

科学的思考力の育成に対するアーギュメントを取り入れた授業の効果

藤田剛志^{1)*}

高橋博代²⁾
藤澤隆次²⁾

鈴木啓督³⁾
河守 徹⁴⁾

金坂卓哉²⁾

¹⁾千葉大学教育学部

²⁾千葉大学教育学部附属中学校

³⁾千葉市立花園中学校

⁴⁾元千葉大学教育学部学部生, 藤枝市教育委員会

Effect of the Argument on Development of Scientific Thinking Ability

FUJITA Takeshi¹⁾

TAKAHASHI Hiroyo²⁾

SUZUKI Hiromasa³⁾

KANESAKA Takuya²⁾

FUJISAWA Takatsugu²⁾

KAWAMORI Tohru⁴⁾

¹⁾Faculty of Education, Chiba University

²⁾Attached Junior High School, Faculty of Education, Chiba University

³⁾Hanazono Junior High School, Chiba City

⁴⁾Former undergraduate student, Faculty of Education, Chiba University, Fujieda City Board of Education

PISA等の国際比較調査によって、中学生の科学的思考力には改善すべき課題があることが明らかにされた。たとえば、中学生はいわゆる正答を覚えることに集中し、なぜそれが正答であるのかを根拠に基づいて立証するといった科学的思考力の形成が不十分なことである。本研究は、近年注目されているアーギュメントに着目し、理科授業にアーギュメントを取り入れることによって、中学生の科学的思考力を向上させることができるかを実証することを目的とした。中学校3年生の「化学変化とイオン」の単元について、アーギュメントを取り入れた授業を行ったクラスと従来通りの授業を行ったクラスの科学的思考力を比較した。その結果、アーギュメントを取り入れた授業を受けた生徒の科学的思考力測定尺度の平均得点は、通常の授業を受けた生徒の平均得点よりも、統計的に有意に高かった。このことから、アーギュメントを取り入れた授業は、科学的思考力の育成に効果があることが実証された。

キーワード：科学的思考力 (Scientific Thinking Ability) アーギュメント (Argument) ワークシート (Work Sheet)
中学校 (Junior High School) 理科 (Science)

1. はじめに

筆者らは、教育学部と附属学校園の教員による連携研究の一つとして、科学的思考力の育成に関する研究を行ってきた⁽¹⁾。科学的思考力の育成は、PISA等の国際比較調査によって、我が国の中学生の科学的思考力には改善すべき課題があることが指摘されて以来、多くの研究授業で頻繁に取り上げられるようになった研究テーマである⁽²⁾。

本研究では、近年注目されているアーギュメントに着目した。理科授業にアーギュメントを取り入れることによって、根拠に基づいて科学的に思考する態度を育成することができるであろうと仮定し、科学的思考力を育成するための授業づくりについて実践的に考察することとした。具体的には、アーギュメントを取り入れた理科授業が科学的思考力の育成に効果があるかを実証することが本研究の目的である。

科学的思考力の育成は、理科教育の大きな研究テーマである。しかし、寺崎が指摘するように、「科学的思考

力に対するとらえが非常に曖昧」⁽³⁾である。思考と思考力の違いについても、なんとなくわかるが判然とはしない。

そこで、本稿では、まず科学的思考力とは何かを定義することにする。次に、アーギュメントとは何か、科学的思考力を育成するために、なぜアーギュメントに着目したかを述べる。そして、アーギュメントを取り入れた理科授業が科学的思考力の育成に効果があるかを実証した授業について記述する。

2. 科学的思考力とアーギュメント

(1) 科学的思考力

辞書を引くと、思考の項目には、考えることとある。この定義によれば、科学的思考力とは、科学的に考える力ということができる。しかし、この捉え方は単純すぎるようである。論理的思考、拡散的思考、分析的思考、帰納的思考、演繹的思考など、様々な種類の思考が知られているからである。

