

1. 街路空間における適応策の評価手法の検討

1.1 人の温熱生理的な反応に係る評価手法の検討

1.1.1 目的

暑熱環境と熱中症の関係は、日本体育協会などが示している熱中症予防の観点からの暑熱環境の指針等で評価する方法がある。しかし、対策の効果等を定量的に把握しようとするれば、熱中症という疾患が発生する前段の人の温熱生理反応の変化、例えば深部体温や発汗量等の指標を介して暑熱環境と熱中症などの熱ストレスのリスクを評価することが有効である。

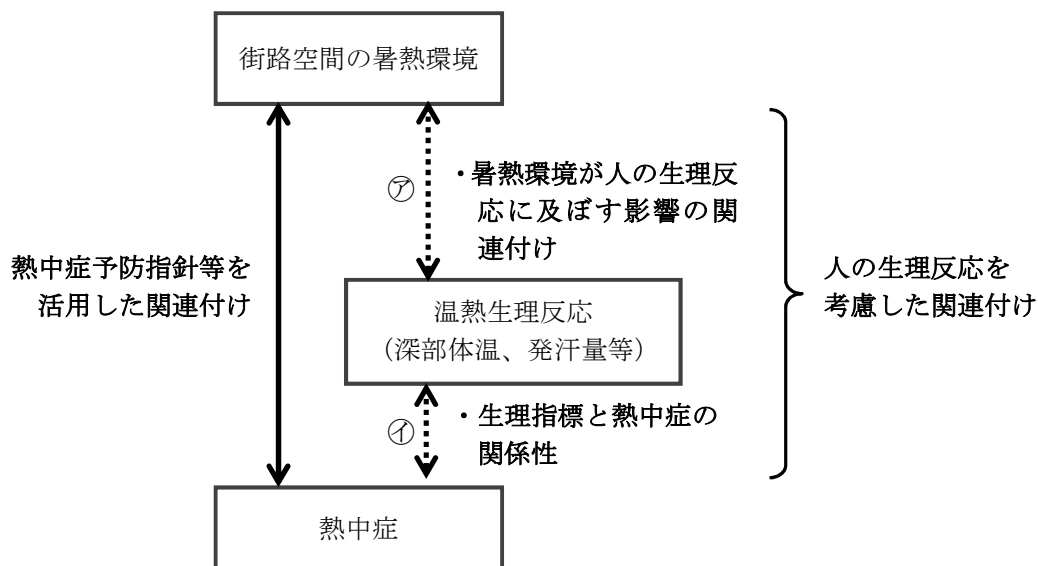


図 1.1 街路空間の熱環境と熱中症の関連付けのイメージ

温熱生理反応を介した関連付けの「①生理指標（深部体温）と熱中症の関連付け」については、深部体温が 38℃を超えると高齢者の方が重症度の割合や入院割合が高くなるなどの知見が得られている（平成 24 年度）。一方、「②暑熱環境が人の生理反応に及ぼす影響の関連付け」については、日射下における低運動負荷でのデータ、特に高齢者におけるデータが不足している。

そこで、夏季日射下において歩行レベルの運動負荷を与えた場合のヒトの温熱生理反応を調べる被験者実験を実施した。本実験は、産業技術総合研究所の都築和代氏との共同研究として実施したものである。

1.1.2 実験概要

本実験の実施方法の検討や結果の解析においては、以下の 3 名からなる「暑熱ストレスリスク WG」を組織し、2 回の検討を行った。

大阪国際大学 人間科学部 井上芳光教授

産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門環境適応研究グループ 都築和代グループ 長

昭和大学医学部 救急医学講座 三宅康史教授

・第 1 回 平成 25 年 7 月 8 日（月）15:00～17:00

・第 2 回 平成 25 年 11 月 5 日（月）13:00～15:00

①実験期間 2013年8月16日～9月10日（内13日間）

②実験場所 独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第6事務所付近のプール



図 1.2 プールサイド（左）、休憩所（右）

③対象被験者

実験の被験者として、若年者と高齢者、男性と女性で区別し4つの被験者群をつくり、それぞれの被験者群で8名以上を確保した。被験者についてのデータを表 1.1 に示した。

表 1.1 被験者データ

被験者群	人数	年齢	平均体重(標準偏差)	主な応募先
若年者男性	12名	18～24歳（平均21.0歳）	64.0kg（5.4kg）	大学生、大学院生
高齢者男性	11名	64～72歳（平均68.2歳）	65.1kg（6.8kg）	シルバー人材センター
若年者女性	8名	19～24歳（平均21.3歳）	51.0kg（5.1kg）	大学生、大学院生
高齢者女性	12名	63～72歳（平均66.6歳）	57.8kg（7.7kg）	シルバー人材センター

④測定項目・測定機材

以下の表 1.2 には被験者実験における人体生理の測定項目と測定方法と測定間隔を、表 1.3 には温熱環境の測定項目と測定機材と測定間隔を示した。

表 1.2 人体生理の測定一覧

評価項目	測定項目	測定方法	測定間隔
深部体温	直腸温	直腸温度計	10秒
	鼓膜温	鼓膜温度計	10分
皮膚温	皮膚温（8か所）	皮膚表面用体温プローブ	10秒
総発汗量*	体重減少量	体重計	日射下で実験を行った前後
温冷感	申告試験	バインダー、ペン	10分
快適感			
気流感			
許容度			
運動強度			
満足度			

表 1.3 温熱環境の測定一覧

測定項目	測定機材	測定間隔
乾球温度	乾球温度計	10 秒
相対湿度	湿度計	10 秒
風速	超音波風速計	1 秒
黒球温度	黒球温度計	10 秒
表面温度	放射温度計	10 秒
上下放射量(長短波)	長短波放射計	10 秒
熱画像	サーモカメラ	適宜



図 1.3 プールサイドでの測定

⑤実験スケジュール

日射環境が厳しい、10:30~14:00 ごろが日向での実験になるように実験を行った。また、立位、座位、運動の順に行ったが、立位と座位の順番を入れ替える事があった。これは、立位と座位での生理反応の違いを見る為に、時刻が違う事により物理環境に差が生まれない様に配慮したためである。表 1.4 に今回の日射下被験者実験での代表的な実験スケジュールを示す。

表 1.4 代表的な実験スケジュール

実験時刻	10:00	10:30	11:00	11:50	12:20	13:10	13:40	14:10
実験時間(分)	30	30	50*	30	50	30	30	
実験行程 A	安静	立位	安静	座位	安静	運動*	安静	
実験行程 B	安静	座位	安静	立位	安静	運動	安静	
日射環境	日陰	日向	日陰	日向	日陰	日向	日陰	

※運動実験として 15cm 高さの踏み台昇降を、20 回/分のペースで行った。

11:00 から 11:50 の 50 分間の安静時に、希望者はおにぎりなどの軽食を飲食した。

日射などの天候の関係で、実験スケジュールが前後する事があった。

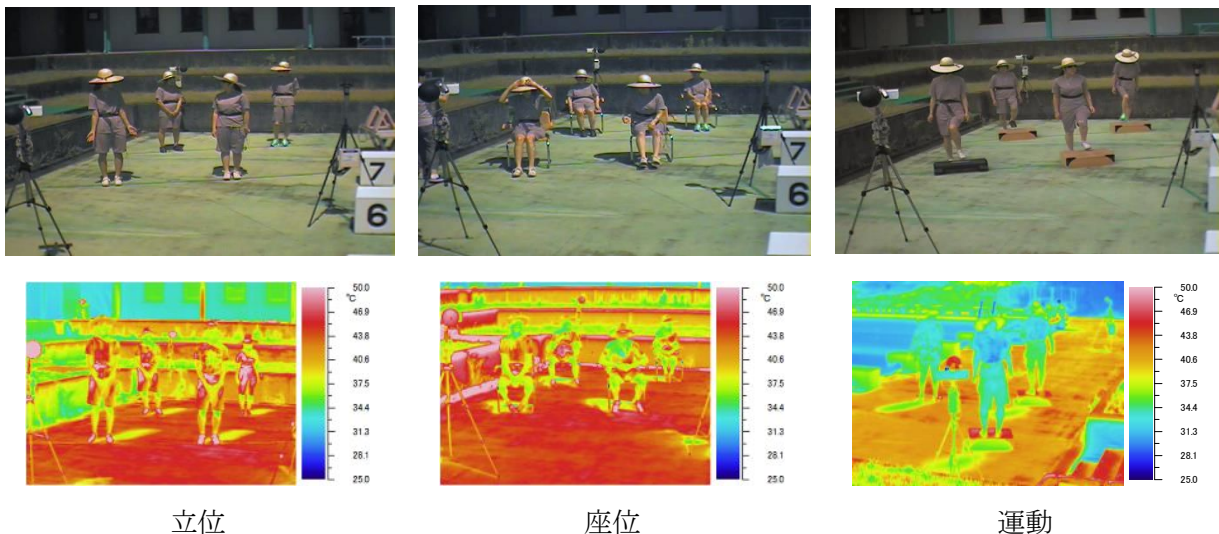


図 1.4 立位・座位・運動での熱画像

⑥実験条件

- ・実験時の服装はグレー系の半そで半ズボンとし、帽子を被り行った。
- ・実験の前後に水もしくはスポーツドリンクを飲み、実験中は飲水しなかった。水温は室温程度とした。

1.1.3 実験結果

温熱環境測定結果、生理反応の測定結果、申告試験の結果を示す。温熱環境と生理反応（発汗量を除く）については、1時間30分間の経時変化で示し、初めと終わりの各30分間は屋内の休憩室、日射への曝露を伴う屋外実験は0:30~1:00である。

1) 温熱環境

① 気温

屋内休憩室は空調により27~28℃程度に保たれていた。屋外は各被験者の実施日、実施時間が異なることから、被験者群（高齢、若年、男性、女性）ごと、実験種別（座位、立位、運動）ごとに異なる。被験者群別に見ると、傾向としては高齢男性、若年男性の実験実施中の気温が高く、高齢女性、若年女性で低くなっていた。特に、若年女性では空調を効かせた室内と同等もしくは室内より低くなっており、暑熱環境下で生じる生理反応を見ることは難しいと考えられる。

