

第K章 プログラミング言語 Kotlin

Kotlin はジェットブレインズ (JetBrains) 社の Andrey Breslav, Dmitry Jemerov により開発されたマルチパラダイムのプログラミング言語である。登場したのは 2011 年である。_____ (____) 上で動作し、Java で書かれたプログラムと相互呼出しが可能である。また、Java のライブラリーに依存したプログラムでなければ JavaScript にコンパイルすることも可能になっている。_____ など現代的な特徴を取り入れ、“より良い” Java を目指して設計されている。Android のアプリケーションの開発言語として Google の推奨言語にもなっている。

ここでは Java と異なる部分を中心に Kotlin を説明する。

K.1 Kotlin の実行

新しいプログラミング言語を学習するときの慣習により、最初に、画面に“Hello World!”と表示するだけのプログラムを作成する。次のようなプログラムを好みのエディターで作成する。

ファイル Hello.kt

```
1 fun main() {
2     println("hello, world!")
3 }
```

これを _____ というコマンドラインツールを用いてコンパイルする。

```
> kotlinc Hello.kt -include-runtime -d Hello.jar
```

コンパイルが成功すれば、同じディレクトリーに Hello.jar というファイルができています。これは Hello.kt に対する class ファイルと、必要な実行時ライブラリーをひとまとめにしたものである。実行するときは java コマンドの -jar オプションを用いる。

```
> java -jar Hello.jar
```

また kotlinc コマンドを引数なしで実行すると、_____ (Read-Eval-Print Loop, 対話的な処理系) が起動する。これは Java の jshell コマンドに対応する。対話的な処理系では、プロンプト (通常、>>>) のあとに式を入力すれば、その値を出力する。

```
Type :help for help, :quit for quit
>>> 1 + 2
res0: kotlin.Int = 3
```

Kotlin の統合開発環境 (IDE) としては Eclipse などもあるが、JetBrains 社が開発している IntelliJ IDEA が (当然ながら) 有力である。また、Java 用のビルドツールとして知られている Maven や Gradle など Kotlin に対応している。

K.2 定義と宣言

パッケージとインポート

パッケージ (package) やインポート (import) の書き方は Java とほとんど同じである。ただし、最後のセミicolonは省略できる。また、パッケージとソースを配置するディレクトリーを _____。

関数定義

Kotlin ではクラスの外で (トップレベルで) 関数を定義することができる。逆に言うと、Java のスタティック (static) メソッドやスタティックフィールドのような概念はない。(ただし companion object というものが使われることがあるが、ここでは説明を割愛する。)

ファイル Twice.kt

```
1 fun twice(x: Int): Int {
2     return x + x
3 }
4
5 fun thrice(x: Int) = x + x + x
6
7 fun sayHello(): Unit {
8     println("Hello!")
9 }
10
11 fun sayGoodbye() {
12     println("Goodbye!")
13 }
14
15 fun main() {
16     println(twice(2))
17     println(thrice(2))
18     sayHello()
19     sayGoodbye()
20 }
```

関数 `twice` はもっとも基本的な関数定義のカタチを例示している。関数定義は `fun` というキーワードから開始する。そのあとに関数名が続き、丸括弧の間「(」～「)」に仮引数をコンマで区切って宣言する。仮引数の宣言は、変数: 型 というカタチをしている。さらに、閉じ丸括弧の後にコロンの「_」に続けて戻り値の型を書く。

ブレースの間「{」～「}」に文の並びを書く。なお、文末のセミicolon「;」は省略できる場合が多い。

関数 `thrice` で例示されているように、すぐに `return` する関数は「_」のあとにすぐに式を書くことも可能である。処理系が戻り値の型を推論できる場合は、戻り値の型の宣言を省略できる。

その下の `sayHello` 関数のように戻り値を持たない場合は、戻り値の型は `Unit` とする。また、`sayGoodbye` 関数で示されているように、戻り値型が

