

# プログラミング演習B ML編 第4回

2007/6/26 (通信コース)

2007/6/27 (情報コース)

住井

[http://www.kb.ecei.tohoku.ac.jp/  
~sumii/class/proenb2007/ml4/](http://www.kb.ecei.tohoku.ac.jp/~sumii/class/proenb2007/ml4/)

# 今日のポイント

1. 匿名関数、部分適用
2. レコードとレコード型
3. バリエーションとバリエーション型
  - パターンマッチング

# レポートについて

課題の解答を

m1-enshu@kb.ecei.tohoku.ac.jp

にメールせよ。件名(Subject)は必ず

kadai4:A1TB2345:東北太郎

第何回の課題か(一桁の数字)

自分の学籍番号

自分の氏名

の形にすること(氏名以外半角)。

締め切りは一週間後の午前8時50分厳守。

質問は上述のアドレスにメールせよ。

- レポートの不正は試験の不正と同様に処置する。

# 復習：高階関数

- 「関数を引数として受け取る」あるいは「関数を結果として返す」ような関数
  - 「関数」自体を値として受け取ったり返したりできる

```
fun diff f =  
  let  
    fun f' x =  
      (f (x + 0.001) - f x) / 0.001  
  in  
    f'  
  end
```

# 匿名関数

letやfunで名前をつけて関数を定義するのが面倒なとき、

**fn 引数名 => 式**

という式により、名前をつけずに関数そのものを表すことができる。

# 例

```
- fun diff f =  
=   fn x =>  
=   (f (x + 0.001) - f x)  
=   / 0.001 ;  
val diff = fn : (real ->  
  real) -> real -> real  
- (diff Math.exp) 1.0 ;  
val it = 2.71964142253 : real
```

# ちなみに...

- `fun succ x = x + 1`

は

```
val succ = fn x => x + 1
```

と同じ

- `fun sum n =`

```
  if n=0 then 0 else sum(n-1)+n
```

は

```
val rec sum = fn n =>
```

```
  if n=0 then 0 else sum(n-1)+n
```

と同じ

- 再帰関数を `val` で定義するときは `rec` が必要

# 部分適用

「複数の引数をとる」関数に、  
一部の引数だけ与えて使う

```
- fun distance x y =  
=   Math.sqrt (x * x + y * y) ;  
val distance = fn : real -> real -> real  
- val distance1 = distance 1.0 ;  
val distance1 = fn : real -> real  
- distance1 1.0 ;  
val it = 1.41421356237 : real  
- distance1 2.0 ;  
val it = 2.2360679775 : real
```



# ちなみに...

- `fun distance x y =  
 Math.sqrt (x * x + y * y)`

は

```
val distance =  
  fn x =>  
    fn y =>  
      Math.sqrt (x * x + y * y)
```

と同じ

- MLでは、厳密には「複数の引数をとる関数」は存在せず、「関数を返す関数」の一つとして表現されている

# 課題 4.1

1. 前回の課題 3.3 の関数 `delta` を、`let` を使わず `fn` で書け。
2. 前回の例題の関数 `compose` を、`let` を使わず `fn` で書け。
3. 前回の課題 3.6 の関数のそれぞれを、`fun` を使わず `val` と `fn` で書け。

# 基本データ型と構造データ型

int, real, bool, stringなどの

「基本データ型」だけでは  
複雑なデータを表現できない

⇒ 基本データ型を合成した  
「構造データ型」を利用する

- 「XおよびY」のような「組み合わせ」を表す**レコード型** (C言語の構造体に相当)
- 「XまたはY」のような「場合わけ」を表す**バリエーション型** (C言語の共用体にほぼ相当)

# レコードとレコード型

- 「レコード」：1つ以上の値にラベルをつけて組み合わせた値
- 「レコード型」：レコードの型（1つ以上の型にラベルをつけて組み合わせた型）
  - 組み合わせる値や型の順序は影響しない

```
- { surname = "Sumii", given = "Eijiro",  
  =   age = 20 } ;  
val it =  
    {age=20,given="Eijiro",surname="Sumii"}  
    : {age:int, given:string, surname:string}  
- #age it ;  
val it = 20 : int
```

