



2024年10月23日

報道関係者各位

慶應義塾大学

新生児の素早い文法学習能力と生後半年の学習脳機能発達を実証 —言語野ネットワーク発達の解明へ寄与—

慶應義塾大学文学部心理学研究室、KGRI 未来共生デザインセンター、ヒト生物学-微生物叢-量子計算研究センター (WPI-Bio2Q)の皆川泰代教授、同大学大学院理工学研究科大学院生 (研究当時)の蔡林、同大学医学部小児科学教室の有光威志専任講師、篠原尚美兼担助教、高橋孝雄教授 (研究当時)は、ウィーン大学 (J. Mueller 教授) やチューリッヒ大学 (S. Townsend 教授, S. Watson 研究員) との国際共同研究により、行動的に1歳前後でないと言われているある種の文法規則学習 (以下文法学習) が新生児でも可能であることを、音の人工文法を用いた脳機能研究により明らかにしました。

新生児と6, 7ヶ月児では学習した文法の正誤判断に関わる脳活動部位が異なり、新生児は左前頭前野であるのに対して、6, 7ヶ月児では既に成人機能と相応する左半球の前方言語野 (下前頭回) と後方言語野 (縁上回、上側頭回) の関与を見出しました。さらに、新生児の文法学習に関わる脳機能回路を解析すると左前頭前野から6, 7ヶ月児のみで反応が見られた後方言語野 (縁上回、上側頭回) への脳機能結合*1が多くみられ、学習に関与する新たな神経回路が活性化していました。ヒト乳児はこのような学習の繰返しにより生後半年で言語野ネットワークが構築されることを示唆します。これらの学習による個人差の知見も得られ、新生児において安静時における後方言語野を含む左右の側頭部から左前頭前野の長い脳機能結合が元から強い乳児ほど文法学習が効率的に進む傾向が示されました。これにより、新生児の文法学習能力の個人差は自身に備わる脳機能結合が関与することが分かりました。

これらの研究成果は、文法規則を抽出し学習するヒト脳機能の生得性を示すのみでなく、生後急速に進む乳児の言語獲得を支える、言語野の神経回路の発達過程のメカニズムを一部解明したといえます。さらに新生児の文法学習の脳機能の個人差とその要因も明らかにした本研究は今後、言語発達遅滞の脳内機構の解明や効果的な言語学習の手法開発への応用が期待されます。本研究成果は2024年10月22日 (米国東部時間14時00分) に「PLOS Biology」に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- ・ヒト新生児は高度な文法規則の学習が可能であることを示し、一方でその脳内基盤は成人とは異なることを明らかにしました。
- ・6, 7ヶ月児では成人に相応する言語野を中心とした文法正誤判断の脳活動がみられました。
- ・新生児は文法学習の過程で言語野への脳機能結合を強めていることを明らかにしました。言語獲得においてもこのような学習の繰返しで言語野が構築されることを示唆します。

2. 研究背景

ヒトが無限に言語を産出できるのは言語の文法規則の抽出と学習能力を持つ能力に強く関係しています。様々な文法規則の中でも非隣接依存文法 (Non-Adjacent Dependency Grammar) は難度の高い文法です。例えば、英語の文法において主語があれば、その次に動詞が後続しますが必ず隣接し

ているとは限りません（例、The bird in the cage sings.）。しかし、ヒトは主語と動詞の間に多くの語が挟まれていても、主語と動詞を含む階層構造を理解し、主語と動詞を呼応させて意味を理解でき、乳幼児はその階層構造の規則を抽出し学習することができます。乳幼児は行動的に1歳前後から2歳でようやくその理解能力が観察されていますが、この言語の本質ともいえる文法規則の学習メカニズムの脳内機構と発達についてはほとんど明らかになっていません。そこで、本研究では生後5日以内の新生児と6、7ヶ月齢の乳児を対象として、機能的近赤外分光法（fNIRS）*2という自然で安全に脳活動計測ができる装置を用いて、非隣接依存文法学習に関わる脳活動部位とそれらの機能結合を計測しました。

