

米国の幼稚園・初等・中等教育段階における エネルギー概念の取り扱いに関する研究 ～ NGSSにおけるエネルギーに関する記述内容を事例として～

板橋 夏樹¹

本研究では、米国の『次世代科学スタンダード (Next Generation Science Standards: 2013)』の幼稚園—第8学年の各段階でのエネルギー概念の取り扱いについて分析し、以下の特質を明らかにした。

- (1) エネルギー概念は第2学年まで導入されない。この段階では、太陽光による物の温まり方の観察や、物体同士の衝突による運動の変化の観察等の学習に留まる。
- (2) 第4、5学年では、物理的な理解を出発点としたエネルギーの定義を導入し、その後、生命・地球宇宙科学領域の幅広い内容でエネルギー概念を取り扱う。
- (3) 第6-8学年では、位置エネルギーや運動エネルギー等の力学的な概念だけでなく、原子・分子の運動に伴う熱エネルギー、熱の移動を例に挙げエネルギーの移動の概念を扱う。さらに、生命科学領域での動植物の成長と生態系におけるエネルギーの流れ、地球宇宙科学領域での大気・海洋におけるエネルギーが果たす役割を扱う。なおこの学年帯では定性的なエネルギー概念の理解に留まる。

Keywords : NGSS、エネルギー概念、米国、幼稚園、初等教育、中等教育

1 はじめに

現在、日本の学習指導要領では、エネルギー概念を主要な柱の1つにして小学校から高校までの理科内容の系統化を図っている。エネルギーという用語は小学校理科では用いられず、中学校2学年の細胞の呼吸の学習ではその用語だけが用いられ、同学年の電気に関する単元では「いろいろなはたらきをする能力」として紹介される。仕事の概念と関連づけられた「仕事をする能力」等の定義は、中学校第3学年の力学の分野で初めて扱われる。これに対し、米国では小学校早期からエネルギー概念を取り入れた理科授業が行われてきた。板橋・大高 (2012) は、米国のエネルギー概念導入の特質の一端として「児童が直観的に理解できる光、熱、音等を題材としたエネルギー概念及び定義を低学年から導入していること」、「エネルギーの定義、保存形態、移動の概念、及び、位置エネルギーや運動エネルギーの概念は、第3学年以上の各学年で繰り返して取り扱われているこ

と」等を明らかにした。

日本と米国における子どものエネルギー概念の理解度の違いは、これまでのTIMSS調査により表1のような結果として現れている。

表1 TIMSSのエネルギーに関する設問における日本・米国及び国際平均の正答率の比較

TIMSSの設問内容	国名	日本 (%)	米国 (%)	国際平均 (%)
TIMSS-R (1999) (H6) 木材の燃焼によるエネルギーの放出に関する設問 (中2)		59	64	55
TIMSS 2003 (S01_11) 石炭の燃焼と花火の爆発でのエネルギーの放出に関する設問 (中2)		40.9	65.0	51.7
TIMSS 2003 (S01_06) 再生可能なエネルギー資源に関する設問 (中2)		8.9	29.1	25.2
TIMSS 2011 (S03_10) 温度による分子の運動の変化に関する設問 (中2)		50	73	58
TIMSS 2011 (S06_10) 地球が太陽から受けるエネルギーの種類に関する設問 (小4)		59	63	54

※表1は3つのTIMSSの調査におけるエネルギー概念に関する設問の中から日本・米国・国際平均の正答率を比較できる調査結果を筆者が抜粋し、編集したものである。カッコ内は問題番号を示す。

1. 宮城学院女子大学教育学部教育学科

TIMSSの国別の平均得点を見ると、日本は常に米国及び国際平均を大きく上回っている。しかし、表1から分かるように、エネルギー概念に関する設問だけを見ると、その分野の米国の正答率は全ての年度の調査結果において日本及び国際平均を上回っている。

全米研究審議会 (National Research Council) は米国の児童・生徒に科学的リテラシーを身に付けさせることを目標として全米科学教育スタンダード (1996)¹⁾ を作成した。これは日本の学習指導要領のような法的拘束力をもつものではない。しかし、国立教育政策研究所 (2009) によれば、ほとんどの州のスタンダード或いはコアカリキュラム、教科書等がこの内容を踏まえて作成された、とある。このスタンダードでは、エネルギー概念は小学校段階から導入されており、幼稚園-第4学年では光・熱・電気・磁気の内容、第5-8学年ではエネルギー変換、第6-12学年ではエネルギーの保存と物質との相互作用についての記載が見られる。近年、科学教育スタンダードの見直しが図られ、2012年に『K-12学年の科学教育のためのフレームワーク *A Framework for K-12 Science Education* (以後フレームワークと略す。)]、これに基づいて2013年に『次世代科学教育スタンダード *Next Generation Science Standards* (以下NGSSと略す)] が発表された。NGSSは第1巻のスタンダードと第2巻の付録A~Mから構成されている。NGSSの作成にあたっては教育関係者以外にも企業関係者も執筆に関わっていること、扱われる内容は科学内容だけでなく工学・技術的内容にも言及していること、学年帯で「できるようになっておくこと (Performance Expectation) (詳細については後述する)」を示したこと等が特徴である。この幼稚園-第12学年までの「できるようになっておくこと」は3つの側面即ち「科学的・工学的プラクティス (Science and Engineering Practices)」「領域コア・アイデア (Disciplinary core ideas)」「領域横断概念 (Crosscutting Concepts)」に分けて記述され、さらに関連する内容を扱う他の領域やその学年、及び共通基礎スタンダード (Common

