

応用研究論文

高校生を対象とした人工知能に関する授業の実践

高大連携授業「人工知能のおはなし」を通じて

間所洋和¹，寺田裕樹²

¹ 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科

² 秋田県立大学システム科学技術学部電子情報システム学科

コンピュータは計算する機械から考える機械に進化している。将棋ソフトウェアがプロ棋士に勝ち越したのは、象徴的な出来事であった。掃除ロボットやペットロボットの普及は、人工知能という技術が応用され、社会に受容されてきたことを意味している。このような背景のもと著者らは、高大連携授業の一環として高校生を対象とした人工知能に関する授業を開催した。また、レゴのロボット教材であるマインドストームズを用いてロボットアームを構築し、学習内容を実践した。本稿では、人工知能の基礎的内容から著者らが研究対象としている機械学習や知能ロボットについて、高大連携授業での取り組み事例として報告する。

キーワード：人工知能，機械学習，ロボット，心，マインドストームズ

ダートマス会議において、Artificial Intelligence (AI) という専門用語が提唱されたのが、人工知能の出発点となっている (McCarthy, 2006)。その後、半世紀以上の時を経ても、AI は魅力と輝きを失うことなく、脈々と研究が続けられている。AI は社会に対して何度もインパクトを与えてきた技術である。AI の実用化は、専門家の意思決定を支援するエキスパートシステムが第一歩であった。1997 年には、AI を搭載したコンピュータがチェス世界チャンピオンに勝利した。近年では、コンピュータ将棋ソフトウェアがプロ棋士との五番勝負に勝ち越して、再び社会の注目を集めている。その他にも、スマートフォン向け秘書アプリの Siri，東京大学合格を目指した東ロボくん，コールセンターの回答業務を支援する Watson など、応用事例は枚挙にいとまがない。

著者らは、平成 25 年 11 月に「新しい情報のかたち～AR 活用事例とその未来～」と題して公開講座を開催した (間所, 2014)。秋田県横手市と秋田市の 2 会場で開催し、130 名程度の参加があった。拡張現

実 (Augmented Reality: AR) を支える技術に焦点を当てた一般市民向けの講座であり、本内容を高校生向けに再編して、平成 26 年度前期の高大連携授業において、「拡張現実の世界～AR で知る新しい情報のかたち～」というテーマで開催した。この時に受講した高校生から、続編を開催してほしいという要望があり、AI に焦点を当てた本授業の開催に踏み切った。

高大連携は、中央教育審議会が 1999 年に提出した答申「初等中等教育と高等教育との接続の改善について」が発端とされている (勝野, 2004)。現在は都道府県単位で活発に取り組まれている。秋田県では、秋田大学内に事務局を置く大学コンソーシアムあきたが高大連携授業を担当している。活動の拠点には、県都秋田市の秋田駅前に立地するカレッジプラザになる。大学コンソーシアムあきたには、県内全ての高等教育研究機関が加盟しており、各機関の特色に応じて様々な授業が開催されている。秋田県における高大連携授業については、英語授業を事例に

表 1 シラバスに掲載した時間割

第 1 講	AI にまつわるコンピュータ技術
第 2 講	AI とロボットの深い関係
第 3 講	レゴで作る AI ロボット（ハードウェア編）
第 4 講	レゴで作る AI ロボット（ソフトウェア編）



図 1 授業の様子。

した高階の彙報論文（高階，2014）に詳しい。

学際分野である AI は，情報科学のみならず，認知科学や哲学，心理学等を対象とするため，学問領域は幅広い。人工知能学会編集の人工知能学事典（人工知能学会，2005）は，996 ページに及ぶ大著である。大学の講義に合わせて 15 章に構成されている入門書（谷口，2014）もあるが，複雑な数式や難解な専門用語が入り混じっている。一方，高大連携授業の標準授業時間は 90 分間×5 回に設定されている。このため，通常の大学の講義のような全分野を網羅する授業は難しい。したがって本授業では，AI との関連性が強いコンピュータ技術とロボットに焦点を絞って，AI という広大な世界への入り口という位置付けにした。さらに座学は思い切って 2 回のみにし

表 2 第 1 講と第 2 講のアジェンダ

第 1 講「AI にまつわるコンピュータ技術」
1. 人工知能とは
2. 人工知能の研究
3. かなり大雑把な AI の歴史
4. ダートマス会議
5. チューリングテスト
6. AI プログラミング
第 2 講「AI とロボットの深い関係」
1. ロボットとは
2. ロボットの身体性
3. ロボットの知覚
4. ロボットの学習
5. ロボットの記憶
6. ロボットと心

