

# 学習・教授理論の組織化における宣言的記述と operational な解釈の両立 Striking a balance between declarative description and operational interpretation of learning/instructional theories

林 雄介<sup>\*1</sup>  
Yusuke HAYASHI

Jacqueline BOURDEAU<sup>\*2</sup>

溝口 理一郎<sup>\*1</sup>  
Riichiro MIZOGUCHI

<sup>\*1</sup> 大阪大学 産業科学研究所  
ISIR, Osaka Univ.

<sup>\*2</sup> LICEF, Tele-Universite

Currently, there are little guidelines on building quality standard-compliant learning contents. Although educational theories can be guidelines, they are used little in practice. One of the causes of this problem is difficulty in understanding and utilizing them by practitioners, for example, teachers, instructional designer, and so on. To achieve both of them, declarative descriptions of them are necessary to understand the theories as well as some sort of operational interpretation is necessary to utilize them. An approach to the problem is to build a theory-aware authoring system based on an ontology that establishes a multi-paradigm conceptual basis for learning/instructional theories. This paper discusses how to strike a balance between declarative description and operational interpretation of learning/instructional theories on such ontology. And then we discuss the functionalities of theory-aware authoring systems based on such ontology.

## 1. はじめに

Technology-Enhanced Learning (TEL)の分野では標準化技術の発達が進み、既存の Learning Object(LO)(大は完結したコースウェアから小は写真やビデオクリップまでの任意の大きさの教材単位)の組み合わせによるコンテンツ作成が容易になってきている[仲林 2006]. この際のガイドラインとして期待されるのが、学習・教授理論である。学習理論は「学習」の仕組みや働きを予測したり説明する原理や法則に関する知見を記述している。また、教授理論は何らかの学習理論や仮説に基づいて、期待する学習プロセスを実現するための条件と手段(教授行為や学習教材)と結果の関係を整理している。

しかし、実際に行われている LO の「再利用」においては学習・教授理論が参照されることはまれであり、学習・教授理論的裏付けのない LO の組み合わせが行われ、低品質の学習コンテンツを生み出してしまうという大きな問題を抱えている。この原因は学習理論・教授理論と標準化技術との乖離ということができ、その解決には標準化技術の利用者が容易に学習・教授理論にアクセスでき、それを反映した学習コンテンツ、教授シナリオ作成などを支援するオーサリングシステムの開発が望まれる。

本研究プロジェクトでは、このような背景のもとで学習・教授理論という多様な理論群を組織化し、

- コンピュータがその内容を「理解」して、
- 技術者が行うコンテンツ作成の支援に「活用」し、
- 標準化技術に基づいてコンテンツを「共有」可能にする

という 3 つを備えたオーサリングシステムの基盤となるオントロジーを構築している。

本稿では最初の 2 つに注目して、コンピュータによる学習・教授理論の「理解」と「活用」のために必要な知識の宣言的記述と operational な解釈について議論する。そして、そのように組織化した知識に基づくオーサリングシステムの知的支援機能について考察する。

## 2. OMNIBUS オントロジー

学習・教授理論の本質は想定される状況と期待する学習効果、それらに対して適切と考えられる学習・教授方法の関係を学習・教授方略として整理していることである。つまり、学習・教授理論は方略の集合ともいえる。本研究では、この方略を関係としてそのまま宣言的に記述した上で、operational な解釈を可能にすることが、理論の「理解」と「活用」を促進させるための適切なモデル化であると考えている。

本研究で提案している OMNIBUS オントロジー<sup>1</sup>では、宣言的記述と operational な解釈の両立のために、「I\_L event」と「方式」という 2 つのキーとなる概念的枠組みを定義している[Mizoguchi 20007]. 図 1 にその概略を示す。ノードが I\_L event, 上下のノード間をつなぐリンクと黒い四角が方式を表している。

I\_L event は教授イベントと学習イベントを結びつける概念であり、I\_L というのは、教授(Instruction)と学習(Learning)の関係を表していることを意味している。この I\_L event という概念によって、教授行為と学習行為、学習者の状態変化という 3 つの概念の関係を一つにまとめて概念化をすることで、様々な学習・教授行為と状態変化の関係を記述することができる。