3. 研究内容・成果

新生児については次の4フェーズでfNIRSによる脳活動計測を行いました（図1参照）、1）学習前の安静時の脳機能結合計測*3、2）人工文法の規則学習、3）学習した文法に違反した音、規則通りの音に対する脳活動、4）学習後の安静時の脳機能計測。6、7ヶ月児はこのうち2）3）のみを行いました（脳計測は3）のみ）。2）の人工文法の規則学習は複雑な言語音声は用いず、メロディーが異なるトーンの音刺激を用いました。例えば緩やかなピッチ上昇変化を持つトーンをA、小刻みな上昇下降を繰り返すトーンをBとしたときに、Aが来ればその間に他のどのような音Xが挟まれても必ずBが来るといったAXB、そして同様な規則で他のピッチ形状を持つCXDをベースの音高を変えた様々な刺激で6.5分間呈示し、学習中の脳機能結合を解析しました。3）において2）の文法に違反したAXD, CXBのような違反条件とAXB, CXDの正条件に対する脳活動を解析しました。

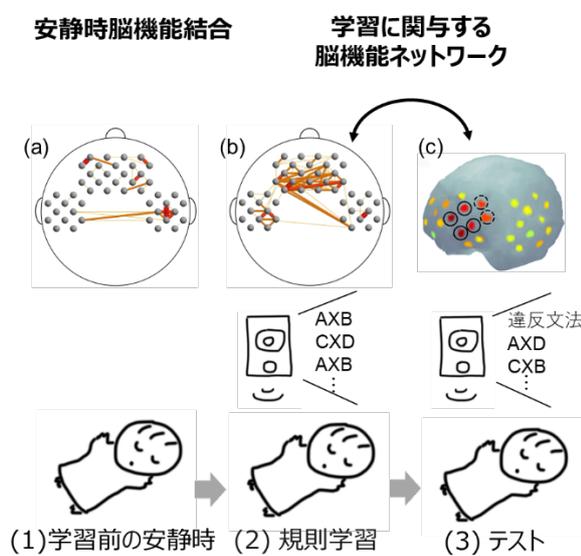


図1、脳機能計測の流れ (2)規則学習では7.5分間トーンの人工文法を聞き、(3)テストでは違反文法、正文法条件のトーンを聞く。学習に関するネットワークは違反文法に強く反応した部位の脳活動強度(c)と学習時の機能結合の強さ(b)と相関がみられる結合、すなわち学習に寄与した回路を意味する。

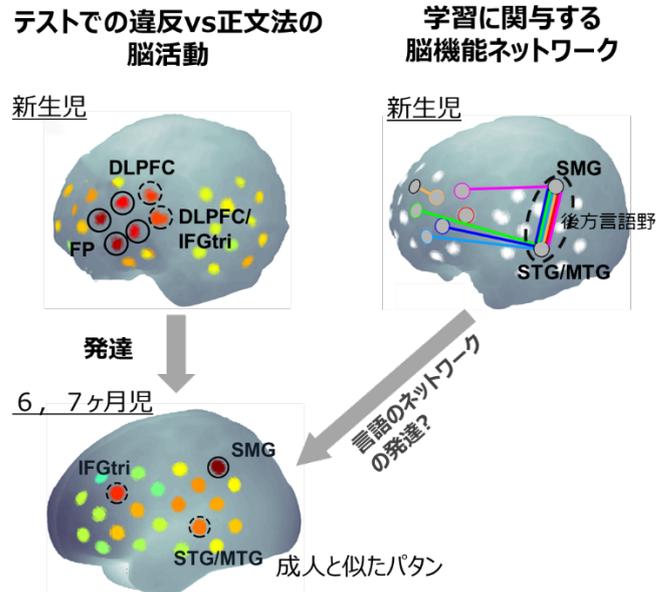


図2、新生児と6,7ヶ月児のテストでの脳活動と学習に関するネットワーク DLPFC(Dorsolateral Prefrontal Cortex)背外側前頭前野, FP(Frontopolar Cortex)前頭極、IFGtri (Inferior Frontal Gyrus)下前頭回三角部、SMG (Supramarginal Gyrus)縁上回、MTG(Middle Temporal Gyrus)中側頭回

