

脳情報処理工学応用ラボ

(Applied Brainscience Lab.)

研究項目及び	視覚情報処理モデルの評価(平成10年度～14年度)
研究期間	関係連合機能の自律的獲得機能に関する研究(平成10年度～14年度)
	注視行動の文脈主導化と行為認識機能に関する研究(平成10年度～14年度)
	前頭連合野の光計測 fMRIによる機能構造の研究(平成10年度～14年度)
	選択的注意の神経機構の研究(平成10年度～14年度)

1. 当該研究の背景

人間社会は、情報量の急激な膨張と活動の高速化に伴い、情報処理システムへの依存度を急速に増している。これに伴い、情報処理方式そのものの変革が要請されている。過去のシステムでは、人間が整えて入力したデータやルールを大量に静的に蓄え、あるいは多数の並列処理プロセスを固定的に抱え、システム所定の形式と範囲内の質問や指令に従って超高速に機械的に検索したり計算して反応を返すことが典型的な使命であった。このようなシステムでは、質問・要求が想定範囲外であったり、求めるデータや反応ルールが記憶中にない場合はもちろん正しく動作しない。そのうえ、個々のデータ間の関連性や、一連の質問ないし行動状況の間の関連性(文脈)を扱えないので、答えが直接見つからない時に記憶内の断片を動的につなぎ合わせて情報生成したり、個別の質問に直接含まれない検索意図や状況文脈を捉えて的確な反応をすることができない。すなわち、大量の情報を抱え、あるいは多数の並列プロセスを抱えているのに、それらを動的に組織化できないために、全く活かし切れていない。しかし今日では、インターネットで相互結合され、大量の情報が時々刻々更新される巨大な情報プールの中で、あるいは多数のセンサや装置群から高速同時入力される実時間並列データの流れの中から、あらかじめ規定できない多様な問い合わせ・状況・ミッションでも能動的に動き回って情報収集し、有意な関連を持つ事象の連鎖(文脈情報)を抽出し、判断・行動するといった高度な情報処理が望まれている。

さて大脳前頭連合野の損傷患者は、決まりきった日常的な行動をする上では障害を示さない。しかし、新奇な状況、問題状況においては、適切な反応をとるこ

とが出来ず、ステレオタイプの反応しか出来ない。この状況は現在のロボットや情報処理システム一般が置かれている状況と良く似たところがある。こうした障害は、現在の状況と、それに関連した過去経験を表象として保持しつつ、適切な反応を選択するというワーキングメモリーの障害によって起こるものと考えられている。ワーキングメモリーは置かれた状況で必要な情報(何かか前に出された刺激、それに関連した過去の記憶)をアクティブに表象として保持する機構であり、「動的な記憶」と言える。このようなワーキングメモリーの機能は、まさに今日の情報処理システムやロボットに欠けている高次機能に相当し、そのモデル化と工学的実現は、既存の情報処理システムの飛躍的な能力向上のキーテクノロジーとなると考えられる。

当該システムの実現には工学・情報科学研究者と、脳を情報科学的に理解すべく研究を進めている生理学者の連携した取り組みが突破口を与えられる。従って本研究は工学・情報科学的研究と生理学的研究の統合的アプローチにより推進される。生理研究の成果はモデリングやシステムの工学的実現に逐次、活用されるが、一方でモデルの検証や工学実験結果の解釈から、これまで生理研究だけでは明らかにされなかった脳情報処理の実態も明らかにされることが期待される。本研究はこのような新しい研究環境を設定し、現在のコンピュータサイエンス、ロボティクスが抱えている大きな問題にチャレンジするものである。

2. 研究機構の構成

本研究は科学技術振興調整費による目標達成型脳研究のうち、「文脈主導型、認識、判断、行動機能実現の

科学技術振興調整費による「文脈主導型認識・判断・行動機能実現のための動的記憶システムの研究」

視覚情報から行動パターンを自動学習・記憶し、行為文脈を獲得（理解）する。獲得した多くの文脈（記憶）情報を利用して新奇な事態に対処し、判断/行動（追跡）する機能をもつ能動監視システム（□内）の実現を目指す。その過程で得られる種々の要素技術と脳情報処理の理解が本研究のプロダクトである。 研究参加人員数110名

