

概念変化研究からみた教育課程編成の課題：
理科教育の事例検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-07-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 村山, 功 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00008895

概念変化研究からみた教育課程編成の課題

-理科教育の事例検討-

Issues in Curriculum Development Raised by the Conceptual
Change Research: A Case Study of Science Education

村山 功

Isao Murayama

静岡大学大学院教育学研究科

abstract

To develop a curriculum, three tasks should be accomplished: selection of educational contents, arrangement of educational contents, and assignment of educational contents to appropriate grades. It's desirable if these tasks are performed, or at least supported, by educational theories. However, results of conceptual change research give negative answer to this expectation. This article shows why educational theories can't contribute to these tasks, based on examples from science education. At the end of this article, "Learning Progressions" research is introduced as alternative candidate.

キーワード： 教育課程 概念変化 発達段階 学習の階層性 素朴概念

1. 問題の背景

学習指導要領を念頭に置けば、教育課程を編成するには、(1) 教育内容を選択し、(2) それを内容の順序性に基づいて配列し、最終的に (3) 学年に配当することが必要である。これは後ろにいけばいくほど強い制約となっている。このため、問題としての難しさは選択、配列、学年配当の順に高くなっていく。さらに、これらよりも基本的な問題として、教育内容の記述方法がある。本稿では、これらを教育課程編成の中心となる問題として扱う。

教育課程は、それによって学習を進めることによって、その目標段階に到達することができなければならない。これを教育課程の「学習可能性」と呼ぶこととする。ここに注目すれば、教育課程の編成は教育内容の研究成果に基づくと同時に、学習研究の成果にも基づく必要がある。さらに、学習指導要領のように教科における長期の学習を規定する場合には、そこに概念的な理解も含まれざるを得ない。概念変化研究という心理学の一分野から教育課程編成に一石を投じる理由はここに

ある。

教育課程を実際に編成していくためには大変な作業が要求されるため、上記の問題に対する何らかの理論的な解決が得られるならば、それは教育課程編成に携わるものにとっては朗報だろう。そこで本稿では、概念変化研究の知見に基づいて、教育課程編成の諸問題の理論的解決の可能性について検討していく。

2. 学年配当の妥当性と発達段階

学習指導要領では、教育内容が単に配列されているだけではなく、学年に対して割り当てられている。このような形式の教育課程では、配列の順序性の問題に加えて、学年への割り当てが妥当であるかという問題が生じる。学年配当の妥当性とは、その教育内容をその学年の児童生徒の大多数が習得可能であるか、という問題である。もちろん、これはそこに至る教育内容の配列や学年配当の妥当性が保証されているという前提がおかれている。

成人を対象とした教育であれば、順序性の問題

に加わるのは、学習期間に対する教育内容の配分の妥当性である。つまり、学習期間に比して学ぶべき内容が多すぎないかという「量の妥当性」の問題である。しかし、子どもを対象とした学校教育においては、単に量だけではなく、その年齢の児童生徒に学習可能な教育内容であるかという「質の妥当性」問題が加わるのである。

理科教育の分野においては、学年配当の妥当性について発達段階を根拠とする研究が行われていた。その代表的な研究者として、Lawton が挙げられる (Lawton et al., 1978)。ここで扱われる発達段階とは、主にピアジェの発達段階である。Piaget の発達段階説の特徴は、発達的变化が段階的に生じること、その変化は新たな心的操作の獲得によること、そのため発達的变化はすべての領域に共通して生じることである。たとえば、量の保存概念の獲得には可逆的操作が不可欠であり、可逆的操作ができない段階では量の保存概念は獲得できないことになる。このことから、具体的操作期に達していない児童に量の保存を教えるのは妥当ではないという結論が導かれる。(注1)

このように、発達段階説を前提とすれば学年配当の問題はある程度は解決できるように思える。しかし、概念変化研究の進展により、この発達段階説自体の有効性が疑問視されている。具体的な例として、生物概念に関する一連の研究の発端となった Carey (1985) の研究がある。Carey は、「生物 X が属性 Y を持つことを教えたときに、どの範囲の動物に属性 Y を付与するか」などの課題を用いて、子どもの生物概念の発達を調べた。その結果、4歳児では、人間とどのくらい似ているかに基づいて属性の付与を判断する、人間との比較モデルを用いていた。ところが、年齢が増えるにつれ、生物学的カテゴリや生物学的な機能についての知識に基づく推論へと変化していく。Carey はこの変化を、4歳から10歳の間を生じる生物についての知識の再体制化によるものと説明している。

