
日本人の体温調節能の特徴に関する 生理人類学的研究

課題番号 10304066

平成10年度～平成11年度科学研究費補助金
(基盤研究(A)(2)) 研究成果報告書

平成12年3月

研究代表者 勝浦 哲夫
(千葉大学工学部教授)

日本人の体温調節能の特徴に関する 生理人類学的研究

課題番号 10304066

平成10年度～平成11年度科学研究費補助金
(基盤研究(A)(2)) 研究成果報告書

平成12年3月

研究代表者 勝浦 哲夫
(千葉大学工学部教授)

目 次

はしがき	2
研究組織	3
研究経費	3
研究発表	3
研究成果 (1) 体格との関連からみた日本人の体温調節能の特徴－変動温 熱環境における体温調節反応と体組成の関連－	5
研究成果 (2) 出身地別にみた日本人の体温調節能の特徴－寒冷地出身者と温暖地出身者の温度刺激に対する温度感覚および生理反応の比較－	19
研究成果 (3) 脳機能からみた日本人の体温調節能の特徴－温熱刺激に対する快適感・温冷感と脳機能水準の変化－	35
研究成果 (4) 温熱反応からみた日本人児童と青年の体温調節能の特徴－児童と青年の下腿温浴時の温熱反応－	51
研究成果 (5) 日韓女子学生の比較からみた日本人の体温調節反応の特徴－日韓女子学生の民族服着用における冬季の寒冷及び夏季の高温環境に対する生理反応－	101
研究成果 (6) 理論生理人類学からみた日本人の体温調節能の特徴	113

はしがき

日本人の体温調節能について地域差、性差、年齢差等を生理人類学的手法を駆使し、総合的に研究することにより、その特徴を明らかにすることを目的として本研究は実施された。体温調節能に関する研究はIBPのHuman Adaptabilityの研究班で行なわれたが、すでに多くの年月が経過し、新しい手法を用いた研究の必要性が痛感されていた。

本研究では、昭和56・57年度総合研究(A)「日本人の耐寒・耐暑性に関する総合的研究」(代表者：勝浦哲夫)、昭和59年度総合研究(A)「耐寒・耐暑性の地域差に関する人類学的研究」(代表者：勝浦哲夫)、平成2年度一般研究(C)「日系南米人と日本人の体温調節反応の比較」(代表者：勝浦哲夫、1,500千円)等で得られた研究成果に基づき、皮膚血流量、体温、皮膚温、発汗量、脳波、熱流量、血圧、酸素摂取量などの多岐にわたる生理人類学的手法を駆使して、日本人の体温調節能についてその特徴を明らかにすることができたと思われる。

体温調節能は多くの要因より成り立っており、その全体像を明らかにし、日本人の体温調節能の特徴を捉えるためには多岐にわたる観点からの検討が必要であった。それぞれの分野で豊富な経験と斬新な方法論を有する研究分担者が各自の立場から研究を推進すると共に相互の情報を交換し検討することにより一層成果を上げることができた。

また、本研究を実施するに当たり、多くの被験者、実験補助者の協力を得た。この場を借りて感謝申し上げたい。

研究組織

研究代表者：勝浦 哲夫（千葉大学工学部教授）
研究分担者：原田 一（千葉大学工学部助教授*）
岩永 光一（千葉大学大学院自然科学研究科助教授）
栃原 裕（九州芸術工科大学芸術工学部教授）
安河内 朗（九州芸術工科大学芸術工学部教授）
佐藤 方彦（文化女子大学教授）

*現職：東北工業大学工学部教授

研究経費

平成10年度	20,100千円
平成11年度	11,200千円
計	31,300千円

研究発表

(1) 学会誌等

岩永光一，原田 一，勝浦哲夫，森川 岳，宮崎良文：異なる温度の金属板への接触による生体反応（II）－脳血液動態に及ぼす影響－，日本生理人類学会誌，4巻，1999：55-56

岩永光一，原田 一，勝浦哲夫，森川 岳，宮崎良文：NIRSによる脳血液動態と脳波の関係－，日本生理人類学会誌，4巻，1999：70-71

山下和章，藤田水穂，馬越淑，金貞淑，栃原裕：児童の下腿温浴による生理的影響へ及ぼす要因に関する研究，日本生理人類学会誌，4巻，1999：28-29

Mizuho Fujita, Kazuaki Yamashita, Jung-sook Kim, Yutaka Tochihara, Seasonal Thermal Responses of Children and Young Adults in a Hot Environment, Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Ergonomics, 2000:in press

(2) 出版物

Masahiko Sato. Physiological anthropology as a science for quality of life. Recent advances in Physiological Anthropology, Kyushu Univ. Press, 1999: 379-383

体格との関連からみた日本人の体温調節能の特徴
—変動温熱環境における体温調節反応と体組成の関連—

勝浦哲夫（研究者番号：00038986）
千葉大学・工学部・教授

1. はじめに

Bergmannの法則やAllenの法則が示しているように、一般に体格によって体温調節能が修飾されることは知られている。また、寒冷環境において体脂肪率の大きい人の方が体幹部の皮膚温は低く、末梢部の皮膚温は高いが、全身温冷感については体脂肪率の違いによる差異が認められないとする報告（西村ら、1993）などもある。しかしながら、変動する温熱環境における体温調節反応を体脂肪率、身長、体重などの体格との関連で検討した報告は極めて少ない。そこで、本研究では、高温環境から低温環境への温熱環境変動条件、および低温環境から高温環境への温熱環境変動条件において、鼓膜温、皮膚温、皮膚血流量、代謝量などの生理反応や、温冷感、快適感などを測定し、被験者の体格との関連を検討した。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は、健康な男子大学生9名、および男子大学院生2名、計11名であった。被験者の身体的特徴は表2.1.1に示した。

表2.1.1 被験者の身体的特徴

Subject	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat %
AK	26	172.3	63.5	9.0
AO	22	161.1	51.3	10.8
II	22	172.0	77.6	16.4
IN	22	172.5	57.4	11.5
IS	22	173.5	60.9	10.9
IT	20	170.0	88.6	21.0
KM	22	170.5	50.3	9.6
KW	22	169.8	86.1	21.4
SG	22	170.2	64.2	11.1
SS	24	179.2	61.8	12.2
TS	24	165.2	72.5	19.3
Mean	22.5	170.6	66.8	14.0
SD	1.6	4.6	13.0	4.7

2-2. 着衣

本研究では「全体的、および部位別の温度感覚に体脂肪が影響するか」ということを目的としているため、部位によって着衣条件が異なってはならない。従って被験者にはなるべく裸体に近い状態、つまりトランクスのみで実験に参加してもらった。

2-3. 実験条件

環境温度は高温環境を37℃、低温環境を17℃に設定し、実験条件は高温環境（37℃）→低温環境（17℃）及び低温環境（17℃）→高温環境（37℃）の2条件であった。相対湿度については無制御とした。

2-4. 実験手順

実験前、被験者は、2時間以上前に食事を済ませた状態で身長および体重を測定した後、最初に設定されている17℃あるいは37℃の気温に保たれている人工気象室に入室してもらい、11箇所¹⁾の皮下脂肪厚および各部位の体表面積を求めるために、18箇所²⁾の部位の周囲長を測定した。これらの測定の終了後、センサー装着を行った。その後、被験者には作業机の前の椅子に座ってもらい、安静にしてもらった。測定およびセンサー装着にかかった時間は実験によって異なるが、被験者が生理量測定開始までに最初の設定温度に曝露された時間はすべて1時間である。また、実験前に安静にするのは、各被験者とも同一の気温条件に曝露されることにより、定常状態にするためである。

各生理指標は人工気象室に入室してから1時間後に測定を開始し、測定開始後70分経過後に測定を終了させた。なお、皮膚血流量はリアルタイムで、環境温、鼓膜温、皮膚温、環境評価指標は10秒毎、その他の生理指標は1分毎に測定を行った(図2.4.1)。また、環境温は作業机の高さで測定した。

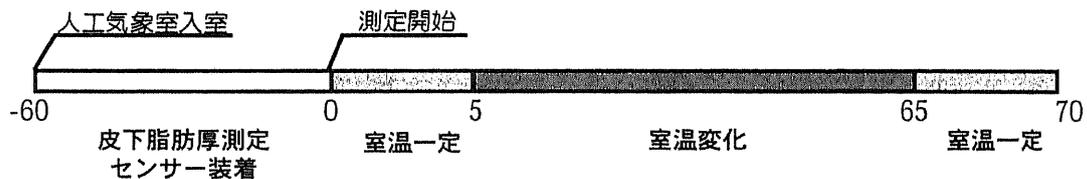


図2.4.1 実験スケジュール

実験中、被験者には温冷感を問う温熱評価作業を評価装置を用いて実験終了後まで連続して行ってもらった。

また最後に、実験終了後、被験者には人工気象室から退出してもらい、体重を測定した。

2-5. 実験環境の温度制御

実験開始後、5分間は人工気象室内の気温を一定に保ち、その後、実験条件に合わせて室温を1時間で変化させ、最後の5分間は再び一定に保った。人工気象室の温度制御は空調制御盤で行われたが、一定にさせた場合も、高温と低温環境では制御方法も異なり、安定させるのに多少時間がかかっていた。また、気温を変化させた場合も、冷却時と暖房時では前者はどうしても急激に変化し、後者は緩慢に変化するため、図2.5.1のように線形的な温度制御にすべてなっているわけではなく、同一の条件でも変化の仕方は実験毎に異なっていた。

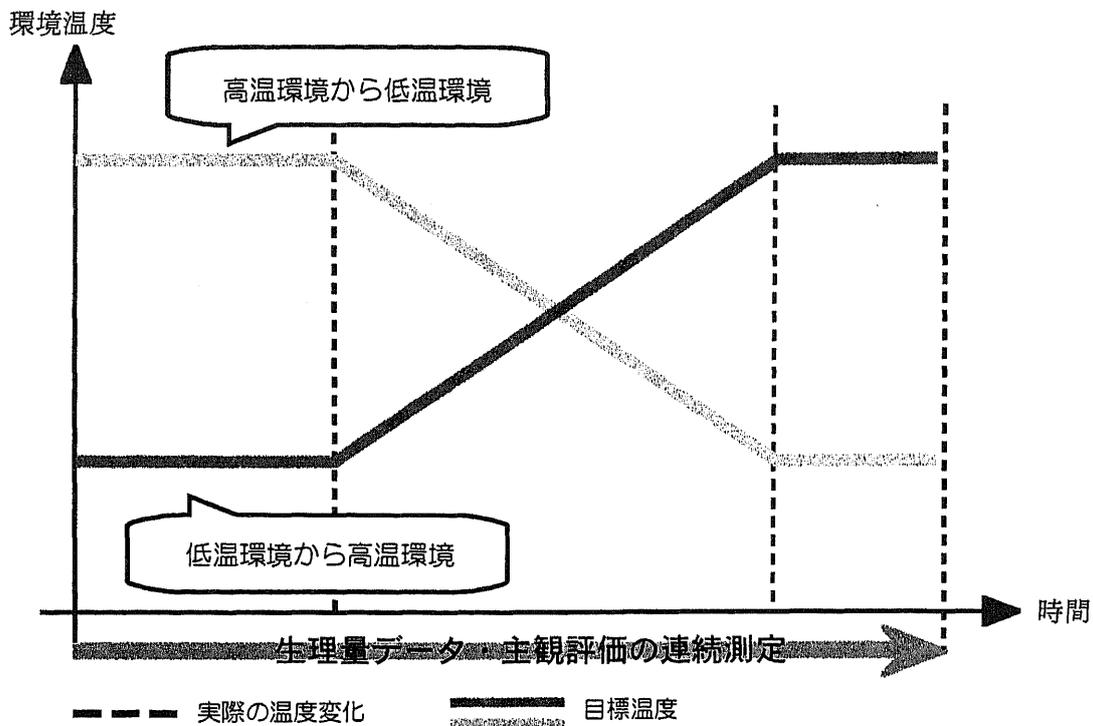


図2.5.1 実験環境の温度制御

2-6. 測定項目

実験中は以下の項目について測定を行った。

2-6-1. 体組成

本研究では皮下脂肪厚と体温調節との関わりが重要な検討項目であったために身体各部位の皮下脂肪厚を測定し、さらに、堀ら (1974) による平均皮下脂肪厚から推定された体密度推定式を用いて体脂肪率を算出した (次ページに算出方法を述べる)。皮下脂肪厚の測定部位は以下の通りであり (図2.6.1), 皮下脂肪厚の測定にはキャリパー皮脂厚計を用いた。体脂肪率 (BF%) を求める式は以下の通りである。

$$BF\% = 28.9 \cdot B.S.A \cdot x / W + 3.67$$

ここで, B.S.A; 体表面積 (m²), x; 平均皮下脂肪厚 (mm), W; 体重 (kg)
体表面積の算出には高比良 (1925) の式を用いた。すなわち,

$$B.S.A = W^{0.425} \cdot H^{0.725} \cdot 72.46 / 10000$$

ここで, W; 体重 (kg) H; 身長 (cm)

平均皮下脂肪厚を求める式は以下の通りである。

$$x = (8.2x_{arm} + 8.3x_{sub} + 8.3x_{chest} + 8.1x_{abd} + 8.1x_{waist} + 17.2x_{thigh}) / 58.2$$

x_{arm} ; 上腕三頭筋皮脂厚 (mm), x_{sub} ; 肩甲下皮脂厚 (mm), x_{chest} ; 胸皮脂厚 (mm),
 x_{abd} ; 腹皮脂厚 (mm), x_{waist} ; 腸骨稜皮脂厚 (mm), x_{thigh} ; 大腿皮脂厚 (mm)

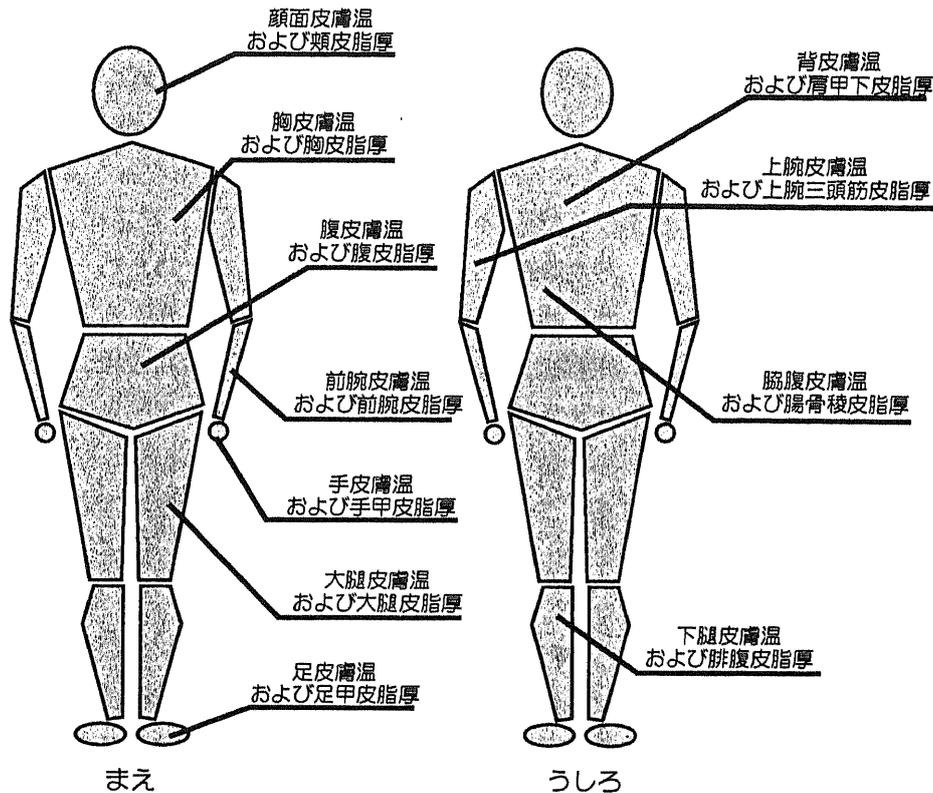


図2.6.1 皮膚温及び皮脂厚測定部位

2-6-2. 鼓膜温

鼓膜温は、左耳孔に挿入した鼓膜温サーミスタセンサー（テクノセブン社）により測定した。データは10秒毎にサーミスタ温度収録装置（テクノセブン；K722）によって収録し、コンピューター（NECPC-98ノートタイプ）に取り込んだ。鼓膜温センサーは鼓膜に接していなければ正確な判断はできないため、挿入に際しては被験者の判断にまかせた。また、出力されたデータから、明らかに鼓膜に接していないと思われるもの（35℃以下）は再度センサーを挿入してもらった。

2-6-3. 皮膚温

サーミスタ温度計により、図 2.7.1に示す部位の皮膚温を測定した。サーミスタ温度計感熱部はサージカルテープにより各部位に固定した。データは10秒毎にサーミスタ温度収録装置（テクノセブン；K722）によって収録し、コンピューター（NECPC-98ノートタイプ）に取り込んだ。

全身の皮膚温の平均指標として平均皮膚温が求められた。各個の測定点が代表し得る体表面積の全体に対する割合（重み）に基づき平均皮膚温が算出される。この平均皮膚温の算出式は数多く提案されているが、今回の実験ではHardy & Duboisの7点法により算出した値（Ts7）を採用した。すなわち、

$$Ts7 = 0.007A + 0.35D + 0.14E + 0.005F + 0.19G + 0.13H + 0.07I$$

今回の実験では、環境評価作業を主観評価ボックスのつまみで動かす作業を被験者に行って

もらったため、利き腕でない方の部位にセンサーをとりつけた（すべての被験者は右利きであった）。

2-6-4. 前腕皮膚血流量

血流量測定はレーザドップラ測定器（ADVANCE；ALF21）を用いて測定した。測定部位は前腕で、測定深度はともに1mm、各被験者とも2回の実験においておおよそ同じ位置で測定するよう心がけた。また、皮膚温同様、環境評価作業を主観評価ボックスのつまみで動かす作業を被験者に行ってもらったため、利き腕でない方の腕にプローブをとりつけた。

皮膚血流量はレーザドップラ測定器本体より、0～2V、時定数1secで出力し、これをコンピュータに接続し、波形処理ソフト（Wave Master II）上でモニタし、サンプリング周波数100Hzで記録した。この波形を再生し、1分毎に積分した値を皮膚血流量として扱った。

2-6-5. 血圧

測定は自動血圧計（パラマ；UM15-TP）を用いて右上腕部にカフを巻き、1分毎に測定した。実験中、被験者には温冷感を問う温熱評価作業を評価装置を用いて実験終了後まで連続して行ってもらっていたが、血圧を測定するために、カフが締め始めたときには主観評価を一時中断してもらい、安静にしてもらった。

2-6-6. 代謝量

本研究では間接的熱量測定法を用い、酸素摂取量および二酸化炭素排出量を測定した。この測定方法は被験者にガスマスクを装着して呼吸してもらった。呼気は呼気分析器（ミナト医科学；AE-280S）に連続的に採取、分析された。マスクには呼気流量計がとりつけられており、同位置からサンプルチューブによって呼気が吸引され、CO₂検出器、O₂検出器へと導かれる。ここで呼気が分析され、1分毎に酸素摂取量および二酸化炭素排出量が算出された。

2-6-7. 発汗量

暑熱負荷に対して最も有効な体熱放散の手段として現れるのが発汗である。この発汗量についての測定は多種多様な方法が提案されているが、本研究では、全体的な発汗量を見たかったために、体重の変化を採用した。

被験者には実験の前後において、トランクスのみ着用で、1g精度の電子台秤（メトラー；マルチレンジ電子台秤ID1S）を使用して体重を測定し、その差を発汗量とした。

2-6-8. 主観評価

主観評価については部位別温冷感（顔面・躯幹部前面・躯幹部背面・腕・手・脚・足）、主観温度、快適感を問う計9項目の主観評価を実験開始から実験終了まで、連続的無段階で行ってもらった。

2-7. データ処理および解析方法

環境温度、鼓膜温、皮膚温、主観評価は10秒毎に記録されたデータを1分毎に平均し、解析に用いた。皮膚血流量は、記録した波形を再生し、1分毎に積分した値を皮膚血流量として扱った。また、血圧および代謝量のデータは、1分毎に記録をしたのでそのまま解析に用いた。

3. 結果

3-1. 生理量と体組成との相関

各生理量の変化量と体脂肪率の相関を検討した。各生理量の変化量は3段階に分け、環境温変化開始直後の5分目から25分目までの変化量 ($f(25)-f(5)$)、25分目から45分目までの変化量 ($f(45)-f(25)$)、45分目から環境温変化終了直前の65分目までの変化量 ($f(65)-f(45)$) と体脂肪率との相関をみた。また、環境温変化前から環境温変化後までの各生理量の変化量と体脂肪率との相関 ($f(70)-f(1)$) もみた (図 3.1.1)。

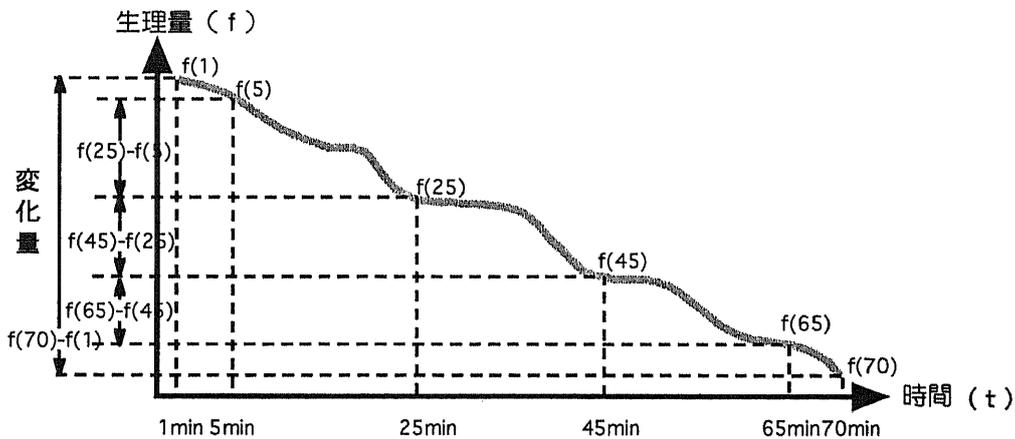


図3.1.1 変化量

表3.1.1に高温環境→低温環境の条件における各生理量の変化量と体脂肪率との相関の結果を示した。相関が認められなかったものについては「相関なし」、正の相関が認められたものについては「正」、負の相関が認められたものについては「負」と記載してある。顔面皮膚温、前腕皮膚温においては体脂肪率との相関が認められなかったものの、手皮膚温については正、その他の皮膚温については負の相関が認められた。正の相関が認められたということは体脂肪率の小さい人の方がより皮膚温が低下したということであり、負の相関が認められたということは体脂肪率の大きい人の方がより皮膚温が低下したということである。また、二酸化炭素排出量、皮膚血流量では正の相関が認められ、拡張期血圧では負の相関が認められた。

表3.1.1 高温環境→低温環境における体脂肪率と各生理量の相関

高温環境→低温環境	f(25)-f(5)	f(45)-f(25)	f(65)-f(45)	f(70)-f(1)
顔面皮膚温	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
胸皮膚温	負	相関なし	相関なし	相関なし
背皮膚温	負	負	負	負
腹皮膚温	相関なし	負	相関なし	相関なし
脇腹皮膚温	負	負	負	負
上腕皮膚温	相関なし	相関なし	負	負
前腕皮膚温	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
手甲皮膚温	相関なし	正	正	相関なし
大腿皮膚温	負	負	負	負
下腿皮膚温	負	負	負	負
足甲皮膚温	負	相関なし	相関なし	相関なし
平均皮膚温	相関なし	負	相関なし	負
鼓膜温	相関なし	正	相関なし	相関なし
酸素摂取量	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
収縮期血圧	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
拡張期血圧	負	相関なし	相関なし	相関なし
皮膚血流量	相関なし	正	相関なし	相関なし
発汗量	——	——	——	正

表3.1.2に低温環境→高温環境の条件における各生理量の変化量と体脂肪率との相関の結果を示した。顔面皮膚温では負の相関が認められた。負の相関が認められたということは体脂肪率の小さい人の方がより皮膚温が上昇したということである。胸、背、腹、大腿、足の皮膚温では正の相関が認められた。これは体脂肪率の大きい人の方がより皮膚温が上昇したということである。脇腹皮膚温では5分目から25分目の変化量で負の相関が認められ、45分目から65分目の変化量で正の相関が認められた。これは5分から25分までは体脂肪率の小さい人の方が皮膚温が上昇したが、45分から65分は体脂肪率の大きい人の方が皮膚温が上昇したということである。前腕、および手皮膚温は逆に5分から25分までは体脂肪率の大きい人の方が皮膚温が上昇したが、45分から65分は体脂肪率の小さい人の方が皮膚温が上昇したということがいえる。酸素摂取量、二酸化炭素排出量に関しては体脂肪率との相関は認められなかった。血圧においては拡張期、収縮期ともに正の相関を示していた。皮膚血流量に関しては負の相関が認められ、体脂肪率の大きい人の方が皮膚血流量の増加量が小さい結果となった。

表3.1.2 低温環境→高温環境における体脂肪率と各生理量の相関

低温環境→高温環境	f(25)-f(5)	f(45)-f(25)	f(65)-f(45)	f(70)-f(1)
顔面皮膚温	相関なし	負	相関なし	相関なし
胸皮膚温	相関なし	正	正	正
背皮膚温	相関なし	正	正	正
腹皮膚温	正	正	正	正
脇腹皮膚温	負	相関なし	正	相関なし
上腕皮膚温	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
前腕皮膚温	正	相関なし	負	相関なし
手甲皮膚温	正	相関なし	負	負
大腿皮膚温	相関なし	正	正	正
下腿皮膚温	相関なし	相関なし	相関なし	正
足甲皮膚温	相関なし	正	相関なし	相関なし
平均皮膚温	正	正	相関なし	正
鼓膜温	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
酸素摂取量	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
収縮期血圧	相関なし	正	正	相関なし
拡張期血圧	正	負	正	正
皮膚血流量	負	負	相関なし	相関なし
発汗量	—	—	—	相関なし

体幹部皮膚温と体脂肪率との相関を見てみると、全体として高温環境→低温環境の条件においては負の相関、低温環境→高温環境においては正の相関が認められた。これは体脂肪率の大きい人の方が環境温の影響を受けやすいということを示している。

3-2. 主観評価と体組成との相関

25分目、45分目、65分目の各主観評価（部位別温冷感・快適感・主観温度）値と体脂肪率との相関を検討した。また、生理量と同様、主観評価の環境温変化開始直後の5分目から25分目までの変化量、25分目から45分目までの変化量、45分目から環境温変化終了直前の65分目までの変化量、環境温変化前の生理量から環境温変化後までの変化量と体脂肪率との相関も検討した。

表3.2.1に高温環境→低温環境の条件における主観評価の値および主観評価の値の変化量と体脂肪率との相関の結果を示した。25分目では背面部、腕部、脚部、主観温度で負の相関がみられ、体脂肪率の大きい人の方が「寒い」と感じている結果となった。しかし、45分目ではこれらの部位では相関は認められなくなり、前面部、手部において正の相関がみられ、体脂肪率の小さい人の方が「寒い」と感じているという結果が得られた。65分目では相関はみられなかった。

表3.2.1 高温環境→低温環境における体脂肪率と主観評価の相関

高温環境→低温環境	25min.	45min.	65min.
顔面部	相関なし	相関なし	相関なし
前面部	相関なし	正	相関なし
背面部	負	相関なし	相関なし
腕部	負	相関なし	相関なし
手部	相関なし	正	相関なし
脚部	負	相関なし	相関なし
足部	相関なし	相関なし	相関なし
快適感	相関なし	負	相関なし
主観温度	負	相関なし	相関なし

高温環境→低温環境	f(25)-f(5)	f(45)-f(25)	f(65)-f(45)	f(70)-f(1)
顔面部.変化量	正	相関なし	相関なし	相関なし
前面部.変化量	正	正	相関なし	正
背面部.変化量	相関なし	正	相関なし	相関なし
腕部.変化量	相関なし	正	相関なし	相関なし
手部.変化量	正	正	相関なし	正
脚部.変化量	相関なし	正	相関なし	正
足部.変化量	相関なし	正	相関なし	相関なし
快適感.変化量	相関なし	相関なし	相関なし	負
主観温度.変化量	相関なし	正	相関なし	相関なし

変化量については25分目から45分目で顔面部，快適感を除く項目で正の相関が認められた。これは体脂肪率が大きい人の方が主観評価の変化が小さかったことを示している。

表3.2.2に低温環境→高温環境の条件における主観評価の値および主観評価の値の変化量と体脂肪率との相関の結果を示した。25分目の手部の温冷感，65分目の快適感で正の相関がみられたが，その他では負の相関が認められた。これは体脂肪率の小さい人の方が「暑い」と感じている結果となった。

変化量に関しては，足部温冷感，主観温度では相関は認められなかった。また5分目から25分目，45分目から65分目で負の相関が多くみられた。これは体脂肪率が大きい人の方が主観評価の変化が小さかったことを示している。

表3.2.2 低温環境→高温環境における体脂肪率と主観評価の相関

低温環境→高温環境	25min.	45min.	65min.
顔面部	相関なし	相関なし	負
前面部	相関なし	負	負
背面部	負	負	負
腕部	相関なし	負	負
手部	正	負	相関なし
脚部	負	負	相関なし
足部	相関なし	負	相関なし
快適感	相関なし	相関なし	正
主観温度	相関なし	相関なし	負

低温環境→高温環境	f(25)-f(5)	f(45)-f(25)	f(65)-f(45)	f(70)-f(1)
顔面部.変化量	相関なし	相関なし	負	負
前面部.変化量	負	相関なし	負	負
背面部.変化量	負	相関なし	負	負
腕部.変化量	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
手部.変化量	相関なし	負	相関なし	負
脚部.変化量	負	相関なし	負	相関なし
足部.変化量	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし
快適感.変化量	負	相関なし	正	相関なし
主観温度.変化量	相関なし	相関なし	相関なし	相関なし

4. 考察

生理量と体組成との相関において、手皮膚温を除く、相関が認められた皮膚温の項目についてみると、高温環境→低温環境の条件では体脂肪率、および皮下脂肪厚の値が大きいほど皮膚温の低下が大きかった。また、低温環境→高温環境の条件では体脂肪率、および皮下脂肪厚の値が大きいほど皮膚温の上昇が大きかった。つまり、体脂肪率、および皮下脂肪厚の値が大きい方が皮膚温に対して環境温の影響をよく受けていたことがわかる。

本研究では、環境温は17℃から37℃と設定したので外気温はつねに体温よりも低いという状態にあり、皮膚深層部→皮膚→外環境という熱の流れが存在していた。この熱の流れは外気温と皮膚深層部温の差が大きくなるほど大きくなる。高温環境→低温環境の条件において体脂肪率、および皮下脂肪厚の値が大きい人ほど皮膚温の低下が大きかったことは皮膚深層部から皮膚表面への熱の流れが体脂肪率、および皮下脂肪厚の値が小さい人と比べて少なかったことがいえる。これは脂肪組織は熱伝導率が小さく、断熱材としてはたらくということをよく反映している。また、低温環境→高温環境の条件では外気温が皮膚深層温に近づくため、熱の流れは小さくなっていく。しかし、体脂肪率、および皮下脂肪厚の値が大きいほど皮膚温の上昇が大きく、環境温の影響をよく受けるということは、熱の流れの変化が小さいということがいえる。これもまた、脂肪組織の熱伝導率の低さによるものと考えられる。

以上の結果とは異なり、手皮膚温の変化量については体脂肪率の値の小さい人の方が両方の条件で大きかった。この結果は西村ら（1993）の研究の結果と一致している。高温環境→低温環境の条件では体脂肪率の値の小さい人の方が低下量が大きく、低温環境→高温環境の条件では増加量が大きかった。体幹部や四肢近接部に比較して四肢末梢部においては皮下脂肪が薄い。四肢末梢部においては皮膚温を決定する主要因は皮膚血流であり、本研究において手皮膚温に差異を生じさせた原因として皮膚血流量の差が予測され、結果に記した表 3.1.1, 表 3.1.2 に示したように体脂肪率の値が大きい方が皮膚血流量の変化が少なかった。

皮膚血流量は体温調節のため変化するが皮下脂肪によって体温を維持することも可能であり、体脂肪率の値が大きい人は皮下脂肪で体温を維持していると考えられ、皮膚血流量の変化が少なかったと考えられる。

部位別温冷感と体組成との相関において、相関が認められた温冷感の項目について見てみると、高温環境→低温環境の条件では25分目における温冷感の相関は負であった。体脂肪率の値が大きいほど温冷感の値は小さく、これは体脂肪率の大きい人の方が「寒い」と感じている結果である。45分目の温冷感に関しては正の相関が認められ、逆に体脂肪率が小さい人の方が「寒い」と感じている結果となった。

高温環境→低温環境の条件における25分目の温冷感の結果については発汗量が影響を与えていると考えられる。各被験者は環境温変化前、60分間37℃の気温に曝露されており、発汗している。その発汗量は体脂肪率の値が大きい人ほど多い。つまり、皮膚からの汗の蒸発量は体脂肪率の値が大きい人ほど多く、そのため、体脂肪率の値が小さい人よりも「寒い」と感じたと考えられる。

温冷感の変化量との相関については25分目から45分目で正の相関が認められた。これは体脂肪率が小さいほど温冷感の減少量が大きかったことを示しており、温冷感との相関の結果と一致している。

次に低温環境→高温環境の条件についてであるが、相関が認められた温冷感の項目についてみると、25分目で手部における相関が正であったこと以外は負の相関を示していた。体脂肪率の値が小さいほど温冷感の値は大きく、体脂肪率の値が小さい人ほど「暑い」と感じているという結果が得られた。

温冷感の変化量との相関については相関が認められた温冷感の項目についてみると、負の相関を示していた。これは体脂肪率の値が小さいほど温冷感の変化量は大きく、高温環境→低温環境の条件同様、体脂肪率の値が小さい人ほど環境温に敏感に反応すると考えられる。

体組成が皮膚温の変化に及ぼす影響より、皮膚温の変化量においては体脂肪率の値が大きい方が環境温の影響を受けやすいことがわかった。しかし、温冷感に関して体組成の影響をみると、高温環境→低温環境の条件においての25分目の温冷感の結果を除くと、皮膚温とは逆の結果が得られた。つまり、体脂肪率、皮下脂肪厚の値が小さい方が皮膚温の変化量においては環境温の影響を受けにくかったにも関わらず、温冷感に関しては環境温の影響を受けやすかったということである。

また、温冷感の変化量についてみると、体脂肪率、皮下脂肪厚の値が小さい方が変化量が大きく、環境温に敏感に反応している。これらのことより、温冷感は皮下組織よりも内部の温度に大きく左右されることが予測される。

5. 参考文献

- 1) 西村 和久, 平田 耕造, 白水 智子, 竹森 利和: 体脂肪の違いは末梢部皮膚温に影響するか?. 日生気誌, 30 (4) : 187-196, 1993
- 2) 堀 清記, 飯塚平吉郎, 中村 正: 沖縄住民の皮下脂肪厚および体脂肪含有率の比較. 栄養と食糧, 27 : 335-339, 1974
- 3) 勝浦 哲夫, 岡田 明, 我妻 亨, 浦田 義人, 菊池 安行: 温環境下運動時の体温上昇と皮下脂肪との関連について. 人類誌, 90 (2) : 119-128, 1982
- 4) Hoffer, E. C. , C. K. Meador, D. C. Simpson: Correlation of Whole-Body Impedance with Total Body Water Volume. J. Appl. Physiol., 27(4): 531-534, 1969
- 5) Riley, M. W. , D. J. Corchran, A. J. Soudy: Body Composition (% Fat) and Heat Stress of Well Conditioned Young Adult Males. Proceedings of the Human Factors Society -26th Annual Meeting, 1982

出身地別にみた日本人の体温調節能の特徴
-寒冷地出身者と温暖地出身者の温度刺激に対する
温度感覚および生理反応の比較-

原田 一（研究者番号：70156511）
千葉大学・工学部・助教授
（現職：東北工業大学工学部教授）

1 はじめに

高温環境下における体温調節反応が人種によって異なることはよく知られている (Katsuura et al., 1985 ; 松田ら, 1985 ; Okada et al., 1985)。体温調節に関わる発汗量が人種間で異なることから、体温調節反応には遺伝的要因が重要であるとの報告がなされている (Budd et al., 1974)。一方、勝浦ら (1992) は日系ブラジル人とブラジル人の体温調節反応を比較することにより環境要因が重要であることを報告している。

近年、人工環境における冷暖房のコントロールシステムには様々な手法が取り入れられているが、個々の人間の特性に対応しているわけではない。特に高齢者は若年者と比較して温度変化に対する反応が鈍く、このことを十分に考慮していない温熱環境では、高齢者における低温火傷や脳卒中、心臓発作などの様々な問題が発生している。また、地域環境の違いによって生じる疾患の中で、脳血管疾患による死亡率は全国の平均気温と温度差が大きい東北、九州南部等の地域において高い割合を示している。これらの問題は年齢差や地域差によって生じる温度感覚や生理反応の違いを考慮せず、同一の温熱環境に曝露することによって生じると考えられる。従って、年齢や地域差による体温調節反応の特徴および個人差を把握し、個人毎の特性に合わせた温熱環境を構築する必要がある。

本研究では、日本人の出生地の違いによる体温調節反応の個人差に注目して、寒冷地出身者と温暖地出身者における高温環境下での温度感覚や生理反応がどのように異なるか調べることを目的とした。

2 方法

2.1 被験者

出生地の異なる 18～20 歳の健康な男子学生で、千葉県内に在住 32-34 週間の地方出身者 14 名であった。被験者の身体的特徴を表 1 に示した。北海道・東北地方出身者 7 名を寒冷地出身者、九州地方出身者 7 名を温暖地出身者として 2 つのグループに分けて実験を行った。

表 1 中の体密度、体脂肪量、体表面積の算出にはそれぞれ、下記の計算式を用いた。

$$D = 1.0913 - 0.00116 \cdot X \quad (\text{Nagamine \& Suzuki, 1964})$$

$$F = (4.570/D - 4.172) \cdot 100 \quad (\text{Brozek et al., 1963})$$

$$S = 0.010265 \cdot W^{0.423} \cdot H^{0.615} \quad (\text{藤本ら, 1967})$$

D : 体密度 (ml/g), X : 上腕背部と肩甲骨下部の皮下脂肪厚の和 (mm)

F : 体脂肪量 (%), S : 体表面積 (m²), W : 体重 (kg), H : 身長 (cm)

皮下脂肪厚はキャリパー皮脂厚計を用いて次の 6 部位を計測した。

上腕背部 (肩峰と肘頭間の後部中央点)、胸部 (鎖骨と乳頭の間)、腹部 (臍部右方約 2.5cm)、腸稜部 (腸骨稜隆起と肋骨下部腋窩中央線上)、大腿前部 (中央点)、肩甲骨下部 (水平軸より 45° の角度でつまむ)

寒冷地出身者と温暖地出身者の身長、体重、体脂肪量、体表面積、体比重の値を比較したが、統計的には有意な差は見られなかった。

表1 被験者の身体的特徴

被験者	出生地	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪量 (%)	体表面積 (m ²)	体比重 (g/ml)
寒冷地出身者							
N1	岩手	19	180.5	69.21	12.47	1.505	1.06
N2	岩手	19	167.5	60.48	10.62	1.358	1.07
N3	青森	18	172.0	59.24	9.79	1.368	1.07
N4	北海道	19	182.2	80.67	15.99	1.615	1.05
N5	北海道	19	167.1	56.64	10.14	1.318	1.07
N6	北海道	19	183.7	66.87	10.94	1.499	1.07
N7	北海道	20	169.9	59.87	9.95	1.364	1.07
平均値		19.0	174.7	64.71	11.41	1.432	1.07
標準偏差		0.58	7.2	8.33	2.21	0.108	0.005
温暖地出身者							
S1	福岡	20	172.5	68.48	11.66	1.457	1.07
S2	宮崎	19	178.0	64.51	9.80	1.448	1.07
S3	鹿児島	19	169.0	67.21	12.73	1.427	1.06
S4	大分	18	162.7	51.54	9.20	1.246	1.07
S5	宮崎	18	163.3	48.22	9.40	1.214	1.07
S6	福岡	19	164.1	64.30	8.78	1.376	1.07
S7	宮崎	19	178.4	74.26	11.53	1.539	1.07
平均値		18.86	169.7	62.65	10.44	1.387	1.07
標準偏差		0.69	6.8	9.38	1.51	0.118	0.004

実験に際して、被験者には実験における注意として下記の事項を厳守させた。

- ・実験前日は激しい運動や夜更かしを避け、規則正しい生活を心がけ充分睡眠をとる。
- ・睡眠は6時間以上を心がけ、実験開始時刻の2時間以上前には起床する。
- ・実験当日には健康上の問題（微熱がある、頭痛がする等）がないように充分注意する。
- ・実験開始3時間前からの飲食、喫煙、カフェイン、薬物、アルコールの摂取は避ける。

2.2 温熱環境履歴調査および生活環境に関するアンケート

食後2時間を経過した後、実験開始前の調査として、“温熱環境履歴調査表”（空調設備基準委員会温冷感小委員会，1979；田辺により改訂）および“生活環境に関するアンケート調査”（山本・垣鍔，1998；垣鍔，1999）を用いてアンケートを行った。

調査表中の“住居環境について”、“生活状態について”および“体質と性格について”の回答を各被験者毎にまとめたものを表2および表3に示した。

夏期において寒冷地出身者では扇風機とクーラーのいずれかを利用している者が6名に対して温暖地出身者では扇風機とクーラーを併用している者が4名であった。冬期には寒冷地出身者の2名が電気こたつを用いているのに対して温暖地出身者では6名が電気こたつを使用していた。

暑さに関しては寒冷地出身者の6名が弱いと答え、温暖地出身者では4名がどちらでもないと答えており、両グループともに多くが汗かきであると答えていた。

寒さに関しては寒冷地出身者の3名が強いと答えていたが、温暖地出身者では強いと答えた者はいなかった。また、両グループとも同数の5名が冷え症であると答えていた。

食事に関しては両グループともに不規則な者が多かった。

表2 寒冷地出身者に対する温熱環境履歴調査および生活状態についてのアンケート

被験者	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
出生地	岩手	岩手	青森	北海道	北海道	北海道	北海道
夏期に使用する設備	ルームクーラー 扇風機	扇風機	ルームクーラー	扇風機	ルームクーラー	扇風機	ルームクーラー
冬期に使用する設備	エアコン	電気こたつ	電気こたつ	ガスストーブ	電気ストーブ	電気ストーブ	無し
毎日の歩歩時間	30分以下	1時間30分~2時間	1~1時間30分	30分以下	30分~1時間	30分~1時間	30分~1時間
平均睡眠時間	7~8時間	6時間以下	6時間以下	6~7時間	6~7時間	8~9時間	6~7時間
毎日の食糧状況	不規則	正しく取る	不規則	正しく取る	不規則	不規則	不規則
喫煙の程度	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
平常時の健康状態	健康	普通	健康	非常に健康	健康	健康	健康
暑さに対して	弱い	弱い	弱い	弱い	弱い	弱い	どちらでもない
寒さに対して	どちらでもない	強い	強い	強い	強い	強い	弱い
発汗に対して	汗かき	汗かき	汗かき	汗かき	汗かき	汗かき	汗かき
乾燥に対して	どちらでもない	弱い	強い	どちらでもない	弱い	どちらでもない	弱い
湿気に対して	弱い	弱い	弱い	どちらでもない	どちらでもない	弱い	弱い
皮膚に関して	普通	乾燥肌	普通	普通	乾燥肌	普通	普通
敏感肌ですか?	気にしたことがない	非常に敏感である	どちらかといえば敏感である	気にしたことがない	どちらかといえば敏感である	非常に敏感である	どちらかといえば敏感である
冷え症ですか?	冷え症とは思わない	どちらかといえば冷え症	冷え症とは思わない	どちらかといえば冷え症	とても冷え症である	冷え症である	とても冷え症である

表3 寒冷地出身者に対する温熱環境履歴調査および生活状態についてのアンケート

被験者	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
出生地	福岡	宮崎	鹿児島	大分	宮崎	福岡	宮崎
夏期に使用する設備	ルームクーラー	なし	ルームクーラー 扇風機	ルームクーラー 扇風機	ルームクーラー 扇風機	ルームクーラー 扇風機	ルームクーラー
冬期に使用する設備	電気こたつ	電気こたつ	電気こたつ	石油ストーブ 電気こたつ	石油ストーブ 電気こたつ、エアコン	石油ストーブ 電気こたつ	無し
毎日の歩歩時間	1~1時間30分	30分以下	30分以下	30分~1時間	30分~1時間	30分~1時間	30分~1時間
平均睡眠時間	7~8時間	7~8時間	7~8時間	7~8時間	6~7時間	6時間以下	7~8時間
毎日の食糧状況	正しく取る	不規則	正しく取る	不規則	不規則	不規則	正しく取る
喫煙の程度	無し	無し	無し	無し	10/日	無し	無し
平常時の健康状態	健康	普通	健康	健康	やや弱い	健康	健康
暑さに対して	強い	強い	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	弱い	どちらでもない
寒さに対して	どちらでもない	弱い	どちらでもない	弱い	弱い	どちらでもない	どちらでもない
発汗に対して	普通	汗かき	汗かき	汗かき	普通	汗かき	汗かき
乾燥に対して	強い	弱い	強い	強い	弱い	どちらでもない	弱い
湿気に対して	強い	強い	どちらでもない	弱い	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない
皮膚に関して	普通	乾燥肌	普通	脂性肌	普通	普通	乾燥肌
敏感肌ですか?	人並みだ	非常に敏感である	人並みだ	人並みだ	人並みだ	人並みだ	人並みだ
冷え症ですか?	冷え症とは思わない	冷え症である	どちらかといえば冷え症	やや冷え症	とても冷え症である	冷え症とは思わない	冷え症とは思わない

2.3 環境条件

曝露前にニュートラルな温熱条件で安静状態を保つため、気温 28℃の前室を用いた。曝露実験には気温 40℃、相対湿度 60%に制御された人工気象室（ビルトインチャンバー、タバイエスベック社製）を用いた。

2.4 実験手順

温熱環境調査履歴および生活環境に関するアンケート調査の後、被験者は上半身裸体、ショートパンツのみの着用にて気温 28℃の前室に入室し、各種測定用のセンサーを装着された。前室に入室後センサー等の装着に約30分を要し、その後被験者は10分間の倚座位安静を維持した。

前室にて40分間経過後、被験者は気温 40℃相対湿度 60%に設定された人工気象室に入室し、倚座位安静を維持した。皮膚表面温度と直腸温は人工気象室に入室する10分前に測定を開始し、その他の測定項目は人工気象室に入室した後に測定を開始し、測定開始から50分後に測定を終了した（図1, 写真）。

実験中、被験者には主観的温熱環境評価（全身温冷感、全身温熱的快適感）を評価装置を用いて実験終了まで連続して行わせた。これら2つの環境評価作業を連続して行うことを実験開始時に被験者に説明した。各被験者には温熱環境評価スケールと評価装置の使用法について十

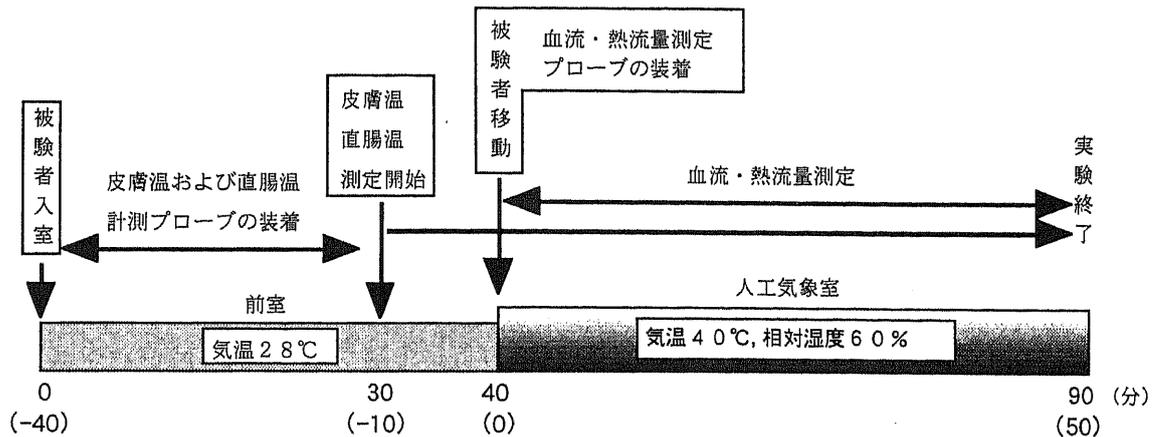


図1 実験プロトコル

十分な説明がなされ、実験についての同意を得た。

皮膚温、直腸温、熱流量は10秒毎、皮膚血流量、主観評価は1/100秒毎にサンプリングを行った。

2.5 測定項目

生理的指標として皮膚表面温度、直腸温、熱流量、皮膚血流量を測定した。主観評価として全身温冷感と全身温熱的快適感について評価をさせた。

2.5.1 表面皮膚温

皮膚温は2点から25点に及ぶ部位からの測定値を用いて平均皮膚温を算出する方法が多数提案されているが、本研究ではHardy & DuBoisの7点法(Hardy and DuBois, 1938, Mitchell and Wyndham, 1969)を用いて以下の式により算出した。

$$T_{sk} = 0.07A + 0.35B + 0.14C + 0.05D + 0.19E + 0.13F + 0.07G$$

測定部位はA:前額部、B:腹部、C:前腕部(左腕橈骨筋上)、D:手甲部(左)、E:大腿部(左前面中央)、F:下腿部(左前面中央)、G:足甲部(左)であり、サーミスタ温度計により皮膚温を測定した。サーミスタ温度計感熱部(LT-8A, Gram社製)はサージカルテープにより各部位に固定した。

