

Fortran90/95の基礎

後半

担当： 臼井英之、三宅洋平
(神戸大学大学院システム情報学研究科)

目標

- 本演習で用いる数値計算用プログラム言語「Fortran90/95」の基礎を習得する。

参考資料:

TECS-KOBE 第二回シミュレーションスクール(神戸大学) 2010/12/6: Fortran 講義ノート (平尾 一)
「Fortran90/95入門」 2010年度計算科学演習I 講義資料、神戸大院システム情報学専攻・陰山聡
(http://exp.cs.kobe-u.ac.jp/wiki/comp_practice/2010/index.php)

予定

1. イン트로ダクション
2. 入出力
3. 変数の型
4. 演算の基礎
5. 条件の扱い
6. 繰り返し処理
7. 副プログラム
8. 配列
9. 数値計算に向けて
10. 付録

前半

後半

繰り返し処理

Doループ

演習b1

例1 1~10まで出力したい

```

program sample_do
!-----
implicit none
integer :: i
!-----
do i=1,10
write(6,*) i
end do
!-----
end program sample_do

```

制御変数iの増分値は
デフォルトで1

1以外の増分値を使う場合

```

do i=1,100,2
...
end do

```

結果

```

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

```

例2

```

program sample_do2
!-----
implicit none
!-----
write(6,*) 1
write(6,*) 2
write(6,*) 3
write(6,*) 4
write(6,*) 5
write(6,*) 6
write(6,*) 7
write(6,*) 8
write(6,*) 9
write(6,*) 10
!-----
end program sample_do2

```

面倒、非効率的

×

増分値が規則的な時に便利

演習: sample_do.f95を作成し
結果を確かめよ。

Doループの活用：和の計算

演習b2

例 1~10の和をとる

```
program sample_dosum
!-----
implicit none
integer :: i, isum
!-----
isum = 0
do i=1,10
  isum = isum + i
end do
write(6,*) isum
!-----
end program sample_dosum
```

和の初期値の設定

isumに、順にiを
足し込んで行く

結果

```
./a.out
55
```

和を求めるのに非常によく
使うパターン (重要)

isum = isum + i もともとのisum の値(右辺)にiを加えて、
isumに新しい値を入れる(左辺)

演習: sample_do.f95をコピーしてsample_dosum.f95を
つくり、動作を確認せよ。

Doループの回数を標準入力から指定できるように変更せよ。

多重ループ

例 i, j の値を出力している

```
program sample_domulti
!-----
implicit none
integer :: i, j
!-----
write(6,'(a)') " i j"
write(6,'(a)') "-----"
do i=1,3
do j=1,3
write(6,'(2i4)') i, j
end do
end do
!-----
end program sample_domulti
```

結果

i	j
1	1
1	2
1	3
2	1
2	2
2	3
3	1
3	2
3	3

内側のループが先に回る

Doループにおけるcycle文とexit文

例1

```
program sample_docycle
!-----
implicit none
integer :: i
!-----
do i=1,10
  if(i == 3) cycle
  write(6,*) i
end do
!-----
end program sample_docycle
```

次の制御変数の
処理へ飛ぶ

結果

```
1
2
4
5
6
7
8
9
10
```

例1

```
program sample_doexit
!-----
implicit none
integer :: i
!-----
do i=1,10
  if(i == 3) exit
  write(6,*) i
end do
!-----
end program sample_doexit
```

Doループから
抜け出る

結果

```
1
2
```

Doとは異なる繰り返し処理 (補足)

例1 1~10の数字を横向きに出力

```
program sample_do4
!-----
implicit none
integer :: i
!-----
write(6,'(10i4)') (i,i=1,10)
!-----
end program sample_do4
```

(f(i), i=m,n,d)

「iに依存する変数(配列)fを
i=m~nまでiの増分dで」という意味

結果

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

多重の場合

((f(i,j), j=m,n,d), i=m',n',d')

