

第5講 シンギュラリティの扉を叩け－A Iが覆す 人間の世界チャンピオン

【学習到達目標】

- ・ D Xやデータサイエンスの背景を説明できる。
- ・ バックギャモンやチェス等の中心的な例題が AI 技術をけん引したことを説明できる。
- ・ 多くの探索アルゴリズムや並列計算技術などが生み出されたことを説明できる。

1. データサイエンスとD X

データサイエンス (data science) というのは、データを用いて新たな科学的および社会に有益な知見を引き出そうとするアプローチを意味します。データを扱う手法である情報科学、統計学、アルゴリズムなどを横断的に扱います。

・データサイエンティスト

データサイエンティストはコンピュータを活用し、データ収集と処理、統計学や機械学習的分析、意思決定や商品開発までの流れを効果的に処理します。

・D X (デジタルトランスフォーメーション)

最近話題のD Xとは、もともとは「I Tの浸透が人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる」という概念のことを指します。2004年、スウェーデンのウメオ大学教授、エリック・ストルターマン氏によって初めて提唱されました。日本におけるD Xは、2018年に経済産業省が「デジタルトランスフォーメーション (D X) を推進するためのガイドライン」を取りまとめたことを契機に広がり始めました。D Xの分かりやすい例というのは大成建設での実例を見てみるととても良くわかります。

1) A Iがパッと風環境を予測！設計段階で何度も検討が可能に
大成建設が開発したもので、設計のやり直しによるコストの発生と工程の遅れを防ぐものです。原理はA Iの深層学習です。

江戸の白黒風景写真をカラー写真に変えるというように、CNN（畳み込みニューラルネットワーク）の技術が使われているわけです。この技術を設計段階に使うと、まずは、

1) 建物の形状データと風向きを入力し、画像化し、風環境予測AIに入れます。するとパッと入力された画像を3D化して、建物周辺の風速・風向分布を出力してくれるというものです。これまでスーパー・コンピュータで膨大な計算力を使わないとできなかったことが、AIを使うことによって、パッと一瞬で風環境を予測できるというわけです。また、設計段階で何度も検討が可能になり、大成建設が開発設計のやり直しによるコストの発生と工程の遅れを防ぐことができたといいます。

2) 四足歩行ロボットで建設現場を遠隔巡視。
大成建設が首都圏の建築現場に導入しています。

3) コンクリートひび割れ画像解析技術等
(2022年5月12日AI・EXPO)
これまではスーパー・コンピュータを使ってシミュレーションをしていたといいます。予測結果の事例として、これまでは何日間もかけた数値シミュレーションをAIで予測します。こうすることで、お客さんのところ行ってすぐにその場で風はこんな風に流れますと示すことができるということで、AIがパッと風環境予測できます。画像処理の概要というのは、AIの学習結果に基づき建物周辺の風速・風向分布をプロットして予測しています。

・ビッグデータ

ビッグデータとは、大容量のデジタルデータです。ビッグデータには、①オープンデータ、②Web APIによってアクセス可能なデータおよび、③ウェブコンテンツから入手できるものがあります。

① オープンデータ

オープンデータには、5つあります。

1つ目は、各国政府が公開する統計データで、日本の総務省、アメリカやイギリス等各国政府が公開する統計データがあります。

2つ目は、研究者が公開するデータで、機械学習コミュニティへのサービスで、653個のデータセットを保持する「uc irvine machine learning repository」

や、さまざまな画像処理システムの学習に広く使用される手書き数字画像の大規模なデータベースを出している米国「MNIST」のデータベース等があります。

3つ目は、共同努力で集まった情報をデータベース化したもので、ウィキペディアからの構造化コンテンツの抽出を目的とするプロジェクトの「DBpedia」等です。

4つ目は、特定団体が公開したデータで、租税回避行為に関する一連の機密文書の「パナマ文書」等です。

5つ目は、映画のデータベースです。

②Web APIによってアクセス可能なデータ

Web APIによってアクセス可能なデータには、例えば国立国会図書館、楽天、グルナビ、リクルート、Google、FacebookやFoursquareなどがあります。

