

プログラミングAIII

2025年度講義資料 (5)

新潟大学 工学部工学科 知能情報システムプログラム

青戸等人

目次

① 関数の多相性

② リスト

目次

1 関数の多相性

2 リスト

多相性

```
# fun selfPair x = (x,x);  
val selfPair = fn : ['a. 'a -> 'a * 'a]  
# selfPair 1;  
val it = (1, 1) : int * int  
# selfPair true;  
val it = (true, true) : bool * bool  
# selfPair "aaa";  
val it = ("aaa", "aaa") : string * string  
#
```

- ここで定義した関数 `selfPair` は引数がどのような型であっても計算できる。
- このように、関数などが複数の型に対応できることを**多相性**とよぶ。

パラメトリックな多相性(教3.2節)

```
# fun selfPair x = (x,x);  
val selfPair = fn : ['a. 'a -> 'a * 'a]
```

- selfPairの型は、ある程度決まっています、引数の型が 'a なら、返り値の型は 'a * 'a となる。つまり型がパラメータ化されている。 'aは、型を表わす変数なので、**型変数**とよばれる。
- このように、関数の型が型変数を使って表わされ、変数が具体化されることで、関数がさまざまな型に対応するような多相性を、**パラメトリックな多相性**とよぶ。
- 型変数を使って表わされる型を多相型とよぶが、SMLでは、例外や参照型といった機能と併用するために、多相型をもつ関数定義に制約がある(教3.5節)。

型推論と型チェック(教3.1節)

- SMLでは、関数定義式から最も一般的な型を計算し、コンパイル時に関数の型として返してくれる。
- このように自動的に、(最も一般的な)型を与える仕組みは、**型推論**とよばれる。
- 一方で、式の型に整合性がとれなければ、型エラーを報告してくれる。コンパイル時に型の整合性をチェックする仕組みは、**静的型チェック**とよばれる。
- 静的型チェックや型推論は、モダンなプログラミング言語における重要な仕組み。

```
# fun getLeft (x,y) = x;  
val getLeft = fn : ['a, 'b. 'a * 'b -> 'a]  
# fun round (x,y,z) = (y,x,z);  
val round = fn : ['a, 'b, 'c. 'a * 'b * 'c -> 'b * 'a * 'c]
```

等値演算を使う型(教3.6節)

SMLの型には、等値性判定が使える型(整数など)と等値性判定が使えない型(実数など)があった。以下の関数 `isEqual` の引数は、等値性判定(=)が使える型という制約が必要。制約は、`'a#eq`の`#eq`の部分で表わされている。

```
# fun isEqual (x,y) = if x = y then 1 else 0;  
val isEqual = fn : ['a#eq. 'a * 'a -> int]  
# isEqual (0,1);  
val it = 0 : int  
# isEqual ("aa","aa");  
val it = 1 : int  
# isEqual (0.0, 1.0); (* 実数には利用できない *)  
(interactive):9.0-9.17(195) Error:  
  (type inference 016) operator and operand don't agree  
operator domain: 'PJB#eq * 'PJB#eq  
operand: 'PIY::{real, real32} * 'PJA::{real, real32}
```

明示的な型宣言(教3.3節)

- 最も一般的な型で使いたくない場合は、関数に型制約をつけることができる。
- 型制約は変数の後ろに「: 型」という形で書く。
- 以下の例では、以前に定義した `getLeft` や `round` に型制約をつけている。型制約を付けなかった場合と得られる型を較べてみよ。

```
# fun getLeft (x,y:int) = x;
val getLeft = fn : ['a. 'a * int -> 'a]
# fun round (x:'t, y:'t, z) = (y,z,x);
val round = fn : ['a, 'b. 'a * 'a * 'b -> 'a * 'b * 'a]
#
```

関数の多重定義(教3.4節)

+ は、real 型に対しても、int 型に対しても定義されている。このように、関数がさまざまな型に対して多重に定義されているようなケースも、多相性の一種である。

```
# 1 + 1;
val it = 2 : int
# 1.0 + 1.0;
val it = 2.0 : real
# op +;
val it = fn : ['a::{int, ...}]. 'a * 'a -> 'a]
#
```

もっとも、このような多相性は多くのプログラミング言語で導入されている。

目次

① 関数の多相性

② リスト

リスト(教6.1節, 教6.2節)

組型に続き, もっとも基本的な複合型の1つであるリスト型について学習する.

