

原著論文

照明の色温度と照度の違いが 40 歳代の視機能に及ぼす影響 ～焦点調節応答距離と視認性に焦点をあてて～

渡辺達也^{1§}, 石垣和子¹

要 旨

40 歳代女性の視機能が加齢とともにどのように変化しているのか、またこの変化に室内照明がどのように影響するかを 20 歳代と比較し、眼の焦点調節機能と視認性の側面から明らかにすることを目的とした。40 歳代 12 名、20 歳代 8 名に 2 種類の実験を行った。実験 1 は、色温度を 3100K と 4200K の 2 条件設定し視作業負荷を与え、焦点調節機能の視作業負荷の前後変化を求める実験であり、実験 2 は照度を 10lx, 300lx, 650lx の 3 条件設定しランダムな向きのランドルト環の中から指定した向きのランドルト環の探索数と正答率を求める実験を行った。40 歳代の焦点調節応答距離は、視作業前において有意に 20 歳代より長かった。本実験環境下では、視作業前後の調節機能に年代間で有意な差は検出されなかった。ランドルト環の探索数が 20 歳代より 40 歳代の方が全条件で下回り、視認性の低下が示唆された。

キーワード 視機能, 40 歳代, 焦点調節機能, 視認性

1. はじめに

ヒトにとって視覚は最大の情報量を得る感覚器である¹⁾。池田²⁾は「眼は、大脳への入口であり、直径わずか 20mm 少々の小さい球であるが、これがないと大脳も視覚中枢も手足をもがれたようなものである」と述べている。視力は 45 歳付近を境に 75 歳までほぼ直線的に最良矯正視力が低下し、75 歳以上になると更に視力低下が加速すると報告されている³⁾。この加齢による視力低下の原因として、水晶体の透過率の低下と網膜からの視覚中枢に至る視覚伝導路の機能低下が考えられている⁴⁾。厚生労働省⁵⁾は、物が見づらいという有訴率（人口千対）が 30 歳代では男性 7.8、女性では 9.0 であるのに対し、40 歳代では男性で 21.7、女性で 28.8 と男性女性ともに有訴率が約 3 倍に増加していると報告している。北川⁶⁾は、視機能低下から来る日常生活への影響の具体例として、視力低下の影響から時刻表、運賃表など複数情報の入った誘導サインが見にくくなると指摘し、さらに明暗順応力の低下から明るい車内から暗いホームへの移動時には眼の順応が追い付かないことや視野の狭窄から室内外において危険物や信号など刺激の見落としが起りやすいことを指

摘している。60～85 歳の高齢者を対象に行った調査では、視力の衰えを感じている高齢者は 83%と高く、日常生活の支障としては新聞の文字や薬の説明書の読みにくさを訴えている対象が過半数を占めていた⁷⁾。先行研究では、色温度が身体の生理機能に影響を与えていることや、色温度が視機能に影響を与えていること、サーカディアンリズムに合った色温度の選択が視機能にとって望ましい光環境であることが明らかにされている^{8,9)}。しかし先行研究では、いずれも視機能の低下が進行した高齢者に焦点があたっていたり、多くが若齢者のみか、若齢者から高齢者までをまとめて調査していたり、中高齢者を同じ群として扱っていたりしており、日常生活上で視機能低下に気づき始める 40 歳代の方に焦点を当てている研究はない。そこでまだ十分に調べられていない視機能の低下に気づき始めるような 40 歳代に焦点を当て、若齢者と比較しどのような部分に違いがあるのかを明らかにすることによって、保健指導等に活用できる予防策や早期対応に向けての方策を見つけるための基礎資料が得られると考えた。

視機能の低下による自覚が生じる要因の手がかりを得る実験的研究を計画し、同じ実験環境下での 40 歳代の視機能と 20 歳代の視機能と比較し

¹石川県立看護大学[§]責任著者

てどのような違いがあるのかを、眼の調節機能と視認性の側面から明らかにする。

2. 用語の説明

(1) 照度

光源によって照らされている面の明るさの程度を表す尺度である。単位面積当りに入射する光束で与えられ、単位はルクス (lx) で表す。

(2) 色温度

光の色合いを表す尺度である。光源が放つ光の色を数値で表したもので、数値が低いほど赤みを帯び、高いほど青みを帯びた白色になり、単位はケルビン (K) で表す。

(3) 近視視力

近距離における視力をいい、30cmまたは50cmの距離で近距離視力表を用いて測定する。

(4) 焦点調節応答距離

物を見た際、焦点が合う距離のことであり、焦点調節応答距離が長いほど視作業による眼の焦点調節機能が疲労状態であることを示す。

(5) フリッカー値

光の点滅の周波数を変化させた時に、点滅を知覚する周波数の閾値のこと。疲労により閾値は低下することから精神性疲労の評価指標に用いられる。

測定値が小さいほど精神疲労が大きい状態であることを示す。

(6) 視認性

本研究では、視認のしやすさという意味で視認性という語を用いる。

3. 研究方法

3.1 実験の概要

本研究は、実験的研究とし、2019年8月から9月まで実施し、2種類の実験を実施した。

1つめの実験（以下実験1とする）は、視作業机上の色温度を2条件設定した。被験者には2条件の色温度下で眼の焦点調節機能に負荷を与えることを目的とし、手元とPC画面の間の眼の焦点を移動させる視作業を行わせた。焦点調節機能は、近方にある物体を見る際、網膜上に明瞭な像を結ぶために、眼全体の屈折力を増す機能のことであ

り、水晶体の屈折力の変化によるもので、毛様体筋の収縮が関与している。安岡⁹⁾らは、毛様体筋等の眼筋の疲労は焦点調節応答距離に影響していると述べている。また大脳皮質の疲労はフリッカー値に影響を与えると考えられている⁸⁾。そこで実験1では焦点調節応答距離を視作業前後で測定し、焦点調節機能に負荷を与える視作業により40歳代と20歳代で視機能にどのような違いがあるかを評価し、視作業前後フリッカー値を測定することで、与えた負荷による中枢性の疲労も評価する。なお、実験1はクロスオーバー試験とした。

2つめの実験（以下実験2とする）は、視認性に着目し、3種類の照度を設定し、様々な大きさ、濃さのランドルト環試験用紙を見させ、探索数を求めることで読み取る速度を評価し、正答率を求めることで正確性を評価した。照度と印刷濃度の違いによる視認性を確かめる実験とした。なお、同一被験者対して、実験1と2は被験者の疲労を考慮して別日に行った。

