

3. 脳を創る

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

I 試験研究の全体計画

1. 研究の趣旨

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したが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、大量の情報が時事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、有意味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よ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に必要な情報（何分前前に出された刺激、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ると考えられる。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. 研究概要

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を目標とする。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、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。システム完成に必要なと考えられる要素技術の多く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。従って以下には2つの大項目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。

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

本研究では文脈主導型、認識・判断・行動機能を工学的に実現すべく、そのために必要とされる要素技術の確立を目指し研究を進める。研究遂行にあたり、能動監視システムの実現を研究目標として設定する。この想定された能動監視システムは多くの一般的事象を数多く見せるだけで、その行為文脈を自立的に学習・記憶し、その後、視覚情報として入ってくる個別事象の異常、正常を獲得した文脈記憶との比較から判断するという能力を有する。当該システムを研究達成目標として選んだ理由は、その研究課程に「文脈主導型・認識・判断・行動機能」を一般的に工学実現するために必要なほとんどの要素技術を含んで、しかも整合性よく実現可能な系と考えたためである。この目標達成の為、以下の研究を展開する。

(1) 脳型視覚情報処理の研究（電子技術総合研究所情報科学部）（日本電気(株)基礎研究所）

複雑な状況から、十分に豊かな情報を安定に抽出できる視覚情報処理モデル構築を目標とし、多重並列特徴抽出と双方向処理による初期視覚、特徴統合、選択的視覚注意、空間表現、物体属性表現などの工学モデル化とシステム実現に関する研究を行う。

(2) 関係連合機能の自律的獲得機能の研究(東北大学工学部)(電子技術総合研究所超分子部・情報アーキテクチャ部)

文脈情報の核となる関係連合機能の工学モデル構築を目標とし、感覚・運動・記憶の多相情報の空間的・時間的關係連合とその自律的獲得機能のモデル化とシステム実現に関する研究を行う。

(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(九州工業大学情報工学部)(ソニーコンピュータサイエンス研究所)

文脈情報の想起・判定・学習機能のソフトウェアモデル構築を目標として、時系列感覚運動データと文脈記憶を適応的に双方向連合させる人工ニューラルネットモデルに関する研究を行う。

(4) 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(電子技術総合研究所知能システム部・情報科学部)

複雑な状況の中で文脈情報に基づいて適切に認識・判断・行動できるロボット視覚機能の実現を目標とし、柔軟な注視行動のための多自由度眼球・首機構とその並列適応制御、および知覚・運動の並列プロセスを文脈情報に基づき動的組織化するメカニズムの工学モデル化とシステム実装に関する研究を行う。

(5) 大規模動的記憶システムに関する研究(筑波大学電子・情報工学系)

動的記憶に基づく大規模情報処理システムの基本的構成要素のモデル化とハードウェア実現を目標とし、フィードバック型動的ニューラルネットハードウェアと連合・連想記憶機能モデルに関する研究を行う。

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

文脈主導型、認識・判断・行動機能を有した工学システムの実現には動的記憶システムの理解とその工学的模倣が重要であり、とりわけ生体におけるワーキングメモリの解明・理解が1つの鍵をにぎっていると考えられる。そこで本研究では工学的実験グループと密接な連絡をとりながら動的記憶機構のモデル化に必要とされる脳アーキテクチャの研究を並行して行う。本項目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も期待される。

(1) サルのワーキングメモリー機構の機能的構造の研究(東京都神経科学総合研究所心理学研究部門)

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が、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。しかしこの脳部位の研究は最も遅れており、特に中央実行系(central executive)のメカニズムはほとんど分かっていない。長期記憶をワーキングメモリーにするには、中央実行系が後連合野をコントロールし、貯えられているもので課題解決に必要なものを「active」な状態にすると考えられる。中央実行系は、さらにそのワーキングメモリーの内容に基づいて、判断、プログラミングなどを行うと考えられる。本研究はサルのワーキングメモリー機構の機能的構造を電気生理学、解剖学的手法およびPETを用いて明らかにすることを目的とする。

(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(東北大学大学院医学系研究科)

