

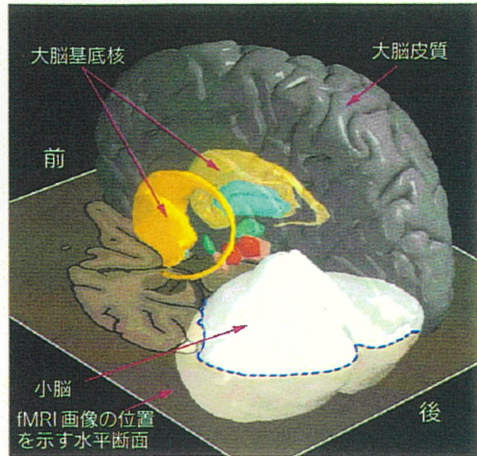
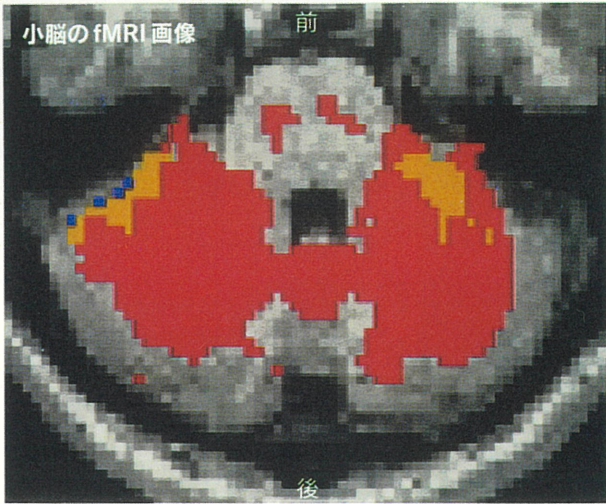
科学

Science Journal *KAGAKU*

VOL.70 2000

別刷

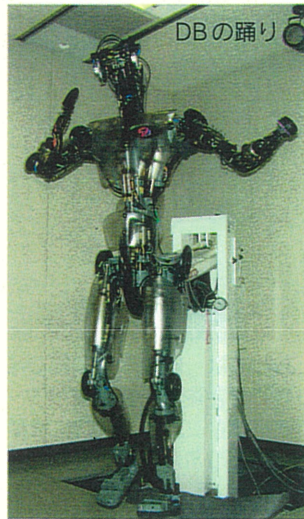
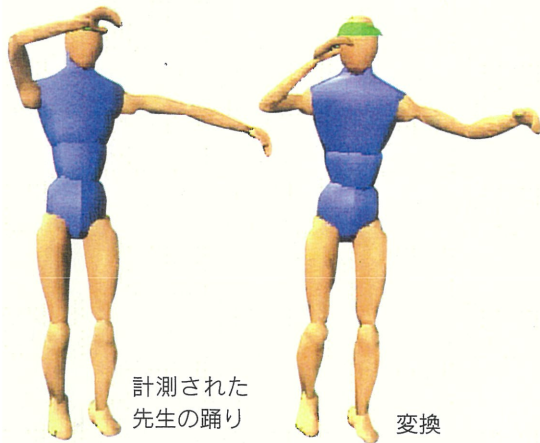
岩波書店



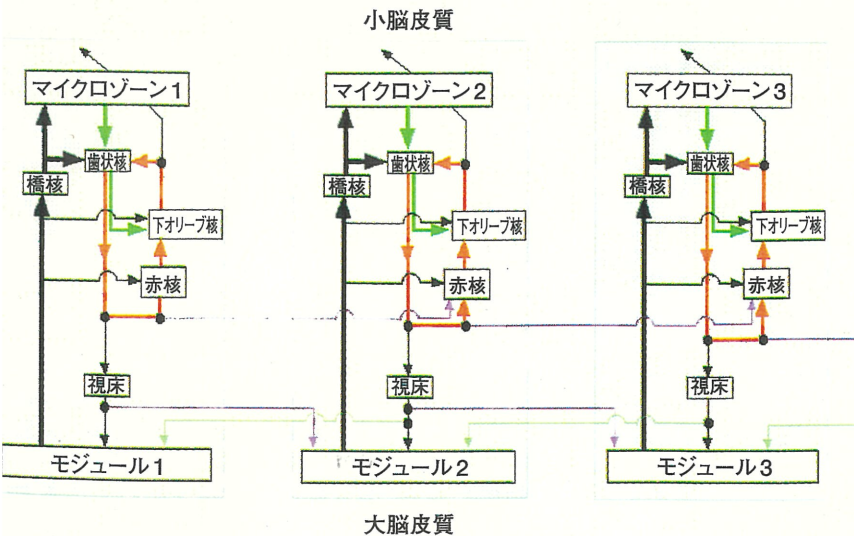
小脳と大脳皮質, 大脳基底核

①新しい道具の操作方法を学習したときのヒト小脳の活動を示すfMRI画像⁽⁵⁾.

