

概念研究からみたオントロジー工学

山内 隆史・楠見 孝

What is ontology? There is a theoretical disagreement in the proper status of ontology. One group regards ontology as a tool for characterizing human knowledge; the other considers ontology to be a systematic method for representing reality. This article addresses basic questions surrounding ontology engineering and human concepts from a vantage point of cognitive science. Specifically, it is argued that upper-level ontology — basic divisions of being — is reflected in human cognition and affects various aspects of our everyday judgments. The authors think that this is because human cognition is organized in the way that it can help approximate the invariant structure of the environment. Possible research directions that help integrate ontology engineering, cognitive science and philosophy are also discussed.

Keywords: ontology (オントロジー), ontology engineering (オントロジー工学), cognitive science (認知科学)

1. はじめに

従来の人工知能・認知科学では、問題解決のためのアルゴリズムや認知活動におけるプロセスを見出すことに焦点があてられてきた (Guarino, 1995; Mizoguchi, 2003). 例えば, Marr (1981), Newell (1994), Anderson (1998) の認知モデルでは, ある特定の問題解決に直結したゴールやサブゴール, 及びそれらに関連した規制項目を“知識”と定義し, 認知過程をひとつのサブゴールから次のサブゴールへ導く手段と扱ってきた. これらのアプローチでは, 一般的な知識が認知過程にどのような影響を及ぼすかと言うことには, あまり言及されていない. しかし, 最近の潮流を見ると, 表象 (representation) — ことにオントロジー — の研究が, 重要な役割を果たしつつある (Guarino, 1998a; Mizoguchi, 2003; Smith, 2005). オントロジーとは, もともとは古代ギリシャ哲学の形而上学の存在論の一部分で, 現実

に存在する物がどのような関係にあるのかということ, カテゴリーを使って体系的に示したのといつてよい. 例えば, 水は数えることができない物質で, りんごやバナナといった数えることができる物体とは, カテゴリーで区分した場合は異なる, といったことを明らかにするのが目的である. 例えば, 図1で示すDOLCEとBFOというSemantic Webで定評がある2つの上位オントロジーでは, EntityをEndurant, Perdurant, Quality, Abstractに分けたり (DOLCE) (Gangemi, Guarino, Masolo, & Oltramari, 2003), あるいはConinuantとOccurentに区別している (BFO) (Smith, 1998).

この古典的な学問が, 最新の人工知能や情報科学の分野で注目を浴びようになったのには, 次のような理由がある. 第一には, インターネットといった巨大な知識の貯蔵庫の出現. 第二には, 新しい知識ベースを作るためのコストの肥大化, そして, 異なったシステムを起動するための知識ベースの互換性の必要性, などがあげられる (Mizoguchi, 2003; 溝口, 2005; Wand & Weber, 1990). 換言すれば, 知識のデジタル化が進み, それに対応するための知識の標準化と体系化が必要になったと言える.

<p>Entity</p> <ul style="list-style-type: none"> Endurant <ul style="list-style-type: none"> Physical endurant <ul style="list-style-type: none"> Amount of matter Physical object <ul style="list-style-type: none"> Agentative physical object Feature ... Non-physical endurant <ul style="list-style-type: none"> Mental object Social object ... Perdurant <ul style="list-style-type: none"> Eventitive <ul style="list-style-type: none"> Accomplishment Achievement Stative <ul style="list-style-type: none"> State Process Quality <ul style="list-style-type: none"> Physical quality Temporal quality Abstract <ul style="list-style-type: none"> Quality region Set Proposition ... 	<p>Entity</p> <ul style="list-style-type: none"> Continuant <ul style="list-style-type: none"> Dependent continuant <ul style="list-style-type: none"> Generically_dependent_continuant Specifically_dependent_continuant Independent continuant <ul style="list-style-type: none"> Flat_object_part Object <ul style="list-style-type: none"> Object_aggregate Object_boundary Site Spatial_region <ul style="list-style-type: none"> One_dimensional_region Two_dimensional_region Three_dimensional_region Zero_dimensional_region Occurrent <ul style="list-style-type: none"> Processual_entity <ul style="list-style-type: none"> Flat_process_part Process <ul style="list-style-type: none"> Process_aggregate Process_boundary Process_context Spatiotemporal_region <ul style="list-style-type: none"> Connected_spatiotemporal_region Scattered_spatiotemporal_region Temporal_region <ul style="list-style-type: none"> Connected_temporal_region Scattered_temporal_region
---	---

図 1a DOLCE (Gangemi, Guariano, Masolo, & Oltramari, 2003)

図 1b BFO (<http://jowl.ontologyonline.org/bfo.html>)

WWW Consortium (W3C) が XML (Extensible Markup Language), RDF (Resource Description Framework) に加えて OWL (Web Ontology Language) を、ウェブ言語のひとつに規定したということからも、昨今のオントロジーの注目度を知ることができる。

しかし、オントロジーというきわめて形式化され固定的な表現方法で、私たちのもつ知識という様々に変化する流動的なものを、とらえることができるのかという問題が生じる。オントロジーは 2000 年以上も前に確立された哲学的な方法で、情報科学や認知科学が生まれる、ずっと以前の大時代的な産物と言ってよい。それらをもって、今、私たちが日常使っている知識と言う有機的な生き物を、階層的な枠にはめこんで規定することは、所詮無理で矛盾に

満ちた試みだという批判もありうる。本研究ではこのような基本的な問題について考察し、認知科学における概念研究が、オントロジー工学の発展に寄与し得るという考えを提起する。

以下の稿では、はじめに、哲学、そして情報システムの分野から見たオントロジーの概念について説明する。そして、現在のオントロジー工学がかかえている問題について議論し、その解決方法としての認知科学の概念研究の役割について論じる。

2. オントロジーとは？

ここでは、オントロジーの本来的な意味を認知科学の視点から考えるという意図から、上位オントロジーに焦点を当てる。上位オントロジーとは、最も抽象的なもの (entities) から少し下層の 2-5 層目に

