

プログラミング言語 Konoha

倉光君郎

第1版（ドラフト）

本文書に関して

Konoha をご試用いただきましてありがとうございます。

本書は、Konoha 言語のプログラミングガイド、及びその言語仕様をまとめた草稿です。長らく、Konoha にはマニュアルがなく、ご不便をかけてきましたが、本書が Konoha の体験を広げる一助になれば幸いです。なお、本文書は、「書きかけでもいい」から少しでも多くの情報を提供してほしいという要望に応え、本当に「書きかけ」だったりしてお見苦しいところがたくさんあります。あらかじめ、お詫びしておきます。

また、Konoha 言語自体、なおも開発が行われています。本書は、Konoha 1.0 仕様を前提に書いており、仕様が先行しているため、実装との間にギャップがあります。そこで、開発中の機能に関しては、どのバージョンから正式にサポートになる予定なのか、[0.7] のように目安をつけています。

- Konoha 0.5 現在の最新バージョン（機能拡張中）
- Konoha 0.7 正式なリリースを前にしたバージョン
- Konoha 1.0 正式リリース版 2009 年 12 月を目標にがんばる

著作権表記

Copyright (c) 2008-2009 Kimio Kuramitsu, Konoha Project. All rights reserved.

再配布の留意事項

本書は、現在 PDF 版を Konoha プロジェクトの sourceforge サイトから配布しています。将来、出版してくれる出版社が見つければ、出版したいと考えていますが、電子版の配布もユーザ数の動向を把握するため、可能な限り継続する予定です。ご知人に紹介するときは、PDF ファイルを直接、再配布する代わりに、一次配布サイトからダウンロードするように薦めて頂けますようお願いいたします。

<http://sourceforge.jp/projects/konoha/releases/>

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	Konoha の始まり	1
第 2 章	Konoha の特徴	3
2.1	おなじみの言語文法	3
2.2	型推論	4
2.3	対話的な動作: Looks like Java, Runs like Python	4
2.4	最速水準の実行性能	5
2.5	実行前の型検査といつでも実行	6
2.6	オブジェクト指向	7
2.7	オブジェクト指向フォーマッタ	8
2.8	マッピング機能とデータ変換	9
第 3 章	レキシカル構造	11
3.1	文字	11
3.2	トークン	11
3.3	ステートメント	12
3.4	コメント	13
3.5	リテラル	13
3.6	識別子	14
3.7	予約語	17
第 4 章	オペレータ	19
4.1	代入演算子	19
4.2	コール演算子	19
4.3	アドレス演算子	20
4.4	比較演算子	21
4.5	論理演算子	22
4.6	算術演算子	23
4.7	ビット演算子	24

4.8	シーケンス演算子	25
4.9	キャスト演算子	27
4.10	セマンティック演算子**	27
第 5 章	ステートメント	29
5.1	式	29
5.2	ブロック	30
5.3	変数の型宣言	30
5.4	if 文	31
5.5	switch 文	31
5.6	while/do-while 文	31
5.7	for 文	32
5.8	break 文 と continue 文	33
5.9	for/in 文	34
第 6 章	数値	35
6.1	数値と型	35
6.2	数値リテラル	36
6.3	数値演算	38
6.4	数値フォーマッタ	42
6.5	乱数生成	44
第 7 章	文字列	47
7.1	文字列と型	47
7.2	文字列リテラル	48
7.3	文字列と演算子	52
7.4	文字列メソッド	54
7.5	テンプレート・フォーマッティング	58
7.6	インライン・フォーマッティング	59
7.7	正規表現	59
第 8 章	配列とリスト	63
8.1	配列と型	63
8.2	配列の生成	65
8.3	配列と演算子	66
8.4	多次元配列	68
8.5	配列とメソッド	69
8.6	バイト配列: byte[]	71
第 9 章	関数	73

9.1	関数の定義	73
9.2	関数コール	74
9.3	ビルトイン関数	75
9.4	クロージャ	78
9.5	デリゲートクロージャ	78
9.6	無名関数	78
第 10 章	クラスとオブジェクト	79
10.1	class 宣言	79
10.2	フィールド変数	81
10.3	メソッド	83
10.4	クラス関数	87
10.5	コンストラクタ	88
10.6	オペレータとメソッド	88
10.7	フォーマッタの定義	89
10.8	マッパーの定義	89
第 11 章	クラス階層と抽象化	91
第 12 章	ダイナミック言語の機能	93
12.1	Any 型: ダック・タイピング	93
12.2	ダック・タイピング	94
12.3	Any 型とデータ変換	95
12.4	”Run anytime”コンパイル技術	95
12.5	メタオブジェクト	96
第 13 章	例外処理	99
13.1	例外クラス Exception	99
13.2	throw 文	99
13.3	try-catch 文	100
13.4	finally 節	101
第 14 章	システムとコンテキスト	103
14.1	言語処理系	103
14.2	ガベージ・コレクション	103
14.3	オペレーティングシステム	103
14.4	環境変数	103
14.5	コンテキスト Context	103
14.6	プロパティ変数	103

第 15 章	ストリーム	105
15.1	標準ストリーム	105
15.2	OutputStream 出力ストリーム	107
15.3	ファイル	107
15.4	パイプ	107
15.5	Socket	108
第 16 章	スクリプトと名前空間	109
16.1	名前空間 Namespace	109
16.2	スクリプト Script	111
16.3	スクリプト変数	111
16.4	スクリプト関数	113
16.5	スクリプトファイル	113
16.6	main() 関数	113
第 17 章	デバッグ	115
17.1	DEBUG ブロックとデバッグモード	115
17.2	print 文	117
17.3	assert 文	118
17.4	utest 文**	120
17.5	ブレークポイント**	120
第 18 章	Konoha ライブラリ	121
18.1	Konoha インスタンス	121
18.2	C からのスクリプト関数の利用*	123
第 19 章	C/C++ ライブラリの利用	125
19.1	C 言語関数のバインド	125
19.2	グルー関数とメソッド	127
19.3	構造体とクラス	127
19.4	関数ポインタとクロージャ	127
参考文献		129
付録 A	入手方法	131
索引		132

第 1 章

はじめに

1.1 Konoha の始まり

Konoha の開発は、ある体験から始まった。

大学教員になりたての最初の 1 年目、東京近郊のある大学^{*1}でプログラミングの講義を担当することになった。プログラミングの講義と言っても、講義名は「アルゴリズム論」。ただし、あまりに学生がプログラミングが書けないから、講義と演習、あわせて週 3 時間、通年で C 言語を中心に丁寧に教えてください、というものだった。

最初は、一瞬、戸惑った。というのも意味がわからなかったからだ。「C 言語を 1 年間も？ C コンパイラの作り方でも教えるのか？」と冗談を言ってしまうほどであった。しかし、1 年間、講義を担当してみて、もっと意味がわからない結果が待っていた。ほとんど全滅的に誰もプログラミングができない状態で 1 年を終えることになってしまったためだ。

たぶん教育経験に優れた教員であれば、学生たちが直面する困難さを、丁寧な教材とより丁寧な指導によって乗り越えようと考えただろう。しかし、新米教員には別の解決策が脳裏をかすめた。

そもそも、初学者相手に C 言語を使っているのが悪いのではないかな？

もっとプログラミングを学びやすい言語を創ってしまおう。

こうして、新しいプログラミング言語 Konoha への長い道のりは、始まることになった。(以下続く)

^{*1} ちなみに、非常勤講師として担当した講義なので横浜国立大学のことではない。

第 2 章

Konoha の特徴

Konoha は、もし 1 行でその特徴を表現しようとしたら、「Java 風の文法をもった静的に型付けされたスクリプティング言語」となる。しかし、1 行で表現できる以上の新しさを備えている。本章は、Konoha の特徴を簡単なソースコードとともに紹介したいと思う。

2.1 おなじみの言語文法

Konoha の文法は、C/C++ や Java と高い互換性をもっている。これは、はじめてプログラミングを学ぶ者にとって、C/C++, Java などのメインストリーム言語の良き導入になるだけでなく、経験あるプログラマにとって特別な努力を費やすことなく、Konoha プログラミングがはじめられることを意味する。

次は、C/C++, Java でも、そのまま動作する Konoha の fibonacci 数列を再帰で求める関数である。

```
int fibo(int n) {  
    if(n < 3) return 1;  
    return fibo(n-1)+fibo(n-2);  
}
```

これが一方、Perl や Python, Ruby, Lua, さらに例え、Java 風の文法をもった JavaScript であっても、いきなり簡単な fibonacci 関数を書くことは難しいだろう。

従来の Java 風スクリプティング言語に比べ、高い互換性をもっているのは、それは Java と同じく静的に型付けされている点が大い。これによって、ダイナミック言語に比べ、より Java に近いオブジェクト指向モデリングを扱うこともできる。

```
class Counter {  
    int _count;  
    Counter(int n) { _count = n; }
```

```
void count() { _count++; }  
}
```

ただし、Konoha は、独立したプログラミング言語である。C/C++, Java に比べいくつかの点で簡略化されているし、逆にスクリプティング言語として独自に拡張されている部分もある。

2.2 型推論

Konoha の特徴は、静的型付けである。これは、通常、型宣言を必要とすることを意味する。型宣言を求めることは、プログラミングモジュールの仕様を明らかにすることであり、大規模なソフトウェア開発やグループ開発において、より誤解の少ない開発が可能になる。ただし、型宣言を必要としないダイナミック言語に親しんできたプログラマには、ちょっと面倒を感じるところである。

Konoha は、非常に限定的であるが、実用的に十分な型推論 (type inferencing) の機構を備えている。型推論のおかげで、変数宣言なしに変数を代入して使うことができる。これは初期値から、変数の型を推論し、自動的に宣言しているからである。

```
>>> a = [1,2,3]  
>>> n = a[1]  
>>> n  
2  
>>> typeof(a)  
Int[]  
>>> typeof(n)  
Int
```

Konoha の型推論は、プログラミングのしやすさと型宣言による厳密な仕様定義の間で、バランスをとりながら設計されている。また、型を推論できなかった場合、Any 型による動的な型付けのオプションも用意されている。

```
function func(int n, int m) {  
    return n + m;  
}
```

2.3 対話的な動作: Looks like Java, Runs like Python

Konoha プロジェクトのキックオフ当時の目標は、”Looks like Java, Runs like Python”、つまり「Java のように書けて Python のように実行できる」であった。現在の Konoha は、Python のみならず、Ruby や JavaScript など、様々な言語を参照しな

がら設計を行っているが、それでも Konoha スクリプティングのお師匠は、Python なのである。

Python へのオマージュが最もよくあらわれている部分が、対話モードである。konoha を実行すると、対話モードが起動する。

```
$ konoha
Konoha 0.3.10 (Rufy) GPL2 (#544, May  2 2009, 09:37:22)
[GCC 4.0.1 (Apple Inc. build 5490)] on macosx_32 (32, UTF-8, English)
Options: iconv sqlite3 thread regex used_memory:412 kb
>>>
```

>>> は、コマンドプロンプトである。複数行にわたる場合は、2 行目以降は、... となる。ここにプログラム（式もしくはステートメント）を入力すると、次の行にはその実行結果が得られる。

```
>>> print "hello, world"
hello, world
```

Konoha の対話モードは、Lisp の対話的プログラミングほど、それ自体で成り立つプログラミング環境ではない。しかし、Konoha の機能、動作を試したいとき、十分に役立つ機能である。

次は、fibo() 関数を対話モードで定義し、その場で実行したときの様子である。

```
>>> int fibo(int n) {
...     if(n < 3) return 1;
...     return fibo(n-1)+fibo(n-2);
... }
>>> fibo(36)
55
```

2.4 最速水準の実行性能

スクリプティング言語は、元来、プログラムの実行速度より、プログラムの開発速度に重きをおいてきた。実行性能を比べるだけであれば、C/C++ や Java 言語の足下にも及ばない。しかし、より複雑なアプリケーションソフトウェアの開発にもスクリプティング言語が利用されるようになり、スクリプティング言語エンジンの性能向上は大きな関心事になっている。

Konoha は、バイトコード型バーチャルマシンで実装されたスクリプティング言語エンジンをもっている。スクリプトは、バイトコードにコンパイルされ、そしてバーチャルマ

シン上で実行される。そして、このとき、Konoha は静的な型付けの特性を活かして、より効率のよいコードを生成することができる。

`fibo()` 関数をフォーマッタ機能でダンプすると、実際にコンパイル済みのバイトコードをみることができる。

```
>>> %dump(Script.fibo)
int main.Script.fibo(int n)
[4:0x2038e0] SETESP(30) sfp[2]
[4:0x2038e8] iLTn(99) sfp[2] sfp[1] 3
[4:0x2038fc] bJIFF(62) 0x20391c sfp[2]
[4:0x203910] RETo(35) sfp[-1] 1
[5:0x20391c] iSUBn(87) sfp[5] sfp[1] 1
[5:0x203930] FCALL(46) sfp[3] 3 sfp[0] int main.Script.fibo(int n)
[5:0x203940] iSUBn(87) sfp[6] sfp[1] 2
[5:0x203954] FCALL(46) sfp[4] 3 sfp[0] int main.Script.fibo(int n)
[5:0x203964] iADD(84) sfp[-1] sfp[3] sfp[4]
[5:0x203970] RET(32)
```

現在、10 年以上にわたる高速化チューニングが施された Python や世界最速のスクリプティング言語 Lua と比べ、同等以上の実行性能を示している。

ここで注意してもらいたいのは、Konoha は大学の研究室から生まれたプログラミング言語であり、そもそも大学の教員も学生も本職のソフトウェア開発者に比べると実装スキルには大きな限界がある。それを差し引いてもなお、好成績を示しているのは、Konoha は、従来のダイナミック言語の設計に比べ、原理的に高速化に適した言語構造を採用しているためである。

2.5 実行前の型検査といつでも実行

型検査とは、型に対する操作、例えば関数コールのとき引数の数やその種類が間違っていないか、確認することである。ダイナミック言語は、実行時にのみ型検査が行われるため、型エラーが含まれるスクリプトを実行したとき、型エラーが発見される。そのため、実行しながらひとつひとつ型エラーを探し、修正する必要がある。(全実行パスをテスト実行してみて、型エラーを全て取り除くことができる。)

Konoha は、スタティック言語の特性を活かして、スクリプトの実行前に全て型検査を一度に行うことができる。konoha スクリプトを実行するとき、`-c` オプションを追加すれば、型エラーや潜在的なミスに対する誤りを全て検査して表示することができる。このとき、実際にプログラムを走らせることはないため、ファイルやデータベースが中途半端な状態でストップする心配もない。

```
$ konoha -c sample/helloworld.k
```

Konoha は、従来のスタティック言語と異なり、型エラーが発見されても、スクリプトを実行することができる。これは、Konoha 言語において開発された”run anytime”コンパイル技術により、発見された型エラーの部分のみ、実行しても安全なコード（ランタイム例外）に書き換えることで、実行可能なバイトコードを生成するからである。

Konoha は、とりあえずプログラムを動かすため、エラーの発生する箇所をコメントアウトしたり、スタブコードを作る必要なく、いつでもダイナミック言語のように動作させることが可能である。もしエラー箇所を実行したときは、Source!!例外が通知されて停止する。

```
$ konoha sample/helloworld.k
```

2.6 オブジェクト指向

Konoha は、「全てがオブジェクト」という世界観で統一されたオブジェクト指向プログラミング言語である。整数も null もオブジェクトで表現されている。

また、最先端のオブジェクト指向プログラミングのアイデアと技法を体験するため、

- 名前ベースのクラスシステム
- 単一継承、インターフェースによるポリモーフィズム
- ダックタイピングによるポリモーフィズム
- 総称型 (Generics)
- メタオブジェクト、アスペクト指向
- データ変換と相互運用性 (Mappable Class)

2.6.1 クラスを調べる

オブジェクト指向プログラミング言語は、各クラスにその機能性 (capability) が集約されている。Konoha では、対話モードから man コマンドで使えば、クラスが提供するオペレーションが表示される。

```
>>> man Int
CLASSNAME
    konoha.Int
    extends konoha.Number
CONST
    Int.MAX: 9223372036854775807
```

```

Int.MIN: -9223372036854775808
OPERATOR
      -x      x != x      x & y      x * y      x + y
      x - y      x / y      x < y      x << y      x <= y
      x == y      x > y      x >= y      x >> y      x ^ y
      x mod y      x | y      x++      x--      |x|
      ~x
METHOD
  Int! Int.random(Int n)
FORMATTER
  %bits %d %f %s %u %x
MAPPING
  Int
    ==> Float
    ==> String

```

Konoha は、実行時にメソッド等を追加できる。man コマンドは、実行時の状態を表示するため、メソッドの種類は変更になる。

2.7 オブジェクト指向フォーマッタ

Web 時代になって、より多くの情報は HTML, XML などある種のフォーマット化されたテキストで表現されている。テキストフォーマットは、主要なプログラミングタスクのひとつであるが、今なおオブジェクト指向プログラミングの再利用性の恩恵を受けない分野として残っている。Java は、例えば、toString() メソッドを用いて、任意のオブジェクトを文字列表現に変換できたが、様々なフォーマット出力を切り替えることはできない。

Konoha は、オブジェクト指向機能のひとつとして書式付きフォーマッタを提供している。フォーマッタは、C 言語の printf 風の書式 (%s, %d) に似ているが、オブジェクトと書式は出力時にダイナミックバインドされる。つまり、C 言語では型に対して書式が決まっていたのに対し、Konoha では int 型でも小数形式で出力したいときは %f を用いることができる。

```

>>> %s(1)
1
>>> %03d(1)
001
>>> %f(1)
1.00000

```



```
>>> %bits(1)
00000000 00000000 00000000 00000001
```

また、フォーマッタはメソッドの一種として、プログラマが自由に定義することが可能であり、%HTML のような複雑なフォーマッタも作成できる。フォーマッタは、単純にメモリ上の文字列に変換するだけでなく、ストリームへの直接出力も可能であり、大量のデータを低メモリ消費で変換することができる。

2.8 マッピング機能とデータ変換

Konoha の最大のオブジェクト指向モデルの拡張は、異種データベース翻訳や軽量オンメモリ技術をベースにした高度なマッピング機能を導入した点にある。つまり、簡単にいえば、全ての変換操作はキャスト演算に統合され、データ変換のためのメソッド/関数名を覚える負担から解放される。

```
>>> (String)1
"1"
>>> (Int[])1
[1]
```

Konoha は、マッピング意味論を厳密に形式化管理し、複雑なマッピングを自動生成するマッピング推論エンジンを備えている。(以下つづく)

第 3 章

レキシカル構造

3.1 文字

Konoha は、はじめから多国語環境での利用を前提として設計されている。文字は、Unicode 規格で定められた文字コードが利用可能であり、スクリプトの記述には Web 上で標準である UTF-8 エンコーディングを採用している。ただし、文字コード変換をサポートしているため、UTF8 に変換可能な文字コードであれば、文字コードの選択に制限はない。

さて、Konoha は多国語前提と言っておきながら、識別子（変数名、クラス名、メソッド名）には ASCII 文字の利用しか認めていない。これについてちょっと説明を加えておきたい。そもそも、Java 言語が登場したとき、識別子に Unicode 文字、つまり「日本語名」を認めた。これは、たぶん、彼らなりの非欧文圏への親切だったと思うのがあるが、それから 10 年以上を過ぎた現在、日本語で書かれた変数やクラス名をみる機会はない。ここから学ぶ教訓は、欧文圏のプログラマにとって「入力すらできない名前」を使わないことも、我々側からの親切であるといえる。

3.2 トークン

トークンとは、プログラミング言語の最小の意味単位である。それぞれ、予約語（Konoha 文法で定義されたキーワード）、識別子、演算子、リテラル（データ値）などの意味を持つ。ソースコードは、Konoha の文法ルールにしたがって、トークンに分割される。

```
return 0;    // 3つのトークン "return" "0" ";"
return0;     // 2つのトークン "return0" ";"
```

空白は、ソースコードからトークンを分割するための区切りとなる記号で、空白はいくつ続いても意味はない。タブ (Tab) や改行も空白と同様に扱われる。そのため、プログラマは自由に空白、タブ、改行を用いて読みやすいソースコードを書くことができる。ただ

し、次節で述べるとおり、改行に関してはひとつだけ留意事項がある。

また、次の文字は前後に空白があるものとみなされる。

```
{ } ( ) [ ] ; ,
```

また、演算子で用いられる記号 (+ や*など) の前後にも空白があるものと解釈される。ただし、読みやすいソースコードを書くため、明示的に空白をいれることが推奨される。

```
a + b           // 推奨
a+b             // 非推奨
```

