

# 理科教育における計算および数量化に関する一考察

## 一日米の小学校理科教科書の比較を通して

稲田 結美\*・関口 響祐\*\*

(平成27年8月31日受付；平成27年10月23日受理)

### 要 旨

本研究では、中学生の理科離れの打開を目指し、小学校理科に定量的な扱いや数量化を導入する方法を検討するために、アメリカの小学校理科教科書における計算や数量化に関する記述を調査し、日本の小学校理科教科書との比較から、その特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、アメリカの小学校理科教科書には、「計算や数量化に関する記述」として、“Math in Science”や“Math LINK”と示された「数学的な活動」が、観察、実験とは異なる場面に数多く載せられていた。これらの活動の内容は、記載された部分の学習内容の文脈に沿って設定されているものの、その単元で学ぶ科学的な概念を習得していなくても児童が活動を遂行できるという特徴が見られた。一方、日本の小学校理科教科書では、主として観察、実験の中で計算や数量化を扱っており、「数学的な活動」が特別に設定されるようなことはなかった。アメリカの教科書に見られる「数学的な活動」を日本の小学校理科授業に導入することで、児童が理科学習において自然に計算や数量化に慣れ親しみ、中学校理科で定量的な扱いが増加しても強い抵抗感を示すことがなくなるのではないかと期待できる。また、この「数学的な活動」では、計算や数量化に関わる多様な能力のそれぞれに焦点化した課題を設定できるため、児童の各能力を重点的に育成できると考えられる。

### KEY WORDS

理科教科書 science textbooks, 小学校 elementary school, 数学的な活動 mathematical activity, 日米比較 comparative analysis between Japan and the United States

## 1 研究の背景と目的

国立教育政策研究所による平成24年度全国学力・学習状況調査において、「理科の勉強は好きですか」という質問に対し、「当てはまる」または「どちらかといえば、当てはまる」と肯定的に回答した小学校6年生の割合は81.5%、中学校3年生の割合は61.7%であった。両者の差は20%近くになっており、国語の5%、算数・数学の12.3%と比較しても大きいことがわかる<sup>(1)</sup>。中学校に上がると理科を好きな生徒が顕著に減る状況は、理科に関わる他の国内および国際調査でも度々指摘されており、中学生の理科離れの要因と打開策の検討が求められている。

山城らの調査によると、中学生が理科を嫌いになった時期は「中1」が最も多く、「中2」、「小5」と続き、高校生が理科を嫌いになった時期は「高1」が最も多く、「中1」、「中2」が続く<sup>(2)</sup>。この結果から、中学校1、2年生あたりが理科嫌いになるターニングポイントであると推測できる。さらに、理科を嫌いな理由として、小学生は「覚えることが多い」という回答が最も多く、中学生は「計算問題がわかりにくい」、「覚えることが多い」、「難しい言葉が多い」が多く、高校生は「計算問題がわかりにくい」、「成績が悪い」、「内容がわかりにくい」が多いことも、山城らは明らかにした<sup>(3)</sup>。特に、「計算問題」については、理科を嫌いな理由としてあげる小学生（4～6年生）は数%であるのに対し、中学生では1年生が31%、2年生が37%、3年生が57%と急激に増加しており<sup>(4)</sup>、小学生から中学生と進むにつれ、理科嫌いが大幅に増える主たる要因の一つは、理科学習における「計算問題」であると考えられる。理科教育においては、児童・生徒の理解力を考慮し、小学校理科では自然現象について定性的に把握する機会が多く、中学校理科になると定量的な扱いが増加する傾向にあり、まさに学習者の理科嫌いの理由と一致している。

このような状況に対し、原は「小学校から高等学校に至る理科教育の最大の課題点は、自然現象の定性的把握から定量的把握に至る過程の考え方・思考法を習得する教育が十分にされていないことにある<sup>(5)</sup>」と指摘している。また、この指摘を受けて、宮本はイギリス、アメリカの科学カリキュラムには、小学校高学年から数量的（定量的）な扱いが系統的に位置づけられていることを明らかにし、日本の理科教育においても「（小学校理科から）中学校理科への接続という点では小学校段階から相応の数量化の指導が求められる<sup>(6)</sup>」と主張している。これらの指摘を併せる

\*自然・生活教育学系 \*\*太田市立生品小学校

と、小学校段階から自然現象についての定量的な扱いや数量化、計算問題等を導入することによって、小学校理科から中学校理科へのギャップが軽減されると期待でき、中学校での理科離れを打開する可能性がある。しかし、理科教育における計算や数量化に関する先行研究は見られるものの、小学校理科に導入するという視点での研究は少なく、指導法の開発が待たれている。

前述の宮本の指摘のように、全米研究評議会（NRC：National Research Council）が1996年に作成した全米科学教育スタンダードには、第5－8学年の内容スタンダードの中に「科学的探究を行うために必要な能力」として「科学的探究のあらゆる側面において数学を使用する」という項目が掲げられ<sup>(7)</sup>、小中高一貫して、理科（科学）学習におけるデータの定量的な扱いや数学との関連付けが重視されていた。また、アメリカの最新の次世代科学スタンダード（*Next Generation Science Standard*）においても、学習者が身につけるべき能力が示されている“Scientific and Engineering Practices”の一つに“Using Mathematics and Computational Thinking”が明示されている<sup>(8)</sup>。これらのことから、アメリカの理科（科学）教育は、日本における小学校段階の理科学習に計算問題や数量化を導入する際に、多くの示唆を与えると期待できる。特に、小学校理科教科書には、児童に対する学習内容と活動が具体的に示されているため参考となるだろう。そこで本研究では、アメリカの小学校理科教科書において、計算問題や定量的な取り扱い、さらには数学的な活動に関わる記述を調査し、日本の小学校理科教科書との比較から、その特徴を明らかにすることを目的とした。そして、日本の理科教育における小学校段階での計算や数量化の導入について考察することとした。

