

# ヒトを含む霊長類のコミュニケーションの研究

(H12-13年、第II期)

平成13年度予算額 2.1億円(予定)

研究代表者: 東倉 洋一

株国際電気通信基礎技術研究所

他11機関

## <研究の概要・目標>

### 1 何を目指しているのか

ヒトを含む霊長類の言語的・非言語的コミュニケーションの総合的解明に必要な計算理論、神経回路モデル、脳活動計測技術の確立する。

(第II期の目標)

非言語的コミュニケーションの脳の計算モデルの構築

### 2 何を研究しているのか

- ・表情、身振り手振りの研究による非言語的コミュニケーションの脳内機構と解明に関する研究
- ・非言語的コミュニケーションの解明に基づく言語的コミュニケーションの脳内機構の解明に関する研究
- ・コミュニケーション時の脳活動計測技術(脳磁計)の開発を行う。

### 3 何が新しいのか

従来非言語的コミュニケーション(ヒト、動物)と言語的コミュニケーション(ヒトのみ)の間にはギャップがあると考えられてきたが、非言語的コミュニケーションから言語的コミュニケーションの拡張によりこれらの解明を目指そうとするアプローチが新しい。

(注) 計算理論: 脳の中で何が計算されていて、そのための入力・出力は何か、その計算が可能になる仕組みは何かといったことに関する理論を言う。

## <諸外国の現状等>

### 1 現状

- ・欧米においては、言語的コミュニケーションの研究が言語学を中心として進んでいるが、これに対し、近年、非侵襲計測実験等により、非言語的コミュニケーションと言語的コミュニケーションの脳内機構の間に共通する部分がある等の知見が得られており、これまでの言語学を中心とする研究の限界が見えてきている。
- ・コミュニケーション時の脳活動を計測できるような脳磁計の開発は諸外国では行われていない。

### 2 我が国の水準

言語的コミュニケーションの研究も行っているが、非言語的コミュニケーションの研究及び、これら研究のために必要な脳磁計の開発において我が国が進んでいく。

## <研究進展・成果がもたらす利点>

### 1 世界の水準との関係

非言語的及び言語的コミュニケーションを連続的に理解しようと  
いう世界にないアプローチによ  
りコミュニケーションの研究に  
おいてアドバンテージを拡大す  
ることができる。

### 2 波及効果

- ・ヒトを含む霊長類の言語的・非言語的コミュニケーションの脳内機構の基本原理が明らかになる。
- ・現代社会のコミュニケーションストレスに由来する種々の問題に対する指針や新しいコミュニケーションインターフェースの設計指針が得られるものと期待される。

# ヒトを含む霊長類のコミュニケーションの研究

ヒトを含む霊長類の言語的・非言語的コミュニケーションの総合的解明に必要な計算理論、神経回路モデル、脳活動計測技術を確立。

## 非言語的コミュニケーションの理解

### 脳活動 非侵襲計測

「道具の使用と学習」における脳活動を計測し、手の動きの脳内表現在の解明を目指す。  
大阪大

### 電気生理実験と ヒトの心理実験

非言語コミュニケーションの代表例である顔の表情に注目し、顔に関する情報の脳内表現、顔情報と他の視覚情報の違いを解明を目指す。  
産総研  
大阪大  
京大

### 電気生理実験と 行動学的実験

非言語コミュニケーションの用いる情報の学習に注目し、音・手の運動などの時系列情報を対象として、非言語的情報の学習の機構の解明を目指す。  
同志社  
京都府医大  
産総研

### 計算理論

顔の表情や身振り手ぶりなどの非言語情報の脳の中での計算過程を表現する計算理論等を構築する。  
ATR  
千葉大

## 言語的コミュニケーションの理解

### コミュニケーション機能 のモデル化

非言語情報と言語情報、および音声言語情報を対比しながら脳内における言語情報の表現・処理の基本構造の解明を目指す。  
岡崎  
通信総研  
慶大

### 計算理論

非言語コミュニケーションの計算モデルの拡張により、言語的コミュニケーションの基礎的な計算理論を提案。  
長岡技術大

## 新しい計測技術の開発 島津製作所

## 所要経費一覧

(単位:千円)

