

わが国の理科の教育課程の特徴と科学的リテラシー

Characteristics of Curriculum and Scientific Literacy in Japan

猿田 祐嗣*
SARUTA Yuji

Abstract

The purpose of this paper was to clarify the characteristics of science curricula of various countries, find out differences, common points and their international tendency, and establish the viewpoints for taking another look at Japanese science curriculum in order to study what an internationally appreciated science curriculum should be.

Using the data obtained from a series of reports titled as "International Science Study" and "Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS)", the paper compared the educational content of science curricula of different countries. The reports were the results of the questionnaire surveys having been conducted by the International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA) since 1960s on the content of science curricula used in IEA-participated countries and regions. To discuss the direction of scientific literacy, which is considered to be important in the future, the paper used the results of the questionnaire survey on the priority issues to improve science curricula answered by the education policy makers of 14 Asian and Pacific countries and regions participated in the 2004 APEC Education Ministerial Meeting.

The comparison of science curricula of different countries based on the results of a series of the IEA International Science Study reports revealed that many countries taught most topics in science curricula on a single school year basis, whereas Japan has been adopting a so-called spiral education system where topics are arranged on a multiple school year basis extending over elementary and secondary school stages since 1960s. The paper discussed that the Japanese science curriculum with such characteristics should aim to improve scientific literacy as the ability to apply acquired knowledge and skills to real society and life.

はじめに

2007（平成19）年度末に告示された小・中学校の学習指導要領の基本理念となった第4期中央教育審議会答申（中央教育審議会，2008）においては、教育内容に関する主な改善事項として理数教育の充実がうたわれた。そこでは、「次代を担う科学技術系人材の育成がますます重要な課題になっているとともに、科学技術の成果が社会全体の隅々にまで活用されるようになってきている今日、国民一人一人の科学に関する基礎的素養の向上が喫緊の課題となっている」とされ、科学に関する基礎

* 教育課程研究センター基礎研究部総括研究官

的素養、いわゆる科学的リテラシーの重要性が指摘された。それを受けて、理科の改善の基本方針として、「科学技術の進展などの中で、理数教育の国際的な通用性が一層問われている」という認識が示され、「子どもたちの発達の段階を踏まえ、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図る方向で改善する」ものとされた。

この背景には、答申でも指摘されているように、TIMSS や PISA の国際学力調査の結果（国立教育政策研究所，2005、2007）から、科学的リテラシーの国際比較では、トップレベルの維持が困難になってきたことに加え、科学的事項に対する関心・意欲が著しく低いという問題が根底にある。さらに、小・中学校の理科の教育課程の比較では、TIMSS において出題された内容の履修率を調べた結果、わが国では理科の授業時数の減少に伴う内容削減により履修率が国際的にみてかなり低いことが明らかとなり、この履修率の低さが国際学力調査の結果に結びついているのではないかという懸念が生じた。

これらの国際学力調査を実施してきた著者らは、平成14～18年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「新世紀型理数科系教育の展開研究」において、調査データの詳細な分析を通して、今後のわが国の理科教育課程が目指す方向性を探り、指導すべき内容やその配列はどうあるべきかを提言することを目的とした研究を行った（猿田，2003、2005、2007）。本稿では、提言を行うための根拠として主に用いた国際学力調査の各国のデータや資料を再分析することで、わが国の理科教育課程における指導内容の特徴を明らかにするとともに、今後の理科教育課程においてキーワードとなりつつある科学的リテラシーの重要性について論及する。

1. 目的

国際的に通用する理科教育課程の内容はいかにあるべきかを探るために、各国の理科教育課程の特徴を明らかにする。そこから明らかになってくる国際的な傾向としての理科教育課程の相違点と共通点から、わが国の理科教育課程を見直す際の視点を明らかにする。

2. 方法

各国の理科教育課程の指導内容を比較するにあたって、国際教育到達度評価学会（IEA）が1960年代から実施している「国際理科教育調査」（1995年からは「国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）」）において参加国・地域の理科教育課程の内容について調べたアンケート調査のデータを使用した。

IEA の1967年および1983年の調査においては、理科の内容を53項目に分類し、その内容の重要度について参加各国・地域の調査責任者を対象として調査を行い、1960年代後半から1980年代前半にかけての各国の理科教育課程の重要度の経年変化を明らかにしている（Keeves, 1992）。1995年調査では、同じく参加各国・地域の調査責任者を対象として理科の内容78項目の履修学年について中等教育終了までの全学年で調べている（Schmidt, 1997）。さらに、2003年調査では、理科の内容69項目の履修学年について、やはり中等教育終了までの全学年で調べている（Martin, 2004）。

しかしながら、いずれの調査においても大まかな国際的傾向が報告されたのみで、わが国を中心とした詳細な分析は行われていない。そこで、それらのデータをもとに、わが国を中心とした詳細な分析を行い、理科教育課程における指導内容がどのように推移してきたかを明らかにする。

また、今後重要とされる科学的リテラシーの方向性を論ずる際には、2004年の APEC 教育大臣会合において、アジア・太平洋地域から参加した14か国・地域の教育政策担当者が理科の教育課程を改善する上で優先すべき事項について回答を行ったアンケート調査のデータを使用した（渡辺，2004）。

3. 国際比較から見たわが国の理科教育課程における指導内容の特徴

(1) 1960年代後半から1980年代前半における各国の理科教育課程の内容

IEA は1967年と1983年に理科の学力調査の付帯調査として、表 1 に示した理科の主要な内容53項目について、学力調査の対象となった10歳児、14歳児、高等学校で大学進学直前の理科の各科目

表 1 理科の内容項目 (IEA 第 1・2 回国際理科教育調査 1967年・1983年実施)

1. 物理領域

測定
時間と運動
力
動力学
エネルギーと機械
流体力学
熱の初歩
状態変化
分子運動論
光
振動と音
波動
スペクトル
静電気
電流
電磁気と交流
エレクトロニクス
分子物理学、原子物理学
理論物理学

2. 化学領域

基礎化学 (化学変化)
電気化学
化学の法則
化学過程
周期律
化学系でのエネルギー関係
反応速度と化学平衡
工業化学 (原料と化学物質)
化学構造
環境化学 (重合と重合体)
生命活動の化学 (生体化学)
核化学

3. 生物領域

細胞の構造と機能
細胞内物質の移動 (細胞内のホメオスタシス)
細胞の物質交代
細胞の反応
遺伝子の概念
生命の多様性
生物体の物質交代
生物体の調節
生物の協調 (整合) と習性
発生と成長
人間生物学
自然環境
自然における循環
自然界の生物群と生存競争
集団遺伝学
進化