3.3 ステートメント

ステートメントとは、プログラミング言語における文のことである。Konoha のステートメントは、C や C++, Java と同様に、セミコロン (;) で終わる。

```
a = 3;
b = 4;
```

次のように、1 行に複数のステートメントを書くこともできる。

```
a = 3; b = 4;
```

ここまでは、C や C++, Java で採用された正しいスタイルのステートメントである。もし、Konoha を学習用として利用している場合、100% この正しいスタイルを身につけるべきである。

3.3.1 セミコロンの省略

多くのスクリプティング言語は、1 行の終わりをそのままステートメントの終わりと解釈することが多い。そこでセミコロンを強制することは、Konoha は書きにくい言語になってしまう。そこで、Konoha は、ステートメントの途中で改行がくると、セミコロン (;) を忘れたものと拡大解釈している。つまり、次の例でも、同様に、2 つのステートメントになる。

```
a = 3
b = 4
```

こうすると、あちらを立てればこちらが立たずという問題が発生する。

C プログラマは、1 行 (80 文字) に収まりきらないステートメントを改行して読みやすくする習慣があり、このケースではステートメントが勝手に分割されてしまうことになりかねない。

```
print a + b
-c;
```

そこで、もしステートメントの途中で改行を入れたときは、2行目以降は字下げしてステートメントが続いていることを明示的に示すことにした。少々面倒な気もするが、多くのCプログラマは読みやすくするため、習慣的に字下げを行っているため、比較的影響が少ないと思われる妥協点である。

```
print a + b
  - c;
```

3.4 コメント

Konoha は、C/C++, Java スタイルのコメントを採用している。// は、行コメントの始まりであり、改行までのテキストがコメントとして無視される。

```
a = b;                // 行コメント
```

また、C/C++ や Java と同様に、/* */ で囲むことでコメント化できる。注意すべき点は、Konoha は C 言語と異なり、コメントのネストが可能な点である。

```
/* まとめてコメントアウト
a = 1;
b = 2;                /* コメントの入れ子もOK */
*/
```

3.5 リテラル

リテラルは、プログラム中に直接あらわれたデータ値のことである。型をもった値として扱われる。

次は、基本的なリテラルの例である。

12	// 整数12
1.2	// 小数1.2
"hello world"	// テキスト
/^world\$/	// 正規表現パターン
true	// 論理値 true
false	// 論理値 false
null	// NULL

スクリプティング言語の一般的な特徴は、リテラルが一般的なプログラミング言語に比

べ大幅に強化されている点である。Konoha も、データはスクリプトの重要な一部とみなし、配列 (Array)、辞書 (DictMap)、そしてオブジェクトのリテラルをサポートしている。

```
[1,2,3]           // 配列オブジェクト
{x :1, y: 2}       // 辞書オブジェクト
C{x: 1, y: 2}      // クラスCのオブジェクト
```

3.6 識別子

識別子は、名前のことである。Konoha では、識別子は、クラス、変数、メソッド、アノテーションに名づけるために利用される。名前の最初は、アルファベット文字で始まり、英数字かアンダースコア (`_`) が続く。次は、全て正しい識別子の例である。

```
i
my_variable_name
v9
Class
MATH_PI
```

Konoha の識別子の特徴は、Java プログラミングの名前付けの慣習 (naming convention) をルール化し、識別子からその種類を判定できるようにした点である。ただし、識別子の一部はコンテキストから判断するしかない場合がある。

3.6.1 変数

変数は、常に英小文字で始まり、英数字、アンダースコアからなる名前をもつ。次は、すべて正しい変数名の例である。

```
n  n2  name  firstName  first_name
```

変数名の先頭にアンダースコアをつけると、それぞれフィールド変数やスクリプト変数をダイレクトに参照する意味となる。

```
_name           // フィールド変数
__name          // スクリプト変数
```

3.6.2 定数

定数は、最初に与えられた値が変更されない特別な変数である。英大文字で始まり、英大文字と数字、アンダースコアからなる。次は、正しい定数名の例である。

```
N N2 NAME FIRST_NAME
```

また、クラス名とあわせて定義されるクラス定数もある。次は、クラス定数の例である。

```
Int.MAX Math.PI
```

3.6.3 クラス名

クラス名は、常に英大文字で始まり、英数字からなる。アンダースコア (`_`) を含めることはできない。次は、全て正しいクラス名である。

```
Int String InputStream C URN
```

クラス名は、ローカル定数 (アンダースコアなしの定数) と、名前だけから区別することはできない。Konoha コンパイラは、コンテキストによって正しく判断することができるが、ソースコードの読みやすさを考慮に入れたとき、英大文字のみのクラス名 (`C` や `URN`) の利用は避けた方がよい。

3.6.4 例外名

例外名は、`!!` で終わるクラス名である。次は、全て正しい例外名である。

```
Null!! Security!! OutOfIndex!! IO!!
```

Konoha は、Java プログラマへの互換性を配慮して、クラス名が `Exception` で終わっていた場合、パーサーが自動的に `!!` に置き換える。つまり、`SecurityException` は、`Security!!` となる。逆に、`Exception` で終わる名前は、クラス名として用いることはできない。

3.6.5 メソッド名 (関数名)

メソッド名^{*1}は、変数と同様に、英小文字で始まる英数字からなる名前を用いる。

Konoha は、Java スタイルの (英語の) 動詞 + 名詞でメソッド名を名付けるスタイルを採用し、名詞の始まりで英大文字を用いることを推奨している。ただし、こればかりはコンパイラでチェックできないので、プログラマの実践に任せるのみである。

次は、推奨スタイルに従ったメソッド名である。

```
get getName readLine query
```

メソッド名の途中でアンダースコアを入れることも認められている。ただし、挿入されたアンダースコアは、取り除かれて、続く 1 文字を英大文字化することで正規化される。

^{*1} 関数は、Script クラスのメソッドであるため、メソッド名のルールに従う。

```
get_name           // getName に正規化
get_host_by_name   // getHostByName に正規化
read_line          // readLine に正規化
```

Konoha は、C/C++ など他言語で開発されたライブラリをクラスにバインドして利用することが少なくない。この場合、必ずしも Java 風の名前慣習に従わないライブラリが多く、既存のライブラリ関数をそのまま利用できた方が便利でもある。そこで、Konoha では、メソッドや関数をコールするときのみ、英大文字と英小文字の区別をしない。

次のどの関数呼び出しも、結局、getPid() を呼び出すことになる。

```
getpid()
GetPid()
GET_PID()
```

3.6.6 フォーマッタ名

フォーマッタ名は、% 記号で始まる特別なメソッド名である。命名則は、メソッド名にしたがい、利用するときは英大文字/英小文字の区別はない。次は、フォーマッタ名の例である。

```
%s    %4.2f    %dump    %HTML
```

フォーマッタでは、利用のときに限り、% と名前の間に数字とドット記号 (.) から構成される書式オプションを追加することができる。これは、C 言語の printf 書式の慣例にしたがったものである。

3.6.7 プロパティ変数

プロパティ変数は、実行環境の設定値や環境変数をもった特別な変数名である。\$ 記号で始まり、英数字及びドット記号 (.) から構成される。次は、正しいプロパティ変数名である。

```
$konoha.version
$env.PATH
```

3.6.8 アノテーション

アノテーションは、ステートメントに対して注釈やメタデータを与えるときに用いる。アノテーション名は、Java 言語と同様に、@ で始まり、英数字からなる名前である。次は、アノテーション名の例である。


```
@Override    @Final    @Doc
```

3.6.9 ラベル名

英字で始まりコロン (:) で終わるトークンは、予約語を含め、クラス名、変数名、定数名とは関係なく、ラベルとして扱われる。次は、ラベルの例である。

```
default:      ClassName:   variable:   CONST:
```

コロン (:) の前に空白を入れると、ラベルにならない。より重要な注意は、ラベルの次も必ず空白を入れることである。

3.7 予約語

Konoha は、「識別子としてプログラム中で利用できない」特別なキーワードをいくつか予約している。次のリストは、Konoha にとって文法の一部、つまり特別な意味をもったキーワードである。

```
as assert break case catch class continue default defined do double else extends
false finally for foreach from goto if import include interface is isa lock namespace
new null pragma print return switch this true try typeof using var void where while
```

いくつかのキーワードは、C や Java, JavaScript などの既存プログラミング言語の記法を解釈するためのエイリアス（別名）として予約されている。

<code>abstract</code>	// @Abstract の別名
<code>boolean</code>	// Boolean
<code>byte[]</code>	// Bytes
<code>double</code>	// Float
<code>final</code>	// @Final
<code>float</code>	// Float
<code>int</code>	// Int
<code>private</code>	// @Private
<code>protected</code>	// @Protected
<code>public</code>	// @Public

上のパラメータ/引数を、で区切って与えることができる。コール演算子の評価値は、メソッド/関数の戻り値となる。ただし、メソッド/関数の戻り値 `void` 型の場合は、評価値はない。

<code>f()</code>	関数 <code>f()</code> のコール
<code>o.f()</code>	<code>o</code> のメソッド <code>f()</code> をコール
<code>new C()</code>	クラス <code>C</code> のコンストラクタをコール
<code>%f(o)</code>	<code>o</code> のフォーマット

コール演算子で与えられるパラメータは、メソッド/関数のパラメータで定められている。Nullable 型のパラメータは省略しても構わない。これに反する場合は、型エラーとなる。

```
>>> fibo(10)
55
>>> Math.abs(-1)
1.000000
```

コール演算子は、第一パラメータが文字リテラルである場合のみ、括弧 () 自体を省略することもできる。

```
>>> c.query """
select name, salary from PERSON_TBL
where age > 45 and age < 65;
"""
```

4.3 アドレス演算子

アドレス演算子は、変数 `x` の値が格納されているアドレスを返す。ただし、Konoha はポインタ演算をサポートしていないため、この機能は完全にクラスルーム目的で導入されている。

<code>&x</code>	<code>x</code> のアドレス
---------------------	----------------------

Konoha は、ポインタ型をサポートしていないため、アドレス演算子の演算結果は、`int` 型である。`%p` フォーマッタを使えば、アドレスとして表示される。

```
>>> s = "hello, world"
>>> %p(&s)
00000000
```

4.4 比較演算子

比較演算子は、二つの値 x, y を比較するとき用いられ、結果は `true` か `false` である。

<code>x == y</code>	等しいか？
<code>x != y</code>	等しくないか？
<code>x < y</code>	より小さいか？
<code>x <= y</code>	以下か？
<code>x > y</code>	より大きいか？
<code>x >= y</code>	以上か？

Konoha では、全ての型に対して x, y の比較が可能である。これは常に意味のある比較となることを保証しない。概念的に比較が難しい場合、 x, y の型が異なる場合は、数値の比較など特別なケースをのぞいて、オブジェクト ID (アドレス値) の比較が返される。どちらにしても、比較演算の結果は、一意となる。

```
>>> 1 < 2.0
true
>>> 1 == "1"
false
```

4.4.1 マッチング演算子

マッチング演算子は、Perl に由来し、主に正規表現と文字列のマッチングに用いられる。

<code>x =~ y</code>	x は、パターン y と等しいか？
---------------------	-----------------------

マッチング演算子は、`==` と異なり、対称ではない。パターンは、必ず右辺に与える必要がある。

```
>>> s = "hello, world"
>>> s =~ /w.*d/
true
```

4.4.2 isinstanceof 演算子

`instanceof` 演算子は、Java に由来し、 x がクラス C のインスタンスであるか判定する。Konoha は、純オブジェクト指向言語であり、全ての値は何らかのクラスのインスタンスである。そのため、任意の x に対して、`instanceof` を用いることができる。

```
>>> 1 instaceof Float
false
>>> 1 instanceof Number
true
```

また、`null` はどのクラスのインスタンスでないため、常に `instanceof` 演算子の結果は、`false` となる。ただし、`Any` 型のみ `true` となる。

```
>>> null instaceof Object
false
>>> null instanceof Any
true
```

4.5 論理演算子

論理演算子は、C/C++, Java 互換の記法と Python 互換の記法の両方をサポートしている。どちらを使っても構わないが、C/C++, Java との互換性を重んじるなら、`&&`, `||`, `!` を用いる方が無難である。

<code>x and y</code>	<code>x</code> かつ <code>y</code> が <code>true</code> のとき
<code>x && y</code>	
<code>x or y</code>	<code>x</code> または <code>y</code> が <code>true</code> のとき
<code>x y</code>	
<code>not y</code>	<code>x</code> が <code>false</code> のとき
<code>!(y)</code>	

```
>>> a = 1
>>> b = 2
>>> a == 1 && b == 2
true
>>> a == b || a < b
true
>>> !(a == b)
true
```

論理演算を混在したとき、`!`, `&&`, `||` の順に演算される。ただし、演算順位で誤解を生じさせないように、`()` で優先的に演算する式を囲んだ方がよい。

```
!(a == 1) && b == 2 || a > b
// ((!(a == 1)) && b == 2) || (a > b) と同じ
!(a == 1) || b == 2 and a > b
```

```
// (! (a == 1)) || ((b == 2) && (a > b)) と同じ
```

4.5.1 条件演算子

条件演算子は、条件によって演算が切り替わる演算子である。Konoha は、次の 2 種類の演算子をサポートしている。

<code>x ? y : z</code>	<code>x</code> がtrueのとき <code>y</code> 、そうでなければ <code>z</code>
<code>x ?? y</code>	<code>x</code> がnullのとき <code>y</code>

演算子 `x ? y : z` は、3 項演算子とも呼ばれ、条件式 `x` の結果によって、式 `y` か 式 `z` が評価される。3 項演算子は、読みにくくなるので、各式の周りは `()` で囲んだ方がよい。

```
>>> a = 1; b = -1;
>>> a = (a < b) ? (a) : (b);
>>> a
-1
```

演算子 `x ?? y` は、C#で導入された `null` 検査用の条件演算子である。意味は、`(x != null) ? x : y` と同じである。ただし、`null` 検査を連続するときは、こちらの方がはるかに読みやすい。

```
>>> name = student["name"] ?? ninja["name"] ?? "unknown";
```

4.6 算術演算子

算術演算子は、2 つの数値 `x`, `y` に対し、四則演算を行うときに用いられる。また、文字列など一部のクラスには算術演算子を連結や分離などの意味で定義されていることもある。

<code>x + y</code>	加算
<code>x - y</code>	減算
<code>x * y</code>	乗算
<code>x / y</code>	除算
<code>x % y</code>	余り (モジユロ)
<code>x mod y</code>	

モジユロ演算子 `%` は、C/C++, Java で広く採用されているが、フォーマッタ名と区別しにくいので、`mod` を使うことが推奨されている。

```
>>> 1 + 2 * 3
```

7

4.6.1 算術代入

算術代入は、代入演算子と算術演算子を組み合わせたシンタックスシュガーである。

<code>x += y</code>	<code>x = x + y</code>
<code>x -= y</code>	<code>x = x - y</code>
<code>x *= y</code>	<code>x = x * y</code>
<code>x /= y</code>	<code>x = x / y</code>

4.6.2 インクリメントとデクリメント

Konoha は、"Everything is an Object" の世界で、Int オブジェクトは Immutable なので、本来の意味でインクリメントとデクリメントをサポートできない。しかし、あまりに利用者からの要望が多いため、シンタックスシュガーで対応している。現在のところ、前置、後置演算の区別はない。

<code>x++</code>	<code>x = x.opNext()</code>
<code>++x</code>	<code>x = x.opNext()</code>
<code>x--</code>	<code>x = x.opPrev()</code>
<code>--x</code>	<code>x = x.opPrev()</code>

Konoha では、インクリメント/デクリメント演算子は、次のようにステートメントとして利用する場合、安心して用いることができる。

```
for(i = 0; i < 10; i++) print i;
```

4.7 ビット演算子

Konoha は、C スタイルのビット演算子を Int 型に対してサポートしている。スクリプティング言語において、これらの演算子を多用することは稀であり、これらは教育用を主目的^{*1}として用意されている。

<code>~x</code>	ビット反転
<code>x & y</code>	論理積
<code>x y</code>	論理和
<code>x ^ y</code>	排他論理和(XOR)

^{*1} バーチャルマシンにおいて専用命令としてチューニングされないと意味である。

<code>x << y</code>	左シフト
<code>x >> y</code>	右シフト

フォーマッタ `%bits` は、ビット演算子の結果を表示するとき利用できる。

```
>>> %bits(~0)
11111111 11111111 11111111 11111111
>>> %bits(1 << 2)
00000000 00000000 00000000 00000010
```

4.8 シーケンス演算子

Konoha は、シーケンス（順序を保って並んだ集合）に対して、その操作に関する一連の演算子を提供し、それらを総称してシーケンス演算子と呼ぶ。代表的なシーケンスの例は、`Array`, `byte[]`, `String` などがある。

<code> s </code>	シーケンス <code>s</code> のサイズ
<code>s[n]</code>	<code>n</code> 番目の値
<code>s[n] = x</code>	<code>n</code> 番目に値 <code>x</code> をセットする
<code>s[] = x</code>	全部に値 <code>x</code> をセットする
<code>x in? s</code>	<code>s</code> に <code>x</code> が含まれているか？
<code>s << x</code>	<code>s</code> への <code>x</code> の追加

シーケンス演算子では、シーケンスの要素の種類によらず、シーケンスのインデックス `n` に対して、常に $0 \leq n < |s|$ が保証される。（ただし、`DictMap` や `HashMap` のように、インデックスの代わりにキーを用いる場合はこの限りでない。）

```
>>> a = [0, 1, 2, 3]
>>> |a|
4
>>> a[1]
1
>>> a[-1]
OutOfIndex!!!
```

インデックス `n` が最大値 `|s|` を超えた場合は、`OutOfIndex!!` 例外となる。インデックスの値がマイナス^{*2}のときも同様である。

^{*2} 配列の Boundary Check 最適化を考えて、Python 風の最後尾から数えてインデックスし直す拡張は便利であるが採用は見送られた。

演算子 `<<` は、特別なシーケンス演算子であり、複数の要素を連続して追加することもできる。

```
>>> a = [1]
>>> a << 2 << 3 << 5 << 7;
>>> a
[1, 2, 3, 5, 7]
```

スライシングは、シーケンスから部分シーケンスを取り出す演算子である。Python のスライシング演算子とよく似ているが、Konoha では部分シーケンスの定義の仕方が3種類用意されている。

<code>s[x..y]</code>	x番目からy番目(含む)まで
<code>s[x..<y]</code>	x番目からy番目まで
	<code>s[x..(y-1)]</code> と同じ
<code>s[x..+y]</code>	x番目からy個の部分
	<code>s[x..(x+y)]</code> と同じ

文字列は、シーケンスの一種であり、スライシングで部分文字列を得ることができる。

```
>>> s = "konoha"
>>> s[2..3]
"no"
>>> s[2..<3]
"n"
>>> s[2..+3]
"noh"
```

よく似た演算子が3種類存在する理由は、これらはよく混同されて間違えるためである。逆に、3種類、範囲除外 (`..<`) やオフセット (`..+`) をイメージしやすい演算子を導入することで、どれかを正しく使いやすくなる。また、スライシング `s[x..y]` の範囲 `x` `y` は、それぞれ省略可能である。省略したときは、それぞれ `x = 0`, `y = |s| - 1` が初期値として採用される。

```
>>> s = "konoha"
>>> s[2..]
"noha"
>>> s[..4]
"nono"
>>> s[..] // シーケンスのコピー
"konoha"
```

4.9 キャスト演算子

Konoha は、オブジェクト間のデータ変換や意味変換を強力にサポートするマッピング機能を独自に導入している。これらは、C/C++, Java 言語でおなじみのキャスト演算子に統合され、利用可能である。

<code>(T)x</code>	xの型Tへの変換(キャスト)
<code>x to? T</code>	xは型Tへ変換可能か?

マップキャスト演算子 `(T)x` は、ソース型 `typeof(x)` とターゲット型 `T` の関係で動作が異なる。サブタイプの関係が成り立つ場合は、通常どおり、アップキャスト、もしくはダウンキャストされる。それ以外の場合は、マッパーが検索され、それが評価される。

```
>>> Object o = "123";
>>> s = (String)o;           // ダウンキャスト
>>> n = (int)o;              // マップキャスト
>>> n
123
```

これらの演算子は、マッピング機能を応用して実現されている。詳しくは、「第??章 マッピング機能とデータ変換」で述べる。

4.10 セマンティック演算子**

Konoha は、オブジェクト指向モデルの軽量オントロジ拡張を行い、クラスやオブジェクト間の意味的な関係を比較することができる。

<code>x isa? y</code>	x は、y か? IS-A 関係
<code>x === y</code>	x と y は意味的に等しいか?

