

まえがき

セマンティック Web , もしくはデータ Web は , Web の発明者バーナーズ・リーによって 1999 年頃に提唱された将来の Web 構想である . その実現のために , WWW コンソーシアム (W3C) において RDF (Resource Description Framework) や Web オントロジー言語 (OWL: Web Ontology Language) の基本技術が標準化された . それらの基本技術を用いたオントロジーやデータベースの構築は , セマンティック Web に携わる人だけでなく構造的データの作成者やデータベース関係者の間で普及しはじめている . OWL が Web 上でオントロジーの記述方法と語彙関係の導出を実装するための言語仕様と推論システムを提供する一方で , 記述論理 (DL: Description Logic) は理論的に OWL の基盤をサポートする . 言い換えると , OWL の構文 , 意味論と推論はそれらを記述論理に対応付けることで形式化や厳密な説明を与えている . 従って , セマンティック Web に限定しなくても , 広く RDF や OWL を用いるユーザーが記述論理を理解すれば有用な知識になるだろう .

本書は「記述論理」という言葉がタイトルに含まれているので , 内容の中心が論理学であるかのようなイメージを与えるが , 実際には「概念設計 , オントロジー構築やデータ構造化のための知識表現と推論」の本と言った方が正しいかもしれない . なぜならば , 記述論理は数学の形式化を目指した数理論理学の一分野というより , むしろ人工知能や知識工学における概念的な知識表現の研究から始まった分野であり , 現在もその分野に属している . 記述論理は知識表現 , 推論とコンピューテーションの 3 つが思想の土台にあって , 計算機上で安全かつ効率的に知識表現と推論を実現するための論理的な保証を与えている . この思想は , セマンティック Web において (計算機が意味を処理できる) Machine-Readable な Web を実現しようとする考えと相性がいい .

このような背景から , 「論理学」に興味がなくても OWL のユーザー , 知識表

現と推論に興味がある人、オントロジーを構築および研究している人が、理論的基盤の必要性に気づき記述論理を基本から勉強しようとしている。実際、OWLを使っていたりセマンティック Web を研究したりされている人でも、命題論理や一階述語論理なら一度は学んだが、記述論理の詳しい部分はあまり把握していないケース、もしくは記述論理の英語論文を読んでサーベイする時間がないケースも多いと思う。

また、OWLの丁寧な解説書は出版されているが、日本語では記述論理の解説書はこれまで出版されていなかった。それ故に、今さら人に聞けないような記述論理の基本的かつ包括的内容を丁寧に説明するよう求められている。執筆にあたっては、OWLユーザーやオントロジー設計者・研究者のような必ずしも論理学の専門家でない人が理解できるように、直観的な説明を心がけた。一方で、記述論理を学ぶ上で厳密に議論が必要な重要部分に関しては、通常の論理学のように構文、意味論、推論システムや計算量を詳しく述べている。論理学に精通している人には物足りないかもしれないが、さらなる理論的追求には記述論理のハンドブック“The Description Logic Handbook(2版), Cambridge University Press, 2007”を参照されたい。但し、本書の5章のように記述論理とOWLとの関係を詳しく述べた解説は、原著論文でも詳しい説明はあまり見かけない内容であり、OWLがどのように記述論理で理論付けられているか理解するのに役立つだろう。

以上で述べたように、読者のタイプによって本書への関心が異なると考えられる。従って、「記述論理」「OWL」「オントロジー」と「知識表現と推論」に関心がある人もしくはその専門家へ読者タイプを分けて、本書の簡単なガイダンスを表1に示す。

記述論理に関心がある人は、まず1章「導入」を読んで記述論理の概要を把握してもらい、2章「記述論理の言語ファミリー」の2.1 - 2.3節から3章「記述論理の推論」の3.1 - 3.5節を読んで頂きたい。これにより、記述論理の構文、意味論と推論に関する基本を習得できる。さらに本格的に理解するには、2章と3章の残り(2.4節と3.6 - 3.8節)を読んで、4章「表現力と計算量」で記述論理の表現力と計算量に関して目を通すとよいと思う。その後、興味があれば6章「ファジィ記述論理」で発展的な内容に進んでもらいたい。

OWLのユーザーでオントロジー記述や推論の原理を知りたい人は、1章「導

表 1: 本書を読むための読者タイプ別ガイドンス

読者タイプ	概略を読む場合	本格的に読み進む場合
記述論理	1 章 ⇒ 2.1 - 2.3 ⇒ 3.1 - 3.5	2.4 ⇒ 3.6 - 3.8 ⇒ 4 章 ⇒ 6.1 - 6.4
OWL	1.3 ⇒ 5 章 ⇒ 3.7	2 章 ⇒ 3.1 - 3.6, 3.8 ⇒ 6.5
オントロジー	1.2 ⇒ 2 章 ⇒ 3 章	1.3 ⇒ 5 章 ⇒ 6 章
知識表現と推論	1.1 ⇒ 2 章 ⇒ 3 章	4 章 ⇒ 6.1 - 6.4

