

平成21年 6 月 24 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500634
 研究課題名（和文） 日本人の生活様式をふまえた不均一暖房環境の特徴と評価に関する研究
 研究課題名（英文） Study of characteristics and evaluations of non-uniform heating environment based on Japanese lifestyle
 研究代表者
 榎本 ヒカル（ENOMOTO HIKARU）
 独立行政法人労働安全衛生総合研究所・国際情報・研究振興センター・研究員
 研究者番号：00423517

研究成果の概要：

我々の居住空間には様々な温度差が存在しており、日本の冬期室内環境ではコタツのような大きな上下温度差にさらされる暖房方式が用いられてきた。本研究では冬期室内環境を模した人工気候室に BOX 型空調装置を設置し、人体の下半身のみを暖めた場合の生理面、心理面、作業成績等にどのような影響が現れるのかを調べる実験を行った。その結果、手部皮膚温や HRV、唾液中コルチゾール濃度、ねむけ感、全身温冷感などに下部温度の影響がみられた。得られた実験結果より至適条件について考察を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,000,000円	900,000円	3,900,000円
2008年度	600,000円	180,000円	780,000円
総計	3,600,000円	1,080,000円	4,680,000円

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：住環境 温熱環境 温冷感 環境工学 人間工学

1. 研究開始当初の背景

日本の住宅生活史の中で、暖房が行われてきたのは100年程度にすぎない。室町時代の徒然草には「家のつくりようは夏をむねとすべし、冬はいかなる所にも住まる」とあるように伝統的に開放的な居住洋式であり、また明治以降は文明開化の名の下に近代的設備が西洋諸国から導入されたが、暖房設備はごく一部の限られた建築にしか導入されず、北海道ですら庶民がストーブを導入するようになったのは明治末期ごろからであるといわれている。また、日本古来の伝統的暖房器具としては、暖房というよりむしろ「採暖」という形で火鉢やいろりが存在してきた。現在では石炭や薪を家の中で使うことは殆ど

ないとはいえ、このような身体の局所を暖める局所型暖房や、室内を均一環境に保つのではなく上下温度差が存在し不均一な環境である暖房形態は、例えば現在でもコタツという形式で広く一般に使われている。

現代の日本の一般家庭における暖房形式としてはエアコンが多くみられるものの、石油やガスを用いる開放型燃焼式ストーブも相当数みられ、また住宅の高気密・高断熱化を反映して床暖房も相当数の住宅で用いられている。暖房環境は急速に改善されつつあるが、これらの多くは不均一温熱環境であり、ISO や ANSI-ASHRAE などの海外の均一環境を対象とした評価方法や、それらをベースとした快適環境基準を直接導入するには考慮す

べき点が多いと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、日本で現在でも多く用いられている不均一暖房環境に焦点を当て、問題点と特徴を明らかにすることを目的としている。具体的には、冬期室内を模した人工気候室において、BOX型空調装置(図1)を用い下半身のみを暖めた場合に、人体生理反応、心理反応および作業成績にどのような影響が現れるのかを測定する被験者実験を行った。それらの結果より、至適下部温度についての検討・考察を行った。

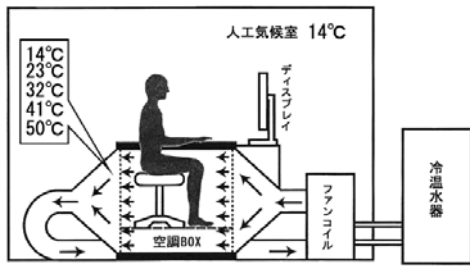


図1 BOX型空調装置

3. 研究の方法

被験者は、健康で喫煙習慣のない男子大学生8人(平均年齢21.0±1.0歳)とした。図2に実験プロトコルを示す。

被験者は前室(気温25°C,湿度50%)にて実験準備完了後10分間安静にした後、実験室に移動し椅子から下部が入るBOX型空調装置内の椅子に90分間着席した。実験室の上部温度は14°Cに固定し、下部温度を14°C、23°C、32°C、41°C、50°Cの5段階に切り替え、全5条件の実験を行った。被験者が実験中に着用した着衣による熱抵抗値は、サーマルマネキンによる測定で0.83cloであった。

被験者側の測定項目は、直腸温、皮膚温15箇所、血圧・心拍数、体重減少量、HRV(心拍変動係数)、唾液中コルチゾール濃度およびs-IgA濃度、自覚症しらべ、主観申告、記憶探索課題成績とした。

