

原 著

前期中等科学教育における評価に関する比較教育学的考察

—日本・アメリカ・シンガポールの 教科書に掲載されている問題の分析—

田中 賢二（岡山大学大学院教育学研究科）

まず、国内外の分類基準を参考に、新しい分類基準：知識・理解・応用の3レベル領域を作成した。次に、この基準を用い、前期中等教育段階に注目し、日本・アメリカ・シンガポールの科学教科書に掲載されている問題を分析した。日本の教科書は応用に属する問題数が少ないこと、アメリカの教科書は、理解より応用の問題数が多くなること、シンガポールの教科書は、応用より理解の問題数が多くなることなどを明らかにした。日本において「生きる力」の要素である『確かな学力』の育成が求められているが、教科書に掲載されている問題をただ解かせるだけでは、『確かな学力』に含まれる応用・活用能力を育成することは難しく、まだまだ大きな課題であるといえる。

キーワード：評価、科学教科書・前期中等教育・比較

I. はじめに

経済協力開発機構（OECD）によって実施（2000・2003・2006・2009 年）されてきた生徒の学習到達度調査（通称：PISA 調査）の成績や理数科の学力低下などを受け、日本では、文部科学省によって全国学力・学習状況調査（通称：全国学力テスト）が行われるなど、「生きる力」を養わせるのに大切な要素である『確かな学力』の育成が求められてきた。

従来と異なる目標および評価の基準が必要になっており、学習指導要領も改訂されている（H20 年 3 月告示）。具体的な方針の 1 つ、子どもたちの応用・活用能力を育成することは、近年の PISA 調査や全国学力テストといった調査の結果を受け、その重視が図られ、理科教育においても、応用・活用能力の育成は緊要な課題とされてきた。

では、学校教育において主たる教材である理科教科書に掲載されている問題を解くことで、子どもたちに十分な応用・活用能力を育成することはできなかったのだろうか？

さらに、応用・活用能力の育成にあたり、その評価指標・方法についても考える必要がある。子どもたちの応用・活用能力をどのような基準を用い、どのように評価するのかについて、本研究がその一助

になればと考えている。

本研究の具体的な目的および手順は、まず、国内外の分類基準（Ⅱ—1）を参考に、問題の新しい分類基準を作成（Ⅱ—2）し、次に、義務教育修了時期にあたる前期中等科学教育に焦点を当て、その基準に基づき、中学校理科教科書に掲載されている問題を分析（Ⅲ—1）する。引き続き、比較教育学的視点から、日本・アメリカ・シンガポールの教科書（の共通テーマ）に掲載されている問題を取り上げ、それぞれの国の特徴などを明らかにし（Ⅲ—2）、加えて、作成した分析基準の詳細なパターンわけ（Ⅲ—3）を試みる。

本稿は、日本理科教育学会第 58 回中国支部大会（平成 21 年 10 月 24 日・東広島市）において、今井琢登（卒業論文指導学生）・田中賢二が、口頭発表した内容を、再編・加筆したものである。

Ⅱ 分析基準

Ⅱ—1 これまでの基準

表 1 は、主要なキーコンピテンシーの概要である。

表1. キーコンピテンシーの概要

キーコンピテンシーを構成する3つの能力
①問題解決のための「ツール」活用能力 ②異質な集団でよりよい人間関係を構築する能力 ③自律的に活動する能力

新しい学力観として、世界的に注目されている、いわば資質や能力としての主要な、つまりキーコンピテンシーとは、個人と社会の発展の成功のために、必要な資質・能力と捉えられ、表1に示すような3つの能力とされており、今回の問題分析の基準を作成するにあたっては、おもに①問題解決のための「ツール」活用能力を参考にしてしている。②や③の能力は、問題を解くだけで測ることは難しい、具体的には、活動（口頭試問・実験・観察など）が伴う問題などで扱われる領域のため、教科書に掲載されている問題に絞った本研究においては考慮していない。