Core State Standards) との関連について明記されている。NGSSの特徴は多々あるが、その中でも本研究では領域コア・アイデアのラーニング・プログレッションズ、領域横断概念に着目する。なぜなら、これらは子どもが理解すべき各科学概念や他の科学概念間の関係性を各学年もしくは学年帯に分けて表現しているからである。このような特徴をもつ上記の文章は第1巻と付録E、Gで詳しく説明されている。付録Eで示されたラーニング・プログレッションズは身に付けるべき科学概念を長期に渡って学ぶための指針を示している。本研究ではNGSSにおける初等・中等教育段階におけるエネルギー概念の取り扱いの特質を、その学年が上がるると共にどのように発展させながら取り扱っているのか具体的に探っていききたい。そのために、エネルギー概念に関するラーニング・プログレッションズを分析することは本研究の目的達成のために大変参考になるものであり、研究分析の対象として取りあげる必要がある。このようにNGSSは、全米科学教育スタンダードよりも詳細に幼稚園や小学校段階で扱うべきエネルギー概念の内容について言及している。そこで本研究では、NGSSにおいてエネルギー概念がどのように扱われているか、その特質の一端を明らかにしたい。NGSSに関する先行研究としてはSTEM教育の視点から分析した研究 (熊野他、2013) や、モデリング能力に関する研究 (内ノ倉、2014) がある。しかし、NGSSを対象にエネルギー概念の取り扱いに着目した研究は行われていない。本研究により日本の義務教育段階の理科教育における効果的なエネルギー概念導入を行うためのヒントを提示できる可能性は高く、本研究の意義は大きいと考えられる。

2 研究の目的と方法

本研究の目的は、日本の義務教育段階に相当するNGSSにおける初等・中等教育段階の中でのエネルギー概念の取り扱いの特質を明らかにすることである。その方法として、NGSSの各学年・各分野、またNGSSの特徴でもある「ラーニング・

「プログレッションズ」等におけるエネルギー概念の記述内容を詳細に分析し、その特質を明らかにする。主な分析対象箇所はNGSSの第1巻「領域コア・アイデアによる配列 (Arranged by Disciplinary Core Ideas)」、及び付録E、Gでエネルギーの用語があるところである。「1はじめに」の冒頭で、米国でエネルギーの用語は物理領域以外の広範囲で扱われていることを述べた。これはNGSSについても同様であり、各学年・各科学領域においてエネルギーの用語がそれぞれの科学現象の性質を説明するために用いられている。したがってNGSSの第1巻「領域コア・アイデアによる配列」の各学年のはじめの頁にある文章、及びエネルギーに関する「できるようになっておくこと」の中の「領域コア・アイデア」における記述内容に注目し、エネルギーの概念や定義だけでなくエネルギーの用語を用いて現象を説明している箇所全体を調査することにした。なぜならこの部分を分析することは本研究で問題とするエネルギー概念の特質を探るために最適であると考えたからである。さらに付録E、Gの内容を分析対象としたのは、先述したようにNGSSの領域コア・アイデアと領域横断概念について書かれている所であり、本研究が目的とするNGSSにおけるエネルギー概念の分析のために必須だからである。なお、本研究の調査対象の学年段階は幼稚園、初等・中等教育段階（幼稚園-第8学年）とした。幼稚園段階を含むのは、上記の文献において幼稚園-第2学年までが1つの学年帯として記述されている部分があるためである。それ以降の第9-12学年は本研究の分析対象外とした。

3 NGSSにおけるエネルギー概念の取り扱いの特質

はじめにNGSSの構造について簡潔に述べる。NGSSは、科学の内容は物理学、生命科学、地球宇宙科学、工学・技術・科学の応用の4領域に、学年帯は幼稚園-第2学年、第3-5学年、第6-8学年、第9-12学年の4区分に分かれている。各学年帯の「できるようになっておくこと」²⁾は、先述したように「科学的・工学的プラクティス」、「領