4. 地学領域

太陽系
恒星系
気象学
地球の構造 (地殻)
地理学 (地質学を含む)
土の科学

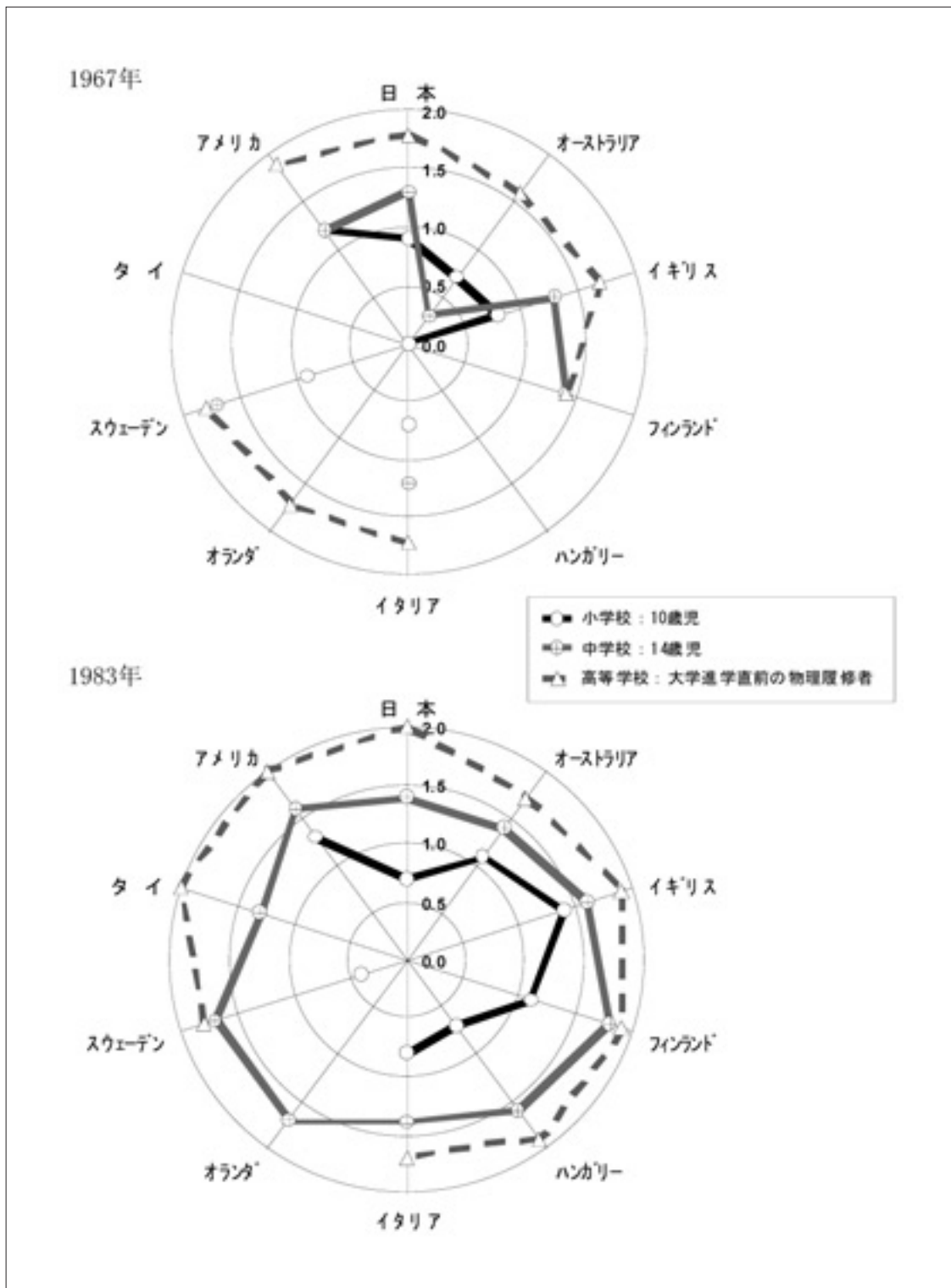


図1 - 1 物理領域の内容に対する重要度の経年変化 (IEA 国際理科教育調査)

履修者における重要度 (それぞれ「非常に重要である」「重要である」「履修しない」から選ぶ) について同じ項目で各国・地域の調査責任者に対して調査を行った。2回の調査ともに参加した10か国 (日本、オーストラリア、イギリス、フィンランド、ハンガリー、イタリア、オランダ、スウェーデン、タイ、アメリカ) について、物理・化学・生物・地学の4領域の内容ごとの平均値の推移を図1 - 1から図1 - 4にチャートグラフとして表した。各図においては、重要度の回答を「非常に

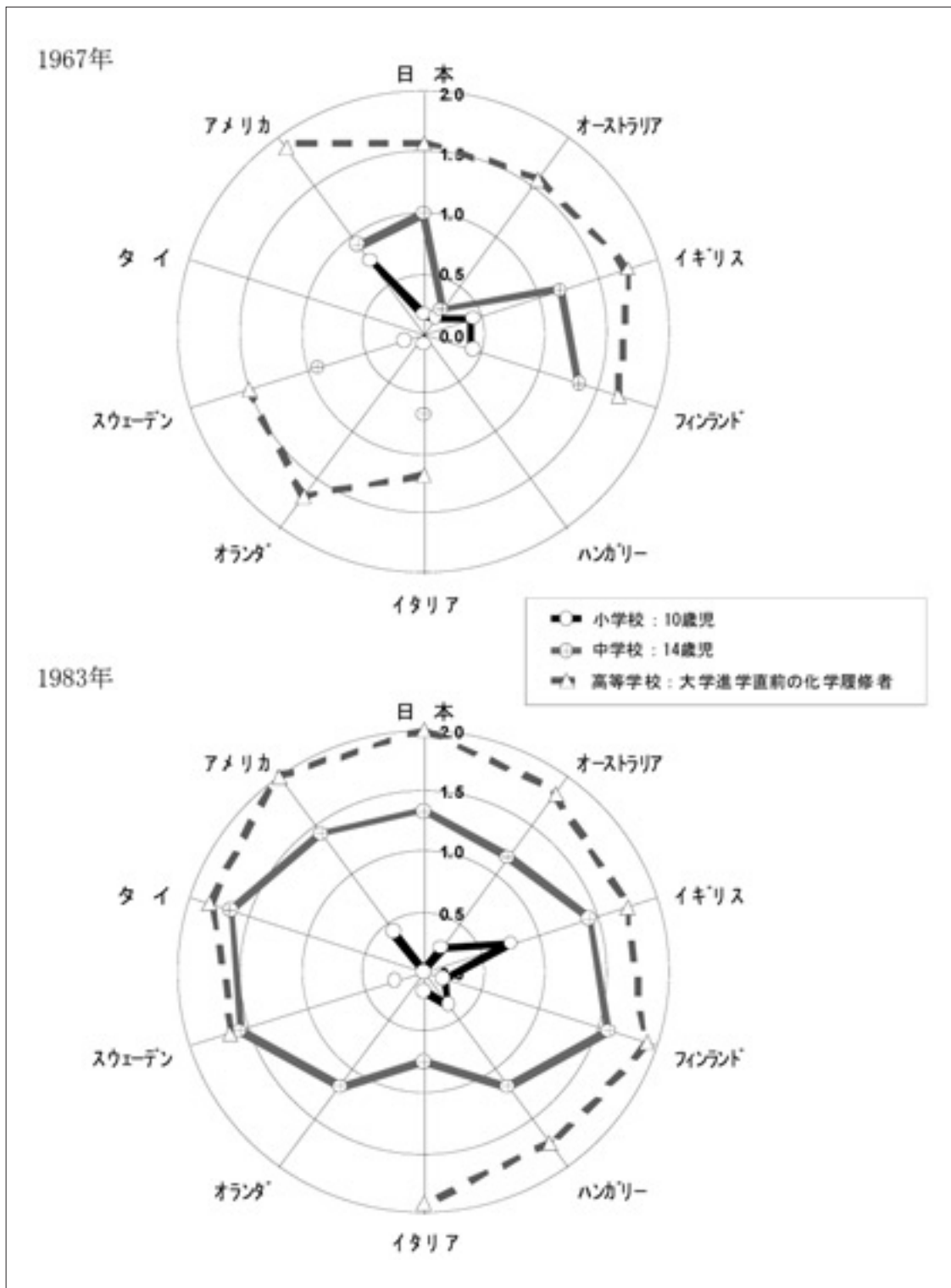


図1 - 2 化学領域の内容に対する重要度の経年変化 (IEA 国際理科教育調査)

重要である」2点、「重要である」1点、「履修しない」0点で数値化したときの平均値をプロットしている。

これらの図から、わが国の重要度は各国とほぼ同様であったことが分かる。領域別に見ると、物理領域の内容は各国同様、小学校から重要視され、1980年代前半には各国とも同じような扱いをする傾向があった。化学領域の内容は1960年代後半では10歳児および14歳児の時点であまり扱われな

