

申請者氏名
最上嗣生

独立主幹研究員
研究計画書

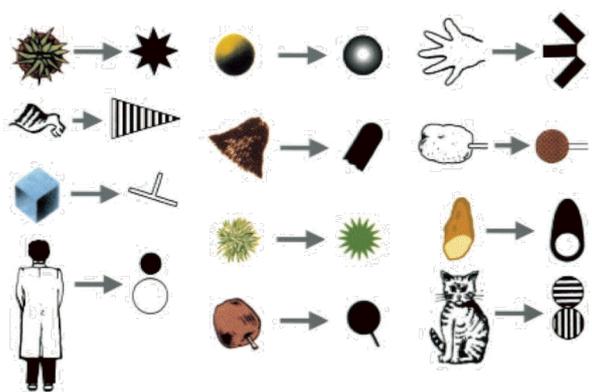
研究課題	大脳新皮質の反応の計算機上での再現 — 確率論の観点から
------	------------------------------

研究目的（研究の背景及び国内外の研究状況を含む）

このラボは下側頭葉のニューロンの選択性を計算機上で再現することを目的とする。

近年、高等霊長類などを使った研究によって視覚野である下側頭葉に（中程度に）複雑な形に対する選択性があることが分かってきた[1]。このような選択性は視覚的な識別に大事な役割をはたしているものと考えられているが、それを計算機上で再現することは出来ていない。これは低次視覚野では計算機で選択性が再現され情報処理のしくみが理解されつつあるのと対照的である[2, 3]。このラボの目的は高次領野でも同様に選択性を再現し理解することである。

具体的には、まず人間にカメラを取り付けて人間の **visual experience** のコーパスを収集する。（それは動画であり、モーショングラなどの視覚的特徴まで含むべきである。）つまり幼児が **visual experience** から高次の図形特徴を獲得していくのと同じく、人間の標準的な **visual experience** を入力にして、ニューラルネットを学習させようというわけである。普通と違うのはこのニューラルネットには確率分布関数を学習させることである。



霊長類の下側頭葉には複雑な形状への選択性が見られる[文献 1]。このラボではこれを計算機上で再現する事を目指す。

ではなぜ複雑な視覚的選択性さえ確率分布を学習するだけで到達できると筆者は考えるのかは次のとおりである。異なる物体の視覚像というのは中間がない。だから異なる物体の視覚像はそれぞれ独立した確率分布の山を持っている。視覚入力 x から $p(x)$ を出すことができる関数が実現できたとする。 $p(x)$ がふた山の関数であった場合、 $p(x) = f(x) + g(x)$ として実現するのが最も容易である。そしてこのとき画像 x に対して関数 $f(x)$ の値と関数 $g(x)$ のどちらが大きいのかを見るだけで、物体の判別ができる。原理はこのように簡単であるが、これが高度な非線形変換になっているために、現実には難しかった。しかし、近年例えば文献[4]に見られるように、画像などのもつ高度な非線形な構造をとらえることが成功しつつある。おそらくこの方向でさらにスケールアップと高速化を図れば第一の目標は充分かなえられると期待できるだろう。

しかしこの第一の目標は簡単すぎると考える人もいると思う。仮に予想以上に速く達成されたとしても、このプロジェクトはさらに発展性がある。実はこのプロジェクトはもう少し大きな枠組みの中の一部として計画されている。それは確率分布の直交化である。確率の直交化とは観測された確率分布を直交な（つまり互いに相関のない = 独立した）原因に分解することである。（直交化を行うためには確率分布に関する質の良い情報が必要であるから、まずは上記の確率分布の獲得を行うように計画した。）

直交化（独立化）の枠組みでとらえれば例えば前頭葉など他の高次領野の反応も再現できるだろう。たとえば前頭前野には文献[5]に見られるように時系列の終わりだけに反応するニューロン等々がある。これはつまり系列の内部自体は互いに独立でなく、系列を始めさせるものと系列を終わらせるものという独立な現象に従属しているのだとすれば理解できる。このように、空間的だけでなく、時間的な現象にも独立化の概念は通用する。さらに、時間的相関を解きほぐすには数秒程度の短期記憶が必然的にサブシステムとして必要になる。つまり短期記憶の存在が説明される。