域コア・アイデア」、「領域横断概念」の3領域に分けて説明される。

『付録E：NGSS におけるプログレッションズ (APPENDIX E - Progressions Within the Next Generation Science Standard)』では、3つの科学領域におけるコア・アイデアに関するラーニング・プログレッションズを先述した4つの学年帯に分けて示している。NGSSの特徴の1つは、各コア・アイデアに対するラーニング・プログレッションズを提示している点にある。ラーニング・プログレッションズとは科学概念の修得を長期に渡って学ぶためのモデルであり、近年研究が盛んになりつつある考え方である。 (“Progressions”は「進展」などと訳されることもあるが、拙論では適切な訳語を見いだせないため「プログレッションズ」と表記する。) 例えば山口・出口 (2011) はこれを研究する意義について「日本の学習指導要領に含まれるエネルギーなどの諸概念の理解という目標達成に寄与する知見、さらには将来の学習指導要領の改訂に貢献する知見を提案できる。」として注目している。

表2は、物理科学領域の4つのコア・アイデア、及び、生命科学・地球宇宙科学分野で扱われるエネルギー概念に関して記載のあるラーニング・プログレッションズを筆者が抽出し、翻訳したものである。表2から、各学年間での学習内容が徐々に高度化される内容構成になっていることが分かる。表3は、『付録G：領域横断概念 (Appendix G - Crosscutting Concepts)』で示された7つの領域横断概念の中の1つである「エネルギーと物質 (Energy and Matter)」について、各学年帯で「できるようになっておくこと」とコア・アイデアの各コードが示す記述内容を筆者が翻訳したものである。ただし、エネルギーの用語が直接用いられない内容でも、表2の「幼稚園-第2学年」のPS3.CやPS3.Dのように学年毎の内容の進展を把握するために記載の判断を要すると筆者が判断した内容についてはそれを記載した。

本節では、以下、各学年帯・各領域におけるエネルギー概念に関する記述内容を表2、3と関連

させながら分析することを通して、NGSSにおけるエネルギー概念のラーニング・プログレッションの構造、及び、領域横断概念に関する特質を明らかにする。なお、表2、3、及び以降の文中では幾つかの記号を用いるが、その意味は次の通りである。“PS”は物理科学（Physical Sciences）、“LS”は生命科学（Life Sciences）、“ESS”は地球宇宙科学（Earth and Space Sciences）を示す。ただし、“PS”物理科学は物理分野と化学分野の双方の内容を含む。つまり、“K-PS”は幼稚園段階の物理科学、5-LSは第5学年の生命科学、MS-ESSはミドルスクール（第6-8学年）地球宇宙科学の内容を示す。

(1) 幼稚園-第2学年段階での内容

まず幼稚園-第2学年段階の「できるようになっておくこと」におけるエネルギーに関する記載内容を列挙した上で検討する。幼稚園段階の「K-PS2：運動と安定」では、異なる力や向きに物体を押ししたり引いたりするときの様子を比べる探究活動を計画・実行し、その時の物体の速さや進む向きについて分析できるようになることを目指す。「K-PS3：エネルギー」では、太陽光が地表を温めることを「温かい、冷たい」などの表現を用いて観察できるようになることを目指す。生命科学領域「K-LS1：分子から生命体へ」では、動植物が生きるために何を必要としているかを観察できるようになることを目指す。ただし、ここで言う「必要なもの」とは、植物の場合は光と水を、動物の場合は食料と水を示している。

第1学年ではエネルギー概念に関する記述は見られない。第2学年では、物理科学領域「2-PS1：物質と相互作用」において、物体は壊れると小片に割れたり、破片が集まって大きな固まりになったりするなど、形状が変化することを学ぶ。

以上のように幼稚園-2学年の段階では、前節で述べた通り、エネルギー概念は扱われていない。その代わりに、エネルギー概念を学ぶための基礎的な概念である、太陽光の温かさ、物体に加える力とその向きの違いによる物体の形状の変化、動物や植物が生きるために様々なものを必要とする

こと等を扱う。

(2) 第3-5学年段階での内容

第3学年ではエネルギーに関する記述はなく、第4学年からエネルギーに関する記述が見られる。幼稚園-第5学年の中でエネルギー概念に関する記述が最も多いのが、この第4学年である。

以下は第4学年の節のはじめの頁におけるエネルギー概念に関する記述の抜粋である。

エネルギーとは何か。また、運動とどのような関係があるのか。エネルギーはどのように移動（変換）するのか。エネルギーはどのように問題を解決できるのか。（中略）物体の速さとエネルギーの関係を説明し解釈するために、子ども達は証拠を用いることが出来る。音や光、熱、電流、もしくは物体同士の衝突等により、ある場所から別の場所へエネルギーが移動することを理解できることが期待される。エネルギーをある形態から別の形態へ変換する装置を設計し、テストし、改善するために、彼らはエネルギーの理解を応用する。

