

科学的概念形成過程における 生徒の認識の順次性について

～授業戦略としての『概念形成図』～

栗田 克弘*

A Study of the Process of Student's Understanding Science in School
～A Map for Teacher's Strategy in Science Lessons～

KURITA Katsuhiko*

(Received September 29, 2023)

学校の理科の授業において、児童生徒の自然科学の概念や法則の認識の過程を追求し明らかにすることは重要である。特に、児童生徒の科学的概念形成を考えた理科の授業においては、児童生徒の学習課題や実験を考える上で大切な観点である。しかし、児童生徒の科学的概念形成を具体的な学習課題や実験と関連づけて明らかにした事例は少ない。実際は理科の教師の経験や感性に頼ってしまっている。そこで、科学的概念形成の授業を考えるのに有効な新しい授業戦略を考えた。理科の授業において科学的概念形成を明らかにしようとした3つの試み、「到達目標」による授業（玉田泰太郎）、「のぼり・おり」理論（酒井寛）、「ルーレック方式」（細谷純）をもとに新しく『概念形成図』を考えた。そして、科学的概念形成の理科の授業の授業戦略として『概念形成図』が活用できるか考察した。

1. はじめに

理科の授業において児童生徒の科学的概念形成の授業を行うことは、彼らが自然科学の基礎的で本質的な内容を学ぶことにつながる。田中は理科で「何を」「どのように」教えるかという問題について、「内容の系統性」と「認識の順次性」という観点で考えることを提言した（田中，1956）。「内容の系統性」とは、主に理科の基礎的な内容について自然科学の体系の妥当性から考える立場である。「認識の順次性」とは、理科を学ぶ児童生徒の発達段階に見合った学習の順序や方法から考える立場である。本研究においては、児童生徒の科学的概念形成の過程を、「内容の系統性」と「認識の順次性」の両方をまとめた「科学的認識の順次性」をもとに『概念形成図』を新しく考案し、より具体的に明らかにしようとした。

『概念形成図』とは、単元を通して科学的概念をどのように教えたかを、児童生徒の「科学的認識の順次性」をもとに表したものである。科学的概念形成は1時間の授業で可能になるものではない。数時間の授業で児

童生徒が学習課題を、学習集団を通して社会的に考え、実験や観察から実証的に確かめていくものである。『概念形成図』は、児童生徒の科学的概念形成がどのような学習課題や実験の順序により達成されるかを表したものである。1時間の授業を単元の中で位置づけることを可能にした『概念形成図』を理科の授業の授業戦略として考えた。

『概念形成図』は以下の3つの先行研究を土台としている。一つ目は、「認識の「のぼり・おり」を組織した授業」（酒井寛、1976）である。酒井は児童生徒の科学的概念形成の過程を、指導者の意図を明確に表象した「単元構造図」として表し、その妥当性を授業実践により明らかにしている。二つ目は、「ルーレック方式」（細谷純、1983）である。細谷は心理学の立場から児童生徒の科学的認識をとらえ、実験や観察の事実の積み上げにより科学の法則や概念が形成されることを指摘した。三つ目は、「理科の到達目標と教材構成」（玉田泰太郎、1990）である。玉田は小学校の理科の授業において、単元の指導計画を「到達目標」で整理し、児童の「認識の

* 山口大学教育学部、〒753-0841 山口県山口市吉田1677-1, kuritak@yamaguchi-u.ac.jp

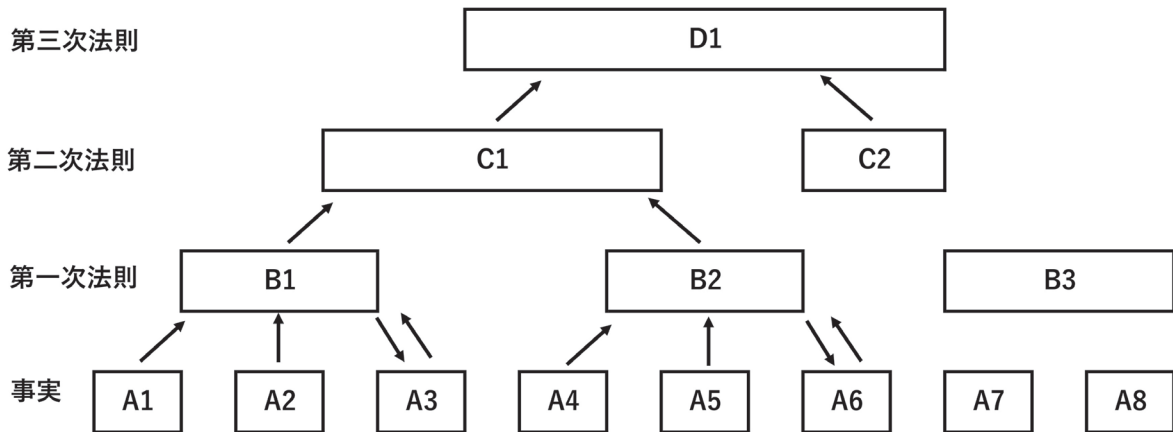


図1 酒井寛の「のぼり・おり」を組織した授業の「単元構造図」

順次性」と「内容の系統性」を明らかにした。

本研究では三つの先行研究をもとに理科の授業の新しい授業戦略としての『概念形成図』を提案する。

2. 「のぼり・おり」理論について

酒井は「子どもは何も好き好んでまちがえる訳ではない。どんな考えも、それを産むに至る彼らなりの堅固な自然観からの必然があり、それを考慮せずに単に幾多の事実をみせても、子どもの自然観は変わらないのだ。」(酒井寛、1976)、と学習前の児童の堅固な自然観(生活的概念)の保有を指摘している。この生活的概念を科学

