

報告番号	甲 乙 第 号	氏 名	白野 陽子
<p>主 論 文 題 名： 対人相互作用における社会的信号処理の発達：乳幼児の脳機能研究</p>			
<p>(内容の要旨)</p> <p>子どもの健やかな発達には、他者との社会的相互作用が重要な役割を果たしている。例えば、生後 2-3 歳頃までの乳幼児の模倣や言語などの様々な学習において、一方的な情報の呈示に留まるビデオでの学習は困難であり、他者との社会的相互作用のある生の（ライブの）学習でのみ学習可能になることが知られている。日常場面において、養育者は、子どもに対して、アイコンタクト、子どもの行動に随伴した刺激（随伴刺激）、声のピッチが高く抑揚をつけた話し方である対乳児音声（IDS）など、多様な社会的手がかりを用いた働きかけを自然に行なっていることが知られている。こうした手がかり刺激は、社会的信号と呼ばれ、送り手がコミュニケーションを始めようとしていることを受け手に伝え、受け手が誰であるのか特定する機能に加え、受け手の注意を誘発する機能を有している。多くの先行研究において、これらの社会的信号が、乳幼児の学習を促進することが確かめられている。</p> <p>成人において、心の理論など他者の心的状態の理解にかかわる脳の中枢領域として、内側前頭前野（medial prefrontal cortex: mPFC）、上側頭溝（superior temporal sulcus: STS）、側頭頭頂接合部（temporoparietal junction: TPJ）領域が知られており、他の関連領域とともに、社会脳ネットワークを形成していると考えられている。乳幼児においても、顔、自分に向けられた視線、IDS といった人間由来の社会的刺激の処理において、これらの脳領域の関与が明らかとなっている。しかし、これまでの脳機能研究は、刺激を画面上に提示し、それに対する神経活動を計測するに留まっているのが現状である。つまり、先行研究の多くは、ビデオやスピーカーを通じた一方向の刺激呈示であり、実際の対人相互作用場面における乳幼児の脳反応を調べた研究はほとんど行なわれていない。</p> <p>近年、機能的近赤外分光法（fNIRS）を用いた、ライブでの刺激呈示における脳機能計測手法が確立されてきている。そこで本研究では、fNIRS を用い、対人相互作用における社会的信号処理にかかわる脳機能の発達を検討した。本研究の目的は、（1）乳幼児における社会的信号処理の脳内基盤とその発達を明らかにする、（2）社会的相互作用において重要な役割を果たす社会的信号を明らかにする、（3）社会的刺激の処理に関わる脳活動と、母子の社会性との関連を明らかにする、（4）社会的刺激の処理に関わる脳活動と、その後の言語と社会性の発達との関連を明らかにすることであった。本研究のすべての実験において、参加児の目の前にいる実験者がライブで刺激の呈示を行い、自然な対人相互作用における乳幼児の脳活動を計測した。</p> <p>実験 1 では、他者との自然な社会的相互作用における乳幼児の fNIRS 計測手法の確立を目的とし、2つの社会的場面（共同注意を伴う三項関係の相互作用、手遊び歌を歌う二項関係の相互作</p>			

用)における12-14ヶ月児の右の側頭部の脳反応を計測した。その結果、実験者が社会的信号を一切呈示しなかった場面に比べ、実験者がIDS、アイコンタクト、随伴刺激といった複数の社会的信号を自然に呈示した2つの社会的場面では、右のSTS-TPJ領域において、活動が同様に増加した。主に右のSTS-TPJ領域は、成人において、社会的認知機能を担う社会脳ネットワークの中心領域の一つであることが知られており、乳児においても右のSTS-TPJ領域が、社会的相互作用に特有の社会的信号の処理を担っていると考えられた。

実験2では、実験1において観察されたSTS-TPJ領域の脳活動が、具体的に社会的信号の何の機能に関与していたのかについて明らかにするため、「アイコンタクト」と「随伴刺激」という2種類の社会的信号に要因を絞り、6-8ヶ月児と10-13ヶ月児の左右の側頭部の脳反応を検討した。その結果、アイコンタクトができる自然な状態の対人場面では、実験者が随伴刺激を呈示しない場合に比べ、実験者が随伴刺激を呈示する場合には、6-8ヶ月児において右のTPJ領域の活動がより増加した。一方、実験者が下を向いてアイコンタクトがとれない場合と、実験者とのアイコンタクトがとれる場合とでは、脳反応に違いは見られなかった。これらの結果から、右のTPJ領域が随伴性の処理に関与していること、そして、乳児期の対人相互作用において随伴刺激が重要な社会的信号であることが明らかとなった。10-13ヶ月児においては、TPJ領域の活動の増減に個人差が大きく、6-8ヶ月児よりも反応の検出が困難であったが、6-8ヶ月児と同様に、随伴刺激の処理における右のTPJ領域の関与が示唆された。

