

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350180

研究課題名(和文)理科教育における授業分析・解釈と教育内容構造との関係究明及び記述理論の統合

研究課題名(英文)Relation between Lesson analysis and structure of educational content, and its unified representation theory in science education

研究代表者

大野 栄三(Ohno, Eizo)

北海道大学・教育学研究院・教授

研究者番号：60271615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、(1)物理教育で教えるべき教育内容(物理の知識)を抽出し、それがもつ構造を表現するための数学的手法を提案すること、(2)学習者に教えるべき知識の構造と授業プラン(指導案)の分析から得られた学習活動の構造との関係を明らかにすることである。

(1)については、日本の高校物理教科書、国際バカロレア・ディプロマプログラムに対応した物理教科書(英文)を対象に、力学分野の教科書記述を分析した。分節化された、教科書記述の構造を半順序集合として表現できることを示した。(2)については、教師が作成した指導案から学習活動を抽出し、教科書の読解順序と学習活動の構造を関係付けた。

研究成果の概要(英文)：Descriptions in a physics textbook are represented by texts, graphs, and figures. The descriptions can be interpreted as "physics knowledge to be taught." Analyzing the descriptions in a physics textbook as teaching materials reveals indirectly the underlying structure of "physics knowledge to be taught" embodied in that textbook. A teacher designs learning activities and develop teaching strategies. Lesson plans describe them with concrete objectives. In this study, explanatory descriptions of a physics textbook are segmented into a set of passages. Among some pairs of segmented descriptions, one-way relations are defined. Structures of a set of segmented textbook descriptions and a set of learning activities are represented by two partially ordered sets respectively. The mathematical formulation gives a pair of maps between these partially ordered sets.

研究分野：総合領域、科学教育・教育工学

キーワード：初中等教育 授業分析 教科書分析 物理教育 教育内容の構造 半順序集合

1. 研究開始当初の背景

理科教育で教授される知識は、科学者集団にとって役立つ形態の知識(学問知)を授業の文脈に応じた適切な形態(教育内容)へと変換することによって得られる。このようにして得られた教育内容は、さらに教材、授業プランの中の学習活動として具体化され、実際の授業で実践される。理科教育の教育内容がもつ構造を記述する手段としては、概念マップや「のぼりおり表」がある。概念マップは簡易な知識表現ツールとして授業では役に立つが、教育内容の構造を表現するための理論的背景には乏しく、学習活動との関係は経験的なものとなる。「のぼりおり表」は学習活動の順序構造と目標との関係を表現することを主目的としており、教育内容自体の関係構造を明らかにしているわけではない。

研究代表者は情報の流れを数理化するために提案されたチャンネル理論を応用して、理科の教育内容がもつ関係構造を記述する方法を提案した。学習活動(実験・観察)と知識の集合から分類(classification)と呼ばれる構成要素をつくり、チャンネル理論によって、分類間の関係構造を図式的に表現し、授業の展開と分類の順序構造との関係、教育内容がもつ階層的構造を考察した。さらに分節談話表示理論に組み込まれた修辞関係(rhetorical relations)を利用して、教育内容と授業での談話の関係をダイアグラムで表現できることを示した。

2. 研究の目的

本研究は、これまでの成果をふまえ、教育内容の関係構造が授業の展開(学習活動の構造)や談話構造に与える影響を明らかにしようとするものである。教育内容の構造と学習活動の構造には、教科書執筆者や教師の意図、生徒の認知状態が関係してくる。その結果、教育内容の構造や学習活動の構造を表すダイアグラムは、複数の解釈可能性をもつと考えられる。そのような動態を、教育内容の関係構造との関係も含めて研究することによって、理科授業の展開やそこで起こる談話の構造が教育内容の関係構造からどのような影響を受けているのかを理論的に明らかにできると考えている。

3. 研究の方法

研究代表者のこれまでの研究成果をふまえて、理科教科書と教師の授業プラン(教師の指導案)の記述を分析対象とし、それらがもつ構造、構造間関係を数学的に表現する理論的手法を考察した。

具体的には、教科書の記述を分類し、分節化し、説明的記述からなる分節の集合をつくる。そして、その集合がもつ構造を調べ、その関係構造をダイアグラムによって視覚的に表現する。学習活動の構造についても同様に、授業プラン(指導案)から学習活動を抽出し、それら学習活動からなる集合の構造を

調べダイアグラムで表現する。教育内容の構造と学習活動の構造の関係は、それら2つの集合の間の写像、つまりダイアグラムの間の写像として表現される。

教育内容を理解していく順序(教科書を読解する順序)、授業の展開(学習活動の順序)といった現実の状況を考察し、上述の数学的表現の結果がどのように解釈できるのかを検討した。

