

## 学習のための上位オントロジーに関する一考察

岡部雅夫<sup>†</sup>

オントロジーを活用した学習支援システムが数多く提案されている。これらは、オントロジーにより学習者が学習項目を他の項目と関連付け体系的な認知構造として修得することを支援する。教科の枠を越えた統合的な認知構造に導くためには、教科毎等に開発される領域オントロジーが少なくとも相互に整合性があり統合可能なものでなければならないが、現実には、上位オントロジーが存在しない中で個々の領域オントロジーが独立して開発されているために、実現していない。そこで、本稿では、教科毎等に開発される領域オントロジーが相互に整合性があり統合可能なものとなるための基礎となる学習のための上位オントロジーを、データの相互運用のための上位オントロジーとして定評のある BFO (Basic Formal Ontology)を参考にしつつ考察する。

### A Study on an Upper Ontology for Learning

Masao Okabe<sup>†</sup>

There are many proposals for ontology-based learning support systems. An ontology is used to help a learner achieve an extended cognitive structure that contains a new learning item properly. To help a learner achieve an integrated cognitive structure, domain ontologies of each subject at least have to be consistent each other and to be able to be integrated. It is not true, however, since domain ontologies are developed independently, without an upper ontology. If there is a proper upper ontology, ontologies developed based on it are expected to be consistent each other and to be able to be integrated. This paper studies an upper ontology for learning, referring to BFO (Basic Formal Ontology), a famous upper ontology for data interoperability.

#### 1. はじめに

もともとは存在論とも訳され哲学の一分野であったオントロジーが情報処理においても活用されるようになって久しい。情報処理におけるオントロジー活用の主たる分野の一つに、学習支援システムにおける活用がある。学習支援システムにおけるオントロジーは、学習者が学習項目を他の項目と関連付けて体系化して認知・修得することを支援する。本稿では、このような学習のためのオントロジーの上位オントロジーを、主として上位オントロジーとして定評のある BFO (Basic Formal Ontology)と対比しつつ、考察する。

#### 2. オントロジーについて

情報処理の分野において初めてオントロジーが登場したのは、1985年の P. Hayes の “Naive physics – ontology for liquid”[1] であると言われている。その後、1993年に T. Gruber により現在でもよく参照される有名なオントロジーの定義 “概念化の明示的な仕様”[2]が示された。ただし、この定義は、当時知識記述言語として広まりつつあった KIF(Knowledge Interchange Format)による記述とそのモデル意味論に基づく解釈を前提としたもののように思われるが、その意味は必ずしも明確ではない。実際、それ以降開発されてきたオントロジーには様々な性格のものがある。

第一には、推論の基礎となるべき事実を積み上げたものとしてのオントロジーがある。歴史の有るものとしては Cyc[a]が有名であるが、最近では Wikipedia の解析をもとに開発されたものとして DBpedia[b], YAGO[c], 日本語 Wikipedia オントロジー[d]等がある。これらは、オントロジーではなく、汎用知識ベースとされることもあるが、元々、P. Hayes が “Naive physics – ontology for liquid”中で唱えたオントロジーはこのようなものであったように思う。

一方で、これと対極を成すオントロジーとして、専門用語集から発展したオントロジーがある。その典型的な例として、医療用語から発展した SNOMED CT[e]がある。これは、長い歴史を持つ医療用語の標準化の取り組みの中から生まれてきたものである。SNOMED は元々は 1974 年に医療用語集として公表されたものであるが、それが、2001 年に電子カルテ等への活用も意識した SNOMED CT と呼ばれるものとなり、単なる用語集を超えて、用語間の意味的關係が記述論理で記述されるようになり、オント

<sup>†</sup> 東北工業大学 ライフデザイン学部 経営コミュニケーション学科

Department of Management and Communication, Faculty of Life Design, Tohoku Institute of Technology

a) <http://www.cyc.com/kb/>

b) <http://wiki.dbpedia.org/services-resources/ontology>

c) <http://www.mpi-inf.mpg.de/departments/databases-and-information-systems/research/yago-naga/yago/>

d) <https://ja.osdn.net/projects/wikipedia-ont/>

e) <http://browser.ihtsdo.org/>

ロジーと呼ばれるようになった。このような専門用語集の発展形としてのオントロジーは、医療の分野に限らず、様々な分野で開発されている。BioPortal[f]には、生物医学を中心に、様々なオントロジーが登録されている。これらは一般に特定の分野の専門用語に関するものであることから、領域オントロジーと呼ばれる。これらのオントロジーの目的は、基本的には、正確なコミュニケーションないし情報の相互運用にあると思われる。この正確なコミュニケーションないし情報の相互運用が、人間間を意識したものか、あるいは、人間とコンピュータ間を意識したものか、あるいは、さらにコンピュータ間を意識したものかにより、記述に求められる形式性は異なってくる。

