

Working Scientifically の指導に関する研究 —— 英国と日本の教育内容の比較を通じて ——

西井ミカ 埼玉大学大学院教育学研究科
小倉康 埼玉大学教育学部自然科学講座理科分野

キーワード: Working Scientifically、ナショナルカリキュラム、英国理科教科書、
理科を学ぶ意義

1. はじめに

日本の理科教育の課題として、生徒の学習意欲の低さが挙げられる。その原因のひとつとして、生徒が理科を学ぶ意義を感じていないことが指摘されている(国立教育政策研究所、2017)。しかしながら「科学を学ぶ意義や有用性を実感させ、科学への関心を高めること」は学習指導要領(平成20年告示)において、改訂の要点であった(文部科学省、2008)。

英国(イングランド)は、2015年の国際数学・理科教育動向調査(TIMSS2015)における中学校2年生段階の理科の成績が39か国・地域中8位と、2位の日本よりは低いが、依然国際的に理科の学力水準が高い国である。一方、生徒の理科に対する態度の調査では「理科に強く価値を置く」割合が、日本が9%であるのに対して39%という値を示しており、日本よりも理科を学ぶ意義を強く意識している(国立教育政策研究所、2017)。

英国のナショナルカリキュラム(以下NCと記す)の理科教育の目的として、生徒が知識を身に付けるだけでなく、科学の本質、思考過程、方法の理解を深めることが目指されており、その構成要素として、生物・化学・物理を横断する内容領域「Working Scientifically(以下WSと記す)」が設定されている(Department for Education、2015)。例えば、科学の発展から生じる倫理的な問題を議論するという指導項目を受けて、人工授精や遺伝子組み換え技術の危険性について議論する活動が予想され、生徒の将来の意思決定に影響を与えることが考えられる。従って、科学的な知識に加えて科学の本質の理解と科学的な思考過程とその方法への習熟を目指すWSが、生徒の理科を学ぶ意義の理解に貢献している可能性が考えられるが、WSに対応する内容が日本の理科教育でどのように扱われているかの関連を調査した研究はこれまで行われていない。そこで、英国と日本でのWSに該当する内容の取扱いについて調べ、その共通性と差異性を明らかにしていく。

2. 背景

2-1 ナショナルカリキュラムについて

NCは、1988年に導入されている。導入の背景には、国民(市民)に共通の科学的リテラシーの育成の向上を図るとともに人的資源の効率的な生産などの意図があった(磯崎、2014)。また、21世紀のNCにBeyond2000(Miller and Osborn、1998)が影響を及ぼしている(磯崎、2012)。例えば、2004年改訂のNCでは、「すべての学生は、科学に対する理解を自分自身や他人のライフスタイルに関する決定に関連付けた

表1 OCRが示すキーステージ4のWorking Scientifically

OCR(2018) 『GCSE(9-1) Specification GATEWAY SCIENCE COMBINED SCIENCE A』より作成

WS1…記述を評価するもの

●WS1.1 科学的思考の育成

WS1.1a	時間の経過とともに科学的方法と理論がどのように発展するかを理解する。
WS1.1b	問題を解決したり、予測を行ったり、科学的な説明を発展させたり、馴染みのない事実やよく知られた事実を理解したりするためにモデルを使用する。
WS1.1c	科学の力と限界を理解する。
WS1.1d	科学の発展から生じる倫理的問題を議論する。
WS1.1e	科学の日常のおよび技術的応用を説明する。
WS1.1f	個人的、社会的、経済的および環境的な関連性を評価する。
WS1.1g	証拠および議論の評価に基づいて決断を下す。
WS1.1h	実践的な科学とより幅広い社会的状況の両方でリスクを評価する。
WS1.1i	結果のピアレビューの重要性と、さまざまな聴衆に結果を伝えることの重要性を認識する。

●WS1.2 実験の技能と計画

WS1.2a	仮説を立てるために、科学的な理論と説明を用いる。
WS1.2b	観察を行ったり、物質を生成・特徴づけをしたり、仮説を検証したり、データをチェックしたりするための、実験を計画するか手順を工夫する。
WS1.2c	実験に適したものを選ぶために、様々な技術・計測器・装置・材料の知識を適用する。
WS1.2d	採取されたサンプルが代表的なものであることを確実にするために、採集技術の知識を適用する場面を認識する。
WS1.2e	方法を評価し、可能な改善とさらなる調査を提案する。

●WS1.3 分析と評価

WS1.3a	適切な方法を使って、観測データや他のデータを提示する。
WS1.3b	あるフォームから別のフォームへデータを変換する。
WS1.3c	数学的および統計的な分析を実施し、表現する。
WS1.3d	結果の分布を表し、不確かさの推定を行う。
WS1.3e	観測データやその他のデータを解釈する。
WS1.3f	理由ある説明を提示する。
WS1.3g	正確性・再現性の面からデータを評価し、客観性を持つ。
WS1.3h	無作為で系統的なエラーの、潜在的な原因を特定する。
WS1.3i	調査・使用した方法・調査結果・合理的な結論の、科学的な根拠を伝える。

●WS1.4 科学用語、数量、単位、記号、命名法

WS1.4a	科学的な語彙・専門用語・定義を用いる。
WS1.4b	科学的な量の重要性を認識し、それらの決定方法を理解する。
WS1.4c	不適切な場合を除いて、SI単位とIUPAC命名法を使用する。
WS1.4d	接頭辞と10のべき乗を使用する。 ※テラ・ギガ・メガ、 $\times 10^3$ 等
WS1.4e	単位を相互変換する。
WS1.4f	計算に適切な有効数字を使用する。

WS2…実演を評価するもの

●WS2

WS2a	実験を行う。
WS2b	様々な装置・方法を使って、観察と測定を行い記録する。
WS2c	適切な方法を用いて、観察を提示する。
WS2d	調査・使用した方法・調査結果・合理的な結論の科学的根拠を伝える。

り、社会の科学技術の発展に関連付けたりする能力を養う」という説明が示されている(Qualifications and Curriculum Authority、2004)。NCの2004年の改訂で、新たにHow Science Worksが示され、イングランドの義務教育最終段階であるキーステージ4では、得られたデータの意味や、科学的な活動の意味、科学的なコミュニケーションの方法、科学の価値判断などといった幅広い内容が含まれた(磯崎、2012)。

2014年改訂のNCでは、How Science Worksに代わって生物・化学・物理を横断する内容領域として「Working Scientifically」が設定されている。NCの指導資料(Department for Education、2015)では、「“Working Scientifically”とは科学の本質、過程、方法を理解することを意味する」と示しており、科学を学ぶ上で共通して身につけるべき考え方や技能が育成されることが目指されている。¹⁾

2-2 WSの指導項目

イングランドの現行のNC(Department for Education、2014)では、キーステージ4段階の生徒のWSについて、「科学的思考の育成」「実験の技能と計画」「分析と評価」「語彙、単位、記号および命名法」の4つの観点からの指導内容を示している。

