

# 上位オントロジー

## *Upper Ontology*

武田 英明

国立情報学研究所

### 1. はじめに

上位オントロジーとはオントロジーを階層的に構築したとき、最上位にくるオントロジーの部分であり、対象とする世界を全体を範囲とするようなものである。典型的な上位オントロジーは「もの」「こと」などを最上位にもち、その詳細化した概念を下位の要素としてもっている。上位オントロジーは範囲や視点の異なるドメイン・オントロジーから共通に参照される。upper-level ontology、top-level ontology、general ontology、general-purpose ontology という場合もほぼおなじ意味で使われる。

上位オントロジーの必要性は実用的な要求から認識されているが、上位オントロジーが何であるかは我々の知識、知の根源に関わる問題でそう簡単に答えがでるものではない。現実的に上位オントロジーを“構築する”という問題に限定したとしても、やはりある程度の哲学的前提・仮説なしでははじめることができない。例えば“もの”は時空間の中での存在のありようは“空間的存在+時間”か“時空間的存在”のどちらが根本なのか、といった議論や、単一のオントロジーか複数のオントロジーか、といったことは構築されるオントロジーの形態に大きく影響を与える。

上位オントロジーの構築原則は、(1) 少ない概念で広い対象世界を記述すること、(2) そこで定義される概念が下位のオントロジーで利用可能であること、である。しかし、具体的なオントロジーとなると上記のように多様な前提に基づいた様々なオントロジーが提案されている。ここではこの多様なオントロジーを、概念やその関係を一般性と形式性のどちらを重視して表現するかという違いに基づいて分類を試みる<sup>1</sup>。上で述べたように少ない概

念で広い対象世界を共通に記述するためには、概念は一般的かつ抽象的である必要がある。ここで一般的であるというのは、多くの人や分野において受け入れられているという意味で使っている。ただし、一般的であることと抽象的であることは必ずしも一致しない。たとえば、数学の概念はすべて抽象度は極めて高いが、必ずしもそのすべてが一般に対象とする世界で使われるわけではない。逆に日本語の動詞「行う」を概念と考えた場合、共通的に用いられるが抽象度が高いとはいえない。日常的な我々の認識ではこの二つの基準は入り混じっていることが多いので、経験的な上位オントロジーでは区別されずに作られている。しかし、上位オントロジーを精密に作ろうとすると、この二つの基準を分離して考えていく必要がある。

抽象的な面を重視して構築するオントロジーは形式オントロジー(formal ontology)と呼ばれる。形式オントロジーの基本的には世界全般を対象とするので、上位オントロジーの一種となる。Formal ontology という用語は哲学的な由来をもつが[岡田 02]、ここでは広く形式性を第一の原理とするようなオントロジーと考える。

さらに抽象的な面のみを取り出した場合、それは対象世界を指し示すオントロジーをどう表現あるいは記述するかの方法を与えているといえることができるので、メタオントロジー(meta ontology)と呼ばれることがある。この場合、このメタオントロジーに沿って記述されたオントロジーをオブジェクトオントロジー(object ontology)と呼ぶ。たとえば、オブジェクトオントロジーの記述に必要な関係や関数、カテゴリなどの数学上の概念の体系はメタオントロジーである。

一般性を重視して作られる上位オントロジーは常識オントロジーと呼ばれるようなものになる。形式オントロジーと常識オントロジーの中間として位置づけられるのが自然言語語彙に基づくオントロジーである。自然言語の語彙は我々の常識に適用のものである一方、言語学での形

<sup>1</sup> 明らかに一般性と形式性は排他的なものではない。しかし、現実的には、我々の知識の不完全さや不整合さを扱う上で、どちらかの性質を重視して表現しざるを得ない。

