

体験型学習「ロボットを動かそう」で実現できるユニークな取り組み

―「情報」教員養成のための論理的思考力トレーニング―

吉川伸一、名古屋経済大学 経営学部 教授
柴田良一¹⁾、中西昌武²⁾、矢野良太³⁾、^{1), 2)} 名古屋経済大学 経営学部 教授
³⁾ 名古屋経済大学 経営学部 准教授

要旨：名古屋経済大学では2016年度から体験型学習「ロボットを動かそう」という授業を展開している。教育用ロボットを動作させるためのプログラミング・ソフト“LEGO MINDSTORM EV3”を使用して、受講する学生にプログラミングを学ばせ、作成したプログラムによりロボットに動作させている。基礎的なプログラミングから応用的なプログラミングの経験を通して、論理的思考力やプログラミング能力を養成している。この授業を展開していく中で、その経験を土台にして本学における「情報」教員の養成を目指している。

1 はじめに

体験型学習「ロボットを動かそう」は2016年度からスタートし、2017年度でまだ2回目である。名古屋経済大学社会学系3学部（経済学部、経営学部、法学部）で展開する体験型学習「ロボットを動かそう」を受講する学生は全員で6名、内訳は日本人学生4名、留学生2名となった。担当教員2名に加え、ティーチング・アシスタント1名で行っている。

ロボットを動作させるための学習として、LEGO MINDSTORM EV3（以下、EV3と略す）というソフトを使用する。これはアメリカのマサチューセッツ工科大学（MIT: Massachusetts Institute of Technology）とLEGO社が共同で開発した教育用ロボットを動作させるためのプログラミング・ソフトである。その目的は論理的思考力の養成である。企業における社員の研修用としてもよく使われている。また、大学での情報教育推進のためのプログラムとしても活用されている¹⁾。これは、

- ・EV3 ソフトウェア プログラミングガイド（ロボットの作成やプログラムなどの解説書）
- ・ロボット本体（2体）
- ・ロボットを作成するための細かい部品群（基本セットと拡張セット、いずれもプラスチック製でこれも2セット）
- ・教育用EV3 ソフトウェア

の4点で構成される製品である。

EV3で学習するプログラムにより、学生は興味を持って面白く、積極的かつ真剣に学ぶことができると思われる。本プログラムを通じた学習により、彼らの今後の論理力やプログラミング能力の飛躍的な向上につながることを期待している。

論理力及びプログラミング能力の向上に力を入れていることには理由がある。それは本学において、情報社会を生きる素養となる社会科学を土台に持つ「情報」教員の養成を目的のひとつとしているからである。「情報」教員の養成とは、膨大な知識を活用して体系化し、複眼的な視点に立って旺盛なる探究心を持った学びを実現し、情報を活用し科学的に分析する情報活用能力を身に着けさせることであろう。より具体的には、基本的なコンピュータの操作技術を習得すること、情報を効率的に処理するためのプログラム作成のための論理的思考力を磨くことは、現代の情報化社会を生きる上で必要とされている。これらの技能を身に着けるにあたり、高等学校など教育の現場でも、

夏休みなどの集中講義としてプログラミング学習の実施が盛んに行われているようである。

さらに今、次世代をリードする技術のひとつとして人工知能（AI: Artificial Intelligence）が非常に注目されている。AI 技術の重要性を意識して先進的な IT 企業がその研究に力を注いでいる^{2,3}。今後、公共分野においてもビッグデータとの関連から AI の重要性は更に増して来るであろう⁴。その礎とも言える今回の学習は、時代の最先端を見据えた有意義な取り組みである。

