

# 付録 A Oolong について

## A.1 Oolong とは

Oolong は JVM ( Java Virtual Machine ) のコードをターゲットとするアセンブリ言語である<sup>1</sup>。JVM は、仮想 CPU ( つまりソフトウェア上でシミュレートされる CPU ) の一種である。JVM の命令セットは本質的な部分は Pentium や MIPS などの現実の CPU と似ている。しかし、レジスタベースではなく、スタックベースなので、レジスタ割り付けの必要がなく、現実の CPU を対象とするよりはコード生成が容易である。

このため、本演習では、作成するコンパイラのターゲットとして、Pentium などの現実の CPU の機械語ではなく、この Oolong ( すなわち JVM のアセンブリ言語 ) を使用する。

JVM はもともと Java というプログラミング言語のコンパイラのターゲットとして設計された仮想機械である。Java 言語自体は、C 言語によく似た制御構造を持つ“高水準”プログラミング言語であり、Java とアセンブリ言語である Oolong とは、まったくの別物である。( C 言語と Pentium のアセンブリ言語が全く異なるのと同じことである。 ) 実際、JVM をターゲットとする Java 言語以外のプログラミング言語のコンパイラも、数多く存在する。

本演習では Java 自体の知識は全く必要としない。( Java は 3 年生の「計算機ネットワーク I」という授業で取り扱う。 )

## A.2 Oolong の実行方法

Oolong の処理系 ( アセンブラ ) 自体も JVM 上で実装されているので、Oolong を実行するためには、まず JVM ( JRE という Java の実行環境 ) と oolong.jar というファイルを手に入れる必要がある。

Oolong ソースファイルの拡張子は .j である。 *Filename.j* という名前の Oolong ファイルをアセンブルする時のコマンドは次のようになる。( java は JVM を起動するためのコマンドである。くどいようだが、Oolong と Java は別の言語である。 )

```
java -classpath oolong.jar COM.sootNsmoke.oolong.Oolong Filename.j
```

oolong.jar を別のフォルダに置いている場合は、上記の oolong.jar の部分は oolong.jar のフルパスを記述する。このコマンドで、 *Filename.class* というファイルが生成される。このファイルの中身は、仮想機械用のコードなので、直接実行することはできない。実行するには、次のように java コマンドを用いる。( 何度もくどいが、Oolong と Java は別の言語である。 )

```
java Filename
```

---

<sup>1</sup>Oolong については、以下の書籍で紹介されている。

Joshua Engel: “Programming for the Java Virtual Machine” ADDISON-WESLEY, ISBN 0-201-30972-6

この時は、最後に拡張子の.class をつけないことに注意する。

### A.3 Oolong のファイル構造

本演習で使用する Oolong ファイルは、すべて次のような雛型に従う。そして、斜字体の部分の部分を必要に応じて書き換える。Oolong の文法では、改行は意味を持っているので、この例のとおり改行を入れる必要がある。

```
.class public Filename
.super java/lang/Object
.method public static main([Ljava/lang/String;)V
    Statements
.end method
```

1 行めの *Filename* は生成されるクラスファイルの名前である。なお、慣習上、*Filename* はソースファイル名の拡張子 (.j) を除いた部分と同じ名前にする。

### A.4 Oolong の命令文 ( *Statements* )

*Statements* は命令文 ( *Statement* ) の並びである。Oolong では、必ず 1 行に 1 つの命令文を書く。本演習では、次のような命令文を使用する。浮動小数点数関係など、ここで紹介していないその他の Oolong (すなわち JVM) の命令文については、Sun Microsystems 社の Web ページ ( <http://java.sun.com/docs/books/vmspec/> ) や Jasmin<sup>2</sup> の Web ページ ( <http://cat.nyu.edu/~meyer/jvmref/> ) で知ることができる。

JVM はスタックベースの仮想機械である。つまり、Oolong のほとんどの命令文は (レジスタではなく) スタックに置かれているデータをパラメータとして動作する。以下では、スタック操作関係、分岐関係、整数演算関係、変数操作関係、その他にわけて Oolong の命令文を紹介する。以下の説明中で、a はスタックの先頭の要素、b はスタックの 2 番目の要素を表す。「増減」はスタック中の要素数の変化を表す。

#### スタック操作関係

命令	増減	説明
ldc <i>Int</i>	1	整数定数をスタックにプッシュする。(load constant)
ldc <i>String</i>	1	文字列定数をスタックにプッシュする。
dup	1	スタックの先頭の要素 a を複製する。(duplicate)
pop	-1	スタックの先頭の要素 a を取り除く。
swap	0	スタックの先頭の 2 要素 a, b の順番を入れ換える。
nop	0	何もしない。(no operation)

<sup>2</sup>Jasmin は Oolong の基になった JVM アセンブラである。Jasmin と Oolong の文法はほぼ同一であるが、Jasmin で必要ないいくつかの宣言を、Oolong では省略することが可能である。

