氏 名	安 藤 新 樹
学位(専攻分野)	博 士 (文 学)
学位記番号	論 文 博 第 535 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	輝 度 に 基 づ いた 視 線 方 向 知 覚 の 研 究

論文調査委員 (主 査) 教 授 苧 阪 直 行 准 教 授 板 倉 昭 二 准 教 授 蘆 田 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、視線方向の知覚に関わる錯覚現象の実験的解析を中心に、人間の視線知覚の意義とメカニズムについて論じたものである。ここで扱われる、いわゆる充血錯視と呼ばれる錯視は、正面を向いた人の顔写真などにおいて両眼の強膜、すなわち、いわゆる白目部分の左側あるいは右側だけを暗く着色すると、その人の視線がそれぞれ右あるいは左方向に偏位して見えるというものである。他者の視線の知覚は社会的コミュニケーションを支える重要な機能であり、その機序の解明は心理学にとって大きな意義を持つと言える。眼が向いている方向は虹彩、いわゆる黒目部分の偏位から幾何学的に計算できるが、この錯視は、視線方向の知覚がそのような精細な計算だけではなく、強膜の輝度情報を用いた比較的簡便な計算に基づいて迅速に行われていることを示すものと考えられる。本論文では、このことを種々の心理実験によって検討するとともに、視線知覚の進化的、あるいは文化的側面にいたるまで幅広く議論を展開している。

第一章は序論であり、視線知覚の意義を広く生態学的や社会的認知の観点から議論する広範なレビューとなっている。視線とは眼を向けている方向のことであり、特に他者の視線はさまざまな社会的意味を持ちうることになる。ここではまず、霊長類を中心に多様な動物種における視線知覚能力について概観し、多くの動物がなんらかの形で他の動物の視線方向に敏感であることを示している。ほとんどの動物において視線の判断は眼だけではなく頭や身体の方角から総合的に判断されるものであり、眼の方角だけでは十分ではないのであるが、人間は眼の向きだけでも他者の視線をかなりの確にとらえることができる。それは着色のない強膜が露出しているという人間の眼の構造上の特徴と関連しており、そのために特に横方向の偏位がわかりやすいと考えられている。この点は本論の実験的検討の基礎となる考え方である。ここではさらに、視線知覚の生理学的基礎とそれに関わる病理について、視線による注意の誘発や感情効果、社会的行動における意味といった心理学的な側面、視線測定の新技術、さらには邪視伝説のような視線に対する文化的側面や芸術表現における利用に至るまで、多くの先行研究を紹介しながら論考される。

第二章は論者が行った実験研究について詳解するもので、五つの心理学実験が二章から六章にわたって記述されている。

第二章で述べられる実験1では、強膜の輝度変化が視線方向の知覚に影響するという効果を定量的に測定され、錯視の基礎的知見が提供される。実験では、コンピュータによって加工された顔写真(眼の近辺だけで上下を省いたもの)がモニタ上に呈示され、参加者は指示棒を使って視線方向を量的に判断する課題を行った。実験1-1では、刺激画像として、強膜輝度を4段階で非対称に変化させたものに加え、実際に虹彩部分を左右方向に4段階で移動させたものも使用された。実験は米国においてハーバード大学とボストン大学の大学院生・研究員を対象に行われた。結果として、眼の片側の強膜輝度が下がるに従って視線が同方向を向くように知覚され、その変化の幅は実際の虹彩の位置移動に匹敵することが示された。実験1-2では、同様の測定が幾何学的に単純化した図形に対して行われた。すなわち、白・黒・白の正方形が横に接した矩形パターンを眼のように配したもので、この白部分の輝度および黒部分の位置を変化させた。結果は実際の眼の形をした刺激を用いた実験1-1と同様であった。実験1-3では、強膜輝度と虹彩位置を同時に変化させ、二つの効果を相殺することがで

ることが示された。最後に、実験1-4では、強膜輝度の効果が単に白が黒より大きく見える光滲効果によるものではないことが示された。以上、実験1では強膜輝度の偏りが視線方向知覚に与える影響が明らかとなった。この結果を説明するための最も簡単なモデルとしては、眼の左右の輝度情報を直接比較する視線方向検出器を想定することができる。ただし、実験参加者間で効果量には相応の個人差が認められ、特に日本人と白人（Caucasian）の参加者の間での違いが示唆された。この点は実験3でさらに検討される。