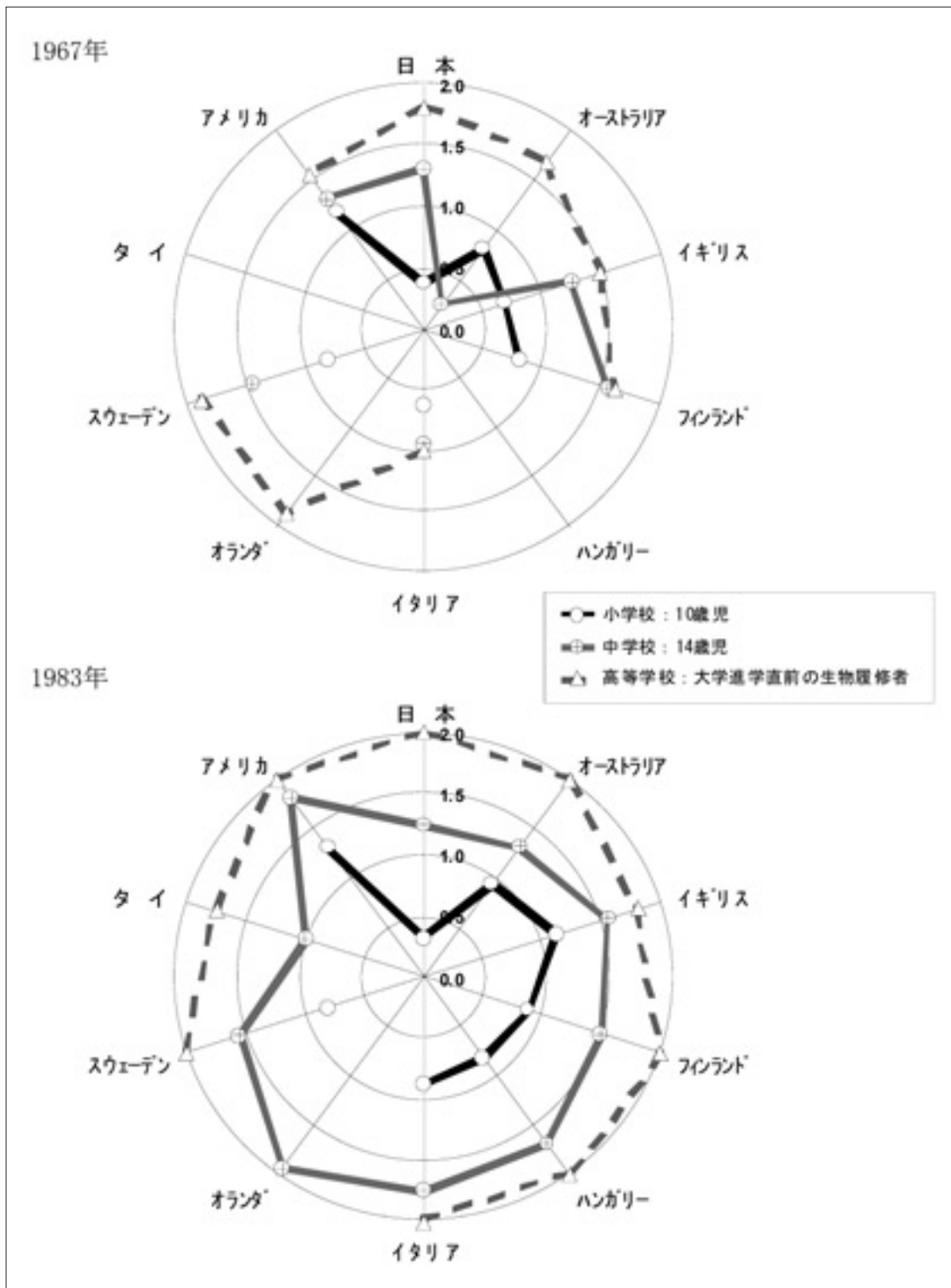


図1 - 3 生物領域の内容に対する重要度の経年変化 (IEA 国際理科教育調査)

い内容であったが、1980年代前半には14歳児で各国・地域とも重要な内容へと変化している。生物領域の内容は、わが国ではあまり変化がないが、その他の国は化学領域同様に1980年代前半になって重要とみなすようになる傾向があった。地学領域の内容については1960年代後半のデータが不備である国が多いため明言できないが、1980年代には低学年の時点から重要な内容であるという認識がなされている。

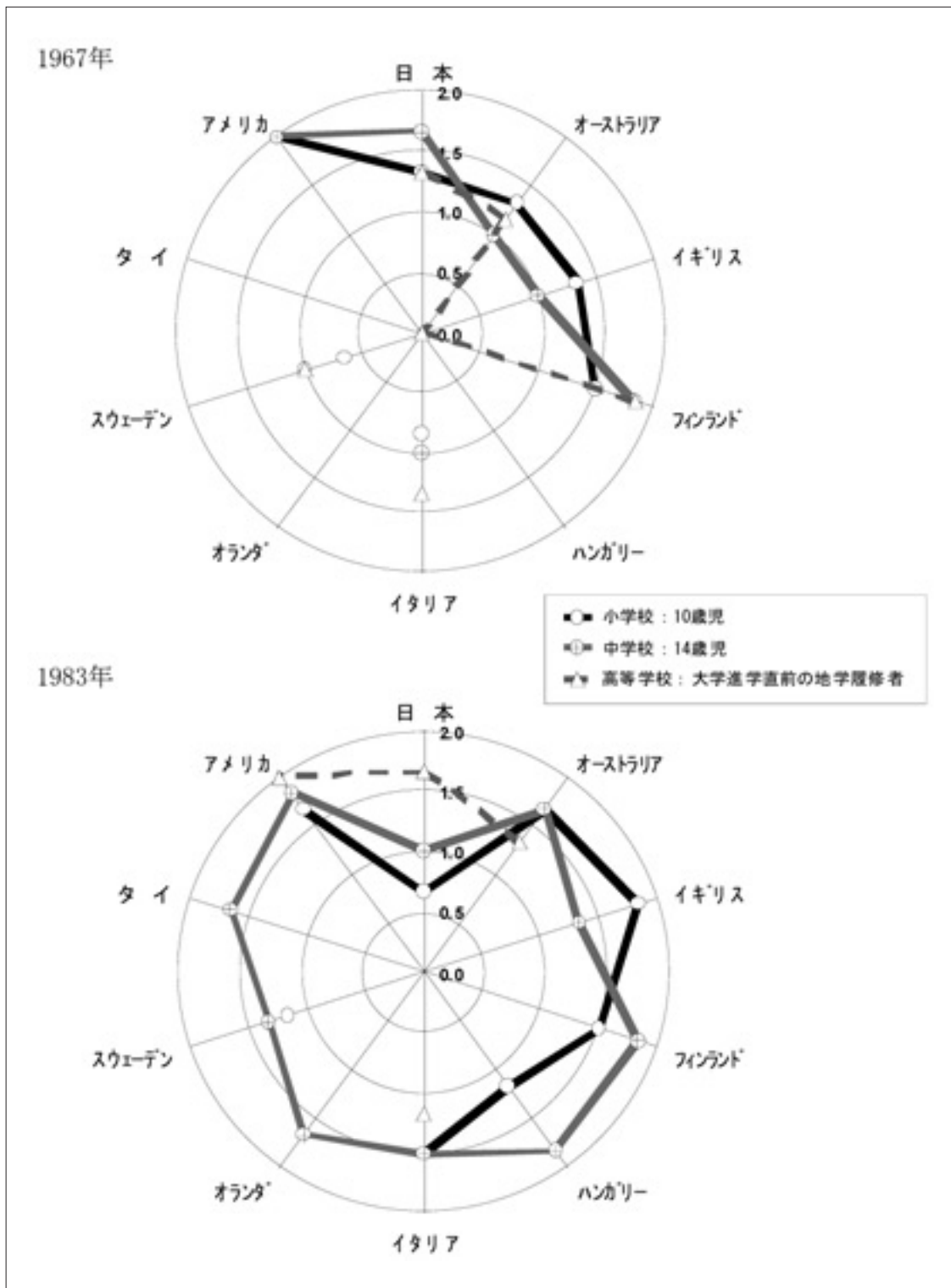


図1-4 地学領域の内容に対する重要度の経年変化 (IEA 国際理科教育調査)

特徴のある国をあげると、アメリカは内容ごとの平均値が各領域ともに高く、実際の履修率はともかく、すべての領域を重要視していることが読みとれる。また、イギリスおよびオーストラリアでは1980年代以降、理科の内容の重要度が高まっていることがデータから読みとれる。