2 「ロボットを動かそう」で期待できる効果及び使用ソフト「EV3」について

体験型学習「ロボットを動かそう」の受講を通して、以下のような学習効果が期待できる。

●知識・理解の領域

「ロボット」がどのようなものか理解する。センサーの働きを理解する。プログラムの構造を理解する。

●思考判断の領域

センサーとプログラム、そして動力（モーター）との関係、アルゴリズムからプログラムへ展開する。

●関心意欲の領域

新たな「ロボット」を組み立てる。「ロボット」の新たな動きを考える。

●態度・志向性の領域

「ロボット」について自発的に調査・考察する。プログラムに注視し、特に AI について自発的に調査・考察する。

●技能の領域

より高度な動きを実現するアルゴリズムを考える。アルゴリズムをプログラミングする技能を身に付ける。

●体験・探究の領域

「ロボット」を自ら動かすことによって新たな探究のきっかけをつかむ。

なお、これらの学習効果は本学における授業シラバスからの引用である。

「ロボット」と言っても、様々なタイプのロボットがある。代表的かつ人気モデルとして、筆者がすぐ思いつくロボットとして「鉄人 28 号」「鉄腕アトム」「ガンダム」の 3 つがあげられる。

鉄人 28 号はラジコン型、アトムは自律型、ガンダムはモビルスーツ型である。本授業において学生が共同作成するのは、自律型ロボットである。

ロボットの作成は、難しいイメージが先行するかもしれない。しかし、EV3 という学習用ソフトウェアを教室のパーソナル・コンピュータ（以下 PC と表現）にインストールしておくと、学生への教育も非常に簡単になる。これを起動させると「Lobby（ロビー）」と呼ばれるメインメニュー画面が表示され、メニューの中のひとつ「ロボット・エデュケーター」を選択すると、

- ・ロボットの組み立て方（基本、応用）
- ・ロボットに実際に動作させたときの動画
- ・ロボットを動かすためのプログラム作成手順

などが用意されている⁵。ロボットに行わせるプログラムはいくつも用意されているが、いずれも 10 ステップから 50 ステップ程度で構成されている。これに従って組み立てていけばよい。その途中の段階でわずかに設定を変更することで、ロボットに異なる動作をさせることもできる。したがって、何らかのプログラム言語（C 言語など）を用意して複雑なプログラムを自分で作る必要はない。

ロボットを構成するプラスチック製の部品は何種類もあり、トレイ上に配置されている。形状が

似ていて大きさが異なる部品があるが、この場合も間違えることのないように、各部品の実物大写真が掲載されたボードが用意されている。それと部品を照らし合わせて部品を選べば付け間違えることはないから、非常に親切である。

プログラム作成が完成すれば、PC とロボットを専用のコネクタ・ケーブルで接続する。そしてロボットにプログラムをダウンロードして記憶させる。正常にダウンロードできた場合には、ロボットの方で自動的に音が鳴る仕組みになっている。後は実際に動かしてみればよい。

ロボットは2体用意されている。授業の第1回目では、6名の受講学生を3名ずつの2グループに分割した。メインメニュー画面内にある「組み立てガイド」を閲覧しながら、学生たちにロボットの組み立てを体験させた。



写真1 ロボットを組み立てている様子（出所：筆者撮影）



写真2 完成したロボット（出所：筆者撮影）

3 「EV3」に用意されている基本プログラムで学習

ロボットの組み立てが完成すれば、次は、単純な動作のプログラム作成となる。動作の基本中の基本として「直進」を行わせた（より具体的には「音を鳴らしてから3秒前進して止まる」）。

EV3 ソフトウェア内の「ロボット・エデュケーター」→「基本プログラム」→「直線運動」→「プロジェクト・プロパティ」→「プログラミング・パレット」と進んでいくと、プログラミング・ブロックが種類別にまとめられている。プログラミング・ブロックをマウスでプログラミング・キャ

ンバスヘドラッグして、いくつかのブロックを連結させることでプログラムを作成できる。もし思い通りにロボットが動かない場合には、その動き方をしっかり観察して、プログラムを修正する、あるいはロボットの形を変更することになる。

ロボットの組み立ては、あらかじめインストールされている組み立て手順を見ながらロボットを作成する。これは、筆者が子供のころよく作成したプラモデルの感覚によく似ている。これも、付属の設計図面をよく見て、その手順通りに進めていけば必ず完成したはずである。学生たちも、作成するときの表情は真剣そのものであり、完成したときの喜びは大きかった。