片平は、「思考については多くの議論があり、端的にまとめるのは難しい」と断りながら、思考を「物事に対

*連絡先著者：藤田剛志

して働きかける活動と、その結果として物事から受け取るものとの間に連続的な関係を見いだす働き」⁽⁴⁾と定義している。角屋によれば、思考とは、「ある目標の下に、子どもが既有経験をもとにして対象に働きかけ種々の情報を得、それらを既有の体系と意味づけたり、関係づけたりして、新しい意味の体系を創り出していくこと」⁽⁵⁾である。

これらの定義から、思考には働きかける対象があること、そして思考の種類によって対象にどのように働きかけるかが異なることが示唆される。科学的思考の場合、対象は自然の事物・現象ということになるだろう。どのように働きかけるかという、観察や実験を通してということになる。そして、このような働きかけを通して得られる自然の事物・現象に関する情報を既存の情報と関連づけたり、組み合わせたりすることによって、自然に関する新しいものの見方や考え方を生み出す知的な働きが科学的思考と捉えることができる。

このように、思考を定義しても、まだ科学的思考力がどのようなものか明確ではない。そこで、中学校学習指導要領解説理科編を読み直したところ、「科学的な見方や考え方を養うこと」が、次のように具体的に記載されていた。

観察、実験などから得られた事実を客観的にとらえ、科学的な知識や概念を用いて合理的に判断するとともに、多角的、総合的な見方を身に付け、日常生活や社会で活用できるようにすることである。とりわけ、自然環境の保全や科学技術の利用に関する問題などでは、人間が自然と調和しながら持続可能な社会をつくっていくため、身のまわりの事象から地球規模の環境までを視野に入れて、科学的な根拠に基づいて賢明な意思決定ができるような力を身に付ける必要がある⁽⁶⁾。

この記述を見て、思い浮かんだのが、PISAの科学的リテラシーの定義である。PISAは、2006年調査における科学的リテラシーを、「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」⁽⁷⁾と定義している。この定義は、上で見てきた科学的思考力についての記述とほぼ一致する。そこで、本研究では、科学的思考力とは、自然の事物・現象について、科学的な知識に基づいて疑問を認識し、科学的な証拠を用いて、事物・事象を説明することができる力と捉えることにした。

(2) アーギュメント

アーギュメント(argument)とは何か。泉によれば、アーギュメントとは「ある特定の問題の解決に関心の向けられた議論」⁽⁸⁾と定義されている。この定義だけでは、アーギュメントをイメージすることが難しい。そこで、次の具体的な例を挙げ⁽⁹⁾、アーギュメントとは何かを考えてみることにする。

マゼランらによって、地球は丸いことが実証されるまで、ほとんどの人は、大地は平らであると信じていた。だが、陸から沖に向かって遠ざかる帆船は、海水面の下

へ下へと、あたかも沈んでいくかのように見える。一方、陸に近づいてくるときには、マストから徐々にせりあがってくる。このような観察事実に基づき、大地は平らではないと考える者もいた。地球が平らであれば、帆船は次第に小さくなり、最後には見えなくなるはずである。地球の形状をめぐる議論が生じ、どちらの意見が正しいかの問題をめぐり議論が生じた。このような、「意見の不一致点をめぐる議論」⁽¹⁰⁾がアーギュメントである。

地球は丸い、いや平らだ、などと意見を主張し合うだけでも、アーギュメントと言うことはできるかもしれない。しかし、意見を主張するだけでは、どちらの意見がより優れているかを客観的に判断することはできない。各々の主張がどのような理由に基づくものであるか、主張の根拠が示されることによって初めて、それぞれの主張の良し悪しを判断することが可能になる。意見を主張するだけでは、意見の不一致の解決に至るアーギュメントは成り立たない。この意味で、アーギュメントは、主張とその理由から構成される「一連の論理的な文章」⁽¹¹⁾とも定義される。上の地球は平らではないの例でいえば、次のようになる。