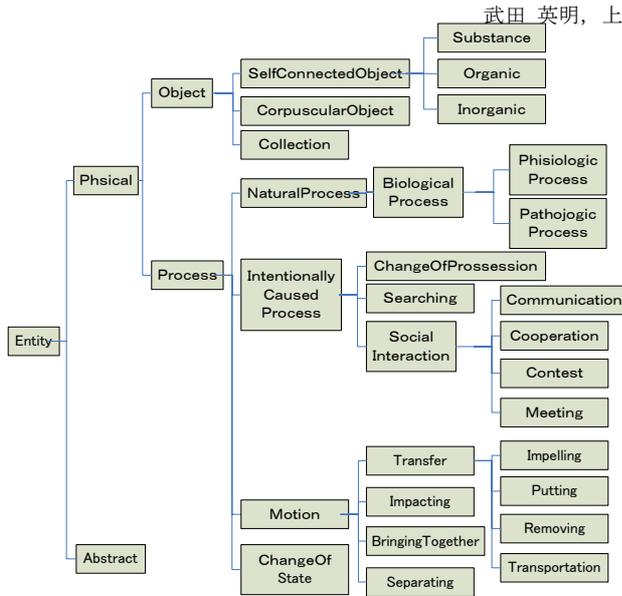


図1 SUMO の上位階層

式化を利用することで形式性ももたせることができる。以下ではまず 2 章で常識オントロジー、次に 3 章で語彙に基づくオントロジー、4 章で形式的なオントロジーを説明する。5 章ではさらにその中でもメタオントロジーを説明する。最後に 6 章でまとめを述べる。

## 2. 常識オントロジー

常識オントロジーの背景は我々の外界認識に関する経験的な概念からなる。哲学的議論からくるものもあるが、様々な分野で使われる一般的な概念を収集して体系化することで構築するのが一般的である。ただし、我々の持つ常識的概念は言語と不可分なので、自然言語における概念が使われることも多い。

常識オントロジーは個々の概念が論理的に厳密に定義できるかに注目しているのではなく、多くの人が使っている概念を整合的に結びつけて、ひとつの体系として構築することが目的である。

### 2. 1 SUMO

SUMO(Suggested Upper Merged Ontology)<sup>2</sup>[Niles 01] は上位オントロジーの標準化の候補のひとつとなるべく、IEEE の Standard Upper Ontology (SUO) Working Group<sup>3</sup>で議論されているものである。SUMO は Teknowledge 社<sup>4</sup>のグループが中心になって構築を行っている。SUMO は独自の視点から体系的なオントロジ

<sup>2</sup> <http://ontology.teknowledge.com/>

<sup>3</sup> <http://suo.ieee.org/>

<sup>4</sup> <http://www.teknowledge.com/>

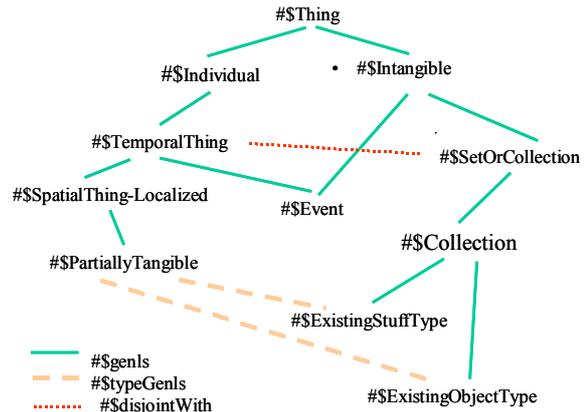


図2 OpenCyc の上位階層

ーを作るのではなく、既存のよく使われているオントロジーを適切に結合させることで、包括的かつ一貫的なオントロジーを構成しようとしている。各概念を定義していくというよりは、自明な概念をどう整理するかといった方法で作られている。したがって、概念は論理的な定義をもつ場合もあれば、上位下位の関係と排他的関係程度しかもたない場合もある。

SUMO の上位部分の階層を図1に示す。SUMO の最上位概念は Entity であり、その下には Physical と abstract がある。Physical とは場所と時間をもつものとして定義される。Physical の下位概念として、Object と Process が置かれる。

### 2. 2 OpenCyc

OpenCyc<sup>5</sup>は Cyc プロジェクトで作られた常識ベースの上位部分を公開したもので、Cyc の 12 万個の概念のうち、約 6000 個の概念とその定義が含まれている。Cyc における概念は論理式で定義がかけられる。

Cyc の概念関係の中で重要なものは、集合間の包含関係 (#\$gens) とクラスとインスタンスの関係 (#\$isa) である。ものを分類するときのカテゴリの上位下位関係はそれらのカテゴリに属するインスタンスの包含関係であるので、#\$gens で表現される。それに対して概念とそこに属するインスタンスの関係が#\$isa となる。例えば、

かつ

(#\$gens #\$Dog #\$Carnivore)

は、「犬」概念は「(生物)種」の要素であり、「肉食動物」に包含される概念である」ということを意味している。このとき、「犬」のインスタンスをつくったとき、それは「肉