ロボットの完成後、次はロボットを動かすためのプログラム作成に移った。基本動作として前後に移動する直線運動、曲線運動などを実行するプログラムを作成した。これを実際にロボット内にダウンロードして思いの通り動作させることができた。

基本動作はあらかじめプログラミング・ガイドに記載されているから、その通り実行すればよい。学生たちに学ばせる必要があるのは応用的な動作である。ここで自発的に考察し、アルゴリズムをプログラミングする能力が必要となる。そこで、右または左に大きく旋回するプログラム、S字を描くように動かすプログラムを作成させた。このプログラムは何回でも修正ができ、また何回でもロボット本体にダウンロードできる。試行錯誤を繰り返しながら、プログラム作成を試みた。

ひとつのグループが先に大旋回またはS字を描く動作に成功すると、もうひとつのグループもそれに負けないために俄然意欲的になっていたのが印象的であった。

4 より複雑なプログラムの学習

ロボットに少しずつ複雑な動作をさせるためのプログラムを学生と共に考えた。

ロボットには付属のセンサーがある。これをロボットに取り付けることにより、色や障害物を感知させるプログラムを構築することができる。また、ロボットを動作させるプログラムは、基本的にいくつかのプログラミング・ブロックを組み合わせればよい。プログラミング・ブロック内で指定した角度（60°、90° など）だけ回転させることも可能である。

まずは色センサーを取り付け、黒いラインを感知させて停止するという動作である。模造紙を用意し、長さ 50cm、幅 1cm 程度の黒いラインを描いた。そこで、「90° あるいは 180° 回転させて、少しだけ前進、黒ラインを感知してストップ」させるプログラム、さらに応用として「20cm ほど前進、黒ラインを感知してストップ」させるプログラムを考えさせた。

指定した角度だけ回転させるプログラムを学ばせた後で、ロボットの動作が正三角形を描くプログラム、正方形を描くプログラム、星形を描くプログラムを考えさせた。

正三角形では、どれだけの角度だけ回転させるかがポイントとなる。ここでも、回転させる角度（120°）を教員から一方的に与えるのではなく、学生に考察する時間を与えた。しばらくして「正三角形はひとつの内角が 60° だから、その外角つまり 120° だけ回転する必要がある。」という結論を何とか導き出すことができた。後は、正三角形の一辺の長さとして例えば 1m と決めれば、

スタート→1m 直進→120° 回転→1m 直進→120° 回転→1m 直進→ストップ

という動作となる。ここで気を付けなければならないのは、「正三角形を描くならば 120° 回転が 3 回必要」ではなく、「正三角形を描くならば 120° 回転が 2 回必要」となることである。スタートの位置に戻ってくればよいのであるから、3 回目の 120° 回転は必要ない。

同様に、一辺が 1m の正方形では、

スタート→1m 直進→90° 回転→1m 直進→90° 回転→1m 直進→90° 回転→1m 直進→ストップ

という動作を行わせるプログラムとなる。これで理論上はスタート地点に戻ってくる。

星形を描かせるプログラムが、ここでは最も困難であった。中学生レベルの平面図形に関する知識も必要となる。星形の中心には正五角形が存在し、その五辺の周りには二等辺三角形が付いている。正 n 角形の内角の和は、 $180^\circ \times (n-2)$ で与えられる。正五角形の場合は 540° 、ひとつの内角は 108° である。このとき、 $180^\circ - 108^\circ = 72^\circ$ が二等辺三角形の底角の大きさ、残りの内角は $180^\circ - 72^\circ \times 2 = 36^\circ$ 。ここまで学生を導くのに一苦労であったが、外角となる 144° 回転させれば星形を描くことが可能である。

