

「脳の機能発達と学習メカニズムの解明」

平成15年度採択研究代表者

中村 克樹

(国立精神・神経センター神経研究所 部長)

「コミュニケーション機能の発達における「身体性」の役割」

1. 研究実施の概要

“乳幼児がコミュニケーション機能を獲得するに際して、動作等の役割が重要である。例えば、乳幼児では、表情やジェスチャーなどの動作を介してコミュニケーション機能が最初に獲得される。また、乳児期の手足の運動が、発話に必要な発声法の学習に重要である。私たちのコミュニケーション機能は動作と密接に関連した機能であると言える。本研究では、コミュニケーション機能の発達における「身体性」に焦点を当て、脳機能画像研究、臨床神経心理学研究、認知心理学研究、神経生理学研究、神経生物学研究、行動科学研究、情報工学研究を組合せ、その発達メカニズムを探る。

乳幼児の比較発達心理学的研究から、乳幼児がコミュニケーション能力を獲得する過程では、「自己」「他者」「対象物」という3者の関係が重要であることが分かってきた。実際に自閉症児を対象とした研究から、他者の動作を理解し同じ動作を自己に向けてという訓練が、コミュニケーション能力を含めた認知能力を促進することが示された。現在、同様の訓練をサルに行い、脳機能の変化を生理学的に検討している。また、動作や表情の理解に関わる神経機序を、ヒトを対象とした脳機能画像研究やサルを対象とした電気生理学的研究で検討している。さらに、動作の中でも「うなづき」は相手の理解を促進する効果を持つ特別な働きを持つことが情報工学的研究から示された。今後はその神経機序を検討する。”

2. 研究実施内容

研究総括グループ

乳幼児発達研究から、初期の発達における「自己・他者・物体」の三者の関係が重要な視点となることや、非言語コミュニケーションとしての指さしや共同注意などがコミュニケーションの獲得に重要であることを示した。こうした知見と発達障害研究グループの実施している自閉症児におけるコミュニケーション能力の獲得訓練の成果から以下の研究を推進した。神経ネットワーク研究グループとの共同で、サルに模倣を訓練した後、動作理解・表出の神経ネットワークを解析している。また、神経心理研究グループと共同で、コミュニケーションに障害のある患者の認知機能を調べている。さらに、言

語習得研究グループと共同で、サルを対象とした表情の認知に関わる神経機序の研究を進めている。コミュニケーション障害の霊長類モデルを作成するために、おもに外部機関において発生工学的手法を霊長類に応用することを試みた。本年度は神経研究所内で研究を開始する。17年度からは、MRIの装置が導入されるので、サルを用いたfMRIの研究を試み、脳内機序を多角的に解明していく。

脳機能発達研究グループ

ヒトの脳の働きを直接画像として捕らえる脳高次機能イメージング技術（fMRI、近赤外計測、脳電図）を用いて、幼少児の脳機能の発達過程、特にコミュニケーションに重要である前頭前野の発達過程を詳細に検討することが目的である。コミュニケーションに関する脳機能の時空間パターンを定量的に観察するために、fMRIと脳電図の情報を融合するための基礎的検討を行った。その結果、fMRI及び脳電図との同時計測を行い、前年度作成した数学的モデルを用いて脳機能イメージング情報の融合に成功した。今後は、今回の研究で開発した手法をもちいて、コミュニケーションに関する脳機能の時空間パターンを明らかにし、幼少児のコミュニケーションの発達過程を詳細に検討するための方法論をさらに深化させる。

神経ネットワーク研究グループ

コミュニケーションの起源は、「相手の行動に影響を与える動作」の表出とその理解であると考えられる。コミュニケーション機能を理解するために、「動作の理解」の神経機序を解明することが重要である。これまでに、動作理解には頭頂連合野と運動前野を中心とした神経ネットワークが重要であることを示して来た。本プロジェクトでは、この頭頂葉-前頭葉ネットワークにさらにどのような神経ユニットが関与しているのか、また、どのように発達していくのかを検討する。この目的を果たすため1) 成体および幼齢サルを対象とした動作理解に関する行動実験とシステム神経科学的研究、および2) 成人および幼少児を対象とした動作理解に関する脳機能画像研究をおこなう。予備研究として、自己の身体運動をイメージさせた際の脳活動、バーチャル画面内での自己の動きに対する脳活動について調べた。予備研究の結果としてイメージあるいはバーチャルな身体の動きであっても、本来自信の体の動きをコントロールする脳領域が活動することが示唆された。

