〔特集論文〕 「LST 学習科学と学習工学のフロンティア」

教師の授業設計意図自動外化システムの開発とその有効性評価

Building a System Which Automatically Externalizes Teachers' Instructional Design Intentions and an Evaluation of Its Effectiveness

笠井 俊信

Toshinobu Kasai

岡山大学大学院教育学研究科

Graduate School of Education Master's Program, Okayama University

kasai@okayama-u.ac.jp, <http://ed-www.ed.okayama-u.ac.jp/~gijutu/kasai/kasai.htm>

永野 和男

Kazuo Nagano

聖心女子大学文学部

Faculty of Liberal Arts, the University of the Sacred Heart

nagano@kayoo.org

溝口 理一郎

Riichiro Mizoguchi

北陸先端科学技術大学院大学

Japan Advanced Institute of Science and Technology

mizo@jaist.ac.jp

keywords: ontology, instructional design, externalizing knowledge, reflection

Summary

In order to facilitate learners' knowledge refinement process, it is effective to let them externalize their knowledge. However, in a domain of the instructional design in which existence of knowledge and its necessity are not sufficiently articulated or recognized, it is not easy for teachers who are also learners of how to externalize their knowledge. In this study, we have built a system called "FIMA-Light" which uncovers knowledge that teachers must have applied in their lesson plans from global to local viewpoints instead of them. FIMA-Light makes use of the OMNIBUS ontology which describes various instructional knowledge for attaining educational goals extracted from instructional/ learning theories. And, FIMA-Light automatically generates what we call I.L event decomposition trees by interpreting a given lesson plan based on the OMNIBUS ontology. Then, FIMA-Light facilitates teachers' deep reflection and helps them to refine their lesson plans by providing them with decomposition trees. We report some results of an experiment carried out for evaluation of the quality and the effectiveness of I.L event decomposition trees.

1. は じ め に

1.1 知識の外化の意義と課題

先人たちが積み重ねてきた知識を受け継ぎ、さらに洗練させ、次世代に継承していくことは分野を問わず人間社会の重要な課題である。知識を効果的・効率的に洗練・継承していくためには、世代を超えてその分野に関係する人々の間でその知識を正確に共有することが重要であり、そのためには、本来人間の内部に存在する知識を適切な形式で表現することが有効である。人間が自分の持っている知識を明示的に表現する“外化”とその結果を観察することは、自分自身の知識を洗練化させる効果が期待できる[平嶋 06]。このことから学習の文脈で、学習者に自身の知識を外化させることを通して学習者の深い理解を促す試みが多く行われてきた[三宅 94, 堀口 95, 柏原 99, McNamara 04, Schworm 07, 水田 13]。これらの試みでは、学習者に自身の知識を特定の形式に従って外化さ

せることを課題として与え、そのための環境の提供や学習者の内省を促す支援を行っている。このような支援方法は、学習者が対象となる知識の存在とその意義を十分に把握している場合には有効である。しかし、そうでない場合には、その知識の外化を課題として与えても、学習者の内省を促すだけでは学習者が正確に外化を行うことは困難となる。

このような学習者の知識についての意義の理解は、その対象の知識の“曖昧さ”に依存すると考えられる。知識の“曖昧さ”については、知識工学研究でも議論されてきた[石塚 85]。曖昧さの要因はさまざまであるが、対象領域の問題を解決するための確実な知識を明示的に記述することの困難さであると捉えることができる。この“曖昧さ”が少ないより確実な知識を容易に記述できる領域では、知識に対する信頼性や重要性は高くなりその領域の関係者による意義の理解も高くなると考えられる。一方で、“曖昧さ”が大きく、確実な知識の明示的な記述

が困難な領域では、知識の信頼性や重要性は低くなりその領域の関係者による意義の把握も低くなると考えられる。このような特性を持つ領域では、外化させることを課題として与えることとは別の支援が求められる。

1.2 教育の領域における知識の洗練化の現状と課題

確実な知識の明示的な記述が困難である代表的な領域の一つが“教育”の領域である。教育の領域における問題として「学習者の教育目標を達成させるために教授者は何をすべきか？」を考えた場合、解決するための知識として先人たちはさまざまな立場から多くの教授理論や学習理論を構築してきた[Reigeluth 87]。しかし、学習者の教育目標の達成にはこれらの理論で考慮されていないさまざまな要因が関連するため、理論をそのまま適用しても常に目標を達成できるとは限らない。学習者の特性や教授者の力量などの要因によって、理論通りの結果が得られないことは十分にあり得る[西之園 81]。このような背景もあり、学校教育において適切な授業を設計・実施するために教師に求められる知識としてこのような理論は重視されず、教育現場における学習者の状況の認識とその状況における適切な意思決定が重要視されてきた[吉崎 88, 秋田 92, 井上 96]。そのため、多くの教師は教育目標を達成するための戦略についてのさまざまな知識の存在をほとんど認識しないまま教師となり、学校現場での実践経験を長年積み重ねることで独自に暗黙的な経験的知識として構築していかなければならないのが現状である。このことは、授業映像を分析する際の思考として、新任教師は授業のある場面を独立してしか捉えられないのに対して、10年以上の経験を持つベテラン教師は授業のある場面を前後の別の場面と関連付けて捉えることができる、という調査結果[佐藤 91]からも推察することができる。つまり、新任の教師は教育目標を達成するための戦略を意識するために必要不可欠な思考すら十分にはできないことを示唆している。しかし、教師は1年目からベテラン教師と同様の役割を担わなければならず、個々の教師への効率的な知識の継承が求められる。

従来行われてきた教師が授業の設計・実践に関わる知識を洗練化させる機会として授業研究があり、その枠組みと効果は世界的にも評価されている[Stigler 99, Fernandez 02]。授業研究は、教師が授業についての学習グループを形成し議論し合うことで互いの知識や技術の洗練化を目指す。授業研究で教師同士が授業について議論するためには、授業についての教師の考えを外化し共有することが必要であり、一般的に学習指導案と呼ばれる形式が用いられている。この学習指導案には統一された形式があるわけではないが、授業で達成すべき教育目標を明確にした上で、授業の展開を学習者と教授者の具体的活動を時系列に並べて記述する形式が一般的である。この形式は、これまで教師の授業力として重視されてきた授業の各場面での学習者の状況の認識（予測）と、各状況で教

師がどのように対応するかについての教師の考えを記述するのには適している。しかし、より大局的視点からの授業全体の教育目標や局所的な教育目標をどのような戦略で達成するかや、授業の各場面がこれらの教育目標達成のためにどのような役割を持つのか、といった教師の深層的な意図は記述しにくく、他者が読み取ることも難しい。このため、授業研究においてもこの教育目標達成のための戦略についての知識は、共有・洗練化・継承が効率よく行われにくい状況となっている。本研究は、これらの課題を解決しつつ教師の知識の洗練化を支援することを目指す。

2. 本研究で解決を目指す課題

2.1 解決すべき課題とこれまでの研究成果

本研究では教育目標を達成するための教授戦略に関する知識を対象とし、これらの外化を通して教師による知識の洗練化を支援することを目的とする。そのためには、以下の3つの課題を解決することが必要となる。

- (1) 対象とする知識の組織化
- (2) 教師が設計した授業に含まれる対象知識を外化する枠組み
- (3) 教師による対象知識の外化の支援

これらの課題に対して、これまで[林 09]で研究が進められてきた。1つ目の課題については、本研究で対象とする教授・学習理論や実践で積み上げられる知識を包括的に整理できる共通基盤として、OMNIBUS オントロジーが構築されてきた。2つ目の課題に対しては、このOMNIBUS オントロジーに基づいて授業の展開を記述する枠組であるIL event 分解木（本稿では授業展開シナリオモデルと呼ぶ）が提案されている。本研究はこれらの研究の成果を基盤として活用する。また、[林 09]では、3つ目の課題について教師自身が内省しながら授業展開シナリオモデルを生成するためのオーサリングシステムSMARTIESを開発している。しかし、上述したように教師自身が通常意識できておらず、明示的に記述する経験もほとんどないため、SMARTIESを使用しても教師自身が授業展開シナリオモデルを生成することは容易ではないことが分かっている。この問題を解決するためには、授業を設計した教師以外の専門家（教員養成系学部の大学教員や教育委員会の指導主事など）が授業を解釈し、実際に外化して示すか外化の方法を具体的に指導することが必要となる。以下で、この課題の困難さについて考察する。