的概念に変容させるために、指導内容としての法則を図1のように「単元構造図」で階層的にとらえた。上向きの矢印を「のぼり」と呼び、下向きの矢印を「おり」と呼んでいる。このような考えを「のぼり・おり」理論と呼ぶ。「のぼり・おり」という表現は、「三段階連関理論」(庄司和晃、1968)から酒井は引用している。

「のぼり」は、こういう事象からこういうことが言えそうだとする演繹や帰納を示している。「おり」は、法則や概念から具体的事象を予想することを示している。図1にあるように「のぼり・おり」理論では、事象から事実へ、さらに第一次法則や第二次法則へ、そして第三

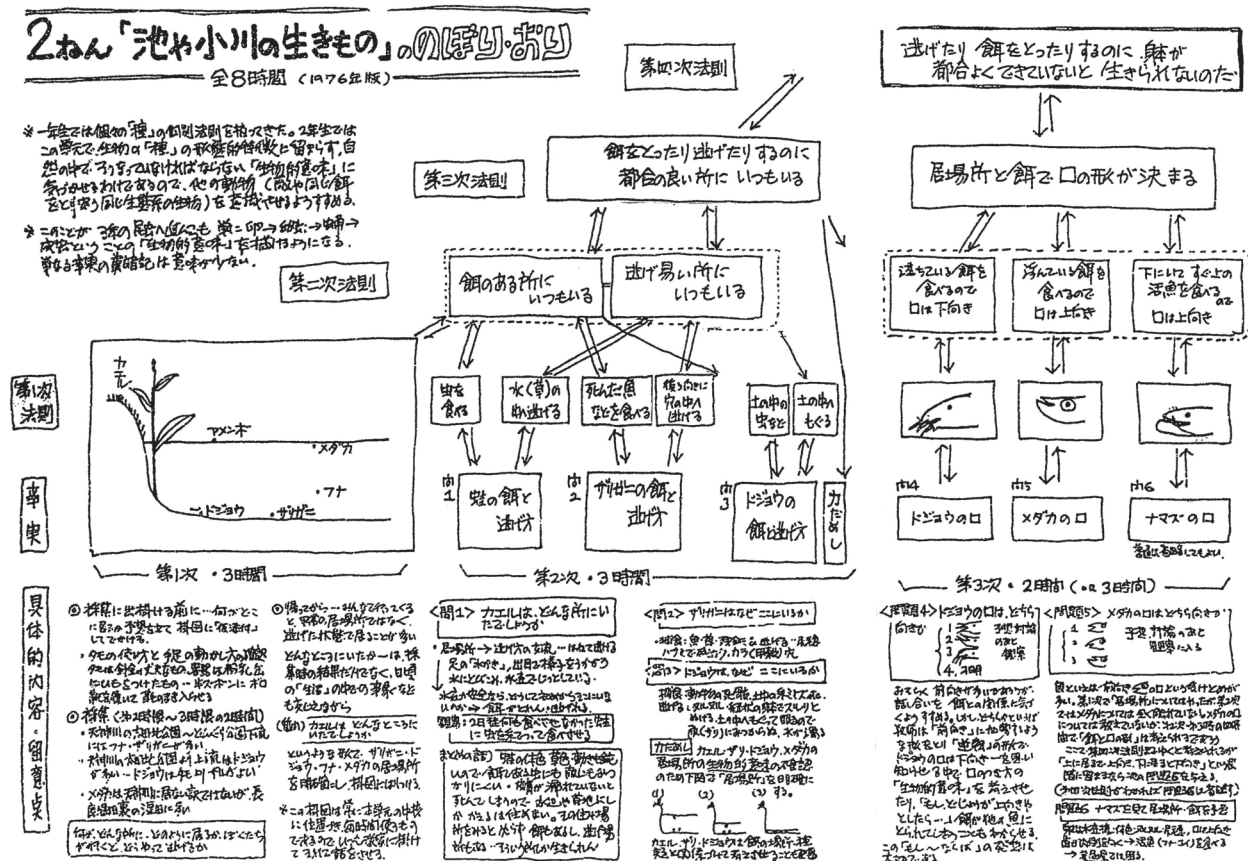


図2 酒井寛の小学2年生「池や小川の生きもの」の「のぼり・おり」

次法則へ児童生徒の認識を高めると考えられている。

酒井の「のぼり・おり」理論では、理科の授業を通して法則や概念を事象や事実から認識していくという、「自然認識の形成を段階的にとらえる」ことを重視している。特に「のぼり」と「おり」を最初に児童が行う第一次法則を指導者がどのようにとらえるかという問題が、実践的には重要な課題となっている。図2は、酒井の「のぼり・おり」理論を具体的な単元「池や小川の生きもの」(小学校2年生)で表した事例である(酒井寛、1988)。

3. 「ルーレック方式」について

細谷は教材をどう記述するかということについて、プログラム学習で提唱された「ルーレック方式」を参考に理科の教材を表す方法を提起した(細谷純、1983)。教材の記述の方法を「ル(ru、ルールruleの省略)」と「エグ(ex、example省略)の2種類に大別した。「ル」が

