

快適な光環境構築のための表出行動抽出

北村 謙典[†] 武村 紀子[†] 岩井 儀雄^{††} 佐藤 宏介[†]

[†] 大阪大学 大学院基礎工学研究科

〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

^{††} 鳥取大学 大学院工学研究科

〒 680-8552 鳥取市湖山町南 4-101

E-mail: [†]{kitamura,takemura}@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp, ^{††}iwai@ike.tottori-u.ac.jp,

^{†††}sato@sys.es.osaka-u.ac.jp

あらまし 本研究では、ユーザの身体動作からその心理状態の変化を解釈し、それらを指標とする自律的な快適環境構築システムを提案する。本論文では、提案システムを構築するに際して、居住空間における光環境に着目し、「環境に不快と感じる照度変化が生じた際、ユーザにいかなる表出行動が観測されるか」という問題に焦点を当て、行動分析を行った。まず予備実験として、3名の被験者に対して様々なパターンの照度変化を与え、表出行動が存在すること、及び照度変化のパターンや学習による差異を確認した。次いで、11名の被験者に対して行動抽出実験を行い、その結果、頭部姿勢・視線方向の変化、瞬き、口の動き、本の角度調節等を表出行動として抽出した。

キーワード 表出行動, 光環境, アンビエントセンシング, 快適環境

1. はじめに

近年、室内環境における快適性を向上するにあたって、様々な検討が行われている。従来、特に建築分野においては、外乱に対し物理的環境を均一に設定することでその実現を図ってきた。しかしながら後述のように、この取り組みは「平均的な観点から最適といえても、個人ごとあるいはその時々ユーザの心理状態に関して最適とは言い難い[1]」。一方、一般に用いられている制御機器は、人間（以下、ユーザ）が明確な意図を持って操作することが前提にあり、両者の関係は単方向に留まったままであるのが現状である。これらの背景を踏まえ、本研究では、ユーザの身体動作（表情・視線・身振り・姿勢等）からその心理状態の変化（快適度）を解釈し、それらを指標とする快適環境の自律的な構築を目指す。なお、黒川[2]によれば、これらの身体動作は「明示的なメッセージ伝達機能」と「非明示的な内容過程を顕在化する機能」を合わせもつために、人間の心的表象をあらわにするとされている。

ユーザの心理状態を自動認識することは、感情コンピューティングの分野で主たる目的とされており[3]、ユーザの行動[4]や生理学的信号を用いた推定手法が数多く見られる。中でも顔の表情やその副次的な行動からは、ユーザの感情に関する有益な情報を得ることができるとされ[2]、それらをコンピュータで認識しようとする研究は、近年、盛んに行われている[5]。例えば顔表情の定量的記述においては、Paul Ekmanらの顔面動作記述法 (Facial Action Coding System: FACS) [6] が有名である。このシステムは、顔の筋肉の動きを 44 種の標準動

作単位 (Action Unit: AU) に分割し、その組み合わせで任意の顔表情の定量的記述を可能にするものである。また Active Appearance Model を用いる手法 [7] [8] や、オプティカルフローから顔の皮膚の動きを検出し認識する手法 [9] [10]、顔面筋に基づいた顔構成要素の可変モデルを用いる手法 [11] [12] もよく用いられている。このように効果的な表情認識手法は数多く提案されており、本研究におけるユーザの快適度を取得する手法として、その表情を用いることは有益だと考えられる。以上のことから、本研究では、環境に不快と感じる変化が生じた際、その局面におけるユーザの情報を非接触で測定し、ユーザの快適度を推定、もって環境の改善を自律的に行うシステムを提案する。図 1 に提案システムのイメージ図を示す。