被験者は、回転マウス(手の動きとカーソルの動きがずれる)をはじめて操作した。学習初期には赤と黄で示した広い範囲で、操作の誤りを表現する信号が計測された。十分学習した後では、青と黄で示したごく一部に回転マウスの内部モデルが獲得される(詳しくは連載第2回)。図の結果は、筆者らが提唱する多重順逆内部モデル(第4回)の予測とよく一致する。このような研究によって、小脳は運動制御だけでなく高次認知機能にかかわることがわかってきた。



②沖縄舞踊カチャーシを見まねて踊る人間型ロボットDB(<http://www.erato.atr.co.jp/DB/>). 先生の踊るすがたをDBの視覚に相当するシステムで観察させる。その計測結果(左)は、DB自身に可能な動き(中)に変換され、DBは実際に踊り始める(右)。他人の運動パターンを視覚で認知すること、それを自分の動きに焼き直すこと、他者の脳内を推定すること、そしてそれに基づく運動の制御など、脳のさまざまなレベルの内部モデルによって実現する見まねは、コミュニケーションのための最も基本的な素過程である(連載第5回)。



③小脳、中脳、脳幹を結ぶ小川の三角形を中心とする大脳小脳連関神経回路。赤(→)は、小脳歯状核-中脳の赤核-脳幹の下オリブ核が作る興奮性閉回路つまり小川の三角形。小川の三角形を介して三つのループ回路の単位が階層的(左が階層が高い)に配置されている。緑(→)は、小脳皮質プルキンエ細胞から歯状核への抑制性結合と、歯状核から下オリブ核への抑制性結合。筆者らの提唱する階層的な多重順逆内部モデルは、小川の三角形を介して、多重のループが並列に、また階層的に共同して働くしくみをみごとに説明する(連載第2, 3, 5回)。

新連載 ■ ヒト知性の計算神経科学<第1回>

言語に迫るための条件

川人光男 銅谷賢治 春野雅彦

言語などのヒトの高次認知機能を神経科学の研究対象とするためには、サルなどの動物実験で得られた神経科学のミクロなレベルの知識を、計算理論を媒介として、ヒトを対象にした脳活動の計測データや、言語学などの研究と統合する必要がある。このための新しい計算理論とそれを支持するデータを6回の連載で解説していこう。第1回では、われわれの提唱するアプローチの対極にある、CHOMSKYが構築した生成文法研究で大前提とされる仮定に対して批判をおこないながら、連載の全体像を俯瞰する。〈カラーページ参照〉

ヒト知性の理解を可能にする四つの駆動力

コミュニケーション、言語、意識などのヒトでいちじるしく発達した高次認知機能が脳科学、神経科学の中心的な研究対象になるとは15年前には予想さえできなかった。当時は、神経科学者がそのような高次機能について語ると、真面目な研究に飽きたと思われることさえあった。しかし状況は大きく変わって、例えば、ヒトと動物のコミュニケーションの違いの理解、非言語的なコミュニケーションの理解、言語の獲得過程の理解などが、日本の脳研究の長期戦略目標にあげられるようになった。これは、主に四つの駆動力によると考えられる。

第1は実験的神経科学の急速な進歩である。脳に関するわれわれの知識は、場所(例えば脳のどの部位にどのような機能が局在しているかなど)と物質(遺伝子、タンパク質など)については、多

重電極や光学システムによる神経活動の計測や、分子生物学の手法など新しい実験技術の導入によって、目覚ましく拡大した。

第2は計算論的神経科学の勃興である。場所と物質に関する知識が積み重ねられるほど、それだけでは脳の機能、さらにいえば情報処理の理解には単純に繋がらないことが、明らかになった。その結果、脳の計算原理、情報表現、アルゴリズムなどを真正面から研究する計算論的研究が進展し、システムレベルの実験神経科学との緊密な協同研究がおこなわれるようになった。まだ歴史は浅いが、脳の特定の機能(視覚、運動制御)や特定の部位(小脳、大脳基底核、大脳皮質視覚野)についてはすばらしい成果が得られている⁽¹⁾⁽²⁾。

