

乳児期からの視線追従の
神経生理学的メカニズム

石川 光彦

要旨

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なにかの事象が起こることを予測し (Corkum & Moore, 1998; Moore, 1999)、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 (Baldwin, 1993; Baldwin & Moses, 2001)。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。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する。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 (Csibra & Gergely, 2009)。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 (Okumura, Kanakogi, Kanda, Ishiguro, & Itakura, 2013; de Klerk, Hamilton, & Southgate, 2018)。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きていなかった。そこで、本博士論文では、視線追従行動に着目し、生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・行動の促進効果について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 (Pessoa, 2017)。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

の調整が行われ、視線追従行動の生起へとつながることが仮説立てられた。

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する。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 (Senju & Csibra, 2008)。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 (Aston Jones, Rajkowski, & Cohen, 1999)。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、その結果として視線追従行動が促進されているのかもしれない。しかし、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どのような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するのかを検討した研究について報告し、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する。第2章で報告したように、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 (Adolphs, Tranel, & Damasio, 2001)。そこで、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 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（Burra, Hervais-Adelman, Kerzel, Tamietto, De Gelder, & Pegna, 2013）。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（Tummeltshammer, Feldman, & Amso, 2019）。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を検討した。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（Chow, Poulin-Dubois, & Lewis, 2008）。他者の情報提供者としての信頼性は、経験から学習された人物の報酬予測性であるとされている（Heyes, 2017）。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。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シミュレーションを行った結果を報告し、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論じる。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 (Dayan, Abbott & Abbott, 2001; Holroyd & Coles, 2002)。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を行う。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 (e.g., 視線追従) 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。第6章では、このような認知処理過程についてのモデルを提案し、その認知処理の中核となる脳領域を提示しながら理論的統合を行う。

目次

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 第1章 | 乳幼児の社会的学習 | |
| 1.1 | 社会的インタラクションにおける他者の視線の重要性 | 1 |
| 1.2 | 視線情報と社会的学習 | 2 |
| 1.3 | アイコンタクトが乳児に与える影響 | 2 |
| 1.4 | アイコンタクト処理の神経基盤 | 4 |
| 1.5 | 社会的学習におけるアイコンタクト効果のメカニズム解明 | 6 |
| 第2章 | 視線追従場面におけるアイコンタクトが乳児の心拍に与える影響 | |
| 2.1 | 背景 | 10 |
| 2.2 | 方法 | 13 |
| 2.3 | 結果 | 16 |
| 2.4 | 考察 | 21 |
| 第3章 | 成人を対象とした情動プライミングが視線情報処理に与える影響の検討 | |
| 3.1 | 背景 | 24 |
| 3.2 | 実験 1 | 28 |
| 3.3 | 実験 2 | 34 |
| 3.4 | 考察 | 39 |
| 第4章 | 報酬予測的人物に対する視線追従と乳児の心拍の関連 | |
| 4.1 | 背景 | 43 |
| 4.2 | 方法 | 45 |
| 4.3 | 結果 | 48 |
| 4.4 | 考察 | 53 |
| 第5章 | 乳幼児の視線追従の発達: 計算論的アプローチ | |
| 5.1 | 背景 | 57 |

| | | |
|---------------------|----------------|-----|
| 5.2 | 方法 | 61 |
| 5.3 | 結果 | 66 |
| 5.4 | 考察 | 71 |
| 第6章 乳幼児の社会的学習のメカニズム | | |
| 6.1 | 本稿での知見のまとめ | 74 |
| 6.2 | 文脈に合わせた視線追従の調整 | 75 |
| 6.3 | 神経生理学的モデルの構築 | 80 |
| 6.4 | 制限と展望 | 88 |
| 謝辞 | | 92 |
| 引用文献 | | 93 |
| 付録A | | 122 |
| 付録B | | 123 |

研究公正に関する宣誓書

京都大学文学研究科長殿

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

私は、本論文が、私自身が単独で執筆したものであること、参照文献として挙げた以外の文献を剽窃等の仕方で文中において不当に利用していないこと、参照文献として挙げた文献についても引用箇所は適切に表示してあることを誓います。

また、特定不正行為と見なされるその他の行為（データや資料の捏造、改ざん）も行っていないことを誓います。

年 月 日

氏名（自署）

乳児期からの視線追従の
神経生理学的メカニズム

石川 光彦

要旨

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なにかの事象が起こることを予測し (Corkum & Moore, 1998; Moore, 1999)、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 (Baldwin, 1993; Baldwin & Moses, 2001)。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。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する。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 (Csibra & Gergely, 2009)。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 (Okumura, Kanakogi, Kanda, Ishiguro, & Itakura, 2013; de Klerk, Hamilton, & Southgate, 2018)。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きていなかった。そこで、本博士論文では、視線追従行動に着目し、生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・行動の促進効果について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 (Pessoa, 2017)。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

の調整が行われ、視線追従行動の生起へとつながることが仮説立てられた。

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する。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 (Senju & Csibra, 2008)。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 (Aston Jones, Rajkowski, & Cohen, 1999)。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、その結果として視線追従行動が促進されているのかもしれない。しかし、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どのような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するのかを検討した研究について報告し、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する。第2章で報告したように、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 (Adolphs, Tranel, & Damasio, 2001)。そこで、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 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（Burra, Hervais-Adelman, Kerzel, Tamietto, De Gelder, & Pegna, 2013）。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（Tummeltshammer, Feldman, & Amso, 2019）。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を検討した。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（Chow, Poulin-Dubois, & Lewis, 2008）。他者の情報提供者としての信頼性は、経験から学習された人物の報酬予測性であるとされている（Heyes, 2017）。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。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シミュレーションを行った結果を報告し、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論じる。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 (Dayan, Abbott & Abbott, 2001; Holroyd & Coles, 2002)。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を行う。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 (e.g., 視線追従) 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。第6章では、このような認知処理過程についてのモデルを提案し、その認知処理の中核となる脳領域を提示しながら理論的統合を行う。

目次

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 第1章 | 乳幼児の社会的学習 | |
| 1.1 | 社会的インタラクションにおける他者の視線の重要性 | 1 |
| 1.2 | 視線情報と社会的学習 | 2 |
| 1.3 | アイコンタクトが乳児に与える影響 | 2 |
| 1.4 | アイコンタクト処理の神経基盤 | 4 |
| 1.5 | 社会的学習におけるアイコンタクト効果のメカニズム解明 | 6 |
| 第2章 | 視線追従場面におけるアイコンタクトが乳児の心拍に与える影響 | |
| 2.1 | 背景 | 10 |
| 2.2 | 方法 | 13 |
| 2.3 | 結果 | 16 |
| 2.4 | 考察 | 21 |
| 第3章 | 成人を対象とした情動プライミングが視線情報処理に与える影響の検討 | |
| 3.1 | 背景 | 24 |
| 3.2 | 実験 1 | 28 |
| 3.3 | 実験 2 | 34 |
| 3.4 | 考察 | 39 |
| 第4章 | 報酬予測的人物に対する視線追従と乳児の心拍の関連 | |
| 4.1 | 背景 | 43 |
| 4.2 | 方法 | 45 |
| 4.3 | 結果 | 48 |
| 4.4 | 考察 | 53 |
| 第5章 | 乳幼児の視線追従の発達: 計算論的アプローチ | |
| 5.1 | 背景 | 57 |

| | | |
|---------------------|----------------|-----|
| 5.2 | 方法 | 61 |
| 5.3 | 結果 | 66 |
| 5.4 | 考察 | 71 |
| 第6章 乳幼児の社会的学習のメカニズム | | |
| 6.1 | 本稿での知見のまとめ | 74 |
| 6.2 | 文脈に合わせた視線追従の調整 | 75 |
| 6.3 | 神経生理学的モデルの構築 | 80 |
| 6.4 | 制限と展望 | 88 |
| 謝辞 | | 92 |
| 引用文献 | | 93 |
| 付録A | | 122 |
| 付録B | | 123 |

第一章 乳幼児の社会的学習

1.1 社会的インタラクションにおける他者の視線の重要性

我々は、他者の視線の方向から、その人物の興味を推測して行動するなど、日常の様々な社会的インタラクション場面において、他者の視線情報を用いている。成人を対象とした先行研究では、ヒトは視線の情報を用いて、他者の意図や欲求の理解や (Gobel, Kim, & Richardson, 2015)、行動の目標理解を行っていることが明らかになっている (Ishikawa & Itakura, 2017)。また、視線情報は集団における個人の排除やグループへの受容といったシグナルにもなり、社会的な関係性を理解するためにも使用される (Wesselmann, Cardoso, Slater, & Williams, 2012; Kleinke, 1986)。

このような他者の視線情報の使用は、前言語期の乳児から行われる (Kleinke, 1986)。例えば、乳児は大人が見ている方向に対してなにかの事象が起こることを予測し (Corkum & Moore, 1998; Moore, 1999)、モノのラベリング時に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 (Baldwin, 1993; Baldwin & Moses, 2001) など、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。

また、他者の視線情報は物体についての認知だけでなく、人物についての社会的な評価にも乳幼児期から使用される。筆者らの研究では (Ishikawa & Itakura, 2018)、生後 10 カ月の乳幼児において、他者の視線が向けられていた人物に対して、他者に視線を背けられた人物と比べて選好がみられることが明らかとなった。この研究では、画面中央の人物が左右どちらかに提示される人物に対して視線を向ける場面と、提示された人物から視線を背ける場面を乳児は繰り返し観察した。その後、画面左右に、視線を向けられていた人物と視線を背けられていた人物が対提示され、どちらの顔を長く注視するか検討した。その結果、乳児は視線を向

けられていた人物の顔を長く注視し、選好が確認された。この結果から、乳児は他者間においてどのような視線交渉が行われているのかを観察することで、社会的選好に影響を受けることが明らかとなった。

1.2 視線情報と社会的学習

このような他者の観察や、他者との相互作用から情報を獲得することを一般に社会的学習と呼ぶ。社会的学習の文脈では、他者の視線は乳児が環境について学ぶのに重要な手がかりとなることが強調されてきた。乳児は生後 6 カ月頃から他者の視線を社会的学習に用いているとされている (Butterworth & Jarrett, 1991)。他者の視線知覚は言葉を話す前の乳児にとって外界についての情報を得るために重要な手がかりであり、実際に乳児は発達早期から他者の視線の情報を使用していることが多くの実証研究で報告されてきた。Perrett & Emery (1994) は、視線情報の処理には、コミュニケーションにおいて重要な役割をもつアイコンタクトのような自身に向けられた視線に対する相互注意機構 (mutual attention mechanism) と、自分以外の環境に向けられている視線に対して他者の視線方向を参照するような注意方向検出器 (direction of attention detector) の 2 つの認知処理が想定されることを示唆しており、両者が社会的相互作用において重要な役割を果たしていることを議論している。本博士論文では、乳幼児における視線処理について、相互注意機構 (アイコンタクト) と注意方向検出器 (視線追従) の両側面について着目していく。

1.3 アイコンタクトが乳児に与える影響

アイコンタクトは、他者に対する接近動機や興味といった情動的、社会的意図のシグナルとなる (Adams, Ambady, Macrae, & Kleck, 2006; Adams & Kleck, 2005; George & Conty, 2008; Macrae, Hood, Milne, Rowe, & Mason, 2002)。また、自身に向けられた視線の知覚は、成人研究において様々な社会的認知時の処

理に影響することが報告されている。例えば直視画像は、社会的判断におけるポジティブバイアス (Bindemann, Mike Burton, & Langton, 2008; Chen, Helminen, & Hietanen, 2017; Willis, Palermo, & Burke, 2011), 顔への選好 (Kuzmanovic et al., 2009; Mason, Tatkov, & Macrae, 2005; Jones, Debruine, Little, Conway, & Feinberg, 2006), 主観的顔魅力度の増加 (Ewing, Rhodes, & Pellicano, 2010) に影響する。

このように社会的認知に様々な影響を与える自身に向けられた視線の知覚は新生児期からも行われている。例えば、Farroni et al. (Farroni, Csibra, Simion, & Johnson, 2002) は、新生児において直視顔 (乳児に向けて視線が向けられている顔) に対して逸視顔 (乳児から視線を逸らしている顔) と比べて視覚的選好がみられることを示している。また、そのような新生児期からの直視への選好は、ヒトの顔を模したスキーマティックな顔であっても確認された (Farroni, Menon, & Johnson, 2006)。さらに、このような直視画像への選好は、顔を倒立させた場合には確認されなかったため、アイコンタクトが生じるような正立顔での直視顔への選好であることが示された (Farroni et al., 2006)。

アイコンタクトは顔への選好のみでなく、顔認知処理にも影響を与える。乳児における視線計測では、顔の中でもとくに直視の目の領域に対して注意を向けることが示されている (Maurer & Salapatek, 1976)。また、アイコンタクトは注意を補足するだけでなく、乳児の顔認知を促進することが明らかとなっている (Guellai & Streri, 2011; Rigato, Menon, Johnson, Faraguna, & Farroni, 2011)。Farroni ら (Farroni, Massaccesi, Menon, & Johnson, 2007) は、生後 4 カ月の乳児の顔認知において、直視顔の記憶が逸視顔よりも促進されていることを報告している。直視顔は顔認知全般に促進効果を与えるが、とくに乳児にとってコミュニケーション的な表情 (笑顔) の認知が直視によって促進されることも示されてい

る (Grossmann et al., 2008)。また、アイコンタクトは乳児の社会的行動にも影響することが明らかになっている。例えば、アイコンタクトは乳児の行動模倣を促進することが示されている (Wang, Newport, & Hamilton, 2010; de Klerk, Hamilton, & Southgate, 2018)。以上のように、アイコンタクトは乳児の社会的認知・行動を促進することが実証研究において報告されてきた。

1.4 アイコンタクト処理の神経基盤

では、アイコンタクトは、脳内でどのように処理されることで社会的認知・行動の促進へとつながるのだろうか。Senju & Johnson (2009) では、アイコンタクトは辺縁系の上丘 (superior colliculus)、視床枕 (pulvinar)、扁桃体 (amygdala) といった顔検出経路で素早く処理された後に、内側前頭前野 (medial Prefrontal Cortex: mPFC)、眼窩前頭皮質 (Orbit Frontal Cortex: OFC)、上側頭溝 (Superior Temporal Sulcus: STS) といった社会脳 (Frith & Frith, 2010) に含まれる脳部位によってより認知的な処理が行われるという fast-track modulator model を提唱している。このような速い処理と遅い認知処理の両者が影響することで、情動や意図理解、顔認知や視線方向の認知といった多様な社会的認知に促進効果を与えるとされている。また、Burra ら (Burra, Mares, & Senju, 2019) では、このモデルを拡張し、背外側前頭前野 (dorsolateral PFC) が司る課題関連のトップダウンな情報が、アイコンタクト処理を調整することをモデル化した。

Fast-track modulator モデルは、主に成人を対象とした機能的磁気共鳴画像法 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) を用いた研究結果から構築された。乳幼児を対象として fMRI を用いてアイコンタクト処理の神経基盤を検討することは困難であるが、脳波測定や機能的近赤外線分光法 (functional Near-infrared spectroscopy: fNIRS) を用いた知見が報告されている。

Grossmann ら (Grossmann, Johnson, Farroni, & Csibra, 2007) は、乳幼児を対象とした脳波研究で、乳幼児に対して直視するアバターと視線を逸らすアバタを観察しているときの脳波について検討している。その結果、直視するアバターに対してのみ、ガンマ周波数帯の脳活動が増加することが示された。脳波におけるガンマ周波数帯は、知覚モダリティの情報に基づく情動の処理 (e.g., Knyazev, 2007; Luo et al., 2009) や、コミュニケーションにおけるスピーチの知覚・発話 (Nourski, 2017; Rimmele, Gross, Molholm, & Keitel, 2018) といった社会的認知と関連しているとされる。アイコンタクトが社会的認知に関連するガンマ周波数帯の活動を高めることから、乳幼児においても Senju & Johnson (2009) で主張されているようなアイコンタクトによる社会的認知の促進につながる脳内処理が行われている可能性が考えられる。

また、事象関連電位 (event related potential: ERP) を用いた研究では、アイコンタクトが表情認知の脳内処理過程に影響している可能性を示している (Striano, Kopp, Grossmann, & Reid, 2006)。この研究では、4カ月児における怒りと喜びの表情提示時の ERP 反応を直視顔と逸視顔で比較した。直視と逸視による ERP 反応の違いは怒り表情のみでみられ、喜び表情では視線の条件による違いは確認されなかった。怒り表情は、扁桃体の活動を高めることが知られている (Zhao, Yan, Chen, Zuo, & Fu, 2013)。アイコンタクトはまず扁桃体において速い処理が行われることが示唆されている (Senju & Johnson, 2008; Burra, Mares, & Senju, 2019)。乳幼児において怒り表情の認知でのみ ERP 反応に直視の影響が出たことから、アイコンタクトが扁桃体での情報処理に関連していることも考えられる。

NIRS を用いた乳幼児研究では、コミュニケーション場面においてアイコンタクトが STS や下前頭回 (inferior frontal gyrus: IFG) の活動を高めることが 6

カ月児において示されている (Lloyd-Fox, Széplaki-Köllöd, Yin, & Csibra, 2015)。いないいないばあを用いた実際の社会的インタラクション場面における NIRS での脳活動計測では、遊びの最中にアイコンタクトが生じることで mPFC の活動が増加することが報告されている (Urakawa, Takamoto, Ishikawa, Ono, & Nishijo, 2015)。NIRS 研究では、脳波測定よりも高い空間分解能から、乳幼児におけるアイコンタクト処理と関連している脳部位について言及されている。STS、IFC、mPFC といった脳部位は一般に社会的認知を司る社会脳に含まれる部位であり (Frith & Frith, 2010)、乳幼児期からアイコンタクトが神経基盤的視点においても社会的認知と密接な関連にあることが示唆される。近年の研究では、脳活動測定と乳幼児の実際の社会的行動との関連を検討しているものもある。de Klerk ら (de Klerk, Hamilton, & Southgate, 2018) は、アイコンタクト時の脳活動と表情模倣について 4 カ月児を対象に検討した。その結果、アイコンタクトによる STS の活動増加が実際の模倣の産出と関連していることが明らかとなった。アイコンタクト時の脳活動と行動指標の同時計測はまだあまり検討されていないが、アイコンタクトが乳幼児の社会的認知や社会的行動を促進する背景には、社会脳でのアイコンタクト処理が関連していると考えられる。

1.5 社会的学習におけるアイコンタクト効果のメカニズム解明

アイコンタクトが乳幼児の視線追従頻度や社会的学習に影響することは行動実験から示されてきた。では、アイコンタクトは乳幼児に対してどのように作用することで、視線追従や社会的学習を促進するのだろうか。

Senju & Johnson (2009) の fast-track modulator モデルで、アイコンタクトはまず辺縁系で素早い処理がなされ、その後他の社会脳ネットワークでの処理へと投射されると仮説立てられているように、アイコンタクトが与える社会的認知の促進効果は短いタイムスパンでも確認される。例えば、新生児を対象にした研

究では、直視画像が 500ms 提示された後に視線方向が左右どちらかに動かされた場合、直視が提示されない場合よりも視線方向への注意シフトが促進されることが示されている (Farroni, Massaccesi, Pividori, & Johnson, 2004)。このような短時間で生じるアイコンタクト効果には、辺縁系における素早い処理が関連していると考えられる。また、しかし、辺縁系は脳の深部に位置し、脳波測定や NIRS といった乳幼児研究で広く用いられる脳機能計測法では辺縁系の活動を測定することはできない。成人での fMRI と生理的指標の同時計測研究からは、辺縁系の活動が生理的覚醒度と関連していることが報告されてきた (Yang et al., 2007; Watanabe, Bhanji, Ohira, & Delgado, 2019)。心拍などの生理的指標は生理的覚醒度を反映しているものであると考えられる。本博士論文では、視線追従行動に着目し、生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・行動の促進効果について生物学的基盤の検討を行った。

Senju & Johnson (2009) で提唱されている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 (Pessoa, 2017)。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、情動や報酬処理をされることで生理的覚醒度の調整が行われ、視線追従行動の生起へとつながることが仮説立てられた (図 1)。

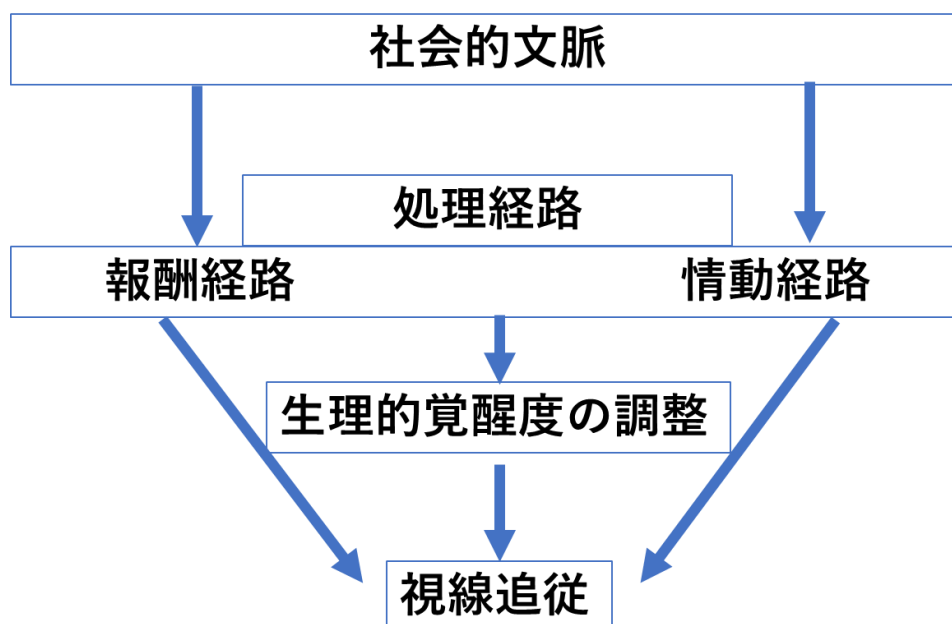


図 1. 本稿で仮説立てられた視線追従行動の生起過程

第 2 章では、アイコンタクトによる視線追従の促進効果の背景に、乳児の生理的状態が関連しているかを検討するために、生後 9-10 カ月児を対象に視線追従場面における心拍計測を行った。これにより、社会的文脈によって乳児の生理的覚醒度が調整され、また生理的覚醒度が視線追従行動を予測するののかについて検討した。

生理的覚醒度は一般に注意機能と関連していることが示唆されてきた (Aston-Jones, Rajkowski, & Cohen, 1999)。そこで、第 3 章では、成人を対象に視線手がかり (社会的注意) と矢印手がかり (非社会的手がかり) に対する注意の定位反応について、生理的覚醒度を上昇させると報告されている脅威刺激を提示した場面でどのように注意の定位が調整されるかを比較した。脅威刺激の提示によって情動的処理が行われるため、生理的覚醒度を上昇させる情動的処理と他者の視線方向へのセンシティブティの関連について検討した。

第 4 章では、視線追従を行う直前の状態を一般に生理的覚醒の上昇が確認され

るのかを検討するために、乳児の視線追従を促進するとされているアイコンタクト以外の文脈的要因として、他者の視線の信頼度を操作した後での視線追従行動と心拍の関連について生後 6-9 カ月児を対象に検討した。他者の信頼性の操作として、他者の視線方向の報酬予測性を観察学習によって操作した。これにより、他者の視線方向の報酬予測性と視線追従行動の関連について検討し、報酬処理が乳児の生理的覚醒度、視線追従行動の調整に関与しているかを検討した。

第 5 章では、乳児の視線追従行動が強化学習に従って発達していると仮定し、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社会的従事場面での内部状態（生理的覚醒度や注意状態）がどのように視線追従行動の生起に影響するのかを計算論的アプローチによってモデルを作成した。

以上の研究結果をふまえ、第 6 章では乳幼児の社会的学習の認知処理過程のモデルを提案し、その神経生理学的基盤について理論的統合を行った。

第 2 章 視線追従場面におけるアイコンタクトが乳児の心拍に与える影響

2.1 背景

ヒト乳児は発達早期から他者の視線情報に対して感受性が高く、他者の視線方向を参照することで社会的学習を行う。乳幼児の社会的学習のメカニズムを説明している Natural pedagogy 仮説では、アイコンタクトや対乳幼児向け発話といった、乳幼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、乳幼児はコミュニケーションから社会的学習を行うとされている (Csibra & Gergely, 2009)。Senju & Csibra (2008) では、コミュニケーションの意図手がかりとしてアイコンタクトや対乳幼児向け発話 (IDS) が乳児の視線追従を促進するかを検討した。生後 6 カ月児を対象とし、コミュニケーションの手がかりが提示されたあとに他者の視線が物体に向けられる場面と、アニメーションによって顔への注意を引きつけたあとに他者の視線が物体に向けられる場面での視線追従行動について比較した。その結果、コミュニケーションの手がかりが提示された場合にのみ乳児は視線追従行動をみせたため、コミュニケーションの手がかりが乳児の社会的従事行動を促進することが示唆された。

しかし、近年の研究では、コミュニケーションの手がかりがない場面においても視線追従が生じることを報告した研究もある。Gredebäck ら (Gredebäck, Astor, & Fawcett, 2018) は、アイコンタクトや首を横に振る動きがある場合以外に、他者が目を伏せたまま動かない手がかりなし条件においても乳児が視線追従することを報告している。この研究では、他者が視線を物体に向ける前の行動条件に、コミュニケーションの手がかりとしてアイコンタクトが提示される条件、手がかりなし条件として他者が目を伏せたまま動かない条件、社会的刺激で注意を引き付けるがコミュニケーションの手がかりとはならない首振り条件の 3 条件

が設定された。その結果、乳児はどの条件においてもチャンスレベル以上の視線追従割合をみせたため、コミュニケーションの手がかりがなくても乳児は視線追従を行うことが示唆された。

このように代表的なコミュニケーションの手がかりであるアイコンタクトが視線追従に与える影響については実証研究の結果が不一致であり、いまだ明らかではない。その原因のひとつに、アイコンタクトが与える視線追従への効果の検討は、乳児の視線行動にのみ着目して検討されてきていて、乳児の内部状態の変化については検討されていないことが挙げられる。

生理的状态と外部情報の処理に関する仮説に、Aston-Jones model of attention (AJMA)がある (Aston-Jones, Chiang, & Alexinsky, 1991; Aston-Jones, Rajkowski, & Cohen, 1999)。このモデルでは、動物は生理的覚醒度が低い状態では外部刺激に対して反応性が低い一方で、生理的覚醒度が高い状態では外界に対して感受性・反応性が高まることが想定されている。

生理的覚醒度は一般に、辺縁系の活動によって誘発される身体状態の変動を反映している (Adolphs, 2003; Pfaff, Ribeiro, Matthews, & Kow, 2008)。アイコンタクトは脳内の覚醒系に対して直接作用することが示唆されている (Hood, Macrae, Cole-Davies, & Dias, 2003)。アイコンタクトによって上昇する覚醒度は社会的刺激に対する知覚・認知処理に影響することが論じられている (Senju & Johnson, 2009)。例えば、成人研究においてアイコンタクトが生理的覚醒を上昇させ (Nichols & Champness, 1971; Helminen, Kaasinen & Hietanen, 2011)、顔知覚や他者の心的状態の推測が促進されると報告されている (Vuilleumier & Pourtois, 2007; Hamilton & Lind, 2016)。アイコンタクトがもたらす生理的覚醒の上昇は、社会的認知を司る脳ネットワークである社会脳において重要な役割を持つ扁桃体の活動と関連している (Frith, 2007; Thayer, Åhs, Fredrikson,

Sollers III, & Wager, 2012; Kawashima et al., 1999)。扁桃体の活動は心拍などに反映される生理的覚醒と強い相関関係にあることが示されている (Yang et al., 2007)。乳幼児研究で広く用いられる脳波計測や fNIRS といった脳計測では、扁桃体などの皮質下の脳活動を計測することはできない。そのため、生理的覚醒状態の計測は視線追従の場面においてアイコンタクトがどのように乳児に影響しているかを計測するのに最も適した方法であると考えられる。

本研究では、多くの研究で用いられている視線追従場面 (Moore & Corkum, 1998; Brooks & Meltzoff, 2005; Flom, Deák, Phill, & Pick, 2004; von Hofsten, Dahlström, & Fredriksson, 2005) における生理的覚醒度の変化を計測し、アイコンタクト時の生理的覚醒度が視線追従行動を予測するかを検討した。乳幼児研究では、心拍計測は生理的覚醒度を計測するのに最も頑健性の高い手法であるとされている (Beidel, 1989; King, 1994)。また、心拍は扁桃体や報酬系といった脳の辺縁系の活動と相関することが報告されている (Critchley, Rotshtein, Nagai, O'Doherty, Mathias, & Dolan, 2005; Adamantidis & De Lecea, 2008)。そのため、本研究では生理的覚醒度の指標として課題中の心拍を計測した。

アイコンタクトは乳児の心拍を上昇させることが成人研究の結果から予測された (Nichols & Champness, 1971; Helminen, Kaasinen, & Hietanen, 2011)。また、視線追従については、先行研究同様、アイコンタクトが生じた際にのみ乳児は偶然よりも高い確率で視線追従することが予測された (Senju & Csibra, 2008)。最後に、アイコンタクト中の心拍が直後の視線追従行動を予測すると仮説を立てた。

2.2 方法

<実験参加者>

生後 10 カ月児 25 名（女児 12 名，男児 13 名）が実験に参加した。参加者数は心拍と視線の同時計測を行っている乳幼児研究を参考に決定した（Maister, Tang, & Tsakiris, 2017）。平均日齢は 295.64 日であった（範囲: 281-335 日）。そのほかに 7 名の乳幼児が実験に参加したが、2 つの物体のうちどちらにも視線を向けなかった試行がいずれかの条件で 2 試行以上あった、または課題の途中で電極を取り外してしまったため分析から除外した。

<装置>

視線計測には Tobii T60 アイトラッカー（Tobii Studio 2.2.8, Tobii Technology, Stockholm, Sweden）が用いられた。サンプリングレートは 60 Hz で視線計測を行った。実験刺激は、Adobe Premiere pro CS6 にて編集され、動画の長さが一定になるようにした。

