温熱環境を主とした複合環境における快適性関連技術

山崎起助・横田由佳

オフィスや住宅などの現実の居住環境は、温度や湿度などの温熱だけでなく光、音、空気質などの個別環境条件が組み合わされた複合環境と考えられる。そして、快適性や作業性など環境の中にいる人の環境への適合性を評価するとき、それら環境条件と環境の用途などのシーンとの組み合わせ効果として考える必要がある。しかし、このような実環境に近い条件を設定して諸環境要因を同時に実験などの検討対象とすると膨大な規模になる。また、実用的な環境設備機器で環境を調整するための指標となる評価技術を開発を目的とする場合、検討対象と目的とする環境を明確にして環境条件を絞り、指標のモデル化や指標の適用範囲を明確にすることが必要である。

このような総合的な環境評価技術開発への1ケースとして、均一・定常な環境条件で形成されるオフィスを想定して、評価指標開発のために実験的な検討を行った。温熱・光・音の環境を代表する要因に注目して想定した複合環境評価指標の構造、個別環境の評価指標及び複合環境における作業性の評価についての考察と検討を行った。

環境を表す物理要因は個別環境毎に細分化していくと非常に多くの環境要素から構成されていることは周知の

通りである。実験状況を現実の環境に近づけようとして多くの環境要因を評価指標の説明変数に取り込もうとすると、説明変数に対応する実験条件の組み合わせは膨大になると同時に評価指標を環境調整に利用しようとするとき要因の組み合わせが複雑になりすぎることにもなる。このため、個別環境を支配的に説明し、複合環境評価の説明変数にもなる個別環境評価指標の抽出を行った。複合環境の定量的な評価を目指して、オフィスにおいて作業を賦与した状況を設定して、環境との相互関連を温熱、光、音の個別環境指標と対応する個別環境に対応する主観量、複合環境における総合的な評価指標に対応するものとして作業適合感などと環境要因との相関について検討した結果について述べる。

1. 複合環境評估構造

ここでは、温熱、光、音の個別環境の組み合わせから成る複合環境を対象とする。

個別環境での環境物理量から個別環境評価指標を求め、個別環境評価指標を統合化評価式により複合環境評価指標を計算する評価構造を図1に示す[1]。環境条件として、温熱、光、音から構成されたオフィス環境で、環境

圖 1 複合環境評估構造

山崎起助氏

Complex Environmental Adaptation Estimation Mainly for Thermal Environmental

著者紹介 KISUKE YAMAZAKI and YUKA YOKOTA

Living Environment System Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.

三菱電機株式会社 住環境研究開発センター 環境システム開発部 山崎氏は参事

著者（山崎氏）は、冷凍空調技術、快適性評価技術を専門とされており、著書には「感じる」こころを科学する」（共著）などがある。趣味 ゴルフ、囲碁。

本稿では、温熱・光・音要因が複合して人の作業適合性に及ぼす影響を評価する指標化技術について述べられた。

物理量が時間的に変化せず（定常）、空間的に均一または単純化されている環境（定常均一環境）を想定した。

環境の代表的な形成要因は、温熱環境については温度、湿度、気流、輻射などがあり、光（照明）環境については、照度、壁面輝度、色温度、音（騒音）環境については音圧、周波数、騒音の種類等がある。これらの環境要因の中でも、オフィスなどで環境条件を調整するための重要な要因として温度、照度、音圧を注目する。温度は空調機器で制御の目標とする室内温度の設定などで直接的な制御対象であり、照度は照明機器の配置、点灯、ランプ出力電力などによって照度レベルが設定され、音圧は、空調機器などを運転すると付随的に発生する騒音の大きさである。

図1は、複合環境評価指標を求めるために想定した評価構造を示す図である。個別環境感覚量（主観量）評価実験から、複合環境実験で対象とする個別環境要因の代表的な物理量を選定し、それぞれの環境要因成分に対応する支配的な感覚量（主観量）として、温冷感、明るさ感、うるささ感を抽出選定した。この3主観量に対応する環境物理量の実験条件とする水準を設定して複合環境評価実験を行い、環境物理量や主観量を説明変数とする複合環境の評価式を求める。温熱、光、音環境要因のなかで、光、音については別途個別に実施したSD尺度に

よる主観評価実験から明るさ感、うるささ感を支配感覚量として抽出した。これら個別環境の支配感覚量に対応した指標を環境物理量として、温熱ではISOに制定されているPMV、光環境では作業面照度、音環境では等価騒音レベル（Leq(A)）を個別環境評価指標とした。

2. 実験方法及び条件

実験環境の提示装置は、主に実験室筐体（間口7m、奥行き7m、高さ3m）、冷暖房装置、温熱制御装置、照明装置、照明制御装置、音発生装置、音場形成装置で構成されている。それぞれの環境要因を独立に制御して、オフィス環境を想定した、個別環境要因を組み合わせた複合環境条件を提示することができる。実験室筐体は、建物内部に設置され、厚さ50mmの発泡ウレタンで断熱されており、各壁面の室内側表面温度は室内空気温度に近い値となっている。

