

生涯学習を指向した e-learning システムの研究開発

妻鳥 貴彦* 篠森 敬三** 坂本 明雄***

*高知工科大学工学部フロンティア工学教室
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

,*高知工科大学工学部情報システム工学教室
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

E-mail: * mendori.takahiko@kochi-tech.ac.jp, ** shinomori.keizo@kochi-tech.ac.jp
*** sakamoto.akio@kochi-tech.ac.jp

要約: 本研究では、高齢者の視覚特性の変化に配慮することによって、e-learning システムにおける学習効果を向上させることを目的としている。本稿では、まず本研究プロジェクトの概要について述べ、加齢による視覚特性の世代間・世代内の視覚感度の個人差について報告する。また、e-learning システムの基本的なコンテンツとなる講義アーカイブの作成とその評価について報告する。

Abstract: Our group conducts research projects in order to construct an e-learning system for the elderly that promotes more effective learning by means of deep attention and careful planning for age-related human vision difficulties. This paper describes the overview of this project, senescent change in intergeneration and intra-generation differences between individuals in visual sensitivities, and development and evaluation of lecture archives for e-learning contents.

1 はじめに

ユニバーサルアクセスの提唱とともに生涯学習に留まらない水準での学習課程が、高齢者にも必要となる。彼らを1カ所に集めることは現実的ではなく、e-learning による遠隔教育が学習課程の中心となろう。しかし、視覚特性の加齢変化が生じる高齢者にとって現在の e-learning システムのインタフェースが適切であるかどうかは疑問である。

そこで、高齢者の視覚特性の変化に配慮することによって、e-learning システムにおける学習効果を向上させることを目的として、(1)

視覚領域、(2) 入出力領域、(3) 学習支援システム領域、の3領域について共同で研究を推進し、快適な e-learning システムの構築に必要な知見の獲得を目指すことが本プロジェクトの目的である。

本プロジェクトは全体計画をおおむね3年とした上で、研究領域として(1) 知覚領域、(2) 入出力領域、(3) 学習支援システム領域の3つの領域を定めている。

それぞれの領域の目的とその内容は、

- 1) 知覚領域: 「加齢による視覚パフォーマンスの変化とそのモデル化」

加齢による視覚特性の変化により作業にどのような影響があるか心理物理学手法で測定し、工学的応用を目指した作業モデル化を行う。

2) 入出力領域:「高齢者の特性に配慮したユーザインタフェースの開発」

高齢者の特性を考慮して、高齢者でも容易に理解・操作できるユーザインタフェースを開発し、評価する。

3) 学習支援システム領域:「高齢者を対象とした学習支援システムの構築」

高齢者の特性を考慮した教材開発、学習支援のモデル化、そしてそのモデルに基づいた学習支援システムの開発と評価を行う。

である。

平成 17 年度は 3 年計画の最初の年度であり、それぞれの研究領域において 1 年目として妥当な研究成果をあげることが出来た。次章以降でそれぞれの研究領域毎に、研究成果を紹介する。

2 知覚領域

本領域は、加齢による視覚パフォーマンスの変化とそのモデル化を目的としている。具体的には、加齢による視覚特性の変化により作業にどのような影響があるか心理物理学手法で測定し、工学的応用を目指した作業モデル化を行う。

平成 17 年度は、本領域は主に篠森が担当した。本領域の目的のため、加齢による視覚系の変化に焦点を当てて研究を実施した。特に、変化が生じることそのものだけでなく、その加齢変化によって、ユーザ全体としてみたときにそれぞれの被験者の間でどのような視覚特性のばらつきがみられるかについて検討を行った。

その結果として年齢とともに変化するという世代間の個人差だけでなく、加齢効果の生じる度合いの差による世代内の個人差も考慮する必要がある、またその世代内個人差は高齢者において顕著であることを発見した。

本領域における研究成果を【篠森敬三：加

齢効果に伴う世代間・世代内の視覚感度の個人差（特集「視覚の個人差－色の見え方の場合－」光学（日本光学会論文誌）vol. 34, No. 6, pp.299-305, 2005.）】に論文としてまとめた。日本光学会光学編集局の許諾を得て、当該論文の主要部分を次章に引用して、研究成果の報告としたい。研究業績の引用においては、本論文ではなく、上記原著論文の方を引用されたい。

3 加齢効果の個人差について（知覚領域研究成果）

加齢効果に伴う世代間・世代内の
視覚感度の個人差

篠森敬三

抄録

視覚感度における個人差に対してどのような加齢の影響があるのかについて論述した。我々の過去の研究である水晶体濃度増加と輝度経路における錐体信号量の低下についての結果を再解析し、個人差に対する 2 種類の加齢による影響を発見した。

1 つ目は、単純にそれら加齢効果によって、視覚感度の世代間個人差が増大することである。2 つ目は視覚感度の偏差が高齢者グループでは、若年者や中年のグループよりも大きくなることである。なぜなら加齢効果のいくつかは、紫外線暴露によって生じるけれども、その暴露時間は高齢者の間で大きく異なるからである。

これらの影響により、CRT の青蛍光体によって作られた光に対する輝度効率の標準偏差は、約 60 歳以上の高齢者を含む被験者グループにおいては、約 50% 増しになる。また、輝度インパルス応答関数の最大振幅における標準偏差も、約 2 倍にもなる。

3.1 はじめに

3.1.1 加齢と個人差について

本特集は、視覚における個人差の影響について焦点を当てるものである。そこで、加齢の影響という観点から個人差について考えると、2つの面に分けることが出来る。

1つは、加齢によって高齢者の視覚特性に変化が生じることによる世代間の個人差の面である。この点については、筆者が行っているような視覚における加齢効果研究の主テーマであり、さまざまな知見が得られている。本稿でもその一部を紹介していく。

