

sp-7. リストの生成

(Scheme プログラミング)

URL: <https://www.kkaneko.jp/cc/scheme/index.html>

金子邦彦



アウトライン



7-1 リストの生成

リストを「出力」とするような関数

cons を使用

リストのリスト(リストの入れ子) の生成

7-2 パソコン演習

7-3 課題

7-1 リストの生成

- cons による表記

例) (cons 'x (cons 'y (cons 'z
empty)))

「empty」は空リストの意味であったが、ここでは、末尾の意味になる

- list による表記

例) (list 'x 'y 'y)

2種類の表記がある

実行結果の例



The screenshot shows the DrScheme environment. The window title is "Untitled - DrScheme". The menu bar includes "File", "Edit", "Show", "Language", "Scheme", "Windows", and "Help". The toolbar contains buttons for "Untitled", "Save", "Check Syntax", "Execute", and "Break". The main text area contains the following Scheme code and its output:

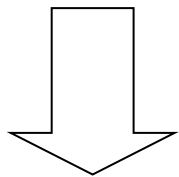
```
> (cons 'x empty)
(list 'x)
> (cons 'x (cons 'y empty))
(list 'x 'y)
> (cons 'x (cons 'y (cons 'z empty)))
(list 'x 'y 'z)
>
```

At the bottom of the window, there is a status bar with a zoom level of "1:1", a "Read/Write" checkbox, and the text "not running". A small number "3" is visible in the bottom right corner.

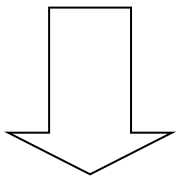
コンピュータが行っていること



Scheme の式



コンピュータ
(Scheme 搭載)



式の実行結果

例えば :

```
(cons 'x (cons 'y empty))
```

を入力すると . . .



```
(list 'x 'y)
```

が表示される

cons の実行例



(cons 'x empty)

→ (list 'x)

(cons 'x (cons 'y empty))

→ (list 'x 'y)

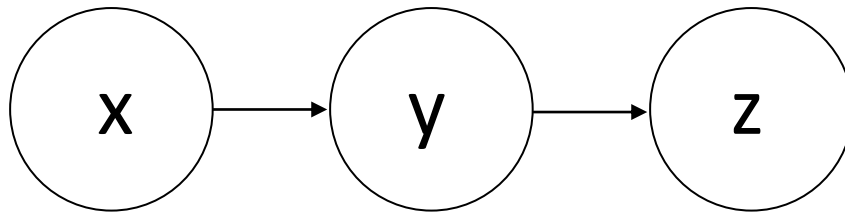
(cons 'x (cons 'y (cons 'z empty)))

→ (list 'x 'y 'z)

cons の意味



```
(cons 'x (cons 'y (cons 'z empty)))
```

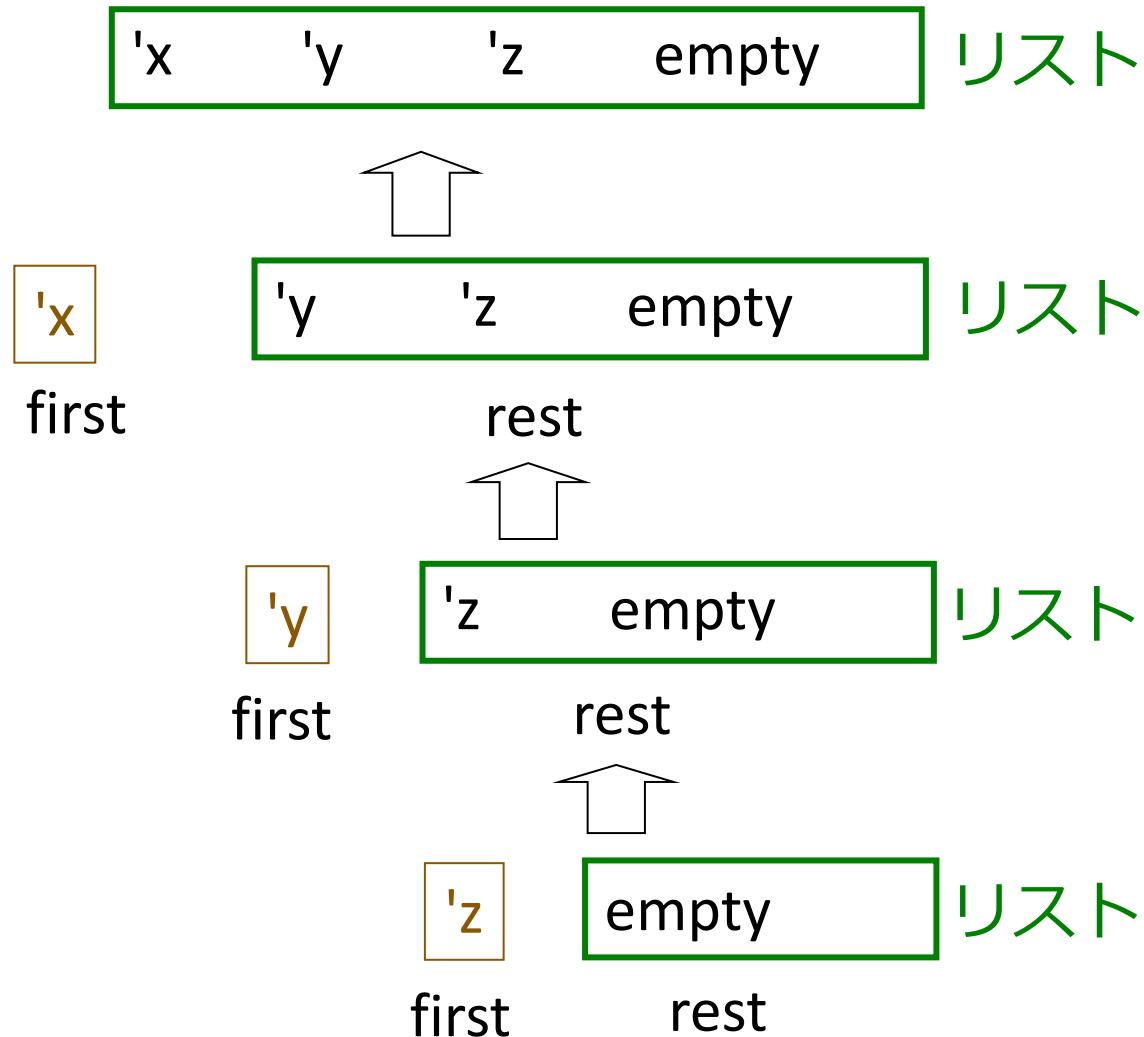


x, y, z のリスト

cons の意味



cons は, リストの first と rest をつなげて, リストを作る



リストと cons の関係



1. 空リスト

- `empty`

2. 長さ 1 以上のリスト

- list 形式: 例 `(list 12 24 26)`
- cons 形式: 例 `(cons 12 (cons 24 (cons 36 empty)))`