分岐関係 JVM は goto などの無条件分岐命令と、条件付きの分岐命令を持っている。JVM のコード中では、オフセットを指定することによりジャンプするが、Oolong のソースコードでは *Label* で分岐先を指定することができる。*Label* 名には、アルファベットからはじまり、空白文字を含まない任意の文字列を使用することができる。

命令	増減	説明
<i>Label</i> :	(0)	goto 文などの分岐命令の分岐先のラベルを設定する。
goto <i>Label</i>	0	<i>Label</i> に無条件に分岐する。
if_icmpeq <i>Label</i>	-2	a, b をスタックから取り除き ( 以下同様 ) a==b ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
if_icmpne <i>Label</i>	-2	a!=b ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
if_icmpge <i>Label</i>	-2	a>=b ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
if_icmpgt <i>Label</i>	-2	a>b ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
if_icmple <i>Label</i>	-2	a<=b ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
if_icmplt <i>Label</i>	-2	a<b ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
ifeq <i>Label</i>	-1	a==0 ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
ifne <i>Label</i>	-1	a!=0 ならば、 <i>Label</i> に分岐する。
return	-	メソッドから値を返さずに return する。 注: A.3 節で紹介した雛型でも、メソッドの最後で必ず return する必要がある。

整数演算関係 ここでは整数に関する算術演算の命令のみを紹介する。

命令	増減	説明
iadd	-1	a+b、加算 ( integer <b>add</b> , スタックから a と b を取り除き、 a+b をスタックに積む。以下同様。)
isub	-1	a-b、減算 ( integer <b>subtract</b> )
imul	-1	a*b、乗算 ( integer <b>multiply</b> )
idiv	-1	a/b、( 整数としての ) 除算 ( integer <b>divide</b> )
irem	-1	a%b、( 整数としての ) 除算の剰余 ( integer <b>remain</b> )

変数操作関係 JVM では、変数は番号で参照され、利用できる番号は 0~65535 までである。ちなみに、A.3 の雛型の場合は、このうち 0 番の変数はメソッドの引数として使用済みである。

命令	増減	説明
iload <i>Int</i>	1	<i>Int</i> 番目の変数の値をスタックにプッシュする。
istore <i>Int</i>	-1	スタックから a をポップし、その値を <i>Int</i> 番目の変数に格納する。

その他 整数や文字列を画面に出力するために必要な命令を紹介する。スタックの先頭 ( a ) に出力したいデータ、スタックの 2 番目 ( b ) に出力ストリームが入っている状態で、出力のための命令を呼び出す。

命令	増減	説明
getstatic java/lang/system/out Ljava/io/PrintStream;		
	1	標準出力ストリームをスタックにプッシュする
invokevirtual java/io/PrintStream/println(Ljava/lang/String;)V		
	-2	出力ストリーム b に a (文字列) を出力する。
invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V		
	-2	出力ストリーム b に a (整数) を出力する。
invokevirtual java/io/PrintStream/println(C)V		
	-2	出力ストリーム b に a (文字) を出力する。

## A.5 Oolong のプログラム例

まず、“Hello World!” と出力する Oolong のコードを紹介する。

ファイル名: Hello.j

```
.class public Hello
.super java/lang/Object
.method public static main([Ljava/lang/String;)V
  getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
  ldc "Hello World!"
  invokevirtual java/io/PrintStream/println(Ljava/lang/String;)V
  return ; 最後に return が必要
.end method
```

次は、繰返しを用いて “Hello World!” を 10 回出力するプログラムである。

ファイル名: ManyHello.j

```
.class public ManyHello
.super java/lang/Object
.method public static main([Ljava/lang/String;)V
  ldc 0
  istore 1 ; 変数 1 に 0 を代入する

  loop: ; ここからループ
    iload 1
    ldc 10
    if_icmpge exit ; 変数 1 が 10 以上なら exit へ
    getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
    ldc "Hello World!"
    invokevirtual java/io/PrintStream/println(Ljava/lang/String;)V
    iload 1
    ldc 1
    iadd
    istore 1 ; 変数 1 に 1 を足す
    goto loop ; loop へジャンプ

  exit:
    return ; 最後に return が必要
.end method
```

ちなみに、これらは、それぞれ次のような Java のプログラムのコンパイル結果に相当する。この中で System.out.println は C 言語の printf に相当する (ただし、最後に改行文字を出力する) 出

力関数である。Java の制御構造の構文は C 言語とほとんど同じなので、説明なしでもだいたいのところは理解できるだろう。

ファイル名: Hello.java

```
public class Hello {
    public static void main(String[] args) {
        System.out.println("Hello World");
        return;
    }
}
```

ファイル名: ManyHello.java

```
public class ManyHello {
    public static void main(String[] args) {
        int i = 0
        while(true) {
            if (i>=10) break;
            System.out.println("Hello World");
            i=i+1;
        }
        return;
    }
}
```

Java のコンパイラのコマンドは javac である。上記のプログラムは、それぞれ次のようなコマンドでコンパイルできる。

```
javac Hello.java
```

```
javac ManyHello.java
```

Hello.class, ManyHello.class というファイル名で JVM 用のコードが生成される。