

ロボットコンテストに参加した中高生が ロボット開発を通して獲得した能力の検証

Verification of Competency Obtained from Robot Development and Robot Contests
in Junior and Senior High School Students

福田哲也* 中条貴夫** 上田悦子***

追手門学院大学* 追手門学院** 鹿児島工業高等専門学校***

新学習指導要領において、プログラミング教育の導入が大きく注目され、多くの学校で様々な実践が行われている。しかしながら、その教育効果について、1回の講座や数回の授業における検証研究が多く、長期にわたる実践における研究はほとんどない。そこで、本稿では、社会課題の解決を目指したロボット開発をロボットサイエンス教育と定義し、長期にわたる教育活動の中で、生徒たちが培った資質・能力について、OECDのキーコンピテンシーと照合しながら、検証を行った。その結果、ロボットサイエンス教育は、プログラミングスキル等の育成だけでなく、やり抜く力や協働性などの非認知能力の育成にも寄与することを示唆するとともに、卒業後の人生にも大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

キーワード：ロボットサイエンス教育，ロボットコンテスト，非認知能力，STEAM教育

1. はじめに

1.1 研究背景とロボットサイエンス教育

新学習指導要領の改訂にともない、文部科学省は、STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) に加え、芸術、文化、生活、経済、法律、政治、倫理等を含めた広い範囲でAを定義し、各教科等での学習を実社会での問題発見・解決に生かしていくための教科等横断的な学習の推進を提唱している。そして、STEAM教育が注目されるとともに、「総合的な探究の時間」が設定され、これまでの暗記中心の教育から課題解決を目的とした教育の重要性が叫ばれるようになった。

福田は、2003年、フルブライトメモリアル基金ならびにNASAの教育基金 (Christa McAuliffe Fellowship Program) の支援のもと、日米の中学生が火星探査をテーマにした国際教育プロジェクト「Mars Rover Project」を遂行した。プロジェクト活動を通して、生徒が自ら課題を設定することによる主体性の醸成や、火星表面を走行する探査機 (Mars Rover) のモデル製作過程による思考力や創造力の育成に成果があった。

2004年より、「Mars Rover Project」の教育的手法を活用し、ロボットサイエンス教育を展開した。ここで

いう「ロボットサイエンス教育」は、筆者の造語で一般化されていない文言であるが、サイエンスの概念を広くとらえ、「SDGsなどの社会課題や答えが1つでない課題について、ロボット開発やものづくりを通して科学的に解決することを目的にした教育活動」と定義づけ、その普及・啓発に努めてきた。そして、単なる技術力やプログラムスキルの向上を目的とせず、課題解決の過程で、これからの時代に必要な資質・能力の向上を目指した。さらに、生徒の「思い」や「願い」を大切にしながら、主体的に取り組む科学教育の推進を心がけた。それは、ロボット制御というより、むしろデザイン思考のプロセス (共感・定義・アイデア・プロトタイプ・テスト) を具現化したロボット開発 (ものづくり) といえる。指導者として、心がけた観点を次にあげる。

- ・社会課題に向き合い、生徒自ら課題設定をする。
- ・答えが1つでない課題に、チームで取り組む。
- ・ロボット (もの) を製作し、活動成果を発表する。

2004年から実践したロボットサイエンス教育は、現在の課題解決を目的としたSTEAM教育にも通じるものである。そしてSTEAM教育は、S,T,E,A,Mを連結・横断して取り組む教育活動に対して、ロボットサ

イェンス教育は、サイエンスを意味する「S」を広く捉え、T,E,A,Mをふくむ「S」で、社会課題に焦点をあてた教育活動を意図した。ロボットサイエンス教育の概念図を図1に示す。

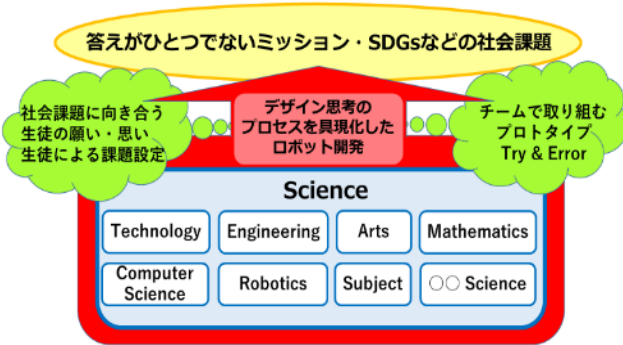


図1 ロボットサイエンス教育の概念図

1.2 ロボットサイエンス教育の成果発表の場であるロボットコンテスト

教育において評価は重要である。それは、格付けを意味するものではなく、成果や課題を俯瞰することで、さらなる教育活動に繋がる動機付けとなるべきものである。そこで、ロボットサイエンス教育活動の成果発表の場となったのが、世界規模のロボットコンテストであるFLL (FIRST LEGO League) やWRO (World Robot Olympiad) である。FLL、WROともにLEGO MindStorms などのロボット教材を用いたロボットコンテストであり、毎年20万人以上の小中高生が参加する世界最大規模の大会である。

FLLでは、ロボット競技に加え、毎年提示される課題テーマに基づき、調査研究ならびに研究プロセスの発表を行う。FLLが大会を通して参加生徒に求める資質・能力を次に示す。

- ・ Discovery : 新しいスキルとアイデアの発見
- ・ Innovation : 創造力と粘り強さで問題を解決
- ・ Impact : 学んだことを応用して社会創造
- ・ Inclusion : お互いを尊重し、他者理解
- ・ Teamwork : 協力による互いの成長
- ・ Fun : 科学に対する興味関心と他者とのつながり

また、WRO (Future Innovators 部門) は、SDGsに関連する課題テーマについて、ロボット開発による解決方法を発表するロボットコンテストである。その大会理念は「地球に生きる人として解決すべき問題を見出し、その解決過程やコミュニケーションの場を通して未来を担う人材を育成する」である。

近年のFLLおよびWROの課題テーマ例を表1に、中高生が世界大会で発表している様子を図2に示す。

表1 FLLおよびWROの課題テーマ (2016~2020)

