

「脳を創る」
平成11年度採択研究代表者

銅谷 賢治

(株)国際電気通信基礎技術研究所 主任研究員)

「行動系のメタ学習と情動コミュニケーション機構の解明」

1. 研究実施の概要：

プロジェクト2年目に入り、各グループにおいて「メタ学習」をキーワードとした研究の具体化が進んだ。理論系では、報酬予測の時間スケールや探索のランダムさの適応アルゴリズムの導出と数値実験、実験系では、短期と長期の報酬予測に関わる脳活動計測実験など、新たな取り組みが始まった。

2. 研究実施内容：

8月にはATRでチームミーティングを開催し、各グループの研究の方向性に関する討論を行い、相互交流を図った。

9月の日本神経科学学会・神経回路学会大会、また11月のSociety for Neuroscienceには、各グループから多数のメンバーが参加し、発表を行った。

2001年4月には国際ワークショップ“CREST Workshop on Metalearning and Neuromodulation”の開催を企画し、当プロジェクトのコンセプトに沿って、ドーパミン、セロトニン、ノルアドレナリン、アセチルコリンの機能に関する実験、モデルの両分野の先端を行く研究者の講演をとりつけ、国内外に宣伝活動を行った。

(1) システム統合グループ

- ・強化学習理論に基づく神経修飾物質系の機能モデルに関して、Society for Neuroscience, Neural Information Processing Systems Workshop, 日本神経科学学会、日本生理学会などで発表し、広く関心を集めた。
- ・報酬予測の時間スケールを、環境の変化と学習の進行に伴い変化させるアルゴリズムの開発を進め、計算機シミュレーションにより有望な結果を得た。
- ・変分ベイズ法によるモデル選択を含む確率分布推定を、神経活動の情報量解析に応用する方式を検討し、視覚野の細胞の情報表現、下オリーブ核細胞の情報伝達の研究に適用した。
- ・ケペラロボットを用いたマルチエージェントの協調行動学習実験に向けて、必要な情報表現とコミュニケーションのあり方について、シミュレーションでの検討を進めた。

(2) 学習理論グループ

- ・ MCMC(Markov Chain Monte Carlo) 法を用いて、時系列の予測値とその不確かさを同時に計算する手法を開発し、特許出願を行った。
 - ・ 階層ベイズ学習をオンライン化し、さらにそれを強化学習の枠組みに適用するための理論的枠組みの定式化と、初期的数値実験を行った。
- (3) 適応システムグループ
- ・ 変分法的オンラインベイズ学習のアルゴリズムについて、関数近似および特徴抽出のアルゴリズムをほぼ完成させた。
 - ・ 単一ニューロンの挙動を数理的に解析する手法を確立し、応答関数の形状変化による情報処理様式の変化について知見を得た。
 - ・ 行動の注意レベルを動的に変化させる強化学習法を提案した。
- (4) 情動記憶グループ
- ・ 海馬スライス標本と光学的測定法を用いた記憶のゲート機構の検証と神経修飾物による制御メカニズム：フォルスコリンまたはノルアドレナリンにより細胞内cAMP濃度をあらかじめ上昇させてからアデノシンA1受容体拮抗薬を投与すると、海馬CA2の集合活動電位は約8倍に増強した。この相乗効果のイオンチャンネルメカニズムが、ゲートの制御機構と考えられる。
 - ・ in vivo実験（全脳動物実験）による視床下部-海馬シグナルゲート機構の実証：海馬に投射する上乳頭体核をイボテン酸で破壊することで、海馬シーター波の周波数スペクトルの中心値が7Hzから4Hzに低下した。行動の変化をオープンフィールドテストで観察した結果、情動行動の一つである毛繕いの発現頻度・持続時間が有意に低下した。
 - ・ アデノシンA1受容体過剰発現マウス作製：目的遺伝子の発現をマークするHAタグ、前脳特異的に発現を制御するCaMKプロモーターをアデノシンA1受容体のcDNAにつないだ発現ベクターが完成した。現在、業者に卵への注入を依頼している。
- (5) 学習修飾グループ
- ・ 前頭前皮質のドーパミンが報酬依存的な運動制御や行動変換に関与するという仮説を立て、1頭のアカゲザルに報酬依存的ルール交替課題と単なるワーキングメモリ課題を訓練した。行動課題遂行中のサルにドーパミンD1受容体阻害剤であるSCH23390を局所的に微量投与した結果、前頭前野背外側部の一部の領域でルール交替課題だけが障害される特異的な部位が存在する事を明らかにした。
 - ・ さらに、この2種類の課題を11月から、もう1頭のサルに訓練中である。
- (6) 精神薬理グループ
- ・ 将来の報酬予測に関する脳賦活課題を作成し、Functional MRI、MEG を用い

た脳活動測定系の確立を行っている。今後、セロトニンがコストとメリットの評価の時間スケールを決めるという仮説を検証するために、有効な実験パラダイムを具体化していく。

- ・うつ病を中心とした精神疾患におけるセロトニンの役割を明らかにするために、セロトニン神経系の機能調節に関連した遺伝子特徴を明らかにするための末梢血細胞を用いた測定系を確立した。さらにうつ病患者における選択的セロトニン再取り込み阻害薬 (SSRI) による治療効果とセロトニン再取り込み部位の遺伝子特徴との関連性を検討している。

CREST行動系のメタ学習と情動コミュニケーション機構の解明 研究発表リスト2001 4 28 現在

3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

2000

Doya, K(2000) Complementary roles of basal ganglia and cerebellum in learning and motor control. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(6) 732-739.

Kikuchi-Yorioka, Y., Sawaguchi, T(2000) Parallel visuospatial and audiospatial working memory processes in the monkey dorsolateral prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 3(11) 1075-1076.

Sawaguchi, T(2000) The role of D1-dopamine receptors in working memory-guided movements mediated by frontal cortical areas. *Parkinsonism & Related Disorders*, 7, 9-19.

吉本潤一郎、石井信、佐藤雅昭 ((2000)。連続力学システムの自動制御のためのオンラインEM強化学習法。電子情報通信学会論文誌、J83-D-1(3) 1024-1033.

石井信、佐藤雅昭 ((2000)。統計的手法に基づく強化学習と制御ルールの獲得。計測と制御、39(12)

銅谷賢治 ((2000)。行動学習系のメタパラメタ制御と神経修飾物質。数理科学、38-6(444) 19-24.

2001

Doya, K., Kimura, H., Miyamura, A(2001) Motor control : Neural models and system theory.

Applied Mathematics and Computer Science, 11(1) 77-104.

Kuroda, S., Yamamoto, K., Miyamoto, H., Doya, K., Kawato, M(2001) Statistical characteristics of climbing fiber spikes necessary for efficient cerebellar learning. *Biological Cybernetics*, 84(3) 183-192.

Sawaguchi, T(2001) Unmasking of silent "task-related" neuronal activity in the monkey prefrontal cortex by a GABA α antagonist. *Neuroscience Research*, 39

(1) 123-131.

永井立紀,浜野英知,吉田倫己,相田能之,畠澤泰成,松本隆 ((2001)。 Chaotic Masking における情報信号増幅作用について。電子情報通信学会論文誌、J84-A (2) 164-170.

小池康晴,銅谷賢治 ((2001)。マルチステップ状態予測を用いた強化学習によるドライバモデル。電子情報通信学会論文誌、J84-D- (2) 370-379.

銅谷賢治,森本淳,鮫島和行 ((2001)。強化学習と最適制御。システム / 情報 / 制御、45(4) 30-40.