## 2 研究の方法

### 2.1 調査対象

まずアメリカの教科書については、Pearson社発行の*Scott Foresman Science*とMacmillan/McGraw-Hill社発行の*Science*の小学校1～6年を調査対象とした<sup>(9)</sup>。また、Macmillan/McGraw-Hill社の教科書は、教員用指導書（Teacher's Edition）を入手したため、教科書の内容のみならず、教師の指導に向けた様々な補足事項が記載されていたが、今回は児童用の教科書に相当する範囲のみを調査対象とした。なお、これらは2012年時点でアメリカの市場シェア上位3社のうちの2社であり<sup>(10)</sup>、比較的広く用いられている教科書である。

一方、日本の教科書については、東京書籍株式会社発行の『新しい理科』の小学校3～6年を調査対象とした<sup>(11)</sup>。

### 2.2 調査方法

小学校理科教科書における計算や数量化に関する記述の集計方法は次の通りである。まず、アメリカの2社の教科書については、“Math in Science”や“Math LINK”といった「数学的な活動」が、一つのコーナーとして位置づけられていたため、これらをすべて集計した。次に、これらの「数学的な活動」の内容を読解し、この活動を遂行するために、表1に示した「計算や数量化に関する要素」のどれが必要とされるのかを調査し、その特徴を見出した。

日本の教科書については、アメリカの教科書のような「数学的な活動」は設けられていないため、次のように記載数を集計した。第一に、データを定量的に求めていたり、収集したデータを定量的に処理したりしている観察、実験

表1 「計算や数量化に関する要素」の集計基準

要素名	基準（記載内容）
計数	事物などの数を数える。
計算	四則演算をする。
読取	表やグラフで示されたデータ（数値）を読み取る。
整理	与えられたデータを別の形に整理する。例：表からグラフにする。
比較	二つ以上の数値を比較する。
測定	重さや長さなどを定量的に測定する。
グラフ	グラフがある（グラフを作成する場合を含む）。
表	表がある（表を作成する場合を含む）。
単位	単位に関して記載されている、または単位を変換する。
収集	観察や実験、インターネットを通して量的なデータを得る。
その他	上記以外の計算や数量化に関する記載がある。

の数を集計した。第二に、教科書に掲載されている表やグラフを集計した。なお、グラフの縦軸と横軸が明示されているものをグラフとして数えた。第三に、本文中に提示された計算式や、計算が必要な練習問題などの数を集計した。これらの観察、実験、その他の記述を「計算や数量化に関する記述」と表現する。そして、これらの「計算や数量化に関する記述」に、表1の「計算や数量化に関する要素」がどの程度含まれているのかを調査した。なお、観察や実験の場合、教科書に直接的な記載がなくとも、作業をする上でこれらの要素が必要だと見なされる場合には集計に加えた。また、沸騰石の個数を数えたり、実験の準備として薬品を量り取ったりする場合などは、「測定」や「計数」などの要素は含まれているものの、定量的なデータを得るための作業ではないため、集計には加えないことにした。

### 3 結果および考察

#### 3.1 アメリカの小学校理科教科書における計算や数量化に関する記述

##### 3.1.1 小学校理科教科書の概要

アメリカの小学校理科教科書は、日本の教科書よりもサイズが大きく、頁数が非常に多く、装丁もしっかりしている。また、教科書は基本的に無償・貸与制度となっており、5年から7年に一回、教科書を新たに採択することになっている<sup>(12)</sup>。また、分厚く分量が多いのは、各州などの教育スタンダードに対応するために多くの内容を取り込んで作られているためであり、日本の教科書のように、各学年の教科書に記載されている内容を全て学習する必要はない<sup>(13)</sup>。そもそも日本のような教科書の使用義務もないが、90%の教師が教科書に依存する授業を行っており教科書依存度は非常に高く<sup>(14)</sup>、アメリカの理科教科書の記載内容は、アメリカの児童が学習している内容をほぼ反映しているといえるだろう。

Pearson社の教科書は、1学年でおよそ500頁の分量で、概して“Life Science”、“Earth Science”、“Physical Science”、“Space and Technology”の4分野で構成されている。“Life Science”、“Earth Science”、“Physical Science”の3分野はそれぞれ同程度の分量であったが、“Space and Technology”の分野はやや少ない。例えば、3年生の教科書では、“Life Science”、“Earth Science”、“Physical Science”の各分野が140頁程度であるのに対し、“Space and Technology”の分野は100頁程度であった。それぞれの分野が2～7チャプターで成り立っており、1チャプターが日本の教科書の単元に該当する。それぞれのチャプターの中には、学習内容を説明する本文や観察、実験の他に、理科の授業の中で書く作業を要求する“Writing in Science”、社会と理科の関係を問う“Social Studies in Science”、理科の内容に関連した絵を描くなどの作業を求める“Art in Science”、そして、簡単な計算問題や、グラフ作成などの作業を要求している“Math in Science”などの、他教科との関連を図るような記述が多数見られた。本研究では、この“Math in Science”に着目した。なお、“Math in Science”には、単元の途中に小さなコラムとして載っているものと、単元末に教科書見開き（2頁分）を割いて掲載されているものの2種類が見られた。ここでは、前者を「通常の“Math in Science”」、後者を「まとめの“Math in Science”」と表現するが、基本的には両者を併せて分析した。

