

# 目 次

18. コンピューティングのためのハードウェアの基礎：メモリーと CPU	249
18.1 課題：プログラムをスピードアップする	249
18.2 理論：ハイパーフォーマンス・コンピューティングの要素	250
18.2.1 メモリーの階層構造	250
18.2.2 中央演算処理ユニット	254
18.2.3 CPU の設計：RISC	254
18.2.4 CPU の設計：ベクトル処理	255
18.2.5 仮想メモリー	256
18.3 手法：仮想メモリーのためのプログラミング	257
18.4 プログラミング：仮想メモリーの使い方，よい例と悪い例	257
18.5 方法：データキャッシュのためのプログラミング	259
18.6 プログラミング 1：キャッシュミス	260
18.7 プログラミング 2：キャッシュの流れ	261
18.8 プログラミング 3：大きな行列の乗算	261
19. ハイパーフォーマンス・コンピューティング： プロファイリングとチューニング	263
19.1 課題：ハードウェアがパフォーマンスに与える影響	263
19.2 手法：スピードアップの一覧表作成	263
19.3 チューニング前のプログラム，tune.f	264
19.4 手法：プロファイリング	265
19.5 プログラミング 1：基本的な最適化，tune1.f	266
19.6 プログラミング 2：ベクトルチューニング，tune2.f	269
19.7 プログラミング 3：RISC 上でのベクトルコード，tune3.f	271
19.8 プログラミング 4：スーパースカラー・チューニング，tune4.f	272
19.9 検 討	274
20. 並列計算と PVM	275
20.1 課題：プログラムのスピードアップ	275
20.2 理論：並列計算の概要	275

20.2.1	並列処理命令とデータの流れ	276
20.2.2	粒 度	276
20.2.3	並列化による効率	277
20.3	方法：マルチタスク・プログラム	278
20.3.1	方法：マルチタスクの構造	278
20.4	方法：分散メモリープログラミング	279
20.5	プログラミング：PVMを使った虫の個体数, WWW	280
20.5.1	計 画	281
<b>21.</b>	<b>オブジェクト指向プログラミング：物体の運動*</b>	<b>283</b>
21.1	課題：運動の重ね合わせ	283
21.2	理論：オブジェクト指向プログラミング	283
21.2.1	oopの基本	284
21.3	理論：ニュートンの運動法則, 運動方程式	285
21.4	oopの手法：クラス	286
21.5	プログラミング：1次元等速度運動, unim1d.cpp	286
21.5.1	1次元の等速度運動, class Um1D	287
21.5.2	プログラミング：2次元の等速直線運動, 子プログラム Um2D, unimot2d.cpp	288
21.5.3	クラス Um2D：2次元の等速直線運動	290
21.5.4	プログラミング：放物運動, 子クラス Accm2D, accm2d.cpp	291
21.5.5	2次元の加速度運動	293
21.6	評価：展開, shms.cpp	295
<b>22.</b>	<b>熱力学シミュレーション：イジングモデル</b>	<b>297</b>
22.1	課題：熱せられた磁石	297
22.2	理論：統計力学	297
22.3	モデル：イジング鎖	298
22.4	解(解析的)	301
22.5	解(数值的)：メトロポリスのアルゴリズム	301
22.6	プログラミング：メトロポリスのアルゴリズム, ising.f(.c)	304
22.7	検討：熱平衡への道筋	305
22.8	検討：熱力学的性質	305
22.9	展開：相互作用距離の拡大	307
22.10	探求：2次元と3次元のイジングモデル	307

<b>23. 量子経路上の汎関数積分*</b> .....	308
23.1 課題：量子軌道と古典軌道の関係 .....	308
23.2 理論：時空間のプロパゲーター, ファインマンの経路積分 .....	308
23.3 手法(解析的)：束縛状態の波動関数 .....	310
23.4 手法(数値的)：格子点を使った経路積分 .....	312
23.5 手法：プロパゲーターの格子積分 .....	314
23.6 プログラミング：格子点を使った量子経路積分, qmc.f(.c) .....	317
23.7 検討と展開 .....	319
<b>24. フラクタル</b> .....	321
24.1 課題：フラクタル .....	321
24.2 理論：非整数の次元 .....	321
24.3 課題1：シェルピンスキーの三角形 .....	322
24.4 プログラミング：sierpin.c .....	323
24.5 評価：フラクタル次元の決定 .....	324
24.6 課題2：姿の美しい植物の育て方 .....	326
24.7 理論：自己アフィン接続 .....	326
24.8 プログラミング：バーンスレーのシダ, fern.c .....	327
24.9 展開：木のなかの自己アフィン性 .....	328
24.10 プログラミング：枝ぶりのよい木, tree.c .....	329
24.11 課題3：弾道の堆積 .....	329
24.12 手法：ランダムな堆積 .....	329
24.13 プログラミング：弾道の堆積, film.c .....	330
24.14 課題4：ブリテン島の海岸線の長さ .....	330
24.15 モデル：フラクタルとしての海岸線 .....	331
24.16 手法：マス目の勘定 .....	332
24.17 課題5：相関をもつ成長, 森と薄膜の例 .....	334
24.18 手法：相関をもつ弾道の堆積 .....	334
24.19 プログラミング：相関のある弾道の堆積, column.c .....	335
24.20 課題6：球状クラスター .....	335
24.21 モデル：拡散律速凝集 .....	336
24.22 手法：DLA シミュレーション .....	336
24.23 プログラミング：拡散律速凝集, dla.c .....	337
24.24 検討：DLA のグラフのフラクタル解析 .....	337
24.25 課題7：2分岐ダイアグラムグラフのフラクタル構造 .....	338