③ウェブコンテンツから入手できるもの

Web コンテンツから入手できるものには、米国の銃による事件一覧とか、インドの賄賂を一覧等があります。

・ディープラーニング用のビックデータ

ディープラーニングが、新しい産業革命の「蒸気エンジン」なら、ビックデータは「石炭」です。インターネットにより大変革が起こりました。

①画像：利用者が作成した画像タグ など

②動画：YouTube など

③自然言語：Wikipedia など

・プログラミング

プログラミングとは、コンピュータに命令を与える方法です。機械語、アセンブラ、高級言語等さまざまな種類が登場しました。高級言語には、第5世代で使われたような関数型なプログラム、オブジェクト指向プログラミングや、コンパイラや、スクリプト言語というような様々な言語が出てきたわけです。

新しいプログラミング方法として「機械学習」があります。従来のプログラミングはルールとデータを入力して答えを出力しますが、機械学習では答えとデータを入力してルールを出力します。

・アルゴリズム

アルゴリズムとは、データの処理や分析を行なう際に生じる手順です。よいアルゴリズムとは、処理に時間がかからずメモリをあまり消費しないものです。

・新しいアルゴリズム

A I のボトルネックとなっていたのは、ハードウェアやデータだけでなくアルゴリズムです。2010年頃までニューラルネットワークの訓練を確実に行う効率的なアルゴリズムがありませんでした。以下は、深層で数千ものパラメータを擁する大規模な例です。

①コンピュータビジョン：VIT, ResNet, Inception, Xception

②自然語処理：BERT, GPT-3, XLNet などの Transformer ベースの大規模なアーキテクチャなど。

・回帰木

回帰木とは、特徴量を用いデータをグループに分割しその平均値を予測値にする手法です。

・k-平均法

k-平均法とは、トップダウンでクラスタリングする手法です。

・階層的クラスタリング

階層的クラスタリングは、大容量のデジタルボトムアップでクラスタリングする手法です。

・主成分分析

主成分分析は、多変数を少変数で表現するという、単なる線形分解にすぎないにもかかわらず、非常に有効な手法です。例えば、主成分分析では、身長と体重という2次元から、BMI（ボディマス指数）という肥満度を表す1次元指標に要約できます。

2. 探索・推論

・探索木

探索木は、迷路をコンピュータに理解できる構造で表現する1つの方法です。以下のように、探索木にはコスト概念無し検索と、コスト概念を取り入れた検索があります。

コスト概念無し検索には、横型探索(breadth-first search、幅優先探索と、縦型探索(depth-first search、深さ優先探索)があります。

コスト概念を取り入れた検索には、ダイクストラ法(dijkstra's algorithm)、山登り法(hill-climbing)、最良優先選択(best-first search)と、A*アルゴリズム(A* algorithm)があります。

・横型探索(breadth-first search、幅優先探索)

横型探索(ブレッズ・ファースト・サーチ)では、古いノードを先に調査します。最短距離でゴールにたどり着く解を必ず見つけることができるが、探索中にメモリ不足になる可能性があります。

・縦型探索(depth-first search、深さ優先探索)

縦型探索(ディプス・ファースト・サーチ)では、新しく発見するノードを先に調査します。探索に大量のメモリを必要としないが、解が見つかったとしても最短距離でゴールにたどり着く解とは限りません。

・ダイクストラ法(dijkstra's algorithm)

ダイクストラ法は、コストの総和が最も少ないノードを先に調査します。ダイレックツライ法では、例えば交通検索で東海道線を使って行くのと、中央線を使って東京から名古屋へ行くのとコスト比較して、コストの安い方を選びます。

・山登り法(hill-climbing)

予測コストの最も少ないノードを先に調査します。

・最良優先選択(best-first search)

これまでに発見したノードの中で最も予測コストの小さいノードを先に調査します。

・ A*アルゴリズム(A* algorithm)

予測コストとエッジにかかるコストの両方を用いて、最もコストの小さいノードを先に調査します。

・ Mini-Max法

チェスのプログラムを強くすることを目指し、Mini-Max法と呼ばれる手法を使います。考え方は単純で、

- 1) 自分が指す時にスコアが最大になる。(自分が有利になるように)
- 2) 相手が指す時にはスコアが最小になる。(相手が不利になるように)

