第 1 章　C++ の概要 1

第 2 章　C++ の実行 3

2.1　C++ の実行の仕組み . . . 3
2.2　簡単な 1 つのソースファイルからなるプログラムの実行 . . . 3
2.2.1　サンプルコード . . . 4
2.2.2　コンパイル . . . 5
2.2.3　実行 . . . 5
2.3　GCC: C++ コンパイラー . . . 6
2.3.1　コンパイラーオプション . . . 6
2.3.2　ヘッダーファイルの省略 . . . 7
2.3.3　コンパイル済みヘッダー (precompiled header) . . . 9
2.4　Make: ビルドシステム . . . 11
2.4.1　コンパイルと実行のまとめ . . . 11
2.4.2　依存関係を解決するビルドシステム . . . 12
2.4.3　依存関係を記述するルール . . . 13
2.4.4　コメント . . . 16
2.4.5　変数 . . . 16
2.4.6　自動変数 . . . 17
2.4.7　PHONY ターゲット . . . 18
2.5　入門用の環境構築 . . . 19

第 3 章　C++ ヒッチハイクガイド 21

3.1　最小のコード . . . 21
3.2　標準出力 . . . 22
3.3　文字列 . . . 24
3.4　整数と浮動小数点数 . . . 25
3.5　変数 (variable) . . . 27
3.6　関数 (function) . . . 31
3.7　本当の関数 . . . 34

第 4 章　デバッグ：コンパイルエラーメッセージの読み方 37

4.1　文法エラー . . . 38
4.2　意味エラー . . . 44
4.3　コンパイラーのバグ . . . 45

第 5 章　条件分岐の果てのレストラン　47
5.1　複合文　47
5.2　条件分岐　50
5.3　条件式　54
5.3.1　条件とは何だろう　54
5.4　bool 型　56
5.5　bool 型の演算　58
5.5.1　論理否定: operator !　58
5.5.2　同値比較: operator ==, !=　59
5.5.3　論理積: operator &&　60
5.5.4　論理和: operator ||　61
5.5.5　短絡評価　63
5.6　bool の変換　64

第 6 章　デバッグ：コンパイル警告メッセージ　69

第 7 章　最近体重が気になるあなたのための標準入力　73
7.1　これまでのおさらい　73
7.2　標準入力　75
7.3　リダイレクト　78
7.4　パイプ　80
7.5　プログラムの組み合わせ　81

第 8 章　ループ　83
8.1　これまでのおさらい　83
8.2　goto 文　84
8.2.1　無限ループ　84
8.2.2　終了条件付きループ　86
8.2.3　インデックスループ　88
8.3　while 文　95
8.3.1　無限ループ　95
8.3.2　終了条件付きループ　97
8.3.3　インデックスループ　99
8.4　for 文　103
8.5　do 文　107
8.6　break 文　108
8.7　continue 文　109
8.8　再帰関数　111

第 9 章　メモリーを無限に確保する　121
9.1　これまでのまとめ　121
9.2　vector　122

第 10 章　デバッグ：printf デバッグ　135
10.1　実践例　135
10.2　std::cerr　141
10.3　まとめ　143

第 11 章　整数　145
11.1　整数リテラル　145
11.1.1　10 進数リテラル　145
11.1.2　2 進数リテラル　146
11.1.3　8 進数リテラル　146
11.1.4　16 進数リテラル　146
11.1.5　数値区切り　147
11.2　整数の仕組み　147
11.2.1　情報の単位　147
11.2.2　1 バイトで表現された整数　148
11.3　整数型　151
11.3.1　int 型　151
11.3.2　long int 型　152
11.3.3　long long int 型　153
11.3.4　short int 型　153
11.3.5　char 型　153
11.4　整数型のサイズ　154
11.5　整数型の表現できる値の範囲　155
11.6　整数型の変換　157

第 12 章　浮動小数点数　159
12.1　浮動小数点数リテラル　161
12.1.1　10 進浮動小数点数リテラル　161
12.1.2　10 進数の仮数と指数による表記　161
12.1.3　16 進数の仮数と指数による表記　162
12.2　浮動小数点数の表現と特性　163
12.2.1　+0.0 と -0.0　163
12.2.2　+∞ と -∞ (無限大)　163
12.2.3　NaN (Not a Number)　164
12.2.4　有効桁数　164
12.3　浮動小数点数同士の変換　165