ワーキングメモリー機能を系統的に理解することを目的として、ヒトを対象として、臨床的方法と、PETおよびfMRIを用いた機能画像的方法を中心とした研究を行う。具体的には、記憶障害を訴える患者の脳画像解析と心理学的解析を系統的に行う。さらにこれら病理的事実と対応させるため、正常ボランティアによる正常脳の機能画像的研究を行う。この研究から想起に関する脳内機構の特定や記憶形成に関する脳内要素間の機能連関が明らかにされるものと期待される。

(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(東京大学医学系大学院・医学部)

霊長類における視覚性連合記憶の形成・想起の脳ニューロン機構解明を目標として、電気生理学的計測、光学的計測、形態学的計測手法により研究を進める。さらにfMRI計測により、視覚性記憶等を対象にヒトの脳辺縁系と新皮質の相互作用、記憶痕跡の局在化機構について研究を進める。この計測実験では適切な実験パラダイムの設定により記憶の検索に関する脳内要素の特定も期待される。これらの結果を動物実験に反映させ、より詳細な機構解明の研究を展開する。

(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超分子部)

本研究では前頭連合野の機能的構造の解明を目指して、膜電位感受性色素を用いた脳活動の光学的計測法及び高磁場(3T)MRIを用いた脳機能描画法により研究を進める。膜電位感受性色素を用いた光計測は脳神経活動のダイナミクスを広域空間から高解像度で同時計測できる点で機能的構造の解明に優れた手段である。本研究ではワーキングメモリータスク中の前頭連合野の神経活動の時間・空間的推移を捉え、前頭連合野の背外側部と腹外側部の機能分業仮説

や機能モジュール仮説等の検証を行う。サルと同様の課題をヒトに課し、fMRI計測によりヒトの脳活動モジュール仮説等の検証を行う。サルと同様の課題をヒトに課し、fMRI計測によりヒトの脳活動局在を調べサルと比較、前頭連合野情報処理の一般性について研究する。

(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（京都大学霊長類研究所）

情報間連合のダイナミクスが不可欠な動的記憶機構では、1つのニューロンが複数の回路に重複して関り、さらにその結合を随時変化させ得るような動的神経回路が、情報をコードしているはずである。そしてそのような動的神経回路は、静的な刺激情報のコーディングのみならず、時々刻々と変化する時間情報や、時間情報を手掛かりとした順序情報のコーディングにとって、特に有効なはずである。そこで本研究は、動的記憶としてのワーキングメモリーにおける「時間情報」と「順序情報」の保持に着目し、それらの情報をコードする動的神経回路の解明を目指す。方法としては、刺激の時間的長さや、刺激間の順序を保持させるワーキングメモリー課題をサルにおこなわせ、課題遂行中の前頭連合野や海馬周辺領域での多数ニューロン活動を、多点同時記録法により測定し解析する。明らかにしたい主な点は、(1)刺激自体の保持と、刺激に内在する時間情報の保持とでは、コーディングのための神経回路がどのように異なるのか、(2)その神経回路はどのような機能を持つニューロンにより構成されるのか、(3)時間情報と順序情報それぞれに対し、その神経回路はどのようなダイナミクスを示すのか、である。

(6) 選択的注意の神経機構の研究（電子技術総合研究所情報科学部）

高等動物は、自分のまわりの複雑な環境から、意味のある事象を抽出し、その事象に対応して行動することができる。この随意的な注視行動の神経機構を明らかにするのが本研究の目的である。実際の研究ではサルに広い視野に投影された視覚刺激から小さい視標を見つけ、その小さい視標の動きを追いかける眼球運動のタスクを訓練し、サルがこの眼球運動を実行中に、大脳及び小脳よりニューロン活動（多点電極が使用できるようになれば複数のニューロン活動）を記録する。サルがこの視標に注目している時としていない時での、ニューロン活動の差異の検討から随意運動制御における選択的注意の神経機構に関する研究を行う。また、同様の課題をヒトに課してfMRIにて脳活動部位を特定し、サルの生理実験結果と比較、解析する。