この2つは同じ意味

Scheme の式の構成物

- 数値 :
5, -5, 0.5 など
- true, false 値
true, false
- シンボル, 文字列
- 変数名
- empty
- 四則演算子 :
+, -, *, /
- 比較演算子
<, <=, >, >=, =
- 奇数か偶数かの判定
odd?, even?
- 論理演算子
and, or, not
- リストに関する演算子
first, rest, empty?, length, list-ref,
append, cons
- その他の演算子 :
remainder, quotient, max, min,
abs, sqrt, expt, log, sin, cos, tan
asin, acos, atan など
- 括弧
(,), [,]
- 関数名
- define
- cond
- list

7-2 パソコン演習

- 資料を見ながら、「例題」を行ってみる
- 各自、「課題」に挑戦する
 - 各自で自習 + 巡回指導
- 自分のペースで先に進んで構いません

- DrScheme の起動
プログラム → PLT Scheme → DrScheme
- 今日の演習では「Intermediate Student」
に設定
Language
→ Choose Language
→ Intermediate Student
→ Execute ボタン

例題 1 . 2 次方程式



- 2 次方程式 $ax^2 + bx + c = 0$ の解を求める関数 `quadratic-roots` を作り, 実行する
 - 解を「リスト」として出力する
 - 重解を求める
 - 但し, 虚数解は考えない
 - $a=0$ の場合も考えない

参考 Web ページ :

<http://www.htdp.org/2001-11-21/Book/node57.htm>: Exercise 10.1.8

- 一変数 x の二次方程式の一般形:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

- 二次方程式の解の数:

a, b, c の値に依存

(1) $a = 0 \Rightarrow$ 方程式は degenerate

(2) $a \neq 0 \Rightarrow$ proper な二次方程式

1. もし $b^2 > 4ac$ なら 二つの解

2. もし $b^2 = 4ac$ なら 一つの解

3. もし $b^2 < 4ac$ なら 解無し

判別式 $D = b^2 - 4ac$ とする

1) $D > 0$ のとき

$$x = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a}, \frac{-b - \sqrt{D}}{2a}$$

異なる 2 実数解

2) $D = 0$ のとき

$$x = -\frac{b}{2a}, \quad \text{重解 (解の個数は 1)}$$

3) $D < 0$ のとき

解なし

「例題 1 . 2 次方程式」の手順

1. 次を「定義用ウィンドウ」で，実行しなさい
 - 入力した後に，Execute ボタンを押す

```
(define (D a b c)
  (- (* b b) (* 4 a c)))
(define (quadratic-roots a b c)
  (cond
    [((< (D a b c) 0) 'None]
    [(= (D a b c) 0) (- (/ b (* 2 a)))]
    [else (list
            (/ (+ (- b) (sqrt (D a b c))) (* 2 a))
            (/ (+ (- b) (- (sqrt (D a b c)))) (* 2 a)))]))
```

2. その後，次を「実行用ウィンドウ」で実行しなさい

```
(quadratic-roots 1 -5 6)
(quadratic-roots 2 0 -1)
(quadratic-roots 1 2 1)
(quadratic-roots 1 0 1)
```



```
(define (D a b c)
  (- (* b b) (* 4 a c)))
(define (quadratic-roots a b c)
  (cond
    [(< (D a b c) 0) 'None]
    [(= (D a b c) 0) (- (/ b (* 2 a)))]
    [else (list
            (/ (+ (- b) (sqrt (D a b c))) (* 2 a))
            (/ (+ (- b) (- (sqrt (D a b c)))) (* 2 a)))]))
```

まず、Scheme のプログラムを
コンピュータに読み込ませている

Untitled - DrScheme

File Edit Windows Show Language Scheme Help

Untitled Save

Check Syntax Step Execute Break

```
(define (D a b c)
  (- (* b b) (* 4 a c)))
(define (quadratic-roots a b c)
  (cond
    [(< (
    [(= (
    [else
      (/ (+ (- b) (sqrt (D a b c))) (* 2 a))
      (/ (+ (- b) (- (sqrt (D a b c)))) (* 2 a)))]))])])])])
```

実行結果が、リスト、数値、シンボル
で得られている

```
> (quadratic-roots 1 -5 6)
(list 3 2)
> (quadratic-roots 2 0 -1)
(list #i0.7071067811865476 #i-0.7071067811865476)
> (quadratic-roots 1 2 1)
-1
> (quadratic-roots 1 0 1)
'None
```

11:3 Unlocked not running



入力と出力



入力は
3つの数値

出力は

- 1つのリスト
- 1つの数値
- シンボル 'None'

のどれか

```
(define (D a b c)
  (- (* b b) (* 4 a c)))
(define (quadratic-roots a b c)
  (cond
    [(< (D a b c) 0) 'None]
    [(= (D a b c) 0) (- (/ b (* 2 a)))]
    [else (list
            (/ (+ (- b) (sqrt (D a b c))) (* 2 a))
            (/ (+ (- b) (- (sqrt (D a b c)))) (* 2 a)))]])
```

