プログラミング言語論'10 ＃1

久野　靖 *

2010.4.8

はじめに

□ 本科目のテーマ: プログラミング言語 — 具体的なテーマとしては…

- プログラミング言語とは何か?
- プログラミング言語にはどのような構成要素があるのか?
- プログラミング言語にはどのようなバリエーション (選択肢) があるのか?

□ 期待される効果:

- 適切なプログラミング言語の選択ができるようになる
- 選択したプログラミング言語をよりよく使いこなせるようになる
- 新しいプログラミング言語の必要性を予見できるようになる (?)

□ オブジェクト指向に比較的重きを置いている

- 今日のソフトウェア開発において主流となっているパラダイム
- 道具だて、言語仕様が複雑、込み入っている
- 「なぜそうなっているか」という理屈はちゃんとある
- 「どういう理由で」「どうなっている」を学ぶ→使いこなし方が分かる

□ ソフトウェア開発は結局「自分の頭でどれだけ考えられるか」の限界までしか作れない

- 同じことをするのに「考えやすい道具 (言語)」を使うと→
- 同じ能力でより高度なものまで考える (作る) ことが可能になる
- ではどうすれば「考えやすい」のか→言語の設計思想を学ぶ

□ 構成:

- 第1回→プログラミング言語の諸概念〜抽象データ型
- 第2回→オブジェクト指向言語の主要メカニズムと用法
- 第3回→オブジェクト指向のさまざまなバリエーション
- 第4回〜 (考え中)(分量によってはこの手前までをゆっくりやるとそれで終わりになるかも知れません)

*筑波大学大学院経営システム科学専攻

1　計算機言語とは…

□ まず計算機言語とは何かというお話から。

- では計算機とは何をするもの?

□ プログラミング言語…計算機言語の一種。

□ 計算機言語とはどういう言語?　なぜ存在する?

1.1　計算機と人間の情報伝達

□ 計算機…情報を取り扱うための装置

□ 人間と計算機はどうやって情報をやりとりするか?

□ ハードウェア…入出力装置

- 入力→キーボード、マウス、マイク、…
- 出力→ディスプレイ、プリンタ、スピーカ、…

□ 具体的にどのような形で情報をやりとり?

□ 計算機に自然言語 (日本語) で命令できたら嬉しいと思うか?　(Yes/No)

1.2　人工言語

□ 人間どうしの情報交換→自然言語 (日本語、英語、…)

- 計算機とのやりとりには不向き
- あいまいさ、処理が複雑
- 人間を相手にするのと計算機を相手にするのでは違って当然 (?)

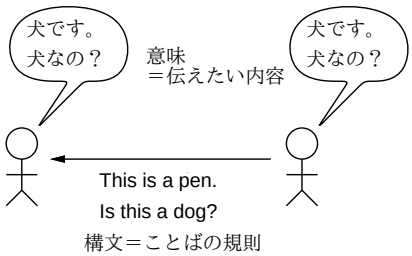
□ 簡単な規則に基づく人工言語→計算機の処理に向く

- 計算機で取り扱うために作った人工言語→計算機言語

1.3 構文と意味

□ 構文→言語に現われる語の並び方の規則性

□ 意味→どのような構文であれば何を意味するか



□ 言語の定義→構文と意味のペア (計算機言語も同様)

- ほかに語彙 (単語) も必要だけど。

1.4 プログラミング言語

□ プログラムを書くための計算機言語

- プログラムとは?

□ プログラミング言語の用途?

- 計算機に読み込ませる
- 人間が読む (娯楽、仕事、…)
- 自分が考えるための手段→でも動かした方が嬉しい

1.5 その他の計算機言語

□ プログラミング言語でない計算機言語も多数ある

□ 楽譜記述言語

□ 図形記述言語

- プリンタ→ページ記述言語→ PostScript…プログラミング言語でもある。

□ 文書記述言語 (マークアップ言語)、データ記述言語

- SGML → HTML → XML、XHTML

□ アプリケーションを動かし画面で見れば十分?

- 「処理」したいときは言語になっている方がよい。

1.6 この節のまとめ

□ 計算機言語とは、計算機で扱うための人工言語

- でも人間が読み書きしてもよい。
- 人間が考えるための「手段」でもある。

□ 代表はプログラム言語だが、他の計算機言語もいろいろある。

2 プログラミング言語の諸側面

□ プログラム→「人間が書くもの」だが、プログラム以前には無かったさまざまな特徴/特性がある

- 個別のプログラミング言語についても、その特徴/特性についていろいろな選択肢がある→以下で検討

2.1 プログラムが持つ特徴

□ 簡単な C プログラムを題材に…

```
int main() {
  int x, y;
  printf("input x> "); scanf("%d", &x);
  printf("input y> "); scanf("%d", &y);
  if(x > y)
    printf("%d is larger.\n", x);
  else
    printf("%d is larger.\n", y);
  return 0;
}
```

- Q. このプログラムは何をするプログラムですか?
- Q. このプログラムにはどんな問題がありますか?
- Q. あなたが認識した「問題」を解決する方法は?

□ 問題かどうかはあくまで目的 (仕様) に照らさなければ分からない

- 仕様: 「x と y が等しければ何が出力されてもよい」だったら?
- 仕様: 「x と y に等しい数を入れてはならない」だったら?
- 仕様: 「x と y に等しい数が入ることはあり得ない」だったら?

□ 動作はきっちり決まっている

- 言語仕様としてきちんと決まっている部分
- 言語仕様で決まっていなくても、動かせば分かる (???)

□ それが「プログラマの意図」さらには「ソフトの仕様」と一致しているかどうかはまた全然別の問題

□ 1 つの動作を行うプログラムは何通りも書ける

```
/* A */
if(x > y)
  printf("%d is larger.\n", x);
else
  printf("%d is larger.\n", y);

/* B */
if(x > y) z = x; else z = y;
printf("%d is larger.\n", z);
```

```
/* C */
z = (x > y) ? x : y;
printf("%d is larger.\n", z);

/* D */
printf("%d is larger.\n", (x>y)?x:y));

/* E */
z = x;
if(y > z) z = y;
printf("%d is larger.\n", z);
```

- どれがいいと思うか? それはなぜか?

□ もし 3 つの値 x、y、z の最大だったら?

```
/* D' */
printf("%d is larger.\n",
       (x>y)?((x>z)?x:z):((y>z)?y:z));

/* E' */
max = x;
if(y > max) max = y;
if(z > max) max = z;
printf("%d is larger.\n", max);
```

- こんどはどれがいいか?

□ 1 つの動作を行うプログラムは何通りも書ける

- そのどれがいいかは様々な側面を総合して決めるしかない
- プログラミング言語の機能やデザインもまさにそう!

2.2 プログラミング言語が持つ「要素」「概念」「機能」

□ また同じ C プログラムを題材に…

```
int main() {
  int x, y;
  printf("input x> "); scanf("%d", &x);
  printf("input y> "); scanf("%d", &y);
  if(x > y)
    printf("%d is larger.\n", x);
  else
    printf("%d is larger.\n", y);
  return 0;
}
```

- これにどのような「要素」「概念」「機能」が含まれている?

□ たとえば…

- 順次実行 (A; B; C)
- 制御構造 (if、while、…)
- 変数
- 型 (値の種別)
- アドレス (ポインタ)
- 関数 (サブルーチン)
- ...

□ これらがどういう意味を持っているか考えて見よう…

2.3 実行順序

□ 「文が順次実行される」という考え方は「当然」か?

```
x = y * z;
y = 3.1416 + 1;
z = 2.7183 + 2;
```

- どういう順番で実行されると「感じられる」?

□ 方程式であれば、「参照関係に従って」計算する。
□ 関数型言語などでも同様。

```
double x() { return y() + z(); }
double y() { return 3.1416 + 1; }
double z() { return 2.7183 + 2; }
```

□ 再帰と組み合わせることで複雑な計算でも可能

```
double fact(n) {
  return (n < 1) ? 1 : n * fact(n-1);
}
```

□ ではなぜ現在の多くの言語は「順次実行」なのか?

- 手続き型言語のモデル←現在の計算機のモデル
- 現在の CPU は「命令を順番に実行して行く」モデルに従っている (実際には全然順番に実行していないことが多いが…)
- プログラム言語でもこれにならった方が自然 (?)