一方、Macmillan/McGraw-Hill社の教科書は、“Life Science”、“Earth Science”、“Physical Science”の3分野で構成されており、それぞれが分冊となっているものを分析した。各分野はおよそ200頁あり、Pearson社と同様に分厚い教科書となっている。各分野がさらに二つのユニットに分けられており、各ユニットは2～3チャプターで成り立っていた。こちらの教科書中にも、“Writing LINK”や“Technology LINK”など、“LINK”という形で他教科と理科の関連を図るような記述が多数見られた。本研究では“LINK”の中でも、数学と関連する活動を示した“Math LINK”に着目した。なお、“Math LINK”には、前述の「通常の“Math in Science”」と「まとめの“Math in Science”」のような同学年で扱いの違いは見られなかったが、1、2年の“Math LINK”は単元末に1頁が割かれている一方、3年以降は単元の所々に“LINK”と書かれたコーナーがあり、その中に“Math LINK”が含まれ、数行程度の記述量となっている。今回の分析では、同一学年内に同じタイプの“Math LINK”しか見られなかったため、両者は特に区別をせず、併せて集計を行った。

##### 3.1.2 計算や数量化に関する記述の集計結果

まず、Pearson社の教科書における“Math in Science”という「数学的な活動」についての集計結果から見ていく。この“Math in Science”は、日本の教科書に見られる観察、実験の中での計算や数量化とは異なるものである。多くの場合、既に表示されたデータをグラフにしたり、グラフや表で示されたデータを読み取って答えたり、数学の文章題のような計算問題を問いたりといった活動である。つまり、日本の理科教科書の観察、実験のように、「実



験を計画し、定量的なデータを収集し、得られたデータを処理し、考察する」といった一連の探究の過程を踏むのではなく、理科の中での計算や数量化に親しむことを主たる目的にしている活動であると考えられる。例えば、4年生の“Life Science”分野における小単元「生命を構成する単位は何か？」の中の「細胞とは何か？」において、見開きの右頁の下に“Math in Science”という見出しのついた4行ほどの文章が載っている<sup>(15)</sup>。これが「通常の“Math in Science”」であり、具体的には「1675年にオランダの科学者レーウエンフックは、コルクの細胞を単純な顕微鏡を用いて観察した。レーウエンフックは何年前にこれらの細胞を観察したのか？暗算しなさい。」と書かれている。一方、「まとめの“Math in Science”」では例えば、6年生の“Space and Technology”分野において、「科学的記数法と惑星 (Scientific Notation and the Planets)」という2頁に渡る“Math in Science”が掲載され、天文単位と科学的記数法の説明の後に、「水星、木星、土星の太陽からのそれぞれの平均距離をキロメートルに直しなさい。」や「太陽から火星の距離は天文単位でいくつか。太陽と火星の距離と、太陽と地球の距離を比較する説明文を書くために、このデータを使用しなさい。」などの課題が示されている<sup>(16)</sup>。

“Math in Science”の記載数は、学年別に見ると、1年が26個、2年が29個、3年が33個、4年が51個、5年が46個、6年が45個で、合計で230個あった。このうち、「まとめの“Math in Science”」は合計100個あった。各学年ともおよそ半数がまとめの“Math in Science”になっていた。全体的な傾向としては、高学年の方が“Math in Science”の個数が若干増えている。分野別に見ていくと、“Life Science”分野に82個、“Earth Science”分野に48個、“Physical Science”分野に63個、“Space and Technology”の分野に37個となっており、“Life Science”分野に最も多くの“Math in Science”が記載されていた。学年ごとに多少の差はあるものの、極端に記載の少ない分野はなく、すべての分野において“Math in Science”が偏りなく含まれていることが明らかになった。

次に、“Math in Science”に含まれている「計算や数量化に関する要素」の数を表2に示す。まず、要素の合計数は528個で、1～3年に比べ、4～6年がやや多く、一つの“Math in Science”に含まれている平均の要素数（以下、「MiS平均」と略記）は、学年進行による増減の傾向は特に見られなかった。そして、要素別に見ると、「計数」、「測定」の要素は1、2年に多く、逆に、「単位」の要素は1年にはまったく無く、2年までは少なく、3年以降に徐々に増えていく傾向が見られた。「計算」の要素は、1～3年にかけて徐々に増えていき、4年以降はあまり数が増えていなかった。「読取」の要素は、6年にやや多い以外は、各学年に10個前後含まれており、「比較」の要素は各学年15個前後、「整理」の要素は各学年5個前後と、これら三つの要素には学年ごとの増減はあまり見られなかった。「表」の要素は3、4、6年に多く、「グラフ」の要素は1、2、3年に少なく、4、5、6年に増えることが示された。そして、「収集」の要素は2年に多く見られるものの、それ以外の学年では少なかった。さらに、要素間の個数の違いに着目すると、「計算」「比較」「読取」が多く、やはり“Math in Science”は児童自身が定量的なデータを得ることよりも、既にある定量的なデータを処理することや、計算することに主眼を置いた活動であるといえる。加えて、「通常の“Math in Science”」と「まとめの“Math in Science”」に分け、「計算や数量化に関する要素」を分析すると、MiS平均において両者に大きな違いが見られた。全学年の合計のMiS平均は、「通常の“Math in Science”」が1.6個、「まとめの“Math in Science”」は3.2個であった。これは、前述のとおり、「通常の“Math in Science”」が頁の一部に数行程度で小さく書かれているだけなのに対し、「まとめの“Math in Science”」には2頁が割かれ、様々な図表やグラフなどを活用するような課題が示されているために、課題を遂行する際に多数の要素を必要とするためであると考えられる。要素別にみても、「通常の“Math in Science”」には「グラフ」および「表」の要素が少なく、これに伴い、「読取」の要素もあまり多くなかった。したがって、教科書の様々な場所に登場する「通常の“Math in Science”」は、「計算」や「比較」を主として含んでおり、理科学習において児童が計算やデータの定量的な比較に何度も取り組む機会を提供していると考えられる。