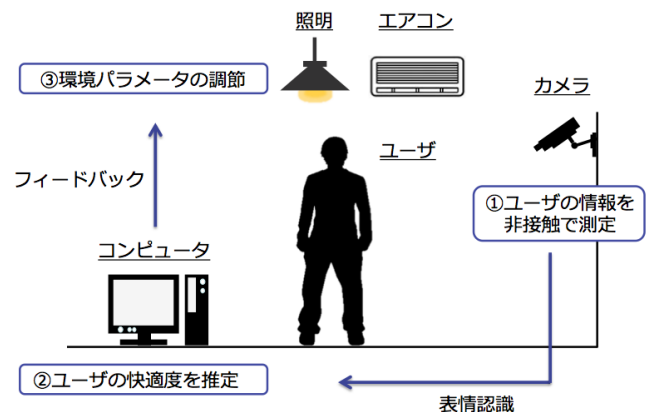


図 1 提案システムのイメージ図

なお、快適環境については一般に、温度・湿度等の「温熱環境」、騒音等の「音・振動環境」、照明計画や色彩計

画等の「光環境」の三つを主な心理物理的要因として挙げることができるが、本研究では、まず光環境に着目する。山田ら [13] によれば、環境の「快適さ」には、体に刺激を感じない場合、心地よさを感じる場合の 2 通りが存在する。これを本研究で着目する光環境で例えるならば、グレアやちらつきを感じない、適切な照度で保たれている状態が前者である。一方、照度が低めに設定され、装飾的な要素を含んだ照明が後者である。一般に、居住空間は多目的に利用されるが、このような環境においては多くの照明のシーンに対応できることが望ましく、前者は後者に優先され満足されるべきである。従って本研究では、主に前者を、すなわち体に刺激を感じない光環境の構築を目的として扱う。

2. 関連研究

2.1 光環境評価の関連研究

井上 [14] は、光環境に対するユーザの意識の程度（満足度）を把握するにあたって、様々な光環境のもとで主観評価を行い、適正照度に関する検討を続けてきた。また高橋 [15] は、日常場面に即した状況のもとで、照明の照度と色温度が室内環境評価にどのような効果を及ぼすかを述べている。高橋によれば、個々の生活場面における室内照明への評価は必ずしも一貫したものではなく、その生活場面に応じた適切な照明環境の設計が重要とされる。更に大林ら [16] のように、プロダクティビティ（知的生産性）や作業効率に環境が及ぼす影響を検討した研究も多々見られる。

このように、人間が作業を行う際に最適な光環境の条件は明らかにされつつある。しかしながら三木 [1] は「大勢の人が様々な仕事内容で働くオフィスの物理的環境を均一に設定することは、平均的な観点からは最適といえても、個人ごとに関しては最適とは言い難い」と考え、オフィス空間における個々人の利便性と快適性を高めるべく、個別分散の知的照明システムを提案した。そのシステムでは、現在、タッチパネル・携帯電話・音声認識による照明コントロールを可能としている。更に三木らは次世代のインターフェースとして、ハンドジェスチャ・凝視を提案している。

2.2 本研究の位置づけ

上述のように、ある環境において適切な照度や色温度を実現しようとする研究は古くから行われている。しかしながら、その評価方法はいずれもユーザの主観評価を用いたものが多く、コンピュータによる自律的な照明制御を目指すものではない。三木 [1] らのシステムは、個々人の快適性を目指すという点で本研究と同趣旨ではあるものの、その照明コントロールはユーザの明確な意図に基づくものであり、本研究で提案するシステムとは方向性が異なる。

従って、本研究の新規性として、「ユーザの表出行動

に基づく自律的な照明制御」という点を挙げることができる。

2.3 本研究の課題

ここで本研究で提案するシステムを構築するに際して、次の三つが明確にすべき問題として挙げられる。第一に、環境に不快と感じる照度変化が生じた際、ユーザにいかなる表出行動が観測されるかという問題である。第二に、それらの表出行動をいかに測定するかという問題である。第三に、それらの情報からいかにユーザの快適度を推定するかという問題である。本論文では、第一の問題に焦点を当て、表出行動の分析を行う。

3. 表出行動の抽出

本章では、第一の問題、すなわち「環境に不快と感じる照度変化が生じた際、ユーザにいかなる表出行動が観測されるか」という問題に焦点を当てる。

3.1 予備実験

上述の問題は「環境に照度変化が生じた際、ユーザに何らかの表出行動が存在する」という仮定に基づいている。そこで本節では、この仮定の検証と、これに次ぐ抽出実験の手法検討のために予備実験を行う。

3.1.1 実験目的

本実験の目的は、環境に照度変化が生じた際、ユーザに表出行動が存在するか否かを検証することにある。ここでは、それらが実験手法やユーザの心理状態に大きく依存すると考え、以下の 2 点が及ぼす影響を検討する。

（１）照度変化のパターン

（２）実験への慣れや学習

3.1.2 実験環境

実験室として、大阪大学吹田キャンパス構内に建設された実験ルームを用いる。図 2 はその概観を、図 3 はその仕様を示したものである。また図 4 に実験室の天井照明を、図 5 にその配置を示す。