(2) 1990年代前半における各国の理科教育課程の内容

1995年調査 (TIMSS1995) の際に調査した表 2 に示す78項目について、初等・中等教育段階の全学年において取扱いの有無と程度 (「主要な内容として取り扱っている」「取り扱う」「履修しない」から選ぶ) のデータを精査した。わが国の理科教育課程と比較するために取り上げた国は、カナダ、フランス、ドイツ、イタリア、韓国、ロシア、シンガポール、アメリカであった。なお、ドイツは州によってカリキュラムが異なっていたため、代表としてノルトライン・ウェストファーレン州のデータを用いた。また、シンガポールは中等教育段階で「速習/特別」コースと「普通」コースに生徒を分け、異なるカリキュラムで指導していたため、データも別個に扱った。

なお、ここで取り上げた国や州が定めた初等・中等教育前期段階での理科の授業時数は、第4学年 (小学校4年) で週当たり2.0~2.7時間 (わが国は2.2時間)、第8学年 (中学校2年) で週当たり2.0~3.5時間 (わが国は2.5時間) であり、授業時数としては各国・州ともほぼ同様であった (国立教育研究所, 1997、1998)。

TIMSS1995で調査した78項目について、初等・中等教育段階の全学年における取扱いの有無と程度を国ごとに示した約60ページに及ぶ表 (猿田, 2003) は紙数の都合で掲載できないため、わが国の特徴のみについて述べる。なお、わが国のデータは平成元 (1989) 年告示の学習指導要領で扱った内容をもとに報告されたものであった。

これらのデータを見ると、「物質の分類」「物質の物理的特性」「物質の化学的特性」「熱と温度」「音」「光」「電気」「磁気」「物理的变化」は、わが国では小学校および中学校にまたがる複数学年で主要な内容として扱われる内容であった。韓国の内容の扱いはわが国によく似ているが、わが国ほど複数学年で反復履修するスパイラル式での取扱いは行っていなかった。生物領域、地学領域においては、「惑星」「生物の成長サイクル」「生殖」などが、わが国においてスパイラル式で扱った内容であった。

表 2 理科の内容項目 (IEA 第3回国際数学・理科教育調査 : TIMSS1995)

1. 1 地球科学

- | | |
|---------|---|
| 1.1.1.1 | 構成 (地殻、マントル、核および金属や鉱物の分布) |
| 1.1.1.2 | 地形 (山地、峡谷、大陸) |
| 1.1.1.3 | 水域 (海洋、湖、湖沼、海底、河川) |
| 1.1.1.4 | 大気圏の空気の層 (電離圏、成層圏、等) |
| 1.1.1.5 | 岩石、土壌 (土壌の種類、土壌形成、土壌の pH、岩石分類、特殊な岩石およびその用途) |
| 1.1.1.6 | 氷河の形成 (氷河、氷山、南極地方) |
| 1.1.2.1 | 天気と気候 (天気図、天気予報、ハリケーン、四季) |
| 1.1.2.2 | 物理的循環 (岩石の循環、水の循環) |
| 1.1.2.3 | 造成と破壊 (プレートテクトニクス、地震、火山) |
| 1.1.2.4 | 地球の歴史 (地質時代、化石燃料と鉱物資源) |
| 1.1.3.1 | 太陽系の地球 (地球・太陽・月の系、夜・昼、潮の干満、北半球と南半球、季節) |
| 1.1.3.2 | 太陽系の惑星 (惑星の特性、太陽系の惑星の順序) |
| 1.1.3.3 | 太陽系の外部 (銀河系、ブラックホール、準星、恒星のタイプ、星座) |
| 1.1.3.4 | 宇宙の進化 (宇宙の起源・歴史・未来) |

1. 2 生命科学

- 1.2.1.1 植物、菌類 (植物と菌類の種類)
- 1.2.1.2 動物 (動物の種類)
- 1.2.1.3 その他の動物 (微生物の種類)
- 1.2.1.4 器官、組織 (循環系、植物の葉、運動系、目、耳)
- 1.2.1.5 細胞 (細胞膜、細胞核、ミトコンドリア、液胞)
- 1.2.2.1 エネルギーの代謝 (エネルギーの獲得、貯蔵、変換 - 光合成、呼吸作用、生合成 [タンパク質、炭水化物、脂肪等]、消化、排泄)
- 1.2.2.2 感覚と反応 (バイオフィードバック、恒常性 (ホメオスタシス)、感覚系、刺激に対する反応 [例：神経系と脳])
- 1.2.2.3 細胞の生化学的プロセス (細胞機能の調節、代謝、タンパク合成、酵素)
- 1.2.3.1 生活環 (植物・昆虫などの生活環、成長、発生、生殖、分散、老化、死、細胞分裂、細胞分化)
- 1.2.3.2 生殖 (植物・動物の生殖、無性・有性生殖)
- 1.2.3.3 変異と遺伝 (メンデル・非メンデル遺伝学、数量遺伝、集団遺伝学)
- 1.2.3.4 進化、種分化、多様性 (進化の証拠、進化の効果、進化の過程 [例：適応、自然選択]、種の本質、家畜化、多様性の意義)
- 1.2.3.5 遺伝生化学 (遺伝子の概念、DNA/RNA、遺伝形質発現、遺伝子工学)
- 1.2.4.1 生物圏と生態系 (ツンドラ、雨林、サバンナ、湿地、タイドプール)
- 1.2.4.2 生息地と生態的地位 (絶滅寸前の種の生息地、種の生態的地位)
- 1.2.4.3 生物の相互依存性 (食物網・連鎖、共生関係、人間の影響)
- 1.2.4.4 動物の行動 (鳥の渡り、配偶選択、育児、動物の群生 [例：ミツバチの巣、象の群])
- 1.2.5.1 栄養摂取 (食物中のビタミンおよびミネラル)
- 1.2.5.2 疾病 (疾病の種類、原因、防止)

1. 3 物質科学

- 1.3.1.1 物質の分類 (均一物質と不均一物質、元素、化合物、混合物、溶液)
- 1.3.1.2 物理的特性 (重量、質量、物質の状態、金属の展性、硬度、形状)
- 1.3.1.3 化学的特性 (周期表、酸性度、反応性、原子スペクトル、有機・無機)
- 1.3.2.1 原子、イオン、分子 (さまざまな物質の主成分としての原子、イオン、分子)
- 1.3.2.2 巨大分子、結晶体 (ポリマー、生物学的分子の形状・機能、結晶構造)
- 1.3.2.3 原子構成粒子 (電子、陽子、中性子)
- 1.3.3.1 エネルギーの種類、エネルギー源、エネルギーの変換 (位置エネルギーと運動エネルギー、化学的エネルギー、原子力、化石燃料、水力発電、エネルギーの変換、エネルギーと仕事、エネルギー効率)
- 1.3.3.2 熱と温度 (温度目盛、エネルギーの形態としての熱、熱と温度)
- 1.3.3.3 波動現象 (波の性質、波の種類 [例：IR、UV]、波の相互作用)
- 1.3.3.4 音と振動 (音の伝達、音響学、高調波)
- 1.3.3.5 光 (光の性質、光学、光度、反射、屈折)
- 1.3.3.6 電気 (静電気、電界、交流と直流、電気回路)
- 1.3.3.7 磁気 (磁石と磁界、磁気特性)
- 1.3.4.1 物理的变化 (気体の法則、物質の状態変化、混合)
- 1.3.4.2 物理的变化の説明 (沸騰、凝固、溶解等の一般的説明)
- 1.3.4.3 運動理論 (分子論)
- 1.3.4.4 量子論と基本粒子 (光の量子的性質、光電効果)
- 1.3.5.1 化学変化 (化学変化の定義、反応の様式 [例：置換、酸塩基、酸化還元等])
- 1.3.5.2 化学変化の説明 (イオン結合・共有結合、電子構造、電気陰性度)
- 1.3.5.3 変化速度と平衡 (試薬濃度、反応条件、動的平衡)
- 1.3.5.4 エネルギーと化学変化 (活性化エネルギー、発熱反応と吸熱反応)
- 1.3.5.5 有機的生化学的变化 (有機化合物の種類、有機反応、生化学)
- 1.3.5.6 核化学 (核分裂、核融合、アイソトープ、半減期、質量変換・エネルギー変換)
- 1.3.5.7 電気化学 (一次電池・二次電池、電解、酸化還元反応)