高齢男性と若年男性は、座位の実験中で1℃程度異なるものの、立位と運動ではほぼ等しく、運動時の気温の気温は31~32℃となっていた。

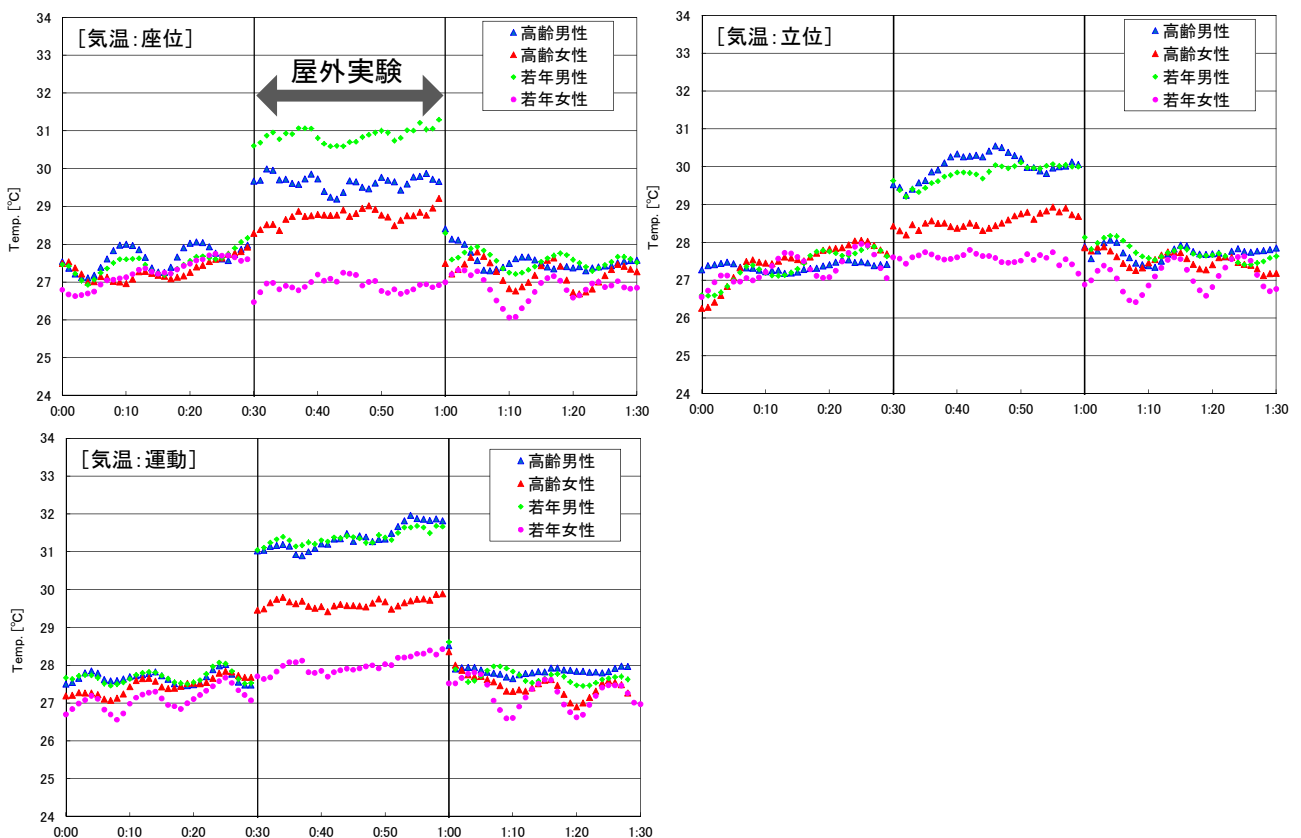


図 1.5 気温測定結果（各被験者群平均）

②相対湿度

相対湿度については、休憩室内は55~65%程度、屋外は座位の実験で被験者群によって45~55%とばらつくものの、立位と運動では50~55%程度で安定していた。

気温、相対湿度の状況からは、屋外実験中の温熱環境が著しく厳しいという状況ではなかったと考えられる。

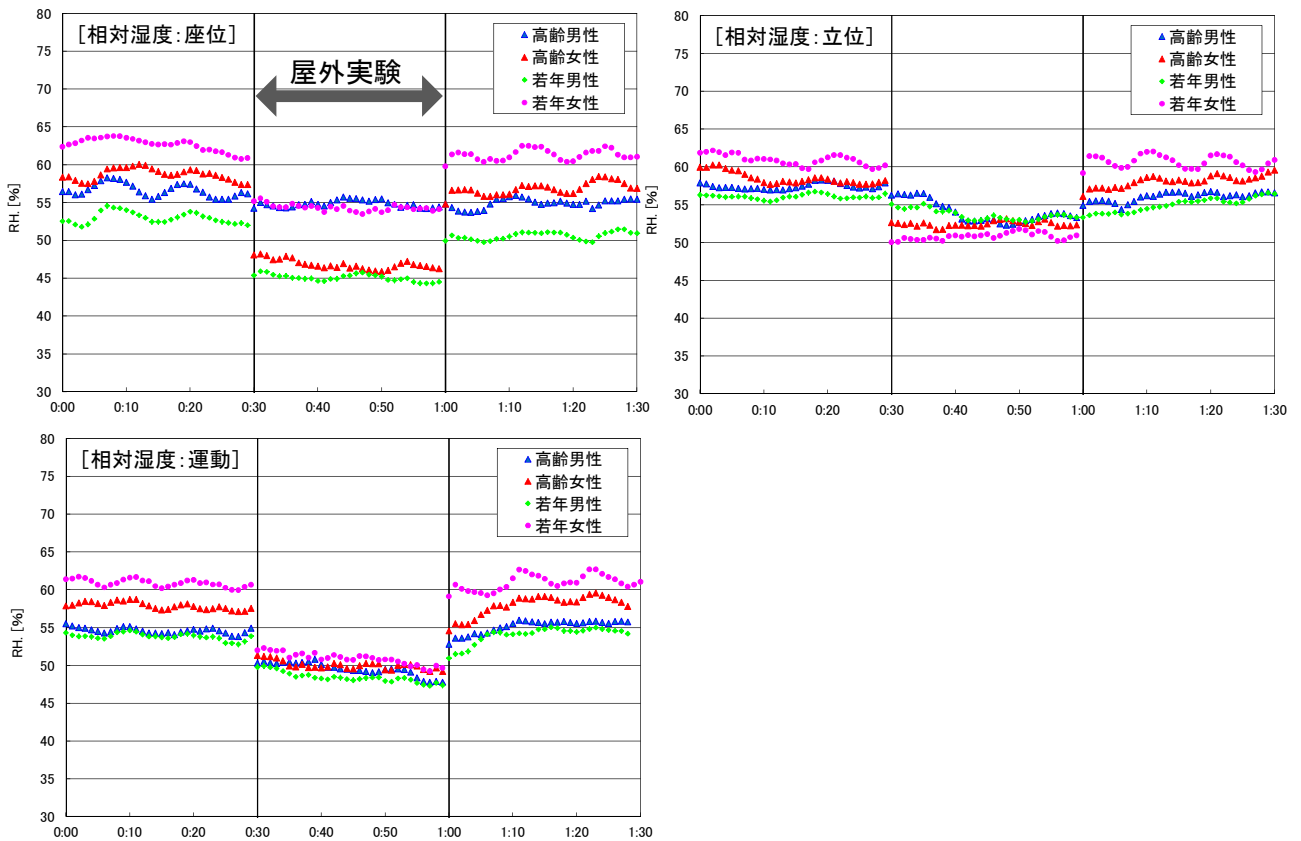


図 1.6 相対湿度測定結果 (各被験者群平均)

③風速

風速は、屋内では 0.2m/s とほぼ一定であるが、屋外ではバラつきが大きく、0.8m/s あたりを中心として、0.6~1.2m/s 程度の範囲で変動していた。この範囲の風は、風力階級（0~12 までの階級）で「1」と弱い風であり、体感的に大きな影響を及ぼすほどの風ではなかった。

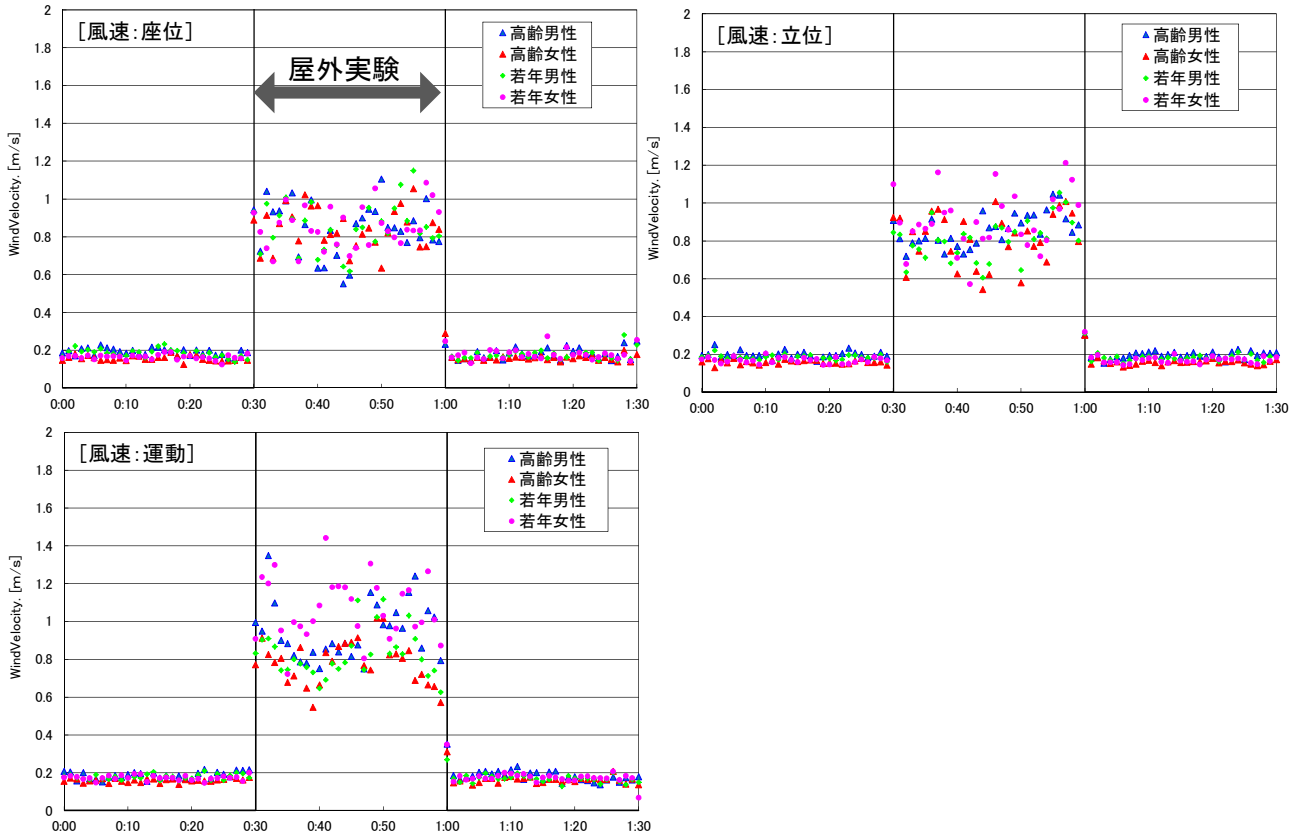


図 1.7 風速測定結果（各被験者群平均）

④日射量

本実験を実施した期間は、安定した晴天日が少なく、雲がかかったり晴れたりと変化しやすい日射環境であった。

全天日射量は、被験者群ごとの平均で、500～800W/m²程度で変動していた。高齢男性群では屋外実験の前半より後半の方が200W/m²程度、日射量が強くなる傾向が見られた。そのため、生理量の変動も、実験中の温熱環境の変化が影響を及ぼしている可能性があることに留意する必要がある。