<b>25. 静電ポテンシャル</b> .....	339
25.1 はじめに：偏微分方程式の種類 .....	339
25.2 課題：静電ポテンシャルの決定 .....	340
25.3 理論：ラプラス方程式 (楕円型偏微分方程式) .....	340
25.4 手法 (数値的)：差分法 .....	341
25.5 手法 (解析的)：多項式展開 .....	343
25.6 プログラミング：格子上的解, <code>laplace.f (.c)</code> .....	345
25.7 検討と可視化 .....	346
25.8 展 開 .....	347
25.9 展開：平行平板コンデンサー .....	347
25.10 展開：箱のなかに箱があるときの電場 .....	348
<b>26. 熱 流</b> .....	349
26.1 課題：金属棒のなかの熱流 .....	349
26.2 モデル：熱方程式 (放物型偏微分方程式) .....	349
26.3 手法 (解析的)：多項式展開 .....	350
26.4 手法 (数値的)：差分法 .....	351
26.5 検討 (解析解との比較)：アルゴリズム .....	353
26.6 プログラミング：熱方程式, <code>eqheat.f (.c)</code> .....	354
26.7 検討：連続性, 数値的-解析的 .....	355
26.8 検討：可視化 .....	355
26.9 展 開 .....	355
<b>27. 弦を伝わる波動</b> .....	357
27.1 課題：振動する弦 .....	357
27.2 モデル：波動方程式 (双曲型偏微分方程式) .....	357
27.3 手法 (数値解)：時間ステップ .....	358
27.4 手法 (解析的)：基準振動モード .....	360
27.5 プログラミング：波動方程式, <code>eqstring.f (.c)</code> .....	362
27.6 検討：可視化 .....	362
27.7 展 開 .....	363
<b>28. ソリトン, KdV 方程式*</b> .....	368
28.1 はじめに .....	368
28.2 課題：ソリトン .....	368

28.3	理論：コルトベークード・フリースの方程式	370
28.4	手法 (解析的)：進行波	371
28.5	手法 (数值的)：差分法	372
28.6	プログラミング：KdV ソリトン, soliton.f (.c)	374
28.7	検討：可視化	375
28.8	展開：2つのソリトンの衝突	375
28.9	展開：位相空間での振舞い	376
28.10	展開：衝撃波	376
<b>29.</b>	<b>サイン-ゴールドンソリトン*</b>	<b>377</b>
29.1	課題1：場の方程式と素粒子	377
29.2	理論：円形リングソリトンのパルソンの振舞い	377
29.3	課題2：分散のある鎖で分散を起こさない方法	378
29.4	理論：連成振動子	378
29.4.1	直線鎖の分散関係	380
29.4.2	連続の極限, サイン-ゴールドン方程式	381
29.5	解：解析的	381
29.6	解：数值的	382
29.7	プログラミング, 2次元ソリトン, twodsol.f (.c)	384
29.8	可視化	385
<b>30.</b>	<b>閉じこめられた電子波束*</b>	<b>386</b>
30.1	課題：閉じこめられた電子	386
30.2	モデル：時間依存シュレーディンガー方程式	386
30.3	手法 (数值的)：差分法	388
30.4	プログラミング：井戸型ポテンシャル内の波束, sqwell.f	389
30.5	検討：可視化とアニメーション	390
30.6	展開：1次元調和振動子	390
30.7	プログラミング：調和井戸内の波束, harmos.f	390
30.8	課題：2次元的な閉込め	390
30.9	手法 (数值的)	391
30.10	展開：2次元調和振動子	393
30.11	展開：スリットによる回折, slit.f	394

## 付 録

A: 課題の実行 .....	1
B: 用 語 .....	3
C: プログラム名一覧 .....	8
D: プログラムのソースコード .....	10
C のソースコード .....	11
Fortran のソースコード .....	28
文 献 .....	41
参 考 文 献 .....	43
索 引 .....	47