また、これらとは別に、上位オントロジーがある。上位オントロジーを正確に定義することは困難であるが、世界全体に対する領域に依存しない非常に大きなレベルでの分類ないし体系化を意図しているもののように思われる。オントロジーと言っても、推論の基礎となるべき事実を積み上げたものとしてのオントロジー（すなわち、汎用知識ベース）と専門用語集の発展形としての領域オントロジーでは大きく性格が異なる中、上位オントロジーもそれぞれにおいて位置づけが異なるように思われる。前者のオントロジーでは、それぞれが、自己完結的なオントロジーを目指していて、自己の中に上位オントロジーを含んでいる。ただし、様々な事実の蓄積が主たる目的であるため、最上位の分類がどう有るべきか等に関しては必ずしも十分な注意が払われているようには思われない。一方で、専門用語集の発展形としての領域オントロジーの場合は、特定分野に関するものであることからそれぞれが上位オントロジーを包摂することは一般的にはなく、逆言うと、上位オントロジーが独立して存在する意味があるのは、領域オントロジーに対してということになる。この場合、上位オントロジーは、領域オントロジーに対する基礎となり、同一の上位オントロジーに基づき開発された領域オントロジーは、相互に整合性が保たれ、統合が可能になることが期待される。

### 3. 概念地図から学習のためのオントロジーへ

教育工学の分野においては、オントロジーとよく似たものとして、1972年に Novak により提唱され、現在も様々な活用されている概念地図[3]がある。概念地図は、学習対象である概念とそれらの意味的關係を表したものであり、Ausubel の有意味学習[4]を支援するものであるとされる。有意味学習とは、学習者が新たな項目を学習する際、自身の認知構造の中に、その新たな項目を組み込むことにより、単なる記憶を超えた有意味な学習が可能になるというものである。学習者は概念地図により自身の認知構造を表出化すると共に、新たな学習項目をその概念地図の中に位置づけることにより、新たな認知構造を獲得し、有意味学習が可能になる。

f) <https://biportal.bioontology.org/>

従って、概念地図は、学習者が新たな学習項目を学習する際に作成されるものであり、作成される概念地図は、学習者が学習項目から想起されるものが基本になり、学習者の既存の認知構造に依存する。そのため、教科横断的な認知が重要であるにも拘らず、教科毎に分断した認知構造を超えることが難しくなることも危惧される。少なくとも標準的な学習内容に関しては、学習者が自らの認知構造から概念地図を作成するよりも、統合化された標準的な認知構造をオントロジーとして与え、そのオントロジーにより、自らの興味に従った能動的な学習を支援することの方がより有効ではないかと思われる。

実際、学習項目を体系化したオントロジーを与え、それに指南される形での能動的な学習を支援する学習支援システムは、様々なものが提案されている[5, 6, 7 他]。ただし、残念ながら、学習支援システムや教科毎に領域オントロジーが別個に開発されているのが実情であり、教科の枠を越えた統合的な認知構造に導くものにはなっていない。獲得した個々の知識等を様々な局面で活用できるよう統合化することは教育の重要な要素の一つであることを考えると、少なくとも標準的な学習内容に関しては教科の枠を越えた統合的な認知構造を導けるよう、教科毎の領域オントロジーは、相互に整合性があり、統合可能なものであるべきである。そのためには、各領域オントロジーの基礎となる学習のための上位オントロジーが必要となる。

### 4. 上位オントロジー、BFO を中心に

上位オントロジーとして有名なものに BFO (Basic Formal Ontology)[g], DOLCE[h], SUMO[i], YAMATO[j], Sowa's Top-Level Categories[k] 等がある。そのクラス階層図（汎化／特化関係図）の一部を図 1～図 5 に示す。これらの上位オントロジーが何を意図したものであるかは、一概には言えないが、哲学的真理探求的な意味合いと共に、分野を横断した情報の相互運用性の向上が含まれているように思われる。