<sup>5</sup> <http://www.opencyc.org/>

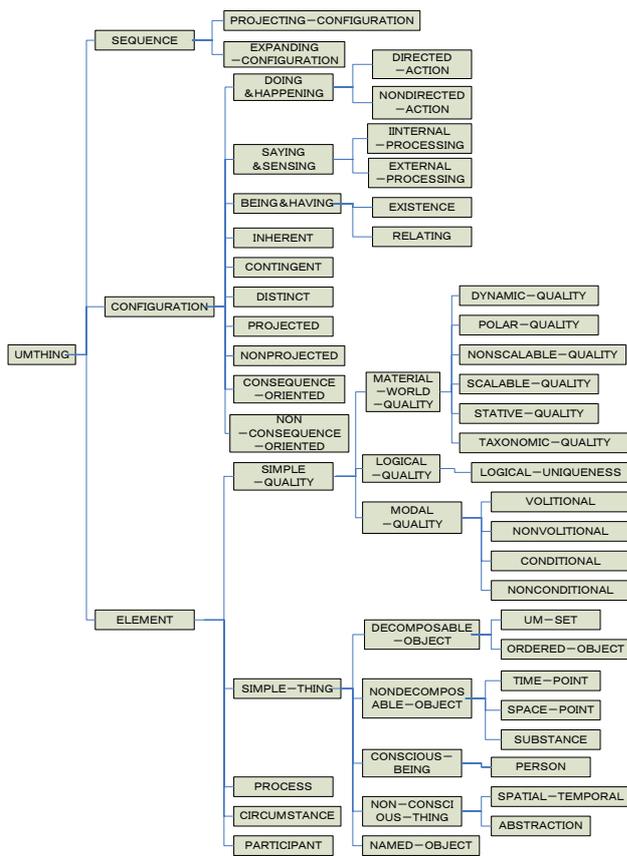


図 3 Generalized Upper Model の上位階層

食動物”のインスタンスであるが, ”生物種”のインスタンスではないというような違いとなって現れる。なお Cyc にはインスタンスはクラスと排他的なものではなく、上記の例が示すように、ある概念がある概念から見ればインスタンス、別の概念から見ればクラスということは許される。

このほか、排他的関係 `#$disjointWith`, `#$and` などの論理的関係、`#$biologicalRelatives` などの特有な関係が用意され、これらを用いて概念は定義される。

図 2 に最上位の概念体系を示す<sup>6</sup>。 `#$TemporalThing` は時間において存在するもの。 `#$SapatialThing-Located` は時空間を占めるもの。 `#$ExistingStuffType` は一般でいう Stuff (材料)、 `#$ExistingObjectType` が Object (もの) を指す。

### 3. 語彙に基づくオントロジー

上位オントロジーの構築において自然言語の語彙 (lexicon) に基づく方法はよく行われてきた。この方法の

利点は自然言語の語彙の背景に概念とその関係を利用することができる点である。言語における大規模な意味辞書あるいはシソーラスは本稿で述べてきた知識表現におけるオントロジーと合わせて近いものであり、近年はその差を喧伝するより、共通性を強調するようになってきている。このため、大規模な意味辞書あるいはシソーラスもオントロジーとして試みていくことにする。しかし、知識表現のオントロジーと意味辞書には下に述べるような対象知識と言語知識の差があることに留意するのは重要である。

ある対象を言語によって表現する場合、言語に関する知識と対象そのものに関する知識が必要である。文法や語の 카테고리 といった言語知識は対象が何であれ必要である。一方対象がどのようなものであるかといった対象知識は言語がなんであれ共通なはずである。その一方、言語知識と対象知識は独立ではなく、その多くの部分は相互に依存している。語や語の 카테고리 の意味は使われている世界の対象と無関係に存在するわけではない、また対象知識は言語を通じて表現される以上、言語にまったく独立に表現することもできない。

言葉と概念はどちらが先行するのか、あるいは言語ごとの特有性の有無など、厳密に考えれば様々な問題が生じるの確かであるが、語彙に含まれる概念はもともとまって手に入る概念の集合であり、オントロジー構築に有用なのは間違いない。欠点としてはよくも悪くも言語に現れる問題や対象しか扱っていないことである。

一般に自然言語語彙に基づくオントロジーは主に機械翻訳や要約、情報検索など言語処理のためのアプリケーションのために作られたものが多い。このため、はじめから言語の問題においてのみ汎用的であって一般的なオントロジーではないと断っている場合もある (例えば Penman Upper Model)。

この方法で作られるオントロジーの概念は意味的には広範囲のものから極めて限定的なものまで幅広く存在する。反面、抽象化という面では弱い。個々の概念の形式的定義は与えられないか、与えられたとしても厳密ではないことが多い。また概念間の関係においても曖昧性があることが多い。

