

コンテキスト依存性に基づくロール概念組織化の枠組み

A Framework for Organizing Role Concepts Based on their Dependencies on Contexts

砂川 英一
Eiichi Sunagawa

大阪大学産業科学研究所
I.S.I.R., Osaka University
sunagawa@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~sunagawa>

古崎 晃司
Kouji Kozaki

(同 上)
kozaki@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~kozaki>

來村 徳信
Yoshinobu Kitamura

(同 上)
kita@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~kita>

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

(同 上)
miz@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~miz>

keywords: context, ontology, ontology development, role

Summary

Based on some fundamental theories of ontology, we can treat a role concept as a concept which an entity plays in a context and discriminate it from a basic concept. Because a theory of role concepts makes a static policy for treatment of views and contexts related to conceptualization, discrimination of role concepts contributes effectively to management of instance models. In our research, we have developed an ontology building environment, which provides a framework for representation of role concepts and their characteristics. However, in the framework, role concepts are dealt with in a basic concept centered view and their definitions are scattered around in the respective related concepts which give the context of the roles. This is why users cannot easily represent relations among role concepts and grasp their whole image in an ontology. In this paper, as an extension of this framework, we present a framework for organizing role concepts in a hierarchy from role centered view. We investigate how to organize role concepts according to their contextual dependencies and focus on defining and organizing a role concept which depends on several contexts.

1. ま え が き

現在、オントロジーに関する研究活動は様々な分野において活発に行われており、その内容は基礎理論や構築支援から対象ドメインに特化した応用に至るまで幅広い。しかしながら、Gruber がオントロジーについて述べた「specification of a conceptualization」という観点からオントロジー開発のために提供されている枠組みを見ると、conceptualization に必要となる「概念の峻別」への支援は十分に行われていると言えないのが現状である。

概念の峻別は、オントロジー構築において本質的かつ重要な課題である。その一例に、ロール概念と基本概念との峻別がある [溝口 99, 溝口 05]。ロール概念に関する研究は古くから多くの分野で行われてきたが [Fillmore 68, Guarino 98, Sowa 89]、本研究におけるロール概念は、特定のコンテキストにおいて実体が果たす役割を指す為に用いられる。これに対し、他の概念に依存せず定

義可能な概念は基本概念と呼ばれる。この二つの概念の分類に沿って考えると、学習者、動力源、燃料、食物などはロール概念に分類され、人間、エンジン、ガソリン、ヨーグルトなど、基本概念に分類される概念とは明確に区別される。ロール概念は実世界に多く存在しており、実体に対する視点によって注目される役割が変化するという性質や、依存するコンテキストの変化に伴って実体が担う役割も変化するという性質などを持つ。そのため、ロール概念の理論に基づくオントロジーは、インスタンスモデルにおける視点やコンテキストの変化を扱うための有効で一貫した指針を与える。特にコンテキストの変化や、それに依存する概念の扱い方は、かねてより知識工学全般にわたって課題とされてきたテーマの一つである。よってロール概念が持つ性質を明確にし、それをオントロジーで扱う方法論を確立する事は、インスタンスモデル管理に貢献する重要な課題だと言える。

こうしたニーズに対し、これまで筆者らはオントロジー

においてルール概念が持つべき性質について検討し、それを忠実に表現する事が可能な計算機環境の開発を目指してきた。そして、その成果としてオントロジー構築・利用環境「法造」のオントロジーエディタを公開するに至っている^{*1}。法造のオントロジーエディタは、実体が担う役割はコンテキストへの参加によって定められるという観点に基づき、コンテキストとなる基本概念の定義に付随する形でルール概念を扱う枠組みを提供している。概念の性質に関する基礎的考察に基づいてオントロジー構築を支援するツールは多くなく、特にルール概念に関する理論を反映したツールは極めて少ないため、本研究はこの点で特徴的である。

本論文の目的は、これまで行ってきたルール概念に対する基礎的考察をさらに深め、オントロジー構築においてルール概念を組織化するための指針を提案することにある。ここで扱うルール概念の組織化は、ルール概念が持つコンテキスト依存性に基づき、階層性や分解可能性といった観点からルール概念間の関係を捉え、それらを反映したルール概念の階層を構築することを中心として行われる。このことによって、これまで暗黙的であったルール概念間の階層関係を明示化することが可能になる。そのような組織化において、本論文が提案する指針はルール概念階層を構築するための規範モデルとして、その性質を損なうことなくルール概念を階層として組織化するためのガイドラインとして働く。よって、この指針をオントロジー構築に導入する事は、オントロジー開発者が、より多くの観点から対象世界に存在する役割を概念化し、その性質を人間の理解に則した形で豊かに表現する助けとなる。そして、この指針をオントロジー構築支援の枠組みとして応用し、法造を拡張する事が本研究の最終目標である。

以下、2 章ではルール概念について、基本概念と峻別する必要性や、取り扱いのための枠組みの必要性などを一般的に論じると共に、筆者らがこれまで提供してきた枠組みについて概説する。3 章では本研究の中心的課題であるルール概念の組織化について議論する。4 章では性質を論じるにあたって行ったルール概念の組織化例について述べる。5 章ではルール概念のインスタンスについて触れる。6 章ではルール概念組織化のオントロジー構築における意義について述べる。そして、7 章で関連研究との比較を行った後、8 章で今後の課題を述べ、本論文を結ぶ。

2. ルール概念とは

2.1 ルール概念の峻別必要性

本節では、ルール概念に関する理論に沿ってオントロジーを構築し、ルール概念と他の概念を峻別する必要性について述べる。オントロジーは単なる語彙階層ではな

く、概念の峻別が大きな意味をもつ。よって、ルール概念の性質を捉えたうえで、一貫して適用可能な理論について考察する事には大きな意味がある。

ルール概念が持つ重要な性質に、コンテキスト依存性^{*2}がある。コンテキスト依存性は、コンテキストの変化によって実体が担う役割が変化する事を説明するものである[古崎 02a]。例えば、ある男性が学校では「教師」になり、家庭では「夫」となるということは、コンテキストの変化によって説明できる。このような変化は、通常は時間の変化も伴う。一方で、時間変化とは無関係に、視点によって担う役割が変化するという性質(視点依存性)もルール概念は持つ。

しかし、ルール概念を他の概念から峻別せずにオントロジーを構築すると、これらの特徴がインスタンスモデルに正しく反映されなくなるという問題が生じ、さらにはインスタンスの生成・消滅に関する問題により、概念階層において最も基礎的な要素のひとつである is-a 関係の semantics^{*3}にも影響が及びかねない。例えば、WordNet^{*4}の名詞語彙階層では、Yogurt(ヨーグルト)の上位語として Food(食物)と Dairy Product(乳製品)の二つがあげられている。Food はルール概念であるが、これを他の種類の概念と分離せず、Yogurt と Food、また、Yogurt と Dairy Product の関係をオントロジーにおける is-a 関係と同一視すると、is-a 関係の semantics により、Yogurt のインスタンスは常に Food のインスタンスかつ Dairy Product のインスタンスとして認識される事になる。しかし、そのようなモデルでは、現実世界におけるインスタンスの振る舞いを忠実に反映させることが難しくなる。例えば、ヨーグルトが腐って食べられなくなってしまった場合、Yogurt のインスタンスは Food としてのアイデンティティを失うため Food のインスタンスとしては消滅するが、Dairy Product としてのアイデンティティは残り Dairy Product のインスタンスとしては存在し続ける。こうしたインスタンスの振る舞いを扱うためには、Yogurt と Food の間の関係と、Yogurt と Dairy Product の間の関係とに、異なる semantics を持たせる必要が生じる。それ以外にも、コンテキストや視点の変化によって Yogurt が Food だけでなく、Merchandise(商品)、Foodstuff(食材)、Dessert(デザート)など、様々な役割を変化させるという点を表現することも難しい。

一方、ルール概念に関する理論に基づく、オントロジー開発者はルール概念を他の種類の概念から明示的に分離する事が可能となり、両者を区別せずにオントロジーを開発する事で生じる種々の問題を避ける事ができる。

