

## 1.2 人の温熱生理反応を用いた暑熱ストレス及び適応策効果の検討

### 1.2.1 目的

夏季屋外における日射や高温化するアスファルトなどからの熱放射等を含めた暑熱環境が、人の身体に及ぼす影響の評価方法等を検討するため、夏季屋外に若年者と高齢者で日常の歩行程度の運動を実施し、人の生理反応や主観的な心理反応データを取得した。解析においては、年齢の違い、日射の有無の影響に注目した。

### 1.2.2 実験概要

#### 1) 実施期間

2014年7月31日～2014年8月15日 うち11日間

#### 2) 実施場所

日本工業大学 ゲストハウス集会場及び近傍のアスファルト道路上

#### 3) 対象者

若年と高齢の男性とした。高血圧や糖尿病でない方を対象とし、実験の内容に同意を得られた方のみに参加いただいた。被験者は若年者14名、高齢者10名であり、うち20名の被験者については2日間ずつ実施した。

表 1.3 調査対象者の条件等

	性別	人数	年齢	体重
若年者	男性	14人	19～22歳 平均20.4歳、標準偏差1.2歳	平均61.3kg 標準偏差8.1kg
高齢者	男性	10人	63～72歳 平均68.3歳、標準偏差2.8歳	平均63.1kg 標準偏差5.6kg

#### 4) 実験方法

日射が当たる開放空間および日陰となるテント下での歩行運動と休憩を3回に分けて実施し、人の温熱生理反応、心理反応、活動状態を測定し、人の身体に及ぼす影響を測定した。歩行運動は、踏み台昇降とし、15cmの高さの踏み台を20回/分のペースで昇降した。実験は、運動(15分)－休憩(15分)－運動(15分)－休憩(15分)－運動(15分)を一連として実施した。原則として若年者2人、高齢者2人の4人で実施し、開放空間とテント下で若年者と高齢者がペアになって運動を実施した。

日射による影響を見るため、日射が最も強くなる南中時刻(11:45ごろ)を挟み、11:00～12:15を基本として実施した。

表 1.4 実験基本パターン

	9:00	10:00	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15
室内	準備	休憩 60分	運動 15分	休憩 15分	運動 15分	休憩 15分	運動 15分	休憩 30分
若年者①	室内	室内	日向	室内	日向	室内	日向	室内
高齢者①	室内	室内	日向	室内	日向	室内	日向	室内
若年者②	室内	室内	日陰	室内	日向	室内	日向	室内
高齢者②	室内	室内	日陰	室内	日向	室内	日向	室内

運動はアスファルト道路上で実施するが、設営したテントは、テント膜自体の温度上昇を防ぎ、テント膜からの再放射が少ない白色のものを使用した。

また、休憩中は自由飲水とするが、常温のものとした。着衣は半そで半ズボンとし、帽子を被り直達日射が顔に当たらないようにした。



図 1.18 実験実施状況

## 5) 測定項目

実験協力者の皮膚にサーミスタセンサをサージカルテープで貼付し、温度ログで皮膚温を連続計測・記録する。皮膚温の計測部位は6部位（すね、大腿、手、前腕、胸、前頭）とし、各部位の表面積に応じて重み付して平均皮膚温を算出した。

発汗量は、精密体重計により運動の前後で体重を測定し、体重減少量を算出した。

深部体温は直腸温と耳内温とし、直腸温測定はサーミスタセンサに使い捨てのゴムカバーをつけて肛門から12cm口側の直腸内に留め置き、温度ログで連続計測・記録した。

表 1.5 人体側の測定項目

評価項目	測定項目	測定方法	測定間隔
皮膚温	皮膚温（6 部位）	皮膚表面用体温計	10 秒毎
心拍数	心拍数	心拍計	10 秒毎
総発汗量*	体重減少量	体重計	運動の前後
深部体温	直腸温	直腸温度計	10 秒毎
	耳内温	耳栓型温度計	10 秒毎
温冷感、快適感、 気流感、許容度、 運動強度、満足度	口頭申告		運動中は開始後 2、 5、10、14 分後とし 休憩中は 10 分毎

温熱環境については、以下に示す項目を開放空間とテント下において測定した。また、休憩場所についても同様に測定した。

表 1.6 温熱環境の測定項目

測定項目	測定機材	測定間隔
温湿度	温湿度計（通風式）	10 秒
風速	超音波風速計	1 秒
黒球温度	黒球温度計	10 秒
放射	長短波放射計（4 成分）	10 秒
熱画像	サーモカメラ	適宜

## 6) 検討体制

本実験は、以下の有識者からの助言を得て実施した。

大阪国際大学 人間科学部 教授 井上 芳光

産業技術総合研究所 環境適応研究グループ<sup>1</sup> グループ<sup>2</sup>長 都築 和代

昭和大学医学部 救急医学講座 教授 三宅 康史

## 7) 倫理審査

本実験は、日本工業大学人を対象とする研究倫理委員会の審査を経て実施した。

### 1.2.3 分析方法

#### 1) 生理量データの分析

直腸温、皮膚温、耳内温、心拍数については、10sec 間隔で取得したデータを1分値として集計した。

発汗量 (sweat) は、運動前後の体重減少量を体表面積当たり、時間当たりの値 ( $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$ ) とした。なお、体表面積は藏澄ら<sup>1</sup>が提案する方法で計算した。

#### 2) 温熱環境データの分析

温熱環境データについても、生理量データと同様に1分値に集計した。

SET\*の計算には、以下の値を用いた。平均放射温度については黒球温度を用いて ISO7726 に規定された方法で導出した。着衣量はサーマルマネキンを用いて計測し、0.29clo とした。代謝量については、休憩時は座位で 1met ( $58.2\text{W}/\text{m}^2$ ) とし、踏み台昇降時は平川<sup>2</sup>が提案する方法 (代謝量 (kcal/分) =  $0.0163 \times \text{体重 (kg)} \times \text{台高 (m)} \times \text{昇降回数 (回/分)} + \text{安静時代謝量 (Kcal/分)}$ ) で算出した。