あらわれるカテゴリーにあたる。

Semantic Web の研究者の間では、オントロジーをいかに位置づけるか、ということについて大きく議論が分かれる。オントロジーとは元来、形而上学 (metaphysics) の一部であり、その語源は、アリストテレスの『形而上学 (metaphysics)』という著作に発する。そのそもそもの目的は、“現実”と“現象”を見極め、それを人間の主観を超えた客観的な位置から正確に記述することである。しかし、Kant や Strawson (1959) は、私たちの思考が言語を媒介する限り、完全な客観に到達することはありえないと主張する。その立場からオントロジーを私たちの主観的、文化的、意図的な知識を表現する道具と考える。これに反して、Quine (1953) のアプローチはオントロジーの本来の目的をとりもどし、アリストテレスにおけるような、“現実”と“現象”を正確かつ客観的に記述することを目的とする (Loux, 2006; Loux & Zimmerman, 2003)。最近では Lowe (1998, 2006) が Quine の路線を継承して、形而上学こそ、“現実”と“現象”のありかたを抽出するための、最も重要な方法のひとつと唱え、情報科学におけるオントロジーの発展に貢献している (図 2)。Lowe (1998, 2006) によれば、形而上学とは、自然科学における数学のようなもので、経験主義や実験を使った科学的な方法とは別に、論理的な考察によって、現象というものがどのように存在しえるのか、ということ提起している。

2.1 情報科学での 上位オントロジー：OntoClean

Lowe (1998, 2006) が、主張する形而上学の延長線上のひとつとして、情報科学でとくに注目を浴びているのが、OntoClean (Guarino & Welty, 2002a, 2002b, 2004; Welty & Guarino, 2001) という方法である。従来のアプローチでは、オントロジーを組み立てる際、カテゴリー間の上下関係や、相互の区分を決めるための、はっきりとした基準がなく、オントロジーの作成者個人の勤や経験にたよってきた。それに対して、Guarino (1998b) は、形而上学で練り上げられてきたオントロジーの判断基準を、情報システムでのオントロジーの作成でもあてはめよう主張し、オントロジーの作成に伴う曖昧性を減らすことに努めた (e.g., Gangemi, Guarino, Masolo, Oltramari, & Schneider, 2002;

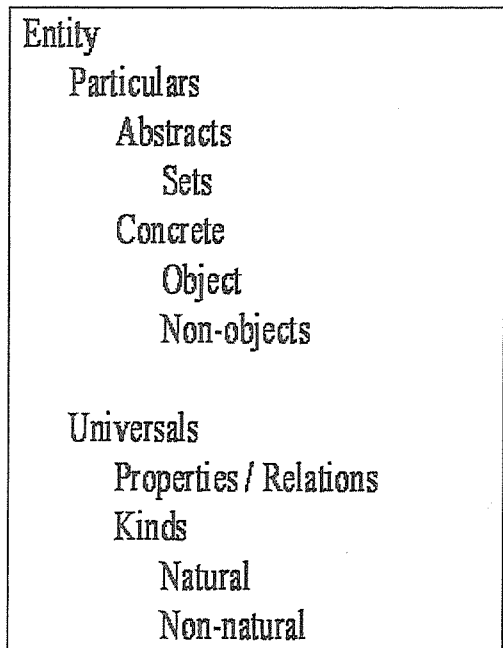


図 2 Lowe (1998) の提案する上位オントロジー

Gangemi, Guarino, Masolo, & Oltramari, 2003)。OntoClean の方法を要約すると、様々な概念を 3 種類のメタ属性 (identity, rigidity, unity) で特徴づけ、そのメタ属性の有無にもとづいてカテゴリーの関係を決めていく方法である。以下、これらのメタ属性 (meta-properties) について、重要な点を述べる。

Identity

例えば、a と b というものがあつた場合、その二つが同じ物なのか、あるいは、同じような種類の物に属するのか、さらに進んでここに行くの a があるのかということを経験の会話で行うことができる。これは、ある意味で、どのような観点で、a と b が同一なものなのかという、暗黙の了解があるからと言っていい (Lowe, 1989)。この identity を考えた場合、どういう実体が同一性の基準を持ち、どういう実体では同一性の基準を持たないのか、あるいは、どういう実体においては、異なった時間軸をとつた場合、同一性の基準が変化するかといったことを明らかにすることによって、カテゴリーの区別をしようとする方法である (Guarino & Welty, 2004)。

Unity

Unity の基本概念は、数える事ができるものと、そうでないものとを識別することにある。例えば、椅子という概念には、椅子としての全体 (whole) と部分 (part) の関係がはっきりしていて unity がある (+U)。椅子についた肘掛けは、あくまでも、椅子の部分であって、それ自体取り出しても、椅子にはなり得ない、しかし、金 (gold) という物質は、そのある部分をつまみ取っても、それはまだ金であり、全体と部分の明確な区別がない。Guarino と Welty (2004) は共通した unity が無いものをさらに区分けして、ひとつは、事例に共通した unity が無いが異なった unity があるもの (-U)、もうひとつは、事例に共通した unity がまったくないものに分けている (~U)。

例えば、“法人”というカテゴリをとって見ると、その事例 (会社及び人) に unity があるがその Unity のありかたは共通していない (-U)。しかし、水という物質には共通した unity がまったくない (~U) (Guarino & Welty, 2004)。

Rigidity

Rigidity というメタ属性の基本にあるのは、役割をもとにしたカテゴリ (role type) と自然形をもとにしたカテゴリ (natural type) との区別である (Sowa, 1984, 2000)。例えば“鈴木一郎”という個人は、“人”という自然形の種類に属しているが、同時に“野球選手”あるいは“夫”といった役割のカテゴリ (role type) にも属している。“夫”という役割は、“結婚”“家庭”“妻”といった脈絡で成り立ち、その関係が解消されればその役割 (role) もなくなる。しかし、“人”というカテゴリは“鈴木一郎”にとっては不可欠で、“鈴木一郎”という個人が存在するかぎり状況や環境などにかわりなく存在する。さらに、“人”であるという属性は、“人”というカテゴリに属するすべての事例 (instances) に例外なく存在する。このような属性を、Guarino は rigid と呼んでいる。Rigidity というメタ属性は、必要不可欠 (essential) な属性と偶発的 (accidental) な属性の違いを明らかにするのにも役立つ。仮にある A (林檎) という物が b (赤い) という属性を持っていたとする。b が A にとって必要不可欠なものなのかどうか見分けるとき、b が様々な状況や時間において現れたりなくなったりしたなら、b が