心拍測定には、Polymate (Digitex Lab, Japan) をサンプリングレート 1000Hz で用いた。電極の部位は、4 誘導 ECG でモニターし、電極を取り付ける前に、アルコール消毒で乳児の皮膚の電気抵抗を減少させた。

<刺激と手続き>

参加者はモニターから約 60 センチ離れた保護者の膝の上に座った。視線計測に先立ち、5 点キャリブレーションを行った。Gredebäck ら（Gredebäck et al., 2018）を参考に刺激の作成を行った。刺激映像は、女性が 1 名テーブルの後ろに下を向いて座っている場面から始まった。2 つのおもちゃが女性を挟んでテーブルの左右に 1 つずつ置かれていた（図 2）。これらのおもちゃは、視線追従のターゲット、またはディストラクターとして使用された。映像は 3 つのフェーズから構成されていた。映像開始直後のベースラインでは、画面上の女性は 2 秒間下を

向いたまま静止した後、目を閉じたまま徐々に顔を正面に向けた。顔が正面に向いた後、各条件で異なる行動が提示されるアクションフェーズが始まった。アイコンタクト条件では、女性は目を開け 3 秒間正面を向いたまま静止した。手がかりなし条件では、女性は目を閉じたまま 3 秒間静止した。首振り条件では、女性は目を閉じたまま首を左右に 3 秒間素早く振った。首振り条件は、首を振る動きによって乳児の注意を引き付けるがコミュニケーションの意図の手がかりにはならない条件として設定した。最後のフェーズは注視フェーズであった。このフェーズでは、女性は約 45° 斜めに首を傾け、2 つのおもちゃのうちどちらか一方に視線を 5 秒間向けた。手がかりなし条件と首振り条件では、画面上の女性はおもちゃに視線を向ける直前に目を開けた。映像全体で女性の表情は中立顔に保たれ、音声も提示されなかった。すべての条件が参加者内計画で各条件 4 試行ずつ計 12 試行乳児は課題を行った。各試行の提示順序は条件間で疑似ランダムであった。

各映像でどちらのおもちゃが視線追従のターゲットとなるかはランダムであった。画面上の女性が左右どちらに視線を向けるかは ABBABA の順でカウンターバランスがとられた。半分の参加児は女性が左を向く試行から始まり、もう半分は右を向く試行から始まった。各試行の開始前には、アニメーションによって乳児の注意を画面中央にひきつけた。乳児が画面に対して視線を向けた後、試行が開始された。課題は全体で約 5 分間であった。

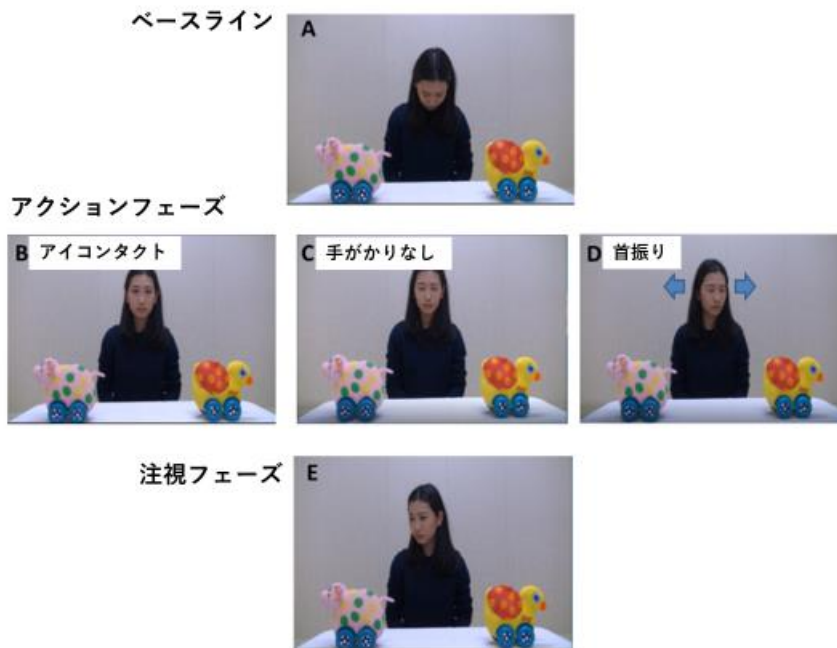


図 2. 視線追従課題に用いられた映像刺激の例。A: 映像の初めのベースラインでは、女性は目を閉じて下を向いていた。B: アイコンタクト条件では目を開け正面を向いた。C: 手がかりなし条件では目を閉じたまま正面を向いて静止した。D: 首振り条件では目を閉じたまま首を左右に数回振った。E: 注視フェーズでは左右の物体のどちらか片方に視線を向けた。

<分析>

注視行動は、画面上の直径 50 ピクセル内に対して 200ms 以上視線を向けた視線データを注視として定義した。課題全体の 61.63% (SD = 12.03%; 範囲: 45-90%) の視線データが取得できた。7名の乳児が課題中断のため分析から除外された。

視線データ

乳児の視線追従行動は、注視フェーズにおける物体に対する最初の視線移動によって計測された。乳児が画面上の人物と同じ物体に対して視線を向けた場合に

は、視線追従を行ったとコーディングされた。各条件最低 3 試行乳児がどちらかの物体に視線を向けていない場合には分析から除外された。各条件での試行数に対する視線追従割合が参加児ごとに算出された。

また、画面上の女性の顔に対する注視時間も各フェーズで算出された。

心拍

体動により心拍データが計測できていなかった試行が除外された。その後、心拍データの R-R 間隔から心拍を算出した。心拍データをフェーズごとに分割し、各フェーズでの 1 分間あたりでの平均心拍数を算出した。全体の 80.4%の試行での心拍データが分析に用いられた。また、ベースラインからアクションフェーズへの平均心拍数の変動を各試行で産出し、分析に用いた。

データの歪度と尖度が-2 から+2 の範囲であれば正規分布に従っているとみなすことができるとされている (George & Mallery, 2010)。本実験での心拍データは歪度 (-0.41 ~ 4.64)、尖度 (0.50 ~ 1.90) とともに正規分布とみなすことができる範囲であった。

2.3 結果

視線追従割合について、Gredebäck ら (Gredebäck et al., 2018) 同様に一元配置分散分析を用いて条件間の比較を行った (図 3)。その結果、条件の主効果が有意であった ($F(2, 48) = 8.059$, $p = .001$, $\eta p^2 = .251$)。ボンフェローニ法での補正を行った多重比較では、アイコンタクト条件では手がかりなし条件と比べて視線追従割合が有意に高いことが示された ($p = .001$)。アイコンタクト条件は首振り条件と比べて視線追従割合が高い傾向にあった ($p = .069$)。

また、視線追従割合に対してチャンスレベル (50%) との比較を行った。その結果、アイコンタクト条件でのみチャンスレベル以上の割合での視線追従行動が確認された (アイコンタクト条件: $M = 74.9\%$, $t(24) = 4.465$, $p < .001$, $d = 1.82$;

手がかりなし条件: $M = 42.9\%$, $t(24) = -1.342$, $p = .192$, $d = 0.54$; 首振り条件: $M = 53.9\%$, $t(24) = .765$, $p = .452$, $d = 0.31$ 。

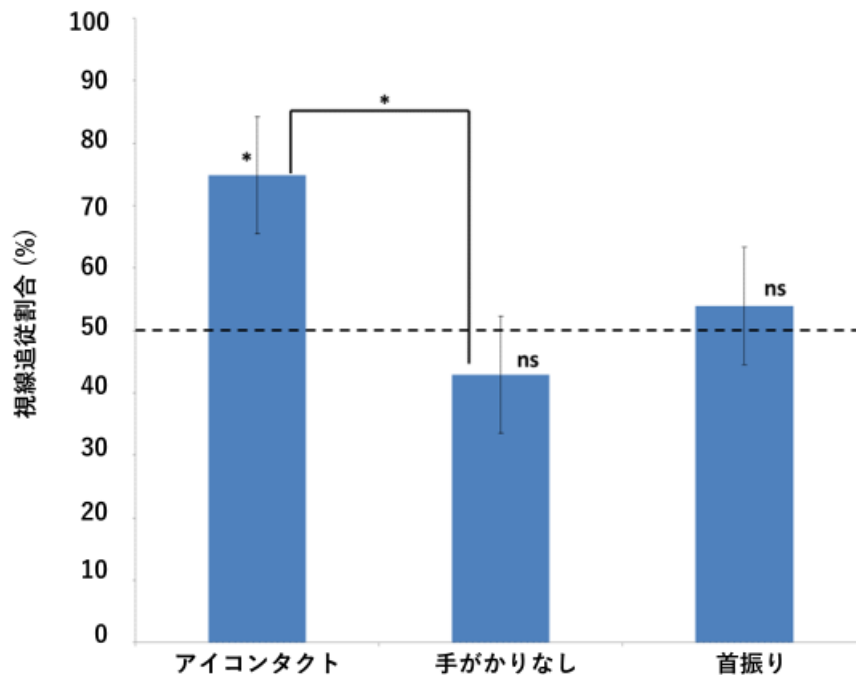


図 3. 各条件での平均視線追従割合。*は $p < .005$ 、ns は $p > .005$ 。エラーバーは SD。

視線追従に伴う注視行動を検討するために、乳児が視線追従のターゲットとディストラクターに対してどのくらい注視していたかを比較した。ターゲットとディストラクターを含んだ関心領域 (area of interests: AOIs) と条件を要因とした 2×3 の分散分析を行った。AOI と条件の交互作用が有意傾向であった ($F(2, 48) = 2.16$, $p = .079$, $\eta p^2 = .083$)。ボンフェローニ法での補正を行った多重比較では、アイコンタクト条件でのみターゲットに対する注視時間 ($M = 0.73$ s) がディストラクターに対する注視時間 ($M = 0.5$ s) よりも有意に長かった ($p = .003$)。

映像中の心拍数の変動を検討するために、映像のフェーズ (ベースライン, アクションフェーズ, 注視フェーズ) と条件を要因とした 3×3 の分散分析を行った

(図 4)。その結果、フェーズと条件の交互作用が有意であった ($F(4, 96) = 2.49, p = .048, \eta p^2 = .094$)。ボンフェローニ法での補正を行った多重比較では、アイコンタクト条件でのベースライン ($M = 126.50$ bpm) からアクションフェーズへの心拍数の上昇がみられた ($M = 127.83$ bpm, $p = .002$)。また、アクションフェーズから注視フェーズにかけて心拍数の減少がみられた ($M = 126.33$ bpm, $p < .001$)。アクションフェーズでの心拍数はアイコンタクト条件が手がかりなし条件と比べて有意に高かったのに対して、アイコンタクト条件と首振り条件に有意な差はみられなかった (アイコンタクト条件 vs. 手がかりなし条件: $p = .001$; アイコンタクト条件 vs. 首振り条件: $p = .342$)。

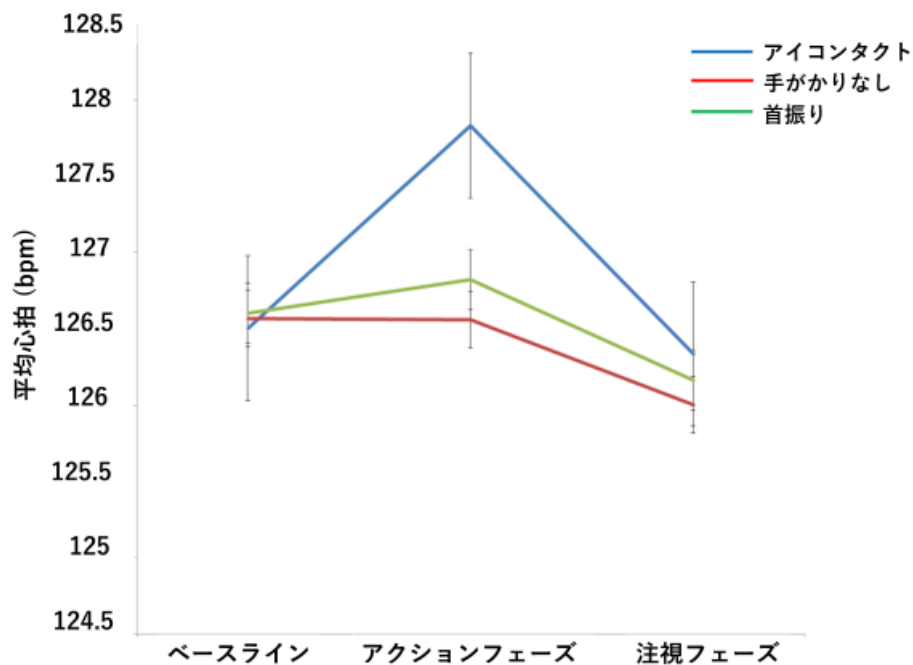


図 4. 各条件でのフェーズごとの 1 分あたりの平均心拍数 (bpm)。エラーバーは SD。

乳児の心拍数が後の視線追従行動を予測するかを検討するために、ベースラインからアクションフェーズへの心拍数の変動を算出し、一般化線形モデル

(GLM) によるロジスティック回帰分析を行った (図 5)。その結果、心拍数の上昇率はどの条件においても後の視線追従行動を予測し、心拍がより上昇しているほど視線追従行動が生じる割合が高かった ($\text{estimate} \pm \text{SE} = 68.71 \pm 11.91$, $Z = 5.769$, $p = .001$)。また、条件間での回帰直線の傾きを比較したところ、アイコンタクト条件では手がかりなし条件と比べて傾きが大きかった (アイコンタクト条件 vs. 手がかりなし条件: $\text{estimate} \pm \text{SE} = -1.71 \pm 0.46$, $Z = -3.727$, $p < .001$)。そのほかの条件間には差はみられなかった (アイコンタクト条件 vs. 首振り条件: $\text{estimate} \pm \text{SE} = -0.733 \pm 0.40$, $Z = -1.829$, $p = .159$; 手がかりなし条件 vs. 首振り条件: $\text{estimate} \pm \text{SE} = 0.593 \pm 0.38$, $Z = 1.59$, $p = .247$)。この結果は、条件間で同等の心拍上昇率であった場合に、アイコンタクト条件では手がかりなし条件と比べて有意に高い割合で視線追従が生じることを示している。

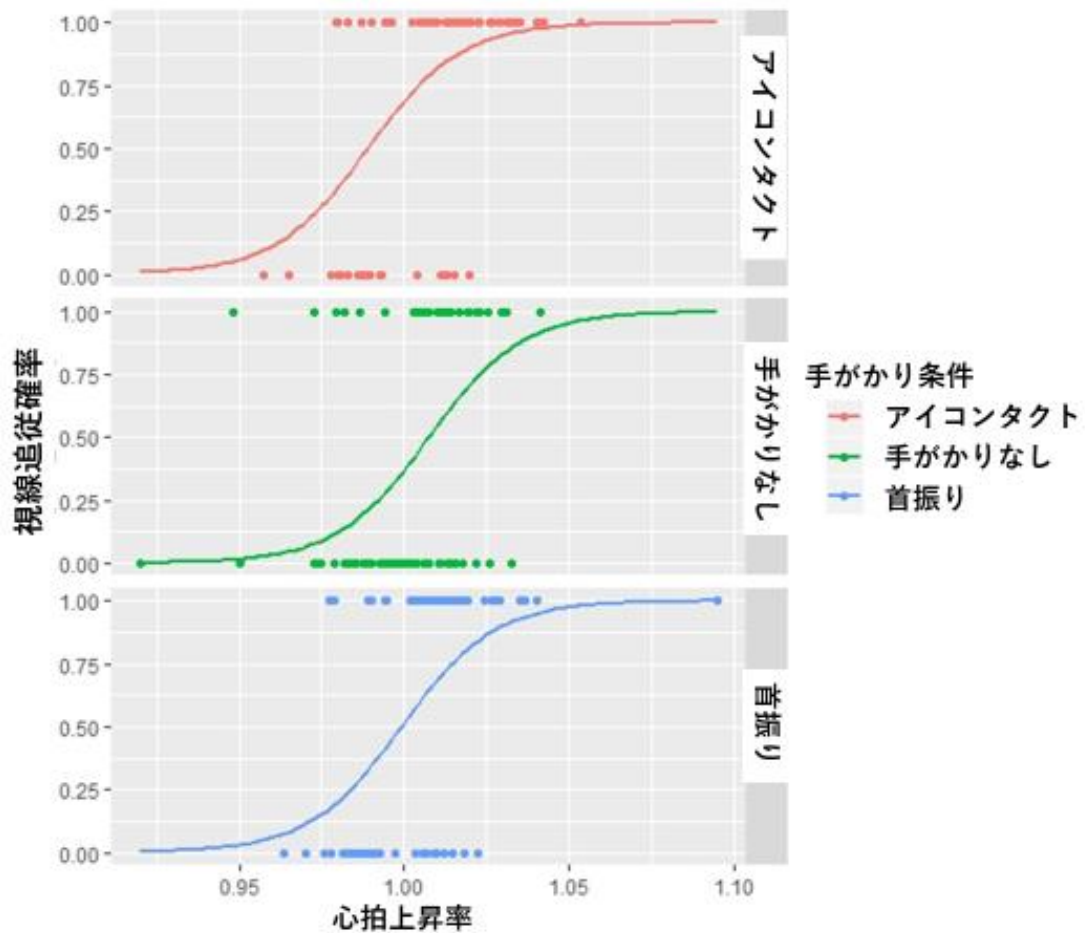


図 5. 各条件でのベースラインからアクションフェーズへの心拍上昇率と予測される視線追従割合。試行ごとに心拍上昇率（横軸）と視線追従を行ったかどうか（縦軸：視線追従していたら 1、視線追従していなかったら 0）をプロットした。

GLM の結果を踏まえ、心拍の上昇率が条件操作と視線追従割合を媒介しているのか検討した。R パッケージの “mediation” (Tingley, Yamamoto, Hirose, Keele, & Imai, 2013) を用いて GLM による媒介分析を行った。その結果、間接効果の信頼区間に 0 が含まれず、有意に媒介していることが示された (95% confidence interval (CI) = 0.0283 to 0.19, $p = .006$)。しかし、条件操作から視線

追従割合への直接効果も有意であった (CI = 0.1044 to 0.38, $p = .002$)。そのため、心拍の上昇率は条件操作と視線追従割合を部分媒介していることが示された。

女性の顔への注意配分が心拍や視線追従行動に影響している可能性があったため、それぞれの映像フェーズごとに条件間での顔への注視時間を比較した。各フェーズにおいて条件を要因とした一元配置分散分析を行った。その結果、条件間での有意な差はみられなかった (ベースライン: $F(2, 48) = .302$, $p = .741$, $\eta p^2 = .012$; アクションフェーズ: $F(2, 48) = 2.33$, $p = .793$, $\eta p^2 = .010$; 注視フェーズ: $F(2, 48) = 1.237$, $p = .299$, $\eta p^2 = .049$)。

2.4 考察

本研究ではアイコンタクトがどのように乳児の心拍に作用し、視線追従の促進効果をもたらしているのかを検討することが目的であった。結果は、アイコンタクト条件でのみ乳児の心拍の上昇が確認された。さらに、アクションフェーズでの心拍はどの条件においても直後の視線追従を予測した。しかし、媒介分析では、心拍の上昇は *communicative cue* の条件と視線追従を部分的にのみ媒介していた。

本研究での視線追従行動の結果は、先行研究と一致するものであった (Senju & Csibra, 2008)。アイコンタクト条件でのみ、乳児は偶然よりも高い確率で視線追従を行い、ベースラインからの心拍の上昇も確認された。先行研究では、アイコンタクトは生理的覚醒度を上昇させ (Nicholl & Champness, 1971)、社会的認知処理を促進することが示されている (Vuilleumier & Pourtois, 2007; Hamilton & Lind, 2016)。本研究結果は、乳児の視線追従場面において、アイコンタクトは生理的覚醒度を高め、その後の視線追従行動を誘発することを示唆するものである。

アイコンタクトがもたらす視線追従の促進効果のメカニズムには、生理的覚醒度の上昇が一つの要因になっていると考えられる。本研究での、心拍の上昇率が直後の視線追従を予測するという結果は、生理的覚醒度と外部刺激への反応性について言及している AJMA 仮説と一致する (Aston-Jones, Chiang, & Alexinsky, 1991; Aston-Jones, Rajkowski, & Cohen, 1999)。de Barbaro ら (de Barbaro, Clackson, & Wass, 2017) は乳児の視線行動がどのように生理的覚醒度によって調整されるのかを検討し、注意の定位といった視線行動が生じる前に心拍の変動が確認された。生理的覚醒度は乳児の視線行動に作用していることが支持される。

しかし、媒介分析では、心拍上昇率は条件操作と視線追従割合を部分媒介していて、心拍が視線追従行動を完全に説明する要因ではないことが示唆された。この結果から、本研究で計測した心拍はアイコンタクト処理の過程すべてを反映しているわけではない可能性がある。Senju and Johnson (2009) では、アイコンタクトが認知・行動に与える影響の初期段階として、扁桃体を主とした速い処理が重要な役割を果たしていることが提案されている。扁桃体は他者の視線方向のモニタリングを司る部位でもあるため、扁桃体の活動増加が視線追従を促進していることが考えられる。このような扁桃体での速い処理と同時に、他の脳部位に情報が伝達することで生じる遅い認知処理があることも想定されている。本研究で心拍が視線追従促進効果を完全媒介しない理由には、このような生理的覚醒度と直接関連のない脳部位の活動が関与しているからかもしれない。大脳辺縁系を起点とした乳幼児の脳活動ネットワークを直接計測することは現在の技術では難しいため、アイコンタクトと辺縁系での速い処理、皮質部位での遅い処理の関連については実証的に解明されていない。アイコンタクトのもつ社会的認知促進効果の時間特性についてはさらなる検討が必要である。

アイコンタクトが他の手がかり条件と比べて心拍を上昇させ、視線追従を促進することが示された一方で、GLMの結果ではどの手がかり条件においても心拍上昇率が後の視線追従行動を予測することが示された。乳児の視線追従行動は、コミュニケーションの意図手がかりと生理的覚醒状態によって決定されていることが考えられる。視線追従とコミュニケーションの意図手がかりの関連について検討した先行研究では、コミュニケーションの意図手がかりが提示されない場合においても視線追従行動がチャンスレベルよりも高い確率で確認されることが報告されている (Szufnarowska et al., 2014; Gredebäck et al., 2018)。乳児の生理的覚醒度が外部手がかりに関わらず高まっている状態では、視線追従行動が生じやすい可能性がある。

本研究では、乳児の視線追従場面における生理的覚醒度を初めて検討し、アイコンタクトは乳児の心拍を上昇させ、心拍の上昇率は後の視線追従行動を予測することがわかった。アイコンタクトが乳児の視線追従行動に与える影響の背景には、生理的覚醒度の変動が関連している可能性が示唆された。しかし、本研究では心拍の上昇率は視線追従行動を完全媒介して説明する要因ではなかったため、心拍変動に影響を与える前の辺縁系を介したアイコンタクト情報の速い処理に関する検討や、心拍の上昇に反映される生理的覚醒度は乳児のどのような認知を反映しているのかといった点についても検討する必要がある。そこで、第3章では扁桃体の活動を上昇させると報告されている情動プライミングを用いて他者の視線方向への注意シフトについて検討し、辺縁系を介したアイコンタクト情報の速い処理について成人研究の知見を提供する。第4章では、乳児の心拍の上昇には社会的インタラクションを通じて得られる報酬期待が関与していると仮説を立て、乳児の視線追従場面での実証実験の結果を紹介する。

第3章 成人を対象とした情動プライミングが視線情報処理に与える影響の検討

3.1 背景

第2章においては、乳児の視線追従行動の背景には生理的覚醒度の上昇が関連していることが示された。他者の視線方向は、成人においても社会的インタラクションやコミュニケーションの重要な手がかりである (Frith & Frith, 2007)。多くの研究で、他者の視線を無視するように教示された場合や、課題遂行に対して情動的でない場合であっても、他者の視線方向に対して注意を向けてしまうことが報告されている (Driver et al., 1999; Friesen & Kingstone, 1998, 2003; Friesen, Ristic, & Kingstone, 2004; Hietanen, 1999; Kingstone, Friesen, & Gazzaniga, 2000; Ristic, Friesen, & Kingstone, 2002)。このような研究から、他者の視線方向に対する注意シフト (視線手がかり効果) は反射的であることが示唆されている。ここでは、成人においてもみられる他者の視線方向への反射的注意シフトが、覚醒度を上昇させるとされている情動プライミングによる影響を受けるかを検討することで、情動的処理と視線追従の関連を検討した。

Frischen, Bayliss, and Tipper (2007) のレビューでは、視線手がかり刺激の表情が視線手がかり効果を調整することが主張されている。例えば、恐怖表情が視線手がかり刺激の視線方向に対する注意の定位を促進することが示されている (Mathews, Fox, Yiend, & Calder, 2003)。中立顔と比べて恐怖顔による視線手がかり効果は大きく、このような視線手がかり効果の増加は幸福顔ではみられなかった (Tipples, 2006)。Pecchinenda, Pes, Ferlazzo, and Zoccolotti (2008) は嫌悪、恐怖、幸福、中立顔による視線手がかり効果を比較した。その結果、ネガティブ顔 (嫌悪、恐怖) では幸福顔や中立顔よりも視線手がかり効果が強いことが示された。

Mathews et al. (2003) では、このような恐怖顔による視線手がかり効果の増加は、外界の脅威を素早く検出するために有効であると示唆している。Kuhn and Tipples (2011) は恐怖顔と幸福顔によるキューイングがターゲット検出にかかる時間にどのように影響するかを検討した。その結果、脅威となるようなもの (e.g., ヘビ) がターゲットである場合に恐怖顔が幸福顔と比べて強い視線手がかり効果を生じさせた。

動物が脅威となる刺激に対して自動的に反応することは広く知られている (e.g., 闘争か逃走反応: Roelofs, 2017). Aston-Jones, Rajkowski, and Cohen (1999) は、動物は生理的覚醒度が高い場面において外界の刺激に対してより反動的で感受性が高まることを主張した。関連して、ヒトの注意状態は生理的覚醒度の変動に合わせて調整されることが示唆されている (Reynolds, Courage, & Richards, 2013)。例えば、覚醒度の指標として広く用いられる心拍は、ヒトの持続的注意と関連していることが示されている (Courage, Reynolds, & Richards, 2006)。恐怖顔の知覚は、脅威となる刺激の知覚時と同様に恐怖情動経験を誘発する (Hariri & Holmes, 2006; Hariri, Tessitore, Mattay, Fera, & Weinberger, 2002; Lau et al., 2009; Pine et al., 2005; Mogg, Garner, & Bradley, 2007; Stein, Zwickel, Ritter, Kitzmantel, & Schneider, 2009)。脳機能イメージング研究では、恐怖顔の知覚が恐怖情動経験において中核的な役割を持つ扁桃体の活動を高めることが報告されている (Felmington et al., 2010; Hariri & Holmes, 2006; Hariri et al., 2002)。扁桃体は生理的覚醒度をコントロールする脳部位に含まれ (Adolphs, 2003; Pfaff, Ribeiro, Matthews, & Kow, 2008)、恐怖情動経験時には覚醒度が高まることから (Globisch, Hamm, Esteves, & Öhman, 1999)、恐怖顔による視線手がかり効果の増加は、恐怖顔による生理的覚醒度への影響が背景にある可能性が考えられる。

注意シフトに関する先行研究では、視線による注意手がかりと矢印による注意手がかりの比較も行ってきた。多くの研究では手がかり効果の強さは視線と矢印で同等であると報告されている (Tipples, 2002; Kuhn & Kingstone, 2009)。一方で、視線手がかりは矢印手がかりと比べて自動的な注意シフトを抑制することがより難しいという報告もあり、視線手がかりと矢印手がかりの機能的な違いを示唆されている (Friesen, Ristic, & Kingstone, 2004)。具体的には、方向手がかりの社会的重要性が空間的注意の反射的定位置を駆動していることが示唆されている (Kingstone, Smilek, Ristic, Friesen, & Eastwood, 2003)。例えば、直視刺激は他者とのコミュニケーションに従事する際に最も重要な手がかりである (Senju & Johnson, 2009)。神経生理学的研究では、直視刺激は扁桃体の活動を高め、それに伴い生理的覚醒度も上昇することが示されている (Adolphs, 2009; Helminen, Kaasinen, & Hietanen, 2011)。直視に続いて提示される視線方向は、神経生理学的状態に作用することで、脅威となる対象の検出において重要な役割を果たすことも示唆されている (Richeson, Todd, Trawalter, & Baird, 2008)。視線手がかりの中でも、とくに直視に続いて提示される視線手がかりは矢印手がかりや閉眼に続いて提示される視線手がかりと比べてより社会的な重要性をもつことが考えられる。

視線手がかり効果についての先行研究では、情動刺激は視線手がかりを表出する顔の表情のみに限定されていたため、社会的刺激に伴った情動であることが重要なのか、恐怖表情によって誘発された覚醒度が一般的な注意状態に作用することで視線手がかり効果が増加していたのかを切り離すことができなかった。そこで、本研究では、中枢神経系・自律神経系のどちらにおいても情動反応を引き起こすことが可能である脅威刺激のプライミングを用いて視線手がかり効果について検討した (Hedger, Adams, & Garner, 2015)。脅威刺激は閾下提示時において

も、刺激の提示が意識されていなくても扁桃体の活動を高め (Morris, Öhman, & Dolan, 1999)、皮膚電気反応を引き起こす (Esteves, Dimberg, & Öhman, 1994)。そのため、脅威刺激による情動プライミングによって、視線手がかりと矢印手がかりに対して生理的覚醒度が与える影響を比較することが可能となる。

