プログラミングプロジェクト＃5 – 2次元配列と画像

久野 靖 (電気通信大学)

2017.8.16

1 はじめに

今回の主な内容は次の通りです。

- 2次元配列・レコード型と画像の表現
- さまざまな形の描画

ここまでは数値の題材ばかりでしたが、コンピュータでは画像や音など任意のディジタル情報が扱えます。ここでは画像を扱うことで、「自分が構想したものを作る」という経験をぜひ持って頂きたいと思います。

2 前回演習問題の解説

2.1 演習1 — 合計

引き算は簡単ですが、ちょっとひねって負の数にしてsumというのもありかと思います。一通り作ってみました(短いメソッドは1行に書いています)。

これまでの数値を覚えるためには`$list`という配列を用意し、数値をこの後ろに追加して覚えて行きます。`reset`の時は現在の値とこの`$list`を別の変数に退避しておき、`undo`では退避しておいたものを元に戻します。

```
$x = 0; $sx = 0; $list = []; $slist = [];
def sum(v) $x = $x + v; $list.push(v); return $x end
def dec(v) sum(-v) end
def list() p($list, $x) end
def reset() $sx = $x; $x = 0; $slist = $list; $list = [] end
def undo() $x,$sx = $sx,$x; $list,$slist = $slist,$list end
```

実行例を示します。

```
irb> sum 1
  => 1
irb> sum 2.5
  => 3.5       ←合計3.5
irb> dec 1.2   ←1.2を引く
  => 2.3
irb> list      ←履歴表示
[1, 2.5, -1.2] ←履歴
2.3            ←現在値
  => nil
irb> reset     ←リセット
```

```
  => []
irb> sum 1
  => 1         ←また 0 からの和
irb> undo      ←リセットを戻す
  => [[1, 2.5, -1.2], [1]]
```

undo したときは過去の結果/リストと現在のものを交換するので、2 回 undo すると元に戻ります。

2.2 演習 2 — RPN 電卓

これも一通り作ってみました (短いメソッドは 1 行に書いています)。演算を増やすのは基本的なやり型は前回示した add 等と同様で計算だけ変えればよいです。交換は 2 つの値を取り出して逆に入れればよいです。演算した内容を覚えるために、s というメソッドを用意しました。このメソッドは渡された値を文字列に変換して広域変数$str の後ろに連結して行きます。これがあれば、show はこの変数の内容を打ち出せばよいだけです (ついでに演算結果も打ち出していますが)。

```
$vals = []; $str = ''
def clear() $vals = []; $str = '' end
def s(x) $str = $str + ' ' + x.to_s end
def show() p($str, $vals[$vals.length-1]) end
def e(x) $vals.push(x); s(x); return $vals end
def add
  x = $vals.pop; $vals.push($vals.pop + x); s('+')
  return $vals
end
def sub
  x = $vals.pop; $vals.push($vals.pop - x); s('-')
  return $vals
end

def mul
  x = $vals.pop; $vals.push($vals.pop * x); s('*')
  return $vals
end
def div
  x = $vals.pop; $vals.push($vals.pop / x); s('/')
  return $vals
end
def exch
  x = $vals.pop; y = $vals.pop; s('x')
  $vals.push(x); $vals.push(y); return $vals
end
```

実行のようすを示します。

```
irb> e 1
  => [1]
irb> e 2
  => [1, 2]
irb> e 3
```

```
  => [1, 2, 3]  ←1、2、3を入れたところ
irb> mul        ←掛けたら6
  => [1, 6]
irb> add        ←足したら7
  => [7]
irb> show
" 1 2 3 * +"    ←履歴表示
7
  => nil
irb> e 4        ←さらに7を入れ
  => [7, 4]
irb> exch       ←交換
  => [4, 7]
irb> sub        ←引き算
  => [-3]
```