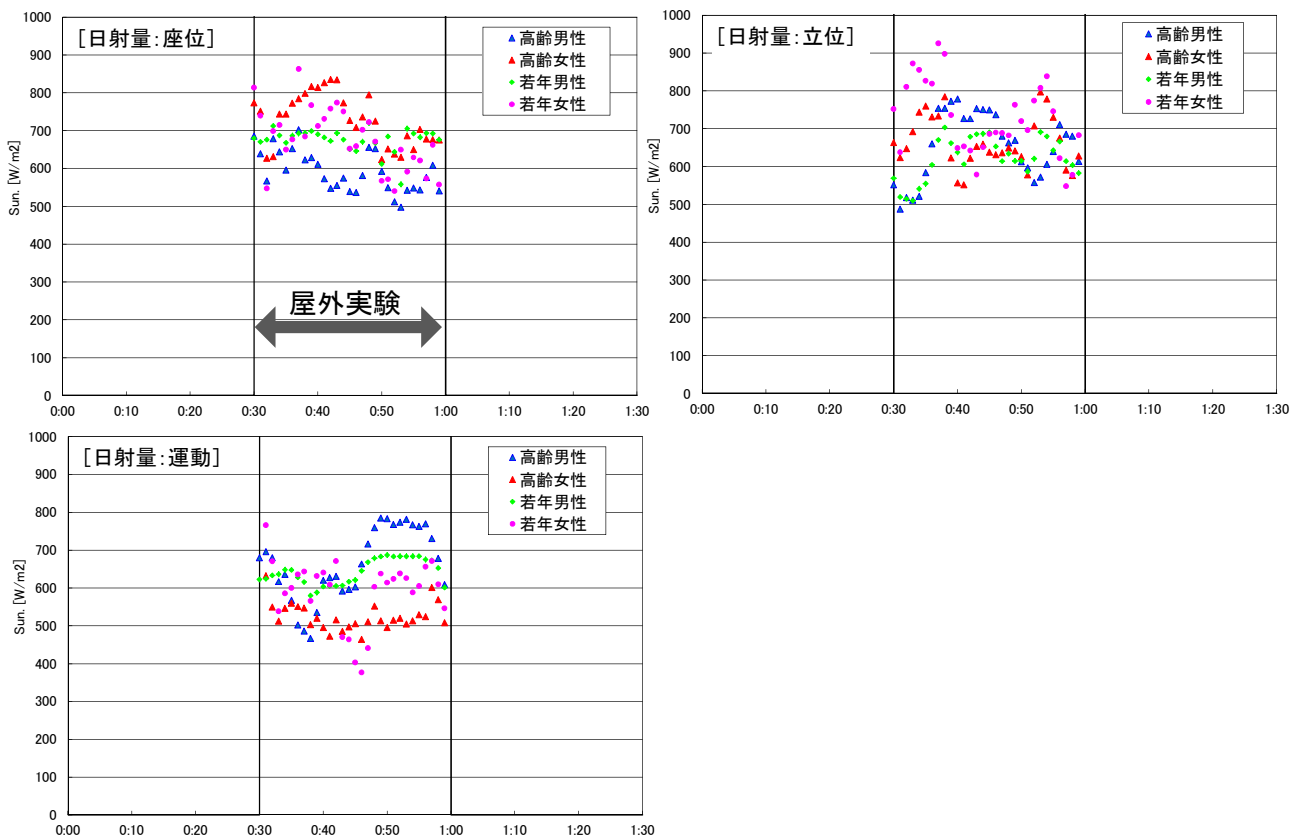


図 1.8 日射量測定結果 (各被験者群平均)

⑤WBGT

熱中症予防の指標として使われている WBGT の変動を以下に示す。気温と同様の傾向が見られ、高齢男性、若年男性で 28℃前後となっているものの、高齢女性では 26～27℃程度、若年女性では 25～26℃程度となっていた。

比較的高い値となった高齢男性と若年男性の運動時で 28～29℃となっており、日本生気象学会が公表している熱中症予防指針においては「嚴重警戒」となるものの、安静状態でも熱中症の発生の危険性が高くなる「危険」域までには至らなかった。

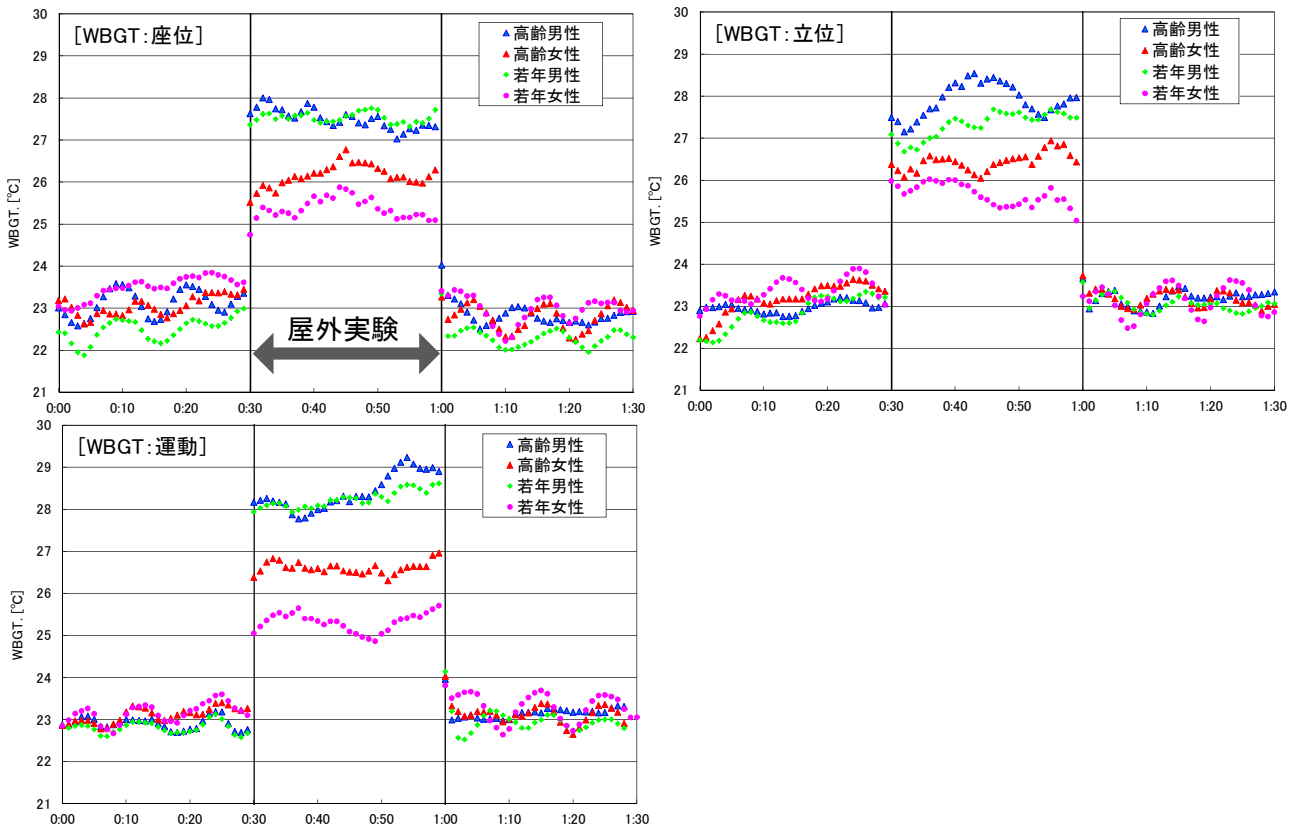


図 1.9 WBGT 測定結果 (各被験者群平均)

2) 生理指標

皮ふ温、直腸温、心拍数については経時変化を、発汗量は屋外実験前後の体重減少量を示す。

①皮ふ温

本実験では8部位（足、すね、大腿、手、前腕、胸、背、前頭）の皮ふ温を測定し、各部位の表面積に応じて重み付して平均皮ふ温を算出している。皮ふ温の変動を見ることで、血流による熱放散反応を評価することができる。皮ふ温が高くなることで熱放散が促進されたと考えることができる。ただし、屋外実験においては、日射による昇温影響が含まれていることに留意する必要がある。また、発汗により皮ふ温が冷やされるという現象も考慮する必要がある。

実験種別で結果を比較すると、座位が最も高く、次に立位、運動が最も低かった。運動で皮ふ温が高くなりにくいのは、運動時には筋への血流の分配が多くなるため、熱放散のための皮膚血流が抑制されるためである。また、座位と立位の違いについては、立位の方が筋血流が多くなること、座位で日射を浴びる部位が多くなり皮ふ温が上昇したこと、その他にも日射が直接、温度センサーに影響したことなどにより座位の方が高くなったと考えられる。

また、被験者群の違いで比較すると、若年者で屋外実験開始直後に平均皮ふ温が一定の高さまで上昇し、その後一定を保つのに対し、高齢者では実験開始後の皮ふ温の上昇が若年と比べると遅れる傾向にある。これは、高齢者の血管拡張反応が鈍くなることなどが影響しているものと考えられるが、相対的な運動負荷強度が若年者に比べて高齢者の方が高いことから筋血流への分配が多くなることが影響している可能性もある。

