

ロボットを使った論理的思考力を育むカリキュラムの開発

川原田 康文

Development the Curriculum for Robot Education ～For Cultivating Logical Thinking Abilities～

Yasufumi Kawarada

自律型ロボット教材を使った学習は、子どもたちにとって非常に魅力的な学習であり、中央教育審議会の答申や新学習指導要領でも重視している思考力・判断力・表現力に代表される様々な能力や、筋道を立てて理解していく力を育むのにも適している。そこで、学習へのモチベーションを維持・向上し続けさせることのできるカリキュラムを開発した。

キーワード：自律型ロボット教材 論理的思考力 カリキュラム

1. はじめに

社会全体の変化がとても激しく、そして、非常に便利になり、人と接触しないで生活できたり、あまり考えなくても生活できたりする状況の中、子どもたちには、その変化に対応していく力が求められている。現在、日本の教育界で、子どもたちに身に付けさせようと考えている力は、生涯にわたって続く「生きる力」である。「生きる力」の根本となるものは、子どもたちが自ら学習していこうとする力、そして課題にぶつかっても思考錯誤を繰り返しながら立ち向かっていく力である。このことは、新学習指導要領では、「生きる力をはぐくむことを目指し、創意工夫を生かした特色ある教育活動を展開する中で、基礎的・基本的な知識及び技能を確実に習得させ、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくむとともに、主体的に学習に取り組む態度を養い、個性を生かす教育の充実に努めなければならない。」としている。自発的に向上し続けようとする力がある限り、その人間は成長し続けるものである。相互にコミュニケーションを取りながら成長できるものであると考える。このような力を育成するにあたり、自律型ロボット教材（以下ロボット教材）を使った学習の教育的効果は、とても高いと考える。ロボット教材を使った学習の特徴は、実際の動きが体験できること、センサ（入力）及びアクチュエータ（出力）との関連をプログラムで制御する（論理的思考）ことが実践できるところにある。子どもたちの生涯にわたる力を伸ばすため、自ら問題を発見し、筋道を立てて理解していく力を養えると考えられる。

2. 研究のねらい

ロボット教材を使った学習の形態は、ループの中で繰り返し進める形式であり、図1（2007年台湾にて発表）に示す通りである。

問題解決の学習は、何度でも元に戻り、繰り返し学習することで能力が高まると考えられ、ロボット教材を使った学習はとても有効的であると考えられる。また、ロボット製作にプログラム学習を組み入れることで、アルゴリズムの考えも定着させることができ、“つくる”という思考の広がりをもさらに助ける内容であると考えられる。LEGO Mindstormsは小学校入学以前から触れ、親しみのあるLEGOブロックの延長線上にあり、問題解決の学習を進める上で

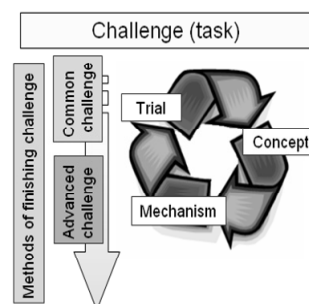


図1 学習の形態

とても効果的であると考え。また、昨年までに神奈川県立総合教育センターと共同で開発した（横浜国立大学教育人間科学部紀要IV自然科学代10集に掲載）ロボット教材の制御ボードが、『ハマRobo』として販売され始めた。これらの二つの教材は、価格の差こそあるものの、子どもたち取り組む学習内容としては非常に似ており、同じようなカリキュラムで進めることができると考える。

これらの学習は、「トライ アンド エラー」で試行錯誤するため、学習者のモチベーションの高低によっては、最後まで持続しないことが予想される。そこで、これらの教材を使って、学習を継続的に進め、前学習の成果を次の学習に生かすことが重要と考えた。子どもたちの学習を支援するカリキュラムを開発し、STEP学習と名付けた。それにあわせて学習テキストも作成した。

