

## プログラム言語論

亀山幸義

筑波大学 情報科学類

No. 7

## Short Quiz

TWINS システムを再設計したい。  
以下の設計のうち、どれを選択すると良いか、簡単な理由をつけて答えよ。

- 学群・学類ごとの module (情報学群の学生 module, ...)
- 処理の種類ごとの module (履修登録、成績登録、成績閲覧、GUI, ...)
- データの種類ごとの module (履修している授業データ、成績データ、学生の連絡先等の個人情報, ...)
- その他 (具体的に )

## 抽象化 abstraction

### 適材適所

- 全てのプログラムを機械語で書く。
- 全てのプログラムを C 言語で書く。
- 記号処理プログラムは ML で、システムプログラムを C 言語で書く。
- 構文解析器は BNF で書き、評価器は 。

### Level of Abstraction

- メモリ管理までコントロールしたい C 言語。
- ごみ集めのみ言語処理系にやってもらう Lisp etc.
- XML のデータ型のチェックも言語処理系にやってもらう ML etc.
- 教科書の行列計算アルゴリズムをそのまま表現する 数式処理パッケージ

本日の話題: 型による抽象化

## かな漢字変換ソフトウェア SKK

SKK の辞書ファイル:

おお k /大/多/夢/  
きわ m /極/  
たい s /対/大/對/  
おこな t /行/  
くら b /比/  
...

辞書を操作する関数:

- 「見出し語」から「その見出し語を含む行」を得る。
- 「見出し語」に対する「変換結果」を加える。
- 「見出し語」に対する「変換結果」を削る。
- 「見出し語」を加える。
- 「見出し語」を削る。

- 単純なテキストファイル、見出し語は順不同。
  - 辞書が大きくなってきたので、毎回ファイルの頭から1文字ずつ検索するのは遅い。
- 「行」単位で、見出し語の50音順でソート。
  - 「見出し語」自体が増えたり減ったりする。
- 「行」を2分木に格納。
  - 非常に巨大な辞書が作成され、もっと高速に検索したい。
- ハッシュを使って管理。
  - ... というのは浅薄。非常に巨大な辞書は(ハッシュする前の段階で既に)メモリにはいきらない。

## この話のポイント

- 辞書操作の関数群を、使う人(正確には、プログラムのうちそれらを使っている部分)と提供する人の合意事項が保たれれば、関数群の実装をどう変更しようと、使う人には影響がない。
- 辞書関数を使う人は、辞書が特定のフォーマットであることを使ってはいけない。(情報隠蔽, Information Hiding, カプセル化, Encapsulation)

- 開発体制: SKK 本体と辞書管理部分とは、別々の人が開発。
- なぜ、勝手にSKK辞書フォーマットを変更してもうまく動いたか?
- SKK辞書を使うための関数群の仕様を変更しなかったから。
  - 「見出し語」から「その見出し語を含む行」を得る。
  - 「見出し語」に対する「変換結果」を加える。
  - 「見出し語」に対する「変換結果」を削る。
  - 「見出し語」を加える。
  - 「見出し語」を削る。

フォーマットは変わっても、上記の5関数を使って得られる結果は常に同じ。

## 抽象データ型-1

- 今までのデータ型 = 具体データ型 (Concrete Data Type)
  - 新しく定義したいデータ型をどう構成したいかを、具体的に(型構成子を使って)記述した。
  - そのデータ型が、具体的にどう実現されているかがわかっている。
- 抽象データ型 (Abstract Data Type)
  - データ型の具体的な構成方法(実現方法)は定めない。
  - データ型がどう使われるかだけを定める。
  - つまり、データの実装ではなく、データの仕様。

stack: スタック (その要素は整数) をあらわす抽象データ型

- stack 型を操作する関数とその (具体) データ型。
  - emptystack: stack
  - push: Int\* stack → stack
  - pop: stack → Int\* stack
  - isempty: stack → bool
- これらの関数が満たすべき性質。
  - isempty(emptystack)=true
  - isempty(push(x,s))=false
  - pop(push(x,s))=(x,s)

## モジュール (module)

ソフトウェアの構成単位 (部品)

プログラムにおける、「何らかの関心事についてのまとめり」  
インターフェースと実装から構成される。

- インタフェース (interface)
  - このモジュールを使うための仕様を定めたもの。
  - 通常は、モジュールを使うための関数の名前と型、など。
  - stack の場合、push, pop, emptystack, isempty 関数とその型。
- 実装 (implementation)
  - インタフェースが定められた関数等を実現するプログラム。
  - インタフェースに従う限り、どのような実装でもよい。
  - 実装のみに現れる関数は、外からは使えない。

stack の実装: 前ページの型と性質を満たす限り、どんな実装でもよい。

- stack を配列で実装。配列の第 0 要素が、スタックの底。
- stack を配列で実装。配列の最終要素が、スタックの底。
- stack をリストで実装。
- stack を配列で実装。ただし、メモリが不足すれば malloc 関数でメモリを確保。

stack の利用: 前ページの関数を使う限り、どんな使用法でもよい。

- 前ページの関数以外を使って、stack にアクセスしてはいけない。
- たとえば、stack の底のアドレスを得て、スタックの  $n$  番目の要素にアクセスする (stack inspection) のは禁止。

## データ抽象化とモジュールの歴史

- CLU [1974-1975] by Barbara Liskov (2008 年の Turing 賞受賞)
- 抽象データ型/module 機能を使うことができる言語: ML, Ruby, Modula-2, Python, Perl, Fortran, COBOL, ...