この研究以降、幼児が物理的世界、生物的世界、心的世界の3領域に分かれた「理論」を持っていることが提唱された (Wellman & Gelman, 1998)。子どもが発達するにつれ、初期の物理的世界の中から天文的世界が分化していくなど、この大きな領域の中でさらに理論領域の分化が生じていくのである (Vosniadou & Brewer, 1992)。このような発達の全体像は、Piaget の主張する領域に共通

な発達的变化という発達観とは相容れないものである。

また、領域内での発達的变化は既有知識に基づくものであり、心的操作によるものではない。心的操作のみであれば、Piaget の主張するよりも低年齢の段階からできることが示されている (Goswami & Brown, 1989 など)。また、Piaget によれば、物体は見えなくなっても存在し続けるという物体の永続性の概念は、感覚運動期の間に1年ほどかけて獲得される。しかし、Ballargeon (1987) は、馴化 - 脱馴化法 (habituation-dishabituation) を用いて乳児が3.5カ月ですでに物体永続性を示すことを明らかにした。ここから始まる一連の研究では、発達初期における「生得性」が主張されており、認識は相互作用から発生すると考える Piaget の発達観とは異なっている。

このように、現在の発達心理学的研究では Piaget のような発達段階説は少なくとも主流ではなくなった。発達段階説に基づいて学年配当を考えるというプランは、発達段階説自体の信頼性の喪失によって、当初のもくろみとは異なり実現困難なものとなったのである。

3. 配列の妥当性と素朴概念

学年配当の問題を除いたとしても、教育内容の配列を決定する問題は残る。選択した個々の教育内容に何の関係もなければ、配列を決定する必要はない。どこから学んでもよいからである。つまり、配列を決めるということの前提として、教育内容に順序性・系統性がなければならない。問題は順序性・系統性がどのように決まるかである。これに関しては、Gagne (1962) の提唱した学習の階層性に言及されることが多い。

学習の階層性とは、一般により高次の知識・技能・行動はより低次の知識・技能・行動の学習を前提としているという、知的技能の相互依存性のことを指している (注2)。このため、教育内容の配列は低次の技能から高次の技能へと累積的に構成されなければならない。それを実現するための具体的な方法が課題分析であり、行動の場合には以下のような手順を用いる。

- (1) 目標行動の形成に直接必要な下位の行動(下位目標行動)を決定する。
- (2) 下位目標行動のおのおのに対して、その形成に直接必要な下位目標行動を決定する。

(3) 上の(2)の手続きを学習者がすでに形成している行動(前提行動)に達するまで繰り返す。

結局、学習の階層性というのは、個々の教育内容間に半順序関係を想定するということである。もし全順序関係が想定できれば配列を一意に定めることができるが、ほとんどの場合は半順序関係であるためそれに起因する曖昧さは残るものの、教育内容の配列は可能となる。ただし、それを実施する手段である課題分析は、最終目標としての教育内容、つまり学習が終了した時点での知識を対象として行われる。そのため、生み出される知識の階層構造は、学習終了時点での正しい知識を構成する階層構造である。これが学習過程の階層構造と一致するかどうかは、課題分析の正しさとは別問題であり、改めて検討する必要がある。

これを言い換えると次のようになる。課題分析により、最終目標とする知識を構成する要素知識の集合が生み出される。これは要素間に半順序関係を持つ、半順序集合である。これを全体集合と考える。ある学習者を想定すると、この集合の要素はその学習者にとって既習のものと未習のものに分けられる。既習の要素知識からなる部分集合は、この学習者のその時点での理解状態を表している。未習の要素知識の集合がその補集合となるため、半順序関係に従ってこの補集合の要素を順番に部分集合に移していくのが、学習の系列となる。これが、基礎から順序よくということの意味である。

問題は、この想定が間違っていることである。概念変化研究において最も基本的な知見は、学習者がしばしば誤った知識や信念を持っている、ということである。たとえば、中学校第3学年第2分野「地球と宇宙」で扱う月の満ち欠けの仕組みを考えてみよう。学習指導要領解説には、以下のように書かれている。