表2 Pearson社の教科書における“Math in Science”に含まれる「計算や数量化に関する要素」の個数

学年	要素別の個数 (個)											合計 (個)	MiS数* (個)	平均** (個)
	計数	計算	読取	整理	比較	測定	グラフ	表	単位	収集	その他			
1年	11	3	10	3	11	3	2	2	0	3	4	52	26	2.0
2年	6	12	9	4	15	8	5	5	2	8	7	81	29	2.8
3年	0	21	11	3	17	0	4	10	5	0	5	76	33	2.3
4年	1	39	14	6	18	0	10	9	8	2	4	111	51	2.2
5年	2	37	10	2	16	1	9	3	5	3	5	93	46	2.0
6年	1	39	20	3	14	1	9	10	15	2	2	116	45	2.6
合計	21	151	74	21	91	13	39	39	35	18	27	528	230	2.3

\*MiS数とは、“Math in Science”の数である。

\*\*平均とは、「計算や数量化に関する要素」の数をMiS数で除した数であり、一つの“Math in Science”に対して、どの程度の要素が含まれているかを示している。

続いて、Macmillan/McGraw-Hill社の小学校理科教科書に見られる“Math LINK”という「数学的な活動」を見ていく。“Math LINK”も、前述の“Math in Science”と同様に、単元途中や単元末において、計算や数量化といった「数学的な活動」を提示する教科書内の一つのコーナーである。このコーナーもいわゆる観察、実験とは異なるものであるが、“Math in Science”と比べると、児童自らがデータを収集することを指示する活動が多くなっていった。その一方で、“Math in Science”と同様に、単なる計算問題や、すでにあるデータをグラフにするといった活動も多く、データ処理や、理科の中での計算や数量化に親しむことを目的にしている活動であると考えられる。例えば、3年生の“Earth Science”分野において、季節の変化と太陽の高度の変化に関する説明の部分に載せられた“Math LINK”には、「地球が太陽の周りを公転することで四季が生じることを学んだ。もし、四季がすべて同じ期間であるとすれば、それぞれの季節は何カ月ずつだろうか？」と記されている<sup>(17)</sup>。

“Math LINK”の記載数は、学年別に見ると、1年が7個、2年が7個、3年が40個、4年が38個、5年が49個、6年が43個で、合計で184個あった。前述のとおり、1、2年のうちは単元末にしか“Math LINK”がないため、1、2年の教科書には“Math LINK”が非常に少なかった。3年から大幅に“Math LINK”の数は増えるが、3～6年の間での数の変化はあまり無かった。分野別に見ていくと、“Life Science”分野に58個、“Earth Science”分野に64個、“Physical Science”分野に62個となっており、分野の偏りなく“Math LINK”が含まれていることが明らかになった。

次に、“Math LINK”に含まれている「計算や数量化に関する要素」の数を表3に示す。まず、要素の合計数は472個で、3年と5年に要素が多く見られた。また、一つの“Math LINK”に含まれている平均の要素数については、1、2年が多く、3年以降は減少していた。要素別に見ていくと、「計数」の要素は1～3年に多く、4～6年には減少した。特に1年は7個の“Math LINK”のうち6個に「計数」の要素が含まれており、しっかりと数を数えることが重視されていた。「計算」の要素は1、2年にはほとんどなく、3、4年には20個程度、5、6年には35個程度と徐々に増えていく傾向にあった。「計数」および「計算」の要素の学年進行による増減の傾向は、“Math in Science”と似ていた。「読取」「整理」「比較」「グラフ」の要素は3年に特に多く、5年にやや多い以外は、学年ごとの変動はあまり見られなかった。「測定」の要素は、3、4年に特に多かった。「表」の要素は、3年と5年に多かったが全体的には少なかった。単位の要素は1、2、4年には一切登場せず、3、5、6年にわずかに含まれていた。「収集」の要素は6年には少ないものの、3～5年には登場頻度が高かった。この要素は“Math in Science”と比較しても非常に多く、前述したとおり、こちらの教科書では児童自身がデータを集める活動が多く記載されていることが分かる。しかし、表3から分かるように、「計算」や「比較」の要素がやはり多く、“Math in Science”と同様に、“Math LINK”も定量的なデータを処理することや、計算することに主眼が置かれた活動だといえる。

