	快適 (comfortable)
5	少し暖かい (slightly warm)		
6	暖かい (warm)		
7	暑い (hot)		



図－2.1 温冷感と快適感の関係 (Gagge et al., 1967)

Gagge et al. (1967) が屋内での体感試験により求めた温冷感、快適感と室温の関係を図－2.1 に示す。温冷感と快適感とはよく対応しており、温冷感は29℃付近で「中立」の評価になるが、このとき快適感には「快適」となっている。このことは、快適感の「快適」が温冷感の「中立」と対応することを示し、暑くもなく寒くもない状態が「快適」というHoughten and Yaglouによる定義と一致する。

また、快適感および温冷感には、地域、性別、年齢、人種、その日の生理状態などの各種要因が影響することが指摘されている（例えば、三浦，1968）。例えば、アメリカ空調学会ASHRAE（1965）によると、アメリカでは夏期の冷房の快適温度は、北部の都市よりも暖かい地域の方が3℃高く、またいずれの年齢層においても男性よりも女性の方が1℃高いことが指摘されている。

2.2.2 室内を対象とした温熱指標

前述のように、室内の空調に関しては温熱環境を評価するための種々の指標（温熱指標）が提案されてい

る。これらは、体感試験や心理実験により指標を求めたもの、人体の熱平衡式に基づき理論的に求めた指標を実験的に検証したものなど様々であり、目的や用途によって使い分けられている（例えば、西，1986）。ここではそれらの温熱指標のうち、しばしば用いられるものを以下に列挙する。

(1) 不快指数

不快指数（D I : Discomfort Index）は、高温時の不快感を簡便に表わす指標として、冷房環境の評価を目的にThom（1959）によって提案された。その後、1959年6月からD Iはアメリカ気象局で採用され、現在では湿潤指数（Temperature-Humidity Index）と呼ばれている。また、この指標は屋外にも適用されることがある。

D Iは体感試験の結果をもとに、乾球温度と湿球温度の重みづけの和として次式のように定式化される（例えば、気象庁，1983）。

$$D I = 0.81 T + 0.01 H (0.99 T - 14.3) + 46.3 \quad (2.1)$$

T : 温度 (°C)

H : 相対湿度 (%)

式（2.1）によれば、D Iは高温高湿ほど大きく、低温低湿ほど小さくなる。気象庁（1983）によると不快指数は表-2.2のように評価されており、我が国ではD I = 65～70が「快い」とされている。この表より快適感が「快適」となるのはD I = 60～75に相当するようである。

表-2.2 不快指数（D I）の評価（気象庁，1983）

不快指数(DI)	評価内容
55	寒い
60	肌寒い
65	なにも感じない
70	快い
75	暑くない
80	やや暑い
85	暑くて汗がでる
	暑くてたまらない

(2) 有効温度

有効温度（E T : Effective Temperature）は、Houghten and Yaglou（1923）により冷暖房下での室内の温熱環境を評価する目的で考案された。この指標は、温度、湿度、風速を環境条件とした体感試験に基づき作成された。有効温度E Tとは、3つの環境条件を温度のみに換算して表現しようとする指標であり、まず相対湿度100%、風速0 m/sの条件を基準条件として室温を変化させたときの快適さを求めておき、次に、ある室温、相対湿度、風速で得られた快適さと同じ快適さとなる基準条件での室温がその環境条件の有効温度E Tとなる。Houghten and Yaglouによる冬期の体感試験の結果では、静止状態での快適域はE T = 17.2

～21.7℃にある。一方、Yaglou and Drinker (1929) は体感試験を夏期に行い、 $E T = 18.9 \sim 23.9^{\circ}\text{C}$ が快適域であることを示した。このように夏の方が冬に比べ大きな $E T$ となることから、外気温の変化が室内における温熱環境の快適さにも影響していることがうかがわれる。 $E T$ の適用範囲は、Houghten and Yaglou (1923) によると温度が $-1 \sim 43^{\circ}\text{C}$ 、風速が $0.15 \sim 3.5\text{m/s}$ とされている。しかし、 $E T$ は比較的短時間の体感試験に基づく指標であり、ある場所に長時間滞在する場合の感覚とは異なること、湿度の影響が低温では過大に、高温では過小に評価されることが指摘されている（例えば、中山, 1981）。

(3) 新有効温度

新有効温度 ($E T^*$: New Effective Temperature) は、Gagge et al. (1971) によって提唱された温熱指標であり、温度、湿度、風速の環境条件に加えて、幅射（人体と大気との熱交換）を取り入れ、人体の熱平衡モデルに基づいて作成された温熱指標である。したがって、前出の $E T$ とは全く異なる指標である。この方法では、人体の体温調節機能を含めた熱平衡モデルに、温度、放射、湿度、風速、着衣、作業状態等の環境条件を与えることにより、生理因子として皮膚温、体内温、発汗による蒸発熱量等を算出し、皮膚のぬれ率（発汗の程度を表わす値）を求める。このぬれ率が等しい環境条件を等価な温度として表現する指標が $E T^*$ である（例えば、中山, 1981）。 $E T^*$ は作業状態や着衣条件も取り込み、生理学的な面から評価される指標のため、体感試験のように試験条件に影響される面がない。このような点から、アメリカ空調学会 (ASHRAE) では1972年から新しい温熱指標の基準として $E T^*$ を採用している (ASHRAE, 1972)。ここで、着衣量について説明しておく。一般に着衣状態を定量的に表わす指標として着衣量が用いられる。着衣量には衣服の熱抵抗を表わすクロー値（単位clo）が用いられる。0cloは全裸の状態、1 cloとは温度 21°C 、相対湿度50%、風速 5cm/s 以下で着座静止状態の人が快適と感ずるような服装（背広の上下を着た状態）である。着衣状態とclo値の関係は日本建築学会（1989）にまとめられている。

ところで、 $E T^*$ には関与する条件が多く、一般的な指標としては利用しにくい面がある。そこで、作業状態が着座静止状態、着衣量が0.6clo（シャツとズボンを身に付けた状態）、風速が30feet/min（約 0.15m/s ）を標準状態として、作業状態、着衣、風速の条件を固定した $E T^*$ が新標準有効温度（ $S E T^*$: Standard $E T^*$ ）として定義されている。この場合、標準状態における温度 $T^{\circ}\text{C}$ が $S E T^*$ ($^{\circ}\text{C}$) の値となる。ASHRAE (1974) によると、快適な $S E T^*$ の範囲は $22.9 \sim 25.2^{\circ}\text{C}$ にある。標準状態以外での $E T^*$ を算出する方法は複雑であり、一般にマイコンにより算出される (Gagge et al., 1976)。

2.2.3 屋外を対象とした温熱指標

屋外では同じ温度であっても太陽による強い日射により温冷感に変化し、また、風による冷却効果も大きい。したがって、日射および風は屋外での温冷感や快適感に対して支配的な因子となる。さらに、風は快適感に力学的に影響する場合もある。すなわち、強風下では風圧を感じて不快感を覚え、場合によっては歩行が困難になることもある。このように、風は温熱環境のみでなく、力学的にも環境の持つ快適性に影響する。しかしながら、強風の冷却効果に起因する不快感と、風圧に起因する不快感とを分離して検討することは難しいと考えられることから、ここでは風の力学的な影響もあわせて検討する。

(1) 風および日射を考慮した温熱指標

a) windchill

windchillは、極地における凍傷の予防を目的としてSpile and Passel (1945) によって提案された温熱指標である。この指標では、気温と風速の組合わせにより当該環境の冷却力が評価される。その算出式は以下のように表わされる。

$$K_c(\text{kcal/cm}^2/\text{hr}) = (100 \cdot U + 10.5 - U)(33 - T_a) \quad (2.2)$$

K_c : windchillの値

U : 風速 (m/s)

T_a : 気温 (°C)

windchillの値 K_c と温熱環境の定性的な評価との関係を図-2.2に示す(Blockley, 1964; 人間環境系編集委員会、1972)。この図によれば、「快適」となる K_c の範囲は150~300kcal/cm²/hrの範囲にある。なお、Spile and Passel (1945) はwindchillに与える日射の影響に関して、明るい日射のある環境では K_c の値が小さくなることを指摘している。

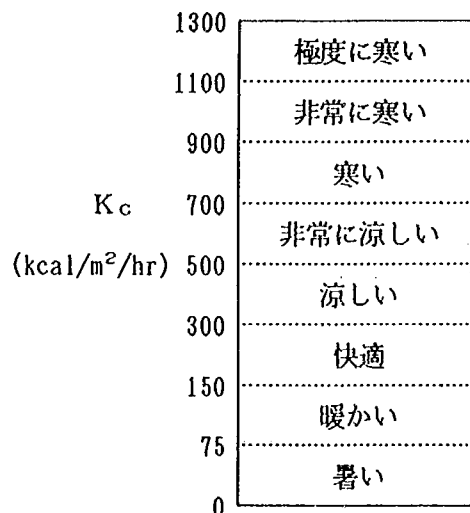


図-2.2 K_c 値と冷却力の関係 (人間環境系編集委員会, 1972)

b) Penwardenによる温熱指標

Humphreys (1970) は、温度、風速、運動量、着衣量を環境条件とし、人体の熱平衡式を用いた屋外用の温熱指標を提案した。このとき、発汗あるいは震えが生じない生理状態を「快適」と定義した。Penwarden (1973) はこの研究成果を受け、環境条件に日射を加えてHumphreysの温熱指標を改良した。Penwardenの熱平衡式は次式で与えられる。

$$T_b - T_a = M/A \cdot R_b + 0.8 \cdot M/A \cdot 0.155 R_{cc} + 0.8 \cdot M/A \cdot (4.2 + 13U^{1/2})^{-1} + S \cdot (4.2 + 13U^{1/2})^{-1} \quad (2.3)$$

T_b : 体内温度 (=37°C)

M/A : 体表面 1 m²当りの熱代謝率* (W/m²)

* 人間の活動に伴う発熱量を表わす。Panger (1967) は、熱代謝率に以下の値を与えた。

着座静止状態 : $M/A = 59W/m^2$

直立静止状態 : $M/A = 71W/m^2$

低速の歩行 : $M/A = 107W/m^2$

R_b : 人体の熱抵抗値** (m^2C/W)

** 人体内で発生した熱量が体表面から発散することに対する抵抗値を表わす。この値が大きいと寒さを感じることになる。

R_{cc} : 着衣量*** (clo)

***このパラメータの含まれる項は衣服による熱抵抗を表わす。

U : 風速 (m/s)

S : 日射による受熱量 (W/m^2)

Humphreys (1970) は、快適域を R_b の値が0.04 (発汗の始まり) から0.09 (震えの始まり) までとしており、Penwardenもこの基準を用いている。日なたを散歩する場合について、この温熱指標によって求めた快適域を気温、風速、着衣量の関係として図-2.3に示す(Penwarden, 1973)。風速が速くなると快適な気温は全体的に上昇し、また、高風速になるとその変化率は小さくなる。一方、風速が小さくなると快適な気温が極端に低下する傾向が見られ、低風速の範囲では式(2.3)の適用性にやや疑問が生ずる。この指標は、寒さによる震え、あるいは暑さによる発汗という生理反応を快適域の根拠としており、実際の屋外環境での体感試験に基づく検証はなされていない。Penwarden (1973) 自身も、式(2.3)が風の効果をやや過小評価している可能性があることを指摘している。

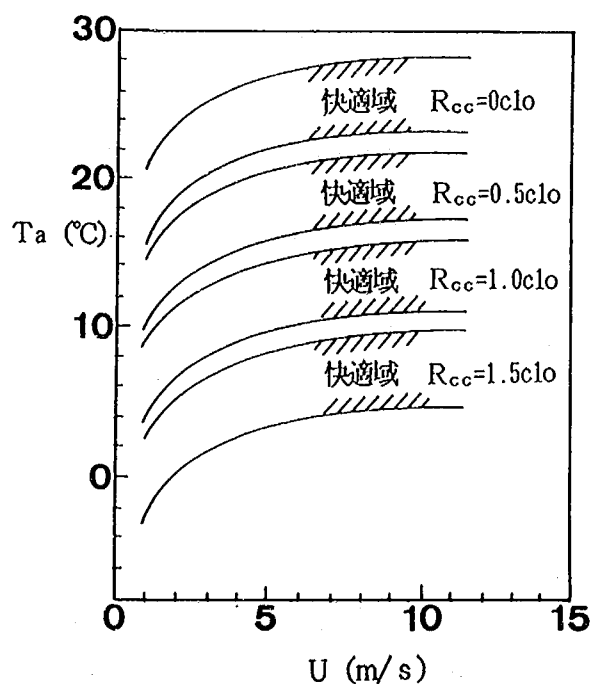


図-2.3 温熱指標 (Penwarden, 1973)

(2) 風の力学的な影響

風の力学的な影響は、髪や衣服を乱すような軽微な作用から、体のバランスを保つことを不可能にし、転倒させるような作用まで様々である。また、強風により目を開けることができなくなり歩行不能となる場合もある。したがって、風の影響は環境の快適性と行動の制約の両面に関与する。

風の力学的な影響を表わす指標には、ビューフォートの風力階級がしばしば用いられる（例えば、和達、1961）。Lawson and Penwarden (1975) はビューフォートの風力階級を用いて人体に及ぼす風の影響を評価した（表-2.3）。風力階級3、4（平均風速3.4~7.9m/s）になると頭髮や衣服の乱れを生じるようになり、風力階級5では体がよろめくようになる。ただし、地上10mの高さにおける平均風速を用いているので、人体に実際に作用する風速はこれよりも小さくなる。

Hunt et al. (1976)、村上ら (1980) は風洞を用いた歩行実験を行い、風速の非定常性を含めて風の特性と歩行の快適性との関係を調べている。これらの研究によると、風速の変動成分（例えば、乱れ強度や標準偏差/平均風速で代表される成分）が大きいほど歩行の快適性は低下する。これは、風速変動により人体に作用する圧力が時間的に変化すると、不快感が増すためと考えられる。これらの実験によると、風速が非定常であっても、最大瞬間風速が約6 m/s以下であれば快適に歩行できるようである。

表-2.3 風力段階と人体に及ぼす風の影響の関係

(Lawson and Penwarden, 1975)

ビューフォート 風力階級	地上10mでの 平均風速 (m/s)	状 態	環境の 評価
0	0~0.2		快適
1	0.3~1.5	あまり風を感じない。	
2	1.6~3.3	顔が風に当たるのを感じる。	
3	3.4~5.4	頭髮が乱れ、衣服がはためく。新聞が読みにくい。	
4	5.5~7.9	はかりが立ち、紙くずが飛ぶ。頭髮が乱れる。	
5	8.0~10.7	体に風力を感じ、よろめく危険がある。	不快
6	10.8~13.8	傘の使用が困難になる。安定した歩行ができず、歩行のための力と風力がほぼ等しくなる。耳にあたる風の音が不快になる。	
7	13.9~17.1	歩行に不自由を感じる。	
8	17.2~20.7	歩行による前進が一般に妨げられる。風により体のバランスを保つことが極めて難しい。	
9	20.8~24.4	人が飛ばされる。	危険

2.2.4 温熱指標の海岸への適用性

室内環境を対象とした温熱指標を海岸へ適用する場合には、日射および風の影響を考慮する必要がある。日射の影響は室内環境を対象とした温熱指標には含まれていないが、日陰や曇りの日など、日射の影響が少ない条件であれば、汎用性、信頼性の高いET*の適用が可能と考えられる。ただし、室内では冷暖房等

によって生ずる風が対象とされるから、風速のあまり速くない条件に限ってET*は屋外環境に適用されるべきであろう。また、ASHRAEに規定されているET*の快適条件は、事務所などでの作業環境を対象としているために、「快適」な範囲がかなり厳しく設定されている。したがってET*を屋外環境へ準用する場合には、「快適」な範囲について再検討することが必要とされる。

海岸の自然条件を考えると、日射と風の影響は十分大きいから、室内の温熱指標を一般的に適用することはできず、新たに日射と風の影響を考慮した屋外用の温熱指標が必要となる。Penwarden (1973) が提案した温熱指標は、ET*と同様に熱平衡式に基づいた指標であり汎用性が高いことから、屋外環境への適用性はかなり高いと考えられる。しかし、実証的な評価が不十分なため、海岸へ適用するには十分な検証が必要とされる。また、Penwardenによる温熱指標の低風速域への適用はやや疑問がある。

2.3 温熱環境に関する体感試験

屋外の温熱環境を表わす指標として比較的適用性が高いと判断されたPenwardenによる温熱指標は、実証的な評価が不十分であるので、その適用には体感試験が必要とされる。そこで、種々の環境条件において体感試験を行うことにより、Penwardenによる温熱指標の適用方法を検討する。また、ET*の適用性も併せて検討する。

2.3.1 試験方法

体感試験は、日射の影響を受けない大型風洞内での体感試験（試験Ⅰ）と、日射のある屋外での体感試験（試験Ⅱ）からなる。

(1) 試験Ⅰ（風洞試験）

① 試験条件

試験Ⅰは、土木研究所の拡散風洞実験施設において行った。使用した風洞は幅6m、高さ3m、長さ24mの吹込式エッフェル型風洞である。この風洞では0.2～15m/sの風速を発生させることができる。試験は1990年6月25日と26日、7月2日の3日間で実施した。試験Ⅰは日射の影響を受けない状態で温冷感・快適感と風速の関係を調べるものであり、気温条件が2ケースとなるように試験日・時刻を選び、風速条件を4～5ケース、着衣量条件を4ケース設定した。各条件の設定範囲を表-2.4に示す。また、試験ケースの一覧を表-2.5に示す。気温の条件は低温の場合が平均23.7℃（標準偏差0.9℃）、高温の場合が平均28.2℃（標準偏差1.0℃）である。

② 温冷感と快適感の評価方法

体感試験では、青年男子4人の被験者が室温約25℃の控え室で着座静止状態を20分保って休息したあと、風洞内において4人同時に直立状態で5分間（代謝がほぼ平衡状態となるのに必要な時間）対象環境を体感した（写真-2.1参照）。その直後30秒以内に温冷感・快適感を表-2.6に示すデータシートに記入させた。このとき、温冷感は7段階、快適感は4段階に分類した。

表-2.4 体感試験の条件

設 定 項 目	試験Ⅰ (室内)	試験Ⅱ (屋外)
気温 (°C)	21.6~29.2	19.2~36.0
相対湿度 (%)	60~85	40~65
平均風速 (m/s)	0~7	1~3.5
照度 (lux)	750	$1 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$
被験者	19~27歳の青年男子4名	
被験者の作業量 (W/m ²)	71 (直立静止状態)	
被験者の着衣量 (clo)	0、0.4、0.8、1.2	

表-2.5 試験Ⅰのケース一覧 (風洞試験)

着衣量 (clo)	ケース番号	温度 (°C)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)	ケース番号	温度 (°C)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)
0	I-111	24.5	76	0.1	I-121	26.0	75	0.1
	I-112	24.3	65	0.7	I-122	28.6	62	1.2
	I-113	23.6	78	1.1	I-123	26.8	75	3.6
	I-114	24.5	62	2.0	I-124	27.1	72	6.0
	I-115	23.2	80	3.0				
0.4	I-211	24.7	76	0.2	I-221	27.8	70	0.1
	I-212	24.3	65	0.7	I-222	29.1	62	1.2
	I-213	23.5	83	1.3	I-223	29.2	62	3.9
	I-214	24.7	62	2.0	I-224	28.9	60	6.5
	I-215	23.5	80	3.0				
	I-216	21.8	75	4.5				
	I-217	23.3	80	6.0				
0.8	I-311	24.3	80	0.3	I-321	28.8	62	0.1
	I-312	24.2	65	0.7	I-322	28.5	62	1.2
	I-313	23.9	82	1.3	I-323	28.7	62	3.4
	I-314	24.4	62	2.1	I-324	28.5	64	6.2
	I-315	23.3	80	3.0				
	I-316	21.6	75	4.5				
	I-317	23.2	80	6.0				
1.2	I-411	24.4	64	2.0				
	I-412	23.3	82	3.1				
	I-413	21.8	75	4.5				
	I-414	23.6	84	6.1				
	I-415	23.9	65	7.0				

③ 環境条件の測定方法

風速は床上1mの高さに設置した熱線式風速計で測定し、平均風速を求めた。また、被験者のclo値 R_{cc} は衣服の重ね着による影響を考慮したASHRAE (1981) の提案する次式を用いて算出した。

$$R_{cc} = 0.82 \times (\text{各着衣の単位着衣量の合計})$$

試験は、0clo (海水パンツのみ : 写真-2.2 a))、0.4clo (夏の軽装 : 写真-2.2 b))、0.8clo (作業服の上下 : 写真-2.2 c))、1.2clo (作業服の上下と防寒着 : 写真-2.2 d)) の着衣状態で行った。試験時の各着衣の単位着衣量の一覧を表-2.7に示す。

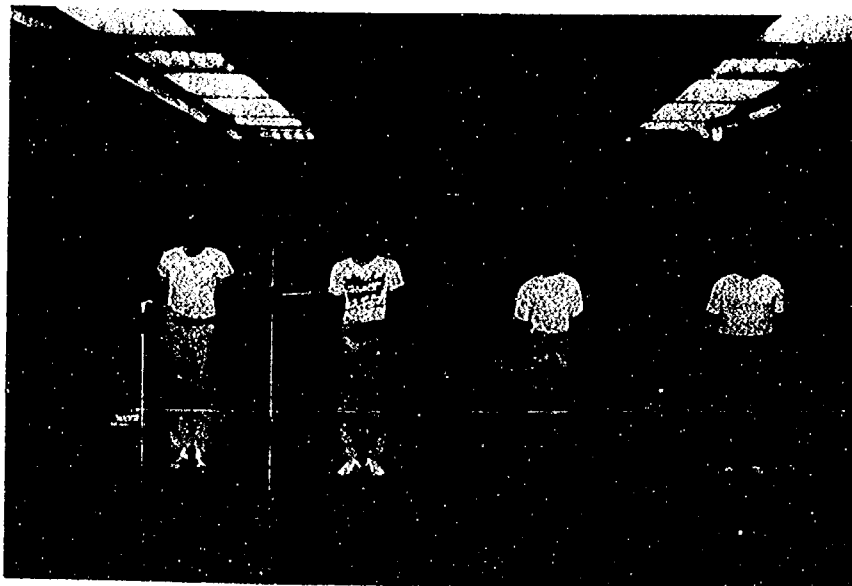


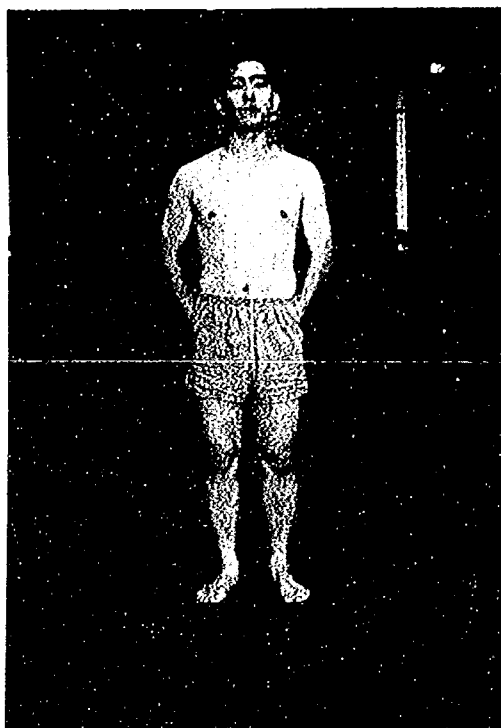
写真-2.1 風洞の試験状況

表-2.6 温冷感と快適感の記録用データシート

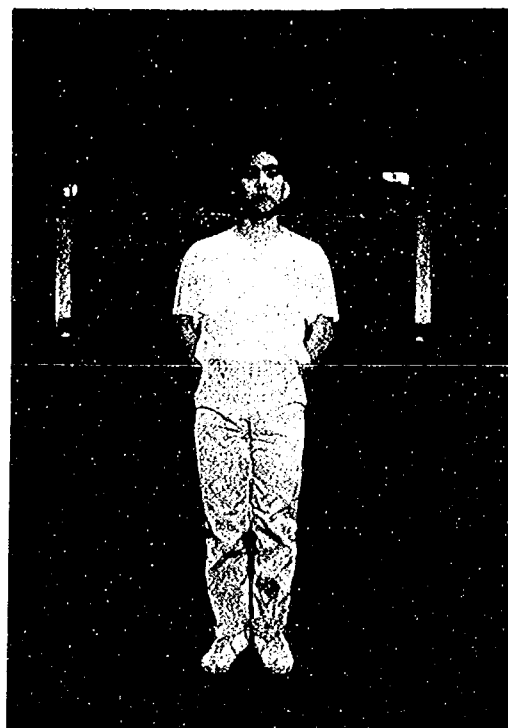
あなたはこの環境条件をどのように感じますか。下の項目から選んで○を付けて下さい。

月日、時刻： _____
 実験ケース： _____
 整理番号： _____

温 冷 感		快 適 感	
1	寒い	1	不快
2	涼しい		
3	やや涼しい	2	やや不快
4	暑くも寒くもない		
5	やや暖かい	3	やや快適
6	暖かい		
7	暑い	4	快適



a) $R_{cc} = 0 \text{ clo}$



b) $R_{cc} = 0.4 \text{ clo}$



c) $R_{cc} = 0.8 \text{ clo}$



d) $R_{cc} = 1.2 \text{ clo}$

写真-2.2 着衣の状況

表－2.7 単位着衣量の一覧

着衣の種類	単位着衣量(clo)
Tシャツ	0.09
ブリーフ	0.05
カッターシャツ	0.29
ズボン	0.26
ジャケット	0.22
防寒着	0.49
ソックス	0.04
靴	0.04

