

ジェスチャーによるプログラム作成過程の分析と学校教育への応用

教育実践力高度化コース

17AD007

菅原 悠平

【指導教員】 上園 竜之介 山本 利一

【キーワード】 プログラミング的思考 レゴ®マインドストーム®EV3 Kinect KIFEN ジェスチャー

1. はじめに

平成30年6月に閣議決定された「世界最先端デジタル国家創造宣言」では、“国民全体のITレベル底上げのため、小・中・高等学校でのプログラミング教育の充実” (p.26) を図ることが重要と述べられている。また、今後のAI時代に向けて、“国民全体がAIに関わることとなるため、AIをより正確に理解し活用できるための、基礎学力、課題設定力、コミュニケーション力などの基礎力（情報リテラシー）の醸成が重要である” (p.27) とも述べられている。

日本に限らず、先進諸外国においても、プログラミング教育を初等教育から導入しようとする動きが見られている。たとえば、英国（イングランド）では、平成26年から、「Computing」という新たな教科を小・中・高等学校までの系統的な教科として、初等教育段階からプログラミングを教育内容として取り入れている（大日本印刷, 2014）。また、海外では、コンピュータサイエンスアンブラグド（以下、アンブラグド）という、コンピュータを使わずに体験的に情報科学を学ぶ手法も存在する（Bell, 2015）。アンブラグドでは、“自分の手を動かしながら理解することで、情報科学の代表的な内容を、小学生以上の生徒が興味をもって意欲的に学習することが可能である”（兼宗ほか, 2007）。

我が国では、“プログラミング教育とは、子供たちに、コンピュータに意図した処理を行うよう指示することができるということを体験させながら、将来どのような職業に就くとしても、時代を超えて普遍的に求められる力としての「プログラミング的思考」などを育むことであり、コーディングを覚えることが目的ではない”（文部科学省, 2016）とされている。そして、平成29年3月に公示された小学校学習指導要領には、第1章総則の第3の1の(3)に、“児童がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動”を各教科等の特質に応じて、計画的に実施することが述べられている（p.8）。

小学生対象のプログラミングを取り入れた指導事例として、たとえば、プログラミング言語のScratchとそれらの制御対象物であるレゴエデュケーション WeDo を活用した指導事例がある（山本ほか, 2014）。同事例から、適切な教材を選択することで、小学生が、限られた時間でも一定の知識と技能の習得が可能であることが示されている。一方で、“これらの学習が嫌いである児童への対応や、プログラムに関する専門用語の説明などは、今後検討していく必要が

ある” (p.28) とされている。そこで、本研究では、プログラミングの専門的な知識や技能を持ちえない児童・生徒を対象に、プログラミング教育を推進する一助となる手立てを検討することとした。

2. ジェスチャーによるプログラム作成

本研究では、ソフトウェア Kinect Integration For EV3/NXT（以下、KIFEN）、レゴ®マインドストーム®EV3（以下、EV3）そして Kinect を使用した、ジェスチャーによるプログラム作成を研究課題として掲げた。KIFEN を使用して、EV3 と Kinect を連動（図1）することで、ジェスチャーによりレゴで製作したロボットの回転、前進・後退、停止といった基本的な動作のプログラムを作成することが可能となる。つまり、児童・生徒が、目的通りにロボットを動かすためのプログラムをジェスチャーにより表現し、実際のロボットの動きから、プログラム（ジェスチャー）の妥当性を判断することができる。

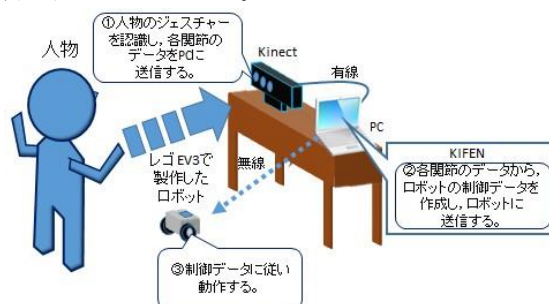


図1 “KIFENによるレゴEV3とKinectの連動”
(並木ほか, 2018b, p.433)

本稿の目的は、プログラミング的思考の育成に向けて、たとえば、小学校の総合的な学習の時間等を想定し、ジェスチャーによるプログラム作成を取り入れた指導の可能性について考察することである。方法は、まず、中学校第1学年の生徒を対象としたジェスチャーによるプログラム作成を取り入れた授業を事例として、[問題]（並木ほか, 2018）に取り組んだ生徒のジェスチャーを時系列に沿って分析する。次に、筆者が、EV3によるプログラム作成を行い、作成したプログラムを時系列に沿って分析する。分析に際し、山本ほか（2004）によるプログラムの分析の手続きを参考にし、分析結果をもとに、ジェスチャーによるプログラム作成を取り入れた指導（たとえば、総合的な学習の時間等）の可能性を考察する。

3. 授業で使用する機器

(1) EV3

EV3 には、各種センサーやモーター、タイヤ等のパーツ (図2) が用意されている。



図2 各種センサーやモーター (左) と
タイヤ等のパーツ (右)