方式はグレインサイズの大きな I\_L event と小さなものとの間の達成関係を示すものである。この方式の枠組みはトップダウンとボトムアップの 2 種類の解釈ができる。ボトムアップには下位

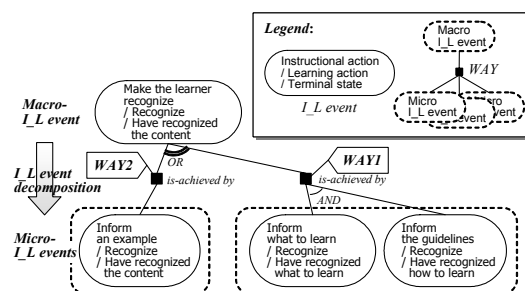


図 1 学習・教授ゴール達成方式の一例

連絡先: 林 雄介, 大阪大学産業科学研究所, 大阪府茨木市  
美穂ヶ丘 8-1, tel: 06-6879-8416, fax: 06-6879-2123,  
e-mail: hayashi@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

<sup>1</sup> <http://edont.qee.jp/omnibus/>

表 1 参照した理論と記述した方式知識の数

理論・モデルの数/方式知識の数	理論・モデルの分類			
	Cross-paradigm	Cognitivism	Constructivism	Instruction management
理論・モデルの数/方式知識の数	1/2	3/30	6/51	1/16
理論・モデル毎の方式知識の数 (各理論・モデルから本研究で抽出した数であり、各理論・モデルに含まれる方略の総数ではない)	Dick and Carey's I-model 2	Merrill and Tennyson's I-Theory 1 Gagne's I-Theory 8 Component display theory 21	Constructivist learning environment design model 22 STAR LEGACY model 18 Three theories on Scaffolding 3 Cognitive apprenticeship 8	Keller's I-Theory (ARCS model) 16

の I\_L event での状態変化の集積によって、上位の I\_L event の状態変化が達成されると解釈できる。理論で提案されている方略を状態の達成関係として定義することで、descriptive にそれぞれの理論の意味を定義できる。一方、トップダウンには上位の行為が下位の行為に分解されるというような prescriptive な解釈ができる。このトップダウンな解釈によって理論の「活用」を実現する。例えば、ある I\_L event を分解したいときに、その I\_L event と上位イベントが一致する方式知識があれば、その方式知識の下位イベントが分解の候補となる。つまり、方式知識の上位イベントと分解したい I\_L event の単一化によって、方式知識の下位イベント列がその I\_L event を実現するための部分 I\_L event 列として導出される。このように方式の集合として理論をモデル化することによって、理論の宣言的な定義と operational な解釈を両立させることができる。

前述したように、理論は方略の集合と言え、方式知識はその一つ一つをモデル化したものである。従って、ある一つの理論はその理論に基づく方式知識を集積することで捉えられるとも言える。しかし、これでは理論に含まれる個々の方略に関する性質は見えるが、理論全体としての性質は見えない。従って、個々の理論の全体像を捉えるために、関係概念[古崎 2002]として定義している方式知識とは別に、個々の理論を全体概念として定義している。理論の全体概念は、想定する学習メカニズムや学習者、学習対象のプロパティを要素として、大きくはパラダイム毎に組織化されている。各方式知識からは元となる理論の全体概念定義を参照することで、各理論が全体としてどのような性質を持っているかが組織化されると同時に、それぞれに含まれる個々の学習・教授方略が方式知識として組織化される。

### 3. 学習・教授理論の組織化

OMNIBUS オントロジーでは現在、11 の理論・モデルに基づいて 99 個の方式を定義している。表 1 では、これまで定義してきた方式知識を理論、パラダイム、対象によって大まかに 4 つに分類し、理論毎に方式知識の数をまとめている。方式知識の分類は表 1 の列に示すように 4 つ設定している。Cross-paradigm, Cognitivism, Constructivism は「学習(メカニズム)」のパラダイムの違いによる分類である。Cognitivism は知識処理の側面から人間の学習を知識伝達として捉えるものであり、認知・思考プロセスに注目してきた。一方、Constructivism では、人間内部の認知プロセスより他者および環境とのインタラクションとメタ認知に注目して学習・教授を捉えている。他にも代表的なパラダイムとして Behaviorism というものがあるが、現在はまだ方式知識を定義していないために除外している。Cross-paradigm はそれらのパラダイムに関係なく一般的な学習・教授プロセスについて扱っている理論またはモデルである。一方、Instruction management theory だけは動機付けなど学習の条件を整えることを主眼とした理論またはモデルで、ここでは他とは分類軸が異なっている(もちろん、他の3つの分類に含まれる理論でもこのような観点を含んでいるものもある)。