例題 2. リストの生成



- n 個の数字 「1」 を要素とするリストを生成する関数 **1list** を作り, 実行する
 - cons を使用する

「例題 2. リストの生成」の手順

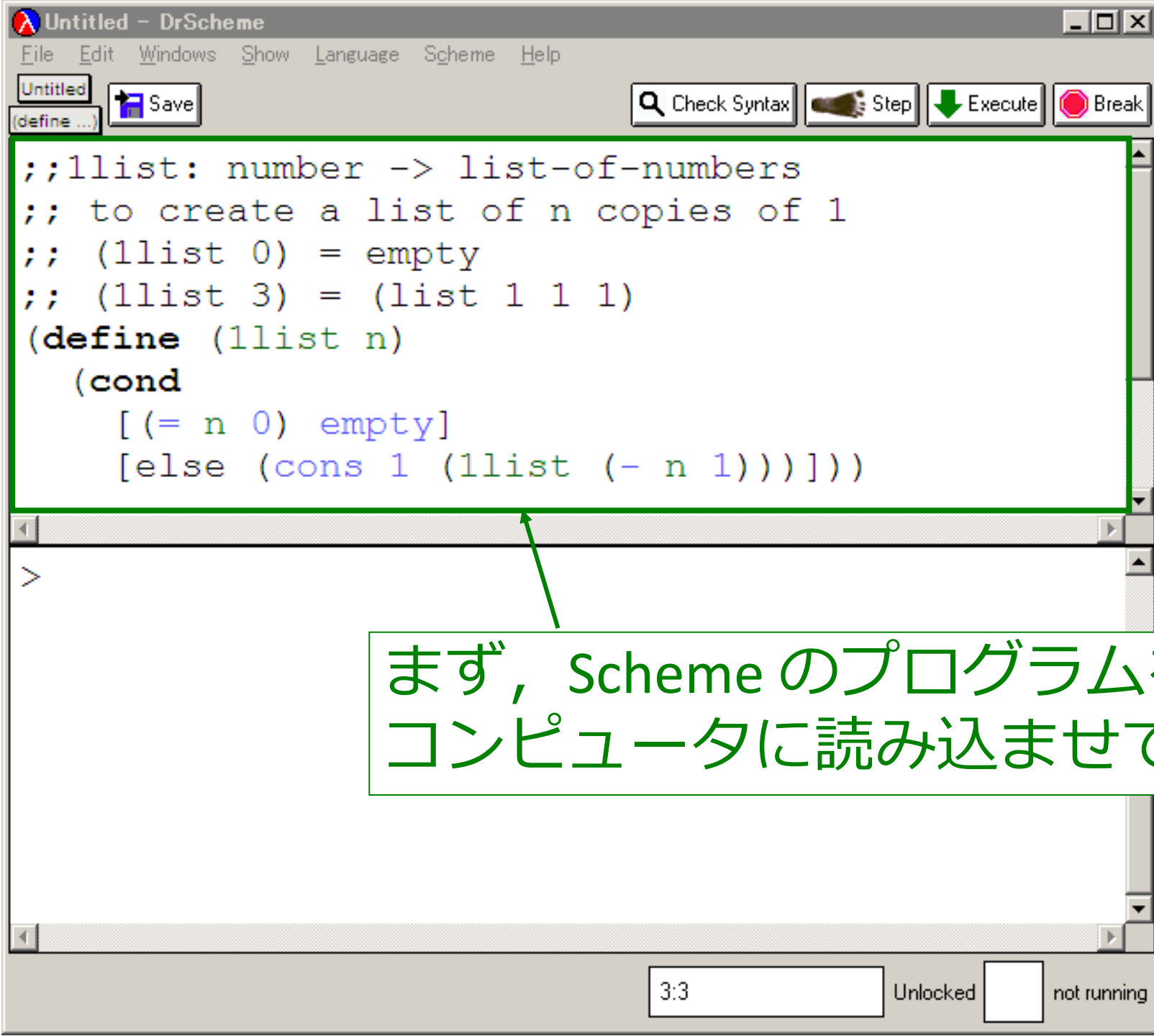


1. 次を「定義用ウィンドウ」で，実行しなさい
 - 入力した後に，Execute ボタンを押す

```
(define (1list n)
  (cond
    [(= n 0) empty]
    [else (cons 1 (1list (- n 1)))]))
```

2. その後，次を「実行用ウィンドウ」で実行しなさい

```
(1list 0)
(1list 3)
```

まず、Scheme のプログラムを
コンピュータに読み込ませている



Untitled Save (define ...)

Execute Break

これは、
(1list 3)
と書いて、n の値を
3 に設定しての実行

```
;; 1list: number  
;; to create a  
;; (1list 0) =  
;; (1list 3) =  
(define (1list  
  (cond  
    [(= n 0) empty]  
    [else (cons 1 (1list (- n 1)))])))
```

> (1list 3)

(list 1 1 1)

> (1list 0)

empty

>

実行結果である「(list 1 1 1)」が
表示される

入力と出力



入力は
1つの数値

出力は
1つのリスト

1list 関数



```
;; 1list: number -> list-of-numbers
```

```
;; to create a list of n copies of 1
```

```
;; (1list 0) = empty
```

```
;; (1list 3) = (list 1 1 1)
```

```
(define (1list n)
```

```
  (cond
```

```
    [(= n 0) empty]
```

```
    [else (cons 1 (1list (- n 1)))]))
```

1. $n = 0$ ならば : → 終了条件
 empty → 自明な解

2. そうで無ければ :

- 長さ $n-1$ のリストを作り, その先頭に「1」をつなげる
- リストの先頭に「1」をつなげるために, cons を使う

リストの生成 1list



- 1list の内部に 1list が登場

```
(define (1list n)
  (cond
    [(= n 0) empty]
    [else (cons 1 (1list (- n 1)))]))
```

- 1list の実行が繰り返される

例 : (1list 3)

= (cons 1 (1list 2))

例題 3 . ステップ実行



- 関数 **1list** (例題 2) について, 実行結果に至る過程を見る
 - (**1list** 3) から (list 1 1 1) に至る過程を見る
 - DrScheme の stepper を使用する

```
(define (1list n)
  (cond
    [(= n 0) empty]
    [else (cons 1 (1list (- n 1)))]))
(1list 3)
```

```
(1list 3)
= ...
= (cons 1 (1list 2))
= ...
= (cons 1 (cons 1 (1list 1)))
= ...
= (cons 1 (cons 1 (cons 1 (1list 0))))
= ...
= (cons 1 (cons 1 (cons 1 empty)))
= (list 1 1 1)
```

「例題 3 . ステップ実行」の手順



1. 次を「定義用ウィンドウ」で、実行しなさい
 - Intermediate Student で実行すること
 - 入力した後に、Execute ボタンを押す

```
(define (1list n)
  (cond
    [(= n 0) empty]
    [else (cons 1 (1list (- n 1)))]))
(1list 3)
```

← 例題 2 と同じ

2. DrScheme を使って、ステップ実行の様子を確認しなさい (Step ボタン, Next ボタンを使用)
 - 理解しながら進むこと

☆ 次は、例題 4 に進んでください

(1list 3) から (list 1 1 1) が得られる過程の概略

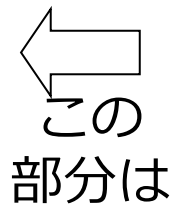
(1list 3)

最初の式

```
= ...  
= (cons 1 (1list 2))  
= ...  
= (cons 1 (cons 1 (1list 1)))  
= ...  
= (cons 1 (cons 1 (cons 1 (1list 0))))  
= ...  
= (cons 1 (cons 1 (cons 1 empty))) コンピュータ内部での計算  
= (list 1 1 1) 実行結果
```

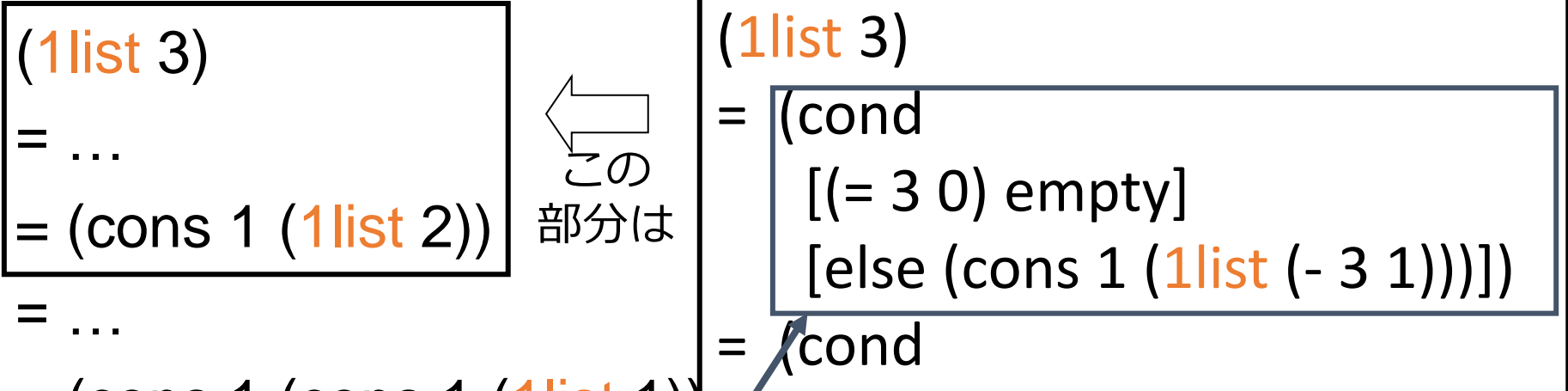
(1list 3) から (cons 1 (1list 2)) が得られる過程

```
(1list 3)
= ...
= (cons 1 (1list 2))
= ...
= (cons 1 (cons 1 (1list 1)))
= ...
= (cons 1 (cons 1 (cons 1
= ...
= (cons 1 (cons 1 (cons 1 empty)))
= (list 1 1 1)
```



```
(1list 3)
= (cond
  [(= 3 0) empty]
  [else (cons 1 (1list (- 3 1)))]])
= (cond
  [false empty]
  [else (cons 1 (1list (- 3 1)))]])
= (cons 1 (1list (- 3 1)))
= (cons 1 (1list 2))
```