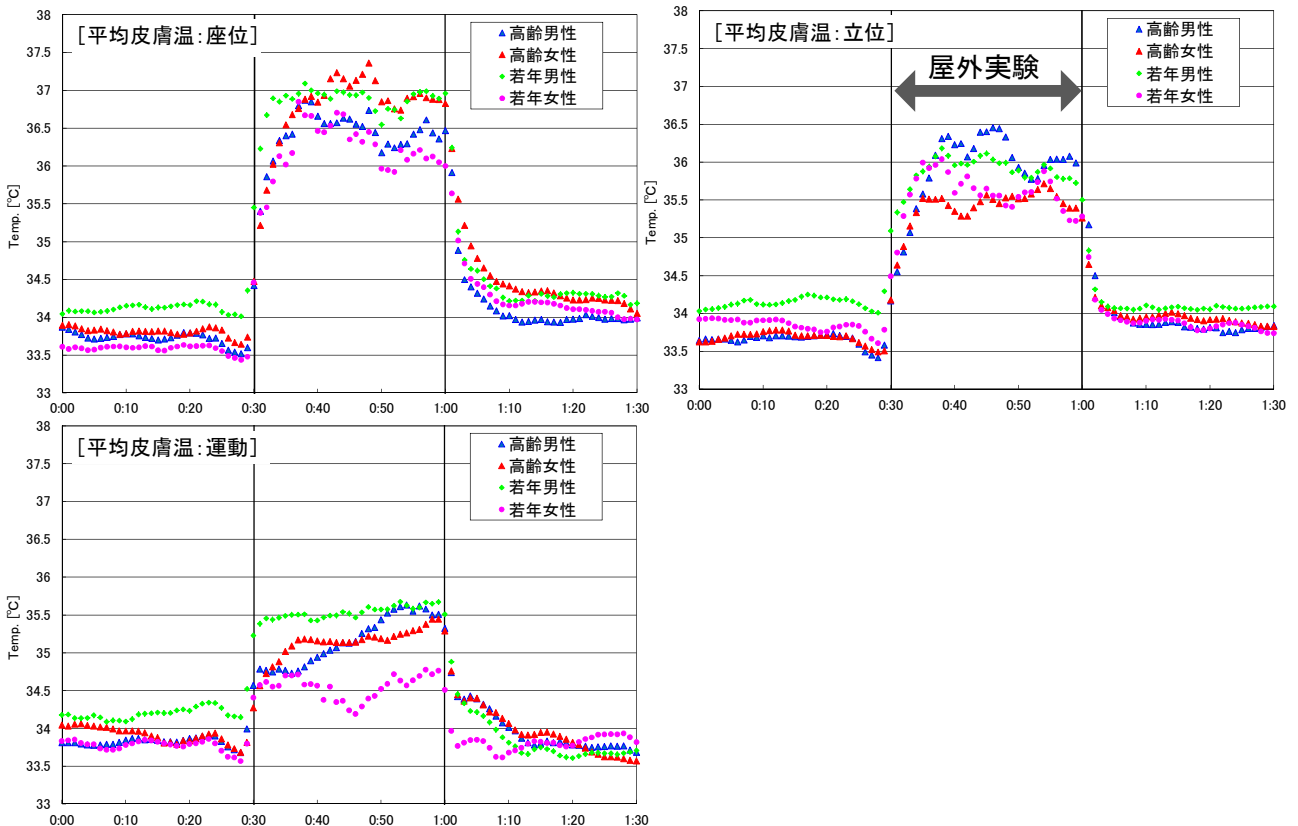


図 1.10 平均皮ふ温測定結果（各被験者群平均）

②直腸温

身体の深部温として、直腸温を測定した。

座位では各被験者群ともほとんど変化が見られず、立位では高齢群で 0.1°C 程度、若年群で 0.2°C 程度の上昇が見られた。運動では高齢群の方が若年群よりも上昇量が大きく 0.7°C 程度、若年群では 0.6°C 程度になっていた。これら的高齢群と若年群の違いの傾向は、男性、女性ともに同様に見られた。

運動では、実験前半に全ての被験者で直腸温が同程度、上昇しているが、実験後半では高齢群が単調に上昇を続ける一方、若年群の上昇が抑制されているように見られる。

なお、直腸温の上昇量については、屋外実験の開始時点から実験終了後の休憩時に記録する最高温度との差とした。

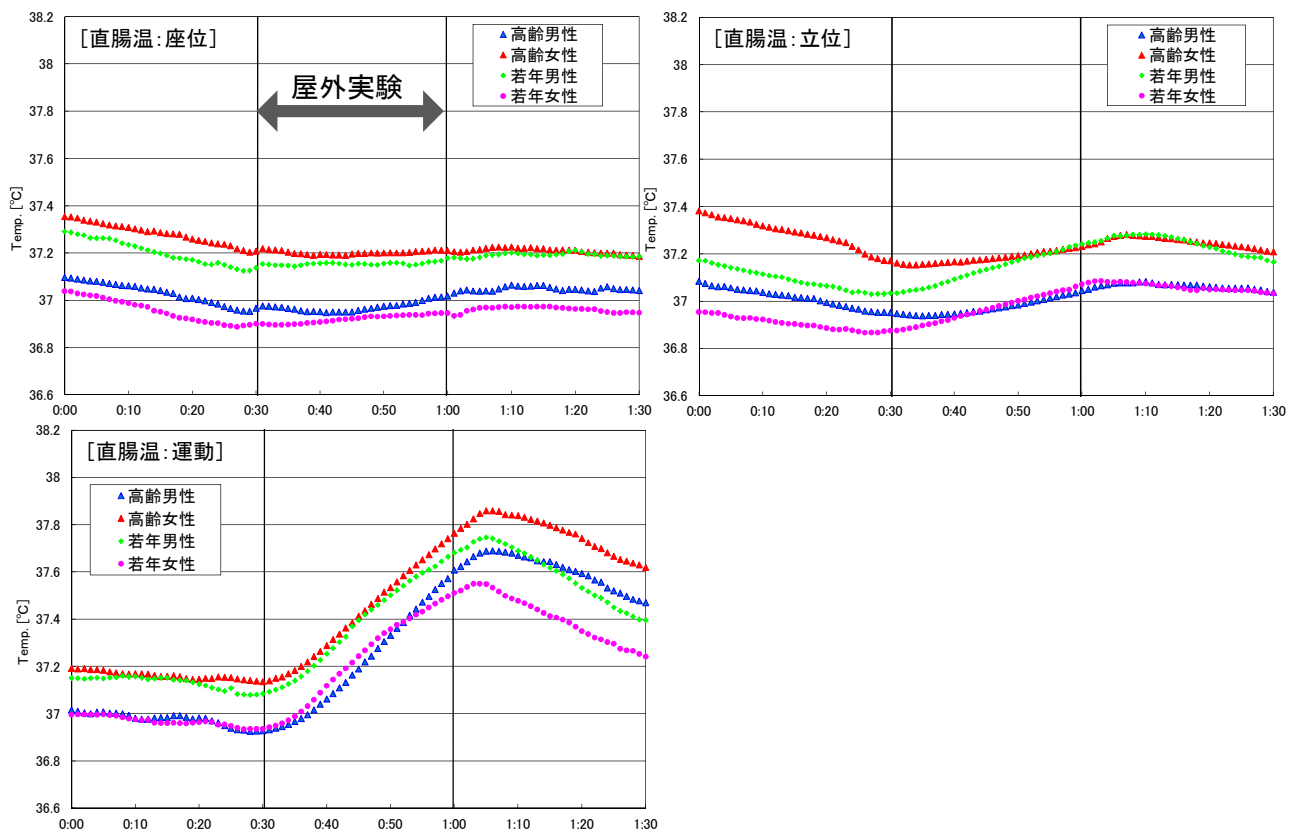


図 1.11 直腸温測定結果 (各被験者群平均)

③心拍数

心拍数についても座位でほとんど変化が見られず、立位で 10bpm 程度、運動では最高で 40bpm 程度の上昇が見られた。この実験種別での違いの傾向は、直腸温と同様であるが、直腸温の測定結果で見られたような若年群と高齢群での違いについては、心拍数では確認されなかった。

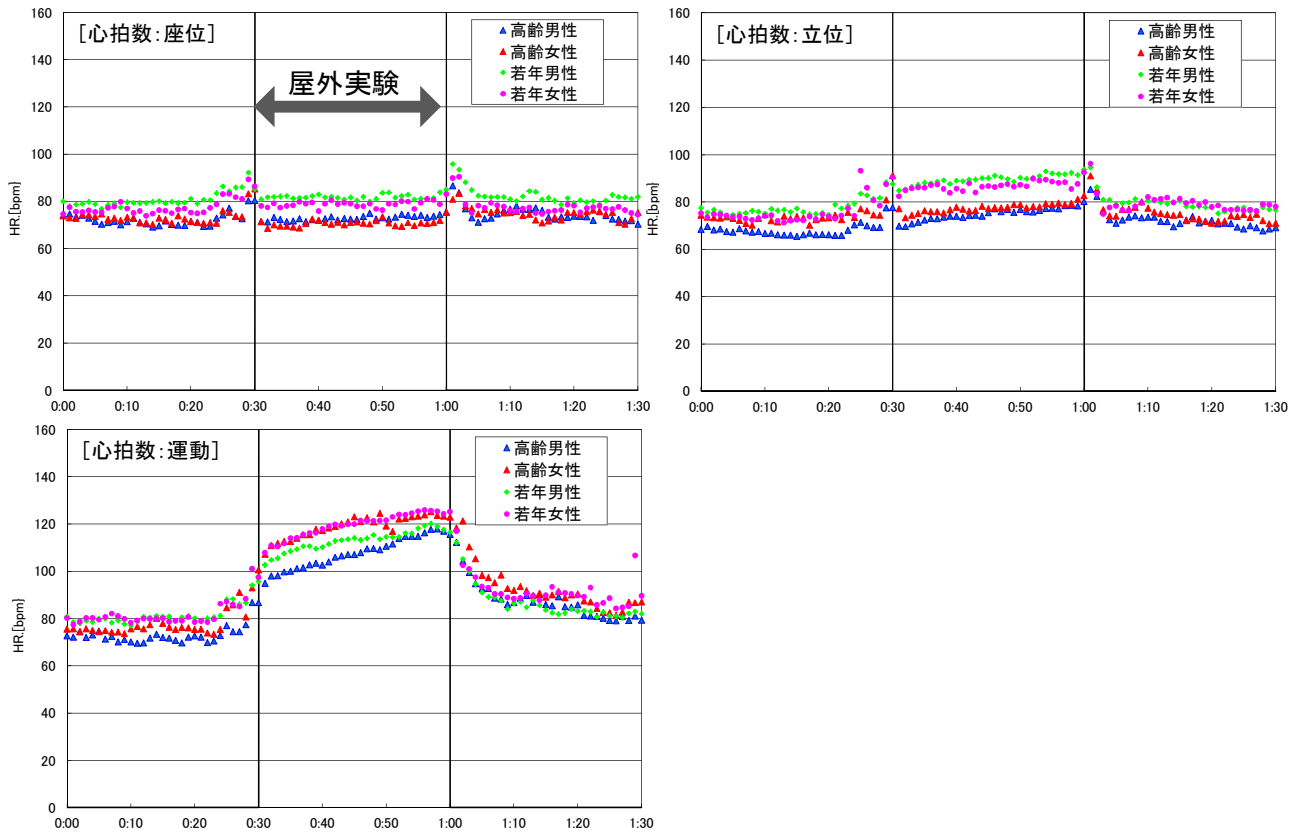


図 1.12 心拍数測定結果 (各被験者群平均)

④発汗量

発汗量については、実験前後の体重減少量から算出した。実験種別の違いでは、座位と立位で若干、座位の方が発汗量が多いものの大きな違いはなく、運動では座位や立位にくらべると2倍程度の量となっていた。座位の方が立位より発汗量が多くなった理由としては、立位より座位の方が皮ふ温が高くなっていたことが関係していると考えられる。