他者である教師が設計した学習指導案から、明示的に記述されていない授業の大局的・局所的に適用されている戦略を解釈し、授業全体のシナリオモデルとして構成することが求められる。また、教師間での知識の共有やこの領域全体としての知識の洗練化といった発展的な課題まで視野に入れると、これまで蓄積されてきた知識との

関連も考慮することが望ましい。このような作業は、対象知識を十分に理解した専門家でも容易ではない。しかも、各教師の身近なところでこのような専門家を見つけることが容易ではないことが、さらにこの課題を困難にしている。

人間による解決が困難であることからコンピュータによる解決が期待されるが、一般的に人間にとって容易ではない高度な知的作業をコンピュータに処理させることはより困難な課題となる。本研究で対象とする課題についても、OMNIBUS オントロジーを基盤とすることで必要な対象知識を記述し活用することは実現可能であるが、明示的に記述されていない授業の大局的・局所的に適用されている戦略をコンピュータに推論させ、授業全体のシナリオモデルとして自動的に構成させることは容易な課題ではない。

2.2 本研究の目的

本研究の目的は、このような困難な課題を解決し、教師が設計した授業に含まれる対象知識の外化を通して、教師による知識の洗練化を支援することである。そのために本研究では、OMNIBUS オントロジーを基盤として活用し、教師が設計し慣れている学習指導案と同程度の記述から自動的に教師の暗黙的な設計意図を推論し、自動的に授業展開シナリオモデルを生成するシステム FIMA-Light を開発した。FIMA-Light は、我々がこれまで開発してきた授業設計を動的に支援するシステム FIMA(Flexible Instructional Design Support Multi-Agent System)[Kasai 09] のサブシステムである。FIMA は、教師が授業設計を行う過程で、教育目標、学習者・教師の能力、教授・学習活動、ICT 活用などの観点から支援を行う Agent が、協調しながら動的に教師の授業設計を支援することを目的とする。FIMA-Light は、その中で教授・学習活動の観点から支援を行う Agent の一部であり、設計中の授業の流れを教授・学習理論に基づいて分析・解釈して外化することで、教師のより深い思考を促すことを目的としたサブシステムである。FIMA の枠組みの設計はすでに完了しているが、必要な多くの教材データやそれらの特徴を表現するためのメタデータの記述などが十分ではなく、実践活用はまだ難しい状況である。一方で、FIMA-Light は OMNIBUS オントロジーを基盤とすることで必要なデータも存在し、実際に活用可能な状況であり、FIMA から切り離しても独立して教師支援に有効に活用できると考えたため、先行して実践的に活用していくこととした。そのために、FIMA-Light に必要な情報のみを入力するためのインタフェースを新たに開発した。ここで、FIMA-Light の目的は、設計された授業についての正確な授業展開シナリオモデルを生成することではない。授業を設計した教師に、授業展開シナリオモデルを提示することによって、通常意識していない大局的・局所的な戦略についての内省を促し、教師自身による正確な外化

や知識の洗練化のきっかけを与えることである。よって、FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルに求められるのは、正確さではなく他者による別の意見のように教師の内省を促すような設計授業に“関連した”情報の提供である。

また、教師による知識の洗練化を効果的に支援するための授業展開シナリオモデルの適切な活用方法は、教師の状況によって異なると考えられる。例えば、暗黙的であっても大局的・局所的な戦略についての知識を有しているか、もしくは授業のある場面を前後の別の場面と関連付ける思考ができる教師に対しては、教師が設計した授業と関連する授業展開シナリオモデルを提示するだけでも内省が促され、知識の洗練化につながることを期待できる。しかし、暗黙的にもこのような思考ができない教師には内省させる対象（設計した授業の大局的・局所的な戦略についての思考）が存在しないため、関連するシナリオモデルをただ提示するだけでは、教師に授業との関係を認識させることも難しいと考えられる。そのため、このような教師に対しては、大局的・局所的な戦略について適切に思考させ、その存在を理解させるための適切なフィードバックをシナリオモデルに基づいて生成し提示することが重要になると考えている。このような教師の状況に応じた授業展開シナリオモデルの適切な活用方法の検討は、本研究の目的を達成するための課題の一つであるが、本稿ではこの課題についての議論はしない。その前段階として、FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルが、教師による知識の洗練化を支援するために活用できる資質を有しているかどうかを検証する。

本稿では、まず我々が開発した FIMA-Light について詳細に述べる。そして、FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルの質を検証するために、シナリオモデルを提示するだけで内省を促し、知識の洗練化につながることを期待できる 10 年前後の経験を持つ現職の教師を対象に、FIMA-Light を活用した結果について報告する。

なお、本研究において教師は支援の対象である学習者でもある。一方、教師にとっての教育対象である学習者も存在する。混乱を避けるため、本稿では以下、教師にとっての教育対象である学習者のことのみを“学習者”と表記する。

3. OMNIBUS オントロジーと授業展開シナリオモデル

本章では、本研究の基盤として活用する OMNIBUS オントロジーと授業展開シナリオモデルについて説明する。

OMNIBUS オントロジーは、多種多様な教授・学習理論を包括的に整理できる共通基盤として構築された [林 09]。OMNIBUS オントロジーにおける基本的なモデル化の枠組みを図 1 に示す。このオントロジーは、以下の 2 つの考えをベースにしている。

- 学習を学習者の状態変化として捉える
- 状態変化の what と how を分離して考える

まず OMNIBUS オントロジーでは、教授・学習プロセスの1場面を教授行為、学習行為、学習者の状態変化という3つの要素を組み合わせた IL event として定義している。

もう 1 つは学習者の状態変化について、what と how を分離することである。上述の ILL event は、学習者がどんな状態に到達するか (what) を表す。そしてその状態をどのように達成するか (how) については、より粒度の小さい ILL event の系列との分解関係で記述する。この分解関係を OMNIBUS オントロジーでは「方式」と呼んでいる。この分離によって、学習目標を達成するためのさまざまな戦略を「方式」として記述することが可能であり、OMNIBUS オントロジーには現在 11 の教授・学習理論から 100 の「方式」が抽出・記述されている。この「方式」の枠組みは理論だけではなく実践での経験から抽出して記述することも可能であるが、現状では理論からの 100 の「方式」のみが蓄積されている。このような「方式」は、図 1 に示すように Micro-ILL events の 1 つのノードの学習者の状態変化の概念をキーにして、別の方式の Macro-ILL event と接続することで、さらに下位に分解することができる。

図1 OMNIBUS オントロジーにおけるモデル化

この2つの考えに基づいて、OMNIBUS オントロジーの枠組みでは、授業の流れを I.L event 分解木として階層構造で記述することができる。本稿では以下、この I.L event 分解木を授業展開シナリオモデルと表記する。この授業展開シナリオモデルでは、授業全体の教育目標である学習者の達成すべき状態変化を表す I.L event をルートノードとして、それを達成するための複数の方式を接続して分解される。この階層構造のリーフノードに近い階層は、授業における教師と学習者の表層的な行為が示され、より上位の階層は学習者のより深層的な行為や状態変化の記述を通して、授業全体における教師の意図が示される。本研究で開発した FIMA-Light は、教師が記述した学習指導案に基づいた入力情報から、教師の設計意図を現在記述されている 100 の「方式」に基づいて推論

し、設計された授業に関連した授業展開シナリオモデルを自動的に生成する。

4. FIMA-Light の概要

4.1 FIMA-Light と OMNIBUS の概念間関係記述

FIMA-Light は、授業の展開をいくつかの場面（本稿では以下、「Step」と呼ぶ）に分割し、この Step ごとに 1 種類の教授活動概念と 2 種類の学習活動概念（表層的学習活動概念と深層的学習活動概念）の項目を選択・入力することで、その授業に関連する授業展開シナリオモデルを生成する。ここで表層的学習活動とは、「話し合う」や「話を聞く」などの学習指導案として一般的に記述される目に見える学習者の活動であり、深層的学習活動とは「興味を持つ」や「目標を知る」などの目には見えない学習者の認知的な活動である。学習指導案には一般的に記述されないことが多い深層的学習活動について入力させる目的は次の 2 点である。