ただし、これらはあくまで理論上の話である。プログラムを組んでロボットに実際に動作させてみると、思った通りには動作しないことが分かった。つまり、正三角形の場合でも、理論上は 120° であるが、回転の勢いがよすぎると 120° よりも深く回転してしまうのである。これは、我々担当教員にとっても想定外の出来事であった。そこで、回転の速度を遅くする、あるいは回転角の設定を 120° より少し浅くして 100° にするなどの工夫を試みた。 120° から 20° 差し引いて 100° というのは、EV3 のプログラミング・ガイドにも書かれていない。つまり、勘に頼って試行錯誤で行うしかない。ロボットは与えられたプログラムを忠実に処理するだけであり、融通が利かないのである。ここで我々人間の勘や経験が必要となる。正確な正三角形、正方形、星形を描かせるために、最も柔軟に対処できる人間の知恵や工夫がときには必要となることが分かった。

5 「EV3」による応用プログラム「マルチタスク」「ランダム」「範囲」の学習

いよいよ応用プログラムへの取り組みを開始することとなった。EV3 に用意されているプログラミング・パレットの中から「応用」を選択すると、マルチタスク、ループ、スイッチなど約 20 種類の応用的なプログラムが用意されている。これらについて、どのような動作ができるのかひと通り軽く説明をした。

まずは「マルチタスク」である。これは、基礎プログラムでの「前進」「回転」「停止」「カラーセンサー」「音」などの基本的な動作から 2 つ任意に選択して、それらの動作をロボットに同時に与えることができる。例えば、ロボットが何らかの音を出しながら前進する、というようなことが可能である。これをロボットに動作させるためには、プログラミング・ブロックをパラレル（並列）に組み込む必要がある。EV3 には 2 つ以上のブロックをパラレルに置くための専用ブロックも用意されている。その中に、例えば「前進」と「音」のブロックを配置するだけでよい。ただし、このようなブロックの置き方は学生にとって初めてなので、教員機を使って丁寧に説明した。

前述した通り、本ロボットは前進の速度が調節できる。速度が速すぎると学生の足元や椅子の足元にぶつかる可能性もあるので、「スローな速度が望ましい」とのアドバイスを与えた。

次の取り組みは「ループ」である。これはロボットに同じ動作を繰り返し行わせるためのプログラムである。同じ動作は、ひとつのプログラミング・ブロックを繰り返し配置してもよいが、それではブロックの数が多くなる。そこで「ループ」ブロックの登場である。このブロックの中に例えば「前進」「回転」などのブロックを置けばよい。

但し、ループブロックを使うと効率が良いとはいえず、この段階でのプログラムはやや複雑になってくる。作成するプログラムは示されているが、組み合わせるブロック数が多く、しかもプログラムの一部でパラレルに構成する必要もある。学生たちはブロックの置き方に注意しながら、プログラムを慎重に組み立てていた。

ロボットに与えた動作は、障害物センサーを取り付け、

ゆっくりと 20cm 前進 → 障害物に軽くぶつかる → 停止 → 後ろ向きにまっすぐ後退
→ 再びゆっくりと 20cm 前進 → 障害物に軽くぶつかる → 停止 → …(以下繰り返し)

である。この動作も人間の勘や経験が必要であった。障害物センサーと障害物（キューボイド）とのぶつかり方が軽すぎると停止しないこともあり、速度などの微妙な調整を施す必要があった。

次に「ランダム」を学ばせた。EV3 には「サイコロ」も用意されている。ただし、本物のサイコロを振るのではなく、ここではプログラムにより -70 から 70 までの整数値をランダムに発生させることができるのである。無論、発生させた整数値はモーターなどの動作に利用できる。偶然発生した値を、そのままパワーの動作の強弱に設定するのだ。ただし、前回学んだループの中で、無限に動作させるプログラムに持っていくと、ロボットは停止しなくなる。そこで、タッチセンサーを取り付け、これに人の指先が軽くタッチされたら停止するプログラムを作成させた。

整数値をランダムに発生させる以外に、「範囲」で設定することも可能である。例えば、センサーが、ある障害物との距離が「10cm 以上 20cm 以下」という範囲ならば、モーターパワーをある値に設定して前進させる、などである。この範囲外ならば、停止したままになる。

