

「科学の本質」について指導する試み —言語哲学およびホーリズムの観点から— 愛知教育大学大学院 理科教育専攻 理科教育学領域 杉浦 崇洋

【要約】

ホドソン¹⁾は、普遍的批判的的科学リテラシーは「科学を学ぶ」「科学について学ぶ」「科学を実践する」の3つの要素にわけられるとし、「科学について学ぶ」ことも重要な要素であることを指摘している。「科学について」教授することは重要であるが、教師の持つ科学観で授業の設計の方法は変わってしまうなど、教師の持つ科学観は学習者の持つ科学観に影響を与えるだろう²⁾。

本研究では、高等学校において、科学を言語的な営みとして捉えるウイトゲンシュタインの哲学³⁾と、科学理論が相互に調和的關係を保った構造的知識ネットワークだとするクワインのホーリズム⁴⁾の哲学を原理として授業設計を行い、これを実践することによって、科学知識の習得だけでなく科学の本質を理解させることを目的とした授業実践を試みた。

1. 研究の背景

1.1 学習指導要領における科学

小学校学習指導要領解説理科編⁵⁾では、「科学的な見方や考え方を養う」という文言が含まれ、「科学が、それ以外の文化と区別される基本的な条件としては、実証性、再現性、客観性などが考えられる」としている。しかし、「実証性」では、事実による理論決定不全性⁶⁾の問題を回避できず、「客観性」は観察の理論負荷性⁷⁾による事例を説明できない。また、再現性は科学の特徴ではなく自然が本来持っている特徴であり、科学に所属する性格ではない。これらの点から小学校指導要領の「科学」には問題がある。また、中学校⁸⁾や高等学校⁹⁾における学習指導要領解説理科編でも、「科学」とは何か具体的な記述は見られない。

1.2 「科学」の捉え方で生じる問題点

科学を単純な実証的な手続きによるものとして考えると、本研究で扱っている「イオン」や「オクテット則」といった科学概念は直接的な観察の対象ではないから、検証されることはない。この結果、これらの概念は宣言的知識として学習し、教科書や教師の説明を信じることが要求される。高等学校の理科では、このようなそれ自体を直接観察できない概念を普通に扱うので、生徒は理科は暗記科目だという認識を持つことになる。

1.3 教師が持つ科学観の影響

教師がどのような科学観を持つかは、授業の設計に関わる問題である。例えば、気づきや発見こ

そ真の学習だと考える教授観は経験主義科学観、それも単純な帰納主義に依拠するものであろう。

このように、「科学」を理解することは、「教師」、「学習者」ともに重要であると言える。

1.4 本研究における「科学」の捉え方と目的

1.4.1 「科学」の捉え方

本研究において、自然科学の営みを、「世界についての命題を構成し、調和的で首尾一貫した構造を持つ文章を構成する活動」と捉えた。

1.4.2 目的

本研究では、単に科学知識を習得するだけでなく、「科学とは何か」を教授することに主眼をおき、そのための方略を提案し、実践を通して生徒自身が科学に対してどのように認識を変容させたかを明らかにすることを目的としている。

2. 高校生の「科学」についての認識

2.1 目的

大高¹⁰⁾は、自然科学をどんな文脈から観るか、また科学のどの側面に主として着目するかなどによって、現実に見られる科学観は多種多様であると述べている。

そこでまずは、高等学校入学時に生徒が「科学」についてどのような認識を持っているかを明らかにすることを目的として調査を行った。

2.2 調査概要

時期：2011年4月12日

対象：愛知教育大学附属高等学校1年生40名

方法：質問紙によるアンケート調査

質問紙：経験主義科学観と新科学観のどちらの主張を支持するかという質問(表 1)