(7) 頭頂連合野における三次元形態の知覚と認識の神経機構の研究（日本大学医学部）

我々は外界を眺めたとき、網膜上に投影される像は平板な二次元像であるにもかかわらず、外界を奥行きのある立体的な世界として認識できる。これは、左右の網膜からの

視覚情報を統合して外界の三次元像を再構成する神経機構が我々の脳にはあるからだと考えられている。これまでにサルの視覚野から両眼視差に応じる細胞が見つかったが、高次の視覚連合野での三次元視覚情報処理に関する研究は、まだほとんど行われていない。一方、計算理論分野では、Marrが二次元の視覚情報から三次元構造を再現する視覚情報処理についての計算論を組み立てた。その中で彼は、視覚情報の中間処理段階では軸や面の傾きの知覚が重要であることを指摘し、さらに、これらの視覚情報の階層的な処理によって三次元構造が再現できる可能性を示した。この計算理論は三次元物体の認識メカニズムに関する、認知心理学や神経回路のモデリングの研究に大きな影響をおよぼしたが、この計算理論に対応する脳内の三次元視覚情報処理の神経機構はまだよくわかっていない。ヒトの頭頂連合野の障害症状はこの領域が物体の三次元構造の識別に重要であることを示唆している。PET（Positron Emission Tomography）によるヒトの機能的解剖のデータでも立体図形の三次元的特徴を識別する課題で頭頂連合野に強い活動が見られ、この領域が三次元視覚情報の処理に関与していることを示している。本研究では三次元形態の知覚と認識が頭頂連合野のどのような神経機構によって行われているのかを調べる。軸や面の傾きの知覚から、基本形やより複雑な三次元形態が認識されるまでの階層的な視覚情報処理機構が明らかになると考えられる。

3. 年次計画

本プロジェクトでは、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を目標とする。第I期では、全体として、まず研究環境整備を早急に完了させる。その後、工学実現を目指すグループはモデルの構築やアルゴリズムの開発を行う。この際、生理研究グループのもつ既存の知識、及び生理学的研究の進行中に得られた新しい知見を十分に活用することが肝要である。考案されたモデルの機能は計算機上、あるいは実際の工学系（能動視覚システムのプロトタイプなど）で検証される。これと平行して学習チップの製作や能動的監視システムのハードウェア化が進められる。生理学的研究はfMRIやPETなどの新技術を駆使して行われるので、脳情報処理のシステム的理解が飛躍的に進むものと考えられる。これらの知見はシステムモデルの概念形成と実際の構築、及び工学設計における機能単位の最も有効な配置などに活用され、新しい情報処理システムの創成に大きな助けとなることが期待される。第II期では、各研究を加速し、それぞれの研究項目で得られた成果のより一層の統合化をはかり、成果の一端を能動監視システムの形で具現化する。システムの評価、研究のとりまとめなどが中心となる。

研究項目	10年度	11年度	12年度	13年度	14年度
<p>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</p> <p>(1) 脳型視覚情報処理に関する研究</p> <p>複雑な状況から、十分に豊かな情報を安定に抽出できる視覚情報処理モデル構築を目標とし、多重並列特徴抽出と双方向処理による初期視覚、特徴統合、選択的視覚注意、空間表現、物体属性表現などの工学モデル化とシステム実現に関する研究を行う。</p> <p>① 視覚情報抽出機構の研究</p> <p>② 視覚情報処理モデルの評価</p> <p>(2) 関係連合機能を自律的に獲得する神経回路モデルに関する研究</p> <p>関係連合機能は文脈情報獲得に必須である。海馬や新皮質で行われていると考えられる事象の空間的・時間的關係連合機能を自律的に獲得するモデルの構築とそのシステム実現に関する研究を行う。</p> <p>(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</p> <p>文脈情報の想起・判定・学習機能のソフトウェアモデル構築を目標として、時系列感覚運動データと文脈記憶を適応的に双方向連合させる人工ニューラルネットモデルに関する研究を行う。</p> <p>① 時空間情報の自己組織化による文脈の抽出、判定</p>					
	特徴抽出細胞の工学モデル構築				
			特徴抽出と学習・注意機構の研究		
	視覚情報処理モデルの並列計算機上での実現				
			眼球運動系との統合		
					とりまとめ
	関係連合機能のモデル化				
			関係連合機能の自律的獲得のシステム実現		
					とりまとめ
	時空間情報の自己組織化方法論開発				
			簡単な対象からの文脈の抽出、判定		
				複雑な対象からの文脈の抽出、判定	
	視覚情報からの実時間的特徴抽出				