(2) 試験Ⅱ（屋外試験）

① 試験条件

試験Ⅱは屋外において日射の影響を評価することを目的とする。屋外の実験場所には、多方向からの自然風の影響を受けないよう、土木研究所内の2つの実験棟に挟まれた通路を選んだ（写真－2.3参照）。日射の条件は、晴れの日と日なたと日陰に試験場所を変えることにより変化させた。また、風は大型扇風機により発生させ、扇風機の回転速度や被験者との距離を変えて風速条件を変えた。試験は、1990年8月8日と20日、10月11日と12日の4日間で行った。8月と10月に試験を行うことで、気温の条件を変化させている。



写真－2.3 屋外試験場所に使用した通路の状況

以上の方法により、気温条件が2ケースになるようにし、風速、日射量を変化させて試験Ⅰと同様に着衣量4ケースで試験を行った。各条件の設定範囲を表－2.4に、また、試験ケースの一覧を表－2.8に示す。気温の条件は低温の場合が平均21.2℃（標準偏差0.9℃）、高温の場合が平均33.6℃（標準偏差1.6℃）であり、照度は $1.0 \times 10^4 \sim 9.9 \times 10^4$ luxの範囲にある。

表-2.8 試験Ⅱのケース一覧（屋外試験）

着衣量 (clo)	ケース番号	温度 (°C)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)	照度 ($\times 10^4 \text{ lux}$)	ケース番号	温度 (°C)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)	照度 ($\times 10^4 \text{ lux}$)
0	Ⅱ-111	21.6	42	1.5	6.7	Ⅱ-121	35.5	50	1.4	8.7
	Ⅱ-112	21.4	44	2.5	5.3	Ⅱ-122	34.0	58	2.1	7.3
						Ⅱ-123	34.0	58	2.8	6.3
						Ⅱ-124	31.6	61	1.6	1.8
						Ⅱ-125	31.0	59	1.9	1.5
						Ⅱ-126	32.3	48	2.9	1.0
0.4	Ⅱ-211	22.1	45	1.0	6.3	Ⅱ-221	35.3	48	1.6	9.7
	Ⅱ-212	21.4	44	2.0	5.9	Ⅱ-222	35.6	46	2.2	9.9
	Ⅱ-213	21.5	46	3.2	4.7	Ⅱ-223	36.0	41	3.2	8.9
	Ⅱ-214	20.0	56	1.4	2.2	Ⅱ-224	32.1	58	1.2	2.7
	Ⅱ-215	21.6	61	1.7	1.3	Ⅱ-225	33.4	46	1.6	1.5
	Ⅱ-216	21.4	62	3.1	1.0	Ⅱ-226	32.8	46	3.1	1.1
0.8	Ⅱ-311	23.0	42	2.7	4.2					
	Ⅱ-312	19.2	58	1.4	2.2					
	Ⅱ-313	20.0	57	2.5	1.7					
	Ⅱ-314	20.4	46	3.2	1.6					
1.2	Ⅱ-411	21.4	57	2.0	1.6					
	Ⅱ-412	21.2	57	3.2	2.1					

② 温冷感と快適感の評価方法

温冷感と快適感の評価方法は試験Ⅰの場合と同様である。ただし、風洞と異なり風速の一樣な範囲が狭いので、試験Ⅱでは1人ずつ体感試験を行った（写真-2.3参照）。

③ 環境条件の測定方法

温度、湿度および風速は地上1mの高さで測定した。1ケースの体感試験を1人ずつ4回に分けて行ったので、測定時の風速、湿度、気温は少し変化した。そこで、各被験者ごとに風速は30秒間隔で5分間（1人当りの体感時間）、温度と湿度は各被験者の体感前後に測定し、4回の体感時の総平均を各ケースの代表値とした。被験者の作業状態、着衣条件は試験Ⅰと同じである。

2.3.2 試験Ⅰ（風洞試験）の結果

(1) 環境条件と温冷感、快適感の関係

各環境条件の温冷感と快適感の評価する指標として、各被験者が評価した温冷感の平均値 S_T と、快適感の平均値 S_c を求めた。まず、平均気温 $T_a=23.7^\circ\text{C}$ の条件下で、着衣量 R_{cc} ごとの S_T と風速 U の関係を図-2.4に示す。いずれの着衣量においても U が増加すると S_T は減少し、風による冷却効果が明らかである。また、 $R_{cc}=1.2\text{clo}$ では、どの U の条件でも $S_T > 4$ （ $S_T=4$ ：暑くも寒くもない）となる。したがって、 $T_a=23.7^\circ\text{C}$ では 1.2clo の着衣量はどの風速条件でもかなり暖かい温冷感をもたらす。

同様に $T_a=28.2^\circ\text{C}$ の条件下で、 R_{cc} ごとに S_T と U の関係を図-2.5に示す。この場合も U の増加にともない S_T は低下するが、 $T_a=23.7^\circ\text{C}$ の場合と比較すると、いずれの着衣量でも S_T が大きい。このことは、気温が高くなった影響を明瞭に示す。また、 $R_{cc}=0.8\text{clo}$ では $S_T > 4$ であり、この気温条件の場合には 0.8clo の着衣量はどの風速条件でもかなり暖かい温冷感をもたらす。

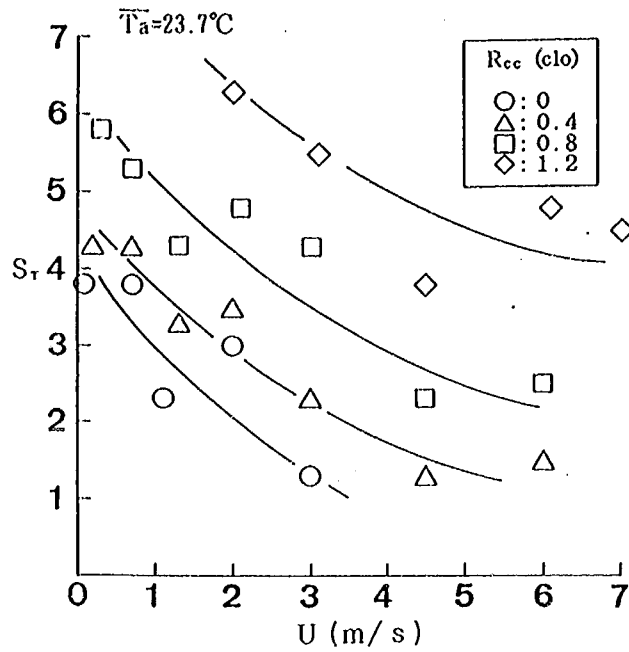


図-2.4 S_r と U の関係 ($\overline{T_a}=23.7^{\circ}\text{C}$)

($S_r=1$:寒い、2:涼しい、3:やや涼しい、
4:暑くも寒くもない、5:やや暖かい、
6:暖かい、7:暑い)

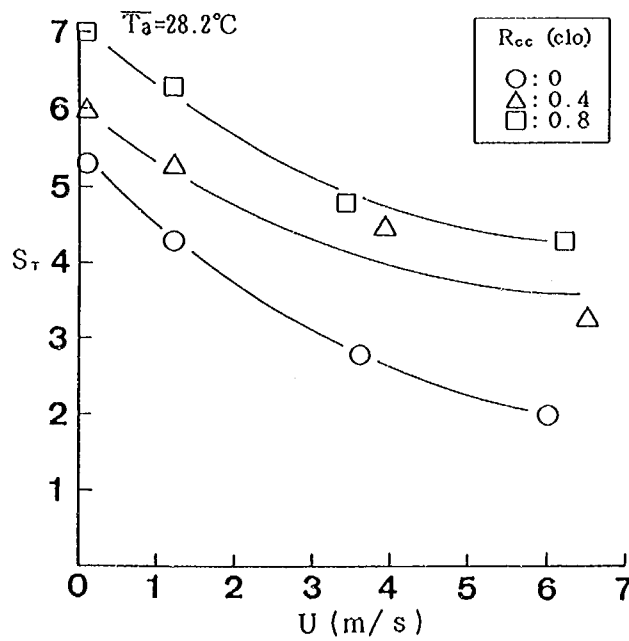


図-2.5 S_r と U の関係 ($\overline{T_a}=28.2^{\circ}\text{C}$)

($S_r=1$:寒い、2:涼しい、3:やや涼しい、
4:暑くも寒くもない、5:やや暖かい、
6:暖かい、7:暑い)

次に、 $\overline{T_a}=23.7^{\circ}\text{C}$ の条件下で快適感(S_c)に及ぼす風速の影響を図-2.6に示す。 $R_{cc}=1.2\text{clo}$ のケースを除くと、いずれの着衣量についても $S_c > 3$ ($S_c=3$:やや快適)にピークを持った分布形状を示し、「快適」な感覚を得易い風速域が存在する。 1.2clo の着衣量では $\overline{T_a}=23.7^{\circ}\text{C}$ の場合には全てのデータは $S_c > 4$ であり(図-2.4参照)、「暑くも寒くもない」温冷感を得られないことから、「快適」な評価を得られないことが分かる。

同様に $\overline{T_a}=28.2^{\circ}\text{C}$ の条件下での結果を図-2.7に示す。 $\overline{T_a}=23.7^{\circ}\text{C}$ の場合と同様に、 $R_{cc}=0.8\text{clo}$ のケースを除くと、いずれの着衣量についても $S_c > 3$ にピークを持った分布形状を示し、「快適」な感覚を得易い風速域がある。 $\overline{T_a}=28.2^{\circ}\text{C}$ の場合には、 0.8clo 以上の着衣量では常に「やや暖かい」～「暑い」条件となるので「快適」な評価を得られない。

図-2.6、2.7の高風速域に着目すると、いずれも $U \geq 4.5\text{m/s}$ で $S_c < 3$ となり、「やや快適」以上の評価は得られない。これは、 $U \geq 4.5\text{m/s}$ では風の冷却効果による快適感の低下に加えて、風圧による圧迫感、不快感が強くなることに起因すると推定される。このように、風の冷却効果と力学的な影響は同時に作用するため、温熱環境を評価する場合には、風の力学的な影響を分離して評価することは難しい。したがって、高風速域を環境条件に含む温熱環境を評価するためには、風の力学的な影響も同時に評価した温熱指標を作成する必要がある。

(2) 温冷感の支配要因

体感試験では、気温条件を2ケース設定したが、ケースごとに気温はわずかに異なる。しかし、温冷感に気温は大きく影響するため、図-2.4～2.5に示した U と S_T の関係にもある程度のばらつきが見られる。そこで、各ケースの気温による S_T のばらつきを補正し、気温、風速、着衣量をパラメータとして S_T の定式化を試みる。気温の補正方法は次のようである。

気温条件を低温と高温の2ケースに統一するために、1ケースの気温条件を $T_a=24^{\circ}\text{C}$ 、他方を $T_a=29^{\circ}\text{C}$ に設定する。次に、風速、着衣量が一定の条件下において気温による S_T の変化を以下の方法で求める。

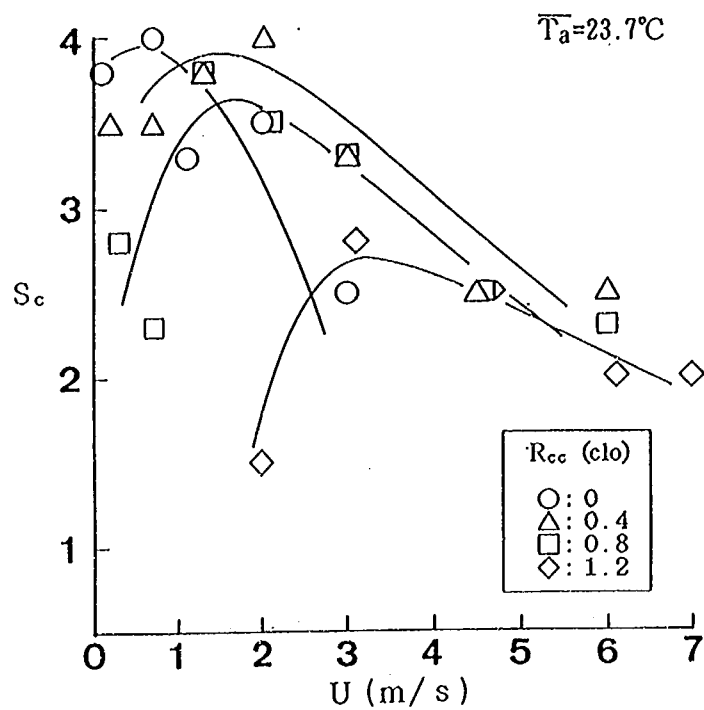


図-2.6 S_c と U の関係 ($\overline{T_a}=23.7^{\circ}\text{C}$)
 ($S_c=1$: 不快、2 : やや不快、3 : やや快適、4 : 快適)

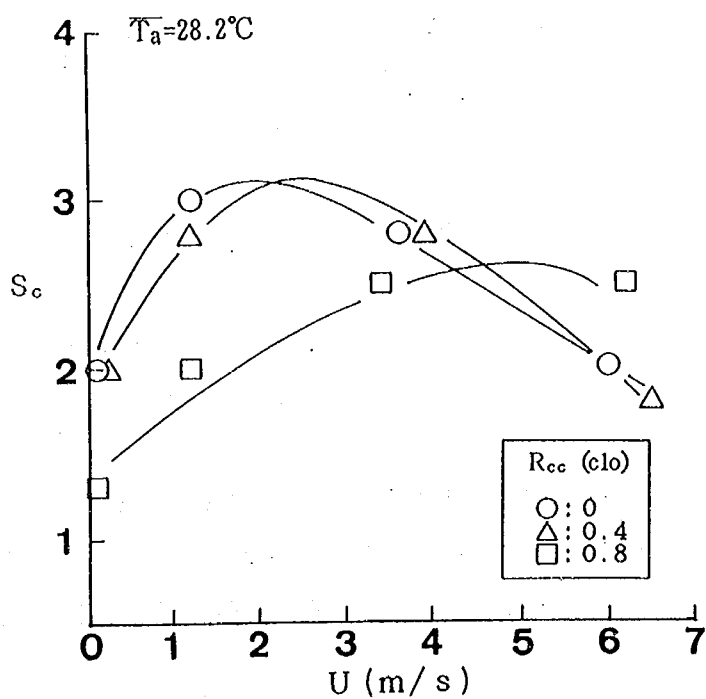


図-2.7 S_c と U の関係 ($\overline{T_a}=28.2^{\circ}\text{C}$)
 ($S_c=1$: 不快、2 : やや不快、3 : やや快適、4 : 快適)

例として、 $1.1\text{ m/s} \leq U \leq 1.3\text{ m/s}$ の条件下における S_T と T_a の関係を図-2.8に示す。気温の補正量はわずかなので、風速、着衣量が一定のデータ間を直線近似し、風速と着衣量の条件ごとに $T_a=24^\circ\text{C}$ と $T_a=29^\circ\text{C}$ の場合の S_T を求める。このとき、 $S_T \leq 1$ となる場合は $S_T=1$ に、 $S_T \geq 7$ となる場合には $S_T=7$ とする。

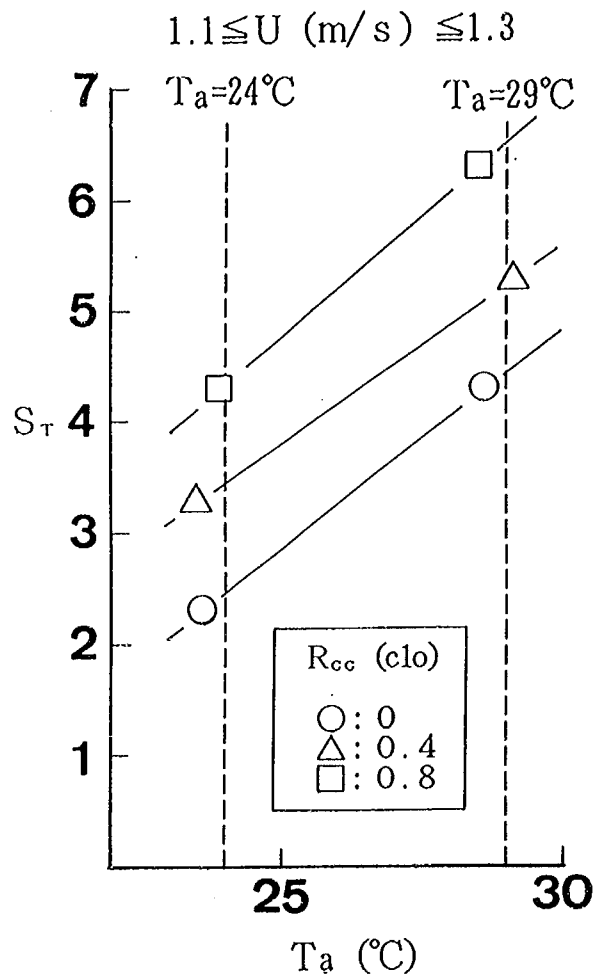


図-2.8 S_T と T_a の関係の1例 ($1.1\text{ m/s} \leq U \leq 1.3\text{ m/s}$ の場合)

($S_T=1$: 寒い、2 : 涼しい、3、やや涼しい、
4 : 暑くも寒くもない、5 : やや暖かい、
6 : 暖かい、7 : 暑い)

以上の補正データを用いたときの、 $T_a=24^\circ\text{C}$ における S_T と U の関係を図-2.9に示す。 $R_{cc}=0\text{ clo}$ の場合には依然としてばらつきが見られるものの、 S_T と U の関係のばらつきは生データの場合(図-2.4参照)に比べかなり改善されている。 $T_a=29^\circ\text{C}$ の場合(図-2.10)も同様である。ここで、 S_T と U の関係は次式のように仮定できる。

$$S_T = A \exp(-B \cdot U) \quad (2.4)$$

ここに、 U : 風速 (m/s)、 A 、 B : 気温、着衣量に依存する係数である。着衣量ごとに回帰分析を行うと、相関係数 $\gamma=0.84 \sim 0.98$ で図-2.9、2.10に示す回帰式が得られる。

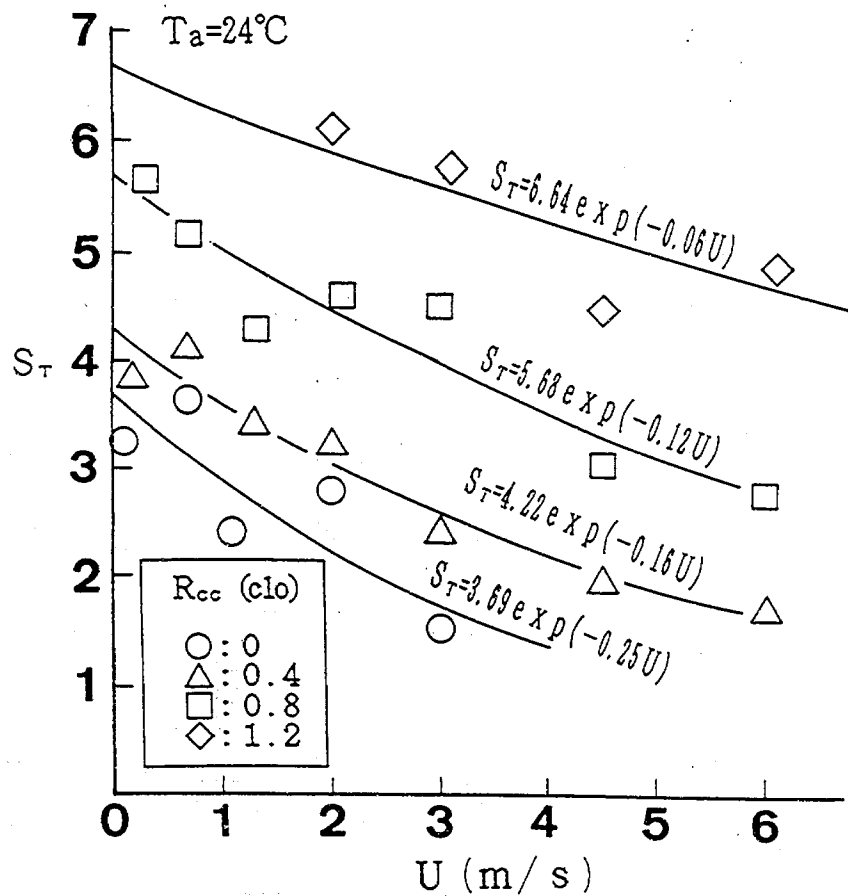


図-2.9 S_T と U の関係 ($T_a = 24^\circ\text{C}$)

($S_T = 1$: 寒い、2: 涼しい、3: やや涼しい、
4: 暑くも寒くもない、5: やや暖かい、
6: 暖かい、7: 暑い)

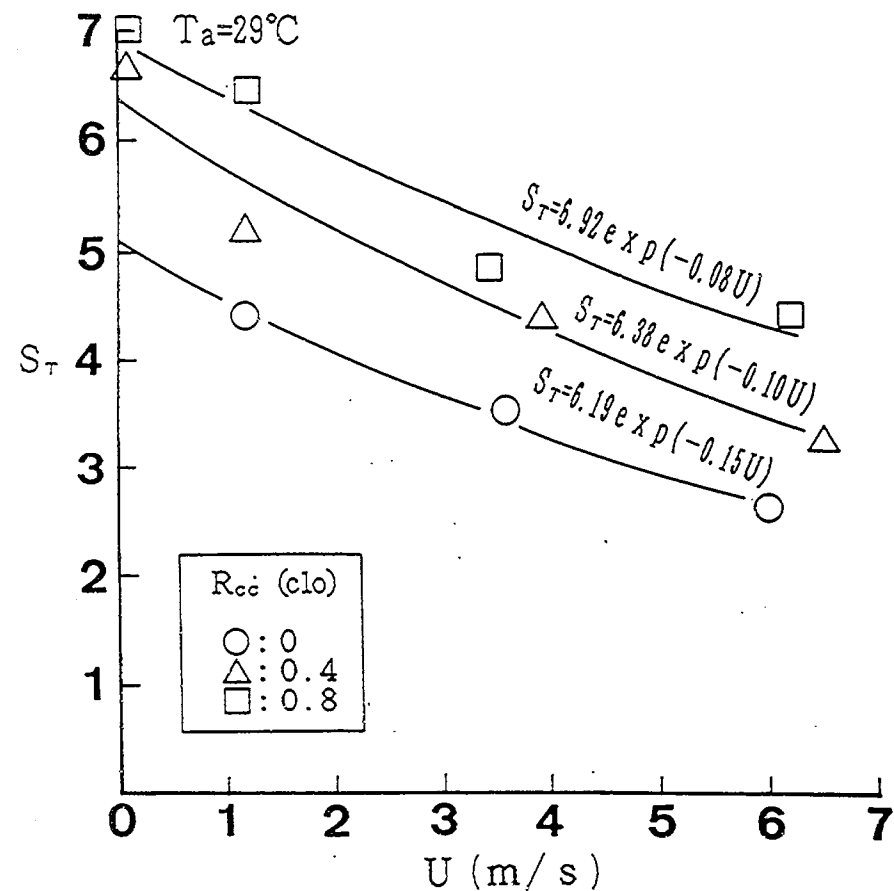


図-2.10 S_T と U の関係 ($T_a = 29^\circ\text{C}$)

($S_T = 1$: 寒い、2: 涼しい、3: やや涼しい、
4: 暑くも寒くもない、5: やや暖かい、
6: 暖かい、7: 暑い)

式(2.4)中の係数A、Bは気温と着衣量(R_{cc})に支配される係数である。そこで、 T_a をパラメータとして R_{cc} とA、Bの関係を調べると図-2.11となる。 T_a は2条件しかないので気温に関する定式化は困難であるから、A、Bそれぞれを R_{cc} の関数として次式で表わし、気温条件ごとに係数を定めた。

$$A = a \exp(b \cdot R_{cc}) \quad (2.5)$$

$$B = c \exp(-d \cdot R_{cc}) \quad (2.6)$$

ここに、a、b、c、dは温度に依存する係数である。回帰分析により、a、b、c、dは $r \geq 0.97$ に求められ、式(2.4)、(2.5)に代入することにより $T_a = 24^\circ\text{C}$ 、 29°C の場合の S_T は次式で表わされる。

$$[T_a = 24^\circ\text{C}]$$

$$S_T = 3.61 \exp(0.51 R_{cc}) \cdot \exp(-0.26 U \cdot \exp(-1.14 R_{cc})) \quad (2.7)$$

$$[T_a = 29^\circ\text{C}]$$

$$S_T = 5.21 \exp(0.38 R_{cc}) \cdot \exp(-0.11 U \cdot \exp(-0.39 R_{cc})) \quad (2.8)$$

ここに、 R_{cc} : 着衣量(clo)、U: 風速(m/s)である。

試験時の各条件を用いて算出した $S_{T(cal)}$ と、 $S_{T(mcs)}$ の関係を図-2.12に示す。図によれば、式(2.7)、(2.8)により妥当な評価が可能であることが分かる。これより、作業状態を直立静止状態とした場合、温熱感は気温、風速、着衣量の条件に支配されることが明らかである。

