

京都大学	博士(文学)	氏名	杉 本 舞
論文題目	計算機と脳の類比をめぐる諸研究 — 1940年代から1950年代の計算機科学の登場に至るまで		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文では、1940年代から流行した機械と生物体、および計算機と脳の類比に関する諸論、そして計算機と知能に関する諸論を取り上げ、それらが1950年代に至ってどのように変化してゆくかについて、人工知能を含む計算機科学分野の成立前史を視野に入れて分析するものである。とくに計算機と脳の類比は計算機科学分野における人工知能研究の出現段階において鍵となるものであり、「人工知能」と名付けられた研究が始まる前の時代には、学术界の主要な研究者がこういった類比に基づいた研究を行っていた。また、そもそも機械と生物体の類比そのものは1940年代以前から学術以外の世界では用いられていたものであった。こういった諸論は、どれもそれぞれ着眼点や前提が異なるものであり、本論文では学術研究における類比、そして学術以外の世界で用いられた類比について、特によく知られているものに絞ってその内容の検討を行った。具体的には、後の時代への影響力が大きかった人物として、エドモンド・バークリー、ノーバート・ウィーナー、ウォレン・マカロック、ウォルター・ピッツ、ジョン・フォン・ノイマン、アラン・チューリングらを取り上げ、研究者相互の影響関係に留意しながら検討を行った。</p> <p>第一部(第一章及び第二章)では、まず機械と脳の類比が専門家以外の間でどのように用いられていたかに焦点をあて、一般向け科学雑誌に掲載された各種記事についての考察と、バークリーが取り組んだ計算機に関する啓蒙活動の検討を行った。続いて第二部(第三章以降)では、機械と生物体の類比に注目する研究と計算機と脳の類比に注目する研究が1940年代にどのように(一時的にせよ)合流したか、また計算機に携わる研究者が1940年代から1950年代にかけて計算機と脳の類比をどのように捉え、研究に反映させていたかについて分析した。またそういった研究のアプローチが1950年代半ばに向けてどのように変化したかについて、特に計算機と知能の関係性(あるいは人工知能に至る研究)という観点から考察した。</p> <p>第一章では、機械を指して「脳」と描写する表現、たとえば“mechanical brain,” “electrical brain”といった表現が1940年代までに一般向け科学雑誌でどのように用いられていたかについて考察した。1920年代半ばまでは「脳(brain)」という表現はほとんど出現しない。しかし1928年頃にはインテグラフや潮候推算機といった機械式アナログ計算機が「脳」と呼ばれた。1930年代前半も微分解析機や積分機が「脳」と呼ばれる対象となっていたが、1930年代後半からは射撃管制装置を「脳」にたとえられ、この傾向は1940年に太平洋戦争が開戦するとより明確なものとなる。大規模デ</p>			

デジタル計算機を「脳」と呼ぶ記事が現れるのも同じく 1940 年代である。1951 年以降は、記事の本数も減少し、IBM のメインフレーム特集に「脳」という表現が用いられる程度となる。注意せねばならないのは、一般科学雑誌における機械と脳の類比はいずれの時代にも何の正当化もなく行われ、理論的裏付けなども特に明示されていないということである。しかし、専門家が取り上げる前からこういった類比が存在したという事実は押さえておかなければならない。

第二章では“mechanical brain”や“giant brain”という語法を一般向けに広めた人物の一人であるエドモンド・バークリーについて検討した。バークリーは 1940 年代に出版された計算機の啓蒙書である『巨大頭脳、あるいは考える機械』の執筆をはじめとして、計算機の意義を一般に知らしめる活動を展開した。バークリーの活動の主な対象は、大人のアマチュア、あるいは学生・生徒であった。バークリーは、書籍、ロボット、工作キットなどの出版・展示・販売を通じて、計算機の特徴や性能、そのビジネスへの応用可能性と社会的・思想的意義を訴えた。なかでもバークリーはデジタル計算機の持つ「推論をする能力」に着目し、例えば『巨大頭脳』では、「機械頭脳」には人間の脳と同様の単純な計算に加えて論理を扱う能力があり、その内部では情報の流れが制御されていると解説した。こういったアイディアの根拠となりうるものと扱われたのは、シャノンによる 1938 年の論文「スイッチ回路の記号論的解析」であった。ロボット製作やキット販売に代表されるバークリーの啓蒙活動はいずれも、シャノンやその同僚を含む計算機や電気工学に関する様々な専門家の協力を得たものであったが、いずれの活動にも実機製作やその基礎となる技術を重要視するという特徴がみられた。