表 1 質問:どちらの科学観に賛同するか

問題	経験主義科学観	新科学観
問題 1 (発見主義)	法則などの科学知識は、科学者によって自然から発見されたものである	法則などの科学知識は、科学者が創造したものである
問題 2 (進歩主義)	科学は時代が進むにつれ、昔の科学と比べるとより良く進歩している	昔の科学と現代の科学では、説明の仕方が変わる
問題 3 (先入観)	観察では先入観を持ってはならない	観察では先入観を持たないと何も見えない
問題 4 (客観性)	事実はどこで誰が見ても同じである	事実は見る人によって異なっている

2.3 結果と考察

2.3.1 アンケートの結果

結果は表 2 に示す。経験主義科学観と新科学観の人数分布は表 2 の通りである。

表 2 アンケートの結果

問題	経験主義科学観	新科学観	有意差
問題 1	20 名	11 名	傾向あり
問題 2	20 名	8 名	5%
問題 3	12 名	18 名	×
問題 4	11 名	19 名	×

表 2 における人数は、「どちらの科学観も支持する」を選択した生徒が除外されているため、問題の合計人数は 40 名よりも少ない。

表 2 における「有意差」は、問題それぞれに対して適合度の検定を行った結果を表している。

2.3.2 経験主義科学観を支持する項目

(1) 発見主義(問題 1)

問題 1 において、経験主義科学観を支持する生徒が 40 名中 20 名、新科学観を支持する生徒が 40 名中 11 名であった($\chi^2=3.74$, $df=1$, $0.05 < pr < 0.1$)。つまり科学知識は「発見されるもの」と認識している生徒が多い傾向にある。

(2) 進歩主義(問題 2)

問題 2 において、経験主義科学観を支持する生徒が 40 名中 20 名確認できた($\chi^2=5.78$, $df=1$,

$0.01 < pr < 0.05$)。つまり科学知識は「累積的で進歩していくものだ」と認識している生徒が多く、進歩主義的な経験主義科学観を支持する生徒が有意に多いといえる。

2.3.4 観察に対する科学観

問題 1 と問題 3 の間には、差のある傾向が認められた($\chi^2=3.67$, $df=1$, $0.05 < pr < 0.1$)。問題 1 と問題 4 の間には、危険率 5% で有意差が認められた($\chi^2=4.73$, $df=1$, $0.01 < pr < 0.05$)。つまり、自然法則の実在性を問われると、経験主義科学観の立場に立ち、観察の理論負荷性や事実の客観性について問われると、新科学観の立場に立つことがわかる。

2.4 まとめ

高校生の持つ科学観は、基本的には「発見主義」「進歩主義」のような経験主義科学観を支持しているが、観察については新科学観を支持する生徒が多かった。

3.実践 1:言語哲学としての科学を教える試み

3.1 目的

調査によって、「発見主義」のような経験主義科学観を保持している生徒が多くいることが明らかとなった。しかし、「イオン」のような目に見えない科学知識は発見できず、実証不可能である。

本実践では、単元「イオン」において、論理実証主義の主張を取り上げ、科学を言語的活動として認識させようとするを試みた。「イオン」の存在意義について考えさせ、科学が言語的活動であることにコミットさせることを目指している。

3.2 実践の概要と方法

3.2.1 実践の概要

時期:2011 年 5 月下旬～6 月中旬

対象:愛知教育大学附属高等学校 1 年生 40 名

単元:理科総合 A:「イオン」(表 3)

調査:運勢ライン法、質問紙、インタビュー

3.2.2 授業方略

(1) 授業に先立って行ったこと

本研究では、認知的目標は「命題の構成」であると考えて単元構成を行っている。この立場では、本時の目標は目標として設定した命題を構成させ

表3 指導計画

時間	テーマ	FL
第1時	・イオンとは何か	
第2時	・イオンの性質(部分マップ)	①
第3時	・ボルタの電池 (部分マップ, デジタルコンテンツ)	②
	・電気泳動 (部分マップ, 演示実験)	③
第4時	・塩化銅(II)の電気分解 (部分マップ, デジタルコンテンツ)	④
	・全体マップ作成	⑤

