

ルール理論の拡張によるインスタンス生成・消滅問題の考察

遠藤 諭[†] 古崎 晃司[†] 溝口 理一郎[†]

[†] 大阪大学 産業科学研究所 〒567-0047 茨木市美穂が丘 8-1

E-mail: [†] {endo, kozaki, miz}@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし オントロジーに基づいた知識（インスタンスモデル）を記述・利用する際には、インスタンスの振る舞いを考察し、計算機上で適切に取扱うための管理が必要である。特にルール概念のインスタンスは、コンテキストやプレイヤーに依存した生成・消滅、構成ルールの導入など、重要な検討課題を含む。本論文ではその管理方法の確立を目指し、ルール理論における種々の問題について考察する。

キーワード インスタンス, ルール, オントロジー

1. はじめに

近年、知識システムの基盤となるオントロジーは様々なシステムやモデルで応用されるようになり、その有用性への認識は広がりつつある。オントロジーは知識（インスタンスモデル）を記述するための規約を提供し、その規約に基づいて知識を記述することで、その一貫性や再利用性を保つことが重要な役割のひとつである。オントロジーの基礎理論は、より適切なオントロジーを構築するための指針を提供するものとして様々な研究が行われており、中でもルール概念の理論は重要な課題の一つとして活発な研究が行われている[1,2,3,4,6,8]。しかし、このようなオントロジー工学の研究の進展に伴い、オントロジーに関する理論は充実してきている一方、インスタンスモデルにオントロジーにおける定義内容をどのように反映するべきなのかは、明らかになっていない部分が多く、その研究余地は多く残されている。特に、ルール概念のインスタンスは、そのオントロジーの定義内容により、インスタンスが持つ性質が異なってくるため、当然のようにそのようなインスタンスの生成・消滅にも違いが生じてくると考えられている。

このような背景のもと、本論文では、ルール概念の理論に基づいたインスタンスの生成・消滅に関する種々の問題について、様々な事例を挙げながら考察する。さらに、それらの問題を適切に扱うための理論的枠組みについて、ルール概念のインスタンスが持つ identity に着目しながら検討する。

以下、2章では従来研究で考察してきたルール概念について、その概念的性質とインスタンスにおける性質と法造における取り扱いについて述べる。3章ではルール概念のインスタンスの生成・消滅問題とその解決としての理論的枠組みの導入について述べる。4章ではプレイヤーが担うルール概念が変化する際の扱いに関する問題とその解決するために構成ルールというルール概念を導入し、続く5章と6章で今後の検討課題と本論文の総括を述べる。

2. ルール概念とそのインスタンスが持つ性質

2.1. ルール概念

役割の概念が持つ性質を扱うことの重要性は[2][3][4]などでも論じられているが、本論文が扱う「ルール概念」とは、「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」[5][6]などと定義され、用いられるものである。そして、役割を担い得るもの（「Role Playable Thing」または「Potential Role Player」）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、他の概念に依存せず定義できる概念を「基本概念」と呼ぶ。ルール概念に対してクラス制約となる概念は「プレイヤー」と呼び、原則的に基本概念の中から選ばれる。

ルール概念は、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で定められる。そして、ルール概念で定義される役割を担った状態にある基本概念のインスタンス（「Role Playing Thing」）は、「ロールホルダー」と呼ばれる。

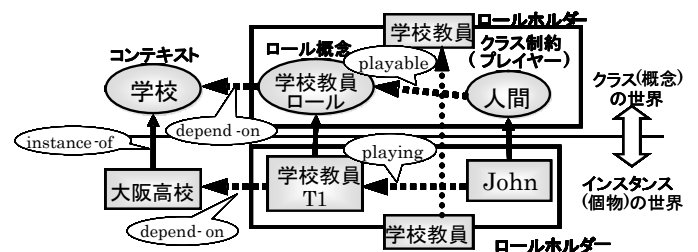


図 2.1 コンテキスト、ルール概念、ロールホルダー、クラス制約の関係

図 2.1 は、コンテキスト、ルール概念、ロールホルダー、クラス制約の具体例を示したものである。この例では、クラスの世界において、**学校教員**ルールクラスが、**学校**クラスをコンテキスト、**人間**クラスをクラス制約(プレイヤー)として参照する形で定義されている。

そして、インスタンスの世界には、それぞれのクラスのインスタンスである、**学校教員 T1**、**大阪高校**、**John**が存在しており、それらの間には、“**大阪高校**をコンテキストとする**学校教員 T1**の役割を、**John**が担い、**学校教員**(ロールホルダー)になる”という関係が成り立っている。このとき、クラスの世界におけるロール概念とプレイヤーとの間にある概念間関係(playable)と、インスタンスの世界におけるロール概念とプレイヤーとの間にあるインスタンス間関係(playing)とは明確に区別すべきものである。前者は“**学校教員**の役割は、**人間**によって担われ得る”という一般的な可能性を規定するものであるが、後者は、“**学校教員**のインスタンスである**学校教員 T1**という役割は、ある世界(または、ある時区間)において、**人間の**インスタンスである**John**によって担われている”というモデル内に存在するインスタンスの実際の振る舞いを表現するものである。そして、後者の場合のように、役割を担い得るもの(Role Playable Thing)のインスタンスが、実際にロール概念のインスタンスを担っている存在(Role Playing Thing)としてみなされるものが、ロールホルダーである。ロールホルダーは、ロール概念そのものが持つ性質と、ロール概念によって参照される担い手の性質と、ロール概念からは参照されない担い手の性質とを併せ持った存在になる[7]。図 2.2 は、学校教員の例におけるロールホルダーの性質の構成を示したものであり、A~Cに区分された性質は、それぞれ上で述べた性質の種類に対応する。