第三章では、サイバネティクスと呼ばれることになる学際研究運動の中で、機械と生物体の類比に注目する研究者たち、そして計算機と脳の類比に注目する研究者たちが合流することになる過程について、学際研究運動がどのように展開したかを踏まえながら考察した。またサイバネティクス的研究の中でももっとも影響力のあったもののひとつであるマカロック-ピッツによる研究の内容について検討した。ウィーナーが学際領域に取り組むことになった発端は、ローゼンブルート及びビゲローとの共著で論文「行動、目的、目的論」を発表し機械と動物がフィードバック機構という同じメカニズムを持つという仮説を提示したことである。この着想をもとにウィーナーは新しい学際研究の可能性を提言し、様々な領域の研究者を集めた。資料から読みとれるのは、ウィーナーが学際研究を束ねるための共通課題を「目的行動」から「制御」、そして「通信」へと変化させていることである。これは、予測理論、制御理論、計算機を始め、社会科学的なテーマも包含できるような、より応用性の高い共通課題が必要だったためと考えられる。この学際研究に参加した工学系の研究者たちには、ウィーナーをはじめとする「機械と生物」の類比を見る研究者たちと、フォン・ノイマンをはじめとする「計算機と中枢神経系」の類比に関心を持つ研究者たちという二つの流

儀が同居していた。しかし共通の課題やキーワードが与えられても、各領域固有の問題設定はすぐに変化はせず、議論はしばしば混乱し、アジェンダは明確には成立しなかった。つまり、ウィーナーは「サイバネティクス」と呼ばれるべき学際領域を確立させることには、結果として失敗していたと言える。

サイバネティクスに関わった研究者の中でも、マカロックとピッツによる記号論理を用いた神経網のモデル化研究は、計算機と脳の類比に関して後に影響力を及ぼした。マカロック - ピッツの目標の一つは、脳のモデルを経由してチャーチ - チューリングのテーゼの一種の正当化を行おうと試みることであったと考えられるが、これは複数の側面から失敗していた。

第四章では、サイバネティクスに至る学際研究の開始以降、フォン・ノイマンがどのように機械と生物体（あるいは計算機と脳）の類比に関する議論を展開したかについて追った。そもそもフォン・ノイマンは、自身のサイバネティクスにまつわる研究を、当初は自動機械としてのオートマトンについての探究ととらえていた。1946年時点において、フォン・ノイマンは自動機械としてのオートマトンの研究に対し、マカロック-ピッツらの研究の系譜に連なる神経学の研究、原始的な有機体の顕微鏡的方法による研究、有機体の自己増殖についての形式的な方法による研究という三つの方向性を見出していた。実際にはフォン・ノイマンは第二の路線は諦め、第三の路線（自己増殖）について主に研究し、第一の路線からの派生である計算機と中枢神経系の比較についても晩年まで論じ続けた。

フォン・ノイマンは1948年から晩年にかけて、計算機と中枢神経系の比較に関わる講義や論考の記録を5つ残している。それらを検討すると、1940年代のフォン・ノイマンはマカロック-ピッツのモデルのような抽象的に単純化されたモデルをあくまで通過点と捉えており、その次には現実にもみられる物理的実体としての神経系に近づけるモデルを考えようとしていたことがわかる。これは1949年における自己増殖研究の路線でも同様である。ところが、1952年以降の記述を見ると、フォン・ノイマンは現実に見られるような生物体や神経系の再現というアプローチを回避し、抽象的なモデルを洗練させるという研究を進めるようになる。こういった転換の背景には、フォン・ノイマンが中枢神経系や生物体の持つアナログ的特徴と複雑さを研究の障害として捉えていたことがある。ただし、自己増殖オートマトンの研究計画を見る限り、フォン・ノイマンは、いずれ物理的実体としての神経細胞に近いモデルに戻るつもりだったと考えられる。フォン・ノイマンはこの点で、その下の世代の研究者たち、とくにマッカーシーらとは一線を画すと言える。