遠ざかる帆船は視界から沈み込むように消えていく(理由)。

したがって、

地球は平らではありえない(主張)。

本研究で用いる、アーギュメントは、「意見の不一致点をめぐる議論」というよりも、むしろ「一連の論理的な文章」を意味する。言い換えれば、「一つの結論に至る理由」⁽¹²⁾をアーギュメントと呼ぶことにする。

このようにアーギュメントをとらえると、科学的思考力を育成するためにアーギュメントに着目した理由が明らかになってくるだろう。科学的な知識や概念を用いて合理的に判断したり、科学的な根拠に基づいて賢明な意思決定をしたりすることが、アーギュメントといえるからである。もっとも、判断や意思決定のようなアーギュメントを行うプロセスは、アーギュメンテーションと呼ばれ、アーギュメントと区別されている⁽¹³⁾。科学が関連する諸問題について証拠に基づいて結論を導き出す力、すなわち科学的な思考力は、アーギュメンテーションとほぼ同じ意味を持つと考えられる。したがって、アーギュメントを取り入れた理科授業を実践すれば、科学的思考力が育成されることが考えられる。

3. 科学的思考力の育成効果

アーギュメントを取り入れた理科授業が科学的思考力の育成に効果があるかを、次の手順によって実証する。まず、アーギュメントを取り入れた理科授業を計画し、実践する。その後、アーギュメントを取り入れた授業を行った実験群と通常の授業を行った統制群に、PISAの調査問題を基に作成した科学的思考力測定問題に解答するよう求める。実験群と統制群の科学的思考力テストの成績に統計的な有意差が見られるかどうかによって、

アーギュメントを取り入れた理科授業が科学的思考力の育成に効果があるかを検証する。

(1) アーギュメントを取り入れた授業の実践

中学校3年生の「化学変化とイオン」の単元において、アーギュメントを取り入れた授業を実践した。授業は、C大学附属中学校3年生の2クラスで、同一の教員が、平成25年11月上旬から12月上旬にかけて行った。

授業では、泉の「アーギュメントの構成活動の促進をねらったワークシート」⁽¹⁴⁾を用いた。ワークシートは、単元「化学変化とイオン」のうち、「原子とイオンの構造」と「電池とイオン」について作成した。図1に「電池とイオン」の授業で用いたワークシートの一部を示す。

活発なアーギュメントを促すためのワークシートは、次の2点に留意して作成された。第一に、アーギュメン

トを構成する、自己の主張とその主張を裏付ける理由が何かを明確にさせることである。そのために、ワークシートには、次の定型文が示された。

私は……A（主張）……のように考えました。
なぜなら……B（理由）……だからです。

第二に、自己の主張と理由を意識しながら、グループで話し合う場が設けられていることである。「小グループの中で発言することの方がクラス全体のときよりも精神的負担が少ない」⁽¹⁵⁾からである。話し合いの場では、グループのメンバーを納得させるように話し合うよう心がけさせた。すなわち、単に自分の意見を主張するのではなく、そう主張する理由を明確にすることによって、根拠に基づく主張を展開するよう促した。

電池をつくって電極の変化について考えてみよう	
年 組 番 班 名 前	
1. うすい塩酸に銅板と亜鉛板を入れ、プロペラつきモーターでつなぐと、モーターが回転しました。しばらくモーターを回すと、+極の銅板では水素(H₂)が発生しました。この水素は何がもとになって発生したと考えられますか。また、そのように考えた理由を書いてください。 一方、-極の亜鉛板はしだいにぼろぼろになってきました。なぜ亜鉛板はぼろぼろになったのでしょうか。理由を説明してください。	【水素のもとになるものとして考えられるもの】 【理由】 【亜鉛板がぼろぼろになった理由】 2. 上のことについて、今度はグループで話し合ってみましょう。 グループで話すときには、次のように話してみましょう。 私は・・・(自分の予想)・・・だと思います。 なぜなら・・・(理由)・・・だからです。 【水素のもとになるものとして考えられるもの】 【理由】 【亜鉛板がぼろぼろになった理由】

