中程度の高温環境下における知的生産性に関する被験者実験

SUBJECTIVE EXPERIMENTS ON PRODUCTIVITY UNDER MODERATELY HOT ENVIRONMENT

西原直枝*, 田辺新一**

Naoe NISHIHARA and Shin-ichi TANABE

Subjective experiments were conducted in a climatic chamber to evaluate the effect of thermal environment on productivity. Chamber was conditioned at operative temperatures of 25.5°C, 28°C, or 33°C. The effects of thermal environment on task performance were modest and contradictory among the task types. According to the evaluation of fatigue feeling, the subjects most complained of mental fatigue at 33°C. The cerebral blood oxygenation was monitored by the near infrared spectroscopy. Concentration of total and oxygenated hemoglobin increased and that of deoxygenated hemoglobin decreased at 33°C. Evaluation of fatigue feeling and monitoring cerebral blood oxygenation might be applied to the measurement of productivity.

Keywords : *Productivity, Task performance, Fatigue feeling, Near infrared spectroscopy, Thermal environment*

知的生産性, 作業効率, 疲労感, 近赤外線酸素モニタ, 温熱環境

1. はじめに

近年, オフィスや学校等の計画や設計においては, 在室者の快適性・健康性を求めるだけでなく, さらに知的生産性の向上を求めるニーズが高まってきている^{1),2)}。本研究では, 中程度の高温環境が精神作業を中心とした知的生産性に及ぼす影響について評価することを目的とし, 被験者実験を行った。

生産性は, Parsons³⁾により, 「活動により得られる, ある組織の目標に対する作業効率」であると定義されている。Parsons は, 温熱環境と生産性の関係について, 温熱環境が, 人間の心理的および生理的過程に影響を与え, それが活動, 作業効率, さらに生産性に影響を与えると位置づけている。

米国では ASHRAE (米国暖房冷凍空調学会) を中心として, Dorgan⁴⁾, Fisk と Rosenfeld⁵⁾, 欧州では Wyon⁶⁾により, 生産性と室内環境との関連について, 経済的なコストを試算し評価する研究が行われている。これらの研究により, 作業員に対する人件費が空調設備等を含む建物に対するコストよりも高いことが示され, 室内環境を改善することで作業員の知的生産性が上がれば, 経済的にも効率的であることが報告されている。これらの生産性の試算には, 呼吸器系疾患による欠勤率等から評価を行う場合が多かった。一方, 室内環境を改善することにより, 作業の正確さやスピード等を含めた作業成績, 心理量, 生理量に与える影響については, 実験室実験による検討が行われてきている。Heath と Mendell⁷⁾は, 室内環境の質と生産性についてのレビューを行い, 十分な実験計画のもと行われた研究において, 室内空気質や光環境が悪いと, 作業成績等の作

業効率に負の影響を与えるという研究事例を挙げている。しかし, Heath と Mendell は, 室内の温熱環境要素が作業効率に与える影響については, まだ決定的な知見が得られていないと報告している。

温熱環境全般に関する初期の研究としては, Vernon⁸⁾がブリキ工場における季節による生産高の変化について, Chrenko⁹⁾が高温による事故率の増加について報告し, 生産高と事故率が温熱条件によって大きく影響されることが明らかにされている。これらの結果は, フィールド調査によるものであるため, 温熱環境だけでなく生産性に影響を与える多くの要因を含んでおり, 温熱環境が生産性にどのようなメカニズムで影響を与えているのかについては, 不明な点が多い。一方, フィールド調査だけでなく, 温熱環境に関する実験室実験が行われている。精神作業を中心とした知的生産性と温熱環境に関するレビューでは, Parsons³⁾や Wyon¹⁰⁾が, 温熱環境は知的生産性に何らかの形で影響を与えると報告しているが, Lorsh¹¹⁾や Sundstrom¹²⁾が指摘するように, それらの結果は一致しておらず, 統一した見解が得られているとは言い難い。その原因として, McIntyre¹³⁾が指摘しているように, 覚醒やモチベーション等の心理的な要因が作業成績等に関係していることが考えられる。単に精神作業の成績からだけでは, 温熱環境要素が知的生産性に与える影響を評価するのが難しい。

本研究では, 中程度の高温環境が知的生産性に与える影響を調べる為に被験者実験 (第一被験者実験) を行った。コンピュータを用いた複数の作業を被験者に課し, 作業成績による評価を行うとともに, 心理量, 生理量および作業時の疲労状態を測定し総合的に評価

* 早稲田大学理工学部
日本学術振興会特別研究員・博士(学術)
** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

JSPS Research Fellow, Waseda University, Ph. D.