2.5.2 核心温

核心部の体温をどの部位で代表させるかが問題になるが、外界の変化で無意味な変動をしない、全身の温度の推移をよく反映する、外部から容易に測定できる等の条件により一般に深部体温として食道温、直腸温、鼓膜温などが測定されている。

本研究では被験者に対して、実験中の身体的不快感の少ない直腸温を深部体温として用いた。直腸温の測定には、サーミスタ温度プローブ(LT-8A, Gram社製)を使用した。消毒し、熱湯につけたプローブにゴムカバーを付け、ワセリンを塗った状態で肛門から10cmまで挿入させた。データはアダプター(LT-RS2NRS-232C ADAPTER, Gram社製)を用いて接続したノートパソコン(Think pad, IBM社製)に10秒毎に記録した。

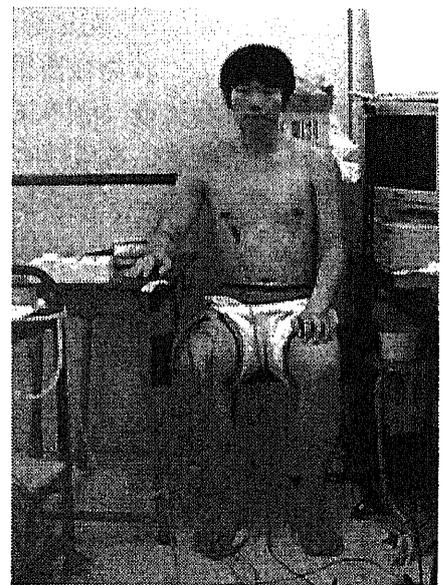


写真 実験風景

2.5.3 熱流量

人体の皮膚表面から環境への局所熱移動（放熱，吸熱）である熱流量を熱流センサー（30EM1-L 30 × 15 × 1.5t, 京都電子工業社製）を用いて測定した。測定は胸部、前腕部（左腕橈骨筋上）、大腿（左前面中央）で行い、測定部位をアルコールで拭いた後に、センサーの両面に専用の両面テープを貼り皮膚表面に貼付した。さらに、発汗などによる剥がれを防ぐためにサージカルテープで固定した。本研究で使用した熱流センサーは放熱、吸熱の測定が可能であり、放熱の場合には正、吸熱の場合には負の符号で表示され、単位表面積あたりの熱流量の電圧を出力する。データはデータロガー（Thermodac-E, 江藤電気社製）により入力し、接続したパソコン（PC9801ns/A, NEC 製）によりフロッピーディスクに10秒毎に記録した。

2.5.4 皮膚血流量

測定部位は前腕部（左腕橈骨筋上）であった。測定にはレーザー・ドップラー測定器（ALF21, ADVANCE）を用いた。測定深度は1mmとし、それぞれの被験者においてほぼ同じ位置となるように注意した。皮膚血流量はレーザー・ドップラー本体から0～2V、時定数1秒で出力したデータをAD変換（MP-100, モンテシステム社製）した後、パーソナルコンピュータ（Think pad, IBM社製）を用いて波形処理ソフト（AcqKnowledge, モンテシステム社製）でモニターし、サンプリング周波数100Hzで記録した。レーザー・ドップラー測定器は測定部位100g中の血流量をml単位で出力した（ml/min/100g）。実測値を算出するためには波形処理ソフト上でレーザー・ドップラー測定器のキャリブレーション値（10ml/min/100g）から換算する必要があるが、本研究においては各条件の相対的な血流量により比較検討したので、波形処理ソフトにより得られた積分値を測定値として用いた。

2.5.5 主観評価

本研究では心理的变化を連続的に評価することを目的としており、評価する際に被験者への負担を少なくするために、可能な限り安静状態を維持して評価ができるよう電気的なスライドボリュームを利用した主観評価装置を用いた。

温熱環境変化に伴う心理反応の指標として“全身温冷感”および“全身温熱的快適感”の評価を同時に行うためにスライドボリュームを2ch作成した。スライド間隔は約50mmであり、この間隔にそれぞれの主観評価スケールを合致させた。全身温冷感は、PMV（予測平均申告）指標の尺度として用いられるASHRAEの7段階評価尺度（Gagge et al., 1986）を直訳したスケールを用い、中間申告も許した。全身温熱的快適感には空調設備基準委員会温冷感小委員会によるスケールを用いた。

さらに、積極的な感覚量を得るために“やや快適”、“快適”、“非常に快適”の表現をスケールに加えた両極尺度を用いて中間申告も許した（図2）。

主観評価測定開始時はスライドボリュームは全身温冷感、全身温熱的快適感ともに中央の“どちらでもない”から評価を開始した。主観評価データは装置より電圧で出力され、AD変換（MP-100, モンテシステム社製）後、波形処理ソフト（AcqKnowledge, モンテシステム社製）にてパーソナルコンピュータ（Think pad, IBM社製）に取り込み、フロッピーディスクに記録した。

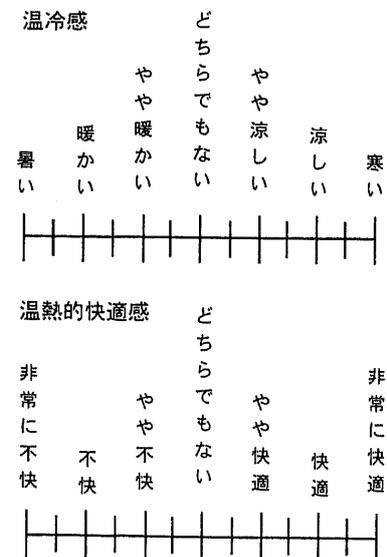


図2 主観評価スケール

2.6 データ処理および解析方法

皮膚温、直腸温、熱流量は10秒毎に記録されたデータを5分毎に平均し解析に用いた。皮膚血流量はサンプリング周波数100Hzで記録されたデータを1Hzにて再度サンプリングし、5分毎に平均し解析に用いた。

また、レーザー・ドップラー法による皮膚血流量測定は、プローブの取り付け位置や角度により測定値が大きく異なる可能性が高い。測定位置や角度、プローブが測定表面に当たる圧力等に注意して測定を行ったが、これらの影響を除くために、標準化したデータを解析に用いた。

時間・出生地を要因とする各生理指標および主観評価に対する二元配置の分散分析を行った。分散分析の結果、交互作用が有意の場合には、時間毎に出生地間の比較を行った。

さらに、測定時間の最後の5分間の平均値から、最初の5分間の平均値を引いた値（以後、変化量と記す）を用いて出生地間の比較をするために各生理指標および主観評価について対応のないt検定を行った。有意水準は5%以下とした。

3 結果

3.1 皮膚温

3.1.1 皮膚温（前額部）

前額部の皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(11,132)=114.21, p<0.0001$) であったが、出生地の主効果は有意ではなかった。図3に示すように前額部の皮膚温は高温曝露後10分目までは急激な上昇を示したが、その後ほとんど変化していない。変化量に関しては、出生地間で有意差はみられなかった（図4）。

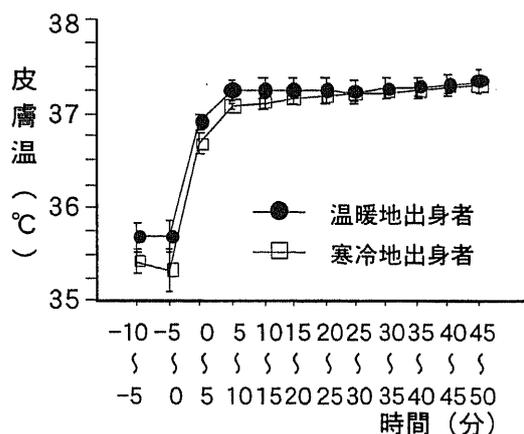


図3 皮膚温の経時変化（前額部）

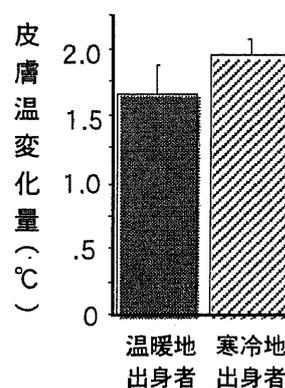


図4 皮膚温の変化量（前額部）

3.1.2 皮膚温（腹部）

腹部の皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(11,132)=273.77, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。また、出生地と時間との交互作用が有意 ($F(11,132)=3.56, p<0.0005$) であった。図5に示すように腹部の皮膚温は高温曝露後10分目までは比較的急激に上昇し、その後実験終了まで徐々に増加した。

交互作用が有意であったので、各時間毎に出生地間の比較を行った結果、-10～-5分、-5～0分、0～5分の測定値において、温暖地出身者の皮膚温が高い傾向にあった。変化量に関しては、寒冷地出身者で変化量が有意に大きかった ($p<0.05$, 図6)。

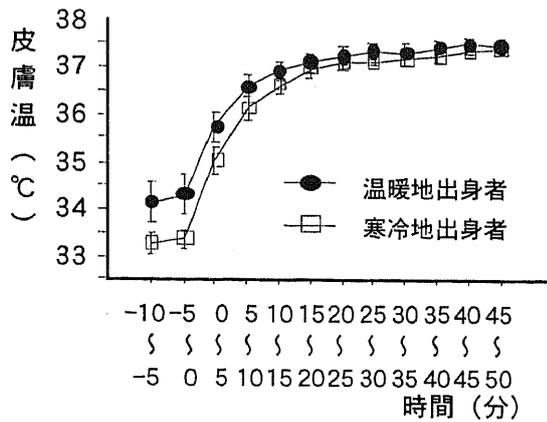


図5 皮膚温の経時変化 (腹部)

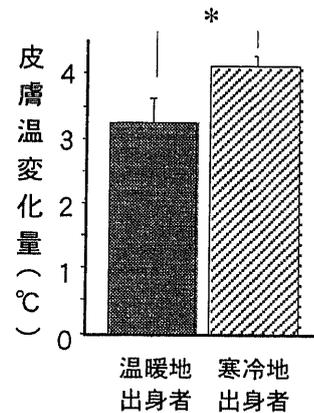


図6 皮膚温の変化量 (腹部)

* : $p < 0.05$

3.1.3 皮膚温 (前腕)

前腕部の皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、出生地の主効果は有意 ($F(1,132)=5.02, p<0.05$) であり、時間の効果も有意 ($F(11,132)=276.47, p<0.0001$) であった。また、出生地と時間との交互作用も有意 ($F(11,132)=4.15, p<0.0001$) であった。図7に示すように腹部の皮膚温は高温曝露後10分目までは比較的急激に上昇し、その後実験終了まで徐々に増加した。

交互作用が有意差であったので、各時間毎に出生地間の比較を行った結果、-10~-5、-5~0、0~5分においては温暖地出身者の方が寒冷地出身者の皮膚温よりも有意に高く、5~10、10~15分の点では温暖地出身者の皮膚温が高い傾向にあった。変化量に関しては、有意ではないが寒冷地出身者で大きい傾向がみられた (図8)。

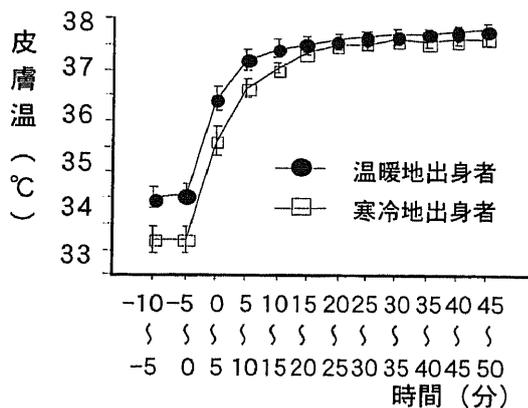


図7 皮膚温の経時変化 (前腕)

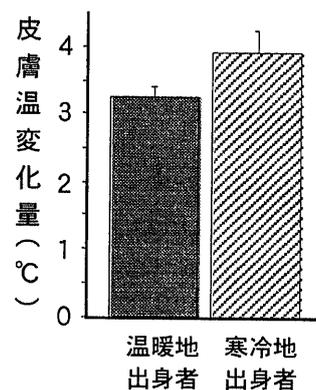


図8 皮膚温の変化量 (前腕)

3.1.4 皮膚温 (手甲)

手甲部の皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の効果は有意 ($F(11,132)=169.91, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図9に示すように腹部の皮膚温は高温曝露後10分目までは比較的急激に上昇し、その後実験終了まで徐々に増加した。変化量に関しては、出生地の違いによる有意差はみられなかった。(図10)。

3.1.5 皮膚温 (大腿)

大腿部の皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時

間の効果は有意 ($F(11,77)=156.70, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図11に示すように腹部の皮膚温は高温曝露後10分目までは比較的急激に上昇し、その後実験終了まで徐々に増加した。変化量に関しては、出生地の違いによる有意差はみられなかった。(図12)。

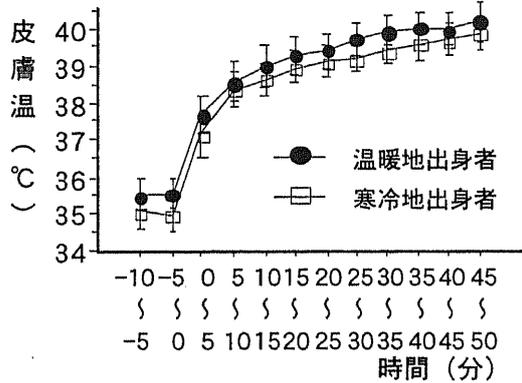


図9 皮膚温の経時変化 (手甲)

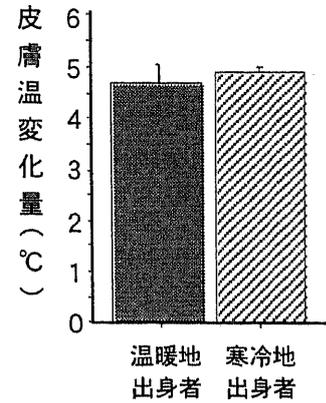


図10 皮膚温の変化量 (手甲)

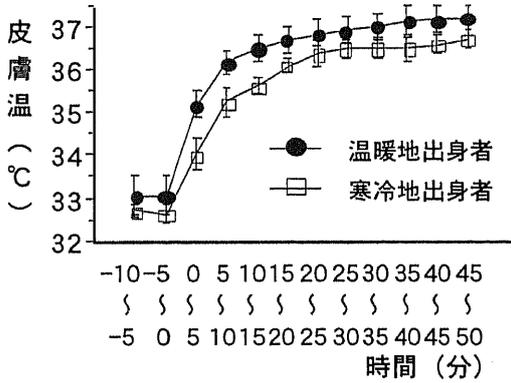


図11 皮膚温の経時変化 (大腿)

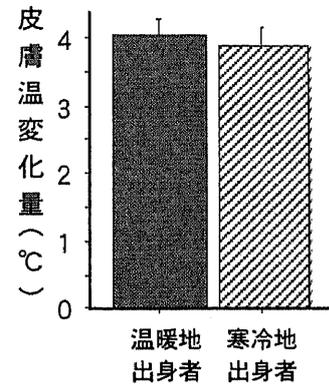


図12 皮膚温の変化量 (大腿)

3.1.6 皮膚温 (下腿)

下腿部の皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の効果は有意 ($F(11,132)=272.04, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図13に示すように腹部の皮膚温は高温曝露後10分目までは比較的急激に上昇し、その後実験終了まで徐々に増加した。変化量に関しては、出生地の違いによる有意差はみられなかった。(図14)。

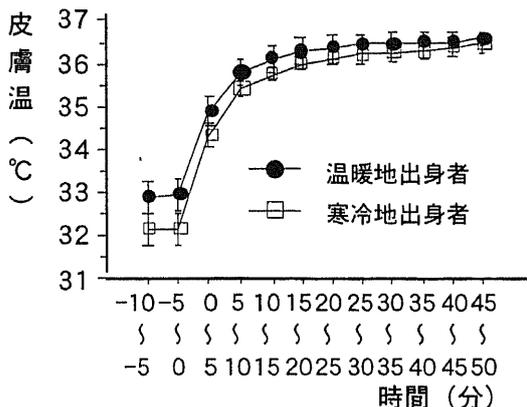


図13 皮膚温の経時変化 (下腿)

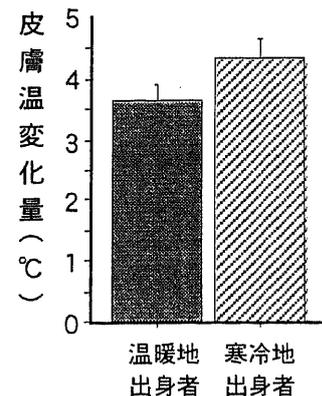


図14 皮膚温の変化量 (下腿)

3.1.7 皮膚温（足甲）

足甲部の皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の効果は有意 ($F(11,110)=97.92, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図15に示すように腹部の皮膚温は高温曝露後10分目までは比較的急激に上昇し、その後実験終了まで徐々に増加した。変化量に関しては、出生地の違いによる有意差はみられなかった。(図16)。

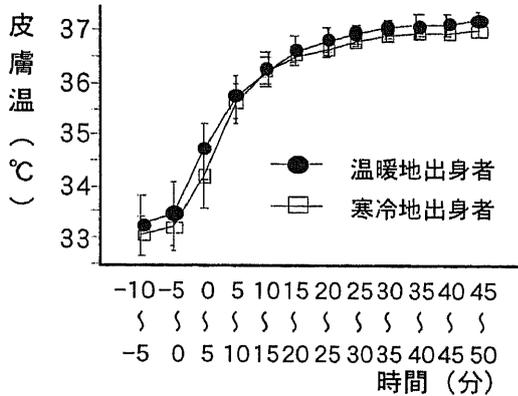


図15 皮膚温の経時変化（足甲）

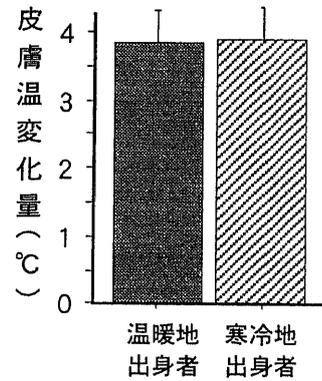


図16 皮膚温の変化量（足甲）

3.1.8 平均皮膚温

平均皮膚温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(11,44)=278.61, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。また、出生地と時間との交互作用が有意 ($F(11,44)=2.91, p<0.01$) であった。図17に示すように平均皮膚温は高温曝露後10分目までは比較的急激に上昇し、その後実験終了まで徐々に増加した。

交互作用が有意であったので、各時間毎に出生地間の比較を行った結果、-10～-5分の測定値において、温暖地出身者で高い値を示す傾向が見られた。変化量に関しては、図18に示すように寒冷地出身者で変化量が有意に大きかった ($p<0.05$)。

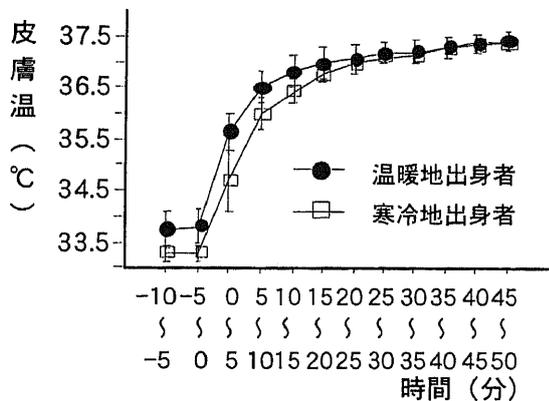


図17 平均皮膚温の経時変化

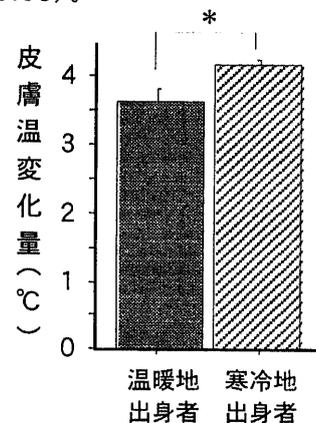


図18 平均皮膚温の変化量

* : $p < 0.05$

3.2 直腸温

直腸温に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(11,132)=19.53, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図19に示すように直腸温は高温曝露後10分目までわずかに低下し、その後、徐々に上昇した。変化量に関しては、出生地間に有意な差はみられなかった。(図20)。

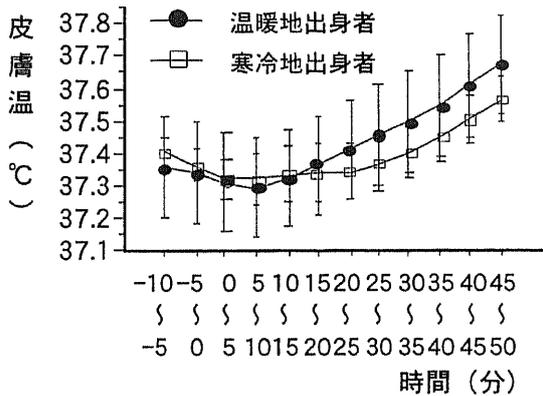


図19 直腸温の経時変化

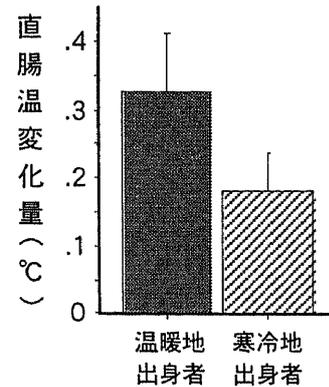


図20 直腸温の変化量

3.3 熱流量

3.3.1 熱流量 (胸部)

胸部の熱流量に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(9,90)=37.01, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図21に示すように熱流量は前室、高温曝露中を通して時間経過とともに吸熱量が減少した。変化量に関しては、出生地間に有意差はみられなかった。(図22)。

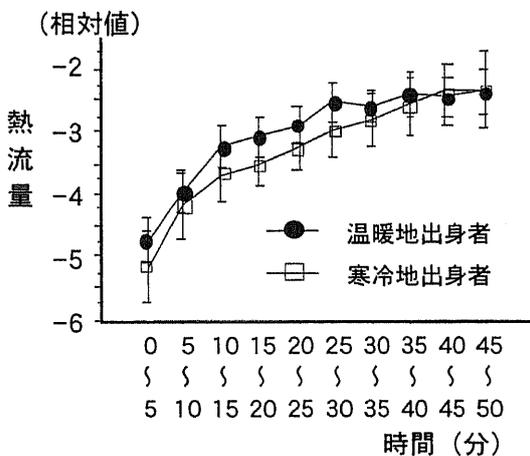


図21 熱流量の経時変化 (胸部)

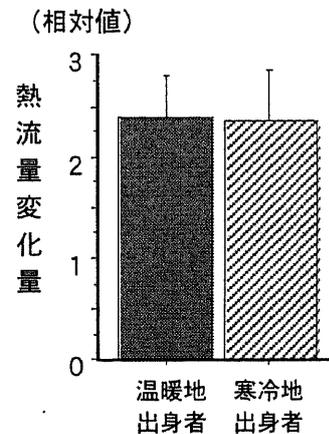


図22 熱流量の変化量 (胸部)

3.3.2 熱流量 (前腕)

前腕部の熱流量に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(9,99)=14.41, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図23に示すように熱流量は高温曝露中を通して時間経過とともに吸熱量が減少した。変化量に関しては、出生地間に有意な差はみられなかった。(図24)。

3.3.3 熱流量 (大腿)

大腿部の熱流量に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(1,90)=7.32, p<0.05$) であった。出生地の効果も有意 ($F(9,90)=36.34, p<0.0001$) であった。図25に示すように温暖地出身者の方が低い値を示した。変化量に関しては、出生地間に有意な差はみられなかった。(図26)。

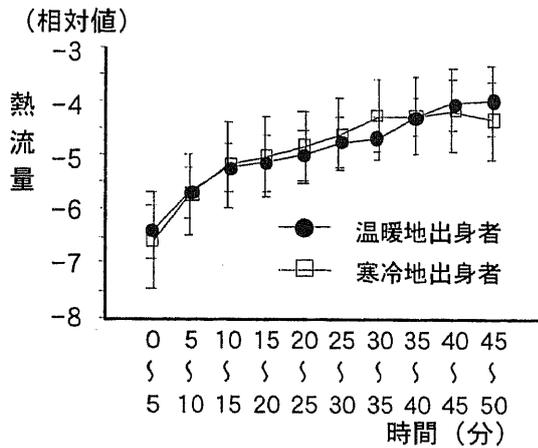


図23 熱流量の経時変化 (前腕)

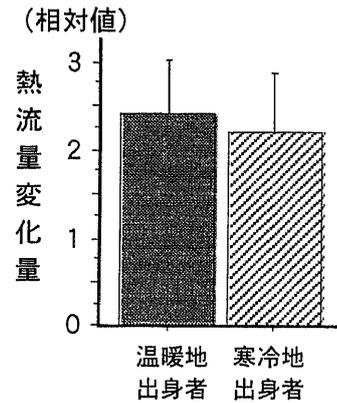


図24 熱流量の変化量 (前腕)

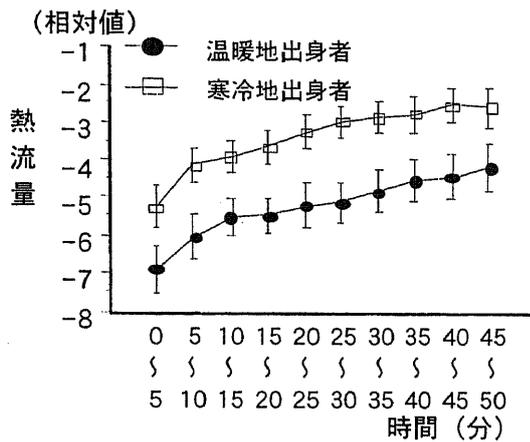


図25 熱流量の経時変化 (大腿)

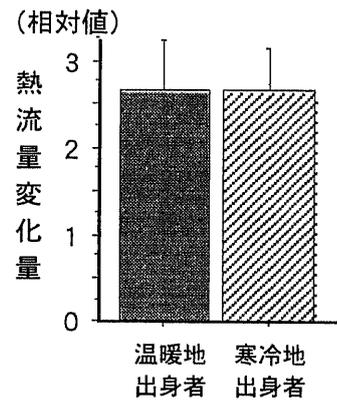


図26 熱流量の変化量 (大腿)

3.3.1 皮膚血流量

皮膚血流量に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(9,90)=52.25, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった。図27に示すように皮膚血流量は高温曝露中を通して時間経過とともに増大した。変化量に関しては、出生地間に有意な差はみられなかった (図28)。

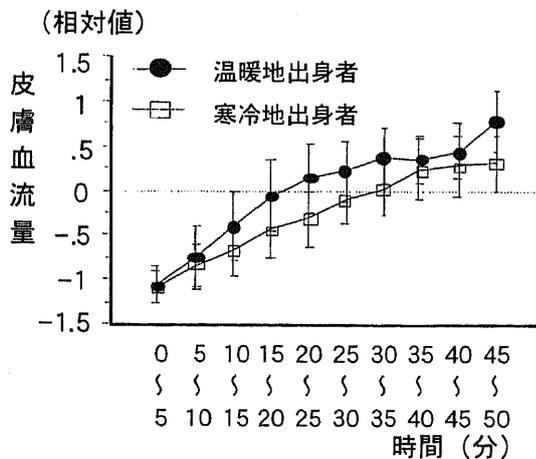


図27 皮膚血流量の経時変化 (前腕)

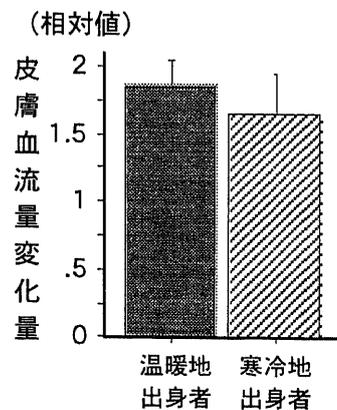


図28 皮膚血流量の変化量 (前腕)

3.3.1 主観評価

主観評価の全身温冷感に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(9,108)=8.72, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意で

はなかった (図29)。また、主観評価の全身温熱的快適感に対して出生地および時間を要因とする二元配置分散分析を行った結果、時間の主効果は有意 ($F(9,108)=6.01, p<0.0001$) であったが、出生地の効果は有意ではなかった (図30)。全身温熱的快適感について時間の要因を除いて平均値の比較をすると、温暖地出身者が有意に不快感が強かった (図31, $p<0.05$)。

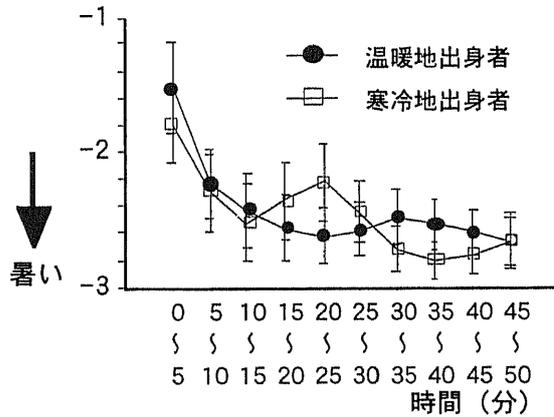


図29 全身温冷感の経時変化

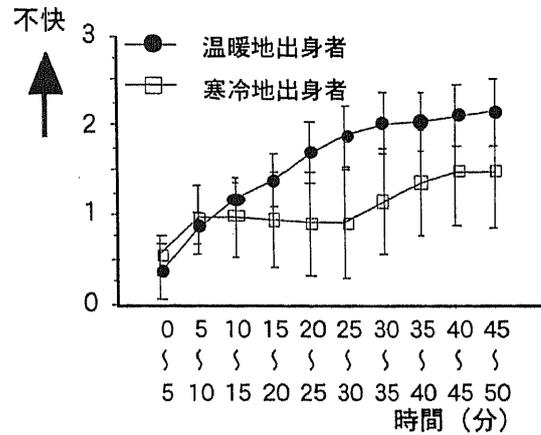


図30 全身温熱的快適感の経時変化

3.4 血流量と直腸温変化量との関係

図32に血流量と直腸温変化量との関係を示した。出生地間の回帰直線の傾きに有意差は見られなかったが、切片には有意差が見られた ($p<0.001$)。同じ直腸温変化量であれば、温暖地出身者では寒冷地出身者と比較して皮膚血流量が少ないことを示している。

3.5 平均皮膚温の変化量と全身温冷感との関係

平均皮膚温の変化量と主観評価の全身温冷感との関係を図33に示した。出生地間の回帰直線の傾きに有意差は見られなかったが、切片には有意差が見られた ($p<0.05$)。

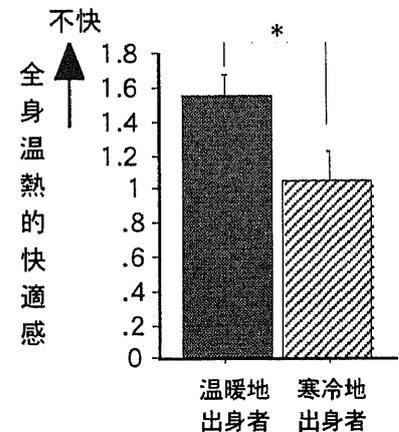
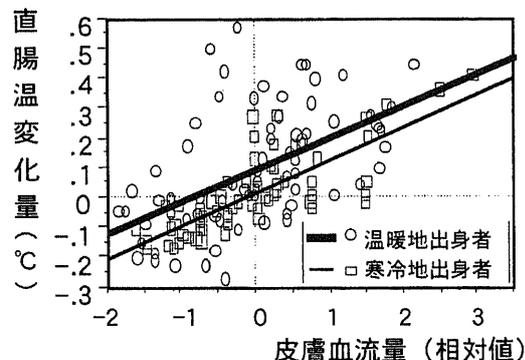


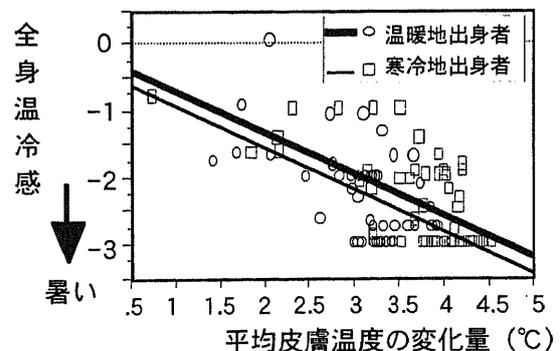
図31 全身温熱的快適感

*: $p<0.05$



温暖地出身者: 直腸温 = $.101 + .107 \text{ BF}$ ($R^2 = .280$)
 寒冷地出身者: 直腸温 = $.017 + .109 \text{ BF}$ ($R^2 = .598$)
 BFB: 前腕皮膚血流量

図32 血流量と直腸温変化量との関係



温暖地出身者: 温冷感 = $-.292 - .623 \cdot T_{sk}$ ($R^2 = .277$)
 寒冷地出身者: 温冷感 = $-.077 - .617 \cdot T_{sk}$ ($R^2 = .437$)
 T_{sk} : 平均皮膚温

図33 平均皮膚温の変化量と全身温冷感との関係

平均皮膚温が同じ変化をした場合には、全身温冷感は温暖地出身者に比べ寒冷地出身者の方がより暑いと感じていることになる。

4 考察

4.1 皮膚温

温暖地出身者の前腕部皮膚温は寒冷地出身者と比較して有意に高い値を示し、前額部、腹部、手甲部、大腿部、下腿部、足甲部においては出生地間の差は認められなかった。前腕部においては40℃の気温への曝露前に出生地間で有意差があり、温暖地出身者の方が高い値を示していた。また、高温環境へ曝露後においては15分目まで温暖地出身者が有意に高い値を示したが以後有意差は観察されなかった。変化量で比較すると腹部のみ寒冷地出身者の方が有意に高かった。平均皮膚温で比較した場合でも、出生地間には有意差はなく、変化量で見ると寒冷地出身者で有意に高かった。腹部、前腕、平均皮膚温において交互作用がみられたことから。温暖地出身者と寒冷地出身者の皮膚温への気温の効果が時間によって異なることを示している。

Katsuura et al. (1992) の報告では日本人と日系ブラジル人の比較をしており、安静状態では胸部の皮膚温は日系ブラジル人の方が有意に高く、前腕部においても高い傾向が観察されているが、40℃、相対湿度50%の環境への曝露（筋作業を伴う）後は胸部の皮膚温の差は少なくなる傾向を示している。寒冷地出身者の皮膚温の変化量が大きいことを考慮すると、温暖な地域の出身者の曝露前の高い皮膚温は高温環境に曝露された場合に有利であると考えられるが、本研究の結果には個人差も大きく反映されていると思われ、温暖地出身者と寒冷地出身者の反応が明確な差として現れなかった可能性もある。また、日本人の体組成に地域差があることは認められている（小宮ら,1988）が、本研究では被験者のグループ間の身体的特徴に差がなかったことも実験結果に影響していると考えられる。

4.2 直腸温

本研究では直腸温の変化において出生地による有意な差は見られなかった。Okada et al. (1985) の報告では、気温25℃－相対湿度25%、気温40℃－相対湿度25%および気温40℃－相対湿度75%の条件下における関東・東北出身者と南九州・台湾出身者を比較した結果、全条件において関東・東北出身者の方が南九州・台湾出身者よりも直腸温は高い傾向を示していた。このことは寒冷地出身者よりも温暖地出身者の方が効率よく放熱していることを示している。本研究において出生地間の差が明確でなかったのは、直腸温の出生地間の差と比較して個人差がより大きかったためであると思われる。

4.3 熱流量

熱流量は負の値を示していたので、吸熱状態にあったが、大腿部において温暖地出身者の方が低い値を示していたことは寒冷地出身者と比較してより吸熱していたことになる。大腿部の皮膚温は温暖地出身者で高い値を示しており、本来ならば、高い皮膚温では吸熱量は減少すると考えられるが、胸部および前腕部において差がみられなかったことを考慮すると、大腿部の計測結果については再検討の必要があると思われる。

4.4 皮膚血流量

産熱と放熱が平衡に保たれている状況では高温環境への曝露により、皮膚血流量は増大する。本研究においても皮膚血流量は高温環境へ曝露後増大した。体温よりも高い高温環境下では高い皮膚温と皮膚血流量を減少させることにより身体への吸熱を減少させることが可能であるこ

とを考えると、温暖地出身者では寒冷地出身者と比較して皮膚血流量は低い値を示すことが予想されるが、本研究では出身地間には差が認められなかった。Katsuura et al. (1992) の報告では、日本人と日系ブラジル人を気温 40℃、相対湿度 50% の室内で全身暴露して比較した結果、日本人より日系ブラジル人の方が前腕部の皮膚血流量は有意に低いことが認められている。本研究で出身地間に差がみられなかった理由として、九州がブラジルほどには高温ではないことと被験者の個人差の大きさが考えられる。また、勝浦らの研究では高温曝露後に自転車エルゴメータによる作業負荷を与えていることも理由として考えられる。

直腸温変化量と血流量との関係を見ると、同じ直腸温変化量であれば、温暖地出身者では寒冷地出身者と比較して皮膚血流量が少ないことを示しており、高い皮膚温と皮膚血流量が少ないことは体温より高い高温環境では有利であると思われる。

主観評価

主観評価は全身温冷感、全身温熱的快適感ともに出生地による有意差は見られなかった。Katsuura et al. (1992) の報告によると、日本人と日系ブラジル人の比較から全身温冷感、全身温熱的快適感ともに日系ブラジル人より日本人の方が有意に暑さ、不快感を感じている。本研究では出身地間の差がみられなかった理由として個人差の大きさが大きかったことが考えられる。

平均皮膚温の変化量と温冷感との関係から、任意の平均皮膚温の変化に対して全身温冷感は温暖地出身者よりも寒冷地出身者の方がより暑いと感じていることがわかった。Katsuura et al. (1998) は温熱環境が定常状態であれば、平均皮膚温と温冷感との関係から平均皮膚温が温冷感を推定する指標になりうるが、定常状態にない温熱環境では熱流量を用いることが望ましいことを指摘している。しかしながら、生理反応に変化がみられても、主観評価に反映されないことがあり、両者の対応づけには種々の要因を考慮しなければならないと思われる。

結論

温暖地出身者では皮膚温を上昇させることで、外部環境温度との温度差を小さくして吸熱を減少させ、高温環境により早く順応できると考えられる。一方、寒冷地出身者では常温から高温への急激な温度変化を起こした場合には順応するためにより長い時間を要し、生理的な変化があるにも関わらず、主観的にはあまり温度変化を感じていないこともあり、身体への負担が増大することが推察された。

本研究では発汗量を正確に計測できなかったが、発汗量の変化や生理反応と主観評価の関係についての個人差の影響も含め、さらに生理人類学的視点からの検討が必要であると思われる。

引用文献

- Brozek J, Grande F, Anderson J T and Keys A (1963) Densitometric analysis of body composition : Revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci*, 110 : 113-140
- Budd G M, Fox R H, Hendrie A C and Hicks K E (1974) A field survey of thermal stress in New Guinea villages. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series*, B263:393-400
- 藤本薫喜, 渡辺孟 (1967) 日本人の体表面積に関する研究 (第 16 編) . *日衛誌*, 26 (6) : 403-406
- Gagge A P, Fobelets A P and Berglund L G (1986) A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transaction*, 92, 2B : 709-731

- Hardy J D and DuBois E F (1938) The technique of measuring radiation and convection. *J. Nutr*, 15:461-475
- 垣鍔直 (1999) 暑がり・寒がりの要因分析と生活パターンとの関連に関する調査研究. 第23回人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp.172-175
- Katsuura T, Nakano K, Sano Y, Okada A and Kikuchi Y (1985) Influence of native place on forearm blood flow at rest and during exercise in dry and humid heat. *Ann Physiol Anthropol*, 4 (2):175 - 177
- Katsuura T, Elisabete Tachibana M, Lee C-f, Okada A and Kikuchi Y (1992) Comparative Studies on Thermoregulatory Responses to Heat between Japanese Brazilian and Japanese. *Ann Physiol Anthropol*, 11 (2):105 - 111
- Katsuura T, Tabuchi R, Iwanaga K, Harada H and Kikuchi Y (1998) Estimation of thermal sensation during varied air temperature conditions. *Appl Human Sci* 17(2) :73-78
- 小宮秀一, 佐藤方彦, 安安河内朗 (1988) 体組成の科学, 朝倉書店
- 空調設備基準委員会温冷感小委員会 (1979) 温冷感に関する調査方法. *空気調和・衛生工学*, 53,8
- 松田和也, 吉武良治, 島田賢治 (1985) 高温高湿環境作業における生理的反応の人種的比較について. *生理人類誌*, 4 (1) : 71-73
- Mitchel D and Wyndham D H (1969) Comparison of weighting formulas for calculating mean skin temperature. *J Appl Physiol*, 26:616-622
- Nagamine S and Suzuki S (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol*, 36:8-15
- Okada A, Katsuura T, Sano Y and Kikuchi Y (1985) Effect of native place on sweating rate and during exercise in dry and humid heat. *Ann Physiol Anthropol*, 4(2):199 - 202
- 山本勇, 垣鍔直 (1998) 耐暑・耐寒性に関与する要因に関する調査研究. 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.721-722

脳機能からみた日本人の体温調節能の特徴
— 温熱刺激に対する快適感・温冷感と脳機能水準の変化 —

岩永光一（研究者番号：70160124）
千葉大学大学院・自然科学研究科・助教授

研究協力者：宮崎良文・森川 岳

1. はじめに

種々の環境からの刺激によって生じる感覚は、快適性や感性などの人間の心的特性を形成する基本的要因である。温熱刺激に対する主観的感覚は、温冷感や温熱的快適感として古くから温熱環境の評価指標として用いられてきた。これらの温熱的な感覚は、ヒトにおける着衣量や空調の温度調節等、行動的体温調節を惹起するための基本的な要因である。このような主観的感覚が、末梢の温熱受容器からの刺激を基に中枢神経系において形成されることは言うに及ばないが、温冷感や温熱的快適感などの主観的感覚と脳機能水準との関連については、ほとんど調べられていないのが現状である。また、このような主観的な感覚には、中枢神経系のみならず、情動反応としての末梢神経系の反応も付随しており、総合的なアプローチによるメカニズムの解明が期待される。

このような観点から、我々は手掌への温熱刺激に対する主観的感覚と種々の生理的反応との関係について実験を行った。脳機能水準の評価では、従来より多用されている脳波に加え、近年その応用が注目されている近赤外分光法（NIRS）による脳血液動態を採用した。NIRSでは、生体組織中の酸化型および還元型ヘモグロビン量の経時的変化を非侵襲的に観察することが可能である。ポジトロンCT（PET）などの脳血流量の測定と比較した研究によって、NIRSによるヘモグロビン量の変化は血流量の変化を反映していることが報告されている。また、特に快適性の評価において重要な関連が予想される情動的反応の指標として、血圧の変動も併せて計測した。

本研究は、皮膚に与えられた温度刺激に対する脳血液動態や脳波などの脳機能水準および血圧の変化を調べ、温冷感や快適感との関係を調べることを目的とした。

2. 方 法

被験者は健康な男子大学生及び大学院生13名であった。各被験者は30, 34.5, 39, 43.5, 48℃に設定された金属板に1分間、閉眼にて右手掌を置いた。金属板への接触の前後を含めてNIRS（NIRO-300, 浜松ホトニクス社製）によって、左右の前額部より脳血液動態を計測した。また、同時に脳波を記録した。脳波は、時定数0.3秒、高域遮断フィルター30Hzにて、NIRS計測部位の左右前額部を含めた全16部位より導出した。左右前額部の脳波用皿電極はNIRSの送光用および受光用プローブの間に置き、便宜的に、国際10-20電極法のFp1およびFp2と表現した。他の14部位については国際10-20電極法に従った。

NIRSによって計測される酸化型ヘモグロビン（O₂Hb）、還元型ヘモグロビン（Hb）、全ヘモグロビン（tHb）の経時変化を定量化するために、金属板接触開始時を基準として、接触1分間の前半30秒間について

て基準に対する変動の面積 (AUC30) を算出した。脳波はA/D変換後、金属板接触前と接触中の10秒間ごとにFFTによってパワースペクトルを求め、 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, $\beta 2$ の各帯域毎にパワー値を算出した。得られた各帯域のパワー値は、金属板接触前を100%とした相対値、および、相対パワー (全帯域に対する各帯域のパワーの百分率) を求めた。

1分間の接触の直後に、被験者は-3~+3のビジュアルアナログスケールにて温冷感と快適感を評価した。

3. 結果および考察

1) 温冷感・快適感と脳血液動態との関係

図1に、接触した金属板の温度と温冷感及び快適感の関係を示す。温冷感は、金属板の温度と有意な正の相関関係 ($r=0.929$, $p<0.01$) を示した。快適感では上に凸の有意な二次の回帰 ($r=0.680$, $p<0.01$) が認められた。温冷感と快適感の関係では、39℃以上の3条件をまとめた場合、両者に有意な負の相関 ($r=-0.772$, $p<0.01$) が認められた。

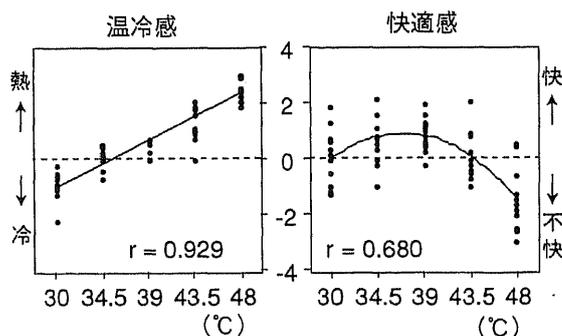


図1. 金属板表面温度と温冷感及び快適感の関係。

図2は、一人の被験者について48℃の金属板接触による左前額部の脳血液動態の変化を示したものである。図には、酸化型ヘモグロビン (O2Hb), 還元型ヘモグロビン (Hb), 全ヘモグロビン (tHb) の各々について、接触開始時点を基準とした相対的な変化量を示している。図に示すように、特に高温条件での金属板接触によってO2HbとtHbが増加し、Hbが減少する傾向が認められた。この図より、1分間の接触期間の前半30秒間について先に述べたAUC30を算出し、後の分析に供した。

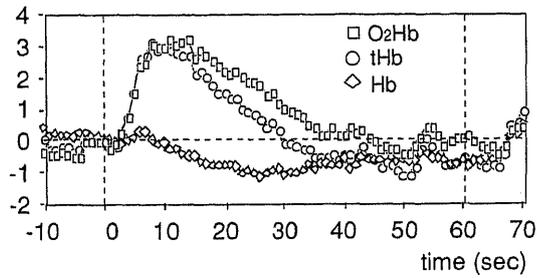


図2. 48°Cの金属板に手掌を接触させた時(0~60 sec)の左前額部から記録した脳血液動態の相対変化。

図3は、金属板表面温度と各脳血液動態指標(AUC30)との関係を示したものである。O2Hbは、左右の前額部において温度の上昇に対し有意な正の相関を示した。Hbは、左前額部において有意な負の相関を示したが、右においては有意な相関は認められなかった。O2HbとHbの和であり、血流量の変化を反映すると考えられるtHbは、左右の前額部において、温度の上昇に対し有意な正の相関を示した。これらの結果より、手掌に与えられた刺激の温度が上昇するほど、前額部の脳血流量が増大することが示唆される。

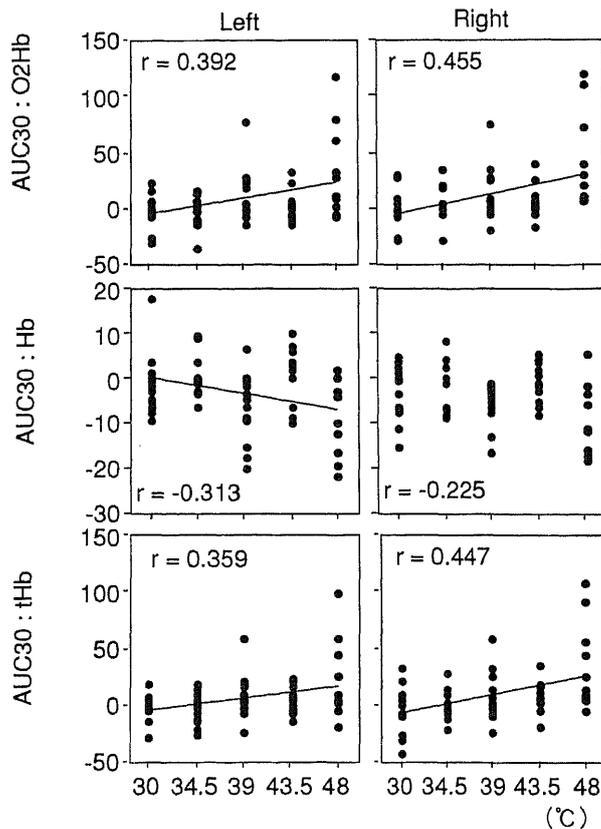


図3. 金属板表面温度と各脳血液動態指標AUCの関係。

図4は、温冷感とO₂Hb, Hb, tHbのAUC30の関係を、左右の前額部各々について示したものである。AUC30[O₂Hb] は熱く感じる程増加する傾向を示し、左右両方において有意な相関（左： $r=0.339, p<0.01$ 、右： $r=0.421, p<0.01$ ）が認められた。AUC30[Hb] は、熱く感じる程減少する傾向を示し、左において有意な相関（ $r=0.292, p<0.05$ ）が認められた。AUC30[tHb] は、熱く感じる程増加する傾向を示し、左右両方において有意な相関（左： $r=0.302, p<0.05$ 、右： $r=0.409, p<0.01$ ）が認められた。