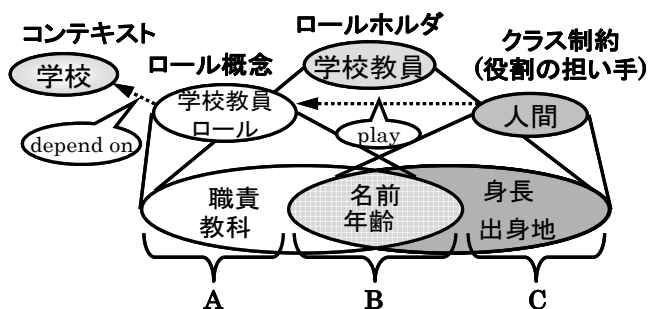


図 2.2 ロール概念、クラス制約、ロールホルダーが持つ性質の構成関係

2.2. 法造におけるロール概念の表現

本節では「法造」を用いたロール概念の表現方法の概要を示す。

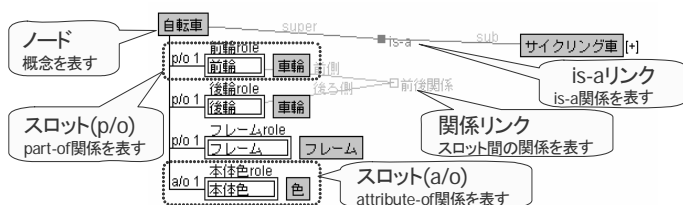


図 2-3 法造のオントロジー表現

「法造」では、オントロジーは概念を表すノード、概念間の関係を表すリンクおよびスロットを用いて表される(図 2-3)。リンクには is-a 関係を表す is-a リンクとその他の関係を表す関係リンクがあり、スロットには part-of 関係を表す p/o スロットと attribute-of 関係を表す a/o スロットがある。スロットは関係の種類(p/o または a/o)、スロットの数を規定する個数制約(Cardinality)、ロール概念、クラス制約で表される。

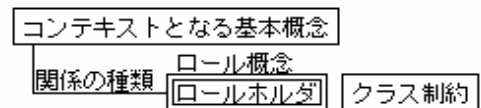


図 2-4 法造の Ontology Editor におけるロール概念の記述的枠組み

例えば図 2-3 における前輪ロールは、図 2-4 の記述枠組みに基づいて表現したものである。このとき、コンテキスト「自転車」とロール概念「前輪 role」の関係は全体-部分(part-of)関係であり、ロール概念「前輪 role」とクラス制約で参照している概念(プレイヤー)「車輪」の関係は図 2-3 のようにロール概念を表す四角の右に参照先の概念を表す四角を表記することで示している。そして、クラス制約を満たすプレイヤー「車輪」が「前輪 role」を担った際に具体化されるロールホルダー「前輪」はロール概念を表す四角の内側に示される。

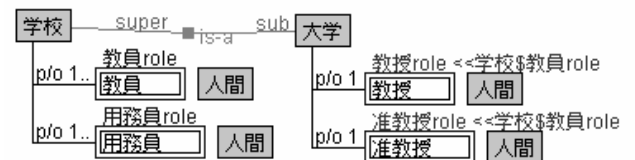


図 2-5 学校と大学の法造におけるクラス定義

次に、ロール概念間の is-a 関係について述べる。ロール概念のコンテキストとなる概念に is-a 関係が成り立つとき、上位概念で定義されたロール概念は下位概念に継承される。例えば、コンテキスト学校において定義された用務員ロールは、学校の下位概念である大学に継承される。さらに、継承されたロール概念の定義を特殊化することで、ロール概念の下位概念を定義することができる。このとき、ロール概念間の is-a 関係が成り立つ。例えば、図 2-5 において大学の教授ロールは、学校の教員ロールを継承・特殊化したもので「教授ロール is-a 教員ロール」の関係が成り立つ。法造上では、ロール概念間の is-a 関係はリンクのような図としては表現せず、図 2-5 における教授ロールのようにロール概念名の右に上位概念にあたるロール概念を「<<コンテキスト\$ロール概念名」という形式で

示している。

また、図 2-2 中の「年齢」が「年齢 22 歳以上」であるときを考える。このとき、基本概念「人間」で定義されている内容のうち、「学校教員としての役割」を果たす際に必要となる「名前」、「年齢」が「教師ロール」から参照され、「年齢」に関しては「年齢 22 歳以上」として、ロール概念で定義されている制約が追加される。このときの包含関係を考えると、ロール概念の定義はクラス制約として参照している基本概念の定義を部分的に継承し、さらにその一部を特殊化している。このようなクラス制約として参照している概念からロール概念への継承・特殊化を、is-a 関係に基づく上位概念からロール概念への継承・特殊化と区別して、「クラス制約の継承・特殊化」と呼ぶ。法造では、ロール概念のクラス制約で参照している概念において定義されているスロットを、ロール概念において継承し特殊化することで表される。

2.3. ロール概念のインスタンスの性質

「インスタンス」とは、対象世界を構成する個々の存在物である。あるインスタンスと、それが属する概念との間の関係は instance-of 関係と呼ばれ、インスタンス a とクラス A の間に $\langle a \text{ instance-of } A \rangle$ が成り立つということは、「 $a \in A$ の外延 (A に属する全インスタンスの集合)」という関係が、成り立つことを意味する。そして、インスタンスを用いて対象世界を表現したモデルは、インスタンスモデルと呼ばれる。よって、インスタンスモデルはオントロジーにおける概念定義に基づいて構築され、インスタンスモデル構築するには、その基になるオントロジーが必要となる。また、インスタンスが所属する概念に関する一般的知識を表したものが、そのインスタンスモデルを対象としたオントロジーであるということもできる。

これまでの研究[6]で行われてきたロール概念やロールホルダーのインスタンスが具体化される際の一般的な性質を述べる。なお、簡単の為に、ここでは identity の認定などインスタンスに関する厳密な議論[5]は行わない。