※FLは運勢ライン記入場面

ることとなる。そのため、授業に先立ち、目標となる命題を定めなければならない。

さらに、定められた命題から、キーワードを抽出する。ここで抜き出したキーワードは、毎回の授業の冒頭に提示するものである。

また、本実践では先行オーガナイザ¹¹⁾として、ウイトゲンシュタインの「論理哲学論考」より一部命題を抽出し；

- A. 『考える』とは文をつくることである。
- B. 文が正しいかどうかは事実と比べればわかる。
- C. 文の意味が事実と同じなら文は正しい。
- D. 文と事実の比較が観察や実験だ。
- E. 自然科学は世界について正しく説明した文を集めた文章だ。

と生徒にわかりやすいように翻訳し、授業の冒頭で毎回提示した。

(2) 毎時の授業

毎回の授業では「キーワード提示」「個人による命題の構成」「科学知識化」という桑原¹²⁾の提案した3つの戦略を行った。この戦略により、学習内容を単語ではなく命題として理解すること、自分自身の理解を可視化すること、個人の理解を科学的な理解へと変容することを狙っている。

これらに加えて、本研究では授業冒頭時に「先行オーガナイザ」を提示することを行っている。先行オーガナイザを提示することで、ウイトゲンシュタインの主張に目を向け、「科学」について選択的注意を向けさせることを狙っている。

(3) ひとまとまりの学習後

ひとまとまりの概念の学習後に、それまで構成されてきた命題を基にコンセプトマップ¹³⁾を作成した。

ここで作成されたコンセプトマップは部分マップと名付けることとする。コンセプトマップは文章の意味的構造を示しており、この性質は、調和的なネットワーク構造をとっている科学知識の性質を表現し可視化するのに有効なツールであると考えた。部分マップ作成後には、デジタルコンテンツ鑑賞、もしくは演示実験を行った。

コンセプトマップはもともと命題から構成された意味ネットワークであるため、彦坂¹⁴⁾が提案しているように、コンセプトマップを文章に表現し直すことが可能であると考え、文章化して生徒に示した。

また、単元の終末には部分マップをつなげて単元全体を俯瞰できる全体マップを作成した。ここで、イオン概念の存在によって首尾一貫した矛盾のない説明が可能となることを強調して示した。

3.3 結果と考察

3.3.1 先行オーガナイザへのコミットメント

(1) 一貫して先行オーガナイザへコミットする生徒

文中に出てくる「**」**はワークシートやアンケートにおける生徒の記述であり、『**』**は授業後におけるインタビュー中でのコメントである。

図1にあるように、m04は一貫して先行オーガナイザに対するコミットメントを強めている。その理由として、場面②(ボルタの電池)において、「実験を実際してみると信憑性が上がります。…と思います」と記述しており、写像理論に対してコミットしていることがわかる。

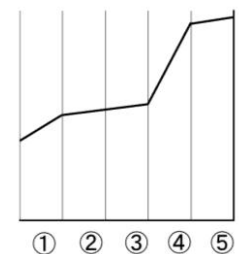


図1 m04の運勢ライン

場面⑤(全体マップ)においては、「自然科学を文章で表すことによって、説明がしっかりできるようになった気がします。イオンの存在も信じることができました」と記述しており、科学を言語活動として認識しており、さらにホーリスティックな見方も垣間見られた。

(2) 写像理論に懐疑的な生徒

図2にあるように、f18は基本的にはコミットメントを強めているが、場面⑤(全体マップ作成)においてコミットメントを弱めている。

場面②(ボルタの電池)において、インタビューを行ったところ、『あのなんか事実と教科書に載ってる内容とかが一致してるなって思った』と述べ、写像理論に対してコミットしていることがわかる。

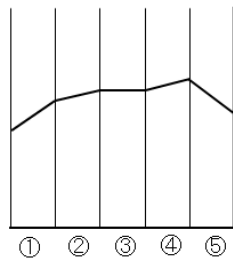


図 2 f18 の運勢ライン

しかし、場面⑤(全体マップ)の場面において『目に見えないことを正しいと仮定して、で、文、それが正しい情報だって文にして、で、そのつなぎとして入れてることが、なんか怪しいなって』と述べ、存在するかわからない「イオン」を存在するものと仮定することに対して納得できず、間接的に写像理論の矛盾を指摘している。