Prof., Dept. of Architecture, Waseda University, Dr. Eng.

した。

従来の研究では、知的生産性を測定するために、作業を課した時の作業成績に着目することが多く、疲労状態に重点をおいた研究は少ない。本研究では、疲労状態を測定する為に、日本産業衛生協会産業疲労研究会作成「自覚症状しらべ」¹⁴⁾を用いた疲労感調査を行った。疲労状態については、労働科学研究所の吉竹らにより労働現場における研究が行われたが、温熱環境等の室内環境要素や知的生産性との関係については検討されていない。

また、近年、近赤外線分光により生体組織の酸素化状態を無侵襲かつ連続的に測定できるようになり、快適性評価や精神作業中の脳活動状態の評価への応用が期待されている^{15),16),17)}。本研究では、被験者実験（第二被験者実験）を行い、中程度の高温環境下における精神作業時の脳内酸素代謝について、近赤外線酸素モニタを用いて測定した。中枢神経活動をモニタすることにより、知的生産性を評価する上での新たな知見を得るための手法としての有効性について検討を行った。

2. 第一被験者実験方法

(1) 実験条件

実験は2000年11月16日～12月19日に、早稲田大学温熱環境室に設置された人工気候室にて行った。実験では、熱的中立状態として人工気候室の作用温度を25.5℃に設定した条件、より高温の環境として作用温度を28℃、33℃に設定した2条件を加えて計3条件とし、コンピュータを用いた複数の作業を被験者に課した。上記の3条件以外に作業の学習効果を除くため、実験の第1回目に練習条件を設けた。練習条件における作用温度は26.8℃だった。作用温度以外の環境条件は一定とし、相対湿度44%RH、静穏気流に制御した。実験服の着衣量はサーマルマネキン¹⁸⁾測定により0.76cloだった。図1に実験室の平面図を、表1に実験条件を示す。以後実験条件は、作用温度25.5℃条件を25.5℃、作用温度28℃および33℃条件も同様に、各々28℃、33℃と略す。

(2) 被験者

被験者は健康な大学生年齢の男女各20名、計40名とした。被験者には、正当な報酬に加えて、作業に取り組む動機のレベルを一定に保つために成績優秀者にボーナスを支払った。曜日や時間による影響を極力少なくするために、被験者は1週間間隔で4条件とも同じ曜日、時間帯の実験に参加した。図2に実験風景を示す。被験者の身体的特徴を表2に示す。

(3) 実験手順

図3にタイムスケジュールを示す。被験者は実験服に着替えた後、人工気候室に入室し、約90分間の曝露実験を開始した。入室して30分間椅座安静にした後、10分間の加算テスト、5分間のポジショニング作業、テキストタイピング作業、約15分のWalter Reed Performance Assessment Battery（以後PAB作業と略す）¹⁹⁾のコンピュータを用いた作業課題を順に実施した。表3に作業一覧を示す。自覚症状しらべは、人工気候室入室し椅座位安静30分後に「作業前」の申告を行い、全作業終了後に「作業後」の申告を行った。また、室内の温熱環境および空気の新鮮度についての主観的評価については、作業前および作業後の申告に加え各コンピュータ作業後にも申告を行った。申告を行う時間も含め、作業と作業の間に5分間の休

憩を取った。図4に温熱環境および空気の新鮮度に関する申告用紙を示す。

「自覚症状しらべ」は、疲労感を主観的に評価する手法である。2002年に「自覚症状しらべ」を改訂した新版「自覚症状しらべ」が提案されている²⁰⁾が、従来の方式は、労働科学・人間工学の分野や労働環境の現場で長年利用されており、既往研究データの蓄積が多く実績がある。このため、「自覚症状しらべ」は現場用に開発されたものではあるが、今回の研究ではこれを用いた。自覚症状しらべの質問紙は、全3群合計30項目で構成されている。各群の内容は、I群の10項目として「眠気とだるさ」を中心とする疲労一般の訴え、II群の10項目として「注意集中の困難さ」を示す作業意欲減退を中心とする心的症状についての訴え、III群の10項目として「局在した身体の違和感」で体の特定部位に現れる心身症的訴え、である。被験者は、各症状のうち該当する項目に○を、該当しない項目に×を記入する。自覚症状しらべの症状項目を表4に示す。症状の訴え率は吉竹らの方法に準拠し、次式に基づき算出した。なお、30項目全体に対する訴え率を「総合訴え率」と定義した。