- 1.3.6.1 力の種類 (重力、摩擦力、遠心力)
- 1.3.6.2 時間、空間と運動 (時間測定、運動の種類 (直線・回転)、運動の説明 (等速運動、加速度、運動量、運動の基準系))
- 1.3.6.3 運動力学 (つり合った力とつり合わない力、作用・反作用、運動量と衝突)
- 1.3.6.4 相対性理論 (質量・エネルギー・速度の関係、光速の説明、光速における旅行と時刻との関係 (双子のパラドックス))
- 1.3.6.5 流体の運動 (水力学、ベルヌーイの定理、気体力学)

1. 4 科学と技術と数学

- 1.4.1 技術の本質・概念 (ニーズと機会についての認識、設計起案、設計と作製、評価)
- 1.4.2.1 科学における数学、技術の影響 (科学的思考の発展および科学の実用における数学と技術の貢献に関する情報、例えば新しい数学および技術により、新しい問題を研究し、また新しい方法でデータ分析を行うことを科学において可能にする)
- 1.4.2.2 数学や技術における科学の応用 (数学および技術の発展と実用における科学的貢献に関する情報、例えば、微積分、伝統的機械工学、工業のプロセス、単純な機械・測定器 - 温度計、ガイガーカウンターなどの開発)
- 1.4.3.1 科学と技術の社会への影響 (科学技術的進歩による社会的、経済的、倫理的影響、例えば、科学的概念のダーウィニズムなど社会思想に及ぼす影響、コンピュータの生活様式への影響)
- 1.4.3.2 社会の科学技術に及ぼす影響 (科学技術の方向や発展に及ぼす社会の影響に関する情報、例えば、遺伝子工学に関する論争、研究での動物の使用)

1. 5 科学技術史 (有名な科学者、古典となった実験、科学的思考の歴史的展開、産業革命、古典的発明)

- 1.5 科学技術史 (有名な科学者、古典となった実験、科学的思考の歴史的展開、産業革命、古典的発明)

1. 6 科学に関わる環境および資源問題

- 1.6.1 汚染 (酸性雨、熱汚染、地球温暖化)
- 1.6.2 土地、水、および海洋資源の保全 (多雨林、老木林、水資源)
- 1.6.3 材料資源およびエネルギー資源の保存 (化石燃料と代替エネルギー資源、アルミニウムのリサイクル)
- 1.6.4 世界の人口 (人口統計、動向：世界人口増加の影響、例えば、世界的飢餓、伝染病)
- 1.6.5 食糧生産、貯蔵 (農耕法、食糧の需要供給)
- 1.6.6 天災の影響 (ハリケーン/台風、火山、干ばつなどの環境破壊)

1. 7 科学の本質

- 1.7.1 科学的知識の本質 (科学的方法、検証しなければならない知識、変化する可能性のある知識)
- 1.7.2 科学的世界観 (倫理規範と意志決定、職業的交流、科学者専門集団、大規模研究プロジェクトにおける陣容と研究過程)

1. 8 科学と他の分野

- 1.8.1 科学と数学 (科学カリキュラムにおける数学の指導)
- 1.8.2 科学と他の教科 (科学カリキュラムと言語学、社会学、美術との合科、例として、塗装についての化学の導入、音楽や美術を使った科学概念の表現や図解、他文化における科学の役割についての学習、科学概念を図解する修辞法として物語の制作)

(3) 2000年代に入ってから各国の理科教育課程の内容

ここでは最新の調査である「国際数学・理科教育動向調査の2003年調査結果 (TIMSS2003)」における理科教育課程調査の結果について述べる。

TIMSS2003においては、表3に示した69項目の理科の内容について履修学年と小学校4年あるいは中学校2年の調査対象学年における実際の履修率について各国の状況を調べている (Martin, 2004)。

表3 理科の内容項目 (TIMSS2003)

物理・化学 (30項目)	生物 (21項目)	地学 (18項目)
1) 物理的性質に基づいた物体や材料の分類	31) 生物の種類、特徴および分類	52) 岩石、鉱物、土、土壌
2) 物質の分類と構成	32) 人間や他の動物の主な身体構造とその機能	53) 地球の構造と物理的特徴
3) 金属の特性と用途	33) 外部環境や活動に応じた身体反応	54) 地球上の水
4) 混合物の生成と分離	34) 体内環境の恒常性維持のために機能するシステム	55) 空気
5) 溶液の性質	35) 細胞の構造と機能	56) 地球の大気
6) 物質の構造	36) 光合成と呼吸	57) 地球の景観の一般的特徴と人間による利用との関係
7) 水の特性と利用法	37) 身近な生物の一生における一般的な段階	58) 地球の天然資源の利用と保全
8) 一般的な酸とアルカリの性質と用途	38) 生物の一生 (人間、植物、鳥類、昆虫を含む)	59) 地球の水循環
9) 化学的変化と物理的変化	39) 植物と動物の生殖	60) 岩石の循環過程と岩石の形成
10) 化学変化	40) 生殖と遺伝、遺伝形質と獲得形質	61) 気象条件の日々の変化と季節変化
11) 一般的な酸化反応での酸素の必要性	41) 種の生存・絶滅における変異と適応の役割	62) 気候データと天気図、気候パターンの変化
12) 身近な化学変化の分類	42) 植物と動物の身体的特徴、行動、生存	63) 数十億年にわたる地質学的プロセス
13) 物質の状態とその物理的性質の違い	43) 生態系における相互作用	64) 動物や植物の化石
14) 加熱と冷却による水の状態変化	44) 生態系における生物の相互作用	65) 化石と化石燃料の形成
15) 物質の状態と変化	45) 自然界での物質の循環	66) 地球上の現象の説明
16) 融解、凝固、蒸発、凝縮の過程	46) 人口の変化と環境への影響	67) 地球の物理的特徴
17) 一般的なエネルギー源・形態と実際の利用法	47) 環境の変化	68) 太陽系
18) エネルギーの種類、源、変換 (熱移動を含む)	48) 伝染病の伝染の仕方	69) 恒星としての太陽
19) 熱の流動と温度	49) 一般的な感染症	
20) 熱膨張と体積や圧力の変化	50) 予防医学の方法	
21) 一般的な光源と関係のある現象	51) 食生活や運動など健康を維持する方法	
22) 光の基本的性質と作用		
23) 音の性質		
24) 電気と電気回路の一般的な利用法		
25) 電気回路および電圧と電流の関係		
26) 磁石		
27) 永久磁石と電磁石の性質		
28) 物体を動かす力		
29) 力と運動、距離・時間グラフの利用		
30) 密度や圧力の効果		

詳細な分析を行うにあたっては、G 8 諸国および理科の成績が良かった国を抜粋し、小学校 4 年は参加国25か国・地域のうち17か国・地域、中学校 2 年は参加46か国・地域のうち20か国・地域を取り上げた。TIMSS2003で調査した全項目について、初等・中等教育段階の各学年における内容の取扱いの有無を国ごとに示した約40ページに及ぶ表（猿田，2005）は紙数の都合で掲載できないため、主な特徴のみについて述べる。

なお、ここで取り上げた国・地域が定めた初等・中等教育前期段階での理科の授業時数が全授業時数に占める割合は、第 4 学年（小学校 4 年）で 5 ~ 15%（わが国は10%）、第 8 学年（中学校 2 年）で 7 ~ 25%（わが国は11%）であり、第 8 学年でばらつきが大きくなる傾向がみられた（国立教育研究所，2005）。

理科教育課程で規定された指導学年は、内容項目によって、国によって、ばらつきが異なる。また実際の履修率にもばらつきがみられる。理科得点が高かったシンガポール、台湾、韓国、香港は、わが国と異なり、ほとんどの内容項目を単独の学年で指導することになっている。他では理科得点が高かったエストニアは、わが国と同じように幅広い学年で指導する傾向がある。学力調査の対象学年におけるわが国の履修率が国際平均値よりも30ポイント以上高い内容項目をあげると、小学校 4 年では「磁石」「電気および電気回路の一般的な利用法」、中学校 2 年では「光の基本的性質と作用」「音の性質」「電気回路および電圧と電流の関係」「永久磁石と電磁石の性質」であり、いずれも物理領域の内容項目で国際平均値を大きく上回っている。