ほかにも確率独立化の観念は、適応する対象を変えるだけで、様々な機能を果たす。たとえばピクセルの空間的相関に対して使えば、それが視覚的弁別、つまりパターン認識になる。Visual Cortex がそれに相当する。時間的相関に対して使えば、自分の運動の系列の知覚である。そしてその逆変換が自分の運動の合成になる。これは Motor Cortex に相当する。運動の系列と感覚の系列、特に報酬的な感覚との間の、相関に適応されるとどうなるだろうか。これは期待と行動と結果が一致するかどうかはその独立情報源となる。ここに self monitor が必然的に現れる。これは prefrontal cortex の一部に相当する。このように確率を独立化することは多くの大脳新皮質の機能を説明することが出来る。

充分進行が早ければ4年目以降、研究を直交化からさらに確率論的最適化へ拡張したい。そこには強化学習も含まれる。この強化学習と短期記憶の統合理論については後の項で述べる。

まとめ

脳の知能の本質を理解するのは現代の最大の知的チャレンジであり関心である。

そのためには大脳と基底核の計算論の統合が必要である。そのためには確率の分節化と直交化を行っている大脳の計算論を理解する必要がある。そしてそのためには確率の獲得（～分節化）が必要で、その仕事はコーパス収集、理論の整備（高速アルゴリズム）、計算機の開発に分かれる。

今回提案するラボではまず第一期としてこの「確率の直交化」以下を行う予定である。しかし予定より早く進行すればさらに上位の目標に向かう予定である。

[1] for review see, Tanaka K., Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities, Cereb Cortex. 2003 Jan;13(1):90-9.

[2] Olshausen BA, Field DJ., Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images, Nature. 1996 Jun 13;381(6583):607-9.

[3] Bell AJ, Sejnowski TJ. The "independent components" of natural scenes are edge filters, Vision Res. 1997 Dec;37(23):3327-38.

[4] Hinton GE, Salakhutdinov RR., Reducing the dimensionality of data with neural networks, Science. 2006 Jul 28;313(5786):504-7.

[5] Fujii N, Graybiel AM., Representation of action sequence boundaries by macaque prefrontal cortical neurons, Science. 2003 Aug 29;301(5637):1246-9.

研究内容

この研究プロジェクトは3つの部分からなる。

第一には皮質を再現するための理論の整備と高速アルゴリズムの開発を行うことである。それは「研究目的」で述べたように「確率の獲得」「確率の直交化」「時系列の直交化」そして後述する「強化学習」「記憶と強化学習の統合理論」へという順番で進んでいく予定である。

第二に、画像、音声、文章など人間が普段触れるのと同様な情報のコーパスを整備する。これは視覚映像動画コーパス収集（1人の人間が1日に見るもの）、生活聴覚コーパス収集（1人の人間が1日に聞くもの）、Web 言語コーパス収集の3つから成っている。

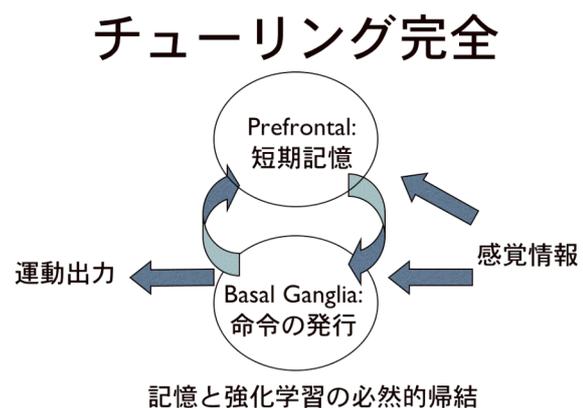
そして第三に、次元とサンプル数が巨大に成ることが予想されるので、計算機と並列化ソフトウェアの開発が必要である。これはスケールさせる前の試作と、毎年のスケールアップからなる。

