

# 静岡 STEM ジュニアプロジェクト

平成 28 年度  
次世代科学者育成プログラム

報 告 書

研究代表者 熊野 善介

(静岡大学 創造科学技術大学院・教育学部・教授)

静岡STEMジュニアプロジェクト  
次世代科学者育成プログラム  
平成28年度報告書

研究代表者  
熊野 善介

本報告書は、国立研究開発法人科学技術振興機構との実施協定に基づき、静岡大学が実施した平成 28 年度次世代科学者育成プログラム「静岡 STEM ジュニアプロジェクト」の成果を取りまとめたものです。

JST 次世代科学者育成プログラム  
静岡 STEM ジュニアプロジェクト 研究成果報告書

発行日 平成 29 年 3 月 31 日

発行 熊野 善介  
(静岡大学創造科学技術大学院・教育学部・教授)

印刷 (株) 篠原印刷所

## はじめに

平成 26 年度より、JST の次世代科学者育成プログラムの支援のもと、静岡大学教育学部と静岡のチームは「静岡 STEM ジュニアプロジェクト」を立ち上げた。平成 27 年度は学長裁量経費で遂行し、平成 28 年度は再び次世代科学者育成プログラムに合格し、「静岡 STEM ジュニアプロジェクト」を継続することができた。ここに、本プロジェクトに支援をしていただいた、文部科学省と静岡大学学長に心から感謝申し上げる。

科学技術分野においてイノベーションが達成されるためには、科学と工学・医学・薬学・農学・情報学等、関連する分野との連携が鍵となっている。イノベーションが展開する教育方略として、諸外国では STEM 教育という言葉で、アメリカやイギリスをはじめとし、複数の国家レベルの科学教育改革が展開している。STEM 教育は科学・技術・工学・数学を一体として初等中等教育活動の中に盛り込むことができるため、独立した研究分野の科学の知識を身につけるだけでなく、分野横断型の研究課題に取り組むことで、将来先端の科学技術分野を担う人材の育成につなげることを目指している。

静岡 STEM ジュニアプロジェクトの展開手順は究めてユニークで、STEM 教育を展開しながら、児童生徒に自由研究を促してきた。また、児童生徒自らが主体的に関わる状況に科学的な活動、工学的な活動等を埋め込む努力をしてきたことである。主たる流れは次の通りであった。1. 児童生徒に対する科学教室の実施・自由研究の勧め及び児童生徒の自由研究の課題決定・実施をサポート（ステージ1）、2. STEM 領域の個人研究とグループ研究及び児童生徒の自由研究の課題決定・実施をサポート（ステージ2）、3. STEM キャンプにおける STEM 活動（ステージ1・2）、4. 本物の科学者による講演・実習（ステージ3）等を通年計画に位置づけて行ってきた。

これらにより科学者・(技術者)・工学者・数学者としての素質を開花させ、さらに研究活動にのめり込むことのできる人材の育成を図ることが目標である。また、実践の教育効果を評価することで日本の文脈での STEM 教育において特に引き伸ばすことができる能力とは何であるかを明らかにすることを試みた。したがって、本報告書は、1 年間の事業の取り組みの概略と研究成果として、石川遙・小林美沙希による STEM キャンプの分析と生徒の創造性の育成に関する齊藤智樹の複数の論文からまとめられている。また、ステップ3においては、産総研の佐藤弘先生、気象研究所の村田昭彦先生、地質調査所の及川輝樹先生にご講演をいただきましたことお礼申し上げます。本プロジェクトは、静岡県教育委員会の後援をいただき、また、静岡科学館る・く・る、浜松科学館、静岡市教育委員会、浜松市教育委員会、並びに静岡県内国公立、私立の小中学校、報道機関等との連携により、次世代を担う科学者・工学者を目指す人材を発掘し、STEM 教育の実践・評価により、能力の開発・伸長を図るとともに、自由研究指導及びその成果の発表活動を通して、さらに高いレベルでの研究活動を奨励し、受講者のステップアップを図っていくことができたことを心から感謝申し上げます。本プロジェクトに係わっていただいた、静岡大学の郡司賀透先生、萱野貴広先生はじめ多くの先生方、熊野研究室の学生諸君に改めて感謝申し上げます。

平成 29 年 3 月 10 日

次世代科学者育成プログラム 代表 熊野善介  
(静岡大学創造科学技術大学院・教育学部教授)

## 研究成果発表

### 1.学会、各種イベント等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所 （学会等名）	発表した日	国内・外の別
Action Research on STEM Education Development into Japanese Contexts: Possible Revises on Japanese Course of Study from the Consequences of Shizuoka STEM Education Trials	熊野善介， 齊藤智樹， Ilman Anwari, Irma Rahma Suwarma, 奥村仁一	Association for Science Teacher Education (ASTE) International Conference, Reno, NV	2016/1/7-9	国外(USA)
Action Research on STEM education development into Japanese Contexts; Possible on Japanese, Course of Study from the Consequence of Shizuoka STEM Education Trials, Keynote speech	熊野善介	APEC-Tsukuba International Conference X, University of Tsukuba, Tokyo	2016/2/13	国内
シンポジウム I、「理科教育の新しい潮流（NGSS/STEM）と次期学習指導要領に定めるエネルギー環境教育」、「新学習指導要領を考えるーこれからのエネルギー概念をどのように教えるかー」、招待シンポジスト	熊野善介	日本理科教育学会第6回全国大会論文集、信州大会、52-53	2016/8/7	国内
日本における STEM 教育研究の在り方と展望ーアメリカの STEM 教育改革の理論と実践を踏まえてー、課題研究発表	熊野善介	日本科学教育学会年会論文要旨集 40、3-4	2016/8/19-21	国内
[27O4E-2] Status Study on STEM Education Development and Results from Shizuoka STEM Education Trials 2014-2015 and Future Setting (A0520)	熊野善介， 齊藤智樹， 奥村仁一， 坂田尚子， 小坂那緒子， Lely Mutakinati	2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education	2016/8/26-28	国内

[27O4E-1] Development of the Theories to Assess Students' Learning in a STEM Integrated Learning Environment (A0522)	齊藤智樹, 奥村仁一, 坂田尚子, 熊野善介	2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education	2016/8/26-28	国内
--	---------------------------------	---	--------------	----

## 2.学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した日	国内・外の別
A Look at Relationships (Part I): Supporting Theories of STEM Integrated Learning Environment in a Classroom - A Historical Approach	齊藤智樹, Ilman Anwari, Lely Mutakinati, 熊野善介	K-12 STEM Education, Vol.2, No.2, pp.51-61	2016年	国外 (Thailand)

## 3.新聞等メディアでの掲載

掲載した成果（発表題目）	対応者	雑誌・番組名、掲載内容	掲載、放送日	国内・外の別
球形スクリーンで見る地球	大石隆示	静岡新聞、静岡 STEM ジュニアプロジェクト 開校式（浜松）とデジタルアースの講義紹介	2016/6/19	国内
育て次世代の科学者	大石隆示	中日新聞、静岡 STEM ジュニアプロジェクト 開校式（浜松）とデジタルアースの講義紹介	2016/6/19	国内



目 次  
(CONTENTS)

はじめに	…	i
研究成果発表	…	ii
目 次		
1. プログラムの概要		
(1) プロジェクトの目的	…	1
(2) 具体的目標		
(3) 年度ごとの目標及び研究計画・方法（概要）		
2. STEM キャンプ		
子どもたちの STEM イシューズに対する視点変容に関する調査 ～STEM キャンプ 2016 の実践より～	…	14
3. 次世代科学者育成プログラム Stage 2 における創造性の育成		
(1) 創造性育成のための STEM が統合された学習環境デザインに 関する一考察	…	24
(2) STEM 教育の理論とそこへつながる統合的アプローチに関する 歴史的研究	…	35
(3) 21 世紀型能力としての創造性にまつわる転移に関する問題と その整理	…	47
(4) STEM 教育における創造的課題解決能力の伸長に関する実証的 研究	…	56
(5) STEM 教育における発散的思考力の活用に関する探索的事例研 究	…	68
4. 次世代科学者育成プログラム Stage 3 における学習		
(1) 本物の科学者との出会いと領域横断的な概念の学習	…	78
(2) Stage 3 における本物の科学者・工学者による指導内容	…	93
資料	…	95
おわりに	…	103



### 静岡 STEM ジュニアプロジェクトの概要

#### (1) プロジェクトの目的

これまでの取り組みでは、将来科学技術革新の中心となる人物、あるいは将来あらゆる社会のニーズに対応した各分野を担う科学者・工学者を育成することを目的として、活動を推進してきた。そこで、特に平成 28 年度からの 3 年間は、これまでに構築してきた「才能プール」の中から、更に高いレベルで創造性を発揮した活動、及び自主的・自律的な探究活動(すなわち自由研究)に取り組むことのできる人材を育成する。これによって、従前通り普通の学校生活では対応することのできない児童・生徒及び保護者のニーズに応じた教育活動を展開するだけでなく、同様の活動への一般化が可能となる STEM プログラムの開発を目的とする。このため、活動を 3 つのステージに分け、具体的な目標とそれを達成するための目標を以下のように設定した。

#### (2) 具体的目標

##### ステージ1:地域における STEM 科学教室の展開において(自己資金及び連携機関による)

平成 27 年度までにも実施してきた静岡・浜松・藤枝の 3 市における STEM 科学教室は、自己資金及び各連携機関のサポートにより継続する。なぜなら、これらの科学教室が優れた人材を発掘する「才能プール」となっていることは間違いなく、そこから更に高いレベルの受講者を選抜していくうえで、裾野を広げる意味での、この段階の活動は欠かせないものだからである。また、教育委員会や科学館との連携・協力を得るためにも、この段階の活動は不可欠である。したがって、このレベルの活動目標は、以下のようなものになる。

- ・ 科学館、教員研修組織、教育委員会等との連携のもと、科学のすそ野を伸ばすために、より多くの児童・生徒がこの STEM 科学教室の存在に気づき、興味のある人材は誰でも参加可能である環境を継続し、門戸をより広くとる。また、このために市町村レベルの教育委員会に適切に働きかける。
- ・ 多種多様な STEM 教材を提供することで、自主的・自律的に自由研究活動を始めるきっかけを与える。
- ・ 全員の参加者が一年間の自由研究指導のもとに、自由研究論文を書き上げ、各種科学賞に投稿する。

このステージでの最重要課題は、各自の自由研究の”完遂”にある。したがって、市町村レベルの教育委員会及び連携機関との調整のもと、現職教員も交えて、発掘・指導体制を構築・改善する。既に、静岡・浜松においては、高い指導力を持った現職教員あるいは大学からの指導者が、実際に受講者の自由研究を指導する体制が構築されている。藤枝を含めその他連携可能な教育委員会とは、3年間で順次連携しながら、公募地域を広げていく。

## ステージ2：静岡大学における創造的課題解決プログラムにおいて(本プログラムによる)

より高いレベルの受講者を選抜し、指導するためにステージ2と3を設ける。このステージへの受講者は、過去に県レベルの科学賞：静岡県学生科学賞、山崎賞、鈴木梅太郎賞を受賞したことのある者、あるいは県レベルに届かなくても、2度以上、各種科学賞を受賞したことのある者に限る。この条件に該当する児童・生徒は、ステージ1の受賞者だけでなく、県内各市町の教育委員会との連携を通して応募要項を各学級レベルにまで配布し、選抜基準に該当する者を発見し、ステージ2以降の受講を勧める。

ステージ2では、既に自分自身の手で自由研究活動を行ってきた受講者が、各自の自由研究にプラスする形で、他の受講者との協働の元、全く新しい自由研究活動に取り組むこととなる。そこで、このステージ2における目標は、彼らの自由研究の遂行そのものとは違った立ち位置から、彼ら自身が活動を自己管理していくこととした。この目標を達成するため、創造的課題解決プログラムをグループごとに指導しながらも、その成果を個別具体的な自由研究に対する適用によって評価することになる。したがって、以下のような評価目標を設定した。

- ・ グループごと STEM にまつわる課題を解決する過程として創造的課題解決プログラムを行い、そこで学んだ活動を、各自の自由研究に生かすことができるようになる(質的転移)。
- ・ いつ、どこで、創造的な思考：発散的思考を利用すべきであるかに自覚的になり、活動内で積極的に利用することで、より多くの研究課題、考えられる因果関係、および結論、よりユニークな研究課題、考えられる因果関係、および結論を導き出すことができるようになる(量的伸長)。
- ・ いつ、どこで、創造的な思考：発散的を利用すべきであるかに自覚的になり、各自の自由研究にそれを生かすことができるようになる(質的転移)。

ここでは、2つの予測(Conjecture)をもとにしている。一つは、創造的課題解決プログラムが彼らの自由研究をサポートする形で適用される(質的に転移する)であろうということと、もう一つは「いつ、どこで」発散的思考を適用すべきかを理解した受講者は、創造性を高めるであろうということである。なお、連携機関である静岡科学館・静岡サイエンスミュージアム研究会及び浜松理科教育研究会からは、現職教員らがこの活動の指導に当たる予定である。

## ステージ3：より高いレベルで、領域横断的な活動に取り組むために

最終ステージであるステージ3では、より高いレベルでの受講者の自由研究活動を支えるために、あらゆる科学・工学に共通する概念である、「パターン、原因と結果、規模、割合、量、システム、エネルギー、構造、機能、安定性、変化」などについて年間4日程度(夏・秋2回程度)、集中して学習する。ステージ2に参加し、このレベルに参加する可能性のある受講者は、科学・工学的活動に高い興味を持ち、各自の自由研究を遂行する能力のあるものであるが、そのなかでも、突出した創造性を持ち、更に高いレベルの学習を経験する希望のある者である。したがって、このステージ3での目標は、以下のようなものとなる。

- ・ あらゆる科学に共通する概念について、大学レベルの研究者による具体的な例に基づいた学習を進め、これまでに各自が進めてきた自由研究について、これらの概念に基づいた再検討を行うことができる。（したがって、彼らの学年(小5～中3)として理解できるレベルに留まらず、厳密さ、高い抽象度、より広い一般可能性について、議論を進めていくことになる)
- ・ 各自の自由研究以外に、STEM 分野をつなぐ様々な活動をより深める、科学的概念への理解を促進するために活用できる。

創造的思考の質的な転移を目指すステージ2と異なり、このレベルの受講者には意図的な転移、すなわち応用を自ら積極的に進めることを求める。また、ステージ2における創造的課題解決プログラムを通して、探究チームのリーダーとして活動する役割も、ステージ3の参加者には求められる。

なお、このレベルの指導には、本学から郡司・加藤・内山・大矢・紅林・松元らの教授・准教授らが活動を提供するとともに、連携機関である静岡科学館・静岡サイエンスミュージアム研究会及び浜松理科教育研究会と連動した教員研修会を兼ねる。

### (3) 年度ごとの目標及び研究計画・方法 (概要)

#### 目標

初年度 (26年度 ～ 27年度)	<p>1. 高い意欲・才能を持つ児童生徒の育成、指導法、専門家との連携手法の開発について具体的な方法が確立できたか。</p> <p>高い意欲・才能を持つ受講者の育成・指導法については、確立されつつある。しかし、それをどう評価するのか、また専門家との連携手法の開発については、具体的な方略が確立できたとは言い切れない。この点について 27 年度までに確立できたことは①STEM 教育としての学習、指導方法、②その学習環境において、受講者は何を学んでいるのかの把握方法である。</p> <p>2. 育成プラン、指導法、連携手法に係わる調査が実施できたか。</p> <p>初年度の取り組みとして、STEM 教育を通して、未来の科学者・工学者(技術者)の素質を開花させることができるかという点が、目標として挙げられていた。平成 27 年度までの活動として、どのように指導し、何が学ばれ、何ができるようになるのかといった点について明確化が成され、たとえば学部生、現職教員等によって、再試行・再適用が可能な STEM 教育活動として、指導法が確立されてきた。これについては、育成プラン、指導法の調査の賜物である。しかし、これをどうステージ1を担う連携機関、及び他の教育現場に波及させていくのかについては、今後の課題である。</p> <p>3. 開発した育成プランが目標どおり試行(または本格的運用)ができたか。</p> <p>まず、推薦選抜の体制づくりについては、おおむね各機関の協力によって、より高いレベルの受講者を得ることができたが、実際には地域の実情に反して体制を作ることは困難であった。</p>
----------------------------	---

<p>2 年度目 28 年度</p>	<p>◆<b>本格運用後の達成目標</b></p> <p>第二期初年度である 28 年度においては、過年度の課題を解決しながら、改めて新体制の運用を進めるために、以下の点を重点的な目標として実施していく。(ここからはステージ1については参加者、ステージ2・3については受講者として区別している)。</p> <p>● <b><u>推薦、選抜について</u></b></p> <p>◇ 体制づくり</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既に連携が取れることがほぼ確実な静岡、浜松、藤枝、牧之原の教育委員会及び、科学館との連携による「才能プール」募集体制の確立。</li> <li>・ 静岡新聞、静岡放送等との連携により、活動への理解を広めるとともに、各回の科学教室及び STEM キャンプの活動を紹介し、ステージ1の STEM 教室参加者を拡大する。</li> <li>・ 各市の教育委員会、校長会及び理科研究部会等への働き掛け、HP 等での公募によるステージ2レベルの人材発掘。</li> </ul> <p>● <b><u>STEM 教室・キャンプ、及び自由研究についてステージ1(学長裁量経費他、連携機関の支援による)</u></b></p> <p>◇ <b>STEM 教室について</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多様な STEM 教育プログラムの開発・実践を行う。</li> <li>・ 年間 10 回程度実施する。</li> <li>・ 全参加者の自由研究発表会を年度末に行う。</li> </ul> <p>◇ <b>STEM キャンプについて</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Project Based Learning(以下 PBL)を通してステージ2以上の受講者が扱う超領域的な課題に取り組む STEM 活動を計画し、年間 2 回程度 (1 キャンプ 1 課題) 実施する。</li> <li>・ ステージをまたいで参加者を募り、ステージ1の参加者との混合チームの中で、ステージ2・3の受講者のリーダー性、コミュニケーション能力、他と協働する力を養う。</li> <li>・ ステージ2受講者の取り組む疑問・課題からより視野を広げるようなテーマを意図的に選択し、彼らの探究がより、複雑性・不確定性に対して何ができるのかといったレベルにまで考え及ぶものとなるようにする。</li> </ul> <p>◇ <b>自由研究サポートについて</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ステージ1の参加者には、STEM 教室の午後を中心に自由研究指導を実施する。</li> <li>・ 希望者には e-learning システムを利用したサポートを実施するため、システムの ID、パスを提供する(新規参加者への登録を促す)。</li> </ul> <p>● <b><u>ステージ2の活動、運営について(本プログラムの支援による)</u></b></p> <p>◇ <b>グループ STEM 活動について</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計 15 名程度の受講者による 3 グループを構築し、それぞれのグループが一つの疑問、課題に取り組めるような PBL・STEM 活動を実施する。</li> <li>・ 各グループの実情に合わせて、フレキシブルに選び取り、活動していけるように、科学と工学の体験的・経験的活動として 8 つの活動(NGSS, 2013)を創造的課題解決プログラムとして提供する。8 つの活動とは：</li> </ul>
------------------------	---

28年度

1. 疑問を問う・課題を定義する、2. モデルをつくり利用する、3. 調査の計画と遂行、
4. データの解釈と分析、5. 数学、情報とコンピューター技術、そして計算的な考え方、
6. 解釈の構築と解決策のデザイン、7. 証拠をもとにした議論にかかわること、8. 情報を手に入れ、評価し、伝達すること

※なお、これらの項目は完全なものではなく、どれが必須で、何か足りないものがないか、プログラムを通じて再検討されるべきことではあるが、ここで重要視したいのは、受講者が自覚的に選び取り、活用していくもの：Heuristicであるという点である。

- ・ 各グループのプロジェクト計画は、指導者を交えて受講者相互に評価し、ステージ2前受講者及び指導者から認められたものについては本プログラムから学習材費用を支援する。
- ・ なお、浜松市からの受講者については、過年度既に選抜児童・生徒を扱う活動に成功しているため、浜松会場として選抜基準を満たすものを選抜し、別途指導する。(なお、この配慮は受講者の交通費を削減するためでもある)
- ・

◇ 創造的思考の利用機会について理解すること

- ・ いつ、どこで発散的思考を利用できるのかについて、自覚的になるために各活動においては、受講者が自らその活動における思考のモードを決定する。
- ・ そのために、創造的思考←→批判的思考を両面に印刷したパネルを用意する。

◇ 創造性の量的伸長について

受講者の創造性については、プログラムの前後でより多くの研究課題、考えられる因果関係、および結論を発想できるか、よりユニークな研究課題、考えられる因果関係、および結論を発想できるかの計6点について、量的に有意な伸長が見られるようにする。

また、同様にプログラムの前後ではSTEM4分野の研究者が、受講者一人一人の自由研究について創造性を判断するCAT(Consensus Assessment Technique)を用いて、創造性の有意な伸長があったかを、別途判断する。なお、後の判断材料とするため、これらのテストはステージ1の受講者も含めて実施する。

◇ 創造性の質的転移について

具体的に上記8つのどの場面で発散的に考え、どの場面で収束的に考える必要があるのかは、学習者が自覚的に選び取れるようにしていく(上記利用機会)。創造性については「ある課題に対して発散的な思考を訓練されることは、他の課題について応用できることには必ずしもつながらない」とのデータもあり、どの場面で、受講者は発散的な考え方を利用し、それを各自の自由研究に適用していくのか。この点については、e-learningシステム上に、各自がステージ2の活動の振り返りを記入できる場を設け、質的に把握する。

◇ 大学の専門家からの指導について

受講者が「疑問を問い、課題を定義する」には、その疑問や課題そのものについてよりよく知っている対象から、疑問や課題そのものについて学ぶことができるようにする。通常、彼らが利用しているであろう文献やインターネットのみならず、このステージ2では

<p>28 年度</p>	<p>大学の研究者が彼らの疑問や課題を明らかにする過程に関わる。もちろん、研究を進める過程でもアドバイスを受ける可能性はあるが、彼らの疑問や課題解決そのものを肩代わりするものになってはならない。ここでも最小限の介入に留めることを、受講者・指導者の共通理解として示す。(なお、ここでの指導者は上記 CAT の評価には関わらないものとする：CAT の評価者は学外から、指導者は学内から)</p> <p>● <b>ステージ3の活動、運営について(本プログラムの支援による)</b></p> <p>◇ <b>受講者の選抜について</b></p> <p>ステージ2からの選抜は、初回の創造性テスト及びCATにおいて高い得点を得た者を対象に案内を出し、希望したものを受け入れる形とする。ただし、ステージ2に参加する時点で、同テストにおいて比較的高い得点を得ると考えられるので、あくまでもステージ2参加者の中から、高い得点のものを選抜する。閾値は平均値からの標準偏差によって決定する。</p> <p>◇ <b>あらゆる科学・工学に共通する概念の学習について</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 静岡大学の教育、理学、農学、工学、情報学部等の研究者が講師となって、各研究者の専門とする分野から疑問・課題を解決するような、探究型プログラムを提供する。</li> <li>・ ここでは、NGSSに見られるあらゆる科学・工学に共通する概念である Cross Cutting Concepts(以下、領域横断的概念)について、それぞれの専門分野と関連付けながら重点的に学んでいく。</li> <li>・ 実際には年間2回(7月・9月)計4日間程度、静岡大学において研究者とともにこれらの概念について徹底的に学ぶ場を設ける。この内容は、受講者の思っていないところで、各自の研究を拡張する可能性がある。したがって、自由研究の一段落する9月までに「パターン、原因と結果、規模・割合・量、システム、エネルギー、構造と機能、安定性と変化」という7つの概念一つ一つについて、関連付けがなされることが期待される。これを基に受講者はステージ2の活動及び各自の自由研究を年末にかけて更に発展させていくことになる。</li> </ul>
<p>3 年度目 29 年度</p>	<p>◆本格運用後の達成目標および最終目標</p> <p>● <b>ステージ1の活動、運営について</b></p> <p>◇ <b>受講者の受け入れについて</b></p> <p>静岡、浜松、藤枝が中心となり、県内全域の受講希望者をできる限り受け入れていくことで、「才能プール」としてのSTEM教室を継続する。</p> <p>◇ <b>自由研究指導</b></p> <p>ここでの自由研究指導は、夏休みが終わるまでに必ず一つの研究を成し遂げるといったもので、この点については、変わらず継続する。新規となる参加者のために、これまでの受講生が行った研究を集め、追認研究を行ったり、そこから更に発想した個人の疑問を探究するなどの活動につなげたりできるよう、冊子化あるいはHPにて紹介する。</p> <p>◇ <b>活動の継続について</b></p> <p>ステージ1の活動は、かねてより協力機関と静岡大学とが継続してきたものであり、今後も継続していくものである。そうしたなかで、より高いレベルの活動を受講者が欲した</p>

29 年度	<p>場合、ステージ2の活動に引き上げていける体制づくりを年度中には行う予定である。</p> <p>● <b>ステージ2の活動、運営について</b></p> <p>◇ <b>受講者の選抜について</b></p> <p>選抜基準は、年度が替わっても特に変更する必要のないものであるため、29年度も継続して利用する。2年度目を終えた時点で、ステージ2の受講者には卒業をする者と、新たに入ってくる可能性のある者があるので、新たに選抜基準を満たしたステージ1参加者については、ステージ2の受講案内を配布することとする。</p> <p>◇ <b>実際の活動について</b></p> <p>2年度目から参加した受講者がいる分、この年度の活動ではより受講者によって計画をさせる部分を拡大していくとともに、新たに入ってきた受講者が、受け身にならないようなプログラムの構築を目指す。</p> <p>創造性については、量的な検討は時間的な問題で頭打ちになることが分かっているため、量的な検討は年度当初のみとし、CAT についての検討と、質的な転移及び適用の継続的な調査を進める。</p> <p>● <b>ステージ3の活動、運営について</b></p> <p>◇ <b>受講者の選抜について</b></p> <p>2年度目で創造性の得点によって得られた選抜結果は参考にしながらも、3年度目の初めにとった量的なテスト結果を基礎にしながら、実施委員会の合議によって選抜する。その際、STEM 教材の数学的な扱いがより優れる受講者を選ぶことで、よりステージ3の段階で育てうる人物像が明確化されるものと考えられる。(数学的な扱いができ、それが効率的であるかどうかは、ステージ1及び2のSTEM学習において26年度以降の知見をもとに把握できる)</p> <p>◇ <b>実際の活動について</b></p> <p>二年度目との違いは、受講者の殆どが、Cross Cutting Concepts の学習内容に触れた経験を持っている。したがって、新たにステージ3の段階に進んだ受講者を含め、より多様な対象にこれらの概念を適用できるようになっていくことが、この年度での目標である。</p> <p>21世紀型スキルと呼ばれるものは、領域をまたいで生かすことが求められる能力である一方で、領域をまたいで転移することが確認されない能力がいくつか存在する(例えば創造性や批判的思考)。したがって、その他のスキルであっても「いつ、どこでそれを適用できるのか」を受講者本人が自覚することと同時に、「より多様な課題とともに、それを学習すること」が必要である。ステージ3で扱う様々な概念も、科学のあらゆる領域に適用可能である一方で、様々な課題とともに、その適用を検討しておくことが、将来彼らが全く別の課題(特に自らの専門分野を超えて)に取り組む研究活動を展開する上で、役立つであろう。</p>
-------	---

## 計画

平成 28 年度	<p>ここでは時系列で各ステージの活動の詳細を示しながら、各観点について説明する。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● 3月まで<ul style="list-style-type: none"><li>27年度中にステージ2・3の実施を過年度の受講者及び連携機関には周知する。この際、ステージ2の選抜方法及び募集方法については知らせておく。また、協力を得られた教育委員会にも周知しておき、過年度の受講生以外の応募が受けられるよう、パンフレットと応募用紙を配布する。この時点で、ステージ2の年間活動計画と、ステージ3の実施日時は決定した状態にしておく。ただし、本プログラムの支援が決まったところで、採用者には正式に受講案内を送付することを確認しておく。</li></ul></li><li>● 4～5月<ul style="list-style-type: none"><li>◇ <b>ステージ1の募集と、ステージ2の選抜</b><p>ステージ1については、静岡科学館る・く・る、藤枝市生涯学習課、浜松市理科教育研究会等が、主体となって募集を行う。ステージ2の選抜は、4月の末日までを締め切りとし、県レベル以上の科学賞受賞者あるいは、それ以下のレベルでも2回以上の受賞経験者を募集する。emailあるいはFAXによって、受講申込書を提出する形をとり、応募者の中からより高いレベルの受賞者15名以内を選抜する。</p></li><li>◇ <b>ステージ1の活動開始</b><p>5/21の静岡科学館る・く・る「理数大好き教室」の開講をもって、ステージ1を開始する。その他、連携機関のスケジュールによるが、藤枝では6月から開始の予定である。</p></li><li>◇ <b>ステージ2の活動開始</b><p>初回の活動のみ、ステージ1の参加者とともに、自由研究発表会を実施する。この際、参加者・受講者には、「考えうる疑問・課題、その解となりうる因果関係、あり得る結論」について、できるだけ書かせるというテストを行う。また、科学・技術・工学・数学分野の研究者には、発表会における参加者・受講者の研究の創造性について、CATで評価を受けるとともに、それぞれの研究に対するアドバイス及び、各専門の研究に関する講演を行って頂く。</p></li></ul></li><li>● 6月<ul style="list-style-type: none"><li>◇ <b>ステージ2のテーマ設定</b><p>実際の活動の初回として、8つの科学と工学の体験的・経験的活動、創造的思考←→批判的思考パネル、今後の活動の見通し、大学の研究者との関わり方、予算の使い方等を説明し、各自の日常からの疑問と課題について「発散的」に挙げさせる。ここでは、ブレインライティングにより、15名の参加者が200以上の疑問・課題を想起できるようにする。その後、この中から、参加した15名が最も興味があり、自分自身の手で探究してみたいと考えている疑問や課題に投票させることで、各受講者が取り組む疑問・課題を選択させる(結果として3つ程度の探究グループができあがる)。</p></li><li>◇ <b>選択した疑問・課題について学ぶ</b><p>グループ活動では、基本的に8つの活動(前述)のうち「1. 疑問を問い、課題を定義す</p></li></ul></li></ul>
----------	---

28年度

る」活動から始めるが、その後は各グループが8つの中からフレキシブルに今進めるべきことを選んでいき、それに合わせて指導者が支援をする形をとる。

この際、受講者が取り組む疑問・課題について「文献の調査」「疑問・課題に精通している人へのインタビュー」「疑問・課題を支える情報の確かさを確認するための予備調査」など、疑問・課題そのものへのアプローチをする時間を一定期間取る。この際、大学の研究者のアドバイスを受ける場合は、インタビュー先を指導者側が調整する。

#### ◇ e-learning システム(Moodle)上における議論

大学を会場としたグループ活動を通して、ステージ2の活動は進んでいくが、実際に彼らが議論を進めていく上では、設定する日程が不十分であることが予想される。そこで、Moodle上の機能を利用して、議論の場を設ける。活動が軌道に乗れば、大学に来る日は議論したことを実証するための実験等に利用したり、指導者のアドバイスが必要なことについて、全体で話し合いをしたりすることになる。なお、議論の全やり取りは記録として残るため、後に創造性の質的転移の把握にも役立てられる。

### ● 7月

#### ◇ ステージ2：探究活動の計画

6月に作り上げた疑問・課題に対して、探究計画を進めていく。ここでは、8つの活動(前述 p.8)のうち、2. モデルをつくり利用する、3. 調査の計画と遂行、4. データの解釈と分析、5. 数学、情報とコンピューター技術、そして計算的な考え方、6. 解釈の構築と解決策のデザインなどの活動をどのように選び組み立てていくのかについて、受講者が議論しながら選び取っていくことになる。

この際、対立する意見を含めた二つ以上の推論をもとに研究活動を進めること(Strong Inference)、反証を基本とした探究活動を行うこと(Disconfirmation)を、この段階での最小限の介入事項として紹介する。

#### ◇ STEM キャンプ I

STEM キャンプは、ステージをまたいだ活動であり、ステージ2・3の受講者にとっては、他のステージ1の受講者を積極的にリードする場面でもある。また、可能であれば過年度の受講者(高校生レベル)の参加を招き、指導者の立場として関わらせる。

この第1回目のキャンプでは、あるテーマについてウォークラリー形式で、地域をめぐりながら、疑問と課題を見出していくような活動を新たに提供する。この活動は、ステージ1の参加者にとっては、各自が夏休みを通して探究する自由研究の材料となること、ステージ2・3の受講者にとっては、いかにあらゆる情報が一つの疑問・課題を構築する上で複雑に絡み合っているのかを学ぶ場となる。

また、本物の科学者との出会いを設け、各専門分野の講演をしていただく。

#### ◇ ステージ3の活動

7月の末、あるいは8月上旬をめどに、ステージ3のための教室を行う。場所は静岡大学内あるいは特定の研究施設を利用する。講師は、教育学部(郡司・加藤・内山・雪田・熊野・紅林・栢元ら)工学部(木村)及び理学部(大矢・瓜谷)等の共同組織の研究者らが務める(ステージ2での彼らの興味関心の示し方から、最も最適な専門研究をしている研究者を選択する)。

28年度	<p>このステージ3の受講者は、ステージ2の受講者の年度初めの創造性テストの結果が出た時点で、上位5名に当たる者に事前に説明をしておき受講を勧める。</p> <p>7つの領域横断的概念については、事前に講師との打ち合わせを進め、受講者が講師の専門となる内容についての探究を進めながら、これらの概念について、学ぶ場面を設ける。また、ステージ3の受講者はステージ2の受講者でもあるので、ステージ2での活動あるいは各自の自由研究活動に積極的に応用していくことができるよう、活動の終わりには振り返り及び適用計画を考える場面を設ける。</p> <p>● 8月</p> <p>◇ 自由研究指導</p> <p>ここでの指導は、ステージを限らず、全ての自由研究指導希望者に対応するが、主にステージ1の参加者に対しては、初回の自由研究活動が完遂できるよう、積極的な介入を行う。</p> <p>◇ ステージ2探究活動支援</p> <p>一方で、ステージ2の参加者は、各自の自由研究をこなしながら、グループの疑問・課題に取り組むことになるため、夏の段階での研究完成を求めすぎると、全体的にオーバーワークとなる可能性がある。そこで、夏休み時点での自由研究完遂を求めない形をとる(もちろん本人が望めばその限りではない)。また、このことは、ステージ1参加者の受賞機会を広げることにもなり得るため、将来的に新たな人材発掘につながり得る(科学賞の受賞及びそれによる称揚が次なるレベルへの学習に児童・生徒を導くラインとなっていく)。</p> <p>夏休み中は特に、実験・観察あるいは解決策の構築に時間をかける。複数の仮説を立てたのと同様に、解釈・解決策についても複数のものが構築されることになる。</p> <p>● 9月</p> <p>◇ ステージ2探究活動継続</p> <p>夏明けも継続して各グループの疑問・課題の解決に向けた活動を行う。この時期には、複数の解釈・解決策ができあがっていることが予想されることから、徐々に検証段階に移っていくよう促す。この期間、各種研究機関等で実験をする等の必要があれば、適宜訪問依頼をし、受講者を引率する。</p> <p>また、この段階では、8つの活動のうち7. 証拠をもとにした議論にかかわること、8. 情報を手に入れ、評価し、伝達すること等が重要になると予想されるため、Evidence based reasoning など27年度から活用してきたフォーマットを確認するなどして、各グループの主張と証拠に基づいた推論を構築していくよう促していく。</p> <p>◇ ステージ3の活動</p> <p>ここでも、7月と同様に、静岡大学からの講師による活動を展開する。講師及び受講者の選抜については変わらず設定する。ただし、7月の活動以降、受講者からの強い希望があった場合は、(強い興味関心の現れとして)基本的に受け入れるものとする。</p> <p>◇ STEM キャンプⅡ</p> <p>二度目のSTEM キャンプは、ステージ2の受講者が各グループの活動でしているのと同様に、より大きなレベルの問題(超領域的な問題：イシューズ)をテーマに、課題を見出</p>
------	---