作ってみると、スタックを使った計算のようすがよく分かると思います。

2.3 演習3 — 再帰関数

これらは定義のとおり再帰関数にすればできるので、まずはコードを示します。

```
def fact(n)
  if n == 0 then return 1
  else           return n * fact(n-1)
  end
end
def fib(n)
  if n < 2 then return 1
  else          return fib(n-1) + fib(n-2)
  end
end
def comb(n, r)
  if r == 0 || r == n then return 1
  else                     return comb(n-1, r) + comb(n-1, r-1)
  end
end
def binary(n)
  if n == 0 then        return "0"
  elsif n == 1 then     return "1"
  elsif n % 2 == 0 then return binary(n / 2) + "0"
  else                  return binary((n-1) / 2) + "1"
  end
end
```

実行例も一応示しておきます。

```
irb> fact 4
  => 24
irb> fact 5
```

```
  => 120
irb> fib 2
  => 2
irb> fib 3
  => 3
irb> fib 4
  => 5
irb> comb 5, 2
  => 10
irb> comb 6, 2
  => 15
irb> binary 5
  => "101"
irb> binary 7
  => "111"
irb> binary 8
  => "1000"
```

2.4 演習 4 — 順列

問題のヒントにも書いたように、配列から 1 つずつ要素を取って出力用の列に入れますが、そのとき取った要素のところには `nil` を入れることで重複して取らないようにします。呼び出し方を覚えておかなくて済むように `perm` には配列だけ渡し、それが再帰用のメソッド `perm1` を「残った長さ、元の配列、空の配列」をパラメタとして呼び出しています。

```
def perm(a)
  perm1(a.length, a, [])
end
def perm1(n, a, b)
  if n == 0 then p(b); return end
  a.each_index do |i|
    if a[i] == nil then next end
    b.push(a[i]); a[i] = nil; perm1(n-1, a, b); a[i] = b.pop
  end
end
```

`perm1` の方では、残った長さが 0 なら出力しておしまいです。そうでない場合は `a` の各要素を順番に見ますが、そのときそこに入っているのが `nil` であれば「ループの次に進み」ます (next の機能)。そうでない場合は、配列 `b` にその要素を追加し、配列 `a` のその場所には `nil` を入れて自分自身を再帰で呼び出します (もちろん `n` は 1 減らす)。戻ってきたら、`b` の最後を取り除いてそれを `a[i]` に戻します。このように、それぞれが自分が変更したことは元通りにすることで、全体としてうまく動きます。実行例は次の通り。

```
irb> perm [1, 2, 3]
[1, 2, 3]
[1, 3, 2]
[2, 1, 3]
[2, 3, 1]
[3, 1, 2]
[3, 2, 1]
```

```
  => [1, 2, 3]
irb>
```

3　2次元配列と画像の表現

3.1　2次元配列の生成

2次元配列 (配列の配列) を用いた前回の演習問題では、直接すべての値を「[[a, b], [c, d]]」のように指定することで2次元配列を生成していました。しかしこの方法は大きさが大きくなるととても大変です。1次元 (1列) の配列を作る時に、ブロックを使って初期値を設定する方法がありました。

```
a = Array.new(100) do |i| 2*i end
```

これを応用することで大きな2次元配列を作ることができます。つまり、ブロックの中にさらに Array.new(...) を入れれば、「配列が並んだ配列」つまり2次元配列ができるからです。

```
a = Array.new(10) do Array.new(10, 1) end
  # 10 × 10 ですべて「1」の行列
a = Array.new(10) do |i| Array.new(10) do |j| i*j end end
  # 「九九の表」
```

「2次元配列」と言いましたが、実際には図1のように配列のそれぞれの要素が配列、という構造になっています。でも普段はもっと簡単に「縦横2次元に要素が並んでいる」というイメージで問題ないでしょう。

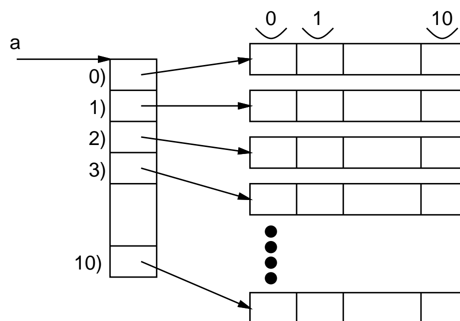


図 1: 2次元配列

演習 1 5 × 5 の2次元配列で、次の図の (a)〜(d) のような内容のものをブロックつきの Array.new() を使って生成してみなさい。

(a)