A にとって必要不可欠なものという事にはならない (Guarino, Carrara, & Giaretta, 1994; Marcus, 1968)。

以上、OntoClean で使われる 3 個のメタ属性について重要な点を述べた。OntoClean は、これらのメタ属性の有無を判断することによって、オントロジーの階層や相互関係を明らかにして行く方法である。例えば、“夫”というカテゴリは role type で、rigidity を持ち得ない (anti-rigid, ~R)。これに反して、“人”は natural type であり“人”であるという属性はすべての“人”の事例に当てはまるから rigid と言える (これにたいして、“脳がある”という属性は、すべての事例に当てはまらないから、semi-rigid, -R と言われる)。したがって、一過性によって規定された role type は rigidity を所有する natural type を包括することができないと OntoClean は規定する。

ここで最も重要なのは、OntoClean が提出するこれらの規定は、あくまでも指針であり、その規定の解釈も専門家の間でも必ずしも一致しない。例えば、同一性の基準 (identity criteria) の有無を考えた場合でも、オントロジーの製作者の解釈によってその判断は大きく異なる (Guarino, 1998b)。このような点から見ても、上位オントロジーの有効性についての疑問が生じる。

ひとつには、Strawson (1959) が言うように、言語を媒介して作られたオントロジーをもって、現実や現象を正確に区分することは、原理的に不可能だという主張である。つまり、上位オントロジーが示すカテゴリは、私たちが所有する言語や概念化の仕組みを表すかもしれないが、現実と現象については、客観的には分かり得ない (Dummett, 1978; Putnam, 1981)。したがって、Lowe や Guarino が唱える、形而上学にもとづいた方法は、原理的に不可能であり、OntoClean のような方法で上位オントロジーを規定し、それを知識ベースの基幹として用いるという試みは、徒勞に過ぎないと主張する (Guarino & Guizzardi, 2006; Fonseca, 2007; Veale & Hao, 2008; Wyssusek, 2006)。

3 では、最近の概念研究の結果を手短かに紹介し、上位オントロジーの有効性について述べ、そして、言語や概念化の仕組みの構造と、現実や現象にある構造の間には、ある種の同型性 (isomorphism) があることを主張する (Shepard, 2001)、そしてその

観点から、上位オントロジーを作成していく上で、認知科学の概念研究の結果が指針のような役割を果たすことを提案する。

3. 上位オントロジーと認知過程のつながり

上位オントロジーは私たちが普段行う認知過程に深く関連している。“蕎麦のゆでかた”という日常的なスキーマを例にとり、この点について考えてみる。

蕎麦のゆでかた：

1. 鍋に水をたっぷり入れて火をかける。
2. お湯が煮立ったら、蕎麦をほぐしながら鍋に入れる。
3. お湯は、強火のままでしばらくおいて、沸騰したお湯がこぼれそうになったら、少し水を入れる。
4. 蕎麦が芯まで煮えて、ある程度、腰があるうちに鍋からおろし、冷水でさっとゆすぐ。

こうした“蕎麦のゆでかた”が理解できたら、“うどんのゆでかた”や“スパゲティのゆでかた”も簡単にわかるし、“ほうれん草のゆでかた”や“枝豆のゆでかた”にも応用できる。様々な状況で“蕎麦のゆでかた”が応用できるのは、ゆでるというスキーマが私たちの記憶のなかにあるからだろう。しかし、“蕎麦のゆでかた”が“うどん”や“スパゲティ”や“枝豆”に応用できるが、なぜ“石”や“粘土”や“砂”には当てはまらないとわかるのだろうか？これは、私たちが持っている記憶の中に、“食物”、“有機物”、あるいは“無機物”といった、上位オントロジーに対応するような“大きなカテゴリー”があり、それをもとにして、スキーマを適用できる範囲を決定すると考える（例えば、楠見・松原, 1993）。食物、有機物、無機物、さらに物体、物質、生き物、人工物、といったカテゴリーは、Lowe (1998) のオントロジーでもはっきり区別されている（図 2）。

さらに、上位オントロジーの役割についての異なる例を検討してみる。仮に“自動車の運転”というスキーマがあるとす。時速 50km で走っている車が、歩行者にぶつかった場合、歩行者の命にかかわる事故になる。同じことは、犬や猫や鳥や牛にぶつかっても言える。しかし、同じ車が、岩や木や電信柱にぶつかったら、怪我をするのは運転者のほうである。このようなことを簡単に推測できるのは、生物、物質、固体、有機体といったような、上位オントロジーと似たような仕組みが私たちの“知識”のなかに組み込まれていて、“自動車の運転”のス

キーマが適用できる範囲を示しているからだろう。換言すれば、私たちがもっている知識には、スキーマのような領域に密着した具体的なものと、上位オントロジーのように、領域を超えて一般的な意味での現象や現実を記述する、“基本的な知識”があると考える。このような相互関係は、AI で用いられる知識ベースを設置する際にも重要な役割を果たす。例えば、“交通規則”を示すエキスパートシステムの構成を考えても、領域に密着した具体的なルールの表現に加えて、一般的な“物”のカテゴリーを示す知識ベースがなければ、具体的なルールが適用できる条件を明らかにするのが難しくなる (Breuker, Valente, & Winkels, 2004)。

この一般的な“物”についての知識は、私たちの個人的な経験や心的なあり方とは離れて、ある意味で先天的に存在すると仮定できる。4 では、この仮説の根拠について論ずる。

4. 概念研究が示す同型性

発達心理学の研究によると、物の継続性に関する意識は、生後 3ヶ月ぐらいで現れ (Spelke, 1997)、物が持っている特性を一般化して、他の物に投影しその特性を推測する能力は、生後 10ヶ月ぐらいに備わると考えられる。すなわち、ある犬を見て、犬は吠えるという特性を一般化して、他の犬にも当てはめる能力を生まれてから 10ヶ月ぐらいの間で獲得する (Mandler & McDonough, 1996)。