表2は、日本で最初（平成19年度）に行われた全国学力・学習状況調査で国語と算数・数学で実施された知識と活用の基準である。

表2. 日本の知識と活用の基準

	国語
主として「知識」	- 漢字の読み書き、言葉の意味 - 目的や場面に応じた言葉の使い方 - 情報を整理してまとめること - 文章のテーマなどに関する情報の取り出し
主として「活用」	- 伝えるべき内容を整理して文章に表現すること - 筆者の主張を評価したり、表現を工夫しながら自分の考えを書くこと - 文章やグラフ・図表を読み取り、意見をまとめること
	算数・数学
主として「知識」	$+$・$-$・$\times$・$\div$（$()$）の演算順序を意識して正しく計算すること - 図形の性質を理解し、角度や面積などを求めること - グラフから変化の様子を読み取ること - 確率の意味を理解し、求めること
主として「活用」	- 図やグラフから必要な情報を分類、整理比較するなどして、問題の解決に役立てること - 問題の中から規則性を見つけて、考え、表現すること - 実生活などの様々な場面における数量やデータを比較、整理し、自分の考えをわかりやすく説明すること

「知識」と「活用」の2区分にされている。（漢字の読み書きや、四則演算などを知識に、文章やグラフの読み取り、表現などは活用に分類されている。）

また、平成21年度の調査では、このような詳細なものはなかったが、おおまかに、「知識」は身につけておかなければ後の学年等の学習内容に影響を及ぼす内容や、実生活において不可欠であり常に活用できているようになっていたことが望ましい知識・技能などを中心とした問題、「活用」は知識・技能等を実生活のさまざまな場面に活用する力や、さまざまな課題解決のための構想を立て実践し評価・改善する力などにかかわる内容を中心とした問題、と定義されている。

表3は、ドイツの前期中等教育段階の教科物理に対して、求められている評価基準の大綱において、提示されているコンピテンシーである。

表3. ドイツの教科物理におけるコンピテンシー（定義）

知識	物理現象、概念、原理、事実、合法則性を知り、基礎的概念を整理する
認識	実験その他の探究方法やモデルを利用する
コミュニケーション	情報を事実にもと拠って専門的に処理、交換する
判断	さまざまな内容において物理学の事象を認め、評価する

知識・認識・コミュニケーション・判断の4領域に区分、定義されている。また、この定義についておおやけになったのが2004年のことである。これまでの日本やドイツの定義は、PISAの影響を受けて練られたと考えられる。

日本の例（表2）は、教科国語と算数・数学における基準として考えられた2区分の定義であるため、参考にはなるものの、そのまま引用することは難しく、教科理科の特性に相応しい基準を考えなくてはならない。一方、ドイツの例（表3）は、活動（口頭試問・実験・観察など）を含む評価が当然視されている場合の分類基準であり、分析の対象を教科書に掲載されている問題に絞った本研究には、そのまま流用はできない。よって、本研究では、分析を行うのに新しく分類基準を作成することにした。

Ⅱ－２ 作成した基準

前節（Ⅱ－１）に示した、３つの定義づけ（表１～３）や、教育目標の分類体系であるタクソノミーの認知的領域にある基準を参考に、表４に示すような基準を作成した。

表４．作成した分析基準

知識	自分の中にある情報を アウトプットするレベル領域
理解	示された概念や様式を選択的に自分の中に取り込み、整理して、それにあった形に変換して自分のもつ情報を アウトプットするレベル領域
応用	示された課題に対し、自分のもつ情報（知識）や経験と照らし合わせ、その課題を解決するために最善の方法を選択し、 アウトプットするレベル領域

知識のレベル領域には、相手が問題に関する情報を持っているか持っていないか、などについて確かめるような問題をこのレベル領域に当てはめる。

理解のレベル領域には、問題に関する図や表、グラフがあり、それらから何らかのデータの読み取りを伴う問題、または解答者自身がグラフや図、表を作成したり、既にある図や表、グラフに解答を示したりするような問題が当てはまる。

応用のレベル領域には、評価や判断、意見陳述などが求められる問題に対し、自分が持つ知識を活用し、その問いに対し求められている解答を作成する必要がある問題が該当する。

（以下、知識のレベル領域ほかを誤解が生じない限り、単に知識などと表記する。）

Ⅲ 分析

Ⅲ－１ 中学校理科教科書

作成した分析基準（表４）を用いて、日本の理科教科書に掲載されている問題を、知識・理解・応用に分類した。表５は、分析に使用した中学校理科教科書の書名や、出版社などを、表６は、分野別の総頁数や単元・章数を、表７は、各分野の詳細な単元構成を示している。