図 2 実験室の概観

本実験では、実験室の窓を暗幕で覆い、環境光としてこれら 25 基の天井照明のみを考えることとする（図 2 に示す実験室のモニターも同様に消されている）。また個々の照明の制御パラメータは、シリアル制御用 PC を経由

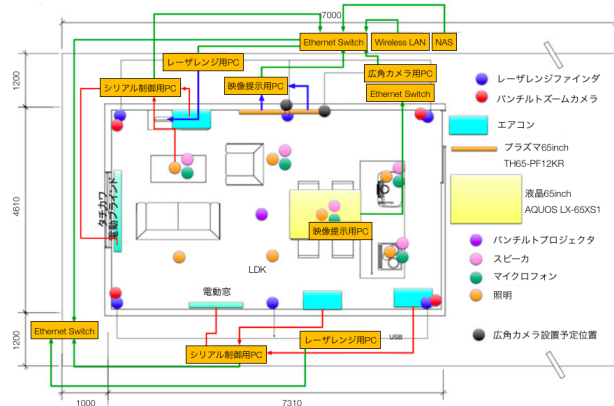


図 3 実験室の仕様



図 4 天井照明

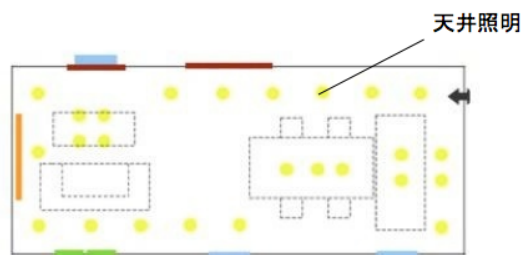


図 5 天井照明の配置

することで、各々21段階に遠隔操作することが可能である。ただし本実験では、照度変化が概ね線形となるよう、図6で示す14段階の制御パラメータのみを用いることとする。

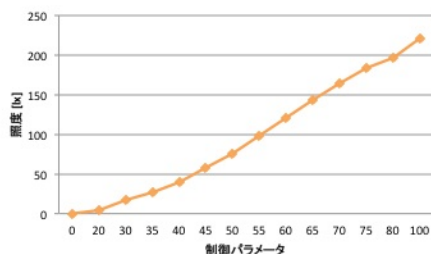


図 6 実験に用いる制御パラメータ

3.1.3 被験者

本実験の被験者は奈良女子大学の女子学生で、20～21歳（平均年齢20.3歳）の3名である。また皆実験者（本実験では著者）とは初対面であった。

被験者には視作業（読書）を指示するため、全ての被験者について両眼短距離視力を測定する。短距離視力は「短距離視力表」を指標として用い、眼鏡あるいはコンタクトレンズを使用している者については、矯正視力を測定する。また全ての被験者について、色覚異常の有無を実験者が口頭で確認する。

3.1.4 実験手法

まず個々の被験者に対して、照度の初期値として制御パラメータ100を与え、文庫本の黙読を指示する。その後、実験者は退室し、一定の間（本実験では90秒）を設け照度変化を開始させる。照度変化のパターンとしては、図6で示した範囲内での単調な下降、ランダムな2パターンを用意し、またそれぞれに8秒/段階、5秒/段階、2秒/段階、1秒/段階の変化速度を設定する。そして制御パラメータが0になった後、一定の間（本実験では10秒）を設け制御パラメータ100を与える。更に、実験への慣れや学習の影響を比較対照するため、それらのパターンを変更した同様の試行を、各被験者で10回繰り返す。各被験者に与える照度変化のパターンは、表1に示す。なお、表中のD, Rはそれぞれ単調な下降、ランダムな変化を、数字は照度の変化速度を表す。

表 1 各被験者に与える照度変化のパターン

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
#1	D2	D5	D8
#2	D2	D5	D8
#3	D5	D8	D5
#4	D5	D8	D5
#5	D8	D2	D2
#6	D8	D2	D2
#7	R5	D1	D1
#8	D1	R5	R5
#9	D1	R5	R5
#10	R5	D1	D1

また各試行後には、自由記入回答への記入を求める。なお、ソファ上の被験者を観測対象とし、被験者の正面に設置したカメラを観測に用いる。

3.1.5 実験結果

本節では、全被験者を有効被験者とし、実験結果の分析を行う。まず各被験者・各試行において、照度変化が生じた際、表出行動が観測されたか否かを表2に示す。なお、何らかの表出行動が観測された場合は、各試行毎の表出行動の総数を記した。ただし、それらの行動抽出は著者の主観に基づくものである（以下同様）。

