

京都大学	博士（文学）	氏名	石川光彦
論文題目	乳児期からの視線追従の神経生理学的メカニズム		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>乳児は他者の視線情報を使用して外界について学ぶ。例えば、乳児は大人が見ている方向に対して何らかの事象が起こることを予測し、他者によるモノのラベリング時には大人が何を見ながら言葉を発しているのか視線方向を参照する。このように、乳児は周囲の環境についての情報を得るために他者の視線情報を使用している。</p> <p>第1章では、乳児の社会的学習と他者の視線情報の重要性について概観される。現在有力な乳児の社会的学習理論であるNatural Pedagogy仮説では、アイコンタクトなどの乳児に対してコミュニケーションの意図が伝わる手がかりが提示されたときに、乳児は社会的インタラクションを通じて学習を行うとされている。アイコンタクトによる社会的学習の促進については、他者の視線を乳児が追従する視線追従場面での視線の先の物体についての情報処理の知見や、アイコンタクト後に大人が行った行動の模倣が促進されるといった結果から支持されている。しかし、なぜアイコンタクトなどのコミュニケーションの手がかりが乳児の社会的学習を促進するのかについては、実証的に検討されてこなかった。本博士論文では、視線追従行動に着目し、乳児の生理状態の計測を行うことで、アイコンタクトがもたらす社会的認知・行動の促進効果の生物学的基盤の検討を行った。Senju & Johnson (2009)で提唱されている脳内での速いアイコンタクト処理が行われる皮質下領域は、主に、情動や報酬の処理、自律神経系の活動の調整を行っていると考えられている。生理的覚醒度の変動には、情動や報酬についての認知処理が関与していることが想定される。そこで、アイコンタクトの有無といった社会的文脈は、脳内で情動や報酬処理をされることで生理的覚醒度を調整し、視線追従行動の生起へとつながるといった仮説が立てられた。</p> <p>第2章では、乳児の視線追従場面において心拍計測を行った研究について報告される。Natural Pedagogy仮説の論拠の1つに、アイコンタクトが生じた場面では乳児の視線追従が促進されるという実証研究がある。本研究では、アイコンタクトが乳児の視線追従を促進する場面において、乳児の心拍に反映される生理的状态がどのように影響を受けているのかを検討した。生後9-10カ月の乳児25名が本研究に参加した。その結果、アイコンタクトは乳児の心拍を高め、視線追従行動直前での心拍の上昇率が直後の視線追従行動を予測することが示された。本研究から、乳児の視線追従行動の生起には生理的状态が関与していることが示唆された。心拍が上昇しているような生理学的覚醒度が高い状態では、ヒトを含む動物では外界の刺激に対して感受性・反応性が高まることが論じられてきた。アイコンタクトによって乳児の生理学的覚醒度が上昇することで、乳児は外界の刺激である他者の視線方向に対して反応的になり、その</p>			

結果として視線追従行動が促進されている可能性がある。だが、視線追従場面においてなぜアイコンタクトが生じることで生理的覚醒度が上昇するのか、生理的覚醒度の上昇はいかなる認知を反映しているのかについてはこの研究では明らかでなかった。

第3章では、成人を対象に情動プライミングによって他者の視線方向に対する注意の定位が影響を受けるのかを検討した研究について報告され、情動と他者の視線方向への注意シフトの関連について言及される。第2章で報告されたように、生理的覚醒度が高まっている状態では、他者の視線方向に対して自身も視線を向ける視線追従行動が促進される。成人研究ではヘビやクモといった脅威となる視覚刺激が提示されることで、皮質下領域の扁桃体の活動が増加し、生理的覚醒度が高まることが報告されている。そこで、本研究では、このような脅威刺激を課題前に提示する情動プライミングを用いて、中立刺激提示時と比べて他者の視線方向に対する注意の定位が促進されるかを検討した。実験1では成人26名、実験2では成人30名が研究に参加した。実験1と実験2で一貫して、情動プライミングによって、視線手がかりに対する注意の定位は促進されるが、矢印手がかりに対する注意の定位は情動プライミングの影響を受けないことが示された。この結果から、情動的な処理によって上昇する生理的覚醒度は、社会的な刺激（他者の視線方向）に対する注意定位を促進することが考えられる。アイコンタクトは情動処理を司る脳部位である扁桃体の活動を高めるということが、成人の脳機能イメージング研究で報告されている。そのため、アイコンタクトが生じるだけで情動的処理が行われている可能性が考えられる。第2章で報告されたような乳児における視線追従場面でのアイコンタクトによる心拍の上昇には、情動的処理が関与しているのかもしれない。