第3は脳活動を外から、脳を傷つけずに測る手法(非侵襲計測法)のいちじるしい発展である。20年前には、空間的解像度のほとんどない脳波がその唯一の手段であったが、脳磁計、PET(陽電子断層撮影法)、fMRI(機能的核磁気共鳴画像法)など新しい方法がつぎつぎに開発されてきた。これらを用いて、新しい発見があいついだ。言語に関する例を三つだけあげよう。まず、損傷脳の研究などから従来は大脳皮質のブローカ野やウェルニッケ野が言語中枢であると考えられてきたように、

Mitsuo KAWATO ATR 人間情報通信研究所, 科学技術振興事業団創造科学推進事業川人学習動態脳プロジェクト, Kenji DOYA ATR インター(国際電気通信基礎技術研究所), 科学技術振興事業団戦略基礎研究脳を創る, Masahiko HARUNO ATR インター(国際電気通信基礎技術研究所)

高次機能は大脳皮質に局在するものにとらえられてきたが、ヒト小脳が言語などの高次認知機能で活動することがわかった。また、2カ国語を流暢に喋れるヒトのうち、11歳より若くに学習したヒトでは、二つの言語の表現がブローカ野で入り交じっているのに対して、それより遅くに習得したヒトでは、二つの言語が違う場所に表現されるという事実も興味深い。より複雑な構造の文章を理解するときに、ブローカ野とウェルニッケ野の脳活動がより大きくなることもわかった。

第4は、心理学、認知科学、言語学、哲学などと脳神経科学との境界が、ぼやけながら、より高次のトピックスへと移動していく、研究者の心理や研究現場にみられる動きである。例えば、最近創刊された認知科学のレビュー誌 'Trends in Cognitive Sciences' では、記事の3分の1が神経科学、3分の1が計算理論にかかわる。一昔前には、意志決定、感情、注意、意識などは、神経科学などの自然科学が扱える対象ではなく、人文系学問だけによって研究されていたことを、思いだすのさえ困難になってきた。

このように、神経科学がヒトの知性と心の問題に真正面から取り組む気運が盛り上がりつつあるが、いまなお、それはたいへん困難な問題である。最大のチャレンジは、ヒトを研究する上での当たり前の条件——電気生理学の単一細胞記録の手法やトレーサーを用いた神経回路同定の解剖学的手法などは使えない——の下で、いかにして心と物質を繋ぐかという点にある。

非侵襲脳活動計測の手法は、進歩したとはいえ、上の動物の研究で用いられる手法とは較べようもないほど、得られる情報が限られている。非常に多数のニューロンの活動を空間的、時間的に平均化し、それが二次的にひきおこすだろうと思われる、電場、磁場、血流などの変化を間接的に観測するだけなのであるから、ヒトの知性にかかわる個々のニューロンが、例えば言語課題の遂行中にどのように興奮しているか、それを含む神経回路はどのようにになっているか、そして1個のニューロンの情報処理がどのようにおこなわれているかを観測することは、すくなくとも近い将来には不

可能である。現在では想像もできないような方法が開発されない限りは、未来永劫にわたってこの状況が続く。

したがって、ヒト固有の高次機能の研究は、例えば視覚や運動制御など、ヒトと実験動物で共有される機能にくらべて、いちじるしく困難になる。このことはつぎのような研究プログラムに関する思考実験をおこなえば、明らかだろう。仮に、ヒトと実験動物で共有される視覚や運動制御の研究で、使える手法が、計算理論と心理学(損傷脳の研究を含む)、非侵襲計測の三つしかなかったとしよう。その結果、当然われわれは、高次の視覚野、高次の運動野の存在も、脊髄や小脳の神経回路も、これらの脳部位でのニューロンの発火パターンも、情報表現も、情報処理も知らないことになる。この条件の下では、脳のなかでどのように視覚や運動制御の情報処理がおこなわれているかについて、何も確からしいことは知りえない。

高次認知機能解明の新しいアプローチ

では、言語など“ヒト固有の?”高次認知機能の解明は、この三つの手法に頼るしかないから、神経科学としての理解の見込みはないのであろうか。答えは、必ずしもそうだとは限らないことを示すのが、この連載の最大の目的である。