これらの方式知識は法造オントロジーエディタ<sup>2</sup>を使って定義されている。一例として、図 1 でWAY1 として示したGagneの理論に基づく方式知識「Presentation」の定義を図 2 に示す。これは方式知識は関係概念として、構成要素(participate-in: p/i)となる"macro", "micro", "Theory for reference"の 3 つの間の関係を定義している。"macro"は上位イベントであり方式知識に 1 つのみ、"micro"は下位イベントで複数個持ちうる。図 2 の例では、"micro"が二つあり、上位イベント(図 2(A))が 2 つの下位イベント(図 2(E), (F))によって達成されることを定義している。

"macro"は Preparing learning condition という種類の I\_L event で定義されている(図 2(A))。これはこのイベントでの学習者の状態変化がもちろんこのイベントの目標でもあるが、他の I\_L event の準備(前提条件を満たすもの)にもなっていることを表している。これは Learning effect と Learning action の間の Prepare-cond 関係で記述されている(図 2(B))。ここでは学習効果(Learning effect)としての学習者が学習対象を認識した状態(Have recognized: 図 2(C))が、他のイベントでの学習行為(Organize: 図 2(D))の前提条件になっていることを示している。

一方、2 つの"micro"はどちらも Guiding event という種類の I\_L event で定義されている(図 2(E), (F))。これは基本的な I\_L event で、単純に教授行為が学習行為に影響を与えることを定義するものである。この関係が Instructional action と Learning action 間の Influence 関係(図 2(G), (H))で定義されている。

このようにしてこれまで定義してきた 99 の方式知識を、各理論パラダイムの特徴と接点をそれぞれ適切に抽出できているかを検討するために、理論、パラダイム、対象によって大まかに 4 つに分類し、それぞれの方式知識の各上位・下位イベントでの状態の利用状況について集計した。その結果を表 2 に示す。

方式知識の分類は表 2 と同様に Cross-paradigm, Cognitivism, Constructivism, Instructional management の 4 つである。一方、状態については、大きく 5 つの分類で集計している。Learning stage は学習進行に関わる状態で"Preparation", "Development", "Assessment"といった状態を定義している。Cognitive process state は学習者の認知プロセスについての状態であり、Meta-cognitive process state はメタ認知プロセスに関する状態である。Attitudinal state は"Motivation"など、学習者の態度や関心に関する状態である。Developmental state は学習者の知識や技能の発達段階に関する状態である。最後に External state は学習者の他者や環境とのコミュニケーションに関する状態変化であり、"Informed"や"Asked"といった状態を定義している。

表 2 では、各状態分類において、一番多く使われている理論分類を太字で強調している。この結果を見ると、理論の方式知識化によって、各理論から学習・教授方略の特徴に合わせて取り出せていることが分かる。例えば、Cognitivism では知識処理プロセスに注目しているのだから Cognitive state が多く用いられている一方で、Constructivism ではメタ認知プロセスに関係する

<sup>2</sup> <http://www.hozo.jp/>

Meta-cognitive state が多く利用されている。また、Cross-paradigm では各パラダイムの違いが出ない一般的な学習・教授プロセスを対象としているために Learning stage が多く利用されている。External state については Cross-paradigm 以外はあまり変わらない。これはどの理論でもある程度具体的なプロセスを扱っている点ではあまり変わらないということを示唆していると考えられる。

このように、本研究で提案する方式知識の枠組みによる理論の宣言的な記述によって、各パラダイムや理論の違いが明確になる。それと同時に、各理論の接点も明らかにすることができる。また、表 2 に示されるように、各理論の分類ではほぼすべての状態分類がまんべんなく利用されている。これは、理論分類間である程度状態分類の利用の重なりがあると解釈できる。したがって、パラダイムや理論が違っていても、共通する状態概念が接点となり一つのシナリオの中での複数の理論のブレンディングも可能になると考えられる。理論のブレンディングをサポートする理論は現在のところ無いため、その妥当性は必ずしも保証されないが、本研究で提案している方式知識による仕組みによって可能性を提示することができ、インストラクショナルデザイナーや教師にとって有益な情報を提供できると考えている。