#### 3. 1 Penman Upper Model/The Generalized Upper Model

Penman Upper Model [Bateman 89] は USC/ISI で開発された自然言語語彙に基づくもので、最上位約 250 個

<sup>6</sup>Cyc 101 Tutorial, OpenCyc.org, <http://www.opencyc.org/doc/tut/>

のもの、プロセスなどの概念シソーラスである。元々は自然言語文生成システム Penman [Penman Natural Language Group 89]の一部として作られたものである。この Penman Upper Model は多言語に拡張されて The Generalized Upper Model [Bataman 95a] [Bataman 95b]と呼ばれるようになった。

The Generalized Upper Model の概念階層は概念 (concept)とロール(role)の2つからなる。図3に概念の上位部分を示す。これは現象や状況などを指し示すものであり、“um-thing”というを最上位にもち、その下位には “configuration”, “element”, “sequence” がある。“element”は単体の(stand-alone)のものや概念項目であり、“configuration”はこの element がなんらかの参加する活動を指す。前者が名詞節的概念や形容詞/副詞的概念、後者が動詞節的概念に相当する。例えば “configuration” の下には “doing&happning”, “being&having”などの概念がある。ロールの概念階層は“um-relation”を最上位概念とする関係を記述するものである。

このオントロジーの特徴は、記述する範囲において、動詞的概念が比較的詳細に記述されている点である。構造そのものは基本的に言語のもつ概念構造に対応している。また、階層関係の意味については常識的な意味での上位下位関係程度の意味であり、特に考慮されていない。

### 3.2 WordNet

WordNet [Fellbaum 98][Miller 90]<sup>7</sup>は Prinstone 大学で開発されているもので、基本的には連想関係を中心としたシソーラスである。単語数としては 15 万語以上登録されているものである。同意関係(synonym), 上位/下位関係 (hypernym/hyponym), 全体部分関係 (holonym/meronym)など統一的な関係で体系化、ネットワークされており、概念体系とみることができるため、近年、各種オントロジー開発の出発点として利用されることが多い。

概念としての単位はsynsetと呼ばれる同意関係にある語形の集合である。これを様々な関係で結びつけることで体系化されている。名詞のsynsetは79,689個、動詞のsynsetが13,508個登録されている(verson 2.0)。

名詞synsetの最上位は以下の9種類であり、すべての名詞synsetはこれら下位語となる。

- {entity, physical thing (that which is perceived or known or inferred to have its own physical existence (living or nonliving))}
- {psychological\_feature, (a feature of the mental life of a living organism)}
- {abstraction, (a general concept formed by extracting common features from specific examples)}
- {state, (the way something is with respect to its main attributes; "the current state of knowledge"; "his state of health"; "in a weak financial state")}
- {event, (something that happens at a given place and time)}
- {act, human\_action, human\_activity, (something that people do or cause to happen)}
- {group, grouping, (any number of entities (members) considered as a unit)}
- {possession, (anything owned or possessed)}
- {phenomenon, (any state or process known through the senses rather than by intuition or reasoning)}

### 3. 3 EDR 日本電子化辞書

EDR 日本電子化辞書<sup>8</sup>は日本で開発された大規模な意味辞書である。EDR は単語辞書、対訳辞書、概念辞書、共起辞書などそれぞれ役割の異なる辞書からなるが、この中で概念辞書は単語の意味記述に必要な概念を階層的な方法で纏め上げたものであり、これも語彙に基づく上位オントロジーのひとつと考えることができる。概念辞書には約 41 万個の概念が収められている。ここでの上位下位関係は isa 関係である。概念間の関係は関係子として agent, object, cause, material などがあり、isa 階層とは別に記述されている。

### 3. 形式オントロジー

形式オントロジーは主に哲学的な省察を形式的に記述にすることによって構築される。ここでの形式的という意味は、なんらかの形式論 (論理など) に基づくということである。その例として John Sowa が提唱するオントロジー、Guarino らが構築中の DOLCE を取り上げる。

### 3.1 Sowa のトップレベル・オントロジー

<sup>7</sup> <http://www.cogsci.princeton.edu/~wn/>

<sup>8</sup> [http://www.ijinet.or.jp/edr/J\\_index.html](http://www.ijinet.or.jp/edr/J_index.html)