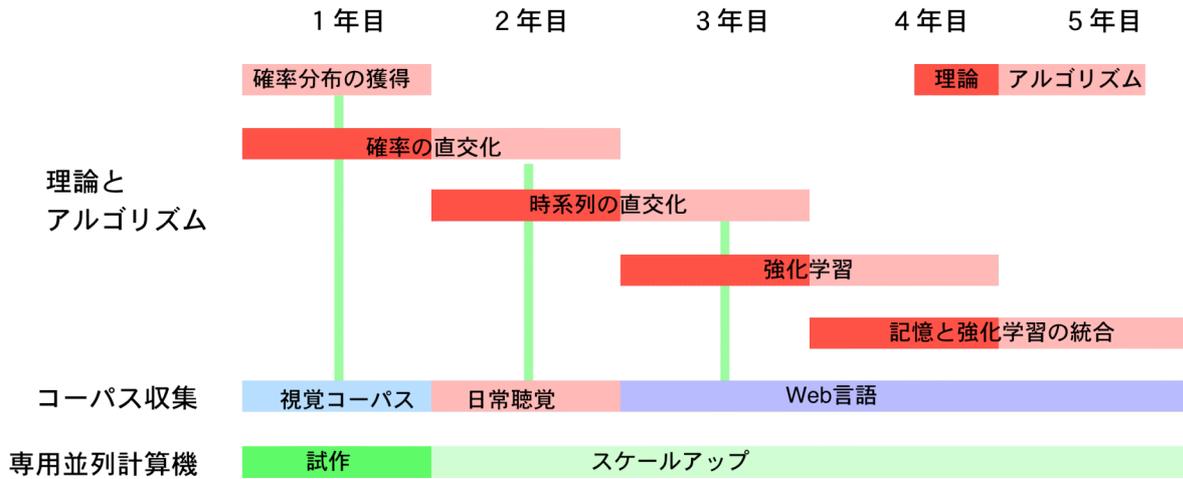
これを次項の「年次計画」に従って実施して行く予定である。（進行度合いによっては前後することはあり得る。）またこのラボでは発表を重視し、結果は随時こまめに学会、学術雑誌に発表していく予定である。

プロジェクトの前半3年では「確率の直交化」まで行う予定である。プロジェクトがさらに2年延長することが可能になった場合は、次に述べる統合理論まで研究を拡大する。

確率の直交化というのはつまり確率論的最適化問題のカテゴリに入る。そして確率的最適化の中には他に、たとえば強化学習がある。この基底核のモデル、つまり強化学習と、新皮質のモデルつまり確率の独立化からなる短期記憶のシステムが統合したときになにが実現されるだろうか。

それはシステム全体がチューリング完全に成ることである。右図のように短期記憶から入力を受け、大脳基底核(Basal Ganglia)は次にすべき事を決める。仮にこれを命令の発行と呼ぶことにします。そして命令は運動を指令するだけでなく短期記憶の変更をすることも出来る。するとこの環は丁度プログラムとメモリがそうであるようにチューリング完全性を獲得し、これによって脳はどんなに計算論的に複雑な計算でも実行することができるようになる。これが知能の柔軟性の本質であると考えられる。





1 年目

まずその他の理論の前提となる「確率の獲得」のアルゴリズムの研究を行う。

確率の獲得とは離散的なサンプルから実際の確率分布関数を求めることである。小さな次元であればこれはニューラルネットで簡単に出来るし、すでになされている。しかし、それを視覚系に適用することを考えて見よう。現実には私たちの目は 1000 万次元とかの入力がある。そして大雑把には毎秒 60 フレームに相当する入力がある。これは 1 年間に 10 億フレームのサンプルに相当する。このような巨大な次元とサンプル数に対して破綻せず充分高速なアルゴリズムを開発する必要がある。これは難しく見えるが、脳がそれをやり遂げていることが、そのようなアルゴリズムが存在する証明になっている。またアルゴリズムは並列計算機の上で並列性を生かしてスケールアップが可能でなくてはならない。

同時に、次の年次のために「確率の直交化」の計算論について研究を進める。直交化の簡単な線形の例は ICA である。これは、独立な（つまり直交する）確率的な事象が線形に目に見える現象に寄与しているとき、その独立事象を逆に推定することである。ここで目指すのはこれを非線形の一般論にすることである。

前述の第一の目標である「確率の獲得」だけではパラメータ的に隔離された事象を区別出来るだけである。視覚で言えば物体の弁別だけである。しかし直交化が出来たら、たとえば胡瓜をどの角度から見ているかと、胡瓜がどの程度曲がっているか、どの程度大きいかと、どの距離で見ているかなどの異なる次元を区別することが出来るはずである。

