解 説

小型ロボット製作における教育効果測定について

A Method of Measurement for Learning Effectiveness in "Development of a Small Robot"

熊 丸 憲 男* 中 野 明* *国立久留米工業高等専門学校
Norio Kumamaru* and Akira Nakano* *Kurume National College of Technology

1. は じ め に

近年、単に知識体系を暗記、理解するといった受身の学習だけでなく、創造活動を通して創造性や自主性を教育することの必要性が求められている。創造性の教育方法の一つに小型ロボットの開発があり、教育機関ではロボットコンテストなどの形で20年ほど前から実施されている。ロボットコンテストは、知識や加工技術の習得にとどまらず、目標を自らが設定して問題解決を行う。その過程で問題の発見や問題を解決する方法の選択など、知識の習得以外に広い範囲の学習効果を持つため、これまで多くの工学系の大学や高校で実施されている。最近では、教育用のロボットキットが多くの会社から発売されるなどロボットコンテストを実施しやすい環境になってきており、中学校や小学校でも実施されるようになってきている。

現在までに、ロボットコンテストなどにおける小型ロボット開発の学習効果について、いくつかの調査が行われている[1]~[4]。しかし、そのほとんどはやる気の変化や興味関心の変化といった授業評価にとどまっており、具体的な学習効果の調査についてはほとんど行われていない。単純に小型ロボット開発を知識の習得としてとらえれば、テストによる学習効果の評価は簡単である。しかし、先にも述べたように、小型ロボット開発による学習効果は、知識の習得にとどまらない。例えば問題解決能力の習得などが学習効果として挙げられるが、それらは数値化が困難なばかりでなく、あまりにも多岐にわたり、評価を行う事を困難にしている。

学習効果についての十分なデータが得られていないことは、授業改善を行う場合などに指針となるデータが少ないことを意味する。データが十分でない以上、授業改善は授業担当者の勘や経験に頼ることとなり、大きな負担となるばかりでなく、必ずしも学生に対してより良い改善を行うことができない。そこで、筆者らは、学習効果を一つずつ切

り出し、小型ロボット開発における学習効果を少しずつ明らかにすることを行っている。これまでに、大学の学生と小学生を対象にいくつかのテストを行い、良好な結果が得られている。その方法と実験の結果を示すことにする。

2. 小型ロボット開発の学習効果

小型ロボットの学習効果については、知識や技術の習得をはじめ、問題発見、問題解決能力の習得など様々な学習効果が考えられる。それらの学習効果のなかで、現在、我々が最も注目しているのがモデル分析力である。ここでのモデル分析力とは、ロボットを制御対象としてとらえ、制御を行う際に発生する機械系、電気系などすべての物理現象をとらえることをモデル分析といい、それを行う能力をモデル分析力という。例えば、製作したロボットが直進しない場合、その原因が駆動輪にあるのか、床面の状態にあるのか、ロボットの重心の位置にあるのか、駆動輪の取り付けにあるのか、またはその他にあるのかといったモデル分析を行い改良の方向性を決定する。つまりモデル分析は、小型ロボット開発をはじめとする、ものづくり教育の大きな特徴である試行錯誤を行うための根幹であると考えられる。モデル分析力の学習効果を明らかにすることは、小型ロボット開発の学習効果を高める指針を得るのに重要であると考えられる。

3. 学習効果の評価

学習効果の中で知識や技術の習得状況を計るテストはある。しかし、モデル分析力を計るテストはない。そこで、一般的な物理系の文章問題からパラメータを抽出するテストを行う。

2章で前述したとおり、小型ロボットを製作、調整する場合、ロボットから物理系のパラメータの抽出を行う。物理の文章問題を解く場合、文章によって表現されたイメージからパラメータの抽出を行う。例えば、「友人に物を投げて渡す場合、何を考慮しますか？」という文章問題があった場合、友人までの距離、物の重さ、物の形状、風の状況など、様々なパラメータを考慮する必要がある。曖昧なものよりパラメータを抽出するという点において、小型ロボッ

原稿受付 2005年10月3日

キーワード: Small Robot, Robot Contest, Evaluation Method, Modeling

*〒830-8555 久留米市小森野 1-1-1

*Kurume-shi, Fukuoka

ト開発を行うことと一般的な物理系の問題を解くことは酷似している。よって、考慮するパラメータの数で学習効果の評価が可能となる。

4. 大学生に対する実験

本章では、大学生に対して小型ロボット開発の講義を実施し、テストによるモデル分析力の評価を行った実験を示す。

4.1 講義内容

大学生に対する小型ロボット開発の講義として、既製のロボット製作キットを用いたライントレーサ製作を行った。キットを使用したのは講義を行った学生のカリキュラムには機械工作に関する講義がなく、既製のキットを用いるのが適当であると判断したためである。