2.4 制御構造

□ 「枝分かれ」「繰り返し」などの*実行順序*を表す機構

```
if(x > y) {
  z = x; x = y; y = z;
}

while(n > 0) {
  fact = fact * n; n = n - 1;
}
```

- 実はこのように「制御構造の中に文の集まりが入る」という考え方が一般的になったのは 1970 年代の「構造化プログラミング運動」の結果。
- それ以前はこんな便利な (?) ものはなかった。

□ Fotran 60 (JIS Fortran 5000/7000)

```
   IF(X .LE. Y) GOTO 10
     Z = X
     X = Y
     Y = Z
10 CONTINUE
```

```
30 IF(N .LE. 0) GOTO 20
     FACT = FACT * N
     N = N * 1
     GOTO 30
20 CONTINUE
```

□ JIS 3000

```
   IF(X - Y) 20, 10, 10
20   Z = X
     X = Y
     Y = Z
10 CONTINUE
```

□ 構造化プログラミング運動

- GOTO はスパゲティプログラムになるからやめよう
- 構造化構文 (今の if や while) の入れ子を使おう

□ しかし「入れ子」がいいかどうかも疑問はある

```
if(a[low] < a[high]) {
  for(i = 0; i < high-low; ++i)
    for(j = low; j < high; ++j)
      if(a[j] > a[j+1]) {
        z = a[j]; a[j] = a[j+1]; a[j+1] = z;
      }
} else {
  for(i = 0; i < high-low; ++i)
    for(j = high; j > low; --j)
      if(a[j-1] < a[j]) {
        z = a[j-1]; a[j-1] = a[j]; a[j] = z;
      }
}
```

- このコードが何をしているか読めるか?
- 読めるようになったとすれば「どう考えた」から?

□ 「入れ子」構造は、ある部分 (たとえば「文」が入る部分) に、複雑な構造であっても 1 つの単位として互換性があれば入れられる、という思想によっている。

- 計算機による処理は容易 (やり方が分っていれば)。
- しかし人間の頭はそういう風にはできていない。
- →プログラムの書き手としては、「人間に扱えるように」書く方がよい。
- →具体的にはどうする?

□ 「if」と「switch」と「while/for」と「do-while」でいいのか? もっとあった方がいいのか? 減らした方がいいのか? (yes/no)

□ 現在あるもので「一応」足りているが「まだ」あった方がよいかも。

- 定理: すべての (含むスパゲティ) プログラムは連接、分岐 (if)、反復 (while) の組合せに書き換えることができる。
- しかし「言語としての使いやすさ」が問題だからもっとあってもよい。
- 後述する「例外」などは新しい制御構造のバリエーション。

2.5 変数

□ 変数とは、何ですか? (知らない人に説明するとしたら?)

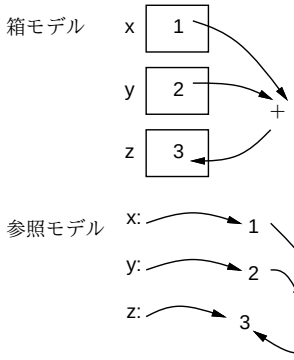
□ 変数の 2 つのモデル (どっちがいい?)

- 説明 A: 値を入れておく「箱」のようなもの。
- 説明 B: 値を表す名前 (値に名前をつけたもの)。

□ 「箱」のモデル…手続き型言語のモデル

- 手続き型言語…Fotran、COBOL、Pascal、C、C++、Java、…
- 変数に代入して値を書き換えて行く
- 計算機ハードウェア (メモリ) の自然な抽象化になっている
- 副作用ベース→分かりにくいバグの原因となることがある

```
while(i > 0) {
  fact = fact * i; i = i = 1;
}
```



□ 「値を表す名前」のモデル…数学に近い感じ

- 関数型/論理型言語…ML、Haskell、Prolog、…
- 変数には値が「束縛」される
- 一度束縛された値が書き変わることはない (単一代入とも言う)
- ただし変数は複数のインカーネーション (実体) を持つことも…

```
int fact(int n) {
  return (n < 1) ? 1 : n * fact(n-1);
}
```

```
fact(n:5)
↓ 5 * fact(n:4)
↓ 5 * 4 * fact(n:3)
↓ 5 * 4 * 3 * fact(n:2)
↓ 5 * 4 * 3 * 2 * fact(n:1)
↓ 5 * 4 * 3 * 2 * 1 * fact(n:0)
↓ 5 * 4 * 3 * 2 * 1 * 1
```

□ 結局: どちらのモデルも言語として成り立つ

- 優劣は一概に言えない (言語どうしで優劣が言えないのと同様)

2.6 型 (= 値の種別)

□ 「int x」「double x」「char *x」

- 何のために「型」があるのか?

□ さまざまな「型がある理由」(A)

- 入れる「箱」の大きさが種別によって変わるから。
- 種別ごとに演算 (演算命令) が違うから
- →これらは言語の設計次第でどうにでもなる。
- →ただし型がある方が効率はよい
- 型のない言語 (弱い型の言語) → Lisp、Smalltalk、Perl、…

□ さまざまな「型がある理由」(B)

- プログラマに「ここはどういう種類の値」という情報を書かせたい
- おかしなデータの使い型をチェックして教えたい
- →「よりよくプログラムを書くための道具」としての型
- 強い型の言語 → Pascal、C、C++、Java、ML、Haskell、…
- 型の明示 (変数宣言に必ず型を書く) と型推論 (「x = 10」なら x は int、のように使用関係に基づいて決定) とがある。

□ その他の区分

- 型には単純な型 (「整数」「実数」「文字」…基本型) と込み入った型 (「レコード」「配列」…複合型) がある (後述)。
- 「標準で用意されている型」「ユーザ定義の型」という区別があることもある。
- できるだけどんな型でも同じように区別なく使える方が望ましい。が。
- 例: C++の演算子定義→ユーザ定義の型でも演算子が使える。が、そのために言語的には複雑になっている。

2.7 さまざまな型

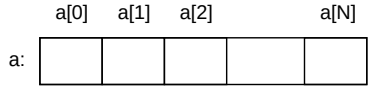
□ 基本型…数値 (整数、実数)、論理値、文字値など。

- 定義? 「直接 CPU が演算できるような値の型」「マシンレジスタに載るような値の型」「それ以上分解できない値の型」(どれもよくない)
- 結局、言語仕様として「基本型に決めたから基本型」みたいな…
- 基本型の値を書く手段として、リテラル (定数) が用意されている。(基本型でない場合も一部用意されていることはある。)

□ 複合型…基本型でない型すべて。複数の値を含む…かどうか?

□ 配列型…もっとも古くからある複合型 (ベクトルや行列演算のため)

- 同じ型の値が連続して並んでいる
- 添字により「何番目」を指定してアクセスする
- 実現上は単にメモリ上に必要なだけの領域を並べるのが基本 (だった)



- しかしそれでは不便だと分かってきたので…(どう不便?) →連想配列
- 型としては「T 型の配列」という型→ T は「パラメタ」になっている。
- さらに要素数 (ないし、添字の上限/下限) も型のパラメタとする言語もある (Pascal とか)

□ レコード/可変レコード/ユニオン型

- こちらは COBOL が元祖。複数の「違う型の」値を組み合わせたもの
- 非常に基本的な型だった…はずが、オブジェクト指向のせいで影が薄く…
- Java にはレコード型はない。C++ではクラスの特別なカタチ。
- 可変レコード…レコードで「途中からフィールドを取り換える」ようにした← Pascal
- これを「取り換えずに並べるだけ」と「取り換えるだけ」に分離→ユニオン型← C

2.8 ポインタ型

□ ポインタ型…とは? C 言語の式「&x」の結果とは?

- 答 A: 変数 x の主記憶上の番地 (アドレス)
- 答 B: 変数 x を「指す」(参照する) 何らかの値
- 答 C: その他…

□ 言語仕様的には「B」。

- 言語仕様に「番地」は出てこない (実装に依存しすぎる)。
- int *p = …; … p + 1 … ←実際に足されるのは「1」ではない

- それはいいが、なぜこういうもの (ポインタないし参照) が必要なのか?

□ ポインタは何のために必要?