BFO は B. Smith を中心に開発されている上位オントロジーであるが、その目的は“科学データの定義の整合性を向上させ、それにより、電子フォーマットの科学データのコンピュータ間での相互運用性を向上させること”[8]と謳われていて、多くの領域オントロジーの基礎として利用されている[1]。

g) [http://ncorwiki.buffalo.edu/index.php/Basic\\_Forma\\_Ontology\\_2.0](http://ncorwiki.buffalo.edu/index.php/Basic_Forma_Ontology_2.0)

h) <http://www.loa.istc.cnr.it/old/DOLCE.html>

i) <http://www.adampease.org/OP/>

j) [http://download.hozo.jp/onto\\_library/upperOnto.htm](http://download.hozo.jp/onto_library/upperOnto.htm)

k) <http://www.jfsowa.com/ontology/toplevel.htm>

l) <http://ifomis.uni-saarland.de/bfo/users>

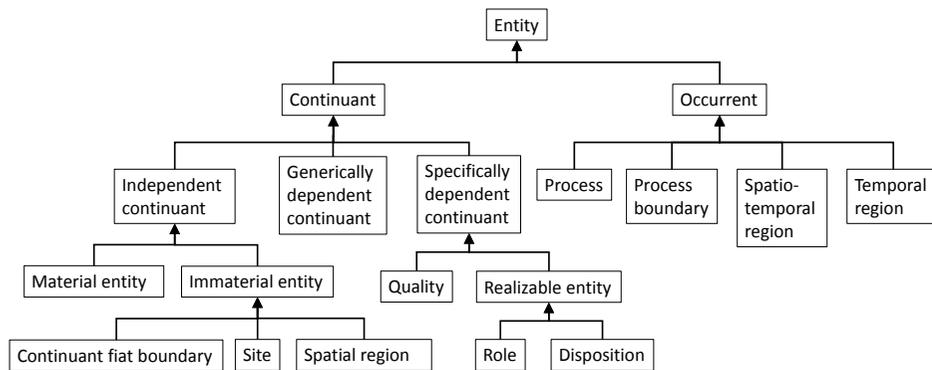


図 1 BFO のクラス階層の一部 出典：[m]

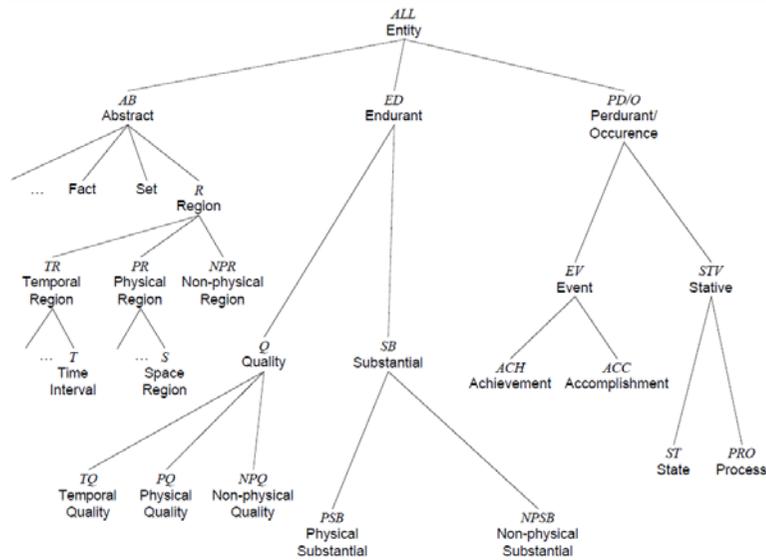


図 2 DOLCE のクラス階層の一部 出典：[n]

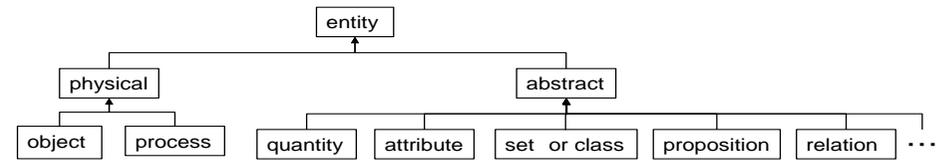


図 3 SUMO のクラス階層の一部 出典：[o]

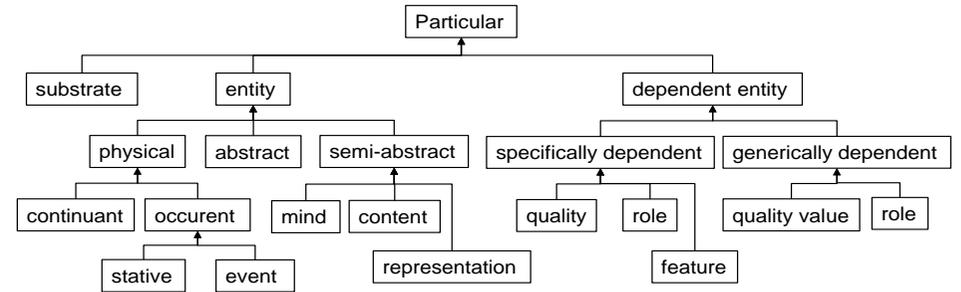


図 4 YAMATO のクラス階層の一部 出典：[p]