12.4 浮動小数点数と整数の変換 . . . 166

第 13 章 名前 167

13.1 キーワード . . . 167
13.2 名前に使える文字 . . . 168
13.3 宣言と定義 . . . 169
13.4 名前空間 . . . 170
13.4.1 グローバル名前空間 . . . 173
13.4.2 名前空間のネスト . . . 174
13.4.3 名前空間名の別名を宣言する名前空間エイリアス . . . 174
13.4.4 名前空間名の指定を省略する using ディレクティブ . . . 176
13.4.5 名前空間を指定しなくてもよい inline 名前空間 . . . 178
13.5 型名 . . . 179
13.5.1 型名の別名を宣言するエイリアス宣言 . . . 179
13.6 スコープ . . . 181

第 14 章 イテレーターの基礎 185

14.1 イテレーターの取得方法 . . . 185
14.2 イテレーターの参照する要素に対する読み書き . . . 186
14.3 イテレーターの参照する要素を変更 . . . 186
14.4 イテレーターの比較 . . . 187
14.5 最後の次の要素へのイテレーター . . . 188
14.6 なんでもイテレーター . . . 190
14.7 イテレーターと添字の範囲 . . . 192

第 15 章 lvalue リファレンスと const 197

15.1 lvalue リファレンス . . . 197
15.2 const . . . 200

第 16 章 アルゴリズム 205

16.1 for_each . . . 205
16.2 all_of/any_of/none_of . . . 211
16.3 find/find_if . . . 213
16.4 count/count_if . . . 217
16.5 equal . . . 218
16.6 search . . . 221
16.7 copy . . . 222
16.8 transform . . . 225
16.9 replace . . . 226
16.10 fill . . . 226
16.11 generate . . . 227
16.12 remove . . . 228

第 17 章 ラムダ式 231

17.1 基本 . . . 231
17.2 キャプチャー . . . 234
17.2.1 コピーキャプチャー . . . 234
17.2.2 リファレンスキャプチャー . . . 235

第 18 章 クラスの基本 237

18.1 変数をまとめる . . . 237
18.2 まとめた変数に関数を提供する . . . 241

第 19 章 より自然に振る舞うクラス 249

19.1 より自然な初期化 . . . 250
19.2 自然な演算子 . . . 258
19.3 演算子のオーバーロード . . . 261
19.3.1 二項演算子 . . . 261
19.3.2 単項演算子 . . . 264
19.3.3 インクリメント/デクリメント . . . 265
19.3.4 メンバー関数での演算子のオーバーロード . . . 267

第 20 章 std::array 269

第 21 章 プログラマーの三大美徳 273

第 22 章 配列 275

22.1 ナイーブな array 実装 . . . 275
22.2 配列 . . . 276

第 23 章 テンプレート 281

23.1 問題点 . . . 281
23.2 関数の引数 . . . 282
23.3 関数のテンプレート引数 . . . 283
23.4 テンプレート . . . 285
23.5 クラステンプレート . . . 288

第 24 章 array をさらに実装 291

24.1 ネストされた型名 . . . 291
24.2 要素数の取得: size() . . . 293
24.3 メンバー関数の const 修飾 . . . 294
24.4 先頭と末尾の要素：front/back . . . 299

24.5 全要素に値を代入: fill . . . 300

第 25 章 array のイテレーター 301

25.1 イテレーターの中身 . . . 301
25.2 残りのイテレーターの実装 . . . 315
25.3 const なイテレーター: const_iterator . . . 318