しかし、非線形変換は強すぎるとどんな分布関数でもガウシアンに変換することが出来るために、軸の不定性があるのが、あらかじめ予想される困難である。この不定性は評価関数(KL-divergence など)の平坦方向として起こるはずであるが、これは物理で言う Lagrangian の平坦方向ゲージの不定性と類似しているので筆者のゲージ理論の経験が役に立つかもしれない。また情報幾何の空間の上での距離を制限することが役に立つかも知れないが、これにも一般相対論などの物理の知識が役に立つものとする。

また 1 年次には計算機の試作を行う。

その構成は基本的には汎用の民生品を使う。ディスク無しの裸マザーボード+GPU を Gigabit Ethernet を最終的には数百台つなげた物になる予定である。1 年次は最初の数台を作り実際にスケール

ルアップできるように準備をする。

このような汎用の民生品を使う理由は第一には専用機はコストパフォーマンスが悪いからである。汎用 CPU は1億個を単位にして量産されていて、そのコストに勝つのは不可能である。また量産を前提にして膨大な開発費がかけられていて、たとえばインテル CPU のスーパスカラに見るように大変な工夫がなされているが、カスタムではそこまでの設計投資はできない。また開発に3年かけてしまうと、その時にはいわゆるムーアの法則のおかげで、汎用 CPU の性能は4倍程度に上がる。するとせっかく開発した専用機の性能を上回るといふ悲劇が起こり得る。

また今回のようなプロジェクトでは計算論の部分にも不確定さがある。たとえば GRAPE などが高い性能を達成できたのは、重力計算が完全に基礎法則が明らかであり、そのために徹底的にその計算に特化したハードウェア設計が出来たからである。しかし少しでも計算論に不確定性がある場合はそのようなハードウェアの特化は出来ない。

次の年度以降はこの計算機の台数を順次増やして行く。順次拡大するのは Moore の法則により毎年 performance が上がっていくために最初に多数買うよりもコストパフォーマンスがよくその時の最高の性能の恩恵を受けられるからである。

さて Ethernet でつながった並列機で大丈夫だと考えられるのはなぜかという、脳も長距離のデータ伝搬が少ない疎結合なシステムだからである。たとえば軸索一つあたり 1kbit/s とすると、左右の脳を繋ぐ脳梁は Gigabit Ethernet ケーブル 10 本分のデータ伝搬しかしていないと推定される。このことから脳も長距離データ伝送は少ないことが分かり疎結合計算機で充分と推定される。

また1年次には視覚像動画コーパス（1人の人間が1日に見るもの）を収集する。

これはこのラボの研究者の頭にカメラをくくりつけその視覚的経験を全て記録して行く。

これを開発中の「確率の獲得」アルゴリズムに入力する。

「確率の獲得」だけでもパラメータ的に隔離された事象を区別出来るはずであるから、ここまで完遂できれば、すでに物体の弁別に関係するという下側頭葉皮質の選択性がかなり再現できるのではないかと考える。

2年次

前年度に理論すなわち計算論レベルで研究された「確率の直交化」の理論を、計算機実験に投入しアルゴリズムの研究を行う。やはり巨大次元、巨大サンプルが問題になるはずである。

同時に次の年次のために「時間的直交化」を研究する。すなわち確率分布の独立情報源への分解を、時系列に対して適用する理論を研究する。

時間方向の直交していない、つまり相関のある、事象を消去するためには、処理が進んでいる間、前に起こったことを保持する必要がある。ここに「記憶」という機能が必然的に出現するわけだが、これと脳の「短期記憶」の関係について研究したい。因果律に反せずに実時間で直交化する方法も興味を持たれる。また、言語なども一種の時系列である。しかし物理的な音のような時系列と違いきわめて離散的でつよい拘束条件（つまり文法）に支配されているので、これを同じ枠組みで扱うのは難しいかも知れないが、これについても研究を進めたい。

2年次からは計算機の拡張を行う。予算がある範囲で計算機エレメント（マザーボード）を買い足していく。必要に応じて並列化にかかわるソフトの開発も必要かもしれない。

また2年次には生活聴覚音コーパス収集（1人の人間が1日に聞くもの）の収集を行う。
これはなによりも時系列の直交化を適用する試験台となる。

3年次

前年度の「時間的直交化」の計算論を引き継ぎアルゴリズムの開発を行う。ここで問題になるのはただでさえ巨大である入力次元が、時間窓の大きさ倍だけさらに大きくなることである。そこで効率よく動くアルゴリズムが必要である。