リスト

- リストとは, リスト構造によって実現されている**同じ型の要素の列**のことである. 要素が型'aをもつとき, そのリストの型は'a listとなる.
- 列 a_1, \dots, a_n のリストを $[a_1, \dots, a_n]$ と書く.
- 空リストを $[]$ と書く. (nilともよぶ.)
- リスト xs の先頭に要素 x をつけたリストを, $x :: xs$ と書く.
- 中置演算子 $::$ (consとよぶ)は右結合で, リスト $[a_1, \dots, a_n]$ は, $a_1 :: \dots :: a_n :: []$ の略記である.

いろいろな型のリスト

```
# [1,2,3];
val it = [1, 2, 3] : int list
# [#"a",#"b"]; ["abc"];
val it = [#"a", #"b"] : char list
val it = ["abc"] : string list
# [1, "a"]; (* 異なる型の要素はリストに出来ない *)
(interactive):35.0-35.7(362) Error:
  (type inference 023) operator and operand don't agree
  operator domain: ...
  operand: ...
# [[1,2],[3,4,5],[6]]; [(1,"a"),(2,"b")];
val it = [[1, 2], [3, 4, 5], [6]] : int list list
val it = [(1, "a"), (2, "b")] : (int * string) list
```

注意). `int list list` は, `(int list) list` の省略

リストの評価とリストの等価性

```
# 1::2::[];
val it = [1, 2] : int list
# [1, 1+1, 1+1+1]; (* リストの値は、要素の式の値のリスト *)
val it = [1, 2, 3] : int list
# [1,2,3] = 1::[2,3]; [2,2+1] = [1+1,3];
val it = true : bool
val it = true : bool (* リストの等しさは、その値の等しさ *)
# [1] = [1,1]; [1,2] = [2,1];
val it = false : bool (* 個数も順番も関係ある *)
val it = false : bool
# [1.0] = [1.0]; (* 等価性の判定できない要素のとき *)
(interactive):15.0-15.12(31) Error:
  (type inference 026) operator and operand don't agree
operator domain: 'PXB#eq * 'PXB#eq
operand: 'PWJ::{real, real32} list * 'PXA::{real, real
```

リストの基本関数(教6.4節) (1)

```
# hd [1,2,3]; tl [1,2,3];
val it = 1 : int
val it = [2, 3] : int list
# null []; null [1];
val it = true : bool
val it = false : bool
# [1,2]@[3];
val it = [1, 2, 3] : int list
# []@[1,2]; ["abc"]@[];
val it = [1, 2] : int list
val it = ["abc"] : string list
# length [1,2]; length [];
val it = 2 : int
val it = 0 : int
# rev [1,2,3];
val it = [3, 2, 1] : int list
```

- **hd**と**tl**はそれぞれ、先頭要素と先頭要素を取り除いた残りのリストを返す。空リストに対してはエラー(Empty例外をなげる)。
- **null**は空リストかどうかを判定する関数。
- 中置演算**@**は2つのリストを繋げる。空リストを繋げて同じリストのまま。
- **length**はリストの長さを返す関数。
- **rev**はリストを反転したリストを返す関数

リストの基本関数(教6.4節) (2)

```
# concat ["aa", "bb", "cc"];
val it = "aabbcc" : string
# implode;
val it = fn : char list -> string
# implode ["a", "b", "c"];
val it = "abc" : string
# explode;
val it = fn : string -> char list
# explode "hello";
val it = ["h", "e", "l", "l", "o"] : char list
#
```

- **concat**は文字列のリストを受けとり、リストの文字列を連結して得られる文字列を返す関数
- **implode**は文字のリストを受けとり、それらを繋げて得られる文字列を返す。
- **explode**は、文字列を受けとり、その文字列を分解した文字のリストを返す。

リスト関数の多相性

リスト関数の多くは、どのような要素の型をもつリストであっても、共通に用いることが出来る。

```
# rev [1,2,3,4];  
val it = [4, 3, 2, 1] : int list  
# rev ["aa","bb","cc"];  
val it = ["cc", "bb", "aa"] : string list  
#
```