それらをインテリジェントブロック (図3) に取り付けることで、ロボットを製作することができる。また、製作したロボットのパーツを変更することもできる。



図3 インテリジェントブロック

(2) Kinect

Kinect は、各種センサー (図4) により、センサーの視野角 (垂直43度, 水平57度) および有効距離 (800mm~4000mm) の範囲にいる人物の全身20箇所の関節 (「Skeleton」) をリアルタイムで認識することができる (図5)。また、Kinect の「Skeleton」の座標系 (図6) における各関節の空間座標の値 (x 座標, y 座標, z 座標の値) を取得することもできる。

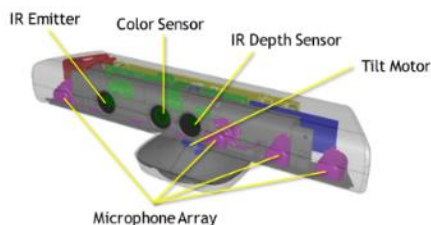


図4 Kinect の各種センサー
(Microsoft, 2018a)

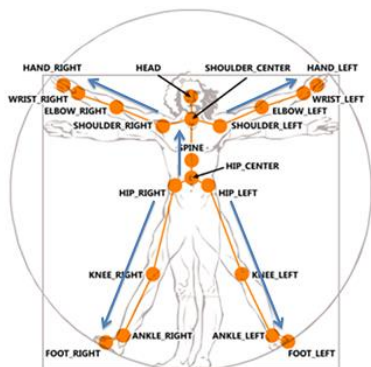


図5 Kinect が認識できる全身20箇所の関節
(Microsoft, 2018b)

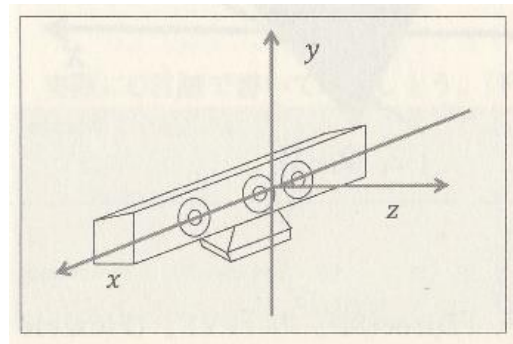


図6 「Skeleton」の座標系
(杉浦・岩崎, 2012, p.117)

(3) KIFEN

KIFEN は、Kinect が取得した右手/左手の関節と右肘/左肘の関節の高さ (y 座標の値) の差をもとに、ロボットに対してプログラムを組み込むことができる。

(4) EV3で製作したロボット

EV3 で製作したロボットは、KIFEN により組み込まれたプログラムに従って動作する。本稿では、インテリジェントブロックの両側にタイヤ付きのモーターを取り付けたロボットを取り上げる (図7)。



図7 本稿で取り上げるロボット (菅原, 2018, p.29)

EV3 で製作したロボットは、制御データに従って、モーターが回転し、床の上で回転、前進・後退、停止することができる。

なお、このロボットは、EV3 により左右独立駆動型の車輪機構を再現している (図8)。左右独立駆動型は、車体の左右に取り付けたモーターの速度を別々に制御することができるようにしたものである。

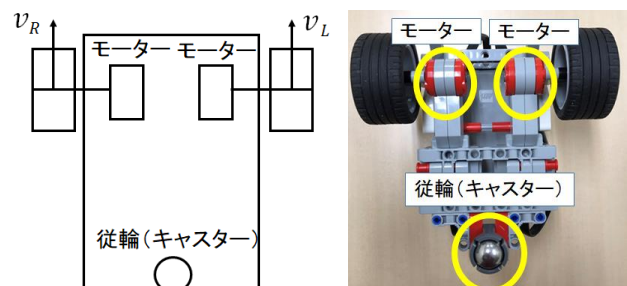


図8 左右独立駆動型の車輪機構 (左) と
EV3 による左右独立駆動型の車輪機構の再現 (右)

4. 中学生対象の授業の概要

筆者は、2018（平成30）年9月28日（木）に埼玉県内公立中学校第1学年の生徒31名（男子15名、女子16名、1グループ4～5名の7グループ）を対象としてジェスチャーによるプログラム作成を取り入れた授業を実施した。授業のねらいは、「ジェスチャーにより、時間経過に伴う、ロボットの動く速さの変化や動きの変化を表現し、目的となるロボットの動きを表現することができる。」である。授業時間は、50分×2コマである。指導者は、筆者が担当した。また、大学院生および大学生7名が、授業の補助を担当した。

授業では、まず、指導者が、補助の学生と協力してKIFENを操作し、ジェスチャーによるプログラム作成のデモンストレーションを行う。生徒たちは、デモンストレーションを見て、KIFENの操作方法およびジェスチャーとロボットの動きの対応を確認する（表1）。

次に、生徒らが、グループごとに「ジェスチャーを行う人」「KIFENを操作する人」に役割分担し、以下のジェスチャーによるプログラム作成の[Exercise]を行う。

[Exercise]

