

米国の STEM 教育の特質

Evidence based research:
Physical Sciences を中心として

日本教科教育学会第 43 回全国大会

常葉大学 出口 憲
筑波大学 長洲 南海男

発表内容

- Framework と NGSS
- STEM 教育と Physical Sciences
- Learning Progressions (LPs)
- エネルギー概念の LPs
- 物質の粒子概念の LPs
- 日本の理科教育と LPs
- まとめと今後の課題

Framework と NGSS

- A Framework for K-12 Science Education (NRC, 2012)
- Next Generation Science Standards (NGSS, 2013)
- 科学教育に対する新しい知見を取り込んだもの
- 3Dimension: Scientific and Engineering Practices (SEPs), Crosscutting Concepts (CCs), Disciplinary Core Ideas (DCIs)
- Learning Progressions (LPs)

Scientific and Engineering Practices

- 科学者や工学・技術者と同じような活動を体験すること
- 科学の観点に関する疑問を持ち、エンジニアリングの観点で問題を定義すること
- モデルを展開し、用いること
- 調査を計画し、実行すること
- データを分析し、解釈すること
- 数学、コンピューテーショナルシンキングを用いること
- 科学の観点で説明を構築し、エンジニアリングの観点で解決方法をデザインすること
- 証拠に基づいてアーギュメントを行うこと
- 情報を獲得し、評価し、交換すること

Crosscutting Concepts

- パターン
- 原因と結果：メカニズムと説明
- スケール、比、量
- システムとそのモデル
- エネルギーと物質：流れ、循環、保存
- 構造と機能
- 安定性と変化

学的な領域

- Physical Sciences
- Life Sciences
- Earth and Space Sciences
- Engineering, Technology, and Applications of Science
- 最後の応用科学・エンジニアリング・テクノロジーが入っているのがSTEMに関する大きな特徴

STEM 教育と Physical Sciences

- Physical Sciences \neq Physics
- Physical Sciences = 生命現象を除く基礎的な科学分野
- 日本の物理分野と化学分野を融合させ、さらに他の要素も取り込んでいる
- 自然をシステムとして捉える

STEM 教育と Physical Sciences

Framework と NGSS で示された Physical Sciences の DCIs (学問領域の核となる考え)

- 物質とその相互作用
 - 運動と安定性：力と相互作用
 - エネルギー
 - 波動とそれらの情報伝達技術における応用
-
- 青字は以前の National Science Education Standards(NRC, 1996) でも入っていた内容
 - 赤字は今回取り入れられた内容

Learning Progressions

- 子どもの Naïve な考えは文化・環境などの要因により左右される (Inagaki & Hatano, 2002)
- 子どもが元々持っている日常生活に基づく「Naïve な考え」(conception) から、洗練された「科学的な概念」(concept) にどのように変容するかを分析
- Evidence based research に基づく子どもの認知、学習及び知的発達等の過程に関する仮説 (Learning Progression in Science, 2012)
- 日本においては、山口、出口 (2011)、白水、益川、三宅、村山、田代、山口 (2014) がある

ELF と NGSS

- 米国エネルギー省の Energy Literacy Framework（最初は2011年、その後改定され2017年3月に Version 5.0）
- 7つの Essential Principles：科学的なエネルギー概念、環境、社会、政治、経済などの様々な要因との関連を捉えたもの
- 6つの Fundamental Concepts：Framework とほぼ同内容で LPs に基づくと見なせる
- NGSS との調整が図られており、NGSS と一緒に扱える（Version 3.0 から）
- フォーマル（学校内）、インフォーマル（学校外）な教育、世代を問わず活用できる

エネルギーサミット

- **国際エネルギーサミット**：2012年、2013年に米国のミシガン大学で開催
- 世界各国（米国、英国、ドイツ、イスラエル、キプロス、中国など）から科学者、研究者、教師が集まり、科学の全領域に渡る概念としてのエネルギーとその教育について議論
- **Teaching Energy Across The Sciences K-12 (2015)**
- **Teaching and Learning of Energy in K-12 Education (2014)**