逆に、国際平均値よりも30ポイント以上低い内容項目をあげると、小学校 4 年では、「物理的特性による物質や材料の分類」「混合物の生成と分離」「化学的变化と物理的变化」「物体を動かす力」「人間や他の生物の主な身体構造とその機能」「外部環境や活動に応じた身体反応」「生態系における相互作用」「環境の変化」「伝染病の伝染の仕方」「食生活や運動など健康を維持する方法」「岩石、鉱物、土、土壌」「空気」「地球の景観の一般的特徴と人間による利用との関係」「地球の天然資源の利用と保全」「地球の水循環」「気象条件の日々の変化と季節変化」であり、健康、病気、環境など実用的な内容項目で国際平均値を大きく下回っている。

中学校 2 年では「物質の状態と変化」「エネルギーの種類、源、変換」「力と運動、距離・時間グラフの利用」「身近な化学変化の分類」「細胞の構造と機能」「生殖と遺伝、遺伝形質と獲得形質」「種の生存・絶滅における変異と適応の役割」「自然界での物質の循環」「一般的な感染症」「予防医学の方法」「地球の水循環」「地球上の現象の説明」「地球の物理的特徴」「恒星としての太陽」「人口の変化と環境への影響」「天然資源の利用と保全」「環境の変化」が国際平均値を30ポイント以上下回っている。履修率が低かった理由は、これらの項目のうち大部分が中学校 3 年で扱う内容であり、未履修であったことが考えられる。

また表 4 - 1 から表 4 - 3 には、TIMSS2003の参加国・地域の中でG 8 諸国および成績の良かった13か国・地域（日本、台湾、香港、シンガポール、オーストラリア、ニュージーランド、イギリス、イタリア、ノルウェー、ハンガリー、ラトビア、リトアニア、ロシア）の履修学年を集計した表を掲載している。網掛けを施した学年において4分の1以上の国・地域が履修していることを示し、わが国の履修学年は太字で示した国数に含まれている。

これらの表から、2003年当時、わが国は物理・化学領域では各内容項目の履修学年が各国・地域の履修学年とほぼ重なることが分かった。しかしながら、特に生物領域において、わが国の履修学年が遅れている項目が目立っている。たとえば、「細胞の構造と機能」「種の生存・絶滅における変異と適応の役割」「生態系における生物の相互作用」は第 6 ~ 8 学年で履修する国が多いが、わが

表4 - 1 理科の内容項目に対する履修学年 - 物理・化学領域 - (TIMSS2003)

内 容 項 目	各学年で履修する国の数 (13か国・地域中) 注) 網掛けは13か国中4か国以上 (25%以上) が履修している 学年であることを示し、淡色は4～6か国 (25%以上50%未満)、 濃色は7か国以上 (50%以上) を示す。わが国の履修学年は太 字で示した学年に含まれている。												
	K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) 物理的性質に基づいた物質や材料の分類	1	4	4	8	7	2	3	2	3	2	1	1	1
2) 物質の分類と構成	1	1	1	2	2	4	4	6	6	4	1	1	1
3) 金属の特性と用途		1	2	4	4	1	3	2	4	3	1	1	1
4) 混合物の生成と分離			1	4	2	3	2	4	4	1	1	1	1
5) 溶液の性質						3	4	7	4	3	1	1	1
6) 物質の構造						1	2	5	7	4	1	1	1
7) 水の特性と利用法			1	6	7	2	2	7	6	1	1	2	2
8) 一般的な酸とアルカリの性質と用途							3	3	7	4	3	1	1
9) 化学的变化と物理的变化		1		1	5	5	4	4	3	2	1	1	1
10) 化学変化				1		2	3	4	9	4	2	1	1
11) 一般的な酸化反応での酸素の必要性							2	3	9	4	3	2	1
12) 身近な化学変化の分類							1	2	4	3	6	1	1
13) 物質の状態とその物理的性質の違い			1	6	6	1	2	3	1	1	1	1	1
14) 加熱と冷却による水の状態変化			1	8	6		1	1	1	1	1	1	1
15) 物質の状態と変化	1	1				1	3	5	6	2	1	1	1
16) 融解、凝固、蒸発、凝縮の過程					1		2	5	5	3	2	2	1
17) 一般的なエネルギー源・形態と実際の利用法		1	1	1	1	2	4	3	1	1	2	1	1
18) エネルギーの種類、源、変換 (熱移動を含む)						2	3	7	6	5	2	2	1
19) 熱の流動と温度		1	2	4	5	4	1	1	2	1	1	1	1
20) 熱膨張と体積や圧力の変化					1		1	8	4	1	2	2	2
21) 一般的な光源と関係のある現象	1		2	4	3	2	2	2	4	2	1	1	1
22) 光の基本的性質と作用	1	1	1	1		2	5	4	8	3	1	1	1
23) 音の性質	1		1	1	1	1	3	4	6	2	1	2	1
24) 電気と電気回路の一般的な利用法		2	2	6	6	2	1	2	4	2	1	1	1
25) 電気回路および電圧と電流の関係		1		2	1	2	2	2	11	3	1	1	1
26) 磁石		1	3	5	1	1	1	1	3	1			
27) 永久磁石と電磁石の性質			1	2	1	4	4	5	8	5	1	1	1
28) 物体を動かす力	1	2	2	3	2	1	4	4	2	2	1	1	1
29) 力と運動、距離・時間グラフの利用	1	1		1		3	4	7	4	4	2	1	1
30) 密度や圧力の効果					1			6	6	2	1	2	1

表 4 - 2 理科の内容項目に対する履修学年 - 生物領域 - (TIMSS2003)

内 容 項 目	各学年で履修する国の数 (13か国・地域中) 注) 網掛けは13か国中4か国以上 (25%以上) が履修している 学年であることを示し、淡色は4～6か国 (25%以上50%未満)、 濃色は7か国以上 (50%以上) を示す。わが国の履修学年は太 字で示した学年に含まれている。												
	K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31) 生物の種類、特徴および分類		4	4	7	6	6	7	9	6	2	1	1	1
32) 人間や他の動物の主な身体構造とその機能	1		2	6	9	6	7	8	7	5	2	2	1
33) 外部環境や活動に応じた身体反応			2	4	5	3	7	3	3	3	2	1	1
34) 体内環境の恒常性維持のために機能するシステム			1		2	1	1	4	4	6	2	2	1
35) 細胞の構造と機能						1	4	5	5	1	3	2	2
36) 光合成と呼吸					1	2	4	7	9	1	2	1	1
37) 身近な生物の一生における一般的な段階		1	3	6	7	3	4	4	3	3	1	1	1
38) 生物の一生 (人間、植物、鳥類、昆虫を含む)			1	4	4	4	5	8	4	2	2	1	1
39) 植物と動物の生殖				2	4	5	4	4	4	4	2	2	1
40) 生殖と遺伝、遺伝形質と獲得形質					1	3	3	5	6	4	3	2	1
41) 種の生存・絶滅における変異と適応の役割						3	4	5	6	3	3	2	1
42) 植物と動物の身体的特徴、行動、生存		1	1	3	5	2	5	2	1	2	1	1	1
43) 生態系における相互作用				3	4	2	5	3	3	2	1	1	1
44) 生態系における生物の相互作用						3	6	8	7	2	2	1	1
45) 自然界での物質の循環					1	2	6	6	8	3	1	1	1
46) 人口の変化と環境への影響					1		1	2	4	2	3		
47) 環境の変化		2	1	3	6	4	5	4	8	5	3	1	1
48) 伝染病の伝染の仕方	1	1	2	4	3	4	2	3	2	1	1	1	1
49) 一般的な感染症	1	1	2	1	2	4	3	5	5	3	2	2	1
50) 予防医学の方法	1	1	2	1	2	3	4	4	4	3	2	1	1
51) 食生活や運動など健康を維持する方法	1	2	3	3	6	2	1	2	1	1	1	1	1