年	FLL (FIRST LEGO League)	WRO (World Robot Olympiad)
2016	Animal Allies (動物保護)	RAP THE SCRAP! (環境問題)
2017	Hydro Dynamics (水の重要性)	SustainaBots (持続可能な社会)
2018	Into Orbit (宇宙・宇宙開発)	FOOD MATTERS (食糧問題)
2019	City Shaper (建築)	SMART Cities (持続可能なまちづくり)
2020	RePLAY (運動・健康)	CLIMATE SQUAD (地球温暖化)



図2 FLLやWRO世界大会における研究発表の様子

ゆえにFLLやWROでは、ロボット制御技術に加え、社会課題解決に関する独創性や革新性そして表現力が求められる。

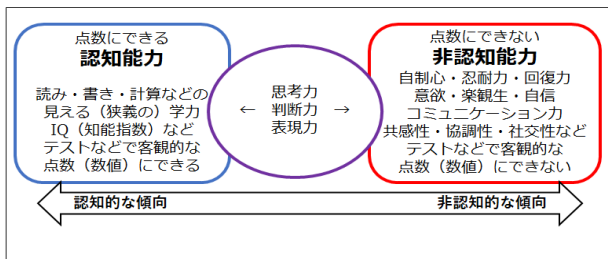
これらのロボットコンテストの課題に対し、福田が指導した中高生が取り組み、2005年から挑んだFLLで6回、2006年から挑んだWROで13回、日本代表として世界大会にも出場し、総合優勝を含む15回の入賞を果たした(2022年12月時点)。ロボットサイエンス教育活動に取り組んだ彼らの成長を指導者として、手に取るように実感したことから、その教育効果ならびに教育的価値の検証を試みた。

1.3 先行研究

ロボット教材を用いた教育効果検証については多くの実践がある。渡邊らはロボット教育活動の教育効果をアンケートによって検証している。しかし、これまでロボット教材を用いた実践研究は、1年未満の教育活動による検証が多く、また、アンケートは自己

評価であり、その数値には不確実性が大きい。福田らもロボットサイエンス教育の成果について、これまでロボットコンテストの成績や簡単なアンケートによる分析を試みてきたが、教育効果を論ずるエビデンスとして十分とはいえなかった。

昨今、教育効果の検証研究も発展し、五関らはアンケート結果を比較分析し、デザイン思考と新しいヒューマニズムを理科教育に導入し、イノベティブ・マインドセットの涵養につながることを示した。また、荒木らは、アンケートの自由記述に対し、テキストマイニングによる共起ネットワークから、プログラミングの経験が「粘り強く考え、進んで試行錯誤ができる態度」に結びついたらと、その教育効果を示した。さらに、非認知能力の測定についても、多くの研究者がアプローチしている。中山は、キャリア教育における教育効果を測るとき、自己評価項目を多元的に構築することで、曖昧になりがちな自己評価の質を高める試みを提起した。ここでの認知能力と非認知能力は一般的な教育用語であるが、中山は、それぞれの力について、図3のようにまとめている。



出典：「教師のための非認知能力の育て方」中山（2023）

図3 認知能力と非認知能力

2. 研究目的

本研究では、FLLやWROなどの課題解決を意図したロボットコンテストに挑戦した中高生が、ロボットサイエンス教育活動を通して、どのような能力を獲得したのか、その検証を目的とする。特に、これまでほとんど対象にされていなかった3年以上の活動に加え、その後の追跡調査までを行うものであり、長期にわたる教育活動を検証する意義は大きい。そして、教育効果の検証については、プログラミングスキルなどの認知能力だけでなく、主体性や協働性などの非認知能力に関わる資質・能力も対象とし、多面的な検証アプローチにより、自己評価の曖昧さをできる限り抑え、検証の質の向上を目指すものである。

その検証のイメージ図を図4に示す。

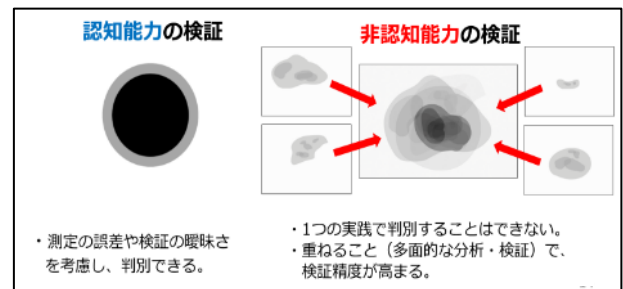


図4 認知能力と非認知能力の検証イメージ

研究目的の具体的な内容を次に記す。

- I. FLLやWROロボットコンテストにおいて、答えが1つでないミッションやSDGsに関する社会課題に向き合い、ロボット開発やものづくりを通して科学的に解決することに挑戦した生徒たちが獲得した能力について、OECDが示すキーコンピテンシーと照合し、検証する。
- II. 学生時代に培った能力が、成人になっても活かされているか（卒業後の影響）を検証する。

3. 教育効果の検証方法

2021年2月、福田が指導した学校の卒業生のうち、中高生時代にFLLならびにWROに参加したロボットコンテスト経験者（2005年～2019年の間に世界大会や全国大会に出場した18歳から30歳の30名）に対して、アンケートおよびインタビューを行い、その結果を分析した。

3.1 アンケートによる分析・検証

アンケートの質問項目については、OECDがDeSeCo計画で定義づけたキーコンピテンシーを意識して作成した。キーコンピテンシーを表2に示す。

OECDのキーコンピテンシーは、伝統的な学習モデルを発展させようとしたものでなく、社会構成主義の立場に立ち、変化する社会を生き抜く力とみなせるものであり、社会的責任ある行動や態度、そのために必要な知識や技能、さらに問題解決能力といった能力である。さらにその知識や技能を活用した思考力や応用力を求めているのである。実際に実施したアンケートの質問項目を図5に示す。