もう1つは、加齢効果が同年齢の高齢者全員に同様に発生するのではないことに起因する、世代内個人差の面である。世代内の個人差は若年者でも当然存在するけれども、本論文で紹介するデータに見られるように、若年者における世代内個人差よりも、高齢者間の世代内個人差の方が大きい。

世代内の差が生じる原因の1つは、加齢による変化が、高齢者各人にどの程度生じるかが必ずしも同じではないからである。加齢効果の要因として、紫外線にさらされたことによる組織変成が挙げられ、人生において眼が紫外線に対してさらされた量の累積（以下累積紫外線暴露量と称する）が多いほど、錐体の感度低下など加齢の影響もまた大きくなるという相関が報告されている¹⁻³⁾。ということであれば、生まれつきの個人差に加えて、生活環境で大きく異なる累積紫外線暴露量の影響による個人差がさらに加わることになる。例えば、20歳で全く同じ（ある）視覚感度特性を持っていた2人でも、片方がサングラスなしで野外作業の職業（農業や漁業など）に従事し、もう一方が室内作業の職業（事務処理など）に従事して60歳になったとき、40年間の累積紫外線暴露量が10倍以上違っていても不思議はない。よって60歳以降に当然大きな視覚特性の個人差となる可能性が高いといえよう。

何故紫外線によって加齢が促進するのかということであるが、人間の視覚系が光に対する感度を最適化するように進化したためである。それは同時に、高強度光に対するダメージに弱い組織となることも意味している。眼は、光酸化損傷²⁾などの破壊的プロセス¹⁾にさらされており、多くの組織では、連続的に組織を修復することで光照射によるダメージを最小にしている。このように眼や網膜は分子的に破壊過程と生成過程のバランス中にある³⁾。しかし残念なことに、このバランスは総体として加齢により劣化の方向に傾いていき、さらに分解の失敗によって生じる脂褐素（lipofuscin）の濃度が増加するといった付随的現象も悪影響を及ぼしている⁴⁾。ただし、医学的に健康な眼は、眼底検査等によって観察されうる形態としては安定していて、基本的には中年まではほとんど何の変化も見受けられず、明らかな形態変化はそれ以降に観察される。

もちろん一口に加齢効果といっても、いわゆる正常な老化と老化による病理とを区別するのは、現実的には容易ではない⁵⁾。例えば老人性白内障が90歳以上の高齢者のほぼ100%近くに達することを考えると、白内障患者を除外して高齢者における個人差を考えることが加齢効果を検討する上で妥当であるかどうかは疑問が残る。また加齢性黄斑変性などによるロービジョンの問題など、老化による病理自体について考えることは、高齢者における個人差という観点においても大変重要である。しかしここでは、特集の趣旨もふまえて、一般的な意味での正常な老化による視覚の変化と、それによって生じる個人差に限定して考えることとする。

本稿では、生理学的な変化とそれによって生じる視覚系での直接的な影響についてまず説明する。さらに、それらが視覚の個人差にどのような影響を与えるかについて、筆者による心理物理学実験の結果をみながら検討していく。

3.2 生理学的観点からの加齢の影響について

加齢によって生じる視覚特性の変化は、加齢による生理学的変化に最初の原因がある。そこで生理学的な変化とその影響について簡単にまとめる。詳細について興味のある読者は筆者の他の論文を参照されたい⁶⁾。

3.2.1 加齢による眼光学的変化とその影響

加齢による眼光学媒体濃度増加と老人性縮瞳による瞳孔径の縮小により網膜上の刺激強度(網膜照度)は年齢とともに減少する。水晶体濃度増加によって短波長領域での光吸収が増大するため、分光感度も変化する。眼光学媒体の濃度増加や縮瞳により全ての加齢変化を説明できるわけではないけれども、データの精度や被験者間のばらつき量を考えると、自然視条件による(網膜前変化を制御しない)実験においては、この2要因によって生じる網膜上の光量変化で、加齢による視覚特性変化の結果の大部分を説明することが可能である。

例えば、短波長刺激に対する角膜上での暗所視輝度分光視感効率関数の減少⁷⁾や、角膜上での短波長領域での明所視輝度分光視感効率関数の減少⁸⁾等の実験結果は良好に説明されうる。さらに、等色関数⁹⁾や色弁別¹⁰⁾の年齢による変化も、眼光学媒体の吸収量の増加に影響される。色弁別については、100 ヒューテストの得点において加齢による減少が見られ、その弁別能力の低下は、第3型色覚異常者(tritanopia)の場合と類似の結果となった^{11,12)}。このタイプの弁別能力の低下は若年被験者の目に短波長吸収フィルターを装着した場合でも観察された¹²⁾。

また幅広い年齢の被験者についてHFP法で精密に輝度分光視感効率関数を測定した結果^{13,14)}においても、長波長側ではほぼ同じ形状になったが短波長側では年齢とともに感度が低下しており、加齢による眼光学媒体濃度の変化とおおむね一致する。ただしHFP法では被験者間の絶対感度の違いを捉えることはできず、

異なる波長間での相対感度しか求められない。錐体感度自体は低下はしているため¹⁵⁾、これはL、M錐体の感度が同じ割合で減少していることを間接的に示すものである。

加齢による水晶体の分光的な濃度増加および輝度に対する影響については、標準値として検討されている近似式¹⁶⁻¹⁸⁾や詳細に測定された輝度分光視感効率関数のデータ¹⁴⁾があるので参照されたい。参考までに近似式における数値を挙げておくと、420nm単色光に対する水晶体濃度は、20歳の時は0.68であり、20年ごとに0.17ずつ増えて60歳の時に1.03である。この後は急速に増えて80歳の時には、1.61にも増加する。20歳と比べておおよそ1 logも増えることになる。

