

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月15日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2012

課題番号：24650469

研究課題名（和文）人類は感覚の「慣れ」により暑熱環境へ適応することが可能か？

研究課題名（英文）Can humans adapt hot environments through habituation?

研究代表者

梶原 裕 (TOCHIHARA YUTAKA)

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：50095907

研究成果の概要（和文）：

近年ヒトを取り巻く地球環境は急速に変化しており、今後は地球環境の温暖化とそれに伴う人類の人工環境への依存がますます進むことが予測されている。本研究では熱帯地出生者7名と温帯出生者11名の皮膚温度感受性に関して、同一の被験者に1年間で計4回の温冷覚閾値測定を実施し、皮膚温度感受性に出生地域と季節変動が及ぼす影響について検討を行った。温度感受性の低下によって熱帯出生者には季節変動による温冷覚閾値への影響が認められず、皮膚温度感受性への影響は、季節変動よりも長期の暑熱暴露によるものが大きいことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

Cutaneous thermal perception is an important factor for thermoregulation. However, there are few studies reported concerning cutaneous thermal sensitivity regarding ethnic differences. The purpose of this study was to examine the cutaneous thermal sensations of tropical natives residing in temperate climates. Furthermore, experiments were carried out in four seasons to examine the seasonal differences in thermal perception, which is an important factor to be considered when designing cooling or heating systems to be used by different ethnicities. The seasonal difference of thermal sensitivity was found only for Japanese cool sensations. Japanese had more sensitivity to cold in summer than other seasons, and tropical natives had no significant seasonal differences.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：生活科学

科研費の分科・細目：生活科学一般

キーワード：気候変動、人間生活環境、暑熱環境、適応、慣れ

1. 研究開始当初の背景

人類はおおよそ500万年前にアフリカを起源として地球上に誕生して以降、地球規模のゆっくりとした気候変動の中で、生理的、形態的な適応と行動的、道具的な適応によって様々な温熱環境に適応してきた(Taylor, 2006)。しかし近年では科学技術が急速に発展し、エアコンなどの普及により外気温の変

化に関わらず快適な人工環境を作り出すことが可能になり、人々は1日のうちの80%以上を室内で過ごすようになったと言われている。快適な人工環境の普及は、中国やインドなどの新興国や発展途上国においても今後ますます加速していく流れにあり、近年では人工環境の普及に伴って地球の平均地上気温の急激な上昇が観測されている。平均地

上気温は過去30年間で約0.6°C上昇しており、1980～1999年以降から約100年の間で約1.8°C～4°Cの上昇が予測されている(IPCC, 2007)。そのため、人工環境への依存と普及は今後ますます進んでいくことが予測される。しかし、人工環境と地球環境の急激な気候変化に人類が長い年月をかけて作り上げてきた環境への適応能力が追いつかず、人間の健康を損ねる可能性がある。さらに人工環境への依存は環境への適応能力を脆弱化させ、それに伴う人工環境の普及がさらに気温の上昇を誘引するといった悪循環に陥る危険性も懸念されている。

以上のことから、人工環境への依存が高まることが今後益々予想され、人工環境普及に伴う健康障害の影響の拡大も懸念される。また、人工環境の普及が高まれば、さらに地球温暖化を加速することとなる。このような悪循環を防ぐ手段としては、人工環境への依存度低減のために、人類が本来備えている温熱適応能を生かすことに主眼を置くことが必要である。そのためには、人類の暑熱環境への順化・脱順化のメカニズムを解明していくことが急務となる。

2. 研究の目的

熱帯に生まれ長期暑熱順化した青年男子と温帯(日本)に居住し暑熱環境に適応していないと思われる日本人男子を対象として、温冷覚閾値計を使用して皮膚の温熱感受性(温感・冷感閾値)を比較検討し、環境への感覚的「慣れ」がヒトの暑熱適応能に及ぼす影響を明らかにする。日本に移り住んだ熱帯地住民の皮膚温熱感受性を3カ月毎に測定し、暑熱環境への脱順化の様子を衣住環境学の観点から明確にする。本研究の目的は、暑熱環境への「慣れ」の順化・脱順化のメカニズムを解明し、地球温暖化が危惧されている今日、冷房のような人工環境の普及に依存することなく、人類が本来備えている暑熱適応能を生かした方策が可能かを明らかにすることである。

