

「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

コミュニケーションの初期発達における「自己・他者・対象物」の三者関係における非言語コミュニケーションとして視線・指差し・表情などの動作が重要であることに注目し、その役割や脳機能の解明を目指して研究を推進している。自閉症児において模倣等の動作能力と発語能力が相関すること、動作模倣の訓練（応用行動分析）を用いた介入が、コミュニケーション機能の発達を促進することを示した。自他の認識の確立が発達を促進するという仮説を提唱した。また、母子間での表情認知・共同注視などのコミュニケーションに重要な動作に関して乳児の脳活動を検討した。さらに、動作からの意図理解や自己の記憶活動をモニタするメタ記憶に重要な神経システムを、健常成人を対象に機能的 MRI 実験で検討した。いずれも前頭葉の関与が示された。また、動作理解や表出に関連するサル前頭葉・側頭葉・扁桃核ニューロン活動を記録・解析している。

2. 研究実施内容

＜サルを用いた神経生理学的研究＞

視線・指差し・表情といった非言語コミュニケーションの情報を処理する脳内機構を調べるために、次の2つの研究を、サルを対象として実施した。一つは、表情や音声からなる情動刺激に対するニューロン応答を、動作理解やコミュニケーションに重要であると考えられている、前頭葉・上側頭溝・扁桃核で調べた。もう一つは、ヒトに対するアイ・コンタクトや動作の模倣訓練を行ったサルに、さらに要求を意味する腕指し行動を訓練し、ただの到達運動を対象に運動前野のニューロン活動を電気生理学的手法で記録・解析した。運動前野には要求を意味する腕指し行動に強く応答し、ただの到達運動ではあまり応答しないニューロンが見つかった。さらに、それらのニューロンの一部は、好みの対象を腕差しするときの方が、あまり好みでないものを腕差しするときよりも強く応答した。これらのニューロンは、要求の腕差し行動に関与したものだと考えられる。

＜ヒトを対象とした脳機能画像研究＞

自己の記憶活動を評価するメタ記憶の神経機序を、機能的 MRI を用いて調べた。正確に

自己の記憶活動を評価できるヒトほど右前頭極の活動が大きいことが分かった。メタ認知活動は、自他の区別や自己認識につながるコミュニケーションに重要な機能であると考えられる。

身体性を規定するさまざまな動きのパラメータを人工的に調節することが可能な人型ロボットを用いて、非言語的な表現手法であるダンスを観察している時の脳活動を機能的MRIによって計測し、コミュニケーションにおける身体性の役割を考察した。その結果、頭頂間溝領域、運動前野、補足運動野を含む頭頂前頭ネットワークにおいて、芸術への意識が強い程ダンス観察時にこのネットワークの活性化が高まる傾向が認められた。

二者間のインタラクションにおける、一方の意図とその行為の結果の推論に関する脳内情報処理を明らかにするために、危険な結果をもたらす対人行動の認知について機能的MRIを用いて計測を行なった。その結果、二者間における一方の行動の目的が他方へと向かっている場合、その意図の推論には背外側頭頂前頭ネットワークが利用されており、また行動の危険性認知に関しては、左側前頭前野が関与している事が認められた。

ヒトの運動性言語中枢が単に音声言語の産出に際して活動するにとどまらず、他者の身体運動を認識した際の情報を自らの行為へと取り込むことによっても活動することを見出し、その意義を言語の進化を考察する上で論じた。さらに非言語的な知性についての情報を言語化するにあたって、脳のどの部位が活動するかについて、機能的MRIを用いた実験によって特定に成功した。最後に、話し手から与えられる情報の信頼性を判断するとき、イントネーションなどのパラ言語的な情報や、ジェスチャーや顔の表情などが重要な手がかりとなる。本研究では、新奇な語彙の学習場面での、幼児による文末のイントネーションに示された確信度の理解の検討を行った。

<ヒト乳幼児の動作理解の脳機能画像研究>

生後7-12ヶ月の乳児を対象に、共同注意と音声の聞き取りにおける脳活動を近赤外分光法(NIRS)によって測定した。共同注意においては、ある物品に大人が注意を向ける（視線と顔を向けている）ことによって、子どもも同じものに注意向けることが、正中前頭部のoxy-Hb量の変化から明らかとなった。また、生活年齢7-10歳の自閉症児を対象に、応用行動分析に基づいた言語指導を受けている最中の脳活動をNIRSによって測定した。その結果、概念理解の課題において未学習のときと学習中のときでは前頭前野の活動が大きく変化することが明らかとなった。応用行動分析の効果を客観的に評価できる可能性が出てきた。