この動作プログラムは非常に重要であり、応用できる分野も広いと言える。現在、自動車業界で注目されている「自動運転」に応用できるからだ。すなわち、もしも前方の自動車と 2m 以上離れているならば前進し、2m に満たない場合には停止したまま（前方の自動車に衝突しない）、のように制御できる。

6 「EV3」による応用プログラム「ロジック」「配列」の学習

ロボットに与えるプログラムも益々複雑になってきた。応用プログラムの中に「ロジック」というプログラムがある。これは、数学の集合論でもよく見られる「AND（かつ）」「OR（または）」を実行するプログラムである。例えば、2つの条件として「ロボットと、ある物体との距離が 6cm 以上 25cm 以下」と「黒い線を検知する」を設定したとする。「AND」でこの2つを結び付けると、これら2つとも満たしていれば、「与えられたある動作をこなさい」ということになる。「OR」で結び付けたならば、これら2つのうちどちらかを満たしていればある動作を実行することになる（「OR」のときは両方満たしていても実行される）。

プログラム自体は、プログラミング・ブロックを組み込めばよいだけなので簡単に構築できる。少し厄介なのは、学生に意味を理解させることである。はじめに「AND」で結びつく場合を実行させた。距離が明らかに 6cm 以上 25cm 以下（このときは 15cm）であるのに、なぜ停止しないのか。それは、もうひとつの、センサーによる「黒い線を検知する」が満たされていないからである。ここで、距離が 15cm 辺りに黒線を描いた紙を置くと、今度は停止した。この動作により、ようやく「AND」の意味が理解できたようであった。

続いて、「AND」を「OR」に変更した。こちらは、先に挙げた2つのうち、どちらか一方を満たしていればロボットは停止する。黒線が無くても、15cm ならば停止する。6cm 以上 25cm 以下でなくても（このときは 40cm）、黒線を検知すれば停止する。ただし、学生によっては、2つの条件が共に満たされた場合でもロボットが停止したことに疑問を抱いていた。これは、ベン図を描けばすぐに理解できる。「OR」のときはベン図の共通部分（「AND」の部分）も含まれるのである。しかしながら、2つの条件のうち「どちらか一方のみ満たされたとき実行され、両方満たされたときは「AND」となるから実行されない」と勘違いしている学生がいたので、理解させるのに苦労した。

さて、応用プログラムとして「配列」を学ぶ。ここでは、これまでに学習した色センサーやスイッチも導入する。これで何ができるのかというと、分かりやすく言えば

- (1) いくつかのデータをあらかじめ記憶させておく
 - (2) 色センサーまたはタッチセンサーを取り付け、ロボットに感知させる
 - (3) 感知した色または接触と、先に記憶させたデータとを結び付けてロボットに何らかの動作をさせる
- という内容になる。ここでは、まず

センサーが青を感知 → 右に 90° 回転

センサーが緑を感知 → まっすぐ 50cm 前進

センサーが黄色を感知 → 左に 90° 回転

と決めた。これらをスイッチ内で並列にプログラミング・ブロックでプログラムを作成した。

これらの準備を経て、ロボットに動作させる。キューボイドには青、緑、黄色のミニブロックが付いているので、センサーからそれら 3 色を認識させる作業が必要である。その終了後、学生が 3 色の中から任意に色を選択し、ロボットのセンサーに近づけた。青を感知させれば「右に 90° 回転」、緑ならば「まっすぐ 50cm 前進」となった。作成したプログラムが正しいことを証明できた。

以前、正方形を描くプログラムを実行した。応用として、同じ正方形を描かせるプログラムである。ただし、今回は「色の感知」が必要である。「まっすぐ 50cm 前進 → 右に 90° 回転」を 1 セットとしてこれを 3 回繰り返す、最後は「まっすぐ 50cm 前進」で停止となる。