3. ロボット教材と論理的な学習

ロボット教材を使った学習は、機械的な機構・電気的な内容・ソフトウェアとしての制御プログラムから構成される。つまり、ロボット教材は、相互に関連しあった複合的な教材であるといえる。例えば、どんなに素晴らしい機構を使ったロボットが出来上がっていたとしても、ソフトウェアがそのロボットにあっていないとうまく動かないという難しさがある。しかし、その難しさが魅力的な部分ではないかと考える。ロボットを自在に組み立てることができ、課題の克服を目指して、何度も組み立て直すことが、子どもたちの無限の思考力、創造力を生み出すことが可能となる。さらにプログラムの作成を通して、別の角度から、ロボットを見つめ、つくったロボットにプログラムという指令を与えることで、これらの学習はより幅広いものとなる。

ここで使用しているロボット教材は、パーソナルコンピュータと同じように、一つ一つの動きをシリアル処理して動かすため、動きの順序性をどのようにするかなどを考え、プログラムすることで、自然に子どもたちに今求められている様々な能力の育成ができる。例えば図2のように、光センサー一つで左右のモータ2つの車型のロボットで、黒いラインの右側をたどって進むためには、センサの読み取り値が、白ならば、左に旋回する必要がある、黒ならば右に旋回する必要がある。左に旋回するためには、左右のモータをどのように回転させればよいのか考える。また、左右に旋回させるための方法としては、左右のモータの動きで4通りあり、それぞれの場合のロボットの動きは、全く違ったものとなる。課題にあわせてどのように考えるか、一人ひとりの子どもたちの発想と工夫が試される場所である。実際には、コースとタイヤの摩擦抵抗や埃などの条件も影響するため、細かな調整も行わなくてはならない。このような学習を、図1のように行うことで、「動いた!」「できた!」「もうちょっと変えてみよう!」「なぜだろう?」「くやしいな!」などの達成感や向上心が生まれる。自分の作成したプログラムでロボットが動くことで、プログラムが目で見えてわかり、より理解も深まるのである。



図2 ライントレースの原理

4. 遊びの中から生まれる学習

小さい頃より、子どもたちは遊びの中で、自己効力感を得て、さらなる創造を生み出してきている。例えば、砂場で遊んでいるとき、自分で意図していたものができあがったときの喜びに満ちた子どもたちの満面の笑顔は、とても充実している。東京工業大学の赤堀侃司教授は、以前の学習は苦しくても耐え、懸命に理解し学んだが、現在の学習は、いかに楽しく学ぶかに変わってきていると述べている。ロボット教材を使った学習は、まさに遊びの中から得る学習であると考え。特に、LEGO Mindstormsを使った学習は、小さい頃より遊び、親しみのあるLEGOブロックをつかっているため、遊び感覚で取り組めると考える。ロボット教室に参加している小中学生に、ロ

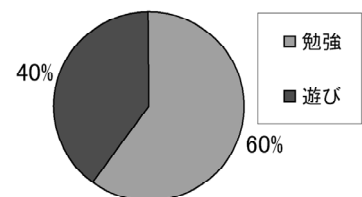


図3 ロボット学習は勉強か遊びか

ロボットを使った学習は、遊びか勉強かという質問をしてみたところ、図3のような結果になった。

5. 子どもの成長からカリキュラムを考える

子どもの成長は、遊びの中から始まるといえる。遊び感覚があり、体験的な学習では、子どもは自発的に創造し、思考し、工夫する。そして成果を表現するのである。そのときの子どもの顔は、真剣であり、自信のある満面の笑顔である。このように遊びから、多くの知識や技能も身につけていくのである。ロボット教材は、課題に向けて、製作を通して、夢と思考の広がりの可能性が無限にでてくると考える。そこで、子どもの発達段階に応じてLEGOブロックとLEGO Mindstormsそして、ハマRoboを組み合わせたカリキュラムを考えた(2007年台湾で発表)。