表1に示すものは、GCSEの試験機関であるOCR(2018)が、キーステージ4段階のNCのWSについて評価する内容を示したものである。NCをもとにGCSEの試験機関においてより具体的な指導内容を設定し、教科書もそれに基づいて編纂されている。ここでは、WSをWS1とWS2に分けて示しており、生徒の能力をGCSEのペーパーテストで評価するものをWS1、実地的に評価を行うものをWS2としている。

本研究では、このOCR(2018)のWSの評価の項目をイングランドにおけるNCの具体的なWSの指導項目として扱うこととする。

3. 目的

英国のキーステージ4段階のWSの指導項目と單元ごとの取り扱いをNCと教科書の分析から明らかにし、日本の中学校の学習指導要領および教科書での取り扱いとの比較を行うことで、日本の理科教育におけるWSの取扱いの現状を明らかにする。

4. 方法

4-1 英国の理科教科書におけるWSの取り扱いの分析

英国の義務教育最終段階であるキーステージ4(日本の中学校第3学年と高校第1学年の年齢に相当)のWSの取り扱いについて、試験機関OCRが示す指導項目に対応した英国の理科教科書(教師用指導書)(Cogill & Holyman、2016)(Jones、2016)(Broadly & Matthews、2016)を用いて、小單元²⁾毎にWSの有無を調べ、それぞれのWSについて、扱われている小単元の数を明らかにする。なお、全ての教科書で重複して扱われている授業は1つとしてカウントする。

教師用指導書を用いた理由は、授業内容毎にそこで指導が意図されているWSの指導項目が示されているからである。一方、生徒用教科書(Reynolds、2016)(Locke、2016)(Saunders、2016)では、WSの内容であるかが明示されていないため、分析者の解釈に依存せざるを得ないことから、WSについての客観的な分析は困難である。

また、英国ではキーステージ4において生物・化学・物理の内容全てを履修するため、教科書の分析にあたっては生物・化学・物理の3分冊全てを分析の対象とする。

4-2 日本の学習指導要領におけるWSの取り扱いの分析

日本の理科教育におけるWSの取り扱いについて、義務教育最終段階である中学校学習指導要領(平成20年告示)解説理科編および中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編について、学習指導要領の各小項目の解説をもとにWSとの関連性を精査することで、WSに相当すると考えられる内容が指導内容として明示されているかを調査する。例えば、中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編、第1分野

「(1)(ア)⑦光の反射・屈折」では、「身近な事象として虹や水面に映った景色、日常生活や社会で活用されるものとして光ファイバーケーブルなどを示し、問題を見出させるようにすることも考えられる。」という文章からWS1.1eが該当すると判断し、「光を鏡で反射させる実験を行い、光の進む道筋を記録させ、入射角と反射角が等しいことを見いだして理解させるとともに、鏡に映る像を光の反射と関連させて理解させる。」という文章からは、WS1.3e、WS2a、WS2bが該当すると判断する。また、「反射」「屈折」「入射角」等その単元で新たに用いられ、指導すべき内容として扱われたりする用語・定義がある場合にはWS1.4aが該当すると判断する。

4-3 日本の理科教科書におけるWSの取り扱いの分析

学習指導要領に準拠して編纂された理科教科書において、WSに相当する内容の取扱いを分析する。学習指導要領に記載のないWSの項目は教師用教科書で明記する必要がないことから、英国の分析のようにWSが明記されている教師用教科書は用いず、生徒用教科書の記述内容を分析対象とする。用いた教科書は1社の検定済み中学校理科教科書(岡村・藤嶋、2015)である。分析においては、WSに相当すると考えられる内容がどれほど示されているかを調査する。例えば、日常生活と関連させるような文章があればWS1.1eが該当すると判断し、太字で書かれている用語はWS1.4aが該当すると判断する。

なお4-2、4-3の分析については、表1の説明に従って日本の学習指導要領解説や教科書を分析する際に、WSの指導事項に沿う学習かどうかの判断をより明確にするために分析者間で内容の同等性を精査する。また、一部の指導事項については、表1の表現のままでは、日本の学習指導要領解説や教科書の内容に該当しないが、内容の取扱い方が近く、WSに相当する内容でないとは言えないものを該当すると判断するため、表2、表3に示す読み替えを行うこととする。

4-4 英国の理科教科書におけるWSの取り扱いの事例分析

WSが英国でどのように指導されているのかについて、英国の教師用指導書に示された指導計画を分析し、WSの具体的な指導方法について、その特徴を抽出する。WS1.1、1.2、1.3、1.4、WS2のそれぞれの指導の特徴が顕著に反映されている内容を取り上げる。

5. 結果

5-1 英国理科教科書におけるWSの取り扱い

イングランドで用いられている理科教科書(教師用指導書)を分析すると、キーステージ4段階の生物・化学・物理の学習の全体で、WSの全ての項目が指導されることが分かった。(図1)

図1から、WS1.1e、1.1f、1.1gでは生物での扱いが顕著に見られる。生物では、環境や健康に関する単元でこれらのWSの扱いが見られた。また、図1から物理での扱いが顕著に見られるWS1.2aは、物理の力の単元や電気や磁界の単元での扱いが見られた。また、図1から化学の扱いが顕著に見られるWS1.4aでは、元素や化学反応に関する単元での扱いが見られた。

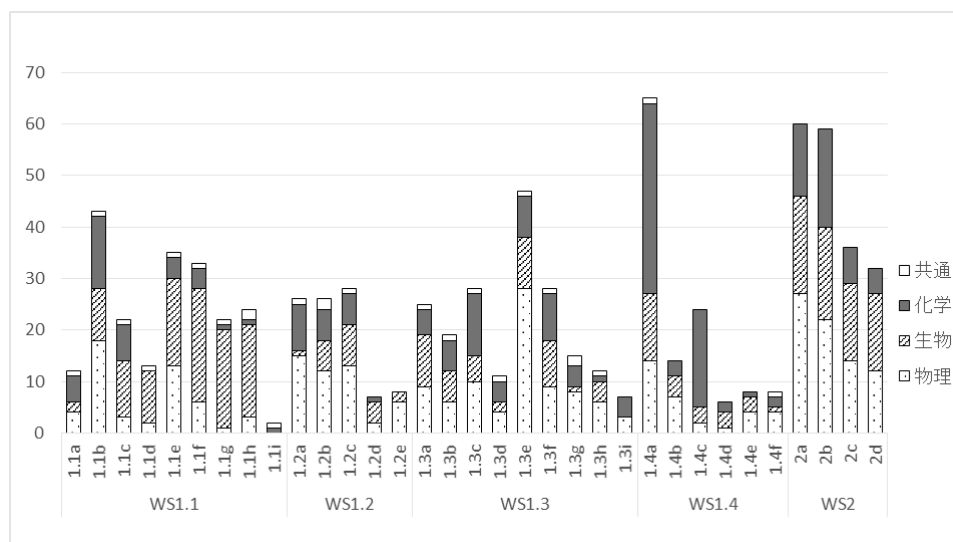


図1 英国理科教科書(教師用指導書)におけるWSの取り扱いの総数
(各WSの件数は表4を参照)