0	1	2	3	4
-1	0	1	2	3
-2	-1	0	1	2
-3	-2	-1	0	1
-4	-3	-2	-1	0

(b)

1	0	0	0	0
1	1	1	1	1
1	2	4	8	16
1	3	9	27	81
1	4	16	64	256

(c)

1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1

(d)

1	0	0	0	1
0	1	0	1	0
0	0	1	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	0	1

なお、2次元配列を irb で表示するときは「pp」というメソッドを使うと見やすくできます。ただしこれを使うには「require 'pp'」というおまじないを実行させておく必要があります。

```
irb> require 'pp'    ← pp を使うための準備
  => true
```

```
irb> a = Array.new(5) do |i| Array.new(5) do |j| i*j end end
  => [[0, 0, 0, 0, 0], [0, 1, 2, 3, 4], [0, 2, 4, 6, 8],
   [0, 3, 6, 9, 12], [0, 4, 8, 12, 16]]  ←見やすくない
irb> pp a           ← pp を使うと
[[0, 0, 0, 0, 0],   ←そろえてくれる
 [0, 1, 2, 3, 4],
 [0, 2, 4, 6, 8],
 [0, 3, 6, 9, 12],
 [0, 4, 8, 12, 16]]
  => nil
```

3.2 レコード型の利用

前章で説明したように、配列が「同じ型 (種類) の値が並んだもので、添字 (番号) により要素を指定する」のに対し、**レコード**は「違う型 (種類) の値でもよい、複数の値が組み合わさったもので、どの値 (フィールド) かは名前で指定する」ものでした。Ruby ではレコード型は `Struct.new` を使ってまずレコードクラスを定義し、その後そのレコードクラスを使って個々のレコード (データ) を作ります。具体的には、レコードクラスの定義は次のようにします。[1]

```
レコード名 = Struct.new(:名前, :名前, ...)
```

ここで「:名前」は**記号** symbol リテラルと呼ばれるもので、これによりフィールドの名前が指定できます。個々のレコードを作るのは次によります。

```
p = レコード名.new(値, 値, ...)
```

これによりレコード型の値が作られ、指定した値が各フィールドの初期値になります (順番はレコード定義の時に指定した順になります)。上の例ではそのレコードを変数 `p` に入れています。

たとえば、コンピュータ上で画像を扱う時は、多数の**ピクセル** (pixel — 画素とも呼び、画面上の小さな点に対応) として扱うこと、そして各ピクセルの色は赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の強さを 0〜255 の範囲の整数で表す方法が多く使われることはご存じと思います。このピクセルの情報を表すレコードを定義してみましょう。

```
Pixel = Struct.new(:r, :g, :b)
```

実際にこのレコードを使う時は、次のようになります。

```
p = Pixel.new(255, 255, 255)  # RGB とも 255 の値
```

Ruby では配列の時と同様、レコードも new を使って作り出さないと使えないのに注意してください。一旦作り出したあとは、「`p.r`」「`p.g`」「`p.b`」のように変数名の後にレコードのフィールド名をつけ加えたものが通常の変数と同様に使えます。配列と似ていますが、レコードの場合はフィールドは「名前」なので、プログラムを書いた時に決まってしまい、実行時には固定という点が違います。

3.3 ピクセルの 2 次元配列による画像の表現

さて、ピクセル 1 個の説明が終わったので、今度はこれを「2 次元に (縦横に) 並べて」画像を作ることを考えます (図 2 左)。これを Ruby で表現する場合、各 Pixel を上で説明したように Ruby のレコード型で表現し、それを縦横に並べるわけです。たとえば縦方向 (高さ) が 200 ピクセル、横方向 (幅) が 300 ピクセルの画像を作るとします。そのためには、先に学んだ 2 次元配列の初期化のとき、個々の要素をピクセルにすればよいのです。

```
$img = Array.new(200) do Array.new(300) do Pixel.new(255,255,255) end end
```