	<p>し、それを解決していく活動を行う。このやり方は前回採用前の25年度以降、踏襲している。過去の例ではUNESCOエコパークとなった静岡市井川の地域において「多様な生態系を守りながら、人間と自然とが共存していくには」、焼津市においては「巨大な地震の後に、あなたの地域で起こりうる災害にどんな対策をしていったらよいのか」といったようなテーマで実施してきた。今年度は、ステージ2の受講生が実際に扱っている疑問・課題に対して、より大きな視点から問題意識を投げかけるようなテーマを検討している。また、受講者の考えている疑問・課題が当初から十分大きなものであれば(彼らの力だけでは到底解けないような課題も考えられる)、それを解くために必要となる探究活動に集中して取り組めるよう、意図的にキャンプのテーマとして提供する(ただし、あくまでも受講者の主体的な活動となるよう心掛ける)。</p> <p>こちらも同様に本物の科学者との出会いを設け、講演をしていただく。</p> <p>28年度</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 10月 <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ <b>ステージ2 探究活動継続</b> <p>10月も、解釈及び解決策の検討が継続されるが、進度の速いグループは、最善の案の決定とともに、検証と最適化を始める。常に「今ある答えが最善のものではない」という点を指摘し、改善を求める。</p> <p>また、この頃には、各自の自由研究に対してどのように適用していったらよいのかと答えがまとまりつつあると考えられるので、e-learningを通して記録されてきた思考の変遷とともに、どんな点で適用することができたか、受講者側の認識を確認する。</p> </li> <li>◇ <b>ステージ1からの次年度に向けた選抜対策</b> <p>28年度のステージ1の参加者は、29年度以降ステージ2に参加する可能性のある者である。具体的には中学校に上がることで条件を満たすようになるもの、あるいは新たに科学賞を受賞することで条件を満たすものが考えられる。前者については、年度当初から把握できる者であるので、キャンプ等ステージをまたいで実施する企画を通して、ステージ2への受講を勧めていく。また、この時期には8月末に提出された静岡県学生科学賞の市レベル、県レベルでの結果が徐々に分かってくることになるので、ステージ1の参加者については、把握できるものと考えられ、同様に29年度でのステージ2参加を促していく。</p> </li> </ul> </li> <li>● 11月 <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ <b>ステージ2 探究活動継続</b> <p>11月は引き続き解釈・解決策の最適化を進める時期である。また、グループによっては研究のまとめの段階に入る。</p> </li> <li>◇ <b>ステージ1 自由研究発表会</b> <p>ここではまた、ステージ1の参加者による自由研究発表会が実施される。ステージ2・3の受講者も、ステージ1には参加しているので、この時点で彼らの自由研究がどの程度ステージ2の創造的課題解決プログラム及びステージ3の領域横断的な概念の影響を受けているかは把握できる。静岡大学から複数の指導者及び連携機関、外部評価委員会のメンバーからも、この日の発表会には参観を得るので、受講者の創造性の適用、変化について</p> </li> </ul> </li> </ul>
--	--

28年度	<p>てコメントを得る。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 12月 <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ <b>ステージ2科学賞応募準備・支援</b> <p>この時期に応募できる科学賞として山崎賞等(年始応募締切)があるが、そこへ向けてステージ2での活動をまとめ上げるように促していく。この段階での課題は、複数名のグループメンバーが協働して1枚の論文を書いていくという作業であるが、ここでもe-learningのシステムを利用して、部分ごとに分担するなどしながら、書き進めていくことを促す。</p> </li> <li>◇ <b>科学の甲子園ジュニア参加</b> <p>27年度までには、本プロジェクトからチームを作って科学の甲子園ジュニアに参加する受講者が自然に生まれてきた。28年度においては、<u>より積極的にステージ3の参加者、そしてステージ2の参加者がチームを作って、こうしたイベントに参加する機会を提供する。</u></p> </li> </ul> </li> <li>● 1月 <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ <b>ステージ2の次年度残留メンバーに対する接続活動</b> <p>1月には2月の自由研究発表会に向けた発表準備を進めながらも、次年度の活動のための疑問・課題の検討を再度行うことで、残留するメンバーにとっては次年度の受講者となり活動することへの接続を意識することにつながるるとともに、<u>卒業し高校へ進学する生徒にとっては、次のレベルで本学が実施していく予定である「グローバルサイエンスキャンパス」事業へと持ち上がる個人のテーマにつながる。</u>また、ここでのブレインストーミングは、受講者各自が行う形をとり、創造性の量的伸長を把握する機会とする。</p> </li> <li>◇ <b>創造性の質的転移を評価</b> <p>この頃には、ステージ2の創造的課題解決プログラムの中で学んできた「いつ、どこで発散的思考を適用するのか」を、各自が自由研究にどのような形で適用していったのかということが、e-learning上のやり取りをその証拠とする形で、立ち現われてくると考えられる。具体的な記述をデータとしながら、探索的事例研究(Yin, 2014)の手法を取ってコーディングを行う。また、可能であれば計量テキスト分析(樋口, 2013)によって、該当する記述箇所の量的分析・検証により、質的転移のコーディングについて裏付けをとる。</p> </li> </ul> </li> <li>● 2月 <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ <b>自由研究発表会(創造性評価)</b> <p>年度末には、静岡科学館る・く・るにおいて、自由研究発表会が行われる。ここでも、再度科学・技術・工学・数学分野の専門家によるCATテストを行い、受講者の創造性の量的伸長について事前調査との比較に基づいた裏付けを取るとともに、ステージ1の参加者との間で創造性伸長の変化について有意な差がみられるかについて統計的に検討する。</p> </li> <li>◇ <b>初年度事業の評価・検討 外部評価委員会</b> <p>2月上旬には、連携機関、教育委員会等からの外部評価委員を静岡大学に招いて外部評価委員会を開催し、28年度の活動の評価・検討と29年度に向けて解決すべき課題の整理</p> </li> </ul> </li> </ul>
------	--

	<p>を行う。</p> <p>◇ <b>29年度活動の計画</b></p> <p>外部評価委員会での評価、課題を受けて次年度の活動を計画する。29年度も継続して本プログラムを実施する予定である。</p>
平成 29 年度	<p>全体の流れとしては、28年度の欄に示した流れを踏襲・継続する。そこで、ここでは①2年度目以降の本格運用における受講者育成の達成目標・指標と検証方法、②他機関への波及効果（社会的貢献）に関する計画に絞って記述する。</p> <p>①2年度目以降の本格運用における受講者育成の達成目標・指標と検証方法</p> <p>前述の通り、既に28年度から参加した受講者については創造性の量的伸長については、頭打ちになる可能性がある。（テストの性質上、時間内で書き上げることのできる疑問・課題の数には限りがあるため）。そこで、29年度はより質的な転移に着目して、プログラムをつくりあげる。</p> <p>まず、第一に28年度の質的検討によって、「受講者は探究活動のどの場面で、より創造的に考え得るか、そしてそれを自身で管理できるか」という点についてコーディングが成され、すなわち指導をするための視点を獲得することができる。ただし、これはあくまでも個人の事例であるので、29年度のステージ2の活動の中で、それら視点到重きを置きながら各グループの活動を進め、それを受けてまたどのような反応が見られるのかについては、注視していかなければならない。例えば、ある受講者は前年度の成功体験をもとに継続して創造的なアイデアを生み出していくことに成功するかもしれないが、また別の受講者は同様の取り組みによっては適用するアイデアを生み出せないかもしれない。その場合、28年度に選抜された視点が、彼らの創造的な思考を支えるポイントとなるかもしれない。</p> <p>②他機関への波及効果（社会的貢献）に関する計画</p> <p>第一に、科学館や教員研修組織との連携を構築してきたこれまでの活動は、ステージ2・3を構築するための土台としてどうしても必要なものであった。受講者のみならず、連携機関の事業の在り方についても関わりこそすれ、積極的な改変を求めるわけではなく、最小限の介入に留めるという点が、本学のプログラムの特徴であり、他機関に波及し、それが持続可能なプログラムとなるうえで重要な点であると考えられる。</p> <p>第二に、28年度に把握される創造的思考の質的な転移については、今後の同様の活動について視点を与えるとともに、何がそのプログラムの中で学ばれたのかを示す指標となり得る。</p>

以上

### 子どもたちの STEM イシューズに対する視点変容に関する調査 ～STEM キャンプ 2016 の実践より～

#### A Research the Changes of Views towards STEM Issues : A Example from the “STEM Camp 2016”

静岡大学大学院

Graduate School of Education, Shizuoka University

石川 遥、小林 美沙希、熊野善介

Haruka Ishikawa, Misaki Kobayashi, Yoshisuke Kumano

### 1. はじめに

STEM キャンプは、平成 28 年度 JST 次世代科学者育成プログラムとして採択された「静岡 STEM ジュニアプロジェクト」の一環として実施した。

前年度まではステージ 1 における参加者のみの実践であったが、今年度はステージ 2 が開講されたことにより、STEM キャンプでは、ステージ 1、2 の両方から参加者を募ることでステージを跨いだ活動となった。

平成 26 年度以降の例では、静岡市井川少年自然の家にて「人と自然とがどのようにつながりあっていけば、自然環境を守りながら共存していけるのか」(平成 26 年度)、焼津青少年の家においては「巨大な地震の後に、あなたの地域で起こりうる災害にどんな対策をしていったらよいのか」(平成 26 年度)というテーマでキャンプを実施してきた。

今年度の STEM キャンプにおいても、より大きなレベルの問題(イシューズ)をテーマに設定するとともに、さらにステージ 2 の受講者が実際に扱っている疑問・課題に対してより大きな視点から問題・課題意識を投げかけるようなテーマとして、井川の森林を題材にテーマ設定を行うこととした。そこで、本キャンプでは「よりよい未来をつくるために自然に対して私たちができる

ことってなんだろう?～森と共生するために私たちができること～」をテーマとし、ウォークラリー形式で、森林をめぐりながら、疑問と課題を見出し、解決していくような活動を新たに提供した。また、本物の科学者との出会いを設け、各専門分野の講演をしていただいた。ステージ 1 の参加者にとっては、各自が探究する自由研究の材料の発見やステージ 2 の受講者との交流による科学に対する視点の広がりとなること、またステージ 2 の受講者にとっては、他のステージ 1 の参加者を積極的にリードする経験をするとともに、あらゆる情報が一つの疑問・課題を構築する上で複雑に絡み合っているのかを学ぶ場となったであろう。

### 2. 目的

今年度の STEM キャンプの目的は、ウォークラリーや抜根活動等の自然体験を通して仲間とのコミュニケーション楽しむとともに、複雑性・不確実性のある問題・課題に対して挑戦し、その成果を表現する力を身につけることである。さらに、本物の科学者・工学者との出会い、自由研究発表、参加者同士の話し合いや知識を深めるようなワーク等を通して、参加者同士のディスカッション、研究アイデアをブラッシュアップする機会を取り入れることでステージ、科学教室、学年をまたいだ相互交流の

場とすることが目的であった。

### 3. STEM キャンプの実施

#### 実施内容

##### (1) テーマ

「よりよい未来をつくるために自然に対して私たちができることってなんだろう？」  
森と共生するために私たちができること。

##### (2) 日程

2016年10月8日(土)～10月10日(月)

##### (3) 場所 静岡市井川少年自然の家

##### (4) 参加者

JST次世代科学者育成プログラムの静岡 STEM ジュニアプロジェクトのステージ2に参加している小中学生、静岡ジュニア静岡科学館る・く・る理科大好き教室に参加している小中学生。

##### (5) スケジュール 表 2-1 に示す。

表 2-1 の活動スケジュール 3 日間

1 日目		
	活動内容	詳細
午前	ウォークラリー	人工林と天然林にはどんな違いについて発見する
	ワーク①	ウォークラリーで発見したことをまとめる
午後	科学者との出会い	専門の科学・工学者の方のお話を聞く
	ワーク①	森に手を加えることへのメリット・デメリットを考える
	天体観測	ナイトウォーク「天体観測しよう」
2 日目		
午前	ワーク②	抜根活動について学ぶ
	抜根活動①	抜根活動前半：ワーク②で予想したことを確かめる
	抜根活動②	抜根活動後半：根を抜き、観察を行う
午後	ワーク③	ワーク②での予想に対して抜根活動でどのような結果を得たか
	ポスター発表	自由研究の発表及び質疑応答
	ワーク④	放置された人工林と天然林のメリット・デメリットを考える
3 日目		
午前	発表準備	皆で考えたアイデアに対して根拠を集める
午後	最終発表	「人間の手が加えられず放置されている人工林と私たちはどのように関わっていくことができるだろう」
	振り返り	個人の振り返り、全員振り返り

#### STEM キャンプの全体概要

前年度までのキャンプでは、様々な STEM 教材を使用した題材によって活動やブースごとに分けて STEM 活動を行ってきたが、今年度のキャンプでは井川にあるたくさんの題材の中から森林(人工林と天然林)に焦点を当て、全体を通して STEM 活動を行なった。森林に焦点を当てることで、ウォークラリーと抜根活動が2つの柱となっている。なお、キャンプでは、人の手で植えた森林を人工林とし、二次的に植生した森林を天然林、全く人の手が加わっていない森林を原生林として活動を行った。

図 2-1 にキャンプでの活動やその前後のワークを通して参加者に学んでほしい内容を図示した。歴史的背景や現在の状況から考えられる井川での問題として考えられることを次の4つの観点に分類しまとめた。

- ・人間の事しか考えていない
  - ・未来を見通した林業をしていない
  - ・人工林と天然林の良いところを活かしていない
  - ・今ある人工林をどうしていくのか
- これらの観点について、参加者にどんなことを学んでほしいのかを①～③で示した。

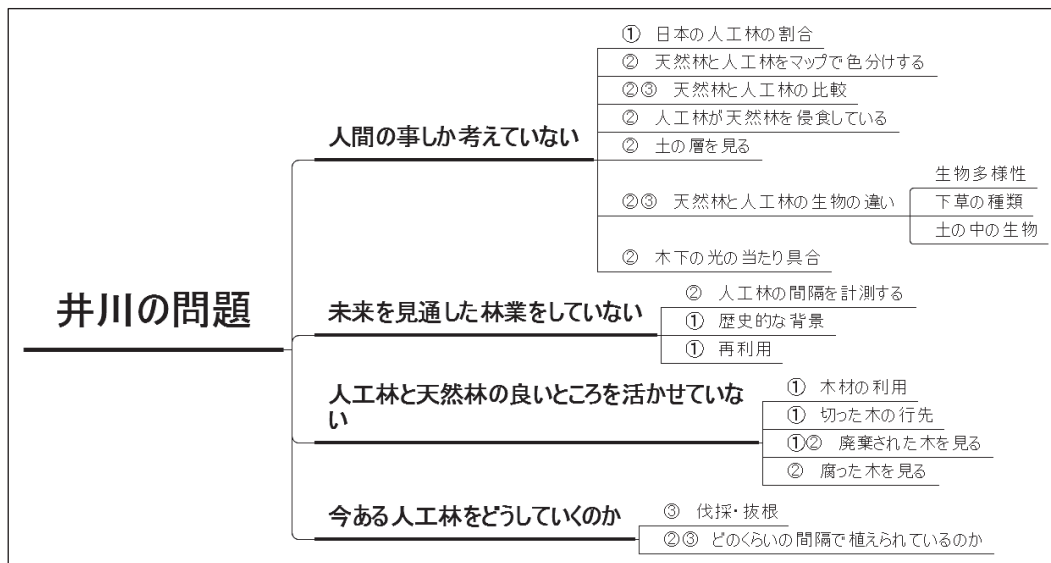


図 2-1 キャンプ全体を通しての学びの内容

①～③に分類している番号は、①：行きのバスの中、②：ウォークラリーを通した活動、③：抜根活動を通した活動を示めている。

### STEM キャンプの各活動内容

活動ごとの目的と内容を具体的に示す。

#### 行きのバス

井川に向かう途中では、人間と自然のかかわりあいの歴史や人工林を植林した背景、森林における基礎的な知識の学習を通して、キャンプにおけるテーマを再確認し、今後の活動に関心と新たな視点を与えることを目的にアテンドを行う。

#### ウォークラリー

ウォークラリーでは人工林と天然林の比較を行う過程において、木の間隔や幹の太さを測定するなど比較する上で必要なデータを集め、数学的に分析すること(M: 数学)や下草の種類や生息する生き物の違い、土の違いなどから規則性や分類を発見すること(S: 科学)を通して、人工林と天然林の違いからメリット・デメリットを考えた。さらに、ウォークラリー後のワークで、植林の歴史、放置された人工林について、および継続して人の手の入った人工林との比較を行うことで、森に手を加え続けることへのメリットとデメリットについて考えさせる。これらの活動を通して問題・課題発見

を促し、今後の人工林の未来について考えていく活動を行う。

#### 抜根活動

抜根活動では、人間の手によって植えられた人工林そのものを人間の作り出した成果物(T: 技術)に対して、抜根を行うことを通して私たち人間と森がどのように関わり合っていけばいいのかを考えること(E: 工学)を目的とする。

抜根活動の前にワークでは、抜根を行う理由について考え、抜根が人間のエゴであるという視点、人間側の視点と自然側の視点について考えることによって、抜根する意義を理解する。このように、抜根を行うことへの森への影響について考えさせグループごとに視点を持たせることで、協働作業で終わらせるのではなく、科学的に探究する活動とした。

抜根活動後のワークでは実際に抜根活動で班ごとに探究を行いその結果をもとに、もう一度人工林と天然林のメリット・デメリットについて考え直し、放置されている人工林を今後どのようにしていくのかという点に着目しながら、人間と森がどのよう

に関わっていくのかについてデザインを考えていく活動を行う。

### 最終発表

最終発表では、放置されている人工林を天然林に変えていくのか、それともなくしていくのかという2つの視点ごとにグループを分け、それぞれの視点を持った参加者同士の議論を行わせることで、全体で井川の森の未来について考え、表現する場とした。

## 4. 実際の活動内容

実際の活動内容を活動ごとに記す。

### ウォークラリー

ウォークラリーでは「人工林と天然林にはどんな違いがあるのだろうか？」を課題としてワークシート(図 2-2)を用いて投げかけたところ事前学習の成果もあり子どもたちからは多くの反応が見られた。

ではないかという予想が挙げられた。また、林としての違いに着目した意見としては、生えている木の種類数、林がある場所(人工林は道路に近い)、倒木の有無、切り株の有無、木と木の並び方(間隔や位置)が挙げられた。さらに、林が誘発する事柄として人工林は土砂崩れが起きやすい、林に住む動物の数に違いがあるだろうという意見が挙げられた。上記の予想を検証するため、ウォークラリーのコースは天然林→人工林→放置された人工林を観察できるよう設定していた。

ウォークラリーは残念ながら大雨だったため、班ごとに探究活動を行うことを断念し、全集団で行い、コースの中で開けた場所やポイントとなる場所を指定し活動を行った。参加者はコースの途中で林の中へ入っていき自分の五感で感じるとともに巻き尺やルーペ等の測定機器を用いて数値として記録を取った(図 2-3・4)。

ウォークラリー(活動①)	
班 名前 _____	
活動①	
人工林と天然林にはどんな違いがあるのだろうか？	
(1) 「人工林」「天然林」って何だろう？	
(人工林)	(天然林)
_____	_____
_____	_____
(2) 「人工林」と「天然林」にはどんな違いがあると考えられますか？	
(3) (2)の違いを見つけるためにはどんな方法がありますか？	
(4) (3)の方法を行うためにはどのような道具を利用しますか？どんな風に使用のかも考えてみよう。	
(5) どんな結果が得られると思いますか？予想してみよう。	

図 2-2 木の幹の太さを測定する様子

木の本体の形状や性質についての意見として、木の長さ、幹の太さ、木の生え方(真つぐ・湾曲)、枝の数がそれぞれ異なるの



図 2-3 木の幹の太さを測定する様子



図 2-4 ルーペで土の中の生物を探す様子

ウォークラリー終了後に発見したことを班ごとに模造紙にまとめる活動を行った(図 2-5)。



図 2-5 人工林と天然林の違いについて発表する様子

多くの子もたちから人工林の木は真っすぐだが、天然林の木はくねくねしている、人工林の幹は太いが天然林の幹は細い、木の高さは人工林より天然林の方が低い、天然林は多様な樹木からなっている、人工林は同じ樹木、天然林は様々な場所に生えていて高低差があった、人工林にはヒルがいた等が挙げられた。



以上のことから、人工林と天然林の違いについて、感覚的かつ科学的に捉えられていたことが分かった。加えて、コース後半にあった手入れをされていない人工林が手入れをされている人工林とどのような点で異なっているかについても、放置されている人工林は折れていたり、倒れていたり、斜めに生えていたりするものがある等の発見があった。また事前資料(図 2-6)を用いて人工林と天然林の定義の共有を行った。

### 科学者との出会い

ふじのくに地球環境史ミュージアムよりお越しいただいた津波堆積物専門の菅原大助准教授にご講演を頂いた(図 2-7)。地層に含まれる津波堆積物を分析・考察したことを、モデルやシミュレーションを用いて再現する等の地質学における専門的な研究の方法や姿勢について教えて頂いた。



図 2-7 菅原先生の講演の様子

### 抜根活動

抜根する理由について人間の視点と自然の視点の2つの側面から考えた。また、班ごとに自分たちが抜根する際に着目点を決めたところ、3つの班それぞれにおいて「抜根する前と後の土の柔らかさの違い・根のはりかた・水はけ・枝分かれの数」「木の根の深さ・キノコの生えている場所・キノコとの関わり・切り株のその後・昆虫の採集」「虫・土がどのくらい根についているか・他の植物への影響」という着目点を見出す

図 2-6 事前学習資料

ことができた。実際に抜根している様子を  
図 2-8 に示す。



図 2-8 抜根活動の様子

班ごとに、着目点は違ったものの役割を分担したり、力を合わせて持ち上げたりする中で、同じ課題に向き合う仲間としてチームワークを深めることができたと感じた。また、自然に対する興味・関心が高く、子によっては幹から枝分かれした一本の根を約3メートルも掘り続けることで周囲の木への影響を見つけたり、地面を掘り進めたりするうちに土の色が濃いこげ茶色から薄い茶色に変化したことに注目し、保水性を確かめているような参加者も見られた(図 2-9)。



図 2-9 抜根後に根の長さを測定する様子

そのような様子から抜根活動前に決めた着目点を持ちながらも、活動の最中に新たに気付いた疑問に彼らなりに一生懸命取り組む姿が見られた。このような突出した子との関りやチームとしてまとめることを通

して、ステージ1の参加者については興味・関心の探究の仕方を学ぶ機会となり、ステージ2の参加者についてはリーダーシップ性や科学的に検証できる疑問を設定する能力等が発揮されただろうと考える。

### 自由研究発表

今年はステージ2より3人、ステージ1より1人(本人は欠席のためポスターのみ掲示)の合計4人からの発表希望があった。発表の形式は約15分毎に聞き手が発表者のもとへ移動する形をとった(図 2-10)。キャンプ参加者のほとんどが自由研究を行っていたこともあり、発表者は研究分野が異なってはいるが、同様に日々研究を行っている仲間からの意見を聞くことができ満足した様子だった。キャンプ最終日に行ったアンケートでは「今回のキャンプを通してあなたの自由研究に役立つと感じたことは何ですか。」という問いに対しポスターセッションと答えた子が12人中3人見られた。



図 2-10 自由研究発表の様子

### 発表準備

事前学習で得た知識やウォークラリーや抜根で樹木を見たり、触れたりして気付いたことをもとに、人工林と天然林がもたらす「人間にとっての利益・不利益」と「森にもたらす利益・不利益」について考える活動を行った。班ごとに意見を出し合い、それを模造紙とポストイットを用いてまと

めた(図 2-11)。森林がもたらす利益と不利益を考慮して、次の活動では具体的な井川地域の問題点として「人間の手が加えられず放置されている人工林と私たちはどのように関わっていくことができるだろう」に対する自分の意見を形成した。

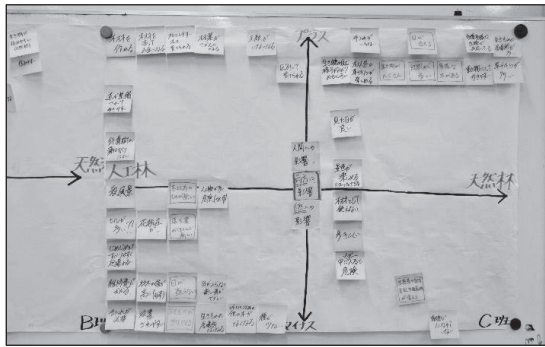


図 2-11 人工林と天然林のメリット・デメリットを考えた模造紙

と考えた参加者は 12 人中 9 人、人の手から放し天然林化すると考えた参加者は 3 人であった。しかし、話し合いを重ねる中でどのような対策を行えばよいかということに焦点を当てていた子どもたちから、次第にどのような森が理想的であるかをデザインし始める様子が見られ始めた。



図 2-12 最終発表の様子

### 最終発表

これまでの活動を通して得た知識や経験をもとに課題に対する自分なりの考えをデザインすることが目的であり、3日間のキャンプのまとめの場面となった(図 2-12)。

討論のテーマは「人間の手が加えられず放置されている人工林と私たちはどのように関わっていくことができるだろう」である。はじめの時点では放置されている人工林の手入れをして整備された人工林にする

図 2-13 は、実際に子どもが考えた森林である。「人の居る所に近い人工林は木材に使用」「道を作り抜根しやすくする」「腐った木はパルプに使用」「はげ山は天然林の木を使用」「はげ山の土を崩れ直しに使用」「発電に利用」など様々な視点の入ったデザインが考えられた。このデザインを描いた参加者はグループでの意見を取り入れながらデザインを行っていた。

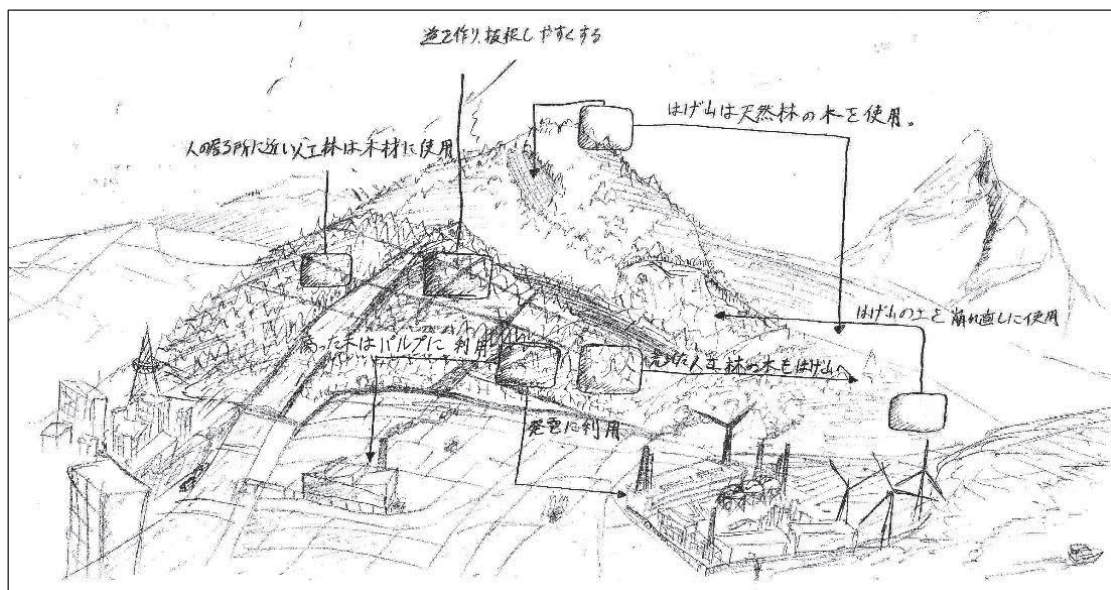


図 2-13 参加者が考えた人間と森の関わり方のデザイン

## 参加者の感想

3日間のSTEMキャンプにおける参加者の感想では、体験活動や話し合い活動を通じた仲間とのコミュニケーションについて書かれている記述が多かった。具体的には、「最初は意見がもみあいになっていただけ、最後に意見が一緒になりとてもスッキリしました。」「人の話を聞いたりすることによって自分の意見も大きく変わるものだと思います。」「自分と考えがちがう人や考えが同じ人と話せてとても楽しかった。」「本当に良かったと思えることの1つに“仲がより深まった”ことです。STEMで学力(科学)を高めたり、親しい仲間になったりと素晴らしい経験をすることはできました。」という感想があった。

さらに、今後取り組みたい研究や学びたいことでは、「もっと森林や林業について知りたい」「土の深さによって色や湿りに温度など変化はあるのか?」といったテーマに関連する内容についての記述があった。また、ウォークラリーでは多くの参加者とスタッフがヒルの被害に遭った。ヒルが人の血を吸う様子や傷口の跡を見て「ヒルの生態について調べたい」と好奇心を掻き立てられていた参加者もいた。

## 5. STEM キャンプにおける結果と考察

### 目的

キャンプ参加者は討論テーマ「人間の手が増えられず放置されている人工林と私たちはどのように関わっていくことができるだろう」に対し、討論の初めと終わりで形成した意見にどのような視点が加わっているかを主としてワークシートから分析し、ウェブマップとの記録と比較を行い明らかにすることである。

### 方法

キャンプ3日目の発表の前後で子どもた

ちに自分の意見をワークシート(図 2-14、15)に記入してもらった。

ワークシートを回収し分析したところ、子どもたちの意見は次の3つの視点に大きく分けられると考えた。

「工学的視点によるもの」

「倫理的視点によるもの」

「科学的視点によるもの」

以下は上記における分類の例である。

- ・土砂崩れ、動物の多様性、下草の有無などは「科学的視点」
- ・人工林と天然林の共生についての視点を「倫理的視点」
- ・林業の発展などの人工物の生成を意図するものを「工学的視点」とした。

討論の準備をしよう!

テーマ 人間の手が増えられず放置されている人工林と私たちはどのように関わっていくことができるだろう

私は( )を目指します。

理由は

それは(具体的な事柄を説明すると)だからです。

私の主張

と言えます。(と考えます。)

図 2-14 分析に使用したワークシート①

討論振り返り(ワーク⑤)

名前

テーマ 人間の手が増えられず放置されている人工林と私たちはどのように関わっていくことができるだろう

1. 自分の意見の変化分析をしよう!

①最初の自分の立場は

②最終的立場は < 変わらない / 変わった >

③自分の意見内容は < よく深まった / 少し深まった / 変わらない / 混乱してきた >

理由は

だからです。

2. 現在の自分の考え&意見を書きましよう!

討論に参加してみて、テーマ「人間の手が増えられず放置されている人工林と私たちはどのように関わっていくことができるだろう」に対するあなたなりの考えや意見を書きましよう。

例)私は討論に参加して○○だと思いました。理由は××という事象があるからです。

図 2-15 分析に使用したワークシート②

発表の前後でどのような視点が子どもたちの元の意見に付加されるかを調査した。また、ウェブマップ上の要素についても同様に分類を行うことで、キャンプ参加者の視点にどのような変化が見られたかを分析した(図 2-16)。

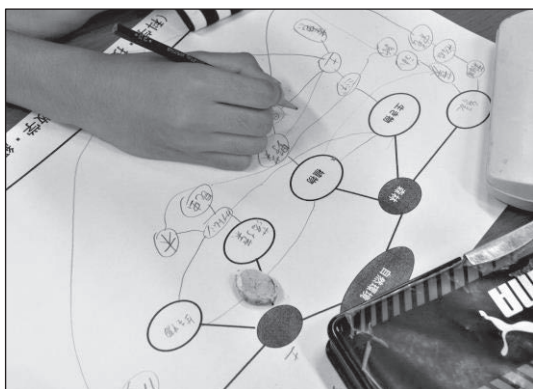


図 2-16 ウェブマップを記入している様子

## 結果

### ワークシート分析

- 工学的視点が加わった... 2人
- 倫理的視点が加わった... 4人
- 元々保持している視点の維持... 3人
- 複数の視点が増えた... 3人

### ウェブマップによる分析

キャンプの初めと終わりの活動で自然環境についてウェブマップ調査を行った。

#### 工学的視点が加わった集団

表 2-2 は、工学的視点が付加された集団のウェブマップの項目の集計結果である。工学的視点に関する項目に注目すると増加

数がプラスに変化していることが分かった。また、全体の項目数に対する割合も増加していることが分かった。

#### 倫理的視点が付加された集団

表 2-3 は、倫理的視点が付加された集団のウェブマップの項目の集計結果である。分析結果より、終わり時の倫理的な視点を示す項目数は減少していた。このため、ウェブマップから倫理的視点の付加を裏付けることはできなかった。

#### 元々保持している視点が維持された集団

表 2-4 は、元々保持している視点が維持された集団のウェブマップの項目の集計結果である。分析結果より、科学的・工学的視点を示す項目数が増加している。また、全体の項目数に対する割合も増加している。これはこの集団に初めから科学的な視点を持つ参加者と工学的な視点を持つ参加者が含まれていたことに一致するため、ウェブマップによって視点が変わっていない傾向を表していると考えられる。

#### 複数の視点が付加された集団

表 2-5 は、複数の視点が付加された集団のウェブマップの項目の集計結果である。倫理視点の増加は見られなかったが、科学的・工学的視点はそれぞれにおいて増加が見られた。よって話し合いの前よりも後の方が複数の視点が付加されている傾向を表していると判断した。

表 2-2 工学的視点は加わった集団

	初め	終わり	増加数	増加率	初めの割合	最後の割合	割合の増加率
科学的視点	16	20	4	25.0 %	61.5 %	66.7 %	5.1 %
工学的視点	3	4	1	33.3 %	11.5 %	13.3 %	1.8 %
倫理的視点	1	0	-1	—	3.8 %	—	—
分類不可	6	6	0	0.0 %	23.1 %	20.0 %	3.1 %減

表 2-3 倫理的視点が付加された集団

	初め	終わり	増加数	増加率	初めの割合	最後の割合	割合の増加率
科学的視点	59	36	-23	39.0 %減	71.1 %	78.3 %	7.2 %
工学的視点	17	7	-10	58.8 %減	20.5 %	15.2 %	5.3 %減
倫理的視点	3	1	-2	66.7 %減	3.6 %	2.2 %	1.4 %減
分類不可	4	2	-2	50.0 %	4.8 %	4.3 %	0.5 %減

表 2-4 元々保持している視点が維持された集団

	初め	終わり	増加数	増加率	初めの割合	最後の割合	割合の増加率
科学的視点	48	49	1	2.1 %	75.0 %	77.8 %	2.8 %
工学的視点	7	10	3	42.9 %	10.9 %	15.9 %	4.9 %
倫理的視点	0	0	0	—	—	—	—
分類不可	9	4	-5	55.6 %減	14.1 %	6.3 %	7.7 %減

表 2-5 複数の視点が付加された集団

	初め	終わり	増加数	増加率	初めの割合	最後の割合	割合の増加率
科学的視点	42	58	16	38.1 %	75.0 %	81.7 %	6.7 %
工学的視点	5	9	4	80.0 %	8.9 %	12.7 %	3.7 %
倫理的視点	1	0	—	—	—	—	—
分類不可	8	4	-4	50.0 %減	14.3 %	5.6 %	8.7 %減

## 考察

ワークシートによる分類から今年度のキャンプの参加者は科学的視点を元々持っていた参加者が多かったことが分かった。また、「工学的視点の付加」や「元々保持していた視点の維持」に分類された児童生徒のウェブマップの結果からはそれぞれ工学的視点と元の視点についての項目数が発表の前後で増加していた。このことから、ワークシートの結果と同様に本キャンプの参加者には「工学的視点の付加」や「元々保持していた視点の維持」がみられる傾向があると判断した。

## 6. まとめ

本研究では、キャンプの参加者が討論の初めと終わりで形成した意見にどのような視点が加わっているか調査を行った。その結果、工学的視点、倫理的視点、科学的視点の3つに分類でき、「工学的視点の付加」や「元々保持していた視点の維持」に分類された参加者については、工学的視点の付加や元々保持していた視点の維持の傾向が見られた。

本研究では、ワークシートとウェブマップの記入事項とを比較するという方法を取ったが、文章の読み取りには主観が混ざる可能性を否定しきれない部分があった。よって、今後の課題は、より研究者の主観を入れずに参加者たちの意見の分類する方法

を調査し再分析すること、および視点が変わったり加わったりすることがイシューズへの解決策をデザインすることにどのように影響を及ぼすのかを調べることである。

## 参考文献

- 齊藤智樹(2015)「超領域的な課題に基づいた STEM キャンプの実践と受講者の解決策の評価に関する一考察」Ⅲ-(1)静岡 STEM ジュニアプロジェクト 平成 26 年度報告書代表熊野善介
- 長洲南海男(1996)「環境イシューズに対する意思決定能力の育成を図る教育プログラム開発に関する研究 1995-96 年度日本生命財団研究助成研究報告書 熊野善介(2012)「今こそ理科の学力を問う」第 3 章第 2 節 東洋館出版社