生理的覚醒度の上昇には第3章で示唆された情動的処理のみでなく、報酬への期待によっても生じる。報酬への期待によって生じる生理的覚醒度の上昇は、乳児においても確認されている。そのため、視線追従場面においても、社会的インタラクションを通じて得られる報酬への期待を行っている可能性が考えられる。そこで、第4章では、視線追従場面での乳児の生理的覚醒度の上昇は、報酬予測的な人物が提示された場合にもみられるかが検討される。他者の情報提供者としての信頼性は、乳児の視線追従を促進することが報告されている。本研究では、他者の情報提供者としての信頼性を操作した後に行う視線追従課題での乳児の心拍について検討した。生後6～9カ月の乳児41名が本研究に参加した。その結果、信頼性が高い人物が提示された場面では、アイコンタクトが生じた場面同様に心拍が上昇することが示された。本研究では、画面上の人物が視線を向けた先に物体が登場する場面を繰り返し見せることで、情報提供者としての信頼性を操作した。そのため、報酬予測的な視線をみせる人物に対して心拍が上昇していた可能性が考えられる。視線追従場面での心拍の上昇には、その後の社会的インタラクションから期待される社会的報酬によることが示唆された。また、

アイコンタクトの有無や他者の信頼性といった文脈的情報は、ベースラインから視線追従直前の心拍の上昇率を媒介することで、視線追従行動を調節することが示された。この結果から、乳児は場面に応じて文脈情報から報酬期待を行い、報酬期待は生理的覚醒度に反映され、社会的行動の意思決定を行っている可能性が示唆された。前掲のNatural Pedagogy仮説で論じられているように、アイコンタクトはコミュニケーションが開始される手がかりとなるため、社会的インタラクションから得られる報酬に対して予測的な手がかりである。そのため、アイコンタクトによる生理的覚醒度の上昇には、社会的インタラクションに従事することで得られる報酬への期待によって生起している可能性がある。

第4章において、乳児の社会的従事行動の意思決定が社会的文脈での手がかりからの報酬予測によって行われている可能性が示唆された。そこで、第5章では、乳児の視線追従行動の発達過程について強化学習アルゴリズムに従った計算論的シミュレーションを行った結果が報告され、日常で蓄積される視線追従を行った際の報酬経験が視線追従行動頻度を調整していく過程について議論される。強化学習はヒトの基本的な学習過程であり、シナプス結合などの脳神経発達の妥当であることが示されている。これまでの研究で、乳児の視線追従行動はアイコンタクト、他者の信頼性といった様々な文脈情報の影響を受けて調節されることが実証研究から示された。本シミュレーションでは、乳児が経験する様々な場面における視線追従行動が、視線追従行動の行動価値の学習につながっていると仮定し、行動価値の学習過程について計算論的シミュレーションを行った。とくに、アイコンタクトなどのコミュニケーションの手がかりと乳児の生理的覚醒度のような内部状態について着目したシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、文脈情報によって乳児の内部状態が調整され、学習率が上昇するモデルが、実際の乳児の視線追従行動の発達を説明するのに妥当である可能性が示唆された。外界の文脈手がかりに対して、乳児は報酬予測や学習効率に影響を与える生理的覚醒度を調節し、文脈に応じた効率的な社会的行動を発達の中で形作っていくのかもしれない。

第6章では、これまでの研究結果から示唆される文脈に応じた乳児の社会的学習メカニズムについて、認知過程モデル、またその神経生理学的基盤の理論的構築がなされる。社会的学習が成立するためには、対面する他者に対してまず社会的従事（視線追従など）を行うことが必要である。実証研究から、社会的従事を規定する要因として、社会的文脈情報を処理する過程において情動的処理や報酬予測的処理が行われ、それらの脳内処理が生理的覚醒度に反映されている可能性が考えられる。このような処理過程を経て、社会的従事を行う行動価値が計算され、社会的従事行動の意思決定が行われ、社会的従事行動が選択された場合に社会的学習へとつながっていくことが考えられる。

(論文審査の結果の要旨)

20世紀後半から現在に至るまで、乳幼児は他者や世界について、様々な手掛かりを用いて学習することが明らかになってきた。その中でも、乳児が他者からの学習（社会的学習）の際に用いる有力な手掛かりが他者の視線である。生後1年未満の乳児であっても、他者の視線方向を理解し、その視線を追従し、他者が何に注目しているかを特定することが明らかになっている。本論文では、このような乳幼児の社会的学習や視線計測の研究を踏まえつつ、乳幼児を対象にした研究ではその困難さから十分に進んでいない神経生理学的なメカニズムを明らかにすることが企図されている。さらに、それらの知見を心理学分野では未だ十分に採用されていない計算論的シミュレーションによって包括的に理解しようとしており、本論文はこの両側面において極めて野心的かつ先進的な論文といえる。