キットとして使用したのは、JAPAN ROBOTTECH 社の Robo Designer である。Robo Designer は、センサやモータの取り付け位置が定義されておらず、学習者が自由に組むことができるために調整が行いやすく、今回の実験の目的に一致する。Robo Designer を用いて、赤外線センサを使ったライントレーサの製作を行った。

4.2 テストの実施

モデル分析力についてのテストを講義開始時と講義終了時にを行い、その変化について調査する実験を行った。講義と実験は福岡大学工学部電子情報工学科の協力のもとに行った。

期間：2004 年 10～12 月

授業回数：8 回（90 分）

実験群：福岡大学工学部電子情報工学科 3 年生（22 名）

統制群：福岡大学工学部電子情報工学科 3 年生（11 名）

実際に小型ロボットを製作する実験群に対しては、1 回目の講義開始時に事前テストを、8 回目の講義終了時に事後テストを実施した。講義もロボット製作も行わない統制群に対しては、実験群とほぼ同時期に事前テストと事後テストを実施した。一つのテストは 4 問とした。テストは A、B の 2 種類を準備した。実験群を二つに分け、片方の実験群は講義開始時にテスト A を、もう片方はテスト B を実施した。講義終了後には、テスト A とテスト B を入れ替え

てテストを行った。統制群も二つに分け、同様の方法でテストを行った。

先に 3 章で述べたよう、テストは一般的な物理系の文章問題からパラメータを抽出するテストを行う。物理の文章問題は、文章中にパラメータを設定せず、曖昧さをもつものを出题した。

問題例：観覧車に乗った状態から、下を通りかかった友達に、物体 X を投げて渡そうと考えています。正確に渡すためには、どのようなことを考えますか？

解答例：友人までの距離、友人がいる方向、友人の移動方向、友人の移動速度、物体 X の重さ、物体 X の形状、風、空気抵抗、観覧車の直径、観覧車の回転速度、観覧車の現在の回転角、など。

被験者の解答中に、例に示す物理現象がいくつあったかを点数付けし、点数の合計をもって被験者のモデル分析力の評価とする。

4.3 テスト結果

テストの結果は、被験者の解答にあった物理現象の数で判定し、正しい物理現象をとらえている解答一つにつき 1 点とした。ただし、相対速度を考慮するという解答に関しては、相手の速度と自分の速度という二つの点を考慮しているとして 2 点とした。4 問すべての点数を合計し、テストの合計点とした。全受講者（実験群の有効解答：17、統制群の有効解答：11）を対象としたテストの平均点の変化を表 1 に示す。

平均点は、各テストの合計点の平均である。実験群に対して有意な成績の上昇が見られた（実験群：事前テストの平均 = 7.53、事後テストの平均 = 14.88、両側検定： $t(17) = 2.11$, $p < .01$ ）。この実験結果により、今回行った講義がモデル分析力の上昇に関して有意であることが確認できた。

また、被験者個人の点数の変化に着目した場合、それぞれの学生にあった指導を行うことができる。表 2 に、今回行ったテスト結果の一部を示す。

表 2 に示した数字は、テストの点数と事前テストと比べた事後テストの点数の上昇度を表す。上昇度から、学生 1 は平均的なモデル分析力の上昇を示していることが分かる。

図 1 Robo Designer 作品例

表 1 平均点の変化

群	時 期	被 験 者	平 均 点	標 準 偏 差
実 験 群	事 前	17	7.53	1.84
	事 後	17	14.88	5.37
統 制 群	事 前	11	5.72	2.10
	事 後	11	5.91	3.93

表 2 個人の成績の変化 (一部)

被 験 者	事 前 テ ス ト	事 後 テ ス ト	上 昇 度
被 験 者 1	8	13	+6
被 験 者 2	6	20	+14
被 験 者 3	6	6	± 0

表 3 上昇度の分布

学生 2 は、平均よりも高いモデル分析力の上昇を示していることが分かる。学生 3 は、ほとんどモデル分析力が上昇していないことが分かる。以上の結果より、テスト結果より個々の被験者のモデル分析力の上昇度を把握することができ、被験者の現状に即した指導を行うことが可能になったことが分かる。