$$\text{症状訴え率 (\%)} = \frac{\text{対象集団の総訴え数 (「○」の総数)}}{\text{項目の数} \times \text{対象集団の人数}} \times 100$$

吉竹らは、自覚症状しらべの各症状群間の順序関係は、一般型 (I>III>II)、精神作業・夜勤型 (I>II>III)、肉体作業型 (III>I>II) の3種類に大別され、総合訴え率が高い場合に精神作業・夜勤型が生じやすいと報告した。本研究では、中程度の高温環境が疲労感に与える影響について調べるために、自覚症状しらべを用い、上記3つの症状群がどのような出現をするかを分析した。

(4) 統計解析²¹⁾

テキストタイピング及びPAB作業の作業成績は1分間に正確な作業を行った数を用いて評価した。なお、PAB作業のうち、Interval Productionテストでは、被験者が1秒間であると判断した実際の時間を測定し評価した。申告結果および作業量について、環境条件間の比較は最小有意差法を、男女間の比較には対応のないt検定を用いた。なお、環境条件間の比較は練習条件を除いて検定を行った。

図1 温熱環境室平面図

図2 被験者実験風景

表1 実験条件

(S.D.)

Condition	Air Temp. [°C]	Globe Temp. [°C]	Operative Temp. [°C]	Relative Humidity [%]
練習	26.6 (0.43)	27.0 (0.31)	26.8 (0.37)	43 (0.7)
25.5°C	25.4 (0.87)	25.6 (0.83)	25.5 (0.83)	46 (0.6)
28°C	27.9 (0.22)	28.1 (0.20)	28.0 (0.19)	47 (0.6)
33°C	33.0 (0.53)	32.9 (0.51)	32.9 (0.52)	40 (1.1)

表2 被験者の身体的特徴

(S.D.)

Sex	Num ber	Age [year]	Height [cm]	Weight [kg]	Body Surface Area* [m ²]	Rohrer Index** [-]
Male	20	22.1 (1.71)	173.2 (5.67)	60.3 (7.38)	1.73 (0.12)	116.0 (11.8)
Female	20	22.0 (2.40)	158.4 (5.45)	49.3 (5.08)	1.49 (0.09)	124.1 (12.2)

*Calculated by Takahira's Equation : $A = 72.46W^{0.425} \times H^{0.725}$ **Rohrer Index = $W / H^3 \times 10^7$

- (1) Change Clothes, Weight
- (2) Staying Sedentary, Questionnaire, Oral Temperature
- (3) Flicker Test, Evaluation of Subjective Symptom of Fatigue, Vote
- (4) Physiological and Environmental Measurements
- (5) Vote, Evaluation of Subjective Symptom of Fatigue, Flicker Test
- (6) Change Clothes, Weight
- * Vote, Intermission