また、男性では高齢群より若年群が多く、高齢者より若年者の発汗能力が高いことが表れていると考えられる。一方で女性では若年群の方が少ない傾向が見られるが、若年女性群の実験環境が最も涼しい状況であったことに影響されている可能性がある。

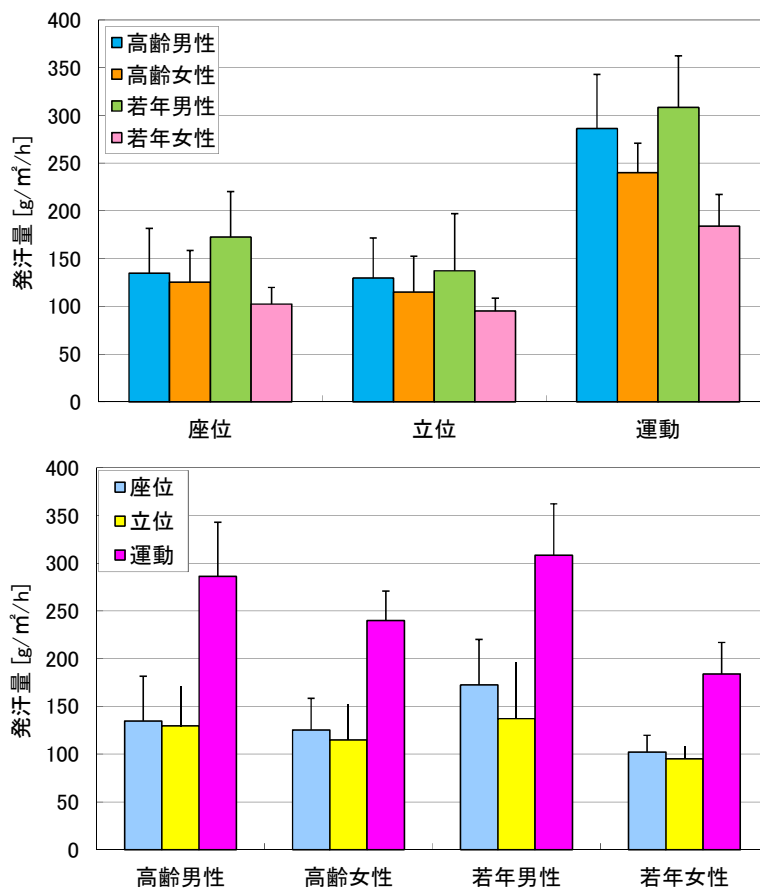


図 1.13 発汗量測定結果 (各被験者群平均)

3) 主観申告

温冷感については、運動時に暑く感じており、中でも高齢男性、高齢女性が暑く感じる傾向があり、直腸温などの生理指標と同様の傾向が見られる。

快適感については、温冷感で暑く感じている群ほど、不快側の申告が多くなっており、特に高齢男性において不快と感じる傾向が見られた。

気流感については、屋外実験中の風速は、被験者群によって大きな違いがなかったが、高齢男性や高齢女性で感じ方が弱く、これも温冷感との関連が考えられた。

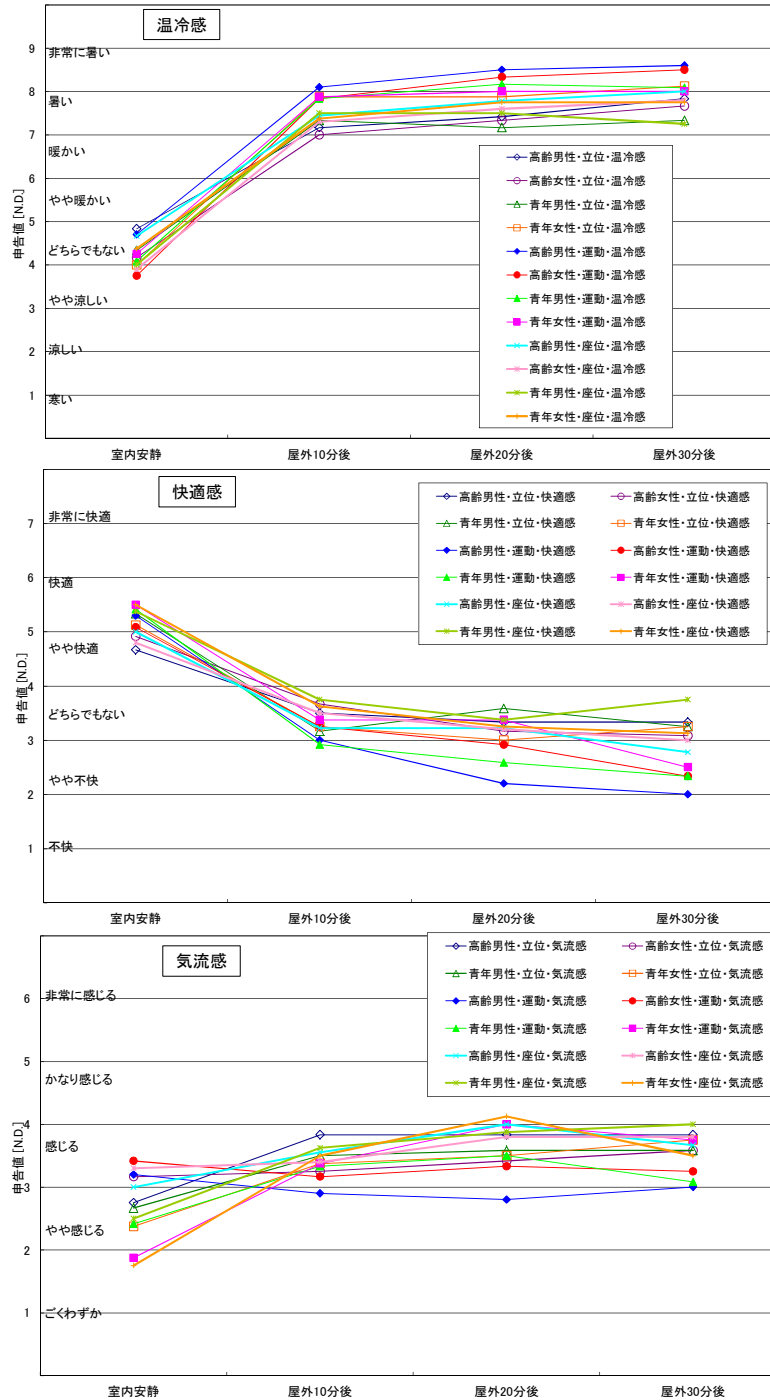


図 1.14 温冷感、快適感、気流感の集計結果

許容度、満足度についても同様の傾向が見られ、高齢男性などの運動時でマイナス側の申告が多く、若年男性の座位、立位時でプラス側の評価が見られた。

運動強度については、高齢者で時間の経過とともに「きつい」側の申告が増え続ける一方で、若年者では運動10分～30分の間であまり申告値に変化が見られない。

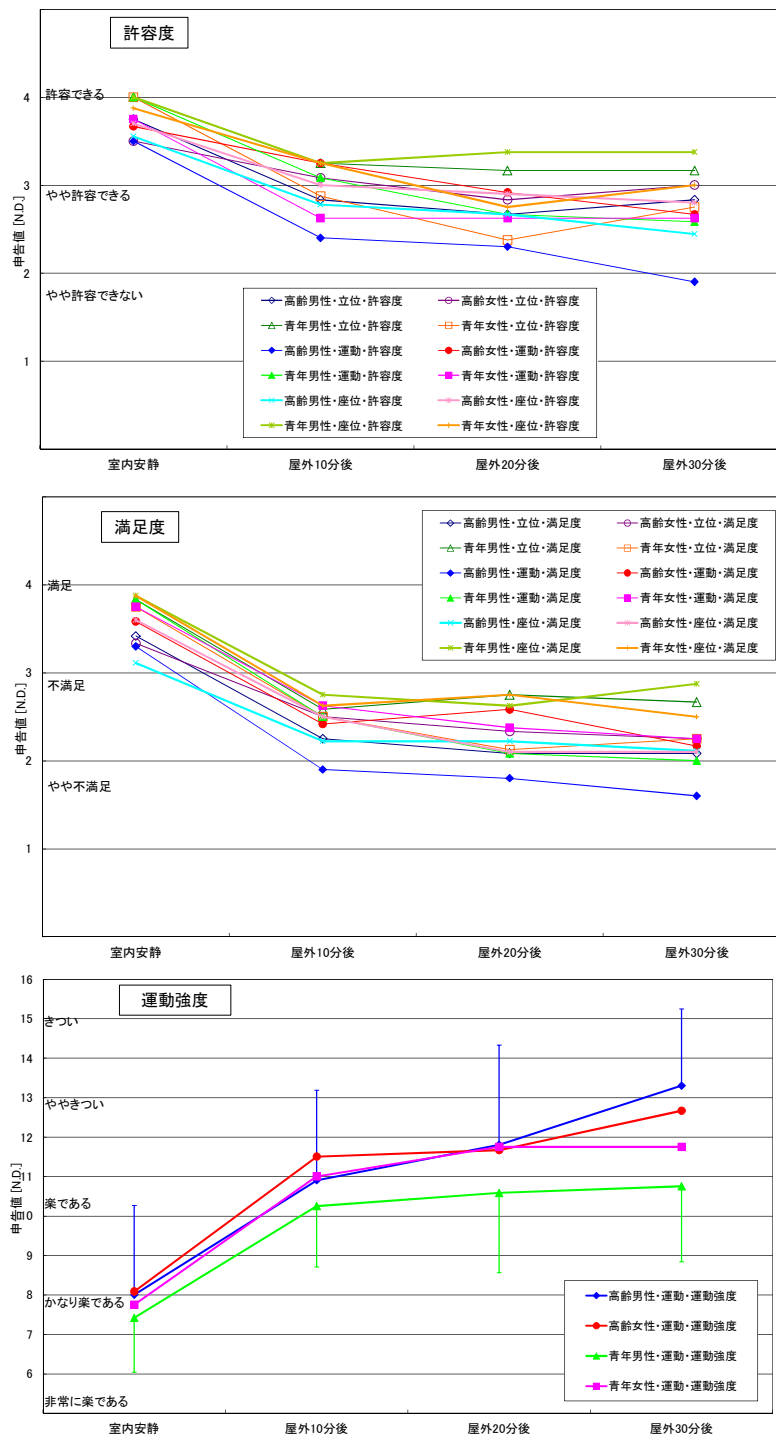


図 1.15 許容度、満足度、運動強度

1.1.4 考察

暑熱環境下で実験することができた高齢男性と若年男性を対象に、温熱生理反応の違いに影響を及ぼす要因を考察した。

1) 人の体温調節反応

(1) 暑熱下における体温調節のメカニズム¹

人は身体の核心温を一定に保つよう優れた体温調節機能を有している。夏における耐暑反応としての体温調節システムは、上着を脱いだり扇風機をつけるなどの「行動性調節」と発汗などの「自律性調節」がある。以下、自律性調節について、概要を示す。

