

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月3日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22300229

研究課題名（和文） 高温環境における現代日本人の適応能力に関する総合的解析

研究課題名（英文） The analysis of environmental adaptability under hot conditions in the recent Japanese adults

研究代表者

芳田 哲也 (YOSHIDA TETSUYA)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授

研究者番号：00191601

研究成果の概要（和文）：本研究は現代日本人の環境適応能力を生理学的・生気象学的測定および熱中症の疫学的調査から評価し，さらに環境適応能力を向上させる方策について検討した。その結果，現代人の熱中症は1970年代よりも低温で発症する例が認められ，さらに運動習慣を有しない女性被験者群は，一週間に3日程度の運動習慣を有する男性被験者群よりも環境適応能力に劣ることが明らかになった。したがって，現代日本人の環境適応能力向上のために日常生活における運動習慣の必要性が示唆された。

研究成果の概要（英文）： We evaluated the environmental adaptability in the recent Japanese adults using physiological and/or biometeorological measurements and epidemiologic survey of heat related injuries, and postulated the practical method to improve environmental adaptability. Cases have found that environmental temperatures induced heat related injuries in recent Japanese were lower than those in Japanese lived in the 1970s. In the present study, the environmental adaptability in female subjects who did not have exercise habituation was lower than in male subjects who have exercise habituation for 3 days per week. These results suggest that exercise habituation need to improve environmental adaptability in the recent Japanese adults.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 6,500,000 | 1,950,000 | 8,450,000 |
| 2011年度 | 5,300,000 | 1,590,000 | 6,890,000 |
| 2012年度 | 2,400,000 | 720,000 | 3,120,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,200,000 | 4,260,000 | 18,460,000 |

研究分野：環境・運動生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・応用健康科学

キーワード：(1) 保健健康管理 (2) 熱中症 (3) 安静時代謝 (4) 体温 (5) 暑熱順化

1. 研究開始当初の背景

(1)現代日本人における熱中症の原因：近年，過剰なエネルギー消費は都市部のヒートアイランド化を加速し，CO₂の排出増加と競合して地球温暖化を導いている。さらに空調設備等の普及によって快適環境における生活が一般的となった現代人においては日常生

活で曝露される環境温度の幅が狭くなり，人間の暑熱・寒冷適応能力が減退していることが示唆されている。これらの社会現象が密接に関連し，現代日本人の熱中症を多発させていると考えられる。

(2)熱中症予防対策：これまでの熱中症予防対策はスポーツ活動時における取組が先駆的

で、日本体育協会は1994年に「スポーツ活動時の熱中症予防ガイドブック」を発表し各方面に注意・勧告を薦めている。近年では、環境省が「熱中症：環境保健マニュアル」を作成し広く広報活動を展開しているが、熱中症発生は増加傾向にあり、人の生活実態に沿った予防対策を検討することが急務と考えられる。

(3)暑熱順化と熱中症予防：これまで熱中症予防対策に関する研究は、水分補給および休憩の方法、身体冷却部位や体調管理等、高温環境における生体機能の低下を抑制する受動的な内容が多く、ヒトの機能を向上させて高温環境に対処する能動的な予防法（暑熱順化など）を扱った研究は少ない。高温環境に適応（暑熱順化）したヒトでは安静時代謝が低く、かつ熱放散能力が向上しているため、高温環境における適応能力は、熱中症の発生や予防と密接に関係すると考えられる。日本人の適応能力に関する研究は、昭和42年から国際生物学事業計画（IBP）として実施された「ヒトの適応能」に関する研究プロジェクト以降、近年では極めて少ない。

2. 研究の目的

本研究では、まず現代日本人の環境変化に対する生体反応を生理学的・生気象学的測定・実験および熱中症の疫学的調査から明らかにし、その結果を空調設備等の普及が少なかった1960～1970年代の日本人のデータと比較して、現代日本人の環境適応能力を評価する。さらに生活暴露温度や運動習慣と生理学的測定結果との関係を分析し、現代日本人の環境適応能力を向上させる方策を確立することである。

3. 研究の方法

(1)生理学的測定・実験

①安静時代謝と体温の測定：安静時代謝は室温25℃に設定した実験室にて早朝空腹時に衣服着用条件にて椅座位安静状態で30分以上安静にした後、ダグラスバック法にてエネルギー代謝量を算出した。安静時体温は、安静時代謝測定時に熱電対を用いて食道温を測定した。