図3 タイムスケジュール

氏名 _____ 整理番号 _____

申告: 作業前 暗算作業後 Positioning後 Typing後 PAB後 2000年 月 日

1. あなたはこの室内の熱環境をどう感じますか。

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

寒い 涼しい やや涼しい どちらでもない やや暖かい 暖かい 暑い

2. あなたはこの室内の熱環境を快適だと思いますか。不快だと思いますか。

0 -1 -2 -3

快適 やや不快 不快 非常に不快

3. あなたはこの室内の熱環境を受け入れられますか。受け入れられませんか。

-1 0 +1

受け入れられない どちらかという どちらかという 受け入れられる

4. 汗のかきかたの状態についてお答えください。

0 1 2 3

発汗なし やや汗ばむ 汗ばむ 非常に汗ばむ

空気の新鮮度

むっとする _____ 新鮮

図4 温熱環境および空気の新鮮度に関する申告

表3 作業一覧

加算テスト	横に並んだ1桁の数字を足して答の下1桁を次々と記入する作業。
ポジショニング作業	ディスプレイ上のランダムな位置に順次表示されるターゲット(小黑丸)にマウスで矢印カーソルを合わせ、クリックするもの。クリックが行われるとターゲットは消滅し、新たなターゲットが画面上のランダムな位置に現れる。誤ったポジショニングに対してはビーブ音で被験者にエラーが知らされる。
テキストタイピング	例文テキストが与えられ、その例文と同じ文字をタイピングする作業。日本語の例文では、日本語変換ソフトの学習機能によって、タイプ量を正確に把握ができないという問題がある。また、英文やキーボードの扱いに不慣れた被験者を考慮する必要がある。その為、数字、スラッシュ、スペースキーのみからなる例文を使用する。
Two-letter search	2文字の目標アルファベットとアルファベットの文字列が画面に表示され、文字列中に二つの目標文字があるかないかを判断する作業。
Four choice serial reaction time	テンキーの1、2、4、5に対応する4つのボックスが表示され、そのボックスの中の一つに光が点滅する。光が点滅しているボックスに対応する数字を入力する作業。
Interval production	時計の秒針が表示され、自らが1秒だと感じる間隔でボタンを押して秒針を動かす作業。作業中時計などは参照しない。
PAB Manikin	画面に人体と口もしくは口の図形が人体の周囲および人体の左右の手に表示され、人体を囲んでいる図形と、同じ図形を持っている方の手の左右を答える作業。
Code substitution	数字とアルファベットの対応表が与えられる。その後、アルファベットが画面に表示され、それに対応する数字を入力する作業。
Matching to sample	まずサンプルの図形が画面に表示される。その後、2つの図形が並んで表示され、サンプルと同一の図形を選択する作業。
Running memory	1から3の数字が1文字ずつ次々と画面上に表示され、1つ前に表示された数字をキーボードより入力する。

表4 自覚症状しらべの症状項目⁽⁴⁾

I 群	II 群	III 群
頭がおもい	考えがまとまらない	頭がいたい
全身がだるい	話をするのがいやになる	肩がこる
足がだるい	いらいらする	腰がいたい
あくびがでる	気がちる	いき苦しい
頭がぼんやりする	物事に熱心になれない	口がかわく
ねむい	ちょっととしたことが思い出せない	声がかすれる
目がつかれる	することに間違いが多くなる	めまいがする
動作がぎこちない	物事が気にかかる	まぶたや筋肉がピクピクする
足もとがたよりない	きちんとしていられない	手足がふるえる
横になりたい	根気がなくなる	気分がわるい

また、空気の新鮮度に関する申告結果については、加算、ポジショニング、テキストタイピング作業後における計3回の平均申告値を「作業後」のデータとし、作業前後の比較を行った。作業前後の比較は対応のあるt検定を用いた。グラフ中の**は $p < 0.01$ 、*は $p < 0.05$ 、+は $p < 0.1$ を示す。

3. 第一被験者実験結果・考察

(1) 温熱環境および空気の新鮮度に関する申告

表5に、作業前からPAB作業後まで全5回の温熱環境についての平均申告値を環境条件ごとに示す。男女間の比較では、温熱感、発汗感覚の25.5°C条件で有意に女性の方が低い値となった ($p < 0.01$)。図5に空気の新鮮度についての結果を男女別に示す。空気の

表5 温熱環境についての申告結果 (平均値±標準偏差)

		温冷感	快不快感	熱的受容度	発汗感覚
Male	25.5℃	0.1 ± 0.83	-0.4 ± 0.33	0.5 ± 0.33	0.4 ± 0.37
	28℃	1.2 ± 0.69	-0.8 ± 0.59	0.1 ± 0.44	0.8 ± 0.58
	33℃	2.5 ± 0.49	-2.2 ± 0.66	-0.6 ± 0.38	1.9 ± 0.66
Female	25.5℃	-0.6 ± 1.03	-0.5 ± 0.58	0.5 ± 0.44	0.1 ± 0.17
	28℃	1.1 ± 0.78	-0.7 ± 0.55	0.2 ± 0.44	0.6 ± 1.29
	33℃	2.5 ± 0.63	-1.9 ± 0.76	-0.5 ± 0.41	1.6 ± 0.99

図5 空気の新鮮度申告値結果

図6 テキストタイピング

図7 Four Choice (PAB 作業)