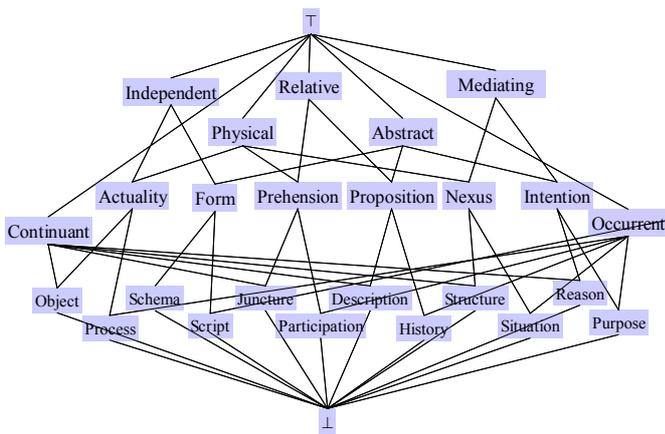


図 4 Sowa のオントロジーの上位階層

John Sowa は Cyc などのオントロジーの概念があやふやであると批判して、C.S. Pierce, A.F. Whitehead らの議論を参考にしながら、独自のオントロジーを提唱している[Sowa 00]。

ここではまず Physical と abstract で分ける。時空間に位置があるものを Physical と呼ぶ。これに対して物理的なメディアにどうコーディングされるかとは別な純粋な情報を abstract とする。つぎに Independent, Relative, Mediating である。Independent は他の存在との関係とは独立に存在するものである。Relative とは他のものとの関係が必須なものをさす。Mediating とは複数のものを関係付けるようなものである。第 3 の分類は Continuant と Occurrent の区別を考える。Continuant は時区間にわたって認識されるもの(entity)であり、Occurrent は時区間にわたって同一性を保たないものである。

以上の3つの分類は独立なので、その組み合わせで12通りの分類ができる。この12通りは図4のような束を構成する。例えば、Physical かつ Independent であるものを Actuality と呼び、さらに Continuant であるものを Object、すなわち我々の通常目にする物理的なものをさす。これに対し Occurrent であれば Process となる。abstract かつ Independent であるものは Form と呼ばれる。このうち、Continuant であれば Schema、Occurrent であれば Script である。

Sowa の分類は (1) 分類軸自身の多様性：3つの分類軸があるが、2つの分類軸 (Physical か abstract,あるいは Continuant か Occurrent など) は直感的にも論理的にも理解しやすいが、Independent/Relative/Mediating

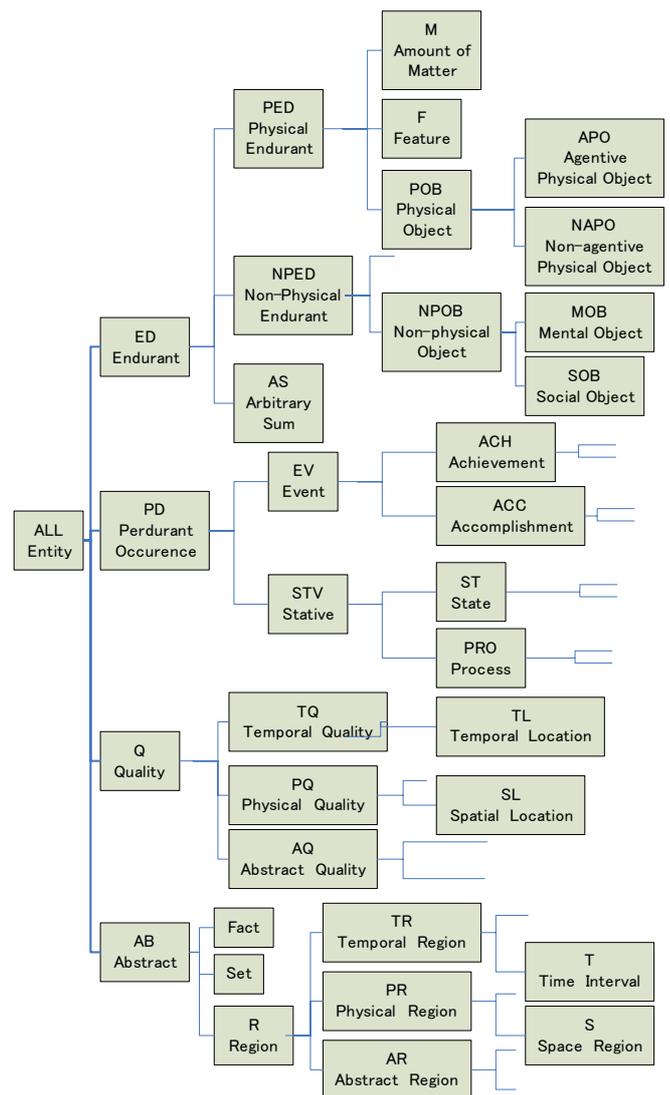


図5 DOLCE の上位階層

の軸は理念的で実際的な理解が難しい<sup>9</sup>。(2) 組み合わせの困難さ：さらにそのすべての組み合わせをとることに無理があり、分類のための分類となっているらしいがある。