### 1.2.4 測定データの概要

#### 1.2.4.1 温熱環境測定結果

##### 1) 屋外温熱環境

7月31日～8月15日までの屋外における実験期間中の屋外の開放空間における温熱環境を示した。

実験期間中の8月9日～8月10日に台風が通過するなど、気温は台風通過に伴って低下したが、8月4日～8月7日までは35℃を超える暑さとなった。

相対湿度は、8月7日までは35～50%程度であり、降雨が一時的に見られた8月12日には90%と高くなった。

風速は、8月7日までは1m/s前後で推移し、8月12日は1.6m/s程度と強くなり、その後0.5m/sと弱くなった。

日射は、最高で900W/m<sup>2</sup>程度となった。8月12日と8月14日については、ほぼ終日曇りとなり、日射はほとんど当たらなかった。

WBGT は、8月7日までは30～31℃程度となっており、同様の期間の SET\*は40℃前後となった。

---

<sup>1</sup> 藏澄 美仁ら, 日本人の体表面積に関する研究, 日本生気象学会雑誌, Vol.31, 1994

<sup>2</sup> 平川和文, 踏み台昇降運動時エネルギー代謝量の推定: 身体特性と機械的効率からの検討, 体力科学 32(5), 1983

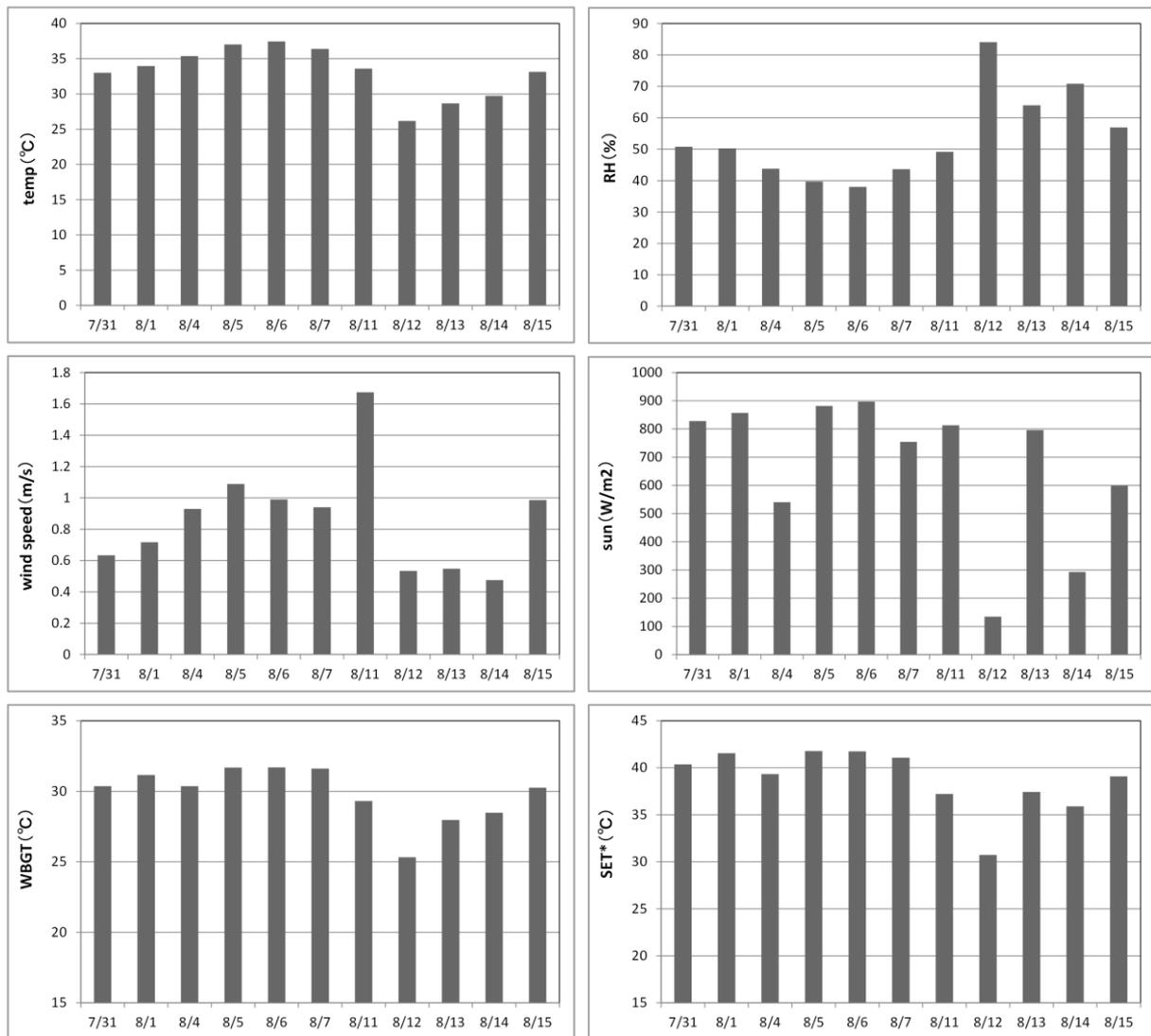


図 1.19 実験期間中の屋外温熱環境

## 2) 開放空間とテント下の温熱環境の違い

本実験では、日射を遮るものが無い開放空間とテントによって日射が遮蔽された場所で実施したが、テントが温熱環境に及ぼす影響について把握した。

### ①放射環境

テント下では、テントによって日射が遮られる効果が大いと考えられるが、路面が日陰になることで減少する路面からの長波長放射、テントを透過する日射、テント表面からの長波長放射など、それぞれの放射環境が大きく変化する。そこで各種の放射量を整理した。短波長放射については、テントの日射透過率が 26%であった。

長波長放射については、表面温度を形成するのは日射だけでなく気温や風速等の要因が影響するものの、ここでは日射との関係で整理した。

短波長放射と長波長放射を含めた人の受熱量を一定の仮定のもとで計算して合計すると、日射が 800W/m<sup>2</sup> のとき、開放空間は 480W/m<sup>2</sup>、テント下は 171W/m<sup>2</sup> となり、テント下の空間では開放空間の約 1/3 の放射強度となっていた。

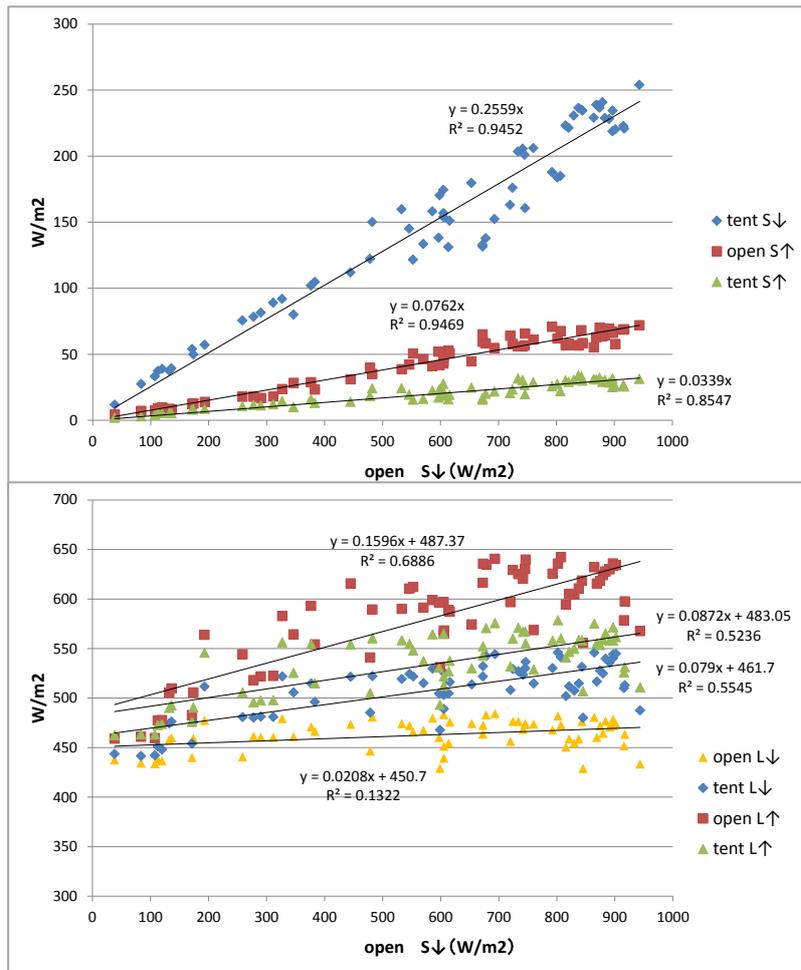


図 1.20 下向き日射とテント内外の長・短波長放射の関係  
 (S↓: 下向き短波長放射 (日射)、S↑: 上向き短波長放射 (反射日射)、  
 L↓: 下向き長波長放射 (大気放射)、L↑: 上向き長波長放射 (路面からの赤外放射))

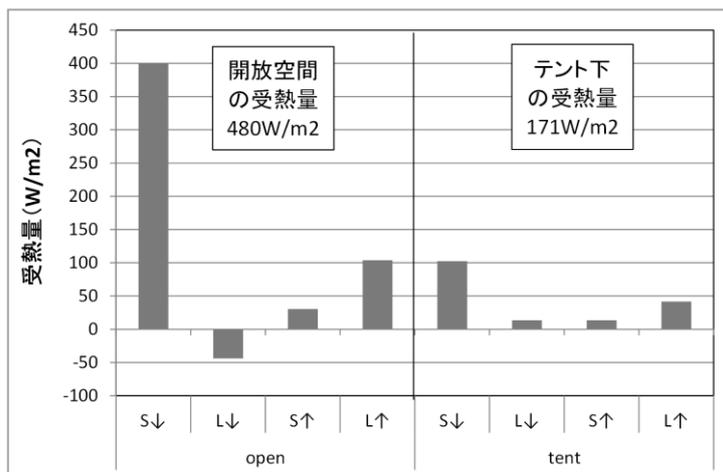


図 1.21 開放空間とテント下の放射からの受熱量  
 注) 下向き日射 800W/m²とした場合の受熱量。短波長放射 (S) は吸収率 0.5 とし、長波長放射 (L) は人の皮膚温 (35°C) を基準として算出した。