第 26 章 傲慢なエラー処理：例外 325

26.1 例外を投げる . . . 325
26.2 例外を捕まえる . . . 329
26.3 例外による巻き戻し . . . 331

第 27 章 ポインター 337

27.1 意味上のポインター . . . 337
27.1.1 リファレンスと同じ機能 . . . 337
27.1.2 リファレンスと違う機能 . . . 340
27.1.3 代入 . . . 340
27.1.4 何も参照しない状態 . . . 340
27.1.5 明示的に何も参照しないポインター: nullptr . . . 341
27.1.6 無効な参照先の作り方 . . . 342
27.2 文法上のポインター . . . 343
27.2.1 ポインターと const の関係 . . . 343
27.2.2 ポインターのポインター . . . 348
27.2.3 関数へのポインター . . . 351
27.2.4 配列へのポインター . . . 355
27.2.5 ポインター型の作り方 . . . 356
27.2.6 クラスへのポインター . . . 358
27.2.7 this ポインター . . . 361
27.2.8 メンバーへのポインター . . . 363
27.3 ポインターの内部実装 . . . 371
27.3.1 キロバイトとキビバイト . . . 371
27.3.2 メモリーとアドレス . . . 372
27.3.3 ポインターのサイズ . . . 372
27.3.4 ポインターの値 . . . 373
27.3.5 std::bit_cast の実装 . . . 375
27.3.6 std::memcpy の実装 . . . 375
27.3.7 データメンバーへのポインターの内部実装 . . . 382

第 28 章 イテレーター詳細 385

28.1 イテレーターとポインターの関係 . . . 385
28.2 イテレーターカテゴリー . . . 387
28.2.1 ランダムアクセスイテレーター . . . 387
28.2.2 双方向イテレーター . . . 390
28.2.3 前方イテレーター . . . 390
28.2.4 入力イテレーター . . . 391
28.2.5 出力イテレーター . . . 392
28.3 iterator_traits . . . 393
28.4 イテレーターカテゴリーの実例 . . . 395
28.4.1 出力イテレーター . . . 395
28.4.2 入力イテレーター . . . 398
28.4.3 前方イテレーター . . . 403
28.4.4 双方向イテレーター . . . 408
28.4.5 ランダムアクセスイテレーター . . . 409
28.5 イテレーター操作 . . . 414
28.5.1 advance(i, n): n 移動する . . . 414
28.5.2 distance(first, last): first から last までの距離 . . . 415
28.5.3 next/prev：移動したイテレーターを返す . . . 415
28.6 リバースイテレーター . . . 417

第 29 章 動的メモリー確保 419

29.1 概要 . . . 419
29.2 malloc/free . . . 420
29.3 operator new/operator delete . . . 420
29.4 生のバイト列を基本的な型の値として使う方法 . . . 421
29.5 メモリー確保の失敗 . . . 422
29.6 クラス型の値の構築 . . . 423
29.7 new/delete . . . 426
29.8 配列版 new/delete . . . 427
29.9 スマートポインター . . . 427

第 30 章 vector の実装：基礎 429

30.1 std::allocator<T> の概要 . . . 430
30.2 std::allocator<T> の使い方 . . . 431
30.3 std::allocator_traits<Alloc> . . . 433
30.4 簡易 vector の概要 . . . 435
30.5 class とアクセス指定 . . . 436
30.6 ネストされた型名 . . . 440
30.7 簡易 vector のデータメンバー . . . 441
30.8 簡単なメンバー関数の実装 . . . 443
30.8.1 イテレーター . . . 443

30.8.2 容量確認 . . . 447
30.8.3 要素アクセス . . . 448

第 31 章 vector の実装：メモリー確保 451
31.1 メモリー確保と解放の起こるタイミング . . . 451
31.2 デフォルトコンストラクター . . . 454
31.3 アロケーターを取るコンストラクター . . . 454
31.4 要素数と初期値を取るコンストラクターの実装 . . . 455
31.5 ヘルパー関数 . . . 455
31.5.1 ネストされた型名 traits . . . 456
31.5.2 allocate/deallocate . . . 456
31.5.3 construct/destroy . . . 456
31.5.4 destroy_until . . . 457
31.6 clear . . . 458
31.7 デストラクター . . . 458
31.8 reserve の実装 . . . 458
31.9 resize . . . 462
31.10 push_back . . . 465
31.10.1 shrink_to_fit . . . 467
31.11 vector のその他のコンストラクター . . . 469
31.11.1 イテレーターのペア . . . 469
31.11.2 初期化リスト . . . 470