Konoha は、文字列や数値に意味タグを付加することができる。次は、華氏 (32.0F) と摂氏 (0.0C) の比較である。

```
>>> Float:F temp = 32.0F;
>>> temp == 0.0C;
false
>>> temp === 0.0C;
true
```

これらの演算子は、マッピング機能を応用して実現されている。詳しくは、「第??章 セマンティックプログラミング」で述べる。

第 5 章

ステートメント

プログラムは、ステートメントの集まりである。本章では、Konoha の基本的なステートメントとその文法を説明する。しかし、あらかじめ断っておくが、本章で紹介する Konoha ステートメントは、C/C++ や Java とほぼ完全な互換性がある。書く方は頑張ったわりには、読者から読み飛ばされてしまう章である。なお、ステートメントの一般的な訳語は、「文」である。本来、ステートメントに統一すべきかも知れないが、if ステートメントと呼ぶのは冗長な気がするので、広く慣習的に用いられている [if 文] を用いている。

5.1 式

もっとも簡単なステートメントは、プログラムの状態を変更する式 (expression) である。代入式は、もっともよく使われるステートメントである。

```
s = "Hello " + name;  
i *= 3;
```

インクリメント演算式 (++)、デクリメント演算式 (--) は、代入式的一种である。Konoha は、前置/後置の違いはなく、次の式は `counter = counter + 1` と同じである。

```
counter++;
```

関数/メソッドコールは、もうひとつの代表的な式によるステートメントである。

```
fibonacci(16);  
Math.sin(0.5);
```

ステートメントブロックは、0 個以上のステートメントまとめてひとつのステートメントとして扱えるようにする。これは、任意のステートメントを中括弧 { } で囲むことで作ることができる。

ブロックを使うときは、インデントすると読みやすい。

Konoha の変数は、静的に型付けされており、新しい変数を使うとき、型宣言が必要となる。C/C++ や Java と同様、型名 変数名の形式で、必要に応じて変数の初期値を与えられる。また同じ型であれば、複数の変数をひとつのステートメントで宣言できる。

Java との大きな違いは、初期値の扱いである。Konoha は、@Nullable 修飾子（もしくは型名のあとに?）追加しなければ、全て NonNull 型となる。したがって、初期値の指定がない場合の初期値は、null ではなく、そのクラスのデフォルト値となる。

逆に、C#風に?を型名に付けるか、@Nullable アノテーションを用いれば、null を保持可能な変数となる。この場合の初期値は、null である。

[illegible]

5.4 if 文

if 文は、もっとも基本的な制御ステートメントであり、条件に応じて実行するステートメントの切り替えることを可能にする。if 文には、2 種類の形式がある。次は、簡単な形式である。

```
if (expr) stmt
```

この形式では、条件式 *expr* がまず評価される。その結果が、true であれば、それに続くステートメント *stmt* が実行される。もし条件式の結果が false であれば、ステートメント *stmt* は実行されない。

```
if (n mod 2 == 0) print "even";
```

if 文に続くステートメントとして、ブロックを用いることもできる。

```
if (n mod 2 == 0) {  
    print "even";  
}
```

第二の形式は、else 節を導入したものである。

```
if (expr) stmt1 else stmt2
```

この形式の if では、まず条件式 *expr* が評価され、もしそれが true であればステートメント *stmt1* が実行され、そうでなければ *stmt2* が実行される。

```
if (n mod 2 == 0) {  
    print "even";  
} else {  
    print "odd";  
}
```

5.5 switch 文

The switch statement is not supported in the version 0.5 of Konoha.

5.6 while/do-while 文

while 文は、Konoha においてステートメントを繰り返し実行させる基本的なステートメントである。その文法は次のとおりである。

```
while (expr) stmt
```

while ループは、条件式 *expr* が true の間、続くステートメント *stmt* を繰り返す。次は、変数 *a* が 0 より大きい間、繰り返し実行される。

```
a = 1;
while(a > 0) {
    a = Int.random(10);
    print a;
}
```

Konoha では、ループを実現するステートメントとして、do-while 文のバリエーションがある。

```
do stmt while (expr);
```

do-while ループは、先にステートメント *stmt* を一度実行したあと、条件 *expr* によって繰り返しの有無を定を行う。while と do-while の違いは、while が条件に次第では 1 回もステートメントが実行されないのに対し、do-while の方は必ず 1 回は実行される点である。

```
do {
    a = Int.random(10);
    print a;
}while(a > 0);
```

5.7 for 文

for 文は、変数の初期化とその値の増減を繰り返すときに便利な while 文の置き換えである。実際、次のソースコードは、

```
for(i = 0; i < 10; i++) {
    print i;
}
```

以下の while 文と全く同じである。

```
i = 0;
while(i < 10) {
    print i;
    i++;
}
```


5.8 break 文 と continue 文

Konoha は、break と continue という 2 種類のループ制御のステートメントをもっている。

break 文を使うと、現在繰り返しているループ構造のブロックから抜け出すことができる。

```
while(true) {
    dice  = Int.random(6) + 1;
    dice2 = Int.random(6) + 1;
    print dice, dice2;
    if(dice == dice2) break;    // ゴロ目の場合、終了
}
```

continue 文を使うと、現在繰り返しているループ構造のブロックの残りの部分をスキップする。

```
for(i = 0; i < 10; i++) {
    if(i % 2 == 0) continue;
    print i, ...;
}
```

多重ループからの break と continue

ループ構造は、while 文や for/foreach 文を組み合わせ、多重ループを作ることができる。多重ループの中では、どのループを対象として、break したり、continue するのか問題となります。

Konoha では、ループにラベルをつけることで、どのループからの break/continue なのか明示的に示すことができる。また、ラベルを省略すれば、今まで通り暗示的に最も内側のループが対象となる。

```
OUTER:
for(y = 0; y < 8; y++) {
    INNER:
    for(x = 0; x < 8; x++) {
        if (x == y) continue OUTER; /* 外側 */
        if (x < y) break; /* 内側 */
        print x, y;
    }
}
```

```
}
```

5.9 for/in 文

foreach は、イテレータ内の各オブジェクトに対して繰り返し処理を行う専用のループ構造である。多くの場合、for 文よりもわかりやすく、高速な処理が可能になります。

```
foreach(String line from new InputStream("file.txt")) {  
    print line;  
}
```

All of objects in Konoha are convertible to an Iterator object. See the upcoming "Foreach and Iteration " section for detailed information.

Konoha は、foreach 文を大きく拡張してあります。詳しくは、「第??節 foreach とクエリー処理」を参照してください。

第 6 章

数値

コンピューティングプロセッサ (CPU) は、コンピュータシステムの中心部であり、様々な形式の整数や浮動小数の演算をサポートしている。プログラミング言語は、これらを、例えば C 言語の場合、char, short, int, long long long int, float, double, long double のように、異なる型で区別して利用できるようになっている。一方、Konoha は、プロセッサの性能やメモリ効率を最大利用するより、プログラミングのしやすさに力点を置いている。そのため、最も使いやすい整数と浮動小数点の形式を選んで、Int と Float クラスとして箱詰め (boxing) している。本章では、これらのクラスを用いた数値の扱いを説明する。

6.1 数値と型

Konoha は、2 種類の数値表現をサポートしている。これらは、C 言語における 64 ビット符号付き整数 (long long int) と倍精度浮動小数点数 (double) に相当し、日常的な利用においては自然数や実数を表現するのに十分な値域と精度を持っている。

Konoha では、“Everything is an Object” の設計であり、数値を含め、すべての値はオブジェクトとなっている。Int クラスと Float クラスは、それぞれ整数値と浮動小数点数値を箱詰め (boxing) してインスタンス化するためのクラスである。

```
>>> (1).class  
Int
```

注意：「箱詰め (boxing)」の話だけをすると、プログラミング言語実装に詳しい方は不安になるだろう。Konoha の内部をより正確に言えば、オブジェクトとしてアクセスするときのみ、boxing されており、それ以外は、もちろん unboxing された状態で数値処理されている。不必要なメモリ消費は最低限に抑えられている。

6.1.1 int, float 型

Konoha では、クラス名は英大文字で始まり、そのまま型名として用いられる。このルールにしたがえば、整数値、浮動小数点値を用いるための型は、Int, Float 型となる。しかし、C/C++, Java など、ほとんどすべてのプログラミング言語において、これらの型は int, float のように英小文字で始まっている。

ここで、言語設計の統一的美しさにこだわれば、Konoha のルールにしたがってもらえばよいものであるが、「言語」というものは実際に使っている人たちが主人公である。プログラミング言語も、そろそろ半世紀の歴史をもつわけであるから、言語設計者が好き勝手に文法を決められる時代はもう終わったと考えてよいだろう。統一的な美しさはないが、Konoha では、int や float も別名定義し、プログラム中で利用することができる。

最後に、Konoha 風の Int と伝統的な int のどちらを使った方がよいかという問題が残る。Konoha のローカルルールに固執して Int/Float を使うより、C/C++ や Java などとソースコードの交換性を保つため、int/float を使う方がよいと考える。また、同じ理由で long や double 型も定義されており、Int/Float の別名として定義されている。

6.1.2 Decimal**

Konoha プロジェクトは、将来、小数点以下の精度を保持した無限長の数値をサポートすることを計画している。

6.2 数値リテラル

数値は、ふつうに表記すれば、予約語や識別子と区別がつかないことはない。数値リテラルと言っても、極めて自然な表記であるが、整数と浮動小数点を区別するため、表記上のルールがある。

6.2.1 整数リテラル

スクリプティング言語では、short や long などサイズの異なる整数を使い分ける可能性は少なく、単純に自然数を表すために整数を用いることが多い。Int クラスでは、数値の上限下限を最も気にしなくて済む 64 ビット整数^{*1}を採用している。

Konoha では、10 進数の整数は、数字の列として書ける。整数の値の範囲は、-9,223,372,036,854,775,807 から 9,223,372,036,854,775,807 となる。つまり、日常の利用ではまず足りなくなる心配のない値域をカバーしている。

^{*1} KNH_USING_INT32 オプションを用いれば、32 ビット整数に変更することも可能である。

```
0
3
100000000
```

10 進数表記に加えて、Konoha は、16 進表記と 2 進表記をサポートしている。16 進表記の整数リテラルは、0x もしくは 0X で始まり、続いて数字 (0-9) もしくは 10 から 15 までの数字を表す英字 (A-F) が続く形式である。

```
0xff // 15 * 16 + 15 = 255
0xCAFE911
```

クラスルームでは、結構、2 進数の説明も頻出する。そのため、Konoha は独自の 2 進数リテラルとして、0b もしくは、0B から始まり、0 もしくは 1 が続く 2 進数で整数を与えることができる。

```
0b1111 // 0xff = 255
```

6.2.2 Float リテラル

浮動小数点数 (floating-point numbers) は、全て Float クラスの値として表現される。その名前から想像されるものとは異なり、IEEE 745 標準で定義された 64 ビット倍精度形式を用いている。これらは、C/C++, Java 言語では、通常 double 型で表現される形式である。

Float リテラルは、小数点を必ず含む。通常、整数パートの数列に始まり、小数点、続いて小数点以下の数列が続く形式である。また、e もしくは E によって 10^n 乗形式の位を追加することも可能である。

```
3.14
2345.789
.3333333333
6.02e23
1.473E-32
```

6.2.3 桁取り表記

我々は、日常、大きな数字を間違えることなく扱うため、1000 桁ごとにカンマ (,) を入れて表記することが多い。プログラミング言語では、カンマは特殊な意味をもった演算子の一種として扱われるが、Konoha では、アンダースコア (_) を数値リテラルの任意の箇所に入れることが認められ、カンマの代わりに桁取り表記も可能となる。OCaml 風の拡張であるが、ちょっとだけ読みやすくなる。

```
1_0000
9_223_372_036_854_775_807
```

6.2.4 意味タグ拡張と単位*

Konoha は、セマンティックプログラミングの機能として、Int や Float クラスに対して意味タグを付加することができる。意味タグは、単位など直感的なタグを用いることが可能であり、数値リテラルの後置辞として利用することができる。詳しくは、「第 ?? 章 セマンティックプログラミング」で解説する。

```
32.195km                // Float:km
80[km/h]                // Int[80/km]
```

注意：意味タグが定義されていないときは、意味タグは無視されて、通常の整数、浮動小数点数のリテラルとして扱われる。型チェックはおこなわれないが、読みやすさのために意味タグを使っても構わない。

6.3 数値演算

Konoha では、数値はクラスによって箱詰めされているが、その値はそのままネイティブの数値表現、C 言語で言うところの long long int と double である。したがって、その数値演算の振る舞いは、C 言語の演算子と同じである。特に、浮動小数点演算において計算結果が微妙に異なることがバグレポートとして報告されるが、そもそも浮動小数点演算というのは桁落ち、丸め誤差などが含まれていることを思い出して欲しい。

6.3.1 四則演算

Int, Float は、それぞれの型の範囲において四則演算 (+, -, *, /) を定義している。つまり、Int 型間の演算では Int 型の結果がえられ、Float 型間の演算では、結果は Float 型になる。

```
>>> 7 / 2                // Int型の除算
3
>>> 7.0 / 2.0            // Float型の除算
3.5000000
```

一方、Int 型と Float 型を混在して演算したときは、Int 型の値は全て自動的に Float 型に変換されたのち、演算される。したがって、結果は Float 型となる。

```
>>> 7 / 2.0              // 7は7.0へ
3.5000000
```

```
>>> 7.0 / 2          // 2は、2.0へ
3.5000000
```

ゼロ除算の場合は、Int, Float とともに、Arithmetic!!例外が通知される。

```
>>> 1 / 0            // ゼロ除算
Arithmetic!!: Zero Divide
```

優先順位

Konoha の四則演算は、日常の数学の演算と同じ順序で計算される。つまり、乗算と除算は、加算と減算に優先して実行される。演算の優先順位を変更するときは、優先対した演算を `()` で囲む。

```
>>> 1 + 2 * 3
7
>>> (1 + 2) * 3
9
```

Konoha では、四則演算以外にも数多くの演算子をサポートしている。これらを混在して利用するときは、優先する演算子を `()` で囲む習慣をつけると、思わぬ誤動作を防ぎ、また読みやすさも向上する。

6.3.2 ビット演算

Konoha は、Int 型の数値のみ、ビット演算をサポートしている。

```
>>> %bits(1)
00000000 00000000 00000000 00000001
>>> %bits(~1)
11111111 11111111 11111111 11111110
>>> %bits(2)
00000000 00000000 00000000 00000010
>>> %bits(1&2)
00000000 00000000 00000000 00000000
>>> %bits(1|2)
00000000 00000000 00000000 00000011
>>> %bits(1<<4)
00000000 00000000 00000000 00010000
>>>
```

スクリプティング言語では、低レベルな処理を書く機会が少ないため、ビット演算子を活用する機会は少ない。さらに、Konoha では、ビット演算子の記法は他のよく使われるオペレータ (`|` や `<<` "hi" など) に転用されているため、演算子の優先度が C/C++, Java と異なることがある。この違いを覚えるよりは、ビット演算子と四則演算子を組み合わせるときは、`()` で囲んで優先する演算子を明示した方がよい。

```
>>> %bits(1+1<<2)                // 優先度が?
00000000 00000000 00000000 00001000
>>> %bits(1+(1<<2))
00000000 00000000 00000000 00000101
>>> %bits((1+1)<<2)
00000000 00000000 00000000 00001000
```

Float の数値を IEEE 754 浮動小数点のビットレイアウトにしたがってビット演算をしたいときは、まず `Float.floatToIntBits()` を用いて `Int` 型へ変換したのち、`Float.intBitsToFloat()` で `Float` 型に変換することで可能になる。ちなみに、Konoha は 32 ビットシステムであっても、`Int` と `Float` はともに 64 ビットで表現される。

```
>>> n = (float)1.0;                // 数値変換
>>> %bits(n)
00000000 00000000 00000000 00000001
>>> f = Float.floatToIntBits(1.0)  // ビットレイアウト維持
>>> %bits(f)
00111111 11110000 00000000 00000000
```

6.3.3 比較演算

`Int` 型、`Float` 型は、ともに比較演算子 (`==`, `!=`, `<`, `<=`, `>=`, `>`) によって数値を比較できる。また、`Int` 型、`Float` 型の比較を混在して用いたとき、Konoha は通常、異なる型の比較はオブジェクト ID による比較になるが、特別に自動的に `Int` クラスを `Float` クラスに変換して比較を行う。

```
>>> 1 < 2.0
true
>>> 3.2 != 3
false
```

`Int` 型の比較演算子は、実用上問題がおこらないが、`Float` 型の場合は、IEEE754 規格に基づいた表現のため、実用上は同値であっても同値とみなされない。そこで、(正規表現のための) マッチング演算子 `==~` を用いると、簡単にほぼ等しいを演算することができる。

有効桁数は、小数点以下 5 桁である。

```
>>> 1.00003 == 1.0
false
>>> 1.00003 =~ 1.0
true
```

6.3.4 数値変換

Konoha では、Int 型と Float 型の型変換は、必要に応じて自動的に行われる。これらを明示的におこないたい場合は、キャスト演算を用いることができる。ただし、Konoha の数値変換の振る舞いは、C 言語の数値変換の振る舞いに基づいている。特に、Float から Int への変換は、切り捨てになるため注意が必要である。

```
>>> (int)1.8
1
>>> (int)-1.8
-1
```

、小数点以下 n 桁で切り上げ、四捨五入、切り下げを行いときは、math パッケージのクラス関数 `Math.ceil()`、`Math.round()`、`Math.floor()` を用いる。

```
>>> using math.*;
>>> Math.ceil(1.8)
2.0000000
>>> Math.round(1.8)
2.0000000
>>> Math.floor(1.8)
1.0000000
```

6.3.5 文字列との変換

Konoha は、全てのクラス間の変換がキャスト演算子に統合されている。文字列への変換も文字列からの変換もキャストで行うことができる。ただし、数値の書式を指定したい場合は、次節のフォーマットを用いる。

```
>>> (String)1.8
"1.8000000"
>>> (int)"123"
123
```

文字列から数値への変換は、数値リテラルの文法も解釈される。

```
>>> (int)"1"
1
>>> (int)"0xff"
255
>>> (float)"6.0221415e23"
6022141499999999896780800.000000
```

数値以外の文字列は、それぞれ `Int` 型、`Float` 型のデフォルト値へ変換される。デフォルト値の代わりに（変換に失敗したことを知るために）`null` を得たいときは、`Nullable` キャストを用いることができる。

```
>>> (int)"hello,world"           // 数値でない
0
>>> (int?)"hello,world"          // 数値でない
null
```

6.4 数値フォーマット

数値フォーマットは、C 言語 `printf` 書式に由来しているものが多いが、独自に定義されたものは `%bits` などいくつか存在する。ここでは、代表的な数値フォーマットについて紹介する。

6.4.1 10 進書式 `%d`

10 進数 (`digit`) 書式では、文字列の幅 m を `%md` のように指定できる。また、`%0md` ように書式を与えると、空白の代わりに `0` で埋められる。（これは、数値としての順序が文字列化したときも保持されるため、よく用いられる。）

```
>>> %d(123)
"123"
>>> %4d(123)           // 幅(4)を指定
" 123"
>>> %-4d(123)          // 左寄せ
"123 "
>>> %04d(123)          // 0パディング
"0123"
```

6.4.2 16 進書式 %x

10 進数 (digit) 書式では、10 進書式同様に、文字列の幅 m を $\%mx$ のように指定できる。

```
>>> %x(123)
"7b"
>>> %8x(123)           // 文字列の幅 8
"       7b"
>>> %08x(123)          // 0パディング
"0000007b"
```

6.4.3 小数書式 %f

小数書式は、Float クラスだけでなく、Int クラスもサポートしている。したがって、整数も型変換することないしに、小数書式でフォーマッティング可能である。

```
>>> %f(1)
1.000000
>>> %f(1.0)
1.000000
```

小数書式では、全体の幅 m と小数点以下の桁数 n を $\%m.nf$ のように指定できる。

```
>>> %f(3.14159)
"3.141590"
>>> %6.2f(3.14159)      // 小数点以下2桁
"  3.14"
>>> %6.3f(3.14159)      // 小数点以下3桁
" 3.142"
```

6.4.4 ビット書式 %bits

ビット書式は、printf 書式に存在しない独自の書式である。整数や浮動小数点数のビットレイアウトを確認するために導入されており、クラスルーム用途の書式である。

```
>>> %bits(-1)           // 2の補数表現 :)
11111111 11111111 11111111 11111111
```

6.4.5 UCS4 文字書式 %cn

文字書式は、printf 書式でもおなじみの書式であり、整数から文字コードを用いて文字に変換してくれる。ただし、Konoha 言語では、Unicode 文字コード (UCS4) を用いているため、ASCII 文字コード以外の文字も変換することができる。

```
>>> %c(30)                // ASCII (<128)
"A"
>>> %c(0x3042)             // UCS4  (>128)
"あ"
```