図1 「電池とイオン」のワークシートの一部

ワークシートを活用したアーギュメントの授業実践において、授業を担当した教諭は、「なんでそうなの」、「どうしてそういうことが言えるの」という言葉を積極的に生徒に投げかけた。根拠に基づいた意見を主張することができるように生徒を指導した。

(2) アーギュメント効果の検証

① 目的

目的は、アーギュメントを取り入れた理科授業が科学的思考力の育成に効果があるかを検証することである。

② 被験者

被験者は、C大学附属中学校3年生4クラスの生徒

161名であった。上記のアーギュメントを取り入れた授業を実施した2クラスの生徒79名を実験群、教科書に沿って通常の授業を行った2クラスの生徒82名を統制群とした。実験群の授業はT先生、統制群の授業はS先生とF先生とがそれぞれ行った。

③ 科学的思考力測定尺度

PISAは、上述のように、2006年調査において、科学的リテラシーを、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、科学に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と定義した。この定義に基づき、科学的思考力測定尺度を構成した。すなわち、科学的思考力は、(a)科学的

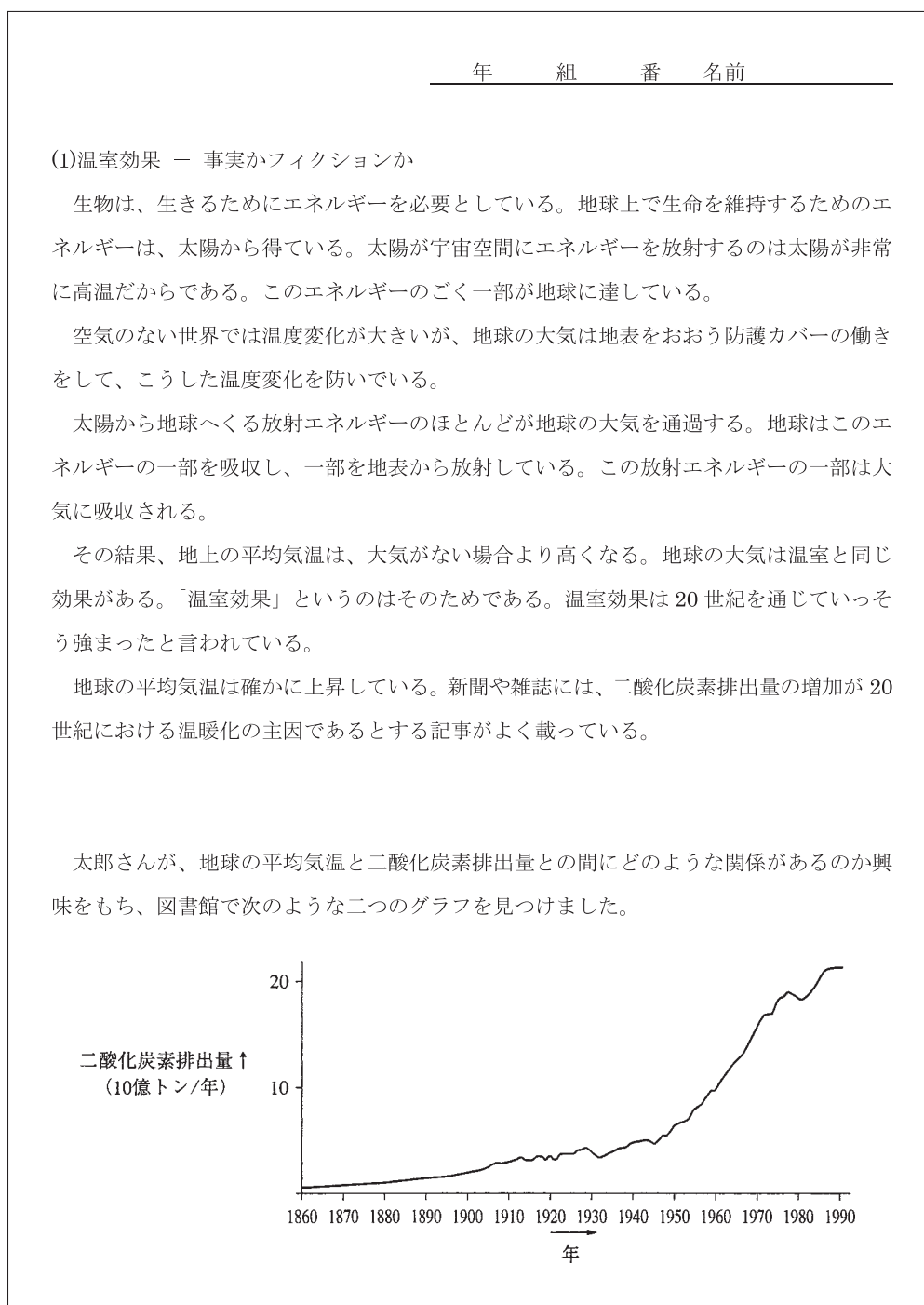


図2 科学的思考力の調査問題の一部

表 1 科学的思考力測定尺度の構成

疑問を認識する力		現象を説明する力		証拠を用いる力	
問題	配点	問題	配点	問題	配点
【ゼンメルワイス医師】問 2	1	【温室効果】問 3	1	【温室効果】問 1	1
【日焼け止め】問 1	1	【ゼンメルワイス医師】問 3	1	【温室効果】問 2	2
【日焼け止め】問 2	1	【ゼンメルワイス医師】問 4	1	【ゼンメルワイス医師】問 1	2