表 2 観測された表出行動の頻度

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
A	1	-	1	-	2	-	-	-	-	-
B	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	4	2	2	1	-	2	1	2	3	-

次に、各被験者の自由記入回答を抜粋したもの（原文ママ）を以下に記す。

- 被験者 A

- － #1: 明るさが下がる度にまばたきをして本を読みやすく読みたいと思いました

- － #3: 1 回目は暗くなると読みたくなかったけど、嫌というほどではなくなりました

- － #8: すぐに目が慣れず読み辛かったです

- 被験者 B

- － #1: 暗くなるにつれて、本と目のキョリが近くなったと思います

- － #2: 暗さがまん中くらいになったときに、チカチカする感じがしました

- － #5: 暗くなるスピードが早いので、目が暗さに慣れる前に暗くなっていくので、前回までのときよりも、本がよみにくいと思いました

- 被験者 C

- － #2: 1 回目より、暗くなったと感ずるのが遅かった

- － #5: 照明が一段階暗くなったと感ずたのが、今までの中で一番遅かった

- － #8: 急に暗くなったり明るくなったりした方が不快だった

3.1.6 考 察

本実験により、環境に照度変化が生じた際、各被験者に何らかの表出行動が存在することが確認された。視覚的に明らかな表出行動としては、天井照明を見上げる、周りを見渡すなどの行動が挙げられる。その一方で、「まばたき（被験者 A の 1 回目の回答（以下、A#1））」や、「本と目のキョリが近く（B#1）」なる、「チカチカする（B#2）」等、観測し難い、あるいは被験者の主観に基づく心理的なものも存在し、その表出行動は多岐にわたることが明らかになった。また「読みやすく読みたい（A#1）」、「ちょっと怖かった（C#9）」等、照度変化に対する不快感を少なからず感じていることが見て取れる。従って、上述の表出行動が、照度変化に対するユーザの快適度を示す指標となり得ることが示唆される。

次いで「照度変化のパターン」及び「実験への慣れや学習」が及ぼす影響について考察する。

まず照度変化のパターンに関しては、照度変化の速度が速いほど、またランダムな変化であるほど、「すぐに目が慣れず読み辛かった（A#8）」、「急に暗くなったり明るくなったりした方が不快だった（C#8）」等、不快感を感じていると解釈できる回答が多く見られる。これは、瞳孔の変化が照度に対して十分に順応できていない間に次の変化が生じてしまうこと、また被験者が次の変化を予測できないことが原因として考えられる。

次に実験への慣れや学習に関しては、#1 及び #2、あるいは #3 及び #4 等、照度変化のパターンとして同様のパターンを与えた際の結果を比較することにより検討できる。被験者 A は特に顕著であるが、一旦照度変化

が生じることを学習すると、同様のパターンに対して更に行動を表出するという傾向が低くなるが見て取れる。これは「暗くなっていくのかなと予想してしまった（A#2）」という回答からも明らかである。また表出行動が各実験の初期に多く観測されたことや、「1 回目より、暗くなったと感ずるのが遅かった（C#2）」という回答からも、学習の影響は大きいと言える。

一方、本実験では「単調な下降」として概ね線形な照度変化（刺激）を与えたが、ウェバー・フェヒナーの法則を仮定すると、その感覚は等差的な変化とはなり得ず、従って、慣れの影響を正確に抽出できたとは言い難い。

また一部の被験者に関しては、観測された表出行動が比較的少ないことが見て取れる。これらに関しては、単なる個人差のみならず、実験者と初対面であり、またカメラを意識したことでリラックスできなかったことも原因の一つとして挙げられる。

以上より、これに次ぐ抽出実験においては、次の条件を導入する。

- 実験者と親しい被験者を対象とする
- 学習の影響が少ないと考えられる、ランダムな照度変化のパターンを付与する
- 隠しカメラを用いて観測を行う

3.2 抽出実験

予備実験の結果より、環境に照度変化が生じた際、ユーザに何らかの表出行動が存在することが確認された。そこで本節では、照明制御のトリガとなり得るユーザの表出行動を抽出すべく、新たな被験者実験を行う。

3.2.1 実験目的

本実験の目的は、環境に不快と感ずる照度変化が生じた際、ユーザにいかなる表出行動が観測されるかを検証することにある。ここでは、それらが個人差及び照度変化のパターンに大きく依存すると考え、実験結果を以下の 3 点に着目して分析する。

