

理科教育において形成を目指す学力観と 類推的思考との関係についての考察

福岡 敏行*・佐藤 寛之**

A Study on Analogy for Proficiency of Scientific Literacy

Toshiyuki FUKUOKA * and Hiroyuki SATO **

1. はじめに

平成10年改訂の学習指導要領が義務教育課程で実施されてから3年が経過し、平成18年度には理科の教科書でも部分的な改訂が実施される予定である。この学習指導要領や教科書の改訂には、国内外の学力に関する調査結果が影響を及ぼしていることは明らかである。理科の学力に関する調査である国際教育到達度評価学会（IEA）が行う国際数学・理科教育調査（TIMSS）と経済協力開発機構（OECD）による学習到達度調査（PISA）の調査結果が平成16年12月に、また文部科学省の教育課程実施状況調査の2003（平成15）年度の調査結果も平成17年4月に、それぞれ公表された。

本研究では、これらの調査結果を精査し、そこから導き出される理科において形成を目指す学力を科学的リテラシーの育成と措定した。そして、科学的リテラシーの意味内容の変遷をふまえ、理科教育において形成を目指す学力観と類推的思考との関係について検証していく。

2. 内外の学習状況調査にみる理科に関わる子どもの学力の実態

2.1. 子どもの理科学習の現状

本論では理科教育に求められる学力とは何かについて考えるために、まず国内外の学力状況調査から明らかになった子どもの理科学習の実態について明らかにする。

第一に取り上げる文部科学省の教育課程実施状況調査は、その名称からも明らかなように、国内の学校教育の基本となる学習指導要領の内容がどの程度定着しているかを明らかにする調査である。第二に取り上げる国際教育到達度評価学会の国際数学・理科教育調査（TIMSS）は学校教育におけるカリキュラムの国際比較からその定着度をはかる調査であり、教育課程実施状況調査と同様に、学校における学習内容の調査を主眼としている。

そして、第三に経済協力開発機構による学習到達度調査（PISA）により、子どもの学習の実態を明らかにしていく。この経済協力開発機構の学習到達度調査は、後述するように上記二つの調査とは異なり、必ずしも学校における学習内容が問われるわけではないという点で特徴があり、今後の教育課程を考えていく上で重要な指針を与えてくれる調査である。最後に、上記調査から明らかになった学習実態について考えることとする。

* 理科教育講座(Dept. of Science Education)

** 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科

(Doctoral Course The United Graduate School of Education Tokyo Gakugei University)

2.1.1. 文部科学省教育課程実施状況調査から明らかになったわが国の子どもの理科学習の現状

文部科学省教育課程実施状況調査（以下、教育課程実施状況調査と記す）とは、平成13年度実施の国立教育政策研究所の実施概要によれば、小学校及び中学校の学習指導要領に基づく教育課程の実施状況について、学習指導要領における各教科の目標や内容に照らした学習の実現状況の把握を通して調査研究し、指導上の問題点は何かなどを明らかにして、今後の学校における指導の改善に資するものとされている（国立教育政策研究所、2002a）。そして、この調査は上記の趣旨に基づき、学習指導要領に定める内容のうち調査を行うことが適当なものについてペーパーテストで調査を行い、あわせて、児童生徒の学習に対する意識や教師の指導の実際等について明らかにするための児童生徒及び教師を対象とする質問紙での調査を行った。

また、調査対象の抽出方法は統計的に有効な数字（平成13年度においては1万6千人の調査対象）を得ることとして、国立教育政策研究所において対象学級を無作為抽出し、当該学級の児童生徒全員を対象とし、質問紙調査における教師の調査については、当該学級で調査対象とする教科を担当している者全員を対象とした。

本論では、まず現在の子どもの学習状況を把握する前に、現行の学習指導要領作成のために参考にされたであろう過去に行われた2回（昭和56～58年度、平成5～7年度）の教育課程実施状況調査から明らかになった子どもの状況を把握することとする。過去の2回の教育課程実施状況調査から、文部科学省はそのまとめとして表2-1の2点の子どもの状況を指摘している（文部科学省、2001）。

表2-1 過去（S5～658, H5～7）の教育課程実施状況調査による子どもの学習状況

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 覚えることは得意、計算の技能や文章の読み取りの力などもよく身に付けている。 覚えることは得意だが、学習が受け身で、自ら調べ判断し、自分なりの考えを持ちそれを表現する力が不十分 |
|--|

また、上記過去2回の調査では、平成13年度以降の教育課程実施状況調査において実施されている質問紙調査が行われていないので、平成10年に文部省（現文部科学省）は実施した学校教育に関する意識調査についてもあわせて示すこととする。この調査において子どもたちにとって身近な問題である学校の授業の理解度は、表2-2にあるように、学年が上がるにつれ低下していることも示されている（文部科学省、2001）。

表2-2 学校教育に関する意識調査（平成10年 文部省）

| 学校の授業の理解度 | 小学生 | 中学生 | 高校生 |
|------------|-------|-------|-------|
| よくわかる | 19.9% | 4.7% | 3.5% |
| だいたいわかる | 48.2% | 39.5% | 33.9% |
| 半分くらいわかる | 27.2% | 35.4% | 39.9% |
| わからないことが多い | 3.3% | 16.2% | 17.3% |
| ほとんどわからない | 0.9% | 4.1% | 5.5% |

過去の教育課程実施状況調査等の調査結果から明らかになった、これまでの学校における子どもの学習状況とは、授業で理解し得る知識は学年が上がるにつれて少なくなるが、学習の内容と量は多くなるため、学ぶ意欲、思考力、判断力、表現力という学習における資質・能力が必ずしも十分に育まれていないと理解することができる。

次に、現行の学習指導要領について見極める判断材料として、平成13年度と平成15年度の教育課

程実施状況調査について考えていくこととする。この平成13年度と平成15年度の教育課程実施状況調査では、上述の通り、学習内容に関するペーパーテストと学習に対する意識などについての質問紙調査が行われたが、はじめにペーパーテストの結果から明らかになった子どもの学習状況について述べていく。

教育課程実施状況調査では学習内容領域の各設問に対して、設定通過率という基準を設けて分析を行っている。設定通過率とは、「学習指導要領に示された内容について、標準的な時間をかけ、学習指導要領作成時に想定された学習活動が行われた場合、個々の問題ごとに正答、準正答の割合の合計である通過率がどの程度になるかを示した数値」（国立教育政策研究所、2005a:4）のことである。表2-3は各学年における理科の設定通過率との比較を表したものである（国立教育政策研究所、2005a:4-5）。

表2-3 学年別の子どもの学習状況の比較（教育課程実施状況調査）

| 理科 | 平成13（2001）年度 | | | | 平成15（2003）年度 | | | |
|------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | 問題数 | 設定通過率との比較 | | | 問題数 | 設定通過率との比較 | | |
| | | 上回ると考えられるもの | 同程度と考えられるもの | 下回ると考えられるもの | | 上回ると考えられるもの | 同程度と考えられるもの | 下回ると考えられるもの |
| 小学5年 | 93 | 36(38.7%) | 39(41.9%) | 18(19.4%) | 103 | 45(43.7%) | 42(40.8%) | 16(15.5%) |
| 小学6年 | 94 | 68(72.3%) | 21(22.3%) | 5(15.3%) | 95 | 53(55.8%) | 25(26.3%) | 17(17.9%) |
| 中学1年 | 120 | 23(19.2%) | 26(21.7%) | 71(59.2%) | 108 | 27(25.0%) | 38(35.2%) | 43(39.8%) |
| 中学2年 | 139 | 26(18.7%) | 43(30.9%) | 70(50.4%) | 104 | 40(38.5%) | 30(28.8%) | 34(32.7%) |
| 中学3年 | 123 | 44(35.8%) | 46(37.4%) | 33(26.8%) | 115 | 68(59.1%) | 20(17.4%) | 27(23.5%) |

注1) 平成13年度と平成15年度では学習指導要領で扱う学習内容は異なる。

注2) 設定通過率の定義については、本文を参照のこと。

表2-3からも明らかなように、平成13年度の調査で示された中学1年生と2年生の学習内容の理解の状況は、平成15年度の調査では改善されており、どの学年においても設定通過率を「上回る」と「同程度」の合計が半数を超えた。しかしながら、この数値は問題に対する正答・準正答・誤答を示したのではないし、この調査の目的自体そのことを明らかにするものではない。この結果が示すものは、現行の学習指導要領に沿って教育が実施され、それが運用上適性か否かである。そのように考えれば、現行の学習指導要領では、小学校6年生の理科の学習での学習の定着率が減少したものの、一定の成果を出していると考えられることができる。

また、質問紙調査からは以下の表2-4～表2-7のような調査結果も示されている（国立教育政策研究所、2005b:1, 6, 9, 15）。教育課程実施状況調査では、表2-4～2-7に示された以外の質問も行っているが、表2-4～2-6までは後述する国際教育到達度評価学会の国際調査に同様の項目があるために、また、表2-7は学校における理科学習の状況を表す指標になるものとして取り上げた。上記表2-4～2-6において、平成13年度と平成15年度の調査を比べると、小学生では相変わらず理科に関する関心が高く、また、中学生の理科に関する関心、一般に「理科嫌い・理科離れ」として提起される問題も僅かではあるが改善傾向がみられることが明らかになった。

