

ス テ ム  
STEM教育を  
目指す理科  
—その考えと実験事例—

～楽しい基礎レベルの電気・磁気実験の展開～

山岡武邦 監修・著 大隅紀和・梅本仁夫 著

## はじめに

本書には、理論と実践が融合することを常に意識しながら、自由な討論や創造的な思考ができる講義や、学校現場との連携、フィールドワーク等、楽しく学ぶことができる場の提供を行うことができるための多くのヒントが書かれています。想定している主たる読者は、教員志望の大学生や若い研究者ですが、本書に記載した数々のヒントは、STEM教育に関心のある一般読者にとっても大変有益な情報になると思われます。以下に、本書をめぐる経緯を紹介します。

私は、1999年、筑波大学大学院教育研究科教科教育専攻理科教育コース（修士課程）に入学し、長洲南海男先生のご指導のもとで、STS “Science, Technology, Society” 教育を学びました。その後、約18年間、中学校及び高等学校において理論と実践の融合を模索し続け、教科横断的内容を含む視点で指導に携わってきました。さらに、2013年当時、現職を継続しながら、理科授業中の問いかけに関する研究を深化、発展させる目的で、兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科（博士課程）に入学し、松本伸示先生のご指導のもとで、問いかけの研究成果を踏まえながら理科授業デザインについて検討を行い、博士号（学校教育学）を取得しました。2019年以降は、大学において、実践的教職能力を身に付けた人材育成等に携わっています。

なお、博士課程入学前の2010年頃、高等学校教育現場においても、米国から提唱されたSTEM “Science, Technology, Engineering, and Mathematics” 教育の思潮が話題になりはじめてきました。はじめてSTEM教育のことを聞いたとき、STS教育とSTEM教育は、教科横断的な視点など共通する部分は多いため、これらは、繋がりのある教育改革だと思っていました。ただ、STEM教育を学ぶにつれて、両社は、完全に連続する教育改革ではないことに気が付いてきました。STEM教育は、教科、校種、学年の枠組みを超え、生涯学習の要素を含んだものです。また、STEM教育の実践手法は、米国のSTEM教育の理論的支柱である“K-12科学教育のためのフレームワーク（以

下、「K-12 フレームワーク」という)”に示されています (National Research Council of the National Academies, 2012)。この K-12 フレームワークによれば、学習とは、領域コア概念、領域横断概念、プラクティスの3つの次元を持つものと説明されています。具体的には、理科・技術科における断片的領域コア概念を結合させる道具としての数学を用いながら反復練習を行うことで、領域横断概念として結合させた知識を獲得する過程のことで、領域横断概念を結合させる道具としての数学は、新たな疑問を生じさせる契機になるものと考えられます。つまり、STEM 教育とは、自然現象を記述する理科、ものづくりやデザインを行う技術科、さらに、道具としての数学を扱う教育なのです。

STEM 教育を軸とした教育研究は、分析対象の拡充や、観点の精緻等、詳細に検討を重ねることで、幅広く展開することが可能であり、教育的、社会的に意義深い理科教育研究になると同時に、グローバルに展開可能な内容領域です。そうした中、2019 年末に新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) が、パンデミックと言われる世界的流行となりました。おそらく世界中の人々が、余儀なく生活の変化を強いられたことと察しています。大学教員であった私の場合は、授業がオンラインで実施したり、出張は激減したりする、などの変化がありました。その時に考えたことの一つに、パンデミック後の自分、というのがあります。疑う余地もなく、STEM 教育は、グローバルな展開がキーポイントになります。国際学会等で、日本国内だけの実践を諸外国に紹介したところで、諸外国の研究者達に与えるインパクトは少ないのではないかと考えるようになりました。そのため、パンデミック後に、英語をペラペラに話しながら、世界基準の視点で STEM 教育に関する提案を行っている自分の姿を想像することにしました。そこで、発想を転換し、出張が減少したことを前向きに捉え、時間が増えた事実を最大限活用し、オンライン英会話を、毎日夜 9 時から 11 時までの 2 時間は必ず実施する、という習慣を身に付けるよう心掛けたのです。語学習得のポイントは、楽しんで、そして、継続して行う、ということに尽きます。この習慣は、私にとって、とても楽しいものであり、現在は、英語習得が目的というよりも、ほとんど趣味というような感覚で継続して