実験群を上昇度に分け、グラフにしたものを表 3 に示す。

グラフの縦軸は人数、横軸は上昇度を表す。上昇度が正規分布に近いことから、教材の難易度が極端に偏ったものではないことが分かる。

4.4 考察

表 1 に示した結果から、実験群のモデル分析力が有意に上昇し、統制群に上昇が見られないことから、今回行った講義がモデル分析力の上昇に関して有意であることが分かった。また、数値化できたことによって、競技内容を変更した場合の講義内容の比較検討が行いやすくなった。

表 2、および表 3 に示した結果から、被験者の現状を知ることができた。表 2 の結果より、被験者のモデル分析力の上昇度を分けることができ、上昇度に応じた指導や新たなテーマの設定が行いやすくなった。表 3 からはモデル分析力の上昇度の分布が分かり、授業内容の難易の設定が適切であるかの確認が行いやすくなった。また、特定の被験者の理解度が、全体と比較してどの程度であるのかを判断することが可能になり、指導が行いやすくなった。

今後は、講義の前後ではなく、講義中のモデル分析力の変化を調べるテストを考案したい。

5. 小学生に対する実験

現在、高等教育機関ばかりでなく、小学校においても小型ロボット開発の授業が行われるようになってきている。小学生に対して小型ロボット開発の授業を行った場合、大学生は

どの学習効果を得ることができない。これは、大学生がモデル分析を抽象化して他の分野に応用できるのに対し、知識や経験の少ない小学生は抽象化を行うことが難しいためである。しかし、ロボット製作に限定したモデル分析を行うことはでき、また、モデル分析の必要性を学習することもできるため、十分な教育効果があるといえる。

知識の抽象化が難しく、知識そのものも少ない小学生に対してはテスト形式の変更が必要になる。4 章で物理系の文章問題を用いたテストの内容と実験結果を示した。良好な結果が得られているが、テストを行う対象が物理を習得しており、なおかつ小型ロボット製作によって得たモデル分析の知識を物理の文章問題を解くのに転化させることができる者に限られる。つまり、小学生には物理系の文章問題によるテストを実施することができない。そこで、アンケートによる調査を行った。

今回行ったアンケートは、単に Yes と No で質問を行うのではなく、被験者に対し、被験者が製作したロボット、または他の被験者が製作したロボットについて特徴の説明を行わせ、その説明が現象を正しくとらえているかで判断する方法を用いた。物理系の文章問題を用いた場合に比べて一般性は減少するが、物理を学習していない被験者に対しても評価を行うことが可能であった。以下に小学生に対して行った実験の方法と、実験結果を示す。

5.1 授業内容

小学生向けにロボコンの競技ルールを提案し、ロボットを製作する授業を行った。競技ルールは、筆者が 1998 年度に久留米工業高等専門学校制御情報工学科 2 年生を対象に行った授業を小学生向けに再検討した [5]。今回の授業では、一からロボットを製作するのではなく、ブルドーザのリモコンキットをロボットのベースとして使用した。これは、小学生の製作能力と、製作段階と調整段階を明確に区別することを考慮したためである。

小学校で実施したロボコンのルールを以下に示す。

- ・競技は班別のチーム戦で行う。
- ・自チームの競技ゾーンのピンポン球を、相手チームの競技ゾーンに入れる競技である。
- ・それぞれの競技ゾーンには、試合開始時に 12 個のピンポン球がある。
- ・試合終了時に相手チームの競技ゾーンに、より多くのピンポン球を入れたチームの勝ちとする。
- ・試合時間は 2 分間とする。
- ・試合終了時、ロボット上、または障害物上にあるピンポン球は、どちらのチームにもカウントしない。
- ・ロボットはブルドーザセットを改造して製作する。
- ・ブルドーザセットは自由に改造してよい。
- ・相手のロボット、競技場、友達を傷つけるような改造はしてはいけない。

図2 競技場

- ・材料は自由に使用してよい。
- ・合体、変形は自由だが、試合開始時に、チーム内のすべてのロボットが、スタートゾーン内に収まること。
- ・障害物は、山形をしている。

以上の競技ルールで実験を行った。試合は1回ではなく、トーナメント形式の練習試合を2回と、本試合を1回の計3回行った。チーム個別の練習試合は、授業時間内に自由に行った。

5.2 アンケートの実施

授業と実験は、福岡県久留米市内にある市立小学校の協力のもとに行った。

期間：2004年9～11月

授業回数：6回（90分）

対象：久留米市内の市立小学校5年生（2クラス、49名）

授業回数は6回であるが、これは筆者が参加した回数で、小学校教諭のみが指導を行った授業回数を合わせると十数回の授業が行われた。6回目の授業終了後に、アンケート調査を実施した。

モデル分析が行えているかどうかのアンケート調査は、小学生に対し、自分が製作したロボット、または他の生徒が製作したロボットについて特徴の説明を行わせ、その説明が現象を正しくとらえているかで判断する。

