

誤概念の支持のしにくさと論理的思考力の関係

阪本司毅

(奈良教育大学大学院 教科教育専攻 理科教育専修)

中村元彦

(奈良教育大学 理科教育講座 (物質科学))

Relationship between the Difficulty of Tendency that Supports a Misconception and Logical Thinking

誤概念の支持のしにくさと論理的思考力の関係

阪本司毅

(奈良教育大学大学院 教科教育専攻 理科教育専修)

中村元彦

(奈良教育大学 理科教育講座(物質科学))

Relationship between the Difficulty of Tendency that Supports a Misconception and Logical Thinking

Tsukasa SAKAMOTO

(Nara University of Education)

Motohiko NAKAMURA

(Department of Science Education, Nara University of Education)

要旨:本研究は、学習者の誤概念の支持のしにくさと論理的思考力の関係を明らかにすること、さらに科学的概念の受容のためにはどのような論理的思考力が関係するかを明らかにするために行った。誤概念テストと論理的思考力テストを実施した結果から以下のことが示唆できた。

1. 学習者の誤概念の支持のしにくさと論理的思考力には直接的な因果関係がある
2. 科学的概念の受容には、矛盾のない答えを導き出す力や自身の考えを整理し論理的にまとめる力が効果的である。これらの知見を踏まえ、学習者の矛盾のない答えを導き出す力や自身の考えを整理し論理的にまとめる力といった論理的思考力を考慮した授業が科学的概念の受容には効果的であると考えられる。

キーワード: 誤概念 misconception 論理的思考力 logical thinking 科学的概念 science conception

1. はじめに

学習者の科学的概念獲得を困難なものとする原因の1つとして、誤概念(ミス・コンセプション)がある。誤概念には2通りの意味がある。1つは、文字通り「誤った理解」で、学校で習うべき考えに対する誤解であって、修正されるべき認識という意味合いが強い。もう1つは、構成主義的学習論を背景とした「子どもが、学校の理科で科学的な概念を学習する以前に構成している科学とは異なった理論」であり、子どもなりの合理性を伴った一種の信念体系である。^{1) 2)} 自然科学を正しく理解するためには、これらの誤概念を修正し、正しい科学的概念を獲得しなければならない。しかし、田島は、1つ目の意味で用いられる誤概念に関して、さらなる見解を示している。田島によると、誤概念は生徒たちが日常経験知から科学的概念を積極的に解釈した認知過程の結果である可能性を示唆している。³⁾ つまり、田島のいう誤概念とは「学習者が概念の教授後においても支持する、自らの日常経験知に基づく誤った理解」であるといえる。これら2つの意味で用いられる誤概念であるが、概念の教授前後に関わらず学習者が概念を解釈し構成した結果であることに変わりはない。そのため、本研究における誤概念は「概念の教授以前または教授後における、学習者

が持つ自らの日常経験知に基づく誤った理解」という意味で扱う。

さらに、田島は、誤概念を示す生徒は積極的に科学的概念の学習・理解に携わっているとしている。³⁾

ではなぜ、積極的に科学的概念の学習・理解に携わっているにもかかわらず、科学的概念の獲得に至らない学習者がいるのであろうか。

中島によると科学的概念の獲得過程には、大きく分けて次のような2つの移行が含まれているという。第1に、科学的概念を受容できない段階から受容できる段階に至るといふ移行が見られる。このうち科学的概念を受容できない段階は、日常的概念の制約が非常に強い。また、この段階においては様々な誤概念が生成される。第2に、科学的概念を受容した後に、日常経験の統合の仕方の移行が見られる。そして科学的概念の獲得達成とは、科学的概念の枠組みの中に日常経験を適切に統合することであることが示された。⁴⁾ この第2の移行については、中島により一般的原理とその導入の仕方を教えることによって、科学的概念の枠組みの中に日常経験を統合できるようになる子どもが増加することが示されている。しかし、科学的概念を受容できる段階に至る第1の移行を可能にする条件は示されていない。