表５．分析に選んだ日本の中学校理科教科書

書名	新しい科学(教師用指導書 指導編)
出版社	東京書籍
出版年	2002

分析には、平成１０年度に告示された学習指導要領の検定を最初に受け作成された、２００２年出版の教科書を使用し、東京書籍の理科教科書を採用した。ま

た、分析には求められている解答も参考にするため、教師用指導書も使用した。

表６．中学校理科教科書の分野別の総頁数、単元・章数など

教科書	総頁数	構成
１分野上	130	単元数：3 章数：8
１分野下	101	単元数：4 章数：8
２分野上	101	単元数：3 章数：8
２分野下	112	単元数：4 章数：10

表７．中学校理科教科書の分野別単元構成

１分野上	単元１ 身のまわりの現象 単元２ 身のまわりの物質 単元３ 電流
１分野下	単元４ 化学変化と原子・分子 単元５ 運動と力 単元６ エネルギー 単元７ 科学技術と人間
２分野上	単元１ 植物の世界 単元２ 大地の変化 単元３ 動物の世界
２分野下	単元４ 天気とその変化 単元５ 生物の細胞とふえ方 単元６ 地球と宇宙 単元７ 自然と人間

物理、化学、生物、地学に関する単元が各３つで４分野が等しくあり、加えて、科学技術、環境に関する単元が各１つである。

図１は、日本の中学校理科教科書における分野別の知識・理解・応用の問題数と割合を示したものである。なお、グラフ中にある数字は問題の数を示している。

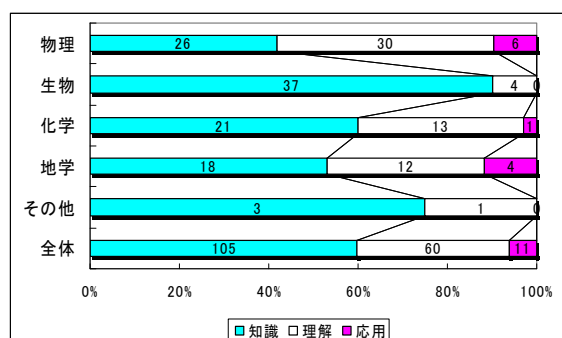


図1. 日本の中学校理科教科書における分野別の知識・理解・応用の問題数（割合）

問題数は、物理が 62, 生物が 41, 化学が 35, 地学が 34, 科学技術と環境に関するものが合わせて 4 となり、図ではこの順に並べている。全体で 176 問あった。図の割合に注目すると、

- 全体で、知識・理解に比べて応用の割合が低かった
- 物理分野は、知識より理解の方が多かった
- 生物分野は、知識の割合が高く、応用がなかった
- 化学・地学分野は、全体と傾向が似ていたを、読み取ることができる。

Ⅲ. 2 共通テーマ

日本の理科（科学）教科書に掲載されている問題を、アメリカ・シンガポールの科学教科書に掲載されている問題と比較し、どのような特徴があるかを調べるため、分析した。

比較として共通テーマを、物理分野からは「力」、生物分野からは「細胞」、化学分野からは「酸とアルカリ」を選んだ。なお、地学分野は、シンガポールに地学に属するテーマがなく、分析を行うことができなかった。表8は、3カ国の中等教育段階における科学教科書の概要を、表9は、取り上げた共通テーマに該当する3カ国それぞれの問題数と総頁数を示している。

表8. 比較資料とした3カ国の科学教科書（概要）

国名	日本	アメリカ	シンガポール
書名	新しい科学 1分野上・下 新しい科学 2分野上・下	Physical Science Life Science Earth Science	interactive Science1・2
分冊数	4	3	2
出版社	東京書籍	Glencoe /McGraw-Hill	SNP Sprint (M) Sdn Bhd
出版年	2002	2002	2001
総頁数	444	2672	609
サイズ	A4 (253×180)	A4 (284×242)	A4 (253×200)
構成	単元数:3 章数:8	単元数:6 章数:25	単元数:5 章数:22

比較資料とするため、出版年はほぼ統一している。どの国の科学教科書も分冊で構成されており、アメリカの教科書の総頁数がとりわけ多いことが特徴的である。書籍のサイズはアメリカが一番大きい。