- 入力を上掲した「方式」の枠組みに近づけることで、「方式」に基づいた自動解釈の精度を高めるため。
- 教師に入力させる場合、通常記述する必要のない学習者の認知活動を選択させることを通して、授業の各 Step の授業全体における役割を明示的に意識させるため。

次に、FIMA-Light への入力時に選択する活動概念の項目について述べる。FIMA-Light が OMNIBUS オントロロジーで記述された「方式」を活用するためには、入力時に OMNIBUS オントロロジーで定義されている活動概念を活用するのが最も容易である。しかし、OMNIBUS オントロロジーの活動概念は約 250 個と多い上に抽象度が高く、具体的な用語を用いた記述に慣れている教師にとっては活用するのは困難である。我々は FIMA の設計において教師が活用しやすい独自のさまざまな概念を用意してきた。例えば、教育目標概念について、本著者の 1 人が情報教育目標概念を教師に親しみやすい観点で整理してきた [火曜 01]。この概念はすでに多くの教師に受け入れられていたが、オントロロジーの観点からは改善の余地がある。教師にすでに受け入れられているこの研究成果を活用するために、我々は独自に情報教育目標オントロロジーを構築し、この目標リストとの関係を記述してきた。FIMA で、目標リストとオントロロジーの概念を自動変換する機能を実現したことで、教師が情報教育の目標リストの概念を利用することも可能となった [Kasai 07]。教授・学習活動の概念についても同様に、我々は教師にとって親しみやすい活動概念を多くの現職教員、教育委員会の指導主事、教育学部の教員らとの議論を通して改良を重ねてきた。FIMA-Light では、この FIMA 独自の教授・学習活動の概念を活用する。FIMA で用意された活動概念を表 1 に示す。FIMA は、基盤とする教授・学習理論と同様に教科などの領域には依存しない支援を目指す。そ

のため、FIMA で用意する活動概念は教科に依存しない範囲で具体的な表現を目指した。FIMA-Light への入力には、授業展開を分割した Step ごとにこれら 3 つの概念から高々 1 つを選択する。2 種類の学習活動概念については、表層的、もしくは深層的には何もしないという選択肢“なし”の項目も用意した。

表 1 FIMA-Light で選択可能な活動概念

教授活動概念	学習活動概念	
	表層的	深層的
関連情報を提示する	作業をする	興味を持つ
ヒントを提示する	課題を設定する	新しい事実に気付く
例を提示する	情報を集める	誤りや矛盾に気付く
要約を提示する	話を聞く	課題を知る
説明する	資料を見る	現状を知る
課題実行を指示する	資料にまとめる	目標を知る
学習活動を指示する	発表する	自分の状態を知る
質問する	問題を解く	学習の進め方を知る
認知行為を促す	話し合う	学習成果を知る
フィードバックを与える	教え合う	自分の考えを持つ
	復習する	原因や結果を予想する
	準備する	自分の考えを確認する
	<なし>	知識・認識を思い出す
		知識を獲得する
		知識・認識を深める
		スキルを発達させる
		<なし>

FIMA-Light が表 1 で示した独自の活動概念を活用しつつ、OMNIBUS オントロジーで記述された「方式」を活用するためには、FIMA-Light で選択された教授・学習活動概念を OMNIBUS オントロジーで定義されている活動概念に変換する必要がある。そのために、FIMA で用意している活動概念と OMNIBUS オントロジーの活動概念の関係を記述する。OMNIBUS オントロジーの活動概念は約 250 あるので、この関係記述は、FIMA の各概念に関係する複数の OMNIBUS オントロジーの概念を対応付ける形で記述している。表 2 に、FIMA の活動概念と OMNIBUS オントロジーの活動概念の対応関係の記述例を示す。例えば、FIMA の「目標を知る」の概念には OMNIBUS オントロジーの「学習目標をメタ認知する」、「与えられた目標を認識する」、「評価基準を認識する」など 8 概念が対応付けられている。この関係記述に基づいて、FIMA-Light で選択された FIMA の活動概念は自動的に OMNIBUS オントロジーの活動概念の集合に変換される。ここで、この OMNIBUS オントロジーの活動概念の集合は、元の FIMA の活動概念との近さによって順序付けられた全順序集合として記述されている。これらの FIMA の活動概念と OMNIBUS オントロジーの活動概念の対応関係とそれらの近さによる順序付けには絶対的な解があるわけではない。授業設計の分野に関わるより多くの人々と共有できる設定を追及していくことが重要である。我々はこれまで多くの現職教員、教育委員会の指導主事、教育学部の教員からの意見を参考に改良を重ねてきた。表 2 に示した現在の設定が最終状態ではなく、今後も FIMA-Light の実践活用を通して多くの関係者との議論を通して改良を重ねていく予定である。ここ

で設定された対応関係と近さによる順序は、FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルの類似度計算で利用される。

4.2 授業展開シナリオモデルの自動生成手法

通常、授業展開シナリオモデルは授業全体で学習者が達成すべき状態変化をどのような戦略で実現するかをトップダウンに分解していくことで生成される。一方、本研究では FIMA-Light に入力される表層に近い教授・学習活動の系列から、ボトムアップに授業展開シナリオモデルを構成していかなければならない。そのために、入力された教授・学習活動にはないより深層的な教師の意図を示すノード (ILL event) を適度に組み込みつつ授業展開シナリオモデルを構成することが重要となる。FIMA-Light は、選択された教授・学習活動概念を前節で述べた関係記述に基づいて OMNIBUS オントロジーで定義された活動概念に変換した後、以下の流れで授業展開シナリオモデルを生成する。

- (1) 授業の Step ごとに関連する「方式」とその「方式」に仮想の上位ノードを含む方式を接続した分解 (部分) 木の候補の抽出。
- (2) 部分木を順次組み合わせていくことによる授業展開シナリオモデルの全候補の生成。
- (3) 類似度の計算に基づく最も関連する授業展開シナリオモデルの決定。

6 つの Step に分割したある授業 (??に元の学習指導案の一部を示す) について、FIMA-Light に入力された活動概念列の例を表 3 に示す。??に示すように、学習指導案の記述から主な教授・学習活動の場面を抽出し、表 3 に示すような教授活動概念と 2 つの学習活動概念を選択し、FIMA-Light への入力を行う。この入力に対して FIMA-Light が授業展開シナリオモデルの候補の 1 つを生成していくプロセスを図 3 に示す。図 3 中の [1], ..., [11] は、このシナリオモデルの候補が生成されるまでに行われる処理の順番を示す。本節では、この FIMA-Light への入力とシナリオモデル生成のプロセスを具体例として示しながら、授業展開シナリオモデルの生成のための各処理の詳細について述べる。

§ 1 各 Step での関連方式・分解 (部分) 木の抽出

各 Step について FIMA-Light へ入力される 3 種類の活動の関係は、「方式」の原理に基づく、深層的学習活動を達成するために教授活動や学習活動が存在すると解釈することができる。この解釈に基づいて、FIMA-Light は各 Step に関連する方式・分解 (部分) 木として、以下の 3 条件のいずれかを満たす方式・分解 (部分) 木を抽出する。抽出される方式・分解 (部分) 木の構造を図 4 に示す。

- (1) 深層的学習活動概念に対応する学習活動を含む ILL event を、教授活動概念や表層的学習活動概念に対応する活動を含む Micro-ILL events によって達成する

表2 FIMA の活動概念と OMNIBUS の活動概念の対応関係の記述例

FIMA の活動概念	対応する OMNIBUS オントロジーの活動概念 (左から FIMA の活動概念に近い順)								
要約を提示する (教授活動)	一般性を提示する	説明する	見せる	伝える	伝達する	関心を高める	思い出させる	認識させる	
発表する (表層的学習活動)	言い表す	外化する	一般性を提示する	例を提示する	議論する	整理する	言い換える	定義する	生成する
目標を知る (深層的学習活動)	学習目標をメタ認知する	与えられた目標を認識する	評価基準を認識する	目標を持つ	何が学べるかを認識する	何を学ぶかを認識する	課題を認識する	現実的な期待を認識する	