3.3.2 科学を言語活動として捉える生徒

運勢ラインの理由の記述を見ると、「全体的に文章でまとめられることがわかりました。トータル何となく正しい気がしました」や「自然科学は文章としてつながっていることをイオンを通してわかった」と記述する生徒を確認できた。

また「自然科学、世界、文章、矛盾、首尾一貫」というキーワードを用いて命題を構成させたところ、「自然科学は世界を矛盾なく、首尾一貫した文章で説明するものである」のように、調査者の想定する命題を構成できた生徒が40名中25名確認できた。これらの生徒は彼らの認知構造に「言語活動としての科学」という命題を構成できたと言える。

4.実践 2: 科学の構造を理解させる試み

4.1 目的

実践 1 では、科学を言語的活動として認識させようとするを試み、一定の成果が見られた。

しかし、科学を言語活動として捉えていない生徒や、「イオン」を道具として認識することができていない生徒がまだ多くいる現状である。

そこで本実践では、単元「化学結合」において、クワインのホーリズムを先行オーガナイザとして取り上げ、「オクテット則」を中心とする調和的構造的知識ネットワークを示し、科学をホーリスティックな見方で認識させることを目指している。

4.2 実践の概要と方法

4.2.1 実践の概要

時期:2011年6月中旬～6月下旬

対象:愛知教育大学附属高等学校1年生40名

単元:理科総合A:「化学結合」(表4)

調査:運勢ライン法, 質問紙, インタビュー

表 4 指導計画

時間	テーマ	FL
第1時	クワインの主張提示 ・イオン結合とイオン結晶	①
第2時	イオン結合の部分マップ作成 ・組成式についての演習	②
第3時	・共有結合と構造式	
第4時	・構造式についての演習 ・分子結晶・共有結合の結晶	
第5時	共有結合の部分マップ作成 ・金属結合と金属結晶	③
第6時	金属結合の部分マップ作成 全体マップ作成	④ ⑤
第7時	全体マップ作成 電気伝導性の実験 「イオン」と「オクテット則」の類似点	⑥ ⑦ ⑧

※FLは運勢ライン記入場面

4.2.2 授業方略

(1) 実践 1 との相違

授業方略としては、実践 1 とほぼ同じであるが、提示する先行オーガナイザが異なる。

(2) 先行オーガナイザ

本実践では授業冒頭で、クワインのホーリズムの文言を:

まわりの世界についての私たちの説明は、一つひとつの文と事実がそれぞれ別々に比較されるのではなく、文の集まりとしての文章と、知っている限りの事実すべてが一体として比較され、この文章全体が信用できるかどうか決まるのだ

と、生徒にわかりやすいように翻訳し、先行オーガナイザとして毎回の授業の冒頭で提示した。

4.3 結果と考察

4.3.1 先行オーガナイザへのコミットメント

(1) 一貫して先行オーガナイザへコミットする生徒

3章と同様に、文中に出てくる「」はワークシートやアンケートにおける生徒の記述、『』は授業後におけるインタビュー中でのコメントである。

図 3 にあるように、m04 は一貫して先行オーガナイザに対するコミットメントを強めている。場面④

(金属結合)においては、一番コミットメントを強めており、「文章によってよくわからない事を説明できると感じました。全体としての説明がしやすいと感じました」と述べている。ここから、クワインの主張に対してコミットメントを強化していることがわかる。