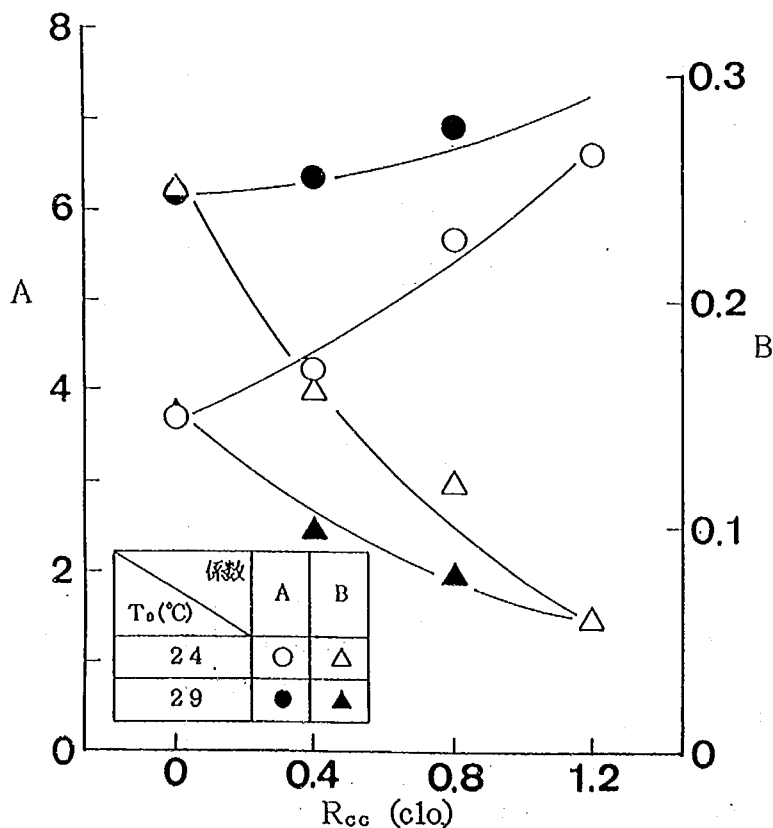


図-2.11 係数A、Bと着衣量 R_{cc} の関係

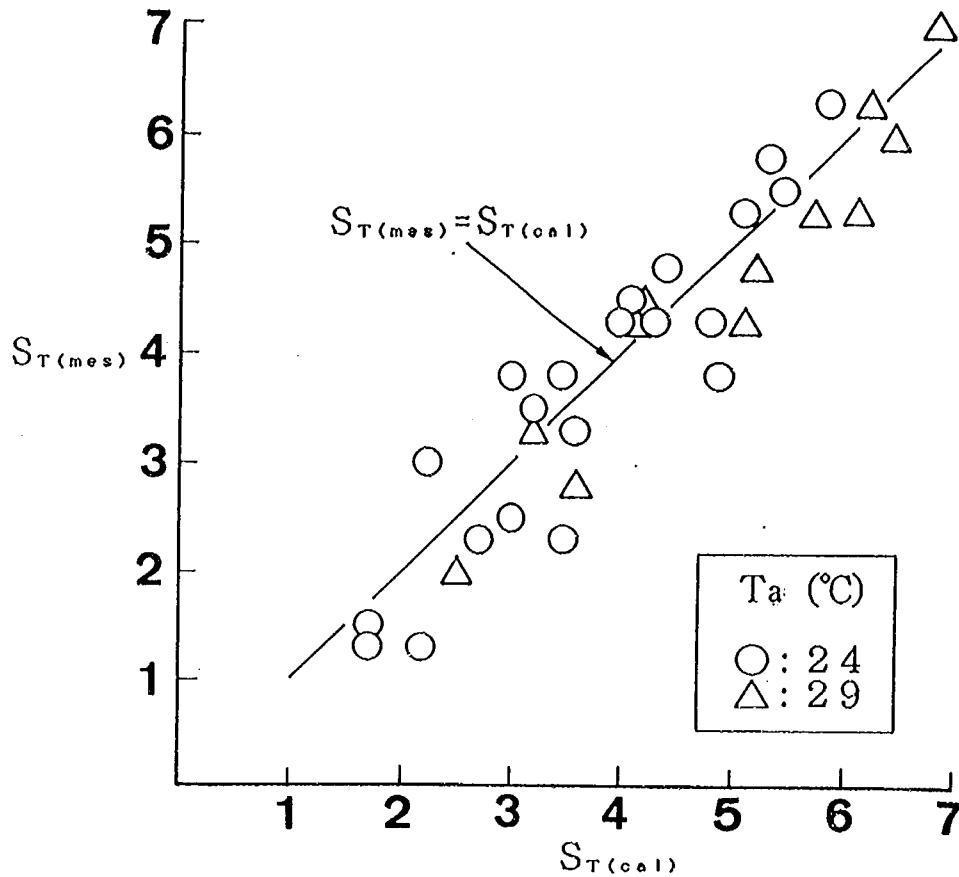


図-2.12 S_T の計算値と実測値の関係

($S_T=1$: 寒い、2 : 涼しい、3 : やや涼しい、
 4 : 暑くも寒くもない、5 : やや暖かい、
 6 : 暖かい、7 : 暑い)

(3) 温冷感と快適感の関係

温冷感と快適感が密接な関係を有していることはGagge et al. (1967) により報告されている。ここでは、本試験で得られた S_c と S_T の関係を調べ、温冷感と快適感の関係を検討した。着衣量をパラメータとし、さらにデータを風速4.5m/s未満と以上に区別したときの S_c と S_T の関係を図-2.13に示す。 $U \geq 4.5\text{m/s}$ では全てのデータで $S_c < 3$ となる。このことは、温冷感として「暑くも寒くもない」状態であっても、風の力学的な影響により不快感がもたらされることを意味する。これに対して、 $U < 4.5\text{m/s}$ のデータは着衣量にかかわらず $S_T=4$ をピークとした山形の分布となり、 $S_T < 4$ と $S_T \geq 4$ の範囲でそれぞれ次の回帰式が得られる。

$$S_c = 0.56 S_T + 1.8 \quad (S_T < 4, \gamma = 0.88) \quad (2.9)$$

$$S_c = -0.76 S_T + 6.6 \quad (S_T \geq 4, \gamma = 0.87) \quad (2.10)$$

以上より、風のある場合における温熱環境の快適感に関しては、 $U \geq 4.5\text{m/s}$ では風の力学的な影響が支配的であり、 $U < 4.5\text{m/s}$ では温冷感が支配的なことが分かる。

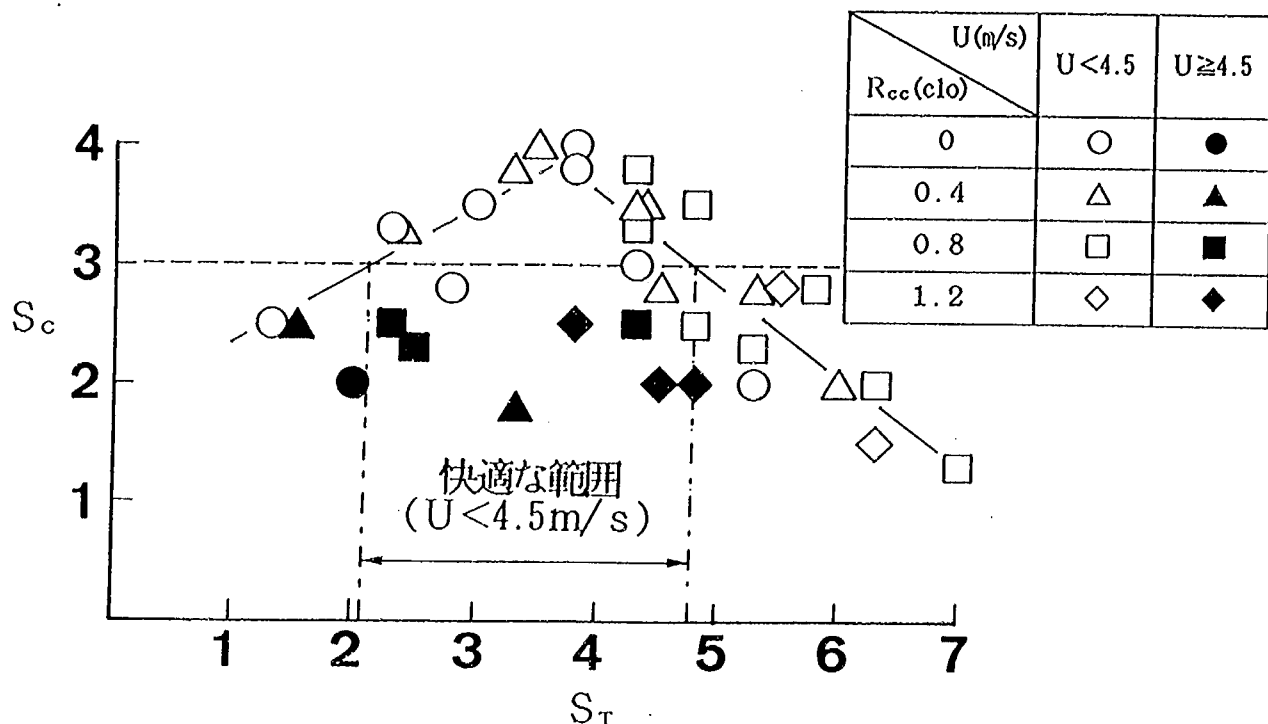


図-2.13 S_c と S_T の関係

($S_c = 1$: 不快、2 : やや不快、3 : やや快適、4 : 快適、
 $S_T = 1$: 寒い、2 : 涼しい、3 : やや涼しい、4 : 暑くも
 寒くもない、5 : やや暖かい、6 : 暖かい、7 : 暑い)

ここで、温熱環境の快適域を $S_c \geq 3$ と定義すると、これに対応する S_T の範囲は $2.1 < S_T < 4.7$ になる。Houghten and Yaglou (1923) は、暑くもなく寒くもないという中立の温冷感($3 \leq S_T \leq 5$)を快適域と定義している。これに比べると本試験により得られた快適域は寒い温冷感域にわずかに偏っているもののほぼ一致している。

先に示した S_c と U の関係(図-2.6、2.7)では、 S_T と U の関係(図-2.4、2.5)に比べると気温と着衣量を一定とした場合のデータのばらつきが大きい。これは、快適感の温冷感に比べ判断にあいまいさが残り、個人差が大きいことに起因すると推定される。そこで、 $U < 4.5 \text{ m/s}$ の試験結果について、 $T_a = 24^\circ\text{C}$ に補正された S_T (図-2.8参照)を式(2.9)、(2.10)に代入することにより気温補正された快適感 S_c' を算出した。こうすることにより、快適感と風速の関係をより明瞭に示すことができる。 S_c' と U の関係を図-2.14に示す。 S_c' と U は、 $R_{cc} = 0 \text{ clo}$ ではばらつきがまだ見られるものの、両者の関係は図-2.6に比べばらつきがかなり小さくなった。このとき、 $S_c' \geq 3$ の快適域は、 0 clo で $U \leq 2.2 \text{ m/s}$ 、 0.4 clo で $U \leq 3.2 \text{ m/s}$ 、 0.8 clo で $0.8 \text{ m/s} \leq U \leq 3.3 \text{ m/s}$ の範囲で得られている。同様にして $T_a = 29^\circ\text{C}$ の場合の S_c' と U の関係を図-2.15に示す。 S_c' と U は良好な対応関係を示し、 $S_c \geq 3$ の快適域は 0 clo で $0.9 \text{ m/s} \leq U \leq 4.5 \text{ m/s}$ 、 0.4 clo で $1.7 \text{ m/s} \leq U \leq 4.5 \text{ m/s}$ の範囲で得られる。以上のことより、温冷感と同様に快適感も気温、風速、着衣量に支配されることが明らかである。

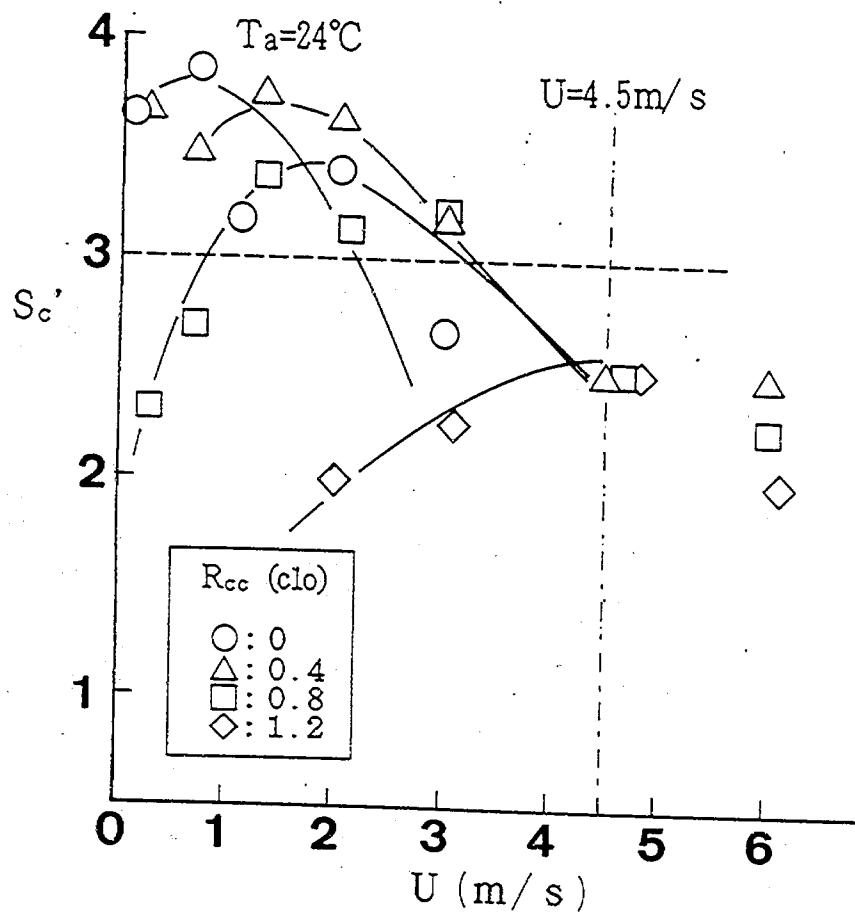


図-2.14 S_c' と U の関係 ($T_a = 24^\circ\text{C}$)

($S_c' = 1$: 不快、2 : やや不快、3 : やや快適、4 : 快適)

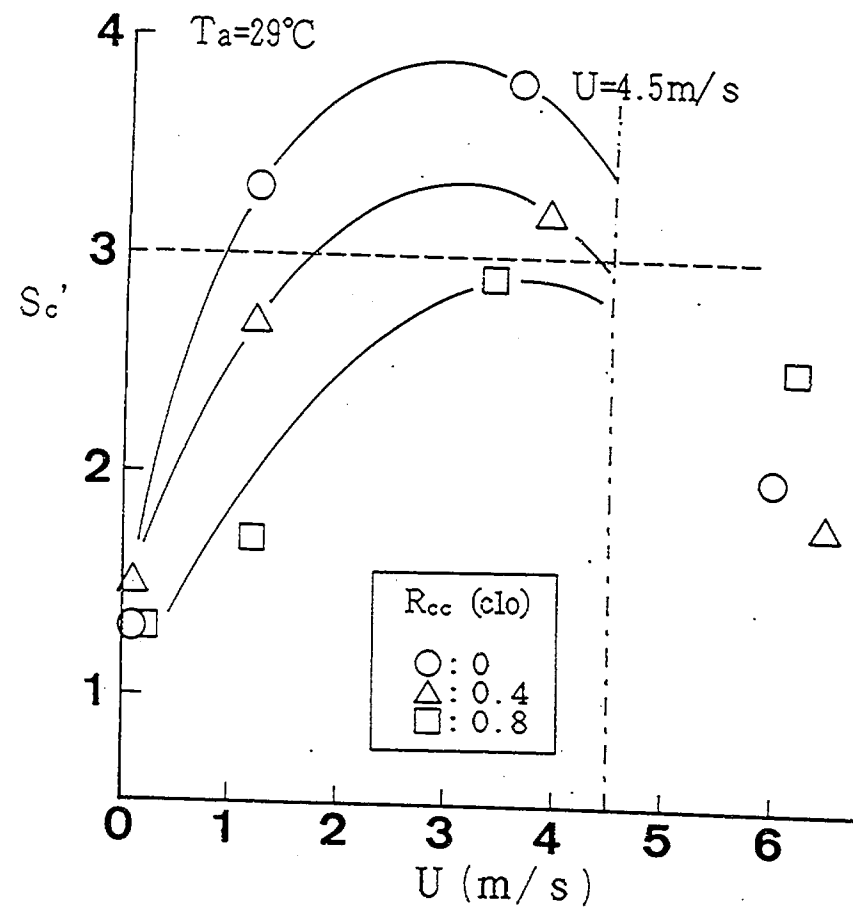


図-2.15 S_c' と U の関係 ($T_a = 29^\circ\text{C}$)

($S_c' = 1$: 不快、2 : やや不快、3 : やや快適、4 : 快適)

(3) 環境条件と快適域の関係

a) SET*と体感試験結果の関係

温冷感 (S_T) と、Gagge et al. (1976) のプログラムにより算出した新標準有効温度 (SET*) の関係を図-2.16に示す。ここに、 $U \geq 4.5\text{m/s}$ のデータは、風の力学的な影響が卓越するために、他のデータと区別してある。 $U < 4.5\text{m/s}$ では多少ばらつきはあるが、 S_T と SET* の間には線形な関係が見られる。一方、 $U \geq 4.5\text{m/s}$ の場合にも S_T と SET* の間には線形関係が見られるが、全体的に S_T の小さな方向へと平行移動したような特徴を示す。まったく同一の見地より、実験的に定められた快適感 (S_c) と SET* の関係を調べ図-2.17に示す。図にはアメリカ空調学会の基準 (ASHRAE STANDARD) による快適域の範囲も併せて示した。図によれば $U < 1.0\text{m/s}$ の低風速の条件でも、快適域以外で $S_c \geq 3$ となるケースが多い。アメリカ空調学会の基準は、前述のように室内での事務作業を対象としているため、この図では快適域をかなり限定していることが明らかである。また、 $U > 1.0\text{m/s}$ ではASHRAE STANDARDによる快適域をはずれた SET* で $S_c \geq 3$ となるデータが非常に多くなる。したがって、 $U > 1.0\text{m/s}$ の範囲においては、新有効温度による評価法は風の影響を過大評価することが指摘される。

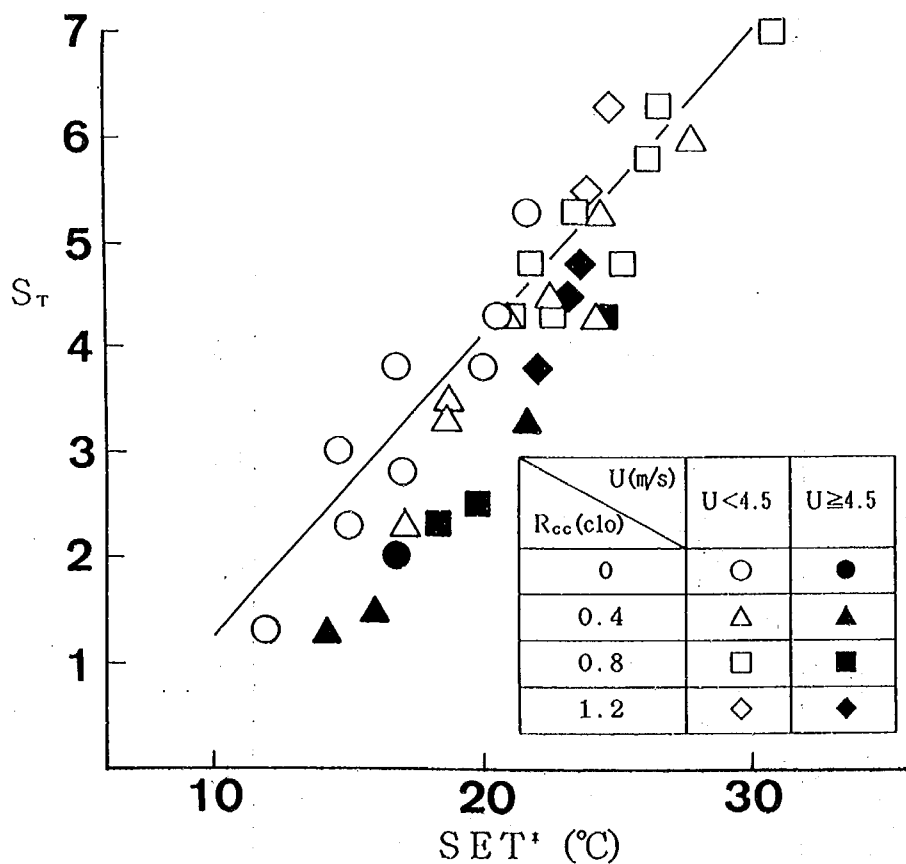


図-2.16 S_T とSET*の関係

($S_T = 1$: 寒い、2 : 涼しい、3 : やや涼しい、
4 : 暑くも寒くもない、5 : やや暖かい、
6 : 暖かい、7 : 暑い)

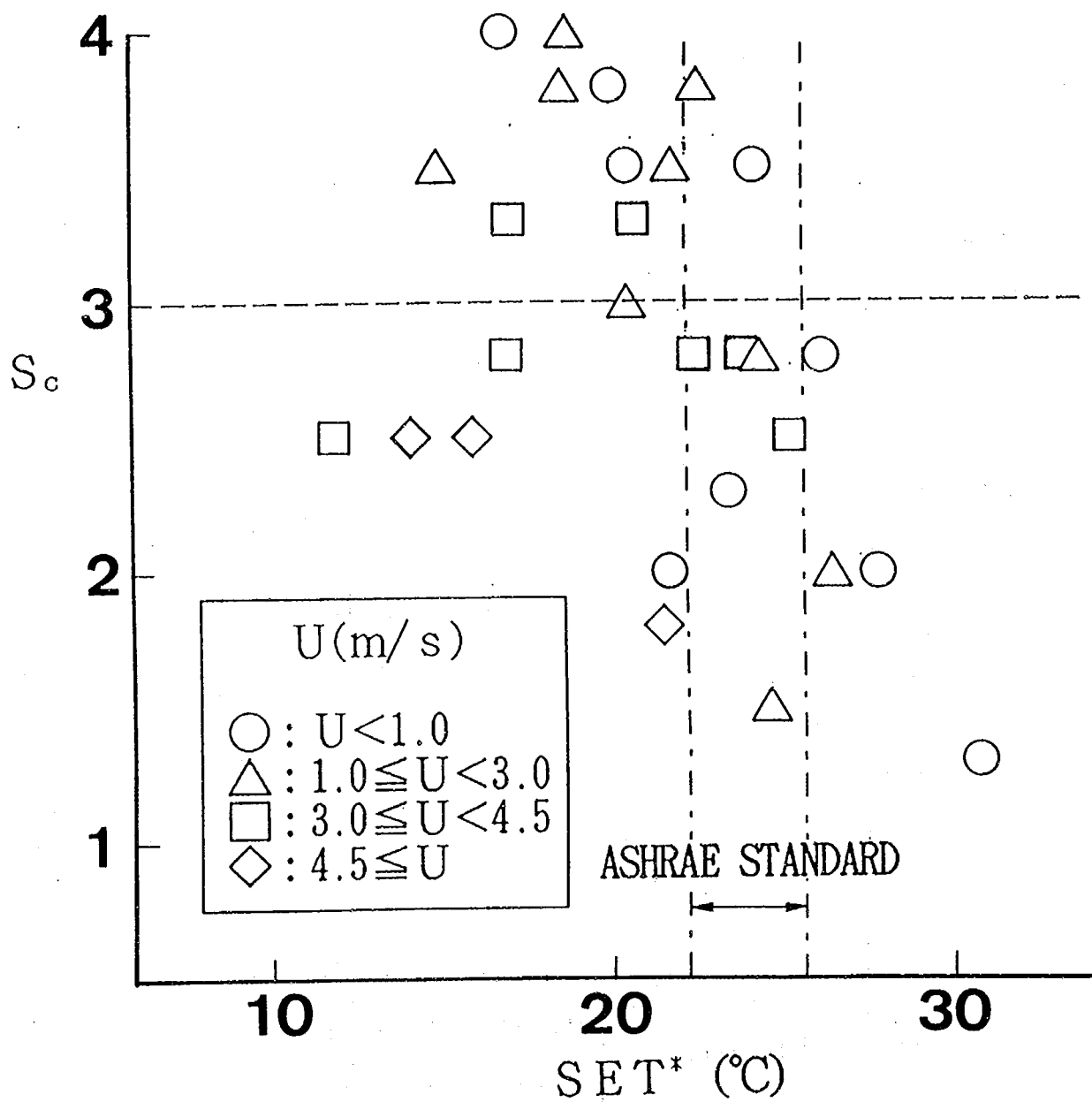


図-2.17 S_c と SET^* の関係

($S_c = 1$: 不快、2 : やや不快、3 : やや快適、4 : 快適)

b) Penwardenによる温熱指標と体感試験結果の関係

次に、Penwardenによる温熱指標で定義された快適域と試験結果を比較してみる。Penwardenが示した T_a と U の関係図上の快適域に、 $R_{cc}=0, 0.4\text{clo}$ の試験結果を示すと図-2.18となる。データは S_c の値に応じて3つに分けてある。0 cloの場合 $U=1\text{m/s}$ 付近で、0.4 cloの場合 $U=3\text{m/s}$ 付近で、快適域の下限より低い気温で $S_c \geq 3$ のデータが出現する。したがって、Penwardenの定義した快適域の下限は、実際の快適感に比べるとやや厳しい条件を与えると考えられる。同様に $R_{cc}=0.8, 1.2\text{clo}$ の試験結果を図-2.19に示す。 $R_{cc}=0.8\text{clo}$ ではPenwardenによる快適域と試験結果はよく一致している。 $R_{cc}=1.2\text{clo}$ の場合、 $S_c \geq 3$ のデータがないので快適域の区分を判定できないが、少なくとも $S_c < 3$ のデータはPenwardenの示した非快適域にあることから、得られたデータに限ってはPenwardenの温熱指標と整合する。