②放射環境以外の温熱環境の違い

気温にはほとんど違いが見られなかったが、テントによって覆われているため、テント下の風速は開放空間にくらべて3割程度、低下していた。

また、体感温度としてのWBGTは開放空間が30℃のときにテント下が29℃以下と1℃以上低く、SET\*（運動時の代謝量を用いて計算した）は開放空間が40℃のときにテント下は約4℃低くなっていた。

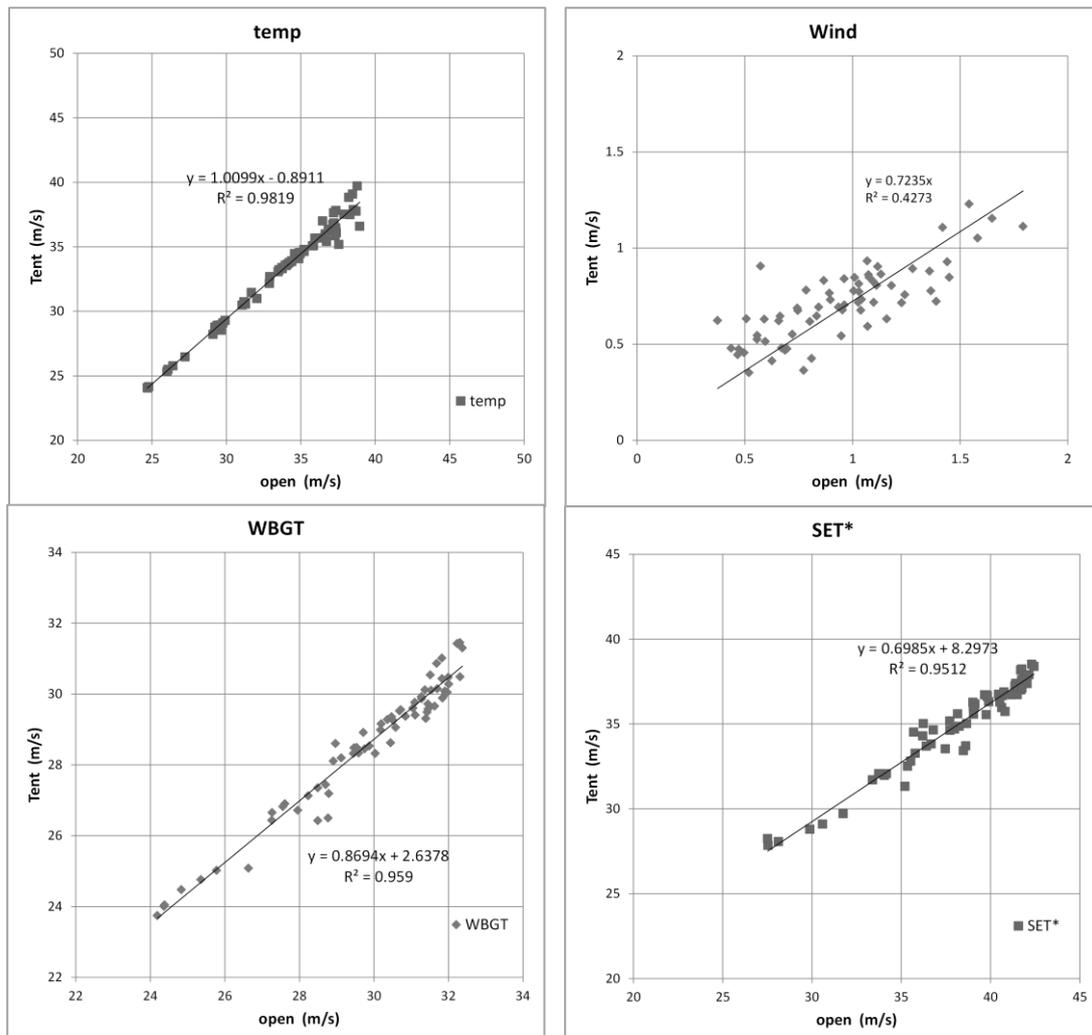


図 1.22 開放空間とテント下の温熱環境

3) 休憩室内の温熱環境

休憩室内の空調は、27 もしくは 28℃に設定した。測定結果を示す。

表 1.7 休憩室内の温湿度

	気温	標準偏差	相対湿度	標準偏差
午前	27.4℃	0.89℃	75.4%	5.40%
午後	27.6℃	0.90℃	72.1%	6.70%

### 1.2.4.2 被験者生理量データ

生理量およびばく露した温熱環境の測定データの例として、8月7日に実施した4人分の測定結果を示す。平均皮膚温、心拍数は運動時に上昇し休憩時に戻っている。直腸温については、運動と運動の間の休憩時に若干の低下が見られるものの、運動を繰り返すほど上昇分が積み上がり、3回目の運動後の休憩時に最高温度を記録している。一方、耳内温では直腸温と同様の傾向は見られず、休憩時に値が戻っている。今回、耳内温の測定には耳栓型のセンサーを使用したものの、やはり環境温の影響を受けていたものと推察される。