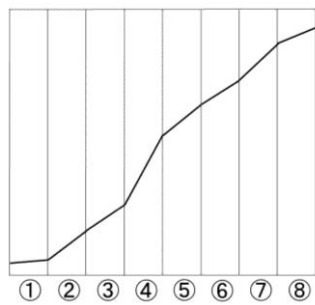


図3 m04の運勢ライン

場面⑤(全体マップ)では、「色々な事を1つの法則で結ぶことができるのはすごいと思いました。む盾が無いのはすごいと思いました」と場面⑥(全体マップ)においても、「1つ1つの対応ではなく全体としての対応という所に信頼性を感じました」と徐々にコミットしていき、場面⑦(実験)では、「実験をしっかりと行うことで、文章と一緒に見ることで信頼性も上がると思います」と述べており、ホーリスティックな理解に達していることがわかる。

(2) 一度はコミットメントを弱めるが、徐々にコミットする生徒

図4にあるように、f25は一旦コミットメントを弱めているが、その後は一貫してコミットメントを強めている。

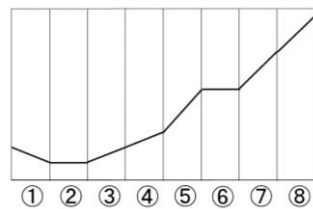


図4 f25の運勢ライン

場面①(クワインの主張を提示後)では、『そのときはワイトゲンシュタインのしか知らなかったから、だから、一対一の方がいいやんとか思って』と述べている。ここからワイトゲンシュタインの写像理論に対してコミットしており、クワインの主張に対してはコミットメントを弱めていることがわかる。

しかし、授業が進行するにつれ、徐々に理解していく。場面③(共有結合)では、「今日の先生の説明をきて少し納得できたので信用できる!!」と述べ、ワイトゲンシュタインの主張から、クワインの主張に乗り換えたと考えることができる。

その後は、『③④でその結合ので、ちょっとずつわかってきて、で、最後にオクテットで…(中略)…一気に、本当じゃんとか思って』と、さらに、電気伝導性の実験を通して、『実験でこれ確実じゃんとか思って』と述べている。ここから、ホーリズムへ一旦コミット後は、コミットメントを一貫して強めていることがわかる。

4.3.2 ホーリスティックな理解

運勢ラインの理由の記述について、「全体的に見ることによって本当にそうか理解できると思った」や「文章と実験結果が一致しているなら、オクテットがあると仮定してもいいのかなと思った」のような回答が見られた。運勢ラインについてインタビューを行ったところ、『いろんな現象とか習ったことで、必ず実験で確認できるわけじゃない』といった回答も見られた。

また、f24はホーリズムの学習前には『自分の今までは実験とかしないとわからないって思ってたけど』と写像理論にコミットしていたが、学習後には『目には見えないものを実験だけではなく、文章でも証明することができる』と述べ、ホーリスティックな見方で科学を解釈している。

これらの生徒はホーリスティックな理解ができるようになったといえる。

4.3.3 プラグマティックな理解

運勢ラインの理由の記述について、「たしかに、オクテットがないとなにがなにだか説明できない気がしたから」や「ないと困るもんね!!見なくて勝手に作り出しても、ぜんぶがつながってるならOKだと思ふ」のような回答が見られた。また、運勢ラインについてインタビューを行ったところ、『オクテットがないとつながらないし、あるからこそ、なんかこの…説明が成り立つみたいなのが絶対あるから』といった回答も見られた。

さらに、ホーリズムの学習後のアンケートにおいて、「様々な事柄を継ぐための知識も科学の一部だと思った」、「首尾一貫がされており、存在が不確かなものでも、それなしでは説明できないことが、数多く存在するのだと考えるようになった」のような記述が見られた。これらの生徒はプラグマティックな理解に達しているといえることができる。

5 考察

5.1 「科学とは何か」を意識した単元構成

先述のように、教師の持つ「科学」についての認識が学習者に影響を及ぼす。「科学とは何か」を考慮して、発見学習のような経験主義科学観で学習させるのではなく、クワインのホーリズムのような新科学観で、科学を一つの構造体として学習させることが重要である。そのため、「科学とは何か」を意識して単元構成を行う必要がある。