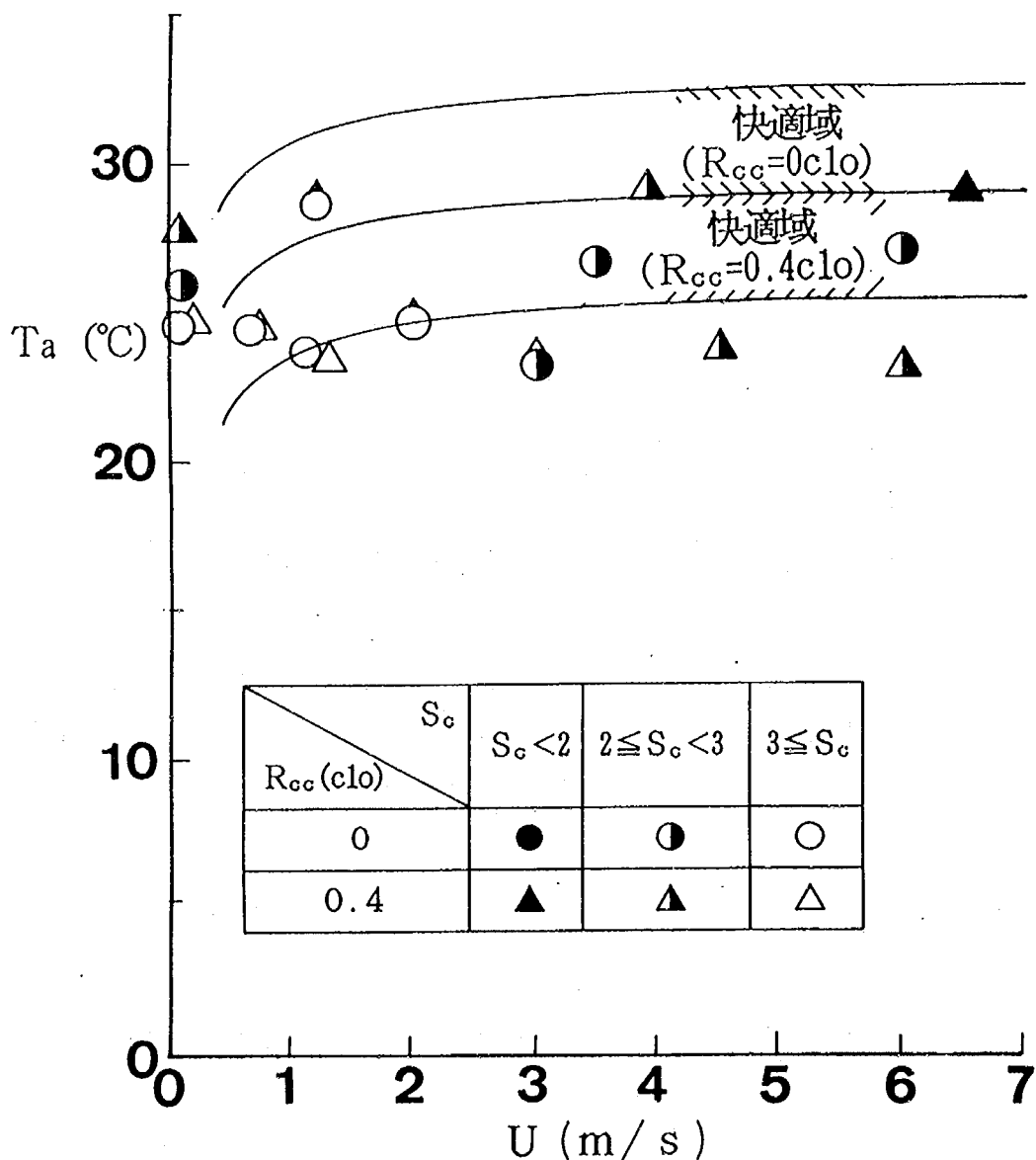


図-2.18 Penwardenによる温熱指標と試験 I の結果との比較

($R_{cc}=0, 0.4\text{clo}$)

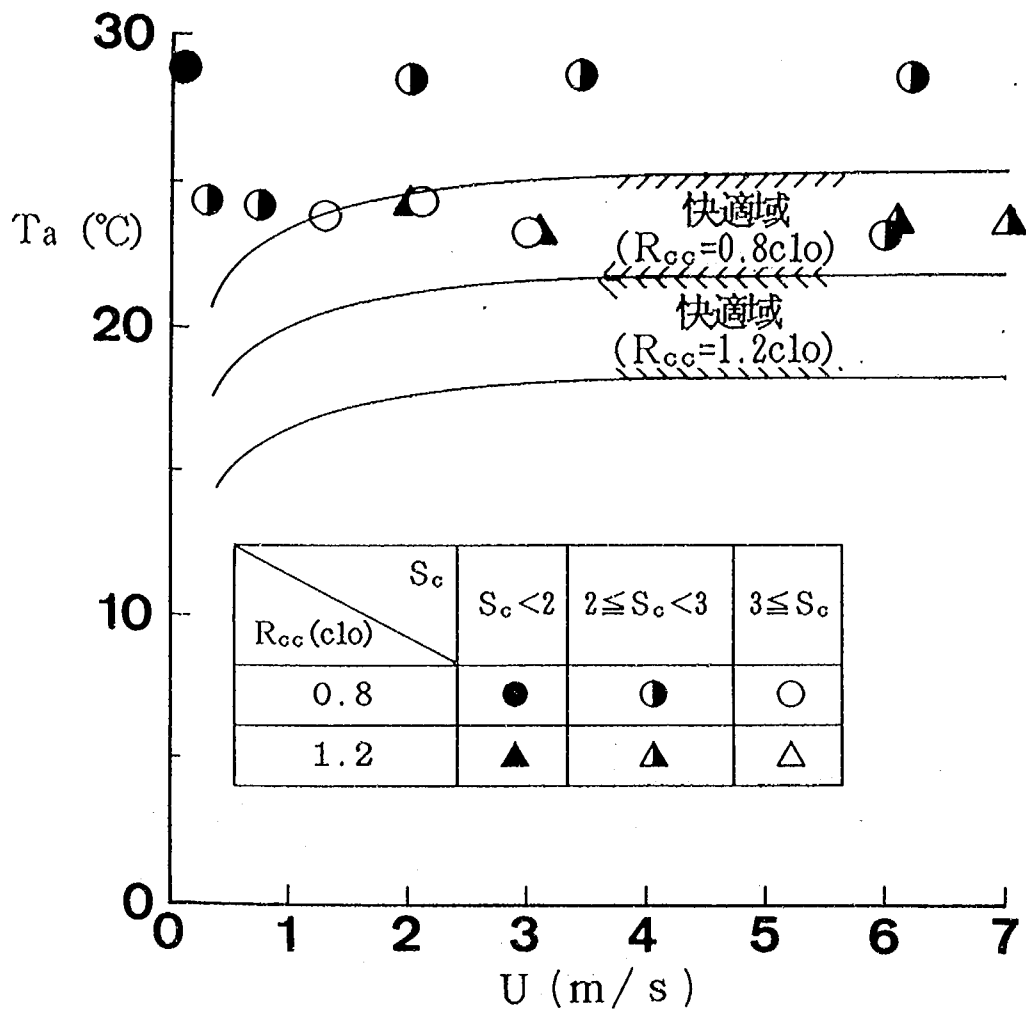


図-2.19 Penwardenによる温熱指標と試験Ⅰの結果との比較
($R_{cc}=0.8, 1.2clo$)

Penwardenによる温熱指標と、本研究で得られた体感試験の結果を比較すると、快適域の下限がやや厳しく評価されているものの、Penwardenによる温熱指標は定性的には妥当な指標であることがうかがわれる。Penwardenは、発汗と震えという生理的な反応に着目し、発汗と震えの生じない人体の熱抵抗値 R_b の範囲 $0.04 \leq R_b \leq 0.09$ を用いて快適域を設定している。そこで、本研究の結果を用いて、快適域を定める R_b の範囲を調べてみた。熱平衡式(2.3)より試験条件に対応する R_b を求め、その値と S_c の関係を風速を4段階に区分して図-2.20に示す。図には、風速段階別のデータより定まる S_c と R_b の関係を曲線で示した。これによると、 $U=1\text{ m/s}$ では $0.03 \leq R_b \leq 0.16$ 、 $U=3\text{ m/s}$ では $0.04 \leq R_b \leq 0.10$ で $S_c \geq 3$ となることが分かる。また、 $U=4.5\text{ m/s}$ ではいかなる条件でも $S_c < 3$ である。これらのことから、快適域を定める R_b の範囲は一定ではなく、風速により変化すると言える。

そこで、ここで得られた R_b の範囲を利用してPenwardenによる温熱指標の修正を試みる。まず、 $U > 4.5\text{ m/s}$ では快適域は存在せず、快適域は $U=4.5\text{ m/s}$ で閉じるものとする。そして、上記の $U=1\text{ m/s}$ で $0.03 \leq R_b \leq 0.16$ 、 $U=3\text{ m/s}$ で $0.04 \leq R_b \leq 0.10$ を快適域の範囲とし、 $U=1 \sim 3\text{ m/s}$ 、 $3 \sim 4.5\text{ m/s}$ の間では快適域の

境界を定める R_b は直線的に変化すると仮定する。以上のようにして、図-2.20より求まる $U = 1 \text{ m/s}$ と 3 m/s における R_b の範囲を用いて、熱平衡式(2.3)より快適な範囲の T_a と U の関係を逆算することができる。 $R_{cc}=0.0$ と 0.4 における修正快適域と試験結果を図-2.21に示す。 $U < 1 \text{ m/s}$ での快適域を定義する R_b の範囲が不明のため、ここでは $U < 1 \text{ m/s}$ の範囲を無視している。ここで示す快適域の範囲は、試験結果とよく一致することが明らかである。同様に $R_{cc}=0.8$ 、 1.2 について修正快適域の範囲と試験結果を図-2.22に示す。データが少ないので境界位置の検証はできないが、快適域の範囲は試験結果とよく整合する。以上のことから、Penwardenによる温熱指標の快適域を修正することにより、 $U \geq 1 \text{ m/s}$ で日射の影響のない温熱環境の快適感を評価できることが分かった。

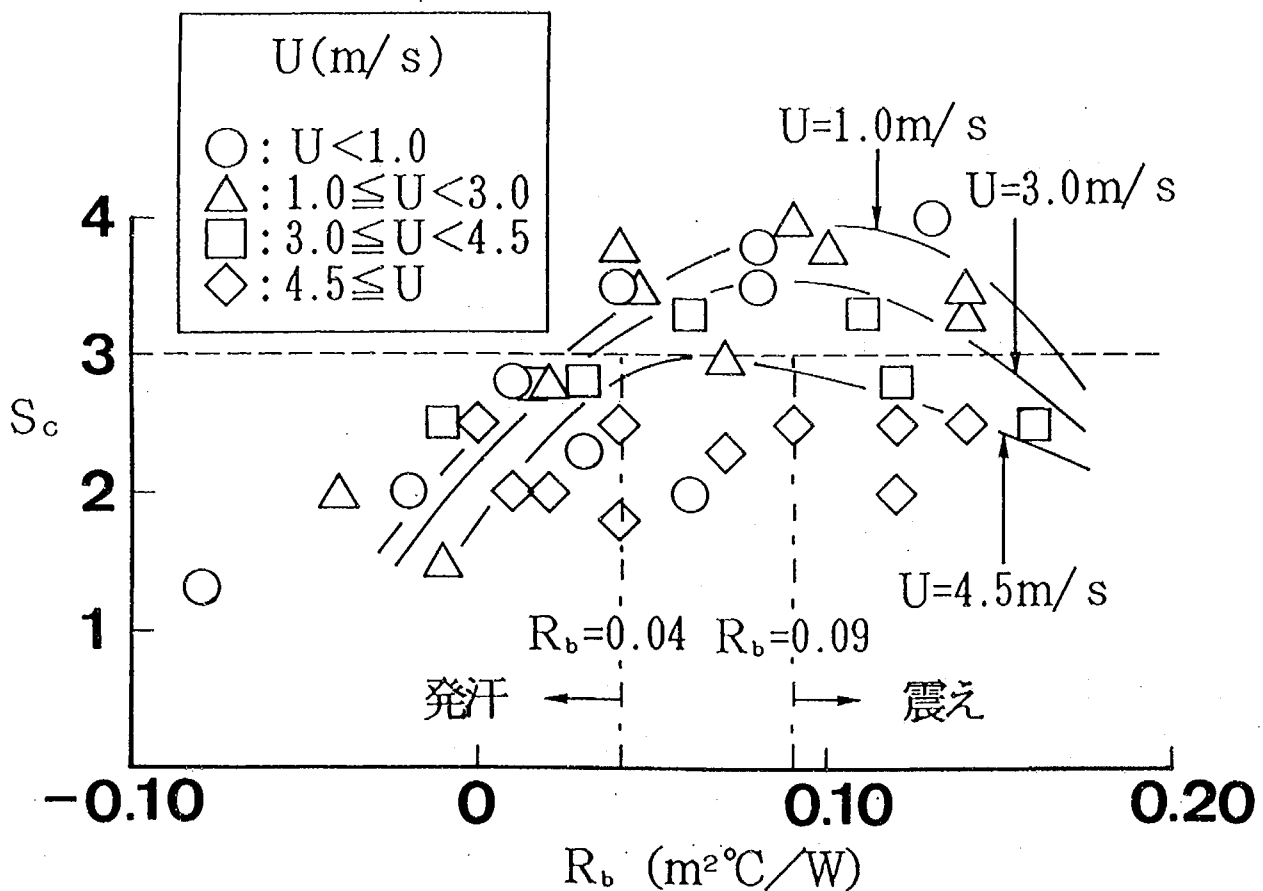


図-2.20 S_c と R_b の関係

($S_c = 1$: 不快、 2 : やや不快、 3 : やや快適、 4 : 快適)

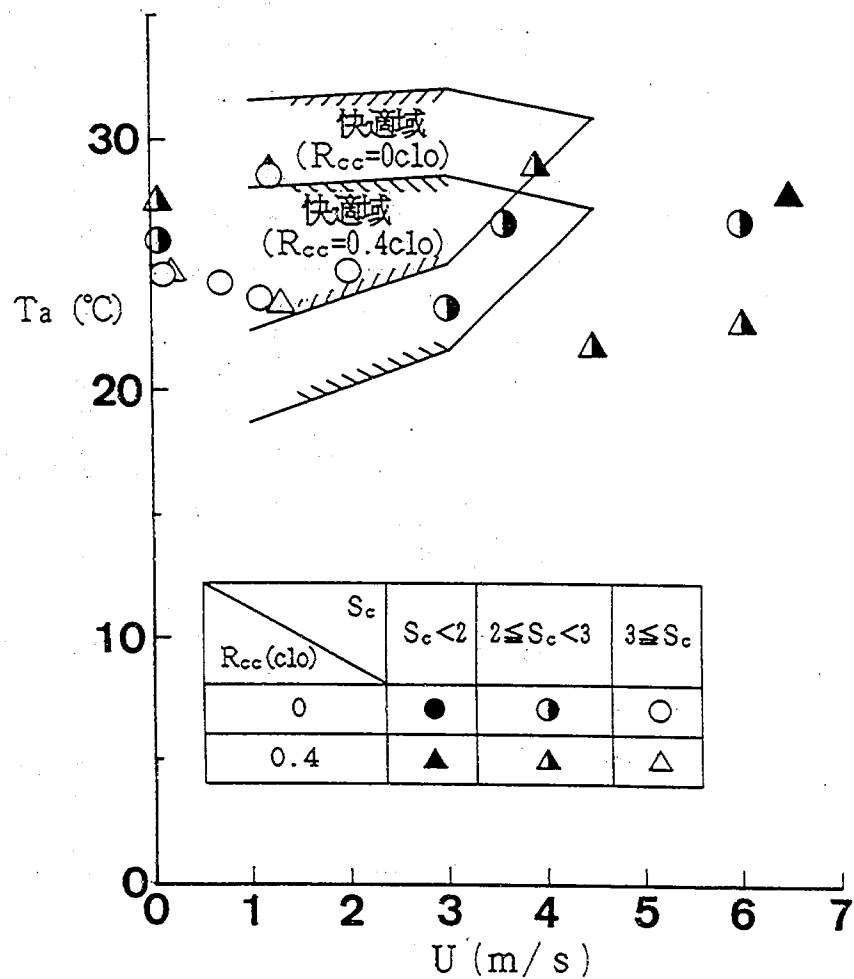


図-2.21 試験 I により修正された快適域と試験結果との比較
($R_{cc} = 0, 0.4 \text{ clo}$)

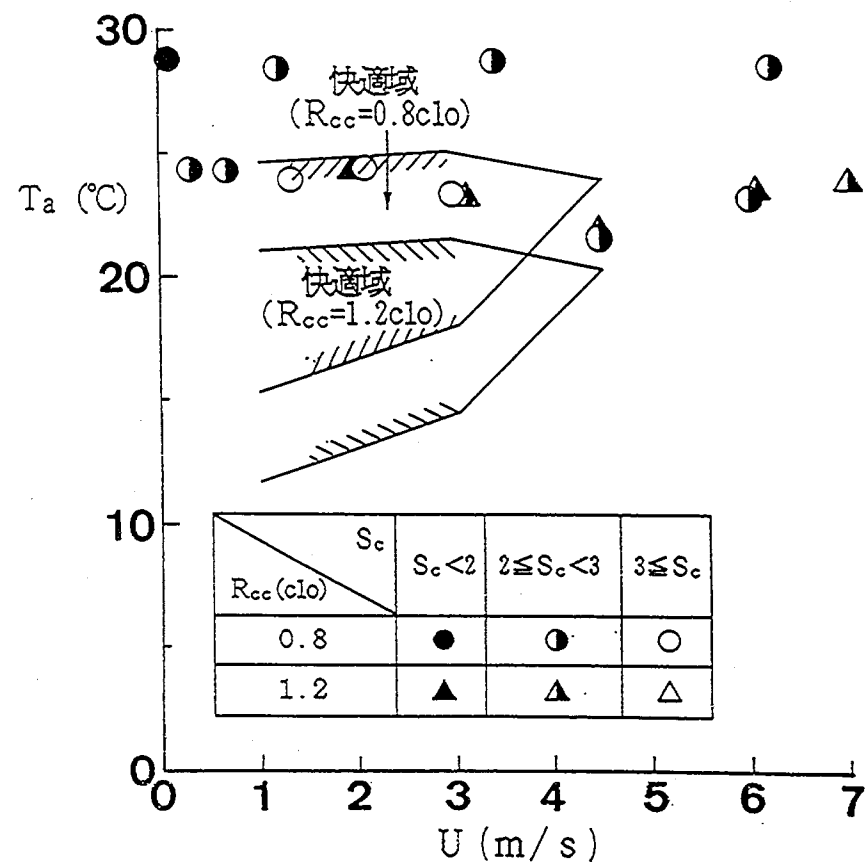


図-2.22 試験 I により修正された快適域と試験結果との比較
($R_{cc} = 0.8, 1.2 \text{ clo}$)

2.3.3 試験Ⅱ（屋外試験）の結果

Penwardenによる温熱指標には日射量に関する補正が考慮されている。日射量に関する補正項は熱平衡式(2.3)中の右辺第4項で表わされ、日射による気温補正量 ΔT_a (°C)は次式より求めることができる。

$$\Delta T_a = -S(4.2 + 13U^{1/2})^{-1} \quad (2.11)$$

ここに、 S : 日射量 (W/m^2)、 U : 風速 (m/s) である。この式によると、日射による快適域の補正は風速にも影響される。 $U=0.5m/s$ で晴天時に相当する $120W/m^2$ ($8.1 \times 10^4 lux$) の日射量があった場合、 $\Delta T_a = -9^\circ C$ になり、快適域の気温は $9^\circ C$ も低下することになる。Penwardenによる温熱指標は体感試験等による実証的な検討が行われていないので、日射による補正に関しても快適感の評価に対する適合性には疑問が残されている。そこで、試験Ⅰで求めた快適域の範囲が日射によりどのように変化するかを屋外での体感試験により調べた。

まず、Penwardenと同様に日射による気温補正には着衣量は影響しないと仮定する。図-2.21、2.22に示した快適域の範囲は、着衣量ごとに気温の絶対値が異なるのみで、着衣量により快適域の境界形状は変化しない。したがって、各着衣量ごとに $U=1m/s$ における快適域の上限・下限気温の平均値（基準気温 T_{af} ）を求め、快適域の境界を定める気温とこの基準気温との差 T_a' （規準化された気温）を求めることにより、着衣量の影響のない快適域を示すことができる。ここでは、試験Ⅱの結果を規準化された気温と風速の関係図上に示すことにより、着衣量を無視した日射の影響を調べる。 S_c と日射量 L_s ごとにデータを区別し、 $T_{af}=21.2^\circ C$ の場合の結果を T_a' と U の関係図に示す（図-2.23）。快適域の上限値に関してはデータが少な

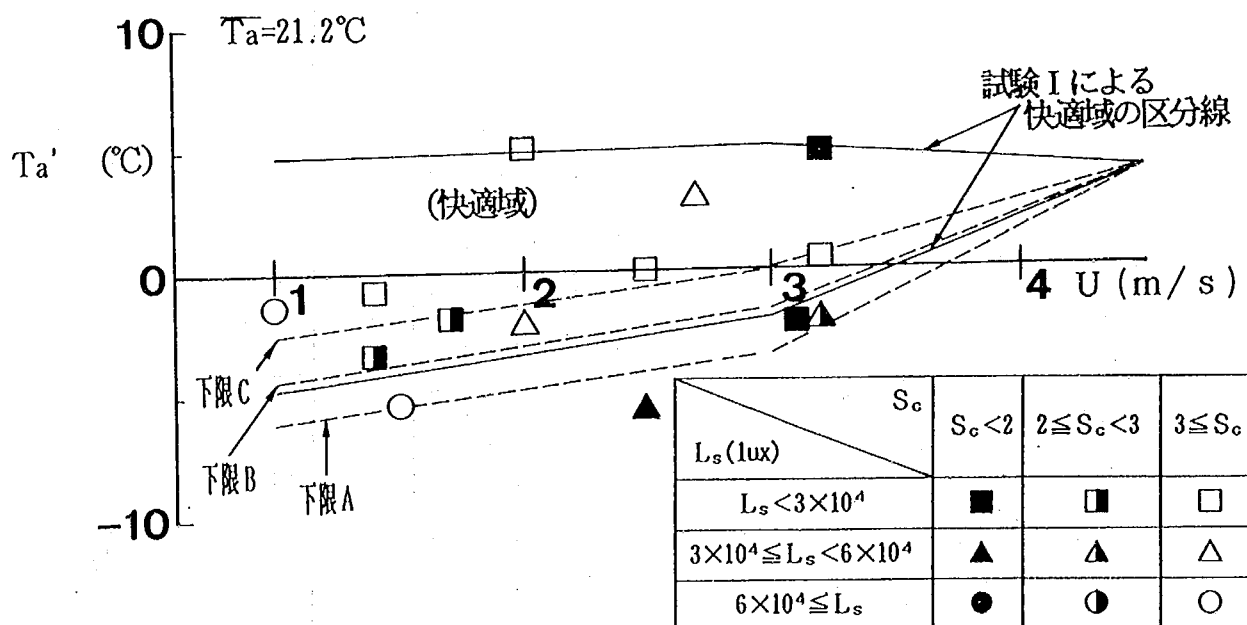


図-2.23 試験Ⅰより求めた快適域と試験Ⅱ（屋外試験）の結果との比較

($T_{af}=21.2^\circ C$)

く日射の影響について言及できない。一方、下限値に関しては L_s が $6 \times 10^4 \text{ lux}$ 以上のデータ (○印) では試験 I による快適域の下限より約 1.5°C 低い気温でも $S_c \geq 3$ の評価が得られている。 $6 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s$ のような晴れの日の強い日差しがあると、日射の効果により快適域の下限が低下するものと考えられる (図中の下限 A 参照)。これに対し、 $3 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s < 6 \times 10^4 \text{ lux}$ では試験 I による快適域の下限により $S_c \geq 3$ と $S_c < 3$ のデータが区分されており (図中の下限 B 参照)、快適域の下限値の低下は見られない。さらに、 $L_s < 3 \times 10^4 \text{ lux}$ では快適域の下限値は試験 I よりも上昇している (図中の下限 C 参照)。試験 I は風洞実験であり、試験 II の最低の照度条件よりもかなり低い照度の下で行われている。したがって、下限 C と試験 I より求まった下限とを比べると低照度の方が低い気温で快適感が得られることを示している。このことは、日射による加熱効果を上回る冷却効果は何らかの要因により作用したと考える以外説明がつかない。そこで、この点について以下の検討を加えた。

試験 II では大型扇風機により風速条件を設定しているので、風洞のように風向風速ともに定常な風とはならず、さらに屋外であるため自然風による影響も受ける。このため、試験 II の風の条件には風向風速の非定常性を伴う。近年、風の非定常性に関連した冷却効果が盛んに研究されており、桑沢ほか (1990) は、冬季の変動風に関して定常風よりも非定常風の方が皮膚温度を低下させ、温冷感および快適感が低くなることを指摘している。また、斉藤ほか (1990) は夏季の変動風に関して、同様に定常風よりも非定常風の方が温冷感および快適感が低くなることを指摘している。試験 II においても、快適域の下限値に風向風速の非定常性