3.2 調査対象

研究協力の同意が得られたA大学の40歳代女性12名と、20歳代女性8名とした。

3.3 実験実施中の室内環境（図1）

刻一刻と変化する太陽光を光源にしての実験はデータ収集時刻が限られる。また同一条件下でのデータ収集が困難であるため、本実験は人工的に光環境を設定して行った。実験はA大学内の1階に位置する、横幅3700mm、奥行3400mm、高さ2200mmで窓がなく、外光の入らない部屋を用いた。視作業机を実験室入り口から向かって

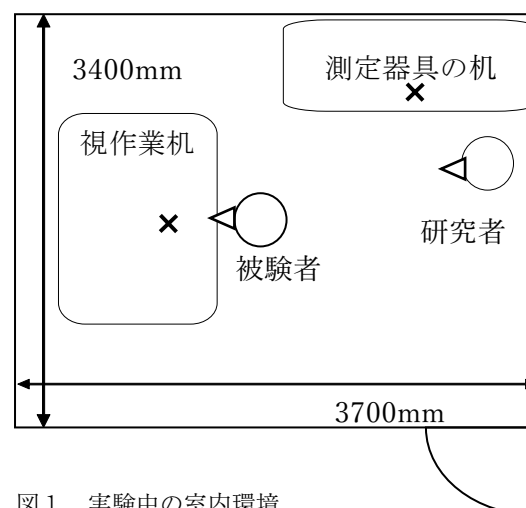


図1 実験中の室内環境

左側に設置し、実験室入り口から前方面面に視作業機とは別の机に被験者の視機能を測定する機器を設置した。光環境の測定は、作業を行う机上面で色温度、照度を測定した。図1に室内平面図を示す。図中の×印は照度と色温度の測定位置を示す。

天井照明として、ラピッドスタート式 FLR40S・W（白色）14本を使用した。天井照明は調光可能であり、天井照明の照度は、照度計（MINOLTA CL-200）を用いて視作業机上で測定した。また色温度は3700Kである。デスクライトのみを使用しての視作業は日常生活上考えにくいいため、実験1の視作業中は、天井照明（300lx）とデスクライトを併せて使用した。使用したデスクライトは、TaoTronics デスクライト（型番：TT-DL13）（以下デスクライトとする。）である。本製品の光源はLEDライトであり、色温度が2700 K～6000 Kに段階的に切り替わる。また、視作業面の照度を一定にするため、デスクライトは同様の製品を2個設置し、視作業面を左右から照らし、照度条件は、JIS 照度基準¹⁰⁾の屋内作業500lx（普通の作業）～750lx（緻密な作業）を参考に、視作業面が650 lxとなるように設定した。

3.4 実験1について

（1）実験条件

照明の色温度の種類を2条件設定し実験を行った。色温度は昼間と夕方を想定し、条件1を白色光として4200K、条件2を夕色光3100Kとして実験1を行った。視作業被験者が体験する条件は提示順序による影響を考慮し、ランダムに設定した。

（2）実験手順

被験者を実験室入室させ視作業机に着席させた。その後問診票を記入させ、年代、視力矯正の有無と内容、実験開始までのパソコン作業時間を聴取した。その後、基本情報として50cm近見視力（以下50cm視力とする）を測定し、本実験が可能か否かを判定した。眼鏡やコンタクトレンズを使用している被験者については、眼鏡やコンタクトレンズを使用した状態で測定した。Visual Display Terminalsを用いた作業（VDT作業）における距離は約50cmであると想定されており、VDT健診では、50cm視力が測定されている。50cm視力は、VDT視力計（トーマー株式会社 NS-

050）を用いて測定した。被験者にはランドルト環の切れ目の方向を判別させ、表示されている各視力に対応したランドルト環（視力0.1）から順に読ませた。連続正答したランドルト環の最小のものを50cm視力とした。またベースラインの値として、焦点調節応答距離とフリッカー値を測定した。測定時の天井照明は、被験者が同一条件のもと50cm視力と焦点調節応答距離、フリッカー値を測定できるように、入室する前から測定場所の照度は300 lxに設定した。その後、視作業机上のデスクライトを点灯させ、色温度を4200Kまたは3100Kに設定した。安岡ら⁹⁾の方法に準じて、天井照明（300lx）とデスクライトを併せて視作業机上の照度が650 lxになるように調整した。その後望月ら⁸⁾の方法に準じて、被験者を5分間待機させ、照明環境に順応させた。次に設定した色温度下で20分間の乗算とPC入力の視作業をさせた。視作業内容は、3桁×3桁の乗算を机上に置かれた電卓を用いて行い、答えをノートパソコン（以下PCとする）（DELL inspiron15 5000 15.6インチ）に入力させた。入力はMicrosoft Office2019 Excel ファイルの所定のセルへの入力とした。視作業時間は20分間とした。この視作業は、望月ら⁸⁾の視作業内容を参考に取り入れた内容である。視作業後に再び焦点調節応答距離とフリッカー値を測定した。測定後に15分間の休憩をとらせた。休憩中、お手洗い以外は実験室内に滞在させた。尚休憩中、デスクライトは消灯し天井照明は継続して点灯した。休憩後に2回目の視作業前の測定値として、焦点調節応答距離とフリッカー値を測定した。2回目視作業時のデスクライトの色温度は、1回目とは異なるように設定した。尚、視作業机上の照度は1回目の視作業時と同様に650 lxになるように調整し、同じく被験者を5分間待機させ、照明環境に順応させた。次に設定した色温度下で20分間の乗算とPC入力の視作業をさせた。視作業内容は1回目と同様である。2回目の視作業終了後に焦点調節応答距離とフリッカー値を測定した。測定後実験が終了した旨を伝え、実験室から退室させた。

（3）測定項目と測定方法

①焦点調節応答距離の測定

焦点調節応答距離の測定値が長いほど焦点調節機能が低下していることを示す。また視作業前後の焦点調節応答距離の変化は（視作業後の測定値

-視作業前の値)の式で求める。視作業前後での焦点調節応答距離の変化が正の向きに大きくなるほど視作業による眼の焦点調節能力が低下している状態であることを示す。焦点調節応答距離の測定は、近点距離計(KOWA NP 社製 アコモドメーター)(以下アコモドメーターとする)を用いた。実験1では、安岡ら⁹⁾の測定方法に従って、消失近点測定法で消失近点距離(400mmの距離から近方に移動する視標がはっきり見えなくなった時に応答スイッチを押す測定方法)と現出測定法で現出近点距離(50mmの距離から遠方に移動する視標がはっきりと見えた時に応答スイッチを押す測定方法)を測定した。消失近点距離、現出近点距離ともに両眼で連続10回ずつ測定した。