います。この楽しみながら学習を継続するという感触は、STEM 教育に対する取り組みも全く同じものだと考えています。楽しみながら継続する、という学習に対する姿勢は、間違いなくキーポイントになると思います。

以上のように、パンデミック以降は、英語学習と STEM 教育を同時に、楽しみながら継続して学びつつ、教育実践を行うことを目標にして生活していました。そうした意識を持っていた中、2022 年 6 月に OES 研究所の巻線機に出会ったのです。これは、私にとって大変刺激的な出来事でした。同年 7 月、実際に大阪の OES 研究所を訪問し、STEM 教育について勉強をする機会を得ました。そこで学んだコンテンツは、既に海外（タイ国）で実践されていただけでなく、コロナ禍においても、オンラインを活用しながら継続的に海外の専門家と情報交換がなされているという事実を知った際は、非常に衝撃を受けました。ざっくりと言えば、これから私が 10 年以上もの歳月をかけて挑戦していきたい、と思っていた現実が、目の前にあったのです。そこで、急遽、OES 研究所で学んだ教材を用いて、2022 年 7 月勤務校の大学で授業実践を行うとともに、同年 8 月、フィリピンの学校を訪問し、フィリピンの大学教師に向け、この教材の紹介を行った、という経緯があります。

なお、STEM 教育には、本書に先行する双書とも言える「未来のイノベータを育てる STEM 教育」（大隅紀和著、PHP エディターズ・グループ 2023 年刊）があります。本書 PART 2 と PART 3 には、同書に掲載済みの写真や図などを部分的に引用しています。

この点については、(1) PART 2 と PART 3 が本書の分担執筆者であること、そして、(2) UNESCO-SEAMEO（東南アジア文部大臣機構）の STEM 教育センターが実施したタイ国教師向けワークショップの紹介につながること、また、(3) 筆者らが今後、日本の STEM 教育の適切な進展への思い入れによっていること、という背景があります。これらに鑑みて読者の方々のご理解をお願いしたいと思います。

# 目次

## PART 1

### これからの理科教育と STEM 教育のために

—STEM 教育に対応する理科教育の実践に向けた「電気的基础実験」—

はじめに 002

#### CHAPTER |

### 1 STEM 教育とは何か ..... 004

1-1 K-12 フレームワークにみられる実践手法 004

1-2 全米科学教師協会が提案する問いの活用手法 008

#### CHAPTER |

### 2 STEM 教育の実践に向けた「電気的基础実験」 —永久ゴマに焦点化した実践事例— ..... 009

2-1 自然の理解に通じる知的好奇心を促進させるために 009

2-2 研究方法 013

2-2-1 実施時期と調査対象 013

2-2-2 永久ゴマの製作方法 014

2-2-3 ひとつアンケートの作成 015

2-2-4 テキストマイニングによるひとつアンケートの分析方法 017

2-3 結果と考察 017

2-3-1 テキストマイニングによるアンケート分析 017

2-3-2 共起ネットワークの結果 021

2-4 まとめ 022

#### CHAPTER |

### 3 STEM 教育との整合性がある「電気的基础実験」 ..... 024

3-1 なぜ STEM 教育と「電気的基础実験」は整合性があるのか 024

3-2 新たな疑問をどのように活用していくのか 027

3-2-1 Think-Pair-Share ワークシート 028

3-2-2 パワフルプラクティスモデル 029

## | CHAPTER |

**4 重点的な題材選定と教育プラン** ..... 031

4-1 永久ゴマの原理について 031

4-2 OES 研究所との出会い 032

## | CHAPTER |

**5 電気への感謝度合いを検証するための  
柔軟な実践計画と実施** ..... 035

5-1 自作の手振り発電パイプを作ろう 035

5-2 巻線作業体験の有無がもたらす  
電気への感謝度合いを検証するための授業デザイン 0365-3 巻線作業体験の有無がもたらす  
電気への感謝度合いを検証するためのワークシート 037