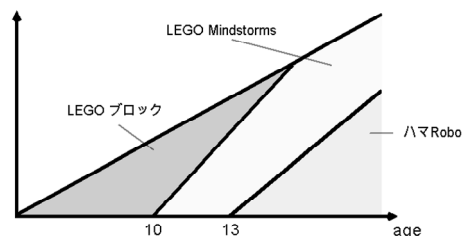


図4 成長にあわせたカリキュラム

図4はその全体図である。

まず、LEGOブロックを使って遊びの中から創造の世界を膨らませる。そして、自我が発達する10歳頃からLEGO Mindstormsを使って機構とプログラムの関係の学習を始め、その後、PICを使ったロボット教材で、仕組みや様々な材料を使った製作へ発展させる。プログラムについても、アイコンをつなげるものから言語へと発展させることで学習と学習を相互につなげることによって、学習に深まりが出来、思考力や表現力が育成され、またグループで取り組むことでコミュニケーション能力が醸成されると考える。

6. 自己効力感とモチベーションを高めるカリキュラム

問題解決の学習が、効果的に進むためには、学習者の意識に左右されるところが大きいと考える。そこで、学習者の学習を通しての自己効力感に着目した。ここでいう自己効力感とは、学習(課題)という外界からの事柄に対して、取り組んでいけるという自己で確認する感覚である。つまり、「やっついでいこう」「できるだろう」というポジティブな意識をもてることが大切であると考え。このように学習に対して、継続して取り組むためには、図5に示すように、課題ごとのSTEPがとても重要である。課題と課題の差が大きいと、問題解決が進まず、挫折してしまう可能性が高くなる。また、課題と課題の差が小さくても学習に興味・関心が持てず、学習は持続しない。課題と課題の関連性を重視し、系統的な学習になるように組み立てた。

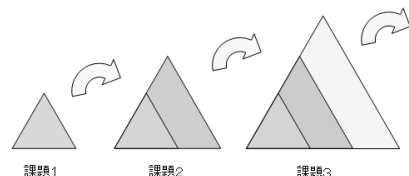


図5 学習のイメージ

ロボット教材は、複合的な構成であることから、ハマRoboでは、単なるものづくりやプログラムの作成でなく、実験を取り入れ、科学的に検証しながら進めるカリキュラムとした。STEPの基本は、ロボットの組み立てから、様々な動きを実現するためのプログラムの作成とした。表1にLEGO MindstormsのSTEP学習の基礎基本の各課題と指導の視点の関係を示す。

表1 LEGO MindstormsのSTEP学習の基礎基本の各課題と指導の視点

	STEP	課題内容	指導の視点
基礎基本コース	1	基本ロボットの作成	← 構造の理解
	2	4秒前進して、停止するモータの回転方向と	← ロボットの動きとモータの回転方向
	3	6秒間前進して、2秒間後退し、止まる	← 【STEP2の発展】
	4	円を描く	← 左右のモータの出力の違いによる動き
	5	3秒間前進し、右に90°曲がり、止まる	← 90°曲がるしくみ
	6	正方形を描く	← 【STEP5の発展】直進+90°回転+直進+90°回転+...
	7	STEP6のプログラムを改良し、何度も繰り返す	← 【STEP6の発展】繰り返しの概念
	8	前進して、黒い線にぶつかったら止まるプログラム	← 光センサの概念
	9	線の右側をたどりながら動くプログラム	← ラインの右側をたどるための概念とプログラム
	10	線の両側をたどりながら動くプログラム	← 【STEP9の発展】

7. 指導者側の考え方と姿勢

問題解決学習は、指導者側が、構想した学習のステップで学ばせていく系統学習ではなく、子どもたち自身が主体的に興味・関心を持ち、自ら体験等を通して学習していくスタイルである。しかし、基本的なプログラムの作成のしかたやセンサの特徴については、教える必要がある。ロボット教材の学習カリキュラムの開発にあたり、教師は基本的な内容以外は教えるのではなく、サポートに徹することが大切であると考えた。しかし、学習の途中で、生徒が求めて来る必要な資料や情報は提供し、支援については、子どもたちが求めてくるまで、見守り、待つ姿勢を維持することである。これは、指導者としての必修の姿勢でもあると考える。

