

新学習指導要領における物理関連分野に関する分析

—欧米の科学教育との比較の視点から—

出口 憲

概要：平成 29 年 3 月に告示された学習指導要領（以下、新学習指導要領）の物理関連分野に関して、平成 20 年告示の学習指導要領（以下、旧学習指導要領）との変更点、及び今回の学習指導要領の狙いが物理関連分野においてどのように取り込まれているかを分析した。その結果、小・中理科では「表現すること」という記述が全ての内容に見られることがわかる。これは、「学習者が理解したことを表現する」という観点が重視されることを意味している。このような学習観を近年の欧米の科学教育における学習観と比較し、何が同じか、何が異なるのかを考察した。

キーワード：学習指導要領，物理，科学教育，学習観

Analysis on Physics in the New Course of Study

1. はじめに

平成 29 年 3 月に「小学校学習指導要領」「中学校指導要領」(文部科学省, 2017)が告示された。新学習指導要領では、以前から話題となっていた「アクティブ・ラーニング」に関連し、「主体的・対話的で深い学び」の実現が掲げられ、国語を要とする「言語活動の充実」, 「外国語活動」を小学校 3・4 年から始め、小学校 5・6 年で「外国語」の教科化など、今までよりも大きな改訂があるため注目を集めた。

一方、理科に関しては、旧学習指導要領でかなり改善が図られたため、今回の改訂で扱われている内容に関して大きな変更点はないといってよい。しかし、その学習観は今までと大きく異なるものとなっている。たとえば、教師が「何を教えるか」から子どもが「何ができるようになるか」へ学習指導要領の位置付けが変化したため、理科においても「できるようになる」が「できるよう指導する」, 「理解する」が「理解するとともに、観察、実験などに関する技能を身に付ける」というように記述が変化している。

本論文では、まず新旧学習指導要領の変更点を物理関連分野について分析し、次に欧米の科学教育の動向について述べ、新学習指導要領の理科の考え方と欧米の科学教育の考え方との比較及び考察を行う。

2. 新旧学習指導要領の物理関連分野に関連する内容の分析

2-1. 物理関連分野で扱われる内容の変化について

小学校学習指導要領の理科の物理関連分野では、旧学習指導要領で3年「光の性質」が、新学習指導要領では「光と音の性質」へ変更された。平成元年の学習指導要領からなくなっていた「音」に関する内容が小学校に復活したことになる（以前は糸電話等を活用しながら行われていた）。今回の改訂でも「物から音が出たり伝わったりするとき、物は震えていること。また、音の大きさが変わるとき物の震え方が変わること。」となっている。また、平成29年6月に公開された「小学校学習指導要領解説（理科）」では以前と同じく糸電話等を用いて「音」を扱うことが記述された。

また、中学校1年の「光と音」に「光の色」、中学校2年の「電流」に「放射線」がそれぞれ追加された。光の色ではプリズムで白色光がいろいろな色の光に分かれることを扱い、「中学校学習指導要領解説（理科）」では具体例として虹を取り上げ、色の見え方に個人差があることに配慮することが記述されている。これは赤緑色盲なども想定していると思われるが、色の見え方について個人差があるのは、可視光線として見える波長の範囲に個人差があることも意味しているとも考えられる。著者も電磁波に関する内容を大学の授業で扱うとき、これらの見える範囲は個人差があることを触れるようにしている。

旧学習指導要領で復活した放射線については真空放電との関連で扱うことが追加された。「学習指導要領解説（理科）」ではX線とそれが医療などで活用されていることに触れることなど、日常生活でも放射線が利用されていることを扱うよう記述されている。真空放電を行う際は電子が放電管から漏れているので、 β 線を検出するサーベイメータなどがあれば有効に扱えるだろう。