(1list 3) から (cons 1 (1list 2)) が得られる過程



これは、

```
(define (1list n)  
  (cond  
    [(= n 0) empty]  
    [else (cons 1 (1list (- n 1)))]))
```

の n を 3 で置き換えたもの

例題 4 . リストの生成



- n 個のシンボル 「!*」 を要素とするリストを生成する関数 `astlist` を作り、実行する
- `cons` を使用する

「例題 4 . リストの生成」の手順



1. 次を「定義用ウィンドウ」で，実行しなさい
 - 入力した後に，Execute ボタンを押す

```
(define (astlist n)
  (cond
    [(= n 0) empty]
    [else (cons '* (astlist (- n 1)))]))
```

2. その後，次を「実行用ウィンドウ」で実行しなさい

```
(astlist 0)
(astlist 3)
(astlist 10)
```

☆ 次は，例題 5 に進んでください

実行結果の例

A screenshot of the DrScheme IDE window titled "Untitled - DrScheme". The menu bar includes "File", "Edit", "Windows", "Show", "Language", "Scheme", and "Help". The toolbar contains buttons for "Save", "Check Syntax", "Step", "Execute", and "Break". The main text area contains the following Scheme code:

```
(define (astlist n)
  (cond
    [(= n 0) empty]
    [else (cons '* (astlist (- n 1)))]))
```

The bottom pane shows the REPL history:

```
> (astlist 0)
empty
> (astlist 3)
(list '* '* '*)
> (astlist 10)
(list '* '* '* '* '* '* '* '* '* '* '*)
```

At the bottom of the window, there is a status bar with a clock showing "9:3", the text "Unlocked", and a "not running" indicator.

入力と出力



入力は数値

出力はリスト

リストの生成



1. $n = 0$ ならば :
 - 終了条件
 - empty → 自明な解
2. そうで無ければ :
 - 長さ $n-1$ のリストを作り, その先頭に「*」をつなげる
 - リストの先頭に「*」をつなげるために, cons を使う


```
;; astlist: number -> list of symbols
```

```
;; to create a list of n copies of '*
```

```
;; (astlist 0) = empty
```

```
;; (astlist 3) = (list '* '* '*)
```

```
(define (astlist n)
```

```
  (cond
```

```
    [(= n 0) empty]
```

```
    [else (cons '* (astlist (- n 1)))]))
```

(astlist 3) から (list '* '* *) が得られる過程の概略

= (astlist 3)

= ...

= (cons '* (astlist 2))

= ...

= (cons '* (cons '* (astlist 1)))

= ...

= (cons '* (cons '* (cons '* (astlist 0))))

= ...

= (cons '* (cons '* (cons '* empty)))

= (list '* '* *)

例題 5 . 賃金リストの生成



- 賃金を求める関数 **wage** を作り実行する
 - 従業員について
賃金 = 12 × 勤務時間
- 全従業員の勤務時間のリスト **alon** から, 賃金のリストを生成する関数 **hours->wages** を作り, 実行する
 - 関数 **wage** を使う

「例題 5 . 賃金リストの生成」の手順



1. 次を「定義用ウィンドウ」で、実行しなさい
 - 入力した後に、Execute ボタンを押す

```
(define (hours->wages alon)
  (cond
    [(empty? alon) empty]
    [else (cons (wage (first alon))
                 (hours->wages (rest alon)))]))
(define (wage h)
  (* 12 h))
```

2. その後、次を「実行用ウィンドウ」で実行しなさい

```
(hours->wages (list 5 3 6))
(hours->wages (list 100 200 300 400))
(hours->wages empty)
```

☆ 次は、例題 6 に進んでください

```
;; hours->wages: list-of-numbers -> list-of-numbers
;; to create a list of weekly wages from a list of
;; weekly hours(alon)
;; Example: (hours->wages (list 5 3 6)) = (list 60 36 72)
(define (hours->wages alon)
  (cond
    [(empty? alon) empty]
    [else (cons (wage (first alon))
                (hours->wages (rest alon)))]))
;;wage: number->number
;;to compute the total wages(at $12 per hour)
;;of someone who worked for h hours
;; Example: (wage 5) = 60
(define (wage h)
  (* 12 h))
```

まず、Scheme のプログラムを
コンピュータに読み込ませている



```
;; hours->wages: list  
;; to create a list  
;; weekly hours (along with wages)  
;; Example: (hours->wages 5 3 6)  
(define (hours->wages alon wage)  
  (cond  
    [(empty? alon) empty]  
    [else (cons (wage (hours->wages (first alon) wage))  
                (hours->wages (rest alon) wage))])])  
;; wage: number->number  
;; to compute the total wages (at $12 per hour)  
;; of someone who worked for h hours  
;; Example: (wage 5) = 60  
(define (wage h)  
  (* 12 h))
```

これは,

(hours->wages (list 5 3 6))
と書いて, alon の値を
(list 5 3 6) に設定しての実行

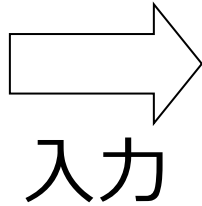
```
> (hours->wages (list 5 3 6))  
(list 60 36 72)  
> (hours->wages (list 100 200 300 400))  
(list 1200 2400 3600 4800)  
> (hours->wages empty)  
empty  
> (wage 5)  
60  
>
```

実行結果である「(list 60 36 72)」が表示される

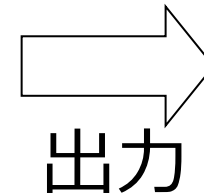
入力と出力



(list 5 3 6)



hours->wages



(list 60 36 72)