3. 研究の方法

2011年4月から2012年2月にかけて、熱帯出身の男子学生7名、温帯出身の男子学生11名の計18名を被験者とし、すべての被験者に対して春期(4～5月)、夏期(7～8月)、秋期(10～11月)、冬期(1～2月)の計4回実験を行った。すべての実験は午前9:30より開始し、被験者は熱帯出生者と温帯出生者の間に体格差がないように選別した。被験者の着衣条件はトランクスのみとした。被験者に気温28°C、相対湿度50%に設定した人工気候室内に入室後1時間メッシュ状のベッ

ドの上で仰臥位安静で待機させた後、全身12部位(前額、頬、頸部、胸部、腹部、上背、上腕、前腕、手掌、大腿、下腿、足背)においてWarm・Coolの2種類の温冷覚閾値を測定した。温冷覚閾値の測定には、インタークロス社の温冷覚閾値計を使用した。センサーを測定部位に当て、センサー表面部の温度と接触部の局所皮膚温がほぼ等しくなった時点での温度を開始皮膚温とし、その後0.1°C/秒で加温および冷却を開始した。温覚・冷覚を自覚した時点でストップボタンを押してもらった。この時点での温度を自覚皮膚温とし、温冷覚閾値として検討した。また、12部位での開始皮膚温および自覚皮膚温を重みづけ平均したものを平均開始皮膚温、平均温冷覚閾値として全身の温冷感覚の指標として用いた。

4. 研究成果

(1) 平均開始皮膚温

Warm測定時、Cool測定時の平均開始皮膚温に関してそれぞれ季節を要因とする一元配置分散分析を行ったところ、温帯出生者において有意な主効果が見られた(Warm測定時:P<0.05, Cool測定時:P<0.01)。多重比較の結果、Warm測定時、Cool測定時ともに夏期に冬期よりも高値を示した(Warm測定時:P<0.01, Cool測定時:P<0.01)。熱帯出生者においては平均開始皮膚温に有意な季節の主効果は認められなかった。

(2) 熱帯出生者の温冷覚閾値

熱帯出生者の温覚閾値、冷覚閾値について部位ごとに季節を要因とした一元配置分散分析を行った結果、いずれの部位においても季節の主効果は有意ではなかった。

(3) 温帯出生者の温冷覚閾値

温帯出生者の温冷覚閾値に関して部位ごとに季節を要因とした一元配置分散分析を行った結果、Warm自覚皮膚温には頬(P<0.01)の1部位においてのみ有意な季節の主効果が認められ、夏期に春期および冬期より低値(P<0.01, P<0.05)を示した。

また、Cool自覚皮膚温は頸部、腹部、前腕、大腿、足背の5部位で有意な季節の主効果が認められた(P<0.05)、前腕、足背において夏期に秋期および冬期より高値を、腹部において夏期に冬期より高値を、大腿において夏期に秋期より高値を示した(P<0.05)。

(4) 平均温冷覚閾値

平均温冷覚閾値の出生地域間の差は全ての季節において有意であった(P<0.01, P<0.05)。温覚に関しては熱帯出生者が温帯出生者よりも高値を示し、冷覚に関しては温帯出生者が熱帯出生者よりも高値を示した。また、季節差に関しては温帯出生者の平均冷覚閾値にのみ有意差が認められ、夏期において冬期よりも高値を示した(P<0.05)。

(5) 平均温冷覚閾値と平均開始皮膚温
温帯出生者と熱帯出生者の平均開始皮膚温と平均温冷覚閾値に関して回帰分析を行った結果、温帯出生者の平均冷覚閾値と平均開始皮膚温との間に有意な正の相関が認められ($r=0.782$, $P=0.004$)、開始皮膚温が高ければ冷覚閾値も高いという結果を示した。これに対して、温帯出生者の平均温覚閾値、熱帯出生者の平均温覚閾値および平均冷覚閾値と平均開始皮膚温との間には有意な相関は認められなかった。