第1章では、乳児の視線追従や社会的学習に関する最新の知見がレビューされている。特に、この分野で幅広い支持を得ているNatural Pedagogy理論を紹介しつつ、その重要な問題点が明確に指摘されている。この理論では、養育者を含めた他者のアイコンタクトなどの手掛かりを乳児が検出すると、乳児はその他者とのコミュニケーションを通じて学習することが可能となるとされる。この理論は様々な実証的な支持を得ているものの、論者は重要な問題点として、なぜアイコンタクトなどの手掛かりが乳児の学習を導くのか、その生物学的メカニズムが明らかになっていないという点を指摘する。その論理構成も含めて、極めて優れた導入部となっている。

第2章では、心拍計測から視線追従場面において乳児の生理的覚醒度がアイコンタクトによってどのように変動するのかが検討された。その結果、アイコンタクトは乳児の視線追従行動を促進し、乳児の心拍を上昇させていることが示された。この結果から、心拍を指標とした生理的覚醒度が視線追従行動の誘発に関連していることが示唆されている。

第3章では、外部刺激によって高められる生理的覚醒度がヒトの注意機能全般に影響するのか、他者の視線方向によって方向付けられる社会的注意にのみ影響するのかを成人を対象とした情動プライミングによって検討された。その結果、生理的覚醒度を高めるとされている恐怖情動のプライミングによる手がかり効果は、手がかりが矢印の場合には影響を与えず、視線手がかりでのみ手がかり効果が増大することが示された。そのため、情動状態と関連する生理的覚醒度は社会的注意にのみ影響する可能性が示唆されている。

第4章では、情動状態以外に生理的覚醒度を高めるとされている報酬への期待が視線追従場面での乳児の心拍の上昇に反映されている可能性が検討された。具体的には、乳児の視線追従場面における視線先導者の情報提供の信頼性を操作した。その結果、視線先導者の信頼性が高い（報酬予測的である）場合には、乳児の心拍が上昇することが示された。また、視線先導者の信頼性やアイコンタクトといった文脈は、心拍の上昇率を媒介して視線追従行動を調整することも示された。これらの結果から、乳児の

視線追従場面での心拍の上昇には、文脈から期待される社会的インタラクション後の報酬が関与していることが示唆されている。

第5章では、アイコンタクトなどのコミュニケーションの手がかりや乳児の内部状態がどのように視線追従行動の発達に影響するのかについて強化学習にもとづく計算論的シミュレーションがなされた。特に、コミュニケーションの手がかりのみのモデル、コミュニケーションの手がかりと乳児の内部状態が独立して影響するモデル、および、コミュニケーションの手がかりが乳児の内部状態を調整して影響するモデルのいずれが妥当であるかが検討された。その結果、コミュニケーションの手がかりが乳児の内部状態を調整して視線追従行動の発達に影響するモデルが最も妥当であることが示された。さらに、この研究からは、日常場面では本シミュレーションで含めた変数以外の文脈手がかりも行動価値計算に影響していることも示唆されている。

第6章では、第2章から第5章で得られた知見を総括し、総合考察として、それらの知見から示唆される乳幼児の社会的学習のメカニズムが提案されている。具体的には、論者は、社会的文脈情報を処理する過程の中で、情動的情報の処理や報酬情報を処理し、それらが生理的覚醒度に影響を与え、その結果として視線追従などの社会的従事が生じるという一連の認知過程モデルを提案している。さらに、これらの基底にある脳内メカニズムについても考察し、その発達モデルを既存の知見と組み合わせながら提案している。とりわけ、扁桃体や島皮質、線条体のような情動・報酬処理と関連するとされる脳領域との関連を明確に指摘している。さらに、第1章で紹介したNatural Pedagogy理論などの既存の代表的な理論との関連を論じ、本研究で提案する認知・発達モデルの独自性を主張するに至る。卓越した論理構成である。

以上のように、本論文は、乳幼児が他者の視線を追従する神経生理学的メカニズムを、行動実験、生理学的手法、計算論的シミュレーションという多様な手法を用いて、実証的に明らかにすることに成功した。データの取得が容易ではない乳幼児を対象に堅固なデータを提示した点は高く評価することができる。また、情動処理と報酬処理を通じた生理的覚醒が視線追従を引き起こすというモデルを提示し、このモデルを脳内処理と関連付けることに成功した。このような知見はこれまで報告されておらず、極めて独創的であり、優れた研究である。

しかしながら、問題がないわけではない。本研究で示した視線追従のメカニズムが乳幼児や成人で共通のものであるのか、異なった生理学的指標を使った場合にも同様の結果が得られるのか、また、視線追従が社会的学習につながる際の神経生理学的メカニズムはいかなるものかについては、本研究からは明らかではない。だが、このことは本論文の価値を大きく損なうものではない。それは、論者の研究者としての潜在的な能力の高さからすれば、今後の進展に期待すべきものであろう。

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。2021年1月27日、調査委員4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。