これら以外にも以下のような学年の変更が行われている。

- 小学校4年の「太陽電池（光電池）」→小学校6年の「発電」の内容へ移動
- 小学校6年の「電流の発熱」→中学校2年の「電流」へ移動
- 中学校3年の「2力のつり合い」→中学校1年の「力の働き」の内容へ移動
- 中学校1年の「水中の物体に働く力」→中学校3年の「力のつり合いと合成・分解」へ移動

2-2. 「光電池」という用語はなくすべき

小学校6年に変更された「太陽電池」であるが、相変わらず「光電池」の表記が用いられている。教科書は学習指導要領に従って作成され、教科書検定もあるため「光電池」という用語を用いることになる。以下に述べるようにこの「光電池」という用語は適切でない。

まず、日常生活で定着しているのは「太陽電池」であり、英語でも solar cell であるから「太陽電池」が適切である。もしも、「光電池」を英訳すれば photo cell となるだろう。photo cell と solar cell は全くの別物である。photo cell は光を

感じるセンサーとして使われる電気部品のことである。よって、「光電池」という表現は適切でない。

また、子どもが「太陽の光でない蛍光灯の光などでも動くから太陽電池という名前はおかしい」などと考えるだろうか。「日常生活や社会との関連を重視する」はずなのに一般に用いられない独自の用語を設定するという「おろかしい発想」はやめるべきである。

3. 欧米の科学教育と新しい学習観

近年の欧米を中心とする科学教育の動向として STEM 教育があげられる。STEM とは、Science, Technology, Engineering and Mathematics の頭文字を取ったものである。米国の Framework (NRC, 2012) と Next Generation Science Standards (NGSS, 2013) を見ると、「科学・工学における実践」(Scientific and Engineering Practices, SEPs), 領域ごとの縦割りでない「領域横断概念」(Crosscutting Concepts, CCs) を導入し、「学問領域で核となる考え」(Disciplinary Core Ideas, DCIs) を定めてある。学問領域は, “Physical Sciences”, “Life Sciences”, “Earth and Space Sciences”, “Engineering, Technology, and Applications of Science” から構成されており, それぞれの領域ごとに DCIs が与えられている。なお, これらの詳細は, 長洲, 出口 (2017), 出口, 長洲 (2017) において背景も含めて分析してあるのでご参照願いたい。以下に, Physical Sciences の DCIs を示す。

PS1: Matter and Its Interactions (物質とその相互作用)

PS1.A: Structure and Properties of Matter (物質の構造と性質)

PS1.B: Chemical Reactions (化学反応)

PS1.C: Nuclear Processes (原子核反応)

PS2: Motion and Stability: Forces and Interactions (運動と安定性: 力と相互作用)

PS2.A: Forces and Motion (力と運動)

PS2.B: Types of Interactions (相互作用の種類)

PS2.C: Stability and Instability in Physical Systems (物理システムの安定性と不安定性)

PS3: Energy (エネルギー)

PS3.A: Definitions of Energy (エネルギーの定義)

PS3.B: Conservation of Energy and Energy Transfer (エネルギーの保存とエネルギーの伝達)

PS3.C: Relationship Between Energy and Forces (力とエネルギーの関係)

PS3.D: Energy in Chemical Processes and Everyday Life (化学的な過程でのエネルギーと日常生活)

PS4: Waves and Their Applications in Technologies for Information Transfer

(波動と情報伝達技術での応用)

PS4.A: Wave Properties (波動の性質)

PS4.B: Electromagnetic Radiation (電磁放射)

PS4.C: Information Technologies and Instrumentation (情報技術と機器)

Physical Sciences を物理科学と捉えるのは適切ではない。生命現象を除いた基礎科学に位置づけるのが内容から考えて妥当である。この Physical Sciences における DCIs の特徴として PS4 があげられる。これは単なる科学でなく、現在の生活で欠かせないものとなった ICT の基礎が波動にあることを示したもので、STEM 教育の目指す科学とその応用である技術・工学との融合を狙ったものと考えられる。また、PS1 で原子核反応を大きく扱っていることも日本と異なる点といえる。