腕を上げたり下げたりするジェスチャーを行い、次のようにロボットを操作（プログラミング）しましょう。

（操作a）ロボットを30cm直進させた後、まっすぐに後退させて、元の位置に戻る。

（操作b）ロボットをその場で右に90度回転させた後、左に90度回転させて元の向きに戻る（図9）。

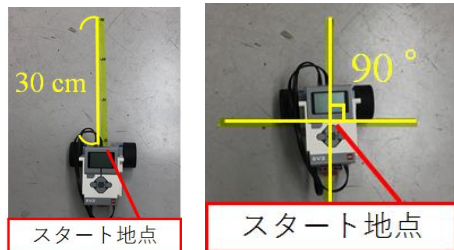


図9（操作a）（左）と（操作b）（右）におけるスタート地点に置かれたロボット（並木ほか、2018a）

次に、生徒らは、グループごとに「ジェスチャーを行う人」「KIFENを操作する人」「時間を計る人」「ジェスチャーを撮影する人」に役割分担し、以下の[問題]（並木ほか、2018a）に取り組む。

[問題]

ロボットの前方50cm先に障害物Aがあります。腕を上げたり下げたりするジェスチャーを行い、障害物Aに触れないように、30秒で、次のようにロボットを操作（プログラミング）しましょう。なお、ロボットのパーツを組み替えてもかまいません。

ロボットを、障害物Aの周りを時計回りに1周させて、もとの位置に戻る（図10）。

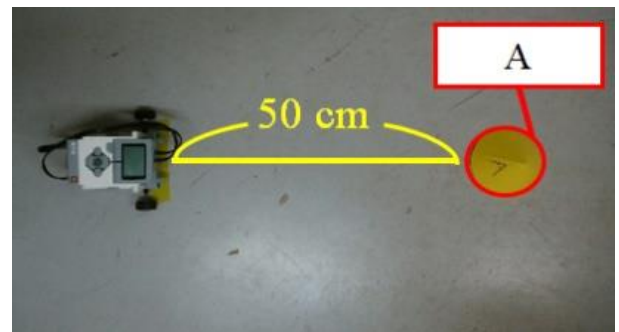


図10 [問題]におけるロボットと障害物Aの位置関係

[問題]では、生徒たちは、複数回試行することができる。また、ロボット操作（プログラミング）の前に、ロボットのタイヤのパーツを変更することもできる（図11）。



図11 異なる大きさのタイヤのパーツ

表1 ジェスチャーとロボットの動きの対応

	両腕を水平に伸ばす	左腕を上げる	左腕を下げる	右腕を上げる	右腕を下げる
ジェスチャー					
左側のタイヤ	回転しない	反時計回りに回転する	時計回りに回転する	回転しない	回転しない
右側のタイヤ	回転しない	回転しない	回転しない	時計回りに回転する	反時計回りに回転する
EV3のプログラム（例）					

5. ジェスチャーおよびプログラムの分析

(1) ジェスチャー分析の手続き

VTR をもとに、【問題】に取り組んだ生徒が行ったジェスチャーを時間経過を追って分析した。

分析の手順は、(1) VTR から画像として切り取ったジェスチャーに番号を付け、(2) VTR をもとにロボット動作図を作成し、(3) ジェスチャーとロボット動作図をもとに、どのような意図でジェスチャーを行っているかを推察する。なお、本稿では、プログラムの構造を支える要素である順次、分岐、反復が見られたジェスチャーのうち、代表的なものを掲載する。

(2) 生徒 TS が行ったジェスチャー

1) ジェスチャーa (順次の要素を含むジェスチャー)

手：○，肘：□

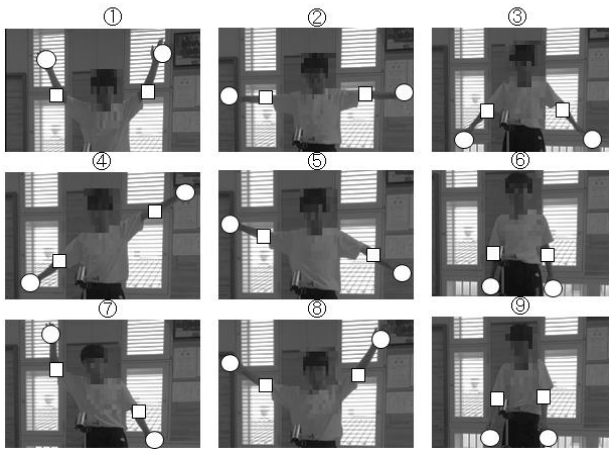


図 12 ジェスチャーa

TS は、ジェスチャーを行う前に、「一番最初のタイヤは普通のタイヤにしました。進行方向のジェスチャーは、最初に両手を上げて、その後、障害物まで行ったら、右を下げて、左を少し下げて1周させます。そのあとに両手を上げて帰させます。」と発言した。TS の発言をもとに、TS の意図したロボット動作図を図 13 に示す。

