

## 付録 C Scheme 超簡単入門

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。このため 準関数型言語と言える。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。

### C.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 丸括弧 (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 中置記法 (infix notation) ではなく、前置記法 (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 区別しない。(つまり、Japan と japan は 同じ 変数である。)

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 命令型言語 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する。

このように、Scheme (一般に Lisp) では小括弧「`(`」「`)`」が2つの意味に使われる。ユーザが入力するときは「関数適用」の意味に、処理系が出力するときは「リスト」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)
```

`quote` は、その次の式を評価しないことを表す。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   ()
```

`cons` (「こんす」と読む)、`car` (「かー」と読む)、`cdr` (「くだー」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。`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 真なら式<sub>1</sub>を、偽なら式<sub>2</sub>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> は副作用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)
```

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 $\lambda$ 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。

## C.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 第1級の接続 (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)
```

`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<sup>1</sup>。

`thunk` は1引数の関数であり、`(call/cc thunk)` は 現在の接続 を引数として、`thunk` を呼び出す。`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。`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 101 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。

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

<sup>1</sup>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。

```

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))))
9

```

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 0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。call/cc の本当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。

### C.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、交互に制御を受け渡しし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、

```
i:0 d:10 i:1 d:9 i:2 d:8 ... i:10 d:0
```

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

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の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 ゴミ集め で回収する。

## C.4 さらに詳しく知りたい人のために ...

[1] は Scheme の仕様書である。通常、略して R6RS と呼ばれる。call/cc の簡単な解説もある。

### この章の参考文献

- [1] Richard Kelsey, William Clinger, and Jonathan Rees (Editors),  
「Revised<sup>6</sup> Report on the Algorithmic Language Scheme」  
<http://www.r6rs.org/>