図2は複合環境実験装置のシステム系統を示す図である。冷暖房および温熱制御装置により、吹き出し風量、温湿度を可変に調整して温熱環境の設定を行う。また、長時間の被験者試験などに対応できるように、外気調和機を介して温熱環境設定状態を維持しながら新鮮外気を室内に導入する。照明装置および照明制御装置は、調光装置からの調光信号により室内の天井面に設置したコン

図2 複合環境実験室システム構成

図3 実験室内配置

図4 実験風景

表1 個別環境評価実験 環境条件

温熱環境(PMV)	光環境(机上面照度[lx])	音環境(音圧[dB])
-1.5	75	40
-0.75	300	45
0	750	50
+0.75	1500	55
+1.5		60

表2 主観申告値カテゴリー

温冷感	1. 寒い 2. 涼しい 3. やや涼しい 4. どちらでもない 5. やや暖かい 6. 暖かい 7. 暑い
明るさ感	1. 暗い ~ 7. 明るい
うるささ感	1. うるさくない 2. 少しうるさい 3. うるさい 4. かなりうるさい 5. 非常にうるさい
不快感	1. 不快 ~ 5. どちらでもない
作業適合感	1. 適していない ~ 5. どちらでもない
疲労感	1. からだが疲れている ~ 5. どちらでもない
爽快感	1. 頭がつかれている ~ 5. どちらでもない
目の疲れ	1. 目がつかれている ~ 5. どちらでもない

バクテラ蛍光ランプ(96本)を内蔵し、16カ所に分散する蛍光器具により室内照度を調整し机上面照度を設定する。音発生装置および音場形成性装置は、実環境から採集した環境音にフィルタリングを行い、人間の聴覚特性を反映した試験音を生成し、部屋の4隅に設置したスピーカーにより4人の被験者の位置で同一音圧レベルになるように騒音を提示する。

一回の実験には室内に4人の被験者が入室する。そのときの被験者周辺の環境物理量、被験者の主観量、生理量を計測するとともに、被験者に賦与する精神作業負荷(作業能率)、被験者の主観量などを収集・計測する。図3は被験者実験を行うときの事件室内の配置関係を示し、図4は被験者実験状況を示す。

実験室内の環境物理量は、オフィス環境に相当し、中層に近い範囲を想定して環境条件を設定している。温熱環境については、PMVが $-1.5 \sim +1.5$ に相当する空気温度を設定し、光環境は机上面照度が $75 \sim 1500 \text{ lx}$ 、音環境は等価騒音レベル $40 \sim 60 \text{ dB}$ の範囲とした。表1は複合環境実験における各環境条件の3水準の組み合わせを示す。

実験データ計測の方法は、被験者の座る机上にペン入力パソコンを設置し、その画面を通して、被験者の入力する主観量や作業能率の提示・作業結果をホスト計算機によって回収する。また、机上の隅に置かれたCFF装置による被験者の入力値は実験補助員が記録するようにした。

被験者のタスクは、ペンパソコン上の液晶画面に提示される一位加算作業の実施、画面に表示される実験スケジュールに従った主観申告値の入力及びCFF計測器によるCFF値の入力である。主観申告項目は、温冷感、明るさ感、うるささ感、不快感、作業適合感、疲労感、爽快感、目の疲れなどの8項目であり、表2に主観申告のカテゴリーの例を示す。

被験者実験は約3時間に亘り図5に示すスケジュール

図5 実験スケジュール

主観量の経時変化例
(環境条件：室温25℃(PMV0)、
机上面照度750[lx]、等価騒音レベル60[dB])

図6 主観申告結果例

(環境条件：750(lx)，25℃，60dB，全被験者平均)

で実施している。負荷作業（13分）と CFF 入力（2分）をユニットとする2ユニットを1セッション（31分）として、これを6回繰り返す方法を採用した。このような実験条件の設定と計測条件のもとに、各環境要因のみを変化させた個別環境実験と各環境条件を組み合わせた3元配置による複合環境実験を行った。

3. 実験結果の例

3.1 主観量の時間変化

「(1)温冷感・明るさ感・うるささ感」は個別環境評価

指標に関連し、「(2)作業適合感・不快感」を複合環境評価に適用し、「(3)爽快感、目の疲れ、疲労感」は疲労に関連する指標と考えられる。環境条件：25℃，750lx，60（dBA）における作業中の各主観申告値の時間的変化の例を図6に示す。図において、縦軸の平均主観量は各時間における申告主観量の単純平均をとったものである。環境及び作業に関する主観申告値の時間経過による変化は少なく、疲労に関する主観申告値は、当然予想されることではあるが、時間経過に従って疲れが増大する方向に変化しているが、時間を変数とするデータの解析については今後の課題である。

3.2 個別環境—主観量の相関関係

個別環境については、他の環境要因を一定にして、対象環境要因のみを変化させて、環境要因と対応する主観量との相関を求めるもので、複合環境実験に入る前の基礎になるものと位置付けている。温冷感はPMV値で代表できるものとし、明るさ感はペンパソコンの置かれている机上面の照度、うるささ感についてはオフィスで収集した空調機騒音、道路騒音、OA機器騒音の3種類について、うるささ感との相関を求めたが、空調機器音がうるささ感と最も良い相関を示すとともに、オフィスの最も一般的な騒音であり、連続的に発生することから、後述する実験の騒音種として選定した。