筆者らは、ヒトの高次認知機能をにやう神経回路や神経計算原理そのものには、ミクロなレベルでは、サルとのあいだに不連続がないと考える。そう考えることで、サルの神経生理学的研究を、計算理論主導で、ヒトを対象にした脳活動非侵襲計測研究、認知科学、心理学、言語研究などと結びつけるアプローチが有効となる。この考えの下に、20以上の研究機関による共同研究(目標達成型脳研究)“ヒトを含む霊長類のコミュニケーションの研究”(研究統括東倉洋一; 研究課題提案者川人光男, <http://www.atr.co.jp/kbp/index.html>)をおこなってきた。これは、過去3年間に、数編の 'Nature' 論文が発表されるなど、大きな成果をおさめている^{(3)~(8)}。この連載では、その計算理論とそれを支持する幅広いデータを紹介しよう。

生成文法の四つの仮定に関する論争 ——なぜ新しいアプローチが必要なのか

われわれの立場とちょうど反対の極に位置するのが、CHOMSKYが確立した生成文法理論による言語研究である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。生成文法研究の目標は、言語機能の解明、すなわち人間の言語に関して生物学的に決定されている機能の解明である。つぎの四つが具体的なテーマとしてあげられている⁽¹¹⁾。

(1) 文法の知識——成人の文法に関する知識はどのような性質をもっているか。

(2) 文法の獲得——(1)の知識はどのように獲得されたか。

(3) 文法の使用——言語の理解・産出に(1)の知識はどのように使用されるか。

(4) ハードウェアの理解——上記の機能はどのように脳内で物質的に実現されているか。

研究の大前提として、つぎの四つの仮定がなされる。

(A) 言語の知識を、脳内の音韻、単語、文などのシンボル(記号)による表象とそれに対する離散的、論理的計算と考える(古ぼけた人工知能研究のような古典的計算主義!?)。

(B) 言語機能独立仮定=領域固有性——言語機能はそれが無限個の文を産出したり、名詞句の無限の埋め込みを可能にするなど、離散無限を扱うという点で、他の認知システムと際立って異なっており、他の認知システムから独立した心、脳のモジュールをなす(言語器官!?)。

(C) 言語機能の生得性——生後与えられる言語に関する経験データは非常に貧弱であるので、生得的な言語獲得装置が存在し、これと生後の経験データとの相関から、脳内に個別言語の文法知識が形成される(文法遺伝子!?)。

(D) 言語機能の種固有性——この言語機能は人間という種に固有である(“ヒトに固有の”言語はヒトに固有である!?)。

ただし、括弧内は、著者らがこれらの仮定を批判的にシンボル化して書いたものであるが、後で説明するように、“言語器官”、“文法遺伝子”な

どは実際に使われている用語である。

これら四つの仮定((A)古典的計算主義、(B)領域固有性、(C)生得性、(D)種固有性)に対しては、過去にも多くの批判があり、今なお活発な論争が続いている。例えばよく知られたところでは、種固有性に関する、類人猿のアイヤカンジが獲得した言語能力にまつわる論争である⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。この連載の第2回から3回では、領域固有性と種固有性に対立する新しい仮説を、第4回から5回では生得性と領域固有性に対立する新しいニューラルネットワークを、そして、最終回には古典的計算主義を乗り越える新しい計算理論を紹介しよう。

今回は、これらの論争にかかわる最近のトピックスを紹介しながら、なぜ生成文法研究と非侵襲脳活動計測を単純に組み合わせるだけでは、言語の脳研究となりえないのか、そして著者らが目指す新しいアプローチが必要となるのかを説明していこう。まず(B)領域固有性、(C)生得性、(D)種固有性すべてにかかわる“文法遺伝子”の研究の最新動向を紹介しよう。

PINKERのベストセラー⁽¹³⁾では、‘Nature’ ‘Science’などにも喧しく宣伝された“文法遺伝子”の研究を、つぎのように紹介している。KE家という家系の成員の約半数にみられる言語障害は、活用語尾の使用に限定された障害で、言語以外の認知能力には異常がみられず、言語だけに障害がみられるいわゆる言語特定性障害である。しかも、系図から、この障害をもたらず遺伝子は、単一の常染色体上にあることが示唆された。そして、これこそ、(B)領域固有性、(C)生得性、(D)種固有性を証明する“文法遺伝子”の証拠であると、マスコミでも大騒ぎされたという。

ところが最近出版された、より精密で包括的な行動研究、遺伝学研究⁽¹⁴⁾、そして非侵襲脳活動計測研究⁽¹⁵⁾は、これとちょうど逆の結論を導いている。障害は、文法のすべての側面に及ぶだけでなく、知能指数など一般的な認知機能、さらには、言語とかかわりのない、顔と口の系列的な運動能力全体にわたっている。PETで観測された脳活動の異常は、前補足運動野、帯状回運動野、補足運動野、感覚運動野、側頭葉、腹側前頭前野、