3.2.2 網膜およびそれ以降の変化とその影響

網膜上に到達した光に対する錐体感度の加齢による変化の要因として、網膜上の錐体の密度変化と、個々の錐体の感度変化の両方が考えられる。

錐体密度については、網膜中心部においては加齢によって密度は有意に変化しないけれども、周辺部領域では錐体密度の減少が報告されている¹⁹⁾。

個々の錐体においては、視細胞外節で解剖学的な形状変化が生じており、錐体外節の長さの減少や外節小板の包旋状態の変化、さらには外節の方向が無秩序になったり、小胞の縮退現象に見られるアライメントの変化などが起こっている²⁰⁾。これらによって、錐体を通過する光量子に対する吸収量が減少するため、錐体感度は低下する。Stilesの2色法を用いてS、M、L錐体の角膜における感度を心理物理学的に測定したところ、10歳から80歳以上に至るまで、錐体の種類によらず10年間で約0.13 logの単調な感度低下が観察された¹⁵⁾。

網膜上の神経節細胞についても、加齢による損失が生じており、網膜中心部11度の範囲で

は30歳台から70歳台の間でおよそ15 - 25%の減少が見られることが報告されている²¹⁾。

3.2.3 見えの変化

このように加齢による解剖学的・生理学的な変化は大きい。しかし注意しなければならないのは、色の見えなどはそれに見合うほど変化しない点である。

色覚について考える場合には、加齢による分光的な変化が問題となる。老人性縮瞳の影響は波長依存性がないけれども、水晶体濃度については、特に短波長領域では20歳から60歳の間に1 log 近くも増加し、網膜に到達する短波長光の光量は大きく減少する一方で、長波長光(特に600nm以上)の光量はほとんど水晶体濃度変化の影響を受けない。となれば、青がほとんど知覚されなくなり、外の世界はまるで黄変したかのような見えになるはずである。

ところが白色中性点が生涯にわたって安定しており²²⁾、ユニーク色²³⁾やカラーネーミングの結果²⁴⁻²⁶⁾も、加齢によってほとんど変化しない。色の見えにおける変化は若干の彩度減少が見られる程度の変化であり^{24,26,27)}、これは色み(信号)の年齢による減少によると考えられている^{6,25-27)}。また色の寄与がある明るさ分光視感効率関数(比視感度)は輝度分光視感効率関数ほど変化していない^{13,14)}。

これらの理由としては、色恒常性においてみられるような短期的な順応効果によって、視覚系内部で補償されていることによると考えられる^{6,28)}。また最近、20日から30日程度の長期順応によって色覚が変化するという、(網膜レベルではなく)脳内における可塑性を示す実験結果が得られており、経験に基づく神経系の調整機構が働いている可能性が示唆される²⁹⁾。

3.3 視覚感度の変化と個人差

3.3.1 視覚感度の変化

以上のように、見えの変化はそれほど重大

ではないとしても、視覚感度の変化が問題となる場合がある。それは個人ベースの輝度分光視感効率関数の変化による網膜照度の低下が起ることである。また錐体の出力する信号量が低下するため、何らかの補償があったとしても信号/ノイズ(S/N)比が悪化することが避けられず^{30,31)}、閾値付近での色弁別悪化^{30,31)}や光覚閾の上昇³²⁾が起ることである。一般にウエーバー則が成立しているので、刺激強度が十分高ければ、見えとしての変化は大きくないが、閾付近では信号量減少の影響をまともに受ける^{30,31,33)}、ということである。

3.3.2 CRT呈示の場合の水晶体変化の影響(実験データ)

それでは加齢による水晶体濃度増加や錐体感度低下が、実際にどの程度の影響となるかを被験者の個人差の観点から順次検証してみよう。一般的なCRT(Sony社製GDM-200PS)を用いた筆者らの実験³²⁾における被験者間のばらつきを紹介していく。

まずはじめに、各蛍光体間の最小フリッカーを求める手法で測定した場合の青蛍光体と赤蛍光体との輝度比の変化をみる。これは筆者らの研究³²⁾を行うに先立ち、水晶体濃度変化による各蛍光体の輝度変化を補正するために行った準備実験の結果を解析したものである。

この準備実験では、CRTの青蛍光体の輝度を6.9cd/m²の固定値とし、青蛍光体みの刺激光と赤蛍光体みの刺激光を、時間的矩形波の色交替フリッカー(18Hz)で呈示した。被験者が、最小フリッカーとなるように赤蛍光体の輝度を調整した結果より、青蛍光体の輝度効率(=最小フリッカー時の赤蛍光体輝度/青蛍光体輝度)を求めた。例えば、赤蛍光体輝度が5.2cd/m²の時に最小フリッカーとなれば、青蛍光体輝度効率は0.75となる。つまり青蛍光体光刺激が、水晶体吸収の影響で弱く知覚されれば1より小さな値となる。ただしこのときの

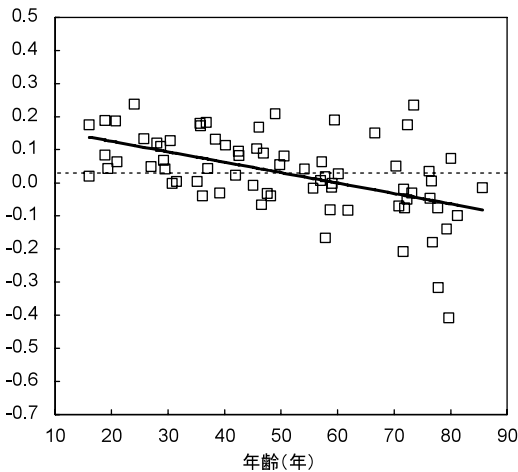


図1 青蛍光体輝度効率対数値の年齢による変化. 点線は全体の平均を示す. 直線は回帰直線である.

