

<論文>

小・中学校理科におけるエネルギー概念の導入についての研究 ～英国のナショナル・カリキュラム、理科教科書、 教師用指導書を事例として～

板 橋 夏 樹

【要約】本研究では、小・中学校理科におけるエネルギー概念導入のより良い方法を模索するため、英国のナショナル・カリキュラム（1999）と2012年発表の草案、及び、初等・中等教育段階の理科の教科書と教師用指導書を対象に特徴を分析した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 英国ナショナル・カリキュラム（1999）では、エネルギーの伝達に関する概念を第7学年（11歳）以降のKey Stage3（11～14歳の第7～9学年）の各学習内容の柱の1つに位置付けていた。ナショナル・カリキュラム草案（2012）では、初等教育段階の植物や人体に関する内容でエネルギーを用いた表現をしているものの、第1、6学年で「エネルギーの用語を用いた説明をすべきでない」と言及しており、初等教育段階でのエネルギーの用語の扱いに変化が見られた。
- 2) 初等教育段階の教科書では、第6学年で電気回路や食物連鎖の内容でエネルギーの用語が用いられていた。一方、教師用指導書では、第1学年の音、第2学年の電気回路の内容でもエネルギーの用語を使用した記述がみられた。このことから、実際の指導場面では、低学年段階からエネルギーの用語を使った説明がなされていることが推察された。
- 3) 中等教育段階の教科書には、ダイアグラムやサンキーダイアグラムの技法を活用したエネルギーの伝達の説明の工夫がある特徴がみられた。これらを用いたエネルギーの伝達の方法の導入方法は、日本においても有効だと考えられる。

1 はじめに

日本の小・中学校理科では、『学習指導要領（平成29年告示）理科学習指導要領』（2017）において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。しかし、小学校段階ではエネルギーという用語について学ぶ機会はなく、その定義については中学校第3学年で学ぶことになる。そのため、小学校の理科の教科書にはエネルギー

の用語は原則として用いられることはない。

一方、米国では小学校段階からエネルギー概念を導入しており、日本のそれとは大きく異なる。例えば、Harcourt 社の 1 年生の教科書“*Science*”では単元 F「世界の中のエネルギー」の 11 章「熱、光、音」において、また、Pearson 社の 1 年生の教科書“*Scott Foresman Science*”では単元 C の物理科学分野の 10 章「エネルギーについての学習」において、エネルギー概念の学習を導入している。板橋・大高（2012）は、このように米国では、初等教育段階の早期からエネルギー概念を系統的に導入していることを明らかにした。

英国では、1988 年の教育改革法により教育課程の全国基準としてナショナル・カリキュラムが導入された。『数学教育・理科教育の国際比較 ―第 3 回国際数学・理科教育調査の第 2 段階調査結果報告』（2001）によれば、教員は必ずしもナショナル・カリキュラムに準拠した教科書を用いる必要はないが、その多くの場合、教科書を中心とした授業が展開されている。岡本（2009）はナショナル・カリキュラムにおけるエネルギー教育内容の特徴について「第 7 学年でエネルギーの伝達の単純なモデル、第 8 学年でエネルギー移動モデルの応用、第 9 学年でエネルギー保存概念と応用、及びエネルギー移動の説明モデルを取り扱っている」と分析している。本研究では、ナショナル・カリキュラムにおけるエネルギー概念に関する記述内容の分析、教科書と教師用指導書のエネルギー学習に関する記述内容の分析を通して、英国のエネルギー概念導入方法の詳細な状況や、その特質について明らかにしたい。英国の教科書分析についての先行研究としては井元・小澤（1999）の研究がある。彼らはその論文の中で英国の中等学校の科学教科書におけるエネルギー概念を導入して記載された単元名と 1 つの事例を挙げているが、それ以上の詳細な教科書中の取扱いの詳細は述べられていない。このように英国の理科教科書におけるエネルギー概念の導入の実相を明らかにした研究は見当たらない。したがって、英国のそれを明らかにすることは、今後の日本の小・中学校段階における理科教育におけるエネルギー概念を適切に導入するカリキュラムを考える上で大きな手がかりとなるはずである。

2 研究の目的と方法

本研究は、英国の初等・中学校段階におけるエネルギー概念導入の特質について明らかにすることである。そのための方法として、第 1 に 1999 年版の英国ナショナル・カリキュラム（*The National Curriculum for England*, 1999）におけるエネルギー概念導入の記述内容を分析し、その特質を明らかにする。第 2 に、2000 年代前半に発行された英国の教科書及び教師用指導書を事例にそこに記載されたエネルギーの学習内容を分析することにより、具体的なエネルギー概念の導入方法について明らかにする。分析に用いた教科書は初等教育段階の教科書の

“*New Star Science*” (Ginn)、及びその教師用指導書、中等教育段階の教科書の “*Spectrum*” (Cambridge University Press) と “*Science*” (Collins) である。

3 英国ナショナル・カリキュラムにおけるエネルギー概念についての特徴

(1) ナショナル・カリキュラムの記述内容の特徴

英国の義務教育段階は、Key Stage1 (5～7 歳：第 1・2 学年、以下 KS1)、Key Stage2 (7～11 歳：第 3～6 学年、以下 KS2)、Key Stage3 (11～14 歳：第 7～9 学年、以下 KS3)、Key Stage4 (14～16 歳：第 10・11 学年、以下 KS4) に分かれている。表 1 はナショナル・カリキュラム (1999) の理科分野においてエネルギー概念について指導すべき内容における文章中のエネルギーに関する記述である。表 1 から、エネルギー概念が、Key Stage3 (11～14 歳) 以降の物理分野の電気、熱の移動、食料、化学変化の学習内容で取り扱われていることが分かる。