研究項目	10年度	11年度	12年度	13年度	14年度	
<p>② 時系列感覚・運動データと文脈記憶を適応的に双方向連合させるニューラルネットモデルを構築し、移動ロボットからの実データで検証する。</p> <p>(4) 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 複雑な状況の中で文脈情報に基づいて適切に認識・判断・行動できるロボット視覚機能の実現を目標とし、柔軟な注視行動のための多自由度眼球・首機構とその並列適応制御、および知覚・運動の並列プロセスを文脈情報に基づき動的組織化するメカニズムの工学モデル化とシステム実装に関する研究を行う。</p> <p>(5) 大規模動的記憶システムに関する研究 動的記録に基づく大規模情報処理システムの基本的構成要素のモデル化とハードウェア実現を目標とし、フィードバック型動的ニューラルネットハードウェアと連合・連想記憶機能モデルに関する研究を行う。</p> <p>①パルス密度型学習回路の開発</p> <p>②大規模動的記憶モデルの構成</p> <p>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</p> <p>(1) サルのワーキングメモリー機構の機能的構造の研究 サルのワーキングメモリー機構の機能的構造を電気生理学、解剖学的手法およびPETを用いて明らかにすることを目的とする。</p> <p>(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 ワーキングメモリー機能をシ</p>		文脈の認識及び行動生成のモデル作成				
			モデルへの視覚入力への導入			
			移動ロボットによる検証			
		ロボット眼球・首機構のハードと制御システムの開発				
			高次視覚及び文脈処理システムの実現			
				システムの評価実験と研究のとりまとめ		
		アルゴリズムと回路の検討				
				学習チップの製造と評価		
		全体構成の検討				
			記憶モデルの公制			
		自然言語処理でタスクとしたモデルの評価				
				研究のとりまとめ		
	PET法によるワーキングメモリーの脳内機構の研究					
	マイクロダイアリス法によるワーキングメモリーの物質的基礎に関する研究					
	ニューロン活動記録によるワーキングメモリーの脳内機構の研究					
		ワーキングメモリーシステムのモデル化の検討				
				研究のとりまとめ		

研 究 項 目	10 年 度	11 年 度	12 年 度	13 年 度	14 年 度
<p>システムの理解することを目的として、ヒトを対象として、臨床的方法と、PET および fMRI を用いた機能画像的方法を中心とした研究を行う。</p> <p>①神経機能画像法を用いた研究</p> <p>②臨床的神経心理学的研究</p> <p>(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 霊長類における視覚性連合記憶の形成・想起の大脳ニューロン機構解明を目標として、電気生理学的計測、光学的計測、形態学的計測手法により研究を進める。さらに fMRI 計測により、視覚性記憶等を対象にヒトの大脳辺縁系と新皮質の相互作用、記憶痕跡の局在化機構について研究を進める。</p> <p>(4) 前頭連合野の光計測、fMRI による機能的構造の研究 前頭連合野の機能的構造の解明を目指して、膜電位感受性色素を用いた脳活動の光学的計測法及び高磁場 (3T) MRI を用いた脳機能描画法により研究を進める。</p> <p>①fMRI を用いてワーキングメモリに関わるヒトの脳領域を特定する研究</p> <p>②光計測法を用いてワーキングメモリに関わるサル前頭連合野の機能的構造を解明する為の研究</p> <p>(5) ワーキングメモリでの時間コーディングを担う動的神経回路の研究 時間情報や順序情報を短期間保持し活用する際の多数ニュー</p>	<p>fMRI による健常者の脳機能測定 (ワーキングメモリに関して)</p> <p>fMRI による健常者の脳機能測定 (エピソード記憶に関して)</p> <p>fMRI による健常者の脳機能測定 (意味記憶に関して)</p> <p>記憶障害をもつ患者の症例解析</p> <p>fMRI のデータをもとにした脳損傷者の症状分析</p> <p>脳損傷者に対する脳画像測定</p> <p>ワーキングメモリーシステムのモデル化の検討</p> <p>実験方法論の確立 (fMRI, 光計測, 電気生理)</p> <p>ヒト及びサルを用いた記憶機構の研究</p> <p>記憶システム構造の検討</p> <p>課題制御装置の整備</p> <p>fMRI による脳活動記録</p> <p>計測技術の確立</p> <p>光計測法による記録</p> <p>前頭連合野の機能的構造の検討</p> <p>サル用ワーキングメモリ課題の開発と改良</p> <p>多数ニューロン活動の同時記録と解析</p> <p>神経回路モデルの検討</p>	<p>まとめ</p> <p>まとめ</p> <p>まとめ</p> <p>成果のとりまとめ</p> <p>成果のとりまとめ</p> <p>成果のとりまとめ</p>			

