

# 目 次

<b>第1章</b>	<b>プログラミング言語のモデル</b>	<b>1</b>
1.1	計算モデルの必要性 . . . . .	1
1.2	本書で使用する集合に関する記法 . . . . .	4
1.3	言語の文法構造の定義 . . . . .	5
1.3.1	形式言語の帰納的な定義 . . . . .	5
1.3.2	言語に対する再帰的な関数定義と文法の曖昧さ . . . . .	9
1.4	型無しラムダ計算 . . . . .	16
1.4.1	型無しラムダ計算の定義 . . . . .	16
1.4.2	汎用な計算モデルとしての型無しラムダ計算 . . . . .	20
1.4.3	ラムダ計算に基づくプログラミング言語のモデル . . . . .	26
<b>第2章</b>	<b>型付きラムダ計算</b>	<b>29</b>
2.1	定数と基底型の導入 . . . . .	29
2.2	単純な型付きラムダ計算 $\Lambda$ の定義 . . . . .	31
2.3	de Bruijn インデックスと束縛変数に関する約束 . . . . .	40
2.4	$\Lambda$ の表示の意味論 . . . . .	42
2.4.1	集合論的モデル . . . . .	46
2.4.2	領域論的モデル . . . . .	47
2.5	$\Lambda$ の公理の意味論 . . . . .	51
2.6	公理の意味論の健全性と完全性 . . . . .	54
2.6.1	公理の意味論の健全性 . . . . .	55
2.6.2	公理の意味論の完全性 . . . . .	57
2.7	$\Lambda$ のモデル間の論理関係 . . . . .	64
2.7.1	論理関係の定義 . . . . .	64
2.7.2	$\beta\eta$ 同値関係のモデル . . . . .	67

viii 目 次

2.7.3	式の構文論的性質のモデル論的証明 . . . . .	71
2.8	$\Lambda$ の簡約システム . . . . .	75
2.9	$\Lambda$ の操作的意味論 . . . . .	84
2.9.1	評価文脈を用いた操作的意味論 . . . . .	85
2.9.2	自然意味論 . . . . .	89
<b>第3章</b>	<b>型付きラムダ計算の拡張</b>	<b>93</b>
3.1	種々のデータ構造の導入 . . . . .	93
3.1.1	単位型 . . . . .	93
3.1.2	バリエーション型 . . . . .	94
3.1.3	ラベル付きデータ構造 . . . . .	96
3.2	再帰的データ型 . . . . .	101
3.2.1	正規木を用いた再帰的データ型の表現 . . . . .	102
3.2.2	同型関係を明示的に用いた再帰的データ型の表現 . . . . .	116
3.2.3	再帰的データ型の意味論 . . . . .	120
3.3	再帰的関数の定義 . . . . .	129
3.4	ユーザ定義のデータ型とパターンマッチング . . . . .	134
3.5	手続き型言語機能の導入 . . . . .	137
3.5.1	参照型の導入 . . . . .	137
3.5.2	継続計算を用いた広域的なジャンプの導入 . . . . .	148
<b>第4章</b>	<b>型推論システム</b>	<b>157</b>
4.1	暗黙に型付けられたラムダ計算 . . . . .	157
4.1.1	$\lambda$ の定義 . . . . .	158
4.1.2	$\lambda$ の表示の意味論 . . . . .	159
4.2	$\lambda$ の型推論アルゴリズム . . . . .	164
4.2.1	型推論問題と型判定スキーマ . . . . .	164
4.2.2	型スキーマの単一化 . . . . .	168
4.2.3	型推論アルゴリズムとその性質 . . . . .	171
4.2.4	型変数を含んだ $\lambda$ . . . . .	176
4.3	種々のデータ構造への拡張 . . . . .	177

<b>第5章 多相型言語のモデル</b>	<b>181</b>
5.1 プログラムの汎用性の表現 . . . . .	181
5.2 多相型ラムダ計算 $\Lambda^\forall$ . . . . .	185
5.3 $\Lambda^\forall$ の表示的意味論 . . . . .	192
5.4 $\Lambda^\forall$ の公理的意味論および簡約関係 . . . . .	199
5.5 種々のデータ構造の表現 . . . . .	207
5.5.1 論理型および自然数型 . . . . .	207
5.5.2 一般の項代数の表現 . . . . .	210
5.5.3 組型 . . . . .	212
5.5.4 バリエント型 . . . . .	213
5.6 ML の多相型システム . . . . .	213
5.6.1 叙述的多相型ラムダ計算 $\Lambda^{let}$ . . . . .	214
5.6.2 ML の核言語 $\lambda^{let}$ . . . . .	216
5.6.3 ML の表示的意味論 . . . . .	222
5.6.4 ML の操作的意味論と型システムの健全性 . . . . .	225
5.6.5 ML の型推論システム . . . . .	227
5.6.6 プログラミング言語 Standard ML . . . . .	231
<b>第6章 レコード計算系の理論</b>	<b>237</b>
6.1 レコード計算系の登場の背景 . . . . .	237
6.2 サブタイプを含むレコード計算 . . . . .	240
6.2.1 サブタイプシステムの問題点 . . . . .	244
6.3 多相型レコード計算 . . . . .	246
6.3.1 多相型レコード計算の定義 . . . . .	248
6.3.2 $\Lambda^{\forall t::k}$ の簡約システムと型保存定理 . . . . .	253
6.3.3 多相型レコード計算の型推論 . . . . .	256
6.3.4 多相型レコード演算を含んだプログラミング言語 . . . . .	261
<b>参考文献</b>	<b>263</b>
<b>索引</b>	<b>269</b>