Unit の場合は宣言を省略することが可能である。

Kotlin のプログラムは `main` という名前の関数から実行される。この `main` 関数は、この例のように無引数であるか、または文字列 (String) の配列を引数に取る。

print 関数と println 関数

関数 `print` は、引数を出力する。関数 `println` は引数を出力してから改行を出力する。なお、入力のための関数はナル許容型のあとに紹介する。

変数宣言

変数もクラスの外に定義することができる。代入で値を変更しない変数は `val` というキーワードで宣言する。(Java 言語で修飾子 `final` がついている変数に相当する。) 一方、代入で値を変更する変数は `var` というキーワードで宣言する。型を宣言する場合は、変数名のあとにコロン「:」に続けて型を書くが、初期値から型を推論できる場合はこの部分は省略できる。

ファイル VarTest.kt

```
1 val x: Int = 1
2 val y = 2
3
4 var v = 9
5
6 fun main() {
7     v -= 1
8     println("x = $x, y = $y, v = $v")
9 }
```

文字列リテラルと補間 (interpolation)

文字列リテラルは二重引用符「"」～「"」で囲む。文字列の中の「\$変数名」や「\${式}」はその変数や式の値に置き換えられる。

K.3 制御構造

条件判断

条件判断の `if` や `if ~ else` の書き方は C 言語や Java と大差はないが、Kotlin の場合は `if` は“式”であり、値を持つことができる。

また `when` 式という、C や Java の `switch` 文に相当する構文もあるが、ここでは説明を割愛する。

繰り返し

ループの `for` 文は `in` というキーワードとともに、次のカタチで用いる。

```
for (変数 in 式) 文またはブロック
```

この in の次の式は配列などの“集まり”である。変数を集まりの各要素に割り当ててループ本体を繰り返す。

さらに for 文の in の次の式には range と呼ばれる 「`..`」を使った式を書くこともできる。for (i in 1..10) { ... } なら 1 から 10 までの 10 回の繰り返しになる。

また、while 文や do ~ while 文も、C 言語や Java と書き方は同じなので、説明は省く。(ただし、do ~ while 文の最後のセミコロン「`;`」は必要ない。)

例外処理

例外処理の try ~ catch も Java と書き方はほとんど同じだが、Kotlin の場合 try ~ catch は文ではなく“式”である。また、例外の型は try ~ catch (e: Exception) ~ のように「`:`」のあとに記述する。

K.4 演算子と組み込み型

基本型

Kotlin の数値型は Int, Long, Float, Double のように、`Int` という点を除き Java と同じ名前を持っている。文字型は Char、真偽値型は Boolean である。Java であるようなプリミティブ型 (int, char, ...) とラッパー型 (Integer, Character, ...) の使い分けは必要ない。

配列・リスト

Kotlin の配列 (Array) は総称型で、型パラメーターを持っている。Java と同様、型パラメーターはブラケット「`<`」~「`>`」のあいだに書く。例えば、文字列 (String) を要素とする配列の型は `Array<String>` と表される。プログラムのエントリーポイントである main 関数が、コマンドライン引数を表す文字列の配列を引数として受け取る時は、その宣言は「`fun main(args: Array<String>)`」となる。

配列を作成するには可変個引数の関数 `arrayOf` を使う。

```
1 val ss: Array<String> =
2   arrayOf("Takamatsu", "Kagawa", "Japan")
```

配列の要素数は size というプロパティーで得ることができる。(つまり ss の要素数は ss.size という式で得ることができる。) Java の配列の場合の length と異なるので注意する。

配列の各要素をアクセスするには Java と同様に ss[0] のような角括弧 ([~]) を使う。添字が 0 番から始まるのは Java や C と同じである。

Kotlin の基本的なコレクション (collection) 型としては配列 `Array<T>` のほかにリスト `List<T>`、セット `Set<T>`、マップ `Map<K, V>` などがある。Array は