日本の中学校理科教科書は、総頁数、書籍のサイズともに一番少なく、また小さい。

表9. 共通テーマに該当する各国の問題数と総頁数

テーマ		日本	アメリカ	シンガポール
力	該当頁数	28	24	12
	問題数	18	22	29
細胞	該当頁数	7	24	13
	問題数	4	24	16
酸とアルカリ	該当頁数	5	17	14
	問題数	3	20	13

上から問題数が多いテーマ順に並べている。今回は比較分析のために、日本で取り扱われていない内容が含まれる問題は除いている。

図2は、テーマ「力」における国別の知識・理解・応用の問題数と割合を示した図である。

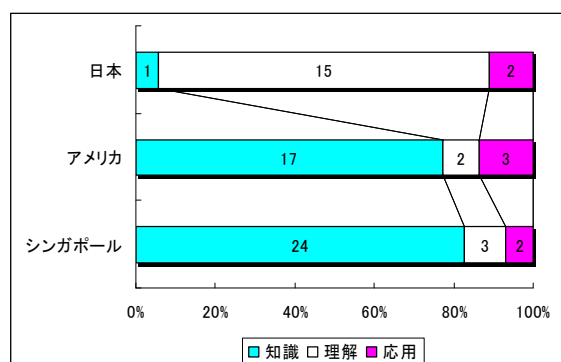


図2. テーマ「力」における国別の知識・理解・応用の問題数（割合）

- 問題数はシンガポールが一番多く、次いで、アメリカ、日本である
- 日本は、知識・応用に比べて理解の割合が非常に高い
- シンガポールもアメリカも、ともに、理解・応用に比べ知識の割合が非常に高いを、読み取ることができる。

図3は、テーマ「細胞」における国別の知識・理解・応用の問題数と割合を示した図である。

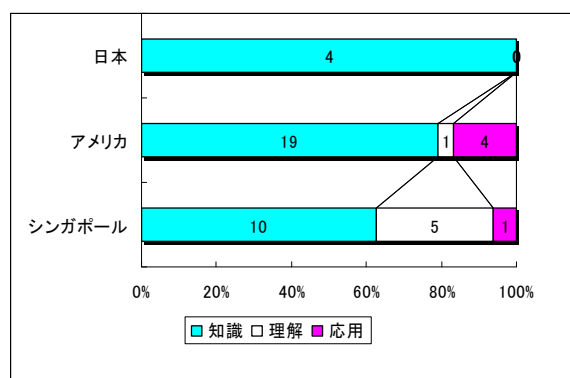


図 3. テーマ「細胞」における国別の知識・理解・応用の問題数（割合）

- 問題数はアメリカが一番多く、次いでシンガポール、日本である。
 - 日本は、知識しかなかった
 - アメリカは、理解の割合が非常に少ない
 - シンガポールは、理解・応用に比べて知識の割合が非常に高い
- を、読み取ることができる。

図 4 は、テーマ「酸とアルカリ」における国別の知識・理解・応用の問題数と割合を示した図である。

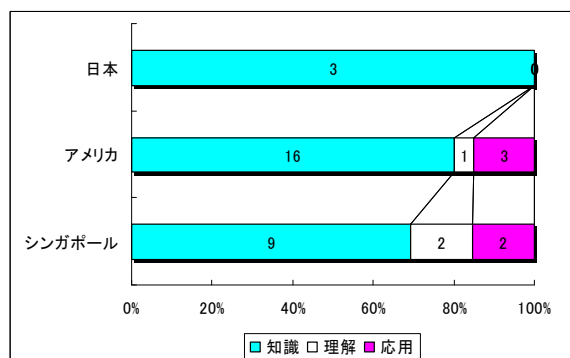


図 4. テーマ「酸とアルカリ」における国別の知識・理解・応用の問題数（割合）

- 問題数はアメリカが一番多く、次いでシンガポール、日本である。
 - 日本は、知識しかなかった
 - シンガポールもアメリカも、ともに、理解・応用に比べ知識の割合が非常に高い
- を、読み取ることができる。