同時に、「強化学習」の巨大なサンプル数と巨大な行動バリエーションにおけるスケーリングの研究を行う。これは次の年度の「記憶と強化学習の統合理論」に備えてである。

計算機の拡張は引き続き行う。

また3年次には web から言語コーパスの収集を行う。
これは時系列の中でもより難しいと考えられる言語に挑戦するためである。

4年次

前年度の強化学習の研究を受けて、「記憶と強化学習の統合理論」の計算論について研究を行う。

計算機の拡張は引き続き行う。

また web コーパスの収集を行う。

5年次

「記憶と強化学習の統合理論」の結果を受けて、これを効率的に実行するアルゴリズムの研究を行う。

計算機の拡張は引き続き行う。

本研究計画で使用する機器設備等

机などオフィス一式、パソコン

自作並列計算機

計算機が完成するまではコンピュータセンターの並列計算機も使用する

1 年目

オフィス什器 100 万円 * 3
スタッフ 1 名 800 万円
計算機テクニカルスタッフ 1 名 500 万円
学会出張費 年 30*3 万円
計算機試作 100 万円
コンピュータセンタ使用料 200 万円
計 1890 万円

2 年目以降、5 年目まで

並列計算機制作、年 10 * 50 万円
電気代 160 万円 (10kW として概算)
スタッフ 1 名 800 万円
計算機テクニカルスタッフ 1 名 500 万円
学会出張費 年 30*3 万円
計 2050 万円

注) 初年度次から 5 年度次まで年度毎に必要な経費の金額(単位:千円)を費目(又は品目)の概要とともに列記のこと。
但し、毎年度の所要経費がほぼ同額であれば、経費の合計は「約〇〇〇千円/年」と略記してよい。

本研究に参加するユニット研究員・テクニカルスタッフの採用にあたっての選考方針

以下のような2人を雇おうと考えている。

対等なコリীগが一人

近年理論理論研究は2から3人の共著論文が多い。これは近年の高度化する理論研究には、一人では知識や情報収集が追いつかないことと、ややこしい理論では一人では間違いに気がつき問題を解くのに時間がかかるためである。従って理論を進めるに当たっての対等な共同研究者が必要である。

自由に使えるプログラマ兼コンピュータ管理者

今回制作予定の並列計算機を作り管理するために、Open source UNIX に詳しく、並列化ソフトウェアを必要があれば作ることが出来る人材が望ましい。

後は知識の不足している領域に応じてポスドクを雇うかもしれない。

申請研究課題を理研で実施する理由

この研究は脳の理論の計算機的研究である。

理研は日本の脳研究の中心であり、また同時にコンピュータの facility が充実し、コンピュータのアルゴリズムなどについてアドバイスできる研究者も多数居る事から脳の研究にも計算機を使った研究にも最適の立地である。

また理研は脳の理論家を多数擁し、さらに物理の理論家なども多く、解発的な議論が起こる期待ができる。また第一の目標は下側頭葉の性質の再現であるが、その実験的専門家である田中啓治も理研に属している。さらに第二の目標は直交化であるが、その線形な形である独立成分解析のエキスパートである甘利俊一先生のチームなどもあり好適である。

最後に計算生物学、理論生物学であり大規模計算を伴うという今回の募集内容が前から暖めていた研究構想に適切で、この先数年はなさそうなチャンスであるから。

この研究プロジェクトの特色：

第一の目標である「確率分布関数の獲得」はきわめて目標が明瞭であり簡単化されていながら、新皮質の多くの現象を説明できる。このように **well formed** な研究プロジェクトである。

さらに、そこから順に知能の本質にせまるまで拡大する研究プロジェクトが配置されていて、成功の可能性が高く計画されている。

また、基底核と前頭葉の皮質相互作用により最終的にチューリング完全に達するという視点は他に類を見ないものである。

独自性：

脳は計算論的に異なる3つの部分から成っている。それが教師あり学習の小脳、強化学習の基底核、そして教師無しの確率論的最適化の新皮質である。

小脳についてはすでに国内に川人ラボという有力なラボがあり、また最近は基底核については例えば銅谷などが精力的にラボを立ち上げようとしている。しかし新皮質には中核的なラボがまだない。それは新皮質が一番未解明だからである。筆者はこの穴を埋めて完全な脳の理解に貢献したいと考えている。この三つの脳領域の中でも今のところ一番未解明なものを研究するラボは他になく高い価値を持つと考える。