表2 OECDが定義づけたキーコンピテンシー

(1) 相互作用的に道具を用いる	1A 言語、シンボル、テキストを相互作用的に用いる力 1B 知識や情報を相互作用的に用いる力 1C テクノロジーを相互作用的に用いる力
(2) 異質なグループにおいて相互に関わり合う	2A 他者とよい関係をつくる力 2B 協同する力 2C 葛藤を調整し、解決する力
(3) 自律的に行動する	3A 大きな展望の中で行動する力 3B 人生計画や個人的プロジェクトを設計し実行する力 3C 自らの権利、利害、限界やニーズを主張する力

出典：OECD（2005）をもとに国立教育政策研究所作成

ロボットサイエンス教育活動を通して（アンケート）	
設問1：ロボットサイエンス教育活動で、印象的な経験は何ですか	
設問2：ロボットサイエンス教育活動において、どのような力がついたと思いますか（選択肢 ともついたり一つたり一つたりないあまりついていないついていない）	
① 学習したこと（言語、知識、数学）を活用する力	※キーコンピテンシー (1) 1A・1B
② コンピュータなどのテクノロジーを活用する力	※キーコンピテンシー (1) 1C
③ なかまとも協力して、取り組む力	※キーコンピテンシー (2) 2A・2B
④ 意見の違いや人との対立を調整し、解決する力	※キーコンピテンシー (2) 2C
⑤ 大きな展望をもって、目標に向かって行動する力	※キーコンピテンシー (3) 3A
⑥ 自分の生活や人生について、自律して生きる力	※キーコンピテンシー (3) 3B・3C
⑦ ものごとを論理的に考える力	※文科省が謳うプログラミング的思考
⑧ 壁にぶつかっても、あきらめず解決しようとする力	※やり抜く力「GRIT」
設問3：ロボットサイエンス教育活動は、あなたの人生の糧になりましたか	
設問4：ロボットサイエンス教育は、これからの教育において重要であると考えますか	

図5 ロボコン経験者に対するアンケート質問項目

図5の設問2の①は表2のキーコンピテンシーの(1) 1A・1B、②は(1) 1C、③は(2) 2A・2B、④は(2) 2C、⑤は(3) 3A、⑥は(3) 3B・3Cをそれぞれ意識したものであり、⑦は文部科学省が唱えるプログラミング教育におけるプログラミング的思考、⑧は教育者であるダックワースが説く「やり抜く力」と表される「GRIT」を意識した（Anjela Duckworth, 2016）。「GRIT」については、教育だけでなく、社会や企業で注目される資質・能力である。その4つの要素を次に示す。

- ・度胸（Guts）：困難に挑み逆境に負けない勇気
- ・復元力（Resilience）：挫折から立ち直る力
- ・自発性（Initiative）：率先して物事に取り組む力
- ・執念（Tenacity）：物事に集中しつづける能力

各分野での成功者を調査したとき、この4つの要素を束ねた「GRIT（やり抜く力）」の有無が、成功の大きな要因であったと、ダックワースは述べている。また、設問3では、ロボットサイエンス教育活動がどのような成長に繋がっているかを検証するために、培った能力が大学生や社会人になって、どのように活かしているのかを問うた。

また、福田が指導する現役の中高生にも同様のアンケートを実施し、経験年数および全国大会出場の有無による教育効果の比較をした。

そして、設問1、設問3、設問4については、内容・理由についての自由記述をテキストマイニングによって出現した単語を定量化し、検証した。なお、テキストマイニングについては、User Local社の「AIテキストマイニング」をデフォルト設定で用い、出現単語を計測した。

3.2 インタビューによる分析・検証

ロボットサイエンス活動の教育効果を多面的に分析するために、3.1節のアンケート実施の1～2ヶ月後にアンケート回答者に対して個別インタビューを行った。個別インタビューの際、1名の都合がつかず、29名に実施した（30分程度）。インタビューでは、話しやすい環境を目指し、分かりやすい言葉で、アンケートの回答内容やその理由を確かめながら、獲得した能力、卒業後の影響、そしてロボットサイエンス教育の教育価値について問うた。インタビューの質問項目を図6に示す。

ロボットサイエンス教育活動を通して（インタビュー）	
(1) ロボットサイエンス教育活動でついた力について教えてください。	
(2) 学生時代に取り組んだ活動の思い出・印象に残ったことを教えてください。	
(3) 振り返ったとき、どのように皆さんの人生に影響がありましたか？	
(4) 現在、どのような仕事に従事していますか？（学生なら研究内容について）	
(5) ロボットサイエンス教育の教育効果・教育的価値について、どのように思いますか？	
(6) 福田の話で印象に残っている言葉や話がありますか？	

図6 ロボコン経験者に対するインタビュー質問項目

インタビューは、M-GTAの手法を用いて分析した。M-GTAとは、グレーザーとストラウスによって1960年代に考案されたグラウンデッド・セオリー・アプローチ（Glaser and Strauss, 1967）の検討から、その可能性を実践しやすいように改良された質的研究である。インタビューを書き起こし、概念を抽出し、カテゴリーを構成し、ストーリーを図式化した。

4. OECDキーコンピテンシーに基づく分析結果

4.1 設問1「ロボットサイエンス教育活動で、印象的な経験について」のアンケート結果と分析

図5の設問1のロボットサイエンス教育の印象的な経験については、30名中22名がFLLやWRO世界大会のエピソードを記した。「ロボットサイエンス教育活動で、印象的な経験について」の記述を図7に示す。

ロボットサイエンス教育活動で、印象的な経験は何か。(抜粋)