- 変数に値を書き込んで戻してもらうため←言語に参照渡しがない場合
- 動的データ構造 (連結リスト、2 分木、グラフ、…)
- 大きなデータを持ち回る非効率を避けたい場合
- データを複数個所で共有したい場合 (cf. 広域変数)

□ データの共有は副作用を可能にする→注意が必要

□ 言語設計上の問題点

- 任意の変数のポインタを取れるのは危険 (なくなった後も…)
- C/C++→配列の添字式がポインタ演算 (「a[i]」は「*(a+i)」と同じ意味)
- a が配列、i が整数として「a[i]」でも「i[a]」でも同じって知ってます?
- 非常に特異な言語設計、問題山積み (添字検査困難とか)。

□ 型という点では「T 型へのポインタ」→パラメタつきの型。

- しかし値そのものは「レジスタに載るような値」
- 型 T と型*T を使い分けるのは混乱のもと (C++だとさらに&Tもある)
- すべての値をポインタとするのも 1 つの選択肢 (Java がこれに近い)

□ 古い言語には「ポインタ型」が 1 種類しかない言語もあった (PL/I)。

- どんな型の変数でもアドレスを取ると同じ型→型安全でない。
- しかし C でもキャストすれば何型のポインタにでもできる→安全でないことに変わりはない。ただ、キャストを書くことで「分かっていてやっている」という意志表示にはなる。

2.9 関数型/関数へのポインタ型

□ 関数を指すポインタ→複数の関数のどれを呼ぶか選択可能に

- 関数 (サブルーチン) は呼ぶ以外の使い方はできない→わざわざ「〜のポインタ」としなくてもいい→そういう言語もある。
- C では「関数名を自動的にその関数を参照するポインタ値に変換」

```
int myfunc(int x) { return x*x; }
int (*f)(int) = &myfunc;   ←○
int (*g)(int) = myfunc;  ←これも○
```

- C では型名や変数宣言の書き方がすごく分かりづらい…

□ 引数の個数と型、および関数が返す型も関数型の一部 (パラメタ)

- 「proctype(int,int)returns(int)」← CLU 流の記法
- 「(int(*)(int,int))」← C のキャスト等で書く型指定…分かりづらい

□ ただし C では「int (*f)()」のようにパラメタ部分を書かないことで「引数の個数と型を指定しない」ことが可能→安全でない

- または引数のどこかから後を「...」と指定できる (可変引数)
- 引数を「持たない」場合は「int (*f)(void)」と指定 ← 注記: C++ では「int (*f)()」でも同じ。C では「int (*f)()」だと「パラメタは何でもよい」になってしまう。

2.10 強い型と弱い型

□ ここまでおもに「強い型の言語」(=コンパイル時にチェックする) について考えて来た。

- 弱い型の言語 (=実行時にチェックする) → Lisp、Smalltalk、Perl、Ruby 他スクリプト言語
- 弱い型の言語はチェックが抜けることはない (実行時に逐一チェックするから) →安全ではあるが、速度は犠牲になる
- 型のエラーがあってもそこを実行してみるまで間違いがあることが分からない→製品を作る上では弱点
- 強い型であれば、コンパイル時にチェックできる→実行時には安全であることが保証される (ただし最近のオブジェクト指向言語では実行時のチェックにたよる部分もある)。

2.11 この節のまとめ

□ プログラム言語/プログラムが持つ特徴

- 厳密だが「何が正しいか」は難しい (仕様の問題)
- 1 つのことを何通りにも書ける

□ プログラム言語が持つ多くの概念

- 順次実行、制御構造、変数、型、…

□ 型→データの種別、対応する演算の種別

- 型安全性→間違った操作が起こらない (突然死なない)
- 強い型→コンパイル時にチェックできるようにする

3 命令型からオブジェクト指向へ

□ 命令型言語 (imperative language) → C のような、順次実行と変数の書き換えに基づくプログラミング言語

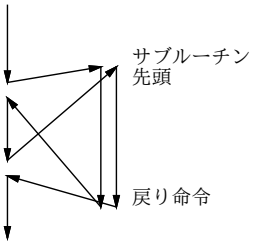
- オブジェクト指向言語はその発展形と考えてよい
- どのような経緯でオブジェクト指向言語ができたか?
- 細かい話題は後まわしにして、ここでは全体的な概観

3.1 関数 (サブルーチン)

□ 関数 (サブルーチン) とは、何ですか?

□ 現象的には、「ある範囲のコードの先頭にジャンプし、そのコードを実行し、終わったら元の (ジャンプする前の) ところに戻って来る」

- 実装的には戻り番地 (ジャンプした命令の次の命令の番地) を保存しておいてそこへ間接ジャンプで戻る
- しかしそれが関数 (サブルーチン) だと言われても釈然としないでしょう?



□ プログラマから見ると→

- ひとまとまりのコードに名前をつけたもの
- その名前を指定して呼び出せる
- それぞれが完結した何らかの仕事をしてくれる (その細部は呼び側では知らなくてもよい)

□ 要するに「抽象化の手段」→最も重要な機能

- さっきの「入れ子をどうするか」の答えも第 1 義的にはここにある。
- 「いちど関数を書いてしまえば、言語にそういう命令が増えたものとして扱える」

□ 関数の利用が普及したのは構造化プログラミングの時期以降 (1970〜)

- それ以前だと「1 万行のメインプログラムだけ」とか珍しくなかった

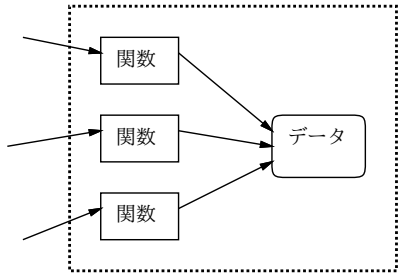
□ 関数の弱点→かたまりになるのはあくまでも「コード」だけという点→データの共有 (呼び側と呼ばれ側、呼ばれ側どうし) は?

- パラメタとして逐一渡す→繁雑、渡す側でもいじれてしまう
- グローバル変数として共有→どこでもいじれるから一層危険
- →結局、関数だけを「部品」として用いると複雑さに限界。← 1 レベルであること、データの共有問題

3.2 モジュール

□ モジュール以前の言語→手続きが単位

- 手続きが単位だと「カタマリ」が小さすぎる
- 複数の手続きが 1 つのデータ構造を共有する→よくあるパターン



□ そのデータ構造は「グローバル変数」じゃいけないの?

□ グローバルだと「よそからいじられる」可能性

- データ構造→通常、「こういう性質を維持」という条件がある (整合性条件) →これが壊れるとそれを前提としているコードも破綻
- グローバルだとそれを分からずにいじられてしまう

□ モジュール機構があれば、データ構造は特定のコードからだけしかいじれなくできる

- 整合性条件の維持→そのデータをいじるコードが限定されていると、そこだけきちんとすれば確実に大丈夫
- さらに、外から直接呼ばれたくない関数も同様にして限定できるとよい。

□ どうやって実装するか? 言語にモジュールがあれば簡単だが、C 言語でも「ファイル内の static」を使ってある程度できる

□ 例: 「図形描画できるウィンドウ」

```
---GraphWin.c---
#include <なんとか.h>
static Window *win;
static struct { int x1,y1,x2,y2 } line[1000];
```

```
static int linecount;
static int initialized = 0;
static int init() {
  win = ...
  linecount = 0;
}
int addline(int x1, int y1, int x2, int y2) {
  if(!initialized) init();
  line[lincount].x1 = x1; line[lincount].y1 = y1;
  line[lincount].x2 = x2; line[lincount].y2 = y2;
  ++linecount;
}
int update() {
  int i;
  if(!initialized) init();
  for(i = 0; i < linecount; ++i) 線 i を描く;
}
...
```

□ このコードでは「どういう整合条件」があると思うか?

□ こうしておくと他にどういういいことがあるか?

□ 結局、モジュールの機能は「何もしなければアクセスできるものを隠す」こと→カプセル化 (encapsulation)

- 「わざわざ不自由にすること」が実は重要

3.3 抽象データ型

□ モジュールでは隠す対象は「データ一式」

□ では窓を沢山作りたければどうする? →抽象データ型

```
---GraphWin.c---
#include <なんとか.h>
typedef struct {
  Window *win;
  struct { int x1,y1,x2,y2 } line[1000];
  int linecount; } GraphWin;

GrappWin* create_gw() {
  GraphWin *gw = (GraphWin*)malloc(siezof(GraphWin));
  gw->win = ...
  gw->linecount = 0;
  return gw;
}
int gw_addline(GraphWin *gw,
      int x1, int y1, int x2, int y2) {
  gw->line[lincount].x1 = x1;
  gw->line[lincount].y1 = y1;
  gw->line[lincount].x2 = x2;
  gw->line[lincount].y2 = y2;
  ++gw->linecount;
}
int gw_update(GraphWin *gw) {
  int i;
  for(i = 0; i < gw->linecount; ++i) 線 i を描く;
}
...
```

□ なぜこれが「抽象データ型」かというと…GraphWin 型というデータ型を新しく作っていると考えられる。たとえば利用側は:

```
---GraphWin.h---
typedef void *GraphWin;
GraphWin create_gw();
int gw_addline(GraphWin gw, int x1, int y1, int x2, int y2);
int gw_update(GraphpWin gw);
...

---アプリケーション.c---
include <GraphWin.h>
int main() {
  GraphWin gw = create_gw();
  ...
  gw_addline(gw, ...);
  ...
  gw_update(gw);
  ...
}
```