3 テーマ（共通テーマ）を比較すると、日本は、

アメリカ・シンガポールに比べ応用の問題数が少ないことがわかる。3 テーマしか選んでいないが、教科書の総頁数（表 8）と関連して考えると、日本は応用の総問題数が 11 であったが、アメリカ・シンガポールはこれを上回る数になることが推定できる。アメリカは 3 テーマともに理解の問題の割合が少なくなった。シンガポールは、知識の割合が一番高く、次に理解・応用の順になった。

III-3 基準の細分化

前節（II-2）で示した 3 区分、知識・理解・応用のさらなる検討を行ない、知識を 3 つ、理解を 3 つ、応用を 2 つに細分化できた。計 8 区分の例を順に示したものが、表 10～17 である。

【知識】

表 10 <再生・再認型>

《問題》

ある水溶液が、酸性かどうかを調べるのに最も適している薬品は、次のアからエのうちのどれか。

ア うすい水酸化ナトリウム水溶液

イ フェノールフタレイン溶液

ウ BTB 溶液

エ うすい食塩水

（日本・1 分野上 82 頁）

《解答》

ウ

俗に暗記問題と呼ばれたりするのがこの形式の問題である。語句説明もこの形式に含める。

表 11 <理由説明型>

《問題》

なぜ死んだ細胞より、生きている細胞を観察した方がよいのですか。（アメリカ・Life Science 51 頁）

《解答例》

細胞が死んだときに、いくつかの細胞の部分が壊れるから。

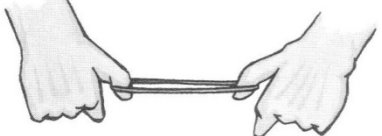
説明するものによって、レベルは高いものから低いものまでいろいろあるが、結局、解答者が知っているか知らないかを問うだけの問題であれば、それは知識に属する問題といえる。よって、このような問題を理由説明型と定義し、知識とした。

表 12 <日常想起型>

《問題》

以下の図を見なさい

(1) 輪ゴムを伸ばしたとき、その形はどうなりますか。



(シンガポール・interactive Science1 178 頁)

《解答例》

伸びる、変形する。

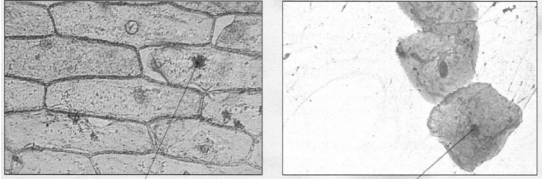
この形式は、私たちが普段の生活で経験していることを尋ねるタイプの問題にあてはまる。日本やアメリカにはこの形式の問題は見られず、シンガポールの教科書にしか見られなかった。(例えば物理分野)

表 14 <情報読み取り型>

《問題》

(a) 以下の図を見なさい。それぞれの写真について細胞の名前を答えなさい。

(シンガポール・interactive Science 1 286 頁)



《解答》

左図：植物細胞 右図：動物細胞

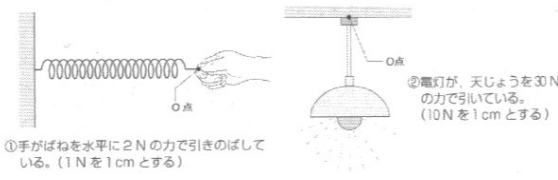
図や、グラフ、表から情報を読み取り（解釈し）、求められている解答を作成する問題、または、文章から必要な情報を読み取らなければならない問題をこの情報読み取り型の問題と定義している。

【理解】

表 13 <知識変換型>

《問題》

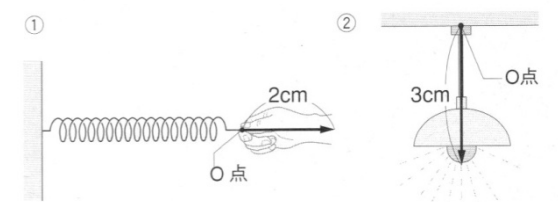
下図の①、②で、O点にはたらく力を、力の矢印で表そう。(日本・1分野上 25 頁)



①手がばねを水平に2Nの力で引きのばしている。(1Nを1cmとする)

②電灯が、天井を30Nの力で引いている。(10Nを1cmとする)