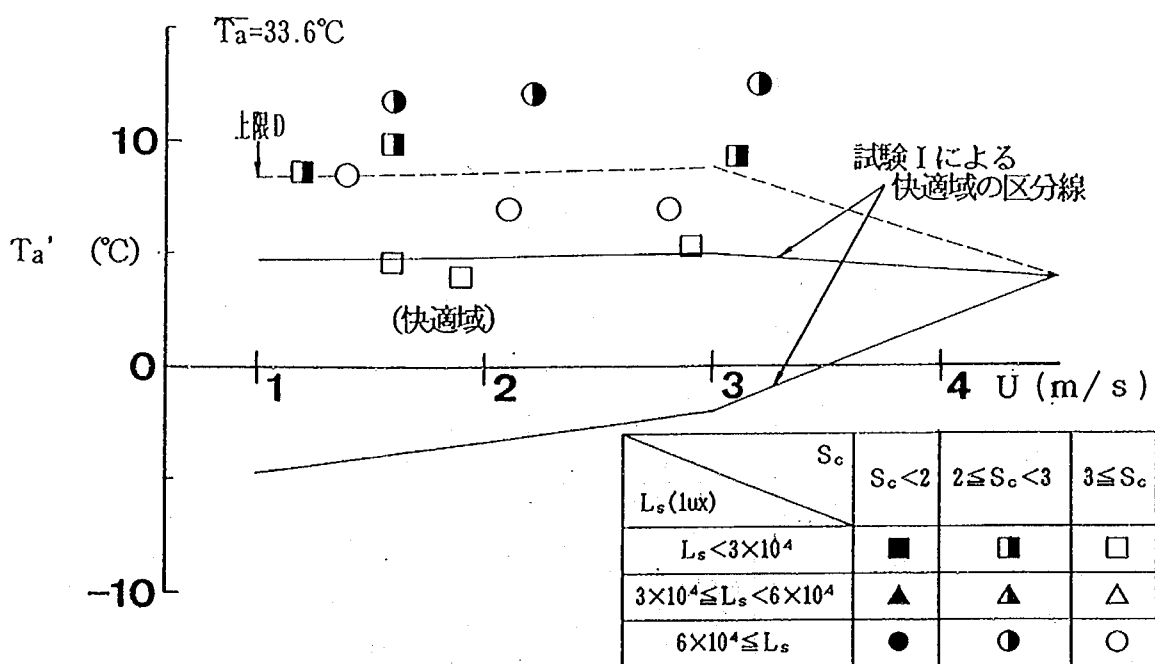


図-2.24 試験 I より求まった快適域と試験 II (屋外試験) の結果との比較
($T_a = 33.6^\circ\text{C}$)

が影響したと考えれば、低照度の屋内で高照度の屋外に比べ低い気温条件で快適感が得られたことの説明がつく。ただし、試験Ⅱでは風向風速の時系列データが得られておらず、日射による下限値の低下分と風向風速の非定常性による増加分とを定量的に比較することはできない。

次に、 $\overline{T_a}=33.6^{\circ}\text{C}$ の場合について、 $\overline{T_a}=21.2^{\circ}\text{C}$ の場合と同様に T_a' と U の関係を図-2.24に示す。照度の条件に係わらず試験Ⅰによる快適域の上限値より高い気温で $S_c \geq 3$ の結果が得られている。したがって、日射による受熱があるにもかかわらず、より高い気温でも快適感がもたらされている。このことは、 $\overline{T_a}=21.2^{\circ}\text{C}$ の場合と同様に非定常風の冷却効果が強く影響したことに起因するものと考えられる。そこで、試験Ⅱにおける快適域の上限値を非定常風の影響があるものとして補正すると、快適域の上限は照度に係わらず図-2.24に示す上限D（破線）のように与えられる。

試験Ⅱによれば、日射や風向風速の非定常性により快適感が変化する。以上の解析では日射による影響は着衣量により変化しないと仮定し、着衣量を無視している。したがって、図-2.23、2.24に示した快適域の境界値の増減が、着衣量が変化しても同様に成立するかどうかは不明である。そこで、日射と非定常風の影響を考慮した快適域の区分（図-2.23、2.24参照）の適用性を、各着衣量ごとに調べてみた。着衣量 $R_{cc}=0\text{ clo}$ の場合のデータを図-2.25に示す。快適域の上限値は、試験Ⅰによる区分では過小であることが明らかである。また、データは $6 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s$ のみであるが、快適域の下限値も補正後の区分線によりかなり良く区分されている。

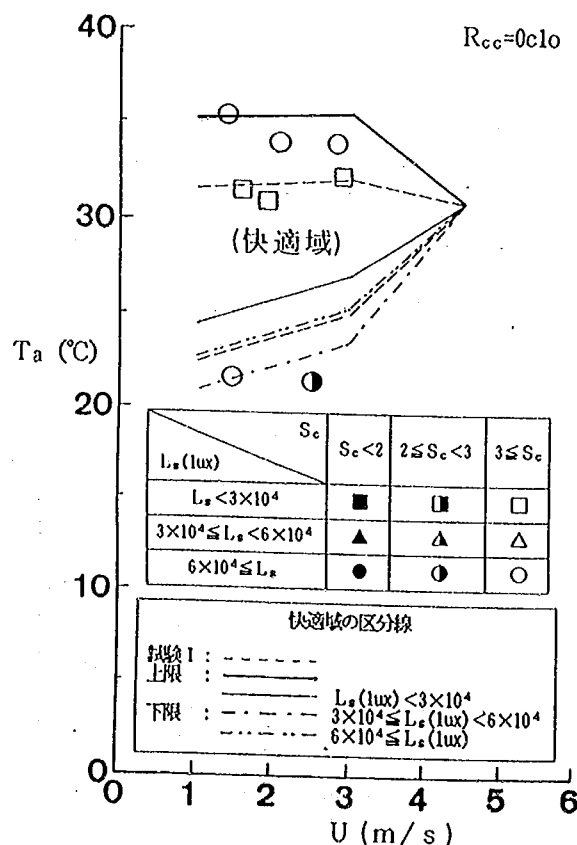


図-2.25 日射と風向風速の非定常性による快適域の変化と、試験Ⅱの結果との比較 ($R_{cc}=0\text{ clo}$)

$R_{cc}=0.4clo$ の場合の関係図を図-2.26に示す。快適域の上限については境界付近に $S_c \geq 3$ のデータがないものの、 $S_c < 3$ のデータの分布状況から見て補正後の区分線の方が適合性が高いと考えられる。下限については、各照度条件ともに補正後の区分線は試験Ⅱの結果とよく適合している。

$R_{cc}=0.8clo$ 、 $1.2clo$ の場合の関係図をそれぞれ図-2.27、2.28に示す。この場合、データ数が少なく、 $S_c < 3$ のデータは $R_{cc}=1.2clo$ で1点あるのみである。このデータは試験Ⅰによる境界の近傍にあり、着衣量が多くなると補正の必要がないことがうかがわれる。日射の効果は体表面が受熱することにより生じるものであり、衣服を多く着用することにより、その効果が薄らぐことは容易に予想される。また、風向風速が非定常な場合、風により生ずる体表面でのせん断力や圧力という物理因子が時間的に変動することにより、熱発散が効率的に行われるようなになるので風による冷却効果が増すものと考えられる。着衣量が増せば体表面が厚く被覆されることから、せん断力や圧力の時間変動は体表面に影響なくなり、熱発散の効率化は生じなくなる。これらのことから、着衣量が多くなると日射や風向風速の非定常性は影響しにくくなる。

そこで、本試験結果ではデータも少なく、快適域の適切な区分を設定することはできないものの、 $R_{cc}=0.8clo$ 、 $1.2clo$ の場合には試験Ⅰによる快適域の区分をそのまま採用することにした。

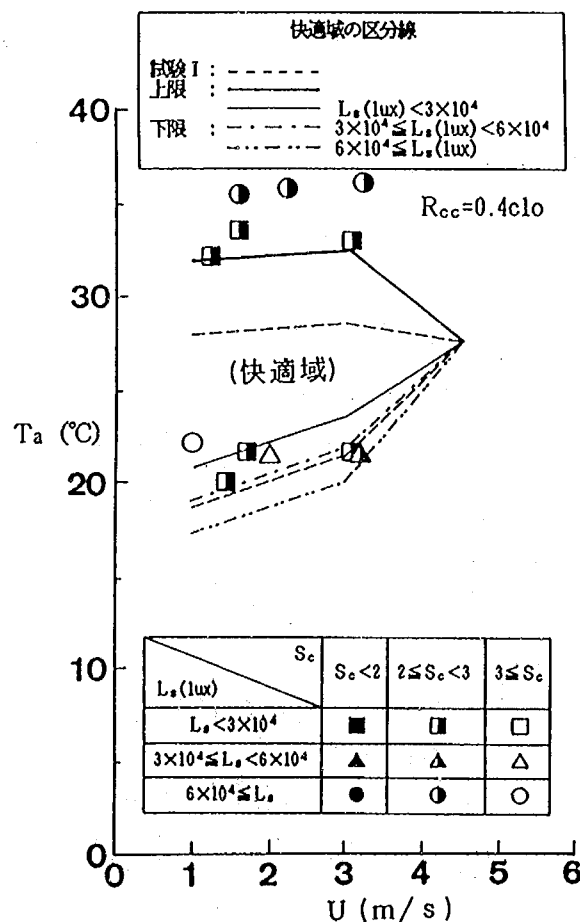


図-2.26 日射と風向風速の非定常性による快適域の変化と、試験Ⅱの結果との比較 ($R_{cc}=0.4clo$)

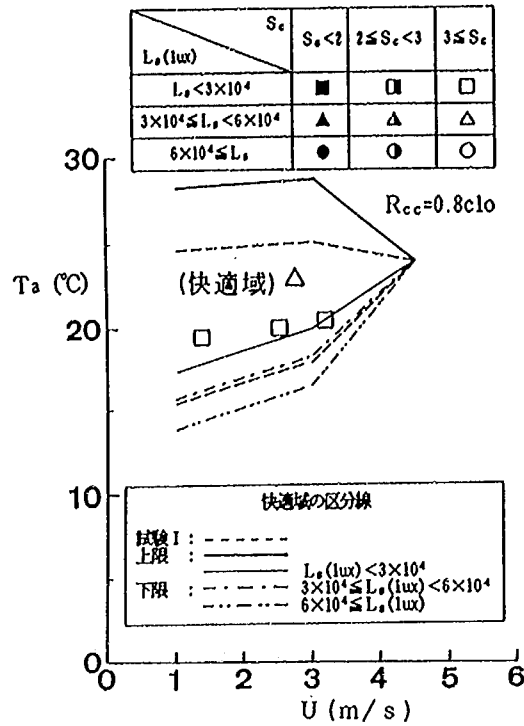


図-2.27 日射と風向風速の非定常性による快適域の変化と、
試験Ⅱの結果との比較 ($R_{cc}=0.8clo$)

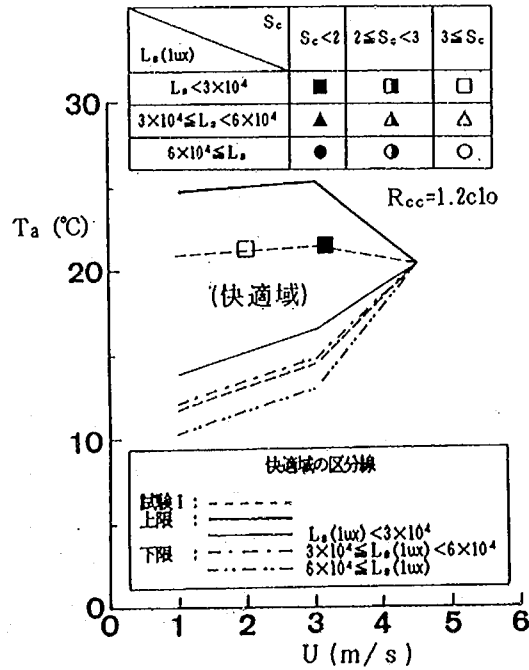


図-2.28 日射と風向風速の非定常性による快適域の変化と、
試験Ⅱの結果との比較 ($R_{cc}=1.2clo$)

2.3.4 まとめ

室内で定常風を用いて行った体感試験によれば、作業状態、気温を一定にすると温冷感に着衣量と風速の関数として式(2.6)、(2.7)に表わされた。 $U < 4.5\text{m/s}$ で快適感と温冷感の高い相関関係を示したが、 $U \geq 4.5\text{m/s}$ の範囲では風の力学的な影響が卓越するため温冷感の変化に対応した快適感の変化は見られず、 $U \geq 4.5\text{m/s}$ の範囲に「快適」な条件は存在しなかった。これらの結果をもとに、Penwardenによる温熱指標の快適域を修正し、風洞試験に基づく新たな快適域を求めた(図-2.21、2.22参照)。

次に、屋外での体感試験により、日射と風向風速の非定常性が快適感に及ぼす影響を評価するとともに、それらの影響に着衣量により変化し、着衣量が多い場合には日射と風向風速の非定常性の影響は小さくなることを示した。また、風洞試験と屋外試験の結果をもとに、 T_a と U の関係図上に着衣量ごとの快適域を示した(図-2.29参照)。ここに、 $R_{cc} = 0, 0.4\text{clo}$ の場合には、日射と、風向風速の非定常性の複合した影響が考慮されており、また、 $R_{cc} = 0.8, 1.2\text{clo}$ の場合には定常風で得られた快適域がそのまま利用されている。

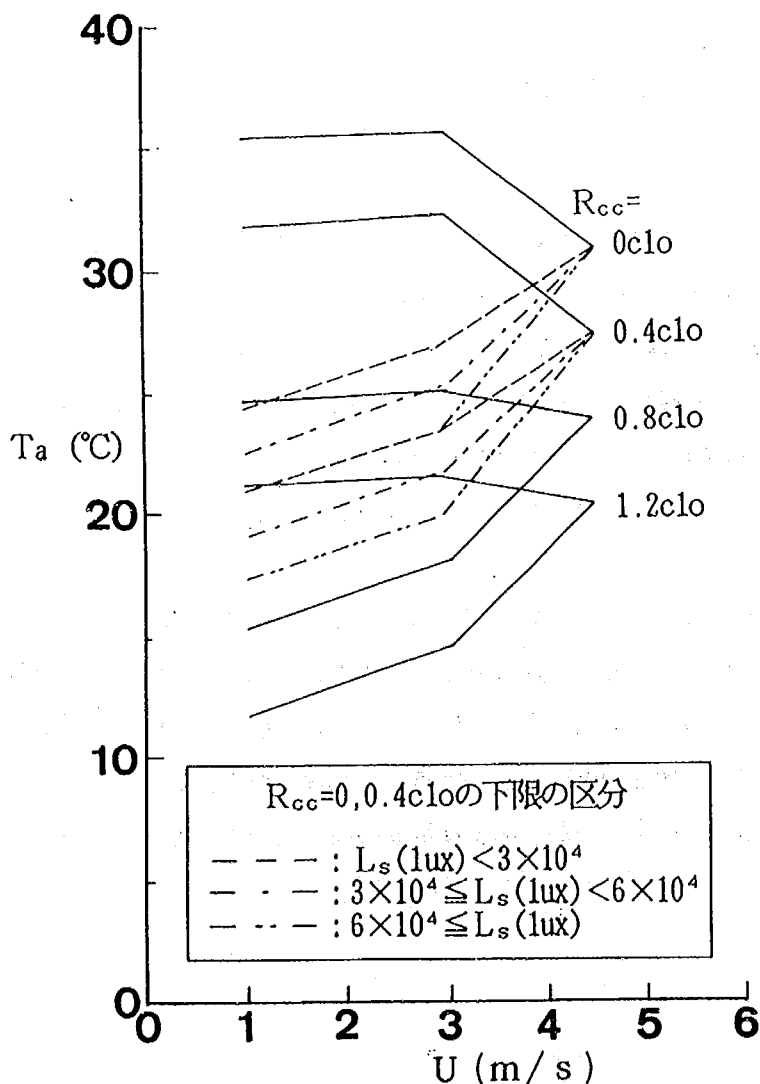


図-2.29 本研究で提案する温熱指標

2.4 現地海岸における温熱環境の評価例

本論文で提案した温熱環境の評価図(図-2.29)では、日射と風向風速の非定常性の影響が必ずしも十分に評価されていないものの、現地海岸の温熱環境の快適性を評価する方法として利用できる。そこで、茨城県阿字ヶ浦海岸を例にとり、温熱環境から見た快適性の評価を試みた。当海岸には土木研究所の漂砂観測施設があり、地上4mの高さに設置されたプロペラ式風速計により風向風速が計測されている。評価を行うための代表時期としては1984年1、4、7、10月を選んだ。気温については水戸気象台で計測された日最高気温の記録(気象庁, 1984)を用い、1日のうちで気温が比較的高い15時における快適性を評価した。また、Uは14時と16時の10分間平均風速を平均した値とした。各月ごとの気温 T_a と風速Uの関係は付図-2.1に示した。日射量は、曇に相当する $3 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s < 6 \times 10^4 \text{ lux}$ の条件と、晴に相当する $6 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s$ の条件を採用し、着衣量は $R_{cc} = 0, 0.4, 0.8, 1.2 \text{ clo}$ の4条件を用いた。温熱指標には図-2.29を利用した。この場合、 $U < 1 \text{ m/s}$ では快適感を評価できないが、 $U < 1 \text{ m/s}$ のデータは1月以外の月では少なく、また1月は明らかに快適域から外れるデータが多いことから、ここでは $U \geq 1 \text{ m/s}$ のみを評価対象とした。

各月の快適性は各着衣量ごとに評価し、各月の総日数($U < 1 \text{ m/s}$ の日を除く)に対する快適域に入る日数の割合P(%)を指標に用いた。 $3 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s < 6 \times 10^4 \text{ lux}$ の場合のPを図-2.30に示す。1月は、いずれの着衣量でも $P = 0\%$ である。これは、気温がかなり低いことに起因する。4月では着衣量が多いほどPが増加しており、着衣量を増やすことにより快適感を増すことのできる環境条件にある。ただし、 $R_{cc} = 1.2 \text{ clo}$ であっても $P = 27\%$ とあまり高くない。このことは、温熱環境の点から見ると当海岸の4月は比較的厳しい条件にあると言える。7月では、 $R_{cc} = 0.4 \text{ clo}$ の条件で最もPが高く、 $P = 71\%$ になっている。 $R_{cc} = 0 \text{ clo}$ でも $P = 61\%$ と高く、気温が高いことを反映している。10月は $0 \text{ clo}, 0.4 \text{ clo}$ でも快適な日があることから、4月に比べると比較的暖かいことが分かる。このようにPの絶対値は比較的小さいものの、4月に比べ着衣量による差が小さい原因は、10月の気温の分散が大きいことによる(付図-2.1参照)。また、比較的暖かい日があるにもかかわらずPの値が小さいのは、7月に比べ風速の大きい日が多いためである(付図-2.1参照)。

次に、晴を想定した $6 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s$ の場合のPを図-2.31に示す。全体としては図-2.30と同傾向であるが、快適な日のない1月を除いて着衣量の少ない条件のPが増加している。これは次の理由による。着衣量の少ない条件では低気温の条件では「快適」な感覚が得られない。このとき、低気温の条件であっても日射量が大きければ日射による加熱効果により「快適」な感覚が得られるようになる。このため、平均的に気温の高い7月にはPの増加率は小さいが、あまり気温の高くない4月と10月にPが大きく増加したものと考えられる。

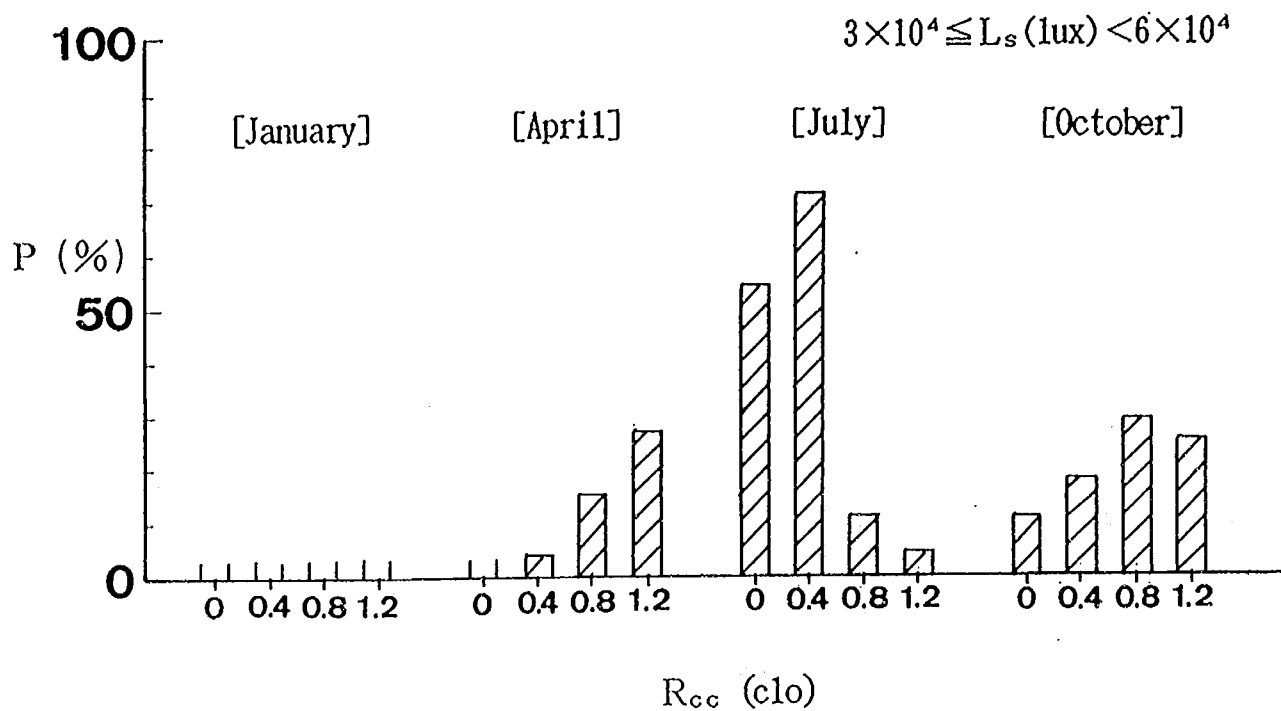


図-2.30 阿字ヶ浦海岸における各月のPと着衣量の関係
 $(3 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s < 6 \times 10^4 \text{ lux})$

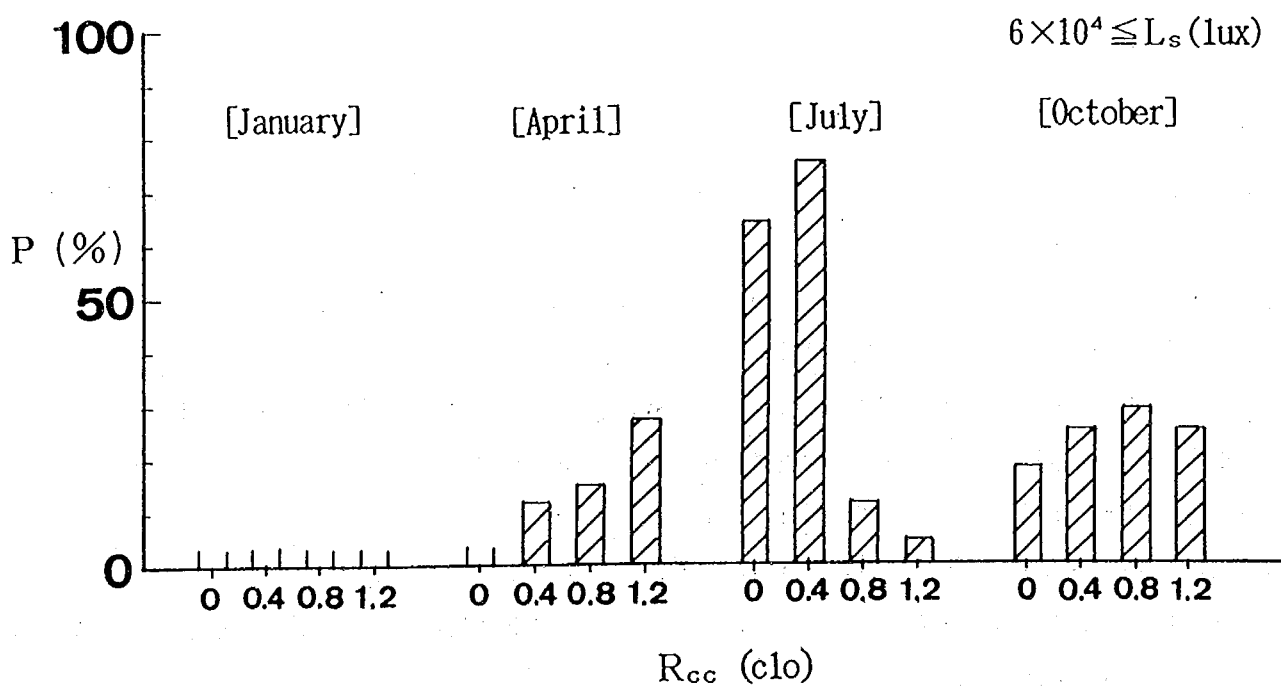


図-2.31 阿字ヶ浦海岸における各月のPと着衣量の関係
 $(6 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s)$

結局、冬の阿字ヶ浦海岸では快適な温熱環境となる日は少なく、夏は軽装で十分に快適であることが分かる。春は低温な気温条件で安定しており、着衣量が多いほど快適になる。これに対し、秋は気温、風速ともに比較的变化があり、快適となる着衣条件は日によって異なる。また、春秋の気温があまり高くない時期において、快適性の評価に日射の影響が大きくなると推察される。以上のように、本研究による温熱指標は、現地海岸の温熱環境を評価する上で有効利用可能であることが確認できた。

2.5 結論

温熱指標に関する文献調査によれば、海岸での温熱環境を評価する指標として、Penwardenの温熱指標が適すると判断された。そこで、体感試験によりその適用性を調べ、次の結論を得た。

- ① Penwardenの提案した快適域を修正することにより、室内での定常風 ($1\text{ m/s} \leq U < 4.5\text{ m/s}$) の条件下に適用可能な温熱指標を得た (図-2.18、2.19)。
- ② $U > 4.5\text{ m/s}$ の範囲では風の力学的な影響が卓越するため、快適な温熱環境は得られない。
- ③ 本研究の試験結果に基づき、日射と風向風速の非定常性を考慮した屋外の温熱指標として図-2.29を得た。この指標では、着衣量の少ない場合に日射と風向風速の非定常性が考慮されている。
- ④ 阿字ヶ浦海岸の快適性を温熱環境の面より評価し、ほぼ妥当な結果を得た。このことは、現地海岸の温熱環境を評価する上でこの温熱指標が有効であることを示す。

参考文献

- 気象庁 (1983) : 暖房・冷房デグリーデー及び不快指数, 気象庁観測技術資料, 第47号, 129p.
- 気象庁 (1984) : 気象庁月報 (1、4、7、10月), 気象庁, 89p.
- 黒島晨汎 (1986) : 人体の熱環境への適応・調節の生理, 日本建築学会環境工学委員会熱小委員会第16回熱シンポジウム, pp. 1~2.
- 桑沢保夫・斉藤基之・鎌田元康・千田義孝 (1990) : 変動風の快適性に及ぼす影響に関する研究 (その1 冬季実験), 日本建築学会学術講演梗概集 (中国), pp. 829~830.
- 斉藤基之・桑沢保夫・鎌田元康・千田義孝 (1990) : 変動風の快適性に及ぼす影響に関する研究 (その2 夏季実験), 日本建築学会学術講演梗概集 (中国), pp. 831~832.
- 中山昭雄編 (1981) : 温熱生理学, 理工学社, 638p.
- 日本建築学会編 (1990) : 建築設計資料集成 1, 丸善.
- 西 安信 (1986) : 人体の熱収支計算と最近の温熱指標, 日本建築学会環境工学委員会熱小委員会第16回熱シンポジウム, pp. 9~14.
- 人間環境系編集委員会編 (1972) : 人間-環境系上巻, 人間と技術社, 722p.
- 三浦豊彦 (1968) : 至適温度の研究—至適温度を移動させる因子について—, 労働科学, No. 44, pp. 431~453.