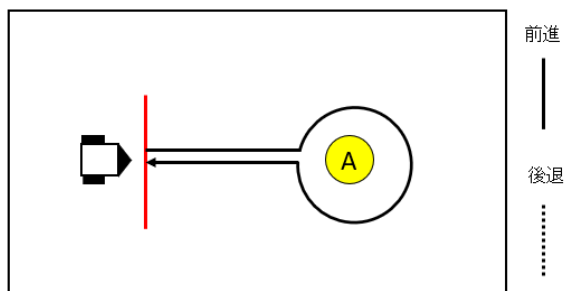


図 13 TS の発言から推察したロボット動作図

まず、「最初に両手を上げて」という発言から、ロボットの両側のタイヤを順回転させて直進させようとしていると推察できる。次に、「右を下げて、左を少し下げて1周させる」という発言から、ロボットの左右のタイヤの回転に速度差を付け、ロボットを旋回させて1周させようとしていると推察できる。最後に、「両手を上げて帰らせる」

という発言から、ロボットの両側のタイヤを順回転させて直進させようとしていることがわかる。

VTR をもとにしたジェスチャーによる実際のロボット動作図を図 14 に示す。

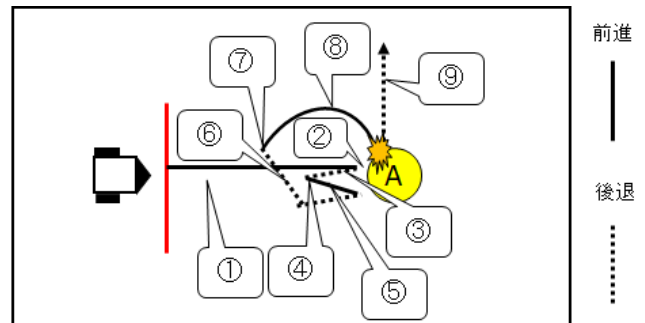


図 14 ジェスチャーaによる実際のロボット動作図

ジェスチャーとロボット動作図より、ジェスチャーaでは、以下のロボットの動作を意図していると推察できる。

- ① ロボットを直進させる。
- ② 障害物Aの前でロボットを停止させる。
- ③ ロボットが障害物Aに近づきすぎたため、ロボットをまっすぐに後退させる。
- ④ ロボットを左に90度回転させる。
- ⑤ ロボットが右に90度回転してしまったため、ロボットを旋回させて、向きを戻す。
- ⑥ ⑤の動作で、ロボットが障害物Aに近づきすぎたため、真っ直ぐに後退させる。
- ⑦ 障害物Aの周りを時計周りに1周するために、ロボットを回転させて、向きを調節する。
- ⑧ 障害物Aの周りを時計周りに1周するために、ロボットを旋回させる。
- ⑨ 障害物Aから離れるためにロボットを真っ直ぐに後退させる。

ロボットは、途中で障害物Aに触れた。また、ロボットが動作を開始してから停止するまでに38秒かかった。①、②のジェスチャーは、ロボットを直進させた後、障害物Aの前で停止させるという順次の要素を含んでいる。

2) ジェスチャーb (分岐の要素を含むジェスチャー)

手：○，肘：□

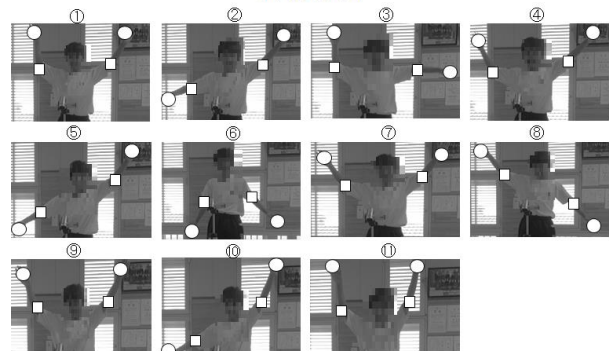


図 15 ジェスチャーb

TSは、ジェスチャーを行う前に、ロボットのタイヤを大きなものに変更した。その後、「タイヤの大きさは大きくしました。どのようにジェスチャーをするかは、一番最初に両手を上げて、そこからずっと左を上げながら右で微調整していきます。」と発言した。

VTRをもとにしたジェスチャーによる実際のロボット動作図を図16に示す。

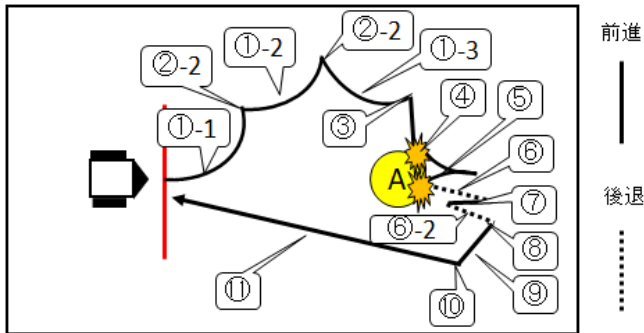


図16 ジェスチャーbによるロボット動作図

ジェスチャーとロボット動作図より、ジェスチャーbでは、以下のロボットの動作を意図していると推察できる。

- ① ロボットを直進させる。
- ② ロボットが直進せずに、左に旋回したため、ロボットを右に回転させて向きを調節する。
(①と②を交互に繰り返す(①は3回, ②は2回)。)
- ③ 障害物Aの周りを1周できるように、ロボットの向きを調節する。
- ④ ロボットを左周りに旋回させる(障害物Aに触れる)。
- ⑤ ロボットを右回りに旋回させる(障害物Aに触れる)。
- ⑥ 障害物Aから離れるために、ロボットを真っ直ぐに後退させる。
- ⑦ ロボットが障害物Aから離れすぎたため、ロボットを直進させる。⑥をもう一度繰り返す。
- ⑧ 障害物Aの周りを時計回りに1周するために、ロボットを左に回転させる。
- ⑨ ロボットを直進させる。
- ⑩ 障害物Aの周りを時計回りに1周するために、ロボットを右に回転させる。
- ⑪ ロボットを直進させる。