### モジュラリティの高いプログラム

- 関心事ごとのまとめ (モジュールなど) が、それぞれ独立性が高いこと。
- 独立性=インターフェースが実装と分離されていること。
- 情報の隠蔽; インタフェースの仕様を保つ限り実装をどのように変更してもよい。

### モジュラリティの高いプログラムの利点

- 各モジュールごとに独立に実装しやすい。
- プログラムの保守性・再利用性がよくなる。

## Short Quiz, Revisited

TWINS システムを再設計したい。

以下の設計のうち、どれを選択すると **modularity** が高いか、**maintainability** が高いか、簡単な理由をつけて答えよ。

- 学群・学類ごとの module (情報学群の学生 module, ...)
- 処理の種類ごとの module (履修登録、成績登録、成績閲覧、GUI, ...)
- データの種類ごとの module (履修している授業データ、成績データ、学生の連絡先等の個人情報, ...)
- その他 (具体的に )

モジュラリティ = 大規模ソフトウェア作成における重要ポイントの1つ:

- 情報の隠蔽 or インターフェースと実装の分離。
- モジュール: モジュラープログラミングに対するプログラミング言語からのサポート (機能)。

## モジュール (module)

モジュラープログラミングを実現するための、プログラム言語上の機能。具体的には、Modula, Ada, ML などの言語が module 機能を持つ。

## ML の module の例-スタック 1

スタック (要素は整数):

- `push : int → スタック → スタック`
- `pop : スタック → スタック`
- `top : スタック → int`
- `emptystack : unit → スタック`
- `isempty : スタック → bool`

## ML の module の例-スタック 2

スタック (要素は整数):

- `push : int → スタック → スタック`
- `pop : スタック → スタック`
- `top : スタック → int`
- `emptystack : unit → スタック`
- `isempty : スタック → bool`

スタックのインタフェース:

```
module type STACK =
sig
  type t
  exception EmptyStack
  val push : int -> t -> t
  val pop : t -> t
  val top : t -> int
  val emptystack : unit -> t
  val isempty : t -> bool
end
```

## ML の module の例-スタック 3

スタックの実装:

```
module Stack : STACK =
struct
  type t = int list
  exception EmptyStack
  let push n st = n :: st
  let split (st : t) = match st with
    | [] -> raise EmptyStack
    | n::st -> (n,st)
  let pop st = snd (split (n,st))
  let top st = fst (split (n,st))
  let emptystack () = ([] : t)
  let isempty st = (List.length st = 0)
end
```

## ML の module の例-図形 1

Point モジュールのインタフェース:

```
module type POINT =
sig
  type point
  val mk_point : float * float -> point
  val x_coord : point -> float
  val y_coord : point -> float
  val move_p : point * float * float -> point
end
```

Circle モジュールのインタフェース:

```
module type CIRCLE =
sig
  include POINT
  type circle
  val mk_circle : point * float -> circle
  val center : circle -> point
  val radius : circle -> float
  val move_c : circle * float * float -> circle
end
```

Point(平面上の点) モジュールの実装:

```
module Point =
struct
  type point = float * float
  let mk_point (x,y) = (x,y)
  let x_coord (x,y) = x
  let y_coord (x,y) = y
  let move_p ((x,y):point),dx,dy)
    = (x +. dx,y +. dy)
end
```

Circle(平面上の点) モジュールの実装:

```
module Circle =
struct
  include Point
  type circle = point * float
  let mk_circle (p,r) = (p,r)
  let center (p,_) = p
  let radius (_,r) = r
  let move_c (((p,r):circle),dx,dy) =
    mk_circle(move_p(p,dx,dy),r)
end
```

インタフェース、実装の両方の再利用が可能。

- 大規模プログラミング、モジュラリティ
- 抽象データ型
- 抽象データ型の実現としてのモジュール
- 例: ML 言語のモジュール

質問。結局、「モジュラリティの高いプログラム(の構成方法)」とは何だろうか？

駄目な答え: プログラムをモジュールから構成すること。(すべての関数をモジュールにしてしまえば、モジュラリティの高いプログラムになる?)

正しいがあまり役立たない答え: プログラムを独立性の高い部分から構成すること。(独立性が高いとは?)

正しいがあまり役立たない答え: プログラムをいくつかの部品から構成し、各部品の使いかたの情報を全て公開すること。(どんなプログラムでも使い方の公開はできる。)

もう少しまともな答え: プログラムの各構成部分において、外部に見せるインタフェース(仕様)と内部の実装を分離すること。

さらにまともな答え: プログラムの各構成部分において、外部に見せるインタフェース(仕様)と内部の実装を適切に分離することを強く意識して、プログラムを構成すること。