# 構文

- レコード

{ ラベル<sub>1</sub> = 式<sub>1</sub>, ..., ラベル<sub>n</sub> = 式<sub>n</sub> }

- レコード型

{ ラベル<sub>1</sub> : 型<sub>1</sub>, ..., ラベル<sub>n</sub> : 型<sub>n</sub> }

- フィールドの取り出し

#ラベル 式

- 「フィールド」 : ラベルをつけてレコードとして組み合わせられた値

# 課題 4.2

1. 先の例のように、自分の苗字と名前と年齢を組み合わせ、レコードとして表せ。
2. そのレコードからフィールド `given` と `surname` を取り出し、文字列連結の二項演算子 `^` を用いて、

`"Eijiro Sumi"`

のように「名前スペース苗字」という形の文字列を作る、という式を書け。

# ちょっと微妙な注意...

- SMLでは、たとえば先の例のようなレコード $x$ から、フィールド`age`を取り出す関数 $f$ を定義しようとする、

```
- fun f x = #age x ;
```

```
stdIn:17.1-17.17 Error: unresolved flex record
```

```
(can't tell what fields there are besides #age)
```

というエラーになる。このような場合は

```
- fun f (x : {surname:string,given:string,age:int}) =  
= #age x ;
```

```
val f = fn : {age:int, given:string, surname:string}  
-> int
```

のように $x$ の型を指定しなければならない。

- ◆ ちなみにOCamlでは、レコードやレコード型はあらかじめ定義する必要がある、上述のような問題はない。

# 余談

- ◆ SMLを拡張したSML#という言語には、「レコード多相」(record polymorphism)という機能があり、前述のような問題はない。  
(<http://www.plab.riec.tohoku.ac.jp/smlsharp/ja/>)

```
eiw01 % smlsharp
restoring static environment...done
restoring dynamic environment...done
# fun f x = #age x ;
val f = fn : ['a,'b#{age:'a}.'b -> 'a]
# f { surname = "Sumii", given = "Eijiro",
>     age = 20 } ;
val it = 20 : int
```



# バリエーションとバリエーション型

- 「バリエーション」：いくつかの値のうち、いずれか一つをとるような値
  - どの一つであるか、「コンストラクタ」という名札（タグ）で区別する
- 「バリエーション型」：バリエーションの型

# 例 1 : 曜日を表すバリエーション

```
- datatype day =  
=   Sun | Mon | Tue | Wed | Thu  
=   | Fri | Sat ;  
datatype day = Fri | Mon | Sat | Sun |  
   Thu | Tue | Wed  
- Sun ;  
val it = Sun : day  
- Mon ;  
val it = Mon : day  
- Sat ;  
val it = Sat : day
```

## 例2：二者択一を表すバリエーション

```
- datatype binary = Yes | No ;  
datatype binary = No | Yes  
- Yes ;  
val it = Yes : binary  
- No ;  
val it = No : binary
```

注：bool型の値true, falseも

```
datatype bool = true | false
```

のようなバリエーションとみなせる

# 例3 : 「整数またはエラー」を表す バリエーション

```
- datatype int_or_error =  
=   Int of int | Error ;  
datatype int_or_error = Error | Int  
  of int  
- Int 123 ;  
val it = Int 123 : int_or_error  
- Int 45 ;  
val it = Int 45 : int_or_error  
- Error ;  
val it = Error : int_or_error
```

## 例3：「整数またはエラー」を表す バリエーション（続き）

```
- fun my_div x y =  
=   if y = 0 then Error else  
=   Int (x div y) ;  
val my_div = fn : int -> int ->  
  int_or_error  
- my_div 10 3 ;  
val it = Int 3 : int_or_error  
- my_div 10 0 ;  
val it = Error : int_or_error
```

# 例4：整数を葉とする木を表す バリエーション

```
- datatype itree =  
=   ILeaf of int  
= | INode of { left : itree,  
=           right : itree } ;  
datatype itree = ILeaf of int | INode of  
  {left:itree, right:itree}  
- ILeaf 3 ;  
val it = ILeaf 3 : itree  
- INode { left = it, right = it } ;  
val it = INode {left=ILeaf 3,right=ILeaf  
  3} : itree  
- INode { left = it, right = ILeaf 7 } ;  
val it = INode {left=INode {left=ILeaf  
  #,right=ILeaf #},right=ILeaf 7} : itree
```