6.5 乱数生成

乱数生成は、Int と Float クラスの値をランダムに生成する一種のコンストラクタである。Konoha では、標準乱数生成器として、統計処理分野で愛用される高品質な疑似乱数アルゴリズム Mersenne Twister [1] を採用している。

乱数生成は、クラス関数として提供されている。Int.random(n) は、0 から n(含まれない) までの整数乱数を生成し、Float Float.random() は、浮動小数点乱数 x ($0.0 < x < 1.0$) を生成するクラス関数である。

例えば、さいころ (1 6) を作りたいときは、次のように用いることができる。

```
>>> Int.random(6) + 1      // さいころ
3
>>> Int.random(6) + 1      // 違う目が出た
6
```

6.5.1 乱数生成器の初期化

Konoha は、起動時の時刻とランタイム情報から起動する度に乱数生成器を初期化している。そのため、通常、乱数生成器を初期化する必要はない。ただし、明示的に乱数生成器を初期化したいときは、System.setRandomSeed(seed) を用いることで、再初期化可能である。(パラメータ seed に対し、0 を与えたときのみ、その時刻とランタイム情報からシードが生成される。)

```
>>> System.setRandomSeed(1)  // 初期化
>>> Int.random()             // 初期化後は同じ
1234794094773155764
```

注意：同じ seed 値で初期化すると、乱数生成系列が同じになる。つまり、毎回、同じ順番で同じ乱数生成が繰り返される。ただし、Konoha の乱数生成器は、複数の言語エンジン/スレッドから共有されているため、マルチ言語インスタンスやスレッド実行下での乱数生成は、逆に同一性は保証されなくなる。

第 7 章

文字列

文字は、人類史の始まり以来、最も重要な情報表現の手段である。情報社会といわれる現在においても、社会や文化を支える主要な情報は、文字によって記録され、伝えられている。そのため、プログラミングにおける文字の重要性も明らかといえる。文字やテキストをうまく扱うことは、情報処理の中心的な役割を占めているからである。

プログラミング言語では、文字を 1 文字、1 文字扱うのは不便なので、複数個以上の文字の並びを「文字列 (string)」として扱う。Konoha は、文字列を表現するため、String クラスを提供し、独自のフォーマティング機能とあわせて、自由自在な文字列操作を実現している。

7.1 文字列と型

ほぼ全てのプログラミング言語は、海外で生まれたという経緯もあって、長らく「文字 = ASCII コード = 1 バイト」という前提で開発されてきた。これが不幸の始まりで、スクリプティング言語であっても、日本語を処理する場合はどうしても 1 文字が何バイトに相当するか意識しながら文字列処理を強要されることが多かった。

Konoha は、21 世紀になってからの設計であり、Unicode 文字を採用し、1 文字はそれが何バイトであっても 1 文字と数えている。つまり、文字列処理において、文字コードを意識しなくて済む設計になっている。

文字列は、0 個以上の Unicode 文字からなる。Konoha では、文字単体を扱う特別な型は存在せず、文字は長さ 1 の文字列として表現される。

```
"a"           // ASCII 文字
"あ"          // Unicode 文字
```

どうしても文字コードを扱う必要があるときは、UCS4(31 ビット) コードとして、Int 型を用いて扱うことができる。

```
>>> ("a").getChar()    // ASCII コード
```

```
>>> ("あ").getChar()      // UCS4 コード
```

Konoha は、String の内部エンコーディングとして、UTF8 を利用している。本来、文字列は実装依存しない抽象化されたデータ構造であるべきであるが、UTF8 以外はバイト列 (Bytes/byte[]) して扱うことになる。String から、各種エンコーディングにしたがってバイト列に変換する方法も用意されている。

```
s.getBytes("shift_jis")  // Shift_JIS へ変換
new String(byte, "shift_jis");
```

注意：入出力ストリームにはエンコーディングが設定できるようになっているため、エンコーディングを処理するケースはあまりない。n

7.2 文字列リテラル

プログラミング言語では、「プログラム要素の識別子」と「データとしての文字列」を区別するため、文字リテラルのルールにしたがって、文字列をデータ値として記述する。Konoha は、C/C++、Python、C# に由来する 3 種類の文字列リテラル、さらに独自のリテラルもサポートしている。ここでは、これらを順番に説明する。

7.2.1 ダブルクオート

最も基本的な文字列リテラルは、文字列をダブルクオート (") で囲む形式である。このリテラルは、C 言語を含め、ほぼ全てのプログラミング言語で広く採用されている。

```
""                // 空文字列
"hello, world"
"3.14"
"Say \"hi.\"\"    // エスケープ記号
"いろは"         // Unicode 文字
```

文字列リテラルとして、そのまま表現できない文字、例えば改行や"は、エスケープ記号 (\) を用いて記述する。Konoha は、次の 6 種類のエスケープシーケンスのみサポートする。

sequence	Character represented
\n	改行 (LF)
\t	タブ
\\	\記号

<code>\'</code>	<code>'</code> シングルクオート (<code>"</code> 中)
<code>\"</code>	<code>"</code> ダブルクオート (<code>'</code> 中)
<code>\:</code>	<code>:</code> コロン (<code>'</code> 中)

7.2.2 シングルクオート

Konoha では、シングルクオート (`'`) も、コロン (`:`) の扱いに注意すれば、文字列リテラルの始まりと終わりとして利用することができる。シングルクオートを用いると、ダブルクオート (`"`) を含む文字をすっきりと表すことができる。

```
'a'                // "a"と同じ
'Say "hi"'         // "Say \"hi.\"\" と同じ
'http\://'         // : はエスケープが必要
```

シングルクオートは、正式には「タグ付き文字列」のリテラルとして定義されている。タグ付き文字列とは、文字列の先頭に `'tag: ...'` のようなタグを付けて、文字列の意味を識別し、その意味にしたがって適切なオブジェクトを生成するリテラルである。

```
're:s$'            // 正規表現 (Regex)
'file:/tmp/konoha.k'
'isbn:978-4-87311-329-6'
'IO!!:File Not Found' // 例外 (Exception)
```

注意:「タグ付き文字列」のタグが未定義な場合は、通常の文字列リテラルとして解釈される。ただし、明示的にタグでないことを示すためには、エスケープ (`\:`) する必要がある。詳しくは、「第??章 セマンティックプログラミング」で述べる。

7.2.3 バッククオート

バッククオート (```) も、% 記号の扱いに注意すれば、文字列リテラルの始まりと終わりの記号として利用できる。こちらを用いれば、シングルクオートとダブルクオートが混在する文字列をすっきりと表すことができる。

```
`Naruto said, "I'm a ninja."`
```

バッククオートは、正式には「インライン・フォーマット」つまり文字列リテラル中の書式が評価される特別な文字列リテラルとして用いられる。次は、`%d{}` 内の式が評価され、`%d` フォーマッタで整形された文字列が埋め込まれている。

```
>>> core =2
>>> `make -j%d{core+1}`
"make -j3"
```

もしバッククオートを文字リテラルとして利用するときは、% 文字は、\%、もしくは %% のようにエスケープ処理が必要になる。詳しくは、「第 7.6 節 インラインフォーマットティング」で述べる。

7.2.4 トリプルクオート

トリプルクオートは、Python に由来するテキスト用の文字リテラルである。''' もしくは、""" で囲まれたテキストは、改行やタブ文字もそのまま文字列として扱われる。ただし、エスケープシーケンスも有効である。

```
'''
This is a rather long string containing
several lines of text just as you would do in C.
    Note that whitespace at the beginning of the
    line is significant.
'''
```

また、トリプルバッククオート (""" によるインラインフォーマットティングも有効である。

```
'''
configure
make -j%d{core+1}
'''
```

Konoha では、読みやすさを向上するため、ちょっとした改良をのトリプルクオートに加えてある。トリプルクオートの先頭が改行の場合は、その改行は無視される。したがって、上記のトリプルクオート文字列は、"c" から始まる。

7.2.5 RAW 文字列

RAW 文字列とは、エスケープシーケンスを無視した文字列リテラルである。Konoha は、C# に由来する記法を採用し、文字リテラルの前に@を付加すると RAW 文字列として用いられる。

```
@ "C:\My Document\Programming\Konoha"
```

7.2.6 行リテラル

行リテラルは、ドキュメントや他言語のスクリプトを読みやすく書くための、Konoha 独自の拡張リテラルである。# で始まるトークンは、その行の終わりまでをそのまま文字

列として解釈される。また、途中で、#が入っていてもそれは文字列の一部として解釈される。ただし、#直後の空白(スペース)だけは、読みやすさのため挿入と解釈され、それは無視される。行リテラルは、バッククォートと同じく、「インライン・フォーマット」を解釈する。

```
# make -j3                // "make -j3"と同じ
# make -j%d{core+1}
```

行リテラルは、文字列リテラルの連結のところで述べるとおり、ドキュメントや他言語のスクリプトを(読みやすく)書くための記法である。多くのスクリプティング言語では、#はコメントと解釈されるので、多用すると読みにくくなる。次のソースは、Konohaの文法的に正しい用例であるが、読みにくくなる。

```
>>> s = # make -j3
```

7.2.7 文字列リテラルの連結

文字列リテラルは、複数並べると、自動的に連結されてひとつの文字列となる。異なるタイプのクォートを混在させたときは、先頭のクォートタイプで連結される。

```
"hello" "," "world"      // "hello,world"と同じ
```

文字列リテラルの間に改行があると、連結するとき自動的に改行を含めて、連結される。これは、行リテラルの連結のときに、特に威力を発揮する。

Konoha では、Groovy と同じく、メソッドや関数の第一パラメータに文字列リテラルを書くとき、関数コール演算子()を省略することができる。行リテラルの連結と組み合わせると、すっきりとスクリプトを書くことが可能になる。

```
db.query
# create table book (
#     name char[20];
#     title char[80];
# );
```

下記のソースと完全に同じである。

```
db.query('''
create table book (
name char[20];
title char[80];
);''')
```

7.3 文字列と演算子

文字列は、「文字」配列である。ただし、Konoha の String は、不変 (Immutable) オブジェクトであるため、Read Only の「文字」配列となる。

7.3.1 長さとしーケンス

文字列は、0 個以上の文字が並んだシーケンスである。Konoha では、シーケンス `s` は、`|s|` 演算子を用いることで、その長さを得ることができる。文字列の場合、そこに含まれる文字の数である。

```
>>> s = "";
>>> t = "ABC";
>>> u = "ABCいろは";
>>> |s|
0
>>> |t|
3
>>> |u|
6
```

Konoha の文字列の長さは、多国語化された設計となっているため、文字のバイト数に関わらず、文字数が文字列の長さとなる。ASCII(1 バイト) 文字列を前提としたバイト数でないことに注意したい。もし文字列のバイト数をしりたい場合は、一旦、バイト配列 (`byte[]`) に変換すればよい。ただし、このとき UTF8 エンコーディングが用いられ、それにしたい日本語は 3 バイト以上になっている。

```
>>> s = "ABCいろは";
>>> b = (byte[])s;
>>> |b|
12
```

文字列は、文字の配列として扱うことができる。配列のインデックスは、0 から始まり、`|s| - 1` である。

```
>>> s = "ABCいろは";
>>> s[0]
"A"
>>> s[|s|-1]           // 最後の一文字
"は"
```

注意：Konoha の文字列は、変更不能 (immutable) である。通常の配列のように値を変更することができない。

文字列から部分文字列 (substring) を取り出すときは、シーケンススライス演算子を用いることができる。

```
>>> s = "ABCいろは";
>>> s[..2]
"ABC"
>>> s[3..]
"いろは"
>>> s[2..4]
"Cいろ"
```

7.3.2 連結

文字列の連結は、Java と同様に、加算 (+) 演算子によって書くことができる。この加算は、もちろん結合則や交換則に基づくものではないが、操作が直感的であり、広く使われている。

```
>>> "Uzumaki" + " " + "Naruto"
"Uzumaki Naruto"
```

Konoha は、文字列の加算を最も優先されるオペレータとして定義している。つまり、文字列と文字列以外のオブジェクトを混在して換算した場合、全て文字列に変換されたのち連結される。

```
>>> "Naruto " + 8 + 1           // %s(8) + %s(1)と同じ
"Naruto 81"
```

もし数値演算を優先したい場合は、括弧 () で囲んで先に計算する。

```
>>> "Naruto " + (8 + 1)         // %s(8 + 1)と同じ
"Naruto 9"
```

7.3.3 連結、除去、分割

Konoha では、加算に加えて、減算、乗算、除算の演算子にもそれぞれ各演算子の意味に近い文字列操作として定義されている。これらも数学的な性質は継承しないが、文字列処理としてときに便利である。

文字列の減算 $s - t$ は、文字列 s から指定された文字列 t を取り除く操作である。こ

れは、`s.replace(t, "")` に相当する。

```
>>> "Uzumaki Naruto" - "a" - "u";
"Uzmki, Nrto"
```

文字列の乗算 `s * n` は、文字列の四則演算の中で唯一整数値を引数にとる。しかし、そこから得られる結果は極めて直感的に、文字列 `s` を `n` 個連結したものである。

```
>>> "Naruto" * 3;
"NarutoNarutoNaruto"
>>> "hello" * 0
""
```

文字列の除算 `s / t` は、文字列 `s` を文字列 `t` で分割したときの先頭の文字列である。文字列の余算 `s % t` は、分割された残りの文字列となる。これは、`s.split(t)` の簡易版として利用される。

```
>>> "Uzumaki Naruto" / " "
"Uzumaki"
>>> "Uzumaki Naruto" % " "           // mod のこと
"Naruto"
```

7.3.4 文字列の比較

文字列は、関係演算子によって比較することができる。そのとき、単純にアルファベットオーダー (UTF8 のコード順) で比較され、英大文字/英小文字は無視されない。

```
>>> "Uzumaki" == "Naruto"
false
>>> "Uzumaki" > "Naruto"
ture
```

7.4 文字列メソッド

Konoha は、Java 言語に由来する String メソッド を標準的にサポートし、更により多くの文字列操作メソッドも拡張している。本節でとりあげるメソッドは、その一部である。しかし、本節のメソッドだけで、Konoha プロジェクトで利用しているドメイン言語 (DSL) と C ソースコード生成器を作成することができる。

7.4.1 startsWith(), endsWith()

Konoha は、正規表現によるパターンマッチングが利用できるが、多くの場合、文字列の先頭、もしくは末尾のみマッチングするだけで事足りることが多い。メソッド `s.startsWith(t)` は、文字列 `s` の先頭が文字列 `t` と一致するか判定するときに利用できる。逆に、メソッド `s.endsWith(t)` は、文字列 `s` の末尾が文字列 `t` と一致するか判定できる。

```
>>> s = "Uzumaki Naruto"
>>> s.startsWith("Uzumaki")
true
>>> s.startsWith("Naruto")
false
>>> s.endsWith("Uzumaki")
false
>>> s.endsWith("Naruto")
true
```

`startsWith()` と `endsWith()` は、英大文字/小文字を区別する。`equals()` と同様に `IgnoreCase` バージョンを利用すれば、英大文字/英小文字を無視してマッチングを行うことができる。

```
>>> s = "Uzumaki Naruto"
>>> s.startsWith("uzumaki")
false
>>> s.startsWith:IgnoreCase("uzumaki")
true
```

7.4.2 検索: indexOf(), lastIndexOf()

`index()` 系の文字列操作は、C 言語の標準ライブラリから存在する古典的な文字列ライブラリである。Konoha では、Java 同様に、文字でなく、部分文字列の検索ができる。

メソッド `s.indexOf(t)` は、文字列 `s` の先頭から部分文字列 `t` を探し、その位置を返すメソッドである。逆に、メソッド `s.lastIndexOf(t)` は、文字列 `s` の末尾から部分文字列 `t` を探し、その位置を返すメソッドである。位置は、文字列のインデックスと同様に 0 から始まる。ともに、部分文字列 `t` を発見できなかった場合は、`-1` を返す。

```
>>> s = "Uzumaki Naruto"
>>> s.indexOf("Naruto")
```

```
>>> s.indexOf("Sakura")
-1
>>> s.indexOf("a")
4
>>> s.lastIndexOf("a")
9
```

最もよく使う利用法は、シーケンススライスと組み合わせて、文字列を分割するときである。

```
>>> s = "Name: Uzumaki Naruto"
>>> s[.. s.indexOf(": ")]
"Name"
>>> s[s.indexOf(": ")+1 ..].trim()
"Uzumaki Naruto"
```

7.4.3 split(), tokenize()

メソッド `s.split(t)` は、文字列 `s` を分割文字列 `t` によって単純に分割するメソッドである。分割された文字列は、`String[]` に格納される。(分割文字列 `t`) は、含まれない。)

```
>>> s = "Naruto, Sakura, Sasuke"
>>> s.split(", ")
["Naruto", "Sakura", "Sasuke"]
>>> s.split(",")
["Naruto", " Sakura", " Sasuke"]
```

特別な用例としては、分割文字列を省略すると、文字列は1文字ずつ `split()` される。

```
>>> s = "naruto"
>>> s.split()
["n", "a", "r", "u", "t", "o"]
```

もう少し意味のある単位でトークンを分割したい場合は、メソッド `s.tokenize()` も利用できる。これは、文字列 `s` を `Konoha` のレキシカル構造にしたがってトークンに分割するメソッドである。

```
>>> s = '''
print (1+1), 'hello,world';
'''
>>> s.tokenize()
```



```
["print", "(", "1", "+", "1", ")",  
  ",", "'hello,world'", ";"]
```

7.4.4 置換: replace()

メソッド `s.replace(t, u)` は、文字列 `s` 中に出現する部分文字列 `t` を与えられた文字列 `u` によって置き換えるメソッドである。Konoha では、文字列は不変オブジェクトであり、破壊的操作はできないため、新しい `String` オブジェクトが生成され、メソッドの戻り値として返される。

```
>>> s = "Haruno Naruto"  
>>> t = s.replace("Haruno", "Uzumaki")  
>>> t  
"Uzumaki Naruto"  
>>> s  
"Haruno Naruto" // 元の文字列は変わらない
```

注意: `replace()` メソッドは、正規表現パターンによる置き換えも可能である。詳しくは、「第 7.7 節 正規表現」で述べる。

7.4.5 toUpper(), toLower()

メソッド `s.toUpperCase()` は、文字列 `s` の英文字を英大文字に変換し、メソッド `s.toLowerCase()` は、文字列 `s` の英文字を英小文字に変換するメソッドである。

```
>>> s = "Uzumaki Naruto"  
>>> s.toUpperCase()  
"UZUMAKI NARUTO"  
>>> s.toLowerCase()  
"uzumaki naruto"
```

7.4.6 メソッドのパッケージ拡張

Konoha は、実行中であってもクラスに新しいメソッドを追加したり、既存の振る舞いを変更することができる。String クラスも例外ではなく、パッケージのインポートによって、メソッドが拡張されることがある。

```
>>> using japanese; // 日本語パッケージ  
>>> ("なると").toKatakana() // カタカナへの変換  
"ナルト"
```

```
>>> ("ナルト   ").trim()           // 全角空白も除去される
"ナルト"
```

7.5 テンプレート・フォーマットिंग

フォーマッタは、オブジェクトを様々な書式で文字列化する Konoha 独自の機能である。理想的には、全てのオブジェクトはクラス階層にしたがってフォーマッタが定義され、全てのフォーマットिंगはオブジェクト指向モデルによってよく再利用されるべきである。しかし、現実問題としては、再利用性を考慮に入れるよりも、とりあえずアドホックなフォーマットिंगが便利なケースも多い。その場合、従来のテンプレート・フォーマットिंग、つまり「テンプレートを作成しテンプレートの変数を置き換えることでフォーマットिंगを行う」ことは、便利である。

Konoha では、ビルトイン関数 `format()` を用いることで、テンプレートとそのパラメータを組み合わせてフォーマットされた文字列を生成することができる。もちろん、Konoha では、全フォーマッタをテンプレートの書式として利用することができる。

```
>>> format("We are at [%s:%d]:", __file__, __line__)
"We are at [(shell):1]"
```

テンプレートは、テンプレート書式にしたがえば、あとは通常の文字列として扱うことができる。次は、変数に格納されたテンプレートをフォーマット処理したときである。

```
>>> fmt = "We are at [%s:%d]:";
>>> s = format(fmt, __file__, __line__)
>>> s
"We are at [(shell):4]"
```