ここに示されるように、主に物理科学領域の文脈におけるエネルギーの定義や、運動との関係、様々なエネルギー変換や移動という概念を展開する構成になっている。また、本概念に関する「できるようになっておくこと」には表3に示す4-PS3-1～4の4つが示されている。特にPS3-3では、複数の物体が相互作用するときには、物体の及ぼす力や受ける力ではなく速さの変化により、物体の持つエネルギーが変化すると強調している。言い換えれば、運動エネルギーが物体の速さに依存することを強調している、と言える。また、授業を行う際の留意点として、物体の速さやエネルギーの大きさを量的に扱わないことや、PS3-4で運動エネルギーから電気エネルギーへの変換や光や音を発生させることに留めることように限定していることが挙げられる。

エネルギー概念に関する領域コア・アイデアは、表2に示すように、PS3.A～Dの4つに分けられる。「PS3.A：エネルギーの定義」では、物体の動きを速くするほど大きなエネルギーを持つこと、音、光、電流等によってエネルギーはある場所から別

表2 エネルギー概念に関する領域コア・アイデアのラーニング・プログレッションズ

学年帯 領域コア・アイデア	幼稚園-第2学年	第3-5学年	第6-8学年
【物理学領域のプログレッションズ】			
PS3.A エネルギーの定義	※記載なし	動いている物体はエネルギーを持つ。物体の動きが速いほど、大きなエネルギーを持つ。動いている物体、音や光、電流によって、エネルギーはある場所から別の場所へ移動できる。エネルギーはある形態から別の形態に変換できる。	運動エネルギーは様々な形態の位置(ポテンシャル)エネルギーと区別される。位置エネルギーと運動エネルギーの変化は、物理的・化学的な相互作用を通して調べることができる。系の温度とエネルギー全体の関係は、形態・状態・物質の量に依存する。
PS3.B エネルギーの保存とエネルギーの移動(変換)	※記載なし		
PS3.C エネルギーと力の関係	大きな力で押したり引いたりすればするほど、物体の動きや形状が大きく変化する。	物体同士が衝突すると、エネルギーは接触力によって移動し、それぞれの物体の運動が変化する。 ^{※2}	2つの物体が相互作用する時、それぞれが他方に力を及ぼし合う。力により2つの物体間のエネルギーを移すことができる。 ^{※2}
PS3.D 化学的なプロセスと日常生活におけるエネルギー	太陽光は地表を温める。	エネルギーは、蓄積されたエネルギーが変換されることにより「生産され」「使用され」「放出され」る。植物は、太陽光からエネルギーを得る。この植物は、後に燃料や食料として用いられる。	太陽光は植物に取り入れられ、糖の分子を生み出す反応に用いられる。逆に、糖の分子は、燃焼することによってエネルギーを放出する。
PS4.A 波の性質	※エネルギーの用語を用いた記載なし	※エネルギーの用語を用いた記載なし	単純な波のモデルは、特定の波長、振動数、振幅などの繰り返される形をもつ。機械的な波が伝わるために媒質を必要とする。このモデルは音や光を含む多くの現象を説明できる。波はエネルギーを伝えることができる。
【生命科学領域のプログレッションズ】			
LS1.C 有機物における物質の構造とエネルギーの流れ	※エネルギーの用語を用いた記載なし	食物は動物に物質とエネルギーを供給する。これらは体の修復・成長・保温・運動のために必要である。植物は、主に空気、水、プロセス・マター ^{※3} 、太陽からのエネルギー等の原料を獲得する。これらは生きるために必要な状態を持続するために用いられる。	植物は、光合成を通して、光のエネルギーを使って糖を作る。それぞれの有機物の中で、食物は一連の化学変化を通して分解されて分子になり、エネルギーを放出する。
LS2.B 生態系における物質の循環とエネルギーの移動	※記載なし	※エネルギーの用語を用いた記載なし	生態系における有機物を構成する原子は、生態系の一部である生物・非生物の間を循環する。生産者・消費者・分解者の3つのグループの間を移動する物質とエネルギーの食物網のモデルは、生態系の中で相互作用している。
【地球宇宙科学領域のプログレッションズ】			
ESS2.A 地球資源とシステム	※エネルギーの用語を用いた記載なし	※エネルギーの用語を用いた記載なし	一次エネルギー資源としての太陽と地球内部を含む地球のシステムの内外において、エネルギーは流れ、物質は循環する。プレートテクトニクスは、これらの過程の1つの結果である。
ESS3.A 天然資源	※エネルギーの用語を用いた記載なし	人間が使うエネルギーと燃料は天然資源に由来する。これらを使用することは環境に影響を与える。あるものは再生可能であるが、そうでないものもある。	※エネルギーの用語を用いた記載なし

※1: 表2はAPPENDIX E - Progressions Within the Next Generation Science Standardにあるエネルギー概念に関するコア・アイデアのラーニング・プログレッションズの一覧を筆者が抽出し再編翻訳したものである³⁾。