5-2 学習指導要領におけるWSの取り扱い

学習指導要領の分析を行うにあたり、表2のWSの項目について読み替えを行った。

表2 学習指導要領分析の際に読み替えを行う項目

WS1.1b	モデルを用いた説明や思考場面が記載されている。
WS1.1e	日常の現象等との関連が示されている。
WS1.1f	個人的、社会的、経済的および環境的のいずれかについて触れている。
WS1.1h	学習内容または学習内容に関する科学技術について、安全に関することが述べられている。または災害について述べられている。
WS1.2a	根拠を基に仮説を立てる場面が設定されている。
WS1.2b	実験の手順を構想している。
WS1.2c	実験に用いる材料を構想している。実験に用いる装置等の操作方法を理解している。
WS1.4a	その単元で指導される事項としての新出の用語が示されている。
WS1.4c	元素記号や化学式、化学反応式が示されている。

(1) 平成20年告示の学習指導要領におけるWSの取り扱い

日本の学習指導要領(平成20年告示)解説理科編において、WSの項目に相当すると考えられる内容がど

れほど含まれているのかを調査し、第1分野、第2分野の全14単元(70小項目)のWSの取り扱いの総数について図2を作成した。

第1分野、第2分野に共通して、データの解釈のWS1.3e、語彙・定義に関するWS1.4a、実験技能に関わるWS2aの項目はほとんどの単元を通して見られたものの、第1分野、第2分野を通して、全く扱われていないまたはほとんど扱われていないと判断できるWSも複数あり、WS1.1a、1.1c、1.1g、1.1i、WS1.2a、1.2d、1.2e、WS1.3d、1.3f、1.3g、1.3h、WS1.4d、1.4e、1.4fは該当数が2つ以下であった。

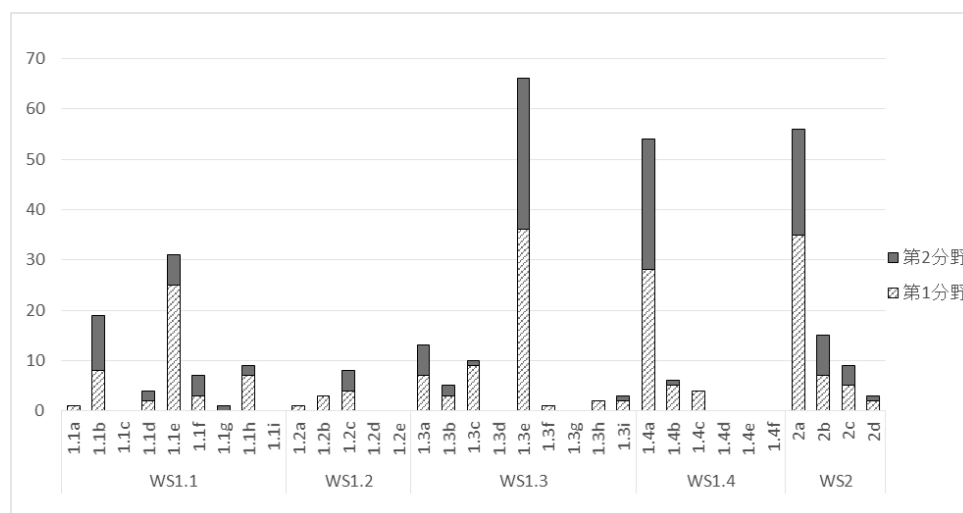


図2 学習指導要領(平成20年告示)解説理科編におけるWSの取り扱いの総数(各WSの件数は表4を参照)

(2) 平成29年告示の学習指導要領におけるWSの取り扱い

日本の学習指導要領(平成29年告示)解説理科編において、WSの項目に近い内容がどれほど含まれているのかを調査し、第1分野、第2分野の全14単元(71小項目)のWSの取り扱いの総数について図3を作成した。

第1分野では各単元で学習内容と日常で見られるものとの関連づける場面が具体的に挙げられており、これはWS1.1eに近い内容が指導されていると判断した。実験の実施および結果の取り扱いに関わるWS1.2、WS1.3については、第1分野・第2分野共通して、全ての単元で実験結果の解釈の場面が挙げられているため、WS1.3eにあたる指導が十分に行われていることが分かった。しかし、WSの項目のように他の面での詳細な指導内容の記述はあまり見られなかった。また、WS1.1a、1.1i、WS1.2d、WS1.3d、1.3f、1.3g、1.3h、WS1.4d、1.4e、1.4fは該当数が2つ以下であった。

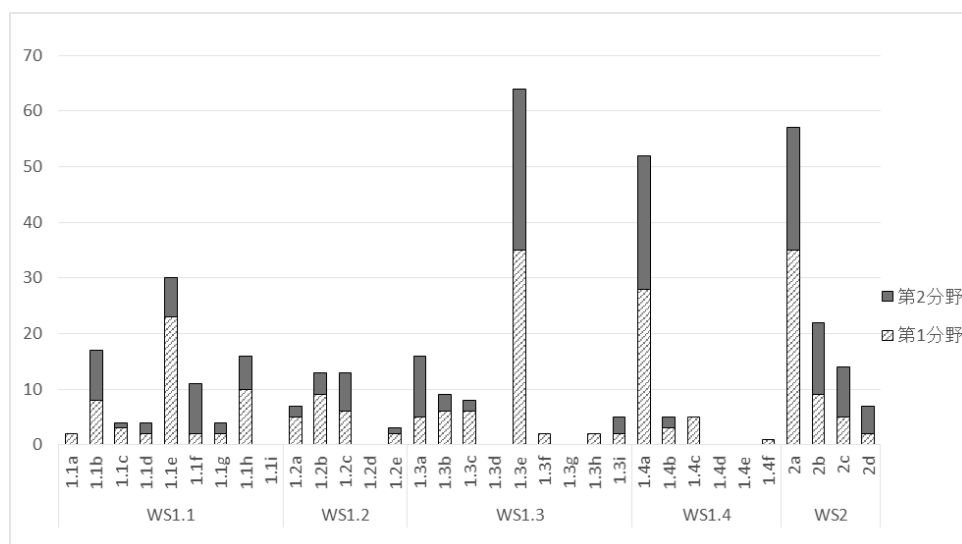


図3. 学習指導要領(平成29年告示)理科編解説におけるWSの取り扱いの総数(各WSの件数は表4を参照)