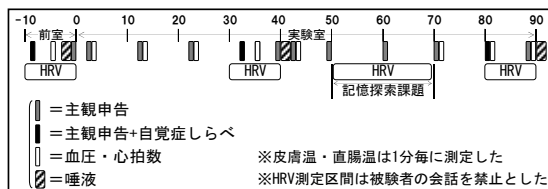


図2 実験プロトコル

4. 研究成果

(1) 実験結果

①各部位別皮膚温：図3に実験終了時の局所皮膚温、直腸温、Hardy and Duboisの12点法による平均皮膚温および平均体温の被験者8名の平均値を示す。前額、胸、背中、上腕、前腕、手背、手指が上部温度曝露部位で

あり、大腿前、大腿後、下腿前、下腿後、足背、足指が下部温度曝露部位である。下部温度が高くなるほど皮膚温も高くなり、上肢においても下肢においても末端部になるほど曝露温度の影響が強くなった。上部温度に曝露されている部位の皮膚温にも下部温度の影響が見られる部位が存在し、上肢の皮膚温変化に着目すると上腕、前腕は体幹同様あまり変化がないものの、手背や手指の皮膚温は条件による差がみられた。50°C条件の皮膚温は、上腕から手指までほぼ30°Cまで暖まっていた。また、胸や背中、腹、腕では41°C条件より50°C条件の皮膚温がわずかに低くなったが、これは発汗の影響であると考えられる。

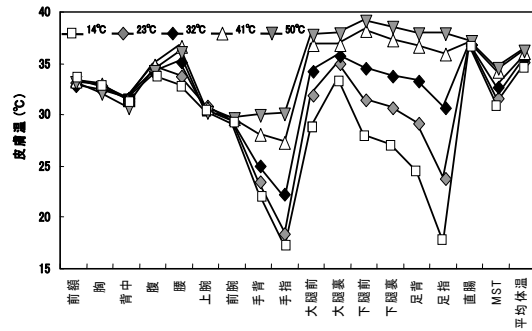


図3 実験終了時の局所皮膚温、直腸温、平均皮膚温

②直腸温および手指皮膚温の経時変化：図4に直腸温および手指皮膚温の変化量の被験者8名の平均値と標準偏差の経時変動を示す。実験中は安静座位に保たれているため、直腸温は実験開始後から緩やかに低下したが、41°C条件は50分以降、50°C条件は60分以降に上昇に転じた。手指については、上部温度の曝露部位であるものの下部温度の影響を強く受け、14°C条件、23°C条件および32°C条件は時間とともに手指皮膚温が低下しているが、41°C条件と50°C条件ではほぼ一定の温度を保った。これは深部体温上昇を防ぐために指先で放熱が促進された為であると考えられる。

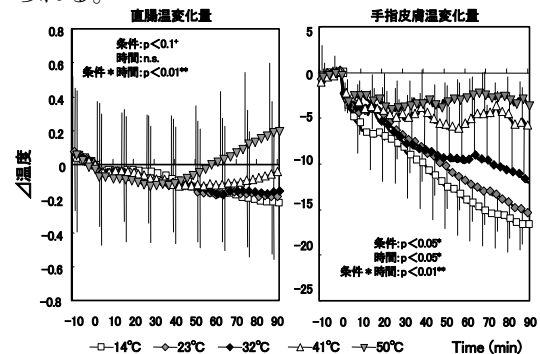


図4 直腸温および手指皮膚温変化量の経時変動

③HRV：図5にHRV(心拍変動係数)中のHF成分および心拍数における被験者8人の平均値

と標準偏差の経時変動を示す。実験終了時のHF成分をみると、50℃条件および41℃条件は実験開始時より減少したが、他の3条件は増加しており、特に14℃条件で大きな増加がみられた。心拍数については、14℃条件は常に低い値を推移した。また、41℃条件および50℃条件と他の3条件では、71分の測定以降二極分化がみられた。HF成分は心臓副交感神経の活動指標であり、心拍数が少ない条件ほどHF成分は増加する傾向にあった。