本研究では、矢印、閉眼に続いて提示される視線手がかり、直視に続いて提示される視線手がかりの3種類の手がかり刺激を用いて、情動プライミング(中立、脅威)が手がかり効果に与える影響について検討した。手がかりはターゲット刺激が提示される方向と同じ方向に手がかりが向いている一致条件と、ターゲット刺激と反対方向に手がかりが向いている不一致条件があった。このような課題では、手がかりと同じ方向にターゲットが提示された場合には、反対方向に提示された場合と比べて刺激の検出が速くなる (Posner, 1980)。3つの仮説が考えられた。1つ目に、情動プライミングが手がかり課題での注意の定位全般に影響しているならば、情動プライミングによって手がかりの一致不一致や手がかり刺激の種類にかかわらずターゲットの検出が速くなることが仮説立てられた。Aston-Jones et al. (1999) で示唆されているように、情動プライミングによって生理的覚醒度が高まったときに、参加者は外界の刺激の変化に対して感受性が高まり反応的になるため、ターゲットの提示に対してより速く反応できる可能性がある。2つ目に、情動プライミングは社会的重要性の高い視線手がかりに対する注意シフトにのみ影響していることが考えられた。最後に、恐怖表情による注意シフトの促進が脅威の検出仮説に従うものであるならば、直視に続いて提示される視線手がかりでのみ情動プライミングによる手がかり効果の増加がみられるかもしれない。アイコンタクトは生理的覚醒度と関連する脳領域に直接作用することが示唆されている (Hood et al., 2003)。そのため、同じ視線手がかり刺激であっても、閉眼に続いて提示される視線手がかりよりも直視に続いて提示される視

線手がかりのほうが手がかり効果が強いかもしれない。この研究を通して、視線追従行動の促進には情動的処理が関連しているのかを検討した。

3.2 実験 1

3.2.1 方法

<実験参加者>

成人 26 名（女性 12 名）が実験 1 に参加した。平均年齢は 22.0 歳であった（範囲: 19-29, SD = 2.68）。サンプルサイズは以下のように推定された。手がかり効果の強さを視線と矢印で比較した Blair, Capozzi, and Ristic (2017) の研究で手がかり効果の効果量は $\eta p2 = .53$ であった。この効果量を用いて α 水準 0.05 で手がかり効果を検出するためには最低で 12 名の参加者が必要と推定された。また、情動プライミングの効果をストック課題で検討している先行研究からは、情動プライミングの効果を検出するために 14 名の参加者が必要と推定された ($\eta p2 = .95$; Hart, Green, Casp, & Belger, 2010)。本実験では、これらの研究から推定された主効果を検出するための最低限のサンプルサイズ以上の参加者をリクルートした。また、本実験で得られた交互作用の効果量から ($\eta p2 = .226$)、G*Power (Erdfelder, Faul, & Buchner, 1996) を用いて事後の検出力検定を行った。その結果、本実験での参加者数は情動プライミング、手がかり刺激の種類、手がかりの一致不一致の 3 要因の交互作用を検出するのに十分な参加者数であることが確認された。すべての参加者は裸眼視力、もしくは矯正視力で課題遂行に十分な視力をもっていた。本実験は京都大学心の先端研究ユニットの倫理審査によって承認を得た。書面にてインフォームドコンセントを取ったのちに参加者は実験に参加した。

<装置>

課題は PsychoPy 1.90.1 (Peirce, 2007) によって制御され BenQ GW2470H

23.8 インチ LCD モニター（リフレッシュレート 60 Hz）に刺激が提示された。参加者はモニターから約 60 センチ離れて座った。参加者の反応はキーボード押しによって計測された。

< 刺激 >

すべての試行は、画面中央に注視点（約 3°）が提示されてから開始された。情動プライミングの刺激には、脅威刺激（へビの画像 36 枚、クモの画像 36 枚）と中立刺激（生活用品 72 枚）が Geneva Affective PicturE Database (GAPED) (Dan-Glauser & Scherer, 2011) から選出された。GAPED の画像は閩下での情動プライミング課題にも用いられている (Maureira et al., 2015)。情動プライミング刺激は画面中央に提示された（縦 6°, 横 8°）。

顔刺激には、2 名の成人女性顔が用いられた。予備調査の結果を参考に、顔の魅力度が同程度の人物顔を用いた。視線手がかりは閉眼に続いて提示される視線手がかり（閉眼条件）と直視に続いて提示される視線手がかり（直視条件）の 2 種類であった。視線手がかり刺激には、左右どちらかに視線を向けている人物顔が提示された（縦 16°, 横 10°）。矢印手がかりは、黒い水平の棒に続いて提示された（矢印条件）。矢印手がかりは、左右どちらかに対して矢羽根が向いている刺激であった（縦 3°, 横 9°）。

ターゲット刺激は、手がかり刺激に続いて提示され、画面中央から約 15° 左右どちらかに提示されるアスタリスクであった（約 1°）。

< 刺激と手続き >

実験は 3 種類の手がかりシーケンスによって構成されていた（図 6）：黒い水平線に続いて提示される矢印（矢印条件）、閉眼に続いて提示される視線手がかり（閉眼条件）、直視に続いて提示される視線手がかり（直視条件）。4 試行の練習試行の後、本試行 144 試行を行った。脅威刺激のプライミング条件 72 試行と中立

刺激のプライミング条件 72 試行で構成されていた。情動刺激への馴化が 72 試行前後の情動刺激への暴露によって生じることが示されているため、本試行数に決定した (Dijksterhuis & Smith, 2002)。実験は参加者内 3 要因計画であった：情動プライミング (脅威, 中立)、手がかり刺激 (矢印, 閉眼, 直視)、手がかり一致 (一致, 不一致)。課題中、すべての条件はランダムに提示された。

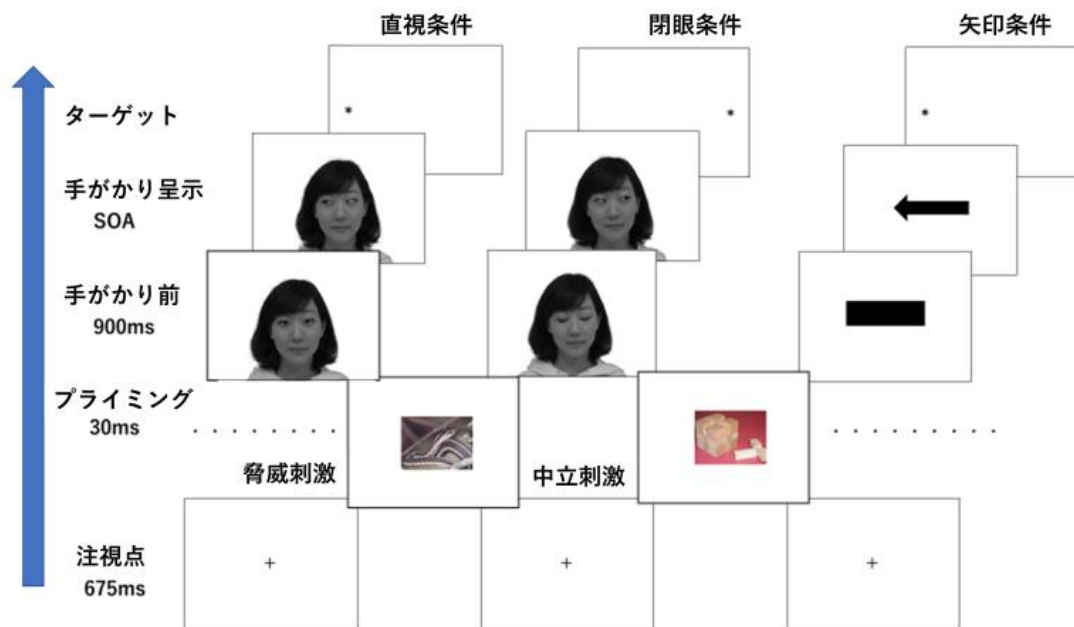


図 6. 実験に用いた刺激例と提示順。

各試行では、注視点が 675ms 提示された後、情動プライミング刺激が 30ms 提示された。刺激提示時間は参加者が自身の情動状態について意識しないように設定された。先行研究では、脅威に対する生理的・行動的反応は 30ms 以下の提示によっても生じることが報告されている (Carlson, Reinke, & Habib, 2009; Morris, Ohman, & Dolan, 1999)。情動プライミングの後、各条件での手がかりシーケンスが始まった。黒い水平線、閉眼、直視のいずれかの刺激が 900ms 提示された後、左右どちらかを向いた矢印、または視線手がかりが提示された (100, 300, 700ms 間)。手がかり刺激はターゲットが提示される場所と無関係であ

ることが教示された。ターゲットは手がかり刺激の提示が終了した直後すぐに提示された。参加者はターゲットが提示された場所に対して、左なら Z、右なら M のキー押しによってできるだけ早く正確に、反応することが求められた。ターゲットは参加者が反応するまで提示された。参加者の反応が記録された後、反応が正答であったかのフィードバックが 500ms 提示された（正解であったら“O”、不正解なら“X”が提示された）。

<分析>

平均正答率は 99.65% (SD = 0.56) であった。不正解であった試行は分析から除外された。反応時間が参加者ごとの平均値から 2.5SD 離れている試行は外れ値として除外した（全試行の 1.6%）。反応時間の分析には、各条件での参加者ごとの平均反応時間を用いた。データの歪度と尖度が-2 から+2 の範囲であれば正規分布に従っているとみなすことができるとされている（George & Mallery, 2010）。本実験での反応時間は歪度（0.35 ~ 1.48）、尖度（-0.88 ~ 1.94）ともに正規分布とみなすことができる範囲であった。

3.2.2 結果

図 7 に各条件での平均反応時間を図示した。分散分析の結果、情動プライミング、手がかり刺激、手がかりの一致の交互作用が有意であった ($F(2, 50) = 3.506$, $p = .046$, $\eta p^2 = .226$)。他の交互作用は有意でなかった（手がかり刺激×手がかりの一致: $F(2, 50) = 1.422$, $p = .261$, $\eta p^2 = .106$; 情動プライミング×手がかり刺激: $F(2, 50) = .1092$, $p = .352$, $\eta p^2 = .083$; 情動プライミング×手がかりの一致: $F(2, 50) = 0.337$, $p = .567$, $\eta p^2 = .013$)。また、手がかり一致の主効果は有意であった ($F(1, 25) = 7.478$, $p = .011$, $\eta p^2 = .230$; 一致条件 = 414.28ms vs. 不一致条件 = 428.71ms)。他の主効果は確認されなかった(情動プライミング: $F(1, 25) = 3.286$, $p = .082$, $\eta p^2 = .116$; 中立条件 = 418.86ms vs. 脅威条件 = 424.13ms; 手がかり刺

激: $F(1, 25) = 2.200$, $p = .133$, $\eta p^2 = .155$; 直視条件 = 421.14 ms, 閉眼条件 = 417.80 ms, 矢印条件 = 425.56ms)。3 要因の交互作用についてボンフェローニ補正による多重比較を行った。

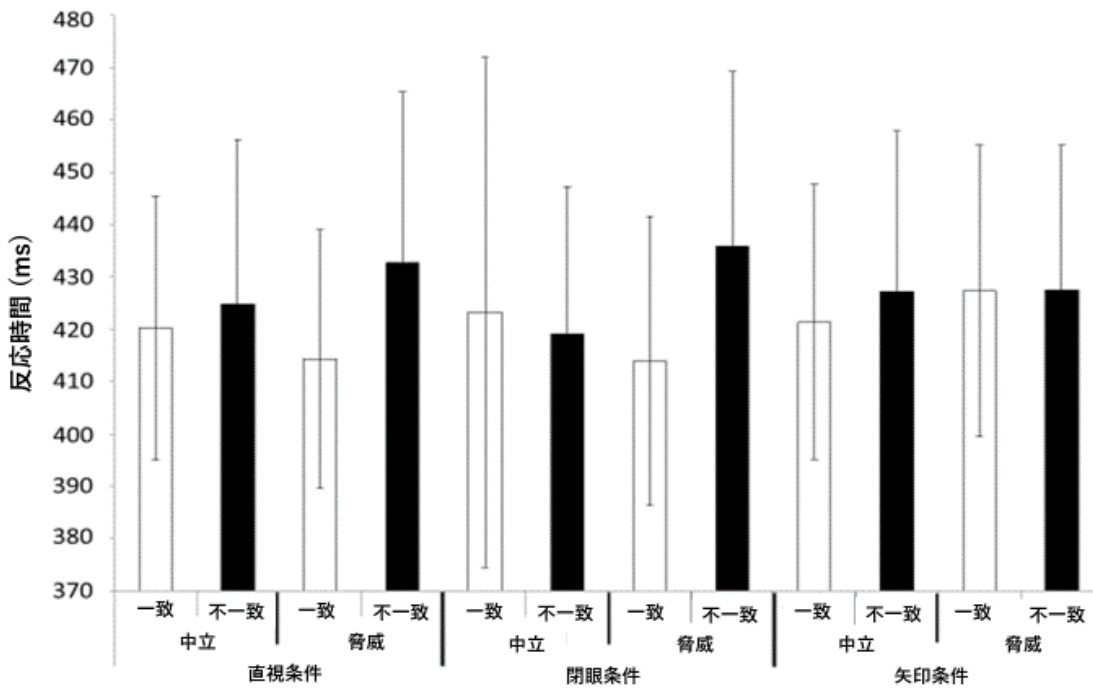


図 7. 条件ごとの平均反応時間 (ms)。エラーバーは SD。

初めに、情動プライミングがどのように反応時間に影響したかを検討するために、各情動プライミング条件の比較を行った。直視条件の一致条件では、脅威条件において中立条件と比べて反応時間が速くなっていた ($p = .021$, $\eta p^2 = .196$)。また、閉眼条件の不一致条件では、脅威条件で中立条件と比べて反応時間が増加していた ($p = .012$, $\eta p^2 = .226$)。これらの結果は手がかり効果 (不一致条件と一致条件の反応時間の差分) が脅威刺激によって増加したことを示す。矢印条件では脅威条件と中立条件の間に有意な差はみられなかった (一致条件: $p = .106$, ηp^2

= .101; 不一致条件: $p = .945$, $\eta p^2 = .000$)。脅威刺激による情動プライミングは、閉眼条件と直視条件での視線手がかり効果のみ増加させた。

次に、手がかり一致効果について各条件の比較を行った。脅威条件では、直視条件と閉眼条件で有意な手がかり効果がみられた (直視条件: $p = .010$, $\eta p^2 = .235$; 閉眼条件: $p = .002$, $\eta p^2 = .324$)。しかし、矢印条件での手がかり効果は有意でなかった ($p = .663$, $\eta p^2 = .008$)。中立条件では、有意な視線手がかり効果は確認されなかった (直視条件: $p = .190$, $\eta p^2 = .068$; 閉眼条件: $p = .319$, $\eta p^2 = .040$)。矢印条件での手がかり効果は有意傾向であった ($p = .095$, $\eta p^2 = .107$)。

最後に、手がかり刺激間での反応時間について各条件の比較を行った。その結果、脅威条件のプライミング後には、直視条件と閉眼条件の一致条件で矢印条件の一致条件よりも反応時間が速いことがわかった (直視条件: $p = .011$; 閉眼条件: $p = .012$)。

3.2.3 考察

本実験では、情動プライミングが視線手がかりにのみ特異的に影響するのか、手がかり刺激に関わらず注意の定位全般に影響するのかを検討した。その結果、情動プライミングは視線手がかり効果のみ増加させ、矢印による手がかり効果には影響しなかった。視線手がかり効果は、直視条件と閉眼条件の間には差がみられなかった。本実験では、中立刺激のプライミング時には矢印、視線のどちらにおいても手がかり効果は確認されなかった。とくに、矢印手がかりは脅威刺激による情動プライミング時にも手がかり効果が確認されなかった。本実験の矢印条件において手がかり効果が確認されなかった理由に、先行研究と比べて顕著度の低い矢印刺激を用いたことが考えられる。本実験では、視線手がかりに実際の人物顔の写真、矢印手がかりには矢羽根が片側にのみついている矢印を用いた。先行研究では、顔のイラストや矢羽根が2つ同じ方向を向いてついている矢印刺激

を用いられていた (Tipples, 2002; Kuhn & Benson, 2007; Kuhn & Kingstone, 2009)。

また、キー押しによってターゲットの位置に反応する行動計測では、手がかり効果を検出するのに十分な検出力がなかった可能性も考えられる。実験 1 ではキー押しによるポズナー課題によって注意の定位を検討した (Posner & Cohen, 1984)。実験 2 では、先行研究で効果量がより大きく、信頼性が高い課題とされている視線計測を用いたポズナー課題 (Friesen & Kingstone, 2003; Smith & Casteau, 2019) によって、実験 1 の結果の追試を行った。

3.3 実験 2

実験 2 では、視線随伴性ポズナー課題を用いて情動プライミングがターゲットに対する初期視線移動 (Van Rooijen, Junge, & Kemner, 2018) にどのように影響するのかを検討した。本実験では、アイトラッカーを用いた視線計測をキー押しの代わりに使用し、視線随伴性課題を用いて実験 1 の追試を行った。実験 1 との詳細な相違点は以下に記述する。

3.3.1 方法

<実験参加者>

成人 30 名 (女性 22 名) が実験 2 に参加した。平均年齢は 22.76 歳であった (範囲: 19-30, SD = 4.43)。すべての参加者は裸眼視力、もしくはコンタクトレンズによる矯正視力で課題遂行に十分な視力をもっていた。本実験では、視線手がかり効果の先行研究でのサンプルサイズ以上の参加者をリクルートした (e.g., Driver et al., 1999; Jones et al., 2009)。Hietanen and Leppanen (2003) では、本研究と同程度のサンプルサイズは手がかり効果を検出するのに十分なサンプルサイズであることを報告している。また、本実験で得られた交互作用の効果量から ($\eta p^2 = .214$)、G*Power (Erdfelder, Faul, & Buchner, 1996) を用いて事後の

検出力検定を行った。その結果、本実験での参加者数は情動プライミング、手がかり刺激の種類、手がかりの一致不一致の 3 要因の交互作用を検出するのに十分な参加者数であることが確認された。本実験は京都大学心の先端研究ユニット、およびロンドン大学バークベック校心理学部の倫理審査によって承認を得た。書面にてインフォームドコンセントを取ったのちに参加者は実験に参加した。

<装置>

実験は MatLab (R2013a, MathWorks) の Psychophysics toolbox (Version 3) によって Tobii TX300 アイトラッカー (Tobii Technology, Sweden; 画面解像度: 1920 x 1080; リフレッシュレート: 60Hz) を制御し、注視データのサンプリングレートは 120 Hz であった。参加者はモニターから約 60cm の位置に座った。左右の眼球の位置の中央が注視箇所として計算された。注視は、直径 50 ピクセル内に対する最低 50ms 間の停留と定義した。眼球運動による注意の定位は、ターゲット刺激提示から最初の注視までの時間を反応時間として計測した。

<刺激>

手がかり刺激、情動プライミング刺激は実験 1 と同じものを使用した。視線随伴性課題では、視線の停留位置を検出するため、ターゲット刺激を実験 1 よりも大きい赤い丸 (120-pixel diameter, 2°) に変更し、画面中央から約 13° の左右どちらかに提示した。

<手続き>

手がかり刺激はターゲットが提示される場所と無関係であることが教示された。また、参加者はターゲットが提示されるまで、画面中央を注視するよう教示された。分析では、反応時間が 100ms 以下のデータを除外したため、参加者がターゲット提示前に視線を移動させていたデータは除外された。刺激の提示順は実験 1 と同様であった。視線計測開始前に、5 点キャリブレーションを行った。課題は

情動プライミングのない4試行の練習試行に続き、144試行行われた。

各課題では、画面中央に注視点が1.5秒間提示された後、30ms間情動プライミング刺激が提示された。情動プライミングの後、各条件での手がかりシーケンスが始まった。黒い水平線、閉眼、直視のいずれかの刺激が900ms提示された後、左右どちらかを向いた矢印、または視線手がかりが提示された（100, 300, 400ms間）。Kuhn et al. (2010)では、600msより短いSOAでは手がかり効果が強まることがアイトラッカーを用いた課題で報告されているため、SOAの範囲を実験1より狭めた。実験1では、いくつかの条件で手がかり効果を検出できなかったため、効果量を強めるためにSOAを変更した。ターゲットは手がかり刺激の提示が終了した直後すぐに提示された。参加者はターゲットが提示された場所に対して、できるだけ速く注視することが求められた。参加者がターゲットを100ms以上注視するまでターゲット刺激は提示された。参加者がターゲットと注視した後、ターゲット提示が終了し、注視点が画面中央に提示された。

<分析>

反応時間が参加者ごとの平均値から2.5SD離れている試行、また反応時間が100ms以下の試行は外れ値として除外した（全試行の4.3%）。

反応時間の分析には、各条件での参加者ごとの平均反応時間を用いた。データの歪度と尖度が-2から+2の範囲であれば正規分布に従っているとみなすことができる（George & Mallery, 2010）。本実験での反応時間は歪度（-0.01～1.59）、尖度（-1.13～2.03）ともにおおむね正規分布とみなすことができる範囲であった。

3.3.2 結果

図8に各条件での平均反応時間を図示した。分散分析の結果、情動プライミング、手がかり刺激、手がかりの一致の交互作用が有意であった（ $F(2, 58) = 3.817$,

$p = .034$, $\eta p^2 = .214$)。情動プライミングと手がかりの一致の交互作用も有意であった ($F(2, 58) = 4.697$, $p = .039$, $\eta p^2 = .139$)。

他の交互作用は有意でなかった (手がかり刺激×手がかりの一致: $F(2, 58) = 2.938$, $p = .069$, $\eta p^2 = .173$; 情動プライミング×手がかり刺激: $F(2, 58) = 0.166$, $p = .848$, $\eta p^2 = .012$)。また、手がかり一致の主効果 ($F(1, 29) = 23.795$, $p < .001$, $\eta p^2 = .477$; 一致条件 = 247.96 ms vs. 不一致条件 = 269.73 ms)、手がかり刺激の主効果 ($F(1, 29) = 4.248$, $p = .024$, $\eta p^2 = .233$; 直視条件 = 252.24 ms, 閉眼条件 = 259.69 ms, 矢印条件 = 264.59 ms) は有意であった。情動プライミングの主効果は確認されなかった ($F(1, 29) = 0.046$, $p = .831$, $\eta p^2 = .002$; 中立条件 = 259.11ms vs. 脅威条件 = 258.58ms)。3 要因の交互作用についてボンフェローニ補正による多重比較を行った。

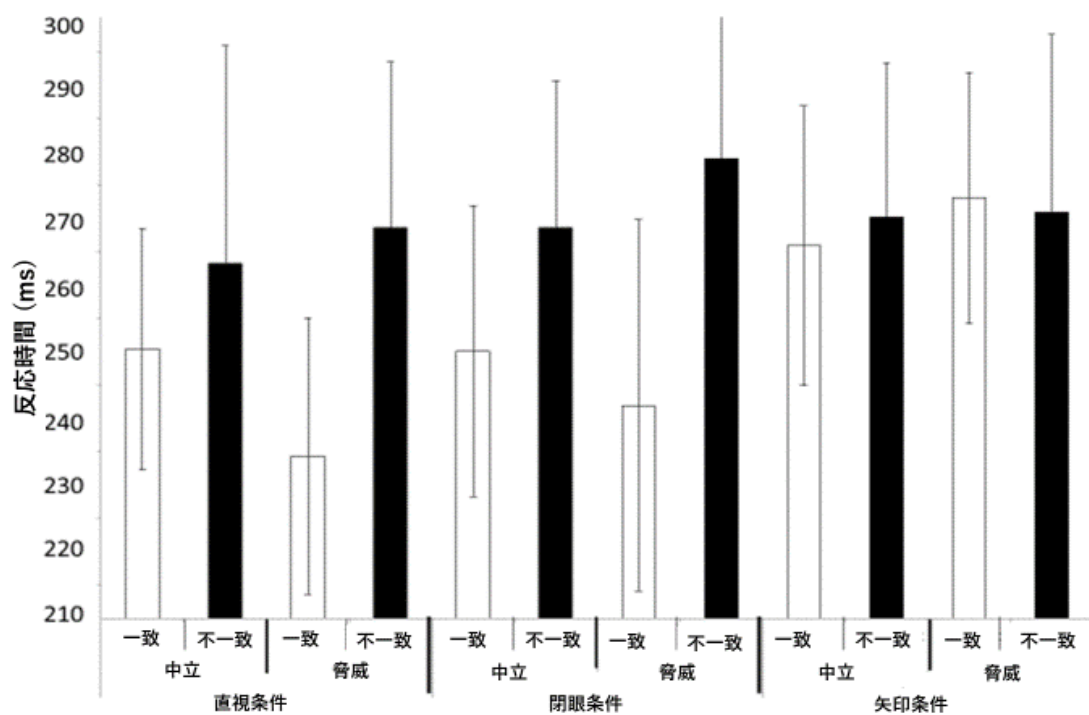


図 8. 条件ごとの平均反応時間 (ms)。エラーバーは SD。

初めに、情動プライミングがどのように反応時間に影響したかを検討するために、各情動プライミング条件の比較を行った。手がかり一致条件では、直視条件において脅威プライミング時には中立プライミング時と比べて反応時間が速くなっていた ($p = .032$, $\eta p^2 = .149$)。一方で、閉眼条件 ($p = .202$, $\eta p^2 = .055$) と矢印条件 ($p = .246$, $\eta p^2 = .046$) の手がかり一致条件では情動プライミングの効果がみられなかった。手がかり不一致条件では、閉眼条件において脅威プライミング時には中立プライミング時と比べて反応時間が遅くなっていた ($p = .037$, $\eta p^2 = .141$)。一方で、直視条件 ($p = .609$, $\eta p^2 = .009$) と矢印条件 ($p = .696$, $\eta p^2 = .005$) の手がかり不一致条件では情動プライミングの効果がみられなかった。脅威刺激による情動プライミングは、閉眼条件と直視条件での視線手がかり効果のみ増加させた。情動プライミングは矢印手がかり効果に影響しなかった。

次に、手がかり一致効果について各条件の比較を行った。脅威条件では、直視条件と閉眼条件で有意な手がかり効果がみられた (直視条件: $p < .001$, $\eta p^2 = .456$; 閉眼条件: $p < .001$, $\eta p^2 = .454$)。しかし、矢印条件での手がかり効果は有意でなかった ($p = .241$, $\eta p^2 = .046$)。中立条件では、閉眼条件 ($p = .004$, $\eta p^2 = .257$) と矢印条件 ($p = .013$, $\eta p^2 = .194$) で有意な手がかり効果が確認されたが、直視条件では有意傾向であった ($p = .0974$, $\eta p^2 = .092$)。

最後に、手がかり刺激間での反応時間について各条件の比較を行った。その結果、脅威条件のプライミング後には、直視条件一致条件で矢印条件の一致条件よりも反応時間が速いことがわかった ($p = .004$)。

3.3.3 考察

実験 2 では、視線計測による視線随伴性課題を用いて情動プライミングがターゲットに対する初期視線移動にどのように影響するのか検討した。実験 1 の結果

同様、情動プライミングは視線手がかり効果を増加させたが、矢印手がかり効果には影響がなかった。しかし、直視条件と閉眼条件では視線手がかり効果の強さに差はみられなかった。

実験 2 では、中立条件においても閉眼条件と矢印条件では有意な手がかり効果、直視条件では有意傾向の手がかり効果が確認された。中立条件において手がかり刺激によらず手がかり効果が確認されたため、情動プライミングは視線手がかり効果を増加させるが矢印手がかりには影響しないという実験 1 で示唆された結果が強く支持された。

3.4 総合考察

実験 1 と実験 2 を通じて、情動プライミングによって視線手がかり効果は増加するが、矢印手がかり効果には影響がなかった。この結果は、情動プライミングは選択的に社会的注意を促進することを支持する結果である。しかし、直視条件は他の条件と比べて手がかり効果が強くなるという仮説は支持されなかった。

手がかり効果の強さは潜在的注意課題と顕在的注意課題のどちらにおいても、矢印と視線の手がかり刺激で同等であることが報告されている (Tipples, 2002; Kuhn & Kingstone, 2009)。先行研究と同様に、本研究においても中立プライミングの後には矢印手がかりと視線手がかりの間で、手がかり効果に有意な差はみられなかった。手がかり効果の強さが矢印手がかりと視線手がかりで同等であることが ERP 研究からも示唆されている。例えば、手がかり効果はターゲット提示時の P1・N1 成分に反映されることが示唆されている (Eimer, 1997; Schuller & Rossion, 2001)。Hietanen et al. (Hietanen, Leppänen, Nummenmaa, & Astikainen, 2008) では、矢印手がかりと視線手がかりでの P1・N1 成分を比較したところ、矢印手がかりと視線手がかりで有意な差はみられず、注意の定位に対する手がかり効果が同等であることが示唆されている。また、fMRI を用いた

研究では、矢印手がかりと視線手がかりに対する自動的な注意定位に関する脳部位が共通していることが報告されている (Hietanen, Nummenmaa, Nyman, Parkkola, & Hämäläinen, 2006; Sato, Kochiyama, Uono, & Yoshikawa, 2009)。自動的な注意の定位には、注意を引く刺激の種類によらず STS が関与していることが示されている (Sato et al., 2009)。一般的に、矢印と視線による手がかり効果は同等であり、自動的な注意の定位に関する神経基盤も共通している。

しかし、本研究の情動プライミングの結果からは、視線手がかり効果の背景には矢印手がかりと異なるメカニズムが関連している可能性が考えられる。初めに、視線手がかりは中立表情であっても情動的刺激として処理されている可能性がある (Lee, Kang, Park, Kim, & An, 2008)。その結果、情動的処理を行う扁桃体の活動を高め、情動プライミングが与える視線手がかりへの影響を媒介している可能性がある (Adolphs, Tranel, & Damasio, 2001; Anderson & Phelps, 2001; Hamann, 2001)。一方で、矢印刺激は情動的刺激として処理されないため、情動プライミングの影響を受けないのかもしれない。

2 つ目に、情動プライミングの視線手がかりへの影響は、他者の視線が脅威の検出に重要なために引き起こされるものかもしれない (Mathews et al., 2003)。他者の目は生物的刺激なのに対して矢印は無生物刺激であるため、社会的関連の強さが異なる (Birmingham & Kingstone, 2009)。そのため、情動プライミングによる闘争か逃走反応が視線手がかりに対してのみ感受性を高めたことも考えられる。それに対し、矢印は生態学的に脅威検出の信号にはならないため情動プライミングは手がかり効果に影響しない可能性がある。

神経心理学研究からは、視線手がかりと矢印手がかりで異なる神経基盤が関連していることが示されている。例えば、分離脳患者の研究から視線手がかりに対する反射的注意シフトには半球差があり、表情認知が行われる左半球優位である