表3 Macmillan/McGraw-Hill社の教科書における“Math LINK”に含まれる「計算や数量化に関する要素」の個数

学年	要素別の個数 (個)											合計 (個)	ML数* (個)	平均** (個)
	計数	計算	読取	整理	比較	測定	グラフ	表	単位	収集	その他			
1年	6	2	4	4	5	3	6	1	0	5	0	36	7	5.1
2年	3	0	3	4	5	3	5	1	0	4	0	28	7	4.0
3年	5	20	15	17	19	7	16	14	2	18	0	133	40	3.3
4年	1	24	4	9	8	6	8	2	0	10	5	77	38	2.0
5年	2	37	8	11	18	3	11	7	3	15	4	119	49	2.4
6年	1	33	5	7	11	2	7	4	3	4	2	79	43	1.8
合計	18	116	39	52	66	24	53	29	8	56	11	472	184	2.6

\*ML数とは、“Math LINK”の数である。

\*\*平均とは、「計算や数量化に関する要素」の数をML数で除した数であり、一つの“Math LINK”に対して、どの程度の要素が含まれているかを示している。

以上のような「数学的な活動」の集計と、その内容の分析から、アメリカの小学校理科教科書に掲載されている「数学的な活動」には、次の5点の特徴があることが明らかになった。第一に、「数学的な活動」が観察、実験とは別に設定されているという点である。教科書中の観察や実験の中で、定量的なデータを収集することや、収集したデータを処理するだけでなく、“Math in Science”や“Math LINK”として、計算や数量化を行うことに焦点化された活動が用意されていた。第二に、学年、分野を問わず満遍なく掲載されているという点である。それぞれの分野の内容において、定量的な観察、実験が必要か否かに影響されず、学年ごとに全ての分野において「数学的な活動」が複数回ずつ記載されているという点が特徴的であった。第三に、「数学的な活動」は基本的には科学的文脈の中で行われているという点である。計算や数量化を行うことに焦点化された活動であるとはいえ、その活動が掲載されて

いる単元の内容とまったく無関係ではなく、「Life Science」分野であれば動植物が、「Earth Science」分野であれば気象や鉱物が、「Physical Science」分野であれば物質やエネルギーが、「Space and Technology」分野（Pearson社のみ）であれば惑星といった事象が、それぞれ計算や数量化の対象として登場していた。第四に、「数学的な活動」に登場する科学的な概念を習得していなくても、活動を遂行できるという点である。例えば、四季がすべて同じ長さだとすれば、季節はそれぞれ何カ月ずつかを考えさせる前述の「Math LINK」では、1年が12カ月であることと、季節が四つあることを理解していれば、地球の公転や日中の太陽の軌道を理解できていなくても、解答を導くことが可能である。もちろん、科学的な概念を活用する活動の中には存在するが、科学的な概念を習得していなくとも活動を遂行できることが多くなっていった。この特徴からも、「数学的な活動」は計算や数量化を行うことに焦点化された活動であり、科学的な概念の習得を主たる目的とした活動ではないことがうかがえる。第五に、異なる文脈や異なる学年において、類似した「数学的な活動」が繰り返し提示されるという点である。例えば、1年の「Physical Science」分野の「Math in Science」に示された「三つのリングをそれぞれ2切れずつに切り分けると、何切れのリングになるか。」という課題は、単純な乗算を行う活動であるが、5年の「Life Science」分野においても「1本のシダは平均500,000個の胞子を作り出す。10本のシダではいくつの胞子を作り出せるか？」という単純な乗算により解答を得られる課題がある。また、同一の文脈において、学年をまたいで類似の課題を提示している例も見られた。

### 3. 2 日本の小学校理科教科書における計算や数量化に関する記述

日本の小学校理科教科書における「計算や数量化に関する記述」は、学年別に見ていくと、3年が42個、4年が42個、5年が21個、6年が18個で、合計で123個であった。学年が上がるごとに、「計算や数量化に関する記述」が減少する傾向が見られた。これは、学年の低いうちは、観察、実験の場面、特に植物の観察の場面において、植物の大きさを測定した結果が記入されたワークシートが挿絵として載っていることが多いためである。また、3年と4年では、植物の成長を観察する場面が非常に多く、これらのほとんどの場面で植物の大きさを測るよう指示されているために「計算や数量化に関する記述」の数が多くなっている。さらに、「エネルギー」（物理学）、「粒子」（化学）、「生命」（生物学）、「地球」（地学）の4分野に分けて集計すると、「エネルギー」が21個、「粒子」が28個、「生命」が48個、「地球」が12個であった。前述の植物の成長観察の影響からか「生命」分野に多く見られた。しかし、5年では「生命」分野における「計算や数量化に関する記述」は無く、他の分野でも学年による個数のばらつきが見られた。これは、観察や実験のデータを定量的に処理しなければならない単元のある学年では、その分野における「計算や数量化に関する記述」の数が増え、そのような単元の無い学年では、「計算や数量化に関する記述」がほとんど存在しなくなっているためであると考えられる。さらに、挿絵や写真のみの「計算や数量化に関する記述」は、学習内容に関する教師からの説明として使用されたり、児童の理解を促進するための補助的な役割を果たしたりするものと考えられ、同様な記述は当然アメリカの教科書においても、観察、実験および「数学的な活動」以外の本文中に見られるため、これらを除き、計算や数量化に関わる何らかの作業を児童に行わせる記述、いわゆる「活動」と見なせるもののみを取り出して集計すると、3年が23個、4年が25個、5年が15個、6年が11個で、合計で74個となった。前述の計算や数量化に関するすべての記述と比較すると、3、4年の個数の減少が大きく、これらの学年では挿絵で表やグラフを提示しているだけの記載が多いことが明らかとなった。

