

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03140

研究課題名（和文）断片知識論の検討とそれに基づくカリキュラムの開発と実践

研究課題名（英文）Research and Development of curriculum based on Knowledge in Pieces framework

研究代表者

山田 吉英 (YAMADA, Yoshihide)

福井大学・学術研究院教育・人文社会系部門（教員養成）・准教授

研究者番号：30588570

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：A. diSessaの断片知識論（特にp-prims）について理論的妥当性を検討した。diSessaが作成したp-primsリストを彼と独立なデータ（板倉聖宣が提唱した仮説実験授業、玉田泰太郎方式の授業、滝川洋二氏の実践研究、大学における先進的なアクティブラーニング実践の記録）を用いて検討した。断片知識論の基本的な命題は素朴な子供達において（また大学レベルにおいても）よく適合することが確認された。しかし、中心的p-primとされるオームのp-primに関しては、その「抵抗」スロットが必ずしも反比例でなく（負係数の）比例で、その要素性についてはdiSessaの見立てとは異なることが見出された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

米国流の物理教育研究の潮流が我が国にも流れ込み、関連学会で活発な議論が行われ、物理教育の発展にとって好ましい状況となっている。教育研究は実践や行政との結合が強く、潜在的に大きな影響力が期待される。社会の中で作動する教育は受験指導・テスト勉強に焦点化しがちであるが、物理教育研究は概念形成や意味理解、学習姿勢などにより大きな関心を寄せている。ただし、そこで現在主流の研究手法は、工学的、疫学的なアプローチであり、学習や教育の複雑さや多様性、当事者性は捨象されがちである。本研究は、これらの補完的役割を担うものであり、そのための理論的基礎研究である。本研究は、その基本的描像の解明と普及、分析に寄与した。

研究成果の概要（英文）：Theoretical validity of Knowledge in Pieces perspective (mainly the idea of phenomenological primitives) has been examined. P-prims list which had been identified by A. diSessa was examined using independent data. The data was documents made by unique teachers in Japan, based on Kasetsu-Jikken Jyugyo (Hypothesis-experiment-Lessons) proposed by ITAKURA Kiyonobu, teaching method of TAMADA Yasutaro, and TAKIKAWA Yoji's action research, and advanced active learning teaching practice in university. The fundamental idea of knowledge in pieces was verified especially for naive children (and somewhat in university level). Yet, Ohm's p-prim, which is the central p-prim, was found to be less primitive than diSessa's speculation. It's "resistance" slot is not seen to work as inverse proportionality but in (negative sign) proportionality.

研究分野：物理教育

キーワード：p-prims 現象論的プリミティブ 断片知識論 コーディネーションクラス 素朴概念 誤概念 概念形成 概念変容

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

米国流の物理教育研究 (PER) の潮流が我が国にも流れ込み、関連学会では活発な議論が行われている。現在、我が国の教員養成や教員研修の状況は、物理教育研究の学術的観点から見て、必ずしも好ましいものとは言えないが、社会的状況がどうあれ、我々物理教育研究者は「物理的教育と学習」についての理解を深めることを執念深く続けていかねばならないし、そのために日々闘っておられるタフな教師・研究者の先生方に、この場を借りて、心からの敬意を表明させていただきたい。

さて、PER の主流が現在どこにあるかを正確に見定めることは難しく、自分の観察に基づく「勢力図」を描いてみたところで、それで物理教育の真理に接近するわけでもないのだが、PER の旗手たる E. F. Redish と、PER の今は亡き母 L. C. McDermott の Maryland Washington の大きな流れがあり、また、それに並走してシェアを拡大してきた A. Van Heuvelen から E. Etkina への流れ、そして概念テストブームの火付け役 Force Concept Inventory (FCI) の作成者であり、全米高校物理教師研修シェア 1 位と言われる Modeling Instruction を生み出した D. Hestenes などさしあたり押さえておくのは悪くない。その他、無数の派生研究や開発カリキュラムが存在し、その一つ一つに膨大なエネルギーが注ぎ込まれており、その内容を検討するだけでも、個人の力と時間をもってしたのでは、とても覆い尽くせるような質・量ではない。物理教育研究の担い手の確保と、検討作業の「手分け」および情報共有・意見交換が必要である。