(Kingstone et al., 2000; Friesen & Kingstone, 2003)。一方で、矢印手がかりに対する反射的注意シフトには半球差がみられない (Ristic et al., 2002)。情動処理と視線処理は共通した神経基盤を持つ (Adolphs, 2002)。本研究での情動プライミングによる視線手がかり効果の増加には、このような共通した神経基盤が関連していると考えられる。

また、視線手がかり効果の中でも直視条件は閉眼条件よりも手がかり効果が強いと仮説を立てていたが、本研究において仮説は支持されなかった。直視刺激に続いて提示される視線手がかりは、閉眼に続いて提示される視線手がかりよりも視線手がかり効果が強いことはいくつかの研究で報告されている (Bristow, Rees, & Frith, 2007; Xu, Zhang, & Geng, 2018)。本研究の直視条件で閉眼条件よりも強い手がかり効果がみられなかった理由として、直視自体が画面中央の目への注意を引き付けたために、ターゲットが提示される画面の左右に対する注意の定位が弱まった可能性がある。Senju & Hasegawa (2005) では、閉眼と比べて直視刺激が画面の中央に提示された後に画面の端に提示されるターゲットに対する反応時間が遅延することを報告している。Conty et al. (2010) では直視画像が提示されることによって、顔以外の位置に対する認知処理が妨害されることを示している。直視刺激が顔への注意を引き付けることにより、顔以外の位置に対する処理の効率が低下した可能性がある。そのため、本研究では直視条件が閉眼条件と比べて強い手がかり効果を示すことがなかったのかもしれない。

本研究では情動プライミングは矢印手がかり効果に影響を与えなかった。この結果は、本研究での初めての試みであったプライミング直後での手がかり課題というパラダイム特有、もしくは本研究で用いた先行研究と比べて比較的顕著性が低い矢印刺激特有な可能性がある。情動プライミングが矢印手がかり効果に与える影響についての頑健性や一般化可能性については今後も検討される必要がある。

本研究では、情動プライミングの影響を参加者内計画で検討するために、条件ごとの試行数が他の手がかり効果の研究と比べて少なかった。参加者間計画による研究を行うことで、条件ごとの試行数を増やすことが可能になり、矢印手がかりと視線手がかりに対して情動プライミングが与える影響のメカニズムについて明らかにする一助となるだろう。

本研究結果からは、情動プライミングは視線手がかり効果にのみ影響し、覚醒度上昇による一般的な注意増加ではなく社会情動的処理特有なメカニズムが関与している可能性が示唆された。視線手がかりと矢印手がかりの手がかり効果の違いは、生物・無生物刺激に対する注意定位の神経基盤の違いによるかもしれない。今後の研究では社会的注意と情動処理の神経基盤の共通部位に関して神経科学的アプローチによって検討していくことが求められる。

また本研究から、情動的処理は他者の視線方向に対する注意シフトを促進することが示された。本研究で用いた情動的プライミングは、閾下提示によっても扁桃体の活動を高め、生理的覚醒度を上昇させることが報告されているため、本課題中においても脅威条件では参加者の生理的覚醒度は上昇していたと考えられる。そのため、情動的刺激によって生理的覚醒度が上昇した場面では、乳児においても視線追従が促進することが想定される。視線追従場面における乳児の生理的覚醒度の上昇には、情動的処理が関与している可能性がある。

第 4 章 報酬予測的人物に対する視線追従と乳児の心拍の関連

4.1 背景

第 3 章から、他者の視線方向に対する注意シフトには、情動的処理が関与していることが示唆された。乳児の視線追従行動は、生理的覚醒度によって予測されることが示されている (Ishikawa & Itakura, 2019)。とくにアイコンタクトが生じることで、乳児の心拍は増加し、視線追従行動が促進された。乳児の生理的覚醒度が上昇する要因には、情動的処理のほかに報酬予測が関与していることが考えられる。アイコンタクトは乳児の社会的学習に対する構えを生じさせ (Bloom, 1974)、他者の視線の先の対象物を見つけることを期待する (Csibra & Volein, 2008)。また、報酬予測的な刺激は乳児の生理的覚醒度を高めることが報告されている (Tummeltshammer, Feldman, & Amso, 2019)。乳児の視線追従場面における生理的覚醒度の上昇は、視線追従を行うことによる報酬を期待していることによる可能性もある。Heyes (2017) では、他者の信頼性は他者が提供する情報が報酬予測的であるかが学習されることによって形成されると示唆している。そこで、研究 3 では、人物に情報提供者としての信頼性を学習させた後の視線追従場面における乳児の心拍について検討することにより、視線追従場面における生理的覚醒度の上昇が報酬予測と関連しているかについて調べた。

情報提供者の信頼性は、乳児が選択的に社会的学習を行うにおいて重要な要因の 1 つである (Heyes, 2017)。8 カ月児は他者の信頼性についての情報を保持し、後の行動調整にその情報を用いることができると報告されている (Tummeltshammer, Wu, Sobel, & Kirkham, 2014)。他者の信頼性に応じて、乳児は模倣や視線追従行動などの社会的行動を調整する (Poulin-Dubois, Brooker, & Polonia, 2011; Zmyj, Buttelman, Carpenter, & Daum, 2010; Chow,

Poulin-Dubois, & Lewis, 2008)。これらの先行研究では、乳児にまずおもちゃが入っている箱（信頼性条件）、または何も入っていない箱（非信頼条件）に対して視線を向ける人物について観察させ、情報提供者としての信頼性を操作した。この観察経験から乳児は他者の信頼性を評価し、模倣や視線追従といった社会的従事を調整した。

情報提供者としての信頼性が高い人物は、乳児にとって報酬的であると考えられる。Ishikawa, Yoshimura, Sato, & Itakura (2019) では、画面左右どちらかに提示される物体の位置に対して予測的な視線を向ける人物への選好が、提示される物体の反対方向に視線を向ける人物と比べて高いことが示されている。このような情報提供者としての信頼性が高い人物への選好は、報酬的経験とされている共同注意が生じる人物であるかを乳児が学習したためであることが示唆された。信頼性の高い人物との社会的インタラクション場面では、乳児は社会的インタラクションを通じて得られる報酬を期待している可能性がある。また、視線追従行動を促進するアイコンタクトについても、報酬予測を引き起こしやすいことが示唆されている。Vernetti, Smith, & Senju (2017) では、社会的従事条件（笑顔で直視）、手がかりなし条件（中立表情で下を向いている）、非社会的刺激条件（矢印）の刺激を手がかりとして連合学習課題を行い、乳児の学習過程について検討した。その結果、社会的従事条件では他の条件と比べて連合学習が速く成立した。この結果から、アイコンタクトなどの社会的従事を示す手がかりは、その後に生じる報酬的事象に対しての乳児の予測に影響していることが考えられる。

本研究では、視線追従場面において乳児の視線追従行動と心拍が視線先導者の情報提供者としての信頼性（視線方向が報酬予測的かどうか）によってどのように影響を受けるのか検討した。また、他者の信頼性による心拍の変動が後の視線追従行動を予測するのか検討した。視線先導者の情報提供者としての信頼性を操

作するために、視線追従課題の前に女性が物体に対して視線を向ける場面、または物体と反対方向に視線を向ける場面を乳児に観察させた。その後の視線追従課題では、信頼性が学習された人物が提示され、研究 1 同様にアイコンタクトの有無が操作された場面で乳児の視線追従行動が計測された。乳児はアイコンタクトが提示された場面と同様に、信頼性が高い人物が視線先導者であったときに視線追従行動の促進と心拍の増加がみられると予測した。また、視線追従行動直前の心拍が後の視線追従行動を予測し、アイコンタクトや視線先導者の信頼性といった視線追従場面における社会的文脈情報は心拍に反映される生理的覚醒度によって媒介されると予測した。

4.2 方法

<実験参加者>

生後 6 から 9 カ月児 41 名が課題を最後まで遂行した。21 名（女児 11 名）が信頼群、20 名（女児 8 名）が非信頼群であった。先行研究では、生後 6 カ月児が実験場面で視線追従行動をみせ（Senju & Csibra, 2008; Gredebäck, Fikke, & Melinder, 2010）、生後 6 カ月児と 9 カ月児の間に視線追従頻度の差はみられないことが示されている（Gredebäck, Theuring, Hauf, & Kenward, 2008）。サンプルサイズは視線先導者の信頼性を操作して乳幼児の視線追従行動を検討した先行研究を参考に決定した（Chow, Poulin-Dubois, & Lewis, 2008）。平均日齢は 237 日（範囲: 180–295 日）であった。4 名の参加者は課題の中断のため分析から除外された。

<装置>

Tobii Spectrum アイトラッカー（Tobii pro Lab 1.118, Tobii Technology, Stockholm, Sweden）が刺激の提示と視線計測に用いられた。サンプリングレートは 120Hz であった。参加児はモニターから約 60cm 離れた保護者の膝の上に座

った。視線計測を開始する前に、9点キャリブレーションが行われた。

心拍計測には、BIOPAC MP160 (Biopac System, CA, USA) と BioNomadix (BIOPAC Systems, CA, USA) が用いられた。サンプリングレートは 1000Hz であった。心拍計測用の電極は、電気抵抗を下げるためにアルコールで肌をふいた後、3 極装着された。

< 刺激と手続き >

参加児は 2 ブロックの課題を行った (図 9)。1 ブロックは、信頼性操作のための視線手がかり場面の観察と視線追従課題から構成されていた。合計で視線手がかり場面 8 試行の観察と視線追従課題 12 試行を行った。課題は全体で約 7 分間であった。

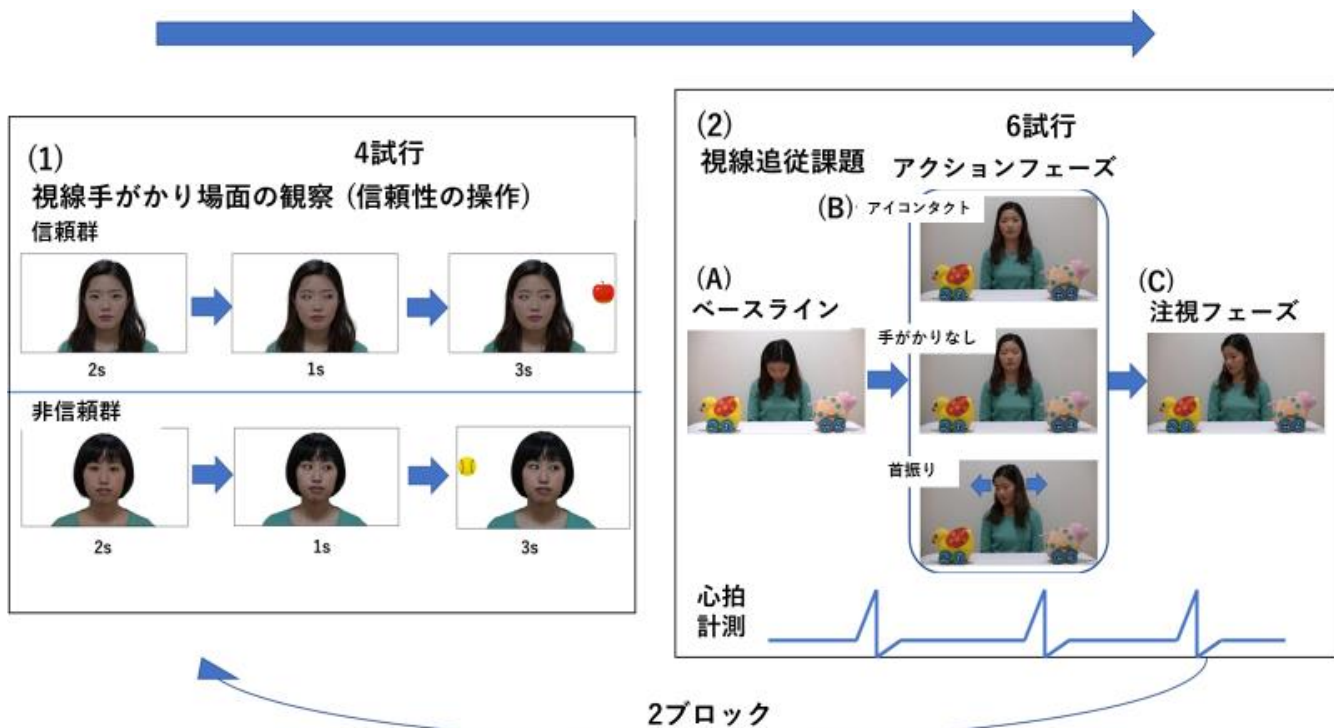


図 9. 実験に用いた刺激例。(1) 視線手がかり場面の観察: 信頼群では左右に提示される物体と同じ方向に視線を向ける一方で、非信頼群では提示される物体と反対方向に視線を向けた。(2) 視線追従課題 (第 2 章図 2 参照)

視線手がかり場面の観察

視線手がかり場面には、Ishikawa, Yoshimura, Sato, & Itakura (2019) の刺激と手続きを修正し用いた。顔刺激は直視、右に視線を向けた顔、左に視線を向けた顔の3種類であった。視線のターゲットとなる物体は画面中央から約 15° の位置に提示された。人物顔は4名の女性が用いられ、ターゲット物体には6種類のイラストが用いられた。

参加児は各ブロックで4試行の視線手がかり場面を観察した。各試行は、まず直視の女性顔が画面中央に2秒間提示され、それに続き左右どちらかに視線を向けた顔が1秒間提示された。最後に、人物顔が視線を向けている方向（信頼群）、または視線方向と反対の方向（非信頼群）に物体が1つ3秒間提示された。視線が向けられる方向はABBAの順でカウンターバランスがとられた。1ブロックでは、4試行の視線手がかり場面の観察の後、視線追従課題が続けて開始された。

視線追従課題

視線追従課題にはIshikawa & Itakura (2019) 同様の手続きを用いた（第2章参照）。視線追従課題では、視線手がかり場面の観察時に提示された人物と同じ人物が視線先導者として提示された。参加児は1ブロックで6試行の視線追従課題を行った。

<分析>

注視行動は、画面上の直径50ピクセル内に対して200ms以上視線を向けた視線データを注視として定義した。課題全体の68.73% (SD = 12.95, 範囲: 45-96) の視線データが取得できた。

視線データ

乳児の視線追従行動は、注視フェーズにおける物体に対する最初の視線移動によって計測された。乳児が画面上の人物と同じ物体に対して視線を向けた場合に

は、視線追従を行ったとコーディングされた。各条件最低 3 試行乳児がどちらかの物体に視線を向けていない場合には分析から除外された。各条件での試行数に対する視線追従割合が参加児ごとに算出された。先行研究同様、視線追従割合の分析には、先行研究 (Ishikawa & Itakura, 2019) 同様にパラメトリック検定を行った。

また、画面上の女性の顔に対する注視時間も各フェーズで算出された。

心拍データ

体動により心拍データが計測できていなかった試行が除外された。その後、心拍データの R-R 間隔から心拍を算出した。心拍データをフェーズごとに分割し、各フェーズでの 1 分間あたりでの平均心拍数を算出した。全体で 11 試行の心拍データが分析から除外された。また、ベースラインからアクションフェーズへの平均心拍数の変動を各試行で産出し、分析に用いた。

データの歪度と尖度が -2 から +2 の範囲であれば正規分布に従っているとみなすことができるとされている (George & Mallery, 2010)。本実験での心拍データは歪度 (-0.56 ~ 3.69)、尖度 (-0.41 ~ 0.72) とともに正規分布とみなすことができる範囲であった。

4.3 結果

視線追従

視線追従行動の分析には、視線先導者の信頼性 (信頼群、非信頼群) と手がかり条件 (アイコンタクト条件、手がかりなし条件、首振り条件) を要因として、各条件での視線追従割合について 2x3 の分散分析を行った (図 10)。その結果、手がかり条件の主効果が有意であった ($F(2, 38) = 6.116, p = .003, \eta p^2 = .136$)。ボンフェローニ補正による多重比較では、アイコンタクト条件では手がかりなし条件、首振り条件と比べて視線追従割合が有意に高かった (アイコンタクト条件

vs. 手がかりなし条件: $p = .015$; アイコンタクト条件 vs. 首振り条件: $p = .014$ 。
 また、信頼性の主効果が有意で ($F(2, 38) = 5.76, p = .021, \eta p^2 = .129$)、信頼群では非信頼群よりも視線追従割合が高かった。手がかり条件と信頼性の交互作用はみられなかった ($F(2, 78) = 1.132, p = .328, \eta p^2 = .028$)。

さらに、各条件での視線追従割合についてチャンスレベル (50%) との比較を行った。信頼群では、どの手がかり条件においてもチャンスレベルより高い割合で視線追従行動がみられた (アイコンタクト条件: $M = 67.43\%$, $t(20) = 3.313, p = .004, d = 0.74$.; 手がかりなし条件: $M = 59.86\%$, $t(20) = 2.225, p = .038, d = 0.49$; 首振り条件: $M = 61.1\%$, $t(20) = 2.564, p = .019, d = 0.57$)。一方で、非信頼群では、アイコンタクト条件でのみチャンスレベルより有意に高い視線追従割合がみられた (アイコンタクト条件: $M = 64.55\%$, $t(19) = 2.966, p = .008, d = 0.66$; 手がかりなし条件: $M = 47.5\%$, $t(19) = -.623, p = .541, d = -.139$; 首振り条件: $M = 47.05\%$, $t(19) = -.689, p = .499, d = -.154$)。

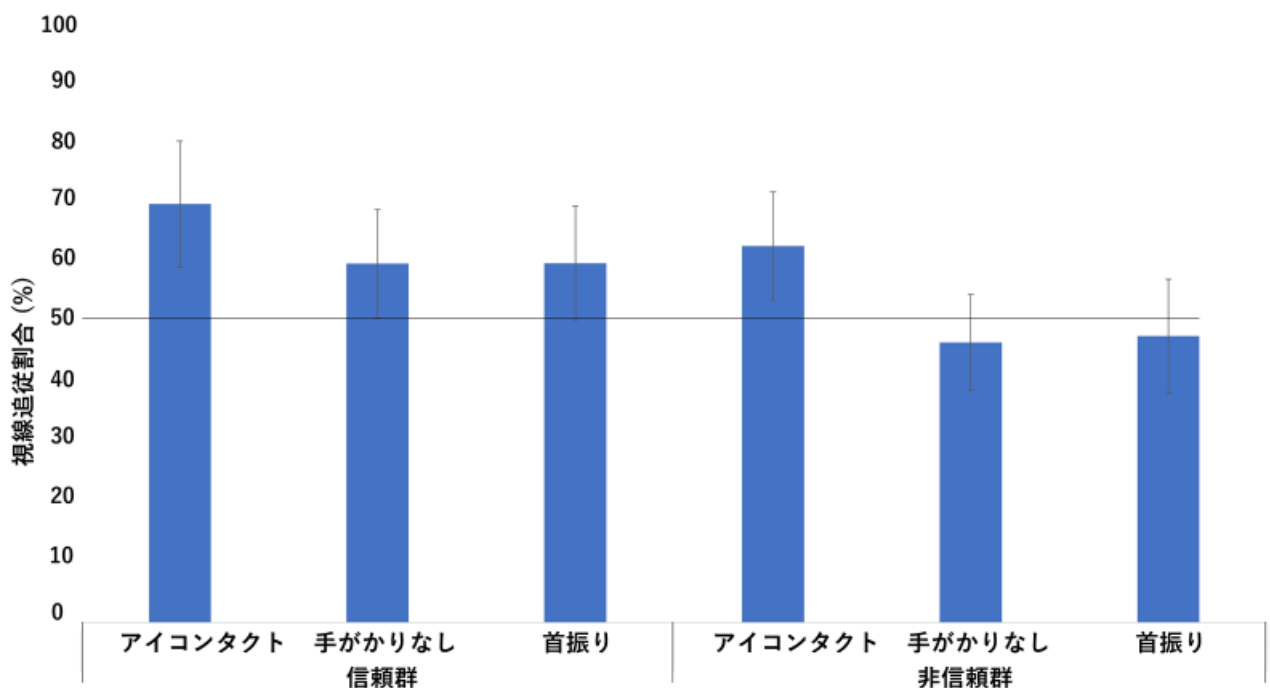


図 10. 各条件での視線追従割合。エラーバーは SD。

心拍

心拍の分析には、視線先導者の信頼性（信頼群、非信頼群）、手がかり条件（アイコンタクト条件、手がかりなし条件、首振り条件）、映像フェーズ（ベースライン、アクションフェーズ、注視フェーズ）を要因として、各条件での平均心拍について $2 \times 3 \times 3$ の分散分析を行った（図 11）。

その結果、手がかり条件と映像フェーズの交互作用が有意であった ($F(4, 156) = 4.535, p = .002, \eta p^2 = .104$)。ボンフェローニ補正による多重比較では、アイコンタクト条件ではベースライン ($M = 132.11$ bpm) からアクションフェーズにかけて心拍が上昇し ($M = 132.89$ bpm, $p < .001$)、アクションフェーズから注視フェーズにかけて心拍が減少していた ($M = 132.42$ bpm, $p = .001$)。首振り条件では、アクションフェーズ ($M = 132.37$ bpm) から注視フェーズにかけて心拍が減少していた ($M = 132.09$ bpm, $p = .006$)。アクションフェーズでは、アイコンタクト条件は手がかりなし条件、国振り条件よりも心拍が高かった（アイコンタクト条件 vs. 手がかりなし条件: $p = .032$; アイコンタクト条件 vs. 首振り条件: $p = .039$)。

また、信頼性と映像フェーズの交互作用が有意であった ($F(2, 78) = 4.918, p = .01, \eta p^2 = .112$)。信頼群では、ベースライン ($M = 132.01$ bpm) からアクションフェーズにかけて心拍が上昇し ($M = 132.68$ bpm, $p < .001$)、アクションフェーズから注視フェーズにかけて心拍が減少していた ($M = 132.16$ bpm, $p < .001$)。手がかり条件、信頼性、映像フェーズの交互作用はみられなかった ($F(4, 156) = 0.062, p = .993, \eta p^2 = .002$)

。

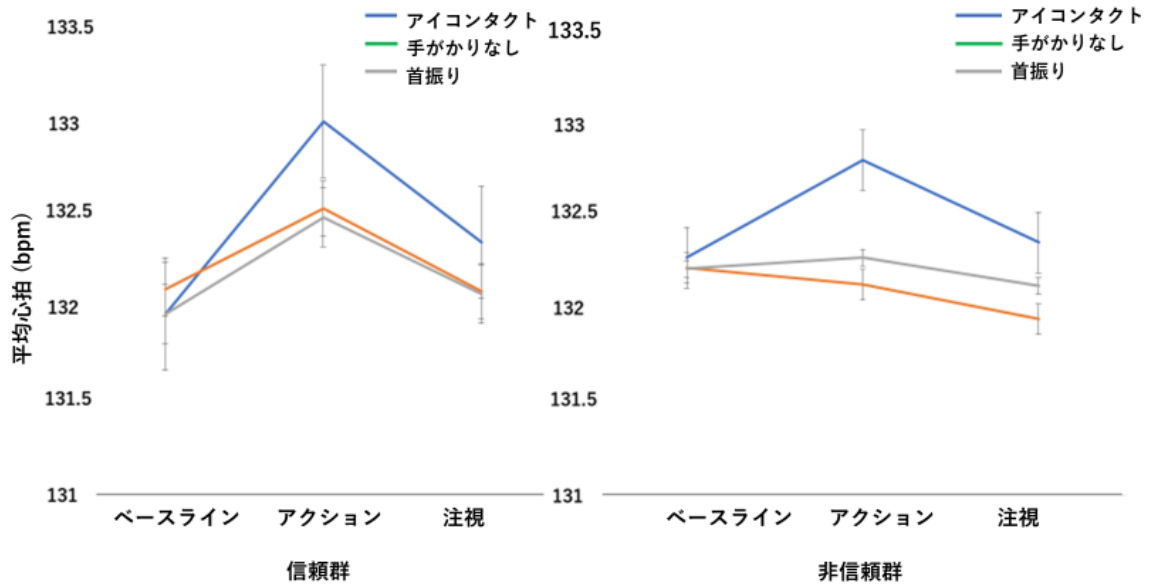


図 11. 各条件でのフェーズごとの 1 分あたりの平均心拍数 (bpm)。エラーバーは SD。

心拍の上昇率による視線追従行動の予測

GLM によるロジスティック回帰分析を用いて、視線追従行動がベースラインからアクションフェーズへの心拍の上昇率によって予測されるかを検討した。その結果、心拍の上昇率は後の視線追従行動を予測し、心拍が上昇しているほど視線追従行動の生起割合が高かった (estimate \pm SE = 76.45 \pm 11.69, $Z = 6.54$, $p < .001$)。信頼性や手がかり条件によって、回帰直線の傾きに差はみられなかった。

心拍の上昇率は文脈による視線追従の促進効果を媒介するか

手がかり条件と信頼性はそれぞれ視線追従行動を予測した (手がかり条件: estimate \pm SE = 0.2279 \pm 0.5132, $Z = -2.252$, $p = .0243$; 信頼性: estimate \pm SE = 0.1845 \pm 0.4884, $Z = -2.142$, $p = .0214$)。また、手がかり条件と信頼性はそれぞれ心拍の上昇率を予測した (手がかり条件: estimate \pm SE = 0.0011 \pm 0.0049, $Z = -4.699$, $p < .001$; 信頼性: estimate \pm SE = 0.00085 \pm 0.0039, $Z = -4.6$, $p < .001$)。

<.001)。手がかり条件と信頼性それぞれが心拍の上昇率を媒介して視線追従行動を予測するモデルでは、手がかり条件と信頼性から視線追従行動への直接効果はみられなくなった（手がかり条件: estimate ± SE = 0.2437 ± 0.1908, $Z = -0.783$, $p = .434$; 信頼性: estimate ± SE = 0.1965 ± 0.1864, $Z = -0.949$, $p = .343$ ）。このことから、心拍の上昇率は手がかり条件と信頼性から視線追従行動への予測を媒介しているといえる。Model B (619.47) は model A (667.76) と比べて AIC が低かった (図 12)。

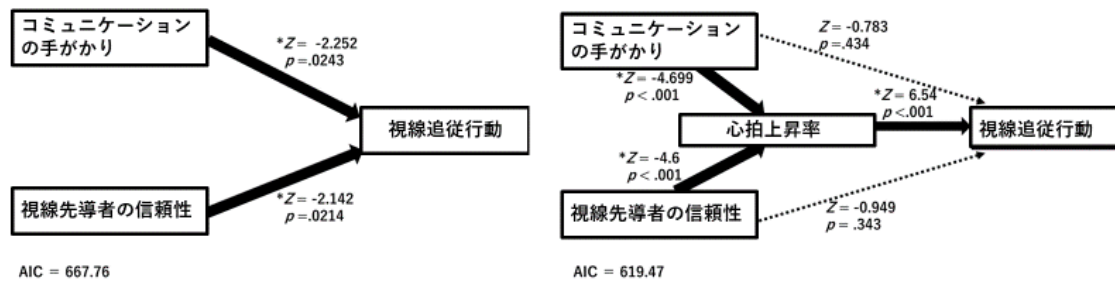


図 12. 視線追従行動を予測する重回帰モデル (左) と心拍上昇率による媒介モデル (右)。

顔への注視時間

視線手がかり場面の観察時には、信頼群 ($M = 1.23s$) と非信頼群 ($M = 1.20s$) で顔への注視時間に差はみられなかった。視線先導者の信頼性の学習時には、乳児は同程度顔を注視していた。

また、視線追従課題での人物顔に対する注視時間について映像フェーズごとに条件間の比較を行った。条件間の注視時間の差はどの映像フェーズにおいてもみられなかった。

試行の繰り返しによる学習効果

乳児は2ブロックの課題を行ったため、課題前半と後半で学習効果が生じた可能性があった。そこで、各条件の視線追従割合について前半と後半で比較を行った。課題の前半と後半で有意な視線追従割合の変化はみられなかったため、試行の繰り返しによる学習の効果は確認されなかった ($\chi^2(5) = 4.645, p = .461$)。

4.4 考察

本研究では、乳幼児の社会的学習を促進する要因である人物の信頼性とアイコンタクトの有無といった社会的文脈によって、視線追従場面での乳児の心拍がどのように影響を受けるかを検討した。その結果、視線先導者の信頼性が高いとき、またはアイコンタクトが提示されたときには乳児の視線追従頻度が高いことが示された。また、信頼性の高い人物やアイコンタクトの提示は心拍を増加させた。媒介分析では、ベースラインからの心拍の上昇率は、視線先導者の信頼性やアイコンタクトの有無といった社会的文脈による視線追従の促進効果を媒介していた。これらの結果は、乳児の視線追従行動が促進される場面において、社会的文脈による行動調整が心拍の変動によって説明されることを示唆している。

視線追従頻度の結果から、アイコンタクトは情報提供者の信頼性に関わらず視線追従行動を促進することが示された。先行研究でのアイコンタクトによる視線追従の促進効果が再現された (Senju & Csibra, 2008; Ishikawa & Itakura, 2019)。また、視線先導者の信頼性が高い場合に視線追従頻度が高まることも再現された (Chow et al., 2008)。チャンスレベルとの比較からは、信頼性が高い視線先導者の場合、アイコンタクトの有無に関わらずチャンスレベルより高い割合で視線追従行動が確認された。この結果から、情報提供者の信頼性が高い場合には ostensive cue が提示されていなかったとしても乳児の社会的従事は促進されることが考えられる。乳児は学習場面において提供される情報の質の手がかりと

なる他者の属性 (e.g., 熟達度、信頼性) に感受性が高いことが示唆されている (see review, Poulin-Dubois & Brosseau-Liard, 2016)。そのため、本研究で視線先導者の信頼性が高い場合には ostensive cue がなくても視線追従行動をみせたのかもしれない。

心拍計測からは、アイコンタクト時、または信頼性の高い人物顔が提示されたときに乳児の心拍が上昇することが示された。アイコンタクトは中枢神経系の覚醒度制御に関連する部位の活動を高めるため、心拍が上昇したと考えられる (Hood, Macrae, Cole-Davies, & Dias, 2003)。また、信頼性の高い人物顔提示による心拍の上昇は、人物顔に対する評価に関連している可能性がある。成人研究では、顔の魅力度が高い人物や選好される顔が提示されたときに、心拍や皮膚電気反応で計測される生理的覚醒度が高まることが報告されている (Vico, Guerra, Robles, Vila, & Anllo-Vento, 2010; Morris, Cleary, & Still, 2008)。Ishikawa et al. (2019) では、物体に対して視線を向ける人物顔が物体の反対方向に視線を向ける人物顔と比べて乳児に選好されることがしめされている。本研究での信頼性の高い人物顔提示による心拍の上昇は、乳児の顔選好が影響していた可能性がある。