国は第9学年 (中学校3年) で履修している。また、伝染病や感染症、予防医学や食生活等に関する内容はわが国の理科では履修しない内容となっている。

さらに、わが国では小・中学校をまたがって複数学年で履修する項目がほとんどであるのに対して、台湾、香港、シンガポールでは初等教育および中等教育前期を通して単独の学年で履修を終える項目がほとんどである。具体的にデータをみると、物理・化学領域の30項目のうち、わが国において単独の学年で履修するのは、「物質の構造」(中2)、「身近な化学変化の分類」(中3)、「融解、凝固、蒸発、凝縮の過程」(中1)、「一般的なエネルギー源・形態と実際の利用法」(中3)、「エネルギーの種類、源、変換 (熱移動を含む)」(中3)、「磁石」(小3)の6項目であるのに対して、台湾26項目、香港29項目、シンガポール26項目に及び、ほとんどの内容を初等教育あるいは中等教育前期段階における単独の学年で履修する形態を採用している。生物領域は21項目のうち、小・中学校を通して単独の学年で履修するのは、わが国の6項目 (「体内環境の恒常性維持のために機能

表4 - 3 理科の内容項目に対する履修学年 - 地学領域 - (TIMSS2003)

内 容 項 目	各学年で履修する国の数 (13か国・地域中) 注) 網掛けは13か国中4か国以上 (25%以上) が履修している 学年であることを示し、淡色は4～6か国 (25%以上50%未満)、 濃色は7か国以上 (50%以上) を示す。わが国の履修学年は太 字で示した学年に含まれている。												
	K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
52) 岩石、鉱物、土、土壌			4	4	4	3	2	4	2		1	1	1
53) 地球の構造と物理的特徴						1	4	4	6	2	1	1	1
54) 地球上の水			1	5	7	4	5	6	5	1	1	1	1
55) 空気				2	5	3	4	3	2	1	1	1	1
56) 地球の大気					1	1	4	5	5	2	1	1	1
57) 地球の景観の一般的特徴と人間による利用との関係		1	2	6	7	2	1	2	1	1	1	1	1
58) 地球の天然資源の利用と保全				3	4	2	5	5	8	5	4	1	1
59) 地球の水循環				5	7	5	2	6	6		1	1	1
60) 岩石の循環過程と岩石の形成						1	1	6	3	1	2	2	1
61) 気象条件の日々の変化と季節変化		2	4	5	2	2	2	2	1		1	1	1
62) 気候データと天気図、気候パターンの変化					1	2	4	8	5	1	1	1	1
63) 数十億年にわたる地質学的プロセス						1		5	6	2	1	1	1
64) 動物や植物の化石			1	2	2	1	2	2	4		1	1	1
65) 化石と化石燃料の形成						1	5	5	4	1	2	1	1
66) 地球上の現象の説明		1	1	1	4	3	5	2	5	2	2	2	1
67) 地球の物理的特徴						1	1	1	4	3	2	2	1
68) 太陽系		2	3	4	7	4	2	1	2	1	1	1	1
69) 恒星としての太陽				1		2	2	1	6	2	1	2	1

するシステム」(中2)、「細胞の構造と機能」(中3)、「種の生存・絶滅における変異と適応の役割」(中3)、「植物と動物の身体的特徴、行動、生存」(中3)、「生態系における相互作用」(中3)、「環境の変化」(中3))に対して、台湾16項目、香港17項目、シンガポール13項目に及ぶ。地学領域の18項目では、わが国の6項目(「地球の構造と物理的特徴」(中1)、「地球の大気」(中1)、「岩石の循環過程と岩石の形成」(中1)、「数十億年にわたる地質学的プロセス」(中1)、「地球の物理的特徴」(中3)、「恒星としての太陽」(中3))に対して、台湾16項目、香港13項目に及び、シンガポールは地学領域の18項目中10項目しかもともと履修しないが、その10項目のうち8項目が単独の学年での履修となっている。

(4) 1960年代以降のわが国の理科教育課程における指導内容の特徴

IEAの国際理科教育調査による各国の理科教育課程における内容の比較から、1960年代から現在に至るまでのわが国の理科教育課程における指導内容の特徴を明らかにすることができた。それは、次のようにまとめることができよう。

1960年代後半から1980年代前半にかけては、各国の理科教育課程において、従来どちらかと

いうと軽視してきた小学校の内容を充実させる傾向があったのに対して、わが国は以前より小学校低学年から理科を履修させ、また内容領域もバランスのとれたものにするよう配慮されてきた経緯があり、内容の重要度も各国と比べて安定した推移を示していた。

1990年代前半におけるわが国の理科の教育課程の特徴は、「物質の分類・特性」「熱と温度」「音」「光」「電磁気」「生物の成長や生殖」「惑星」という内容は、小学校から中学校にかけて複数学年で主要な内容として扱われるというスパイラル式の内容配置がとられていた。ただし、内容をスパイラル式で学校段階をまたがって扱うことは、わが国だけでなく、内容によっては他の国にもみられること、「物質の性質」や「電磁気」「光」「音」など基本的な内容については、多くの国で初等教育段階から中等教育後期段階まで取り扱う期間の幅が広いことが明らかとなった。

現在のわが国の理科の教育課程の特徴は、国際比較調査で理科得点が高かった台湾、香港、シンガポールといったアジア諸国が理科の内容項目のほとんどを単独の学年のみで指導することになっているのに対して、小・中学校という学校段階をまたがった複数学年で指導するように内容配列されたスパイラル式を採用していることである。

4. 今後重要とされる科学的リテラシーの方向性

(1) 理科教育課程における内容の配列について

IEAの国際調査から見てくる成績上位のアジア諸国の理科教育課程における内容配列の特徴としては、わが国のようなスパイラル式の内容配置ではなく、単独の学年のみで指導する内容項目がほとんどであることを挙げるができる。

たとえば、物理領域の内容である「光の基本的性質と作用」は、わが国では平成10・11(1998・1999)年告示の学習指導要領において小学校3年、中学校1年、高等学校物理で指導することになっているが、表5に示すように諸外国をみると、台湾、シンガポール、ハンガリー、ロシアなどでは第8学年で、香港などでは第9学年で指導することになっている。主要国の例外は、イングランドの第K(幼稚園段階)、2、5、6学年であるが、旧東欧圏諸国を含め、ほとんどの国において前期中等教育段階の指導内容となっている。このスパイラル式の内容配置という理科教育におけるわが国の伝統的特徴は、ある科学概念を現象的な理解から理論的な理解へと発展させながら定着させるだけでなく、主要な科学概念を題材に観察・実験を通して科学的思考や科学的態度を育成するために、学校段階を貫いて配置するという目的を含んでいるものと考えられる。小学校および中学校の理科教師に対するアンケート調査(猿田, 2003)の自由記述回答にも、スパイラル式の内容配置を要望する声が多いものの、反対意見はみられない。したがって、基本的な内容についてはスパイラル式の内容配列が今後も継承されるものと思われる。

また、科学概念の系統性を考慮する必要があることはもちろんであるが、理科教育で育成すべき資質・能力の面からも内容配列を考える必要性が現場でのアンケート調査の結果からも指摘されている。観察や実験から得られる事実にもとづいた科学的なものの見方や考え方を軸として、論理的思考、問題解決能力などを育成するために適した内容を選び、どの学年に配置するかを考えることが必要であるという考え方である。この考え方に立てば、さまざまな科学的事項を網羅的に教育内容とするのではなく、科学的な見方・考え方を育成するために必要な科学的概念に絞ることが肝要となる。

表5 理科教育課程における「光の基本的性質と作用」の履修学年 (TIMSS2003)