<神経心理学的研究>

パーキンソン病患者および健常高齢者の表情認知を検討し(Suzuki et al. 2007)、若年性パーキンソン病患者と孤発性パーキンソン病患者の表情認知の比較により、表情認知の脳内メカニズムの一端を明らかにした(Yoshimura et al. in press)。表情認知に加え、パーキンソン病患者の意思決定も検討した。現在はこれらの研究成果をもとにパーキンソン病の早期診断法を検討中である(Koyama et al. in press)。パーキンソン病研究に加え、外傷性の脳損傷患者を対象にした人物認知と表情認知の脳内機構の検討や、視覚的なコミ

コミュニケーションに伴う快・不快感情の定量的評価に関する研究も行った。

<進化的考察>

霊長類の音声からヒト言語が進化したことを検証するモデルとして、テナガザルの音声発生の種分化に伴う変化に注目した。彼らがオスとメスの間で行うデュエットについて、その系統比較を行うことを通じて、音声言語誕生の初期過程の理論的再現を試みた。

<CGを用いたコミュニケーション発達支援システム開発>

音声からコミュニケーション動作を自動生成する動物のCGキャラクタ InterAnimal (IA) のキャラクタ性とコミュニケーション支援の有効性に着目して、IAを応用した新しい学習システムのプロトタイプシステムを開発した。本システムでは、大人は教師役 IA と生徒役 IA を用いて一人二役で、子どもの興味や質問を引き出しやすいように役割を演じ分けることで、コミュニケーションが活発になるなど効果的に学習することができる。コミュニケーション発達支援、学習支援への応用が期待される。

3. 研究実施体制

(1) 「研究総括」グループ

①研究者名

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

(2) 「脳機能発達研究」グループ

①研究者名

川島 隆太 (東北大学加齢医学研究所 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

(3) 「神経ネットワーク研究」グループ

①研究者名

泰羅 雅登 (日本大学総合科学研究科 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

(4) 「神経心理研究」グループ

①研究者名

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

(5)「健常児と発達障害児のコミュニケーション機能」グループ

①研究者名

小嶋 祥三（慶應義塾大学文学部 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

(6)「言語習得研究」グループ

①研究者名

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

(7)「神経発生研究」グループ

①研究者名

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

(8)「身体的コミュニケーションシステム開発」グループ

①研究者名

渡辺 富夫（岡山県立大学 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. 研究成果の発表等

(1)論文発表(原著論文)

1)「研究総括」グループ(中村克樹)

- Kubo N, Kato A, Nakamura K. Deterioration of planning ability with age in Japanese monkeys (*Macaca fuscata*). *J Comp Psychol.* 120(4): 449-55, 2006.
- Kuraoka K, Nakamura . Responses of single neurons in monkey amygdala to facial and vocal emotions. *J Neurophysiol.* 97:1379-87, 2007.

2) 「脳機能発達研究」グループ (川島隆太)

- Riera JJ, Wan X, Jimenez JC, Kawashima R. Nonlinear local electro-vascular coupling. I: A theoretical model. *Human Brain Mapping*. 27: 896-914, 2006.
- Wan X, Iwata K, Riera J, Kitamura M, Kawashima R. Artifact reduction for EEG/fMRI recording: nonlinear reduction of ballistocardiogram artifact. *Clinical Neurophysiology*. 117: 668-680, 2006.
- Wan X, Iwata K, Riera J, Kitamura M, Kawashima R. Artifact reduction for EEG/fMRI recording: Adaptive FIR reduction of imaging artifacts. *Clinical Neurophysiology*. 117: 681-692, 2006.
- Riera J, Valdes PA, Tanabe K, Kawashima R. A theoretical formulation of the electrophysiological inverse problem on the sphere. *Physics in Medicine and Biology*. 51: 1737-1758, 2006.
- Wan X, Riera J, Iwata K, Takahashi M, Wakabayashi T, Kawashima R. The neural basis of the hemodynamic response nonlinearity in human primary visual cortex: implications for neurovascular coupling mechanism. *Neuroimage*. 32: 616-625, 2006.
- Riera JJ, Jimenez JC, Wan X, Kawashima R, Ozaki T. Nonlinear local electro-vascular coupling. Part II: From data to neuronal masses. *Human Brain Mapping*. in press.

3) 「神経ネットワーク研究」グループ (泰羅雅登)

- Takarada Y, Nozaki D, Taira M. Force overestimation during tourniquet-induced transient occlusion of the brachial artery and possible underlying neural mechanisms. *Neurosci Res*. 54:38-42, 2006.
- Jeong H, Sugiura M, Sassa Y, Haji T, Usui N, Taira M, Sato S, Kawashima R. The effect of syntactic similarity on cortical activation during second language processing: A comparison of English and Japanese among native Korean trilinguals. *Human Brain Mapping*, 2006.