性質 1 ロール概念のインスタンスの 2 種類の状態

ロール概念のインスタンスに相当するものは、その概念的な性質から次の二つの状態が存在する。

- (1) ロール概念で定義された役割のみが具体化され、その役割を担うインスタンスがまだ存在しない状態 (Ri')
- (2) 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 (Ri)

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

基本概念が他の概念に依存せずに定義されるのに対し、ロール概念は特定のコンテキストや他の概念に依存して定義される。Part-of 関係に伴うロール概念の場合は、部分概念を構成している全体にあたる概念がロール概念の依存しているコンテキストとなる。よって、ロール概念のインスタンス Ri' は、そのロール概念が依存している全体にあたる概念のインスタンス (Wi) の存在を前提として具体化され、 Wi が消滅するとそれに伴って Ri' も消滅する。

性質 3 ロール概念のインスタンスの基本概念への依存性

Ri' はそのままでは完全なインスタンスとしては振舞うことができない。特定の基本概念のインスタンス (Bi) によって Ri' の役割が担われると、 Ri' はロール概念の完全なインスタンス (Ri) となる。このとき、基本概念のインスタンス (Bi) が役割 (Ri') を担った状態がロールホルダーのインスタンスに相当するもの (RHi) となる。逆に、 Bi がその役割を担うことをやめると、 Ri は Ri' に戻る。

性質 4 ロールホルダーの具体化・消滅の性質

先に述べたようにロールホルダーのインスタンス (RHi) は基本概念のインスタンス (Bi) と、 Bi が Ri' の役割を担うことで生じたロール概念のインスタンス Ri を併せたものである。よってロールホルダーを具体化するには Bi と Ri' の存在が前提となり、単独で具体化することはできない。

このような RHi と Bi と Ri の関係から、 RHi が消滅するには際には以下の 3 通りの場合がある。

- (1) Bi が消滅する：このとき、 RHi もなくなり、 Ri は Ri' に戻る。
- (2) Ri' が消滅する：このとき、 RHi も無くなるが Bi はそのまま存続する。
- (3) Bi が Ri' の役割を担うことを止める：このとき、 Ri は Ri' に戻るのもので RHi も無くなるが、 Bi はそのまま存続する。

2.4. is-a 関係に伴うロール概念の性質

基本概念の is-a 関係で、「人間 is-a 哺乳類」という関係があるとき、インスタンスの世界において次のような性質がある。

1. 人間 (下位概念) のインスタンスは、同時に、ほ乳類 (上位概念) のインスタンスでもある。
2. 人間 (下位概念) のインスタンスで無くなれば (人間が死ぬと)、同時に、ほ乳類 (上位概念) のインスタンスでも無くなる。

このような基本概念の is-a 関係によるインスタンスの性質は、is-a 関係にあるロール概念のインスタンスの間でも同様に成り立つ。例えば、図 2-5 で示した「教授ロール is-a 教員ロール」においては、以下の性質

が成り立つ。

1. 教授ロール（下位のロール概念）のインスタンスには、同時に、教員ロール（上位のロール概念）のインスタンスでもある。
2. 教授ロール（下位のロール概念）のインスタンスが消滅したら、同時に、教員ロール（上位のロール概念）のインスタンスも消滅する。

さらに、これら2つの性質より、ロール概念のインスタンスをあるプレイヤーが担っているときの性質として、

3. 人間のインスタンス（プレイヤー）が教授ロール（下位のロール概念）を担うことを止めることは、同時に、教員ロール（上位のロール概念）を担うことを止めることを意味する。

以上3つが、is-a 関係に基づくロール概念のインスタンスの基本的な性質である。

3. ロール概念のプレイヤーに関するインスタンス生成・消滅問題

2.2 節において、ロール概念に関連する概念のインスタンスが持つ一般的な性質について述べた。ここでは、それらの性質についてロール概念のインスタンスおよびその identity の生成・消滅を中心に考察を深める。プレイヤーがいない状態 (R_i') ではインスタンスが存在できないロール概念について、プレイヤーとロール概念のインスタンスの生成・消滅に関する問題を 3.1 節で述べる。続いて、その問題の理論的枠組みの導入を 3.2 節で議論する。

なお本論文では identity を次の3種類に分類して議論する。

- (1) インスタンスの本質的な性質（本質属性）
- (2) 複数のインスタンスの中で他とは異なることのみを主張することができる identity.
- (3) あるインスタンスの唯一性を特定できる identity. 本論文では(2)を弱い identity, (3)を強い identity と呼ぶ。

また、本論文の目的は、個々のロール概念の事例について議論するのではなく、その事例で示されるロール概念の一般的な性質を検討することにある。よって、オントロジーの概念定義の仕方によって、各事例を別のとらえ方ができることは了承している。

3.1. プレイヤーとロール概念に関する問題

本節では、プレイヤーの存在に着目したロール概念のインスタンスの生成・消滅問題について述べる。

3.1.1. プレイヤーの存在に依存したロール概念のインスタンスの生成・消滅

ある種のロール概念においては、ロール概念のインスタンスの生成・消滅が、プレイヤーがそのロールを担

う／担うことを止めるのと同様に行われる。例えば、交差点をコンテキストとする歩行者ロール¹のインスタンスは、ある人間がその歩行者ロールのインスタンスを担うのと同時に生成される。このとき、歩行者ロールのインスタンスは人間によってその役割が担われた状態 (R_i) でのみ存在し、弱い identity のみを持つ。さらに、その歩行者（ロールホルダー）が交差点を歩き終わる（歩行者ロールを担うことを止める）のと同様に、その人間が担っていた歩行者ロールのインスタンス (R_i) が消滅すると考えられる。一方、学校をコンテキストとする教員ロールのインスタンスは、採用する教員の定員を決定した時点で、プレイヤーがそのロールを担う前から担われていない状態 (R_i') で存在し、強い identity を持つと考えられる。当然ながら、その教員ロールがある人間によって担われた状態 (R_i) でも強い identity を持つ。そして、教員ロールのインスタンスは、そのロールを担っていた人間が担うことを止めても、その学校が教員の採用人数を削減しない限り、プレイヤーがいない状態 (R_i') で存続したままであると考えられる（このようなロールの継続性については次節で考察する）。このことから、ロール概念のインスタンスには、プレイヤーがいない状態 (R_i') で存続できるものと、プレイヤーがいない状態 (R_i') では存続できないものがあることが示唆される。