5-3 日本の理科教科書におけるWSの取り扱い

日本の理科教科書の分析を行うにあたり、表3のWSの項目について読み替えを行った。

表3 日本の理科教科書分析の際に読み替えを行う項目

WS1.1b	モデルを用いた説明や思考場面が記載されている。
WS1.1e	日常の現象等との関連が示されている。
WS1.1f	個人的、社会的、経済的および環境的のいずれかについて触れている。
WS1.1h	学習内容または学習内容に関する科学技術について、安全にすることが述べられている。または災害について述べられている。
WS1.2a	根拠を基に仮説を立てる場面が設定されている。
WS1.2b	実験の手順を構想している。
WS1.2c	実験に用いる材料を構想している。実験に用いる装置等の操作方法についての説明が書かれている。
WS1.3a	実験結果のまとめや考察の仕方について、詳細な説明が示されている。
WS1.4a	教科書中に太字で用語が示されている。
WS1.4c	元素記号や化学式、化学反応式が示されている。

日本の理科教科書の中学1年から3年までのものを分析し、教科書において基本単位である小単元ごとにWSに相当すると考えられる内容がどれほど扱われているかを調べた。なお、調査した教科書で各章末に章全体の内容と関連したコラムが掲載されている場合は、これを1小単元として数えた。結果より、中学3年間の理科教科書におけるWSの取り扱いの総数を図4で表した。

調査に用いた教科書は平成20年告示の学習指導要領のもとで用いられているものであり、5-

2(1)にて調査したWSの取り扱いと類似した傾向を示した。また、特にWS1.1に近い内容は学習指導要領の「科学技術と人間」「自然と人間」にあたる内容として、中学校第3学年の最終章に集中して扱われていることが分かった。

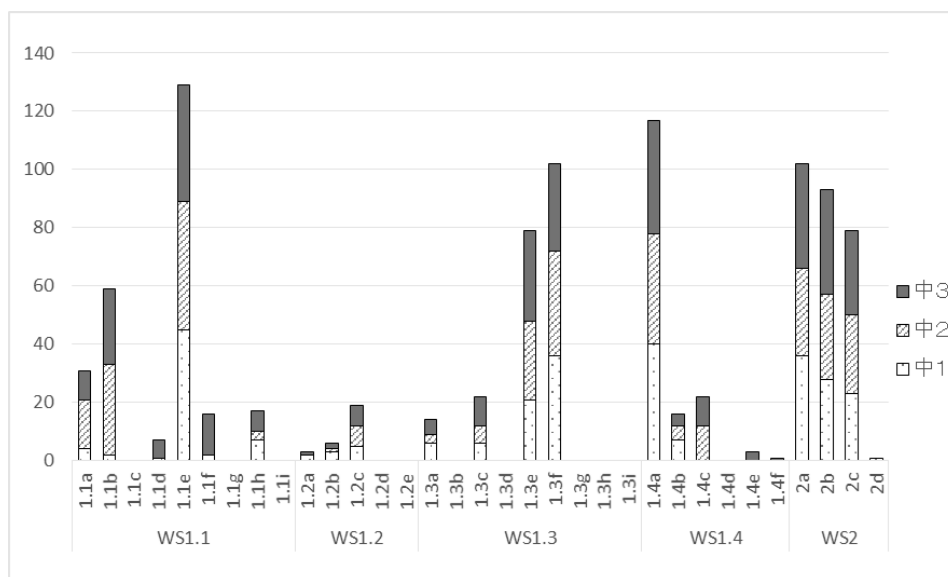


図4 中学校3年間の理科教科書(平成20年告示学習指導要領準拠)におけるWSの取り扱いの総数(各WSの件数は表4を参照)

5-4 英国の教科書、日本の学習指導要領解説、理科教科書でのWSの取り扱いの比較

図1、図2、図3、図4より、英国の教科書(教師用指導書)と日本の学習指導要領(平成20年、平成29年告示)解説および教科書(平成20年告示学習指導要領準拠)の分析結果を整理すると表4の通りとなった。表では、それぞれにおけるWSの項目ごとの該当数と標準偏差を示している。英国と日本の理科教科書での取り扱いの件数で、平均はほぼ同じであるが、標準偏差は日本の方が大きい。分析に用いた資料が異なるため、学習指導要領解説を含めて全ての平均値を統一し、比較のため折れ線グラフで図5に示す。

図5より、英国の理科教科書ではWSの取り扱いの標準偏差が最も低く、WSの項目全体に幅広く取り扱いがなされていることが分かる。一方、日本の学習指導要領解説および理科教科書ではWS1.1e、1.3e、1.4a、2aが突出して多く扱われており、極端に取り扱いの少ない項目も少なくないなど、内容の扱われ方にばらつきが大きい。

表4から日本の学習指導要領解説の変化に着目すると、平成29年告示のものは平成20年告示のものに比べて取り扱いの平均値があがり、WS1.1a、1.1c、1.1f、1.1g、1.1h、WS1.2a、1.2b、1.2c、1.2e、WS1.3a、1.3b、1.3f、1.3i、WS1.4c、1.4f、WS2a、WS2b、WS2c、WS2dの取り扱いが増えたことが分かった。WS1.1では災害に関する内容の取り扱いが増えたり、中学校第3学年最終単元において生徒自身に意思決定をさせる場面が示されていたりした。WS1.2では、実験方法を生徒に構想させる場面などが増えていた。

また表1より、学習指導要領(平成20年、平成29年告示)解説と日本の理科教科書の全てにおいて、WS1.1i、1.2d、1.3d、1.3g、1.3h、1.4d、1.4fは取り扱いが2つ以下であり、ほとんど

取り扱われていないことが分かった。

表4 英国のキーステージ4の理科教科書(教師用指導書)、日本の中学校の学習指導要領解説、理科教科書でのWSの取り扱いの件数

WS	英国の理科教科書(教師用指導書) (全227小単元)	平成20年 学習指導要領 解説理科編 (全70小項目)	平成29年 学習指導要領 解説理科編 (全71小項目)	日本の理科教科書(平成20年告示学習指導要領準拠) (全181小単元)
1.1a	12	1	2	31
1.1b	43	19	17	59
1.1c	22	0	4	0
1.1d	13	4	4	7
1.1e	35	31	30	129
1.1f	33	7	11	16
1.1g	22	1	4	0
1.1h	24	9	16	17
1.1i	2	0	0	0
1.2a	26	1	7	3
1.2b	26	3	13	6
1.2c	28	8	13	19
1.2d	7	0	0	0
1.2e	8	0	3	0
1.3a	25	13	16	14
1.3b	29	5	9	0
1.3c	28	10	8	22
1.3d	11	0	0	0
1.3e	47	66	64	79
1.3f	28	1	2	102
1.3g	15	0	0	0
1.3h	12	2	2	0
1.3i	7	3	5	0
1.4a	65	54	52	117
1.4b	14	6	5	16
1.4c	24	4	5	22
1.4d	6	0	0	0
1.4e	8	0	0	3
1.4f	8	0	1	1
2a	60	56	57	102
2b	59	15	22	93
2c	36	9	14	79
2d	32	3	7	1
平均	24.7	10.0	11.9	28.4
標準偏差	16.0	16.8	16.1	39.9