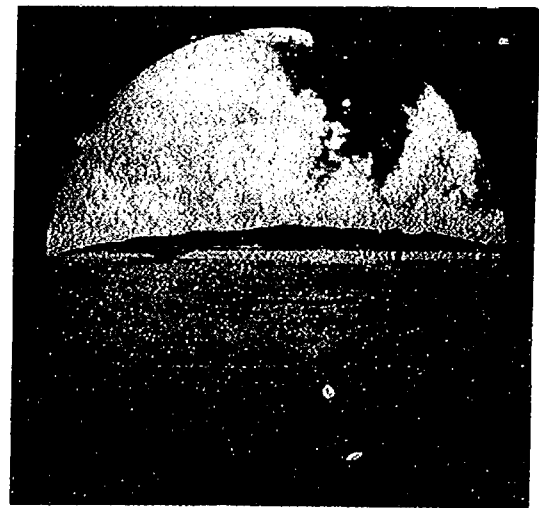
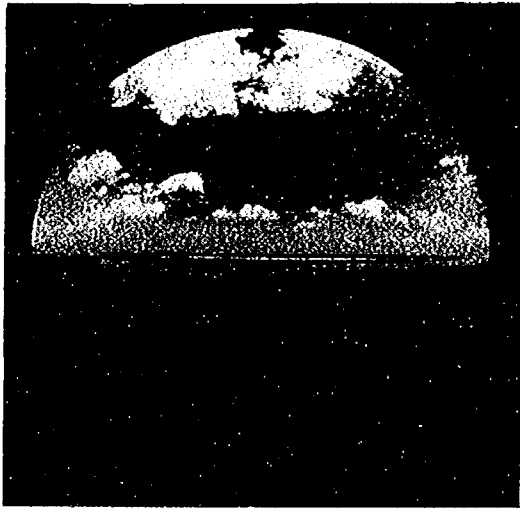
- 村上周三・出口清孝・後藤剛史・上原 清 (1980) : 歩行者に対する強風の影響とその評価尺度に関する研究, 日本建築学会論文報告集, No.11, pp.99~109.
- 和達清夫監修 (1961) : 気象の事典, 東京堂, pp.437~438.
- ASHRAE (1965) : ASHRAE Guide and Data Book for 1965-66, ASHRAE.
- ASHRAE (1972) : ASHRAE Handbook of Fundamentals, ASHRAE.
- ASHRAE (1974) : Thermal Environmental Comfort Condition for Human Occupancy, ASHRAE
- ASHRAE (1981) : ASHRAE Handbook of Fundamentals, ASHRAE.
- Blocky, W. V. (1964) : Temperature in Bioastronautics Data Book, NASA-SP-3006, pp.103-131.
- Fanger, P. O. (1967) : Calculation of Thermal Comfort, ASHRAE Trans., Vol.73, Part II.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J. and Hardy, J. D. (1967) : Comfort and Thermal Sensation and Associated Physiological Responses at Various Ambient Temperatures, Environmental Research, Vol.1, No.1.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J. and Nishi, Y. (1971) : An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response, ASHRAE Trans., Vol.77, pp.247-262.
- Gagge, A. P., Nishi, Y. and Nevins, R. G. (1976) : The Role of Clothing in Meeting FEA Energy Conservation Guidelines, ASHRAE Trans., Vol.82, Part II, pp.234-247.
- Hunt, J. C. R., Poulton, E. C. and Mumford, J. C. (1976) : The Effects of Wind on People; New Criteria Based on Wind Tunnel Experiments, Building and Environment, Vol.11.
- Humphreys, M. A. (1970) : A Simple Theoretical Derivation of Thermal Comfort Conditions, J. Inst. Heat. Vent. Engrs., Vol.38, pp.95-98.
- Houghten, F. C. and Yaglou, C. P. (1923) : Determination of Comfort Zone, J. Amer. Soc. Heat and Vent. Eng., Vol.29, p.515.
- Lawson, T. V. and Penwarden, A. D. (1975) : The Effect of Wind on People in The Vicinity of Buildings, Proc. 4th Int. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures, pp.605-622.
- Penwarden, A. D. (1973) : Acceptable Wind Speed in Towns, Building Science, Vol.8, No.3, pp.259-267.
- Spile, P. A. and Passel, C. F. (1945) : Measurements of Dry Atmospheric Cooling in Subfreezing Temperature, Proc. Am. Phill. Soc., Vol.89, pp.177-199.
- Thom, E. C. (1959) : Facts Behind the Weather Index, Industrial Development.
- Yaglou, C. P. and Drinker, P. (1929) : Summer Comfort Zone Climate and Clothing, ASHVE Trans., Vol. 35, p.269.

第3章 海岸の空間規模の評価法

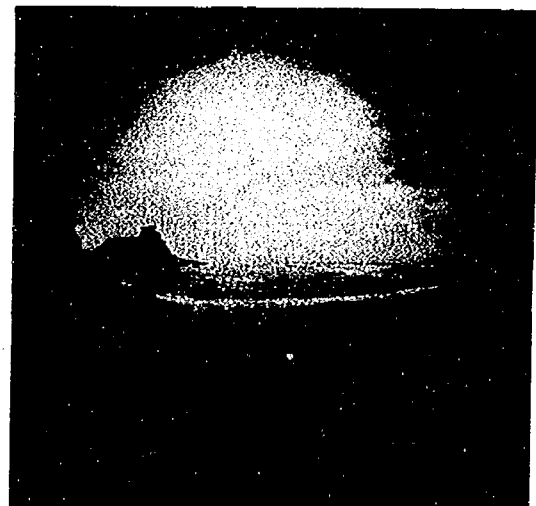
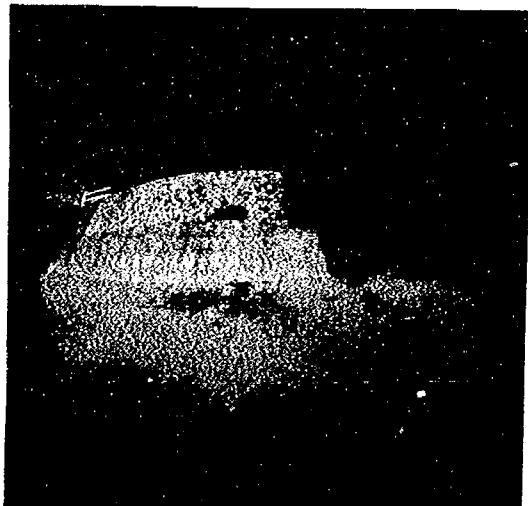
3.1 まえがき

海岸環境には、海岸においてのみ感じることでできる特徴的な雰囲気があるが、こうした雰囲気は人の持つ表面感覚、聴覚、視覚、嗅覚などの五感を通して知覚される。したがって海岸の雰囲気の分析に際しては、これらの感覚ごとに区別して検討が行われる必要がある(宇多ほか, 1989)。これらの中で視覚に関する雰囲気については、明るさ、空間の規模、景観などの面からの検討が必要とされる。それらの項目のうち明るさについては既に現地調査に基づく検討を行い、海岸環境の明るさと底質条件との関係としてとりまとめた(宇多ほか, 1989; 1990)。本論文はこれに続くものであり、空間の規模の評価法について考察する。ここに、空間とは周囲の山や建物、海岸構造物等によって制約される海岸の空間を意味する。

海岸の空間規模の相違の例として、鹿島灘に面する大竹海水浴場と、三浦半島にある立石海水浴場の写真を比べてみる。魚眼レンズ付きのカメラで撮影した大竹海水浴場の海側と陸側を写真-3.1 a)、b)に示す。2枚の写真を合わせると、撮影者を中心とする半球面が写し出される。この海岸ではさえぎる物なしに海岸線が直線状に延びており、また、海岸背後に高い構造物や山地がない。海岸では視界がさえぎられないから、このような海岸では開放感や雄大さのような雰囲気を感じ易いと思われる。同様に、立石海水浴場の写真を写真-3.2 a)、b)に示す。この海岸は、高い崖や建物に囲まれており、広々とした印象は感じられない。写真からはむしろ閉鎖性が感じられる。以上の例のように、特定の海岸の有する雰囲気は、海岸の空間規模によってかなり異なると考えられる。また、海岸の空間規模は、汀線の長さ、砂浜の幅・面積、周囲の崖や山の高さ等種々の因子に関連する。したがって海岸環境における空間規模と雰囲気との関係を把握するには、空間規模を評価するための定量的な尺度(以下、空間スケールと呼ぶ)が必要になる。本研究では、都市や室内の空間規模の評価指標を文献より調べ、それらの指標の海岸への適用性について検討する。



写真－3.1 茨城県の大竹海水浴場（1990年8月22日撮影）



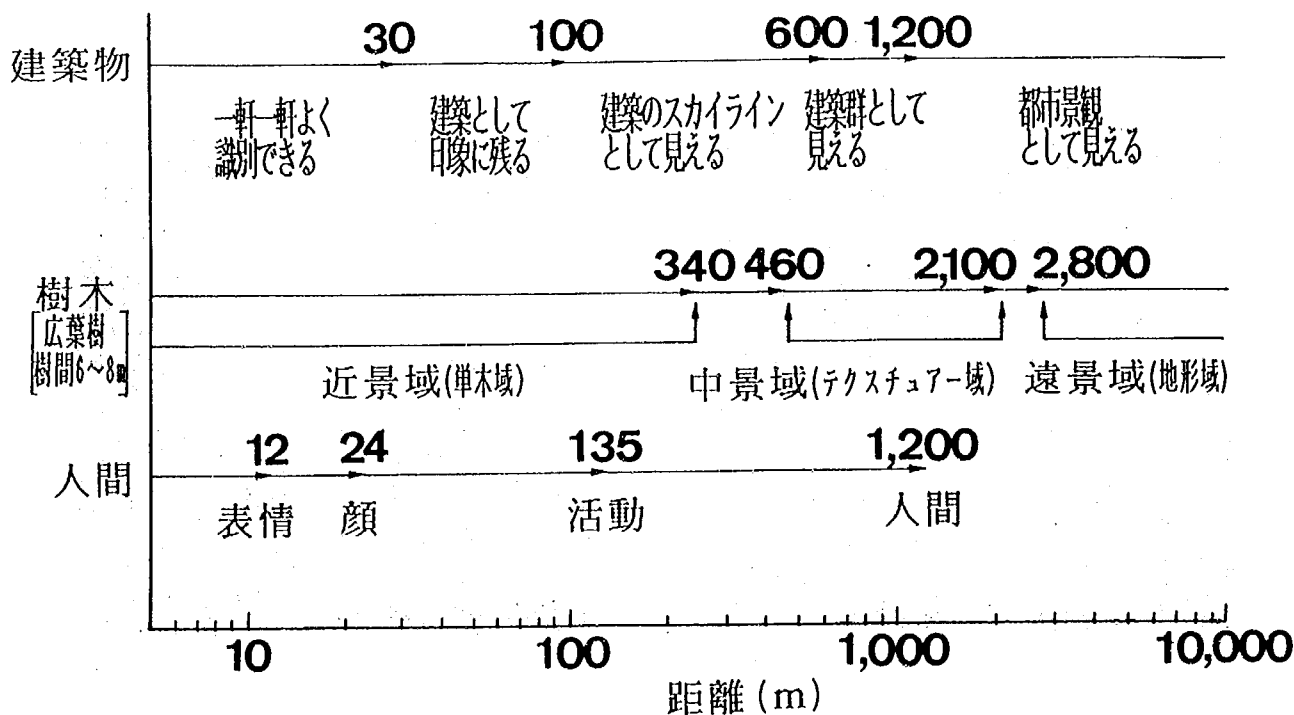
写真－3.2 神奈川県立の立石海水浴場（1990年8月23日撮影）

3.2 空間規模の評価法に関する文献調査

日常の生活空間には快適性を向上させるための様々な工夫がなされている。例えば、室内空間の広さや間仕切りの高さ、都市公園の面積等を決める場合、一般に快適性設計が行われ、そのための手法や指標が作成されている（例えば、相馬，1979；岡田・高橋，1988）。このように建築や都市計画の分野では、空間の広さと心理との関係が研究の対象となっている。そこで、まずこれらの調査研究を基に種々の空間スケールについて調べた。

(1) 視距離

通常、対象物との位置関係や対象物までの距離は、その見え方によって判断される。これと同時に、対象物の認識度も位置関係や距離によって変わる。例えば、数km離れた地点から見る山は、その輪郭より山としてのみ認識されるが、山麓から見れば一本一本の木々も識別される。このような視距離（視点と対象物間の距離）と見え方の関係は、対象物の種類ごとに調べられている。芦原（1962）は建築物を対象物として視距離と見え方の関係を示した（図－3.1）。これによると、個々の建築物を十分に識別できる距離はおよそ30m以内であり、建築群として判別されるのが1.2km以内である。これ以上の視距離になると建築物の集合体である都市景観としてのみ認識されるとしている。



図－3.1 建築物、樹木、人を対象とした視距離

次に、篠原（1984）は樹木を対象として視距離と見え方の関係を示した（図－3.1）。これによると、広葉樹の場合、340～460mまでが個々の樹木を識別可能な範囲（近景域）、460m以上から2.1～2.8kmまでが木々の肌目（テクスチャと呼ばれる）を識別可能な範囲（中景域）、2.8km以上になると樹木としてでなく地形としてのみ識別可能な範囲（遠景域）に区分される。これらのことより、樹木のテクスチャが識別できる範囲はおよそ3 km以内であり、これ以上の距離になると景観の中の色彩としてのみ認識されるようになる。

Spiregen（1965）は、人を対象として視距離と見え方の関係を示した（図－3.1）。それによると人の存在が認識される限界距離は約1.2kmであり、顔が識別可能な距離は約24mである。

(2) 閉鎖度

物の大きさを判断する場合に、人体寸法を尺度に用いる方法はヒューマンスケールと呼ばれている（戸沼、1980）。例えば、人体寸法（身長）と同じオーダーの高さを有する天井の高さは、ヒューマンスケールによる評価が容易である。一方、人体寸法のスケールよりかなり大規模な空間を対象としてその面積や容積を評価する場合には、ヒューマンスケールによる空間の広さの評価は困難である（例えば、岡田・高橋、1988）。大規模な空間の広さに対する感覚について、相馬・佐古（1976）は次の実験例を示している。小学生を対象として運動場と体育館の面積を教室の面積と比較させたところ、いずれの生徒も実際より運動場の面積を過大に評価し、かつ個人差が非常に大きかった。すなわち、人体寸法に比べてかなり広い空間の面積を感覚的に判断することは難しいことが分かる。

Thiel（1977）は、空間の閉鎖性に関する感覚を閉鎖度を用いて評価することを提案した。閉鎖度とは、空間の形状を表わす明白度と空間の容積規模を表わす容積段階により決定される。ここで、明白度とは被験者の背後を除いた周囲の壁、天井、床の存在状況を示すパラメータである。明白度20、60、100で表わされる壁、天井、床の存在状況の例を図－3.2に示す。各図の円は被験者の見た正面の半球面を表わす。円の上方は空あるいは天井、下方は地面あるいは床を示す。図のドット部は空、斜線部は地面を、白抜きは壁、天井、床を表わす。明白度が高いほど閉鎖性が高いことになる。また、容積段階とは、容積を0～10の11段階に区分したものである（図－3.3参照）。容積段階0とは、高さを1.8mとして幅が高さの1.6倍、長さはさらに幅の1.6倍の直方体より小さな容積を持つ空間に対応する。ここで取り上げられた直方体の長さ、幅、高さの比は黄金比と呼ばれており、建築や美術の分野で広く利用されている（例えば、相賀、1972）。一方、容積段階10とは長さ4570m（目の高さを1.68mとした時の地平線までの距離）で黄金比を有する直方体より大きな容積を持つ空間に対応する。Thielは、明白度と容積段階により閉鎖度を0～10の11段階に分類した（図－3.3）。閉鎖度が大きくなるにしたがい、閉所恐怖的な感覚から広場恐怖的な感覚へと変化するとされている。すなわち、容積が大きく明白度が小さい空間ほど閉鎖度は大きくなり、開放的な感覚が得られるとされている。このように、閉鎖度は空間の形状と容積により空間の閉鎖性を簡便に判断することができるものの、閉鎖性の評価に関して実験的な裏付けがないことが指摘されている（乾ほか、1985）。

明白度	20	60	100
境界面の存在状況			

図-3.2 明白度の定義 (Thiel, 1977)

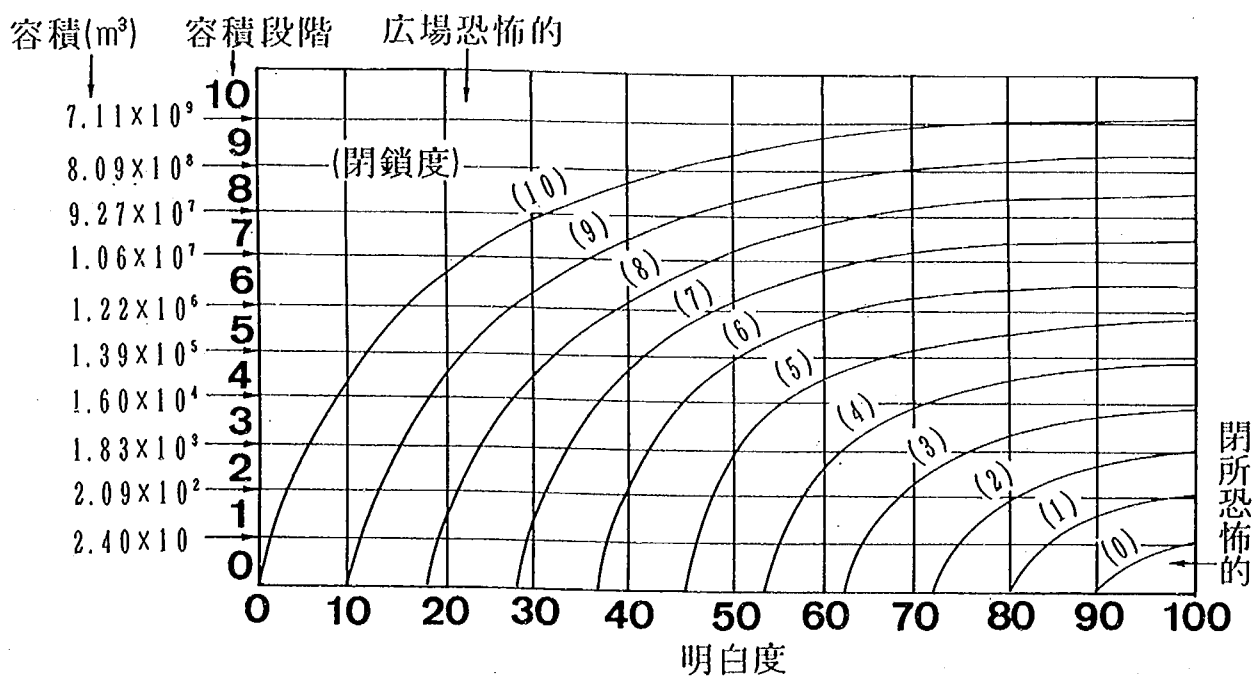


図-3.3 明白度、容積段階と閉鎖度の関係
(Thiel, 1977)

(3) D/H

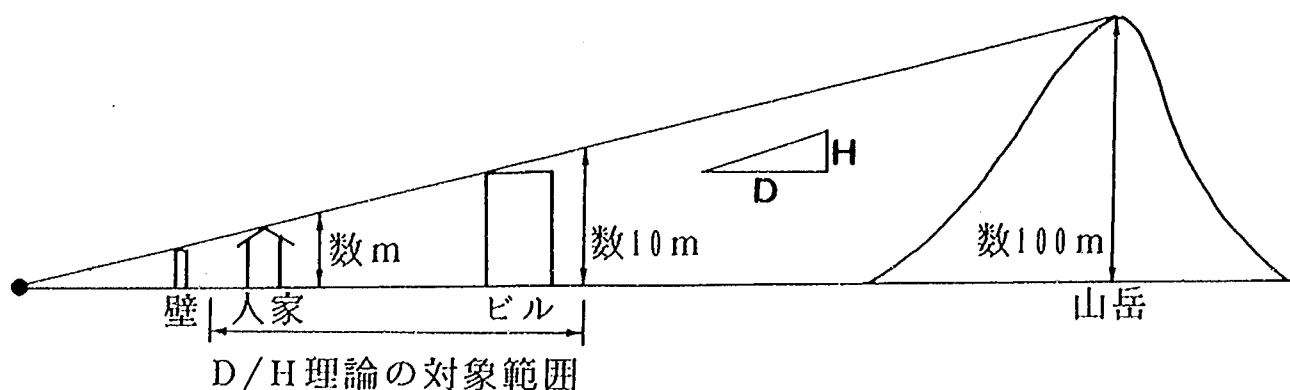
Maertens (1884) は、高座の上に設置された彫像等の芸術作品の見え方を彫像を見上げる時の仰角により整理した。それによると、仰角 45° (彫像の高さ : H 、距離 : D とするとき $D/H = 1$) では全体は見にくく、ある部分の詳細が強く印象付けられ、仰角 27° ($D/H = 2$) では全体をながめることができるように

なり、仰角 18° ($D/H = 3$ に相当)で絵画的な印象を受けられるとされている。これは、Maertensの法則と呼ばれ、彫像や建築物の見え方を D/H で評価する手法の1つになっている。また、ルネサンス期の居心地の良い都市街路空間の道路幅(D)と建物軒高(H)、均整のとれた中庭の幅(D)と高さ(H)はほぼ等しい($D/H \approx 1$)というような経験則(例えば、岡田・高橋, 1988)もよく知られている。視距離や閉鎖度は、長さや容積の絶対値を用いた空間スケールであるが、上記の2例のように空間の鉛直断面における長さ(D)と高さ(H)の比(D/H)により、空間の閉鎖性あるいは開放性を評価する手法もある。これは、Lynch (1962)、Spreiregen (1965)らにより D/H 理論として提唱された。

種々の研究者による D/H の評価を表-3.1に示す。これによると、都市街路や庭園などの空間では $D/H \geq 2$ で比較的快適となり、公園等では $D/H \geq 4$ の場合に閉鎖性があまり感じられなくなることが分かる。 D/H 理論は評価が簡便であり、都市計画等でよく用いられている。ただし、ここで注意すべき点は D や H の絶対値の範囲である。 D/H 理論は、元々都市街路や公園の空間における閉鎖性を対象とした指標であるので、閉鎖性をもたらす対象は人家やビル等になる。したがって、 H の範囲は数mから数10mになる(図-3.4参照)。一方、図-3.4に見られるように D と H をともに変化させることにより様々な対象が同一の D/H をとることになる。しかし、同じ D/H であっても、間近にある壁と遥か遠くにある山岳とが同じ閉鎖性をもたらすとは考えられない。したがって、 D/H は、 H が数mから数10mの範囲に限り適用すべきと判断される。

表-3.1 D/H と閉鎖性の関係

D/H	閉鎖性の評価	引用文献	対象となる空間
8	閉鎖性の消失	Spreiregen, 1965	ボーージュ広場、ハンドーム広場
6	閉鎖性の下限	Spreiregen, 1965	
4	閉鎖性の減少	Lynch, 1962	カンポ広場
3			シャンゼリーゼ通り、サンマルコ広場
2	快適なD/H 離れた広々とした感じ	Lynch, 1962 芦原, 1962	バロックの都市、囲い庭
1.5			京の町家、ロンドンの伝統的な連続住宅
1	高さとの間に均整がある	芦原, 1962	ルネッサンスの都市、銀座通り
0.5	近接し狭苦しい感じ	芦原, 1962	中世の都市



図－3.4 距離Dと対象物の高さHとの関係

(4) 天空率

地上における日照の評価方法の1つとして、武井（1969）は天空率を提案した。天空率とは、ある地点を中心に持つ半球面に対する天空面の占める割合として定義され、これにより周囲の建築物等の密集度を評価することができる。天空率は、正射影型の魚眼レンズ付きのカメラにより、光軸を鉛直上方に向け撮影し、写真の全面積と天空面積との比により計測される（小木曾・武井，1966）。武井（1969）は、街路、交差点、広場の天空率を測定し、5段階の評価基準を示した（表－3.2）。A級は天空率75%以上の空間であり、パリやロンドンの中心広場（天空率90%以上）が該当し、比較的開けた街路がB級、日本の標準的な都市部の街路はC級、昼でも暗い密集街路はE級とされている。天空率の測定は比較的容易であり、また複雑な形状の境界壁に囲まれた空間にも適用することができる。

表－3.2 天空率の評価基準（武井，1969）

計画基準(級)	天空率の範囲(%)	該当する街路、広場等
A	75以上	シャンゼリゼ通り、一般の広場
B	75～50	パリ・ロンドンの交差点
C	50～30	一般的な密集度を持つ街路
D	30～15	密集度の高い街路
E	15以下	昼なお暗い超密集街路

