

米国次世代科学スタンダード (NGSS: the Next Generation Science Standards) における「探究的な学び」

早稲田大学高等学院教諭 小川 慎二郎

1 はじめに

2016年4月、米国南部のナッシュビルで開催していたNSTA (the National Science Teachers Association: 全米科学教師協会) の全国大会では、新しい科学スタンダードであるNGSS (the Next Generation Science Standards: 次世代科学スタンダード) のセッションに多くの聴衆が集まっていた。採択を計画している州や、採択して今から学校に反映しようという州の教師やカリキュラム開発者たちが、カリキュラムや授業プランにどう落とし込むかを議論していた。

NGSSでは、すべての授業を「探究的な学び」にし、幼稚園年長から高等学校まで(K-12: 学年の配分は、小学校がK-5, 中学校が6-8, 高等学校が9-12)の理科の学習内容・学習方法を、統一した基準で保障しようとしている。

日本では、学習指導要領の改訂の議論の中で、理科の科目「数理探究」で、生徒に「課題研究」に取り組ませることが決まっている。しかしながら、指導要領改訂の軸である「探究的に学ぶ」と「課題研究に取り組む」ことは同じではない¹⁾。それらの混同によって理科教育に混乱が生じないように、以下に紹介するNGSSの開発の経緯と内容を参考に、「探究的な学び」について考えておきたい。

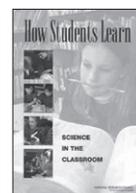
2 NGSS 開発の経緯

1989年に‘Science for All Americans’²⁾で、すべての米国民にとって必要な科学的リテラシーについて、初めて明確な規定がされた。これに答えて、全市民が学ぶべき科学的リテラシーや、探究の過程、現代科学の知識を織り込んだスタン

ダードが、‘Benchmarks for Science Literacy’³⁾及び‘National Science Education Standards’⁴⁾に書かれた。

しかしながら、その後の科学と科学の学習法についての研究の進展により、高校卒業までの科学教育において、科学的な説明のための知識と、科学的探究や工学デザインにおける手法の融合が重要であることが‘How Students Learn –Science In The Classroom’⁵⁾などで示された。

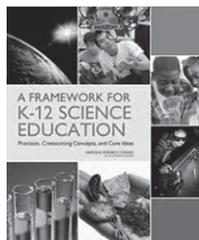
これを受けて2010年に、NRC (the National Research Council: 米国学術研究会議), Achieve (教育関連の非営利団体), NSTA, AAAS (the American Association for the Advancement of Science: 米国科学振興協会) が協力し、ニューヨーク・カーネギー財団を主とした複数の財団からの資金により、2段階のプロセスで次世代の科学スタンダードの開発を始めた。連邦政府からの資金による開発ではないことが特徴的である。



(1) 開発の第1段階

第1段階として、科学と科学の学習に関する最新の研究に基づいた、幼稚園から高校卒業までにすべての生徒が身につけるべき科学と工学における考え方と手法を明確にする‘Framework’の開発が行われた。開発にあたっては、NRCが科学者や認知科学者、科学教育スタンダード、教育政策の専門家18人による委員会を開くと共に、

4つの設計チーム（物理化学，生命科学，地球と宇宙の科学，工学）により，新しいスタンダードの基礎となる‘A Framework for K-12 Science Education’が開発され2011年7月に発表された。



(2) 開発の第2段階

第2段階として，Achieveの主導により，前出のFrameworkに記載された考え方を反映した新しいスタンダードが，幼稚園から大学までの教師を中心とした41人の執筆者チームと，科学や科学教育，高等教育，産業その他の専門家の協力により，開発された。開発を主導するパートナーとして26の州が協定を結び，50～150人の州レベルの委員会を立ち上げて，フィードバック等に協力した。委員会での検討やパブリックコメント等を経て，NGSSは2013年の4月に公開された。