②フリッカー値の測定

測定値が小さいほど疲労が大きいことを示す。フリッカー値は、眼そのものの疲労ではなく、視神経から脳にかけての疲労を示している。フリッカー値の測定には、フリッカー値測定器Ⅱ型(自動型)(竹井機器工業 製品番:T.K.K.501c)(以下フリッカーとする)を用いた。

光を高速で点滅させると、人は光のちらつきを判別できないが、徐々に点滅周波数を低下させると、ちらつきが判別可能となる。実験1では、光の点滅速度を60Hzから徐々に下げていき点滅を認識した時点でスイッチを押す下降系列(以下DOWNとする)と光の点滅速度を20Hzから徐々に上げ、認識できなくなった時点でスイッチを押す上昇系列(以下UPとする)を測定し、押した時点の周波数を測定した。DOWN, UPともに3回ずつ測定した。

3.5 実験2について

(1) 実験2の実験条件

視作業机上の照度の条件として650 lx, 300 lx, 10 lxの3条件に設定した。650 lxは日中の照度を想定し、300 lxは15時頃の照度を想定し、10 lxは夕方の照度を想定して設定した。

(2) 実験2の手順

被験者を実験室に入室させ視作業机に着席させた。その後、視作業机上の照度が650 lxとなるように実験室の天井照明を調整し、被験者を5分間待機させ、照明環境に順応させた。安岡ら⁹⁾の方法に準じて、指示された向きのランドルト環を探索する作業を用いて、視認性を評価する目的

で、ランドルト環探索の視作業をさせた。視作業内容は、上下左右の向きのランドルト環100個がランダムに印刷された試験用紙を使用した。被験者は研究者が指示した向きのランドルト環を上列の左から右に20秒間探索し、対象の視標に斜線を入れさせた。20秒経過した時点で探索していた箇所には右鉤括弧を入れた。探索順および斜線、右鉤括弧の記載例を図2に示す。20秒間で探索した数(以下探索数)および探索した範囲に含まれる対象数と斜線数から正答率を求めた。試験用紙として使用した用紙は、コントラストが鮮明に出るよう、白色度98%の用紙(エイピーピー・ジャパン 製品型番PTK001 白色度98%, 紙厚106μm)を用いた。1枚の用紙に記載されたランドルト環は100個(10個×10個)とした。また、ランドルト環は、大きさ2条件(大:直径=4 mm, 小:直径=2 mm), 印刷濃度4条件(100%, 50%, 25%, 15%)とし、ランドルト環の大きさと印刷濃度の組み合わせで計8条件の試験用紙を作成した。視作業終了後5分間休憩させた。次に視作業机上の照度が300 lxとなるように調整し、被験者を5分間待機させ、照明環境に順応させ、同様のランドルト環探索の視作業をさせた。作業終了後5分間休憩させた。次に視作業机上の照度が10 lxになるよう調整し被験者を5分間待機させ、照明環境に順応させ、同様のランドルト環探索の視作業をさせた。視作業が終了した後、実験が終了した旨を伝え、被験者を実験室から退室させた。

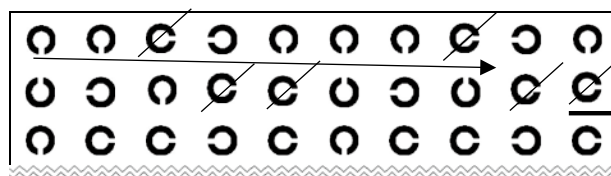


図2 試験用紙の一例と探索順および斜線、右鉤括弧記入例

3.6 分析方法

(1) 実験1について

40歳代において、消失近点距離が1名測定不能であったため、消失近点距離については、11名で平均し、40歳代の消失近点距離の値とした。また、現出近点距離においては12名分を平均し、現出近点距離の値とした。20歳代においては、消失近点距離、現出近点距離8名分の値を平均し、前者を20歳代の消失近点距離の値、後者を20

歳代の現出近点距離の値とし、結果には平均±標準誤差で示した。

40歳代と20歳代の母集団の値が正規分布すると想定し、ベースラインの焦点調節応答距離の平均値、フリッカー値の平均値は、40歳代と20歳代の比較を対応のないt検定を用いて検定した。視作業前後の焦点調節応答距離の変化の差について色温度を対応のある要因とし、年代を対応のない要因として、2要因混合計画の分散分析を行い、視作業前後のフリッカー値の変化の差も同様に、色温度を対応のある要因とし、年代を対応のない要因として、2要因混合計画の分散分析を行い、有意水準は0.05とした。

(2) 実験2について

探索数・正答数とも同じ用紙を使用した場合の同照度条件下での年代間比較は対応のないt検定を用いた。また、年代別に同じ用紙を使用した照度条件間の比較は、一元配置分散分析を行った後、有意差があったものをテューキー法の多重比較検定を行った。有意水準は0.05とした。尚、統計解析にはSPSS (IBM SPSS Statistics 25) を用いた。

3.7 倫理的配慮

本調査は石川県立看護大学の倫理委員会の承認を得た(看大第345号)後、研究参加者が所属する大学の事務局長に、本調査の趣旨・意義・依頼事項・倫理的配慮を記載した文書を用いて口頭で説明し、承諾を得た。その後対象となる方に対し、研究の趣旨や方法、研究参加は自由意思であり、辞退しても不利益を被らないこと、データは秘密厳守し厳重に管理すること、結果の公表を行う際に個人が特定されないこと、長時間の実験となるため研究者が被験者の体調不良に配慮するとともに、体調不良の自覚症状が出現した場合は、本実験を中止できること、本実験は窓のない部屋を使用することを文書及び口頭で説明し、文書による同意を得た。分析過程では研究参加者が特定されないように、実験段階から固有名詞は匿名化し、ID番号を付した。

4. 結果

4.1 被験者の概要(表1)