【酸性雨】問 1	2	【リップグロス】問 1	2		

な疑問を認識する力、(b)現象を科学的に説明する力、(c)科学的証拠を用いる力、の3つの下位尺度から構成される思考力とした。そこで、公開されているPISAの問題の中から、ゼンメルワイス医師⁽¹⁶⁾、リップグロス⁽¹⁷⁾、温室効果⁽¹⁸⁾、日焼け止め⁽¹⁹⁾、酸性雨⁽²⁰⁾の問題を抽出し、科学的思考力を測定する尺度とした。図2に温室効果の問題の一部を示しておく。

科学的思考力は、3つの下位尺度をそれぞれ5点満点とし、合計15点満点の尺度で測定される。PISAの問題と下位尺度の3つの力の配点を表1に示しておく。

(3) 結果

アーギュメントを取り入れた授業と通常の授業とで、科学的思考力の育成に違いが生じるかを検証するに当たり、実験群と統制群のクラスには少なくとも理科の学業成績について有意な差が見られないことを示しておく必要があるだろう。そこで、実験群と統制群の前期中間テストの得点について、平均得点を求め(表2)、t検定を行った。t検定の結果、実験群と統制群の平均得点には有意な差は見られなかった(両側検定: $t(171) = 0.20$, $p > .05$)。したがって、実験群と統制群の理科の学業成績には統計的に有意な差があるとは言えないことが示唆された。

表 2 中間テストの平均得点

	実験群	統制群
平均得点	66.35	65.82
標準偏差	17.86	16.74
人 数	85	88

表3は、科学的思考力の平均得点と標準偏差を実験群と統制群ごとに示したものである。実験群が11.58、統制群が9.37であった。これらの平均得点に有意な差が見られるかどうかを調べるためにt検定を行った。その結果、科学的思考力の平均得点には、1%の危険率で、統計的に有意な差を見出すことができた(両側検定: $t(159) = 4.07$, $p < .01$)。