速

遅

副プログラム

サブルーチン

演習b3

例

```

program sample_subroutine
  implicit none
  #JISSU#
  real(SP) :: x, y
  write(6,*) "x?"
  read(5,*) x
  call nijo(x,y)
  write(6,'(a,f8.4)') 'x = ', x
  write(6,'(a,f8.4)') 'x^2 = ', y
end program sample_subroutine

!=====
subroutine nijo(x,y)
  implicit none
  #JISSU#
  real(SP), intent(in) :: x
  real(SP), intent(out) :: y
  y = x**2
  ! x = y
end subroutine nijo
!=====

```

x,y: 引数

Subroutineの呼び出し

x,y: 仮引数

入力用変数
出力用変数

結果

```

x?
2.5
x = 2.5000
x^2 = 6.2500

```

値を二乗するサブルーチン

特定の作業をsubroutineとして
まとめておき、callで呼び出す

演習: subroutine内のx=yを実行
してみよ。xの属性をinoutとしたと
きの結果も確認せよ。

引数／仮引数と入出力属性

引数／仮引数

①主プログラム

```
...  
call subtest(x,y)  
...
```

引数

②サブルーチン

```
subroutine subtest(a,b)  
...
```

仮引数

- 引数と仮引数の名前は違っていてもよいが、順番と型を揃えなければならない
- サブルーチンから別のサブルーチンを呼んでもよい

入出力属性

Intent(in): ①→②へと渡される変数(変更不可)

Intent(out): ②の処理の結果として①へと戻る値

Intent(inout): 両方の性質を持つ仮引数

入出力属性の指定はFortranのメリット

関数

例

```
program sample_function
  implicit none
  #JISSU#
  real(SP) :: nijo
  real(SP) :: x
  write(6,*) "x?"
  read(5,*) x
  write(6,'(a,f8.4)') 'x^2 = ', nijo(x)
end program sample_function
```

```
!=====
function nijo(x)
  implicit none
  #JISSU#
  real(SP) :: nijo
  real(SP), intent(in) :: x
  nijo = x**2
end function nijo
!=====
```

結果

```
x?
2.5
x^2 = 6.2500
```

関数名そのものが戻り
値のようになっている

sin(x)のような組込み関数を思い出してみましょう

モジュール：定数をまとめる

例

```
module module_constants
```

```
  implicit none
```

```
  integer, parameter :: SP = kind(1.0)
```

```
  integer, parameter :: DP = selected_real_kind(2*precision(1.0_SP))
```

```
  real(DP), parameter :: pi = 3.141592653589793238_DP
```

```
  real(DP), parameter :: planck = 6.62606896e-34_DP
```

```
end module module_constants
```

```
program sample_module1
```

```
  use module_constants
```

useによってモジュールの使用を宣言

```
  implicit none
```

```
  write(6,*) pi
```

```
  write(6,*) planck
```

```
end program sample_module1
```

結果

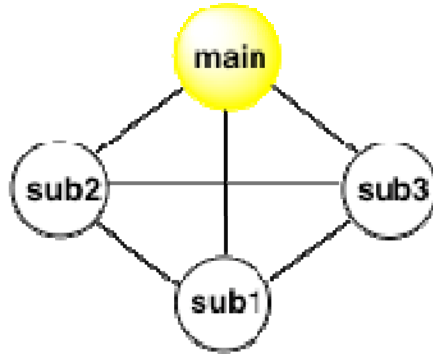
```
3.141592653589793  
6.6260689599999996E-034
```