## 謝辞

本研究は、静岡大学学長裁量経費の助成を受けて行った。STEM キャンプの企画および運営に携わって頂いた、熊野研究室の齊藤さん、坂田さん、吉村さん、岩ヶ谷さん、岩田さん、川口さん、加藤さん、佐々木さん、前田さん、松下さん、静岡市立清水桜が丘高等学校の奥村先生に御礼申し上げます。また、本キャンプに参加して頂いた、ふじのくに地球環境史ミュージアム菅原先生、常葉大学の増田先生に御礼申し上げます。キャンプの企画においてアドバイスを頂いた井川少年自然の家の兼田さん、静岡大学の小南先生に御礼申し上げます。

(1) 創造性育成のための STEM が統合された学習環境デザインに関する一考察

A Study on the Design of the STEM Integrated Learning Environment  
for Nurturing Creativity

齊藤智樹

Tomoki Saito

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

キーワード : Design-based Research, Conjecture Mapping, Pragmatism,

1. はじめに

本稿は、平成 28 年度 JST 次世代科学者育成プログラムとして採択された「静岡 STEM ジュニアプロジェクト」において、採用された理論的な枠組みである Design-based Research(以下 DBR)の研究方法論を基に、次世代科学者育成プログラムにおける学習環境デザインの在り方について、考察をしたものである。

DBR は、Brown (1992)や Collins (1992)によって始められた Design Experiment を端緒とし議論が進められているが、統合的な STEM 教育の取り組み(Integrative STEM Initiative: House of Representative, 2015)を研究していくには最適な理論的枠組みである(Sunders, 2009)と著者らは考え、本年度の研究からその導入を試みた。

そもそも、著者らは Action Research (アクションリサーチ: Yager & Akcay, 2008)あるいは Participatory Action Research (参加型アクションリサーチ: Whyte, 1989)を理論的な枠組みとして採用し、これまでも STEM 教育に限らず、実践的な教育活

動を展開してきた(Saito, Gunji, & Kumano, 2015; 他日本の例)。このアクションリサーチは、とりもなおさず現場の問題・課題に応じてこそその教育研究(Glaserfeld, 1995)、あるいは研究だけでは教師の抱えている悩みや問題に対して具体的な答えを提供できない(磯田, 2005)という基本的世界観に基づいていたわけだが、一方で研究としての一般化が困難である(藤田, 2014)といった批判もあった(下記: 2. 認識論・方法論を参照)。

一方で DBR は、その研究課題の定義において、文献研究からスタートする(Richey, Klein, & Nelson, 2003; van den Akker, 1999; Wang, 2005)という基本的なスタンスを保持しながらも、現実の文脈への適用も、同時にその文献の中で繰り返し述べられている(例えば,Brown (1992)から既にその記述は見られ、他に Barab, (2004); Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer, and Schauble (2003)等にも同様)。こうした面を鑑みたとし著者らは、アクションリサーチとほとんど同じような枠組みを持ちながらも、この理論に基づく: Theory Driven という点において DBR が科学的な教育研究の推進

に寄与するのではないかということ、以前にも述べてきた(齊藤・熊野, 2016)。

しかしながら、DBR についても、そのデザイン過程について理論的背景を持ち、議論可能な文法を持つべきことは、既に指摘がなされており、理論と実践の一貫性を疑問視する声もあった(Kelly, 2004)。Sandoval (2014) は概念の地図化(Conjecture Mapping)の使用という形で、その一貫性が論理、方法、そして導かれる理論として読者に示されることで、DBR が、研究と実践の両面を考慮しながら、その学問的体系を構築する一助となることを提案している。

また、次世代科学者育成プログラムのように規模が大きく、複数の大学における実践を共有したり、再現可能なものとしていくためにも、この Conjecture Mapping を明示的に用い、それによって理論と実践の一貫性を語らしめることは、有用な知見を生み出すこととなろう。

そこで、本研究では実際に平成 28 年度の静岡 STEM ジュニアプロジェクトのために、その学習環境を構築するにあたって、議論可能な文法を持った方法論の構築のために採用した、推論の地図(Conjecture Mapping)を示しながら、その学習環境構築についてまとめ、「次世代科学者育成プログラム」を今後別の大学や機関が実施するに当たって、できる限り再現可能となる手続きや、本研究にまつわる研究課題を明確にすることを目指した。

## 2. 認識論・方法論

### 認識論

ここで論ずるべきことは二つあり、一つは科学教育プログラムを実施するうえでの認識主体の問題、もう一つはその問題の整理を受けて、科学教育研究者・実践者として Design-based Research(以下、DBR)を

いかに実施していくのかについての認識論である。

一つ目の認識主体の問題であるが、科学教育は、科学と教育という二つの事柄を扱うがゆえに、科学者としての認識と教育者としての認識とを時に混同しがちであり(Saito, Anwari, Mutakinati, Suwarma, Shido, & Kumano, in press)、また科学教育の研究者としての認識と、教授・実践の際の認識論を改めて整理し、検討すべきであろう。また、もう一つの混同として、教師の側(あるいは大人)の認識論と、子ども(児童・生徒)の認識論も区別がされるべきである。本研究では逆転の発想で、科学者・教育学者・学習者の視点における共通の認識として「可謬主義」を捉え、それぞれ研究と実践を支えるアイデアとして、研究者としてはプラグマティズム、実践者としては革新的構成主義に依拠している。両者はどちらも知識の可謬性を捉えており、研究者としては実践を、実践者としては学習者を捉える視点を支えている。一方で、形而上学的に認識論を形成したいわけでもないため、あくまでも有用性に重きを置いた研究・実践を成立させるためのアイデアであると考えている。以下では、研究者としての視点で、本実践研究を捉えた場合、どのような方法論がもたらされるか。STEM 教育及び Design-based Research を支える認識論を示す。

DBR は、プラグマティズム(Dewey, 1938; James, 1907/1910; Pierce, 1931)にその基礎を置き、アクションリサーチとそれを共有している(Anderson & Shattuck, 2012)。

前述の Dewey, James, Pierce においては、特に James(1907/1910)がデザインの本質にある「正解は一つだけではない」(Guzdial, 2003; Pear & Crone-Todd, 2002)という多面性のアイデアを既に示し

ており、その基礎となる可謬主義(Fallibilism)という考え方(Pierce, 1931)は、当時 Dewey も既に主張していた児童(子ども)中心主義の多様なアイデアを受け入れる姿勢と良くマッチする(齊藤・熊野, 2016; 齊藤, 2016)。また、Pear & Crone-Todd (2002)によれば、この正解は一つではないというアイデアは社会的構成主義ともその考え方を共有しており、単に個人の中での認識論にもとづいたアクションリサーチ・DBR となるだけでなく、前述のように(社会的な)議論可能性についても、カバーする認識論として発展できよう。この意味でも、以下3. に示すコンジェクチャーマッピングは、正に本プロジェクトにおける学習環境デザインを共有しながら、社会的により良い案を作っていくための方法の一つであろう。

## 方法論

ここでは、前述の認識論を受けて、本研究で実際に採用する方法論について吟味する。

本研究は、本質的に研究方法(この場合質と量の)混合を必要とする研究課題を設定しているため、混合研究法(Mixed Methods Approach; Creswell & Plano Clark, 2007)を採用し、その中でも特にトライアンギュレーション収斂モデルを選択している。

まずトライアンギュレーションモデルを採用しているのは、量と質のどちらかだけでは研究課題に対して十分な解答を得られないということが予想されるため、以下(2)・(3)に示すような理論的背景から、ある程度分析の枠組みが把握できていることから、探索的なモデルではなく説明的なモデルを採用している。

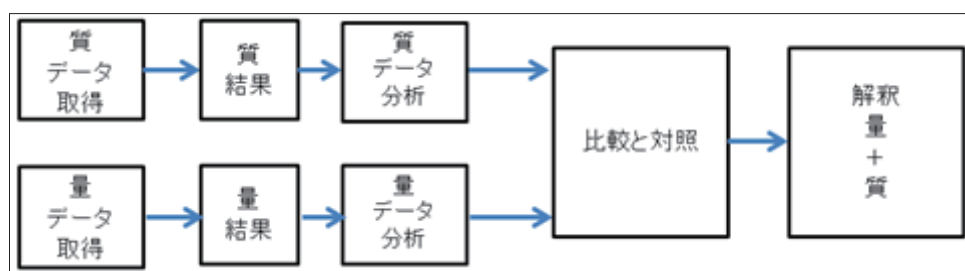


図 3-1-1 混合研究法のトライアンギュレーション収斂モデルの手順

### 3. コンジェクチャーマッピング

前述の通り、本研究における学習環境のデザインを議論可能なものとするため、推論の地図(Conjecture Mapping; Sandoval, 2014)を用い、図 3-1-2 のように描き出した。以下では、このマップをもとに、その構成要素であるハイレベルコンジェクチャー、エンボディメント、デザインコンジェクチャー、メディアエーティングプロセス、理論的コンジェクチャー、期待される効果(アウトカム)についてまとめ、これらの語の意味

については、それぞれの段落において解説を加えることにする。なお、スペースの関係上、デザインコンジェクチャーと理論的コンジェクチャーは、図に矢印でのみ示してある。詳細は、以下を参照。

### 4. ハイレベルコンジェクチャー

ハイレベルコンジェクチャーは、その文脈を支えており、私たちが目的としているある種の学習をどうサポートするかについての推論であるこの一連の理論的に原則化されたアイデアは、望ましい学習の形態を

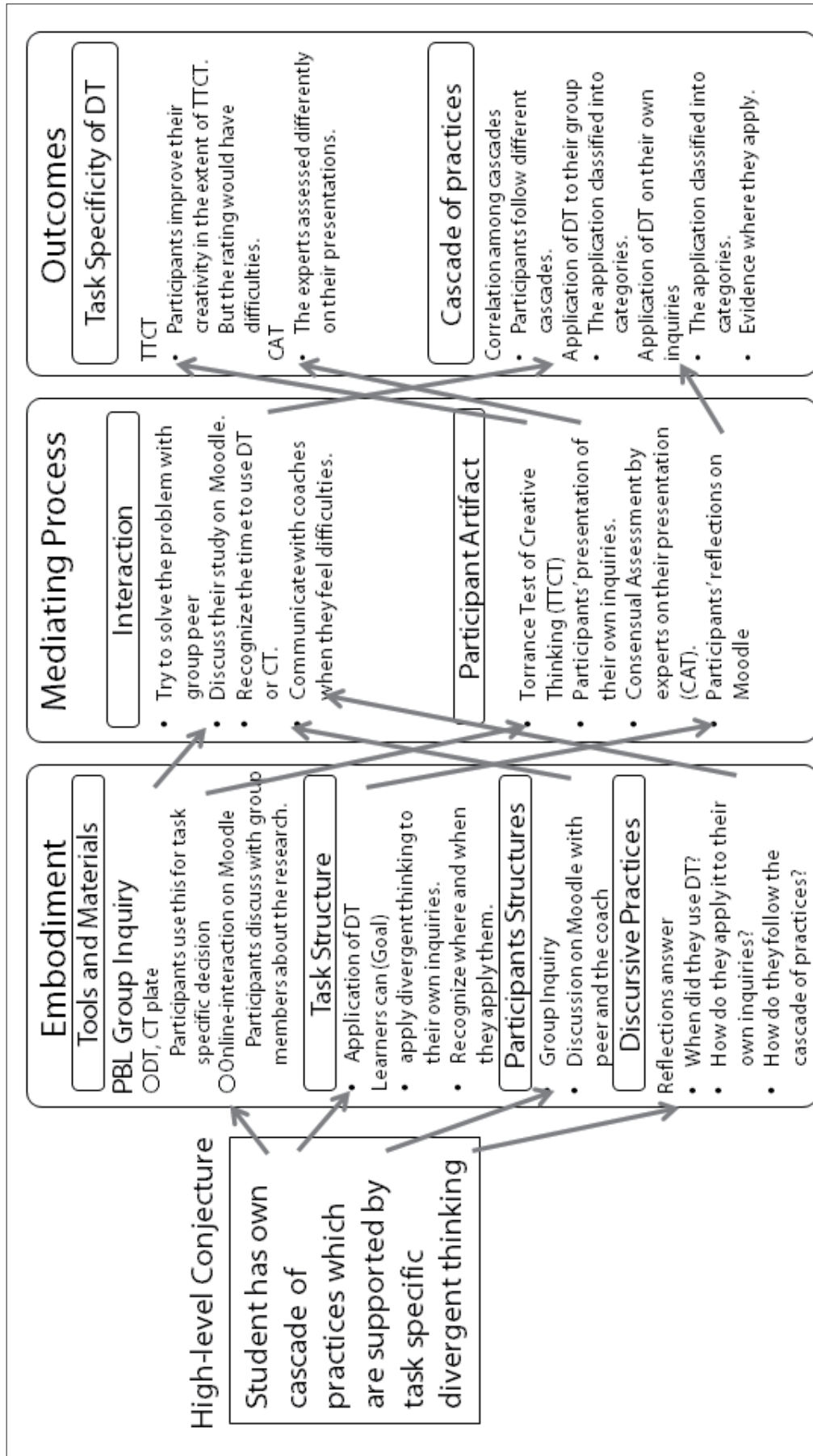


図 3-1-2 コンジエクチャーマッピング

どうサポートするかを一般的な語で示し、直接デザインを決定するには高いレベルにある(Sandoval, 2014)。

本研究では、このハイレベルコンジェクチャーを、「児童・生徒はタスクスペシフィックな発散的に支えられた、独自の創造的課題解決の流れを持っている」とし、この推論をもとに、以下のような学習環境のデザインを進めた。

## 5. エンボディメント

エンボディメントでは、具体的なデザインを埋め込むこと(Embodiment)でコンジェクチャーを再確認する。その埋め込みの要素としては「Tool & Materials」「Task Structures」「Participant Structures」「Discursive Practices」が Sandoval (2014)によって示されている。ここでは、更に静岡 STEM ジュニアプロジェクトの説明として、「Context」を導入するが、プロジェクトの全体像としては、第1章(pp.1～13)を参照。

### Context

本研究は、静岡STEMジュニアプロジェクトにおける活動をそのフィールドとし、小学校5年生から中学校3年生が対象となる活動を実施してきた。このプロジェクトは、静岡大学と静岡科学館る・く・る、藤枝市の生涯学習課、浜松市域の教員研修組織である浜松理科教育研究会などとの協力で実施されている。また、2013年度、2014年度には、いくつかの高等学校の協力を得たこともあった。

2014年度と2016年度については科学技術振興機構(JST)から次世代科学者育成プログラムとして支援を受けており、本研究は特に2016年度の活動に焦点を当てている。

2016年度の静岡STEMジュニアプロジ

ェクトは、2度以上の科学賞等の受賞経験を受講要件とし、県レベル以上の科学賞を受賞した者については、1度の受賞経験でも構わないものとした。彼らはこのプロジェクトを通して自分自身で探究活動に取り組む経験を持っており、2013年度からは創造的課題解決プログラムと称して、自分たちの手で課題を解決するようなSTEMプログラムに関わってきた。したがって、一般的に言って彼らは探究の活動に親しんできたと言えるだろう。

受講者の学年別の割合については、表3-1-1に示してある。

表3-1-1 プロジェクト参加者の学年別割合

小学校6年生	3
中学校1年生	6
中学校2年生	5
中学校3年生	4
Alumni	3

小学生は6年生のみ3名、中学生は1年生が6人、2年生が5人、3年生が4人で、そのうち4名が女性、14名が男性であった。

### Tool & Materials

ここでいう Tool や Material は、ソフトウェアや器具、操作可能な材料、メディア、その他の教育資源を指す(Sandoval, 2014)。静岡STEMジュニアプロジェクトにおいては、そのプログラムはオフラインの対面での議論だけでなく、Moodle という Course Management System(CMS)も利用された。したがって、以下ではこのオンラインとオフラインの両面から、エンボディメントの具体的な要素を説明したい。

### DT/CT プレート

オフラインで毎回の活動の中で行われたグループミーティングでは、STEMのプロジェクトのなかで、どんな種類の発散的思考が行われるのかについては、まだ明らかになっていなかったが、タスクスペシフィックの性質を保つために、DT/CTプレート

と名付けたものを利用した。なお、創造的思考の子ども用の説明として、藤井(1967)のものをここでは示している。

### Moodle を利用した Online での議論

グループ研究のための Material として、Stage 2 の活動における議論だけでなく、Moodle 上を利用した議論の場を設けた。Stage 2 のために、一つのコース(Moodle 上の機能)を設け、そこに表 3-1-2 のようなフォーラムやフィードバック(それぞれ同 Moodle 上の機能)を作成した。

### 8 つの科学と工学の体験的・経験的活動

また、米国の新しい科学教育スタンダード(Next Generation Science Standards (NGSS Achieve, 2013):以下 NGSS)から、8 つの科学と工学の体験的・経験的活動を表 3-1-3 を「創造的な探究を進めるための道具」として明示した。ただし、これは教師の側がこのように教えるという流れでも

表 3-1-2 Moodle 上のコースマテリアル

Moodle 上の		
カテゴリ	機能	内容
雑多	フォーラム 1	ニュース
	フォーラム 2	グループで取り組みたいこと
	フォーラム 3	創造的な研究を進めるための道具箱
グループワーク	フォーラム 4	グループ別研究室
	フォーラム 5	各グループの研究活動進捗状況
	フォーラム 7	各グループの材料・財務計画
	チャット	グループ活動用チャットルーム
Stage2 のための情報	フォーラム 8	スタッフのひとり言
	フォーラム 9	高校生指導者からの発信情報
	フォルダ 1	写真共有フォルダ
	フォルダ 2	各回参考資料
振り返りタスク	フィードバック	創造的に考えた振り返り(この振り返りについては毎回新たに作られ、受講者によって書き込まれた。よって、実質は 10 個のフィードバックモジュールを利用している)。

なければ、受講者側にこのように探究を進めようという流れでもない。この点は、受講者へも明示的に示し、あくまでもヒューリスティックとして働くように設定した(この点は、(3) 21 世紀型能力にまつわる転移に関する問題とその整理も参照)。

表 3-1-3 8 つの科学と工学の体験的・経験的活動

1	疑問をも・課題を明確にする
2	モデルをつくり、用いる。
3	調査を計画し、実行する
4	データを分析し解釈する
5	数学を用いて計算的思考をする
6	説明を構築する・製品をデザインする
7	証拠にもとづいた議論を展開する
8	情報を手に入れ、評価し、交流する

### Task Structures

表 3-1-2 に示されているように、受講者は Moodle 上の機能に振り分けられた議論に参加したり、課題に取り組んだりした。このタスクストラクチャーは学習者に期待されている活動である(Sandoval, 2014)。ここでは、それぞれの活動(その目的、基準、規準)が Moodle 上やあるいはオフラインでのミーティングに振り分けられているかを説明する。

### 発散的思考の適用

発散的思考の適用については、プログラム上のグループ研究のミーティングや、Moodle 上の議論、そして各自の自由研究へと適用されることが期待された。

グループでの研究活動をととして、前述の DT/CT プレートを利用し、発散的に考えるか、批判的に考えるかを受講者が決定することで、発散的思考のタスク固有性を保障しようと考えた。

Moodle 上の議論においては、受講者は【創造的】【批判的】のアイコンを利用して、その場での議論を発散的・批判的に考えるかどうかをはじめに設定し、それから議論

に入る。このアイコンは、前述の DT/CT プレートと同じ効果を期待している。

### Participant Structures

Participant Structure は、受講者がどのように前述のタスクに取り組むか、その役割、そして責任について期待されることを参照する(Sandoval, 2014)。

#### グループ研究プロジェクト

はじめに、静岡 STEM ジュニアプロジェクトでは、PBL(プロジェクトベースラーニング)が、その学習環境として提供された。Problem-based との違いは、その学習が探究のプロセスではなく、成果 Outcome に集中しているということである(Kain, 2003)。ただし、この成果というのは「成績」という意味ではなく、プロジェクトの結果得られる何らかの成果物のことである(次項 (3) pp.37~48 を参照)。

表 3-1-4 PBL の成果物の例

2016 年度の 例	二酸化炭素を酸素に人工的に変える方法
	動物と話す機械 空を飛べる炭酸ロケット シミのできない服
過去の STEM 教室で の事例	ローラーコースター ソーラークッカー イス ウォータークラフト 水琴窟 パンクランチャー おむつ ペーパーブリッジ

これらはまた、工学的課題(Engineering Problem)を規定する。

表 3-1-4 にあるように、本 2016 年度は受講生の挙げた 4 つの疑問・課題によって PBL としての成果物が決まっている。

ところで 2014 年度に提供していた静岡 STEM ジュニアプロジェクトは 2 つのパートを持っていた、一つは STEM 教室であり、創造的課題解決プログラムに慣れるという機能もあった。また、二つ目のパートとして、受講者の自由研究サポートをする

という面があり、STEM 教室の午後、あるいは終了後の支援や、夏休み・土日などを利用した実験のサポートなどを提供してきた。

2016 年度には、静岡 STEM ジュニアプロジェクトは第二段階として、このステージ 2 の活動をはじめ、自由研究をその学習環境の中心に持ってきた。なぜなら、受講者たちは数年間の経験により、自主的な研究(Independent Inquiry)に慣れてきており、また受講者の多くが地域の科学賞で複数の賞を取っていた。

したがって、ステージ 2 の活動では、プロジェクトベースのグループ研究の機会を提供し、以下の表 3-1-5 のようなプログラムを実施した。

表 3-1-5 ステージ 2 スケジュール

日付	内容
5/15	開講式、受講者の自由研究発表、TTCT・CAT の実施、疑問・課題のブレインストーミング、疑問・課題の決定とグループ分け
5/29	グループ研究のための課題の設定と今年度のスケジュールの予想
6/11	グループ研究 1
6/18	グループ研究 2
7/9	グループ研究 3
8/22-24	グループ研究 4
9/3	グループ研究 5
9/17	グループ研究 6
10/15	グループ研究 7
10/29	グループ研究 8
11/12	グループ研究 9
11/23	受講者の自由研究発表、閉講式

初回 5/15 の実施日においては、開講式とともに、今年度の活動で扱う疑問や課題を設定した。

初めに受講者は「彼らにとっての」現実世界の疑問や課題を、ブレインライティングの方法を用いて挙げた。その結果として、彼らは 200 以上の疑問や課題を書き出した。その後、挙げられた疑問や課題の中から各自最善の 2 つを選び投票した。この段階では、2 票以上の得票を得た候補に絞り、再

度投票をすることとした。

この活動により、各自自分がこの一年をかけて取り組みたい課題の設定に関わり、同時にグループが決定した。

### Discursive Practices

エンボディメントの最後の部分である Discursive Practices は way of talking を規定する(Sandoval, 2014)。本プロジェクトでは例えば、募集の段階から以下のようなことを受講者に目標として示している。「親や先生の力を借りないで自ら(仲間と)研究をやり遂げること」

この自主性・自発性の原則は、このプロジェクトのデザインと、受講者との関わりにおいて一貫している。また、この点は他の教育プログラムあるいは学校教育とは一線を隔するものであり、そのことがまた本研究の Limitation(制約)として想定されることでもある。受講者・指導者・保護者ともに、こうしたプログラムの中で活動したことはないし、そうした活動の中でどのように関わったらよいのかという前例を持っていないからである。しかしながら、このコンジェクチャーマッピングは、多少なりともその学習環境のデザインの一貫性について、共通理解を得ることに今後も役立つであろう。

デザインの在り方そのものについての議論は、別途行われるべきである。

## 6. デザインコンジェクチャー

以上がプロジェクトにおける学習プログラムの具体的な埋め込み(Embodiment)の在り方を示しており、デザインコンジェクチャーは「いかに埋め込まれた学習環境デザインの要素が、次のメディアエーティングプロセスを生成するのか」についてを示している(Sandoval, 2014)。

したがって、本プロジェクトにおけるデ

ザインコンジェクチャーは、以下のように言明される。

- STEM PBL は、受講者自身が必要とするところに発散的思考の適用を助けることで、彼らの創造的スキルを向上させる機会を提供する。なぜなら、彼らは解決策を考えつのに困難を感じるに違いないからである。
- DT/CT プレートは、受講者が自らの自由研究において、いつ・どこで発散的思考を利用するのかを決定することを助ける。加えて、このタスクストラクチャーは、教える側が介入を減らすことにもつながる。したがって、このタスクは実質的にプロジェクトを通じたパーティシパントストラクチャーとタスク固有性を支えている。

## 7. メディアエーティングプロセス

メディアエーティングプロセスは、望まれる結果を作り出すように意図されており、また以下の2つの説明法で理解される(Sandoval, 2014)。一つは、「観察可能な相互作用」(*Observable Interaction*)であり、埋め込まれたデザインの要素がいかに受講者との相互作用を調停するのかを示している。もう一つの、「受講者の制作物」(*Participant Artifacts*)は、学習活動を通じて制作されたもので、メディアエーティングプロセスを代理するものである。そうした制作物の分析は、いかに受講者が活動の構造やツールを解釈したかを明らかにすることを助け、彼らのパフォーマンスを説明することを助ける。

本研究においては、前述の DT/CT プレートと【】に囲まれた創造的・批判的思考の利用がいかに受講者との相互作用をもたらしたのか、また彼らがどこで発散的思考を適用したのかについての振り返りは、また Moodle 上に彼らの制作物としてあらわ

れることになる。こうした相互作用と制作物がこのデザインされた学習環境における学習を調停し、分析するものとなる。以下では、具体的に本研究における相互作用と制作物を示しながら、それらがいかに混合研究法(Creswell and Clark, 2007)に基づいて分析されたのかを説明する。

## TTCT

混合研究法の第一の段階としての量的分析においては、Torrance Test of Creative Thinking (TTCT)の応用されたテストを利用した(Yager, 1989; Yager & Tamir, 1993; Kumano, 1993)。次の小論以降でも議論するが、次に説明する Consensual Assessment Technique (CAT)において、STEM 専門家ごとに異なる評価をすることであろうことは予想されたけれども、本プロジェクトにおいては、創造性の評価において科学教育の分野以外にも伝統的に利用されている TTCT を活用した。

## データ

6年生3名、中学1年生6名、中学2年生4名がプロジェクトの前後にTTCTを受けた。年齢は11歳から14歳で、プロジェクトが5年生から受講生を受け入れているため、参加時からの年数によって自由研究活動の経験は、まちまちである。

## 分析

この量的分析の段階に向けては、初回・最終回に TTCT を実施し、先行研究で STEM と同様超領域的な問題(issues)を扱う STS 教育を評価するために構築された Iowa Assessment Package (McComas & Yager, 1989)に含まれる、創造性を評価する「疑問・課題」「考えられえる原因」「予想される結論」の3つのタスクが採用された。このテストは前述の通り、TTCT のタスクを応用しており、プログラムの実施前後でテストを実施し評価する準実験的

(Quasi-Experimental)アプローチを用いた\*。プログラムの前後のデータは Student の T 検定を用いてその平均の差の有意性を検討した。なお、効果量(Effect size)・検出力(Power)の検討も併せて行っている。

\*実験群・対照(Control)群を用意する実験的(Experimental)アプローチに対して、本研究のようにプログラムの前後でデータを得る方法を準実験アプローチと呼ぶ。

## CAT

量的分析の第2の方法は Consensual Assessment Technique(CAT)である。後に(3)で議論されるように、著者は児童・生徒のプロダクトの示す創造性には領域固有な性質があり、特に本プロジェクトでは STEM 分野の専門家による評価は特に分野によって異なるであろうと仮説を持っていた。

そこで、今回は実施上の便宜も考慮して、受講者の自由研究発表を評価の対象とした。

## データ

5年生が1名、6年生3名、中学1年生6名、中学2年生5名、中学3年生3名が事前調査、6年生3名、中学1年生6名、中学2年生4名、中学3年生1名が事後調査において自由研究発表をし、専門家による評価を受けた。

## 分析

CAT においても、TTCT 同様準実験的アプローチが採用された。

研究の目的に合わせて、まず同分野の専門家同士の評価者間信頼性が検討され、また他分野の評価者間の評価に相関が見られるかが検討された。それぞれ、Cronbach の Coefficient  $\alpha$  の検討と、相関分析・偏相関分析、またそれぞれの無相関分析を行った。

## 探究の流れ

ハイレベルコンジェクチャーから連なる

重要な一連の推論として「探究の流れは個別的である」というアイデアがある。**Embodiment** の段階にも繰り返し示してきていることであるが、8つの科学と工学の体験的・経験的活動を明示的に示し、各回の受講の振り返りの際に、「次にはどんな活動ができそうか」という点を確認してきた。

ここでは、その記録を数値的に扱い、各グループ内での違いなどは見られるかを検討した。

#### データ

探究の流れの検討では、6年生3名、中学1年生6名、中学2年生5名、中学3年生4名、また高校生指導者として参加した高校1年生2名についても検討に含めている。

#### 分析

各グループ内の探究の流れの違いについては相関分析を利用し、Moodle上に用意された各回の受講の振り返りにおいて示されたデータを分析した。

#### 発散的思考の適用

最後に、受講者が本プロジェクトからいかに発散的思考を学んだか、また発散的思考をいかに各自の自由研究に適用していったかの2点を質的に検討した。これについては、量的に検討するにも物差しがないところ、あるいは本プロジェクトのように受講者が学習の流れを決定する場合において、どのような場面で児童・生徒はそれを学ぶのか、またどのような場面で学習内容を適用する(転移させる)かについては知られていない。

そこで、本研究においては探索的にこれらの場面を分析するとともに、もし8つの体験的・経験的活動が影響するとすれば、どのような特徴が見られるか、またそれに当てはまらないものがあるか、またどんなものが見られるかについて検討した。

#### データ

6年生3名、中学1年生6名、中学2年生5名、中学3年生4名の受講の振り返りについて検討に含めている。

#### 分析

各受講者の受講の振り返りをもとに、①グループ研究(受講時)において、どんな場面で発散的思考を適用したか、②各自の自由研究に対して、どんな場面で発散的思考を応用したか(転移)の2点について、それぞれ類型化を行う。

### 8. 理論的コンジェクチャー

理論的コンジェクチャーは、いかに前述のメディアエーティングプロセスが期待される成果を生み出すかについての推論を提供する(Sandoval, 2014)。したがって、以下の理論的コンジェクチャーは、本研究の研究仮説に非常に近いが、より詳細を含んでいる。

もし、メディアエーティングプロセスが働けば...

- TTCTの適用の結果は、STEMプロジェクトにおける創造性の伸長を示すであろう。
- CATの結果は、STEMの各領域の専門家による評価の相違を示すであろう。
- 受講者の探究の流れの記録は、グループ研究にあっても、彼らの探究の相違の現実を示すであろう。
- 受講者がいつ、どこで発散的思考を適用したかの記録は、次に続く学習環境のデザインや評価における具体的で、適用可能性のある創造性タスクを示すであろう。

### 9. 期待される成果

最後に、このデザイン研究の成果として、以下の点がメディアエーティングプロセスにおける分析から証拠づけられる。

- (a) TTCTの範疇における創造性の向上
- (b) STEM領域の専門家による創造性評価の相違
- (c) グループ研究における各個人の探究の道筋

- (d) 発散的思考がグループ研究に適用され、さらに各自の個人研究に転移していく記録

## 10. まとめ

教育研究は科学的なものになるだろうか。それは、数値的で客観的なデータで示すというだけでもなければ、現場の問題・課題に応じてこそその教育研究 (Glaserfeld, 1995)、あるいは研究だけでは教師の抱えている悩みや問題に対して具体的な答えを提供できない(磯田, 2005)といった声に応えるだけでもない。アクションリサーチのように現場からの課題に答えながらも、理論をそれと並行して構築していくというデザイン研究の特性は、この両面を支持するものである。

したがって、本プロジェクトの学習環境の構築に、デザインの発想を取り入れたことは、上記理論と実践の両立に応え得る重要な要素になると考える。

幸いなことに、本研究の研究審査会において、査読者の一名となってくださった大島純先生は、ここで重要な示唆を与えてくださった。

「デザイン研究は、大抵はじめうまくいかない」うまくいかなかったのは、デザインのどの部分であるのか、そしてどうしたらそれがうまくいくようになるのか、まさにエンジニアリングをすることで、学習環境が改善され、また現場での実践にも役に立つというのである。この意味では、本研究はより長いデザイン研究の初めにあたり、今回の結果を踏まえながら、次の実践を構築していきたい。

最後に、本プロジェクトに関わってくださる皆さんとも共有したい今後の方向性として、「科学的な探究の原則」(NRC, 2002)を示し、まとめとしたい。

- ・ 経験的に調査することができる重要な問い

- を提起すること。
- ・ 研究を関係する理論と結びつけること。
- ・ 問いの直接的な調査を可能にする方法を利用すること。
- ・ 一貫した明示的な推論の連なりを提供すること。
- ・ 研究をまたいで複製し、一般化すること。
- ・ 研究を専門的な精査と批判を奨励するために開示すること。(齊藤・熊野, 2016 訳)

以上の内容は、自然科学に求められる原則と何ら変わらないとともに、私たちのプロジェクトにおいて、未来の科学者である子ども達に身につけてほしい「科学の基礎基本」そのものである。

本稿 2. 認識論・方法論に示したように、科学教育に携わる私たちは、時に科学者としての認識・科学教育者としての認識を混同しがちであり、更には子どもと大人、教えられる側と教える側というように見方を変えがちである。しかしながら、本研究がベースにしているのは「科学の前では大人も子どもも同じで、違いは既に持っている知識・経験の量である」という認識であり、受講者も指導者も”doing science”をすることを目標にしている。

世界的に見ても、この意味で doing science をしている人口は 10% に満たない (Yager, 2014)。という危機感も踏まえながら、本年度のプロジェクトをまとめ、更にはこれからのプロジェクトを推進していきたい。

## 参考文献(抜粋)

Sandoval, W. (2014). Conjecture mapping: An approach to systematic educational design research. *Journal of the Learning Sciences*, 23(August 2014), 18–36.