研 究 項 目	10 年 度	11 年 度	12 年 度	13 年 度	14 年 度
<p>ロン活動を同時測定し解析する。これをもとに神経回路モデルを検討する。</p> <p>(6) 選択的注意の神経機構の研究 自分のまわりの複雑な環境から、意味のある事象を抽出し、その事象に対応して行動する、注視行動の神経機構をサルで電気生理学的手法、ヒトでfMRIの手法を用いて研究する。</p> <p>(7) 頭頂連合野における三次元形態の知覚と認識の神経機構の研究 左右の網膜からの視覚情報を統合して外界の三次元像を再構成する脳内神経機構をサルでは電気生理学的手法を、また、ヒトではfMRIの手法を用いて研究する。</p> <p>①覚醒サルでの単一ニューロン活動の記録実験</p> <p>②fMRIによるヒトの脳の機能マッピング実験</p>	<p>サルを用いた行動実験で課題を確立し、MSTより単一ニューロン活動を記録</p> <p>新刺激装置の整備</p> <p>機器の整備</p>	<p>前頭葉でのニューロン活動の記録</p> <p>予備実験</p>	<p>視床、小脳よりニューロン活動を記録</p> <p>ニューロン活動記録</p> <p>機能マッピングのための実験</p> <p>システム構造の検討</p>	<p>モデルの検討</p> <p>まとめ</p> <p>結果のまとめ</p> <p>結果のまとめ</p>	<p>成果のとりまとめ</p> <p>まとめ</p> <p>結果のまとめ</p> <p>結果のまとめ</p>
所 要 経 費 (合計)	183 百万円				

4. 平成10年度における達成目標

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

視覚情報処理のモデルとして従来提案されてきたいくつかの代表的なモデルを評価し、各モデルの持つ視覚情報の流れに関するシステムの一部としての利点や問題点を明らかにするために、複数個の超高速信号処理プロセッサにより構成される計算機システムであるPCクラスターを導入し、基本的な実験環境を整える。また、評価に使用するモデルの検討を行う。

脳における視覚認識処理の計算原理を解明しその工学応用を計る上では、脳の視覚系においてどのような視覚特徴抽出処理がなされているのかを数学的なモデルとして表現することが不可欠である。これまでにNEC基礎研究所では、「方位」に関する視覚情報を抽出しているかにしてき

た。これは単純型細胞は、抽出できる情報量が最大になるように「最適に設計」されていることを示唆している。H10年度には、上述の「情報量最大化」の手法を、①より高次の特徴抽出細胞である「複雑型細胞」に対して適用し、その工学的機能を情報理論的観点から解明する。また、②情報理論的に見て「最適」な細胞の性質が、処理の対象となる画像の性質に応じてどのように変化するのかを明らかにして、脳視覚系における「学習」機構解明のための基礎とする。

(2) 関係連合機能の自律的獲得機能の研究

これまでのモデルの問題点を検討するため、解剖学的知見を取り入れた小規模な神経回路網モデルを作り、計算機シミュレーションにより、各部分の情報処理能力を調べる。その解析が終了した段階で、ネットワーク全体の情報処理能力、特に、事象の連合形成の観点から詳しく解析する。