科学の法則や概念で、「エグ」が自然の現象や事実になる。自然科学の法則や概念または自然の現象や事実を「ル」や「エグ」に分けてみることから、科学的概念形成を「エグ」に関連した発問や実験の系列から「ル」の科学的概念の形成を目指したものである。

図3は、筆者が作成した「ルーレック方式」で「溶解」の教材を記述したものである。「物質は水に溶解してもなくなる。」という「ル」(科学的概念)は、「水溶液を加熱することで溶解した物質の固体が出てくる。」「水溶液の温度を変化させると溶解した物質が析出する。」「水溶液の質量は溶解の前より重くなっている。」の3つの「エグ」(現象や事実)により明らかになることを表している。「溶解」という科学的概念は、3つの実験を通して確認される事実で構成されていることが一目瞭然になる。

図4は滝川の「金属の学習」(滝川、1990)を、「のぼり・おり」理論と「ルーレック方式」で考え、筆者が新しく

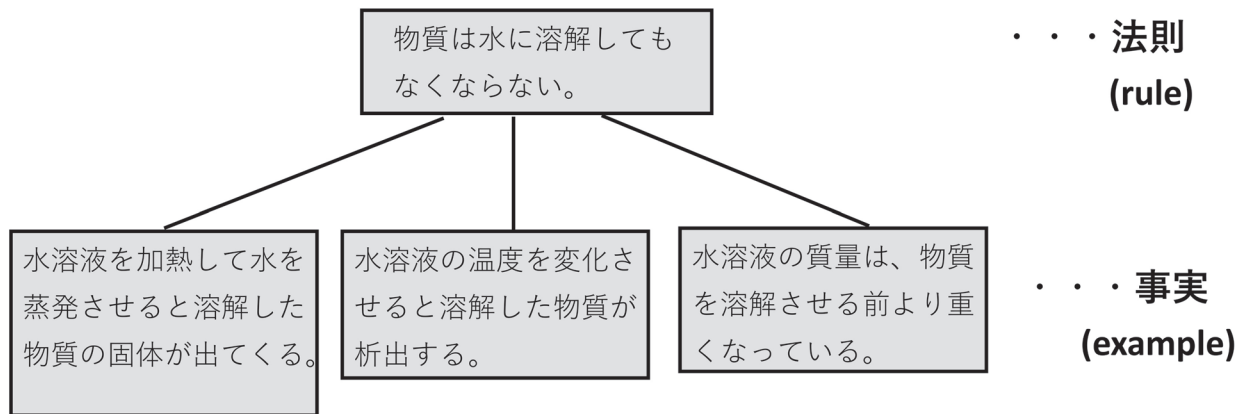


図3 「ルーレック方式」による教材の記述例

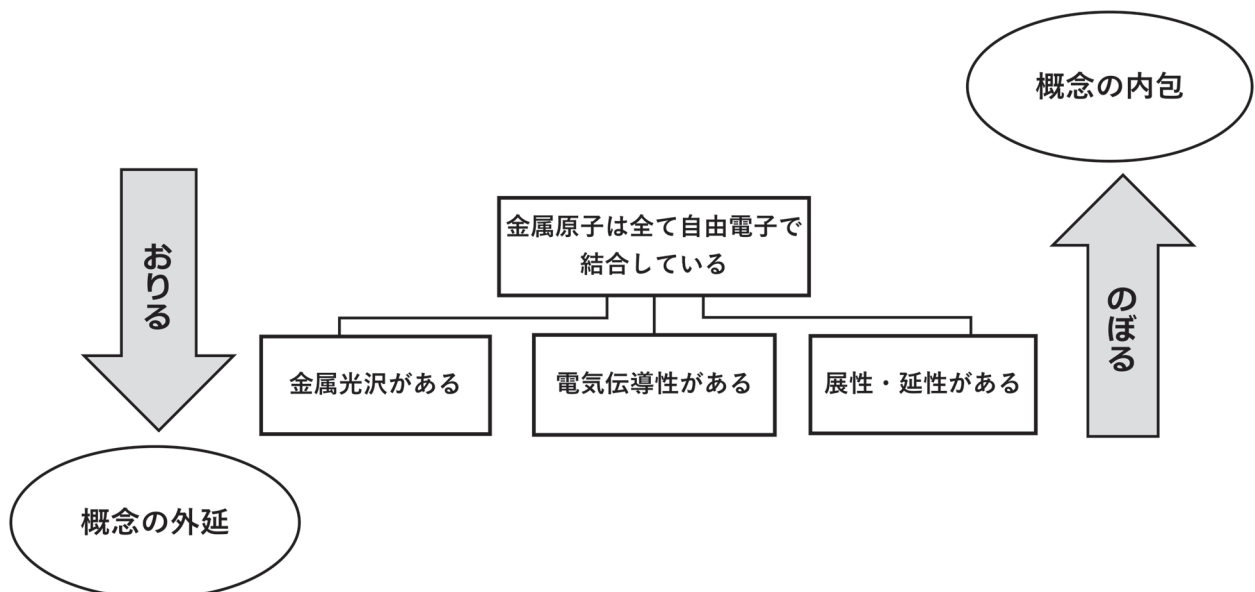


図4 「ルーレック方式」に「のぼり・おり」理論を適用

内容を追加し書き表したものである。「金属は自由電子で結合している。」という科学的概念を、「金属の表面に金属光沢がある。」「金属には電気伝導性がある。」「金属には展性や延性がある。」という3つの現象や事実をもとに階層構造で書き表したものである。「のぼり・おり」理論の「のぼり」「おり」は、滝川の「概念の内包」と「概念の外延」にあたる。さらに滝川は「概念の内包を武器に外延をさぐる」ことが科学的概念形成では重要であることを指摘している。