イ 太陽系と恒星

(イ) 月の運動と見え方

月の観察を行い、その観察記録や資料に基づいて、月の公転と見え方を関連付けてとらえること。

この内容を理解するためには、少なくとも

- ・地球が太陽の周りを公転している
- ・地球が自転している
- ・月が地球の周りを公転している

という知識を必要とする。地球に関しては、直近では「ア 天体の動きと地球の自転・公転」で扱

れる。しかし、そこに至るまでに、

- ・地球が球形である
- ・月が球形である

という知識も必要である。しかし、幼児期には、地球は平らな面であると考えられており、球形であることは受け入れられていない(Vosniadou & Brewer, 1992)。この時点での幼児の理解状態を、「月の満ち欠けの仕組み」の課題分析から得られる知識の集合の部分集合として表すことはできない。なぜならば、その理解状態を表すためには、部分集合の中に「地球は平らである」という要素知識を含めなければならないが、課題分析から得られた全体集合の中にそのような要素知識は存在しないからである。

教育課程編成にとっては残念なことに、最終的に獲得される正しい知識を分析することによって、学習者が持っている可能性のある誤った知識を導き出すことはできない。正しい知識は正しい知識から構成されているため、それを分析しても正しい知識しか出てこないからである。このことから、学習の階層性やそれを用いた課題分析という方法によっては、学習者のすべての学習状態を記述する枠組みを生み出せないことがわかる。それは、このような方法で教育内容の配列を作ることができないということを意味している。

これが学習の初期段階のみに関わる問題であるならば、そこだけは何らかの方法で問題を回避できるかもしれない。しかし、問題はもっと根深いのである。電気回路を題材として、これを説明しよう。

小学校学習指導要領解説によれば、第3学年「A 物質・エネルギー (5) 電気の通り道」では、以下のように目標が設定されている。

乾電池に豆電球などをつなぎ、電気を通すつなぎ方や電気を通す物を調べ、電気の回路についての考えをもつことができるようにする。

ア 電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方があること。

イ 電気を通す物と通さない物があること。

このアの詳細は以下の通りである。

ア 乾電池1個と豆電球1個を導線でつなぎ、回路ができると電気が通り、豆電球が点灯することをとらえるようにする。また、乾電池と豆電球と導線を使い、豆電球が点灯するつなぎ方と点灯しないつなぎ方を比較し、回路ができると電気が通り、豆電球が点灯すること

をとらえるようにする。さらに、導線を乾電池の二つの極以外につないだり、導線と乾電池がつながっていなかったり、回路の一部が切れていたりすると豆電球は点灯しないこともとらえるようにする。

このように、小学校第3学年において、乾電池の二つの極をつなぐ電気の通り道という概念が教えらる。

また、第4学年「A 物質・エネルギー (3) 電気の働き」では、

乾電池や光電池に豆電球やモーターなどをつなぎ、乾電池や光電池の働きを調べ、電気の働きについての考えをもつことができるようにする。

ア 乾電池の数やつなぎ方を変えると、豆電球の明るさやモーターの回り方が変わることを。

イ 光電池を使ってモーターを回すことなどができること。

が目標とされ、アに関しては、

ア 乾電池の数を1個から2個に増やして豆電球を点灯させたり、モーターを回したりすると、その明るさや回転数が増す場合と、乾電池1個につないだときと変わらない場合があることなどから、電球の明るさやモーターの回り方の変化を電流の強さと関係付けながらとらえるようにする。また、乾電池の向きを変えるとモーターが逆に回ることから、電流の向きについてもとらえるようにする。その際、例えば、簡易検流計などを用いて、これらの現象と電流の強さや向きとを関係付けながら調べるようにする。

と、電流の向きを捉えさせることが示されている。

一方、電流に関する理解の研究では、Osborne & Freiberg (1988) の指摘した「電気は+と-の両極から流れている」など、様々な素朴概念が発見されている。畦・井村 (2012) は「電気のはたらき」を学習する以前の小学校4年生が、「電気は+と-の両極から流れている」「回路を流れる電気の強さは同じではない」「回路を流れる電気には種類がある」という三つの素朴概念を持つことを示した上で、「電気のはたらき」を学習することにより、「電気は+と-の両極から流れている」が「電気は+極から-極へ流れる」に変容したものの、残り2つは変化しなかったことを報告している。