- 同じ定数を何度も定義する必要がなくなる
- Moduleはmainプログラムの前に置く

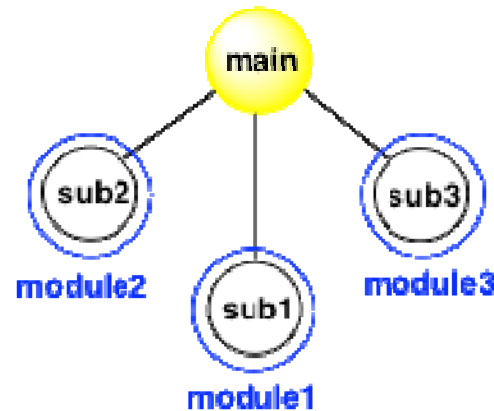
データ、型などをひとまとめにできる。必要なモジュールだけ使う

モジュール：カプセル化

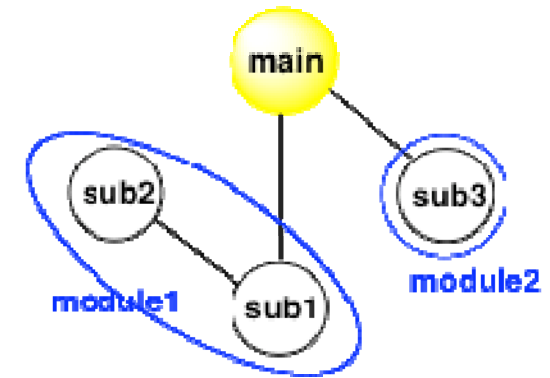
例1



例2



例3



例1: あちこちと相互作用でき、例えばsub1を改良すると、いろんなところに影響が及ぶ可能性あり。

例2: 1モジュールの中に1サブルーチンを入れ、サブルーチン間の相互作用を断ち切った(情報の隠蔽)。

例3: 一つの「機能」をなすsub1, sub2をひとまとめにし、sub1の下請け的ルーチンであるsub2はsub1とのみ相互作用するようにした。

**Moduleを機能単位でまとめ、相互作用を減らし、
独立性を高める→プログラムの保守に有利**

つなぎ方は操作できる

モジュール：例3的なパターン

演習b4

```

module module_kinou
  implicit none
  private
  public :: pihello
  #JISSU#

```

型宣言はmoduleの最初でのみ行えばよい

デフォルトではprivate (module内でしか参照できない)。public宣言で外部からも参照できる

contains

モジュール内のサブルーチンや関数の直前に置く

```

subroutine pihello()
  call shitauke()
end subroutine pihello

```

Publicの、「 π を計算・出力しhelloと言う」機能の窓口的業務を担うルーチン

```

subroutine shitauke()
  write(6,*) 4.0*atan(1.0_DP)
  write(6,'(a)') "hello"
end subroutine shitauke

```

Privateのサブルーチン(実際に作業を行うルーチン。

```

3.141592653589793
hello

```

```

end module module_kinou

```

```

program sample_module6
  use module_kinou
  implicit none
  call pihello()
  ! call shitauke()
end program sample_module6

```

演習:

/tmp/comp_120510/sample_module6.f95を自分の作業ディレクトリにコピーし、動作確認。

また、shitaukeをmainからcallして動作確認

配列

一次元配列

例

```

program sample_array
!-----
implicit none
#JISSU#
integer :: i
real(SP), dimension(3) :: a      配列宣言
!-----
do i=1,3
  a(i) = real(i,SP)             値の代入
  write(6,*) a(i)
enddo
write(6,*)
write(6,*) (a(i),i=1,3)         空行出力
write(6,*) a                   } 要素を全部出力
!-----
end program sample_array

```

a(1)	1.0
a(2)	2.0
a(3)	3.0

ベクトルを定義できる

結果

```

1.000000
2.000000
3.000000

1.000000    2.000000    3.000000
1.000000    2.000000    3.000000

```

例

```
program sample_array2
!-----
implicit none
integer :: i, j
integer, dimension(3,3) :: a
!-----
do i=1,3
  do j=1,3
    a(i,j) = 10*i + j
  enddo
  write(6,'(3i4)') (a(i,j),j=1,3)
enddo
!-----
end program sample_array2
```