□ この「2 回ずつ言う」あたりを何とかしたのがオブジェクト指向の「メッセージ送信記法」と考えてもらえればよい。

3.4 オブジェクト指向

□ いちいち上のようにヘッダファイルを使い分けたり、第 1 引数でデータ構造のポインタを渡したりすると煩雑→間違い→破綻。

□ これを言語の方で自動的にやってくれると嬉しい

```
class GraphWin {
  Window win;
  Line[] line = new Line[100];
  int linecount;
  public GraphWin() {
    win = ...;
    linecount = 0;
  }
  public addLine(int x1, int y1, int x2, int y2) {
    line[linecount++] = new Line(x1,y1,x2,y2);
  }
  public upate() {
    for(int i = 0; i < linecount; ++i) 線を描く…
  }
  ...
  class Line {
    int x1, y1, x2, y2;
    public Line(int px1, py1, px2, py2) {
      x1 = px1; y1 = py1; x2 = px2; y2 = py2;
    }
    public int getX1() { return x1; }
    public int getY1() { return y1; }
    public int getX2() { return x2; }
    public int getY2() { return y2; }
  }
}
```

□ 使う側では次のようになる

```
GraphWin gw = new GraphWin();
...
gw.addLine(...);
...
gw.update();
```

- 初期設定とかポインタとかに煩わされなくなった
- メッセージ送信記法→「馬から落馬」がなくなった

□ ところで、上の例は C++ですか? Java ですか?

□ 答: 上の例は Java。

- C++では new はポインタを返すが、こういう場合はポインタを使う必要はない
- C++では「その場に」(ローカル変数ならスタック上などに) オブジェクトが作れるように工夫されている

```
Line[] line = new Line[100]; //Java
Line line[100]; //C++、ただし vector<Line>とかの方がよい

GraphWin gw = new GraphWin(); //Java
GraphWin gw = GraphWin(); //C++
```

- 少し後で C++と Java を題材にもう少し具体的にやりますがその前に…

3.5 抽象データ型再訪

□ 抽象データ型 (Abstract Data Types, ADT) とは…

- 「型」とそれが持つ「操作群」を定義する。
- その型の「内部構造」や「操作の実現」は外部からは隠蔽
- たとえば「+」や「- 」などの演算を持つ「整数型」のようなもの (例:ベクトル型とか) を自前で定義できる。
- 初期の ADT 言語: CLU、Alphard、…

□ ADT の何が重要か?

- 内部構造や実現を外部から見せない (カプセル化) → モジュール間相互の依存関係を軽減。
- オブジェクト指向言語も「単純な」クラス (上に挙げた例のようなもの) は単なる ADT を実現している。ADT 的な考え方は重要 (それなりに慣れが必要)。

3.6 この節のまとめ

□ プログラム言語の重要な機能→「抽象化」

- ひらたくいえば「かたまり」の作り方
- 関数 (サブルーチン) →データはかたまりにできないのでいまいち
- モジュール→関数+データのパッケージ。より大きなかたまり
- 抽象データ型 (ADT) →データ「型」として沢山使える
- オブジェクト指向→ ADT+メッセージ送信記法+α

4 オブジェクト指向言語入門

□ 本講座では実際にオブジェクト指向言語を使ってレポートをやって頂きたい→具体的な言語の紹介も必要

- 言語として「C++」「Java」の両方を取り上げる
- 例題・課題ともできるだけ両方を対比させて用意する
- ただし題材によってはどちらか片方だけになるものもある

4.1 C++入門

□ C++ --- Bjane Stroustrup によって、「C with class」として始まった

- C からスムーズに移行できるオブジェクト指向言語として普及
- C に (ほぼ) 上位互換な言語。型検査とかは厳しくなっている
- +α されているもの…「オブジェクト指向」「例外」「テンプレート」など
- C の「裸のマシンがそのまま使える」に「よい構造化ができる」を追加

□ C++の設計思想…

- フルスピードで動く (C に負けない)
- そのために足枷となるものは言語に導入しない
- どのようなプログラミングスタイルでもサポートする
- プログラマが分かっていてやることは禁止しない
- ユーザ定義型も組み込み型と同様な見た目で使える

□ 例題: 2 つの数を読み込んで足す

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void) {
  int x; cout << "x? "; cin >> x;
  int y; cout << "y? "; cin >> y;
  cout << "x+y = " << (x+y) << '\n';
}
```

- 「cin」「cout」は入出力ストリーム
- 「>>」「<<」(もともとはシフト演算子) を演算子定義により入出力演算として使っている
- 「>>」の結果はまたストリームなので連続して使える
- 多重定義により、「<<」を文字列用、整数用、実数用と多数用意している

□ C++の処理系は…

- Windows 用…Borland C++、MS Visulal C++など色々ある

- フリーなもの…GNU C++ (G++)。Unix (Linux) には普通ついている。Windows なら Cygwin を入れればそこに一緒にいれて動かせる (資料末尾も参照)

4.2 Java 入門

□ Java --- 「C++よりも安全なオブジェクト指向言語」として SunMicrosystems 社で開発された

- 当初 Web ブラウザの上で動く「アプレット」のための言語として普及
- この場合の「安全」…プログラムが悪さをできないような防壁がある (例: ファイルの読み書きができない、勝手にネットワーク接続ができない、など)
- 現在では通常のソフトウェア開発用言語として使われている
- C(や C++) とは制御構造の構文が似ているだけであとは別物

□ Java の設計思想…

- C++の危険さ、複雑さを減少させ単純さを求める
- C や C++との互換性は捨てたので言語仕様は単純化できた
- 安全さを第一とし、危険なことはどうやってもできない
- すべてのオブジェクトはヒープ上に割り当て、ごみ集めを行う
- Smalltalk 的、伝統的なオブジェクト指向言語ふう
- これらの代償として見た目は長く、動作は遅くなりがち

□ 例題: 2 つの数を読み込んで足す

```
import java.util.*;

public class Sample1 {
  public static void main(String[] args) throws Exception {
    Scanner sc = new Scanner(System.in);
    System.out.print("x? ");
    int x = sc.nextInt();
    System.out.print("y? ");
    int y = sc.nextInt();
    System.out.println("x+y = " + (x+y));
  }
}
```

4.3 オブジェクト指向言語

□ オブジェクト指向言語とは?→いろいろな定義があると思うがここでは一応次のように考える。

- 「オブジェクト指向」→プログラムが扱う対象をそれぞれ自律的な/完結した「もの」(オブジェクト) であるとする「考え方」
- 「オブジェクト指向言語」→オブジェクト指向の考え方をサポートするようなプログラミング言語

□ 抽象的でよく分からない? まあそうだと思いますが…

```
outstream ostream = ...;
outstream_println(ostream, "Hello, World.\n");
↑関数名が長い    ↑操作対象も引数 : 従来のスタイル

outstream ostream = ...;
ostream.println("Hello, World.\n");
↑オブジェクト. メソッド (引数…) : オブジェクト指向ぽい
```

- 同じことを 2 度言わなくて済む感じ
- 同じことには同じ名前が使える
- 名前空間の節約

□ あと、とりあえず関連する用語を紹介しておく

□ 「クラス」→オブジェクトの種類に対応する構文要素。

- 新しい種類のオブジェクトを定義したければ、クラスを書く。

□ クラス定義に含まれるもの…

- オブジェクトはどういう動作 (メソッド、メンバ関数) を持っているか
- オブジェクトはどういう属性を持っているか←インスタンス変数、メンバ変数
- そのほかクラスはモジュールとしての役割りも←クラスメソッド変数、static メソッド/変数

□ 「インスタンス」→クラス定義に基づいて作り出された「もの」(オブジェクト)

□ 逆に見ると→「新しいモノ」を定義できるのがオブジェクト指向

- 世の中はさまざまなモノから成り立っている→それをそのまま言語に移せる (プログラムだから現実世界よりは杓子定規だけど…) →考えやすい (考えやすさは重要)

□ どういうモノを作るか考える→オブジェクト指向における設計

- (1) どんなモノを作るか
- (2) それぞれのモノはどういう操作/インタフェースを持つか
- (3) その実装はどうするか←ある意味どうでもいい/別建て
- (上記は ADT の考え方と言った方が正確← ADT は重要)

4.4 例:じゃんけんの手

□ 「じゃんけん」のデータを多数扱うアプリがあるとする

- 従来手法: たとえば"Goo"、"Paa"、"Choki"の文字列で扱う→何がよくない?
- 従来手法: たとえば0、1、2をグー、パー、チョキに対応→何がよくない?
- じゃあどうするか?

□ 「じゃんけんの手」をデータ型とする

- 常に「3つの手のどれか」であることが保証される
- どういう操作を持たせるか?

□ 必要な操作

- 作る (文字列→手、ランダムな手)
- 表示 (手→文字列)
- 勝ち負け引き分けの判定

4.5 じゃんけんの手:C++版

□ C++のクラス:インタフェース (ヘッダに入れる部分)