8. 開発したカリキュラム

以上のことを検討し、LEGO MindstormsとハマRoboによるカリキュラムを作成した。それぞれの特徴を考え、思考が広がり、ロボット製作と実験、プログラムの作成を混ぜ作成した。LEGO Mindstormsの学習カリキュラムは、全部で、30STEP+ α の課題を作成した。全STEPを表2に示す。このSTEP学習は、大きく分けると基礎基本、発展、応用の3つに分かれている。発展、応用ではロボットの改良が入り、それぞれの終わりには、修了検定がある。なお、このカリキュラムのSTEP21以降の応用については、WRO2008世界大会の競技ルールの克服のための内容となっている。ハマRoboの学習カリキュラムは、基礎基本28STEPと発展7STEPとし、発展は課題によって3つのコースに分けた。全STEPを表3～表6に示す。

表2 LEGO MindstormsによるSTEP学習一覧

	STEP	内 容
基礎基本コース	1	サッカーロボットをつくろう
	2	4秒前進して、停止するプログラムをつくろう
	3	6秒間前進して、2秒間後退し、止まるプログラムをつくろう
	4	円を描くプログラムをつくろう
	5	3秒間前進し、右に90度曲がり、2秒間直進するプログラムをつくろう
	6	正方形を描くプログラムをつくろう
	7	STEP 6のプログラムを改良し、何度も繰り返すプログラムに改良しよう
	8	前進して、黒い線にぶつかったら止まるプログラムをつくろう
	9	線の右側をたどりながら動くプログラムをつくろう
	10	線の両側をたどりながら動くプログラムをつくろう
		【実験】はやく走らせるためにはどのようにしたらよいか考えよう
		【実験】遅く走らせるためにはどのようにしたらよいか考えよう
		『検定用 ライントレース競技台を走破しよう』
発展コース	11	カブトムシ型ロボットをつくろう
	12	センサを使わないで、車庫入れをするプログラムをつくろう
	13	光分岐を使い、黒い線まで前進して、3回転して、止まるプログラムをつくろう
	14	タイマ分岐を使い、30秒までは右回転で大きく回り、30秒以降は左に大きく回るプログラムをつくろう
	15	マルチタスクを使い、ラインレースをしながら、音楽を流すプログラムをつくろう
	16	タッチセンサを使い、壁にぶつかったら、1秒後退して2回転して、止まるプログラムをつくろう
	17	角度センサを使い、スタートから50回転したら、10秒間その場で回転、止まるプログラムをつくろう
	18	超音波センサを使い、壁から5cmのところまで前進し、1秒間停止、その後、2秒間後退して、止まるプログラムをつくろう
	19	センサを使い、車庫入れをするプログラムをつくろう
	20	修了検定にあわせて、独自の車をつくろう
		【実験】重心の位置と動きの関係について考えよう
		【実験】周りの明るさに影響されない光センサの取り付け方について考えよう
	課題	『WRO2007のコースを走破しよう』

表2 LEGO MindstormsによるSTEP学習一覧 (つづき)

応用 コース	21	応用ロボットをつくろう
	22	2つのセンサを使ってライントレースをするプログラムをつくろう
	23	途中でラインがないコースの、ラインとレースをするプログラムをつくろう
	24	タイマと、光センサをマルチタスクで組みWRO2008のスタートからゲートをくぐるまでのプログラムをつくろう
	25	回転センサと、光センサをマルチタスクで組み、WRO2008のスタートからゲートをくぐるまでのプログラムをつくろう
	26	走って行って、角まで行ったら、缶を落とす機構をつくろう
	27	STEP26で作った機構を使い、角まで行ったら缶を落とすプログラムをつくろう
	28	障害物を回避する(克服する)機構をつくろう ☆今回は、(b)と(e)と(f)に対応する機構です
	29	各コーナーの缶を落とすプログラムをつくろう(小学生の大会ルールです)
	30	障害物と各コーナーの克服するロボットとプログラムをつくろう ☆今回の障害物は(b)でチャレンジしましょう
課題『WRO2008のコースを走破しよう』		

表3 ハマRoboによるSTEP学習(基礎基本)