3×3の配
列を宣言

例えば(2,1)要素が21
となるようにしている

出力

配列のイメージ

a(1,1)	a(1,2)	a(1,3)
a(2,1)	a(2,2)	a(2,3)
a(3,1)	a(3,2)	a(3,3)

結果

11	12	13
21	22	23
31	32	33

行列を定義できる

3次元以上の配列も定義可能

演習: 3x3配列a(i,j)に単精度実数型の10*i+j値を入れ、出力せよ。
プログラムとその出力結果をテキストファイル
(result_120510_a.txt)にまとめ、臼井までメールで送る。
(締切は5月11日午後5時)

配列演算のための組込み関数

例

```

program sample_array3
!-----
implicit none
integer :: i, j
integer, dimension(3,3) :: a, b, c
!-----
do i=1,3
  do j=1,3
    a(i,j) = 10*i + j
  enddo
enddo

```

値の代入

```

write(6,'(3i6)') ((a(i,j),j=1,3),i=1,3)
write(6,*) sum(a)
write(6,*) size(a,1), size(a,2)

```

```

b = matmul(a,a)      行列の積
write(6,'(3i6)') ((b(i,j),j=1,3),i=1,3)

```

```

c = transpose(a)   aの転置行列
write(6,'(3i6)') ((c(i,j),j=1,3),i=1,3)

```

```

!-----
end program sample_array3

```

結果

a	{	<table style="border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">11</td><td style="padding: 2px 10px;">12</td><td style="padding: 2px 10px;">13</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">21</td><td style="padding: 2px 10px;">22</td><td style="padding: 2px 10px;">23</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">31</td><td style="padding: 2px 10px;">32</td><td style="padding: 2px 10px;">33</td></tr> </table>	11	12	13	21	22	23	31	32	33
11	12	13									
21	22	23									
31	32	33									
		<table style="border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">198</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">3</td><td style="padding: 2px 10px;">3</td><td></td></tr> </table>	198			3	3				
198											
3	3										
b	{	<table style="border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">776</td><td style="padding: 2px 10px;">812</td><td style="padding: 2px 10px;">848</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">1406</td><td style="padding: 2px 10px;">1472</td><td style="padding: 2px 10px;">1538</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">2036</td><td style="padding: 2px 10px;">2132</td><td style="padding: 2px 10px;">2228</td></tr> </table>	776	812	848	1406	1472	1538	2036	2132	2228
776	812	848									
1406	1472	1538									
2036	2132	2228									
c	{	<table style="border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 10px;">11</td><td style="padding: 2px 10px;">21</td><td style="padding: 2px 10px;">31</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">12</td><td style="padding: 2px 10px;">22</td><td style="padding: 2px 10px;">32</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 10px;">13</td><td style="padding: 2px 10px;">23</td><td style="padding: 2px 10px;">33</td></tr> </table>	11	21	31	12	22	32	13	23	33
11	21	31									
12	22	32									
13	23	33									

$\Sigma a(i,j)$

size(a,1)

a(1,1)	a(1,2)	a(1,3)
a(2,1)	a(2,2)	a(2,3)
a(3,1)	a(3,2)	a(3,3)

size(a,2)

便利な配列演算法

例

```
do i=1,10
  do j=1,10
    C(i,j) = A(i,j) + B(i,j)
  enddo
enddo
```

C = A + B

要素を全部書いて和(A + B)を
計算するための古いやり方

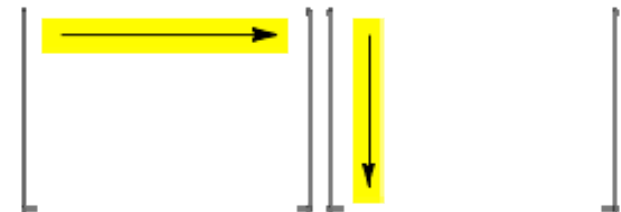
同じ計算するための簡潔な書き方

```
do i=1,10
  do j=1,10
    AT(i,j) = A(j,i)
  enddo
enddo
do i=1,10
  do j=1,10
    s = 0.
    do k=1,10
      s = s + AT(i,k) * B(k,j)
    enddo
    C(i,j) = s
  enddo
enddo
```