※2: 3-5年「エネルギーは接触力によって移動する」は原文“contact forces transfer energy”、また、6-8年「力により2つの物体間のエネルギーを移すことができる」は原文“these forces can transfer energy between them.”を訳したものである。

※3: 適切な訳語がないためカタカナ表記とした。原語はprocess matterであり、生育の過程に必要な気体・栄養素を意味すると思われる。

表3 エネルギー概念に関連する各学年帯の領域横断概念と「できるようになっておくこと」の一覧

領域	幼稚園-第2学年	第3-5学年	第6-8学年
エネルギーと物質	物理科学	2-PS1-3. 小さな断片から作られた物体がどのように分解され、また、新しい物体になるのかを、証拠に基づいて説明できるように観察すること。 4-PS3-1. 物体の速さとエネルギーの関係の説明にすることを証拠を用いること。 4-PS3-2. 音、光、熱、電流により、ある場所から別の場所へエネルギーが移動することの証拠を準備するために観察すること。 4-PS3-3. 物体が衝突するときに起きるエネルギーの変換について質問したり、結果を予測したりすること。 4-PS3-4. ある形態から別の形態へエネルギーを変換する装置を設計し、テストし、改良するために、科学的な考えを応用すること。 5-PS3-1. 動物の体の修復、成長、運動、体温を保つための食料に含まれるエネルギーが太陽からのエネルギーに由来することを説明するためにモデルを使うこと。	MS-PS1-5. どのように化学反応において全ての原子が変化せず質量が保存されるのかを説明するモデルを発展させ使用すること。 MS-PS1-6. 化学反応による熱エネルギーの放出と吸収に関する装置を組み立てたり、テストしたり、修正したりする計画の設計を試みること。 MS-PS3-3. 微視的・巨視的な熱エネルギーの移動(変換)について、設計し、組み立て、テストするために、科学原理を応用すること。 MS-PS3-5. 物体の運動エネルギーが変化したり、エネルギーが物体を出入りして移動したりするとき、主張を補助する議論を組み立てたり、用いたり、提供したりすること。
	生命科学	※記載なし 5-LS1-1. 植物が主に空気と水から成長に必要な物質を得ることについて論拠を立証すること。	MS-PS1-6. 化学反応による熱エネルギーの放出と吸収に関する装置を組み立てたり、テストしたり、修正したりする計画の設計を試みること。 MS-LS1-7. 有機体内を通して物質が移動することにより成長を補助したりエネルギーを放出したりして、新しい分子を形成する化学反応を通して、食物が置き換わることを説明するためのモデルを考え出すこと。 MS-LS2-3. 生態系における生物・無生物間の物質の循環とエネルギーの流れを説明するためのモデルを考え出すこと。
	地球宇宙科学	※記載なし	※記載なし MS-ESS2-4. 太陽からのエネルギーや重力による地球のシステムを通して、水の循環を説明するモデルを考え出すこと。

※1. 表3は、Appendix G “Crosscutting Concepts”の「Energy and Matter」の各学年帯にあるコア・アイデアのコードが示す内容を筆者が3領域に分けて編集し、翻訳したものである。⁴⁾

※2. 表中の「◇-PS1-5」の意味：◇の部分は学年を示しており、数字は初等教育段階の学年、MSは中学校段階を示す。

の場所へ移動できることを扱う。「PS.3B：エネルギーの保存とエネルギーの移動(変換)」では、エネルギーが運動している物体や音・光・熱等のあらゆる所に存在すること、光や電流はエネルギーをある場所から別の場所へ移動させることを扱う。「PS.3C：エネルギーと力の関係」では、物体同士の衝突によりエネルギーは接触力によって移動し(詳細は表2の※2を参照のこと。)運動の様子が変化することを扱う。「PS.3D：化学反応

のプロセスと日常生活におけるエネルギー」では、「エネルギーの生産」という表現は蓄積されたエネルギーを望んだ形態に変換することであると学ぶ。このように物理的なエネルギーの定義を扱う以外に注目すべき点は、ある場所から別の場所へエネルギーが移動することに言及している点、日常表現として使われる「エネルギーの生産」の意味を科学的に説明し直している点である。

地球宇宙科学領域では「できるようになってお

くこと」の1つに「4-ESS3-1.エネルギーと燃料が天然資源から得られること、及びそれらを使用することが環境へ影響を及ぼすことを説明するために、情報を得て結びつけられること。」という記述がある。さらに補足事項として、風力エネルギーやダム、太陽光等の再生可能なエネルギー資源の例、化石燃料や核燃料等の再生不可能なエネルギー資源の例、ダムが環境に及ぼす影響や、化石燃料の燃焼による鉱山や大気汚染の問題を例示している。この点から、再生可能な資源と再生不可能な資源についての学習、エネルギー資源を使用することによる環境への影響についての学習等が含まれていることが分かる。