戦略を立てます。方法は自分(プレイヤーP)が指す時にスコアが最大になるように、相手(プレイヤーQ)が指す時にスコアが最小になるように選んでいきます。

・ アルファベータ法

Mini-Max法は探索の末端の局面の全評価値を求める必要があるため、時間がかかりその分深く読めないという欠点があります。Mini-Max法と探索結果は同じでそれより効率がいい手法が経験的に開発されました。それがアルファベータ法です。

3. AI時代のバックギャモン

・ バックギャモンにおける人工知能が果たす役割

日本人が世界の選手権で優勝しました。2021年のオリンピックの時です。日本バックギャモン協会の望月正行氏(理事長・代表理事)が世界チャンピオンになったのは2回目です。その記事が出たり、その前にはチーム戦で日本人が優勝するという記事が出たりしました。

バックギャモンというのはそもそもなんですか?と言うと「ゲーム」です。いわゆる「すごろく」と言われているものの原型です。すごろくと言うと、いわゆるサイコロを振って「生涯人生ゲーム」みたいなものを思い浮かべる方が多いです。

「すごろく」を漢字で書くと「双六」なのですが、何故すごろくになるかというと二つ（双）のサイコロ（六の目）を使うからです。二つのダイス（サイコロ）を使い、15個の駒をゴールに進めていくのがすごろくです。

バックギャモンは、世界で実は3億人プレイヤーがいて、将棋が700万人、囲碁は4200万人に対して、3億人です。スーパーマリオも4000万しかないという中で、Candy Crush と同等ぐらいに遊ばれています。

バックギャモンは中東から発生しているゲームです。もともとは、エジプトのセネトというゲームと、シャットランガというインドのゲームが混ざってメソポタミアで5000年ぐらい前に完成されたというふうに言われています。セネトがメソポタミア地域まで行くと、イランだとかイラクだとかトルコだとか言われた地域で完成されて、そこからヨーロッパもしくはシルクロードを渡って日本もしくはロシアに伝来したと言われています。日本に伝来したのは約1300年前の飛鳥時代と言われています。聖武天皇の御物を保管している正倉院の中に、バックギャモンが日本に伝来し、「盤双六」と言われていた時代の「すごろく」が所蔵されていると言われています。ちょっとルールが違いますが、ほとんど今日と一緒です。物の本によると、江戸時代にすごろくを知っている人は100人に1人ぐらいでした。今は多分100人に1人はやってないと思います。

バックギャモンは、ただ確率のゲームでサイコロを2つ使いますから、1ゲームだったら、チャンピオンにも勝てるかもしれません。そこが将棋と違います。将棋だと永世名人の森内俊之氏ともバックギャモンをやることはありますけども重いですね。森内氏は2022年の日本選手権優勝しています。でも1ゲームだったら勝ってます。そういう意味ではゲームとしては面白い。

今トップ10に日本人が3人います。これは実はファン投票みたいなもので誰が1番強いかな？を2年に1回投票します。強い人として自分の名前を2番目にし、32人リストアップして経費とするその合計点数で一番高かった人が1位になります。投票形式でのランキングは、1位が望月正行氏（日本バックギャモン協会代表理事）、2位が景山充人氏（大阪のプロのポケモン・プレイヤー）、3位はアメリカです。8位には矢田亜希子氏があります。がんを克服するのにバックギャモンを覚えて工夫しましたみたいな形でよく新聞とかテレビに最近出てきている女性です。この3人がトップ10にいます。

A I と何か関わりがあるかな？世界1位の望月氏がバックギャモンを始めた1997年、チェスでA I が人間に勝ちました。

当時、AIプログラムが一般のプレイヤーにも使われるようになった時期です。その当時から現在まで、望月氏はほぼ毎日AIを使って研究、練習をしているそうです。それ以来、バックギャモンにおいて、AIはゲーム戦略自体に影響を与え続けています。