- ・今、振り返ってみると理科室で練習している時お互いのチームのロボットを見ながらここが良いやここを変えたらいいかもなどお互いに協力して切磋琢磨し良きライバルであったからこそ違うチームのロボットのことも知ることができて、世界大会での活躍に繋がったと思う。
- ・今思い返してみると、目の前が本当に真暗になるような経験は、なかなかあることではなく、気持ちのいいものではないが、貴重な経験ができたのかなと思う。自分自身の性格を考えると、そんなに何かに熱中したり、周りが見えなくなったりすることは余りないと思うが、そんな自分でも目の前が真暗になるぐらい熱中した科学部での活動は、特別な活動になっていると思う。
- ・自身にとって最後のWRO出場であったWROタイ国際大会でのプレゼン終わりの仲間との悔し涙。私たちは、本当にこの一瞬に全力で日々を過ごしてきたことを思い知ったことが印象的で、今でも忘れられない。あれだけの熱量で取り組めた活動や、チームとしての強さを実感できた経験は自分自身初めてであったし、同時にどれほど十分だと思っても準備に終わりはないことを思い知った。いい意味で最後の最後に自身の伸び切った鼻をへし折られ自身の詰めの甘さを思い知った出来事であったから非常に印象的である。
- ・やり切ったという思いがあったため、負けたことがとても悔しかった。その悔しさが自分を成長させてくれたと思う。あの敗北がなければ天狗になっていたと思うし、その後の人生で努力をしなかったのではないかと考えている。
- ・FLLの世界大会で総合優勝した時です。自分の今までの努力、チームとしての努力が最大形で評価された瞬間でした。今までの「負け」は「成功」だったということを学ぶことができました。

図7「ロボットサイエンス教育活動で印象的な経験について」

また、全回答者の記述の内容を総括的に把握するために、テキストマイニングを行い、出現単語と共起回数を調べた。出現単語および共起回数を表3に示す。

表3 印象的な経験について出現単語と共起回数

名詞		動詞		形容詞		単語の共起とその回数		
単語	出現回数	単語	出現回数	単語	出現回数	単語1	単語2	共起回数
ロボット	31	思う	29	良い	8	できる	ロボット	10
チーム	26	できる	27	難しい	5	チーム	ロボット	9
世界大会	18	感じる	15	強い	5	できる	チーム	7
FLL	14	残る	8	うまい	4	できる	実感	7
WRO	11	考える	7	無い	4	印象	残る	7
経験	11	いく	7	嬉しい	4	FLL	世界大会	6
気持ち	11	学ぶ	6	悔しい	3	チーム	感じる	6
大会	10	教える	6	大きい	3	お互い	チーム	6
印象	10	知る	6	楽しい	3	できる	ロボット競技	6
全国大会	9	しまう	6	冷たい	2	できる	参加	6

図7の記述からも分かるように、ロボット開発に挑戦したこと、ロボットコンテストで失敗したこと、緊張したことなどを印象を持つ回答が多く、当時の経験が大きな影響を与えていることが綴られてあった。また、表3より、単語（名詞・動詞・形容詞）の出現頻度、共起回数を分析したところ、名詞では「ロボット・チーム・世界大会」、動詞では「できる」、形容詞では「良い・難しい・強い」という言葉が顕著に出現している。また、「チーム」という単語との共起を多く見ることができた。これは、指導者として心がけた観点の1つである「答えが1つでない課題に、チームで取り組む」経験が、協働性の育成に寄与したと推察する。

4.2 設問2「ロボットサイエンス教育で獲得した8つの力について」のアンケート結果と分析

図5の設問2では、OECDのキーコンピテンシーの6つの力とプログラミング的思考およびGRITを意識して、ロボットサイエンス教育でどのような資質・能力を獲得したかを問うた。設問2のアンケート結果を図8に示す。

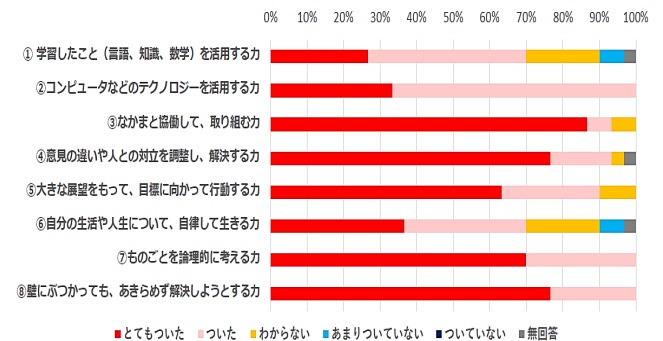


図8「ロボットサイエンス教育で獲得した力について」卒業生（全国大会経験者）30名

設問2の回答において「とてもついた」を5点、「ついた」を4点、「わからない」を3点、「あまりついていない」を2点、「ついていない」を1点と数値化した。図8より、①～⑧の能力について、いずれも高い数値になった。特に③④⑤⑦⑧の能力について、「とてもついた」という回答が50%をこえているのが分かる。回答データは正規分布に従わないことから、①～⑧の能力の数値の有意差を調べるために、Steel-Dwass検定 ($p < 0.05$) による多重比較を行った。検定結果を表4に示す。

表4 ①～⑧の能力の有意差
Steel-Dwass検定による多重比較 ($p < 0.05$ を黄色表示)

	比較する能力							スコアの 平均値
	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
①の能力	0.498	0.001	0.004	0.061	0.900	0.004	0.001	3.80
②の能力	-	0.004	0.061	0.632	0.900	0.090	0.019	4.33
③の能力	-	-	0.900	0.512	0.003	0.865	0.900	4.80
④の能力	-	-	-	0.900	0.036	0.900	0.900	4.60
⑤の能力	-	-	-	-	0.272	0.900	0.900	4.53
⑥の能力	-	-	-	-	-	0.039	0.011	3.90
⑦の能力	-	-	-	-	-	-	0.900	4.70
⑧の能力	-	-	-	-	-	-	-	4.77

①の能力に対して③④⑦⑧の能力に、②の能力に対して③⑧の能力に有意差が見られた。ロボットサイエンス教育活動では、学習したことやコンピュータなどのテクノロジーを活用する力より、協働性やGRIT(やり抜く力)の育成への寄与を推察することができる。これは、社会課題や答えが1つでない課題をチームで解決するロボットサイエンス教育の特徴が関与していると考えられる。

4.3 設問2「ロボットサイエンス教育で獲得した8つの力について」の現役生アンケートの比較分析

アンケートを実施した卒業生30名に加え、現在、ロボットサイエンス教育活動を行う現役生徒48名にもアンケートを実施し、獲得した力について比較検証した。現役生徒に対しては、経験年数、全国大会の出場経験をもとに、次のような3つのグループ(B-1、B-2、B-3)に分け、実施した。