表2-4 「理科の勉強が好きだ」に関する回答の割合

| | 平成13 (2001) 年度 | | | 平成15 (2003) 年度 | | |
|------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | そう思う・ どちらかと いえばそう 思う | どちらかと いえばそう 思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 | そう思う・ どちらかと いえばそう 思う | どちらかと いえばそう 思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 |
| 小学5年 | 71.9% | 23.8% | 4.3% | 74.2% | 22.3% | 3.5% |
| 小学6年 | 65.0% | 31.1% | 4.0% | 64.1% | 32.3% | 3.6% |
| 中学1年 | 56.4% | 38.7% | 4.8% | 61.3% | 34.6% | 4.1% |
| 中学2年 | 53.3% | 41.7% | 5.0% | 58.7% | 37.2% | 4.1% |
| 中学3年 | 55.0% | 40.2% | 4.8% | 65.4% | 30.6% | 4.0% |

表2-5 「自分の好きな仕事につけるよう、理科を勉強したい」に関する回答の割合

| | 平成13 (2001) 年度 | | | 平成15 (2003) 年度 | | |
|------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | そう思う・ どちらかと いえばそう 思う | どちらかと いえばそう 思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 | そう思う・ どちらかと いえばそう 思う | どちらかと いえばそう 思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 |
| 小学5年 | 40.4% | 43.0% | 16.6% | 55.5% | 40.5% | 14.0% |
| 小学6年 | 34.0% | 50.7% | 15.3% | 37.8% | 47.3% | 14.9% |
| 中学1年 | 32.5% | 49.9% | 16.6% | 35.2% | 48.2% | 16.6% |
| 中学2年 | 33.1% | 50.2% | 16.7% | 34.8% | 49.5% | 15.7% |
| 中学3年 | 32.7% | 52.6% | 14.7% | 35.6% | 50.6% | 13.8% |

表2-6 「理科を勉強すれば、私の普段の生活や社会に出て役立つ」に関する回答の割合

| | 平成13 (2001) 年度 | | | 平成15 (2003) 年度 | | |
|------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | そう思う・ どちらかと いえばそう 思う | どちらかと いえばそう 思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 | そう思う・ どちらかと いえばそう 思う | どちらかと いえばそう 思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 |
| 小学5年 | 53.7% | 21.4% | 14.9% | 55.8% | 32.2% | 12.0% |
| 小学6年 | 48.5% | 37.4% | 14.1% | 49.5% | 48.6% | 11.9% |
| 中学1年 | 39.9% | 44.2% | 15.9% | 43.1% | 43.5% | 13.4% |
| 中学2年 | 39.1% | 46.2% | 14.7% | 40.5% | 46.8% | 12.7% |
| 中学3年 | 36.3% | 50.2% | 13.5% | 40.1% | 48.5% | 11.4% |

表2-7 「理科の授業がどの程度わかりますか」に関する回答の割合

| | 平成13 (2001) 年度 | | | 平成15 (2003) 年度 | | |
|------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | そう思う・ どちらかといえ ばそう思う | どちらかといえ ばそう思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 | そう思う・ どちらかといえ ばそう思う | どちらかといえ ばそう思わない・そ う思わない | わからない その他 無回答 |
| 小学5年 | 72.0% | 20.5% | 5.9% | 72.7% | 19.2% | 5.6% |
| 小学6年 | 65.9% | 24.4% | 8.6% | 65.4% | 23.6% | 9.0% |
| 中学1年 | 51.4% | 29.5% | 16.8% | 55.4% | 27.8% | 15.1% |
| 中学2年 | 45.1% | 31.3% | 21.4% | 50.6% | 29.5% | 18.0% |
| 中学3年 | 49.5% | 31.1% | 17.1% | 59.6% | 26.1% | 12.4% |

注) その他・無回答をあわせると100%になる。

そして、授業に関する理解度に関しても、中学生では「よくわかる」「だいたいわかる」という回答が4~10%の向上したことが明らかになった。この傾向自体は喜ぶべきことであり、前出のペーパーテストの結果同様、現行の学習指導要領のねらいが着実に実を結んでいるといえる。しかしながら、平成15年度から項目として取り入れられた、以下の表2-8 (国立教育政策研究所、2005b:19) のように自分の考えや行ったことを他者に論証するという科学の面白さに繋がる意識は、特に中学生において改善の余地があることも事実である。

表2-8 「理科の時間に、自分の考えや調べたことを発表するのは楽しいですか」に関する回答の割合

| | 平成15 (2003) 年度 | | |
|------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| | 「楽しい」 「どちらかといえ ば楽しい」 | 「どちらかといえ ば楽しくない」 「楽しくない」 | その他 無回答 |
| 小学5年 | 61.4% | 37.4% | 1.2% |
| 小学6年 | 51.8% | 47.3% | 0.9% |
| 中学1年 | 40.0% | 59.1% | 0.9% |
| 中学2年 | 34.5% | 64.6% | 0.9% |
| 中学3年 | 36.8% | 62.5% | 0.7% |

2.1.2. 国際教育到達度評価学会 (IEA) の調査が示すわが国の子どもの理科学習の現状

前項の文部科学省による教育課程実施状況調査は、国内のカリキュラムの実施状況を把握するための調査であった。この教育課程実施状況調査と同様に、理科の学校教育におけるカリキュラムの実施状況を国際的に比較している調査の一つに国際教育到達度評価学会 (IEA) が行う国際数学・理科教育調査がある。本項では、この国際数学・理科教育調査が示すわが国の子どもの理科学習の現状について明らかにしていく。

国際教育到達度評価学会 (以下、IEAと記す) とは、1960年 (昭和35年) 設立の非営利の国際学術団体で、現在では55の国や地域が参加するユネスコの協力機関である。この文化的にも社会的にも、そして経済的背景についても異なる国々の間で実証的な比較研究を行うために、1964年 (昭和39年) の第1回数学調査から現在までにそれぞれ5回 (内、追調査1回) の数学教育と理科教育の国際

的な調査を行っている（国立教育政策研究所、2001）。

IEAの調査のねらいは、教育到達度と教育諸要因の関連の明確化が図ることではあるが、この調査の結果が参加国の教育政策にも少なからず影響を与えている。調査の結果、日本の小学校・中学校の子どもの成績は以下の表2-9（文部科学省、2001；2005:37,105）のように示されている。

表2-9 国際数学・理科教育調査 理科の成績

| 実施年度（回数） | 小学校順位／参加国 | 中学校順位／参加国 |
|------------------------|-----------|-----------|
| 昭和45年（1970年、第1回） | 1位／16カ国 | 1位／18カ国 |
| 昭和58年（1983年、第2回） | 1位／19カ国 | 2位／26カ国 |
| 平成7年（1995年、第3回） | 2位／26カ国 | 3位／41カ国 |
| 平成11年（1999年、第3回追調査） | 実施せず | 4位／38カ国 |
| 平成15年（2003年、TIMSS2003） | 3位／25カ国 | 6位／46カ国 |

注）小学校については、第1回調査（昭和45年）と第2回調査（昭和58年）については5年生、第3回調査（平成7年）については4年生の成績。中学校については2年生の成績。

上記の調査結果から文部科学省は、第3回調査（追調査を含む）までの児童・生徒の成績は国際的にトップクラスで全体として概ね良好であり、また、同一問題の正答率については経年比較しても低下傾向はみられないと結論付けていた。しかしながら、第3回調査以降の日本の順位は低下傾向にあることも事実である。そこで、平成7年（1995年）実施の第3回国際数学・理科教育調査（TIMSS：Third International Mathematics and Science Study）と平成11年実施の追調査（TIMSS-R）、そして平成15年実施の国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2003：Trends in International Mathematics and Science Study 2003）の3つの調査について、小学校理科と中学校理科の現状を以下に述べていくこととする。

実際に出题された問題から小学校理科を例に挙げ述べていくと、出题内容の領域と問題数は表2-10に示す通りである（文部科学省、2005:38,105）。表2-10からも明らかのようにTIMSSの問題は、選択肢形式や語句や数値を求めるなどの求答形式のようなものだけではなく、理由や考え方を記述させる論述問題（自由記述）も含まれている。そして、このTIMSSは知識だけでなく、質問紙調査を用いて児童の理科の勉強の楽しさについても調査している。

これらの点では、前出の教育課程実施状況調査とほぼ同様なのだが、当然、このTIMSSではその結果を他の国と比較することができる点で子どもの学習状況が国際的な比較においてどのようなものであるかを理解することが可能である。TIMSSの質問紙調査について、その調査結果をまとめたものが表2-11である（文部科学省、2005:46）。日本の児童の「理科の勉強は楽しい」という割合（「強くそう思う」と「そう思う」の合計）は国際平均値とほぼ同じであり、平成7（1995）年の調査においては理科が好きな児童ほど理科の得点も高い傾向にあった。そして、この傾向は調査を実施したほとんどの国で当てはまっていた。

しかしながら、中学生に行った同様の意識調査では、表2-12のように「理科の勉強は楽しい」という割合は小学生より2～3割も減り、それだけでなく、その他の項目においても国際平均値を大きく下回っていた（文部科学省、2005:114-116）。