運動前野、尾状核、ブローカ野などの実に広い範囲にわたっている⁽¹⁵⁾。しかも、MRIで発見されたもっとも顕著な脳の構造的な異常は、大脳基底核の尾状核が両側とも小さいことだった⁽¹⁵⁾。また、異常がある遺伝子の座は、自閉症に関連する遺伝子がある範囲と一致していた⁽¹⁴⁾。

このデータは、文法という言語機能を支える遺伝子から神経機構までのハードウェアが、時系列的な感覚運動統合から、コミュニケーションを含むさまざまな認知機能にかかわっているという連続性を強く示唆している。KE家のデータは、言語の(B)領域固有性、(C)生得性、(D)種固有性とは、むしろ矛盾していたのである。

新たなアプローチの核心

筆者らは“大脳皮質、小脳、大脳基底核(カラーページ①右図参照)がなす閉ループは、時系列的な感覚運動統合から、非言語コミュニケーション、言語までのさまざまな情報処理を、脳内のミクロなレベルでは同じ神経計算原理に基づいて解いている”という仮説を提案する。

最近5年間に、小脳と大脳基底核が高次認知機能(言語、想像、自閉症、分裂病)にかかわっていることを示すたくさんの非侵襲脳活動計測と臨床的なデータが得られて、小脳と大脳基底核が、運動制御だけにかかわる脳部位であるという古い考えはすてられつつある。それにかわって、大脳皮質、小脳、大脳基底核はそれぞれ、異なる学習アルゴリズムを実行していると考え、なぜ感覚運動統合から言語などの高次認知機能にいたるまで、三つの脳部位が役割分担をしているのかが理解できる⁽²⁾。

とくに小脳は、系統発生的に新しい部分も古い部分も皮質の神経回路の構造は同じで、長期減弱などのシナプス可塑性(シナプスの伝達効率が刺激の組合せによって変化して元に戻らなくなることも)も場所によらないので、同じ神経計算原理が、運動制御から言語まで働いていることがわかる。小脳の系統発生的に古い部分は、身体など運動制御対象の内部モデルを学習で獲得する⁽¹⁾のに対し

て、小脳の系統発生的に新しい部分は、道具⁽⁵⁾、他者、他の脳部位のモデルを獲得すると考えられる(カラーページ①)。この研究成果によって、小脳に外界の内部モデルがあるとする仮説(小脳内部モデル仮説)は高次認知機能へ拡張されることになった(連載第2回)。

コミュニケーションで重要な役割を果たす“心の理論”が注目されている。これは、ヒトが他人の心の状態を推定したり、操作したりするときに自分の中で使うと考えられる、シミュレータ、エミュレータ、あるいは他人の心を映すために構築する科学の仮説のような“理論”である。小脳内部モデル仮説に従えば、“心の理論”は他者の脳を自分のなかに再現した内部モデルだと考えられる。これが実際に学習によって獲得できることを連載第5回で示そう。カラーページ②で紹介した見まねの能力は、視覚情報処理や高次認知機能などのさまざまなレベルでの小脳の内部モデルによって実現する。

小脳以外の部位は、どのような役割をもつのだろうか。大脳基底核は行動の評価にかかわり、将来の行動の方向づけをする⁽²⁾。いっぽう、大脳皮質のブローカ野などを含む前頭葉の役割は、必要な情報を一時的に保持するワーキングメモリであり、これは、統計的学習と連想記憶ダイナミクスによって実現されている。

つまり、ヒト知性に関するわれわれの考えの新しい点は、これまで高次認知機能を前頭前野など大脳皮質だけにおいてきた考えを排し、小脳、大脳基底核との多重で階層的なループこそが、ヒト知性の神経機構の秘密だと考える点にある(連載第3回)。PINKER⁽¹³⁾が、言語器官と呼んだブローカ野、ウェルニッケ野を含むシルビウス溝周辺領野は、決して言語という機能に固有のハードウェアではないことが、サル(16)(17)(18)の脳の解剖学と電気生理学の研究からも⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾、ヒトの非侵襲脳活動計測⁽¹⁷⁾からも明らかになってきた。それは、むしろ運動系列を制御し、予測し⁽¹⁹⁾、計画し、認知するための一般的な感覚運動統合のための器官なのであり、それがコミュニケーションから言語へと転用されたと考えられるのである。