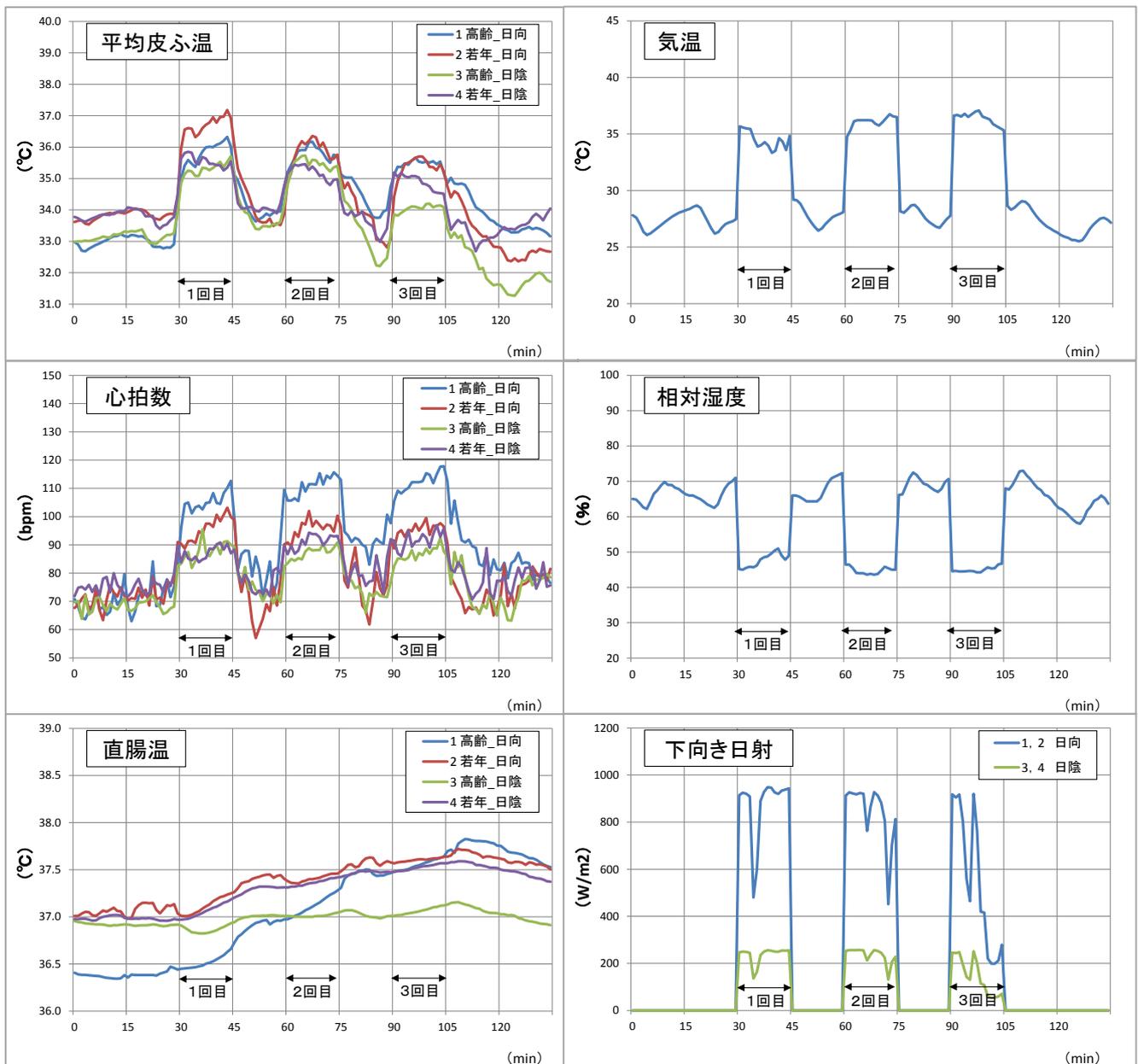


図 1.23 生理データ及びばく露した温熱環境データの例（8月7日）その1

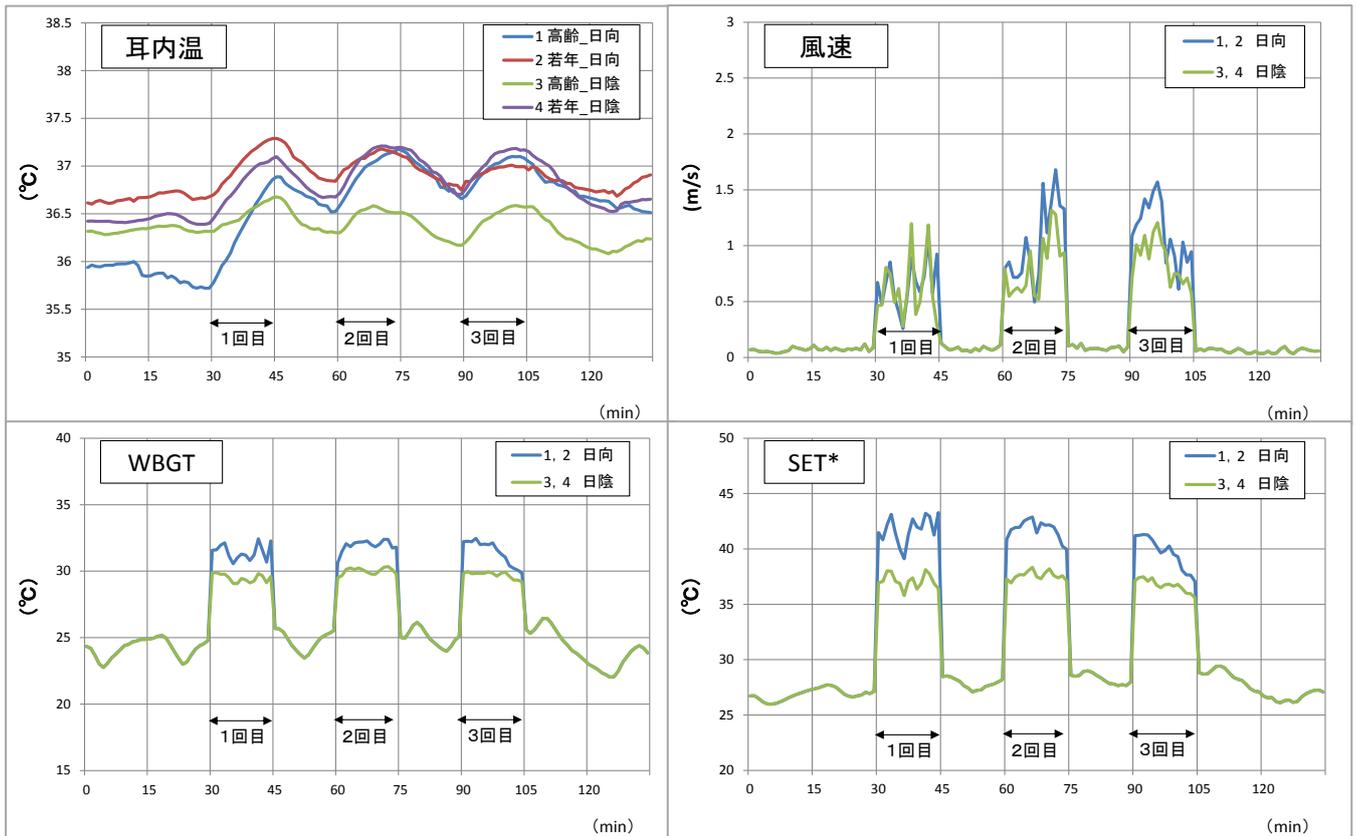


図 1.24 生理データ及びばく露した温熱環境データの例（8月7日）その2

### 1.2.5 年齢の違いと日射の有無の影響分析

年齢と日射環境による人体温熱生理への影響を見るために、被験者を高齢と若年、それぞれを日向と日陰の4群に分けて検討した。用いるデータは、暑熱の厳しかった(実験中の外気温が30℃以上かつ日射量が500W/m<sup>2</sup>以上)8日間を対象とした。また、4群の有意差検定では、暑熱が厳しいことに加え、高齢群と若年群で、ばく露した温熱環境条件を等しくするため、4群が同時に実験を行った6日間のデータを対象とした。検定結果は、5%有意水準を\*、1%有意水準を\*\*で示した。有意水準の明記をしない場合には、5%有意水準を「有意」と表現した。

#### 1.2.5.1 実験結果

##### 1) 心拍数

運動開始前には70~80bpmであったものが、運動中には90~110bpm程度に上昇した、15分間の運動中には心拍数が徐々に上昇し、10bpm程度、変化していた。

1回目の運動開始前15分間の中央値を基準として、その後の心拍数の変化を見ると、高齢の日向群で1回目の運動時に最高で35bpm、2回目には同40bpm、3回目には同44bpmと運動を重ねるごとに、休憩時を含め、心拍数が増加していたが、他の3群では上昇傾向が見られなかった。

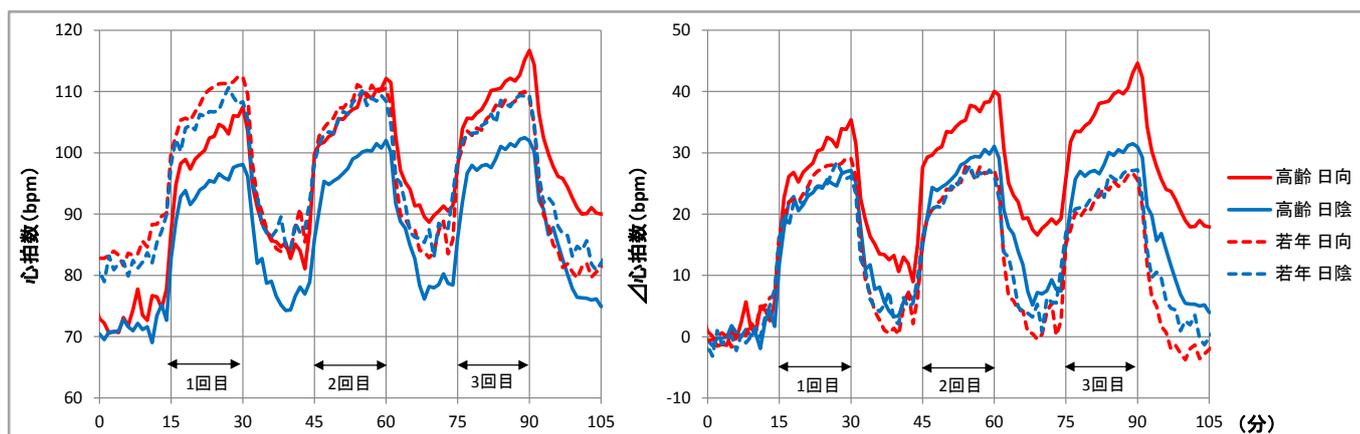


図 1.25 心拍数の変化 (左:各群の平均値、右:運動開始前からの増加量)

