

日射の波長特性が感覚量に与える影響に関する研究  
 Study on the Effects of Spectral Properties of Solar Radiation on Thermal Sensation

ライフサイエンス専攻 9840424 高木 理佐

1. はじめに

屋外環境や半屋外環境では、人間は日射により皮膚や受容器に刺激を受けるため、温熱環境要素の一つとして、日射を考慮した評価をする必要がある。しかし、日射により人体が受ける感覚、波長特性については不明な点が多く残されている。また、現在利用されている PMV、SET\*などの温冷感指標では、日射の定式化を行っていない。また、波長特性を考慮しておらず、部分的に日射が照射されても均等に照射分布するとし、面積重み付け処理している場合が多い。本研究では、特に波長の相違による感覚量及び生理量への影響を定量的に評価することを目的とし、異なる波長帯放射の被験者の手背への照射実験を行った。

2. 従来の研究

波長特性が温熱感に与える影響に関して、松井<sup>1)</sup>は 0.72-2.7 $\mu\text{m}$ 、1.5-4.8 $\mu\text{m}$ 、6-10 $\mu\text{m}$  の赤外線を手背と頬に照射する実験を行い、短波長の赤外線に比べ長波長のそれが皮膚に強い温熱感を与えたと報告している。これは、2 $\mu\text{m}$  以上の中・遠赤外線は照射された波長の大部分が 1mm 以内の皮膚で熱に変わり、その部位の温受容器を強く刺激するが、2 $\mu\text{m}$  未満の赤外線は皮膚の反射率が高く皮膚内に入射する量が少ない、透過率が高く熱に変わるのが温受容器の位置より深く温受容器への効果が少ない為である<sup>2)</sup>と考察している。

また、昨年度までの被験者実験結果から、可視域・中赤外域放射は、近赤外域放射よりも強い温熱感を与えることがわかっている<sup>3,5)</sup>。

3. 被験者実験方法

実験は、1999年10月2日~10月26日、お茶の水女子大学生活科学部人間環境制御室において行った。

光源として人工太陽灯(セリック社 SOLAX XC-500B)を用いた。表1にフィルタ透過特性、表2に照射条件、図1に実験装置を示す。ここで「照射温度」とは「環境の空気温度に有効放射温度を加えた黒体受照面温度」を意味する。環境は SET\*=25°Cとなるように制御した。図2に実験室平面図、図3に実験風景を示す。

生理的測定としては、2・3回目照射時に、銅-コンスタンタンシート熱電対で両手背照射部位の皮膚温を1秒毎に測定した。

心理的測定としては、左右手背の温熱感、快不快感、刺激感、受容度について、申告用紙を用いて申告させた(照射1回目)。図4に照射部位における温熱感・刺激感申告用紙の一部を示す。各条件の照射開始直前・終了直後には、全身温冷感、快不快感、熱的受容度、寒暑感申告をさせた。2・3回目の照射時は、右手の熱さが左手と同程度に感じられた時及び右手に痛さを感じ始めた時に押しボタンにより申告させた。

表1 フィルタ透過特性 表2 照射条件

| 透過波長域                       | 波長*<br>[ $\mu\text{m}$ ] | 照射波長域 | 照射温度<br>[°C] | 照射口直径<br>[cm] | 照射熱量                |      |
|-----------------------------|--------------------------|-------|--------------|---------------|---------------------|------|
|                             |                          |       |              |               | [W/m <sup>2</sup> ] | [W]  |
| 可視域                         | 0.30-0.84                | 右手    | 50           | 4             | 948                 | 4.64 |
| 近赤外域                        | 0.80-1.35                |       |              | 6             | 905                 | 9.97 |
| 中赤外域                        | 1.70-2.30                |       | 4            | 1186          | 5.81                |      |
|                             |                          |       | 6            | 1132          | 12.48               |      |
| *分光測定を別途行い、透過率1%以上を透過範囲とした。 |                          |       | 50           | 4             | 948                 | 4.64 |
|                             |                          | 左手    | 50           | 4             | 948                 | 4.64 |

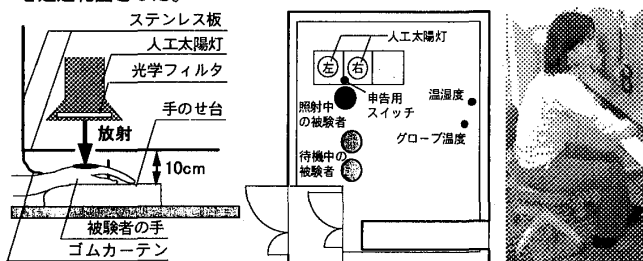


図1 実験装置 図2 実験平面図 図3 実験風景

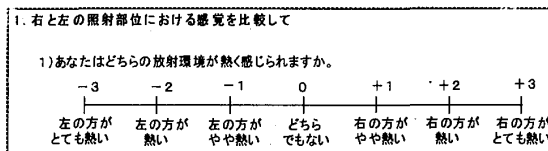
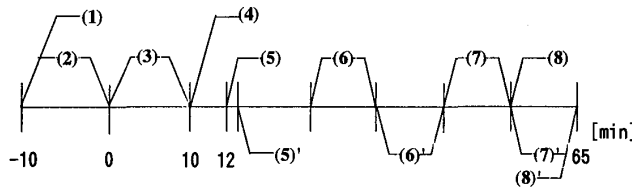