この推測の枠組みを整えるのに、言葉の構造、殊に、名詞、動詞、形容詞といった言葉のカテゴリーが大きな役割を果たす (Brown, 1957; Gelman, 2003; Gelman & Markman, 1986; Imai, Gentner, & Uchida, 1994; Markman, 1989; Markman & Hutchinson, 1984)。Waxman と Booth (2001) の実験では、乳幼児の参加者に 4 個のピンク色の馬のおもちゃを与えられる。その際、ひとつのグループ (noun condition) には、名詞形の非単語で話しかけ (“These are *blickets*”), 他のグループには、形容詞形の非単語で話しかける (“These are *blickish*”) (familiarization phase)。そのあと、参加者に名詞形の質問 (“Can you give me the *blickets*?”) あるいは形容詞形の質問 (“Can you give me the *blickish* one?”) を与える。結果を見ると、名詞形のグループは、馬というカテゴリー (kinds) に対応した選択を行い、形容詞形のグループは、ピンクという

特徴に対応した選択を行うことがわかった。つまり、“ブリケットをみせてくれ”と言った場合と“ブリケットらしいものをみせてくれ”といった、文におけるわずかな違いで、14ヶ月の乳児は、物に基づくカテゴリーや特徴に基づくカテゴリーに分ける能力がある (Mandler & McDonough, 1996; Xu, Carey, & Quint, 2004)。

さらに、Gelman と Heyman (1999) の実験では、文章を名詞化 (lexicalization/ nominalization) することによって、継続性や固定性の意識が 4-5 歳の幼児にも生まれることを示す。仮にある人を言い表すのに“Aさんは宇宙からきた人のようだ”といった形容詞節の直喩表現 (simile) を名詞化させて、“Aさんは宇宙人だ”と隠喩表現 (metaphor) で言い換えることができる (Chiappe & Kennedy, 2001)。Gelman と Heyman (1999) はこの点に注目して、4-5 歳の幼児を使って名詞化によっておこる、意味の変化を調べた。その結果、名詞化された表現 (carrot eater) を使った場合、その人物の特徴 (“eating carrots”) が、将来までもずっと続き、状況や環境が変わってもその特徴は変わらず、そして、他の人がその特徴を変えようとしても、なかなか変えることができないと幼児は思い込む傾向があることがわかった (Yamauchi, 2005; Yamauchi, 2008 も参照)。

すなわち、似たような表現の仕方でも、文の構造を形容詞化された表現から、名詞化された表現に変えることによって、文の持つ潜在的な意味が変わってしまう。そして、4-5 歳の幼児にさえも、その微妙な変化が明らかに認識される。

成人の場合でも似たような傾向が見られる。カテゴリー学習がもたらす知覚の変化 (categorical perception/カテゴリーカル知覚) というよく知られた知覚現象がある。これは、新しいカテゴリーを学習することで、私たちの知覚に変化が生じることを言う。具体的には、同じカテゴリーに属するものがより似通って見えたり、違うカテゴリーに属するものが、より違って見えたりする現象である。このような、カテゴリーカル知覚 (categorical perception) は英語の発音の学習、色の見分け、形の区別、顔の表情の読み取り、など多岐にわたって現れる (Davidoff, 2001; Goldstone, 1994, 1995; Hanard, 1987; Roberson & Davidoff, 2000; Op de Beeck, Wagemans, & Vogels, 2003)。

カテゴリーカル知覚 (categorical perception) は、カテゴリーにラベルを添えるだけでも起こる。つまり、これといった意味を持たないものでも、ちょっとしたラベルを付けるだけで、同じラベルを持つもの同士が同じような特徴を持つように思えたり、違うラベルを持つものが、違う特徴を持つように思えたりするのである (Davidoff, 2001; Yamauchi & Markman, 2000; Yamauchi, Kohn, & Yu, 2007; Yamauchi & Yu, 2008; Goldstone, 1993; Tajfel & Wilkes, 1963)。そして、このラベルによる知覚変化は、ラベルが名詞形を帯びるとき特に強くなる (Yamauchi, 2007, 2009)。

上位オントロジーで見られるような、基本的な物に関する区分が様々な高次元な認知活動に影響する様子は脳の皮質上でもみとれる。例えば、意味記憶に障害のある患者の症状例を見ても、動物、果物、野菜、身体の部分など、特定のカテゴリーに関する意味記憶が失われる場合が多い (Caramazza & Mahon, 2003; Cree & McRae, 2003; Warrington, 1975; Warrington & Shallice, 1984)。海馬 (hippocampus)、嗅内皮質 (entorhinal cortex)、扁桃体 (amygdala) などにある神経細胞の発火の様子を見ても、顔、景色、家、動物といった、特定のカテゴリーだけに選択的に発火する神経細胞がある (Kreiman, Koch, & Fried, 2000)。さらに、fMRI などを使ったイメージングの研究では、後頭葉から側頭葉につながる腹側経路 (ventral pathway) においても、景色、場所、身体の部分、動物、工具などの特定のカテゴリーによって、脳の違った場所が活発に働くことがわかっている (Kanwisher, 2003; but see also Martin, 2007)。

これらの結果を見てみると、私たちが持っている言語や概念化の仕組みと、現実や現象にある仕組みの間には、構造的に対応する関係があると考えられる。そのような対応は、単に経験的に除々に学習されるものにとどまらず、かなり早い時期から、私たちの知識の構造を規定する枠組みとして存在し、推測や判断といった認知過程や脳内における情報処理の過程にも内在している (Imai & Gentner, 1997; Imai & Mazuka, 2007; Soja, Carey, & Spelke, 1991)。この意味から、私たちが所有する一般的な概念の構造も、“現実”や“現象”の一部と捉え、それらの基本的な成り立ちを、科学的・実験的な方法で探求していくことによって、上位オントロジーの

在り方を明確にしていくこともできると考える。5では、そのいくつかの方法を具体的に紹介し、上位オントロジーの設定に認知科学の概念研究がどのように関連し、どのように貢献できるか提示し、この稿を閉じる。