神経心理研究グループ

脳損傷や変性疾患の患者を対象に、運動能力やコミュニケーション能力を評価し、その障害の関連や責任領域の同定を行う。さらに、コミュニケーションに障害のある患者と健常者で事象関連電位を記録・解析し、コミュニケーションの神経回路を解明する。

発達障害研究グループ

近赤外計測による脳機能計測の結果、1) MT野が運動錯視に関係すること、2) 五十音図表で1音（文字）ずらした刺激を用いたことば遊び課題で、ワーキング・メモリに関与する前頭葉領域が活性化すること、3) 視覚イメージを生成する課題で、前頭葉と後頭葉が活性化すること、4) 情動的な音声と表情が一致しない、Stroop的な課題ではや

はり前頭葉の活性化がみられること、5) 日本語音韻の同定・弁別中の脳活動は、日本語母語話者は局所的であるのに対し非母語話者は大きくかつ広範であること、6) 母親に子供の笑顔の動画映像を見せると、前頭葉の眼窩部が活動し、一方、乳幼児に女性の笑顔を見せると、やはり前頭葉の眼窩部が活性化すること、などが明らかになった。日本語を獲得する前の乳幼児がこの区別を認識するかをNIRSで検討し、それを確認する結果を得た。

自閉症児において重篤な障害が報告されている模倣について、(1)顔面・口腔、(2)手指、(3)躯幹・上下肢、3領域における随意運動の能力を評価した。その結果、顔面・口腔だけでなく、手指、躯幹・上下肢の運動能力も、言語性発達年齢と高い相関を示した。このことは、発達障害児が模倣を獲得する上で、身体運動の随意性が重要な条件となっていることを示している。また、動作の模倣において、モデルと同じ方向に動作を模倣してしまう逆転エラーが多く観察された。このことは、自己認識と他者認識の獲得と模倣の獲得が関係していることを示唆している。

言語習得研究グループ

本グループは、身体運動認知に関与するミラーシステムが、社会的相互作用や言語習得などの高次認知機能において果たす役割を、心理実験および神経活動の非侵襲的計測により研究している。本年度は、fMRIを用いて、自閉症者におけるミラーシステムの活動を検討した。具体的には、身体表象の心的操作が必要とされるメンタルローテーション課題を用い、課題遂行時の脳活動を、自閉症者群および健常者群について計測した。その結果、健常者群で見られたミラーシステムの賦活が、自閉症者群では見られなかった。これは、社会的相互作用をはじめとする自閉症の中核症状に、ミラーシステムの障害が関与している可能性を示唆している。

この他、表情のバイオロジカルモーション刺激の作成と、その評価実験を実施した。今後は、同刺激を用いて、表情認識を担う神経機構へのミラーシステムの関与と、その発達過程を実験的に検証したいと考えている。

神経発生研究グループ

コミュニケーションの発達過程を理解するために我々のグループは、動物モデル（ニワトリ、マーモセット等）を用いて、コミュニケーション行動の発達の神経学的基盤について発生学的な解析を行う。とくに生まれつきもっている感覚—運動的反射が、動作およびその模倣によってコミュニケーション行動に組み込まれ、発達する過程に着目して研究を行う。具体的には以下のような研究課題に取り組む。1. 体性感覚・運動システムにおいて、臨界期における遺伝的、生得的神経回路は、個体の経験によってその機能特性が著しく発達する。我々は、臨界期の可塑性の仕組みを脳由来神経栄養因子BDNFなどの調節機能に着目して解析する。2. 鳥類は臨界期の刷り込みにより見慣れた仲間と敵をそれぞれ右目あるいは左目で識別し、群れる、あるいは逃避・攻撃するなどの行動に移る。この視覚刺激による社会性行動の制御機構を神経科学的に研究する。特に、左右脳半球の機能的な差異に注目し、左右で非対称的な神経回路の発達に関して、発生

学的、神経生理学的解析を行う。3. 本研究プロジェクトの3年度以降、1, 2の研究で達成された成果と方法を発展させ、マーモセットを含む霊長類をモデルにした、行為の場におけるコミュニケーション行動の発達に関し、発生・神経生理学的解析を行う。