### 3. 1 DOLCE

DOLCE(a Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) [Masolo 02][Gangemi 02] はそれ自身が上位オントロジーとなるのではなく、さまざまな上位オントロジーの参照モデルとしての機能することを意図している。

DOLCE では図5に示すような3層から7層程度のレベ

<sup>9</sup> この3項の関係は Pierce の記号論に基づくとされている。

ルをもつ分類体系を提示している。この体系自身は先験的なものであり無定義に導入されるものであるが、この分類体系を用意することで、概念間の様々な性質をもつ関係を論理的に明らかにできる。

オントロジーは **Universal** と **Particular** に大別されると考える。Particular とは世界に存在する実体、事象や量といったものである。Universal とは実体などを語る際のカテゴリ、概念、属性といったものである。Particular からみると Universal はメタ属性にあたる。すなわち、Particular のオントロジーのメタオントロジーが Universal のオントロジーとなる。DOLCE はこのうち Particular のオントロジーである。

DOLCE は多重的方法で Particular を記述する。同じ時空間に異なるものが存在しうる。というのはそもそも2つのものが“異なる”というのはその二つのもの間でなんらかの本質的な属性が異なっていることを我々が認識しているからなので、それは必ずしも時空間とは関係ない。例えば、“花瓶”でありかつ“粘土の塊”であることは許される。この場合、形状が大きく変われば花瓶ではなくなるかもしれないが、粘土の塊であり続ける。これは両者の本質的な属性が異なるからに他ならない。

DOLCE の最上位は、entity であり、つぎのレベルは、endurant, perdurant/occurrence, quality, abstract の4つである。

endurant は哲学用語では *continuant*、perdurant は *occurrent* に相当する。endurant とはいわゆる「もの」を指しているが、ここでは全体が一体として時間の中で存在するものとして定義される。perdurant とはいわゆる「プロセス」を示しているが、ここでは時間経過によって切り替わる（より正確には時間によって異なる部分を持つ）ものとして定義される。時間変化という視点から見ると、endurant の属性は変わりうるが、perdurant の属性は変化し得ないという性質をもつ。endurant は一体として存在し続けるが、その属性は時間変化で変わってよい。例えばある“紙”の色という属性は“白”から“黄”に変わったとしてもその紙には違いない。これに対して、perdurant の属性が時間変化しているようにみえるとするならば、それはその異なる部分が現れたと考える。例えば、前半は上昇して、後半は下降するような“飛び上がる”という perdurant は“上昇する”と“下降する”という二つの perdurant を部分にもつものとして定義される。endurant の全体部分関係は時間に相対的（時間指定が必要）なのに対して、perdurant

は不要である。例えば“このキーボードは私のコンピュータの部分だ”は時間依存であるが、“私の人生の一部である青春時代”はそうではない。

両者の係わり合いは、endurant は perdurant に参加するという participation（参加）である。例えば、“人”（endurant）は“議論”（perdurant）に参加するという関係である。

quality は形とか色、大きさ、音、匂い、重さなどの知覚あるいは測定するのようなものである。ただし、属性（property）とは区別される。quality は実体（entity）に帰属（inhere）するものである。すべての実体はなんらかの quality をも永続的にもつ。一部の quality は有限集合の quality type に属する。quality はその帰属する実体ごとに存在するものである。したがって、その帰属する実体ぬきで quality だけが存在することもないし、同じ quality を異なる実体が共有するということはない。また quality の値にあたるものは *quale* と呼び、ある概念空間のなかでのその quality の位置を示すものである。例えば二つの花の色が同じだということは、それらの実体のそれぞれの quality が同じ quale である、すなわち色空間で同じ位置を占めるということを行っている<sup>10</sup>。位置や時間はそれぞれの概念空間をもつ quality として位置づけられる。

abstract は時空間 quality を持たずかつ quality そのものではないようなものであるが、現状では quality region だけである。

基本原始関係(basic primitive relation)として以下の6つが用意されている。

- parthood(部分関係)

$P(x, y)$ :  $x$  は  $y$  の部分である。( $x, y$  とも abstract か perdurant)

- temporary parthood (時間部分関係)

$P(x, y, t)$ :  $t$  の間、 $x$  は  $y$  の部分である。( $x, y$  とも endurant)

- consitution (構成関係)

$K(x, y, t)$ :  $t$  の間、 $x$  は  $y$  の構成要素である。( $x, y$  とも endurant か perdurant)

- participation (参加関係)