アクセスの効率は良いが、要素数を一度決めたら変更することができないのに対し、List はアクセスの効率は犠牲になるが、要素数を容易に変更することができる。リストを作成するには可変個引数の関数 `listOf` を用いる。

```
1 val fruits: List<String> =
2   listOf("banana", "orange", "peach")
```

ナル (null) 許容型

Kotlin と Java の大きな違いの一つは、通常の Kotlin の型はナル (null) を許容しないということである。例えば、String 型の変数に null を代入することは型エラーになる。

```
1 var s: String = null // コンパイル時にエラー
```

型のあとに「`?`」をつけると null を許容する型になる。

```
1 var t: String? = null // これは OK
```

このように null を許容する型の式に対してドット「`.`」演算子でプロパティーやメソッドをアクセスすることは許されていない。

```
1 println(t.length) // コンパイル時にエラー
```

そこで「`?.`」演算子を用いると null を許容する型の式のプロパティーやメソッドにアクセスできて、レシーバー（「`.`」や「`?.`」の左オペランド）が null のときは結果も null になる。また「`?:`」演算子は左オペランドが null でないときはその値を、null のときは、右オペランドの値を返す。

```
1 println(t?.length) // これは OK
2 // t が null なら null
3 println(t?.length ?: 0) // t が null なら 0
```

readLine 関数と readln 関数

関数 `readLine` は一行を読み込み `String?` 型を返す。入力がすでに終わっている（EOF に達している）ときは null を返す。一方、関数 `readln` も一行を読み込むが、`String` 型を返す。こちらは入力がすでに終わっている（EOF に達している）ときは例外 `RuntimeException` を投げる。

```
1 val line1: String = readLine() // これはエラー
2 val line2: String? = readLine() // これは OK
3 val line3: String = readln() // OK だが例外処理が必要
```

コメント

Kotlin のコメントは Java と同じで、「`//`」から「`*/`」までと「`/*`」から行末まで、である。

タプル

Pair, Triple はそれぞれ 2 つ組、3 つ組を表す総称データ型である。

ファイル Quadratic.kt

```
1 import kotlin.math.*
2
3 fun quadratic(a: Double, b: Double, c: Double):
4     Pair<Double, Double> {
5     val d = b * b - 4 * a * c
6     val sq = sqrt(d)
7     return Pair((-b + sq) / (2 * a),
8                (-b - sq) / (2 * a))
9 }
```

関数 quadratic は二次方程式 $ax^2 + bx + c = 0$ の 2 解 $\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ を Pair として返している。

Pair や Triple からは destructuring declaration (分割宣言^(?)) という記法で、構成要素を取り出すことができる。キーワードの val や var のあとに、丸括弧で囲った変数のコンマ区切りの並びを書く。

ファイル Quadratic.kt

```
11 fun main() {
12     val a = 1.0; val b = -1.0; val c = -1.0
13     val (x1, x2) = quadratic(a, b, c)
14     println("方程式の解は、$x1、$x2 です。")
15 }
```

この例では、Pair の第 1 成分が x1 に、Pair の第 2 成分が x2 に取り出される。

あとで示すように、for 文やラムダ式で変数を束縛するときにも、分割宣言を使用することができる。つまり、変数が来るところに丸括弧で囲った変数のコンマ区切りの並びを書いて、構成要素を取り出すことができる。

Kotlin の標準ライブラリーには 4 つ組以上のタプルは用意されていないが、データクラス (data class) という宣言で、このような分割宣言を利用できるデータ型を定義することができる。データクラスの説明はここでは割愛する。

問 K.4.1 引数として Double の配列 arr を引数として受取り、配列中の要素の最大値と最小値を組 (Pair) として返す Kotlin の関数 fun maxMin(arr: Array<Double>): Pair<Double, Double> を定義せよ。(配列の要素数は 1 以上と仮定して良い)