事象間の関係を連想記憶する神経回路を含むと考えられている海馬の生理的知見を基礎にして、連想記憶の神経回

路モデルを構築し、多種入力情報により関係が学習によりどのように神経回路の中に構成されるかを確かめる。また、文脈形成に関わる機能を実現するための神経回路の構成方法を、生理的な知見も参照しながら検討し、それを実証するための基礎的なメカニズムを解明する。

(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

自己組織化を時間的な変化が扱えるように拡張するための第一の方法として、系列情報の時間的展開、すなわち各時点の情報を直列的に並べてできる超高次元ベクトルに対して自己組織化を適用するというアイデアを実証する。この方法により、類似の視覚情報系列は自己組織化マップ上で近くに配置され、しかもマップ上の競合層ニューロン間の距離も濃淡表示されるため、クラスター化が容易に行える。これを文脈の生成と解釈でき、また文脈の判定を行うことも可能になる。このためには前処理として視覚情報の特徴抽出を効率的に行うことが必要である。そのために局所自己相関フィルタをハードウェア化した装置を用いて、実時間で特徴抽出を行う方法について検討する。

認知的主体において、世界はどのようにして、あたかも分節化されて意識されるのかという問題について、神経系の構造化学習の問題とからめ研究した。競合的リカレント神経回路網のモデルを提案し、簡単なシミュレーション実験を行ったところ、入力されるセンサーモーターフローが内部的に分節化され、さらに分節化のハイエラキカルな構造が出現することがわかった。

(4) 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

人間が行動するとき、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、まず、非常に高度な運動能力を有するロボット視覚機構が重要となる。高範囲を様々な角度で見回せて、高速から低速まで広い速度範囲に対応し、きわめて機敏に反応する機構である。本研究の序盤は、人間に匹敵する速度と自由度を有するロボットの眼球・首機構を設計・試作し、その運動制御系を構築する。

10年度は、初年度であり、予算上及び研究期間上の制約から、上記システムのうち、基本部分、すなわち眼球機構部分とその制御装置を設計、試作すると共に、注視制御に関わる多くの運動要素を適応的かつ協調的に、しかも極めて高速に制御するアルゴリズムの開発を進める。これと平行して、文脈行動に基づく注視行動組織化の理論的検討に着手する。

(5) 大規模動的記憶システムに関する研究

(ア) パルス密度型学習ハードウェアシステムの開発

① パルス密度型デジタル回路を用いて自己組織型学習回路が構成できることを、論理回路シミュレーションにより確認する。

② その後、FPGAを用いた小規模なハードウェアを構成し、動作を検証する。

③ また、高密度VLSIチップの設計・評価(外注)を行う。

(イ) 大規模動的記憶システムのモデル構成

① 背景の知識として、例えば広辞苑などの辞書情報をもとに、自己組織的に意味ネットワークを自己組織的に構成するための方式について検討する。

② 一般に辞書は、見出し語とその複数の意味を定義する語義文から構成される。語義文の内容をもとに、自己組織化を行う学習モデルを構成し、その有効性を検証する。

③ さらに、次年度以降に行うモデル化のために、文脈情報の適切な表現法に関する基礎的な検討を行う。

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

(1) サルのワーキングメモリー機構の機能的構造の研究

まずサルに典型的なワーキングメモリー課題の1つである「空間的な遅延反応課題」と、その変形である「パターン弁別による遅延反応課題」を訓練する。前者の課題では右か左かに手がかりが出され、後者の課題では2次元のパターン刺激がまずサルに見られる。その後刺激がなにも出ない時期(遅延期間)があり、この遅延期間が終了したという合図が出ると、サルは先に出された手がかりに基づいて、右か左の方向に反応することを要求される。正解をして報酬をもらうためには、サルは遅延期間中に手がかりが何であったかを「ワーキングメモリー」として保持しておく必要がある。サルの前頭連合野を破損するとこの課題が全く出来なくなることが知られている。また、この脳部位には遅延期間中に持続的な活動変化を示すニューロンのあることも明らかにされている。