次に、児童の活動と見なせる「計算や数量化に関する記述」に含まれている「計算や数量化に関する要素」の数を表4に示す。まず、要素の合計数は263個で、3年と4年が多かった。しかし、記述数が異なるため、「計算や数量化に関する要素」の数を、児童の活動と見なせる「計算や数量化に関する記述」の数で除することで、各記述に含まれ

表4 東京書籍『新しい理科』における児童の活動と見なせる「計算や数量化に関する記述」に含まれる「計算や数量化に関する要素」の個数

学年	要素別の個数（個）											合計 （個）	記述数* （個）	平均** （個）
	計数	計算	読取	整理	比較	測定	グラフ	表	単位	収集	その他			
3年	3	0	10	8	12	16	5	5	0	14	2	75	23	3.3
4年	0	0	7	9	13	19	9	3	0	19	1	80	25	3.2
5年	0	1	10	8	9	8	5	6	0	7	4	58	15	3.9
6年	2	4	9	4	9	8	0	5	0	8	1	50	11	4.5
合計	5	5	36	29	43	51	19	19	0	48	8	263	74	3.6

\*記述数とは、児童の活動と見なせる「計算や数量化に関する記述」の数である。

\*\*平均とは、「計算や数量化に関する要素」の数を記述数で除した数であり、一つの「計算や数量化に関する記述」に対して、どの程度の要素が含まれているかを示している。



ている平均の要素数を算出した。これを比較すると、4年から5年に上がる際に、一つの活動あたりの要素数が増えていることが明らかになった。つまり、5、6年の計算や数量化に関する活動の方が、3、4年の活動に比べて、その活動の中で行わなければならない要素が多くなっているといえる。一方、要素別に見ていくと、「読取」「比較」「表」の要素は、学年によるばらつきが比較的少ない。「測定」や「収集」の要素は3、4年で比較的多く、5、6年でやや減少している。これらとは逆に、「計算」の要素は、3、4年では登場せず、6年を中心に見られた。「グラフ」の要素は3～5年では見られるものの、6年にはなかった。「整理」の要素は、6年でやや少なくなるとはなるが、学年を問わず比較的多く見られた。また、「計数」の要素は3年と6年にわずかに見られるだけで、「単位」についてはまったく見られなかった。

### 3. 3 日本とアメリカの小学校理科教科書における計算や数量化に関する記述の比較

以上のように、アメリカの小学校理科教科書では、観察、実験に該当する頁だけでなく「数学的な活動」が非常に多く記載されている一方、日本の小学校理科教科書においては、計算や数量化は主として観察、実験場面で示されることが明らかになった。アメリカの教科書の観察、実験において計算や数量化を特に重視する場合には、その頁に数量化に関わる事項が強調され、児童にもその重要性が伝わる形で書かれている。一例を挙げると、Pearson社の教科書の3年“Earth Science”分野には、「土壌はどれくらい保水できるだろうか？」というテーマの実験が記載されている<sup>(18)</sup>。ここでは、3種類の土に水を注いで、それぞれ水がどれくらい漏れ出るかを調査するために、土と水の量を正確に量り、データを表にまとめて考察するように指示されている。実験の頁には、「プロセス・スキルズ」という実験において活用する能力が明示されている欄があり、この実験では「測定すること (measuring)」が赤字で強調されている。つまり、この実験でどのような能力が重要となるのかが、児童にも明確に捉えられるような構成になっているのである。これらは日本の教科書における観察、実験の場面での「計算や数量化に関する記述」と似ているものの、数量化の重要性を明示している点で、アメリカの教科書の方が日本の教科書よりも、小学校の理科学習における計算や数量化を意図的、意識的に取り扱っているといえるだろう。そして、アメリカの教科書では、観察、実験とは別に「数学的な活動」が記載されていることから、計算や数量化は理科学習に日常的かつ頻繁に取り入れられるべき活動として重視されていると捉えることができる。

アメリカの教科書の分析では、小学校1～6年の観察、実験場面を除き、「数学的な活動」のみを集計し、日本の教科書では、小学校3～6年の観察、実験も含め、児童の活動と見なせる「計算や数量化に関する記述」を集計したため、両者を単純に比較することはできないが、参考までに表2、3と表4の結果を見ると、まず活動の数ではアメリカの方がかなり多いといえる。しかし、「数学的な活動」あるいは「計算や数量化に関する記述」一つ当たりに含まれる「計算や数量化に関する要素」の個数(各表の中では「平均」と表記)に着目すると、“Math LINK”の1、2年において多くなっていることを除けば、全体的にアメリカの「数学的な活動」の方が日本の「計算や数量化に関する記述」よりも、「平均」は少ないといえる。具体的には、日本の場合、平均は学年を追うごとに徐々に増加する傾向がみられ、6年には「平均」が4.5個にもなっているが、“Math in Science”の場合、学年進行に伴う増減傾向は特に見られず、6年でも「平均」はわずか2.6個である。また、“Math LINK”の場合も、3年以降は減少する傾向が見られ、6年では「平均」で1.8個しか含まれていない。また、全学年を通した「平均」も、日本の教科書では3.6個なのに対し、“Math in Science”では2.3個、“Math LINK”では2.6個と少なくなっている。このような差が見られた要因として、日本の「計算や数量化に関する記述」は主に観察、実験場面に登場するため、観察、実験の過程でデータの「収集」の要素が必要となることが多く、さらには結果を表やグラフにまとめて考察する際に、「表」「グラフ」「整理」「読取」といった要素が多く求められることが考えられる。表4からも、これらの要素の占める割合が、アメリカよりも大きくなっていることが示唆される。このように、観察、実験において定量的な探究の過程を踏んでいるために、日本の教科書における各「計算や数量化に関する記述」では、必要な要素数が多くなっていると考えられる。一方、アメリカの「数学的な活動」は観察、実験の中に存在せず、特に指示がない場合はデータを収集する必要がない。また、データを表やグラフに直すことは求められるが、それ以上の考察を要求していない場合も多い。つまり、それぞれの「数学的な活動」では、探究の過程を踏むのではなく、探究の過程の特定の場面を取り出し、その場面内で必要となる要素を適宜活用して課題に取り組むことになる。そのため、「数学的な活動」における要素数が少なくなっているのである。以上のことから、アメリカの「数学的な活動」は、日本の観察、実験の中で行う計算や数量化よりも、計算や数量化に関する多様な能力の一つ一つに集中して取り組める可能性が指摘できる。特に、表2～4の結果から、「計算」や「比較」の要素については、アメリカの教科書の方が、日本の教科書よりも計算や数量化に関する能力を育成するための機会を多く提供しているといえるだろう。