4. 研究成果

物理教科書の説明的記述を、半順序集合(partially ordered set: poset)を使って表現する数学的定式化を提案した。物理教科書の説明的記述を分節化し、分節の集合 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ をつくる。集合 S の2つの要素間に成立する分有関係(s_i は s_j を分有する: $s_i < s_j$)を定義し、分有関係によってつくられる集合 S の構造が半順序集合 $S, <$ として表現できるかどうかを考察した。その結果、物理教科書の記述全体は、複数の半順序集合が接続された巨大な半順序集合として表現される構造をもっていることがわかった。

図1は、高校理科の科目「物理基礎」の検定教科書を対象とし、力学分野にある「力のベクトルの合成と分解」の内容(a_1 から a_{11})を分析した結果を表したダイアグラムである。図2は、同じ教科書の「力のベクトル表現」の内容からつくられた半順序集合と、図1の「力のベクトルの合成と分解」の半順序集合とが分有関係にあり、それら2つがつながって全体が大きな半順序構造となっていることを示している。

授業プラン(教師の指導案)についても、その記述から学習活動を抽出し、分節化された学習活動の集合 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ をつくる。そして、集合 S と集合 L の一組の写像関係を考察した。集合 S の要素(分節化された教科書記述)を半順序集合 $S, <$ の構造を壊さずに読み進むとき、複数の順序で読むことが可能であることがわかった。集合 S と集合 L の間の写像によって、教科書読解の順序に対応して、分節化された学習活動の間に分有関係が成立することがわかった。集合 L が半順序集合かどうかは、集合 S の記述を読み進む順序(これは、生徒に教えるべき物理の知識が一次元に配列されたものである)に依存していると考えている。

さらに、日本と海外の物理教科書を比較した。海外の教科書として、国際バカロレア(International Baccalaureate)のディプロマ・プログラム(Diploma Programme)対応として出版されている物理教科書(英文)を対象とした。国際バカロレアのディプロマ・プログラムは、16歳から19歳を対象とした国際バカロレア資格を取得可能なプログラムであり、上述の検定教科書「物理基礎」を対象に行った分析結果と比較可能であると考えた。

図3(a)と図3(b)は、2つの国際バカロレア対応教科書の分析結果である。力学分野の2つの節「Forces」と「Work, energy, and power」を分析した。どちらの教科書も、「Forces」の半順序集合の後に「Work, energy, and power」の半順序集合が接続しているが、詳細な内容の配置には違いがあることがわかった。図4(a)から(d)は、「Forces」の節で、ニュートンの第1法則、第2法則、第3法則、力の表現、力のつりあい・合成・分解、摩擦の教育内容が半順序構造内にどのように配置されているかについて、2つの教科書に違いがあることを表している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

(1) Ohno, E.: Mathematical Model of Didactic Structure of Physics Knowledge embodied in Physics Textbooks. In: Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice: Proceedings of the GIREP-MPTL 2014 International Conference (30th, June, 2015) 査読有, ISBN: 978-88-907460-7-9, PP. 1071-1077.

[学会発表](計9件)

(1) 大野栄三: 物理教科書と授業プランがもつ半順序構造とその性質 II. 日本物理学会第72回年次大会(大阪大学, 大阪府, 吹田市), 2017年3月19日.

(2) 大野栄三: コンピテンシー重視か、ディシプリン重視か 理科教育における有能さと学問領域の関係. 日本教育方法学会第52回大会(九州大学, 福岡県, 福岡市), 招待, 2016年10月1日.

(3) 大野栄三: 物理教科書と授業プランがもつ半順序構造とその性質. 日本物理学会秋季大会(金沢大学, 石川県, 金沢市)2016年9月15日.

(4) Ohno, E.: Partially Ordered Structure in Physics Textbooks and Lesson Plans: Its Mathematical Representation and Application. In the aural presentation of The 2nd World Conference on Physics Education (12th, July, 2016) University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil.

(5) 大野栄三: 授業プランと物理教科書記述の分有関係構造の比較研究. 日本物理学会第71回年次大会(東北学院大学泉キャンパス, 宮城県, 仙台市), 2016年3月21日.

(6) Ohno, E.: Methodological investigation of Physics textbook analysis based on

triadic model of the signs. In the poster presentation of GIREP & EPEC 2015 Conference (9th, July, 2015) Conference Center of Haston City Hotel, Wroclaw, Poland.

(7) 大野栄三: 教科書記述の記号論的解釈に基づく物理教科書の分析. 日本物理学会第70回年次大会(早稲田大学, 東京都), 2015年3月23日.

(8) 大野栄三: 教科の知識内容と実験・観察活動の関係に着目した理科教科書分析: 理論的フレームワークと教科書比較事例の紹介. 日本教育方法学会第50回記念大会(広島大学, 広島県, 東広島市), 2014年10月12日.