では、この第1の移行を可能にする条件にはどのような

ものが考えられるだろうか。この第1の移行は、科学的概念を理解し納得することであるといえる。納得するためには、科学的概念と誤概念の矛盾を解消する必要がある。矛盾を解消するため、学習者は科学的概念がなぜ正しいのか、自身の誤概念がなぜ誤っているのかを論理的に考え理解しなければならない。そこで私は科学的概念を受容できる段階に至るには学習者の論理的思考力が関係すると考えた。

本研究では、論理的思考力の高い学習者は科学的概念を受容し誤概念を支持しない傾向があるという仮説をもとに、学習者の誤概念の支持のしにくさと論理的思考力の関係を調べることを第1の目的とした。さらに科学的概念の受容のためには具体的にどのような論理的思考力が関係するかを調べることを第2の目的として調査を行った。

2. 方法

2. 1. 調査対象

奈良教育大学における教養科目「論理サイバールと文学の中の科学」の受講生168名を対象として調査を行った。そのうち、授業の最後に行われる小テストを受けた回数が12回中10回以上の学生109名（男性48、女性61）を分析対象とした。学生の専攻分野は文系理系多岐にわたった。

2. 2. 調査過程

上記の授業は、論理的思考力に関する様々なテーマの内容で全16回行われた。第2回から第13回にかけてその回のテーマの小テスト（以下、論理的思考力テストと呼ぶ）を授業の最後に行った。この論理的思考力テストを毎回集計した。合計12回の論理的思考力テストの正答率の平均をとり、平均正答率として学生の論理的思考力を評価した。第14回目の授業の最後に誤概念に関するテスト（以下、誤概念テストと呼ぶ）を行った。この誤概念テストを集計し、対象者が支持する誤概念について評価した。次に、誤概念テストの正答率と論理的思考力テストの平均正答率の相関関係を調べた。さらに論理的思考力テストのテーマを分類し、テーマ別平均正答率と誤概念テストの正答率の相関関係を調べた。

2. 3. 調査内容

2. 3. 1. 誤概念テスト

対象者が誤概念を支持しているか否か、またどのような誤概念を支持しているのかを調べるためのテストである。雲は水蒸気でできている、電流は豆電球で消費される、磁石を真ん中で切るとN極（S極）だけの磁石ができるまたは磁石ではなくなる、運動する玉には運動方向の力が働いている、といった身の回りの物理現象について考えられる誤概念を取り上げた。さらに福島第一原

発事故により盛んに報道された放射線・放射能に関して考えられる誤概念を取り上げた。テスト問題は、問題1として誤概念を含み科学的には誤った文章の正誤を回答するものとした。対象者の指示する誤概念を正誤回答のみで判断しないため、正誤を選択した理由を記述回答させた。さらに、問題2として前提文章として科学的な知識を与え、そこから結論されたことに対して正誤を理由とともに回答するものとした。

実際に行ったテスト問題が以下のものである。問題用紙と解答用紙は別々に用意した。

問題1

次の推論について正しいものは○、誤りがあるものは×を選択しなさい。×を選択した場合、どうして誤りなのか説明しなさい。

(1) 水蒸気は気体で軽いから浮いていられる。雲は空にプカプカ浮いている。それゆえ、雲は水蒸気だ。
(○ ×)

(2) 豆電球が光ると電流は消費される。電流が豆電球を通過すれば豆電球は光る。それゆえ、豆電球を通過した後では電流は減少する。
(○ ×)

(3) 磁石には必ずN極とS極が両方ある。N極とS極は青や赤で色づけされちようど真ん中で分けられている。それゆえ、真ん中で切り離せばN極だけの磁石とS極だけの磁石になる。
(○ ×)

(4) 重力しか働いていないボールは真下に落ちる。バットで打たれたボールは前に飛んでいく。それゆえ、飛んでいるボールには重力以外に常に進行方向に力が働いている。(空気抵抗は考えない。)
(○ ×)

(5) 放射性物質から十分距離をとれば放射線は届かない。奈良県は福島第一原発と十分に距離がある。それゆえ、奈良県では放射線量は観測されない。
(○ ×)

(6) 福島第一原発事故で放出された放射性のセシウムやヨウ素などは被ばくの恐れがあり危険である。それに対し放射能温泉というものがあり多くの人々が利用する。放射能温泉の放射線源はラドンやラジウムである。それゆえ、放射線のラドンやラジウムは危険ではない。
(○ ×)