3.3 個別環境の作業適合性を与える影響〔2〕

個別環境における環境要因と作業適合感との経済的な相関関係、各環境要因に対して作業適合感が変化する状況を図7(a)～(c)に示す。また、各図には不快感についての主観申告値を同時にプロットしているが、いずれも作業適合感と同様の傾向を示している。作業適合感については、「適していない(1)」から「どちらでもない(5)」の5段階としている。不快感については、「不快(1)から「普通(5)」の5段階としている。ここで図中の各点は被験者申告値を平均した値である。

図7(a)は、室温レベルを変化したときの作業適合感を

図7 環境物理量と作業適合感

示す図で、基準実験である25°C程度でピークとなる上に凸のカーブの傾向を示す。

図7(b)は、机上面照度レベルを変化したときの作業適合感を示す図で、1000lx程度までは作業適合感は改善の方向にあるが、それ以上明るくしても作業適合感の上昇は鈍化する傾向が見られる。

図7(c)は、等価騒音レベルを変化したときの作業適合感を示す図で、騒音が大きくなるにしたがって作業適合感は直線的に低下する傾向を示す。

図7(a)~(c)に示されるように作業適合感は環境条件に

図8 環境物理量と作業適合感(室温基準)

図9 環境物理量と作業適合感(騒音基準)

よって明らかに影響されることを示している。また、本実験条件範囲のように、通常のオフィス環境条件に類似した環境では、温熱環境条件の寄与が大きいことが明らかとなった。

3.4 複合環境の作業適合感に与える影響 [3]

個別環境要因の組み合わせである複合環境条件と作業適合感との関連を図8及び図9に示す。個別環境要因の作業適合性に寄与する程度が異なることは3-3)節に述べた通りであるが、複数の環境要因が作業適合感に相

互に影響を与えている。例えば、図8において、設定照度が異なるとき、室温の作業適合感に寄与する割合は大幅に変化する。即ち、ある環境要因のレベルが低下すると、その要因に引きずられて環境の質の低下のあることを示唆している。図9についても同様の傾向が見られる。

室温・照度・騒音の3要因を組み合わせた複合環境評価について、各要因の重みの一次線型結合で加算的に表現する方法が述べられている[4]が本文で述べた実験については、環境物理量、主観量などの一次指標を説明変数として、作業適合感など二次指標との相関特性の抽出について今後さらに検討すべき課題である。

4. むすび

複合環境における、各個別要因の作業性などの評価指標に及ぼす影響は、個別環境要因の線形結合だけでは説明の付かないことが示唆された。このことは、各環境要因間の交互作用を抽出する解析方法の向上、複合環境評価のモデル化に関する技術のさらなる向上が必要である。そして、本文では主として作業適合感に注目して実験結果の検討を行ったが、具体的には、主観量、生理量、作業量間の関連、時間要素を加味した経時変化に関する解

析、個人差に関する統計的な解析など、多くのバックデータの収集を含め、幅輻する大量のデータから汎用性の高い指標の抽出を目指して検討を行う予定である。

なお、この研究は通産省の産業科学技術開発プロジェクト「人間感覚計測応用技術の開発」の受託研究の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 滝川、宮崎、村井、藤原、酒井、明道、山崎：複合環境評価の一考察、日本人間工学関西支部大会講演論文集（平成6年11月26日）
- 2) 村井、横田：オフィス環境が作業適合性に与える影響（1）温熱・音・光個別環境、人間工学 第31巻 特別号（1995.5）
- 3) 横田、村井：オフィス環境が作業適合性に与える影響（2）複合環境、人間工学 第31巻 特別号（1995.5）
- 4) 松原：人間-熱環境に関する快適性の評価方法、5、複合環境の評価について、第14回人間-熱環境系シンポジウム報告集（東京、平成2年12月）P75
（平成8年6月1日受理）

京都繊維セミナー

世界の今の繊維研究の状況、方向

主 催：繊維状材料研究会

日 時：8月1日(木) 9:30~18:00

会 場：京都大学 京大会館

京都市左京区吉田河原町15-9

電話 075-751-8311

定 員：定員120名

参加費：12,000円

問い合わせ先：

〒522 彦根市八坂2500,

滋賀県立大学工学部 川端季雄教授

電話 0749-28-8356 FAX 0749-28-8488

第25回繊維工学研究討論会(富士山討論会)

主 催：第25回繊維工学研究討論会組織委員会

日 時：8月2日(金)~5日(月)

会 場：富士教育研修所 裾野市大和田

参加登録費：正規登録費 50,000円 個人登録費
25,000円 学生登録費 5,000円

問い合わせ先：

〒522 彦根市八坂2500,

滋賀県立大学工学部 川端季雄教授

電話 0749-28-8356 FAX 0749-28-8488