3 本時の指導

(1) 本時の目標「西南戦争」(本時6/8時)

士族の不満が募っていたことを知った子どもたちが、西郷が西南戦争を戦ったわけを考え話し合う活動を通して、西郷の人物像や当時の士族の置かれている状況を考慮して考えを深めることができる。(思考・判断)

(2) 活動過程

階	飛	学習活動及び教師の支援・評価等 (○教師の指示、発問・子どもの発言、表れ *支援)
つ	一	○ (御殿場吾妻神社にある石碑を提示) どうして御殿場に西南戦争の石碑があるのか。
か	齊	・ 何の石碑かな。戦争で死んだ人をまつているのかな。
む		・ 御殿場で戦争かな。 ・ 西南戦争は御殿場の戦争じゃないよ。
		・ 九州であつた戦争なのに、何で御殿場に石碑があるのだろう。
		・ 徴兵令とか関係しているのかな。
		* 市内にある西南戦争の慰霊碑を提示し、九州での戦争の慰霊碑がなぜ御殿場にあるのかという疑問を喚起する。
		* S君やN君などが徴兵令に関するつぶやきや発言をした場合、全体に広げ、徴兵令とはどのようなものであったかを確認する。

図2 実際に記述された学習指導案の一部と Step 抽出の例

表3 FIMA-Light への入力内容の例

	教授活動概念	表層的学習活動概念
		深層的学習活動概念
Step 1	関連情報を提示する	話を聞く 興味を持つ
Step 2	質問する	<なし> 新しい事実に気付く
Step 3	関連情報を提示する	話を聞く 新しい事実に気付く
Step 4	認知行為を促す	話し合う 知識・認識を思い出す
Step 5	認知行為を促す	話し合う 自分の考えを持つ
Step 6	認知行為を促す	話し合う 原因や結果を予想する

方式・表3に示した入力例のStep2に関連して抽出された方式(図3中[2])は、この条件に基づいた抽出例である。

- (2) 深層的学習活動概念と教授活動概念に対応する活動を含む I.L event が、別の I.L event を達成するための Micro-I.L events の1つである方式、または、深層的学習活動概念に対応する学習活動を含む I.L event が、別の方式の Micro-I.L event を達成するための Micro-I.L events の1つであり、この深層的学習活動概念に対応する学習活動を含む I.L event に、教授活動概念や表層的学習活動概念に対応する活動を含む Micro-I.L events で達成する別の方式に接続された分解(部分)木。前者は、図4中の「条件(2)」

の中央で示した条件であり、入力例の Step 1,6 に関連して抽出された方式(図3中[1][6])がこの例である。後者の条件に基づいた抽出例は、入力例の Step 3,4,5 に関連して抽出された分解(部分)木(図3中[3][4][5])である。

- (3) 教授活動概念や表層的学習活動概念に対応する活動を含む Micro-I.L events で達成する方式。

(1)と(2)は、FIMA-Light への入力時に対象となる Step について深層的学習活動として“なし”以外の概念が選択された場合の条件である。本研究では、この深層的学習活動概念を教師の意図を推論する核となる概念と捉え、深層的学習活動概念として“なし”以外の概念が選択された場合は、この概念に対応する I.L event が含まれていることをここで抽出する方式・分解(部分)木の絶対条件とする。(3)は、深層的学習活動概念として“なし”が選択された場合のみに適用される条件である。教授活動概念と表層的学習活動概念については、どちらかに対応する I.L event が含まれていれば抽出することとする。

§2 授業展開シナリオモデルの候補集合の生成

抽出された Step ごとの方式・分解(部分)木の候補集合から、ボトムアップに授業展開シナリオモデルを構成するための戦略は、シナリオモデルの原理に基づいている。シナリオモデルは、左側から右側に向かって授業で実行される I.L event が順に表現される。そして、I.L event が実行されていくに従って授業の局所的な目標から大局的な目標まで順に達成されていくことが示される。このようなシナリオモデルの原理に基づいて、授業展開シナリオモデルを構成するための基本的な戦略は、より遅い

図4 各 Step で抽出される方式と分解 (部分) 木

Step に対応する方式・分解 (部分) 木を右上の方向に積み上げていくことである。具体的には、以下の2つの制約を設定し、これらを満たすと考えられるすべてのシナリオモデルを候補集合として生成する。

- 階層構造の左側にはより早い Step に対応するノード (I.L. event) が位置づく
- ある Step に対応する I.L. event の子孫ノードには、より早い Step に対応するノードのみが位置づく

後者の制約について補足説明すると、ある Step に対応する I.L. event が、より後の Step に対応する I.L. event によって実現されることは、シナリオモデルの原理からは考えられないことを示している。ここで、FIMA-Light の現バージョンで生成されるシナリオモデルには、必ずしも教師が設計した授業を分割したすべての Step に対応する方式が含まれるわけではないことに注意が必要である。これは、FIMA-Light が教師の設計意図を推論しシナリオモデルを生成するための基となる方式が、現バージョンでは教授・学習理論から抽出した 100 個だけであり、これらがすべての教授・学習の戦略を網羅しているわけではないからである。これらの点を踏まえ、FIMA-Light は以下に示す手順で授業展開シナリオモデルの候補集合を生成する。

まず、入力時に n 分割された授業の各 Step i について、前項で述べたような方法で得られた方式・分解 (部分) 木の集合を W_i とする。これら n 個の集合から、Step 1 から Step n に対するすべての考えられる授業展開シナリオモデルの候補集合 D_n を生成する。基本的な手順は、Step 1 だけに対応する候補集合 $D_1 = W_1$ から対応する Step を

1 つずつ増やしていきながら、 $D_2, D_3, \dots, D_n$ の順に作成していく。また、 D_i ($i > 1$) を作成する際には、より近い Step に対応する方式・分解 (部分) 木との結合を優先し、 $D_{i-1}, \dots, D_1$ の順で結合していく。ここで、Step i までのすべての考えられる方式・分解 (部分) 木の候補 $d_i \in D_i$ は、対応する方式・分解 (部分) 木を含んでいる Step の中で最も早い Step 番号を値に持つ $left(d_i)$ と、この候補の左側により早い Step に対応する方式・分解 (部分) 木を結合可能かどうかを示す $flag(d_i)$ の値 (結合可能な時 1, 結合不可能な時 0 の値をとる) を持つ。この定義に従えば、 $\forall d_1 \in D_1 [left(d_1) = 1]$ となる。また、 $flag(d_1)$ のデフォルト値は 0 であり、 $flag(d_i)$, ($i > 1$) のデフォルト値は 1 となる。これらを使って以下に示すアルゴリズムで D_i ($i > 1$) を生成する。

- (1) $D_i = W_i$
- (2) for $j = i - 1$ downto 1 do (3)
- (3) すべての $d_j \in D_j$ について、 $left(d_i) > j$, $flag(d_i) = 1$ を満たすすべての $d_i \in D_i$ と、次の a, b, c の 3 つの結合パターンで可能なすべての結合を抽出し、 D_i に追加する。ここで探索する $d_i \in D_i$ の結合箇所は、Step i に対応する方式・分解 (部分) 木だけである (それ以外の Step k ($k < i$) に対応する方式・分解 (部分) 木については、 D_k 作成時に可能な結合はすべて抽出済み)。a, b, c の 3 つの結合パターンを図 5 に示す。

- d_j のルートノードを含む方式と d_i の Step i に対応する方式が同じで、上記 2 つの制約を満たす結合。この結合によって構成される分解 (部分) 木 d_{new} について、 $left(d_{new}) = left(d_j)$ となる。
- d_i の Step i に対応する方式・分解 (部分) 木の Step $left(d_i)$ に対応するノード、またはその子孫ノードより左側にあるリーフノードに、 d_j のルートノードを結合。ここで、 d_j のルートノードが Step j に対応するノードである場合、状態変化だけではなくその対応する概念も一致する場合にのみ結合可能とする。この結合によって構成される分解 (部分) 木 d_{new} について、 $left(d_{new}) = left(d_j)$ となる。この結合の例は、図 3 中に示される [8][10] の結合である。
- d_j の Step j に対応するノードより右側にあるリーフノードに、 d_i のルートノードを結合。ここで、 d_i のルートノードが Step i に対応するノードである場合、状態変化だけではなくその対応する概念も一致する場合にのみ結合可能とする。この結合によって構成される分解 (部分) 木 d_{new} について、 $left(d_{new}) = left(d_j)$ となる。また、この結合パターン c で構成された分解 (部分) 木 d_{new} は、Step i に対応する方式・分解 (部分) 木がルートではなく、より左

