

2023. 3 ブログ：『ディープラーニング 学習する機械』を読んで（１）、の詳細  
（→ <http://www.1968start.com/M/blog/index3.html#2303> ）

## 『ディープラーニング 学習する機械』を読んで（１）

中所武司

### ■このエッセイのきっかけ

情報処理学会誌（2022 年 11 月号）に、2018 年のチューリング賞を受賞したヤン・ルカンの著書「ディープラーニング 学習する機械」（384 ページ、講談社 2021）が紹介されていた。

私の卒論・修論（1968～1971）の研究との関連で読んでみることにした。

### ■懐古趣味的コメント

今回は、主に自伝的な内容の 1 章と 2 章を読み、その要約とともに、私の研究史と関連した研究者や技術を抽出し、コメント（→★）を記述する。

なお、私の著作物の引用先の URL ページを示すときは、下記の略称を用いる。

【卒論】「条件反射の生体工学的解析」（1969）

<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/soturon.htm>

【修論】「思考過程の数学的表現と模擬実験」（1971）

<http://www.1968start.com/M/bio/olduniv/shuuron.htm>

【拙著 A】Computational Semantics of a Neural Network System for Thought Process Simulation and its Applications, 人工知能学会誌, 5, 5, 548-557 (Sep. 1990)

<http://www.1968start.com/M/p2/9009chuAI.pdf>

【拙著 B】「ソフトウェア危機とプログラミングパラダイム」啓学出版（1992）

<http://www.1968start.com/M/keigaku/index.html>

## 第 1 章 AI 革命

### 1-1 偏在する AI

- ・東大合格を目指す A I 「東ロボ君」
  - \* 国語、数学、英語などのテストの総合点で、受験生の上位 20 % に入った。
  - \* 回答した内容を理解していないので、頭がよかったわけではない。
  - \* 日本の大学入試制度の浅薄さを露呈
  - \* 東大合格をあきらめたと聞いて、みんなほっとした。

→★マスコミにもてはやされただけだったのでは？

### 1-2 アーティスト AI

- ・ A I は、独創性には欠けるが、専門家を欺くオリジナル絵画を生み出した。
- ・ 2019. 2. 4 にロンドンで演じられたシューベルトの未成交響曲は未完成ではなかった。  
A I が、未完成部分を作成し、作曲家がオーケストラ用にアレンジした。

### 1-3 人型ロボットのまやかし

- ・2017 年、スターの美女ソフィアの何十種類もの生き生きとした表情とジョークの数々は、人間味にあふれ、人々は何らかの知性があると思い込んだが、実際は、エンジニアが標準的な返答の仕方をプログラムに書き込んでおいただけのこと。

### 1-4 GOF AI から.....

- ・AI の領域の問題は、解決すると、AI の対象ではなくなり、一般技術になる。
  - \*1950 年代の数式処理 (→コンパイラ技術)
  - \*1960 年代のルート検索 (→最適アルゴリズム)
  - \*1970~1980 年代の、論理と記号処理に基づく自動推論技術
- ・当時の AI は、自嘲を込めて、GOF AI (good old-fashioned artificial intelligence) (古きよき AI) と呼ばれる。
- ・その後、エキスパートシステムが登場。
  - \*急性感染症を特定して抗生物質による治療を推奨する MYCIN (1975 年) は、約 600 のルールで、ルールには確信度が含まれ、結果の信頼度が生成された。ルールは、知識エンジニアが専門家 (医師) から聞き取り、知識ベースに手入力した。

→★私も 1980 年代後半にエキスパートシステム構築ツールを開発した経験があるが、専門家のノウハウが得られる分野では、機械学習より適している場合があると思う。特に、エキスパートシステムは、機械学習と異なり、推論過程の説明機能があり、専門家のアシスタント的利用が可能では？

#### **【参考】**

中所ほか：エキスパートシステム構築ツール ES/X90 (1) :-開発思想、  
情報処理学会第 35 回大会、3N-2, 1733-1734 (Sep. 1987)

<http://www.1968start.com/M/p2/8709chuTaikai.pdf>

- ・このような論理と木探索に基づくエキスパートシステムは廃れたが、今でも参考になり、教科書にも相変わらず記載されている。

→★1992 年発行の冒頭の【拙著 B】第 9 章「人工知能」で記載している (^\_^;;