第 32 章 コピー 471
32.1 普通のコピー . . . 471
32.2 コピーコンストラクター . . . 473
32.3 コピー代入演算子 . . . 474
32.4 コピーの挙動 . . . 475
32.5 所有するクラス . . . 478
32.6 own<U> から own<T> への変換 . . . 480
32.7 もう少し複雑な所有するクラス . . . 482
32.8 vector のコピー . . . 484
32.8.1 コピーコンストラクター . . . 484
32.8.2 コピー代入演算子 . . . 485

第 33 章 ムーブ 489
33.1 ムーブの使い方 . . . 489
33.2 ムーブの中身 . . . 491

第 34 章 rvalue リファレンス 497
34.1 概要 . . . 497
34.2 rvalue リファレンスの宣言 . . . 497
34.3 値カテゴリー . . . 500
34.3.1 lvalue . . . 500
34.3.2 prvalue . . . 500
34.3.3 xvalue . . . 501
34.3.4 rvalue . . . 503
34.3.5 glvalue . . . 503
34.4 rvalue リファレンスのライブラリ . . . 504
34.4.1 std::move . . . 504
34.4.2 std::move の実装 . . . 504
34.4.3 フォワーディングリファレンス . . . 505
34.4.4 std::remove_reference_t . . . 507
34.4.5 std::move の正しい実装 . . . 508
34.4.6 std::forward . . . 508

第 35 章 ムーブの実装 511
35.1 コピーとムーブの判別 . . . 512
35.2 ムーブの実装 . . . 514
35.2.1 ムーブコンストラクター . . . 515
35.2.2 ムーブ代入演算子 . . . 515
35.3 デフォルトのムーブ . . . 518
35.4 コピーの禁止 . . . 519
35.5 5 原則 . . . 520

第 36 章 スマートポインター 521
36.1 unique_ptr . . . 522
36.2 shared_ptr . . . 525

第 37 章 自作の数値クラスで演算をムーブに対応する方法 531
37.1 基本の実装 . . . 531
37.2 複合代入演算子 . . . 533
37.3 単項演算子 . . . 534
37.4 二項演算子 . . . 540
37.4.1 ムーブしない実装 . . . 540
37.4.2 ムーブをしたくなる状況 . . . 542

第 38 章 文字列 547
38.1 はじめに . . . 547

38.2 基本ソース文字セット . . . 547
38.3 基本実行文字セット . . . 548
38.4 文字を表現する方法 . . . 548
38.4.1 ASCII . . . 548
38.4.2 Unicode . . . 548
38.5 OS . . . 550
38.6 リテラル . . . 551
38.6.1 通常の文字リテラル . . . 551
38.6.2 ユニバーサルキャラクター名 . . . 552
38.6.3 通常の文字列リテラル . . . 552
38.7 ワイド文字 . . . 554
38.8 UTF-8/UTF-16/UTF-32 . . . 555
38.9 生文字列リテラル . . . 557
38.10 文字列の表現方法 . . . 558
38.10.1 null 終端文字列 . . . 558
38.10.2 std::basic_string . . . 559
38.10.3 std::basic_string_view . . . 562
38.11 文字列の操作 . . . 564
38.11.1 null 終端文字列の操作 . . . 564
38.11.2 basic_string の操作 . . . 566
38.11.3 basic_string_view の操作 . . . 575