側に Step j に対応する方式が存在することになるため、Step i に対応する方式・分解（部分）木に $d_k \in D_k$, $k < j$ が結合することはあり得ない．よって、 $flag(d_{new}) = 0$ となる．この結合の例は、図 3 中に示される [7][9][11] の結合である．

図5 方式・分解（部分）木の結合パターン

§3 類似度の計算と提示する授業展開シナリオモデルの決定

前項までに述べた方法で抽出される、考えられるすべての授業展開シナリオモデルの候補集合から、設計された授業に最も関連したシナリオモデルを教師に提示するために、FIMA-Light は抽出されたすべてのシナリオモデル候補について設計授業との類似度を計算する．FIMA-Light は、 n 分割された授業に対する授業展開シナリオモデルの候補 $d_n \in D_n$ の類似度 S を以下の3つの観点に基づく計算式によって算出する．

- 授業を分割した全 Step 数 n のうち、対応する方式が d_n に含まれている Step の数 i の割合．この観点での類似度 S_1 の計算式は

$$S_1 = \frac{i}{n}$$

となる．

- すべての Step で教師に選択された“なし”以外の FIMA の $n1$ 個の概念のうち、 d_n に含まれる対応する OMNIBUS オントロジーの概念の近さも考慮した個数の割合．選択された FIMA の概念 c_j ($1 \leq j \leq n1$) に対応する OMNIBUS オントロジーの概念集合（全順序集合）を O_{c_j} とする．また、 O_{c_j} の元の個数を $|O_{c_j}|$ 、 d_n に含まれる c_j に対応する OMNIBUS オントロジーの概念 $o_j \in O_{c_j}$ の O_{c_j} における順位を r ($1 \leq r \leq |O_{c_j}|$) とすると、 c_j と o_j の近さは $close(c_j, o_j) = (|O_{c_j}| - r + 1) / |O_{c_j}|$ で計算する．ここで、 c_j に対応する OMNIBUS オントロジーの概念が d_n に含まれていない場合は、 $close(c_j, -) = 0$ となる．この近さを考慮したこの観点での類似度 S_2 の計算式は、

$$S_2 = \frac{\sum_{j=1}^{n1} close(c_j, o_j)}{n1}$$

となる．

- d_n の全リーフノード $n2$ 個のうち、授業のいずれかの Step に対応しているリーフノード数 k の割合．FIMA-Light に入力される情報は学習指導案と同様に表層的な活動が中心であるため、対応するリーフノードの割合がより多い授業展開シナリオモデルの類似度が高いと判断する．この観点での類似度 S_3 の計算式は

$$S_3 = \frac{k}{n2}$$

となる．

ここで、最終的な類似度 S を計算するために、これら3つの観点にそれぞれどのような重みを設定すべきかについて考察する．まず、2.2 節でも述べたように FIMA-Light の目的は、設計された授業についての正確な授業展開シナリオモデルを生成することではない．また、設計された授業とどのように関連するシナリオモデルを生成することが、より教師の内省を促すことができるかを議論する段階ではないことから、FIMA-Light の現バージョンでの重みの設定では必ずしも最適を追求する必要はないと考えている．FIMA-Light の目的である教師に授業に含まれる大局的・局所的な戦略についての内省を促すためには、設計した授業を分割したより多くの Step に対応する方式が生成される授業展開シナリオモデルに含まれていることが重要であると考えられる．よって、 S_1 の重みを他の2つの観点よりも大きくすることが望ましい． S_1 の重みをどの程度大きくすればよいかについて、10 本程度の学習指導案に対して 1:1:1, 2:1:1, 3:1:1 の3パターンの重みによって出力される授業展開シナリオモデルを分析した．その結果、1:1:1 と 2:1:1 ではシナリオモデルの全体的な構造が異なることもあり、より多くの Step に対応する方式が 2:1:1 のシナリオモデルに含まれることが確認できた．また、2:1:1 と 3:1:1 では、シナリ

オモデルの構造や対応する方式を含む Step の数に大きな違いは確認できなかった。この結果から、FIMA-Light の現バージョンでは 2:1:1 の重みに設定することとした。よって、 d_n についての類似度 S は、

$$S = \frac{S_1 \times 2 + S_2 + S_3}{4}$$

となる。そして、抽出される候補の中から類似度 S が高い上位 3 候補を、入力された授業に最も関連する授業展開シナリオモデルとして決定し、ユーザに提示する。

4.3 FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルの構成

表 3 で示した入力に対して、FIMA-Light が図 3 に示したプロセスで実際に生成・提示された授業展開シナリオモデルの例を図 6 に示す。この例では、Gagne の 9 教授事象や Merrill の画面構成理論などの理論から抽出された 9 の方式を含んだシナリオモデルが生成された。授業展開シナリオモデルは色分けされた 2 種類のノードで構成されている。1 つはピンク色のノードで、設計された授業に対応する Step が存在すると FIMA-Light が判断した I.L event を示すノードである（例：図 6 中の [1]）。この種のノードの場合は、ノードの右上に対応する授業の Step 番号が提示される。もう 1 つは水色のノードで、設計された授業に対応する Step が存在しないと FIMA-Light が判断した I.L event を示すノードである（例：図 6 中の [2]）。教師はこの 2 種類のノードによって、自身の設計した授業に関連するノード、授業には含まれていない、または明示していないノードについて確認することができる。本研究では、この確認作業を通して教師が自身の設計意図について深く内省することを期待する。提示される授業展開シナリオモデルでは、このような教師による確認作業を促すために、図 6 の [2] で示した種類に属するノードをクリックすることで、以下の 2 種類のメッセージを提示する。

- リーフノードの場合、設計された授業にないこのノードと関連する学習活動を追加することを、他者の意見として提案する（図 6 中 [3]）。
- それ以外のノードの場合、その子孫ノードに含まれる授業に対応する Step について、このノードと関連する深層的な学習活動を教師の意図としているかを問いかける（図 6 中 [4]）。

5. FIMA-Light が生成する授業設計シナリオモデルの質と有効性の評価

本研究の目的は、教師が暗黙的に有する教育目標を達成するための戦略に関する知識を外化することで、教師にこれらの知識についての内省を促し、知識を洗練化させることを支援することである。2.2 節でも述べたよう

に、本稿では授業展開シナリオモデルの適切な活用方法についての議論はせずに、FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルが教師による知識の洗練化を支援するために活用できる資質を有しているかどうかを検証する。そこで本研究では、シナリオモデルを提示するだけで内省を促し、知識の洗練化につながることが期待できる初等中等教育で 10 年前後の教育経験を持つ 4 人の教師を対象に、FIMA-Light の活用と評価を行った。評価の目的は以下の 3 つの仮説を検証することである。

- FIMA-Light が、授業で適用された大局的・局所的な知識を、蓄積された知識と関連付けて外化した授業展開シナリオモデルを自動生成できる。
- FIMA-Light が、教師の内省を促すことが期待できる授業に関連する授業展開シナリオモデルを生成できる。
- FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルは、教師の知識の洗練化を促す。

これらの目的と、FIMA-Light の領域独立性を示すために、4 人の教師が設計したさまざまな教科（5 教科：国語、算数、理科、社会、体育）からすでに完成している 10 本の学習指導案を対象とした。ここで、FIMA-Light を活用するために必要な学習指導案の記述の詳細さは、授業の展開をいくつかの Step に分割するかに依存する。表 3 の例で示したような 6 つほどの Step に分割する場合は、授業の大まかな流れとして表 3 の各 Step で選択する活動概念に対応する具体的な教師と学習者の活動が示されていればよく、教師の質問に対する学習者の回答の予測やそれらの回答に対する教師の対応などのより詳細な記述は必要ない。学習指導案により詳細な記述が存在すれば、授業の展開をより細かい Step に分割して FIMA-Light に入力し、より詳細な授業展開シナリオモデルを生成することができる。今回対象とした学習指導案は、実際に授業を行うために記述された学習指導案であったこともあり詳細な記述が含まれていたが、本実践では表 3 の例と同程度に大まかに分割した。これは、4 人の教師は授業展開シナリオモデルの表現を初めて経験するため、情報量が多くなりすぎるとシナリオモデル全体を理解するのが困難になると考えられるためである。そのため、FIMA-Light への入力だけ考えた場合、今回対象とした学習指導案ほど詳細な記述は必要ない。しかし、教師が深い内省をするには事前に教師自身が授業の展開について詳細に考えていることが必要であるため、詳細な学習指導案の記述が重要だと考えた。