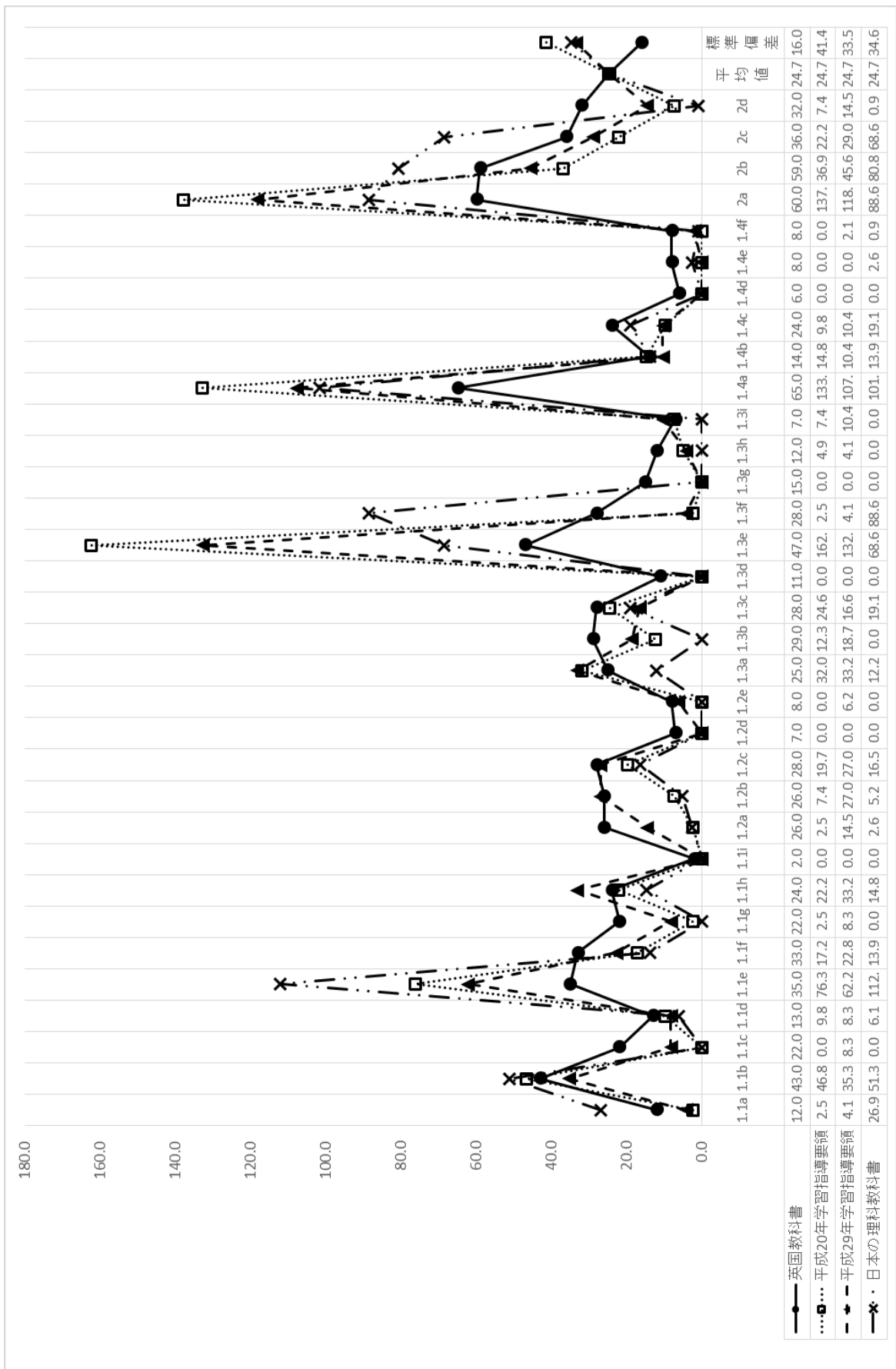


図5 平均値を統一した英国のキーステージ4の理科教科書(教師用指導書)、日本の中学校の学習指導要領解説、理科教科書でのWSの取り扱いの比較

5-5 英国の理科教科書におけるWSの取り扱いの事例分析の結果

5-1で分析に用いた英国の理科教科書(教師用指導書)では、小単元毎にナショナルカリキュラムとの関連と70分程度の内容の指導計画(実際にはその中から55分の内容を選択して使用することを想定)が示されている。ここでは指導計画のなかでWSの指導の特徴が顕著に反映されている内容を具体例として示す。

(1)WS1.1「科学的思考の育成」の特徴が顕著に見られる内容

物理の「電磁放射線の使用と危険」の小単元では、WS1.1b、1.1c、1.1e、1.1f、1.1hが指導の目標とされている。

授業のはじめでは、電子レンジの加熱の原理やリモートコントローラーの原理を理解する活動が示されている。授業の中ごろでは、生徒が電磁放射の用途と危険性を調査し、それを発表する活動が示されている。授業の終わりには、1970年代に行われていた靴屋でのX線利用が現代では行えない理由を生徒が考え説明する活動や、日焼けの損傷が目に見えない理由を説明する活動が示されている。

この指導計画に沿ってWSがどのように指導されているのかについて分析した。表5は左側に指導計画の翻訳を、右側に筆者が分析を行い指導されると判断したWSについて付記している。また、日本ではWS1.1に相当する内容の多くが中学校第3学年の最終単元で見られたが、英国の指導計画では、通常の授業内容のなかでWSが指導されていることが分かる。

表5 英国の教師用教科書の小単元「電磁放射線の使用と危険」における指導計画と指導されるWS

	教師用教科書に示された指導計画	指導されるWS
導 入	電子レンジの電球(10分間) マイクロ波を用いて水の入ったビーカーの電球を点灯する方法を示す。短時間電源を入れておき、冷めるまで取り外さない。生徒は、この実験が、電子レンジが食品のなかの水を加熱することをどのように表すかについて考え、ペアを作り共有する。	WS1.1e 電化製品と学習内容を関連づけている
	リモートコントローラー(5分) リモートコントローラーを壁に向ける。生徒は何かが起こっているのを見ることができだろうか。携帯電話のカメラを使用して、リモコンの赤外線エミッターを確認する。生徒はカメラでは見られても肉眼では見られない理由を話し合う。	WS1.1e 電化製品と学習内容を関連づけている
展 開	電磁放射線の使用と危険(40分) 生徒が電磁放射線の使用と危険を調査し発表できるようにするために資料やコンピュータを提供する。生徒は、電磁スペクトルの各波によってもたらされるリスクを考慮する必要がある。	WS1.1f 経済的に流通している製品と健康等について検討している