## 謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤研究 B)研究費番号 23300283 及びミネソタ大学 STEM 教育センター Gillian Roehrig 教授を中心とした NSF 予算である EngrTEAMS の支援を受けて行った。

## (2) STEM 教育の理論とそこへつながる統合的アプローチに関する歴史的研究

### An Historical Investigation on the Integrative Approaches Which Lead to the Theories for STEM Education

齊藤智樹

Tomoki Saito

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

キーワード : STEM Integrated Learning Environment, Project-based Learning, Integrative Approach, T-SM-E method,

#### 1. はじめに

前項において本研究の学習環境デザインの基礎とした推論の地図 Conjecture Mapping を示した中で、PBL (Project-based Learning)、SILE (STEM Integrated Learning Environment)、CPS (Creative Problem Solving)と3つの枠組みを示して来た。これらは、2013年度から連続と続く静岡 STEM ジュニアプロジェクトを支える2つのテーマである「統合的な学習アプローチ」と「創造性」のキーワードでもある。そこで、2016年度のSTEMジュニアプロジェクトの報告書としては、本稿(2)において統合的アプローチを、次項(3)において創造性についてを扱い、本プロジェクトの基礎をまとめることとした。

したがって、本稿は今日のSTEM教育改革につながる議論の中で、特に統合的なアプローチ(Integrative Approaches)についてまとめ、なぜインテグレーションなのか、どのような学習環境なのかについて示しな

がら、歴史的に見られる議論、批判、課題について回答し、結果としてSTEM教育とはどういうものであるのか。その新奇性と考え得る形態を描き出そうとするものである。

#### 2. 対立する歴史

STEM教育改革以前にも、米国の教育における改革は繰り返し起こってきたが、そのなかでも伝統的な授業と実践的な教育との間では対立した議論が進められてきた(Deboer, 2006)。時に、それはDeweyやKilpatrickらによるプロジェクト法と伝統的な講義形式の教育との間であり、また時にはコアカリキュラム運動における挑戦であり、また時には学習内容を強調し過ぎたカリキュラム改革に対する揺れ戻しの結果としての統合教育論であった。

以下では、こうした対立的な歴史を紐解きながら、現代のSTEM教育における挑戦的課題とはどのようなものであるか、この一連の研究により克服されるべきことは何であるかを示したい。また、現代の

STEM 教育の理論として、これらの議論からの帰結をまとめ、理論化したものを紹介する。

### 3. 始まりとなる前の時代の議論

以下で示すような議論は、19 世紀初頭から既にみられるが、現代とはその振り子の軸が異なる。“Yale Report”(1828)のなかには、より実践的な教育の形を推し進めようと、古典的なカリキュラムに対する批判をする人々に返信する形で、古典的な教育を擁護するために、Yale college のファカルティによって書かれた以下のような文章が見られる。古典的な学習 (classicism) は、正しさについての感覚の基礎を築き、現代の文書などに見られるその初歩的な考えと、それをどんな場合においても、オリジナルのソースと同等に得る力を生徒が得られるという意味だけでなく、一その学習そのものが心的能力としてのディシプリンを効果的に形成するという意味で有益である。

ここで適切な問いとは、一どのような一連のディシプリンが精神文化にとって最善の環境を示すか、私たちの文献において最も完全な知識をリードし、専門的研究の基礎を築くものはどれか、ということである。古い言葉というのは、この点において決定的な利点を持っている。(Yale corporation, 1828/1961, pp289-290)

これに対して、科学(当時でいうところの Practical Education)というものは最善の心的規律を提供するものであって、古典的な学習を提供するものではないと、科学の提唱者は返している(DeBoer, 1991)。

この時代のディシプリンとは、例えば教科書に書いてある内容を繰り返したり、教師の口述を繰り返したりするなど、「記憶」という形で心的規律を刷り込むに等しいものであったと考えられる。ここで、彼らが

ディシプリンと呼んでいるものが、後に 1960 年代頃になってディシプリンと呼ばれて改革の中心となるそれとどのくらい同じか、あるいは違うのかというのは、論点の一つであるが、ここでは扱わない。しかし、以下ではそのディシプリンと呼ばれるものが議論の軸となってくるため、キーワードとして挙げておく。

### 4. 始まりの時代の議論

本研究の理論的枠組みにもなっているプラグマティズム(前項(1)を参照)とともに、19 世紀終盤から 20 世紀の前半において、統合的なアプローチあるいは、プロジェクトメソッドと Kilpatrick (1918)によって後に呼ばれる方法を Dewey が論じていた。Dewey が「学校と社会」を発表した 1899 年には日本で樋口(1899)が「統合教育論」を論じていたとされている(生野, 2014)から、こうした統合的なアプローチはアメリカだけでなく、日本でも同時期に生まれていたといえることができる。

こうしたアプローチは多くの教育活動に影響を与えているが、同時に多くの批判を受けている。梅根(1977)は、現実的な視点からそうした批判を整理しており、こうした課題は生徒中心主義のアプローチにおいては、克服されるべきものである(なお、これらについては、既に 2016 年の理科教育学会において報告済みである:齊藤・熊野, 2016)。

#### 新教育について

- ・自発的学習と言って、学校では何も教えない、学校では先生が教えてくれないから、家に帰って母親の助力を得、本人は母親の解説を一生懸命に速記している。
- ・本当に子どもたちが自発的に学習をしていくようにするためには、どうしてもプロジェクトの形をとり、その仕事を仕上げるのにどうしても必要と思われる課題を解決していく。
- ・したがって、多教科並列主義のカリキュラムを取ることは絶対にできなくなる。(pp.89-91)

### 生徒中心主義について

- ・一方で子どもの生活を尊重していこうという考え方が強くなるにつれて、子ども自身が自分たちの好きなことをやることになると、場当たり主義になってくる。
- ・次の社会の見通しの下に子どもを教育していく教師の社会的責任の立場からは、はなはだ心もとなく、無責任なやり方になってしまう。(pp.91-92)

以上の梅根による指摘は、米国においても議論があり、ハチンスやアドラーによっても同様の批判を受けているが、安藤(2007)によれば、彼らによる批判は Dewey のフォロワーであるいわゆる「進歩主義」教育者たちに向けられたものであって、ハチンスもアドラーもむしろ後には Dewey の理論的洞察は高く評価している(例えば Adler, 1984)。

私が考慮しているのはプロジェクト・メソッド(私はその名称を嫌悪するが)の基礎的な健全さである。このメソッドは、学習者の側の活動を不可欠なものとして力説し、解答を知る前に問題を理解することの大変な重要性を強調し、基礎的な一般教育の領域における教科内容(Subject-matter)の習熟よりも先にスキルの獲得を配列するものである(Adler, 1977; 訳:安藤, 2007 より)

この方法(スキル)か内容かの議論も、この論争における一つの論点である。

### PBL にまつわる議論

プロジェクトの形をとる教育については Kain (2003)が Problem-based と Project-based の違いを説明している。それによると、違いはその着目するところにある。例えば、プロジェクトベーストレーニングにおいては、プロジェクトは児童・生徒それぞれに違うけれども、その学習過程はその成果(製品)に着目している。一方プロブレムベーストレーニングにおいては、その探究の過程に着目する。この意味合いにおいては、プロブレムベーストレーニングは、

その成果物に着目していない。しかしながら、その両方が「現実社会の問題」を彼らの学習材の一部として利用している(なお、STEM 教育においてはもう一つ、Design-based Learning が取り上げられているが、2016 年度においては受講者の活動が必ずしもデザインの要素を含まない可能性も考慮している)。

PBL においては、児童・生徒は伝統的な授業と同じかそれ以上学習内容に到達するとされているが(Kaufman & Mann, 1999; Richard & Dods, 1997; Thomas, 2000)、彼らのコンピテンシーを育成するためには、outcome への注目が必要である(次の(3) 創造的課題解決のページを参照)。もし、創造性を創造的な成果物を作成するコンピテンシーだという視点で見れば(Bailey, 1979)、プロジェクトベーストレーニングは、そうした成果物をつくる学習環境であるということになる。

STEM PBL は普通そうした成果物を工学的な解決策とし、ひとつか複数の工学的課題を解決するための(複数の)プロジェクトとして、その学習環境を作っている(Han, R. Capraro and M. Capraro, 2014; Moore, Glancy, Tank, Kersten, Smith, & Stohlmann, 2014; Roehrig, Moore, Wang, & Park, 2012)。しかしながら、ここには「誰が工学的な課題を設定するのか」(Vasquez, Sneider, & Comer, 2013)という課題があり、著者らはこの点について既に過去の本プロジェクト報告において議論をしてきた(齊藤・熊野, 2015a)。2014 年の静岡 STEM ジュニアプロジェクトにおいては、それぞれの授業のための工学的な課題は教師が決めず、ただ授業の前に予想をするという方法を取った。もし、生徒中心主義の考え方を取るのであれば、工学的な課題は児童・生徒と決めることになる(Polya, 1965; Vasquez ら, 2013)。しかしな

がら、繰り返しになるが、そのようにプロジェクトベースの授業において、課題を生徒中心に決定することについては、多くの批判がある(安藤, 2007・松浦, 1987)。Kain (2003)は、この点について同様に議論しており、「良い課題を選びつなげること」そして、「良質な課題は児童・生徒を刺激する」と示唆している。しかしながら、課題の発見そのものは学習の一部分ではないのだろうか(Runco, 1994)。

実際、多くの課題解決的な学習について議論している研究(3)を参照と、そこに示されている課題解決の段階説は、その多くが初めの段階に課題の発見や定義を置いているにもかかわらず、多くの実践においては児童・生徒に彼らの疑問を問うことはなかった(渡部, 2010)。一方で、PBL やアクティブ・ラーニングを提唱している研究者は、問いを決定する際の児童・生徒の役割について強調している。例えば、Polya (1965)は、後に解決されることになる問いの決定に対する児童・生徒の積極的なかわりについて示唆を与えている。

生徒を後に解くことになる課題を策定することに積極的に貢献させること。もし、生徒が課題を提案すること自体を共有していれば、後に彼らはより積極的にそれに関わることになる。事実、科学者の仕事においては課題の策定は、「発見」のなかの最善の部分だろうし、その解決策は、課題の策定よりも洞察や独創性を必要としない。したがって、生徒にぜひ課題を策定する場面を共有させることが、彼らを一生懸命にさせるだけでなく、(問題に対する)望ましい心理的態度を教えることになる (Polya, 1965, p.609; 訳: 著者, 2014)

更に Runco (1994)は課題発見の重要性について議論している。彼は既存の課題と発見された課題とを比較している。Okuda との研究(Runco & Okuda, 1988)により、彼は発見された課題がより多くの解決策を導くことを指摘し、また Okuda(1991)は、現実社会の発見された課題とともに評価され、課題発見のタスクが識別されるべきで

あるとしている(Runco, 1994)。

問いというのは普通教師によって与えられてきた。その理由は、梅根(1977)が示唆した理由と似ていると考えられる。すなわち

教師が子どもの生活を尊重していこうという考え方が強くなるにつれて、子ども自身が自分たちの好きなことをやることになると、場当たり主義になってくる(梅根, 1977)。

ということである。この点については、間違いなく解決策が必要である。

そこで、著者らは過去の実践において児童・生徒に自ら現実社会の課題を設定するという機会を与えることを試してきた(Saito, Gunji, & Kumano, 2015; 齊藤・熊野, 2015a)。この活動は非常に少ない参加者によるものではあったが、どの事例においても 85%以上(85.2~100%)の児童・生徒が自ら工学的課題を決めることができた。加えて、そうした場面においては関係する技術(Technology:ここでは Engineering の成果としての製品)に関する物語(文脈設定)が、工学的課題の設定を助けるということも示された。しかしながら、STEM が統合された学習環境における課題発見のための創造性タスクとはどういったものであるか、これらの研究ではまだ見出されていない。

## 5. コアカリキュラムの時代

1950 年代の議論は大きく、コアカリキュラムと統合的教育論の2つに集約される。

コアカリキュラムはヨーロッパ特にドイツのチラーらにそのルーツを持ち、米国においてはマクマレー兄弟やドゥガルモ等の研究者がドイツにおいて学んだことを持ち込んできた(梅根, 1977)。彼らのコアカリキュラムに向けた取り組みからも、この STEM の時代が学ぶべきことがあるだろ

う。The National Society for the Study of Education (1947)は、その 46th Year Book のなかで、コアカリキュラムの新しいアイデアや順序が利益となる機会を提供しているとはしながらも、多くの学校では社会科にその重きがあったことを指摘している。したがって、科学の教師がカリキュラムの開発に助けに入ったとしても、科学の教材が ELA(English Language Arts)や社会科のものと統合されることはなかったとしている。一方で、1950 年代にはこうした統合的アプローチがどうしたら実施可能なものと成るのかについての議論が在った。それは、Hantz (1950) が参加した「Stillwater Conference」における議論を報告する中に示されており「統合的な教育の前に知識の統合が必要である」(Northrop & Margenau, 1950)としている。このアイデアは、後の Discipline のアイデアに類似しており、1960 年代には Phenix (1963)が Discipline とは「教えることが可能な知識のことである」としており、今日統合的アプローチを目にしたときに「この方法で体系的な知識は教えられるのか」という批判があるのは、この辺りの意見の影響であると言えよう。もし、統合的なアプローチが事前にその知識の統合を必要とするのだとすれば、その教育はいわゆる「学問中心主義」(Discipline-centered Approach)に近いものになるだろう(Saito, in press)。

この振り子の揺れに応えるには、超領域性(Trans-disciplinarity)について私たちは更に検討する必要があるだろう。

## 6. STS の時代、特に 1990 まで

Transdisciplinarity という語は、1990 年代には既に議論され、統合的なアプローチを開発するための取り組みにおけるトピックの一つであった。それは、探求のモー

ド(Schwab, 1964)に関する一連の議論の続きであるとみることができるし、Discipline についての見方の転換でもあると考えることができる。この時代における議論は、既に以下のようにまとめている。

...STS や科学の本質の見地からは、科学がいかに社会と関係を持ってきたのかについての議論がもたらされており(Gibbons, 1994; Hurd, 1958, 1991, 1998; Kuhn, 1962; McComas, Almazroa, & Clough, 1998; Yager, 1980, 1996)、統合の基礎となる理論が開発された。特に、1980 年代から 90 年代にかけては、統合とディシプリンの再定義が STS の名のもとに議論され(Bybee, 1987; Good, Herron, & Renner, 1985)、時にそれは SMET: Science, Mathematics, Engineering, and Technology (D'Ambrosio, Black, El-Tom, Matthews, Nebres, & Nemetz, 1992)と呼ばれた。こうした研究によれば、私たちはまた超領域的な問題についての学修を描き出すための示唆を得ることができる。

これらの研究を参考に、私たちはまた超領域的な問題(issues)についての学習を描き出すいくつかの示唆を得ることができる。超領域的な問題に取り組んでいる者は、他の学問領域における人々とともに、あるいは他のステークホルダーとともに領域を超えて働く。この状況においては、問題の文脈によってその適応の仕方が決まるため、人々は異なる理論的枠組みや、方法、あるいはそれぞれの学問分野とは異なる研究のスタイルにおいて働き、しばしば各自の学問領域の厳格さには立ち戻らない(Saito, Anwari, Mutakinati, & Kumano, 2016 を翻訳)。

このような超領域的なアプローチにおいては、適用の文脈によって決定される問題とコミュニケーションが非常に重要である(Gibbons, 1994)。

## 7. STEM が統合された学習環境

このような超領域的なアプローチについての先行研究の記述を受けて Saito et al. (2016)は、STEM が統合された学習環境(STEM Integrated Learning Environment: 以下 SILE)と名付け、STEM がその学習活動の中で統合されるようにと取り組んできた静岡 STEM ジュニアプロジェクトでの実践から、この学習環境を規定する 3 つの理論的枠組みを提示してきた。それは、

以下の図 3-2-1 のようにこの学習環境で主要な役割を担う 3 つの主体である生徒・教材・教師がそれぞれに統合に関わる「STEM が統合された学習環境の生態系」(Saito, Okumura, & Kumano, 2016)と教師が教材を開発する方法としての T-SM-E 法 (Saito, Gunji, & Kumano, 2015; 図 3-2-2)、そして最後に SILE を支える理論である。なお、これら 3 つは 2013 年度・2014 年度

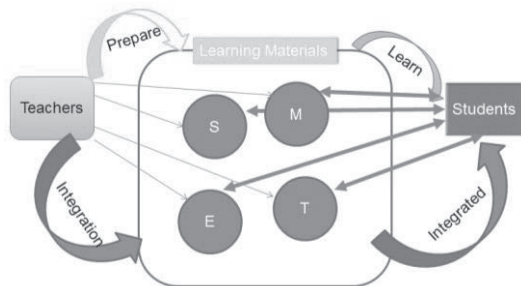


図 3-2-1 STEM が統合された学習環境の生態系

以上 2 つの図は、Association for the Science Teacher Education 2016 において発表したスライド (Saito, Okumura, & Kumano, 2016) から作成した。

上記でまとめてきたように、統合的なアプローチについては、あらゆる批判が存在する。これらに応えないままに統合的なアプローチを主張することは、おそらく前例と同じ結果を招くだけであろう。一方で、単に示された内容を教え込む形では統合的なアプローチのメリットをスポイルしてしまう。その回答においてはやはり「ゆとりでも詰込みでもない」学修の形態とはどういうものなのかを示していかなければ、用を成さないであろう。繰り返しになるが、ここに示す 3 つのアプローチは、2016 年度の静岡 STEM ジュニアプロジェクトの表面に、ほとんど立ち現れていない。しかしながら、今後の本プロジェクトの方向性を示す重要な理論的枠組みである。

#### STEM が統合された学習環境の生態系

第一に、図 3-2-1 に示すように児童・生徒、教材、教師の関係は必ず SILE を決定する。2016 年度に本プロジェクトが取っ

の活動において既に行われていた実践を基に開発されたものであったため、本研究においては特別に扱わなかったものの、2016 年度の実践に生かされており、また今後の静岡 STEM ジュニアプロジェクトの活動を支える理論的枠組みとなるものである。そのため、ここで改めて日本語でまとめ、詳細を示したい。

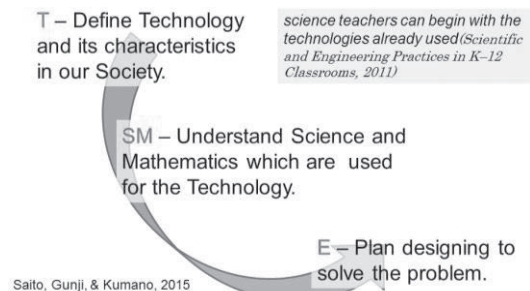


図 3-2-2 教材開発法としての T-SM-E 法

たように、革新的な児童中心主義においては、教師の存在は教材の決定にほとんど関与しない。しかしながら、もしこれが学校等で広く実施されるものとなるならば、「教えることが可能な知識」(Discipline: 1960s の議論を参照)を持った：すなわち十分に準備された教師 (Well-prepared: National Science Board, (2007)) が、教材の準備には関わることになるだろう。別の言い方をすれば、教師が教材にどの程度関わるのかは、その教師次第で濃淡が出るだろう。

教師は、ここで教材を統合する (Integration)：すなわち、具体的な issues を決定する。このため、教師の中では既に知識の統合が起きている (1950s の議論を参照)。しかしながら、教師には学習者がそれをどのように学ぶのかを予想することはできても、規定することはできない。したがって、教師の中で統合された知識がそのまま子どもたちの頭の中に入るのはない (Yager, 2014)。

この前提からすると、SILE においてはその教材を通して学習者自身の中で S/T/E/M が統合されるように準備される必要がある(Saito, Gunji, & Kumano, 2015)。そこで、以下に示す T-SM-E 法を開発した。

### T-SM-E 法

SILE においては、S/T/E/M 各分野の学習が自然と統合される事を目指している(前述 5. を参照)。そこで、どのようにしたら、この4つの分野の学習が立ち現れてくるのかということ予想する教師側の取り組みが必要であると考えられた。そこで著者らは、この T-SM-E という順で考える教材づくりの方法を開発した。以下、T、SM、E のそれぞれの段階について解説する。

始まりは、Bybee (2011)による「中学校の教師は、既存の T(Technology)から始めることができる」という記述である。A Framework for K-12 Science Education (NRC, 2012)では、Technology は「人間の必要性和欲求を満たすためにつくられた生成物等のこと」(訳：熊野, 2013)であり、科学と工学の体験的・経験的活動(Practices)において作られる、何らかの製品あるいはアイデアなどのことを示唆している。したがって、STEM に関する文献においては Solution(解決策)という語が使われることも多い(ここでの含意は必ずしも製品としての解決策だけではなく、アイデアとしての解決策もあり得るということである)。そこで教師は初めに、授業で学習者が何を作るかを考えることになるだろう。例えば、風車・ジェットコースター・ソーラークッカー・イス等である(これらは実践済のもの)。教師はこの T の段階で、予備実験にあたる仮制作を行ってみたい。

仮制作においては、技術的に難しいこ

と(手作業としての難しさ)、どのような変数があり得るのか、そしてその学年の子どもはそれらを考えつくことができるのか、工夫は必要だけれども、規則性の発見(S)や測定(M)ができない部分、テクニックとして難しい部分はできる限り排除した方が良いのかもしれないし、技術(E)の一環として、その部分は残しておくこともできるだろう。

(この点は、2017 年時点を生きている私には今のところ答えることができない。なぜなら、もし学習者らがより年少期からこうした手作業を身に付けてきたとしたら、ここは課題ではなくなるかもしれない)。少なくとも、現時点では S や M の学習を充実させるためには、技術的な難しさは減らしておいた方がよい。そのためにも、T-SM-E の流れの中でも一番初めの T の段階で、どこが難しいのかどのような教材ならそれを学習者に感じさせないのかについては、把握しておくべきであろう。

もう一点、T の段階では、技術(T)としての歴史を振り返ってみると、その技術が生み出された背景や、社会や環境へのインパクトを教師は把握することができる。例えば、Technology の定義から見ても、人間は何らかの要望(needs)をもってその製品を生み出している。場合によっては、その製品が発明された段階と、現代ではその製品へのニーズが大きく異なる場合もあるであろう。例えば、人間の歴史の中でも最初期の Technology の一つである農業は、現代でも「人間の空腹を満たす」というニーズを持っているが、その時々で「水の必要性」「肥料の人工的生産」「環境負荷の低減」など求められるニーズに変化がある。特に現代では、人間の必要性を満たす面と環境や社会に対する負荷を与える面という両面に光が当たることが多いだろう。こうした技術の本質(AAAS, 1989; 齊藤・熊野,

2014)を把握しておくことは、授業全体の構成を考えるうえでも役に立つ。一般的な言葉で言えば、「教材観」の確立に寄与する。また、Who need what because why?(誰が、何を、何のためにほしいのか)の疑問に答えておくことも、技術(T)を理解するうえで助けとなる。著者の場合は、学習者にも授業でこれを問いかけている。

次の、SMの段階では先にも述べたように、「何が発見されるべき規則性あるいは分類なのか」(S)、「何が測定され、数値的に表現され、整理され、規則性や分類を支えるのか」(M)について明確にしておく必要がある。おそらく、理科や数学の教育者としてはここを最も重視するであろう。その割に、STEM(あるいはものづくり)と称して実践を試みるとき、意外にもないがしろにされがちのことであるように思う。

その理由のひとつは、教科書にないようなものづくりに取り組んだ場合に特にそうであるが、その”もの”(Technology)の改善を試みる場合に、**前述のような規則性・分類を見出しながら探究を進めることが比較的・発達段階的にも高度であるのではないか?**という疑念から来ているように思う。

ここで確認したいことは二つある。一つは、規則性・分類の量的な扱い、もう一つは科学の本質についての問題である。

まず一つ目は、規則性や分類の量的な扱いについてである。ここで注意すべきことは、規則性が量的に扱える学年段階にあるのかということである。日本の理科のカリキュラムはこの点十分に段階を踏んで進められる。例えば、電磁気学の内容を扱うのに、いきなり方程式を書いたり覚えたりはしない。まず、磁石の力と持ち上げられるクリップの量の関係性を見出す。この時点ではあくまで関係性で、次に磁界との関係を絵にかいたり、言葉を定義づけたりする。

高校生になってやっと式という形で表す。小学校段階で数値的に表さないかということ、それも違う。電磁石のコイルの巻き数や、クリップの数を数え、表にまとめ、関係性を見出すということはできる。こうしたことを考えると、これまでには扱ったことのない技術から、変数を見出して数値的に関係性を見出すという活動は、小学校段階から進めることはできるのではないか。ただし、「変数を子どもが見つけてくるという活動を子どもも、教師もやったことがない」ことが課題であり、多少の慣れを必要とするであろう。ただし決して、難しいことでも、できないことでもない。

次に、二つ目の科学の本質についてである。理科の授業は、帰納的に見つけ、演繹的に確認し、法則や理論を見出させることが多いが、前述のように帰納的に子ども達の活動から規則性が見出されてくると、時にトンデモ科学と言われる部類の発見が見出されてくることがある。この場合、どうするのか。小中学校の授業場面では、例えば1クラス8つの班が同じ実験をすることで、実験に失敗したり、変数の変え方を誤った班があっても、全体として実験の再現性が保たれる。その一方で、本プロジェクトが進めるように、グループ研究が学校の教室で行われた場合、そのデータをそのグループのみが採っている場合が考えられる。こうした場合、そのデータの信ぴょう性をどのように担保するのか。ここも、本来的には子ども達と議論し、検討していくべき点であろう。うまくいかない場合を考えて、ある特定の実験方法を指示するのでは、やはり詰め込みに戻ることになってしまう。例えば、著者が行ったある事例では、実験計画の段階で分かったこと(考察)まで予想させる演繹的な活動を盛り込むことができた。そのためには、疑問と考察の一貫性、方法は疑問に答える内容になっているか等、

諸々の考え方も同時に問いかける必要がある。

以上の点から SM の段階は、ものをつくりながら、いかに **Doing Science, Doing Mathematics** をするのかということを決める段階である。これらを考慮すると、文末の資料1のようなワークシートが考えられる。この内容については、また別の形で報告することにする。

T の段階で考えられた解決策(Solution)を作りながら、次の SM に当たる内容を学ぶためには、どんな必然性、学習の目的、意欲が引き出されればよいのか。それを決めているのは、最後の E の段階であろう。ここでは、活動を通して学習者が解くことになる工学的な課題(Engineering Problem)を予想する。前述の通り著者らの活動では、この課題も学習者が決めるようにしているため、教師側は更にどのような課題が立てられるのかについて、予想しておかなければならない。

この課題の設定は、かなり S や M に関わるので、十分な予想をして、あるいは議論の場を設けるなどして、学習者を誘導する必要もあるかもしれない。場合によっては、簡単には解くことのできない課題=問題(issues)を設定してしまうこともあるからだ。それだけ、E の設定がその後の活動全体に影響を及ぼす。したがって、E の段階では授業計画の最後に配置し、「問題を見出し、課題を解決する」ことができるような課題となるような統合を目指すことが重要であろう。

## SILE の理論

ここまでの2つの枠組みは、あくまでも教師の側の都合であって、児童・生徒の学習がその通りになるとは限らない。それは、この超領域的な学習環境である SILE が「学習のシステム」を形成していると考え

られるからである。そこで、Saito et al. (2016)は SILE のための理論として、以下のような理論を仮に設定した。

- a. 伝統的な授業とはことなり、学習は必ずしも既存の学問分野に含まれないし、その内部で評価されないかもしれない。
- b. 学習者のネットワークの内部や、それをまたいだ学習は、STEM の学問分野を超越して関係性を持つ。
- c. したがってその学習環境は、そうした関係性のベクトルによって構築される。

この理論をもとにした SILE の分析は、別途論文にまとめ現在査読中であり、生徒中心主義的な PBL を実施しながらも、学習指導要領理科やその他 S/T/E/M 分野の教科の目標を満たす学習の成立をいかに評価していくのかについては、今後まとめていく予定である。

## 8. まとめ

ゆとりと詰め込みと同じように、統合的なアプローチ(Transdisciplinary Approach)と分野別のアプローチ(Disciplined Approach)については、現時点では対立的な位置関係にあることは、否めない。そうした中で、統合的なアプローチについては基礎づけの問題や、体系的な教育の難しさなどに応えるような理論や枠組みを提案していけばよいということであろう。

本稿で見てきたように、歴史的な背景としては、伝統的な授業が先行しているとはいえ、統合的なアプローチについても理論が積み重なり、新たな検討が始まった段階にあると言えるだろう。ディシプリンの中で育った我々としては、そこから踏み出すことに、少なからず抵抗があることは間違いない。しかしながら、現代において解決が難しい問題、答えが複数ある問題といわれる issues を作り出している背景にもデ

イシプリンがあることを考えると、それを超越し課題を解決していくようなアプローチを教育活動に含めていくことは、その解決の一助となるのではないか。

こうした観点から、今後も STEM 教育研究を推進していきたい。

#### 参考文献 (抜粋)

- Adler, M. (1982). The Paideia proposal: Rediscovering the essence of education. In A. Canestrari & B. Marlowe (Eds.), *Educational foundations: An anthology of critical readings* (Third Edit, pp. 141–149). SAGE Publications, Inc.
- Appleton, J. V., & King, L. (1997). Constructivism: a naturalistic methodology for nursing inquiry. *ANS. Advances in Nursing Science*, 20(2), 13–22.
- Bailey, R. (1978). *Disciplined creativity for engineers* (2nd ed.). Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, Inc.
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K–12 classrooms. *Science Teacher*, 78(December), 34–40.
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrate curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61–65.
- House of Representative. STEM Education Act of 2015, Pub. L. No. 1861 (2015). the United States of America: 42 U.S.C.
- Katehi, L., Pearson, G., & Feder, M. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects. National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies*. National Academies Press.
- Roehrig, G., Moore, T., Wang, H., & Park, M. (2012). Is adding the E enough? Investigating the impact of K - 12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School Science and Mathematics*, 112(1), 31–44.
- Saito, T., Anwari, I., Mutakinati, L., & Kumano, Y. (2016). A look at relationships (Part I): Supporting theories of STEM integrated learning environment in a classroom - A historical approach. *K-12 STEM Education*, 2(2), 51–61.
- Saito, T., & Kumano, Y. (2015a). A study about integrated activities and its assessments in STEM classes. In *Shizuoka STEM Junior*

- Project 2014-2015, A Report for the Future Scientist Program by JST*(pp. 32–50).
- Sanders, M. (2009). Integrative STEM Education: Primer. *The Technology Teacher*, December/J, 20–26.
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM Lesson Essentials, Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. (K. Bryant, Ed.). Washington, D.C.: Heinemann.

#### 謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤研究 B) 研究費番号 23300283 及びミネソタ大学 STEM 教育センター Gillian Roehrig 教授を中心とした NSF 予算である EngrTEAMS の支援も受けて行った。

資料1

## 波が伝えるのは情報 2 「

The light informs information

Class \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_ Name \_\_\_\_\_

1. 基礎知識+ニーズ What do you need for? + Supplemental Knowledge

2. この活動の疑問・課題 Question or problem solved in this activity

課題 Problem

解くことになる疑問 Question

3. どんな方法を取りますか？&解決策をデザインしよう Design your solutions & the method.

を検証する方法(Science)

デザイン( をどう作るか Engineering)

4. 結果をまとめよう Arrange your results.

5. 分かったことは何だろう？(考察)What were the findings?(Discussion)

6. 上手くいかなかった理由があるとすればどんな点ですか？ What were the constraints?

7. あとどんな工夫をすれば課題は解決しそうですか？ What kind of tinkering would you need?

8. 証拠に基づいた推論(主張・証拠・推論でまとめよう)Evidence based reasoning.

### (3) 21世紀型能力としての創造性にまつわる転移に関する問題とその整理

## The Transfer Issues Related to Creativity as the 21<sup>st</sup> Century Skills and the Arrangement

齊藤智樹

Tomoki Saito

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

キーワード : 21<sup>st</sup> Century Skills, Transfer, Creativity, Domain Specificity, Consensual Assessment Technique

(2)に引き続き、この(3)においては、本プロジェクトを支える2本の柱のうちの一つとして、創造性について扱う。以下での議論は、本研究の研究課題と仮説の設定につながる理論的背景の整理である。

#### 1. はじめに

21世紀型能力は、既に高等教育の分野ではその雇用可能性(employability)や転移可能性(transferability)を持つ技能として示されているジェネリックスキル(generic skill)とよく合致する。吉原(2007)や久保田(2013)は大学教育の観点からではあるが、既にこれらジェネリックスキルに言及した各国の文献をまとめ、そうしたスキルの獲得を目指した教育の意義についてまとめている。その中でも紹介されているように、Australian National Training Authority (2003)や、アメリカにおけるジェネリックスキルの議論の先駆けとして紹介されている Secretary's Commission on Achieving Necessary Skills (SCANS) のレポート(1992)においては、創造性(creativity)がジェネリックスキルのひとつとして挙げられている。

一方で 21<sup>st</sup> Century Skills は米国 National Research Council (以下 NRC)に

おいてもワークショップが開かれ、その評価に向けた構成概念(Construct)を導こうという取り組みがなされている。その中には、創造性を含め、以下表 3-3-1 のようなスキルが検討されている。これらのうち、少なくとも創造性(Creativity)と批判的思

表 3-3-1 NRC による 21st Century Skills

認知的スキル	一定の順序のない課題解決 (nonroutine problem solving), 批判的思考 (critical thinking), システム思考(systems thinking)
対人スキル	複雑なコミュニケーション (complex communication), 社会的スキル(social skills), チームワーク(team-work), 文化的感受性(cultural sensitivity), 多様性への対処(dealing with diversity)
内面スキル	自己管理(self-management), 時間管理(time management), 自己啓発(self-development), 自己管理(self-regulation), 順応性(adaptability), 執行的職能(executive functioning)

NRC; Koenig (2011)※静岡 STEM ジュニアプロジェクトにおいては、既に 2014 年度の実践からこれらの能力の開発をそのプログラムの中で企図しており、プログラムの各所にそのしなやかさを配している。

本稿は静岡大学創造科学技術大学院の博士論文である A Research on Creativity in STEM Integrated Learning Environment Based on Task Specific Approach の一部を翻訳し、加筆・修正したものである。

考(Critical Thinking Skill)の2つについては、その領域一般性ではなく、領域固有性が検討され(あるいは領域一般性を示す証拠は見られないとされ)ている(Bear, 1993; Koenig, 2011)。

こうしたジェネリックスキルというのは、そもそもアカデミックな教育では身につかないという前提がある(久保田, 2013)とされ、教科横断的に発達することが期待されている(国立教育政策研究所, 2002)わけだが、前述のとおり領域固有性があるとすれば、その転移を期待して行うあらゆる教育活動について考え直さなければならない(Bear, 1997)。

## 2. どう転移するのか

その研究初期には、転移にははっきりした証拠が見られず、転移するとしても学習内容の転移ではなく、かなり練習されたスキルが転移することが確認されるのみであった(Thorndike & Woodworth, 1901 他; Salomon & Perkins, 1989)。

そうしたなかで Bruner は、内容は転移しないが、構造は知的に正当な方法によって教えれば転移するとした(Bruner, 1961)。また、Lawson(1989)は Learning Cycle のような学習段階説を取り入れることで、転移がサポートされるという結果を示している。こうした学習の流れは、Dewey (1910) から連綿とつながる問題解決的な学習や、Bruner(1961)の示した Heuristics(厳格ではない一種の探求の方法)いわゆる発見学習における「構造」にも見られるが、「科学の方法」などの形で特定の形態が一般化されることに、最近の STEM 教育における Practices を提案する研究者は疑問を呈している。科学者が実際に従事するのは、より複雑(Complicated, messy)な活動：すなわち Cascades of Practices であり、科学的方法の手順が指導上利用されているのと同様に、児童・生徒が行進する新しい固定的手順に変えてしまうことに抵抗する(Bell & Van Horne, 2011; Bell, Bricker, Tzou, Lee, and Van Horne, 2012)というのである。このように、固定化されない探究活動

においても、(それが内容であれ、構造であれ)転移は助長されるのであろうか。

もう一つの疑問点は、こうした転移についての検討は、どの程度(2)(pp.)に示したような統合的なアプローチの教室で実施されてきたのかということと、そもそも領域横断的な学習において、転移とはどういうことを言うのかということである。

## 3. どう評価するのか

次に、もしこうしたスキルに汎用性がないとしたら、どのようなことが考えられるだろうか。まず一つは、ある文脈で学んだスキルが他の文脈に転移することを期待されているが、それが他の知識と同様に、物理的にほとんど同じような文脈においてしか適用されないという可能性が考えられる(Brown, 1990)。もう一つは、もし領域ごとに特定のスキルを学んでいるのだとしたら、**領域ごとの評価法が必要になってくる**ということである。

例えば、創造性の評価において領域固有性を主張する研究は、そもそも領域固有性に依存した Consensual Assessment Technique (CAT: Amabile, 1982)を利用して評価しており、各領域の専門家が評価を行う手法である。また、この CAT を利用して Bear (1993)は、更に一步進めてタスク固有性の証拠を示している。また彼に続く研究は、創造性の他のさまざまなタスクにおける固有性と、専門家だけではなく、準専門家による評価の可能性を示している。

以上が、**転移と領域固有性にまつわる議論の概要**であり、**転移と学習、学習の過程、そして評価**といった4つの側面をここに見出すことができる。

以下では、以上2. 3. に示したような議論を詳細に示しながら、STEM が統合された学習環境における創造性の学習を検討し、本研究の研究課題に答える必要性を示す理論的背景を整理したい。その研究課題とは次のようなものである。

- ・タスク固有なアプローチは、TTCT の範囲において、どう児童・生徒の創造性を向上させるか。但し TTCT は過去のインテグレイティブな科学教育あるいは STS 教育に応用

- されたものを用いる。
- ・ 児童・生徒の創造性は STEM の各分野において、異なる評価をされるか。
- ・ 児童・生徒が STEM 自由研究に取り組んだとき、彼らは8つの科学的・工学的活動をどのように辿るか、そしてそれは研究グループの内外で異なるのか。
- ・ 彼らの研究の流れの中で、どんな潜在的な創造性タスクが見出されるか。
- ・ 児童・生徒は、タスク固有な発散的思考を理解すると、いつ・どこで彼らの自由研究にそれを適用するのか。

#### 4. 創造的な過程と創造的タスク

まず初めに、4つの側面の一つである学習の過程(創造的な過程)から、創造性の育成とその転移について迫ってみたい。ここでの研究仮説は、Next Generation Science Standards (NGSS Achieve, 2013)に提案されている8つの科学と工学の体験的・経験的活動は学習の順序ではなく、受講者らの探究活動においても Cascades として働くであろう(Chin & Osborne, 2007; Pratt, 2013)ということである。これは、Bruner(1961)によっても主張されていることであり、Heuristic とはそもそも探究を実施するためのたった一つの道のりではないはずだ。以下では、この仮説につながった Heuristics についての議論についてまとめる。

#### ヒューリスティック(Heuristics)とは何か

ヒューリスティックは認知科学者の端緒でもある Bruner (1961)によっても提案されている(当時は認知科学という概念があったとは言えないが)。彼の考えでは、ヒューリスティックは「解決策にたどり着くための、厳格でない方法」とされている。

#### 問題解決の過程

19世紀の終盤から、20世紀の中盤にかけて、問題解決のアプローチは提案されており、Russell (1956)は、それらアプローチのリストを示しており、それを表 3-3-2(次頁)にまとめている。

表にも示されているように、非常に似てはいるが、異なる研究者が異なる順序を提案している。ここからも分かるように、何

か一つが全てに適用可能というようなタイプの過程があることを仮定することは難しいだろう。とはいえ事実、固定化された順序があるようにしばしば誤解されている(AAAS, 1991)。

#### STEM CPS における発見学習の過程

Bruner (1961)が提案しているように、多くの STEM 関係の状況に適用可能であると考えられる一般的な Heuristics が存在するとは考えにくい。更には、Bruner が提案する以前から多くの Heuristics は提案されており、そのいくつかは創造的課題解決だけでなく、しっかりとした構造を持った課題(well-structured problem)についても適用可能であると考えられていた。それぞれのヒューリスティックの定義を吟味しながら、それらがいかに non-routine problem solving に関わりながら開発されてきたのかを見ていくことにする。

まず初めに確認しておかなければならないのは、発散的思考のアイデアは Guilford (1956)によってまとめられたけれども、Osborn (1954)は別途工業界では多く適用されているブレインストーミングのアイデアを提案しているということである。オズボーンの目的は創造的課題解決を General Electric (GE)社のエンジニアリングに適用することであつたけれども、ブレインストーミングのアイデア自体は発散的思考に影響を受け、また逆にその拡大にもつながっている(5. CPS の性質を参照)。彼の著作である“*Applied Imagination*”の初期の版を確認すると、彼のアイデアは数学者であるポアンカレから来ていることが示されている(Osborn, 1954/1963)。しかしながら、オズボーンの Heuristics はポアンカレのファックス関数についての課題解決について書いた Wallas (1926)に影響を受けていることは明らかである(表 3-3-3 を確認)。

Wallas も Osborn も「インキュベーション(Incubation: 孵卵)」の段階を含めており、それは創造的思考の原則である「判断の延

表 3-3-2 問題解決的アプローチにおける学習過程のリスト

Dewey (1910)	Burt (1928)	Gray (1935)
1. "A felt of difficulty"	1. Occurrence of a perplexity.	1. Sensitivity to problems.
2. Its location and definition	2. Clarification of the perplexity.	2. Knowledge of problem conditions.
3. Suggestion of possible solution.	3. Appearance of suggested solutions.	3. Suggested solution or hypothesis.
4. Development by reasoning of the bearings of the suggestion.	4. Deducing implications of suggested solutions.	4. Subjective evaluation.
5. Further observation and experiment leading to its acceptance or rejection.	5. Verifying action or observation.	5. Conclusion or generalization.
Johnson (1944)	Polya (1945)	Humphrey (1948)
1. Orienting to the problem.	1. Understand the problem.	Directed thinking involves:
2. Producing relevant material ("search"; "free play" of thought)	2. Make a plan.	1. A problem situation.
	3. Carry out the plan.	2. Motivating factors.
	4. Look back on the completed solution (plus a looking list of "mental operation").	3. Trial and error.
		4. Use of association and images.
		5. A flash of insight (The place of 3, 4, and 5 varies with the problem).
		6. Some application in action.
Bloom (1950)	Burack (1950)	Vinacke (1952)
"Problem-solving characteristics" are:	1. Clear formulation of the problem.	1. Recognition of the problem.
1. Understanding of the nature of the problem.	2. Preliminary survey of material.	2. Manipulation or exploration of some kind.
2. Understanding of the ideas contained in the problem.	3. Analysis into major variable.	3. Analysis.
3. General approach to the solution of the problem.	4. Location of crucial features.	4. Partial solving.
4. Attitude toward the solution of the problem.	5. Application of experiences.	5. Emotional responses.
	6. Varied trials.	
	7. Control.	
	8. Elimination of sources of error.	
	9. Visualization.	