年齢の違いと日射の有無の2要因による分散分析を実施したところ、主効果には有意差は見られなかったが、3回目の運動で有意(p=0.013)な交互作用が見られた。高齢日向と他の群の違いを見るため、Student t 検定を実施したところ、1回目の運動では高齢日陰、2回目、3回目の運動では高齢日陰、若年日向との有意な差が見られた。特に3回目の運動時には1%の有意水準で差が見られた。

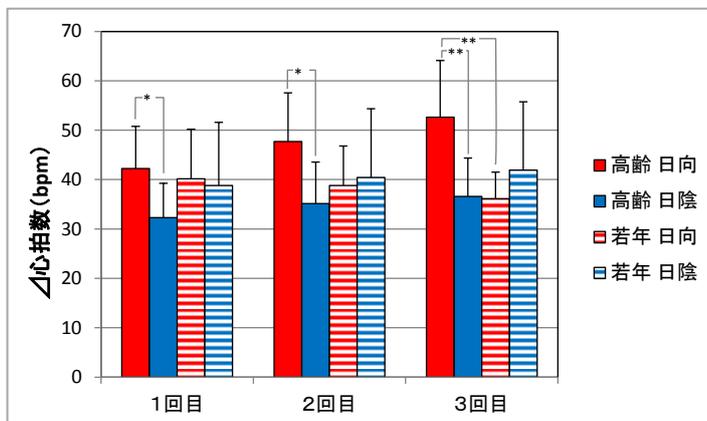


図 1.26 心拍数の増加量の比較 (各群の平均値と標準偏差)

## 2) 平均皮膚温

平均皮膚温については、1回目の運動時が最も高く、2回目、3回目には上昇量が小さくなる傾向が見られた。運動1回目には日向・日陰ともに若年群の皮膚温が運動開始とともに一気に上昇しているのに対し、高齢群では15分間の運動中、徐々に上昇する傾向が見られた。

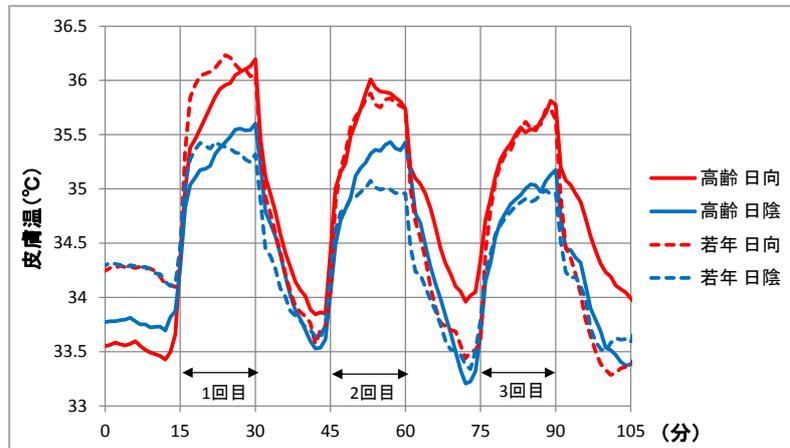
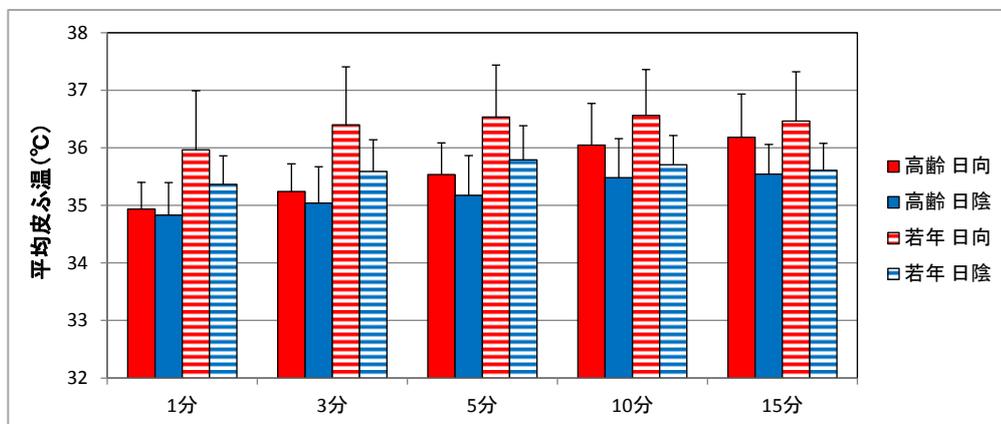


図 1.27 平均皮膚温の変化

そこで、運動開始1分後、3分後、5分後、10分後、15分後の平均皮膚温について、2要因の分散分析を実施した。運動開始5分までは年齢要因で有意な差 ( $p < 0.05$ ) が見られ、10分後、15分後では年齢による差は見られず、日射の有無による差が有意 ( $p < 0.05$ ) となった。



p 値	1分後	3分後	5分後	10分後	15分後
日射要因	0.26	0.12	0.09	0.02	0.02
年齢要因	0.02	0.01	0.02	0.21	0.56

図 1.28 皮膚温の比較 (上：平均値と標準偏差、下：分散分析による p 値)

運動時に高齢者の皮膚温の上昇が若年者より遅れる傾向は平成 25 年度に実施した実験でも見られたが、皮膚血流の増加による体温の放散反応が、日向と日陰にかかわらず、高齢者では若年者より遅れる傾向が見られた。

### 3) 発汗量

発汗量については、運動回数が多くなるに従い増加していた。高齢群、若年群ともに日向と日陰での発汗量の違いを Student t 検定で確認したところ、高齢群では日向と日陰で発汗量に違いが見られなかったが、若年群では運動2回目以降、5%の有意水準で差が認められた。また、高齢と若年の日向どうしで違いを見ると、運動1回目には5%有意水準、2回目には1%有意水準で差が認められ、3回目には有意な差が認められなかった。

ただし、飲水は休憩中に自由にとることとしており、水の温度は常温のものに限定したが、飲水量は把握しておらず、飲水の違いが発汗量の差に影響している可能性は否定できない。

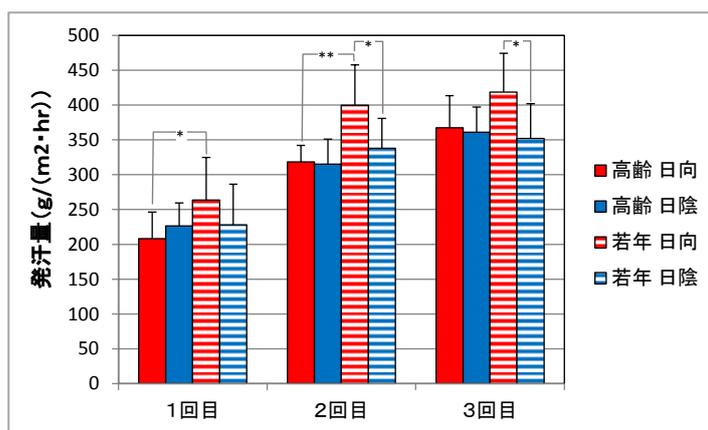


図 1.29 発汗量の比較 (各群の平均値と標準偏差)