生成文法研究が越えられない壁

CHOMSKY 自身は、生成文法を、原子の構造が発見される以前の化学の周期律表に喩えている。では将来、言語の脳科学がマイクロなレベルで大きな進歩を遂げたときに、生成文法は、統計力学に対する熱力学のように、正しい現象論の役割を果たせるのであろうか。神経科学の例でいえば、視覚や運動制御の計算論的研究で重要な役割を果たした、コンピュータビジョンのアルゴリズム、あるいはロボティクスの理論に相当する役割を期待できるのだろうか。残念ながらそれがはなはだ疑わしいのである。

最も研究が進んでいる統語論(後述)に限っても、生成文法理論はコンピュータによる自然言語処理などの現場で役に立たないものである。正しい構文の可能性を莫大な数生成してしまったり、文法的に誤った文は処理できなかったりする。生成文法研究が言語学として成功した最大の理由は、シンボルの離散的・論理的計算に研究の的を絞ったこと((A)古典的計算主義の仮定)にある。しかし残念ながら、まさにこれが実際の言語データを情報処理できない本質的理由になっている。つまり、シンボルと論理計算だけを取り扱うということは、シンボルにならない神経表現、シンボルと身体および環境を含む実世界との対応、意識下でおこなわれるさまざまな情報処理、論理計算では表現できない力学系、統計性などが、すべて切り捨てられていることなのである。言語の神経科学を指導するべき理論が、言語情報処理を実際におこなえないというのでは、頼りにならない。

言語獲得の生得性の仮定(C)に関して、ELMANらコネクショニストの言語学者の研究が大きな論争をまきおこしている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽²⁰⁾。ニューラルネットワークモデルをもちいた簡単な力学系と統計的な学習を組み合わせるだけで、言語学習の一側面が説明できるので、いわゆる“生得性”の一部を仮定する必要がないというのである。つまりこのモデルに、ニューラルネットワークの構造や、シナプス可塑性の規則、ワーキングメモリの容量が成

長とともに増加することなどの、言語という領域に固有ではない一般的な制約だけを与えて、大量の文を訓練データとして学習させると、ある語系列を提示されたときに、つぎに出現可能な単語が予測できるようになるのだ。

さらに最近の研究では、埋め込み文の深さに対応するカウンターが、学習で力学系の中に獲得できることが示された⁽²¹⁾。この結果は、ニューラルネットワークモデルでは、任意の深さの埋め込みを陽に扱うことはできないとする生成文法研究者からの従来の批判が正しくないことを示している。

このように ELMAN らのアプローチは、古典的計算主義(A)の離散的・論理的計算ではない、力学系と統計的学習を導入すれば、生得性の仮定(C)が必須ではないことを示した点で高く評価できる。しかし、ニューラルネットワークの構成要素であるニューロンの情報表現に単語というシンボルを用いていることから、古典的計算主義(A)の最初の呪縛、つまりシンボル表現からは抜け出していないところが、致命的な欠点になっている。

新しい計算理論のパラダイム

われわれが提案するニューラルネットワーク(図 1a に示す階層的多重順逆内部モデル、詳細は連載第 4, 5 回)は、力学系と統計的学習を計算機構として含むモデルである。情報表現としては、環境と接する面で、音韻、単語、文などのシンボル表現を用いないのはもちろん、中枢部においてもスタート時にはシンボル表現は仮定しないのだが、学習によって、中枢に階層性とシンボル表現が自動的に獲得されていく。われわれは、シンボルを情報処理の操作対象となりうる神経表現であると定義する。この意味で、単に感覚運動信号を有限個の集合に分節化して、それを代表する表現(例えば自己組織化マップの量子化ベクトルなど)は、それだけではシンボルとはなりえない。