被験者の50cm視力は1名を除き0.6～1.5であり、本研究に必要な視力を有していると判断した。ID10は右0.2、左0.6であるが、両眼視において

表1 被験者の概要

ID	年代	矯正	50 cm視力	
			(右)	(左)
01	前半	CL	1.0	1.2
02	前半	裸眼	1.2	1.0
03	後半	裸眼	0.9	1.0
04	後半	眼鏡	0.7	1.0
05	後半	眼鏡	1.2	1.0
06	40 後半	裸眼	1.5	1.0
07	歳代 後半	眼鏡	0.7	0.9
08	後半	眼鏡	0.9	1.2
09	後半	眼鏡	1.2	1.0
10	後半	裸眼	0.2	0.6
11	後半	眼鏡	1.5	1.5
12	後半	眼鏡	1.0	0.7
13	前半	CL	0.6	0.7
14	前半	CL	1.2	1.2
15	前半	裸眼	1.5	1.5
16	20 前半	裸眼	1.2	1.0
17	歳代 前半	CL	0.7	0.9
18	前半	CL	0.9	1.0
19	前半	眼鏡	0.9	1.0
20	前半	CL	1.2	1.2

本実験に足りる視力と判断した。被験者は眼科疾患のない女性20名とし、40歳代前半2名、40歳代後半10名を「40歳代」、20歳代前半8名を「20歳代」と分類した。裸眼が6名、眼鏡が8名、コンタクトレンズ(以下CL)が8名であった。

4.2 焦点調節応答距離の測定結果について

実験1の結果として、焦点調節応答距離の測定結果を示す。ベースラインの40歳代と20歳代の消失近点距離の比較結果を図3に示し、現出近点距離の比較結果を図4に示す。40歳代と20歳代の平均値とエラーバーは、標準誤差を示す。40歳代の消失近点距離は 201.7 ± 17.1 (mm)であり20歳代は 89.5 ± 5.4 (mm)であった。40歳代の消失近点距離は20歳代に比べて有意に($P<0.001$)長かった。40歳代の現出近点距離は 194.9 ± 15.4 (mm)であり20歳代は 101 ± 3.1 (mm)であった。40歳代の現出近点距離は20歳代に比べて有意に($P<0.001$)長かった。

次に年代別に4200Kと3100Kでの作業前後の消失近点距離の変化の平均値を図5に、現出近点距離の変化の平均値を図6に示した。エラーバー

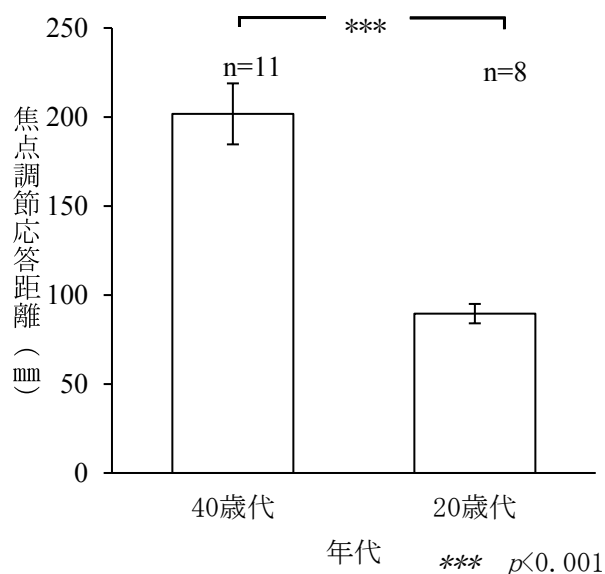


図3 消失近点距離の年代間比較
(ベースライン時点)

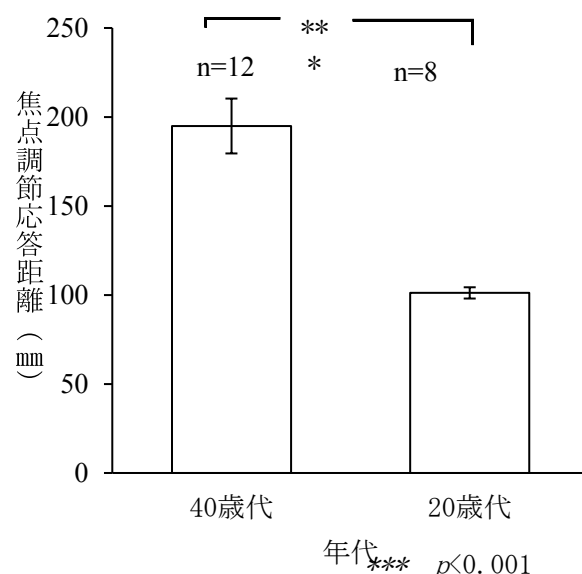


図4 現出近点距離の年代比較
(ベースライン時点)

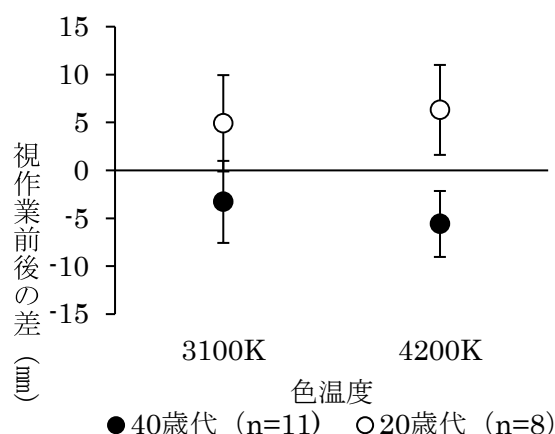


図5 視作業前後の年代別消失近点距離の変化

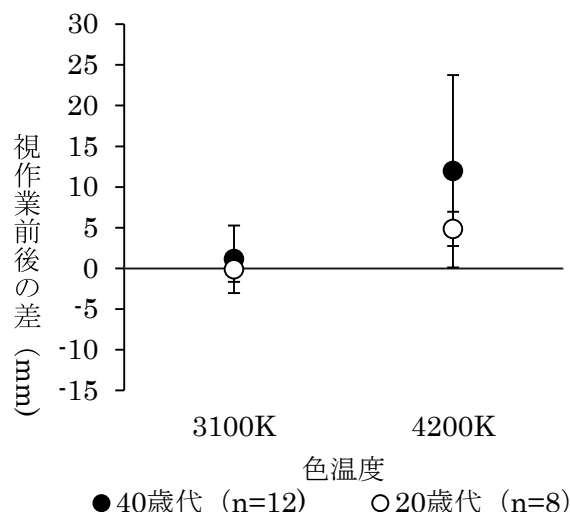


図6 視作業前後の年代別現出近点距離の変化

は、標準誤差を示す。視作業前後の変化は、視作業後の測定値から視作業前の測定値を減算している。変化値が正の値を示す場合は、視作業後の焦点調節距離が伸びたこと示し、焦点調節機能が疲労していることを示す。一方変化値が負の値を示す場合は、視作業後の焦点調節距離が短縮したことを示す。年代間に有意差はなかった。