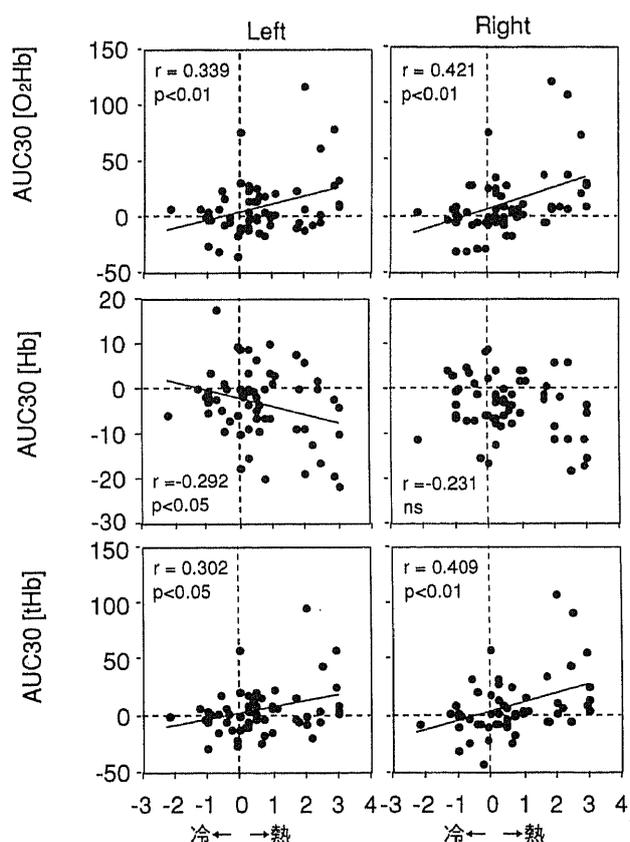


図4. 温冷感と各脳血液動態指標AUCの関係。

図5は、快適感とO₂Hb, Hb, tHbのAUC30の関係を、左右の前額部各々について示したものである。AUC30[O₂Hb] は不快と感じる程増加する傾向を示し、左右両方において有意な相関（左： $r=0.290, p<0.05$ 、右： $r=0.334, p<0.01$ ）が認められた。AUC30[Hb] は不快と感じる程減少する傾向を示し、左において有意な相関（ $r=0.313, p<0.05$ ）が認められた。AUC30[tHb] は不快と感じる程増加する傾向を示し、右において有意な相関（ $r=0.318, p<0.05$ ）が認められた。上に示した様に、温冷感と快適感は共に前額部の脳血液動態の変化との関連を示したが、39℃以上の条件において温冷感と快適感の間に有意な相関関係が認められたことか

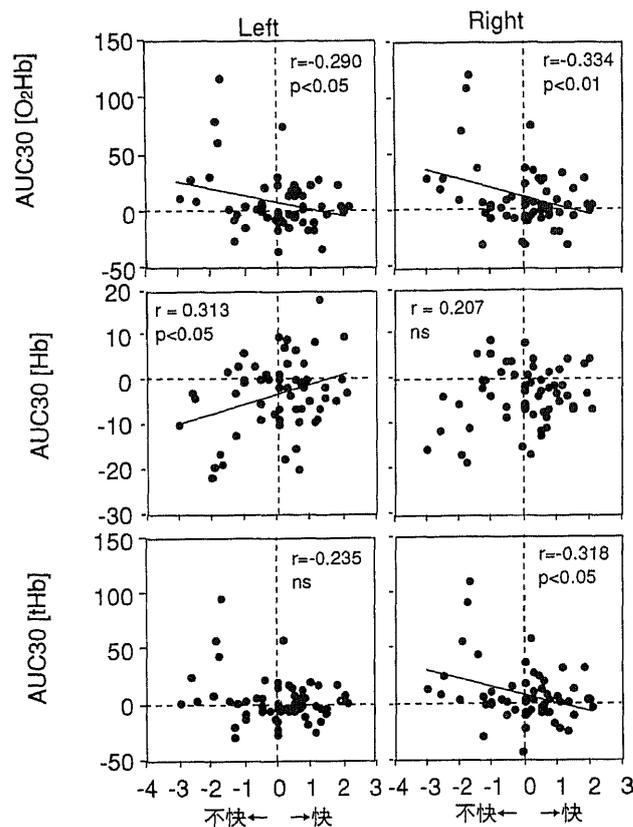


図5. 快適感と各脳血液動態指標AUCの関係。

ら、各々のAUC30と温冷感、快適感の3者について偏相関係数を求めた。その結果、右半球において、温冷感とAUC[O₂Hb] ($r=0.305, p<0.05$) 及び温冷感とAUC[tHb] ($r=0.298, p<0.05$) の間に快適感の影響を排除した有意な相関が認められた。しかし、快適感については有意な相関関係は認められなかった。

以上のように、熱く感じる程、不快に感じる程、左右の大脳半球においてO₂HbとtHbが増大する傾向を示した。tHbはO₂HbとHbの和であり、PET などによる脳血流の測定値との間に有意な相関を示すことが報告されている。従って、この結果は温度感覚が高温側に移行する、あるいは不快感が増大するのに伴って前頭前野領域の脳血流量が増大したことを示すものであると解釈される。しかし、温冷感とは物理的な刺激強度を評価するのに対し、快適感とは刺激の感覚に対する価値を評価するものであると考えられるので、それぞれの評価プロセスの違いを明らかにすることが重要である。今回の実験では、脳血液動態の変化が顕著であった高温条件において温冷感と快適感の有意な相関が見られたことから、このことによる影響を排除するために偏相関分析を行った。その結果、高温感の増大に伴って右半球の脳血流量が増加することが明らかとなった。一方、快適感についての有意な偏相関係数は得られなかった。

以上の結果より、右手掌への温熱刺激による高温感の増大に伴って、特に右半球の前頭前野の脳血流量が増加することが認められた。また、さらに、43.5、48.0℃の高温条件では、血圧の上昇が顕著であった。これらの結果は、物理的な熱刺激の知覚は皮質レベルの機能的変化との関連が大きく、快適感の評価においては辺縁系を含んだ総合的なメカニズムが関与していることを反映するものと解釈された。

2) 温冷感・快適感と脳波との関係

金属板接触中の10秒毎に求めた $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ の各帯域のパワーの相対的变化量および相対パワーについて、温冷感・快適感との相関を調べた。相関では、金属板接触の前半30秒間について、0-10、10-20、20-30秒の各10秒間の値をまとめて、脳波導出部位毎に相関係数を求めた。相関は全体的には弱く明確な直線関係を示す例は少なかったが、相対パワーと主観評価との間に統計学的に有意な相関が散見された。

図6は、 $\alpha 1$ 帯域の相対パワーと温冷感との関係を示している。また、図7は、 $\beta 2$ 帯域の相対パワーと温冷感との関係を示している。 $\alpha 1$ 帯域では、Fp2、F8、T6の右大脳半球部位において有意な負の相関が認められ、熱く感じる程、 $\alpha 1$ 帯域の相対パワーが減少する傾向を示した。また、 $\beta 2$ 帯域では、Fp1、Fp2、F7、C3、C4、P3において有意な正の相関が認められ、熱く感じる程、 $\beta 2$ 帯域の相対パワーが減少する傾向を示した。

図8は、 $\alpha 2$ 帯域の相対パワーと快適感との関係を示している。また、図9は、 $\beta 2$ 帯域の相対パワーと快適感との関係を示している。 $\alpha 2$ 帯域と快適感との関係においては、脳波導出部位の広範囲において有意な負の相関が認められ、快適に感じる程、 $\alpha 2$ 帯域の相対パワーが減少する傾向を示した。 $\beta 2$ 帯域では、Fp1、Fp2、C3、Czにおいて有意な負の相関が認められ、快適に感じる程、 $\beta 2$ 帯域の相対パワーが減少する傾向を示した。

3) 脳血液動態と脳波の関係

一般には、脳波 α 帯域の減衰、いわゆる α blockingは脳機能水準の高進を反映するとの解釈が存在する。また、生体の血液動態の変化、特に血流量の増大も、エネルギー代謝の観点から組織の機能水準の高進を反映するものと考えられる。このような観点から、刺激に対する脳血流量の増大と脳波 α 帯域の減衰とは、共に脳機能の高進を反映する指標として何らかの関連を有することが期待されるので、この関係について検討した。

図10は、1名の被験者について、右前額部より記録された脳血液動態指標（図左列AUC/0-30、O2Hb・Hb・tHb）および $\alpha 1$ 帯域の相対的变化（図右列 $\alpha 1(\%)$ ）を、各温度条件毎に示したものである。脳血液動

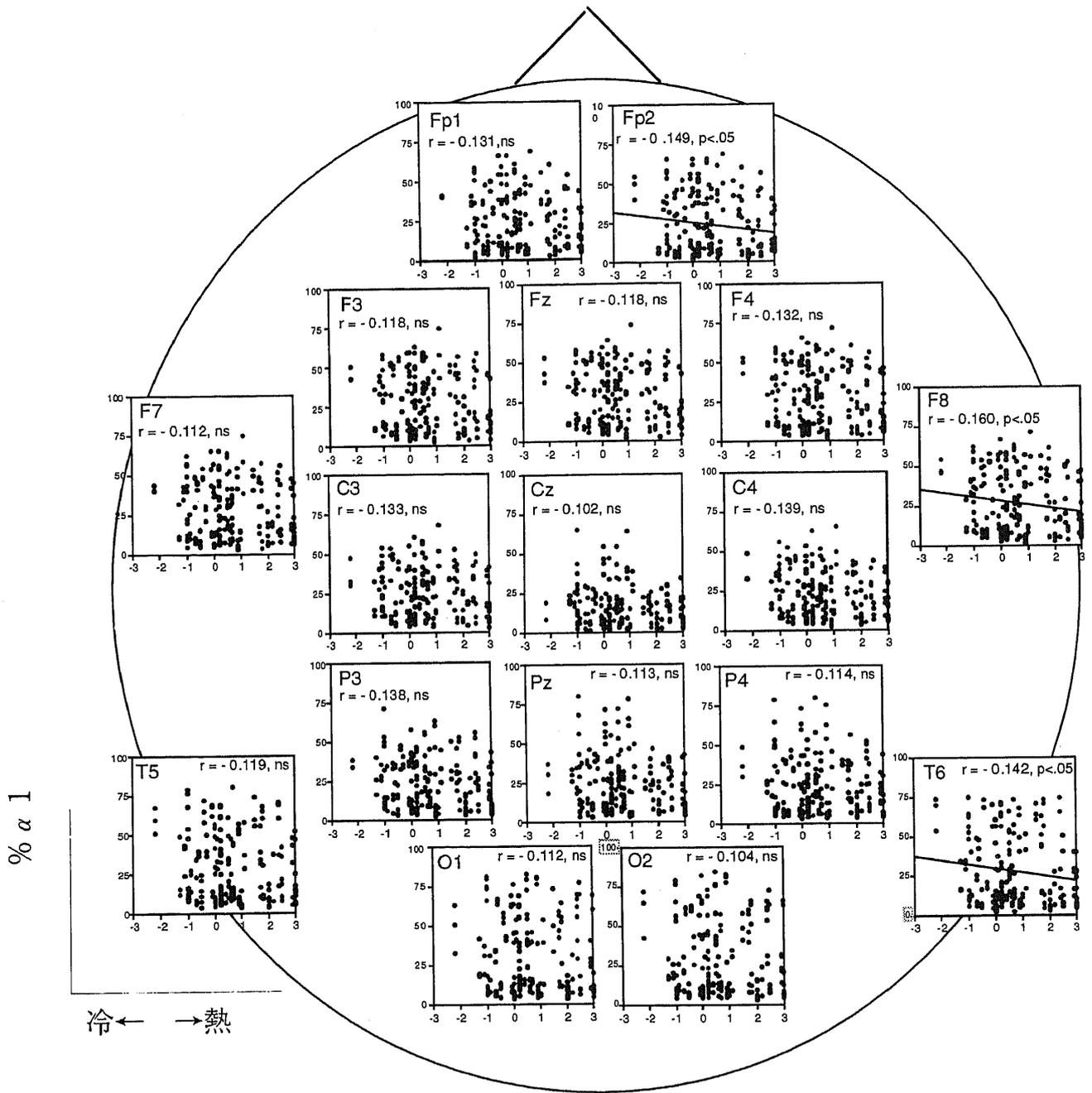


図6. 脳波 α 1 帯域の相対パワーと温冷感との関係

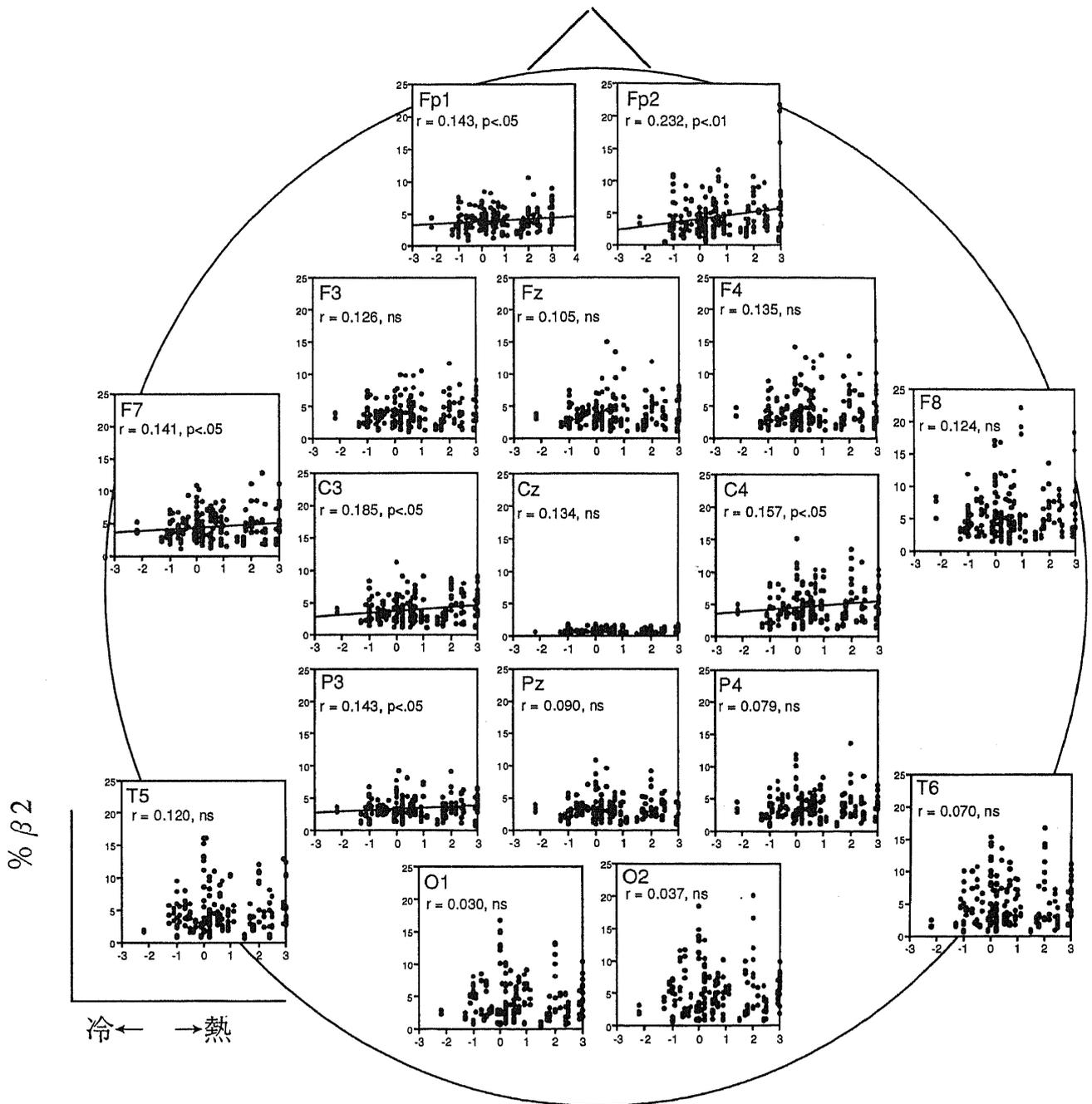


図7. 脳波β2帯域の相対パワーと温冷感との関係

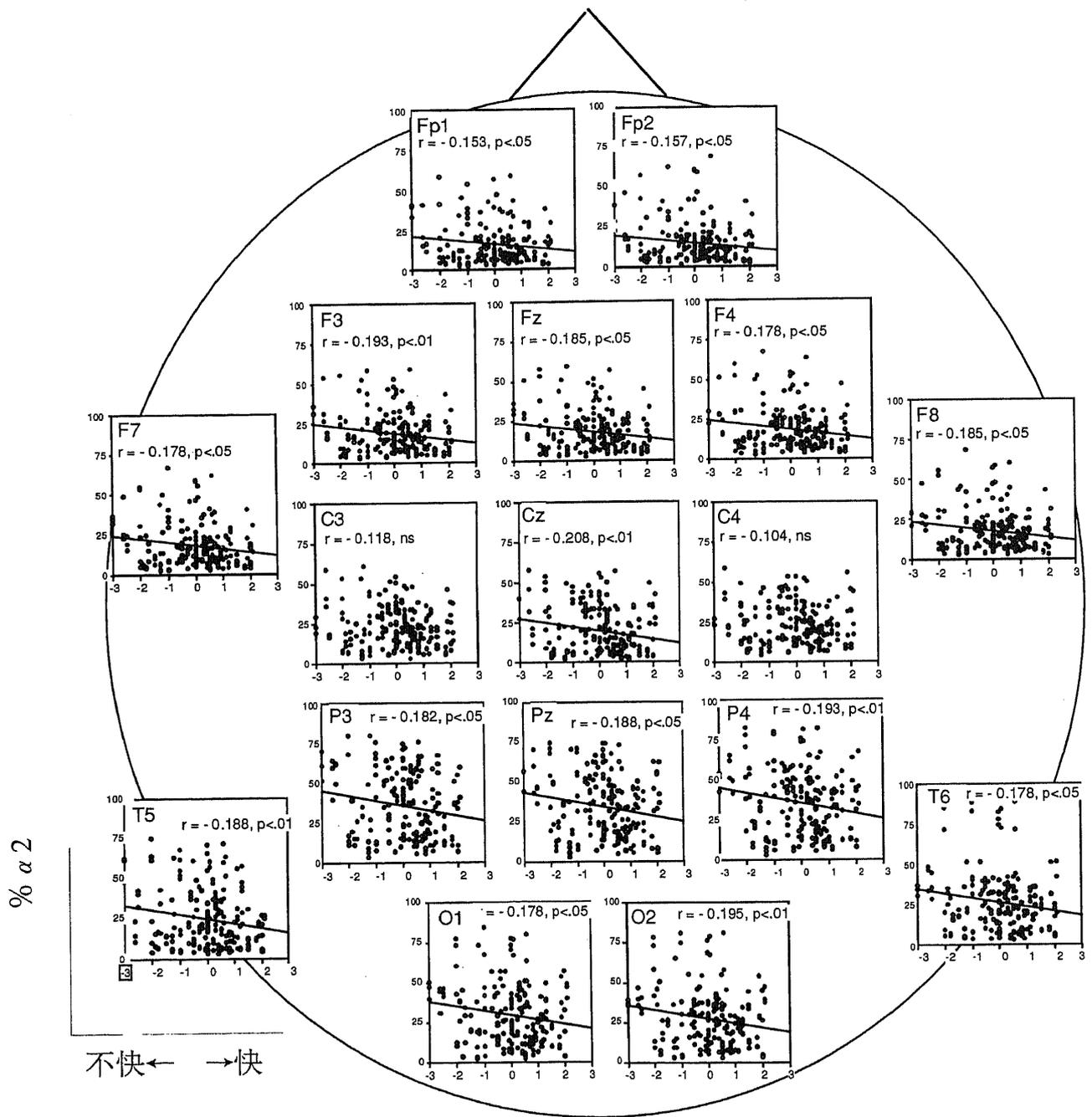


図8. 脳波 $\alpha 2$ 帯域の相対パワーと快適感との関係

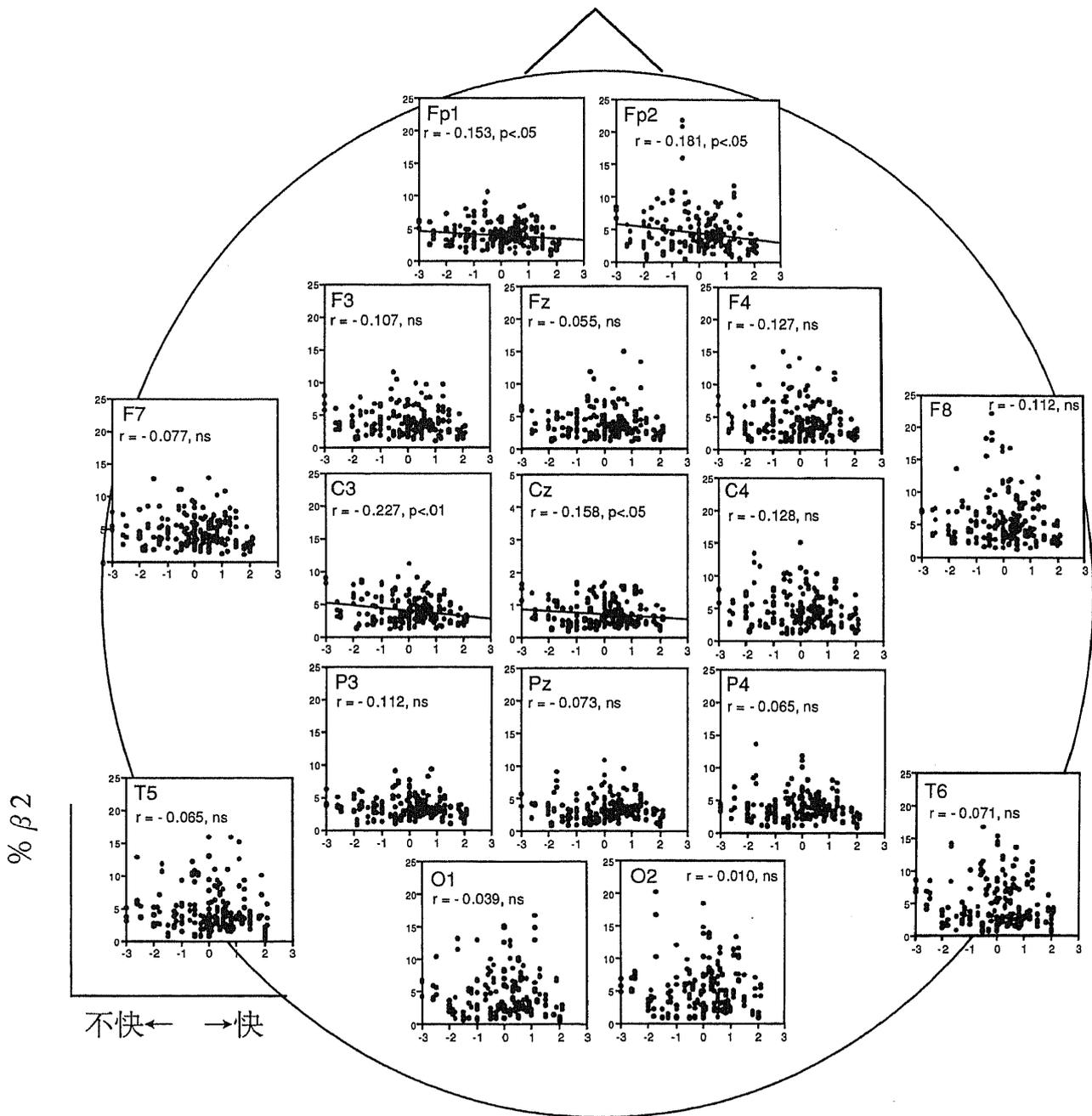


図9. 脳波 β_2 帯域の相対パワーと快適感との関係

態は、全体的に、金属板への接触によってO₂HbとtHbが増加しHbがわずかに減少しており、特に高温の43.5、48℃においてはその傾向が顕著である。一方、同じ部位から導出した脳波の α 1帯域は、金属板接触中にも増減が認められるが、全体的には、金属板接触直後の0~20秒に特に減少する傾向がある。しかしながら、脳血液動態の変動がほとんど見られない被験者や、特に、30~39℃の低温域の刺激において逆に α 帯域が増加する例も多く見られ、被験者群内で一致した傾向は認められなかった。13名の被験者のデータをまとめて、脳血液動態指標と脳波 α 1帯域の変化との相関を調べたが、有意な相関関係は認められなかった。その例として、図11に α 1パワーの相対値（金属板接触20-30秒）とO₂HbおよびHb変化量との関係、図12に α 1相対パワーの変化量（金属板接触10-20秒）とO₂HbおよびHb変化量との関係を示す。

以上のように、 α 帯域と脳血液動態との間には関係性を見出すことができなかったが、 β 帯域について同様の検討を行った結果、比較的明らかな関連が見い出された。図13は、還元型ヘモグロビンの変化量とFp1で導出された脳波の β 1帯域パワーの変化量との相関を示している。図に示す通り、還元型ヘモグロビン量と β 1帯域パワーとの間には有意な正の相関が認められた。還元型ヘモグロビン量の変化は、組織における酸素消費量の変化を反映するものであると解釈することが可能であり、この結果は、脳機能水準の高進に伴う酸素消費量の増加が脳波の β 1帯域の増加に対応するものであると解釈することもできる。しかしながら、還元型ヘモグロビン量の変化は血流量の増減によっても変化することから、今回の結果の解釈は慎重に行うべきであり、さらなる検討が必要である。

今回の結果から、脳波 α 帯域の変動と脳血液動態の変化は、各々独立した現象であることが示唆された。しかしながら、生体に与えられる刺激の種類や大きさによっては、両者が並行して変動する可能性もあり、今後の検討課題のひとつである。快適性や精神作業などの評価において、脳波や近赤外分光法などを応用する場合、それぞれの解釈は慎重に行うべきであり、今後のデータの蓄積が期待される。

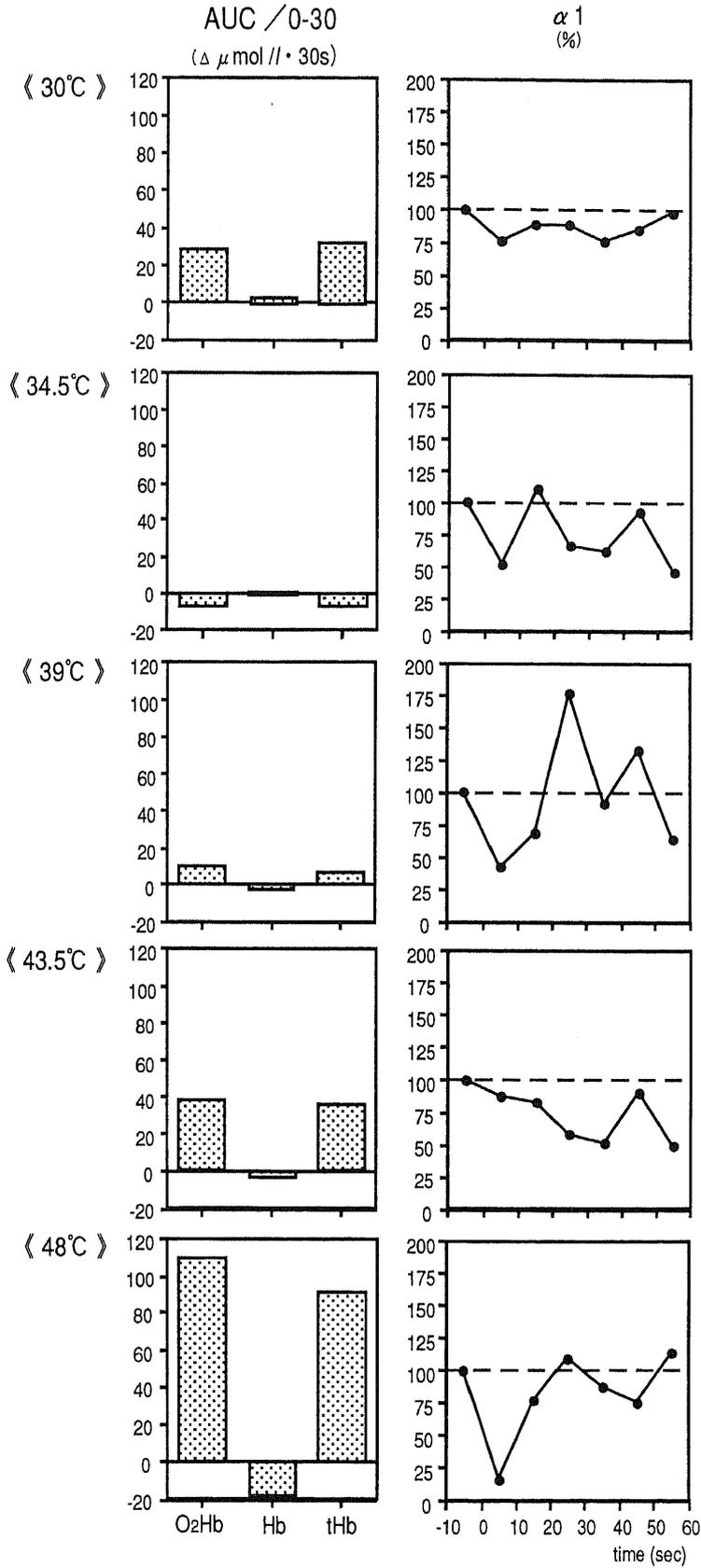


図1. 各温度条件における被験者Yの脳血液動態 (左列) と脳波 $\alpha 1$ 帯域 (右列) の変化.

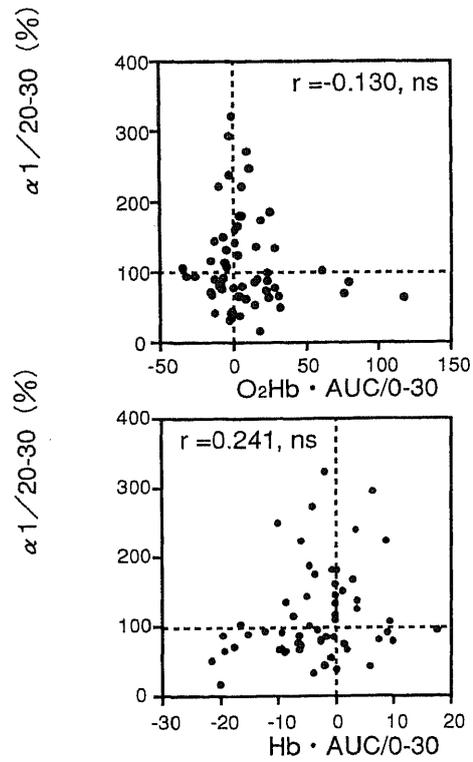


図11. 左前額部における脳血液動態指標と脳波 $\alpha 1$ 帯域パワー相対値との関係.

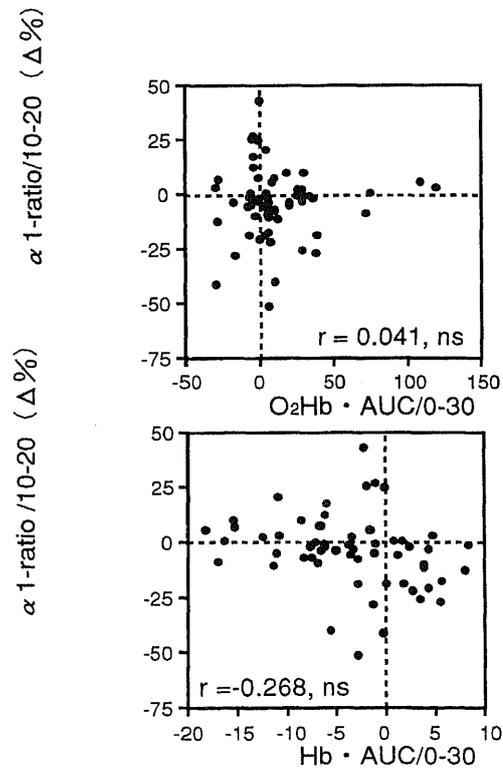


図12. 右前額部における脳血液動態指標と脳波 $\alpha 1$ 帯域相対パワー変化量との関係.

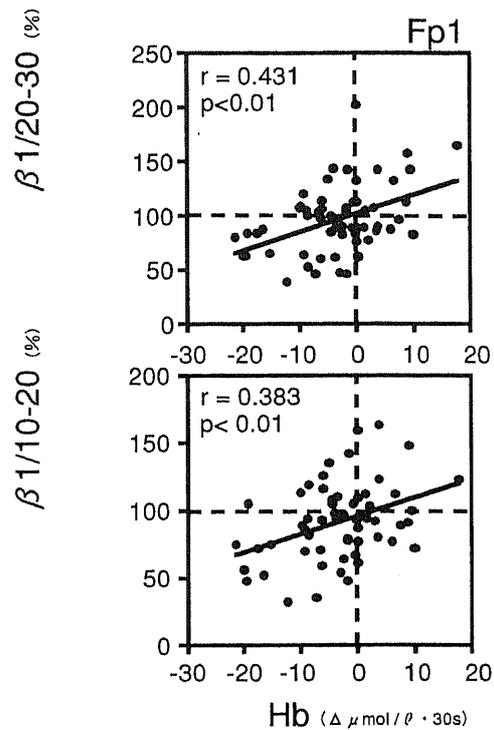


図13. 左前額部におけるHb変化量と $\beta 1$ 帯域パワーの相対値との関係。

発表論文：

岩永光一，原田 一，勝浦哲夫，森川 岳，宮崎良文 異なる温度の金属板への接触による生体反応 (II)

—脳血液動態に及ぼす影響—，日本生理人類学会誌，4巻，1999：55-56

岩永光一，原田 一，勝浦哲夫，森川 岳，宮崎良文 NIRSによる脳血液動態と脳波の関係—，日本生理

人類学会誌，4巻，1999：70-71

温熱反応からみた日本人児童と青年の体温調節能の特徴
－児童と青年の下腿温浴時の温熱反応－

栃原 裕（研究者番号：50095907）

九州芸術工科大学・芸術工学部・教授

研究協力者：藤田水穂、山下和章、馬越淑、金貞淑

I. はじめに

現在、私達はその生活のほとんどを人工環境の下で過ごしている。一方で、私たちの生体そのものは、かつて自然環境で生活していたころから劇的な変化は遂げておらず、むしろ、私たちの生体は変わっていないといってもいいのかもしれない。

ヒトの祖先もかつては他の動物と同じように体毛でその身を覆っており、寒いときには身を寄せ合い、暑いときには日陰に入って環境に適応していた。しかし、私たちの現在の生活というのは、環境の変化に対して衣服の量を調節したり、空調システムの設定を変えろといった文化的なものが多くなってきたように感じる。

こうした生活の変化があっても、その中心にあるのはやはり「ヒトの生体」である。先にも述べたように、ヒトの生体は昔からそれほど変化していない。一方で急速に変化している人工環境の発達の中で私達が生活していくためには、まず自らの生体について詳しく知る必要があるのではないだろうか。

ヒトの体温調節機能に関しては昔からさまざまな研究が行われてきた。その中でも、ヒトの発汗機能に関しては「汗の話」で著名である久野 寧 教授の研究以来、多くの実験が行われており、年齢差を中心に更なる研究が求められている。

私たちは今回、なかでも比較的実験例が少なく、その体温調節反応の実態がまだ明らかでないといわれている児童の実験を行うに際して幸運にも 31 名という異例に多くの児童の被験者を得ることが出来た。またこれに対照群の被験者として成年男女 16 名を加えて、夏季における暑熱下での体温調節反応に関して発汗を中心に、主に年齢差、また各年齢層においての性差についての研究を行った。

II. 目的

暑熱環境下における発汗を中心とした体温調節反応に関して、暑熱環境下での児童の体温調節反応の特徴を見出すために成年との比較を行う。同時に成年、児童において耐暑性の性差の検討を行う。

III. 方法

III-1. 被験者

被験者は児童男子 16 名、児童女子 15 名。対照群として成年男性 8 名、成年女性 8 名とした。児童、成年ともに発汗などに疾病を持たない健康な男女である。着衣条件は、児童は男女ともに下着のパンツのみ、成年男性は短パンのみ、成年女性はセパレートタイプの水着とした。成年女性は高温期（黄体期）に実験に参加してもらった。なお、児童の被験者に関しては保護者からの実験の承諾書にサインをしてもらった上での参加であり、また成年の被験者は実験の内容を把握した上、実験参加に合意を得た上でのボランティアとしての参加である。表 1 に被験者の身体的特徴、および t 検定結果を示しておく。

表 1：被験者の身体的特徴

		Age (yrs old)	Height (cm)	Weight (kg)	BSA (m ²)	BSA/Weight (m ² /kg)	BMI (kg/m ²)	BSA: 体表面積 Skinfold Thickness: 皮下脂肪厚					
								Skinfold Thickness (mm)					
							back	chest	abdomen	upperarm	thigh		
Male Students	n=8	MEAN	22.25	173.150	58.490	1.648	0.02827	19.475	9.083	8.900	7.000	8.217	11.500
		S.D.	0.661	5.358	5.749	0.101	0.0011	1.144	2.396	2.966	2.280	2.807	2.828
Female Students	n=8	MEAN	21.75	159.829	50.644	1.454	0.02940	19.555	12.929	9.686	13.357	13.600	21.500
		S.D.	0.661	2.591	6.933	0.091	0.0022	2.930	4.276	4.784	7.587	4.875	5.583
Boys	n=15	MEAN	8.33	131.497	28.500	0.997	0.03524	16.411	8.140	8.307	9.367	11.247	20.347
		S.D.	1.047	5.838	3.993	0.088	0.0019	1.317	2.550	3.866	5.231	4.187	4.296
Girls	n=14	MEAN	8.43	127.807	26.151	0.941	0.03653	15.886	9.693	8.743	8.575	12.464	21.929
		S.D.	0.938	6.638	5.442	0.111	0.0030	2.232	5.585	5.665	7.187	5.746	6.939
Ttest Results													
male students - female students				**	*				*		*		**
boys - girls													
male students - boys			**	**	**	**	**	**					**
female students - girls			**	**	**	**	**	**					**

** : P<0.01 * : P<0.05

III-2. 実験環境および進行

実験には本学の人工気候室（ホモトロン No.4、No.5）の隣接した 2 室を使用した。一方（No.5）を前室とし、室温 28°C、湿度 50%、気流 0.5m/s 以下に設定し、もう一方（No.4）は暑熱室とし、室温 30°C、湿度 70%、気流 0.5m/s 以下に保った。

被験者はまず、前室に入室後、身長や体重などの身体データを測定して各種センサを取り付けた後、椅座位安静の状態を保つ。入室から 30 分経ったら背中などを触って発汗していないことを確認してから暑熱室に移る。暑熱室に入って、発汗カプセルなどのいくつかのセンサを取り付けた後、20 分間 椅座位安静の状態を保った。被験者は入室から 20 分経ってからヒーターによって 42°C に保たれたお湯に両下腿を浸しそのまま 40 分の間 椅座位安静で下腿温浴を続けた。なお、児童の被験者に関しては、安静の状態を保つため暑熱室においてはビデオの鑑賞を許した。次項の図 1 にタイムスケジュールを示した。

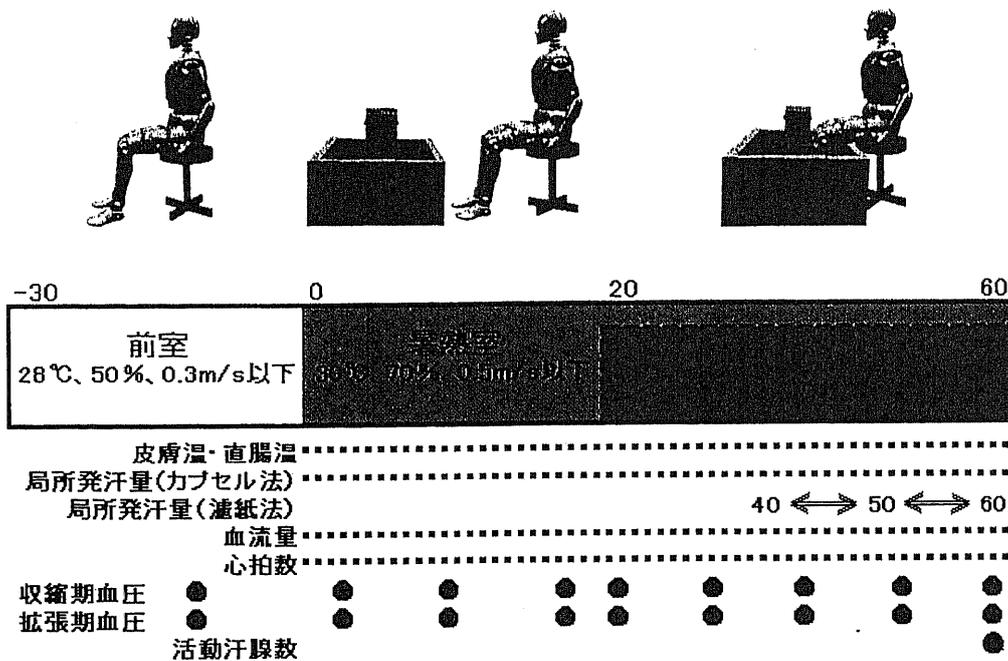


図 1：タイムスケジュール

IV. 測定項目および測定方法

1) 直腸温

直腸温の測定は、成人は肛門内 12cm の位置に、児童は 10cm に直腸温センサを挿入し、温度のデータをデータロガ (Gram Corporation 製 「LT8A」) に 1 分ごとに採取した。

2) 皮膚温

測定部位は Sasaki 法に基づき、右側の前額(T1)、胸(T2)、背中(T3)、前腕(T4)、手背(T5)、大腿(T6)、足背(T7)である。皮膚温は右の図の位置に温度センサを貼り付け、直腸温同様にデータロガに 1 分ごとのデータをサンプリングした。なお、皮膚温センサは血管の上に張らないように注意した。

得られたデータより Sasaki 法による平均皮膚温(Tsk)、さらに直腸温(Tre)のデータと平均皮膚温から Hardy & Dubois (1937) が提案した平均体温(Tb)を以下の式によって求めた。

$$Tsk=0.07(T1)+0.18(T2)+0.17(T3)+0.15(T4)+0.05(T5)+0.25(T6)+0.13(T7)$$

$$Tb=0.8(Tre)+0.2(Tsk)$$

3) 総発汗量

総発汗量の測定は、実験の前に被験者が着用する下着、短パン、および水着の重量を測定しておき、それを着用した被験者の体重を誤差が±1gの精密体重計で測定した。実験後、同様に下着、および水着を着用した被験者の体重を測定し、その後、汗を含んだ下着および水着の重量を測定して、実験前後の体重差からさらに着衣に含まれた汗の重さを差し引いて体重減少量、つまり総発汗量を換算した。

4) 活動汗腺数

活動汗腺数のデータはヨードデンプン反応を用いた測定方法で得た。測定部位は左側の背中、胸、前腕、大腿である。

この測定法では、ヨードチンキ（健栄製薬(株) 希ヨードチンキ）、デンプンを含んだタイプ用紙（Life社製 T22）、木製スタンプを使用した。この測定法を用いる際は測定部位が発汗していることが条件となる。まず、測定部位の汗をふき取り、そこにヨードチンキを塗布する。次に、余分なヨードチンキをティッシュでふき取り、すぐにタイプ用紙を貼りつけた木製のスタンプを測定部位に軽く押しつける。発汗の具合によって時間は異なるが、2～10秒ほどでスタンプを離すと、ヨードデンプン反応によりタイプ用紙上に活動汗腺が紫色の点となって現れる。今回はこれをカウントして単位面積当りの活動汗腺数を計測した。

5) 局所発汗量（カプセル法）

カプセル法による局所発汗量の測定部位は右側の背中と前腕である。

測定に使用した機器は、(株)K&S社の連続蒸散・発汗測定装置「HIDROGRAPH AMU-100II」である。これは機器本体を通して測定部位に取り付けられた直径1cmほどの測定カプセルに流れ込む乾燥窒素ガスの湿度とカプセルから本体に戻ってきた窒素ガスの湿度の差から測定部位の発汗量を換算するという原理からなるものである。窒素ガスはガスボンベに圧縮されて入っているため、減圧した際のガスの温度の低下が測定カプセルを貼りつけた部位の発汗に何らかの影響を与えることが心配されたが、ボンベからカプセルまでのパイプの長さが約3mあることもあり、また何度かの試行の結果その心配はないと思われる。

6) 局所発汗量（濾紙法）

濾紙法による局所発汗量の測定は左側の背中、胸、前腕、大腿において行なった。

この測定法には直径4cmの濾紙を使う。まず、内径4cmのプラスチック製のカプセルを測定部位に貼りつけ、その中に濾紙を入れて蓋をし、一定時間（今回の実験では10分間）したら取り出す。そして発汗量を使用前後の濾紙の重量を精密電磁式天秤（研精工業(株)「HF-400」）を用いて測定し、実験前後の重量の差から算出した。

7) 汗中Na⁺濃度

汗中のNa⁺濃度の測定には、先の6)で得られた汗を含んだ濾紙を用いた。重量測定後に汗を含んだ濾紙をシャーレに入れ、5ccの蒸留水を加えて24時間以上置いておき濾

紙に含まれる成分を抽出する。その後、シャーレ内の水を炎光光度計で分析して汗に含まれる Na⁺濃度を測定した。ただし、この濾紙法には欠点があり、測定部位の発汗量が多い場合、濾紙は非常に湿潤状態になるため、皮膚の湿潤に伴う発汗の漸減現象が早い時期から起こりうるということが近年指摘されている（発汗漸減現象については後の V. 測定項目概要で詳しく述べる）。

8) SGO

単一汗腺当りの発汗量は SGO(Sweat Gland Output)と呼ばれる（以後、一汗腺当りの発汗量は SGO とする）。SGO の測定方法は 2 種類あり、ひとつはカプセル法による局所発汗量の値を活動汗腺数の値で割る方法。もうひとつは濾紙法による局所発汗量の値を活動汗腺数の値で割る方法である。しかしながら、この 2 つの方法にはそれぞれ問題点があり、前者の問題は実験者である私自身の事前の調査不足から生じた問題である。

というのも、前腕部の発汗には左右差があることが知られている。一般に、右利きの人は右前腕の発汗量が左に比べて多く、左利きの人は左右差がはっきりしないという。今回は左側の活動汗腺しか測定していないので、右側の前腕を測定したカプセル法による局所発汗量を SGO に換算するのは、正確な値を得る方法としては不十分なデータである。また、後者に関しては先に述べたように濾紙法においては発汗の漸減現象を伴うので正確な値が算出できるとは断言できない。そして、両者共通の問題は発汗量の値を活動汗腺数で割っているということである。つまり、活動汗腺数は発汗量に伴って変化する（発汗が進むと値が大きくなる）ので、SGO の考察をする際は活動汗腺数の経時変化も合わせて必要となってくる。こうした問題があるものの、活動汗腺数は一般に発汗している際はそう変化しないものである。というのも、能動汗腺は 3 種類に分類される。ひとつは、発汗時は常に発汗するもの。次に、ある程度の暑熱環境になると必要に応じて代わる代わる発汗するもの。そして、最大発汗時にのみ発汗するものの 3 種類である。その数の比は明らかではないが、最初に述べた種類の能動汗腺が圧倒的に多いことが知られている、一方、今回の実験環境で採用した下腿温浴という暑熱負荷は最大発汗を引き起こすのに十分な条件であると考えられる。以上の理由により、今回は活動汗腺数の経時変化という項目に関しては「黙認」することにして考察を進めることにする。この問題に関してはこれからの研究課題のひとつとして考えていきたい。

上記の方法によって、局所発汗量を測定した部位の右側の背中と前腕、左側の背中、胸、前腕、大腿の SGO のデータを得た。

9) 皮膚血流量

皮膚血流量の測定は右側前腕屈側において行なった。

測定には、オメガウェーブ株式会社製のレーザー組織血流計「FLO-C1」を使用した。これは酸素方ヘモグロビンと脱酸素方ヘモグロビンによる吸収の差がない波長の半導体レーザーを用いて、測定プローブから測定部位に向けてレーザーを発射し、血液内のヘモグロビンによって乱反射されて戻ってきたレーザーから血流量を算出するというものである。なお、測定の際には測定プローブを血管の上に貼らないように注意する必要がある。分析の手順としては、コンピュータには毎秒ごとのデータがサンプリングされる

ため、一分間の平均値を取る方法を採用した。

1 0) 心拍数

心拍数のデータは、電極 (TDK 秋田コンポーネンツ(株) 「TE - 18W」) を被験者の胸部 3 箇所貼り、それを小型電波発信機 (フクダ電子(株) 「ST - 19」) と接続して被験者の腰部に取り付け、実験室外のフクダ電子(株)製の信号受信機「Dyna Scope」からレコーダーに出力された心電図の R 波の数を数えることで得た。

1 1) 血圧

収縮期血圧と拡張期血圧の測定は、オムロン社のデジタル自動血圧計「HEM-737 ファジィ」を使用して左側上腕部において測定した。ただし、児童の被験者に対しては児童用の腕帯を使用した。

