

海岸環境に適用可能な温熱指標

An Index Applicable for judging Thermal Comfort
of Coastal Environment

宇多高明*・小俣 篤**・浅対 享***

By Takaaki Uda*, Atsushi Omata** and Akira Asatasui***

Wind tunnel and outdoor experiments were carried out to study an index applicable for the judgement of the thermal comfort of coastal environment. A new thermal comfort index was developed under steady wind conditions ($1\text{m/s} < U < 4.5\text{m/s}$, U : wind velocity) in a large scale wind tunnel by improving the criteria given by Penwarden. It is found that the ASHRAE standard effective temperature may overestimate the cooling effect by wind under the condition $U > 4.5\text{m/s}$. The effects of sunshine and wind unsteadiness were introduced in the thermal comfort index. Thermal comfort on the Ajigaura Coast was examined by using this new thermal index.

Keywords: Coastal environment, Thermal comfort, Wind tunnel experiment, Outdoor experiment

1. 研究目的

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；小舟，1989；灘岡・徳見，1988）。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；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。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、海岸の雰囲気をこれら個々の感覚ごとに区別して捉えるべきことを示した。本研究はこれらの研究の一環であり、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検討する。

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。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）や快適、不快等の感覚（快適感）などを持つようになる。室内の温熱環境の評価方法には不快指数（Thom, 1959）や新有効温度（Gagge et al., 1971）などがあり、これらは目的に応じて使い分けられている。屋外では強い日射により温冷感が変化し、また、風による冷却効果も大

キーワード：海岸環境、快適性、温熱環境、温熱指標、風洞実験、体感試験

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 同 研究員

*** 正会員 同 元部外研究員

（現 ㈱フジタ 開発設計部）

（〒305 つくば市大字旭一番地）

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。Penwarden (1973) は、これらの環境因子により屋外の温熱環境を総合的に評価する指標を提案している。

本論文では、温熱環境に関する体感試験を行うことにより、Penwarden の提案した温熱指標の適用性について調べ、それに修正を加えることによって快適域判定のための新たな温熱指標を提案する。また、これにより実海岸の温熱環境の評価を試みる。

2. Penwarden の温熱指標

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。Penwarden (1973) はこの温熱指標の環境条件に日射量を加えて新たな温熱指標を提案した。Penwarden の用いた熱平衡式は次式で与えられる。

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

ここに、 T_b : 体内温度 ($=37^{\circ}\text{C}$)、 T_a : 気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 M/A : 運動量により定まる体表面 1m^2 当りの熱代謝率 (W/m^2)、 R_b : 人体の熱抵抗値 ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$)、 R_{cc} : 着衣量 (clo)、 U : 風速 (m/s)、 S : 日射による受熱量 (W/m^2) である。

Penwarden は、寒さによる震え、あるいは暑さによる発汗を生じない生理状態を快適と定義し、人体の熱抵抗値を用いてその条件を $R_b = 0.04$ (発汗の始まり) ~ 0.09 (震えの始まり) と表わした。これによれば、気温、風速、運動量、着衣量、日射量の条件が与えられると、その環境の快適性を判定できる。しかし、この指標は体感試験等による検証がなされていないことが問題点として指摘される。

3. 温熱環境に関する体感試験

3.1 試験方法

(1) 試験 I (風洞試験)

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ことを目的とし、幅 6 m、高さ 3 m、長さ 24 m の矩形断面を有する大型風洞を

表-1 体感試験の条件

設定項目	試験 I (室内)	試験 II (屋外)
気温 ($^{\circ}\text{C}$)	21.6~23.2 高温: 23.7 (標準偏差 0.9) 低温: 20.7 (標準偏差 1.0)	19.2~26.0 高温: 21.2 (標準偏差 0.9) 低温: 23.6 (標準偏差 1.6)
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 (海水パンツのみ)、0.4 (夏の軽装)、0.8 (作業の上下)、1.2 (作業組の上下と防寒着)	

表-2 温冷感と快適感の段階

温冷感		快適感	
評価段階	評価内容	評価段階	評価内容
1	寒い	1	不快
2	涼しい	2	やや不快
3	少し涼しい		
4	中立	3	やや快適
5	少し暖かい		
6	暖かい	4	快適
7	暑い		