このように自然の現象や事実の認識を学習の過程で積み上げていくことにより、児童生徒の科学的概念を進めていくことを可能にしているのが「ルーレック方式」である。「ルーレック方式」は教材の記述の方法だけではなく、科学的概念形成の一端を担っていると考えられる。

4. 『概念形成図』について

酒井の「のぼり・おり」理論と細谷の「ルーレック方式」をもとに新しく考えたのが『概念形成図』である。『概念形成図』は、児童生徒の「科学的認識の順次性」を明らかにしたものである。田中の「認識の順次性」と「内容の系統性」をそれぞれ独立に存在するものとしてとらえたものではなく、「認識の順次性」と「内容の系統性」の密接な関わりを「科学的認識の順次性」にまとめて練り込んだ考え方である。

図5は筆者により新しく考案した『概念形成図』の構造を表したものである。その要素について解説する。『概念形成図』は、「低次の法則」から「高次の法則」の構造を、学習における児童生徒の「科学的認識の順次性」をもとに表したものである。「低次の法則」とは単元の指導計画では、各授業において児童生徒に新しく学

んで欲しい自然の現象や事実、そして初歩的な科学的概念である。1時間の授業における授業の目標に含まれる科学的な内容を初歩的な法則として表したものである。「高次の法則」とは、単元全体の指導で児童生徒に毎時間の学習を通して獲得して欲しい普遍性のある科学的法則や概念である。

1時間の授業で児童生徒に学んで欲しい「低次の法則」は、「発問や実験」により児童生徒に働きかけられる。どのような「発問や実験」をどのような系列で行っていくかということが、科学的概念形成の授業では非常に重要になる。細谷の「ルーエック方式」の「エグ（自然の現象や事実）」の適切な系列化が、「ル（科学の法則や概念）」の形成につながっている。

図5において「のぼり・おり」理論の「のぼり」と「おり」は、それぞれ上向きの矢印と下向きの矢印で表されている。「のぼり」は「概念の内包」で、「おり」は「概念の外延」を表している。理科の授業が進むにつれ児童生徒の認識は「のぼる」方向に進む。「おり」たらその後必ず「のぼる」のが特徴である。両方に矢のある矢印は、2つの階層構造のある科学的法則や概念の間を児童生徒の認識が行ったり来たりしていることを表している。実際の授業の場面では、児童生徒の認識は日常経験や既習事項をもとに生活的概念と科学的概念の間を行ったり来たりしている。そのような場面を通して徐々に科学的概念形成がなされていく。高次の法則になるにつれ、いくつかの低次の法則を包含するようになっていく。

図5における①や②などは単元の1時間目や2時間目の授業を表している。単元を通しての児童生徒の科学的概念形成は、①から順番に授業を通して児童生徒の内面的な部分で行われていく。