Russell (1956) より抽出

表 3-3-3 創造的課題解決におけるヒューリスティック

Era	1908	1926	1954
Researcher	Poincare	Wallas	Osborn
Heuristics	1.Preparation	1.Preparation	1.Orientation
			2.Preparation
			3.Analysis
			4.Ideation
	3.Illumination	2.Incubation	5.Incubation
		3.Illumination	
	4.Validation	4.Valification	6.Synthesis
			7.Evaluation

期」(Osborn, 1954/1963)に影響を与えている。オズボーンの書き方では、判断的思考(judicial thinking)は否定されていないにも関わらず、広く受け入れられたブレインストーミングや判断の延期についてが、教育界には広く受け入れられている。しかしながら、Osborn(1954/1963)は、もし思

考者が創造的・判断的思考をいつ、どうやって利用するのかを知らなければ、創造性は台無しになってしまうと主張している。

加えて、こうしたヒューリスティックアプローチは、問題解決の単なる焼き直しではないと指摘されていたにも関わらず、「それは問題解決と同じような事なのか」、「自

発的な学習ということか」という批判があった(藤井, 1967)。こうした全ての批判についての回答も、実際は転移についての問題に帰結する。

### ラーニングサイクルについて

Lawson(1989)はラーニングサイクルの開発に携わり、後に BSCS の 5E モデルにつながったとされる。彼のラーニングサイクルの研究は、転移の可能性についても拡大しており、以下のようなことを指摘している。

- ・ 授業の明示的注目点となる思考スキルについては転移する
- ・ 授業の非明示的な注目点となる思考スキル転移するであろう
- ・ 他の教科へ思考スキルは転移するであろう
- ・ その向上した思考スキルは継続するのにかについては、今後確かめる必要がある。

これらのことから、ヒューリスティックあるいは、ラーニングサイクルのような学習段階の提示が、転移をサポートする可能性については、歴史的にも指摘されている。



図 3-3-1 転移と学習環境

以上の議論を受けて、転移に関する議論を(2)の統合的なアプローチとの関係でまとめてみると、図 3-3-1 のように4つに分けられた領域で、研究の方向性を検討することになるだろう。例えば、Brunerなどは、[2]に当たる各教科における構造(Structure of Discipline)を想定しながらも、一般的な転移があることを想定してい

た。一方で、本研究が参考にしているのは、領域固有性が想定されるスキルとしての創造性(発散的思考)であり、統合的な学習環境をベースに考えている。すなわち[3]の象限あたるとはいえ、それが STEM の分野において一般的な転移をするのか、個別具体的な転移をするのかについては、今後検討がなされなければならない。

### 5. CPS の性質

以下では、以上の学習段階説についての議論と転移についての問題を受けて、もう一つ確認しておきたいのは、創造的課題解決の性質についてである。そのトピックとしては、なぜ創造的課題解決(CPS)が必要であるのか；創造的課題解決における課題発見の問題；発散的思考とトーランステスト；そして創造性の評価と CAT である。これらのトピックの検証によって、以上ヒューリスティックについての論点と、創造性におけるタスク固有性と転移の問題について整理する。

#### なぜ CPS は必要か

21st Century Skills の一つとして、創造的な課題解決(Creative Problem Solving)は“一定の順序のない課題解決(nonroutine problem solving)”(Koenig, 2011)というもう一つの名前を持っている。創造的課題解決スキルは普通「十分に構造化されていない問題(ill-structured problem)や身近でない問題(unfamiliar problem)と共に働くため、一定の順序のない課題解決は、そうした身近でない問題に立ち向かう一連の機能として受け止める必要がある(Lai & Viering, 2012)。ここでは、認知的スキルと問題がいかに関係しているのかについて論ずる。

一つ前の(2)(pp.35-46)の通り、STEM教育者の間では、「現実社会の文脈」が提唱されており(Bybee, 2011, 2013; Dewey, 1899; Fensham, 2009; Osborn, 1963; PCAST, 2010, 2012)、児童・生徒がそうした統合的な学習環境に関われば、彼らはそれぞれの探究に固有なヒューリスティック

とともに探究活動を進めることになるだろう(Bruner, 1961; Chin & Osborne, 2007; Pratt, 2013)。更には、彼らが工学デザインの活動に取り組むならば、そうした学習のサイクルは繰り返し現れることになる(NGSS Achieve, 2013:Appendix D)。そうした状況にあっては、彼らは特定のヒューリスティックの順序を追っていくのではなく、むしろあるアプローチがうまくいかなかった場合に、次のステップを選ばなければならない(Levy and Murnane, 2004)。研究者らはこれを“non-routine problem solving”と呼んでいる。

### CPS における課題発見

また、創造的課題解決の初めの段階をみていくと、課題発見もまた議論が必要な点であろう(2)のPBLの項も参照)。

Runco (1994)は、彼らの研究の中で、発散的思考と課題発見の混合をテストしている。彼らはそれを発見された課題における発散的思考タスクと呼び、被験者に学校や職場における課題のリストを見てもらい最も多くの解決策を生成しそうな課題を選ばせた。その後、被験者はできるだけたくさんの解決策を生成することを求められた。

このような実験から結果として Runco が示し提案していることは、以下の通りである。

- ・ 明示的な教授は既存の課題と発見された課題の両方の発散的思考タスクに大きな影響があるが、問題生成のテストにはそれが見られなかった。
- ・ これによって、タスクの知覚(とメタ認知スキル)がある特定の発散的思考タスクには重要であることを確かめた。
- ・ 全てのタスクで利用可能な戦略はあるかもしれないが、被験者はそれを使わなかった。他の可能性として、全てのオープンエンドタスクに利用可能な一つの戦略はないということもあり得る。

これらの提案は、本稿における他の側面を支持している。もし、これらが統合的なアプローチにおいても機能するとすればどのような学習環境が考えられるだろうか。

次は評価の側面についてである。

### 発散的思考とトーランステスト

創造的思考の歴史においては、「創造性を持った個人」が想定されていた(Guilford, 1950)。しかしながら、多くの創造性研究は実際には“解決策：solution”や“製品：product”を彼らの創造性を評価するために利用していた(Bear, 1993)。一方、前述のように、特に心理学における創造性の研究においては、創造的な過程(process)が注目されてきた(Bailey, 1979)。Baileyは創造的な課題解決を創造的なプロセスとその製品の混合であると説明していた。しかしながら、そうした創造的な過程に着目すると、その創造的な過程によって作り出されたいかなるものも創造的であると呼ばれるものとなり得る(Amabile, 1996)。

Bear (1993)は、そうした状況を鑑み、広く受け入れられている発散的思考の再定義と、タスク固有なアプローチが必要であると主張した。その発散的思考理論に対する根本的な疑問は、その理論の一般的な利用とその開発者である Guilford (1967) や Torrance (1966)の主張との矛盾に由来している。

例えば、Guilford (1967)による発散的な生産の4因子：流暢性・柔軟性・独創性・綿密化は創造性研究の中でしばしば利用され、トーランステストはこれらのスコアを別々に提供する。残念ながら、トーランステストはまた、そのサブスコアを統合する形で「トータルスコア」を示すためにも利用されている。しかしながら、Guilford (1956)による因子分析を見返してみれば、分割された下位尺度がそのように扱われることを想定されてはいなかった(Bear, 1993)。そこで、Bear自身はAmabile (1982)によって開発された Consensual Assessment Technique (CAT)を採用している。以下では、このCATについて説明する。

### 創造性の評価とCAT

CATを利用する根拠を得るためには、判断的思考(judicial thinking)についての議論に立ち返る必要がある。Runcoは評価者

(judge) が評価されるべきであると *evaluation skills* について論じている。しかし、誰が評価者を評価し、誰が評価者の評価を評価するのか(Runco, 1994)。この点について、Runco は研究者同士の査読のシステムを引き合いに出し、「科学者はしばしば査読に重きを置く一方で、“価値”を非科学的だとか体系的でないで見下している」と主張している。そうした中でも、いくつかの専門雑誌では、査読者の名前をその出版時に示すようにしているのは前進であろうと彼はしている。

CAT は、関連する分野から専門家を選び、彼らがその分野においては最も適切な評価者であるとしている(Kaufman, Bear, Cole, 2009)。この意味合いにおいては、「適切な観察者が独立してそれが創造的だと同意する範囲にある製品や反応を」創造的だとすることになる。これに基づいて、Bear (1993)は、CAT を利用し、ストーリーテリングや作詩、単語問題作成、そしてコラージュづくり等のタスクにおいて、創造性は領域固有というよりもむしろタスク固有であることを確認した。

## 6. STEM の探究のためのタスク固有アプローチ

### STEM CPS におけるタスク固有な創造性

Bear (1993)が提案したように、創造性の領域固有性やタスク固有性が STEM 教育の領域においてもみられるとしたら、どのようなことが考えられるだろうか。Bear は芸術領域の製品(Product)について調査しているが、STEM の創造的課題解決の成果物にも適用可能なのであろうか。

Bear はまた、ある人が創造性と関係のあ

る状況において、発散的思考を使う練習をしなければ、そのスキルは創造的なパフォーマンスにあまり影響しない。にもかかわらず、発散的思考は一般的に児童・生徒に教えることはできないし、実際児童・生徒もそれが重要な創造的スキルであるとは認識されてこなかったと指摘している。したがって、発散的思考がどんな場面で利用できるかということは、彼らがそのスキルを持っているかどうかということよりも重要である(Bear, 1993)。

### STEM 教育におけるヒューリスティックと 8 つの Practices のカスケード

改めてヒューリスティックの議論に戻ると、このタスク固有性は学習の順序と関係している。Pratt (2013)が提案しているように、NGSS における 8 つの Practices(表 3-3-4; NGSS Achieve, 2013)は、カスケードタイプ\*のヒューリスティックである。

したがって、受講者はそれらを前に行ったり、後ろへ行ったりしながらどり、その探究を振り返ればおそらく各受講者が異なる学習の軌跡をたどるだろう。この点について論ずる文献は非常に限られているが、問題解決や発見学習における議論は同様の課題を持っており、解決されるべきであろう。すなわち：こうしたアプローチは「全てに通じるモデルではない」と示唆されているにも関わらず、教室に適用される際には「一般的なモデル」として適用されている。したがって、本研究は生徒中心主義で統合的な学習環境を保持しながら、こうしたアプローチの現実を確認するべきであろう。

表 3-3-4 STEM の学習における 8 つの Practices

1	疑問を問い(for science)課題をはっきりさせる (for engineering)
2	モデルをつくり、利用する
3	調査の計画と実施
4	データの分析と解釈
5	数学と計算的思考の利用
6	説明の構築(for science)と解決策のデザイン (for engineering)
7	証拠に基づいた推論に関わる
8	情報を得、評価し、伝え合う

\*ここでいうカスケードという語はおそらく、インターネット等の「カスケード接続」に由来する。ハブとハブとを接続する様子から、探究のある点からまた複数の点へとつながる様子を示しているものと考えられる。

## 個人の創造的思考について

以上の議論を受けて、さらに Driver (1983)の提案に目を向けると、「セカンダリー(日本でいえば中学校以上)のレベルでは、生徒はゲームのルールをすぐに理解し、こう問う”これは起こり得るのか?”、”私の解決策は正解なのか?”」ヒューリスティックアプローチ(と呼ばれていたもの)の矛盾は、彼らが現在受け入れられている科学的な法則や原理を”発見”することを求められるにも関わらず、探究し、データを生み出し、そのデータから推論をすることを求められる。しかしながら、Yager (2014)が言っているように、“doing science”(科学をすること)は、教科書を読んだり、実験室で働いたり、記憶することによるテストを受けることでもなく、個人的な課題からはじめ、具体的な結果を提案することである。

もし、そうであるならば、児童・生徒は単に教師が示した順序をたどるだけでなく、彼らの内発的な動機から始めることになるはずだ。

CAT を提案した Amabile はこの点についても論じ、ヒューリスティック・タスクとアルゴリズム・タスクを区別している (Amabile, 1983)。本稿で「固定された学習の順序」と示してきたのは、彼女の言うところのアルゴリズムに当たる。Amabile はこの時点ではタスク固有の可能性について認識していたとは限らないが、**本研究で私たちが見出さなければならないのは、あくまでもヒューリスティック・タスクであり、しかもそれは個人に固有なものである可能性がある。**

## 7. まとめ

最後に、再び転移の議論に戻って本稿のまとめとしたい。先に示したように、創造性について、転移と学習、学習の過程、最後に評価という4つの側面で、その固有性・一般性の議論を見てきた。まず、転移と学習について、Bear (1993)が示すように、創造性に領域固有性があるとすれば、その転移を仮定して行う教育活動について、再考の必要があること。転移を期待してジェ

ネリックスキルとして扱うのではなく、道徳と同じように、学校教育活動全体を通じてタスクを見出し、育成する必要があるだろう。実際、Bear (1993)はタスク固有な調査結果を受けて発散的思考を再定義しながら、発散的思考をあらゆるタスクにおいてその練習を行うことを提案している。

次に、学習の過程についてであるが、それを問題解決と呼ぶにせよ、発見学習と呼ぶにせよ、一般的な学習の流れがあることは考えにくい (Bruner, 1961)。また、探究活動が個人の思考体系に依存しているとすれば、例えグループ研究においても、Cascades には個人的な流れがあることが予想される。

最後に、評価という側面についても領域固有性を前提とした場合には、トランステストの捉え方が変わってくるし、かつCATのように領域固有の専門性に依拠した方法を選択していく可能性についても検討される必要があるだろう。

全体としてここで論じたジェネリックスキルに関する転移の問題は、教科のような領域ごとの学習環境か、あるいは本研究のような統合的な学習環境かについても区別して検討されるべきであり、この意味合いにおいて、本研究は(2)に示したような統合的な学習環境すなわち:STEMが統合された学習環境(SILE)において検討がされていることを申し添えておく。

## 参考文献 (抜粋)

- Amabile, T. M. (1982). Social psychology of creativity: A consensual assessment technique. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(5), 997–1013.  
<http://doi.org/10.1037/0022-3514.43.5.997>
- Bear, J. (1993). *Creativity and Divergent Thinking: Task-Specific Approach*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bruner, J. (1961). the Act of Discovery. *Harvard Education Review*, 31(1), 21–32.
- Chin, C., & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1–39.  
<http://doi.org/10.1080/03057260701828101>
- Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological Bulletin*, 53(4), 267–293.

- <http://doi.org/10.1037/h0040755>
- Koenig, J. A. (2011). *Assessing 21st Century Skills: Summary of a Workshop*. Washington D.C.: National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. (Achieve, Ed.). Washington, DC: The National Academies Press.
- OECD. (2014). *PISA 2012 Results: Creative Problem Solving: Students' Skills In Tackling Real-Life Problems* (PISA) (Vol. V). OECD Publishing.
- Osborn, A. F. (1963). *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem Solving* (3rd revise). New York: Scribner.
- Plucker, J. A., & Runco, M. A. (1998). The death of creativity measurement has been greatly: Current issues, recent advances, and future directions in creativity assessment. *Roeper Review*, *21*(1), 36–39.  
<http://doi.org/10.1080/02783199809553924>
- Poincaré, H. (1908). *Science et méthode*. New York: Dover Publications.
- Pratt, H. (2013). *The NSTA Reader's Guide to A Framework for K–12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (2nd ed.). Arlington, Virginia: NSTA press.
- Runco, M. A. (1994). *Problem Finding, Problem Solving, and Creativity*. (M. A. Runco, Ed.). Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Russell, D. H. (1956). Problem Solving. In *Children's Thinking* (pp. 251–280). Boston, MA: Ginn and company.
- Wallas, G. (1926). *Art of Thought*. (J. Cape, Ed.). London: Harcourt Brace.

## 謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤研究 B) 研究費番号 23300283 及びミネソタ大学 STEM 教育センター Gillian Roehrig 教授を中心とした NSF 予算である EngrTEAMS の支援も受けて行った。

## (4) STEM 教育における創造的課題解決能力の伸長に関する実証的研究

### An Empirical Study on the Improvement of Creative Problem Solving Skills in the STEM Education

齊藤智樹, 熊野善介

Tomoki Saito, Yoshisuke Kumano

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

#### 1. イントロ

本小論では、静岡 STEM ジュニアプロジェクトステージ2における受講者の創造的課題解決能力の伸長について検討したものである。

そもそも、この研究を実施するに至った最大の理由は、創造性の領域一般性と領域固有性について、学習環境の統合との関係性から見つめ直す必要があるという点が挙げられる。

前項(3)での記述通り、創造性の領域固有性(Domain Specificity)、タスク固有性(Task Specificity)については Bear(1993)において既に指摘されてきたが、Bearの研究のタスクは各領域(主に作詩・コラージュづくり等芸術領域)に固有のタスクを検討しており、しかも実験的(Empirical)な研究であって、STEMのような領域横断的、あるいは超領域的な学習環境におけるタスクを検討するものではなかった。

一方で、Yagerらアイオワ大学の創造性に関する研究では、STSアプローチにおいてその伸長を検討しており、Iowa Assessment Package (McComas & Yager, 1988)においては、Torrance Test of

Creative Thinking を応用したテストが利用されている。こちらについては、前述の Bear の研究における課題であった領域横断的、超領域的な学習環境を提供しているものである一方で、逆にそのタスク固有性であるとか、タスクそのものを検討するものではなかった。

そこで本項(4)と次項(5)では、まず STS 教育の事例と同様に、STEM 教育における創造性の伸長の測定のために、TTCT が利用可能であるかという検討と、同時に Bear の利用している Consensual Assessment Technique (CAT)と呼ばれる評価方法を導入し、その STEM 分野への適用の可能性を探ること。また、TTCT における各タスクを CAT における評価対象として見た場合、ジャッジ間妥当性も含め、妥当性を保ちうるテストとなるかということについて検討しながら以下の研究課題に答えるものである。すなわち、

- ・ タスクスペシフィックアプローチは、以前 STS や領域横断的な科学教育に適用された TTCT の範疇でいかに受講者の創造性を伸長するか。
- ・ 受講者の創造性は STEM の分野によって異なる評価を受けるのか。

---

本稿は静岡大学創造科学技術大学院の博士論文である A Research on Creativity in STEM Integrated Learning Environment Based on Task Specific Approach の一部を翻訳し、加筆・修正したものである。

## 2. This Study

本研究は混合研究法を用いており、本項はその量的分析の部分について特に着目し、考察を試みたものである。具体的な方法については以下にまとめるが、本研究の全体像については、その研究デザインについてまとめた(1)を参照(pp. 26-37)

### 方法論

本研究は、混合研究法を採用している。なぜなら、(1)に示したようにその理論的枠組みとしての **Design-based Research** と共に、**Pragmatic** な認識論に依っているからである。この観点からすると、本項における質的な研究方法は、その根本に現場での実践・評価への活用法としても捉えることができ、**実用主義的・道具主義的な立場(Dewey, 1910)**を取っている。

また、もう一点混合研究法を扱う理由として、本質的に量的・質的な分析の両面を必要とする混合研究課題(**Mixed Research Questions**)に本研究が取り組んでいるということも挙げられる。

すなわち **STEM** が統合された学習環境における創造性については、どのような観点で、どのように評価されたらよいのかという点である。この研究課題に答えるべく、本項における量的な分析によって答える具体的な研究課題は、以下のようになる。

- ・タスク固有なアプローチは、過去に科学教育・**STS** 教育に適用された **TTCT** の範囲でいかに受講者の創造性を伸長するか。
- ・**STEM** の各分野において、受講者の創造性は評価が異なるのか。
- ・受講者が8つの体験的・経験的活動を明示され、グループ研究に取り組むと、彼らはどうこの8つの活動を追っていくのか、それはグループの内部や間で異なるのか。

### 方法

本研究は、**Torrance Test of Creative Thinking (TTCT)** と **Consensual Assessment Technique (CAT)**を利用し、静岡 **STEM** ジュニアプロジェクトの受講者の創造性についてプログラム前後の変化と、その新しい評価方法について検討した。

### TTCT

**Torrance Test of Creative Thinking** は、**Torrance** によって 1970 年代に開発され、その後の創造性研究に大きく影響を与え、**Torrance** 自身 (**Torrance & Presbury, 1984**)、創造性研究の4分の3が **TTCT** を用い、そのうち大学生や大人を対象にしたものでも 40%が使用していた。この数は、現代でも多くの割合に上るであろう。

しかしながら、**TTCT** は創造性の伸長を測るテストであるとともに、そのサブスキルをも同時に図るテストであったため、時にそのトータルとしての創造性の伸長と、サブスキルの伸長とを混同し、サブを測定しながら、トータルを論じていることがある。

例えば、今回、利用した **Iowa Assessment Package(McComas & Yager, 1988)**の一部である創造性テストも、**TTCT** のサブテストを、**STS** アプローチにおける創造性の測定に転用したものであった。関連する研究をレビューすると、領域横断的な科学教育あるいは **STS** 教育における創造性の伸長を論じている (**Yager, 1989**)のであるが、**TTCT** の一部としてのこれらのテストは、やはり創造性のサブスキルを測定しているものと捉えることが妥当であろう。

したがって、**TTCT** によって本研究が測ろうとしたのはあくまでも **TTCT** のサブテストの範囲で創造性がいかに伸びたのかであって、創造性一般がどう伸びたのか

ではない。

前述の Iowa Assessment Package が示しているのは、1) 疑問、2) 考えられる原因、3) 予想される結論という 3 点について、学習者の反応を、関係がない、適切、ユニークという 3 段階評価するというものである。残念ながら、Yager, (1989)は創造性のトータルスコアとして、これらの結果を報告しているが、前述の通り、これら 1)~3)の 3つの発散的思考タスクをここでは、テストしていると捉えると、今後の創造性研究への示唆が得られると考える。

本研究においては準実験(Quasi-Experimental)の手法を用い、プログラムの前後で TTCT を実施した。3つのタスクは、それぞれ 2人の大学院生によって採点され、評価者間の妥当性を検討された。一部事後テストでは、妥当性を確認できないタスクがあったので、確認として更に 3名の大学生によっても採点された。その結果、やはり一部の結果において妥当性を確認することができなかつたので、その点も合わせて以下で結果を示し、考察する。なお、結果については全 5名の評価点をもとに分析してあり、事前・事後のテストで利用された TTCT の問題については、文末に資料として示す。

## CAT

量的分析における第二の分析方法として Consensual Assessment Technique (CAT: Amabile, 1982)を利用した。前項において、議論したように、創造性には領域固有性があると考えられるため、この CAT はある領域の専門家による共通理解(Consensus)によって、ある Product(PBL)の概念でいえば Outcome)を評価することで、その領域固有的性質を前提とした評価を可能とする。

したがってここでいう創造性とは、「適切な観察者が、独立してそれが創造的だと

いうことに同意した成果物や反応」のこと (Amabile, 1982; Kaufman, Bear, Cole, 2009)をいう。これにもとづいて、Bear (1993)は、ストーリーテリング、作詞、ワードプロブレム作成、コラージュ制作などのタスクにおけるプロダクトを CAT によって評価している。

科学教育分野、あるいは工学教育分野においては、Bear (1993)の CAT による評価は日本国外ではいくつか事例がある。一方で、STEM のような領域横断的な学習を行った結果としての成果物に対する評価というのは、その事例がない。注意して見なければいけないのは、領域横断的な学習を各 STEM 分野の専門家がいかに関与するの点であり、先の創造性の定義によれば、異なる STEM 分野の専門家は、こうした同意を得ることは可能であろうか。別の言葉でいえば、STEM 分野に一般的な創造性というものはあり得るだろうかということが、本項を含め一連の研究の答えようとする研究課題である。

そこで、本研究においては静岡大学内の STEM 分野の専門家及び科学教育・技術教育等の専門家にご協力を仰ぎ、Pre-test・Post-test 合わせて 3名の自然科学の専門家、2名の科学教育の専門家にご協力を頂いた。また、従来から静岡 STEM ジュニアプロジェクトに参加、ご指導頂いている指導者の皆さま、プロジェクトに関わる大学院生・学部生も同時に評価を行った。

前述の創造性の定義、及び CAT の形式通り、評価者は創造性についていかなる情報も研究者からは得ず、自身の専門家としての見地にもとづいて受講者の研究成果(今回はプレゼンテーション)を独自に 5段階評価する。

つけられた評価は、評価者の領域ごとのグループにもとづいて、評価者間の信頼性(Cronbach  $\alpha$ )をはじめに検討する(今回

は自然科学の専門家・教育学も含めた専門家・準専門家・全体という4つのグループについて検討した)。次に、信頼性が得られたグループがあれば分野間の相関を分析する(Bear, 1993 にもとづく)。なお、今回得られたデータでは、自然科学の分野の

研究者の間でさえ評価者間の信頼性を得ることはできなかった為、相関分析については参考情報として、全評価者間の相関を分析している。また、学年や性別等の影響を排除した偏相関分析も行った。

表 3-4-1 TTCT のプレテストとポストテストの結果

	Pre Test			Post Test			T 値	効果量	検定力
	M	SD	$\alpha$	M	SD	$\alpha$			
1) Questions	8.62	3.25		12.00	4.53		-5.50 **	1.52	0.99
1-2) Unique Questions	2.09	0.94	0.80	2.74	1.12	0.75	-2.81 *	0.78	0.97
2) Causes	5.54	2.54		8.62	3.50		-2.90 *	0.81	0.90
2-2) Unique Causes	1.74	0.94	0.84	2.35	0.84	0.76	-2.29 *	0.64	0.88
3) Consequences	4.38	1.85		7.00	4.08		-2.68 *	0.74	0.83
3-2) Unique Consequences	1.18	0.67	0.82	1.46	0.67	0.43	-1.30	0.35	0.41

\*\*p<.01; \*p<.05 two tailed

### 結果1- Torrance Test of Creative Thinking

TTCT の結果については、表 3-4-1 にまとめられている(Mは平均、SDは標準偏差、 $\alpha$ は評価者間の差異を検討する信頼性係数、TはT値、E.S.は効果量、powerは検定力を示す)。データはT検定についてはExcel 2010によって計算し、検定力分析(E.S.及びpower)についてはG\*Power 3.1.9.2を利用した。

表 3-4-1にあるように、1) 疑問、2) 考えられる原因、3) 予想される結論について、「適切な」回答数は有意な差を持って向上した。また、「ユニークな」回答数についても、3-2)を除いて、有意に向上している。

しかしながら、これらの検定について考慮すべきことが二点あり、それはこれらの検定の検定力(power)と、評価者間信頼性(Inter-rater reliability)についてである。

まず、検定力についてであるが、検定力分析(Power Analysis)は $1-\beta$ の式で表され、 $\beta$ は第二種の過誤( $\beta$ )、すなわち「有意な差があるのに差がないとしてしまう確率」を示す。一般的に第一種の過誤( $\alpha$  ※ Coefficient  $\alpha$ とは別)、すなわち「差がないのに差があるととしてしまうこと」、を犯さ

ない確率が有意さを示すが、 $\alpha$ を5%・1%と低く設定するほど、第二種の過誤を犯す確率が高まる。したがって、検定力分析では $1-\beta$ つまり、 $\beta$ エラーを犯さない確率を検定力として示すことになる(引用)。なお、本研究のデータでいえば、1)のpower=0.99は、 $\beta$ エラーを犯す確率が1%程度であることを示しており、一般には0.90すなわち90%以上の検定力が期待される(Cohen, 1977)。

この観点からすると、2-2)、3)、3-2)のテストについては、十分な検定力を持っていないことが分かる。その理由を検討してみると、サンプル数には各テスト変化がないため、それぞれの評価における分散が異なるためであると考えられる。そこで、別途補助的にWilcoxon Signed Rank Test(ウィルコクソン符号付順位検定)を行い、検定結果を再検討することとした。結果は表 3-4-2 に示してある。このウィルコクソン符号付順位検定は、サンプル数が少ないとき、あるいは等分散が仮定できないときに利用されるものである(水本, 2010)。

表 3-4-2 ウィルコクソン符号付順位検定の結果

	Pre Test		Post Test		Wilcoxon Signed Rank Test		
	M	SD	M	SD	Wilcoxon's W	n	P-value
2-2) Unique Causes	1.74	0.94	2.35	0.84	12	12	0.02 < P < 0.05
3) Consequences	4.38	1.85	7.00	4.08	9	13	0.005 < P < 0.01
3-2) Unique Consequences	1.18	0.67	1.46	0.67	26	13	0.10 < P < 0.20

結果としてこの検定からは、2-2)考えられる原因と 3)予想される結論については、有意な差が認められるが、3-2)「ユニークな」予想される結論については、やはり有意な向上が見られないということが確認された。

もう一点、事後テストの 1-2)、2-2)、3-2)については、評価者間の差異を検討した結果、十分な信頼性を得ることができなかった。なお、この点については慎重に検討している。2名の学生による評価において、信頼性が得られなかったため、別途本プロジェクトにはほとんど関係のない学生によっても再評価がなされ、評価の順をランダムにするなど、その順序や男女別等およそ影響のあり得る要素を排除したが、同様に信頼性係数(Cronbach  $\alpha$ : Cronbach, 1951,  $\alpha > .80$  以上が期待される)は十分なものとはならなかった。

前述の通り、事前・事後検定における分散が等しくないことも、事後テストにおける信頼性係数が十分でないこととの関係を示唆しており、事後テストにおいてはそのテスト自体あるいは受講者の回答が大きな分散を生む要因であったと考えられる。すなわち、今回利用した TTCT の適用という方法についての考察としては、以下の二点に集約される。

- ・今回、事後テスト用に作成した TTCT の問題は、評価者によって「ユニーク」であるかどうかを判定する基準が大き

く異なる可能性のあるものであった。あるいは、

- ・今回ステージ 2 はその受講の前後で、発散的思考をある子どもには大きく向上させたが、ある子どもには大きな影響を及ぼさず、全体としては向上したものの、一部の受講者にはほとんど効果をもたらさなかった。
- と考えられる。

## 結果 2 Consensual Assessment Technique

CAT の結果については、表 3-4-3 から 3-4-8 に示している。

まず、表 3-4-3 と表 3-4-4 は、CAT における評価者間信頼性の信頼性係数(Cronbach  $\alpha$ )を示している。

CAT が想定しているのは、ある分野の専門家であればその分野のプロダクトの創造性について共通した評価をするということであるが、残念ながら今回の CAT においては、それぞれの分野の専門家が十分に高い評価者間信頼性( $\alpha > .80$ )をもって、受講者のプロダクトを評価することは見られなかった。また、全体の数値として高い信頼性係数( $\alpha = 0.81$ )を示しているが、人数が増えることで  $\alpha$  の数値は高くなるということと、CAT の考え方に合致しないという意味で、この値を採用することはできない。したがって、以下に示すデータはあくまでも参考情報である。

表 3-4-3 評価者グループごとの信頼性係数- 事前調査

評価者のグループ	グループの人数	Cronbach α
自然科学の専門家	3	0.42
教育学も含めた専門家	5	0.32
準専門家	7	0.72
全体	13	0.81

表 3-4-4 評価者グループごとの信頼性係数- 事後調査

評価者のグループ	グループの人数	Cronbach α
専門家	2	0.71
準専門家	8	0.60
全体	10	0.19

まず、事前調査における評価者の採点について相関分析(表 3-4-5)を行うと、これらの専門家間での評価の違いが示された。

表 3-4-5 事前調査における専門家・準専門家による評価の相関分析

	専門家					準専門家						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.00											
2	0.00	1.00										
3	0.00	0.07	1.00									
4	0.33	0.11	0.18	1.00								
5	-0.33	-0.21	0.40	0.08	1.00							
6	0.14	0.33	0.00	0.37	-0.07	1.00						
7	0.58 *	-0.10	0.25	0.14	-0.17	0.49 *	1.00					
8	0.00	0.48 *	-0.25	-0.02	0.04	0.18	0.02	1.00				
9	0.12	0.35	0.15	0.40	0.05	0.26	0.08	0.04	1.00			
10	0.29	0.19	0.26	-0.17	-0.11	0.49 *	0.66	0.15	0.01	1.00		
11	-0.17	0.32	0.66 **	0.04	0.38	0.42	0.26	0.05	0.21	0.54 *	1.00	
12	0.13	0.17	0.12	0.02	0.28	0.44	0.44	0.36	0.11	0.43	0.48	1.00

\*\*p<.01, \*p<.05 two tailed.