次に消失近点距離の視作業前後の変化についての結果を表2に示し、現出近点距離の視作業前後の変化についての結果を表3に示す。消失近点距離、現出近点距離ともに「色温度」「年齢」に有意な差は認められなかった。また交互作用につい

ても有意な差は認められなかった。

4.3 フリッカー値の測定結果について

DOWNの視作業前後の変化についての結果を表4に示し、UPの視作業前後の変化についての結果を表5に示す。DOWN, UPともに「色温度」「年齢」に有意な差は認められなかった。また交互作用についても有意な差は認められなかった。本実験において精神性疲労はなかったと考える。

4.4 探索数の結果について

次に実験2の探索数の結果について図7に示

表2 消失近点距離の視作業前後の変化

要因	自由度	F 値	有意確率
色温度	1	0.010	0.923
年齢	1	4.319	0.053
色温度×年齢	1	0.162	0.692

表4 DOWNの視作業前後の変化

要因	自由度	F 値	有意確率
色温度	1	0.190	0.669
年齢	1	2.841	0.110
色温度×年齢	1	0.242	0.629

す。aはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が100%の試験用紙使用時の結果である。bはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が50%の試験用紙使用時の結果である。cはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が25%の試験用紙使用時の結果である。dはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が15%の試験用紙使用時の結果である。eはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が100%の試験用紙使用時の結果である。fはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が50%の試験用紙使用時の結果である。gはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が25%の試験用紙使用時の結果である。hはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が15%の試験用紙使用時の結果である。

40歳代と20歳代は類似した傾向を示した。また650 lx, 300 lx, 10 lxのすべての照度の条件下で、40歳代よりも20歳代の方が多い結果となった。

4.5 正答率の結果について

次に実験2の正答率の結果について図8に示す。aはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が100%の試験用紙使用時の結果である。bはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が50%の試験用紙使用時の結果である。cはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が25%の試験用紙使用時の結果である。dはランドルト環の大きさが4mmで印刷濃度が15%の試験用紙使用時の結果である。eはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が100%の試験用紙使用時の結果である。fはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が50%の試験用紙使用時の結果である。gはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が25%の試験

表3 現出近点距離の視作業前後の変化

要因	自由度	F 値	有意確率
色温度	1	0.097	0.336
年齢	1	0.215	0.648
色温度×年齢	1	0.135	0.718

表5 UPの視作業前後の変化

要因	自由度	F 値	有意確率
色温度	1	2.243	0.152
年齢	1	2.772	0.113
色温度×年齢	1	0.131	0.722

用紙使用時の結果である。hはランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が15%の試験用紙使用時の結果である。

ランドルト環の大きさが2mmで印刷濃度が100%の試験用紙を使用した時、40歳代は、照度が300 lx下での正答率の平均値が最も高い結果となった。10 lx下での正答率よりも300 lx下で正答率が高く、有意差が認められた。20歳代は、650 lx, 300 lx, 10 lxすべての条件下で90.0%以上を示す結果となり、300 lxと10 lxほぼ変化がなかった。どの照度の条件下においても有意差はなかった。40歳代と20歳代では、650 lxにおいては、40歳代の方が20歳代よりも正答率が低く、有意差を認めた ($P=0.011$)。また、10 lxにおいては、40歳代の方が20歳代よりも正答率が低く、有意差を認めた ($p=0.039$)。300 lxにおいては、40歳代の方が20歳代よりも正答率が高い結果であったが、有意差はなかった。その他の結果では有意差はなかった。

5. 考察

5.1 視機能の測定結果について

本実験は40歳代と20歳代を対象に2種類の実験を実施した。実験1は、眼の焦点調節機能に着目し、2種類の色温度下で乗算作業とPC入力の視作業を行わせ、視作業前後の焦点調節応答距離から色温度の変化と年代間による眼の焦点調節機能の変化の違いを検討した。

視作業による負荷を与えていないベースラインでの焦点調節応答距離の測定結果は、40歳代は20歳代に比べて焦点調節応答距離が有意に長く、40歳代の方が眼の焦点調節機能が低下していることが示された。40歳代の調節力は加齢により低下して、一般に老視年齢といわれる50歳以降

