

## 第S章 Scheme 超簡易入門

Scheme は、Lisp の一方言である。Scheme は関数型言語であるが、Haskell と異なり、変数への代入など命令的な特徴を残している。また遅延評価ではなく、関数の引数を先に評価する、先行評価を採用している。

### S.1 Scheme でのプログラミング

#### 関数適用

関数適用 (function application) は次のような形である。

- (関数 引数<sub>1</sub> 引数<sub>2</sub> ... 引数<sub>n</sub>) のような \_\_\_\_\_ (parenthesis) でくくった式の列

Scheme では + や × などの算術演算子に、通常の \_\_\_\_\_ (infix notation) ではなく、\_\_\_\_\_ (prefix notation) を用いることが特徴的である。例えば、(+ 1 2) という式では、「+」が関数 (function) , 1 と 2 が引数である。

#### 変数と代入

例えば、

```
(define x 5)
```

という式で、5 という値の入った “x” という名前の変数を用意する。これ以降は x という変数は 5 に評価される。

Scheme の場合、変数名の中には、アルファベット、数字の他に

```
+ - . * / < = > ! ? : $ % _ & ~ ^
```

などの記号を用いることができる。(もちろん空白はダメ) アルファベットの大文字と小文字は \_\_\_\_\_。(つまり、Japan と japan は \_\_\_\_\_ 変数である。)

また set! という命令によって、変数の値を変更する(代入するという)ことができる。(C 言語の 「=」 演算子に対応する。)

```
(set! x 4) ; 変数 x の値を 4 に変更する。  
           ; それ以前に x を define しておく必要がある。
```

これは、Scheme が \_\_\_\_\_ としての側面を持つことを示す。なお、Scheme では「;」から行末までがコメントである。

#### リスト

リストを入力するためには、組み込み関数 list を用いる。list は任意の数の引数を取ることができる。

```

1 > (list 1997 5 6)
2 (1997 5 6)
3 > (list "kagawa" "university")
4 ("kagawa" "university")

```

単に (1997 5 6) と入力すると、Scheme の処理系は、1997 という関数を 5 と 6 という引数に適用しているのだと判断してしまう。

このように、Scheme（一般に Lisp）では丸括弧「( )」が 2 つの意味に使われる。ユーザが入力するときは「          」の意味に、処理系が出力するときは「          」の意味になる。もっと正確に言うとユーザが「リスト」を入力すると、処理系はそれを「関数適用」だと解釈するのである。

このような処理系の振舞いは Lisp の強力さの源であるが、一方で混乱のもとでもある。

上記のデータは「'」（クォート記号・引用記号）を用いて次のようにも入力できる。

```

1 > '(1997 4 22)
2 (1997 4 22)

```

「'式」は、「(quote 式)」とも書く。（むしろ、後者が正式な書き方である。）

```

1 > (quote (1997 5 6))
2 (1997 5 6)

```

ここで quote は、その                      ことを表す。だから、(1997 5 6) は関数適用ではなくリストと解釈される。

空リスト（要素を 1 つも含まないリスト）は '() または (list) のように入力する。

```

1 > '()
2 ()
3 > (list)
4 ()

```

また cons（          と読む）、car（          と読む）、cdr（          と読む）などが、リストを操作するための最も基本的な関数である。ここで cons はリストを組み立てるための関数、car と cdr はリストを分解するための関数である。

- cons — 第 2 引数として与えられるリストの先頭に、第 1 引数として与えられる要素を付け加えたリストを返す
- car — リストの先頭の要素を返す
- cdr — リストの先頭を除いた残り（のリスト）を返す

- `null?` — リストが空ならば真、空でなければ偽を返す

## 関数定義

関数の定義には次の形式の `define` を用いる。

```
(define (関数名 変数1 ... 変数n) 定義)
```

変数<sub>1</sub> ... 変数<sub>n</sub>はこの関数の仮引数である。

```
1 > (define (square x) (* x x))
2 square
3 > (square 4)
4 16
```

## 条件判断

条件判断は次のような形式で行なう。

```
(if 条件式 式1 式2)
```

条件式が            を、            を評価（計算）する。（C の `if` 文と異なり、値を返すことに注意する。むしろ、C の「?:」オペレーターに対応する。）

## 逐次実行

```
(begin 式1 式2 ... 式n)
```

式<sub>1</sub>から、式<sub>n</sub>を順に評価し、最後の式<sub>n</sub>の値を全体の値として返す。通常、式<sub>1</sub>から、式<sub>n-1</sub>は            のために実行される。C や JavaScript のブロック { ~ } と意味は似ているが、C や JavaScript のブロックは“文”の一種であるので値を持たないのに対し、Scheme の `begin` 式は値を持つ。

なお、関数の定義の本体で、

```
1 (define (hen_na_square x)
2   (begin (set! x (* x x))
3           x))
```

のように順に式を評価するときは、上のように `begin` を使う必要はなく、

```
1 (define (hen_na_square x)
2   (set! x (* x x))
3   x)
```

のように単に式を並べて書くだけで良い。（これを“暗黙”の `begin` という。）

## 局所変数 (let)

関数の定義の他に `let` という構文で局所変数を導入することができる。

```
(let ((変数1 式1)
      ...
      (変数m 式m))
  式0)
```