【卒業生】

A : 卒業生 ロボットサイエンス教育活動歴3年以上
全国大会経験者 (30名)

【現役生徒】

- B-1: 現役生徒 ロボットサイエンス教育活動歴2年以上
全国大会経験者 (17名)
- B-2: 現役生徒 ロボットサイエンス教育活動歴2年以上
全国大会未経験者 (8名)
- B-3: 現役生徒 ロボットサイエンス教育活動歴1年
全国大会未経験者 (23名)

現役生徒のそれぞれのグループにおける獲得した力についてのアンケート結果を図9～図11に示す。

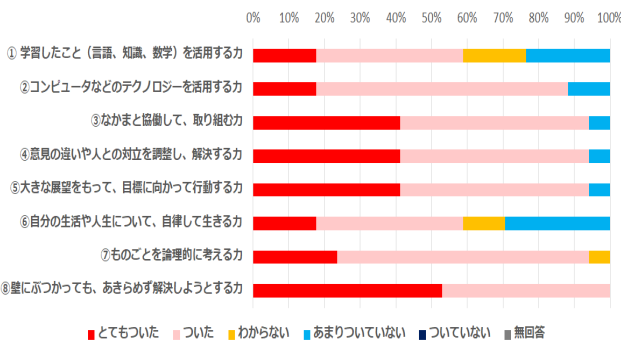


図9 現役2年以上 (全国大会経験者) 17名

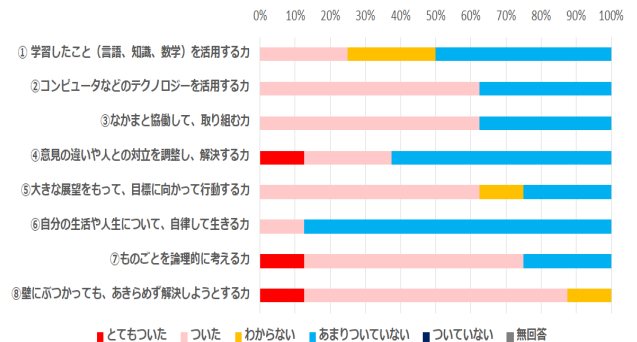


図10 現役2年以上 (全国大会未経験者) 8名

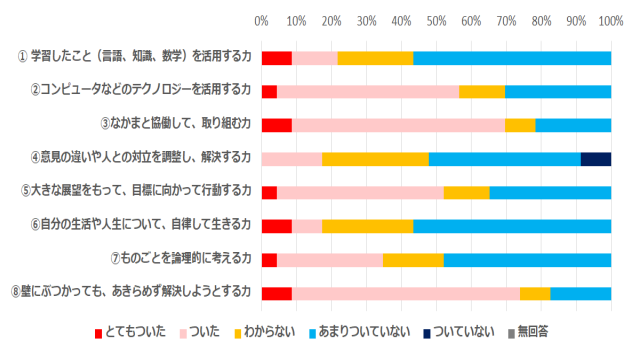


図11 現役1年 (全国大会未経験者) 23名

また、経験年数と経験内容による獲得した能力の有意差を分析するために、卒業生(A)と現役生徒(B-1, B-2, B-3)における①～⑧の能力の数値について、Steel-Dwass検定 ($p < 0.05$) による多重比較を行った。検定結果を表5に示す。

表5 経験年数と全国大会経験の有意差
Steel-Dwass検定による多重比較 ($p < 0.05$ を黄色表示)

①の能力	スコア			スコア	②の能力	スコア			スコア	③の能力	スコア			スコア	
	B-1	B-2	B-3			平均値	B-1	B-2			B-3	平均値	B-1		B-2
A	0.729	0.048	0.002	3.80	A	0.362	0.014	0.001	4.33	A	0.014	0.001	0.001	4.80	
B-1	-	0.320	0.099	3.53	B-1	-	0.288	0.120	3.94	B-1	-	0.054	0.038	4.29	
B-2	-	-	0.900	2.75	B-2	-	-	0.900	3.25	B-2	-	-	-	0.862	3.25
B-3	-	-	-	2.74	B-3	-	-	-	3.30	B-3	-	-	-	3.57	
④の能力	スコア			スコア	⑤の能力	スコア			スコア	⑥の能力	スコア			スコア	
	B-1	B-2	B-3			平均値	B-1	B-2			B-3	平均値	B-1		B-2
A	0.123	0.002	0.001	4.60	A	0.604	0.006	0.001	4.53	A	0.487	0.004	0.001	3.90	
B-1	-	0.051	0.001	4.29	B-1	-	0.059	0.004	4.29	B-1	-	0.057	0.129	3.47	
B-2	-	-	0.900	2.88	B-2	-	-	0.900	3.38	B-2	-	-	-	0.496	2.25
B-3	-	-	-	2.57	B-3	-	-	-	3.22	B-3	-	-	-	2.70	
⑦の能力	スコア			スコア	⑧の能力	スコア			スコア						
	B-1	B-2	B-3			平均値	B-1	B-2		B-3	平均値				
A	0.010	0.007	0.001	4.70	A	0.346	0.003	0.001	4.77						
B-1	-	0.570	0.001	4.18	B-1	-	0.152	0.004	4.53						
B-2	-	-	0.352	3.62	B-2	-	-	0.796	4.00						
B-3	-	-	-	2.91	B-3	-	-	-	3.65						

A : 卒業生 活動歴3年以上 全国大会経験
 B-1: 現役生徒 活動歴2年以上 全国大会経験
 B-2: 現役生徒 活動歴2年以上 全国大会未経験
 B-3: 現役生徒 活動歴1年 全国大会未経験

表5の経験年数と全国大会経験の有意差は次のことを示唆している。

- いずれの能力も卒業生と現役生徒1年目には有意差がある。
- 卒業生から比較したとき、③⑦の能力は卒業生と現役生徒で、①②④⑤⑥⑧の能力は全国大会出場の有無によって、有意差がある。
- ①②⑥の能力は、現役生徒の中では有意差があるとは言えない。