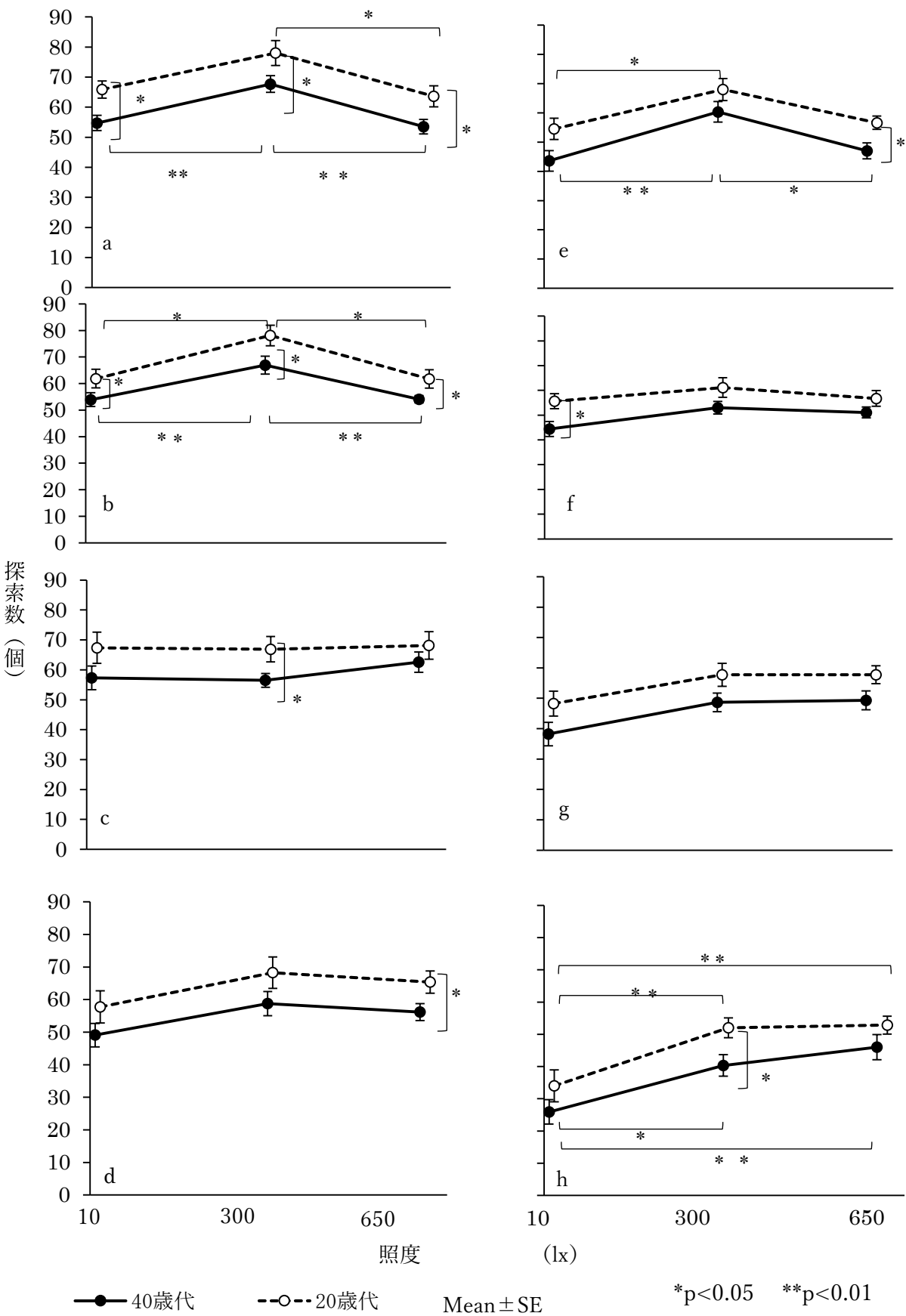


図7 年代別の探索数の結果

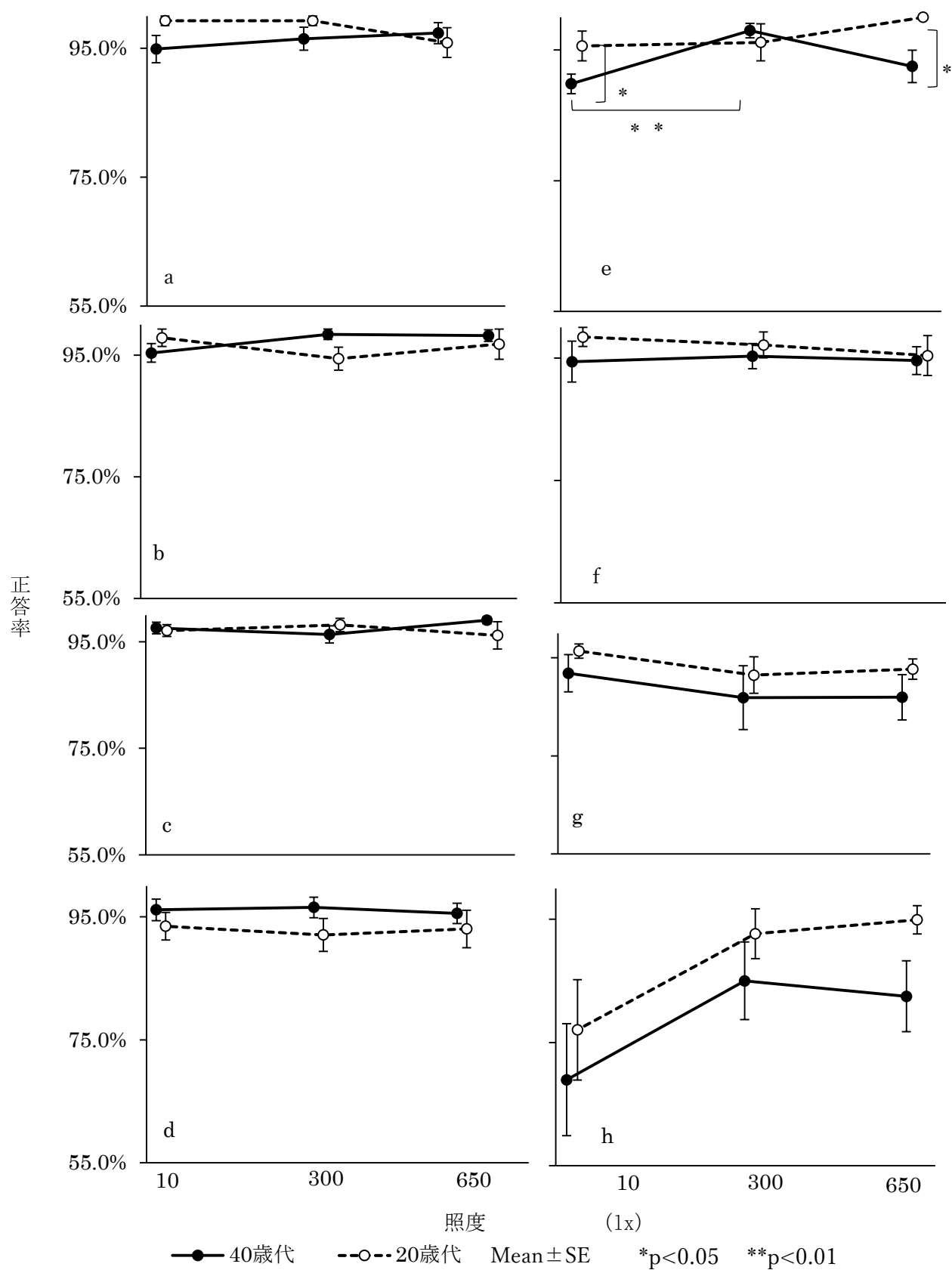


図8 年代別の正答率の結果

の年代では、良好な近見視力が得られなくなると述べている¹¹⁾。本実験の結果からも、40歳代では既に、20歳代よりも有意に眼の調節機能が低下していることが示唆される。

また眼の調節力について、55歳頃までは個体差が大きいと言われている¹²⁾。今後眼の調節機能の維持や、一時的な改善をしていくためには、眼の調節機能の衰えをどのように早期発見し、早期対処方法としてどのような時期にどのような対処方法が望ましいのか検討していくことが必要であると考えられる。