5. 上位オントロジー：概念研究との関連とその導入のメリット

上位オントロジーの設計の方法を考えた場合、3種類のアプローチがある。ひとつは OntoClean, BFO, DOLCE と言った哲学の手法を使ったフォーマルな方法である。もうひとつは、Be 動詞の関係 (is __ a relation) や特定の領域に即した知識の成り立ちから組み立てる、インフォーマルな方法がある、そして最近注目されているのが、folksonomy といわれる Flickr や delicious.com といった Social Web site で一般に使われるタグを集めて、オントロジー作成の参考にする手法がある (Mika, 2007; Motta, 2006; Specia & Motta, 2007)。インフォーマルな方法の問題点については、他の論文で多く論じられており、ここでは、敢えて取り上げない (Guarino, 1998b)。インターネットを使った folksonomy の方法は注目に値するが、その手法は、まだ初期的な段階にあるので、ここでは、哲学をもとにしたフォーマルな方法に焦点をあてる。

OntoClean, DOLCE (図 1a 参照), BFO (図 1b 参照), と言った、いわゆるフォーマルな方法の根幹は、哲学的な手法にある事は、1 と 2 でも述べたが、端的に言えばそのアプローチは現象の観察である (introspection)。例えば、BFO の理論の基盤となっているのが、Husserl の唱える mereology — 全体と部分に関する現象の考察 — からなる。OntoClean にある Identity, Unity, Rigidity というメタ属性の判断も、私たちの知覚にもとづいた観察でなりたっている。この事実から、Kant や Swartson, さらに、Putnam や Davidson の批判が生じる。つまり、Ontology を現実を把握し記述するための客観的手段と位置付けたとしても、オントロジーの取り決め自体が、個人の観察、知覚、言語にたよっているわけだから、製作されたオントロジーは個人の持っている相対性、文化性、歴史性から離れることができない。このような相対性 (relativism) の議論は、上位オントロジーの設計の問題に限らず、現在の哲学がかかえている歴史的な課題と言っている。

4では、認知科学の概念研究が、この相対性の議論に対するひとつのアンチテーゼを提出する事ができると主張した。それでは、いったいオントロジー設計者にとって、認知科学の方法が具体的にどういうメリットがあるのか、例を挙げて考えてみる。

5.1 有機的なものと無機的なものの違い

上位オントロジーの設計では有機的なもの (living things) と無機的なもの (non-living things) を区別するべきかどうか、そしてその区別をどの階層で設置するべきか、と言う点について明確な回答はまだない。例えば、Lowe のオントロジー (図 2) では、その区別が、比較的明確に示されているが (Kinds/Natural, Non-natural), BFO (図 1b) の場合は、その焦点が部分と全体の関係にある事から、Natural, Non-natural といった区別については取り上げられていない。これらの違いを評価するとき、私たちが、実際行う推測の仕方を見ることで、上位オントロジーの構成のためのヒントが得られる。

図 3 は発達心理学や判断決定 (decision making) の研究で使われる triad-task の例である。

この実験では、上に置かれた 1 枚の写真は、下に置かれた 2 枚の写真のどちらと同じ属性を持つか参加者に尋ねる。この場合、類似性が推測の判断に大きく影響する。つまり、左の写真と右の写真を比べた場合、左の写真のほうが上の写真と類似していることから、左の写真が示すものが、上の写真が示すものと同じような属性があると推測する。図 3b の場合はどうなるだろうか？ この場合は、各々の写真の上に意味不明なラベルが添えられている。類似性から見ると、左の写真のほうが、右の写真よりも似ているのだが、左の写真と上の写真は、異なったラベルを所有し、右の写真と上の写真は同じラベルを共有する。Yu, Yamauchi, & Shumatcher (2008) の実験では、図 3b に添えられた意味不明のラベルが有機的なもの (例えば“細胞の種類の名前”) を表す場合と、無機的なもの (例えば“抽象画の種類の名前”) を表す場合とでは、選択の仕方が大きく変わることを示した。ラベルが有機的なものの名前を指し示すときには、ラベルの共通性に対応した選択が増えるが (右の写真を選ぶ), ラベルが無機的なものの名前を指し示すときには、そのような現象が起こらない。この事は、カテゴリーの事例が有機的なものなのか、あるいは、無機的なもの

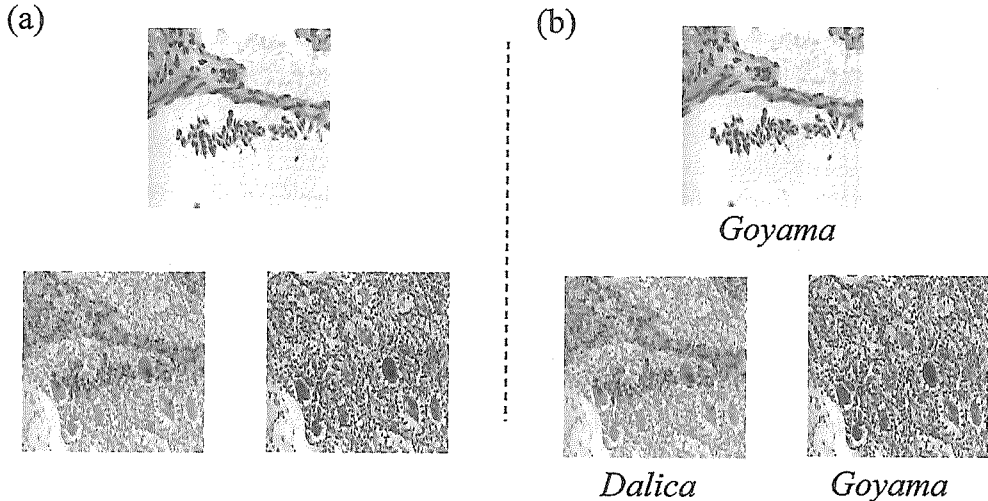


図3 Yu, Yamauchi, & Schumatcher (2008) の実験で使われた、刺激の例

なのかという微妙な違いにしたがって、私たちは、推測のアリゴリズムを変えている事を示す。

このように認知の仕組みが文化や言語を超えて確認される事実は、有機的なものと無機的なものとの違いが、私たちの概念構造の中に深く関わっている事を示すだろう、この知見を得る事によって、哲学的考察に加えて、もうひとつ新しい要素を上位オントロジーの設計に付け加えることができる。