第5学年の節のはじめの頁には、以下のような記述が見られる。

食物のエネルギーはどこから来るか、また、何のために使われるのか。(中略)子どもは、モデルを使用して、植物・動物・分解者そして環境における物質の動きを説明したり、また、動物の食料に含まれるエネルギーが太陽のエネルギーに由来することを表現したりできる。

このように、この第5学年では第4学年での物理科学領域でのエネルギーの定義に関する学習を踏まえ、主に生命科学領域でのエネルギー概念の理解を深める構造となっている。「5-PS3: エネルギー」の「できるようになっておくこと」には、「体の修復や成長、運動、体温を保つために動物が必要とする食料に含まれるエネルギーが太陽のエネルギーに由来すること、を説明するためにダイアグラムやフロー・チャートを活用してモデルを使うこと」が示されている。また、領域コア・アイデアでは、「PS3.D: 化学的なプロセスと日常生活におけるエネルギー」において、植物が太陽のエネルギーを取り込み利用していることを扱っている。

一方、「LS1.C: 有機体における物体とエネルギーの流れの仕組み」では、食料が動物の体温の維持や運動に役立っていることを扱う。さらに、植物が主に空気と水から成長に必要な物質を得ることの論拠を立証すること(5-LS1-1)や生態系

における物質循環とエネルギーの移動を取り扱い、生命科学分野のエネルギーの果たす役割や移動の概念を詳しく学ぶように構成されている。ただし、光合成の仕組みについては深く記述されていない。これはフレームワークにも記載されていることであるが、第8学年まで光合成の詳細について深く取り扱わない、ということが影響していると考えられる。

(3) 第6-8学年段階での内容

第6-8学年の内容は、学年毎ではなく、物理科学・生命科学・地球宇宙科学の3領域に分けて、それぞれ3学年分をまとめて記載している。

①物理科学領域

序文(NGSS、本文のp.55)の「PS3: エネルギー」の「できるようになっておくこと」の文中に、エネルギー概念に関する以下のような細かな記載が見られる。

「PS3: エネルギー」は「ある物体・系からもう一方へ、どのようにエネルギーを移動させることができたのか」という質問に対する解答を子どもに説明する助けとなる。中等教育段階で、NRCフレームワークによるPS3の領域コア・アイデアは、4つの補助的なコア・アイデア「エネルギーの定義」、「エネルギーの保存とエネルギーの移動」、「エネルギーと力の関係」、「化学的なプロセスと日常生活におけるエネルギー」に分けられる。(中略)ある物体から別の物体へのエネルギーの移動の概念を用いて物体間の相互作用を説明や予測ができることや、ある系におけるエネルギーの変化の総量が出入りするエネルギーの移動の総量と常に等しいことなど、エネルギーに関する重要な概念を子どもは理解できるようになる。運動している物体が運動エネルギーを持つことや、位置によって物体が位置(ポテンシャル)エネルギーを貯えることを子どもは理解する。子どもは、エネルギーと温度の違いを知りようになり、力とエネルギーの関係について理解し始めるだろう。またエネルギーの移動(変換)の過程についての理解を子どもは応用できるようになる。

先述した第4学年の物理科学領域では「音、光、熱、電流、物体同士の衝突」等の具体的な事例を用いて、エネルギーの定義、変換、移動等のエネルギー概念の導入を図っていた。第6-8学年段階

では、位置エネルギーや運動エネルギー、及び、エネルギーの保存、分子運動の大きさに起因する熱エネルギーの定義等へと、学習内容がさらに深められる。

「PS1：物質と相互作用」では、化学反応前後における質量保存の概念やとそれに伴う熱エネルギーの吸収・放出を扱う。この領域コア・アイデアの1つ「PS3.A：エネルギーの定義」では、2つの異なる温度の物体間での熱エネルギーの移動、原子・分子がもつ位置エネルギーと運動エネルギーと熱エネルギーの関係を扱う。また、日常生活で用いられる熱という用語が、物質を構成する原子や分子の運動としての熱エネルギー、もしくは、ある物質から別の物質への熱エネルギーの移動、という2つの意味を持つことを学ぶ。さらに、理科で扱う「熱」は後者の意味を示すことを学ぶ。

PS1、PS3の「できるようになっておくこと」は表3の右上の欄にある4つが示されている。但し、この学年帯における熱エネルギーや運動エネルギー等の学習では、計算を含めない、という記述がある。つまり、定量的にはなく、定性的なエネルギーの見方・考え方ができるようにすることを目的としているといえる。

