

参照関係にある is-a 階層間の相似性を利用した オントロジー一貫性向上手法の評価

Evaluation of Method to Improve Ontology Consistency based on Similarities among *is-a* Hierarchies in Referring Relation

増田 壮志*¹
Takeshi Masuda

古崎 晃司*¹
Kouji Kozaki

駒谷 和範*¹
Kazunori Komatani

*¹ 大阪大学産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University. *¹

When an ontology is built keeping consistency of concept definitions, there is similarity among *is-a* hierarchies. We focus on these similar *is-a* hierarchies and develop an ontology refinement system. This system detects un-similar parts in ontology through comparison among *is-a* hierarchies, and then proposes some refinement proposals to the users. They consider applying these proposals and refine their ontologies. In this study, we conduct an experiment to evaluate our refinement system from two points of view. The first point is whether un-similar parts should be refined or not. The second point is validity of each refinement proposal that is proposed to every un-similar part.

1. はじめに

オントロジーは現在、情報分野のみならず、生命科学、医療情報、環境問題等の様々な領域で構築されており、知識システム開発の知識基盤として用いられている。このような需要を背景として、オントロジー構築方法論に関する研究や、構築支援ツールの開発が行われてきた。

オントロジー構築方法論に関する研究では、一般的に、構築目的の明確化、構築対象領域の概念の収集、概念定義の記述、評価・洗練の 4 つの段階の繰り返しによって、構築作業が進められるとされる[Staab 01, Noy 01]。さらに、これらの構築段階毎に様々な構築支援方法が提案されてきた。本研究では、これらの構築段階のうち、オントロジーの洗練段階を対象とした構築支援手法の開発を目的としている。

オントロジーの洗練段階における構築支援は、2 種類に大別される。文法規則に関する形式的なエラーの修正支援と、定義内容の洗練である。前者の形式的なエラー修正支援には、オントロジー構築ツールで概念定義を記述する際の入力支援や文法チェック機能、オントロジーの推論機構を用いた「整合性検証機能」などがある。これらの機能は、既に多くのオントロジー構築システムで実装されている[太田 11, Kopena03]。一方、オントロジーの定義内容の洗練を対象としたアプローチとしては、ドメイン知識俯瞰のためのオントロジー探索ツールの利用[Ohta11]による評価がある。しかしながら、既存の内容洗練支援手法は、対象領域の専門家が把握しやすい形式でのオントロジー提示を目的としたものが多く、属人的な支援に留まっている。

そこで本研究では、洗練対象のオントロジー内で参照関係にある概念階層間の一貫性を向上させるような洗練方法を推定し、ユーザに対して提示する内容洗練支援手法を実装したシステムを開発する。このシステムを用いることでオントロジー構築者は、対象ドメインに依らず自動的な洗練支援を受けることができる。さらに、このシステムに対する評価実験を実施し、開発手法の有用性を評価する。

2. 参照関係にある is-a 階層間の相似性を利用したオントロジー一貫性向上手法

2.1 一貫性の高いオントロジーに現れる性質

オントロジーには、ある概念階層が定義される際に他の概念階層の概念を参照するため、*is-a* 階層が部分的に相似形となっている部分が見られる。この性質は、一貫性のあるオントロジーを構築する際の指針の一つである「ある概念の下位概念において、その分類は同じ性質を参照して行われることが望ましい」[溝口 06]に従った結果であると考えられる。

例えば、図1の *is-a* 階層を考える。“乗り物”はその下位で“陸上乗り物”と“航空機”の2つの概念に特殊化されている。この時、それぞれの概念がクラス制約として参照している概念は、それぞれ“自然空間”、“陸上”、“空”であり、どの概念も移動空間で分類され、概念の性質を表すスロットが特殊化されている。このように、ある概念の特殊化は、その性質を表現しているスロットを特殊化することで表現されている。ここで「クラス制約の特殊化に伴うスロットの階層」を“スロット階層”、「スロットのクラス制約となっている概念の階層」を“被参照概念階層”と以下では呼ぶことにするが、それらの階層は相似形となる。さらにスロット階層はそのスロットを持つ基本概念階層に沿って形成されるため、オントロジー内では、“基本概念階層”、“スロット階層”、“被参照概念階層”の3つの階層が部分的に相似形となっている箇所が多く見られる。