輝度とは CIE 標準分光視感効率を用いる色度計 (ミノルタ社製 CS-100) によって測定した値である.

結果を図1に示す. 横軸は被験者の年齢で, 縦軸は青蛍光体輝度効率の対数値を取った. グラフ中の直線は回帰直線であり有意水準1%で統計的意味がある ($F_0 > F(1,70)(0.01)$). 図から分かるように, 年齢とともに青蛍光体輝度効率は減少する. 減少率は20年で0.06程度であり, それほど大きくはない. ただし, 70歳以上の被験者群においては, 回帰直線が示す通常の減少率を示す被験者だけではなく, それよりも大きく輝度効率が低下する被験者が登場している. この事実は同じ世代内の個人差が高齢者では増大することを意味する (詳細は後述).

3.3.3 輝度インパルス応答関数における個人差 (実験データ)

次に, 錐体信号量の低下を心理物理学的に測定した結果を見てみよう. 筆者らの実験では, マックスウェル視光学系を用い, さらに前節の手法により赤, 緑, 青の蛍光体の輝度を補正して相対網膜照度を調整した. これは赤蛍光体光に対する水晶体での吸収量変化が無視できることを利用した調整法である. その上で, 2刺

激光法により輝度インパルス応答関数を測定した³²⁾. 前章で述べたように, 錐体の信号量も加齢により低下するので, このような刺激の分光的補正を行っても, 輝度インパルスに対する閾値上昇が見られた. 刺激間時間を変えたときの閾値変動より, インパルス応答関数の形状をいくつかの仮定の下で導出した.

この時のインパルス応答関数の興奮相の振幅値 (最大振幅) は, 年齢とともに減少する. また一部の高齢者に見られる特徴として, 抑制相の振幅が無い, あるいはほとんど見られないインパルス応答関数が観察された. このような抑制相が微弱な被験者においては, インパルス応答関数の最大振幅は若年者に比べて半分以下になっているが, 抑制相がほとんど無いためにインパルス応答の (正の) 持続時間が長くなっている. そのため, 時間的足し合わせの効果 (時間積分の効果) によって輝度インパルスに対する閾値そのものはそれほど低下しない. つまり抑制相を無くして時間的解像度を下げる代わりに, 輝度インパルスに対する閾値が過度に上がらないようにするトレードオフが生じているのである³²⁾. その意味から, 輝度インパルスの知覚閾値よりも, この輝度インパルス応答関数の最大振幅値の方がより直接的に錐体信号量の低

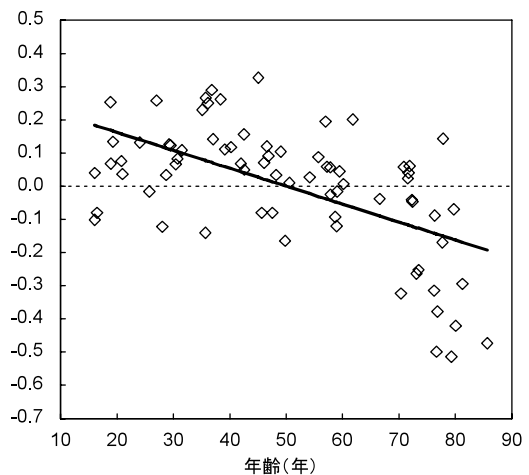


図2 インパルス応答関数の最大振幅対数値の年齢による変化. 平均が0になるように正規化. 直線は回帰直線である.

下を表していると考える。

そこで、横軸に年齢、縦軸に輝度インパルス応答関数の最大振幅の相対対数値を取ったのが図2である。平均が0になるように正規化した。今回も図中の回帰直線による予測は統計的意味がある。青蛍光体輝度効率の時よりも加齢による変化が大きく、20年で0.11程度減少する。さらに世代内でのデータのばらつきも大きい。また65歳以上の被験者の多くで、回帰直線を外れて大きく減少しているのが分かる。よって65歳以上の被験者とそれ以下の被験者が混在するグループの個人差が大きく増大することになる(後述)。

3.3.4 水晶体濃度上昇と錐体信号量減少の両者による個人差の増大

ここで、水晶体濃度上昇と錐体信号量減少の相関について検討する。何故なら、両者に強い相関があれば、被験者を水晶体濃度上昇が大きな被験者群と小さな被験者群という被験者グループに分類することによって、ユーザ対応などの実用面で個人差を統制することが可能となるからである。

図3は、横軸に対数青蛍光体輝度効率を、縦軸にインパルス応答関数の最大振幅の対数値を

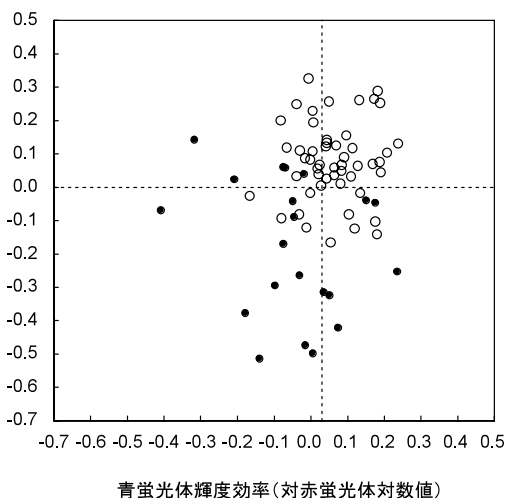


図3 青蛍光体輝度効率対数値とインパルス応答関数の最大振幅対数値の相関。黒丸は65歳以上の被験者のデータ点を示す。点線は各軸量の全体平均を示す。

取ったものである。図から分かるように両者の相関は小さく(相関係数=0.19)、回帰直線により予測ができない(有意水準1%)。グラフにおいて65歳以上の被験者のデータを黒丸で表すと、データ点が左下側に集まる傾向が見られる程度である。よって水晶体濃度の影響と信号量低下(錐体感度低下)の影響が別々に個人差の増大に寄与していることになる。