新鮮度に対し「新鮮」を1,「むっとする」を-1とし解析した。男女ともに33℃条件の方が28℃および25.5℃条件よりも空気の新鮮度が有意に低下し、むっとする側の結果となった。

(2) 作業成績

女性では、全ての作業課題について、環境条件間で作業量に有意な差が認められなかった。男性で、環境条件間で有意な差が認められた作業は、テキストタイピング作業およびFour choice 作業のみであった。図6, 図7にテキストタイピング作業およびFour choice 作業の作業成績を示す。男性のテキストタイピング作業では、25.5℃条件が28, 33℃条件よりも有意に作業量が少なかった ($p < 0.05$)。また、Four choice 作業では、33℃条件の方が28℃条件よりも有意に少なかった ($p < 0.05$)。それ以外の作業では、環境条件間で有意差は認められなかった。

知的生産性を評価する際、作業成績による評価では多くの作業に対し温熱環境による有意な差が認められなかった。また、男性において環境条件による有意差が認められた作業に関しても、最も作業効率が低下した環境条件は、テキストタイピング作業では25℃条件、Four choice 作業では33℃条件であり、統一した見解は得られなかった。Pepler と Warner²¹⁾は、室温の異なる部屋における学習効率を測定し、16℃および20℃の涼しい室温では、作業スピードが速くなりエラー率が有意に高かったが、30℃や33℃の高い室温では学習効率における有意な差は認められなかったと報告している。Sundstrom¹²⁾は、精神作業と室温との関係について研究レビューを行い、精神作業成績は一般的に熱による影響をほとんど受けないとしている。また、Lorsch と Abdou¹¹⁾や CIBSE の報告書²²⁾でも、温熱環境が精神作業に与える影響については、統一した結果が得られていないと報告している。精神作業を対象とする場合、作業成績のみでは評価が難しいと考えられる。

(3) 疲労感

図8に作業前および作業後の自覚症状総合訴え率を示す。作業前および作業後の総合自覚症状の訴え率は、男女ともに、33℃が最も高く、次いで28℃、25.5℃の順だった。作業環境の作用温度が熱的中立状態より高温になることにより、自覚症状の総合訴え率が高くなること示唆された。作業前の方が作業後よりも、環境条件間における訴え率の差が大きかった。

症状群別の訴え率の順序関係を調べた。表6, 表7に各症状群ごとの訴え率を示す。作業前は、25.5℃条件、28℃条件は、男女ともに I > III > II の順であり、疲労の一般型であったが、33℃条件では、男女ともに I > II > III の順となり、精神作業・夜勤型の疲労感を生じた。II群の疲労訴え率は、作業環境が高温になるほど高かった。作業後は、男性では、全ての条件において I > II > III の順となり、精神作業・夜勤型となった。女性では、25.5℃、28℃条件では I > III > II の順であり、疲労の一般型であったが、33℃条件では I > II > III の順となり、精神作業・夜勤型の疲労感となった。

図8 自覚症状しらべ総合訴え率

表6 作業前後の訴え率の条件別比較 (男性)

	条件	I群	II群	III群	群間順序比較
作業前	25.5℃	15.5	3.5	5.5	I>III>II
	28℃	23.0	5.0	7.0	I>III>II
	33℃	24.0	12.0	11.5	I>II>III
作業後	25.5℃	21.5	14.0	13.5	I>II>III
	28℃	28.0	15.5	13.5	I>II>III
	33℃	24.5	21.5	14.5	I>II>III

表7 作業前後の訴え率の条件別比較 (女性)

	条件	I群	II群	III群	群間順序比較
作業前	25.5℃	16.5	1.5	5.5	I>III>II
	28℃	26.5	8.0	11.0	I>III>II
	33℃	32.0	14.0	12.0	I>II>III
作業後	25.5℃	31.5	12.5	14.0	I>III>II
	28℃	31.5	15.0	18.5	I>III>II
	33℃	34.0	19.0	16.5	I>II>III