て，後半の 2 回はロボットの身体性と AI について学習する実践型の演習とした。シラバスに掲載した授業の時間割を表 1 に示す。実践演習ではロボットアームを構築し，プログラミングとパラメータ調整の後，将棋の駒を把持する動作までを実装した。なお出席の状況により，第 2 講と第 3 講は入れ替えて実施した。授業の様子を図 1 に示す。講義では，気軽に質問や議論ができるように，会議形式のテーブル配置にした。実践演習では，2 グループに分かれてロボットアームを構築した。

以下では講義録として授業内容の一部を記載するとともに，実践演習として実施したロボットアーム構築の様子を紹介する。第 1 講と第 2 講のアジェンダを表 2 に示す。受講者にはスライドのコピーを配布し，授業は基本的にアジェンダに示した順番で進めた。本稿は講義録という位置付けであるが，口語体を文語体に改めて，冗長性の少ない記述になるように努めた。また，論拠となる文献を追加し，客観性と厳密性に配慮した。なお，授業は可能な限り平易な表現での説明に心掛けつつ，最先端の話題も盛り込んだ。本稿の最後では，4 回の授業を振り返りつつ所感を述べるとともに，今後に向けた課題について整理する。

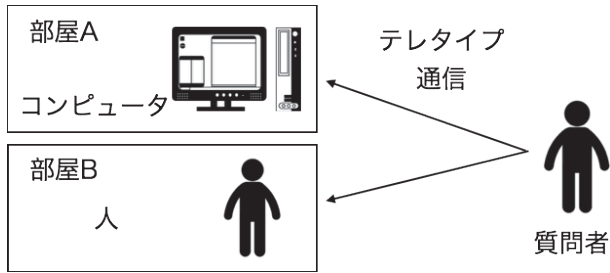


図2 チューリングテストの模式図。

AI にまつわるコンピュータ技術

AI という蠱惑（こわく）的で魅力に溢れる専門用語が提唱されたのは 1956 年である。米国ニューハンプシャー州のダートマス大学で開催されたダートマス会議において、人間の知能はいかにしてコンピュータで再現し模倣できるのかをテーマに、第一線の研究者による議論が交わされた（McCarthy, 2006）。この会議で提唱された専門用語が、半世紀以上の時を経て、歴史の風雪に耐えつつ、古びることなく輝きを放ち続けている。

ダートマス会議から遡ること 6 年前の 1950 年、数学者で計算機科学者のアラン・チューリングが、チューリングテストを提唱した。このテストは、コンピュータが知能を持つことを判定するための方策として考案された。チューリングテストの模式を図 2 に示す。半世紀以上も前のため、通信にはテレタイプが用いられていた。通信相手がコンピュータか人かを十分に判別できないとき、コンピュータは思考し、知能を持つと見なされる。チューリングはこの年に発表した論文（Turing, 1950）の中で、「50 年以内に、質問者が 5 分間質問した後の判定で、コンピュータと人間とを誤認する確率は 30% 以上になるだろう」と予測している。この予測は 21 世紀になっても未達成となっていたが、2014 年になって、チューリングテストを突破したスーパーコンピュータが現れたと報道されている。学術論文として発表されていないため文献を引用できないが、検証評価は英国王立協会で開催され、33% の確率で審査員らは人間との判断を下したようである。

AI を搭載したロボットやコンピュータを見ることがあっても、AI とは何かを説明することは難しい問題である。これは、心とは何か、知能とは何か、

を説明するのと同じ論理で、広く深い意味を持つ言葉であるが故に、専門とする学術分野によって定義が微妙に異なるからである。専門家の間でも、研究対象や方法によって定義や意味する範囲が異なる。このような素朴だが答えることが難しい疑問に対して、人工知能学会の学会誌では 2013 年 1 月号から、レクチャーシリーズ「人工知能とは」の連載が月 1 回のペースで続けられている（松尾, 2013）。公立はこだて未来大学現学長の中島秀之先生を筆頭に、京都大学元総長の長尾真先生など、AI 研究の第一人者が、一問一答の形式で、AI に関わる素朴な疑問に答えている。

本授業では、AI とは「機械によって人工的に実現する知能」と説明した。ここでの機械とは、計算する機械であるコンピュータを指す。AI の研究は、狭義には「機械に知能を持たせたい、知能を持った機械を作りたい」という人間の素朴な夢の実現に向けた研究」と位置付けられている。また広義には、「人間の持つ知能の解明」と位置付けられており、これは認知科学の一分野という見方もできる。人間は様々な環境で多種多様な知識を学習し習得する。そしてそれらを推論と結び付けることで、知的な行動を行っている。このため、AI には「知能を持ち知的な振る舞いをする機械には、知識がなければならない」という前提が導かれ、知識の表現とその利用から研究が進められた。