### 4) 直腸温

直腸温については、運動回数が多くなるにしたがい全ての群で上昇していた。15分間の運動による直腸温の上昇は、運動と運動の間の休憩時間では下がり切らず、次の運動時に直腸温の上昇が積み上がっていた。1回目の運動開始前の15分間の最低値を基準として、直腸温の上昇量の変化を見ると、高齢日向群で他の群にくらべて顕著に上昇しており、3回の運動後の直腸温の上昇量は、他の3群で0.6℃前後であったのに対し、高齢日向群では約1℃の上昇となっていた。

高齢と若年に共通する違いに注目すると、休憩時の傾向が異なる。1回目の運動後の休憩時には若年の直腸温が低下しているのに対し、高齢では逆に上昇する傾向が見られた。また、2回目の運動後の休憩時には、日向、日陰ともに、高齢群の直腸温の低下が0.04℃であったのに対し、若年群では0.07℃低下していた。

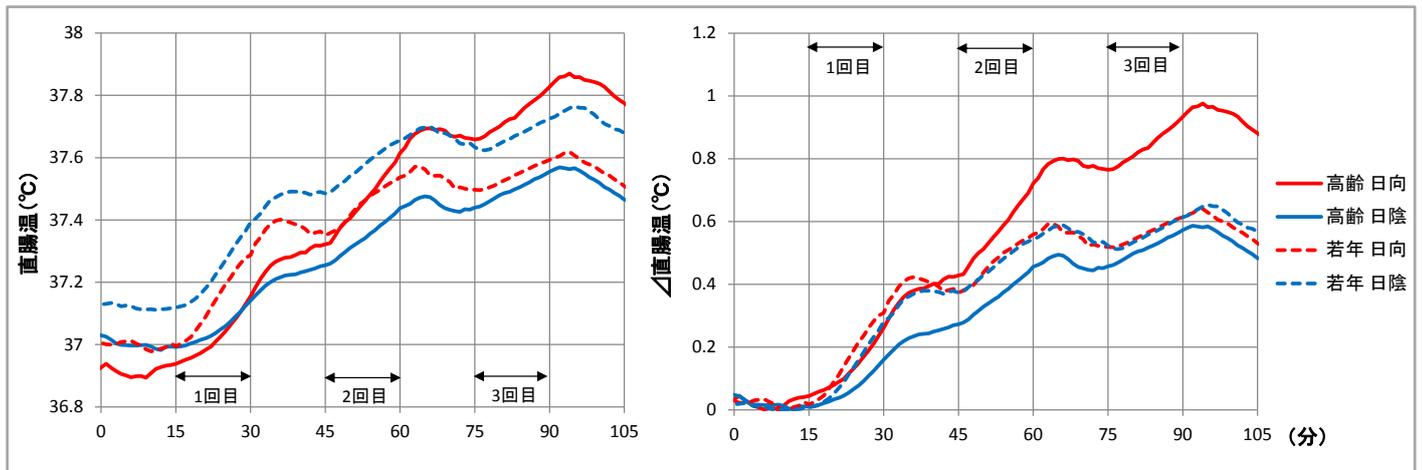


図 1.30 直腸温の変化（左：各群の平均値、右：運動開始前からの上昇量）

年齢の違いと日射の有無の2要因による分散分析を実施したところ、主効果には違いは見られなかったが、3回目の運動で有意な交互作用が認められた ( $p < 0.05$ )。高齢の日向と日陰、日向の高齢と若年の違いを Student t 検定で確認したところ、1回目の運動では有意な差が認められなかったが、2回目、3回目で高齢日向群が高齢日陰群より有意に高く、3回目の運動で高齢日向群が若年日向群より有意に高くなっていった。

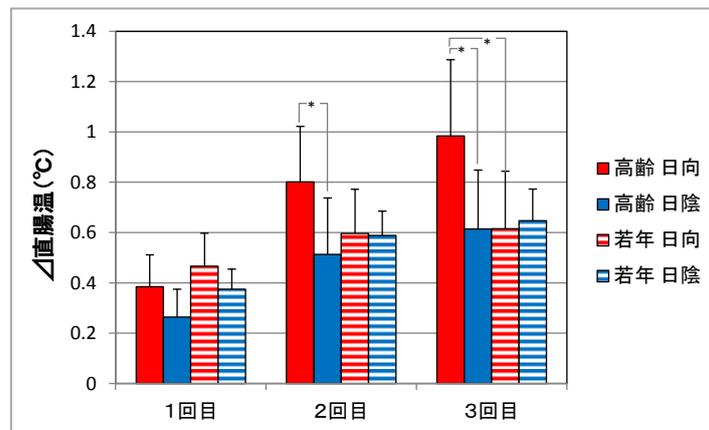


図 1.31 直腸温上昇量の比較（各群の平均値と標準偏差）

### 1.2.5.2 考察

実験の結果、高齢日向群で他の群にくらべて直腸温が有意に上昇していたが、この要因について、高齢群と若年群の皮膚血管拡張と発汗の2つの熱放散反応の違いを分析しつつ考察した。

#### 1) 皮膚血管拡張反応

今回の実験では、皮膚血管拡張の指標として皮膚温を測定した。皮膚血管が拡張すると皮膚近傍の血流量が増大し、皮膚温が上昇する。ただし、多量の発汗を伴うと皮膚温が低下する。実験の結果でも、1回目の運動時に皮膚温が上昇したが、発汗が多くなる2回目、3回目の皮膚温が1回目にくらべて低くなる傾向が見られた。また、運動1回目の皮膚温の変化について、運動開始後、若年群で急速に上昇するのに対して、高齢群の皮膚温の上昇は遅れ、運動開始後5分までは若年者より高齢群の方が低い傾向が認められた。特に運動開始3分目で差が明確となっていた。

そこで、運動開始後3分目の皮膚温と、運動開始から3分間の熱環境の平均値との関係を調べた。気温、日射量、気温と放射を考慮した作用温度との関係を見ると、高齢群では気温との関係が見られたが日射量との関係は見られなかった。一方、若年群では作用温度との関係性が強く、WBGT との関係よりも相関が高くなっていた。

すなわち、若年者では気温と日射の両方の刺激で熱環境の変化を敏感に捉え、皮膚血管を急速に拡張させていたものと考えられる。一方で高齢者は、日射量の変化に対する反応が遅れ、日射を受けることで受熱量が増加し、体温上昇に寄与したものと推察される。