以上の項目の測定部位を次項の図 2 に示しておく。

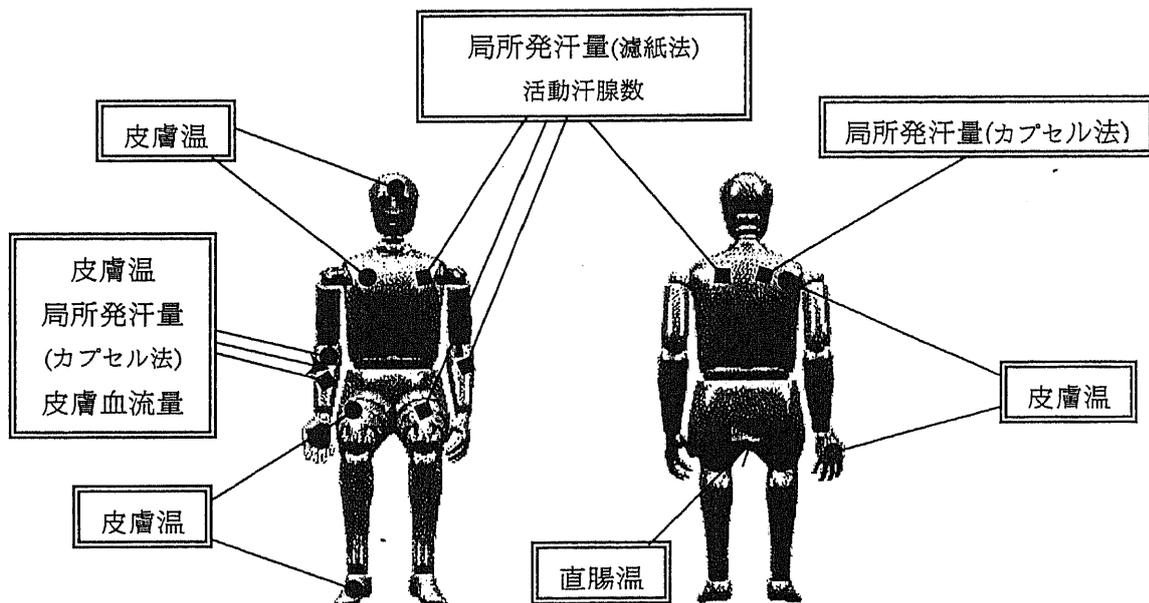


図 2 : 測定箇所

V. 測定項目概要

結果を述べる前に、今回の実験で測定した項目の内容や体温調節における役割などを述べておくものとする。

1) 直腸温

直腸温は深部温の中でも信頼性が高く、測定も行いやすいため、今回のように児童を被験者とするような実験では、深部温の測定は直腸温で行うことが好ましいと考えられる。直腸温に代表される深部温は体温調節反応の特徴を見る上で最も注目される項目であるが、深部温の中でも最も重要とされるのが脳温である。中枢神経系は非常に温度変化に敏感であり、体温調節中枢の視床下部には温度が下がると興奮する冷ニューロンよりも温度が上がると興奮する温ニューロンがたくさん存在することから、特に脳温の上昇に対して厳しく監視が行われていることをうかがわせる。

人体の代謝（活動エネルギーの産出）は身体内で起こる種々の化学反応によるものである。それらの反応速度は体温が 1°C 上昇することに平均 10% 促進される。従って、体温上昇が続くと、それに伴う代謝がさらに促進されるという悪循環を招くことになるのである。以上から、ヒトのように中枢神経系が高等である生物ほど脳温を正常値にコントロールする必要があり、深部温を正常値により近くコントロールできるかどうかは体温調節をする上で重要なポイントとなるのである。

体温の調節の中枢は前および後視床下部にあると考えられている。その理由としては、視床下部を破壊することによって体温調節が著しく障害または消失すること、視床下部の加温・加冷の刺激によって体温調節反応が引き起こされることが挙げられる。しかし、視床下部における温度のみが体温調節に影響を与えているわけではなく、視床下部のニューロンに対して、中脳、延髄、脊髄さらに皮膚にある温・冷受容器が中枢に情報を送って、ニューロンの興奮の仕方に修正を加えていると考えられている。

近年は、視床下部温に最も近いとされる鼓膜温の測定を行う実験が増えてきており、これまでのように、鼓膜に直接温度センサを接触させる方法の他に、光ファイバーを使って鼓膜からの放射熱を測定する非接触型の方法がある。この型のセンサは現在も開発段階であるが、将来は脳温の測定はこの方法が主流になるのではないかと私は考えている。

2) 皮膚温

皮膚温は皮膚血流量と密接な関係にあるといわれている。つまり、皮膚血流量が増加すれば皮膚温は上昇し、血流量が減少すれば皮膚温は低下するというものである。

皮膚は温度受容をする上で重要な器官であり、体温調節の様々な反応が現れる部位である。寒冷時には体深部から皮膚への血液の輸送が押さえられて放熱を防ぎ、暑熱時には深部から皮膚への血流量が増大し、環境温が皮膚温よりも高い場合には放熱が行われ、さらに、発汗している際には汗の気化熱によって皮膚表面から効率的に熱が奪われる。

皮膚の血管系は 2 つの一般的な型からなり、①広範囲にわたって緩徐に流れる皮下静脈叢によって通常構成されている広範囲な表在性の細動脈—毛細血管—細静脈網である。この一般的な構造は、ほとんど身体全体、特に前腕、下腿及び大腿部に多く見られる。

②手掌、足底および顔面（特に耳、鼻、口唇）に認められ、上述した構造に類似しているが、さらに多数の特異な動・静脈吻合（AVAs）を持っている。これらの領域における皮膚には、このような多数の毛細血管性短絡が散在しており、それは厚い金層を伴う約 $50\mu\text{m}$ の渦巻状の動脈血管からなり、交感神経繊維がよく調達されている。これらの血管には表面近くでの毛細血管の交換がなく、これらの特異な血管分布によって大量の熱交換が可能になるのである。なお、血管拡張は主に交感神経的緊張の減少により促されるものであるが、一方、皮膚血管をはじめ骨格筋、内臓、腎臓においては血管収縮反応が顕著に現れる。

熱貫流率は中枢温と平均皮膚温の差に反比例し、体表面積当りの代謝量に比例するという。この値は、脂肪は熱を通しにくいことから、皮下脂肪が大きく影響してくるものと推測される。

冒頭に皮膚温と皮膚血流量は密接な関係にあると述べたが、発汗時の皮膚温に含まれる要因の複雑性から見ると皮膚血流量の指標としての意義は極めて限定されてくる。

3) 総発汗量

総発汗量は体重減少量から実験前後の体重差から算出したが、これは元の体重の値で割ることによって得られる「体重減少率」、および体表面積の値で割ることによって得られる「単位表面積当りの発汗量」としてデータを扱う方が今回の実験のように成年と児童を比較する際は有意義であると思われる。体重減少率は脱水症状に陥りやすさの指標になると考えられ、単位表面積当りの発汗量は体表面における発汗率の指標として、発汗による放熱の程度を示す指標になりうると考えられる。

4) 活動汗腺数

ヒトの能動汗腺数は生後の2,3年を過ごした環境により決定されるといわれている。よって、全身の能動汗腺数は同じ地域で育った成人と児童とでそう違いはないはずなので、単位面積当りの能動汗腺数は児童の方が多いはずである。よって、この項目の年齢差に関する結果はほぼ分かりきっているように思われるが、実験で得られるデータはあくまで「活動汗腺数」である。つまり、「発汗している能動汗腺の数」であるので発汗能力に違いがあれば必ずしも先に述べたような結果にはならないかもしれない。残念ながら全能動汗腺数は測定に対する知識の無さゆえに今回は見送ることにした。

余談ではあるが、不能動汗腺というのは発汗しないという考えは近年疑問視されており、不能動汗腺は発汗閾値が非常に高い能動汗腺と考えられ、発汗しないのはその性質のためではなく構造的な特徴、つまり、汗腺の分泌腺が塞がっているためであると考えられるようになってきている。

5) 局所発汗量

発汗の中枢はやはり体温調節の中枢と同様、視床下部に位置する。身体または視床下部が温められると、交感神経性血管収縮神経性インパルスの伝導が減少し、血管平滑筋は弛緩し、それにさらされた領域の皮膚における動・静脈吻合（AVAs）が開放して発汗が起こるのである。ちなみに、皮膚血管の拡張神経はヒトには発見されていない。

局所発汗量は、SGO と活動汗腺数に影響される。また、個人差や部位差がある。

たいていの臓器には交感神経と副交感神経の両方が分布しており、双方が拮抗してその臓器の働きを調節する。しかし、汗腺には交感神経のみが分布しているのである。さらに、この交感神経はアセチルコリンによって作動するという特殊な神経である。こういった神経はアセチルコリンだけを放出するわけではない。というのも、神経末端の膨大部には種々のペプチドを含む小胞がある。こうしたペプチドは神経ペプチドと呼ばれているが、これらは血管を拡張する作用を持つ。よって、発汗時にはこれらの神経ペプチドが汗腺周りの血管を拡張して多くの血液を幹線に運ぶ働きをしていると考えられる。

ここで、発汗による皮膚の湿潤の進行に伴って起こる発汗漸減現象について述べておく。ある程度発汗が進み、汗によって皮膚表面が湿潤してくると発汗量がだんだんと減少し、無効発汗量(蒸発せずに流れ落ちる汗の量)が減少して、全発汗量に対する有効発汗量(蒸発して体表面から熱を奪う汗の量)の割合が1に近づいてくる。これは汗腺の疲労によって起こる現象であると考えられていたが、発汗部位の汗をふき取ると再び通常通りに発汗を始めることから汗腺の疲労ではないことが分かっている。小川(1998)によるとこれは発汗している部位の皮膚が汗によってふやけて汗腺の開口部が狭くなるためである、と説明されている。¹³⁾ よって、先にも述べたように濾紙法では測定部位が非常に湿潤状態になるため、早くからこの現象が起こり得ることが予想されるのである。

6) Na⁺濃度

体内の塩分の調節を行う重要な器官としては腎臓が挙げられる。しかし、汗腺においても Na⁺濃度の調節が行われていることがわかってきている。それは、汗腺の環状構造部における Na⁺の再吸収である。これは、汗に含まれる Na⁺が血漿のろ過によってではなく、細胞内細管壁にある Na⁺-K⁺ポンプ(ATP 分解によって生じるエネルギーによって細胞内の K⁺を細胞外に運び、細胞外の Na⁺を細胞内に運ぶポンプ)によって能動的に再吸収されるというものである。しかし、これは発汗量に大きく影響を受ける作用であり、つまり、汗の流量が増すと導管の Na⁺再吸収能力には限度があるがために、発汗量が多いときには効率的に Na⁺再吸収が行われないのである。発汗量がある程度以上になると、Na⁺排出量は発汗量と直線的な関係になり、その勾配は血漿の Na⁺濃度とほぼ同じ値を示すという。

上で述べたように Na⁺濃度は発汗量によって影響を受けるので、単純に各グループ間でその値を比較することは賢明ではない。よって、今回は Na⁺濃度を SGO の値で割って発汗量当りの Na⁺濃度を比較することで各グループの汗腺の Na⁺再吸収能力の比較を行なった。

汗中の Na⁺濃度も発汗漸減によって影響を受ける要素である。というのも、発汗漸減時には汗中の Na⁺濃度は増加する。これは発汗漸減によって汗腺内の内圧が高くなり Na⁺の再吸収が有効に行われなためであると考えられる。

7) SGO

SGO は局所発汗量に大きく影響を与え、発汗能力の比較を行うに際しては重要な項目であると考えられる。SGO は汗腺の大きさによって差はあるが、一分当たり 2~20nl ぐ

らいと言われている。汗は後から出てくる汗に押し出されることと、汗腺周りの筋繊維の収縮によって拍出されることによって外部に出てくるので、SGOはこの汗の拍出頻度によっても影響を受ける。今回に実験では残念ながら汗の拍出頻度の測定はできなかったのだが、汗の拍出頻度は発汗量と正の相関を持っていることが明らかになっている。

8) 皮膚血流量

全血流量を決定する重要な因子は代謝率である。その結果、血流量の需要は発熱時や運動時に著しく増大し、睡眠や甲状腺機能低下のような条件下では減少する。また、今回は前腕における皮膚血流量を測定したのだが、皮膚血流量は血圧の変化に影響を受けにくいことも知られている。皮膚血流量は皮膚表面近くの微小血管の拡張、収縮によって変化するが、これらの毛細血管は深部温の上昇に対して反射的に拡張することが知られている。また、交感神経性の刺激に対しては収縮する反応を見せる。皮膚血管が拡張して皮膚血流が増加すると全身の血液が皮膚に多く貯蔵されて心臓への静脈還流が減少するが、皮膚血流が増加すると選択的に内臓の血流量が減少する反応（これを交感神経の地域性反応という。）が起こるため結果的に静脈還流の減少はいくぶん差し引かれると思われる。

9) 心拍数

心拍数の調節は①結節への交感神経性、および迷走神経性刺激の自律神経系のバランス（交感神経性刺激の増加とともに心拍数増加、迷走神経性刺激の増加とともに心拍数低下）②ペースメーカー組織の温度と代謝活性（双方の上昇により心拍数増加、また低下により心拍数低下）③血中イオンおよび pH の変化により行われている。

また、心拍数は心拍出能力に影響を与える重要な要因であり、左心房圧が一定であると仮定すると、心拍数が増加したときには結果として心拍出量は減少する。ちなみに、心房圧には運動中の代謝量の亢進、末梢抵抗の減少、静脈収縮が影響する。また、皮膚に温熱刺激があった場合、心拍数は反射的に増加する反応が見られる。今回の実験のような暑熱環境では皮膚血管が拡張するため、先に述べた交感神経の地域性反応によって軽減はするものの、静脈還流の減少が生じることが予想される。よって、一回拍出量 (SV) が減少するため、心拍数の増加が怪訝される。同時に発汗によって血液中の水分が減少して血液粘度が増すため、心臓への負担が大きくなると思われる。

10) 血圧

血圧に影響を与える因子は、心拍数、一回拍出量、大動脈伸展性、末梢抵抗などが挙げられる。収縮期血圧は、一回拍出量の上昇、大動脈伸展性の低下、末梢の抵抗が上昇、といったような要因により上昇する。一方、拡張期血圧は大動脈伸展性が低下するとともに低下し、心拍数の増加、末梢抵抗の上昇により上昇する。大動脈の伸展性は高齢者になると低下する、つまり、血管が「かたく」なるため、高血圧の原因となりやすい。また、今回のような暑熱実験においては先に述べたように血管拡張反応が現れるため、末梢の抵抗が低下して血圧が低下する傾向が現れることが推測される。

VI. 結果

結果を述べるにあたって、まず、最初に行なければならないことは児童間における性差の有無の検討である。というのも、これまでの研究では「子供のうちは体温調節反応に性差がなかった」として子供は男女の区別なく一つのグループとして扱われることが多かった。²⁾しかし、私が今回の実験のデータを整理する過程で、明らかに児童男子と児童女子との間に違いが見られるようなものがいくつか見付かった。もしも、児童間に性差があるという結論に達した場合にはこれまでの研究のように児童男子と児童女子をひとつのグループとしてまとめるわけにはいかないのである。同時に、成年においては当然、男女差が存在するので、私は「成年間での性差」、「児童間での性差」に加えて「成年男性と児童男子」、「成年女性と児童女子」という4パターンの比較を行う必要が出てくるのである。

何はともあれ、結果を明白にしないことには何を言ったところで信憑性に欠けるので、児童間における暑熱環境下における体温調節反応の性差の有無について検討したいが、あえてまずは成年における体温調節反応の性差の検討を行うことにする。それは、まずはいわゆる「男女差」がいかなる体温調節反応の相違として表れてくるものかを知る必要があるからである。そして、それを踏まえた上で児童の児童男子と児童女子の間にもそういった反応の違いが現れてきているかどうかを比較検討していくことにしたいと考えたからである。

VI-1. 結果 1:成年男性と成年女性の比較(ここでの「男女」は、「成年男性成年女性」のことを示すものとする。)

身体的特徴から男女を比較すると、身長、体重の値は成年男性の方が有意に高かった。よって、体表面積も成年男性の方が有意に高かった($P<0.01$)。(1.648 m²/1.454 m²)

体重当りの体表面積は男女でほとんど差がなかった。皮下脂肪厚は背中($P<0.05$)、腹部($P<0.05$)、上腕背側($P<0.05$)、大腿($P<0.01$)において有意に成年女性の方が大きな値を示した。胸部についても非有意ながら成年女性の方が高い傾向にあった。(表 1 参照)

直腸温は、実験中を通して成年女性の方が 0.15°Cほど高い値を示したが、これは有意な差ではなかった。(図 3-1) また、下腿温浴開始からの直腸温の変化量は男女でよく似た変化を見せたが、上昇に対して成年男性の方がやや遅れを見せた。(図 3-2)

平均皮膚温は、常に成年女性の方が高い値を示したが、下腿温浴開始後は成年女性が急激な低下を見せたため、下腿温浴 25 分目ごろから男女の値がほぼ等しくなり、34.8°Cほどで安定した。(図 3-4)

平均体温は、常に成年女性の方が 0.15°Cほど高いという傾向にあったが有意な差ではなかった。(図 3-5)

前額温は成年男性の方が 0.3°Cから 0.7°Cほど常に高い値を見せたが有意差はなかった。(図 3-7) 胸部温は、実験開始後から下腿温浴中盤に至るまで成年女性の方が有意($P<0.01$ 、 0.05)に高い値を示したが、下腿温浴後に成年女性が急激に低下したため、実験終了前では男女の差はほとんどなかった。(図 3-8) また、背中温についても成年女性の方が下腿温浴前から有意($P<0.05$)に高く、下腿温浴開始から成年男性の背中温が低下する一方で成年女性は 34.3°C位で落ち着いたためその差は拡大した($P<0.01$)。(図 3-9) 成年男性の前腕温は実験中を通して低下する傾向が見られたが、成年女性は下腿温浴開始まで上昇し、その後、低下するという変化を見せた。(図 3-10) さらに、下腿温浴後は成年女性の方が 0.5°Cほど高い傾向にあったが、有意な差ではなかった。手背温は前半は成年女性の方が有意($P<0.01$ 、 0.05)に高かったが、下腿温浴後の成年女性の値の低下に伴い、有意な差ではなくなった。(図 3-11) 一方、大腿温は成年男性の方が全体を通して成年男性の方が高かったが、変化の様子は前腕と似ており、下腿温浴開始後 15 分頃までは成年男性の値が低下していく一方で女性は一定の温度を保った。そのため、一時は男女の値がほぼ等しくなったが、その後、成年女性の値が大きく低下したため、再び成年男性の方が高い値を示すようになった。(図 3-12) 足背温は男女でほぼ同じ値を見せているが、下腿温浴前は成年女性の方が若干高い上昇傾向を見せた。(図 3-13)

総発汗量は男性の方が有意($P<0.05$)に高かった。(255.375 mg/190.625 mg) (図 3-14) 体表面積当りの総発汗量(図 3-15)も非有意ながら成年男性の方が高い傾向を見せた。

(158.093 mg/m²/126.25 mg/m²) 体重減少率にはほとんど違いがなかったが、若干成年男性の方が高い傾向にあった。(0.44%/0.38%) (図 3-16)

活動汗腺数は背中、胸といった軀幹部では成年女性の方が有意($P<0.05$)に高く、前腕においても成年女性の方が高い傾向が見られたが、大腿については若干成年男性の方が高かった。(図 3-29)

カプセル法による局所発汗量は、背中においても前腕においても発汗開始からの発汗量、

またその増加率についても成年男性の方が有意($P < 0.01$, 0.05)に高かった。(図 3-17、3-18) また、SGO に換算すると男女の差はさらに拡大し、大部分において有意差($P < 0.01$, 0.05)が見られた。(図 3-19、図 3-20)

濾紙法による局所発汗量は、背中や胸の軀幹部において成年男性の方が有意に高かった($P < 0.05$, 0.01)。(図 3-21、図 3-22)

濾紙法による SGO は背中($P < 0.05$)、胸($P < 0.01$)、成年男性の方が有意に高い値を示したが、前腕部、大腿部ではそれほど違いは見られなかった。(図 3-23、図 3-24)

一方、汗に含まれる Na^+ 濃度は暑熱暴露の 40 分から 50 分にかけては胸部を除いては成年男性の方が高い傾向にあったが、(図 3-25) 50 分から 60 分の間では四肢においてのみ成年男性の方が高い傾向が見られた。(図 3-26) しかしながら、SGO 当りの Na^+ 濃度に関しては実験を通して成年女性の方が胸部が有意($P < 0.05$)に高く、他の部位に関しても成年女性の方が高い傾向が見られた。(図 3-27、図 3-28)

発汗開始時間は、前腕、背中の両部位において成年男性の方が早い傾向にあり、背中においては女性は男性の 2 倍以上の時間がかかった。(207.45 sec / 461.85 sec) (図 3-30)

前腕の血流量は、下腿温浴開始前は成年男性の方が有意($P < 0.01$, 0.05)に高い値を示していたが、下腿温浴開始後に成年女性の値が上昇したことから有意差はなくなった。(図 3-32) また、下腿温浴開始からの皮膚血流量の変化を見ると、皮膚血流量が増加し始めるまでが成年女性の方が遅い傾向が認められた。しかし、その後の上昇により実験終了間際には成年男性とほぼ等しい値を見せた。(図 3-33)

心拍数は、男女で似たような値を示したが下腿温浴開始後の上昇率は成年女性の方が高い傾向が見られた。(14.33% / 17.69%) (図 3-31)

収縮期血圧は成年男性の方が高い傾向にあり、有意差($P < 0.05$)が見られることもあった。しかし、逆に拡張期血圧は有意ではないにしても成年女性の方が高い傾向にあった。(図 3-34、図 3-35)

直腸温
平均皮膚温
平均体温

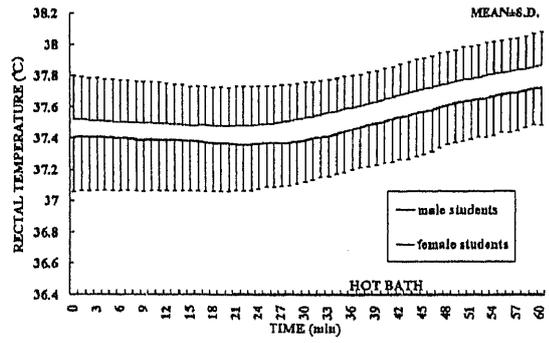


図 3-1:直腸温経時変化

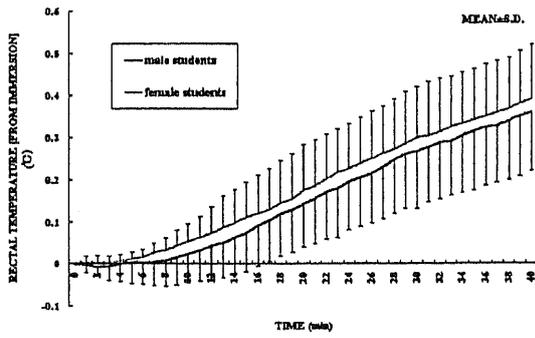


図 3-2:下腿温浴後の直腸温変化

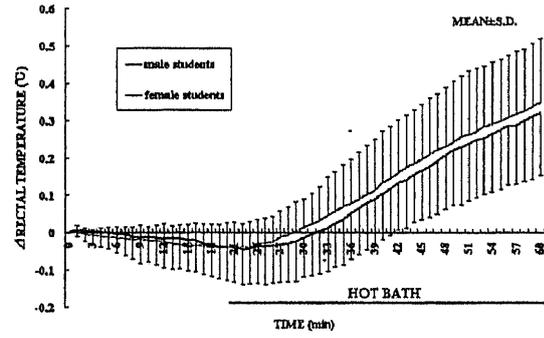


図 3-3:直腸温変化量の経時変化

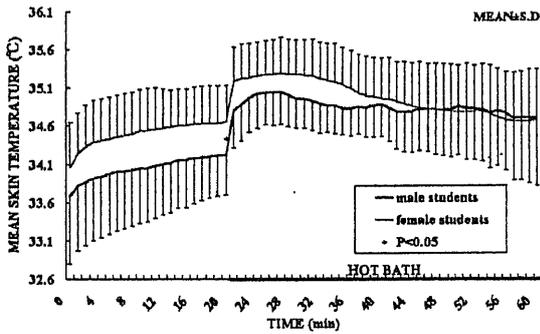


図 3-4:平均皮膚温経時変化

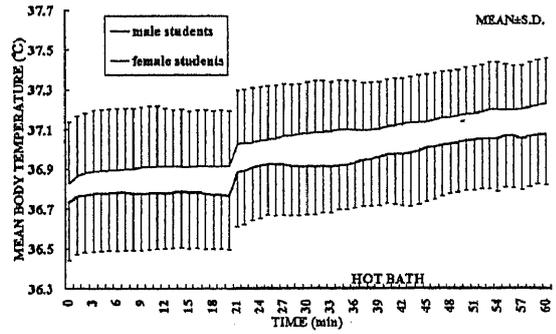


図 3-5:平均体温経時変化

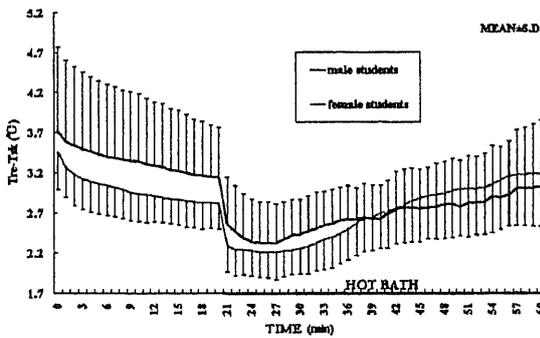


図 3-6:T_{re} - T_{sk} の経時変化

各部位皮膚温
(sasaki 法による 7 点)

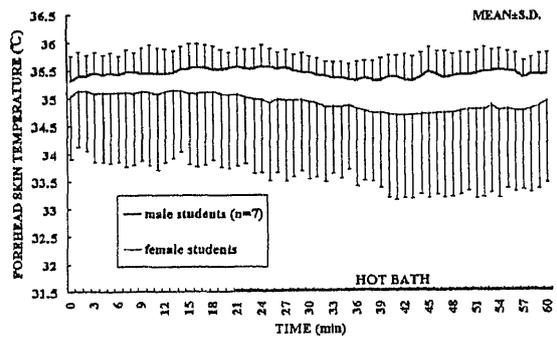


図 3-7: 前額皮膚温経時変化

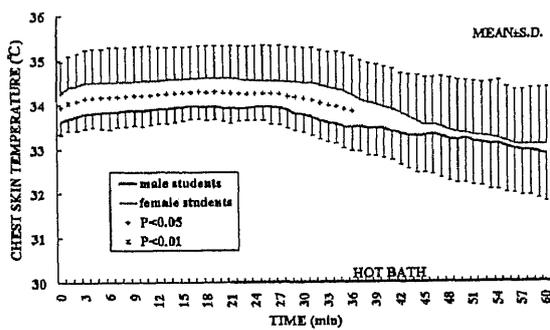


図 3-8: 胸部皮膚温経時変化

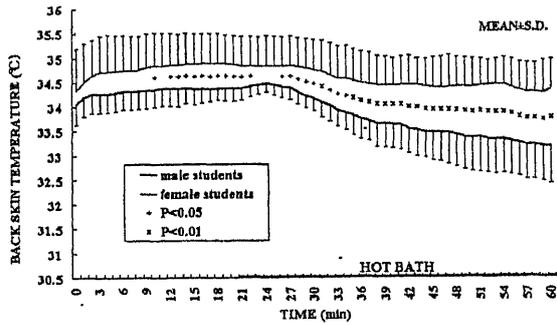


図 3-9: 背部皮膚温経時変化

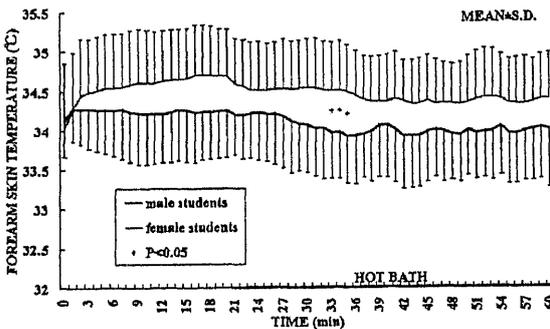


図 3-10: 前腕部皮膚温経時変化

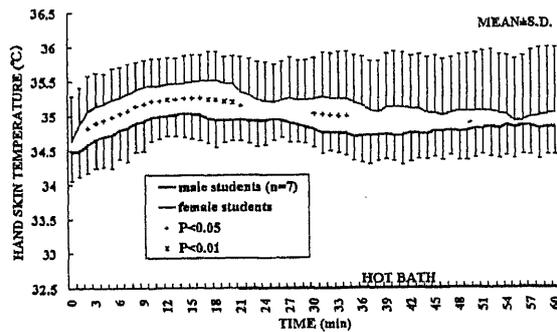


図 3-11: 手背皮膚温経時変化

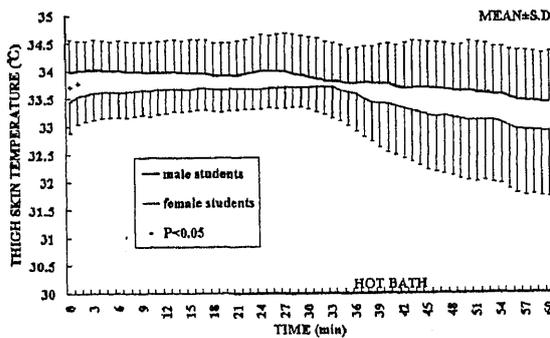


図 3-12: 大腿部皮膚温経時変化

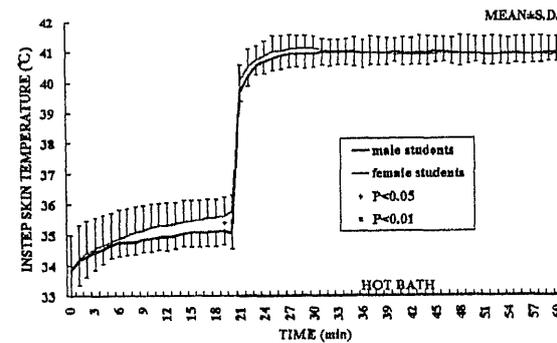


図 3-13: 足背皮膚温経時変化

総発汗量
局所発汗量
SGO
Na+濃度
活動汗腺数
発汗開始時間

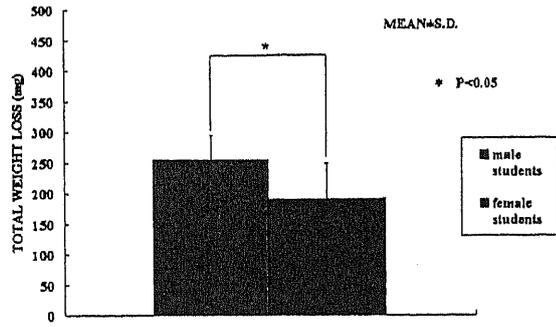


図 3-14:総発汗量

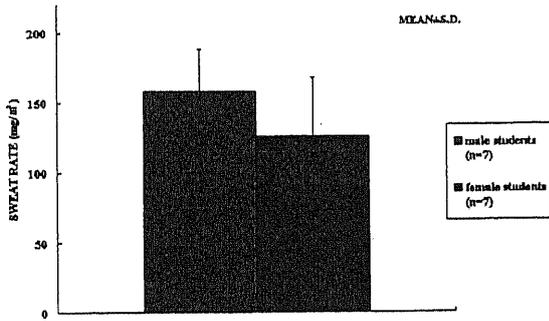


図 3-15:総発汗量/体表面積

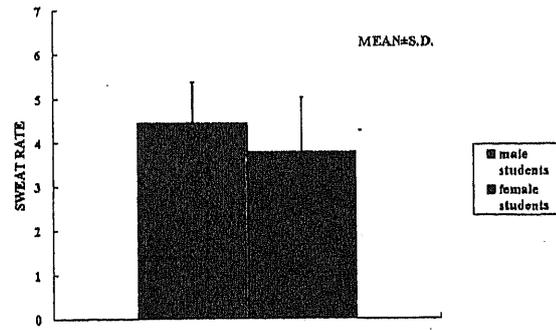


図 3-16:総発汗量/体重

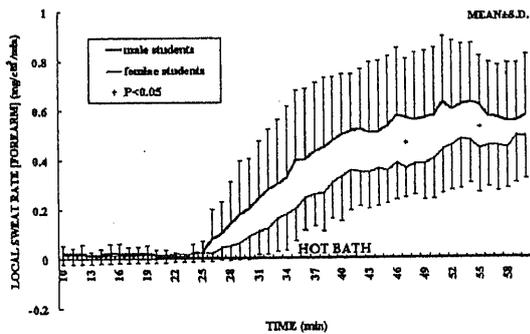


図 3-17:局所発汗量 (前腕) 経時変化

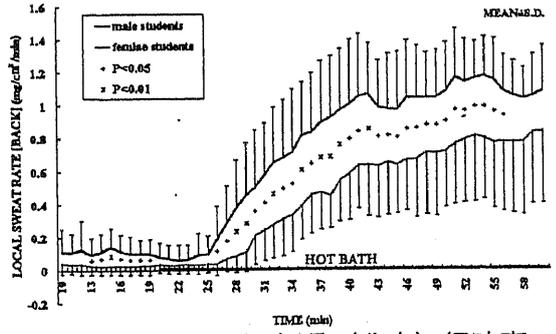


図 3-18:局所発汗量 (背中) 経時変化

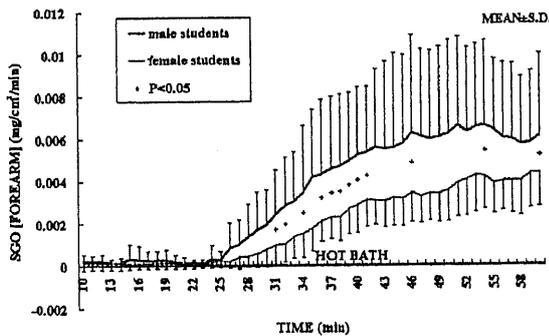


図 3-19:SGO (前腕) 経時変化
(カプセル法)

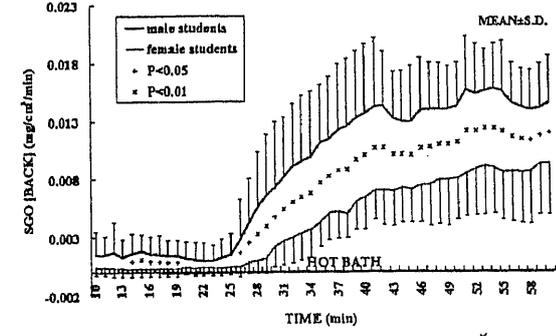


図 3-20:SGO (背中) 経時変化
(カプセル法)

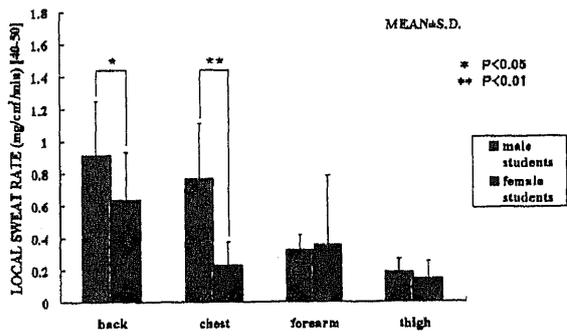


図 3-21:局所発汗量 (濾紙法) 40~50

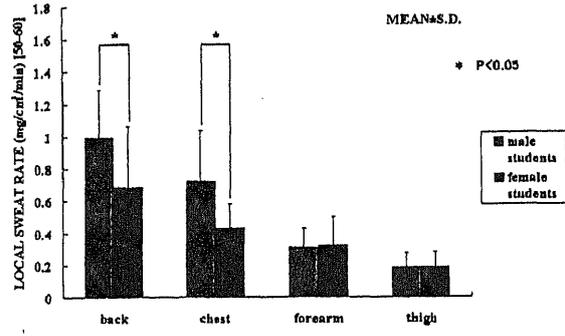


図 3-22:局所発汗量 (濾紙法) 50~60

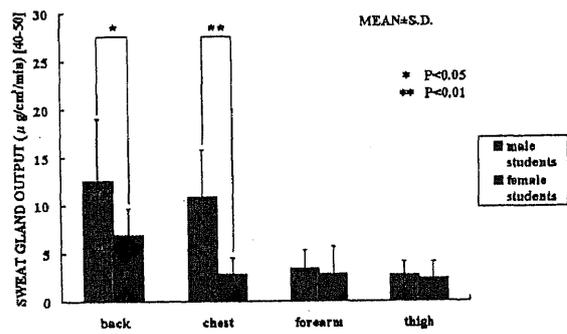


図 3-23:SGO (濾紙法) 40~50 分

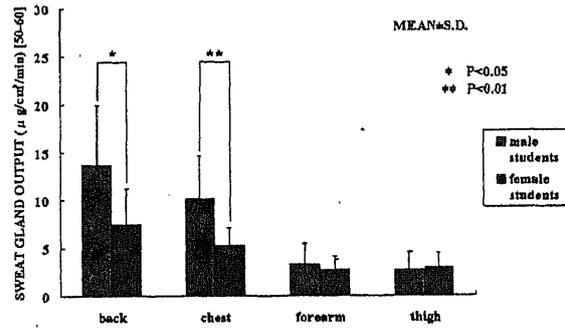


図 3-24:SGO (濾紙法) 50~60 分

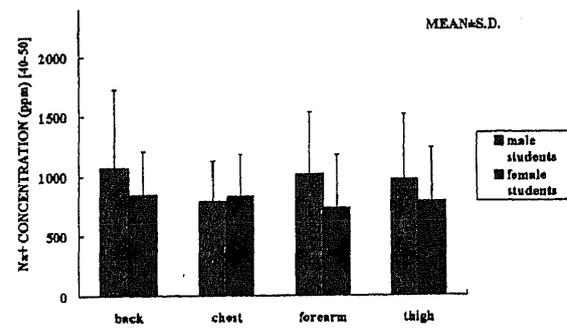


図 3-25:汗中 Na+濃度 40~50 分

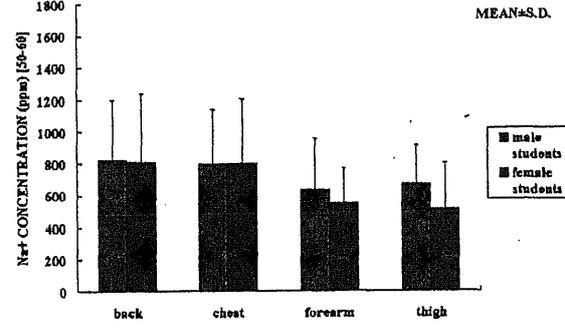


図 3-26:汗中 Na+濃度 50~60 分

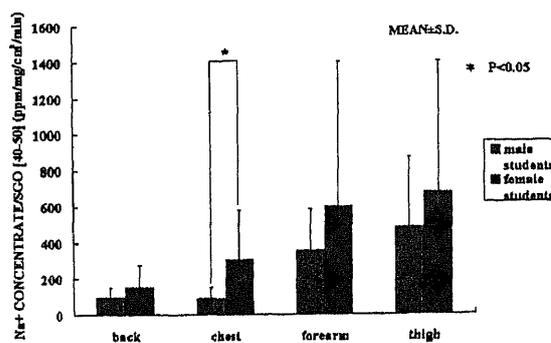


図 3-27:Na+濃度 / SGO 40~50 分

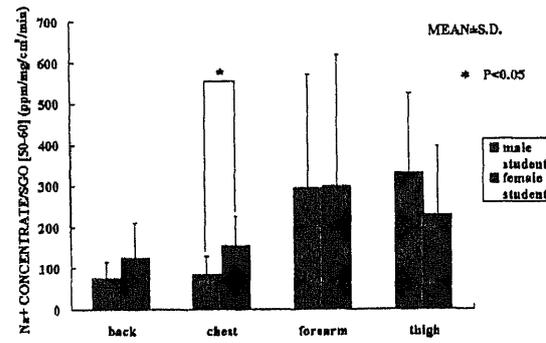


図 3-28:Na+濃度 / SGO 50~60 分

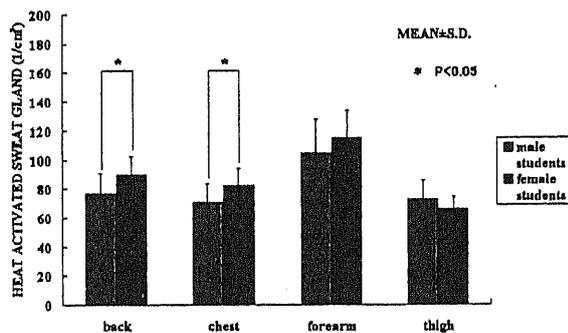


図 3-29:活動汗腺数

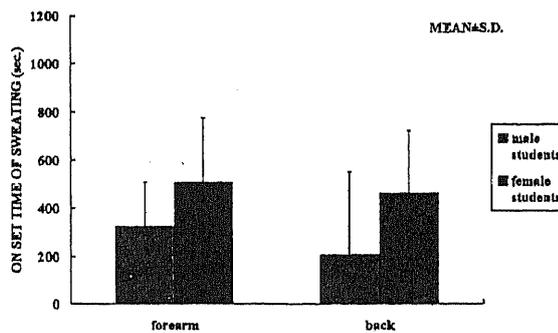


図 3-30:発汗開始時間

心拍数
皮膚血流量
収縮期血圧
拡張期血圧

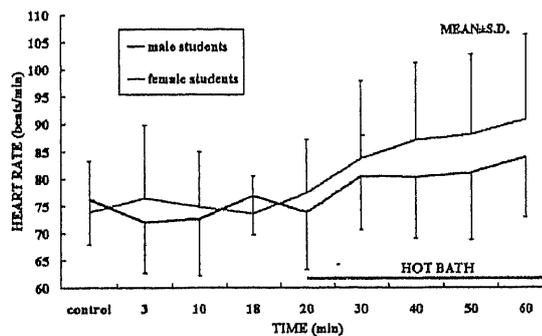


図 3-31:心拍数経時変化

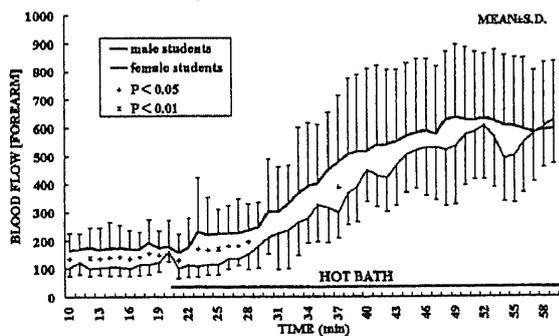


図 3-32:前腕部皮膚血流量経時変化

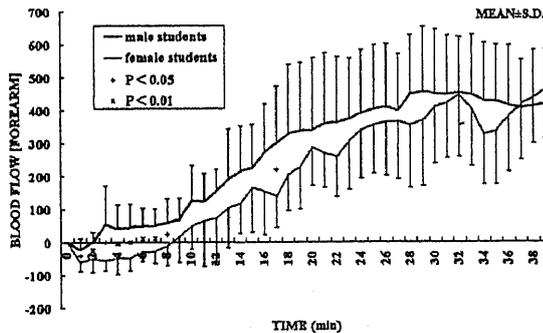


図 3-33:下腿温浴後の皮膚血流量変

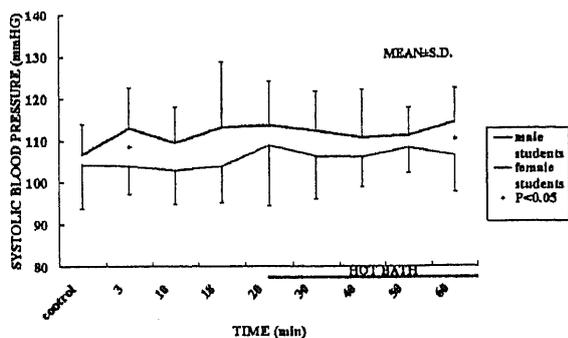


図 3-34:収縮期血圧経時変化

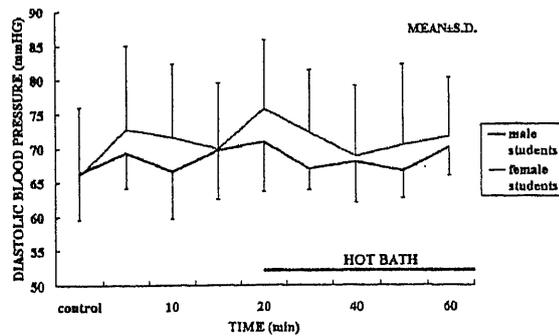


図 3-35:拡張期血圧経時変化

VI-2. 結果 2: 児童男子と児童女子の比較(ここでの「男女」とは「児童男子児童女子」を表す。)

身長、体重の値は児童男子の方が高かったが有意な差ではなかった。体表面積についても児童男子の方が高い傾向にあったが、体重当りの体表面積は若干児童女子の方が高い値を示した。皮下脂肪厚は腹部を除いては児童女子の方がわずかに高い傾向を示した。(表 1 参照)

直腸温は全般的に児童男子の方が高い値を示した。(図 4-1) 下腿温浴開始からの上昇量は児童男子の方が高い傾向が見られた。(図 4-2) 平均皮膚温は、男女ともにほぼ同じ値、変化を見せた(図 4-4)。

平均体温は全般的に児童男子の方が値は高い傾向にあるが変化の様子は児童男子と児童女子でよく似ていた。(図 4-5)

皮膚温を部位別に見ていくと、前額温は男女でほぼ等しい値を見せ、両グループともに下腿温浴開始から低下していった。(図 4-7) 胸部温は全般で児童男子と児童女子はほぼ同じ値、変化を示したが、下腿温浴後半において児童男子の胸部温が低下する一方で児童女子は高いレベルを保つという変化の違いが見られた。(図 4-8) 背中温は前額温とよく似た変化を見せ、値は男女に違いはなかった。(図 4-9) 前腕温は下腿温浴前はほぼ同じ値を示し、両グループともに似たような上昇の傾向を見せたが、下腿温浴開始後から児童男子の方が高い上昇の傾向を見せたため、下腿温浴後半においては有意($P<0.05$)に児童男子の方が高くなった。(図 4-10) 手背温は高温室入室後から両グループともに大きく上昇し、下腿温浴開始から緩やかに下降するという変化を見せたが、値に差はなかった。(図 4-11) 大腿温は児童男子は実験中ほぼ一定であったが、児童女子は下腿温浴開始後に若干低下する傾向を見せた。(図 4-12) 足背温は下腿温浴前まで両グループともに上昇したが、値に差はなかった。(図 4-13)

また、総発汗量に有意差はないものの児童男子の方が高い傾向にあった。(129.5 mg/113.071 mg) (図 4-14) また、体表面積当りの総発汗量 (130.375 mg/m²/120.096 mg/m²) も体重当りの総発汗量 (体重減少率) (0.46%/0.44%) も児童男子の方が高い傾向にあったがほとんど差はなかった。(図 4-15、図 4-16)

活動汗腺数は、背中、胸、前腕、大腿のすべての部位においてほとんど差はなかった。(図 4-29)

カプセル法による局所発汗量は、前腕では下腿温浴開始から児童男子の方が高い増加傾向を見せ、下腿温浴中盤から値に有意差($P<0.05$)が見られた。(図 4-17) SGO に換算してもその差はほとんど変わらなかった。一方、背中也前腕とほぼ同じ変化の傾向を見せた。(図 4-18、図 4-19)

濾紙法による局所発汗量は、背中、胸、前腕においては児童男子の方が高い値を示し、大腿部においてはほぼ等しい値を示した。(図 4-21、図 4-22)

よって、大腿部を除く部位において濾紙法による SGO (発汗量/HASG) は児童男子の方が高い値を示す傾向にあり、背中と前腕部では有意差($P<0.05$)も見られた。(図 4-23、図 4-24)

一方、汗中の Na⁺濃度はすべての部位において児童女子の方が高い傾向にあり、大腿部

を除く部位において有意差($P < 0.01$, 0.05)が見られた。(図 4-25、図 4-26) また、SGO 当りの Na^+ 濃度は児童女子の方が背中($P < 0.01$),胸($P < 0.01$, 0.05)、前腕($P < 0.05$)の部位において高い傾向にあったが、大腿部については児童女子のほうが低い傾向が見られた。(図 4-27、図 4-28)

発汗開始時間は、背中においても ($352.8 \text{ sec} / 300.43 \text{ sec}$)、前腕においても ($366.08 \text{ sec} / 274.63 \text{ sec}$) 児童女子のほうが早い傾向が見られた。(図 4-30)

前腕における血流量は両グループともに似たような変化や値を見せた。(図 4-32) また、下腿温浴開始からの血流量の増加率も児童男子と児童女子で上昇の様子が非常に良く似ていた。(図 4-33)

心拍数は児童男子の方が全般的に高く、また、下腿温浴開始後では有意差が($P < 0.05$)見られるようになった。(図 4-31) また、下腿温浴開始後の心拍数の上昇率は非有意ながら児童男子の方が高い傾向にあった。(19.1% / 11.4%)

収縮期血圧は実験中の全般において児童男子のほうが高い傾向にあり、下腿温浴開始前では有意差($P < 0.05$)も見られた。また、拡張期血圧も児童男子のほうが常に高い傾向にあった。(図 4-34、図 4-35)