5.2 色温度が40歳代の視機能に及ぼす影響

2種類の色温度下で乗算作業とPC入力の視作業を行わせ、視作業前後の焦点調節応答距離から色温度の変化と年代間による眼の焦点調節機能の変化の違いを検討した実験では、視作業前後の測定結果において色温度の変化で有意な差は検出されなかった。また、40歳代と20歳代の間にも変化に有意な差は検出されなかった。有意な差が得られなかった原因を実験方法の視点から考察する。

視機能の評価方法については、視機能の評価するために本実験では、先行研究⁹⁾の測定項目を参考に、アコモドメーターとフリッカーを使用して測定した。アコモドメーターは近点距離のみを測定できる機器であり、被験者自身が応答スイッチを押す自覚的な検査測定方法である。測定結果は、応答スイッチを押すまでの反応時間が含まれており、認知と反応の両方に個人差が出てしまい、精度の良い測定が困難である¹³⁾。視機能の評価方法は、光学的な観察法の発展により、客観的な他覚的調節検査も可能となってきた。具体例としては、視標の動きをコンピュータ制御しながら赤外線により屈折力（調節反応）、および瞳孔面積を測定できる、赤外線オプトメータオートケラトメータに付属されている調節検査機器である¹⁴⁾。他覚的調節検査を測定項目に導入することで、より、客観的なデータを得ることが可能であると考えられる。

視作業負荷については、本実験では、乗算とPC入力により焦点距離を移動させる負荷を与えた視作業では、一定の傾向は見られず、年代グループ毎の視作業前後の差、40歳代と20歳代の比較においても有意な差は検出されなかった。視作業は、望月ら⁸⁾の視作業の一部を参考に、視作業内容を決定した。また他にも文章作成作業とタイ

ピング作業を合わせて45分程度の視作業を行っている。久保¹³⁾らは、点つなぎ作業で紙上に記された点を数字の昇順につないで図形を作る作業を60分間実施している。安岡⁹⁾は、60分間の作業を50分間の休憩を取りながら、1日3回行っている。本実験は、被験者の拘束時間による負担を第1に考慮し、20分間の作業時間を設定した。焦点調節応答距離の視作業前後の差は先行研究⁹⁾・¹³⁾とは反対の結果となったことから視作業の負荷時間としては不足していた可能性が考えられ、焦点調節機能に対してウォーキングアップ程度の負荷内容であった可能性が考えられる。もう一度負荷内容の見直しが必要であるとする。

また本実験は、頭部を固定するような装置を使用しなかったため、実験中に被験者が眼の位置を動かしており視距離が一定ではなかった可能性がある。従って毛様体筋の負荷が十分にかかっておらず、そのため疲労の効果が出現しなかった可能性がある。視作業中の被験者の動きを記録する必要があったと考えられる。乗算の解答数の最低到達数を設定はしなかったため、被験者は疲れることを無意識的に予防し、視作業を疲労感がでない程度のスピードで実施していたことも否定できない。さらに、今回の実験では、統一したPCを使用しているが、モニターの角度は一定としていないため、PC画面からの光の入射角度は被験者毎に異なり、結果に影響を及ぼす可能性が考えられる。

照明条件については、色温度に着目し、デスクライトを用いて日中を想定して4200K、夕暮れ時を想定して3100Kの2種類を設定した。しかし、日中と夕暮れ時では、照度も異なることが考えられるため、より日常の条件下に近づけるためには、照度も考慮する必要があった。また、本実験で使用したデスクライトは、LEDライトが使用されている。太陽光の分光分布は、基本的には全波長が満遍なく含まれている。しかし、LEDの分光分布は自然光とは異なる分光分布を示す¹⁴⁾。本実験は、分光分布をコントロールしておらず、今回は、分光分布を明確にし、再現したい光環境に近づくように検討が必要であるとする。

本実験は、40歳代の対照群として20歳を選定した。20歳の視機能は自覚症状が出現するほど低下してきていないという理由で選定した。人の視覚の発達における感受性は、生後1か月は低く、以後次第に高くなり1歳6か月位まで最も高く、

以後次第に減衰して8歳終わり頃まで続くものと述べている。つまり視機能は8歳の終わり頃までには発達が完了する¹⁶⁾。視機能の発達が8歳で完成するのであれば、40歳と20歳と比較したことは他の要因が多数影響している可能性がある。つまり、20歳代の被験者も8歳以降の生活歴の影響を受けていると思われ、今回の実験の結果の個人差の大きさに影響していると考えられる。被験者のゲームやスマホの使用頻度、子供のころの表遊びや、中学高校時代の1日の勉強時間等を問診に加えるべきであったかもしれない。次回は、生活習慣のも着目し、グループ分けを年代ではなく、今までの生活歴や現在の職種などで分けることも考えられる。

また、本実験の実施時間帯の統一は行っておらず、サーカディアンリズム等を考慮した実験方法ではなかったと考えられる。さらに実験開始前被験者の状況はパソコン作業時間について聴取し実態を把握したのみであった。被験者の実験前までの条件の統一として、睡眠時間の確保や情報機器の使用時間について、アルコールの摂取についてなどの指示は与えていなかった。日常生活における視機能の影響を実験したが、本実験内容は、生活習慣や実験前までの疲労、精神状態なども結果に影響を与えることを考慮し、統制であったと考えられる。

5.3 照度が40歳代の眼に及ぼす影響

実験2は、視認性に着目し、3種類の照度の条件を設定し、一定時間内のランドルト環の探索数と正答率から異なる照度下における視認性の違いを検討した。

安岡ら⁹⁾は、20歳代から30歳代の若年者と40~60歳代の中高齢者ともにランドルト環の大きさが小さく、印刷濃度が薄い試験用紙ほど探索数が少なかったと報告している。さらに、安岡ら⁹⁾は、若年者の正答率は3000K、5000K、12000Kの条件に関わらず、概ね9割以上であり、中高齢者の正答率は、試験用紙によって差が見られたと報告している。実験2では、色温度を一定にし、照度を3条件設定し、試験用紙を8条件設定した。照度が低くなるにつれて、探索数や正答率が低下したり、ランドルト環の大きさが小さく、印刷濃度が薄い試験用紙ほど探索数が少なくなる傾向が全条件で見られたわけではない。一方、実験2では、650 lxの一番明るい設定の照度条件で、年代差が複数見られた。久保¹³⁾らは、紙上の視作業