水分の蒸発によらない「非蒸散性熱放散」は、血管の拡張によって皮膚血流量を増やすことで、皮ふ温が高くなり、環境温が皮ふ温より低い場合には、熱の放散量が大きくなる。しかし、環境温が皮ふ温に近づくかそれより高くなると、身体表面から水分を蒸散させて熱を逃がす「蒸散性熱放散」すなわち発汗が唯一の手段となる。

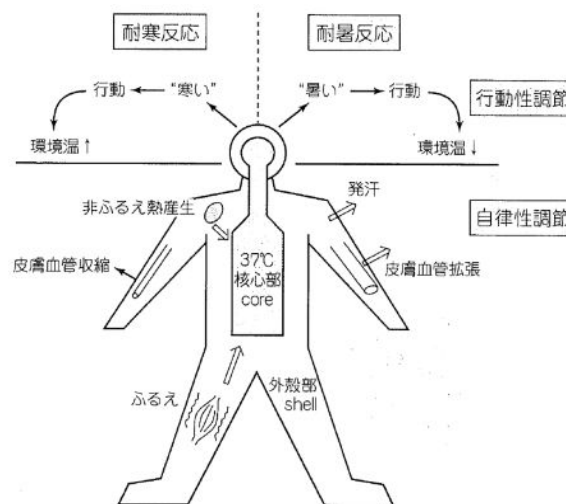


図 1.16 人の体温調節反応（耐寒反応と耐暑反応）

(2) 老化による体温調節の変化²

高齢者は、若年者にくらべて体温調節機能が衰えるとされるが、皮膚血流による熱放散反応の低下と発汗機能の低下が進む。老化に伴う皮膚血流量の低下は発汗機能の低下に先行し、これらの低下は下肢→躯幹後面→躯幹全面→上肢→頭部と進行する。また、発汗機能の低下は単一汗腺当りの汗腺出力の低下が、活動汗腺数の低下に先行する。発汗機能別に老化による影響を見ると、皮膚の温度受熱器や汗腺自体が衰え、発汗開始体温の閾値には変化が見られない。すなわち、発汗機能の老化は中枢より末梢機構において早期に出現する。

¹彼末一之、体温調節システム、井上芳光・近藤徳彦編集『体温Ⅱ－体温調節システムのその適応』、ナッパ、2010

²井上芳光、発育と性差、井上芳光・近藤徳彦編集『体温Ⅱ－体温調節システムのその適応』、ナッパ、2010

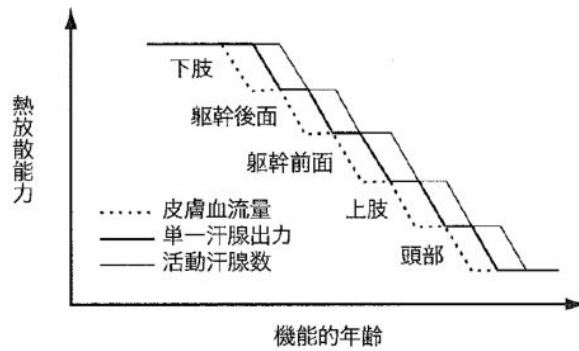
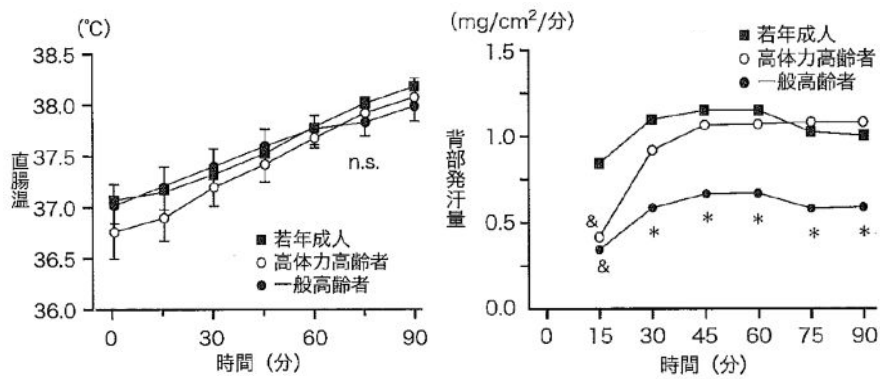


図 1.17 熱放散反応の老化過程

若年成人、高体力高齢者、一般高齢者の高温環境下での運動時の直腸温と総発汗量は、直腸温では有意な差が見られず、総発汗量では一般高齢者が高体力高齢者より少なく、高体力高齢者と若年成人では同等であった。



* は、若年成人と高体力高齢者にくらべて、一般高齢者が有意に低い
 & は、若年成人にくらべて、一般高齢者が有意に低い

図 1.18 若年成人、高体力高齢者、一般高齢者における 43°C 環境下 (30%RH) 運動時 (35%VO₂max) の直腸温 (左) と背部発汗量 (右)

そこで以下では、年齢の違いによる影響と、環境温の違いによる影響をそれぞれ分析した。

2) 年齢による影響

(1)生理指標の平均的な変化量との関係

平均皮膚温、直腸温、心拍数については実験開始前の休憩中の値と屋外実験 30 分間の平均値との差、また発汗量については屋外実験の前後の体重の差を求めた。これらの生理指標の変化量について、年齢（高齢、若年）及び実験種別（座位、立位、運動）ごとに整理した。対象は全ての実験種別を実施した欠測の無い高齢、若年それぞれ 7 名ずつである。

結果は、高齢と若年で有意な差は見られなかった。実験種別ごとには違いが見られ、皮膚温では運動時に有意に低く、直腸温と心拍数、発汗量では運動時に有意に高かった。発汗量については、全ての実験種別において若年で多い傾向が見られた。

特に、直腸温については、座位、立位では 0.1~0.2℃程度の上昇に抑制されていたが、運動時には 0.6~0.7℃程度上昇することを確認した。

なお、実験中の気温、グローブ温度、WBGT については、高齢と若年、また実験種別間で有意な差は確認されなかった。

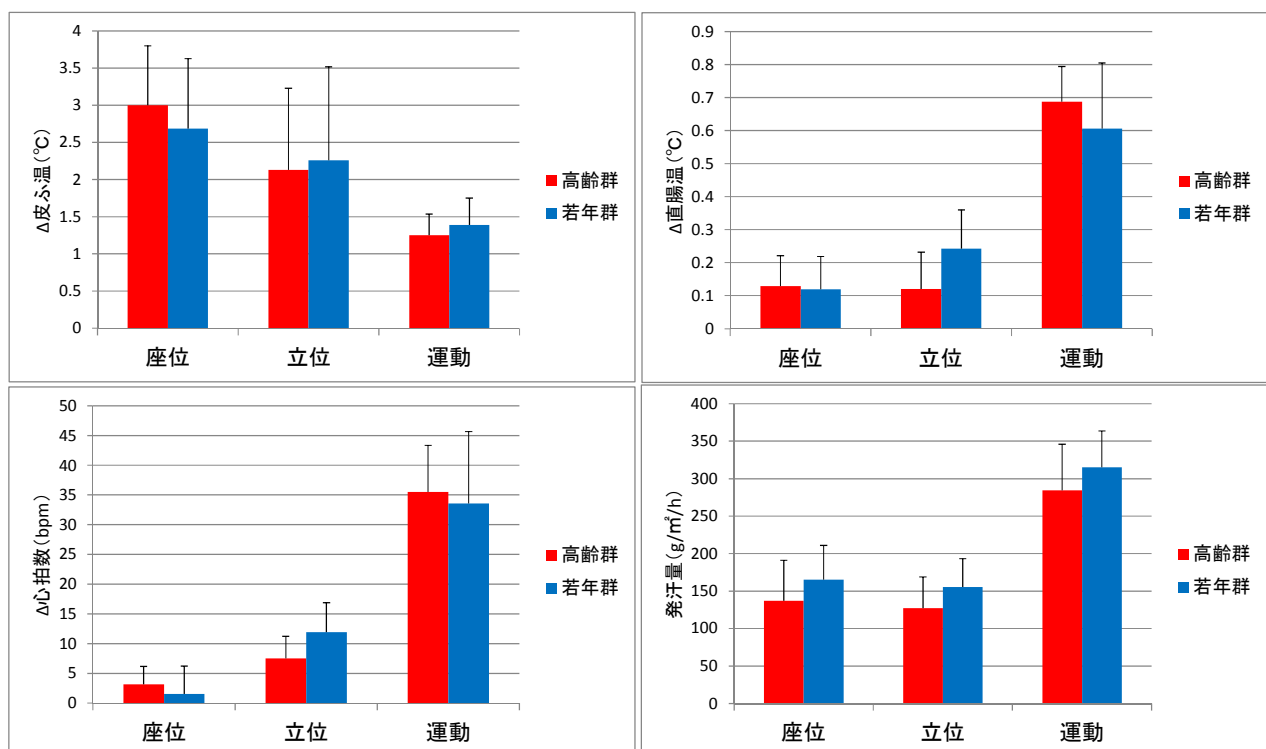


図 1.19 年齢群別、実験種別ごとの生理反応（30 分間平均）

(2)体温調節機能の応答性の違い

30 分間の平均値では高齢と若年の間には生理反応の違いが見られなかった。しかし、反応性の違いがあることが指摘されていることから、実験中の経時的な変化の違いについて検討した。

発汗量については、実験開始前後の差として 30 分間の総量のみが分かるが、血流反応につ

いては連続的な皮ふ温データから反応性の違いを把握することができる。そこで、屋外実験の開始後 1、3、5、10、15、30 分間の平均皮ふ温上昇量の平均値を用いて、年齢群と実験種別による二元配置分散分析を行った。

その結果、実験開始後 1 分、3 分、5 分間平均では群間に有意な違いが見られる（1 分、3 分は $p < 0.01$ 、5 分は $p < 0.05$ ）が、10 分経過以降には有意差が見られなかった。また、逆に種別間については、開始後 1 分間では違いが見られないが、3 分以降、徐々に違いが明瞭になる傾向が見られた。