②水分代謝の測定：簡便に測定可能な体重測定法により、春～冬の各1～2回、被験者の平均的な日常生活を反映する日（曜日）に睡眠時の水分損失量を測定した。

③温熱負荷に対する熱放散反応の実験：室温25℃に設定した実験室にて被験者の頭部、胸部、腹部、前腕部、上腕部、大腿部、下腿部に皮膚温センサー（熱電対）、前腕部に組織及び皮膚血流センサー（FLO-C1TWN・BOM-L1trW, OMEGA）と発汗センサー（SKD-2000, SKINOS）、大腿部に深部温センサー（CM-210, TERUMO）を装着し、さらに食道温センサー（直

径1mmの熱電対）を鼻より挿入した後、30分以上椅座位安静後、下肢温浴（45℃）させた際の深部温（食道温および大腿部深部温）上昇に対する組織・皮膚血流と発汗反応を測定した。

(2)生気象学的測定

①日常生活時で暴露される温度（生活暴露温度）と自然環境温度の測定・調査：日常生活時に24時間計測可能な温度計（THERMO RECORDER RS-11, エスベック社製）を被験者のバックまたはポケットに収納して常時携帯し、センサー部分を外部に露出させて実施した。自然環境温度は、生活暴露温度の測定時に京都市气象台で観測された温度を調査した。

尚、上記(1)と(2)の測定・実験については、成人男女60名を対象とし、運動習慣の有無や性別により被験者を分類（群別）して解析した。

(3)熱中症の疫学的調査

①熱中症発生実態（救急搬送資料と気象条件）を人口動態統計による熱中症死亡数の年次推移と年齢階級別発生件数を調査した。

②大都市（東京都、大阪市、京都市、名古屋市、横浜市、大津市等）における熱中症の年次別救急搬送件数を調べ、各年度の気象条件との関係を検討した。

(4)現代日本人の環境適応能力の評価

①自然環境への暴露が顕著であった1960～1970年代の日本人に関する生理的データや熱中症の疫学的結果を文献（生物圏動態会「日本人の適応能」講談社、1970；吉村「ヒトの適応能」共立出版1977、久野「汗の話」光生館、1978；その他）や関係省庁の協力を得て調査した。

②上記の文献調査結果と本研究の実験・測定結果、および疫学的調査結果を比較・検討し、高温環境における現代日本人の適応能力を評価した。

(5)現代日本人の適応能力を向上させる方策に関する検討

①安静時代謝と体温の測定値、水分代謝の測定値、および温熱負荷に対する熱放散反応の実験結果について、それぞれの季節差（夏季と冬季）を求めて、日常生活時で暴露される温度（生活暴露温度）と自然環境温度の差異（自然－生活温度差）や運動習慣との関係を分析した。

②各測定項目の季節差が1960年代の日本人のデータと近似するような自然－生活温度差や運動習慣を求め、現代日本人の高温環境における適応能力を向上させる方策（夏季による自然環境暴露の程度や運動習慣）について検討した。

4. 研究成果

(1)生理学的及び生気象学的測定・実験

①運動習慣の差：1週間に3日程度の運動習慣を有する男性被験者群については、日常生活時に暴露される温度が各季節の環境温度に近似し、さらに睡眠時の水分損失や安静時代謝、および温熱負荷に対する熱放散反応に明らかな季節変動が認められた。しかし、運動習慣を有しない女性被験者群については四季を通じて室内の快適環境で生活する時間が長く、日常生活時に暴露される温度が夏に低く、冬に高い傾向が認められた。また、この被験者群には睡眠時の水分損失や安静時代謝、および温熱負荷に対する熱放散反応に顕著な季節変動が認められなかった。

②性差：運動習慣の有無に関係なく、男性被験者群は安静時代謝量が夏季に低く冬季に増加する顕著な季節変動が認められた。また安静時代謝量の季節変動率(%)は1960年代の値と近似していた。しかし、運動習慣を有しない女性被験者群や一週間に2日程度のレクリエーション的な運動習慣を有する女性被験者群は、安静時代謝量に顕著な季節変動が認められず、さらに女性被験者群は日常生活時に暴露される温度が夏に低く、冬に高い傾向が認められた。さらに女性は男性に比べて体脂肪率が有意に高かった。

③女性スポーツ選手の特徴：一週間に3日以上以上の運動習慣を有する体育会系運動部に所属する女子スポーツ選手を対象として実験・調査を実施した結果、安静時代謝量は夏季に低く、冬季に高い顕著な季節変動を認めた。しかし温熱負荷時の体温上昇に対する熱放散反応(発汗・皮膚血流)は夏季に遅延する傾向を示す運動一週間に3日以上以上の運動習慣を有する男性被験者群と異なる結果を示した。