FIMA-Light の有効性評価は以下の流れで行われた。

- (1) 授業データを FIMA-Light に入力。
- (2) FIMA-Light が生成した授業展開シナリオモデルを授業を設計した教師に提示。
- (3) 提示される 3 つの授業展開シナリオモデルから教師が 1 つを選択。
- (4) 教師が授業展開シナリオモデルを参考に授業の改

図6 生成された授業展開シナリオモデルの例とその構成

善を検討。

(5) 教師による授業展開シナリオモデルの評価。

(6) 教師への授業の改善箇所についてのインタビュー。

(1) の授業データの FIMA-Light への入力は、現時点では教師が FIMA-Light の操作方法や活動概念の理解が十分でないこともあり、試験的に本論文の第 1 著者が適宜助言をする形式で、4 人の教師に FIMA の活動概念への置き換えと FIMA-Light への入力をしてもらった。そして、FIMA-Light が生成した授業展開シナリオモデルを教師に提示し、その質について教師に評価してもらった。ここで、教師には学習指導案ごとに 3 つの授業展開シナリオモデルが提示されるが、評価と分析は教師自身が選択した 1 つの授業展開シナリオモデルについて行った。

まず、生成・選択された授業展開シナリオモデルの質について、表 4 に示す結果に基づいて考察する。生成された授業展開シナリオモデルには、それぞれの授業展開を分割した全 Step のうち平均で 5.3/6.2 (85.5%) の FIMA-Light が対応すると判断した方式・分解（部分）木を含んでいた。また、FIMA-Light によって授業のいずれかの Step と関連付けられた方式が平均で 9.7 含まれていた。ここで、FIMA-Light が生成した授業展開シナリオモデルに平均で 0.9/6.2 (14.5%) の Step が含まれていなかった理由について考察する。現バージョンの FIMA-Light は、教授・学習理論から抽出された 100 の方式に基づいて授業展開シナリオモデルを生成する。しかし、これらの 100 の方式が教育目標を達成するためのすべての戦略を網羅

しているわけではない。現バージョンでは実践から抽出された方式を含んでいないため、学校教育における授業特有の戦略などは含まれていないことが一部の Step が授業展開シナリオモデルに含まれなかった主な原因であると考えられる。例えば、今回の実践で授業展開シナリオモデルに含まれなかった Step の 1 つは、体育の授業での「準備体操をする」学習活動を含む Step であり、教授・学習を始める前に身体的な活動をするといった方式は教授・学習理論には存在しないため、FIMA-Light はこの Step に関連する方式・分解（部分）木を抽出することができなかった。今後、実践から方式を抽出していくことで、FIMA-Light が生成する授業展開シナリオモデルに含まれる対応する Step の割合を増加させることができると考えている。

これらの結果は FIMA-Light による判断であるが、生成された授業展開シナリオモデルの質は、FIMA-Light の判断で評価することはできない。そこで、授業設計者である 4 人の教師にすべてのノードについて、設計した授業と明示的にまたは暗黙的に関連しているかどうかを質問した。ここで関連しているノードとは、設計された授業と一致しているノードだけではなく、設計された授業に関しての他者による別の意見や認識と捉えることができるノードも含んでいる。この調査で検証したいのは、FIMA-Light が局所的に抽出・選択した方式とそれらの組み合わせ方が本研究の目的に対して適切かどうかである。授業展開シナリオモデルに含まれる方式はすべて教授・

表4 生成された授業展開シナリオモデルの分析・評価結果

	授業を分割した 総 Step 数	シナリオモデルに 含まれる Step 数 (FIMA-Light 判断)	シナリオモデルに 含まれる方式数	総 ノード数	授業に関連する ノード数 (教師判断)
選択された 10 個の シナリオモデルの平均	6.2	5.3 (85.5%)	9.7	24.0	21.4 (89.2%)

学習理論によって裏づけされている知識であるため、設計された授業に関連する方式が抽出・選択され、適切に組み合わせられていれば、教師にとってはほとんどのノードが暗黙的には関連していると考えられる。しかし、設計された授業に関連しない方式が抽出・選択された場合や、関連している方式であっても適切に組み合わせられなかった場合には、設計した授業と構造が異なってしまうため、暗黙的にも授業と関連しないノードが含まれると考えられる。この検証の目的が、FIMA-Light が設計された授業についての正確な授業展開シナリオモデルを生成したかを調査するためであれば、教師らに方式単位で設計された授業と一致するかどうかを問うべきだと考えられるが、上述したようにより広い意味で設計した授業とどの程度関連しているかを検証することが目的であるため、より詳細にノード単位で教師に質問することとした。その結果、平均で 89.2% のノードが設計した授業と関連しているという回答が得られた。この結果は、FIMA-Light が設計された授業に関連する方式を高い割合で抽出・選択できていること、さらにそれらを大きく間違えることなく組み合わせた授業展開シナリオモデルを生成できていることを示していると考えられる。

これらの結果から、設計された授業で適用された大局的・局所的な戦略の多くが蓄積された知識と関連付ける形で外化できたことが確認できた。このことは、本研究の大きな成果だと考えている。また、本研究で提案する手法によって生成される授業展開シナリオモデルが、授業全体のほぼすべての場面について教師が自身の設計意図を表層的・深層的に内省することを期待できる情報を有していることも示された。

次に、提示された授業設計シナリオモデルが実際に教師にどのような効果を与えたかについて、表 5 に示す結果に基づいて考察する。(5) での教師による授業展開シナリオモデルの評価時に、4 人の教師に授業展開シナリオモデルの各ノードについて、設計した授業の設計意図や教授戦略に対する認識の変化につながったかどうかを質問した。その結果、授業設計時は意識していなかった設計意図を明確に意識することにつながったノードが全体の 25.4% 存在した。このような設計意図の明示化は、教師が自身の設計時の思考を内省したことを示すと考えられる。また、教師が学習指導案を改善しようとするきっかけになったノードが全体の 10.0% 存在し、1 つの学習指導案に対して平均で 2.4 箇所の改善点の発見を促すことができた。このような改善点の発見も、教師の教授戦略の修正であり内省を促された結果と考えることができ

る。しかし、改善点を発見しただけでは、授業展開シナリオモデルを提示された結果、FIMA-Light によって授業には存在していないと判断されたノード (ILL event) に対応する場면을学習指導案に追加しただけの可能性もあり、本研究が目的とする教師が内省を通じた知識の洗練化が生じたと結論づけることはできない。そこで、改善内容とその後の教師へのインタビューの結果について詳細な分析を行った。以下でその中の 2 つの事例について紹介し、FIMA-Light による効果についてより詳細に考察する。

表5 授業展開シナリオモデルの有効性評価の結果

	明示化された ノード数	改善点を見つけた ノード数
10 シナリオモデル の平均	6.1 (25.4%)	2.4 (10.0%)
	8.5 (35.4%)	

1 つ目の事例は、小学校 6 年生の社会で「西南戦争」(6 / 8 時) の学習指導案 (以下、教師 A による授業 A) である。図 6 は、FIMA-Light が授業 A について生成し教師 A に提示した授業展開シナリオモデルである。提示されたこのシナリオモデルをきっかけに、教師 A が行った修正の 1 つについて紹介し考察する。修正は、提示された授業展開シナリオモデルのノード (学習行為: 「評価基準を認識する」)(図 6 中 [5]) をきっかけに、新たにワークシートを用意して児童に記述させるように修正された。教師 A はこの修正を行った理由について、「評価基準を明確に持っていなかったので、児童が相互評価や自己評価できるようなワークシートを作ってみようと思った」と述べている。この教師 A の発言から、単に図 6 中 [5] のノードに対応する場面を追加するだけの改善ではなく、その前後の学習活動や教授活動 (児童への指示) も同時に修正していることが分かる。