```
class RPS { // Rock Paper Scissors
  int hand;
  enum { rock = 0, paper = 1, scissors = 2 };
  static const char* const names[3];
  static const int wl[3][3];
public:
  RPS();
  RPS(const char* const s);
  const char* c_str() const;
  bool operator==(const RPS& r) const;
  bool operator!=(const RPS& r) const;
  bool operator<(const RPS& r) const;
  bool operator<=(const RPS& r) const;
  bool operator>(const RPS& r) const;
  bool operator>=(const RPS& r) const;
  class Unknown_hand { };
};
const char* const RPS::names[3] = {
  "Rock", "Paper", "Scissors"};
const int RPS::wl[3][3] =  {
  {0,-1,1}, {1,0,-1}, {-1,1,0}};
```

- 「class クラス名 { ... };」がクラスを定義
- public:より前はprivate部分→クラス外からは見えない (実際にはコンパイラは見るが) →カプセル化、ADTの保護
- 変数:「この型のデータ (インスタンス) は何と何を組にしたものか」を表す
- staticは全インスタンスに共通のデータ (共有される表とか)

□ public:以下にメソッド (メンバ関数) のインタフェースを書く→これを (ヘッダファイルとして) 取り込むことで型検査可能に

- クラス名と同名のメソッド→「コンストラクタ」(初期化用の特別なメソッド)。
- メソッドは同名のものが複数あっても引数の数と型で区別できればOK(オーバーローディング、多重定義)
- 「変更しない」ことを const で表す (型もメソッドも)。
- 「operator △」で「△」という演算子を定義可能。
- unknown_handというクラスは「例外の種別を表す」ために使う。

□ C++のクラス:実装部分

```
RPS::RPS() {
  hand = int((double(rand()) / RAND_MAX)* 3);
}
RPS::RPS(const char *s) {
  switch(*s) {
case 'R': case 'r': case 'G': case 'g':
    hand = rock; break;
case 'P': case 'p':
    hand = paper; break;
case 'S': case 's': case 'C': case 'c':
    hand = scissors; break;
default: throw Unknown_hand();
  }
}
const char* RPS::c_str() const {
  return names[hand];
}
bool RPS::operator<(const RPS& r) const {
  return wl[hand][r.hand] < 0;
}
bool RPS::operator<=(const RPS& r) const {
  return wl[hand][r.hand] <= 0;
}
bool RPS::operator>(const RPS& r) const {
  return wl[hand][r.hand] > 0;
}
bool RPS::operator>=(const RPS& r) const {
  return wl[hand][r.hand] >= 0;
}
bool RPS::operator==(const RPS& r) const {
  return hand == r.hand;
}
bool RPS::operator!=(const RPS& r) const {
  return hand != r.hand;
}
```

- 「クラス名::名前」でクラスに付属するもの (メンバ) の名前が指定できる。定義自体は class { ... } とは別に書く。
- staticな変数も定義を外の1個所に置く必要。
- メソッド (メンバ関数) の中は「クラスの中」だからprivateなものも参照可能。
- 文字列はここでは「Cの文字列」を返す。stringクラスとか色々あるが。

□ C++のクラス:メイン

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <cstdlib>
using namespace std;

//ここにヘッダ部分
//ここに実装部分 (別ファイルにしてもよい)

int main(void) {
  const int n = 5;
  RPS a[n], b[n];
  for(int i = 3; i < n; ++i) {
    char sa[n], sb[n];
    cout<<"a hand? "; cin>>sa; a[i] = RPS(sa);
    cout<<"b hand? "; cin>>sb; b[i] = RPS(sb);
  }
  for(int i = 0; i < n; ++i) {
    char *s = "draw";
    if(a[i] > b[i]) s = "a win";
    if(a[i] < b[i]) s = "b win";
    cout << a[i].c_str() << ":" <<
      b[i].c_str() << " --- " << s << "\n";
  }
}
```

- RPS 型 5 個の配列→コンストラクタにより初期化→ランダムな手が最初から入っている
- 2 つだけ手を読み込む→文字列を読んでコンストラクタで RPS 型を作り代入。
- 最後にどちらが勝っているか/引き分けかを表示。「>」「<」等は定義された演算子を呼ぶ。

4.6 じゃんけんの手:Java 版

□ Java では JDK 1.5 以降で「Enum 型」を導入。Enum 型とは要するに C++で作ったようなクラスを「ひとことで」作る機能。

```
enum RPS { ROCK, PAPER, SCISSORS }
```

- これにより以下のようなメソッドを持つクラスが作られる:
- static RPS RPS.ROCK, RPS.PAPER, RPS.SCISSORS --- 3 つの値に対応するインスタンスを保持する final 変数 (定数)
- public static RPS[] values() --- 3 つの値を格納した配列
- public static valueOf(String s) --- 文字列から 3 つの値に変換
- public int ordinal() --- 何番目の値かを返す

□ enum はクラスなのでメソッドを追加したりできる→それを利用したじゃんけんの手の main()

```
import java.util.*;

public class Sample2 {
  public static void main(String[] args)
      throws Exception {
    final int n = 5;
    RPS[] a = new RPS[n], b = new RPS[n];
    Scanner sc = new Scanner(System.in);
    for(int i = 0; i < 3; ++i) {
      a[i] = RPS.newHand(); b[i] = RPS.newHand();
    }
    for(int i = n-2; i < n; ++i) {
      System.out.print("a hand? ");
      a[i] = RPS.valueOf(sc.nextLine());
      System.out.print("b hand? ");
      b[i] = RPS.valueOf(sc.nextLine());
    }
    for(int i = 0; i < n; ++i) {
      String s = "draw";
      if(a[i].winlose(b[i]) > 0) s = "a win";
      if(a[i].winlose(b[i]) < 0) s = "b win";
      System.out.println(a[i] +  ":" + b[i] +
        " --- " + s);
    }
  }
}
```

- Java ではヘッダファイルがなく、前方参照も OK(コンパイラの作りがより新しい感じ)
- 「配列オブジェクトを作る」ことと「そこに入れるオブジェクトを作る」ことは常に別。(値の配列なら 0 が入るのだけど…)
- 構文上の細工はあまりなく、基本的にすべてメソッド呼び出し形式だけで書く。

□ クラス RPS は…enum なので制約があるがインスタンス変数やメソッドを持たせることができる

```
enum RPS {
  ROCK, PAPER, SCISSORS;
  static final int[][] wl = {
    {0,-1,1}, {1,0,-1}, {-1,1,0}};
  public int winlose(RPS r) {
    return wl[ordinal()][r.ordinal()];
  }
  public static RPS newHand() {
    RPS[] hands = values();
    return hands[(int)(Math.random()*hands.length)];
  }
}
```

- static の意味は C++と同じ。
- winlose は勝ち負けに応じて「正負零を返す」ようにした。
- enum でなく普通のクラスの例→次の節で

4.7 分数電卓:C++版

□ 分数をあらわすクラスを用意する。方針としては 2 つの数 a、b で分数 a/b を表す。まず宣言部。

```
class Rational { // a/b
  int a, b;
  int gcd(int x, int y);
```

```
public:
  Rational(int x);
  Rational(int x, int y);
  Rational operator+(const Rational& r) const;
  Rational operator-(const Rational& r) const;
  Rational operator*(const Rational& r) const;
  Rational operator/(const Rational& r) const;
  friend ostream& operator<<(ostream& o, Rational& r);
  friend istream& operator>>(istream& i, Rational& r);
};
```

- private 部分には変数と補助関数 GCD(最大公約数)。
- コンストラクタは値 1 つ (分母 1) と 2 つ。
- 四則は演算子。
- 分母 0 になる場合は NaN (Not a Number)。
- 入出力は単独関数として定義した演算子「>>」と「<<」。(なぜ単独関数かというと、クラス istream や ostream に後からメソッドの追加はできないから。) 第 1 引数は入出力ストリーム。firend 宣言は「この関数は特別にこのクラス定義の中身 (private 部分) にアクセスできる」という意味。