^{*2} 「依存」の解釈は複数存在するが、ここでは大まかに、コンテキストを「関連付けられた概念間に存在する関係性の総体」と定義し、コンテキスト依存性を「コンテキストによって決定されるという性質」と定義する。

^{*3} ここでは「is-a 関係で結ばれる概念のうち、下位概念のインスタンスは、常に上位概念のインスタンスでもある」という規約に注目している。

^{*4} <http://wordnet.princeton.edu>

^{*1} <http://www.hozo.jp>

ロール概念の理論は、コンテキスト依存性や視点依存性の構造を明確化し、それらの適切な管理に大きく貢献する。オントロジーにロール概念を導入し、それを組織化する事は容易ではないが、それを実行するだけの価値は十分にあると言える。

2.2 ロール概念を扱う研究や枠組み

ロールの定義の仕方や扱い方については、従来、様々な分野で研究が進められてきた。例えばオブジェクト指向の分野では、UML^{*5}が object の振る舞いや association の方向性を表現するためにロールを用いている。一方、マルチエージェントの分野では、ロールはエージェントの振る舞いや他のエージェントとの相互関係によって定義される [Zambonelli 03]。認知科学の分野では、Breuker らが人の認知活動を方向付けたり、振る舞いを予測したりすることをロールの定義と結び付けている [Breuker 04]。さらにオントロジー工学の分野では、Guarino が述語論理の立場から、anti-rigid 性や founded 性を持ったプロパティ(単項述語)として、ロールを定義している [Guarino 98, Guarino 02]。これに対し Sowa は、二項関係とする立場からロールを定義し、ロールは「関係のパターン」と関連付けられる概念であると述べている [Sowa 95, Sowa 00]。これら諸研究のうち、特に本研究と関連の深いものは7章で詳しく比較する。

ところで、オントロジーにおいて、ロールを概念化し、その性質を表現する事は容易でない。例えば、親 (parent) というロール概念がある。この概念は、しばしば既存のオントロジー記述言語 (例えば RDF(S)^{*6}や OWL^{*7}) が提供する *rdf:property* の枠組みを用い、*parent-of*, *parent* などとして記述される。しかし、*parent-of* という概念と *parent* という概念は、本質的に異なるものである。前者は、親と子の間の関係性を捉えた概念であり、別の書き方をすれば *parent-of(A, B)* のように二項関係で表現される。一方、後者はあるオブジェクトがもつ親としての特性を概念化したものであり、そのような概念は論理系において *parent(A)* のように単項述語で表現される [Masolo 04]。しかし、これらの概念の間の違いは意識されず、混同されたまま等しく *rdf:property* の枠組みを用いて表現される事が多い。

本研究の基盤となるロール概念の理論 [溝口 99] に沿って定義すると、親 (parent) というロール概念は親子関係への参加の仕方によって定められる概念であると言える。その際、「親であるという特性」と「親と子の間に存在する関係」とは明確に区別される。しかし、この定義を RDF(S) や OWL といった既存のオントロジー記述言語が提供する枠組みで表現する事は、可能であるが、容易ではない [溝口 03]。前述の例のように、言語が提供す

る概念定義のための共通基盤と我々が認識する意味定義とのギャップが、しばしば混乱を生じさせるからである。RDF(S) や OWL が提供する枠組みは表現のベースとなる事に重点が置かれており、種々の概念を表現し、扱うための共通形式となるものである。よって、それを直接使いながら概念の性質を表現することは、あたかもアセンブラで直接プログラミングを行うかのような難しさを伴うものとなる。それゆえ、オントロジー開発支援ツールには、オントロジー記述言語を扱えるというだけでなく、概念が本来持つべき性質に関する議論に基づき、開発者が認識するものに近い高度な意味定義を規定した枠組みの提供と、それに沿った概念の扱いが要求される。

2.3 本研究で扱うロール概念

Sowa [Sowa 95] が参照している理論に、Peirce の述べたトップレベルの概念カテゴリである Firstness, Secondness, Thirdness がある [Hartshorne 60]。Firstness とは他の概念に依存せず定義できる概念、Secondness とは他の概念に依存しなければ定義できない概念、Thirdness とは Firstness と Secondness を関係付ける仲介役としての概念である。本研究で扱うロール概念は、このうち Secondness に位置づけられるものであり、「状況に依存して変化する個物の呼び名」、また「あるものが特定のコンテキストのもとで果たす役割を概念化したもの」[溝口 99, 古崎 02a] などと定義され、用いられる^{*8}。そして、その役割を担うものが属すべきクラスに関する制約をクラス制約と呼ぶ。一方、ロール概念とは異なり、他の概念に依存せず定義できる概念 (Peirce が述べた Firstness に相当するもの) を基本概念と呼ぶ。基本概念はロール概念が表す役割を果たし得る概念であり、あるロール概念に対してクラス制約となる概念は、原則的には基本概念の中から選ばれる。このように、ロール概念はコンテキストやクラス制約となる概念を同定し、そのコンテキストへの参加の仕方を概念化する事によって定められる。そして、基本概念がロール概念で定義される役割を担った状態にあるインスタンスはロールホルダーと呼ばれる。例えば、基本概念人間のインスタンスが、教員の役割を概念化したロール概念教員ロールのインスタンスを担っているとき、このインスタンスはロールホルダー教員として認識される。このときロールホルダーは、ロール概念の定義と、クラス制約となる基本概念の定義それぞれに含まれる構成要素を合わせて持つ。それらの間の包含関係の概要は図1のように表す事ができる [林 98]。

こうした考察のもと、筆者らはロール概念の性質を扱う事が可能な枠組みの開発を行ってきた。この枠組みは、オントロジー開発・利用環境「法造」において実装され

*5 <http://www.uml.org>

*6 <http://www.w3.org/RDF>

*7 <http://www.w3.org/2004/OWL>

*8 この本研究におけるロール概念の定義は、ロール概念認定の必要条件として用い、その表現方法を論じることを目的としている。対象世界モデリングにおいて、世の中に存在する全てのロール概念に対して普遍的に適用可能な定義を行うことは困難であり、本研究の対象範囲を越えているので扱わない。

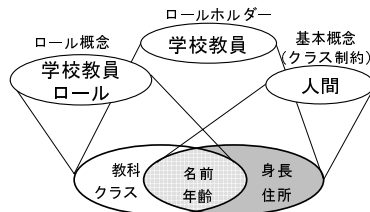


図 1 ロール概念，クラス制約，ロールホルダーの定義の構成要素間の関係例

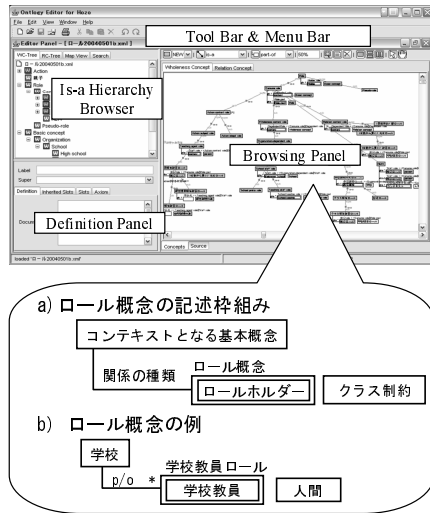


図 2 法造のオントロジーエディタと，ロール概念の表現例

ている．法造は，オントロジー構築・編集ツールオントロジーエディタ [古崎 02a]，オントロジー構築ガイドシステム概念工房 [石川 02]，オントロジーのストレージとなるオントロジーサーバー [古崎 02b]，オントロジー分散開発支援システムオントロジーマネージャ [Sunagawa 03] の 4 つから構成される．法造において，基本概念は全体概念と関係概念^{*9}の二種類に分けて扱われており，法造のオントロジーエディタ (図 2) は，ある一つ的基本概念をコンテキストとし，その定義に付随する形でロール概念を定義する枠組みを提供する．図 2-a は，オントロジーをグラフィカルに編集するパネル (Browsing Panel) におけるロール概念の記述枠組みを示している．