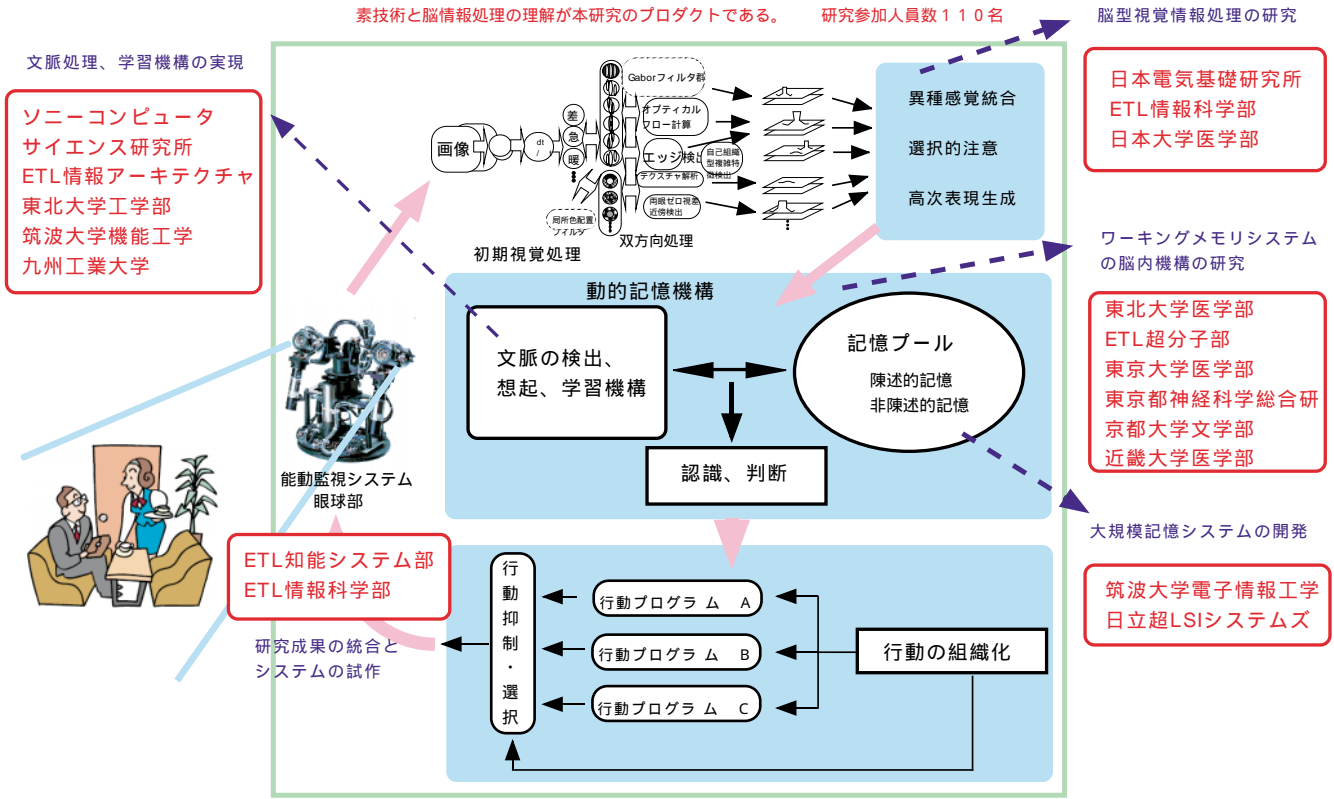


図 研究体制

ための動的記憶システムの研究」と題する総合研究であり、電子技術総合研究所が中心となって提案したプロジェクトである(提案代表者:飯島敏夫)。電子技術総合研究所からは5チーム、18名の研究員が参加しており(ラボメンバー参照)、脳情報処理の工学応用ラボとして活動している。当所以外からは、10の大学研究チーム、3企業研究所チーム、1公立研究所チームが集合し、全体を構成している。