7.5.1 テンプレートの書式

テンプレート書式は、`"%x{n}"` スタイルで、「フォーマッタ `%x` に `n` 番目のパラメータを適用する」と意味になる。ここでインデックスは、1 から始まる。わざわざ、パラメータのインデックスを指定できる理由は、英語と日本語のような語順が違うテンプレートでも、パラメータの順番を気にしなくて適用するためである。

```
>>> fmt = ""
... print "name";
... print "name"
... ""
```

7.5.2 フォーマット

テンプレートは、ビルトイン関数 `format()` を用いて、フォーマットされる。フォーマットされた文字列は、関数の戻り値として返される。

```
>>> format(fmt, n, n)
```

フォーマット時のパラメータは、Konoha において数少ないコンパイル時に型検査されないパートである。フォーマッタは、与えられたパラメータのクラスに対して、動的にバインドされる。もし指定されたフォーマッタが定義されてなければ、自動的に `%empty` が適用され、そこには文字列が表示されない。

もし厳密な型検査を求める場合は、関数等でラッピングして用いるとよい。

7.6 インライン・フォーマット

Konoha では、`#`で始まるライン文字列リテラルに対してのみ、インデックスの代わりに、変数やその他の式を直接埋め込むことができる、ダイレクトフォーマットを認めている。

```
c.query
# select name, salary from persontbl
# where age > %d{age} and age < %d{age2}
```

7.7 正規表現

正規表現 (regular expression) は、文字列のパターンを記述する小さな言語であり、有限オートマトンにコンパイルされ、強力なマッチングエンジンとあわせて利用されることが多い。スクリプティング言語では、Perl を代表例として文字列処理の中心的機能として正規表現を言語に統合している。Konoha では、独自の「正規表現」という概念は存在しないが、GNU regex, Oniguruma, PCRE(Perl Compatible Regular Expression) など、既存の正規表現ライブラリを選択して利用することができる。

7.7.1 正規表現リテラル

正規表現パターンは、Regex クラスのインスタンスとして表現される。Konoha では、Perl, Ruby, JavaScript などと同様に、専用の正規表現リテラルが用意されている。正規表現リテラルは、`/`記号で囲まれた文字列であり、そこで表現された文字列は正規表現パターンと解釈される。

```
pattern = /s$/
```

正規表現リテラルは、Regex コンストラクタで生成されるオブジェクトと全く同じである。また、Regex コンストラクタは、@Const 属性であるため、コンパイル時にオブジェクトが生成されるため、性能の面でも同じである。しかし、正規表現リテラルの方を使うことが圧倒的に多い。何よりもシンプルに記述できるからである。特別なオプションを指定するときだけ、現在のところ、コンストラクタを使う必要がある。

```
pattern = new Regex("s$", "i");           // 英大文字/小文字を無視..
```

7.7.2 正規表現エンジン

Konoha は、標準的な正規表現エンジンとして、POSIX regex ライブラリを利用することが多い。現在の正規表現エンジンは、\$konoha.regex で確認することができる。

```
>>> $konoha.regex
"GNU regex library"
```

正規表現エンジンは、正規表現パッケージをインポートすることで切り替えることができる。主な正規表現パッケージは、以下のとおりである。

- oniguruma — kosako 氏が開発し、Ruby で正式採用されている高性能な正規表現ライブラリ
- pcre — Perl 互換の正規表現ライブラリ

切り換えは、パッケージのインポートと同期している。つまり、正規表現パッケージをインポートすれば、正規表現ドライバが入れ替えられ、それ以降の正規表現は新しいエンジンに切り替わる。

```
>>> using oniguruma;
>>> $konoha.regex
"oniguruma"
>>> pattern = /^*.*.*$/           // 以後は、鬼車を利用
```

注意：正規表現ライブラリをインポートする以前の正規表現オブジェクトは更新が反映されない。

また、正規表現ライブラリごとの異なる機能を明示的に使い分けたいときは、正規表現リテラルの代わりに、'regex:', 'pcre:', 'onig:' のように、それぞれのライブラリを識別する意味タグを用いることで、正規表現を用いることができる。

```
>>> using oniguruma;
```

```
>>> s =~ 'onig:~*.:*.$';           // 鬼車でマッチング
>>> s =~ 'regex:~*.:*.$';          // regexでマッチング
```

7.7.3 正規表現と演算子

Konoha は、Perl 由来の正規表現マッチング演算子をサポートしている。しかし、JavaScript もサポートしていないようだから、この演算子は中止しようかと悩んでいる。

```
>>> s = "name: naruto";
>>> s =~ /^*.:*.$/
true
```

7.7.4 正規表現とメソッド

String クラスは、いくつかのメソッドを正規表現パターンに対応させている。

`s.serach(p)` は、文字列 `s` の先頭から、正規表現パターン `p` でマッチング検索を行い、最初にマッチした文字列インデックスを返す。`indexOf()` の正規表現版である。

```
>>> text.search(/ha/);
```

`s.match(p)` は、文字列 `s` に対して、正規表現パターン `p` でマッチングを行い、そのマッチング結果の文字列を返す。複数個マッチした場合は、全て返す。

```
>>> s = "1 + 2 = 3";
>>> s.match(/\d/);
["1", "2", "3"]
```

また、正規表現パターンにおいてグルーピングを用いれば、マッチングした文字列に続いて、グルーピングされた部分文字列も得ることができる。

```
>>> url = "http://www.website.org/konoha";
>>> url.match(/(\w+):\w\/([\w.]+)\w\/(\S*)/);
["http://www.website.org/konoha",
 "http", "www.website.org", "konoha"]
```

`s.replace(p, fmt)` は、文字列 `s` に対して、正規表現パターン `p` でマッチングを行い、その結果をフォーマット `fmt` によって置き換える演算子である。

```
>>> s = "1 + 2 = 3";
>>> s.replace(/(\d)/, "%s{1}.0");
"1.0 + 2.0 = 3.0"
```

7.7.5 正規表現とマッピング**

最近の Perl 互換の正規表現では、名前付きのグルーピングを提供している。文字列を正規表現からパースして、直接オブジェクトへマッピングする機能を計画している。

```
>>> Class Url {
...   String site;
...   String path;
... }
>>> url = "http://www.website.org/konoha";
>>> pattern = /(\w+):\.\.\/(?site:[\w.]+)\.\/(?path:\S*)/;
>>> u = (Url with pattern)url;      // 何言語だ？
>>> u
{site: "www.website.org", path: "/kohoha"}
```

第 8 章

配列とリスト

配列 (array) は、複数個のオブジェクトを扱う最も基本的なデータ構造である。Konoha では、配列は Array クラスとして実現されている。名前は、シンプルに Array であるが、Java の ArrayList と同様に、可変長の成長する配列 (Growing Array) であり、リストとしても利用できる。

8.1 配列と型

Konoha は、Array 型と C[] 型の、2 種類のスタイルの配列が存在するように見える。Array 型は、任意の型の要素をもつのに対し、C[] はある特定の C 型の要素のみもつ。しかし、両者は、ともに Array のいわゆる総称型の別名で、つまるところ、Array<Any>と Array<C>である。基本的な性質は大きく変わらない。

本書では、Konoha スタイルで型を書くが、実際のソースコードでは配列スタイル、総称型スタイルのどれを利用しても構わない。

Konoha	配列	総称型
Array	Any[]	Array<Any>
int[]	int[]	Array<int>
String[]	String[]	Array<String>
C[]	C[]	Array<C>

注意: int[] は、Array<int>と同じであるとなっているが、あくまでも見かけ上の話である。Konoha 内部では、より正確に言えば、unbox された形で整数要素を格納している。同様に、float[] も unbox された配列である。ちなみに、boolean[] は、unbox された配列ではない。

8.1.1 Any[] と Object[] の違い

Object は、全てのオブジェクトの上位クラスであるため、Object[] は Any[]、つまり Array と同様に任意の型のオブジェクトを要素に持つことができる。ただし、「第 ?? 章 ダイナミック言語の特徴」で述べるとおり、Object と Any は、キャストの取扱いが異なるため、両者には注意すべき違いが生じる。

まず、Object[] の方であるが、基本的に Java の配列と振る舞いは同じである。ただし、要素の型は、コンパイルした時点では Object 型であり、次の例のとおり、実行時の要素が String 型であっても、明示的なダウンキャストが必要となる。

```
>>> String[] o = ["naruto", "sakura"];
>>> typeof(o[0])           // 型はObject
Object
>>> String s = (String)o[0]; // ダウンキャスト
>>> s
"naruto"
```

これに対し、Any 型は、実行時に動的な型検証が入るため、静的なキャストは不要になる。こちらの方が便利な反面、暗示的に型キャストをしているため気づかないで実行効率が落ちることがある。

```
>>> Any[] a = ["naruto", "sakura"];
>>> typeof(a[0])           // 型は動的
Any
>>> String s = a[0];       // キャストは不要
>>> s
"naruto"
```

8.1.2 null 要素

Konoha の配列は、null 値を配列要素に持つことができない。ただし、Array 型 (Any[]) は、そもそも Any 型が null を認めるため、null を要素にもつことができる。

```
>>> String[] s = ["naruto"];
>>> s[0] = null;
** Null!!
```


8.1.3 バイト列 `byte[]`

Konoha の整数型は、64 ビット長の `Int` 型に単一化されているため、バイト (8 ビット整数) を表す型はない。多少、メモリが無駄かも知れないが、`int` でバイトを表すことになる。しかし、バイト列 (バイナリデータ) となると、`int[]` を使うのでは多少の無駄では済まない。そこで、バイト列を扱う専用のクラスとして、`Bytes` が用意されている。`byte[]` は、ごたぶんに漏れず、`Bytes` の別名である。

```
byte[] buf = new byte[4096];
```

バイト列 `byte[]` は、配列とほぼ同じ性質を持ち、本章で取り上げるメソッドや演算子をほぼそのまま利用することができる。バイト列特有の性質のみ、「第 8.6 節 バイト列」で取り上げる。

8.1.4 共変性**

8.2 配列の生成

配列は、配列リテラルで配列をデータとして与えるときと、コンストラクタを用いて配列を作る場合の 2 種類の方法がある。

8.2.1 配列リテラル

配列リテラルは、Python や JavaScript など採用されている `[]` コンストラクタを用いる。重要な相違点は、リストの要素によって配列の型が推論される点である。

配列リテラルの型推論ルールは、いたって単純である。まず、最初の要素の型 T を配列型 $T[]$ の候補として、残りの要素がすべて T か、そのサブタイプであるとき、 $T[]$ と推論する。そうでないときは、`Array` クラスとなる。

```
[]           // 空の Array
[1,2,3]       // Int[] の配列
["Naruto", "Sakura"] // String[] の配列
["Naruto", 9] // Array
```

8.2.2 `Array` コンストラクタ

`Array` クラスのコンストラクタは、2 種類存在する。ひとつは、`Array` をリストとして利用するため、空の `Array` を作る方法である。

```
>>> a = new Array(10);           // 空のArrayを生成
>>> a
[]
```

もうひとつは、Java 言語と同様に、配列の大きさをあらかじめ当てはめて宣言する方法である。

```
>>> a = new Any[4];               // 要素数n個の配列
>>> a
[null, null, null, null]
```

8.2.3 C[] コンストラクタ

配列のコンストラクタは、Java 言語と同様に、配列の大きさをあらかじめ当てはめて宣言する方法である。

```
>>> ss = new String[4];           // 要素数4個の配列String[]
>>> ss
["", "", "", ""]
```

生成された配列の要素は、要素型のデフォルト値 (default(C)) で満たされる。(Java と異なり、null ではない。) デフォルト値が不都合な場合は、要素数を 0 にして空の配列を生成したのち、追加することになる。

```
>>> ss = new String[0];           // 空のString[]
>>> ss
[]
```

8.3 配列と演算子

配列は、0 個以上の要素が並んだ典型的なシーケンスである。Konoha では、シーケンス s は、 $|s|$ 演算子を用いることで、その長さを得ることができる。配列の場合は、要素の数である。

```
>>> a = [0, 1, 2, 3]
>>> |a|
4
```

配列 a のインデックスは、C/C++、Java 言語と同様に 0 から始まり、 $|a| - 1$ である。その範囲を超えると、`OutOfIndex!!` 例外が通知される。

```
>>> a = [0, 1, 2, 3]
>>> a[0]
0
>>> a[|a|-1]
3
>>> a[4]
OutOfIndex!!
```

配列は、基本的に変更可能である。正しいインデックスを指定すれば配列の値を変更できる。

```
>>> a = [0, 1, 2, 3]
>>> a[1] = 10           // a[1] を変更
>>> a
[0, 10, 2, 3]
```

注意：初期の Konoha では、python 風に最後尾からインデックスを数える $-n$ 表記が利用できた。このインデックスは便利であったが、C/C++, Java などの既存の配列処理との互換性や最適化処理の困難さを理由に廃止となった。

8.3.1 スライシング

配列 a から部分配列を取り出すときは、スライス演算子 $a[m..n]$ を用いることができる。 m と n は、省略可能で、省略した場合は、それぞれ 0 と最後の添字 ($|a|-1$) と解釈される。

```
>>> a = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
>>> a[2..]           // a[2] から
[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
>>> a[2..6]          // a[2] から a[6] まで
[2, 3, 4, 5, 6]
>>> a[..<6]          // a[2] から a[5] まで
[2, 3, 4, 5]
>>> a[2..+6]         // a[2] から 6 個
[2, 3, 4, 5, 6, 7]
>>> a[..6]           // a[6] まで
[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]
>>> a[..<6]          // a[6] まで ( 含まない )
[0, 1, 2, 3, 4, 5]
>>> a[..+6]          // 最初の 6 個
```

```
[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]
```

8.3.2 リストとセット in?

8.4 多次元配列

Konoha の配列は、基本的に 1 次元配列である。n 次元配列を使うというのは、単純に、C 言語同様に適切に次元を計算してからインデックス操作を行えばよい。例えば、それぞれの次元の大きさが X, Y, Z の 3 次元配列を使いたい場合は、次のようにインデックス (index) を計算できる。

```
int[] a = new int[X * Y * Z];
index = x + X * y + (X * Y) * z;
a[index]
```

当初、多次元配列に関しては、これで十分だと考えていた。それは、Konoha 言語の開発を含め、過去のプログラミング実践で多次元配列がなくて困った経験をほとんどしなかったためである。しかし、これもクラスルームから来た要求であるが、初期のプログラミング練習課題は、オセロやら五目並べやら、やたらと 2 次元配列を使いたくなることが多い。学生から、「2 次元配列は使えないのですか？」と質問される度に、上記の式を書くより、シンタックスシュガーでさっさと対応すべきではないか？、ということになった。

そういうわけで、多次元配列は、型としては 1 次元配列のときと同じである。ただし、コンストラクタで次元を設定すると、次元情報はメタデータとして記録され、このメタ情報を用いて多次元からインデックスを再計算している。確かに、少しすっきりする。

```
int[] a = new int[X, Y, Z];
a[x, y, z]
```

注意：次元をメタ情報として管理しているため、次元数に上限が生じる。Konoha では、最もよく使うと考えられる 2 次元、もしくは 3 次元配列のみサポートされている。4 次元配列が必要なアプリケーションを書いておられる方は、是非、連絡して欲しい。

次は、2 次元配列の利用例である。クラスルームで使う程度であれば、ふつうの 2 次元配列として利用することができる。

```
>>> a = new Int[8, 8];           // 2次元配列
>>> a[1, 7] = 1
>>> a[1, 7]
1
>>> a[8, 1]                       // 次元単位でチェック
```

```
** OutOfIndex!!
```

多次元配列は、1次元配列なので、1次元配列として操作することもできる。多次元配列としての型安全性は備えていない。

```
>>> a = new Int[8, 8];           // 2次元配列
>>> typeof(a)
Int[]
>>> |a|                           // 大きさは、1次元
64
>>> a.add(100)                    // 追加もできる
>>> |a|
65
>>> a[64]                         // 1次元配列の操作も可
100
```

8.5 配列とメソッド

Konoha は、Java の Collection フレームワークの標準的なメソッドをベースにして Array 関係のメソッドを定義している。

8.5.1 リスト: add(), insert(), remove()

Konoha の配列は、全て可変長であり、リストのように要素数のわからないデータを実行時に必要に応じて伸縮させながら利用できる。

メソッド add(v) は、最もよく使われるメソッドである。配列の最後尾に新しい要素 v を追加する。演算子 << と同じ働きをする。

```
>>> a = [0, 1, 2]
>>> a.add(100)                    // 追加
>>> a
[0, 1, 2, 100]
>>> a.add(300000)                 // 追加
>>> a
[0, 1, 2, 100, 300000]
```

メソッド insert(n, v) は、n 番目に要素 v を挿入するときに利用し、メソッド remove(n) は、n 番目からを取り除くとき利用する。どちらの場合も、配列の大きさは、それぞれ増減する。

```
>>> a = [0, 1, 2]
>>> a.insert(1, 100)           // 挿入
>>> a
[0, 100, 1, 2]
>>> a.remove(2)                // 削除
>>> a
[0, 100, 2]
```

Konoha の配列は、リストのように利用できるが、双方向リンクリスト構造ではないため、`insert()`、`remove()` とともに配列要素をコピーするだけのコストがかかる。`add()` は、十分に高速に要素を追加することができる。

8.5.2 キューとスタック: `first()`, `pop()`

Konoha の配列は、キュー (FIFO) やスタック (FILO) として利用することができる。

```
>>> queue = []
>>> queue.push(1)              // キューに追加 add()と同じ
>>> v = queue.first()          // キューから取り出す

>>> stack = []
>>> stack.push(1)              // スタックに追加 add()と同じ
>>> v = stack.pop()            // スタックから取り出す
```

注意：配列は、スタックとして利用するとき、配列の大きさに関わらず、十分に高速である。しかし、キュー操作の場合は、`first()` のとき配列要素のコピーが発生するため、配列の大きさに応じてコストがかかる。

8.5.3 `reverse()`, `shuffle()`

Konoha は、...