(2) 熱中症の疫学調査

①人口動態統計による熱中症死亡数の年次推移と年齢階級別発生件数等を調査した結果、2011年は961件の死亡数が確認され、2010年の1745件よりは減少しているが、1994年以降では2番目に死亡数が多かった。その内訳は65歳以上の高齢者が多く、1994年から2011年までは増加傾向を示した。

②大都市における熱中症の年次別救急搬送件数は、熱波が襲来する日に著しく増加し、特に暑熱順化のできていない段階での連続する猛暑日は、累積効果により数日後から死亡者が連日10人を超えた。

③1970年代と2010年代に新聞報道されたスポーツ活動中の熱中症事故を比較した結果(図1)、2010年代は1970年代よりも低温で熱中症が発生している例が認められた。

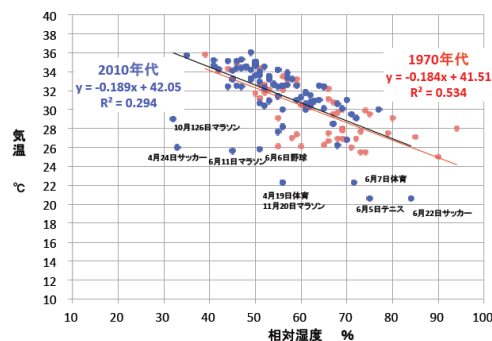


図1. 1970年代と2010年代に新聞報道されたスポーツ活動時における熱中症事故発生時の相対湿度と気温

(3) 現代日本人における環境適応能力の評価

本研究における熱中症発生状況調査では(図1)、2010年代では1970年代に比較して低温における発症が数例認められた。また女性被験者群は安静時代謝の季節変動が1960年代の実験例に比較して小さかった。さらに運動習慣を有しない女性被験者群は室内の快適環境で生活する時間が長く、温熱負荷に対する熱放散反応にも顕著な季節変動が認められなかった。したがって、運動習慣を有しない現代日本女性の環境適応能力は1960～1970年代に比べて低下していることが示唆された。

(4) 現代日本人の適応能力を向上させる方策

高温環境における現代日本人の適応能力は運動習慣の有無や、その程度によって異なり、特に一週間に3日以上以上の運動習慣を有する男性には環境変化に対する暑熱適応現象が認められた。さらに一週間に3日以上以上の運動習慣は男女共に産熱能力に関係する安静時代謝量を冬季に増加できる寒冷適応の兆候が認められた。しかし夏季の温熱負荷に対する熱放散反応は男性運動群では向上する可能性があるが、大学女子スポーツ選手群では悪化する可能性があり、女性スポーツ選手においては夏季の十分な体調管理の必要性が示唆された。

したがって、体調管理に留意して一週間に3日程度の運動を実施することは自然環境への曝露時間を増加させ、現代日本人における環境適応能力を向上させる可能性が考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① Demachi, K, Yoshida, T, Kume, M, Tsuji M, Tsuneoka, H, The influence of internal and skin temperature on active cutaneous

vasodilation under different levels of exercise and ambient temperature in humans, Int.J.Biometeorology (in press), 査読有, 2012.

- ② Demachi, K, Yoshida, T, Kume, M, Tsuneoka, H. The effect of starting or stopping skin cooling on the thermoregulatory responses during leg exercise in humans, 査読有, Int J. Sports Med. 33 巻, 2012, 514-520
DOI:10.1055/s-0031- 13013292
- ③ Demachi K, Yoshida, T, Tsuneoka H, Relationship between mean body temperature calculated by two- or three-compartment models and active cutaneous vasodilation in humans: a comparison between cool and warm environments during leg exercise. Int. J.Biometeorology, 査読有, 56 巻, 2012, 277-285
DOI:10.1007/s00484-011-0430-9
- ④ 中井誠一, 熱中症の疫学, 日本臨床, 査読無, 70 巻, 2012, 934-939
- ⑤ 出町耕一, 芳田哲也, 常岡秀行, 熱流補償法を用いて測定した運動時の前額部深部温と食道温との関係, 日本生気象学会雑誌, 査読有, 48 巻, 2011, 119-127
- ⑥ 中井誠一, 新しい熱中症予防指針作成の提案, 臨床スポーツ医学, 査読無, 28 巻, 2011, 705-708
- ⑦ 寄本明, ウォーキングと熱中症, ウォーキング研究, 査読無, 15 巻, 2011, 7-11
- ⑧ 星秋夫, 中井誠一, 金田英子, 山本享, 稲葉裕, わが国における熱中症死亡の地域差, 日本生気象学雑誌, 査読有, 47 巻, 2010, 175-178