これによって作られるデータ構造は図 2 右のようになります。

[1] レコード名は大文字で始まらなければなりません。

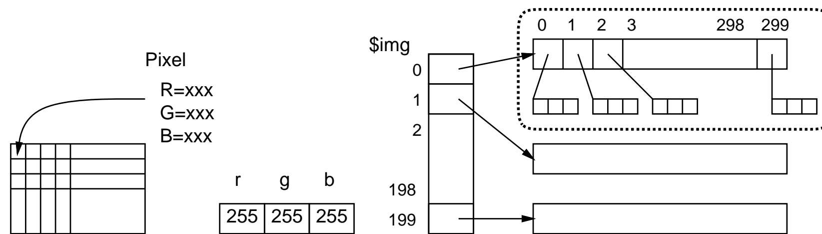


図 2: 画像のデータ構造とレコードの 2 次元配列

3.4 画像中の点の設定と書き出し

画像が無事生成できましたが、このままでは RGB 値とも「255」(最も明るい値) なので「真っ白」な状態です。そこで次に、指定した座標 (x, y) の点 (ピクセル) を指定した RGB 値に書き換えるメソッドを作ります。

```
def pset(x, y, r, g, b)
  if 0 <= x && x < 300 && 0 <= y && y < 200
    $img[y][x].r = r; $img[y][x].g = g; $img[y][x].b = b
  end
end
```

if 文は何のためにあるかというと、X 座標と Y 座標が画像の範囲内 (ここでは 0〜299、0〜199) に入っているときだけ書き込むようにするためです。こうしておくと、呼び出す側で間違って (または簡単のため) 画像のふちを越えた場所に書き込む呼び出しをしても単に無視できます。

さて次に、こうして画像中に書き込むことができるようになりましたが、画像を実際に「見る」ためには何らかのファイル形式で書き出す必要があります。ここではできるだけ簡単な形式として **PPM** 形式を選び、その形式でファイルに書き出すメソッド `writeimage` を作りました。[2]

```
def writeimage(name)
  open(name, "wb") do |f|
    f.puts("P6\n300 200\n255")
    $img.each do |a| a.each do |p| f.write(p.to_a.pack('ccc')) end end
  end
end
```

メソッドの説明は次の通りです。

- `writeimage` は画像のファイル名 (文字列) を指定して呼び出す。
- `open` は指定した名前のファイルをバイナリ (binary) 形式で書き出す (write) 準備をして、その出力チャネル (データの通り道) をブロックに渡して呼び出す。
- ここではブロックでチャネルを `f` という名前で受け取る。
- まず、ファイルに「P6 300 200 255」と出力する。これは「PPM 画像のカラー形式で、幅 300 ×高さ 200、RGB 値の最大は 255」を表す指定になっている。[3]
- 続いて、画像の 2 次元配列の各行について、さらにその行の中の各ピクセルについて、(1) ピクセルを配列に変換し (`p.to_a`)、その配列を 3 バイトのバイナリデータに変換し (`.pack('ccc')`)、ファイルに書き込む (`f.write(…)`)。

[2]普段私たちが Web などで見ている画像形式は GIF、JPEG、PNG などで、ブラウザもこれらの画像を表示するようにできていますが、これらのファイル形式は圧縮などの機能が備わっているため、そんなに簡単なコードで書き出すことができないのです。

[3]画像ファイルの先頭にはだいたい、このような形で画像の種別やサイズを記述したデータが置かれています。この部分のことをヘッダ (header) などと呼びます。