C = matmul(transpose(A),B)

簡潔な書き方

C = ^tAB の計算をするための古い書き方



内積は `dot_product(a,b)`

プログラムがシンプルになる例(1) 演習b6

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{i+1} \cdot \frac{1}{i+2} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{5} + \dots = \frac{1}{4}$$

例

```

program sample_series
  implicit none
  #JISSU#
  integer, parameter :: nterms = 1000
  real(SP), dimension(nterms) :: x, y, z
  integer :: i

  do i = 1 , nterms
    x(i) = 1.0 / real(i, SP)
    y(i) = 1.0 / real(i+1, SP)
    z(i) = 1.0 / real(i+2, SP)
  end do

  print *, 'ans = ', sum(x*y*z)

end program sample_series

```

演習: プログラムを組んで確かめてみましょう。
Doループ回数を標準入力から指定できるように変更してください。

プログラムとその出力結果をテキストファイル
(result_120510_b.txt)にまとめ、臼井までメ
イルで送る。(締切は5月11日午後5時)

配列の積→要素の和を計算

部分配列

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{i+1} \cdot \frac{1}{i+2} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{5} + \dots = \frac{1}{4}$$

例 **i=50~90**の和をとる

```
program sample_series
  implicit none
  #JISSU#
  integer, parameter :: nterms = 1000
  real(SP), dimension(nterms) :: x, y, z
  integer :: i

  do i = 1 , nterms
    x(i) = 1.0 / i
    y(i) = 1.0 / (i+1)
    z(i) = 1.0 / (i+2)
  end do

  print *, 'ans02 = ', sum(x(50:90)*y(50:90)*z(50:90))

end program sample_series
```

配列の動的な割り付け

例

```

program sample_arrayallocate
!-----
implicit none
integer :: nmax
integer, dimension(1000,1000) :: a
integer, dimension(:,:), allocatable :: b
!-----
write(6,'(a)',advance='no') "nmax: "
read(5,*) nmax
allocate(b(nmax,nmax))
write(6,*) size(a,1), size(a,2)
write(6,*) size(b,1), size(b,2)
deallocate(b)
!-----
end program sample_arrayallocate

```

サイズを固定

サイズは後で決める

advance='no'は「改行しない」

サイズを決めた(1~nmaxに割り付けた)
i.e., b(1:nmax,1:nmax)

メモリを解放した

結果

```

nmax: 50
      1000      1000
      50       50

```

**必要な分だけメモリ
を確保する**

配列要素の初期値の設定

例

```
program sample_array5
!-----
implicit none
#JISSU#
integer :: i, j
integer, dimension(3,3) :: a = 1
integer, dimension(3,3) :: b
integer, dimension(3) :: c = (/1, 2, 3/)
real(DP), dimension(3,3) :: d
!-----
b = 2
d = sqrt(real(b,DP))
write(6,'(3i3)') ((a(i,j),j=1,3),i=1,3)
write(6,'(3i3)') ((b(i,j),j=1,3),i=1,3)
write(6,'(3i3)') (c(i),i=1,3)
write(6,'(3f10.6)') ((d(i,j),j=1,3),i=1,3)
!-----
end program sample_array5
```

結果

```
1 1 1
1 1 1
1 1 1
2 2 2
2 2 2
2 2 2
1 2 3
1.414214 1.414214 1.414214
1.414214 1.414214 1.414214
1.414214 1.414214 1.414214
```


便利な配列処理

例1

```

real(DP), dimension(NX,NY) :: array02d
real(DP), dimension(NX,NY,NZ) :: array03d
do j = 1, NY
  do i = 1, NX
    array03d(i,j,1) = array02d(i,j)
  end do
end do

```

これまではこう書いていたが、
こう書ける。

array03d(:, :, 1) = array02d(:, :)