表 3 科学的思考力の平均得点

	実験群	統制群
平均得点	11.58	9.37
標準偏差	2.67	4.06
人 数	79	82

この有意差が下位尺度として設定した3つの力、(a)科学的な疑問を認識する力、(b)現象を科学的に説明する力、(c)科学的証拠を用いる力、のいずれに起因するものであるかを調べるために、下位尺度ごとに実験群と統制群の平均得点を求めた。表4が(a)科学的な疑問を認識する力、表5が(b)現象を科学的に説明する力、表6が(c)科学的証拠を用いる力の平均得点と標準偏差を、実験群と統制群ごとに示したものである。いずれの下位尺度においても、実験群の平均得点は統制群の平均得点よりも高い値であった。これらの平均得点について、実験群と統制群とに有意な差が見られるかどうかを調べるためにt検定を行った。その結果、(a)科学的な疑問を認識する力($t(159) = 2.84$, $p < .01$)、(b)現象を科学的に説明する力($t(159) = 2.97$, $p < .01$)、そして(c)科学的証拠を用いる力($t(159) = 3.96$, $p < .01$)のいずれにおいても、1%の危険率で、統計的に有意な差を見出すことができた。

表 4 疑問を認識する力の平均得点

	実験群	統制群
平均得点	3.75	3.10
標準偏差	1.25	1.62
人 数	79	82

表 5 現象を説明する力の平均得点

	実験群	統制群
平均得点	3.85	3.27
標準偏差	1.00	1.43
人 数	79	82

表 6 証拠を用いる力の平均得点

	実験群	統制群
平均得点	3.99	3.12
標準偏差	1.16	1.57
人 数	79	82

前期中間テストの成績に関しては、実験群と統制群の平均得点について統計的に有意な差は見られなかった。しかし、科学的思考力の平均得点と科学的思考力を構成する3つの能力、すなわち科学的な疑問を認識する力、現象を科学的に説明する力、そして科学的証拠を用いる

力に関して、実験群と統制群の平均得点には、危険率1%で、有意差が見られた。平均得点は、すべて統制群よりも実験群のほうが高かった。このことから、アーギュメントを取り入れた授業が科学的思考力を育成するのに効果があったと考えられる。自己の主張を述べるときその根拠は何かを、他者の意見を聴くときどのような根拠に基づいて主張されているかを意識化させることによって、根拠に基づいて考える態度が形成されたと考えられる。理科授業にアーギュメントを取り入れることは、生徒の科学的思考力を育成するのに効果があるといえる。

4. おわりに

本研究の目的は、アーギュメントを取り入れた理科授業が科学的思考力の育成に効果があるかを実証することであった。「化学変化とイオン」の単元において、アーギュメントを取り入れた授業を実践した実験群と通常の授業を行った統制群について、科学的思考力を測定したところ、実験群の科学的思考力が、統制群よりも統計的に有意に高かった。

この結果は、正直、驚きであった。アーギュメントを取り入れた授業を展開すれば、科学的思考力が高まるであろうとは仮定していた。しかし、1単元の授業で2度、ワークシートを活用して生徒にアーギュメントさせただけで、本当に科学的思考力が向上するのか、半信半疑であった。もしかしたら、科学的思考力に有意な差は見られないかもしれないと予想していたからである。

アーギュメントを取り入れた授業を受けた生徒と通常の授業を受けた生徒の科学的思考力の平均得点の差はなぜ生じたのか。もちろん、アーギュメントの有無といえるだろう。しかし、アーギュメントの何がこのような違いをもたらしたのであろうか。この問いに対して思い浮かべたのが、カール・セーガンの懐疑する精神である。幼稚園児や小学生は、好奇心にあふれ何でも知りたがる。鋭い質問が次々と飛び出してくるし、納得するまで質問を止めようとしない。ところが、高校生になると状況は一変する。「彼らは『事実だとされていること』を丸暗記する。だが、発見の喜び、すなわち、事実の背後にあってそれに命を与えているものは、そこから抜け落ちているのだ。不思議さに驚嘆する感性はほとんど失っているのに、その一方で、懐疑精神はまるで身につけていない。『くだらない』質問をすることを恐れ、不十分な説明を平気で受け入れる。説明が分からなくても、それ以上質問しようとしなさい」⁽²¹⁾、のである。