4. 第二被験者実験—近赤外線酸素モニタを用いた評価—

(1) 実験方法

中程度の高温環境下における精神作業時の脳内酸素代謝を測定することを目的とし、近赤外線酸素モニタを用いた被験者実験を行った。被験者は、健康な大学生年齢の男性6名とした。実験は2001年3月21日～同年4月13日に、早稲田大学温熱環境室に設置された人工気候室にて行った。室内の作用温度を25℃、33℃の計2条件に設定し、第一被験者実験と同様にコンピュータを用いた複数の作業を被験者に課した。なお、作業の学習効果を除くため、実験の第1回目に作用温度25℃で練習条件を設けた。表8に実験条件を、表9に被験者の身体的特徴を示す。

実験方法は、第一被験者実験にほぼ準拠したが、フリッカー値の測定を行わずに、近赤外線酸素モニタによる測定を加えた。図9に近赤外線酸素モニタ(浜松ホトニクス NIRO-300)を示す。測定プローブは、半導体レーザーを光源とした近赤外線照射プローブおよび光検出プローブからなる。生体組織を通った光の吸収変化を測定し、Modified Beer-Lambert 則に基づき、ヘモグロビンの酸素濃度変化(単位: $\mu\text{M}=10^{-6}\text{mol}$)を計算することができる²³⁾。

図10に被験者実験風景を示す。近赤外線酸素モニタの測定プローブを左右前額部に設置し測定を行った。実験中2秒毎に脳内酸素化ヘモグロビン濃度変化量($\Delta\text{O}_2\text{Hb}$)および脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量(ΔHHb)を測定した。また、総ヘモグロビン濃度変化($\Delta\text{total Hb}=\Delta\text{O}_2\text{Hb}+\Delta\text{HHb}$)を算出した。実験条件間の平均値の比較には、対応のあるt検定を行った。

(2) 実験結果

図11に酸素化ヘモグロビン濃度変化量、脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量、総ヘモグロビン濃度変化量を示す。

左額において測定した酸素化ヘモグロビン濃度および総ヘモグロビン濃度の増加量は、ポジショニング作業、テキストタイピング作業およびPAB作業において、作用温度33℃条件の方が25℃条件よりも有意に大きかった($p<0.01$)。被験者が人工気候室内に入室し、椅座位安静状態で25分経過した時点から、全てのパソコン作用が終了するまでのデータの平均値をみると、作用温度33℃条件下では、酸素化ヘモグロビン濃度変化の平均は、左額側で $+2.65\mu\text{M}$ 、右額側

で $+2.47\mu\text{M}$ 、総ヘモグロビン濃度変化量の平均は、左額側で $+1.71\mu\text{M}$ 、右額側で $+1.68\mu\text{M}$ であり、増加側の値となった。一方、作用温度25℃条件下では、酸素化ヘモグロビン濃度変化の平均は、左額側で $-3.91\mu\text{M}$ 、右額側で $-1.26\mu\text{M}$ 、総ヘモグロビン濃度変化量の平均は、左額側で $-5.25\mu\text{M}$ 、右額側で $-2.52\mu\text{M}$ であり、減少側の値となった。

脱酸素化ヘモグロビン濃度変化については、25℃条件と33℃条件との間に有意な差は認められなかった。脱酸素化ヘモグロビン濃度変化の平均は、33℃および25℃条件ともに減少側の値だった。

既往の研究より、暗算作業や鏡映描写作業などの精神作業負荷時に、酸素化ヘモグロビンの増加、脱酸素化ヘモグロビンの減少、および総ヘモグロビンの増加が、典型的に認められると報告されている^{24),25)}。本研究の33℃条件における結果は、精神作業時に典型的に生じると報告されている脳内酸素代謝の状態と一致している。ただし、

表8 実験環境条件(練習条件除く)

	Air Temp. [℃]	Globe Temp. [℃]	Operative Temp. [℃]	Relative Humidity [%]
25℃	25.1 (0.41)	25.2 (0.44)	25.2 (0.43)	45 (0.4)
33℃	33.0 (0.33)	33.2 (0.20)	33.1 (0.24)	44 (0.9)

表9 被験者の身体的特徴

Sex	Num ber	Age [year]	Height [cm]	Weight [kg]	Body Surface Area ¹⁾ [m ²]	Rohrer Index ²⁾ [-]
Male	6	22.8 (0.75)	169.3 (4.13)	58.5 (9.12)	1.68 (0.13)	119.9 (13.4)