1990年代初頭にIBMのGerald TesauroによってTD Gammonが作られました。これはニューラルネットを用いたプログラムで、「自分同士で対戦を繰り返し、その経験から学習して強くなる」(強化学習)を使用したものです。最初はほとんどランダムにプレーするプログラムが、自己対戦を150万ゲーム繰り返すなかで徐々に正しい手を学んでいき、最終的には当時の最強プレイヤーに近いレベルまで達しました。人間との対決は、1992年にAI「TD-Gammon」が人間に僅差で敗北しました。ただ、すでに実力はほぼ互角とされていました。その後、人間はAIを使ってスキルを上げました。1997年には、AI「Jellyfish」が人間と引き分けました。同年、Jerry GrandellというプレイヤーがAIを徹底的に使って勉強することにより世界チャンピオンになりました。このことは世界中のプレイヤーの意識を変えました。1990年代後半にはAIは人間を超えたと共通認識されました。これ以降はもう人間はコンピュータに勝とうとしませんでした。逆に、人間はAIを使って学ぶというような時代に入りました。今や人間対AIという構図はとっくに存在しません。AIが様々な形でバックギャモンコミュニティに貢献しています。AIによる弊害もあります。これからAIが社会に起こす変化の予習になり得ます。25年前からわかっていることですが、AIに勝つのではなくてAIから学ぶということをし始めたということです。

人間対AIというのはもうすでに存在していません。逆に、AIはバックギャモンのコミュニティにもものすごく貢献してくれています。共通言語としてAIの結果を使って、例えば、「XGはこういう結果を出しているんだ。これはどうすれば効果な形になる？」と教えてくれるAIというのは実は未だです。結果は出ます。強化学習をします。その結果、「この盤面だったらこういう風な手がいいですよ。さっきの予想だったらこういう手でこういう風が起きます」と結果が出ます。だけどなぜそうなのかっていう理由は、今まだAIやってくれないです。

・AIがバックギャモン界に与えた影響

何がバックギャモン界に影響を与えたかを見てみましょう。

① 技術の向上

1つは技術の向上です。A Iが強くなるのではなくて、人間がA Iを使って人間が強くなります。例えば自動運転の仕組みを使って、人間が運転技術の向上をしてきたみたいなことです。

② 数値化

2つ目は数値化です。「貴方は80点です」と変数が出てくる訳です。

③悪用、誤用、誤解による害

3つ目4つ目はちょっと問題点で、1年の問題点で悪用、誤用が5回です。これは結構多いです。これはすごく参考になるのではないのでしょうか。

④人間の能力の再認識

4つ目は人間の能力の再認識が起こることです。

「P l a y 6 5事件」という倫理的な問題も発生しました。P l a y 6 5事件とは、犯罪グループがオンラインサイトに自動A Iプレイヤーを数百台投入し、短期間で巨額の利益を上げたという事件でした。自動A Iプレイヤーはアマ強豪レベルに調整され、掛け金もそれほど高くありませんでした。（1ポイント\$5程度）

有名な「シャハブ事件」とは、2011年、プロプレイヤー、シャハブがオンラインカジノでA Iを負かして数万ユーロ稼いだという事件です。バックギャモンには、バックゲームという特殊な作戦に弱点があり、そこをつきました。オンラインカジノの相手はA Iです。A Iとゲームして勝てばお金がもらえるのがオンラインカジノです。一番強いA Iを出してきますからなかなか勝てません。シャハブはわざとA Iが苦手な手に持ち込んで、ちょっとづつA Iから巻き上げていって、最終的に数万ユーロカジノから得たという事件です。バックゲームは非常に特殊なゲームで、普通にプレイしていたら1000回に1回ぐらいしか起きません。つまりA Iがうまく学習できません。

羽生善治氏は「I Tとネットの進化によって将棋の世界に起きた最大の変化は、将棋が強くなるための高速道路が一気に敷かれたということです。でも高速道路を走りぬけた先では大渋滞が起きています。」(梅田望夫「ウェブ進化論」2006年より)と言っておられます。羽生善治氏の言葉から分かることは、「A Iが主流になった後のトッププレイヤーは、A Iが出る前からトッププレイヤー！A Iはツールに過ぎない。それをうまく使うのは人間」ということです。

結局、人間に残されたものは、こっちの方が面白そうだからこうやる、勝ち負けがないゲームはプレイできない、人間は人間が好き及び、シンギュラリティとは「AIが神ではない」ということです。