このパネルにおいて，ロール概念は「コンテキストとなる概念を表すノードに関連付けられたスロット」として表現される．ロール概念を表すスロットは，コンテキストとなる概念が全体概念である場合は全体-部分 (part-of) 関係^{*10}を表すリンク (p/o で示す) で関連付けられ，関係概念の場合は参加 (participate-in) 関係^{*11}を表すリンク (p/i で示す) で関連付けられる．例えば図 2-b は，「学

*9 法造における関係概念は複数の概念間の関係を概念化したもので，OWL や RDF(S) における *property* とは異なる．

*10 ある概念と，それを構成する部分である概念との間に存在する関係

*11 ある概念と，部分として含まれないが，それに関与する概念との間に存在する関係

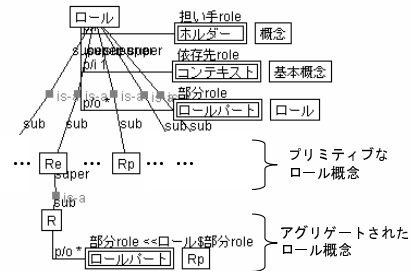


図 3 ロール概念階層の概要

校というコンテキストのもとで定義されるロール概念学校教師ロールの役割を，基本概念人間が担い，学校に対する部分である学校教師 (ロールホルダー) になる」という内容を表現している．

3. ロール概念の記述と組織化

本研究の目的は，オントロジー構築におけるロール概念の記述と組織化の指針を考察し，これまで法造が提供してきた基本概念を中心としたロール概念組織化の枠組みを，ロール概念を中心とした視点を含んだものに拡張することにある．ロール概念は，それが依存するコンテキストとの関係の下で記述される．そして，その組織化は，それらを人間の自然な理解に則した形で系統立てて分類し，相互の関係を明示化することによって行われる．本章では，コンテキスト依存性からロール概念を捉えた新たな記述形式を導入した後，その階層性や分解性を用いた組織化を実行するための指針について検討する．特に，ロール概念そのものを中心に据えた視点からロール概念の is-a 階層 (ロール概念階層) を構築し，一貫した指針の下でロール概念を組織化することが中心的課題の一つである．

3.1 ロール概念の記述

基本概念階層において，ロール概念は 2.3 節で示した枠組みに沿い，コンテキストとなる基本概念の定義の一部として記述される．

一方，ロール概念階層において，ロール概念は依存するコンテキストを定義の一部として示す形で記述される．この記述は，これまでの枠組みによる基本概念を中心とした記述を，ロール概念を中心とした観点から表現しなおしたものである．まず，全てのロール概念の上位クラスとなる「ロール」クラスを定義する．本論文で述べる組織化に必要な範囲において，ここではロール概念をコンテキスト，ホルダー，ロールパートという三つのスロットを持つ概念として定義 (図 3) する．

コンテキストはロール概念が依存するコンテキストとなる基本概念を表し，ホルダーはロール概念を担っている概念を表す．これらの概念とロール概念は participate-in

関係で結ばれる。ロールパートは、後述のロールアグリゲーションで用いられ、part-of 関係を通して、そのロール概念を構成する他のロール概念を示すために用いられる。例えば、先ほどの図 2-b が表現していた内容は、学校教員ロールクラスの定義において、コンテキストのスロットに学校を記述し、ホルダーのスロットに人間を記述することで表現される。

3.2 ロール概念の組織化

ロール概念階層における is-a 関係は、コンテキスト依存性に基づき、同じ種類のコンテキストに依存するロール概念間で記述される。そして、コンテキストとなる基本概念の特殊化に伴って、各々に依存するロール概念も特殊化される。

ところで、オントロジーが扱う対象によっては、単一のロール概念が複数の観点から概念化され、複数の別のロール概念から構成されるものとして定義可能なことがある。例えば、新入教員ロールは新入人ロールと教員ロールから構成されていると考えることができる。このようなロール概念を、本研究は複合ロール概念と呼ぶ。一方、それ以上の分解が不可能であるロール概念はプリミティブなロール概念と呼ばれる。例えば、学習者ロールを学習行為にのみに注目して概念化するとき、学習者ロールはプリミティブなロール概念となる。

全てのロール概念は上に述べた is-a 関係に注目しながら組織化されるが、複合ロール概念の場合は、「どのコンテキストに依存するロール概念のもとに分類するか」、また「依存する複数のコンテキストとの関係をどのように表現し、管理するか」といった問題が残る。これらの問題に対し、本研究ではロールアグリゲーションという枠組みを導入する。

§1 ロールアグリゲーションによる組織化

ロールアグリゲーションとは、複合ロール概念を、プリミティブなロール概念の集積（アグリゲーション）とみなし、それらの相互関係に基づいて組織化する枠組みである。このとき、アグリゲートされた複合ロール概念が依存するコンテキストは、集積されるロール概念が依存する全てのコンテキストの総和となる。

ロールアグリゲーションの主目標は、ロール概念の分解と本質の決定にある。ここでは説明を簡単にするため、二つのプリミティブなロール概念から構成される複合ロール概念 (\mathcal{R} とする) を対象として、アグリゲーションを説明する。まず \mathcal{R} を分析し、それを構成するプリミティブなロール概念 (R_e, R_p とする) を同定する。そして、その中から、 \mathcal{R} に最も本質的に関わるロール概念を一つ定める^{*12}。ここでは、 R_e を \mathcal{R} にとって本質となるロール概念として定めたとする。

*12 どのロール概念を本質的と捉えるかは、オントロジー開発者の恣意性に任せられる。概念階層の下位に位置する概念（いわゆるドメイン概念）の本質は観点によって変化する傾向が強いので、汎用的なオントロジー構築・利用環境の提供を目指す本

ロールアグリゲーションは、基本概念の階層とロール概念の階層の両方において表現可能であり、原則的に、それらが持つ意味情報は等価である。ここではまず、基本概念の階層におけるロールアグリゲーションについて説明する。2.3 節で述べたように、本研究が提供する枠組みでは、ロール概念を担うものが属すべきクラスを指定する事が可能である（クラス制約）。これまでの枠組みにおいて、クラス制約は基本概念の中から選ばれていた。ここではその枠組みを拡張し、基本概念だけでなくロールホルダーもクラス制約として選ぶ事を可能とする。これによって、既に何らかの役割を担っている状態の概念であるロールホルダーに、さらに別の役割も担わせることが可能となる。このことは、あるコンテキストに依存するロール概念に、別のコンテキストへの依存性を追加することを意味している。そこで、二つのコンテキストに依存する複合ロール概念 (\mathcal{R}) を、本質となるロール概念 (R_e) を特殊化した概念として定義し、本質でないロール概念 (R_p) を担ったロールホルダーをクラス制約として参照することにより、アグリゲーションが行われる。

次に、ロール概念階層におけるロールアグリゲーションについて説明する。複合ロール概念はプリミティブなロール概念の下位で組織化され、is-a 関係と part-of 関係を用いながら^{*13}、集積されるロール概念が持つコンテキスト依存性を兼ね備えたロール概念として定義される。まず、複合ロール概念 \mathcal{R} を、本質となるプリミティブなロール概念 (R_e) の下位概念として、is-a 関係を用いて記述する。そして、 \mathcal{R} の本質とならないプリミティブなロール概念 (R_p) を、 \mathcal{R} を構成するロール概念（ロールパート）として、part-of 関係を用いて記述することで、ロールアグリゲーションは行われる。

例えば図 2-b では、基本概念の定義を中心としたこれまでの枠組みを用い「学校に所属する」という観点から、学校をコンテキストとする概念として学校教員ロールを定義した。ここでロールアグリゲーションを用い「教授行為を果たす」という観点を加えて、学校教員ロールを概念化することを考える。そこで、まず学校教員ロールを、学校というコンテキストへの所属性から定まる職員ロールと、教授行為というコンテキストにおいて主体になるということから定まる教授行為主体ロールに分解する。ここでは、職員ロールを本質となるロール概念として選択し、教授行為主体ロールは付加的なロール概念とする。このアグリゲーションは、基本概念の階層（図 4-a）においては、組織の部分概念である職員（ロールホルダー）を