### 1-5 .....機械学習へ

- ・推論は、人間の知能のごく一部にすぎない。  
人間は、経験によって獲得した世界観に頼り、類推による思考や直観による行動も多い。  
知覚、直感、経験は学習・訓練により得られた能力である。
- ・人間の脳には、860 億個のニューロン (神経細胞) のネットワークがあり、そのうちの 160 億個は、大脳皮質にある。  
各ニューロンは、シナプスを介して、約 2000 個のニューロンとつながり、  
学習は、シナプスの生成、消滅、伝達効率の変化によって生じる。  
機械学習では、学習手順により、ニューロン間のつながりが変化する。

→★この機械学習の原理は、50 年前のニューラルネットワークも同じだった。

また、大脳皮質のニューロンが 160 億個らしいが、私の卒論（1969 年）でも、

1.3 節「神経系と神経細胞」で、大脳皮質の主要部分の新皮質だけで

『140 億個』と記載していて、ほぼ同じ。冒頭の【卒論】参照。

・860 億個のニューロンが有する 150 兆個のシナプスは、1 秒間に 100 回の計算ができる。

→★私の卒論（1969 年）の図 1-5「神経系の情報伝達を担うインパルス」の説明で、

ニューロンにインパルスが入力されて興奮し、スパイク（インパルス）放出までは

『約 1ms』、その後の脱分極は『10 数 ms』、過分極は『約 100ms』との記載があり、

シナプスの 1 回の計算時間が 10ms とほぼ同じ。冒頭の【卒論】参照。

## 1-6 新旧のブレンド

・現在の一般的な A I アプリは、機械学習、GOF AI, 古典的計算機科学をブレンドしたもの。

（例）自律走行車：車載視覚認識システムは畳み込みニューラルネットワーク使用

## 1-7 定義の試み

・A I は、通常は動物や人間が担っている知覚や推論、行動などの作業を機械が行う能力。

## 1-8 今後の課題

・現在、論理的な推論が可能なディープラーニングはない。論理と学習は相いれない。

論理と学習が両立するシステムの開発が課題。

→★ここでの「論理的な推論」とは第二次 A I ブームのときの前向き推論・後ろ向き推論のこと？

## 1-9 アルゴリズムの外側

・アルゴリズムは料理のレシピに過ぎない。例：バブルソート

・Google の検索はアルゴリズムの集合体で、かなり複雑なことをしている。

・A I のシステムの複雑さは、ネットワークのニューロン間のつながりにあり、  
ネットワークのアーキテクチャも学習も、このつながりに依存している。

## 第 2 章 AI ならびに私の小史

### 2-1 終わりなき探求

・A I の起点は、1956 年のダートマス会議で、

M. ミンスキーと J. マッカーシーが企画した。

・この会議では、生まれて間もないコンピュータ科学やサイバネチクスにかかわる  
ホットなテーマ {自然システムと人工システムにおける制御の研究、複合情報処理、  
人工ニューラルネットワーク、オートマトン理論} について議論された。

・この会議で、マッカーシーは、「人工知能」という用語を提唱した。

→★この会議については、冒頭の【拙著 B】9 章で記載。

## 2-2 まずは論理

- ・当時（1956 年～1980 年代？）、木探索に基づくシステムやエキスパートシステムなど、知能機械は論理ベースで、事実と規則を与えると別の事実を推論するものだった。
- ・1970 年、DOD の ARPA は、A I の予算を削減し、A I は、初めての「冬」を迎えた。

→★私の修論でのニューラルネットワークを用いた思考プロセスの研究は、1969～1970 年だったので、第一次 A I ブームの最終期だった（^^;;

- ・1980 年代初頭、エキスパートシステムが大きな期待を集め、日本では、論理的推論能力を有する第五世代コンピュータプロジェクトが開始されたが、失敗に終わった。

→★第二次 A I ブームのこの時期、情報処理学会の全国大会では、それまで多かったソフトウェア工学関連のセッション数が減り、A I 関連セッションが急増した。

→★この時期、汎用コンピュータの高速化が年々急激に進み、A I 専用マシンは、研究開始時の高い目標性能は、試作機完成時には見劣りする状況だったと思う。

## 2-3 ゲームの世界

- ・1997 年、チェスの世界チャンピオンがスーパーコン DeepBlue に敗北。  
比較的古典的な木探索技術を使いながらも、1 秒間に 2 億通りの優劣を判断できた。
- ・2016 年、韓国の囲碁チャンピオンがコンピュータ AlphaGo に敗北。  
畳み込みニューラルネットワーク、強化学習、モンテカルロ木探索（ランダム木探索）などの技術を組み合わせており、さらに、自分自身との対戦により自分を鍛えていた。