これらの結果より、ロボットサイエンス教育の経験年数や経験内容が生徒の能力獲得に関係していることが推察できる。

また、現役生徒に、ロボットサイエンス教育活動に取り組むことによって、どのような力がつくと思うかというアンケートを実施した。その結果を図12に示す。

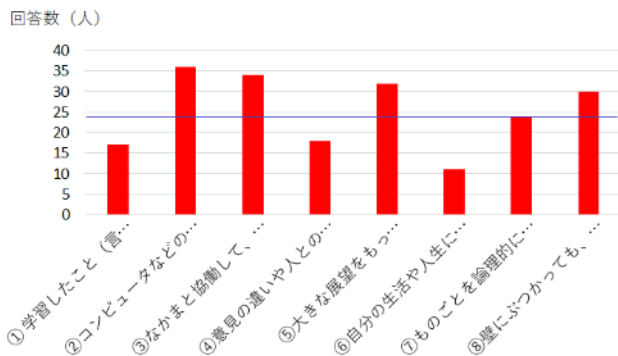


図12 「活動を通してどのような力がつくと思うか」 現役生徒48名 (複数回答)

図12に示す通り、8つの能力のうち、ロボットサイエンス教育活動に取り組む現役生徒 (48名) の半数以上が選んだ力は、②③⑤⑦⑧の能力であった。これらは、図8の卒業生が獲得した資質・能力の傾向と類似していることから、生徒たちは獲得する可能性を実感しながら活動していることを示唆している。

5. 学生時代に培った能力のその後に関する分析結果

5.1 設問3「ロボットサイエンス教育と人生の糧について」のアンケート結果と分析

図5の設問3では、卒業生 (30名) の多くは、社会人になっていることから、ロボットサイエンス教育活

動が、その後の人生にどのように影響を及ぼしているかを問うた。アンケート結果を図13に示す。また、回答理由の全回答者の記述を総括的に把握するため、テキストマイニングを行い、出現単語および共起回数を調べた。出現単語および共起回数を表6に示す。

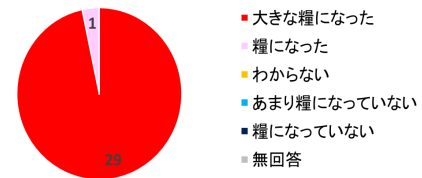


図13 「ロボットサイエンス教育は人生の糧になっているか」 卒業生30名

表6 「人生に与えた影響について」 理由記述の出現単語と共起回数

名詞		動詞		形容詞		単語の共起とその回数		
単語	出現回数	単語	出現回数	単語	出現回数	単語1	単語2	共起回数
ロボット	25	できる	33	大きい	4	ロボット	活動	14
活動	23	思う	23	良い	3	できる	ロボット	12
経験	22	考える	18	多い	2	できる	経験	11
科学	11	感じる	15	楽しい	2	経験	開発	9
プログラミング	10	取り組む	11	辛抱強い	1	できる	活動	9
大会	10	出来る	11	つきにくい	1	ロボット	教育	9
研究	9	持つ	9	幅広い	1	できる	考える	8
チーム	9	いく	8	興味深い	1	いく	考える	8
高専	8	学ぶ	7	正しい	1	物事	考える	8
能力	8	いただく	6	熱い	1	チーム	経験	7

図13において、97%が「大きな糧になった」と回答し、その後の人生に大きな影響を及ぼしていることがわかる。また、表6の理由記述のテキストマイニング結果より、名詞では「ロボット・活動・経験」、動詞では「できる・考える」などの文言が顕著に出現した。また、「できるーロボット」「できるー経験」など成功体験を示す共起が見られた。ロボット開発の成功体験が、その後の人生にも大きく影響を及ぼしていることを示唆している。

5.2 設問4「ロボットサイエンス教育の重要性について」のアンケート結果と分析

図5の設問4で、ロボットサイエンス教育の重要性について、卒業生 (30名) に問うた。アンケート結果を図14に示す。また、回答理由の全回答者の記述について総括的に把握するため、テキストマイニングを行い、出現単語および共起回数を調べた。出現単語および共起回数を表7に示す。

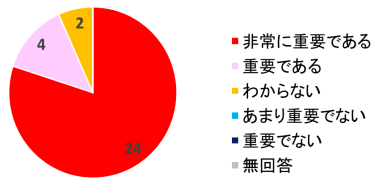


図14「ロボットサイエンス教育はこれからの教育にとって重要であると考えるか」卒業生30名

表7「ロボットサイエンス教育の重要性について」理由記述の出現単語と共起回数

名詞		動詞		形容詞		単語の共起とその回数		
単語	出現回数	単語	出現回数	単語	出現回数	単語1	単語2	共起回数
ロボット	44	思う	41	良い	10	ロボット	教育	22
答え	29	感じる	22	多い	9	答え	考える	16
教育	27	考える	22	大きい	7	社会	課題	15
解決	22	いく	21	上手い	4	解決	課題	15
課題	22	できる	21	深い	3	いく	ロボット	14
社会	21	取り組む	8	素晴らしい	3	ロボット	解決	14
重要	20	出来る	6	新しい	3	いく	答え	12
問題	15	繰り返す	5	面白い	3	ロボット	感じる	11
プログラミング	13	生み出す	4	幅広い	2	社会	解決	11
必要	12	つながる	4	少ない	2	答え	課題	11

図14において、93%が「非常に重要である」「重要である」と回答し、ロボットサイエンス教育の重要性を示した。また、表7の回答理由の自由記述のテキストマイニング結果より、名詞では「ロボット・答え・教育」、動詞では「考える・できる」、形容詞では「良い・多い」などの文言が顕著に出現した。また、「答えー考える」「社会ー課題」「解決ー課題」等の共起が多く見られた。ロボットサイエンス教育の重要性を高く評価するとともに、その教育的価値をロボット開発よりもむしろ課題解決に見出していることを示唆している。