$PC(x, y, t)$ :  $t$  の間、 $x$  は  $y$  に参加している。( $x$  は

<sup>10</sup> プログラミング言語のアナロジーとしては、あるもののある quality とはある object のある変数のためのポインタで、quale はその値となる。

endurant, y は perdurant)

- quality

qt(x, y): x は y の quality である

- quale

ql(x, y), ql(x, y, t): t の間, x は y の quale である

このようなカテゴリと基本原始関係を用意することで、いろいろな関係をこれらに基づいて定義することができる。例えば、PR(x, t)(時間 t で x が存在する)とは、x に t という時間 quale が存在しかつ、その t は t の部分であると定義される。

$$PR(x, t) =_{df} \exists t'(ql(t', x) \wedge P(t, t'))$$

そして、endurant または perdurant または quality(すなわち abstract 以外)は必ずどこかの時点で存在する。

$$(ED(x) \vee PD(x) \vee Q(x)) \rightarrow \exists t (PR(x, t))$$

あるいは physical endurant(PED)であるものは、その指すものが空間位置(SL)であるタイプ quality(qt)をもつ。

$$PED(x) \rightarrow \exists y (qt(SL, y, x))$$

## 5 メタオントロジー

メタオントロジーとは個々の概念を記述する方法そのものに関するオントロジーである。個々の概念としてどのようなものが許されていて、それらの記述方法や関係などはどんなものがあるかがメタオントロジーの内容である。定性推論において議論のあった、プロセス・オントロジーとデバイス・オントロジーの違い[Forbus 85]というのは、まさに世界を記述する原始概念の違いであり、メタオントロジーレベルでの違いである。メタオントロジーではこのような違いを記述することが目的となる。

### 5.1 SUO IFF Ontology

先に述べた IEEE の Standard Upper Ontology (SUO) Working Group ではメタオントロジーとして SUO IFF (Information Flow Framework) オントロジー [Kent 03]<sup>11</sup>を候補としている。

このオントロジーは明確に形式的なメタオントロジーを志向している。形式性のよりどころは数学の圏論(category theory)、Barwise と Seligman の Information Flow [Barwise 97]、Formal Concept Analysis [Ganter 99]の3つである。

SUO IFF オントロジーはモジュラリティに留意して構築している。まず全体を top, upper, lower の3つの層(オ

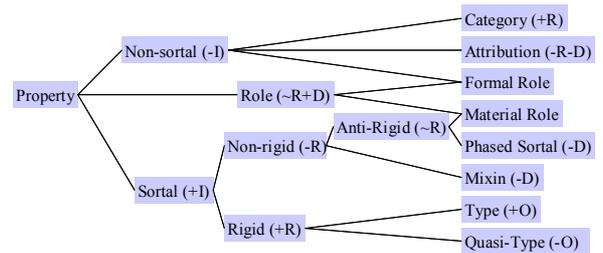


図 6 メタ属性の階層

ブジェクト・オントロジーから見ているのでメタレベルと呼ぶ)にわけ、それぞれにいくつかのメタオントロジーを上位層のオントロジーを参照する形で記述する。Top メタレベルの Top Core Ontology は下位のオントロジーで使われる基本的な用語を定義している。具体的には KIF とのインタフェースを記述している。Upper メタレベルにはそれぞれ圏論、Formal Concept Analysis に対応する Category Theory Ontology と Upper Classification Ontology がある。最下位の lower メタレベルには Model Theory Ontology といったオブジェクトオントロジーを書くために直接参照されるようなメタオントロジーがおかれる。

### 5.2 属性の形式オントロジー

先に述べた particular のオントロジーである DOLCE に対して、個々の要素が用いる属性の性質(“属性の属性”)に関するオントロジーである[Welty 01]。

ここではどんな状況でも変化しないかどうかという固定性(rigidity, R)、実体が同一であり続けるかどうかという同一性(identity, I)、その同一性はその属性自身のものであるかどうかという固有同一性(own identity, O)、まとまりのあるものであるかどうかという個性(unity, U)、他に対して依存関係があるかどうかという依存性(dependency, D)といったメタ属性を導入している。これらのメタ属性を満たす(+)、満たさない(-)、個々の属性が満たさない(~)という3種類で特徴付けることで Category, Attribution, Role, Type といったものを体系化している(図6参照)。例えば、Type というものは、それ自身が同一性を維持しかつ変化することない属性である。Role は変化する(その属性が付加された外されたりする)ものであり、かつ他の属性を必ず必要とするものである(例えば“親”は親でなくなることができ、かつ“子”を必要とする)。

このメタ属性の構造を使うとオントロジーを構築する際の整合性チェックをすることができる。例えば、最初に作ったオントロジーにおいて、“agent”が“animal”の下位