- (1) 各被験者の個人差
- (2) 照度の変化方向
- (3) 照度の変化量

3.2.2 被 験 者

本実験の被験者は、大阪大学の学生で、19～24 歳（平均年齢 21.9 歳）の 8 名である。また性別の内訳は男性 4 名、女性 4 名で、全員が実験者（本実験では著者）とは親しい関係にある。その他の条件に関しては、前節と同様である。

3.2.3 実験手法

まず個々の被験者に対して、照度の初期値として制御パラメータ 100 を与え、文庫本の黙読を指示する。そして「照明の省エネルギーのために、適切な照度のサンプルを集める」という偽の実験目的を伝え、適切な照度まで調節するよう求める。照度の調節は「上げれ」あるいは「下げれ」と声に出すことで行い、かつ被験者にとっ

て適切な照度が得られたときは「終了」と声を出すよう求める。ただし、予期せぬ（不快な）照度変化に対する被験者の表出行動を抽出することが目的であるため、その一度の変化量はランダムに設定する。また調節の指示を出す際の行動と抽出すべき行動を十分に分離できるように、被験者の指示から照度変化まで一定の間（本実験では5秒）を設ける。そして「終了」後は、一定の間（本実験では10秒）を設け制御パラメータ100を与える。更に、被験者4名については同様の実験を2回繰り返し、また照度の時間的推移を記録する。なお、ソファ上の被験者を観測対象とし、自然な振る舞いを観測するため、被験者の正面に設置した隠しカメラを観測に用いる。

3.2.4 実験結果

本実験における被験者Kは、1回目の実験においてシステムへの興味が先行し、正確な行動抽出を行うことが不可能であった。そこで本節では、被験者Kの1回目の実験結果を分析対象外とし、その他11回の実験結果のみを扱う。

予備実験と同様に、本実験においても、環境に照度変化が生じた際、全ての被験者において何らかの表出行動が観測された。図7～図13はそれらの例を示したものである。



図7 表出行動の一例：
頭部を上に向ける

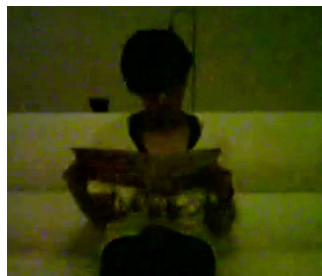


図8 表出行動の一例：
本を持ち上げる

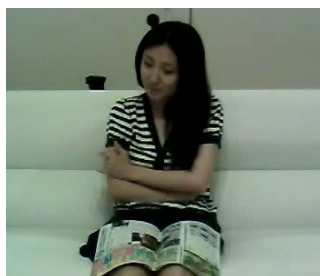


図9 表出行動の一例：
首を傾げる

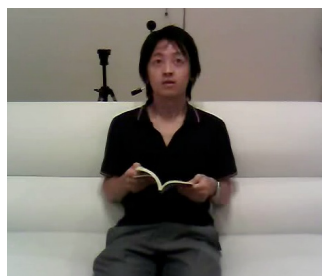


図10 表出行動の一例：
口を開ける

また図14に、例として、被験者Jにおける照度の時間的推移を示す折れ線グラフを示す。なお、横軸は実験開始からの経過時間[秒]を、縦軸は照度 $[lx]$ を表す。

次いで、表3に、観測された全ての表出行動に対して被験者別で総計したものを示す。ただし、瞬きについては照度変化時に観測されたもののみをカウントした（以下同様）。



図11 表出行動の一例：
体を引く



図12 表出行動の一例：
視線を上に向ける

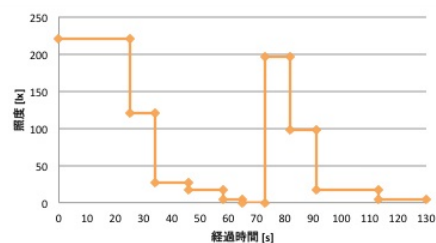


(a) 表出前

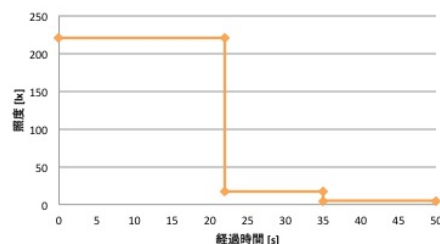


(b) 表出後

図13 表出行動の一例：
本を傾げる



(a) 1回目



(b) 2回目

図14 照度の時間的推移（被験者J）

3.2.5 実験結果の分析及び考察

一般に、照度変化時における典型的な行動パターンを訓練データとして学習すれば、ユーザの快適度を示す可能性の高い表出行動を正しく検出することが可能になると考えられる。本実験では、各被験者で、照明制御のトリガとなり得るユーザの表出行動を抽出することができた。以下では、前述の3点に着目して分析する。