第三章で述べられる実験2では、強膜そのものではなく、その周囲の輝度が視線知覚に与える影響が調べられた。たとえば、眼の右側に影が差していることで強膜の右側だけが暗いように見える場合には、実験1で示されたような視線方向の偏位が見られないことがある。実験2-1では、実験1-1で用いられたような自然な顔図形を用い、眼の強膜および周辺の輝度を片側だけ変化させたところ、影のように見える場合は視線方向への効果が大きく減少し、周辺だけ暗くした場合はわずかに逆の偏位が起こることがわかった。実験2-2では、同様に眼の周囲の明るさを変化させるものの、境界を明確にして影ではなく遮蔽のように見えるようにしたが、やはり周辺領域の輝度が大きな効果を持つことがわかった。これらの実験から、強膜部分の輝度そのものではなく、強膜部分とその周辺との輝度比が重要であるということが明らかになった。ただし、影がさすことによる明るさの恒常性の維持や、単なる明るさの同時対比だけでは結果を説明しきれないことがわかった。本実験の結果を説明するには二章で仮定した単純な輝度比較モデルは妥当ではないが、左右の比較の前に中心-周辺型の機構を入れる簡単な改良で説明可能である。

第四章で述べられる実験3の大部分は実験1と類似したものである。ただし、実験は京都大学において日本人参加者に対して行われた。日本人を含むアジア人は白人と比べ、虹彩が暗く強膜との違いがわかりやすい。実験1が行われた米国では白人に加えてアジア系、アフリカ系と多彩な人種が生活し、さまざまな虹彩を持つ人と接する機会が多いのに対し、日本では比較的均質な色の虹彩を持つ人々ばかりと接する機会が多く、強膜輝度の違いにもより敏感になる可能性がある。実験3-1では自然な顔画像が用いられ、ほぼ実験1-1に対応する。総じて視線偏位の効果は実験1より大きく、2.1倍の違いがあった。若干刺激の違いがあったことを考慮しても、日本人参加者において視線偏位効果が大きいことは明らかである。実験3-2、3-3では実験1-2と同様の幾何学的図形を用いて強膜輝度の効果と虹彩位置変化の効果が測定され、それぞれ実験1-2と比べて2.1倍および1.9倍の効果が得られた。輝度と位置の相対効果を見た場合でも、実験1と比べて1.6倍の強さであった。以上、日本人において視線偏位の効果が大きいことは明らかである。それが生得的要因なのか、環境による後天的なものかについては今後の研究が待たれる。

第五章における実験4では、実験3-1で用いた自然な顔刺激における空間周波数成分の効果が検討された。初期視覚系では画像の低空間周波数成分、すなわちおおまかな明るさ変化と、高空間周波数成分、すなわち画像の細部の変化が異なる神経機構によって分析されている可能性が高い。本研究に即していえば、強膜の輝度変化は画像の低空間周波数成分の空間的配置に変化をもたらし、虹彩位置の変化はより高空間周波数領域における構造の変化を伴うということができる。本実験では、ガウス関数を用いた平滑化により、さまざまな帯域で高空間周波数域を取り除いた画像における強膜輝度と虹彩位置変化の効果を測定した。結果として、虹彩位置のみの変化については低域通過フィルタの帯域幅の影響はほとんどなかったのに対し、強膜輝度変化においては、高空間周波数成分が減るほど視線方向知覚の偏位が大きくなった。この結果は、輝度比に基づく視線検知メカニズムと虹彩位置に基づくものが併存しており、高周波成分の減衰によって前者の影響が相対的に強まったと考えたと説明できる。

最後に、第六章の実験5では、明るさ知覚と視線方向知覚の関係が検討された。これまで、強膜の明るさを輝度として定義してきたが、輝度は基本的に物理的な光の強さを示す概念であり、知覚される明るさは必ずしも輝度だけに従って決まるわけではなく、さまざまな情景の解釈によって変容する。特に、色が異なる場合には輝度の違いと知覚される明るさの違いは必ずしも一致せず、同じ輝度では赤より緑が暗く感じられる。本実験ではこのことを利用し、赤と緑のパッチによる明るさ知覚と視線知覚を測定した。結果として、明るさの判断は赤と緑で大きく異なるにも関わらず、視線知覚への影響にはほとんど違いがないことが示された。視線知覚のメカニズムは、さまざまな情報処理を経た明るさ情報ではなく、比較的低次の輝度情報を利用していることが示唆される。

第七章では、これまでの議論と実験結果をふまえた総合的考察を展開し、今後の展望とともに全体の総括としている。こ

ここでは、これまでの検討を通して輝度に基づく視線方向判断のモデルを提唱している。このモデルは、強膜部分と周囲の比を計算した上で虹彩の左右における違いを計算するもので、このような計算は神経情報処理の観点からも不自然なものではない。それとは別に、眼の幾何学的な形態から虹彩位置の偏位を計算するメカニズムも想定され、輝度変化の効果における個人差は両者の重み付けの違いで説明可能である。このような輝度に基づく視線方向の計算は必ずしも計算論的に確かとは言えず、いわば手っ取り早いトリックである。そのようなトリックはラマチャンドランがいう現実的な「功利処理」であり、生態学的には妥当であることが、動物や人間におけるその他の例を引いて説明される。さらに、他の研究者の主張との関連が議論されるが、特に、虹彩領域の特定が重要な要因であり、それにはトップダウンの認知的影響も無視できないこと、つまり、どこを虹彩と見なすかによって視線知覚が変化しうるという指摘は論者独自の視点と言える。第八章では展望として今後の研究の展開可能性について論じられる。心理学的課題のみならず、応用的側面や芸術での利用について考察されている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、著者の報告によって広く知られることとなった「充血錯視」という現象に関する心理物理学の実験による検討を中心に、視線知覚研究の意義と発展性について広範に論じたものである。