身体的コミュニケーションシステム開発グループ

初年度開発したプロトタイプシステムを小型化し、モバイル性を高めるなど、幼稚園等の教育現場での評価が可能ないようにシステムを開発展開した。本システムを用いて音声駆動型身体引き込みキャラクタInterActorの動物のキャラクタとしてライオン、ネコ、クマ、ウサギ、パンダの5体について、児童354名（男児176名、女児179名）を対象に好みの官能評価を行った。この結果に基づいてシステムをさらに開発展開している。さらに各種科学体験イベントや教育現場でシステムのデモンストレーションを行い、研究成果を公開するなど、新しいコミュニケーションインタフェースの提案をデモンストレーションシステムとして体験できる形で実証した。本システムは、乳幼児からの言語獲得に不可欠な身体リズムの引き込みに基づくコミュニケーション支援システムで、人と人を繋ぎ、思いを伝え合う身体的コミュニケーションの解明に構成論的にアプローチできる有力なツールである。

うなずきや身振りなどの身体的リズムの引き込みをロボットやCGキャラクタのメディアに導入することで、対話者相互の身体性が共有でき、一体感が実感できる身体的コミュニケーションシステムを幼児コミュニケーション研究への応用の観点から研究開発する。本システムは、発話音声からコミュニケーション動作を自動生成し、インタラクションを円滑にして、身体的コミュニケーションを支援するシステムである。とくに幼児向けのクマやネコなどの音声駆動型身体引き込み動物キャラクタを開発し、子ども達を元気づけるなど、子ども達とこれまでとは違った関係で対話を楽しむ新しいコミュニケーションインタフェースを提案する。

3. 研究実施体制

研究総括グループ

- ① 研究分担グループ長：中村 克樹（国立精神・神経センター神経研究所、部長）
- ② 研究項目：霊長類を用いたコミュニケーションの神経機序の解明および動物モデルの開発

脳機能発達研究グループ

- ① 研究分担グループ長：川島 隆太（東北大学未来科学技術共同研究センター、教授）
- ② 研究項目：脳機能イメージング・前頭葉活性化アプリケーション作成

神経ネットワーク研究グループ

- ① 研究分担グループ長：泰羅 雅登（日本大学総合科学研究所、教授）

- ② 研究項目：コミュニケーションの基になる動作理解の神経ネットワークの解明とその発達研究

神経心理研究グループ

- ① 研究分担グループ長：河村 満（昭和大学医学部、教授）
- ② 研究項目：表情・視線・身振りの脳内機構に関する臨床神経心理学的研究

発達障害研究グループ

- ① 研究分担グループ長：小嶋 祥三（慶応義塾大学文学部、教授）
- ② 研究項目：健常児と発達障害児のコミュニケーション機能および脳活動の比較および行動支援メディアの開発

言語習得研究グループ

- ① 研究分担グループ長：正高 信男（京都大学霊長類研究所、教授）
- ② 研究項目：言語習得の身体的基盤の認知神経科学的研究

神経発生研究グループ

- ① 研究分担グループ長：中村 俊（国立精神・神経センター神経研究所、部長）
- ② 研究項目：社会性行動の発達における臨界期可塑性の役割

身体的コミュニケーションシステム開発グループ

- ① 研究分担グループ長：渡辺 富夫（岡山県立大学情報工学講座、教授）
- ② 研究項目：身体的コミュニケーションシステムの研究開発

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- Riera JJ, Watanabe J, Iwata K, Miura N, Aubert E, Ozaki T, Kawashima R. A state-space model of the hemodynamic approach: non-linear filtering of BOLD signal. *Neuroimage*, 21: 547-567, 2004.
- Riera J, Bosch J, Yamashita O, Kawashima R, Sadato N, Okada T, Ozaki T. fMRI activation maps based on the NN-ARx model. *Neuroimage*, 23: 680-697, 2004.
- Yoshimura N, Kawamura M, Masaoka Y, Homma I.:The amygdala of patients with Parkinson's disease is silent in response to fearful facial expressions. *Neuroscience*. 131(2):523-34, 2005.
- Kan Y, Mimura M, Kamijima K, Kawamura M.:Recognition of emotion from moving facial and prosodic stimuli in depressed patients. *J Neurol Neurosurg*

Psychiatry. 75(12):1667-71, 2004.

- Ohira K, Kumanogoh H, Sahara Y, Homma KJ, Hirai H, Nakamura S, Hayashi H. A truncated Tropo-Myosine-Related kinase B receptor, T1, regulates glial cell morphology via Rho GDP dissociation Inhibitor 1, J Neurosci, 25(6) 1343-1353, 2005
- Ohira K, Funatsu N, Nakamura S, Hayashi M. Expression of BDNF and TrkB receptor subtypes in the postnatal developing Purkinje cells of monkey cerebellum. Gene Expr Patterns, 4:257-61, 2004