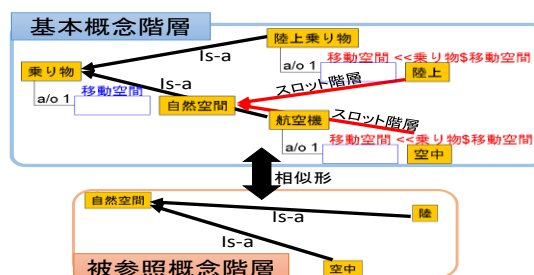


図1 参照関係にある *is-a* 階層の相似性

連絡先: 増田 壮志, 大阪大学産業科学研究所 知識科学研究
分野, 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1,
Tel:06-6879-8416, e-mail:masuda@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

2.2 洗練候補箇所の推定方法

(1) スロット階層を中心とした洗練候補箇所の検出

本研究では、先ほど述べた3つの階層を比較し非相似形となっている箇所を洗練候補とする。対象のオントロジーから洗練候補箇所を検出するために、スロット階層を基準として他の2階層と比較する。スロット階層は、基本概念階層で定義されている概念の性質が明示的に表現されている階層であるからである。スロット階層を1段毎に、すなわち特殊化された1組のスロット毎に、区切ることでオントロジー全体を網羅的に調べることが可能である。スロット階層の区切り方には、次の3つの場合がある。

- (a). 1段のスロット階層毎
- (b). 最上位のスロットのみ
- (c). 最下位スロットのみ

(2) 洗練候補箇所の概念階層の詳細さでの分類

また、検出された洗練候補箇所に提案される洗練方法は、着目したスロット階層に伴う基本概念階層及び被参照概念階層の特殊化の詳細度の違いによって異なる。なぜなら、本研究で開発した手法では、比較対象にある3つのis-a階層の中で特殊化の粒度が粗い階層に対する概念及びスロット追加が提案されるからである。概念及びスロットの追加方向のみの提案とした理由は2点ある。1点目は、既に定義されている概念は、オントロジー構築者が、必要であると考えた概念であるからである。そのため概念を削る方向ではなくできるだけ既存の概念を利用する方向にした。2点目は、元のオントロジーに矛盾を生じさせる可能性があるからである。洗練候補箇所として検出された概念階層においては必要性を感じない概念であっても、他の階層から参照されている可能性がある。その場合、概念を消してしまうと参照しているクラス制約が未定義の状態になり定義が不十分になってしまうからである。以上2点より本手法では、概念追加のみを提案することにした。

図2にスロット階層と比較される基本概念階層及び被参照概念階層の箇所を示す。図2中のスロット階層と書かれた矢印で結ばれているスロットの組が着目しているスロット階層を表している。基本概念A, Bは、それらのスロットを持つ概念であり、基本概念階層を構成している。また、被参照概念A, Bは、スロットのクラス制約として参照されている概念であり、被参照概念階層を構成している。着目するスロット階層は、1段毎に区切られているため、図2の“比較”という矢印が示す箇所に少なくとも一つ以上概念が存在すれば、その箇所はスロット階層よりも詳細に特殊化されている。つまり、比較対象である3つのis-a階層が非相似形である箇所である。そのパターンは以下の3つである。

- (i). 基本概念階層, 被参照概念階層の両方がスロット階層よりも詳細である
 - (ii). 基本概念階層のみがスロット階層よりも詳細である
 - (iii). 被参照概念階層のみがスロット階層よりも詳細である
- 以上をまとめると、(a)~(c)と(i)~(iii)の組み合わせから、洗練候補箇所は計9種類に分類される。