表 3-4-6 に示す事前調査における偏相関分析においては、性差・学年などの影響が取り除かれているが、ほぼ同様の結果を示している。

表 3-4-6 事前調査における専門家と準専門家の評価に対する偏相関分析

	専門家					準専門家						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.00											
2	0.01	1.00										
3	-0.04	0.12	1.00									
4	0.40	0.23	0.15	1.00								
5	-0.29	-0.21	0.43	0.05	1.00							
6	0.09	0.52 *	-0.11	0.31	-0.05	1.00						
7	0.63 **	0.05	0.17	0.01	-0.15	0.27	1.00					
8	0.12	0.54 *	-0.23	-0.09	-0.04	0.32	0.21	1.00				
9	0.24	0.44	0.18	0.34	-0.03	0.32	0.15	-0.12	1.00			
10	0.23	0.28	0.21	-0.25	-0.07	0.40	0.60	0.31	0.08	1.00		
11	-0.29	0.46	0.64 **	-0.03	0.48 *	0.29	0.00	0.20	0.31	0.45	1.00	
12	0.05	0.20	0.08	0.05	0.37	0.42	0.40	0.55 *	0.23	0.37	0.43	1.00

\*\*p<.01, \*p<.05 two tailed.

次に、表 3-4-7 においては、事後調査における専門家と準専門家による評価の相関分析を示している。また表 3-4-8 は、事前調査と同様に偏相関分析をかけている。

表 3-4-7 事後調査における専門家と準専門家の評価の相関分析

専門家			準専門家						
1	13		6	7	14	15	8	9	12
1	1.00								
13	0.62 **	1.00							
6	0.30	0.07	1.00						
7	0.39	0.53 *	0.12	1.00					
14	0.46	-0.03	0.59 **	0.30	1.00				
15	0.67 **	0.52 *	0.45	0.23	0.37	1.00			
8	0.32	0.11	0.06	0.34	0.36	0.03	1.00		
9	0.24	0.19	0.43	-0.13	-0.08	0.18	0.00	1.00	
12	0.12	0.04	0.11	-0.14	0.35	-0.21	0.18	0.39	1.00

\*\*p < .01, \*p < .05 two tailed.

表 3-4-8 事後調査における評価の偏相関分析

専門家			準専門家						
1	13		6	7	14	15	8	9	12
1	1.00								
13	0.64 *	1.00							
6	0.28	0.09	1.00						
7	0.39	0.61 *	0.12	1.00					
14	0.58 *	0.12	0.47	0.27	1.00				
15	0.67 *	0.53	0.46	0.24	0.45	1.00			
8	0.29	0.15	-0.09	0.31	0.23	0.00	1.00		
9	0.24	0.19	0.49	-0.14	0.00	0.18	0.00	1.00	
12	0.07	0.05	-0.22	-0.19	0.03	-0.31	0.03	0.47	1.00

\*\* p < .01, \* p < .05 two tailed.

なお、以上の結果表における\*は相関が有意であるかを無相関検定により示している。この検定は2変数の関連性の有無を示しており、関連性の強さは、表中の相関係数0~1で示している。0が相関なし、~±0.2はほとんど相関なし、±0.2~0.4は低い相関、0.4~0.7が相関あり、0.7~1.0が高い相関があるとする。相関係数が高くても低くても、無相関でないことを示せない場合は、相関が確かにあるということができない。

### 3. 考察

#### 考察 1: Torrance Test of Creative Thinking

TTCT を適用した創造性テストの結果からは、三点議論すべき点がある。それは、STEM が統合された学習環境における受講者の創造性の伸長について、そしてタスク固有性と科学教育・STEM 教育における創造性テストについてである。

はじめに、過去の事例において科学教育・STS 教育の創造性育成のテストとして利用された TTCT の範囲において、受講者の創造性は向上した。しかしながら、3-2) 予想される結論を導く課題においては、そ

の向上は統計学的に有意ではなかった。もし、この結果が創造性の単一因子を示しているとするならば、STEM の自由研究は受講者の創造性を伸長したということになる。一方で、研究仮説に示したように、発散的思考は各個人が異なる時、異なる文脈において適用されることが考えられたため、これらのテストは3つの一連のタスクから成る創造性テストとしても捉えることができよう。そうした見方からすれば、疑問・課題を挙げるタスクと、考えられる原因を考えるタスクにおいては発散的思考能力の伸長が見られ、予想される結論のタスクにおいては発散的思考の伸長のた

めに十分な習練の機会がなかったことを示しているとも考えられる。事実、今年度の受講者によるグループ研究は、事後調査の時点では結論の段階に至っていなかった。そのため、彼らの発散的思考は結論の部分にはまだ適用されていなかったと考えられる。この点については、質的分析をまとめた次項（5）においても確認することができる。

次に、タスク固有性についてである。前述の通り、これらのタスクは発散的思考の適用を見るためのタスクの候補として挙げることができよう。しかしながら、この結果からは、評価者同士の共通理解をえることができなかった。専門家の研究への参加を得ることは非常に難しいけれども、もしここで評価された受講者の反応を、その分野の専門家が評価したならば、十分な共通理解をもって評価されるのかを今後知る必要がある。

最後に、この結果から TTCT を科学教育や STEM 教育の文脈において適用することについて熟考すべきであろう。なぜなら、TTCT の結果は創造性の伸長を示しているけれども、これら量的調査全体から示されたことから分かるように、この3つのタスクが示している受講者の能力の向上は、科学や STEM の分野の学習に寄与する創造性的一部分を示していると考えられるからである。創造性はこれまでも、Guilford ら(Guilford, 1967 他)によって、その因子が分析されてきたが、その量的調査結果は、創造性という総体を測っているかのように扱われている事例が見られる(Bear, 1993)。更には、本研究のように、超領域的な課題を解決する学習者中心のプロジェクトの中での創造性については、これら因子あるいは学習者の現れそのものから、ボトムアップの形式でデータグラウンデッドな創造性の因子、あるいは関連するタスクが把握さ

れていく必要があると考えられる。量的にそれが測られるという段階は、その次に考えられる段階であろう。

## 考察 2: Consensual Assessment Technique

まず初めに、CAT として創造性の評価が成立するには、「適切な観察者が、独立してそれが創造的だということに同意し」(Amabile, 1982; Kaufman, Bear, Cole, 2009)なければならない。しかしながら、表 3-4-3 が示すように、事前調査の段階から、自然科学あるいは他の例えば科学教育の専門家であっても、その「同意」はデータによって示されなかった。このことは、STEM 分野のうち少なくとも S: 科学の分野においてさえも、より細かい領域固有性あるいは更に細分化されるとすればタスク固有性があり得ることが推論される。この点については、継続的かつ大規模な調査が強く推奨される。

事前調査の相関分析・無相関分析からはまた、専門家による評価同士の間には相関が見られないこと、また準専門家によるいくつかの評価は、専門家の評価と相関があることが示された。しかしながら、これらのメンバーの専門領域あるいは研究経験からは、明確な関係性を見出すことはできなかった。これらの結果は、偏相関分析を通して支持された。

次に、事後分析においては専門家同士の評価には相関があり、無相関分析・偏相関分析の両方によって支持されたが、この2名の専門家の分野は科学教育と技術科教育と異なる。教員経験者による評価が、これら2名の専門家と相関があったので、教員としての経験がこの結果に影響しているかもしれない。しかしながら、この見方は全ての評価者に当てはまるわけではない。

研究仮説が示しているように、以上の結果は専門家による評価の領域固有性を示唆

している。しかしながら、準専門家による評価については疑問が残る。なぜなら、これらの結果のうち、多くの事例において準専門家による評価同士は相関を持たなかった。

#### 4. まとめ

本研究では、(1)タスク固有なアプローチは、過去に科学教育・STS教育に適用されたTTCTの範囲でいかに受講者の創造性を伸長するか。(2)STEMの各分野において、受講者の創造性は評価が異なるのか。(3)受講者が8つの体験的・経験的活動を明示され、グループ研究に取り組むと、彼らはどうこの8つの活動を追っていくのか、それはグループの内部や間で異なるのかといった点を検討してきた。

少なくとも量的な分析からは、領域ごとの相違が示唆されたわけだが、Bear (1993)の示すように「タスクスペシフィック」な性質があるのだとすれば、どのようなことが考えられるだろうか。ここでは、Bear自身の意見も踏まえながら、次世代科学者育成プログラムの受講者の評価としての本研究のまとめと、併せてSTEM教育における創造性評価についても論点を整理したい。

まず、次世代科学者育成プログラムとしての評価であるが、対象となる児童・生徒の研究する分野が何であるのか、また評価者の分野が何であるのかによって、十分に信頼性の高い評価としてCATを成立させることにはいくつかの課題が考えられる。それは、①受講者の研究分野と評価者の研究分野の整合性、②評価者同士の研究分野の整合性、③どんなタスクをもってCATの評価とするかという3点が考えられる。

①一つ目は、受講者の研究分野と評価者の研究分野の整合性についてである。これは、評価だけでなく指導においても指導者の研究分野が必ずしも、受講者の研究分野

と重なるとは限らない。多くの場合において、受講者の研究が研究者としてあくまでも未熟であるから指導が成立するのであって、彼らが指導者よりも優れた研究を進め始めるという段階を、私たち(指導者・受講者自身・保護者も含めて)は一度も想定していない。しかし、静岡モデルではそれが有り得るということは、考えて然るべきである。科学教育者の在り方について、再考を迫られる点である。いずれにせよ、そうした状況においては、CATの示すような「適切な」専門家による評価は難しいし、今回のデータが示すように、準専門家による評価を可とするかどうかについては、更なる調査と議論が必要である。

②更に突き詰めるならば、自然科学の専門家が揃って創造性を評価したという場合、それぞれの分野が異なるわけであるから、どの範囲(領域同士)であれば専門家の評価は共通理解を得られるのか。あるいは、どのタスクであれば、専門家の共通理解に基づいて評価が可能であるのかについては、検討がなされなければならない。

③しかしながらそれ以前に、次の(5)が示すように、児童・生徒の疑問・課題を中心とした探究活動においては、どのような創造性タスクがあり得るのか、またそれは大人の研究者によるタスクと同様であるのかという点については、児童・生徒のあらわれに基づいて検討がなされるべきであり、本研究はその手始めに過ぎない。

次にSTEM教育における創造性の評価についてであるが、過去に統合的なアプローチを実施された科学教育あるいはSTS教育における扱いは異なり、STEM教育においては、ある教材に関わる科学や技術や数学が何であるのかは、学習者が学習を始める前にある程度、規定でき、教える側も意識化できる(2)を参照)。そうした場合、前出の創造性タスクについても、全

くの混沌ではなく、ある程度段階や場面を想定して、洗い出し、想定し、準備し、指導できるのではないか。

ただし、過去にも問題解決や発見学習といった場合、既存の段階があたかも全ての子ども、全ての学習に当てはまるかのように扱われてしまったことがある((3)を参照)。本研究でも採用したように、米国の新しい科学教育スタンダード (Next Generation Science Standards (NGSS Achieve, 2013):以下 NGSS)においては、8つの科学と工学の体験的・経験的活動は、1～8の探究の順番を示しているのではない。むしろ、あらゆる順番が考えられ、時に重なる事もあるだろう(Pratt, 2013)。

そこで、補助的な情報ではあるが、本プロジェクトでは、受講者にその探究の流れを自身で記録してもらっている(資料A)。

この記録・分析を見ると、グループ研究に携わっていたにも関わらず、それぞれの受講者が志向する探究活動の流れは、各受講者により異なる。こうした点を考慮すると、(1)に示したような学習環境のデザインも改めて考えなおす必要があるだろう。本稿で扱った創造性の伸長の量的評価とも合わせて、今後のプロジェクトへの示唆を示しておきたい。

まず一点は、学習環境のデザインについてであるが、本年度のプロジェクトにおいては、8つの Practices については受講者に公開し、先に示したように、1～8の順でやらなくても良い、全部やらなくても良いという形で常にイーラーニングシステム上に示していた。

明示的なヒューリスティックの例示は、かなり受講者の発散的思考の適用に影響したが、これが明示的なヒューリスティックの練習となってしまうようにすることが重要である。つまり、特定の流れを練習

するようなデザインでは、ヒューリスティックの意味をスポイルしてしまう。また、先行研究からもそのように明示的に練習すれば流暢性などは、簡単に上昇してしまうという例もみられるので注意したい。一方で、プログラムのなかで折を見て、ヒューリスティックの受講者による並べ替えをさせる等、意識的に自己管理させていくことは、その意識化に寄与するのではないか。

もう一点は、評価についてである。前述の通り、テストが何の効果も測っているのかを定め、妥当性を高めるためには、受講者が学習した事柄とテストとが合致している必要がある。創造性の場合、今回の結果が示唆しているような固有性があるのだとしたら、受講者はあらゆる段階で、個別のタスクに取り組んでいることになり、それを一つひとつ別個に評価していけるような枠組みでなければならない。以上のことを参考としながら、より良い枠組みを検討したい。

#### 参考文献(抜粋)

- Amabile, T. M. (1982). Social psychology of creativity: A consensual assessment technique. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(5), 997–1013.  
<http://doi.org/10.1037/0022-3514.43.5.997>
- Bear, J. (1993). *Creativity and Divergent Thinking: Task-Specific Approach*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.  
<http://doi.org/10.1007/BF02310555>

#### 謝辞

本研究は、JST 次世代科学者育成プログラム及び静岡大学学長裁量経費による支援を受けて行った。また、本稿のデータ集計については、静岡大学教育学部3年佐々木博登君・前田康平君・松下佳史君、静岡大学大学院教育学研究科の石川遥さん・小林美沙希さんにご協力いただいた。記して感謝いたします。

## 資料 A 受講者ごとの探究の流れの相違

以下では、資料 A として受講者の振り返りから見いだされた、各自の志向する探究の流れを 8 つの Practices に当てはめたときに、グループの内外で相違が見られるかということを示す。表 3-4-9 は、グループごと、各受講者の志向した Practices を数字であらわしたものである。

表 3-4-9 受講者がたどった探究の流れの記録

グループ	受講者	受講日								
		5/29	6/11	6/18	7/9	9/3	9/17	10/15	10/29	11/12
A	1	3-4-2	2	1	2		3	3,2		
	2	3	3			3	3			3,6,8
	3	1		1	3		2	4	1	6
	4	8	8	2	3	3	3,4	3		
	5	3	3	3		2	3	2	3	7
B	6	8			3					
	7	1	8	3	3		3			
	8	3		2	3	3,4	3,4	3,6	3,6	4
C	9	3		2		6	6	3	3	4
	10	3	1	2		2	3		3	3,4
	11	1-3-2			2	3	3	3,7	3-1,2	2
	12	2		2					3	2
D	13	2	4	4		2,3	2,3		2	4
	14	3	3	2		2	4	4	2	4
	15	4		4,6,7	1				2	
	16	3	4	4	4	3			2	4
E	18	3		8	3				3	8
	19	3	3	2	2	2	2	2	5	6
	20	3				3	1		4	
	21	3	7	4	1	4			4	

“-”ハイフンでつながれた数字は続くいくつかの回での活動を予想しているもの。

“,”で分けられた数字は次の回での予想を複数しているもの。

空欄は欠席を示す。

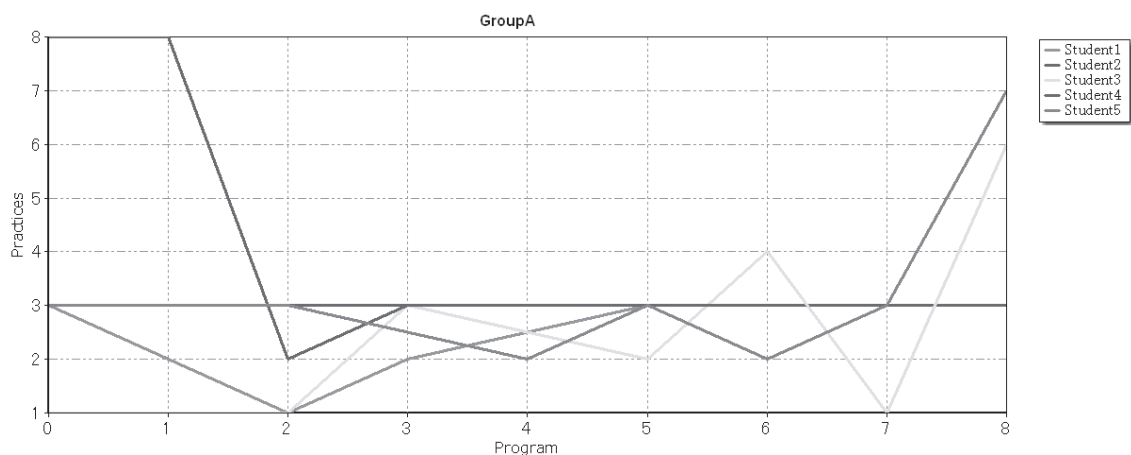


図 3-4-1 グループ A の受講者のカスケード

図 3-4-1 は、グループ A の受講者の振り返りから探究の流れを記録している。同一グループ内でも、それぞれの流れが異なる。図中縦軸の数字は 8 つの Practices を表す。

## 資料 B 事前・事後テストで利用された TTCT 問題

### 練習問題

以下の①の文を読んで、下の 1. ～ 3. の問いに答えなさい。

①坂田君は、先週土曜日日本平に登りました。そのとき、道端に地層が見えているのを発見し、近づいて見てみることにしました。すると、地層の重なりの中のある層に、20 cmほどの直径を持つ丸いボール状のかたまりが入っていることに気がきました。

1. ①の文章の内容からあなたが考えた疑問や課題を二つ挙げなさい
  - 1.
  - 2.
2. 1. で挙げた疑問や課題から考えられる原因と結果をそれぞれ書きなさい
  - 1.
  - 2.
3. あなたの考えた、疑問・課題とその原因や結果から考えられる結論を書きなさい。

### 事前テスト

次のページからの文を読んで、その次の問いに答えなさい。

1 行に入らない場合は、2 行に渡っても構いません。

各問の制限時間は 5 分間、5 分経つまで次の問いには移らないこと。

5 分経った時点で、次の問いに移るように指示し、そこから 5 分間計測します。

時間はこちらで読み上げます。

② 熊野君は、毎週望遠鏡で星空の観察をしています。昨日、望遠鏡で月とその周りを観察していると、いつもは見えなかった明るい星が見えるのに気が付きました。これは、この一年間毎週月を観察していて初めて気づいたことでした。

1. ②の文章の内容からあなたが考えた疑問や課題をできるだけたくさん挙げなさい。
2. あなたの考えた疑問や課題からいくつか選び、考えられる原因と結果を書きなさい。
3. あなたの考えた疑問、原因と結果から、考えられる結論を書きなさい

### 事後テスト

②山下君は、家の前の道路の端に土が盛り上がっているところを見つけました。良く見ると、真ん中に穴が開いているように見えました。季節は春で、周りには飛んでいる小さな虫が花を歩きかっています。

1. ②の文章の内容からあなたが考えた疑問や課題をできるだけたくさん挙げなさい。
2. あなたの考えた疑問や課題からいくつか選び、考えられる原因と結果を書きなさい。
3. あなたの考えた疑問、原因と結果から、考えられる結論を書きなさい

## (5) STEM 教育における発散的思考力の活用に関する探索的事例研究

### An Exploratory Case Study on the Applications of Divergent Thinking Skills in the STEM Education

齊藤智樹

Tomoki Saito

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

#### 1. はじめに

本研究は、創造的な思考(特にここでは発散的思考)の応用可能場面(タスクあるいは課題)を探索的な手法により明らかにしようと試みたものである。

前項までにも触れたように、創造的な思考には領域固有性(Domain Specificity)・タスク固有性(Task Specificity)な性質があることが、既に報告されている(Bear, 1993)。一方で、21世紀型能力(21<sup>st</sup> Century Skills)としては、領域をまたいだ転移(Transfer)の可能性についても指摘されており、その汎用性(Generic)も期待されている(Ananiadou & Claro, 2009; OECD; 中央教育審議会, 2015)。

しかしながら、前項(4)の量的検討では、各分野の専門家による評価の内的妥当性、また領域をまたいだ相関は(少なくとも自然科学の中だけで見ても)見られなかった(Saito, 2017)。一方、STEMが統合された環境における学修活動の中で、どのようなタスク(課題)に取り組むのか、そしてSTEMの探究活動にはどのような創造性タスクが存在するのかについては、(2)に示したような8つの科学と工学の体験的・経験的活動は示されているものの、より具

体的なタスクについては未だ明らかにされていない(例えば課題発見のタスクについては Okuda, 1991 が指摘している)。

そこで、本研究ではボトムアップアプローチにより、STEM活動の中における創造的課題の可能性について、探索的に検討することとした(なお、ボトムアップアプローチについては、以下の2. Learning Progressionsを参照)。

#### 2. Learning Progressions

Learning Progressionsとは、あるトピックについての考え方や理解が洗練されていく描写(Descriptions)(NRC, 2007)であり、Descriptionsの訳語に「タイプ」があることから分かるように、リニアモデルであるとは限らない(Gotwals & Alonzo, 2012)。STEM分野における創造性が、領域固有・タスク固有であるとすれば、それぞれの学習者において、Learning Progressions(以下、LP: 学習者固有の学習の進展)があり、学習者に固有な形で進展していくことが予想される。しかしながら、前述のGotwalsら(2012)が指摘するようなボトムアップアプローチによって、どんなタスクがあるのかについては、これまでに指摘されたことはない。

---

本稿は静岡大学創造科学技術大学院の博士論文である A Research on Creativity in STEM Integrated Learning Environment Based on Task Specific Approach の一部を翻訳し、加筆・修正したものである。

例えば、Guilford らの因子分析は実際のデータに基づいているが、それを応用する形でトップダウンあるいは説明的な解釈が成されているのが通常である(例えば Torrance, 1981 等)。また、前項の量的検討においても利用した Torrance Test of Creative Thinking (TTCT)については、完成されたテストであることもあり、あらゆる分野において適用されている。しかしながら、発散的思考とその訓練に領域固有性・タスク固有性があるとするならば、あらゆるタスクの学修成果をこの一つのテストで分析することには無理がある。したがって、各分野が固有なタスクを見出していく必要性(ボトムアップアプローチ)がここでは検討されるべきであろう。

Learning Progressions については、米国内でその研究が始まり、日本国内でも言及した研究はいくつか認められる(高橋・熊野, 2012 他)。しかしながら、AAAS による Atlas of Science Literacy であるとか、あるいは日本の学習指導要領における領域ごとの学習内容のつながり(例えば、現行の中学校学習指導要領解説 pp.14-17)との違いがまさにここにある。

Learning Progressions について当該分野の研究者によって編集された、「Learning Progressions in Science」には、以下のような記述がある。

トップダウンのデザインは必ずしも生徒が科学的概念をどう学ぶのかの通り道を明らかにしてはいない。そのためボトムアップのデザインでは、生徒がより洗練された理解を構築するのにしたがって、生徒の思考に基づいた内容の組織を推進する。生徒のナイーブな理解からより洗練された理解への進展は、おそらく一本道ではないし、簡単に記述することもできない(Gotwals & Alonzo, 2012)。

この記述をもとに創造性についての学習の

可能性を考えると、あらゆる創造性タスクには、学習者固有の学習の進展があるのではないか。

また、以上のことから、以下の2点が推論できる。一つは、今回、本プロジェクトで取り組んだような自由研究活動は1年弱の長い期間を要する学修活動であるので、その繰り返しの経過を見ていくという点からすると、本研究は、その初期段階を切り取ったものであるもので、これだけで結論するには早すぎる。またもう一点は一方で、本研究により見出されるべき創造性タスクは、他の児童・生徒にとって利用可能であるかどうかはまだ、検討はなされていない(この点はあらゆる学修の進展において同様である)。したがって、次年度以降あるいは別の機会の活動において、指導者側はこれらのタスクを参考にしながら、指導すべきであろう。それは、全く同じタスクが全受講者に利用可能であるという前提からではなく、あくまでも利用可能性のあるタスクとして、指導者の意識に留めておくべきであるということである。

### 3. This Study

#### 方法論

本研究は、前項(4)の量的研究と合わせて、混合研究法を採用している。なぜなら、(1)に示したようにその理論的枠組みとしての Design-based Research と共に、Pragmatic な認識論に依っているからである。この観点からすると、本項における質的な研究方法は、その根本に現場での実践・評価への活用法としても捉えることができ、実用主義的・道具主義的な立場(Dewey, 1910)を取っている。

さらに、混合研究法を扱う理由として、本質的に量的・質的な分析の両面を必要とする混合研究課題(Mixed Research Questions)に本研究が取り組んでいるとい

うことも挙げられる。

その課題とは、すなわち「STEMが統合された学習環境における創造性については、どのような観点で、どのように評価されたらよいか」という点である。

この研究課題に答えるべく、本項における質的な分析によって答える具体的な質的研究課題は、以下のようになる。

- a) STEMが統合された学習環境(1)に示した学習環境のデザインを参照)におけるグループ研究において、受講者は研究のどのような場面に発散的思考を適用するのか。
- b) また、各自の自由研究の場面に戻った場合、発散的思考はどのように彼らの個人研究に応用されるか。

以上のような研究課題に答えるため、以下のような具体的な質的分析手法を用いるとともに、特にこの質的分析の段階を探索的なアプローチとして捉え、将来の研究における枠組みや研究課題を同定することも本研究の目的の一つとした。

## 方法

本研究は質的な研究手法として事例研究(Case Study)を選択し、特に前述 a,b,cの研究課題に答えるために、探索的なアプ

ローチ(Exploratory Case study)を用いている。特に以下、4.と5.においては一つの事例において複数の調査を実施する単一埋め込み型の事例研究(Single-Embedded Approach)を用いている(Yin, 2014)。

## データ収集と分析

データは、静岡STEMジュニアプロジェクトに参加した6年生3名、中学1年生6名、中学2年生5名、中学3年生4名の受講の振り返りについて検討に含めている。

各受講者の受講の振り返りをもとに、以下の4.ではグループ研究(受講時)において、どんな場面で発散的思考を適用したか、5.では各自の自由研究に対して、どんな場面で発散的思考を応用したか(転移)の2点について、それぞれ類型化を行う。こちらについては、一瞥した時点で8つの科学と工学の体験的・経験的活動(表2-1-3)に基づいて分類可能であると判断し、これに基づいて分類した後、下位を類型化していくという手順を踏んだ。また、8つの活動に当てはまらない場合は、xとして別にカテゴリーを設けたが、実際はほとんどここにあたる記述は見られなかったため、下位の類型化は行っていない。

## 4. 結果-Stage2の活動において発散的に考えた場面

以下の表3-5-1は、Stage2の活動場面において、発散的に考えた個所を毎受講回の振り返りから抽出したものである。なお、表中では、受講者の記述をできる限り残して示してある。

表 3-5-1 発散的思考を適用した場面についての受講者の記述

カテゴリー	下位カテゴリー	代表的な記述
1	グループ研究のための疑問を問うたり課題をはっきりさせること	グループの課題を出し合ったとき テーマ設定 目のつけるところ 研究の案を考えるときにより面白い課題になるように考えた 目的を決定するうえでいくつも案を出した
	グループのテーマのための具体的なトピック	炭酸飲料をシェイクして人が空を飛べるほどの力を出すにはどのような疑問や課題を解決していけばいいかを考えたとき 特に、動物と会話したいと書いたとき

表 3-5-1 続き

1	活動の中で将来的に起こってくる課題をはっきりさせること	チームのこれからの課題挙げたとき 疑問やわからないこと、調べることをたくさん出す場面
	疑問に対する振り返り	元の疑問が課題を解決するうえで必要になってくるかを創造的に考えました
3	方法の開発	実験方法を考えたとき どの実験を行うかの順番を考えるととき(パターン) 炭酸飲料の吹き出てくる勢いを測定するにはどうすればいいかを考えたとき
	調査を計画するために情報を集めること	基礎的な知識を調べるとき 光合成について広い範囲で調べたとき ビデオ[教材]から何が分かったか
	調査における変数を決定するためのブレインストーミング	人の思想[思考]と、動物の思考の違い シミとは何かを考えたとき [ロケットに使う]実験の水のパターン
	実験器具のリストアップ	必要物の案出し 何が実験に必要なかを考えるとき 素材選び 実験方法と実験に使う道具の案を出すとき 実験の準備をする時に、何が必要かを考えたところ 買うものを決める時 どんな器具があるのか調べた時 そのときには何を使えばいいかを考えたとき ミドリムシ、オオカナダモの実験に必要な材料を挙げたとき 布の種類を決めるとき 水をはじくためのものを選ぶとき シミを作るものを決めるとき 実験に何が必要かや、何が実験で必要になるかを考えるとき 代用できるもの考えるとき Aちゃんがざっと出してくれたアルカリ性の物質の中でどれを使用するかなどを、その物質を使うことでいいことや悪いことなどを、創造的に出すことができました 実験するアルカリ溶液を考える時に創造的に考えました 二酸化炭素を溶液に溶かす装置 比べる炭酸飲料を決めた時 培養水に使う物が他に何かないか そこで、しみのもとと、しみを作る布を選ぶときに自由に考えました
	ニーズの識別	なぜこの研究をするのか 誰が必要としているのか、どうして必要としているのかなど 沢山考え方があるから ニーズについて考えたとき
	準備のための思考	実験前にすることを考えたとき
4	結果の解釈	カレーが布に乗っていたことについて、他の醤油、コーヒーなどの液体ではすぐに水に溶けたのに対して、水に浸けても広がらなかったことについて、どうするべきか考えた
	今後の展開と解釈	実験後の展開や考察について創造的に考えました
	財務計画の決定	今の財務計画表に何が足りないかを考えたとき

表 3-5-1 続き

8	グループ内での議論	グループごとで分かれて話し合いをしたとき
	研究の発表	個人発表の時 それぞれの研究発表
	他のグループの発表時	ほかのグループの発表の中で、自分たちに応用できる点はないか また他の人の意見も取り入れて自分の意見を膨らませた ほかのグループの案を理解するとき
X	批判的思考による制約	今日は、批判的にしか考えなかった
	振り返り	宇武運の考えをまとめるとき
	下位の課題に対する解決策を考える	Arduino のプログラムが正しく動かなかったとき(修正の方法を探るとき)

※( )は受講者の記述、[ ]は著者による補足。

## 5. 結果- 各自の自由研究への発散的思考の応用

次に、ステージ2で学んだ発散的思考を各自の自由研究のどこで利用したかについて、今年度の受講者の振り返りからは以下の表 3-5-2 のような記述が見られた。

表 3-5-2 各自の自由研究への発散的思考の応用

カテゴリー	サブカテゴリー	代表的な記述
1	疑問を問うたり課題を書き出したりする	自分の疑問や課題を決めた時
		疑問や課題を挙げた時 今までの研究をもとに疑問や課題を探るとき
	自問自答する	失速角をどのように防ぐのか課題を出すとき
		私が明確にしたいのは何なのか 知りたいこと 目的などを図にして整理する
	テーマの決定	テーマ決め テーマを考えると
	目的の決定	目的を考える 目的を定めるときは創造的に 実験目的
研究の根拠(Rationale)について考える	なぜ研究をするのか 動機 自分の研究のニーズについて考える	
	2	予想
仮説を作る時	仮説を立てるときには、今までの自分の知識や体験をもとにして、創造的に考える 仮説であらゆる可能性を出す ゴキブリの羽についてどのようにして弾いているのかを創造的に考え...	
	3	方法について考えること

表 3-5-2 続き

3	実験のための道具の開発	実験器具の作り方や作る時
	材料のリストを作る時	財務計画を決めるとき 欲しいものを買う前に、細かくどの商品が良いか調べてから決めること 行く場所や費用を考えたとき 必要なものを考える 実験を成功させる(正確なデータを集める)ために必要な準備
	次の実験の計画	今後の計画 これからどんな実験ができる、どんな実験をすればよいのかを考えると 一つ目の実験の結果から、次の実験の方法を、目的を達成するために創造的に色々なパターンを考えて、実行していった
	研究する環境の決定	実験場所も重要になってくるので、どのようなことを知りたいのかということや害はないのかということを考える
	改善	磁力を強くする方法 電磁石の強さを強くする方法を考えると リニアの新しい進ませ方を考えると創造的に考えた 朝顔をカバーするときに、カバー方法を考えると ヨトウムシの取り方 カルマン渦のどのように生かせばいいのか、方法を考えると
	効率	カルマン渦をどのような要素から減らしていくのか、方法を考えると
	非効率	もっと単純な実験にすることはできないか考えるときは創造的に
	受講者の自由研究への具体的応用	酸を使うことによる欠点は何か
	使い方	酸とアルカリの使用法
	測定の仕方	磁力の測定方法 葉の面積を測る方法として、方法のアイデアを3つ出して、そこから正確と言える条件に一番合っている方法のアイデアを使いました 正しく正確にするために、実験を工夫しました。
	作り方	石鹼を作るとき、どんな作り方で作るか決めるとき結晶作りで新たな方法を考えると
	変数の決め方	クエン酸の必要性 酸を使って得る利点は何か 強酸性の物質を探したとき ズイナと比較する他の植物を決めたとき 何の糖と比較して実験をするか 石鹼を決める時 寒天で培養する菌を決める時 実験に使う色素選び
4	データをどう解釈するか	考察のまとめ方 考察をするとき 結果からどのようなことが導けるのか考える 自分のやっているものは、分類か、規則かを考える
	原因と結果の分析	出た結果は何を表しているのか この実験の結果が出て考察するときに、いろいろな原因を考える

表 3-5-2 続き

4	研究の見通し	前に、行った実験が終わった時に、創造的に考えるといいと思った
	受講者の自由研究への具体的な応用	翼で無駄になっている力を探す
5	データを数値的に整理すること	表、グラフのまとめ方 数値のまとめかたには色々な方法がある
6	やったこと見つけたことの説明	今までに行った実験をまとめるとき 出た結果をまとめるとき
	解決策をデザインすること	課題の解決策を考えるとき 問題への解決策を考える時など、これからの物事についている いろな視点の考えでこれらの物事が変化するとき
	受講者の自由研究への具体的な応用	迎え角を大きくできる条件 装置がうまく動かないときなどは創造的に考える 同じく、自由研究の時にも Arduino のプログラムが正しく動かない時があった 2年目の研究で、アナログのカイロでやった時も同じく正しく動かない時があった
7		
8	聴衆(仲間)とのやり取り	一次発表をして、どうしたらもっと良くなるか、アドバイスをもらうとき
	プロポーザルを書くとき	山崎財団に助成金の申請をするときに書く研究の方策を考える時。どうしたら文章が読む人に分かりやすいかを考えるとき 原稿の書き方 レポートをまとめるとき 論文の構成を考えた時
	基礎的な知識の取得	どんなことが最初に分かっていけばならないか考える時 調べや、知識が必要になってくるといことが分かった
	研究の公開のために	パワーポイントの作り方 パワーポイントを効果的に作る方法

## 6. 考察

まず、4. のグループ研究に対する発散的思考の適用の結果から、8つの科学と工学の体験的・経験的活動(ここでは Practices) の範囲に適用可能なタスクが見出された。加えて、少数ではあるがこの範囲に収まらないタスクもあった。

Practice 3に見られる「調査計画のための情報収集」というサブカテゴリーは、Practice 8にも含まれると考えられる。しかしながら、これらの記述は実際には調査の計画がその目的であるので、Practice 3に含めるものとした。

今回の分析では、Practice2,5,6,7に当て

はまる記述は見られなかった。

8つの Practices に含まれなかった記述からすると、受講者は時に批判的にしか考えない回があったこと、大きな課題を解くための下位の課題を解くための解決策の思案などが見出された。一つ目については、創造的にも考えられたところを批判的に考えてしまった場合もあると考えられ、タスクスペシフィックなアプローチがうまく働かなかった場面があったと言える。なぜなら、一度の受講回のなかで、一度も創造的・批判的の転換がないというのは、考えにくいからである。もう一つの、下位の課題についての解決策であるが、こうした思考はおそらく幾重にも折り重なって行われてる