3.1.2. プレイヤーの存在に依存したコンテキストの生成・消滅に伴うロール概念のインスタンスの生成・消滅

ロール概念を規定するコンテキストがそのプレイヤーの存在に強く依存している時、コンテキストとロール概念のインスタンスの生成・消滅が同時に生成され、プレイヤーがロール概念のインスタンスを担う／担うことを止めるのと同様に行われる。例えば、夫婦関係をコンテキストとする夫ロールと妻ロールは、2人の人間（プレイヤー）がそれぞれのロールのインスタンスを担うと同時に、夫婦関係および夫ロール・妻ロールのインスタンスが生成される。このとき、どちらかの人間が夫ロール（または妻ロール）の役割を担うことを止めると、そのロールのコンテキストである夫婦関係のインスタンスも消滅し、そのコンテキストの消滅に伴い夫ロール・妻ロールのインスタンスも同時に消滅する。すなわち、これらのロール概念のインスタンスも、前節で述べた歩行者ロールと同様に、プレイヤーがいない状態 (R_i') では存続できず、人間によってその役割が担われた状態 (R_i) では強い identity を持つロール概念のインスタンスとなる。他にこのよう

¹ 正しくは交通システム全体がコンテキストであるが、ここでは最も狭い意味での歩行者を想定している。

な性質を持つロール概念には、前後関係をコンテキストとする前ロール、後ロールのような二項関係をコンテキストとするロール概念、回転行為をコンテキストとする回転体ロールのような自動詞行為をコンテキストとするロール概念がある。

3.2. ロール概念のインスタンスの生成・消滅問題への理論的枠組みの導入

本節では、前節であげたロール概念のインスタンスの生成・消滅問題を、インスタンスが持つ identity に着目しながら、その理論的な対応と解決方法を述べる。

3.2.1. ロール概念に関する identity の基本的扱い²

プレイヤーとなる概念のインスタンスは identity(ID_{Player})を持ち、ロール概念のインスタンスはプレイヤーが存在しない状態 (Ri')、プレイヤーによって担われた状態 (Ri) 共に共通の identity(ID_{Role})を持つ。ロールホルダーの identity($ID_{Role\ holder}$)は、2.2節で述べたロール概念のインスタンスの性質により、そのロール概念のインスタンスがプレイヤーによって担われたときに、ロール概念のインスタンスの identity(ID_{Role})とプレイヤーの identity(ID_{Player})から合成される。プレイヤー、ロール概念、ロールホルダーのインスタンスの同一性の判定は、これらの identity を用いて行われる。例えば、あるプレイヤーが2つの異なるロール概念のインスタンスを担っているとき、 ID_{Player} は同一であるがそれぞれの ID_{Role} は異なる為、それらから合成される2つの $ID_{Role\ holder}$ も異なる。また、同じロール概念のインスタンスが、別の時に異なるプレイヤーによって担われた場合、 ID_{Role} は同一であるが ID_{Player} が異なる為 $ID_{Role\ holder}$ も異なる[8]。

3.2.2. プレイヤーとロール概念のインスタンスの生成・消滅に関する問題の対応

3.2.3. プレイヤーの存在に依存したロール概念のインスタンスの生成・消滅

3.1節(1)で述べた歩行者ロールのインスタンスの生成・消滅は、プレイヤーが担う/担うこと止めるのと同時に逐次行われる。よって、プレイヤーが歩行者ロールのインスタンスを担うと、 ID_{Role} が生成され、これと ID_{Player} の合成により $ID_{Role\ holder}$ が生成される。そして、プレイヤーが歩行者ロールのインスタンスを担うことを止めると、歩行者ロールのインスタンスが消滅するため $ID_{Role\ holder}$ も消滅する。そして、同じ ID_{Role} を持ったインスタンスは生成されないため、同一のプレイヤーが歩行者ロールのインスタンスを再度担った

ときに生成される $ID_{Role\ holder}$ は前回とは異なるものとなる。このように、プレイヤーが担う/担うことを止めることにより、逐次生成・消滅するロール概念のインスタンスは、生成された ID_{Role} がそれぞれ異なり、これによって生成される $ID_{Role\ holder}$ も異なる。

3.2.4. プレイヤーの存在を前提とするコンテキストの生成・消滅

3.2節(2)で述べた夫婦関係をコンテキストとする夫ロールと妻ロールのインスタンスについて考えていく。人間のインスタンスである X さん ($ID_{PlayerX}$) と Y さん ($ID_{PlayerY}$) が夫婦になると、この2人は、それぞれ夫ロール($ID_{夫\ Role}$)と妻ロール ($ID_{妻\ Role}$) のインスタンスを担い、それぞれ夫 ($ID_{夫\ Role\ holder}$)、妻 ($ID_{妻\ Role\ holder}$) となる。その後、X さんが夫ロールを担うことを止めるのと同時に、このロールのコンテキストである夫婦関係のインスタンスが存在することができなくなる。そして、2.2節で述べた性質2により、夫ロールと妻ロールのインスタンスは消滅する。よって、Y さんは妻ロールを担うことができなくなる。その後、X さんが Z さんと結婚すると、夫婦関係のインスタンスの identity は X さんと Y さんの夫婦関係とは異なるものが生成されるため、ロール概念のインスタンスの identity にも違いが生じる。よって、生成されるロールホルダーの identity にも違いが生じる。同様に、X さんと Y さんが再婚したとしても、このとき生成される夫婦関係のインスタンスは、再婚前の夫婦関係と identity が異なる為、二人が担う夫ロール、妻ロールの identity も再婚前と異なる。