本研究での媒介分析からは、社会的文脈による視線追従行動の促進効果は心拍の上昇に媒介されることが示唆された。乳児は社会的インタラクションへ従事する直前には、生理的覚醒度を調整している可能性が考えられる。視線追従に関する先行研究で検討されているような、乳児の注意を引く行動 (Szufnarowska, Rohlfing, Fawcett, & Gredebäck, 2014)、インタラクションを行う人物 (Gredebäck, Fikke, & Melinder, 2010)、乳児に対する随伴性 (Deligianni, Senju, Gergely, & Csibra, 2011)、そして視線追従課題前の社会的インタラクション経験 (Meltzoff, Brooks, Shon, & Rao, 2010) といった文脈は、乳児の生理的状态に影

響していることが考えられる。AJMA では、ヒトを含む動物は生理的覚醒度が高い場面では外界の刺激に対して感受性・反応性が高まることが提唱されている (Aston-Jones, Chiang, & Alexinsky, 1991; Aston-Jones, Rajkowski, & Cohen, 1999)。乳幼児研究においても AJMA を支持する結果が得られている (de Barbaro, Chiba, & Deák, 2011; de Barbaro, Clackson, & Wass, 2017; Wass, Clackson, & de Barbaro, 2016)。乳幼児が社会的インタラクションに従事するためには、社会的パートナーに対して注意を向けることが必要である。そのため、生理的覚醒度の調整は社会的従事の発現と関連していることが考えられる。

視線追従行動前での生理的覚醒度の上昇には、経験ベースの報酬予測が関連しているのかもしれない。6カ月児は学習場面においてトップダウンの知識や経験からの予測を行っていることが報告されている (Emberson, Richards, & Aslin, 2015)。視線追従場面においても、乳児は経験ベースの情報を用いて社会的従事を行うか決定している可能性がある。例えば、視線コミュニケーションの経験が少ないと考えられる盲人の親をもつ乳児は、視線追従場面において追従した先の物体に対する注視時間が短い (Senju et al., 2015)。乳児の社会的従事は、発達の中での社会的経験によって影響を受けることが考えられる。成人研究では、後の報酬への期待が生理的覚醒度を高めることが示されている (Delgado, Gillis, & Phelps, 2008; Watanabe, Bhanji, Ohira, & Delgado, 2018)。また乳幼児研究では、手がかりと報酬についての連合学習を行った乳児は、手がかり提示時に生理的覚醒度が高まることも報告されている (Tummeltshammer, Feldman, & Amso, 2019)。社会的従事場面においても、乳児は知識や経験から社会的従事を行うことで得られる社会的報酬を期待し、報酬期待によって生理的覚醒度が上昇する可能性が考えられる。本研究でのアイコンタクトや情報提供者としての信頼性の高

い人物顔は、社会的報酬期待の手がかりとなっていたのかもしれない。乳幼児における社会的報酬期待と生理的覚醒度については今後さらなる検討が必要である。

第5章 乳幼児の視線追従の発達：計算論的アプローチ

5.1 背景

第4章では、社会的文脈が乳児の視線追従行動に影響を与える背景には、生理的覚醒度の調整が重要であることが示唆された。乳児の視線追従行動を誘発する文脈については先行研究においても検討されてきている。例えば、Natural Pedagogy 仮説の論拠であるようなコミュニケーションの手がかりによって視線追従行動が誘発されることや (Senju & Csibra, 2008; Hernik & Broesch, 2018)、乳児の注意を引き付けるような行動によって視線追従行動が誘発されること示されている (Szufnarowska, Rohlfing, Fawcett & Gredebäck, 2014)。また、このような文脈による視線追従行動への影響が確認されず、文脈に関わらず乳児は他者が視線を物体に向けている場面では視線追従行動を行うことも示唆されている (Gredebäck, Astor, & Fawcett, 2018)。

コミュニケーションの手がかり

Senju & Csibra (2008) では、アイコンタクトや IDS といったコミュニケーションの手がかりが提示された場合にのみ 6 か月児は視線追従を行うことを示した。この研究では、アニメーションによって画面への注意を引きつけた場合には、乳児は視線追従を行わなかった。この結果をもとに、Csibra (2010) は、発達初期の乳児はコミュニケーションの手がかりが提示された場合という限られた文脈でのみ視線追従をすることが示唆された。近年の研究では、バヌアツの 5 から 7 か月児も IDS が提示された場合には視線追従する一方で、対成人発話 (ADS) 提示時には視線追従がみられないことを報告し、異なる文化圏においても同様な文脈で視線追従行動がみられることが示唆された。

しかし、乳児の視線追従行動はコミュニケーションの手がかりが提示された場

面以外にもみられることを報告している研究もある。例えば、Szufnarowska et al. (2014) では、6カ月児がコミュニケーションの手がかりとはならないが注意が引かれるような行動が提示された場合にも視線追従を行うことを報告している。注意を引く行動として、目を閉じたまま首を横または縦に振るといった行動を用いた。この研究では、画面に提示される人物の顔に対する注視時間を乳児の注意の指標として用いた。その結果、注意を引く行動は目を閉じたまま静止する手がかりなし条件と比べて乳児の注視時間が長く、視線追従も高いことが示された。結果から、乳児は注意が他者に向けられていた場合に視線追従を行うことが示唆された。さらに、近年では、コミュニケーションの手がかりがある条件（アイコンタクト）、首を横に振る条件、目を閉じたまま静止する手がかりなし条件で6カ月児が同程度視線追従を行うことも報告されている (Gredebäck et al., 2018)。この結果は、乳児はコミュニケーションの手がかりが提示される場合以外にも視線追従行動を行うことを示唆する。以上の研究から、乳児の視線追従行動はコミュニケーションの手がかりの有無だけで説明されるものではないことが考えられる。

乳児の視覚的注意

視線追従行動には乳児の視覚的注意が向いていることが重要であることが示唆されている (Szufnarowska et al., 2014)。しかし、Senju & Csibra (2008) においては、アニメーションによって視線先導者への注意を引きつけたが、視線追従行動は確認されなかった (see also Hernik & Broesch, 2018)。さらに、先に述べたように、Gredebäck et al. (2018) においても、注意を引きつける行動による視線追従頻度の影響はみられなかった。以上の結果から、視線追従行動のメカニズムは視覚的注意によっても完全には説明されないと考えられる。

多くの実証研究において乳児の視線追従行動が誘発される文脈について検討されてきたが、結果は一貫していない。例えば、視線先導者の顔に対する注視時間

は研究間で大きく異なる。Szufnarowska et al. (2014) では、アイコンタクトが手がかりなし条件と比べて乳児の視覚的注意を引き付けることが示された。一方で、Gredebäck et al. (2018) では、首振り条件ではアイコンタクト条件と手がかりなし条件よりも視覚的注意を引き付けることが示されている。視覚的注意が視線追従行動のメカニズムに重要であることが示唆されているが、視線先導者の顔への注視時間と視線追従頻度の関連は一貫していない (Gredebäck et al., 2018; Ishikawa & Itakura, 2019)。乳児の課題への従事の計測には、注視時間に反映される視覚的注意では十分でない可能性がある。

文脈手がかりによる乳児の内部状態の調整

Ishikawa & Itakura (2019) では、乳児の課題従事中の内部状態の指標に心拍計測を用いて、乳児の視線追従行動は生理的覚醒度によって予測される一方で、視線先導者の顔への注視時間は視線追従行動を予測しないことを示した。また、研究 3 では、社会的文脈が乳児の視線追従行動に与える影響は生理的覚醒度によって媒介されることが示された。生理的覚醒度は注意状態と関連していることが提唱されてきた (Aston-Jones, Chiang, & Alexinsky, 1991; Aston-Jones, Rajkowski, & Cohen, 1999)。また、生理的覚醒度は情動状態や報酬予測とも関連していることが実証研究により示されている (Critchley, Rotshtein, Nagai, O'Doherty, Mathias, & Dolan, 2005; Tummeltshammer, Feldman, & Amso, 2019)。ここでは、注意状態・情動状態・報酬への期待といった内的処理によって変動する、神経生理的計測によって測られる乳児の身体状態を包括して内的状態とよぶ。視線追従場面における文脈情報 (e.g., アイコンタクト、注意を引く行動) は、乳児の内的状態に作用することで視線追従行動を誘発している可能性が考えられる。

計算論的アプローチの重要性

視線追従行動の発現メカニズムについては主に行動実験によって検討されてきた。しかし、実証研究の結果は一貫せず、視線追従行動のメカニズムはいまだ明らかではない。行動実験では、視線追従行動と関連しているとされている要因をすべて含めることや、多くの試行数を行うことが困難であるため、包括的な検討を行うことは難しい。そこで、本研究ではコミュニケーションの手がかりや乳児の内的状態といった要因を考慮した計算論的アプローチによって視線追従行動の発現について検討した。

計算論的アプローチは実際の乳幼児を対象に実験を行うことが困難な事象についても検討が可能であり、ヒトの発達についての理論構築に有用である (Triesch, Tesucher & Deák, 2006)。Triesch, Jasso, & Deák (2007) は計算論的アプローチによって視線追従行動の発達について検討した。乳児は発達初期から報酬学習を行い (Floccia, Christophe, & Bertoincini, 1997)、報酬学習は主要な学習メカニズムであることから (Sutton, 1988)、Triesch et al (2007) では強化学習を用いて母子相互作用を通して乳児の視線追従がどのように発達するのかを検討した。しかし、この研究ではコミュニケーションの手がかりについてはシミュレーションに含まれていなかった。

コミュニケーションの手がかりは社会的場面における乳児の学習を促進する (Csibra & Gergely, 2009)。また、他者と同じ物体に視線を向けるのは乳児にとって報酬的であることが示唆されている (Moore & Corkum, 1994; Mundy, 1995)。そのため、コミュニケーションの手がかりは視線追従場面における強化学習に影響すると考えられる。先行研究でのモデリングでは、コミュニケーションの手がかりや乳児の内的状態は含まれていないため、実証研究で一貫しない結果についての解釈を説明することはできない (Triesch, Tesucher, & Deák, 2006;

Triesch, Jasso, & Deák, 2007)。実験場面で検討されてきた要因を含めた計算論モデリングによって、視線追従メカニズムについて新たな知見が得られる。

本研究の目的

本研究では、乳児の視線追従行動の学習過程についてのモデルをシミュレーションによって作成し、実証研究の結果と照らし合わせることで、乳児の視線追従行動のメカニズムについて理論化することを目的とした。強化学習はヒトの学習の基礎であり、神経発達のにも妥当であることが示されている (Dayan, Abbott, & Abbott, 2001; Holroyd & Coles, 2002)。そこで、本研究においてはコミュニケーションの手がかりと乳児の内的状態が視線追従の学習過程にどのように影響するのかを、強化学習を用いたシミュレーションによって検討した。シミュレーションに基づく計算論モデルでは、モデルの妥当性を統計的に検討することはできないが、パラメータ操作によって実験場面よりも多くの要因の影響による挙動を観察し、理論化するのに役立つとされている (Triesch et al., 2006)。視線追従行動の発達過程について理論化を行うために、本研究では①コミュニケーション手がかりモデル、②コミュニケーションの手がかりと内的状態の独立モデル、③コミュニケーションの手がかりによる内的状態の調整モデル、の3つについてシミュレーションを行い比較した。

5.2 方法

シミュレーション環境設定とパラメータ

先行研究での視線追従行動のモデリングでは、乳児と視線先導者が複数の物体がランダムな位置に散らばっている場面でのインタラクションを行う場面での設定であった (Triesch, Tesucher, & Deák, 2006; Triesch, Jasso, & Deák, 2007)。また、視線先導者の視線方向は必ずしも頭部方向と一致しないように設定されていて、より複雑な環境での視線追従行動についてシミュレーションを行っていた。

先行研究でのモデリングでは、より一般化されたインタラクションでの視線追従行動のモデル作成を目的としていたため、物体の顕著性や乳児の視野などのパラメータをシミュレーションに含んでいた。本研究の目的は、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に影響を与えるかについて検討するために、シミュレーション環境を行動実験で用いられてきた環境に単純化した (Hernik & Broesch, 2018; Senju & Csibra, 2008; Szufnarowska et al., 2014; Gredebäck et al., 2018; Ishikawa & Itakura, 2019)。視線先導者は 2 つの物体のうち一方に対して頭部方向と一致する視線を向けた (図 13)。物体に視線を向ける前には、程度の異なるコミュニケーションの手がかりを発した。2 つの物体は同じ顕著性を持ち、左右への注視バイアスはないものとした。乳児は 2 つの物体のうちどちらか一方に必ず視線を向けるように仮定した。乳児は視線先導者の視線を追う、または 2 つの物体のうちどちらかをランダムに見る行動の 2 つの行動の選択肢があった。

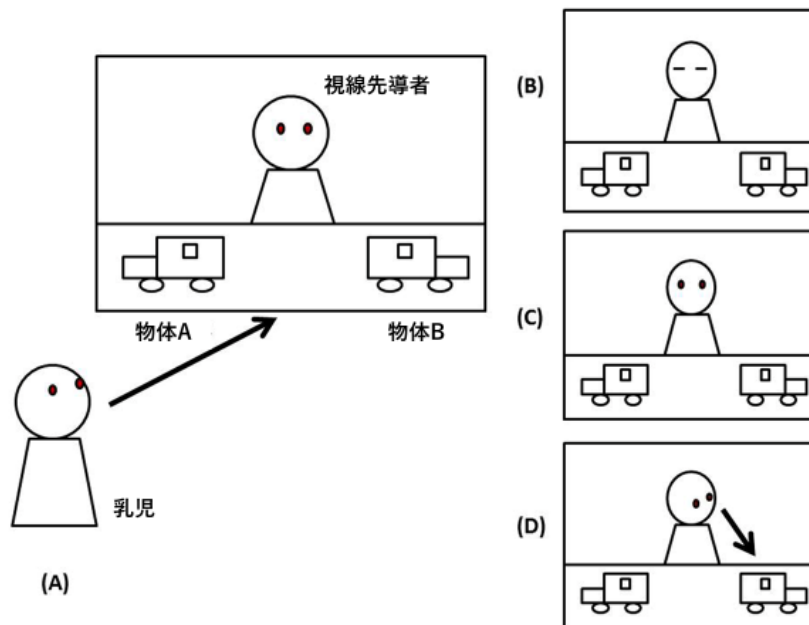


図 13. シミュレーションに用いた視線追従場面。(A) 乳児は視線先導者と物体が 2 つある場面で行動選択を行う。(B) 視線先導者はコミュニケーションの意図が弱い場合 (図では閉眼) や、(C) コミュニケーションの意図が強い場合 (図ではアイコンタクト) がある。(D) コミュニケーションの意図手がかりを提示したあと、視線先導者はどちらかの物体に視線を向けた。

視線追従行動の学習過程には Q-learning のアルゴリズムに従うように設定した。Q-learning は最も広く使われている強化学習のアルゴリズムの 1 つである (Watkins & Dayan, 1992)。Q-learning のアルゴリズムは (1) のとおりである。

$$Q ([t+1]) = Q ([t]) + \alpha \times (R \times P ([r]) - Q ([t])) \quad (1)$$

Q-learning では、行動価値 (Q) によって行動選択が決定される。乳児が 1 試行で学習することができる限界があるため、学習率 'α' はすべてのシミュレーションで同じであった。報酬確率 (Pr) は視線追従行動を選択した場合には 100%、ランダムに物体を見た場合には 50%であった。視線先導者と同じ物体に対して共同注意を行うのは乳児にとって報酬的経験であることが示唆されているため

(Moore & Corkum, 1994; Triesch, Teuscher, Deák, & Carlson, 2006)、視線先導者と同じ物体に視線を向け共同注意が生じた場合に報酬が得られるように設定した。視線追従を行い共同注意が生じた場合に得られる報酬値 (r) はすべてのシミュレーションで 1 であった。シミュレーションはそれぞれ 2000 試行繰り返された。視線追従の行動価値が 2000 試行の間にどのように更新されるかをモデルごとに比較した。乳児の行動決定はソフトマックス方略に基づいた。ソフトマックス方略では、行動価値が最も高い行動が最も高い確率で選択され、他の選択肢の選択確率は行動価値に基づいて選択確率が調整される (Sutton & Burto, 1998)。パラメータ設定は表 1 に示した。

表 1. シミュレーションに用いたパラメータの説明。

| 変数 | 説明 | 範囲 |
|-------|--------------------|------------|
| t | 試行数 | [1, 2000] |
| Q(A) | ランダムな視線行動の行動価値 | (0, 1) |
| Q(B) | 視線追従の行動価値 | (0, 1) |
| P(A) | ランダムな視線行動の選択割合 | (0, 1) |
| R | 報酬値 | 1 |
| P(r) | 報酬割合 | 0.5 or 1 |
| alpha | 学習率 | 0.005 |
| S | 乳児の内部状態 | [0, 1] |
| Ds | 乳児のデフォルトの内部状態 | [0, 1] |
| C | 視線先導者のコミュニケーションの意図 | [0.5, 1.5] |

コミュニケーションの手がかりモデル

乳児はコミュニケーションの手がかりから、社会的パートナーが知識を教示することを期待する (Csibra & Gergery, 2011)。そのため、コミュニケーションの

手がかりは主観的な報酬確率に影響すると仮定した。変数'C' (communicative cue) を Q-learning の数式に加えた (2)。

$$Q ([t+1])=Q ([t])+\alpha \times (R \times P ([r]) \times C-Q ([t])) \quad (2)$$

変数 C は 0.5 (コミュニケーションの意図低) から 1.5 (コミュニケーションの意図高) の間のランダムな値を各試行で取るように設定した。C は文脈依存的な外部刺激であるため、平均 1 の連続一様分布から選択された。

コミュニケーションの手がかりと内部状態の独立モデル

乳児の注意状態は外部環境の知覚や学習に影響する (Tellinghuisen, Oakes, & Tjebkes, 1999; Oakes & Tellinghuisen, 2000; Rose, Futterweit, & Jankowski, 1999)。そこで、乳児の内部状態は Q-learning での学習率に影響すると設定した。変数'S' (state) を Q-learning の数式に加えた (3)。

$$Q ([t+1])=Q ([t])+\alpha \times S \times (R \times P ([r]) \times C-Q ([t])) \quad (3)$$

変数 S は 0 (非従事的) から 1 (従事的) の間のランダムな値を各試行で取るように設定した。S は神経生理的に計測される内部状態であり、多くの場面において安定状態であると想定されるため、平均 0.5 分散 0.16 の正規分布から選択された。学習率は乳児が 1 試行から学習することができる限界が 1 と設定されたため、S による学習率の調整は学習率 1 を超えないものとした。

コミュニケーションの手がかりによる内的状態の調整モデル

数式 (3) では、コミュニケーションの手がかりと内部状態は独立して Q-learning に影響すると仮定した。Ishikawa & Itakura (2019) では、コミュニケーションの手がかりであるアイコンタクトが乳児の生理的覚醒度を高めることが示されているため、コミュニケーションの手がかりが内部状態を調整するモデルについてもシミュレーションを行った。そこで、コミュニケーションの手がかりが提示される前の乳児の内部状態'Ds' (Default state) を設定した。変数 Ds は

0 (非従事的) から 1 (従事的) の間のランダムな値を各試行で取るように設定した。このモデルでは、 S は C によって調整された D_s であった。 C が 1 以下のときには、 S は $D_s \times 1$ であった。 C が 1 より大きいときには、 S は $D_s \times C$ であった (図 14)。この設定は、Ishikawa & Itakura (2019) で示されたコミュニケーションの手がかりは生理的覚醒度を高めるがコミュニケーションの手がかりが提示されなかった場合には生理的覚醒度に有意な変化がないという結果に基づいた設定である。そのため、 C が中央値 1 以下の場合には、内部状態が調整されない設定にした。また、 $D_s \times C$ が 1 より大きくなった場合には、 S は 1 になるように設定した。これは S が調整する学習率 α が乳児の学習限界を超えないようにするためである。

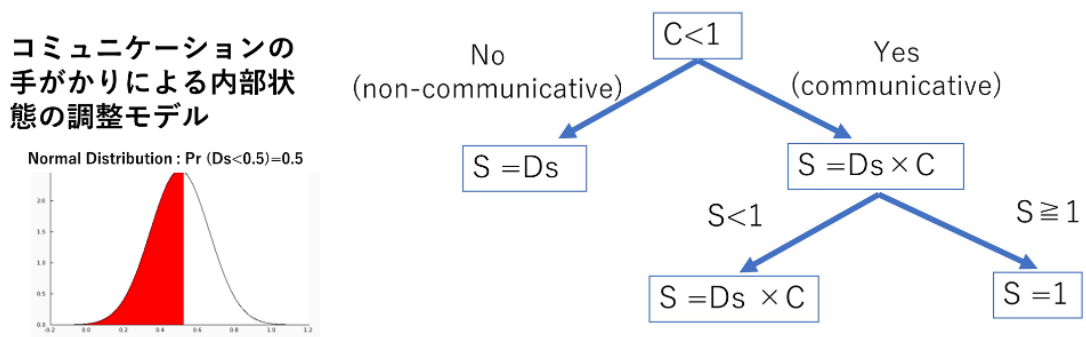


図 14. コミュニケーションの手がかりによる内部状態の調整モデルの変数決定木。

5.3 結果

各シミュレーションはすべての行動価値が 0 から始まり、2000 試行繰り返された。すべてのモデルのパラメータは視線追従行動の行動価値には直接作用しないように設定したため、視線追従の行動価値は本研究で設定した視線追従行動で得られる報酬 (1) に収束する。シミュレーションの結果は図 15 に示した。

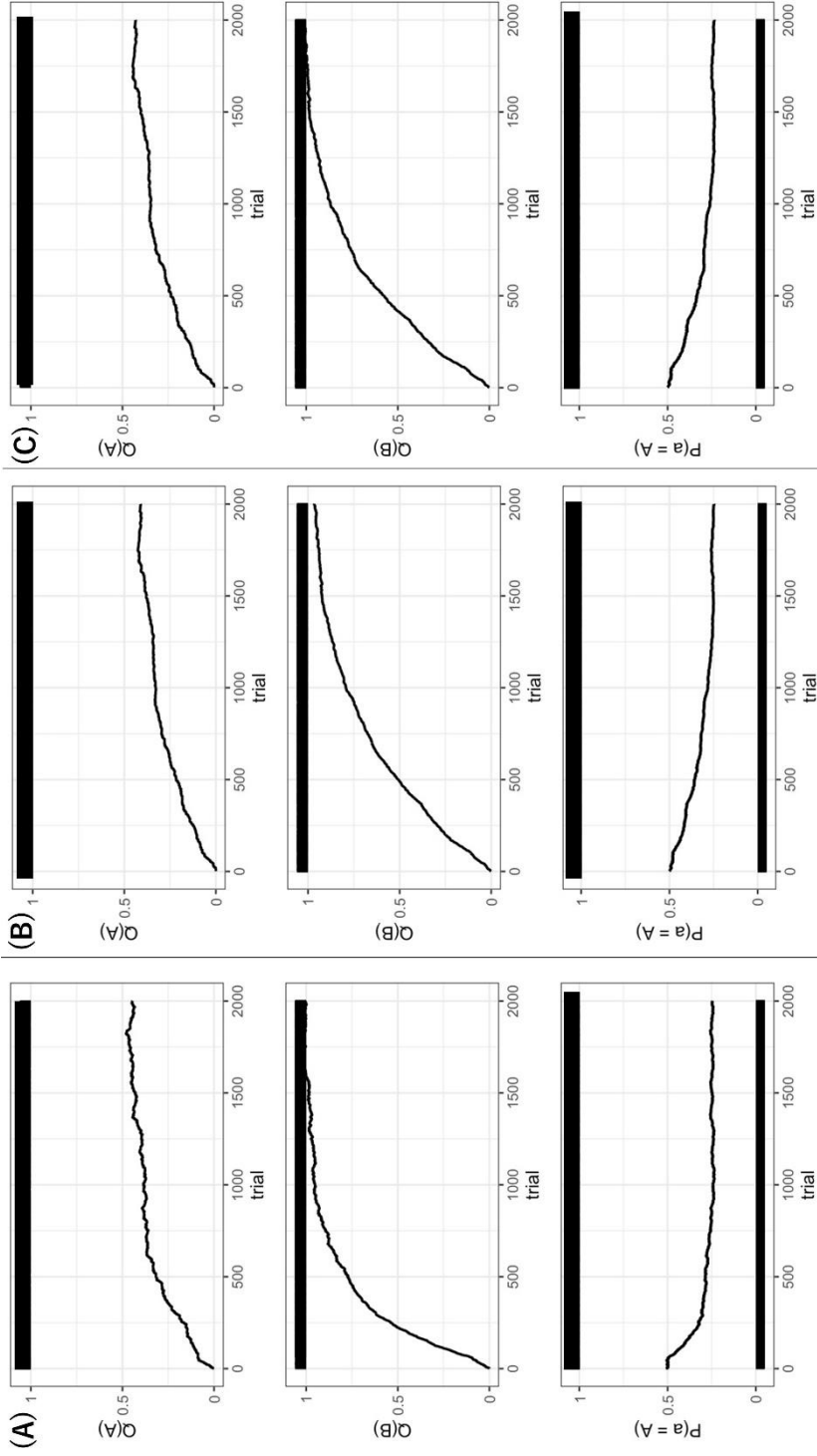


図 15. 各モデルでの行動価値の更新過程。Q(A): ランダムな視線行動の行動価値。Q(B): 視線追従の行動価値。P(a=A): ランダムな視線行動を行う確率。(A) コミュニケーションの手がかりモデル。(B) コミュニケーションの手がかりと内部状態の独立モデル。(C) コミュニケーションの手がかりによる内部状態の調整モデル。

コミュニケーションの手がかりモデル

コミュニケーションの手がかりモデルでは、乳児の内部状態はモデルに組み込まれていなかったため乳児の行動価値の学習は学習率が一定の割合で更新される。そのため、視線先導者によってコミュニケーションの意図が強く伝達される場合には、視線追従の行動価値が急激に高まるため3つのモデルの中で最も学習効率が高かった。Q-learningでは、収束にかかる繰り返し回数は最適な行動選択について学習するのにかかる時間を意味する。視線追従の行動価値は約1600試行で収束した。しかし、乳児の内部状態はシミュレーションを通して一定であったため、実際の乳児の試行ごとの変動を反映することはできていない。

コミュニケーションの手がかりと内部状態の独立モデル

試行ごとにコミュニケーションの手がかりとは独立した乳児の内部状態を設定すると、行動価値は約2000試行で収束した。ここでは、乳児の内部状態は視線追従場面への従事を反映するパラメータであったため学習率に影響した。そのため、コミュニケーションの手がかりが提示されていたとしても乳児が社会的パートナーに対して従事していない場合には、行動価値についての学習はあまりされない。このモデルでは、乳児の学習は内部状態に強く依存している。

コミュニケーションの手がかりによる内部状態の調整モデル

コミュニケーションの手がかりによって乳児の内部状態が調整される場合には、独立モデルと比べて効率的な学習が行われ、約1750試行で行動価値が収束した。

行動価値の学習効率については、コミュニケーションの手がかりもできるが最も効率的であった。しかし、乳児の内部状態は一定でないため、調整モデルが最も実際の乳児の学習過程を反映していると考えられる。近年の実証実験の結果からも、コミュニケーションの手がかりによる内部状態の調整モデルが支持される(Ishikawa & Itakura, 2019)。

短期間での行動価値の更新過程

それぞれのモデルにおいて短期間での行動価値の更新がどのように行われるかを検討するために、100 試行までの学習過程を比較した。コミュニケーションの手がかりは主観的な報酬期待を直接的に調整するため、コミュニケーションの手がかりモデルでは行動価値は短期間において更新されやすい。一方で、試行ごとに内部状態が変わる場合には、行動価値の更新は緩やかである。また、コミュニケーションの手がかりが内部状態を調整する場合には、コミュニケーションの意図が強い場合に学習率も高められるため、行動価値の更新は速くなる。