エネルギー概念は、ナショナル・カリキュラムの KS3、4 (中学校段階) で、生徒が教えらるべき内容として取り扱われる。ここでの記述内容の特徴としては、「energy transfer、transfer of energy、energy is transferred、transferring energy」の表現が合計 24 箇所記述されており、他の用語の頻出回数 (例として、エネルギー資源の用語は 9 回である) より著しく多いことが挙げられる。なお、本稿では、energy transfer を『学術用語集 物理学編』(文部省、1990) に基づいて、以後、「エネルギーの伝達」と訳すことにする。

この点から、ナショナル・カリキュラムにおけるエネルギー概念はエネルギーの伝達を焦点としたカリキュラムを構成している、と見るができる。このような、エネルギーの伝達概念を中心に据えた指導のあり方は日本や米国には見られず、注目すべき方法であるといえる。さらに、ナショナル・カリキュラム (2007) の KS3 では、「3.1 エネルギー、電気、力」の中で「a エネルギーは、容易に伝達、保存、分散できる。しかし、生み出されたり、破壊されたりすることはできない。」という文章でエネルギーを定義している。

(2) 到達目標における記述内容の特徴

ナショナル・カリキュラムでは、各 Key Stage で生徒に期待する「到達目標 (Attainment target)」のレベルを 8 段階分けて示している。表 2 は各到達目標におけるエネルギー概念に関する記述を抜き出したものである。

エネルギー概念については、上記の表に示すように、火成岩の成り立ち、電気回路、エネルギーの損失等の物理現象について、エネルギーの伝達概念を中心に生徒の到達すべき目標のレベルを具体的に示している。さらに「KS3 のための理科の過程と到達目標 (*Science Pro-*

表1 英国ナショナル・カリキュラム（1999）におけるエネルギー概念に関して指導すべき内容（1999）

KS3	
〈Materials and their properties〉	
○物理変化	c エネルギーの伝達と状態変化の関係
〈Physical processes〉	
○電気と磁気	c 電気回路の中の電池や他の電源からその他の構成部分へエネルギーが伝達すること
○エネルギー資源とエネルギーの伝達	a 石油、ガス、バイオマス、食物、風、波、電池等を含む様々なエネルギー資源、再生可能エネルギーと再生不能エネルギーの区別 b 太陽が地球のエネルギー資源の大部分の基本的な要素であることと、石炭、石油ガスが形成されることとの関係 c 様々なエネルギー資源により電気が生み出されること d 温度と熱の区別、温度の相違によりエネルギーが伝達すること e 効率的なエネルギーの伝達、保存のされ方 f 熱伝導や対流、蒸発における粒子の動きや、放射によりエネルギーが伝達すること g エネルギーは保存されるが、入手可能な資源としてのエネルギーは減少していく可能性があること
KS4	
〈Physical processes〉	
○電気	h エネルギーの伝達の大きさは、一般的な家庭の設備を使う際の電気料金の計算により行われてきたこと
○エネルギー資源とエネルギーの伝達	a 断熱材は、どのように温かい物体から冷たい物体へのエネルギーの伝達を減少させるのか b エネルギーの効率的な利用、経済的なエネルギー資源の使用の必要性、エネルギー生産における環境面との密接な関係 d 発電所から消費者のもとへ、エネルギーがどのように伝達するか
〈Life processes and living things〉	
○環境における生命	エネルギーと栄養の移動（Energy and nutrient transfer） e 生態系におけるエネルギーの伝達の仕方 g 食料生産と分布体系（distribution system）が、エネルギーの伝達の効率を改善するためにどのように管理されているか
〈Materials and their properties〉	
○化学反応におけるエネルギーの伝達	v エネルギーの伝達を含む、化学変化における化学結合の接続と切断について
〈Physical processes〉	
○電気	e 電圧は電荷ごとのエネルギーの伝達であること j エネルギーの伝達の大きさは、一般的な家庭の設備を使う際の電気料金の計算により行われてきたこと（前出）
○波	a 波は、物体を移動することなくエネルギーを伝達させること
○エネルギー資源とエネルギーの伝達	a 断熱材は、どのように温かい物体から冷たい物体へのエネルギーの伝達を減少させるのか（前出） b エネルギーの効率的な利用、経済的なエネルギー資源の使用の必要性、エネルギー生産と環境面の密接な関係（前出） d 仕事率やエネルギーの伝達の速さに関する計算 e 運動エネルギーと位置エネルギーの計算 j エネルギーが発電所から消費者のもとへどのように伝達するかについて（前出）

※エネルギーに関する記述のみ抜粋、筆者翻訳

表2 英国ナショナル・カリキュラム（1999）における到達目標のエネルギーの伝達に関する記述内容

到達目標番号とその題目、及び、到達目標のレベル	エネルギーの伝達に関する記述内容
到達目標3「物質とその性質」 レベル6	• 広い文脈（例えば火成岩の形成）の中でエネルギーの伝達と状態変化を関連づけることができる。
到達目標4「物理的な過程」 レベル6	• 例えばエネルギーの伝達の道筋の1つとして電気回路というように、記述や説明の中で論理的に考えをする。 • 多くの物理現象を幅広く応用して認識して例（光や音、電気によるエネルギーの伝達）を挙げることができる。
到達目標4「物理的な過程」 レベル7	• 例えばエネルギーが伝達する際のエネルギーの消失という物理現象を説明する場面で、論理的に応用して考えること。
到達目標4「物理的な過程」 レベル8	• 例えば限られたエネルギー資源を保存するのに必要なエネルギーの伝達とエネルギーの浪費との関係について、幾つかの異なる考え方から物理現象を考えること。