研究項目	研究担当機関	研究担当者	所要経費
1 非言語的コミュニケーションの理解に関する研究			
1.1 非言語的コミュニケーションの脳活動非侵襲計測に関する研究			
1.1.1 パーチャルリアリティ技術を用いた道具の脳内表現に関する研究	大阪大学大学院情報科学研究科 ヒューマンインターフェース工学講座	教授 岸野 文郎	35,934
1.2 非言語的コミュニケーションの電気生理実験とヒトの心理実験に関する研究			
1.2.1 サルとヒトを対象にした顔の表情識別の脳内機構の解明	独立行政法人 産業技術総合研究所 脳神経情報研究部門 システム脳科学研究グループ	総括研究員兼 グループリーダ 山根 茂	56,578
1.2.2 視覚的コミュニケーションシグナルと一般物体像の脳内表現	大阪大学大学院基礎工学研究科 生物工学分野・認知脳科学研究室	教授 藤田 一郎	28,872
1.2.3 ヒトの顔の表情に関する心理学的研究	京都大学大学院教育学研究科 教育科学専攻 教育認知心理学講座	教授 吉川 左紀子	29,272
1.2.4 視覚的コミュニケーションの心理物理学的研究	京都大学大学院人間・環境学研究科 環境情報認知論講座 江島研究室	教授 江島 義道	36,283
1.3 非言語的コミュニケーションの電気生理学的実験および行動学的実験に関する研究			
1.3.1 鹿長類の音コミュニケーション知覚機構の解明	同志社大学工学部 知覚・認知機構研究室	教授 力丸 裕	49,288
1.3.2 非言語的コミュニケーションの基礎となる感覚運動系列学習と遂行の神経生理学的研究	京都府立医科大学 医学部第二生理学教室	教授 木村 實	16,253
1.3.3 コミュニケーションのための内部モデルの小脳内存在に関する生理学的研究及び非侵襲脳活動計測による研究	独立行政法人 産業技術総合研究所 脳神経情報研究部門 システム脳科学研究グループ	主任研究員 北澤 茂	44,950
1.4 非言語コミュニケーションの計算理論に関する研究			
1.4.1 顔の表情の識別や身振り手ぶりの理解に関する計算理論と神経回路モデルの研究	(株)国際電気通信基礎技術研究所 人間情報科学研究所 第三研究室	室長 川人 光男	168,022
1.4.2 トリとヒトにおける音列の産出認知メカニズム	千葉大学 文学部行動科学科	助教授 岡ノ谷 一夫	13,395
2 言語的コミュニケーションの理解に関する研究			
2.1 脳活動非侵襲計測実験等に基づくコミュニケーション機能のモデル化に関する研究			
2.1.1 コミュニケーション素過程としての脳内シミュレーション機構の非侵襲的研究	岡崎国立共同研究機構生理学研究所 大脳皮質機能研究系 心理生理学研究部門	助教授 本田 学	18,278
2.1.2 言語獲得と理解についての脳内メカニズムの解明	独立行政法人 通信総合研究所 関西先端研究センター 知的機構研究室	室長 宮内 哲	48,339
2.1.3 言語機能の脳内機構の解明に関する研究	慶應義塾大学 言語文化研究所	教授 大津 由紀雄	29,793
2.2 言語的コミュニケーションの非言語的コミュニケーションの計算理論からの拡張に関する研究			
2.2.1 言語的コミュニケーションにおける埋め込み構造の最適化原理に基づく研究	長岡技術科学大学 和田研究室 (先端サイバネティックス講座)	助教授 和田 安弘	24,392
3 コミュニケーションの脳科学のための新しい計測技術開発の研究			
3.1 コミュニケーション時のヒト脳活動の非侵襲計測法開発に関する研究			
3.1.1 3D脳時計パーソナルセンサシステムの脳研究への応用	(株)島津製作所基盤技術研究所	主幹研究員 吉田 佳一	385,742
4 研究管理	(株)国際電気通信基礎技術研究所 人間情報科学研究所	招聘研究員 東倉 洋一	112,247

## 成果の概要

課題名（研究代表者）：ヒトを含む霊長類のコミュニケーションの研究（東倉洋一）

### 【研究成果の概要】

第Ⅰ期（平成9年度～平成11年度）における主な成果は、（1）コミュニケーション計算モデルの基本モデルの完成、（2）この基本モデルの妥当性を裏付ける複数の実験的検証、（3）脳磁計の基本機能部分の完成である。

まず、コミュニケーション計算モデルの基本モデルとして、小脳における階層的多重順逆対モデルを構築した。このモデルの提案は、従来の小脳順逆モデル対を基盤として、高次運動課題による心理行動実験、実験データの収集と解析、計算理論と神経回路モデルのシミュレーションを並行して行うことで、初めて可能になった。技術的には、心理行動実験に用いた視覚的コミュニケーションシグナル提示装置と視覚刺激投影システムや、高次視覚運動課題処理・解析装置による高速演算が、モデルの高精度化に寄与した。

