

博士論文（要約）

視線手がかりと恐怖表情に関する発達認知神経科学的研究

The Processing of Fearful Gaze Cue: A Developmental Cognitive Neuroscience Study

松中（大西）玲子

第 1 章 序論

我々は他者の視線や表情といった社会的シグナルを、自己の心的状態の伝達や相互理解、そして複雑な世界の効率的学習のために利用している。生後 12 ヶ月頃の乳児においても、これらの社会的シグナルをターゲットの評価に利用し、それに応じた行動調整をする「社会的参照」が知られている。たとえば、恐怖表情とともに見つめられていたターゲットは回避し、微笑みとともに見つめられていたターゲットには接近するといった行動である。このような社会的シグナルの利用にはターゲットの同定が不可欠であり、そのためには社会的シグナルを発している他者からの注意の解放、そして、ターゲットへの注意を移動が必要となる。このとき、視線や表情といった社会的シグナルはターゲットへの注意の移動を行う上でどのような影響を与え、またそこにはどのような発達的变化が見られるのだろうか。

第 1 章では、他者の視線や表情が注意の移動に与える影響について、成人および乳児における先行研究の知見を概観した。注意は、頭部や眼球の動きを伴う顕在的注意とそれらを伴わない潜在的注意に大別される。従来の研究では、潜在的注意における影響の検討に焦点がおかれ、顕在的注意における影響に関する検討は少なかった。また、何らかの表情を表出している他者の視線が与える影響について、乳児を対象とした検討は特に少なく、発達の視点に乏しいのが現状であった。そこで本論文は、乳児および成人で比較・観察可能な顕在的注意に着目し、顕在的注意における視線および表情の影響を発達認知神経科学的立場より検討することを目的とした。顕在的注意の所在は眼球運動の観察より捉えられる。そこで眼球運動のなかでも特にサッケード反応に着目し、検討を行なった。また表情については、喜び、悲しみ、怒り、恐れ、驚き、嫌悪など、様々なものがあるが、本論文では、進化的にも重要な意味を持つとされる恐怖表情について、検討を行うこととした。まず第 2 章「視線計測による検討」では、乳児および成人を対象に、視線手がかりおよび恐怖表情がサッケード反応に与える影響について、視線計測装置を用いることで詳細な検討を行った（実験 1 から実験 6）。そして第 3 章「脳波計測による検討」では、それらの反応を制御する神経機序についての示唆を得るため、12 ヶ月児を対象に脳波計測を行い、検討した（実験 7）。

第 2 章 視線計測による検討

視線手がかりおよび恐怖表情がサッケード反応に与える影響とその発達的变化を捉えるため、乳児を対象とした検討（実験 1 から実験 4）および成人を対象とした検討（実験 5、実験 6）を行った。手続きには「視線手がかり法」を用いた。各試行では、画面上に表情（中立表情、恐怖表情）および視線方向（右向き、左向き、正面）が操作された顔刺激が呈示され、その後、左右いずれかの位置にターゲット刺激が呈示された。実験の主な要因は、

表情（中立表情条件、恐怖表情条件）および視線方向とターゲット呈示位置との一致性（Congruency）であった。Congruencyについては、a) 同側であった場合（Congruent 条件） b) 反対側であった場合（Incongruent 条件） c) 視線が正面を向いていた場合（Forward-gaze 条件）の3条件が設定された。そして、視線計測装置を用い、試行中の眼球運動を詳細に観察した。特に、ターゲット呈示に伴い生じるサッケード反応について、詳細な分析を行った。指標には、サッケード反応に関する代表的な指標であるサッケード反応時間（Saccadic Response Time: SRT）、および、サッケード制御機構の働きを検討するための一般的な指標である、サッケード中の最大速度（Peak Velocity）およびサッケード開始から終了までに眼球が移動した距離（Saccade Amplitude）を用いた。