表 2-10 TIMSS における出題内容の領域ごとの比較

| | TIMSS(1995) | | | TIMSS2003 | | |
|----------------|-------------|------|------|-----------|------|------|
| | 全問題数 | 出題形式 | | 全問題数 | 出題形式 | |
| | | 選択肢 | 自由記述 | | 選択肢 | 自由記述 |
| 物理・化学 | 30 | 23 | 7 | 53 | 29 | 24 |
| 生 物 | 41 | 33 | 8 | 65 | 41 | 24 |
| 地 学 | 17 | 13 | 4 | 34 | 21 | 13 |
| 環境問題と 科学の本質 | 9 | 5 | 4 | — | — | — |
| 合 計 | 97 | 74 | 23 | 152 | 91 | 61 |

注1) TIMSS2003の全問題152題のうち、2題は分析対象外。

注2) 同一問題もある(物理・化学9題、生物12題、地学11題)。

注3) TIMSS2003では、環境問題と科学の本質に関する出題はなかった。

表2-11 TIMSSにおける質問紙調査「理科の勉強の楽しい」の比較(日本)

| 理科の勉強は楽しい | TIMSS (1995) | | TIMSS2003 | |
|----------------------|--------------|------|-----------|------|
| | 割合 | 国際平均 | 割合 | 国際平均 |
| 「強くそう思う」 | 38% | 44% | 45% | 55% |
| 「そう思う」 | 50% | 39% | 36% | 27% |
| 「そう思わない」「まったくそう思わない」 | 12% | 17% | 19% | 18% |

注) 小学校4年生の児童に実施

表 2-12 中学生の理科に関する意識調査(日本)

| 「強くそう思う」「そう思う」 | TIMSS(1995) | TIMSS-R(1999) | TIMSS2003 |
|-----------------------|-------------|---------------|-----------|
| 理科が好き・大好き | 56%(73%) | 55%(79%) | —(注2) |
| 理科の勉強は楽しい | 53%(73%) | 50%(79%) | 59%(77%) |
| 希望の職業に就くために理科でよい成績をとる | 39%(62%) | 42%(69%) | 39%(66%) |
| 生活の中で大切 | 48%(79%) | 39%(82%) | 53%(84%) |

注1) 表中の—は公表されていない値。

注2) 理科が好き・大好き項目は、TIMSS-RとTIMSS2003では理科の学習への積極性の一部として扱われ、公表されている。

注3) 中学2年生の生徒に実施。

TIMSS(1995)における中学生の理科の成績は、小学生同様トップレベルにあり、小学生に見られた関心・意欲・態度と知識・技能の一致とかけ離れた結果を示している。この結果が「理科嫌い・理科離れ」という中学校・高等学校で問題視されている子どもの現状を示す指標の一つとして用いられ、現行の学習指導要領での学力観の変容を促す一つの要因となったことは確かである。しかしながら、子どもの理科に対する関心は復調傾向にあるにも関わらず、調査の結果が低下したTIMSS2003の結果も真摯に受け止める必要がある。

ここで問題となるのは、学習指導要領における理科の学習内容の削減に起因する問題ではなく、我が国の義務教育課程における指導の在り方についての問題である。つまり、従来の学力観において重要視された、あらかじめ用意された探究の過程におけるその時々の知識と結果を身に付けさせる、という指導の在り方だけでは、子どもの学力の伸長を図ることがもはやできないことを示している。

2.1.3. 経済協力開発機構 (OECD)による学習到達度調査 (PISA)が示すわが国の子どもの理科学習の現状

さらにもう一つ、日本の子どもの学習状況を示す指標として近年注目を集めている調査結果について述べていくこととする。この調査とは経済協力開発機構 (以下OECDと記す) が実施している「学習到達度調査 (Programme for International Student Assessment、以下PISAと記す)」であり、この調査結果も子どもの現状の把握に用いられるだけでなく、国の教育政策に大きな影響力をもたらしている。まず、このOECDのPISAの実施概要から前出の二つの調査と比較して、どのような評価特性を持つ調査なのかを明らかにしていく。

OECDのPISAは、社会・経済活動に完全に参画し、生涯にわたる学習者となれるような知識や技能をどの程度身に付けているか、学校の教科で扱われているような一定の範囲の知識の習得を超えた部分まで含めて調査することを目的としている。つまり、義務教育を修了した生徒がそれぞれ身に付けている知識や経験の基に、この考えを積極的に活用し、自らの将来の生活に関係する課題への適応能力が調査されるのである。

この調査にはOECD加盟国だけでなく、2000年実施の第1回では非加盟国であるブラジル・リヒテンシュタイン・ラトビア・ロシアを含めた32カ国が参加し、2003年実施の第2回では非加盟国も含め41カ国・地域 (新たな参加国はスロバキア、トルコ、ウルグアイ、セルビア・モンテネグロ、タイ、インドネシア、チュニジア、地域としては香港、マカオ) が参加し、2006年調査ではさらに参加国・地域が増加し、59カ国・地域の参加が予定されている (国立教育政策研究所、2004:4-5)。

前出のIEAのTIMSSと同様に、PISAでも国際的な調査による比較可能な指標を開発することで、自国の教育システム・教育政策・教育実践などに生かす情報を得ることができる。PISAでは、具体的に表2-13にあるような三つの指標の開発を目的としている。表2-13の③が変化指標とあるように、このPISAは既に実施された2000年と2003年、これから行われる予定の2006年の三回 (3サイクル) にわたり調査が実施される (ただし、調査問題確定のための予備調査をそれぞれの調査の1年前に実施した、またはその予定である)。

表2-13 PISAにおける3つの指標

| |
|--|
| ① 生徒の知識・技能・能力に関する基礎指標 (Basic Indicators) |
| ② 知識・技能などが社会経済的・教育的要因などにどのように関係しているかに関する状況指標 (Contextual Indicators) |
| ③ 数回にわたる調査によって得られる変化指標 (Trend Indicators) |

PISAでは、世界的に多数の国で義務教育が修了する15歳児 (日本の場合は高校1年生) を調査対象として、読解力リテラシー (Reading Literacy)、数学的リテラシー (Mathematical Literacy)、科学的リテラシー (Scientific Literacy) の三分野についての評価を国際的に共同開発された問題により実

施し、学習到達度を明らかにすることとしている（ただし、2003年調査では、上記の主要三分野にとらわれない問題解決能力 (Problem Solving) についても新たな評価項目と併せて調査・分析した）。

上記調査内容の三分野のそれぞれは、三回の調査でそれぞれ1度ずつ重点的に調査することとなっており、科学的リテラシーの調査は2006年の調査において重点がおかれることとなっている（国立教育政策研究所、2004:6）。また、これまでのサイクルでは筆記用具とテスト用紙を用いた質問紙法により調査が実施されたが、今後はコンピューター等の活用も考えている。

PISAにおける調査は、生徒に対する質問紙や生徒の学習の背景を探る学校に対しての質問紙による評価のみを行うわけではなく、OECDが日常的に作成している教育システムの全般的な構造を説明する指標（人口統計的および経済的背景、具体的には教育経費・生徒数・教育の対費用効率・学校と教師の特性・授業の進め方・教育の労働市場での成果を示す指標）などを加味して分析を行い、評価するという前出の学習に関する調査の観点とは異なるOECDならではの評価特性を持っている（渡辺、2000）。

このPISAにおいて本論で述べていくのは、当然ながら科学的リテラシーの調査・分析内容である。OECDが教育の成果としての科学的リテラシーをどのように捉えているのかは、PISAにおける科学的リテラシーの定義をみることで明らかにされる。PISAにおける科学的リテラシーの定義とは、表2-14のように示されている（国立教育政策研究所、2004:14）。

表2-14 PISAにおける科学的リテラシーの定義と問題で扱う諸側面

| 科学的リテラシーの定義 | | 自然界及び人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を利用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力 |
|-------------|---|--|
| 問題で扱う3つの側面 | <内容> または <構成> content or structure | 科学的知識または概念 物理学、化学、生物学、地学、宇宙科学などの主要な分野から選択され、力と運動、生命の多様性、生理的変化などの多くのテーマから導かれる。 |
| | <プロセス> process | 科学的プロセス 証拠に基づいて習得し、解釈し、行動する能力を中心とし、次の3つのプロセスからなる。 i) 科学現象の描写、説明、予測 ii) 科学的調査の理解 iii) 科学的証拠と結論の解釈 |
| | <状況> contexts | 科学的状況または文脈 生活と健康、地球と環境、技術について、日常生活における異なる状況で科学を用いること。 |

理科学習における科学的リテラシーの育成については、1960年代から目標とされ、その意味内容は変遷してきており、その詳細については4.で述べていくつもりではあるが、現時点では表2-14の内容が科学的リテラシーについての明確な定義の一つであることには相違ない。

このPISAで評価する科学的リテラシーとはどのようなことかを具体的に考えるために、PISAの調査問題で扱う諸側面とその出題例としてPISA2000で出題された「オゾン」の問題からPISAにおける出題の特徴について明らかにしていく。

PISA2000のオゾンの問題（国立教育政策研究所、2002b）は、文章中の内容を解釈し、自身でオゾンについて考えることを促している。具体的に問1の出題の意図は、表2-14の諸側面におけ