直腸温
平均皮膚温
平均体温

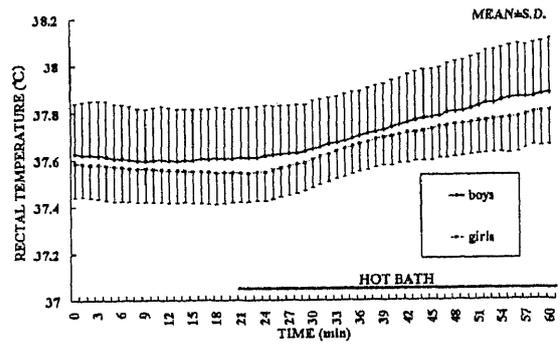


図 4-1:直腸温経時変化

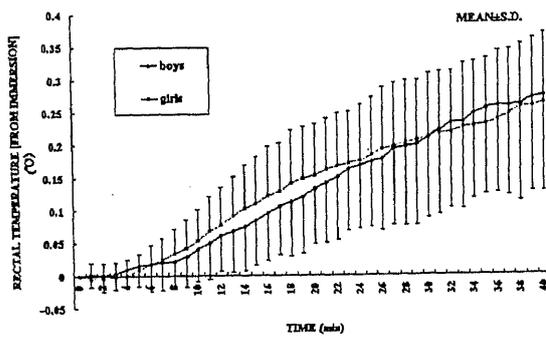


図 4-2:下腿温浴後の直腸温変化量

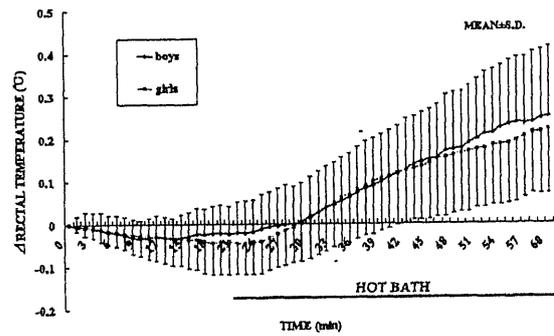


図 4-3:直腸温変化量の経時変化

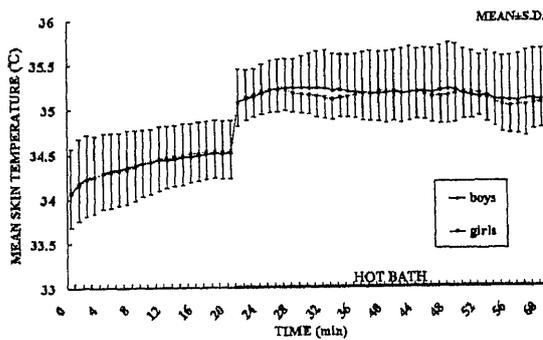


図 4-4:平均皮膚温経時変化

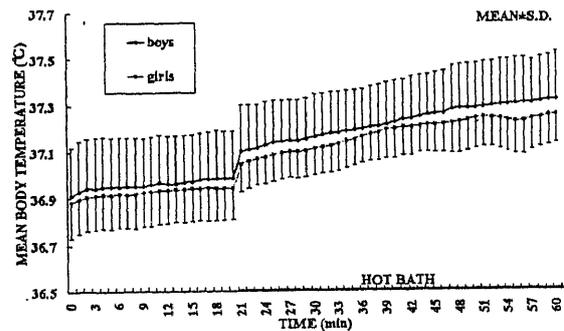


図 4-5:平均体温経時変化

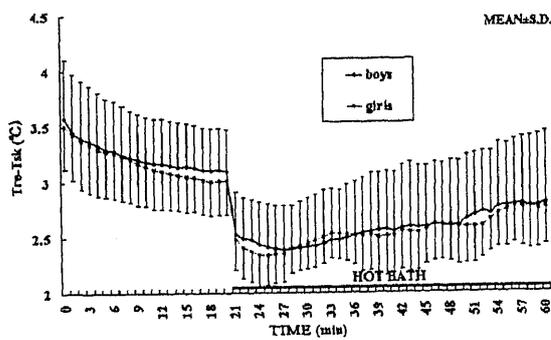


図 4-6:Tre-Tskの経時変化

各部位皮膚温
(sasaki 法による 7 点)

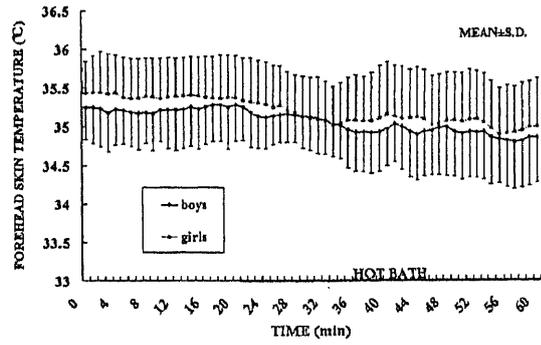


図 4-7: 前額皮膚温経時変化

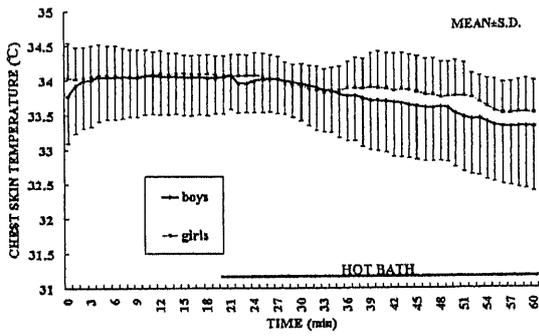


図 4-8: 胸部皮膚温経時変化

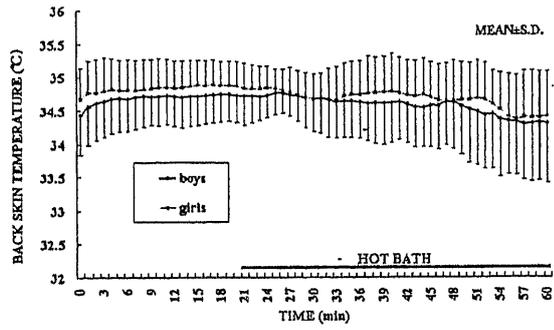


図 4-9: 背部皮膚温経時変化

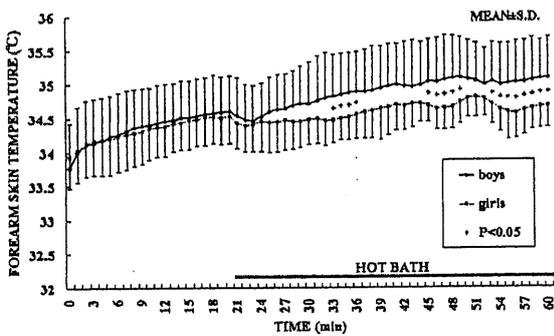


図 4-10: 前腕部皮膚温経時変化

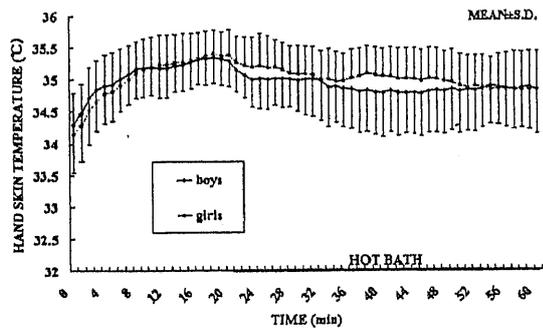


図 4-11: 手背皮膚温経時変化

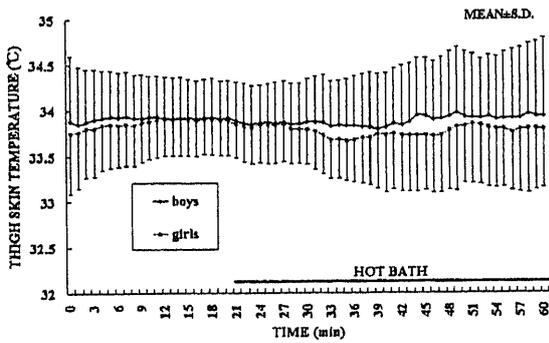


図 4-12: 大腿部皮膚温経時変化

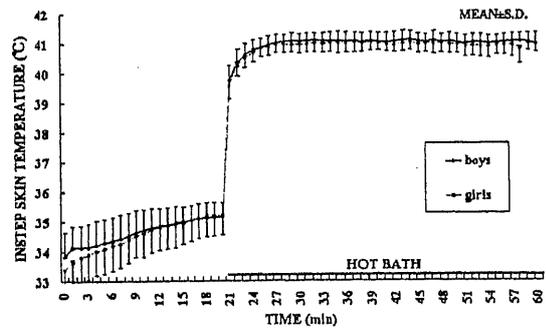


図 4-13: 足背皮膚温経時変化

総発汗量
 局所発汗量
 SGO
 Na+濃度
 活動汗腺数
 発汗開始時間

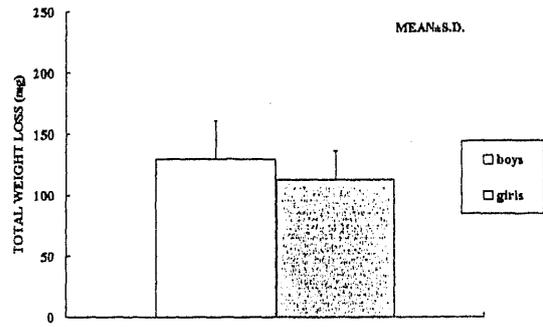


図 4-14: 総発汗量

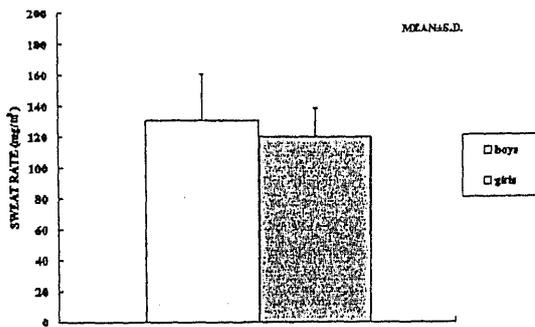


図 4-15: 総発汗量/体表面積

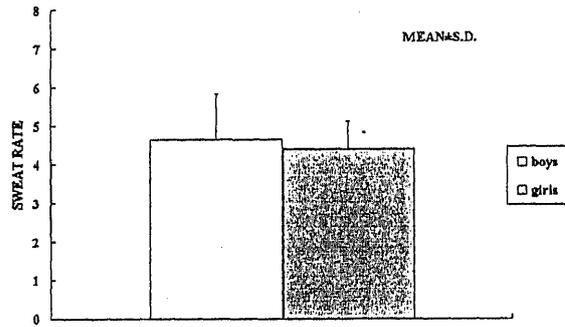


図 4-16: 総発汗量/体重

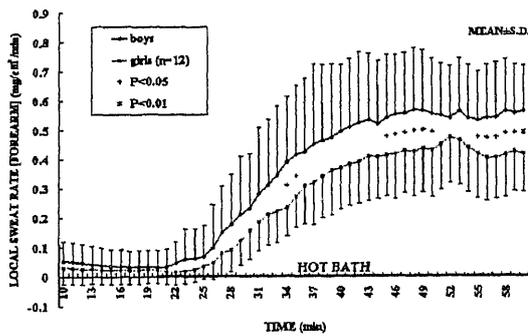


図 4-17: 局所発汗量 (前腕) 経時変化

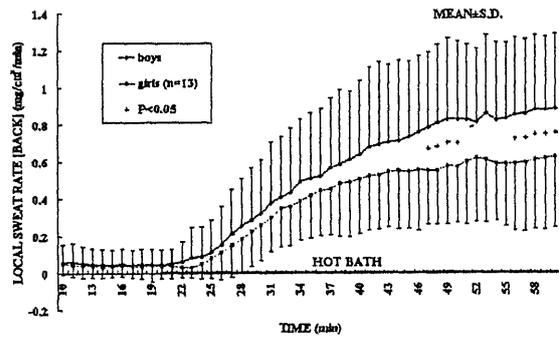


図 4-18: 局所発汗量 (背中) 経時変化

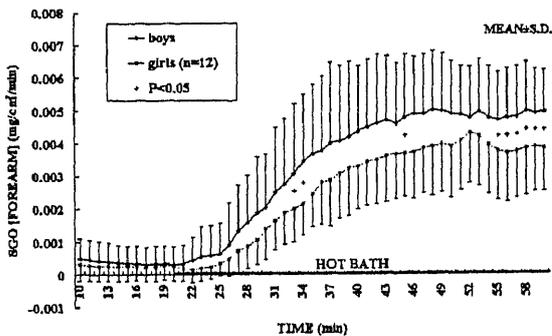


図 4-19: SGO (前腕) 経時変化
(カプセル法)

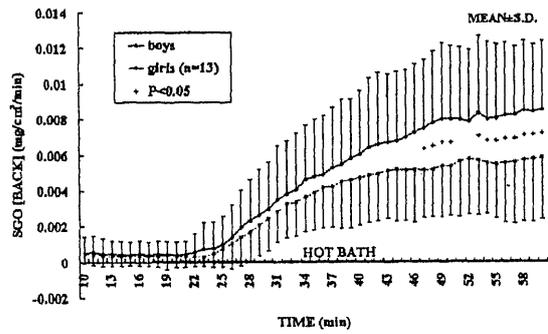


図 4-20: SGO (背中) 経時変化
(カプセル法)

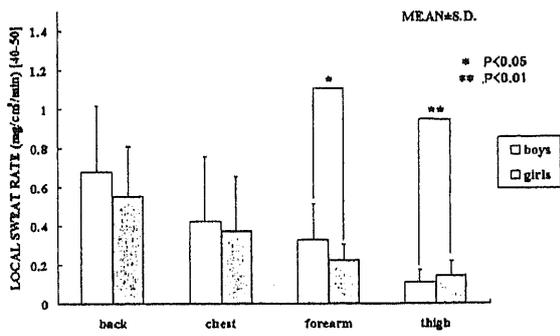


図 4-21:局所発汗量 (濾紙法) 40~50

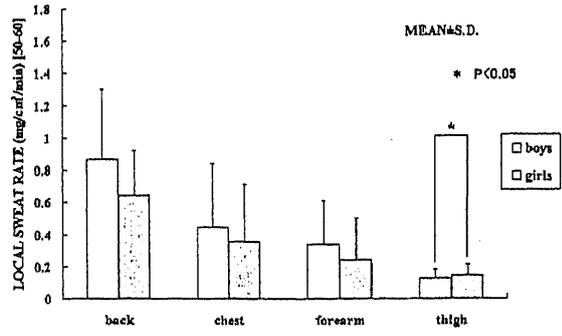


図 4-22:局所発汗量 (濾紙法) 50~60

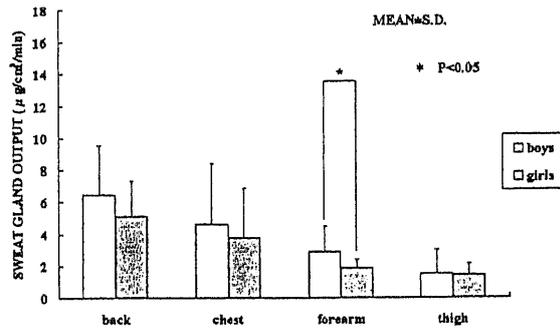


図 4-23:SGO (濾紙法) 40~50分

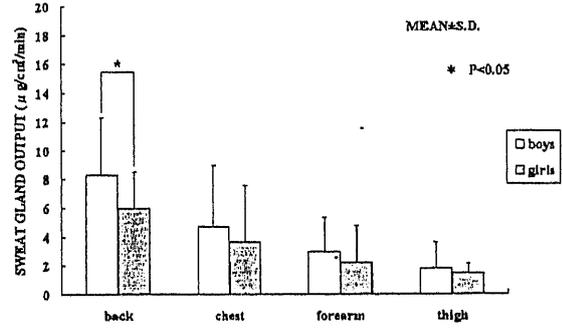


図 4-24:SGO (濾紙法) 50~60分

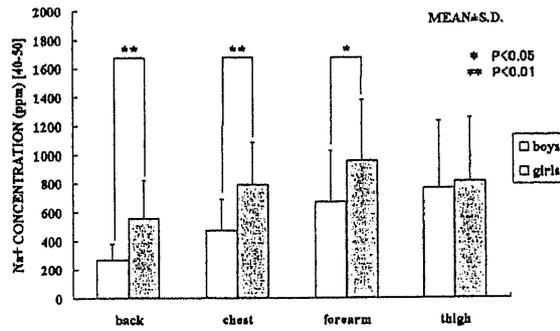


図 4-25:汗中 Na+濃度 40~50分

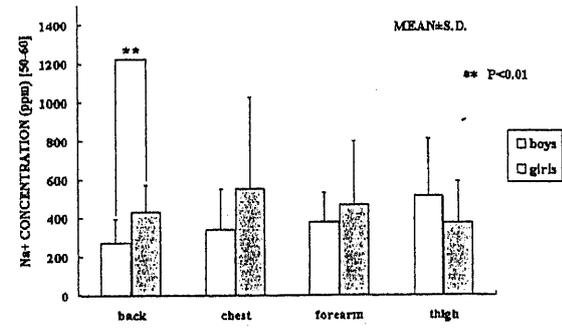


図 4-26:汗中 Na+濃度 50~60分

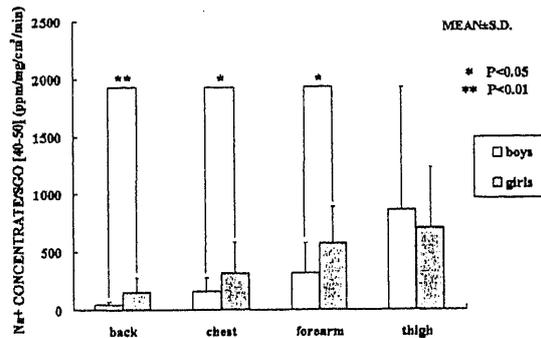


図 4-27:Na+濃度/SGO 40~50分

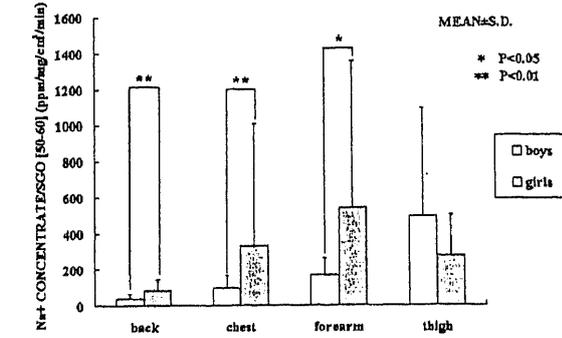


図 4-28:Na+濃度/SGO 50~60分

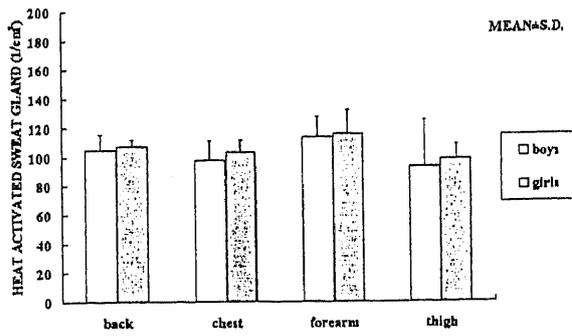


図 4-29:活動汗腺数

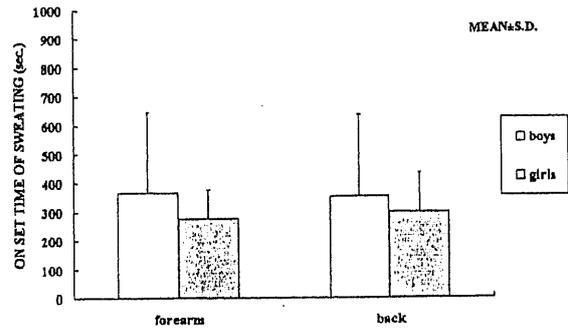


図 4-30:発汗開始時間

心拍数
皮膚血流量
収縮期血圧
拡張期血圧

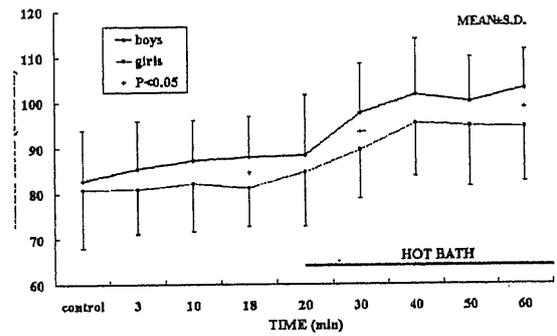


図 4-31:心拍数経時変化

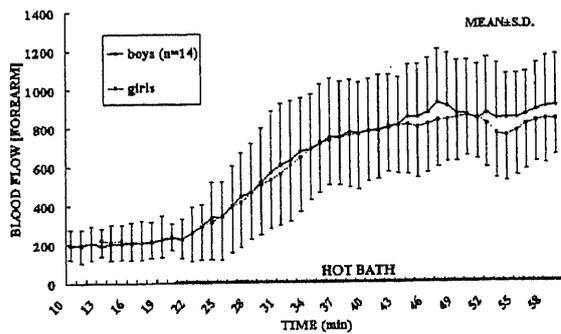


図 4-32:前腕部皮膚血流量経時変化

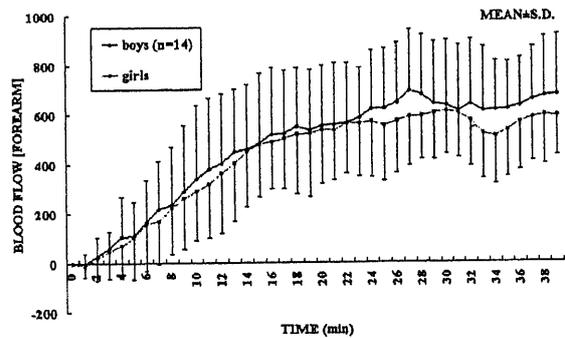


図 4-33:下腿温浴後の皮膚血流量変

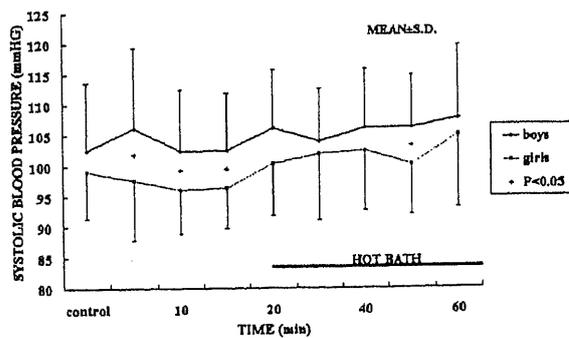


図 4-34:収縮期血圧経時変化

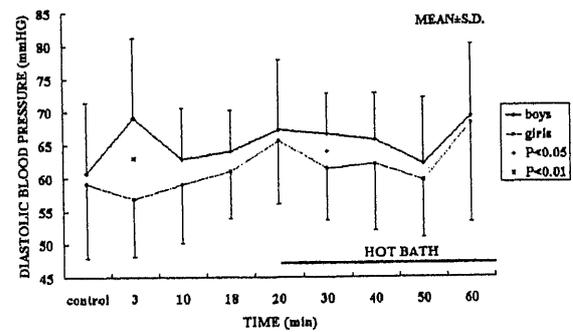


図 4-35:拡張期血圧経時変化

VI-3. 結果 3:成年男性と児童男子の比較(ここでは特筆しない限りは「成年」はすべて「成年男性」を示し、「児童」はすべて「児童男子」を示すものとする。)

身長、体重の値は成年男性の方が有意に高かった($P<0.01$)。体表面積も有意に($P<0.01$)成年男性の方が高かったが、体重当りの体表面積は児童男子の方が有意に($P<0.01$)高かった。(0.0283 m²/kg/0.0352 m²/kg)

皮下脂肪厚は躯幹部はわずかに成年男性の方が高い傾向にあったが、その他四肢に関しては児童男性の方が高かった。また、大腿部では有意差も見られた。(P<0.01) (表 1 参照)

直腸温は実験全般を通して成年に比べて児童の方が有意に高い傾向にあった (P<0.05、0.01)。(図 5-1) 下腿温浴開始からの直腸温の変化を見てみると、上昇の傾きは成年の方が大きいながらも有意な差ではなかったが、最終的には 0.1°Cほどの差が見られた。(図 5-2)

平均皮膚温は下腿温浴前から児童の方が 0.5°Cほど高い傾向が見られたがこれは有意な差ではなかった。しかし、下腿温浴開始後になって成年の値が低下してきたため、その差が開いて有意な差となった (P<0.05)。(図 5-4) 平均体温は実験全般を通して児童の方が有意 (P<0.05、0.01) に高かった。(図 5-5)

直腸温の初期値を 0 とした場合の直腸温変化量の経時変化を見てみると、暑熱室に入室するとすぐに児童の直腸温は低下したが、成年は少し遅れて低下した。下腿温浴開始からは児童の直腸温の値はすぐに上昇の傾向を見せ、ここでも成年は遅れて上昇するという変化を見せた。(図 5-3)

皮膚温を部位ごとに比較していくと、前額温は全般的に成年男子のほうが高い傾向にあったが、下腿温浴開始から児童男子の値が若干低下にあったため、成年男子のほうが有意に(P<0.05、0.01)高くなった。(図 5-7) 胸部温と背中温は似たような変化を見せ、下腿温浴開始から成年は大きく低下する一方で児童は緩やかに低下したため値に差が生じ、背中においては児童の方が有意に(P<0.01)高い値を示した。(図 5-8、図 5-9)

総発汗量は成年が児童の 2 倍近くあり、有意に高かった (P<0.01)。(255.375 mg/129.5 mg) (図 5-14) 体表面積当りの総発汗量に換算するとその差は小さくなったが、有意に成年のほうが高かった(P<0.05)。(158.093 mg/m²/130.375 mg/m²) (図 5-15) 一方、体重当りの総発汗量 (体重減少率) にはほとんど違いがなかった。(0.44%/0.46%) (図 5-16)

活動汗腺数は全部位において児童の方が高く、背中 (P<0.01)、胸 (P<0.01)、大腿 (P<0.05) においては有意差が見られた。(図 5-29)

カプセル法による前腕の局所発汗量は実験全般を通して変化も値も児童と成年で似たような変化を見せた。(図 5-17) しかしながら、SGO に換算すると発汗開始からは成年の方が高い値を見せた。(図 5-19) 背中の局所発汗量は、発汗開始から成年の方が大きく上昇したため、成年の方が有意に高かった (P<0.05)。(図 5-18) 背中の SGO はさらにその差が広がり、早い時期から有意差(P<0.01)が見られた。(図 5-20)

濾紙法による局所発汗量は特に躯幹部において成年の方が高い傾向が見られたが、大腿部は若干児童男子のほうが高い値を見せた。(図 5-21、図 5-22) 濾紙法による SGO も、すべての部位において成年の方が高い値を示し、40~50 分では背中 (P<0.01)、胸 (P<0.01)、大腿 (P<0.05) において、(図 5-23) 50~60 分では背中 (P<0.01)、胸 (P<0.01) において有意差が見られた。(図 5-24)

汗中の Na+濃度に関しては、全ての部位について成年の方が有意に高い値を示しており、40～50分では背中 ($P<0.01$)、胸 ($P<0.01$)、前腕 ($P<0.01$) において有意差が見られ、(図 5-25) 50～60分でも同様に有意差が見られた。(図 5-26) 一方、SGO 当りの Na+濃度に換算すると、40～50分でも 50～60分においても背中においては有意 ($P<0.01$) に成年の方が高い値を見せ、前腕部でも成年の方が高い傾向にあったが、胸や大腿では児童の方が高い値を示した。(図 5-27、図 5-28)

発汗開始時間は前腕においても背中においても児童の方が遅い傾向にあり、前腕はほとんど違いがないものの背中においては児童は成年に比べて約 1.5 倍ほど遅かった。(図 5-30)

前腕部の血流量は全般を通して児童の方が高く、下腿温浴開始からはさらに児童の値が上昇したため差が拡大し、有意な差となった ($P<0.05$ 、 0.01)。(図 5-32) 下腿温浴開始からの変化を見ても同様の傾向が見られた。(図 5-33)

心拍数は全般を通して児童の方が有意に高かった ($P<0.01$)。(図 5-31) また、下腿温浴後の上昇率も非有意ながらも児童男子のほうが高い傾向にあった。(14.33%/19.10%)

収縮期血圧は全般を通して成年の方が高く、一部で有意差 ($P<0.05$) も見られた。(図 5-34) 拡張期血圧も成年の方が高い傾向が見られたがこれはそれほど大きな差ではなかった。(図 5-35)

直腸温
平均皮膚温
平均体温

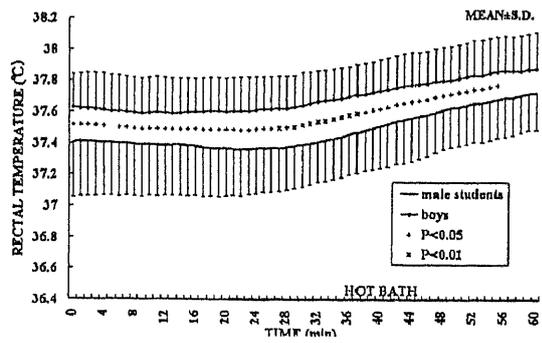


図 5-1: 直腸温経時変化

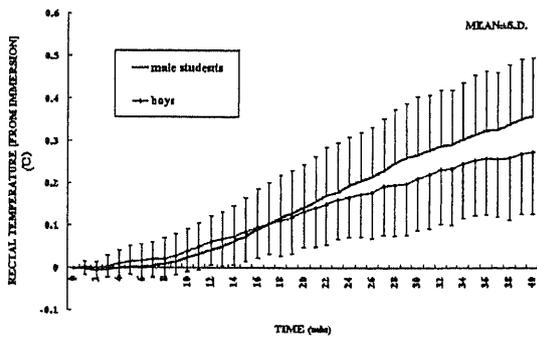


図 5-2: 下腿温浴後の直腸温変化

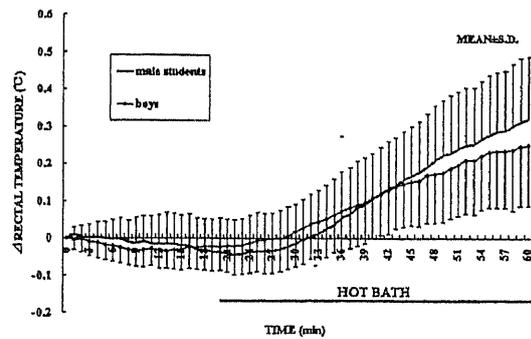


図 5-3: 直腸温変化量の経時変化

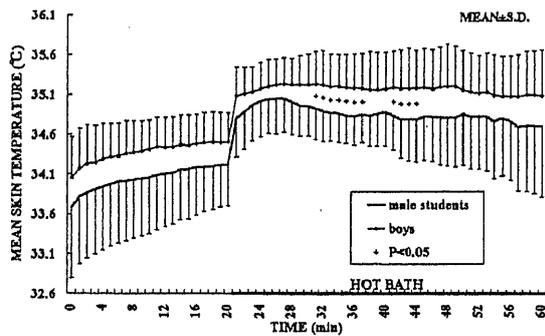


図 5-4: 平均皮膚温経時変化

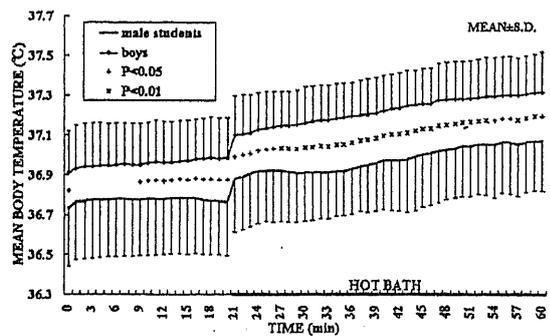


図 5-5: 平均体温経時変化

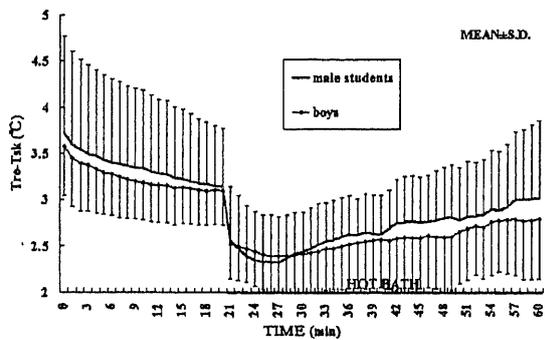


図 5-6: Tre-Tsk の経時変化

各部位皮膚温
(sasaki 法による7点)

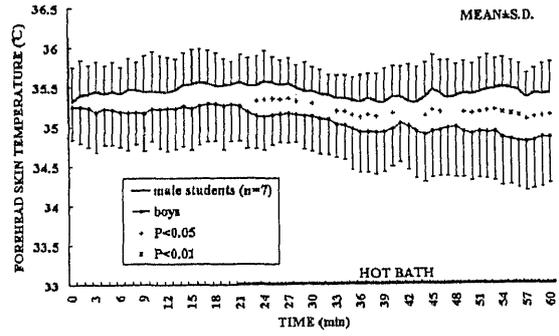


図 5-7:前額皮膚温経時変化

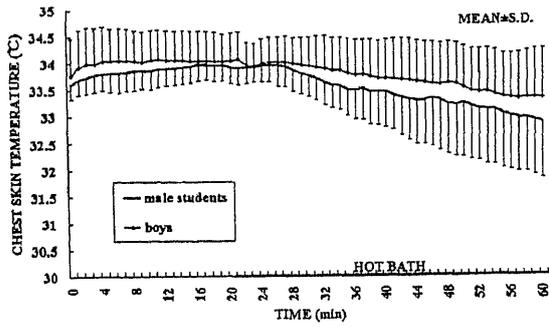


図 5-8:胸部皮膚温経時変化

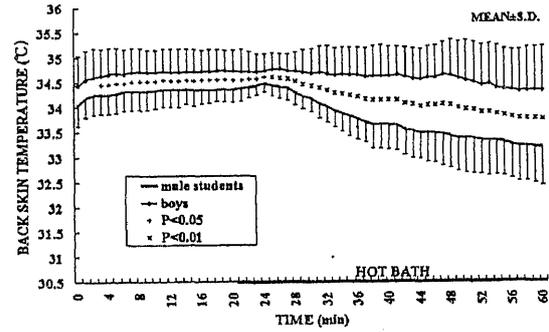


図 5-9:背部皮膚温経時変化

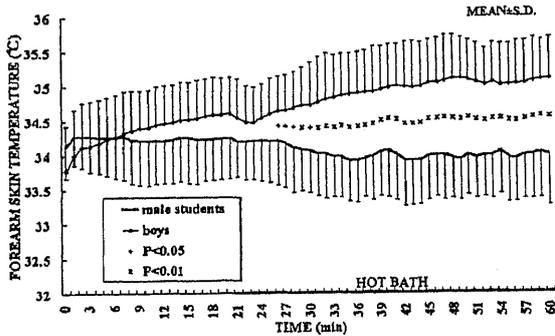


図 5-10:前腕部皮膚温経時変化

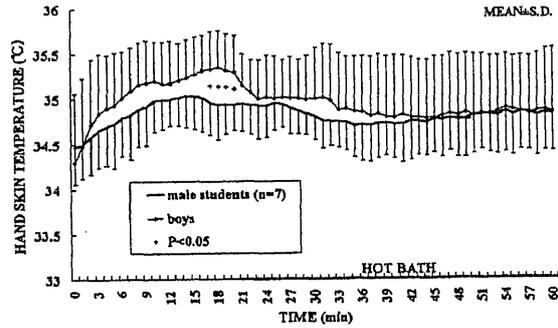


図 5-11:手背皮膚温経時変化

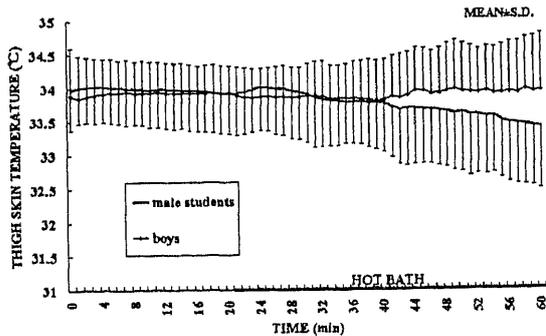


図 5-12:大腿部皮膚温経時変化

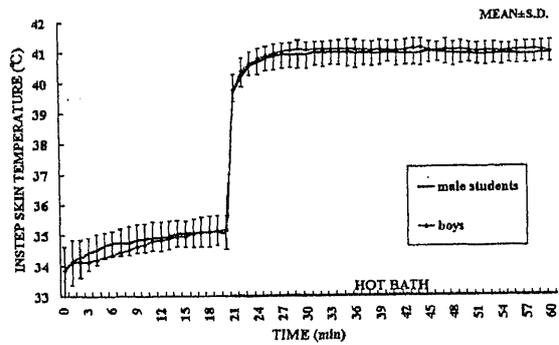


図 5-13:足背皮膚温経時変化

総発汗量
 局所発汗量
 SGO
 Na+濃度
 活動汗腺数
 発汗開始時間

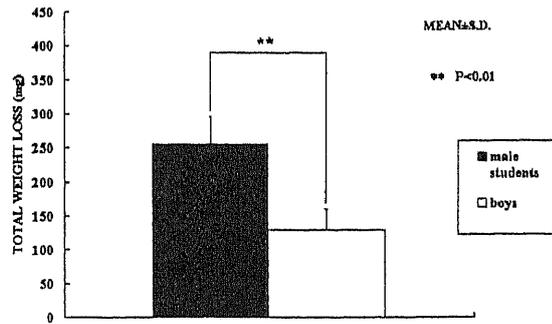


図 5-14: 総発汗量

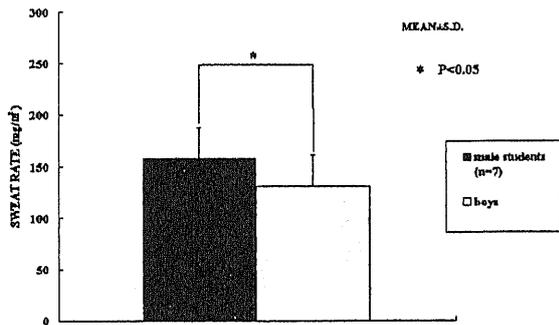


図 5-15: 総発汗量 / 体表面積

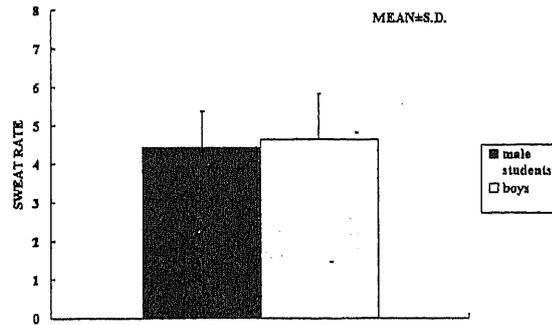


図 5-16: 総発汗量 / 体重

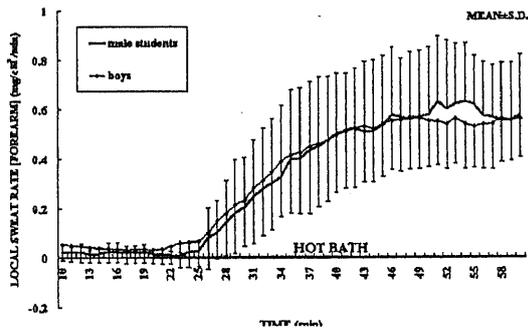


図 5-17: 局所発汗量 (前腕) 経時変化

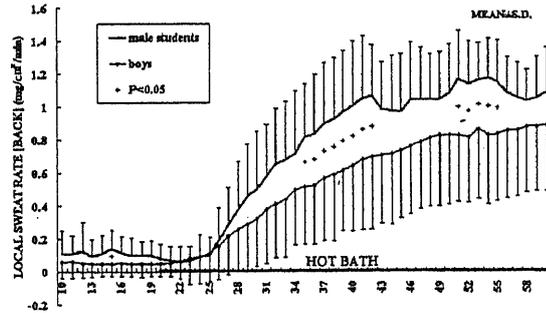


図 5-18: 局所発汗量 (背中) 経時変化

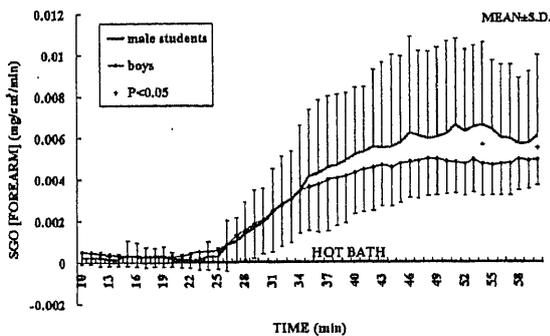


図 5-19: SGO (前腕) 経時変化 (カプセル法)

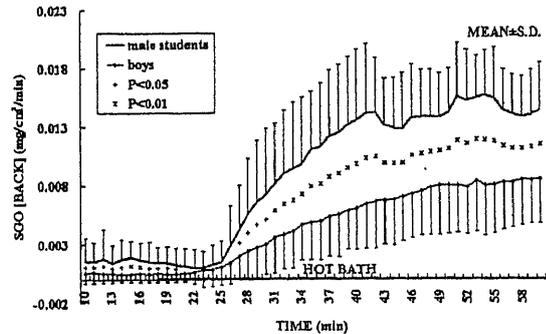


図 5-20: SGO (背中) 経時変化 (カプセル法)

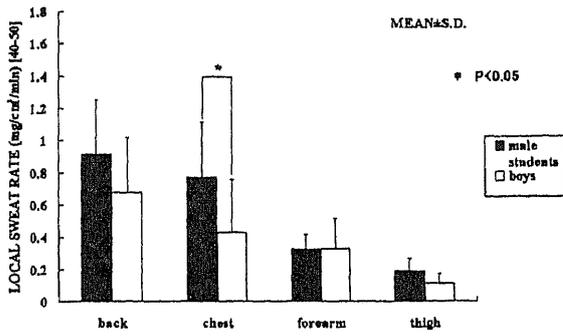


図 5-21:局所発汗量 (濾紙法) 40~50

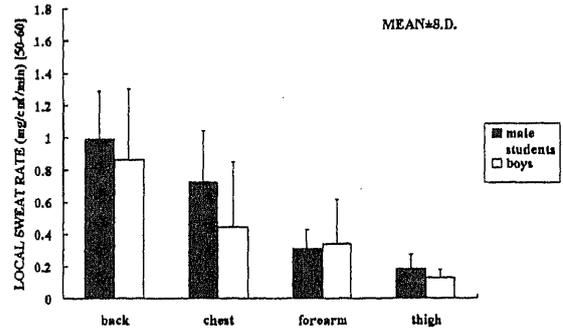


図 5-22:局所発汗量 (濾紙法) 50~60

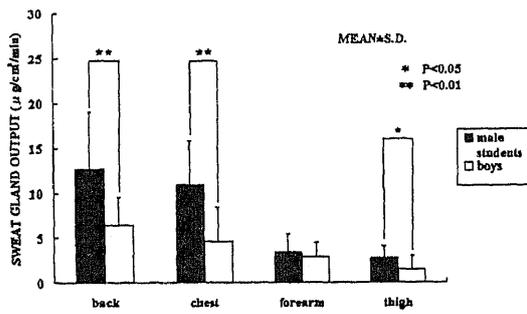


図 5-23:SGO (濾紙法) 40~50 分

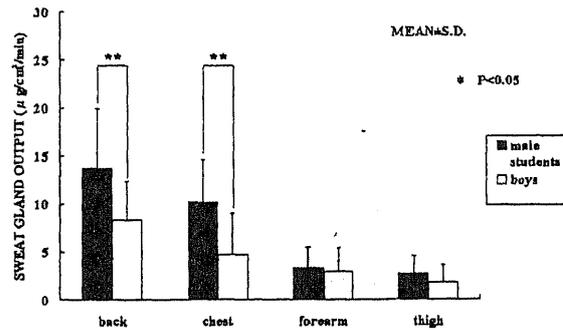


図 5-24:SGO (濾紙法) 50~60 分

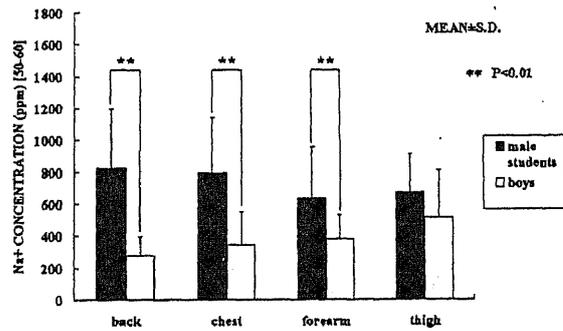


図 5-25:汗中 Na+濃度 40~50 分

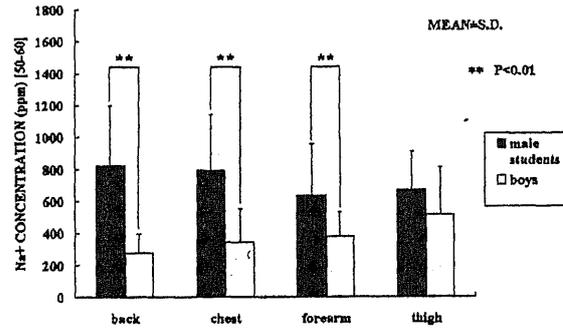


図 5-26:汗中 Na+濃度 50~60 分

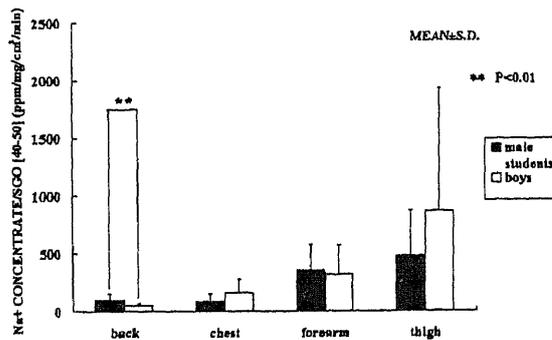


図 5-27:Na+濃度 / SGO 40~50 分

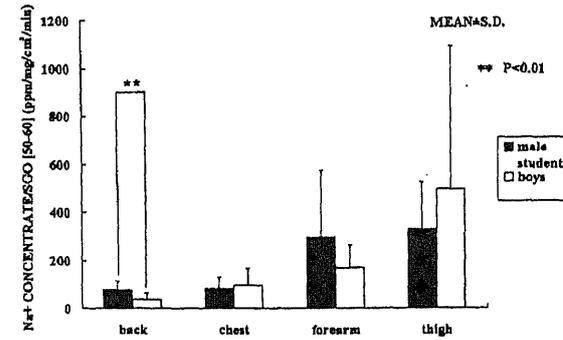


図 5-28:Na+濃度 / SGO 50~60 分

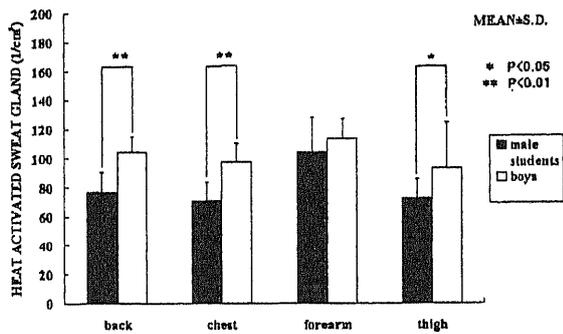


図 5-29:活動汗腺数

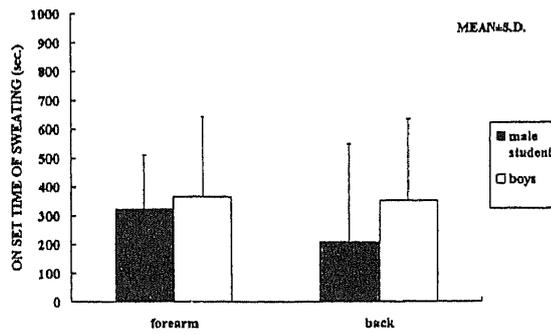


図 5-30:発汗開始時間

心拍数
皮膚血流量
収縮期血圧
拡張期血圧

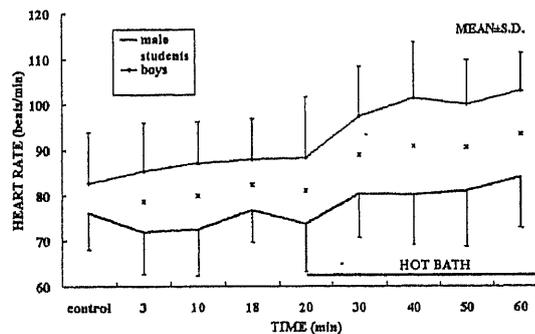


図 5-31:心拍数経時変化

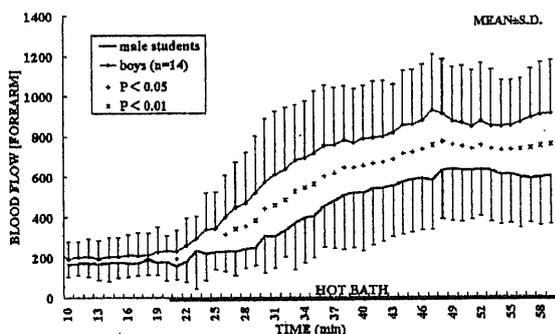


図 5-32:前腕部皮膚血流量経時変化

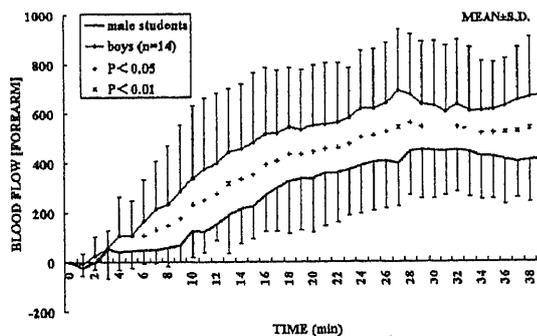


図 5-33:下腿温浴後の皮膚血流量変化

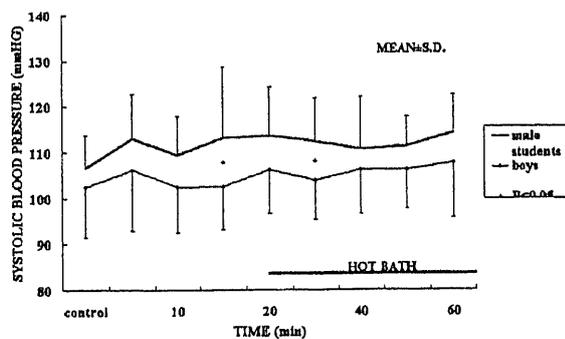


図 5-34:収縮期血圧経時変化

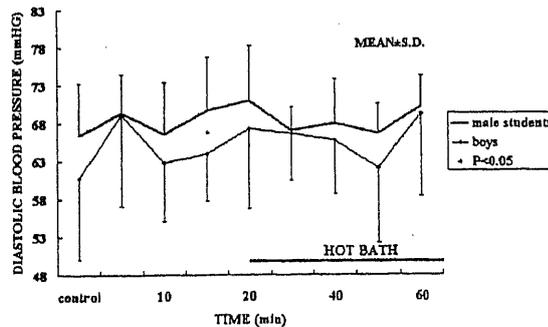


図 5-35:拡張期血圧経時変化

VI-4. 結果 4:成年女性と児童女子の比較(ここでは特筆しない限りは「成年」はすべて「成年女性」を示し、「児童」はすべて「児童女子」を示すものとする。)