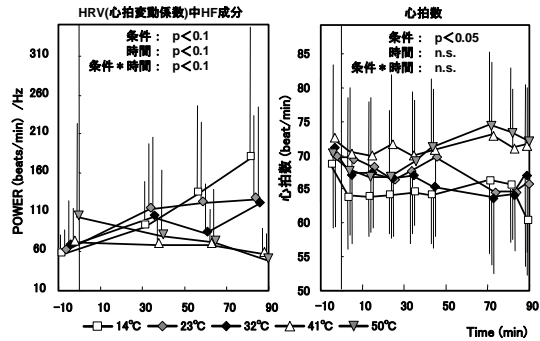


図5 HRV中のHF成分および心拍数の経時変動

④唾液中コルチゾール濃度：図6に唾液中コルチゾール濃度変化量の、被験者8人の平均値と標準偏差の経時変動を示す。14℃条件、23℃条件、32℃条件では唾液中コルチゾール濃度は徐々に減少したが、41℃条件と50℃条件は40分の測定では減少傾向にあるものの、その後90分時には、41℃条件はほぼ同じ値を保ち、50℃条件は上昇した。なお、s-IgAについては、実験条件間には有意な傾向は認められなかった。

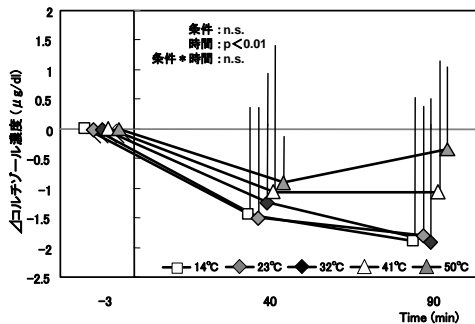


図6 唾液中コルチゾール濃度の変化

⑤温冷感および快適感申告の経時変動：図7に全身温冷感（9段階申告）および全身快適感（7段階申告）の経時変動（平均値±S.D.）を示す。全身温冷感については、32℃条件はほぼ中立の温冷感を示し、41℃条件および50℃条件は「暑い」側の申告を、14℃条件および23℃条件は「寒い」側の申告であった。

全身快適感は、殆どの時間で「快適な」側の申告を得ていた41℃条件以外は実験終了まで低下傾向を示した。32℃条件も60分まで「快適な」側の申告を保っていたが、70分

以降はわずかに「不快な」側の申告を示した。

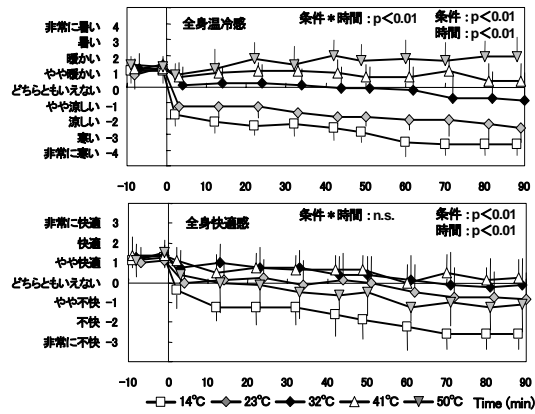


図7 全身の温冷感・快適感の経時変動

⑥記憶探索課題成績：図8に実験室中約20分間かけて行われた記憶探索課題の被験者8人の正解数の平均値を実験条件別に示す。記憶探索課題とは、画面に1秒間表示された5文字のアルファベットを記憶し、次に提示されたアルファベットが前の画面にあったかどうかを○×で答える課題である。50℃条件の正解数が他の4条件に比べ低かったが、各条件における正解数に対して一元配置の多重比較を行った結果、条件間に有意な主効果は認められなかった。

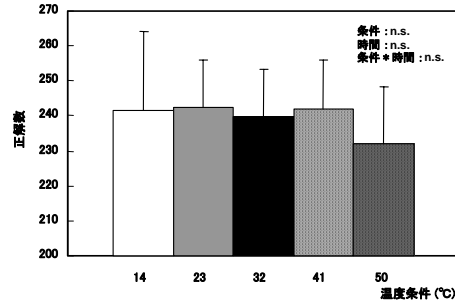


図8 記憶探索課題の合計正解数

⑦ねむけ感スコア：図9に自覚症しらべ項目中のねむけ感スコアの経時変動（平均値±S.D.）を示す。80分におけるねむけ感は、32℃、41℃及び50℃条件で実験後半大きく上昇したが、14℃及び23℃条件では変化は小さかった。2元配置の分散分析の結果時間に有意差が、また条件間には有意傾向がみられた。