本研究開始当初の、我が国における PER の背景を簡潔に言えば、概念テストによる実態調査と、PER で発展してきた特定の教育方法やカリキュラムの効果についての実践検討が中心だったように思う。これらの必要性、重要性は、現在も薄れていないし、今後とも物理教育研究の定番課題として、地道に積み上げていくべきものとする。

ただ、それと同時に、これらの工学的・疫学的方法だけを用いたのでは、教育や学習の複雑さ、多様性、当事者性のリアリティが捨象されてしまうことは見過ごすわけにはいかないと思う。物理教育研究がやがてより大きな社会的影響をポジティブに持ちうるとするならば、人文系の教育学との連絡経路をいくつか持つ必要があるだろうし、学習者を単なる測定対象物として見るのではなく、尊厳ある人間として見ていく目、関わっていく姿勢を鍛えていかねばならないだろう。(これは、それが満足にできていない、私自身に対する要望である。)

そうはいっても、物理を学んだり教えたりする人間の姿を見る(そして関わる)「センスや才能」などと言っているは何にもならないので、どうにかそこに接近する道具立てが必要である。概念テストはどうだろうか。テストスコアの数値だけを見ていても何にもならないが、質問項目そのものの検討は、そこで問われる知識の構造や機能について、いくらかの反省を検討者にもたらす。もう少し言えば、その項目で表現される質問者(集団)の知識のあり方と表現についての洞察が得られる。だが、より直接的に、我々が知りたいと願うのは、(我々教師、教育研究者自身の知識構造と機能もさることながら)教育によってその学びを支援される側の、学習者側の知識構造と機能、あるいは教育実践場面における学習者間の、あるいは学習者と教材の、あるいは学習者と教師の、知識のインタラクションの方であろう。どんなテスト問題も、その項目が日本語(自然言語)で表現される以上、言語が本質的に持つ多義性、曖昧性から逃れることはできない。我々人間同士のコミュニケーションは、その曖昧性や多義的な解釈の可能性の上によりやく成り立っているだろう。この調査される世界の本質的な曖昧さに対して、見て見ぬふりを決め込むわけにもいかないだろう。

「言語の限界を持ち出してしまったのでは、それはテストだけでなく、音声や文章による教育的コミュニケーション一般に対しても限界を認めることになってしまうのではないか?」と問われるならば、それはその通りだと思う。極論、教育の場におけるすべての問題は不良定義問題である(なぜなら教師と学習者の間に未だ前提が共有されていないのが教育の現場なのだから)だが、言葉の意味の共有は、双方向のコミュニケーションで歩み寄ることができる。「質問の意味がわからないのですが」「それは物理の授業で言う力のことですか?日常生活で言う力のことですか?」歩み寄り言葉だけでなく、実物を介せば、同じものを見て、その状況把握、着目点のコントロールを探り合えば、一層我々は歩み寄れる。

授業記録、実践記録というデータの提出方法は、その教育内容の意図や学習者との距離の測り方、問合いの寄せ方への心当たりが読者の側にはない限り、意味を読み取ることが難しい。物理学の世界(現象)の見え方、未習者や初学者の世界(現象)の見え方の双方に関して、ある程度の心当たりが、その読み書きを可能にする。「誤概念」に関する知識を筆者が有していれば、その記録は「科学概念 vs 誤概念」の情景として記述されるだろう。あるいは「子供達の自由な発想、豊かな発想」への関心を筆者が有していれば、それが落とされることなく記載されるだろう。あとは、読者の側に同種の共感が成立するかどうかである。これを促進するような、ある程度共有可能な解釈のフレームワークとして、A. diSessa の断片知識論(p-prims 理論)が有用であるように私には思われた(なお diSessa D. Hammer Redish の知的系譜がある)。ただ、その理論の成立には、物理学、誤概念研究、ピアジェ心理学、物理学史、認知科学(人工知能)などが背景としてあり、そして英語で書かれている。その意図するところを理解するための勉強、検討、

提案、普及が欲しい。私自身の力量でどこまでやれるのか、また多少やれたとして（やれると信じて努力するわけだが）、それが実用上どのように役立つかは、色々試してみないとわからない。