実験3では、TPJ領域が全般的な「随伴性」の処理に関与するのか、それとも特定の刺激特性を伴った随伴性の処理を行うのかを明らかにするため、社会的に意味のあるポジティブな随伴刺激（笑いかける）、社会的に意味のあるネガティブな随伴刺激（目をそらす）、社会的に意味のない随伴刺激（LEDが光る）に対する6-8ヶ月児の左右の側頭部の脳反応を検討した。その結果、ネガティブな随伴刺激に対してはTPJ領域の強い活動は認められなかったが、ポジティブな随伴刺激と、社会的でない随伴刺激に対して、右のTPJ領域の賦活が認められた。全く異なる刺激特性をもった2種類の随伴刺激（笑顔とLED光）に共通して右のTPJ領域の賦活が見られたことから、随伴性についての領域一般的な処理に、右のTPJ領域が関与している可能性が示された。しかし、ポジティブな随伴刺激はTPJ領域内の角回に相当するチャンネルにおいて活動の増加が見られたのに対し、社会的でない随伴刺激において活動の増加が見られたのは、より前方の縁上回に相当するチャンネルであった。このことから、人間由来の社会的な随伴刺激は、他者の心的状態の理解にかかわるとされる角回で処理されるが、社会的でない随伴刺激の処理は、より注意との関連が強い前方のTPJ領域で処理されると考えられた。

実験4では、刺激の妥当性に疑問があったネガティブな随伴刺激のみ、「目をそらす」から「無表情になる」に変更を加えた以外は、実験3と同様の実験を行い、4-5ヶ月児と6-7ヶ月児の前頭部と右の側頭部の脳活動を検討した。その結果、6-7ヶ月児では、すべての随伴刺激に対して右のTPJ領域の賦活が認められた。その賦活領域もこれまでと一貫しており、活動の増加が見られたのは、ポジティブな随伴刺激とネガティブな随伴刺激では角回に相当するチャンネルであったのに対し、社会的でない随伴刺激ではより前方の縁上回に相当するチャンネルであった。4-5ヶ月児においては、どの随伴刺激に対しても、右のTPJ領域の賦活は認められなかった。前頭部の

反応では、4-5ヶ月児、6-7ヶ月児ともに、ポジティブな随伴刺激に対してのみ、背内側前頭前野 (dmPFC) において有意な活動の変化が認められた。さらに、TPJ 領域と dmPFC 領域間の機能的結合の強度を分析した結果、6-7ヶ月児においてポジティブな随伴刺激とネガティブな随伴刺激を呈示した場合において、TPJ 領域と dmPFC 領域を繋ぐ機能的結合が検出された。4-5ヶ月児では、ポジティブな随伴刺激を呈示した場合のみ、TPJ 領域と mPFC 領域を結ぶ機能的結合の存在が示唆された。一方、社会的でない随伴刺激を呈示した場合においては、月齢にかかわらず、TPJ 領域と dmPFC 領域を繋ぐ機能的結合は検出されなかった。これらの結果より、6ヶ月齢の乳児において、「随伴性」そのものの処理に TPJ 領域が関与しており、さらに、社会的な (人間由来の) 随伴刺激と、社会的でない随伴刺激の処理を担っている脳内基盤は異なっているとする実験 3 の結果が支持された。また、実験 4 の結果から、ポジティブな随伴刺激の処理に dmPFC 領域が関与しており、社会的刺激の処理を担う TPJ 領域と dmPFC 領域を繋ぐ社会脳ネットワークの一部が、生後約半年の乳児においてすでに形成されていることが示された。さらに、6-7ヶ月児に比べ4-5ヶ月児では、社会的信号である随伴刺激の処理において、機能分化もない発達途上の脳内機構であることが示唆された。このことから、社会的信号の処理における社会脳ネットワークの形成は、生後6ヶ月頃に大きく進むと考えられた。生後6ヶ月頃は、運動・言語・認知機能が著しく発達する過渡期である。本研究において観察された社会脳ネットワークの発達の變化は、言語や認知機能における発達が、時期を前後して脳内において生じる社会脳ネットワークの成熟化によって支えられている可能性を示している。

また、本研究において、随伴刺激に対する TPJ 領域の活動と、乳児の社会的行動との間に関連が示された。実験 1 では、実験者との歌遊びの場面において「実験者の顔」をよく見る 12-14ヶ月児は、共同注意を伴うような複雑で高次のコミュニケーションにおいて、より大きな STS-TPJ 領域の賦活を示した。実験 2 では、母親との自由遊び場面において、母親の顔を見る頻度が多い乳児は、少ない乳児に比べて、随伴刺激に対する TPJ 領域の活動の増加量が大きいことが明らかとなった。同様に、実験 3 では、母親との自由遊び場面において、母親の顔をより長く見る乳児は、ポジティブな随伴刺激に対する TPJ 領域の活動の増加量が、より大きくなる傾向が示された。実験 4 においては、随伴刺激に対する TPJ 領域の活動と乳児の社会的行動との間に関連が認められなかったものの、これらの結果は、最も重要な社会的刺激である他者の顔への選好が高い乳児は、随伴刺激に対する社会脳ネットワークが活発に機能していることを示唆している。

以上の研究を通して、社会脳ネットワークの中核である TPJ 領域と dmPFC 領域が、6-7ヶ月齢において、すでに対人相互作用における随伴刺激という高次の社会的信号の処理に関与していることが明らかとなった。また、TPJ 領域と dmPFC 領域を繋ぐ機能的結合が、遅くとも生後6-7ヶ月において、すでに形成されていることが示された。さらに、社会的信号の処理における社会脳ネットワークの形成は、生後6ヶ月頃に促進されることが示唆された。

本研究のように、自然な社会的相互作用を実験的に統制しつつ社会脳機能を明らかにした研究は、世界に先駆けたものであり、fNIRS を用いてこそ可能となる世界初の知見である。本研究は、実際の日常場面に即した自然な社会的相互作用における、脳反応計測の可能性と重要性を示した、最先端の脳機能イメージング研究として位置付けられる。