まず、各被験者における特徴について検討する。本実験において予期せぬ（不快な）照度変化が生じた際、明らかな不快感を示す人、気にも留めない人と反応は様々

表 3 表出行動の被験者別総計 [回]

		D1	E1	F1	G1	H1	H2	I1	I2	J1	J2	K2	計
頭部	上に向ける	2	6	1	3	5	1	-	3	2	1	2	26
視線	上に向ける	2	4	-	1	5	3	-	3	1	-	2	21
目	瞬き	1	-	3	-	4	3	-	3	-	-	-	14
口	開く	-	2	-	-	1	2	-	-	-	-	2	7
視線	横に向ける	-	2	1	2	-	-	-	1	-	-	-	6
視線	正面に向ける	-	1	-	-	3	-	-	-	1	1	-	6
本	傾ける	4	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	6
頭部	首を傾げる	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	5
体	引く	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	4
口	結ぶ	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4
口	閉じる	-	-	-	-	1	-	1	2	-	-	-	4
本	下げる	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	3
目	見開く	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2
本	持ち上げる	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2
頭部	横に向ける	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
頭部	下に向ける	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
頭部	立てる	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
目	細める	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
本	置く	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
本	より開く	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1

で、個人差は大きいものの「頭部姿勢」「視線方向」の変化といった、全ての被験者に共通する表出行動も存在することが確認された。また表情においては「目の開き」、「口の開き」、「口角の位置」に多少の変化が見られた。これらは視覚的に捉えやすい特徴であり、照明制御のトリガとして今後注目すべき表出行動の一つであると言える。

一方、それらが照度変化を知覚したことによる反応であるという可能性も否定できず、また当人の快適度を示すものかどうかは簡単には断言できない。そのため「瞬き」、「本の角度調節」といった他の（無意識の）要因と組み合わせて判断していく必要がある。

また表 3 において、各被験者同士、あるいは各被験者の 1 回目及び 2 回目を比較することで、個々人で出現頻度の高い表出行動が存在することが分かる。これらを体系化し、典型的な行動パターンに分類することができれば、ユーザの快適度を示す可能性の高い表出行動を、より正確に抽出することが可能になると考えられる。

次いで、照度の変化方向に起因し得る特徴について検討する。照度の変化方向 D は、ウェバー・フェヒナーの法則を仮定して、照度変化時における

$$D = \frac{\log(\text{変化後の照度})}{\log(\text{変化前の照度})} \quad (1)$$

で定義する。すなわち、 $D > 1$ であれば暗から明へ（以下、暗→明）の照度変化を、 $D < 1$ であれば明から暗へ（以下、明→暗）の照度変化を表す。表 4 に、被験者 H における行動を D の大きさにソートしたものを示す。

これより被験者 H に関しては、以下のような特徴が挙げられる。なお、その表出が一度のみで、照度変化のパターンに起因し得る特徴として断言し難いものは括弧内に記している（以下同様）。

- 被験者 H

表 4 照度の変化方向に起因し得る特徴（被験者 H）

変化前 [lx]	変化後 [lx]	D	体	頭部	視線	目	口	本
5.02	183	3.23	-	-	-	瞬き	-	-
5.02	183	3.23	-	-	上	-	-	-
5.02	98	2.84	-	-	上	瞬き	-	-
5.02	57.1	2.51	-	-	-	二度瞬き	-	傾ける
98	197	1.15	-	-	-	瞬き	-	-
98	197	1.15	-	-	上	-	-	-
27.2	40.4	1.12	-	-	上	-	-	-
164	143	0.97	-	上	正面	-	-	-
197	164	0.97	-	-	上	-	-	-
197	164	0.97	-	上	上	-	開く	-
221	164	0.94	-	-	-	-	開く	-
40.4	27.2	0.89	-	上	上	-	開く	-
183	98	0.88	引く	上	上	見開く	-	-
17.1	5.02	0.57	-	上	正面	-	結ぶ	-
164	27.2	0.65	-	-	-	二度瞬き	-	-
143	5.02	0.33	-	上	正面	-	-	-