5.3 インタビュー結果とM-GTA分析

アンケート分析を裏付けるために、アンケート回答者（卒業生29名）に対して、図6に示す質問項目について、インタビューを行った（30分程度）。そのインタビューの書き起こしデータをM-GTAの手法を用いて、概念を生成し、カテゴリーを構成した。生成した概念および構成したカテゴリーを表8に示す。そして、表8の概念およびカテゴリーから、創出されたストーリーを図式化した。インタビュー内容をM-GTAによる分析で創出されたストーリー図を図15に示す。

図15のM-GTAによるストーリー図は、ロボットサイエンス教育の特徴を表している。これらは、ロボットサイエンス教育活動が、1章で示した指導者が意図

表8 M-GTA分析による概念およびカテゴリー

概念の生成	カテゴリーの構成
・社会課題に向き合う・答えが1つではない課題 ・ロボットづくり ・研究発表	○ ロボットサイエンス教育の特徴
・試行錯誤 (Try & Error, PDCA) の連続・チームで取り組む ・楽しさ・結果が明確・すぐに改良・悔しさ	○ ロボットサイエンス教育活動の特徴
・生きる力・思考力 (論理的思考力、問題解決力) ・マネジメント力 (調整力、計画力、他人を巻き込む力) ・本質を見極める力 (多面的思考、批判的思考) ・視野の広がり (世界観・価値観)・主体性 (自立、学習意欲) ・伝える力 (プレゼンテーション力、表現力) ・協働性 (コミュニケーション力、他者理解、人間関係力) ・やり抜く力 (継続して努力する力、忍耐力、GRIT) ・コンピュータスキル・プログラミングスキル	○ ロボットサイエンス教育で培った力「生きる力」
・成功体験 (小さな成功・大きな成功)・自信	○ 成功体験と自信
・進路への影響・人格形成への影響 ・社会で、人として「生きる力」の獲得	○ 人生の糧に「人生への影響」
・受け身の学び・産学・個の学び ・発表機会少 ・認知能力	○ 日本の学校教育の現状と課題

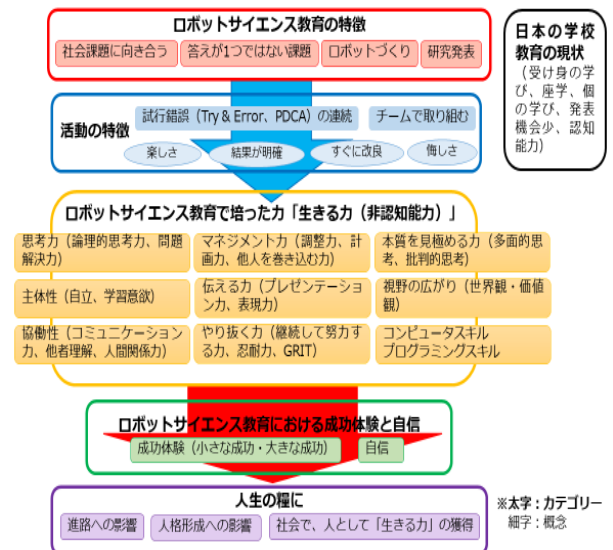


図15 M-GTAによるストーリー図

した教育意義を果たしていることを示唆しており、4章および5章のアンケート結果と分析で表面化した獲得した資質・能力とストーリー図の「ロボットサイエンス教育で培った力」を照合すると、思考力・調整力・主体性・伝える力・協働性・やり抜く力など、多くの一致が見られることから、ロボットサイエンス教育の教育効果ならびにその全体像を可視化することができたと考える。

6. 分析のまとめ

ロボットサイエンス教育の教育効果について、課題解決を目的とするロボットコンテストに参加した生徒（卒業生）に対し、アンケートおよびインタビューを実施し、その検証を行った。アンケートの自己評

価値の曖昧さを小さくするために、経験年数・経験内容の比較分析および記述のテキストマイニング分析により、分析精度を高めたと考える。分析結果より次の点が明らかになった。

- ・ アンケート結果は、ロボットサイエンス教育はOECDが提唱するキーコンピテンシーに関する資質・能力の育成に寄与することを示唆している。
- ・ アンケートの比較分析から、OECDのキーコンピテンシーの「1. 相互作用的に道具を用いる」よりも「2. 異質なグループにおいて相互に関わりあう」「3. 自律的に行動する」の影響が大きく、また論理的思考力やGRITにも寄与することを示唆している。そして、それらは非認知能力に関わる資質・能力である。
- ・ とくに経験の記述の中で、「チーム」という単語の出現率や共起回数が高いことから、ロボットサイエンス教育の意図するチームでの課題解決活動が協働性などの醸成に寄与することを示唆している。
- ・ 現役生徒とのアンケート比較から、ロボットサイエンス教育の経験年数や経験内容が生徒の能力獲得に関係していることが推察できる。
- ・ ロボットサイエンス教育の経験は、卒業後、大学生や社会人になっても大きな影響を及ぼしている。
- ・ インタビューをもとにしたM-GTA分析で得られたストーリー図は、指導者が意図する教育効果に寄与していることを示唆しており、ロボットサイエンス教育の教育効果ならびにその全体像を可視化することができた。

そして、本研究は、3年以上長期にわたる教育活動およびその後の影響についての検証でもあり、意義深いと考える。また、ロボットサイエンス教育と多くの理念を共有するSTEAM教育の教育効果を示している。

しかしながら、ロボットサイエンス教育の検証については、非認知能力にも関わることから、その定量化は、一層の研究を進める必要があると、課題も残した。課題を次に記す。

- ・ 定量的な分析を目指したものの、アンケートやインタビューによる自己評価によるデータをもとにした分析ゆえに数値の曖昧さを排除できない。
- ・ 福田が指導する生徒および卒業生を対象とした検証のため、指導者に対する付度も想像できる。ゆえに、教育効果を検証するには、ロボットサイエンス

教育を受けている集団と受けていない集団での比較をする必要があり、出現単語やその共起回数の分析において、経験や仲間との関わりについては存在を確認できるものの、ロボットサイエンス教育の全体像を語るには十分とはいえない。