身長、体重、体表面積の値は成年女性の方が有意に高かった。(P<0.01)。しかし、体重当りの体表面積は児童女子の方が有意に(P<0.01)高かった。(0.0294 m²/kg/0.0365 m²/kg)

皮下脂肪厚はすべての部位について成年女性のほうが高い傾向にあったが有意な差ではなかった。(表 1 参照)

直腸温は成年と児童間での初期の値に大きな違いはなかったが若干児童の方が高いという傾向にあった。下腿温浴後は成年の値が急激に上昇したため、実験終了前では成年の方が高くなった。(図 6-1)

下腿温浴後の直腸温の変化は、下腿温浴前までは成年と児童でよく似た変化を見せていたが、下腿温浴開始から成年の値が急激に上昇したため、下腿温浴 30 分目からは成年の方が有意(P<0.05)に高くなり、時間を経るごとにその差は拡大していった。(図 6-2)

平均皮膚温は下腿温浴前は成年の方が高い傾向にあったが、下腿温浴開始から成年の値が低下したため、下腿温浴開始 15 分目からは児童の方が高い値を見せるようになった。(図 6-4)

一方、平均体温は児童の方が実験中を通して若干高い傾向にあったが、変化の様子は成年と児童でよく似ていた。(図 6-5)

各部位の皮膚温は、手背や足背といった末梢の部位は下腿温浴前は成年の方が高い傾向にあったが、下腿温浴後は値がほぼ等しくなった。(図 6-11、図 6-13) 胸部温は下腿温浴前は成年女性のほうが有意に高い傾向にあったが、下腿温浴開始以降に成年女性の値が児童に比べて大きく低下したため、最終的には児童女子の方が高くなった。(図 6-8) 背中については成年と児童で初期の値が似ていたが、ここも下腿温浴後に成年の値が低下したため児童の方が値が高くなるという結果が見られた。(図 6-9) 前腕温は下腿温浴前は成年女性のほうが高い傾向にあったが、下腿温浴開始から成年女性が低下する一方で、児童女子は上昇したため、実験後半において有意に児童女子の方が高い値を示した(P<0.05)。(図 6-10) 大腿の皮膚温は下腿温浴前では両グループ間でほとんど差が見られなかったが、下腿温浴後に成年の値が低下したためその差は拡大し有意差(P<0.05)が見られるようになった。(図 6-12)

総発汗量は成年女性の方が有意に(P<0.01)高かった。(190.625 mg/113.071 mg) (図 6-14) しかし、体表面積当りの総発汗量に換算すると成年女性と児童女性の値はほぼ等しくなり、(126.252 mg/m²/120.095 mg/m²) 逆に体重当りの総発汗量は児童の方が高くなるという結果が見られた。(0.38%/0.44%) (図 6-15、図 6-16)

活動汗腺数は背中、胸、大腿においては有意に児童の方が高い値を示した(P<0.01)。しかしながら、前腕部については成年と児童でほぼ等しい値を示した。(図 6-29)

カプセル法による前腕部の局所発汗量は成年女性と児童女子でほとんど差はなかった。(図 6-17) 前腕の SGO についても同様であった。(図 6-19) 一方、背中の局所発汗量については、発汗開始からの上昇は成年の方が大きく、38 分目から値の差が開いたが、有意な差ではなかった。(図 6-18) しかし、SGO に換算すると 34 分目から成年の方が有意に

($P<0.05$)高い値を示した。(図 6-19)

濾紙法による局所発汗量は、胸部を除いては成年女性のほうが高い傾向にあった。(図 6-21、図 6-22) 一方、SGO も、成年の方が高い値を示す傾向にあったが、大腿部においては有意な差が見られた。(図 6-23、図 6-24)

汗中の Na^+ 濃度も成年の方が高い値を示す傾向にあった。背中においては有意な差も出ている($P<0.05$, 0.01)。(図 6-25、図 6-26) しかし、SGO 当りの Na^+ 濃度では非有意ではあるが児童は成年と同等、もしくはそれ以上の値を示した。(図 6-27、図 6-28)

前腕の発汗開始時間は成年女性の方が有意に遅い傾向にあり、成年女性は発汗開始までに時間が児童女子の 2 倍ほどかかった。(507.9 sec/274.628 sec) 背中も成年女性の方が遅い傾向にあった。(461.85 sec/300.428 sec) (図 6-30)

前腕部の血流量は児童の方が常に有意に高かった($P<0.05$, 0.01)。(図 6-32) 下腿温浴後の変化を見てみると、児童は増加した後に少々の低下を見せており、成年はゆっくりと上昇を続けたため、児童の方が常に有意に高いながらも下腿温浴後半においてはその差は縮小した。(図 6-33)

心拍数は児童の方が高い傾向にあったが、変化の様子は成年と児童でよく似ていた。(図 6-31) 一方、下腿温浴による心拍数の上昇率は成年女性の方が高い傾向にあった。(17.69%/11.40%)

収縮期血圧は成年の方は高い傾向にあり、一部で有意差($P<0.05$)も見られた。(図 6-34) また、拡張期血圧も成年の方が有意に高かった($P<0.05$, 0.01)。(図 6-35)

直腸温
平均皮膚温
平均体温

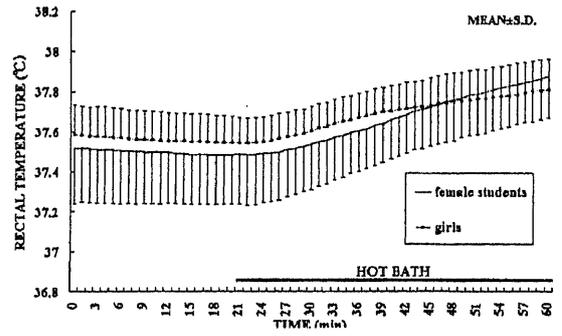


図 6-1:直腸温経時変化

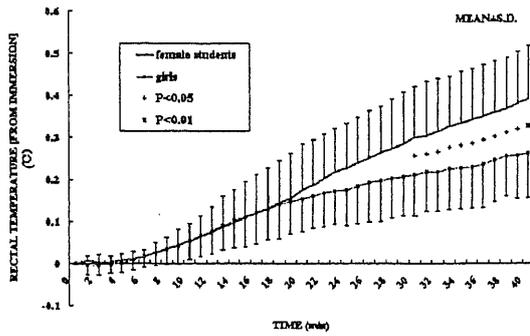


図 6-2:下腿温浴後の直腸温変化

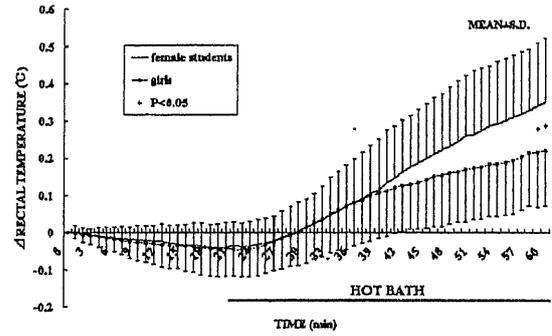


図 6-3:直腸温変化量の経時変化

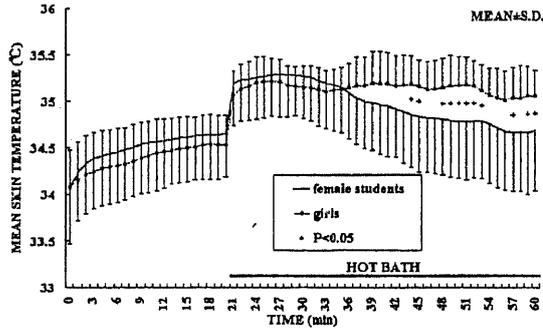


図 6-4:平均皮膚温経時変化

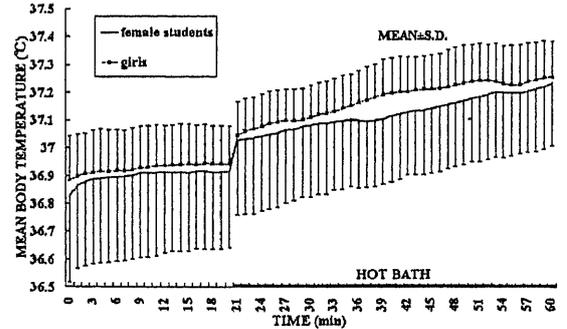


図 6-5:平均体温経時変化

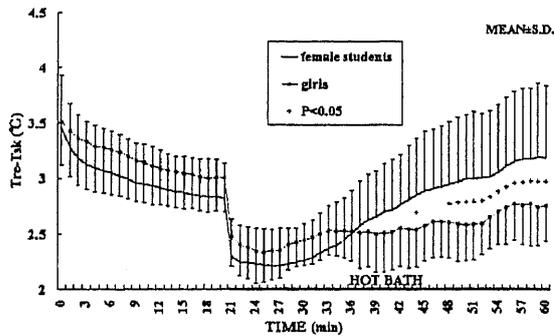


図 6-6:Tre-Tsk の経時変化

各部位皮膚温
(sasaki 法による7点)

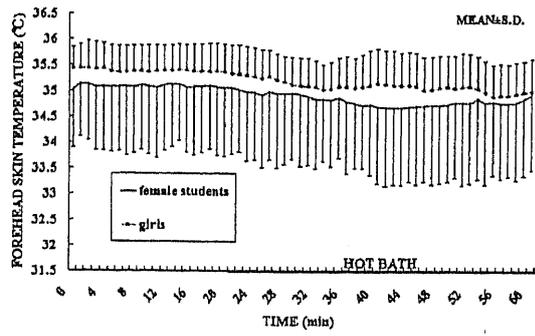


図 6-7: 前額皮膚温経時変化

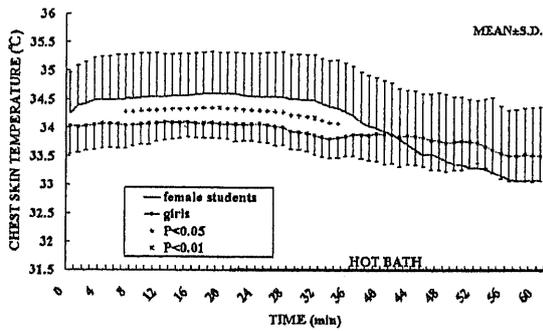


図 6-8: 胸部皮膚温経時変化

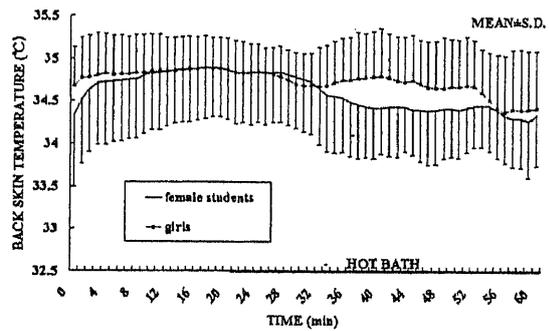


図 6-9: 背部皮膚温経時変化

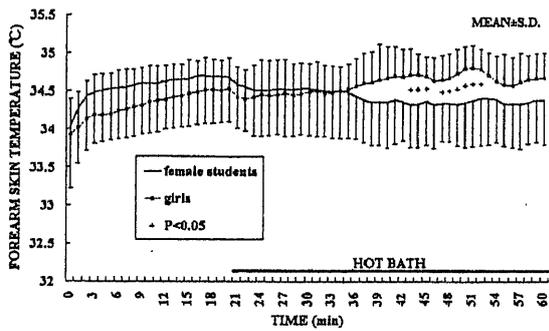


図 6-10: 前腕部皮膚温経時変化

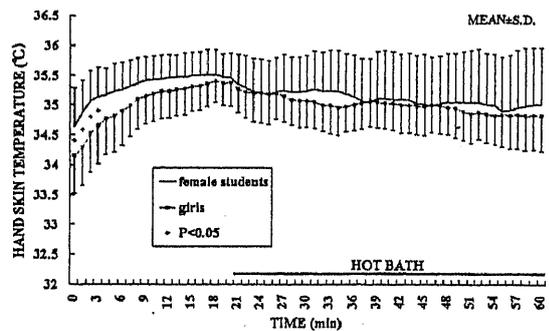


図 6-11: 手背皮膚温経時変化

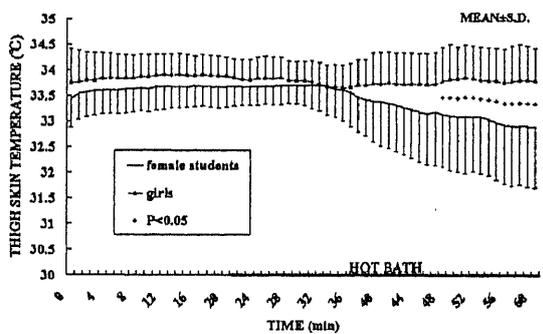


図 6-12: 大腿部皮膚温経時変化

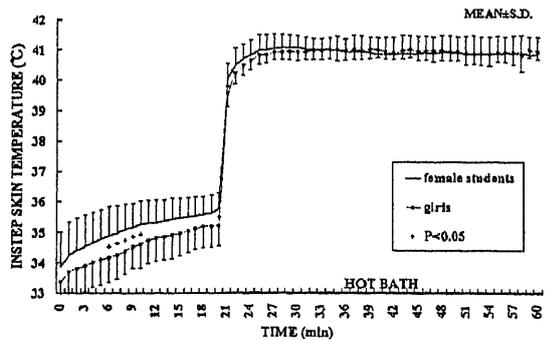


図 6-13: 足背皮膚温経時変化

総発汗量
局所発汗量
SGO
Na+濃度
活動汗腺数
発汗開始時間

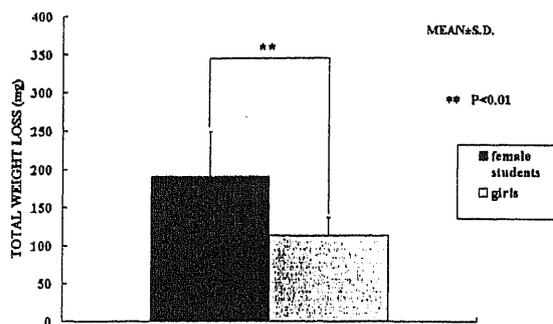


図 6-14:総発汗量

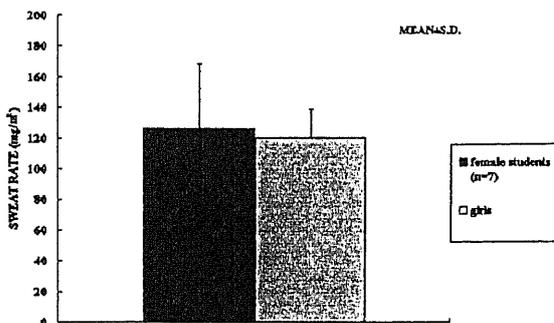


図 6-15:総発汗量/体表面積

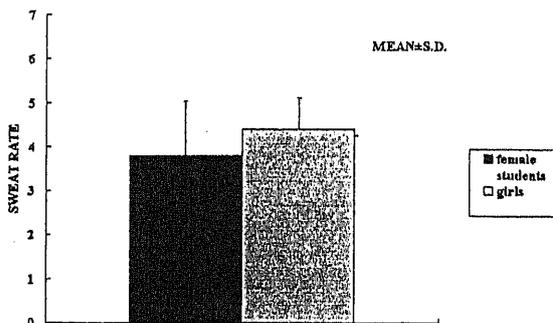


図 6-16:総発汗量/体重

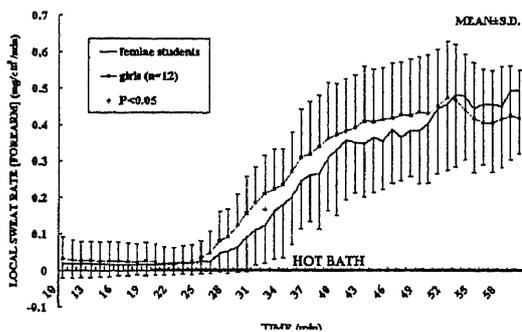


図 6-17:局所発汗量 (前腕) 経時変化

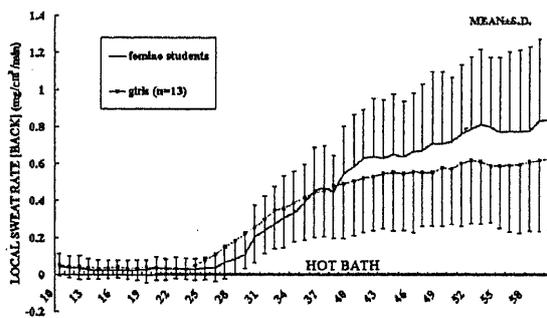


図 6-18:局所発汗量 (背中) 経時変化

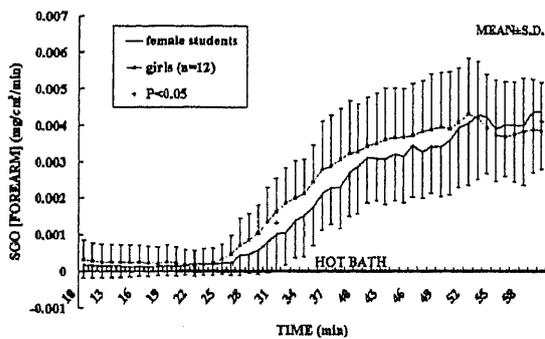


図 6-19:SGO (前腕) 経時変化 (カプセル法)

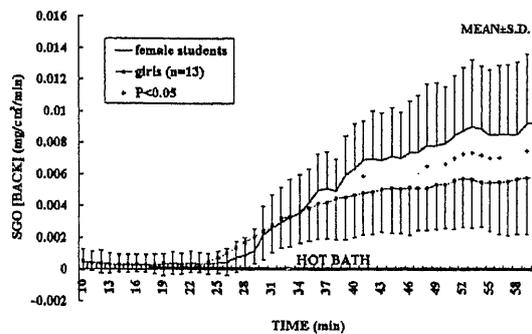


図 6-20:SGO (背中) 経時変化 (カプセル法)

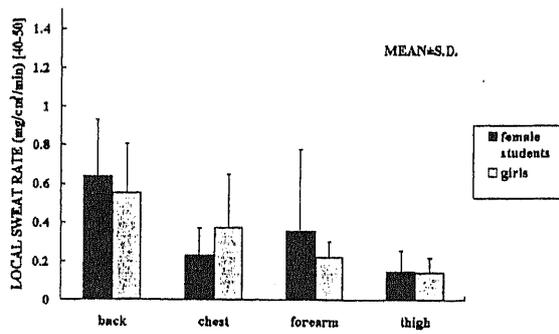


図 6-21:局所発汗量 (濾紙法) 40~50

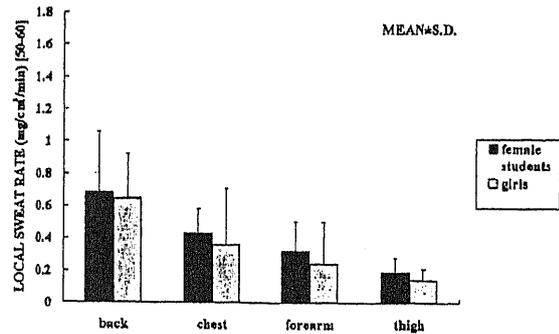


図 6-22:局所発汗量 (濾紙法) 50~60

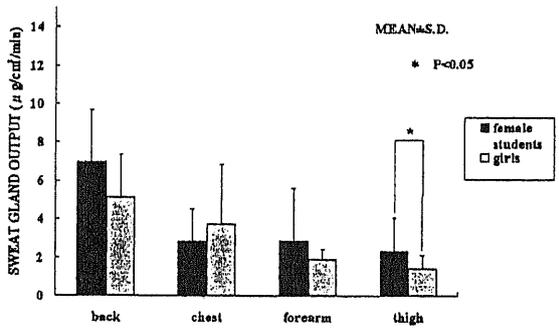


図 6-23:SGO (濾紙法) 40~50 分

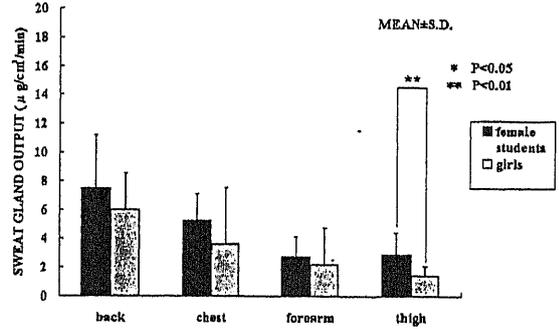


図 6-24:SGO (濾紙法) 50~60 分

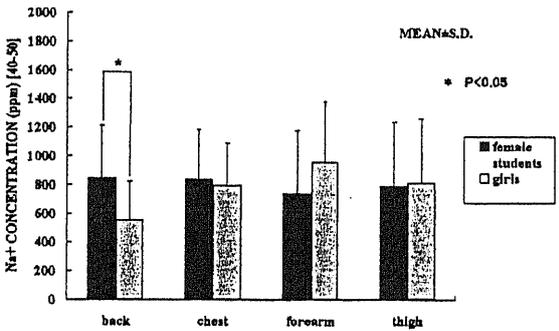


図 6-25:汗中 Na+濃度 40~50 分

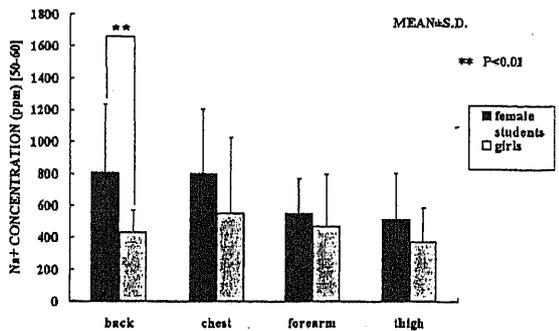


図 6-26:汗中 Na+濃度 50~60 分

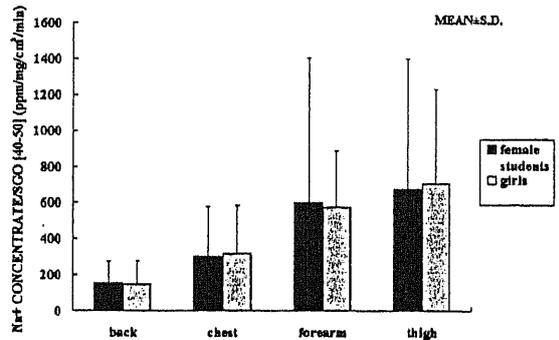


図 6-27:Na+濃度 / SGO 40~50 分

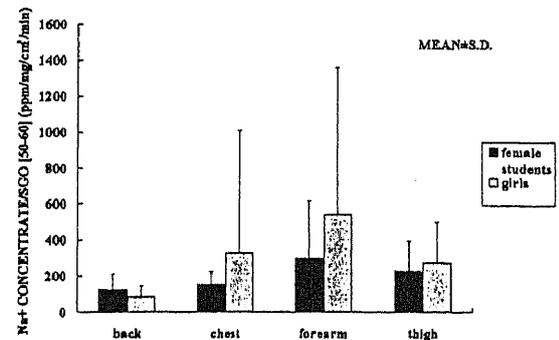


図 6-28:Na+濃度 / SGO 50~60 分

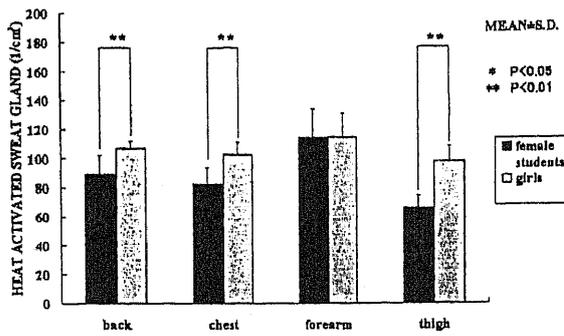


図 6-29:活動汗腺数

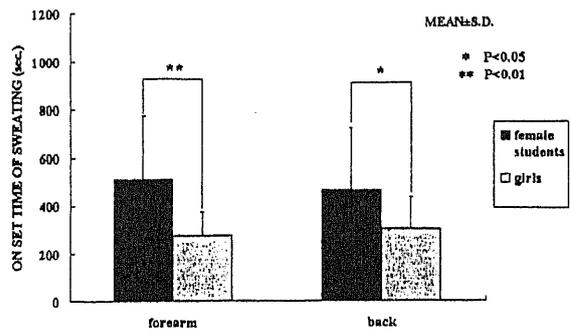


図 6-30:発汗開始時間

心拍数
皮膚血流量
収縮期血圧
拡張期血圧

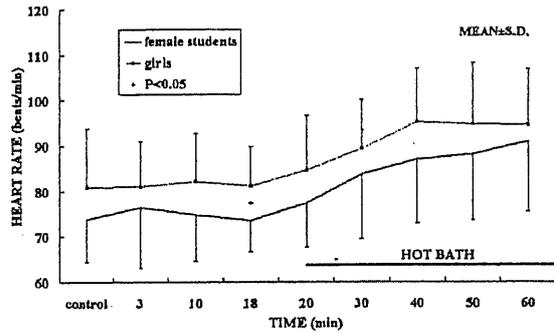


図 6-31:心拍数経時変化

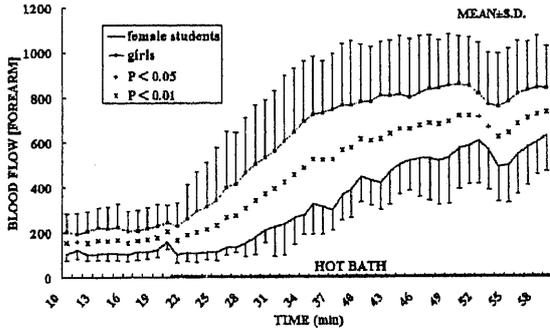


図 6-32:前腕部皮膚血流量経時変化

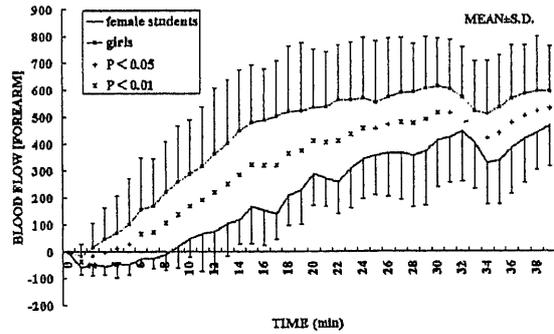


図 6-33:下腿温浴後の皮膚血流量変

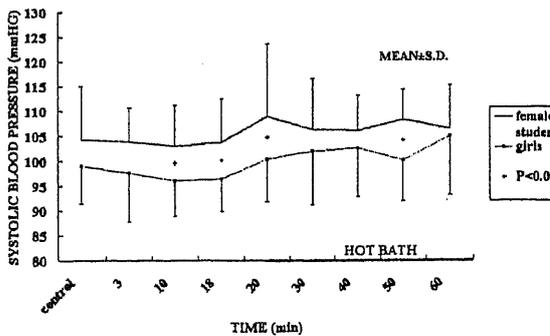


図 6-34:収縮期血圧経時変化

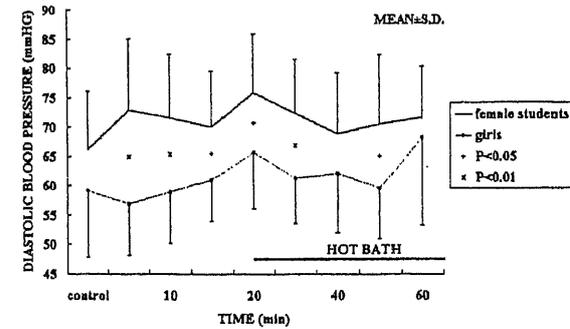


図 6-35:拡張期血圧経時変化

VII. 考察

VII-1. 考察 1: 成年における体温調節反応の性差について

考察を進める前にここに絡んでくる複雑な要素について述べておきたい。というのも、今回の実験で成年女性は高温期を選んで被験者になってもらった。成年女性は高温期には体温のセットポイント(設定温度)が高くなるため、深部温が個人差はあるものの卵胞期よりも 0.4℃ほど高くなることが知られている。また、小川(1998)はその著書の中で「黄体期では体温の上昇に伴う発汗増加が卵胞期に比べて大きい」と報告している。¹⁹⁾

つまり、今回の実験においては「成年女性は…」という書き出しは控えて、「高温期における成年女性は…」と述べるべきである。しかし、そうした表現を何度も使用するのには文章として非常に見苦しいものであるため、以下、特筆しない限り“成年女性は高温期である”ことを前提に考察を進めていくものとする。

まず、成年男性に比べて成年女性は皮膚温や深部温の絶対値が高い傾向が見られたが、これは成年女性が高温期であるために表れた結果であると考えられる。結果として成年女性の深部温(直腸温)の上昇の割合は成年男性と同等であるため、今回の暑熱環境に対する体温調節能力の性による差はないといっている。しかしながら、発汗機能に関しての男女差は明らかのものであり、軀幹部(背中)においても四肢(前腕)においても局所発汗量は成年男性の方が有意に高い値を示した。さらに、局所発汗量を SGO に換算すると、成年女性は成年男性に比べて身体が小さく、能動汗腺の密度が高いためその差は拡大し、成年女性に対して成年男性は約 2 倍の発汗能力を持つという結果が出た。これは成年女性の方が能動汗腺密度が高いことから選択的に発汗量を抑えていることも考えられるが、発汗量にこれほどの差があるにも関わらず汗に含まれる Na⁺濃度が時間を経るとほぼ等しくなっていることにも注目したい。つまり、成年女性は汗中の Na⁺を再吸収する能力が成年男性に比べて乏しいのである。このことは、Na⁺濃度を SGO で割った値はすべての部位において成年女性の方が高い傾向にあることから裏付けられる。(つまり、成年女性の方が同じ発汗量に対しての Na⁺の再吸収率が少ない)。以上により、成年女性の低い発汗は汗腺密度が高いことによる選択的反応ではないことが示唆される。ただし、総発汗量は成年男性の方が体表面積当たりでも体重当たりでも高い傾向にあり、成年女性の方は無効発汗(蒸発せずに流れ落ちる汗)が少ないというのもひとつの結果である。発汗開始時間も成年女性は軀幹部においても四肢においても成年男性よりも有意に遅い傾向にあった。これは、成年女性の発汗開始時の体温閾値が成年男性よりも高いことを表している。また、小川(1998)は発汗が現れる気温は成年女性の方が高いことを報告している。¹⁹⁾

前腕の血流量は、成年男性の方が若干高い傾向にあった。

考察の冒頭でも述べたように、結果としては暑熱環境下において深部温の上昇を押し返す能力に男女差はないといえる。平均体温の上昇を見てもそのことが確認できる。しかしながら、平均皮膚温に関しては、下腿温浴開始後の発汗開始からは成年女性の方は大きく低下している傾向がみとれる。これは、暑熱下での体温調節にもっとも有利であるとい

われる発汗機能そのものは成年女性の方が劣っているが、今回の実験の環境条件に関していえば成年女性の体温調節機能は、皮膚温が高いことから環境温との熱の差が大きいため、乾性放熱による放熱が成年男性に比べて有利であり（皮膚温が低下して成年男性とほぼ等しくなるとその変化は成年男性と非常によく似てくる。）、低い発汗機能も合わせて成年男性と同等の体温調節を行っていると考えられる。深部温(T_{re})と平均皮膚温(T_{sk})の差は熱還流率に反比例し、単位面積当たりの代謝量に比例するといわれているが、下腿温浴前では $T_{re}-T_{sk}$ の値が女性の方が低いことから、成年女性は乾性放熱によって効率的に放熱が行っていることを支持する結果であると考えられる。(図 3-6)

成年女性の低い発汗能力は結果として無効発汗量の抑止につながっている（今回は無効発汗量の測定は行っていないが）。成年女性の体重減少率が成年男性よりも低い傾向にあり、直腸温の上昇率において成年女性は成年男性とほぼ等しいことから今回の実験環境においては成年女性の方が有利であったといえるかもしれない。

こうした体温調節反応の性差が現れるのは性ホルモンの影響であると考えられる。Kawahata (1960) は性ホルモンの連日投与試験成績より、男性ホルモンは発汗促進作用があり、女性ホルモンは発汗抑制作用があるということを説明している。¹⁹⁾ また、性ホルモンの分泌は男女の体格を特徴づける要因である。結果にも表れていることであるが、成年女性は皮下脂肪厚が成年男性に比べて高い。よって、熱の出納過程が成年男性のそれと比べて大きく異なってくるはずである。こうした身体的特徴も体温調節反応の性差を誘因する要因であると考えられる。

さらに、成年女性は高温時になると代謝量を減少させる第二化学調節機構を有するといわれている。この機構の詳しい構造はまだ知られていないが、この機構も体温調節本能の性差を引き起こす要因であると考えられている。¹⁹⁾

では、思春期前の児童では性差というものが成年のように表れてくるものなのであろうか。それを検証するために、次は暑熱環境下における児童での体温調節反応の違いの有無を実験結果から考察していくことにする。

VII-2. 考察 2: 児童における体温調節反応の性差について

児童男子と児童女子の体温調節能力は、深部温(直腸温)変化や平均体温の変化に違いが見られなかったことから、同等であると考えて良いと思われる。しかし、乾性放熱に比較的有効である四肢(前腕)における皮膚温は下腿温浴開始後は児童男子の方が高いこと傾向が見られた。これは皮膚血流量が児童男子の方が高いということに由来するものではなく(図 4-32 参照)、前腕の皮下脂肪が児童女子の方が高いことが原因ではないかと思われる。しかし、多くの部位における皮膚温は児童女子の方が高い傾向を見せているためこれは明解な解答とは言いがたい。もしくは児童男子の方が心拍数が高く、その上昇率も高い傾向にあったことから、代謝量が児童男子の方が高いことが原因であるとも考えられる。

しかし、児童間の性差として特筆すべき点は、成年と同じく発汗にあるといっている。まず、カプセル法における局所発汗量は児童男子の方が高い傾向にある。また、汗に含まれる Na⁺濃度に関しても児童女子の方が有意に高かった。さらに、SGO 当りの Na⁺濃度も児童男子の方が有意に低い傾向にあり、汗腺の発達は児童男子の方が進んでいると考えられる。こうした相違は成年の男女に見られたものと同じであるが、SGO では前腕を除いては男女間にあまり差が出ないなど、その差は成年ほどではない。今回の実験に被験者として参加した児童は 7 歳から 10 歳という年齢層であり、基礎代謝量に性差が表れ出す時期にある年齢層である。しかし、その成熟はまだ完全なものではないことから今回の実験のようにあまりはっきりとした差が出なかったものと考えられる。つまり、発汗に関する男女の差はホルモンの影響によるものではなく、経験によるものではないかと考えられる。つまり、児童男子は外でよく遊び、活動的で、児童女子は室内で遊ぶ傾向にあるといったことから出た結果ではないかと考えられる。それは、前腕という常に外気にさらされている部位において大きく男女差が見られたことから裏付けられることである。

以上から、児童には深部温の上昇を押さえる能力についての性差は認められなかったが、発汗機能に関しては若干ながら性差が認められた。その違いは成年における性差と非常によく似た傾向であった。また、皮膚温に関しては部位によっては成年の場合と男女の違いが逆転するなどの特徴が見られた。こうした違いから、あえて私は児童のグループを「児童男子」と「児童女子」のグループに分けて、それぞれの性別における年齢差について検証を進めていくことにする。

VII-3. 考察 3: 男子における体温調節反応の年齢差について

考察を述べる前に今回の実験条件が成年と児童で異なる恐れがあることを述べておく。というのも、今回の実験では多くの部位において成年男性の方が皮下脂肪が厚いという結果が出たのだが、一般に児童は成年に比べて皮下脂肪が薄いと言われている。よって、皮膚から熱が流入が激しいと考えられる。(この矛盾については後述するものとする。) また、数値的な結果は出ていないのだが、児童は体表面積に対する下腿の表面積の割合が成年に比べて大きいのである。つまり、下腿温浴という方法では児童の方が熱負荷が大きい恐れがある。よって、考察を進める上でこの事実を年頭に置いておく必要がある。

成年男性と児童男子を比較した際にまず目に付くのは直腸温、および平均皮膚温、平均体温の絶対値が児童男子の方が高いということである。平均皮膚温が高いことに関していえばこれは乾性放熱には有利な条件となる。体重に対する体表面積の比が児童男子の方が有意に大きいことも放熱に有利な特徴である。しかし、重要な点は下腿温浴開始からの平均皮膚温の変化の違いである。というのも、成年男性の各部位の皮膚温は下腿温浴開始からまもなくして低下する傾向にあるのだが、児童の皮膚温は高いレベルを保つ傾向にあり、前腕部の皮膚温は、成年男性の値が低下する一方で児童男子の値は上昇していった。こうした違いを引き起こす原因は、発汗と血流である。まず、発汗に関して見ていくと、発汗開始からの背中中の局所発汗量は成年の方が有意に高かった。一方で、背中中の皮膚温に目を向けてみるとおよそ発汗開始後に成年の皮膚温が急激に低下していることがわかる。しかしながら、児童男子の皮膚温は発汗してからもそれほど低下していない。

同じように前腕部の皮膚温を見てみると、前腕の局所発汗量は児童男子は成年男性とほぼ同等の値を見せているにも関わらず、その皮膚温は暑熱室に入った時点からすでに上昇傾向にあり、成年男性は発汗開始から皮膚温が低下した一方で児童男子の値は下腿温浴開始からさらに上昇の一途をたどっている。

こうした事実は Araki ら (1979,1980) の「成年の深部温は発汗により差し引かれ、児童の深部温は乾性放熱により差し引かれる」という報告に一致するものである。⁹⁾ これを言い換えれば、成年男性に比べて児童男子は発汗によって体温上昇を有効に抑えられてないと言える。このような違いが表れる理由の一つとしては児童男子の発汗能力の未熟さが原因として挙げられるのではないだろうか。体表面積当りの総発汗量が児童男子の方が有意に低いことから、児童の発汗は局部的なもので、体表面全体からの発汗による効率的な放熱を行なえていないという推測も立つが、今回の実験データではこれを立証するのは難しいと思われる。

カプセル法による局所発汗量は背中では成年男性が高く、前腕ではほぼ等しいという結果が得られたが、SGO に換算してみると背中でも前腕においても成年男性の方が有意に高かった。カプセル法による局所発汗量の測定は 1c m^2 当りの発汗量で換算される。よって、前腕部についていえば、成年男性に比べると児童男子は体表面積に対して広い範囲での発汗量が成年と等しい値を見せたに過ぎず、成年と同等の発汗を見せたわけではないのでこの点の誤解は避けたい。一方、濾紙法による SGO についても成年男性の方が有意に高かった。このような差は成年男性と成年女性の比較の場合と同様に児童男子の方が活動汗腺

数の単位面積当りの密度が高いことから選択的に児童男子の SGO が低くなっていることも考えられるが、SGO 当りの Na⁺濃度が部位によっては児童男子の方が高いことや、体重当りの総発汗量（体重減少率）が児童男子の方が若干高い傾向にあったことから、やはり児童男子の発汗能力が成年男性に比べて劣ると考えるべきである。発汗開始時間は成年の方が早いという結果が見られたが、これは児童の方が常に直腸温の絶対値が高いことから、発汗開始の際の深部温閾値は児童の方が高いことを示す結果である。

ここで、先にも述べた成年と児童の皮下脂肪厚について一般にいわれているように児童の方が皮下脂肪厚が薄いという事実と今回の実験の結果が少々食い違ったことについて述べておく。下腿温浴前の直腸温と平均皮膚温の差は児童男子の方が低い傾向にあるのだが、このことは児童男子の方が核心温と皮膚表面の温度の差が小さいことを意味しており、身体の深部から表面への熱の流出が大きいことを示す結果である。これは児童は普段から皮膚血流量が成年に比べて高い傾向を見せたことから生じた結果であると考えられるが、児童男子の方が皮下脂肪厚が薄いことが原因しているために起こった違いであると考えられる。ちなみに、核心温と平均皮膚温の差を皮下脂肪が影響する熱貫流率の指標として用いるのは発汗していない場合のみにすべきである。それは、発汗後は汗の蒸発によって皮膚温が低下するためである。同時に、皮膚の湿潤など、複雑な要素が絡んでくるためである。

結果的には児童男子の方が成年男性に比べて直腸温の上昇を抑制できているが、児童の体温上昇は皮膚の血管拡張によって抑えられている。皮膚の血管拡張が大きいということは体内での代謝活動が確実に増していると考えられ、汗の気化熱によって体温上昇を防いでいる成年に比べて、循環系の反応によって体温上昇を防いでいる児童は確実に身体疲労が大きいはずである。また、心拍数が児童の方が高い傾向にあったこともこの考えを支持するものである。

ここで注意すべきことは今回の実験環境が 30°C という室温であったということである。つまり、この環境では皮膚温よりも環境温の方が低いため、体温の上昇を防ぐ方法として乾性放熱も有効である。もしも、環境温が 40°C であったとすると発汗能力の低い児童男子は今回の実験のように体温の上昇を防ぐことができないかもしれない。また、児童男子の方が皮膚から熱が流入しやすいので、児童男子は容易に体温が上昇してしまうかもしれない。

以上から、ここで明らかになったことは、児童男子は放熱に有利な身体的特徴を有すること。児童男子の発汗能力が成年男性に比べて劣ること、児童男子は発汗による体重減少量は成年男性と違いはないこと（つまり水分の損失は成年と児童は同等であるということ）、乾性放熱に関しては児童男子の方が有利であること、児童男子の体温上昇の抑制は皮膚血管拡張によるところが大きく、成年男性は発汗によるところが大きいということである。

VII-4. 考察 4:女子における体温調節反応の年齢差について

身体的特徴の年齢差は男子の場合と同様であり、身体は児童の方が小さいため、熱容量が小さいが、体重当りの体表面積は児童の方が高く、また、各部位の皮下脂肪も児童の方が少ないことから、児童女子の方が乾性放熱に有利であるといえる。

直腸温の絶対値に大きな差がないのは女性が高温期であり、体温のセットポイントが高く保たれているためであると考えられる。下腿温浴前の平均皮膚温が成年女性のほうが高い傾向にあるが、これに大きく影響を与えている要因は胸部温である。III. 方法でも述べたように女性はセパレーツタイプの水着を着用していたので胸部温が高くなったのではないかと考えられる。同様のことが背中温にも言えるので、平均皮膚温の絶対値については今回は追求しないものとしたい。同時に、濾紙法による胸部の発汗量についても発汗漸減の影響が考えられるので、追求はしないものとする。

平均皮膚温の変化は男子の場合と同様に成年女性は発汗開始から低下したが、児童女子は一定の温度を保った。これは児童女子が発汗による放熱を有効に行なえていないことを表す結果である。体表面積当りの総発汗量に差はないので、体表面での発汗率は同等であると考えられる。

発汗開始時間は成年女性は児童女子の2倍近い時間を必要としている。しかし、発汗開始の直腸温閾値は児童女子の方が高い傾向にあった。

発汗能力に関して比較を行えば、SGOは各部位において成年女性の方が高く、SGO当りのNa⁺濃度が同等、または児童女子の方が高いことから、発汗能力そのものは成年女性の方が優れていると思われる。

しかしながら、Tre-Tskの値は下腿温浴前では成年女性の方が低く、熱還流率が成年女性のほうが高いことが示されている。(図6-6)これは成年女性の方が乾性放熱に優れていることを示す結果であるように思われるが、成年女性が高温期であり深部体温が高いこと、水着の影響により胸部温と背中温が高くなり、平均皮膚温が高いことを考えると、この指標は採用しない方が良いと思われる。よって、成年女性の方が乾性放熱に有利であるという結果は断言できない。

結果を見ると児童女子の方が有意に直腸温の上昇を抑えられているという結果が出ている。これは、男子の場合と同様に環境温が温暖域であるために、乾性放熱が活発に行なわれ、乾性放熱に有利である児童女子の方が結果的に直腸温の上昇を抑えられたと思われる。成年女子も皮膚温が高いので、乾性放熱によっても体温調節を行なっていたと思われるが、これは柘原ら(1995)の「児童の暑熱環境下での体温調節反応は成年女性と似ている」と言う報告に一致するものであるが、ここでは重要ではない。²⁾

ここで重要なことは、成年女性に比べて児童女性は乾性放熱に優れた身体的特徴があり、発汗能力は成年女性に劣るということである。

VII-5. まとめ —成年と児童の体温調節反応の相違—

順を追って述べていくと、まず、成年における体温調節反応の性差については、平均皮膚温、平均体温、および直腸温は成年女性の方が高い傾向にあり、これは体温のセットポイントを高く保つ作用を持つ黄体ホルモンの影響であると考えられる。一般に成年女性は皮下脂肪が多いので、身体から熱が逃げにくいと思われたが、熱貫流率（深部温と平均皮膚温の差に反比例する）は成年女性の方が高い傾向にあり、加えて先のも述べたように成年女性の方が平均皮膚温も高く、体重当りの体表面積も若干ながら成年男性よりも高い傾向にあるので、成年女性は成年男性に比べて乾性放熱に有利であると考えられる。しかしながら、発汗能力に関しては、SGO も Na^+ 再吸収能力も成年女性は明らかに成年男性よりも劣っており、発汗の開始も成年男性よりも遅れる傾向にあった。活動汗腺は成年女性の方が高い傾向が見られたがこれは成年女性の方が身体が小さいためであると考えられる。

成年に関しては上で述べたような性差が見られたが、直腸温の上昇率に男女の違いは見られなかった。これは、成年女性は発汗能力は成年男性に比べて劣るが、乾性放熱においては成年男性よりも有利なために表れた結果であると考えられる。一方で、成年女性の方が無効発汗（蒸発せずに流れ落ちる汗）が少なく、効率的に放熱が行えていたという考え方もできるが、今回の実験では無効発汗量の測定を行っていないため、この論に関して断言はできない。

一方、児童における性差についてみていくと、直腸温や平均皮膚温、平均体温についてはほとんど男女に違いが見られなかった。熱貫流率に関してもほとんど差が無かった。これは思春期前では身体的な特徴も成年ほどにはつきりせず、どの部位の皮下脂肪厚にも性差が見られなかったことも原因の一つであると考えられる。

各部位の皮膚温に関しては、若干児童女子の方が高いという成年の場合とほぼ同様の結果が見られたが、成年の場合ほど大きな差ではない。

発汗に関しては SGO や SGO 当りの Na^+ 濃度が成年における性差と近似しており、発汗能力の性差の兆候が表れていると考えて良いと思われる。発汗開始時間は成年の場合とは逆に児童女子の方が早い傾向にあったがほとんど差はない。つまり、発汗に対する体温閾値についての性差はまだ見られないと考えられる。

以上より、私は、児童に体温調節の性差は若干ながら見られるとして児童男子と児童女子という2つのグループにして成年との比較を進めることにした。

成年男性と児童男子を比べると、直腸温の絶対値は児童の方が高いが、下腿温浴開始からの直腸温の上昇率は非有意ながら成年の方が高い傾向にあり、さらに下腿温浴を続けることで有意な差になるものと思われる。

平均皮膚温は下腿温浴開始から成年男性は低下する一方で、児童男子は一定の温度を保つという傾向が見られた。これは成年男性は皮膚温が発汗によって有効に差し引かれたためであると考えられる。これらの結果により、平均体温は絶対値は児童男子の方が有意に高かったが、変化の様子に違いは見られなかった。

発汗に関しては、児童男子は成年男性に比べて単位面積当りの発汗量に関して差はないものの、SGO では大きく劣ることがわかった。この違いは単に汗腺の大きさの相違によって表れるものとも考えられる。しかし、 Na^+ 濃度は成年の方が有意に高かったのだが、SGO

当りに換算するとその差が大きく縮まったことから Na⁺の再吸収能力も児童男子は成年男性に比べて劣るものと考えられるため、どうやら発汗能力の違いは汗腺の大きさによるものだけではなさそうである。

皮膚血流量は児童の方が平常時から高い傾向を見せている。これは児童の方が体表面積当りの基礎代謝量が高いことが原因であると考えられ、心拍数が児童の方が高いことも児童の方が代謝量が多いことによると考えられる。血圧が児童の方が低いのは児童の方が末梢の血流量が多いため、末梢血管の抵抗が低くなったことによると考えられる。

発汗に関しては児童は成年に劣るという結果が出たが、直腸温の上昇は児童の方が明らかに押さえられている。これは児童の方が平均皮膚温が高いことによる乾性放熱に対して優位であることと、児童は皮下脂肪が少ないため熱貫流率が成年よりも高いことによると考えられる。

成年女性と児童女子の比較については成年男性と児童男子の場合とほとんど同じような結果が出たため、ここで改めて述べる必要は無いと思われる。特に述べておく必要があることは、男子の場合ほど発汗能力に大きな差が無かったこと、成年女性も児童と同様にある程度皮膚温が低下するまでは乾性放熱に頼るところがあり成年女性は児童と似たような耐暑反応を示す、ということである。

次項に今回の実験でも検定の結果有意差があると判定された項目の一覧表を表2に示す。

表 2: 実験結果一覧表

M : Male students F : Female students B : Boys G : Girls
A : Young Adults C : Children

			young adults	children	male	female
		ΔTre	M<F	B=G	A>C	** A>C
		Mean Skin Temperature	M<F	B=G	* A<C	* A<C
		Total sweat rate/BSA	M>F	B>G	* A<C	A=C
	Local Sweat Rate (capsule)	back	M>F	* B>G	A=C	A>C
		forearm	* M>F	** B>G	* A>C	A<C
	HASG	back	* M<F	B<G	** A<C	** A<C
		chest	* M<F	B<G	** A<C	** A<C
		forearm	M<F	B<G		A=C
		thigh	M>F	B<G	* A<C	** A<C
	Na ⁺ concentration	50-60 (min)	back	M=F	** B<G	** A>C
chest			M=F	B<G	** A>C	A>C
forearm			M>F	B<G	** A>C	A>C
thigh			M>F	B<G	A>C	A>C
SGO (fluter)	50-60 (min)	back	* M>F	* B>G	** A>C	A>C
		chest	** M>F	B>G	** A>C	A>C
		forearm	M>F	B>G	A>C	A>C
		thigh	M<F	B=G	A>C	* A>C
	On Set Time of Sweating	back	M>F	B<G	A<C	* A>C
		forearm	M>F	B<G	A<C	** A>C
		Blood Flow (forearm)	M>F	B=G	** A<C	** A<C
		Heart Rate	M<F	B>G	** A<C	∇ A<C
		Systolic Blood Pressure	M>F	* B>G	A>C	* A>C
		Diastolic Blood Pressure	M<F	B>G	A>C	** A>C