る<内容>が化学的・物理的变化、<プロセス>が情報の伝達、<状況>が地球と環境という三つの側面、つまり自身が持っている化学反応に関する概念を生かし、オゾンの生成を他者に説明する問題である。

同様に、問2は雲の生成の視点から未知のオゾンを同定する問題、問3は紫外線と病気という身近な話題についての問題であり、問4は科学としての成立の可否を問う問題というように表2-14の内容が網羅されている。このような義務教育課程で学習する内容をベースにし、日常的な自然事象に関わる科学概念をその場で構成し、問題の解決を図る力がどの程度身についているのかを、表2-14の側面から明らかにすることがPISAにおける問題の大きな特徴といえる。

PISAの最近の調査であるPISA2003の分析結果が2004年12月にまとめられたので、そこから明らかになった子どもの理科学習の現状について述べていく。以下の表2-15は、過去2回のPISAにおける科学的リテラシー平均得点の上位10カ国を示した表である（国立教育政策研究所、2004:182）。

表2-15 PISAにおける科学的リテラシー平均得点の上位10カ国

| 順位 | 第1回（2000年）調査 | | 第2回（2003年）調査 | |
|----|--------------|-----|--------------|-----|
| | 国名 | 得点 | 国名 | 得点 |
| 1 | 韓国 | 552 | フィンランド | 548 |
| 2 | 日本 | 550 | 日本 | 548 |
| 3 | フィンランド | 538 | 香港 | 539 |
| 4 | イギリス | 532 | 韓国 | 538 |
| 5 | カナダ | 529 | リヒュテンシュタイン | 525 |
| 6 | ニュージーランド | 528 | オーストラリア | 525 |
| 7 | オーストラリア | 528 | マカオ* | 525 |
| 8 | オーストラリア | 519 | オランダ | 524 |
| 9 | アイルランド | 513 | チェコ | 523 |
| 10 | スウェーデン | 512 | ニュージーランド | 521 |

注1) 表中の得点は、OECD加盟国の平均値を500点、標準偏差が100点になるように換算したときの値

注2) 2000年調査ではオランダが、また、2003年調査ではイギリスが国際的な実施基準を満たさなかったため、分析対象から除外されている。

注3) 国名に*印のある国（地域）は、2003年から参加

注4) 香港は2001年に行われたPISAプラス調査に参加

表2-15からも明らかなように、日本は2000年と2003年のどちら調査でも第2位の成績を残している。しかし、この得点とは表の注1にあるような換算値であり、統計的な有意差等を加味すると、過去2回の調査では1位グループを形成していたと考えることが可能である（PISA2000の1位グループは韓国・日本、PISA2003の1位グループはフィンランド・日本・香港・韓国）。

また、2000年調査と2003年調査の間には統計的な有意差はなく、上位25%以上に位置する生徒の平均得点が最も高く、下位25%以下の生徒の成績も参加国・地域中3位以上の成績を残しており、これらのことから、文部科学省では知識や技能を実生活で活用する力は国際的に上位にあるとしている（文部科学省、2001；国立教育政策研究所、2004:182-185）。

しかしながら、PISA2000の「オゾン」の問題のような論述形式の問題では、「完全正答の割合が高く、誤答の割合が低く、無回答の割合が高い」という結果も示され、この結果は平成13年度に実施された教育課程実施状況調査においても同様の結果が示されていた（文部科学省、2005:23）。こ

ここで、焦点化される日本の子どもの理科学習の現状とは、知り得ている知識や技能を活用する能力は長けているが、新奇の現象に対してこれを課題として解決へ取り組む子どもの割合が、国際的な基準から考えると低いということである。

また、同時に行われた質問紙調査の調査項目より、日本の子どもは宿題や自分の勉強をする時間は、参加国中最低であった2000年調査から2003年調査においては多少の改善はみられたが、OECD平均に満たないという点も、現状を表す一つの指標として捉えておく必要がある。

2.1.4. わが国の子どもの理科学習の現状

前出の三つの国内外の調査は、調査対象や時期、評価の視点こそ異なるが、その時々の子どもの学習の状況を明らかにしたという点において、どれも同じである。そこで、この調査結果に基づき、わが国の子どもの理科学習の現状について考察することとする。

教育課程実施状況調査からは、小学校では約8割の児童が、中学校でも1年生の約6割、2・3年生の7割弱の生徒が学習指導要領の求める学力を身につけていることが明らかになった。特に、中学校の1・2年生のペーパーテストの成績は前回調査と比べ平成15年度調査では飛躍的に向上した。そして、理科に関する意識調査でも、理科の勉強が好きだと回答する中学生の割合が増え、それに伴って授業の理解度についてどの学年においても「わかる」と答えた生徒が半数以上に増加したことも明らかになった（小学生では、どちらもの数値も6割強～7割弱の間で安定している）。しかしながら、自分の考え等を論証していくことについては、学年が上がるにつれて「楽しい」と感じる数が少なくなることも問題点として明らかになった。

また、理科の学習内容の国際比較を可能にしたTIMSSでは、国際平均値に比べれば日本の平均得点は高いものの、小学生では1995年の調査から順位と平均得点が共に下がり、中学生でも平均得点はあまり変化していないが、順位は徐々に下がっている。もちろん、この順位の低下の問題も無視できない要素だが、このTIMSSにより明らかにされる問題点とは、上述の教育課程実施状況調査において中学生の理科に関する意識調査において若干の復調傾向にあった、理科の勉強が「楽しい」・「将来のために必要」「生活で大切」という意識が国際平均値を大きく下回ることを考えることができる。

そして、上記TIMSSの調査結果は科学的リテラシーを評価するPISAにおける分析結果にも通じる。PISAにおいて、調査結果は、前出の通り、知識や技能を実生活で活用する力は国際的に上位にあることを示している。しかし、その知識や技能とは既に知り得ている場合に関してのことであり、新たな課題に取り組む態度や意欲は国際的な基準から考えると低いということも明らかにされている。

これまでの理科学習とは、端的に言えば、探究の過程重視であると考えられる。つまり、これまでの子どもの学習は、あらかじめ設定された方法によって目的を達成するという形で行われていた。子どもの学習の現状は、国際的な調査結果をみる限り、知識・技能を習得し、この知識・技能を実生活に生かす能力に関して諸外国に比べて優れている。しかし一方で、子どもにとって身近な学習の場である学校の授業の理解度に関する意識は、学年が上がるにつれ低下していることも示されている。

学校の授業の理解度に関わる子どもの意識について、学年が上がるにつれて学習の内容が深化し学習すべき内容も多岐にわたるので、授業における内容の理解が低下していると結論付けてはなら

ない。なぜならば、前出の平成15年度実施の教育課程実施調査の結果から、学習指導要領において身につけるべきと規定されている知識や技能は、中学生においても1・2年生では6割、3年生では7割の生徒が身につけていることが示されているからである。子どもの意識として、自分が学習している内容を理解している感じる、つまり自らが学習に対して主体的に取り組む姿勢により垣間見ることのできる「学ぶ意欲、思考力、判断力、表現力」、というような学習に不可欠な要素が、知識や技能とは別に必ずしも育っているとはいえないという現状が示されたと捉えるべきである。

上記の現状は、過去の調査からも明らかにされていたので、この状況を危惧した文部省（現文部科学省）は平成10年12月に改訂し平成14年4月から実施されている学習指導要領において、児童・生徒の実態、教育課程実施の状況、社会の変化を踏まえつつ、「ゆとり」のなかで「特色ある教育」を展開し、生徒に「生きる力」を育成することを基本的なねらいとして示した（文部科学省、2001）。つまり、基盤である「ゆとりある教育活動を展開する中で、基礎・基本の確実な定着を図り、個性を生かす教育を充実すること」により、「自ら学び、自ら考える力を育成すること」の実現を目指したのである。

3. 義務教育課程を修了した子どもに求められている国際的な学力観

3.1. 理科において子どもに求められている国際的な学力観

義務教育課程における教育とは、どの国においても、その国における将来の市民となるのに不可欠な教養を身に付けさせることを目的として行われている。つまり、義務教育課程を修了した子どもの学習の実態を把握することは、その国の将来の市民像に一定の視点からの示唆を与えてくれる。前出のOECDのPISAはこのような考えの下に調査が行われていると考えてよい。

我が国においても、その国際的な流れをふまえて現行の学習指導要領は学力を規定している。国際的な流れとは、その表現からも明らかのように、それを明確に規定したある一つの学力観が存在しているわけではなく、様々な要因を総合した結果と考えることができる。しかしながら、本論では、その要因の一つであると考えられることのできるOECDの教育に対する考え方から、子どもに求められている国際的な学力観を捉えていくことにする。

PISAを行ったOECDとは、世界的視野に立って国際経済全般について協議することを目的とした機構であり、加盟30カ国は市場経済を基盤とした経済先進国である。現在では、国際社会・経済が多様化するに伴い、OECDは設立当初の目的の他に環境、資源エネルギー、農林水産、科学技術、教育、高齢化、年金・健康保険制度、といった経済・社会の広範な分野で積極的な活動を行っている。

このOECDでは次のような観点で、教育というものを捉えている。「教育の利益は個人と国の両方にもたらされる。個人にとって、教育は、一般的な生活の質の向上、持続的で満足できる雇用からの経済的利益につながる。国にとって教育は、経済成長、社会的結束を強化する共通の価値観の発展をもたらす。（筆者により語尾等の一部を変更した。）」（OECD、2005）