- ・ 非認知能力に関わる検証については、アンケートやインタビューによる教育的検証に加え、行動分析や経験値などの工学的な検証による定量化が重要である。

また、これらの課題は、本研究にとどまるものではないと考える。国が掲げる「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けて、新学習指導要領では、求められる資質・能力を「知識及び技能」「思考力・判断力・表現力等」「学びに向かう力・人間性等」の3つの柱に整理された。言うまでもなく、「学びに向かう力・人間性等」については、非認知能力に関するものであり、その評価およびその方法については大きな議論を呼んでいる。そのような点でも、非認知能力の検証は、教育分野における研究発展の鍵になると考える。

7. おわりに

本研究において、多面的なアプローチにより、ロボットサイエンス教育の教育効果ならびにその後の影響について検証を試みたが、課題を残したものの、その教育効果ならびにその全体像を可視化できたと考える。

今回、対象になった卒業生30名の内、社会人として仕事に従事している18名の中で、研究開発業務に就いている者が8名と多いことも興味深い。それは、社会課題に向き合い、プロトタイプをつくる過程で、多くの失敗や挫折を経験しながら一定の成果を掴んだことが、自信にも繋がり、より大きな研究に挑む姿勢に繋がったと推察する。生涯学習の重要性が叫ばれている中、培った能力がその時だけのものではなく、社会で働くようになって、活用されていることから、OECDのキーコンピテンシーの設定目的を達成しているといえよう。

それゆえに、社会課題に向き合い、答えが1つでない課題を協働で取り組むロボットサイエンス教育は、時代の先を行く教育であると考えられる。そして、デザイン思考のプロセスを意識しながら社会課題解決を目指すロボット開発は、国が提唱するSTEAM教育の先

駆的な教育実践といえ、ロボットサイエンス教育の普及・啓発を期待してやまない。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、ロボットサイエンス教育のベースなる国際教育プロジェクトとともに実践した Hector Ibarra氏ならびに支援をいただいた Edward Jones氏・享子 Jones氏に謝意を表します。

また、科学技術振興機構、中谷医工計測技術振興財団、武田科学振興財団をはじめとする多くの教育機関から多大なるご助成をいただきました。

最後にロボットサイエンス教育の実践の場である 追手門学院大手前中高等学校ならびに奈良教育大学附属中学校の関係各位に対し、あらためて御礼申し上げます。

参考文献

- 文部科学省(2021)「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す個別最適な学びと協働的な学びの実現～(答申), 中教審第228号,
https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt_syoto02-000012321_2-4.pdf.
(参照2023年9月30日)
- 福田哲也(2004)考える力を育む理科教育の実践, 奈良教育大附属中学校研究収録, 34号, pp. 33-54.
- Jasper Wu(2019)スタンフォード式デザイン思考, インプレス社, pp. 18-43.
- NPO法人 青少年科学技術振興会FIRST Japan. FIRST LEGO League Challenge,
<https://firstjapan.jp/program/challenge/>.
(参照2023年9月30日)
- NPO法人WRO JAPAN. 大会理念,
<https://www.wroj.org/>.
(参照2023年9月30日)
- 中山芳一(2023)教師のための「非認知能力」の育て方, 明治図書, p. 18.
- 小塩真司(2021)非認知能力ー概念・測定と教育の可能性ー, 北大路書房, pp. 11-252.
- 渡邊香, 馬躍航, 内田尚登, 河野仁, 大海悠太, 鈴木秀和(2021)競技型ロボット教育科目における教育効果の検証, 工学教育69巻6号.
- 五関俊太郎, 後藤勝洋, 松浦執(2022)デザイン思

考を通じてイノベティブ・マインドセットを育む 理科授業の開発と実践, STEM教育研究 Vol. 4.

- 荒木貴之, 板垣翔大, 齋藤玲, 佐藤和紀, 堀田龍也(2018)プログラミング教育の経験に対する学習者の振り返りの分析, 教育システム情報学会誌, Vol. 35, No. 2, pp. 233-238.
- 中山芳一(2016)キャリア教育における多元的自己評価試論ー非認知能力を手がかりとしてー, 岡山大学全学教育・学生支援機構教育研究紀要第1号, pp. 123-132.
- 中山芳一(2017)キャリア教育における多元的自己評価試論Ⅱー2016年の評価結果からー, 岡山大学全学教育・学生支援機構教育研究紀要第2号, pp. 107-116.
- 中山芳一(2018)キャリア教育における多元的自己評価試論Ⅲー2017年の評価結果からー, 岡山大学全学教育・学生支援機構教育研究紀要第3号, pp. 85-94.
- 今西幸蔵(2008)キー・コンピテンシーとDeSeCo計画, J-STAGE学校教育研究, 23巻, pp. 21-33.
- Anjela Duckworth(2016)「GRIT」やり抜く力, ダイアモンド社.
- Duckworth, Peterson, Matthews, Kelly(2007) Grit: perseverance and passion for long-term goals. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 92, No. 6, pp. 1087-1101. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.92.6.1087>
(参照2023年11月3日)
- Linda Kaplan Thaler, RobinKoval(2016)「GRIT」平凡でも一流になれるやり抜く力, 日経BP, pp. 21-27.
- User Local(2021)AIテキストマイニング,
<https://textmining.userlocal.jp/>.
(参照2023年9月30日)
- 池田郁男(2013)統計検定を理解せずに使っている人のためにⅢ, 化学と生物, Vol. 51, No. 7, pp. 483-495.
- 木下康仁(2007)ライブ講義M-GTA 実践的質的研究法, 弘文堂, pp. 7-12.
- 福田哲也, 井上明, 上田悦子(2021)ロボットサイエンス教育の実践とその教育効果ーロボットコンテストに参加した中高生が活動を通して獲得した能力の検証ー, Robomech2021講演1A1-K05.

福田哲也, 中条貴夫, 上田悦子 (2024) ロボットサイエンス教育を通して中高生が獲得した能力の検証, 日本STEM教育学会拡大研究会, 一般発表, pp. 15-18.