《解答》

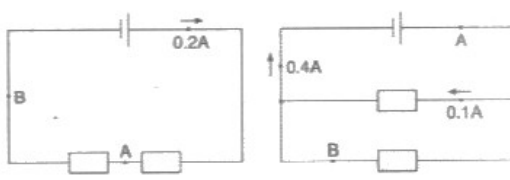


解答者が持っている情報を、図やグラフ、表に適した形として表現するようなタイプの問題である。

表 15 <計算型>

《問題》

左図のそれぞれの回路の A、B 点を流れる電流の強さは、それぞれ何 A か。(日本・1分野上 96 頁)



《解答》

直列回路 A : 0.2A, B : 0.2A

並列回路 A : 0.4A, B : 0.3A

どの式を活用するのか、どの値が必要かなど、文章を読み、把握する必要がある。この手順は表 4 にも記述しているが、情報を選択的に読み取る作業であると考えられる。よって、(ただの四則演算でない) 計算問題は、この理解に含める。

【応用】

表 16 <知識活用型>

《問題》 以下のものが与えられています。 マグネシウムリボン、青色リトマス紙、バッテリー 接続した炭素棒の電極、固体のクエン酸、クエン酸 の水溶液、プロパノン中のクエン酸の水溶液 これらを使って、水に溶けたときにだけ酸がその特 性である酸性を示すことがわかる実験を設計して ください。 (シンガポール・interactive Science 1 174 頁) 《解答例》 解答者により解答が異なる。 (教師用指導書に解答例は掲載されていない。)
--

与えられた課題に対し、知識を活用して、最良の答えを出すという問題である。答えは必ずしも1つになるとは限らず、複数の解答がある場合もある。また解答者によってさまざまな説明になることが予想される。

表 17 <意見陳述型>

《問題》 カビの生えたパンを観察するのに一番適した顕微鏡はどのタイプですか？説明しなさい。 (アメリカ・Life Science 62 頁) 《解答例》 多くの答えがあります。しかし、立体顕微鏡であれば、細かく観ることができるだけでなく、拡大して観ることができます。

解答者に、解答者自身の意見や評価、考察などを求めている問題である。この形式も知識活用型と同じく、必ずしも解答が1つに定まらない。

今回、応用において日本の問題例を紹介することができなかったが、応用に属する日本の問題は、知識活用型がほとんどであり、意見陳述型の問題は見られなかった。

IV. おわりに

本研究は、まず、国内外の分類基準を参考に、問題の新しい分類基準を作成し、次に、義務教育修了時期にあたる前期中等科学教育に焦点を当て、その

基準に基づき、教科書に掲載されている問題を分析し、引き続き、比較教育学的視点から、日本・アメリカ・シンガポールの教科書（の共通テーマ）に掲載されている問題を取り上げ、それぞれの国の特徴などを明らかにしてきた。

Ⅱ－1のこれまでの分類基準を参考に、Ⅱ－2では、問題を知識・理解・応用の3レベル領域に分類する基準を作成した。Ⅲ－1では、新しく作成した分析基準を使用し、日本の中学校理科教科書に掲載されている問題を分析し、全分野（物理・生物・化学・地学・その他）で応用のレベル領域に属する問題数の割合が小さいことがわかった。Ⅲ－2では、日本・アメリカ・シンガポールの科学教科書に掲載されている問題の中から、共通テーマを選び、アメリカ・シンガポールと比較することで、日本の中学校理科教科書は、（テーマ力・細胞・酸とアルカリの違いにかかわらず）全体的に応用の問題数が少ないことがわかった。アメリカの科学教科書とシンガポールの科学教科書との違いは、理解と応用の問題数の割合であった。アメリカは理解に比べ応用が多く、シンガポールは応用に比べ、理解が多かった。Ⅲ－3ではⅡ－2で作成した分類基準をさらに細分化する可能性を見出し、計8区分の問題の型へと分類することができるようになった。この詳細な定義は、評価の面において役に立つと考えられる。たとえば、計算型の問題が解けているのであれば、少なくとも計算ができる能力があるという評価を出すことができる。また、意見陳述型の問題が解けているのであれば、自分の意見をまとめ、整理し、表現することができるという判断ができる。このように、問題の型を意識することで、子どもたちの評価の一助になると考えられる。