学 習 項 目		学 習 項 目	
1	目標(課題の把握)	15	【実験】はやく走らせるためにはどうするか
2	シャーシの設計	16	【課題】車庫入れ競技大会
3	シャーシの加工	17	【実験】光センサの特性
4	ギヤボックスの組み立て	18	光センサ1つを使って右側ライントレース
5	シャーシへギヤボックスの取り付け	19	【実験】センサと駆動輪の関係
6	【実験】セラミックコンデンサのはたらき	20	光センサ1つを使って左側ライントレース
7	Robobuilderの画面構成の理解	21	光センサ1つを使って両側ライントレース
8	前進(両方のモータの回転の確認)	22	光センサ2つを使ってのライントレース
9	前進+停止+後進	23	マルチタスクを使ってのライントレース
10	【実験】前輪駆動と後輪駆動の動き	24	【課題】ライントレース競技大会
11	円を描く(左右のモータの出力制御)	25	タッチセンサ1つを使った迷路抜け
12	直角に曲がる	26	タッチセンサ2つを使った迷路抜け
13	正方形を描く	27	マルチタスクを使っての迷路抜け
14	繰り返しの命令のつくりかた	28	【実験】確実に動かすためにはどうするか

表4 ハマRoboによるSTEP学習(発展1)

学 習 項 目	
29	茶運び人形のロボット(原理)を考える
30	リンク機構・カム機構を考える
31	お茶を受け取る仕組みを考える
32	受け取る仕組みをつくる
33	茶運びのプログラムを考える
34	【課題】茶運び人形競技大会
35	学習のまとめ

表5 ハマRoboによるSTEP学習(発展2)

学 習 項 目	
29	積み木を移動させるロボット(原理)を考える
30	リンク機構・カム機構を考える
31	移動させる仕組みを考える
32	移動させる仕組みをつくる
33	積み木の移動のプログラムを考える
34	【課題】積み木移動競技大会
35	学習のまとめ

表6 ハマRoboによるSTEP学習(発展3)

学 習 項 目	
29	【実験】温度センサの特性
30	リンク機構・カム機構を考える
31	温室の温度を一定にする仕組みを考える
32	一定にする仕組みをつくる
33	温室の温度を一定にするプログラムを考える
34	【課題】温室の温度管理をしよう
35	学習のまとめ

9. 技術分野におけるロボット教育

7月に公布された新学習指導要領をみると、改訂の具体的事項で、「ものづくりなどの実践的・体験的な学習活動を通して、材料、加工、エネルギー、生物、情報に関する基礎的な知識と技術を習得させるとともに、技術と社会・環境とのかかわりについて理解を深め、よりよい社会を築くために技術を適切に評価・活用する能力と態度の育成を重視することとし、次のような改善を図る。」とあり、さらに、学習内容を、「現代社会で活用されている多様な技術を、①材料と加工に関する技術、②エネルギーの変換に関する技術、③生物育成に関する技術、④情報活用に関する技術等の観点から整理し、すべての生徒に履修させる。」とある。ロボット教材を使った学習は、前述したように、複合的な教材であることから、開発したカリキュラムのように、材料と加工、エネルギー、情報活用、栽培、さらに技術を評価する力など、指導する者の意識次第で、短時間に総合的に学習させる教材であると考えられる。また、社会で使われている様々な科学技術についても考えさせ、評価させることができる教材である。

10. カリキュラムをサポートするテキストの開発

思考力を育成するカリキュラムの開発にあたり、学習するときのテキストが重要となる。そこで、図6～9に示すように、LEGO MindstormsとハマRoboのそれぞれの教材を使った学習テキストを開発した。

LEGO Mindstormsのテキストは、STEPごとに配布できるようにA4、1ページまたは2ページとした。このテキストは、自己学習もできるように、課題、考え方、ヒントから構成した。

ハマRoboの学習テキストは、中学校の技術・家庭の技術分野の学習に合わせて作成した。学習項目とそれぞれの履修時間は表7に示す。この学習テキストでは、材料と加工+エネルギー変換+計測・制御の学習内容として最終課題を初めに提示して、先を見通した学習展開になるようにした。そして、自己評価の欄や実験なども入れ、それぞれの学習内容は選択できるようにした。