第五章では、チューリングが計算機と脳の関係性、そして機械の知能についてどのような見方をしていたかについて考察した。チューリングは戦中の暗号研究を経て戦後にNPLに移ってから、デジタル計算機ACEのプロジェクトに取り組んだ。ACEはチューリング機械の物理的実現として計画されたもので、チューリングはACEを含

む計算機が脳の高度な機能による仕事をどれくらい行えるかについて研究したいと考えていた。そういった試みの一つが1948年のNPL所内レポート「知能機械」である。チューリングは標準的ユニットのネットワークでできた機械のモデルを提示し、ランダムに接続されたネットワークを「神経系の最も単純なモデル」あるいは幼児の脳のモデルとみなした。こういった「組織化されていない機械」は、罰と報酬に対応する干渉入力で組織化されうる。この「組織化」の議論からは、脳と同じような構造を持ち脳と似た（外部刺激による）学習過程をたどる機械を作れば、脳の高度な機能と同様の機能を持つ機械を作れる可能性があることとチューリングが考えていたことがわかる。このチューリングのモデルは、脳の微細な構造やそのメカニズムの類比から人間の頭脳のもつ機能の実現を目指すというアプローチという点ではマカロック-ピッツのモデルと共通している。しかし、モデルの詳細やモデルの持つ前提条件といった点については、大部分が極めて異なる。

一方、論文「計算機械と知能」をはじめとした1950年代に入ってから議論では、「学習機械」については論じられるが、それは子どもの心を模した「プログラム」を持つ機械であり、何か具体的な素子の接続などについては扱わない。加えて、そういった機械をどうやって実現するかという具体的議論は先延ばしにされたままとなる。チューリングの場合も、1950年代になると機械と脳の微視的な構造上の類比は明確には論じないのである。

第六章では、1950年代半ば以降の展開として、論文集『オートマトン研究』とダートマス会議について検討した。当時若手であったミンスキーとマッカーシーは、両者とも1940年代には計算機との構造的類比から脳の機能を実現するという発想を持っていたが、1950年代半ばからはそういった方向性を徐々に転換させた。マッカーシーとシャノンが編集した『オートマトン研究』では脳神経学や計算機製作を含む広義のサイバネティクス研究者に投稿依頼が向けられたが、最終的に投稿された論文の三分の二近くが数学や論理学、組み合わせ論による抽象的アプローチに基づいた研究によるものだった。『オートマトン研究』前文では、感覚神経と運動神経に似た機能を持つ機械と生物の神経系との類比というサイバネティクスの関心から電子デジタル計算機へと関心が移りつつあること、特にプログラミングに関する理論が新しい研究対象になりつつあることが読みとれる。とくにマッカーシーは、従来のサイバネティクスの「オートマトンの研究」を高く評価しておらず、しかも抽象的なオートマトンのモデル研究の中でもフォン・ノイマンの路線ではなく、クリーネを代表とする有限オートマトン研究の路線を推していた。こういった過渡的状況は、1956年のダートマス会議に向けたロックフェラー財団への助成金申請の経緯にもみられた。結局1955年に提出されたダートマス会議の提案書では、実験的研究よりも理論的・抽象的研究が強調され、計算機の上でプログラムを組むことで知能の再現を目指すという方向性が部分的とはいえ明確に示されている。全体を総括すると、機械と神経系（あるいはその一

部としての脳)との類比は遅くとも 1920 年代以来の歴史を持ち、サイバネティクス運動はそういった機械と神経系(を持つ生物体)の類比からスタートした。計算機と脳の類比は、マカロック-ピッツによる研究をきっかけに 1940 年代頃から、フォン・ノイマンをはじめとする後の計算機科学の基礎となる領域に関わる研究者を中心として支持され、1940 年代から 1950 年代前半にかけてはサイバネティクス運動の中に合流していた。