#### 4. SMARTIES におけるオーサリング支援

方式知識による学習・教授理論の記述に基づく学習・教授シナリオのオーサリング支援を本研究で開発しているオーサリングシステム SMARTIES を例として説明する。SMARTIES は OMNIBUS オントロジーに基づいて、以下の二つの能力を兼ね備えたオーサリングシステムのプロトタイプである[林 2007]。

- **Theory-awareness**: 理論の理解に基づいてユーザの学習・教授シナリオ作成を支援する
- **Standard-compliance**: 作成された学習・教授シナリオを標準化規格である IMS LD 形式で出力する

この特徴は手続き的に理論が組み込まれたシステムと異なり、OMNIBUS オントロジーによる学習・教授理論の宣言的な記述に基づいてユーザを支援することである。

図 3 に SMARTIES のユーザインタフェースを示す。シナリオエディタ(図 3(1))が中心となるインタフェースであり、オーサはこれを通じてシナリオモデル(図 3(a))をグラフィカルに作成する。基本的にシナリオオーサは自由に I\_L event を記述し、分解していくことでシナリオモデルを作成する。I\_L event 記述ウィンドウ(図 3(3))では、各 I\_L event の内容を設定ことができ、教授行為や学習行為、状態変化をオーサが自分の言葉で記述したり、OMNIBUS オントロジーを参照して設定できる。オントロジーを参照する場合には、フィールドに対応するスロットのクラス制約から利用できる概念の is-a 階層が図 3(2)のように提示される。オントロジーで定義された概念・語彙を用いることで SMARTIES は説明生成や適用可能な方式知識の提供などより高度な支援を行うことができる。

例えば、方式知識提案ウィンドウ(図 3(5))では、シナリオエディタ上で選択されている I\_L event に対して適用可能な方式知識を提示している(図 3(d))。このリストでは、分解対象の I\_L event と方式知識の上位イベントのマッチングが良い順にパラダイムによる理論の IS-A 階層に沿って表示されている。ここでは方式知識が選択されると、その適用後の構造(図 3(e))や説明文(図 3(f))が表示される。