4) 「神経心理研究グループ」 (河村満)

- Ihori N, Araki S, Ishihara K, Kawamura M. A case of frontotemporal lobar degeneration with progressive dysarthria. *Behavioural Neurology*, 17, 97-104, 2006.
- Ishihara K, Araki S, Ihori N, Shiota J, Kawamura M, Nakano I. An autopsy case of frontotemporal dementia with severe dysarthria and motor neuron disease showing numerous basophilic inclusions. *Neuropathology*, 26, 447-454, 2006.
- Midorikawa A., Kawamura M., Takaya R. A disconnection syndrome due to agenesis of the corpus callosum: disturbance of unilateral synchronization. *Cortex*, 42,

356-365, 2006.

- Mochizuki-Kawai H, Mochizuki S, Midorikawa A, Yamanaka K, Tagaya H, Kawamura M. Disappearance of memory fragments in patients with Alzheimer's disease: evidence from a longitudinal study of visual priming. *Neuropsychologia*, 44, 1114-1119, 2006.
 - Mochizuki-Kawai H, Tsukiura T, Mochizuki S, Kawamura M. Learning-related changes of brain activation in the visual ventral stream: an fMRI study of mirror reading skill. *Brain Research*. 1122, 154-160, 2006.
 - Masaoka Y, Yoshimura N, Inoue M, Kawamura M, Homma I. Impairment of odor recognition in Parkinson's disease caused by weak activations of the orbitofrontal cortex. *Neuroscience Letters*. 412, 45-50, 2007.
 - Suzuki A., Hoshino T, Shigemasu K., Kawamura M.. Decline or improvement? Age-related differences in facial expression recognition. *Biological Psychology*, 74, 75-84, 2007
 - Ichikawa H, Koyama S, Ohno H, Ishihara K., Nagumo K., Kawamura M. Writing errors and anosognosia in amyotrophic lateral sclerosis with dementia. *Behavioural Neurology*, in press.
 - Yoshimura N, Yokochi M, Kan Y, Koyama S, Kawamura M. Relatively spared mesocorticolimbic dopaminergic system in juvenile parkinsonism. *Parkinsonism and Related Disorders*, in press.
 - Koyama S, Tachibana N, Masaoka Y, Homma I, Kawamura M. Decreased myocardial ¹²³I-MIBG uptake and impaired facial expression recognition in a patient with REM sleep behavior disorder. *Movement Disorders*, in press.
 - 杉江正行、石原健司、堀部有三、河村満：慢性硬膜下血腫に伴うパーキンソニスムの1例。 *脳と神経*, 58, 873-878, 2006.
 - 石原健司、河村満、塩田純一、中野今治：Parkinson病の臨床診断におけるL-dopa効果の意義について。 *神経内科*, 64, 533-537, 2006 .
- 5) 「健常児と発達障害児のコミュニケーション機能」グループ(小嶋祥三)
- Minagawa-Kawai Y, Mori K, Naoi N, Kojima S. Neural attunement processes in infants during the acquisition of a language-specific phonemic contrast. *Journal of Neuroscience* 27, 315-321, 2007.
- 6) 「言語習得研究」グループ(正高信男)
- Masataka N. Music Evolution and Language. *Developmental Science* 10, 35-39, 2007.
 - Masataka N, Ohnishi T, Imabayashi E, Hirakata M, Matsuda H. Neural Correlates for

Learning to Read Roman Numerals. *Brain and Language*.in press.

7) 「神経発生研究」グループ(中村俊)

- Ohira K, Homma K, Hirai H, Nakamura S, Hayashi M. Regulation of RhoA signaling pathway and actin cytoskeleton by truncated TrkB-T1 in rat glioma cells. *Biochem Biophys Res Commun*. 342:867-74, 2006.
- Ohira K, Funatsu N, Homma K, Sahara Y, Hayashi M, Kaneko T, Nakamura S, T, Truncated TrkB-T1 regulates the morphology of neocortical layer I astrocytes in adult rat brain slice. *Eur J. Neurosci*, 25, 406-416, 2007.

8) 「身体的コミュニケーションシステム開発」グループ(渡辺富夫)

- 神代充、渡辺富夫: 音声駆動型身体引き込みキャラクタに力覚センサ入力を併用した身体的コミュニケーションシステム, *日本機械学会論文集(C編)*, Vol.72, 179-186, 2006.
- Takashi Yamada and Tomio Watanabe: Analysis and Synthesis of Facial Color for Facial Image Synthesis in a Virtual Arm Wrestling System, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.18, 433-441, 2006.
- 山本倫也、渡辺富夫: 音声駆動型身体引き込みキャラクタを映像に重畳合成した教育支援システム, *情報処理学会論文誌*, Vol.47, 2769-2778, 2006.
- 山田貴志、渡辺富夫: 力覚コミュニケーション解析のためのバーチャル腕相撲システムの開発, *日本機械学会論文集(C編)*, Vol.72, 2972-2979, 2006.

(2) 特許出願

平成18年度特許出願：2件（CREST研究期間累積件数：2件）