違反条件と正条件を直接比較したところ新生児においては左半球の背外側前頭前野、前頭極そして一部下前頭回において強い脳活動がみられ、6.5分で規則を学習し違反と正条件の違いを弁別できていることが示されました（図2左上）。同様な脳活動は6、7ヶ月児では前方言語野である下前頭回、後方言語野である縁上回、上側頭回にて見られました（図2左下）。これは成人で同様の実験を行った場合と相同部位の言語野の活動であり、6、7ヶ月児ですでに成人と類似した文法学習の脳機能があることを示唆します。一方で、新生児については学習中2）の脳機能結合の強さと

3) での違反 vs 正文法に対する脳活動の強さの相関をみることで、文法学習に関与する脳機能回路を同定しました*4。その結果、違反文法に対して強い活動がみられた背外側前頭前野などの脳活動は、それらの脳部位から後方言語野（縁上回、上側頭回）へ繋がる結合の強さと相関がみられました（図2右上）。すなわち、学習中の後方言語野への脳機能結合の強さと良好な文法学習が関係していることが示されました。乳幼児は日常的に文法構造を持つ音声言語を聴取することで、前頭前野と後方言語野の神経回路を強めながらそれらの文法規則を自動的に抽出して学習し、徐々に前方と後方の言語野のネットワークを構築することが示唆されます。

また、新生児で違反文法に対する脳活動の強さの違い、すなわち文法学習到達度の個人差が見られました。詳細に検討するとその個人差は学習前の安静時の脳機能結合と関連していることが分かり、後方言語野を含む側頭部から前頭前野へつながる脳機能結合が元々強い新生児は、違反文法への脳反応も強く学習が良好に進むことが示されました。

4. 今後の展開

神経発達症（発達障害）や早産児において言語発達遅滞の問題が生じることがあります。言語発達の困難性に関与する脳内機構は未解明ですが、本研究の結果はそれらを解明する一助となり、それらの問題を早期にみつける診断補助への応用可能性があります。

<原論文情報>

英文タイトル：Functional reorganization of brain regions supporting artificial grammar learning across the first half year of life

タイトル和訳：生後半年の人工文法学習を支える脳領域の機能的再構成

著者名：蔡林、有光威志、篠原直美、高橋孝雄、白野陽子、秦政寛、星野英一、Stuart Watson, Simon Townsend, Jutta Mueller, 皆川泰代

DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002610>

<用語説明>

- * 1 **脳機能結合**：異なる脳領域の活動パターンの同期性であり、同期が強いと脳領域同志が結合しネットワークを構成していると考えられます。
- * 2 **機能的近赤外分光法 (fNIRS)**：functional Near-Infrared Spectroscopy 生体透過性の高い近赤外光を頭皮上から照射し、脳を通して再び頭皮に戻る散乱光を検出することにより、大脳皮質の血液中のヘモグロビンの変化を測定し、脳の活性化状態を計測します。
- * 3 **安静時の脳機能結合**：ヒトの脳は何の認知活動をしていない安静時でも自発的な脳活動があり、それら脳部位の機能結合は個人の認知脳機能をある程度反映することが知られています。
- * 4 **補足**：違反文法に対して有意な脳活動を示した6チャンネルについて、それぞれの脳活動の強さは学習の程度を示していると考えられますが、その脳活動の強さは学習時のどの脳機能結合の強さと関係しているかを検討しています。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学文学部心理学専攻 慶應義塾大学赤ちゃんラボ（社会学研究科実習室内）教授・皆川泰代（みながわやすよ）

TEL：03-3769-0295 FAX：03-3769-0295 E-mail：minagawa@flet.keio.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室（増田）TEL：03-5427-1541 FAX：03-5441-7640

E-mail：m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>