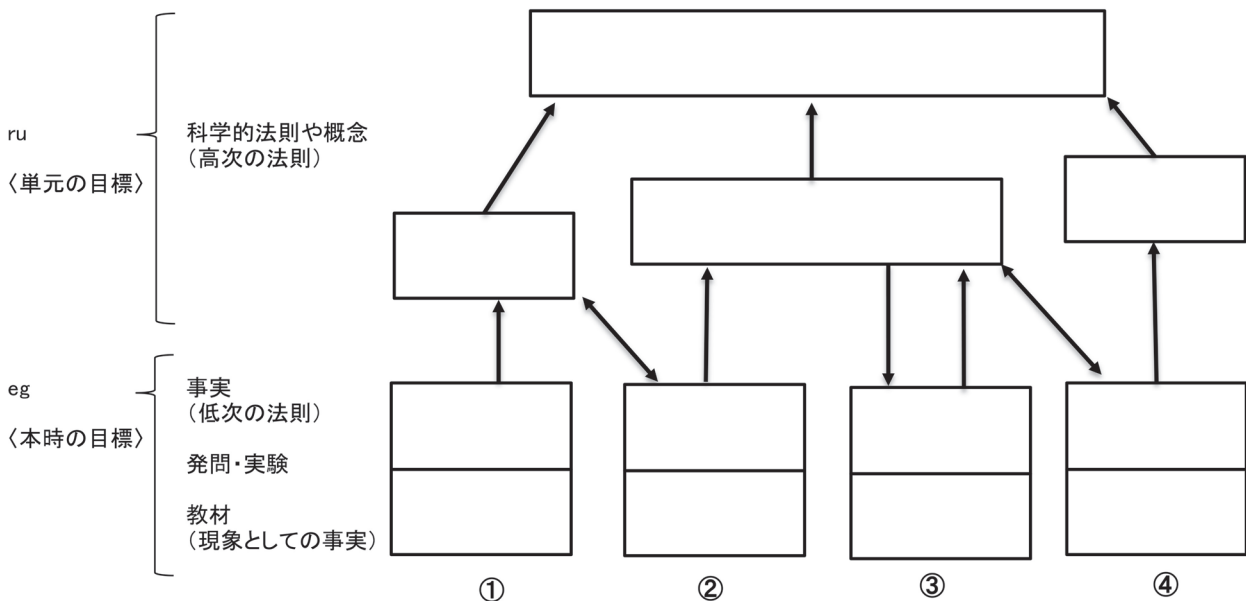


図5 『概念形成図』の構造

図6と図7は具体的な理科の授業における児童生徒の科学的概念形成を、『概念形成図』で表したものである。図6は小学校での地形学習「川がつくる地形」の『概念形成図』を筆者が作成したものである。現行の教科書では、小学校では「雨水のゆくえ」（4年）と「流れる水の働き」（5年）で主に地形学習を行っている。それをもとに新しく考案した発展的な単元「川がつくる地形」である。その一部が図6である。

この『概念形成図』の「高次の法則」は「大地の地形は川によってつくられたものである。」である。この「高次の法則」は、一つの「中位の法則」の「川の浸食、運搬、堆積の作用によりつくられた地形がある。」と、二つの「低次の法則」の「川は長い時間をかけて大地を浸食する作用がある。」と「川は土砂を運搬し堆積する作用がある。」から成り立っている。このように単元（小単元）レベルで児童生徒の「科学的認識の順次性」に沿って自然科学の概念や法則を階層的に書き表したものが『概念形成図』である。科学的概念の階層をもとに、各授業の発問や教材（上空写真や立体模型図）が選定される。

図7は中学2年生の単元「電流と磁界」における『概念形成図』である。この単元では「磁界を表す磁力線」で磁界や電磁力をとらえることが、生徒の科学的概念形成での重要な中心概念になる。マクロな実験のみで現象を受け入れるだけではなく、生徒が「磁力線」を思考の

手だてとして磁界や電磁力について理解を深めていくことが求められる。この「磁界を磁力線で表す」ことは抽象度が高いため、何時間かの授業を通して生徒の思考の手立てとして生徒自身が使いながら身につけていくことが必要である。

『概念形成図』での「高次の法則」は、「電流のまわりには磁界があり、磁界どうしの相互作用で力や電流が発生する。」である。これは3つの「中位の法則」の「導線に電流を流すと電流のまわりに磁界ができる。」「磁界の中で導線に電流が流れると力を受ける。」「導線のまわりの磁界の強さや大きさが変化すると、導線に電流が発生する。」と「磁界を磁力線で表す」ことに関連した7つの「低次の法則」から成り立っている。こられの「低次の法則」をもとに各授業での具体的な学習内容をまとめると、以下のような順序と内容になる。

- ①永久磁石のまわりの磁界を磁力線で表す。
- ②電磁磁石のまわりの磁界を磁力線で表す。
- ③導線のまわりの磁界を磁力線で表す。
- ④永久磁石と導線のまわりの磁界が相互作用を起こす。
- ⑤コイルの中の磁界の変化で電磁誘導が起こる。

このような一連の学習内容の流れを法則や概念と関連づけていくことが、まさに科学的概念形成の授業である。それを一連の学習課題（主発問）と実験や観察の系列で構成したものが『概念形成図』である。