ロボットは、途中で障害物Aに触れた。また、ロボットが動作を開始してから停止するまでに22秒かかった。①, ②のジェスチャーは、ロボットを直進させ、ロボットが左にそれてしまった場合は、停止してロボットの向きを修正するという分岐の要素を含んでいる。また、⑥, ⑦のジェスチャーも、ロボットが障害物Aに近づきすぎた場合は、ロボットを真っ直ぐに後退させ、逆に、障害物Aから離れすぎた場合は、ロボットを直進させる。という分岐の要素を含んでいる。

3) ジェスチャーc (反復の要素を含むジェスチャー)



図17 ジェスチャーc

TSは、ジェスチャーを行う前に、ロボットのタイヤを小さいものに変更した。その後、「タイヤは小さくして、前みたいに、右で微調整して、やってみます。」と発言した。補助の学生が、TSに「なんで(タイヤを)小さくしたの?」と聞くと、TSは、「小回りがきくと思ったからです。」と発言した。

VTRをもとにしたジェスチャーによる実際のロボット動作図を図18に示す。

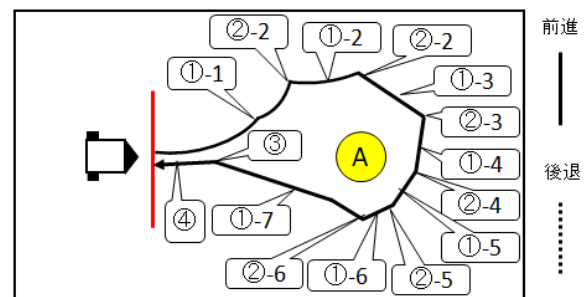


図18 ジェスチャーcによるロボット動作図

ジェスチャーとロボット動作図より、ジェスチャーcでは、以下のロボットの動作を意図していると推察できる。

- ① ロボットを直進させる。
- ② 障害物Aの周りを1周するために、ロボットを右に回転させる。
(①と②を交互に繰り返す(①は7回, ②は6回)。)
- ③ ロボットを元の位置に戻すために、ロボットを左に回転させる。
- ④ ロボットを直進させる。

ロボットは、障害物Aに触れなかった。また、ロボットが動作を開始してから停止するまでに29秒かかった。①, ②のジェスチャーを繰り返すことで、ロボットを障害物Aの周りを時計回りに1周させており、反復の要素を含んでいる。

(3) プログラム分析の手続き

VTRをもとに、【問題】に取り組んだ筆者が作成したプログラムを時間経過を追って分析した。

分析の手順は、(1)プログラムのプログラミングブロックに番号をつけ、(2)VTRをもとにロボット動作図を作成し、(3)どのような意図でプログラムを作成したかを示す。なお、本稿では、プログラムの構造を支える要素である順次、分岐、反復が見られたプログラムのうち、代表的なものを掲載する。

(4) 筆者がEV3により作成したプログラム

1) プログラム a (順次, 反復の要素を含むプログラム)

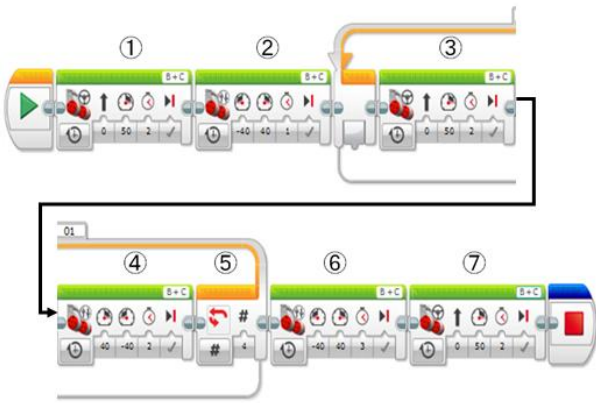


図 19 プログラム a

プログラム a は、ロボットを障害物 A の前まで直進させた後、回転と直進を繰り返して障害物 A の周りを正方形を描くように 1 周させ、直進して元の位置に戻す、という動きを実現することを意図して作成した (図 20)。