4 将棋・囲碁

・将棋

チェスやバックギャモンよりも場合の数が多いゲームとして、中国将棋(10, 150)、将棋(10, 220)、囲碁(10, 360)が存在します。中国将棋は探索問題として見るとチェスに近い(既に人間よりもコンピュータのほうが強くなっている)ですが、将棋と囲碁はチェスよりはるかに場合の数が多い、チェスとは異なる手法が必要なため、チェスに続く例題として適切です。

将棋はチェスと同じ敵の重要な駒(キングあるいは玉)を捕まえるゲームですが、チェスは敵から取った駒が使えないのに対して、将棋では敵から取った駒が再利用できる(「持ち駒」制度と呼ばれる)ため、終盤は序盤より分岐数が大きくなります。

チェスは収束型ゲームですが、将棋は発散型ゲームです。

将棋はチェスよりも場合の数が多い、チェスで有効であった探索手法がそのままでは使えませんので、チェスの次の探索研究のよい対象になりました。

将棋のプログラムの開発は1970年代に始まりましたが、当時のコンピュータの能力では将棋はチェスのような全数探索は無理でしたので、前向き枝刈り探索手法が盛んに研究されました。ミニマックス法(アルファベータ法)、反復深化などチェスで有効だった手法で将棋でも使える手法はおよそ全て使われています。将棋は発散型ゲームですので、チェスで有効だった終盤データベースの手法は使えません。その代わりに詰め将棋という将棋から派生したパズルを解くアルゴリズムの研究が盛んになされました。

詰め将棋の研究は1990年前後から本格的に進められ、その中で様々な探索の手法が試されました。有効だったのはチェスで提案された(そしてチェスではあまり有効でないとされた)証明数・反証数を用いた手法でした。

詰め将棋のプログラムは、2000年前後には既にプロ棋士を超える能力を示しました。評価関数はチェス同様に手作業で作成と改良を行っていましたが、チェスの評価関数は駒の損得という明快な基準があったものの、将棋の評価関数は複雑でなかなか強くなりませんでした。

・ボナンザ

2000年代の半ばに登場した保木邦仁氏(現在、電気通信大学)の「Bonanza」(ボナンザ)によって、コンピュータ将棋は革命的な進歩を果たしました。保木氏の工夫は1) それまで将棋は前向き枝刈りの探索をしていたのをチェスのように全数探索にし、2) それまで評価関数は手作業で作っていたのを棋譜からの機械学習で作るようにするの2点です。この工夫をしたボナンザが圧倒的な強さでコンピュータ将棋のトップに立ったので、ほかの研究者・開発者もこぞってこれらの方法を取り入れました。

特に(2)の方法は強豪のプログラム全てが取り入れており、「ボナンザメソッド」と呼ばれています。保木氏はBonanzaのアルゴリズムをすぐに公開し、またプログラムのソースコードも無償で公開しました。これはコンピュータチェスの文化を引き継いだものですが、研究成果を公開するという習慣がこの研究領域の発展を支えているものと思われます。 2

010年代になって、コンピュータとプロ棋士が対戦するようになりました。2013年、2014年と電王戦と称してプロ棋士5人とプログラム5つが対戦したが、3勝1敗1分け、4勝1敗と、ともにコンピュータが圧勝しました。この時点で既にコンピュータはトップクラスのプロ棋士(竜王、名人)のレベルに達しました。

現在のトップ棋士のシンボルである羽生善治氏との対戦はすぐに実現しないと思われるので、情報処理学会は2015年10月に将棋で人間とコンピュータの強さを問うことは学問的には結論が出たという終了宣言を行いました。2015年、事実上グランドチャレンジの目標が達成されたこととなります。その後2017年にBonanzaが佐藤天彦名人に圧勝しています。

・囲碁

囲碁は中国発祥のゲームですが、中国では廃れて日本で盛んになりました。(いま中国で盛んになったのはいわば日本からの逆輸入です)

囲碁は、ほかに似たルールのゲームが存在しない、漢字を使っていないので親しみやすい、などの理由で世界的に普及しています。最初にコンピュータ囲碁の研究がなされたのは1960年代です(チェスよりは遅いが将棋より早い)。