類比の詳細や類比を持ちだす理由は、専門家・非専門家に関わらずそれぞれ異なっており、単純にひとくくりにはできない。ただし、いずれの研究も脳と類比的な構造を持つ機械を物理的に実現することで脳と同様の能力を機械に持たせるという方向性では一致している。しかし 1950 年代半ばになると、計算機と脳の類比の流行は下火になり、脳と類似の機械を物理的に実現するという方針にも陰りが見え始める。1956 年までに、オートマトンに関する研究も抽象的なアプローチのものが増え、計算機の上で知的な能力を模擬的に再現するという研究の方向性が徐々に明確になる。これには、脳の複雑性の度合いが大きく、計算機と脳の類比に基づいた極めて大規模な機械の製作は難しいという見通しが共有され始めたことも関連しているだろう。結果として、再現したい機能のみに注目し、それを機械との構造的類似以外の方法で(具体的にはプログラミングなどを用いて)実現する、すなわち出力の内容だけに注目しそれをもたらす過程の類比については問わないという方向に、研究方針は変化した。1940 年代以来の計算機と脳の類比を視野に入れた研究の流れが徐々に衰退し、代わりに数学的あるいは抽象的な方法による研究が増え始めるのは、ともに 1950 年代半ばであるが、これは計算機科学の成立の時期とほぼ一致している。ただし、その後十年の間に成立したと言われる計算機科学のディシプリンと、ダートマス会議時点の研究の方向性の接続については、1950 年代後半から 1960 年代前半にかけての研究動向を吟味する必要があり、今後の課題として残る。

(論文審査の結果の要旨)

コンピュータすなわち電子式デジタル計算機という機械の誕生をめぐってはこれまで多くの歴史研究がなされてきたが、一方でコンピュータ誕生期に研究者たちがどのようにコンピュータを捉えていたかという点に関しては、まだ研究がほとんどなされていないのが現状である。本論文は、コンピュータ誕生期である1940年代から1950年代にかけて計算機に関わった研究者の活動を、機械と生物体の類比、とくに計算機と脳の類比という観点から考察し、計算機科学誕生前史を描こうとする意欲的な試みである。

本論文は二部から構成される。第1部では、1930年代から1950年代までの間に、計算機の研究者以外の人々の間で、計算機と脳の類比がどのように用いられていたかを、一般人向けの雑誌や啓蒙活動の検討を通じて考察し、時代背景を明らかにする。第2部では、後の計算機科学に大きな影響を及ぼした主要な研究者たち、ノーバート・ウィーナー、ウォレン・マカロック、ウォルター・ピッツ、ジョン・フォン・ノイマン、アラン・チューリングらが計算機と脳の類比についてどのような考えを持ち、かれらの見解がどのように変化していったかを検討する。最後に、人工知能研究の出発点といわれるダートマス会議を取り上げ、計算機による脳機能の実現へのアプローチにおいて大きな転換があったことを明らかにしている。

第1部は2章からなり、第1章では、1940年代までの科学雑誌において「機械の脳」という表現がいつごろ生まれ、どのように変貌していったかをたどっている。比喩の対象が、計算機の発展とともに機械式アナログ計算機から、射撃管制装置、大規模デジタル計算機と変遷していったことが示されている。第2章では、1940年代に計算機の啓蒙活動を行ったエドモンド・バークリーの活動が検討される。彼は“mechanical brain”や“giant brain”といった言葉を普及させたことで知られるが、彼のデジタル計算機と脳との類比の背後には、情報科学理論の父として知られるクロード・シャノンの論文があったことが明らかにされている。シャノンの「スイッチ回路の記号論的解析」は電気回路の分析方法に関する論文であって本来は計算機とは無関係だったのにもかかわらず、従来計算機を構成する電気回路と記号論理を最初に結びつけたものとして、この論文はコンピュータ史において高い評価が与えられてきたが、そのような評価を最初に与えて普及させたのがバークリーだったのである。この点を明らかにした点は本論文の重要な成果の一つである。