(3) NGSSの採択

新しいスタンダードに興味を示している州は多いが，実際に採択した州はまだ全体のおよそ3分の1（開発に参加した26の州のうちの半数程度を含む）である。すでに実施され広まっている数学と英語のコモンコアスタンダードと違って採択のペースが遅いのは，採択に対する連邦政府からの補助金がないことに加え，採択前に周到な準備期間が必要なためであると考えられる。

NGSSの目的を達成するためには，新しいスタンダードの理解と，それに準拠したカリキュラムの開発，指導方法や評価方法の開発と教員の研修，統一テストの改訂等を，地域や州が組織的に時間をかけて行う必要がある。

3 NGSSの必要性

これまでの伝統的な科学教育は，科学リテラシー習得のゴールに向かって，大量の基礎的な事実や用語の学習に力を注いできたが，重要な科学的概念の深い理解や，その日常生活への応用の認識には至らなかったという反省がある。また，優秀

な生徒がSTEM分野に進学していないという事実や，PISA2009でOECD加盟国中，科学が17位，数学が25位となるなど，国際学力調査において低調な評価を得ている状況があり，改善が必要とされた。

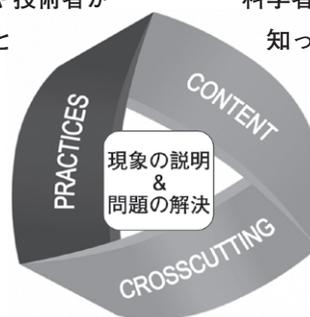
NGSSの狙いは，高校卒業までに，大学進学や理工系分野への就職，証拠に基づく判断ができる市民となる準備をさせることである。

4 NGSSの概要

このスタンダードの前提として，1つのことを学ぶのに，他のことも学ばなければならないという考えがある。これは科学概念の間についてだけでなく，「科学の概念」と「科学の手法」に関しても当てはまり，それらを融合して学ぶことで，人生を通して出会う様々な疑問や問題の解決において機能する教育が実現されると考えられている。

科学者や技術者が
すること

科学者や技術者が
知っていること



科学者や技術者の考え方

NGSS 3つの軸（NGSS Web サイト⁶⁾を基に作成）

NGSSでは，上図のように3つの軸を考慮して科学を学ばせる。そのために，生徒が高校卒業までに知るべき厳選された科学概念に焦点を当て，その知識の深い理解と応用を重要視している。

また，3つの軸を考慮し，科学的探究と同じくらい工学デザインにも取り組ませ，工学デザインと技術応用を強調することで，科学と工学を融合させようとしている。

(1) 科学と工学の手法（Science & Engineering Practices）

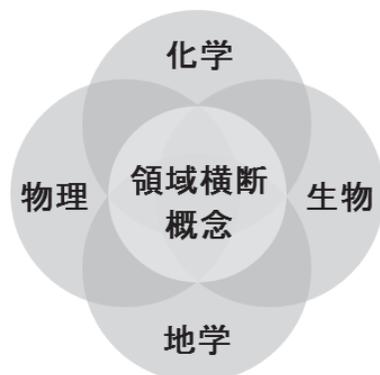
「探究のスキル」という単語を用いないのは，「科学的探究はスキルだけでなくそれぞれの手法に特有の知識も必要とする」という考えからであ

り、これにより、評価の方法も明確になっている。科学と工学の手法は、以下の8点である。

- ①疑問の投げかけと問題の明確化
- ②モデルの開発と利用
- ③研究の計画と実行
- ④データの分析と解釈
- ⑤数学やICTを利用した考え方の使用
- ⑥説明の構築と解決法の設計
- ⑦証拠に基づく議論の取り組み
- ⑧情報の獲得と評価、伝達

(2) 領域横断概念 (Cross Cutting Concepts)