例2

```

real(DP), dimension(10) :: A
real(DP), dimension(15) :: B
do i = 1, 10
  A(i) = B(i+5)
end do

```

A(:) = B(6:15)

シンプルに記述できる



数値計算に向けて

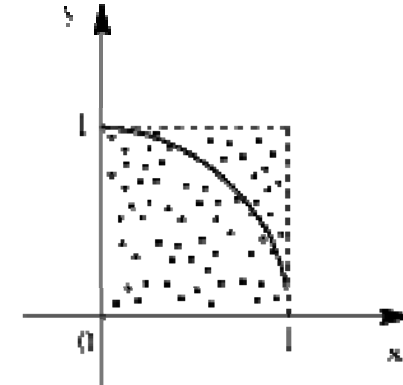
乱数を用いた π の計算

例

```

program sample_randompi
!-----
implicit none
#JISSU#
integer :: i, npoints=0, n1=0
integer :: seed1=7654321, seed2=87654321
real(SP) :: pi0, pi, x, y
!-----
pi0 = acos(-1.0_DP)            $\cos^{-1}(-1)$ から計算した $\pi$ 
write(6,'(a)',advance='no') "number of points: "
read(5,*) npoints
do i=1,npoints
  x = ran(seed1)           0~1の乱数を発生させるran関数を使った
  y = ran(seed2)
  if(x**2 + y**2 <= 1.0_SP) n1 = n1 + 1
enddo
pi = 4.0 * real(n1,DP)/real(npoints,DP)
write(6,'(a)') &
"  pi-pi0  pi      pi0"
write(6,'(3f12.6)') pi-pi0, pi, pi0
!-----
end program sample_randompi

```



- 四角形(A)の面積 = $1 * 1 = 1$
- 扇(B)の面積 = $(1/4) * \pi r^2 = \pi/4$
- 面積の比は、各領域にある点の数の比になる: $NB/NA = \pi/4$

注意: 疑似乱数の発生法にはいろいろなやり方がある

演習: scalar:

/tmp/comp_120510/sample_randompi.f95を自分の作業ディレクトリにコピーし、動作確認。

実行

```

number of points: 100000
  pi-pi0  pi      pi0
-0.009633  3.131960  3.141593

```

グラフ用入力ファイルの作成

例

```
program sample_graph
!-----
implicit none
#JISSU#
integer :: i
real(DP) :: x, y
!-----
do i=1,10
  x = i*0.1_DP
  y = 2.0*x**3 + 1.0
  write(6,'(2f12.6)') x, y
end do
end program sample_graph
```

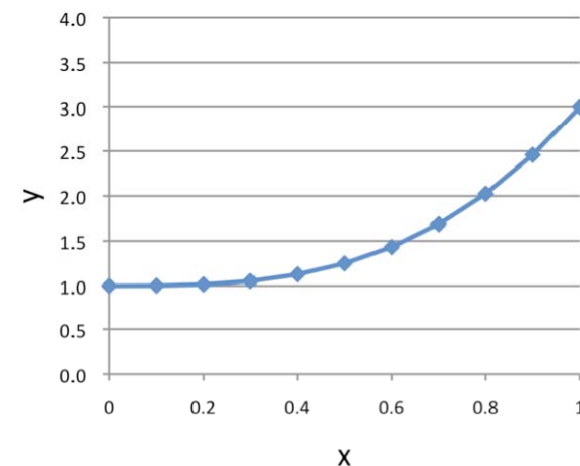
$$y = 2x^3 + 1 \quad (0 \leq x \leq 1)$$

実行

0.100000	1.002000
0.200000	1.016000
0.300000	1.054000
0.400000	1.128000
0.500000	1.250000
0.600000	1.432000
0.700000	1.686000
0.800000	2.024000
0.900000	2.458000
1.000000	3.000000