(5) 建物量

広い広場でも、高い建築物の近傍に立つと圧迫感や閉鎖性が感じられる。このように、空間の広さの評価は空間自体の絶対的な評価のみでは不十分であり、知覚者の位置との関係においても評価する必要がある。知覚者の位置を考慮して構造物の規模や配置と、空間の閉鎖性との関係进行评估する場合には、模型実験がよく行われる。具体的には、対象とする空間の縮尺模型の中で超小型ファイバースコープを移動させ、ファイバースコープを通した映像を被験者に見せることにより対象空間に立った状態を想定して空間の閉鎖性を評価させる（例えば、谷口・松本，1979）。

知覚者の位置を考慮して構造物の規模や配置と空間の閉鎖性との関係进行评估する空間スケールに建物量がある。建物量は、知覚者の視点（高さ1.5mと仮定）を中心とする全球の立体角と建築物の立体角との比（％）により表わされる。岡田・高橋（1988）は建物量と空間の広さの関係を0次から3次の4段階に分類し評価した（表-3.3）。建築物の配置パターンとD/H（建物間隔/建物高）ごとに、平面的な建物量の分布を求めた例を図-3.5に示す（日本建築学会，1989）。各図では等建物量線が示されている。建物量は、建物から離れるにしたがい減少し、建物に囲まれる部分で特に大きくなることが明らかである。また、同一の配置パターンでは、D/H=2と4を比較するとD/Hが大きくなると建物量10の等建物量線は、建物に囲まれた部分に入り込み、この部分の建物量が減少することが分かる。このように、場所的な閉鎖性の変化を建物量により検討することが可能である。また、建物量を決めるのに必要な境界面の立体角は、境界面の形状が複雑な場合でも容易に計測できるので実用性も高いと考えられる。

表-3.3 建物量による空間規模の評価（岡田・高橋，1988）

建物量（％）	領域	広 さ の 評 価
0.5以下	0次	建物は風景に埋没され、意識されない。
0.5～2	1次	建物は風景の構成要素となり、意識される。
2～20	2次	風景の要素として大きすぎ、圧迫感を感じさせるなど、その場の状況によって建物が複雑な心理効果を与える。
20以上	3次	人々は建物の一部に入り込んだような感覚を持ち、関心は建物の外観よりも内部空間に向く。

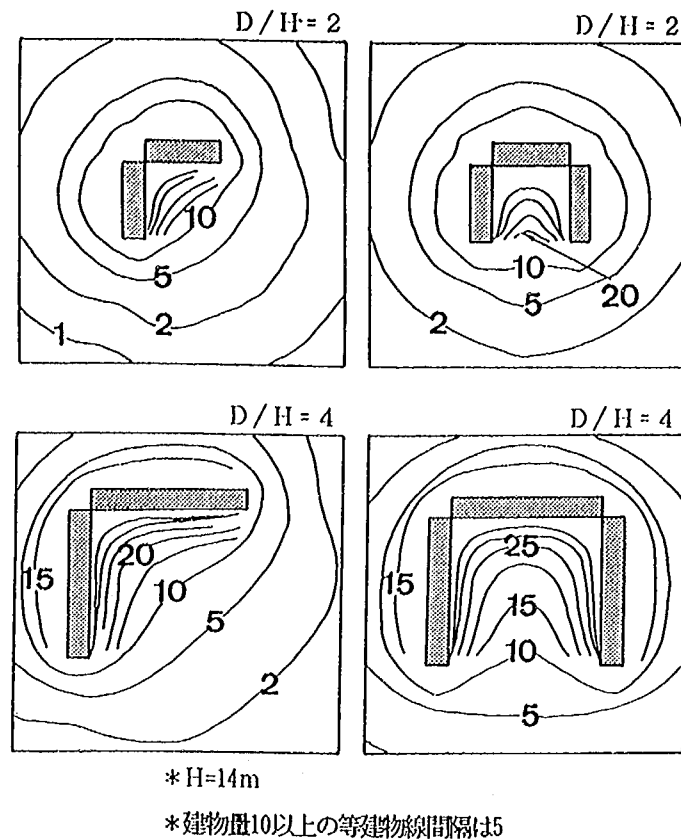


図-3.5 建物量の分布の例（日本建築学会編，1989）

(6) 歩行距離

人の行動範囲は、歩行、バス、電車等の行動手段によって異なる。これらのうち歩行に関しては、肉体的に歩行の限界を感じる距離、あるいは精神的に負担のない歩行距離は、行動空間に関する指標として1つの空間スケールになる。例えば、空間計画において歩行移動を前提とした施設配置や散策路の延長等を決定する場合には、歩行を快適と感じさせるための距離を考慮すべきと考えられる。

a) 既存の施設配置から求まる歩行距離

都市部の駅やバス停は、ほぼ500～1000mの間隔で配置されている（岡田ほか，1977）。都市部では駅やバス停に行くための手段は一般に歩行に限定される。駅やバス停の間隔の半分（250～500m）は歩行による移動が比較的容易な距離に相当すると考えられる。

盛り場の広さを表わすのに「盛り場八丁」という表現が使われる。これは、盛り場での歩行距離の限界が八丁（872m）であることを示すものと考えられている（岡田ほか，1977）。また、日本観光協会（1970）によると、観光地の遊歩空間は一般に半径450m以内であることが知られている。盛り場および観光地の広さは直径にして約900mの範囲が歩行からみて適当な広さと考えられる。

b) 目的別の歩行距離

駅やバス停まで容易に歩ける距離は250～500mであると前述したが、ハイキングでは1 km以上の距離でも歩行は容易である。このように、歩行距離は目的により変化し、徒歩そのものを楽しむ場合には歩行距離

はかなり長くなる。

岡田ほか（1977）、乾ほか（1985）の調査結果より、目的別の歩行時間距離と歩行空間距離の平均値を求めると表-3.4となる。日常・業務目的の歩行距離は、非日常・娯楽目的の歩行距離より短く、目的により歩行距離が異なることが裏付けられる。特に遊園地や観光目的での歩行距離は日常的な歩行距離よりかなり長い。

表-3.4 走行時間距離と走行空間距離の実測例

	歩 行 内 容	歩行時間距離(分)		歩行空間距離(m)
		平日	休日	
日常・業務目的	日常的な私用の歩行 ¹⁾	10.3	10.8	630*
	業務における歩行 ¹⁾	9.9	10.1	600*
	日常の買物時における目的地までの歩行 ²⁾	7.4		590
	日常の買物時における鉄道駅までの歩行 ²⁾	5.2		420
	日常の買物時におけるバス停までの歩行 ²⁾	4.0		320
非日常・娯楽目的	豊島園遊園地内での歩行 ²⁾	——		1500
	ユトレヒトにおける自宅からデパートまでの歩行 ³⁾	——		950
	ハーグにおける自宅からデパートまでの歩行 ³⁾	——		800
	非日常的買物、娯楽等での歩行 ¹⁾	11.2	13.4	740*
	観光レクリエーションにおける歩行 ¹⁾	12.2	17.2	800*

* 平日と休日の平均歩行時間より60m/minの歩行速度として計算

1) 京阪神都市圏パーソントップ調査委員会（1972）

2) 乾ほか（1977）

3) OECD（1975）

c) 歩行の限界距離

歩行しようとするとき、歩行距離がかなり長いことが分かっていると、歩行に対して拒絶感を感じる場合がある。これは、歩行の心理的な限界距離と呼ぶことができよう。歩行行動研究会（1975）を参考にすると、街路では歩行の心理的な限界距離は400mであり、風景等が魅力的な環境条件では520～600mになる。また、風雨から守られ空調の施された環境では歩行の心理的な限界距離は1500mにもなる。これに対し、風景等が魅力的ではあるが風雨から守られていない道では375mが心理的な歩行の限界距離とされている。以上のことから、かなり快適な環境では1km程度の歩行でも心理的な負担はなく、一般的な環境では400m程度が心理的に負担のない距離になる。

(7) 人間間距

広場での活動や公園での会話に必要な空間規模を考える場合、空間規模（この場合には面積）と人数との関係が非常に重要である。例えば、いかに広い広場であっても、ぎっしりと人が集まっている状態ではそこにいる人は広さを感じることはできないであろう。このような点は人と人との距離として心理学で扱われており、江山（1977）はこの距離を人間間距と呼んでいる。人間間距は様々な研究者により検討されており

(岡田・高橋, 1988)、それぞれの研究者により定義や表現方法が異なっている。それらの1例を図-3.6に示す。西出・高橋(1984)は人間間距を排他、会話、近接、相互認識の4段階に、Hall(1966)は密接、個体、社会、公共の4段階に分類し、さらに、各段階を近い相と遠い相に分けている。密接距離とは恋人を口説くような至近距離(近い相)から手と手を握れるような15~45cmの距離(遠い相)をさし、個体距離は、相手を捕まえらるる45~75cmの距離(近い相)から腕を伸ばして指を触れられる75~120cmの距離(遠い相)をさす。また、事務的な面談がなされる1.2~2.1mの距離(近い相)から会話の最適距離である2.1~3.6m(遠い相)を社会距離、他人と係わり合いを持たないような距離(近い相は3.6~7.5m、遠い相は7.5m以上)を公共距離と定義している。

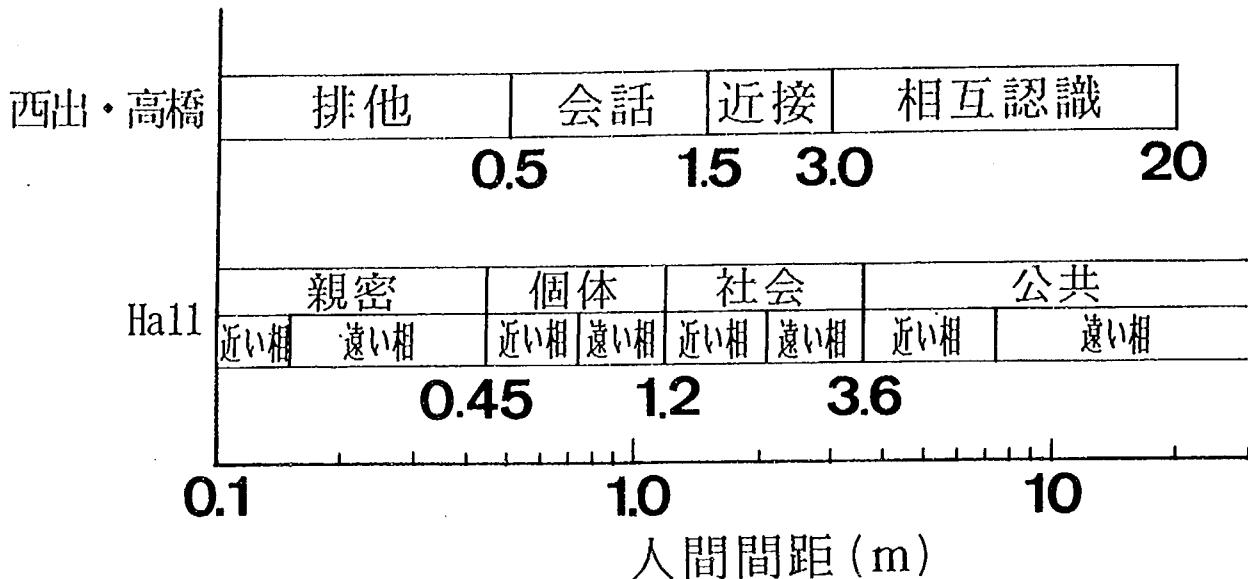


図-3.6 人間間距の分類

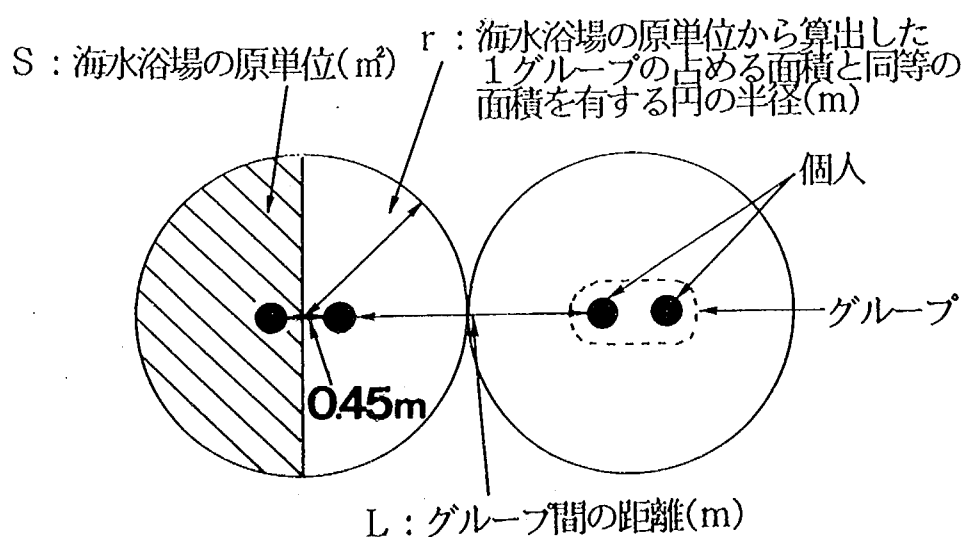
ここで、実際にグループ間の距離を様々な場所で調査した結果を調べてみる。京都鴨川の川辺においてカップル間の距離を調べた結果は5mであった(進士, 1970)。また、大阪大学の石橋キャンパスにおけるグループ間の距離は6m(岡田ほか, 1977)、明治神宮等の公園でのグループ間の距離は10.7m(進士, 1970)、館山海岸での海水浴客のグループ間の距離は3m(江山, 1977)である。以上のことより、各グループが会話等の行為を楽しむのに必要とされる独自の空間を確保する場合、他のグループと3~6m程度離れる必要があることが分かる。また、この距離はHallの定義する公共距離に相当する。

ここで、海水浴場の面積に関する原単位(一人当りの占有面積)を用いて、Hallの定義する公共距離との関係を検討してみる。鉄道会館(1975)、地域振興整備公団(1978)、日本観光協会(1974)による海水浴場の面積に関する原単位を用い、一般的なグループの人数を2~4人(岡田ほか, 1977)と仮定して、グループ間の距離を推算した結果を表-3.5に示す。計算は、グループ内の人間間距にHallの定義する個体距離の近い相(45cm)を用い、図-3.7に示す方法で行った。表-3.5によると、原単位より推算した海水浴場でのグループ間の距離は3.5~9.6mにあり、この結果もホールの公共距離に相当することが分かる。

会話を楽しむのに必要とされる独自の空間を確保する場合と同様に、他のグループの干渉を受けずに散策等の行動を楽しむ空間を確保する場合も考えられる。その一例として、尾瀬のハイキングコースでは、120m以上人が近づくと雰囲気は乱されるという調査結果（岡田ほか，1977）が得られている。自然景観や自然の雰囲気を楽しむというような行動目的では、非常に長い人間間距離が必要とされることが分かる。

表－3.5 海水浴場の面積原単位から算出したグループ間距離

海水浴場の原単位 (㎡/人)	グループ間の距離 (m)	引用文献
6	3.5～5.1	鉄道会館（1975）
10	4.6～6.7	地域振興整備公団（1978）
20	6.7～9.6	日本観光協会（1974）



$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{2s/\pi} \\
 L &= 2r - 0.45 \\
 &= 2\sqrt{2s/\pi} - 0.45
 \end{aligned}$$

図－3.7 海水浴場の面積原単位によるグループ間距離の算定方法

3.3 空間規模の評価法の分類

これまでに述べた種々の空間規模の評価法は、様々な考え方に基づいて提案されている。したがって、これらを海岸に適用しようとする場合には、適用目的に応じた評価法を選択する必要がある。そのためには、空間規模を評価する種々の空間スケールを分類整理しておくことと便利である。そこで、以上に述べた空間スケールの系統的な分類を試みた。

種々の空間スケールが評価の対象とする空間に注目すると、視距離、閉鎖度、 D/H 、建物量、天空率などの空間スケールは、地形や構造物等により制約される物理的な空間を対象としており、対象空間内にいる人の行動とは無関係に空間規模が評価される。したがってこれらの空間スケールは、物理的な空間規模を評価するグループに分類される。これに対して、歩行距離と人間間距は物理的な空間規模とは無関係に、歩行という行動や会話、景観鑑賞という行為に関連する距離を評価する空間スケールである。したがって、歩行距離と人間間距は、行動空間規模を評価するグループとすることができる。以上のように、文献調査で検討した空間スケールは大きく2つに分類される(図-3.8)。

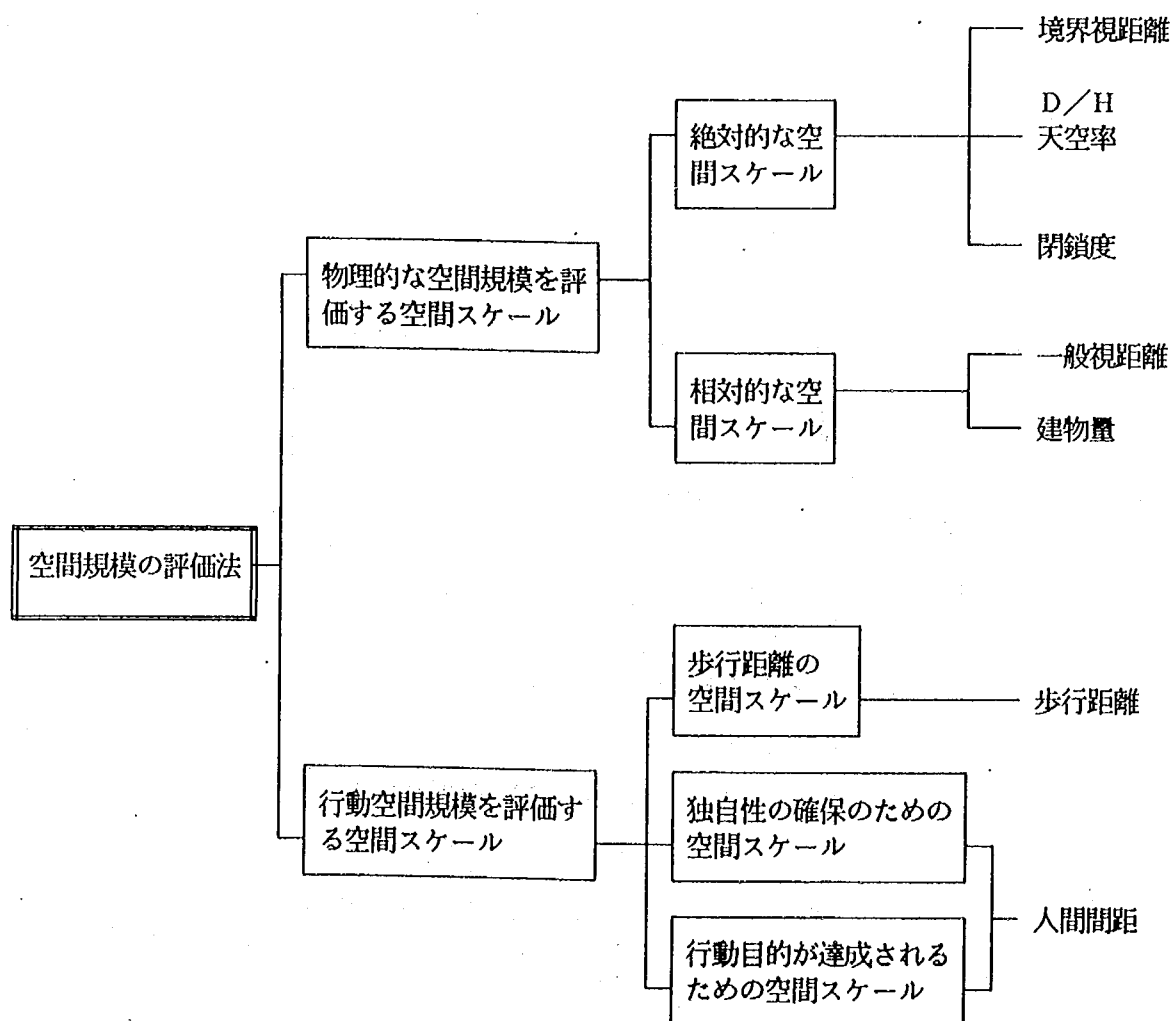


図-3.8 空間スケールの分類

次に、物理的な空間規模を評価する空間スケールの詳細分類を試みる。視距離、 D/H 、天空率、閉鎖度および建物量のうち、 D/H 、天空率、閉鎖度は人の位置とは関係なしに空間を形成する地形、構造物等の諸元から空間規模を絶対的に評価できる。したがって、これらは絶対的な空間スケールに分類される（図－3.8）。一方、空間は壁などの境界に区切られてその規模が定まることから、境界に視点を置いて、他の境界の見え方を利用して空間規模を絶対的に評価することも可能である。例えば、構造物に挟まれた空間で片方の構造物に視点を置いたときの一方の構造物の見え方により、構造物間の距離を評価できる。このように、空間の境界に視点を置いたときの視距離（境界視距離と呼ぶ）は、絶対的な空間スケールに分類される（図－3.8）。一方、任意の位置からの見え方により対象との距離を評価する視距離（一般視距離と呼ぶ）と、建物量とは空間を知覚する人の位置により空間規模の評価が相対的に変化する空間スケールである。したがって、これらは相対的な空間スケールと分類することができる（図－3.8）。

行動空間規模を評価する空間スケールは、快適な歩行や肉体的に歩行可能な距離を規定する歩行距離の空間スケール（歩行距離）、他の集団からの干渉を受けずに会話を楽しむために必要な独自性確保のための空間スケール（人間間距離）、ハイキング等の行動を他の集団から干渉されずに行いうるための空間スケール（人間間距離）に分類される（図－3.8 参照）。

3.4 種々の空間スケールの海岸への適用

ここでは、種々の空間スケールを海岸の空間規模の評価に適用する方法について検討する。

(1) 物理的な空間規模の評価

a) 絶対的な空間スケール

① D/H 、天空率

海岸にいる人が感じる「開放感」や「雄大さ」等の海岸の雰囲気は、海岸の空間規模に関連した心理表現であると推察される。このような海岸の広さ感をここでは海岸の開放性と呼ぶことにする。物理的な空間規模を評価する D/H や天空率は、もともと建物に囲まれた都市公園等の開放性を評価するものであるが、海岸の開放性の評価にも適用できると考えられる。 D/H は、海岸背後の海崖や山地、あるいは海岸堤防による海岸の閉鎖性を評価するのに用いることができると考えられる（図－3.9 参照）。公園における快適な D/H の値を参照すると、 D/H が4以上となれば閉鎖性があまり感じられなくなると思われる（表－3.1 参照）。ただし、対象とする空間の絶対的な規模（ D 、 H の大きさ）により、快適性の判断が変化するから、 H が数m～数10mの範囲外の場合には現地海岸で新たに検証することが必要とされる。

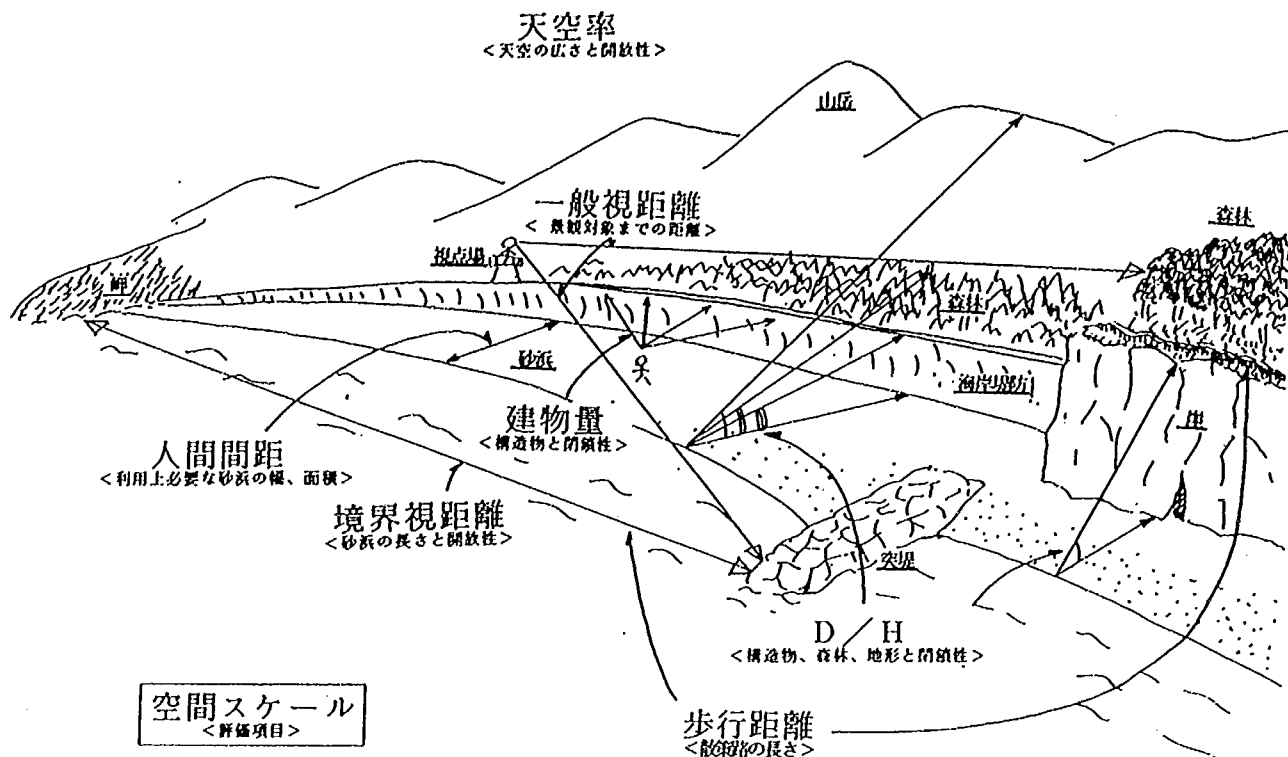


図-3.9 空間スケールの海岸への適用に関する模式図

例えば、ポケットビーチにおいて背後が山林等で取り囲まれている海岸と、直線状の海岸線を持ち、背後が平地の海岸において天空率を測定すると、両者の差は約30%もある。このように、天空率は海岸の開放性を表わす良い指標になると考えられる。既往の調査研究による天空率の評価は、都市部における街路や住宅地のように元々閉鎖された空間における開放性を評価するものであるから、評価対象は天空率の比較的小さな範囲が対象となっている（表-3.2参照）。しかし、海岸ではある程度大きな天空率の範囲で開放性を評価する必要がある。