知識を扱う AI の研究として、エキスパートシステムの開発が行われた。エキスパートシステムとは、専門家（expert）の意思決定の模倣を目指したシステムで、医療や法律、金融分野での応用が試みられた。直接的に知識を持たせることを目的とした研究として、知識システムがある。エキスパートシステムやコンサルティングシステムの研究が、この分野に該当する。知識の獲得から表現までを対象としており、曖昧な知識の利用に関しても研究対象となっている。その他では、問題解決、推論、計画立案、コンピュータビジョン、自然言語処理、学習などが主要研究分野となっている。この中で著者らは、コンピュータビジョンと学習について研究を進めている。コンピュータビジョンでは、物体や情景の認識、理解を対象としている。学習では、教師なし学習に軸を置

いて取り組んでいる。いずれも人間共生型の自律行動型ロボットへの応用を目指しているが、この内容については次節の第2講に譲ることにする。

AI の歴史を振り返ると、1980 年に米国人工知能学会が設立され、学術研究の土台が築かれた。この頃から、欧米諸国では、国家プロジェクトとして AI の研究が進められた。日本では、1982 年から通商産業省（当時）が主導する第五世代コンピュータプロジェクト（Uchida, 1982）が 10 カ年計画で実施された。この間、1986 年に我が国においても人工知能学会が発足した。1997 年、AI がチェスの世界で大勝利を納め、世界中で話題になった。AI を搭載した IBM のコンピュータ Deep Blue が、チェスの当時の世界チャンピオンのガルリ・カスパロフに 2 勝 1 敗 3 引分けで勝利した（Campbell, 2002）。2000 年に入り、インターネットの爆発的普及とともに、ウェブ上での AI の利用が進んだ。インターネットに蓄積された膨大なデータから、価値のある情報を引き出すための方策として活用されている。最近の出来事としては、2012 年にコンピュータ将棋ソフトウェアが元プロ棋士の米長邦雄永世棋聖に勝利した（米長, 2012）。さらに 2013 年以降は現役プロ棋士との五番勝負において、2 年連続で勝ち越している。

知能はコンピュータのソフトウェアとして実装され、ソフトウェアはプログラミング言語によって記述される。AI のプログラミングでは、抽象的な記号を定義し処理するために専用の言語が使われていた。知識や知能は、その構造が複雑かつ曖昧で、未解明な部分も多い。このため、AI のプログラミング言語には、対象世界の非整構造化性を記述する仕組みが求められる。また、演算や操作には複雑性と多様性が伴う。パターンマッチングや演繹、帰納、類推などの多様な推論処理が効率的に記述できなければならない。さらに制御の非決定性と柔軟性を扱うために、再帰的处理やバックトラック、発見的制御機能が求められる。古典的には、LISP や Prolog に代表される AI 専用言語が使われていた。しかしながら最近では、このような特殊な言語ではなく、汎用性の高い C 言語や Java が使われている（小高, 2006）。

プログラミングにおけるアルゴリズムの複雑性に関しては、ゲームを例に探索空間が比較できる。将

棋や囲碁、オセロ、チェスなどは、二人零和有限確定完全情報ゲームと呼ばれる。これは、「二人」で対戦して、相手の利得の「和」が「零」になり、各手の組み合わせ総数は「有限」で、偶然性が入る余地のないため「確定」であり、相手の手が見える「完全情報」のゲームである。二人零和有限確定完全情報ゲームの先読みは、AI の研究として早くから取り組まれていたものの、組み合わせの総数が多いため、ゲームの限られた時間内に完全な最善手を読むことは困難となる。探索空間は、オセロが 10 の 60 乗、チェスが 10 の 120 乗、将棋が 10 の 220 乗、囲碁は 10 の 360 乗となる。よく用いられる数量の例であるが、宇宙の素粒子の数が 10 の 80 乗程度なので、いかにこの探索空間が広いのかが理解できる。

もうひとつ例を挙げると、エルノー・ルービックが 1974 年に考案し、80 年代に日本でもブームになったルービックキューブは、4325 京通りのパターンがある。これは 1 面が 3×3 パターンの通常のルービックキューブである。ルービックキューブに関しては全探索ではなく、解き方（揃え方）の手順は解明されているが、どのようなパターンからも最短の手数で揃えるアルゴリズムの探求が続いている。Google は自社のクラスタコンピュータを用いて、ルービックキューブがいずれの局面パターンからでも 20 手で解けることを証明した。正式な学術論文にはなっていないが、ソースコードが公開されているので、Google 社が用いたクラスタコンピュータと同等のコンピュータを使えば確認できるようである。