ここで、米国の教育システムについて改めて触れておく。米国の連邦政府は「学校を作ること」、「カリキュラムを作ること」が合衆国憲法により禁じられている。よって、米国に国立学校は存在しないし、日本の学習指導要領のようなものはない。学校を作ること、カリキュラムを作るのは民間の団体、州政府、学校区レベルの仕事となる。つまり、米国に日本のような全国共通の統一カリキュラムは存在しない。一方、国際競争力を高めなければならないことは意識されているので、理工系人材の育成のために STEM 教育をサポートする法律に基づく予算処置がなされており、NSF (National Science Foundation) や NSTA (National Science Teachers Association) などがそれらの資金提供を受け、その資金を基に、科学者・研究者・教師・心理学者などが協力しながら「スタンダード」と呼ばれる教育内容をまとめたものを作成している。今回の NGSS もその一つである。同時に、STEM 教育を行える教師を育成するための教師教育も NSTA を中心に豊富な資金により行われつつある。しかし、これらもカリキュラムを決める州政府が NGSS を採択しなければ意味がない。2016 年 12 月の時点で 18 州と 1 つの学校区が採択している。米国では進化論をめぐる深刻な問題があり、採択が少ない背景の 1 つとして考えられる。

近年の米国の科学教育は Evidence based research に基づく研究結果から得られた学習者の「認知的発達における知的内容構成」(Learning Progressions, 以下 LPs)(Alonzo & Gotwals (2009))という考え方に基づいている。LPs とは、子どもが元々持っている日常生活に基づく「Naïve な考え方」から、洗練された「科学的な概念」にどのように変容するかを分析して得られた認知・発達に関する仮説である。また、これから Learning Progressions はヴィゴツキーの考えに基づいているとみなせる。物理関連分野に関する「エネルギー概念」や「物質の粒子概念」がどのように獲得されるのかを分析・調査した論文(Merit & Krajcik (2013), Duit(2016))もあり、子どもが「どの段階で、どのような認識を持つのか、持てるのか」等を実際に教育現場で確認しながら研究が進められている。

NGSS では「理解している学習者の行動」(Clarification Statement)という学習者が示す行動を具体的に記述している。これらは、学習指導要領の随所に記載

された「問題を見だし、表現する」と同じような内容と考えられる。ただし、米国では LPs に基づいて「理解している学習者の行動」が構築されている点で Evidence based であるのに対し、日本の「問題を見だし、表現する」内容が子どもに適切なものかどうかの根拠は不明確である。日本では学習指導要領によって学習内容が決められているから、異なる学習内容によって子どもがどのように理解を深めていくかという比較研究を行うことはできない。つまり、学習指導要領の内容が Evidence based でない不明確な根拠に基づくのであれば、ほぼ 10 年間に渡る教育内容を定めるものとして適切と考えることには無理がある。

4. 日本と欧米の考え方の差異に基づく未知の LPs の可能性

以上のように、日本と欧米の科学教育を比較してみると、子どもが身につけて欲しい能力の傾向は一致しているが、その根本的な部分で違いがあると考えられる。日本が他国と共存していくためには、自国の文化や考え方を大切にしながら、他国の文化や考え方も理解し、受容できる子どもたちを育てていく必要がある。

その中で、数学や科学は言語や文化に依らない世界共通の認識であると捉えがちである。しかし、先述した LPs の基になった Inagaki & Hatano (2002, 2006) によると、Naïve Physics, Folk Physics と表現されるような、子どもが日常生活から獲得した教育前に元々持っている考え (concept ではなく conception) があり、科学的思考の背景にも文化や自然環境などの影響があることを排除できない。つまり、文化、環境による民族ごとに異なった自然観があり、子どもはそのような背景を持って自然を認識し、自然について考えていると捉えるべきである。