OECDの教育に関する価値観では、教育をある年齢の子どものみが享受するものではなく、生涯にわたってその恩恵を享受するものと捉えていることに特徴がある。前出のPISAは正しくこの理念に則り、生涯にわたり継続的に必要とされる、いわゆる学力を調査しているのである。このように考えると、理科における国際的な学力観の一つの方向性は、PISAにおいてどのように理科教育の成果を評価しているかを明らかにすることで得ることができる。

そこで、まずPISA2000において理科教育の成果として捉えられている科学的リテラシーの評価内容を挙げる。その評価内容とは、表3-1の通りである（渡辺、2000）。

表3-1 科学的リテラシーの評価内容

| |
|---|
| 1. 関連ある現象の理解に役立つようなリンクを構成することである科学的概念の発達 |
| 2. 証拠を獲得し、解釈し、それに基づいて行動する能力である科学的プロセスの発達（科学事象に対する概念の理解） |
| 3. 学校の教室や実験室での科学実習や科学者の研究からでなく、主として人々の日常生活における科学的な状況の把握 |

科学的リテラシーの評価内容からOECDの求める理科教育により獲得されるべき学力とは、日常的な状況下で起こりうる自然事象に対して、情報を獲得し、その情報を解釈して関連付けることで自然事象に対する概念を構成し、問題の解決を図る力がどの程度身についているかを判断しようとしている。ここで定義される科学的リテラシーの育成こそが、理科において子どもに求められている国際的な学力観の具体的な指標である。

OECDは世界のあらゆる国々が加盟してはいないことは前述の通りではあるが、今後の世界の人々が身に付けておくべき能力をOECDは方向付けようとしている。国際的に求められている理科教育の成果とは、学習者自身により自然事象を他者に論証する能力の到達度を高いレベルにすることといえる。つまり、自然事象に対する名称・用語を扱えるだけでなく、自然事象をどのように捉えるかについての過程をも、国際的には学力として求められているのである。

3.2. 科学的リテラシーとしての学力

2.で述べた国内の調査からも明らかなように、これまでの学力の尺度であった知識・技能だけでなく学習意欲や科学への関心なども学力の一つと捉えるようになってきている。これは、実際に「理科嫌い・理科離れ」といった問題が将来にどのような影響を及ぼすのかを考えなければならない時期を迎えたからであった。

そして、理科教育における成果とは、既習の学習内容を単に記憶していることでないことは、これまでの議論から明らかである。具体的には、我々が直面する地球環境、新奇の病気や代替エネルギー等の日常生活における問題を、これまでの知識や理解、そして技能などをふまえて、新たに解決方法を構築したり創造することが求められるのである。つまり、自然科学における知識の理解や技能の習得を包括し、さらに自然事象をどのように捉えるかについての過程での関心、意欲や表現力も加味した科学的リテラシーの熟達化が求められているのである。端的に言えば、これこそが義務教育課程で学ぶ子どもに求められている理科の学力の伸長であると措定できるのである。

しかしながら、この科学的リテラシーとは、科学における「読み書き能力」と言い換えても意味が通じないように、言葉が包含する範疇が多岐に渡るので明確な定義が存在しているとは言い難い。そこで、以下の4.では、科学的リテラシーの意味内容の変遷をふまえて、学力観としての科学的リテラシーについて精査していくこととする。

4. 学力観としての科学的リテラシーの意味内容

4.1 科学的リテラシーの意味内容の変遷

前出の科学的リテラシーという表現のもつ理念は、1950年代末期に米国の科学教育の研究者により提唱されたものである。そして、我が国において、米国における科学的リテラシーについての研究動向について紹介し、その育成を提言したのは鶴岡義彦であった。以下では、その1970年代末期の鶴岡の研究を初発として科学的リテラシーの意味内容について精査していく。

鶴岡の研究によれば、科学的リテラシーという表現は1957年に始めて類似する表現が現れ、1960年代後半以降では慣用句化し、1971年には科学教師の全米的組織であるNSTAが「科学的リテラシーの育成こそ科学教育の目的である。」と宣言するに至るほど浸透したと指摘している(鶴岡、1979)。

この科学的リテラシーの育成という科学教育における目標とは、Pella, M.O.やAgin, M.L.らにより、「すべての者に、市民としての豊かな資質の育成をめざす一般教育の一部として、科学の素養を与えること」を目的として提唱されたのがその出発点であると考えられることができる。そして、鶴岡はその後の科学的リテラシーに関する研究者の研究動向を総括して次のように述べている。

「*scientific literacy*」とは、一般教育の一部としての科学教育の目的であり、小学生は小学生なりに、中学生は中学生なりに望まれ、そして成長を伴って高まり、更に成人としてのふさわしさへ発達することが望まれる資質である(鶴岡、1979)。」つまり、子どもが置かれている環境に応じて持つことのできる、科学を理解する将来の市民となるための資質が科学的リテラシーということになるのである。

その科学的リテラシーの構成要素を調べるために、Pellaらは1946年から1964年までに発刊された豊かな市民的資質の育成をめざす科学教育について、100の文献のなかにみる著者の主張する科学的リテラシーの構成要素を探った。表4-1はその調査の結果から抽出された構成要素について、理科で体得すべき事項と説明を加えたものであり、図4-1はその各構成要素と科学的リテラシーの関係を示した図である(鶴岡、1979)。

表4-1や図4-1からも明らかなように、科学的リテラシーとは当初から知識・理解という狭義の概念を示すものではなく、その科学的な知識のもつ価値や社会・文化的側面との関連を通して身に付けておくべきものとして考えられていたことが明らかである。しかしながら、表4-1に示された構成要素をすべて含意した文献は調査当時ではなく、その多くが二要素または三要素を含むものであったことも確かである。

科学的リテラシーの育成という科学教育の目標は、プログラム学習に代表される1960年代の米国のカリキュラム改革運動と時期を同じくして提唱された。それにも関わらず、その初期の段階では、当時米国で支配的であった「優秀性を育てる」という教育の目標により、その構成要素である「科学と文化・社会」の関係を排除され、その育成を目指す科学教育が展開されることは少なかった。

その優秀性を育てなければならなかった所以も、この「科学と文化・社会」の要因によるものであることは明確である。そして、鶴岡は、もし「科学と文化・社会」の要因に目を向けていたとしても、科学教育が持つ問題の解決には至らなかったと述べている。つまり、科学的リテラシーは教育全体を考えたときに必要となる要素ということができるのである。

表4-1 科学教育の文献から抽出したscientific literacyの構成要素 (1946~1964年)

| 構成要素 | 説明 | 例 |
|-------|---|--|
| 概念的知識 | 科学を構成している主要な概念や概念体系あるいは観念 | <ul style="list-style-type: none"> 物質の粒子性。 物質を構成している諸単位は相互作用している。 |
| 科学の本性 | 「科学は一体何をやっているのか」についての事項で、科学の過程と関連する | <ul style="list-style-type: none"> 科学は真理の発見と、真実を虚偽から分離することに関わっている。 科学とは、理論の適用の拡大によって弱められた経験論である。 |
| 科学の倫理 | 科学のもつ価値基準と言うべきもので、科学研究の目的とか、通常「科学的態度」、「科学の精神」と呼ばれるものについての事項 | <ul style="list-style-type: none"> 純粋科学の目的は、現在であるか未来であるか、善であるか悪であるかにかかわりなく、物質界と生物界についての知識を増すことである。 科学者は万能の作用のうちに一貫性と斉一性を仮定する。すなわち、自然は気まぐれではない、と仮定する。 古い諸概念の批判的分析、新しくてよりすぐれた諸理論の追求、これらはすべて、一般化された概念論にもとづくのではなく証拠に基づくものである。 |
| 科学と人文 | 科学の文化的側面に関する事項 | <ul style="list-style-type: none"> 科学は、経済的、政治的、倫理的、文化的価値の感覚を変えてきた。科学は、人々の、彼ら自身や他者そして環境についての思考様式を変えてきた。この点に関する証拠は、文学、芸術、哲学、宗教等の内に見出すことができる。 |
| 科学と社会 | 科学と社会との相互関係についての事項 | <ul style="list-style-type: none"> 科学は社会と相互に作用しあい、技術的变化を伴うかあるいは伴わない社会的変化を生ぜしめる。 科学は迷信などの束縛から人間を解放してきた。 |
| 科学と技術 | 科学と技術との相互関係、特に両者の差異に関する事項 | <ul style="list-style-type: none"> 科学と技術とは、動機と価値基準において基本的に異なっている。 純粋科学はしばしば技術上有用な知識を生み出し、応用科学はしばしば概念体系を生み出す。 |