第2部は4章から構成される。第3章では、ノーバート・ウィーナーを中心に営まれたサイバネティクスと呼ばれる学際的研究活動が取り上げられる。この活動では、機械と生物体、計算機と神経系の類比が注目され、両者を制御や通信という観点から統一的に扱うことが試みられた。とくにマカロックとピッツによる記号論理を用いた神経網のモデル化研究が計算機と脳の類比に関して及ぼした影響の重要性が検討されている。

第4章では、コンピュータの父とも呼ばれるジョン・フォン・ノイマンが展開した機械と生物、計算機と脳の類比に関する議論が検討され、彼のオートマトン理論が構築された過程が考察されている。彼は計算機と中枢神経系の比較に関して晩年まで論じ続けているが、現実存在する生物体や神経系を物理的に実現しようという初期のアプローチを断念し、コンピュータ上で実行される抽象的なモデルの研究、とくに自己増殖オートマトン研究へと転回していった過程が描かれている。フォン・ノイマンのオートマトン研究をめぐっては、最終的な形式である自己増殖オートマトンについては過去にも研究がなされているが、それに至る過程については眼を向けられておらず、本章は、未公開資料も用いてその点を解明した点において高く評価できる。

第5章では、アラン・チューリングによる「機械の知能」研究が検討される。チューリングは「チューリング・マシン」や「チューリング・テスト」によって計算機科学の歴史において最も影響を与えた人物の一人である。彼の「機械の知能」をめぐる研究は、「チューリング・マシン」で実行可能な計算すなわち機械的な手続きによる計算を超えた高度な仕事ができる機械、学習可能な機械をいかにして作るかという問題に一貫して向けられていた点が明らかにされ、彼のアプローチの変遷過程が分析されている。彼は最初脳の微細構造とそのメカニズムを模倣した機械を考えていたが、のちには具体的な素子の接続といった物理的な問題を離れ、子どもの心を模したプログラムを持つ機械という考えへ変わっていったことが明らかにされている。本章は、チューリング研究に新たな知見をもたらすものと評価される。

第6章では、1950年代半ば以降の展開、とくにマーヴィン・ミンスキーとジョン・マッカーシーを中心とした次世代の研究者の活動が論じられている。彼らが中心的な役割を果たした論文集『オートマトン研究』（1956年刊行）と、人工知能研究の出発点といわれるダートマス会議（1956年開催）を取り上げ、脳と類比的な構造を持つ機械の物理的実現という従来のアプローチが放棄され、計算機上で知的な能力を模擬的に再現するという新たな方向性が明確になった過程を明らかにしている。前章までの議論を踏まえるとき、本章の考察によって、人工知能研究がどのような背景から、どのような問題意識のもとで誕生したかが明らかになる。

以上のように、本研究は、従来ハードウェア研究に偏っていた初期コンピュータ史に新しい地平を切り拓こうとする意欲的な試みとして高く評価できるが、その一方では検討が不十分な点も指摘できよう。第一に、社会的背景を描いた第1部と、研究者の思想を検討した第2部が十分有機的には論じられていないことである。たしかに科学雑誌における記述と研究者の見解の間には時代的な対応もあり、その関連が推測されるが、具体的にどのような影響関係があったかについては明瞭になっていない。第二に、本論文では、人工知能研究につながる「計算機と脳の類比」というテーマに焦点を定めているが、計算機科学全体のなかで人工知能研究がどのように位置付けられていたのかという点が検討されていない。またフォン・ノイマンとチューリングの計

算機研究において「計算機と脳の類比」がどのような意味を持っていたのかという点についての考察も十分とは言えないように思われる。しかしながら、これらの点はけっして本論文の価値を損なうものではなく、論者も今後の研究課題として十分理解しており、これからの研究に期待したい。

以上、審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。2013年3月12日、調査委員3名が論文内容とそれに関連した事柄について口頭試問をおこなった結果、合格と認めた。