領域横断概念は、生徒たちが世界を理解し、領域や学年を超えてコアアイデアの意味を理解し結びつけるのに役立つ体型的な構造を示している。



- ①パターン
- ②原因と結果
- ③規模、割合、量
- ④系と系のモデル
- ⑤エネルギーと物質
- ⑥構造と機能
- ⑦安定と変化

(3) 領域別コアアイデア(Disciplinary Core Ideas)

領域別コアアイデアは、いわゆる「科学概念」と似ているが、バラバラの科学概念を生徒に暗記させる教育をしてきた反省から、実世界の現象理解や問題解決を、他の2つの軸を用いて行うことができるような、互いに連結が可能な少数の強力な概念を選び出し、コアアイデアと呼んでいる。その開発の観点、次のようなものである。

- ①複数の科学や工学の分野で幅広い重要性を持つ概念、または一つの分野を構成する主要な原理
- ②より複雑な概念の理解または探究と、問題の解決において、主要な道具となるもの

③生徒の興味や生活体験と結びついたもの、または科学や技術の知識を必要とする社会的または個人的な関心に結びつくもの

④複数の学年にわたって深さや精密さのレベルを増しながら教えることができるもの。つまり、下の学年でも扱うことができ、学年が上がっても継続的な探究ができる十分に幅広いもの
物理学、生命科学、地球と宇宙の科学、工学、技術、および科学の応用のそれぞれの領域におけるコアアイデアを以下に挙げる。

物理学

- ・PS1：物質とその相互作用
- ・PS2：運動と安定（力と相互作用）
- ・PS3：エネルギー
- ・PS4：波および情報伝達技術への波の応用

生命科学

- ・LS1：分子から生物まで（構造と過程）
- ・LS2：生態系（相互作用、エネルギー、動態）
- ・LS3：遺伝（形質の遺伝と変異）
- ・LS4：生物進化（一致と多様性）

地球と宇宙の科学

- ・ESS1：宇宙の中の地球の位置
- ・ESS2：地球の構造
- ・ESS3：地球と人類の活動

工学、技術、および科学の応用

- ・ETS1：工学デザイン
- ・ETS2：工学と技術、科学、社会のつながり

(4) NGSS の構造

NGSSは「期待される能力 (PE: Performance Expectation)」がその中心であり、そこには、科学に習熟した生徒ならできるべきことが、それぞれのコアアイデアについて、小学校では学年別で、中学と高校では学校種別で示され、3つの軸との関係性も明らかにされている。

重要な知識を覚えるだけでなく、すべてのコアアイデアや手法を理解し、様々な文脈で示すことができるかどうかの評価される。

州や地域、学校、教師には、「期待される能力」に達するためのカリキュラムや指導方法、評価方法を開発することが委ねられている。

MS-PS2 運動と安定 (力と相互作用)

【期待される能力】

- MS-PS2-1. ニュートンの第3の法則を適用して、2つのぶつかり合う物体の運動を含む問題の解決法をデザインする。
 MS-PS2-2. 研究を計画して、物体の運動の変化が、物体に働く力の和と物体の質量によるということを示す根拠を与える。
 MS-PS2-3. データについての質問を尋ねて、電気や磁気の力の強さに影響する要素を決定する。
 MS-PS2-4. 証拠を用いた議論を構築して示し、重力による相互作用が引力であり、作用し合う物体の質量によって変わる、という主張を支える。
 MS-PS2-5. 探究を計画し、実験の設計を評価し、接触せずに互いに力を及ぼしあう物体の間には場が存在する、という証拠を得る。

【科学と工学の手法】

◎疑問の投げかけと、問題の明確化

中学校では、小学校での経験に基づいて、疑問を投げかけ、問題を明確にする。変数の間の関係を特定し、議論とモデルを明らかにするまで進める。

- 教室や屋外、博物館などの公共施設において研究可能な疑問を投げかけ、適切な場合には、観察や科学の原理に基づいた仮説を立てる。(MS-PS2-3)