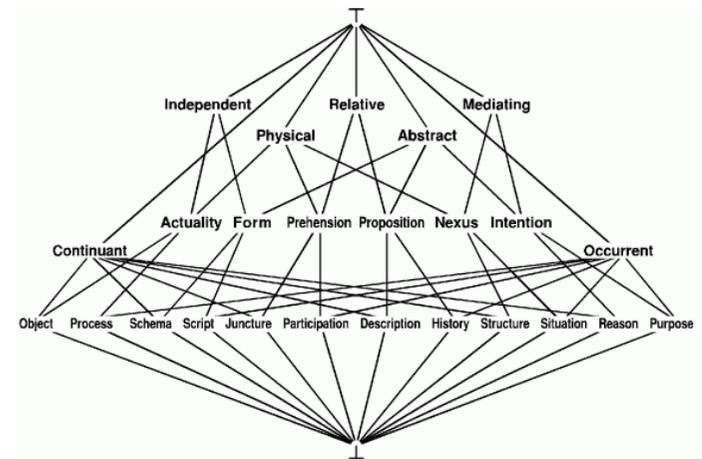


図 5 Sowa's Top-Level Categories のクラス階層 出典：[k]

m) [8]をもとに筆者作成.  
 n) [10]より抜粋.

o) <http://virtual.cvut.cz/kifb/en/toc/229.html> をもとに筆者作成  
 p) R. Mizoguchi, YAMATO: yet another more advanced top-level ontology, Proceedings of the Sixth Australasian Ontology Workshop (2010). をもとに筆者作成.

以下、BFOの特徴を、他の上位オントロジーとも比較しつつ、簡単にまとめる。

#### 4.1 対象

BFOに限らず、どの上位オントロジーにおいても、世界は個物 (particular) と普遍 (universal) からなり、上位オントロジーは個物を類別化するカテゴリーとしての普遍を体系化するものであり、直接的には個物は扱わないという立場をとる。

#### 4.2 関係

カテゴリー間の関係に関しては、どの上位オントロジーにおいても、しばしば is\_a と表記される汎化／特化関係が最も基本的なものである。この汎化／特化関係において、多重継承を認めるか否かは、上位オントロジーによって扱いが異なる。Sowa's Top-Level Categories は多重継承を認めているが、BFO は多重継承を認めないことを明示的に謳っている[9]。その他の上位オントロジーが多重継承は認めないか否かを明示的に規定しているかどうかは確認できていないが、多重継承は存在しないように思われる。

汎化／特化関係以外の関係に関しては、BFO では、メレオロジーを重視するその哲学的背景からか、しばしば is\_part\_of と表記される全体／部分関係も重視されている。

#### 4.3 最上位の分類

全体という普遍に対する最上位の分類となるカテゴリーに関しては、大きく分けても、少なくとも、以下の3つの考え方があ

- (1) 静的な物 vs. 動的な物
- (2) 物理物 vs. 抽象物
- (3) 独立物 vs. 依存物

SUMO は(2) (SUMO:physical vs. SUMO:abstract) を、YAMATO は(3) (YAMATO:entity vs. YAMATO:dependent entity, ただし、YAMATO:substrate は除く) を採用しているのに対し、BFO は(1) (BFO:Continuant vs. BFO:Occurent) を採用している。また、DOLCE も(1)を基本とすると謳われている[10]が、実際には、抽象物 (DOLCE:Abstract) vs. 静的な物 (DOLCE:Endulant) vs. 動的な物 (DOLCE:Perdurant) という3分法が用いられている。BFO や DOLCE において、最上位のカテゴリーとして(1)ないしそれに近い考え方が採用されている背景として、これらの上位オントロジーが開発され始めた頃に、静的な物と動的な物をどう切り分けるかが、SNAP vs. SPAN, 3D vs. 4D と行った形で大いに議論されていたことがあるように思われる。実際には、(1) (2) (3)のいずれも、非常に基本的な分類であり、何が最上位であるべきかを定めることは困難なようにも思われるが、Sowa's Top-Level Categories を除き、これらの上位オントロジーはいずれも多重継承を認めない立場に立っているために、いずれかを最上位の分類にする必要がある。逆に、多重継承を認める Sowa's Top-Level Categories においては、(1) (2) (3)[q]