(7) 日本に、原子力発電の原料となるウラン鉱石の採掘場があった。ウラン鉱石からは放射線がでる。この採掘場の近くに住んでいた一人の女性ががんになった。放射線に被ばくするとがんになる危険性がある。それゆえ、がんになった原因は放射線の被ばくである。
(○ ×)

問題2

次の文章で①～④がいてる(正しい)とする。
 放射性元素は放射線を放出する。①放射線を放出するということは人間にとって危険である。しかし、②放射性元素は放射線を放出しなければ、その数が減らない。数が半分になるまでの時間を半減期という。半減期の長さは放射性元素の種類によって異なる。③半減期が数日と短い放射性元素は、すぐに数が減りやがてなくなる。それに比べ、④半減期が数千年などと長い放射性元素は、それだけ長く地球上に存在し放射線を出し続けることになる。そのため、除染などの問題が生じる。

これら①～④の前提から次の結論が正しく導出できるかどうかを説明しなさい。

- (1) 半減期が長い放射性元素ほど危険である。
- (2) 放射性元素の数を減らすには危険が伴う。

2. 3. 2. 論理的思考力テスト

授業の中で設定された論理的思考力に関する様々なテーマに沿ったテストである。問題の形式は記号選択問題や記述回答式問題などがあつた。

論理的思考力と思考力は本質的に異なる。単に思考力というと、ブレン・ストーミングのように可能な限り自由に発想していくことが有効であり、「閃き」(飛躍)に行き着く。それに対して論理的な思考は、なぜそのように発想したかを可能な限り飛躍のない形で論理的に構成していくことである。この論理的思考力テストは、単なる思考力ではなく、可能な限り飛躍のない論理的思考を行う力を調べるためのテストである。

以下、論理的思考力テストの主な問題をテーマ別に分けたものである。

- (a) 適切な接続表現を考える
- (b) 文章の構造を矢印などで図示する
- (c) 論理パズル・確率パズル・パラドックス
- (d) 導出された結論に対して反論を試みる
- (e) 演繹なのか推測なのかを考える
- (f) 主張に対しての否定を考える・両立可能な結論を考える
- (g) 導出された結論が演繹として正しいか正しくないかを考える
- (h) 演繹の隠れた前提を考える
- (i) 記述して答える

テーマ(a),(b),(d),(e),(f),(g),(h)は論理的な思考に必要なとされる具体的な能力を単一化したものである。それに対し、テーマ(c)に必要な能力は、矛盾のない答えを導き出す力である。この力は、単一化した様々な具体的な論理的思考力を駆使する総合的な論理的思考力であるといえる。また、テーマ(i)に関し

ても、記述回答式の問題は各テーマに含まれるため、総合的な論理的思考力が必要なテーマとしてとらえることができる。

実際に行つたテストの例を以下に示す。問題1,2,3は思考を論理的に構成するための論理学におけるド・モルガンの法則を用いる問題である。これらの問題は、上記のテーマ(f)にあたる。

問題1

次の主張の否定を、ド・モルガンの法則を用いて書き換えよ。

- (1) すべてのことがらは性的要因か経済的要因によって説明できる。
- (2) このアパートには犬とサルとキジを飼っている人がいる。
- (3) 太郎か次郎のどちらかが、論理学と哲学の講義を両方とっている。

問題2

「倫理学者の中には倫理的でない者がいる」という主張Aと次の(a)～(c)との関係を考えたい。

- (a) 倫理学者の中には倫理的な者がいる
- (b) 倫理的でないものは倫理学者ではない
- (c) 倫理的なものは全て倫理学者である

- (1) 主張Aと両立可能なものがあれば全て答えよ。
- (2) 主張Aの否定になっているものはどれか。

問題3

次の主張(A)が主張(B)に対して両立可能であるか両立不可能であるかを、その理由を説明しつつ、答えよ。

- (A)「あのパーティーで全員に名刺を配っていた人がいたって。」
- (B)「そのパーティーに出ていたけど、ぼくは誰からも名刺をもらわなかったぞ。」

3. 結果

3. 1. 科学的概念の支持者と誤概念の支持者の割合

誤概念テストから、科学的概念の支持者と誤概念の支持者を集計した。その結果を図1に示す。図1から明らかのように学生の多くが誤概念を持つ。特に、問題1(2)、(4)において誤概念の支持者が多いことが分かつた。逆に問題1(3)、問題2(2)では誤概念の支持者が少ないことが分かつた。