# 構文

バリエーション型の定義：

```
datatype 型の名前 =  
  | コンストラクタ1 of 引数の型1  
  | コンストラクタ2 of 引数の型2  
  | ...  
  | コンストラクタn of 引数の型n
```

- 引数をとらないコンストラクタは of以降を省略する

# 構文（続き）

バリエーション型の値を作る式：

## コンストラクタ 引数

- 関数適用と同じく並べて書く
  - というか、SMLではコンストラクタも関数の一種とみなされる
- 定義のときに0 $\leq$ n以降を省略したコンストラクタは引数をとらない



# 課題 4.3

1. `my_div`にならって、整数の割り算の余りを求める関数`my_mod`を書け。除数が0のときは`Error`を返すこと。
2. 「浮動小数またはエラー」を表すバリエーション型`real_or_error`を定義し、浮動小数の割り算をする関数`my_slash`、平方根を求める関数`my_sqrt`、自然対数を求める関数`my_ln`を書け。引数が定義域外の場合は`Error`を返すこと。
3. 文字列を葉とする木を表すバリエーション型`stree`を定義し、木の例をいくつか作れ。

# 課題4.3の2.の注意

- 浮動小数には誤差がありうるので、**=で比較してはいけない**。誤差も考慮して、**<=**などで比較すること。

```
- fun is_zero x = (x = 0.0) ;
```

```
stdIn:17:17-17:26 Error: operator and  
operand don't agree [equality type  
required]
```

```
operator domain: 'Z * 'Z
```

```
operand:          'Z * real
```

```
in expression:
```

```
  x = 0.0
```

```
- fun is_zero x =
```

```
= (~0.001 < x) andalso (x < 0.001) ;
```

```
val is_zero = fn : real -> bool
```

# パターンマッチング

バリエーションがどの値であるか  
という「場合わけ」

例題：先の「曜日を表すバリエーション」を受け取って、休日だったらtrue、平日だったらfalseを返す関数holidayを書け。

# 例題の解答

```
- fun holiday x = case x of
=     Sun => true  | Mon => false
=   | Tue => false | Wed => false
=   | Thu => false | Fri => false
=   | Sat => true ;
val holiday = fn : day -> bool
- holiday Sun ;
val it = true : bool
- holiday Mon ;
val it = false : bool
- holiday Fri ;
val it = false : bool
- holiday Sat ;
val it = true : bool
```

# 例題 2

先の「整数を葉とする木」を表す  
バリエーションを受け取り、すべての  
葉の整数の合計を返す関数  
`isum`を書け。

# 例題2の解答

```
- fun isum t = case t of
=   ILeaf i => i
= | INode r => isum (#left r) +
=   isum (#right r) ;
val isum = fn : itree -> int
- isum (ILeaf 3) ;
val it = 3 : int
- isum (INode { left = ILeaf 3,
=   right = ILeaf 7 }) ;
val it = 10 : int
```

# 構文

case 式 of

    | コンストラクタ<sub>1</sub> 引数<sub>1</sub> => 式<sub>1</sub>  
    | コンストラクタ<sub>2</sub> 引数<sub>2</sub> => 式<sub>2</sub>  
    ...  
    | コンストラクタ<sub>n</sub> 引数<sub>n</sub> => 式<sub>n</sub>



コンストラクタが引数をとらない場合は省略

# 課題 4.4

先の「二者択一を表すバリエーション」を受け取って、Yesに対してはNoを、Noに対してはYesを返す関数 `hinekure` を書け。また、その関数の働きを実際に確かめよ。



# 課題 4.5

次の考え方に基づいて、先の「整数を葉とする木を表すバリエーション」`t`を受け取って、その葉の数を返す関数 `size` を書け。

- `t` が `ILeaf i` の形だったら `1` を返す
- `t` が `INode r` の形だったら、左の木の葉の数である `size(#left r)` と、右の木の葉の数である `size(#right r)` の和を返す

# 課題 4.6 (optional)

次の考え方に基づいて、先の「整数を葉とする木を表すバリエーション」`t`を受け取って、その木の高さを返す関数 `height` を書け。

- `t` が `ILeaf i` の形だったら `0` を返す
- `t` が `INode r` の形だったら、左の木の高さと、右の木の高さのうち、より小さいほうに `1` を加えて返す