「PS3：エネルギー」の領域コア・アイデアのうち、エネルギー概念に直接関連するものは3つある。「PS3.A：エネルギーの定義」では、運動エネルギーと位置エネルギー、温度と粒子の運動エネルギーの関係等を扱う。「PS3.B：エネルギーの保存とエネルギーの移動」では、物体の運動エネルギーが変化するときには他のエネルギーが変化していること、閉じた系において一方のエネルギーが変化するともう一方のエネルギーも変化すること、温かい所から冷たい所へエネルギーが移動することを扱う。「PS3.C：エネルギーと力の関係」では、物体間の相互作用によるエネルギーの移動（変換）について扱う。

このように、第6-8学年での物理科学領域におけるエネルギー概念導入の場面では、日本と同様に位置エネルギーや運動エネルギーに関する事例を取りあげながらエネルギー概念の導入を図って

いる。しかし、原子・分子の運動と熱エネルギーの関わり、及び、温度差のある物体間での熱エネルギーの移動を例としたエネルギーの移動の概念を詳細に導入している点は、日本との大きな相違点である。

②生命科学領域

生命科学領域の序文（NGSS、本文のp.65）のコア・アイデアの1つ「LS2：生態系における相互作用・エネルギー・力学の関係」には、以下のような記述がある。

「LS2：生態系における相互作用・エネルギー・力学の関係」は生態系における有機物の必要性を満たすために、生物・無生物のシステムがどのように作用しているのか」という質問に答えることを助ける。LS2の領域のコア・アイデアは、「生態系における相互依存関係」「生態系における物質の循環とエネルギーの移動（変換）」「生態系の力学、機能、回復力」の3つの補助概念に分類される。生態系における資源と物質の循環とエネルギーの流れの深い理解について、子どもはデータを解析・解釈しモデルを発展させ、議論や証明を組み立てることができる。（後略）

ここで述べられた補助概念の1つ「LS2.B：生態系における物質の循環とエネルギーの移動（変換）」では、生産者・消費者・分解者の間でやりとりされる物質やエネルギーの移動について焦点が当てられる。また、これに関連する領域横断概念「エネルギーと物質」では、自然界の中でエネルギーの流れをエネルギーの移動としてたどることができることが示されている。日本の中学校では、有機物と無機物（酸素と二酸化炭素）の循環しか扱わないが、NGSSではそこにエネルギーの移動という概念を導入しているのである。

生命科学領域のエネルギーに関する「できるようになっておくこと」は3つ挙げられている。例えば表3の中の「MS-LS1-7」での強調すべき点として、分子が粉々に分解されて別の分子に再構成される過程でエネルギーが放出されることが示されている。また、「MS-LS2-3」では、様々な生態系の内外を出入りするエネルギーの流れと物

質の保存について説明できるようにすることを強調点として挙げている。ただし、これらの学習において、光合成や呼吸における化学反応の詳細は取り扱わないこと、としている。

③地球宇宙科学領域

この領域の序文 (NGSS、本文のp.76) におけるコア・アイデアの1つ「ESS2：地球のシステム」では以下のように記述がある。

子どもは、異なるシステムの中及び両者の間で、エネルギーの流れと物質の循環をモデルとすることによって、地球のシステムがどのように作用しているかを理解する。

このように、地球上の大気や水等の物質の循環に加えて、エネルギーの流れに関する説明を導入している。「できるようになっておくこと」には、表3で示した「MS-ESS2-4」の他に、「MS-ESS2-1：地球における資源の循環や、その循環に必要なエネルギーの流れを説明するためのモデルを考え出すこと。」という記述がある。この学習での強調点として、子どもが概念的なモデルを用いて、様々な経路をたどって水が循環することについて学ぶことを挙げている。その際、太陽によるエネルギーの作用により水の循環が起きることを学習する。ただし、ここでの学習では、氷の融解や水の蒸発等における熱量、鉱物名の特定と命名を扱わないことが示されている。つまり、定量的にではなく定性的に太陽光のエネルギーによる地球上の大気や水の循環について理解できるようにするのである。

4 おわりに

本研究では、近年米国で発表されたNGSSを分析し、エネルギー概念の取り扱いの特質について調査した。以下に、NGSSの各学年帯におけるエネルギー概念の取り扱いの特徴について列挙する。

(1) 幼稚園-第2学年での取り扱い

この段階では、エネルギー概念に対する誤解を生じさせることを防ぐため、エネルギー概念を導入しない。その代わりに、子どもが直接見て分かる現象、例えば、太陽光によるものの温まり方や、

植物が日光を必要とすること、物体同士の衝突による運動の変化についての観察等に留める。

(2) 第3-5学年での取り扱い

第4,5学年で、物理的な理解を出発点としてエネルギーの定義が導入される。その後、生命・地球宇宙科学領域の内容でエネルギー概念を取り入れる構成となっている。

(3) 第6-8学年での取り扱い

これまでに学習した位置エネルギーや運動エネルギー等の物理概念だけでなく、原子・分子の運動に伴う熱エネルギーや、熱の移動を例としたエネルギーの移動の概念を理解させる構成である。さらに生命科学領域では動植物の成長と生態系におけるエネルギーの流れについて、地球宇宙科学領域では地球の大気・海洋におけるエネルギーの果たす役割などを扱う。ただし、この学年帯では化学反応式やエネルギー量の計算などの詳細を扱わないように言及していることから、エネルギー概念を定量的にではなく定性的に理解させることを目標にしていると思われる。