研究は、本質を一意に定める議論は行わない。ここでは価値の相対性を認めたとうえで、一貫性を持って行うならば、そのオントロジーの範囲において本質の宣言を恣意的に行うことが可能であるという立場を取る。

*13 ここで注目する is-a 関係の semantics は「下位概念は、上位概念から性質を継承する」という規約である。またロール概念間の part-of 関係は「部分となるロール概念が持つ性質は、全体となるロール概念の性質に含まれる」という semantics を持つものとして用いている。

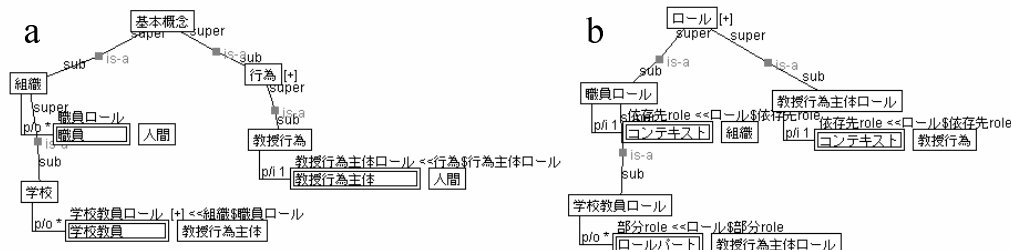


図 4 二種類のロールアグリゲーション表現

特殊化する概念として、学校の部分概念学校教員（ロールホルダー）を定義し、学校教員ロールに対するクラス制約として教授行為主体（ロールホルダー）を用いる事で表現される。一方、ロール概念の階層（図 4-b）においては、＜学校教員ロール *is-a* 職員ロール＞、＜ロールパート（クラス制約は教授行為主体ロール） *part-of* 学校教員ロール＞と記述する事で表現される。この結果として、学校教員ロールは、学校と教授行為という二つのコンテキストに依存することが表される。

ロールアグリゲーションにおいて構成要素となるロール概念を同定する際、複合ロール概念が依存するコンテキストに着目することは有効である。例えば、学校教員ロールの場合、学校や教授行為などのコンテキストにおいて学校教員ロールが認識される事から考察すると、職員ロールや教授行為主体ロールなどのロール概念に分解しやすくなる。また、アグリゲートされるロール概念として、プリミティブなロール概念だけでなく、既にアグリゲートされており複数のコンテキストに依存するロール概念を選択する事も可能である。その場合も、アグリゲーションの手順は同様に進められる。

複合ロール概念の定義では、集積される複数のロール概念は全て同一のインスタンスによって担われなければならないという理由から、それらの「ホルダー」は全て同一のインスタンスとする制約が加えられる（5 章 [性質 3]）。このようにして、複合ロールを含むロール概念の組織化が可能となる。

なお、このロールアグリゲーションの導入は、オントロジーにおける概念の表現形式を論じるものではなく、ロール概念組織化に概念の本質を軸とした指針を与えるものである。法造では、概念の本質を一意に定め、それを軸とした *is-a* 階層を構築するという考えを採用するオントロジー基礎理論 [Guarino 98, 溝口 05] の立場に則ったオントロジー構築支援を目指しており、ロール概念の組織化においても同様の立場を適用している。またそれは、オントロジー全体における複合ロール概念の位置付けやその相互関係を明確にしながら、それらを概念階層として組織化するためにも重要である。もし本質が定められないまま階層化しようとするなら、複合ロール概念はプリミティブなロール概念の下位で軸のないまま雑然と分類されるだけになってしまいかねない。このような理由から本研究は、本質として認めた定義の継承のみに

is-a 関係を用いることで、本質でない定義から明示的に区別する枠組みを導入している。よって、例えば定義の合成に等しく *is-a* 関係を用いる多重継承など、本質が不明確になりがちな枠組みをロールアグリゲーションに導入することには慎重な立場を取っている^{*14}。

§ 2 コンテキストの定義を参照した組織化

主としてプリミティブなロール概念の組織化は、コンテキストとなる基本概念の分類に沿って行われる^{*15}。例えば、問題解決の手順に関するタスク知識は、問題解決の対象に関するドメイン知識と区別することができる。そのような場合、タスク知識の中に現れるロール概念は、タスクをコンテキストとするロール概念の集合を示すクラスであるタスク依存ロールに分類される。そして、タスクの種類に応じて、より細かくロール概念が組織化される。例えば「原因」や「兆候」は故障診断タスクに依存するロールに「納期」や「リソース」はスケジューリングタスクに依存するロール概念に分類できる。一方、専門知識の大部分を占めるドメイン知識では、ドメインに特有なロール概念の種類が考えられる。例えば「機能」という概念を、あるドメインにおいてコンテキストとなる概念の主要なカテゴリとして定義する事により、「クーラー」や「圧力計」などは、それらが果たす機能によって定まる機能依存ロールに分類される。同様にして、コンテキストとなる基本概念の種類に沿って、行為依存ロール（凶器、学習者など）、関係依存ロール（友人、兄など）、資格依存ロール（会員、王など）、属性（状態）依存ロール（高温炉、病人など）といった種類が考えられる。そして、このような分類の下では、更にコンテキストへの参加の仕方など、ロール概念を決定付ける観点の種類による組織化を行うことも可能である。例えば「凶器」や「学習者」などのロール概念を詳細に検討すると、前者は「行為で用いられる道具」という観点、後者は「行為の主体」という観点から定められるロール概念であることがわかる。そこで、行為依存ロールは、行為道具ロールや行為

*14 例えば本質となる概念を表すフラグを付けるなどして多重継承を拡張することにより、本研究が提案するのと同じ内容を多重継承で扱うことも可能である。しかし、こうした表現形式に関する問題は、本論文の対象範囲外である。

*15 コンテキストとなる概念の具体的種類や認定基準などは、オントロジーが対象とする世界の種類や扱う範囲、また、オントロジーの利用目的などによって決まるものであり、各オントロジーの開発者に任せられるべき恣意的な問題である。よって、ここでは代表的な種類を幾つか述べるに留める。

主体ロールなどの概念によって、より細かく分類することができる。本研究では、このような観点による分類をロール概念階層のトップレベルで行い、それらを大分類として用いながら、ロール概念の組織化を行う。ロール概念とその種類に対する考察を、実規模のオントロジーに適用した例には、石油精製プラントを対象としたオントロジーがある[石川 02, 古崎 02b]。このオントロジーに基づくインスタンスモデルでは、例えばナフサという基本概念が運転員の観点によって「軽沸成分」や「塔頂成分」などと呼ばれる事や、ある制御バルブが視点に応じて「液レベル制御バルブ」や「流量制御バルブ」などと呼ばれ替えられる事が、ロール概念を用いてモデル化されている。また、場所や属性など、ロール概念を決定する観点の整理も行っている。本節で述べた組織化は、石油プラントを領域として行っていたものを、ドメインに依存しない形で一般的に考察し直したものとして位置づけられる。

§3 抽象ロール概念による組織化

対象世界に関する理解を表現するという意味において、オントロジー構築では概念を適度に分類し、中間概念を定義しながら全体像を把握しやすい形で階層化することが重要である。このことはロール概念組織化においても同様であり、ロール概念階層において抽象的なロール概念を明示的に定義することがある。例えば、学校をコンテキストとするロール概念として学校教員ロールと用務員ロールが定義されているとする。このとき、これら二つのロール概念を一般化することで、それらの上位概念である学校職員ロールを新たに定義することができる。このように、ボトムアップで定義されるロール概念の中には、基本概念の階層では定義されないロール概念も存在する。それらはオブジェクト指向における抽象クラスのように、実体を持たず、インスタンスを直接生成することのないロール概念である。本研究は、特にそれらを抽象ロール概念と呼ぶ。