※エネルギーに関する記述のみ抜粋、筆者翻訳

表3 英国ナショナル・カリキュラム（2007）の到達目標4におけるエネルギー概念に関する記述内容

到達目標4のレベル	エネルギー概念に関する記述内容
レベル4	科学的な知識と理解、専門用語を活用してエネルギー、力、空間と関連する様々なプロセスや現象を説明することができる。 例：1日の間に空の太陽の位置を観察すること
レベル5	抽象的な概念や専門用語を活用して、エネルギー、力、空間と関連する様々なプロセスや現象を説明することができる。 例：力のバランス
レベル6	抽象的な概念や専門用語を活用して、エネルギー、力、空間と関連する様々なプロセスや現象を説明することができる。 例：エネルギーの輸送の方法としての電流
レベル7	抽象的な概念と専門用語を用い、多くのポイントを順序立てて、エネルギー、力、空間と関連する様々なプロセスや現象を説明することができる。 例：放射や伝導によってエネルギーがどのように移動するか。
レベル8	エネルギー、力、空間と関連する広い知識や理解を説明することができる。 例：媒体を通した音波の通過

※エネルギーに関する記述のみ抜粋、筆者翻訳

gramme of study for Key stage 3 and attainment targets) (2007)」では、「エネルギー、力、空間 (Energy, forces and space)」の分野における到達目標4のエネルギー概念に関する記述が増加している（表3）。ここに示すように、エネルギーの伝達についての概念としては特に記述されていないが、その抽象的な概念をより詳細に「説明することができる」というように、4～8の段階に分けて示している。

表4 英国ナショナル・カリキュラム草案（2012）（KS1、2）におけるエネルギーに関する記述内容

学 年	エネルギーに関する記述内容
第1学年	単元「力と運動」(Forces and motion) ・「力やエネルギーという用語を用いて話すべきではなく、押したり引いたりする動きとして力を紹介するべきである。」(p. 11)
第4学年	単元「人間を含む動物」(Animals including humans) ・「消化器系統が食物を消化し、体にエネルギーを与えることを含む。」 ・「食物のエネルギーがどのように生産者から消費者に伝わっていくのかについて」 ・「食物のエネルギーがどのように数多くの食物連鎖を通過していくのかについて」(p. 21)
第5学年	単元「すべての生き物」(All living things) ・「植物が呼吸するのと同じく、体の活動を維持するために、栄養である食物からエネルギーを取り出す活動として、呼吸を説明することができる。」(p. 29)
第6学年	単元「電気」(Electricity) ・「電圧を変えると電球が明るくなったりブザーが大きく鳴ったりする効果においては、エネルギーや電荷について説明すべきではない。」(p. 37)

※エネルギーに関する記述のみ抜粋、筆者翻訳

（3）ナショナル・カリキュラム草案（2012）におけるエネルギー概念の位置づけの特質

「ナショナル・カリキュラム草案 (*National Curriculum for science Key stages 1 and 2-Draft*) (2012)」によると、初等教育段階である KS1、2 段階におけるエネルギー概念の導入について幾つか言及している。その記述内容を表4に示す。

第1、6学年の記述を見ると、第1学年で力の概念を導入する際の「力やエネルギーという用語を用いて話すべきではなく」や、第6学年での電気の学習で「エネルギーや電荷について説明すべきでない。」など、エネルギーという専門用語の使用を控えるように指示している点が特徴である。これらの点は小学校段階から積極的にエネルギー概念を導入している米国とは大きく異なっており、一つの大きな特質といえる。このように記述している主要因の1つには、「話し言葉の重要性」が挙げられる。本草案では、「話し言葉がカリキュラム全体に渡って認識論・社会論的に児童生徒の成長に重要である」と述べている。さらに、「聞いたり話したりする際の言語の質と種類は、科学的な用語の発展と、科学概念を明確に表現する上での鍵になる」と述べている。つまり、エネルギーという用語を使うことよりも、押したり引いたり等の平易な話し言葉で表現することの方が、児童の科学概念の理解を促進すると考えられているのである。

このように、KS1、2の草案では、小学校段階では物理分野でのエネルギー概念の定義の導入を回避し、生物分野でのエネルギーの用語の使用に留めている点に特徴があるといえる。

4 理科の教科書におけるエネルギーに関する内容構成

(1) 初等教育段階におけるエネルギー概念の取り扱い

本稿では、英国の初等教育段階の教科書の1つ *New Star Science* と、その教師用指導書を事例として、エネルギー概念に関する記述内容の分析を行った。これらの書籍における「エネルギー」の用語が使用されている場面を表5、6に示す。

KS1、2の段階の教科書では、エネルギーに関する記述は非常に少なく、表5に示すように第6学年のみである。第6学年の電気の分野の単元では、巻末用語集の電気の説明において「エネルギーの1つの形態である。」と述べられているに過ぎず、それ以外の頁では1回も用いられていない。生物分野では、同じく第6学年の「食物連鎖」の単元で、植物の光合成の仕組みを説明する中でエネルギーの用語が用いられている。米国での小学校教科書では力や音、熱、光など概念を教える際にエネルギー概念を導入して記載しているのに対し、そのような場面が見られない。