入力は
1つのリスト

出力は
1つのリスト

```
;; hours->wages: list-of-numbers -> list-of-numbers
;; to create a list of weekly wages from a list of
;; weekly hours(alon)
;; Example: (hours->wages (list 5 3 6)) = (list 60 36 72)
(define (hours->wages alon)
  (cond
    [(empty? alon) empty]
    [else (cons (wage (first alon))
                 (hours->wages (rest alon)))]))
;;wage: number->number
;;to compute the total wages(at $12 per hour)
;;of someone who worked for h hours
;; Example: (wage 5) = 60
(define (wage h)
  (* 12 h))
```


賃金リストの生成



1. リストが空ならば : → 終了条件
 empty → 自明な解
2. そうで無ければ :
 - 「勤務時間のリストの rest に対する **hours->wages** の結果 (リスト) の先頭に, 勤務時間の first に対する **wage** の結果 (数値) をつなげたもの」 が求める解
 - リストの先頭に数値をつなげるために, cons を使う

賃金リストの生成



- hours->wages の内部に hours->wages が登場

```
(define (hours->wages alon)
  (cond
    [(empty? alon) empty]
    [else (cons (wage (first alon))
                (hours->wages (rest alon)))]))
```

- hours->wages の実行が繰り返される

例 : (cons (wage 1) (hours->wages (list 2 3)))

例題 6 . ステップ実行



- 関数 `hours-wage` (例題 5) について, 実行結果に至る過程を見る
 - (`hours->wage` (list 1 2 3)) から (list 12 24 36) に至る過程を見る
 - DrScheme の stepper を使用する

```
(hours->wages (list 1 2 3))  
= ...  
= (cons (wage 1) (hours->wages (rest (list 1 2 3))))  
= ...  
= (cons 12 (cons (wage 2) (hours->wages (rest (list 2 3)))))  
= ...  
= (cons 12 (cons 24 (cons (wage 3) (hours->wages (rest (list 3))))))  
= ...  
= (cons 12 (cons 24 (cons 36 (hours->wages empty))))  
= ...  
= (cons 12 (cons 24 (cons 36 empty)))  
= (list 12 24 36)
```

「例題 6 . ステップ実行」の手順



1. 次を「定義用ウィンドウ」で、実行しなさい
 - Intermediate Student で実行すること
 - 入力した後に、Execute ボタンを押す

```
(define (hours->wages alon)
  (cond
    [(empty? alon) empty]
    [else (cons (wage (first alon))
                 (hours->wages (rest alon)))]))
(define (wage h)
  (* 12 h))
(hours->wages (list 1 2 3))
```

例題 5
と同じ

2. DrScheme を使って、ステップ実行の様子を確認しなさい (Step ボタン, Next ボタンを使用)
 - 理解しながら進むこと

☆ 次は、例題 7 に進んでください

(hours->wages (list 5 3 6)) から (list 60 36 72) が得られる過程の概略

(hours->wages (list 5 3 6))

最初の式

= ...

= (cons 60 (hours->wages (list 3 6)))

= ...

= (cons 60 (cons 36 (hours->wages (list 6))))

= ...

= (cons 60 (cons 36 (cons 72 (hours->wages empty))))

= ...

= (cons 60 (cons 36 (cons 72 empty)))

コンピュータ内部での計算

= (list 60 36 72)

実行結果



(hours->wages (list 5 3 6)) から (cons 60 (hours->wages (list 3 6)))が得られる過程

```

(hours->wages (list 5 3 6))
= ...
= (cons 60 (hours->wages (
= ...
= (cons 60 (cons 36 (hours-
= ...
= (cons 60 (cons 36 (cons 7
= ...
= (cons 60 (cons 36 (cons 7
= (list 60 36 72)

```

←
この部分は

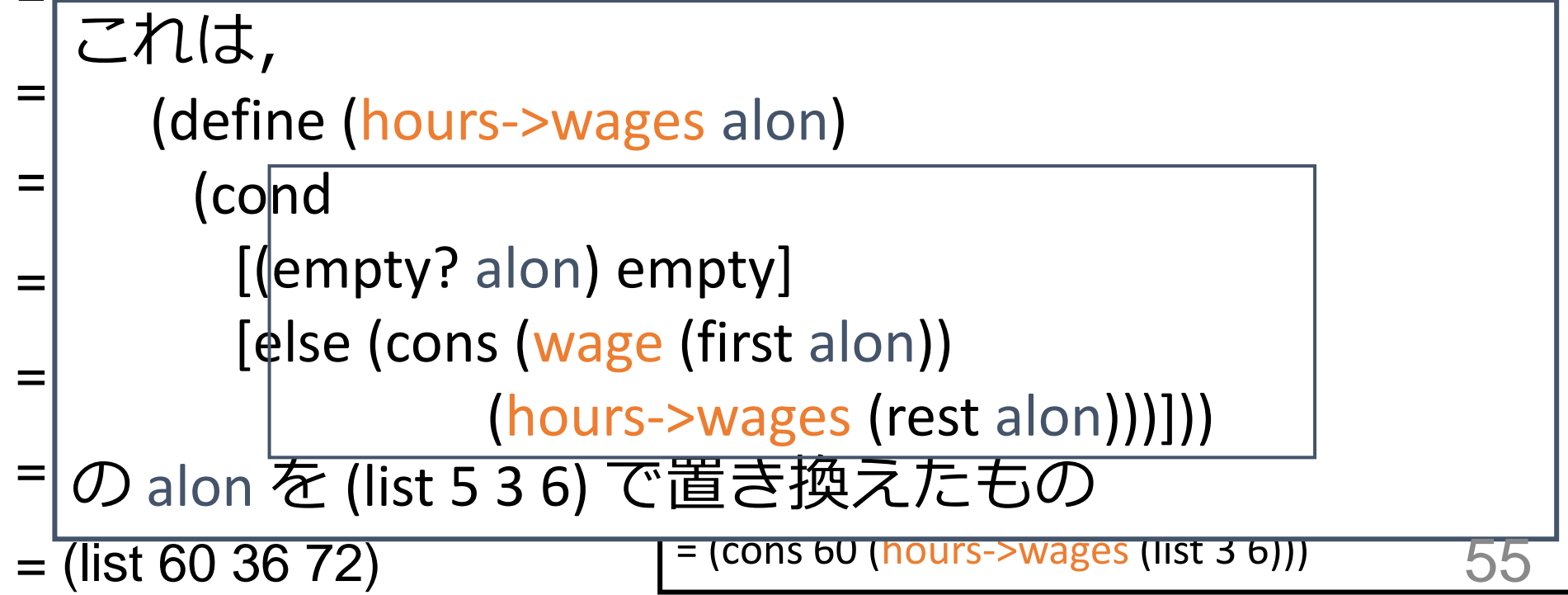
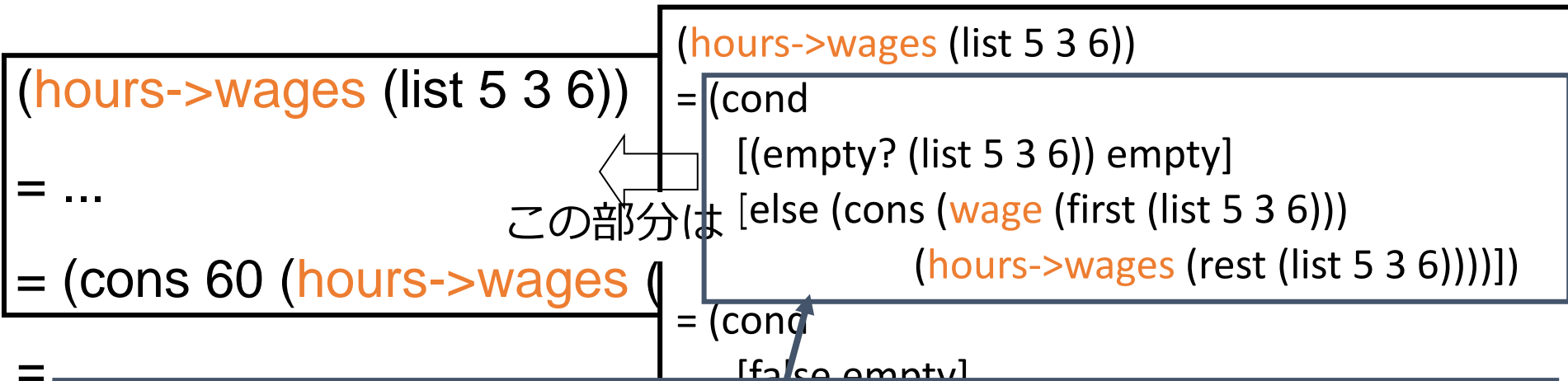
```

(hours->wages (list 5 3 6))
= (cond
  [(empty? (list 5 3 6)) empty]
  [else (cons (wage (first (list 5 3 6)))
              (hours->wages (rest (list 5 3 6))))])
= (cond
  [false empty]
  [else (cons (wage (first (list 5 3 6)))
              (hours->wages (rest (list 5 3 6))))])
= (cons (wage (first (list 5 3 6)))
        (hours->wages (rest (list 5 3 6))))
= (cons (wage 5)
        (hours->wages (rest (list 5 3 6))))
= (cons (* 12 5)
        (hours->wages (rest (list 5 3 6))))
= (cons 60 (hours->wages (rest (list 5 3 6))))
= (cons 60 (hours->wages (list 3 6)))