入」の 1.3 節を読んだ後に、5 章「OWL と記述論理」を読めば OWL 関連の部分を中心に参照できる。その後、OWL の推論に関心があれば 3.7 節でいくらかの実装システムを知ることができる。本格的に OWL の言語としての能力を把握したいならば、2 章「記述論理の言語ファミリー」、3 章「記述論理の推論」の 3.1 - 3.6, 3.8 節へ戻って OWL との関係性から記述論理について理解してもらいたい。加えて 6.5 節では、ファジィ OWL の簡単な説明を参照されたい。

オントロジーの設計者・研究者は、1 章「導入」の 1.2 節「オントロジーと記述論理」から 2 章「記述論理の言語ファミリー」、3 章「記述論理の推論」へ読み進んでもらい、オントロジー言語と捉えて記述論理の構文、意味論と推論に関する基本を理解してもらいたい。また、Web オントロジーにも興味がある場合は 1.3 節「Web オントロジーの基礎」と 5 章「OWL と記述論理」を参照していただき、オントロジー内の曖昧な語彙に興味がある場合は 6 章「ファジィ記述論理」を参照して頂きたい。

人工知能の知識表現と推論に興味がある人は、1 章「導入」の 1.1 節「記述論理の背景と概要」から始めて 2 章「記述論理の言語ファミリー」、3 章「記述論理の推論」を読んで記述論理の構文、意味論と推論に関して基本を理解してもらいたい。加えて、計算機上で知識表現と推論を実現する観点から、4 章で概念に特化した表現力と計算量について参照できる。その後、関心があれば 6 章「ファジィ記述論理」の 6.1 - 6.4 節で曖昧性を扱う知識表現と推論のアプローチに進んでもらいたい。

最後に、本書が記述論理への理解を助けて、その結果 OWL のオントロジー設計や Web 技術の開発や発展に役立てば幸いである。本書を出版するにあたり、執筆の機会をくださった人工知能学会出版委員会に感謝致します。特に、東京大学の堀浩一先生と同大学の石塚満先生からは企画段階でご意見を頂戴し、本書をご担当された国立情報学研究所の武田英明先生からは草稿に対して貴重なコメントを頂きました。さらに、大阪大学の溝口理一郎先生、国立情報学研究所の佐藤健先生には本書の元ネタとなった人工知能学会誌の解説を書く機会を頂きました。また、オーム社出版部の皆様からは執筆から出版までのサポートを受けて助けられました。この場を借りて感謝の意を表します。

目次

第 1 章 導入	1
1.1 記述論理の背景と概要	1
1.1.1 知識表現の研究	2
1.1.2 記述論理の枠組み	7
1.2 オントロジーと記述論理	13
1.3 Web オントロジーの基礎	16
第 2 章 記述論理の言語ファミリー	19
2.1 概念表現のための論理	19
2.2 \mathcal{ALC} 言語	21
2.2.1 構文と意味論	21
2.2.2 複雑な概念の直観的な説明	25
2.2.3 知識ベース TBox と ABox	32
2.3 \mathcal{ALC} の上位/下位言語	38
2.3.1 \mathcal{AL} 言語ファミリー	38
2.3.2 \mathcal{FL}^- 言語ファミリー	39
2.3.3 数量限定	43
2.3.4 ロール演算子	48
2.3.5 個体表現	51
2.3.6 \mathcal{SI} 言語ファミリー	52
2.4 その他の言語拡張	56
2.4.1 データ型ドメイン上の n 項述語	56
2.4.2 様相演算子と時相演算子	59
2.4.3 論理プログラミングとの融合	62

2.5	まとめ	67
第 3 章	記述論理の推論	73
3.1	TBox と ABox の推論タスク	73
3.2	タブロー法による推論	75
3.3	タブロー法の停止性/健全性/完全性	81
3.4	タブロー法の適用例	88
3.5	循環的な知識ベースの推論	92
3.6	推論の最適化	97
3.7	実装システム	104
3.7.1	FaCT++	104
3.7.2	RacerPro	105
3.7.3	Hoolet	105
3.7.4	Pellete	106
3.7.5	KAON2	107
3.8	非標準の推論タスク	107
3.8.1	LCS と MSC	108
3.8.2	概念マッチング	110
3.9	まとめ	112
第 4 章	表現力と計算量	117
4.1	記述論理と述語論理	117
4.2	記述論理の分類	120
4.3	推論の計算量	122
4.3.1	概念の充足可能性	122
4.3.2	循環的な知識ベースの推論	127
4.4	まとめ	129
第 5 章	OWL と記述論理	131
5.1	セマンティック Web	131
5.2	Web オントロジー言語 OWL	135
5.2.1	OWL Lite/DL	136

5.2.2	OWL DL/Full	138
5.3	OWL と記述論理の対応関係	139
5.4	OWL から記述論理への変換例	141
5.5	オントロジーの推論と計算量	151
5.5.1	OWL オントロジーの含意	151
5.5.2	OWL Lite/DL の計算量	152
5.5.3	ルール表現と計算量	154
5.6	まとめ	157
第 6 章	ファジィ記述論理	165
6.1	曖昧な概念表現	165
6.2	f- <i>ALC</i> 言語	166
6.2.1	構文と意味論	169
6.3	ファジィ性の推論	172
6.3.1	ファジィ知識ベース	173
6.3.2	タブロー法によるファジィ推論	175
6.3.3	表現力と計算量	182
6.4	ファジィ記述論理の拡張	183
6.5	ファジィOWL	186
6.6	まとめ	186