2 つ目の事例は、小学校 5 年生の算数で「図形の面積」(5 / 13 時) の学習指導案 (以下、教師 B による授業 B) である。授業 B についての授業展開シナリオモデル全体は本稿では示さないが、その改善の 1 つは図 6 中 [3] と同じように FIMA-Light が授業には存在しないと判断したノード (学習行為: 「学習を持続させる」) をきっかけに行われた。改善前の授業 B の最後の場面は、三角形の面積を求める方法を話し合いまとめる学習活動だったが、このノードをきっかけに公式につながるような結論に教師がまとめていくように改善された。この改善の理由について教師 B は「次の時間とのつながりを考えて何を学ぶかを明確にしたいと思った」と述べている。この改善

についても、単に次の時間とのつながりのための場面を追加するだけの改善ではなく、その前の話し合う学習活動についてもその中身や教授活動（児童への指示）も同時に修正していた。

このような 2 つの事例を含め、授業展開シナリオモデル提示後の学習指導案の改善として、4 人の教師全員が特定の場面の追加のような単純な改善ではなく、その前後の教授・学習活動に修正を加えていることが確認できた。ここまでの分析結果から、FIAM-Light の生成した授業展開シナリオモデルによって、教師自身による設計意図についての内省が促され、大局的・局所的な教育目標達成のための戦略の洗練化につながったことを示すことができたと考えている。ここで、FIMA-Light が生成した授業展開シナリオモデルに含まれなかった Step に対する教師らの対応について考察する。4 人の教師らには事前に基盤としている方式が教育目標達成のためのすべての戦略を網羅しているわけではないことを説明していたこともあり、シナリオモデルに含まれなかったどの Step についても修正されることもインタビューで触れられることもなかった。この結果は、授業展開シナリオモデルに含まれていない授業の Step については、教師の内省が促されないことを示唆している。このことから、教師の内省を促すためには、授業展開シナリオモデルに設計された授業のより多くの Step に対応する方式・分解（部分）木が含まれることが重要であると考えられる。

また今回の評価では、4 人の教師によるさまざまな領域を対象とした 5 教科の学習指導案すべてで同様の評価結果が得られた。このことから、FIMA-Light が対象領域の特性に依存することなく効果的である可能性を示すことができたと考えている。

6. お わ り に

本研究では、教師が設計した学習指導案から教師の設計意図を推論し、大局的・局所的に適用された教授戦略に関する知識を授業展開シナリオモデルとして自動的に外化するシステム FIMA-Light を開発した。このシステムの目的は、教師が普段明示的に意識していない教授戦略に関する知識を外化し提示することによって、教師の深い内省を促し、自身が暗黙的に保持していた教授知識を洗練化させるのを支援することである。本稿では、FIMA-Light の詳細と 4 人の教師を対象にした生成される授業展開シナリオモデルの質と、教師の内省促進を通じた知識の洗練化支援の有効性を評価した結果について報告した。

ここで、FIMA-Light が自動生成する授業展開シナリオモデルを提示することによって、教師の知識が洗練化され授業が改善されたと判断した評価方法について考察する。教師らによる修正が本当に修正前の授業よりも改善されたかどうかの判断は難しい。修正された授業を実践し、修正の効果について実践した教師に感想を求める

などの評価をすることも 1 つの重要な方法だと考える。実際に本稿で対象とした 10 本の学習指導案のうち、2 本については修正後の授業を実践し、教師から修正が授業で有効だったと実感したという感想を得ている。しかし、本稿 1 章でも述べたように、実際の授業が成功するかどうかは、教授戦略以外に多くの要因が関係するため、適用・修正した教授戦略の効果のみを評価することは困難である。また、設計した教師以外の専門家（教育委員会の指導主事や教育学部の教員など）に客観的に評価してもらうことも考えられる。しかし、教員養成学部の学生や新任教師のように、教師としての力量が十分ではない学習指導案については、修正すべき点や修正によって改善されたなどの客観的評価は可能だと考えられるが、十分な経験を持つ教師の設計する学習指導案については、教師の得手不得手、単元観、教育観、担当の児童・生徒の性質などによってその授業の評価は異なる。これらのことを踏まえ、本研究では授業を設計した教師自身を学習者でもあるが専門家でもあると捉え、教師自身が実在する担当の児童・生徒の性質や自身の力量を踏まえた上で、授業が改善したと判断することが最も信頼できる評価であると考えた。

FIMA-Light の今後の課題と展開について述べる。今後の課題としては、FIMA-Light の実践活用を増やし、継続していくことが挙げられる。教師にとって授業展開シナリオモデルの表現形式やその抽象度は従来の学習指導案と大きく異なっており、その構造と内容を正確に認識することは容易ではない。継続的に授業展開シナリオモデルを活用し、その表現形式に慣れることで、授業を設計しながら、または修正を加える度に FIMA-Light への入力を修正し、生成される授業展開シナリオモデルを確認していくなど、FIMA-Light をより有効に活用することができると考えている。また、現時点では FIMA-Light への入力は著者らが助言をしないと難しいが、授業展開シナリオモデルの抽象的な表現に慣れることで、教師自身だけで入力できるようになることも期待できる。また、FIMA-Light が基盤とする「方式」知識の充実も課題として挙げられる。FIMA-Light の現バージョンでは、教授・学習理論から抽出された「方式」だけを活用している。しかし学校教育の授業では、汎用的な教育・学習場面での一般的な法則である理論だけではなく、学校の授業特有のより具体的な教授知識が活用されていると考えられる。今後は、優れた教育実践からも「方式」を抽出していく。理論・実践の両方から「方式」知識を充実させることによって、より質の高い授業展開シナリオモデルの生成が期待できる。

FIMA-Light の今後の展開については 2 つの方向を考えている。1 つは、教師自身により正確な授業展開シナリオモデルを記述させるための支援である。本稿で示すことができた知識の洗練化は明示的なものではなく、教師の中で暗黙的に洗練化された状態だと考えられる。知識

の洗練化を正確に外化させることによって、教師自身の成長の効率化にも有効であると考えられると同時に、世代を超えた教師間での共有も可能となり教師のコミュニティ全体としての知識の継承と洗練化に大きく貢献できると考えられる。そのための支援として、FIMA-Lightが自動生成した授業展開シナリオモデルを基に、教師が自身で改善を含めた修正を行うことができるようにシステムを改良していく。そのための基本的な機能である、シナリオモデルを自由に編集できる機能は、SMARTIES[林09]ですでに実現されている。また[Hayashi 13]では、東京都中学校社会科教育研究会の協力によって、実践授業から140個の方式知識を抽出しSMARTIESに蓄積している。よって、今後はSMARTIESと機能的にも方式知識の充実という観点でも連携していきたいと考えている。

もう1つの展開は、本稿で対象とした10年前後の経験を持つベテランの教師ではなく教師を目指す学生や新任教師を対象とした支援である。授業設計について必要な思考や知識が十分にできない学生や新任教師を対象とした場合、FIMA-Lightが生成した授業展開シナリオモデルを提示するだけでは十分な効果は得られない。生成した授業展開シナリオモデルを基にしたより丁寧な学習支援のための機能を充実させることが必要となる。支援する教師の状況に応じてどのような支援機能が有効であるかの分析を含めて、今後検討していきたいと考えている。