5.2 Universals と Particulars

Universals と Particulars という区分についての議論は、オントロジー設計の中で最も重要な歴史的な課題である。AI や認知科学でのモデルの選択、異なった理論の整合性の比較検討などに、よく使われる言葉に“オッカムのかみそり (Ockham's Razor)”と言う表現がある。この表現は Universals と Particulars というオントロジー上での区分についての William Ockham (1280–1349) の主張に由来する。オントロジーを使って現象を体系化する場合、Universals というカテゴリー無しで、Particulars だけで現象を説明できることから、Universals という概念を使わず Particulars だけで、オントロジーを創ったほうがより単純であり、優れているというのが Ockham の意見である。この議論をさらに進めて、Universals に付属する、Properties と Kinds を分ける必要があるのか、という問題も起こる (図2)。Yamauchi & Yu (2008) の実験では、

この件に注目して、ラベルが実体のある物のカテゴリー (kinds) 示す場合と、ある属性 (property) に対応する場合とでは、どのように推測の仕方が変わるかを調べた。

実験では、2個の虫の絵を各参加者に示して、右側に示された虫が左側に示された虫と同じような身体の部分を持つか尋ねた。この場合、いずれの虫にも、意味不明のラベル (“monek”) が付けられた。そして、ラベルのもつ意味を参加者が実験の前に読むインストラクションの中で示した。ひとつのグループでは、ラベルのもつ意味を虫が所属する kind (“monek” represents the type that the insect belong to) を表すものと指摘し、もうひとつのグループでは、同じラベルのもつ意味を虫が所有する property (“monek” represents the name of the disease that the insect has) を表すものと指摘した。このように、二つのグループの参加者はラベルの意味を除いて、まったく同じ刺激を与えられた。結果を見ると、ラベルが、kind と対応した場合には、ラベルをもとにした推測が行われる率が高くなった。言いかえれば、OntoClean のメタ属性の Unity のような関係が、kind に対応したラベルをつけることによって起こることが分かった。これは Universals と Particulars の区分、そして、Kinds と Properties の関係が私たちが普段行う推測の過程でも影響する事を示す。

情報科学や Semantic Web のひとつの大きな目

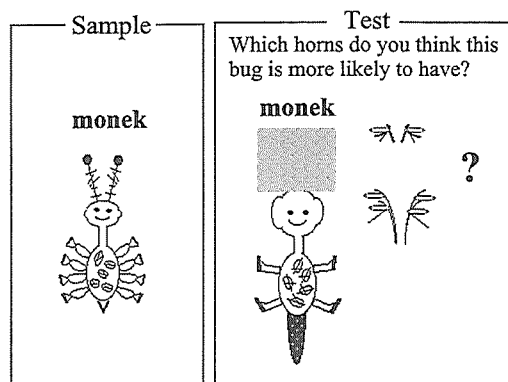


図4 Yamauchi & Yu (2008) で使われた刺激の例

的は、人間が行う様々な決断や推測を手助けするサポートシステムの土台を提供する事にある。この点から見ると、私たちの推測や判断の様子が、上位オントロジーのカテゴリーが変化することによって、どのように変化するか知る事は、よりの確なシステムを創る上でも、重要である。

5.3 その他の有効な方法

認知心理学の実験と合わせて、認知言語学で行われている言語の分析の研究も、上位オントロジーを設計する上で貴重なヒントになる。例えば、Langacker (1987, 1991) の提唱する認知文法 (cognitive grammar) の理論では、文法を一般的な概念をシンボル化したものとみなす。例えば、名詞の原型 (プロトタイプ) は、物理的な物の概念をシンボル化したもので、動詞の原型 (プロトタイプ) は物に関係するプロセスの概念をシンボル化したものと特徴づける。前者は、空間軸の中で具体化され、その延長として領域という概念が結びつく。後者は、時間軸の中で具体化され、時間軸から離れた所の関係性の表現には形容詞や副詞が充てられる。このように、文法上の分析を深めていく事で、私たちが知覚する“世界”がどう成り立っているのか探る事ができる。

その他、発達心理学での Object Individuation の研究 (Xu, Carey, & Quint, 2004), 隠喩、直喩の研究 (Chiappe & Kennedy, 2001), さらに身体性 (embodiment) の研究 (Barsalou, Niedenthal, Barbay & Ruppert, 2003) など、認知科学とオントロジー工学の接点は多数あると考えられる。

6. 今後の展開

本稿では、オントロジーと認知科学の概念研究の関係について検討した。オントロジーは、形式的・固定的で、私たちが持っている流動的な知識を表現するには、適切でないと考えられる誤解がある。しかし、私たちが、日常行う推論や判断の仕方を見ると、上位オントロジーと似たような、カテゴリーが深く関連している。したがって、これからの、認知科学における概念研究を考えた場合、オントロジー工学、哲学、認知科学の統合的なアプローチが、ますます重要な役割を果たすと考える。認知科学の分野で見ると、オントロジーと人間の認知の過程の関係は色々調べられてきたが、その多くは、物体 (数えられる物) と物質 (数えられない物) の違い (Imai & Mazuka, 2007; Xu, 2005), 物と属性の違い (Gelman & Markman, 1986; Yamauchi & Markman, 2000; Yamauchi & Yu, 2008), 生き物と人工物の違いに限られてきた (Cree & McRae, 2003). さらに枠を広げて、物とプロセスの違いや、場所とイベントの違いなども調べることによって、興味深い知見が得られると考える。

文献

- Anderson, J. R. (1998). *The Atomic Components of Thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Barsalou, L., Niedenthal, P. M., Barbay, A. K., & Ruppert, J. A. (2003). Social embodiment. In B. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* Vol.43, 43-92. Boston: Academic Press.
- Breuker, J., Valente, A., & Winkels, R. (2004). Legal ontologies in knowledge engineering and information management. *Artificial Intelligence and Law*, 12, 241-277.
- Brown, R. (1957). Linguistic determinism and the part of speech. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 55, 1-5.
- Caramazza, A. & Mahon, B. Z. (2003). The organization of conceptual knowledge: the evidence from category-specific semantic deficits. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 354-361.
- Chiappe, D. L. & Kennedy, J. M. (2001). Literal Bases for Metaphor and Simile. *Metaphor & Symbol*, 16, 249-276.