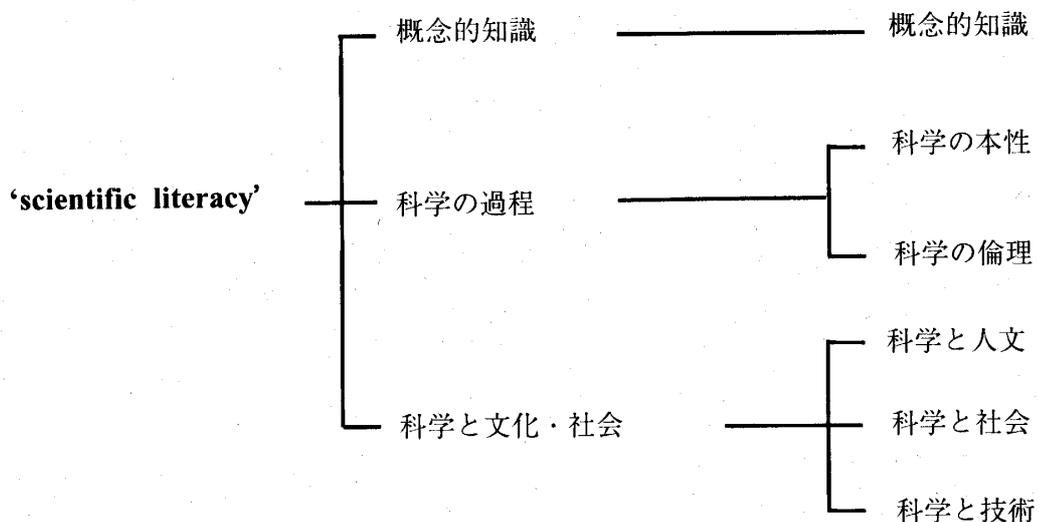


図4-1 鶴岡によるscientific literacyの構成要素

前出の通り、近年では科学的リテラシーというキーワードが国際的に再び注目を集めている。科学的リテラシーが重視される背景には、科学的リテラシーという言葉に「世界が指標とすべき理科教育の成果について考える」という意味が込められてきたからである。

表4-2は「理科教育の成果とは何か」という点に関する最近の考え方を示したものであるが(渡辺、2000)、この表4-2の1.~3.についての理解が一般に広まる必要があると考えられている。つまり、1.~3.についての理解を応用する能力や科学的・技術的な情報を受容し、その情報に評価を与える能力が必要であると考えられているのである。これらを踏まえて、前出のOECDのPISAは理科教育の主要な目標としての科学的リテラシーに焦点をあてているのである。

表4-2 「理科教育の成果とは何か」という点に関する最近の考え方

| |
|----------------------------------|
| 1. 科学の重要な諸概念や説明に用いる枠組み |
| 2. 科学がその知見に基づく主張を支えるために証拠を導き出す方法 |
| 3. 現実世界における科学の長所と限界 |

しかしながら、科学的リテラシーという言葉は、現在でも、その用いられるレベルで様々な意味で解釈されている。例えば、UNESCOが1993年に開催した国際フォーラム (International Forum on Scientific and Technological Literacy for All) においては、以下のような観点が示されている。「(科学的リテラシーとは) 理解と、ある程度の確信 (confidence) をうまく働かせる能力であって、ある意味では現実世界および科学的・技術的思考の世界で力を発揮するものである。」(UNESCO、1993)

このUNESCOのフォーラムにおける観点は、当初からの科学的リテラシーについて意味とある意味同じであると考えられることができる。つまり、用いられるレベルの違いにより科学的リテラシーのもつ意味は変化するのである。そのレベルとは「名称や用語などの知識」という最も低いレベルから「科学の性質のみならず文化的な歴史や役割についての知識」という高いレベルまで様々である(渡辺、2000)。

科学的リテラシーの意味内容とは、その構成要素からも明らかなように多様な要素を含むものである。また、これらの基本的な考え方はその育成が提唱された当初から劇的に変化したわけではない。科学的リテラシーとは、その言葉の用いられ方で変化することもあるが、当初からの考えである、科学を理解する将来の市民となるための資質として育成を目指すべきものである。

4.2. 科学的リテラシーの現代的な意味内容

前出の文部科学省の考える学力観やOECDのPISAにおける調査項目としての科学的リテラシーが明らかにしている通り、理科教育における科学的リテラシーの育成は、現代の子どもにとって必要な学力を示している。もちろん、その本質は上述の通り、その当初から変化していないと考えることができるが、近年の科学的リテラシーの育成を目指す根拠となったOECDのPISAの考える科学的リテラシーから、その現代的な意味を考えていくことが必要である。

OECDのPISAでは、前出の通り、調査項目である科学的リテラシーを以下のように定義していた。「科学的リテラシーとは、自然界および、人間の活動により自然界でおきる変化について理解し意思決定するために、科学的知識を使用し、疑問を明確化し、証拠に基づく結論を引き出す能力である。」(国立教育政策研究所、2004)

この定義は、次のような意味をもつものと考えられる。科学的リテラシーとは、「科学的知識を使用し」という一節からもわかるように、単に科学的な知識のこと示していないことは明らかである。そして、自然事象に対する「問い」の創造が自身でできることと、その「問い」の解決のための方略を考える能力があること、自己の解決の方略により結論を導き出せること、すなわち問題を解決するためのプロセスを適用できることが、科学的リテラシーの意味であると定義内容から考えることができる。

科学的リテラシーは当初から単に知識を表しているのではないので、ある (literate)、または、ない (illiterate) で捉えられることはできない。むしろ、熟達しているか否かということによって捉えられるべきものであった。科学的リテラシーに熟達しているとは、馴染みのうすい、またはより複雑な状況が設定されていても、子どもにおいて「問い」の解決が図れることを意味しているのである。

4.3. 現代理科教育の目標としての科学的リテラシーと類推的思考

現代の理科教育で目指す学力は、上述のように自然事象に対して他者に論証する能力の育成である。しかしながら、子どもは自然事象すべてを科学者が論証するように論理的に解釈し、説明できるわけではない。前出の鶴岡の主張の通り、小学生は小学生なりに、そして中学生は中学生なりに、そのことを論証していくのである。

では、その子どもなりの論証の方法にはどのようなものがあるか、また、学習者としての子どもはどのように自然事象に関する概念を獲得していくのか、ということを検討する必要性が生じる。理科に限らず授業において子どもは常に、新しい学習と向き合う。この新しさとは初めてという意味ではない。常に、子どもが既にもっている概念を更新するという意味で新しいのである。その概念の更新という認知構造の変換を促す認知的方略の一つに類推的思考 (analogy) がある。

一般的に類推的思考において、子どもの学習内容の理解が深化・拡大することがHolyoak, K.J.らの研究によって明らかにされている (ホリオーク・サガード、1998)。さらに、科学的リテラシーの現代的な目標に合致させる意味で類推的思考を学習に用いるには、学習の場における類推的思考を用いる動機付けや子どもなりの自由な表現を保障する必要がある。佐藤と森本は、類推的思考という認知的方略の成立の際の情意的な側面、いわゆる「温かい認知」を加味した類推的思考の構造を明らかにした (佐藤・森本、2004)。

このHolyoakらが指摘する類推的思考の基本的な概念と佐藤と森本が指摘した「温かい認知」を加味した類推的思考の構造について、以下の5. で述べていくことにする。

5. 理科学習方略としての類推的思考の意義と意味の精査

5.1 理科学習における類推的思考 (analogy) の果たす役割

5.1.1 HolyoakとThagardによる類推的思考の基本的概念

新たな課題に直面したとき人は、既知の範疇ある経験、物事や思考を用いて行動するときがある。それだけでなく、人とは異なる動物や物質の振る舞いを、人の置かれた環境や振る舞いに置き換えて考える、擬人化という思考により理解することも多い。このように、比較的なじみの薄い問題に対して、類似点を持っているなじみの深い問題から考える思考を類推的思考という。

Holyoakらによれば、類推的思考の利用には、通常いくつかの段階を含んでいるとし、それを以下のように説明している。「多くの場合、問題解決者はベースについての情報を記憶から想起すること

によってベースを選択し（選択）、ベースをターゲットに対応付けしてターゲットについての推論を行い（対応付け）、ターゲットに固有の側面を考慮するために、これらの推論の評価と修正を行い（評価）、最終的にはアナロジーの成功と失敗にもとづいて何らかのより一般的なことがらを学習する（学習）。」（ホリオーク・サガード、1998:27-28）

実際に、類推的思考を用いる際には類似性・構造・目的に関する多重制約を受けるが、これらの制約を相対的な重要度を変化させ、創造的に利用することで問題に対する理解を深化させることができるとしている。つまり、類推的思考が成立するためには、対象や概念の直接的な類似性がベースとターゲットの要素間には存在し（類似性の制約）、それだけではなくベース領域にある要素がターゲット領域にある要素に対して一対一で、かつ一貫性を持ち対応付けられること（構造の制約）と、その類推的思考を用いることで「理解が得られる」や「何かを達成する」という目的を満たす（目的の制約）ことが条件として必要になるのである。

また、Holyoakらは人間が持つ概念を形成し思考する能力についても次のように述べている。「この（概念を形成し思考する）能力の獲得は、知性の基本的かつ革命的な進歩だった。この進歩は二種類の異なる知識と深く関連している。それは、非明示的（implicit）知識と明示的（explicit）知識であり、つまり何事かに対して反応する能力とそれについて考える能力の違いである。（中略）アナロジー的思考に必要な抽象的な類似性を認識する能力は、操作したり互い比較することができるような明示的な表象を必要とする。明示的な知識によって、対象間の全体的な類似性に反応するだけの限界を突破し、対象のある性質や対象間の関係に選択的に注目するようになる。」（ホリオーク・サガード、1998:36-37）