□ 実装部分。

```
int Rational::gcd(int x, int y) {
  while(x != y) if(x > y) x -= y; else y -= x;
  return x;
}
Rational::Rational(int x) { a = x; b = 1; }
Rational::Rational(int x, int y) {
  if(y == 0) { a = b = 0; return; }
  if(x == 0) { a = 0; b = 1; return; }
  if(y < 0) { x = -x; y = -y; }
  if(x == 0) {
    a = x; b = y;
  } else if(x > 0) {
    a = x / gcd(x,y); b = y / gcd(x,y);
  } else {
    a = x / gcd(-x,y); b = y / gcd(-x,y);
  }
}
Rational Rational::operator+(const Rational& r) const {
  return Rational(a*r.b + r.a*b, r.b*b);
}
Rational Rational::operator-(const Rational& r) const {
  return Rational(a*r.b - r.a*b, r.b*b);
}
Rational Rational::operator*(const Rational& r) const {
  return Rational(a*r.a, r.b*b);
}
Rational Rational::operator/(const Rational& r) const {
  return Rational(a*r.b, r.a*b);
}
ostream& operator<<(ostream& o, Rational& r) {
  if(r.b == 0) o << "NaN";
  else o << r.a << '/' << r.b;
  return o;
}
istream& operator>>(istream& i, Rational& r) {
  int a, b; i >> a >> b;
  r = Rational(a, b); return i;
}
```

- 面倒な「約分」の計算はコンストラクタで。

□ メイン部分。

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <cstdlib>
using namespace std;

// ここにヘッダ部分
// ここに実装部分

int main(void) {
  Rational r(1), x(0);
  while(true) {
    char c; cout << "? "; cin >> c;
    if(c == 'q') return 0;
    switch(c) {
case 'q': return 0;
case '=': cin>>x; r = x; break;
case '+': cin>>x; r = r + x; break;
case '-': cin>>x; r = r - x; break;
case '*': cin>>x; r = r * x; break;
case '/': cin>>x; r = r / x; break;
default: continue;
    }
    cout << r << '\n';
  }
}
```

- 1 文字読んでコマンド文字によって動作を切替え。例:

```
? = 1 3  ← 1/3 を入れる
1/3      ←現在値
? + 1 6  ← 1/6 を足す
1/2      ←現在値
q        ←おしまい
```

4.8 分数:Java 版

□ C++版と同じ方針で実装。こちらはメイン側から。

```
import java.util.*;

public class Sample3 {
  public static void main(String[] args)
      throws Exception {
    Scanner sc = new Scanner(System.in);
    Rational r = new Rational(1);
    while(true) {
      System.out.print("? ");
      String s = sc.nextLine();
      if(s.charAt(0) == 'q') return;
      Rational x = new Rational(s.substring(1));
      switch(s.charAt(0)) {
case '=': r = x; break;
case '+': r = r.add(x); break;
case '-': r = r.sub(x); break;
case '*': r = r.mul(x); break;
case '/': r = r.div(x); break;
default: continue;
      }
      System.out.println(": " + r);
    }
  }
}
```

- こちらはコンストラクタに文字列を渡せるように作った。文字列を空白で区切って扱うクラス StreamTokenizer を活用。
- 動かし方は C++版と同じ。

□ Rational クラスは内容的にはほぼ同じ。

```
class Rational {
  int a = 0, b = 0; // b == 0 -> Not a Number
  public Rational(String s) {
    try {
      StringTokenizer tok = new StringTokenizer(s);
      if(tok.countTokens() == 1) {
        a = Integer.parseInt(tok.nextToken()); b = 1;
      } else if(tok.countTokens() == 2) {
        a = Integer.parseInt(tok.nextToken());
        b = Integer.parseInt(tok.nextToken());
      }
    } catch(Exception ex) { }
  }
  public Rational(int x) { a = x; b = 1; }
  public Rational(int x, int y) {
    if(y == 0) { return; }
    if(x == 0) { a = 0; b = 1; return; }
    if(y < 0) { x = -x; y = -y; }
    if(x == 0) {
      a = x; b = y;
    } else if(x > 0) {
      a = x / gcd(x,y); b = y / gcd(x,y);
    } else {
      a = x / gcd(-x,y); b = y / gcd(-x,y);
    }
  }
  public Rational add(Rational r) {
    return new Rational(a*r.b + r.a*b, r.b*b);
  }
  public Rational sub(Rational r) {
    return new Rational(a*r.b - r.a*b, r.b*b);
  }
  public Rational mul(Rational r) {
    return new Rational(a*r.a, r.b*b);
  }
  public Rational div(Rational r) {
    return new Rational(a*r.b, r.a*b);
  }
  public String toString() {
    if(b == 0) return "Nan"; else return a + "/" + b;
  }
  private int gcd(int x, int y) {
    while(x != y) if(x > y) x -= y; else y -= x;
    return x;
  }
}
```

- 演算子定義はないので適当なメソッド名をつける。
- 出力も演算子はないので toString() で文字列への変換方法を定める (文字列が必要なときは自動的にこれが呼ばれる)。

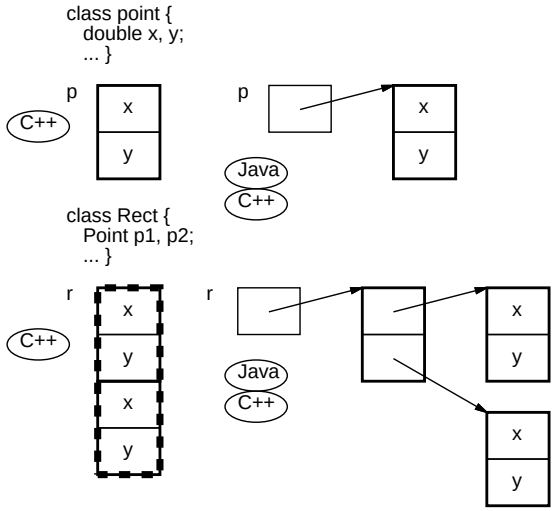
4.9 値とオブジェクト

□ C++も Java も「値」と「オブジェクト」を区別している。

- 値〜数値、文字、論理値。
- オブジェクト→ C++でも Java でもクラスにより定義。
- ポインタ型/参照型→ C++にのみ存在。Java ではオブジェクト値は全部ポインタのようなもの。

□ C++と Java で一番違うところは:

- C++ではオブジェクトは「配列や実行スタック上に直接その記憶域を配置できる。外に配置するときはポインタを使う。
- Java オブジェクトはすべてヒープ上のオブジェクト。オブジェクトはすべてポインタで扱う (Java の用語では「参照」) →最も重要な単純化。動的データ構造や多態のためにはどのみち参照が必要。そのため、すべてポインタに統一している。そのために遅い面も。



- そのため、Java ではごみ集め (GC、後述) が必須。C++ではごみ集めはオーバヘッドがあるので言語本体としては提供しない→手動メモリ管理が前提 (うまくやれば効率はよいが面倒、間違えるとメモリリークしたり落ちたりする)。

□ C++はオブジェクトも書き方を値に近くできる。Java はそれはしない。

- C++では「==」などの演算子を定義できる→オブジェクトでも演算子を使って書く。
- Java では「値→演算子」「オブジェクト→メソッド」ときっぱり区分されている。「v1 == v2」(値)、「o1.equals(o2)」。もしオブジェクトに「o1 == o1」を使うと「ポインタ比較 (同一のオブジェクトかどうかを調べる)」になる。

□ オブジェクトの初期設定と後始末は…

- C++ではコンストラクタとデストラクタ (名前が「〜クラス名」) を用意する。

- ローカル変数のオブジェクトはスコープに入った時にコンストラクタが呼ばれ、出るときにデストラクタが呼ばれる。
- ヒープ上のものは「new クラス名 (…)」でメモリ割り当て+コンストラクタ、「delete オブジェクト」でデストラクタが呼ばれる。
- Java では「new クラス名 (…)」とメソッド finalize()。ただし後者は GC が領域を回収するときに呼ばれるので、呼ばれない場合も。

4.10 Java とごみ集め (GC)

□ Java のコード→どんどん必要なオブジェクトを生成し、使わないものは GC で回収、というスタイル。

- GC のオーバヘッドは織り込み済みという割り切りが必要。
- 自分で領域開放するよりずっとよい。自前でやるとコードが複雑化し、また重大な誤りの原因になりやすい。
- GC は Lisp あたりでは古くから使われているが、普通の手続き型言語で標準としたのは Java がはじめて

□ GC の原理: 変数から参照できるオブジェクト群を順次たどって行き、たどったという印をつける。印がつかなかった領域はごみとして回収

- その他、使っているオブジェクトだけコピーする方式、オブジェクトがそれぞれ何個所から指されているか常に数えおく方式などもある。
- GC で自動的に回収するためには「不要なデータ構造は指さないようにする」(指している所に null を入れるなどしてつながりを切る) ことが必要
- 「もう要らないからこれ回収して」とは言えない (なんで?)

4.11 プログラム構造

□ C++はクラスと単独関数 (と struct と union と) がある。Java はクラスのみ。

- C++では文字列→数値変換などは (C に由来する)atoi などの関数利用。
- Java ではそのようなものの置き場所として「Integer」「Double」などのクラスがある。
- これらのクラスは int や double の値を「オブジェクトにくるんで扱う」ためにも使われる。
- なぜかというと、Java では「オブジェクトでないと不便なこと」が色々ある。C++は (テンプレート機構を使って) オブジェクトでも値でも変わり無く扱えるようにするのが普通なのでその必要がない。

□ 分割コンパイル→C++はやはりちょっと古い。Java はよりスマート。

- C++はクラス定義+各メンバの定義。クラス定義はデータの定義+メソッドインタフェースの定義。ヘッダファイルに入れる (そうしないとオブジェクトの大きさが分からないので使う側がコンパイルできない)。テンプレートだとさらにそういう感じ。
- Java は 1 つのクラス定義に全部書く。インタフェース情報は.class ファイルに書き出され、分割コンパイル時はコンパイラがこれを参照する。

4.12 例外処理

□ 最近の言語で加わった新しい制御構造 (Lisp などでは古くからある)

□ もともとの問題: エラー検出はどうやるのがいいのか?