さらに、分野別の集計結果から、日本の教科書の方がアメリカよりも、「計算や数量化に関する記述」の分野ごと

の偏りが大きいことが明らかとなった。これは、日本の教科書では、定量的に扱われる観察、実験が多い単元と少ない単元が明確に分かれているため、それが分野間の記述数の差として出現する一方、アメリカの「数学的な活動」は、分野に偏りなく取り入れられている。このように、分野の特性によらず、理科学習において計算や数量化を行うことが当然のこととして記述されている点が、まさに「数学的な活動」の特徴の一つといえるだろう。また、学年別の記述数を見ると、“Math in Science”と“Math LINK”のいずれも1、2年では少ないものの、3～6年は一定数を維持しており、学年進行によって減少している日本とは異なっている。このことから、アメリカの教科書ではどの学年においても「数学的な活動」が意図的に導入されていることが示唆される。

#### 4 まとめと今後の課題

本研究では、中学生の理科離れを打開する一つの方策として、小学校段階から自然現象についての定量的な扱いや数量化、計算問題等を理科学習に導入する方法を検討するための基礎的知見を得ることを目指し、アメリカの小学校理科教科書における計算や数量化に関する記述を調査し、日本の小学校理科教科書との比較から、その特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、概して以下のことが明らかとなった。

アメリカの小学校理科教科書には、“Math in Science”や“Math LINK”といった「数学的な活動」が数多く載せられていた。これらは観察、実験とは異なる活動であり、計算や数量化を行うことに焦点化された課題であった。また、学年や分野による偏りなく、教科書中に広く意図的に導入された活動であるといえる。これらの活動の内容は、記載された部分の学習内容の文脈に沿って設定されているものの、活動の中に挙げられている科学的な概念を完全に習得していなくても活動自体を遂行できる課題が多く見られた。したがって、理科を苦手とし、学習内容を完全には理解できていないという児童であっても、活動に取り組むことはそれほど困難ではないと考えられる。また、同様の計算方法や数量化を用いた活動が、学年や分野をまたいで繰り返し掲載されているため、理科の中で計算や数量化を行うことは特殊なことではなく、通常行われるべき一般的なことであるという印象を児童にもたせることができるのではないかと期待できる。

一方、日本の小学校理科教科書では、主として観察、実験の中で計算や数量化を行っていることが明らかとなった。また、観察、実験の中で計算や数量化を行っているために、学習する単元の内容によって計算や数量化の必要性の度合いが異なり、「計算や数量化に関する記述」の個数に学年間および分野間での偏りが生じていた。

これらのことを総合すると、アメリカの小学校理科教科書における「数学的な活動」を日本の小学校理科授業に導入することで、児童が理科学習において自然に計算や数量化に慣れ親しむことができ、中学生になってから突然、理科学習で多くの計算や数量化に直面することで、理科に対する負の意識を増すという現状を打破することができるのではないだろうか。また、アメリカと日本の教科書における「計算や数量化に関する記述」に含まれる要素を比較すると、アメリカの方が一つの「数学的な活動」に含まれる要素が日本より少なくなっていることから、アメリカの「数学的な活動」は、日本の観察、実験の中で行う計算や数量化よりも、計算や数量化に関する多様な能力の一つ一つに焦点化して重点的に育成することができると期待できる。

今後の課題は、本研究の成果に基づき、日本の小学校理科授業に「数学的な活動」を導入する方法を開発し、その有効性を検証することである。その際、小学校理科に計算や数量化に関する内容を導入することによって、逆に小学生が理科嫌いにならないように留意し、小学生が積極的に課題に取り組めるような「数学的な活動」を考案することが求められるだろう。

#### 付記

本稿は、平成25年度第3回日本科学教育学会研究会において、関口響祐・稲田結美が発表した「アメリカの小学校理科教科書における「数学的な活動」の特徴」および、平成26年度上越教育大学大学院学校教育研究科（修士課程）に関口響祐が提出した修士論文「理科教育における計算および数量化に関する研究－教員養成課程学生の意識調査と日米の教科書比較から－」の一部に、加筆・修正を施し、再構成したものである。