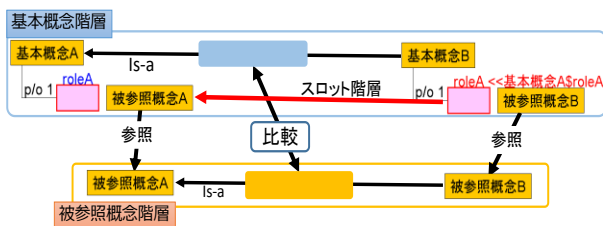


図2 スロット階層と比較される箇所

表1 洗練候補箇所と洗練方法の関係

洗練候補箇所の分類	提案される洗練方法	提案される洗練方法		
		方法1: スロット追加	方法2: 基本概念階層への 概念追加 + スロット追加	方法3: 被参照概念階層への 概念追加 + スロット追加
(i) 基本概念階層 被参照概念階層両方が詳細	○	○	○	
(ii) 基本概念階層のみが詳細	×	×	○	
(iii) 被参照概念階層のみが詳細	×	○	×	

2.3 提案される洗練方法

次に推定された洗練候補箇所に対して提案される洗練方法について述べる。本手法では、参照関係にあるis-a階層を相似形とするような洗練方法の提案を行う。つまり、比較対象にある3階層のうちで特殊化の粒度が粗い階層に対して概念・スロットの追加が提案される。概念階層間の比較は、2.2節で述べたように1段のスロット階層を基準としている。そのため洗練候補箇所として推定されるis-a階層の組の基本概念階層及び被参照概念階層は、少なくともどちらか一方の階層が2段以上特殊化されている。そのため、どの洗練方法でもスロットの追加は提案される。提案される洗練方法は次の3種類である。

- 方法1. スロット階層へのスロット追加
- 方法2. 基本概念階層への概念追加, 及びスロット階層へのスロット追加
- 方法3. 被参照概念階層への概念追加, 及びスロット階層へのスロット追加

先の2.2節の後半で述べた洗練候補箇所と洗練方法の関係を、表1に示す。提案される洗練方法はスロット階層での分類には依存せず、洗練候補箇所の概念階層の詳細さ(i)~(iii)のみに依存する。

2.4 オントロジー内容洗練支援システムの実装

ここまで述べてきたオントロジー一貫性向上手法に基づいてオントロジー内容洗練支援システムを実装した。本システムは、5つのモジュールから構成されている。洗練候補推定モジュール、洗練方法推定モジュール、画像描画モジュール、洗練候補・方法表示インターフェース、洗練適用モジュールの5つである。システム全体の処理の手順は以下のようになる。

- 手順1. 洗練対象のオントロジーをシステムに入力すると、洗練候補推定モジュールによって対象オントロジー内で洗練候補箇所、すなわち非相似形な箇所が検出される
- 手順2. 手順1.の結果を入力として、洗練方法推定モジュールが各洗練候補箇所に対する洗練方法の案を推定する
- 手順3. 画像描画モジュールが、手順1.および2.の結果を入力として、それらの内容をユーザが把握しやすい表現で図示した画像を生成する
- 手順4. 手順1.~3.の処理結果が、洗練候補・方法表示インターフェース上でユーザに提示される。ユーザは、提示された洗練支援適用先候補と方法を見て、適用すべき洗練方法を選択し、必要に応じて追加情報を入力する
- 手順5. 洗練適用モジュールが、手順4でユーザが選択・入力した洗練方法を、対象オントロジーに適用する

3. 開発した洗練支援手法の評価

3.1 実験目的

本研究で開発したオントロジー内容洗練支援手法の有用性を確認するために行った評価実験について述べる。本評価実

験では、提案システムがユーザに提示する内容について、以下の2つの観点から評価した。

まず1点目は、システムが検出した洗練候補箇所が、内容洗練すべき箇所であるかという点である。本手法で洗練候補箇所として検出されるのは、「参照関係にあるis-a階層間の相似性の崩れている箇所」である。これは、オントロジー構築におけるクラス分類の推奨基準を基にして得られた仮説である。従って、オントロジーの文法エラーのように修正が必須とされる箇所ではない。そのため、検出された箇所が実際に修正されるべきであるかの検証が必要となる。

次に2点目は、各洗練候補箇所に対して、システムが提示する洗練方法の妥当性である。本手法では、検出された洗練候補に対して、1箇所あたり少なくとも一つの洗練方法が提案される。そこで、複数提案される方法のうち、適用すべき洗練支援方法がどれであるかを評価する。

これらの評価結果を検討することで、洗練方法の提示方法に優先度をつけるなどの改良が考えられる。

3.2 実験概要

オントロジー構築経験者5名を被験者として評価実験を行った。その内訳は、筆者が所属する研究室の特任助教1名、大学院生2名、学部4回生1名、および研究室外のオントロジー構築経験者1名である。