q) 正確には、(3)に関しては、パースの記号論を援用して、独立物、相対物、仲介物 と

のいずれをも、相互に独立な最上位の分類として、そのいずれの組合せもあり得るという立場を取っている。これはある意味で非常に自然で、また、何を最上位の分類にすべきかという実質的な意味の大ききはない議論が求められないという意味でも一理あるようにも思われる。ただし、Sowa's Top-Level Categories に対しては動的な物は常に物理物であり、動的な物かつ抽象物は存在しないといった批判もある[11]。

#### 4.4 静的な物の分類

BFO は、最上位の分類として(1)を採用しているため、静的な物 (BFO: Continuant) の直下の分類として、(3)に相当する分類を導入している。ただし、(3)のような2分法ではなく、独立物 (BFO:Independent continuant) vs. 一般依存物 (BFO:Generically dependent continuant) vs. 特定依存物 (BFO:Specifically dependent continuant) という3分法を導入している。特定依存物というのは、何かに依存し、その依存するものが不変である物全体のカテゴリーであるのに対し、一般依存物は、何かに依存するが、その依存するものが同一のものである必要はない物全体のカテゴリーのことである。特定依存物の典型的なものとしては、所謂属性 (property) があり、その意味で、特定依存物は通常の依存物とほぼ等しい。これに対し、一般依存物 (BFO:Generically dependent continuant) は、その典型的なものとして、コココーラのトレードマークのような情報物 (information artifact) が含むとされる[8]。BFO では一般依存物 (BFO:Generically dependent continuant) に対し、それを特化したより下位のカテゴリーは一切規定していないが、所謂抽象的な概念もこの一般依存物 (BFO:Generically dependent continuant) に含まれるようである。なぜなら、实在主義の立場に立つ BFO においては、抽象概念や情報と言ったものは、その具体的な表現が合って初めて存在するものであり、ただし、その表現は様々なものがありうるからである。所謂抽象的な概念を一般依存物 (BFO: Generically Dependent Continuant) として扱い、かつ、BFO としてはそれより下位のカテゴリーを一切持たない点は、实在主義の立場に立つ BFO の最大の特徴のように思われる。

また、独立物 (BFO:Independent continuant) の直下には、物質物 (BFO:Material entity) vs. 非物質物 (BFO:Immaterial entity) という2分法が導入されている。ここで、非物質物 (BFO: Immaterial entity) は所謂抽象物 (ないし、抽象的な概念) に対するカテゴリーのように見えるがそうではない。これは、物質物 (BFO: Material entity) が物質的なまとまりにより識別される物であるのに対し、物質的なまとまりではなく、空間的に識別される物を表している。

#### 4.5 ロールの扱い

一般的に、オントロジーや概念モデル等の設計においては、サブクラスとロールを

いう3分法を採用している。ここで、相対物は依存物と概ね等しく、仲介物は複数のものを関係付ける物全体のカテゴリーである。

区別することが多い。例えば、通常、男性は人間のサブクラスとされるが、教師は人間のサブクラスではなく、ロールであるとされる。これは、ある人間はもし男性であれば常に男性であるが、ある時点では教師であったとしても、別の時点では、教師でなく、法律家であることもあり得るということに基づいている。そのため、BFOでも、ロール (BFO:Role) というカテゴリーを特定依存物 (BFO: Specifically Dependent Continuant) のサブクラスとして設けていて、BFO を上位オントロジーとして利用する領域オントロジーに対して、この教師や法律家と言ったカテゴリーをロール (BFO: Role) のサブクラスとして位置づけるように求めている。ただし、ある人間が男性であるということも本当に普遍的であるかは微妙であり、何がサブクラスで何がロールであるかの線引きは難しい。

#### 4.6 個物の識別

最後に、オントロジーの構造に直接的に表れるものではないが、個物の識別に関して補足する。例えば、オントロジーにおいてベートーベン交響曲 5 番という個物の属するカテゴリーを考える場合、このベートーベン交響曲 5 番が何を意味しているかが問題となる。ある状況においては、ベートーベン交響曲 5 番の楽譜を意味し、また、別の状況では、ベートーベン交響曲 5 番の演奏を表しているかもしれない。従って、正確には、ベートーベン交響曲 5 番は、楽譜としてのベートーベン交響曲 5 番、演奏としてのベートーベン交響曲 5 番とに分けて扱われるべきだということになる。BFO をはじめとする上位オントロジーでは、このような個物の扱いが直接影響することはないが、基本的な考え方としては、このような正確性を求める立場に立っているように思われる。