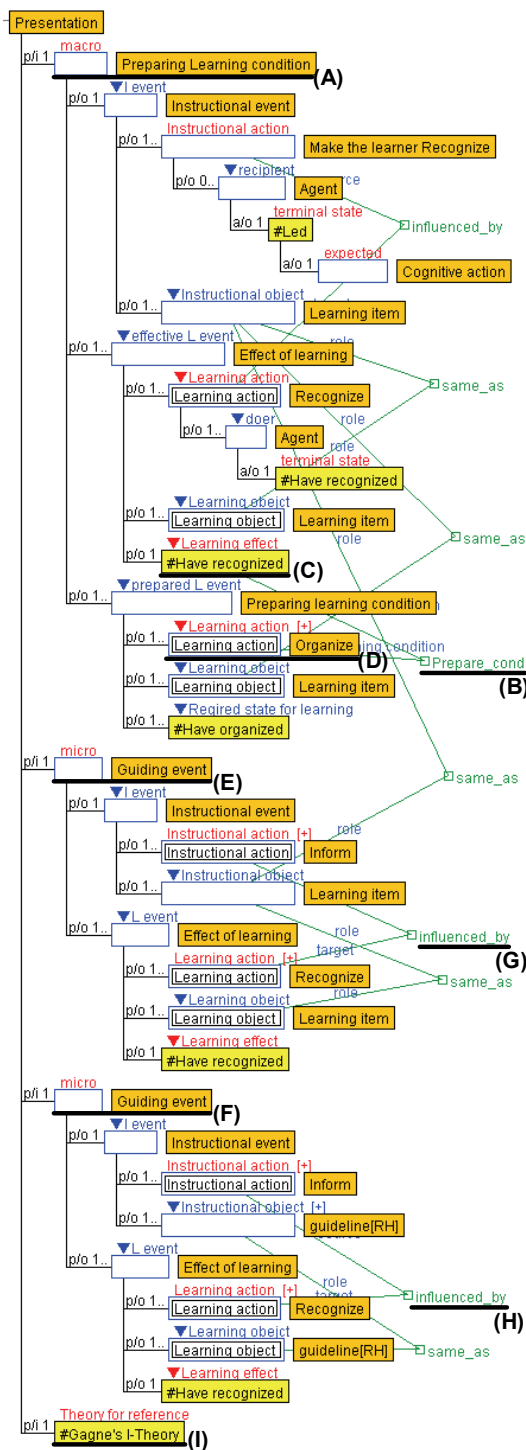


図 2 方式知識の定義例: Presentation

表 2 各理論・モデル分類における状態の利用分布

		理論・モデルの分類			
		Cross-paradigm	Cognitivism	Constructivism	Instruction management
方式知識の集計	理論・モデルの数	1	3	6	1
	方式知識の数	2	30	51	16
	状態変化の数	8	77	132	39
各状態分類の利用割合(%)	Learning stage	71.4	4.8	6.3	0.0
	Cognitive process state	14.3	61.9	36.7	35.9
	Meta-cognitive process state	0.0	15.9	41.4	12.8
	Attitudinal state	0.0	9.5	4.7	43.6
	Developmental state	14.3	0.0	0.8	0.0
	External state	0	7.9	10.2	7.7

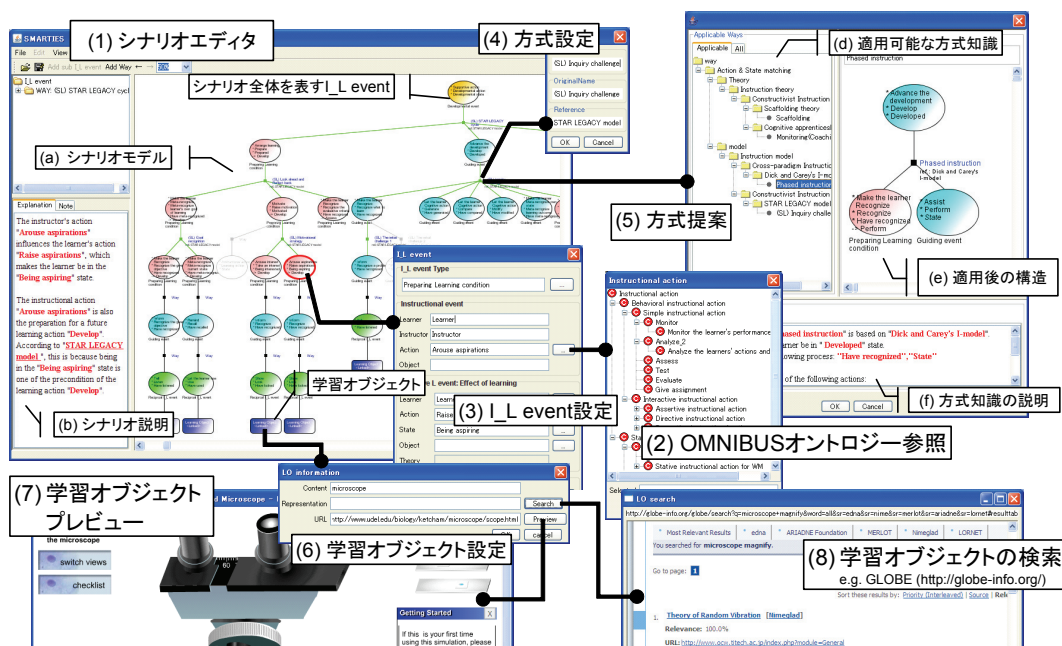


図 3 SMARTIES のユーザインタフェース

る。これらの内容はすべて OMNIBUS オントロジーに基づいて動的に生成されている。

このような学習・教授理論に基づくガイドラインの提供や説明生成といった機能からは SMARTIES はエキスパートシステムのように見えるかもしれない。しかし、これら機能を支えるのは、単純に以下の2つの基本機能のみであり、エキスパートシステムとは根本的に異なる。