8.5.4 整列: `sort()`

Konoha は、高速なソートアルゴリズムによって配列の要素の並びかえることができる。大小の比較は、`<` 演算子によって行われる。

```
>>> a = [0, 2, 1]
>>> a.sort()                   // ソート
```

```
>>> a
[0, 1, 2]
```

注意: `sort()` は、いわゆる昇順ソートである。降順ソートのためのメソッドは用意されておらず、`sort()` と `reverse()` を組み合わせて用いると、降順になる。

8.5.5 サーチ: `indexOf()`, `lastIndexOf()`, `binarySearch()`

サーチは、配列中から指定された要素を探すことである。配列は、`indexOf()` は、先頭から探して最初に見つかったインデックスを返す。`lastIndexOf()` は、逆に最後尾から検索して最初に見つかった箇所のインデックスを返す。ともに発見できなかった場合は、-1 を返す。

```
>>> a = [1, 2, 3, 2, 1]
>>> a.indexOf(2)                // 先頭から検索
1
>>> a.lastIndexOf(2)            // 後尾から検索
3
>>> a.indexOf(0)                // 見つからない
-1
```

`indexOf()` と `lastIndexOf()` は、どのような配列に対しても検索が可能である。しかし、単純に順番に検索するため、検索時間は配列の大きさに比例し、効率はあまりよいといえない。もし配列が `sort()` で整列された状態であるときは、`binarySearch()` を用いると、バイナリサーチアルゴリズムにより効率よく検索することができる。

```
>>> a = [1, 3, 2, 4, 0]
>>> a.sort()
>>> a
[0, 1, 2, 3, 4]
>>> a.binarySearch(3)            // バイナリサーチ
3
>>> a.binarySearch(5)            // 見つからない
-1
```

8.6 バイト配列: byte[]

バイト配列は、バイナリデータを扱うための専用の配列であり、ヒープ上のメモリを確保し、それをダイレクトに扱うことができる。

```
>>> buffer = new byte[4096];  
>>> typeof(buffer)  
Bytes
```

`sort()` や `shuffle()` など、バイナリ操作にあまり関係ないメソッドをサポートしていないが、それ以外は配列と同じように操作することができる。

第 9 章

関数

Konoha における関数は、Script クラスのメソッドである。しかし、オブジェクト指向プログラミングのクラス概念を導入しなくても利用できる伝統的なモジュールであるため、伝統的な呼称を好んで「関数 (function)」と呼んでいる。

9.1 関数の定義

関数は、プログラムの一部をモジュール化するための代表的な手段である。名前が示すとおり、数学における関数 $y = f(x)$ をメタファ^{*1}にしており、引数 x に対して結果 y が得られるという形式でモジュール化を行う。

次は、 $f(x) = x + 1$ を Konoha で関数定義した例である。一旦、関数を定義すれば、関数コール (呼び出し) によって、モジュール化されたプログラムを呼び出すことができる。

```
>>> int f(int x) { return x + 1; }
>>> y = f(1)
>>> y
2
```

プログラマは、関数を自由に定義することができる。関数は、英小文字で始まる名前を持ち、0 個以上の引数 (arguments) をとり、モジュールの処理が終れば、その評価結果を返す。プログラミング言語の関数の特徴は、引数や戻り値 (return value) において、型があることである。Konoha では、C/C++, Java 言語などと同様に、関数宣言のとき、引数や戻り値の型を明示的に宣言する必要がある。

```
>>> function f(x) { return x + 1; }
>>> y = f(1)
>>> y
```

^{*1} Konoha は、関数型プログラミング言語でないため、純粋な数学的性質は保証されない。

2

9.2 関数コール

```
void test(int n) {
    int i = 0;
    if(n > 10) {
        int j = 0;
        for(int k = 0; k < n; k++) {
            print k;
        }
        print k;                      // スコープ外ではない
    }
    print j;                          // スコープ外ではない
}
```

9.2.1 関数内同ースコープ

Konoha は、C/C++ や Java とは大きく異なり、ブロックレベルの変数スコープをサポートしていない。関数内で宣言された全ての変数は、どこで宣言されても関数内で利用できる。ただし、変数宣言より先に変数を使うことはできない。

例えば、次のコードにおいて、変数 *k*, *j* は、スコープ内として扱われる。

```
void test(int n) {
    int i = 0;
    if(n > 10) {
        int j = 0;
        for(int k = 0; k < n; k++) {
            print k;
        }
        print k;                      // スコープ外ではない
    }
    print j;                          // スコープ外ではない
}
```

次のような例外処理のコードを書くときも都合がよい。

```
try {
    InputStream in = new InputStream("file.txt");
}
```

```
    for(String line from in) {
        print line;
    }
}
catch(IO!! e) {
    print format("Error at %d", in.line);
}
finally {
    in.close();
}
```

また、Konoha は同ースコープ内であっても同じ型であれば、何回、型宣言を行ってもエラーとならない。そのため、コピー＆ペーストする場合も支障とならない。

9.3 ビルトイン関数

関数は、通常、プログラム実行時に評価される。しかし、いくつかのプログラミング言語機能は、コンパイル時に利用したいことがあり、コンパイラと密接に結びついた機能をビルトイン関数として提供している。

9.3.1 スタティックな型付け `typeof()`

ビルトイン関数 `typeof(expr)` は、プログラム中で、与えられた式 `expr` のスタティックな型を調べるビルトイン関数である。

```
>>> a = 1
>>> typeof(a)
Int
>>> typeof("hello,world")
String
```

これに対し、`(expr).class` は、実行時の `expr` がもつクラス(型)を調べるメソッドである。`typeof(expr)` と `instanceof` の関係が成り立つが、必ずしも一致するとは限らない。また、型をもたないトークン(例えば予約語など)を評価した場合、`void` 型が返される。

`typeof()` 関数の評価は、コンパイラの型検査時に行われる。つまり、あまりおすすめではないが、次のように型名の代わりに型宣言にも利用できる。

```
int f(int n) {
    typeof(n) m = n + 1;
    return m;
}
```

```
}
```

9.3.2 識別子の存在 `defined()`

ビルトイン関数 `defined(name)` は、識別子 `name` が定義されているかどうか調べる関数である。

```
>>> defined(Class)
true
>>> defined(System.LINUX)
false
>>> defined(a)
false
>>> a = 1
>>> defined(a)
true
```

`defined()` 関数の評価も、コンパイラの型検査時に行われ、必ず論理値 `true` もしくは `false` に置き換えられている。

```
if(!defined(System.LINUX)) {
    print os.uname;
}
```

9.3.3 デフォルト値をえる `default()`

デフォルト関数 `default(expr)` は、プログラム中で、与えられた式 `expr` の型からそのデフォルト値をえる関数である。

```
>>> default(String)
""
>>> default(%s(1))
""
>>> default(Script)           // Script は実行依存
main.Script
```

多くのデフォルト値は、スタティックに解決される。しかし、いくつかのクラスは、実行コンテキストに依存する。そのため、デフォルト値も存在する。そのため、`default()` は `typeof()` と同様にスタティックに型まで決定し、一部のデフォルト値は実行時に得ている。

9.3.4 デリゲートの生成 delegate()

ビルトイン関数 `delegate()` は、デリゲートクロージャを生成する関数である。デリゲートの詳細は、「第??節 デリゲート」で述べる。

デリゲート `delegate(o, m)` は、閉包するオブジェクト `o` と呼び出すメソッド名 `g` をセットにしてクロージャを生成する。

```
>>> String s = "name";
>>> f = delegate(s, split);
>>> f()                                // s.split() が呼ばれる
["n", "a", "m", "e"]
```

もしくは、`delegate(f)` のように関数名 `f` のみを引数として与え、クロージャを生成することもできる。

```
>>> g = delegate(fibo);
>>> g(10)                             // Script.fibo(10) が呼ばれる
55
```

9.3.5 フォーマットिंग format()

`format()` は、「第??節 テンプレート・フォーマットिंग」のとおり、テンプレート・フォーマットिंगのためのビルトイン関数である。この関数がビルトイン関数である理由は、もし可能であれば、テンプレートのインライン展開を行い、フォーマットिंगの性能を向上させるためである。

9.3.6 likely()/unlikely()*

`likely()/unlikely()` は、論理値 (`true/false`) を受け取り、その値をそのまま返すビルトイン関数である。ほとんどのプログラマには、この関数の存在意義からして疑わしいものかも知れないが、Linux カーネル開発者など一部からは非常に好まれている。少なくとも、ソースコードが読みやすくなるという効果は認められるようである。

```
>>> if(unlikely(a == b)) {
...     // あまり起こらないケース
... }
>>>
```

現在、Konoha では、クラスルーム利用において、コンピュータアーキテクチャと結びつけて、プログラミングの深淵 (の一部) を説明するときに役立つように導入している。

将来、優れた Konoha コンパイラが登場したとき、`likely()/unlikely()` をひょっとしたら正しく解釈して、分岐予測の最適化を行ってくれるかも知れない。現在は、無害で副作用のないビルトイン関数であるが、もし使うのなら正しく使うことをオススメする。

9.4 クロージャ

9.5 デリゲートクロージャ

9.6 無名関数

第 10 章

クラスとオブジェクト

Konoha のオブジェクト指向プログラミングは、名前ベースのクラス (nominal class)、単一継承 (single-inheritance) など、主に Java 言語のそれから影響を受けている。

10.1 class 宣言

新しいクラスは、class 文を用いて宣言することで定義できる。class 文の最も簡単なシンタックスは、次のとおりである。クラス継承を含めたシンタックスは、「第??節 クラス継承」で扱う。

```
class ClassName {  
    ClassMembers // クラスのメンバー  
}
```

クラスのメンバーには、フィールド変数 (field variable)、メソッド (method)、コンストラクタ (constructor) が含まれる。

- フィールド変数は、SmallTalk ではインスタンス変数、C++ ではメンバ変数、Java ではフィールドとそれぞれ異なる呼称をもつが、オブジェクトの内部状態を表す変数である。Java ではフィールド変数と呼ばないのが正しいが、Konoha では変数の種類をその位置によって区別する統一呼称を用いているので、「フィールド変数」と呼んでいる。
- メソッドは、SmallTalk ではメッセージ、C++ ではメンバ関数とも呼ばれるが、オブジェクトの内部状態を操作する手続きである。メソッドは、関数のフォームをとり、パラメータ (メソッドにおける引数のこと) を受けて処理を行い、その結果を戻り値として返す。Konoha では、オブジェクトへの操作が明確なときはメソッド/パラメータ、そうでないときは手続き型言語風に関数/引数と呼び分けている。どちらも同じである。

- コンストラクタは、新しくオブジェクトを生成するときに、new 演算子を用いて呼び出される特別なメソッドである。なお、Konoha は、ガベージコレクションの機構を備えているため、明示的なオブジェクト破壊を行う必要はない。

さて、次は Konoha におけるクラス定義の例である。フィールド変数、コンストラクタ、メソッドの定義をもっている。フィールド変数は、class ブロックの一番先頭で宣言することが(よみやすいため)一般的であるが、定義する順番は自由に変えても構わない。

```
class Person {
    String _name;           // フィールド変数
    int age;

                                // コンストラクタ
    Person(String name, int age) {
        _name = name;
        _age = age;
    }
    String getName () {      // メソッド
        return _name;
    }
}
```

Konoha は、スクリプティング言語の柔軟さを提供するため、メソッドやコンストラクタを既存のクラスに追加するを認めている。しかし、フィールド変数のみは、class ブロックであらかじめ定義しなければならない。

10.1.1 クラスの種類

Konoha は、いくつかの特性の異なったクラスを分類している。これらは、class 文の前に、アノテーションを与えることで宣言することができる。

アノテーション	説明
@Private	名前空間からみることはいできない。
@Final	これ以上、継承することはできない
@Singleton	Singleton 関数
@Interface	インターフェースとして利用することが可能
@Release	デバッグの完了したクラス

10.1.2 Glue クラス

10.2 フィールド変数

フィールド変数は、アンダースコア (`_`) で始まる変数名をもつ。これは、Java プログラマがよく使っているローカル変数とフィールドを区別する慣習に由来するが、フィールド変数宣言のとき、アンダースコアを付け忘れなくても、コンパイラは自動的にフィールド変数にアンダースコアを付加する。

```
class Person {
    String _name;
    int age;          // もし _ を付けなくても
    Person(String name, int age) {
        _name = name;
        _age = age;   // _ は、フィールド変数へのアクセスに必要
    }
}
```

重要な留意点は、フィールド変数宣言のとき、アンダースコアを付けないことは、自動的に `getter/setter` メソッドの生成を意味する。これは、次節で述べるとおり、フィールド変数の `public` 宣言に等しい。

```
class Person {
    ...
    int age;
    int getAge() { return _age; }          // 自動生成
    void setAge(int age) { _age = age; }   // 自動生成
}
```

10.2.1 フィールドアクセス

Konoha は、全てのフィールド変数はいわゆる `private` である。オブジェクト外部から直接参照はできず、全て `getter/setter` メソッドを用いて行う。

```
>>> p = new Person("naruto", 17);
>>> p.getName();
"naruto"
>>> p.setAge(18);
>>> p.getAge();
```

18

フィールドへのアクセスに getter/setter メソッドを多用するのは、Java が産み出したトレンドである。しかし、これは何かと不便に感じる人も多い。そこで、Konoha は、フィールドアクセサ (. 演算子) を、getter/setter を呼び出すための省略形 (シンタックスシュガー) として再利用している。

```
>>> p = new Person("naruto", 17);
>>> p.name;                      // 実は p.getName()
"naruto"
>>> p.age = 18;                  // 実は p.setAge(18)
>>> p.age;
18
```

今までどおり、フィールドアクセスをしているように見えて、実は全て getter/setter メソッドによってふるまいを変更することができる。

10.2.2 バーチャルフィールド

バーチャルフィールドとは、フィールド変数の実体がなくとも、getter/setter を通して、あたかもフィールドが存在するようにふるまうことである。

```
class Person {
    ...
    String name;
    String getFirstName() {
        return _name.split(" ")[0];
    }
}

>>> p = new Person("naruto uzumaki", 17);
>>> p.name                      // 実は p.getName()
"naruto uzumaki"
>>> p.firstName                 // 実は p.getFirstName()
"naruto"
```

Konoha では、そのオブジェクトのクラス Class インタフェースを通して、フィールド変数、(バーチャル) フィールドのリストを得ることができる。

```
>>> p = new Person("naruto", 17);
>>> p.class.fiedls("variable")
```

```
["_name", "_age"]
>>> p.class.fields("getter")
["name", "age", "firstName", "lastName"]
>>> p.class.fields("setter")
["name", "age"]
```

10.2.3 this 参照

キーワード `this` は、自オブジェクト参照への参照である。`this` を用いたフィールドアクセサを用いると、フィールド変数を直接参照する代わりに、`getter/setter` を経由してアクセスすることになる。

```
...
int age;
boolean isDrinkable() {
    return (this.age => 20);
}
```

フィールドアクセサによる特別な結果を期待する場合でもない限り、`_age` で直接フィールド変数を参照した方が高速である。次のように、`getter/setter` メソッド内で `this` 参照を用いると、予期しない依存関係から無限ループに陥る危険性もある。

```
int _age;                                // やってはいけない
int getAge() { return this.age; }
void setAge(int age) { this.age = age; }
```

Konoha コンパイラは、`getter/setter` 内では、`this` 参照を使うとエラーになる。

10.3 メソッド

メソッドは、オブジェクトに対してメッセージを送受信する手段である。0 個以上のパラメータを受け取り、0 もしくは 1 つの戻り値を返すことができる。次の `isChild()` は、0 個のパラメータ、`Boolean` 型の戻り値をもったメソッドの例である。

```
class Person {
    String name;
    int age;
    ...
    boolean isChild () {
        return (_age < 21);
    }
}
```

```
    }  
}
```

10.3.1 メソッド追加

Java 言語では、class 文の中でのみメソッドを定義することができました。Konoha では、動的言語の柔軟さを実現するため、既存のクラスに対して、スクリプト中どこでも新たなメソッドを追加定義することができます。次の `Person.isChild()` 関数は、class `Person` 内で定義された `isChild()` と同じ定義になります。

```
boolean Person.isChild () {  
    return (_age < 21);  
}
```

メソッド追加は、これからインスタンス化されるオブジェクトのみでなく、(追加した時点で)既にインスタンス化されたオブジェクトにも影響が及びます。

```
>>> Person p = new Person("naruto", 17);  
>>> boolean Person.isChild () {  
...    return (_age < 21);  
... }  
>>> p.isChild()  
true
```

10.3.2 抽象メソッド

抽象メソッドは、メソッドのインターフェースのみ定義され、実装パートが定義されていないメソッドである。Konoha では、メソッドにつづくブロックが存在しなければ、抽象メソッドと解釈される。また、メソッドのコンパイルに失敗したとき、自動的に抽象メソッドとして扱われる。

```
class Person {  
    String name;  
    int age;  
    ...  
    boolean hasFriend();           // 抽象メソッド  
}
```

抽象メソッドの本来の用途は、抽象クラスやインターフェースなど、クラス設計においてポリモーフィズムを実現する手段としての利用である。厳密なスタティック言語では、

全ての抽象クラスが実装されていない限り、クラスのインスタンス化はできない。しかし、Konoha は、抽象メソッドが含まれているクラスであっても、インスタンス化を認めている。これは、ラピッドプロトタイピングにおいて、単純に抽象メソッドを未実装なメソッドとして扱うためである。

抽象メソッドを実行すると、実行時例外となる。

```
>>> p = new Person("naruto", 17);
>>> p.hasFriend()
AbstractMethod!!: Person.hasFriend()
```

我々は、実行前にスタティックな抽象メソッドを検査する機構を検討している。現在のところ、実行時に `isAbstract()` によって検査する方法しかない。

```
>>> String.isAbstract()
false
>>> Person.isAbstract()
true
```

10.3.3 パラメータの初期値

メソッドの多重定義 (overloading) は、異なる型のパラメータを同じ名前で定義することである。オブジェクトプログラミング言語の標準的な機能として、C++ や Java 言語で広く採用されているが、Konoha はメソッド再定義をサポートしていない。その代替機能として、パラメータの初期値を設定できる。

```
class {
    ...
    void Person.say(String msg="hello") {
        OUT << _name << " says " + msg << EOL;
    }
}
```

初期値が設定されたパラメータは、Nullable 型となる。したがって、パラメータを省略すると、自動的に `null` が与えられたものと解釈され、設定された初期値が渡される。

```
>>> Person.says;
void main.Person.says(String? msg);
>>> p.say("aloha");
naruto says aloha
>>> p.say();                                     // 省略, p.say(null) と同義
naruto says aloha
```

10.3.4 メソッドのバージョニング

次は、:JA タグを付加して定義した `says()` メソッドの日本語版である。

バージョンされたメソッドは、呼び出すときに明示的にバージョンタグを付けることで呼び出すことができる。

```
>>> Person:JA p = new Person("なると", 17);  
>>> p.says(); // says:JA()を利用する  
naruto はこんにちはと言った。
```

10.4 クラス関数

クラス関数は、クラス名を直接レシーバにして利用できる特別なメソッドである。通常、メソッドは、クラスのオブジェクトを操作するための手段である。したがって、メソッドを利用するとき、クラスがインスタンス化されている必要がある。しかし、特定のインスタンスから独立しており、インスタンスを特定できない、もしくはする必要がない場合がある。

乱数生成メソッド `random()` は、特定の数値（インスタンス）の操作というより、それに独立したユーティリティ機能となる。ただし、`Int` や `Float` クラス程度に操作を区別する必要もある。`Konoha` では、これらは、クラス関数としてそれぞれ定義されて提供されている。

```
>>> Int.random()
143980198322
>>> Float.random()
0.39810
```

クラス関数は、メソッド定義のとき、`@Static` アノテーションを付けることで定義することができる。

```
@Static
int Int.max(int a, int b) {
    return (a > b) ? a : b;
}
```

`@Static` アノテーションは、`Java` のスタティックメソッドに由来している。事実、見かけ上、クラス関数はスタティックメソッドと同様に利用することができる。しかし、実際はクラスのデフォルト値をレシーバとしてメソッドを呼んでいる。`this` キーワードを用いれば、自オブジェクトとして参照もできる。

```
>>> Int.max(1, 2)
2
>>> (default(Int)).max(1, 2)    // 同じ
2
```

また、シングルトンクラスは、`@Static` アノテーションがなくても、自動的にクラス関数として解釈される。そのため、クラス関数としてコールしてもよいし、メソッドとしてコールしても構わない。

```
>>> System.exit()                // System はシングルトン
>>> os = default(System)
```

```
>>> os.exit()           // 同じ
```

Konoha は、シンプルな言語構造を実現するため、Java 風のスタティックフィールドをサポートしていない。クラスで共有したい変数は、単にスクリプト変数を用いることができる。

10.5 コンストラクタ

10.6 オペレータとメソッド

Konoha では、全てのオペレータはメソッドのシンタックスシュガーである。例えば、加算演算 $x + y$ は、次のように単純にメソッド `opAdd()` に置き換えられて実行されている。

```
x.opAdd(y)               // x + y
```

そこで、演算子と対応つけられた `op` で始まるメソッドを定義すれば、オペレータの振る舞いを変更することも可能である。ただし、演算子の再定義は、Konoha ではあまり積極的に推奨されない。

$x + y$	<code>x.opAdd(y)</code>	$x - y$	<code>x.opSub(y)</code>
$x * y$	<code>x.opMul(y)</code>	x / y	<code>x.opDiv(y)</code>
$x \bmod y$	<code>x.opMod(y)</code>		
$x++$	<code>x = x.opNext()</code>	$x--$	<code>x = x.opPerv()</code>
$x == y$	<code>x.opEq(y)</code>	$x != y$	<code>x.opNeq(y)</code>
$x < y$	<code>x.opLt(y)</code>	$x <= y$	<code>x.opLte(y)</code>
$x > y$	<code>x.opEq(y)</code>	$x >= y$	<code>x.opNeq(y)</code>
$x \& y$	<code>x.opLand(y)</code>	$x \mid y$	<code>x.opLor(y)</code>
$x \wedge y$	<code>x.opXor(y)</code>	$\sim x$	<code>x.opLnot(y)</code>
$x \ll y$	<code>x.opLshift(y)</code>	$x \gg y$	<code>x.opRshift(y)</code>
$ x $	<code>x.getSize()</code>	$y \text{ in? } x$	<code>x.opHas(y)</code>
$x[n]$	<code>x.get(n)</code>	$x[n] = y$	<code>x.set(n)</code>
$x[] = y$	<code>x.setAll(n)</code>	$x[s..e]$	<code>x.opSubsete(s,e)</code>
$x[s..<e]$	<code>x.opSubset(s,e)</code>	$x[s..+n]$	<code>x.opOffset(s,n)</code>

10.7 フォーマッタの定義

10.7.1 フォーマッタメソッド

You can define or add new formatters as methods, since formatters are a specialized method with the following signature.

```
void Object.%fmt(OutputStream w, String fmt) ;
```

Formatting is designed to output data to OutputStream.

```
void Person.%xml(OutputStream w, String fmt) {  
    w << "<person name='%s{0}'/>" %% _name << EOL;  
}  
  
>>> p = new Person("naruto", 17);  
>>> %xml(p)  
<person name='naruto'/>
```

10.8 マッパーの定義

第 11 章

クラス階層と抽象化

第 12 章

ダイナミック言語の機能

ダイナミック言語 (dynamic language) とは、動的な型付けを特徴としたオブジェクト指向プログラミング言語のことである。Python や Ruby, JavaScript など代表的なスクリプティング言語が動的な型付けを採用しているため、スクリプティング言語といえばダイナミック言語という理解をしている人も多い。