例：「スピードを上げるために、車体を軽くした」は物理現象をとらえて説明できているものとする。「点がたくさん入るようにスピードを上げた」は物理現象をとらえることができていないとする。

以上の説明をもとに、モデル分析力の評価を行う。

5.3 アンケート結果

授業終了後にアンケートを行った。アンケートの条件を以下に示す。

- ・授業を受けた生徒全員（2クラス、49名）に対して実施。
- ・生徒49名中46名の回答が得られた。

表4 アンケート結果（モデル分析）

- ・最終の授業終了時に実施。
- ・アンケートの項目で、モデル分析力の調査に関する項目は以下の2点。

1. あなたが作ったロボットのいい点を、その理由といっしょに教えてください。
2. 友達が作ったロボットでいいと思うものを3台、その理由といっしょに教えてください。

以上の調査結果をまとめたものを、表4に示す。

グラフの縦軸は人数、横軸は自分が製作したロボットについての物理現象をとらえた説明を行えたか否か、他の被験者が製作したロボットについての物理現象をとらえた説明を行えたか否か、それらをまとめ、自分、または他の被験者のいずれかが製作したロボットについての説明を行えたか否かである。

自分が製作したロボットについては、全体の約6割（27/46）の被験者が物理現象をとらえて説明が行えている。つまり、モデル分析が行えたといえる。それに対して、他の被験者が製作したロボットについては約3割（15/46）の被験者しか説明を行えていない。つまり、モデル分析が行えなかったといえる。自分が製作したロボットの説明は行えた被験者数（27/46）に対し、自分、または他の被験者が製作したロボットの説明を行えた被験者数（30/46）が若干（3/46）ではあるが増えている。他者が製作したロボットの説明を行うことができるのに自分が製作したロボットの説明を行えない被験者の存在は、モデル分析の困難さに加え、モデル分析の結果を文章で説明することの困難さを表している。

5.4 考察

アンケート調査により、被験者が物理現象をとらえ、かつ説明できる被験者と、物理現象をとらえていない、または物理現象をとらえているが説明できていない被験者の存在を明らかにすることができた。これにより、被験者を理解度にあわせて分けることができ、指導が行いやすくなった。また、他の被験者が製作したロボットに関しては、説

明できていないという事実から、今後の指導の方向性が確立できた。

6. お わ り に

これまで小型ロボット開発は、問題解決能力の効果的な学習方法といわれていながら、その学習効果についての調査がほとんど行われていなかった。今回、興味、関心といった面だけではなく、その学習効果の一つであるモデル分析力の上昇を調査する方法を提案し、有意な実験結果を得た。今後、今回の研究では明らかにすることができなかった、教材による学習効果のコントロール、モデル分析支援、小型ロボット製作の体験による記憶定着、モデル分析力の他方

面への転嫁などについて実験と研究を行っていきたい。

参 考 文 献

- [1] 福田, 熊丸: “2 年次における創造性教育の導入”, 論文集「高専教育」, vol.22, pp.381-389, 1999.
- [2] 河西, 藤田, 鈴木: “山梨大学教育人間科学部附属中学校におけるロボコンの取り組みについて”, 山梨大学人間科学部紀要, vol.4, no.1, pp.25-33, 2002.
- [3] 鈴木: “中学校「ロボットコンテスト」にみる技術科の授業について”, 日本産業技術教育学会誌, vol.44, no.3, pp.145-151, 2002.
- [4] 野村, 中嶋, 土肥, 奥谷: “豊かな人間性と想像力を養うものづくり教育に関する研究 (第一報) —問題解決能力を養う技術教材の検討—”, 埼玉大学紀要, vol.50, no.1, pp.33-40, 2001.
- [5] 熊丸, 福田: “「創造工学」5 年間の実践報告”, 高等専門学校の教育と研究, 別冊第 3 号, pp.21-29, 2002.

熊丸憲男 (Norio Kumamaru)

1968 年 5 月 3 日生。1994 年福岡大学工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年より久留米工業高等専門学校制御情報工学科助手となり現在に至る。ロボットコンテスト、および小型ロボット製作が及ぼす教育効果の測定に関する研究に従事。

中野 明 (Akira Nakano)

1998 年九州工業大学情報工学部知能情報工学科卒業。2004 年同大学大学院博士課程修了。現在、久留米工業高等専門学校制御情報工学科助手。人間を系に含んだ計算機システムの高度化に興味を持っており、特に知的学習支援システムの設計・開発ならびに、実践的な利用調査に従事している。