- **オントロジーの参照**: どのような概念が定義され、part や attribute としてどのような要素と制約を持っているか
- **I\_L event のパターンマッチング**: シナリオモデルで記述される各 I\_L event の内容と方式知識で記述されている上位イベントのパターンマッチングを行い、マッチした方式知識がシナリオモデルに適用可能なものと判断できる。

この2つの基本機能だけで、上述のような機能を実現できるのは、以下の2点を徹底しているためである。

- 概念の宣言的な定義
- オントロジーに基づくモデル化

OMNIBUS オントロジーでは、理論の内容を記述するために必要な行為や状態、イベントという基本的な概念だけではなく学習・教授方略も関係概念である方式として宣言的に定義しており、それに基づいて理論やオーサが記述したシナリオモデルの内容について SMARTIES が説明を生成することができる。また、方式知識の上位イベントとシナリオモデルの各 I\_L event の単一化によって、I\_L event の可能な分解構造が導出される。つまり、SMARTIES 上で理論の適用可能性と適用した場合の結果を示唆することができる。これはシナリオをトップダウンに分解する際に候補を出せるということだけではなく、一度決定した方式に対して他の理論から代替案を提案できるということも意味する。前節で述べたように、理論やパラダイムが違って対象とする状態変化にはある程度の重なりがある。よって、ある理論に基づいた方式知識で分解している部分に対して他に適用可能な方式知識を検索することによって、他の理論による分解を提案できる可能性がある。これによって、文献からは見えにくい学習・教授理論間の互換性を見だし、一つのシナリオを必要に応じて複数の理論を参照して構築することも可能になる。

SMARTIES では、このような複数の理論に基づく支援機能の手続き的な処理を経験則に基づくルールではなく、学習・教授理論の宣言的な概念定義に基づいて行っている。

## 5. おわりに

本稿では、OMNIBUS オントロジーに基づく学習・教授理論の組織化について、宣言的な知識記述と operability の両立という観点から議論した。また、方式知識として組織化された学習・教授理論は SMARTIES のような人間によるシナリオ設計支援だけではなく、ITS(Intelligent Tutoring

System)でのプランニングでも利用の可能性があり、Wang らは OMNIBUS オントロジーで定義された方式知識を使った ITS shell を構築している[Wang 2007]。

もちろん、宣言的に記述された理論的知識だけでは支援できないこともあり、経験的知識を利用することも考えている。例えば、前述したように SMARTIES では一つのシナリオ内で複数の理論を組み合わせて学習・教授プロセスを作成することが可能である。しかし、どのような組み合わせが妥当か、どのくらいの頻度での変更までは許容範囲かといったことに関する理論は無いため、オントロジーで宣言的に定義することは難しい。このような内容については、ある程度の経験則を利用することも必要で、オントロジーを参照してルールを記述し、オントロジーとは分離してルールベースに蓄積し利用することなども必要と考えられる。

## 参考文献

[古崎 2002] 古崎 晃司, 來村 徳信, 池田 満, 溝口 理一郎:「ルール」および「関係」に関する基礎的考察に基づくオントロジー記述環境の開発, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.196-208,2002.

[Mizoguchi 2007] Mizoguchi, R., Hayashi, Y., and Bourdeau, J.: “Inside Theory-Aware and Standards-Compliant Authoring System”, *Proc. of SWEL'07*, pp. 1-18, 2007.

[仲林 2006] 仲林 清, 清水 康敬, 山田 恒夫: e-Learning 標準化技術の開発と実践の新しい展開 -SCORMと LOMを中心に-, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 1, pp. 92-98, 2006.

[林 2007] 林 雄介, Jacqueline BOURDEAU, 溝口 理一郎: “学習・教授理論オントロジーの構築と利用~Theory-aware なオーサリングツールの試作~”, 人工知能学会研究会資料 SIG-SWO-A701, pp. 03-01 - 03-09, 2007.

[Wang 2007] Wang, E. and Kim, Y.S.: “Issues in Integrating Teaching Strategies from Learning Theories and Extended SWRL Rules”, *Proc. of the workshop on Semantic Technology for Education (held in ICCE2007)*, pp. 110-113, 2007. Available at [http://credits.skku.edu/credits/publications/Wang\\_Kim\\_STfL07\\_Issues\\_Integrating.pdf](http://credits.skku.edu/credits/publications/Wang_Kim_STfL07_Issues_Integrating.pdf)