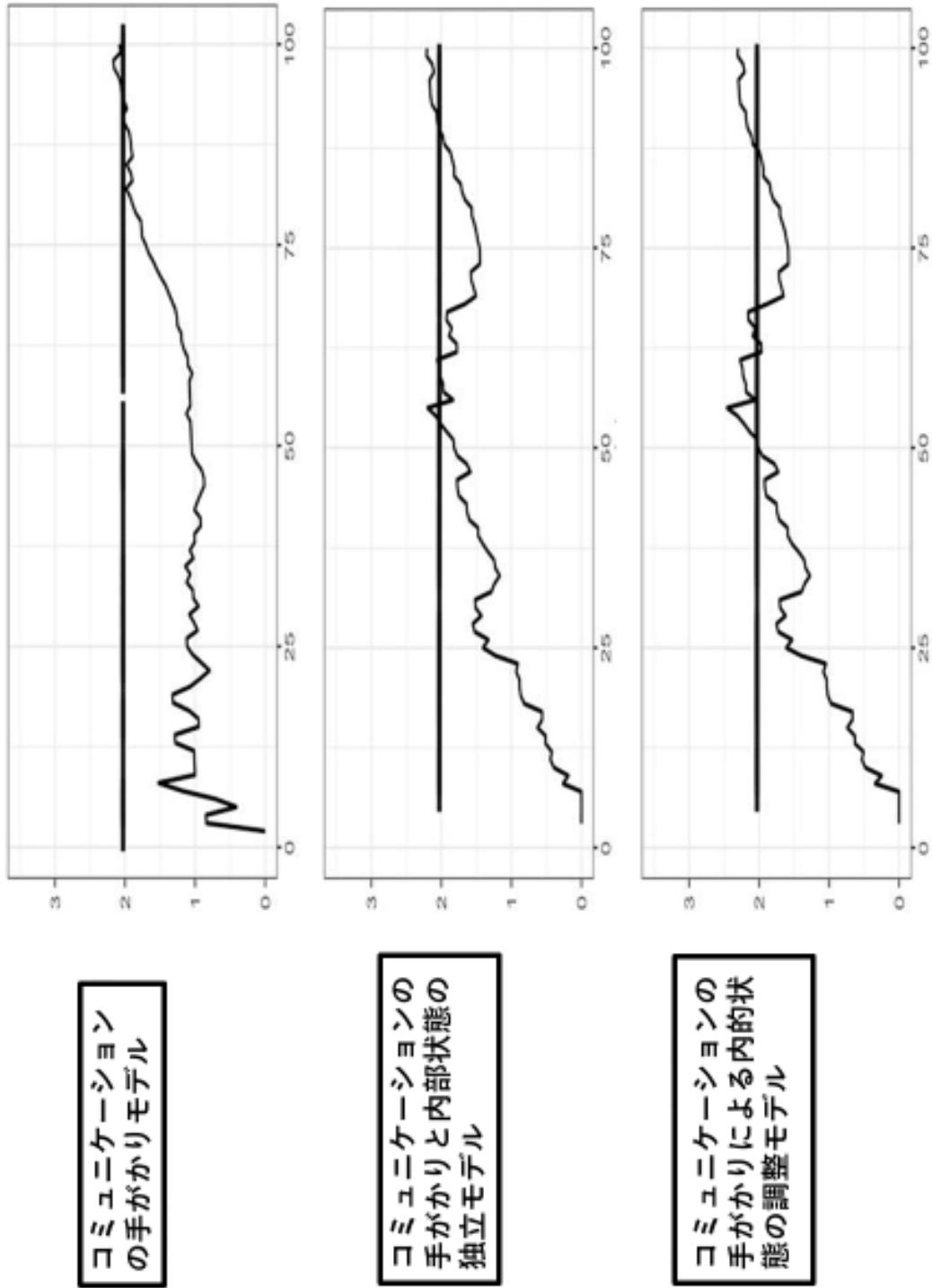


図 16. 各モデルでの 100 試行での行動価値の更新過程。

5.4 考察

本研究では、視線追従行動の学習過程についてシミュレーションを行った。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するモデルは、実証研究の結果を踏まえたうえで効率的な学習を行うのに適していることが示唆された。また、短期間での行動価値の更新課程では、コミュニケーションの手がかりが1試行ごとの学習に強く影響することが示唆された。また、Q learning に従った行動選択では、視線追従行動の行動価値学習が十分に行われた後には、視線追従行動の選択には影響しない可能性も示された。

本シミュレーションにおいて視線追従行動の行動価値が収束した後は、コミュニケーションの手がかりの有無に関わらず乳児は約75%の確率で視線追従行動を選択した。この結果は、Gredebäck et al. (2018) においてコミュニケーションの手がかりに関わらず乳児は視線追従を行うという結果と一致する。本シミュレーションは、社会的インタラクションの経験によって視線追従行動の行動価値が学習されており、その社会的学習経験が実験場面での視線追従に影響している可能性を示した。

本研究では、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するモデルが最も妥当であると考えられた。調整モデルでは、コミュニケーションの手がかりと内部状態の独立モデルよりも効率的な学習が行われ、実際の乳児のように試行ごとに乳児の内部状態が変動することも想定されている。Natural Pedagogy 仮説ではコミュニケーションが社会的学習を促進する要因であると述べられている (Csibra & Gergely, 2011)。アイコンタクトのようなコミュニケーションの手がかりは生理的覚醒度を高める (Nicholls & Champness, 1971; Helminen, Kaasinen, & Hietanen, 2011; Hietanen, 2018)。また、生理的覚醒度が高まった状態では、学習や記憶過程が促進される (Kleinsmith, & Kaplan, 1963; Eysenck,

1976)。コミュニケーションの手がかりによって乳児の学習が促進される背景には、コミュニケーションの手がかりによって調整される生理的覚醒度が関連していると考えられる。

本研究では、強化学習に従った視線追従行動の発達過程についてシミュレーションを行った。視線追従行動を行うかの選択は、学習された行動価値に依存していた。そのため、視線追従の行動価値の学習が十分に行われた後には、乳児はコミュニケーションの手がかりに関わらず視線追従行動を行いやすくなった。コミュニケーションの手がかりが社会的インタラクションに与える影響については主に乳児を対象に行われてきた。しかし、幼児研究ではアイコンタクトやIDSといったコミュニケーションの手がかりがなくても、幼児は他者のコミュニケーションの意図を理解することができることが報告されている (e.g. Moore, Liebal, & Tomasello, 2013)。発達過程での社会的経験はコミュニケーションの手がかりがない場面における社会的従事に影響するのかもしれない。

本シミュレーションでは、乳児の視線追従行動に影響を与えるとされている他者の信頼性、親密度、表情といった他の要因については含んでいなかった (Dalmaso, Pavan, Castelli, & Galfano, 2011; Deaner, Shepherd, & Platt, 2006; Kuhn & Tipples, 2011)。乳児は文脈情報を用いて視覚的注意を調整するため (Tummeltshammer & Amso, 2018)、より一般化可能なモデルを作成するためには他の文脈情報についても含めたシミュレーションを行う必要がある。乳児に限らず、ヒトが多く文脈情報を処理したうえで他者の視線を追うかどうかを決定するかについては、日常場面での視線追従行動のメカニズム解明につながるため、さらなる理論的研究が必要である。

問題点には、本研究での計算論的モデリングは実際の発達軌跡についての実証データがないためにモデルの妥当性について統計的に比較することができない点

が挙げられる。本研究の目的は、実証研究で示唆されてきた視線追従行動に関わる要因を理論的にモデリングすることであった。計算論的モデリングは理論的に行動モデルがどのような挙動をするかを観察するのに有用であるが、どのモデルが実際の乳児の発達過程を反映しているのかについては決定することができない。視線追従行動の発達過程についての縦断データとの比較を行う必要がある。

第6章 乳幼児の社会的学習のメカニズム

6.1 本稿での知見のまとめ

本稿では、アイコンタクトが乳児の社会的学習に与える促進効果のメカニズムの解明を目的に研究を行った。

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を検討した。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、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た。

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した。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受けず、視線手がかりでのみ手がかり効果が増大した。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た。

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について、乳児の視線追従場面における視線先導者の情報提供者としての信頼性を操作することで検討した。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が示された。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た。

第5章では、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モデリングを行った。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報酬予測に影響していると仮定した場合には、短期間での視線追従の行動価値の更新に影響することが示された。また、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するモデルが理論的に妥当であることが示唆された。乳児の視線追従行動は、場面に合わせた内部状態の調整と報酬期待の程度によって決定されているのかもしれない。また、本シミュレーションでは乳児が行動価値について計算することで視線追従の意思決定を行っていることを想定していた。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が示唆された。

6.2 文脈に合わせた視線追従の調整

本稿の研究結果から、意図明示的刺激や人物顔といった文脈情報は、乳児が直後の社会的インタラクションに従事した際の報酬予測に影響し、同時に内部状態が調整されることで社会的従事を誘発することが示唆された。また、第3章の成人研究からは視覚刺激による情動状態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ことが示唆された。このような知見から、他者の視線方向への追従が促進される処理経路には、①報酬予測、②情動的処理、の2種類の経路が想定される。また、第5章のシミュレーションで想定したように、乳児は視線追従を行うかどうかを場面に応じた行動価値の計算に基づいて決定していることが考えられる。

第2章・第4章で行われた乳児の視線追従課題についての試行ごとの詳細な分析では、外部手がかりによらず、生理的覚醒度が高い状態では視線追従行動が行われやすいことも示された。これは、先述した報酬予測や情動処理を必ずしも経

ることがなくとも、乳児の内部状態によっては視線追従が生じる可能性を示唆する。そのため、内部状態自体が視線追従を行うかどうかの意思決定にも影響していると考えられる。

以上の研究結果から、文脈情報は報酬予測、情動処理の2つの経路によって処理された後、生理的覚醒度が場面に応じて調整され、生理的状态と社会的従事の行動価値が社会的従事行動の意思決定に影響するという認知モデルを提案する

(図 17)。

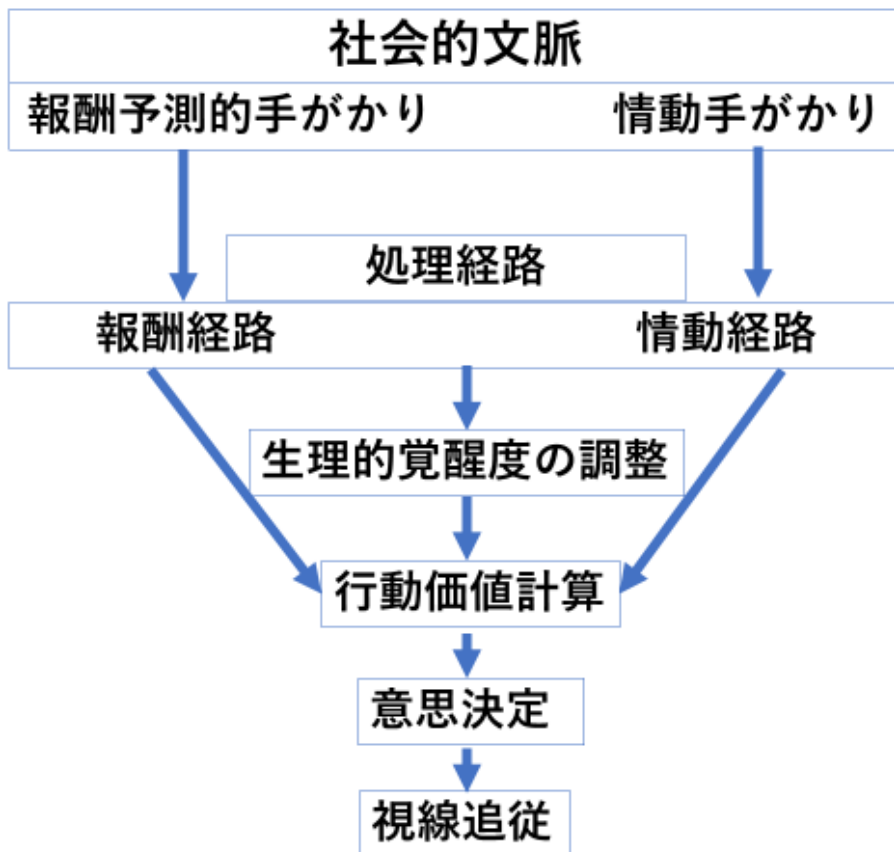


図 17. 本稿で想定される文脈に応じた社会的従事の意思決定プロセス

ここでの報酬予測手がかりには、コミュニケーションの意図手がかりであるアイコンタクトや対乳幼児向け発話のほかに、対面する人物の親密度、情報提供者としての信頼度、顔の魅力度なども含まれることが想定される。情動手がかりに

は。他者の表情や周囲の脅威刺激といった情動状態に影響を与えうる外部刺激が想定される。

以下では、本稿で提案された認知モデルについて先行研究で示唆されている認知仮説との視点の比較を行う。

① Natural Pedagogy 仮説

Natural Pedagogy 仮説はコミュニケーションに従事し、他者から学習するという乳児のモチベーションに焦点を当てた仮説である。子どもを対象とした研究脳機能イメージング研究では、スピーチ刺激への従事 (Abrams et al., 2013) や、他者と同じ物体に注意を向ける共同注意時には脳の報酬系が活動することが報告されている (Oberwelling et al., 2016)。意図明示的の刺激は社会的パートナーに対してコミュニケーションの意図があることを伝達する手がかりとして定義される。そのため、乳児はアイコンタクトや対乳幼児向け発話といった意図明示的の刺激から後のコミュニケーションで得られる社会的報酬を期待することができると考えられる。Natural Pedagogy 仮説で論じられる意図明示的の刺激による社会的従事・学習の促進は、本稿での認知モデルにおける報酬経路での処理が主に関与していることが考えられる。

② Like-me 仮説

Natural Pedagogy 仮説は社会的文脈において社会的パートナーによって提示される手がかりに着目している一方で、Like-me 仮説は乳児の経験や知識による社会的従事のモチベーションについて言及している。Meltzoff and Brooks (2008) では、透けて見える目隠しを自身で経験した乳児は、透けて見えない目隠し条件を経験した乳児よりも目隠しをした成人の視線を追従することが示された。この結果は、ヒトの視覚についての知識が乳児の視線追従行動に影響することを示唆する。Like-me 仮説のフレームワークでは、乳児が頭部方向を移動させることに

よって視覚情報を得られることについて知ることによって、社会的パートナーが頭部方向を移動させることによって重要な視覚情報を得られることを理解することが想定される (Del Bianco, Falck-Ytter, Thorup, & Gredebäck, 2019)。このような自身と他者が同様な視覚をもっていることの気づきによって、乳児が他者の視線を追従する行動が動機づけられる。このフレームワークでは、自己と他者の視覚についての気づきによって乳児は視線追従を通して環境について学習することを期待することが可能となる。視覚についての気づきをもった乳児では、他者の視線を追従する前に、視線追従によって得られる報酬が期待されていると考えられる。Like-me 説で想定される経験や知識による社会的学習機会への期待は、報酬経路での処理が関与していると考えられる。

③ 強化学習仮説

Natural Pedagogy 仮説や Like-me 仮説といった社会的認知に焦点を当てた仮説のほかに、乳児は他者と同様の物体に注意を向けることが強化されているという強化学習仮説も提案されている (Triesch, Teuscher, Deák, & Carlson, 2006)。強化学習仮説では、乳児の視線追従は日々の社会的インタラクション経験で得られる報酬によって強化されていることが想定されている (Deak, Triesch, Krasno, de Barbaro, & Robledo, 2013; Ishikawa, Senju, & Itakura, 2020)。強化学習仮説の視点では、社会的刺激に対する特異的な感受性について排除するものではなく、日々の経験から強化される部分も共存すると考えられている (Triesch et al., 2006)。本稿での報酬予測経路では、学習された報酬であるか、生得的に報酬的と認知される刺激であるかは区別せず、社会的文脈において報酬的とされ、生理的覚醒度を調整し得る手がかりであるかに重点が置かれる。

④ 注意仮説

Szufnarowska et al. (2014) では、乳児の注意状態が高まることによって乳児の視線追従は促進されるという注意仮説が示唆されている。この研究では、視線追従行動前に人物顔への視覚的注意が向けられている場合には、視線追従行動がみられることを示した。

乳児の注意状態は生理的覚醒度との関連が多くの研究で示されてきた。第 2 章で紹介したように、AJMA 仮説では生理的覚醒度が高い状態では外界の刺激に対して感受性・反応性が高くなるとされている (Aston-Jones et al., 1991)。例えば、de Barbaro ら (de Barbaro, Clackson, & Wass, 2017) では、生後 12 カ月児の視覚的注意は心拍によって予測されることが示され、AJMA 仮説が乳幼児においても支持されることが示唆された。本稿の認知モデルでは、社会的文脈手がかりは脳内で処理された後、生理的覚醒度が調整されることを想定している。この生理的覚醒度の調整では、文脈手がかりが報酬予測的・または情動的であった場合に生理的覚醒度が上昇し、視線追従行動が発現する。また、手がかりに関わらず乳児の生理的覚醒度が高い状態の場合においても視線追従が生じやすいことも想定される。そのため、注意状態が高い場面においては、コミュニケーションの意図手がかりがない場面など社会的手がかりがない場合にも視線追従が生じ得ることが考えられる。

また、乳児の視覚的注意は生理的覚醒度の影響だけではなく、情動処理の影響を受けることは多くの研究で示されてきた。Matsunaka and Hiraki (2014) では、中立顔と比べて恐怖顔の他者の視線方向に対する注意シフトが生後 12 カ月児において促進されることが報告されている。また、Hoehl, Wiese, & Striano (2008) では、恐怖顔によって視線を向けられた場合、中立顔によって視線を向けられた場合と比べて視線の先の物体の情報処理が促進されることが示されている。情動

的手がかりによって他者の視線方向への注意シフト・情報処理が促進されることから、情動処理に起因した注意状態が視線追従に影響していることが考えられる、

Gredebäck, Fikke, & Melinder, A. (2010) では、生後 2 から 8 カ月児を対象とし、母親と見知らぬ他者に対する視線追従行動について検討した。その結果、生後 4 から 6 カ月の乳児は母親に対してよりも見知らぬ他者に対して視線追従をより行うことが示された。この研究では、見知らぬ他者に対して母親よりも視覚的注意が増加していた。先行研究では、生後 5 から 6 カ月児が自身の母親よりも見知らぬ他者に対して視覚的注意を向けることが報告されている (Bronson, 1972; Brooks & Lewis, 1976)。このような見知らぬ他者に対する注意バイアスから、乳児は見知らぬ他者に対して不安や恐怖を感じることを示唆されてきた (See review, LoBue, & Adolph, 2019)。見知らぬ他者に対する視線追従行動の促進は、情動経路での処理による行動価値の決定に起因することが考えられる。また、親密度の高い母親は乳児にとって報酬的であると考えられるが、見知らぬ他者に対する視線追従行動が増加したという結果は発達段階によって情動的処理に起因した社会的従事となされることを示唆するものである。文脈に応じた視線追従行動は報酬経路だけではなく、情動経路を通じた社会的従事の決定も関与していることが考えられる。

6.2 神経生理学的モデルの構築

ここでは、社会的従事から社会的学習へとつながる神経生理学的メカニズムについて、乳幼児における生理・行動実験の結果と脳機能イメージングの知見を統合することでモデル化する。以下では、①社会的場面における文脈情報の処理、②内部状態の調整、③社会的従事行動の意思決定、④社会的学習、に処理過程を分けたうえで、場面に応じた乳児の社会的従事・学習の神経基盤のモデル化を行う。表 2 に関連する脳部位とその機能をまとめた。

表 2. 場面に応じた社会的従事・学習に関わる脳部位。

| 脳部位 | 処理 |
|--------|---|
| 視床 | 生理的覚醒度の調整 (Liu et al., 2018); 脳の機能的統合 (Garrett et al., 2018) |
| 前部帯状回 | 生理的覚醒度の調整 (Ebitz, & Platt, 2015); 他者の行動モチベーションの捕捉 (Apps, Rushworth, & Chang, 2016); 社会的予測誤差 (Lockwood, & Wittmann, 2018) |
| 島 | 自己の生理的状态のモニタリング (Namkung, Kim, & Sawa, 2017); 意思決定場面での不確実性の計算 (Singer, Critchley, & Preusschoff, 2009) |
| 扁桃体 | 情動処理 (Pessoa, & Adolphs, 2010); アイコンタクト検出 (Spezio, Huang, Castelli, & Adolphs, 2007; Chang, & Platt, 2014) |
| 線条体 | 社会的インタラクション時の報酬価の評価 (Kampe, Frith, Raymond, & Frith, 2001); 社会的行動とそれに伴う社会的報酬の計算 (Báez-Mendoza, & Schultz, 2013) |
| 海馬 | 連合した手がかりと報酬の表象 (Wang, Schoenbaum, & Kahnt, 2020); 学習中に生じた皮質活動の表象の定着 (Tanaka, Pevzner, Hamidi, Nakazawa, Graham, Wiltge, 2014) |
| 上側頭溝 | ヒト特異的な情報の視聴覚統合 (Watson, Latinus, Charest, Crabbe, & Belin, 2014); 聴覚刺激がコミュニケーションかの判断 (Shultz, Vouloumanos, & Pelphrey, 2012) |
| 眼窩前頭前野 | 行動価値の予測 (Gottfried, O'Doherty, & Dolan, 2003); 動機付けと他者に対する注意配分の優先度を表象し、他者に関する情報の獲得とその後の社会的意思決定に寄与する (Watson & Platt, 2012) |
| 外側前頭前野 | ワーキングメモリー (Káldy, & Sigala, 2004); 空間的・非空間的両者に関する刺激駆動的注意 (ボトムアップ) と目標志向的注意 (トップダウン) の調整 (Asplund, Todd, Snyder, & Marois, 2010) |

① 社会的場面における文脈情報の処理

Natural Pedagogy 仮説で提唱されているように乳幼児は他者の人物顔やその人物の発話、ジェスチャーなどの社会的場面の文脈情報を処理することで場面に合わせた社会的インタラクションを行っていると考えられてきた (Csibra & Gergerly, 2009)。

まず、コミュニケーションの手がかりであるアイコンタクトや IDS、ジェスチャーの処理には、STS が関与していると考えられる。成人の fMRI 研究では、コミュニケーション的な音声刺激に対しては他の音声と比べて STS が特異的に活動することを報告している (Shultz, Vouloumanos, & Pelphrey, 2012)。乳児の fNIRS 研究では、IDS に対して同様の部位が ADS と比べて活動が高まることが示されている。STS は、アイコンタクト、バイオリジカルモーション、コミュニケーション的な音声といった社会的な刺激の視聴覚情報の統合に関わっているとされている (Watson, Latinus, Charest, Crabbe, & Belin, 2014)。STS と扁桃体の白質繊維連絡は成人の ASD 傾向を予測することも報告されており、社会的インタラクションにおいて重要な役割を果たしていることが示唆されている (Iidaka, Miyakoshi, Harada, & Nakai, 2012)。社会的文脈情報の視聴覚統合には STS が起点となっていると考えられる。

アイコンタクトなどの社会的刺激が乳幼児の社会的従事・学習を促進する要因として、情動状態への影響が考えられる。例えば、恐怖表情の視線方向への注意の定位は中立表情の視線方向への定位と比べて速いことが 12 カ月児において報告されている (Matsunaka & Hiraki, 2014)。また、ERP 研究からは、恐怖表情で物体に視線が向けられた場合には、中立表情で物体に視線が向けられた場合と比べて、物体認知が促進されることが示されている (Hoehl, Wiese & Striano,

2008)。意図明示的刺激であるアイコンタクトは情動を司るとされている扁桃体の活動を高める (Kawashima et al., 1999)。アイコンタクトは空間周波数を減少させ視覚野における活動が抑制されていた場合にも、扁桃体の活動は空間周波数が高い場合と活動に差がなく、アイコンタクトは直接的に扁桃体の活動を高めることが示唆されている (Burra et al., 2013)。成人研究からは、アイコンタクトによって生じる情動には個人差があり、ポジティブ感情・ネガティブ感情のどちらも生じることがあることが報告されている (Hietanen et al., 2011)。このような個人差は乳児においても生じていると考えられる。自閉症スペクトラム症 (ASD) の家系的リスクをもつ 10 カ月児では、リスクを持たない乳児と比べて成人の直視を避ける傾向をもつ (Nyström, Bölte, Falck-Ytter & EASE Team, 2017)。アイコンタクトに対する情動反応には感情価に個人差があるが、扁桃体に作用することで乳児の情動状態に影響をもたらしていると考えられる。また、アイコンタクトと同様にコミュニケーションの手がかりとなる IDS も生理的覚醒度を高める (Kaplan, Jung, Ryther, & Zarlengo-Strouse, 1996; Graf Estes & Hurley, 2013)。IDS 聴取時の扁桃体の活動を計測した研究はないが、IDS も扁桃体を介して乳児の情動状態に影響をもたらしている可能性がある。

第 4 章からは、乳児が知覚依存的な文脈情報のほかに、知識や経験による行動調節も行っていることが示唆された。本研究では、視線追従課題の前に提示される人物の視線方向が視覚的報酬に対して予測的であるかどうかを操作した。そのため、視線追従場面において人物顔が報酬手がかりとなり、社会的従事を行うことで得られる報酬の予測を行っていることが考えられる。このような経験に基づいた報酬予測には、海馬と線条体が関与しているだろう。一般に海馬は記憶を司る脳領域であることが広く知られている (Burgess, Maguire & O'Keefe, 2002)。報酬予測に関しては、連合学習がなされた後には、報酬と連合する手がかりの表

象は海馬によって行われる (Wang, Schoenbaum, & Kahnt, 2020)。また、経験をもとに予測される報酬価に従った行動の意思決定には、海馬が関連していることも示されている (Wimmer & Shohamy, 2012)。発達研究では、3 カ月児から長期記憶をもっており、馴化から 24 時間後における視覚的注意配分が記憶の影響を受けることが顔の再認課題で示されている (Pascalis, De Haan, Nelson, & De Schonen, 1998)。発達早期から、社会的刺激に対する記憶は海馬において保持され、後の行動決定に関与していると考えられる。線条体は脳の報酬系の中核部位であり、社会的インタラクション時の報酬価の評価に関与していることが示唆されている (Kampe, Frith, Raymond, & Frith, 2001)。また、社会的行動と社会的報酬の関連について計算している部位であることも示唆されている (Báez-Mendoza, & Schultz, 2013)。現在の社会的文脈において提示されている手がかりが報酬予測的であるかを、海馬・線条体において乳児は過去の経験と照らし合わせて報酬価を計算しているのかもしれない。

成人の fMRI 研究で示されてきたように、乳児においてもアイコンタクトなどのコミュニケーションの手がかりは STS での社会的視聴覚情報の統合が行われ、海馬における過去の経験との照合、扁桃体・線条体での情動・報酬処理を通じて社会的従事を促進すると考えられる (Kawashima et al., 1999; George, Driver, & Dolan, 2001; Kampe et al., 2001; Wimmer & Shohamy, 2012)。

② 内部状態の調整

第 2 章、第 4 章の心拍計測結果から、情動や報酬価の評価がされることによって、生理的覚醒度などに反映される乳児の内部状態が調整されることが想定される。このような内部状態の調整は島皮質と前部帯状回 (ACC) が関与していると考えられる。これらの脳部位は情動・報酬予測的処理が行われる辺縁系と解剖学

的に隣接する (Qadir, Krimmel, Mu, Pouloupoulos, Seminowicz, & Mathur, 2018)。

島皮質は自身の生理的状態のモニタリングを行っている (Namkung, Kim, & Sawa, 2017)。例えば、自身の心拍や発汗などの身体状態の気づきといった内受容感覚には、島が中核的な役割を果たしていることが示されている (Zaki, Davis, & Ochsner, 2012)。自身の心拍を計測させる内受容感覚課題中の脳活動を内受容感覚の感受性の高い群と低い群で比較した研究では、課題中の島や ACC といった部位間のコネクティビティに群間の差がなく、身体状態への意識の程度によらず島は活動していることが示唆されている (Kuehn, Mueller, Lohmann, & Schuetz-Bosbach, 2016)。そのため、乳児においても自身の身体状態への気づきの有無に関わらず島による身体状態のモニタリングは行われていると考えられる。また、生後 0 歳から 2 歳までの安静時脳活動を計測した縦断研究からは、発達に伴い、島皮質は ACC、視床、OFC、外側前頭前野 (IPFC)、STS といった部位とのコネクティビティが強くなっていくことが示されている (Alcauter, Lin, Keith Smith, Gilmore, & Gao, 2015)。生後 3 から 7 カ月児を対象とした fMRI 研究では、乳児の島と OFC の活動は情動的刺激の処理時に調整されることが報告されている (Blasi et al., 2011)。島を起点としたネットワークの発達は、社会的認知能力の発達と関与しているのかもしれない。第 5 章のモデリングにおいて想定されていたデフォルトの内部状態 (第 5 章における 'Ds') や文脈の影響を受ける内部状態 (第 5 章における 'S') のように、社会的場面における自身の内部状態のモニタリングに島は関与しているだろう。

島では主に身体状態のモニタリングが行われる一方で、ACC は生理的覚醒度の調整を行う部位である (Ebitz & Platt, 2015)。他にも、ACC では他者の社会的行動のモチベーションの評価や (Apps, Rushworth, & Chang, 2016)、自身の行

動に対する他者の反応の社会的予測誤差についての処理が行われる (Lockwood & Wittmann, 2018)。生理的覚醒度の調整の中でも、とくに社会的場面での覚醒度の調整に関与していることが示唆されている。例えば、他者の情動状態によって引き起こされる生理的覚醒度の調整には ACC の活動が関連している (Rudebeck et al., 2014)。また、報酬に対して上昇する生理的覚醒度についても ACC の活動が強く関連していることが報告されている (Schneider, Leuchs, Czisch, Sämann, & Spoormaker, 2018)。社会的文脈によって影響を受けた情動や報酬への期待は、ACC において生理的覚醒度へと反映されると考えられる。

③ 社会的従事行動の意思決定

社会的文脈情報について処理された後、社会的インタラクションに従事するかどうかの意思決定がなされる。意思決定には主に OFC における処理が関与していると考えられる。OFC は行動の意思決定において判断の基準となる行動価値の予測を行っていると考えられている (Gottfried, O'Doherty, & Dolan, 2003)。また、行動の動機付けや他者に対する注意配分の優先度などを表象し、他者に関する情報の獲得と社会的意思決定に寄与していることが示唆されている (Watson & Platt, 2012)。OFC は解剖学的にも辺縁系と密接なつながりをもつため、情動や報酬に基づいた意思決定において重要な役割を持つと考えられている (Rosenbloom, Schmahmann, & Price, 2012)。

また、OFC 以外にも内部状態の調整を行う島や ACC も意思決定に影響しているとされている。島は意思決定場面における不確実性についての処理を行っていると考えられている (Singer, Critchley, & Preusschoff, 2009)。複雑な社会的場面において、報酬が得られるかどうかは自身の行動だけでなく、社会的パートナーがどのようにインタラクションを行うかに依存する。そのため、社会的場面における報酬予測は不確実性が高いことが考えられる。ACC は実際の社会的インタラクシ

ン場面における抽象的な刺激と出力の連合について計算していることが示唆されている (Ruff & Fehr, 2014; Schilbach et al., 2013)。社会的場面での社会的従事行動とその反応の報酬価の計算に関与していて、意思決定過程における報酬予測的処理を行っていると考えられる。