4. プレイヤーが担うロール概念の変化に関する問題

3.1節で述べた性質を持たないロール概念のインスタンスは、プレイヤーが存在しない状態 (Ri') で存在することができる。本章では、このようなロール概念が複数存在し、そのプレイヤーが担うロール概念のインスタンスが変化の際に生じる問題のうち、2.4節で述べたロール概念の is-a 関係の性質に伴う問題を議論する。

4.1. 同一コンテキスト内で担うロール概念の変化に関する問題と構成ロールの導入

4.1.1. 大学における昇進問題

例として、大学をコンテキストとして定義される准教授ロールと教授ロールについて考える。例えば、人間のインスタンスである木村さんが A 大学の准教授であることは、木村さんが准教授ロールを担って准教授(ロールホルダー)となっていると表すことができる。あるとき、木村さんが A 大学において准教授から教授に昇進したとすると、木村さんは准教授ロールを担うこ

² ここでは、強い identity と弱い identity に共通する基本的扱いを述べる。両者の違いは解釈時に現れる (4.2, 4.3 節を参照)

とを止め、教授ロールを担い教授（ロールホルダー）となったと表される。ここで教授ロールと准教授ロールの関係を考えると、対象世界において、木村さんがA大学での教授や准教授であるとき、同時に木村さんはA大学での教員であると考えらるので、「教授ロール *is-a* 教員ロール」および「准教授ロール *is-a* 教員ロール」と定義できると思われる。法造を用いてこれを記述すると、教授・准教授ロールは、コンテキストである大学の上位概念「学校」で定義された教員ロールを継承・特殊化したロール概念として図4-1のように表される。



図 4-1 法造における大学のクラス定義

しかしながら、図4-1で示したクラス定義では、ロール概念の *is-a* 関係により以下のような問題が生じる。

例として、図4-1の概念定義に基づいたインスタンスモデルで木村さんが准教授から教授に昇進したことを表すことを考える。まず「准教授ロール *is-a* 教員ロール」の関係があることから、ロール概念の *is-a* 関係の性質により、木村さんが准教授ロールのインスタンス（准教授 Ri' とする）を担うことを止めることは、同時にA大学の教員ロールのインスタンス（教員 Ri'1 とする）を担うこと止めることを意味する。そして「教授ロール *is-a* 教員ロール」の関係から、木村さんが教授となることは、A大学での教授ロールのインスタンス（教授 Ri' とする）を担うのと同時に教員ロールのインスタンス（教員 Ri'2 とする）を担うことに相当する。このとき、准教授 Ri' と教授 Ri' は異なるインスタンスであるので、木村さんが教授ロール、准教授ロールのインスタンスそれぞれを担う際に同時に担うことになるA大学での教員 Ri'1 および教員 Ri'2 も異なるインスタンスとなる。これは、木村さんが准教授から教授になるとき、別の *identity* を持った教員となること、すなわち一度教員を止めて新たに別の教員となることを意味する。

以上の内容の現実世界におけるインスタンスの振る舞いを考察すると、ある大学の准教授である人間が教授に昇進する際に、その人間は准教授を止めてから教授になると考えられるが、准教授を止めてもその大学

での教員を止めているわけではない。さらに、その大学での准教授のときの教員の状態を保持したまま教授に昇進していると考えられる。このように、図4-1で示した大学のクラス定義に基づいたインスタンスモデルでは、現実世界における大学での准教授から教授への人間の昇進における人間が持つ教員の状態が正しく表現されていないことがわかる。

4.1.2. 大学における昇進問題の解決

4.1.1で述べた問題は、教授・准教授ロールのクラス定義に、大学の教員であることを表す教員ロールと、各教員が大学において果たす役割（役職）を表す教授・准教授ロールが混同されていることに起因する。よってこの問題は、図4-2で示すように、大学教員ロールと教授・准教授ロールを別々に定義することで解決できる。

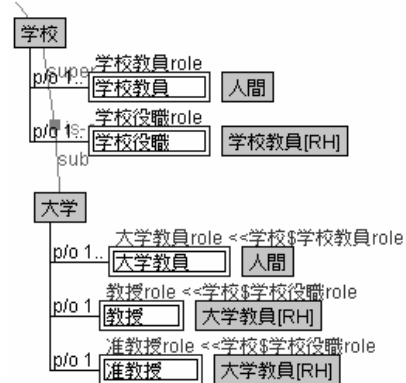


図 4-2 法造における新たな大学のクラス定義

図4-2では、学校をコンテキストとして教員ロールと学校役職ロールが定義されている。教員ロールは、学校の教員となる人間が担うロール概念であり、クラス制約は人間である。そして、学校教員ロールを担った人間（学校教員ロールホルダー）が学校果たす役職を表すロール概念として学校役職ロールが定義されている。学校の下位概念である大学では、大学教員ロール、教授ロール、准教授ロールがそれぞれ「大学教員ロール *is-a* 教員ロール」、「教授ロール *is-a* 学校役職ロール」、「准教授ロール *is-a* 学校役職ロール」として定義されている。図4-1のクラス定義では、教授ロールと准教授ロールの上位概念は教員ロールであったのに対し、図4-2のクラス定義では学校役職ロールであり、教員ロールの下位概念である大学教員ロールのロールホルダー（大学教員）が教授ロール・准教授クラス制約となっている。このように、大学教員ロールと教授・准教授ロールを別々に定義し、大学教員（ロールホルダー）をクラス制約とすることで、次に示すように4.1.1の問題が解決できる。