第 39 章 乱数 577

39.1 疑似乱数 . . . 577
39.2 乱数エンジン . . . 578
39.3 乱数分布 . . . 580
39.4 シード . . . 582
39.5 予測不可能な乱数 . . . 584
39.6 十分なシード値の量 . . . 585
39.7 乱数分布ライブラリ . . . 586
39.8 分布クラス . . . 588
39.9 一様分布 (Uniform Distribution) . . . 590
39.9.1 整数の一様分布 (std::uniform_int_distribution<IntType>) . . . 590
39.9.2 浮動小数点数の一様分布 (uniform_real_distribution<RealType>) . . . 591
39.10 ベルヌーイ分布 (Bernoulli distributions) . . . 591
39.10.1 ベルヌーイ試行 . . . 592
39.10.2 ベルヌーイ分布 (std::bernoulli_distribution) . . . 593
39.10.3 二項分布 (std::binomial_distribution<IntType>) . . . 595
39.10.4 幾何分布 (std::geometric_distribution) . . . 597
39.10.5 負の二項分布 (std::negative_binomial_distribution) . . . 599
39.11 ポアソン分布 . . . 602
39.11.1 ポアソン分布 (poisson_distribution) . . . 602
39.11.2 指数分布 (std::exponential_distribution<RealType>) . . . 603
39.11.3 ガンマ分布 (std::gamma_distribution<RealType>) . . . 605
39.11.4 ウェイブル分布 (std::weibull_distribution<RealType>) . . . 606
39.12 極値分布 (std::extreme_value_distribution<RealType>) . . . 606
39.13 正規分布 . . . 607
39.13.1 正規分布 (std::normal_distribution<RealType>) . . . 607
39.13.2 対数正規分布 (std::lognormal_distribution<RealType>) . . . 608
39.13.3 カイ二乗分布 (std::chi_squared_distribution<RealType>) . . . 608
39.13.4 コーシー分布 (std::cauchy_distribution<RealType>) . . . 609
39.13.5 フィッシャーの F 分布 (std::fisher_f_distribution<RealType>) . . . 610
39.13.6 スチューデントの t 分布 (std::student_t_distribution<RealType>) . . . 610
39.14 サンプリング分布 (sampling distributions) . . . 611
39.14.1 離散分布 (std::discrete_distribution<IntType>) . . . 611
39.14.2 区分定数分布 (std::piecewise_constant_distribution<RealType>) . . . 614
39.14.3 区分線形分布 (std::piecewise_linear_distribution<RealType>) . . . 619

第 40 章 C プリプロセッサー 623

40.1 #include ディレクティブ . . . 623
40.2 #define . . . 627
40.2.1 オブジェクト風マクロ . . . 627
40.2.2 関数風マクロ . . . 628
40.2.3 __VA_ARGS__ (可変長引数マクロ) . . . 629
40.2.4 __VA_OPT__ . . . 630
40.2.5 #演算子 . . . 630
40.2.6 ##演算子 . . . 631
40.2.7 複数行の置換リスト . . . 632
40.2.8 #undef ディレクティブ . . . 632
40.3 条件付きソースファイル選択 . . . 633
40.3.1 プリプロセッサーの定数式 . . . 633
40.3.2 #if ディレクティブ . . . 635
40.3.3 #elif ディレクティブ . . . 636
40.3.4 #else ディレクティブ . . . 637
40.3.5 #ifdef, #ifndef ディレクティブ . . . 637
40.4 #line ディレクティブ . . . 638
40.5 #error ディレクティブ . . . 639
40.6 #pragma . . . 640

40.7 Null ディレクティブ 640
40.8 定義済みマクロ名 640

第 41 章 分割コンパイル **641**
41.0.1 ソースファイルとコンパイル 641
41.0.2 単一のソースファイルのコンパイル 641
41.0.3 ヘッダーファイルはコピペ 642
41.0.4 複数のソースファイルのコンパイル 642
41.1 オブジェクトファイル 643
41.2 複数のソースファイルの書き方 644
41.2.1 関数 644
41.2.2 変数 647
41.2.3 インライン関数/インライン変数 649
41.2.4 クラス 651
41.2.5 テンプレート 656

第 42 章 デバッガー **657**
42.1 GDB のチュートリアル 658
42.2 プログラムの実行 662
42.3 プログラムの停止方法 662
42.3.1 ブレイクポイント 662
42.3.2 条件付きブレイクポイント 666
42.4 プログラムの実行再開とステップ実行 667
42.4.1 実行再開 (continue) 667
42.4.2 ステップ実行 (step) 667
42.4.3 ネクスト実行 (next) 669
42.4.4 関数から抜けるまで実行 (finish) 669
42.5 バックトレース 670
42.6 変数の値を確認 672
42.7 シグナルによるプログラムの中断 673
42.8 コアダンプを使ったプログラムの状態の確認 674

索引 **676**

著者プロフィール **686**