この `let` 文では、式<sub>1</sub>から式<sub>m</sub>を評価した結果が、変数<sub>1</sub>から変数<sub>m</sub>に入れられ、最後に式<sub>0</sub>を評価する。変数<sub>1</sub>,..., 変数<sub>m</sub>のスコープは式<sub>0</sub>である。

### ラムダ式 (匿名関数)

```
(lambda (変数1 ... 変数n) 定義)
```

これは 変数<sub>1</sub> ... 変数<sub>n</sub>を引数とする関数である。例えば、`(lambda (x) (* x x))` は 2乗する関数である。`((lambda (x) (* x x)) 2)` は 4になる。`lambda`はギリシャ文字のλのことである。これらは `define` を用いて定義した名前付きの関数:

```
(define (square x) (* x x))
```

の `square` と同じ関数になる。つまり、`(define (square x) (* x x))` は `(define square (lambda (x) (* x x)))` と同じ意味なのである。

## S.2 Scheme の `call-with-current-continuation`

Scheme では、プログラマが接続を直接操作することができる。このことを Scheme は                      (first-class continuation) を持つという言い方をするときもある。

```
(call-with-current-continuation thunk)
(call/cc thunk)
```

この `call-with-current-continuation` という名前は長いので、省略形の `call/cc` がよく使われる (Schemeは、「-」や「/」のような文字も変数の名前の中で使用できるので、`call-with-current-continuation` や `call/cc` でひとつの名前である。ただし、`call/cc` は Scheme の標準仕様には含まれていないので、処理形によっては、`(define call/cc call-with-current-continuation)` のように自分で定義しておく必要がある。))。

ここで `thunk` は 1 引数の関数であり、`(call/cc thunk)` は                      を引数として、`thunk` を呼び出す。この `thunk` のなかで、この接続を呼び出せば、そのときの接続は無視されて (= ジャンプして)、`call/cc` が呼ばれたときの接続にその値が返される。また `thunk` が接続を呼び出さなければ、`thunk` 自身の戻り値が `call/cc` 式全体の戻り値になる。

例えば、

```
1 (define (bar x)
2   (call/cc (lambda (k)
3     (+ 100 (if (= x 0) 1 (k x))))))
```

という関数を考える。(bar 0) を評価すると普通に足し算が計算され、値は 100 になる。一方、(bar 1) の場合は、接続 k が呼び出されるので 100 を足す部分はスキップされて、戻り値は 1 となる。

よくある call/cc の使い方は、try ~ catch と同じような大域脱出である。

```
1 (define (multlist xs)
2   (call/cc (lambda (k)
3     (define (aux xs)
4       (if (null? xs) 1
5         (if (= 0 (car xs))
6             (k 0)
7             (* (car xs) (aux (cdr xs))))))
8     (aux xs))))
```

この関数はリストの要素の掛け算を求める。要素の中に 0 が見つかり、大域脱出して multlist 全体の値は 1 になる。

しかし、このような大域脱出だけならば、言語の仕様に call/cc のような大がかりな仕掛けをいれておく必要はない。本当の call/cc の価値はコルーチンなどの普通でない制御構造を実現できるところにある。

### S.3 コルーチン (coroutine)

コルーチンとは、2 つ以上のプログラムの実行単位が、相互に呼び出しを繰り返す ながら実行されていく方式のことである。サブルーチン (subroutine) のように、実行単位の間に主と副といった従属関係はなく、コルーチンを構成する個々のルーチンは互いに対等な関係である。

例えば、

```
1 (define (increase n k)
2   (if (> n 10) '()
3     (begin (display " i:") (display n)
4             (increase (+ n 1) (call/cc k)))))
5 (define (decrease n k)
6   (if (< n 0) '()
7     (begin (display " d:") (display n)
8             (decrease (- n 1) (call/cc k)))))
```

という 2 つの関数を定義して

```
(increase 0 (lambda (k) (decrease 10 k)))
```

という式を実行すると、

というように画面へ出力される。2 つの関数 increase と decrease が交互に実行されていることがわかる。

このように call/cc はひじょうに強力なプリミティブで、コルーチンの他にこれまでに紹介したエラー処理 (try ~ catch) や非決定性などのプリミティブも、

`call/cc` を用いて定義できることがわかっている。ある意味でオールマイティなプリミティブである。

しかし、`call/cc` は効率的な実装の難しいプリミティブでもある。素直な実装では `call/cc` を実現するためには、スタック全体のコピーを行なう必要がある。一方、はじめからスタックをヒープの中に取り、スタックのコピーを行わないという方式もある。この方式では不要になったスタック領域も \_\_\_\_\_ で回収する。

## S.4 さらに詳しく知りたい人のために...

文献 (R<sup>6</sup>RS) は Scheme の仕様書である。通常、略して R<sup>6</sup>RS と呼ばれる。中に `call/cc` の簡単な解説もある。

**(R<sup>6</sup>RS)** Richard Kelsey, William Clinger, and Jonathan Rees (Editors),  
“Revised<sup>6</sup> Report on the Algorithmic Language Scheme”  
<http://www.r6rs.org/>

---