- Cree, G. S. & McRae, K. (2003). Analyzing the factors underlying the structure and computation of the meaning of chipmunk, cherry, chisel, cheese, and cello (and many other such concrete nouns). *Journal of Experimental Psychology: General*, **132** (2), 163–201.
- Davidoff, J. (2001). Language and perceptual categorization. *Trends in Cognitive Sciences*, **5**, 382–387.
- Dummett, M. (1978). *Truth and Other Enigma*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Fonseca, F. (2007). The double role of ontologies in information science research. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, **58** (6), 786–793.
- Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., & Oltramari, A. (2003). Sweetening WordNet with Dolce. *AI Magazine*, **24** (3), 13–24.
- Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., Oltramari, A., & Schneider, L. (2002). Sweetenign Ontologies with DOLCE. In A. Gomez-Perez & V.R. Benjamins (Eds.), *EKAW 2002, LNAI 2473*, 161–181.
- Gelman, S. (2003). *The Essential Child: Origins of Essentialism in Everyday Thought*. New York: Oxford University Press.
- Gelman, S. & Heyman, G. D. (1999). Carrot-eaters and creature-believers: The effects of lexicalization on children's inferences about social categories. *Psychological Science*, **10**, 489–493.
- Gelman, S. & Markman, E. M. (1986). Categories and induction in young children. *Cognition*, **23**, 183–209.
- Goldstone, R. L. (1994). Influences of categorization on perceptual discrimination. *Journal of Experimental Psychology: General*, **123** (2), 178–200.
- Goldstone, R. L. (1995). Effects of categorization on color perception. *Psychological Science*, **6**, 298–304.
- Guarino, N., Carrara, M., & Giarretta, P. (1994). *An ontology of meta-level categories*. Paper presented at the Principles of knowledge representation and reasoning (KR94).
- Guarino, N. (1995). Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International Journal of Human-Computer Studies*, **43**, 625–640.
- Guarino, N. (1998a). *Formal ontology and information systems*. Paper presented at the Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy.
- Guarino, N. (1998b). *Some ontological principles for designing upper level lexical resources*. Paper presented at the First International Conference on Language Resources and Evaluation, Granada, Spain.
- Guarino, N., Carrara, M., & Giarretta, P. (1994). An ontology of meta-level categories. Principles of knowledge representation and reasoning: Proceedings of the Fourth International Conference (KR94). Morgan Kaufmann.
- Guarino, N. & Guizzardi, G. (2006). In the defense of ontological foundations for conceptual modeling. *Scandinavian Journal of Information Systems*, **18** (1), 115–126.
- Guarino, N. & Welty, C. (2002). Evaluating ontological decisions with OntoClean. *Communications of the ACM*, **45** (2), 61–65.
- Guarino, N. & Welty, C. A. (2002). Identity and subsumption. In R. Green, C.A. Bean & S.H. Myaeng (Eds.), *The Semantics of Relationships: An Interdisciplinary Perspective*, 111–125. Dordrecht: Kluwer.
- Guarino, N. & Welty, C. A. (2004). An overview of OntoClean. In S. Staab & R. Studer (Eds.), *Handbook on Ontologies*, 151–171. Berlin: Springer-Verlag.
- Harnad, S. (1987). Introduction: Psychological and cognitive aspects of categorical perception: A critical overview. In S. Harnad (Ed.), *Categorical perception*, 1–28. New York: Cambridge University Press.
- Imai, M. & Gentner, D. (1997). A cross-linguistic study of early word meaning: Universal ontology and linguistic influence. *Cognition*, **62**, 169–200.
- Imai, M., Gentner, D., & Uchida, N. (1994). Children's theories of word meaning: The role of shape similarity in early acquisition. *Cognitive Development*, **9**, 45–75.
- Imai, M. & Mazuka, R. (2007). Language-relative construal of individuation constrained by universal ontology: Revisiting language universals and linguistic relativity. *Cognitive Science*, **31**, 385–413.
- Kanwisher, N. (2003). The ventral visual object pathway in humans: Evidence from fMRI. In L.M.C.J.S. Werner (Ed.), *The Visual Neurosciences*, 1179–1190. Cambridge: MIT Press.