```
status = some_func(...);
if(status != OK) {
  エラー処理…
}
```

- どういう問題があるか?

□ 返り値が使えなくなってしまう

□ 広域変数にするとマルチスレッドとか問題

□ エラー処理が各所に挿入されると処理の流れが見づらい

- どこか 1 箇所で処理したいが goto はあまり使いたくない
- エラーに飛び出したために後始末が飛ばされたりすると困る

□ エラー処理のための制御構造を導入→「例外」処理

```
try {
  ... 何かあるかも知れない
  ... 処理をいくらでも書く
} catch(Exception ex) { ←エラー情報受け取り
  ここでまとめて処理
}
```

□ 例外を発生させる側は…

```
throw new 例外クラス名 (...); //Java
throw 例外クラス名 (); //C++
```

- ここまでの書き方は Java と C++でほとんど同じ。Java ではオブジェクトは全部ポインタだからこのままでいいが、C++では受け取るところをコピーを避けるため参照で受け取るのが普通。「catch(Exception& ex)」

□ 「どの範囲のエラー」という取捨選択が可能→クラスの階層関係

- Java では finally 句で「必ずやりたい後始末」が指定できる
- C++は finally がない→ローカル変数のデストラクタ等を活用

```
try {
  ...
  try {
    ... ←この中で起きたエラーで
  } catch(NumberFormatException e1) {
    ... ←数値書式エラーはここへ来る
  } finally {
    必ずやる後始末
  }
  ...
} catch(Exception ex) {
  ... ←他のエラーは直接ここへ来る
}
```

□ 受け止めなかった例外は?

- メソッド呼び出し側に返される (そこに try-catch があればそこで受け止められる)
- 最後まで受け止められなければプログラム実行を中止

□ 例外種別の分類→階層構造

- Java ではすべての例外が階層構造に統一→Throwable を受け止めれば必ずすべてが受け止められる

```
Throwable ←例外すべて
  Error ←システム上の問題
    OutofMemoryError
    ...
  Exception ←普通の例外
    IOException
    InterruptedException
    RuntimeException ←どこでも起きるような例外
      NumberFormatException
      NullPointerException
      ...
```

- C++では言語上は例外オブジェクトは何でもよい。すべてを受け止めたい場合は「catch(...)」というヘンなものを使う。

□ メソッドがどのような例外を返すかはコンパイラがチェック可能。

- いずれもメソッド引数の後に、C++は「throw (名前, …)」Java では「throws 種別, ...」という形。
- C++では「書かないと何でもよい」「受け止めなくてもよい」
- Java では「原則として自分が発生させる例外は明示」「自分が呼ぶメソッドで発生する例外は原則として受け止めて処理」
- Java で受け止めないでもいいのは自分も同じ例外を throws で明示している場合のみ。ただし、すべてのメソッドは「throws Error, RuntimeException」ははじめから指定されているものと見なされる

4.13 整数の集合: C++版

□ より複雑なものの例として「整数の集合」型を作ってみる。

```
static const int maxsize = 100;

class Intset { // set of strings
  int count;
  int arr[maxsize];
  void add1(int x); // internal use only
public:
  Intset();
  int size() const;
  bool is_in(const int i) const;
  Intset operator+(const Intset &s) const;
  Intset operator-(const Intset &s) const;
  Intset operator*(const Intset &s) const;
  class Overflow { };
  friend ostream& operator<<(ostream& o, Intset& s);
  friend istream& operator>>(istream& i, Intset& s);
};
```

- 実装の方針→配列を用いて整数の列を保持。とりあえず最大固定。
- インタフェースはとりあえず最低限:

□ 実装:

```
Intset::Intset() { count = 0; }
void Intset::add1(int x) {
  if(count+1 >= maxsize) throw Overflow();
  arr[count++] = x;
}
int Intset::size() const { return count; }
bool Intset::is_in(const int i) const {
  for(int k = 0; k < count; ++k)
    if(arr[k] == i) return true;
  return false;
}
Intset Intset::operator+(const Intset &s) const {
  Intset r = s;
  for(int k = 0; k < count; ++k)
    if(!s.is_in(arr[k])) r.add1(arr[k]);
  return r;
}
Intset Intset::operator-(const Intset &s) const {
  Intset r;
  for(int k = 0; k < count; ++k)
    if(!s.is_in(arr[k])) r.add1(arr[k]);
  return r;
}
Intset Intset::operator*(const Intset &s) const {
  Intset r;
  for(int k = 0; k < count; ++k)
    if(s.is_in(arr[k])) r.add1(arr[k]);
  return r;
}
```

```
ostream& operator<<(ostream& o, Intset& r) {
  o << "{ ";
  for(int k = 0; k < r.count; ++k) o << r.arr[k] << ' ';
  o << '}'; return o;
}
istream& operator>>(istream& i, Intset& r) {
  r.count = 0;
  while(i.peek() != '\n') {
    int x; i >> x; r.add1(x);
  }
  i.get(); return i;
}
```

- 下請けメソッド add1() はあふれチェックして要素を追加する。
- 演算のメソッドは 2 つの集合に含まれているかどうかをそれぞれチェックしながら動作。
- 出力は書くだけ。入力は読み込みながら add1() を呼ぶ。

□ メイン部分は先の例とほとんど代わらない

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <cstdlib>
using namespace std;

// ここにヘッダ部分
// ここに実装部分

int main(void) {
  Intset r, x;
  while(true) {
    char c; cout << "? "; cin >> c;
    if(c == 'q') return 0;
    switch(c) {
case 'q': return 0;
case '=': cin>>x; r = x; break;
case '+': cin>>x; r = r + x; break;
case '-': cin>>x; r = r - x; break;
case '*': cin>>x; r = r * x; break;
default: continue;
    }
    cout << r << '\n';
  }
}
```

4.14 整数の集合: Java 版

□ main 側。これもこれまでと同様。

```
import java.util.*;

public class Sample4 {
  public static void main(String[] args)
      throws Exception {
    Scanner sc = new Scanner(System.in);
    IntSet r = new IntSet();
    while(true) {
      System.out.print("? ");
      String s = sc.nextLine();
      if(s.charAt(0) == 'q') return;
      IntSet x = new IntSet(s.substring(1));
      switch(s.charAt(0)) {
case '=': r = x; break;
case '+': r = r.add(x); break;
case '-': r = r.sub(x); break;
case '*': r = r.mul(x); break;
default: continue;
      }
      System.out.println(": " + r);
    }
  }
}
```