最後に、本研究で提案した手法の他領域での適用可能性について考察する。これまで行われた関連研究としては、人工物の設計の領域においてさまざまな機能を達成するための知識を機能達成方式知識として記述し、ある機能を実現する人工物の構造を機能分解木として記述することを通した設計支援が行われてきた[來村02]。この取り組みでは、これまでは設計対象の領域に依存して暗黙的であった機能達成知識を対象非依存な形式で明示化することで、対象領域を超えた知識の共有と再利用を促すことが可能となった。このような例が示すように、本研究で基盤として活用した方式と分解木の枠組みは、局所的に適用される知識を組み合わせることで大局的な目的を達成するような設計のさまざまな領域で有効だと考えられる。一方、FIMA-Lightによる分解木の自動生成手法の他領域での適用については、特殊な状況が必要となる。FIMA-Lightは、表層的な事象(活動)の系列からボトムアップに局所的に適用された知識を推論し組み合わせることで構造化していく。よってFIMA-Lightの手法は、大局的・局所的な知識の存在を明示的に意識できないが、表層的な事象列は詳細に明示化することに慣れている領域で有効だと考えられる。このような条件を満たす設計の領域が他に存在するかどうかの検討は行っていないが、存在すればFIMA-Lightの手法は他領域でも有効に機能すると考えている。

謝 辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費 基盤研究(B) 25282057の助成を受けたものである。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Fernandez 02] Fernandez, C.: Learning from Japanese Approaches to Professional Development: The Case of Lesson Study, *Journal of Teacher Education*, Vol. 53, No. 5, pp. 393-405 (2002)
- [Hayashi 13] Hayashi, Y. and Mizoguchi, R.: Reusing Practical Teaching Strategies in a Community of Teachers -A Case study in a Community of Junior High School Teachers in Japan-, *Proceedings of International Conference on Computers in Education (ICCE2013)*, pp. 173-175 (2013)
- [Kasai 07] Kasai, T., Yamaguchi, H., Nagano, K., and Mizoguchi, R.: A Semantic Web system for supporting teachers using ontology alignment, *Metadata, Semantics and Ontologies*, Vol. 2, No. 1, pp. 11-18 (2007)
- [Kasai 09] Kasai, T., Nagano, K., and Mizoguchi, R.: An Ontological Approach to Support Teachers in Designing Instruction Using ICT, *Proceedings of International Conference on Computers in Education (ICCE2009)*, pp. 11-18 (2009)
- [McNamara 04] McNamara, D. S.: SERT: Self-Explanation Reading Training, *Discourse Processes*, Vol. 38, No. 1, pp. 1-30 (2004)
- [Reigeluth 87] Reigeluth, C. M. ed.: *Instructional Theories in Action: Lessons Illustrating Selected Theories and Models*, Lawrence Erlbaum Associates (1987)
- [Schworm 07] Schworm, S. and Renkl, A.: Computer-supported example-based learning: When instructional explanations reduce self-explanations, *Computers and Education*, Vol. 46, No. 4, pp. 426-445 (2007)
- [Stigler 99] Stigler, J. W. and Hiebert, J. eds.: *The Teaching Gap: Best Ideas from the World's Teachers for Improving Education in the Classroom*, Free Press (1999)
- [井上 96] 井上 久祥, 岡本 敏雄: 授業設計支援エキスパートシステムの構築, *日本教育工学雑誌*, Vol. 20, No. 1, pp. 33-47 (1996)
- [火曜 01] 火曜の会: 情報教育の目標リスト, <http://kayoo.org/project/list.html> (2001)
- [吉崎 88] 吉崎 静夫: 授業における教師の意思決定モデルの開発, *日本教育工学雑誌*, Vol. 12, No. 2, pp. 51-59 (1988)
- [佐藤 91] 佐藤 学, 岩川 直樹, 秋田 喜代美: 教師の実践的思考様式に関する研究 (1): 熟練教師と初任教師のモニタリングの比較を中心に, *東京大学教育学部研究紀要*, Vol. 30, pp. 177-198 (1991)
- [三宅 94] 三宅 芳雄: 個人知識の外化に基づく思考支援環境, *情報処理学会研究報告*, Vol. 94-HI-53, pp. 109-116 (1994)
- [秋田 92] 秋田 喜代美: 教師の知識と思考に関する研究動向, *東京大学教育学部研究紀要*, Vol. 32, pp. 221-232 (1992)
- [水田 13] 水田 曜平, 平嶋 宗, 舟生 日出男: 概念マップの作成を促進するヒントの自動生成とその実験的検証, *教育システム情報学会誌*, Vol. 30, No. 1, pp. 42-53 (2013)
- [西之園 81] 西之園 晴夫: 教育学大全集 30「授業の過程」, 第一法規 (1981)
- [石塚 85] 石塚 満: 曖昧な知識の表現と利用, *情報処理*, Vol. 26, No. 12, pp. 1481-1486 (1985)
- [柏原 99] 柏原 昭博, 松井 紀夫, 平嶋 宗: ダイアグラムを用いた知識構造の外化支援, *人工知能学会誌*, Vol. 14, No. 2, pp. 117-127 (1999)
- [平嶋 06] 平嶋 宗: メタ認知の活性化支援, *人工知能学会誌*, Vol. 21, No. 1, pp. 58-64 (2006)
- [堀口 95] 堀口 知也, 平嶋 宗, 柏原 昭博, 豊田 順一: 歴史の知識構造化を支援する知的教育システムの開発, *教育システム情報学会誌*, Vol. 12, No. 2, pp. 109-120 (1995)
- [林 09] 林 雄介, Bourdeau, J., 溝口 理一郎: 理論の組織化とその利用への内容指向アプローチ -オントロジー工学による学習・教授理論の組織化と Theory-aware オーサリングシステムの実現, *人工知能学会論文誌*, Vol. 24, No. 5, pp. 351-375 (2009)
- [來村 02] 來村 徳信, 笠井 俊信, 吉川 真理子, 高橋 賢, 古崎 晃司, 溝口 理一郎: 機能オントロジーに基づく機能的知識の体系的記述とその機能構造設計における利用, *人工知能学会論文誌*, Vol. 17,

No. 1, pp. 73–84 (2002)

〔担当委員：三輪 和久〕

2014 年 7 月 14 日 受理

著 者 紹 介

笠井 俊信(正会員)

1995 年東京学芸大学教育情報科学科卒業。1997 年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士前期課程修了。2000 年同研究科博士後期課程修了。博士(工学)。日本学術振興会研究員を経て、2001 年岡山大学教育学部助手。2003 年同講師、2006 年同助教授、2008 年岡山大学大学院教育学研究科准教授、現在に至る。人工知能、特に知識工学、オントロジー工学に基づく教育支援システムの研究に従事。教育システム情報学会、日本教育工学会、電子情報通信学会各会員。2004 年本学会研究会優秀賞、2011 年日本教育工学会研究奨励賞。

永野 和男

1972 年京都教育大学特修理学科物理学専攻卒業。1976 年より京都教育大学教育工学センター助手・助教授、1985 年より鳴門教育大学学校教育研究センター助教授・教授、1995 年より静岡大学情報学部教授を経て、2000 年より聖心女子大学文学部教授。2009 年よりメディア学習支援センター長。専門は教育工学、教育情報学、情報教育。コンピュータとインターネットの教育利用に関する多方面な研究活動を行っている。文部科学省の情報教育カリキュラム開発関連の委員などを歴任。我が国の初等中等教育における情報教育カリキュラム、高校普通教科「情報」の新設のグランドデザインを担当した。日本教育工学会監事(2009-2012 年度会長)、日本教育工学協会常任理事(2003-2007 年度副会長)。1986 年日本教育工学会研究奨励賞、1995 年同論文賞を受賞。2010 年情報教育に関する貢献にて文部大臣表彰。

溝口 理一朗(正会員)

1977 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。大阪電気通信大学工学部講師、大阪大学産業科学研究所助手、助教授を経て 1990 年より同研究所教授。2012 年 10 月より北陸先端科学技術大学院大学サービスサイエンス研究センター教授。現在、同特任教授。工学博士。知識処理全般、特に知的学習支援システム、オントロジー工学の研究に従事。1985 年 Pattern Recognition Society 論文賞、1988 年電子情報通信学会論文賞、1996 年本学会創立 10 周年記念論文賞、1999 年、2006 年 ICCE Best Paper Awards、2005 年大川出版賞(オントロジー工学)、2005 年度、2012 年度本学会論文賞、2010 年教育システム情報学会論文賞などを受賞。本学会理事、同編集委員長、同会長、J. of Web Semantics Editors-in-Chief、Intl. AI in Education (IAIED) Soc. President、APC of AACE President、Vice-President of Semantic WebScience Association(SWSA)などを歴任。現在 Associate editors of IAOA and ACM TiiS。