```



(hours->wages (list 5 3 6)) から (cons 60 (hours->wages (list 3 6)))が得られる過程



例題 7. かけ算の表



- 2つの数 m, n から, m 行 n 列のかけ算の表を出力するプログラム **hyou** を作り, 実行する
 - かけ算の表の「1行分」を出力する **gyou** も作る
 - かけ算の表は, リストのリストの形で得る

「例題 7. かけ算の表」の手順

1. 次を「定義用ウィンドウ」で、実行しなさい

- 入力した後に、Execute ボタンを押す

```
;; gyou: number -> list
;; a line representing products of two numbers
;; (hyou 3 4) = (list 12 9 6 3)
(define (gyou m n)
  (cond
    [(= n 1) (cons m empty)]
    [else (cons (* m n) (gyou m (- n 1)))]))
;; hyou: number number -> list-of-list
;; table representing products of two numbers
;; (hyou 2 2) = (list (list 4 2) (list 2 1))
(define (hyou m n)
  (cond
    [(= m 0) empty]
    [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]))
```

2. その後、次を「実行用ウィンドウ」で実行しなさい

```
(hyou 3 4)
```



次は、例題 8 に進んでください

```
;; gyou: number -> list
;; a line representing products of two numbers
;; (hyou 2 2) = (list 4 2)
(define (gyou m n)
  (cond
    [(= n 1) (cons m empty)]
    [else (cons (* m n) (gyou m (- n 1)))]))
;; hyou: number number -> list-of-list
;; table representing products of two numbers
;; (hyou 2 2) = (list (list 4 2) (list 2 1))
(define (hyou m n)
  (cond
    [(= m 0) empty]
    [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]))
```

まず、Scheme のプログラムを
コンピュータに読み込ませている

```
Untitled - DrScheme
File Edit Windows Show Language Scheme Help
[Buttons: Untitled, Save, Check Syntax, Step, Execute, Break]

;; gyou: number
;; a line representation
;; (hyou 2 2)
(define (gyou m n)
  (cond
    [(= n 1)
     [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]])
  (hyou m n))

(define (hyou m n)
  (cond
    [(= m 0) empty]
    [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]))

> (hyou 3 4)
(list (list 12 9 6 3) (list 8 6 4 2) (list 4 3 2 1))
> (gyou 3 4)
(list 12 9 6 3)
> (hyou 5 5)
(list (list 25 20 15 10
         (list 20 16 12 8 4)
         (list 15 12 9 6 3)
         (list 10 8 6 4 2)
         (list 5 4 3 2 1)))
> (gyou 5 5)
(list 25 20 15 10 5)
>
```

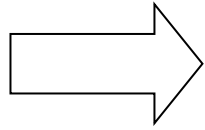
これは、
(hyou 3 4)
と書いて、m の値を 3、
n の値を 4 に設定しての実行

実行結果である「(list (list 12 9 6 3) (list 8 6 4 2) (list 4 3 2 1))」が表示される

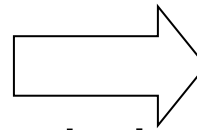
入力と出力



3 4



入力



出力

(list
(list 12 9 6 3)
(list 8 6 4 2)
(list 4 3 2 1))

入力は,
2つの数値

出力はリストのリスト

```
;; gyou: number -> list
;; a line representing products of two numbers
;; (hyou 3 4) = (list 12 9 6 3)
(define (gyou m n)
  (cond
    [(= n 1) (cons m empty)]
    [else (cons (* m n) (gyou m (- n 1)))]))
;; hyou: number number -> list-of-list
;; table representing products of two numbers
;; (hyou 2 2) = (list (list 4 2) (list 2 1))
(define (hyou m n)
  (cond
    [(= m 0) empty]
    [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]))
```

hyou, gyou の関係



- hyou

- 1つの表を作る

例) `(list (list 12 9 6 3) (list 8 6 4 2) (list 4 3 2 1))`

- gyou を使用

- gyou

- 1行分を作る

例) `(list 12 9 6 3)`

かけ算の表 hyou



1. 縦の数 $m = 0$ ならば : → 終了条件
empty → 自明な解
2. そうで無ければ :
 - 1 行分を作ることを m 回繰り返す

かけ算の表 hyou



- hyou の内部に hyou が登場

```
(define (hyou m n)
  (cond
    [(= m 0) empty]
    [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]))
```

- hyou の実行が繰り返される

例 : (hyou 5 5) = (cons (list 25 20 15 10 5) (hyou 4 5))

(hyou 4 5) = (cons (list 20 16 12 8 4) (hyou 3 5))

⇒ まさに「再帰」である

例題 8 . ステップ実行

- 関数 `hyou` (例題 7) について, 実行結果に至る過程を見る
 - `(gyou 3 4)` から `(list 12 6 9 3)` に至る過程と, `(hyou 5 5)` から実行結果に至る過程を見る
 - DrScheme の `stepper` を使用する