AI とロボットの深い関係

ロボットとは、チェコスロバキア（当時）の劇作家カレル・チャペックが戯曲の中で作り出した造語である（Capek, 1920）。機械文明の発達と乱用に対する批判をテーマにした戯曲であり、チェコ語で強制労働を意味する「robota」や強制労働者を意味する「robotnik」などの語感がある。この戯曲は 1920 年に発表されたので、ロボットには 1 世紀近い歴史がある。産業用ロボットは、この名の通りの機械である。人間に代わって、単純で危険な作業を 24 時間休むことなく繰り返してくれる。

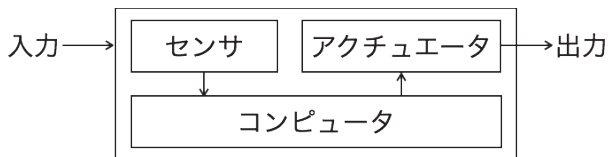


図3 古典的ロボットのモデル。

時代とともに、言葉の意味は変化する。欧米諸国ではロボットと言えば強制労働者というイメージが強く残っていたが、日本では全く違った。ロボットに対する一般人のイメージを大きく変えたのは、漫画の影響が大きかったと言われている。手塚治虫が描く鉄腕アトム、藤子不二雄のドラえもん、そして鳥山明のアラレちゃん。この三大キャラクタが、日本人のロボットに対するイメージを大きく変えたと著者らの世代は認識している。これらのキャラクタにより、ロボットの擬人化が進んだ。愛嬌のある容姿が、人間とのコミュニケーションを円滑にしてくれる。また時には、人間を助けてくれる英雄であった。もちろんこれらは架空のロボットであるが、研究者や技術者は、このようなロボットが活躍する未来社会に夢を馳せて、研究開発に取り組んできた。

特許庁が定義するロボットを表3に示す。この定義は、特許出願技術動向調査において調査対象を設定するために使われている。第一項に「マニピュレーション機能を有する機械」とある。定型作業を繰り返す産業用ロボットが、主な対象となる。このようなロボットでは、位置補正等のセンシングは行われているが、基本的にはプログラムで事前に決められたパターンの動作を繰り返すだけである。単純作業を代替する機械は、チャペックが名付けたロボットとして十分である。続く第二項には「移動機能を持ち、自らが外部情報を取得し、自己の行動を決定する機械」とある。産業用ロボットは限定された環境内で稼働するだけであるが、人間が存在する一般環境は時々刻々と変化する。このような環境において、例えばロボットが自律的に目的とする場所まで移動するような場合には、ロボット自身が外界をセンシングし、様々な外部情報を取得しなければならない。さらに取得した情報から、自己の行動を即時に決定する能力が求められる。平成18年に、特許

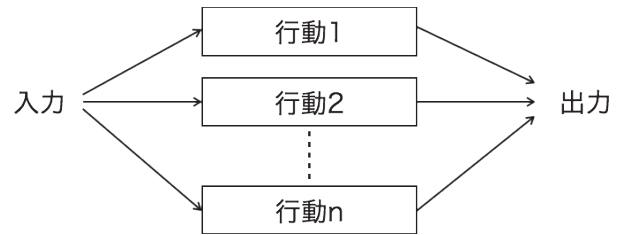


図4 包括行動アーキテクチャ。

庁はロボットの定義として「コミュニケーション機能を持ち、自ら外部情報を取得して自己の行動を決定し行動する機能を有する機械」を追加した。後半部は、第二項と類似した内容になっているが、前半部にコミュニケーション機能というキーワードがある。強制労働からコミュニケーション機能まで、ロボットの位置付けや定義が、1世紀近くの時間を経て、また社会への普及と相まって、このように変遷したと考えられる。

古典的なロボットは、図3に示す構成を取っていた。外界から情報を取得するためのセンサ、取得した情報から次の行動を決定するためのコンピュータ、そして決定した行動から実際の動作を実現するアクチュエータから構成される。生物で例えるなら、センサが感覚器官、コンピュータが頭脳、そしてアクチュエータが運動器官となる。このような構成は、入力と出力に対する処理という関係性が明確でシンプルであるが、入力情報を逐次的に処理して行動に結び付けるだけである。したがってこの構成では、知的な行動への展開や発展は極めて難しいという問題があった。

ブルックスは、入力刺激に対して、複数の行動パターンが並列に並んでいる構造を考案した(Brooks, 1999)。これを包括行動アーキテクチャと名付けた。このアーキテクチャを図4に示す。包括行動アーキテクチャを搭載するロボットは、刺激反応型ロボットと呼ばれる。従来のAIでは記号としての表象を処理することで知能を実現しようとしていたのに対して、ブルックスは表象なしで知能や知性を実現しようとした。しかしながら事前に登録された行動を刺激反応的に選択するだけでは、昆虫程度の知能しか実現できなかった。

表3 特許庁によるロボットの定義

1. マニピュレーション機能を有する機械.
2. 移動機能を持ち, 自ら外部情報を取得し, 自己の行動を決定する機能を有する機械.
3. コミュニケーション機能を持ち, 自ら外部情報を取得して自己の行動を決定し行動する機能を有する機械 (平成18年追加).