	生徒は、短編映画のポスターなど、自身の研究を発表するのに適した形式を選択する。	WS1. 1c 電磁放射線の利用とその危険を扱っている WS1. 1h 電磁放射線のリスクを扱っている
まとめ	足を測る(10分) 1970年代に靴屋で足のサイズを測るためにX線利用が行われていたが、現代ではこれが行えない理由を生徒が考え説明する。 日焼け(5分) 肌の損傷を示すために撮影した顔の紫外線画像を生徒に見せる。なぜこの損傷は目で見られないのだろうか。	WS1. 1f 経済的に流通している製品と健康等について検討している WS1. 1c 電磁放射線の利用とその危険を扱っている WS1. 1h 電磁放射線のリスクを扱っている

生物の「遺伝子工学」の小単元では、WS1. 1c、1. 1d、1. 1e、1. 1f、1. 1g、1. 1hが指導の目標とされており、授業のはじめでは、携帯電話の新しい機種が出るたびに新しい機能が追加されていく過程と、遺伝子工学の技術が向上していくなかで遺伝子が追加されていく様子を比較する内容や、遺伝子組み換えの技術の変遷が紹介されている。授業の中ごろでは、公的機関の遺伝子工学に関する報告書を生徒が調査し、遺伝子工学の長所と短所、倫理的問題、学者たちの見解をレポートする活動が示されている。授業の終わりには、遺伝子工学の長所と短所を並べ替える活動や、遺伝子工学の食料生産に対する成果と科学の限界について議論する活動が示されている。

これらは、表6に示すWSが取り入れられていると考えられる。また、WS1. 1を扱う単元では、実社会に存在する問題が題材として取り上げられているところが特徴的である。

表6 英国の教師用教科書の小単元「遺伝子工学」における指導計画と指導されるWS

	教師用教科書に示された指導計画	指導されるWS
導入	スマートフォンの作成(5分) 携帯電話の本来の目的を尋ねる。生徒のもつ現代的な電話には何か機能が追加されているかを尋ねる。彼らはおそらくカメラや音楽などについて話すだろう。新しい機能を実行するための技術の追加を、有用な特性のために遺伝子を追加するプロセスと比較する。	WS1. 1e 科学の技術的応用について説明している

	<p>フランケンシュタインのトマト(10分)</p> <p>作物や動物の選択的な育種についてクラスに思い出させる。そのプロセスの欠点について尋ねる。回答は時間がかかること、進捗が限られているという事実を含む。ある種の特徴を選んで別の種に入れることができたら、素晴らしいと思わないだろうか。よりよい作物を得るためにトマトにどのような特徴を加えたいか尋ねる。これらを私たちができることを述べる。最後にフランケンシュタインの物語の画像または短編映画を見せ、フランケンシュタイン博士が一人の人間に異なる特性を組み合わせたことを説明する。このアイデアは長い間考えられてきたが初期の科学者はその技術を持っておらず、現在の科学者にはある程度それが可能であることを説明する。</p>	<p>WS1. 1c 科学技術の農産物への応用とその限界について扱っている</p> <p>WS1. 1e 科学の技術的応用について説明している</p>
展 開	<p>農業省への報告(40分)</p> <p>現在、英国ではGM(遺伝子組み換え)食品はあまり栽培されておらず、ウェールズではその生産を完全に禁止している。政府は、英国と国際援助プログラムの一環として、政策立案に情報を提供するために、遺伝子工学プロセスの利点と欠点についてバランスのとれたレポートを必要としている。クラスの生徒はグループに分かれ、調査とレポートの作成をする。生徒は次のことを確認するためにいくつかのウェブサイトを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ GM食品に関するスーパーマーケットの方針 ・ 政府の見解、ウェールズ政府の見解を含む ・ モンサントなどのGM研究会社について <p>調査は約20分、レポートの作成は25分。レポートは遺伝子工学の長所と短所、倫理的な問題、科学界の見解を説明すべきである。</p>	<p>WS1. 1c 食品への応用の観点から遺伝子工学について、生徒がその長所と短所を調査、レポート作成をしている</p> <p>WS1. 1f 国や地域によって見解が分かれる遺伝子工学の応用について調査、レポート作成をしている</p> <p>WS1. 1h 遺伝子工学を、科学研究と社会での利用との両面で捉え長所と短所を調査し、レポートを作成している。</p> <p>WS1. 1d 生徒が遺伝子工学における倫理的な問題を調査、レポート作成をしている</p>
ま と め	<p>長所と短所(5分)</p> <p>インタラクティブ機能を使用して、生徒が一連の記述を並べ替える。これらは長所か短所のどちらかであり、記述を二つの箱のいずれかにドラッグ&ドロップして入れる。</p>	

	<p>科学者の貢献(10分)</p> <p>クラスをグループに分ける。半分のグループは、科学者が食料生産にもたらした成果について話し合う。他の半分のグループは、科学者が作りだしたかもしれない問題や、科学の限界について話し合う。生徒は彼らの見解を議論し、科学者が良い影響を与えたのか否かのクラス全体としての意見を決定する。</p>	<p>WS1. 1e 科学技術が食料生産にもたらした成果を話し合っている</p> <p>WS1. 1c 科学の限界を話し合っている</p> <p>WS1. 1d、WS1. 1h、WS1. 1f 遺伝子工学が社会で応用される際の問題を話し合っている</p> <p>WS1. 1g 科学者の影響について議論し決断を下している</p>
--	--	--

(2)WS1.2「実験の技能と計画」、WS1.4「科学用語、数量、単位、記号、命名法」の特徴が顕著に見られる内容

物理の「潜熱」の小単元では、WS1.2a、1.2b、1.2e、1.4b、1.4fが指導の目標とされており、授業のはじめに、状態変化とエネルギーについての解説や、乾燥した布と湿った布の温度変化の実験結果から、汗をかく理由を生徒が考察する場面が示されていた。授業の中ごろでは、潜熱の概念や方程式を解説する場面や、生徒が潜熱を調べる実験を計画し、複数回の測定、結果の評価、不確実性の原因の特定を行っていく活動が示されていた。授業の終わりには、湿った布が人を冷やす理由を考察する活動や、生徒が実験の際のエラーの原因を特定したり、改善点のリストを作ったりする活動が示されていた。

これらは、表7に示すWSが取り入れられていると考えられる。また、WS1.2を目標とした授業では、実験の計画段階や実験中においてWS1.2の項目を重点的に育成するような指導が見られた。

表7 英国の教師用教科書の小単元「潜熱」における指導計画と指導されるWS

	教師用教科書に示された指導計画	指導されるWS
導入	<p>状態変化(10分)</p> <p>黒板に固体、液体、気体の言葉を書く。生徒に、状態変化の名前が付いた矢印を加えて単語を繋げるように指示する。次に生徒は、状態の変化ごとに、エネルギーが周囲の蓄熱に送られるか、蓄熱から送られるかを示す。次に、固体から液体、そして気体に変化する物質の温度-時間グラフを示す。生徒はグラフに状態</p>	