2. 研究の目的

本音のところは「僕に断片知識論を勉強させてください。その学習成果、自分なりの理解をシェアさせていただきますので。」というのがこの研究の目的であった。しかしこれをそのまま書いたのでは「研究と呼ぶに値しない。」と評価されそうな気がしたので、申請書には次のように書いた。「断片知識論を明示的に用いて先行誤概念研究 data の再解釈を行い、それを元に構成主義的な学習カリキュラムを開発・実践・評価し、理論の精緻化や拡張の方向性を明らかにする。」方法まで書き込んでしまっているが、その詳細は次の項目で述べる。

3. 研究の方法

方法 1：文献調査。diSessa 自身の論文や著書、diSessa の大学院生であった Hammer や B. Sherin の論文、diSessa が引用した文献などを読んで断片知識論の理解を深める。（こういった文献調査も研究の重要なプロセスであることを認めていただきたいと思いますし、その範囲や深さを科学史研究や人文系の研究の水準で行うことが困難であるのは許していただきたいと思います。何しろマンパワーが足りないし、超人ならざる凡人には限界がある。）

方法 2：実践記録への断片知識論の適用。仮説実験授業や玉田泰太郎方式の授業、これらの流れをくむ我が国の優れた理科授業実践記録を、断片知識論を使って読み解く（というのは少々大げさで、実際にやれることはその記録の発話の中に、diSessa が作成した p-prims リストに該当するものが見出だせるかどうかを確認することくらいである。ともかく、これによって diSessa のリストの妥当性の確認・校正が期待できる。もちろん「当てはめ」という操作は一種の投影であり、そこに見たい幻を見てしまうかもしれない。ここには方法論的な限界があるが、ともかく、それを最終的な真実として主張するのではなく、後の読者によってよりよい解釈が見出されるまでの暫定的解釈を与える。）

方法 3：断片知識論を踏まえた教育実践。（具体的に断片知識論をどのように踏まえ、どのような実践を行うのかは、私自身の断片知識論の理解のほか、教師としての発達状況や、私と学生達が置かれている環境文脈に依存する。なお diSessa 自身の思い描いた学習と教育のあり方は、S. Papert との共同研究で行っていた LOGO Turtle, DynaTurtle のような、学習者がコンピューターと相互作用することで物理学の専門性を熟達させるオルタナティブな と言って良いのかわからないが 道であった。断片知識論を学校教育や大学教育の文脈に利用できるようにしたのは Hammer や A. Elby である。一応、コンピューターとの相互作用という道も、近年のプログラミング教育や Arduino 等のブームもあって、私自身に対して試みてみたのだが、自力ではうまく学びを得ることができなかった。その著書『マインドストーム』を読む限り、曖昧な指示の伝わらないコンピューターを相手に、伝わる表現を考えることで数学的知性が発達するというビジョンが Papert にはあったと理解しているが、それこそ、言葉の曖昧さを介さない「人工知能」を私は知能として認めることができなかった。「欲しい物を出してくれるドラえもん」の役割をコンピューターに期待せずにはいられない、そしてそれが満たされないとひどく腹を立てる自分の幼児性に悲しくなるが、私とコンピューターの関わりはそのようなものになってしまった。この経路は私には閉じているようなので、どなたか適任な方が追究して下さることを期待したい。）

4. 研究成果

(1) 文献調査に関して。

計算機音痴の自分にとっては人工知能のメタファーなど難解以外の何物でもないのだが、ともかく、断片知識論の最重要論文、Andrea A. diSessa, Toward an epistemology of physics, *COGNITION AND INSTRUCTION*, 1993, 10(2&3), 105-225 は一通り検討した。（勉強ノート（全訳つき）を作成したので、興味のある方は yamada-y@g.u-fukui.ac.jp までご連絡ください。）

(2) 我が国の実践記録データの活用に関して。

おおそ目論見通りの結果が得られた。仮説実験授業の子供達の豊かな発想は、素朴な学習者の断片的な知識構造を見事に例示している。また、滝川洋二氏の 1985,6 年の論文「授業分析による「自然認識の過程」の研究」(1,11) も、事態を断片知識論のフレームでよく読み取ることが可能である（学習と教育のリアリティを捨象しない、優れたデータ取得・記述・分析がなされた論文だと思う）。大学レベルにおいても、新潟大学で行われた優れたアクティブラーニング実践データを分析させていただいた。私自身の実践とも合わせて、未習者、初学者、中級者の判断や推論の中に、類似した発想が共通して現れることが確認できた。