図5 包筆者らによる機械学習法の分類および勢力地図.

コンピュータの処理速度と記録容量の進歩により、データから学習を行う機械学習法が用いられるようになった。あらかじめ処理を設計して登録しておくのではなく、大量のデータから関係性を自動的に学習する処理方式である。機械学習法は大別して、教師あり学習、教師なし学習、半教師あり学習、強化学習の4種類の方式がある。教師あり学習では、入力に対する正しい出力を教師信号として学習する。つまり、写像の学習となる。内部モデルの出力と教師信号との誤差を小さくするように学習が進められる。教師あり学習は安定した精度が得られることから、パターン認識分野で最も活発に研究され、利用されている。教師なし学習は、自律的にルールを見つけるように学習する。学習時に、正しい出力となる教師信号は与えられない。つまり未ラベルデータでの学習となる。入力データの特徴である分布や統計量に着目して、データを分解したり、高次元データを圧縮したりする学習となる。半教師あり学習で

は、教師信号が部分的に与えられる。半教師あり学習は、教師あり学習における教師信号不足の対策として考案された。学習用のデータセットの作成に伴う負荷が低減されるとともに、教師あり学習に拮抗する安定した精度が得られるのが特長である。強化学習は、教師信号は与えられないがモデルの出力に対して報酬信号が与えられる。報酬を良くするように、つまり多くの報酬が獲得できるように、探索的に学習を進める。

各学習方式は、脳部位とも対応した関係にある（Doya, 1982）。小脳は、下オリーブ核から登上繊維によって送られる誤差信号をもとにした教師あり学習を行う。運動制御だけでなく、認知機能にも関与している。大脳基底核は、中脳の黒質ドーパミン細胞から送られる報酬信号をもとにした強化学習を担い、ドーパミンに依存した可塑性を持っている。大脳皮質は、相互作用回路のダイナミクスによる教師なし学習になる。これはヘップ型の可塑性に位置

付けられている。

機械学習法には多種多様なアルゴリズムが提案されている。筆者らの経験に基づく分類を図5示す。これまで教師あり学習が大帝国を築いていた。特に、カーネル関数により高次元空間での高い識別性能を有するサポートベクタマシン、弱学習器を大量に組み合わせたブースティング、ベイズの定理に基づくグラフィカルモデルのベイジアンネットなど、高い識別性能を示すアルゴリズムが多数提案され、大勢力を築いていた。一方、教師あり学習では、学習データセットの構築がボトルネックとなっていた。半教師あり学習は、学習データセットの量的側面を解決するアプローチである。これにより、未ラベルデータと組み合わせて学習できるようになった。教師なし学習は、未ラベルデータのみで学習を行うため、これまでは精度の面で教師あり学習に後塵を拝していた。この勢力図が近年、塗り替えられようとしている。ジェフリー・ヒントンの提案した深層学習（Hinton, 2006）は、未ラベルデータから特徴を自動抽出し、データの潜在的な構造を階層的な情報表現により学習することができる。

深層学習を用いて Google は、10 億（10 の 9 乗）の接続を持つ大規模ネットワーク（Le, 2012）を構成し、約 1 千万枚の未ラベル画像を用いて学習した。その結果、81.7%の精度で顔を検出する顔ニューロンと、74.8%の精度で猫を検出する猫ニューロンの自己形成に成功した。ただし、人の脳の神経細胞は 10 の 14 乗の接続を持つため、単純に比較しても 5 桁の差がある。それだけ、人の脳は大規模なニューラルネットワークから形成されていることを意味している。

本授業の最後に、ロボットと心について話し合った。「ロボットに心は必要か?」「心とは何か?」という2つの質問をして、受講者全員（第3講は2名欠席で6名）に順に答えてもらった。前者の質問に対しては、6名中5名が不要という意見であった。理由を聞いたところ、心には善悪の両面があるので、悪い心を持った場合、人間に対して危害を加える危険性があるということであった。この意見を2番目に答えた生徒が言ったため、続く生徒たちは、この意見に賛同する傾向にあった。人間の心に内在する