第一章で詳細に論じられるように、他者の視線の知覚は、人間における高度なコミュニケーションを支える重要な心的機能であり、心理学において広く関心を集めてきた。視線の知覚は人間だけではなく多くの動物種に認められる能力であり、サルやチンパンジーを含む霊長類においても発達している。とくに、人間の眼は水平に長く強膜が白いという特異な構造を持ち、そのために視線の検出が行いやすいという特徴がある。第一章では、そういった種間比較の先行研究をレビューし、視線知覚の進化的連続性と人間における特殊性の両面を明らかにしているが、このような最近の研究に至る詳細なレビューは他にあまり例がない。ここでの議論は、本論文の主題となる実験的研究から見るとやや発散的であり、直接的関連性が弱いという問題はあるが、視線研究の意義を広い視点から位置づける試みとして理解でき、本章を単独で見ると、きわめて有用なレビューとなっている点は高く評価できる。

第二章の実験では、本論文の主たる目的である錯視現象の基礎的知見が提供される。すなわち、眼の強膜のうち片方を暗くした際にそちら側へ視線がずれて知覚されるという現象の定量的測定と、より自然な虹彩の移動に伴う視線知覚との比較が行われている。この現象は著者によって報告され、世界的に知られることになったもので、研究のオリジナリティとして高く評価されるべきであろう。

第三章の実験では、強膜の輝度だけではなくむしろ周辺との輝度比が決定因となることを実証するかたちで知見がより精緻化されている。

第四章の実験では再び基本的な効果に戻り、日本人被験者のみを対象にした結果が、米国で行われた実験1と比較された。実験条件に若干の違いがあるものの、日本人は強膜輝度の影響を受けやすいことが明らかになった。これは、日本人を含むアジア人は一般に黒い目を持つため、虹彩と強膜の違いがより明確であること、そして社会における眼の色の均一性が高いことが関係している可能性が指摘されている。残念ながら、この違いが生得的なものなのか、あるいは、環境要因によるものかは明らかになっていないが、これは多くのデータと慎重な議論を要する問題であり、今後の展開を期待することにした。

第五章の実験では、高い空間周波数情報がなくなるにつれて強膜輝度変化の効果が高まることが示され、それは輝度情報と虹彩位置情報から視線方向を検出する二つの機構の相互作用の結果であると解釈された。視線検出メカニズムの詳細を考える上で興味深い結果といえる。

第六章の実験では、色の付いた刺激を用い、視線方向に影響するのは知覚的な明るさではなく、より低次元の輝度情報であることが示された。視覚刺激の形状がこれまでと若干異なることは多少問題点として残るが、これまでの議論を補強する上で意味のある結果といえる。

第七章の総合的考察では、実験の結果に基づいたメカニズムのモデルが提案される。モデルが概念的なものにとどまり、実際の画像を用いたシミュレーションなどによる検証が行われていないのは残念であるが、心理学の実験論文としては一定

の水準に達していると評価できる。モデルの数理的、あるいは工学的な精緻化については今後の研究に期待したい。続いて、輝度変化によって視線を推定する意義として、それが神経的実現の制約を受ける生体の情報処理に一般的に見られる、いわゆる「手っ取り早いトリック」であることが論じられる。すなわち、論者は多少不正確ではあっても、実用上十分な情報を迅速に得られる功利的な処理アルゴリズムとして有用であると考ええる。さらに、他の研究者による別の解釈への反論を行うなど、関連する研究についての議論や、本論では詳細に論じられなかった虹彩と強膜の区別についても簡単に述べられている。これらの議論は若干簡潔にすぎようにも思われるが、現時点では妥当な範囲に収めた結果として許容できよう。

第八章では、展望として視線知覚研究の今後の展開について述べられている。特に、芸術的表現において既に用いられている眼のモチーフとの関わりについて論じられている。ここでは、関連事項を列挙したという印象が強く、議論の深まりはあまり感じられないが、これは、今後の研究への期待を述べるにあたって過度の議論の錯綜を避けた結果とも言えるだろう。

総じて、本論文は論者自身が見出した新しい錯視現象の報告とその実験的検討を主軸としたもので、その新奇性と意義は認められてよい。序論や展望における広範な研究レビューや文化的側面の検討には今後検討すべき問題が残されているものの、本論文が実験的検討によって新たな知見を組織的に吟味した研究論文であることの価値を損なうものではなく、高く評価できる。

以上、審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。平成二十年一月七日、調査委員三名が論文内容とそれに関連した事柄について口頭試問を行った結果、合格と認めた。