－ 暗→明の照度変化に起因し得る特徴: 瞬き（本を傾ける）

－ 明→暗の照度変化に起因し得る特徴: 頭部を上に向ける、視線を正面に向ける、口を開く（体を引く）、（口を結ぶ）（目を見開く）

同様に、その他 3 人の被験者については以下のような特徴が挙げられる。ただし紙面の都合上、分析に用いた表は割愛する。

- 被験者 I

－ “:（目を細める）

－ “:（視線を横に向ける）（体を引く）（頭部を立てる）

- 被験者 J

－ “:（首を傾げる）

－ “: 頭部を上に向ける、瞬き、視線を正面に向ける（視線を上に向ける）

- 被験者 K

－ “: —

－ “:（本を傾ける）（本をより開く）

最後に、照度の変化量に起因し得る特徴について検討する。照度の変化量 V は、同様にウェバー・フェヒナーの法則を仮定して、照度変化時における

$$V = \frac{\max\{\log(\text{変化前の照度}), \log(\text{変化後の照度})\}}{\min\{\log(\text{変化前の照度}), \log(\text{変化後の照度})\}} \quad (2)$$

で定義する。すなわち、 V が大きければ大きな照度変化を、 V が小さければ小さな照度変化を表す。表 5 に、被験者 H における行動を V の大きさにソートしたものを示す。

これより被験者 H に関しては、以下のような特徴が挙げられる。

- 被験者 H

－ 大きな照度変化に起因し得る特徴: 瞬き（本を傾ける）（口を結ぶ）

表 5 照度の変化量に起因し得る特徴（被験者 H）

変化前 [lx]	変化後 [lx]	V	体	頭部	視線	目	口	本
5.02	183	3.23	-	-	-	瞬き	-	-
5.02	183	3.23	-	-	上	-	-	-
143	5.02	3.08	-	上	正面	-	-	-
5.02	98	2.84	-	-	上	瞬き	-	-
5.02	57.1	2.51	-	-	-	二度瞬き	-	傾ける
17.1	5.02	1.76	-	上	正面	-	結ぶ	-
164	27.2	1.54	-	-	-	二度瞬き	-	-
98	197	1.15	-	-	-	瞬き	-	-
98	197	1.15	-	-	上	-	-	-
183	98	1.14	引く	上	上	見開く	-	-
27.2	40.4	1.12	-	-	上	-	-	-
40.4	27.2	1.12	-	上	上	-	開く	-
221	164	1.06	-	-	-	-	開く	-
197	164	1.04	-	-	上	-	-	-
197	164	1.04	-	上	上	-	開く	-
164	143	1.03	-	上	正面	-	-	-

— 小さな照度変化に起因し得る特徴: 口を開く（目を見開く）

同様に、その他 3 人の被験者については以下のような特徴が挙げられる。

- 被験者 I
 - “:（頭部を立てる）（目を細める）
 - “:（視線を横に向ける）（本を置く）
- 被験者 J
 - “: 頭部を上に向ける、視線を正面に向ける（視線を上に向ける）（首を傾げる）
 - “: 瞬き
- 被験者 K
 - “:（本をより開く）
 - “:（本を傾ける）

本分析では、各被験者で、照度変化のパターンに起因し得る特徴が存在することが確かめられた。その代表的な行動としては、「頭部姿勢」、「視線方向」の変化に加え、「瞬き」、「本の角度調節」が挙げられる。また変化量が大きいとき、次の指示を出すまでの間隔が比較的短くなるという結果も得られた。

一方、同様の照度変化のパターンに対する行動には大きな個人差が見られ、訓練データとしてそれらを一概に定義することが難しいことが分かる。しかし本研究で対象とする居住空間においては、多様な（他人の）行動パターンを網羅している必要はなく、従って、この仮定のもとでは特定個人を対象とした訓練データのみを構築できれば十分であると考えられる。

また本実験においては、照度変化として被験者の指示するランダムな変化を与えたが、そのために実験時に生じる照度変化のパターンが一様ではなく、同様のパターンに対する実験結果が十分に得られなかったことも事実である。際立った例として一例を挙げるならば、被験者 J は図 14 から明らかなように、暗→明の照度変化を一度しか経験していない。更に今回、行動抽出に際して著者