X. 参考文献

- 1)久野 寧 (1963) 汗の話. 光生館
- 2)Yutaka Tochihara, Tadakatsu Onaka, Yumiko Nagai (1995) Thermal Responses of 6- to 8-year-old Children during Immersion of Their Legs in a Hot Water Bath. *Appl Human Sci*, 14(1);23 - 28
- 3)Kazuyo Tuzuk-Hayakawa, Yutaka Tochihara, Tadakatu Ohnaka (1995) Thermoregulation during heat exposure of young children compared to their mothers. *Eur J Appl Physiol*, 72; 12 - 17
- 4)Manabu Shibasaki, Yoshimitsu Inoue, Narihiko Kondo (1997) Mechanisms of underdeveloped sweating responses in prepubertal boys. *Eur J Appl Physiol*, 76; 340 - 345
- 5)都築 和代 (1998) 暑熱および温暖環境における子供と母親の体温調節反応の比較. *日本家政学会誌*, 49(4); 409 - 415
- 6)Yoshimitsu Inoue, Mikio Nakao, Syozo Okudaira, Hiroyuki Ueda, Tsutomu Araki (1995) Seasonal variation in sweating responses of older and younger men. *Eur Appl Physiol*, 70; 6 - 12
- 7)松本 孝朗, 小坂 光男, 菅屋 潤壹, 西山 哲成, 西村 直記, 木村 友美, 田井村 明博, 山内 正毅, 李 丁範 (1997) タイ人小児の汗腺密度と発汗機能. *Jpn. J. Biometeor.*, 34(3); 214
- 8)近藤 徳彦 (1998) 人の体温調節反応. *神戸大学発達科学部研究紀要*, 5(2); 55 - 66
- 9)都築 和代, 大中 忠勝, 栃原 裕, 加藤 佐枝子 (1995) 母親により選択された室温下での子供と母親の温熱反応. *日生氣誌*, 32(2); 103 - 109
- 10)黛 誠, 田中 信雄, 辻田 純三, 堀 清記 (1981) 児童女子の肥満者と痩身者の下腿温浴時の生理的反応. *日生氣誌*, 18(1); 40 - 45
- 11)C.-E.A.Winslow, L.P.Herrington,(著), 北 博正, 竹村 望(訳) (1974) 温度と人間. 人間と技術社
- 12)小川 徳雄 (1994) 新・汗のはなし. アドア出版
- 13)小川 徳雄 (1998) 汗の常識・非常識. 講談社
- 14)中山 昭雄(編) (1981) 温熱生理学. 理工学社
- 15)入來 正躬(編) (1995) 体温調節のしくみ. 文光堂
- 16)横山 真太郎 (1993) 生体内熱移動現象. 北海道大学図書刊行会
- 17)入沢 宏, 熊田 衛(編) (1991) 新生理科学体系 16. 医学書院
- 18)小宮 秀一, 佐藤 方彦, 安河内 朗 (1988) 体組成の科学. 朝倉書店
- 19)中山 昭雄, 入來 正躬(編) (1987) 新生理科学体系 22. 医学書院
- 20)栃原 裕 (1997) 人工環境の健康影響と快適性. 弘学出版
- 21)小川 徳雄 (1996) 老若男女の温熱生理学 (2) - 性差と加齢の影響 -. *人間と生活境*, 4(1); 2 - 7

日韓女子学生の比較からみた日本人の体温調節反応の特徴
—日韓女子学生の民族服着用における冬季の寒冷及び
夏季の高温環境に対する生理反応—

安河内 朗（研究者番号：10874132）
九州芸術工科大学・芸術工学部・教授

研究協力者：前田享史、近藤恭子、石橋圭太、成恩貞、河地洋子、成秀光

1. はじめに

同じアジアに住むモンゴロイドでいながら、国や地域によって異なる生活文化が存在する。にもかかわらず、同じ人種であることからお互いの文化の違いを軽視しがちとなり、これが相互の理解を困難にしてしまうことが多い。

モンゴロイドには、人種形成期の地球的規模における人類移動の過程で、シベリア定住で寒冷適応した新しいタイプのネオ・モンゴロイドと寒冷適応に至っていない古いタイプのパレオ・モンゴロイドのふたつが存在する。

韓国人は最も耐寒能力に優れたネオ・モンゴロイドの特性をもち、日本人はネオ・モンゴロイドとともにパレオ・モンゴロイドの混血集団と見なされている。両国人のこのような人種的・体質的な違いが、両国の地勢・気候上の影響とともに、和服文化とチマチョゴリの衣文化を発達させた動因をなしていると考えられる。両国の人種形成上の背景の違いが、耐寒耐暑反応や着心地感の違いを生じさせ、地勢や気候の違いとともに現在の衣文化を形成していると推測される。

衣様式の発達には、単に暑さ寒さに対する反応に限らず、着心地に代表される快適感の因子が大きく左右する。体温調節や精神的緊張感、及び快適感を反映する自律神経系や高次神経系の活動水準の様相から総合的に快適度を判定する生理人類学的手法を活用して、この因子の影響を析出し、体質と衣文化の関係を追求する。

本研究で取りあげるテーマは、日韓の人種形成上の背景や体質的な違いを仮定し、そこから生じる両国の衣文化の違いを科学的に理解しようとするはじめての試みである。

2. 方法

実験は九州芸術工科大学の特殊生態実験室（人工気候室）にて実施した。

2-1. 冬季における耐寒反応実験

実験は1998年12月の冬季に実施した。被験者は、日本在住の日本人女子大学生6名、及び韓国在住の韓国人女子学生6名であった。両国被験者間の身長、体重、体表面積、体脂肪比率にみられる身体的特徴はほぼ同じであった（表1）。

使用した和服は、着物、帯、草履など14点、韓服はチョマ、チョゴリ、靴など7点で構成され、それぞれの全重量は3,200g、1,295gであった。また生地はいずれも絹であった。

実験は同国の2名ずつが1組となり、1日1条件、同じ時間帯に実施した。条件の順序は被験者間でランダムとした。被験者は、和服か韓服のいずれかを着用し、コントロール曝露として前室20°C（RH50%）で30分間椅座位安静とした後、5°C（RH50%）の寒冷環境へ立位に近い椅座位で90分間曝露された。さらに、日韓両国のいずれの伝統的衣文化にも属さないTシャツ、ショートパンツの軽装における寒冷反応をみるために、前室25°C（RH50%）での30分椅座位安静後、10°Cと15°C（いずれもRH50%）の2条件下にそれぞれ曝露する実験を実施した。

測定項目は、直腸温、皮膚温7部位（前額、腹部、前腕、手背、大腿、下腿、足背）、酸素摂取量、心拍数、及び温冷感、快適感の主観評価であった。図1に実験のタイムスケジュー

ールを示す。

2-2. 夏季における耐暑反応実験

実験は1999年7月の夏季の実施した。被験者は、日本在住の日本人女子大学生6名、及び韓国在住の韓国人女子学生であったが、先の冬季実験の被験者とは異なった。両国被験者間の身長、体重、体表面積、体脂肪比率にみられる身体的特徴はほぼ同じであった(表2)。

使用した和服は、浴衣、韓服は夏用チョマ、チョゴリで、それぞれの全重量は1,232g、1,151gであった。また生地は和服は木綿、チョマ、チョゴリは絹であった。

実験は冬季実験と同様に同国の2名ずつが1組となり、1日1条件、同じ時間帯に実施した。条件の順序は被験者間でランダムとした。被験者は、和服か韓服のいずれかを着用し、コントロール曝露として前室26°C (RH50%) で30分間椅座位安静とした後、35°C (RH50%) の高温環境へ立位に近い椅座位で90分間曝露された。さらに、T-シャツ、ショートパンツの軽装における耐暑反応をみるために、前室28°C (RH50%) での30分椅座位安静後、37°C (RH50%) の条件下に曝露する実験を実施した。

測定項目は、直腸温、皮膚温7部位(前額、腹部、前腕、手背、大腿、下腿、足背)、発汗率、心拍数、及び温冷感、快適感の主観評価であった。図2に実験のタイムスケジュールを示す。

以上の実験データから、和服着用時の日韓の差、韓服着用時の日韓の差を、あるいは日本人が着用したときの日韓民族服の差、韓国人が着用したときの日韓民族服の差を、T-シャツ・ショートパンツの軽装時寒冷曝露実験のデータと併せ、生理的・心理的耐寒性反応の違いから検討する。

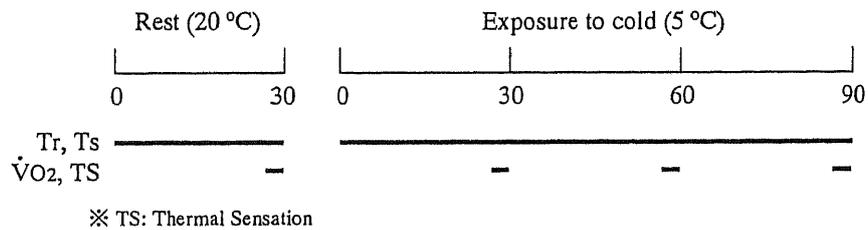
表1 冬季の日本人韓国人両被験者の身体的特徴

		身長(cm)	体重(kg)	体表面積(m ²)	体脂肪比率(%)
日本人	平均	158.7	49.4	1.46	23.1
	標準偏差	3.6	3.4	0.05	3.0
韓国人	平均	157.8	49.4	1.52	26.0
	標準偏差	5.5	6.5	0.11	1.7

表2 夏季の日本人韓国人両被験者の身体的特徴

		身長(cm)	体重(kg)	体表面積(m ²)	体脂肪比率(%)
日本人	平均	162.3	55.5	1.56	26.8
	標準偏差	5.3	5.9	0.11	2.6
韓国人	平均	157.8	50.2	1.47	23.8
	標準偏差	2.9	3.2	0.03	3.3

○民族服(和服・韓服)



○Tシャツ、ショートパンツ

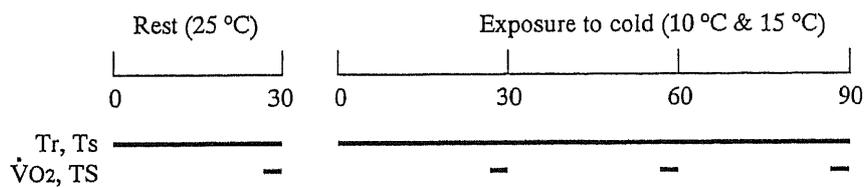
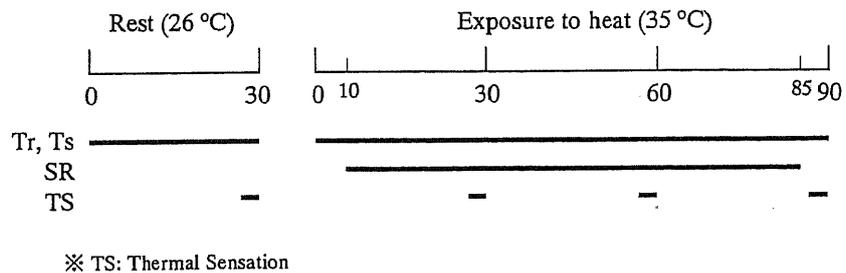


図1 冬季における寒冷実験のタイムスケジュール

Tr : 直腸温、Ts : 皮膚温、 $\dot{V}O_2$: 酸素摂取量、TS : 主観申告

○民族服(和服・韓服)



○Tシャツ、ショートパンツ

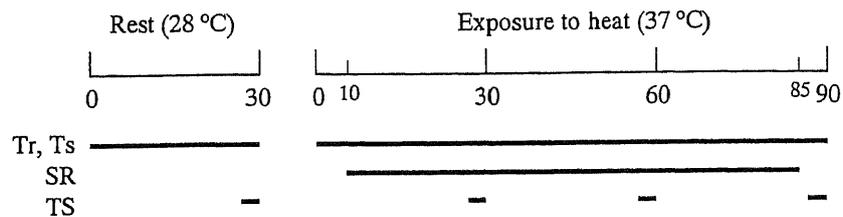


図2 夏季における高温実験のタイムスケジュール

Tr : 直腸温、Ts : 皮膚温、SR : 発汗率、TS : 主観申告

3. 結果と考察

平均皮膚温、直腸温については前室曝露最後の5分間の平均値に対する変化量を分析の対象とした。分散分析について、民族着用実験では、民族、民族服、時間を要因とする被験者繰り返しの3元配置の分散分析を、T-シャツ・ショートパンツ着用実験では、民族、室温、時間を要因とする被験者繰り返しの3元配置の分散分析をそれぞれ実施した。

3-1. 冬季の結果と考察

図3にT-シャツ、ショートパンツ着用時における10°Cと15°Cの条件ごとの平均皮膚温の変化量を示す。分散分析の結果、民族、民族服、時間のそれぞれの主要因に有意な(いずれも $p<0.01$)違いがみられ、また民族と民族服の間には有意な交互作用($p<0.01$)があった。図より、日本人被験者より韓国人被験者の方が平均皮膚温の低下量は有意に低く、その違いは10°Cでより大きくなった。

図4に民族服別、民族別の平均皮膚温の変化量を示す。分散分析の結果、T-シャツ、ショートパンツ条件と同様に各主要因に有意な差(いずれも $p<0.01$)がみられ、また民族と民族服の間には有意な交互作用($p<0.01$)があった。T-シャツ、ショートパンツ条件では、日本人被験者は常に平均皮膚温低下量が低かったが、和服着用においてその民族間の差はほぼ消失した。また日本人と韓国人の両被験者も和服よりも韓服着用時に有意に平均皮膚温低下量は増大し、その差は韓国人被験者においてより大きい傾向であった。

図5にT-シャツ、ショートパンツ着用時における10°Cと15°Cの条件ごとの直腸温の低下度の変化を示す。分散分析の結果、民族、民族服、時間のそれぞれの主要因に有意な(いずれも $p<0.01$)違いがみられ、また民族と民族服の間には有意な交互作用($p<0.01$)があった。図より、直腸温の低下度は15°Cでは韓国人被験者の方が、10°Cでは日本人被験者の方がそれぞれ大きい傾向を示した。しかしながら、10°Cのより寒い環境において日韓いずれの被験者も曝露全体にわたって平均値で前室の値より低下することはなかった。

図6に民族服別、民族別の直腸温の低下度の変化を示す。分散分析の結果、T-シャツ、ショートパンツ条件と同様に各主要因に有意な差(いずれも $p<0.01$)がみられ、また民族と民族服の間には有意な交互作用($p<0.01$)があった。直腸温の低下度は、日本人被験者においては和服より韓服着用時に、韓国人被験者においては韓服より和服着用時にそれぞれ直腸温の低下が抑制される傾向を示した。

図7にT-シャツ、ショートパンツ着用時における10°Cと15°Cの条件ごとの体重あたり酸素摂取量の変化を示す。分散分析の結果、時間の主要因のみに有意な違い($p<0.01$)がみられ、それ以外の差はみられなかった。図より、日本人より韓国人のいずれの被験者にも寒冷曝露時間の経過に伴う有意な増大はみられるが、その程度は各温度条件で民族間の差はみられなかった。

図8に民族服別、民族別の体重あたり酸素摂取量の変化を示す。分散分析の結果、時間の主要因に有意な差($p<0.01$)がみられ、また民族と民族服の間には有意な交互作用($p<0.01$)があった。図より寒冷に対する代謝反応は、日本人被験者においては和服より韓服着用時に、韓国人被験者においては韓服より和服着用時にそれぞれ有意に高まっており、この違いがそのまま直腸温の低下度の差に反映されていると思われる。

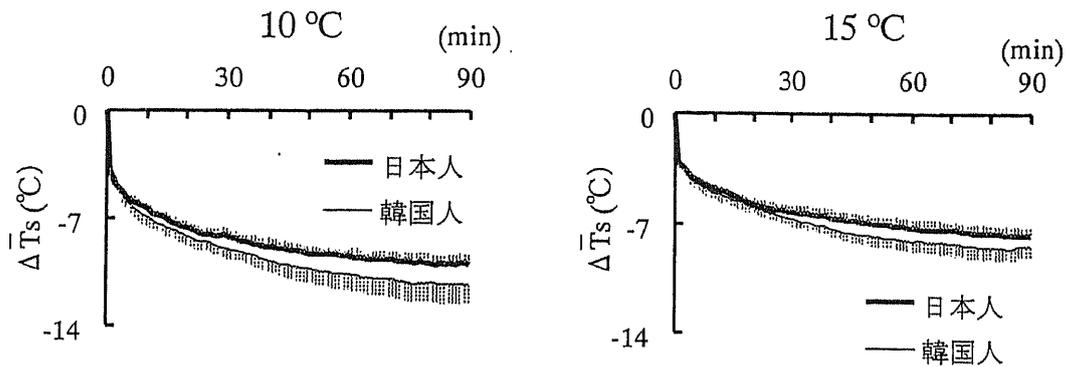


図3 T-シャツ、ショートパンツ着用時の民族別寒冷曝露時平均皮膚温変化量
(平均値±標準偏差)

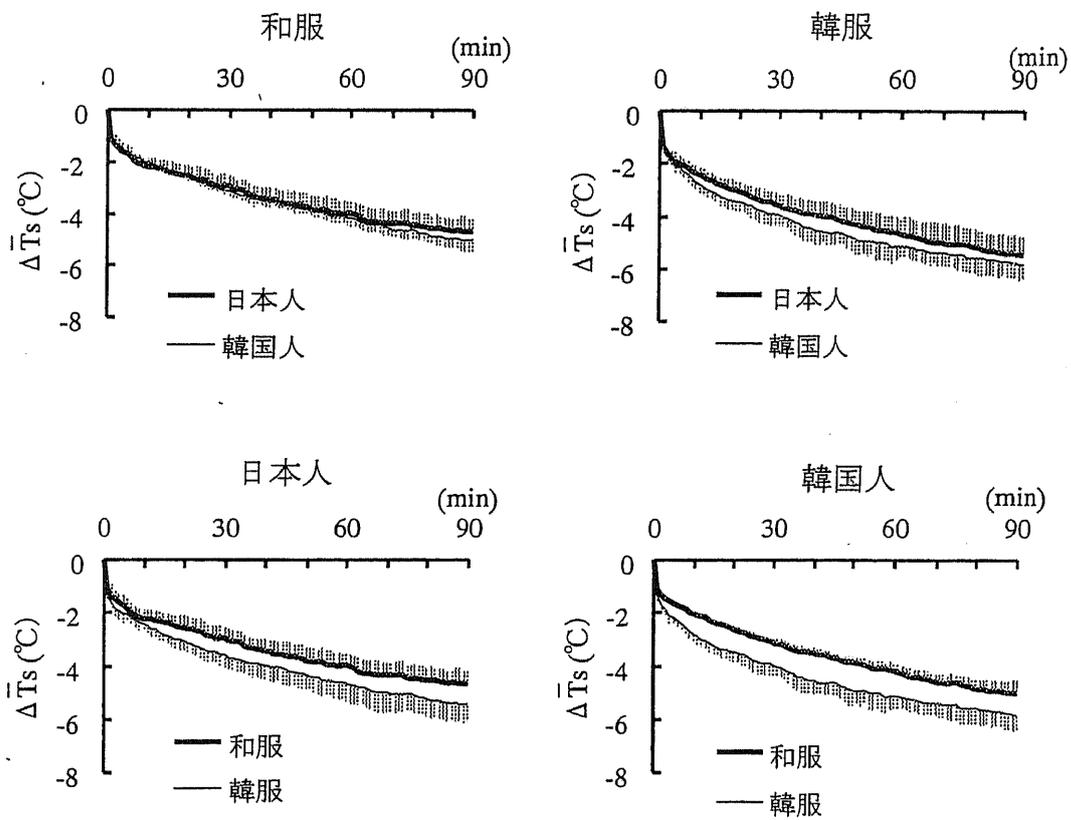


図4 民族別、民族服別の寒冷曝露時平均皮膚温変化量
(平均値±標準偏差)

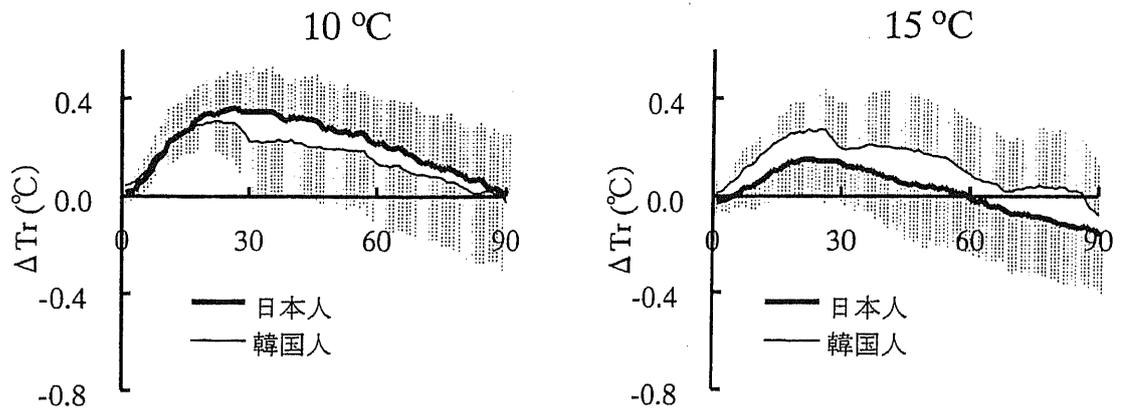


図5 T-シャツ、ショートパンツ着用時の民族別寒冷曝露時直腸温変化量
(平均値±標準偏差)

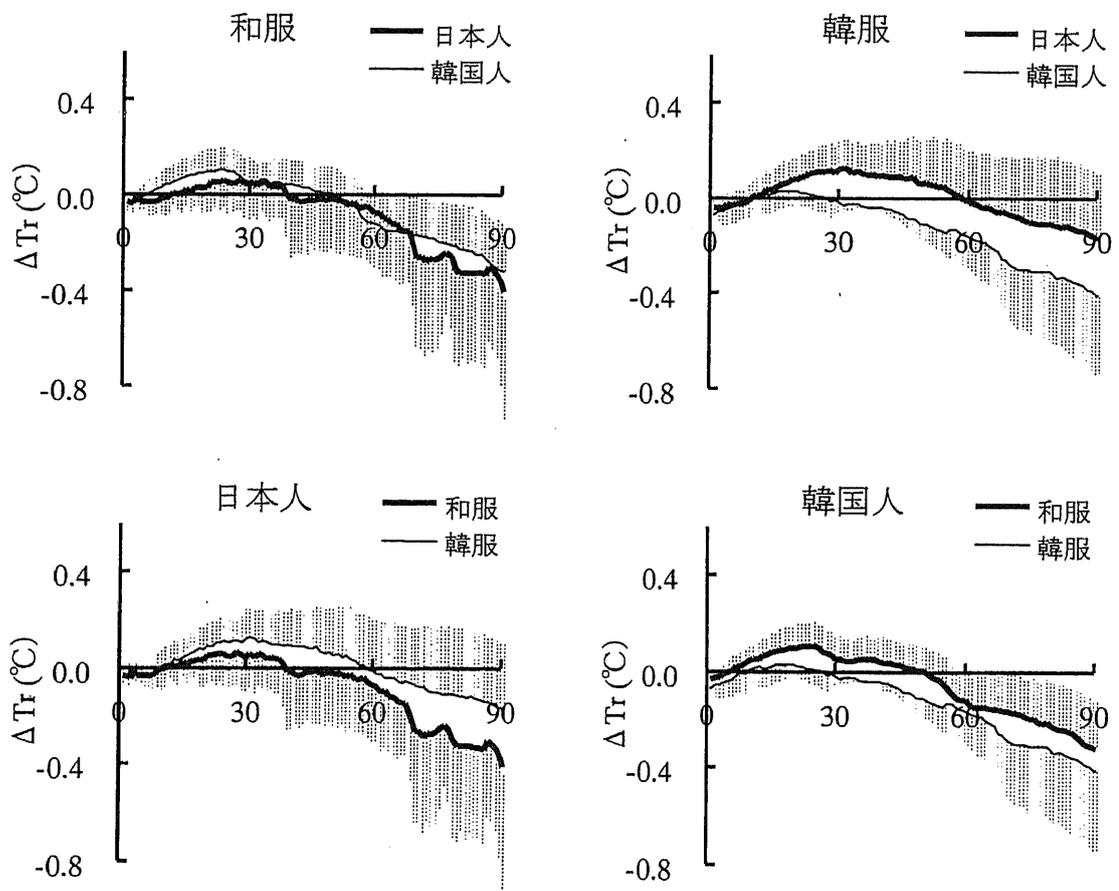


図6 民族別、民族服別の寒冷曝露時直腸温変化量
(平均値±標準偏差)

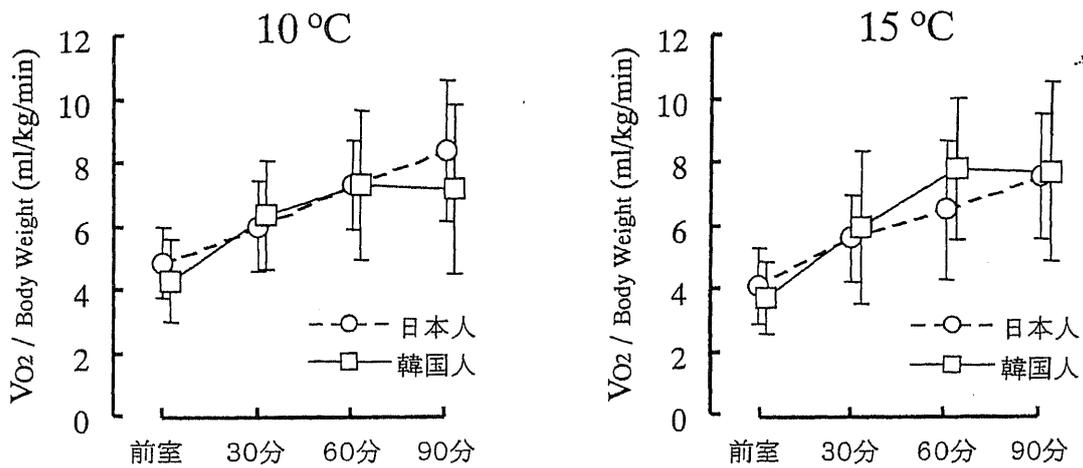


図7 T-シャツ、ショートパンツ着用時の民族別寒冷曝露時体重当たり酸素摂取量
(平均値±標準偏差)

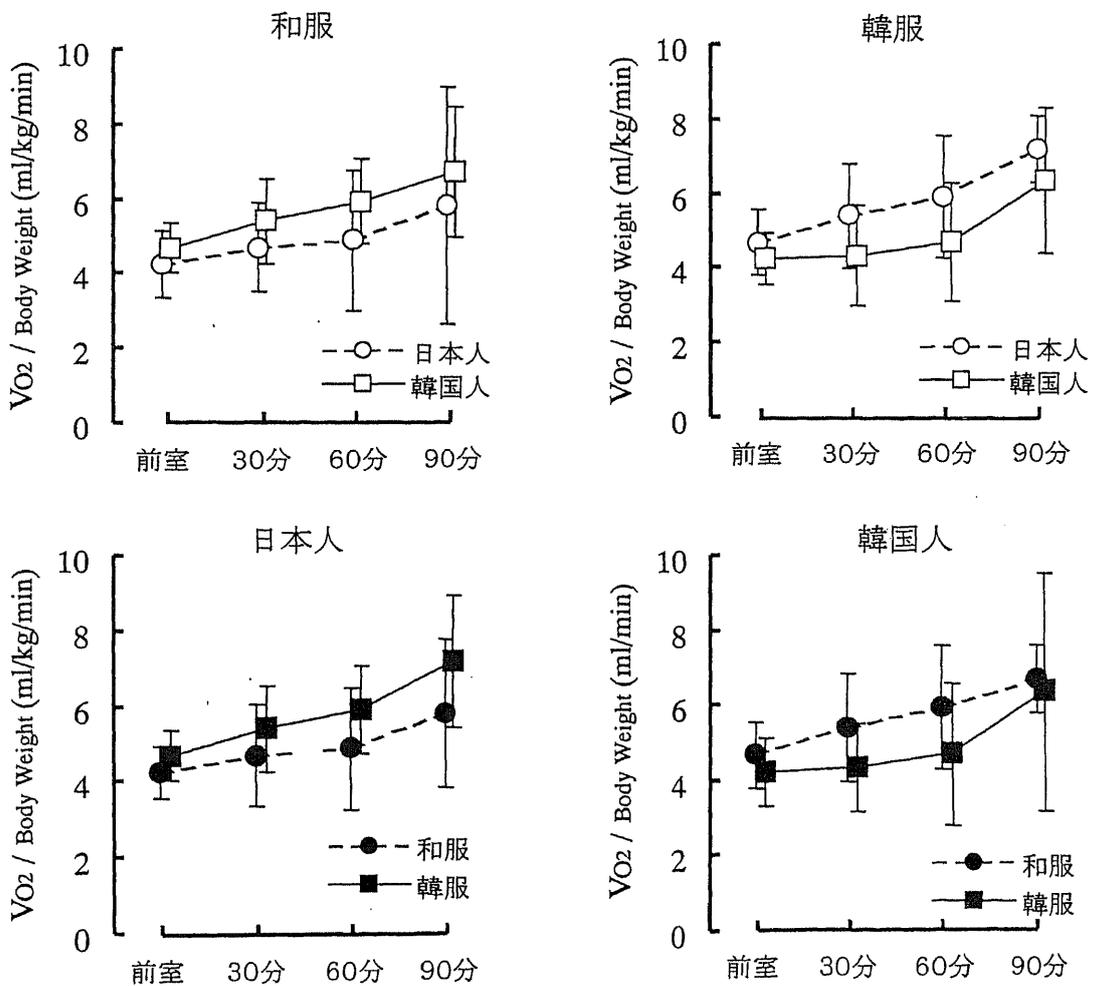


図8 民族別、民族服別の寒冷曝露時体重当たり酸素摂取量
(平均値±標準偏差)

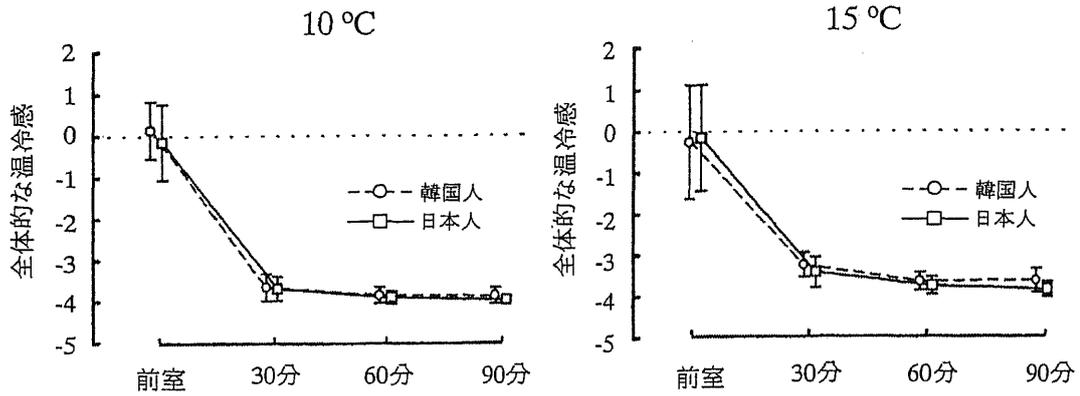


図9 T-シャツ、ショートパンツ着用時の民族別寒冷曝露時の全体的温冷感
(平均値±標準偏差)

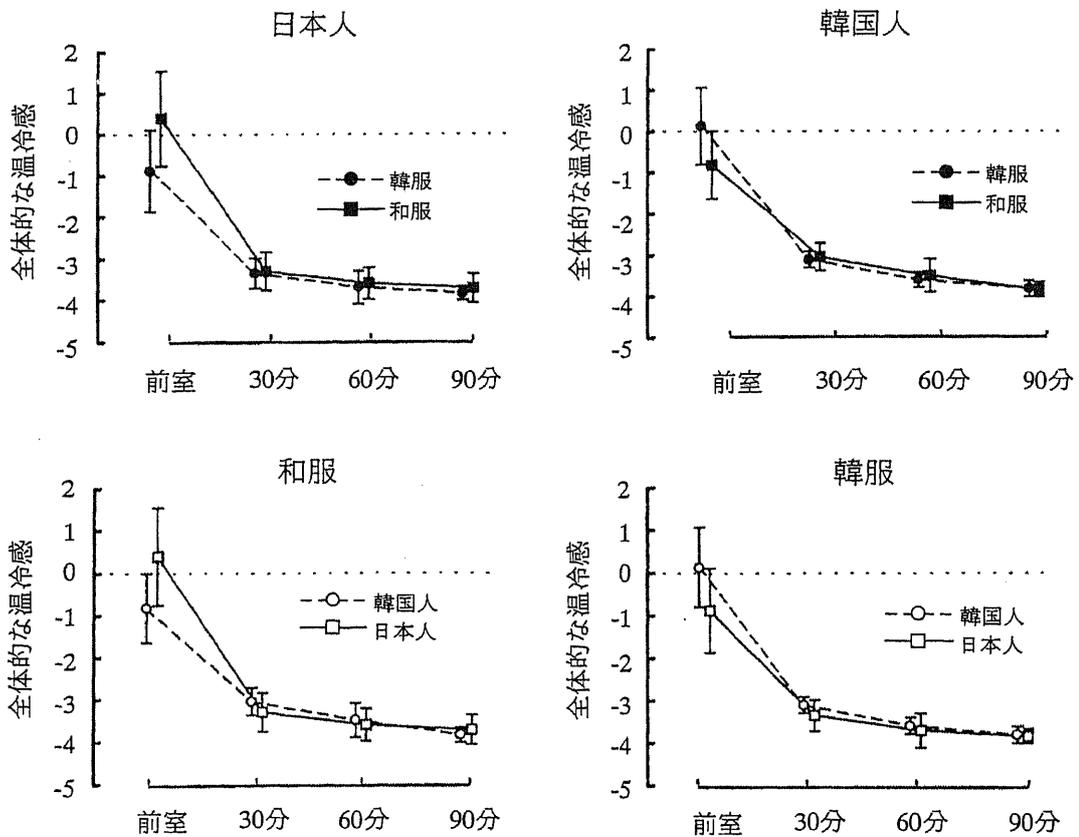


図10 民族別、民族服別の寒冷曝露時の全体的温冷感
(平均値±標準偏差)

図9にT-シャツ、ショートパンツ着用時における前室及び10°C、15°Cの条件ごとの全体的な温冷感の変化を示す。いずれの温度条件においても全体的な温冷感に民族間の差はみられなかった。

図10に民族別、民族服別の全体的な温冷感を示す。寒冷曝露中では、民族間にも民族服間にも全く違いはみられなかったが、温熱的に中立である前室において和服着用時には韓国人被験者が、韓服着用時には日本人被験者がそれぞれ「やや涼しい」と答えたのに対し、それぞれ自国の民族服着用時には「どちらでもない」と答えた。

以上より、本実験において以下のような結論が示唆された。

- (1) 韓国人被験者は、寒冷下で基本的に皮膚温を低く維持するが、体温維持能力に日韓両被験者間の差はなかった。
- (2) 異文化の衣服を着用することによって、直腸温の低下度に差が生じるほど寒冷下の代謝反応に影響することが示された。
- (3) 異文化の衣服着用時の温冷感は、環境温度のストレスが小さい方が影響を受けることが示された。

3-2. 夏季の結果と考察

図11に和服と韓服のそれぞれの着衣条件における民族別の平均皮膚温の変化量を示す。分散分析の結果、民族及び民族服の各要因について有意 ($p < 0.01$) な主効果と両要因間の有意な交互作用 ($p < 0.01$) がみられた。図より和服では日本人被験者の方が、韓服では韓国人被験者の方がそれぞれ平均皮膚温の上昇度は大きいことが示された。

図12に和服と韓服のそれぞれの着衣条件における民族別の直腸温の変化量を示す。分散分析の結果、民族 ($p < 0.05$)、民族服と時間 (ともに $p < 0.01$) の各々に有意な主効果及び民族と民族服間の有意な交互作用 ($p < 0.01$) がみられた。図より、韓服においては韓国人

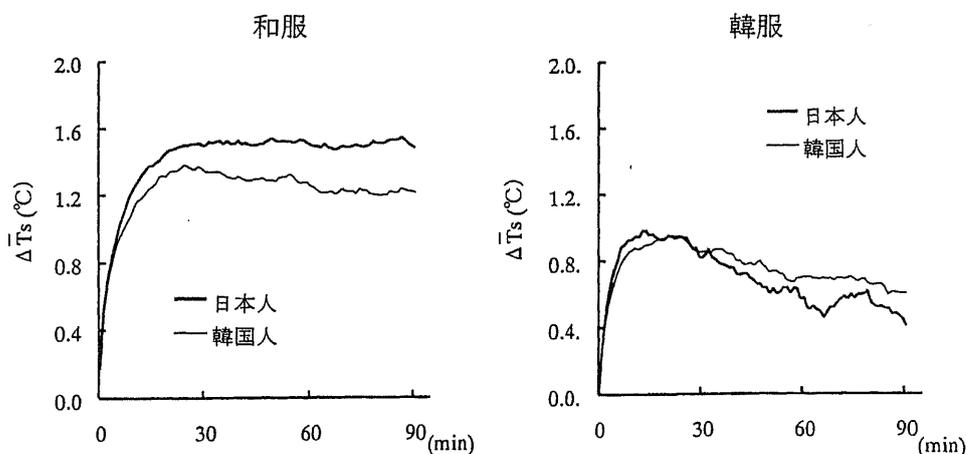


図 11 民族服別の高温曝露時の平均皮膚温変化量

被験者の方が直腸温の上昇は小さくなり、また和服においては両国ほぼ差がないことが示された。T-シャツ、ショートパンツ着用における直腸温の上昇（図13）が日本人被験者において大きかったことから、和服における直腸温の上昇に両国の差がなかったのは日本人被験者の平均皮膚温の上昇が和服用により高くなったためと考えられた。

以上のことから日本人、韓国人の両被験者ともに異文化の民族服着用時において平均皮膚温の上昇は抑制され、それが直腸温の上昇にそのまま反映されたと考えられた。

冬季の寒冷環境と夏季の高温環境で実施された日本人と韓国人の被験者に対する民族服着用実験において、それぞれの自国民族服の着用時の方が体温を維持する上でより効果的な耐寒、耐暑反応を示すことが示唆された。したがって衣文化の違いは、同じ環境温度でも快適な衣服のデザインやその着用条件にも影響することが明らかにされた。このことは、衣文化にとどまらず、生活文化全般に視野を拡大したとき、それらの違いが快適な生活様式に大きく影響することを示唆すると考えられた。

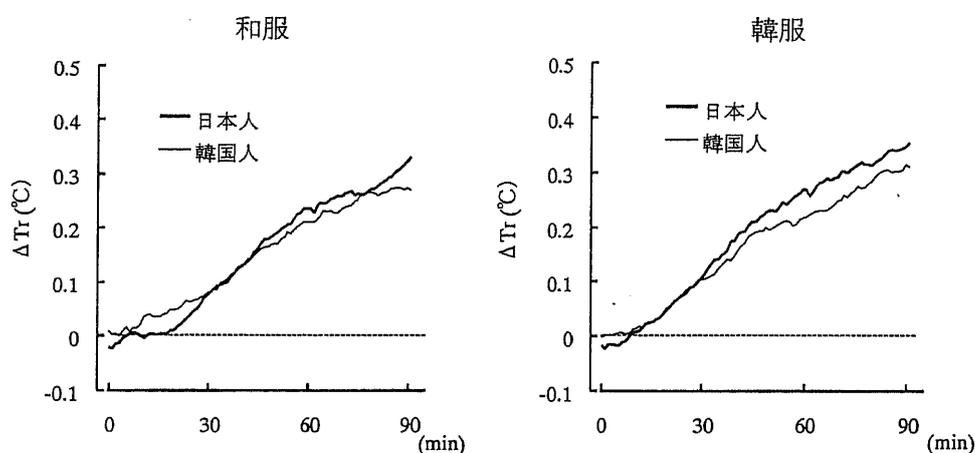


図 12 民族服別の高温曝露時の直腸温変化量

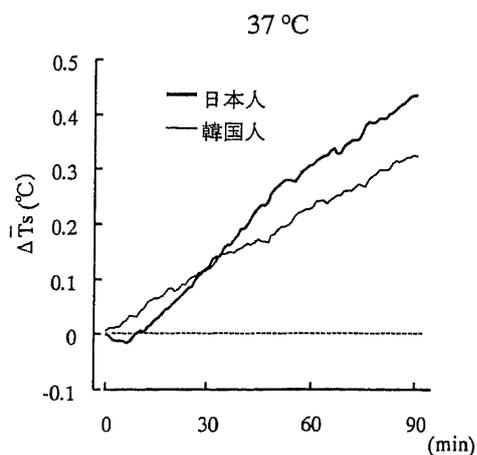


図 13 T-シャツ、ショートパンツ着用時の高温曝露時の直腸温変化量

理論生理人類学からみた日本人の体温調節能の特徴

佐藤方彦（研究者番号：10038937）

文化女子大学・教授

人類学では古くから気候適応能の研究が進められてきた。さらに、国際生物学事業計画の人間の適応能セッションが研究資料の国際交流を促進し、今日までに、人類集団の体温調節機能の特性が次第に明らかにされつつある。さまざまな指標が考案され活用されているが、それぞれに特徴と限界があり、一つの指標で日本人の体温調節機能の特徴を明確にするものは未だ開発されていない。さらに、いろいろな人種にわたって研究資料のある指標はきわめて少ない。したがって、体温調節にかかわる多様な身体特性を広く比較検討し、その中から日本人の特徴を抽出することが求められよう。

1) 体温調節にかかわる身体特性

熱帯森林から熱帯草原に進出した人類の人口は次第に増加した。そして熱帯を離れて広大な温帯地域や高緯度の寒帯へと移住するグループが現れるようになった。温帯気候はケッペンが最も寒い月の平均気温が 18°C からマイナス 3°C の間の気候としたものである。その中にはかなり暖かいところから寒いところまでの広範な地域が含まれる。さらに、最寒月の平均気温が 3°C 以下で最も暖い月の平均気温が 10°C 以上の亜寒帯も、最暖月の平均気温が 10°C 以下の寒帯も、すでに先史時代のうちに、人類の生活圏に組み込まれていたのである。より寒冷な地域へと生活圏を拡大した人類はどのような耐寒能力を獲得したのであろうか。

日本人は短い四肢、ずんぐりした体格が特徴である。従来、日本人は胴長短足であることが強調されているが、これはコーカソイド、特に、北方人種や東方人種などの長身の白人グループとの比較から生じたものであろう。一般に、日本人は、東南アジア系の人々よりも身長が大きく、黄色人種の中ではやや背の高い方に属する。特に、思春期以前は、北方人種や東方人種と比較しても、それほど劣らない傾向を示す。しかし、男性では14歳、女性では12歳を過ぎるところから成長速度はこれらのコーカソイド群よりも遅くなる。体重も身長と似たような成長傾向を示す。東南アジア系の人々よりも重いが、15歳を過ぎる頃からは、コーカソイド群よりも体重が小さくなる傾向を示すようになる。世界にはさまざまな人種が生活しており、各人種内の体格の変異も大きく、一概に比較することは難しいが、日本人の体格は世界の人種の中ではほぼ中程度の範囲にある。また、身長をはじめ、人体計測の諸項目の平均値がここ30年ほど斬増傾向にあることも特徴をなしている。

人間は生活圏を拡大して行く過程で、日射の弱い寒冷な新しい環境へ適応するために、いろいろな身体形質を獲得したのであった。強い紫外線から身をまもるために必要だった黒い肌は薄い色に変えねばならなかった。そして、体重に比べて高い比率の体表面積をもつ放熱に有利な体型も気候に合わせて変化することが必要になった。寒冷な気候では体重に比べて体表面積の小さいことが望ましい。このことは恒温動物一般で認められベルグマンの法則とされている。また、寒冷地方の個体は熱帯地方の同種の個体と比べて、首、肢、尾などが短い傾向にある（アレンの生態学的法則）。いずれも寒冷での体温維持に有効な放熱面積の比率の小さな体型をつくるために生じた現象と考えられている。これらの生態学的法則は人類にも比較的よく当てはまる。たとえば、南北アメリカ大陸に生活するアメリカインディアンの分布にもその傾向が認められる。低緯度地方には身長が 160cm 以下の種族が集中し、高緯度地方には 180cm にもおよぶ高身長の種族がみられ、ベルグマンの法則に合致するのである。その例外であるエスキ

モーは下肢が短く、アレンの法則に当てはまる。

一般に寒冷気候への適応形質と考えられているモンゴロイド系の人々についても、体重に対する体表面積の比率と居住地の年平均気温の関係はベルグマンの法則にそった傾向を示す。熱帯から寒帯までにわたって地球上に広く分布している様々なモンゴロイド系グループについて今日までに発表されている体型資料を用いて、体重・体表面積比（Y）と居住地の年平均気温（X）との関係を検討すると、男性で $Y = 262 + 1.01X$ 、女性で $Y = 268 + 1.00X$ の関係式を算出し得る。日本人は男女ともに、この関係式によく合致した状況にあり、他の集団とともにベルグマンの法則に沿った人類の分布特性を構成している。体温調節機能は日本人の中において変異が大きい。様々な要因が関与しているが、上記の居住地の影響は下臨界気温の変異の中に析出される。同様に年平均気温と四肢長・体重比を種々の民族について比較すると、アレンの法則に従った傾向が認められる。

頭の形態についても同じようなことがみられる。世界には頭の大きな人も小さな人もいるが、平均して、熱帯地方に住む人の脳頭骨容量は1297cc、寒帯と温帯の人々では1386ccと推定されている。脳は生きていて大量の熱を発生する。働いているときに熱の発生が多く、休んでいるときには少ない筋肉などの他の器官とは著しく違うのである。生きていてかぎり発生する大量の熱を放散するために、熱帯地方に住む人々は脳の大きさに比べて表面積の大きな頭、つまり、小さくて前後に長い頭を持つようになった。一方、体熱の放散を防ぐ必要のある寒い地域に住む人々の頭は大きく丸くなったと考えられている。

日本人の頭指数については1910年代に80.8、1940年代の資料では83.8と発表されている。世界的にみると、高温地域の人々の頭指数は平均して77.3、低温地域の人々の平均は81.6になると報じられている。これをさらに、気温の順に高温低湿、高温多湿、低温多湿、および、低温低湿に分けると、その順番に頭指数が並び、ベルグマン・アレンの法則に合致した分布を示すことが認められる。ただし、頭型は必ずしも気温の要因だけで決まるのではなく、栄養状態や文化的或は社会的な影響もあると考えられている。

日本人の体組成は、水中秤量法、レントゲン法、カリウム法、体水分量法、CT法、超音波法など、いろいろな方法で実施されている。それらの推定結果が、日本人特有の偏りを生ずるようなことはない。しかし、人体計測による間接法では、皮下脂肪厚や四肢の周径などに人種差があるために、日本人を対象とした男女別の推定式が開発されている。しかし、欧米諸国でそれぞれの国の人々を対象として開発されたものの中にも日本人に用いても推定誤差が比較的少なく、実用に耐えるものの存在する。従来の諸研究によると、日本人では、欧米人とは異なり男女とも、腹部の皮下脂肪厚が体密度と高く相関することが指摘され、この項目を推定式に用いることが推奨されている。しかし、諸外国、特に、白人群による検討に比べると資料が少なく、確定的な結論とするには必ずしも充分ではない。また、ほとんどの研究結果が、女性では男性よりも推定成績が低くなる傾向を示しているが、このような現象は白人のポピュレーションでも認められている。今日まで、性別の上に年齢や身体活動度などの違いによって使い分けるものなど、少なからぬ数の日本人用の推定式が発表されているが、それらの必ずしも満足できないことや、外国資料との比較や実用上の簡便性もあって、上腕背側部と肩甲下部の皮下脂肪厚で体密度が推定されることも少なくない。

体脂肪に関する日本人の資料は皮下脂肪厚の測定結果が多い。それらの総てが日本人でも皮下脂肪厚に性差があり、女性の方が大きいことを示している。皮下脂肪厚の大きい部位としては、男女とも、腹部や背部が挙げられている。加齢変化に性差があり、男性よりも女性で加齢にともなう増減が大きいことを示す資料も少なくない。青少年期より皮下脂肪厚が次第に増加し、ある年齢から減少に転じることは各資料に共通しているが、それが最大となる年齢については必ずしも一致した結果は得られていない。一般に、女性では若いころから皮下脂肪厚が大きく、かつ、高齢での減少が著しく、男性では中年以降に皮下脂肪の沈着が顕著になる傾向が認められている。また、上腕部、背部、腹部などの皮下脂肪厚が、男性では30歳代、女性では40歳代が最大となるとする指摘もある。皮下脂肪厚は外国の資料でも男性では30歳代に最大となる傾向がある。しかし、女性では皮下脂肪が最も厚くなる年齢は白人群では50歳代で、日本女性は皮下脂肪厚の減少が10年ほど早く始まることになる。体内深部脂肪量も含めた体脂肪量は、男女とも50歳代で最大となることが報じられている。また、除脂肪比率が、男性では20歳代、女性では30歳代で最大に達し、体重が、男性では40歳代まで、女性では50歳代まで増加する傾向が強調されることもあるが、確定的ではない。