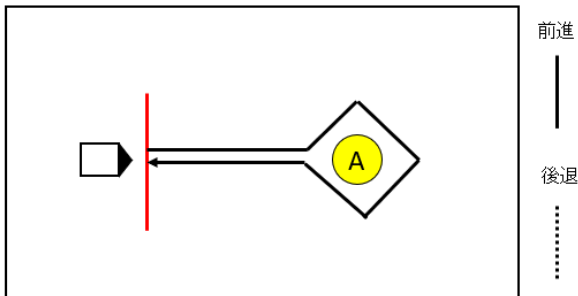


図 20 目的となるロボット動作図

VTR をもとにしたプログラム a による実際のロボット動作図を図 21 に示す。

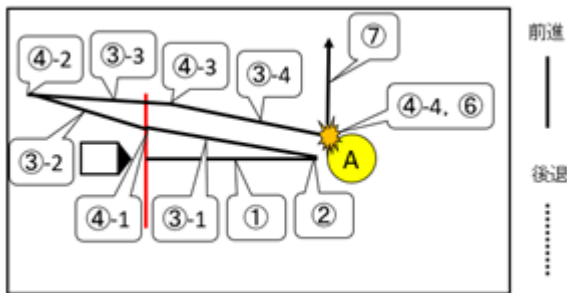


図 21 プログラム a による実際のロボット動作図

プログラム a は以下の動作を意図している。

- ① ロボットを直進させる。
- ② ロボットを左に 45 度回転させる。
- ③ ロボットを直進させる。
- ④ ロボットを右に 90 度回転させる。
- ⑤ ③, ④を繰り返す (計 4 回)。
- ⑥ ロボットを左に 135 度回転させる。
- ⑦ ロボットを直進させる。

ロボットは、途中で障害物 A に触れた。また、ロボットが動作を開始してから停止するまでに 25 秒かかった。実際のロボットの動きでは、①において、意図していたロボットの動きよりも、障害物 A に近づきすぎてしまった。また、②, ④において、②では、180 度程度、④では 360 度程度と、意図した動きよりも回転する角度が 4 倍程度大きかったため、正方形を描くように障害物 A の周りを 1 周することができなかった。ロボットを障害物 A の前まで直進させた後、ロボットを左に 45 度回転させる①, ②のプログラムは、順次の要素を含んでいる。また、③, ④を繰り返す⑤のプログラムは、反復の要素を含んでいる。筆者は、プログラム a では、【問題】を解決することができなかったことを確認し、プログラム b を作成した。

2) プログラム b

①について、ロボットが障害物 A に近づきすぎないために、ロボットのモーターの回転速度に関する値を「50」から「40」に変更した。また、②, ④について、ロボットの回転する角度を 4 分の 1 程度にするために、回転速度に関する値を「40」から「10」に変更した (図 22)。

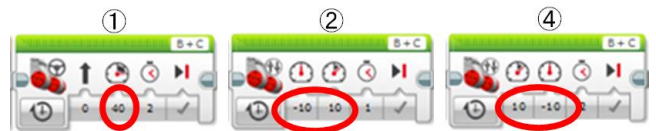


図 22 ①, ②, ④のモーターの回転速度に関する値を変更したプログラム

VTR の分析をもとにプログラム b による実際のロボット動作図を図 23 に示す。

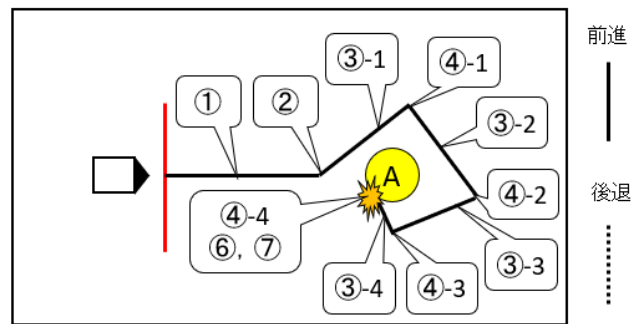


図 23 プログラム b のロボット動作図

ロボットは、途中で障害物 A に触れた。また、ロボットが動作を開始してから停止するまでに 25 秒かかった。変更した①, ②, ④のプログラムによるロボットの動きは、いずれも意図したものに近づいていた。4 回繰り返し替えられる③, ④のプログラムについて、各回で、ロボットが直進する距離、ロボットの回転する角度に誤差が生じており、障害物 A にぶつかった原因の 1 つと推察した。筆者は、プログラム b では、【問題】を解決することができなかったことを確認し、プログラム c を作成した。

3) プログラム c

その後、ロボットが障害物 A に触れずに障害物 A の周りを 1 周できるように、プログラム b のロボットのタイヤの回転速度に関する値やタイヤの回転時間に関する値を微調整した (図 24)。

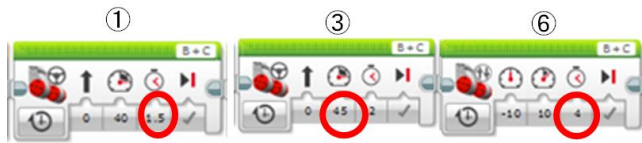


図 24 プログラム c の一部

VTR の分析をもとにプログラム c による実際のロボット動作図を図 25 に示す。

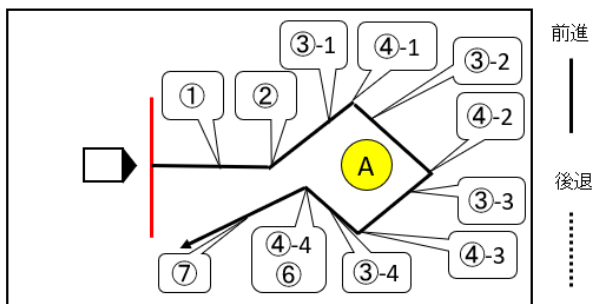


図 25 実際のロボットの動き

ロボットは、途中で障害物 A に触れた。また、ロボットが動作を開始してから停止するまでに 25 秒かかった。⑥でのロボットの回転角度が大きすぎたため、⑦でロボットは、元の位置とは離れた位置に向かって直進した。筆者は、プログラム c では、[問題] を解決することができなかったことを確認し、プログラム d を作成した。