階層的多重順逆内部モデルはもともとは純粋な計算モデルとして提案されたが、小脳と大脳の関連ループ、さらにはとくにヒトでいちじるしく顕

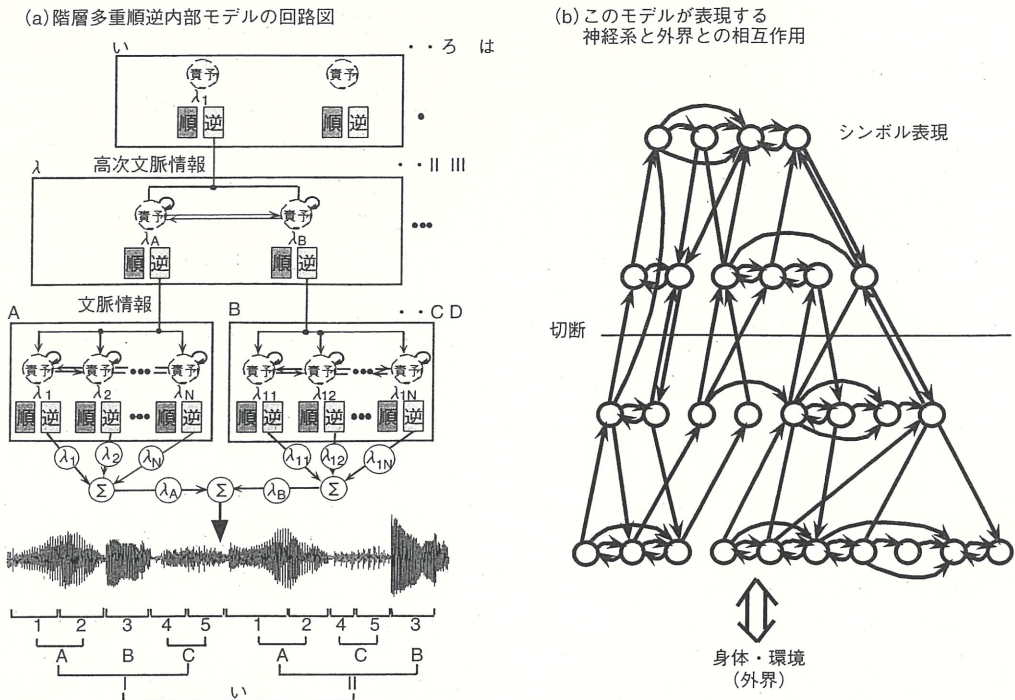


図1 新しいパラダイムの中心をなす階層的な多重順逆内部モデル。(a)粗い回路図。モデルが、時系列運動パターンを産出しているようす(くわしくは連載第5回)。(b)多階層でフィードバックをもつ神経系が、身体と環境からなる外界と相互作用している。外界とのインターフェースでは情報表現はシンボルに基づいていないが、高い階層の中枢では、シンボル表現が学習によって獲得される。上下の階層は双方向の神経結合によって繋がれているが、これを形式的に切断して、上の階層だけの振舞いを粗い近似で表現することが可能になる。これが、古典的計算主義が対象とする問題である。(a)と(b)は階層性をおおむね左右で対応させて描いてある。音声波形データは千葉大学文学部岡ノ谷一夫研究室提供⁽²³⁾。

著な、これまでその機能が謎につつまれていた小川の三角形(小脳歯状核、中脳の小細胞性赤核、脳幹の下オリーブ核が構成する興奮性神経結合の閉ループ)を中心とする神経回路とみごとに対応する(カラーページ③)。

最終回では、このニューラルネットワークに基づいて、古典的計算主義(A)にとって変わる、しかしさりとてBrooks⁽²²⁾の示すような単純な昆虫ロボットにしか使えない相互作用主義(直接知覚論)でもない、新しい計算理論のパラダイムを提案する。言語の問題に即していえば、言語の神経計算原理を明らかにするとき、もっとも本質的な問題は、シンボルが、シンボルのない神経情報表現(例えば、筋肉への運動指令、視覚などの感覚入力)から、どのように系統あるいは個体発生するかという点にある。

この部分に関してさえ基本的な理解が得られれば、シンボルにならないレベルの情報を切り捨て

て、シンボル間だけの法則性を記述すること(統語論)は半ば自動的に理論から派生することになる(図1b切断線の上)。このとき、生成文法理論は、新しい計算理論がシンボルだけのレベルで妥当か否かを検証する試金石の役割を果たせると期待できる。

ヒトの知性一般に敷衍すると、シンボルが先験的な表象として存在しない神経回路に、それが身体や外界や他の個体との相互作用をした結果、シンボルが、ハードウェアとして、もしくは力学系のアトラクターの分節化として出現するというシナリオである。しかも、下の階層と外界との相互作用を切り捨てて、上位のシンボルが表現されている層だけを観測すれば、一見意味のある規則性が力学系として存在する(図1b参照)。それは近似的には、離散的・論理的計算で表現できるものになるだろう。この新たな計算理論は、シンボルに基づいていないという意味で、古典的計算主義

表1 ヒト高次認知機能の研究で可能となる二つのアプローチの比較.