ここで学習した内容は、「ロボットの認識→行動」となるから重要である。すなわち、ロボットにセンサーが取り付けられていれば、取り巻く環境の状況を的確に認識し、それに合わせて動作していることになるからである。前に存在する物体との距離や色だけでなく、温度の高低、光の強弱などを認識させることも可能である。これが自動車の自動運転に応用されているのは明らかであろう。

7 サブルーチンとメインルーチンの学習

これまでに、ロボットを動作させるための基本プログラム及び応用プログラムを一通り学んできた。今回からは、学んだプログラムを総動員する練習である。

数値計算を行わせる Fortran や C 言語でも「メインルーチン（メインプログラム）」、「サブルーチン」という概念がある。「サブルーチン」とは「メインルーチン」から呼び出される独立した処理手順のことで、これを使えば同様の処理手順を繰り返し記述する必要がなく、プログラムを短く（構造が分かりやすく）することができる。

第 4 章にて、ロボットの動く軌跡が三角形あるいは正方形になるようなプログラムの学習を説明した。それを基礎としながらプログラムに一般性を持たせるということで、「サブルーチン」を理解してから n 角形（ n は正の整数）を描かせるプログラムの開発を試みた。

まずは数学における平面図形の基礎的な知識をおさらいすることから始めた。 n 角形の内角の総和を求める公式は $180^\circ \times (n-2)$ で与えられる。ひとつの内角の大きさは $180^\circ - 360^\circ / n$ により与えられる。したがって、曲がる角の大きさは容易に

$$180^\circ - (180^\circ - 360^\circ / n) = 360^\circ / n$$

と求めることができる。例えば、五角形ならば $360^\circ / 5 = 72^\circ$ 曲がればよいことになる。

このようなプログラムを作成させる作業に入った。「メインルーチン」と「サブルーチン」とに分割されるので、こうなると PC の画面上で 2 つのプログラミング・パレットを開く必要がある。取り組む学生は、この作業に戸惑いを見せた。彼らが迷走しないように、「今、自分がプログラム

のどの部分を作ろうとしているのか、それをしっかり理解しながら作るようにしなさい。」とアドバイスした。

制作したサブルーチンとメインルーチンの関係を図1に示す。

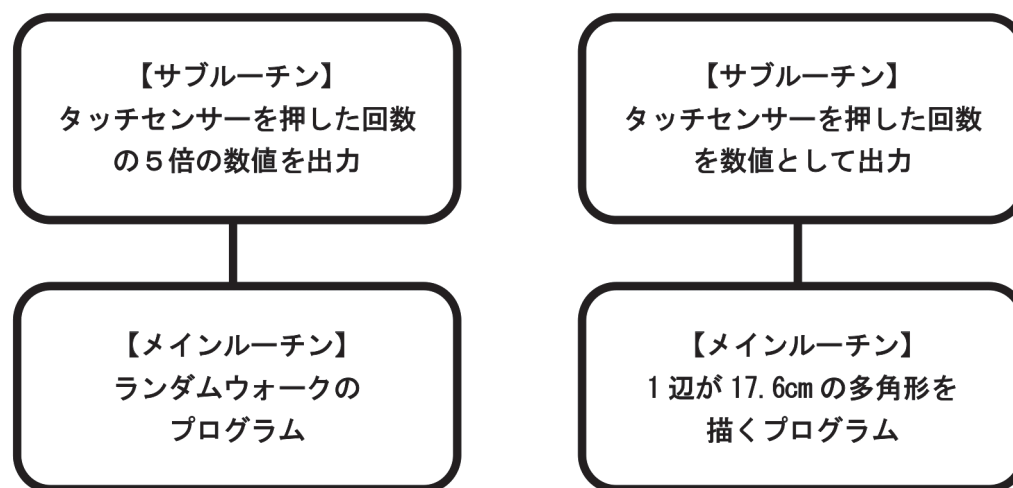


図1 サブルーチンとメインルーチンのプログラム

(出所：5.『教育版 EV3 ソフトウェア プログラミングガイド』を基に筆者作成)