5-4 巻線作業体験の授業実践の様子 040

5-5 巻線作業体験がもたらす電気への感謝度合い 044

## | CHAPTER |

**6 フィリピンでの STEM 教材の紹介** ..... 047

6-1 フィリピンの STEM 教育事情 047

6-2 フィリピンでの STEM 教育実践 048

## | CHAPTER |

**7 学習指導案の作成意義について** ..... 052

7-1 理科授業をデザインする際の観点 052

7-2 学習指導案を作成する際のチェック項目 054

7-3 学習指導案の実際 057

7-4 学習指導案（略案）の作成 061

## STEM 教育に対応する

—手作り機材で楽しむ実験 面倒な実験を楽しくする—

## 「手振り発電パイプ」と「巻線機ジョイ」

はじめに 068

## CHAPTER |

- 1** ダイナミックな「手振り発電器」を作りたい  
—鮮やかな電磁誘導の実験にも使いたい！— ..... 072
- 1-1 発端は、愛用してきたモデル 072
- 1-2 インターネット技術は、電磁誘導を土台にしている 073
- 1-3 STEM 教育は「未来のイノベータを育てる」こと 074
- 1-4 手づくり「手振り発電パイプ」が活躍する  
—身近にある各種の LED、その点灯実験に使える— 076

## CHAPTER |

- 2** 「手振り発電パイプ」で電磁誘導の原点に到達する  
—これぞ、電磁誘導の実験の決め手！— ..... 078
- 2-1 検流計（ガルバノメータ、Galvanometer） 078
- 2-2 準備、使う機材は、手振り発電パイプのほか数点 079
- 2-3 実験の方法 079
- 2-4 テスト問題で好まれる  
「レンツの法則」、アンペールの「右ネジの法則」 081
- 2-5 手振り発電パイプは、200 年前の法則に行き着く 082
- 2-6 レンツの法則の記憶のノウ・ハウ 083
- 2-7 パイプに入れる磁石の磁力線 083

## CHAPTER |

- 3** IC カードの原理—そのモデル実験へ  
—手づくり「巻線機ジョイ」を作る— ..... 086
- 3-1 市販されているボビンが使えるシャフトを作れ！ 086
- 3-2 これで自由にコイル巻きできる 088

- 3-3 小型のトランスを用意する 088  
 3-4 LEDのクリスマス・デコレーションも点灯する 089  
 3-5 LEDは交流でも点灯するか? 090  
 3-6 手軽に使う小型トランスの6V/8V/10V/12V電源 091

| CHAPTER |

## 4 ICカードのモデル実験から無接点給電への関連 ..... 092

| CHAPTER |

## 5 手振り発電パイプに到達するまで ..... 094

- 5-1 大きなモノをつくる—課題は強力磁石の入手 094  
 5-2 さらなる難関は、エナメル線のコイル巻き作業 095  
 5-3 「巻線機を探せ!」、つぎは「ボビンを探せ!」 096  
 5-4 ハンドルが重い、使い物にならない—既製品の鉄製の巻線機 097

| CHAPTER |

## 6 ハミングでコイル巻きする「巻線機ジョイ」 —その制作のノウ・ハウ— ..... 099

- 6-1 「巻線機ジョイ」の特色 099  
 6-2 巻線機のハンドル回しもハミングで 100  
 6-3 制作と実験へのステップ 102

| CHAPTER |

## 7 磁石の磁界の記録保存のしかた ..... 104

- 7-1 準備 104  
 7-2 上から鉄粉をていねいに散布する 106  
 7-3 厚紙に木工ボンドをひろげ、薄くのばす 107

| CHAPTER |

## 8 これさえあれば! 乾電池と豆電球の大型模型 ..... 109



- 8-1 乾電池模型の作り方 111
- 8-2 工夫の勧め 112
- 8-3 豆電球模型の作り方 112
- 8-4 さらに工夫の勧め 114
- 8-5 特に推奨したい演示実験 114