また、diSessa の p-prims リストに関して、1 つ大きな疑義を持つに至った。それは力学分野の中心的 p-prim とされるオームの p-prim についてである。diSessa(1993)p.217 のリストから引用すると、

オームの p-prim (Ohm's p-prim) (pp.126-128, pp.211-215)

- **図式化**：動作主や因果的運動力が抵抗や干渉を介して作用し結果が生じる。「努力や運動力の強さを増せば、より多くの成果が得られる」とか「抵抗が増せば成果が減じる」といったような一連の比例的関係を引き出したり正当化したりする。この両効果は補償し合うことができる。例えば、努力と抵抗がともに増加すると結果が元のままに保たれうる。
- **重要な属性**：抵抗や干渉、動作主性。
- **典型的な状況**：状態が様々に異なる面上で、箱を様々な強さで押す。
- **学校物理との関係**：オームの法則で再利用される。 $F=ma$ において、力は原因となる運動力を、 m は抵抗を、 a は結果を表すというような注釈を与える。
- **コメント**：多くの物理的状況から影響力のような人間関係まで、非常に幅広く適用される中心的 p-prim である。

と規定されている。私が日本の実践データを調べた範囲内では、このオームの p-prim の、特に抵抗と結果の反比例部分に大きな困難が存在するようである。「抵抗の増加と結果の減少」の対応関係が認識されたとしても、それを反比例で捉えることは難しいようで、負係数の線形関係として解釈されることもある。3変数の単純な比例・反比例関係と、その因果的解釈(あるいは注釈 gloss というべきか、つまり、その関係式で表現される意味内容を「自然」と感じるように受け入れさせる心理的方略)は物理学のあらゆる領域・場面で用いられる。それゆえ、diSessa はこの p-prim を中心的とみなすわけだが、それをごく自然に使用することは、初学者や未習者には期待できない。この困難は研究計画の時点から予感されていたものであるが、特に困難の所在を「反比例」のところまで追い詰めることができたと思う。

(3) 実践に関して。

コロナウイルスによる対面授業の停止などもあり、なかなか思うような実践はできなかった。そんな中でも、(人が物体を)「押す力」に関する議論を数週間にわたって行うという展開が生じており、力概念の難しさを改めて痛感した。それは例えば、日常語の「力」が身体系の筋肉や骨格の応力変化を指示していたり、物理教師が人と物を 2 質点系と暗黙のうちにモデリングして学習者との合意形成が図られていなかったり、学習者が力ベクトルを束縛ベクトルとして了解せず作用点を自由に異なる物体に移動させたり(「重さ」に関してこれがよく生じる)、直流電気回路における乾電池の「定電流源誤概念」のごとく「Aさんは40Nの力を出せる人だっただとします」という仮定を置いたり、作用反作用の定番問題であるレスリング状況で「押す力の反作用」と「押される力」を別の力として区別したり……。力概念(断片知識論の用語では力のコーディネーションクラス)の再構成は相当大きな事業となることが予想される(PERの教材を使って数コマ考えさせればクリアできるようなレベルの話ではおそくない)。

このような力の概念形成の問題については、系の設定、モデリングの問題が大きく関わっているため、HestenesのModeling Instructionを検討することで何かヒントが得られるのではないかと今は考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田吉英
2. 発表標題 断片知識論 (p-prims論) の活用に関する研究 (3)
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊里佳, 谷口和成, 山田吉英
2. 発表標題 P-prims理論による様々な運動に対する生徒の思考の分析
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南部美由紀, 山田吉英, 小林和雄
2. 発表標題 浮力の関与するつり合い現象に関する 学習者の推論傾向 教員養成大学生の力学問題調査から見てきたもの
3. 学会等名 日本理科教育学会北陸支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊里佳, 谷口和成, 山田吉英
2. 発表標題 p-prims理論を用いた「運動の法則」への気づきを促す授業の開発と実践
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田吉英
2. 発表標題 断片知識論 (p-prims論) の活用に関する研究 (4)
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田吉英
2. 発表標題 断片知識論 (p-prims 論) の活用に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳田翔太, 小林和雄, 山田吉英
2. 発表標題 理科授業における予想の役割 教員養成大学生の意識調査から見てきたもの
3. 学会等名 日本理科教育学会北陸支部大会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田吉英
2. 発表標題 断片知識論 (p-prims 論) の活用に関する研究(2)
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------