3.3 ロール概念組織化における指針

ここで改めてロール概念階層を構築するうえで用いられる指針について整理しなおす。

- トップレベルの概念として「ロール」クラスをコンテキスト、ホルダー、ロールパートとの関係から定義しておく。対象世界に存在するロール概念は、これを特殊化する形で定義する。(3.1 節)
- 同じ種類のコンテキストに依存するロール概念同士の間で is-a 関係を捉え、この関係を軸としてロール概念を階層化する。このとき、コンテキストの分類そのものや、コンテキストへの参加の仕方などを参照する事が有効である。(3.2 §2 節)
- 複合ロール概念を扱う際は、まず依存する複数のコンテキストのうち、本質となるコンテキストを一意に定める。その後、本質となるコンテキストへの依

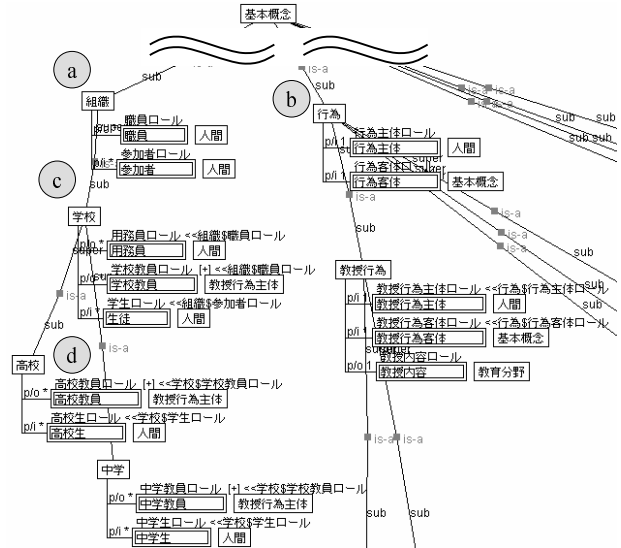


図 5 教育世界に現れる基本概念の階層

存性を軸として、プリミティブなロール概念と同様の指針を用いて組織化する。このとき複合ロール概念は、その本質となるコンテキストのみに依存するプリミティブなロール概念の下位概念として位置づけられる。何が本質的かは固定ではなく、その選択はオントロジー構築者の目的に依存するが、一度決定した後は一貫性を持って概念化することが必要である。(3.2 §1 節)

- 適時、抽象ロール概念を定義しながら、ロール概念間に存在する中間概念を明示化し、ロール概念を階層化する。(3.2 §3 節)

4. ロール概念の組織化例

本章では、実際にロール概念の組織化を行った例を紹介する。前章でロール概念組織化について論じた内容は、この例の記述を通して得られたものである。

図 5,6 は、教育世界を対象としたオントロジーに現れる概念の幾つかを、法造のオントロジーエディタを用いて記述した例^{*16}である。図 5 は、そのうち基本概念の階層の一部を表しており、ロール概念の定義は、コンテキストとなる基本概念の定義に付随する形で記述されている。図 6 は、図 5 で示した基本概念の階層で定義されているロール概念を参照しながら、必要な情報を加えてそれらのロール概念を組織化したものである。

ロール概念階層の全体を通し、ロール概念間の is-a 関係はコンテキストとなる基本概念間の is-a 関係に基づい

*16 この例はロール概念が持つ特徴をオントロジー工学的に論じるために示すものであり、決して教育世界の概念化の唯一解である事を主張するものではない。また、この例で示す概念の階層は、ロール概念を組織化する事に主眼を置いて記述したものであり、それぞれの概念に詳細な定義を与えるものではない。よって、コンテキストの同定に無関係な情報はロール概念の組織化に影響しないものとして、ここでは記述を省略している。

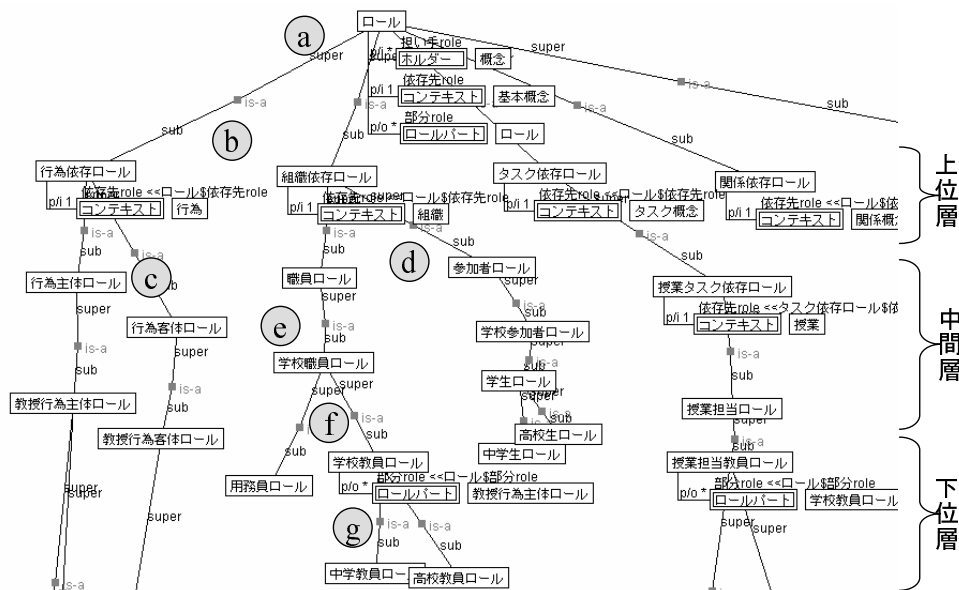


図 6 教育世界に現れるロール概念の階層

て記述される．例えば，基本概念階層では，＜高校 is-a 学校＞(図 5-c,d) という関係に基づき，学校教員ロールのコンテキストである学校を高校に特殊化したものとして高校教員ロールを定義した．これらのロール概念間の関係はロール概念階層において，＜高校教員ロール is-a 学校教員ロール＞(図 6-f,g) と表現される．

以下の節では，構築したロール概念階層を，トップカテゴリ層 (上位層)・プリミティブなロール概念層 (中間層)・アグリゲートされたロール概念層 (下位層) に分けて説明する^{*17}．

§1 ロール概念階層の上位層で行う組織化

3.2 節で述べたように，ロール概念は依存するコンテキストとなる基本概念の分類に沿って組織化される．この例の基本概念階層では，コンテキストとなる基本概念を上位で組織，行為などの観点で分類した (図 5-a,b)．このことは，ロール概念を中心に据えた視点からは，ロール概念階層において最上位にあたるロールクラスの直下に分類される概念として行為依存ロール，組織依存ロール (図 6-b) などが定義されることで表現される．

§2 ロール概念階層の中間層で行う組織化

基本概念階層では，組織をコンテキストとする職員ロールや参加者ロール (図 5-a) を定義し，行為をコンテキストとする行為主体ロールや行為客体ロール (図 5-b) を定義した．このことはロール概念階層において，組織をコンテキストとする組織依存ロールの下位概念として職員ロールや参加者ロール (図 6-d) を定義し，行為をコンテキストとする行為依存ロールの下位概念として行為主体ロールや行為客体ロール (図 6-c) を定義することによって表現される．

また，ロール概念階層では，3.2 節で抽象ロール概念

の例として述べた学校職員ロール (図 6-e) を，学校教員ロールと用務員ロール (図 6-f) を一般化したロール概念として定義した．学校職員ロールは，学校というコンテキストにおいて，もとの二つのロール概念の上位概念である職員ロール (図 6-d) から定義を継承するロール概念でもある．学校教員ロールや用務員ロール，また，職員ロールは，基本概念階層において，それぞれのコンテキストのもとで定義されている (図 5-a,c)．一方，学校職員ロールは基本概念階層では定義されていない．