「例題 8. ステップ実行」の手順 (1/2)

1. 次を「定義用ウィンドウ」で、実行しなさい
 - Intermediate Student で実行すること
 - 入力した後に、Execute ボタンを押す

```
;; gyou: number -> list
;; a line representing products of two numbers
;; (hyou 3 4) = (list 12 9 6 3)
(define (gyou m n)
  (cond
    [(= n 1) (cons m empty)]
    [else (cons (* m n) (gyou m (- n 1)))]))
;; hyou: number number -> list-of-list
;; table representing products of two numbers
;; (hyou 2 2) = (list (list 4 2) (list 2 1))
(define (hyou m n)
  (cond
    [(= m 0) empty]
    [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]))
(gyou 3 4)
```

← 例題 7 と同じ

2. DrScheme を使って、ステップ実行の様子を確認しなさい (Step ボタン, Next ボタンを使用)
 - 理解しながら進むこと

☆ 次は、次ページに進んでください

「例題 8 . ステップ実行」の手順 (2/2)

1. 次を「定義用ウィンドウ」で、実行しなさい
 - Intermediate Student で実行すること
 - 入力した後に、Execute ボタンを押す

```
;; gyou: number -> list
;; a line representing products of two numbers
;; (hyou 3 4) = (list 12 9 6 3)
(define (gyou m n)
  (cond
    [(= n 1) (cons m empty)]
    [else (cons (* m n) (gyou m (- n 1)))]))
;; hyou: number number -> list-of-list
;; table representing products of two numbers
;; (hyou 2 2) = (list (list 4 2) (list 2 1))
(define (hyou m n)
  (cond
    [(= m 0) empty]
    [else (cons (gyou m n) (hyou (- m 1) n))]))
(hyou 5 5)
```

← 例題 7 と同じ

2. DrScheme を使って、ステップ実行の様子を確認しなさい (Step ボタン, Next ボタンを使用)
 - 理解しながら進むこと



次は、課題に進んでください

(gyou 3 4)から (list 12 9 6 3) が得られる過程の概略

(gyou 3 4) 最初の式

= ...

= (cons 12 (gyou 3 3))

= ...

= (cons 12 (cons 9 (gyou 3 2)))

= ...

= (cons 12 (cons 9 (cons 6 (gyou 3 1))))

= ...

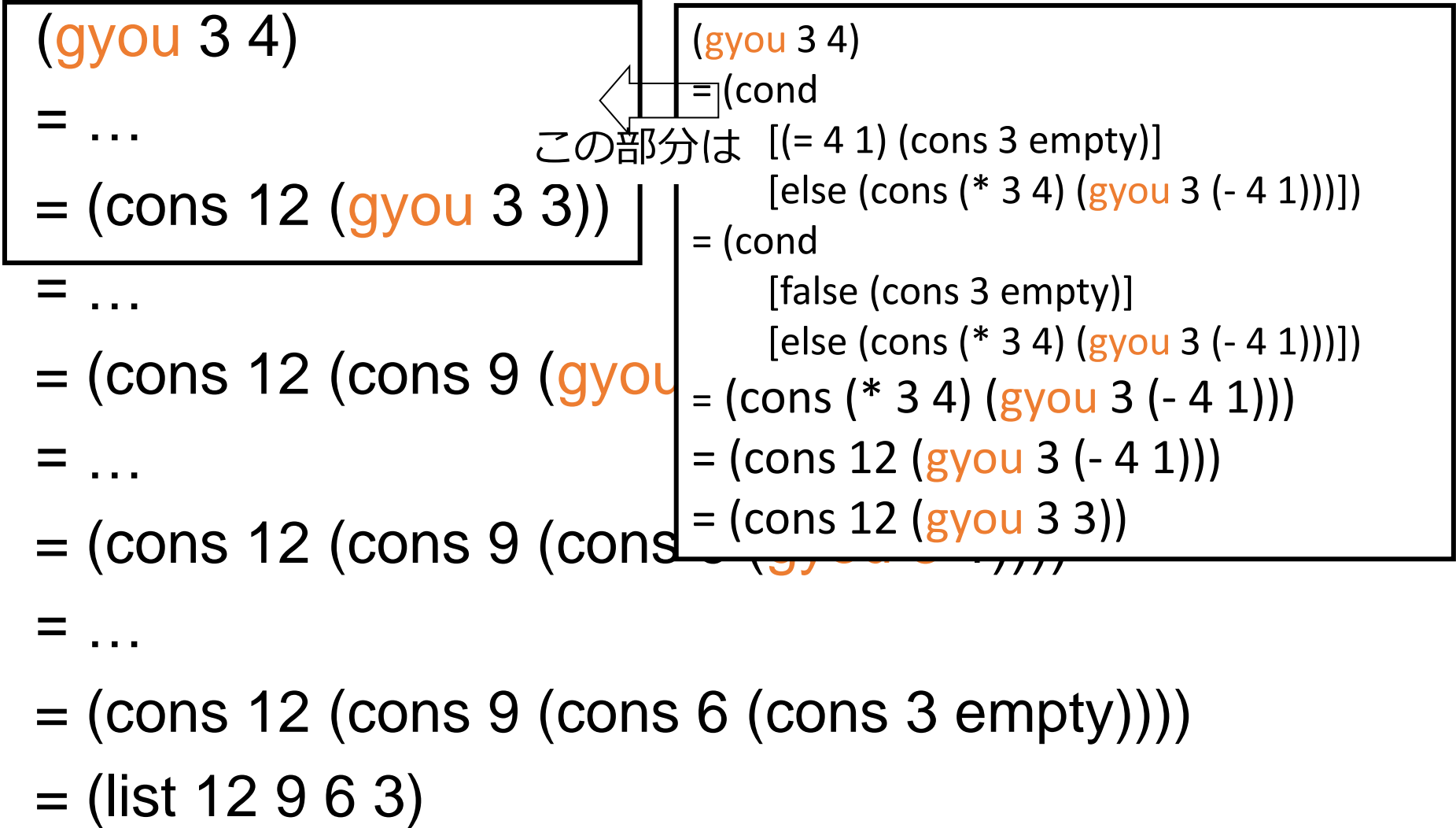
コンピュータ内部での計算

= (cons 12 (cons 9 (cons 6 (cons 3 empty))))

= (list 12 9 6 3)

実行結果

(gyou 3 4)から (cons (gyou 3 3)) が得られる過程



(gyou 3 4)から (cons (gyou 3 3)) が得られる過程

```
(gyou 3 4)  
= ...  
= (cons 12 (gyou 3 3))
```

```
(gyou 3 4)  
= (cond  
  [(= 4 1) (cons 3 empty)]  
  [else (cons (* 3 4) (gyou 3 (- 4 1)))]])  
= (cond  
  [false (cons 3 empty)])
```

この部分は



```
これは,  
(define (gyou m n)  
  (cond  
    [(= n 1) (cons m empty)]  
    [else (cons (* m n) (gyou m (- n 1)))]])  
の m を 3 で, n を 4 で置き換えたもの
```