・ボナンザ

囲碁もチェスのように探索によって次の手を決めようとしたが、囲碁の場合の数は10,360とチェス(や将棋)よりはるかに大きく、普通の探索によっていい手を見つけるには候補手が多すぎて強くなりませんでした。

1990年代に探索を囲碁に適用するというアイデアが発表されたものの、そのときは成功しませんでした。

・Crazy Stone

2000年代になってレミ・クーロン(Remi Coulom)氏が「Crazy Stone」という囲碁プログラムのなかでモンテカルロ法を応用したモンテカルロ木探索を採用し、このCrazy Stoneが圧倒的な強さを示しました。囲碁にモンテカルロ法を適用するということは、ある局面から白と黒が交互にランダムに終局まで打ち進めるというシミュレーションを多数行って、勝つ確率が一番高い手を選ぶということです。そこには囲碁の知識はほとんど何もはいていませんでした。この一見単純な方法で強くなることに驚き、その後の囲碁プログラムはみんなこの方法を取り入れています。それで囲碁プログラムは一気にアマチュアの六段程度の実力に達しました。

・ZEN

最近までは日本の「ZEN」(これもモンテカルロ木探索を用いている)が、Crazy Stoneを抜いて最も強い囲碁プログラムでしたが、トッププロ棋士に勝つのはまだ10年はかかると思われました。

・グーグル「アルファ碁」

2016年1月、GOOGLEの「ALPHAGO」というプログラムが二段のプロ棋士に互先で5戦5勝の成績を挙げたと発表して大ニュースになった。ALPHAGOは1)ディープラーニング、2)モンテカルロ木探索と3)強化学習という三つの手法をうまく組み合わせています。

大量のプロ棋士の棋譜をデータとしてディープラーニングによってある程度の強さのプログラムを作り、そのプログラム同士の強化学習によって更に強くしました。これまでコンピュータ囲碁で成功しなかった評価関数を、実質的に作ったことがALPHAGOの大きな特徴です。手を決める部分では、従来手法であるモンテカルロ木探索を使っています。その後、2016年3月に、ALPHAGOは韓国のトッププロ棋士のイ・セドル(Lee Sedol)氏と対戦して4勝1敗で圧勝しました。

ALPHAGOの改良版である「MASTER」は2016年末から2017年初めにかけて、世界中のトッププロ棋士相手に60勝で負けなしという成績を収めました。囲碁も一気に2016年から2017年に、グランドチャレンジの目標が達成されたこととなります。

5. チェスコンピュータの開発

チェスは、AIの最初の「グランドチャレンジ」でした。グランドチャレンジとは、大きな目標を掲げ、それを達成することで研究開発を加速するプロジェクト推進手法である。例えば、アポロ計画がそうです。

AIの分野では、人間のチェス・チャンピオンに勝つことのできるチェスコンピュータの開発がグランドチャレンジでありました。その開発過程において、多くの探索アルゴリズムや並列計算技術など、広く普及している技術が生み出されました。AIの例題として、チェスの世界チャンピオンに勝つコンピュータを開発することは、AIの研究が始まって約50年間ずっと中心的な例題となっていました。

ジョン・マッカーシー(John McCar[hy]氏は、チェスのことをAIの「ハエ」と称しました。遺伝学が「ハエ」を題材として大きな進歩をしたように、AIはチェスを題材として大きな進歩をしたという意味です。クロード・シャノン氏とアラン・チューリング氏は、チェスの探索にゲーム理論でジョン・フォン・ノイマンらが開発したMini Max法を使うことを提案し、このMini Max法がその後のゲームの探索の基本となりました。

ゲームのプログラムを強くするには1) Mini Max法を基本とした探索手法の改良、2) 局面を点数化する(静的)評価関数の精緻化の2つが求められました。

1997年IBMの「DeepBlue」が、当時の世界チャンピオンであるガルリ・カスパロフ氏に勝利することで達成されました。

課題

AIを使って何をすれば生産性を倍増し、国際競争に勝てるか？について考察し、あなたの考えを800字で説明しなさい。