§3 ロール概念階層の下位層で行う組織化

ロール概念階層の下位部分では，ロールアグリゲーションを用いて複合ロール概念が組織化される．3.1 節で例として述べた学校教員ロールの組織化は，基本概念階層 (図 5-c) とロール概念階層 (図 6-f) の両方で表現されている．

5. ロール概念のインスタンス

本章では，ロール概念のインスタンスが持つべき性質や振る舞いについて論じる．インスタンスに対する考察は，主にインスタンスモデル管理の研究と結びつくものであり，オントロジー構築においてロール概念の組織化支援を行う枠組みの提供を目的としている本研究の対象範囲外にある．しかし，ここでロール概念のインスタンスの管理について考察を深めることは，ロール概念の理論を深め，法造のインスタンスモデル編集ツールの整備や，オントロジー応用の土台になると考えられる．

ロール概念のインスタンスに関する基礎的考察は，これまでの研究 [古崎 02a] において進められていたものの，複数のコンテキストに依存するロール概念は対象に含まれていなかった．そこで本論文は，既に明らかになっているロール概念のインスタンスの性質を一般化し，複数の

*17 これらは説明のための区分であり，各ロール概念の記述や組織化を制限するものではない．

コンテキストに依存するロール概念にも適用可能なロール概念のインスタンスの性質について述べる。

以下の部分では、ロール概念を \mathcal{R} とする。そして、 \mathcal{R} が依存するコンテキストとなる基本概念を C_1, C_2, \dots, C_m とし、それぞれに対するプリミティブなロール概念であり、 \mathcal{R} を定義するためにアグリゲートされるロール概念を R_1, R_2, \dots, R_m とする。これまでの研究で考察されていた内容は、ここでは $m = 1$ の場合として位置づけられる。なお、説明のために用いるロール概念の具体例は、4章で述べた学校教員ロール (図 6-f) である。

[性質 1] ロール概念のインスタンスの状態：ロール概念 (\mathcal{R}) のインスタンスには、次の 2 つの状態がある：(A) ロール概念で定義された役割のみが具体化 (instantiate) され、それを担うインスタンスが存在しない状態。(B) 具体化された役割が、特定のインスタンスによって担われた状態。

例えば、具体化された学校教員の役割 (\mathcal{R}) には、次の 2 つの状態が考えられる：(A) 空きポストのように、学校における学校教員の役割のみが具体化された状態。(B) 誰かが就任しており、具体化された役割が人間のインスタンスによって担われ、学校教員 (ロールホルダー) となっている状態。

[性質 2] ロール概念のインスタンスのコンテキスト依存性：ロール概念 (\mathcal{R}) のインスタンスは、コンテキストとなる基本概念 (C_1, C_2, \dots, C_m) のうち、全ての概念のインスタンスが存在する事を前提として具体化され、そのいずれかの消滅に伴って \mathcal{R} のインスタンスも消滅する。

例えば、学校教員としての役割 (\mathcal{R}) が具体化されて認識されるのは、学校が具体化されて存在し (C_1 のインスタンス存在)、そこで教授行為も具体化されている (C_2 のインスタンス存在) 事が前提である。そして、学校が廃校になった場合 (C_1 のインスタンス消滅) でも、教授行為が行われなくなった場合 (C_2 のインスタンス消滅) でも、具体化されていた学校教員の役割 (\mathcal{R}) は消滅する。

[性質 3] ロール概念のインスタンスの基本概念依存性：ロール概念 (\mathcal{R}) のインスタンスは、それを構成する全てのロール概念 (R_1, R_2, \dots, R_m) のインスタンスが同一のインスタンス (I とする) によって担われるとき、[性質 1] で述べた (A) の状態から (B) の状態になり、完全なインスタンスとして振舞えるようになる。

例えば、ある人物 (I) が学校に雇われて学校職員の役割 (R_1) を担うと同時に、教授行為を実行して教授行為主体の役割 (R_2) を担う事により、学校教員の役割 (\mathcal{R}) が完全に具体化され、その人物が学校教員として認識される。

[性質 4] ロールホルダーの消滅：ロールホルダーが消滅するのは、次の 4 つの場合である：(1) ロール概念 (\mathcal{R}) を担っていた基本概念のインスタンス (I) が消滅した場合：このとき、 \mathcal{R} のインスタンスは、誰にも担われていない状態になる。(2) \mathcal{R} のインスタンスが消滅した場合：

このとき、 \mathcal{R} のインスタンスを担っていた I は存在し続ける。(3) I が、 \mathcal{R} のインスタンスを担うことを止めた場合：このとき、 \mathcal{R} のインスタンスは誰にも担われていない状態で存在し続け、 I も存在し続ける。(4) アグリゲートされているロール概念 (R_1, R_2, \dots, R_m) のロールホルダーが、いずれか一つでも消滅した場合：このとき、 \mathcal{R} に部分として付加されているロールパートのうち、消滅したのとは別のロールホルダーがどのように変化するかは、個々のケースによって異なると考えられる。

例えば、具体化された学校教員の役割 (\mathcal{R}) を担っている人物 (I) が、もはや学校教員として認識されなくなるのは、次の 4 通りである：(1) その人物 (I) が死んでしまった場合。(2) 廃校や人員削減などで学校教員の職 (\mathcal{R}) がなくなった場合。(3) その人物 (I) が学校教員の職 (\mathcal{R}) を辞めた場合。(4) その人物 (I) が学校職員でなくなったり (R_1 のロールホルダーが消滅)、教授行為主体でなくなったり (R_2 のロールホルダーが消滅) した場合。

6. オントロジー構築におけるロール概念組織化の意義

ここで、ロール概念階層が持つ情報という観点から、それを構築する利点について考察する。本論文は、基本概念の is-a 階層内でロール概念を定義するだけでなく、ロール概念の is-a 階層を構築することを提案している。2.3 節で述べたように、筆者らがこれまで提供してきた枠組みは、コンテキストとなる基本概念の定義の中でロール概念を扱うものであった。これによって、ロール概念が依存するコンテキストを明示化し、どの観点によってロール概念が決定されるかを明示化できていた。また、コンテキストとなる基本概念間の特殊化に沿って、ロール概念の特殊化を表現することも可能であった。そして、クラス制約にロールホルダーを指定することを可能にするように枠組みを拡張することで、ロールアグリゲーションも可能となる。この範囲では、ロール概念階層は、その上位構造を除き、基本概念階層におけるロール概念記述部分と等価な情報を持つ。よって、それらを相互変換する事も可能である。

しかし、基本概念階層に分散して存在するロール概念の情報を抽出し、その本質 (コンテキスト依存性) に基づいて取り扱うことは、オントロジーにおける「役割」の概念化をより詳細に行い、その理解を助けることに貢献する。ロール概念が持つ階層性や分解可能性を明示的に扱うことは、そのような性質からの概念化が可能であるという点をオントロジー開発者に意識させ、より多くの観点からロール概念を定義する助けとなる。また、抽象ロール概念は、ロール概念を適度なレベルでまとめ、オントロジーに含まれるロール概念の全体像を把握しやすくする役割を持つ。このような概念化は、基本概念階層を構築するだけでは十分に表現できなかったものである。

それゆえロール概念階層は、対象世界に存在するロール概念を、基本概念階層で扱う以上に、より豊かな観点から扱うことを可能にし、オントロジー開発者同士、また、オントロジー開発者とそれを利用するインスタンスモデル管理者との合意形成に役立つ。こうした点から、本研究はロール概念階層の構築をロール概念組織化の中心に据えている。

また、オントロジーは、領域を跨ぐ一般性が要求される一方で、その実効的価値が対象領域や利用システムに依存して評価される部分が少なくない。よって、本論文で述べたロール概念組織化の必要性や効果の度合いは、問題とするタスクや対象領域によって変化すると言える。ロール概念を導入する必要性は、2.1 節で述べたように、コンテキスト変化の頻度や、インスタンス管理の複雑さに応じて高くなる。特に、アイデンティティを保持しつつ長期間存続するインスタンスと、生成・消滅が頻繁に繰り返されるインスタンスが二極化する世界を扱う場合には、ロール概念を導入することの効果は大きい。一方、一定のコンテキストの下でオントロジーを構築する場合は、ロール概念を導入する必要性は低くなる。例えば、対象世界（コンテキスト）を病院に限定したオントロジーにおいては、本来はロール概念である医者や患者を基本概念として捉えることも可能である^{*18}。