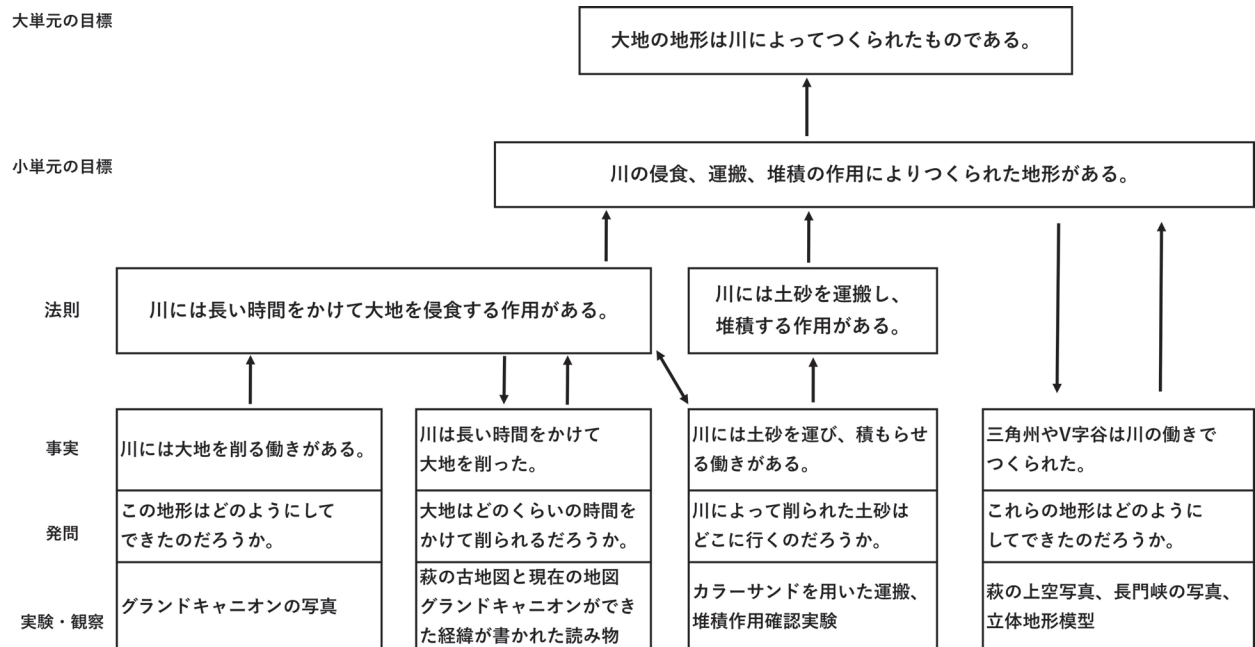


図6 単元「川がつくる地形」の『概念形成図』

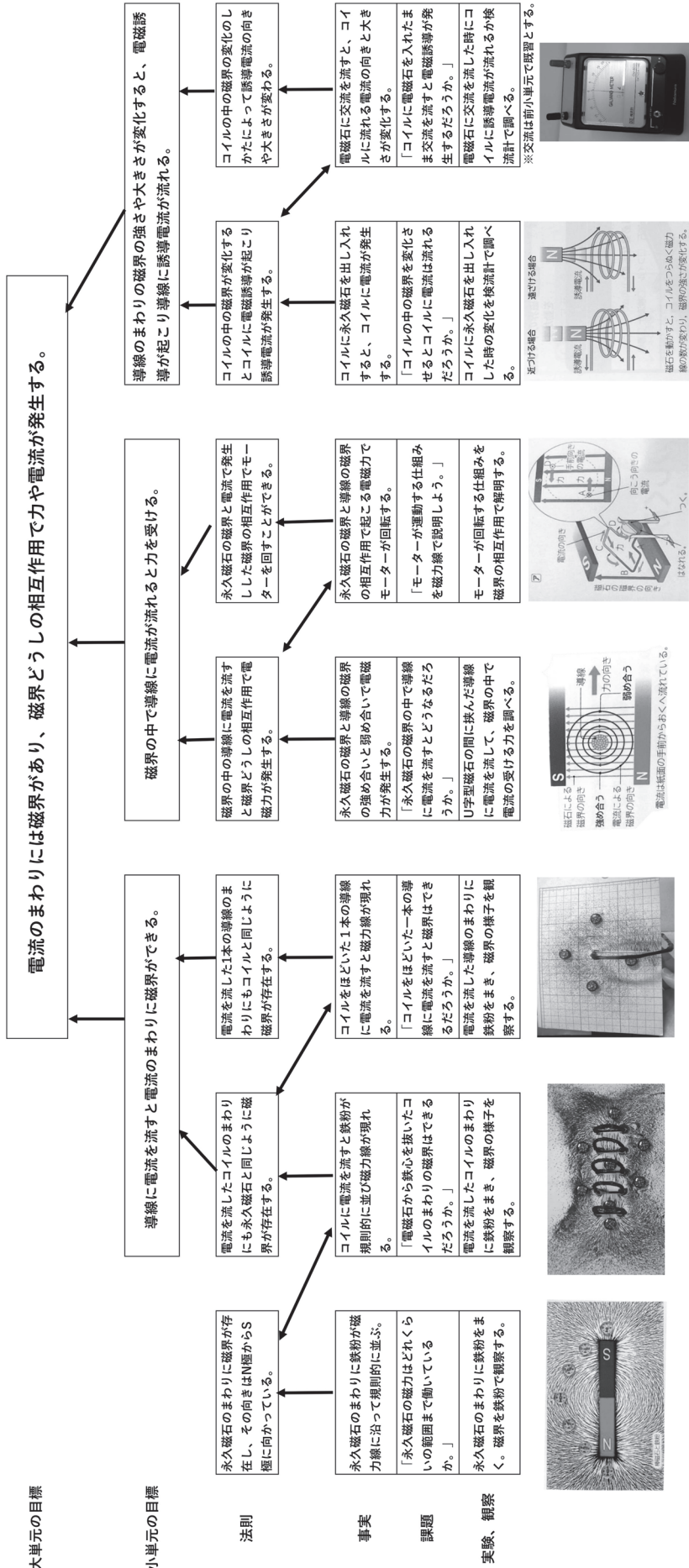


図7 単元「電流と磁界」の『概念形成図』

5. 「到達目標」による科学的概念形成の授業

玉田は小学校の理科の授業において優れた科学的概念形成の授業を実践した(玉田, 1978)。それは小学校の理科で「何を」「どのように」教えるかということ、「内容の系統性」と「認識の順次性」から明らかにしたものであった。

玉田は単元を通して児童に身につけて欲しい自然科学の法則や概念を「到達目標」と呼んだ(玉田, 1990)。「到達目標」により単元の構造を明らかにした事例の一つ(授業「気体はものである」)を図8に示す(玉田, 1985)。

「到達目標」をより具体的に表したものが「具体的内容」である。「具体的内容」は、「到達目標」の具体的な目標の内容を書き表したものであり、具体的な指導内容を書いたものではない。「到達目標」は上位の目標で、「具体的内容」は下位の目標である。さらに「具体的内容」を受けて授業で扱う「教材」が考えられている。実際の授業は「教材」に対応した「課題」(主発問)によって具体化され、単元はこの「課題」の系列によって成り立っている。「課題」(主発問)は児童にとっての1時間の授業の学習の課題であり、一人では解決できないがクラスの討論や実験などの社会的な認識を通して理解できるように考えられている。