乾電池については日常生活の中で扱う経験があるため、3年生で「電気のとおりみち」を学ぶ前

からこのような素朴概念を持っていた可能性はある。しかし、「回路を流れる電気の強さは同じではない」は、豆電球の回路でいえば、+極から流れる電流が豆電球の前後で強さが変わる（豆電球で電気が使われて電流が弱くなる）という考え方である。これは、「電気は+と-の両極から流れている」から「電気は+極から-極へ流れる」へと概念変化した後でなければ出てこない素朴概念である。このことは、学校で学んだ教育内容によって素朴概念が生成されたことを示しており、初期の素朴概念が教育によって解消されていくという想定が成り立たないことを示している。つまり、正しい知識を学ぶことが新たな間違った知識を生み出しているのである。

4. 教育内容選択の妥当性と概念変化

前項で述べたことは、教育内容の配列（学習系列）上に学習者を位置づけることができないという以上の問題につながっている。正しい知識のみを要素とする集合によって、学習者の理解状態を表現することができないということは、学習系列もまた正しい知識のみでは記述できないということである。これを言い換えると、誤った知識を含んだ学習系列を考える必要があることになる。このことは、場合によっては、教育課程に誤った知識を含めるといふ異様な結論につながっていく可能性を含んでいるのである。再び電気回路を例にして、これを説明しよう。

電気回路について「回路を流れる電気の強さは同じではない」という素朴概念があることはすでに述べた。この例では、電気の通り道ができれば電気が流れると正しく理解している学習者が、その一方で電気は豆電球で使われるため豆電球の前後で電流の大きさが異なると考えていることになる。しかし、電気の通り道ができれば電気が流れるという知識を持っていれば、電流の大きさに関する誤解は小学校の教育課程で触れられていないがために許容されている。ちなみに、黒岩・村上 (1993) では大学生からもこのような素朴概念の存在を示す回答が得られている。

さらに、電流に関する理解を研究した山縣によれば、「直列回路中の電流の量は変わらない」ことを理解している生徒でも「豆電球は電子を消費する」という素朴概念を持つものが多く、教授実験において「直列の回路を流れる電流の量は一定である」ことを理解させても「熱が発生する時、電

子は消費される」という素朴概念は自動的に修整されない(山縣, 2002; 山縣, 2006)。このように、正しい知識と素朴概念は容易に併存しうるのである。

しかし、この問題はそれでは済まないのである。Hatano & Inagaki (1996) は、概念変化を自発的概念変化と教授に基づく概念変化に分けて論じている。教育課程について考えるということは、教授によって概念変化を目指すことである。このとき、自発的に生じる概念変化をなぞる方が教授＝学習は容易になると考えられる。なぜならば、その変化は組織的な教授がなくても生じる変化だからである。

自発的な概念変化として、再び Vosniadou ら (1992) による地球の概念の変化を見てみよう。日常経験から作られる就学前児の地球の概念は、平らで安定し不動の物理的対象、というものである。地球は下から地面等によって支えられ、地球の上には空や天体がある。地上の物体は上下に働く重力に従い、空間は上下の次元で組織化されている。これが、球形の天体としての地球という理解に至るまでに、以下のようなモデルを経るといふ。

2つの地球モデル

これまで通りに理解された地球とは別に、惑星としての地球が空にあると想定したモデル
空洞球体モデル

空洞の球体の中に大地があり、その上に人間が立っているモデル

平らな球体モデル

球体を平らに押しつぶした、あるいは上部を水平に切り取った形のモデル

この一連のモデルは、平らな大地という既存のモデルに丸い地球という新たな情報を統合しようとするために生み出される「統合モデル」である。

地球の理解はなぜこのような一連のモデルの変化を経るのだろうか。Vosniadou ら (1992) の説明は次のようなものである。子どもにとって地球は素朴物理学という大きなフレームワーク理論に埋め込まれているが、地球に関する科学的な知識は天体というフレームワーク理論に埋め込まれている。素朴物理学というフレームワーク理論の前提が少しずつ外れていくことで、このような一連の統合モデルが生み出される。2つの地球モデルは、知識相互が干渉しないように作られ、フレームワーク理論は維持される。空洞球体モデルでは