→★現在、囲碁の世界では、従来の定石にはない、A I の打つ手が新たな定石になり、プロ棋士もそれを採用している。たとえば三々に打つ手が多用されているなど。

## 2-4 神経科学とパーセプトロン

- ・20 世紀半ば、機械学習のパイオニアたちが、脳の働きをまね、学習メカニズムに基づき、自らをプログラムするようなシステムを主張し始めた。
- ・1950 年代、カナダの心理学・神経生物学研究者ドナルド・ヘップは、学習におけるニューロン結合の役割に注目し、人間の推論を生み出す脳という生物学的処理装置を探求すべきと主張した。

→★私の卒論の参考文献の 15 番目にヘップの下記の著書を挙げている：冒頭の【卒論】参照。

『D. O. Hebb: A textbook of psychology, W.B.Saunders company, 1958.  
（白井ほか訳、行動学入門、紀伊国屋、1964）』

- ・1957 年、コーネル大の心理学者フランク・ローゼンブラットは、ヘップの認知理論をヒントに、訓練によりパターン認識が可能な、最初の学習機械パーセプトロンを構築。

## 2-5 冬の時代

- ・1969 年、MIT のシーモア・パパートとマーヴィン・ミンスキーが「パーセプトロン」を出版し、学習機械の限界を示し、ニューラルネットワークは初めての冬の時代を迎えた。

→★私の修論の参考文献の 34 番目にこの著書を挙げている：冒頭の【修論】参照。

『M. Minsky & S. Papert: Perceptrons, the MIT press, 1969』

## 2-6 「異端の過激派」

- ・冬の時代にもニューラルネットワークの研究をつづけた「異端の過激派」がいた。
- ・フィンランド人テウヴォ・コホネン：連想記憶の著書
- ・数理工学者の甘利俊一
- ・福島邦彦：1970 年代のコグニトロン、1980 年代のネオコグニロトン
- ・心理学者のジェームス・マクレランド、ディヴィッド・ラメルハート
- ・生物物理学者のジョン・ホップフィールド、テレンス・セイノフスキー
- ・コンピュータ科学者のジェフリー・ヒントン

→★このうちの 6 名は、私の論文（1990）の参考文献に掲載：冒頭の【拙著 A】参照

T. Chusho: Computational Semantics of a Neural Network System for Thought Process Simulation and its Applications, 人工知能学会誌, 5, 5, 548-557 (Sep. 1990)

(1) S. Amari, 1978

(8) J. J. Hopfield, 1986

(9) T. Kohonen, 1988

(10) J. McClelland, 1981

(14) D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, 1986

→★さらに、この節より前で言及された以下の研究者もこの参考文献に含まれている。

(7) D. O. Hebb, 1949

(12) M. Minsky, S. Papert, 1969

(13) F. Rosenblatt, 1961

## 2-7 舞台に上がる

- ・1968 年、五月革命の一斉ストライキで家にいた父は、小さな車とボートを操縦するリモコン装置を作った。その父の情熱の影響を受け、著者は科学者になった。

→★余談になるが、1968 年 5 月は私が学部 4 年生のときで、その年の大学紛争では、御茶ノ水駅の近くの明大通りは、フランスの五月革命の中心地にちなんで、日本のカルチエ・ラタンと呼ばれていた。

→★私の所属する工学部は、この年の後半は、無期限ストライキで授業がなくなった。そのため、ニューラルネットワークの卒業研究関連の文献調査にも多くの時間をかけることができた。その代償として、卒業は 2 カ月遅れの 1969. 5. 31 となった。

- ・著者は、8 歳のときには、「2001 年宇宙の旅」の映画を見て、機械の中に人間の知能を再現する問題に夢中になっていた。



→★私の場合は、大学紛争中に、相いれない異なる考えを持つ学生同士の争いに触れて、人間の思考の仕組みに興味を抱き、ニューラルネットワークを卒論テーマに選択した。

- ・1978 年、高校卒業後、パリ電気工学技術高等学院に入学。読書に励む。

## 2-8 実りある読書

- ・1980 年に読んだ本「生得的なものと後天的なもの」(1979) の印象は以下の通り。  
言語学者ノーム・チョムスキー：会話能力の学習構造はあらかじめ脳内に備わる。  
発達心理学者ピアジェ：言語習得は知能の構築にともなう、段階的な学習の結果。  
シーモア・パパート：パーセプトロンは単純だが複雑なタスクの学習可能な機械。
- ・著者はピアジェの考えに魅了され、機械への応用を考えた。