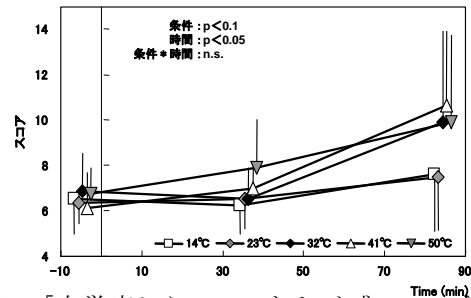


図9 「自覚症しらべ」のねむけ感スコア合計

(2)至適下部温度環境に関する検討

①下部温度と平均皮膚温の関係：図10に各被験者の、下部温度条件毎における80分から90分までの平均皮膚温のデータを平均したものと回帰直線を示す。下部温度が高くなるほど平均皮膚温も高くなる傾向がみられ、下部温度が14℃の時には平均皮膚温は30～31℃程度であったのが、下部温度が41℃以上では34～35℃に分布した。相関関係より、本実験で平均皮膚温が33℃から34℃の間となる下部温度は、32.4℃から41.8℃の間となった。

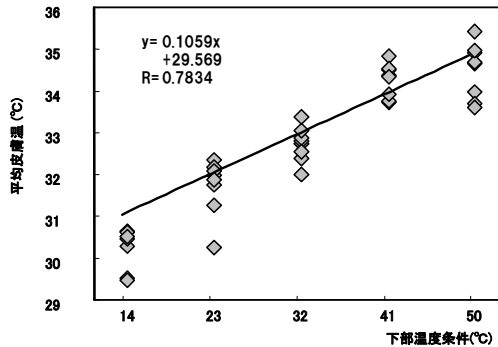


図10 下部温度と平均皮膚温の関係

②下部温度と温冷感および快適感申告の関係：図11に80分～90分における全身温冷感、全身快適感の被験者ごとの平均値の関係を示す。相関関係より全身温冷感が-1から1の範囲となる下部温度は31.6℃から44.6℃であり、全身快適感が0以上となる下部温度は、30.1℃から41.1℃の間となった。よって主観申告から求めた至適下部温度は32℃から41℃の間と推察される。図10より平均皮膚温が33℃～34℃となる下部温度は、相関関係より32.4℃から41.8℃の間となる。図11より全身温冷感が中立となる下部温度は38.1℃であり、本実験のような上下温度差の存在する環境においても、平均皮膚温が33～34℃であれば温熱的中性申告が得られることがわかる。

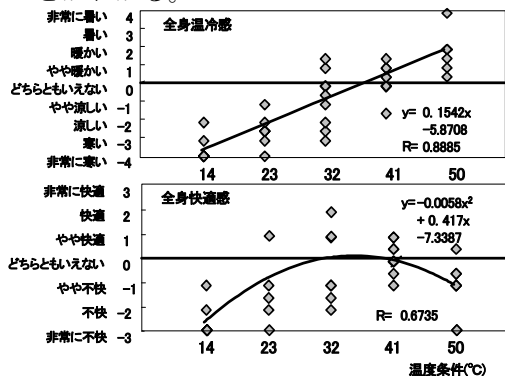


図11 下部温度と全身温冷感、全身快適感の関係

(3)様々なBOX型上下温度差実験結果との比較・考察

比較・考察

①BOX作用温度の提案：本研究結果と既往のBOX型空調装置を用いた上下温度差環境実験の結果を比較するため、蔵澄ら(1994)の日本人の体表面積を測定した研究を参考として、上部温度の曝露体表面積率を48.8%、下部温度の曝露体表面積率を51.2%とし、体表面積で重み付け平均した曝露温度をBOX作用温度として、次式で定める。

$$\text{BOX作用温度} = \text{上部温度} \times 0.488 + \text{下部温度} \times 0.512$$

②BOX作用温度と諸研究における温冷感の関係：図12に、本研究、Tanakaら(1984)、坊垣らの冬期条件(1990)、渡邊ら(1999)および松尾ら(2006)の研究で得られたBOX作用温度と全身温冷感の関係を示す。なお、渡邊らの実験はBOX型空調装置を用いたものではなく炬燵を用いており、渡邊らの実験データに関してはBOX作用温度の代わりに、渡邊らが論文内で提唱している炬燵作用温度を用いた。

どの研究においても全身温冷感が中立となる際のBOX作用温度は、22.7℃から26.0℃の間に集まって存在しており、回帰直線はほぼ似通った傾向を示していることからBOX作用温度によって上下温度差のある環境の温冷感はある程度は推察できると考えられる。