さて、今回提案する研究の内容は、筆者のこれまでの研究の継続ではない。この分野に凝り固まっていない分だけ、独創的な発想が出来る可能性がある一方で、本当にこれが実行できるかという懸念をもたれるのは当然だろう。

ではなぜ筆者はこれができるという自信を抱いているかの理由は次の通りである：

脳の計算理論についての研究経験はないが理論の理論物理学（素粒子論）の経験がある。特に素粒子論の必須のテクニックである場の理論は巨大な自由度の量子力学のことである。量子力学は理論の体系が統計力学つまり巨大自由度かつ巨大サンプル数の確率論と酷似している。今回行うプロジェクトは巨大な自由度とサンプル数にスケールする確率論的最適化マシンとその理論を作ることであり、この理論的経験が役に立つだろう。

また、反対にこの数年サルの脳の電気生理学的研究をやっていたことにより、筆者は脳の実験的事実についても通じていて、この経験が理論が浮薄になることを防ぐ。特に今回の第一の目標である下側頭葉の実験をその権威である田中啓治の下で行っていた（業績要旨を参照）。また実験の論文を細部まで読みこなす事ができるので、実際の脳から手がかりを得た理論研究を可能にするだろう。

また、これは公式な経歴ではないが、筆者は学生時代にコンピュータの設計や製作、デジタル回路の設計/製作を行い、また自分でプログラミング言語を作れるスキルを持っている。従って、シミュレーション用の並列計算機の制作と、アルゴリズムの並列化/開発にも自信を抱いている。

申請者氏名

最上嗣生

独立主幹研究員
発表論文等研究実績

学会誌等における誌上発表

1. T. Mogami, K. Tanaka,
Reward Association Affects Neuronal Responses to Visual Stimuli in Macaque TE and Perhinal Cortices,
J. Neurosci., Vol. 26, p6761 -6770(2006)
 2. 最上嗣生、田中啓治
側頭葉前腹側部における情報の連合
CLINICAL NEUROSCIENCE Vol24. No.5 p 566-568 (2006)
 3. T. Mogami,
Nonpertrubative Solutions of the SD Equation for an Abelian Gauge Field Theory,
Mod. Phys. Lett. A, Vol. 13, p1887-1891 (1998)
- 以下、素粒子論の論文は著者はアルファベット順が慣例であり著者の順は寄与を反映しない。
4. M. Ikehara, N. Ishibashi, H. Kawai, T. Mogami, N. Nakayama and N. Sasakura
A Note on String Field theory in the Temporal Gauge,
Prog. of theor. Phjys. Suppl., Number 118, 241-257 (1995)
 5. T. Mogami,
Temporal-gauge String Field with Open Strings,
Physics Letters B351, p439-444 (1995)
 6. T. Mogami,
On the entropy bound of three dimensional simplicial gravity,
Prog. of theor. Phys. Vol. 94, p157-161 (1995)
 7. M. Ikehara, N. Ishibashi, H. Kawai, T. Mogami, N. Nakayama and N. Sasakura,
String field theory in the temporal gauge,
Physical Review D50 (1994) 7467-7478
 - 8.H. Kawai, N. Kawamoto, T.Mogami & Y. Watabiki,
Transfer matrix formalism for two-dimensional quantum gravity and fractal structure of space-time, Physics Letrers B306 (1993) 19-26

- 注) 1. 記載スペースが不足の場合は、A4用紙に本様式と同様に記載すること。
2. 誌上発表については代表的な論文3編以内を選び、別刷各5部(複写で可)を添付すること。
3. これまでの研究業績も審査の重点項目の一つであり、審査委員としては「だれが、どのように、その業績に関わったか」を知る必要があるため、誌上発表・口頭発表のいずれも関係者の名前は省略せず、また著者名の順序も正確に記入のこと。