| CHAPTER |

## 9 スマホ充電を考えるコンデンサの充電と放電 ..... 116

- 9-1 コンデンサの静電容量の単位にファラデーの名がある 116
- 9-2 準備と実験 117

### PART 3

## 手作り機材の制作をサポートする

—基本パーツの見直しと準備 楽しくなる基礎レベルの電気実験—

## その機材準備のノウ・ハウ

はじめに 120

| CHAPTER |

## 1 手元に置きたい乾電池ユニット ..... 121

- 1-1 進んだ取り組み 122
- 1-2 工夫の勧め 122

| CHAPTER |

## 2 2個は持ちたいハンドダイナモ—商品名「ゼネコン」 ..... 123

| CHAPTER |

## 3 LED豆電球の普及で使うソケット4個ユニット ..... 126

- 3-1 工夫と参考にしてほしいこと 127
- 3-2 さらに進んだ取り組み 128

## | CHAPTER |

**4 LED の省エネを実感する—車の方向指示の小型電球** ..... 129

4-1 12V 球の実験ユニットの作り方 130

## | CHAPTER |

**5 LED 素子を直視する 12V の LED 電球** ..... 131

5-1 LED 素子を直接に目にする事 131

5-2 白熱電球の発光方式を考える 132

## | CHAPTER |

**6 確保してきたいエナメル線とコイル用ボビン** ..... 134

6-1 たっぷりの材料を用意したい 134

6-2 ボビンの入手 134

6-3 思いついたとき、それが「グッド・タイミング」  
—実験準備と予備実験のために 135

## | CHAPTER |

**7 2 種類のボビン用—巻線機ジョイのシャフト** ..... 136

## | CHAPTER |

**8 電動ドリルを使う—電動式「巻線機ジョイ」** ..... 138

**関連事項・参考図書** ..... 140

- 巻線機ジョイを使ったワークショップ 140  
D. ボダニス著、吉田三知世訳「電気革命」(新潮文庫、2016年) 141

**関連資料・情報** ..... 143

**OES 研究所・岸和田工房、頒布機材リスト**

- 1 手振り発電パイプ (完成品) 144
- 2 4 豆電球ユニット台 (3V、LED4 個付き) 144
- 3 巻線機 (OES-U 型) 145
- 4 巻線機 (OES-U 型) 用 2 タイプ軸受け板 145
- 5 巻線アタッチメント軸 [(OES-U 型) 用] 146
- 6 手振り発電パイプ (キットタイプ) 146
- 7 エナメル線ボビン (P-2G) 約 0.3 kg 巻 147
- 8 エナメル線ボビン (P-5G) 1 kg 巻 147
- 9 小ボビン (P-2G) 147
- 10 大ボビン (P-5G) 148
- 11 電磁誘導実験セット 148
- 12 クランプ (F 型) 149
- 13 クランプ (C 型) 149
- 14 手回し発電機 (巻線機含まないパーツ) 150
- 15 手回し発電機 (巻線機含む) 150
- 16 シンプルモーター (完成品、クリアケース入り) 150
- 17 シンプルモーター (キット品、クリアケース付き) 151
- 18 乾電池と豆電球の大型模型 (キット頒布) 151
- 19 12V LED—12V 白熱電球ユニット 152
- 20 変色点滅 LED ランタン 152
- 21 両端クリップ付きリード線 152

PART

1

**これからの理科教育と  
STEM 教育のために**  
—STEM 教育に対応する理科教育の  
実践に向けた「電気の基礎実験」—

---

## PART 1 はじめに

---

日本における自然科学教育の実施方法は、初等中等教育と高等教育とで大きく異なっている。具体的には、前者は学習指導要領に準拠する形で教科書を含むほぼすべての教材が開発されており、それに対する知識理解が学習の重要な柱の一つになっている。後者は教育機関の教育方針に従って教科に捉われない形で教材が開発されており、基礎・基本の重視が学習の重要な柱の一つになっている。こうした違いを克服していくための新基準の策定としては、日本経済団体連合会（2014）や、文部科学省（2015）による理工系人材育成戦略等で述べられている取り組みが参考になる<sup>(1),(2)</sup>。例えば、理工系人材育成戦略では、初等中等教育における創造性・探究心・主体性・チャレンジ精神の涵養等が謳われており、これは実質的に、欧米の STEM ”Science, Technology, Engineering, and Mathematics” 教育を参考に、日本独自の取り組みを加味したものであると考えられる。端的に言えば、STEM 教育とは、教科、校種、学年の枠組みを超えた探究活動、課題解決、創造性の育成、共同研究等に通じる教育のことである。具体的には、断片的な概念を紡ぎながら新しい概念を生成し、疑問が解決されるとともに、新たな疑問が生起されるものであり、自学を含めた継続的学習により高い総合的概念を獲得できる教育なのである。実際に、探究活動の中で、議論を深め、最終的には自学ができるような実践を行うことは大変意義深いと考えられる。