(hyou 5 5)から 結果が得られる過程の概略



(hyou 5 5) 最初の式

```
- ...
= (cons (list 25 20 15 10 5) (hyou 4 5))
= ...
= (cons (list 25 20 15 10 5) (cons (list 20 16 12 8 4) (hyou 3 5)))
= ...
= (cons (list 25 20 15 10 5) (cons (list 20 16 12 8 4) (cons (list 15 12 9 6 3) (hyou 2 5))))
= ...
= (cons (list 25 20 15 10 5) (cons (list 20 16 12 8 4) (cons (list 15 12 9 6 3) (cons (list 10 8 6 4 2) (hyou 1 5))))))
= ...
= (cons (list 25 20 15 10 5) (cons (list 20 16 12 8 4) (cons (list 15 12 9 6 3) (cons (list 10 8 6 4 2) (cons (list 5 4 3 2 1) (cons (hyou 0 5))))))))
= ...
= (cons (list 25 20 15 10 5) (cons (list 20 16 12 8 4) (cons (list 15 12 9 6 3) (cons (list 10 8 6 4 2) (cons (list 5 4 3 2 1) (cons empty)))))))
= (list (list 25 20 15 10 5) (list 20 16 12 8 4) (list 15 12 9 6 3) (list 10 8 6 4 2) (list 5 4 3 2 1))
```

エンピータ内部での計算

実行結果

7-3 課題

課題 1



- 実行結果を報告しなさい
 - 「DrScheme の実行用ウィンドウ」で実行して、実行結果を報告しなさい

```
(cons 1 (cons 2 (cons 3 empty)))
```

- 次の関数 `insert` について, 「(`insert` 4 (list 5 1))」から「(list 5 4 1)」が得られる過程の概略を数行程度で説明しなさい
 - DrScheme の stepper を使うと, すぐに分かる

```
(define (insert n alon)
  (cond
    [(empty? alon) (cons n empty)]
    [else (cond
              [(<= (first alon) n) (cons n alon)]
              [(> (first alon) n)
               (cons (first alon) (insert n (rest alon)))]))]))
```

課題 2. リストと再帰の組み合わせ



- 次の関数 `insert` について, , 「(`relative-to-absolute` (list 1 2 3))」 から 「(list 1 3 6)」 が得られる過程の概略を数行程度で説明しなさい
 - DrScheme の stepper を使うと, すぐに分かる

```
;; relative-2-absolute : list-of-numbers -> list-of-numbers
(define (relative-2-absolute alon)
  (cond
    [(empty? alon) empty]
    [else (cons (first alon)
                 (add-to-each (first alon) (relative-2-absolute (rest alon))))]))
;
;; add-to-each : number (listof number) -> (listof number)
(define (add-to-each n alon)
  (cond
    [(empty? alon) empty]
    [else (cons (+ (first alon) n) (add-to-each n (rest alon))))]))
```

課題 3



- 数値 n から、「1番目から n 番目の奇数のリスト」を作る関数 `series-odd-list` を作成し、実行結果を報告しなさい
 - 例えば、`(series-odd-list 4) = (7 5 3 1)`
 - ヒント： 次の空欄を埋めなさい

```
(define (series-odd-list n)
  (cond
    [
      ]
    [
      ]))
```

課題 4



- 関数 **quadratic-roots** (例題 1) に関するの問題
- 二次方程式の係数 a, b, c から解の数を求めるプログラム **how-many** を作成し, 実行結果を報告しなさい
- 但し, $a \neq 0$ とする

例えば

$(\text{how-many } 1 \ 0 \ -1) = 2$

$(\text{how-many } 1 \ 2 \ 1) = 1$

課題 5. 2 次方程式の解



- 関数 **quadratic-roots** (例題 1) についての問題
- $a = 0$ のときにも正しく計算ができるように書き直しを行い, 書き直した結果と, 実行結果を報告せよ

$a = 0$ かつ $b = 0$ かつ $c = 0$ のとき
すべての x が解である

$a = 0$ かつ $b = 0$ かつ $c \neq 0$ のとき
解なし

$a = 0$ かつ $b \neq 0$ のとき
 $x = -c / b$

課題 6



- ある年 y のある月 m のある日 d の曜日 $youbi$ から, その「1週間分のリスト」を作る関数を作成し, 実行結果を報告しなさい
- $youbi$ は 0 から 6 までの数値で, 0 なら日曜, 1 なら月曜 . . .
- 「1週間分のリスト」とは, 日曜日から土曜日までのリストで, 数値あるいは「*」である

例えば

- $y = 2004, m = 10, d = 2, youbi = 6$ のとき
⇒ 「(list '* '* '* '* '* 1 2)」が出力される
- $y = 2004, m = 10, d = 31, youbi = 0$ のとき
⇒ 「(list 31 '* '* '* '* '* '*)」が出力される

課題 7



- ある年 y のある月 m から, その「月のカレンダー」を作る関数を作成し, 実行結果を報告しなさい
- 「月のカレンダー」は, リストのリスト
- 1週間で1つのリストとなり, 5週間あれば, 5つのリストからなる大きな1つのリスト

例えば

```
(list
```

```
  (list '* '* '* '* 1 2 3)
```

```
  (list 4 5 6 7 8 9 10)
```

```
  (list 11 12 13 14 15 16 17)
```

```
  (list 18 19 20 21 22 23 24)
```

```
  (list 25 26 27 28 29 30 31))
```


課題 8



- ある年 y から, その「年のカレンダー」を作る関数を作成し, 実行結果を報告しなさい
- 「年のカレンダー」は, リストのリストのリスト

さらに勉強したい人への 補足説明事項

- (append list ...)

リストの連結

敢えて自分で書いてみた例を以下に紹介する

例題 9. リストの連結

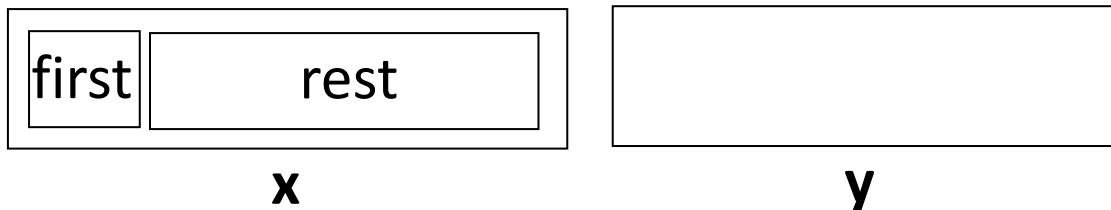


- 2つのリスト (x と y) を連結する関数 **my-append** を作り, 実行する

1. x が空ならば : y

2. そうで無ければ :

x の rest と y とを連結し, x の first と cons でつなげる



- リストが空であるかどうかを調べるために **empty?** を使う

my-append 関数



```
(define (my-append x y)
  (cond
    [(empty? x) y]
    [else (cons (first x) (my-append (rest x) y))]))
```