この結果は学術的にも興味深い。何故なら、短波長光に対する水晶体の吸収が大きくなれば紫外線による網膜へのダメージも減少させることになるため、水晶体濃度上昇の合理的な仮説として、それ以上の錐体信号量低下を防ぐような役割があるのかもしれない、と考えることもできるからである。もしその仮説が正しければ、青蛍光体輝度効率が低い方がインパルス応答関数の最大振幅の値が(減少を防がれるので)大きめに出るはずである。ところがそのような相関は見られなかったため、錐体や網膜の加齢効果を抑制するために水晶体濃度が上昇する、とはいえない。やはり累積紫外線暴露量の影響を受けながら、水晶体と錐体の両方にダメージが蓄積していくと考える方が合理的であろう。

相関がないという結果を受けて、両者の影響を加味した指標として、角膜上等輝度刺激によ

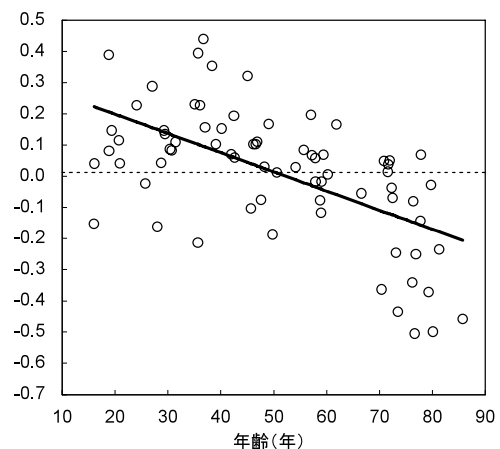


図4 角膜上等輝度刺激によるインパルス応答関数の最大振幅対数値の年齢による変化。点線は全体の平均を示す。直線は回帰直線である。

るインパルス応答関数の最大振幅対数値を導入する。これは数値的には、前述の青蛍光体輝度効率対数値とインパルス応答関数の最大振幅対数値を加えたものである。意味としては、測光値で等輝度にした青蛍光体のみで作った輝度インパルス光に対するインパルス応答関数の最大振幅に相当する。図4は年齢を横軸に取ったときのグラフである。統計的に意味のある回帰直線より、20年で0.12程度変化することが分かった。また相関から予想されるように、各世代内のばらつきは増加した。

なお、この実験ではマックスウェル視光学系を使用したため、瞳孔径変化は加味されていない。本来の自然視であればさらに老人性縮瞳による瞳孔径変化の影響も寄与するので、今回のように閾値（絶対感度）で決まる知覚においては、さらに個人差が大きくなる可能性があることを述べておきたい。

3.3.5 世代内の個人差と世代間の個人差の加齢による増大

以上の結果を、世代内の個人差と世代間の個人差という観点から、数値データで検討する。表1は、図1、図2および図4の数値について標準偏差を計算したものである。

表1 各被験者グループにおける実験別標準偏差。（輝度インパルス応答関数をIRFと記載）

被験者の世代	青蛍光体輝度効率の標準偏差	輝度インパルス応答関数最大振幅の標準偏差	角膜上等輝度刺激の輝度インパルス応答関数最大振幅の標準偏差
若年層	0.076	0.112	0.157
中年層	0.091	0.090	0.104
高齢層	0.148	0.222	0.205
若年・中年層	0.089	0.103	0.135
中年・高齢層	0.148	0.228	0.216

実験³²⁾に参加した被験者の中から、最も若い被験者10名(16.1～27.0歳で平均年齢20.8歳)を若年層、最も高齢の被験者10名(76.4～85.7歳で平均年齢79.1歳)を高齢層、平均的な年齢の被験者10名(46.1～55.7歳で平均年

齢49.5歳)を中年層として分類し、各世代内での標準偏差を求めた。図からも明らかだったように、若年層と中年層の世代内標準偏差は大きな違いはないが、高齢層では、それら2世代の標準偏差の小さい方と比べるとおおむね2倍にまで増大している。つまり3.2節でもふれたように、高齢層では、若年層や中年層に比べると世代内の個人差が増大していることになる。

次に、上記の若年層と中年層の20名を合わせた若年・中年グループと、中年層と高齢層の20名を合わせた中年・高齢グループとを作り(中年層10名は両方に入っている)、それぞれの標準偏差を計算した。その結果、高齢者層を入れることによって標準偏差はおおよそ2倍(1.6～2.2倍)に増大した。3.3節で予想したように、高齢者層が入ると異なる世代間での個人差が増大する。これは加齢効果が、年齢につれてなだらかに増加するのではなく、60歳から65歳を過ぎると急速に表面化する傾向にあることによるものである。

3.4 まとめ

本稿で取り上げた水晶体濃度上昇や輝度インパルス応答の強さなどにおいては、高齢の被験者に2種類あることが明らかとなった³²⁾。加齢による視覚系への影響がそれほど顕著ではなく、60歳以前にみられる緩やかな視覚感度の変化傾向が持続している被験者と、加齢の影響が大きく出て、60～65歳で急激に視覚特性が変化する被験者である。つまり加齢効果は、同年齢の高齢者全員に同様に発生するのではないのである。

以上の結果から、本稿で取り上げた2種類の個人差に対して、ある程度の知見が得られる。世代内の個人差の面では、若年者や中年者よりも高齢者の世代内での個人差の方が大きい、ということになる。これは加齢効果がどの程度強く生じるかで、高齢者世代内において視覚特性の違いが増大するからである。また加齢によっ

て若年者と高齢者の視覚特性に変化が生じると
いう世代間の個人差の面については、60歳付
近にある境界年齢を跨いだ世代間において、跨
がない場合と比べて、世代間個人差が増大する
ことが示された。