	<p>の変化の名前をラベル付けする。</p> <p>汗(5分) なぜ汗をかくのかと生徒に尋ねる。データロガーと温度プローブを使用して演示実験を行う。1つのプローブには乾いた布が巻かれており、もう1つのプローブには湿った布が巻かれている。温度を観察する。生徒のペアは、これらの観察を使って、私たちが汗をかく理由を説明しようとする。</p>	
展 開	<p>比熱潜熱(10分) 物質の状態が変化したときに周囲の蓄熱との間で伝達されるエネルギーとしての比熱潜熱の概念を導入する。方程式を与え、実際の例を示す。潜熱と比熱を比較する。具体例には、やかんの湯を沸かす方法などを例にして潜熱を使うときと比熱を使うときの説明を生徒に書かせる。</p> <p>氷融解のための比熱潜熱の測定(30分) 温かい水の入ったボウルに氷を入れ、何が起こるかを生徒に予想させる。それから、氷と水の入ったボウルによって失われるエネルギーと得られるエネルギーの観点から問題を考えるように促す。氷が温かくなり(これは比熱に依存する)、状態が変化する(これは融解の潜熱に依存する)。生徒はこれを表す方程式を提案する必要がある。</p> <p>潜熱(温水の質量と温度、氷の質量、氷を加えた後の水の最終温度)を見つけるためにどのような測定を行う必要があるか生徒に尋ねる。生徒は結果を記録する表を考案し、信頼性を向上させるために実験を繰り返す。生徒は自分たちの価値を他のグループの結果や受け入れられた価値と比較する。生徒は測定における不確実性の原因を列挙する。</p>	<p>WS1. 2a エネルギーの観点から現象をとらえ仮説を立てている</p> <p>WS1. 2b 手順を考案しながら実験計画を行っている</p> <p>WS1. 4b 潜熱の意味と決定方法を理解している</p> <p>WS1. 4f 計算に適切な有効数字を使用する (WS1. 3h) 測定の不確実性について検討している</p>
ま と め	<p>冷ます(5分) 湿った布で熱のある人を冷ますイメージを投影する。生徒たちになぜこれらによって冷ますことができるのかを説明させる。</p> <p>エネルギー損失(10分) 展開2の測定から得られた値は理論値とは異なる。生</p>	<p>WS1. 2e</p>

	徒たちは自分たちの実験でエラーの原因を特定し、特定したエラーに対処するために方法の改善点のリストを書く必要がある。	方法を評価し改善点を提案している (WS1. 3h) 測定の不確実性について検討している
--	---	--

(3)WS1. 3「分析と評価」、WS2(OCRでのGCSE試験において実地的に評価を行う内容)の特徴が顕著に見られる内容

物理の「フォトレジスタ(LDRs)とサーミスタ」についての小単元では、WS1. 2a、WS1. 3e、1. 3f、1. 3h、WS2a、2b、2c、2dが指導の目標とされており、授業のはじめに、デジタル温度計の機能の説明や日中に防犯灯が点灯しない理由についての説明が示され、授業の中ごろに、サーミスタとフォトレジスタのそれぞれについて、生徒が、温度や光と抵抗との関係を調べる実験を行ったり、結果からグラフを作成したり、実験のエラーの原因を特定したり、結果を説明したりする活動が示されていた。授業の終わりには、半導体を使用する機械のリストを作成する活動や、オーブンや洗濯機などのそれぞれに適したサーミスタを提案する活動が示されていた。

これらは、表8に示すWSが取り入れられていると考えられる。またWS1. 3、WS2を目標とした授業では、実際の実験活動や実験後の結果の分析活動を通じた指導が意図されている。

表8 英国の教師用教科書の小単元「フォトレジスタとサーミスタ」における指導計画と指導されるWS

	教師用教科書に示された指導計画	指導されるWS
導 入	デジタル温度計(10分) デジタル温度計を使用して温度を測定する方法を示す。デジタル温度計がどのように機能するかについて生徒のペアで話し合う。 防犯灯(5分) なぜ日中は防犯灯が点かないのだろうか。	(WS1. 1e) 科学の日常への応用を扱っている WS1. 2a 仮説を立てて説明している
展 開	サーミスタ(25分) 生徒はサーミスタの温度と抵抗の関係を調べる。水浴で温度調節を行うが、サーミスタは植物油(電気絶縁体)で満たされた沸騰管に入れて水浴中に入れる。抵抗計を使用して抵抗を測定する。生徒は温度と抵抗のグラフを作成する。生徒はこの実験でエラーの原因を考慮する必要がある。半導体の働きを説明し、生徒はサーミスタの抵抗が変化する理由を説明する。 フォトレジスタ(LDRs)(15分)	WS1. 3e 実験結果を解釈し説明している WS1. 3f サーミスタの抵抗が変化する理由を説明している WS1. 3h 測定の不確実性について検討している

	生徒はフォトレジスタの光強度と抵抗の関係を調べる。フォトレジスタをランプから異なる距離に置き、光強度計を使用して各距離での光強度を測定し、抵抗計を使用して抵抗を測定する。生徒は、抵抗(y軸)と光強度(x軸)のグラフを作成する。生徒はグラフの形を説明し、この調査でのエラーの原因を考察する。	WS2a 実験をおこなっている WS2b 様々な装置・方法を使って測定を行い、記録している WS2c、WS2d 実験した結果をグラフで提示し説明している
まとめ	<p>これはどこに役立つか？(10分)</p> <p>生徒のペアは、半導体がスイッチとして使用されている機械のリストを作成する。例えば、洗濯機は水が適切な温度に達すると洗濯を開始する。</p> <p>どれが一番いいか？(10分)</p> <p>異なる温度範囲で抵抗が変化する様々なサーミスタのグラフを投影する。オーブン、洗濯機、火災警報器、温度計などに最適なサーミスタを生徒が提案する。</p>	WS1. 3f 説明を提示している

6. 考察

図5の分析より、WS1.1ではWS1.1a、1.1b、1.1e、1.1hを除いたWSで、日本で指導される項目数が英国よりも相対的に少ないか、または日本で全く指導されていないことが分かった。しかも、WS1.1aについて日本の理科教科書における扱いのほとんどは、科学史を紹介するコラムや漫画としてであり、WS1.1aの趣旨(時間の経過とともに科学的方法と理論がどのように発展するかを理解する)を全面的に反映している箇所はほとんど見られない。このことから、日本での理科指導では、生徒が理科を学ぶ意義を実感する場面が少ないことや、生徒が一市民として社会と科学技術の在り方を考えたり議論したりする場面が少ないことが指摘できる。とりわけ科学技術の倫理面に関する内容は、中学校3年間の集大成的な位置づけとして第3学年の最終単元にて扱われているが、生徒の学習の積み上げがないままに十分な学習活動が可能なのかは疑問である。また図5の分析より、WS1.2b、WS1.3a、1.3e、1.3f、1.3iを除いたWS1.2とWS1.3で、日本で指導される項目数が英国よりも相対的に少ないか、または日本で全く指導されていないことが分かった。平成29年告示の学習指導要領の解説理科編では、平成20年告示のものに比べて科学的な探究について述べられる部分が増えたが、具体的にどの単元でどの能力を育成するかまでには言及されておらず、指導内容が教師の裁量に任されている部分は大きい。