地球を支えるものが不要となり、平らな球体モデルでは不動の中心という前提もなくなるが、上下方向に分節化された空間という前提が残るために平らな部分を必要とする。

このように、球形としての地球という理解に至るにはフレームワーク理論の変更が必要である。この変更は困難であり、単純に事実を教えればすむものではない。素朴物理学のフレームワーク理論の前提を少し外し、そこで生み出される誤ったモデルに慣れる、という段階を繰り返して到達できるのである。Vosniadou らのこの説明が正しいとすれば、子どもに地球の概念を教えるためにこの変化を教授によって生み出すとしたら、途中段階の誤ったモデルを積極的に教えていく必要があるのではないだろうか。

教育の過程においては、誤りを含んだ教授方法が選択される場合もある。理科においては、溶解や物質の状態変化など目に見えないものを説明するために、モデルがよく用いられる。これらのモデルは、説明する現象との対応性が高いものから低いものまで様々である。電池と抵抗からなる簡単な電気回路における電流－電圧－抵抗の関係を教えるときには、水流モデルや小動物モデルが用いられることが多い。しかし、用いるモデルによってある側面が理解しやすくなる一方で、他の側面に対する誤解を生じることがある (Gentner & Gentner, 1983)。Gentner らは、理解とモデルの関係を調べるため、電池や抵抗を直列や並列につないだ回路における、電流や電圧の大きさを判断する課題を用いた。その結果、水流モデルを用いた被験者は、電池を直列・並列にした回路は正しく判断できるが、抵抗を直列・並列にした回路では誤答しやすかった。小動物モデルを用いた被験者は、それとは逆の傾向を示した。

このような使い方によっては誤解を生じるようなモデルを、それを理解した上で教授に用いるのは、それによるメリットの方が大きいと判断しているからである。教育内容編成において同じ判断がなされても何ら不思議ではない。

5. 教育内容の記述と断片的知識アプローチ

ここまでの議論は、知識を単位として行われている。教育内容についても、理解した／理解していないの二分法で語られてきた。しかし、概念変化研究においては、学習者の理解をどのように記述するかが大きな問題となっている。

断片的知識アプローチと呼ばれるアプローチでは、知識は断片的なものであるとされている。従って、ここまで紹介してきた研究が子どもの理解をひとまとまりの知識や理論というレベルで記述しているのに対し、断片的知識アプローチの扱う個々の知識はかなり単純な内容しか表していない。この意味で、概念下 (sub-conceptual) の知識と呼ばれることもある。断片的で単純な知識しか持たないのに複雑な認知や行動が可能なのは、これらの断片的な知識が組み合わせられて用いられるからである。このアプローチの代表例が、diSessa (1983) の提唱する p-prim である。

p-prim は phenomenological primitives と呼ばれる要素知識の短縮形である。これは、物理的世界の現象の観察を通して獲得される、単純な要素知識である。たとえば、バネを押すと縮み、放すと戻る。この現象を見ることで、人間は「弾性」という p-prim を形成する。弾性の p-prim 自体は、押し縮めたり引き伸ばしたりしても元に戻るといふ現象を見たときに想起されるというだけの単純な要素知識である。このような要素知識は、観察に基づいて多様な現象から大量に作り出される。

先に述べたように、個々の p-prim 自体は単純なものであり、それ単独で複雑な思考を説明するのではなく、p-prims 間の関係によって説明を行う。そのための仕組みが、呼び出しの優先度 (cuing priority) と信頼性の優先度 (reliability priority) である。

人間が自然現象を見たとき、それに関連すると思われる p-prim が呼び出される。いつ何が呼び出されるかを決めているのが、呼び出しの優先度に基づくメカニズムである。観察された現象に関連する p-prim が複数あっても、呼び出されるのは優先度の高い p-prim である。しかし、p-prims の呼び出しは状況との単純なマッチングによって行われるため、呼び出された p-prim は必ずしもその状況に適切とは限らない。呼び出された p-prim を使うかどうかを決定するのが、信頼性の優先度である。同じ p-prims を持っても、呼び出しの優先度や信頼性の優先度が変われば、反応は異なることになる。