- Kreiman, G., Koch, C., & Fried, I. (2000). Category-specific visual responses of single neurons in the human medial temporal lobe. *Nature: Neuroscience*, **3** (9), 946–953.
- 楠見 孝・松原 仁 (1993). 認知心理学におけるアナロジー研究. 『情報処理』, **34** (5), 18–28.
- Langacker, R. W. (1987). *Foundations of Cognitive Grammar Vol.1: Theoretical Prerequisites*. Stanford: Stanford University Press.
- Langacker, R. W. (1991). *Foundations of cognitive grammar: Vol.II Descriptive application*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Loux, M. J. (2006). *Metaphysics: A contemporary introduction* (third ed.). London: Routledge.
- Loux, M. J. & Zimmerman, D. W. (2003). Introduction. In M.J. Loux & D.W. Zimmerman (Eds.), *The Oxford Handbook of Metaphysics*, 1–7. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Lowe, E. J. (1989). What is a criterion of identity? *Philosophical Quarterly*, **39** (154), 1–21.
- Lowe, E. J. (1998). *The possibility of metaphysics: Substance, identity, and time*. Oxford: Clarendon press.
- Lowe, E. J. (2006). *The four-category ontology*. New York: Oxford University Press.
- Mandler, J. M. & McDonough, L. (1996). Drinking and driving don't mix: inductive generalization in infancy. *Cognition*, **59**, 307–335.
- Marcus, R. B. (1968). Essential Attribution. *The Journal of Philosophy*, **7**, 187–202.
- Markman, E. M. (1989). *Categorization and Naming in Children: Problems of Induction*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Markman, E. M. & Hutchinson, J. E. (1984). Children's sensitivity to constraints on word meaning: Taxonomic versus thematic relations. *Cognitive Psychology*, **16**, 1–27.
- Martin, A. (2007). Semantic Memory. *Annual Review of Psychology*, **58**, 25–45.
- Mika, P. (2007). Ontologies are us: A unified model of social networks and semantics. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, **5**, 5–15.
- Mizoguchi, R. (2003). Tutorial on ontological engineering — Part 1: Introduction to Ontological Engineering. *New Generation Computing*, **21** (4), 365–384.
- 溝口 理一郎 (2005). 『オントロジー工学』. オーム社.
- Motta, E. (2006). Knowledge publishing and access on the semantic web: A sociotechnological analysis. *IEEE Intelligent Systems*, **21** (3), 88–90.
- Newell, A. (1994). *Unified Theories of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Op de Beeck, H., Wagemans, J., & Vogels, R. (2003). The effect of category learning on the representation of shape: Dimensions can be biased but not differentiated. *Journal of Experimental Psychology: General*, **132**, 491–511.
- Putnam, H. (1981). *Reason, Truth, and History*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Quine, W. V. O. (1953). *From A Logical Point of View*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Roberson, D. & Davidoff, J. (2000). The categorical perception of colors and facial expressions: The effect of verbal interference. *Memory & Cognition*, **28**, 977–986.
- Shepard, R. N. (2001). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, **24**, 581–601.
- Smith, B. (1998). *The basic tools of formal ontology*. Paper presented at the Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy.
- Smith, B. (2004). Ontology. In L. Flondi (Ed.), *Blackwell guide to the philosophy of computing and information*, 155–166. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Sowa, J. F. (1984). *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley.
- Sowa, J. F. (2000). *Knowledge representation: Logical, philosophical, and computational foundations*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Thomason Learning.
- Specia, L. & Motta, E. (2007). Integrating Folksonomies with the Semantic Web. In E. Francini, M. Kifer & W. May (Eds.), *ESWC 2007, LNCS*, Vol.4519, 624–639. Berlin: Springer-Verlag.
- Spelke, E. S. (1997). Nativism, empiricism, and the origins of knowledge. *Infant Behavior & Development*, **21**, 181–200.
- Strawson, P. F. (1959). *Individuals*. New York: Anchor Books.

- Tajfel, H. & Wilkes, A. L. (1963). Classification and quantitative judgment. *British Journal of Psychology*, **54**, 101–114.
- Veale, T. & Hao, Y. (2008). A context-sensitive framework for lexical ontologies. *The Knowledge Engineering Review*, **23** (1), 101–115.
- Wand, Y. & Weber, R. (1990). An ontological model of an information system. *IEEE Transactions on Software Engineering*, **16** (11), 1282–1292.
- Warrington, E. K. (1975). The selective impairment of semantic memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **27**, 635–657.
- Warrington, E. K. & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, **107**, 829–854.
- Waxman, S. R. & Booth, A. E. (2001). Seeing pink elephants: Fourteen-month-olds' interpretations of novel nouns and adjectives. *Cognitive Psychology*, **43**, 217–242.
- Welty, C. & Guarino, N. (2001). Support for ontological analysis of taxonomic relationships. *Journal of Data and Knowledge Engineering*, **39** (1), 51–74.
- Wyssusek, B. (2006). On ontological foundations of conceptual modeling. *Scandinavian Journal of Information Systems*, **18** (1), 63–80.
- Xu, F., Carey, S., & Quint, N. (2004). The emergence of kind-based object individuation in infancy. *Cognitive Psychology*, **49**, 155–190.
- Yamauchi, T. (2005). Labeling bias and categorical induction: Generative aspects of category information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **31**, 538–553.
- Yamauchi, T. (2007). The Semantic Web and human inference: A lesson from cognitive science. K. Aberer et al. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, 4825, 609–622. Berlin: Springer.
- Yamauchi, T. (2008). Linking syntax and inductive reasoning: Categorical labeling and generic noun phrases. *Psychologia*, **51**, 1–13.
- Yamauchi, T. (2009). Finding abstract commonalities of category members. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, **21** (3), 155–180.
- Yamauchi, T., Kohn, N., & Yu, N. (2007). Tracking mouse movement in feature inference: Category labels are different from feature labels. *Memory & Cognition*, **35** (5), 852–863.
- Yamauchi, T. & Markman, A. B. (2000). Inference using categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, **26** (3), 776–795.
- Yamauchi, T. & Yu, N. (2008). Category labels vs. category features: Mere reference to category labels enhances response uniformity. *Memory & Cognition*, **36** (3), 544–553.
- Yu, N. Y., Yamauchi, T., & Schumacher, J. (2008). Rediscovering symbols: The role of category labels in similarity judgment. *Journal of Cognitive Science*, **9**, 89–100.

(Received 1 Oct. 2009)

(Accepted 6 Jan. 2010)



山内 隆史

秋田県湯沢市出身。米コロンビア大学院卒 (1997, Ph.D. 認知心理学専攻)。ピッツバーグ大学 Learning Research & Development Center での研究員 (research associate) をへて、現在は Texas A&M University で Associate Professor (認知心理学) を務める。概念学習、知識の習得と表象 (representation) が研究の中心になっている。最近では、Pattern Classification, AI, Semantic Web の分野にあわせて現代美術 (絵画, 彫刻, 建築) にも興味がある。Psychonomic Society, Cognitive Science Society 各会員。E-mail: tya@psyc.tamu.edu (English), takashiyyy@hotmail.com (Japanese)



楠見 孝 (正会員)

1987 年学習院大学大学院人文科学研究科心理学専攻博士課程単位取得退学、博士 (心理学)、筑波大学講師、東京工業大学助教授をへて、現在京都大学大学院教育学研究科教授。比喩、類推、概念、記憶、知識獲得、意思決定などの高次認知の実験的研究に従事。著書「比喩理解と意味記憶の構造」(風間書房)、「芸術心理学の新しいかたち」(分担著、誠信書房)、「メタファー研究の最前線」(編著、ひつじ書房) など。日本心理学会、Cognitive Science Society 各会員。E-mail: kusumi@educ.kyoto-u.ac.jp