まず実験1から実験3では、6ヶ月児および12ヶ月児を対象に検討を行った。その際、顔刺激の消去からターゲット呈示までに僅かな時間を設けるGapパラダイムを用いた。その結果、6ヶ月児では、いずれの指標においても視線手がかりおよび表情の影響は見られなかったが（実験2）、12ヶ月児においては、SRTに表情の影響が見られた（実験1、実験3）。具体的には、恐怖表情呈示時におけるSRTが中立表情呈示時と比べ短くなっていた（図1A）。またPeak VelocityおよびSaccade Amplitudeについては、有意傾向であったが、視線方向とターゲット呈示位置が不一致な場合（Incongruent 条件）、そうでない場合と比べ大きな値が見られるとの、Congruency間における差が見られた。

続く実験4では、12ヶ月児のみを対象に、ターゲット呈示後も顔刺激が呈示されたままであるOverlapパラダイムを用い、検討を行った。しかしながら、多くの試行で顔刺激に対する固視が生じ、サッケード反応に関する十分な検討は出来なかった。乳児にとって顔刺激は魅力度の高い刺激と考えられる。そのため、Overlapパラダイムを用いてサッケード反応を観察するには、呈示するターゲット刺激の魅力度を上げるなどの工夫が必要であることが示唆された。

次に、実験5および実験6では、成人を対象とした検討を行った。実験5ではGapパラダイム、実験6ではOverlapパラダイムを用いた。その結果、12ヶ月児と同様に、実験6では表情による影響が見られた。具体的には、Congruent条件およびIncongruent条件において、恐怖表情呈示時におけるSRTが中立表情呈示時と比べ短かった。またそれに加え、Congruent条件におけるSRTがIncongruent条件と比べ短いとの視線手がかりによる影響（Congruency効果）が、両表情において見られた（図1B）。Peak VelocityおよびSaccade Amplitudeについては、両実験において、Incongruent条件で他の条件と比べ有意に大きな値が見られるとのCongruency間における差、すなわち視線手がかりの影響が見られた。

以上の一連の実験より、生後12ヶ月頃より、恐怖表情の呈示により素早いサッケードが生じることが明らかとなった。またSRT以外の指標から、12ヶ月児のサッケード制御機構に、視線手がかりによる影響の兆しがあることが示唆された。しかしながら、12ヶ月児においては、成人で見られたような視線方向への素早いサッケード（Congruency効果）は見られなかった。顔の認知処理においては、視線および表情がその処理過程に相互に影響を及ぼし合うことが示唆されている。だが、サッケード反応においては、視線および表情の相互作用は見られなかった。このことから、サッケード制御機構における視線および表情の影響

が独立であることを示唆するものであると考えられた。

本章の実験 1 から実験 3 における結果は、学術雑誌に掲載済である (Matsunaka & Hiraki, 2014)。また成人を対象とした実験 5 および実験 6 の内容については、5 年以内に学術雑誌における公表を予定している。

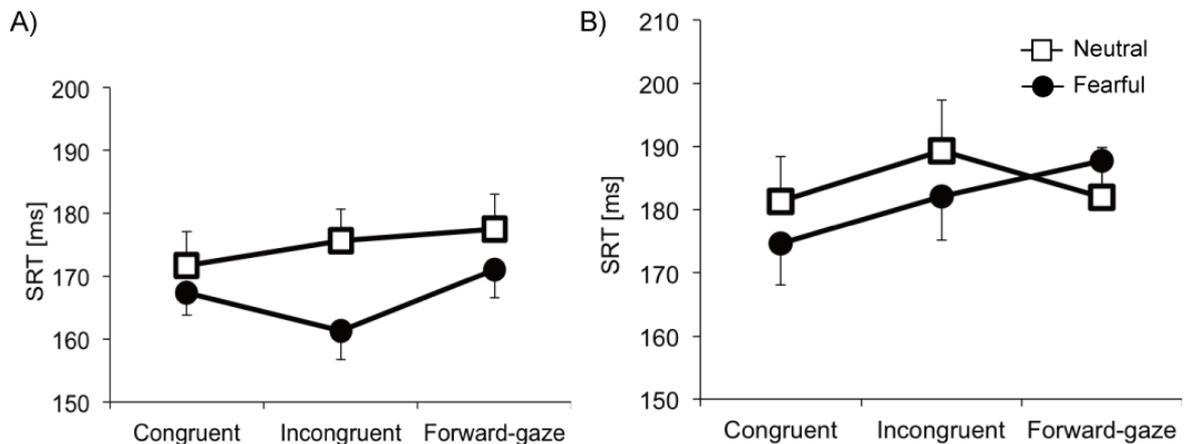


図 1. A) 12 ヶ月児 (実験 3) および B) 成人 (実験 6) における SRT の平均値 (bar = SE). 12 ヶ月児、成人 (Congruent 条件、Incongruent 条件) とともに、恐怖 (Fearful) 表情における SRT が中立 (Neutral) 表情における SRT と較べ短かった。