	古典的なアプローチ	新しいアプローチ
計算理論	離散的・論理的計算	力学系・統計学習からシンボルへ
情報表現	シンボル	連続表現からシンボルが生成される
領域固有性	固有: 言語器官	ハードウェアとしての領域固有性はない
生得性	生得的言語獲得機構—文法遺伝子	神経機構の大域的構造・可塑性は生得的: 後は学習
種固有性	固有	力学系の分岐現象のように現象としては不連続だが機構・パラメータは連続
何を明らかにしたいのか	現象論	神経計算原理

とは決別し、シンボルを産出するという意味で、相互作用主義とも決定的に異なる。

言語などヒト固有の知性の脳研究の二つのアプローチをまとめて比較しておこう(表1)。第1は、生成文法が代表する、ヒトとそれ以外の動物の間にハードウェアから言語現象にいたるまで、徹底的な不連続を仮定する古典的なアプローチである。

第2の、われわれが提唱するアプローチは、ヒト知性の生物学的進化を仮定して、ハードウェアのレベルでは、つまり神経機構や神経計算原理としては、質的な不連続はないとする立場である。力学系の分岐現象のように、ハードウェア(遺伝子、たんぱく質、神経回路など)の小さなパラメータの変動によって、結果として、他の動物から不連続にみえる並外れたコミュニケーション能力や言語が獲得されたと考えるのである。現時点ではどちらが正しいかの決着はついていない。しかし、第1の立場を取る限り、ここで述べてきた理由によって、ヒト知性を神経科学として理解することはできない。したがって論理的な帰結として、われわれは第2の可能性にかけているのである。

核施設の臨界事故を例に取ろう。大事故がおきた後で、その悲惨な結末をいくら詳細に記述しても、それだけでは臨界事故のメカニズムの本質には迫れない。生成文法の統語論は事故が生じた後の工場のようなことを記述することに相当する。また、閾値をこえる最後の一滴には、求める答えはない。

文法遺伝子にヒト知性の根源を求めるのは、長い進化の歴史の“最後の一滴”を詳しく調べるようなものである。一見、的外れのようにみえて、臨界以下の現象を精密に調べ、臨界事故にいたるケースとそうでないケースでの共通のメカニズムを明らかにすることがもっとも合理的なのである。感覚運動系列の学習や非言語コミュニケーションと言語に共通の原理をとらえて調べるのがこれに相当する。

文 献

- (1) 川人光男: 脳の計算理論, 産業図書(1996)
- (2) 銅谷賢治: 別冊・数理科学, “脳科学の frontline”, 141 (1997)
- (3) S. KITAZAWA et al.: Nature, 392, 494(1998)
- (4) Y. SUGASE et al.: Nature, 400, 869(1999)
- (5) H. IMAMIZU et al.: Nature, 403, 192(2000)
- (6) T. INUI et al.: NeuroReport, 9, 3325(1998)
- (7) D. WOLPERT & M. KAWATO: Neural Net., 11, 1317(1998)
- (8) D. I. PERRETT et al.: Nature, 394, 884(1998)
- (9) 伊藤正男ほか編: 岩波講座認知科学 7, 岩波書店(1995)
- (10) 大津由紀雄ほか編: 言語の獲得と喪失, 岩波講座言語の科学 10, 岩波書店(1999)
- (11) 郡司隆男: 情報数学セミナー 自然言語, 日本評論社(1994)
- (12) 松沢哲郎: チンパンジー・マインド—心と認識の世界, 岩波書店(1991)
- (13) S. ピンカー: 言語を生み出す本能, 椋田直子訳, 日本放送出版協会(1995)
- (14) S. E. FISHER et al.: Nature Genetics, 18, 168 (1998)
- (15) F. VARGHA-KHADEM et al.: Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 95, 12695(1998)
- (16) M. PETRIDES & D. N. PANDYA: in 'Handbook of Neuropsychology 9', Elsevier(1994) pp. 17~58
- (17) G. RIZZOLATTI & M. A. ARBIB: Trends in Neurosci., 21, 188(1998)
- (18) 小嶋祥三: 科学, 69, 404(1999)
- (19) 乾敏郎: 神経心理学, 14, 144(1998)
- (20) J. L. ELMAN et al.: 認知発達と生得性, 乾敏郎ほか訳, 共立出版(1998); Rethinking Innateness, MIT Press(1996)
- (21) P. RODRIGUEZ et al.: Connection Science, 11, 5 (1999)
- (22) R. A. BROOKS: 現代思想, 柴田正良訳, 18, 85 (1990)
- (23) 星野力・銅谷賢治: 電子情報通信学会技術研究報告, NC 99-108, 117(2000)