文献

- 1) R.A. Weale: "Retinal senescence,"
Progress in Retinal Research, eds. N.
Osborne and J. Chader (Pergamon Press,
New York, 1986) pp. 53-73.
- 2) J.S. Werner and L. Spillmann: "UV-
absorbing intraocular lenses: safety,
efficacy, and consequences for the cataract
patient," *Graefe's Archive for Clinical and
Experimental Ophthalmology*, 27 (1989)
248-256.
- 3) J.S. Werner: "Visual problems of the retina
during ageing: Compensation mechanisms
and colour constancy across the life span,"
Progress in Retinal and Eye Research, 15
(1996) 621-645.
- 4) L. Freeney-Burns, E.S. Hilderbr and
S. Eldridge: "Aging human RPE:
morphometric analysis of macular,
equatorial, and peripheral cells," *Invest.
Ophthalmol. Vis. Sci.*, 25 (1984) 195-200.
- 5) M. A. Johnson and D. Choy: "On the
definition of age-related norms for visual
function testing," *Appl. Opt.*, 26 (1987)
1449-1454.
- 6) 篠森敬三: "色覚の加齢効果," *日本色彩学
会誌*, 27 (2003) 216-223.
- 7) R. A. Weale: "Notes on the photometric
significance of the human crystalline lens,"
Vision Res., 1 (1961) 183-191.
- 8) K. H. Ruddock: "The effect of age
upon colour vision-I. Response in the
receptoral system of the human eye,"
Vision Res., 5 (1965) 37-45.
- 9) W. S. Stiles and J. M. Burch: "N.P.L.
colour-matching investigation: final report
(1958)," *Optica Acta*, 6 (1959) 1-26.
- 10) R. Lakowski: "Is the deterioration of
colour discrimination with age due to lens
or retinal changes?," *Farbe (Die Farbe)*,
11 (1962) 69-86.
- 11) G. Verriest: "Further studies on acquired
deficiency of color discrimination," *J. Opt.
Soc. Am.*, 53 (1963) 185-195.
- 12) K. Knoblauch, F. Saunders, M. Kusuda, R.
Hynes, M. Podgor, K. E. Higgins and F.
M. de Monasterio: "Age and illuminance
effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue
test," *Appl. Opt.*, 26 (1987) 1441-1448.
- 13) J. M. Kraft and J. S. Werner: "Spectral
efficiency across the life span: flicker
photometry and brightness matching," *J.
Opt. Soc. Am. A*, 11 (1994) 1213-1221.
- 14) K. Sagawa and Y. Takahasgi: "Spectral
luminous efficiency as a function of age," *J.
Opt. Soc. Am. A*, 18 (2001) 2659-2667.
- 15) J. S. Werner and V. G. Steele: "Sensitivity
of human foveal color mechanisms
throughout the life span," *J. Opt. Soc. Am.
A*, 5 (1988) 2122-2130.
- 16) D. van Norren and J. J. Vos: "Spectral
transmission of the ocular media," *Vision
Res.* 15 (1974) 749-751.
- 17) G. L. Savage, G. Haegerstrom-Portnoy, A.
J. Adams and S. E. Hewlet: "Age changes
in the optical density of human ocular
media," *Clinical Vision Sciences*, 8
(1993) 97-108.
- 18) J. Pokony, V. C. Smith and M. Lutze
: "Aging of the human lens," *Appl.
Optics*, 26, (1995) 1437-1440.
- 19) C. A. Curcio, C. L. Millican, K. A. Allen

- and R. E. Kalina : "Aging of the human photoreceptor mosaic: evidence for selective vulnerability of rods in central retina," *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 34 (1993) 3278-3296.
- 20) J. Marshall: "Ageing changes in human cones," XXIII Concilium Ophthalmologicum, eds. K. Shimizu and J. A. Oosterhuis, (Kyoto, 1978) (Elsevier North-Holland, The Netherlands, 1978) pp.375-378.
- 21) C. A. Curcio and D. N. Drucker : "Retinal ganglion cells in Alzheimer's disease and aging," *Ann. Neurol.*, 33 (1993) 248-257.
- 22) J. S. Werner and B. E. Scheffrin : "Loci of achromatic points throughout the life span," *J. Opt. Soc. Am. A*, 10 (1993) 1509-1516, 1993.
- 23) B. E. Scheffrin and J. S. Werner : "Loci of spectral unique hues throughout the life span," *J. Opt. Soc. Am. A*, 7 (1990) 305-311, 1990.
- 24) B. E. Scheffrin and J. S. Werner : "Age-related changes in the color appearance of broadband surfaces," *Color Res. and Appl.*, 18 (1993) 380-389.
- 25) J. M. Kraft and J. S. Werner: "Aging and the saturation of colors. 2 . Scaling of color appearance," *J. Opt. Soc. Am. A*, 16 (1999) 231-235.
- 26) K. Sagawa and Y. Takahashi: "Span of categorical colors measured by similarity of colors," *Proceedings of 25th Session of the CIE*, 1 (CIE, 2003) pp. D1-64 ~ 67.
- 27) J. M. Kraft and J. S. Werner: "Aging and the saturation of colors. 1 . Colorimetric purity discrimination," *J. Opt. Soc. Am. A*, 16 (1999) 223-230.
- 28) K. Shinomori: "Senescent changes in color discrimination and color appearance," *J. Illumi. Eng. Inst. Jp.* (照明学会英文誌), 24 (2000) 40-44.
- 29) J. Neitz, J. Carroll, Y. Yamauchi, M. Neitz and D. R. Williams : "Color perception is mediated by a plastic neural mechanism that is adjustable in adults," *Neuron*, 35, No. 4 (2002) 783-792.
- 30) B. E. Scheffrin, K. Shinomori and J. S. Werner : "Contributions of neural pathways to age-related losses in chromatic discrimination," *J. Opt. Soc. Am. A*, 12 (1995) 1233-1241.
- 31) K. Shinomori, B. E. Scheffrin and J. S. Werner: "Age-related changes in wavelength discrimination," *J. Opt. Soc. Am. A*, 18 (2001) 310-318.
- 32) K. Shinomori and J. S. Werner : "Senescence of the temporal impulse response to a luminous pulse," *Vision Res.*, 43, (2003) 617-627.
- 33) J. S. Werner, K. A. Schelble and M. L. Bieber: "Age-related increases in photopic increment thresholds are not due to an elevation in intrinsic noise," *Color Res. and Appl.*, 26 (2001) S48-S51.
- (以上文献1より引用)