◎研究の計画と実施

中学校では、小学校での経験に基づいて、研究を計画・実施する。疑問に答えたり、問題の解決法をテストしたりするまで進める。研究は、複数の変数が関係したものをを行い、説明の裏付けや解決法の設計をするための証拠を得る。

- 研究を個人またはグループで計画する。その設計の中では、独立・従属変数と対照条件や、データの収集に必要な器具、測定の記録方法、主張を裏付けるのに必要なデータ量を明らかにする。(MS-PS2-2)
- 研究を実施して実験の設計を評価し、研究目的に合致する証拠の根拠を提供するようなデータを得る。(MS-PS2-5)

◎説明の構築と解決法の設計

中学校では、小学校の経験に基づいて、説明の構築と解決法の設計を行う。説明の構築と解決法の設計が、科学的な考えや原理、理論に一致した複数の証拠によって裏付けられるまで進める。

- 科学的な考えや原理を適用して、対象物や器具、方法、システムを設計する。(MS-PS2-1)

◎証拠に基づいた議論をする

中学校では、小学校での経験に基づいて、証拠に基づいた議論をする。自然界や設計された状況において、説明や解決策の主張を支持または否定する議論を構築するまで進める。

- 観察で得た証拠と科学的な推論により裏付けられた議論を構築し、口頭または書面で発表して、現象の説明やモデル、問題の解決法を裏付け、または疑問を呈する。(MS-PS2-4)

【領域別コアアイデア】

◎ PS2.A : 力と運動

• 作用し合うすべての物体のペアについて、一方から他方へ働く力は、他方から一方へ働く力と同じ強さで逆向きである (ニュートンの第3法則) (MS-PS2-1)

• 物体の運動は、物体に働く力の和によって決まる。物体に働く合力がゼロでない時、その運動は変化する。物体の質量が大きければ大きいほど、同じ運動の変化を起こすには、より大きな力が必要となる。どんな物体についても、大きな力が働くと、運動の変化は大きくなる。(MS-PS2-2)

• 物体の位置や、力や運動の向きは、任意の座標系と大きさによって記述されるべきである。他の人と情報を共有するため、それらの選択は共有されるべきである。(MS-PS2-2)

◎ PS2.B : 相互作用の種類

• 電磁気力は引力か斥力であり、その大きさは電荷や電流、磁荷の強さと、相互作用する物体間の距離によって決まる。(MS-PS2-3)

• 重力は常に引力である。2つの質量の間には重力が働くが、地球と太陽のように一方または双方の物体が大きな質量を持つ場合以外は、とても小さな力である。(MS-PS2-4)

• 離れて働く力 (電気力、磁気力、重力) は、空間に広がる場によって説明することができ、その分布は試験物体 (帯電した物体やボールなど) に及ぼす効果によって示すことができる。(MS-PS2-5)

【領域横断概念】

◎原因と結果

因果関係は自然の系や管理された系の現象を予測するのに用いられる (MS-PS2-3)、(MS-PS2-5)

◎系と系のモデル

モデルは系と系の間の相互作用 (入力と経過、出力) や、系の内部におけるエネルギーや物質の流れを表すのに用いることができる (MS-PS2-1)、(MS-PS2-4)

◎安定と変化

自然の系や管理された系における安定と変化の説明は、時間による変化や力の大きさによる変化の分析によって構成されることができる (MS-PS2-2)

NGSS の記述の例として、MS-PS2 (中学校段階の物理科学分野の2つ目の「コアアイデア」) の「期待される能力」と、それに関連する3つの軸の内容を紹介する。

5 授業における取り扱い

授業では、医学や科学捜査、農業、工業などの様々な科学の応用を題材とする事で、生徒の興味を向上させ、科学の原理がどのように実社会に適用されているのかを学ばせることができる。また、科学者や技術者の物語や、科学や工学の発見・発