4.1.1で考えた大学における木村さんの准教授から教授への昇進について、図4-2で示したクラス定義に基

づいたインスタンスモデルの振る舞いを示す。まず、木村さんが A 大学の准教授であるとき、木村さんは A 大学での大学教員ロールのインスタンス（大学教員 Ri' ）を担っており、このとき具体化されるロールホルダー（大学教員 RHi ）が准教授ロールのインスタンス（准教授 Ri' ）を担うことにより、木村さん（大学教員 RHi ）は准教授（ロールホルダー）となる。次に、木村さんが准教授から教授に昇進したときを考えると、木村さん（大学教員 RHi ）は准教授 Ri' を担うことを止め、教授ロールのインスタンス（教授 Ri' ）を担うことにより教授（ロールホルダー）となる。このとき、木村さんが大学教員 Ri' は担った状態は変わらない。すなわち、木村さんが A 大学における教員としての *identity* を保ったまま、准教授を止めて教授と昇進したことが適切に表されている。このように、大学における昇進の問題が解決されることがわかる。

4.1.3. 構成ロールと役割ロール

以上の例で述べた「大学における昇進問題」を一般化すると、共通の上位概念を持つロール概念が同一コンテキストで2つ以上存在するとき、これらのうちある1つのロール概念のプレイヤーがそのロール概念のインスタンスを担うことを止めた後、そのコンテキストに参加している状態を保持したまま別のロール概念のインスタンスを担うことを取り扱う際に生じる問題と言える。この問題を解決するには、プレイヤーがコンテキストに参加していることを表すロール概念 ($R_{participate}$) と、プレイヤーがそのコンテキストで果たす役割を表すロール概念 (R_{role}) を分離して定義し、 $R_{participate}$ のロールホルダーを R_{role} のクラス制約とすればよい。例えば、学校の上位概念となる組織では、人間がその組織に参加していることを表すロール概念は構成員ロール、その組織で果たす役割を表したロール概念は役職ロール、そして役職ロールのクラス制約は、人間が構成員ロールを担ったときに具体化される構成員（ロールホルダー）と定義できる。

この問題は、コンテキストとなる概念が組織である場合に限らず、人工物においても同様な問題が考えられる。例えば、自転車をコンテキストとして、車輪をクラス制約として持つ前輪ロールと後輪ロールが定義されているとする。このクラス定義に基づいた自転車のインスタンスにおいて、前輪ロールを担っていた車輪 A と後輪ロールを担っていた車輪 B を交換したときを考える。このとき、これら車輪は交換の前後でこの自転車のインスタンスの部品（構成物）であるという状態を保持していると考えることができる。このことをインスタンスモデルで表したい場合、人工物である自転車においても、組織における構成員ロールに相当するロール概念として構成物ロールを定義し、このロー

ル概念を担った時に具体化される構成物ロールホルダーを、前輪ロールと後輪ロールのクラス制約とする必要がある。

以上の考察から、ロール概念を、あるコンテキストに参加していることを表すロール概念と、そのコンテキストに参加しているロールホルダーが果たす役割を表すロール概念に分離することができる。本論文では、これらのロール概念をそれぞれ**構成ロール**、**役割ロール**³と呼ぶ。

4.2. 異なるコンテキスト間での担うロール概念の変化に関する問題

4.2.1. 会社における異動問題

例として、営業部と人事部を部分概念として持つ会社において、営業部および人事部をコンテキストとして定義される営業部員ロールと人事部員ロールについて考える（図 4-3⁴）。

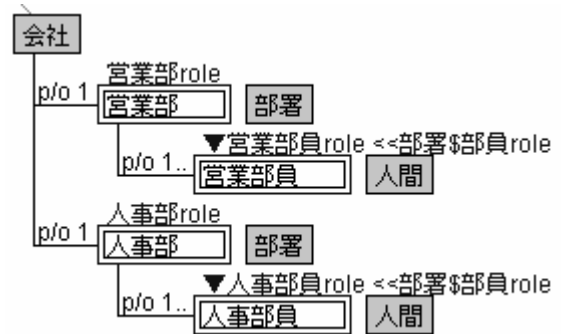


図 4-3 構成ロールを導入する前の会社のクラス定義

これらの営業部員ロールおよび人事部員ロールは部署をコンテキストとして定義された部員ロールの下位概念として定義されている。

ここで、図 4-3 のクラス定義に基づいたインスタンスモデルにおいて、人間のインスタンスである山田さんが B 会社に営業部員から人事異動で人事部員になったことを表してみる。これは、営業部員ロールのインスタンス（営業部員 Ri' とする）を担っていた山田さんが、営業部員 Ri' を担うことを止め人事部員ロールのインスタンス（人事部員 Ri' ）を担ったという変化で表される。

このとき、現実世界では、山田さんは営業部員のときの B 会社における社員の状態を保持したまま人事部員になっていると考えられる。しかし、上述の図 4-3 のクラス定義に基づくインスタンスモデルにおいては、営業部員 Ri' と人事部員 Ri' の *identity* が異なり、山田さんが担っていた社員としての役割の *identity* が保た

³ 本論文では役割ロールと呼ぶが、名称については検討中である。

⁴ ここでは、問題としている会社のみを表しているが、正確には会社の上位概念として組織や部署が定義される。

れることが正しく表せていない。これは 4.1.1 で述べた、大学における昇進問題と同型の問題である。

4.2.2. 会社における異動問題の解決

4.2.1 で述べた会社における異動問題は、4.1.2 で述べた大学での昇進における問題のように、構成ロールと役割ロールを別々に定義することによって解決できる。ただし、この問題は、対象となる2つのロール概念（営業部員ロールと人事部員ロール）が営業部と人事部という別々のコンテキストのもとで定義されている点が異なる。よって、ここで導入する構成ロールは、営業部と人事部という2つのコンテキストを包含するより大きなコンテキストのもとで定義する必要がある。この例では営業部や人事部を部分概念として持つ会社をコンテキストとした構成ロールである社員ロールを定義することでこの問題が解決される（図 4-4）。