5.2 コンセプトマップの有用性

5.2.1 単元構成におけるコンセプトマップ

本時の目標は命題である。コンセプトマップは文章の意味的構造を表現しているのので、各時間の目標群の意味的構造をコンセプトマップによって可視化することが可能となる。科学を言語活動として捉えて、単元構成時にコンセプトマップを使用することで、授業自体に見通しを持つことが可能となり、ホーリズムの哲学に基づいて単元構成を行うことが容易となる。

5.2.2 学習手段としてのコンセプトマップ

m09 はホーリズムの学習前は、「一つ一つで化学や科学が成りたつと思っていた。というかそもそも関係性がないと思っていた」、学習後は、「コンセプトマップ上や、クワインさんの主張ですべてに関係性があり、つながっているのだと分かった」と述べている。また、f19 は同様の質問に対して、学習前は、「それぞれで個別で同じ単元とかでなければ全く関わりがないと思っていた」、学習後は、「『科学』の1つ1つはそれぞれ関係があって1つのつながりなんだと思った」と述べている。

このように、m09もf19も学習前は科学の構造や単元間の連動などを意識していなかったが、コンセプトマップによって、科学を「一つのテキスト」として認識することに成功したと言える。

5.3 「科学とは何か」を学ぶことによるメタ学習

f34 はホーリズムの学習前は理科を『この考えるんじゃないで覚えるみたいな教科になっちゃってた』が、学習後には、『文章と実験を比較して、考えるから…(中略)…理解ができる』と述べ、さらに『理解できると楽しくなる』とも主張している。このように、以前は理科の学習を機械的な学習として行っていたが、ホーリスティックな見方を身に付けたことで、

ただ暗記するのではなく、ホーリスティックに科学を理解すればよいことに気づき、学びについて認識を変容し、メタ学習を習得したと考えられる。

6. まとめ

本研究では、「科学とは何か」についての指導を試み、ホーリスティックな科学観を保持する生徒が確認できた。

より有効な理科学習のために、さらに言えば市民に求められる科学リテラシー¹⁵⁾として、科学知識だけではなく「科学とは何か」についても教授していく必要があるだろう。

【引用・参考文献】

- 1) ホドソン(小川正賢訳):『新しい理科教授学習論』, p13,2000,東洋館出版社
- 2) 遠西昭寿「科学とは何か:科学観と理科教育の方法」,理科の教育 vol58,pp. 356-359,2009,東洋館出版社
- 3) ウイトゲンシュタイン(中平浩司訳):『論理哲学論考』, 2005, ちくま学芸文庫
- 4) クワイン(飯田隆訳):『論理的観点から』, 1992, 勁草書房
- 5) 文部科学省:『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008, 大日本図書
- 6) 丹治信治:『クワイン ホーリズムの哲学』, p118, 2009, 平凡社
- 7) ハンソン(村上陽一郎):『科学的発見のパターン』 pp.11-66, 1986, 講談社学術文庫
- 8) 文部科学省:『中学校学習指導要領解説理科編』, 2008, 大日本図書
- 9) 文部科学省:『高等学校学習指導要領解説理数編』, 2009, 実教出版社
- 10) 大高泉:「理科教育の目的的分析視点に関する一考察。—科学観との関連を中心に—」, 理科教育学研究, p37, Vol32, No2, 1991
- 11) オーズベルら(吉田章弘ら訳):『教室学習の心理学』, pp.200-205, 1984, 黎明書房
- 12) 桑原淳:「科学概念を理解するための言語活動を意識した理科授業—数学的言語と自然言語の相互翻訳活動—」, 2010, 愛知教育大学大学院平成21年度修士論文
- 13) ノバック・ゴーウィン(福岡敏行ら監訳):『子どもが学ぶ新しい学習法 概念地図法によるメタ学習』, 1992, 東洋館出版社
- 14) 彦坂訓宏:「知識ネットワークとしての科学を意識した授業づくり」, 2011, 愛知教育大学大学院平成22年度修士論文
- 15) 前掲書 1)