の主観をもとに基準を定めたが、曖昧さを避けるため、より客観的な抽出法を探る必要があると言える。

4. 結 論

4.1 ま と め

本論文では、本研究で提案するシステムを構築するに際して、「環境に不快と感じる照度変化が生じた際、ユーザにいかなる表出行動が観測されるか」という問題について実験及び考察を行った。

まず予備実験として、3 名の被験者に対して様々なパターンの照度変化を与え、表出行動が存在すること、及び照度変化のパターンや学習による差異を確認した。次いで、11 名の被験者に対して行動抽出実験を行い、その結果、頭部姿勢・視線方向の変化、瞬き、口の動き、本の角度調節等を表出行動として抽出した。またそれらを個人差や照度変化のパターンに起因し得る行動へと分類し、ユーザの行動が照明制御のトリガとなり得ることを確認した。

4.2 今後の展望

本論文で抽出された表出行動の多くは、日常的な動作と区別し難く、従って、ユーザの行動とユーザの快適度を表す指標とを単一に対応させることは容易ではない。またその時々ユーザの心理状態により、環境の変化に対する表出行動が一意でなくなることも予想される。更にユーザには仮面の意図が存在し、その場の状況により、意図的に行動を抑制する事もあり得る。

従って、今後は実験条件を工夫し、データベース構築のために更なる抽出実験を行う。また表出行動の自動抽出手法を提案する。

文 献

- [1] Miki.M, Hiroyasu.T, Imazato.K, “Proposal for an intelligence lighting system, and verification of control method effectiveness,” Proc IEEE CIS, vol.1, pp. 520–525, 2004.
- [2] 黒川隆夫, ノンバーバルインタフェース, オーム社, 1994.
- [3] RW.Pical, “Affective Computing,” The MIT Press, MA, USA.
- [4] Zeng.Z, Pantic.M, Roisman.GI and Huang.TS, “A survey of affect recognition methods: Audio, visual and spontaneous expressions,” In: Proceedings of the 9th International Conference on Multimodal Interfaces., ACM, NY, UDA. pp. 126–133, 2007.
- [5] 赤松茂, “コンピュータによる顔の認識の研究動向,” 電子情報通信学会誌, vol.80, no.3, pp. 257–266, 1997.
- [6] P.Ekman, W.Friesen, “Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement,” Consulting Psychologist Press, Palo Alto, 1998.
- [7] T.F.Coates, G.J.Edwards and C.J.Taylor, “Active appearance models,” Proc. of the 5th European Conference on Computer Vision, vol.2, pp. 484–498, 1998.
- [8] Iain Matthews and Simon Baker, “Active Appearance

- Models Revisited , ” International Journal of Computer Vision , vol.60 , no.2 , pp. 135–164 , 2004.
- [9] K.Mase , “Recognition of facial expression from optical flow , ” Trans.IEICE , vol.E74 , no.10 , pp. 3473–3483 , 1991.
 - [10] M.J.Black and Y.Yacoob , ‘Recognition facial expressions in image sequences using local parameterized models of image motion , ” Int.J.Computer Vision , vol.25 , no.1 , pp. 23–48 , 1997.
 - [11] 太田寛志 , 佐治 斉 , 中谷 広正 , “顔面筋に基づいた顔構成要素モデルによる表情変化の認識 , ” 電子情報通信学会論文誌 , D-II , vol.J82-D-II , no.7 , pp. 1129–1139 , 1999.
 - [12] H.Ohta , H.Saji and H.Nakatani , “Muscle-based feature models for analyzing facial expressions , ” Proc. of 3rd Asian Conference of Computer Vision , vol.2 , pp. 711–718 , 1998.
 - [13] 山田篤志 , 伊藤嘉奈子 , “温熱環境快適制御システム , ” 衛生工学シンポジウム論文集 , vol.1 , pp.299-302 , 1993
 - [14] 井上容子 , “読書における適正照度に関する検討 , ” 日本建築学会大会学術講演梗概集 , pp. 447–448 , Aug.1995.
 - [15] 高橋啓介 , “照明の色温度と照度とが室内環境評価に及ぼす効果 , ” 医療福祉研究 , vol.2 , pp. 30–36 , 2006.
 - [16] 大林史明 , 富田和宏 , 服部瑤子 , 河内美佐 , 下田宏 , 石井裕剛 , 寺野真明 , 吉川榮和 , “オフィスワークの生産性改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験的評価 , ” ヒューマンインターフェースシンポジウム 2006 , vol.1 , no.1322 , pp. 151–156 , 2006.