→★私の修論では、幼児の自己中心言語に関するピアジェの考えに批判的なロシアのヴィゴツキーの考えを妥当と考えた。【修論】参照

- ・高等学院で授業がない水曜午後は、フランス国立情報学自動制御研究所 INRIA の図書館に通い、欧米では誰もニューラルネットワークの研究はしていないと知る。

→★余談になるが、1983 年の世界コンピュータ会議 IFIP83 での論文発表でパリ訪問時に INRIA のプログラミング環境の研究グループを訪問したことがある。

(この時の私の発表論文)

A language-adaptive programming environment based on a program analyzer and a structure editor, Proc. the 9th World Computer Congress IFIP' 83, 621-626 (Sep. 1983)  
<http://www.1968start.com/M/paper/1983IFIPWCCchusho.pdf>

(訪問先は、私の発表論文の 6 番目の参考文献の著者たち)

[6] v. Donzeau-Gouge et al., A structure oriented program editor: a first step towards computer assisted programming, IRIA Research Report, no.114, 1975

- ・ニューロンの大規模な集合体から知能が出現するという自己組織化に興味を抱く。
- ・高等学院で、ニューラルネットワークのシミュレーションを試みる。
- ・4 年生の時、多層ニューラルネットワークの学習規則を考案した。  
信号を出力から入力にむかって逆方向に伝搬させるアルゴリズムで、誤差逆伝搬の草分けとなるものだった。(詳細は、第 3 章と第 5 章で述べる)

## 2-9 学習のコネクショニズムモデル

- ・1983 年夏に工学修士号を取得し、1984 年に博士論文の執筆計画表を提出。
- ・1984 年夏には、米国ゼロックスのパロアルト研究所でのインターンシップの間に、多層ニューラルネットワークの学習手順を含むボルツマンマシンの論文を 1983 年に発表したセイノフスキーとヒントンに会いたかった。

→★余談になるが、1978年の日米コンピュータ会議での論文発表で、サンフランシスコ訪問時にパロアルト研究所の言語 Mesa の研究グループとの面会を依頼したが、社内規定を理由にことわられてしまった。

(この時の私の発表論文)

Two-stage programming: interactive optimization after structured programming,  
Proc. the 3rd USA-Japan Computer Conference (UJCC), 171-175 (Oct. 1978)

<http://www.1968start.com/M/paper/1978UJCCchusho.pdf>

## 2-10 レズーシュでのシンポジウム

- 1985年2月、アルプス地方のレズーシュでのシンポジウムに参加。  
ニューラルネットワークの著名な研究者たちと出会う。  
ここでの多層ニューラルネットワークの研究発表がきっかけで、3年後にベル研に入社。
- 誤差逆伝搬法を研究中のセイノフスキーに著者の発表内容を説明したが、彼は自分の研究の内容は話さず、後で彼の共同研究者のヒントンの同様の研究者がいると伝えた。
- 1985年6月、パリでのコグニティヴァ会議で、著者は自分の発見を論文にして発表した。  
このとき、基調講演者のヒントンはボルツマンマシンについて講演し、その会場で誤差逆伝搬法について著者に説明し、論文に引用すると語った。
- 彼は、翌年開催予定のコネクショニズムモデルのサマースクールへの参加を勧めた。

## 2-11 誤差逆伝播法

- 1980年代には誤差逆伝播法により、数十万の接続を持つ数千個のニューロンが層状に組織された多層ニューラルネットワークの訓練が可能になった。
- 1985年当時は、物理学者たちは、全結合ニューラルネットワーク（ホップフィールド・ネットワーク）に興味を持ち、脳内の連想記憶モデルと見ていた。
- 1986年に状況は一変した。セイノフスキーが「読むことを学習する」誤差逆伝搬法によって訓練された多層ニューラルネットワークを発表した。  
英語の音声を一連の音素に変換し、音声合成装置に伝達するシステムだ。
- ラメルハートらの誤差逆伝搬法の下記論文は、爆弾並みの効果があった。  
Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J. Learning internal representations by error propagation. MIT Press, 1986, 318-362.