図4 照射部位における申告用紙(抜粋)

図5に実験手順、表3に被験者体軀を示す。1回目の照射時間は30秒間となるように実験者が照射口を開閉した。照射部位における温熱感申告終了後、シート熱電対を貼付した。2・3回目の照射では、先ず左手背にリファレンス放射を照射し、2分後右手背への照射を開始した。照射中、熱さや痛さの申告を行った。皮膚温測定時の右手背への照射時間は、1回の照射につき最大6分とし、被験者が熱さや痛さを耐え難く感じたときは、その時点で照射曝露を終了した。その後、照射後の全身温冷感申告を行った。第1条件終了後、椅座静位より同様の手順で第2条件、第3条件の実験を行い、3条件終了後実験室を退室した。



- (1): 実験室入室 (5), (5)': 被験者 A, B 1 回目照射
- (2): 実験についての説明、体温測定 (6), (6)': 被験者 A, B 2 回目照射, 皮膚温測定
- (3): 椅座静位 (7), (7)': 被験者 A, B 3 回目照射, 皮膚温測定
- (4): 照射前全身温冷感申告 (8), (8)': 被験者 A, B 照射後全身温冷感申告

図5 実験手順

表3 被験者体軀 ( ) Standard Deviation

| Group       | Sex    | No | Average-Age | Height [cm]  | Weight [kg] | Body Surface Area [m <sup>2</sup> ]* |
|-------------|--------|----|-------------|--------------|-------------|--------------------------------------|
| College-Age | Male   | 10 | 22.0 (0.82) | 173.2 (4.85) | 57.6 (4.09) | 1.70 (0.07)                          |
|             | Female | 10 | 22.7 (1.25) | 161.9 (5.09) | 52.1 (5.82) | 1.55 (0.09)                          |

\*calculated by Takahira's Equation  $A=72.46W^{0.425} \times H^{0.725}$

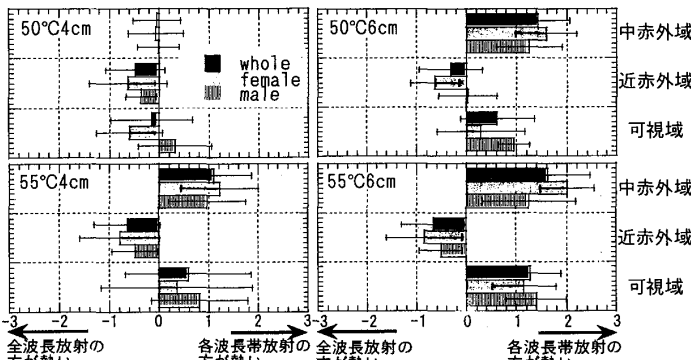


図6 照射部位温熱感申告結果

表4 熱さ・痛さ申告時間と皮膚温

| 照射条件        | 申告の種類      | 可視域   |       | 近赤外域  |       | 中赤外域  |       |
|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |            | 女性    | 男性    | 女性    | 男性    | 女性    | 男性    |
| 50°C<br>4cm | 熱さ時間 [s]   | 52.6  | 46.2  | 138.7 | 144.1 | 29.7  | 62.9  |
|             | 痛さ時間 [s]   | 177.3 | 302.9 | 360.0 | 330.2 | 154.5 | 294.6 |
|             | 痛さ皮膚温 [°C] | 38.5  | 39.4  | 37.5  | 37.9  | 39.4  | 39.8  |
| 50°C<br>6cm | 熱さ時間 [s]   | 35.5  | 45.5  | 80.2  | 116.4 | 14.6  | 43.1  |
|             | 痛さ時間 [s]   | 148.2 | 302.2 | 286.3 | 311.2 | 60.1  | 187.9 |
|             | 痛さ皮膚温 [°C] | 38.9  | 40.6  | 38.3  | 39.4  | 39.5  | 41.7  |
| 55°C<br>4cm | 熱さ時間 [s]   | 30.3  | 52.2  | 143.0 | 84.6  | 21.9  | 36.9  |
|             | 痛さ時間 [s]   | 156.9 | 282.8 | 324.4 | 328.3 | 79.0  | 238.5 |
|             | 痛さ皮膚温 [°C] | 39.8  | 40.4  | 38.4  | 39.1  | 39.7  | 41.1  |
| 55°C<br>6cm | 熱さ時間 [s]   | 13.8  | 29.8  | 72.8  | 118.1 | 8.9   | 41.4  |
|             | 痛さ時間 [s]   | 117.0 | 168.1 | 297.7 | 323.5 | 53.4  | 184.2 |
|             | 痛さ皮膚温 [°C] | 39.6  | 41.2  | 40.7  | 40.7  | 39.6  | 41.8  |