表5 *New Star Science*における用語「エネルギー」の使用場面の例

学年	単元名、及び、用語「エネルギー」の使用場面例
第6学年	単元「回路の変化」 「電気：エネルギーの1つの形態」（巻末用語集より引用） 単元「食物連鎖」（Food Chains） 「植物は光から栄養を作ることができる。植物は光のエネルギーを使って、二酸化炭素と水を糖と酸素に変化させます。」（p. 6より引用）

※エネルギーに関する記述のみ抜粋、筆者翻訳

表6 *New Star Science* 教師用指導書における用語「エネルギー」の使用場面の例

学年	単元名、及び、用語「エネルギー」の使用場面例
第1学年	単元「音と熱」 「なぜなら、音はそのエネルギーを失いながら遠くへ伝わるからです。（「遠くに行くと音が変化して聞こえるのは何故か」との問いに対する答え方としての例示）」（p. 15より引用）
第2学年	単元「電気の利用」 「電池は回路に電気を押すポンプである、また、電池が電気を押し出すエネルギーを持っていないときは電池切れである、と説明しなさい。」（p. 11より引用）
第6学年	単元「食物連鎖」 ・「生活し成長するために私たちにエネルギーを与えるものが食料である。」（p. 8より） ・「植物のエネルギー源としての太陽、生産者、消費者、捕食者、被食者、草食・肉食動物といった正しい専門用語に焦点を当てなさい。」（p. 14より） ・ワークシートの問い「食物を作るためのエネルギーはどこから来るのか。」（p. 22より引用）

※エネルギーに関する記述のみ抜粋、筆者翻訳

一方、教師用指導書では表 6 に示すように、第 1 学年の「音」、第 2 学年の「電気の利用」、第 6 学年の「食物連鎖」でエネルギーの用語を用いた幾つかの記述がある。ただし、1、2 学年の場合は、教師が学習内容を説明する際に使用する文例の中で使用されているだけであり、児童が理解すべき項目とはなっていない。

先述したナショナル・カリキュラム草案（2012）においてエネルギーという用語を早期に導入すべきでないという議論があったが、今回分析した教科書ではエネルギー概念を早期に取り上げてはいなかった。日本では、『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説理科編』（文部科学省、2017、p.22）のエネルギー概念に関する学習内容の構成図に示されているように力学エネルギーをはじめとした物理学の内容でエネルギー概念を取り上げるのに対し、英国では生物学的な内容でエネルギー概念を導入するといった特徴が見られる。この点において、“*Research Report DFE-RR178*” *Review of the National Curriculum in England What can we learn from the English, mathematics and science curricula of high-performing jurisdictions?*（2011）では英国、シンガポール等 7 つの理科カリキュラムを分析しており、これによると、エネルギー概念が各カリキュラムの生物分野の人間を含む動物と植物の学習内容で取り入れられており、共通の要素は光合成、消化と食物連鎖である、と言及している。

（2）中等教育段階におけるエネルギー概念の取り扱い

①事例 1：“*Spectrum 7～9*” の分析

中等教育段階 KS3 用の教科書 “*Spectrum 7～9*（Cambridge University Press）” を事例として、エネルギー概念に関する記述内容の分析を行った。まず、エネルギーに関する章・節の構成を表 7 に示す。

表 7 に示すように、エネルギー概念は、第 7 学年では環境やエネルギー資源、電気の単元で、第 8 学年では消化や呼吸、熱力学の単元で、第 9 学年では主に電気の単元で学習される。

先述したように、英国におけるエネルギー概念はナショナル・カリキュラムの KS3 以降で教えられるべき内容として扱われる。*Spectrum* では、第 7 学年の単元 C、I、J で扱われ、特に I、J の物理分野で詳細に扱う。指導書の単元 I の冒頭（p.315）では「生徒は KS2 ではエネルギー概念を公式に接してこなかった。」と言った上で、「この単元はエネルギーが何かを考える良い機会です。」と述べている。そこで、この単元では、エネルギーの様々な形態を議論したり（図 1）や、ブンゼン・バーナーで物が燃えたりする様子を観察したりしながら、エネルギーとは何かを学ぶことになる。

また、1 つの事例として、第 8 学年の 8A.1 では「脂肪や炭水化物はエネルギー・フードです。私たちは動いたり、成長したり、体温を保つためにエネルギーを必要とします。」との記述がある。ここでは、板チョコがもつエネルギーや、徒競走・長距離走で消費するエネルギー

表7 “Spectrum” のエネルギー学習内容の構成

学 年	単元	単元、及び、小単元名
第7学年	単元C	環境と食料の関係
	7C.5	摂食関係 (Feeding relationships)
	単元I	エネルギー資源
	7I.1	エネルギーと燃料
	7I.3	再生可能なエネルギー資源
	7I.4	生物とエネルギー
	単元J	電気回路
第8学年	7J.3	電気のエネルギー
	単元A	食物と消化
	8A.1	食物とエネルギー
	単元B	呼吸
	8B.1	どのように細胞は食物を使うのか
	単元I	加熱と冷却
	8I.4	液体・気体における熱エネルギーの伝達
第9学年	8I.5	どのようにエネルギーは宇宙を伝わるのか？
	単元I	エネルギーと電気
	9I.1	役に立つことを行う中で、どのようにエネルギーは関係するのか？
	9I.2	どのように電気はエネルギーを伝えるのか？
	9I.4	どこから私たちは電気エネルギーを得ているのか？

Activity 7I.1a The eight types of energy

I looked at page 106 to help me with this.