エネルギー概念の捉え方

- H.Quinn: Frameworkの議長、オーストラリア出身、米国の女性理論物理学者、スタンフォード大学線形加速器センター所長、強い相互作用のCP対称性を説明する理論で著名、KEKで講演(長洲の発表)
- **A Physicist's Musing on Teaching; About Energy**, in Teaching and Learning of Energy in K-12 Education (2014)
- エネルギーの様々な形態：教師と子どものmisconceptionの原因
- 素粒子物理学者としてのエネルギーの観方
 - 粒子の運動エネルギーと相互作用のエネルギー
 - ネーターの定理とエネルギー保存
 - 相対性理論では物質とエネルギーは等価
- **エネルギーはその変化量のみがわかり、全量はわからない**
- **エネルギーは生成・消滅せず、変化・移動するだけ**
- **エネルギーは何が起きるかを支配する**
- **エネルギーは可能な限り拡がろうとする**
- エネルギー概念をいつ、どのように、子どもに与えるのか明確でない

エネルギー概念のLPs

- R.Duit: ドイツの物理教育研究者、キール大学、Conceptual Changeに関する研究で著名
- **Teaching and Learning the Physics Energy Concept**, in Teaching and Learning of Energy in K-12 Education (2014)
- エネルギーで重要な概念（相互に関連し合う）
 - エネルギー変換 (Energy Transformation)
 - エネルギー伝達 (Energy Transfer)
 - エネルギー保存 (Energy Conservation)
 - エネルギー劣化 (Energy Degradation)
- 子どものエネルギー概念の理解度（LPs）
 1. 変換、2. 伝達、3. 劣化、4. 保存
- アメリカとドイツの調査で同じ結果

LPsに基づく科学教育

Duitにより示された

科学教育における「指導の内容構造へのステップ」

科学の内容の明確化と分析
教材の明確化と教育的意義の分析

科学の
内容構造

教授のための
内容構造

子どもの
観方化・初等化
Elementarization

指導のための
内容構造の構築

教育実践に基づいた
内容に関する子どもの観方

物質概念に関するシンポジウム

- **Particulate and Structural Concepts of Matter**（物質の粒子的・構造的な概念に関するシンポジウム）：2010年にギリシャのアテネ大学で開催
- **Concepts of Matter in Science Education (2013)**：Frameworkなどの成果も取り入れて書籍化

物質の粒子概念の LPs

- Merrit & Krajcikによる Learning Progressions Developed to Support Students in Building a Particle Model of Matter, in Concepts of Matter in Science Education (2013) を分析
- J. Krajcik: Framework と NGSS の Physical Sciences の中心メンバー、科学教育研究者、ミシガン大学（元は High school の化学と Physical Science の教員）
- Krajcik のカリキュラム設計については、大貫 (2017) など分析がなされている

物質の粒子概念の LPs

- 子どもが元々持っている日常生活に基づく考え (conception) を「誤った考え」と捉えない
- 子どものを考えをリソースとして活用する
- 記述モデル→混合モデル→基礎的な粒子モデル→完全な粒子モデル、というように子どもの考えが変化する：物質概念の LPs
- 物質概念の LPs に基づく 15 回の授業を構築
- アメリカの異なる地域の 3 つの学校で実践、教師と研究者が密接に協力
- Rasch モデルにより統計分析

物質の粒子概念の LPs

- 記述モデル (Descriptive model)

見たままを記述できる段階：水と氷は違う物質と考える、水蒸気は認識できない

- 混合モデル (Mixed model)

粒子を考えられるが、記述モデルの説明も残っている状態、物質の違いはマクロなレベルの説明に留まる：液体の状態の水の中には水粒子があるが、その粒子間に液体の水がある、水蒸気、液体の水、氷は同じ物質と考える

物質の粒子概念の LPs

- 基礎的な粒子モデル (Basic particle model)

粒子モデルで気体、液体、固体の違いを説明できる段階：真空も理解しているが、物質の状態の違いを粒子の運動の違いとは認識できない

- 完全な粒子モデル (Complete particle model)