用いて、1990年6月25、26日、7月2日の3日間で行った。試験は気温条件が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、着衣条件を4ケース設定した。各条件の設定範囲を表-1に示す。

試験方法は、青年男子4名の被験者が室温約 25°C 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。その直後30秒以内に表-2に示す段階により温冷感・快適感の評価した。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 値は衣服の重ね着による影響を考慮したASHRAE (1981) の提案式を用いて算出した。

(2) 試験 II (屋外試験)

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。屋外の試験場所には、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幅約5mの通路を選んだ。試験は、1990年8月8、20日、10月11、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2ケース変化させている。日射の条件は、晴れの日に日なたと日陰に試験場所を変えることにより2ケース設定した。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化させた。各条件の設定範囲を表

-1に示す。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。

3.2 試験Ⅰ（風洞試験）の結果

(1) 温冷感および快適感の支配要因

各環境条件の温冷感と快適感を調べるために、各被験者が評価した温冷感の評価段階を平均した値 S_T と、快適感の評価段階を平均した値 S_C を求めた。気温条件は2ケース設定されているが、同じケースでも気温はわずかに異なる（表-1参照）。気温は温冷感に大きく影響するため、 $S_T \cdot S_C$ と風速・着衣量の関係は一定の気温条件の下で調べる必要がある。そこで、気温と S_T の関係を線形近似して補正し、気温条件を $T_a=24^\circ\text{C}$ と $T_a=29^\circ\text{C}$ に統一した。 $T_a=24^\circ\text{C}$ における S_T と U の関係を図-1に示す。いず

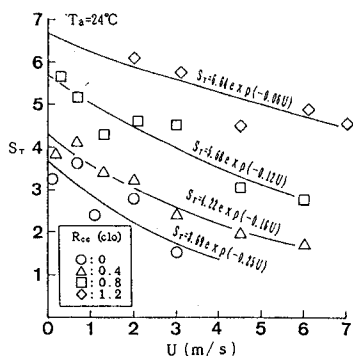


図-1 S_T と U の関係 ($T_a=24^\circ\text{C}$)
($S_T=1$:寒い, 2:涼しい, 3:やや涼しい, 4:暑くも 寒くもない, 5:やや暖かい, 6:暖かい, 7:暑い)

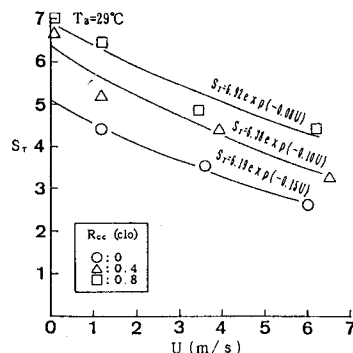


図-2 S_T と U の関係 ($T_a=29^\circ\text{C}$)
(S_T の凡例は図-1に同じ)

れの着衣量においても U が増加すると S_T は減少する対応関係が見られ、風による冷却効果が明らかである。 $T_a=29^\circ\text{C}$ の場合（図-2）も同様に S_T と U は良好な対応関係を示している。試験値を用いて S_T と U の関係を求めると着衣量ごとに相関係数 $\gamma = 0.84 \sim 0.98$ で図中の回帰式が得られる。これらより、作業状態を直立静止状態とした場合、温冷感は気温、風速、着衣量の条件に支配されることが明らかである。

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、 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たときの S_C と S_T の関係を図-3に示す。 $U < 4.5 \text{ m/s}$ のデータは着衣量にかかわらず $S_T \approx 4$ をピークとした山形の分布となり、 S_C と S_T が対応していることが分かる。 $U \geq 4.5 \text{ m/s}$ では全てのデータで $S_C < 3$ となり、「やや快適」以上の快適感には得られない。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（例えば、Lawson and Penwarden, 1975）。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。試験Ⅰの結果によると、 $U \geq 4.5 \text{ m/s}$ 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であると言える。