また、ひとつの問題の中でも異なつた誤概念を用いた回答も見られた。事前に想定し問題に含めた誤概念とは異なつた誤概念には次のようなものがあつた。

- 浮いているものは全て気体である
- 進行方向の力は徐々に減少していく

- 放射性物質と放射線の混同（放射線が遠くまで届く、放射線が空气中に漂っている）
- 放射線は使い方・用途によって危険か安全かが決まる
この結果から、個人によって誤概念の支持の仕方が様々であることが分かった。

3. 2. 誤概念テストと論理的思考力テストの相関関係

誤概念テストの正答率と論理的思考力テストの平均正答率の相関図を図2に示す。相関係数rは以下のようになった。

$$r = .45 \quad (p < .05)$$

この結果から、誤概念テストの正答率と論理的思考力テストの平均正答率には、「かなりの相関がある」といえることが分かった。

3. 3. 誤概念テストと論理的思考力テスト各テーマの相関関係

誤概念テストの正答率と論理的思考力テストの各テーマ別の平均正答率の相関関係を調べた。それぞれの相関係数を表1に示す。テーマ(c) 論理パズル・確率パズル・パラドックスと (i) 記述して答えるにおいて「ある程度の

相関がある」ことがわかった。テーマ(a) 適切な接続表現を考える、テーマ(d) 導出された結論に対して反論を試みる、(h) 演繹の隠れた前提を考えるにおいて「低い相関がある」ことがわかった。(b) 文章の構造を矢印などで図示する、(e) 演繹なのか推測なのか考える、(f) 主張に対しての否定を考える・両立可能な結論を考える (g) 導出された結論が演繹として正しいか正しくないかを考えるについては有意な結果は得られなかった。