¹⁾ Calculated by Takahira's Equation $A=72.46W^{0.425}\times H^{0.725}$

²⁾ Rohrer Index = $W/L^3\times 10^7$ () standard deviation

図9 近赤外線酸素モニタ NIRO-300

図10 被験者実験風景

About each left and right side of cerebral hemoglobin concentration, the results of paired t-test between 25°C and 33°C during each task are shown. (-: no significant, †: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.01)

図11 脳内酸素代謝状態

体温調節による脳内酸素代謝についての区別が今後必要であろう。また、作用温度が33°Cの条件では、自覚症状しらべにより精神作業・夜勤型の疲労感が生じ、脳内酸素代謝も精神作業時に典型的な状態となった。脳内酸素代謝状態の変動と、疲労感が関連する可能性が考えられる。

5. まとめ

本研究では、中程度の高温環境が知的生産性に与える影響を調べることが目的とし、作用温度25.5, 28, 33°Cに制御した人工気候室内で被験者実験を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 実験室の作用温度が高くなるにつれ、空気の新鮮度についての主観申告値は有意に低下し、「むっとする」側の申告となった。
- 2) 作業量については、男性に関し、テキストタイピングとFour choice 以外の作業では、条件間に有意な差が認められなかった。

また、女性については全ての作業課題において条件間に有意差が認められなかった。男性のテキストタイピングでは25.5°C条件が28, 33°C条件よりも作業量が少なく、Four choice では33°C条件が28°C条件よりも作業量が少なかった。

- 3) 「自覚症状しらべ」を用い、疲労感の測定を行った。作業環境の作用温度が熱的中立状態より高温になることにより、自覚症状の総合訴え率が高くなった。作用温度33°C条件では、精神作業・夜勤型の疲労感が生じることが明らかとなった。
- 4) 作用温度33°C条件において、酸素化ヘモグロビン濃度の増加、脱酸素化ヘモグロビン濃度の減少、総ヘモグロビン濃度の増加という精神作業時に典型的な脳内酸素代謝の状態が認められた。
- 5) 中程度の高温環境が知的生産性に与える影響を評価する上で、作業成績による評価だけでなく、疲労を測定することが重要であることが示唆された。

謝辞

本研究にご協力頂いた山本ゆう子様に感謝致します。被験者としてご参加下さった方々へ心より御礼申し上げます。なお、本研究の一部は科学研究費(基盤研究(A)2)課題番号14205085)、笹川科学研助成、および日本建築学会「シックハウス問題の解明とヘルシーな居住環境の開発」特別研究委員会(村上周三委員長)により実施した。ここに記し、感謝の意を表します。

注釈

統計的に有意な差があるという事と、その差が実質上意味のある差であるという事とは、必ずしも一致しない。温熱環境と生産性の研究は、従来から行われてはいるものの、明確な結論が得られていないのが現状である。作業成績でどのくらいの差異があった場合に、生産性に影響が出るのかについては、現状ではまだ十分な知見が少なく、実質上意味のある作業成績の差を設定しておくことが困難である。本論文では、温熱環境と生産性の関係を評価する手法を検討することを目的としている。そのため研究の第一段階として、「温熱環境条件間で、測定値の平均に差があるかどうか」という、統計的な有意差があるかどうかという点にのみ注目し結果を検討した。なお、群間の平均値に本来差がない場合に、これを棄却してしまう「第一の過誤」を犯す確率は、有意水準の設定やp値の記述によって明示することができる。一方、群間の平均値に本来差がある場合に、帰無仮説を採択する「第二の過誤」を犯す確率を明確にするには、一般的には検出力を示すという方法がとられる。この検出力の算出にあたっては、標本データ数と、実質的に重要と考えられる差を事前に設定しておく必要がある。この「実質的に重要と考えられる差」については、生産性の研究において定義できるほどの知見が蓄積されていないと考えられ、検出力を算出することは現状では困難である。従って、本論文では、帰無仮説を棄却できるかどうかという検定を行い、もし棄却できない場合にはこれを積極的に採択することのないよう留意し記述を行った。