第 3 章 脳波計測による検討

第 2 章より、生後 12 ヶ月の時点で、恐怖表情の呈示により素早いサッケードが生じること、また、サッケード実行制御機構への視線手がかりによる影響の萌芽があることが明らかとなった。そこで第 3 章「脳波計測による検討」では、12 ヶ月児を対象とした脳活動計測を行なった (実験 7)。目的は、顔刺激呈示からサッケードの開始までに脳内でどのような処理が行われているのか、その神経機序についての示唆を得ることであった。計測には脳波計を用い、顔刺激の呈示、ターゲットの呈示、サッケードの開始に伴い観察される事象関連電位 (Event-related potentials: ERP) を指標とした。実験では、第 2 章における検討と同様、表情の種類、視線方向、ターゲットの呈示位置を操作し、ERP における視線および表情の影響を検討した。

その結果、顔刺激呈示からターゲット呈示までの区間においては、視線方向が横向きか正面向きかによって、振幅に差が見られた。そして、ターゲット呈示からサッケード開始までの区間においては、視線方向ではなく、表情間において振幅差が見られた。また観察された ERP の振幅に、視線と表情の交互作用は見られなかった。脳波計測は空間分解能が低いことから、観察された ERP の発生源に関する議論は、特に乳児においては難しい。ま

た神経活動が頭皮上に伝わるまでの時間にも発生源による違いがあるため、処理の時間順序に関する議論も慎重になされる必要がある。しかしながら、本実験で見られた振幅差は、視線方向への素早いサッケードが見られない12ヶ月児においても、視線方向に関する処理は行われていることを示していると考えられる。またターゲット呈示に関連して観察されたERP成分については、その振幅が大きいほどSRTが短いとの関係性が見られた。このERP成分の振幅は、視覚野の活動の多寡を反映するものと考えられており、恐怖表情呈示時の振幅が中立表情呈示時と較べ大きいとの傾向も見られた。これらの結果から、恐怖表情呈示による素早いサッケードの誘発は、恐怖表情が呈示されることで視覚野の活動が高まり、ターゲット検出の閾値が下がることにより生じている可能性が示唆された。

以上の実験7の内容については、5年以内に学術雑誌における公表を予定している。

第4章 総合考察

以上の結果をふまえ、第4章では、視線および表情に関する情報がサッケード制御機構に影響を与えるまでの神経機序について、発達に伴うモデルを提示した。本研究より得られた重要な知見は、サッケード制御機構への恐怖表情の影響が生後12ヶ月頃より見られるようになること、またサッケード制御機構における視線と表情による影響の独立性である。第3章における脳波計測の結果は、12ヶ月児においても視線の向きに関する処理がなされていることを示している。しかしながら、視線方向への注意の移動を行う上で、その情報が有効に用いられていることを示す反応は見られなかった。これらの得られた知見および成人を対象とした脳機能イメージング研究による知見から、本論文ではおもに2つのネットワークを想定し、議論を行なった。一つは、視線に関する情報を処理しサッケード制御機構へと伝達する頭頂葉や前頭野を經由するネットワークであり、もう一方は、表情に関する情報を処理しサッケード制御機構へと伝達する扁桃体や上丘などを中心としたネットワークであった。

今後は、恐怖表情以外の表情による影響を検討すること、また幼児期および児童期における知見の蓄積に加え、成人を対象とした脳波計測を行うことで、本論文において提示したモデルについて、更なる改良を進めていきたいと考えている。

参考文献

Matsunaka & Hiraki (2014) Fearful Gaze Cueing: Gaze Direction and Facial Expression Independently Influence Overt Orienting Responses in 12-Month-Olds. *PLoS ONE*, 9(2), e89567.