また main 関数は次のコードを利用せよ。

```
1 fun main() {
2     val a1 = arrayOf(9.9, 8.7, 7.5, 6.2)
3     val a2 = arrayOf(1.0, 4.2, 3.1, 2.9)
4     val a3 = arrayOf(-4.1, -3.8, -2.6, -1.2)
5 }
```

```

6     val (x1, n1) = maxMin(a1)
7     println("a1 の最大値は $x1、最小値は $n1")
8     val (x2, n2) = maxMin(a2)
9     println("a2 の最大値は $x2、最小値は $n2")
10    val (x3, n3) = maxMin(a3)
11    println("a3 の最大値は $x3、最小値は $n3")
12 }

```

K.5 クラスとオブジェクト

クラス定義

クラスはキーワード `class` を使って定義する。Kotlin のクラスはデフォルトでは `final` である。つまりサブクラスを定義することができない。サブクラスを定義する場合は `class` の前に `open` というキーワードをつけなければいけない。

ファイル Point.kt

```

1  open class Point(var x: Double, var y: Double) {
2      open fun show() {
3          print("($x, $y)")
4      }
5      open fun info() {
6          print("x: $x, y: $y")
7      }
8      fun move(dx: Double, dy: Double) {
9          x += dx; y += dy
10     }
11     fun moveAndShow(dx: Double, dy: Double) {
12         move(dx, dy)
13         show()
14     }
15 }

```

キーワード `class` のあとにクラス名が続く。そのあとに丸括弧「(」～「)」の中に囲んで、コンストラクターの仮引数の宣言を続ける。このコンストラクターはプライマリー（つまり第一の）コンストラクターと呼ばれる。引数の型や数が異なる、第二、第三のコンストラクターを定義することも可能だが、ここではその説明を割愛する。

プライマリーコンストラクターの引数で、そのままプロパティー（property — Kotlin のインスタンス変数）の初期値となるものは、再代入可能なプロパティーの場合は、キーワード `var` を、再代入不可能なプロパティーには、キーワード `val` を変数宣言の前につける。こうしておけば、改めてクラス定義の本体にプロパティーの宣言を書く必要はない。

ブレース「{」～「}」の間がクラス定義の本体で、メソッドや、プライマリーコンストラクターで定義していないプロパティーの宣言などを書く。

Kotlin のメソッドはデフォルトではオーバーライド (override) 不可である。サブクラスでオーバーライドできるようにするには、`fun` の前に `override` というキーワードをつけなければならない。また、サブクラスでオーバーライドするときには、`fun` の前に `override` というキーワードが必要である。

ファイル Point.kt

```
17 class ColorPoint(x: Double, y: Double,
18                 var color: String):
19     Point(x, y) {
20     override fun show() {
21         print("<font color='$color'>($x, $y)</font>")
22     }
23     override fun info() {
24         super.info()
25         print(", color: $color");
26     }
27 }
28
29 class DeepPoint(x: Double, y: Double, var depth: Int):
30     Point(x, y) {
31     override fun show() {
32         if (depth <= 0) {
33             print("$x, $y")
34         } else {
35             print("(" + ".".repeat(depth) + "$x, $y"
36                 + ")".repeat(depth))
37         }
38     }
39     override fun info() {
40         super.info()
41         print(", depth: $depth");
42     }
43 }
```

サブクラスを定義するときは、プライマリーコンストラクターの後にコロン「`__`」に続けてスーパークラスのコンストラクターの式を書く。ColorPoint と DeepPoint のコンストラクターでは、`x` と `y` は定義されるクラスのプロパティではない（スーパークラスの Point で既に定義されている）ので `var` や `val` がついていないことに注意する。

ファイル PointTest.kt

```
1 fun main() {
2     val points = arrayOf(Point(1.1, 2.5),
3                          ColorPoint(2.1, 3.9, "red"),
4                          DeepPoint(1.9, 0.25, 5))
5     for (p in points) {
6         p.moveAndShow(1.5, -0.5)
7         println()
8     }
9 }
```