本実験においても、高齢者の皮膚血流による熱放散反応が若年より遅れることが確認された。なお、この間、環境温には群間、種別間ともに有意な違いは見られなかった。

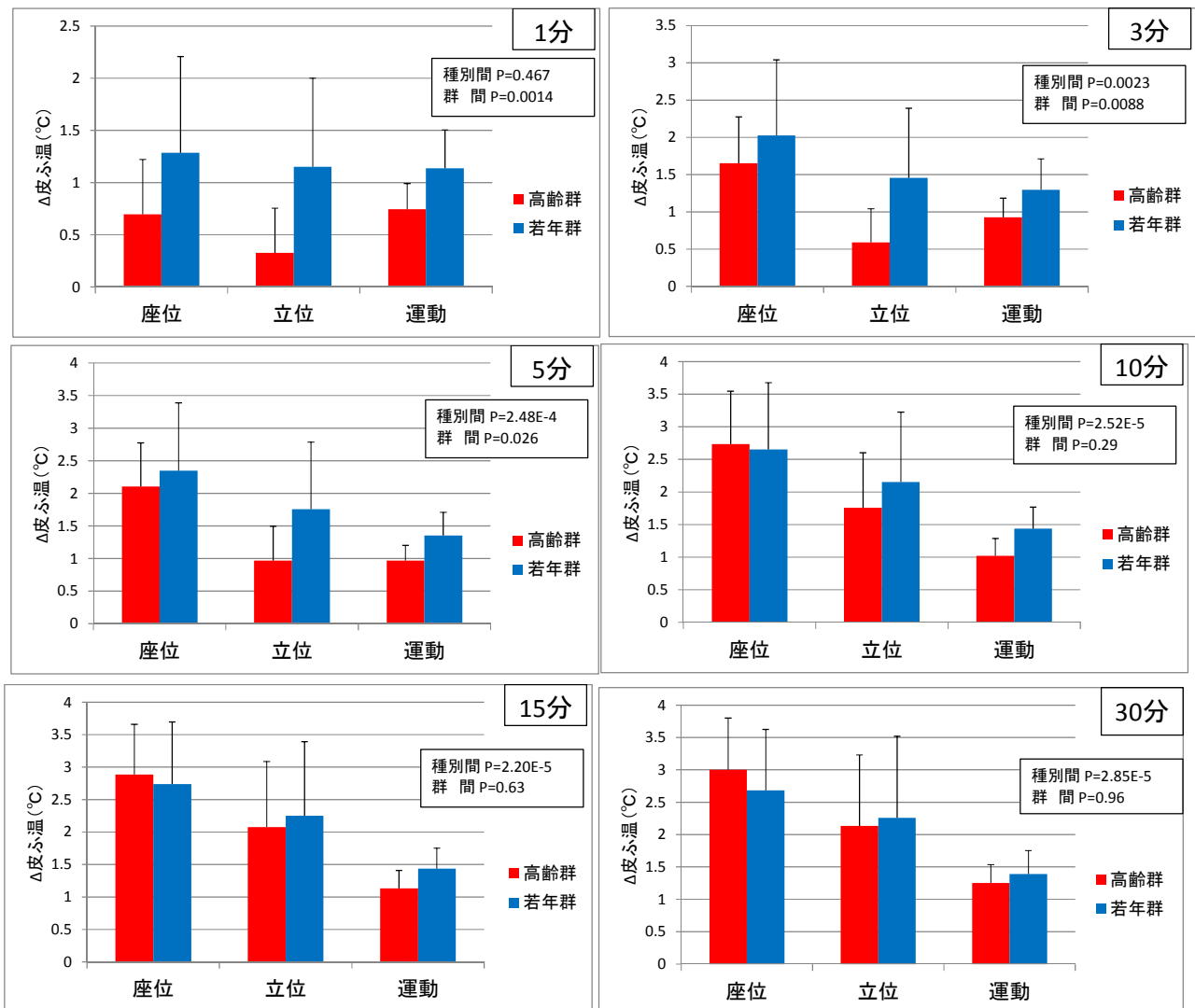


図 1.20 年齢群別の平均皮ふ温の反応性比較

3) 温熱環境による影響

皮ふ温、直腸温、心拍数、発汗量のいずれにおいても年齢別の違いが見られなかったが、温熱環境の違いによる影響を確認するため、屋外実験中の WBGT の 30 分間平均値の高い群と低い群に分けて集計した。

その結果、皮ふ温では座位と立位、直腸温では座位と運動で、発汗量では全ての実験種別で高温群が高かったものの有意な差は確認されなかった。心拍数については、全ての実験種別で高温群が高く、座位と運動においてはその差は有意であった。

高温による熱ストレスが、体温調節に係る生理反応を促進させたと考えられる。

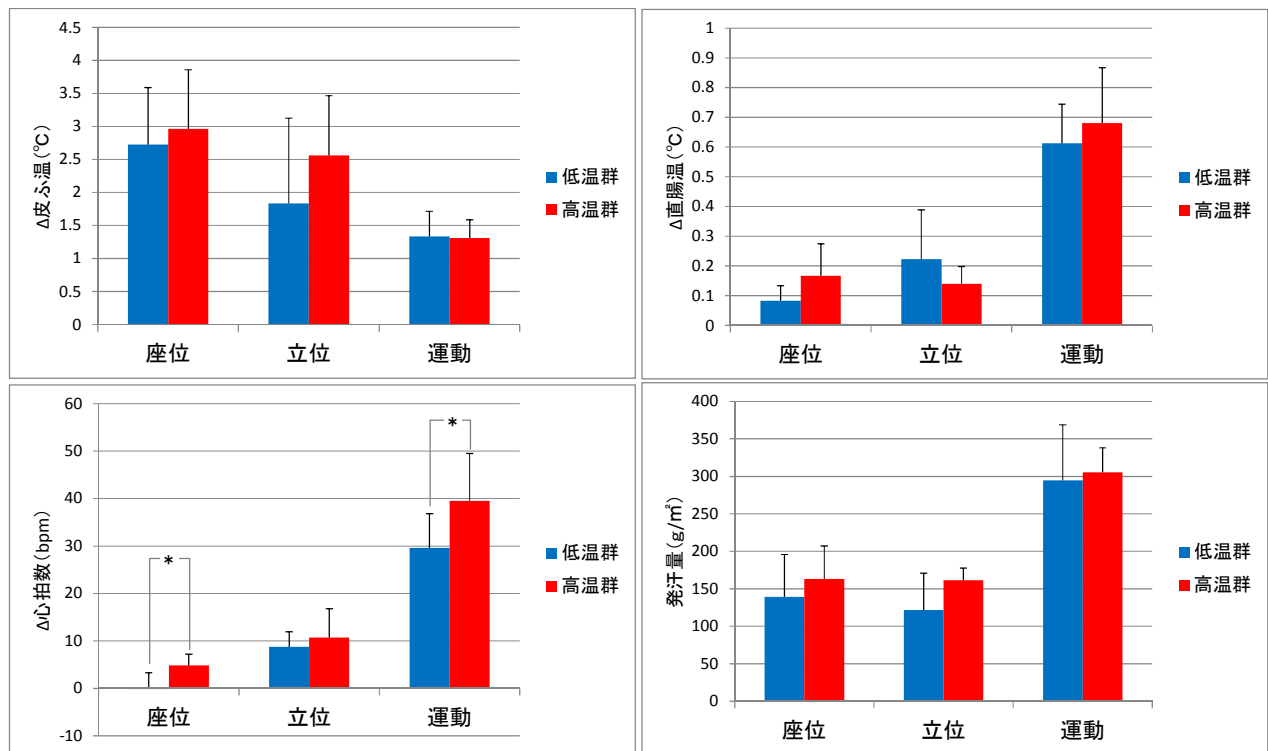


図 1.21 温熱環境別、実験種別の生理反応 (30 分間平均) (* : p<0.05)

4) 年齢と熱環境の2要因を考慮した分析

上記で、年齢による影響と熱環境による影響をそれぞれ確認した。

その結果、WBGTによる高温群、低温群の分類で、座位、運動時の心拍数に有意な差が見られた。また、高齢群、若年群の分類では、体温調節機能の違いとして、実験中の30分間の発汗量がいずれの実験種別でも高齢者の方が少なく、血流による熱放散反応が若年より高齢者の方が遅れることを確認した。

そこで、年齢と熱環境の2つの要因による影響を見るため、高齢、若年をそれぞれ高温と低温に分類し、4群での比較を行った。対象としたデータは、深部体温の上昇が大きかった運動時のものを用い、高齢と若年それぞれ10人ずつとした。また、高温と低温の分類は、実験中の30分間の平均WBGT値を用い、WBGTが高い5人を高温群、低い5人を低温群とした。

直腸温の上昇量を見ると、高齢_低温と高齢_高温で0.15°Cの違いがあり、若年よりも高齢で熱環境の影響を受けやすい可能性が考えられた。心拍数の増加量では逆に若年_低温と若年_高温の違いの方が高齢より大きく、若年では高温環境での体温調節が適切に促進された結果として直腸温の上昇が抑えられていたとも推察される。ただし、いずれも有意な差ではなかった。

一方で発汗量は高齢、若年ともに低温の方が多く、若年ではその差は有意であった。発汗を促す要因の一つに皮ふ温が挙げられるが、若年の皮ふ温は高温群より低温群で上昇量が大きくなっていた。この要因について、以下に考察する。

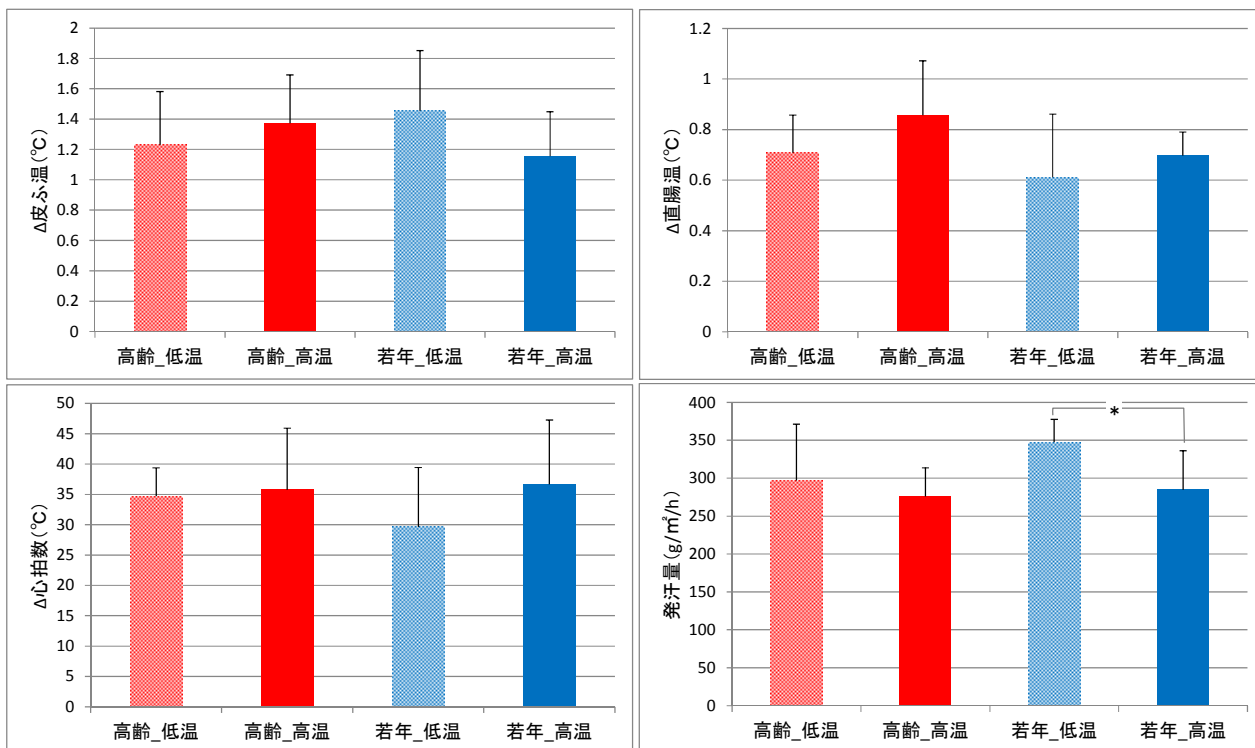


図 1.22 年齢別、熱環境別の生理反応 (運動時 30 分間平均) (* : p<0.05)