本研究の目的は文脈主導型 認識・判断・行動機能実現のための動的記憶システムの研究を行い、システム構築に必要な要素技術の確立である。すなわち、文脈を読みとり状況を認識し、判断・行動するシステムの工学実現を目指し、そのために必要とされる要素技術を研究し、向上させることが本研究の趣旨である。その達成度の指標として、能動監視システムを設定した。このシステムは視覚入力から人の行為文脈を抽出して、行為が特定の状況下で一般的なものか、あるいは異常かを判断し、異常な対象を発見するとそれに注

意を集中して追跡するというようなパフォーマンスをもつものである。

システム完成に必要なと考えられる要素技術は生体ですでに実現されているものである。それをいかに工学的に達成するかは前述のように工学・情報科学的研究と生理学的研究の統合的アプローチが極めて有効と判断される。従って本研究には2つの大項目(1. 文脈主導型 認識・判断・行動機能を有した工学システム実現に関する研究、2. 文脈主導型 認識・判断・行動機能を支える脳アーキテクチャの研究)が設けられているが、それらは相補的に進行するものである。研究構造(参加機関と研究テーマ)の概略を図に示した。具体的な研究の進め方として、生理研究の成果を工学モデル化し、「工学実験の場」である能動監視システムに導入、その有効性を評価するという作業を積み重ね、システムを進化させていく。

本プロジェクト参加チームの研究テーマは以下のとおりである。

<工学系>

- (1) 脳型視覚情報処理の研究
 - 1. 視覚情報処理モデルの評価(電子技術総合研究所)
 - 2. 視覚情報抽出機構の研究(日本電気(株))
- (2) 関係連合機能の自律的獲得機能の研究
 - 1. 関係連合機能の自律的獲得に関する研究(電子技術総合研究所)
 - 2. 連合形成に必要な神経回路ブロックの研究(東北大学工学部)
 - 3. 関係表現の形成に関する研究(筑波大学機能工学系)
- (3) 文脈事象の想起・学習のソフトウェアモデルに関する研究
 - 1. 時空間情報の自己組織化による文脈の抽出・判定(九州工業大学)
 - 2. 時系列感覚・運動データと文脈記憶を連合させるニューラルネットモデルの研究(ソニーコンピュータサイエンス研究所)
- (4) 注視行動の文脈主導化と行為認識機能に関する研究(電子技術総合研究所)
- (5) 大規模動的記憶システムに関する研究(筑波大学情報工学系)

<脳生理学系>

- (1) サルのワーキングメモリー機構の機能的構造の解析(東京都神経科学総合研究所)
- (2) ワーキングメモリーとエピソード記憶、意味記憶の連関機構の研究(東北大学医学部)
- (3) 記憶の形成・保持機構と検索・想起機構の解明に関する研究(東京大学医学部)
- (4) 前頭連合野の光計測、fMRIによる機能的構造の研究(電子技術総合研究所)
- (5) ワーキングメモリーでの時間コーディングを担う動的神経回路の研究(京都大学文学部)
- (6) 選択的注意の神経機構の研究(電子技術総合研究所)
- (7) 頭頂連合野における3次元形態の知覚と認識の神経機構(日本大学医学部)
- (8) 前頭連合野の多点電極記録による機能的構造の研究(近畿大学医学部)

3. これまでの研究経過と現状

総合研究に参加している電子技術総合研究所の5チームの研究の状況について以下に記す。

3.1 文脈主導型、認識・判断・行動機能を有した工学システム実現に関する研究

(1) 脳型視覚情報処理の研究 視覚情報処理モデルの評価(責任者:栗田多喜夫,情報科学部)

網膜での視覚情報処理、視覚野での特徴抽出、動きおよび奥行き抽出などの視覚情報処理のための基本的な要素を並列分散計算機上を実現し、大きさを正規化した顔画像からその顔が誰の顔であるかを特定するシステムを開発中である。そのための要素として、以下を重点的に研究している。

- ・「網膜での情報処理の役割には眼球の固視微動に対して不変な特徴を抽出することが含まれている」との観点から3次元回転群の表現論を用いて網膜での情報処理の意味を明らかにする。
- ・猫の視覚皮質でのニューロン活動をモデル化したPulse-Couples Neural Network(PCNN)と競合学習による特徴抽出法とを組み合わせることにより、選択的注意を実現するためのニューラルネットワークモデルについて検討する。
- ・動きおよび奥行き情報の抽出に関して、網膜から視覚野への写像を真似たComplex Log-polar画像上でのGabor特徴を利用する方法について検討する。
- ・逐次型NMF(Non-negative Matrix Factorization)を用いた高次視覚野の特徴抽出機構の模倣について検討する。