② 境界視距離

沿岸方向に見たとき、海岸の境界となる岬や突堤等が大きく迫って見える場合と、遠くに霞んで見える場合とでは海岸の開放性は異なるはずである。この意味より、境界視距離も海岸の開放性を評価する空間スケールとして用いることができる。すなわち、建築物が都市景観として見える（1.2km以上、図-3.1参照）、あるいは樹木が遠景として見えるような境界視距離（3km以上、図-3.1参照）があれば、海岸線を分断するような構造物も海岸景観の一部として周囲の景観に溶け込み、海岸線の分断というイメージを与えなくても済むと考えられる（図-3.9参照）。例えば、延長の長い海岸線に数基の人工岬を設置する場合、人工岬の間隔をこのような視距離以上とすることにより、開放性をあまり失わずに済むはずである。

③ 閉鎖度

閉鎖度による3次元的な広さの評価に関しては、海岸における空間の容積を一般的に求めることは難しいことから、その適用はかなり難しい。

b) 相対的な空間スケール

① 一般視距離

一般視距離を海岸へ適用することは、景観としての樹木、建物、人等の見え方を論ずる場合に必要になると考えられる。すなわち、視点場の設定（図－3.9 参照）という観点から、良好な景観を必要とする宿泊施設や展望施設の配置計画を行う場合に、一般視距離は有効な空間スケールとなる。例えば、景観として樹木の効果を期待する場合には森林等が3 km以内にあることが望ましく、景観の対象として期待する建築物は1.2km以内、景観として好ましくない構造物は1.2km以上の距離にあることが望ましいようである（図－3.1 参照）。

② 建物量

建物量は海岸における閉鎖性の差を評価できる指標であり、閉鎖性の点から見た海岸のゾーニングや、各種利用施設の配置検討の際に有効と考えられる。例えば、海岸利用上必要な付帯施設（更衣室、管理施設等）を海浜に設置する場合、閉鎖性が高いと評価される場所に配置することにより、海浜をより狭く感じさせることのないような計画が可能となる。建物量は複雑な形状を有した海岸においても適用することができるので汎用性は高い。ただし、建物量は立体角比のみで評価されるので（表－3.3 参照）、D/Hと同様に壁面の絶対高さが考慮されていない。したがって、建物量の適用に当たっては、構造物の高さHの適用範囲を考慮する必要がある。建物量の定義から考えて、その適用範囲はD/H同様にHが数m～数10mであろう。

(2) 行動空間規模の評価

① 歩行距離の空間スケール

快適な環境下での歩行可能な距離の限界は1 km以下であり（前節「歩行距離」参照）、海岸での散策を施設計画等に取り込む場合には、海岸へのアクセスに必要な距離や砂浜の幅により支配される散策距離、あるいは海崖上の散策路の延長が1 km以内となるように計画する必要がある。また、心理的な歩行の限界距離は約400mであることから（前節「歩行距離」参照）、歩行により移動する必要のある施設間の距離は、この距離を考慮して設定する必要がある。

② 独自性確保および行動目的が達成されるための空間スケール

前節の「人間間距」で述べたように、Hallの公共距離は海水浴場の面積に関する原単位と整合する。このように、独自性の確保に必要とされる空間スケールは、海岸利用の面から見て砂浜や背後地に必要とされる面積を、人の行動空間の観点から検討する場合に利用することができる。利用の例を以下に示す（図－3.9 参照）。

① 海水浴場に必要とされる砂浜の面積の決定根拠

・・・独自性確保のための空間スケール（表－3.4 参照）

② ウォーターフロントにおける休息の場の面積、あるいはベンチの間隔の決定根拠

・・・独自性確保のための空間スケール

③ 自然景観の鑑賞、あるいはデート等の行動目的を確保するために必要な海岸の面積の決定根拠

・・・行動目的が達成されるための空間スケール

① は夏の海岸利用に、②、③は通年の海岸利用に関係する事例である。

3.5 結論

空間規模を評価するための各種の空間スケールに関する文献調査を行った。この結果次の結論を得た。

①各種空間スケールは、物理的な空間規模を評価する空間スケールと、行動空間規模を評価する空間スケールに大別される。前者はさらに絶対的な空間スケール（境界視距離、閉鎖度、 D/H 、天空率）と相対的な空間スケール（一般視距離、建物量）に分類される。また、行動空間規模を評価する空間スケールは、歩行距離の空間スケール（歩行距離）、独自性確保のための空間スケール（人間間距）、および行動目的が達成されるための空間スケール（人間間距）に分類される。

②一般視距離は良好な眺望を得られる視点場の配置計画に利用できる。樹木の景観効果を期待する場合には森林等が3 km以内に、景観対象として期待する建築物は1.2 km以内にあることが望ましい。逆に、景観対象として好ましくない構造物は1.2 km以上離すことが望ましい。

③境界視距離は、海岸に閉鎖性を生じさせない人工岬の配置計画を検討する際に利用できる。延長の長い海岸線の開放性をあまり失わずに数基の人工岬を設置する場合には、人工岬の間隔を1.2 km以上とする必要があると推察される。

④ D/H 、建物量は、高さが数mから数10mの範囲にある建物や地形であれば空間の閉鎖性を評価でき、海岸では海岸堤防や崖による空間の閉鎖性を評価する場合に適用できる。 D/H に関しては、 $D/H > 4$ が閉鎖性をあまり感じさせない目安になるものと思われる

⑤天空率は海岸の開放性を評価するのに有効な空間スケールである。ただし、開放性の判断基準には現地調査が必要とされる。

⑥歩行距離は、アクセス路や散策路の延長を決定する際に適用でき、海岸へのアクセス路や散策路は1 km以内にすることが1つの目安となる。また、利用施設間の歩行距離は約400m以内が望ましい。

⑦人間間距は、海岸利用上必要とされる砂浜や背後地の広さを決定する場合に適用できる。人間間距の点から見ると、海水浴や海岸での休息には、個々のグループ間の距離が約4 m以上あることが適当と考えられる。

参考文献

相賀徹夫編（1972）：大日本百科事典，第3巻，小学館，p. 326.

穂山貞登訳編（Proshansky, H. M. : Ittelson, W. H. & Rivlin, L. G. 編）（1987）：概念と研究態度（環境心理学1），誠信書房，180p.

芦原義信（1962）：外部空間の構成，彰国社，99p.

乾 正雄・長田泰公・渡部仁史・穂山貞登（1985）：環境心理（新建築学大系11），彰国社，303p.

宇多高明・小俣 篤・浅刈 享（1989）：海岸環境の構成要素および海岸の利用形態に関する研究，土木研究所資料，第2807号，51p.

- 宇多高明・小俣 篤・浅刈 享（1990）：明るさと海岸環境の関係，第37回海岸工学論文集，pp. 888～892.
- 江山正美（1977）：スケープテクスチャ，鹿島出版会，436p.
- OECD編、宮崎正訳（1975）：楽しく歩ける街，PARCO出版局，126p.
- 岡田光正・高橋鷹志（1988）：建築規模論（新建築学体系13），彰国社，269p.
- 岡田光正・吉田勝行・柏原志郎・辻 正矩（1977）：建築と都市の人間工学，鹿島出版会，313p.
- 小木曾定彰・武井正昭（1966）：正射影型魚眼撮影装置「OTスコープ」の考察，日本建築学会論文報告集，第119号，pp. 57～65.
- 京阪神都市圏パーソントリップ調査委員会（1972）：京阪神都市圏パーソントリップ調査報告書、現況解析編，564p.
- Hall, E. T., 日高敏隆・佐藤信行訳（1966）：かくれた次元，みすず書房.
- 篠原 修（1984）：土木景観計画（新体系土木工学59），技報堂出版，325p.
- Thiel, P., 船津孝行訳編（1977）：環境研究の方法（環境心理学6），誠信書房，147p.
- 進士五十八（1970）：造園設計に関する基礎的研究（第1報），造園雑誌，Vol. 33，pp. 22～29.
- 相馬一郎・佐古順彦（1976）：環境心理学，福村出版，161p.
- 相馬一郎編（1979）：デザインと環境，早稲田大学出版部，161p.
- 武井正昭（1969）：建築群密集状態の判定手段に関する研究，日本建築学会論文報告集，第162号，pp. 43～49.
- 谷口汎邦・松本直司（1979）：住宅地における建築群の空間構成と視覚的效果について，日本建築学会論文報告集，第280号，pp. 151～160.
- 地域振興整備公団（1978）：東瀬戸内錦海地区都市整備計画調査報告書，134p.
- 鉄道会館編（1975）：大都市周辺における海浜レクリエーションの構想計画，日本観光協会，145p.
- 西出和彦・高橋鷹志（1984）：対人距離の再考，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1463～1464.
- 戸沼幸市（1980）：人間尺度論，彰国社，272p.
- 日本観光協会（1970）：観光開発計画の手法，日本観光協会，399p.
- 日本観光協会（1974）：観光レクリエーション地区および観光施設の基準に関する調査研究Ⅱ－観光施設の基準－，日本観光協会，148p.
- 日本建築学会編（1989）：単位空間1（建築資料集成3），丸善，223p.
- 歩行行動研究会編（1975）：歩行行動に関する研究報告書，日本自動車工業会交通対策委員会，80p.
- Lynch, K. (1962) : Site Planning , M. I. T. Press, 384p .
- Maertens., H. (1884) : Der Optische-Maassstab, Ernst Wasmuth, 434p.
- Spriregen, P. D. (1965) : Urban Design, the Architecture of Towns and Cities , McGraw-Hill , 243p.

付 録

試験 I、II のデータ一覧表

阿字ヶ浦海岸の気温と風の条件

付表-2.1 試験Ⅰの環境条件 ($\overline{T_a}=23.7^{\circ}\text{C}$)

ケース番号	着衣量 (clo)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	相対 湿度 (%)	風速 (m/s)	S_r	S_c	24 $^{\circ}\text{C}$ に 補正し た S_r	$S_{c'}$	R_c	SET* ($^{\circ}\text{C}$)
I-111	0	24.5	76	0.1	3.8	3.8	3.3	3.9	0.08	20.0
I-112		24.3	65	0.7	3.8	4.0	3.6	3.9	0.13	16.8
I-113		23.6	78	1.1	3.3	3.3	2.4	3.1	0.14	15.0
I-114		24.5	62	2.0	3.0	3.5	2.8	3.5	0.14	14.6
I-115		23.2	80	3.0	1.3	2.5	1.54	2.5	0.16	11.9
I-211	0.4	24.7	76	0.2	4.3	3.5	3.9	3.3	0.04	24.2
I-212		24.3	65	0.7	4.3	3.5	4.1	3.3	0.08	20.5
I-213		23.5	83	1.3	3.3	3.8	3.4	3.6	0.10	18.6
I-214		24.7	62	2.0	3.5	4.0	3.2	3.8	0.09	18.7
I-215		23.5	80	3.0	2.3	3.3	2.4	3.1	0.11	17.1
I-216	0.8	21.8	75	4.5	1.3	2.5	2.0	2.5	0.14	14.1
I-217		23.3	80	6.0	1.5	2.5	1.7	2.6	0.12	15.9
I-311		24.3	80	0.3	5.8	2.8	5.7	2.2	0.01	26.2
I-312		24.2	65	0.7	5.3	2.3	5.2	2.6	0.03	23.5
I-313		23.9	82	1.3	4.3	3.8	4.3	3.3	0.04	22.6
I-314	1.2	24.4	62	2.1	4.8	3.5	4.6	3.0	0.04	21.8
I-315		23.3	80	3.0	4.3	3.3	4.5	3.3	0.06	20.7
I-316		21.6	75	4.5	2.3	2.5	3.0	2.1	0.09	18.3
I-317		23.2	80	6.0	2.5	2.3	2.8	3.2	0.07	19.7
I-411		24.4	64	2.0	6.3	1.5	6.1	1.8	-0.01	24.7
I-412	1.2	23.3	82	3.1	5.5	2.8	5.8	2.4	0.01	23.9
I-413		21.8	75	4.5	3.8	2.5	4.5	3.9	0.04	22.0
I-414		23.6	84	6.1	4.8	2.0	4.9	3.0	0.02	23.6
I-415		23.9	65	7.0	4.5	2.0	4.5	3.2	0.01	23.2

付表-2.2 試験Ⅰの環境条件 ($\overline{T_a}=28.2^{\circ}\text{C}$)

ケース番号	着衣量 (clo)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	相対 湿度 (%)	風速 (m/s)	S_r	S_c	29 $^{\circ}\text{C}$ に 補正し た S_r	$S_{c'}$	R_c	SET* ($^{\circ}\text{C}$)
I-121	0	26.0	75	0.1	5.3	2.0	7.0	2.6	0.06	21.7
I-122		28.6	62	1.2	4.3	3.0	4.4	3.3	0.07	20.5
I-123		26.8	75	3.6	2.8	2.8	3.5	3.4	0.12	17.0
I-124		27.1	72	6.0	2.0	2.0	2.6	2.9	0.12	16.7
I-221	0.4	27.8	70	0.1	6.0	2.0	6.7	2.5	-0.02	27.8
I-222		29.1	62	1.2	5.3	2.8	5.2	2.6	0.02	24.4
I-223		29.2	62	3.9	4.5	2.8	4.4	3.2	0.03	22.5
I-224		28.9	60	6.5	3.3	1.8	3.3	3.6	0.04	21.6
I-321	0.8	28.8	62	0.1	7.0	1.3	7.0	1.3	-0.08	30.8
I-322		28.5	62	1.2	6.3	2.0	6.5	1.8	-0.04	28.5
I-323		28.7	62	3.4	4.8	2.5	4.9	3.0	-0.01	25.2
I-324		28.5	64	6.2	4.3	2.5	4.4	3.3	0.00	24.4

付表-2.3 試験Ⅱの温冷感と快適感の記録 ($\overline{T_a}=23.7^{\circ}\text{C}$)

ケース番号	温 冷 感 の 点 数					快 適 感 の 点 数				
	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S _r	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S _c
I-111	4	4	3	4	3.8	4	3	4	4	3.8
I-112	4	4	4	3	3.8	4	4	4	4	4.0
I-113	4	3	3	3	3.3	3	4	4	2	3.3
I-114	2	3	4	3	3.0	4	4	3	3	3.5
I-115	1	2	1	1	1.3	3	2	4	1	2.5
I-211	4	5	3	5	4.3	4	3	4	3	3.5
I-212	4	5	4	4	4.3	4	3	3	4	3.5
I-213	4	3	3	3	3.3	4	3	4	4	3.8
I-214	2	4	4	4	3.5	4	4	4	4	4.0
I-215	2	2	2	3	2.3	3	2	4	4	3.3
I-216	1	2	1	1	1.3	3	2	4	1	2.5
I-217	2	2	1	1	1.5	3	3	3	1	2.5
I-311	6	6	5	6	5.8	3	3	4	1	2.8
I-312	5	5	5	6	5.3	3	2	2	2	2.3
I-313	4	4	5	4	4.3	4	4	3	4	3.8
I-314	4	5	5	5	4.8	4	3	3	4	3.5
I-315	5	4	4	4	4.3	2	4	3	4	3.3
I-316	2	2	3	2	2.3	2	3	3	2	2.5
I-317	2	4	3	1	2.5	2	3	3	1	2.3
I-411	7	6	6	6	6.3	1	2	2	1	1.5
I-412	6	5	5	6	5.5	3	3	3	2	2.3
I-413	4	4	4	3	3.8	2	2	3	3	2.5
I-414	5	4	4	6	4.8	1	3	2	2	2.0
I-415	4	4	4	6	4.5	2	2	3	1	2.0

付表-2.4 試験Ⅱの温冷感と快適感の記録 ($\overline{T_a}=28.2^{\circ}\text{C}$)

ケース番号	温 冷 感 の 点 数					快 適 感 の 点 数				
	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S _r	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S _c
I-121	6	6	5	4	5.3	1	2	2	3	2.0
I-122	6	4	4	3	4.3	4	3	3	4	3.0
I-123	2	3	3	3	2.8	2	3	3	3	2.8
I-124	2	2	2	2	2.0	2	2	2	2	2.0
I-221	6	6	6	6	6.0	2	2	2	2	2.0
I-222	6	6	5	4	5.3	3	2	2	4	2.8
I-223	6	4	5	3	4.5	2	3	3	3	2.8
I-224	6	3	2	2	3.3	1	2	3	1	1.8
I-321	7	7	7	7	7.0	1	1	2	1	1.3
I-322	7	7	5	6	6.3	1	1	4	2	2.0
I-323	6	5	4	4	4.8	2	2	3	3	2.5
I-324	6	4	4	3	4.3	1	3	3	3	2.5

付表-2.5 試験Ⅱの環境条件 ($T_a=21.2^{\circ}\text{C}$)

ケース番号	着衣量 (clo)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)	照度 ($\times 10^4 \text{ lux}$)	S_r	S_c
Ⅱ-111	0	21.6	42	1.5	6.7	2.8	3.0
Ⅱ-112		21.4	44	2.5	5.3	1.3	1.5
Ⅱ-211		22.1	45	1.0	6.3	4.0	3.3
Ⅱ-212	0.4	21.4	44	2.0	5.9	2.5	3.0
Ⅱ-213		21.5	46	3.2	4.7	2.0	2.0
Ⅱ-214		20.0	56	1.4	2.2	1.8	2.3
Ⅱ-215		21.6	61	1.7	1.3	2.0	2.3
Ⅱ-216		21.4	62	3.1	1.0	1.0	1.5
Ⅱ-311	0.8	23.0	42	2.7	4.2	3.5	3.3
Ⅱ-312		19.2	58	1.4	2.2	3.0	3.3
Ⅱ-313		20.0	57	2.5	1.7	2.5	3.3
Ⅱ-314		20.4	46	3.2	1.6	2.8	3.0
Ⅱ-411	1.2	21.4	57	2.0	1.6	3.5	3.0
Ⅱ-412		21.2	57	3.2	2.1	2.8	1.5

付表-2.6 試験Ⅱの環境条件 ($T_a=33.6^{\circ}\text{C}$)

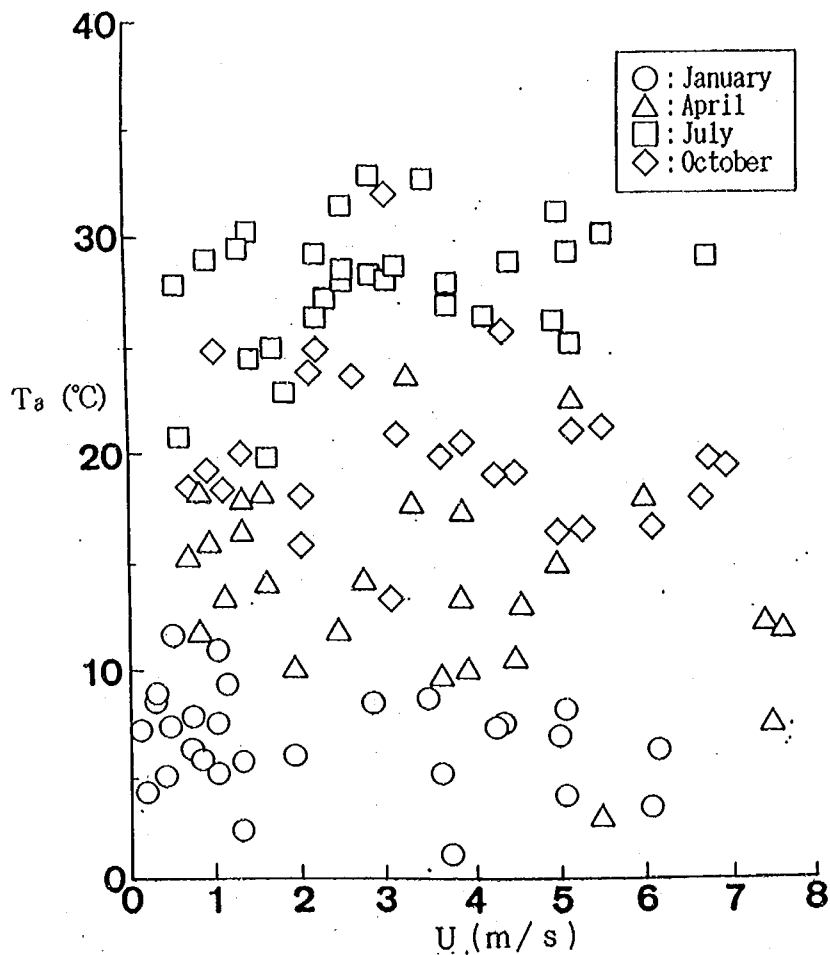
ケース番号	着衣量 (clo)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)	照度 ($\times 10^4 \text{ lux}$)	S_r	S_c
Ⅱ-121	0	35.5	50	1.4	8.7	7.0	3.3
Ⅱ-122		34.0	58	2.1	7.3	6.8	3.5
Ⅱ-123		34.0	58	2.8	6.3	6.8	3.5
Ⅱ-124		31.6	61	1.6	1.8	5.8	3.8
Ⅱ-125		31.0	59	1.9	1.5	5.0	3.5
Ⅱ-126		32.3	48	2.9	1.0	5.0	3.5
Ⅱ-221	0.4	35.3	48	1.6	9.7	7.0	2.0
Ⅱ-222		35.6	46	2.2	9.9	7.0	2.0
Ⅱ-223		36.0	41	3.2	8.9	7.0	2.5
Ⅱ-224		32.1	58	1.2	2.7	6.0	2.3
Ⅱ-225		33.4	46	1.6	1.5	6.0	2.8
Ⅱ-226		32.8	46	3.1	1.1	5.8	2.8

付表-2.7 試験Ⅱの温冷感と快適感の記録 ($T_a=21.2^{\circ}\text{C}$)

ケース番号	温 冷 感 の 点 数					快 適 感 の 点 数				
	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S_r	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S_c
Ⅱ-121	7	7	7	7	7.0	4	3	3	3	3.3
Ⅱ-122	7	7	7	6	6.8	4	3	4	3	3.5
Ⅱ-123	7	7	7	6	6.8	3	4	4	3	3.5
Ⅱ-124	6	6	6	5	5.8	3	4	4	4	3.8
Ⅱ-125	6	4	6	4	5.0	3	4	3	4	3.5
Ⅱ-126	6	5	4	5	5.0	3	3	4	4	3.5
Ⅱ-221	7	7	7	7	7.0	2	2	2	2	2.0
Ⅱ-222	7	7	7	7	7.0	2	2	2	2	2.0
Ⅱ-223	7	7	7	7	7.0	2	2	3	3	2.5
Ⅱ-224	6	6	6	6	6.0	3	2	2	2	2.3
Ⅱ-225	6	6	6	6	6.0	3	2	3	3	2.8
Ⅱ-226	6	6	6	5	5.8	3	2	3	3	2.8

付表-2.8 試験Ⅱの温冷感と快適感の記録 ($\overline{T_a}=33.6^{\circ}\text{C}$)

ケース番号	温 冷 感 の 点 数					快 適 感 の 点 数				
	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S_T	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	S_c
Ⅱ-111	2	2	2	3	2.3	4	3	2	3	3.0
Ⅱ-112	1	2	1	1	1.3	2	2	1	1	1.5
Ⅱ-211	2	4	5	5	4.0	3	3	3	4	3.3
Ⅱ-212	2	4	2	2	2.5	2	4	3	3	3.0
Ⅱ-213	2	2	2	2	2.0	2	2	2	2	2.0
Ⅱ-214	2	1	2	2	1.8	3	2	2	2	2.3
Ⅱ-215	2	2	2	2	2.0	3	3	1	2	2.3
Ⅱ-216	1	1	1	1	1.0	2	2	1	1	1.5
Ⅱ-311	4	4	3	3	3.5	3	3	3	4	3.3
Ⅱ-312	3	3	3	3	3.0	4	3	3	3	3.3
Ⅱ-313	2	3	2	3	2.5	2	3	2	2	3.3
Ⅱ-314	3	4	2	2	2.8	3	4	2	3	3.0
Ⅱ-411	4	4	4	2	3.5	3	3	4	2	3.0
Ⅱ-412	2	4	3	2	2.8	1	3	1	1	1.5



付図-2.1 阿字ヶ浦海岸における T_a と U の関係 (1984年1、4、7、12月)

海岸の温熱環境と快適性の関係および海岸の空間規模の評価法に関する研究

ISSN 0386-5878
土研資料第2939号
平成3年3月(1991)
建設省土木研究所
河川部海岸研究室

要 旨

海岸の温熱環境と快適性の関係を検討するために、温度、湿度、風速および日射量等により定まる温熱指標を文献調査によって調べるとともに、風洞内および屋外において体感試験を実施した。これらの結果より、海岸などの屋外環境にも適用が可能な、快適性から見た温熱環境の判定基準を作成した。また、海岸の空間規模を評価する上で必要とされる種々の空間スケールに関して文献調査を行い、これに基づいて空間スケールの分類整理を試みた。更に、海岸の空間規模を評価することへのこれら空間スケールの適用性について述べた。

キーワード：海岸環境、快適性、温熱環境、風洞試験、体感試験、空間規模、空間スケール

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
河川部海岸研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第2939号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 ④

○

土木研究所資料第2939号