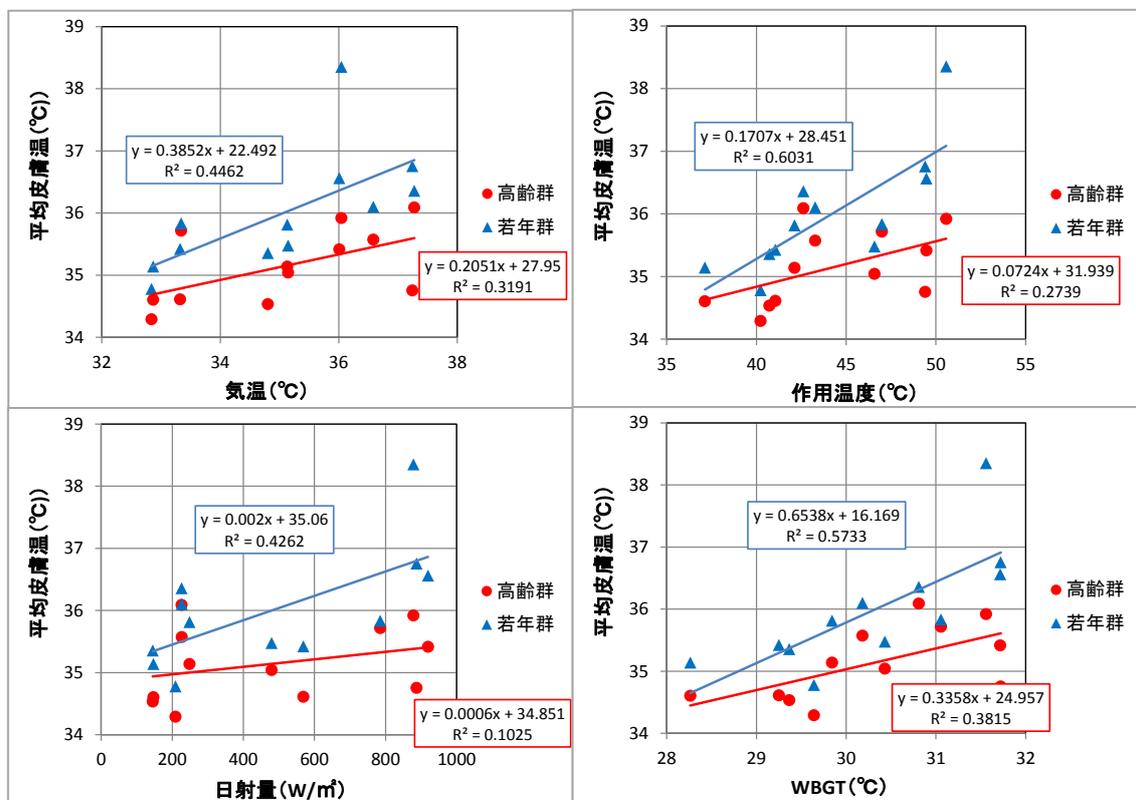


図 1.32 運動開始後3分間の熱環境と3分目の平均皮膚温の関係

## 2) 発汗反応

発汗については、若年群と高齢群の差が最も明確になった運動 2 回目までの発汗量の平均値と、運動中の熱環境の平均値との関係を調べた。

高齢群では、気温、日射量、作用温度、WBGT のいずれとも有意な関係は認められなかった。一方、若年群では全ての熱環境指標において、熱環境が上昇すると発汗量が増加する傾向が見られ、日射量と作用温度との関係が有意であった。

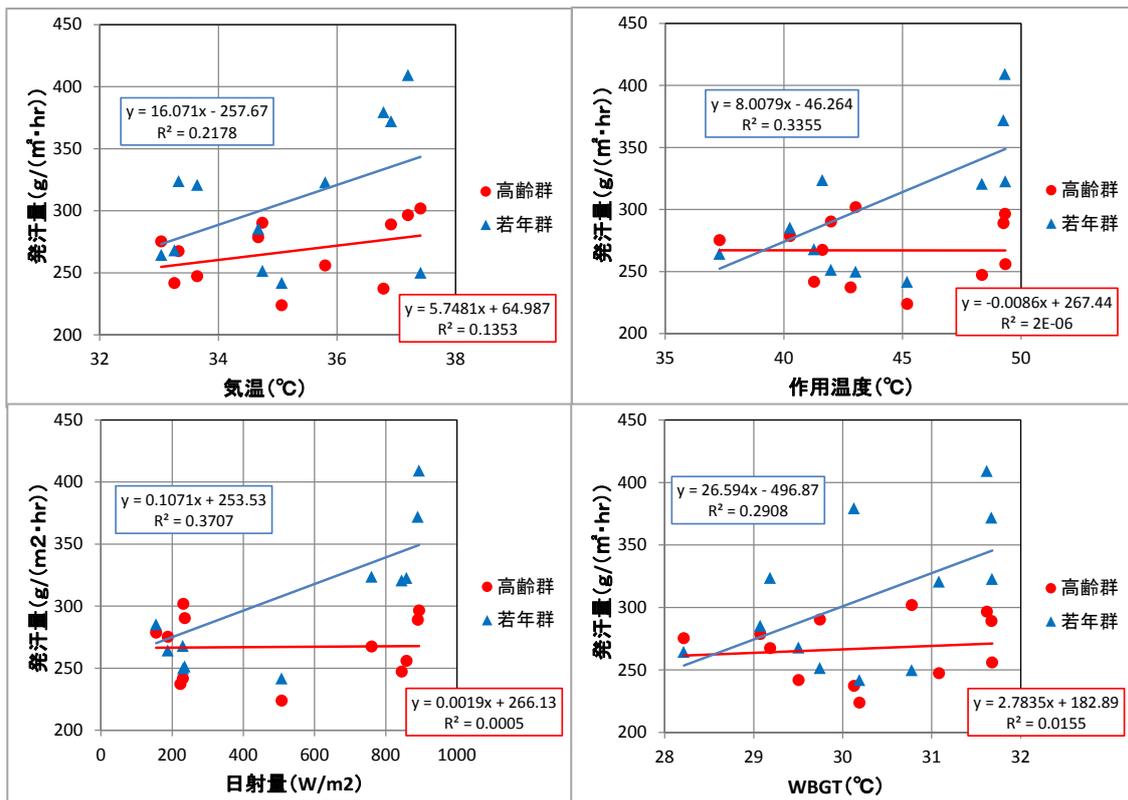


図 1.33 運動 2 回目までの熱環境と発汗量の関係

発汗反応は、直腸温が上昇することでも促進されるが、直腸温と発汗量との関係を調べると、本実験結果からも若年群、高齢群ともに有意な関係性が認められた。

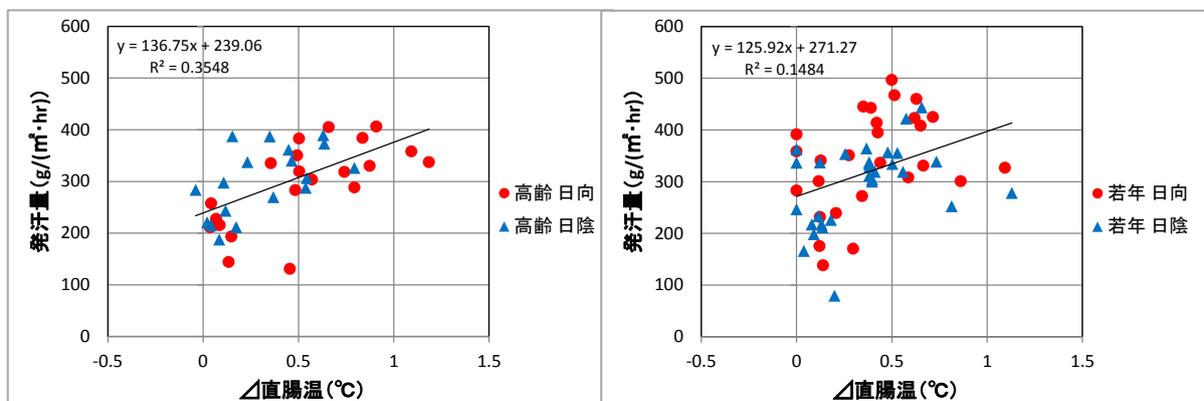


図 1.34 直腸温と発汗量の関係 ※) 回帰直線は日向と日陰を含む

そこで、発汗量を目的変数、熱環境と直腸温を説明変数として重回帰分析を行ったところ、熱環境指標として作用温度を用いた場合に若年群、高齢群ともに重相関係数が最も高くなった。若年群では直腸温と作用温度ともに有意な説明変数となったが、高齢群では直腸温のみが有意となった。

表 1.8 発汗量を目的変数とした重相関分析結果

説明変数	高齢群		若年群	
	係数	p 値	係数	p 値
直腸温 (°C)	159.4	1.28e-05	241.4	7.38e-07
作用温度 (°C)	- 2.734	0.269	11.304	3.22e-05
重相関係数	0.666		0.792	