学会等における口頭発表

T. Mogami and Keiji Tanaka

revised title: Learning of effective information coding in IT cortices

下側頭葉皮質細胞による刺激－報酬連合の速やかな学習

Oral Session O1P-C05,

Neuro 2007, the 30th annual meeting of the Japan Neuroscience Society,

September 2007 in Yokohama

T. Mogami and Keiji Tanaka

マカクザルの嗅周囲皮質および下側頭葉皮質における報酬関連活動

Effect of reward contingency on discharges of cells in macaque inferior temporal areas,

Oral Session OH2-21,

Neuro 2004, the 27th annual meeting of the Japan Neuroscience Society,

September 2004 in Osaka

T. Mogami and Keiji Tanaka

Effect of reward contingency on discharges of cells in macaque TE and perirhinal cortex,

Poster presentation

in Society for Neuroscience, annual meeting, 10 November 2003 in NewOrleans

最上嗣生、田中繁

ポスター発表

奥行き方向の動きに関する皮質情報表現

日本生物物理学会、1999年10月3日 於 和光市

T. Mogami and S. Tanaka

Cortical Representation of Motion in Depth,

Slide presentation

in Society for Neuroscience, annual meeting, 8 November 2000 in NewOrleans

池原径夫、石橋延之、川合光、最上嗣生、中山隆一、笹倉直樹

発表：最上嗣生

題目：Temporal gauge の弦の場の理論

研究会：基研長期研究計画「原理論と量子重力の課題」

1994年7月16日 於京大・基礎物理学研究所

池原径夫、石橋延之、川合光、最上嗣生、中山隆一、笹倉直樹

発表：池原径夫

題目：Temporal Gauge での弦の場の理論

日本物理学会 1994年10月1日 於山形大学

池原径夫、石橋延之、川合光、最上嗣生、中山隆一、笹倉直樹

発表：最上嗣生

題目：離散 target space を弦の場の理論

日本物理学会 1994年10月1日 於山形大学

最上嗣生

題目：開いた弦を含む弦の場の理論

日本物理学会 1995年3月31日 於神奈川県

最上嗣生

題目：三次元格子重力の解析的定式化について

日本物理学会 1996年4月1日 於金沢大学

注) 記載スペースが不足の場合は、A4用紙に本様式と同様に記載すること。

その他研究業績リスト（著書、特許、受賞等）

なし

注) 記載スペースが不足の場合は、A4用紙に本様式と同様に記載すること。

過去の主要な業績の要旨

Reward association affects neuronal responses to visual stimuli in macaque TE and perirhinal cortices.

Mogami T, Tanaka K.

J Neurosci. 2006 Jun 21;26(25):6761-70.

To study the roles of the perirhinal cortex (PRh) and temporal cortex (area TE) in stimulus-reward associations, we recorded spike activities of cells from PRh and TE in two monkeys performing a visually cued go/no-go task. Each visual cue indicated the required motor action as well as the availability of reward after correct completion of the trial. Eighty object images were divided into four groups, each of which was assigned to one of four motor-reward conditions. The monkeys either had to release a lever (go response) or keep pressing it (no-go response), depending on the cue. Each of the go and no-go trials could be either a rewarded or unrewarded trial. A liquid reward was provided after correct responses in rewarded trials, whereas correct responses were acknowledged only by audiovisual feedback in unrewarded trials. Several measures of the monkeys' behavior indicated that the monkeys correctly anticipated the reward availability in each trial. The dependence of neuronal activity on the reward condition was examined by comparing mean discharges to each of the 40 rewarded stimuli with those to each of the 40 unrewarded stimuli. Many cells in both areas showed significant reward dependence in their responses to the visual cues, and this was not likely attributable to differences in behavior across conditions because the variations in neuronal activity were not correlated with trial-by-trial variations in latency of go responses or anticipatory sucking strength. These results suggest the involvement of PRh and TE in associating visual stimuli with reward outcomes.

注) 本様式のねらいは、貴殿が従来実施してきた研究の中でも、最も主要な業績についての情報を審査委員に提出することにあるので、その業績の解説 (PR) を、簡潔に、且つ要領よく本用紙 1 枚に記述のこと。

主要な業績が複数あって関係する論文も多数にわたる場合は、様式 3 「発表論文等研究業績」に記載する際にそれらの論文に対して符号を付し、その符号を文中に引用しておくこと。