□ クラス側

```
class IntSet {
  int[] arr;
  int count = 0;
  public IntSet(String s) {
    try {
      StringTokenizer tok = new StringTokenizer(s);
      arr = new int[tok.countTokens()];
      for(int i = 0; i < arr.length; ++i) {
        int x = Integer.parseInt(tok.nextToken());
        if(!is_in(x)) add1(x);
      }
    } catch(Exception ex) { }
  }
  public IntSet() { arr = new int[0]; }
  private IntSet(int c) { arr = new int[c]; }
  private void add1(int x) {
    if(count+1 >= arr.length) {
      int[] a = new int[arr.length*2 + 1];
      for(int i = 0; i < count; ++i)
        a[i] = arr[i];
      arr = a;
    }
    arr[count++] = x;
  }
  public int size() { return count; }
  public boolean is_in(int x) {
    for(int i = 0; i < count; ++i)
      if(arr[i] == x) return true;
    return false;
  }
  public IntSet add(IntSet r) {
    IntSet s = new IntSet(size() + r.size());
    for(int i = 0; i < count; ++i) s.add1(arr[i]);
    for(int i = 0; i < r.count; ++i)
      if(!is_in(r.arr[i])) s.add1(r.arr[i]);
    return s;
  }
  public IntSet sub(IntSet r) {
    IntSet s = new IntSet(Math.max(size(), r.size()));
    for(int i = 0; i < count; ++i)
      if(!r.is_in(arr[i])) s.add1(arr[i]);
    return s;
  }
  public IntSet mul(IntSet r) {
    IntSet s = new IntSet(Math.max(size(), r.size()));
    for(int i = 0; i < count; ++i)
      if(r.is_in(arr[i])) s.add1(arr[i]);
    return s;
  }
  public String toString() {
    if(count == 0) return "{ }";
    String s = "";
    for(int i = 0; i < count; ++i)
```

```
      s += " " + arr[i];
    return "{" + s.substring(1) + "}";
  }
}
```

- Java では配列は常に「別オブジェクトへの参照」になる
- 必要な容量を見積もってその大きさで用意し、容量が足りなくなったらより大きいものを用意して差し替え。
- 使わなくなった古い配列はごみ集めにより回収

4.15 整数の集合: C++2 版

□ C++でも配列が足りなくなったら増やせるようにするには…(クラス Intset 部分だけ差し替え)

```
class Intset { // set of strings
  int count, limit;
  int *arr;
  Intset(int c);
  void add1(int x);
  static int min(int x, int y) { return (x<y)?x:y; }
public:
  Intset();
  Intset(const Intset &s);
  ~Intset();
  Intset& operator=(const Intset& s);
  int size() const;
  bool is_in(const int i) const;
  Intset operator+(const Intset &s) const;
  Intset operator-(const Intset &s) const;
  Intset operator*(const Intset &s) const;
  friend ostream& operator<<(ostream& o, Intset& s);
  friend istream& operator>>(istream& i, Intset& s);
};
```

- 変数 arr は配列ではなく整数へのポインタ (=配列を指すポインタとして使う) に。
- 例外 Overflow は不要に。

□ コンストラクタで配列のサイズ指定。

```
Intset::Intset(int c) {
  count = 0; limit = c; arr = new int[c];
}
Intset::Intset() { count = limit = 0; arr = new int[0]; }
Intset::~Intset() { delete[] arr; }
void Intset::add1(int x) {
  if(count+1 >= limit) {
    int *a = new int[limit*2+1];
    for(int i = 0; i < count; ++i)
      a[i] = arr[i];
    delete[] arr; arr = a;
    limit = limit*2+1;
  }
  arr[count++] = x;
}
```

- デストラクタが必要に (このオブジェクトが不要になったら指している配列も不要になるから)。
- add1() で配列が満杯になったら増やす (Java 版と同様)。
- あとの演算子等は変更不要。これで完成…と思いますか?

□ ヘンなコンストラクタと演算子が増えていると思いませんでしたか?

```
Intset(const Intset &s);
Intset& operator=(const Intset& s);
```

- 「コピーコンストラクタ」と「代入演算子」。これらを用意しないとまずい (なぜか分かりますか?)

□ 通常のコピー (引数渡し等)、代入動作→オブジェクトのそれぞれのインスタンス変数をコピー。先のバージョンではこれでよかったが…

- 変数 arr をコピーする→ポインタのコピーであって配列はコピーされない (共有された状態になる) →それでは困る (副作用とか)。
- このため、「コピーコンストラクタ」と「代入演算子」を作成して、その中で arr が指す配列をコピーする。

□ 具体的なコード (この種のものとしては典型的)

```
Intset::Intset(const Intset &s) {
  arr = new int[s.count];
  limit = count = s.count;
  for(int i = 0; i < count; ++i)
    arr[i] = s.arr[i];
}
Intset& Intset::operator=(const Intset& s) {
  if(this != &s) {
    count = 0;
    for(int i = 0; i < s.count; ++i)
      add1(s.arr[i]);
  }
  return *this;
}
```

- 代入の場合は「自分への代入は何もしない」を入れておくのが通例。

4.16 書き換え可能/書き換え不能

□ 書き換え不能 (immutable) →オブジェクトの状態が変化しないこと

- Rational オブジェクトも Intset オブジェクトも内部的には変数を持っていて値が変化することは可能だが、外からメソッド経由で使っているぶんには値を変化させることはできない。
- 書き換え不能だと副作用の心配がない
- その代わりちょっとでも変更したいときは新しいオブジェクトを作ることになる

□ 書き換え可能 (mutable) →オブジェクトの状態が変化すること

- 例えば Rect で「moveTo(x,y) で位置移動」Intset で「add1(x) で直接集合に文字列 s を追加」などとすると書き換え可能になる
- 配列オブジェクトなどが書き換え可能なものの典型例
- CLU など「書き換えられない配列」を持つ言語もあった
- 書き換え可能だと変更する時の効率はよい
- その代わり思わぬ副作用が起きないか注意する必要がある

□ 自分がクラスを作る時はどちらにするか十分検討して考える

4.17 この節のまとめ

□ C++は C を土台にオブジェクト指向機能を追加して作った言語

- ポリシーとして「C と同程度の実行効率」。
- このため「プログラマが責任を持つ」ことは多め。

□ Java は C++のアンチテーゼとして「安全優先」で作られた言語

- このため「最初から危ないことはできない」言語設計。効率は犠牲に。

□ ここまでは抽象データ型 (ADT) としてのクラスの利用に限定して説明した (これだけでも十分重要だし複雑)。

- 次回はオブジェクト指向ならではの機能を取り上げる。

5 演習問題

□ 下記 (1)〜(4) のうちから 1 つ以上を選び実験を行い、結果をレポートせよ。やったことの説明や書いたコードだけでなく、計測の場合は方法まで説明し、きちんと考察まで書くこと。言語は特に指定していない場合、C++でも Java でもよい (両方でやって比べてみるとなおよい)。期限はリーダから指定。

□ (1) Rational オブジェクトや Intset オブジェクトの例題を動かし、その「足し算」などの演算が int や double などの数値の演算の何倍遅いか計測してみよ。計測する前に予測し、予測がどれくらい合っていたか検討すること。(予測はあてずっぽうではなく、何らかの根拠が必要)。

- ヒント: C++で時間計測をするには標準関数 clock() を利用するとよい。

```
#include <ctime>
...
clock_t t1 = clock();
計測したい処理
clock_t t2 = clock();
double sec = double(t2-t1)/CLOCKS_PER_SEC;
      ↑秒単位に換算
```

- ヒント: Java の時間計測には System クラスのクラスメソッド System.currentTimeMillis() を利用するとよい。

```
long t1 = System.currentTimeMillis();
計測したい処理
long t2 = System.currentTimeMillis();
long dt = t2 - t1; ←所要時間 (msec)
```

□ (2) 例題の RPS クラス、Rational クラス、Intset クラスと同様な抽象データ型を自分でも作り、「電卓」部分も合わせて直して動かせ (たとえば「復素数」「ベクトル」「方位」「時刻」など自由に考えてよい)。どんな演算やメソッドを用意するかも自分でデザインすること。なぜそうデザインしたかも報告する。

□ (3) 例題の Intset クラスはプログラム内で生成した整数データをもとに集合を作る方法を提供していない。これを追加せよ。次に、2 つの集合の大きさ M、N と和集合や積集合を計算するメソッドの実行時間との関係を、ある程度大きな M、N で複数通り試してグラフに描け。この実行時間を高速化する方法を考えて実装できるとなおよい。

- 注記: 実験用に乱数が必要なら「じゃんけん」の例題を参照。
- ヒント: 配列 arr 内で整数が大小順に整列されるようにしておくと、和集合や積集合の計算が速くできる。
- ヒント: 別の方法として、配列に順に詰めるのではなくハッシュ表などを使ってもよい。API ドキュメントで調べて Java 標準ライブラリに含まれるハッシュ表のクラスを活用してもよい。

□ (4) 2 つの Intset どうしが同じ集合であるかどうかを判断するメソッドを実装せよ。また、その性能について前 2 問と同様に所要時間のモデルを考え、計測により確認し、さらに改良を試みよ。

- 注記: 前 2 問で行なった改良が含まれた状態でやってもよい。
- ヒント: 集合に含まれる文字列群全体のハッシュ値を計算し、集合が異なればハッシュ値も異なるようにしておくと、異なる場合の判断はすごく速くできる。