そして、ロール概念を組織化する必要性は、共通のコンテキスト内で役割が変化する度合いや、役割を概念化する視点の複雑さに応じて高くなる。その場合は、ロール概念の分解やコンテキスト間の関係に基づく分類・階層化が効果的に働く。例えば CSCL やグループ学習の領域では、learning by teaching のように教師役を演じて「教えることによって学習する」学習者や、他の学習者の問題解決過程を観察し、観察者ロールを担うことによって、learning by observation を行う学習者の存在を扱う必要が生じる。このとき、参加者全員は学習者であり、グループ学習におけるロールアサインメントによって、様々なロールを担うことが要請され、担う役割に固有の学習効果を習得する。更に、グループ学習における教師ロールは、学校における教師ロールとは異なる。前者は「教授行為」のみに依存するロール概念であり、後者はそれに加えて教育組織というコンテキストにおいて定義される教師ポストという概念が含まれる。このような問題においては、それらのロール概念は、それを担う実体としての学習者とは独立な概念として定義する方が適切であり、本研究の指針に沿ってロール概念階層を構築し、その中で位置付けを明確にする事は効果的であろう。

7. 関連研究

まず、オントロジーにおいてロール概念の取り扱いを目指した研究と、本研究との比較を行う。Guarino らは、Formal Ontology における公理記述を前提として、ロール概念の定式化を行っている [Guarino 02, Masolo 04]。一方、本研究の目的はオントロジー構築支援ツールの開発であるため、ロール概念を定義する枠組みの提供に主眼を置いている。しかし、Guarino らが認識しているロール概念の特徴は、我々が認識している特徴と共通する部分が多い。例えば、[Masolo 04] では、ロール概念間における sub-concept 関係の種類として、specialization と requirement が存在すると述べており、これらは、本研究がロール概念の組織化にあたって注目したロール概念間の is-a 関係に位置付けられる。specialization は is-a 階層におけるロール概念の特殊化に、requirement はロールアグリゲーションに相当する。しかし、Guarino らが述べる sub-concept には、本研究がロール概念の組織化において注目した別の種類の分類や、ロール概念間の is-a 関係は同じ種類のコンテキストに依存する概念間に張られるという観点は含まれていない。また requirement について、本研究は複数のコンテキストへ依存するロール概念という観点から、ロールアグリゲーションを用いた定義の仕方を詳しく論じたが、Guarino らは種類の存在を指摘して、特徴を述べているのみであるため、オントロジー構築において、それらをどのように導入できるかという点までは議論していない。また、本研究と異なる他の点として、Guarino らがロール概念の定式化に時間依存性を導入している事もあげられる。これに対し本研究は、ロール概念の変化は必ずしも時間の変化を伴うわけではないという立場から、時間依存性より更に広い意味を持つ、視点変化によるロール概念の取り扱いを視野に入れている。そして、本研究がロール概念とロールホルダーを明確に区別している点も、Guarino らの研究より優れている部分である。

ロール概念を基本概念から区別したうえで、ロール概念の階層を構築する事の重要性は Fan らも主張しており、[Fan 01] に示しているオントロジーにおいて、THING の下位概念を ENTITY と ROLE の 2 種類に大別しており、ROLE の下位概念として AGENT や INSTRUMENT などあげている。しかし、その組織化の軸については論じられていないため、それらがコンテキストへの参加の仕方によって定まるロール概念ということが不明確である。また、例えば本研究で行ったコンテキストの種類に関する考察など、他の視点による組織化についても考えられていない。更に、Fan らは目的論的な視点からロール概念を定義しており、ロール概念に対しては、それを担う事を目的としたエンティティが存在すると考えている。そして、それらのエンティティとロール概念の関係は *purpose* 関係として定義し、通常エンティティが

*18 ただし、このような概念化を行った場合、医者が病気になった時に患者となりうるというロール概念の性質が扱えない。

ロール概念を担う際に用いる *played-by* 関係とは区別している．本研究においても，人工物はあらかじめ担うように意図された機能概念（ロール概念）を持つ事を認識しており，それを人工物のアイデンティティと結びつけて考えている．しかし，Fan らが人工物以外のエンティティについても *purpose* 関係は導入可能であると主張しているのに対し，本研究は，自然物のアイデンティティに関する議論の難解さを考慮して，それらのエンティティへの導入には慎重な立場をとっている．

また，Breuker らは認識論的な視点から法律をドメインとしたオントロジーを構築しており，[Breuker 04] でロール概念についての一般的な議論も行っている．Breuker らも，ロール概念とロールを担う事との混同，またロール概念とその担い手との混同を指摘しており，その峻別の重要性を述べている．しかし，Breuker らは，トップレベルのカテゴリとしてのロール概念は論じているが，その下位概念として行われるロール概念の組織化については議論していない．また，Breuker らが人の認知活動からロール概念を捉えており，認知活動を方向付けたり，人間の振る舞いを予測したりする事をロールの概念化と関連付けている一方，本研究は概念化自体に関する議論は対象外として，コンテキストやロール概念の認定についてはオントロジー構築者の恣意性を認めている．

次に，ロール概念を扱うために必要とされる枠組みと，現在 OWL が概念を扱うために提供している枠組みとの差について議論する．2.2 節で述べたように，本研究がロール概念の定義を記述するために提供する枠組みと，OWL が概念定義のために提供する記述形式の枠組みとは，規定する semantics に隔たりがある [溝口 03]．よって，本研究の枠組みを用いて定義したロール概念と，OWL の枠組みを直接用いて定義したロール概念との間には，ギャップが存在する．しかし，本論文で考察した特徴を出来る限り忠実に反映するように OWL を用いてロール概念を記述すると，図 7-a のようになる．これは，図 6-e で示したロール概念を OWL によって記述する事を試みた例である．それらのロール概念は，学校教員ロールと人間との間に *hozo:holderOf* property や *hozo:playRole* property など^{*19}を導入して記述される．そしてロールアグリゲーションのため，学校教員ロールの担い手とロールパートである教授行為主体ロールの担い手が同一のインスタンスになるように，教授行為主体ロールと人間との間に *hozo:playRole* property や *hozo:holderOf* property が記述され，そのドメインやレンジが記述される．

注目すべき点は，ロール概念が *owl:ObjectProperty* ではなく，*owl:Class* として定義されている事である．ロール概念の組織化も，ロールクラスにサブクラスを定義し

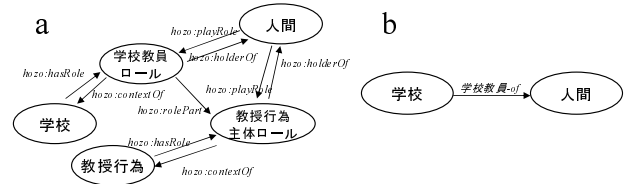


図 7 OWL を用いて表現したロール概念

ながら階層を記述する事で行われる．多くの場合，ロール概念は *owl:ObjectProperty* として図 7-b のように記述されがちである．しかし，このように記述すると，本論文で議論したようなロール概念の特徴が反映されなくなるとい問題が生じる．例えば図 7-b において，学校教員ロールと学校教員（ロールホルダー）の違いは認識不可能であるし，アグリゲーションを行う際にも property のコレクションを考えなければならなくなる．さらに，5 章で述べたロール概念のインスタンスのうち，「空きポスト」のように，インスタンスに担われていない状態のロール概念のインスタンスを表現できない．いずれにせよ，ロール概念の *owl:ObjectProperty* と他の種類の *owl:ObjectProperty* (例えば，属性や関係概念など) との違いを扱うためには，オントロジーの基礎理論に則るだけで可能になるインスタンスモデル管理を行う以外に，5 章で論じたロール概念のインスタンスが持つ性質を反映し，その管理を行うための枠組みをシステムに追加する必要がある．