では、眼に入る光は照明光が紙に反射した光であり、VDT作業よりも照明の影響が大きいと述べている。本実験では、印刷濃度の違いを鮮明にするために、本実験では白色度98%の用紙を用いた。そのためさらに天井照明が紙に反射し、眼に入る天井照明の反射光を強く感じ、見えにくさを感じていた可能性がある。また、JIS照明基準¹⁶⁾によれば、屋内作業において普通の視作業は照度500 lxが目安であり、やや緻密な視作業は750 lxであるとしている。このことから比較的見えやすい大きさであるランドルト環4 mmで印刷濃度が100%や50%の試験用紙を用いた場合や、ランドルト環の大きさが2 mmであるが、印刷濃度100%の用紙な場合は、視作業内容に見合った照度よりも高くなり、見えにくくなっていた可能性が考えられる。以上のことから40歳代は20歳代より照度の変化による視認性への影響を受けることが示唆された。

また、20歳代、40歳代ともに複数の照度の条件下で探索数が、650 lxと10 lxよりも300 lxの方が有意に多かったという結果を示した。実験2の実験プロトコルとして、すべての被験者に対して、650 lxの条件を行った後に300 lxの条件を行い、10 lxの順で照度条件の設定を同順で実施した。久保¹³⁾らは、1時間の実験時間中の達成した作業量は実験の繰り返しによる被験者の習熟度によってやや増加が見られたと述べている。実験2においても、視作業としては、同様の内容であるため、回数を重ねるごとに習熟し、慣れも生じ300 lxの条件下での探索数が増加した可能性がある。また10 lxで探索数が低下した要因としては、視作業を行う上で推奨されている照度を大きく下回っていることが考えられる。

5.4 今後の発展について

本実験において、視力が被験者によって異なっていた。普通自動車免許において両眼で視力0.7以上、片眼で0.3以上という合格基準があるが、本実験では、この基準を下回る視力の被験者もいた。このことから、日常生活上も常に物の見えにくさを感じている可能性が考えられ、眼の調節機能が過剰に働いていると考えられ、作業の環境が同一としても、生理反応は異なる可能性考えられる。次回は、視力でグループ分けを行うと、グループ間で違いが検出される可能性があると考えられる。

40歳代に焦点を当てたことは、20歳代と比較して焦点調節応答距離が延伸していることや視認

性も低下していることから適切であったと考える。照明の色温度と照度の違いによる視機能への影響に関する研究をさらに積み重ねることで、年代別の視機能への影響についての基礎資料に成り得ると考える。

6. 結論

1. 40歳代は、20歳代より近くを見る焦点調節機能が低下していた。
2. 視認性については、40歳代の方が探索数及び正答率両方において低下していた。
3. 視作業負荷を与えた場合の焦点調節機能の疲労については明らかな結果が得られなかった。

謝辞

本研究の実施にあたり、趣旨を理解し、調査にご協力いただきました、研究参加者の皆様、ご指導、ご協力いただきました関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

また、本論文は石川県立看護大学大学院看護学研究科に提出した修士論文の一部を加筆修正したものである。

利益相反

なし

引用文献

- 1) 常石秀市：感覚器の成長・発達。バイオメカニズム学会誌, 32(2), 69-73, 2008.
- 2) 池田光男：眼はなにを見ているのか。平凡社, 10, 1988.
- 3) 市川宏：老化と眼の機能。臨床眼科, 35, 1981.
- 4) 和氣典二, 葭田貴子：新編 感覚・知覚心理学ハンドブック Part2. 誠信書房, 2007.
- 5) 厚生労働省：平成28年国民生活基礎調査統計表 第10表。
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa16/dl/06.pdf>. (accessed 2022/2/3)
- 6) 北川公路：老年期の感覚機能の低下－日常生活への影響－。駒澤大学心理学論集(6), 2004.
- 7) 川口順子, 庄山茂子, 團野哲也, 他1名：高齢者の生活環境における色彩弁別能力および視力の影響。人間と生活環境, 12(1), 2005.
- 8) 望月悦子, 木村洋：分光分布の違いが視覚疲労に与える影響－LEDと蛍光灯下のVDT作業による視覚疲労の比較－。日本建築学会環境系論文集, 75, 35-

41, 2010.

- 9) 安岡絢子, 近藤修平, 宮永俊之, 他2名：オフィスを対象とした執務者の便益評価手法の検討～(その3)光環境の色温度変化が疲労と視認性に及ぼす影響～。電力中央研究所, 2018.
- 10) JIS：照明基準総則JISZ9110 2010
<https://kikakurui.com/z9/Z9110-2011-01.html>
(accessed 2022/2/3)
- 11) 黒澤美枝子：標準生理学 第9版 医学書院, 414, 2019.
- 12) 高橋洋子：老視年齢に対する温熱療法。あたらしい眼科, 22(8), 2005.
- 13) 久保千穂, 簗田由紀子, 山羽和夫, 他1名：照明下での視作業における眼疲労への分光分布の影響－蛍光灯とLEDの比較－。照明学会誌, 98(2), 2014.
- 14) 大野京子：標準眼科学第14版。医学書院, 374, 2018.
- 15) コタニ株式会社：分光分布が示すLED照明と自然光の違い。
- 16) 栗屋忍：形態覚遮断弱視。日本眼科学会雑誌, 91(5), 519-544, 1987.

Effects of Different Color Temperature and Illuminance of Lighting on Visual Function in 40-Year-old Subjects : Focusing on the Focal Adjustment Response Distance and Visibility

Tatsuya WATANABE, Kazuko ISHIGAKI

Abstract

The purpose of this study was to clarify how the visual function of women in their 40s changes with age, and how indoor lighting affects this change in terms of the focal adjustment function and visibility of the eyes, by comparing them with women in their 20s. Two types of experiments were conducted on twelve 40s and eight 20s subjects. Experiment 1 measured the changes in the focal adjustment function before and after the visual workload by setting the color temperature to 3100K and 4200K. Experiment 2 was to check the number of searches and the percentage of correct answers for the Landolt rings of the specified orientation from among the Landolt rings of random orientations under three illuminance settings of 10lx, 300lx, and 650lx. The focal adjustment response distance of the 40s was significantly longer than that of the 20s before visual work. No significant difference was detected between the age groups in the adjustment function before and after the visual work in this experimental environment. The number of Landolt ring searches was lower in the 40s than in the 20s in all conditions, suggesting a decrease in visibility.

Keywords visual functions, forties, amplitude of accommodation, visibility