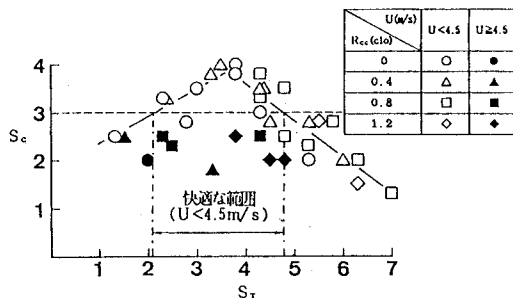


図-3 S_C と S_T の関係
($S_C=1$:不快, 2:やや不快, 3:やや快適, 4:快適, S_T の凡例は図-1に同じ)

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 (図-3 参照)。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。

(2) 試験結果による Penwarden の温熱指標の評価

Penwarden (1973) は、式(1)中の R_b の範囲を $0.04 \leq R_b \leq 0.09$ として快適域を設定している。そこで、試験 I 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。式(1)より各試験条件の R_b を求め、 S_c と R_b の関係としてまとめると図-4 となる。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。

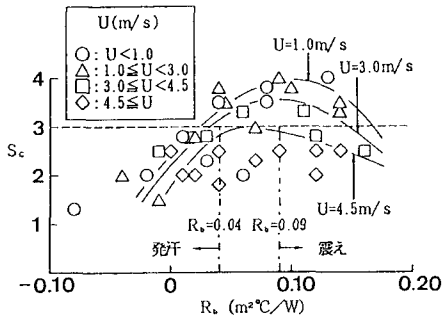


図-4 S_c と R_b の関係

($S_c=1$:不快, 2:やや不快, 3:やや快適, 4:快適)

そこで、ここで得られた R_b の範囲を利用して Penwarden による温熱指標の快適域の修正を試みる。まず、風の力学的影響により $U > 4.5\text{m/s}$ 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、式(1)より快適な範囲の T_a と U の関係を逆算する。 $R_{cc}=0, 0.4\text{clo}$ における修正快適

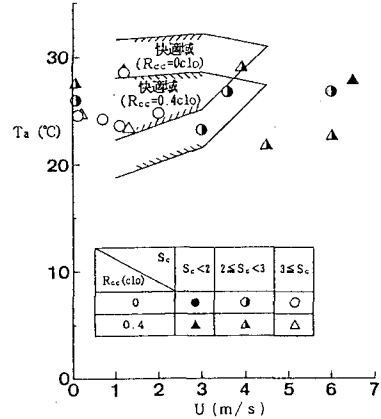


図-5 試験 I により修正された快適域と試験結果との比較 ($R_{cc}=0, 0.4\text{clo}$)

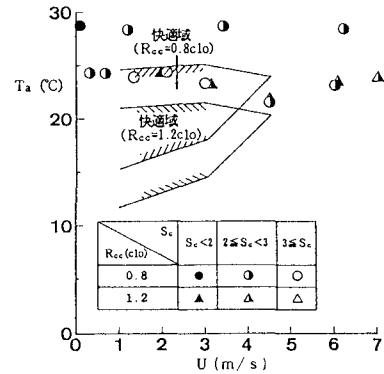


図-6 試験 I により修正された快適域と試験結果との比較 ($R_{cc}=0.8, 1.2\text{clo}$)

域と試験結果を図-5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 $R_{cc}=0.8, 1.2\text{clo}$ について修正快適域の範囲と試験結果を図-6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。

ところで、アメリカ空調学会では新標準有効温度 $S E T^*$ (Gagge et al., 1971; 1976) を基準とし

ている。そこでこの指標と試験結果の比較を試みたところ、 $U > 1.0 \text{ m/s}$ の範囲においては、 $SE T^*$ は風による冷却効果を過大に評価することが明らかとなった（宇多ほか，1991）。

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式（1）中の右辺第4項で、日射量と風速の関数として表わされている。しかし、Penwardenの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-5、6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 $U = 1 \text{ m/s}$ における快適域の上限・下限気温の平均値（基準気温 $T_{a,r}$ ）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（規準化した気温 T_a^* ）を求めることにより、着衣量の影響のない快適性の評価を行うことができる。 S_c と日射量 L_s ごとにデータを区別し、気温が低い条件の $T_a = 21.2^\circ\text{C}$ の各ケースについて T_a^* 、 U および S_c の関係を図-7に示す。快適域の上限値に関してはデータが少な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は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（表-1）。したがって、下限Cと試験Ⅰより求めた下限とを比べると低照度の方が低い気温で「快適」な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。