情動状態や報酬予測によって OFC における行動の意思決定が行われる以外に、OFC は生理的覚醒度に基づいた意思決定も行っているだろう。脳損傷患者を対象とした研究では、健常者ではギャンブル課題においてリスクの高い選択をする前に生理的覚醒度の上昇が見られたのに対して、OFC 損傷患者ではそのような生理的覚醒度の変動はみられなかった (Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1997)。この結果をもとに、ヒトは意識的/無意識的によらず生理的覚醒度を基準とした意思決定を行うというソマティックマーカー仮説が提唱されている (Bechara, Damasio, Tranel & Damasio, 2005)。社会的文脈と関わらず、生理的覚醒度がある一定の状態であった場合に、社会的従事行動が選択されることもあるかもしれない。また、ランダムに動く複数の白い点の全体としての動きの方向を判断させるランダムドットモーション課題中の瞳孔サイズを計測し、知覚的意思決定と生理的覚醒の関連を検討した研究では、瞳孔サイズが大きい場合には同一の刺激に対する反応が一貫しないことも報告されている (van Kempen et al., 2019)。この結果から、生理的覚醒度が高い場合には、意思決定の変動性が高いことが示唆されている。第 2 章・第 4 章からは、コミュニケーションの手がかりがない場面においても、生理的覚醒度が高い場合には視線追従が生じやすいことが示された。これは、社会的文脈が情動状態や後の報酬予測を誘発しない場合にあって、生理的覚醒度が高いことによって探索的な行動が選択されやすくなっていたからかもしれない。社会的文脈と独立して、生理的覚醒度自体が社会的従事行動の意思決定に影響していることが考えられる。

④ 社会的学習

OFC で社会的従事行動の意思決定がなされた後、乳児は社会的インタラクションから環境についての学習を行う。社会的学習においては PFC が周囲の環境の情報処理に関与している。PFC はワーキングメモリー (Káldy & Sigala, 2004) や、刺激駆動的・目標志向的注意の調整 (Asplund, Todd, Snyder, & Marois, 2010) といった、周囲の環境について学習するのに必要な認知機能を司る。

Grossmann and Johnson (2010) では、5 カ月児を対象に、fNIRS を用いて三項関係での社会的インタラクション時の前頭前野の活動を計測した。この研究では、共同注意時の乳児の脳活動を計測するため社会的パートナーの行動が以下の 3 条件設定された: アイコンタクトの後に物体に対して視線を向ける条件 (共同注意条件)、なにもない場所に対して視線を向ける条件 (非参照的条件)、アイコンタクトなしで物体に対して視線を向ける条件 (アイコンタクトなし条件)。その結果、共同注意条件でのみ PFC の活動増加がみられ、乳児の社会的学習を反映している脳活動であることが示唆された。成人の fMRI 研究においても、共同注意時には背側前頭前野の活動が高まることが示されており、乳児研究と結果が一致している (Schilbach et al., 2010)。また、他者の視線を追従するときだけでなく、乳児の視線が他者によって追従された場合にも、PFC の活動が増加することが報告されている (Grossmann, Lloyd-Fox, Johnson, 2013)。共同注意のような社会的インタラクションが生じた際の PFC の活動は、社会的学習と関連していることが考えられる。

6.3 制限と展望

視線追従は前言語期の乳児にとって重要な社会的インタラクションであり、社会的学習へとつながる社会的従事行動である。本稿では、乳児の生理的覚醒度と視線追従行動の関連を実証的に検討し、神経生理学的モデルを提案した。しかし、

本研究での生理的覚醒度の知見は視線追従行動の生起に限定され、視線追従を行った後の社会的学習までは検討できていない。Okumura et al. (2013) では、視線追従課題に用いた物体を課題の最後に対提示し、画面中の人物が視線を向けていた物体と視線を向けていなかった物体に対しての注視時間を比較した。その結果、視線が向けられなかった物体に対しての注視時間が増加していた。これは、視線が向けられていた物体に対しての情報処理が促進されていたためであり、相対的に視線が向けられなかった物体に新奇選好が生じたと考えられた。乳児は視線追従を行うことで、視線の先の物体の情報処理が促進されることが考えられる。また、Okumura et al. (Okumura, Kanakogi, Kobayashi, & Itakura, 2020) では、IDS をコミュニケーションの手がかりとした場合と、首振りや口の動きと同時に提示されるビーブ音によって乳児の注意を引きつけた場合との視線追従場面での物体情報処理について比較した。その結果、乳児の注意が引き付けられた場合には IDS が提示された場合と視線追従割合に差はみられないが、物体の対提示時の注視バイアスには IDS のみが影響した。この結果から、乳児の注意状態は視線追従行動には影響するが、その後の社会的学習を促進する効果はコミュニケーションの手がかりが提示された場合のみであることが示唆された。本稿では生理的覚醒度が後の視線追従行動を予測することを示してきたが、生理的覚醒度は視線追従後の社会的学習まで影響しているかは明らかでない。1つの可能性として、コミュニケーションの手がかりによって誘発される生理的覚醒状態は他の文脈の影響によって調整される生理的覚醒状態と時間的特性が異なる可能性が考えられる。今後は、生理的覚醒度が社会的従事後の社会的学習にどのように影響するのかを検討していく必要がある。

また、本稿でモデル化された社会的従事から社会的学習へとつながる神経生理的メカニズムについては、実際に脳機能イメージングを行って検討していく必要

がある。このモデルでは、辺縁系の脳部位が社会的文脈情報の処理の上流であることを想定しているため、EEG や NIRS では直接脳活動が測定できず、乳幼児を対象とした fMRI 研究が必要である。fMRI は被験者の動きの影響を受けやすい、イメージングにかかる時間が長い、暗い閉所での脳計測である、など乳幼児を対象とすることが困難な手法である。近年の乳幼児を対象とした脳機能イメージング手法のレビューにおいても、fMRI を用いた乳幼児研究の多くは睡眠時のイメージングであり、課題中の脳活動を測定している研究は 2 件のみであると言及している (Azhari et al., 2020)。MRI 装置の小型化や、体動などのノイズ除去・スキャン時間が短縮可能な解析手法の進歩に伴い、発達研究においても課題中の乳幼児の脳活動を測定することが可能になっていくことが予想されるため、今後は本稿で提唱した社会的学習の神経基盤について実証的に検討していくことができるようになるだろう。

本稿では乳児の視線追従行動について着目し、場面に応じた乳児の社会的従事メカニズムについて生理的覚醒度との関連を検討してきた。しかし、生理的覚醒度が視線追従後の学習の深さに影響するのかについては検討できていない。近年の研究では、乳児はコミュニケーションの手がかり提示時と動きにより注意が引き付けられた場面で同程度の視線追従行動を行うが、視線が向けられた物体に対する学習の促進はコミュニケーションの手がかり提示時にのみ生じることが報告されている (Okumura et al., 2020)。この研究結果と本稿での知見から、生理的覚醒度は社会的従事の発現を予測するが、社会的従事後の社会的学習の深度には生理的覚醒度以外の要因が交絡している可能性が考えられる。他者の視線方向に対する注意のシフトは反射的であることが多くの研究で示唆されている (Friesen, Moore, & Kingstone, 2005)。そのため、AJMA 仮説で示唆されているように、生理的覚醒度が高められ、外部刺激に対しての感受性・反応性が高まっている場合

には、視線追従のような反射的な反応がみられるやすくなることが想定される。一方で、視線が向いている対象の学習にはより認知的な処理過程が必要であると考えられる。例えば、注意が他者の視線の先に向いた後の持続的注意 (sustained attention) は、社会的従事後の学習に寄与しているだろう。持続的注意は前頭・側頭部の脳領域との関与がイメージング研究において示されているトップダウンな注意制御である (see review, Sarter, Givens, & Bruno, 2001)。持続的注意は心拍の減速など低い生理的覚醒度との関連が報告されていて (Lansink & Richards, 1997)、本稿で示してきたような社会的従事前での生理的覚醒度の上昇では説明できない。アイコンタクトや名前を呼ぶといったコミュニケーションの手がかりは前頭前野の活動を駆動することが報告されてきた (Kampe, Frith, & Frith, 2003)。コミュニケーションの手がかりは生理的覚醒度を高め社会的従事を促進する効果だけではなく、生理的覚醒度だけでは説明のできない学習過程でのトップダウンな処理の促進にもつながることが考えられる。今後は社会的従事後、社会的学習へとつながる過程についてのメカニズムについても検討していく必要がある。

謝辞

本博士論文の執筆にあたり、多くの方々のご指導、ご協力をいただきましたこと、ここに感謝の意を述べたいと思います。

まず、現同志社大学赤ちゃん学研究センターの板倉昭二先生には、お忙しい中研究の進捗についていつも励ましのお言葉とご指導をいただき、研究を続けることができました。また、黒島妃香先生、森口佑介先生は、研究に専念できる環境を重視してくださり、有意義な大学院生活を送ることができました。

また、発達研究室の皆様には、研究会での盛んなディスカッションなど、自分にはない視点を取り入れる貴重な機会を提供していただき、論文執筆に大変助けになりました。とくに山本寛樹さんには日々研究へのご協力をいただき誠にありがとうございます。

本稿の研究・理論の構築にはロンドン大学バークベック校の千住淳博士、Tim Smith 博士、Jen Haensel 博士、ヨーロッパ中央大学の Gergely Csibra 教授、Agnes-Melinda Kobacs 博士の多大なるご支援・コメントをいただきました。ここに感謝の意を述べたいと思います。

最後に、本研究に参加いただいた、京都大学赤ちゃん研究員制度の多くのお子様とその保護者の方々に心から御礼申し上げます。

引用文献

- Abrams, D. A., Lynch, C. J., Cheng, K. M., Phillips, J., Supekar, K., Ryali, S., & Menon, V. (2013). Underconnectivity between voice-selective cortex and reward circuitry in children with autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(29), 12060-12065.
- Adamantidis, A., & De Lecea, L. (2008). Physiological arousal: a role for hypothalamic systems. *Cellular and molecular life sciences*, *65*(10), 1475-1488.
- Adams, R. B., Ambady, N., Macrae, C. N., & Kleck, R. E. (2006). Emotional expressions forecast approach-avoidance behavior. *Motivation and emotion*, *30*(2), 177-186.
- Adams Jr, R. B., & Kleck, R. E. (2005). Effects of direct and averted gaze on the perception of facially communicated emotion. *Emotion*, *5*(1), 3.
- Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion. *Current opinion in neurobiology*, *12*(2), 169-177.
- Adolphs, R. (2003). Cognitive neuroscience of human social behaviour. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(3), 165-178.
- Adolphs, R. (2009). The social brain: neural basis of social knowledge. *Annual review of psychology*, *60*, 693-716.
- Alcauter, S., Lin, W., Keith Smith, J., Gilmore, J. H., & Gao, W. (2015). Consistent anterior-posterior segregation of the insula during the first 2 years of life. *Cerebral Cortex*, *25*(5), 1176-1187.

- Anderson, A. K., & Phelps, E. A. (2001). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature*, *411*(6835), 305.
- Apps, M. A., Rushworth, M. F., & Chang, S. W. (2016). The anterior cingulate gyrus and social cognition: tracking the motivation of others. *Neuron*, *90*(4), 692-707.
- Asplund, C. L., Todd, J. J., Snyder, A. P., & Marois, R. (2010). A central role for the lateral prefrontal cortex in goal-directed and stimulus-driven attention. *Nature neuroscience*, *13*(4), 507-512.
- Aston-Jones, G., Chiang, C., & Alexinsky, T. (1991). Discharge of noradrenergic locus coeruleus neurons in behaving rats and monkeys suggests a role in vigilance. In *Progress in brain research* (Vol. 88, pp. 501-520). Elsevier.
- Aston-Jones, G., Rajkowski, J., & Cohen, J. (1999). Role of locus coeruleus in attention and behavioral flexibility. *Biological psychiatry*, *46*(9), 1309-1320.
- Azhari, A., Truzzi, A., Neoh, M. J. Y., Balagtas, J. P. M., Tan, H. H., Goh, P. P., & Esposito, G. (2020). A decade of infant neuroimaging research: What have we learned and where are we going?. *Infant Behavior and Development*, *58*, 101389.
- Báez-Mendoza, R., & Schultz, W. (2013). The role of the striatum in social behavior. *Frontiers in Neuroscience*, *7*, 233.
- Baldwin, D.A. (1993). Early referential understanding: infants' ability to recognize referential acts for what they are. *Developmental*

Psychology, **29**, 832– 843.

Baldwin, D.A., & Moses, L.J. (2001). Links between social understanding and early word learning: challenges to current accounts. *Social Development*, **10**, 309– 329.

Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, *275*(5304), 1293-1295.

Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (2005). The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. *Trends in cognitive sciences*, *9*(4), 159-162.

Beidel, D. C. (1989). Assessing anxious emotion: A review of psychophysiological assessment in children. *Clinical Psychology Review*, *9*(6), 717-736.

Bindemann, M., Mike Burton, A., & Langton, S. R. (2008). How do eye gaze and facial expression interact?. *Visual Cognition*, *16*(6), 708-733.

Birmingham, E., & Kingstone, A. (2009). Human social attention. *Progress in brain research*, *176*, 309-320.

Blair, C., Capozzi, F., & Ristic, J. (2017). Where is your attention? Assessing individual instances of covert attentional orienting in response to gaze and arrow cues. *Vision*, *1*(3), 19.

Blasi, A., Mercure, E., Lloyd-Fox, S., Thomson, A., Brammer, M., Sauter, D., & Gasston, D. (2011). Early specialization for voice and emotion processing in the infant brain. *Current biology*, *21*(14), 1220-1224.

- Bloom, K. (1974). Eye contact as a setting event for infant learning. *Journal of Experimental Child Psychology*, 17(2), 250-263.
- Bristow, D., Rees, G., & Frith, C. D. (2007). Social interaction modifies neural response to gaze shifts. *Social cognitive and affective neuroscience*, 2(1), 52-61.
- Bronson, G. W. (1972). Infants' reactions to unfamiliar persons and novel objects. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 1-46.
- Brooks, J., & Lewis, M. (1976). Infants' responses to strangers: Midget, adult, and child. *Child Development*, 323-332.
- Brooks, R., & Meltzoff, A. N. (2005). The development of gaze following and its relation to language. *Developmental science*, 8(6), 535-543.
- Butterworth, G., & Jarrett, N. (1991). What minds have in common is space: Spatial mechanisms serving joint visual attention in infancy. *British journal of developmental psychology*, 9(1), 55-72.
- Burgess, N., Maguire, E. A., & O'Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron*, 35(4), 625-641.
- Burra, N., Hervais-Adelman, A., Kerzel, D., Tamietto, M., De Gelder, B., & Pegna, A. J. (2013). Amygdala activation for eye contact despite complete cortical blindness. *Journal of Neuroscience*, 33(25), 10483-10489.
- Burra, N., Mares, I., & Senju, A. (2019). The influence of top - down modulation on the processing of direct gaze. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 10(5), e1500.

- Carlson, J. M., Reinke, K. S., & Habib, R. (2009). A left amygdala mediated network for rapid orienting to masked fearful faces. *Neuropsychologia*, *47*(5), 1386-1389.
- Chen, T., Helminen, T. M., & Hietanen, J. K. (2017). Affect in the eyes: Explicit and implicit evaluations. *Cognition and Emotion*, *31*(6), 1070-1082..
- Chow, V., Poulin - Dubois, D., & Lewis, J. (2008). To see or not to see: Infants prefer to follow the gaze of a reliable looker. *Developmental science*, *11*(5), 761-770.
- Csibra, G., & Gergely, G. (2009). Natural pedagogy. *Trends in cognitive sciences*, *13*(4), 148-153
- Csibra, G., & Volein, A. (2008). Infants can infer the presence of hidden objects from referential gaze information. *British Journal of Developmental Psychology*, *26*(1), 1-11.
- Conty, L., Gimmig, D., Belletier, C., George, N., & Huguet, P. (2010). The cost of being watched: Stroop interference increases under concomitant eye contact. *Cognition*, *115*(1), 133-139.
- Corkum, V., & Moore, C. (1998). The origins of joint visual attention in infants. *Developmental Psychology*, *34*, 28– 38.
- Courage, M. L., Reynolds, G. D., & Richards, J. E. (2006). Infants' attention to patterned stimuli: Developmental change from 3 to 12 months of age. *Child development*, *77*(3), 680-695.
- Critchley, H. D., Rotshtein, P., Nagai, Y., O'Doherty, J., Mathias, C. J., and Dolan, R. J. (2005). Activity in the human brain predicting differential

- heart rate responses to emotional facial expressions. *Neuroimage* 24, 751–762.
- Dalmaso, M., Pavan, G., Castelli, L., and Galfano, G. (2011). Social status gates social attention in humans. *Biol. Lett.* 8, 450–452.
- Dan-Glauser, E. S., & Scherer, K. R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance. *Behavior research methods*, 43(2), 468.
- Dayan, P., Abbott, L. F., and Abbott, L. (2001). *Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Deák, G. O., Triesch, J., Krasno, A., de Barbaro, K., & Robledo, M. (2013). Learning to share: The emergence of joint attention in human infancy. In *Cognition and brain development: Converging evidence from various methodologies*. (pp. 173-210). American Psychological Association.
- Deaner, R. O., Shepherd, S. V., and Platt, M. L. (2006). Familiarity accentuates gaze cuing in women but not men. *Biol. Lett.* 3, 65–68.
- de Barbaro, K., Clackson, K., & Wass, S. V. (2017). Infant attention is dynamically modulated with changing arousal levels. *Child development*, 88(2), 629-639.
- de Barbaro, K., Chiba, A., & Deák, G. O. (2011). Micro-analysis of infant looking in a naturalistic social setting: insights from biologically based models of attention. *Developmental Science*, 14(5), 1150-1160.
- de Klerk, C. C., Hamilton, A. F. D. C., & Southgate, V. (2018). Eye contact modulates facial mimicry in 4-month-old infants: An EMG and fNIRS

- study. *cortex*, 106, 93-103.
- Del Bianco, T., Falck-Ytter, T., Thorup, E., & Gredebäck, G. (2019). The Developmental Origins of Gaze - Following in Human Infants. *Infancy*, 24(3), 433-454.
- Delgado, M. R., Gillis, M. M., & Phelps, E. A. (2008). Regulating the expectation of reward via cognitive strategies. *Nature neuroscience*, 11(8), 880.
- Deligianni, F., Senju, A., Gergely, G., & Csibra, G. (2011). Automated gaze-contingent objects elicit orientation following in 8-month-old infants. *Developmental psychology*, 47(6), 1499.
- Dijksterhuis, A., & Smith, P. K. (2002). Affective habituation: Subliminal exposure to extreme stimuli decreases their extremity. *Emotion*, 2(3), 203.
- Driver IV, J., Davis, G., Ricciardelli, P., Kidd, P., Maxwell, E., & Baron-Cohen, S. (1999). Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. *Visual cognition*, 6(5), 509-540.
- Ebitz, R. B., & Platt, M. L. (2015). Neuronal activity in primate dorsal anterior cingulate cortex signals task conflict and predicts adjustments in pupil-linked arousal. *Neuron*, 85(3), 628-640.
- Eimer, M. (1997). Uninformative symbolic cues may bias visual-spatial attention: Behavioral and electrophysiological evidence. *Biological Psychology*, 46(1), 67-71.
- Emberson, L. L., Richards, J. E., & Aslin, R. N. (2015). Top-down modulation in the infant brain: Learning-induced expectations rapidly affect the

- sensory cortex at 6 months. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(31), 9585-9590.
- Erdfelder, E., Faul, F., & Buchner, A. (1996). GPOWER: A general power analysis program. *Behavior research methods, instruments, & computers*, *28*(1), 1-11.
- Esteves, F., Dimberg, U., & Öhman, A. (1994). Automatically elicited fear: Conditioned skin conductance responses to masked facial expressions. *Cognition & Emotion*, *8*(5), 393-413.
- Ewing, L., Rhodes, G., & Pellicano, E. (2010). Have you got the look? Gaze direction affects judgements of facial attractiveness. *Visual Cognition*, *18*(3), 321-330.
- Eysenck, M. W. (1976). Arousal, learning, and memory. *Psychol. Bull.* *83*, 389–404.
- Farroni, T., Csibra, G., Simion, F., & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National academy of sciences*, *99*(14), 9602-9605.
- Farroni, T., Menon, E., & Johnson, M. H. (2006). Factors influencing newborns' preference for faces with eye contact. *Journal of Experimental Child Psychology*, *95*(4), 298-308.
- Farroni, T., Massaccesi, S., Pividori, D., & Johnson, M. H. (2004). Gaze following in newborns. *Infancy*, *5*(1), 39-60.
- Farroni, T., Massaccesi, S., Menon, E., & Johnson, M. H. (2007). Direct gaze modulates face recognition in young infants. *Cognition*, *102*(3), 396-404.

- Felmingham, K., Williams, L. M., Kemp, A. H., Liddell, B., Falconer, E., Peduto, A., & Bryant, R. (2010). Neural responses to masked fear faces: Sex differences and trauma exposure in posttraumatic stress disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, **119**, 241– 247.
- Floccia, C., Christophe, A., and Bertoncini, J. (1997). High-amplitude sucking and newborns: the quest for underlying mechanisms. *J. Exp. Child Psychol.* **64**, 175–198.
- Flom, R., Deák, G. O., Phill, C. G., & Pick, A. D. (2004). Nine-month-olds' shared visual attention as a function of gesture and object location. *Infant Behavior and Development*, **27**(2), 181-194.
- Friesen, C. K., & Kingstone, A. (1998). The eyes have it! Reflexive orienting is triggered by nonpredictive gaze. *Psychonomic bulletin & review*, **5**(3), 490-495.
- Friesen, C. K., & Kingstone, A. (2003). Abrupt onsets and gaze direction cues trigger independent reflexive attentional effects. *Cognition*, **87**(1), 1-10.
- Friesen, C. K., & Kingstone, A. (2003). Covert and overt orienting to gaze direction cues and the effects of fixation offset. *Neuroreport*, **14**(3), 489-493.
- Friesen, C. K., Moore, C., & Kingstone, A. (2005). Does gaze direction really trigger a reflexive shift of spatial attention?. *Brain and cognition*, **57**(1), 66-69.
- Friesen, C. K., Ristic, J., & Kingstone, A. (2004). Attentional effects of counterpredictive gaze and arrow cues. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **30**(2), 319.

- Frischen, A., Bayliss, A. P., & Tipper, S. P. (2007). Gaze cueing of attention: visual attention, social cognition, and individual differences. *Psychological bulletin*, *133*(4), 694.
- Frith, C. D. (2007). The social brain?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1480), 671-678.
- Frith, C. D., & Frith, U. (2007). Social cognition in humans. *Current Biology*, *17*(16), 724-732.
- Frith, U., & Frith, C. (2010). The social brain: allowing humans to boldly go where no other species has been. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *365*(1537), 165-176.
- George, N., & Conty, L. (2008). Facing the gaze of others. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, *38*(3), 197-207.
- George, N., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Seen gaze-direction modulates fusiform activity and its coupling with other brain areas during face processing. *Neuroimage*, *13*(6), 1102-1112.
- George, D., & Mallery, M. (2010). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference*, 17.0 update (10a ed.) Boston: Pearson.
- Globisch, J., Hamm, A. O., Esteves, F., & Öhman, A. (1999). Fear appears fast: Temporal course of startle reflex potentiation in animal fearful subjects. *Psychophysiology*, *36*(1), 66-75.
- Gobel, M. S., Kim, H. S., & Richardson, D. C. (2015). The dual function of social gaze. *Cognition*, *136*, 359-364.
- Gottfried, J. A., O'Doherty, J., & Dolan, R. J. (2003). Encoding predictive reward value in human amygdala and orbitofrontal

- cortex. *Science*, 301(5636), 1104-1107.
- Graf Estes, K., & Hurley, K. (2013). Infant - directed prosody helps infants map sounds to meanings. *Infancy*, 18(5), 797-824.
- Gredebäck, G., Astor, K., & Fawcett, C. (2018). Gaze following is not dependent on ostensive cues: a critical test of natural pedagogy. *Child development*, 89(6), 2091-2098.
- Gredebäck, G., Fikke, L., & Melinder, A. (2010). The development of joint visual attention: a longitudinal study of gaze following during interactions with mothers and strangers. *Developmental science*, 13(6), 839-848.
- Gredebäck, G., Theuring, C., Hauf, P., & Kenward, B. (2008). The microstructure of infants' gaze as they view adult shifts in overt attention. *Infancy*, 13(5), 533-543.
- Grossmann, T., & Johnson, M. H. (2010). Selective prefrontal cortex responses to joint attention in early infancy. *Biology letters*, 6(4), 540-543.
- Grossmann, T., Johnson, M. H., Farroni, T., & Csibra, G. (2007). Social perception in the infant brain: gamma oscillatory activity in response to eye gaze. *Social cognitive and affective neuroscience*, 2(4), 284-291.
- Grossmann, T., Johnson, M. H., Lloyd-Fox, S., Blasi, A., Deligianni, F., Elwell, C., & Csibra, G. (2008). Early cortical specialization for face-to-face communication in human infants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1653), 2803-2811.
- Grossmann, T., Lloyd-Fox, S., & Johnson, M. H. (2013). Brain responses reveal young infants' sensitivity to when a social partner follows their gaze. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 6, 155-161.

- Guellai, B., & Streri, A. (2011). Cues for early social skills: direct gaze modulates newborns' recognition of talking faces. *PloS one*, *6*(4), e18610.
- Hariri, A. R., & Holmes, A. (2006). Genetics of emotional regulation: the role of the serotonin transporter in neural function. *Trends in cognitive sciences*, *10*(4), 182-191.
- Hariri, A. R., Tessitore, A., Mattay, V. S., Fera, F., & Weinberger, D. R. (2002). The amygdala response to emotional stimuli: a comparison of faces and scenes. *Neuroimage*, *17*(1), 317-323.
- Hart, S. J., Green, S. R., Casp, M., & Belger, A. (2010). Affective priming effects during Stroop task performance. *Neuroimage*, *49*(3), 2662-2670.
- Hamilton, A. F. D. C., & Lind, F. (2016). Audience effects: what can they tell us about social neuroscience, theory of mind and autism?. *Culture and Brain*, *4*(2), 159-177.
- Hamann, S. (2001). Cognitive and neural mechanisms of emotional memory. *Trends in cognitive sciences*, *5*(9), 394-400.
- Hedger, N., Adams, W. J., & Garner, M. (2015). Autonomic arousal and attentional orienting to visual threat are predicted by awareness. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *41*(3), 798.
- Helminen, T. M., Kaasinen, S. M., & Hietanen, J. K. (2011). Eye contact and arousal: The effects of stimulus duration. *Biological Psychology*, *88*(1), 124-130.

- Hernik, M., and Broesch, T. (2019). Infant gaze following depends on communicative signals: an eye-tracking study of 5- to 7-month-olds in Vanuatu. *Dev. Sci.* 22, e12779.
- Heyes, C. (2017). When does social learning become cultural learning?. *Developmental Science*, 20(2), e12350.
- Hietanen, J. K. (1999). Does your gaze direction and head orientation shift my visual attention?. *Neuroreport*, 10(16), 3443-3447.
- Hietanen, J. K., Leppänen, J. M., Nummenmaa, L., & Astikainen, P. (2008). Visuospatial attention shifts by gaze and arrow cues: An ERP study. *Brain research*, 1215, 123-136.
- Hietanen, J. K., Nummenmaa, L., Nyman, M. J., Parkkola, R., & Hämäläinen, H. (2006). Automatic attention orienting by social and symbolic cues activates different neural networks: An fMRI study. *Neuroimage*, 33(1), 406-413.
- Hoehl, S., Wiese, L., & Striano, T. (2008). Young infants' neural processing of objects is affected by eye gaze direction and emotional expression. *PLoS One*, 3(6), e2389.
- Holroyd, C. B., & Coles, M. G. (2002). The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychol. Rev.* 109, 679-709.
- Hood, B. M., Macrae, C. N., Cole - Davies, V., & Dias, M. (2003). Eye remember you: The effects of gaze direction on face recognition in children and adults. *Developmental science*, 6(1), 67-71.
- Iidaka, T., Miyakoshi, M., Harada, T., & Nakai, T. (2012). White matter

- connectivity between superior temporal sulcus and amygdala is associated with autistic trait in healthy humans. *Neuroscience letters*, 510(2), 154-158.
- Ishikawa, M., & Itakura, S. (2017). Familiarity of Actors Affects Eye Gaze Processing During Observation of Goal-Directed Actions. *Psychol Behav Sci Int J*; 2(4) : 555592.
- Ishikawa, M., & Itakura, S. (2018). Observing others' gaze direction affects infants' preference for looking at gazing-or gazed-at faces. *Frontiers in psychology*, 9, 1503.
- Ishikawa, M., & Itakura, S. (2019). Physiological arousal predicts gaze following in infants. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1896), 20182746.
- Ishikawa, M., Senju, A., & Itakura, S. (2020). Learning Process of Gaze Following: Computational Modeling Based on Reinforcement Learning. *Frontiers in Psychology*, 11, 213.
- Ishikawa, M., Yoshimura, M., Sato, H., & Itakura, S. (2019). Effects of attentional behaviours on infant visual preferences and object choice. *Cognitive processing*, 1-8.
- Jones, B. C., DeBruine, L. M., Little, A. C., Conway, C. A., & Feinberg, D. R. (2006). Integrating gaze direction and expression in preferences for attractive faces. *Psychological science*, 17(7), 588-591.
- Káldy, Z., & Sigala, N. (2004). The neural mechanisms of object working memory: what is where in the infant brain?. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28(2), 113-121.