グラフソフトへ



配列処理の効率

例1

```

program sample_time1
!-----
implicit none
integer, parameter :: nmax=10000
integer :: i, j
integer, dimension(nmax,nmax) :: a
!-----
do i=1,nmax
  do j=1,nmax
    a(i,j) = i + j
  enddo
enddo
!-----
end program sample_time1

```

0:02.59 (s) 遅い

例2

```

program sample_time2
!-----
implicit none
integer, parameter :: nmax=10000
integer :: i, j
integer, dimension(nmax,nmax) :: a
!-----
do i=1,nmax
  do j=1,nmax
    a(j,i) = j + i
  enddo
enddo
!-----
end program sample_time2

```

0:00.67 (s) 速い

timeコマンドによる計測

```

% time ./a.out
2.173u 0.424s 0:02.59 100.0% 0+0k 0+0io 0pf+0w

```

経過時間

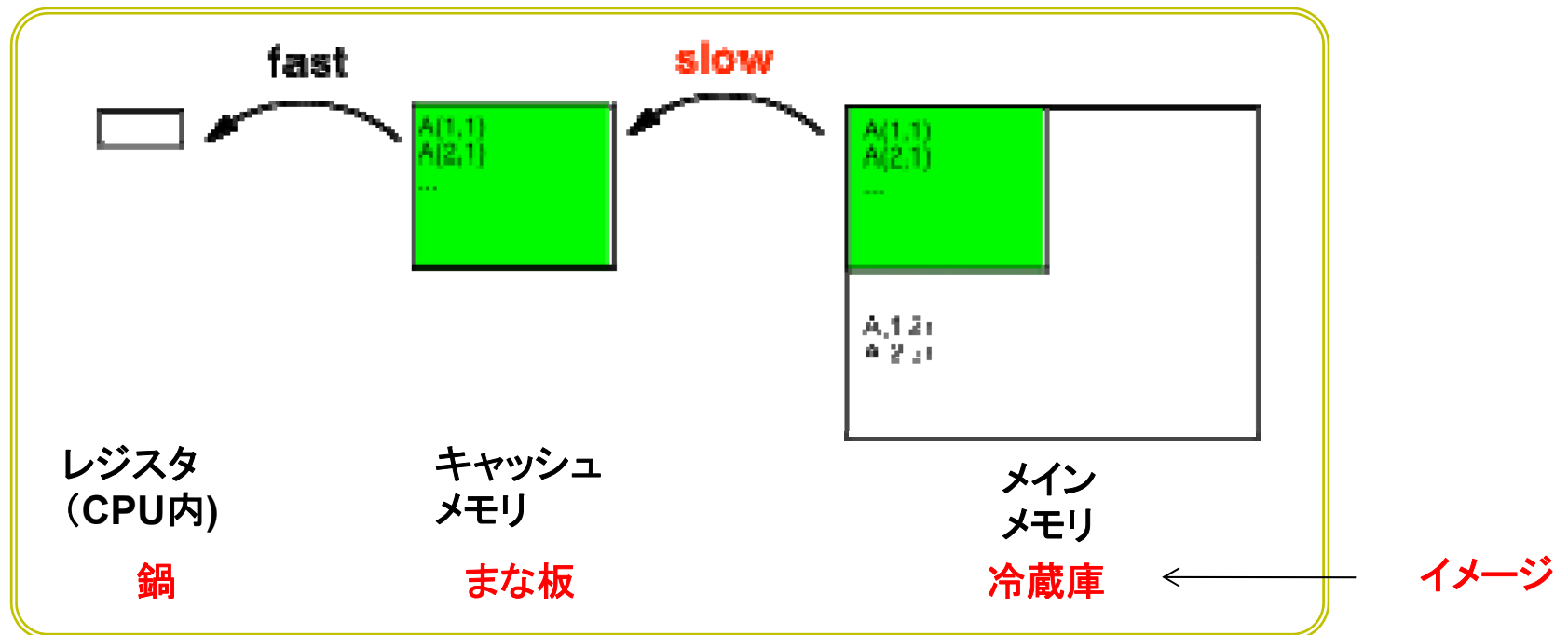
同等の作業なのに処理時間に大きな差が出ることがある

配列要素のメインメモリ上での配置

Fortran: $A(2,2) \rightarrow A(1,1), A(2,1), A(1,2), A(2,2)$

C: $a[2,2] \rightarrow a[0][0], a[0][1], a[1][0], a[1][1]$

Cでは逆



左側の添字を先に動かした方が「キャッシュミス」が少ない
(遅いメインメモリ-キャッシュメモリ間通信が減る)

一旦まな板に移した野菜をまず料理してしまった方がいい

おつかれさまでした

コメント、質問等は

h-usui@port.kobe-u.ac.jp

までお願いします

付録

基礎事項

文字列の処理

例

```
program sample_character3
  implicit none
  character(len=*), parameter :: moji1 = "hyogo"
  character(len=*), parameter :: moji2 = "kobe"
  character(len=10) :: moji3 = "nada"
  character(len=10) :: moji4 = "ku"
  write(6,'(a)') moji1(2:4)
  write(6,'(a)') moji1//"-"//moji2
  write(6,'(a)') moji3//"-"//moji4
  write(6,'(a)') trim(moji3)//"-"//trim(moji4)
  write(6,*) len(moji3), len_trim(moji3)
end program sample_character3
```

2-4文字目まで
//で文字列の連結
余白を削る
文字列の長さ

実行

```
yog
hyogo-kobe
nada -ku
nada-ku
      10      4
```

整数型から文字型への変換

例

```

program sample_transformSeMo
!-----
implicit none