訓練が完成したサルにつき、PET実験を行う。サルが遅延課題を行っている時、及び遅延期間がなく、ワーキングメモリーの負荷がない課題を行っている時に、放射性物質でラベルされた酸素15を静脈を通してサルに投与し、PETスキャナーで脳内のどの部位から陽電子が放出されるのかを調べる。各課題で得られたデータと、ワーキングメモリー負荷のない状態とを比較することにより、ワーキングメモリーに特異的に関与する脳部位を明らかにする。

(2) ワーキングメモリーとエピソード記憶、意味記憶の関連機構の研究

fMRIを用いた機能画像法により、ワーキングメモリーに関する神経ネットワークを同定する。ワーキングメモリー機構としては、必要な情報を一時的に保持するシステムと、その情報に操作をくわえるシステムが必要と考えられる。健常者を対象として、情報を保持するだけの課題と保持情報に操作を加える課題を施行し、課題中の脳活動部位を同

定する。また、脳損傷患者に対しても同様の課題を施行し、課題成績と損傷部位の関連を明らかにする。

(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

霊長類における視覚性連合記憶の形成・想起の大脳ニューロン機構解明をめざして、本年度は電気生理学的計測、光学的計測、形態学的計測の為の方法論的な基礎を固める。まず、本プロジェクトに必要な動物を飼育するための環境を整える必要があり、そのための飼育ケージを購入する。動物実験にはサルを用いる予定であるので、サルの購入も必要である。電気生理学的計測は微小電極法から始める。

電極およびそれを操作するためのマニピュレーターが必要であり、これらを購入する。形態学的計測のために必要な蛍光顕微鏡等の購入は次年度以降とし、とりあえず免疫組織化学的方法（例えばコレラトキシン）から始めてその他のトレーサーの予備実験を進める。

fMRI計測については、まず通常の臨床機における計測から始める。但し、スキャンの設計としては、事象関連法をもちいて時間的・空間的計測精度の向上を図る。さらに、種々の前頭葉課題を開発して認知課題に含まれる多くの異なる認知過程の同定・分離を試みる。ことに、GO/NOGO課題やカードソーティング課題を重点的な研究対象とする。

(4) 前頭連合野の光計測、fMRIによる機能的構造の研究

視覚刺激を用いたワーキングメモリー課題を遂行中に、ヒトの脳活動を fMRI 法によって計測することにより、ワーキングメモリーに関与する脳領域を明らかにする。特に、存在が仮定されている、ワーキングメモリーの中央制御システムと、補助システムのうち、視覚空間情報の短期記録に携わっている前頭連合野の脳領域を明らかにする。

サル前頭連合野からの、膜電位感受性色素を用いた光計測法のシステムを確立する。

(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

刺激の提示時間の記憶を検討するためには、提示時間と色それぞれの弁別と保持を直接比較できる「多次元見本合わせ課題」を開発して用いる。また順序の記憶については、刺激自体とその提示順序それぞれの弁別と保持を直接比較できる「多次元 Serial Probe 課題」を開発する。それぞれをサルが十分安定して遂行できるよう訓練する。

マルチニューロン活動の記録には、複数電極操作システムとワイヤー電極から作製するテロード電極を組み合わせた、独自の記録システムを構築し用いる。マルチニューロンの活動や、ニューロン間の機能的シナプス結合とその変化については、Cross.Correlation（相互相関法）を基本として解析するが、それに時間軸上の変化の検出も備え

た。Joint PSTH 法や、3つ以上のニューロン活動間の関係を視覚化可能な力学モデル的方法についても検討し、より適切な解析システムの確立と、解析用ソフトウェアの開発を目指す。

(6) 選択的注意の神経機構の研究

ヒトで観察された選択的注意による滑動性眼球運動の増強現象を動物で実験するため、サルに広い視野に投影された視覚刺激から小さい視標を見つけ、その小さい視標の動きを追いかける眼球運動のタスクを訓練する。サルが滑動性眼球運動を実行中に背景を動かし、滑動性眼球運動の増強現象を再現する。さらに様々なパラメータを変化させた行動学的実験を行い、ニューロン活動を記録するのにふさわしい実験課題を確立する。

