はじめに iii

第1章　生命から情報通信（ICT）を捉えなおす　1

1.1　生命とICTのつながり 2
1.1.1　至近要因と究極要因 2
1.1.2　自然界の階層性 2
1.2　脳機能からのヒント 5
1.2.1　脳の構造と機能 5
1.2.2　脳機能をモデル化した神経回路網 7
コラム1　人工神経回路網と機械学習 8
1.2.3　時系列処理に適した時間遅れ神経回路網とその拡張 11
1.2.4　時間遅れ神経回路網を回転不変なパターン認識へ拡張する 17
1.3　進化論と情報処理モデル 18
コラム2　遺伝的アルゴリズム 19
1.3.1　不均衡進化論に基づく情報処理モデル：
パラメータフリー遺伝的アルゴリズム 21
コラム3　不均衡進化論 23
1.3.2　パラメータフリー遺伝的アルゴリズムの並列分散処理への拡張 27
1.3.3　遺伝子重複に基づく情報処理モデル 30
コラム4　遺伝子重複説 30
1.3.4　性選択に基づく情報処理モデル 35
コラム5　性選択（性淘汰） 36
1.4　細胞の初期進化に基づく情報処理 42
1.4.1　化学的遺伝アルゴリズム 42
1.4.2　化学的遺伝プログラミング 52
コラム6　遺伝的プログラミング 53

第2章　分子通信技術の研究動向～バイオ ICT としての分子通信～　59
2.1　はじめに　60
コラム1　分子通信とは　61
コラム2　分子通信の可能性　62
2.2　細胞生物系における分子通信　64
2.2.1　受動輸送型分子通信　64
2.2.2　能動輸送型分子通信　65
コラム3　生体内の通信　66
コラム4　細胞内物質輸送　68
2.3　分子通信のアーキテクチャ　69
2.3.1　分子通信の一般表現　69
2.3.2　通信プロセス　70
2.3.3　分子通信の特性　72
コラム5　通信のモデル　74
コラム6　分子通信で何ビットの情報が送れる?　75
2.4　分子通信システムの開発　76
2.4.1　送受信ナノマシンの開発　76
コラム7　生物ナノマシンの開発①　79
コラム8　生物ナノマシンの開発②　81
2.4.2　輸送機構の開発　82
2.4.2.1　受動輸送機構　82
2.4.2.2　能動輸送機構　85
2.4.3　その他通信機構の開発　87
コラム9　パターン形成　89
コラム10　分子通信　90
コラム11　DNA が走る!　91
コラム12　分子通信のこれから　93
2.5　まとめ　95

3.1　はじめに …… 98
3.2　人工化学 …… 99
3.2.1　人工化学の設計の基本要素 …… 99
3.2.2　人工化学システムデザインの要件－進化と創発の観点から …… 100
コラム1　ノイマンの自己増殖オートマトン …… 103
3.3　分子間相互作用の位相特性 …… 112
3.3.1　分子間力と化学反応速度論 …… 112
コラム2　化学反応速度論 …… 114
3.3.2　分子の移動に関する位相的条件 …… 120
3.3.3　分子間距離と分子ネットワーク …… 121
3.3.4　分子ネットワークの位相特性 …… 122
コラム3　スモールワールドネットワーク …… 124
コラム4　剛体球ランダムウォークシミュレーションのパラメータ設定 …… 128
3.4　人工化学システムの評価 …… 131
3.5　ネットワーク人工化学 …… 135
3.5.1　基本的考え …… 135
3.5.2　能動機械としてのコントロールフロークラスタ …… 136
コラム5　化学反応の特異性と相補性 …… 137
コラム6　データフローマシン …… 139
3.5.3　エネルギー最小化に基づく受動的繋ぎ変え規則 …… 146
コラム7　エネルギーに基づくNAC エッジの繋ぎ変え規則の定式化 …… 150
3.5.4　アクティブノードプログラムによるネットワーク構造の組織化 …… 153
コラム8　アモルファスコンピューティング …… 155
3.6　改良ネットワーク人工化学 …… 161
3.6.1　考え方 …… 161
3.6.2　分子エージェントによる親水性クラスタの形成と分裂 …… 162
3.7　今後の展望 …… 170

第4章 生物系におけるシグナル伝達とその計算・通信システムへの潜在的な応用 173

4.1 はじめに 174
コラム1 ネットワークモチーフ 175
4.2 細胞シグナル伝達ネットワークとその形式モデル 177
4.2.1 シグナル伝達の生化学に関する予備知識 177
4.2.2 シグナル伝達のグラフ表現 178
コラム2 シグナリング・パスウェイネットワーク 178
コラム3 ミカエリス-メンテン式 180
4.2.3 パスウェイの例としてのMAPKカスケード 181
4.3 シグナル伝達ネットワークの動態分析 183
4.3.1 シグナル伝達ネットワークの時間的動態 183
4.3.2 フィードバックを備えたパスウェイの固定点 185
コラム4 固定点現象とは? 186
4.3.3 頑健性について 189
4.4 細胞シグナリング・パスウェイに対する誤り訂正符号 196
コラム5 誤り訂正符号 197
4.4.1 分子通信から導かれる分子符号化 198
4.4.2 パスウェイに対するLDPC符号化 199
コラム6 LDPC(低密度パリティ検査符号) 200

第5章 より深い理解のために 205

5.1 科学技術革命におけるパラダイム転換 206
コラム1 自然と社会の階層性とパスカルの「パンセ」 207
コラム2 相対性理論とアインシュタイン 208
5.1.1 現在も生きるダーウィンの進化論 212
コラム3 ダーウィンの進化論と木村資生の中立説 212
5.1.2 生命38億年の流れ 213
コラム4 進化系統樹と分子時計 215
コラム5 「ひらめき(Aha! 体験)」を生むメカニズム仮説 216
5.2 複雑系ネットワークによる現実世界の問題への解決法 218

5.2.1　複雑系ネットワークとは？ …… 218
コラム6　故障と攻撃との両方に強いネットワークアーキテクチャ …… 223
5.2.2　複雑系ネットワークの応用分野 …… 224
コラム7　粘菌の迷路探索への応用 …… 225
コラム8　複雑系ネットワークの活用 …… 226
5.2.3　社会ネットワーク関連分野の動向 …… 229
コラム9　自然界と社会の階層性と創発ネットワーク …… 231
コラム10　創発ネットワークメカニズム …… 232

おわりに …… 235

参考文献 …… 239

図表一覧 …… 259

索引 …… 265