<sup>11</sup> <http://suo.ieee.org/IFF/>

概念 (包含関係) にあるとしていたとき, "agent" と "animal" のメタ属性をつけていく (この場合, "agent" が "-I-U+D~R", "animal" が "+O+U-D+R") と, 両者のメタ属性間では包含関係が成り立たない ("D" は "+D" を包含しない) ことがわかる。この場合, "animal" は "agent" の下ではなく, 別の概念 (例えば "living being": +O+U-D+R) につけることで整合化することができる。すなわち, これはオントロジー構築方法論としてつかうことができる。

#### 6. 上位オントロジー構築における課題と方向性

本稿では上位オントロジーとして提案されているものを広く概観した。ここでみてきたようにこれらのオントロジーには極めて多様であり, 一概にどれが最適であるということとはできない。常識オントロジーは理解しやすく直接利用できるなどのメリットがある反面, 不整合や欠落が問題を引き起こすことがある。形式オントロジーは体系的・網羅的であるが, 理解が困難であったり制約が強すぎたりする。

実際的な課題としては, どの上位オントロジーを選択するかではなく, できるだけ広い範囲・応用で適用できるオントロジーをどう構築するかにあると思われる。それは常識オントロジーと形式オントロジーを適度にあわせたものであろう。この意味では [Guarino 02] のメタ属性をつかったオントロジーの整合化というのは興味深い方法論である。

#### 参考文献

[Barwise 97] Barwise, J. and Seligman, J.: Information Flow: The Logic of Distributed Systems, Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science 44, Cambridge University Press (1997)

[Bateman 89] Bateman, J., Kasper, R., Moore, J., and Whitney, R.: A general organization of knowledge for natural language processing: The Penman Upper Model, Technical report, Information Sciences Institute, Marina del Rey, California (1989)

[Bateman 95a] Bateman, J. A., Magnini, B., and Fabris, G.: The generalized upper model knowledge base: Organization and use, in Proceedings of the 2nd International Conference on Building and Sharing of Very Large-Scale Knowledge Bases, Twente, The Netherlands (1995)

[Bateman 95b] Bateman, J., Henschel, R., and Rinaldi, F.: The Generalized Upper Model 2.0 (1995), <http://www.darmstadt.gmd.de/publish/komet/gen-um/newUM.html>

[Fellbaum 98] Fellbaum, C.: WordNet: An Electronic Lexical Database (Language, Speech, and Communication), MIT Press (1998)

[Forbus 88] Forbus, K. D.: Intelligent Computer-Aided Engineering, AI Magazine, Vol. 9, No. 3, pp. 23-36 (1988)

[Gangemi 02] Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., Oltramari, A., and Schneider, L.: Sweetening Ontologies with DOLCE, in Proceedings of EKAW 2002, pp. 166-181 (2002)

[Ganter 99] Ganter, B. and Wille, R.: Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg: (1999)

[Guarino 02] Guarino, N. and Welty, C. A.: Evaluating ontological decisions with OntoClean, Communications of the ACM, Vol. 45, No. 2, pp. 61-65 (2002)

[Kent 03] Kent, R. E.: The IFF Foundation for Ontological Knowledge Organization, in Knowledge Organization and Classification in International Information Retrieval. Cataloging and Classification Quarterly, The Haworth Press Inc. (2003)

[Masolo] Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, A., N. and Oltramari, and Schneider, L.: WonderWeb Deliverable D17. The WonderWeb Library of Foundational Ontologies and the DOLCE ontology, Preliminary Report (ver. 2.0, 15-08-2002)

[Miller 90] Miller, G. A., Beckwith, R., Fellbaum, C., Gross, D., and Miller, K.: Five Papers on WordNet, Special Issue of the International Journal of Lexicography, Vol. 3, No. 4 (1990)

[Niles 01] Niles, I. and Pease, A.: Towards a standard upper ontology, in Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems, pp. 2-9, ACM Press (2001)

[Penman Natural Language Group 89] Penman Natural Language Group : The Penman user guide, Technical report, Information Sciences Institute, Marina del Rey, California (1989)

[Sowa 00] Sowa, J. F.: Knowledge representation: logical, philosophical and computational foundations, Brooks/Cole Publishing Co. (2000)

[Welty 01] Welty, C. A. and Guarino, N.: Supporting ontological analysis of taxonomic relationships, Data & Knowledge Engineering, Vol. 39, No. 1, pp. 51-74 (2001)

[岡田 02]岡田光弘 : フッサールのフォーマルオントロジーとその影響, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 335-344 (2002)