明の歴史も、科学や工学のカリキュラムの中で重要な要素である。

授業においては、生徒が本物の「疑問」を持ち、科学的・工学的手法を用いて追求できるような題材を扱い、科学者の研究活動を体験できるように授業を設計する。学ばせたい知識にターゲットを絞るだけでなく、文脈の中で登場し、分野を横断して複合的で、二次的な問いを思い起こさせるような題材選びが、重要なポイントとなる。NGSS は最低基準であり、余裕のある生徒には、より深

く、より広い内容を学ばせる。

6 NGSS から日本が学べることは何か

現在の日本の理科教育は、理科を学ぶことについての意義や有用感が生徒に伝わっていないという問題を抱えている。また、将来の進路に関わらず、「科学や科学者の本質」についての自分の考えを持たせることもできていないだろう。科学の応用の取り扱いや科学（理学）と工学の関連付けも、現在は考慮されていないと言える。

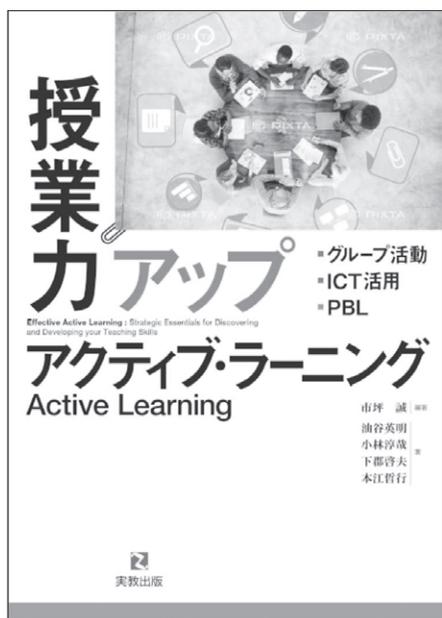
それらの問題を解決する必要性と共に、どうしても学ばせたいことは何なのか？ということ議論し、生涯につながる学びが動機付けられるような方法を、日本でも考える必要があるだろう。

参考文献（*印はウェブで入手可能）

- 1) 笠潤平, 第18回NPO法人理科カリキュラムを考える会全国大会講演
- 2) AAAS, Science for All Americans (1989)*
- 3) AAAS, Benchmarks for Science Literacy (1993)*
- 4) NRC, National Science Education Standards (1996)*
- 5) NRC, A Framework for K-12 Science Education (2012)*
- 6) the Next Generation Science Standards website (<http://www.nextgenscience.org>)*
- 7) NGSS Release, the Next Generation Science Standards Executive Summary (2013)*
- 8) The NSTA Board of Directors, NSTA Position Statement: The Next Generation Science Standards (2013, rev. 2016)*

授業力アップ アクティブ・ラーニング

B5判 176頁 定価2,160円（本体2,000円+税）



本書は、アクティブ・ラーニングを想定した授業において、どのように学生・生徒たちが能力を伸ばせるようになるか、先生方の授業力アップを実現する「教え方の指導書」です。



学習到達目標を踏まえ、これに到達するために授業構造のあり方（モジュール）と教え方のアクティビティ（スキル）を解説しています。



先生方が自らをフィードバック・セルフチェックできるだけでなく、組織的なアセスメントが行えるよう、チェックシートの活用を提示し、教え方のさらなる向上（PDCA サイクル）が可能です。



弊社 Web ページ (<http://www.jikkyo.co.jp/>) でアクティブ・ラーニング用テンプレートなどを用意しています。

《目次》

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| 1章 教育力の基礎 | 5章 PBL 型授業 |
| 2章 アクティブ・ラーニングの基礎 | 6章 チームによるプロジェクト型授業、卒業研究・ゼミ |
| 3章 グループワーク型授業 | 7章 発表・プレゼンテーションスキルの指導 |
| 4章 ICT 活用授業と実験・実習授業 | 8章 FD マネジメント |