そこで、私は、2015 年頃から、STEM の実践手法を参考にしながら、永久ゴマ、LED を用いた IC 工作、3D プリンターを用いた結晶構造モデルの製作、等を事例として、初等中等教育現場で多くの実践を積み重ねながら試行錯誤を重ねてきた。そうした中で、2022 年 6 月に OES 研究所の巻線機に出会い、同年 7 月、実際に大阪の OES 研究所を訪問し、STEM 教育について勉強をする機会を得た。そこで学んだコンテンツは、既に海外（タイ国）で実践されている

ただだけでなく、コロナ禍においても、オンラインを活用しながら、継続的に海外の専門家と情報交換がなされているという事実を知り、大変よい刺激を受けることができた。その後、OES 研究所で学んだ教材を用いて、2022 年 7 月勤務校の大学で授業実践を行うとともに、同年 8 月、フィリピンの学校を訪問し、フィリピンの大学教師に向け、この教材の紹介を行ったという経緯がある。

PART1 では、2015 年以降に取り組んできた STEM 教育における理論研究の成果、及びそれを踏まえた STEM 教育の初等中等教育における実践や、さらに、OES 研究所の STEM 教材を用いて国内外の大学において実践してきた内容を紹介していきたい。

# 1 STEM 教育とは何か

## 1-1 K-12 フレームワークにみられる実践手法

欧米で実績がある STEM 教育における理論的支柱である K-12 フレームワーク（全米研究評議会、NRC；National Research Council of the National Academies, 2012）によれば、発問は科学的思考を促進させるものであると述べられている<sup>(3)</sup>。実際に、日本においても、例えば、白濱ら（2016）、奥村ら（2018）のように、STEM 教育を手掛かりに、認知的葛藤を生起させ、高次思考を促進させる等の教授方略を活用しながら、子どもの興味・関心を惹きつける STEM 領域の授業が数多く提案されている<sup>(4)、(5)</sup>。探究活動の中で議論を深めながら、子どもたち自身が新たな疑問を生じ、次の学習へと繋げる実践である深い学習は大変意義深いものであると同時に、日本の教育は、STEM 教育の学習過程の文脈に通じるものがある。実施に、平成 30 年告示の高等学校学習指導要領（文部科学省、2019）では、平成 21 年告示の高等学校学習指導要領（文部科学省、2009）において新設された科目「理科課題研究」の内容を踏まえて、共通教科「理数」が発展的に新設されたという経緯がある<sup>(6)、(7)</sup>。つまり、これまで以上に生徒の高次思考を促進する探究活動を通じた深い学びが求められている。この探究過程を通じた深い学びは、探究としてのプラクティスにおける STEM 教育の学習過程の文脈に通じるものがあるといっても過言ではない。そのため、プラクティスに関する理論的解明や実践的研究は大変意義深いと考えられる。

K-12 フレームワークによれば「発問は、科学と工学を推進するエンジンである。発問は、科学的思考習慣の促進のために不可欠なものである。」と述べられており、発問は、理論的解明や実践的研究の手がかりになるものであると思われる。STEM 教育の実践手法を参考に、全米科学教師協会（NSTA, 2015）による発問に焦点化した科学的探究（プラクティス）の意義についてまとめると

表 1-1 のようになる<sup>(8)</sup>。

表 1-1 STEM教育における科学的探究（プラクティス）の実践手法

プラクティス	K-12 フレームワーク	NSTA による発問に焦点化した科学的探究の意義
第一段階	発問する。 問題を定義する。	「なぜ。」「どれくらい時間がかかるの。」「どうやって分かるの。」など、子どもたちは日々、多くの疑問がある。そのため、科学の授業は好奇心を促進させる最適の場所となる。
第二段階	モデルを創り、使用する。	子どもたちが科学概念を理解したことを説明するために、モデル化し、使用していくことを促す。
第三段階	調査を計画、実行する。	子どもたちに答えを探させるのではなく、子どもたち自身がトピックを探究し、新たな疑問を生起させることを推奨する。
第四段階	データを分析、解釈する。	発問に発問を重ね、概念分析に必要なより深いレベルの思考をもたらす。
第五段階	数学、数学的思考をする。	実験で集めたデータを整理するために、表やグラフを作成する。
第六段階	説明を構築する。	問題を解決し、現象や観察結果を説明するため、科学リテラシーを高める必要がある。そのために、自身の学びの目的を知り、説明を構築していく必要がある。
第七段階	証拠に基づき議論する。	議論に議論を重ね、最初の発問を超え、概念を統合し、大きなアイデアを結びつけるための思考を推進する。
第八段階	情報を入手し、評価する。 情報を基に話し合う。	子どもたちからの発問は、さらなる探究を促し、学習のサイクルを促進させる。また、子どもたちの幅広い発想が、教科を超えた繋がりを生んでいく。