4 入出力領域

本領域では、高齢者の特性に配慮したユーザインタフェースの開発を目的としている。高齢者の特性を考慮して、高齢者でも容易に理解・操作できるユーザインタフェースを開発し、評価するものである。

平成17年度は、本領域は主に妻鳥・篠森が担当した。ただし当年度においては、本領域については研究準備段階にとどまっている。それは、本領域における具体的な研究は、他の2つの領域の研究成果に依存しているからである。

知覚領域における研究成果から視覚特性が明

らかとなることにより、その成果を反映させたユーザインタフェースの改善方向が見えてくることになる。また、学習支援システム領域の研究成果より必要なシステム要件が明らかとなることにより、具体的に求められるユーザインタフェースの仕様が明確となるからである。

以上の理由により本領域については、現在までの所、特に研究成果はない。ただし当領域の研究に必要な実験機材は相当程度、平成17年度において整備することに成功した。平成18年以降の研究に期待したい。

5 学習支援システム領域

5.1 あらまし

本領域は、高齢者を対象とした学習支援システムの構築を目的としている。高齢者の特性を考慮した教材開発、学習支援のモデル化、そしてそのモデルに基づいた学習支援システムの開発と評価を行う。さらに実用的なe-learningシステムの構築のための基礎的あるいは実証的研究を実施するものである。

平成17年度は、知覚領域の研究成果が事前設定されていないこともあって、上記目的のうち、実証的研究を主として行った。特にe-learningシステム導入のためのコストを低減することを目的として以下の2テーマで研究を行った。

- (1) e-learningシステム用教材の作成における簡便化とコスト軽減に関する方策
- (2) e-learningシステムに対するサポート態勢における簡便化とコスト軽減に関する方策

5.2 e-learningシステム用教材の作成における簡便化とコスト軽減に関する方策

まず(1)の「e-learningシステム用教材の作成における簡便化とコスト軽減に関する方策」の研究背景であるが、単位科目あたりの教材作成の時間およびコストを軽減することが

e-learningシステム導入の広範な普及のために必要であろう。そのために、今年度の本テーマでは、大学がすぐにも一般に提供できる講義をコンテンツ化することで、そのコンテンツ化にかかるコストの調査とその有効性・有用性の評価を行った。本テーマは主に妻鳥が担当した。この成果については6.で報告する。

5.3 e-learningシステムに対するサポート態勢における簡便化とコスト軽減に関する方策

また(2)の「e-learningシステムに対するサポート態勢における簡便化とコスト軽減に関する方策」の研究背景について述べる。e-learningシステムにおいては、コンテンツとしての教材やカリキュラムの準備のみならずシステムそのものの構築が必要である。これらについては、様々な研究が行われているところである。さらに、実際のe-learningシステム導入においては、それに加えてこれを利用して学習する学生に対するサポート態勢を整える必要がある。概念的には既存の学習システム（いわゆる通常の講義形式）と同等であってよいけれども、e-learningシステム特有の環境要因として、受講学生がキャンパス内にいない、という点が筆頭にあげられる。そのために、実際のe-learningシステム操作に対するインストラクション等において困難が生じることが予想される。さらに、履修申告等教務作業などにおいても、新入生に対するガイダンスが限定的になること等の影響により、通常のキャンパス内の学生に対するものと比べて効率が減少することもあり、また対面によるサポートが難しくなることもあり、何らかの工夫が必要であろう。

そのために、本テーマでは、e-learningシステムにおいて事務局的サポートをどのように維持していくかに焦点を当てて研究を行った。その際には、e-learningシステムの導入コストの低減を制約条件として考慮した。

平成17年度は、ネットワークを利用したカ

メラ利用型画像音声通信を利用することによって事務局的支持が出来ないかという点をテーマとした。その際にはコスト低減と、その通信手法そのものに対するサポートを低減させるために、既存のソフトウェアとシステムを利用することを試みた。実際には、Apple Computer 社製の iChatAV を同社の iSight とともに利用することで擬似的なテレビ電話として利用できないかという点について検討した。これらは同社の公式なサポートが受けられるために e-learning システムを導入する教育機関においてはこれら通信の設定や制御を自分たちで行う必要がないというメリットがあるためである。

研究の進捗についてであるが、平成 17 年度までで、当該システムを導入してその動作を確認できた。ただし補助金の使用可能時期などの関係より、4 月に新生生に対してこの画像音声通信を利用したサポートの効果を検証することは出来なかった。10 月においては、学生がメール連絡などネットワークシステムに対する操作に習熟してしまっていることもあり、十分な実証とはならない。そのため、平成 18 年度においても本テーマを継続して実施し、その効果を検証する必要があると考えられる。

さらに平成 18 年度には、サポート態勢における簡便化とコスト軽減に関する方策の一環として、教務作業をネットワーク上で行うための方法についても検討し、検証のためのシステムを導入して実証実験を行う予定である。