関数 `main` を上のように定義するとき、このプログラムは

```
(2.6, 2.0)
```

と出力する。コンストラクターを呼び出すときに `new` というキーワードはつけないことにも注意する。

Kotlin のクラスのプロパティには読み・書きにそれぞれゲッター (getter) ・セッター (setter) というメソッドを関連づけることができる。その文法の詳細の説

明は割愛する。

インタフェース

インタフェースを定義するときは `interface` というキーワードを用いる。そのあとにインタフェース名を続け、ブレース「`{`」～「`}`」の間に、プロパティやメソッドの宣言を書く。

ファイル Movable.kt

```
1 interface Movable {
2     fun tick()
3     fun getLoc(): Point
4 }
```

あるクラスがインタフェースを実装 (implements) するときは、スーパークラスと同じようにコロン「`:`」のあとにインタフェース名を書く。複数のインタフェースを実装するときは、インタフェース名をコンマ「`,`」で区切って並べて書く。

オブジェクト

匿名クラスのオブジェクトを生成するときは、`object` というキーワードを用いる。それに続くブレース「`{`」～「`}`」の間に、プロパティやメソッドの定義を書く。スーパークラスやインタフェースを指定するときは、`object` というキーワードに続けてコロン「`:`」のあとにスーパークラスのコンストラクターの呼び出し式、またはインタフェース名 (のコンマ「`,`」区切りの並び) を書く。

ファイル Movable.kt

```
6 fun main() {
7     val m = object: Movable {
8         var x = 0.0
9         var y = 0.0
10        override fun tick() {
11            x += 24; y += 15
12            if (x > 100) x -= 100
13            if (y > 100) y -= 100
14            if (x < 0) x += 100
15            if (y < 0) y += 100
16        }
17        override fun getLoc(): Point = Point(x, y)
18    }
19    for (i in 1..10) {
20        m.tick()
21        m.getLoc().show()
22    }
23 }
```

インタフェースのメソッドを実装するときは `override` キーワードが必要となる。

拡張関数

Kotlin では既存のクラスにメソッドを追加したかのように見せかけることができる。これを 拡張関数 (extension function) と呼ぶ。

拡張関数は `fun クラス名.メソッド名 (...)` で定義を開始する。関数内部でレシーバー (ドット「.」の左オペランド) のメソッドやプロパティは、その名前だけでアクセスすることができる。また、レシーバーそのものはキーワード this で参照することができる。

ファイル ExtensionTest.kt

```
1 import kotlin.math.*
2
3 fun Point.rotate(theta: Double) {
4     val x0 = x
5     val y0 = y
6     x = x0 * cos(theta) - y0 * sin(theta)
7     y = x0 * sin(theta) + y0 * cos(theta)
8 }
```

次の例では上で定義した拡張関数の `rotate` を本来のメソッド (`show` や `move` など) と同じ文法で呼び出していることがわかる。

ファイル ExtensionTest.kt

```
10 fun main() {
11     val p = Point(1.0, 0.0)
12     p.rotate(PI / 6)
13     p.show()
14 }
```

ただし、拡張関数はクラスを拡張したように“見せかけている”だけなので、本当にクラスを拡張しているのではない。拡張関数は動的束縛ではなく、静的に (コンパイル時に) 推論される型から選択される。例えば次の例では、`main` で、変数 `p` の型が `Point` と宣言されているので、`p.bar()` の呼び出しには `Point.bar()` のほうが選択されて、

ファイル ExtensionTest2.kt

```
1 // ややこしい拡張関数の使い方
2 fun Point.bar() {
3     print("Point class: ")
4     show()
5     println()
6 }
7
8 fun ColorPoint.bar() {
9     print("ColorPoint class:")
10    show()
11    println()
12 }
13
14 fun main() {
15     val p: Point = ColorPoint(1.0, 0.0, "black")
16     p.bar()
17 }
```