(9) Ohno, E.: Mathematical Model of Didactic Structure of Physics Knowledge embodied in Physics Textbooks. In the poster presentation of GIREP-MPTL 2014 Conference (8th, July, 2014) University of Palermo, Palermo, Italy.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大野 栄三 (OHNO, Eizo)

北海道大学・大学院教育学研究院・教授

研究者番号: 60271615

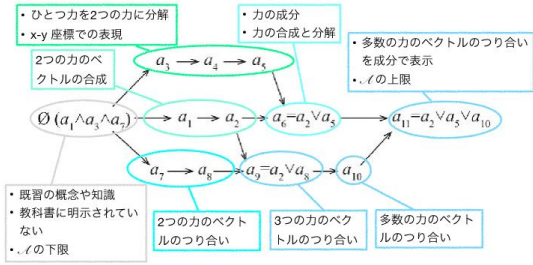


図 1. 力のベクトルの合成と分解の半順序集合

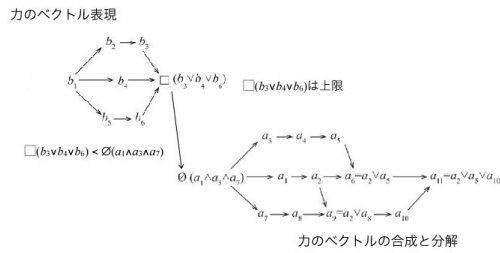


図 2. 2つの半順序集合からなる構造

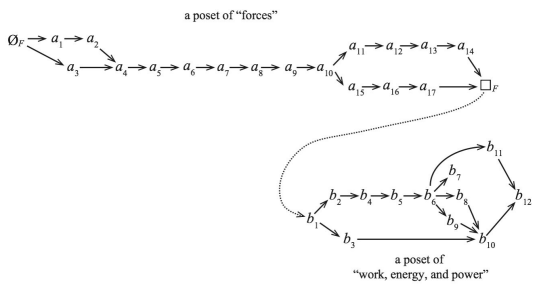


図 3(a). バカロレア対応教科書#1の半順序集合

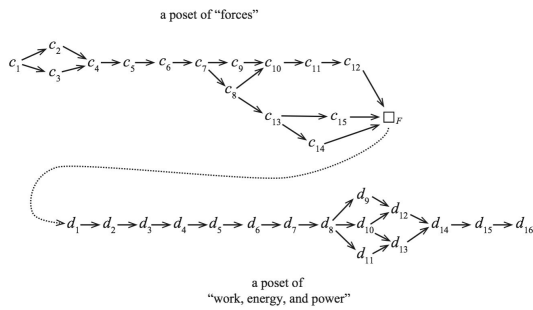


図 3(b). バカロレア対応教科書#2の半順序集合

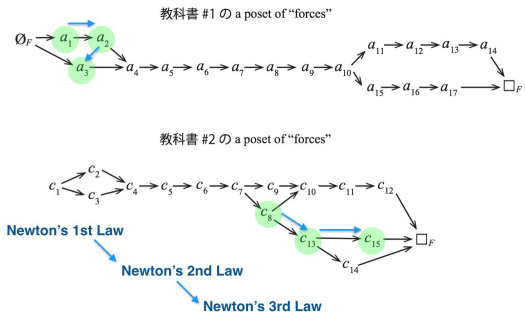


図 4(a). バカロレア対応教科書の比較: 運動法則

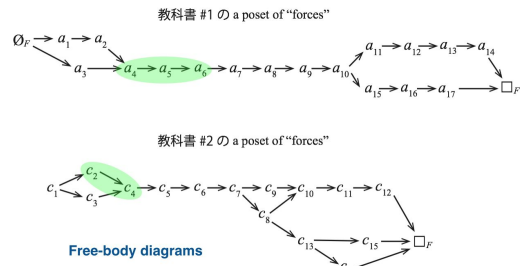


図 4(b). バカロレア対応教科書の比較: diagrams

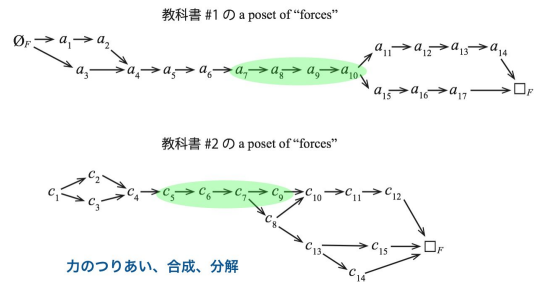


図 4(c). バカロレア対応教科書の比較: つりあい等

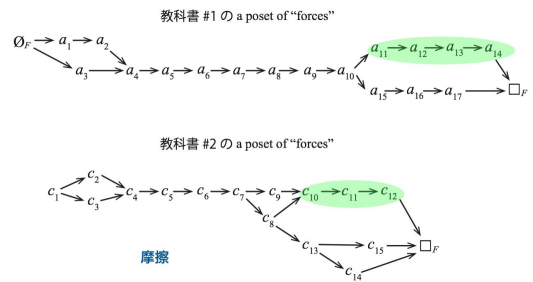


図 4(d). バカロレア対応教科書の比較: 摩擦