上述の年齢と熱環境による分類では、熱環境による分類に WBGT を用いた。各群の WBGT とグローブ温度の平均値を下図に示す。高齢、若年ともに高温群と低温群の WBGT 値は有意に高温群が高い。一方で同じ分類でグローブ温度を確認すると、高齢、若年ともに高温群の方がグローブ温度が低くなっており、若年_低温と若年_高温ではその差は有意であった。

すなわち、実験を実施した日の気象状況が、暑くて日射が少ない日と涼しくて日射が多い日というように、体感的な熱環境の要素が複雑に変化していたことがうかがえる。グローブ温度は、風がそれほど強くない状況では、日射と気温に影響されるが、皮ふの熱感受性に対しては WBGT よりグローブ温度の方が刺激として強く影響する可能性も考えられる。そのため、グローブ温度が有意に高くなっていた若年_低温で、皮ふ温が高く、その結果、発汗量が有意に多くなっていたと推察される。

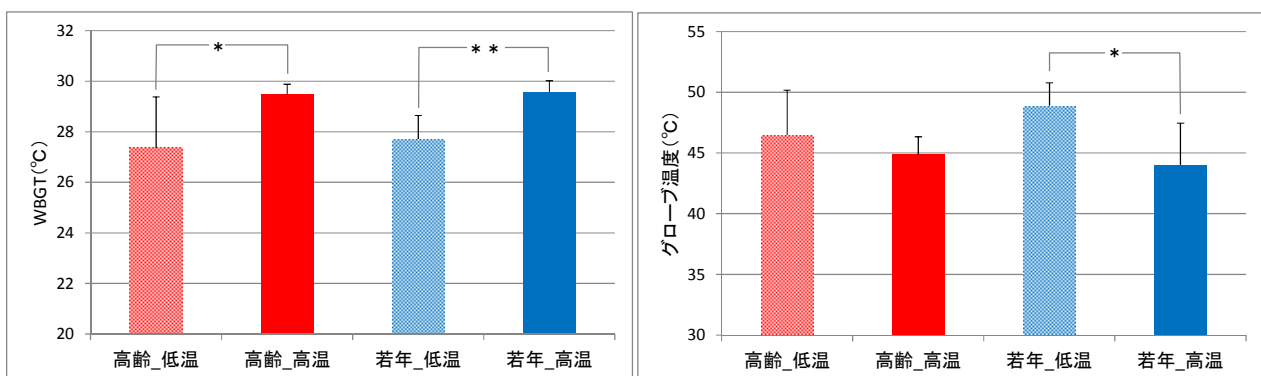


図 1.23 WBGT による高温群と低温群の分類時における各群の平均 WBGT と平均グローブ温度 (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

5) 暑熱ストレス指標の検討

そこで、運動実験中の WBGT とグローブ温度が逆転していた若年男性を対象に、各種温熱指標と体温調節に係わる生理反応との関係を調べた。ただし、運動実験中に日射量が比較的安定していた 8 名を対象とした。温熱環境指標としては、気温、グローブ温度、日射量、WBGT を用い、各指標で上位 4 名と下位 4 名で分類した。生理指標としては、平均皮ふ温の上昇量、心拍数の上昇量、発汗量とした。また、皮ふ温は、発汗が進むことで低下するため、実験前半 15 分の平均値を用いた。ただし、発汗量は実験 30 分間の値である。

これを見ると、生理反応の促進に最も影響を及ぼしたのは日射量であり、皮ふ温と心拍数は日射量の高低によって有意な差が見られた。一方で暑さ指数として使われている WBGT による分類では生理反応の有意な差が見られず、皮ふ温と発汗量では WBGT が低いほど増加する傾向が見られた。

現在、熱中症との関係では、一般的に「暑さ指数」などとして WBGT が使われている。しかし、熱中症を発症するまでには至らなくとも、街なかでの暑熱によるヒトへの負荷（暑熱ストレス）を増加させる要因としては、日射量やグローブ温度などの放射による影響がより強く関係している可能性が示唆された。

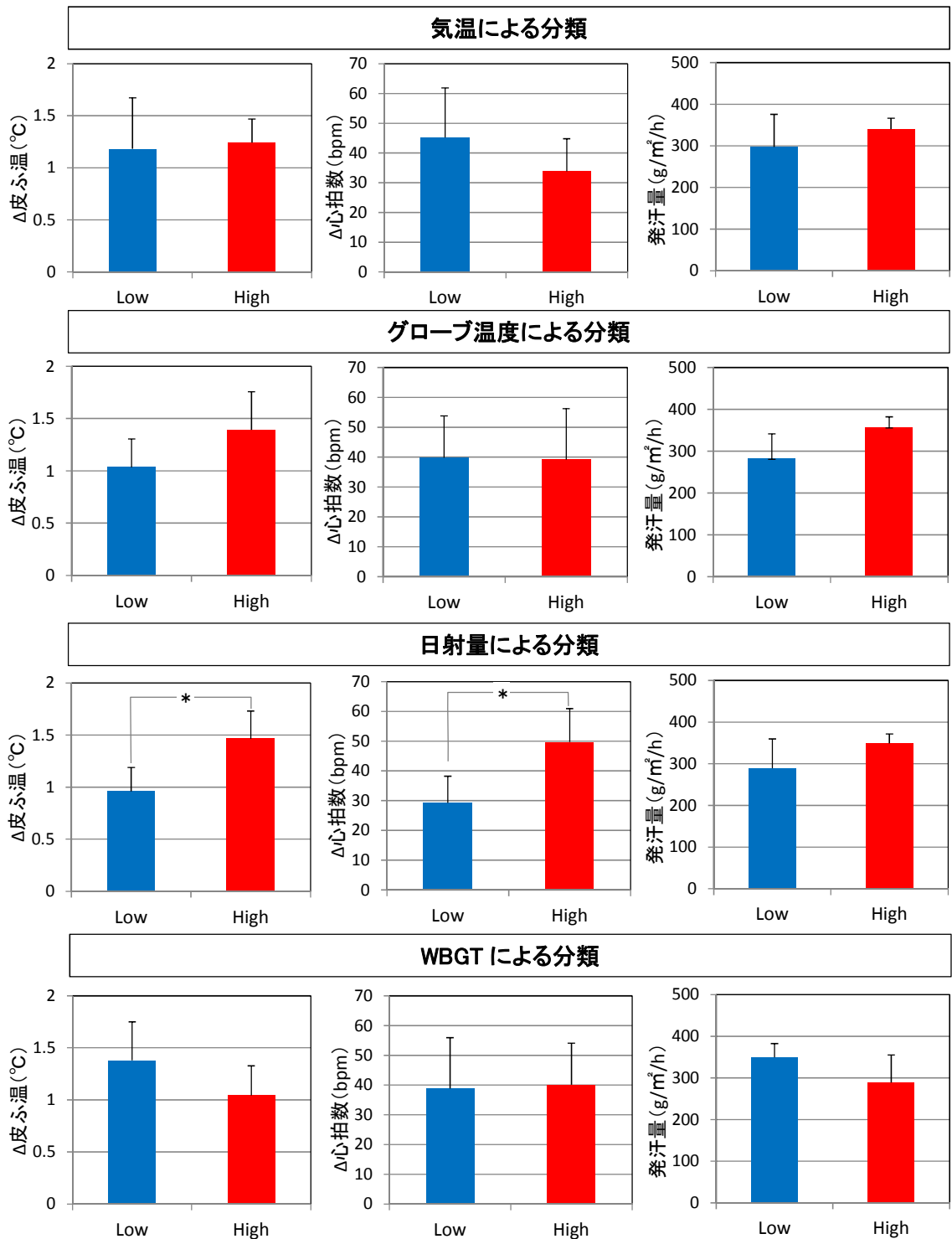


図 1.24 各種熱環境指標と生理反応との関係（若年男性、運動の前半 15 分間）
 （ただし、発汗量のみ運動の 30 分間の値を用いた）

1.1.5 本実験での課題と今後の対応

1) 本実験での課題

①熱環境条件

近年では猛暑日が多く出現するようになっており、そうした暑熱環境下における暑熱ストレスの影響を検討することが重要である。しかし本実験を実施した8月の後半から9月の間、晴天日が少なく、気温も低くなりがちであった。

また、暑熱ストレス指標としての「放射」が有効である可能性が示唆されたが、今回の測定では実験実施日の気象要素が複雑に変化し、グローブ温度が高い日にWBGTが低くなるという気象条件下で実施されるなど、結果の解釈を難しくする要因となった。

②実験実施方法

これまで、屋外の日射下で負荷の高くない運動時のヒトの生理反応を調べる実験について、特に高齢者で実施した事例は少ない。そこで本実験では、基本的なヒトの生理反応を確認するため、座位、立位、運動の3つの種別を繰り返す実験方法とした。実験の結果、運動時には高齢者において平均で0.6~0.7℃程度、最大で1℃以上の直腸温の上昇が確認された。しかし、運動時の高温環境と低温環境のそれぞれのサンプル数が少ないこともあり、明確な差は検出できなかった。そのため、暑熱環境が熱中症の発症等の健康リスクに及ぼす影響を検討するまでには至らなかった。

2) 今後の対応

今後の対応としては、第1に安定した暑熱環境のもとで実験を行うことが重要である。そのため、比較的、暑熱環境が安定する7月の後半から8月の中旬くらいに実験を実施することが考えられる。

また、直腸温の上昇による健康リスクの検討に資するデータを得るには、直腸温の上昇が確認された「運動」を対象として実験を行うことが望まれる。運動実験において、各被験者が日射下と日陰での実験を繰り返すことで、放射環境以外の気象要素が安定して放射環境の違いによる影響を明確にすることができるとともに、実験種別を運動に絞ることで検定に必要な十分なサンプル数が確保することが可能となる。

さらに、検討する健康リスクについては、直腸温の上昇による熱中症発症リスクのほか、本実験で明らかとなった心拍数や発汗量などの増大に寄与する「暑熱ストレス」についても対象とすることで、健康リスクの対象範囲を広く捉えることが望ましい。