と考えられる。ブレインストーミング等の発散的思考を刺激するようなアプローチは、むしろこうした段階に生きてくる。こうした下位の課題は、全体としての工学的課題ではないが、活動が潜在的に持っているものであり、事前に予測可能なものもあれば(2)のまとめを参照)、活動中に見えてくるものもあるだろう。特に、今2016年度の活動においては、完全に受講者の意思で活動が進められたため、それを洗い出すようなTask Structure(1)を参照)があれば、こうした課題は解決が加速するだろう。

今回の結果からはまた、発散的思考の各自の自由研究への応用も見ることができる。4.の結果と同様に、受講者の記述は8つのPracticesの範囲に含むことができた。おそらく、STEMの自由研究においては、これより多くのタスクが、発散的思考の適用や練習のポイントとして、存在するだろう。更にこのリストからは、彼らが発散的思考を各自の自由研究に適用した証拠として考えられる点が見出された(表3-5-2各自の自由研究への具体的応用というカテゴリーを参照)。したがって、これらのタスクは選択的コーディングが施された。これらの下位コードは、受講者が発散的思考を適用した場面であるし、彼らがタスクスペシフィックな創造性の応用を助けることにもなる。しかしながら、こうしたタスクは、彼らの自由研究に強く関係している。したがって、その適用は、彼らがそうした具体的な点にどこまで親しんでいるかに依存している。もしそうであれば、発散的思考の応用や転移といったものは、その課題における彼らの学習に沿ったものであるに違いない。別の言葉で言えば、専門家は間違いなく適用の手法を持っている。

## 7. まとめ

### 発散的思考の適用について

著者らは、受講者が創造的な思考を多くの異なる点に適用するだろうと予想しており、事実彼らは異なる文脈においてそれを適用したけれども、実際のところ、そこまで多様な記述は見られなかった。むしろ、この結果からは8つのPracticesの範囲で、彼らはそれを適用したように見える。それでも、8つのPracticesの範囲でこれらのカテゴリーの適用はこのような自主的な探究活動の中で彼らの創造的な思考を育むタスクの候補となり得る。更には、学校においても、どこでこうした創造的なタスクを利用できるのかを明示することで、児童・生徒の創造的な探究をサポートするに違いない。

### 創造的思考の各自の自由研究への転移

一方で、各自の自由研究への適用については、グループ研究のそれと比べてかなり多様な記述が見られる。特に、#3「調査を計画し、実行する」に当てはまるカテゴリーでは、詳細に彼らが自らの自由研究のどこへそれを適用しようとしたのかを示す記述が見られる。

グループでの研究の方と比較すると、受講者は自らの自由研究の方により親しみがあるわけで、ここから考えると、彼らが研究の全体を見渡すこと(メタ認知)が、この点には関わっているのではないか(Huffaker & Calvert, 2003)。もしそうであれば、グループ研究を俯瞰して見られるほどになれば、個人研究と同じように多様なタスクが見られるようになるかもしれない。

本稿においては、発散的思考の学習・適用・応用をそれぞれ質的な方法により明らかにしてきた。これにより、自由研究を中心に据えた探究活動をサポートしていくた

めの見通しが見えてきたとも言えるだろう。

一つは、これらのデータが完全に受講者の活動と思考に基づいているため、今後同じような活動に取り組むときには、彼らの思考の補助となる。もう一つは、今後別の文脈で同じような取り組みがなされる場合(その活動がどの程度受講者中心の活動であったとしても)、指導者側としてはこれらの項目と、考察に述べた知見を活かして、指導に当たることができよう。

繰り返しになるが、これらと全く同じタスクが、全ての児童・生徒に利用可能であるという前提で、これらを提示しているのではない。あくまでも、利用可能性のあるタスクとして、指導者側が意識に留めておくべき内容であろう。

なお、現時点では、これらは全体を一枚の表にまとめた平面を分析しているが、今後1年間のプログラム中での変容を、捉える経時的な分析を試みる予定である。それによって、創造性の学習における進展の様子が、より細かく描き出されるものと考えている。その意味では、本研究は今後も継続して記録がなされる必要があると考えている。

### 混合研究法としての結論

最後に、(4)の量的分析と併せて、混合研究法としてのまとめを示したい。

過去には、トーランステストが科学教育の分野では創造性を評価するために使われていた。しかしながら、発散的思考の再定義に基づいてみれば、TTCTのそれぞれのタスクというのは、タスク固有の創造性を測るものさしであると捉えなおすことができる。本研究で利用した3つのタスクは、Iowa Assessment Package (McComas & Yager, 1988)に適用されたものであり、彼らはここで利用した3つのタスクを科学教育の6つの領域のうち、創造性領域を評価

するために利用していた。しかしながら、これらのTTCTの利用とそれぞれのタスクの関係性については、検討がなされなければならない。なぜなら、トーランス自身は、これらの具体的な結果を全体としての「創造性」として適用されることを意図していなかったからである(Bear, 1993)。

加えて、CATにおいては今回の事例では科学の専門家や科学教育の専門家の間で相関が見られなかった。したがって、この自由研究を発表するというタスクは、今回の事例においては、児童・生徒の創造的なコンピテンシーを評価するために利用することができなかった。先行研究が示唆するように、準専門家は評価委員会のメンバーとする候補ではある(Kaufman, Bear, Cole, 2009)。しかしながら、本研究の結果においては、準専門家も同様にその評価に違いが見られた。ただ一つの可能性として、学校の教師としての経験は、評価の相関に影響しているかもしれない。しかしながら、この点でさえ、全ての事例に当てはまるわけではない。

更には、グループ研究における探究の流れの分析においても、受講者はお互いに異なる道順をたどっている。したがって、発散的思考の適用や練習の可能性は、彼ら自身が決める異なる時、異なる場面で起きているに違いない。

今年度の静岡STEMジュニアプロジェクトにおいては、受講者の活動は研究の結論を導くところまで至らなかった。このことはまた、TTCTの結果に影響を及ぼしていると考えられ、それが同時に結果の効果量や検出力にも影響を及ぼしているであろう。しかしながら、もしこの影響が調整されたとしても、評価者間信頼性が比較的低いことについては、説明できない。この点について、TTCTの事後調査で利用されたタスクについては、再検討が必要であろう。

量・質両方の分析において、受講者は8つの Practices の範囲で発散的な思考を適用したことになる。しかしながら、彼らの探究の流れが異なる道筋をたどるのだとしたら、受講者が発散的思考を利用しようとする異なる時、異なる場面でその適用は起こるのだということは、確認されるべきであろう。

本研究は、8つの Practices に発散的思考が適用されることは予想しながらも、あくまでも受講者の”あらわれ”に依拠しながら、探索的にその枠組み(framework)や学習の進展(progressions)、今後の研究課題を見出そうというものであった。その目的からすると、本研究の探索的な活動から得られたものは以下のようなになる。

- ・ 「8つの Practices における具体的な創造性思考タスクのリスト」: これらは、今後同様の活動に児童・生徒が取り組む際に、その研究活動を支える指導の枠組みとして捉えることができる。ただし、このリストはあくまでも暫定的なものであり、今後の充実・改善が望まれる。
- ・ 創造性にまつわる学習の進展の方向性として、「個人の自由研究との親和性と、それによる具体的な適用タスクの自覚化」が見出された。これらは、他の転移研究とも相通ずるところがあり、プログラムの中で明示的に受講者に示すことも今後考えられる(ただし、本人の自覚があり、かつ自主的に取り込まれることが重要であろう)。
- ・ 最後に、今後の研究課題として「発散的思考を明示的に練習するタスクを受講者自身の判断で取り入れた場合、創造性向上が見られるか」や、「個人の自由研究に発散的思考を取り入れたタスクを課した場合、他の文脈における発

散的思考は有意に向上するか」といったことが考えられ、また、本研究における知見についても、他の文脈・学年・集団等において、広く再現してみる価値があるであろう。

#### 参考文献 (抜粋)

- Bear, J. (1993). *Creativity and Divergent Thinking: Task-Specific Approach*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Chin, C., & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44(1), 1–39.  
<http://doi.org/10.1080/03057260701828101>
- Kaufman, J. C., Lee, J., Baer, J., & Lee, S. (2007). Captions, consistency, creativity, and the consensual assessment technique: New evidence of reliability. *Thinking Skills and Creativity*, 2(2), 96–106.  
<http://doi.org/10.1016/j.tsc.2007.04.002>
- Pratt, H. (2013). *The NSTA Reader's Guide to A Framework for K–12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (2nd ed.). Arlington, Virginia: NSTA press.
- Runco, M. A. (1994). *Problem Finding, Problem Solving, and Creativity*. (M. A. Runco, Ed.). Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Russell, D. H. (1956). Problem Solving. In *Children's Thinking* (pp. 251–280). Boston, MA: Ginn and company.

#### 謝辞

本研究は、JST 次世代科学者育成プログラム及び静岡大学学長裁量経費による支援を受けて行った。記して感謝いたします。

(1) 本物の科学者との出会いと領域横断的な概念の学習

Learning about the Cross-cutting Concepts with the Real Scientists/Engineers

齊藤智樹, 熊野善介

Tomoki Saito, Yoshisuke Kumano

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

キーワード : Cross-cutting Concepts, STEM Learning, Integrative Approaches

1. はじめに

領域横断的な概念 (Cross-cutting Concepts) については、最近では Next Generation Science Standards (NGSS Achieve, 2013)の中にもみられるが、過去には AAAS (American Association for Advancement of Science)による Science for All Americans (AAAS, 1989)に共通の主題 (Common Themes;訳は日本語訳:「全てのアメリカ人のための科学」(2005)に倣った)として見られる概念や、それに続く National Science Education Standards (NRC, 1996)において Unified Concepts として示されている諸概念にかなり類似している。

日本においては、現行の学習指導要領におけるエネルギー・粒子・生命・地球という4つの概念が同様の機能を持った概念として働き得るものと考えられる。

しかし、残念ながら現時点では、米国、日本双方において、こうした領域横断的な概念とは何であるか、またそれはどのように教えられるのか、そしてどのように評価可能であるのかについては、体系的な理解が得られていない。

そうしたなかで、米国内においては NGSS の出版と同時に、この Cross-cutting Concepts(以下、CCs)及び科学と工学の体験

的・経験的活動 (Science & Engineering Practices : 以下 SEPs)と領域の重要なアイデア (Disciplinary Core Ideas : 以下 DCIs)の3つをもって3D学習の成立を目指す動きが見られる。

翻って、本静岡 STEM ジュニアプロジェクトにおいては、2013年度からのその活動と並行して、継続的に SEPs については研究を続けており、DCIs の教授については日本の教育システムの質的向上は今日でも継続的に向上させていく仕組みができていると考えられる。一方で、CCsについては、その継続的な研究はまた、限られている。

そこで、本研究はその手始めとして、CCs については、現行の学習指導要領(文部科学省, 2008)の範囲で、どのような内容が学ばれるのか、またその範囲に含まれないとしたらどんな内容であるかを、次世代科学者育成プログラムの受講生という小中学生としては、比較的意欲・関心、能力ともに高いと考えられる児童・生徒を対象に把握することを目的とした。この研究はまた、今度の SEPs・DCIs との連携を考慮した学習環境の構築へと繋げることが目的としている。

2. 本研究

文脈

本研究は、2016年度次世代科学者育成プロ

グラムの一環として行われた静岡 STEM ジュニアプロジェクト(実施機関：静岡大学)の中でも、特に Stage 3 に参加した受講者の学習に着目している。ここでは、静岡 STEM ジュニアプロジェクト Stage3 の概要について紹介する。

### プロジェクト

静岡 STEM ジュニアプロジェクトは、2013 年度から STEM 学習に特に着目し、STEM 科学教室での活動、STEM キャンプ、STEM ツアー、そして自由研究指導をその主な活動として実施してきた。

2016 年度からは特にこれまでの STEM ジュニアプロジェクトの活動の中で経験を積んできた受講者の活動の幅を広げ、Stage2・Stage3 を設定した。

Stage2 は受講者によるグループ研究の場とし、参加した受講者が5つのグループに分かれて、研究活動を展開した(詳細は前第3章(1) - (5)を参照)。

また、本稿で詳しく扱う Stage3 では、Stage2 の受講者の中から、特に(後述する)事前学習をクリアしたメンバーを対象とし、本物の科学者・工学者と共に体験的な探究活動に取り組む機会とした。

静岡 STEM ジュニアプロジェクトは全体として、自由研究遂行能力の向上を目的としている。ここでいう、領域横断的な概念の学習が、その後の受講者の自由研究遂行能力に寄与していくかどうかについては、長期的な調査を必要とする。本研究での分析は、その基礎となる。

### 選抜の方法

Stage2 を実施するにあたっては、過去の受講者及び公募を通じて選抜を行った。Stage3 については、更に Stage2 の受講者から選抜を行うこととした。

Stage2 については、県レベルの科学賞の受賞、または県レベル以下でも2度以上の受賞経験を持つ者を受講資格者とし、以下の表

6-1 のような確認事項について、応募時にチェックを求めた。

表 6-1 Stage2 参加に際しての確認事項

- あなたは、県レベルの科学賞を1つあるいは、市町レベルの科学賞を2つ以上の受賞したことがありますか？
- あなたは全日程(年間 10~15 回程度)に参加予定ですか？
- あなたは両親や先生の手を借りず、自分自身で(仲間と)自由研究をやり遂げる強い意志がありますか？
- 将来、科学や工学に関係する博士(Dr.)になる強い希望はありますか？

Stage3 については、Stage2 の受講者の中から、以下に示すようなイーラーニングシステム上での事前学習に参加し、修了したものを対象に行った。逆に言えば、Stage3 に参加しようとするものは、この事前学習を実施するように促した。事前学習の内容については、以下で示す。また、その詳細については、文末に資料として添付する。

### 参加者

それぞれの回の参加者の学年内訳については、以下の表 6-2 の通りである。

表 6-2 Stage3 受講者の実施回別内訳

日付	学年別内訳	計
07/17	小学校 6 年生	2 名
	中学校 1 年生	1 名
	中学校 2 年生	4 名
	中学校 3 年生	2 名
	高校生 Alumni	1 名
		10 名
09/10	中学校 1 年生	1 名
	中学校 2 年生	2 名
		3 名
09/17	小学校 6 年生	1 名
	中学校 1 年生	2 名
	中学校 2 年生	2 名
	中学校 3 年生	2 名
		7 名

※日付はどれも 2016 年の日付を表す

### 事前学習

事前学習については、イーラーニングシステム(Moodle)上に、その機能である「レッスン」を利用して、「ステージ3のための小レッスン」と題し、以下のような項目を課した。この小レッスンについては、3回の実施回にそれぞれ同内容を受講させている。

- ・ ステージ3の参加意思確認
- ・ ステージ3の目標
- ・ パターン
- ・ 原因と結果
- ・ システムとそのモデル
- ・ エネルギー
- ・ 規模・割合・量
- ・ 構造と機能
- ・ 安定性と変化
- ・ 終わりに

## 実施内容

Stage3 における各実施回の内容については、以下の表 6-3 に示してある。

初回、7/17 については国立研究開発法人産業技術総合研究所から、佐藤弘博士にお越しいただき、パワーエレクトロニクスに関するテーマでご講演を頂くとともに、体験的・経験的活動を提供していただいた。同様に、9/10 については村田昭彦博士の気象に関するテーマ、9/17 については及川輝樹博士による火山についてのテーマで実施させていただいている。

表 6-3 Stage3 各回実施内容

日付	指導者	内容
07/17	佐藤弘先生	ご自身の高校時代からの研究経歴とパワーエレクトロニクスについてのご講演、Arduino を使った回路制御制作体験
09/10	村田昭彦先生	ご自身の高校時代からの研究経歴とコンピューターを使ったシミュレーション体験
09/17	及川輝樹先生	ご自身の高校時代からの研究経歴と火山防災についてのご講演、炭酸飲料を用いた火山噴出モデルの制作体験

各先生方には、事前に前述のような CCs の事前学習については説明し、できる限りこれらの概念が活動の中で感じられ、学べるような場面を設定していただきたいと依頼した(各日のプログラムの詳細については、次項 4. (2) を参照)。

## 理論的枠組み

本研究の認識論・方法論の基礎となっているのは、プラグマティズム(Dewey, 1938; James, 1907/1910; Pierce, 1931)であるが、前章の「2. 次世代科学者育成プログラムにおける創造性の育成」とは異なり、Design-based Research をベースにはしていない。逆に言えば、本稿の対象としている Stage3 は、受講者の創造性育成のための学習環境デザイン(第2章(1)を参照)として想定されてはいない。

しかしながら、その認識論の基礎としてプラグマティズムは共有しており、あくまでも教育実践実用上の基礎データとなることを目的としているし、そこから見いだされる教育理論は、実践上の道具であるという道具主義という観点も、本研究を特徴づけている。

更に、第2章(1)でも既に議論したように、理論と実践の両面にこのプラグマティズムは影響を与えており、以下の研究方法論においては、その研究面での方法論について論ずる。

## 方法論

本研究は説明的な事例研究(Explanatory Case Study)を採用している。なぜなら、その研究課題において現象を記述するだけでなく説明することを目的としているからである。すなわち、「小中学生は、その学年段階にとってはやや高度で、領域横断的な学習において、領域横断的な概念(Cross-cutting Concepts)に関して、何を学ぶのか、そしてそれは学習指導要領の範囲で扱うことは可能であるか、またはみ出るとしたらどのような特徴があるのか」ということを説明するのが、本研究の目的である。

ただし、この方法論を適用するにあたって、注意しておくべき点がある。それは、今回の場合でいえば、CCs の学習をそれぞれ評価する個別の研究は既にあるが、一つの領域横断

的な学習において、それぞれがいかに交わっており、どのようなタイプの学習があり得るのかということについては、十分に検討されていないという点(因子あるいは尺度の検討)と、受講者の学年がそれぞれ異なるため、またその学習の多様さが想定されるので、その多様さをもれなく多角的に描き出すことのできる手法が必要とされる。

例えば、前述の通り米国においては NGSS の中にもどの SEPs・DCIs と共に CCs が教えられるかは併記されているわけだが、実際にそれが領域横断的な学習で、CCs を扱っているのであれば、複数の CCs がそこに関与することは十分に考えられる。また、そうした場合、スタンダード(日本でいえば学習指導要領や評価規準)に含まれる場合も、含まれない場合も、その下位概念については、事例ごと・学習内容ごとに明らかにされていくことになる。

そうした長期的な研究を見据えると、特に本研究はその始まりにあたるため、探索的な目的も持っていたことは、記しておく。すなわち：下位概念の類型化や次なる研究課題を見出すことも、その目的の一つである。

### 方法

先にも述べたように、本研究は CCs を STEM のような領域横断的な学習環境にお

いて受講者が自発的に学ぶ場面を想定しているため、そうした状況における学習の学習指導要領に基づいた類型化を目指しており、説明的な事例研究(Yin, 2014)を選択し、初期のコーディングを行っている。

一方で、その下位概念については、後に続く研究課題を見出すとともに、その基礎となる類型化を図るためのコーディングを行っている。したがって、本研究における質的分析が答えることになる質的な研究課題とは以下のようなになる。

- 各 CCs について、小中学生である受講者が、学習指導要領の範疇において学修した内容にはどのような特徴があるか。実際の指導上可能性がある範囲で洗い出す。
- 各 CCs について、学習指導要領の範疇に収まらない学修が見られるとしたらどのような特徴があるのか。その類型化を通して、今後への示唆を抽出すること。

また、分析の途上、ある CCs における受講者の記述が誤っているわけではないのに、他の CCs にも当てはまる場合があることが見出された。そこで、以下の結果においては、各概念と共に関連して学習可能な CCs を併せて示してある。

## 3. 結果

表 6-4 Stage3 における領域横断的概念の学習

-1 パターン カテゴリー	記述	関連して学習可能な CCs
1	コンデンサーの値が大きくなればなるほど点滅の間隔が広がる。 また抵抗の大きさが大きくなれば点滅の間隔も広がる。 信号の間隔が密だと明るくなる。 LED の光る間隔や、コンデンサーのための時間の変化 コンデンサーと点滅時間の関係→反比例	エネルギー 構造と機能 原因と結果
	マグマがマグマポケットに集中し、上昇して泡によってさらに上昇し上の岩などを巻き込んで爆発すること	エネルギー 原因と結果 規模・割合・量

1	コンデンサーのパターン、抵抗のパターン、LEDのパターン、トランジスタのパターン	構造と機能
	太陽光が強いと気温が上がる。	エネルギー
	このような、ろうとにビー玉をいれるとおくに入れるほど回転速度が上がる。	構造と機能 エネルギー
	回転速度が上がるとは回転の半径が小さくなると回転速度が上がる。	原因と結果 構造と機能 エネルギー
	新熱岳の場合小さな噴火が続いた後、大きな噴火が起きる。 小さな噴火→大きな噴火が続くシナリオがある 場合によってパターンがある。	エネルギー 安定性と変化
	マグマがたまると地面が盛り上がる。	原因と結果
	ガスが少なくなると溶岩流が流れ出てくる。	原因と結果
	数字を変えるとLEDの光は左右に動いた。	原因と結果 構造と機能
	点滅：片方がついていいる間もう一方は消える。もう一方がついていいる間もう一方は消えるを繰り返す。	原因と結果
	火山灰などがどのように出て、どこに集まり、どのような被害がおこるのかのパターン。	原因と結果
	銅線が繋がらないと何も起こらない	原因と結果 エネルギー
	コンデンサーの向きを変えても点滅する間隔は変わらなかった。	原因と結果 構造と機能
	高気圧から低気圧で空気が移動し、移動したところが高気圧になり、また別の低気圧へ移動すること。	原因と結果 エネルギー 構造と機能
	火山の分布について火山フロントなど同じ場所に集まっていることがわかりました。	原因と結果 エネルギー
	また過去の噴火と現在の噴火について似たパターンがありました	安定性と変化 原因と結果 エネルギー
コンデンサーの容量を大きくすると、その分長く電流が発生する。トランジスタは電気の流れによって回路を作ったりする。	原因と結果	

## -2 システムとそのモデル

カテゴリー	記述	関連して学習可能な CCs
2	回路	エネルギー
	パワエレ回路で制御すると電気自動車や電車などを動かしたり止まらせたりすることができる	構造と機能
	小型化（36分の1）にむけて改良している。電気→トランジスタ→抵抗→ライト	規模・割合・量 エネルギー
	コンデンサーに電流を流す→電流が流れにくくなる。	原因と結果
	→スイッチが切れる→他回路に電流が流れる。→コンデンサーに…	構造と機能
	パワエレで電流を変換するシステム	エネルギー 原因と結果
	電池の電流を→トランジスタで動作(スイッチのON/OFF)を決める→コンデンサーで時間を決める→LEDがつく	原因と結果 構造と機能

風を入れて温度を下げる	エネルギー 原因と結果
一か所かけると LED が点灯しなくなる。一か所変化すると結果、変化してしまうことがあるので注意し てかないといけない。	原因と結果
ダイオードは、明るさはいつもほとんど同じなの で、点滅させたりなどして人間の目には見えないよ うにしている。	原因と結果
電気は様々なものに使われている。SIM は、その電 気の流れや量などを制御している	規模・割合・量 原因と結果 エネルギー
現在のデータとこれからの気象の変化として考え られるものから計算し気象予報をする。	原因と結果
パソコンのモデルを利用してパターンの可能性を 調べる。 ペットボトルの模型	パターン 原因と結果
台風が発生するときのシステムとペットボトルや 漏斗などで作ったモデル	規模・割合・量 原因と結果 エネルギー
火山の中のシステムと今日の二番目の実験（モデ ル）	エネルギー 規模・割合・量
回路の部品によってやるプログラムが違ってくる	原因と結果 規模・割合・量
火山灰の計測。火山の噴火は岩石がとけて軽くな り、そこへ泡が加わるなど、いくつかかと、条件が 重なり発生する。	原因と結果 規模・割合・量
火山が噴火する様子を、ビーカーの中で行ったこ と。実際の火山では、マグマや何かしらの原因で噴 火をしているところを、酢や油、炭酸水素ナトリウ ムを使って調べた。	原因と結果 規模・割合・量
火山ガスがマグマに含まれていて、圧力がかか ると、それがマグマを上へ移動させて爆発する	原因と結果 エネルギー
泡立つ装置	原因と結果
マントルの熱によって上昇すること。さらに中に含 まれるガスによって上昇すること。そのガスによっ てマグマだまりの圧力が上がり噴火するというシ ステムの要素により、火山噴火が起こることが分か りました。	原因と結果 エネルギー

### -3 原因と結果

カテゴリー	記述	関連して学習可能な CCs
1	回路に電気が流れて LED がついたり点滅した	
	コンデンサーの容量が変わって点滅速度が変わっ た。	規模・割合・量 エネルギー
	電流を流すと、LED ライトは交互に。	システムとそのモデル
	コンデンサーに電流を流す。→一定時間で電流が 通らなくなる。	規模・割合・量 エネルギー
	コンデンサ（ため池）の大きさを変える。→点滅 の温度が変わる。	原因と結果 エネルギー
	線がすべてつながってないとダイオードが光らな い	構造と機能
	電圧、電流、交流、直流を変化させるものは、イ ンバーター、コンバーターなどがある	システムとそのモデル エネルギー
	風が吹くのは気圧の差が原因。	エネルギー

1	高気圧と低気圧に差が生まれることで、低気圧が高気圧をすって台風	システムとそのモデル エネルギー	
	空気が暖められ、上昇気流などで回転し、台風が発生する。	エネルギー	
	気泡が入ることによって爆発する	エネルギー 構造と機能	
	火山が噴火するには、何かしらの原因が必要である。まず、マグマがたくさんたまること。	規模・割合・量 エネルギー	
	その後、外の気圧が下がるなどの原因、引き金があったら噴火をする。	規模・割合・量 エネルギー	
	火山ガスが含まれていて、それがマグマを移動させている。	規模・割合・量	
	マグマが大地にたまると大地がのびる	構造と機能	
	火山噴火の直接の原因は、マグマだまりからのガス、水蒸気ですが、この規模により、大きい噴火が起きることが分かりました。	規模・割合・量	
	2	高温作動に耐えうる SiC を使って高温作動を行った結果、体積を 1/36 にすることができた。	エネルギー 構造と機能
		パケレ回路を使ったことでより細かい制御が可能となった。	規模・割合・量
数字を 1 にするとライトは、とても早く点滅した。トランスだとエネルギーの無駄が多い。だから→少ないように違うものを使う。 そのために→探し選んだ		規模・割合・量 「エンジニアリング」	
回路には正確に時間を決められないのは部品が足りないから		構造と機能 規模・割合・量	

#### -4 エネルギー

カテゴリー	内容	関連して学習可能な CCs
1	電気エネルギーが光に変わった。 電気エネルギーが熱に変わった。 電気エネルギー→光エネルギー SiC 電気エネルギー→電気エネルギー+熱エネルギー パワエレのモーターのエネルギー 電気→回転→電気 電流、力を変換させる →交流から直流 電気エネルギー→光エネルギー、少し熱エネルギー 電気エネルギー→運動エネルギー 電気エネルギーが熱エネルギーや光エネルギーに変わった 火の噴火で吹き上げられた噴出物がこすれることで、爆発のエネルギーから電気エネルギーへと変わった。	規模・割合・量 システムとそのモデル 原因と結果
	密度の変化のエネルギー→マグマを上へ押し上げる→マグマが抜け出して気圧を上げて→爆発 マグマの上昇の際にはマントル中のガスの上昇エネルギーがマグマの上昇エネルギーに変えられ、さらにそれが噴火の原動力となる圧力へ変わっていることが分かりました。	原因と結果 規模・割合・量
	Si を SiC にすることで消費が 1/890 位に抑えられる SiC は Si の 12 倍の電圧を起こせる。	原因と結果 規模・割合・量

1	パワーエレクトロニクス 電力の制御 (弱めたり) エネルギーの種類を変えずに大きさを変えることができる。	原因と結果 規模・割合・量
	電気が途中で損失することと、空気の流れが弱くなることは関係があるのか	原因と結果 パターン
	電気の流れと水の流れは規模が違って同じところがある。	パターン
	電気エネルギーを何かに伝えるときに、ロスとして熱エネルギーが出てしまう。	パターン 原因と結果
	台風は地球の自転のため回転する。	原因と結果
	中心に向かう風は遠心力と重力、気圧の傾きの力が釣り合いの中心に向かう風が吹く。	原因と結果 パターン
	高気圧は低気圧にすいとられる。そのエネルギーが台風。	原因と結果 パターン
	太陽光と、空気の移動	原因と結果
	火山が活動したり、噴火をするにはマグマができるエネルギーが必要である。また、マグマには、熱エネルギーがあり、それが水分などを温めている。これが噴火のエネルギーとも関係している。	原因と結果 パターン
	アブクが増えて、それが上がっていくことでマグマが上がり、噴火する	原因と結果 パターン

#### -5 規模・割合・量

カテゴリー	記述	関連して学習可能な CCs
1	マイクロ F、Hz、A、V F ファラッド→コンデンサーの容量 A アンペア→電流 Ω オーム→抵抗値	エネルギー 規模・割合・量
	コンデンサーは電圧が上がると、大きなものになる。	パターン 原因と結果
	コンデンサーの値が 1/2 になると LED の点滅の速度が 2 倍になる。	規模・割合・量
	コンデンサーの量を片方だけ多くすると、光がついている長さが変わった。	
	エンジンのエネルギー変換効率は 32% なのに対し、電気自動車のエネルギー変換率は 90% 以上となっている。	エネルギー システム 原因と結果
	地球シミュレーションはコンピューターの中に地球に似せたものを作って実験。	システム パターン
	コンデンサーのための量	エネルギー 規模・割合・量
	噴火するとかもしれないというところまでは予測できるときがあるが、その規模まで予測するのがまだできない。	安定性と変化 原因と結果
	マグマの粘り気が、規模を変える。穴の中で噴火の様子が変わる	原因と結果 パターン
	日本は島で火山の量が多い 世界の約 7%	原因と結果 パターン
	火山噴火の規模について、マグマだまりの圧力や、マグマだまりの大きさがかわっていることが分かりました。	原因と結果 パターン
	また、火山フロントなどではその分布が大きかったよってことが分かりました。	原因と結果 システムとそのモデル パターン

2	SILは、10KVなどとても高い電圧を制御できる。	システムとそのモデル エネルギー
	電気自動車は40kW～120kWを制御している。	エネルギー パターン
	SiCはSiの体積の1/36で済む。	原因と結果
	SiCに使われる金の量は数mgなのでウェハーのほうが値段が高い。	原因と結果 「経済性」

## -6 構造と機能

カテゴリー	記述	関連して学習可能な CCs	
1	回路の中の抵抗やコンデンサーを変えることでLEDの光らせ方を変えることができる。またこれらをボードコンピュータで制御することでより細かく動かしていくことができる。	原因と結果	
	LEDライト 横に動かすのはできないが、縦にうごかすことはできる。	パターン 原因と結果	
	コンデンサーを大きくする→点滅スピードが変化する	パターン 原因と結果	
	トランジスタの塊がCPUくらい。トランジスタは電気が通る電流を調整できる。	エネルギー システムとそのモデル	
	SILは電気の制御できる・インバーター 交流を直流にする・コンバーター 直流を交流にする。	システムとそのモデル 原因と結果	
	台風の構造は風である。	エネルギー パターン 原因と結果	
	火山の構造、マグマや岩石などを吹き飛ばし火砕流などを発生させる機能。	エネルギー 規模・割合・量	
	富士山などはたくさんの火山で構成されている。	原因と結果 パターン	
	水蒸気の噴火は地下水が温められ水蒸気になることで発生する。	原因と結果 エネルギー	
	火山の地熱エネルギーを利用して、発熱や火山灰の層でイモ類の栽培などを行っている。火山には人々の生活に恵みをもたらすことがある。	原因と結果 パターン システムとそのモデル	
	水蒸気噴火は①地下水が蒸発して水蒸気が発生して②上の石を押し上げる	原因と結果 エネルギー 規模・割合・量	
	火山噴火は、水蒸気が主な噴火物となる構造があることが分かりました。またこれは、マグマが上昇してくるとき、どのタイミングでガスが抜けるかにかかわっている事が分かりました。	原因と結果 規模・割合・量	
	2	点滅、ABはいっぱいになると電流を流さなくなる。C、DはE、Fからの供給が停止すると流さないようになる。Aが Full→E停→D off →Bが off→E停→Coff→Aが full	原因と結果 パターン 構造と機能
		パワエレはそのままでと使えないので変換する。	エネルギー 構造と機能
気象レーダーは雨粒に電磁波を放射し跳ね返ってきた波の様子から降水の様子を調べる。赤外線画像は温度の低いところを白く写す。		パターン 原因と結果 エネルギー	
プログラミングの仕方によって光り方が違ってくる		パターン 原因と結果 構造と機能	

-7 安定性と変化

カテゴリー	記述	関連して学習可能な CCs	
1	普通の雲は進路が安定しているが、台風は進路が読めにくく、不安定なこと。	パターン 原因と結果	
	他の火山などを、その火山の地質学を調べれば、どのような噴火をしていたのかの周期などを知り、それが安定性につながる。	パターン 原因と結果	
	富士山で言うならば、300年周期などの一定のペースで噴火をしていること。	パターン	
	台風や潮の満ち引きで、火山が刺激されて噴火する	原因と結果 パターン エネルギー	
	噴火してから500年くらいで噴火する あぶくの抜け方	パターン 原因と結果	
	火山が休止している安定な状態（圧力が十分に集まっていない状態）と噴火し、中の圧力が大きく変化している状態があることが分かりました。	原因と結果 パターン エネルギー	
	2	コンデンサーや抵抗を変えると LED の点滅速度が変化する。	パターン 原因と結果
		信号の間隔が一定だと明るさは一定になる。	原因と結果 パターン
		点滅は交互に繰り返される。点滅スタート（コンデンサーは空）はどちらが点くかランダム。	原因と結果 パターン
		デジタル制御にすることで、同じ動きをプログラム（点滅をゆっくり変化させることができる）できる	原因と結果
熱を持たないように気を付けるブレッドボードに銅線をつながるようにいれると、光る		原因と結果	
熱くならないように、コンデンサーを入れると、点滅するようになった		原因と結果	
トランジスタに電流を流すとそれ以上の電流が流れる。また、トランジスタは電流が流れる量を抑えることもできる。ただし、1秒		原因と結果 規模・割合・量	
SILは熱にとっても強く安定している。		パターン エネルギー 原因と結果	
SIデバイスでは熱に弱く、熱が高くなると機能しなくなる		パターン 原因と結果	
データが多くなると信頼性が上がる。結果、幅ができたときはその平均。どのくらい変化するかは今とどのくらいちがうか割合で表せる。		規模・割合・量 パターン	
マグマが集まってくまでは爆発もせず安定しているが、マグマが集中して気泡発生するとドーンと変化する	原因と結果 パターン		
コンデンサーが一つ違う時と同じときの光り方が違う	パターン エネルギー		
クエン酸と重曹を使った噴火実験では一度噴火が止まった後、また始まることもあった。	原因と結果 パターン 規模・割合・量		
(不安定) 噴火には台風などいろいろな細かいことがかかわっている。	原因と結果 パターン 規模・割合・量		

#### 4. 考察

以上の結果から分かることは2点ある。一つは、学習指導要領への適用可能性について、CCsの概念ごとに大きな差異があるという点である。もう一つは、方法にも示したように、下位概念ごとに他のCCsに関係しうる関係性があるであろうという点である。

一つ目の学習指導要領への適用可能性についてであるが、カテゴリ1の学習指導要領に適用可能であるとみられる内容、カテゴリ2の現行の学習指導要領においては、適用が難しいと思われる内容のそれぞれについて、下位概念が見出され、それぞれから考察することが可能であろう(詳細な下位概念についてはWeb版に記載する)。

まず、大きなカテゴリわけの結果から見られることは、特に「システムとそのモデル」「安定性と変化」については今回の受講者の記述には学習指導要領の内容からは、派生したとしても関係づけることが難しい学習内容(カテゴリ2)が多くみられた。実際、これらの概念は特に高校生物において特に扱われる概念であるので、今回Stage3を担当していただいた研究者の専門分野に生物がなかったということは考えられるが、それを考慮してもこれら概念における受講者の学習は、より具体的に各受講内容におけるCCsの学習可能性を示している。

逆に、「パターン」「エネルギー」や「規模・割合・量」などについては、そのほとんどがカテゴリ1に繰り入れることが可能な内容が示された。エネルギーは中学校3年生で主に扱われる内容であるが、本プロジェクトの受講者にとっても、あるいは小中学生にとっても、かなり身近な存在となりつつあるようである。また、規模・割合・量については数学でも扱われる内容で

あるので、それを理科やその他の教科においても明示的に扱うことは、今回の結果からも可能であることは支持されたと見てよいであろう。

その他、CCsごとにどのCCsと連携しやすいかについても、考えられえる点であろう。今回の結果でいえば、例えば「システムとそのモデル」「構造と機能」「安定性と変化」の学習においては「原因と結果」や「パターン」が、「原因と結果」の学習には「規模・割合・量」などが多く関連付けられている。また、「原因と結果」と「パターン」のように、一つの学習に同時に関連付けられることが多いなどの性質が見出されてきた。

また、特にカテゴリ2においては、CCsの範疇における学習とは言えないながらも、領域を横断する学習の視点が示された場合があり「」で示してある。CCsと併せて、これら領域横断的な学習のあらわれも考慮していく必要があり、そのあたりもSTEM教育の効果として検討すべきであろう。

本稿は速報版として、下位概念との関連性の記述は控えるが、量的な分析と併せて、詳細な考察はWeb版に記載する。

#### 5. まとめ

以上のように、CCsについてSTEM教育の中にその学習を位置づけると、NGSSに見られる3D学習の構成に留まらずあらゆるCCsに渡るため、学習指導要領上にこれを位置づけるのであれば、カリキュラム全体に渡って試行がなされ、その適用が検討される必要がある。

CCsについて小・中学生が学習すると、現行の指導要領上の内容に影響を受けながらも、その範疇に収まらない内容が見られること、またCCsによってその範疇に収まらない割合に変化が見られたことも、この主張を支持している。

今後の研究活動に向けた課題を整理するならば、今回のように3つの領域(電気・気象・火山)だけでなく、あらゆる学習領域を中心としたプログラムを実践しながら、より広範なデータをもとに分析をし直す、あるいは綿密化すること。また、一つのプログラムで扱う CCs を一つや二つなど絞った場合に、児童・生徒の学習にどのような深まりが見られるのかといったことを、追究していく必要がある。その意味で、本研究はまだまだその第一歩であり、より充実したプログラムの構築に向けて努力が必要である。

#### 参考文献 (抜粋)

AAAS (1989), "Science for All Americans",  
Oxford University Press.  
Ministry of Education Culture Sports Science

and Technology. (2008). Course of study.  
Retrieved from  
<http://www.mext.go.jp/english/elsec/1303755.htm>

NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states.* (Achieve, Ed.). Washington, DC: The National Academies Press.