筆者らが調査した米国の2006年、2010年発行の初等教育理科の教科書では、第1学年でエネルギーの用語が扱われていたり、第3学年で日常生活の様々な場面を事例とした位置エネルギーや運動エネルギーが扱われていたりしていた。しかし、今後米国の多くの州でNGSSを導入する可能性が高いことから、今後各出版会社はNGSSに沿った教科書の出版を行うだろう。したがって、今後の課題として、それらの教科書でのエネルギー概念の扱いを調査する必要がある。さらに、米国の初等・中等教育段階におけるエネルギーを取り扱う理科授業の実相を調査することも必要であろう。これらの研究については稿を改めたい。

附記

本研究の一部は、平成26年度日本学術振興会科学研究費補助金・奨励研究によって行われた。

註

1) 原文を<http://www.nap.edu/>から取得した。(2010年11

- 月取得)。なお、和訳については以下の文献を参照した。
長洲南海男監修 (2001) 『全米科学教育スタンダード (National Science Education Standards)』、梓出版社。
- 2) 以下の文献を参考に Performance Expectation を「できるようになっておくこと」と訳した。
勝野頼彦他 (平成26年) 『平成25年度 調査研究等特別推進経費調査研究報告書 初等中等教育-022教育課程の編成に関する基礎的研究 報告書7資質や能力の包括的育成に向けた教育課程の基準の原理 [改訂版]』、国立教育政策研究所、97。
- 3) エネルギー概念に関するコア・アイデアのラーニング・プログレッションズの一覧は、以下の資料からエネルギー概念に関する記述のみを抜き出し、再編したものである。
NGSS Lead States (2013). *Nest Generation Science Standards Volume 2 Appendixes*, APPENDIX E “Progressions within the Next Generation Science Standards”, 41-47, The National Academies Press.
- 4) 表3は、以下の資料のp.14の表中にある「Energy and Matter」の各学年に書かれた各コードが示す文章内容を筆者が訳したものである。
NGSS Lead States (2013). *Nest Generation Science Standards Volume 2 Appendixes*, Appendix G “Crosscutting Concepts”, The National Academies Press, 91。
- 国際比較 一第3回国際数学・理科教育調査の第2段階調査結果報告』ぎょうせい、100。
国立教育政策研究所編 (2005) 『TIMSS2003 理科教育の国際比較』ぎょうせい、68、74-75。
国立教育政策研究所編 (2009) 『平成20年科学技術振興調整費調査研究報告書 第3期科学技術基本計画のフォローアップ「理数教育部分」に係る調査研究 [理数教科書に関する国際比較調査結果報告]』、217。
国立教育政策研究所編 (2013) 『TIMSS2011 理科教育の国際比較』明石書店、69、76。
M.J.Bell, et.al., (2006). *Science Grade 3*, Harcourt School Publishers.
文部科学省 (2006) 『小学校理科・中学校理科・高等学校理科指導資料 ～PISA2003及びTIMSS2003結果の分析と指導改善の方向～』東洋館出版社、166-168。
文部科学省 (2008) 『小学校学習指導要領』東京書籍、61。
National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press.
NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards*, The National Academies Press.
T.Cooney, et.al., (2010). *Scott Foresman Science Grade 3*, Pearson.
内ノ倉真吾 (2014) 「アメリカの科学スタンダードにおけるモデリング能力：“Next Generation Science Standards”の内容構成に着目して」『日本科学教育学会年会論文集』、Vol.38、361-362。
山口悦司・出口明子 (2011) 「ラーニング・プログレッションズ 一理科教育における新しい概念変化研究一」『心理学評論』第54巻、第3号、358-371。
- 板橋夏樹・大高泉 (2012) 「米国小学校におけるエネルギー概念の導入に関する研究 ～米国の小学校理科教科書、教師用指導書を事例として～」『理科教育学研究』第52巻、第3号、11-21。
勝野 頼彦 (2014) 『平成25年度 調査研究等特別推進経費調査研究報告書 教育課程の編成に関する基礎的研究報告書7 資質や能力の包括的育成に向けた教育課程の基準の原理』国立教育政策研究所編、94。
熊野善介・萱野貴広・内ノ倉真吾 (2012) 「米国の科学技術ガバナンスのためのSTEM教育国家戦略と日本への示唆：K-12科学教育フレームワークと次世代科学スタンダードを中心として」『日本科学教育学会年会論文集』、Vol.37、68-71。
国立教育政策研究所 (2001) 『数学教育・理科教育の国

引用文献