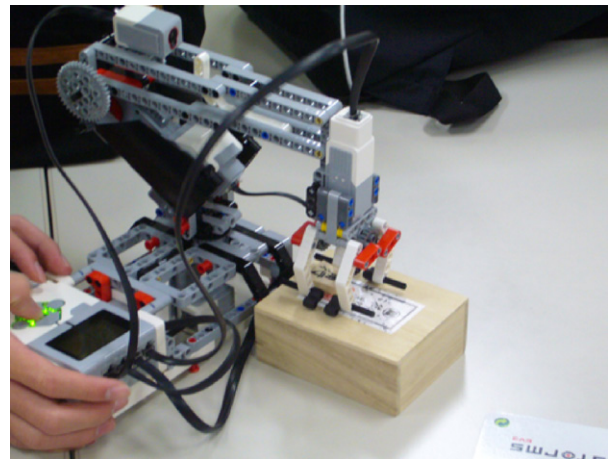


図6 構築したロボットアーム。

善悪が簡単にコントロールできないように、仮にロボットに心を持たせることが可能になったとしても、善の心のみにするのは難しいのかもしれない。一方、現在のロボットには、特許庁の第三の条件にあるように、コミュニケーション機能が求められる。仮にコミュニケーション能力を獲得できたとしても、その一方で心が不要となると、心のない状態でのコミュニケーションとなる。このようなコミュニケーションを我々は求めているのだろうか。この反論に対しては、もちろん受講生からの更なる反論はなかった。講義中にロボット三原則について触れなかったことで、人間に危害を加える可能性があるという心配を持ったのかもしれない。現状、ロボットの心は実現されていないが、様々な研究アプローチが取られている（前野, 2005）。

レゴで作る AI ロボット

時間割を入れ替えて第2講と第4講では、マインドストームズを用いてロボットアームを構築した。マインドストームズは2セット用意し、2グループに分かれて取り組んだ。構築したロボットアームを図6に示す。マインドストームズは、ロボット教材として国内外の多数の大学で活用されている。高専でも活用されているが、高校での利用は、大学や高専と比べてまだまだ低いようである。

秋田県立大学システム科学技術学部では、5セメスタに開講されている機械知能システム実験（必須科目）のひとつのテーマとして、長年に亘ってマイ

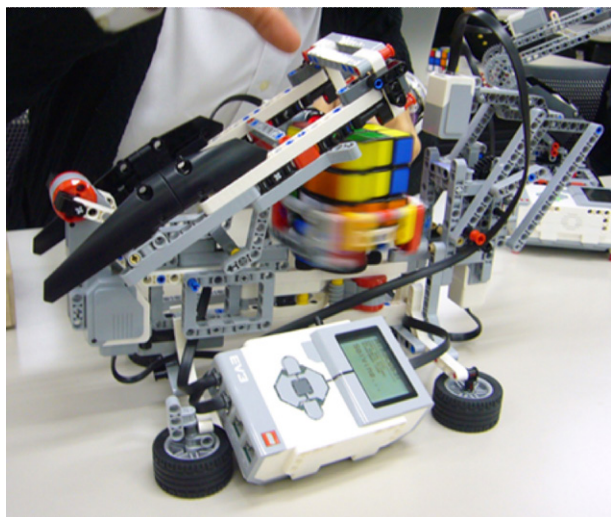


図7 ルービクキューブを解くロボットの実演。

ンドストームズを利用してきた。当該科目では、2 モータによる独立駆動方式のライントレースロボットの構築を通じて、センサ、モータ、組み込みプログラミング、リアルタイム処理と幅広い技術の習得を目的としていた。また、本学で実施している学生自主研究においても、マインドストームズによるロボットの構築には多数の取り組み事例がある。

身体性を持った知能として、ロボットの構築は、AI を実現するための手段のひとつである。このため、ロボットの構築は、AI への興味を喚起する絶好の機会と考えた。著者らは当初、ルービクキューブを解いて揃えるロボットの構築を計画していた。しかしながら機構やプログラミングが非常に複雑であるため、授業時間数との関係から実施にはハードルが高いという結論に至った。このため、本学の学生自主研究で構築したルービクキューブロボットを持ち込み、実演を実施した。

実演の様子を図 7 に示す。このロボットには、2 個のセンサと 3 個のサーボモータが使われている。センサは、キューブの色を読み取るカラーセンサと回転台に置かれたルービクキューブを検知する距離センサから構成される。サーボモータは、回転台の駆動、ルービクキューブの回転、そしてカラーセンサの移動に用いられている。カラーセンサでキューブの 6 面のパターンを読み取った後、解く手順を計算する。計算完了後、2 個のサーボモータでキューブを部分的に回転させてパターンを揃える。こ