サルがこの実験課題を実行中に、滑動性眼球運動の発現に関与していると考えられている大脳皮質 MST 野よりニューロン活動を記録する。サルが動いている視標に注目している時としていない時でのニューロン活動の差異の検討から随意運動制御における選択的注意の神経機構を検討する。

(7) 頭頂連合野における三次元形態の知覚と認識の神経機構の研究

三次元形態を脳で再構成するためには、形態を構成する面の傾きの識別や、構成要素の軸の傾きの識別がまず重要であることが計算論によって指摘されている。これまでの覚醒サルのニューロン活動の記録実験で、物体の三次元的特徴のひとつである面の傾きに選択的に反応するニューロン群が頭頂連合野で見つかった。心理物理学的な実験から、面の傾きを識別するための視覚的手掛かりには、両眼手掛かりとして、両眼視差信号（視差の勾配、輪郭部分の視差）、単眼手掛かりとして、透視画法による輪郭、陰影、表面のきめの勾配などがよく知られている。

本年度の研究では、これらの手掛かりのうちどれか一つを使って、面の傾きを知覚できるような視覚刺激をコンピュータグラフィクスで作成し、サルの眼前の立体視ディスプレイに呈示して、時間をおいて呈示した二つの刺激で面の傾きが同じか違っているかを判断させ（遅延見本あわせ課題）、この課題遂行中のニューロンの活動を解析する。これによって、ニューロンレベルで面の傾きの識別にどのような手掛かりが重要であるかを明らかにする。また、遅延見本あわせ課題を用いているので、遅延期間中のニューロン活動を解析して、これまで多くの連合野で観察されている短期的な情報の保持システム（ワーキングメモリー）が頭頂連合野にあるかどうかについても検討を加える。

さらに今年度は、新たに fMRI によるヒトの脳の機能局在解明のための実験を開始するにあたって、実験に必要な視覚刺激装置の開発と、得られたデータの解析システムの構築を開始し、予備的な実験を行う予定である。

II 平成10年度における実施体制

研究項目	担当機関	研究担当者
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	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所情報科学部 日本電気(株)基礎研究所	栗田 多喜夫 岡島 健治
(2) 関係連合機能の自立的獲得機能の研究	東北大学工学部 通商産業省工業技術院電子技術総合研究所超分子部 ・情報アーキテクチャ部	三宅 章吾 西田 健次
(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	九州工業大学情報工学部 ソニーコンピュータサイエンス研究所	石川 眞澄 谷 淳
(4) 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	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所知能システム部・情報科学部	國吉 康夫
(5) 大規模動的記憶システムに関する研究	筑波大学電子・情報工学系	平井 有三
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		
(1) サルのワーキングメモリー機構の機能的構造の研究	東京都神経科学総合研究所	渡邊 正孝
(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	東北大学大学院医学系研究科	山鳥 重
(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	東京大学医学系大学院・医学部	宮下 保司
(4) 前頭連合野の光計測、fMRIによる機能的通商産業省工業技術院構造の研究	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所超分子部	飯島 敏夫
(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	京都大学霊長類研究所	櫻井 芳雄
(6) 選択的注意の神経機構の研究	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所情報科学部	河野 憲二
(7) 頭頂連合野における三次元形態の知覚と認識の神経機構の研究	日本大学医学部	泰羅 雅登

III リエゾン会議

委員	所属
○吉澤 修治	東京大学 大学院工学系研究科機械情報工学専攻教授
飯島 敏夫	通商産業省 工業技術院電子技術総合研究所超分子部総括主任研究官
石川 眞澄	九州工業大学 情報工学部制御システム工学科教授
國吉 康夫	通商産業省 工業技術院電子技術総合研究所知能情報部主任研究官
桜井 芳雄	京都大学 霊長類研究所助教授
平井 有三	筑波大学 電子・情報工学系教授
三宅 章吾	東北大学 工学部助教授
宮下 保司	東京大学 医学系大学院・医学部教授
山鳥 重	東北大学 大学院医学系研究科教授
渡邊 正孝	東京都 神経科学総合研究所副参事研究員

(注：○は研究管理統括者)