コミュニケーション計算モデルの基本モデルの妥当性を裏付ける実験的な検証に関して多くの成果を得た。中でも特筆すべきは、その成果がNature誌にも掲載され、国際的に高い評価を受けた以下の3つである。これらは、(a) 小脳内部モデルの存在を裏付ける生理学的数据、(b) 表情認知における双方向の情報の流れを確認するデータ、(c) ヒト小脳内における認知機能に関する多重内部モデルの存在根拠を示したものである。(a)は、非侵襲脳活動計測と電気生理学的な手法の双方を用いて、「内部モデル（制御対象の性質を脳の内部に写し取ったモデル）が小脳に存在するか？」という仮説を、腕の運動を具体例にとって検証したもので、小脳の内部モデル学習理論が仮定する学習信号が登上線維によって確かに与えられることを検証した。(b)では、ヒトとサルの表情顔を見たときのサルの側頭葉細胞の応答を計測し、細胞がダイナミックにコードする情報を解析した結果、顔によって脳細胞の応答に変化があることがわかった。これらの脳活動の詳細な解析を行ったところ、まず、サルかヒトかという大まかな情報が現れ、これに時間的に遅れた形で、表情や固体という詳細情報が表れることが明らかになった。(c)では、ヒトが新しい道具の使い方を学習しているときの小脳の活動を計測し、道具の操作に必要な内部モデルの活動を反映している小脳活動を確認するとともに部位の特定を行い、基本モデルの存在根拠を示した。

脳磁計については、基本部分である3Dバーチャルセンサシステムを構築した。センサ、データ収集、データ解析、リアルタイムモニタなどの各ユニットで構成される脳磁計の全体システムについて、測定精度評価装置による性能評価を行い、システムが所望の性能を満たすことを確認した。

第Ⅱ期（平成12年度～平成13年度）における主な成果は、（1）コミュニケーション計算モデルの基本モデルである階層的多重順逆対モデルの高度化および拡張、（2）このモデルの妥当性を裏付ける実験的検証、（3）脳磁計による脳活動計測の高精度化である。

まず、階層的多重順逆対モデルの高度化および拡張を目的に、非侵襲脳活動計測によるモデルの検証とモデルの計算機シミュレーションを並行して進め、モデルの性能と問題点を明確にした。また、コミュニケーションにおいて重要な役割を担う注意の視覚情報処理に着目し、脳磁計による非侵襲脳活動計測を併用することによって、視覚大脳皮質の構造と視覚機能の空間的関係を明らかにすることに成功した。さらに、「拡散力場」という運動学習の新しいパラダイムを考案し、「人間は抵抗力の微妙なコントロールはできない」とする従来の定説を覆し、手先のスティフネスの方向と大きさを最適に調節することによって不安定な状況を安定させていることを明らかにした。この成果は、Nature誌に掲載され、国際的に高い評価を得た。

上記以外にも、モデルの妥当性を裏付ける実験的検証についても研究が進捗した。これらの研究成果の中で代表的なものは、複数の内部モデルが小脳内で生成されているかどうかを調べ、内部モデルの切り替えが小脳の下流で行われていることを示唆する結果を得たことである。具体的には、異なる粘性環境のそれぞれにおける運動の筋電活動を測定し、運動中の筋電活動が複数のプルキンエ細胞の活動の線形和で近似できることを示した。さらに、赤池の情報量基準を用いた解析によって複数の運動スキルが小脳の下流で切り替えられていることを示唆するデータが得られ、階層的多重順逆対モデルが支持された。これらの研究成果が評価された結果、Nature誌から小脳の学習に関する解説論文の執筆を依頼された。

脳磁計による脳活動計測の高精度化については、複数に広がった脳活動源の新しい計測法と解析法の開発を進めた。具体的には、第Ⅰ期に完成した3Dバーチャルセンサシステムにウィナー推定の手法

を導入し、磁気共鳴画像法（MRI）により得られる脳構造データ、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）によって得られる脳活動データ、脳磁計によって得られる脳磁図の3種類のデータを統合する革新的な非侵襲脳活動計測法の開発に成功し、fMRIの持つ高い空間分解能と脳磁計の持つ高い時間分解能という2つの長所を併せ持つ脳活動の新しい解析を可能とした。

第Ⅰ期と第Ⅱ期を通して、本研究の特徴であった計算理論、神経回路網モデル、非侵襲脳活動計測、神経生理実験を組み合わせた総合的な方法論がよく機能し、階層的多重順逆対モデルというコミュニケーション計算モデルの提案とその実験的検証を行うことができた。5件のNature誌への論文をはじめ、数多くの国際的学術誌への論文掲載は、その成果の学術的な評価が極めて高いことを示している。さらに、fMRIと脳磁計の長所を併せ持つ革新的な非侵襲脳活動計測法が開発され、これからも継続的に使用できる環境が作られたことは、今後の脳研究への本研究の成果の長期的かつ具体的な活用として意義深い。