こで、カラーセンサは点情報なので、全 54 キューブ（9 個×6 面）の色の読み取りには時間を要する。また、環境光やキューブの微妙な位置ズレの影響を受ける。本ロボットはこれまで、著者らの研究室でしか動作させたことがなかった。このためカレッジプラザの講義室では、何度もスキャンエラーが発生した。しかしながら人間がルービクキューブを解く場合と違って、一度パターンが読み取れると、最短の手順で揃えることができる。この際、メモリ上で移動させるだけなので、色パターンの再読み込みは必要としないという特長がある。

ロボットアームの構築については、ハードウェアとソフトウェアの構築に要する時間を、1 対 1 の割合に設定した。ハードウェアの構築は、レゴ社から提供されている公式組み立てマニュアルを参考にしながら、モジュールごとに分担して取り組ませた。組み立て時間に多少のばらつきはあったものの、最後にモジュール同士を結合して完成させることができた。動作不良に結びつくような組み立ての不具合や間違いはなかった。マインドストームズはマニュアルが整備されていることと、各パーツの完成度が高いことから、初めての利用者にとっても取っ掛かりが良い。なお全生徒とも、マインドストームズは初めての経験であった。

ソフトウェアの構築に関しては、プログラミング環境の関係上、順番に取り組んでもらった。またグループ全員で相談しながら、代表者がパソコンに向かってプログラムを入力するという分担で取り組んだ。構築したロボットは 3 軸のロボットアームである。将棋指しロボットを目指して、将棋の駒を掴むという動作を、モータ制御のプログラミングによって実現した。行動パターンの流れを作り、パラメータを調整しながら、把持動作を実現することができた。

授業の所感と今後に向けて

高大連携授業は、高校教育から大学教育への架け橋となっている。高校では学べないことを、早い段階で学べる絶好の機会である。一方で大学に入ってから学べることを、急いで学ぶ必要はないと著者ら

表 4 受講者アンケートの自由記述欄（本人が記載したまま表記）。

人工知能についての知識が広がり、とても勉強になりました。最初の方は難しいかなと思っていましたが、やっていくうちにとても楽しくなり、のめり込みました。またこのような機会があれば参加したいと思います。

今回は、前期同じ教授の授業が面白かったので受講しました。今回もとても面白かったです。最終日が行事と重なり、参加できなくなってしまったのがとても残念ですが、新しいことを知れてよかったです。

AIについてやロボットのことに理解することができてよかった。また別の授業を受けたいと思った。

は考えている。このためテーマを設定する際には、高校と大学を接続しつつ、長い視点で学修や研究に取り組める対象となることに配慮した。AIは将棋のプロ棋士の棋力に迫る勢いで進化している一方で、認知・認識能力という側面では3歳児以下と言われている。また学際的な分野であるため、情報科学のみならず、哲学や心理学にも興味を発展できると考えた。ただし工学系の大学教員である著者らが実施する授業なので、専門となる機械工学や電子工学へと着地できるように、ロボットアームの構築という演習課題を通じて、身体性を持った知能としてハードウェアの構築からソフトウェアの実装までを含めた実践的な授業とした。

平成26年度後期高大連携授業の受講生の募集は、2014年8月20日から9月20日までの1ヶ月間に亘って行われた。本授業には高校生8名の応募があった。学年は1年生が2人、2年生が5人、3年生が1人であった。地域別では、秋田市内の高校2校から6名、能代市内の高校2校から2名であった。会場は秋田駅前のカレッジプラザの小講義室を使った。能代市内の高校生2名は、電車や父兄の車で送迎により、遠路から受講してくれた。秋田県は全国で6番目に広い面積を持つため、秋田市以外の高校生には受講のための移動の負担が大きい。本授業は11月の毎週水曜日に、4回に分けて実施した。遠方から来る受講生への配慮を考えると、週末を利用して集中的に実施する方が望ましいようである。なお2014年に実施された54授業のうち、25授業が週末または長期休暇中に集中開催されている。実施時期についてはさらなる検討が必要であった。11月は修学旅行のシーズンである。県内の高校も、この時期に修学旅行が集中している。このため、2年生に関