K-12 フレームワークによれば、学習とは、領域コア概念、領域横断概念、プラクティスの3つの次元を持つものである。具体的には、図 1-1 に示すように理科・技術科における断片的領域コア概念を結合させる道具としての数学を用いながら反復練習を行うことで、領域横断概念として結合させた知識を獲



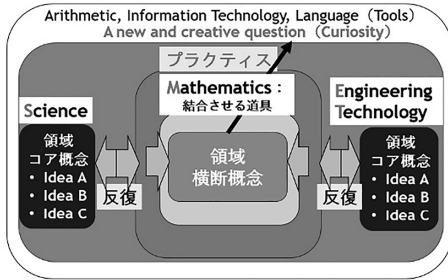


図 1-1 K-12 フレームワークの3つの次元

ることができるという、子どもは豆科学者であるという考え方で示されているとおり、基本的な探究としての学習過程は、学校種によって大きな違いはないと考えて差し支えない<sup>(9)</sup>。そこで、この図 1-1 を基にした図を学校種ごとに描き、従来の学びを示したものが図 1-2 であり、K-12 フレームワークの学びを示したものが図 1-3 である。

従来の学びは、図 1-2 に示すように、小学校、中学校、高等学校の各学校種で学ぶとともに、入試や考査などの刺激を行ってきた。ただ、この図はあくまでも模式的に示したものであり、教育現場には様々な工夫がみられた。例えば、1950年代から1970年代に先進諸国でなされた科学教育のカリキュラム改革運動や、1980年代から1990年代にかけて大いに進展した学習論としての構成主義を取り入れてきたSTS教育、1990年代のクロス・カリキュラムを志向したエ

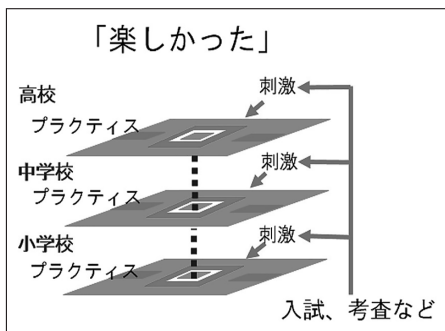


図 1-2 従来の学び

得する過程のことであると示されている。領域横断概念を結合させる道具としての数学は、新たな疑問を生じさせる契機になると考えられる。なお、Bruner (1961) が、どの教科でも、知的性格をそのままにたもって、発達のどの段階のどの子どもにも効果的に教える

エネルギーと環境に関する教育などが挙げられる。また、それぞれの学習場面で、学習者が楽しかった、という感想を持つような報告は枚挙に暇がない。ただ、梶田 (1983) は、上級校入試の圧力のために実際の教授・学習活動はバランスを失っていると指摘しているように、入試に代表される教育

評価が教師や生徒一人ひとりの思考を制約する重要な要因となっていたことが考えられる<sup>(10)</sup>。小川(2006)は、科学現象自体の楽しさと、現象の背後に潜む規則性・法則性といったものに対する楽しさというように質の異なる「楽しさ」が2種類あることを指摘している<sup>(11)</sup>。つまり、「楽しい」の先にある知的な好奇心が刺激され、新たに生成された疑問が次の学習にある「楽しさ」へと繋がっていく学習になっていたかどうかは別問題であると考えられる。

一方、K-12 フレームワークの学びは、図 1-3 のように、新たな疑問が生起され、自学を含めた継続的学習により、高い総合的概念を獲得できる教育を提案するとともに、科学的思考を促進させる教師の発問の重要性について述べている。探究活動の中で議論を深めながら、子どもたち自身が新たな疑問を生じ、次の学習へと繋げる実践は大変意義深いものであると考えられる。学問としての美しさや鑑賞する心を追究するための数学というよりも、領域コア概念を領域横断概念へと結合させる道具としての数学を使いこなすことが創造的で新たな疑問を生成させると考えられる。このようにSTEM教育は、自学を含めた継続的学習で、総合的概念を獲得できる教育なのである。つまり、これまで以上に生徒の高次思考を促進する探究活動を通じた深い学びが求められている。この探究過程を通じた深い学びは、探究としてのプラクティスにおけるSTEM教育の学習過程の文脈に通じるものがある。そのため、プラクティスに関する理論的解明や実践的研究は大変意義深いと考えられる。