(2) 関係連合の自律的獲得機能の研究 関係の自律的獲得モデルの研究(責任者:情報アーキテクチャ部,西田健次)

入力情報から時間的・空間的關係を認識するためには、入力情報に含まれる対象物を抽出し対象物間の關係の有無を判断し、判定された關係がどのようなものであるか分類していく必要がある。自作の神経回路モデルを三次元疑似環境作成システムによって生成した画像に適用することにより、対象物の動きの時間的關係を抽出する方法が明らかになってきた。現在、三次元疑似環境作成システム上に実験環境を構築することにより、多種多様な対象物の動きから、動きの順

序関係を抽出する方法を研究中である。三次元疑似環境システム上に構築する実験環境は商店の店内を想定し、そこで、色々な人間の動きについて実験を行っている。又、海馬連合皮質系を実現する神経素子によるシステムとして実現する神経素子設計手法の高度化を進めるとともに、それを実現する神経素子の機能評価を行えるように小規模の試作に着手した。さらに、文脈感受性の強い問題(評価のためNP問題で困難を選ぶ)を選定し、文脈主導記憶のアルゴリズムの検討を行っている。

(3) 注視行動の文脈主導組織化と行為認識機能に関する研究(責任者:國吉康夫,知能システム部)

人間が行動する時、その身体は時として非常に高速に動き、また空間内の広い範囲を動き、物陰に一部隠れることもある。その周囲は様々な物体が置かれた複雑な背景を構成しているし、周囲に他の人々など動く対象が複数存在する。そのような中で的確に個々の人間の行動を観察し、その行為を判定するためには、広い範囲を粗く素早く捉えつつ、特定の対象を精密確実に注視する機能、大脳視覚野の処理に倣って多数の視覚特徴情報を並列に抽出し、それらの高次の組合せによる複雑特徴を検出することで多様な物体の識別を行ったり、空間的注意の機能によって知的に注視対象を選択し、記憶し、予測することで、視野内に複数の対象があっても一つを選んだり、見え隠れしながら運動する対象も確実に捉え続けるなどの知的注視機能が大前提となる。

この機能を実現するために、人間の網膜の受容野分布を工学的に模倣した多重解像度視覚センサを導入して粗い超広視野と精密な注視の両立を図り、本プロジェクト内の視覚モデル研究グループの成果も取り入れつつ、Gabor 時間、色差等のフィルタ群、オプティカルフロー処理、両眼視差処理、高次複雑特徴処理、などからなる数十種類の視覚特徴の実時間並列処理の実現、空間的注意メカニズムと特徴統合メカニズムの導入、などを行い、これらによる脳型高次視覚処理機能を統合実現し、これまでに開発した高度なロボット視覚運動機構を駆動して、知的な対象発見、注視機能の実現を目指している。これと並行して、文脈に基づく注視行動組織化の理論モデル構築を進めている。

3.2 文脈主導型 認識・判断・行動機能を支える脳アーキテクチャの研究

(4) 前頭連合野の光計測 fMRI による機能的構造の研究(責任者:飯島敏夫,超分子部)

現在までに課題遂行中のサル大脳皮質の機能的構造を光学的計測により解析することが可能となってきた。前頭連合野への同手法の適用を試み、ワーキングメモリー課題実行中の脳活動記録・解析を成功させる事が、1つの大きな目標である。これにより課題遂行中の前頭連合野の機能的構造、さらにその神経活動ダイナミクスを解析できる。又、fMRIを用いた研究からワーキングメモリーシステムの脳内分布についての重要な知見が得られた。それは前頭連合野のみならず頭頂連合野の働きが重要ということである。中央実行系と従属記憶系をワーキングメモリーシステムの基本構成と考えた時、中央実行系が課題実行のための判断材料を従属記憶系に求め、情報を取りに行く過程が想定される。このモニタリングの程度を強めると前頭前野の活動上昇と連動して登頂連合野の活動上昇が認められた。このことは登頂連合野が前頭前野に想定される中央実行形の従属記憶システムとして働いている可能性を示唆している。これを検証し、2つの機能単位の関係、すなわち協調動作の実態を明らかにすることがもう1つの大きな目標である。また、さらなる研究展開には集積電極式広域脳活動記録装置を用いて、空間的に大きく離れた両部位の神経活動ダイナミクスの連携動作を時間関係と空間的対応との2つのパラメータに注目して解析することが不可欠である。