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）、斉藤ほか（1990）は、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。したがって、試験Ⅱにより得られた快適域の下限値に風向風速の非定常性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。

次に、気温の高い条件である $T_a = 33.6^\circ\text{C}$ の各ケースについて、 $T_a = 21.2^\circ\text{C}$ の場合と同様に T_a^* 、 U および S_c の関係を図-8に示す。照度の条件に係

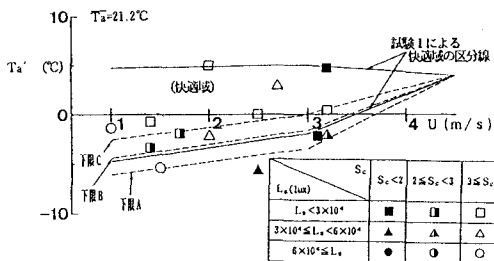


図-7 試験Ⅰより求めた快適域と試験Ⅱ（屋外試験）の結果との比較（ $T_a = 21.2^\circ\text{C}$ ）

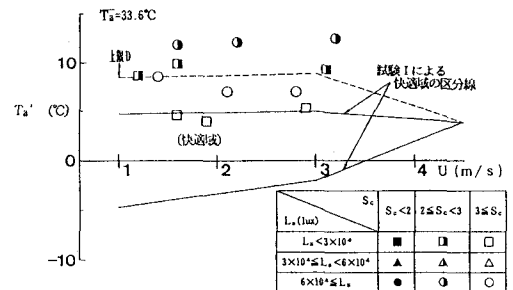


図-8 試験Ⅰより求めた快適域と試験Ⅱ（屋外試験）の結果との比較（ $T_a = 33.6^\circ\text{C}$ ）

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、 $\overline{T_a} = 21.2$ °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-8に示す上限D（破線）のように与えられる。

ここで、日射と非定常風の影響を考慮した図-7、8に示す快適域の区分の適用性を、各着衣量ごとに調べてみる（図-9、10）。 $R_{cc} = 0$ clo の場合（図-9の上段）、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、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。 $R_{cc} = 0.4$ clo の場合（図-9の下段）、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、

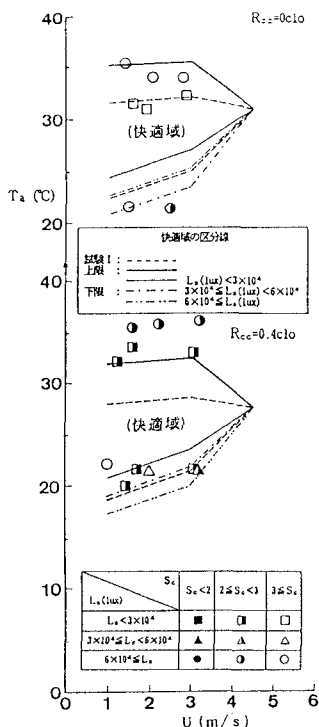


図-9 日射と風向風速の非定常性による快適域の変化と、試験Ⅱの結果との比較
($R_{cc} = 0, 0.4$ clo)

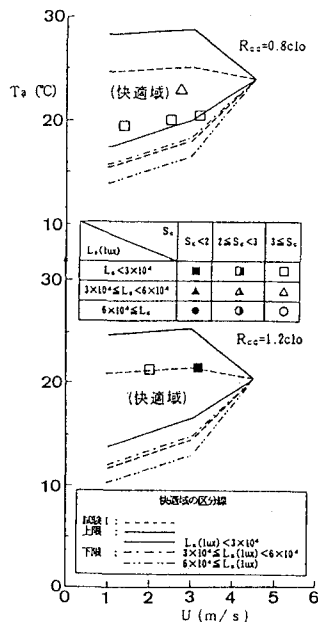


図-10 日射と風向風速の非定常性による快適域の変化と、試験Ⅱの結果との比較
($R_{cc} = 0.8, 1.2$ clo)