Draw lines to match the type of energy to its description and to its picture. The first one has been done for you.

Type of Energy	Description	Picture
Kinetic	Energy that comes from the Sun or a light bulb and we can use it to see, using our eyes.	
Elastic potential	Energy stored in a fuel, for example petrol or in a battery.	
Light	Energy stored by being high up or by being moved higher up.	
Electrical	Energy carried by any moving object.	

図1 各エネルギー形態の名称と定義を結びつける活動の例
(出典：Spectrum Grade7 (p.317) より)

表8 *Spectrum* に示された学習成果（Learning outcomes）の例

単元	エネルギーに関する学習成果の例
7C.5	一部の生徒が、食物連鎖とエネルギーの伝達を関係づけることができる。
7I.1	- エネルギーが何であるかを生徒全員が述べるができる。 - 燃料のエネルギーの出力の適正な比較を生徒全員ができる。 - エネルギーの様々な種類の違いについて大部分の生徒が見分けることができる。 2種類のブンゼン・バーナーの炎のエネルギーの出力を大部分の生徒が比べることができる。 - エネルギーが他のものに変化できることを一部の生徒が認識することができる。
7I.2	太陽に由来する化石燃料がもつエネルギーについて、一部の生徒が説明できる。
7I.3	- 再生可能エネルギーを使い果たすことがないことを、生徒全員が述べるができる。（一部抜粋） - 大部分の生徒が、再生可能の意味や、再生可能エネルギーを簡単に説明することができる。（一部抜粋） - 一部の生徒が、何のエネルギー資源が再生可能か議論することができる。（一部抜粋）
7I.4	- 太陽光に含まれるエネルギーを使って植物が食料を生産することを、生徒全員が述べるができる。（一部抜粋） - 食物の2つのエネルギーの単位について、大部分の生徒が述べるができる。（一部抜粋） - 食物のもつ全てのエネルギーが究極的には太陽に由来することを、一部の生徒が述べるができる。（一部抜粋）
7J.3	- 回路における電流とエネルギーの伝達を、大部分の生徒が区別することができる。（一部抜粋） - 電流とエネルギーの伝達の違いを説明するために、一部の生徒が流水モデル（a flow model）を用いることができる。（一部抜粋）
8I.4	対流による液体・気体におけるエネルギーの伝達を生徒全員が述べるができる。
8I.5	放射により太陽から地球にエネルギーが到達することを生徒全員が述べるができる。
9I.2	- 回路にかかる電圧の変化がエネルギーの伝達の度合いであることを、大部分の生徒が分かる。 - 回路における電圧とエネルギーの変換のモデルを、一部の生徒が応用できる。
9I.3	- 電気がエネルギーを分割する便利な方法であることに、生徒全員が説明することができる。 - 大部分の生徒が、一般的な電気製品のエネルギー消費を比べることができる。 - 系の中のエネルギーの全体量は保存されるが周囲へ拡散して散逸することを、一部の生徒がのべることができる。
9I.4	大部分の生徒が、燃料のエネルギーから電気を作り出す方法を説明し、これにより起こり得る環境面の影響について気づくことができる。

について学習する。

Spectrum では、生徒を全員・おおよその生徒・一部の生徒の3段階に分け、それぞれの生徒の到達すべき「学習成果（Learning outcomes）」を説明している。エネルギー概念に関してはその学習成果について、表8に示すような記述がなされている。

②事例2 “Science” の分析

次に、中等教育段階 KS3 用の教科書 “*Science Book1～3* (Collins)” を事例として、エネルギー概念に関する記述内容の分析を行った。

それによると、単元「エネルギー、電気、力」では、それぞれ小単元「エネルギーの伝達 Energy transfer」が設定されている。特に、エネルギーの伝達に関わる学習が、Book1 の「エ