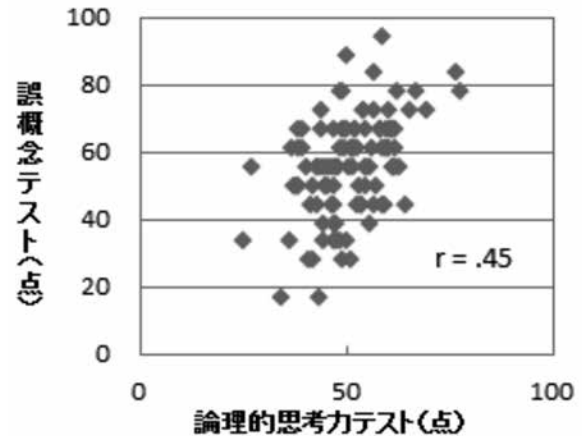


図2 誤概念テスト－論理的思考力テストの相関図

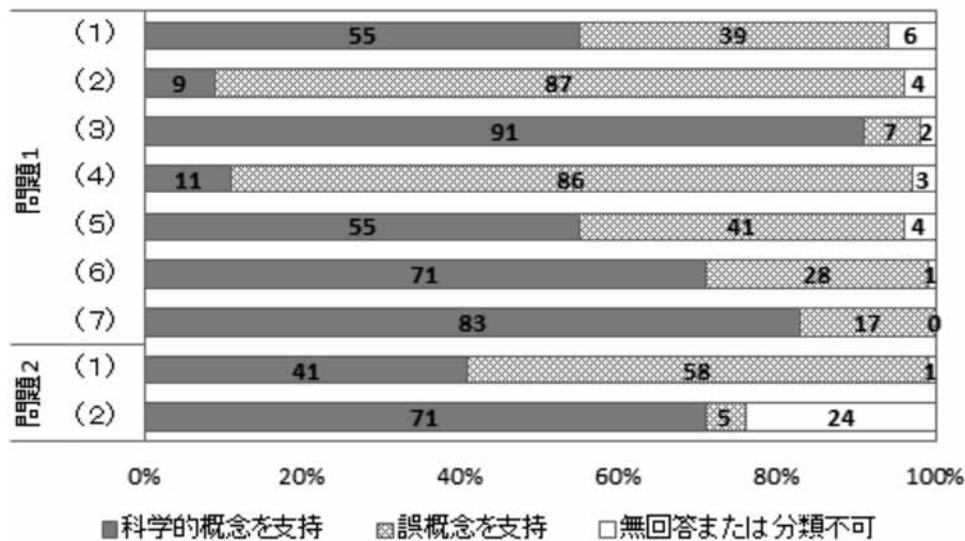


図1 科学的概念支持者と誤概念支持者の割合

表1 誤概念テストと論理的思考力テスト各テーマ別の相関係数

	論理的思考力テストのテーマ								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
n [†]	92	75	74	96	92	97	88	94	88
r	.25	.22	.36	.21	-.01	.17	.09	.25	.38

[†]対象学生のうちテーマ別の問題数の8割以上回答が得られている学生数
太字 p<.05

4. 考察

本研究第1の目的は、学習者の誤概念の支持のしにくさと論理的思考力の関係を調べることであった。図2から、誤概念の支持のしにくさと学習者の論理的思考力にはかなりの相関があることがわかった。つまり、論理的思考力が低い対象者ほど誤概念を支持し、論理的思考力が高い対象者ほど誤概念を支持せず科学的概念を支持している傾向があるといえる。

誤概念の支持のしにくさと学習者の論理的思考力に直接的な因果関係があるかどうかを考察する。

中島による知見から、私は科学的概念を受容できる段階に至るには学習者の論理的思考の過程があり、論理的思考力が十分でない場合に科学的概念を受容できず誤概念を生成すると考えた。本研究において、個人によって誤概念の支持の仕方が様々であるという結果が得られた。つまり、自分なりの思考で納得した形で誤概念が生成されると考えられる。誤概念の支持のしにくさと学習者の論理的思考力にかなりの相関があることから、論理的思考力が高い学習者ほど誤概念を生成しにくく科学的概念を受容しやすいといえる。よって、学習者の論理的思考力と誤概念の支持のしにくさには直接的な因果関係があると示唆される。したがって、日常的概念を受容している段階から科学的概念を受容しようとする段階への移行の際に、日常的概念と科学的概念の矛盾を解消し科学的概念を理解・納得するためには、十分な論理的思考力が必要であると考えられる。

本研究第2の目的は、科学的概念の受容のためには具体的にどのような論理的思考力が関係するかを調べることであった。表1より、テーマ(c) 論理パズル・確率パズル・パラドックスに関する問題、(i) 記述して答える問題の正答率と誤概念テストの正答率にある程度の相関があることが分かった。つまり、論理パズル・確率パズル・パラドックスに関する問題、記述して答える問題の正答率が低い対象者ほど誤概念を支持し、正答率が高い対象者ほど科学的概念を支持する傾向があるといえる。しかし、テーマ(c)、(i)は、総合的な論理的思考力が必要となるテーマであるため、具体的な論理的思考力については言及できない。

テーマ(a) 適切な接続表現を考える、テーマ(d) 導出された結論に対して反論を試みる、(h) 演繹の隠れた前提を考えるにおいては低い相関、その他のテーマでは有意な結果は得られなかった。よって、具体的な論理的思考力が科学的概念の受容に効果的ということではなく、総合的な論理的思考力が科学的概念の受容には効果的であると考えられる。

そこで、論理パズル・確率パズル・パラドックスに関する問題、記述して答える問題を正答するために必要な総合的な論理的思考力を考慮し、科学的概念の受容に、論理的思考力がどのように有効か考察する。

論理パズルや確率パズル、パラドックスのある問題を解くためには、矛盾のない答えを導き出す力が必要である。科学的概念を受容するためには、誤概念と科学的概念の矛盾を解消しなければならない。矛盾を解消するために、矛盾のない答えを導き出す力が効果的な能力であると考えられる。したがって、科学的概念を受容するためには、矛盾のない答えを導き出す力が効果的であるといえる。