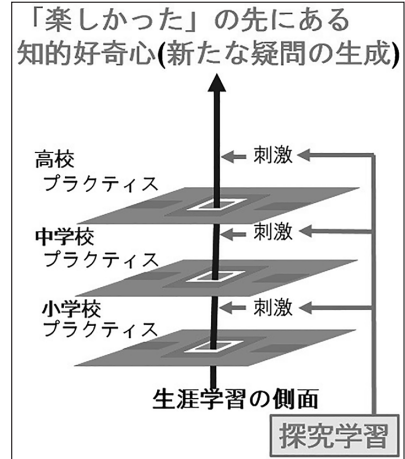


図 1-3 K-12 フレームワークの学び

## 1-2 全米科学教師協会が提案する問いの活用手法

全米科学教師協会（NSTA，2015）は、発問が科学と工学を繋げる強力な学習ツールであると述べ、発問、探究、評価を絡めたパワフルプラクティスマodelを提案した<sup>(12)</sup>。その具体例をまとめたものが、表 1-2 である。

表 1-2 パワフルプラクティスマodelの具体例

発問	学習ユニットを立ち上げるための発問。 【例】植物はどのように働きますか。
探究	探究を導くための発問。 【例】植物の働きを調べるためにはどうしますか。
評価	事前の知識やパフォーマンス評価のための発問。 【例】植物について何を知っていますか。

なお、例に示した発問は、説明を構築し、解決策を設計するための教師による最初の発問で、話し合いの中で生まれた発問とは異なるものである。つまり、教師は1つの発問から始めるが、学習者に答えを探させるのではなく、学習者自身がトピックをさらに探究しながら他の発問を提起することを促すものである。新たな疑問の生成は、次の学習に繋がりを出していく重要な学習活動なのである。実際に、欧米のSTEAM領域を意識した科学の実践においては、科学概念等の本質について、学習者自身が科学者として探究できる発問で構成される傾向にある。特に、探究活動の中で議論を深める過程で生じる新たな疑問を次の学習へと繋げることを推奨していることは注目に値する。したがって、実際の授業場面で、発問、探究、評価を絡ませながら、深い学習に潜む学習過程の文脈を明らかにするような研究を積み重ねていく必要があると考えられる。

# 2 STEM 教育の実践に向けた「電気的基础実験」—永久ゴマに焦点化した実践事例—

## 2-1 自然の理解に通じる知的好奇心を促進させるために

学習とは「面白い、楽しい。」から始まり、さらに「面白い、楽しい、の先にある知的好奇心を促進させたい。」という人間を成長させていくための営みである。ただ、入試や考査といったような外発的な要因を契機として、学ぶこともある。そこで、子どもたちがテストで高得点を獲得するための方法の一つに、暗記が有力な学習法となる場合がある。例えば、「新月からは右から満ちて、満月になるとまた右から欠けていく。右から生まれて右から消える。覚え方は、どちらも右から。」と説明すれば、月の満ち欠けが分かった気分になる。これは、デフォルメされた科学現象というパズルが目の前にあるようなものである。本来、パズルを解くことは、学習者の知的好奇心を刺激し、楽しいと感じるものである。しかし、それは必ずしも自然の理解に通じる知的好奇心であるとは限らない。現実問題として、暗記学習は、テストが終われば全て忘れるといったような側面もある。このような指導では、砂上に楼閣を建てるに等しいであろう。山岡（2003）は、物理の定期考査を事例として学習の定着度に関わる研究を行い、定着度の観点から、理科授業で、何故そのようになるのか説明せよ、というような原理的な事柄を中心にした教師の発問を活用することを提案している<sup>(13)</sup>。蓄積された知識を要領よく活用し、考査等の問題が解けることを目標にした暗記学習と、自然現象に関する原理・原則を問いつける学習とでは大きな違いがある。この差異を学習者に認識させるためには、面白い、楽しいと感じることの先にある自然理解に通じる知的好奇心を促進させる必要がある。そのために、不思議だと感じる現象を観察できる教材の製作を事例として、自然現象に対する理解を深めるための科学実践を試みることは大変意義深いものである。