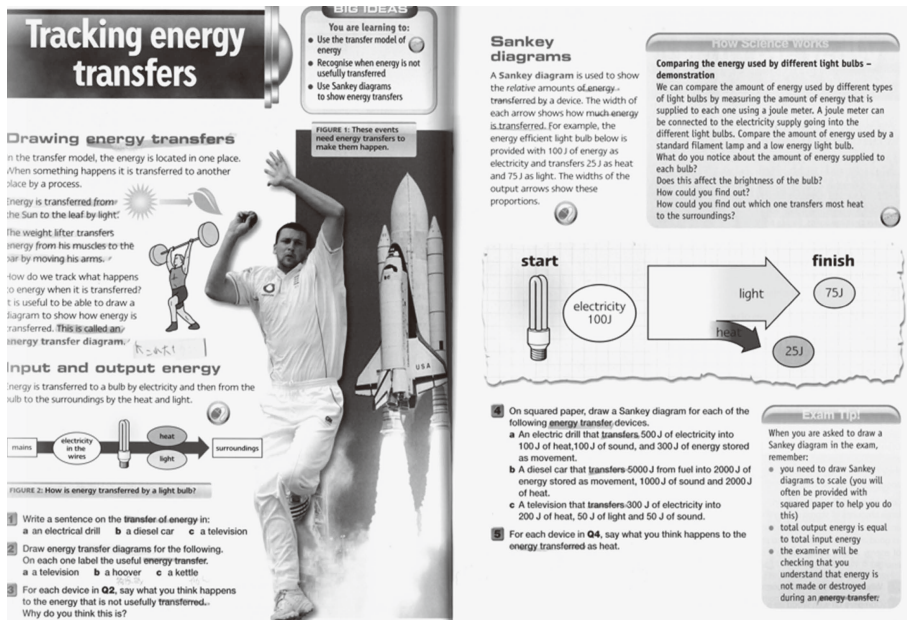


図2 “Science” Book1の「エネルギーの伝達の追跡」のページ

エネルギーの伝達の追跡：Tracking energy transfers」という表題で独立した小単位として設定されていた（図2）。

図2に示す小単位「エネルギーの伝達の追跡」ではエネルギーの伝達があるプロセスによって行われることが記述されていた。

エネルギーの伝達モデルにおいて、エネルギーはある場所に置かれている。何かが起きますと、あるプロセスによって、エネルギーは別の場所に伝達される。

（例1）光によって、エネルギーは太陽から植物の葉に伝達される。

（例2）ウェイトリフティング選手の腕を動きによって、筋肉からバーベルにエネルギーが伝達される。

このようなエネルギーの伝達の様子を追跡する際に「エネルギーの伝達のダイアグラム (energy transfer diagram)」という考え方が有効であることを紹介している (p.116)。この教科書には次のような説明がなされていた。

エネルギーが伝達するとき、エネルギーに何が起こっているかどのように追跡すればよいでしょう。どのようにエネルギーが伝達するかを示すには、ダイアグラム (図) を描くことが便利です。これを、エネルギーの伝達のダイアグラムと呼びます。

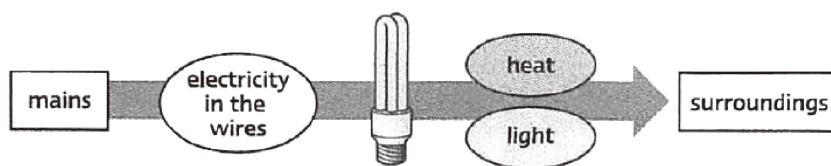


図3 エネルギーの伝達の図の事例1（“Science” book1,p.116より）

そのエネルギーの伝達のダイアグラムの具体例として、図3に示すような電球に電気が流れる前後のエネルギーの伝達の図が示されている。図3は、電気が電源から導線を伝わって電球に入り、その後、熱と光になって周囲に伝わる様子を示している。熱と光をそれぞれ丸で囲んで表示することで、電気エネルギーが2つの別の形態のエネルギーに変換されることを可視化している。

エネルギーの伝達の説明における特質は、エネルギーAがエネルギーBに変換される際、図3の中央にある電球を例としたように、何によってエネルギーの変換が起こっているかを生徒に注目させるようにして、生徒が具体的に考えられるように配慮している点にある。

この教科書では、このダイアグラムを用いたエネルギーの伝達の見方を深める以下のような演習問題が設定されていた。

問1：以下のa～cにおけるエネルギーの伝達について文章を書きなさい。

a. 電気ドリル b. ディーゼル自動車 c. テレビ

問2：エネルギーの伝達をダイアグラム（図）に書き表しなさい。

a. テレビ b. 掃除機 c. やかん

問3：質問2において、有益ではないエネルギーの伝達が起こったものは何かを答えなさい。また、なぜそのように考えたのですか。

上の各設問で取り上げられた「電気ドリル、ディーゼル自動車、テレビ、掃除機、やかん」はすべて生徒の身近な生活の中にありふれたものであるため、エネルギーの変換と伝達の様子を想像しやすい。また、ダイアグラムに書き表すことで、具体的な形で考えさせることができる。

さらに、同教科書では、サンキーダイアグラム（Sankey diagram）が紹介されている。サンキーダイアグラムとは、もともとは、作業の工程間の流量を表現する図である。ここでは、エネルギーの変位を示すためのものとして用いられている。例えば、サンキーダイアグラムは以下のように説明されている（Book1のp.117）。

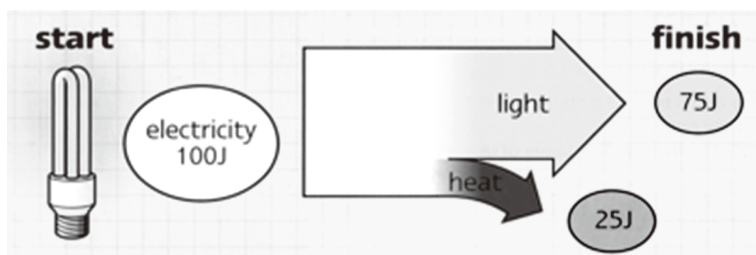


図4 エネルギーの伝達の図の事例2 (“Science” book1, p.117より)

サンキーダイアグラムは、エネルギーの相対量を示すために使用される。それぞれの矢印の幅は、伝達されるエネルギー量を示している。例えば、エネルギー効率の高い電球には、100Jのエネルギーが電気として供給され、25Jが熱、75Jが光として伝達される。出力側の矢印の幅は、これらの特性を示している。

このような説明を行う際、図4のようなダイアグラムを用いながら説明している。このサンキーダイアグラムは、矢印の幅をエネルギー量、矢印の枝分かれをエネルギーの伝達中の形態の変化とすることで、エネルギーの伝達前後の様子を生徒に具体的に分かりやすく説明するものとなっている。また、この図を用いることにより、図4の場合においては、エネルギー全体の1/4が有益ではない熱になってしまうことを視覚的に生徒に理解させることができる。