(6) 熱帯出生者の滞在期間と温冷覚閾値
熱帯出生者の温冷覚閾値と日本への滞在期間との間に有意な相関は認められなかった。

季節変動と長期的順化の影響

本研究において、温帯出生者は温冷覚閾値に季節差があり、夏期の冷感感受性が高いことが示唆された。しかし、熱帯出生者は皮膚温度感受性の季節差を示さず 42 ヶ月の日本滞在期間内では脱順化を示さなかった。さらに全ての季節において皮膚温度感受性の出生地域差が認められ、熱帯出生者は低い温度感受性を示した。今回、被験者には 1 年間にわたる計 4 回の測定全てに参加してもらったため、熱帯出生者と温帯出生者はともに 1 年間の季節変動を経験している。それにも関わらず皮膚温度感受性とその季節変動に関して出生地域間で差が見られ、熱帯出生者は日本に移住後も皮膚温度感受性の暑熱順化を維持していることが示された。そのため、ヒトの皮膚温度感受性に影響を与える要素に関する一つの側面として、皮膚温度感受性に与える影響は季節変動よりも長期の暑熱曝露によるものが大きいことが示唆された。今回の実験では熱帯出生者の皮膚温度感受性の脱順化は見られなかったが、熱帯出生者の被験者の数が 7 名とやや少なかったこと、日本への滞在期間が最大で 42 ヶ月であったこと、熱帯出生者の温帯への滞在期間が長くなると発汗機能に脱順化が見られるという報告例もあること(Wijayanto et al., 2012)などを踏まえると、滞在期間がより長期間にわたる場合には皮膚温度感受性にも何らかの脱順化が生じる可能性も考えられる。

環境的要因と遺伝的要因

今回の実験では被験者を熱帯地域で生まれ育った熱帯出生者と温帯出生者を対象として行った結果、皮膚温度感受性に出生地域間で有意な差が認められ、熱帯出生者は温帯出生者よりも温感感受性、冷感感受性が低いという結果が示された。Lee et al. (2010, 2011) による先行研究においても同様の結果が報告されており、温帯出生者と熱帯出生者の皮膚温度感受性に明確な出生地域差があることが示唆された。

暑熱環境や寒冷環境に対するヒトの生理的適応に関する研究は以前より数多く行わ

れてきた。民族的背景に基づく暑熱適応として、熱帯地域の人々はその他の地域の人々よりも心拍数が低く、皮膚温および核心温が高く、発汗量の減少や発汗閾値の低下が見られることなどが報告されている(Fox et al., 1963, Wyndham et al., 1951)。また寒冷適応に関する例として、オーストラリアの先住民であるアボリジニーには、皮膚血流量を減少させ低い皮膚温を保ち、基礎代謝と熱産生も抑える絶縁—低体温型の寒冷適応が見られる(彼末, 2000, Neel, 1962)。これに対して、アボリジニーとほぼ同じ環境条件や生活スタイルである南部アフリカのカラハリ砂漠に住むブッシュマンには、皮膚血流量を減少させるとともに基礎代謝をあげ熱産生を増加させるといった白色人種と同様の寒冷適応が見られ、民族によって適応の多型性が存在するという報告もある(Ward et al., 1960)。Taylor (2006) は、温熱的負荷に対する人間の生理的適応の多様性は、遺伝的適応と環境的適応あるいはその両者の相互作用に起因するものであると述べている。異なった民族間に明らかに存在している生理的適応の多様性は、遺伝的多型性の一部である進化経路の分岐によるものであるという説があるものの、この仮説を証明するには現段階では温熱的耐性に関する遺伝性質からの根拠が不足している(Taylor, 2006)。しかし近年の進化経路による遺伝的多型性と人間の生理反応に関する研究の中で、Nishimura et al. (2010) は遺伝的多型性が寒冷曝露への生理反応に与える影響について検討を行い、同じ日本人でも遺伝的多型性によるグループの違いによって耐寒性に有意な差が認められたことを報告している。体温調節反応の発現には皮膚温度受容器による環境温の検出が重要な役割を果たしている(彼末, 2002)ことから、本研究で示唆された温帯出生者と熱帯出生者の皮膚温度感受性の違いにも、生まれ育った環境的要因だけでなく進化経路に寄与する遺伝的要因が影響している可能性も考えられる。皮膚温度受容器が環境温に影響を受けること(小澤ら, 1980)、本研究において熱帯出生者の皮膚温度感受性の脱順化が示されず、季節変動の影響も示さなかったことから、皮膚温度感受性の出生地域差には環境的要因の影響がある可能性が示唆された。しかし今回の実験では各出生地域の被験者の遺伝的多型性に関する明確な分類は行っていないため、皮膚温度感受性に環境的要因と遺伝的要因が与える影響の解明には、皮膚温度感受性と遺伝的多型性の関連に関する多方面からの更なる検証が必要である。