8. む す び

本論文では，オントロジーにおいてロール概念を他の概念と峻別する事の重要性を指摘し，ロール概念を組織化する際に用いられる指針を提案するとともに，オントロジー構築におけるロール概念組織化の特徴について述べた．この指針は，オントロジー構築・利用環境「法造」の枠組みを拡張するために用いられ，ロール概念に関する意味定義の枠組みを提供するという特徴を，より洗練させるものとなる．

今後の課題として，ロール概念の組織化に関する理論をさらに深める必要がある．本論文では，コンテキストの種類について幾つか例を挙げて考察したが，より一般的なレベルでの議論も望まれている．また，ロール概念の階層における特徴をより詳しく検討する必要も残されている．例えば，本研究ではロール概念の階層を三層に分けて説明したが，それらの階層を跨ぐ *is-a* 関係は，厳密にはそれぞれ異なる semantics を持っていると考えられる．さらに，主題から離れるため本論文では扱わなかったが，複合ロール概念のインスタンスの性質は，本質となるコンテキストとロールパート（部分）となるコンテキストとの峻別により，より高度な場合分けの下で議論する事も可能である．これらの議論を反映し，さらに詳

*19 これらの property は，本研究がロール概念表現のために定義したものである．前者は，ロール概念が持っており，その担い手を示すために用いられる property である．後者は，その逆であり，役割の担い手となる概念が持っており，その役割を定義するロール概念を示すために用いられる property である．

細かつ具体的なガイドラインを作成すると、より高度にルール概念組織化を支援できると思われる。

ルール概念を組織化することにより、ルール概念に関するオントロジーの表現力が高められる。そのことは「役割」の概念化構造を明確にし、オントロジーに含まれるルール概念の全体像の理解に貢献し、結果として、対象世界についての合意形成や、より自然な形でのモデリングに繋がると考えられる。さらに、そのようにして構築されたオントロジーに基づくインスタンスモデルは、ルール概念の性質を十分に反映し、コンテキストや視点の管理について一貫した指針を持つ。引き続きルール概念に対する考察を深め、その特徴を忠実に反映可能なオントロジー構築支援の枠組みについて研究・開発を進める。

謝 辞

本研究の一部は科学研究費補助金(基盤研究(A)14208029) Theory-Aware オーサリングワークベンチの開発の研究の援助のもとで行われた。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Breuker 04] Breuker, J. and Hoekstra, R.: Epistemology and ontology in core ontologies: FOLaw and LRI-Core, two core ontologies for law, in *Proc. of EKAW Workshop on Core ontologies (EKAW2004 WS)* (2004)
- [Fan 01] Fan, J., Barker, K., Porter, B., and Clark, P.: Representing Roles and Purpose, in *Proc. of the international conference on Knowledge capture (K-Cap2001)*, pp. 38-43 (2001)
- [Fillmore 68] Fillmore, C. J., Kiparsky, P., and McCawley, J. D.: The case for case, in *Universals in linguistic theory*, Holt, Rinehart and Winston (1968)
- [Guarino 98] Guarino, N.: Some Ontological Principles for Designing Upper Level Lexical Resources, in *Proc. of the First International Conference on Language Resources and Evaluation*, pp. 527-534 (1998)
- [Guarino 02] Guarino, N. and Welty, C.: Evaluating ontological decisions with OntoClean, *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 2, pp. 61-65 (2002)
- [Hartshorne 60] Hartshorne, C. and Weiss, P. eds.: *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, The Belknap Press Of Harvard University Press (1960)
- [林 98] 林 雄介, 瀬田 和久, 池田 満, 金 来, 角所 収, 溝口 理一郎: 概念間関係に関するオントロジーの考察 ~ is-a, part-of, identity ~, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. AI-98-40, pp. 1-8 (1998)
- [石川 02] 石川 誠一, 久保 成毅, 古崎 晃司, 来村 徳信, 溝口 理一郎: タスク・ドメインルールに基づくオントロジー構築ガイドシステムの設計と開発, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 5, pp. 585-597 (2002)
- [古崎 02a] 古崎 晃司, 来村 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)
- [古崎 02b] 古崎 晃司, 来村 徳信, 佐野 年伸, 本松 慎一郎, 石川 誠一, 溝口 理一郎: オントロジー構築・利用環境「法造」の開発と利用 - 実規模プラントオントロジーを例として -, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 407-419 (2002)
- [Masolo 04] Masolo, C., Vieu, L., Bottazzi, E., Catenacci, C., Ferrario, R., Gengami, A., and Guarino, N.: Social Roles and their Descriptions, in *Proc. of the 9th International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2004)*, pp. 267-277 (2004)
- [溝口 99] 溝口 理一郎, 池田 満, 来村 徳信: オントロジー工学基礎論, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 6, pp. 1019-1032 (1999)
- [溝口 03] 溝口 理一郎, 池田 満, 来村 徳信: 対象モデリングの視点から見た知識表現, 人工知能学会誌, Vol. 18, No. 2, pp. 183-192 (2003)
- [溝口 05] 溝口 理一郎: オントロジー工学, オーム社 (2005)
- [Sowa 89] Sowa, J. F.: Using a lexicon of canonical graphs in a semantic interpreter, in *Relational models of the lexicon*, pp. 113-137, Cambridge University Press (1989)
- [Sowa 95] Sowa, J. F.: Top-level ontological categories, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, pp. 669-685 (1995)
- [Sowa 00] Sowa, J. F.: *Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations*, Brooks/Cole Publishing Co. (2000)
- [Sunagawa 03] Sunagawa, E., Kozaki, K., Kitamura, Y., and Mizoguchi, R.: An Environment for Distributed Ontology Development Based on Dependency Management, in *Proc. of the 2nd International Semantic Web Conference (ISWC2003)*, pp. 453-468 (2003)
- [Zambonelli 03] Zambonelli, F., Jennings, N. R., and Wooldridge, M.: Developing Multiagent Systems: the Gaia Methodology, *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, Vol. 12, No. 3, pp. 317-370 (2003)

〔担当委員: 武田 英明〕

2004 年 12 月 27 日 受理

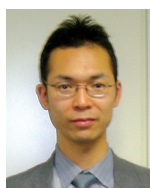
著 者 紹 介

砂川 英一(学生会員)



2002 年大阪大学基礎工学部システム科学科卒業。2004 年同大学院基礎工学研究科システム人間系専攻博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科電気電子情報工学専攻博士後期課程に在学中。オントロジーの分散開発や基礎論に興味を持つ。

古崎 晃司(正会員)



1997 年大阪大学工学部電子工学科卒業。2002 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、化学工学会嘱託研究員、同年 12 月大阪大学産業化学研究所附属産業科学ナノテクノロジーセンター助手、現在に至る。博士(工学)。オントロジー構築・利用環境の設計・開発、セマンティック Web, ナノテクノロジー分野のオントロジー開発・応用に関する研究に従事。情報処理学会会員, 化学工学会会員。

来村 徳信(正会員)



1991 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1993 年同大学院基礎工学研究科前期課程修了。同年、同大学産業科学研究所技官。1994 年同助手。2003 年同助教授。現在に至る。博士(工学)。物理的システムに関するオントロジー工学的考察と、それに基づいたモデル化と推論に関する研究に従事。1996 年人工知能学会創立 10 周年記念論文賞受賞。情報処理学会会員。

溝口 理一郎(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。1978 年阪大産業科学研究所助手, 1987 年同研究所助教授, 1990 年同教授。現在に至る。工学博士。音声の認識・理解, エキスパートシステム, 知的 CAI システム, オントロジー工学の研究に従事。電子情報通信学会誌編集委員, 教育システム情報学会論文誌編集委員長, 理事, 本学会理事, Intl. AI in Education(IAIED) Soc., 及び APSCE の会長を歴任。