このアプローチから、学習に関して3つの重要な示唆が導き出される (村山, 2013)。

第一に、正しい知識の獲得を学習と呼ぶことが多いが、個々の p-prim 自体について正しいとか間違っていると言うのは意味がない。物理現

象について問われたとき、正しく答えられたというのは、その現象を扱うのに適切な p-prim が呼び出されたことの結果であり、間違った解答は不適切な p-prim が呼び出されたことの結果である。呼び出された個々の p-prim が正しいわけでも間違っているわけでもない。

第二に、学習のどの時点においても、同じような p-prims を含んでいるということである。科学的概念の獲得によって、たとえ根本的な概念変化が起きたとしても、p-prims の総入れ替えは生じない。たとえば、運動方程式あるいはエネルギー保存則や弾性係数によって、物体の跳ね返りの運動が計算できるようになったとしても、弾むという現象を見たときに弾む p-prim が働くことに変わりはない。そうでないと、現象と科学的概念をつなぐものがなくなってしまう。

第三の示唆は、科学的概念の獲得は学習の終了を意味しないということである。たとえば、ガラス板の上に鉄の玉が落ちる場合でも、そこに弾性は存在している。しかし、日常的な考え方では、この現象から「剛性」や「壊れる」という p-prim は呼び出されても、「弾性」や「弾む」という p-prim は呼び出されない。このことは、弾性についての科学的概念が獲得されていても、この場面には適用されないということの意味している。つまり、科学的概念を正しく獲得したとしても、それが必要な現象に適用されるかどうかは呼び出しの優先度の問題なのである。(p.57)

このように断片的知識アプローチから考えると、どの段階で知識を学んだと判断するかが、かなり曖昧になってしまうのである。そうになると、教育課程において教育内容を知識として記述した場合、学習者がどうなれば教育目標を達成できたのか、教師にとっても判断が難しいということになる。このような形で教育課程を記述することが妥当であるのか、どのような記述が可能であるかについて、今後研究を進めていく必要があるだろう。

6. おわりに

本稿では、教育課程編成の問題を教育内容の選択・配列・学年配当とし、それが理論的に決定もしくは支援できるかどうかを検討した。素朴概念研究から発展した概念変化研究の知見に依拠しつつ、3つの問題に対して考察した結果、(1) 学年配当を発達段階説に基づいて決定することはできな

い、(2) 教育内容の配列を学習の階層性やそれに基づく課題分析などの手法によって決定することはできない、(3) 教育内容の選択においては「誤った知識」を教育内容として設定する必要があること、が示された。これらのことは、教育課程編成の3つの問題が、理論的に解決できないことを示している。本稿はあくまでも理科教育に限定した事例研究であるが、ここで示された課題はどの教科でも同様に当てはまると思われる。

本稿が否定したのは、一般的な理論に基づいて教育内容をいわば自動的に選択・配列・学年配当する可能性であり、教育課程編成において研究が不要だということではない。一般的に決定することができないだけで、個々の教育内容に対してはより具体的な研究を必要とするのは当然である。しかし、学習指導要領のように長期にわたる教育課程を編成するとなると、個別の具体的な研究によって網羅するのは不可能に近い。少なくとも、これまでに行われた研究だけで学習指導要領に対応する範囲をカバーすることは、内容領域的にも対象年齢的にもまったく不可能である。

この困難なプランを実際に実現しようとしているのが、ラーニング・プログレッションズと呼ばれる運動である (Alonzo & Gotwals, 2012; 山口・出口, 2011)。これは、科学教育に関して実際に教育課程を編成する行政と研究者が協力して行っている取り組みである。現在は、将来の教育課程再編に向けて検討中という段階であるが、実証的研究に基づいて教育課程を編成するために、個別の具体的な素朴概念研究・概念変化研究を積み上げて教育課程を編成する可能性を真剣に模索している。こうした研究を背景に持てば、たとえ教育内容が単なる一文で記述されたとしても、その研究に基づいてより明確な達成基準を示すことができるのではないだろうか。(注3)

注

1. 実際には、物質、質量、重さ、体積の順で保存概念が獲得され、その背景には数量化の獲得に関する段階があるとされている。(Piaget & Inhelder, 1941)
2. 低次の技能は高次の技能の学習に垂直的に転移するという垂直的転移仮説も、学習階層説を構成するもう一つの柱である (福田, 1992)。しかし、それを含めても本稿の議論に変わりはない。