また、日常生活において危険域とされる WBGT31°C以上での発汗量を比較すると、若年者の平均が 384g/(m<sup>2</sup>・hr)であったのに対し、高齢者では 300 g/(m<sup>2</sup>・hr)程度となっており、高齢者の方が2割以上、少なかった。

表 1.9 WBGT31°C以上の場合の発汗量の比較

	高齢群	若年群
発汗量 (標準偏差) g/(m <sup>2</sup> ・hr)	299 (64.8)	384 (77.1)

ただし、井上ら (1994)<sup>3</sup>は、高齢者の暑熱反応が年齢、体格 (体表面積/体重)、日常の歩行量などによって異なることを指摘している。本実験においては、日常の運動の状況などを詳細に把握していないが、高齢群において年齢と発汗量との関係を見ると、年齢が高くなるほど発汗量が少なくなる傾向が見られた。今回、日向での実験に参加した高齢者の平均年齢が 69.5 歳 (標準偏差 1.9)、日陰で実施した高齢者は 67.8 歳 (標準偏差 3.2) と約 2 歳の差があった。このことが高齢日向群で発汗量が少なく、直腸温の上昇が大きくなった要因の一つになった可能性があるが、日常生活の違いなどが影響していることも考えられる。

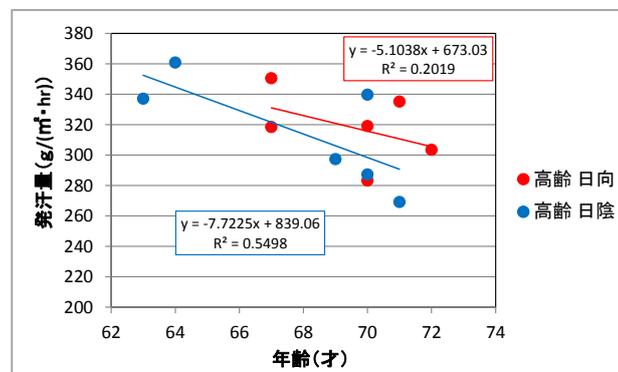


図 1.35 高齢者における年齢と発汗量との関係

<sup>3</sup> 井上芳光ら、高齢者の暑熱 寒冷反応に及ぼす体格,有気的体力,日常歩行量 衣服内温度の影響、日本生気象学会誌 31, 189-199, 1994

### 3) 熱中症リスクの推定【参考】

環境省が実施した平成 24 年度ヒートアイランド現象による適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策検討調査(以下「平成 24 年度調査」という。)において、HeatstrokeSTUDY のデータを用いて推定深部体温と重症度の関係を検討している。これを見ると、深部体温 38℃程度において、高齢群での熱中症が重症(診断分類Ⅲ度<sup>4</sup>)化する傾向が若年者にくらべて有意に高くなっていた。

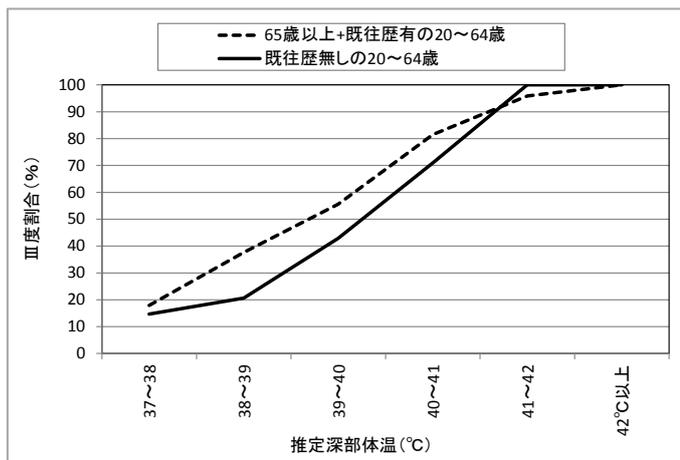


図 1.36 熱中症発症者の推定深部体温と重症度割合の関係

本実験結果においては、日向の暑熱環境において 15 分間の歩行運動を 3 回実施した場合、高齢者は若年者にくらべて、直腸温(深部体温)が有意に上昇していた。これらを合わせて考えると、高齢者が日向で歩行することによる熱中症リスクを若年者と比較することが可能である。

深部体温が 1℃上昇することによる重症度割合の増加は、高齢者で 19.7%ポイント、健常成人で 6.0%ポイントである。

表 1.10 深部体温と熱中症重症化(Ⅲ度)割合(平成 24 年度調査より)

		高齢者&既往歴	健常成人
深部体温	37~38℃	17.9%	14.6%
	38~39℃	37.6%	20.6%
深部体温 1℃上昇当りの重症化割合の増加量(深部体温 38℃程度)		19.7%	6.0%

15 分間の歩行運動を 3 回実施した後の深部体温の上昇量は、高齢日向群で 0.98℃、若年日向群で 0.64℃であった。そこで、上述の深部体温 1℃当たりの重症度割合の増加量と合わせて考えると、日向の暑熱環境にて 15 分間の歩行運動を 3 回実施した場合、若年者の重症度割合の推定増加量が 3.8%ポイントなのに対し、高齢者は 19.3%ポイントと、約 5 倍の増加量になることが推定された。

表 1.11 15 分間×3 回の歩行運動による熱中症重症化(Ⅲ度)の推定増加量

	高齢男性	若年男性
15 分間×3 回の歩行による深部体温の上昇量(℃)	0.98	0.64
深部体温 1℃上昇当りの重症化割合の増加量(%) (深部体温 38℃程度)	19.7	6.0
15 分間×3 回の歩行による重症化割合の推定増加量(%)	19.3	3.8

<sup>4</sup> 深部体温が高温で、①脳機能障害、②肝・腎機能障害、③血液凝固障害のいずれかが認められること。

#### 4) まとめ

本実験により夏季暑熱環境下における日常生活程度の運動が人体生理に及ぼす影響について、以下の知見が得られた。

- ✓ 若年者では、日射を含む暑熱環境へのばく露により、皮膚血管拡張や発汗などの体温調節が促進され、暑熱環境が厳しい日向で運動した場合でも、日陰で運動した場合と同程度の直腸温の上昇に抑制されていた。
- ✓ 高齢者では、日射を含む暑熱環境にばく露した場合、若年者にくらべて皮膚血管拡張反応が遅れ、発汗が抑制されることなどから、高齢者が日向で歩行程度の15分間の運動を3回以上行うことで、若年者にくらべて直腸温が上昇していた。
- ✓ ただし、高齢者においても、歩行程度の運動を、日射を遮りながら行う場合には、暑熱環境下においても直腸温の上昇は若年者と同程度に抑制されていた。
- ✓ 運動後の休憩時の直腸温の変化について、高齢者は若年者にくらべて低下する傾向が鈍く、高齢者は体温を下げるのに長時間を要することが示された。
- ✓ 参考までに、本実験結果と過年度の調査結果を用いて高齢者が日向で運動した場合の熱中症の重症化リスクを推定したところ、若年者にくらべて約5倍高くなることが推定された。

上述のように、日射を含む暑熱環境が人体生理に及ぼす影響と、その影響を抑制する対策（適応策）の方向性が示唆された。しかし、本実験では①男性のみを対象としていること、②若年者と高齢者に絶対量として同等の運動負荷を与えており若年と高齢では相対運動負荷が異なること、③各被験者の飲水量がコントロールされていないこと、④屋外実験中の熱環境は定常ではなく時々刻々と変化していること、⑤さらには被験者間の年齢、体格、普段の運動の状況等の違いが考慮されていないことなど、多くの制約があり、本実験結果はこれらの制約を踏まえた上で、さらなる精査が必要である。

なお、本実験に参加いただいた被験者の方々にお礼申し上げますとともに、実験の実施に当たって実験機材の提供と技術指導をいただいた産業技術総合研究所の都築和代氏、また、実験を主導いただき多くのご協力をいただいた日本工業大学の三坂育正氏及び同研究室の皆様へ感謝申し上げます。