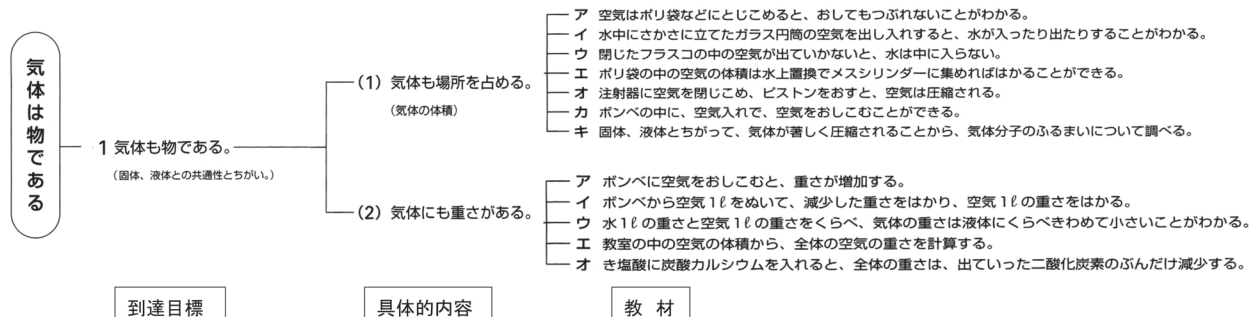
授業「気体は物である」では、「気体も物である。」というのが「到達目標」であり、「気体も場所をしめる。」「気体にも重さがある。」の2つの「具体的内容」によって構成されている。「気体も」となっているのは、「固体や液体」についての物質学習が本単元の前提になっているからである。この単元までに、「固体や液体が場所を占める。」や「固体や液体に重さがある。」が既習事項になっている。科学的概念形成の授業では、児童の生活的概念につながる日常経験や既習事項を明らかにしていくことがこのように重要である。

「具体的内容」につながる「教材」では、ア、イ、ウなどで教材の具体的な内容と授業の大まかな順序を表している。使用する材料や道具、薬品などは、この単元の「到達目標」「具体的内容」に児童が「課題」を通して迫るのに最適なものを取り上げられている。

玉田の「到達目標」による科学的概念形成の授業の特徴は、各授業の児童への「課題」が児童の「認識の順次性」に沿っており、その系統的な流れで自然科学の基礎的で本質的な内容が自然に学べるようになっているところである。「到達目標」「具体的内容」「教材」という大きな指導指針の元で、綿密に考えられた「課題」が系統的に提示されているところである。玉田の授業はよく「学習課題方式」と呼ばれることがある。それはこういうことに関係しているからかもしれない。

玉田の理科の授業は、単元における児童の科学的概念形成の構造を「到達目標」「具体的内容」でまとめ、「課題」と「教材」により毎時間の授業を具体化している。図8には、「課題」が明示されていないが、実際にはこれとは別に「単元の指導計画」で授業が具体的に示されている。玉田の理科の授業を分析するには、「到達目標」「具体的内容」「教材」による単元の構造と、「単元の指導計画」による毎時間の授業内容の両方を見る必要がある。単元「気体はものである」の単元全部の「課題」は図9に示してある。

玉田の「到達目標」による理科の授業のもう一つの大きな特徴は、児童による「討論」を思考に無理がないように組織化しているところである。ヴィゴツキーの「発達の最近接領域(ZPD)」理論からも「学習課題」は考えられている。児童が自分一人では解決できない課題を、まわりの児童どうして意見を出し合うことにより自分たちで課題が解決できるようになっている。このことが児童の「認識の順次性」を十分保証した授業になっていることにつながっている。理科の教師による説明だけ、それがたとえどれだけ丁寧であっても、では児童の科学的概念形成を行うことは難しい。これは現場の教師は肌を通して経験的によく知っていることである。玉田の理科の授業は、児童が自分たちの言葉で科学の内容を表現することから科学的概念形成の授業は始まっており、さらにそれを日常経験や既習事項をもとに学習集団で吟味していくことでより確かな認識へと高めていると言える。型通りのグループ学習とは質の違う協働的な学習が実現している場面である。



6. 「到達目標」と『概念形成図』

玉田の科学的概念形成の授業は、田中が提案した「内容の系統性」と「認識の順次性」(田中, 1956) という観点で小学校の理科の授業を考えたものである。「到達目標」をもとに田中の理論を授業で実践しその成果を明らかにしたと言える。筆者が考える『概念形成図』は、まずは「のぼり・おり」理論と「ルーレグ方式」により単元の学習指導を「科学的認識の順次性」でとらえ表記したものである。そこに玉田の「内容の系統性」に裏付けられた「認識の順次性」を考えた科学的概念形成の授業を考えることで、筆者の考える「科学的認識の順次性」はより鮮明になる。酒井、細谷、玉田のこれら3つの教育の動向は同時代に別々の場所で発生したものである。これらを科学的概念形成の授業という視点でまとめ、さらに「科学的認識の順次性」という観点で考えた。そして、理科の授業の授業戦略としての『概念形成図』を新しく考案し、授業カリキュラム研究の一つの方向性を示した。

玉田の理科の授業を「到達目標」で整理したもの(図8)は、単元における毎時間の授業の関わりや位置付けが読み取りにくい。そのため実際に授業を行うには、授業者が「到達目標」とは別に「単元の指導計画」を作成し「課題」を明らかにしなくてはならない。実際の授業には「単元の指導計画」が必要である。