4) プログラム d

プログラム c では、ロボットが動作を開始してから停止するまでにかかった時間が 25 秒だったため、⑤の後に、5 秒間停止するプログラムを追加した。また、プログラム c の⑥ (プログラム d では⑦) で、ロボットの回転角度が大きすぎたため、ロボットのタイヤの回転時間に関する値を「4」から「3.5」に変更した (図 26)。

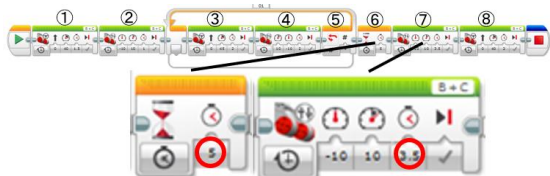


図 26 プログラム d

VTR の分析をもとにプログラム d による実際のロボット動作図を図 27 に示す。

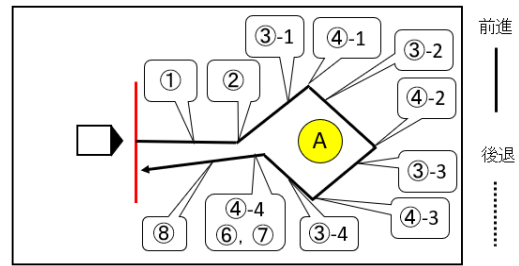


図 27 プログラム d による実際のロボット動作図

ロボットは、途中で障害物 A に触れなかった。また、ロボットが動作を開始してから停止するまで、30 秒かかった。ロボットは、プログラム c に比べて、元の位置に近い位置に移動することができた。

プログラム a~d において、いずれも使用されているプログラミングブロックの組み合わせはほぼ変わっておらず、いずれも、順次、反復の要素を含んでいる。

(5) ジェスチャーによるプログラム作成の考察

TS は、ジェスチャーによるプログラム作成の経験がなかったが、50 分×2 コマの授業を通して、順次、分岐、反復といったプログラムの構造を支える要素を含むジェスチャーを行うことができた。指導者から、ジェスチャーによるプログラムの作成を通して、プログラミングに関する専門的な用語等の説明がなされなくとも、プログラミングの基本的な技能の習得につながるということが示唆された。

筆者が作成したプログラムでは、たとえば、「ロボットが障害物 A に近づきすぎた場合は、後退させる」といった分岐の要素は含まれていなかった。ロボットが障害物 A に近づきすぎてしまった場合でも動作は継続し、一連のロボットの動作が終わった後で、プログラムの修正を行った。一方、TS が行った分岐の要素を含むジェスチャーでは、TS が、実際のロボットの動作を見ながら、次のジェスチャーを行っていた。たとえば、TS が、ロボットが障害物 A に近づきすぎたのを見て、ロボットを後退させるために両腕を下げる等である。つまり、TS は、ロボットの動作を確認しながら、次のプログラムの作成を行っていた。

以上より、通常のプログラム作成では、①ロボットの一連の動作を想定してプログラムを作成する。②①のプログラムによる実際のロボットの動作を確認して、その課題を解決するためにプログラムの修正を行う。③これらの試行錯誤を繰り返しながら、想定する動作に近づける。以上のような学習過程を踏む。それに対して、ジェスチャーによるプログラム作成では、①ロボットのある 1 つの動作の命令 (プログラム) をジェスチャーで指示する。②①のジェスチャーによる実際のロボットの動作に応じて、次の動作の命令 (プログラム) をジェスチャーで指示する。③これらの繰り返しで、想定する動作に近づける。以上の学習過程を踏む。両方にメリットデメリットが想定され、学習課題に応じてこれらを使い分けたり、併用することで目的のプログラムを作成することができる。

6. ジェスチャーによるプログラム作成を取り入れた指導の提案

中学校第1学年の生徒が行ったジェスチャーによるプログラム作成の考察をもとに、ジェスチャーによるプログラム作成を取り入れたプログラミング指導（たとえば、小学校の総合的な学習の時間等）について考察する。

50分×2コマの授業を通して、生徒のジェスチャーから、順次、分岐、反復といったプログラミングの基本的な要素を学習できたことを捉え、腕を上げたり下げたりする簡単なジェスチャーによるプログラム作成により、小学生でも、プログラミングの基本的な技能を体験的に習得できる可能性があることが示された。一方で、**【問題】**を解決できた生徒がほとんどいなかったことから、小学生等を対象として指導を行う場合は、課題の設定に留意する必要がある。たとえば、先に順次を学習し、次に分岐を学習するといった段階的な学習課題の設定が望ましい。また、ロボットの動作の速度が大きいとジェスチャーの修正が難しいことから、時間的な余裕を組み込むことも大切である。