粒子モデルで物質の状態とその変化を説明できる段階：温度により粒子の運動が変化し、物質の状態が変化すると考えられる

粒子概念のLPsに基づく授業

- Middle school 段階の子どもへの物質の粒子概念に関する授業：Can you Smell What I Smell?
- 「匂いがどのようにやって来るか」「それらを理解するための科学的なモデルを考えさせる」ことから出発し、物質の三態変化を途中で取り込みながら、実験を通して、子どもの考えを徐々に変容させ、物質の性質は物質が粒子から構成されているという考えで説明できるという「完全な粒子モデル」まで持っていく内容（15回）
- Rasch モデルによる解析：授業前の平均は混合モデルのレベル、授業後の平均は完全な粒子モデルのレベルに上昇

日本の理科教育の特質

- 小学校学習指導要領・理科の目標にある「自然を愛する心情」は日本人独特の自然観
- 「徳目」に相当する内容が含まれている
- 小学校理科≠科学
- 「自然を愛する心情」は日本人の自然観の形成に大きな意味を持つ
- 実験動物を供養する塚や碑が全国にある（菌を供養する菌塚もある！）→日本では科学者にも「自然を愛する心情」が根付いている

日本独自のLPsの可能性

- 欧米の考え方を理解する際に、日本の考え方と異なるという前提が必要
- 数学や科学は世界共通というのは本当に正しいか
- 日本の子どもが元々持っている自然観は欧米の子どもの自然観と違うのではないか→欧米で構築されたLPsが日本で活用できない可能性
- 日本の子どもの科学概念のLPsを明らかにすることで、新しい科学教育（理科教育）の可能性
- これらについては、白水、益川、三宅、村山、田代、山口（2014）にも言及あり

まとめと今後の課題

- エネルギー・物質概念の LPs に基づく研究が明らかとなった
- これらの背景に Evidence based research に基づき構築された LPs という捉え方があることが明らかとなった
- エネルギー・物質概念の具体的な LPs とその実践の一端が明らかとなった
- 欧米の科学教育について更に調査が必要
- 日本独自の LPs があり得るのではないか
- 日本における子どもの LPs の解明

謝辞

本研究は、科学研究費・基盤研究(B)「教科と内容構成新ビジョンの解明—米国・欧州STEM・リテラシー教育との比較より」(研究課題番号15H03493 研究代表・長洲南海男)に基づく

参考文献 1

- **Alozono, A.C., and Gotwals, A.W. (Eds). (2012). Learning Progression in Science. Sense Publishers.**
- **Chen, R.F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J.C., Scheff, A. (Eds.). (2014). Teaching and Learning Energy in K-12 Education. Springer.**
- **Department of Energy. (2017). Energy Literacy Framework.**
<https://energy.gov/eere/education/energy-literacy-essential-principles-and-fundamental-concepts-energy-education>

参考文献 2

- **Duit, R., (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept, in Teaching and Learning of Energy in K-12 Education (2014).**
- **Inagaki, K., and Hatano, G. (2002). Young Children's Naïve Thinking About the Biological World. New York: Psychology Press.**
- **Merrit, J., and Krajcik, J., (2013). Learning Progression Development to Support Students in Building a Particle Model of Matter, in Concepts of Matter in Science Education (2013).**
- **NGSS Lead States. (2013). Next Generation Science Standards For State, By States. Vol.1, Vol.2.**

参考文献 3

- **Nordine J., (2015). Teaching Energy Across the Sciences K-12. NSTA Press.**
- **NRC. (1996). National Science Education Standards. NAP.**
- **NRC. (2012). A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas. NAP.**
- **Quinn, H., (2014). A Physicist's Musing on Teaching; About Energy, in Teaching and Learning of Energy in K-12 Education (2014)**
- **Tsaparlis, G., and Sevian H. (Eds.). (2013). Concepts of Matter in Science Education. Springer.**

参考文献 4

- 菌塚のホームページ：<http://kinduka.main.jp/>
- 山口悦司、出口明子（2011）、ラーニング・プログレッションズ—理科教育における新しい概念変化研究—、心理学評論、54(3)、358-371
- 白水始、益川弘如、三宅なほみ、村山功、田代直幸、山口悦司（2014）、概念変化と発達段階、日本認知科学会第31回大会、
http://www.jcss.gr.jp/meetings/JCSS2014/proceedings/pdf/JCSS2014_WS4.pdf
- 大貫守（2017）、J.S. クレイチェックのカリキュラム設計モデルに関する検討—その成立過程に着目して—、
https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/219243/1/eda63_243.pdf