図6 LEGO Mindstormsの学習テキスト

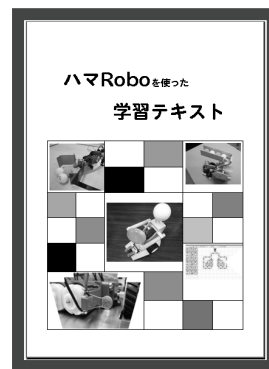


図8 ハマRoboの学習テキスト

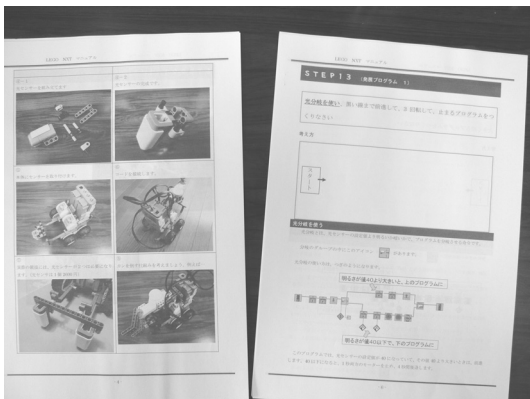


図7 LEGO Mindstormsの学習テキスト2

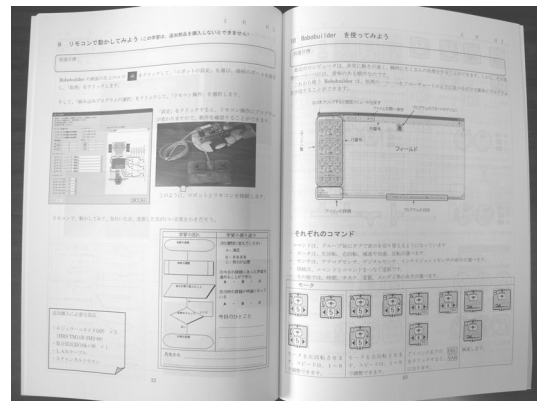


図9 ハマRoboの学習テキスト2

表7 ハマRoboを使った学習時間表

学習テキストの 学習項目	プログラムのみ (7時間) ライントレース カーまたは迷路 抜け	組み立て +プログラム (11時間) ライントレース カーまたは迷路 抜け	ライントレース カーまたは迷路 抜け (17時間) 3年生17時間	茶運び、物体運 搬、など (25時間) 2年生8時間 3年生17時間	茶運び、物体運 搬、温室管理など (37時間) 2年生10時間 3年生17時間
導入	1	1	2	2	2
動力の伝達			2	3	3
電気回路			1	2	2
モータとコンデンサ				1	2
センサのしくみ				1	2
材料の性質			1	1	2
ロボットの設計		1	1	2	4
部品の加工		3	3	3	6
組み立て		1	1	1	4
プログラム	4	3	3	5	6
ロボコン大会	1	1	1	2	2
生活と技術	1	1	2	2	2

11. 実践による結果より

作成したカリキュラムをもとに、LEGO Mindstorms とハマRoboの両方を使ってロボット教室を開催し、子どもたちの反応、変容を調査した。11月から約8ヶ月間にわたり、11回のロボット教室を横浜市内で実施した。1回の学習時間は6時間で、小学校3年生から中学校3年生までの子どもたちを対象にして実施した。約4ヶ月後に子どもたちにアンケートを実施した。ロボット学習でどのような力が身に付いたかという問いの結果を図10に示す。

また、どのようなときにそう思うかという問いの結果については図11のようになった。

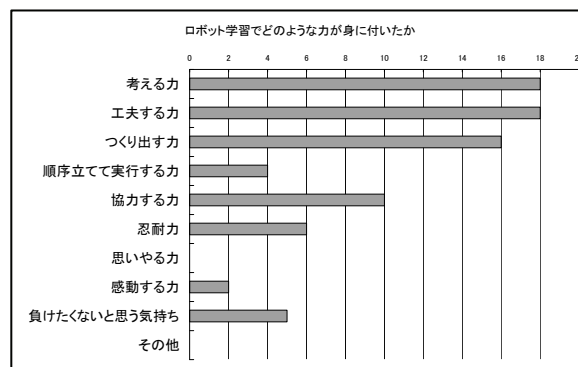


図10 ロボット学習でどのような力が身に付いたか
n=31 (複数回答可)