しては、本授業と修学旅行が重なってしまい、欠席が目立った。高校の行事予定の情報を十分に得てから、開催時期を設定する必要があった。

本授業は4回シリーズとして実施したが、各回の授業内容の独立性を高めるように心掛けた。これにより、欠席した場合でも、その回だけで内容が十分に理解できるように配慮した。ロボットアームの構築に関しても、ハードウェアの制作とソフトウェアのプログラミングを切り分けることにより、独立性を確保した。少人数での授業であったことから、一方向の知識の伝達ではなく、気軽に会話しながら双方向で授業を進める方式を取った。今回の受講生は、コンピュータ部や科学部に所属しており、コンピュータの基本アーキテクチャやプログラミングに関しては予備となる知識を十分に持っていた。特にゲームに関して詳しい生徒がいて、目を輝かせながら熱く語っていた姿が印象的であった。なお、受講者アンケートでは、83.3%の生徒が「科目分野の関心が高まった」と回答している。関心が高まった理由としては、「志望分野と一致したから」が66.7%であった。その他としては、「奥深さを感じたから」というコメントもあった。アンケートの最後の自由記述欄には、表4に示すような感想や意見が書かれていた。講師を務めた著者らにとって、心温まるフィードバックであった。

ロボットは、機械、電子、情報を横断する総合学問である。加えて、AIによる知能化には、哲学や倫理学、心理学などの素養も求められる。今回は、知能を実現するためのプラットフォームとしてのコンピュータ技術に始まり、身体性を持った知能としてのロボットについて、著者ら独自の見解を、高校生にもわかりやすく理解できることに配慮して授業を

実施した。ロボットと心についての議論では、ロボットが心を持つことに負の印象を持っている生徒が大半を占めていた。機械工学と電子工学を専門とする著者らには予想外の反応であったが、大学の研究者として、最低限の夢は伝えたはずである。それをどのように感じるかは、個々人の心次第と思っている。

文献

- Brooks, R. (1999). *Cambrian Intelligence: The Early History of the New AI*. MIT Press.
- Campbell, M. & Hoane, A. (2002). Deep Blue. *Journal of Artificial Intelligence*, 134(1-2), 57-83.
- Capek, K. (1920). R.U.R.(Rossum's Universal Robots).
- Doya, K. (1982). What are the computations of the cerebellum, the basal ganglia, and the cerebral cortex. *Neural Networks*, 12, 961-947.
- Hinton, G. & Salakhutdinov, R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313(5786), 504-507.
- 人工知能学会編集 (2005) . 『人工知能学事典』. 共立出版.
- 勝野頼彦 (2004) . 『高大連携とは何か～高校教育から見た現状・課題・展望～』. 学事出版.
- 小高知宏 (2006) . 『はじめての AI プログラミング～C 言語で作る人工知能と人工無能～』. オーム社.
- Le, Q., Ranzato, M., Monga, R., Devin, M., Chen, K., Corrado, G., Dean, J., & Ng, A., (2012). Building High-level Features Using Large Scale Unsupervised Learning. *International Conference in Machine Learning*.
- 前野隆司 (2005) . 「ロボットの心の作り方～受動意識仮説に基づく基本概念の提案～」『日本ロボット学会誌』 23(1), 51-62.
- 間所洋和, 寺田裕樹 (2014) . 「拡張現実技術の最先端と秋田での活用案: 新しい情報のかたち」『秋田県立大学ウェブジャーナル A (地域貢献部門)』 1, 19-32.
- 松尾豊 (2013) . 「レクチャーシリーズ「AI とは」にあたって」『人工知能学会誌』 . 28(1), 138.
- McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., & Shannon, C. (2006). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence: August 31, 1955, *AI Magazine*, 27(4), 12-14.
- Minsky, M. (1988), *Society Of Mind*, Simon & Schuster.
- 高階悟 (2014). 「英語の高大連携授業への挑戦」『秋田県立大学総合科学研究彙報』 15, 63-69.
- 谷口忠大 (2014) . 『イラストで学ぶ人工知能概論』, 講談社.
- Turing, A. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. *Mind*, 49, 433-460.
- Uchida, S. (1982). Toward a New Generation Computer Architecture. *ICOT Journal*, TR0001.
- 米長邦雄 (2012) . 『われ敗れたり～コンピュータ棋戦のすべてを語る～』. 中央公論新社.
- 平成 26 年 11 月 30 日受付

平成 27 年 1 月 7 日受理

A Practical Lecture on Artificial Intelligence for High School Students

A Tale of Artificial Intelligence as a Joint Lecture between High schools and Universities

H. Madokoro¹, Y. Terata²

¹ *Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

² *Department of Electronics and Information Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

This paper presents a case lecture for high school students on artificial intelligence that includes machine learning and intelligent robotics as our research target. The computer has evolved from a calculation machine to a thinking machine. It is a symbolic fact that shogi software won professional players. Cleaning and pet robot applications indicate that artificial intelligence is accepted by our society as matured technology. We have held a lecture on artificial intelligence for high school students as a joint education program between high schools and universities. Furthermore, we have practiced a lesson to build a robot arm using Mindstorms by LEGO.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, robots, mind, LEGO Mindstorms