Konoha は、これらの常識を裏切って、「静的な型付け」によるスクリプティング言語として設計されている。型は、コンパイル時に全て静的に決定する。ただし、Any 型と呼ぶ特殊な型を導入することで、ダイナミック言語の動的な振る舞いもあわせて実現している。本章では、Konoha 言語のダイナミック言語を紹介する。

12.1 Any 型: ダック・タイピング

Konoha は、実行時に型付けを行う特別な型として、Any 型を導入している。これは、Object がクラス階層のトップ (全てのクラスに対するスーパークラス) と呼ばれるのに対し、ボトム (つまり全てのクラスのサブクラス) と概念的に定義できる。

具体的に、Any 型で宣言された変数は、「どのような型の値でも保持することが可能」になる。この特性は、Object 型と見かけ上、似ている。両者の違いを明らかにするため、まずは比較しながらみていきたい。

次の変数 o, a は、それぞれ文字列 (String 型) の値が代入され、型エラーは発生しない。

```
>>> Object o = "naruto"
>>> Any a = "naruto"
```

次に、String クラスのメソッド indexOf() を呼び出すことを考える。変数 a, o が保持する値は、String 型なので両者とも indexOf() メソッドを呼び出すことは可能である。しかし、Object 型に型付けられた変数 o の方は、型エラーとしてコンパイルされない。

```
>>> Object o = "naruto"
>>> o.indexOf("r")
```

```
- [(shell):2]:(error) You have used an undefined method: Object.indexOf
```

一方、Any 型は、全てのクラスのサブクラスであり、String 型の `indexOf()` も継承している。ただし、全てのメソッドを継承したクラスを実装することは不可能であるため、実際に行っていることは、変数 `a` の型を調べて、正しく `a.indexOf()` が呼べるかどうか検査し、それから実行している。

```
>>> Any a = "naruto"
>>> o.indexOf("r")
2
```

もし引き続き、変数 `a` に 数値 1 を代入した場合、今度は `Int` 型は `indexOf()` をもたないため、型エラーをランタイム例外として通知される。

```
>>> a = 1
>>> a.indexOf("r")
NoSuchMethod!!:
```

Any 型は、変数値の型によって型エラーを実行するは、

上記の例では、変数 `t` の参照先がたまたま String 型であり、安全に `startsWith()` を呼び出すことができたが、常に String 型であることは保証されない。そこで、Konoha のコンパイラは、次節で詳しく述べるが、any 型で型付けされた変数のメソッドをコールするとき、型検査を行うコードを追加する。追加された型検査によって、実行中に型エラーを検出し、例外を投げることで、クラッシュを防いでいる。

12.2 ダック・タイピング

ダイナミック言語は、非常に単純化してしまえば、全ての変数が Any 型で宣言されているといえる。そして、「ダック・タイピング」と呼ばれる極めて特徴的な型付けを可能にしている。

”If it walks like a duck and quacks like a duck, it must be a duck”（もしもそれがアヒルのように歩き、アヒルのように鳴くのなら、それはアヒルである）

Java を代表とする現在のメインストリームオブジェクト指向プログラミングは、非常にスタティックで非常に厳密な型付けを採用している。ふたつのクラス間でポリモーフィズムを認めるためには、共通のインターフェース (interface) がクラス宣言と同時に仕様化されてなければならない。

ダック・タイピングは、一方で、インターフェースのようなあらかじめ厳密に定義された共通性の代わりに、同じようなメソッド集合があれば、ポリモーフィックなクラスとして扱うことができるという柔軟さがある。

Konoha は、Any 型を用いれば、ダック・タイピングを利用したプログラミングも実践できる。

```
>>> Any a = "naruto"
>>> a.indexOf("r")           // indexOf() があれば、
2
>>> a = ["naruto", "sakura", "kakashi"]
>>> a.indexOf("r")           // それはアヒルだ
-1
```

英語は、より正確な言語である。日本語では、アヒルであると断定しているが、英語は”must be”を用い、「ほぼアヒルである」というニュアンスを残している。ダック・タイピングは、アヒルでないものもアヒルとして間違って解釈してしまう可能性を残している。

意味論では、同音異義語 (synonyms/homonyms) 問題と読んでいる。たまたま同じ名前を用いていたが、実は違う意味であっても、コンピュータは意味の違いを自動判定できないことである。

12.3 Any 型とデータ変換

12.4 "Run anytime" コンパイル技術

スタティック言語は、コンパイラが型検査を行い、プログラム全体が矛盾がなくなるまで実行できない。これに対し、ダイナミック言語の生産性の高さは、スクリプトを書いたらいつでも実行でき、コーディング、テスト、デバッグのループを思考を妨げず、コンパクトにまわせる点にある。

しかしこの性質は、ダイナミック言語が実行前に型エラーを検査できない副産物であり、コンパイラからのエラーや警告のレポートが受けられないため、ソースコードの品質改善はすべてプログラマの手に文字通り、委ねられている。

Konoha 言語では、スタティック言語・ダイナミック言語の両特性の利点を享受するため、コンパイル時に、エラーのレポートを出力しながら、同時にいつでも実行できるコード生成を可能にする新しいコンパイラ技術を導入している。本節では、Konoha "run anytime" compiler として、その設計を紹介する。

```
void doMethod() {
    S1;
    if(condition) {
        S2;
        E1;
    }
}
```

```

    S3;
}

```

図 3: エラー (E1) の検出と Runtime 例外の生成 (S1, S2, E1). 3.1 コンパイラ・ポリシー

従来のコンパイラ技術は、「エラーがひとつでも発見されれば、コード生成を停止する」ポリシーを採用しているといえる。このポリシーは、ソフトウェア開発のリリース時において、ソフトウェア品質を強く保証するものであるが、ソフトウェア開発サイクルの全体から見たとき、常に望ましいものとは言えない。実際の開発現場では、自分の書いたソースコードをその場で検証したいこともあり、開発者はコンパイルをとりあえず通すため、一部をコメントアウトしてコンパイルすることも少なくない。

Konoha の “run anytime” compiler は、この手作業の部分を自動化し、発見したエラーをレポートすると同時に、それを Runtime 例外に変換してコンパイルを継続する。問題のある箇所を実行すれば、実行はそこで停止する。これは、ソフトウェア開発者からみれば、生成されたコードを実行してみるか、それともエラー報告箇所を修正するかは、選択肢が与えられることに

Runtime 例外の生成

“Run anytime” コンパイラは、クラッシュを防ぐため、エラー検出箇所より前のステートメントに Runtime 例外を生成する必要がある。しかし、どこに Runtime 例外を生成するかに関しては、いくつかの選択肢が存在する。図 3 は、doMethod() メソッド定義である。今、E1 の箇所でエラーを検出したことにする。このとき、Runtime 例外は、S1 から E1 の間のどこに生成しても E1 を実行し、クラッシュすることはない。しかし、振る舞いが決定しないことは望ましくない。我々は、Runtime 例外の生成箇所の選択として、次の 3 つのポリシーを用意している。

12.5 メタオブジェクト

ダイナミック言語のもう一つの特徴は、実行中にメソッドやフィールド変数を追加・変更可能な点である。

Konoha は、Java 文法を用いて、クラスを定義することができる。次は、Konoha におけるクラスの定義例である。

```

>>> class Person {
...   String _name;
...   int _age;
...   Person (String name, int age)
...     _name = name;
...     _age = age;
... }

```



```
... String getName() { return _name; }
... }
>>> Person p = new Person("naruto", 16);
>>> p.getName();
"naruto"
```

Konoha のクラス定義では、上述の Person クラスの場合、String _name と int _age 用のフィールドが固定長で用意される。そのため、クラスが定義された後、新しいフィールド変数を追加することはできない。

しかし、ダイナミック言語では、対話モードなど、実行中に変数を追加したい場合も存在する。Konoha では、Prototype クラスという特別なクラスを用意して、あらかじめ固定長の空フィールドを実行中に追加しながら利用できるようになっている。ただし、Prototype はいくつかの制約があり、Singleton クラスであり、すでに定義されたフィールド変数は、型を変更したり、削除することはできない。

メソッドの動的な追加

Konoha は、全てのクラスにおいて、メソッドをいつでも追加することができる。

次の例は、Person クラスに setName() を追加した場合である。すでに、インスタンス化されているオブジェクトも新たに追加したメソッドを利用可能になる。

```
>>> p
>>> void Person.setName(String name) {
...   _name = name;
... }
>>> p.setName("sasuke");
>>>
```

もしメソッドを追加したとき、同一名の既存のメソッドが存在した場合、引数や戻り値の型が一致する場合は、(オーバーライド不可能な Final メソッドであっても) 書き換えることができる。次は、getName() を書き換えた場合である。

Konoha は、全てのクラスにおいて、メソッドをいつでも追加することができる。

次の例は、Person クラスに setName() を追加した場合である。すでに、インスタンス化されているオブジェクトも新たに追加したメソッドを利用可能になる。

```
>>> p
>>> void Person.setName(String name) {
...   _name = name;
... }
>>> p.setName("sasuke");
>>>
```


第 13 章

例外処理

例外は、動的な非局所ジャンプの一種である。

13.1 例外クラス Exception

Exception は、例外の種類、状態を表現するクラスである。

クラス Exception は、Konoha において例外を実現する唯一のクラスである。例外の種類は、例外クラス内部の表現として分類され、どの例外も Exception クラスのインスタンスとなる。

```
>>> e = new Security!!();
>>> e.class
Exception
>>> e = new IO!!();
>>> e.class
Exception
```

13.2 throw 文

Konoha は、プログラム実行中に何らかの異常を検出したとき、例外をスローする。例えば、0 除算が発生した場合、その異常状態は Arithmetic!!例外がスローされたことで知ることができる。

```
>>> a = 0;
>>> 1 / a;
** Arithmetic!!: Divide by Zero
```

同様に、プログラマ自身も、専用のステートメント `throw` を使うことによって、例外をスローすることができる。最も標準的な例外のスローは、新しく例外クラスを作成し、それを `throw` 文に与える方法である。

```
>>> throw new Security!!("Something wrong");  
** Security!!: Something wrong
```

Konoha の `throw` 文では、文字列 (エラーメッセージ) をそのまま投げることができる。文字列の先頭が例外名のタグであれば、例外の種類が適切に判別され、そうでなければ単純に `Exception!!` になる。

```
>>> throw "Security!!: Something wrong";  
** Security!!: Something wrong
```

13.3 try-catch 文

`try-catch` 文は、`try` ブロック内で発生した例外を捕捉 (キャッチ) し、プログラムの正常化を行うための制御構造である。

```
try {  
    // ブロックでスローされた例外に対する  
}  
catch(IO!! e) {  
    // プログラムの正常化  
}
```

`catch` 節は、複数種類の例外をそれぞれ処理することができる。例外はソースコードの順に先頭からマッチング処理を行われ、最初にマッチングした `catch` 節が処理される。マッチングは、`e instanceof E!!` による半順序マッチングであり、複数の `catch` 節の条件にマッチする可能性があるが、最初のひとつ以外は `catch` 節は無視される。

```
try {  
    // ブロックでスローされた例外に対する  
}  
catch(Security!! e) {  
    // プログラムの正常化  
}  
catch(SQL!! e) {  
    // プログラムの正常化  
}  
catch(IO!! e) {
```

```
// プログラムの正常化  
}
```

また、どの catch 節の例外処理にもマッチしなかった場合は、例外は捕捉されことなく、そのまま継続してスローされ続ける。

13.4 finally 節

第 14 章

システムとコンテキスト

14.1 言語処理系

14.2 ガベージ・コレクション

14.3 オペレーティングシステム

14.3.1 バーチャル変数 os

14.4 環境変数

14.5 コンテキスト Context

14.6 プロパティ変数

第 15 章

ストリーム

`InputStream` は入力ストリーム、`OutputStream` は出力ストリームをそれぞれバイトシーケンスとして抽象化したクラスである。ストリームの種類に寄るが、原則的にメモリの上限を気にすることなく、バイト列の読み書きが可能である。また、バイト列とは異なりランダムアクセスできず、読み込み (`InputStream`) もしくは書き込み (`OutputStream`) 操作のどちらかのみをサポートすることになる。

Konoha の `InputStream` と `OutputStream` は、C 言語由来の低水準 API をメソッドをサポートしている。同時に、文字列のエンコーディングを変換しながら入出力する高水準 API もメソッドとしてサポートしている。

15.1 標準ストリーム

Konoha は、システム定数 `IN`, `OUT`, `ERR` を通して、標準入力 (`stdin`)、標準出力 (`stdout`)、標準エラー出力 (`stderr`) にそれぞれ相当する各種ストリームオブジェクトが得られる。

```
>>> OUT
"/dev/stdout"
>>> OUT.println("hi");
hi
```

また、それぞれのストリームのデフォルト値として、`"/dev/null"` に相当するストリームを持っている。これらは、何のデータも読み込めないし、何のデータも書き込めない特別なストリームである。

```
>>> out = default(OutputStream);
>>> out
"/dev/null"
>>> out.println("hi");           // 何も出力されない
>>>
```

15.1.1 生成

新しいストリームは、InputStream もしくは OutputStream クラスのコンストラクタにリソース名を与えて生成する。何らかの理由でストリームが生成できない場合は、IO!! 例外がスローされる。

```
in = new InputStream("file.txt");
foreach(String line from in) {
    print line;
}
in.close()
```

入力ストリームの種類は、リソース名から自動的に判断される。Konoha は、下記のリソース以外にもストリームドライバーをインストールすることで、種類を拡張することができる。

- ファイル — ファイルパス（ファイル名）を与えるし、もしくは明示的に file: タグをリソース名の先頭につける。
- WEB リソース — URL を与える。ちなみに、これは http: タグで始まるリソース名となっている。

また、文字列やバイト列など、内部リソース（メモリ）をストリームとして抽象化する扱うこともできる。これは、マップキャスト演算子を用いて入力ストリームを得ることで生成する。

```
>>> String data = "naruto";
>>> in = (InputStream)data;
>>> in.getc();
```

注意：文字列は、UTF8 でエンコーディングされたバイトストリームとして扱われる。

15.1.2 データの読み込み

入力ストリームは、バイト列である。バイトは、Konoha では、0 から 255 までの整数で表現される。InputStream クラスは、C 言語に由来する低水準な読み込みメソッドを備えている。

ひとつは、1 バイトずつ読み込む getc() メソッドである。正しくストリームから読めた場合は、0 255 の値を返すか、もしストリームの終端に達した場合は、EOF を返す。

```
>>> InputStream in;
>>> while(ch = in.getc() != EOF) {
...     OUT << %c(ch);
... }
```

もうひとつは、`read()` メソッドで、バッファ (`byte[]`) へ指定された指定されたバッファサイズ (`buf`) 分を一度に読み込むことができる。戻り値は、実際に読み込まれたサイズであり、0 からバッファサイズまでのどれかの値となる。

```
>>> InputStream in;
>>> byte[] buf = new byte[4096];
>>> while((in.read(buf) != 0) {
...     OUT << buf;
... }
```

15.1.3 テキストの読み込み

15.1.4 入力ストリームの終了

15.2 OutputStream 出力ストリーム

15.3 ファイル

15.4 パイプ

パイプは、プロセス間通信の最もシンプルで広く使われている方法です。Konoha では、UNIX(互換) パッケージを用いることで、InputStream か OutputStream のどちらをパイプに連結することができます。

パイプを識別するタグは、`'pipe:'`、`'sh:'`、`'cmd:'` のどれかです。

15.4.1 外部プログラムからデータを受ける

パイプが最も活躍するシチュエーションは、外部のコマンド (プログラム) を起動し、その実行結果をえるときです。

次は、UNIX コマンド (`ls`) を実行し、その実行結果を 1 行ずつ表示するスクリプトの例です。Windows の場合は、`ls` コマンドがないので、代わりに `dir` で試してみましょう。

```
using unix.*;
in = new InputStream("pipe:ls -l");
foreach(line from in) {
```

```
        print line;
    }
    in.close()
```

15.4.2 外部プログラムへデータを送信する

パイプでは、InputStream の代わりに、OutputStream を用いれば、ストリームとしてデータの送信が可能になります。

15.5 Socket

第 16 章

スクリプトと名前空間

スクリプトは、Konoha のプログラムの単位である。プログラムは、スクリプトファイルに記述され、それがロードされたのち、コンパイルされたスクリプトは Script クラスと名前空間 Namespace クラスによって管理される。本章では、Script と Namespace クラスを紹介しながら、Konoha 特有のスクリプティング機能も紹介する。

16.1 名前空間 Namespace

Konoha は、大規模なソフトウェア開発を想定しているわけでないが、シンプルかつ十分な名前空間の機構を備えている。全てのスクリプトは、最初、デフォルトの名前空間 `main` をもっている。

現在の名前空間は、システム変数 `__ns__` で確認することができる。

```
>>> __ns__  
"main"
```

システム変数 `__ns__` は、Namespace 型で、現在の名前空間のオブジェクトを返す。通常、名前空間は、`using` 文などを通して自動的に一貫性をもって管理されている。

16.1.1 クラス識別子とニックネーム

クラスは、`class` 文で宣言されたとき、その名前空間を前置名にして宣言される。実は、これが Konoha システム内での正式なクラス識別子となる。

```
>>> class C ;  
>>> C // 正式なクラス識別子  
main.C
```

Konoha は、クラス識別子を型の名前として仕様できない。あくまでもクラス名を用いる。それぞれの名前空間は、クラス名とクラス識別子を結びつけたニックネーム表を持っている。

```
>>> class C
>>> %dump(__ns__)           // ニックネーム表の確認
Script    main.Script
C         main.C
```

16.1.2 パッケージとクラス名

パッケージは、パッケージ名を名前空間としてもったスクリプトである。例えば、math パッケージ内の Math クラスは、クラス識別子は math.Math となる。

konoha パッケージ外の名前空間に属すクラス識別子は、自動的にニックネーム表に登録されない。そこで、明示的にニックネーム表に登録する必要がある。

using 文は、もしパッケージが未ロードであればパッケージのロードを行ったのち、指定されたクラスをニックネーム表に登録するステートメントである。

```
>>> using math.Math;
>>> Math
math.Math
>>> %dump(__ns__)
Script    main.Script
C         main.C
Math      math.Math
```

もし指定したパッケージ内にニックネーム表と同じクラス名が存在する場合は、既存の名前を優先する。強制的に新しい名前を用いたい場合は、@Override を使うこともできる。ただし、予期せぬ混乱をまねく可能性があるのであまりおすすめできない。

もし、パッケージ内の全てのクラスをロードしたい場合は、ワイルドカードを用いることができる。パッケージ内に多くのクラスが存在するときは、こちらを使うと便利である。

```
>>> using math.*;
```

また、クラス名を省略すると、パッケージのみのロード、もしくは強制的な再ロードを意味する。このときは、ニックネーム表は更新されない。

```
>>> using math;
```

16.2 スクリプト Script

Konoha は、スクリプトファイルを読み始める前に、新しい Script クラスを生成する。このとき、名前空間ごとに異なるクラスを生成するため、名前空間が `main` であれば、クラス識別子は `main.Script` のように生成される。また、新しく生成された `main.Script` は、Konoha が標準的に提供する基本パッケージ `konoha.Script` の性質を継承している。

Script クラスとスクリプトファイルは、ちょうど `class Script` 宣言のブロック中にスクリプトファイルが置かれたものと考えるとわかりやすい。グローバル（に見えた）変数は、実は Script クラスのフィールド変数に相当し、関数も Script のメソッドとなる。Konoha 言語では、それぞれスクリプト変数、スクリプト関数と呼ばれる。

```
class Script {  
    // スクリプトファイル の始まり  
  
  
  
    // スクリプトファイル の終わり  
}
```

スクリプトファイルが、通常のクラス宣言と異なる点は、直接、ステートメントを記述できる点である。（これは、スクリプトステートメントと呼ばれる。）例えば、次はスクリプトステートメントの例である。

```
for(i = 0; i < 10; i++) print i;
```

スクリプトステートメントは、無名関数によってラップされて実行される。つまり、上のスクリプトステートメントは、次の `lambda()` 関数定義と呼び出しと同義である。

```
Any lambda() {  
    for(i = 0; i < 10; i++) print i;  
}  
lambda();
```

注意：次節で述べるとおり、変数 `i` は、`lambda()` 関数内のローカル変数となるため、注意が必要である。

16.3 スクリプト変数

スクリプト変数は、Script クラスのフィールド変数である。グローバル変数のように振る舞うが、実は名前空間が違えば、その名前空間に固有の Script オブジェクトを通してアクセスしているため、参照されることはない。つまり、スクリプト変数のスコープは名前