7. おわりに

本稿では、中学校第1学年の生徒が行ったジェスチャーと、筆者が作成したプログラムを分析した。そして、ジェスチャーによるプログラム作成を取り入れた指導の可能性について考察した。その結果、以下のことが示された。

- 1) 中学校第1学年の生徒は、ジェスチャーとロボットの動きの対応を確認した後、短時間で順次、分岐、反復の要素を含むジェスチャーによるプログラム作成を行えた。
- 2) 小学生でも、段階的な課題設定に留意することで、プログラミングの基本的な技能の体験的な習得が期待できる。
- 3) ジェスチャーを使うことで、基本的なプログラミング言語を学習していなくても、プログラムの作成が可能となる。

今後は、さらなる実践の分析を通して、通常のプログラム作成とジェスチャーによるプログラム作成のメリット・デメリットを明確に示していきたい。また、算数・数学科やその他の教科への応用についての検討が課題である。

引用・参考文献

兼宗進・正田良・紅林秀治・鎌田敏之・井戸坂幸男・保福やよい・久野靖(2007)「コンピュータを使わない情報科学教育—Computer Science Unpluggedの翻訳と実践」情報処理学会 情報教育シンポジウム

松崎昭雄(2017)「小・中・高等学校を見通したプログラミング指導とモデリング—ICT利用を前提とするモデリングの記述に焦点を当てて—」『日本科学教育学会第41回年会論文集』pp.147-148

文部科学省(2014)『諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究報告書』大日本印刷株式会社

文部科学省(2016)「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議 小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論のとりまとめ）」
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attat/1372525.htm
(2018.12.26 最終確認)

文部科学省(2017)『小学校学習指導要領』(平成29年3月31日告示)

文部科学省(2018)「世界最先端デジタル国家創宣言」

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryout1.pdf>

(2018.12.26 最終確認)

波形政輝・菅原悠平・並木惇・松崎昭雄(2018)「小学生対象のジェスチャーによるロボット操作を取り入れた算数ワークショップ」『2018年度数学教育学会夏季研究会(関東エリア)発表予稿集』pp.40-43

並木惇・菅原悠平・松崎昭雄(2018a)「ジェスチャーによるロボット操作における数学的モデリングの調査問題の開発—ソフトウェア KIFEN によるレゴ®マインドストーム®EV3とKinectの連動及びICTの機能への着目—」『日本科学教育学会2018年研究会研究報告』pp.43-48

並木惇・菅原悠平・松崎昭雄(2018b)「ジェスチャーによるロボット操作におけるモデリングに関する一考察(2)—大学生を対象とした実験授業を事例として—」『日本科学教育学会第42回年会論文集』pp.433-436

Sugahara, Y., & Namiki, A. (2017). A report of the lesson with linking between LEGO®MINDSTORMS®Education EV3 and Kinect for Windows: Focus on relating gestures to movements of the robot by multiple representations. 6th International Conference of Research on Mathematics and Science Education. Vientiane, Lao: Dong Khamxang Teacher Training College.

菅原悠平(2018)「複数のICTを連動するソフトウェア KIFEN のプログラミング—教育版レゴ®マインドストーム®EV3とKinectの環境設定—」『埼玉大学教職大学院課題研究発表会講演論文集』pp.29-32

菅原悠平・並木惇・松崎昭雄(2018a)「ジェスチャーによるロボット操作におけるモデリングに関する一考察—中学生を対象としたワークショップを事例として—」『第22回数学教育学会大学院生等発表会予稿集』pp.1-6

菅原悠平・並木惇・松崎昭雄(2018b)「ジェスチャーによるロボット操作における数学的モデリングの調査に関する一考察—小学生を対象としたワークショップを事例として—」『2018年度数学教育学会夏季研究会(関東エリア)発表予稿集』pp.44-47

杉浦司・岩崎秀介(2012)『KINECT for Windows SDK プログラミングガイド』工学社, p.117

Tim Bell, Ian H. Witten, Mike, Fellows. (2006). Computer Science Unplugged – An enrichment and extension programme for primary-aged children, 2006.

山本利一・鳩貝拓也・弘中一誠・佐藤正直(2014)「ScratchとWeDoを活用した小学校におけるプログラム学習の提案」『教育情報研究』pp.21-30

山本利一・林俊郎・小林清英・牧野亮哉(2007)「中学生が作成したプログラムの分析による指導法の改善」『教育情報研究』pp.15-26

山本利一・本郷健・本村猛能・永井克昇(2016)「初等中等教育におけるプログラミング教育の教育的意義の考察」『教育情報研究』pp.3-11

参照 URL

GitHub(2018)「robotics5040/KIFEN」<https://github.com/robotics5040/KIFEN>
(2018.1.21 最終確認)

Microsoft(2018a)「Kinect for Windows Sensor Components and Specifications」
<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx> (2018.2.2 最終確認)

Microsoft(2018b)「Tracking Users with Kinect Skeletal Tracking」
<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131025.aspx> (2018.2.7 最終確認)