4. 結果・考察

図6に照射部位における温熱感申告結果を示す。横軸はマイナス側に傾くほど全波長域放射(左手)を、プラス側に傾くほど各波長域放射(右手)を熱く感じていることを表す。50°C・4cm条件では左右の照射熱量が等しいにも関わらず、近赤外域放射の熱さを弱く感じていた。中赤外域・可視域放射では照射温度、照射面積の増大に伴い右手に感じる熱さが強まったが、近赤外域放射の照射熱量が全波長放射の約2.5倍となっても、全波長放射を熱く感じるという結果が得られた。

図7に熱さ申告時の皮膚温、表4に熱さ申告時間の平均を示す。右手の方が低い温度において申告した割合は近赤外域が最も高かったが、同強度の他の放射に比べ申告までの時間が約2~9倍かかっていること、照射期間中右手の皮膚温が左手以下を保った時間が長かったことから、近赤外域放射は強い刺激を与えず、皮膚温を上昇させにくい放射であると考えられる。女性は男性より短時間で申告する傾向にあった。

図8に痛さ申告時間と皮膚温の相関、表4に痛さ申告時間と皮膚温(申告のない被験者に関しては、照射中の最高皮膚温、照射最大時間360秒)の平均を示す。近赤外域放射では申告数が少なく、ばらつきが大きかった。中赤外域放射では照射開始から50秒の間に多くの申告が見られ、皮膚温の上昇も大きかった。また、

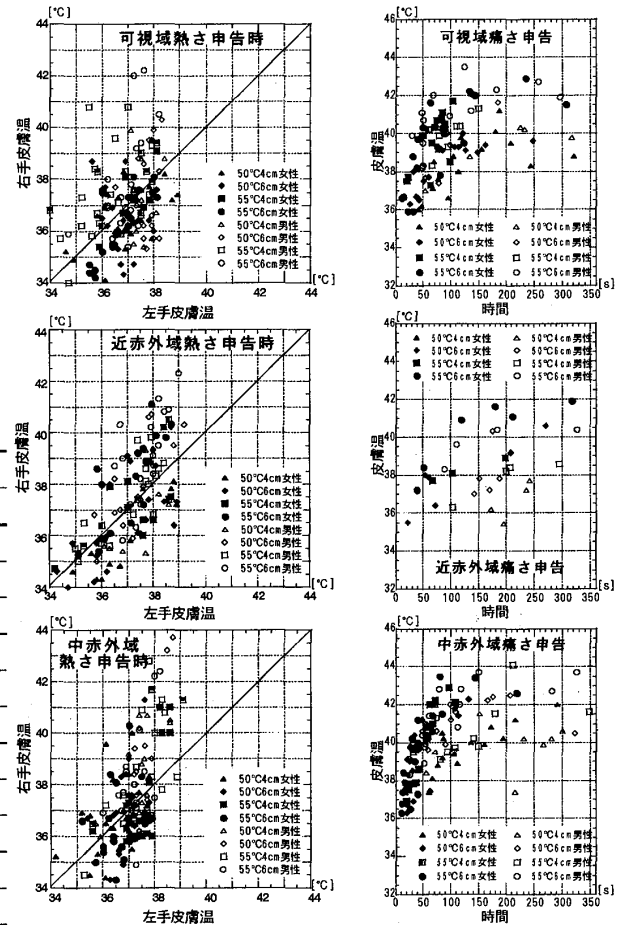


図7 熱さ申告時皮膚温 図8 痛さ申告時間と皮膚温

各波長放射とも、殆どの被験者が36°C以上で痛みを申告した。女性は男性より低い皮膚温、1/3~1/2の照射時間で痛みを申告した。

皮膚温が照射前より5°C以上上昇すると、照射を耐え難く感じる被験者が現れ、10°C以上上昇した状態を許容し続ける被験者はいなかった。近赤外域放射を耐え難く感じた被験者はいなかった。中赤外域放射は皮膚温の上昇が最も大きかった。

5. まとめ

日射の波長影響を調べるため、被験者実験を行った。中赤外域>可視域>近赤外域の順に強い刺激を与える放射であることがわかった。照射による痛みを感じる始めるのは約36°Cであった。女性は男性より放射刺激に対して敏感な反応を示した。

指導教官 田辺 新一

【参考文献】

- 1) 松井松長：赤外線放射に対する皮膚の温熱感覚の波長特性，赤外線技術，第12号，pp.18-26，1987.
- 2) 関邦博，坂本和義，山崎昌広編：人間の許容限界ハンドブック，pp.476-498，朝倉書店，1990.
- 3) C Narita, S Tanabe, Y Ozeki, M Konishi, M Ono, K Sato: Subjective experiments on the effects of spectral property of solar radiation on thermal comfort. Indoor Air 99 Proceedings (Edinburgh) Vol. 1, pp. 614-619, 1999.
- 4) 成田千恵，田辺新一，尾関義一，小西正哲：日射が温熱感に与える影響に関する研究(その5) -異なる波長帯放射の体感影響-。日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.377-378，1999.
- 5) 成田千恵，田辺新一，尾関義一，小西正哲：日射の体感影響に関する研究(その4) -皮膚の波長特性に関する既往の研究-。空調調和・衛生工学学会学術講演会講演論文集，pp.1505-1508，1999.