このように考えると、日本人には日本人独特の自然観があるということになる。例えば、小学校学習指導要領の理科の目標に登場する「自然を愛する心情」という表現である。これは日本人であれば理解できる表現であるが、欧米人には通用しない、あるいは理解しがたい概念である。日本では実験動物を供養する塚や碑が各所にある。極端な例になると菌を供養する塚¹もあるから、日本人は科学者であっても「自然を愛する心情」にどっぷりと浸かっている。一方、欧米の科学者は「実験動物は実験に使用するために育てられた」と考えるようだ。だから、「供養する」というような感情はないだろう。「自然を愛する心情」というのは日本人が持つ独特の自然観の一つであり、そもそも「科学」の範疇でなく、徳目に属する「道徳的な内容」である。教科名が「科学」でなく「理科」であることのも理由かもしれない。

「物質の粒子概念」をどのように子供が獲得するのかを扱った Merit & Krajcik (2013) でも、子どもが元々持っている考えを「誤まった考え」としてしまうのではなく、リソースとして活用しながら洗練された科学概念 (Concepts) へ導くことが記述されている。また、物理におけるエネルギー概念をどのように教えるかを扱った Duit (2016) に述べられているように、「教育実践に基づきながら、子ども

¹ 菌塚のホームページ <http://kinduka.main.jp> (2017年8月24日確認)

の観方に合わせて科学の内容構造を指導のための内容構造へ変化させ、教授のための内容構造を再構築する」必要があると考えられる。

Duit (2016)によると、LPsにどの程度の普遍性があるかは今のところ明確でない。少なくとも米国とドイツでのエネルギー概念についての調査を見ると傾向に差はないようである。しかし、LPsがどの子どもでも同じとは限らず、複数のLPsがある可能性も言及されているため、地域や民族に依存した異なるLPsがあることは十分考えられる。

先述の通り、「自然を愛する心情」というのは日本人特有のものであるが、科学教育に使えるリソースと考えることもできる。このように日本におけるLPsは欧米のLPsと異なる可能性が高いので、日本の子どものLPsを解明できれば、新しい学習方法や教授方法により、よりよい科学教育が可能となるだろう。

参考文献

Alonzo, A., & C. Gotwals, Eds., (2009). *Learning Progressions in Science*, Springer.

Duit, R., (2016). *Teaching and Learning the Physics Energy Concept*, in R.F. Chen. etc. *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education*, pp.67-85.

出口憲, 長洲南海男(2017) 米国のSTEM教育, エネルギー省のエネルギー教育・その2, エネルギー環境教育研究 Vol.11. No.1. pp.11-18.

Inagaki, K., & G. Hatano, (2002). *Young Children's Naïve Thinking About the Biological World*. New York: Psychology Press.

Inagaki, K., & G. Hatano, (2006). *Young children's conception of the biological world*. *Current Directions in Psychological Science*, 15(4), 177.

Merrit, J., & J. Krajcik (2013). *Learning Progressions Developed to Support Students in Building a Particle Model of Matter*. pp.11-45. in Tsaparlis & Sevian (2013). *Concepts of Matter in Science Education*.

文部科学省(2017) 小学校学習指導要領, 中学校学習指導要領, 同解説(理科)

NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards*, <https://www.nextgenscience.com> (2017年8月24日確認)

National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academy Press.

長洲南海男, 出口憲(2017) 米国のSTEM教育, エネルギー省のエネルギー教育・その1, エネルギー環境教育研究 Vol.11. No.1. pp.3-10.

謝辞

なお、本研究は科学研究費・基盤研究(B)研究課題番号(15H03493 研究代表・長洲南海男)に基づくものであり、その多くは本学元教授・筑波大学名誉教授の長洲南海男先生との議論に基づくものである。また、「授業実践演習」における本学講師の木村光男先生が行ったヴィゴツキーに関する講話も大変参考となったことを付記する。