- Kampe, K. K., Frith, C. D., Dolan, R. J., & Frith, U. (2001). Reward value of attractiveness and gaze. *Nature*, *413*(6856), 589-589.
- Kampe, K. K., Frith, C. D., & Frith, U. (2003). "Hey John": signals conveying communicative intention toward the self activate brain regions associated with "mentalizing," regardless of modality. *Journal of Neuroscience*, *23*(12), 5258-5263.
- Kaplan, P. S., Jung, P. C., Ryther, J. S., & Zarlengo-Strouse, P. (1996). Infant-directed versus adult-directed speech as signals for faces. *Developmental Psychology*, *32*(5), 880.
- Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Ito, K., & Nakamura, K. (1999). The human amygdala plays an important role in gaze monitoring: A PET study. *Brain*, *122*(4), 779-783.
- King NJ. 1994 Physiological assessment. In *International handbook of phobic and anxiety disorders in children and adolescents* (eds TH Ollendick, NJ King, W Yule), pp. 365-379. Boston, MA: Springer.
- Kingstone, A., Friesen, C. K., & Gazzaniga, M. S. (2000). Reflexive joint attention depends on lateralized cortical connections. *Psychological Science*, *11*(2), 159-166.
- Kingstone, A., Smilek, D., Ristic, J., Kelland Friesen, C., & Eastwood, J. D. (2003). Attention, researchers! It is time to take a look at the real world. *Current Directions in Psychological Science*, *12*(5), 176-180.
- Kleinke, C. L. (1986). Gaze and eye contact: a research review. *Psychological bulletin*, *100*(1), 78.
- Kleinsmith, L. J., and Kaplan, S. (1963). Paired-associate learning as a

- function of arousal and interpolated interval. *J. Exp. Psychol.* 65, 190–193.
- Knyazev, G. G. (2007). Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 31(3), 377-395.
- Kuehn, E., Mueller, K., Lohmann, G., & Schuetz-Bosbach, S. (2016). Interoceptive awareness changes the posterior insula functional connectivity profile. *Brain Structure and Function*, 221(3), 1555-1571.
- Kuhn, G., & Benson, V. (2007). The influence of eye-gaze and arrow pointing distractor cues on voluntary eye movements. *Perception & Psychophysics*, 69(6), 966-971.
- Kuhn, G., Benson, V., Fletcher-Watson, S., Kovshoff, H., McCormick, C. A., Kirkby, J., & Leekam, S. R. (2010). Eye movements affirm: automatic overt gaze and arrow cueing for typical adults and adults with autism spectrum disorder. *Experimental Brain Research*, 201(2), 155-165.
- Kuhn, G., & Kingstone, A. (2009). Look away! Eyes and arrows engage oculomotor responses automatically. *Attention Perception & Psychophysics*, 71(2), 314-327.
- Kuhn, G., & Tipples, J. (2011). Increased gaze following for fearful faces. It depends on what you're looking for! *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 89-95.
- Kuzmanovic, B., Georgescu, A. L., Eickhoff, S. B., Shah, N. J., Bente, G., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2009). Duration matters: dissociating neural correlates of detection and evaluation of social gaze. *Neuroimage*, 46(4),

1154-1163.

- Lansink, J. M., & Richards, J. E. (1997). Heart rate and behavioral measures of attention in six-, nine-, and twelve - month - old infants during object exploration. *Child Development, 68*(4), 610-620.
- Lau, J. Y. F., Goldman, D., Buzas, B., Hodgkinson, C., Leibenluft, E., Nelson, E., Ernst, M. (2009). BDNF gene polymorphism (Val66Met) predicts amygdala and anterior hippocampus responses to emotional faces in anxious and depressed adolescents. *NeuroImage, 53*, 952– 961.
- Lee, E., Kang, J. I., Park, I. H., Kim, J. J., & An, S. K. (2008). Is a neutral face really evaluated as being emotionally neutral?. *Psychiatry research, 157*(1-3), 77-85.
- Lloyd-Fox, S., Széplaki-Köllöd, B., Yin, J., & Csibra, G. (2015). Are you talking to me? Neural activations in 6-month-old infants in response to being addressed during natural interactions. *cortex, 70*, 35-48.
- LoBue, V., & Adolph, K. E. (2019). Fear in infancy: Lessons from snakes, spiders, heights, and strangers. *Developmental psychology, 55*(9), 1889.
- Lockwood, P. L., & Wittmann, M. K. (2018). Ventral anterior cingulate cortex and social decision-making. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 92*, 187-191.
- Luo, Q., Mitchell, D., Cheng, X., Mondillo, K., Mccaffrey, D., Holroyd, T., ... & Blair, J. (2009). Visual awareness, emotion, and gamma band synchronization. *Cerebral cortex, 19*(8), 1896-1904.
- Macrae, C. N., Hood, B. M., Milne, A. B., Rowe, A. C., & Mason, M. F. (2002). Are you looking at me? Eye gaze and person perception. *Psychological*

science, 13(5), 460-464.

Maister, L., Tang, T., & Tsakiris, M. (2017). Neurobehavioral evidence of interoceptive sensitivity in early infancy. *Elife*, 6, e25318.

Matsunaka, R., & Hiraki, K. (2014). Fearful gaze cueing: gaze direction and facial expression independently influence overt orienting responses in 12-month-olds. *PLoS One*, 9(2), e89567.

Mason, M. F., Tatkov, E. P., & Macrae, C. N. (2005). The look of love: Gaze shifts and person perception. *Psychological science*, 16(3), 236-239.

Mathews, A., Fox, E., Yiend, J., & Calder, A. (2003). The face of fear: Effects of eye gaze and emotion on visual attention. *Visual Cognition*, 10(7), 823-835.

Matsunaka, R., & Hiraki, K. (2014). Fearful gaze cueing: gaze direction and facial expression independently influence overt orienting responses in 12-month-olds. *PLoS One*, 9(2), e89567.

Maureira, M. A. G., Rombout, L. E., Teernstra, L., Speek, I. C., & Broekens, J. (2015, September). The influence of subliminal visual primes on player affect in a horror computer game. In 2015 International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII) (pp. 705-711). IEEE.

Maurer, D., & Salapatek, P. (1976). Developmental changes in the scanning of faces by young infants. *Child development*, 523-527.

Meltzoff, A. N., & Brooks, R. (2008). Self-experience as a mechanism for learning about others: a training study in social cognition. *Developmental psychology*, 44(5), 1257.

Meltzoff, A. N., Brooks, R., Shon, A. P., & Rao, R. P. (2010). "Social" robots are

- psychological agents for infants: A test of gaze following. *Neural networks*, 23(8-9), 966-972.
- Mogg, K., Garner, M., & Bradley, B. P. (2007). Anxiety and orienting of gaze to angry and fearful faces. *Biological psychology*, 76(3), 163-169.
- Moore, C. (1999). Gaze following and the control of attention. In P. Rochat (Ed.), *Early social cognition: Understanding others in the first months of life* (pp. 241– 256). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Moore, C., & Corkum, V. (1998). Infant gaze following based on eye direction. *British journal of developmental psychology*, 16(4), 495-503.
- Moore, R., Liebal, K., and Tomasello, M. (2013). Three-year-olds understand communicative intentions without language, gestures, or gaze. *Interact. Stud.* 14, 62–80.
- Morris, A. L., Cleary, A. M., & Still, M. L. (2008). The role of autonomic arousal in feelings of familiarity. *Consciousness and cognition*, 17(4), 1378-1385. doi: 10.1016/j.concog.2008.04.005
- Morris, J. S., Öhman, A., & Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4), 1680-1685.
- Mundy, P. (1995). Joint attention and social-emotional approach behavior in children with autism. *Dev. Psychopathol.* 7, 63–82.
- Namkung, H., Kim, S. H., & Sawa, A. (2017). The insula: an underestimated brain area in clinical neuroscience, psychiatry, and neurology. *Trends in neurosciences*, 40(4), 200-207.
- Nichols, K. A., & Champness, B. G. (1971). Eye gaze and the GSR. *Journal of*

Experimental Social Psychology, 7(6), 623-626.

- Nourski, K. V. (2017). Auditory processing in the human cortex: An intracranial electrophysiology perspective. *Laryngoscope investigative otolaryngology*, 2(4), 147-156.
- Nyström, P., Bölte, S., Falck-Ytter, T., & EASE Team. (2017). Responding to other people's direct gaze: alterations in gaze behavior in infants at risk for autism occur on very short timescales. *Journal of autism and developmental disorders*, 47(11), 3498-3509.
- Oakes, L. M., Tellinghuisen, D. J., and Tjebkes, T. L. (2000). Competition for infants' attention: the interactive influence of attentional state and stimulus characteristics. *Infancy* 1, 347-361.
- Oberwelland, E., Schilbach, L., Barisic, I., Krall, S. C., Vogeley, K., Fink, G. R., & Schulte-Rüther, M. (2016). Look into my eyes: Investigating joint attention using interactive eye-tracking and fMRI in a developmental sample. *NeuroImage*, 130, 248-260.
- Okumura, Y., Kanakogi, Y., Kanda, T., Ishiguro, H., & Itakura, S. (2013). The power of human gaze on infant learning. *Cognition*, 128(2), 127-133.
- Okumura, Y., Kanakogi, Y., Kobayashi, T., & Itakura, S. (2020). Ostension affects infant learning more than attention. *Cognition*, 195, 104082.
- Pascalis, O., De Haan, M., Nelson, C. A., & De Schonen, S. (1998). Long-term recognition memory for faces assessed by visual paired comparison in 3-and 6-month-old infants. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(1), 249.

- Pecchinenda, A., Pes, M., Ferlazzo, F., & Zoccolotti, P. (2008). The combined effect of gaze direction and facial expression on cueing spatial attention. *Emotion, 8*(5), 628.
- Perrett, D. I., & Emery, N. J. (1994). Understanding the intentions of others from visual signals: Neurophysiological evidence. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition, 13*(5), 683–694.
- Pessoa, L. (2017). A network model of the emotional brain. *Trends in cognitive sciences, 21*(5), 357-371.
- Pfaff, D., Ribeiro, A., Matthews, J., & Kow, L. M. (2008). Concepts and mechanisms of generalized central nervous system arousal. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1129*(1), 11-25.
- Pine, D. S., Klein, R. G., Mannuzza, S., Moulton Iii, J. L., Lissek, S., Guardino, M., & Woldehawariat, G. (2005). Face - emotion processing in offspring at risk for panic disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 44*, 664– 672.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology, 32*(1), 3-25.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. *Attention and performance X: Control of language processes, 32*, 531-556.
- Poulin-Dubois, D., Brooker, I., & Polonia, A. (2011). Infants prefer to imitate a reliable person. *Infant Behavior and Development, 34*(2), 303-309.
- Poulin-Dubois, D., & Brosseau-Liard, P. (2016). The developmental origins of selective social learning. *Current directions in psychological science, 25*(1), 60-64.

- Qadir, H., Krimmel, S. R., Mu, C., Pouloupoulos, A., Seminowicz, D. A., & Mathur, B. N. (2018). Structural connectivity of the anterior cingulate cortex, claustrum, and the anterior insula of the mouse. *Frontiers in neuroanatomy*, *12*, 100.
- Reynolds, G. D., Courage, M. L., and Richards, J. E. (2013). "The development of attention," in *Oxford Handbook of Cognitive Psychology*, ed. D. Reisberg (New York, NY: Oxford University Press), 1000–1013.
- Richeson, J. A., Todd, A. R., Trawalter, S., & Baird, A. A. (2008). Eye-gaze direction modulates race-related amygdala activity. *Group Processes & Intergroup Relations*, *11*(2), 233-246.
- Rigato, S., Menon, E., Johnson, M. H., Faraguna, D., & Farroni, T. (2011). Direct gaze may modulate face recognition in newborns. *Infant and Child Development*, *20*(1), 20-34.
- Rimmele, J. M., Gross, J., Molholm, S., & Keitel, A. (2018). Brain oscillations in human communication. *Frontiers in human neuroscience*, *12*, 39.
- Ristic, J., Friesen, C. K., & Kingstone, A. (2002). Are eyes special? It depends on how you look at it. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(3), 507-513.
- Roelofs, K. (2017). Freeze for action: neurobiological mechanisms in animal and human freezing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *372*(1718), 20160206.
- Rose, S. A., Futterweit, L. R., and Jankowski, J. J. (1999). The relation of affect to attention and learning in infancy. *Child Dev.* *70*, 549–559.

- Rosenbloom, M. H., Schmahmann, J. D., & Price, B. H. (2012). The functional neuroanatomy of decision-making. *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences*, *24*(3), 266-277.
- Rudebeck, P. H., Putnam, P. T., Daniels, T. E., Yang, T., Mitz, A. R., Rhodes, S. E., & Murray, E. A. (2014). A role for primate subgenual cingulate cortex in sustaining autonomic arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(14), 5391-5396.
- Ruff, C. C., & Fehr, E. (2014). The neurobiology of rewards and values in social decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, *15*(8), 549-562.
- Sato, W., Kochiyama, T., Uono, S., & Yoshikawa, S. (2009). Commonalities in the neural mechanisms underlying automatic attentional shifts by gaze, gestures, and symbols. *Neuroimage*, *45*(3), 984-992.
- Schilbach, L., Timmermans, B., Reddy, V., Costall, A., Bente, G., Schlicht, T., & Vogeley, K. (2013). Toward a second-person neuroscience 1. *Behavioral and brain sciences*, *36*(4), 393-414.
- Schilbach, L., Wilms, M., Eickhoff, S. B., Romanzetti, S., Tepest, R., Bente, G., & Vogeley, K. (2010). Minds made for sharing: initiating joint attention recruits reward-related neurocircuitry. *Journal of cognitive neuroscience*, *22*(12), 2702-2715.
- Schneider, M., Leuchs, L., Czisch, M., Sämann, P. G., & Spormaker, V. I. (2018). Disentangling reward anticipation with simultaneous pupillometry/fMRI. *NeuroImage*, *178*, 11-22.

- Schuller, A. M., & Rossion, B. (2001). Spatial attention triggered by eye gaze increases and speeds up early visual activity. *Neuroreport*, *12*(11), 2381-2386.
- Senju, A., & Csibra, G. (2008). Gaze following in human infants depends on communicative signals. *Current Biology*, *18*(9), 668-671.
- Senju, A., & Johnson, M. H. (2009). The eye contact effect: mechanisms and development. *Trends in cognitive sciences*, *13*(3), 127-134.
- Senju, A., & Hasegawa, T. (2005). Direct gaze captures visuospatial attention. *Visual cognition*, *12*(1), 127-144.
- Senju, A., Verneti, A., Ganea, N., Hudry, K., Tucker, L., Charman, T., & Johnson, M. H. (2015). Early social experience affects the development of eye gaze processing. *Current Biology*, *25*(23), 3086-3091.
- Shultz, S., Vouloumanos, A., & Pelphrey, K. (2012). The superior temporal sulcus differentiates communicative and noncommunicative auditory signals. *Journal of cognitive neuroscience*, *24*(5), 1224-1232.
- Singer, T., Critchley, H. D., & Preuschoff, K. (2009). A common role of insula in feelings, empathy and uncertainty. *Trends in cognitive sciences*, *13*(8), 334-340.
- Smith, D. T., & Casteau, S. (2019). The effect of offset cues on saccade programming and covert attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, *72*(3), 481-490.
- Stein, T., Zwickel, J., Ritter, J., Kitzmantel, M., & Schneider, W. X. (2009). The effect of fearful faces on the attentional blink is task dependent. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(1), 104-109.

- Striano, T., Kopp, F., Grossmann, T., & Reid, V. M. (2006). Eye contact influences neural processing of emotional expressions in 4-month-old infants. *Social cognitive and affective neuroscience*, *1*(2), 87-94.
- Sutton, R. S. (1988). Learning to predict by the methods of temporal differences. *Mach. Learn.* *3*, 9-44.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998). *Reinforcement Learning: An Introduction*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Szufnarowska, J., Rohlfing, K. J., Fawcett, C., & Gredebäck, G. (2014). Is ostension any more than attention?. *Scientific Reports*, *4*, 5304.
- Tellinghuisen, D. J., Oakes, L. M., and Tjebkes, T. L. (1999). The influence of attentional state and stimulus characteristics on infant distractibility. *Cogn. Dev.* *14*, 199-213.
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers III, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *36*(2), 747-756.
- Theuring, C., Gredebäck, G., & Hauf, P. (2007). Object processing during a joint gaze following task. *European Journal of Developmental Psychology*, *4*(1), 65-79
- Tingley, D., Yamamoto, T., Hirose, K., Keele, L., & Imai, K. (2013). mediation: R package for causal mediation analysis (Version 4.4. 2).
- Tipples, J. (2002). Eye gaze is not unique: Automatic orienting in response to uninformative arrows. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(2), 314-318.

- Tipples, J. (2006). Fear and fearfulness potentiate automatic orienting to eye gaze. *Cognition & Emotion*, 20(2), 309-320.
- Tipples, J. (2008). Orienting to counterpredictive Gaze and Arrow Cues. *Perception & Psychophysics*, 70(1), 77-87.
- Triesch, J., Jasso, H., and Deák, G. O. (2007). Emergence of mirror neurons in a model of gaze following. *Adapt. Behav.* 15, 149–165.
- Triesch, J., Teuscher, C., Deák, G. O., and Carlson, E. (2006). Gaze following: why (not) learn it? *Dev. Sci.* 9, 125–147.
- Tummeltshammer, K. S., Wu, R., Sobel, D. M., & Kirkham, N. Z. (2014). Infants track the reliability of potential informants. *Psychological Science*, 25(9), 1730-1738. doi: 10.1177/0956797614540178
- Tummeltshammer, K., Feldman, E. C., & Amso, D. (2019). Using pupil dilation, eye-blink rate, and the value of mother to investigate reward learning mechanisms in infancy. *Developmental cognitive neuroscience*, 36, 100608.
- Urakawa, S., Takamoto, K., Ishikawa, A., Ono, T., & Nishijo, H. (2015). Selective medial prefrontal cortex responses during live mutual gaze interactions in human infants: an fNIRS study. *Brain topography*, 28(5), 691-701.
- van Kempen, J., Loughnane, G. M., Newman, D. P., Kelly, S. P., Thiele, A., O'Connell, R. G., & Bellgrove, M. A. (2019). Behavioural and neural signatures of perceptual decision-making are modulated by pupil-linked arousal. *Elife*, 8, e42541.
- Van Rooijen, R., Junge, C., & Kemner, C. (2018). No Own-Age Bias in Children's Gaze-Cueing Effects. *Frontiers in Psychology*, 9, 2484.

- Vernetti, A., Smith, T. J., & Senju, A. (2017). Gaze-contingent reinforcement learning reveals incentive value of social signals in young children and adults. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *284*(1850), 20162747.
- Vico, C., Guerra, P., Robles, H., Vila, J., & Anllo-Vento, L. (2010). Affective processing of loved faces: contributions from peripheral and central electrophysiology. *Neuropsychologia*, *48*(10), 2894-2902.
- von Hofsten, C., Dahlström, E., & Fredriksson, Y. (2005). 12 - month - old infants' perception of attention direction in static video images. *Infancy*, *8*(3), 217-231.
- Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, *45*(1), 174-194.
- Wang, Y., Newport, R., & Hamilton, A. F. D. C. (2011). Eye contact enhances mimicry of intransitive hand movements. *Biology letters*, *7*(1), 7-10.
- Wang, F., Schoenbaum, G., & Kahnt, T. (2020). Interactions between human orbitofrontal cortex and hippocampus support model-based inference. *PLoS Biology*, *18*(1), e3000578.
- Wass, S. V., Clackson, K., & de Barbaro, K. (2016). Temporal dynamics of arousal and attention in 12-month-old infants. *Developmental psychobiology*, *58*(5), 623-639.
- Watanabe, N., Bhanji, J. P., Ohira, H., & Delgado, M. R. (2018). Reward-driven arousal impacts preparation to perform a task via amygdala–caudate mechanisms. *Cerebral Cortex*, *29*(7), 3010-3022.

- Watson, R., Latinus, M., Charest, I., Crabbe, F., & Belin, P. (2014). People-selectivity, audiovisual integration and heteromodality in the superior temporal sulcus. *cortex*, *50*, 125-136.
- Watson, K. K., & Platt, M. L. (2012). Social signals in primate orbitofrontal cortex. *Current Biology*, *22*(23), 2268-2273.
- Wesselmann, E. D., Cardoso, F. D., Slater, S., & Williams, K. D. (2012). To be looked at as though air: Civil attention matters. *Psychological Science*, *23*(2), 166-168.
- Willis, M. L., Palermo, R., & Burke, D. (2011). Social judgments are influenced by both facial expression and direction of eye gaze. *Social cognition*, *29*(4), 415-429.
- Wimmer, G. E., & Shohamy, D. (2012). Preference by association: how memory mechanisms in the hippocampus bias decisions. *Science*, *338*(6104), 270-273.
- Xu, S., Zhang, S., & Geng, H. (2018). The effect of eye contact is contingent on visual awareness. *Frontiers in psychology*, *9*, 93.
- Yang, T. T., Simmons, A. N., Matthews, S. C., Tapert, S. F., Bischoff-Grethe, A., Frank, G. K., & Paulus, M. P. (2007). Increased amygdala activation is related to heart rate during emotion processing in adolescent subjects. *Neuroscience letters*, *428*(2-3), 109-114.
- Zaki, J., Davis, J. I., & Ochsner, K. N. (2012). Overlapping activity in anterior insula during interoception and emotional experience. *Neuroimage*, *62*(1), 493-499.
- Zhao, K., Yan, W. J., Chen, Y. H., Zuo, X. N., & Fu, X. (2013). Amygdala

volume predicts inter-individual differences in fearful face recognition. *PLoS One*, 8(8), e74096.

Zmyj, N., Buttelman, D., Carpenter, M., & Daum, M. M. (2010). The reliability of a model influences 14-month-olds' imitation. *Journal of experimental child psychology*, 106(4), 208-220. doi:

10.1016/j.jecp.2010.03.002

付録 A

論文刊行情報

第 2 章 視線追従場面におけるアイコンタクトが乳児の心拍に与える影響

Ishikawa, M., & Itakura, S. (2019). Physiological arousal predicts gaze following in infants. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1896), 20182746.

第 3 章 成人を対象とした情動プライミングが視線情報処理に与える影響の検討

Ishikawa, M., Haensel, J. X., Smith, T. J., Senju, A., & Itakura, S. (2020). Affective priming enhances gaze cueing effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. Advance online publication, DOI: 10.1037/xhp0000880

第 4 章 報酬予測的人物に対する視線追従と乳児の心拍の関連

Ishikawa, M., Senju, A., Kato, M., & Itakura, S. (under review). Affective arousal explains infant gaze following under various social context

第 5 章 乳幼児の視線追従の発達: 計算論的アプローチ

Ishikawa, M., Senju, A., & Itakura, S. (2020). Learning Process of Gaze Following: Computational Modeling Based on Reinforcement Learning. *Frontiers in Psychology*, 11, 213.

DOI: 10.3389/fpsyg.2020.00213

付録 B

研究業績

学術論文 (査読あり)

Hamamoto, H., Mizobata, R., **Ishikawa, M.**, & Itakura, S. (2020). Examining the Social Influence of Reputation for Partner Productivity Level on the Collaborative Task Performance of Young Children. *Infant and Child Development*.

Haensel, X. J., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Smith, T. J., & Senju, A. (2020). Cultural influences on face scanning are consistent across infancy and adulthood. *Infant Behavior and Development*.

Ishikawa, M., Haensel, X. J., Smith, T. J., Senju, A., & Itakura, S. (2020). Affective priming enhances gaze cueing effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. Advance online publication, DOI: 10.1037/xhp0000880

Manzi, F., **Ishikawa, M.**, Di Dio, C., Itakura, S., Kanda, T., Ishiguro, H., & Marchetti, A. (2020). The understanding of congruent and incongruent referential gaze in 17-month-old infants: an eye-tracking study comparing human and robot. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-10.

Ishikawa, M., Senju, A., & Itakura, S. (2020). Learning Process of Gaze Following: Computational Modeling Based on Reinforcement Learning. *Frontiers in Psychology*, *11*.

ManyBabies Consortium. (2020). Quantifying sources of variability in infancy research using the infant-directed-speech preference. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, *3*(1), 24-52.

- Haensel, J., Danvers, M., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Tucciarelli, R., Smith, T. J., & Senju, A. (2020). Culture modulates face scanning during dyadic social interactions. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-11.
- Ishikawa, M.**, & Itakura, S. (2019). Physiological arousal predicts gaze following in infants. *Proc. R. Soc. B* 20182746.
<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.2746>
- Ishikawa, M.**, Yoshimura, M., Sato, H., & Itakura, S. (2019). Effects of attentional behaviours on infant visual preferences and object choice. *Cognitive Processing*. DOI: 10.1007/s10339-019-00918-x
- Ishikawa, M.**, Itakura, S., & Tanabe, C. H. (2018). Effects of autistic traits and context use on social cognitions a mediation analysis. *Neurophysiology Research*, *1*(1).
- Ishikawa, M.**, Itakura, S. (2018). Observing others' gaze direction affects infants' preference for looking at gazing- or gazed-at faces. *Frontiers in Psychology*, DOI: 10.3389/fpsyg.2018.01503
- Ishikawa, M.**, Park, Y. H., Kitazaki, M., & Itakura, S., (2017) Social information affects adults' evaluation of fairness in distributions: An ERP approach. *PloS one*, *12*(2), e0172974.
- Ishikawa, M.**, & Itakura, S. (2017) Familiarity of Actors Affects Eye Gaze Processing During Observation of Goal-Directed Actions. *Psychol Behav Sci Int J.*; *2*(4) : 555592. DOI: 10.19080/PBSIJ.2017.02.555592.

Ishikawa, M., Itakura, S., & Tanabe, C. H. (2017) Autistic Traits Affect P300 Response to Unexpected Events, regardless of Mental State Inferences, *Autism Research and Treatment*, vol. 2017, Article ID 8195129, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/8195129>.

国際学会発表 (査読あり)

Manzi, F., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Kanda, T., Ishiguro, H., Di Dio, C., Massaro, D., & Marchetti, A., Can humanoid robots be intentional agents like humans?: An eye-tracking study on infants' understanding of goal-directed action, BCCCD, Budapest, Hungary, January 7-9,2021

Ishikawa, M., Senju, A., Kato, M., & Itakura, S., Heart rate mediates contextual modulation of infant gaze following, ICIS online, Glasgow, UK, July 6-9, 2020

Ishikawa, M., Senju, A., Kato, M., & Itakura, S., Heart rate partially explains contextual modulation of infant gaze following, Budapest CEU Conference on Cognitive Development, PB-07, Budapest, Hungary, January 8-10, 2020

Manzi, F., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Kanda, T., Ishiguro, H., Di Dio, C., Massaro, D., & Marchetti, A., Can humanoid robots be informative partners like humans?: An eye-tracking study on infants' gaze understanding, Budapest CEU Conference on Cognitive Development, PB-6, Budapest, Hungary, January 8-10, 2020

Manzi, F., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Kanda, T., Ishiguro, S., Massaro D., & Marchetti, A., Agency is not a problem: A study on the action understanding in infants comparing human and robot., 19th European

Conference on Developmental Psychology, #24, Athens, Greece, August 29- September 1, 2019

Ishikawa, M., & Itakura, S., The method to predict infant behaviour: A study of Artificial Neural Networks, 4th Lancaster Conference on Infant and Early Child Development, Lancaster, UK, August 21-23, 2019

Haensel, X. J., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Neesgaard, N., Tucciarelli, R., Smith, J, T., Senju, A., A cross-cultural comparison of face scanning strategies in infancy: screen-based paradigms and live dyadic interactions, VSS, 53.305, Florida, USA, May 19, 2019

Ishikawa, M., & Itakura, S., How machine learning can be used in social cognitive science? A challenge to predict infant social behaviour, Understanding Others-Integration of Social Cognitive and Affective Processes, #5, Munich, Germany, March 28, 2019

Ishikawa, M., & Itakura, S., Physiological Arousal changes dynamically before infants show gaze following, Budapest CEU Conference on Cognitive Development, PB-07, Budapest, Hungary, January 3, 2019

Manzi, F., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Kanda, T., Ishiguro, S., Massaro D., & Marchetti, A., Agency is not a problem: A study on the action understanding in infants comparing human and robot., 19th European Conference on Developmental Psychology, #24, Athens, Greece, August 29- September 1, 2019

Manzi, F., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Kanda, T., Ishiguro, S., & Di Dio, C. The role of the gaze as a social signal in early childhood: a comparative

Eye-Tracker study between humans and robots in 16-month-old Japanese children., Annual Conference of the Italian Society of Psychology, Italy, 2019

Ishikawa, M., & Itakura, S., The effects of eye contact on infant heart rate: A study in the context of gaze following, British Psychological Society Developmental Section, Liverpool, UK, September 12-September14, 2018

Ishikawa, M., & Itakura, S., Preference for Gaze-Shifters in infants: in the triadic relation between Self-Other-Environment, ISSBD, Gold Coast, Australia, July 15-July19, 2018

Haensel, X. J., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Smith, J. T., Senju, A., Cultural differences in the development of face scanning, ICIS, Philadelphia, USA, June 30-July 3, 2018

Haensel. X. J., Danvers, M., **Ishikawa, M.**, Itakura, S., Smith, J. T., Senju, A., Examining cultural differences in naturalistic face scanning: A data-driven approach to analysing head-mounted eye-tracking data, VSS, Florida, USA, May 18-23, 2018

Ishikawa, M., & Itakura, S., Observing gaze interaction affects facial preferences in infants, 18th European Conference on Developmental Psychology, Utrecht, Netherlands, August 29-September 1, 2017

Ishikawa, M., & Itakura, S., Actors' familiarity affects eye gaze processing during observing goal-directed actions, International Convention of Psychological Science, III-013, Vienna, Austria, March 24, 2017

Ishikawa, M., Yoshimura, M., Sato, H., & Itakura, S., Gaze cuing affects the object choices in infants: I choose what you look at, Budapest CEU

Conference on Cognitive Development, PB-008, Budapest, Hungary,
January 6, 2017

Ishikawa, M., Itakura, S., & Tanabe, C, H., Effects of autistic traits and the
context use on social cognitions: A mediation analysis, 31st International
Congress of Psychology, RC-11-220, Yokohama, Japan, July 24-29, 2016

招待講演

21/11/2018 Lancaster University, Psychology seminar. UK. “The
Neurophysiological Mechanism of Eye Contact Effects on Gaze
Following”

1/2/2019 Catholic Milan University. Short Lecture for PhD students. Italy.
“Why we follow other’s gaze direction? The Mechanism of Gaze
Following”

12/2/2019 Birkbeck, University of London, CBCD Seminar, UK. “Physiological
arousal predicts gaze following in infants”

21/2/2019 Neuchatel University. Guest speaker for the lecture of Psychology.
Switzerland. “My heart is beating fast: The effects of eye contact on
infant physiological states and social behaviour”

26/9/2020 Doshisha University Center for Baby Science, Guest speaker for
Baby Science colloquium, Japan, “Development of gaze perception: A
Series of Physiological Studies”

受賞歴

2019 年 7 月 Society for Improvement of Psychological Science
Mission Award for improving psychological science in the face of
challenge, as contributor to the ManyBabies1 Collaboration

2020 年 3 月 京都大学総長賞

2021 年 3 月 日本学術振興会育志賞