学習のチェックリスト(Book2、p.162)には、「私は、熱と音の伝達の過程で、エネルギーの伝達とそれらが消えることについて説明することができる。」という記述がある。このように、エネルギーの伝達概念を用いて、音と熱の伝達の考え方が述べられている。音の学習では、ばねの縦波を例にしながら、「コイル内の粒子はそれらを通してエネルギーを送る (p.138)」と書いている。また、熱の学習では、電球に触ると火傷をすることを挙げ、「多くの電子は熱エネルギーに伝達させられる (p.152)」と書いている。

第7～9学年の“Science”に記載されたエネルギーに関する学習内容を表9に示す。ここに示すように、各学年で単元「エネルギー、電気、力」が設定されており、どの学年でも少なくともエネルギーに関する学習が設定されている。また、第7、第9学年では小単位として「エネルギーの伝達」が設定されており、主に電気回路に関する内容でエネルギーの概念が用いられている。生物分野におけるエネルギーの学習では、第7学年で光合成や食物連鎖におけるエネルギーの伝達の意味が書かれていた。以上のように、“Science”では、エネルギーについての学習は主に電気に関する分野で扱われていることが分かる。

表9 “Science” のエネルギー学習内容の構成

学年	エネルギーについて取り扱われる単元名
第7学年	単元「エネルギー、電気、力」 小単元：エネルギーの伝達 - エネルギーの様々な形態 - エネルギーの変換 - エネルギーの伝達の流れ - 燃料とは何か - エネルギーは燃料から放出される - 導体と絶縁体 - 回路の中の電流 - 回路の中のエネルギー 〈学びのチェックリスト〉 - 私は、幾つかの装置の中でのエネルギーの伝達を説明できる。 - 私は、回路で電池の数をエネルギーの伝達に関連づけることができます。 - 私は、エネルギーの伝達の多様性を説明できる。 - 私は、回路の一部を通過する時の電圧の変化がエネルギーの伝達の計測によることを知っている。 - 私は、エネルギーの伝達概念を使ってその意味を説明できる。 - 私は、電圧とエネルギーの伝達関係を説明することができる。 （その他の単元） 生物分野： （植物の）細胞の中で、光エネルギーはどんな化学エネルギーの形態に伝達されるか？ - 食物連鎖における、落ち葉からフクロウまでどのようにエネルギーが伝達されるかを説明しなさい。
第8学年	単元「エネルギー、電気、力」 ※「エネルギーの伝達」という名の小単元はない。 - 常に音波は生み出されている。この連続的な空気中の粒子の押し引きは連続した波を作り出す。その波は音波としてスピーカーから外に向かってエネルギーを移動させる。 - 大部分の電気は熱エネルギーに変化させられる。 - 宇宙では粒子も存在しないので、輻射熱は異なるエネルギーの伝達の方法に頼らねばならない。電磁波は輻射熱を運ぶ。その波は、物質なしである場所から別の場所にエネルギーを伝達させる。 〈学びのチェックリスト〉 - 私は、熱や音が伝達する過程でのエネルギーの伝達や消散について、アイデアを使って説明できる。 （その他の単元） 生物分野： - エネルギーの伝達 光合成の過程によって太陽から植物にエネルギーが伝達される。植物は成長し、牛に食べられる。そのエネルギーの一部は伝達されて牛の体の組織となったり、熱を発生させたり、運動を補われる。
第9学年	単元「エネルギー、電気、力」 小単元「エネルギーの伝達」 - 回路における抵抗 回路における全ての構成要素は電気エネルギーを異なる形態に転換する。絶縁体は非常に高い抵抗をもち、電流は通り抜けることができなく、エネルギーも伝達できない。 - 電流のモデル エネルギーの伝達は回路の構成要素が機能することを可能にする。 抵抗が非常に大きなエネルギーをもっている場合、導線や構成要素を熱として伝わる。 - 電気の利用 電気エネルギーは電気回路により、ある場所から別の場所へ容易に伝達させることができる。どのように、電気エネルギーはある場所から別の場所へ伝達されるのか？ （例）スクーター、赤外線電球：赤外線のエネルギーは皮膚の下の細胞へ伝達する。 - 家庭電気製品 家庭で用いられている一般的な電気製品の多くは、電気エネルギーを異なるエネルギーの形態へ転換することによって機能する。

5 おわりに

本研究では、日本の小・中学校段階に相当する英国の初等・中等教育段階でエネルギー概念をどのように導入しているかについて、英国のナショナル・カリキュラム（1999）や 2012 年に発表された草案、及び、初等・中等教育段階の理科教科書、教師用指導書を対象にその特徴を分析した。

ナショナル・カリキュラム（1999）では、特にエネルギーの伝達に関する概念を 11 歳の第 7 学年以降の KS3 の各学習内容の柱の 1 つに位置付けていることが特徴である。日本では、このようなエネルギーの伝達に関する考えを教科書で扱った例はほとんど見られない。その後作成されたナショナル・カリキュラム草案（2012）では、初等教育段階の植物や人体に関する内容でエネルギーを用いた表現をしているものの、第 1、6 学年で「エネルギーの用語を用いた説明をすべきでない」と言及している。このことから、5～11 歳での児童にエネルギーの用語を理解させることは難しい、と捉えていることが分かる。