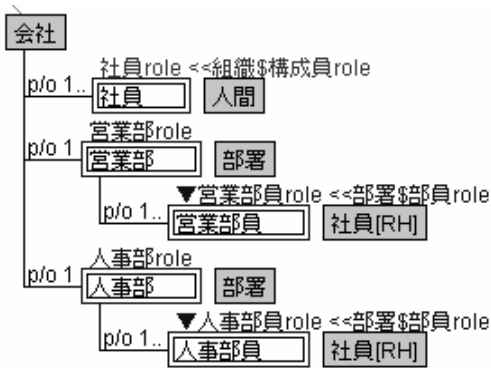


図 4-4 社員ロールを導入した会社のクラス定義

山田さんの B 会社における営業部員から人事部員への異動について、図 4-4 で示したクラス定義に基づいたインスタンスモデルの振る舞いを示す。まず、山田さんが B 会社の営業部員であるとき、山田さんは B 会社での社員ロールのインスタンス（社員 Ri' ）を担っており、このとき具体化されるロールホルダー（社員 RHi ）が営業部をコンテキストとする営業部員ロールのインスタンス（営業部員 Ri' ）を担うことにより、山田さん（社員 RHi ）は営業部員（ロールホルダー）となる。次に、山田さんが営業部員から人事部員に異動したときを考えると、山田さん（社員 RHi ）は営業部員 Ri' を担うことを止め、人事部をコンテキストとする人事部員ロールのインスタンス（人事部員 Ri' ）を担うことにより人事部員（ロールホルダー）となる。このとき、山田さんが社員 Ri' は担った状態は変わらない。すなわち、山田さんが B 会社における社員としての identity を保ったまま、営業部の営業部員を止めて、人事部の人事部員へと異動したことが適切に表されている。このように、会社における異動の問題が解決されることがわかる。

4.2.3. 異なるコンテキストで定義されたロー

ル概念に共通した構成ロールの導入

以上の例で述べた「会社における異動問題」を一般化すると、異なるコンテキスト（ $C1, C2, \dots$ ）で定義されたロール概念が2つ以上（ $R1, R2, R3, \dots$ ）存在し、これらのうち1つのロール概念（例えば $R1$ ）のプレイヤーがそのロール概念のインスタンス（ $Ri1'$ ）を担うことを止めた後、 $C1, C2, \dots$ に共通するコンテキスト C_{whole} に参加している状態を保持したまま別のロール概念のインスタンス（ $Ri2', Ri3', \dots$ ）を担うことを取り扱う際に生じる問題と言える。この問題を解決するには、プレイヤーが $C1, C2, \dots$ を包含するコンテキスト C_{whole} に参加していることを表す構成ロールを定義し、そのロールホルダーを $R1, R2, R3, \dots$ のクラス制約とすればよい。

4.3. コンテキストに依存した構成ロールの問題

4.3.1. 会社における部署内昇進問題

例として、会社の営業部をコンテキストとして定義された営業部長ロールと営業平社員ロール（図 4-5）について考える。



図 4-5 営業部長ロールを追加した会社のクラス定義

図 4-5 では、営業部は部署をクラス制約としたロールホルダーであり、部署をコンテキストとして定義された部員役職ロールと、営業部をコンテキストとして定義された営業部長ロールおよび営業平社員ロールには、「営業部長ロール *is-a* 部員役職ロール」および「営業平社員ロール *is-a* 部員役職ロール」の関係がある。これらのクラス制約は 4.2.2 の例と同様に社員としている。

ここで、図 4-5 のクラス定義に基づいたインスタンスモデルにおいて、人間の山田さんが B 会社の営業部において営業平社員から昇進して営業部長になったことを表してみる。これは、人間のインスタンスである山田さんが社員ロール（社員 Ri' ）担って社員ロールホルダー（社員 RHi ）となり、社員 RHi が営業平社員ロールのインスタンス（営業平社員 Ri' ）を担っていた状態から、営業平社員 Ri' を担うことを止め、営業部長ロール（営業部長 Ri' ）を担ったという変化で表される。このとき、現実世界では、山田さんは営業平社員のと

きの B 会社における社員の状態と、営業部における営業部員の状態を保持したまま営業部長になっていると考えられる。しかし上述の図 4-5 のクラス定義に基づくインスタンスモデルにおいては、4.1(1)で述べた大学における昇進問題と同じ理由から、営業平社員 Ri' と営業部長 Ri' の identity が異なり、山田さんが担っていた営業部員としての identity が保たれることが正しく表せていない。なお、山田さんが担っている社員としての identity が保たれていることは正しく表せている。

4.3.2. 会社における部署内昇進問題の解決

4.3.1 で述べた会社における部署内昇進問題は、4.1.2 で述べた大学での昇進における問題と同様に、営業部員であることを表す構成ロールとしての営業部員ロールと、各営業部員が営業部において果たす役割(役職)を表す役割ロールに相当する営業部長・営業平社員ロールを別々に定義することで解決できる。

また人事部における人事部員ロールなど、他の部署にも構成ロールを定義することで同様の昇進問題が解決される。これと 4.2.1 で導入した社員ロールを組み合わせることで、部署異動、部署内昇進および昇進を伴う部署異動など会社内でのロール概念のインスタンスの変化が適切に表すことができる(図 4-6)。