英国の教師用指導書における指導計画の内容を分析した結果からは、英国では通常の授業内容のなかでWSが指導されていること、実社会に存在する問題を題材として取り上げWS1.1にかかる内容を指導していること、実験活動にWS1.2、1.3、1.4を取り入れることで科学的な探究の資質・能力を明確に内容に位置付けて指導していることが明らかになった。

英国では日本よりも多くの生徒が理科を学ぶ意義を感じている。これは、理科で生徒が身に付けるべきリテラシーに関する思考力や理科の実験を通して獲得すべき力が、WSという内容領域として詳細な内容で示されていることが一つの要因であると考えられる。日本ではWSにあたる内容が計画的に指導されているとは言えず、日本の理科授業の各單元においても、英国におけるWSのような詳細な指導事項を明らかに定め、指導する可能性について検討する必要があると考える。

なお、本研究では、日本の分析として生徒用教科書、英国の分析として教師用指導書を用いた結果を使っている。日本の教科書は、授業の展開に沿って記述されているので、教科書の内容と実際の授業で行われている内容にさほど違いがないと考えられるが、WSのような内容が明示されていない学習指導要領解説や教科書からその有無を判断するにあたって、分析者の判断に頼らざるをえない部分があり、ある程度の不確かさがあることは否めない。しかし、質的な情報をもとに量的な情報を分析するならば、完全に客観性を担保することはできない。また、今回用いた教科書は平成20年告示の学習指導要領に対応した内容であり、平成29年告示の学習指導要領に対応した教科書の動向も調査していく必要がある。英国の生徒用教科書は、実際の授業の展開を読み取ることが困難で、何を育成するかの意図は教師用指導書の解説に依らざるをえなかった。また、英国の実際の授業に教科書の内容がどれほど反映されているかの調査は課題としてある。こうした調査文献の性質の違いによって本研究の結果は少なからず影響を受けている。そのことを前提としても、英国の指導目標となっているいくつかの項目で、日本において全くあるいはほとんど扱われていないことが現在の日本の理科教育の特徴であることが本研究で示唆された。

注

1. 松原(2017)は、諸外国の科学における資質能力を分類整理して、科学の本質については科学に対する態度、文脈に位置づけている。一方で、WSは過程方法の側面から科学的探究のスキルやプロセス(教科固有の方法)として位置づけている。このようにWSは、科学の本質とともに、科学的探究の方法という二側面を持つものであると考えられる。
2. 分析に用いた英国の生徒用教科書および教師用教科書では、2ページ毎(55分を想定)に内容がまとまって示されていることから、これを1小單元として数えた。日本の教科書でも概ね2から4ページのまとまりで内容が示されており、これを1小單元として数えた。なお、学習指導要領における小項目は通常複数の小單元に分けて指導されるため、異なる単位である。

引用文献

Adelene Cogill, Sam Holyman (2016) OCR Gateway Chemistry for GCSE Combined Science Teacher Handbook, Oxford: Oxford University Press.

Catherine Jones (2016) OCR Gateway Physics for GCSE Combined Science Teacher Handbook, Oxford: Oxford University Press.

Department for Education(2014) Science programmes of study: key stage 4 National curriculum in England. From https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/381380/Science_KS4_PoS_7_November_2014.pdf (accessed 2019.02.04)

Department for Education (2015) Statutory guidance National curriculum in England: science programmes

of study. From [https:// www.gov.uk/government/publications/ national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study](https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study) (accessed 2019.02.04)

Helen Reynolds (2016) OCR Gateway Physics for GCSE Combined Science, Oxford: Oxford University Press.

磯崎哲夫(2012)「イギリスにおける科学の学力の捉え方」『今こそ日本の学力を問う』東洋館出版社, pp. 40-45.

磯崎哲夫(2014)「理科教育における学力観の再考-比較教育史的アプローチからの示唆-」『理科教育学研究』第55巻, 第1号, pp. 13-26.

Jo Locke (2016) OCR Gateway Biology for GCSE Combined Science, Oxford: Oxford University Press.

国立教育政策研究所(2017)『TIMSS2015 算数・数学教育/理科教育の国際比較 国際数学・理科教育動向調査の2015年調査報告書』明石書籍.

松原憲治(2017)「国際的な視点からみる理科の目標の枠組みと資質・能力の特徴」『国立教育政策研究所紀要』第146集, pp. 68-76.

文部科学省(2008)『中学校学習指導要領解説 理科編』.

文部科学省(2018)『中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編』.

Miller,R. & Osborn,J.(eds)(1998),Beyond 2000: Science education for the future, London :king's College London.

Nigel Saunders (2016) OCR Gateway Chemistry for GCSE Combined Science, Oxford: Oxford University Press.

岡村定矩, 藤嶋昭他(2015)新編 新しい科学 1. 東京書籍.

岡村定矩, 藤嶋昭他(2015)新編 新しい科学 2. 東京書籍.

岡村定矩, 藤嶋昭他(2015)新編 新しい科学 3. 東京書籍.

Qualifications and Curriculum Authority(2004) The National Curriculum Handbook for secondary teachers in England, London.

Oxford Cambridge and RSA (2018) GCSE (9-1) Specification GATEWAY SCIENCE COMBINED SCIENCE A. From <https://www.ocr.org.uk/Images/234596-specification-accredited-gcse-gateway-science-suite-combined-science-a-j250.pdf> (accessed 2019.02.04)

Simon Broadly, Mark Matthews (2016) OCR Gateway Biology for GCSE Combined Science Teacher Handbook, Oxford: Oxford University Press.

(2020年9月30日提出)

(2020年11月10日受理)

A Study of Teaching England's "Working Scientifically": Comparison Between England and Japan

NISHII, Mika

Graduate school of Education, Saitama University

OGURA, Yasushi

Faculty of Education, Saitama University

Abstract

In the National Curriculum in England, "Working Scientifically (WS)" is taught as a content domain taught through biology, chemistry and physics. In the content domain, students are supposed to acquire the necessary ideas and skills to study science. By introducing the contents covered in WS into Japanese science curriculum, we expect it lead to the improvement of students' understanding of importance of learning science, abilities for scientific thinking, judgment, and motivation. The purpose of this study is to clarify the situation of teaching WS in Japan. We analyzed the elements of WS at key stage4 and what is taught in each unit of science in England and compared the elements with the equivalent contents in Japanese curriculum and textbooks at the lower secondary school level.

Results showed that in England, elements of WS are fully covered through teaching biology, chemistry and physics, while in Japan, the elements equivalent to WS are partially covered in the contents but not a few elements are rarely covered. It was also found that the elements of WS are intended to be taught explicitly in the lesson plan in England, so we concluded that students in England are supposed to be more able to feel the importance of learning science than Japanese students.

Keywords : Working Scientifically、 National Curriculum、 science textbooks、 importance of learning science