〔学会発表〕(計 15 件)

- ① 佐藤琢磨, 女性スポーツ選手のトレーニング期における温熱負荷時の体温調節反応, 第 142 回京都滋賀体育学会, 2013 年 3 月 9 日, 京都工芸繊維大学 (京都府京都市)
- ② 芳田哲也, 身体活動と水分・塩分, 第 27 回日本体力医学会近畿地方会, 2013 年 1 月 26 日, 大阪市立大学文化交流センター (大阪府大阪市)
- ③ 佐藤琢磨, 成人男女の環境適応能力に与える運動習慣の影響, 第 51 回日本生気象学会大会, 2012 年 11 月 8 日~10 日, 長野県松本文化会館 (長野県松本市)
- ④ 新矢博美, 夏季における年齢階層別水分摂取基準の検討, 第 51 回日本生気象学会大会, 2012 年 11 月 8 日~10 日, 長野県松本文化会館 (長野県松本市)
- ⑤ 芳田哲也, 現代日本人の環境適応能力に与える運動習慣の影響, 第 67 回日本体力

医学会大会, 2012 年 9 月 14 日~16 日, 長良川国際会議場 (岐阜県岐阜市)

- ⑥ 田原育恵, 夏季における高齢者の 1 日の水分出納-特に不感蒸泄と発汗量からの検討-, 第 67 回日本体力医学会大会, 2012 年 9 月 14 日~16 日, 長良川国際会議場 (岐阜県岐阜市)
- ⑦ 良川諒介, 温熱負荷時における体温調節反応の季節差に与える運動習慣の影響, 第 141 回京都体育学会大会, 2012 年 3 月 3 日, びわこ成蹊スポーツ大学 (滋賀県大津市)
- ⑧ 殿北将太, 温熱負荷時の温冷感上昇と運動習慣および性差との関連性, 第 141 回京都体育学会大会, 2012 年 3 月 3 日, びわこ成蹊スポーツ大学 (滋賀県大津市)
- ⑨ 良川諒介, 温熱負荷による体温調節反応の季節差に与える生活習慣の影響, 第 50 回日本生気象学会大会, 2011 年 11 月 4 日, 京都女子大学 (京都府京都市)
- ⑩ 新矢博美, 体重計測より求めた水分損失量の測定精度に関する研究, 第 50 回日本生気象学会大会, 2011 年 11 月 4 日, 京都女子大学 (京都府京都市)
- ⑪ 廣田広恵, 体重計測より求めた水分損失に与える運動習慣と環境温度の影響, 第 50 回日本生気象学会大会, 2011 年 11 月 4 日, 京都女子大学 (京都府京都市)
- ⑫ 芳田哲也, 温熱負荷テスト時における体温調節反応に与える運動習慣の影響, 第 66 回日本体力医学会大会, 2011 年 9 月 19 日, 海峡メッセ下関 (山口県下関市)
- ⑬ 良川諒介, 温熱負荷時における体温調節反応の季節差に与える生活習慣の影響, 第 140 回京都体育学会, 2011 年 3 月 5 日, 京都女子大学 (京都府京都市)
- ⑭ 良川諒介, 温熱負荷テスト時における体温調節反応の季節差, 平成 22 年度日本人間工学会関西支部大会, 2010 年 12 月 6 日, 大阪工業大学 (大阪府大阪市)
- ⑮ 野々村真美, 基礎代謝量の年間変動と脂質摂取量の年次推移との関係, 第 49 回日本生気象学会大会, 2010 年 11 月 5 日, 文化女子大学 (東京都新宿区)

〔図書〕(計 2 件)

- ① 彼末一之, 他, 南江堂, やさしい生理学改訂第 6 版, 2011, 328
- ② 中井誠一, 他, 東山書房, 健康生活のための運動・スポーツ, 2011, 214

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芳田 哲也 (YOSHIDA TETSUYA)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授
研究者番号: 00191601

(2)研究分担者

寄本 明 (YORIMOTO AKIRA)
滋賀県立大学・国際教育センター・教授
研究者番号：30132278

新矢 博美 (SHIN-YA HIROMI)
京都女子大学・発達教育学部・教授
研究者番号：70201564

中井 誠一 (NAKAI SEIICHI)
京都女子大学・家政学部・教授
研究者番号：90090092