関数revの型を見てみると以下のようにになっている：

```
# rev;  
val it = fn : ['a. 'a list -> 'a list]
```

つまり、関数revは、どんな型の要素をもつリストに対しても使える。

実習課題(1)

- ① 与えられたリストの最後の要素を返す関数`last`. ただし、空リストに対してはエラーとなってよい.

```
# last [1,2,3,4,5];  
val it = 5 : int
```

- ② 自然数 n とリスト xs を受けとって、 xs を n 回連結したリストを返す関数 `appendNtimes`. (ヒント: 再帰関数で定義する.)

```
# appendNtimes (3,[1,2]);  
val it = [1, 2, 1, 2, 1, 2] : int list
```

- ③ 正の整数 n を受けとって、リスト $[n, n - 1, \dots, 0]$ を返す関数 `natListDownFrom`.

```
# natListDownFrom 7;  
val it = [7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0] : int list
```

実習課題(1)

- ④ 2つの整数 n, m ($n \leq m$ とする)をもらって, リスト $[n, n + 1, \dots, m]$ を返す関数 `intListFromTo`.

```
# intListFromTo (23,27);  
val it = [23, 24, 25, 26, 27] : int list
```

- ⑤ 文字列が回文になっているかを真理値で返す関数 `isPalindrome`.

```
# isPalindrom "rotator"; isPalindrom "hello";  
val it = true : bool  
val it = false : bool
```

リストに関する組み込み関数

リストに関する組み込み関数は、Listストラクチャにある。

```
# List.last [1,2,3];  
val it = 3 : int  
# List.nth ([1,2,3],1);  
val it = 2 : int  
# List.nth ([1,2,3],2);  
val it = 3 : int  
# List.take ([1,2,3],1);  
val it = [1] : int list  
# List.drop ([1,2,3],1);  
val it = [2, 3] : int list
```

lastに空リストを適用したり、nth, take, dropで指定がリストの範囲を越えていると、エラーとなる。

- **List.last**は、リストの最後の要素を返す。
- **List.nth**は、リスト xs と整数 n を受けとり、 xs の n 番目の要素を返す。なお、先頭の要素を0番目と数える。
- **List.take**は、リスト xs と整数 n を受けとり、 xs の先頭から n 個の要素からなるリストを返す。
- **List.drop**は、リスト xs と整数 n を受けとり、 xs の先頭から n 個の要素を取り除いたリストを返す。

対のリストに関する組み込み関数

対のリストに関する組み込み関数がListPairストラクチャに入っている。

```
# ListPair.zip ([1,2,3],[4,5,6]);  
val it = [(1, 4), (2, 5), (3, 6)] : (int * int) list  
# ListPair.unzip [(1,2),(3,4),(5,6)]  
val it = ([1, 3, 5], [2, 4, 6]) : int list * int list
```

- **ListPair.zip**は、リストの対 (xs, ys) を受けとって、 xs と ys の要素を先頭から順に対にしてできるリストを返す。片方がもう片方より長い場合は、残りの要素は捨てられる。
- **ListPair.unzip**は、対のリストを受けとって、対の第1要素からなるリストと、対の第2要素からなるリストを、対にして返す。

実習課題(2)

- ① 整数 n と要素 a とリスト xs を受けとって、リスト xs の n 番目の要素を a に置き替えたリストを返す関数 `replaceNth`.

```
# replaceNth (3,10,[1,2,3,4,5]);  
val it = [1,2,3,10,5] : int list
```

- ② 整数 k とリスト $[a_1, a_2, \dots, a_n]$ を受けとって、リスト $[a_{k+1}, a_{k+2}, \dots, a_n, a_1, \dots, a_k]$ を返す関数 `rotate`.

```
val rotate = fn : 'a. int * 'a list -> 'a list  
# rotate (3,[1,2,3,4,5]);  
val it = [4, 5, 1, 2, 3] : int list
```

- ③ リスト $[a_1, a_2, \dots, a_n]$ を受けとって、リスト $[(a_1, a_n), (a_2, a_{n-1}), \dots, (a_n, a_1)]$ を返す関数 `zipWithRev`.

```
# zipWithRev [1,2,3];  
val it = [(1, 3), (2, 2), (3, 1)] : (int * int) list
```