また、評価の対象となるオントロジーは、全部で6種類であり、構築熟練者が構築した、サッカーオントロジー[溝口06]、サステナビリティサイエンスオントロジー[Kumazawa09]、乗り物オントロジー[溝口06]の3つと、本研究室に配属された直後の学部4回生の学生が初めて構築した、ドラム演奏オントロジー、列車オントロジー、交通オントロジーの3つの計6つとした。

5名の被験者は、これら6つのオントロジーから検出されたすべての洗練候補箇所からランダムに抽出された150箇所について評価した。これらの内訳は、2.3で述べた分類a(1段のスポット階層に着目したもの)が102箇所、分類b, c(最上位又は最下位スポットに着目したもの)が48箇所である。また、被験者1人当たり60箇所割り当てたので、各洗練候補箇所に対して2人の被験者からの評価を得た。

3.3 評価方法

各被験者には、洗練候補箇所に対して提示される全洗練方法を、次に示す3段階と評価外の計4通りの評価を与えるように指示した。

- : 提示された洗練方法の中で最も良いと思われる方法
- △: 提示された洗練方法の中で適用することが妥当であると判断した方法
- ×: 適用すべきではないと判断した方法
- : 評価出来ない: 提示された洗練候補箇所に概念定義の間違いや矛盾が含まれていると判断したとき。

ある洗練候補箇所に提案された洗練方法の内、1つでも“評価出来ない”を被験者が選択した場合は、その洗練支援箇所に対する洗練方法すべてを“評価出来ない”とした。なぜなら、そこに提示された洗練方法に問題があるわけではなく、元々のオントロジーが誤っていると判断された箇所だからである。本評価実験においては、各洗練候補箇所につき2人の被験者が評価を与えるため、同じ洗練候補箇所を評価した被験者のうちの片方のみが「評価出来ない」とすることも考えられる。この場合は、オントロジー自体が誤りを含んでいるのではなく、被験者の解釈の違いによって誤りと判断されたと考え、“×”と同様に扱った。

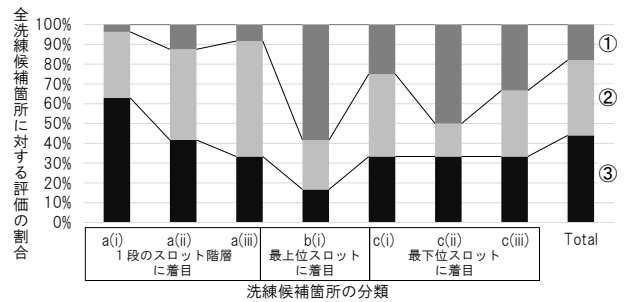


図3 推定された洗練候補箇所の評価結果
① どちらも洗練すべき箇所ではないとした ② 1人だけ洗練すべき箇所とした
③ 2人とも洗練すべき箇所とした

図3 推定された洗練候補箇所の評価結果

3.4 実験結果及び考察

(1) 洗練支援箇所の妥当性に関する実験結果及び考察

図3に、推定された洗練候補箇所の妥当性の評価結果を示す。洗練候補箇所は、各箇所に提案される洗練方法の少なくとも一つの方法が妥当であると評価された場合、洗練候補としての検出が妥当であったとした。洗練候補箇所毎に2人の被験者に評価させるので、洗練候補箇所の妥当性の評価基準は、

- ① どちらも洗練すべき箇所ではないとした
- ② 1人だけ洗練すべき箇所とした
- ③ 2人とも洗練すべき箇所とした

の3段階となる。

まずは、妥当性の評価について全体を見てみると44% (66/150)の洗練候補箇所に対して被験者の両方が洗練を適用すべきであると評価した。さらに、82% (123/150)の洗練候補箇所に対して少なくとも一方の被験者が洗練を適用すべきであると評価した。この結果から本手法で着目した「参照関係にあるis-a階層間の相似性の崩れている箇所」は、その特殊化の粒度の一貫性を向上させるような洗練方法を提案すべき箇所として適切であると考えられる。

次に洗練候補箇所の評価を分類毎に考察する。まずは、分類aについてである。実験対象とした洗練候補箇所の約90% (95/102)に対して少なくとも一方の被験者が洗練すべき箇所であると評価した。このことから、分類aすなわち1段のスポット階層に伴う、is-a階層間の相似性が崩れている箇所は、それらを相似形とするような提案を行うべき箇所として高い正当性があるといえる。

次に分類bについて考察する。少なくとも一方の被験者が妥当であるとしたものまで含めると40% (3/12)に留まっている。この理由は、分類b(i)の場合は、最上位スポットに着目するため基本概念階層、被参照概念階層の抽象度が高く概念追加及びスポット追加が困難だからである。

最後に、分類cについて考察する。少なくとも一方の被験者が妥当であるとしたものまで含めると、c(ii)の割合がc(i), c(iii)に比べて低く50% (6/12)である。その理由は、c(ii)として検出される洗練候補箇所が分類の観点の切り替わり点であるからであると考えられる。c(ii)は、基本概念階層のみに下位概念が存在するため、その基本概念階層は現在着目しているスポット階層とは異なる分類観点で特殊化されている可能性が高いと考えられる。その場合、スポット階層や被参照概念階層をこれ以上特殊化する必要が無いため、c(ii)の妥当性が低かったのだと考えられる。

(2) 洗練方法毎の妥当性に関する実験結果及び考察

洗練候補箇所に対して提示される洗練方法毎の評価結果を図4に示す。評価基準は、以下の4つである。

- ① 2人共適用が妥当な洗練支援方法ではないとした

- ② 1人だけが適用が妥当な洗練支援方法とした
- ③ 2人共適用が妥当な洗練支援方法とした
- ④ 2人共最も良い洗練支援方法とした

このグラフの縦軸は提案される全提案数に対する各評価の割合を示している。その理由は、提示される洗練方法が各洗練支援適用先候補箇所異なるからである。

まず、提案された洗練方法全体について述べる。図4右端のTotalが示すように、少なくとも一方の被験者が適用は妥当であると判断した割合は34%(500/1452)であった。今後提案の精度を向上させる必要があるにせよ、自動的な洗練方法の提案を行うことが出来たという点からは、有用であると考えられる。

次に、分類 a~c 毎に大まかに比較すると、分類 a > 分類 c > 分類 b の順番で、提案された洗練方法の妥当性が高くなっていった。分類 a の妥当性が高い理由は、他の分類に比べて is-a 階層間の比較の際の基準点が多いからである。また、分類 b と c では、分類 c の方が、妥当性が高かった。この理由は、分類 b が、最上位スロットに着目するため基本概念階層、被参照概念階層の抽象度が高く概念及びスロット追加が困難であるのに対し、分類 c は最下位スロットに着目するため概念の抽象度が低く、概念及びスロット追加が比較的容易だからであると考えられる。これより、分類 a に対して優先的に提示することで効率的に一貫性向上を図れるのではないかと考えられる。

しかし、分類 a の中で基本概念階層と被参照概念階層の両方に中間概念が存在する分類 a(i)の評価が低い。その理由は、a(i)に提案される洗練方法の数が、a(ii), a(iii)よりも多いからだと思われる。表1に示すように(i)には、全ての洗練方法が提案される。さらに、スロット追加が提案される数は、基本概念階層の中間概念の数に伴って増加し、スロットによる参照が提案される数は、被参照概念階層の中間概念の数に伴って増える。全洗練方法数は、それらの組み合わせであるため、両方に中間概念が存在している a(i)では、洗練方法の数が比較的大きくなる。分類 c についても同様の傾向が見られる。a(i)及び c(i)は図3の通り洗練候補箇所としての妥当性は高いため、今後 a(i), c(i)に提案された方法を調べ、よりの確な洗練方法の提案手法を考察する必要がある。

3.5 洗練提案の実例

評価実験に於いて被験者2人共から適用が妥当であるとされた洗練方法が提示された洗練候補箇所の例を図5に示す。この場合、基本概念階層のみが2段に特殊化されているので、被参照概念階層への概念追加及びスロット階層へのスロット追加が提案される。具体的には、『“目的”と“バンドとしての演奏の質を高める”の間に新たに概念を加え“練習”で参照させる。』という洗練方法が提案される。追加される新しい概念の内容を考えてみると“バンド練習”での目的ロールのクラス制約が、“バンドとしての演奏の質を高める”となっているので、その上位概念“練習”での目的のクラス制約として“演奏の質を高める”等が考

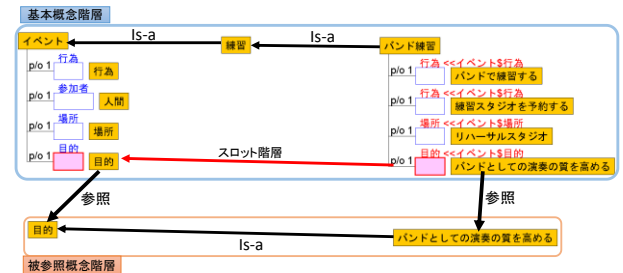


図5 妥当とされた洗練候補箇所例
えられる。それは、被参照概念の中間概念として矛盾なく存在できるので、妥当であると判断された。

4. まとめと今後の展望

本研究では、参照関係にある is-a 階層間の相似性に着目したオントロジー内容洗練支援システムの開発を行い、それに対する評価実験を行った。評価実験から、システムが検出した洗練候補箇所の約80%(123/150)に対して洗練すべき箇所であったという評価を得られた。また、それぞれの箇所に提示される洗練方法については、全体として34%(500/1452)については少なくとも一方の被験者は適用が妥当であると評価したという結果が得られた。これらの結果から、本洗練支援システムの有用性を確認することが出来た。

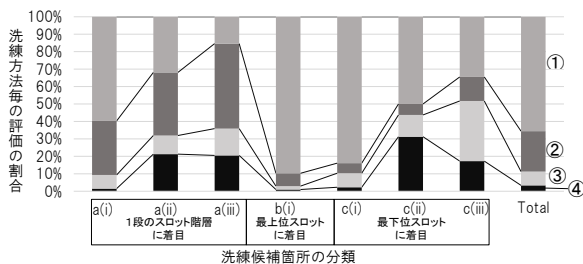
今後、今回の評価結果を基に提示される洗練方法の順番・優先度をつけることで効率の良い一貫性向上手法の開発ができるのではないかと考えている。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(B)25280081の助成による。

参考文献

[Kopena 03] Kopena, J. B., and Regli, W.C. : “DAMLJessKB: A Tool for Reasoning with the Semantic Web”, The Semantic Web ISWC 2003, LNCS 2870, pp.628-643, (2003).
 [Kumazawa 09] Kumazawa, T., Saito, O., Kozaki, K., Matsui, T., and Mizoguchi, R., : Toward Knowledge Structuring of Sustainability Science Based on Ontology Engineering, Sustainability Science, Vol.4, No.1, (2009).
 [太田 11] 太田衛, 古崎晃司, 溝口理一郎: 実践的なオントロジー開発に向けたオントロジー構築・利用環境「法造」の拡張—実践編一, 人工知能学会論文誌, Vol.26 No.2 pp.403-418, (2011).
 [Ohta 11] Ohta, M., Kozaki, K., and Mizoguchi, R., : A Quality Assurance Framework for Ontology Construction and Refinement, Proc. of 7th Atlantic Web Intelligence Conference (AWIC2011), pp.207-216, Fribourg, Switzerland, January 26-28, (2011)
 [溝口 06] 溝口理一郎: オントロジー構築入門, オーム社, (2006)
 [Noy 01] Noy, N. F., and McGuinness, D. L., : Ontology development 101: A Guide to Creating Your First Ontology, Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI, (2001)
 [Staab 01] Staab, S., Schnurr, H. P., Studer, R., and Sure, Y. : Knowledge processes and ontologies, IEEE Intelligent Systems, Vol.16, No.1, pp.26-34, (2001)



① 2人共適用が妥当な洗練支援方法ではないとした ② 1人だけが適用が妥当な洗練支援方法とした
 ③ 2人共適用が妥当な洗練支援方法とした ④ 2人共最も良い洗練支援方法とした

図4 提案された洗練方法の評価結果