3.5 例題: 画像を生成し書き出す

ではいよいよ、画像を作って書き出すメインのメソッドまで含めた全体像を見て頂きましょう。

```
Pixel = Struct.new(:r, :g, :b)
$img = Array.new(200) do Array.new(300) do Pixel.new(255,255,255) end end
def pset(x, y, r, g, b)
  if 0 <= x && x < 300 && 0 <= y && y < 200
    $img[y][x].r = r; $img[y][x].g = g; $img[y][x].b = b
  end
end
def writeimage(name)
  open(name, "wb") do |f|
    f.puts("P6\n300 200\n255")
    $img.each do |a| a.each do |p| f.write(p.to_a.pack('ccc')) end end
  end
end
def mypicture
  pset(100, 80, 255, 0, 0)
  writeimage('t.ppm')
end
```

mypicture がメインになりますが、ここでは $(100, 80)$ の位置に真っ赤な点 (RGB のうち R だけが最大なので) を打ち、t.ppm というファイルに書き出します。実際にこれを動かすには、ターミナルの窓を「2 つ」開いて次のようにします。

- 片方の窓ではこれまで通り irb を動かし、mypicture を実行させる。
- もう片方の窓では、できあがった t.ppm を普通に表示できる形式に変換する。

  `convert t.ppm ~/Desktop/t.png` ← PNG 形式に

- そうすると、デスクトップに t.png が現れるので、これを開くと画像が見える。

生成された画像を図 3 にお見せします (赤い点が小さすぎてほとんど分からないと思いますが…)。

図 3: 赤い点が 1 個

演習 2 上の例題を打ち込み、そのまま動かしなさい (色の RGB 値は 0〜255 の範囲で適宜変えてみるとよいでしょう)。動いたら、次のように変更してみなさい。

a. 水平または垂直または斜め (右上がり) に線を引くようにしてみる。

b. 長方形または円形を描いてみる (輪郭だけ描くのでも内側を指定した色で塗りつぶすのでもよい)。
c. 三角形を描いてみる (塗りつぶすのは多少工夫が必要かと)。
d. その他、好きな図形や模様や色を表現してみる。

mypicture の中にコードを追加して pset を呼び出すことを想定していますが、場合によってはさらにメソッドを追加する方が作りやすいかも知れません。

なお、上のコードの pset は「Y 座標が大きいほど下」に点を打ちます。コンピュータ上の画像は伝統的にこうなっていますが、皆様は「Y 軸が上向き」に慣れているので、pset を直して使う方がいいかも知れません。

3.6 計算により図形を塗りつぶす

先の練習問題はどうでしたか。グラフのように「x を変えながら y=f(x) を計算して pset(x, y, ...)」と考える人が多いと思いますが、実はこの方法で輪郭線を描くと細かったり途切れたりしてあんまりよくありません。[4] むしろ図 4 のように「塗りつぶす」方がきれいにできやすいです。

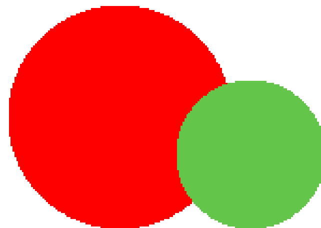


図 4: 2 つの内部まで色を塗った円

このような塗りつぶしをおこなうメソッド fillcircle を見てみましょう。

```
def fillcircle(x0, y0, rad, r, g, b)
  200.times do |y|
    300.times do |x|
      if (x-x0)**2 + (y-y0)**2 <= rad**2 then pset(x, y, r, g, b) end
    end
  end
end
```

このメソッド内では、times の中にさらに times、つまりループの中にさらにループがあるので、このようなものを **2 重ループ**と呼びます。この内側での 2 つの変数の進み方は、次のようになります。

```
0,0  0,1  0,2,  0,3  0,4  ....  0,288 0,299
1,0  1,1  1,2,  1,3  1,4  ....  1,288 1,299
2,0  2,1  2,2,  2,3  2,4  ....  2,288 2,299
...
...
```

[4]途切れないように工夫したとしても、「1 ピクセル幅」というのは今日の画面解像度では「極めて細い」線になりますから。

```
198,0  198,1  198,2,  198,3  198,4  ....  198,288 198,299
199,0  199,1  199,2,  199,3  199,4  ....  199,288 199,299
```