6 講義アーカイブの作成と評価（学習支援システム領域研究成果）

6.1 はじめに

今や、殆どの大学で e-learning が導入されるようになった。その目的として、他大学との授業交換も含めて質の高い講義を提供すること、複数のキャンパスにまたがる場合に講義を中継すること、遠隔地の受講生の受講機会を与え

ること、新たな教育システムとしての可能性を追求するもの等が挙げられる¹⁾。また、生涯学習に e-learning を利用することも期待されている²⁾。現在行われている生涯学習は、例えば市民大学や市民講座のように講義形式で行われるものも少なくない。

本研究では、生涯学習を指向した e-learning システムの教材として、最も基本的なコンテンツとなりうる講義のアーカイブを作成・評価することで、そのアーカイブ作成にかかるコストやコンテンツに対する評価を行った。以下、本稿では講義のコンテンツ作成に必要なコストや、そのコンテンツに対する評価結果について報告する。

6.2 講義のコンテンツ化

実際に講義を行う場合、学生からの質問や反応等から講義の理解状況を把握しながら、講義のペース配分を臨機応変に対応することが必要とされる。また講義後、学生からの個別の質問に対応し、その質問が他の学生に有益であると判断すれば、講義中にその質問に関する解説を行う必要がある。講義をコンテンツ化する際には、このようなやり取りを含める必要がある。

コンテンツ化には時間や手間といったコストがかかる。e-learning 導入時の障害として、コンテンツの作成に莫大なコストがかかることが挙げられており、また、e-learning の運用における障害として、ニーズに合ったコンテンツが不足することが挙げられている。しかしながら、e-learning のためのコンテンツ化を支援する専任のスタッフがいるような前提条件は本学では望めない。そのためコンテンツ化の負担がコンテンツを作成する教員側に生じる。そのため、講義をコンテンツ化するためには通常の講義とほぼ同等のコストしかかけられない。

コンテンツを作成する教員からの視点と、それを利用する学生の視点から、教員側に負荷をかけずに学生に本来期待している効果を得られ

るのか、実際にかかるコストや問題点を教員と学生両者の立場から評価する。

6.3 講義アーカイブの作成とその評価

6.3.1 講義アーカイブの作成

情報システム工学科3年次科目の「人工知能基礎」において、講義をビデオ（DV）で撮影し、それをコンテンツ化して講義アーカイブを作成した。この講義は、コンピュータによるプレゼンテーションツールと少しの板書を利用した講義である。コンテンツ化に関わるコストを抑えるために、DVカメラによる撮影は三脚で固定するものとした。また、音響については本学の教室設備を利用した。毎回、ビデオカメラの角度等の条件を変更してそれぞれ比較出来るようにした。

6.3.2 評価の概要

今回は、講義の前半（DVでの映像）についての評価を行った。評価は、各回の講義を1分程度の動画（640×480、映像100kbps、音声44kbps）に編集し教室のプロジェクターを用いて全画面で表示し、被験者に視聴してもらってアンケートに回答してもらった。被験者は人工知能基礎の受講者の一部の33名（男26、女7）であった。

評価項目はカメラアングルと音声の品質、コメントである。

6.3.3 映像・音質について

映像については、まずレーザーポインタ（赤色）が映像にほぼ映らないことがわかった。また、撮影した映像で文字が判読できるのは、画面のほぼ全体がスクリーンを映した場合であることがわかった。また、カメラの角度は講師の顔が見えるように撮影すると視聴者にとって自然に感じる事が分かった。

音声の品質についてはDVカメラに標準装備のマイクによる録音と教室のマイクをライン入

力で録音したものとの比較を行った。その結果、音声はどちらも許容範囲内であることが分かった。

6.3.4 学生の意見

講義をコンテンツ化するために、講義を撮影したことに対する学生の影響について調査した。その結果、およそ半数の被験者から、撮影を行っていることに対して緊張感・不快感があったとの回答が得られた。また、講義を欠席した場合や、復習のためにこのようなコンテンツは有用であると殆どの学生は賛同した。しかしながら、講義を受けるかコンテンツを見るか二者択一になると、ほぼ全員が講義を受けることを選んだ。これは、講義を単に録画しただけでは、e-learningのコンテンツとしては十分ではない可能性を示唆している。その理由としては、教室内での講義がコンテンツには全て記録しきれていない、講義とe-learningのコンテンツでは受講者が期待しているものが異なっている、等が考えられる。この点については、今後継続して調査していく必要がある。

6.3.5 アーカイブ化にかかるコスト

今回、講義をコンテンツ化するためにかかったコスト（時間、手間）について調査した。まず事前に撮影機材の準備に約10分かかった。DVでの映像をコンピュータに取り込むのは講義時間の約2割増しの時間がかかった。エンコードにはWindows Media エンコーダを利用した場合、録画時間のおよそ3倍の時間がかかることがわかった。映像をコンピュータに取り込みエンコードが完了するまで、録画時間のおよそ4倍の時間を要することがわかった。なお、これらの作業はほぼ一人でできることが分かった。

6.4 まとめ

本稿では、e-learningの最も基本的なコンテ

ンツとなりうる講義のアーカイブ化を通して、どのようなコンテンツ形態が望ましいか、そしてそのコンテンツ化にかかるコストについて調査を行った。その結果、単に講義をコンテンツ化しただけでは e-learning のコンテンツとして十分ではない可能性が示唆された。また、通常の講義を e-learning のコンテンツにするために必要なコストが明らかになった。

今後の課題として、e-learning のコンテンツとなりうる講義形式の検討を行っていく必要が

ある。また、生涯学習向けのコンテンツを実際に作成し、その評価をしていく必要がある。

文献

- (1) 坂元 昂 監修, 中原 淳, 西森年寿編著, e ラーニング・マネジメントー大学の挑戦ー, オーム社, 2003.
- (2) 先進学習基盤協議会, e-learning 白書 2003 / 2004, オーム社, 2003.