生活環境による影響(エアコンの普及率)

本研究では、東南アジアで生まれ育った後に日本に移住した熱帯出生者と、日本で生まれ育った温帯出生者を対象としており、それ

ぞれのグループが生まれ育った生活環境に気候以外の違いもあったことが考えられる。アジアの家電市場に関する調査の中で、松岡(2012)は2009年におけるエアコンの普及率はタイで13.6%、インドネシアで6.7%、マレーシアで26.2%、ベトナムで4.5%であると述べている。対して日本では、1970年代以降年々普及率は上昇し、2009年には約90%に達している。皮膚温度感受性の出生地域差に関する考察の中で、温刺激が冷受容器の神経活動を抑制し、冷刺激の不足が冷感感受性を低下させる可能性があることについて述べたが、今後熱帯諸国においてもエアコンの普及率が上昇し、空調の効いた人工環境下で過ごす時間が多くなれば、冷感感受性の低下が生じにくくなる可能性もある。佐々木(1987)は、日本人の基礎代謝の季節変動の幅の減少傾向を指摘しており、一般家庭へのエアコンの普及や食生活の変化に伴って季節順化が減弱ないし消失することが予測されている。また中井ら(2007)は、日常生活において夏期の冷房装置による快適な居住環境と屋外の急激な温度変化が季節性の暑熱順化に影響することを述べている。そのため、現代の生活環境が今後の人類の皮膚温度感受性に変化をもたらしていく可能性も考えられる。

語感的影響

Tochihara et al. (2012)は、日本人とインドネシア人の温熱感覚に対する言語表現の比較を行い、Very coldからVery hotまでの11段階の温熱感覚を表現する言語を用いた温冷感申告値の中で最も快適だと感じる語彙を調べた。その結果、日本人が最も快適と感じる語彙はCoolからWarmまでの5段階にほぼ均等に分布したのに対し、インドネシア人は全体の75%がCoolを最も快適と感じる語彙であると回答するといった温冷感の認識に対する民族差が見られた。本研究では、被験者に対して温冷覚閾値の説明をする際にWarm、Coolという表現を用いたため、熱帯出生者と温帯出生者の間にこれらの語彙に関する語感の違いがあった可能性も考えられる。しかし、温冷覚閾値測定にあたり全ての被験者に対して、各温度変化を自覚した時点で即座にストップボタンを押すように指示していたことから、温冷覚閾値の出生地域差に語感の違いが与えた影響は少ないのではないかと考えた。

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)

[学会発表] (計2件)

①. 虎本紗代, 熱帯出生者と温帯出生者の皮膚温度感受性の季節変動, 日本生理人類

学会第67回大会 2012年11月17日~11月18日, 首都大学東京 荒川キャンパス講堂 (東京)

②. Sayo Toramoto, Cutaneous thermal perception in tropical and temperate natives, Healthy Buildings 2012 10th International Conference, 2012年07月08日~07月12日, Brisbane, Australia

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栃原 裕 (TOCHIHARA YUTAKA)

九州大学・大学院芸術工学研究院・教授

研究者番号: 50095907

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし