

セマンティックウェブ KM

— セマンティックウェブのための知識機械 —

Semantic Web KM: A Knowledge Machine for Semantic Webs

小出 誠二^{1,2} 武田 英明^{1,3*}
Seiji Koide^{1,2} Hideaki Takeda^{1,3}

¹ 国立情報学研究所

¹ National Institute of Informatics

² オントロノミー合同会社

² Ontolonomy, LLC

³ 総研大複合科学研究科

³ SOKENDAI Univ. (The Graduate University for Advanced Studies)

Abstract: KM or Knowledge Machine is the last system of KL-ONE Family by Clark and Porter, in which the notation of property restriction of class for instances (called structural links) is distinguished from links to classes and instances (called assertional links), and it is expressed in a higher level expression with the sentence of “every <class> has” and skolemization of slot-filler such as “<role> ((a <filler-class>))”, so that the representation is easy to read and describe classes. In this paper, we propose the KM-style representation for Semantic Webs instead of RDF/XML and Turtle.

1 はじめに

セマンティックウェブ用オントロジー記述言語 OWL や、その推論機構である記述言語 (Description Logic) の仕様は、1977 年来の知識表現言語 KL-ONE [1, 2] の影響を強く受けている。Quilian の意味ネットワーク [3] や Minsky のフレーム [4] ではクラスとインスタンスの区別は曖昧であったが、やがてその区別が意識されるようになり、意味ネットワークにおける曖昧さ排除を目的に KL-ONE の研究が行われた。今日、オントロジーを OWL で記述しようとしたとき、クラス定義においてインスタンスのプロパティ制約を記述すべきところで、間違えてクラスに対するプロパティ宣言を書いてしまったり、owl:Restriction のブランクノードとして煩雑な記述が要求されたりするのも、その起源は KL-ONE にある。RDF/XML から Turtle になって記述の煩雑さが多少は改善されたが、その内容に本質的な違いはない。

KM (Knowledge Machine) [5, 6] は、1999 年に現れた、いわゆる KL-ONE Family システム [7] の一つで

あるが、KL-ONE でいう assertional link と structural link の違いを論理的に抽象化して、クラスそのものへの通常のリンク付けとクラスのインスタンスへのプロパティ制約を、次のように区別して読みやすくした。すなわち、クラス Person が Mammal のサブクラスであり、ラベルとして “person” を持つことは、RDFS の語彙を使って KM 流に書くと次のようになる。

```
(Person has
  (rdfs:subClassOf (Mammal))
  (rdfs:label ("person")))
```

これらはクラスに対する assertional link である。一方、クラス Person のインスタンスが sex と age を持つことは次のように書く。

```
(every Person has
  (hasSex ((a Sex)))
  (hasAge ((a Age))))
```

ここで、hasSex と hasAge はプロパティであり、Person, Sex, および Age はクラスである。表現 (a Sex) や (a Age) は論理的には Skolemization に相当し、every と対になって、Person のインスタンスに対するプロパ

*連絡先： 国立情報学研究所
東京都千代田区一ツ橋 2-1-2
E-mail: takeda@nii.ac.jp

ティ制約を分かりやすく表現している。この書き方ならば、読者がインスタンスへのプロパティ制約と通常のクラスへのリンクを取り違えることもない。

本稿では、従来の RDF/XML や Turtle 表記に加え、このような KM 流のセマンティックウェブ構文を提唱し、その仕様を策定しようとするものである。なお、意味論的には従来のセマンティックウェブを逸脱するものではないことを付記しておく。

2 知識表現システムの歴史

本節では、Handbook of Knowledge Representation の第 3 章 [8] に倣って、意味ネットワークからセマンティックウェブまでの知識表現システムの歴史を Phase0 から Phase4 までの五段階に分けて述べる。

Phase0 (1965-1980) Quillian による意味ネットワーク [3] と Minsky によるフレームが知識表現として登場した。Woods は意味ネットワークのリンクが持つ意味について一般的な問題提起を行った [9]。

Phase1 (1981-1990) この時期に KL-ONE, KRIP-TON, LOOM, CLASSIC など多くの知識表現システムが開発された。記述論理はまだ存在せず、これらのシステムでは包摂関係の演算には、いわゆる *structural subsumption algorithm* が用いられた。

Blackman は彼が structured inheritance network と呼ぶ構造に注意を向けた [2]。

Phase2 (1991-1995) 前述の *structural subsumption algorithm* では、単純な知識表現の場合にしか完全でなく、今日の OWL のような複雑な知識表現にはすべての包摂関係を正しく導くことができない。論理的な完全性を求めてこの時期に記述論理の研究が始まり、タブロー法が開発された。その背後には一階述語論理の研究の進展があり、その実用上の限界や一階述語論理のサブセットである記述論理の果たすべき役割もはっきりしてきたということがあるだろう。

Woods は KL-ONE Family について、次のような議論をした [7]。次のようなノード・リンク・ノードのネットワークがあったとして、

```
<telephone> <color> <black> .
```

人によってこれを「電話が黒い色をしている」という意味に解釈する人もいれば、いわゆる「黒電話」と解釈する人もいる。Woods は前者を宣言リンク (assertional link) と呼び、後者を構造的リンク (structural link) と呼んで、両者を明確に区別することが重要と主張した。

Phase3 (1996-2000) セマンティックウェブ前夜と言ってよいこの時期に、記述論理研究が大きく進み、一階述語論理のサブセットとして知識表現と決定可能性問題が研究者に理解されるようになった。Horrocks によって記述論理システム FaCT が開発されたがこれはまだセマンティックウェブではなかった [10]。

Phase4 (2001-現在) 2001 年のスタンフォード大学における Semantic Web Working Symposium (SWWS)¹ を経て、2002 年に第 1 回の ISWC² がイタリアのサルジニア島で開かれる。当時の研究者の関心は、RDF および OWL の仕様であった。結局米国の Hayes らによる RDF 意味論と欧州の記述論理研究者による OWL 意味論が 2004 年に W3C 勧告となる。上位クラス・下位クラスの関係は `rdfs:subClassOf` で明示的に指定できるが、そのような機能は KL-ONE にはなかった。そもそも structural link から概念の包摂関係を求めるのが、KL-ONE ひいては記述論理の目的だったからである。

RDF 意味論で Hayes は明確に表示意味論の立場に立って議論を展開したが、記述論理や OWL ではその立場はそれほど明確ではない。また、セマンティックウェブにおける非唯一名仮説や開世界仮説も OWL 意味論ではあまり意識されていない。これも記述論理のそれまでの歴史のためであろう。

3 セマンティックウェブ KM の特殊構文

本節よりセマンティックウェブ用 KM を SWKM と呼び、その特殊構文を議論する。ただし、これ以後最初の OWL を OWL1 と称し、OWL2.0 とは区別する。SWKM は意味論的には OWL1 とその推論システムである SWCLOS [11, 12, 13, 14, 15] の発展であるべきと考える。OWL2.0 は記述論理に則っており、OWL-Full の機能はないが、SWCLOS は RDF に則り、OWL-Full も考慮していることを注意しておく。以下では OWL2 Web Ontology Language Primer (Second Edition)³ に上げられた表記例の SWKM 版を通じて、知識表現としての優劣を議論する。以下の表において上段が Turtle 表記⁴、中段が Manchester 表記⁵、下段が SWKM 表記である。

¹https://files.ifi.uzh.ch/ddis/iswc_archive/iswc/ih/SWWS-2001/

²<http://iswc2002.semanticweb.org/>

³<http://www.w3.org/TR/owl2-primer/>

⁴<http://www.w3.org/TR/turtle/>

⁵<http://www.w3.org/TR/owl2-manchester-syntax/>

表 1: isa は rdf:type のシンタックスシュガー

:Mary rdf:type :Person .
Individual: Mary Types: Person
(Mary isa (Person))

Manchester 表記では明記されていないが、パーズを考えると改行を入れざるをえないだろう。

表 2: ako は owl:subClassOf のシンタックスシュガー

:Woman rdfs:subClassOf :Person .
Class: Woman SubClassOf: Person
(Woman ako (Person))

“ako” とは “a kind of” の意味である。

表 3: owl:intersectionOf の意味

:Grandfather rdfs:subClassOf [rdf:type owl:Class ; owl:intersectionOf (:Man :Parent)] .
Class: Grandfather SubClassOf: Man and Parent
(Grandfather ako (intersect (Man Parent)))

この表記は OWL2 では間違いではない。もともと OWL1 では owl:intersectionOf は完全関係すなわち等価な関係（定義）を表すものであったが、OWL2 ではそうではないようである。だから、上記は Man かつ Parent であるものがないてもそれは Grandfather であるとは言っていない。Grandfather であればそれは Man かつ Parent であることを言っている。

表 4: クラスの等価関係（定義）は as で表す。

:Person owl:equivalentClass :Human .
Class: Person EquivalentTo: Human
(Person as (Human))

表 5: owl:intersectionOf

:Mother owl:equivalentClass [rdf:type owl:Class; owl:intersectionOf (:Woman :Parent)] .
Class: Mother EquivalentTo: Woman and Parent
(Mother as (intersect (Woman Parent)))

OWL1 では owl:intersectionOf, owl:unionOf, owl:oneOf に owl:equivalentClass は必要ない。

表 6: owl:unionOf

:Parent owl:equivalentClass [rdf:type owl:Class; owl:unionOf (:Mother :Father)] .
Class: Parent EquivalentTo: Mother or Father
(Parent as (union (Mother Father)))

表 7: owl:oneOf

:MyBirthdayGuests owl:equivalentClass [rdf:type owl:Class ; owl:oneOf (:Bill :John :Mary)] .
Class: MyBirthdayGuests EquivalentTo: Bill, John, Mary
(MyBirthdayGuests as (oneOf (Bill John Mary)))

表 8: allFrom は owl:allValuesFrom

:HappyPerson rdf:type owl:Class; owl:equivalentClass [rdf:type owl:Restriction; owl:onProperty :hasChild; owl:allValuesFrom :HappyPerson] .
Class: HappyPerson EquivalentTo: hasChild only HappyPerson
(every HappyPerson as (hasChild ((allFrom HappyPerson))))

表 8 における記述の意味は、OWL1 では HappyPerson インスタンスにおいて owl:allValuesFrom の値は持たなくてもよいが、持つとしたら HappyPerson でなければならないという意味である。OWL2 でもそうなのだろうか。

表 9: someFrom は owl:someValuesFrom

:Parent owl:equivalentClass [rdf:type owl:Restriction; owl:onProperty :hasChild; owl:someValuesFrom :Person] .
Class: Parent EquivalentTo: hasChild some Person
(every Parent as (hasChild ((someFrom Person))))

表 9 における記述の意味は、OWL1 の意味論ではイン

スタンスにおいて owl:someValuedFrom の値は Person であるが、異なる値であってもよい（開世界仮説）ということである。OWL2 の意味論でもそうなのだろうか。タブロー法ではもしインスタンスにその該当のスロットフィルアーが見つからなければ自動的に生成される。

表 10: value は owl:hasValue

<pre> :JohnsChildren owl:equivalentClass [rdf:type owl:Restriction; owl:onProperty :hasParent; owl:hasValue :John]. </pre>
<pre> Class: JohnsChildren EquivalentTo: hasParent value John </pre>
<pre> (every JohnsChildren as (hasParent ((value John)))) </pre>

表 10 では、インスタンスレベルで明示的に言われなくても、JohnsChildren の hasParent の値はデフォルトとして John であることを言っている。

表 11: has で assertional link を指示

<pre> :John :hasWife :Mary . </pre>
<pre> Individual: John Facts: hasWife Mary </pre>
<pre> (John has (hasWife (Mary))) </pre>

表 12: disjoint は owl:disjointWith

<pre> [] rdf:type owl:AllDisjointClasses; owl:members (:Woman :Man) </pre>
<pre> DisjointClasses: Woman, Man </pre>
<pre> (Woman disjoint (Man)) </pre>

表 13: クラスにおける not は owl:complementOf

<pre> :ChildlessPerson owl:equivalentClass [rdf:type owl:Class; owl:intersectionOf (:Person [rdf:type owl:Class; owl:complementOf :Parent])]. </pre>
<pre> Class: ChildlessPerson EquivalentTo: Person and not Parent </pre>
<pre> (ChildlessPerson as (intersect (Person (not Parent)))) </pre>

Negative Property の機能は OWL2 で新しく導入されたものである。

表 14: at-most は owl:maxQualifiedCardinality

<pre> :John rdf:type [rdf:type owl:Restriction; owl:maxQualifiedCardinality "4"^^xsd:nonNegativeInteger; owl:onProperty :hasChild; owl:onClass :Parent]. </pre>
<pre> Individual: John Types: hasChild max 4 Parent </pre>
<pre> (John isa (has ((at-most 4 on hasChild of Parent)))) </pre>

表 15: at-least は owl:minQualifiedCardinality

<pre> :John rdf:type [rdf:type owl:Restriction; owl:minQualifiedCardinality "2"^^xsd:nonNegativeInteger; owl:onProperty :hasChild; owl:onClass :Parent]. </pre>
<pre> Individual: John Types: hasChild min 2 Parent </pre>
<pre> (John isa (has ((at-least 2 on hasChild of Parent)))) </pre>

表 16: exact は owl:qualifiedCardinality

<pre> :John rdf:type [rdf:type owl:Restriction; owl:qualifiedCardinality "3"^^xsd:nonNegativeInteger; owl:onProperty :hasChild; owl:onClass :Parent]. </pre>
<pre> Individual: John Types: hasChild exactly 3 Parent </pre>
<pre> (John isa (has ((exact 3 on hasChild of Parent)))) </pre>

表 17: Negative Object Properties

<pre> [] rdf:type owl:NegativePropertyAssertion ; owl:sourceIndividual :Bill ; owl:assertionProperty :hasWife ; owl:targetIndividual :Mary . </pre>
<pre> Individual: Bill Facts: not hasWife Mary </pre>
<pre> (Bill has (not hasWife (Mary))) </pre>

4 おわりに

本稿では、記述誤りが起きにくく、読解が容易な OWL 知識表現として、セマンティックウェブ KM (Knowledge

表 18: owl:subPropertyOf

:hasWife rdfs:subPropertyOf :hasSpouse .
ObjectProperty: hasWife
SubPropertyOf: hasSpouse
(hasWife subProp (hasSpouse))

表 19: owl:differentFrom

:John owl:differentFrom :Bill .
Individual: John
DifferentFrom: Bill
(John differentFrom (Bill))

表 20: owl:sameAs

:James owl:sameAs :Jim .
Individual: James
SameAs: Jim
(James sameAs (Jim))

Machine) を提案した。現在, SWCLOS の発展系として, RDF/XML や Turtle に加えて SWKM 表記も受け付ける推論システムを開発中である。ある程度まとまり次第, SWCLOS と同様に GitHub などにて公開していく。

参考文献

- [1] Brachman, Ronald J.: What's in a concept: structural foundations for semantic networks, *Int. J. Man-Machine Studies*, Vol. 9, pp.127–152 (1977)
- [2] Brachman, Ronald J., James G. Schmolze: An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System, *Cognitive Science*, Vol. 9, pp. 171–216 (1985)
- [3] Quillian, M. Ross: Word Concepts: A Theory and Simulation of Some Basic Semantics Capabilities, *Behavioral Science*, Vol. 12, pp.410–430 (1967), reprinted in *Readings in Knowledge Representation* (eds.) R. J. Brackman, H. J. Levesque, Morgan Kaufmann (1985)
- [4] Minsky, Marvin: A Framework for Representing Knowledge, *Mind Design*, J. Haugeland (ed.), pp.95–128, MIT Press (1981) Originally published as AI-Memo 306 (1974), <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/6089/AIM-306.pdf?sequence=2>
- [5] Clark, Peter, Bruce Porter: KM - The Knowledge Machine: Users Manual, Technical Report, AI Lab, Univ. Texas at Austin (1999)
- [6] Clark, Peter, Bruce Porter: KM - The Knowledge Machine 2.0: Users Manual, <http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/RKF/km.html>
- [7] Woods, William A., James G. Schmolze: The KL-ONE Family, *Computers Math. Applic.*, Vol. 23, No. 2–5, pp. 133–177 (1992)
- [8] Baader, Franz, Ian Horrocks, Ulrike Sattler: Description Logics, *Handbook of Knowledge Representation*, F. van Harmelen, V. Lifschitz, B. Porter (eds.), Chap.3, pp.135–179 (2008)
- [9] Woods, William A.: What's in a Link: Foundations for Semantic Networks, *Representation and Understanding: Studies in Cognitive Science*, D. G. Bobrow, A. M. Collins (eds.), pp.35–82, Academic Press (1975)
- [10] Horrocks, Ian: The FaCT System, *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Analytic Tableaux and Related Methods (TABLEAUX'98)*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1397, pp.307–312, Springer (1998)
- [11] Koide, Seiji, Hideaki Takeda: OWL-Full Reasoning from an Object Oriented Perspective, *Proc. Asian Semantic Web Conf. 2006 (ASWC 2006)*, LNCS(4185) pp.263–277, Springer (2006)
- [12] 小出誠二, 武田英明: RDF 意味論と OWL 意味論の統合, 人工知能学会全国大会論文集 (CD – ROM), (2010)
- [13] 小出誠二, 武田英明: OWL 意味論に基づく CLOS オブジェクト指向プログラミングコンピュータソフトウェア, Vol.28, No.2, pp.236–260, (2011)
- [14] 小出誠二, 武田英明: 表示意味論にもとづく RDF/OWL 意味論の形式化, 第 29 回セマンティックウェブとオントロジー研究会 (2013)
- [15] Koide, Seiji, Hideaki Takeda Inquiry into RDF and OWL Semantics Semantic Technology, 10055 LNCS, pp.15–31, Springer (2016)