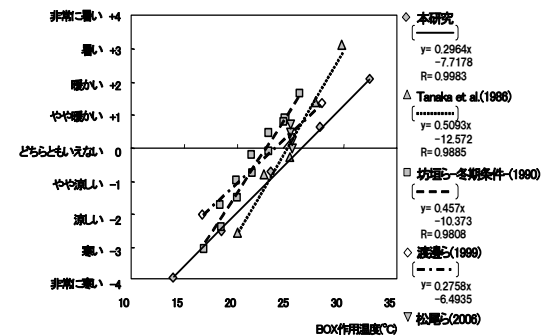


図12 BOX作用温度による全身温冷感比較

③BOX作用温度と諸研究における温熱的快適感の関係：図13に、本研究、Tanakaら、坊垣らの冬期条件、渡邊らおよび松尾らの研究で得られたBOX作用温度と全身快適感の関係を示す。なお、本研究と坊垣らの研究においては、同様の7段階の快適感申告スケールを用いていたため、y軸上の数値はそれぞれ、「+3:非常に快適」、「+2:快適」、「+1:やや快適」、「0:どちらともいえない」、「-1:やや不快」、「-2:不快」、「-3:非常に不快」を表すものとしてグラフを描いている。Tanakaらおよび松尾らは本研究とは異なる快適感の申告スケールを用いており、y軸上に記された数値はTanakaらの場合は「0:comfort」、「-1:slight comfort」、「-2:discomfort」、「-3:very discomfort」を表し、松尾らは「0:快適」、「-1:やや不快」、「-2:不快」、「-3:非常に不快」を表す。

不快」であった。本研究と Tanaka らの研究および、坊垣らの冬期条件での研究のそれぞれで示された、全身快適感が最大となる際の BOX 作用温度は、23.8℃から 25.0℃の間に集まって存在していることが分かる。また、温冷感同様、BOX 作用温度によって上下温度差のある環境における快適感がある程度は説明できると考えられる。

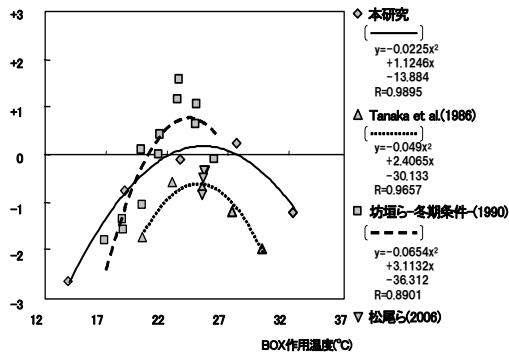


図 13 BOX 作用温度による全身快適感比較

(4)まとめ

気温 14℃の人工気候室にて BOX 型空調装置を用い下半身を加温する実験を行った。その結果、手指皮膚温や HRV、唾液中コルチゾール濃度、ねむけ感、全身温冷感などに下部温度の影響がみられ、至適下部温度は 32℃～38℃程度と推察された。また BOX 作用温度を提案し既往の上下温度差環境下での実験結果との比較を行った結果、どの研究においても BOX 作用温度が 24℃～25℃程度で至適環境になることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 4 件)

(1) Effects of lower body warming on physiological and psychological responses of humans, Hikaru Enomoto, Teruyuki Kumamoto, and Yutaka Tochihiro, International Conference on Environmental Ergonomics 2009, 2009 年 8 月、ボストン (米国) (予定)

(2) 隈本瑛幸、榎本ヒカル、栢原 裕、下半身の加温が人体生理・心理反応に及ぼす影響 その 1 実験概要および生理反応について、日本建築学会 2008 年度大会 (中国) 学術講演会、2008 年 9 月 20 日、広島大学

(3) 榎本ヒカル、隈本瑛幸、栢原 裕、下半身の加温が人体生理・心理反応に及ぼす影響 その 2 心理反応、自覚症状等および至適下部温度に関する検討、日本建築学会 2008 年度大会 (中国) 学術講演会、2008 年 9 月 20 日、広島大学

(4) 隈本瑛幸、榎本ヒカル、栢原 裕、下半身の加温が温熱快適性および生理値に及ぼす影響、日本生理人類学会第 58 回大会、平成 2008 年 6 月 8 日、大阪市立大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎本 ヒカル (ENOMOTO HIKARU)

独立行政法人労働安全衛生総合研究所・国際情報・研究振興センター・研究員

研究者番号：00423517

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

栢原 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