空間によって分離されている。

```
// スクリプト変数
card = new int[54];           // スクリプト変数
```

Script クラスは、特別な@Singleton クラスとして導入されている。インスタンスの数がひとつに限定されるため、実行中であっても一貫性を乱すことなくフィールド変数を増やすことができる。その上限数は、おおよそ 128 変数くらいである。上限数がはっきりしない理由は、Konoha の最適化オプションの状態で、UNBOXFIELD が採用された場合、int と float はそれぞれ 2 変数分の領域を消費することがあるためである。どちらにしても、通常のプログラミングにおいてスクリプト変数を使い切ることはないし、そのようなスクリプトは（メンテナンス性がないため）書いてはいけない。

ちょっとしたテクニックであるが、スクリプト中で一次的に利用する変数は、ブロックステートメントなどを利用してローカル変数として扱うこともできる。また、スクリプト変数が不足するようなプログラムはメンテナンス不能になるため、書いてはいけない。

```
card = new int[54];           // スクリプト変数
{
    int i;                     // ローカル変数
    for(i = 0; i < |card|; i++) {
        card[i] = Int.random(i);
    }
}
```

16.3.1 変数スコープ

Konoha は、単純化された 3 つの変数スコープをもつ。変数名は、まずローカル変数を検索し、続いてフィールド変数、最後にスクリプト変数を検索する。明示的に、フィールド変数やスクリプト変数を参照したい場合は、変数名の前に `_`, `__` をそれぞれ付ける。もしくは、フィールド変数、スクリプト変数を宣言するときにあらかじめ付けておいても構わない。

```
>>> String s = "script";      // スクリプト変数
>>> class Person {
>>> String s = "field";        // フィールド変数
...   void test() {
...       String s = "local";  // ローカル変数
...       print s, _s, __s;
...   }
... }
```



```
>>> t = new T();  
>>> t.test()  
s="local", _s="field", __s="script"
```

16.3.2 定数の定義

スクリプトの重要な役割は、定数の定義である。Konoha では、名前ルールによって、グローバル定数、ローカル定数、クラス定数がある。

```
GLOBAL_ =  
LOCAL =  
Math.PI_2 =
```

16.4 スクリプト関数

16.5 スクリプトファイル

16.6 main() 関数

第 17 章

デバッグ

スクリプティング言語は、一般に「プログラミングしやすい」言語とみなされている。その理由のひとつは、ラビッドプロトタイプピングによる、よくテストしながらの開発スタイルにあると考えられる。しかし、どのようなソースコードにも必ずバグは存在し、モダンなプログラミング言語は、バグを発見するのを支援する機能を備えている。

Konoha は、いくつかの、例によって、本格的なデバッグ機能ではないが、クラスルーム利用においてデバッグの基本技法を学ぶのに十分なデバッグ機能をサポートしている。

17.1 DEBUG ブロックとデバッグモード

デバッグは、バグの原因を分析するデバッグ情報をえることから始まる。そのためには、ソースコードを眺めているより、実際にプログラムを実行させて、内部状態の出力をえる方がバグを発見しやすい。

次は、簡単なバグの例である。プログラムが停止しなくなる理由を調べるため、引数 n を表示している。

```
int fibo(int n) {  
    if(n < 0) print n;           // デバッグ情報の出力  
    if(n == 0) return 0;  
    return fibo(n-1) + fibo(n-2);  
}
```

デバッグ情報は、特別な解析ツールを利用しない限り、プログラマ自身がプログラムして出力することになる。つまり、デバッグ情報の出力もソースコードの一部となる。こうなると、正規のソフトウェア機能とデバッグ情報の出力パートが混在し、いろいろ不都合が生じる。

Konoha では、DEBUG ブロックと呼ぶ専用のステートメントブロックを導入し、デバッグのためのソースコードを分離して書くことができる。これは、後から述べるとお

り、リリース/デバッグの実行モードを切り替えることで、デバッグ情報の出力を切り替えることが可能にする。

```
int fibo(int n) {  
    DEBUG {                                // デバッグ情報の出力  
        if(n < 0) print n;  
    }  
    if(n == 0) return 0;  
    return fibo(n-1) + fibo(n-2);  
}
```

17.1.1 デバッグモードとリリースモード

Konoha は、デバッグモードとリリースモードの 2 種類の実行モードを持っている。デバッグモードは、開発者向けのモードであり、デバッグ情報を出力しながら実行する。リリースモードは、一般のユーザの利用を前提としたモードであり、逆にデバッグ情報を抑制して実行するモードである。

Konoha は、通常、リリースモードでスクリプトを実行する。デバッグモードで実行する場合は、起動オプションに `-g` を用いる。

```
$ konoha -g script.k
```

注意：対話モードは、`-g` を付けなくてもデバッグモードとして起動される。

17.1.2 実行時のモード切り換え

Konoha 内部では、デバッグ/リリースモードの切り換えは、実行コンテキスト (Context) 単位で行っている。そのため、Context クラス関数を通して、実行中にモードを切り替えることもできる。

```
Context.setDebug(true);           // デバッグモードに変更  
Context.setDebug(false);          // リリースモードに変更
```

「実行時のモード切り換え」を正しく使うためには、Konoha のスクリプト実行の内側まで注意する必要がある。スクリプトの実行は、厳密に言えば、コンパイル (コード生成) とコードの実行からなり、リリース/デバッグモードはコンパイル時のコード生成にも適用される。特に、リリースコンパイル時は、実行速度向上と利用メモリ量軽減を意図したコード最適化のため、DEBUG ブロックと (後述する) print 文、assert 文は無視される。したがって、リリースコンパイルされたコードは、デバッグモードで実行してもデバッグ情報は表示されない。

17.1.3 @Release アノテーション

クラス宣言やメソッド定義のとき、@Release アノテーションを付けると、その対象となるクラスとメソッドは、デバッグコンパイルであっても常にリリース版のコードが生成される。十分に開発が完了した部分は、@Release アノテーションを付けることで、開発チームにもコンパイラにも開発の進捗を明確に伝えることができる。

```
@Release
class Person {
    ...
}
```

注意: クラスに、@Release アノテーションを付けると、そのクラスの全てのメソッドがリリースとなる。

17.2 print 文

Konoha における正式なプリントアウト方法は、いわゆる OUT 定数を用いた OutputStream クラスを用いた標準出力である。一方、古式ゆかしい print 文もサポートしている。これは、クラスルームにおいて、「print デバッグ」を教えるとき print 文がないと都合がわるいからである。もちろん、誰にとっても「print デバッグ」は有効であり、Konoha における print 文は、「print デバッグ」専用の機能を備えている。

print 文は正式なプログラムの一部ではなく、デバッグ/リリースモードによって、プリントアウト出力のありなしが切り替わる。リリースコンパイルでは、そもそも print 自体、無視される。

もうひとつの特徴は、print 文は、デバッグ情報として加工された情報が出力されることである。まず、必ず print 文が実行された位置が [ファイル名:行番号] として出力される。変数の値を出力するときは、(ご親切に) 変数名も自動的に出力される。

```
>>> a = 0;
>>> print a;
[shell.c:4] a=0
```

単一の print 文において、複数の情報を出力する場合は、カンマで区切る。変数名以外の式を与えると、式の評価結果が表示される。

```
>>> a = 0;
>>> b = 1;
>>> print a, b, (a+b);
[shell.c:4] a=0, b=1, 1
```

17.2.1 @Date アノテーション*

print 文は、@Date アノテーションを付けることができる。@Date アノテーションは、print 文出力に対し、デバッグ情報を出力した時刻を表示するオプションである。

```
>>> @Date print a, b, (a+b);
2009/12/24 00:00:00 [shell.c:4] a=0, b=1, 1
```

17.2.2 ロギング**

Konoha プロジェクトでは、print 文とロギング (syslog) との統合を検討し、@Log(ALART) のようなわかりやすい拡張オプションを提供する予定である。

```
>>> @Log(PANIC) print name;
```

17.3 assert 文

アサーション (assertion) は、表明と訳される。assert 文は、プログラムが正しく動作するための前提条件を表明し、プログラムが表明された条件通り正しく動作しているか確認するデバッグ機能を提供する。

まず、正しいプログラムという概念を考えるため、簡単な例を考えてみたい。次の fibo() 関数は、引数 n において $n > 0$ を満たす整数が与えられるという前提でプログラミングされている。しかし、利用者の方は原理的に fibo(-1) とコールすることもできる。(その場合は、StackOverflow!! がスローされる。)

```
>>> int fibo(int n) {
...     if(n == 1 || n == 2) return 1;
...     return fibo(n-1) + fibo(n-2);
... }
>>> fibo(-1)
** StackOverflow!!
```

ここで、「引数が負の数でも動作するように fibo() 関数を作らなかった」方に責任があるのか、それとも「fibo(-1) をコールした」方が悪いのか、という責任問題が発生する。どちらにバグの責任があるかはっきりしない場合は、デバッグすることができない。

今回は、もし前者の立場をとれば、あらゆる引数値の範囲を確認し、その範囲を超えた場合は、何らかの例外をスローする方法も考えられる。(ちなみに、勝手に引数の値を修正してプログラムを継続する修正はあまり望ましいデバッグではない。)

```
int fibo(int n) {
    if(n > 0) {
        if(n == 1 || n == 2) return 1;
        return fibo(n-1) + fibo(n-2);
    }
    throw new Arithmetic!!("Negative fibo");
}
```

逆に、負のフィボナッチ数列は通常、定義されていないため、そもそも `fibo(-1)` がおかしいと考えてもよい。そのように考えても、プログラミング言語側はそこまで察することはできない。そこで、何らかの方法で `fibo(n)` の正しい動作条件を表明しておく必要がある。

`assert` 文は、プログラムの正しい動作を表明するステートメントである。`assert` 文に続く、条件式には、正しい動作のとき `true` になるように書く。

```
int fibo(int n) {
    assert(n > 0);
    if(n == 1 || n == 2) return 1;
    return fibo(n-1) + fibo(n-2);
}
```

`assert` 文による表明は、実行時における動的な検査で判定される。もし表明に違反した場合は、`Assertion!!` 例外がスローされ、プログラムの実行は正常化されるまで実行が中断される。ただし、`Assertion!!` 例外の標準的な対応は、表明に違反したコードを探して、デバッグを行うことである。

```
>>> fibo(-1)
** Assertion!!: n > 0
```

注意すべき点は、`assert` 文はデバッグ作業を助けるステートメントである点である。一般に、`assert` 文は、頻繁にコールされる関数に用いると、パフォーマンス低下の原因となる。そのため、リリースコンパイルでは除去してコンパイルされる。リリース前に、徹底的にソフトウェアテストを行い、`Assertion!!` 例外が発生しないようにデバッグする必要がある。

17.3.1 リリース・アサーション

アサーションは、デバッグ用の機能である。しかし、リリース版であっても、致命的な実行結果をもたらす前に、アサーション機能によって処理を中断させたいと考える場合もある。Konoha では、`@Release` アノテーションを `assert` 文の前に追加することで、リリースコンパイル時でも `assert` 文がコード生成されるようになる。

```
@Release assert(n > 0);
```

注意：頻繁にアクセスされる箇所に、リリース・アサーションを用いると、性能低下の原因となる。リリース・アサーションの導入は慎重に検討すべきである。

17.3.2 assert 拡張文法

C/C++ では、`assert()` は関数 (マクロ) で提供されている。Konoha では、基本的に互換性を保った形で、ただし条件式に続けてステートメントを記述できるように拡張してある。したがって、`assert` 文の文法は次のとおりになる。

```
assert (expr) stmt
```

ここでは、まず条件式 *expr* を評価し、その結果が `true` なら何もおこらない。もし、`false` の場合、それに続くステートメント *stmt* が実行され、最後に `Assertion!!` 例外がスローされる。

何のための拡張文法かと言えば、要するに `Assertion!!` が発生したとき、その瞬間のデバッグ情報を表示するためである。(ただし、意外と便利である。)

```
assert(n > MAX) {  
    print n, MAX;  
}
```

17.4 utest 文**

Konoha プロジェクトでは、ユニットテストをサポートするための専用のステートメントを導入する計画である。

```
@Name("test name")  
utest (n > 0) {          // テスト結果の表明  
    // テストコード  
}
```

17.5 ブレークポイント**

Konoha の対話モードでは、デバッガ (gdb) の代表的なデバッグ機能をサポートする予定である。これらの機能は、バイトコードの実行時書き換えの API が整備したのち、拡張される予定である。

第 18 章

Konoha ライブラリ

Konoha は、C 言語のライブラリ (libkonoha, konoha.dll) として提供され、アプリケーションに組み込んで利用することができる。

18.1 Konoha インスタンス

Konoha インスタンスは、Konoha スクリプティング言語エンジンと実行コンテキストから構成され、konoha_t という型で定義されている。Konoha 言語の機能は、全て Konoha インスタンスを通して実行される。

次は、最も簡単な Konoha インスタンスの利用例である。まず、Konoha インスタンスの生成 (konoha_open()) し、Konoha ステートメントを実行 (konoha_eval()) し、最後に Konoha インスタンスを解放 (konoha_close()) している。

```
#include<konoha.h>
int main(void)
{
    konoha_t k = konoha_open(0);
    konoha_eval(k, "print 'hello,world';");
    konoha_close(k);
    return 0;
}
```

Konoha インスタンスは、実行コンテキストを保持しているので、同じ Konoha インスタンス上で定義されたスクリプト変数やスクリプト関数は、その定義を持続して評価が行える。

```
#include<konoha.h>
int main(void)
{
```

```
konoha_t k = konoha_open(0);
konoha_eval(k, "a=1;");
konoha_eval(k, "b=2;");
konoha_eval(k, "print a + b;");
konoha_close(k);
return 0;
}
```

また、スクリプトファイルをロードする API も用意されている。スクリプトのロードのみであるため、`main()` 関数は実行されない。

```
#include<konoha.h>
int main(void)
{
    konoha_t k = konoha_open(0);
    konoha_include(k, "file.k");
    konoha_close(k);
    return 0;
}
```

18.1.1 マルチ・インスタンス

Konoha ライブラリは、マルチ・インスタンス対応である。つまり、複数のインスタンスを同時にすることが可能である。同時に作成できるインスタンスの数は、システムのリソースが続く限り、無制限である。

```
#include<konoha.h>
int main(void)
{
    konoha_t k1 = konoha_open(0);
    konoha_t k2 = konoha_open(0);
    ...
    konoha_close(k1);
    konoha_close(k2);
    return 0;
}
```

Konoha のインスタンスは、メモリ効率はあまりよくないが、完全に独立したメモリ領域を持つように設計されている。したがって、マルチスレッド環境においては、スレッドごとに Konoha インスタンスを割り当てる限り、ブロッキングもレースコンディションも

起こらない。もし異なるスレッドから、同じ Konoha インスタンスを利用したときは、実行コンテキストが混在して破滅的な結果を招くことがある。

18.2 C からのスクリプト関数の利用*

Konoha で開発されたプログラムは、スクリプト関数を通して利用することができる。

```
konoha_fcall(k, "funcname(%s)", "value");  
konoha_fcall_int(k, "funcname(%s)", "value");  
konoha_fcall_float(k, "funcname(%s)", "value");  
konoha_fcall_text(k, "funcname(%s)", "value");
```


第 19 章

C/C++ ライブラリの利用

スクリプティング言語は、別名「グルー (glue) 言語」とも呼ばれる。それは、C/C++ など、他のプログラミング言語で開発されたライブラリを「糊のごとく」はり合わせて利用することが一般的な利用形態であるためである。実際、多くの C/C++ ライブラリが、Konoha にバインドされて、Konoha から利用可能になっている。

19.1 C 言語関数のバインド

最も簡単なバインドは、C 言語の関数を Konoha のクラス関数へのバインドである。まずは、C 言語の標準ライブラリの `math.h` を例にしながら、バインド機構を紹介する。

19.1.1 パッケージの作成

Konoha では、バインドされた C/C++ ライブラリは、全てパッケージ機構で管理される。まず、パッケージ名を決めてパッケージスクリプトを開発する。

ここでは、`math` パッケージとする。パッケージスクリプトのファイル名は、`math.k` となる。新しく作成したパッケージは、次のどこかのディレクトリに保存する。

1. 環境変数
`{ $KONOHA_PACKAGE }/math/math.k`
2. Konoha インストールディレクトリ
`{ $konoha.home }/package/math/math.k`
3. ローカルパッケージ
`~/.konoha/math/math.k`
4. 一時的なパッケージ
`./.konoha/math/math.k`

注意: パッケージスクリプトは、上の順番で検索され、最初に発見したスクリプトが

ロードされる。今回の例としている `math` パッケージは、インストールされているため、実際に試している読者はパッケージ名を変更するなど工夫が必要である。

さて、肝心のパッケージスクリプト `math.k` の内容であるが、特別なことはない。単純に、バインドする (予定の) 関数を Konoha からみた名前や型で設計するだけである。メソッドの実体は、バインドするため、抽象メソッドとして宣言するのみである。

```
class Math;
@Static float Math.sin(float x);
@Static float Math.abs(float x);
...
```

注意: Konoha は、オブジェクト指向プログラミング言語であるため、クラスが機能の単位を中心となる。そのため、非オブジェクト指向言語の C 関数であっても、何らかのクラス関数としてバインドする必要がある。(スクリプト関数にバインドすることはできない。) 上記の例では、`Math` クラスをクラス関数のバインド先として定義している。

19.1.2 グルー関数の作成

Konoha の内部では、メソッドは `knh_fmethod` 型で定義された関数で実装されている。次は、`konoha.h` ヘッダファイルに定義されている `knh_fmethod` 型の抜粋である。コンテキストとスタックフレームポインタを引数として受け取り、戻り値は `void` 型である。(ただし、一読してメソッドとわかるためと `fastcall` の切り換えのため、`METHOD` マクロで定義されている。)

```
#define METHOD void KNH_CC_FASTCALL
typedef METHOD (*knh_fmethod)(Ctx *, knh_sfp_t *);
```

グルー関数とは、`knh_fmethod` 型に準拠したラッパー関数のことである。その機能は、単に、Konoha 側のスタックフレームポインタで渡されたパラメータを C 言語の型に変換し、C 関数を実行し、そして C 関数の実行結果を再び、Konoha 側のスタックに戻している。

```
// Static float Math.abs(float x);
METHOD Math_abs(Ctx *ctx, knh_sfp_t *sfp)
{
    double v = (double)sfp[1].fvalue;    // C言語の型へ変換
    v = fabs(v);
    KNH_RETURN_Float(ctx, sfp, v);      // Konohaのスタックへ戻す
}
```

グルー関数の仕様は、次節で詳しく述べるが、`sfp[1]` には第一引数、`sfp[2]` には第二引数、`sfp[n]` には第 `n` 引数の値が格納されている。例えば、次のような場合、第一引数の値は、`-1.0` であり、それは `sfp[1].fvalue` に格納されている。

```
>>> Math.abs(-1.0)
1.0000
```

グルー関数の特徴は、型チェック済みの引数が必ず渡される点である。これは、パッケージスクリプトで宣言したメソッド定義に基づいている。つまり、グルー関数の開発者は、特別な場合をのぞいて `sfp[1]` の型をチェックする必要はない。

逆に、戻り値は、グルー関数の開発者が型チェック済みの値を正しく返さなければならない。`Math.abs()` の戻り値の型は、`float` であるため、専用のマクロ `KNH_RETURN_Float` を用いて、Konoha スタックに戻り値を設定し、同時にグルー関数から抜け出している。

注意：グルー関数内で設定する戻り値の型が間違っていた場合は、ほぼ例外なくクラッシュする原因となる。グルー関数の作者は細心の注意を払う必要がある。

19.1.3 共有ライブラリのコンパイル

19.2 グルー関数とメソッド

19.3 構造体とクラス

19.4 関数ポインタとクロージャ

参考文献

- [1] <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/m-mat/MT/mt.html>

付録 A

入手方法

```
$ tar zxfv konoha-0.x.y.tar.gz
$ cd konoha-0.x.y
$ ./configure
$ make
$ sudo make install
```

索引

assert 文, 102

block, 30

catch 節, 84

DEBUG ブロック, 99

else 節, 31

finally 節, 85

Float.floatToIntBits, 39

Float.intBitsToFloat, 39

if 文, 31

Math.ceil, 40

Math.floor, 40

Math.round, 40

print 文, 101

Release, 101

switch 文, 31

throw 文, 83

try 文, 84

while 文, 31

アドレス演算子, 20

型宣言, 30

クラス関数, 71

スタティックメソッド, 71

デバッグモード, 100

リリースモード, 100