Ⅲ－1からⅢ－3を通し、アメリカやシンガポールは日本に比べ、テーマの中で取り扱っている問題数が多く（表9）、教科書の総問題数も多いことが想像に難くない。特にアメリカでは、その莫大な教科書の総頁量から、カバーしている内容も広い。日本の中学校理科教科書は、アメリカ・シンガポールと比較すると、教科書の総頁数が少ないので、教科書に掲載されている総問題数も少なくなる。さらに3レベル領域の中で、応用の割合が小さく、その数も少ない、とりわけ意見陳述型の問題がなかったことが特徴といえる。

これらのことからわかる日本の理科教育の課題として、これからの子どもたちに、「生きる力」に含ま

れる『確かな学力』を養うにおいて、知識・技能を養うにおいて問題はないが、思考力・判断力・表現力、問題解決能力を養うにおいては、まだまだ大きな課題があるといえる。よって、このまま、教科書に掲載されている問題をただ生徒に解かせるだけでは、子どもたちに十分な応用・活用能力を養うことは難しいと考えられる。その課題をクリアするために、諸外国でどのような問題があるのかを参考にするのは非常に有効な手段だと考える。もちろん、そのままマネをするわけではなく、学年が早いうちから、意見を述べる活動を行うなどし、慣れておくといった、計画性を考慮しなければならない。

学校教育において主たる教材である教科書を使用し、掲載されている問題をただ解かせているだけでは、子どもたちに十分な応用・活用能力を養うのは難しいということを意識する必要があるのかもしれない。その点を授業の中で補う方法について、教員は授業を工夫し続ける姿勢が求められている。

本研究の発展的な課題として、活動を伴う問題について、評価の基準および定義の作成がある。分析を行っている、教科書に掲載されている問題の中で活動を伴うものがあつた。本研究ではこれについて考慮しなかったが、理科には実験や観察などの活動が不可欠である。したがって、これを評価する基準が必要である。

主要な文献（参考順）

- 1) ドミニク・S・ライチェン、ローラ・H・サルガニク、『キー・コンピテンシー 国際標準の学力を目指して』、明石書店、2006.
- 2) Kultusministerkonferenz, Bildungsstandards

im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss(Jahrgangsstufe 10), Luchterhand, 2004.

- 3) 新しい科学編集委員会、『新しい科学 教師用指導書指導編 1分野上』、東京書籍、2002.
- 4) 新しい科学編集委員会、『新しい科学 教師用指導書指導編 1分野下』、東京書籍、2002.
- 5) 新しい科学編集委員会、『新しい科学 教師用指導書指導編 2分野上』、東京書籍、2002.
- 6) 新しい科学編集委員会、『新しい科学 教師用指導書指導編 2分野下』、東京書籍、2002.
- 7) National Geographic Society, 『Physical Science』, Glencoe/McGraw-Hill, 2002.
- 8) National Geographic Society, 『Life Science』, Glencoe/McGraw-Hill, 2002.
- 9) National Geographic Society, 『Earth Science』, Glencoe/McGraw-Hill, 2002.
- 10) Tho Lai Hoong/ Ho Peck Leng/ Goh Nghoh Khang, 『Interactive Science 1 Teacher' s Edition』, PAN PACIFIC PUBLICATIONS(S) PTE LTD, 2001.
- 11) Tho Lai Hoong/ Ho Peck Leng/ Goh Nghoh Khang, 『Interactive Science 2 Teacher' s Edition』, PAN PACIFIC PUBLICATIONS(S) PTE LTD, 2001.
- 12) 田中耕治他『よくわかる教育評価』、ミネルヴァ書房、2005.
- 13) 東洋、『子どもの能力と教育評価』、東京大学出版会、2001.
- 14) 日本理科教育学会、『理科教育学講座10理科の評価』、東洋館出版社、平成5年
- 15) 原田信之、『確かな学力と豊かな学力』、ミネルヴァ書房、2007.

Title: CONSIDERATION OF THE COMPARATIVE EDUCATION ABOUT THE EVALUATION IN THE LOWER SECONDARY SCIENCE

KENJI TANAKA (Graduate School of Education Okayama University)

Keywords: Evaluation, Science Textbook, Lower Secondary Level, Comparison