## 引用および参考文献

- (1) 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2012) 「平成24年度 全国学力・学習状況調査 調査結果のポイント」, [http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/02point/24\\_chousakekka\\_point.pdf](http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/02point/24_chousakekka_point.pdf) (2015年8月17日取得), 36頁。
- (2) 山城芳郎, 森本寿文, 廣瀬友良 (1996) 「理科嫌い・理科離れに関する研究－児童生徒および教員を対象にした調査を通して－」, 『平成8年度研究紀要第108集』, 兵庫県立教育研修所, <http://www.hyogo-c.ed.jp/~kenshusho/04kiyou/108pdf/108-4.pdf> (2015年8月17日取得), 67-68頁。
- (3) 同上, 68頁。
- (4) 同上, 77-78頁。
- (5) 原俊雄 (2003) 「包括的理科の創造：自然科学的思考法の習得－自然科学の言語としての数学－」, 『物理教育』, 日本物理教育学会, 51巻, 4号, 282頁。
- (6) 宮本直樹 (2007) 「小学校理科における児童の探究能力に関する研究－数量化に着目して－」, 『日本科学教育学会研究会研究報告』, 21巻, 4号, 13-18頁。
- (7) 長洲南海男ら訳, 長洲南海男監修 (2001), 『全米科学教育スタンダード－アメリカの科学教育の未来を展望する－ (National Science Education Standards)』, 梓出版社, 140頁。
- (8) NGSS Lead States (2013) *Next Generation Science Standards Volume 2*, The National Academies Press, pp.58-59.
- (9) Pearson社の教科書については, Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The First Grade*, Pearson. Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Second Grade*, Pearson. Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Third Grade*, Pearson. Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Fourth Grade*, Pearson. Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Fifth Grade*, Pearson. Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Sixth Grade*, Pearson. を分析した。Macmillan/McGraw-Hill社の教科書については, Lucy H. Daniel, et al. (2005) *Science Teacher's Edition The First Grade*, Macmillan/McGraw-Hill. Lucy H. Daniel, et al. (2005) *Science Teacher's Edition The Second Grade*, Macmillan/McGraw-Hill. Lucy H. Daniel, et al. (2005) *Science Teacher's Edition The Third Grade*, Macmillan/McGraw-Hill. Lucy H. Daniel, et al. (2005) *Science Teacher's Edition The Fourth Grade*, Macmillan/McGraw-Hill. Lucy H. Daniel, et al. (2005) *Science Teacher's Edition The Fifth Grade*, Macmillan/McGraw-Hill. Lucy H. Daniel, et al. (2005) *Science Teacher's Edition The Sixth Grade*, Macmillan/McGraw-Hill. を分析した。ただし, Macmillan/McGraw-Hill社については, それぞれの学年が, “Life Science”, “Earth Science”, “Physical Science” の3分冊になっていた。
- (10) Banilower, E. R., Smith, P. S., et al. (2013) “*Report of the 2012 National Survey of Science and Mathematics Education*”, Horizon Research, pp.92-93.
- (11) 毛利衛, 黒田玲子ら (2010検定済み) 『新しい理科3』, 東京書籍株式会社。毛利衛, 黒田玲子ら (2010検定済み) 『新しい理科4』, 東京書籍株式会社。毛利衛, 黒田玲子ら (2010検定済み) 『新しい理科5』, 東京書籍株式会社。毛利衛, 黒田玲子ら (2010検定済み) 『新しい理科6』, 東京書籍株式会社。
- (12) 国立教育政策研究所 (2009) 平成20年度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], [http://www.nier.go.jp/seika\\_kaihatsu\\_2/risu-2-ikkatu.pdf](http://www.nier.go.jp/seika_kaihatsu_2/risu-2-ikkatu.pdf) (2015年8月17日取得), 25頁。
- (13) 同上, 316-318頁。
- (14) 同上, 24頁。
- (15) Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Fourth Grade*, Pearson, p.7.
- (16) Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Sixth Grade*, Pearson, pp.572-573.
- (17) Lucy H. Daniel, et al. (2005) *Science Earth Science Teacher's Edition The Third Grade*, Macmillan/McGraw-Hill, p.D41.
- (18) Timothy Cooney, et al. (2010) *Scott Foresman Science The Diamond Edition The Third Grade*, Pearson, pp.210-211.

# A Study on Calculation and Quantification in Science Education: Comparative Analysis of Elementary School Science Textbooks in Japan and the United States

Yumi INADA\* · Kyosuke SEKIGUCHI\*\*

## ABSTRACT

The purpose of this study was to compare descriptions about calculation and quantification in elementary school science textbooks between Japan and the United States in order to explore the way to introduce the US method into Japanese elementary school science. As a result, the “mathematical activities,” called “Math in Science” or “Math LINK”, often appeared in the part different from description about an observation and an experiment in American textbooks. The contents of these activities were determined based on the learning contents, but even if students didn’t acquire scientific ideas of a unit, the activities themselves can be executed. On the other hand, calculation and quantification were mainly appeared in observational and experimental sections in Japanese textbooks, and the “mathematical activities” weren’t set independently. By introducing such “mathematical activities” into a Japanese elementary school science lesson, we can expect that students become familiar with calculation and quantification in science learning naturally and even if quantitative level becomes higher in science learning of a junior high school, students won’t have unpleasant feeling to science. Various abilities of students related to calculation and quantification would be enhanced by these “mathematical activities”.