上記の見解は、明示的な知識、つまり考える能力の伸長を類推的思考が可能にしてきたことを示している。非明示的な知識とは、上記にもある通り反応する能力で、繰り返し起こることで反応の時間を短くすることができる知識である。日常生活においてはこの非明示的な知識で対応できることも多い。しかしながら、学習に際しては、常に同じ反応を要求されるような場面に遭遇することは少ない。子どもの学習を考えるならば、彼らに与えられる状況は非明示的な知識だけで理解できないことが多いことは明らかである。

学習における明示的な知識としての類推的思考はその成立のために制約を受けるのではあるが、この制約とは「問い」の解決という学習動機とその解決のための論理である類似性や一貫性という学習に不可欠な要素を示している。つまり、類推的思考の成立が子どもの問題解決方法の一つの形を示している。

5.1.2. 類推的思考のモデル

子どもが新たな知識を獲得する際には、彼らが今まで持ち得ていた考え方とまったくかけ離れた視点でそれを獲得するという事は少ない。つまり、認知構造の変容を図る際には、その変容の過程が子どもにとって論理的な順序性をもたない限り、自分自身の知識とは成り得ないのである。その論理的な順序性のなかにおいて、類推的思考としての暗喩・隠喩（メタファー）などの「喩え」が重要な役割をもつことが近年示されてきた。

特に、前出のHolyoakらによって示されている通り、類推的思考は子どもにとっての論理的な順序なしには導入できず、その導入方法自体が学習の順序を示すものと考えられる。Holyoakらによる類推的思考（アナロジー）の導入の方法は、以下の表5-1に示す①～④の順序のようになる。

表5-1の①～④の関係を模式的に示すならば、図5-1のように表現することができる。基本的には、①と②、すなわち、ベースとターゲットとの適切な対応付けと、そこで生成される意味の吟味③、その結果としての学習④というように考えることができる。

表5-1 アナロジー導入の方法

| | |
|---|---|
| ①選 択 | 子どもが既に理解している領域(この領域をベースという)から喩えようとする対象(ターゲット)についての情報を選択。 |
| ②対 応 付 け | ベースとターゲットを対応付けし、ターゲット(子どもがこれから理解しようとする領域・対象)についての推論を行うこと。 |
| ③評 価 ・ 修 正 | 推論の評価(受け入れやすいか否かなど)及び修正。 |
| ④学 習 | アナロジーに基づく学習。 |
| ①～④については、①→②→③の順で行い、修正がなければ④へ、修正があれば①に戻り①→②→③と繰り返す。 | |

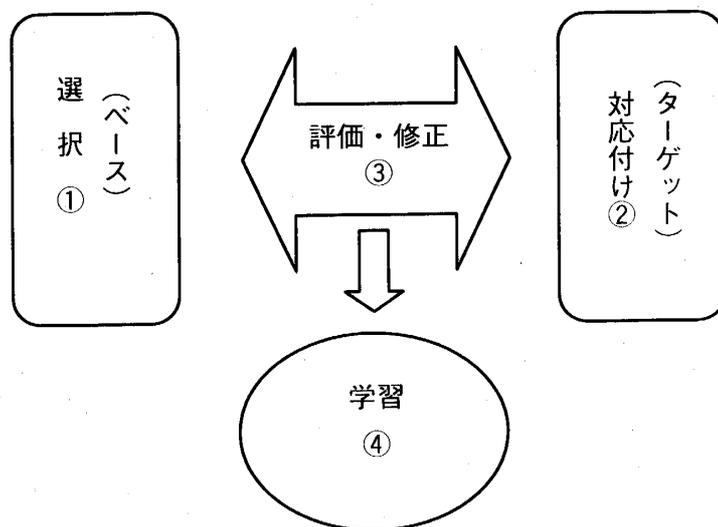


図5-1 Holyoak らの示すアナロジーモデルの模式図

この類推的思考のモデルは子どもの体験という彼ら自身が既に知識として持つ日常知と科学概念との結合の可能性について表している。ここで示した日常知とは必ずしも「正しい」知識や概念ということではなく、子どもにとって論理的に納得のいく理解が表出された形での知識であり、その日常知とこれから学ぼうとする概念のもつ論理との結合の可能性を示すものが類推的思考のモデルであると考えることができる。

もちろん、このモデルは子どもの体験から直接的に認知構造が容易に変換され、それを基に概念構築がなされるということを示しているのではない。図5-1における③評価・修正の過程こそが、子どもの体験と科学概念の結合の検証を果たすものと考えられる。そのことは、例えば、光の反射を子どもが「物体の衝突と似ている」という判断により内容の吟味がなされると考えるからである。言い換えれば、反証、確証、あるいはこうした活動への動機付けがなされることによりこの機能は充足される。

したがって、③評価・修正の過程の充足化こそが類推的思考のモデルの成立の鍵となると考えられるのである。また、この意味で、自然事象に関わり子どもをこうした活動へ駆動させる動機付け

の意味並びに支援の方法も併せて検討されなければならない。そこで本論では、後者について次節5.2.で検討する。

5.2 「温かい認知(warm cognition)」としての類推的思考の構造

図5-1の類推的思考のモデルにおける③評価・修正こそが学習者の能動的な情報の取捨選択の機能を具現化するものと考えるのであれば、その構成要素を分析することは必須である。なぜならば、そこに子どもを授業において支援すべき視点が内蔵されているからである。

佐藤と森本は、こうした視点から、いわゆる「温かい認知」としての類推的思考の構造を図5-2のように模式的に表した(佐藤・森本、2004)。ここには、コンピューター・アナロジー及びこれ以外の要素が示されている。換言すれば、認知活動における情意的な側面である「温かい認知」(Sorrentino、1990;海保博之、1999)としての類推的思考を示す由縁としての要素が示されている。

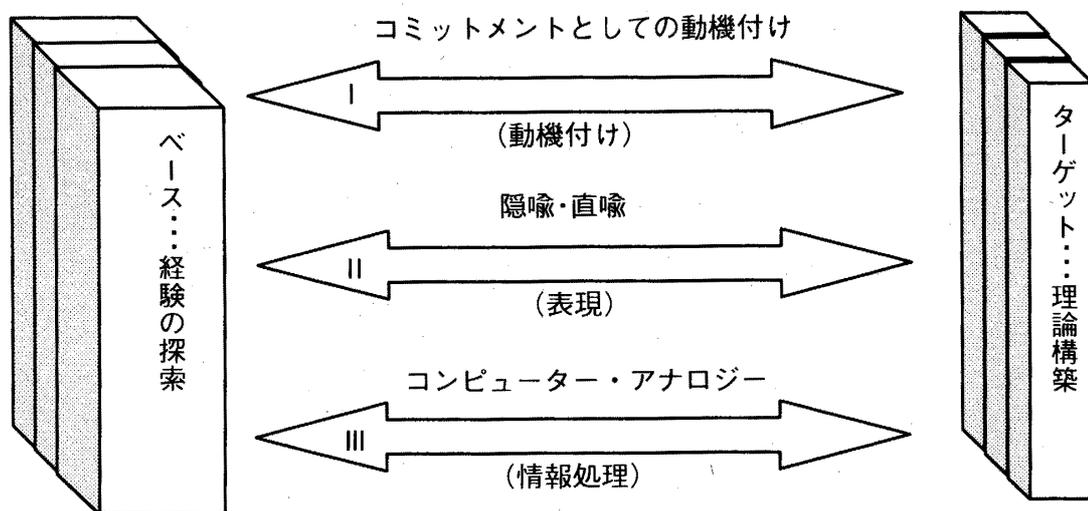


図5-2 「温かい認知」としての類推的思考の構造

すなわち、概念構築において、コミットメントという言葉で表されるような学習者のもつ事象に対する「こだわり」の部分や類似点の持つ「面白さ」を念頭に置いた動機付けは、子ども自身の学習行動を価値付けるために必要である。理科学習における自然事象に関わる類推的思考においても、このような動機付けがなされなければ、学習者が様々な経験を生かし、これを基に理論を構築しようとは考えない。

また、学習者に隠喩や直喩という方法を用いての表現の自由が確保されていなければ、類似点の範疇が狭くなり、ベースとターゲットとの対応付けとその評価・修正という学習を生かす論理を導き出す術が失われるのである。

結局、こうした動機付けや表現の自由が確保されている状況で、図5-1で表したHolyoakらが示すようなアナロジーの導入と展開が学習者自身によって行われるとき、自然事象を単に「喩えてみる」だけでなく、自然事象に対してより普遍的な学習が成立する可能性が生起するのである。

それでも、図5-2に示すように子どもが自然事象を捉えようとするときに、その類似点、つまり思考のベースとなるものは1つとは限らない。また、学習におけるターゲットに対してベースを用い

での理解を図れたとしても、理解したターゲットを踏まえた、新たなターゲットとなる事象が学習者の前に現れることとなる。このようにして考えると、ベースとターゲットの関係はベースからターゲットに向けてのベクトルをもつものではなく、双方向的な関係をもつものと考えることができる。