と出力する。このようなややこしいことが起こるので、継承関係にある複数のクラスに対して同じ名前の拡張関数を定義することは避けるべきである。

K.6 関数リテラルと高階関数

関数リテラル

Kotlin の関数リテラルは、キーワード `fun` を使う書き方 (`fun (引数宣言の並び): 型 { 文の並び }`) と、プレース「`{ } ~ { }`」・矢印「`->`」を使う書き方 (`{ 引数宣言の並び -> 文の並び }`) がある。他の言語では匿名関数とラムダ式は同じものを指すことが多いが、Kotlin では使い分けている。

- 匿名関数: `fun (仮引数宣言の並び): 型 { 文の並び }` または `fun (仮引数宣言の並び): 型 = 式`
- ラムダ式: `{ 仮引数宣言の並び -> 文の並び }`

ここで仮引数宣言の並びはコンマ「`,`」区切りである。また、関数型は `(型, 型, ..., 型) -> 型` のように「`->`」を使って表す。矢印の左辺の丸括弧の中が引数の型、右辺が戻り値の型である。

ラムダ式では `return` を使わなくても、文の並びの最後の文の式の値が戻り値になる。また、ラムダ式に仮引数がないときは「`->`」も省略できるので、プレース「`{ } ~ { }`」のなかに文の並びだけを書くことになる。

高階関数

高階関数 (higher-order function) は関数を引数としたり、戻り値としたりする関数である。Kotlin の標準ライブラリーには、いくつかの便利な高階関数が用意されている。例えば `map` メソッドはリストや配列などのコレクションの要素に引数の関数を一斉に適用し、その戻り値のコレクションを返す。また `filter` メソッドはコレクションの要素のなかで、引数の関数の値を真にするような要素だけのコレクションを返す。

ファイル LambdaTest.kt

```
1 fun main() {
2     val xs: List<Int> = listOf(2, 3, 5, 8)
3     println(xs.map { x -> x * x })
4     println(xs.filter { x -> x % 2 != 0 })
5 }
```

Kotlin では、関数・メソッドの最後の引数がラムダ式の場合、`fun (引数宣言の並び): 型 { 文の並び }` という約束事がある。特に、ラムダ式が唯一の引数であるときは丸括弧自体を省略して良い。この約束事のおかげで、まるで `if` や `while` などの制御構造と同じような外見で、関数適用を書くことができる。

結局、上のプログラムは次のよう出力する。(Kotlin ではリストは `[2, 3, 5, 8]` のように角括弧に囲んで出力する。)

```
[2, 3, 5, 8]
```

K.7 プログラム例

ここでは Java のライブラリーを使うプログラムを Kotlin で記述した例を紹介する。最初は AWT と Swing を使うプログラムの例である。この例はまったくクラスを定義していない。

ファイル SwingTest.kt

```
1 import java.awt.*
2 import javax.swing.*
3
4 fun factorial(n: Long): Long
5     = if (n == 0L) 1L else n * factorial(n - 1L)
6
7 fun main() {
8     SwingUtilities.invokeLater {
9         val panel = JPanel()
10        panel.setPreferredSize(Dimension(300, 50))
11        val input = JTextField("0", 8)
12        val output = JLabel("1")
13        input.addActionListener { _ ->
14            val n = input.getText().toLong()
15            output.setText("${factorial(n)}")
16        }
17        panel.add(input)
18        panel.add(JLabel(" の階乗は "))
19        panel.add(output)
20        panel.add(JLabel(" です"))
21
22        val frame = JFrame("Hello")
23        frame.add(panel)
24        frame.pack()
25        frame.setDefaultCloseOperation(
26            JFrame.EXIT_ON_CLOSE)
27        frame.setLocationRelativeTo(null)
28        frame.setVisible(true)
29    }
30 }
```