### 5. 学習のための上位オントロジーに対する一考察

本節では、3 節での位置づけを前提に、BFO を参考にしつつ、学習のための上位オントロジーを考察する。

#### 5.1 対象

学習のためのオントロジーでは、個々の学習項目が対象になるが、そこには 2 つの特徴がある。第一に、学習項目は、例えば歴史上の人物、事件等、個物となることが、通常のオントロジーよりも遥かに多い。学習のための上位オントロジーが直接的に個物を表す必要はないと思われるが、それに基づき開発される詳細な領域オントロジーにおいては、多くの個物が表れる。従って、上位オントロジーにおいても、少なくとも個物を扱える枠組みを用意する必要がある。

第二に、学習項目の中には、様々な抽象的な概念が頻出する。これは、数学における数等の概念に留まらず、社会科学、人文科学の分野においても、様々な抽象的な概念が必要になる。従って、学習のための上位オントロジーにおいては、様々な抽象的

な概念を柔軟に扱える必要がある。

#### 5.2 関係

カテゴリー間の関係に関しては、BFO と同様、汎化／特化関係、全体／部分関係を基本とする。ただし、汎化／特化関係においては、BFO とは異なり多重継承を認める。ある学習項目をより詳細に学習する際に、その一部をより詳細に学習することが多いが、学習のためのオントロジーにおいては、これは特化された下位のカテゴリーとなる。この特化された下位のカテゴリーは、様々な観点からの様々なものがあり、それらが排他的であるとは限らない。その為、それを更に特化した下位のカテゴリーは、上位の排他的でないカテゴリーからの多重継承になる可能性があるからである。ただし、学習のための上位オントロジーにおいては、特に必要性が認められない限り、安易に多重継承を導入することはしない。なお、汎化／特化関係において、様々な観点からの様々なものを認める関係から、汎化／特化関係はそれらを識別するための名称を持てるものとするが、これに関しては 5.5 において説明する。

また、全体／部分関係は、抽象的な概念を含め、学習項目全体に対して適用される。すなわち、ある抽象的な概念が別の抽象的な概念をもとに構成されている場合、この 2 つの抽象的な概念は全体／部分関係にあるものとする。学習の観点から述べると、学習者がある抽象的な概念を学習する際、それに対し部分の関係にある抽象的な概念は、その概念を理解する上で前提となる概念である。学習者が学習においてある概念を理解できない場合は、全体／部分関係に従ってその前提となる部分の関係にある概念を学習することになる。

また、5.1 で述べたように、学習のためのオントロジー全体では、多くの個別が含まれることから、それらを適切なカテゴリーに位置づけるために、しばしば `is_an_instance_of` と表記されるカテゴリー／個物の関係も導入する。その他、学習項目に対し、それに関連して学習することが望まれる学習項目に対し、しばしば `is_related_to` と表記される関連項目という関係も導入する。

学習のための上位オントロジーにおいて、これに基づき開発されるより詳細な領域オントロジーを含めて、現時点で具体的に想定している関係はこの 4 種類である。一方で、概念地図においては、例えば、`is_created_by`、`is_destroyed_by`、`can_be` 等、必要に応じさまざまな関係が使用されている。それは、概念地図が各学習者の既存の認知構造ありのままに表出化するものであり、そこで洗い出される概念も各学習者に委ねられていることが理由ではないかと思われる。学習のためのオントロジーでは、対象となる項目は、あくまで学習項目であり、各学習者に依存するというよりも標準化されるべきものであり、むやみに関係の種類を増やす必要はない。ただし、それでも、学習項目間の関係に関しては、上記の 4 種類では汎用性が高すぎ、概念地図やあるいは汎用知識ベースで利用されているような様々な関係が必要である可能性も高い。そのような状況に対応するため、学習のための上位オントロジーにおける汎化／特化の関

係は、学習項目のカテゴリだけでなく、関係に関しても適用されるものとし、個々の領域オントロジーで必要となるより具体的な関係は、上記の4種の関係の特化したものとして位置づけられようとする。