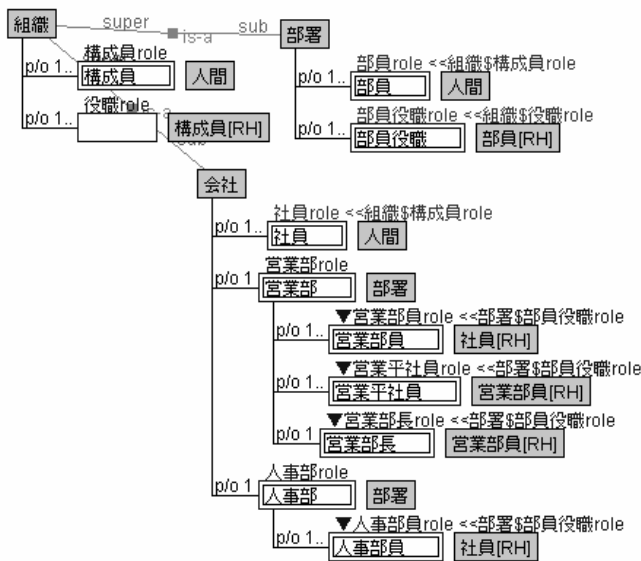


図 4-6 営業部員ロール導入した会社のクラス定義

山田さんの B 会社における営業平社員から営業部長への昇進について、図 4-6 で示したクラス定義に基づいたインスタンスモデルの振る舞いを示す。まず、山田さんが B 会社の営業平社員であるとき、人間のインスタンスである山田さんが社員ロールのインスタンス(社員 Ri') 担い、そのロールホルダー(社員 RHi) が営業部員ロールのインスタンス(営業部員 Ri') を担うことにより山田さんは営業部員ロールホルダー(営業部員 RHi) となる。この営業部員 RHi が営業平社員ロ

ールのインスタンス(営業平社員 Ri') を担うことにより、山田さん(営業部員 RHi) は営業平社員ロールホルダー(営業社員 RHi) となる。

そして、昇進で営業部長になることは、山田さん(営業部員 RHi) が営業平社員 Ri' を担うことを止め、営業部長ロール(営業部長 Ri') を担い、営業部長ロールホルダー(営業部長 RHi) となることで表される。このとき、営業平社員 Ri' と営業部長 Ri' のプレイヤーは、ともにロールホルダー営業部員 RHi である。すなわち、山田さんが B 会社での営業部員としての identity を保ったまま、営業部の営業平社員から営業部長へと昇進したことが適切に表されている。このように、営業部における昇進の問題が解決されることがわかる。

4.3.3. コンテキストに依存した構成ロールの導入

以上の例で述べたように、あるプレイヤーが担うロール概念が変化する際に、そのプレイヤーが特定のコンテキストに参加している状態を保持することを扱うには、コンテキスト毎に構成ロールを定義すればよいと分かる。これにより、インスタンスモデルにおいて、プレイヤーが参加しているコンテキストの変化や、それに伴い担うロール概念のインスタンスの変化がオントロジーに基づいて適切に管理することができる。

5. 今後の課題

本論文で議論したロール概念のインスタンスの生成・消滅に関する問題は、まだより深い考察が必要と思われる。例えば、ロール概念のインスタンスがプレイヤーのない状態で (Ri') で存在できるか否かを決める要因の一つは、ロール概念のインスタンスの数が特定されているか不特定であるかによると思われる。しかし、その他にも要因がないか検討する余地があると考えている。また、不特定多数のロール概念でも、客ロールのように、あらかじめプレイヤーに担われることを想定して Ri' で存在できるものもある。その想定により identity の与えられ方や継承のされ方が変化してくると考えられる。

また、ロール概念を構成ロールと役割ロールの 2 つに分けて定義するときに、どのコンテキストで構成ロールを定義するか、またその際にどこまで構成ロールの特殊化を行うか、といったオントロジー構築の指針については議論の余地が残されている。この点については、構成ロールの定義の詳細度に応じて取り扱う問題の範囲がどのように変わるのかと合わせて検討する必要がある。さらに、このような構成ロールを計算機上で実装する方法に関して、計算機で取り扱う ID と構成ロールが持つ identity の理論的対応関係など別途検討が必要である。

6. まとめ

本論文では、プレイヤーとロール概念に関する問題として、プレイヤーの存在に依存したロール概念のインスタンスの生成・消滅問題、プレイヤーの存在に依存したコンテキストの生成・消滅に伴うロール概念のインスタンスの生成・消滅問題について考察した。その結果、プレイヤーがロール概念のインスタンスを担う/担うことを止めることが、ロール概念のインスタンスの生成・消滅や再利用可能性に深い関わりがあることを明らかにした。

また、プレイヤーがない状態 (R_i) で存在できるロール概念のインスタンスが複数存在するコンテキストにおいて、あるプレイヤーが担うロール概念の変化を適切に扱うために、ロール概念を構成ロールと役割ロールの2つに分けて定義する必要があることを示した。今後はこれらの考察を深めていくと共に、ロール概念のインスタンスを扱うための理論的枠組みの、計算機システム上への実装を進める。

文 献

- [1] 砂川, 古崎, 來村, 溝口: 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, 人工知能学会論文誌, Vol. 20, No.6, pp.461-472, 2005.
- [2] Steimann, F.: On the representation of roles in object-oriented and conceptual modelling, Journal of Data Knowledge Engineering, Vol.35, No.1, pp.83-106, 2000.
- [3] Masolo, C. et al.: Social Roles and their Descriptions, Proc. of the 9th International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2004), pp. 267-277, 2004.
- [4] Loebe, F.: Abstract vs. Social Roles - A Refined Top-Level Ontological Analysis, Papers from the AAAI Fall Symposium Technical Report FS-05-08, pp.93-100, 2005.
- [5] 溝口理一郎, 池田満, 來村徳信: オントロジー工学基礎論, 人工知能学会誌, Vol. 14 (6), pp.1019-1032 (1999)
- [6] 古崎, 來村, 池田, 溝口: 「ロール」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, 人工知能学会誌, vol.17, No.3, pp. 196-208, 2002.
- [7] 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的考察～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)
- [8] **A Model of Roles within an Ontology Development Tool: Hozo, Mizoguchi, R., Sunagawa, E., Kozaki, K., Kitamura, Y., J. of Applied Ontology, Vol.2, No.2, pp.159-179. Sep. 2007**