さらに、ある自然事象における学習が他の自然事象を考えるうえでのベースとなりうることから考えても、学習が進むにつれて、過去の学習自体が経験となって、ベース領域は拡大されていく。これに応じターゲット領域も当然拡大するはずである。すなわち、ベース領域とターゲット領域は、層を成すことで多様性が生まれ、類推的思考という思考形態の有用性が増すことになる。よって、図5-2が図5-1の機能を表現したものであることが示唆されるのである。

学習における情意面が、類推的思考に寄与する部分は大きいと言える。この情意面と知識の手続き化とでもいうべき情報処理的な認知活動によって、自然事象に対する理解の深化・拡大をもたらすと考えるとき、理科学習における類推的思考のもつ意味は明確になる。

類推的思考という認知的方略が理科学習に関わりどのような意義を持つかの科学史を振り返ることで、その意義の一端をさらに深化させることができる。Head, J.O.とSutton, C.R.によると、学習者の認知構造の発展過程を理解するために、より大きい注意が子どもの経験と表現に払われるべきであると主張している(Head&Sutton, 1985)。そして、この主張を支持する事例と根拠の主要部分を科学史から得られるとしている。つまり、科学史において「～として見る」という「喩え」(メタファーやアナロジーなど)が論理的飛躍に対して卓越した役割を果たし、新しい思考の発達の契機となるというのである。

これらの例証として、Headらは以下の表5-2のような例を示している(Head&Sutton, 1985)。この例のような科学概念の具象化は、現在では、個人の知的歴史(学習の経験)においても公的知識(本論の場合は科学概念)の成長において重要なものとして広く認められている。すなわち、子どもが新しい経験に出会う際には、常に自らの経験を変更する可能性と向き合うことであり、自らの考えを変えることは、単なるコンピューター・アナロジー的な認知活動を越えた活動になるのである。

表5-2 科学史における類推的思考の例

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 燃焼をフロギストン(phlogiston)の脱出としてみることで、暗に空気から何かを受け入れるという概念が導入された。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 熱量としてのcaloricは、熱することによって液体として物体に入り、物を温めると考えられた。転じて、物体が保持する熱量を示す概念となった。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 水力を示す“harnessing”(「馬具をつけること」、転じて「動力源として利用すること」)やエンジンの“horsepower”は、水力・エンジンを利用する以前の動物を利用した経験から概念が導き出されている。 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 電気の電荷(charge)、容量(capacity)、電流(current)といった科学における専門用語も前出の“harnessing”と“horsepower”と同様にメタファーの性質を失って、字義通りの意味になった。 |

子どもが自らの考えを変えるとき、当然ではあるが、子どもの学習の動機付けや価値意識を無視することは出来ない。そこで、類推的な思考に基づくベースを用意し、新しい経験(学習)であるターゲットをベースと関連させる必要が生じる。科学史にみる科学概念の構築過程はこのことを例証している。

こうして、公的知識の成長にせよ個人の知的歴史の構築にせよ、科学概念構築においてメタファ

一表現は、上述したHeadらが指摘するように個人の認知・情意・レトリックが融合したものであることが明らかである。つまり、科学的な概念を構築するための活動においては、「～として見る」という喩えの表現は学習者個々の情意的なこだわりの現れであり、類推的思考することで「温かい認知」としての新しい概念の構築がなされていると考えられるのである。

5.3 理科学習方略としての類推的思考

類推的思考に関する研究や温かい認知という認知の形態に関する研究は、自然事象についての学習に限定されるものでは必ずしもない。しかしながら、Holyoakらの研究においても、また、上述のHeadらの研究においても、類推的思考が自然科学の発展に多大な貢献をもたらしたことを例示している。つまり、自然事象についての理解を必要とするとき、類推的思考は認知構造の変換に際して論理的な飛躍をもたらすことは明らかである。

これらの研究の成果を子どもの理科学習について生かしたものが、佐藤と森本が示した「温かい認知」を加味した類推的思考である。なぜなら、自然に関する様々な事象を学ぶ子どもにとって、その学習対象である自然事象が身のまわりに存在し、その学習対象について日常経験や学習経験により子どもが既に何らかの概念を構築していることが多いからである。つまり、子どもが既に構築された概念をベースとして、ターゲットである学習対象を理解しようとすることは容易に想像がつくからである。

実際に、子どもがこれまでに保持している概念の更新、換言すれば認知構造の変換を行うことは容易なことではない。しかしながら、自然現象にはそれが生じる何らかの理由（原因）が存在していることも子どもは理解している。そのため、自然事象に関する理解を子ども自身が求めるとき、彼らは自分なりの解釈をする。子どものなかで想起される「問い」とは、その解釈に疑問が生じたときに生成される。そして、その問いの解決を図ろうとするときに、認知的な活動をサポートする認知的方略の一つが類推的思考なのである。

理科学習方略として類推的思考を用いることに関する意味は、類推的思考が子どもの科学的リテラシーの育成に大きな寄与をもたらすということに他ならない。科学的リテラシーの育成という学力観に呼応する自然事象に対する学習とは、単純な名称・用語のような記憶ではなく、その自然事象を学習者の価値観、既存の経験や概念等を包括した過程であった。こうした視点から科学概念を表現する能力を養うために、類推的思考のような論理の構築方法を学ぶ場の整備が必須なのである。

6. おわりに

国内外の学力に関する調査結果から、中等教育において理科学習に対する意欲や関心が、学年が上がるにつれて低下しているという実態が改めて示された。そして、理科の授業の理解度も同様の結果を示している。しかし、平成15年度の教育課程実施状況調査における質問紙調査の「理科の勉強で、実験や観察をすることが好きですか」という項目には、中学生でも約8割の生徒が「好きだ」「どちらかといえば好きだ」と回答している（国立教育政策研究所、2005b:22）。

実験や観察は、興味や関心のためだけに行うものではない。この子どもの好きな実験や観察により得た情報を基に自然事象の理解のための論理を構築することの楽しさが、意欲や関心、さらには理科の授業の理解度を高めることにつながるのである。

理科教育において形成を目指す学力としての科学的リテラシーの育成には、情報処理としての手

続きの知識にコミットメントとして現れる情意的視点が加味された類推的思考が、子どもなりの理解のための論理の構築に対し、ある一定の役割を果たすと考えることができる。つまり、学校における理科の授業場面において、類推的思考による学習も必要とされるのである。

しかしながら、理科教育で扱う自然事象すべてに類推的思考を用いることで理解が成立するということでは必ずしもない。本研究における類推的思考は、学習活動を持続させるための方略の一つとして捉えるべきものである。

引用・参考文献

本文中での文献の引用・参考は著者名、発行年次を（）内に記載した。また、同一著書・論文からの複数箇所の引用には年号の次に（：）を付しページ数を示した。ホームページからの引用については、下記の（）内にアドレスを記載することとする。

（欧文）

Head, J.O. & Sutton, C.R. 1985 *Language, Understanding, and Commitment in Cognitive Structure and Conceptual Change*. Academic Press, Inc. pp.91-100

Sorrentino, R.M 1990 *Handbook of Motivation and Cognition : Foundations of Social Behavior* Guilford Press
Published p8

UNESCO 1993 *International Forum on Scientific and Technological Literacy for All Final Report* UNESCO

（和文・翻訳書）

ホリオーク, K.J.・サガード, P. (鈴木宏昭・河原哲雄 監訳) 1998 「アナロジーの力～認知科学の新しい探求～」新曜社

海保博之 編 1998 「温かい認知」の心理学」新曜社 pp.2-6

国立教育政策研究所 編 2001 「数学教育・理科教育の国際比較」 ぎょうせい

国立教育政策研究所 編 2002b 「生きるための知識と技能」 ぎょうせい pp.193-144

国立教育政策研究所 編 2004 「生きるための知識と技能2」 ぎょうせい

佐藤寛之・森本信也 2004 「理科学習における類推的思考の意味と意義に関する考察」 理科教育学研究Vol145, No.2 日本理科教育学会 pp.29-36

鶴岡義彦 1979 「'Scientific Literacy'について～米国科学教育の動向に関する一考察～」教育学研究集録第2集 筑波大学教育研究科 pp.159-168

渡辺良 2000 「OECD生徒の学習到達度調査 (PISA) のフレームワーク」 国立教育研究所紀要第129集 pp.23-41

（インターネット・ホームページ）

OECD (東京センター) 2005 「教育」 (<http://www.oecd-tokyo.org/theme/edu/edu00.html>)

注) OECDのホームページの発行年次については、2005年現在で閲覧できるという意味で2005年とした。

国立教育政策研究所 2002a 「平成13年度小中学校教育課程実施状況調査の結果概要について」 (http://www.nier.go.jp/homepage/kyoutsuu/02_result/02_summary.pdf)

国立教育政策研究所 2005a 「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査結果の概要」 (http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/H15/03001000000007001.pdf)

国立教育政策研究所 2005b 「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査質問紙調査集計結果－理科－」
(http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/H15/03001040000007003.pdf)

文部科学省 2001 「新学習指導要領パンフレット（教師向け）」

(http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/020502.htm#1)

文部科学省 2005 「小学校理科・中学校理科・高等学校理科 指導資料－PISA2003（科学的リテラシー）及びTIMSS2003（理科）結果の分析と指導改善の方向－平成17年7月」

(http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku/siryo/05071301.htm)