以上をまとめると、学習のための上位オントロジーにおいて導入される関係は表1のようになる。

表1 学習のための上位オントロジーの関係

関係の種類	一般的表記法	説明
汎化／特化	A is_a B	AはBの特化である。 識別のための名称を持てる。 カテゴリだけでなく関係に対しても適用。
全体／部分	A is_part_of B	AはBの部分である。 学習項目としてAはBの前提となる。
カテゴリ／個別	A is_an_instance_of B	AはBに属する個物である。
関連項目	A is_related_to B	AはBの関連項目である。

### 5.3 最上位の分類

BFOに倣い、静的な物 vs. 動的な物の2分法とする。既述のように多重継承を排除していないので、Sowa's Top-Level Categoriesのように最上位に複数の分類軸を導入することも可能ではあるが、最上位の分類において導入する必要性は感じられないため、BFOに倣うことにした。

### 5.4 静的な物の分類

BFOでは独立物(BFO: Continuant) vs. 一般依存物(BFO: Generically Dependent Continuant) vs. 特定依存物(BFO: Specifically Dependent Continuant)という3分法を導入しているが、学習のための上位オントロジーでは、4.3(3)に倣い、独立物 vs. 依存物という直感に沿った2分法とする。5.1で述べたように学習のための上位オントロジーは様々な抽象的な概念を柔軟に扱える必要があるが、BFOはこれらをすべて一般依存物(BFO: Generically Dependent Continuant)として扱い、学習という観点では2つの問題がある。まず、第一に、一般依存物(BFO: Generically Dependent Continuant)である以上、常に依存している物が必要であるが、学習において頻出する抽象的な概念に対し学習者に常に依存している物を想起させることは無理があると共に、学習という観点から必要であるとは思われない。第二に、BFOは一般依存物(BFO: Generically Dependent Continuant)の下位のカテゴリは一切規定していないため、抽象的な概念とコココーラのトレードマークのような情報物(information artifact)が同類として扱われることになり、様々な領域オントロジーが相互に整合性を保ち統合可能となるための指針となるべき上位オントロジーとしては不十分である。そのため、学習のための上位オントロジーでは抽象的な概念も独立に存在するものとして、独立物として扱

い、依存物には含めないこととする。その結果、学習項目という意味では、一般依存物のほとんどが独立物となることが想定されるため、一般依存物と特定依存物を分けることなく依存物とすることにする。

そして、独立物に対しては、物理物 vs. 抽象物という2分法を導入する。この抽象物が抽象的な概念に対応するカテゴリである。これは一見BFOの物質物(BFO: Material entity) vs. 非物質物(BFO: Immaterial entity)と同等に感じられるかもしれないが、そうではない。BFOの物質物(BFO: Material entity) vs. 非物質物(BFO: Immaterial entity)は、4.4で述べた通り、物としてのまとまりが物質的に識別されるか、空間的に識別されるかの差であり、学習のための上位オントロジーにおける物理物は、その双方を含む。なお、物理物の下に、BFOの物質物(BFO: Material entity) vs. 非物質物(BFO: Immaterial entity)と同様の2分法は導入しない。その理由は、学習という観点からは、物理物である学習項目を、物としてのまとまりが物質的に識別されるか、空間的に識別されるかという観点から分類することに重要性を見いだせないためである。

### 5.5 ロールの扱い

学習のための上位オントロジーでは、サブクラスとロールの区別は行わない。5.2で述べたようにある学習項目をより詳細に学習する際に、その特化された下位のカテゴリであるその一部をより詳細に学習することが多いが、この特化された下位のカテゴリには様々な観点から様々なものがありうる。これを永続的なものか、否かで区別することはあまり重要でなく、むしろ、これらを、名称により識別しつつも、共に汎化／特化関係として扱う方が、学習という観点からは有効であると考えられるからである。4.5での例に即して説明すると、男性、女性も、あるいは、教師、法律家も、共に、人間に対する特化であるサブクラスとして扱う。ただし、それらの汎化／特化関係を区別するために、5.2で述べたように汎化／特化関係は名称を持つことができる。具体的には、人間<->男性、女性の汎化／特化関係は“性別による”という、また、人間<->教師、法律家という汎化／特化関係は“職業による”という名称を持つことになる。

なお、サブクラスとロールの区別は行わないことにより、学習のための上位オントロジーの依存物は、BFOの特定依存物(BFO: Specifically Dependent Continuant)とは異なり、ロールをサブクラスとして持つことはなく、従って、BFOの特定依存物(BFO: Specifically Dependent Continuant)よりも狭いものになる。