→★本論文とタイトルが類似の以下の論文を【拙著A】で引用している。

(14) Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J.: Learning Representations by Back-Propagating Errors, Nature, Vol.323, 533-536 (1986)

- 1987.6 博士課程修了
- 1987.7? トロント大学のヒントンの研究室に参加。学生のレオンを同行。  
このレオンが、Lispインタープリタで操作するニューラルシミュレーターSNを作成。

## 2-12 大御所たちの殿堂

- ・1988.10 ベル研究所に採用される

## 2-13 ベル研究所時代

- ・最初の研究：先のS Nを用いて、手書き数字の認識システム作成。  
米国郵便公社から郵便番号の手書き数字 9298 枚を入手。  
入力は16\*16 ピクセルで、4層からなる畳み込みニューラルネットワークを構築。  
全体では、1256 個のユニット、6 万 4660 個の接続、9760 個の調整可能なパラメータ。  
システムの構成は図 2.2 に詳しい。
- ・結果：7291 枚の学習サンプルでの訓練に SUN4 で3日かかったが、  
2007 枚の評価用サンプルで、エラー率5%という好成績だった。

→★私の卒論・修論のころの第一次AIブームでは、手書き文字のパターン認識が  
主要な応用の一つだったので、郵便番号の手書き数字認識は懐かしい。

- ・次に、銀行小切手の金額を読みとるシステムを開発した。  
20\*20 ピクセルで接続数 34 万の畳み込みニューラルネットワークを使用。  
ベル研の親会社の AT&T の子会社の NCR が商品化する銀行向け小切手スキャナーと  
キャッシュディスプレイにこの自動読み取り装置が搭載され、1994 年に市場にでた。
- ・1990 年代後半には、米国で発行された小切手の 10~20%にこの装置が使用された。  
1990 年代のニューラルネットワークの最も目覚ましい成功例の一つとなった。

## 2-14 タブー視されるニューラルネットワーク

- ・1995 年からニューラルネットワークは暗黒時代に突入し、タブーとなってしまった。  
当時のコンピュータは遅くて高くて、技術上の壁となったかも。
- ・1998 年の IEEE の論文「Gradient-based leaning applied . . .」の年間引用数の変化：  
1998~2008 数十件  
2013 以降、指数関数的に増大  
2018 5400 件  
2019 2 万件越え
- ・2002 年、AT&A をやめ、プリンストンの日本電気の研究所に移り、  
ニューラルネットワークの研究再開。NEC の財政難で1年半で退職。
- ・2003. 9、ニューヨーク大学教授になり、研究再開。

## 2-15 「ディープラーニングの陰謀」

- ・2004 年、カナダの財団が5か年プログラム「神経計算と適応知覚」を立ち上げた。  
ヒントンが代表、ルカンが科学顧問で「ディープラーニング」という新語を作成。
- ・2004~2006 年は、論文がなかなか受理されなかった。
- ・2007 年、機械学習の主要学会 NIPS にディープラーニングのワークショップを提案し、  
拒否されたので、無許可のゲリラワークショップを開催したら、300 人が参加した。  
学会での一番人気だった。



## 2-16 畳み込みニューラルネットワークの有効性が立証される

- 2003 年、向きや照明に依存しない単純な物体の認識と顔検出に取り組む。
- 2003～2004 年、2 台のカメラを搭載したトラック型のロボットの入力画像からハンドルの角度を予測できるように、畳み込みニューラルネットワークを訓練し、目の前の障害物を避けるハンドル操作ができるようにした。
- 2005～2009 年、機械学習を移動式ロボットに適用する大規模研究プログラム開始。  
2007 年に、一般画像の物体認識に取り組み、歩行者の検出で既存技術より好成績となる。
- 2010 年ごろ、音声認識に関して、著者らの技術の優位性が明らかになった。
- 2012 年、畳み込みニューラルネットワークの有効性が確立した。（詳細は第 6 章で述べる）

→★ここまでは、自伝的な内容で、第二次 A I ブームやその後の冬の時代を生き抜いた話。  
技術的な内容の詳細は次章以降。

→★私が卒論・修論でニューラルネットワークの研究をしていた 1970 年前後の  
第一次 A I ブームの時期の具体的な話も多くて、懐かしく読んだ。

→★また、1970 年代には企業の研究所でソフトウェア工学の担当だった私は、1980 年代の  
第二次 A I ブームのときには知識工学の担当となり、エキスパートシステム構築ツールを  
開発していたが、同じ時期に、誤差逆伝播法という技術名でニューラルネットワークが  
再び話題になっていたことはよく覚えている。

以上