(5) 選択的注意の神経機構の研究(責任者:河野憲二,首席研究官,情報科学部)

これまでの研究で示された前頭眼野のニューロン活動が滑動性眼球運動中に増強されている現象が、どのような神経機構で起きているかを明らかにする研究が進行中である。

前頭眼野の滑動性眼球運動関連ニューロンの活動の増強が滑動性眼球運動中にだけ起こるのか、空間のある場所に注意を向けることによっても起こるのかを調べている。そのため、視野全体に投影したランダムドット像のうち直径5度~10度の範囲の像に色を変化させる等、際立った特徴を持たせることによりサルの注意を向けさせ、注意を向けた範囲あるいは向けなかった範囲のランダムドット像を一定速度で動かす。

注意を向けた時と向けなかった時で、誘発される眼球運動の違い、さらに同時に記録されたニューロン活動の違いを調べている。

さらに、前頭眼野のニューロンの活動とMST野の滑動性眼球運動に関連したニューロン活動の関係を調べるため、前頭眼野からニューロン活動を記録中にMST野を薬物により一過性に不活性化する。この実験により滑動性眼球運動中の反応の増強がMST野由来のものなのか、前頭眼野で起きているものなのかが明らかになると期待される。

4. 今後の研究展開の方向

IT革命という言葉がようやく国民の間にも浸透しつつある。多くの人々はインターネットが生活のなかに実際に入り込んできているなかで、それを実感しつつある。しかし現在の情報機器の処理能力で、この大きな流れに十分に対処できるとは思えない。現在の情報機器に求められる多元的情報から文脈を把握する技術、大量な情報を高速に処理するための並列処理プロセスを動的に編成し、有効に機能させる機構などの理論は、脳研究者と情報・工学研究者の一体となった当該研究のような取り組みの中から創成されると期待される。その一端でも実現できれば、波及効果ははかりしれない。現在、我が国では脳研究者と情報工学研究者が、実際に1つの達成目標を設定して同じ屋根の下で集中的に研究できる機構は電子技術総合研究所にしかない。このような研究構造は産業技術総合研究所となっても維持、さらに発展させるべきであり、それにより世界をリードする研究展開が可能であると確信する。

当該研究担当者等

1) ラボ構成員(総数32名)

職員(19名) 飯島敏夫*、秋山修二、高島一郎、梶原利一(超分子部)、河野憲二(首席研究官)、松田圭司、小高泰、麻生英樹、栗田多喜夫、赤穂昭太郎、梅山伸二、田中勝、丹羽竜哉(情報科学部)、國吉康夫(知能システム部)、西田健次、稲吉宏明、田中敏雄、樋口哲也、坂無英徳(情報アーキテクチャ部)

職員以外(13名) 広瀬秀顕、見村夕香、塚田 薫、大沼恵美子、村松朱愛、成塚裕美、石川享宏、高橋俊光、肖

端亭、高橋隆史、島井博之、堀田一弘、渡辺 隆

2) その他の研究協力者

吉澤修治(埼玉大学工学部)、宮下保司(東京大学医学部)、泰羅雅登(日本大学医学部)、谷 淳(日本電気基礎研究所)、岡島健治(ソニーコンピュータサイエンス研究所)、落合辰男(日立超LSIシステムズ)、三宅章吾(東北大学工学部)、山鳥 重(東北大学医学部)、平井有三(筑波大学電子情報工学系)、森田昌彦(筑波大学機能工学系)、渡邊正孝(東京都神経研究所)、桜井芳雄(京都大文学部)、稲瀬正彦(近畿大学医学部)、石川真澄(九州工業大学情報工学部)

*ラボリーダー