### 5.6 個物の識別

3.6に倣って、ベートーベン交響曲5番を例に考えると、ベートーベン交響曲5番を学習項目として考えた場合、楽譜、演奏等すべてを含め学習項目となる。従って、一般的には、楽譜としてのベートーベン交響曲5番、演奏としてのベートーベン交響曲5番を別個の個物として扱う理由は乏しく、むしろ、ベートーベン交響曲5番とい

う一つの学習項目として識別することが重要であると考えらる。

以上を踏まえ、現時点では、以下のようなクラス階層をもつ学習のための上位オントロジーを考えている。

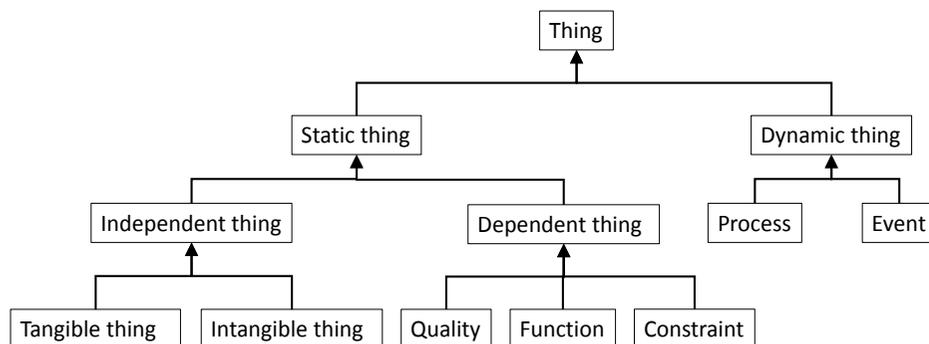


図 6 学習のための上位オントロジーのクラス階層

## 6. まとめと今後の課題

本稿においては、学習のための上位オントロジーを、主として BFO との対比からトップダウン的に考察した。ただし、この上位オントロジーは教科毎等に開発される学習のための領域オントロジーが相互に整合性を保ち統合可能なものとなるための基礎としてはまだまだ不十分である。そもそも、その目的を達成するためには、上位オントロジーと領域オントロジーの境界も明確ではなく、机上論でトップダウン的に検討するだけでなく、個々の領域オントロジーの開発を通してのボトムアップ的検討も重要であると思う。

筆者は、現在、学習のためのオントロジーの開発ツールおよびそのオントロジーを活用した学習支援システムとして EduGpah[r]を開発し、運用すると共に、実際の授業においても活用している。今後は、この EduGraph に様々な教科の領域オントロジーおよびそれにリンクされた教材を登録し、実際の授業での活用を踏まえつつ、トップダウン的検討とボトムアップ的検討の両面から、教科の枠を越えた統合的な認知構造を導く学習のためのオントロジーの開発を進めていきたいと思う。

r) <http://edugraph.mc.tohtech.ac.jp>

**謝辞** 本稿の一部は JSPS 科研費 JP15K12423 の助成を受けた研究に基づいています。

## 参考文献

- 1) Hayes, Patrick J.: Naive physics I: Ontology for liquids, pp.71-108 (1985).
- 2) Gruber, Thomas R.: A translation approach to portable ontology specifications, Knowledge acquisition 5.2, pp.199-220 (1993).
- 3) Novak, J. D., Alberto J. C.: The theory underlying concept maps and how to construct and use them, (2008).
- 4) Ausubel, D. P.: Educational psychology: A cognitive view, Holt, Rinehart and Winston, New York (1968).
- 5) 室屋大貴, 林祐樹, 瀬田和久: LOD を活用した歴史の探求的学習支援, 人工知能学会研究会資料 SIG-ALST-B504-04, pp.17-21(2016).
- 6) 高橋圭仁 et al.: オントロジーに基づいた暗号学習用の e-Learning システム, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 104.534, pp1-6 (2004).
- 7) Baker, E. L.: Ontology-based educational design: seeing is believing, Resource Paper 13, National Center for Research, Graduate School of Education, University of California, Los Angeles (2012).
- 8) A. Robert, B. Smith, and A. D. Spear: Building ontologies with basic formal ontology, MIT Press, Cambridge (2015).
- 9) B. Smith et al.: Basic Formal Ontology 2.0 SPECIFICATION AND USER'S GUIDE (2015) <http://purl.obolibrary.org/obo/bfo/Reference> 2017年3月1日閲覧.
- 10) A. Gangemi et al.: Sweetening ontologies with DOLCE, International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management. Springer Berlin (2002).
- 11) K. Munn and B. Smith (Eds.): Applied Ontology An Introduction,ontos verlag, pp.194 (2008).