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。

$R_{cc} = 0.8$ clo, 1.2 clo の場合（図-10）には、データ数が少なく、 $S_c < 3$ のデータは $R_{cc} = 1.2$ clo 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、着衣量が増せば体表面が厚く被覆されることから、風により生ずる体表面でのせん断力や圧力の時間変動は体表面に影響しなくなり、風の非定常性によってもたらされる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明確に設定することはできないものの、 $R_{cc} = 0.8$ clo, 1.2 clo 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。風洞試験と屋外試験の結果より求めた快適域をまとめて

図-11に示す。

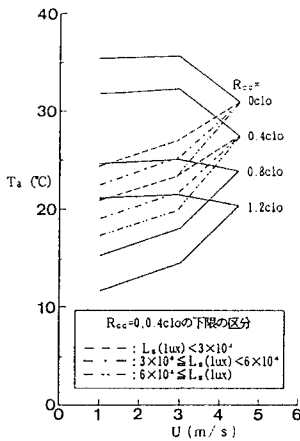


図-11 本研究で提案する温熱指標

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-11)を用い、茨城県の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。評価を行うための代表時期としては1984年1、4、7、10月を選び、1日のうち気温が比較的高い15時における快適性を評価した。気温には水戸气象台で計測された日最高气温(気象庁, 1984)を、風速には当海岸の地上4mの高さに設置されているプロベラ式風速計で得られた10分間平均風速を用いた。図-11を用いる場合、 $U < 1 \text{ m/s}$ では快適性を評価できないが、 $U < 1 \text{ m/s}$ のデータは1月以外の月では少なく、また1月は気温が低く明らかに快適域から外れるデータが多ことから、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。曇りに相当する $3 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s < 6 \times 10^4 \text{ lux}$ の条件のPを図-12に示す。1月は気温がかなり低くいずれの着衣量でも $P = 0\%$ である。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

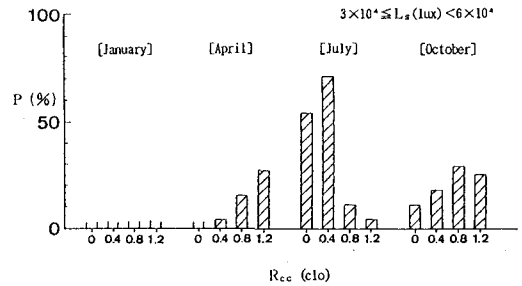


図-12 阿字ヶ浦海岸における各月のPと着衣量の関係 ($3 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s < 6 \times 10^4 \text{ lux}$)

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 clo 、 0.4 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。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。

次に、晴を想定した $6 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s$ の条件のPを図-13に示す。全体としては図-12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。すなわち、着衣量の少ない場合には、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」な快適感が得られるようになることが表われている。

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

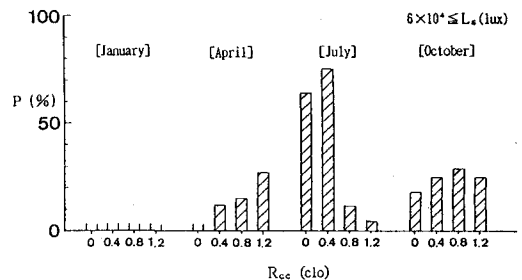


図-13 阿字ヶ浦海岸における各月のPと着衣量の関係 ($6 \times 10^4 \text{ lux} \leq L_s$)

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。

5. 結論

屋外の温熱環境を総合的に評価したPenwardenの温熱指標について、体感試験によりその適用性を調べ、次の結論を得た。

- ①Penwardenの提案した快適域を修正することにより、日射のない定常風 ($1\text{ m/s} \leq U < 4.5\text{ m/s}$) の条件下に適用可能な温熱指標を得た (図-5, 6)。
- 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-11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

- 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 (1991) : 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, 土木研究所資料, 第2939号, 64p.
- 気象庁 (1984) : 気象庁月報 (1, 4, 7, 10月), 気象庁, 89p.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- ASHRAE (1981) : ASHRAE Handbook of Fundamentals, ASHRAE.
- 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.
- Humphreys, M. A. (1970) : A simple Theoretical Derivation of Thermal Comfort Conditions, J. Inst. Hest. 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.
- Thom, E. C. (1959) : Facts Behind the Weather Index, Industrial Development.