指導する教員らも数回の失敗を経験しながらプログラムは完成した。実際にロボットに動作させる時が来た。三角形から始め、次いで正方形、五角形・・・と順にnを増やしていった。ただし、曲がるときの動作が強すぎると与えた角度よりも大きく曲がるのが以前の学習で分かっていたので、曲がるときのパワーは低く抑えるようにした。

nを自由に与える（ここでのnは、ロボットのタッチセンサーを5秒間内にタッチする回数）ことで六角形でも十角形でも自在に操ることができるプログラムに、学生たちも興奮を抑えきれなかったようである。

「サブルーチン」を知らなくても、n角形を描かせるプログラムは作成できる。ただし、その場合「 $360^\circ / n$ 曲がる→○ cm 前進する」というプログラムを繰り返し書く必要があり、プログラム自体が非常に長くなる。EV3 のプログラミング・キャンパスの広さも限界があり、冗長なプログラムは書きにくくなる。「サブルーチン」という概念を理解することにより、より効率的なプログラムの作成能力を習得できる。ひとつのプログラミング・ソフトを学ぶことが、他のプログラミング・ソフトの習得を容易にすることは言うまでもない。

8 おわりに

今回の体験型学習「ロボットを動かそう」では、「ロボットの組み立て」、EV3 に用意されている「基本プログラム」、「やや複雑なプログラム」、「受講した学生たちが考案したプログラム」などを担当教員及び学生たちが共に助け合いながら学ぶ、非常に有意義な教育を展開することができた。

名古屋経済大学では社会学系3学部（経済学部、経営学部、法学部）を有するが、この授業では学部間の垣根を越え、かつ日本人学生と留学生の区別なく共に和気藹々とロボットを学ぶことができた。

インターネットを含む情報技術（IT: Information Technology）の普及が急速に進み、社会の情報化が益々進む中で、情報教育は今後さらに重要になっていくことが考えられる。そうした背景

の下、本学における EV3 を用いた「情報」教員養成のための論理的思考力トレーニングは教職を目指す学生にとって大いに有益な教材となるであろう。特に高等学校教員免許状「情報」の教科専門科目、とりわけ「コンピュータ及び情報処理」、「情報システム」の科目区分において、学生が身につけた技能を生かし有益に活用できる教材となることが期待できる。

EV3 で学習したプログラムにより、学生は興味を持って面白く、積極的かつ真剣に学ぶことができたと思われる。成果という観点から見れば、彼らの論理力も初期と比較すれば大きく向上したと思われる。今回の学習で得たことが、彼らの今後の論理力・プログラミング能力のさらなる発展につながることを期待している。

参考文献

1. 花沢明俊、「LEGO Mindstorms EV3 グラフィックプログラミング」、(九州工業大学、2016 年 5 月)
(<http://www.mns.kyutech.ac.jp/~hanazawa/education/downloads/files/EV3GraphicPrograming.pdf>、2017 年 5 月 23 日閲覧)。
2. 富士通株式会社の Web サイト、「情報を活用する AI・ビッグデータ」(<http://www.fujitsu.com/jp/group/fst/business/ai-bigdata-iot-communication/ai-bigdata.html>、2017 年 9 月 1 日閲覧)。
3. 日立株式会社の Web サイト、「ビッグデータ×AI (人工知能)」、
(<http://www.hitachi.co.jp/products/it/bigdata/article/index.html>、2017 年 10 月 12 日閲覧)。
4. 総務省情報通信国際戦略局情報通信経済室の Web サイト、「平成 27 年度 公共分野における『IoT・ビッグデータ・人工知能 (AI)』の利活用の現況等に関する調査研究報告書 (2016 年 3 月)」(http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h28_07_houkoku.pdf、2017 年 10 月 12 日閲覧)。
5. 株式会社アフレル、「教育版 EV3 ソフトウェア プログラミングガイド」、2013 年 8 月、pp. 8-15。