National Research Council(1996),「全米科学教育スタンダード」—アメリカ科学教育を展望する—,長洲 熊野 丹沢 2001、梓出版社

#### 謝辞

本研究は、JST 次世代科学者育成プログラム及び静岡大学学長裁量経費による支援を受けて行った。また、本稿のデータ集計については、静岡大学教育学部3年佐々木博登君・前田康平君・松下佳史君にご協力いただいた。記して感謝いたします。

#### 資料

#### 事前学習の各項目内容

##### 問題:

ステージ3では、研究者の先生に専門についての講演を頂きますが、その目的はステージ2と同じで、そこで学んだことを自分自身の自由研究に生かすことです。

そこで、この事前の小レッスンでは、ステージ3で学んだことをあなたの自由研究に生かすための視点を提供します。ここで学ぶいくつかのキーワードを持って、ステージ3の講演を聴くと、あなたの自由研究とのつながりが理解できるでしょう。

では、次のページからの課題に答える形で、学んでいきましょう。

まず初めに、あなたの自由研究と別の分野の研究をつなげるキーワードを7つ紹介します。

- ・ パターン
- ・ 原因と結果
- ・ エネルギー
- ・ システム
- ・ 規模、割合、量
- ・ 構造と機能
- ・ 安定性と変化

以上の7つから、あなたの自由研究に関係しそうなキーワードはどれですか？

3つ選べますか？以下、その3つを選んで回答してください。全部に答えなくても大丈夫ですが、全部に答えてくれても構いません。答えないページでは、「パス」と記入してく

ださい。そうしないと、次のページに進めませんので。

分からない単語があったら、少し調べてみるのも良いでしょう。

17日の受講が終わった後には、別途自分なりの言葉で答えられるようになっていられると良いですね。では、次のページに進んでみましょう。

#### 問題:

あなたの自由研究では、これまでにどんなパターンを見つけましたか？

別の言葉で言うと

規則性・模様・絵柄・分類

何がパターンになるか

見た目・結果の数値・色・場所・形・回数など

これまでに見つけられたパターンがあれば、それについてできるだけ詳しく書きましょう。

#### 問題:

あなたの自由研究について、今度は原因と結果を考えてみましょう。

「現象には必ず理由がある」

では、どんな原因があったのでしょうか？

例えば、温度・量・動き・力・速さ・人間の活動・光・音・波・物質などでしょうか。

では結果は？

それぞれありそうですね。あなたの研究では、その原因と結果は明確な関係がありそうですか？それとも推論ですか？原因と結果をもっと探ってみましょう。

ここでは、自分の自由研究に見られた原因と結果を簡単にまとめ、その原因と結果は確かに因果関係だと言えそうですか？それとも、何か別の要素が関わっている可能性がありますか？もしかしたら、それが今年の自由研究の題材になるかもしれません。その可能性を記述しましょう。

#### 問題:

このキーワードは科学用語としては中々馴染みがないかも知れませんね。でも、最近パソコンとかインターネットの用語としては聴くことが多いかも知れません。

システムとは、「複数の部分が集まって、何かの機能を果たしているまとまりのこと」です。これだとまだ具体的じゃないので、皆さんの自由研究から例を考えてみると例えば...

動物(カエル、ミミズ、ゴキブリ、チョウ等)や機械(電池、飛行機、車、電車等)などがあります。その他、社会(クラス・学校・班・市町・国)もシステムとして捉えることができます。こう考えると、システムは分野に限らず当てはまるのが良く分かります。

実は、この小レッスンに挙げたいいくつかのキーワードは、全て分野に関わらず当てはまるものですから、講師の先生の研究も、あなたの研究にも見つかるはずですよ。

ここでは、あなたの研究に見られるシステムについて書きましょう。

どんな部分がありますか？その部分はどんな関わりを持っていますか？

全体のシステムをつくっている部分の中には、更に小さな部分がありますか？

それはどんな部分ですか？

部分やシステムから出たり、入ったりするものにはどんなものがありますか？

また、システムは時間がたつとどうなりますか？

#### 問題:

この項目は、一つ前のシステムと一緒に考えましょう。

あなたの研究では、エネルギーの動きを感じることはありますか？

エネルギーとは例えば

動きのエネルギー

熱のエネルギー

光のエネルギー

電気のエネルギー

化学変化のエネルギー

など、色々ありますね。皆さんの自由研究では例えば

化学変化のエネルギーが、電気のエネルギーになったり

運動のエネルギーが、熱のエネルギーになったり

熱のエネルギーが、運動のエネルギーになったりしますよね。

ところで、こういう風にエネルギーが別の形に変わることって、必ずシステムのある部分から、別の部分に移動するときに起きると思いませんか？

なので、システムから出たり入ったりするものの一つは、エネルギーだということになるのですが、あなたの研究でそれは見つけられるのでしょうか？もし見つけられないとしたら、「実は」出たり入ったりしているものがあるかもしれません。ちょっと視野を広げてみてください。

「ないことに」しているものがあるのかもしれませんがね。

さて、ここではあなたの自由研究に見られるエネルギーについてまとめてください。もし、システムと一緒に考えられたら◎です。それは何エネルギーから何エネルギーに変わりますか？そして、それはいつ変わりますか？システムの他の部分には影響はないのでしょうか？

#### 問題:

あなたの研究は、どんな規模でどんな割合のことをどんな量で証拠として示していますか？これは、科学のデータを示すという重要な点に関わってくるキーワードです。数値化という別の言葉もありますね。

サイズや、時間、エネルギーなどは、その規模や割合や量がいつも変化していますよね。あなたの研究ではその一部分を切り取って、観察や測定していませんか？

例えば、観察をしたのが7/6だったとして、明日や明後日や1年後・2年後でも同じ結果になるのでしょうか？

システムは長い時間かけて、その機能や構造を変えていますよね。

例えば、岩石が山から崩れ落ちて、川を下るまでの間に形を変えるように、あなたの取り組んでいる研究でも、規模・割合・量はいつも変化しているのではないのでしょうか？

もしかして、自分の測定していないような数値が、違う規模で変化しているかもしれません。例えば、1時間単位だったら変わらないようなことも、1か月単位では大きな違いがあるかもしれません。

まずは、あなたの研究は、どんな規模、割合、量に着目しているのかをまとめてみましょう。順番は量から見ていった方が分かりやすいかも知れません。

あなたの観察・測定した量は、どんな割合で、どんな規模で変わっているのでしょうか。まとめてみましょう。

#### 問題:

物体や生物は特定の形を持っていますね。

塩の結晶やミョウバンの結晶が特有の形を持っているのと同じように、人間やミミズ、カエル、セミなども似た形を持っていますね。

これまたシステムの話とつながるのですが、ある形＝構造を持っているものは、それをつくっている部分の構造がその性質や機能を決めていますよね。

例えば、結晶は更に小さい結晶に分けることができます。

生き物の形は、それをつくっている遺伝子はその性質や機能を決めています。

あなたの研究対象の形や機能を決めている、もっと小さな部分は何でしょうか？

ここでは、考えられる形(構造)を一つ上げて、それが含んでいるもっと小さな形(構造)や機能を挙げてみましょう。これまでに、その関係を気にしたことはありましたか？もしあったら、どんな関係がありそうですか？書いてみましょう。

#### 問題:

最後は、安定性と変化です。

ところで皆さんは、天気は毎日変わるのにどうして地球は毎日大体一緒でいられるのかと不思議に思ったことはありませんか？皆さんの体温も、時々刻々と変わっているのに、どうしてとんでもなく高くなったり、低くなったりしないのかと考えたことはありませんか？

安定性と変化はこういう問題です。

あなたの研究のなかで、変わっているのに変わらない不思議な性質を持ったものはあるでしょうか？書いてみましょう。もし、自分の研究で見つからない場合は、システムというページを先にやって、システムとしてしてみると、そのような性質が見つかるかも知れません。もし、変わっていく一方だとしたら、それが変わらないようにするためには、どんな部分を付け加えたり、入れたり出したりすると良いでしょうか？そこまで考えられると◎ですね。

ステージ3のための小レッスンどうだったでしょうか。

ちょっと難しかったかな？それとも、一つ一つよく理解できたでしょうか？

ステージ3の課題は、自分自身の自由研究に生かすことだけでなく、色々な分野の研究や学習に生かすことです。3人の先生方のお話を聴く中で、使えるところを見つけて行けると良いですね。では、17日にお会いできるのを楽しみにしています。

## (2) Stage3 における本物の科学者・工学者による指導内容

### The Instructions by the Real Scientists & Engineers

気象庁気象研究所 環境・応用気象研究部 第三研究室

村田昭彦 先生 (Akihiko MURATA)

#### 講義内容

地球温暖化及び台風について講義を行った。当日の午前中に行った講義は地球温暖化の予測に関するものであった。まず予測をする際の道具である数値モデルについて説明し、続いて数値モデル内でどのようなコンピューター計算が行われているのかを具体的な例を交えながら述べた。ここで、数値モデル内で気温が上がったり下がったりすることを体感してもらうために、エクセルを用いた計算実習を行った。その後、数値モデル計算の信頼性を高めるための二つの方策、高解像度化とアンサンブルシミュレーションについて説明した。ここでは気象学と統計学が融合している様子を示した。

午後は台風についての話題を講義した。「台風を見る」をキーワードとして、ダジックアースという WEB サイトの気象衛星画像を観察したり、ペットボトルに水を入れたものを台風に見立てて実験をしたりした。また、漏斗とビー玉を使用した簡易な装置を使うことで、台風にとって重要な法則である角運動量保存則を体験してもらった。最後に再びエクセルを用いて、コンピューター上に再現された台風の自動検出方法を考えてもらうという内容の実習を行った。

#### 感想

今回の講義は非常に有意義で、貴重な体験であったと思っております。普段は気象学・気候学に関する研究を主な仕事としておりますので、中学生に対する講演というのはめったにない機会でした。一般人に対して講演の経験があり、自分の研究を簡単に説明することに対して慣れていながらもなっていました。相手が中学生ということで講義内容がうまく伝わったかどうか少し気にかかるところです。実際、少し専門的になってしまった部分があったかもしれません。実習については、どうしたら地球温暖化及び台風の本質を理解してもらえるか事前にいろいろと考えました。この考えるという作業が、改めて自分の研究の立ち位置を確認する上で役に立っているのではないかと思います。当日に行った実習のうち、特に漏斗とビー玉を使った実習に対して中学生が目の色を変えて取り組んでいる様子を拝見しました。このことは実習を考案した側としては無上の喜びでありました。本当に貴重な経験となり感謝しております。どうもありがとうございました。

#### 本プロジェクト代表熊野との事前打ち合わせ

村田昭彦先生に中学生の頃にどのようなことを考えていたか、手を動かす活動、STEM 関係の研究の重要性についてお話に導入していただくことをお願いした。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

先進パワーエレクトロニクス研究センター パワー回路集積チーム 研究チーム長

佐藤 弘 先生

題目 パワーエレクトロニクスについて

#### 講演内容

- ① 自己紹介 小学校時代から就職まで、それぞれの年代で、どのような自然科学に興味を持っていたか、どうして現在の職場を選択したか等、紹介した。
- ② パワーエレクトロニクスの紹介 どこで、何をするために使われているかを、なるべく身近な例を挙げながら紹介した。
- ③ 活動（実習） 部品点数が少なく回路パラメーターも理解しやすい、非安定マルチバイブレーターを題材とした。実際には、市販のブレッドボードを用いた LED 点滅制御キットを用いた。参加者全員に配布し、自ら組み立ててもらった。ブレッドボードを用いたため、はんだごてが不要で、容易に、短時間で、全員、完成させることができた。更に、部品を変更することにより、点滅パターンの変化を体験してもらった。最後に、教壇で、より自由に細かな制御のため、マイコンを活用した複数 LED の連動制御や、PWM 制御による LED の明るさ制御などを、マイコンのプログラミングを含め、実演した。
- ④ まとめ 上記活動を通して、パワーエレクトロニクスの考え方に触れると共に、電子工作を体験してもらった。

#### 感想

2016年7月の講演は、準備を含め、私にとっても楽しい時間であった。日本人は手先が器用で、「ものづくり」は日本人の得意分野と感じている。今回、中学生に対しパワーエレクトロニクスの観点から「電子工作」を体験してもらったが、ものづくりの達成感を味わってもらうことも、偽らざるもう一つの目的であった。

実は、私にも同じような体験があった。小学校6年生の夏休みに、父が、突然「初歩のラジオ」という雑誌を購入してきて、私にくれたのである。そこには、アナログアンプを組み立てる記事が出ていた。父と秋葉原でパーツを買い揃え、帰宅後、はんだごてと格闘し組み上げ、最後に音が出た時の達成感は今でも忘れない。また、この時の体験が、現在の職業選択に少なからず影響していると思う。

活動（実習）中の、子供たちの真剣な視線から、「ものづくり」の楽しさに触れてもらえたと確信している。また、今後、彼らが成長していくなかで、たくさんの達成感を味わってもらえればと考えている。

#### 本プロジェクト代表熊野との事前打ち合わせ

佐藤弘先生に中学生の頃にどのようなことを考えていたか、手を動かす活動、STEM 関係の研究の重要性についてお話に導入していただくことをお願いした。

なお、Stage 3 特別講師としてもう一人、平成 28 年 9 月 19 日に産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門 火山活動研究グループの及川輝樹先生をお願いした。及川先生には火山のモデル実験と火山研究の最先端の研究についてご講義をいただいた。

# 資 料



## 二酸化炭素を人工的に酸素に変えるには

岩本しおり・鈴木葉南(静岡大学附属島田中学校)

梅原一花(三島市立北中学校)

山田乃亜(静岡大学附属静岡中学校)

齊藤智樹(静岡大学創造科学技術大学院)

### ◇研究の目的・意義

私たちは以下の研究を「二酸化炭素を人工的に酸素に変える」ということを目的として進めてきた。私たちが上記の問題に取り組んできた理由は、今地球上で深刻な環境問題がおきており、それを引き起こしている大きな原因が二酸化炭素だからである。

私たちの最も身近にある例として地球温暖化があげられる。地球温暖化は大気中に二酸化炭素が増えすぎてしまい太陽からの光また熱を逃がせなくなってしまい地球上の温度が上がってしまう現象である。私たちはこのような地球環境問題を解決するためにユーグレナ（以下ミドリムシ）を利用することを考えた。研究テーマの設定は次世代科学者育成プログラムの実施日に行い、それぞれの実験項目は発表者が各自の家庭で行った。

### ◇研究の方法・プロセス

まず、一つ目は、水 10ml・ミドリムシ入り水 0.2ml・液体肥料 0.2ml を試験管に入れ、ラップをかぶせて、輪ゴムで止めたもの。このうち、水の部分を炭酸水や砂糖水などと変えて結果を比較した。この実験は、静岡大学での活動で準備したのち、ほとんど手を加えずに、各実施日に観察をした。以下は家庭での実験の結果である。

二つ目として、あらゆる種類の液でミドリムシは生育できるのかという研究をした。①身近にある砂糖水、炭酸水、ポッカレモン、お酢、溶かしたドライイースト、レアスイート（希少糖を含んだシロップ）、観葉植物用液肥、小麦粉を溶かした水の中にそれぞれミドリムシを入れ顕微鏡で観察。②顕微鏡で溶液中のミドリムシの反応を観察し、培養が可能そうであれば、その溶液の中でしばらく培養し、増加するかを観察。③有効と思われる溶液があればその溶液を中心に、濃度、PH、温度、光の当て方、さらに添加物を加えるなどの条件を変えて培養。などの方法を用いて研究を行った。

三つめは、水 500ml、3分の1 ぐらい上澄みを捨てて交換、溶液は水道水、蓋は完全に閉めずに軽く容器に置く、直射日光は当てない、月に一回液体肥料を 1ml 追加して培養した。また、一部は冷蔵庫(10℃の環境)に置いてみた。

最後に四つ目は、井戸水や近所の池の水を利用し、ハイポネックスを入れるとともに、pH を 3～4 まで下げて培養した。

### ◇結果と考察

#### その1

番号	培養に利用した水	栄養	結果
1・4	水道水+ミドリムシA	○	ミドリムシはいないが、動いているものがある。
2・5	炭酸水+ミドリムシA	○	緑色の「も」らしきものがいた。
3・6	蒸留水+ミドリムシA	○	ミドリムシはいないが、動いている生き物がある。
13・16	水道水+ミドリムシB	○	ミドリムシが 13 匹確認できた。
14・17	炭酸水+ミドリムシB	○	緑色の「も」らしきものがいた。
15・18	蒸留水+ミドリムシB	○	緑色の「も」らしきものが見られた。ミドリムシを 5 匹確認。
7・10	水道水+ミドリムシA		緑の「も」らしきものはあった。
8・11	炭酸水+ミドリムシA		ゼラチン状のものやミジンコの死がい、緑色の「も」のようなものがいた。

9・12	蒸留水+ミドリムシA		大きめの微生物がいた、緑色っぽくはない。
19・22	水道水+ミドリムシB		緑色の「も」みたいなものが見られた。ミドリムシは1匹だけ確認。
20・23	炭酸水+ミドリムシB		ミドリムシは1匹だけはいた。
21・24	蒸留水+ミドリムシB		ミドリムシが7匹ほど見られた。

## その2

番号	培養液	結果
1	砂糖水	ミドリムシ同士が同じ場所にかたまって、ほとんど動かなかった。
2	炭酸水	変わらず元気に泳ぎ回っていた。
3	ポッカレモン	ポッカレモンを加えると、ミドリムシの動きが止まった。
4	お酢	変わらず元気に動き回っていた。
5	ドライイースト	同じ場所でもぞもぞ動いていた。最初ドライイーストを食べているのかもしれないと思ったが、はっきりとは分からなかった。
6	レアスイート	動きが止まってしまった。
7	液肥	変わらず元気に泳ぎ回っていた。
8	小麦粉	変わらず元気に泳ぎ回っていた。

8種類の溶液中のミドリムシを観察してみたが、どの溶液中でもミドリムシがすぐに死んでしまうようなことはなかった。ただ、砂糖水とレアスイート、レモン水のミドリムシはほとんど動かなくなった。これは溶液がミドリムシの息に適していないためなのか、それともえさが豊富にあるため動く必要がなくなったためなのか、判断することができなかった。そのため、この8種類の溶液でそのまま培養を試みることにした。

上記8種類の溶液の中にミドリムシを入れて、明るい窓辺において観察を行った。5日後レモン水以外の溶液には変化が見られなかった。レモン水の溶液は容器の底にミドリムシとみられる緑色の澱が見られた。しかし、それと同時に容器全体に白いミズカビのようなものが発生していた。そのまま1か月観察を続けたが、白いカビが溶液の中でさらに増殖し、ミドリムシが消えてしまった。

## その3

冷蔵庫(10℃)にいれたミドリムシは3日後ぐらいで死んでしまった。育てていくうちに藻が発生してしまった。蓋は完全に閉めていたわけではないとはいえ簡単に藻が入ってこれる状態ではなかった。育てていくと、ミドリムシのサイズが3分の1ぐらいになった。死んでしまっからうえに油のようなものが出ていた。台風の過ぎたあとミドリムシはなぜかほとんど死んでしまった。

## その4

井戸の水、池の水、どちらの場合も、緑色の藻のようなものが大量に発生してしまった。

## ◇今後の展望

人間が容器に二酸化炭素を入れるということをしていたので、二酸化炭素を出して酸素を増やしての繰り返しで完全に二酸化炭素を酸素に変えて行くのは難しいと思った。二酸化炭素は機械を動かしたり、電気をつけたりなど日常生活で多く排出されるものなので多くの人が協力しないと効果は得られない。そして、たくさんの人が協力するためには、たくさんのミドリムシが必要なのだが、現状では、圧倒的に数が足りないと思った。これからやっていきたいこととして、ミドリムシの培養の成功と、どうして死んでしまったのか解明、ミドリムシが一般家庭に行き渡る工夫について考えたい。

## ◇主要参考文献

石川憲二(2013)「ミドリムシ大活躍！小さな生物が創る大きなビジネス」 日刊工業新聞社  
出雲充(2012)「僕はミドリムシで世界を救うことに決めました」 ダイヤモンド社

## ウズラの「刷り込み」体験マニュアル ～ニワトリとの比較～

発表者：渡邊舞咲（静岡県浜松市立蛸塚中学校 2年）

担当教員：細田昭博（浜松学院大学短期大学部）

### 研究の目的・意義

小学校1年生の時、河原でカルガモの卵を見つけたことをきっかけに鳥の孵化に興味をもった。野鳥の卵を孵すわけにはいかないので、ニワトリの有精卵を使い孵化実験を行った。孵ったヒヨコが後をついて回ったことで「刷り込み」の存在を知り、卵を上手に孵化させる方法を工夫して、孵ったヒヨコで「刷り込み」ができる条件を実際に確かめた。今年ウズラを孵化させ、ニワトリとウズラの「刷り込み」を比較して、種による「刷り込み」を比べた。

### 研究の方法・プロセス

(1) 孵化環境、装置を工夫してウズラを孵化させる。

卵34個 温度約38℃、湿度約65%、4時間毎に転卵

(2) 孵化したウズラに「刷り込み」があるかを確認する。

孵化したウズラが目を開いたら動くものを見せ、追従行動＝「刷り込み」があるかを確認する。

(3) ウズラの「刷り込み」が確認できたらニワトリの場合と比べる。

① 自分より小さいものにも「刷り込み」をするか。

② 視覚による「刷り込み」はどのくらい正確か。

A 似ているもの(同種)の中から刷り込んだものを見分けられるか。

B 同種色違いの中から刷り込んだものを見分けられるか。

③ 「刷り込み」成立と聴覚の関係を調べる。

A 声、音の種類は関係あるのか。

B ある親を刷り込んだウズラは、その親が姿は同じで別の声をもつ親になった場合にはどのような行動をとるか？

④ 「再刷り込み」ができるか。また、その条件を調べる。



図1 日本ウズラ



図2 ウズラの卵



図3 実験に使用したぬいぐるみ

### 結果と考察

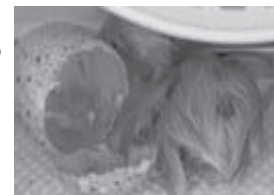
(1) 卵 34 個 (うち無精卵 5 個、殻にヒビ 9 個) 中 10 羽孵化 → 孵化率 50%

(2) ウズラの「刷り込み」が確認できた。

(3) ニワトリでの実験と同じ項目について実験して確かめ、比較した。

① ニワトリと同様に自分より小さいものにも「刷り込み」をした。

② 生まれて初めて見た動くものを即座に完璧に記憶し、一瞬で「刷り込み」が完成するわけではなかった。初期の段階では、似ている同種の中から刷り込んだものを正確に見分けることはできなかった。視覚による「刷り込み」は、はじめは大まかな種の認識、その後細かい違いを判別して認識し、しっかりしたものになっていく。これはウズラもニワトリも同じといえる。ウズラは生後約 6 時間以内には大まかな種の認識ができ、追従行動が確認できた。そして生後約 36 時間以内に視覚的な「刷り込み」が完成するようだ。ニワトリも生後約 6 時間で大まかな種の認識ができ、追従行動が確認できた。しかし、視覚だけでは個の特定や色の認識に時間がかかった。同種の声(聴覚)があれば生後約 36 時間で刷り込んだものを間違えず選ぶことができた。ニワトリは生まれる前から卵の中で鳴いていた。生後もすぐに大きな声で絶えず鳴き、同種の声にも激しく反応した。ニワトリの「刷り込み」には、ウズラの場合よりも同種の鳴き声が重要な要素になっているといえる。生後目を開く、歩く、毛がふ



っくらする時間はニワトリよりウズラの方が早い傾向にあった。また今回の各 10 羽の実験からは、ウズラの方が「刷り込み」の完成が早いといえる。

③ウズラもニワトリも同種の声(聴覚)は視覚と同じぐらい「刷り込み」をしっかりとしたものにするための大きな要素になっているといえる。ウズラもニワトリも味方である親と仲間の声は本能的に知っているが、外敵の声は「刷り込み」によって親や仲間と一緒に生活する中で学ぶと思われる。ニワトリは生まれる前から卵の中で鳴いていて、その声が聞こえると仲間も卵の中で応えるかのように鳴いた。ウズラは生まれる前に鳴くことはなく、同時に孵る仲間の声を卵の中で聞くことはなかったが、ニワトリは生まれる前から同種の声聞くことで仲間の声に「刷り込み」がされやすいようになるのではないかと思う。また、ウズラは生後もあまり鳴かないのに対し、ニワトリは絶えず鳴き声をあげていたことから同種の声への反応はニワトリの方が敏感なのかもしれない。

表 1 ウズラ 10 羽とニワトリ 10 羽が生まれてから行動ができるまでの平均時間

行動 / トリの種類	ウズラ	ニワトリ
しっかり目を開く	生後約 30 分	生後約 3 時間
鳴き声をあげる	生後約 1 時間半	孵化約 5 時間前から
しっかり歩く	生後約 1 時間	生後約 4 時間
毛がふっくらする	生後約 4 時間	生後約 6 時間
追隨行動	生後約 6 時間	生後約 6 時間
大まかな種の認識	生後約 6 時間	生後約 6 時間
個の特定が進む	生後約 12~30 時間	生後約 24~36 時間
色の認識が進む	生後約 24~36 時間	生後約 42 時間以降?
「刷り込み」完成	生後約 36 時間	同種の声がある時 生後約 36 時間 視覚のみの時 生後約 42 時間

④ウズラもニワトリ同様に一度完成した「刷り込み」が変更できることがわかった。「再刷り込み」の条件は最初に刷り込んだ親よりも積極的なコミュニケーションを求めてくる温かい相手、自分の声に応えるように反応する相手、エサを提供してくれる相手といえる。「刷り込み」はエサと寝る場所の確保、外敵から身を守る、社会に適応するために獲得したものだと考える。それらを満たす最適な相手と判断した時「再刷り込み」が可能となるのだろう。

「再刷り込み」をしてもよい状況にもかかわらず、「再刷り込み」が起きなかった場合もあった。「刷り込み」には強さがあるようだ。ウズラの「刷り込み」は生後約 36 時間でしっかりしたものになることが確かめられた。「再刷り込み」の実験は、その 6 時間後の約 42 時間に行った。42 時間では「再刷り込み」が起きたが、「刷り込み」の強さが強くなるに従って、変更はできなくなるのではないか。「再刷り込み」が可能な期間があるのではないかと思う。

#### ◇今後の展望

同じ意味をもつ「刷り込み」でも種によって違いがあるのはなぜか、「刷り込み」はいつ頃まで保たれるのか「刷り込み」をした鳥と「刷り込み」をしなかった鳥では、その後の生活に何か違いがあるか、など今後確かめていきたい。

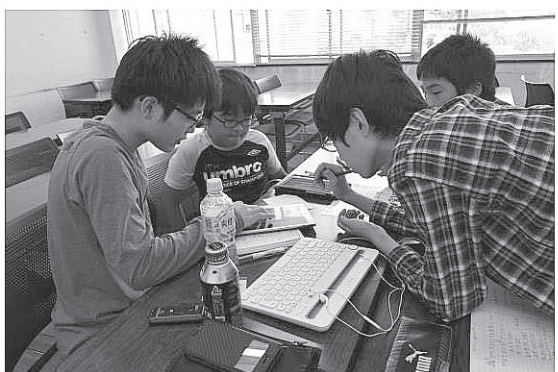
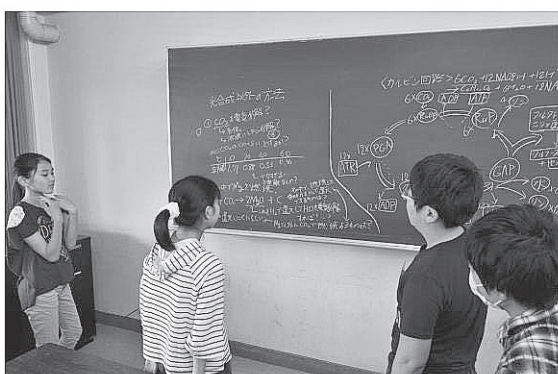
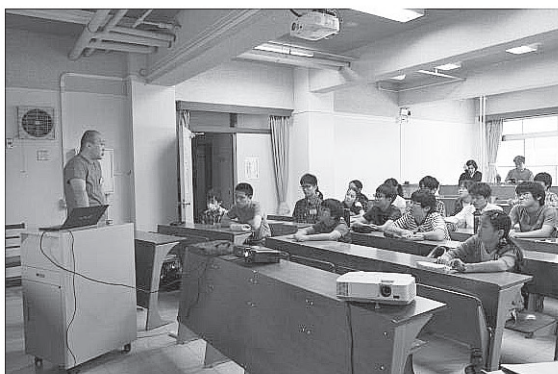
#### ◇主要参考文献

(1) 日本鳥学会 (2000) 日本産鳥類目録改定第 6 版 日本鳥学会 (2) ソロモンの指輪 動物行動学入門 K・ローレンツ 早川書房 1987 (3) ハイイログガンの動物行動学 K・ローレンツ大川けい子訳 平凡社 1996 (4) がんの子マルティナ K・ローレンツ 芸林書房 1988 (5) ウズラ 手軽にできる採卵飼育 農文協 1996

### 受講生の研究内容と受賞・発表状況

No	性別	学年	受賞・発表	研究発表内容
1	男	中2	日本科学未来館の「つながりプロジェクト」に参加し発表	“No bees No life”
2	女	中1	平成 28 年度全国受講生研究発表会に参加発表	二酸化炭素を人工的に酸素に変えるには
3	女	中2	平成 28 年度全国受講生研究発表会に参加発表 山崎賞受賞	二酸化炭素を人工的に酸素に変えるには誰がズイナを土に返すのか
4	男	中2	Stage2 受講生発表会に参加発表	レモン電池の研究
5	女	中2	平成 28 年度全国受講生研究発表会に参加発表；最優秀賞	ウズラの「刷り込み」体験マニュアルーニワトリとの比較ー
6	男	中1	静岡倶楽部努力賞	温泉で本当に、石けんは、使えないのかパート2
7	男	中1	山崎賞受賞	チョウの研究パート6ーサナギの成長ー
8	男	小5	山崎賞受賞	解雇のふしぎ③ー糸とマユのひみつー
9	男	中2	山崎賞受賞	ナンバー1 の紙飛行機IVー揚力についてー
10	男	中3	静岡倶楽部 静岡ロータリークラブ賞	回転する流体の性質について
11	男	中2	静岡科学館る・く・るで発表	空気砲で科学するー身近な空気の流れ方ー
12	男	中3	静岡倶楽部 理事長賞	静岡大学構内におけるモリアオガエルの産卵地調査と飼育実験 2016
13	男	中3	山崎賞受賞	速く、大きく、きれいに結晶をつくるには
14	女	中1	山崎賞受賞	でんぷんーでんぷんと酵素の秘密に迫ろうー
15	女	中1	平成 28 年度全国受講生研究発表会に参加発表	二酸化炭素を人工的に酸素に変えるには
16	男	小6	山崎賞受賞	未来の乗り物リニアを作りたい (パートiv)
17	男	中3	山崎賞受賞	海水で発電はできるかー未来の浸透圧発電ー
18	男	小6	山崎賞受賞	メダカの観察 2016
19	女	中1	静岡科学館る・く・るで発表 科学の芽賞	弦の研究ー正確な測定と解析ー
20	男	中1	平成 28 年度全国受講生研究発表会に参加発表 Stage2 受講生発表会に参加発表	二酸化炭素を人工的に酸素に変えるにはミドリムシの簡易培養法
21	男	小6	山崎賞受賞	朝顔を人工的に「一日顔」にする方法

## Stage2の様子



Stage3の様子





## おわりに

次世代科学者育成プログラムとしての「静岡 STEM ジュニアプロジェクト」は、今年度の活動をもって一旦終了となる。2013年度からのその活動の中で、次世代科学者育成プログラムとして実施した期間は、2014年度・2016年度の2年間であったが、JSTからのご支援の下、プロジェクトを展開できたことは、静岡 STEM ジュニアプロジェクトを大きく発展させることにつながった。

2014年度には、静岡 STEM ジュニアプロジェクトを特徴づける STEM 活動を、その教室・キャンプ等を通じて開発することにつながった。また、その中で試行された創造的課題解決プログラムは、2016年度以降の創造性育成の活動につながっている。

今年度、2016年度における活動では、21<sup>st</sup> Century Skills の一つでもある、創造性の育成にそのプログラムは集中してきた。なかでも、今年度は創造性のプロセスと評価について着目し、受講者や受講者同士の関わりの中で行われる探究活動を重要視してきた。その結果、一年間を通じた受講者の探究は、各自異なるものとなり、また、受講者の自由研究についても、各分野の専門家による評価は、異なるものとなった。グループ研究を進めるうえでの、その効果については、これから吟味していく必要があるだろう。

今年度は、全国受講生発表会においても、目覚ましい結果を得た。特に、本プロジェクトの浜松チームでご指導いただいている、受講者は「全国最優秀賞」を得、またポスター発表においても、「ポスター発表大賞」を受賞した。これらは、本人の努力と併せて、日ごろからご指導いただいている先生方のご尽力の結果であり、感激する次第である。

次年度以降、静岡 STEM ジュニアプロジェクトは形を変え、次世代を担うイノベティブな人材育成に向けて、具体的な指導内容と受講者の多様な探究とを生かしながら新たな発展を目指す予定である。末筆ながら、これまでご協力いただいた、静岡科学館る・く・る、藤枝市生涯学習課、浜松市理科教育研究会の皆さま、そして科学技術振興機構の皆さまに、厚くお礼申し上げます。また、静岡大学教育学部の学生諸君の協力も、本プロジェクトを成立させるには欠かせない要素である。今後、更なる協力体制のもと、次世代の科学者・工学者の育成に尽力できることを願い、この報告書を閉じたい。

平成 29 年 3 月 22 日

次世代科学者育成プログラム 代表 熊野善介  
静岡大学創造科学技術大学院・教育学部教授

齊藤智樹  
静岡大学創造科学技術大学院 D3