そこで『概念形成図』では、玉田の「到達目標」と「単元の指導計画」をまとめて表せるようにした。図5の『概念形成図』の①から②などで「課題」を書いて授業の順序を表し(『概念形成図』の左から右への動き)、それを認識の「のぼり」「おり」を表した矢印で関連づけ(『概念形成図』の下から上への動き)、玉田の授業における児童生徒の単元での認識の動きを表した。これにより玉田の「到達目標」による科学的概念形成の授業の全体構造をよりわかりやすく提示することを可能にした。

図9は、玉田の科学的概念形成の授業の単元「気体は物である」を、筆者が『概念形成図』で新しく書き直したものである。図8の玉田の「到達目標」には書かれていない実際の「課題」を授業の順番に書き並べ、それと「具体的内容」と「到達目標」の関連がわかるようにした。特に、「低次の法則」や「事実」に該当するところを新しく追加することにより、「のぼり・おり」理論や「ルーレグ方式」との形式の統一を行った。図9の「(低次の)法則」と「現象と事実」が、筆者が新しく追加した部分である。

『概念形成図』は理科の授業における児童生徒の「科学的認識の順次性」を単元レベルで表したものである。「内容の系統性」と「認識の順次性」で科学的概念形成を意図した玉田の授業実践を『概念形成図』でとらえ直

し、玉田の二つの観点を盛り込んだ「科学的認識の順次性」で考えることにした。

『概念形成図』に基づいた科学的概念形成の理科の授業では、玉田のように児童の「討論」を組織化することが必要になってくる。それは科学的概念形成の理科の授業は、児童生徒の主体的な思考の過程を重視しているからである。児童生徒の内面的な動きを、理科の授業では課題や実験などで創っていかなくてはならない。そのため児童生徒の「討論」を組織化する必要があるからである。『概念形成図』を手がかりに児童生徒の「討論」が起こるような「学習課題」を考えていくことも同時に求められている。

7. 成果と課題

本研究では児童生徒の科学的概念形成の過程をより明らかにするために、先行研究をもとに『概念形成図』を新しく考案した。これは科学的概念形成の授業を意図して実践された優れた授業の分析を行うのに大変有効である。理科の授業で児童生徒が、自然科学の基本的で本質的な内容をどのように認識しているかが目に見える形でとらえることが可能であるからである。

筆者は科学的概念形成の理科の授業を「[課題]—[討論]—[実験]」で構成することを提言した(栗田, 2017)。この授業を単元レベルでの科学的概念形成につなげるために『概念形成図』の果たす役割はかなり大きい。各授業で児童生徒が学習する「低次の法則」や「現象や事実」と、単元を通して身につける「高次の法則」との関連が明確にされるからである。このように『概念形成図』は理科の教師が新しい科学的概念形成の授業を創る時にも大いに活用されると判断できる。また、各授業で実施される実験や観察の意義についても、それが作業的で単発的なものでなく科学的概念形成に大きな役割があることを明らかにしてくれる。

単元ごとに新しく作成した『概念形成図』の妥当性については、さらに多くの科学的概念形成を意図した授業実践の記録を分析することで考察していく必要がある。『概念形成図』との実際の児童生徒の科学的概念形成の過程の整合性をさらに検討する必要がある。特に児童生徒の科学的概念形成が授業でうまくいかない場合には、理科の教師の授業戦略である『概念形成図』を検討することで新しい方向性も見えてくるであろう。

科学的概念形成の授業に、新しく理科の授業の授業戦略として『概念形成図』を活用することを本研究では提言した。児童生徒の自然認識の過程をより明らかにするための理科の授業研究の指針の一つとして貢献できればと考える。

引用文献、参考文献

- ・板倉聖宣 1982年「仮説実験授業 花と実」仮説社
- ・岡村定矩他 2016年「新しい科学2」pp.248-260 東京書籍
- ・川勝博 2010年 名城大学総合数理教育センター活動報告書, 第8号 pp.183-201「《のほりおり》講座 講演記録」
- ・栗田克弘 2017年 教科研究理科 No.205 pp.2-5 学校図書「確かめ考え深める理科の授業」
- ・酒井寛 1976年 理科教室11月増刊 p.220「自然を豊かに描く子どもを願って認識の「のほり・おり」を組織した授業」
- ・酒井寛 1988年 科学教育研究協議会東海ブロック集会報告集 pp.1-42「「のほり・おり」と「三段階連関理論」から学ぶのほり・おり講座」
- ・庄司和晃 1968年「仮説実験授業の論理構造」仮説実験授業研究会
- ・庄司和晃 1986年「仮説実験授業と認識の理論」季節社
- ・滝川洋二 1990年 物理教育38巻3号 pp.196-199「概念形成と法則の理解－金属の学習を例に」
- ・田中実 1956年 教育7月号 pp.20-24「理科における系統性」
- ・玉田 泰太郎 1978年「理科授業の創造 物質概念の基礎を教える」新生出版
- ・玉田泰太郎 1985年「「気体はものである」日本書籍
- ・玉田泰太郎 1990年「理科の到達目標と教材構成」あずみの書房
- ・玉田泰太郎 1990年「理科の到達目標と教材構成」あずみの書房
- ・細谷純 1983年「学習と環境」pp.345-347「ルーレック方式とは何か」小学館
- ・ヴィゴツキー 2001年 訳柴田義松「思考と言語」新読書社