大量の正しい知識を短時間で習得させようとする授業では、なぜその知識が正しいのか、なぜ自分の考えでは間違いなのかを問うことは難しい。しかし、アーギュメントを取り入れた授業では、くだらないと思われてしまう質問をする機会が与えられ、説明がわからないときには、納得できるまで説明を求めることができたと考えられる。このことが、科学的思考力の育成に効果を及ぼしたかもしれない。アーギュメントによって、科学的思考力がなぜ向上するのかについては、今後の研究課題としたい。

註

- (1) 高橋博代・鈴木啓督・井上創・金坂卓哉・藤田剛志, 「表現」に着目した指導による科学的思考力の育成, 理科の教育, Vol. 60, No705, pp. 23-32, 東洋館出版社, 2011.
- (2) たとえば, 越野昭三・桜井昭・末谷健志・野上朋子・屋敷増弘・矢野幸洋, PISA型科学的思考力育成をめざした理科カリキュラムづくり, 奈良女子大学附属中等教育学校研究紀要, Vol. 48, pp. 73-78, 2007.
- (3) 寺崎正人, 科学的思考力の効果的な指導の在り方, 理科の教育, Vol. 59, No693, pp. 13-16, 東洋館出版社, 2010.
- (4) 片平克弘, 科学的な言語能力育成の意義と課題, 理科の教育, Vol. 58, No685, p. 5, 東洋館出版社, 2009.
- (5) 角屋重樹, 新しい理科学習指導構成のポイント, 理科の教育, Vol. 59, No689, p. 45, 東洋館出版社, 2010.
- (6) 文部科学省, 中学校学習指導要領解説理科編, p. 19, 大日本図書株式会社, 2008.
- (7) 国立教育政策研究所(編), 生きるための知識と技能3: OECD生徒の学習到達度調査(PISA)2006年調査国際結果報告書, p. 34, ぎょうせい, 2007.
- (8) 泉直志, 中学校理科教育におけるアーギュメントの構成活動促進を指向した教材開発—「水溶液とイオン」の授業を事例として—, 科学教育研究, Vol. 37, No2, p. 184, 2013.
- (9) John Butterworth & Geoff Thwaites, Thinking Skill, p. 10, Cambridge University Press, 2005.
- (10) ギャラット, J.・オヴァートン, T.・スレルフォール, T.(著), 山崎昶(訳), 化学するアタマ 論理的思考力を鍛える本, p. 2, 化学同人, 2002.
- (11) 同上, p. 2.
- (12) John Butterworth & Geoff Thwaites, T., *op. cit.*, p. 7.
- (13) 泉直志, 理科教育におけるアーギュメント導入のための教授方略—IDEASプロジェクトに焦点をあてて—, 理科教育学研究, Vol. 52, No2, p. 20, 2011.
- (14) 泉直志, 前掲書, p. 186, 2013.
- (15) 泉直志, 前掲書, p. 14, 2011.
- (16) 国立教育政策研究所(編), 生きるための知識と技能: OECD生徒の学習到達度調査(PISA)2000年調査国際結果報告書, pp. 143-149, ぎょうせい, 2001.
- (17) 国立教育政策研究所(監訳), PISA2006年調査 評価の枠組み: OECD生徒の学習到達度調査, pp. 145-147, ぎょうせい, 2007.
- (18) 国立教育政策研究所(編), 前掲書, pp. 88-95, 2007.
- (19) 同上, pp. 103-108.
- (20) 同上, pp. 116-122.
- (21) カール・セーガン(青木薫訳), 人はなぜエセ科学に騙されるか(下), p. 191, 新潮文庫, 2000.