光の基本的性質と作用	内容の履修学年														中等教育前期までにおける理科の分科科目の状況 注) 記載のない場合は、中等教育前期まで一般理科あるいは総合理科を履修していることを示す。		
	注) 網掛けは義務教育期間を示し、淡色は初等教育、濃色は中等教育を示す。	K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	
日本																	
台湾																	第7学年：生物、第8学年：物理、化学
香港																	
シンガポール																	
オーストラリア																	
ニュージーランド																	
イングランド																	
イタリア																	
ノルウェー																	
ハンガリー																	第7 - 8学年：物理、化学、生物、地学
ラトビア																	第6 - 8学年：生物、第8学年：物理、化学
リトアニア																	第5 - 6学年：総合科学「自然と人間」、第6 - 8学年：地理、第7 - 8学年：物理、生物、第8学年：化学
ロシア																	第6 - 8学年：生物、地理、第7 - 8学年：物理、第8学年：化学

(2) 今後の理科教育課程における科学的リテラシーの重要性について

上述したように、科学的内容の配列を考慮する以外に、科学的なものの方見方や考え方を育成するという目的に応じた内容配列の必要性が今後のキーポイントであろうと思われる。そこには、理科教育を通して育成された資質・能力を新しい場面に生かして、より良く解決することができるような「生きる力」につながる能力の重要性が指摘される。

この能力としては、PISA 調査において「疑問を認識し、新しい知識を獲得し、科学的な事象を説明し、科学が関連する諸問題について証拠に基づいた結論を導き出すための科学的知識とその活用。科学の特徴的な諸側面を人間の知識と探究の一形態として理解すること。科学とテクノロジーが我々の物質的、知的、文化的環境をいかに形作っているかを認識すること。思慮深い一市民として、科学的な考えを持ち、科学が関連する諸問題に、自ら進んで関わること。」として定義されている科学的リテラシー（国立教育政策研究所，2007）に近いものがある。今後の理科教育において、この種の応用力を育成するには、基本的な知識を基盤として習得させるとともに、環境問題やエネルギー・資源問題などの科学の諸領域を複合的に含んだ内容を理科教育で取り上げ、科学的な根拠をもとに新たな課題を解決していく問題解決能力、そして、その基盤となる科学的思考力や論理的思考力を育成することが必要になってくるであろう。

また一方で、21世紀の国際社会に通用する人材を育てる観点からは、2004年4月にチリで開催されたAPEC（アジア太平洋経済協力）の教育大臣会合に提出された資料が、わが国の今後の理科教育課程を考える上で貴重なデータを提供してくれる（表6）。

参加14か国・地域において、理科教育課程を改善する上で優先すべき事項としてあげる割合が高かったのは「概念の理解」「観察・実験の重視」「教科内容」「実世界における諸問題」「科学的問題

表6 理科教育課程を改善する際の優先事項の東洋・西洋の違い - 賛成国の割合 (%)

理科教育課程の改善の際の優先事項	東洋諸国 N = 9	西洋諸国 N = 5	全 体 N = 14
教科内容	67	60	64
概念の理解	67	80	71
観察・実験の技能	67	20	50
実世界における諸問題	67	60	64
自然科学に対する個人的責任と態度	44	20	36
少ない内容を深く教えること	22	60	36
計算および手続き的な技能	33	20	29
統計およびデータ処理	44	20	36
中等学校における一般理科の修得の徹底	44	20	36
観察・実験の重視	89	40	71
科学的問題を解決し、説明すること	67	60	64
理科の宿題の量	22	20	21
理科のグループ課題の量	33	20	29

APEC 教育大臣会合準備会合の「理数科学習の活性化」分科会参加国・地域

東洋：中国、香港、インドネシア、日本、韓国、フィリピン、シンガポール、台湾、タイ

西洋：オーストラリア、カナダ、チリ、ニュージーランド、アメリカ

を解決し、説明すること」であった。その中で、「観察・実験の重視」については、東洋諸国9か国中8か国（9割）が優先すべきとしているのに対して、西洋諸国は5か国中2か国しか優先事項としていないことは特徴的である。一方、西洋諸国は「概念の理解」や「少ない内容を深く教えること」の面で理科の教育課程やスタンダードを充実させる傾向がみられる。

さらに、理科の教育課程やスタンダードにおける東洋と西洋の違いを特徴づけるものとしては、次の2点が指摘された（渡辺，2004）。

東洋の教育課程は内容中心で、西洋ではプロセス中心である。

西洋では学年にこだわらない学習が一般的であるのに対して、東洋では各学年で学ぶべき内容を特定する傾向がある。

第一の特徴については、内容の系統性やスパイラル式の履修形態の導入とともに資質・能力や活用力を重視しているわが国は、内容とプロセスのバランスを図る方向に転換しつつある。PISAで定義される知識とその活用の両者を合わせ含む科学的リテラシーという考え方は、今後わが国の学習指導要領で中心概念とされるであろう。

第二の特徴については、わが国は各学年で指導する内容を特定するという東洋の方式に従いつつも、ある1学年のみで履修するのではなく、重要な科学的概念や内容についてはスパイラル式の形態を採っている。履修学年に幅を持たせたり、留年制度を取り入れたりすることは、各国の教育制度や学校制度に密接に関わるものであり、東洋と西洋のどちらの方式が望ましいかというよりも、児童生徒に基本的な知識や資質・能力をいかに習得させるかという点から議論すべきものであろう。その点で、わが国は、基本的な事項については学校段階をまたがって複数学年で指導するスパイラル式の指導形態を採用し、確実な定着を図ろうとしていると考えられるのである。

附記1

本研究は、平成14年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「理科教育の内容とその配列に関する基礎的・実証的研究」（研究代表者・猿田祐嗣、課題番号：14022257）、平成15・16年度文部

科学省科学研究費補助金特定領域研究「理科教育の内容とその配列に関する総合的研究」(研究代表者・猿田祐嗣、課題番号：15020269)、平成17・18年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「理科教育の内容とその配列に関する評価・開発研究」(研究代表者・猿田祐嗣、課題番号：17011072)の支援を受けて行われた。

なお、一連の研究プロジェクトには、教育課程研究センター基礎研究部の三宅征夫部長、鳩貝太郎総括研究官、松原静郎総括研究官、研究開発部の田代直幸教育課程調査官が研究分担者として参加し、研究を推進した。

附記2

APEC 教育大臣会合に提出されたアンケート資料については、教育大臣会合に先駆けて2004年1月に北京で開催された準備会合の「理数科学習の活性化分科会」に参加した14か国・地域が事前に回答したものである。日本からは文部科学省と国立教育政策研究所が参加し、アンケートの回答についても両者が協議のもとで作成・提出された。データを公表するにあたっては、文部科学省大臣官房国際課の許可を得ており、謝意を表する次第である。

引用文献

- Keeves, J.P. (ed.) (1992), *The IEA Study of Science III : Changes in Science Education and Achievement : 1970 to 1984*, Pergamon Press.
- Martin, M.O, et. al. (2004), *TIMSS 2003 International Science Report*, Boston College.
- Schmidt, W.H., et. al. (1997), *Many Visions, Many Aims Vol. 2, A Cross-National Investigation of Curricular Intentions in School Science*, Kluwer Academic Publishers.
- 国立教育研究所 (1997)、『中学校の数学教育・理科教育の国際比較 第3回国際数学・理科教育調査報告書』、国立教育研究所紀要第127集。
- 国立教育研究所 (1998)、『小学校の算数教育・理科教育の国際比較 第3回国際数学・理科教育調査最終報告書』、国立教育研究所紀要第128集。
- 国立教育政策研究所 (2005)、『理科教育の国際比較 国際数学・理科教育動向調査の2003年調査報告書』、ぎょうせい。
- 国立教育政策研究所 (2007)、『生きるための知識と技能3』、ぎょうせい。
- 猿田祐嗣 (2003)、「理科教育の内容とその配列に関する基礎的・実証的研究」、平成14年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究成果報告書。
- 猿田祐嗣 (2005)、「理科教育の内容とその配列に関する総合的研究」、平成15・16年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究成果報告書。
- 猿田祐嗣 (2007)、「理科教育の内容とその配列に関する評価・開発研究」、平成17・18年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究成果報告書。
- 中央教育審議会 (2008)、「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について(答申)」。
- 渡辺 良 (2004)、「国際的な教育ネットワークの動向と課題 - APEC を中心に -」、平成15年度文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費中間資料 (2)。