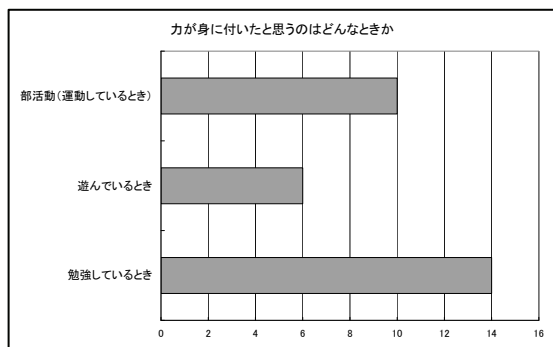


図11 力が身に付いたと思うときはいつか
n=31 (複数回答可)

8ヶ月間、連続で参加した小学生の親に聞き取り調査をしたところ、「以前は、すぐに諦めてしまったことに対しても、根気よく取り組めるようになった。」「自分の考えていることを、順序立ててしっかりと説明ができるようになった」「計画的に行動できるようになった」という回答を得た。このように、家族が変わったとわかる変化がみられるようになった。子どもたちのSTEP学習に対するの評価としては、図12に示すようになった。

また自由記述では、

- 何度も失敗してそれができたときがおもしろいと思った
- 自分たちのペースでゆっくりと進められてよかった
- 考えるのが楽しい
- いろいろ試して、成功へ近づいていくことが楽しかった
- 自分の疑問を自分で解決することによって喜びがもてた
- 上手にできたときは、とてもうれしかった

などの肯定的な評価が多く、この学習を楽しんでいた様子がわかった。

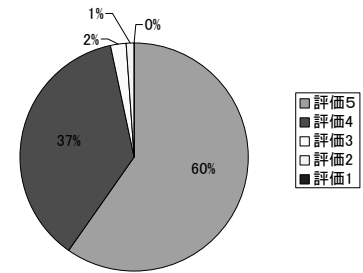


図12 STEP学習の評価

12. おわりに

世界の様々な国や地域で、ロボット教材を使った学習の取り組みが始まっている。これは、21世紀の各国を担っていく子どもたちの諸能力の育成に効果的な学習であると、認知されているからである。今回開発したカリキュラムは、基本的なロボットの製作とプログラムの作成、課題の克服に伴ったロボットとプログラムの改良、さらに知識を確実なものにする実験などを総合的に組み込むものとした。プログラムを短時間にこなし、楽しさを実感することができていた。

ロボット学習会に参加している子どもたちにロボット学習の魅力について質問した結果は次の通りである。

- 「作る」楽しさ、やっているうちに探してしまう「発見」チームとの微妙な連携
- 自分で作ってうまく動いたときの感動
- 考えたとおりに動かす難しさ それを乗り越えたときのうれしさ
- アイディアで工夫できる楽しさ
- 自分で楽しく表現できる
- 答えのないところ
- 人それぞれ違うものができる
- すごく魅力的な世界

子どもたちのこれらの感想や、学習に取り組んでいる姿、目の輝きから、体験的な学習を通して、体で感じとっていることがわかった。これまでの実践を通して、開発したカリキュラムは、子どもたちの思考力、判断力、表現力、順序立てて考える力などの能力が育成できるものであることを確信した。

「ものづくり立国日本」「科学技術立国日本」と叫ばれて十年近く経過するが、このような学習を、小学校の低学年より少しでも早く取り組んでいくことで、科学技術に興味を持つと考える。

参考文献

- ・ 発想を広げ、思考力を高めるロボット教材の開発，川原田 康文，横浜国立大学教育人間科学部紀要IV，自然科学，第10集，2008.02，pp.27-pp.38
- ・ Development of curriculum of robot learning， Yasufumi Kawarada， Ken Shigeri International Workshop on Robotics in Education November 16， 2007， Taipei， Taiwan
- ・ 文部科学省 学習指導要領 家庭、技術・家庭解説書，平成20年7月