縦横に揃えて書いてありますが、要は外側ループで y の値を 0〜199 まで変化させ、**そのそれぞれの値について**内側の x の値を 0〜299 まで変化させせます。そして、これで画像上のすべての点 (座標) を洩れなく列挙しているわけです。つまり、ここで列挙される (x, y) の集合は次のようになるわけです (これが画像の全範囲)。

$$\{\ (x, y) \mid 0 \leq x < 300,\ 0 \leq y < 200\ \}$$

ところで、円というのは中心 (x_0, y_0) からの距離が rad 以内の点の集合ですから、次のように表せます。

$$\{\ (x, y) \mid |(x, y) - (x_0, y_0)| \leq rad\ \}$$

これをプログラムで扱いやすいように、距離の 2 乗を使う形に直します。

$$\{\ (x, y) \mid (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2\ \ \leq\ \ rad^2\ \}$$

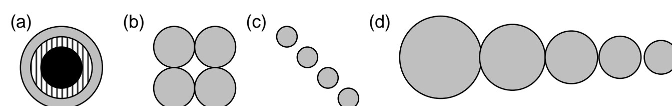
さて、先のコードでは 2 重ループの内側に if 文がありますが、その条件がまさにこの条件であり、従って「円に含まれるすべての点 (x, y) に対して色を設定する (塗る)」ことになるわけです。

実際にはこれを呼び出す必要があるので、円を 2 つ描き、ファイルに画像を書き出すメソッドを `mypicture1` という名前で用意しました (その結果が図 4 なのでした)。

```
def mypicture1
  fillcircle(110, 100, 60, 255, 0, 0)
  fillcircle(180, 120, 40, 100, 200, 80)
  writeimage("t.ppm")
end
```

長方形などさまざまな図形についても、このように「すべての点のうち、図形内部に含まれるという条件を満たす点のみに色を設定する」という形でコードを作ることができます

演習 3 円を塗るメソッドを先のプログラムに追加して動かせ。動いたら、`fillcircle` の呼び出し方を調節して、次の図のように円を配置してみよ。



演習 4 次のような手続きを追加して円以外の図形を塗ってみよ。

a. ドーナツ型を塗るメソッド。
b. 長方形または楕円を塗るメソッド。
c. 三角形を塗るメソッド。
d. その他、自分の好きな形を塗るメソッド。

演習 5 どの図形でもよいが、色を塗る際に、単色で単純に塗るのでなく、次のような塗り方ができるようにしてみよ。

a. 2 色を指定して、ストライプ、ボーダー、チェックなどで塗れるようにする。
b. 色を塗る際に、「重ね塗り」できるようにしする。つまり**透明度** (transparency)$0 \leq t < 1$ を指定し、各 R/G/B 値について単に新しい値で上書きする代わりに $t \times c_{old} + (1 - t) \times c_{new}$ のように混ぜ合わせた値にする。

c. 徐々に色調が変わっていくようにする。(注意: RGB 値は 0〜225 の「整数」でなければならない! 実数で計算した場合はその値が x の場合、「x`.to_i`」で小数部分を切り捨てて整数にできる。)
d. ぼやけた形、ふわっとした形などを表現してみよ。
e. その他、美しい絵を描くのにあるとよい機能を工夫してみよ。

演習 6 何か好きな絵を生成してみなさい。

本日の課題 **5A**

「演習 2」または「演習 3」で動かしたプログラム (どれか 1 つでよい) を含むレポートを提出しなさい。プログラムと、簡単な説明が含まれること。アンケートの回答もおこなうこと。

Q1. 画像のデータ構造について学びましたが、納得しましたか。

Q2. どのような画像を生成してみたいと考えていますか。

Q3. 本日の全体的な感想と今後の要望をお書きください。

次回までの課題 **5B**

「演習 1」〜「演習 6」の (小) 課題から選択して 2 つ以上プログラムを作り、レポートを提出しなさい。プログラムと、課題に対する報告・考察 (やってみた結果・そこから分かったことの記述) が含まれること。アンケートの回答もおこなうこと。

Q1. 簡単なものなら自分が思った画像が作れますか。

Q2. うまく画像を作り出すコツは何だと思いますか。

Q3. 課題に対する感想と今後の要望をお書きください。