次の例も AWT と Swing を使っているが、匿名クラスの object を使っている例である。

ファイル Gradation.kt

```
1 import java.awt.*
2 import javax.swing.*
3
4 fun main() {
5     SwingUtilities.invokeLater {
6         val panel = object: JPanel() {
7             override fun paintComponent(g: Graphics) {
8                 super.paintComponent(g)
9                 val scale = 4;
10                for (i in 0..63) {
11                    g.setColor(
12                        Color(i * 4, 0, 255 - i * 4))
13                    g.fillRect(i * scale, 0, scale, 40)
14                }
15            }
16        }
17        panel.setPreferredSize(Dimension(256, 40))
18    }
19 }
```

```

18
19     val frame = JFrame("Gradation")
20     frame.add(panel)
21     frame.pack()
22     frame.setDefaultCloseOperation(
23         JFrame.EXIT_ON_CLOSE)
24     frame.setLocationRelativeTo(null)
25     frame.setVisible(true)
26 }
27 }

```

最後は Servlet の例である。

ファイル HelloKotlin.kt

```

1 import jakarta.servlet.annotation.WebServlet
2 import jakarta.servlet.http.HttpServlet
3 import jakarta.servlet.http.HttpServletRequest
4 import jakarta.servlet.http.HttpServletResponse
5
6 @WebServlet("/HelloKotlin")
7 class HelloKotlin: HttpServlet() {
8     protected override fun doGet(
9         request: HttpServletRequest?,
10        response: HttpServletResponse?) {
11        response?.setContentType(
12            "text/html; charset=UTF-8");
13        response?.getWriter().use { out ->
14            out?.println("""
15                <!DOCTYPE HTML>
16                <html>
17                    <head><title>Hello Kotlin</title></head>
18                    <body>
19                        <h1>Hello Kotlin</h1>
20                        <p><span style="color: blue;">Hello</span>
21                            Kotlin!</p>
22                    </body>
23                </html>
24            """)
25        }
26    }
27 }

```

Kotlin でも三連続の二重引用符に囲まれた部分「`"""`」～「`"""`」は複数行が可能な文字列リテラルである。

K.8 シーケンス

シーケンス

シーケンス (Sequence) は配列やリストと同様にコレクションだが、遅延評価される (つまり、必要になるまで評価されない) という点が異なる。このため無限個の要素を持つシーケンスを定義することもできる。シーケンスを生成する関数としては `generateSequence`, `sequence` などがある。前者は初期値 a と“漸化式” f を受け取り、無限列 $a, f(a), f(f(a)), f(f(f(a))), \dots$ を返す。後者は無引数のラムダ式を受け取り、ラムダ式の中の文を実行して _____ 関数に渡される値を順に生成する。いったん `yield` 関数が呼び出されると、ラムダ式の中の

文の実行は中断されるが、シーケンスの次の要素が必要になったときに、`yield` の呼び出しの 次の要素、やはり、次に `yield` に渡される値を返す。ラムダ式の実行が終了すると、シーケンスも終了する。

もちろん無限列はそのまま出力しようとする、プログラムが止まらなくなってしまう。次のプログラムでは `take(n)` メソッドで先頭の n 個の要素からなる有限列を取り出して、`toList()` メソッドでリストに変換して出力している。ここで `fibs` はフィボナッチ数列のシーケンスである。

ファイル `SequenceTest.kt`

```
1 val nums = generateSequence(1) { x -> x + 3 }
2
3 val fibs = sequence {
4     var a = 1; var b = 1
5     yield(a)
6     while (true) {
7         yield(b)
8         val c = a + b
9         a = b; b = c
10    }
11 }
12
13 fun main() {
14     println(nums.take(10).toList())
15     println(fibs.take(10).toList())
16 }
```

このプログラムは次のよう出力する。

```
[1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28]
[1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55]
```