一般に、体重の増加は男女とも体脂肪量の増加が原因であり、また、体重の加齢減少は、男性では除脂肪成分を中心とする体細胞量の減少が、女性では脂肪成分を中心とする体細胞量の減少が主因になると考えられている。また、肥満者は、男性では、腹部の脂肪沈着が大きく上腕部の沈着は少なく、女性では、上腕を含めて全身的に皮下脂肪厚が大きくなる傾向があるが、その中でも背部と腹部の皮下脂肪が最も厚くなることが指摘されている。幼児期から青年期までの皮下脂肪厚の国際比較では、日本人は男女とも、ほぼ同じような傾向を示している。日本人は、シンガポール、スーダン、ポーランド、イギリス、ドイツ、インド、或は、スイスの人々に比べて、皮下脂肪が厚い傾向にある。同様に、女性も、上記の国の人々に比べて、日本人は上腕背側部と肩甲下部の皮下脂肪層が厚い傾向にある。男性女性ともに、九州の青少年は東京の青少年よりもさらに大きい皮下脂肪厚を示している。

平均年齢20.5歳の413名の男子学生と平均年齢19.5歳の51名の女子学生について、上腕背側部と肩甲下部の皮下脂肪厚を測定し、栄養状態や甲状腺ホルモンとの関係を検討した。男性の体脂肪比率の平均は15.4%、女性の平均は22.4%であった。基準男女の体脂肪比率より、ともに、低めの数値であった。ただし、日本人についての基準数値は未だ作成されていない。413名の男性中、体脂肪比率が10%未満の痩身者は0.3%、20%以上の肥満者は7.9%、また、51名の女性中、体脂肪比率が20%未満の痩身者は20%、30%以上の肥満者は4%である。男子学生に肥満者が多く、女子学生に痩身者が多いことになる。あるいは、近年における日本人男女学生の一般的傾向を示す。更に、5ヶ月後、体脂肪比率の高い者を男女それぞれ5名ずつ、体脂肪比率の低い者を男性5名と女性4名の合計19名を選び出し、水中秤量法で体組成を測定するとともに、絶食中の血清の甲状腺ホルモンと脂質のレベルを測定した。測定当日の女性肥満群は、5ヶ月前よりも減量の傾向が顕著で、その体脂肪比率は女性全体の平均値に近づいていた。男性痩身群の全コレステロールは男性肥満群に比べて明らかに低く、女性肥満群と男性痩身群の全コレステロール、及び、男性痩身群と女性両群のトリグリセロイドも明らかに低い。他方、男性肥満群の血清コレステロールとトリグリセロイドは正常値である。非エステル化脂肪酸は全

群にわたって正常範囲であった。以上の結果は、女性肥満群、男性痩身群、女性痩身群の栄養状態がかなり低いレベルにあることを示すものである。女性肥満群の中には減量に努力したものが少なくないことが示唆されるものであるが、このような急激な体組成の変化が、特に、若い女性の肥満者で時々生ずる現象である。なお、これら19名の甲状腺ホルモン、T4（チロキシン）、T3（トリヨードチロリン）、及び甲状腺刺激ホルモン（TSH）は正常レベルにあった。各グループ間では、男性群のT3は女性群に比べて明らかに高いレベルにあり、T4も、程度は僅かに弱いものの、同様の傾向である。これらの結果は、血清の甲状腺ホルモンのやや低い濃度が女性被験者の脂肪蓄積に部分的には影響していることを示すものであろう。甲状腺ホルモンの分泌が過剰になると、血清の脂質のレベルが低下したり、体重が減少することが、甲状腺障害の患者について良く知られている。一方、甲状腺機能減退の患者は血清の脂質レベルが上昇し体重も増える。しかし、これらの病的な状態とは異なり、正常範囲での甲状腺ホルモンの変化が血清脂肪レベルや体脂肪量に与える影響についての研究は極めて少ない。上記の結果は、正常範囲内における甲状腺ホルモンの変異も脂肪代謝に明確に影響することを認めたものである。

成長とともに体重も、除脂肪量も、また、体脂肪も増加する。6歳から20歳までの約1000人の男性と約800人の女性の資料より、これらの成長の相対関係を求めて、諸外国のデータと比較すると、日本人の成長に伴う体組成の変化の特徴の一面が見られる。日本人男性は子供のころ体重の割に体脂肪量が少ないことを反映して、その直線は最も低いレベルにある。また、すでに記したように、この年齢層では、諸外国のデータに比べて皮下脂肪は多い方なので、内臓の周りなど体内深部に分布する脂肪量が少ないことを示唆している。相対成長係数の0.990という数値は、体重と体脂肪とがほぼ等成長であることを示し、かつ、他のグループの相対成長係数のほぼ中間である。体重と除脂肪量の相対成長も、相対成長係数は0.98と算出され、ほぼ等成長である。体脂肪量とは異なり、子供の頃の除脂肪量に特別な違いがないことを反映して、この年齢層の日本人男性の相対成長は他のグループとほぼ同じであることが認められる。女性についても、日本人、ドイツ人、ノルウェー人、イギリス人の間に大きな違いはなく、ともに相対成長係数は1.0より大きく、体脂肪量の成長が体重のそれよりも大きい優成長を示す。男性とは異なり、女性では体脂肪量が日本人で、特に、少ないことはなく、日本人の直線は他とほぼ同じレベルにある。体重と除脂肪量の相対成長は、相対成長係数は0.86となり、日本人女性も諸外国の女性と同じく、除脂肪量の成長が体重のそれよりも小さい劣成長を示す。このように、体重と除脂肪量の関係の成長にともなう変化においては、人種差よりも性差の方が大きい。青年期から中年期にかけては皮下脂肪厚は一般に増加する。特に、躯幹の中央部の皮下脂肪厚にその傾向が顕著である。男性の上腕背側部の皮下脂肪厚はほぼ同じレベルを示すが、男性の肩甲下部と女性の両部位の皮下脂肪厚は増加傾向を示す。中年以上では、男女とも、皮下脂肪厚は減少する。

18歳から24歳までの若い成人と58歳から81歳までの高齢者を比較すると、皮下脂肪厚の平均値は、女性では青年群が厚く、男性では高齢群の方が厚い。女性の皮下脂肪が若い頃から厚く、高齢期に大きく減少するためである。女性では、特に、上腕部、膝部、大腿部、下腿部などの四肢部の皮下脂肪厚が青年群でより厚い。男性では、胸部や腹部などの躯幹部の皮下脂肪

厚が高齢群のより大きい皮下脂肪厚平均値の原因をなしている。また、体脂肪比率は女性の方が男性よりも大きい。皮下脂肪厚の平均値からもとめた皮下脂肪量を体脂肪量より引いて、体内深部脂肪量をもとめると、男女両性とも高齢者群は体内深部脂肪が多く、特に、女性では加齢とともに皮下脂肪量の明瞭な減少がみられる。皮下脂肪量は体重とともに加齢にしたがって増加し、50～54歳のグループでは約11.1kgと最大に達し、54歳以降は減少する。体水分量は19～54歳までは約34リットルで、ほぼ一定の水準を維持する。したがって、体重に対する体水分量（体水分比）は加齢とともに減少する傾向になる。体脂肪量は9～14歳までの最年少群で6.5kg、50～54歳のグループではそのほぼ3倍の21.1kgになる。体脂肪比率も最年少群の15.7%から50～54歳までのグループの30.4%へと増加する。体内深部脂肪量も同様な傾向をみせ、50～54歳のグループで9.9kgと最大に達する。体脂肪量に対する皮下脂肪量の比率は9～14歳のグループで68.1%を数えたが、加齢とともに減少し、61～77歳のグループで47.5%と最小を示す。逆に、体内深部脂肪量の比率は加齢とともに増加して、9～14歳のグループで31.8%であったのが、最高齢者群では52.4%と最大となる。日本人の皮下脂肪と体内深部脂肪の分布についての研究は未だ少ないが、若年者では皮下脂肪の比率が高く、高齢者では体内深部脂肪の比率が高い傾向が報じられている。加齢に伴うこのような脂肪分布の変化には、日常の活動量が加齢に伴って減少することの影響が少なくない。また、体水分量の体重に対する比率が高齢者で低下するのは細胞内水分量が減少することによる。高齢者の基礎代謝量が低いことは活性細胞量の減少に起因すると想像される。

日本人の体力については、体力テストの成績や最大酸素摂取量、あるいは、無酸素的作業閾値の人種比較が試みられている。それらの結果は、日本人の体力はアジアではやや高い部類に属し、欧米諸国と類似の傾向を示している。呼吸循環機能については、肺気量や肺拡散能、あるいは、心係数や心拍出量などの人種比較がまとめられている。体格の違いを補正した肺気量は日本人は黄色人種の中では大きな部類に属する。日本人の肺拡散能は白人よりも小さく、平均値は白人に対して日本人は、男性が約85%、女性が約79%ほどしかない。しかし、肺胞内気量で補正した肺拡散能は、男女ともに、肺胞内気量1リットル当り大体6.0リットル弱となり、日本人と白人で違いがなくなる。若い日本人男女は若い白人男女よりも小さな肺拡散能を示すが、その原因は肺胞内気量の違いによることが示される。肺のサイズにとらわれない基本的な肺拡散機能を示すとされる肺胞内気量当りの肺拡散能（diffusion constant、transfer factor）には日本人と白人の間に差がない。肺全体の機能を示す肺拡散能そのものは、日本人は若いうちは白人よりも明瞭に小さい。加齢とともに、次第に、日本人と白人との違いが認め難くなる。他方、基本的な肺拡散機能は、加齢とともに差が生じる。加齢にともない肺拡散能は小さくなるが、白人の方が低下量が大きいことから生じる現象である。その原因として、肺胞や毛細血管の数の減少、肺胞から血液までの組織の硬化や距離の増大、赤血球や心拍出量の減少などの人種差が想定されている。極く少数の先進国の人々に比較データが限られるという条件つきではあるが、肺拡散機能の日本人の特徴と見なされよう。酸素摂取量と心拍出量の関係をさまざまな人種・民族にわたって比較すると、人種・民族間に回帰係数の違いが少ない。しかも、日本人はカナダやアメリカの白人とともに、ほぼ平均的な傾向を示す。また、酸素摂取量が1リットルの条件での心拍出量を比較すると、日本人は、青年男性が10.0リットル/分

とほぼ中間的な値、中年男性が9.2リットル／分で、やや低い部類、青年女性もほぼ中間に位置する。さまざまな人種・民族にわたって推定した単位酸素摂取量当りの心拍出量は、全体として、体重の大きいほど大きい。酸素摂取量と同じでも体が大きいと心拍出量が大きくなるのは、体の小さいほど単位重量当りの発熱量が大きくなるので、組織での酸素解離を促進するためと想像される。その程度にも、日本人と他の民族との間に違いは認め難い。単位体重当りの酸素摂取量は加齢とともに減少するが、日本人に特徴的な傾向は認められない。多くの人種に認められる体脂肪比率の加齢増加が強く影響している。高齢になっても脂肪比率の上昇のないラップ人、イースター島人、あるいは、ニューギニア人などの人々では、体重当り酸素摂取量の加齢低下が見られない。したがって、日本人も徐脂肪量あたりの最大酸素摂取量の加齢減少は顕著ではない。体重と最大酸素摂取量の相対成長でも、日本人の傾向は平均的である。生活様式の違うグループについても違いは僅少である。どの民族でも女性は男性よりも相対成長係数が小さい。体重の増加に占める脂肪の比率が大きいからで、日本人も同じ傾向を示す。

代謝性アシドーシスがはじまる活動強度に當る無酸素性作業閾値も幾つかの民族で比較されている。どの民族も運動をよくするグループのATは、そうでないグループに比べて、絶対的にも相対的にも高い傾向にある。相対的にも絶対的にも強い活動で代謝性アシドーシスが現れるが、この傾向にも民族間に違いが認められない。最大酸素摂取量は呼気ガスの酸素分圧に影響される。日本人では、高度上昇にともなう酸素分圧低下の影響は1500mほどまでは小さい。それを過ぎると、1000m毎にほぼ10%程度減少する。この傾向は、欧米諸国の資料にも認められる。しかし、アメリカの3100mのコロラド高地に生まれ育った人々資料では、低下率が、むしろ、大きい。また、アンデスの高地のケチュア族は4300mと平地の間で余り違いがない。同じケチュア族でも、平地に住んでいる人のデータは日本人と違いがない。人類にとって高地への適応が本質的に困難であることが、この種の違いの遠因と考えられる。環境温度による最大酸素摂取量の変化については比較資料がない。

2) 顕在性と潜在性

北緯9°に位置するパナマのバロ・コロラド島で、熱帯産のフタツユビナマケモノ、ヨザル、キヌザル、アライグマ、ハナグマ、密林ネズミなどの哺乳類や、マイコドリ、アメリカヨタカなどの鳥類について、気温とエネルギー代謝量との関係を求められている。40℃ほどの高温から次第に気温を下げて行くと、30℃あたりでナマケモノが最初に代謝量の増加を示し、他の動物も次々にそれに従い、20℃にいたる間に総ての動物が代謝量を増加させることを認めた。また、北緯71°のアラスカのポイントバローで、北極圏に棲むシロギツネ、エスキモー犬、白熊の仔、ヂリス、タビネズミ、イタチなどの哺乳類や、北極カモメ、カナダカケス、ユキホオジロなどの鳥類を調べ、これらの動物がかなりの低温になってはじめて代謝量を増加する。大型の哺乳類は一般にマイナス30℃を越えてから、シロギツネにいたってはマイナス50℃でようやく代謝の昂進が始まる。低温環境では身体から熱が奪われるが、それに応じて代謝が昂進して熱を発生し、低体温に陥ることを防ぐメカニズムが働くことになる。熱帯に棲息する動物が30℃から20℃のあたりでこのメカニズムが早々と働くのに対して、寒冷地に生きる動物は、羽毛や毛皮の保温能力などにより、かなりの低温まで産熱量を増加せずいられることを

示すものである。このようにして下臨界温度の概念が発表され、それが動物の耐寒性を良く反映するものであることが知られるようになったのである。その後、人類の下臨界温度も求められるようになったが、いずれも22℃から27℃の間にあり、人間が熱帯型の生物であることが示されている。

日本人の体温調節機能の特徴のごとく、日本人を特定するのは人種あるいは民族の概念に基づく。皮膚の色、身体の大きさ、手足の長さ、目の色、毛髪形状と色等々、種々の形質の比較が人種の分類に用いられている。熱帯草原での強い日射のもとで満足な視覚を得るためには濃い色の紅彩が必要であることが、そこに住む人々の目の色を皮膚の色とともに黒くしたと推論されている。あるいは、黒人の毳状の毛髪は汗の蒸発に有利なために獲得されたなど、それらの形質が長い環境適応の結果獲得されたことがしばしば強調されている。適応的変異が一つの形質として固定される条件として、隔離、突然変異、淘汰、遺伝的浮動などが作用したことであろう。その他、混血や集団間の移動などを通じ、熱帯森林に生まれた人類は今日見られるようなさまざまな人種を形成するに至り、その1グループとして日本人が成立したものである。

各人種グループはその生理仮定に基づく特徴的な体型・体質を有している。ネグロイドは人類が熱帯アフリカに誕生したときに獲得した黒い皮膚をそのまま持ち続けている人種であり、コーカソイドは高緯度地方に移住して、弱い日射が淘汰要因として働いたために生まれたものである。モンゴロイドはアジアに発達したと考えられている。北京原人には、下顎隆起やシャベル状切歯など、今日の黄色人種の特徴を持つことが知られているが、その皮膚の色は不明である。原人の後、アジアにも旧人の時代が続き、約5万年前から新人の生活が始まったと考えられているが、彼らは暖かい地方に住んでいた祖先の形質を残しながらも、2万年前から5万年前には新しい一つの人種としての特徴を明瞭にしていたと想像されている。コーカソイドやネグロイドの同時代の人々と共通する古い形態が認められることから、古モンゴロイドと名付けられている。その後、さらにアジア大陸の北域に進出した集団も現れ、ヴェルム氷期の最盛期には極寒を経験することとなった。原始的な住居と衣服は寒気を防ぐには充分ではなく、淘汰の機会を増すことになり、生理的にも形態的にも寒冷適応の能力に優れた集団の出現をもたらした。ベルグマンの法則やアレンの法則によく合致した地方型の形質を持つこの新しい集団は新モンゴロイドと呼ばれている。身体的にも文化的にも適応力の強い彼らは、古モンゴロイドの生活圏にも浸透することになった。日本列島もそのなかに含まれるのである。

温帯気候はどの季節に雨が多いかによって、冬雨気候、夏雨気候、多雨気候の三型に分類される。温帯冬雨気候は文字通り冬に雨が集中して降る気候で、地中海沿岸、カリフォルニア、南米のチリ南部、南ア連邦、オーストラリア南部など、大陸の西側に見られ、地中海気候とも云われる。夏は雨が少なく日射が強いで、砂漠や草原の気候に近くなる。温帯夏雨気候は、夏は季節風の影響で海洋からの気団が暖かい湿った空気をもたらして雨を降らせ、冬は大陸の高気圧に支配されて極度に乾燥する気候で、中国、インド北部、エチオピア高地、メキシコ高原、ブラジル高地の南部、オーストラリアの東北部などに見られる。温帯気候ではあるが進んだ文明の見られない地域である。温帯多雨気候は一年中かなりの降水量を見る地域である。このうち、日本の大部分、米国の東半分、オーストラリアの南東部、南アメリカのラ・プラータ

河口などの気候は温帯モンスーン気候と呼ばれる。これに対して、ヨーロッパ中部から北部、カナダやアメリカの太平洋岸、南アメリカのチリなどは西岸海洋気候と云われる。日本の気候はその大部分がケッペンの気候分類の温帯多雨気候にはいる。冬には日本列島の中心を走る脊梁山脈の影響が大きく、その太平洋側は晴れて降水量が少なく日本海側は降雪量が多い。南北に長いので北と南の気候の差が大きく、北海道は山岳地帯とともに亜寒帯多雨気候に属し、沖縄は亜熱帯多雨気候である。そして四季の変化に富むことが大きな特徴となっている。

日本列島にいつごろから人間の生活が始まったのかは判然としていない。原人が生活したと推定される住居址が出土しているが、人工は発見されていない。旧人に相当する可能性のある人骨は出土している。やがて、海面が下がり、タートル海峡、宗谷海峡、津軽海峡や、朝鮮海峡、対馬海峡が陸続きになると、古モンゴロイドといわれる人々が南北二つの経路によって日本列島に住み着くことになった。縄文時代と云われる一時代を日本列島に築き上げたのはこの人々と考えられている。縄文時代の晩期に北九州、山口のあたりに、さらに、弥生時代から古墳時代を通じて近畿地方に、新モンゴロイドと呼ばれる人々が次々に渡来し、日本人の成立に大きく寄与した。その後のアジア大陸からの参加者の影響も含めると、日本人の体質にはいろいろな要素が含まれていることになる。

人種や民族によって気候に対する反応に違いのあることが想像されているが、その比較は必ずしも簡単ではない。研究方法の制限が大きいためである。耐暑能力にしてもそうである。やや大がかりな道具が必要ではあるが、気温35℃、湿度95%の高温環境で、普通で歩くときにはほぼ相当する一時間に300kcalの熱量を体内で産出する条件を4時間続けて、体温、発汗量、心拍数を比較することが行われている。2時間経過した時点で日本人の成績は、心拍数が86%、直腸温は1.5℃の上昇を示した。発汗量は0.5cc程度である。白人よりも耐暑性が優れていることを示す成績である。カラハリ砂漠のブッシュマンは、心拍数の増加が少なく、日本人よりも優れた耐暑性を示す。バンツ一族はボスコップといわれるブッシュマンの一部族と森林ニグロ或はスタンニグロと呼ばれる黒人との混血により形成された人種と理解されている。皮膚色は薄く、身体つきはずんぐりしており、東部および南部アフリカにかなりの人口を擁している。日本人よりも劣り白人に近い成績を示している。アラビアに住むチャンバ族は地中海人種の分枝である。南東人種に属し、皮膚、目、髪の色は濃く、毛髪は波状である。数十年前までは砂漠地帯に狩猟と遊牧の生活をしてきた人々である。しかし、砂漠に住みはじめたのはわずか数百年前のことと考えられている。高い発汗機能を示すものの直腸温と心拍数の上昇は小さくはなく、日本人よりは耐暑性に劣る成績である。ヤーキ族はメキシコ北西部に広がるソノラ砂漠に幾世代にもわたって生活しているアメリカインディアンの一種族である。その近隣に居住する白人との混血群であるメスティソとほぼ同じ体温上昇を生じているが、心拍数の上昇はより少ない。ヤーキの方がメスティソよりも耐暑性が僅かに優ることを示すものであるが、両群とも日本人の成績よりは劣っている。ここに比較された人々が生活する環境条件とそれぞれの遺伝的資質がこのような成績となって現れたものである。白人は、発汗能力が低く、高体温と大きな循環機能負担に苦しみ、この中では耐暑性の最も劣る人々であることを示している。その彼らを、気温36℃、湿度89%の高温高湿条件で、同じ4時間作業を二週間行わせることによって高温ストレスに馴化した後に、再び同じテストを実施すると、日本人はもとよりブッ

シユマンをも凌ぐ高い耐暑性を示すようになる。一般的に、人種や民族によって暑熱への耐性や抵抗能力が違うという印象がある。そして実際に同じ高温ストレスのもとで比較してみると、幾つかの相違点が観察される。しかし、極く短期間の高温馴化で、その相違は大きく変わり、暑さに弱い人種でも著しく優れた潜在的な耐暑性がみられるようになる。アメリカの学者を中心に、女性、特に日本人の女性には、高温下では、体温の上昇を防ぐために産熱量を減らし得る機能が備えられているということが主張され、高温下で代謝水準を低下させるこの現象に第二次化学過程という名称がつけられている。この現象を記述している書物が少なくないが、私たちは第二次化学過程を観察できたことはない。また、この現象の存在を確認した研究結果はないように思われる。日本女性の高温反応は欧米の白人女性に認められているものと本質的に違いはない。日本人の中の性差に関しても同様と考えられる。

耐寒性の指標として注目されている下臨界温度を1点で求めることができるようになり、その推定成績が発表されている。哺乳類はその生活環境に応じて種々の成績を示すが、人間は寒冷に住む人種や民族を含めて熱帯型動物の傾向を明らかに示す。耐寒性の人種差も本来小さなものであることが理解できよう。日本人で求められた下臨界温度に比較的大きな違いのあることが注目される。着衣条件の影響も無視できないが、下臨界温度に限らず種々の耐寒性指標の成績は人種間の相違に比べて人種内の変異が大きい傾向を示すことが多い。体格、体組成、栄養状態、寒冷経験などの変異が同一人種内で大きいことも影響している。変動が大きい背景として日本人と呼ばれる集団が成立するにいたる過程に働いたさまざまな経緯が大きく影響していることであろう。

最も寒い月の平均気温がマイナス3℃以下の気候は亜寒帯および寒帯と分類される気候である。夏は短く、冬は長くて寒い。このうち最も暖い月の平均気温が10℃を越える亜寒帯気候は、夏雨気候と多雨気候に、二分される。亜寒帯夏雨気候は、冬季にシベリアに発生する優勢な高気圧の影響で、冬の降水量が非常に少ない地域である。シベリアや中国東北地方などアジア大陸の東部がこの気候に属する。植物相は北地針葉樹林と呼ばれる森林が中心であるが、シベリアのものは特にタイガと呼ばれている。亜寒帯多雨気候はどの季節にもほぼ均等な降水量がみられ、特に、冬には大量の雪が降る。沿海州からオホーツク海沿岸、カムチャッカ、アラスカ、カナダとアメリカ北部、スカンジナビア半島、シベリア西部以西のユーラシア大陸の北部にこの気候がみられる。日本の本州高地や北海道の気候はこれに属する。日本人の顔立ちは扁平である。目、鼻、頬などの顔の部品の総てがこの印象をつくるのに貢献しているが、なんといっても鼻の低さが決め手である。日本人だけではなく、お隣の韓国人や中国人などのモンゴロイド、或はアメリカ・インディアンの各種族に共通する特徴である。身体の突き出た部分が短くなるというアレンの法則に日本人の顔が忠実に従っていると言えよう。

鼻の長さに対する鼻の幅の比率を鼻指数というが、アフリカに住むブッシュマンやピグミーと呼ばれる人々は軽く100を越え、幅の方が長さよりも長い鼻をもっている。それに対して、コーカソイドの鼻指数は約66と、細い鼻である。イラン人となると鼻指数は更に小さく、63.7という数字が発表されている。乾燥地帯の人々は吸い込む空気に湿り気を与える必要から細い鼻を持つようになったと考えられている。また、寒く湿度の低い地方でもエスキモーの68.5の鼻指数に示されるように、吸気に熱と湿り気を与えるために、その気候に住む人々は細い鼻を持

つようになったと説明されている。鼻には、長さや幅だけではなく、高さがある。鼻高は普通という鼻の長さに相当し、高さは鼻深と呼ばれている。鼻深の小さな鼻を持つ顔は偏平な顔と云うことになる。鼻深が大きくて突き出た鼻は寒冷にさらされると凍傷にかかり易いと考えられている。その危険を避けるために、寒冷地に住む人種の鼻は低いのだというのが定説である。

凍傷はその程度によって区分される。4段階区分に従うと、第1度は寒冷のために収縮を続けた皮膚血管に痲痺を生じて鬱血し、皮膚の表面が紫色になる段階である。紅斑性凍傷と呼ばれるのはこの段階で、表皮の上層のみが影響されるので、温めると回復する。第2度は表皮全体に影響が及ぶ。組織液が溜り水泡性凍傷となることもあるが、回復後に瘢痕が残ることはない。第3度は真皮や皮下組織まで凍傷がおよび、第4度は筋や骨まで達し、ともに壊死性凍傷と呼ばれる。組織が壊れ、完全に回復することは不可能である。従来、細く突き出た鼻は寒冷にさらされると第3度以上に進行した重い凍傷にかかる危険があるとされていた。

凍死してしまったような極端な例を除外すると、凍傷の殆どは手と足に限局して生じている。過去の膨大な記録をみても、それ以外の部位の凍傷は1%から4%に過ぎない。頭部では、耳と鼻が多く、頬と顎がそれに続く。かつて、朝鮮戦争に参加した国連軍の兵士は冬の朝鮮の寒冷に悩まされた。凍傷にかかった人も少なくなかった。その記録でも、頭部の凍傷については同じような傾向が示されている。

このように、足や手が重度の凍傷にかかった場合でも、鼻は軽度の凍傷で済んでいるのである。せいぜい第2度までで、第3度以上のものの記録はほとんど知られていない。凍傷の危険を防ぐために低い鼻を持つようになったという仮説ははたして正しいのであろうか。

低い鼻の日系人と高い鼻のヨーロッパ系の人々を同じ厳しさの寒気にさらして鼻の温度を測定する研究がホノルルで行われたことがある。被験者は総てハワイ生まれのハワイ育ち。日常経験している気温条件には違いがないはずという前提である。両グループを摂氏零度の部屋に70分間入れて測定した鼻の皮膚温は、日系人で5.8℃、ヨーロッパ系で6.6℃と発表されている。日系人の低い鼻の方が皮膚温も低いという意外な結果であった。モンゴロイドの顔は寒冷にさらされるとコーカソイドの顔よりも鼻も頬も低い皮膚温を示す。しかし、鼻や頬などの顔面部は滅多に凍傷にはかからない部位なのである。そして皮膚温が低いということは、そこからの放熱を少なくしているのである。日本人は、凍傷にかからず放熱量の少ない合理的な偏平な顔をもっているというべきなのであろう。近年、日本人も若い人たちは座高に比べて足が長くなり、体型が欧米人に近づきつつあるといわれる。暖房設備が整ったオフィスや住宅に生活する現代には、昔の人々が獲得した寒冷適応能力を必要としないという面もある。また、食習慣も変わり、栄養面からみても欧米人との差は小さくなりつつある。このような状況が長く続くと、人種的特徴も希薄になっていく可能性は少なくないことであろう。寒冷に適応しベーリング海峡を越えて南北アメリカ大陸に進出したアメリカ・インディアンは、現在、さまざまな気候環境のもとで生活している。そして、熱帯に住む人々は暑熱に適応した体表面積の比率の大きい体型を示すようになってきている。身体つきは確かに変わりうるものなのである。しかし、アメリカ・インディアンが現在のそれぞれの環境に対応した体型をつくるのにはほぼ一万年を要したと考えられている。下肢が伸びたとされる日本の若い人々の体型も、国際的には胴長短足

のモンゴロイドの範囲に充分におさまっている。コーカソイドとの違いは歴然としているのである。変化速度の大きい現代でも、日本人は当分、合理的な低い鼻を持った偏平な顔立ちを保ち続けることであろう。

地中海やポリネシアの海、或は、日本や韓国の海では、息こらえ潜水（素潜り）により海中に潜り、魚や貝などを採る漁業が古くから行われている。夏を除き海水の温度がかなり低くなる日本や韓国の場合には、海女の優れた耐寒能力が注目されている。ベルグマンの法則やアレンの法則にそった体型が効果を発揮していることも否定できないが、放熱を抑制する独特の機能の効果が大きいのである。韓国の海女は濟州島を中心に約3万人が数えられている。ほぼ12歳ごろから漁を始め老齢に至るまで続ける。冬には10℃にまで下がる冷たい海で作業を続けるのである。ウェットスーツを着用することが次第に多くなっているが、伝統的な軽い木綿の衣服のみで潜る海女のグループについての調査結果が発表されている。作業時間は一日に1時間から5時間。水温の高い夏季には長く、低い冬季には短くなる。ときどき焚火を囲んで暖をとりながらの作業でも、熱容量の大きい海水により体温は低下し、35℃から33℃という驚くほど低い口内温が記録されている。これほどの低体温を長期間繰り返し経験する人々は他には見られないことであろう。海女の基礎代謝が冬季に上昇することが発表されている。必ずしも動物性蛋白の多い食事の影響ではなく、寒冷適応の結果なのではと推論されている。冷たい海につかる冬季になると産熱を昂進する特殊なメカニズムが働くのではというのである。水の中に入ると熱は身体から水へと移動する。身体は反射的に震えて、低体温になることを防ぐことになる。半数の人々が震え始める水温を比べてみると、一般女性は29.9℃で、海女は28.2℃というように、海女は低い水温を示す。海女の皮膚組織の断熱性能が高いことを示唆するものと考えられている。

寒冷に曝され続けると、皮膚に組織的な変化を生ずるようになる。動物実験では皮膚の厚さを増したという報告もある。寒冷な条件で飼育したラットでは、凍傷などの障害を生ずることなしに寒冷に適応すると、紡錘形、球形、多角形などのマストセルが表皮に増えてくる。適応が不完全で、凍傷などの病理的变化を生じた場合には、肥満細胞の数の減ることが知られている。皮膚は表皮、真皮、皮下組織よりなるが、最も表面にある表皮は、角質層、中間層、胚芽層の三層に分かれる。角質層は偏平な形をした上皮細胞が角質化しており、垢などのように表面から徐々に離れ落ちて行くので剥離層とも呼ばれる。機械的な刺激が加え続けられると肥厚するので、漁師や農夫などは角質層の厚い手をしている。カナダのケベック州の東北部にアルゴンキン語で「地の果て」を意味する「ガスプ」岬という半島がある。冬は寒気が厳しく4月から12月はじめまでが漁期である。夏季は比較的気温が上がるが、それを含めても、漁期の平均水温は9.4℃、平均気温は12.4℃ということである。この漁師は白人系で、手袋を使わずに一日数回素手を海水に浸して漁業労働を繰り返している。このガスプの漁師を、農夫やきこりなどの、ガスプに住む他の種類の戸外労働者と比較した研究がある。中指から直径4ミリメートルの表皮組織を取りだし、組織的な検討が行われた。角質層を除いた中間層や胚芽層の厚さには漁師と他の戸外労働者の間に殆ど違いはなかったが、マストセルの数は漁師の方が50%近くも多かったという。ガスプの漁師達が凍傷などにかからずに寒冷に適応していることを支持する現象と考えられている。

凍傷にかかる割合が白人よりも黒人の方がはるかに高いことが知られている。この問題を検討するために、身体の脂肪比率がほぼ同じ程度の黒人と白人のグループを、上半身裸体で10℃の部屋に2時間入れて比較された。体脂肪の比率が高いほど寒冷にさらされても体温の低下する割合の低いことが、黒人でも白人でも同じように認められたが、同時に、脂肪組織の断熱効果が白人でより大きいことが確かめられた。両者の違いは寒冷に曝される時間が長い程大きくなる。平均皮膚温は体脂肪比率の低いほど両グループ間の差が大きくなり、直腸温は脂肪比率の高いほど差が大きくなる。同じ程度の脂肪でも黒人と白人とでは熱の絶縁の程度が違う原因として、皮下組織の血管の収縮能力の相違が推定されている。暴露前後の処理や測定方法を含めて同じ条件を再現してみると、日本人は直腸温が高く、アメリカ白人及び黒人との違いが大きい。平均皮膚温は寒冷暴露により低下するが、その程度は白人や黒人に比べて日本人が著しい。産熱量の増加も日本人が最も多い。水中体重法で推定した体脂肪比率は寒冷暴露中の産熱昂進や直腸温および平均皮膚温低下量と有意な相関を示す。体脂肪比率が大きいほど産熱量と直腸温の低下は少なく、平均皮膚温の低下は大きい。黒人と白人の比較は、全身を冷やすものだけではなく、指だけを冷やすことによっても行われている。零度の水に中指を浸し続けるのである。平均して白人は1.8℃までしか皮膚温が下がらないのに、黒人は0.3℃までも低下したことが記されている。凍傷にかかりやすさについて、黒人と白人との間に相違の存在する可能性が示唆されたのである。

カナダ北部、ハドソン湾の北に浮かぶサウザンプトン島のエスキモーが白人学生と比較された。20℃の部屋で安静にしていると、直腸温は両群間に違いがないが、平均皮膚温は1.5℃ほどエスキモーの方が高くなる。手の血流量はエスキモーの方が83%も多く、それを反映して手の皮膚温はエスキモーが一度高い値を示した。20~5℃の数段階の温度の水に手を浸して比較すると、いずれの水温のときも手の血流量の減少はエスキモーがより少なく、かつ、徐々に生ずることが確かめられている。エスキモーに限らず、人間の手には特殊な構造が発達していて、寒冷にさらされても極度に皮膚温が低下することを防いでいる。手を氷水に浸すと手の皮膚血管は収縮して皮膚の温度は低下するのであるが、或る水準まで下がると、今度は逆に皮膚血管の拡張反射が起こり皮膚温は上昇に転ずる。手を氷水に浸したままにしておくと、この下降と上昇を繰り返す(ハンティング・リアクション)。手や指の皮膚組織では、細動脈が枝分かれして微細な毛細血管となり、それが集まって細静脈となっている。寒冷刺激が加わると、この部分の血流量が激減して皮膚温が下がることになる。しかし、細動脈と細静脈の間には動静脈吻合と呼ばれるバイパスがあり、皮膚温が或る水準に達するとこのバイパスを通して大量の血液が流れ、皮膚温を上げるのがハンティング・リアクションのメカニズムである。皮膚からの求心性神経繊維の分枝が皮膚血管に分布するために、寒冷皮膚刺激が血管を拡張する軸索反射を生ずるのである。ガスプでの研究では漁師を含め総ての被験者について、2.5℃の水に10分間手を浸したときの反応が比較されている。指の皮膚温は次第に低下するが、或る水準で上昇に転ずる。ハンティング・リアクションの始まりである。その水準は、農夫やきこり、或は、トラクター・ドライバーよりも漁師の方が明らかに高い。手から水に逃げる熱量も大きい。そのほか、冷水に浸している間の血圧上昇は漁師の方がより小さいことが確かめられている。これらはいずれも、冷水による血管収縮が漁師の方がより弱いことを示すものである。冷水にいつも

手を浸していると寒冷に対する反応が変化する。アラスカにあるアメリカ極地研究所でもパイロットのグループを被験者として1日6回、1回10分間ずつ、左手の中指を氷水に浸すことを125日間継続して、寒冷への馴れが検討された。126日目に左手の中指とともに右手の中指も氷水に浸して比較すると、ハンティング・リアクションの大きさは左右の間で違いがないものの、氷水に浸すことによって生ずる痛みは右手の方が明らかに大きいことが確かめられた。しかも左右のハンティング・リアクションは、氷水につける訓練をしなかったパイロットのグループのものに比べて明らかな発達を示したのである。さらに、パイロットを5日間絶食させると、ハンティング・リアクションによる皮膚温の上昇が遅れことや、また、アラスカ内部に住むインディアンは125日間訓練したパイロットよりも更に発達した反応を示すことも確かめられている。

ハンティング・リアクションには、個人差や人種差の大きいことが注目されている。その原因の全貌が明らかにされていないが、エスキモーや北極インディアンに見られるように、高蛋白の食生活が基礎代謝を高める結果、ハンティング・リアクションが発達する可能性も大きいようである。しかし、エスキモーをオレゴン州の温暖な地域に9ヶ月間生活させて寒冷への馴れを弱め、その上、白人と同じ食事を与えて動物性高蛋白食の影響を除いても、著しく発達したハンティング・リアクションを示したことから、遺伝的な影響が存在すると考えられよう。事実、ハンティング・リアクションの発達の程度を7段階に評価した抗凍傷指数というものが考案されている。寒冷な地域に住む人種や民族では、この指数が大きく凍傷にかかり難いことが示されている。手が冷たくなると凍傷にかかる前に動きが鈍くなる。極端に冷たくなり、かじかんでしまうほどではなくても、精妙な動作が難しくなる。皮膚にある触覚や圧覚などの感覚受容器が低温になり、感度が低下し、それらの感覚情報が減少することも原因の一つである。また、手にはたくさんの関節があるが、関節運動を滑らかにするように関節腔に絶えず分泌されている滑液が冷却されて、粘性を増してしまうことも障害になる。さらに、筋の固有受容器である筋紡錘の興奮性が低下することの影響も大きい。筋紡錘が冷却されると興奮性を低下することが動物実験で確かめられている。そして、人間の筋電図の解析から、寒冷下で動作の円滑性を欠くようになるのはこの現象と深く関連している。

高緯度地方では衣服なしの裸の生活は当然困難である。全身を包む衣服を着用して、その中に人間の故郷である熱帯草原の気候をつくらなければならない。実際に日常生活では、衣服の中に29℃程度の温度の空気を保ち平均皮膚温が33℃ほどになるように、環境の条件に応じた着衣の調節がなされているのである。この状態ならば、寒くも暑くもなく快適である。また、なんらかの原因で衣服の内部の気温がこれより多少高温へずれても、汗をかくまでもなく、皮膚表層に近い末梢血管が拡張して皮膚からの放熱を促すだけで充分である。また、少し寒い方にずれても、皮膚血管が収縮して体表からの放熱を抑制するメカニズムが働く。しかし、衣服が薄過ぎたり環境の寒気が厳しかったり、衣内温度がさらに低下すると、新陳代謝が活発になり身体の産熱量が増加することになる。震えはその代表例である。

衣服の保温性はクローという単位で測られる。衣服の厚さを増すとクロー値も増加するが、1クローを重ねるごとにほぼ5℃の気温低下に耐えられると概算されている。衣服は重ねるほどクロー値を増すことになるが、実際的な保温効果はクロー値の増加に正確には比例しない。両端が球形の円筒を人体に見立てて、それに、下着、さらにパイル地を次々に重ねて、放熱量

の変化を測定した研究がある。同じパイル地を重ねるので、同じクロー値の衣服が追加されることになるのだが、放熱量の変化は直線的ではない。重ねる量が多くなると放熱は逆に増加することも観察されている。重ねる度に表面積が増えて放熱量が増加することの影響なのである。

断熱性に優れた着衣条件であるほど放熱量が減少し、寒冷下での産熱昂進の必要が少なくなる。下臨界気温 (LCT) と衣服のクロー値 (CLO) の関係を求めると、 $LCT = 28.93 \exp(-0.2424CLO)$ となり、その95%信頼上限は $LCT = 30.15 \exp(-0.2825CLO)$ 、95%信頼下限は $LCT = 27.76 \exp(-0.2023CLO)$ と算出される。クロー値 (CLO) と下臨界温度の変化率 (Y) の関係は、 $Y = -7.01 \exp(-0.2424CLO)$ となり、その95%信頼上限は $Y = -5.61 \exp(-0.2023CLO)$ 、および95%信頼下限は $Y = -8.52 \exp(-0.2825CLO)$ と算出される。つまり、下臨界温度の対数が衣服のクロー値に反比例することが確かめらる。日本人女性で、1クローの着衣条件では下臨界温度は22.7℃、また、0.5クローでは25.7℃である。この関係から全裸の下臨界温度を推定すると28.9℃となる。クロー値が増加するにつれて下臨界温度は低下するが、その程度はクロー値が大きくなるほど小さくなり、一枚一枚の衣服の保温効果は厚着になるほど小さくなる。

寒冷へ対抗する能力を測る方法はいろいろあるが、決定的な方法というのは残念ながら開発されていない。どのくらい低い温度の中で眠ることができるかということが最適の指標と主張されている。覚醒時には行動的な対応を含めていろいろな耐寒反応が現れる。それらは、相互に影響し合って、かなり複雑な様相を呈する。しかし、睡眠中には少なくとも行動的な対応は最小になる上に、寒冷環境下で睡眠できること自体が、寒冷刺激に対する自律神経系や内分泌系の高度な協調機序の存在を示すものと考えられる。初秋のノルウェーの高山は夜間には3℃からマイナス5℃程度迄に冷え込む。そんな高山で、夏服と寝袋だけで過ごした白人達の実験がある。はじめには寒くてとても眠られたものではなかったのが、6週間後には震えながらも眠ることが可能になったということである。そのとき、産熱量は50%も増加して、皮膚温は高い状態に保たれていた。睡眠可能な低温の下限に総合的指標としての意義が強調されている。日本人男性についてこれを確かめてみた。0℃に設定した人口気象室で、ランニング・シャツとパンツという軽装でベットの上に横たわる。一枚の毛布で頭部を除いて全身を覆い、さらに、ナイロン製のシュラフカバーで包み、頭部には代謝測定用のフードをとりつける。午後11時より午前8時までの睡眠実験であるが、最初の2時間はシュラフカバーの上にさらに4枚の毛布を重ねて睡眠を促した。この間被験者は、直腸温の緩やかな下降を示しながら、よく眠った。2時間後、毛布を取り除く。寒気で皮膚温はたちまち低下して、全員が目を覚ました。それからの6時間、全く眠ることはできなかった。直腸温は毛布を除いた直後に僅かな上昇を一時的に示し、ほとんどの被験者はその後もその水準を維持し続けた。その間、代謝は明らかに昂進していた。寒冷に対抗して産熱の昂進が初めて始まる温度は下臨界温度と呼ばれて耐寒性の指標とされている。日本人の下臨界温度は26.2℃で、ノルウェー人の26.0℃とほとんど違いがない。今日の日本人の耐寒性は文明社会に生きる人々に共通の水準にある。

一般に、文明社会に生活している人々が寒冷にさらされると、15%から50%にも及ぶ産熱量の増加を生じ、体温低下を防ぐのが普通である。北極インディアンやエスキモーの耐寒反応はこれの一層進んだものである。前者は眠りながらときどき大きく震える。それによって生ず

る熱で睡眠中の寒冷ストレスに应えるのである。後者の高い代謝水準は動物性蛋白中心の食物の影響が大きい。エスキモーは東シベリアのチュクチ海沿岸からアラスカ、カナダ、グリーンランドの高緯度地方に住む。アメリカ・インディアンの一種族であるが、他の種族よりかなり遅れてベーリング海峡を越えたと考えられ、新モンゴロイドの特徴を強くとどめている。北極インディアンやエスキモーのように、産熱量を増加するタイプの寒冷適応は産熱的適応、或は、代謝的適応と呼ばれている。南米のチリーの南端の島ティエラ・デル・フェゴに住むアラカルフ・インディアンはパレオインディアンに分類されるアメリカ・インディアンの一種族であるが、1960年代には人口は僅か50人を数えるに過ぎなくなった。ベーリング海峡を早く越えた古モンゴロイドのグループに属する。南半球の高緯度地方に住む彼らも産熱的適応を示している。オーストラリア大陸には古くからオーストラリア原住民の足跡が残されている。カーペンタリア人種といわれる人々で、頭骨の眼窩の上には眉上弓と呼ばれる隆起が強く、また、頭蓋骨の高さが低く低頭であるなどと、古人類的特徴を顕著にとどめている。後からこの大陸に移住してきた白人達に追われて、彼らだけの生活圏は中央オーストラリアの半砂漠地帯に限られてから数百年を経過している。夜は冷たく、明け方にはほぼ零度を記録する気候である。家もなく、小枝を纏めた簡単な風よけと、木を焼いた燠を2人に3個ほどの割合で身体の傍らにおいて眠る。震えは全く認められず、皮膚温を低下しながら熟睡するという。直腸温も低くなるので低体温的適応といわれることもあるが、皮膚温を低下して体熱の放散を抑制する効果を強調して、断熱的適応と呼ばれている。南米のアンデス高原にはケチュア族が住んでいる。アメリカ・インディアンでプエブロアンデス人種に属し、インカ帝国の子孫としては最大の人口を擁し、濃い皮膚色を示す人々である。寒い高地に住みながら、睡眠中の産熱の昂進は少ない。その上、殻部の発達が弱く皮膚温の低下が小さいので、心部の温度が低下してしまう。この低体温に耐えて寒冷な風土に生活しているのである。この適応のタイプは動物の冬眠に似ていることから、冬眠的適応といわれている。

産熱的適応の例としてアラカルフ・インディアンとエスキモー、断熱的適応の例としてオーストラリア原住民、冬眠的適応の例としてケチュア族、それに日本人と白人を加えて、寒冷暴露による平均皮膚温低下と産熱量の関係の資料を比較してみると、産熱的適応をはかるエスキモーやアラカルフ・インディアンの産熱水準はともに高い。冬眠的適応のケチュアの人々はエスキモーやアラカルフ・インディアンよりも産熱水準が低い。そしてさらに、断熱的適応のオーストラリア原住民の産熱水準は著しく低い。

平均皮膚温低下に伴う産熱量増加の比率は耐寒性の指標の一つとして用いられているが、オーストラリア原住民やアラカルフ・インディアンはこの指標で示される耐寒性に優れている。日本人や白人の傾向がエスキモーやケチュア族よりも優れた耐寒性を示すことは、現在の生活条件の影響もないわけではないが、このような形で示される耐寒性の人種差に限界のあることを意味している。ノルウェー北部には、身長が小さく四肢の短いラップと呼ばれる人々が住んでいる。農耕を営む人は平地に、遊牧を生業とする人々は高地に生活し、ともに優れた耐寒性を示す。特に、遊牧ラップは粗末なテント生活で寒気に曝されて眠る。睡眠中の産熱量は小さく、皮膚温低下はそれほどでもなく、したがって直腸温は著しく低くなる。冬眠的適応のタイプである。しかし、実験的に遊牧ラップをさらに厳しい寒気に曝すと、明瞭な代謝の昂進を示

し、体温の低下を防ぐことが観察されている。断熱タイプや冬眠タイプの適応を示す人種も、寒冷が更に厳しくなると産熱タイプと同じように代謝を昂進するのである。これらの適応の諸型は質的に異なるように見えるが、寒冷ストレスの程度に応じて連続して現れる性質のものである。しかも、これらの適応タイプは睡眠時の反応によって分類されたものなのである。覚醒時には、ラップの下臨界温度がほぼ27℃であることに見られるように、産熱の昂進は速やかに始まる。人間は熱帯型の生物であり、その寒冷適応には大きな限界があると言うべきであろう。

このように、さまざまな生理機能を指標に求められた日本人の体温調節機能は、暑熱反応も寒冷反応とともに、環境適応の実態を示している。しかし、顕在的な特徴と潜在的なそれとは暑熱反応と寒冷反応の間に違いが認められる。一般的に、人種や民族によって耐暑能力が違う印象があり、比較測定でその種の違いを観察することができる。しかし、その差異は極く短期間の高温馴化で大きく変化し、暑さに弱い人種にも著しく優れた耐暑能力が認められるようになる。どの人種も潜在的な耐暑性はほぼ一様に高い水準にあると考えられる。

体温調節機能はホモ・サピエンス・サピエンスの単元性を強く示唆する特性を示している。ホモ・サピエンス・サピエンスは、鮮新世から最新世へと続く人類進化の道のりを受け継いで、地球のさまざまな気候風土に適応してきた。地域適応の過程において、ローデシア人、ソロ人、ネアンデル人、あるいは、未発見の旧人たちの残存者と混血し、それらの人々が地域適応の過程で獲得した遺伝子を吸収したことであろう。隔離と淘汰を通じた分化の過程のみならず、混血を通じて分化が少なくなった過程も注目されよう。日本人の体温調節機能には日本の風土の影響が色濃く認められるが、何らかの独自性を強調することは難しい。むしろ、総べてのホモ・サピエンス・サピエンスに共通の要素が顕著に認められる。

参考文献

- Sato, M., S. Watanuki, K. Iwanaga and F. Shinozaki: The influence of clothing ensembles on the lower critical temperature. *European Journal of Applied Physiology*, 54, 7-11, 1985
- Sato, M.: The lower critical temperature at acute hypoxia. In: *Environmental Ergonomics*. Makjavic, I. B., Banister, E. W. and Morrison, J. B., eds., Taylor & Francis (London), 368-375, 1988
- Sato, M.: Thermal adaptability of the Japanese *Colleqium Anthropologicum*, 312-313, 1988
- 佐藤方彦：日本人の生理人類学的特徴。日本体質学雑誌、52, 305-315, 1993
- Sato, M.: Physiological anthropology as a science for quality of life. *Recent advances in Physiological Anthropology*, Kyushu Univ. Press, 379-383, 1999