参考文献

- 1) 佐藤彦彦：オフィス・アメニティ、井上書院、東京、1989
- 2) United States Environmental Protection Agency, Indoor Environments Division: Indoor Air Quality and Student Performance, EPA 402-F-00-009, 2000
- 3) Parsons, K.: Human Thermal Environment, London, UK: Taylor & Francis, pp.199-217, 1993
- 4) Dorgan, C.B., C.E. Dorgan, M.S. Kanarek, A.J. Willman: Health and Productivity Benefits of Improved Indoor Air Quality, ASHRAE Trans, 98, (1A), pp.658-665, 1998
- 5) Fisk, W., Rosenfeld, A.: Estimates of improved productivity health from better indoor environments, Indoor Air, 7, pp.158-172, 1997
- 6) Wyon, D.P., Fisk, W., Rautio, S. Research needs and approaches pertaining to the indoor climate and productivity, Healthy Buildings

- 2000 Workshop Summaries, pp.1-8, 2000
- 7) Heath, G.A., and M.J. Mendell: Do Indoor Environments in Schools Influence Student Performance? A Review of the Literature, Proceedings of Indoor Air 2002, pp.802-807, 2002
- 8) Vernon, H.M.: The influence of hours of work and of ventilation on output in tinplate manufacture, Report to Industrial Fatigue Research Board, No. 1, London: HMSO, 1919
- 9) Chrenko, F.A. (Ed.): Bedford's Basic Principles of Ventilation and Heating, 3rd eds. (H.K. Lewis, London), 1973
- 10) Wyon, D.P.: The effects of indoor climate on productivity and performance: a review, *WS and Energi*, 3, 59-65, 1986
- 11) Lorsch, H.G., O.A. Abdou: The impact of the indoor environment on occupant productivity —Part 2: Effects of temperature, *ASHRAE Transactions*, 100(2), pp.895-901, 1994
- 12) Sundstrom, E.: Work environments: offices and factories, *Handbook of environmental psychology*, Vol. 1, Eds. Stokols, D., and Altman I, Chapter 19 (New York: John Wiley), pp.733-782, 1987
- 13) McIntyre, D.A.: Temperature and performance, *Indoor climate Chapter 11* (London: Applied Science), pp.346-371, 1980
- 14) 吉竹 博: 改訂産業疲労—自覚症状からのアプローチ—, 財団法人労働科学研究所出版部, 1993
- 15) 中村直人: 近赤外分光装置とその応用, *日本生理人類学会誌*, Vol. 1, No. 2, pp.111-114, 1996
- 16) 宮崎良文, 森川 岳, 伊藤幸恵, 山本 昇, 中田知里, 富田文一郎: 木材の香りが生体に及ぼす影響(II)—脳血流量を指標として—, 第49回日本木材学会大会研究発表要旨集, pp.184, 1999
- 17) 森川 岳, 末吉修三, 宮崎良文: 塗装した木材への接触が生体に及ぼす影響(II)—血圧ならびに脳血流量を指標として—, 第49回日本木材学会大会研究発表要旨集, pp.185, 1999
- 18) 田辺新一, 長谷部ヤエ: 皮膚温度可変型サーマルマネキンによる室内環境評価法に関する研究, *日本建築学会計画系論文報告集*, 448, pp.1-8, 1993
- 19) Thorne, D.R., Genser, S.G., Sing H.C. and Hegge F.W.: The Walter Reed Performance Assessment Battery. Ankho International Inc. Printed in the U.S.A., *Neurobehavioral Toxicology and Teratology*, Vol. 7, pp.415-418, 1985
- 20) 酒井一博: 日本産業衛生学会産業疲労研究会撰「自覚症しらべ」の改訂作業2002, *労働の科学*, 57(5), pp.27-30, 2002
- 21) Pepler R.D. and Warner R.E.: Temperature and Learning: An Experimental Study, *ASHRAE Trans.*, Vol. 74(2), pp.211-224, 1968
- 22) CIBSE: Environmental factors affecting office worker performance: A review of evidence CIBSE Technical Memoranda TM24, Windsor, Berks: Reedprint Limited, 1999
- 23) Delpy D.T., Cope M., van der Zee P, Arrige S, Wray S, Wyatt J.: Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement, *Phys Med Biol*, Vol. 33, pp.1433-1442, 1988
- 24) 木戸真美: 近赤外線吸収で測る精神作用, *医用電子と生体工学*, Vol. 33, 特別号, pp.357, 1995
- 25) Villringer A, Planck J, Hock C, et al.: Near infrared spectroscopy (NIRS): a new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults, *Neuroscience Letters*, Vol. 154, pp. 101-104, 1993

(2002年11月5日原稿受理, 2003年4月1日採用決定)