い。
3. NGSS (Next Generation Science Standard) の策定した "Earth Space Science Progression" に含まれる "ESS1.B: Earth and the solar system" においては、6-8年生で太陽系は重力によってまとめられた様々な物体を含んでいるという内容を学ぶことになっている (NGSS Lead States, 2013, p.380)。この前段階の5年生においては、"Physical Science Progression" の "PS2.A: Forces and motion" および "PS2.B: Types of interactions" の中に、地球の重力は地球の中心方向に働くことが含まれている (NGSS Lead States, 2013, p.375)。このことは、それ以前には重力が「下向き」に働いていると理解していることを含意しており、Vosniadou らの平らな球体モデルの「上下方向に分節化された空間」という前提が残る」という説明と合致している。

参考文献

- Alonzo, A., & Gotwals, A. W. (Eds.). (2012). *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Baillargeon, R. (1987). Object permanence in 3 1/2- and 4 1/2-month-old Infants. *Developmental Psychology*, 23, 655-664.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press. 小島康次・小林好和訳 (1994) 『子どもは小さな科学者か』, ミネルヴァ書房.
- diSessa, A. A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.) *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- 福田正弘 (1992). 「社会科学学習内容の階層的配列について -R.M.ガニエの学習階層論の検討-」長崎大学教育学部教科教育学研究報告, Vol. 18, pp.1-14.
- Gagne, R. M. (1962) The Acquisition of Knowledge. *Psychological Review*, 69, 355-365.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. 1983 Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens

- (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 99-129. ジェントナー D.・ジェントナー D. R. (1986) 「水の流れと群の移動: 電気のメンタルモデル」 淵 一博 (監修) 情報処理シリーズ 1 『メンタルモデルと知識表現』, 共立出版, 41-74.
- Goswami, U., & Brown, A. (1989). Melting chocolate and melting snowman: Analogical reasoning and causal relations. *Cognition*, 35, 69-95.
- Hatano, G., & Inagaki, K. 1996 Cognitive and cultural factors in the acquisition of intuitive biology. In D. Olson & N. Torrance (Eds.), *Handbook of education and human development*. Oxford: Blackwell, 683-708.
- 黒岩督・村上尚宣 (1993). 『電気』に関する大学生の自成的概念」兵庫教育大学研究紀要第 1 分冊 学校教育・幼児教育・障害児教育, Vol. 13, pp.55-64.
- Lawton, D., Gordon, P., Ing, M., Gibby, B., Pring, R. & Moore, T. (1978). *Theory and practice of curriculum studies*. London: RKP.
- 文部科学省 (2008). 『小学校学習指導要領解説 理科編』.
- 文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説 理科編』.
- 村山功 「断片的知識論とその教授活動への示唆」 教科開発学論集, 1, 55-64.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: National Academies Press.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. London: Heinemann. 森本信也・堀哲夫訳 (1988) 『子ども達はいかに科学理論を構成するか』, 東洋出版社.
- Piaget, J., and Inhelder, B. (1941). “Le développement des quantités chez l'enfant”, Delachaux et Niestlé. 滝沢武久・銀林浩訳 1965 『量の発達心理学』, 国土社.
- 畦浩二・井村真士 (2012) 『電気』についての児童の素朴概念の変容に関する研究 - 小学校第 4 年学年『電気のはたらき』の単元事例を通して -」大阪教育大学教科教育学会教科教育学論集, 11, 71-78.
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1998). Knowledge acquisition in foundational domains. In D. Kuhn & R. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology: vol. 2. Cognition, perception, and language*, New York: Wiley, 523-573.
- 山縣宏美 (2002). 「中学生の持つ電流のメンタルモデルの分析」日本教育工学雑誌, Vol.26, pp.15-19.
- 山縣宏美 (2006). 「科学的概念と素朴概念の統合に影響する知識の教授の効果の検討: 中学生の電気の概念の獲得プロセス」京都大学大学院教育学研究科紀要, Vol.52, pp.360-372.
- 山口悦司・出口明子 (2011). 「ラーニング・プログレッションズ: 理科教育における新しい概念変化研究」心理学評論, 54(3), 358-371.