## 研究成果公表等の状況

課題名（研究代表者）：ヒトを含む靈長類のコミュニケーションの研究（東倉洋一）

### 【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国内	58 (2) 件	158件	269 (3) 件	485 (5) 件
国外	121 (7) 件	15件	182 (2) 件	318 (9) 件
合計	179 (9) 件	173件	451 (5) 件	803 (14) 件

(注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)

【特許出願等】 1 件 (国内 1 件、国外 0 件)

【受賞等】 10 件 (国内 10 件、国外 0 件)

- ・1998年度計測自動制御学会論文賞友田賞（平成10年 7月30日） 五味裕章・川人光男（国際電気通信基礎技術研究所）
- ・第9回つくば奨励賞（若手研究者部門）（平成11年 2月10日） 北澤 茂（産業技術総合研究所）
- ・第13回塙原仲晃記念賞（平成11年 7月19日） 北澤 茂（産業技術総合研究所）
- ・1998年度 日本神経回路学会論文賞（平成11年 9月20日） 北澤 茂・木村達矢・Ping-Bo Yin（産業技術総合研究所）
- ・日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞（平成12年 3月 7日） 来山 真（大阪大学大学院）
- ・日本認知科学会大会発表賞（平成13年 6月 8日） 吉川左紀子・佐藤 弥（京都大学大学院）
- ・公益信託 時実利彦記念脳研究助成基金 時実利彦記念賞（平成13年 9月27日） 木村 實（京都府立医科大学）
- ・第3回時実利彦記念賞（平成13年 9月27日） 川人光男（国際電気通信基礎技術研究所）
- ・日本神経回路学会研究賞（平成13年 9月28日） 春野雅彦（国際電気通信基礎技術研究所）
- ・ブジアルサイエンスフェスタ優秀賞（平成13年 9月29日） 川人光男（国際電気通信基礎技術研究所）

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	Impact Factor	サブテマ 1	サブテマ 2	サブテマ 3	合計
Adv Neurol	0.968	1			1
Animal Behaviour	2.14	1			1
Animal Cognition		1			1
Behavioral and Brain Sciences	23		1		1
Biological Cybernetics		2			2
Brain	7.374		2		2
Brain Topography Neuroscience				2	2
Cerebral Cortex	4.822	2(1)			2(1)
Computer Graphics Forum		1			1
Cortex	1.5	1			1
Current Opinion in Neurobiology		1			1
Euro Neurol	1.000	1			1
European Journal of Neuroscience		2			2
Evolutuon of Language Congress		2			2
Experimental Brain Research	2.1	3	1		4
Human Brain Mapping	4.738		1		1
IEEE	0.67	1			1
IEEE Control Systems Magazine		1			1
J. Comp Psychol.	1.48	1			1
Journal of Biomechanics		1			1
Journal of Cognitive Neuroscience	5.793		1		1
Journal of Experimental Psychology		1			1
Journal of Neurophysiology	3.855	14			14
Journal of Neuroscience	8.955	2	1		3
Journal of Neuroscience Methods	1.477	1			1
Keio Studies in Theoretical Linguistics	2			1	1
Optical Society of America	2.0	1			1
Nature	25.814	5			5
Nature Neuroscience	12.636	1			1
Neural Computation		3			3
Neural Networks	2.2	5	1		6
Neurocomputing	0.636		2		2
NeuroImage, accepted for publication	5.611		1		1
Neuro Report	2.696	8	1		9
Neuroscience	3.9	1			1
Neuroscience Letter		1			1
Neuroscience Research	1.807	4			4
Perception	2.1	3			3

Perception & Psychophysics	1.681	1			1
Proceedings of National Academy of Sciences, U.S.A.		1			1
Proc. of the Royal Society, Series B, London		1			1
Studies in English Linguistics			1		1
The Handbook of Japanese Linguistics			1		1
The Japanese Journal of Physiology		1			1
Trends in Cognitive Sciences		1			1
Vision Research	2.000	10			10
ヒューマンインターフェース学会論文誌		1			1
生成文法の研究戦略			1		1
電子情報通信学会論文誌		16			16
電子情報通信学会論文誌 (D-II)		1			1
文法の脳科学			1		1
計測自動制御学会論文誌		1			1
その他		8			8
<b>主要雑誌小計</b>		114(1)	17	2	133(1)
<b>発表論文合計</b>		271(5)	76(4)	5	352(9)