記述して答える問題を解くためには、大前提ではあるが自身の考えを記述する力が必要である。自身の考えを記述するには、考えを整理し論理的にまとめる力も必要である。科学的概念を受容するためには、科学的概念と自身の持つ誤概念の矛盾に気付くこと、自身の持つ誤概念がなぜ誤っているのかを思考しなければならない。これらの過程には、自身の考えを整理し論理的にまとめる力が効果的であると考えられる。したがって、科学的概念を受容するためには、自身の考えを整理し論理的にまとめる力が効果的であるといえる。

論理的思考力が低い者ほど誤概念を支持し、論理的思考力が高い者ほど科学的概念を支持している傾向があることがわかり、科学的概念の受容には、矛盾のない答えを導き出す力や自身の考えを整理し論理的にまとめる力が効果的であることがわかった。実際の理科の授業でも、これらの論理的思考力の育成が必要であるといえる。そのためには理科だけではなく、他教科とりわけ国語科との連携も必要である。また、理科の授業の中で教師が児童生徒の論理的思考をサポートすることができれば、児童生徒が科学的概念の受容することが容易になると考えられる。誤概念と科学的概念の矛盾に気付くことができるような教師の指導や、自身の考えを記述または口述する機会を設けた授業を行っていくことが生徒の科学的概念の受容に効果的であるといえる。

ただし、論理的思考力が高い者がその論理的思考力のため誤概念をより強く支持している可能性や、論理的思考力は低いが科学的知識をただただ暗記している者がいる可能性も考えられる。しかし本研究では、それらを完全に考慮した調査は行っていない。また、誤概念の支持のしにくさに影響するであろう学習者の持つ科学的知識・原理についても考慮されていない。誤概念の解消には科学的知識の導入も要因となると考えられる。科学的知識の導入による科学的概念受容の過程と論理的思考力の関係は本研究では延べられておらず、今後の課題である。

本研究は科学的概念の受容に効果的な授業法の考案を目指して行ったものである。今後は、特定の誤概念に着目し、科学的概念の導入後の概念支持の変化を調査するなど、より詳しく誤概念の支持と学習者の論理的思考力の関係について調査していく必要がある。さらに、今回の結果を踏まえ科学的概念の受容に効果的な授業法として、学習者の論理的思考力、特に矛盾のない答え

を導き出す力や自身の考えを整理し論理的にまとめる力を考慮した授業法の提案をしていく。

謝辞

本研究にあたり、奈良教育大学理科教育講座森本弘一教授、石井俊行准教授に様々な助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

引用・参考文献

- 1) 武村重和 秋山幹雄、＜重要用語300の基礎知識 6巻＞理科重要用語300の基礎知識、明治図書出版株式会社、2000年、p.165
- 2) J.Clement, Student's Preconceptions Introductory Mechanics, Am.J.Phys., 50, 1, 1982, 66
- 3) 田島充土、「分かったつもり」のしくみを探る - パフチンおよびヴィゴツキー理論の観点から -、株式会社ナカニシヤ出版、2010年、p.5
(ここでは素朴概念と表記されているが本論文での誤概念と同義であったため、素朴概念を誤概念と表記した)
- 4) 中島伸子、知識獲得の過程：科学的概念の獲得と教育、株式会社風間書房、2000年、p.136-137
- 5) 理科教育研究会、新学習指導要領に応える理科教育、株式会社東洋館出版社、2009年、p.66
- 6) 中野亮治 岩崎信、素朴概念研究の収集 その1、教育情報学研究、第2号、東北大学、2004年、p.143-149
- 7) 川村康文、大学生に見る物理分野における素朴概念の実態、物理教育、第48巻 第1号、日本物理教育学会、2000年、p.78-82
- 8) 鈴木亨、放射線や原子力をめぐる誤解と誤概念(教育報告)、大学の物理教育、第17巻 3号、一般社団法人日本物理学会、2011年、p.147-148
- 9) 放射線等に関する副読本作成委員会、放射線等に関する副読本、文部科学省、2011年
- 10) 岩井勇児 鈴木眞雄、教師のための統計法入門、福村出版株式会社、1985年
- 11) 野矢茂樹、新版 論理トレーニング、産業図書株式会社、2006