次のプログラムは、シーケンスによるエラトステネスの篩のアルゴリズムの実装である。ここで `elementAt(n)` は n 番目の要素を取り出すメソッド、`drop(n)` は先頭の n 個の要素を除いた残りを返すメソッドである。なお、エラトステネスの篩の説明自体は割愛する。

ファイル `Primes.kt`

```
1 fun main() {
2     val primes = sequence {
3         var nums = generateSequence(2) { x -> x + 1 }
4         while (true) {
5             val a = nums.elementAt(0)
6             yield(a)
7             nums = nums.drop(1).filter { b -> b % a != 0 }
8         }
9     }
10    println(primes.take(20).toList())
11 }
```

このプログラムは次のよう出力する

```
[2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71]
```

K.9 練習問題

問 K.9.1 a, b, c が整数でかつ c が 0 でないとき、不定方程式:

$$ax + by = c$$

の整数解 (x, y) は、次のような手順で再帰的に求める（または解が存在しないことを示す）ことができる。

(注: この手順は、解を 1 組だけ求める。一般に解が存在する場合は、解は無数に存在するが、1 組の解 (x, y) が求めれば他の解は容易に求めることができる。例えば、 $(x \pm b, y \mp a), (x \pm 2b, y \mp 2a), \dots$ など解であることがわかる。)

(注: なお c が 0 だと、 $x = 0, y = 0$ という当たり前すぎる解が存在する。)

- b が 0 のとき、
 - $c \% a$ が 0 ならば、 $(c / a, 0)$ が解である（「/」は整数としての割算）。
 - $c \% a$ が 0 でないならば、解は存在しない。
- b が 0 でないとき、 $a \% b$ を r とおき、新しい方程式:

$$bx' + ry' = c$$

の整数解を（再帰的に）求める。

- この方程式が解を持たなければ、元の方程式も解を持たない。
- この方程式が解 (x', y') を持てば、 q を a / b とおくと、 $(y', x' - q * y')$ が元の方程式の解である（「/」は整数としての割算）。

説明: $a = bq + r$ だから、

$$\begin{aligned} bx' + ry' &= c \\ \Leftrightarrow bx' + (a - bq)y' &= c \\ \Leftrightarrow ay' + b(x' - qy') &= c \end{aligned}$$

この手順を用いて、正または 0 の整数 a, b と、0 でない整数 c を受け取り、方程式:

$$ax + by = c$$

が

- 解 x, y を持つときは、その解を組 $\text{Pair}(x, y)$ として返し、
- 解を持たないときは、組 $\text{Pair}(0, 0)$ を返す、

関数 `fun bezout(a: Int, b: Int, c: Int): Pair<Int, Int>` を定義せよ。

また `main` 関数は次のコードを用いよ。

```
1 fun main() {
2     val arr = arrayOf(Pair(5, 7), Pair(5, 17),
3                       Pair(7, 19))
4     for ((a, b) in arr) {
5         val (x, y) = bezout(a, b, 1)
6         if (x != 0 || y != 0) {
7             println("$a x + $b y = 1 の解は x = $x, y = $y")
8         } else {
9             println("$a x + $b y = 1 の解はなし")
10        }
11    }
12 }
```

問 K.9.2 正の整数を受け取って素因数分解し、結果を昇順のシーケンスとして返す関数 `fun factorization(num: Int): Sequence<Int>` を定義せよ。例えば、`factorization(360).toList()` は `[2, 2, 2, 3, 3, 5]` であり、`factorization(1024).toList()` は `[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2]`、`factorization(80999999).toList()` は `[8999, 9001]` である。

`factorization` を呼び出す側は次のコードを用いよ。

```
1 fun main() {
2     while (true) {
3         print("正の整数を入力してください: ")
4         val n = try {
5             readLine()?.toInt():0
6         } catch (ex: Exception) { 0 }
7         if (n <= 0) {
8             println("終了します")
9             break
10        }
11        val result = factorization(n).toList()
12        println("$n の素因数分解の結果は $result です。")
13    }
14 }
```