一方、教科書レベルにおけるエネルギーの用語の扱いを見ると、教科書では第 6 学年で電気回路や食物連鎖でエネルギーの用語の使用が認められた。一方、教師用指導書では、第 1 学年の音、第 2 学年の電気回路、第 6 学年の食物連鎖の内容でエネルギーの用語を使用した説明の例が見られた。このことから、教科書ではエネルギーの用語が使用されるのは第 6 学年以降であるが、実際の指導場面では、低学年段階からエネルギーの用語を使用した説明がなされていることが推察できる。中等教育段階では、分析した 2 社の教科書から、エネルギーの伝達についての具体的な記述、表現方法に関する知見を得ることができた。特に、“*Science*”では、エネルギーの伝達をダイアグラムやサンキーダイアグラムを使用した説明や問題演習の例が見られた。このようにエネルギーの伝達を図解する表現方法は、日本の中学校理科でも一部散見される（例：『新しい理科 3 年』（東京図書（2011）p.200 の手回し発電機における「エネルギーの保存と損失」の図や、『未来へひろがるサイエンス 3』（新興出版社啓林館）（2011）p.168 における電球と蛍光灯の変換効率の図 68）。この方法の児童生徒への理解の有効性が解明できれば、今後のより良いエネルギー概念導入の指導方法となると考えられる。

今後の課題として、最新版のナショナル・カリキュラムやそれに準じた理科教科書を分析し、英国のエネルギー概念の扱いのその後の動向について調査したい。

附記

本研究は、平成 24 年度の日本エネルギー環境教育学会第 7 回全国大会と、平成 26 年度の日本理科教育学会第 64 回全国大会での発表内容に、新たな知見を含めて加筆・修正を加えた

ものである。なお、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金（課題番号 20K02922）の助成を受けて行われた。

参考文献

- Bell, M.J., et al. (2006) *Science Grade 1*, Harcourt School Publishers.
- Cooney, T., et al. (2010) *Scott Foresman Science Grade 1*, Pearson.
- Cooke, A., Martin, J. (2003) *Spectrum 7-9*, Cambridge University Press.
- Feasey, R., et al. (2001) *New Star Science 1-6*, Ginn.
- Feasey, R., et al. (2001) *New Star Science Teacher's Notes 1-6*, Ginn.
- 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』Vol.52、No.3、pp.11～21.
- 井元りえ・小澤紀美子（1999）「ライフスタイル変革のためのエネルギー概念と教育に関する一考察 —英国と日本の教科書分析の試み—」『学校教育学研究論集（2）』、pp.93-104.
- 国立教育政策研究所（2001）『数学教育・理科教育の国際比較 —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、p.35.
- 文部科学省（2017）『小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編』東洋館出版社.
- 文部省（1990）『学術用語集 物理学編（増訂版）』、培風館.
- 岡本正志（2009）「英国におけるエネルギー環境教育 —ナショナル・カリキュラムと Energy Matters の教育内容から—」、『京都教育大学環境教育研究年報』第17号、pp.1-13.
- 岡村定矩他（2011）『新しい理科3年』、東京図書.
- The Department for Education (2012) *National Curriculum for science Key stages 1 and 2-Draft*.
<https://dera.ioe.ac.uk/16200/1/draft%20national%20curriculum%20for%20science%20Key%20stages%201%202.pdf>（2020年11月取得）
- The Department for Education (2011) *Research Report DFE-RR178 "Review of the National Curriculum in England What can we learn from the English, mathematics and science curricula of high-performing jurisdictions?"* p.103.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/184064/DFE-RR178.pdf（2021年8月取得）
- The Department for Education (2007) *Science 2007 programme of study for Key Stage 3*.
<https://www.stem.org.uk/elibrary/resource/28541#&gid=undefined&pid=1>（2021年8月取得）
- The Department for Education (1999) *The National Curriculum for England*,
<https://www.stem.org.uk/resources/elibrary/resource/27768/science-national-curriculum-1999#&gid=undefined&pid=1>（2020年10月取得）
- 堤田捷他（2011）『未来へひろがるサイエンス3』、新興出版社啓林館.
- Walsh, E., et al. (2008) *KS3 science Book 1-3*, Collins.

**A Study on the Introduction of the Energy Concept in Elementary
and Junior High School Science:
An Analysis of The National Curriculum, Science Textbooks,
and Teacher's Guidebooks of UK**

Natsuki ITAHASHI

Summary

This study – with a view to finding a better method of introducing the concept of energy in elementary and junior high school science classes across Japan – analyzes the characteristics of the National Curriculum of UK (1999) and the National Curriculum Draft (2012), as well as science textbooks and teacher's Guidebooks at the primary and secondary levels. As a consequence, the following findings were obtained:

(1) The National Curriculum (1999) positioned the concept of energy transfer as one of the pillars of the Key Stage3 (= grades7–9, 11 to 14 years old) content from grade 7 (ages 11–12). The National Curriculum Draft (2012) uses expressions related to energy for the content regarding plants and the human body at the primary level, but also states that, for grades 1 and 6, the use of expressions related to energy is discouraged in teaching. Thus, there is a change at the primary level regarding the use of energy-related expressions.

(2) In textbooks at the primary level, those for the sixth grade make use of expressions related to energy in sections dealing with electric circuits and food chains. However, in the teacher's Guidebooks, the content of “sound” in the first grade, and “electric circuits” in the second grade, are also written using expressions related to energy. From this, it is inferred that, in actual teaching contexts, expressions related to energy are used from early grades.

(3) Textbooks at the secondary level utilize diagrams, or Sankey diagrams that's like flow charts, to discuss energy transfer. The introduction of the concept of energy transfer using such methods may also be effective in Japan.