integer :: i
character(len=*), parameter :: base="file."
character(len=4) :: serial_num
!-----
do i=1,10
write(serial_num,'(i4.4)') i
open(i,file=base//serial_num)
write(i,'(a,i4)') "File number = ", i
close(i)
enddo
!-----
end program sample_transformSeMo

```

文字型定数の場合、
len=*とできる

文字型変数serial_numに、整数
iが文字列として入る

0	0	0	1
---	---	---	---

0	0	0	2
---	---	---	---

演習：本プログラムをコンパイル・
実行し、何が起こるか観察せよ。

ファイル入力(2) : rewind文

例

```

program sample_input4
  implicit none
  integer :: n1, n2
  open(10,file="input")
  read(10,*) n1, n2
  write(6,*) n1, n2
  ! rewind(10)
  read(10,*) n1, n2
  write(6,*) n1, n2
  close(10)
end program sample_input4

```

実行(rewind無効の時)

100	200
300	400

実行(rewind有効の時)

100	200
100	200

“input”

100 200	①
300 400	②

開いているファイルの、先頭に戻る

Do While文

例1

```

program sample_dowhile
!-----
implicit none
integer :: i
!-----
i = 1
do while (i <= 10)
  write(6,*) i
  i = i + 1
end do
!-----
end program sample_dowhile

```

初期値

増分

条件

結果

```

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

```

「do i=...」でできる作業

例2

```

program sample_dowhile2
!-----
implicit none
#JISSU#
real(DP) :: a = 1.0_DP
!-----
do while (a > 0.1_DP)
  a = a/2.0_DP
  write(6,'(f12.6)') a
end do
!-----
end program sample_dowhile2

```

結果

```

0.500000
0.250000
0.125000
0.062500

```

a>0.1である限り、a/2を
繰り返し行っている

増分値が規則的でない時に便利

Open文とClose文

```
open(番号,file=filename)
close(番号)
```

ファイルを開ける
閉じる

例1

```
open(1,file="input")
read(1,*) ...
read(1,*) ...
```

プログラムの後半
read(1,*) ...

```
1.0
2.0
3.0
...
...
...
```

closeしなかったら、前
回の続きになる

例2

```
open(1,file="input")
read(1,*) ...
read(1,*) ...
close(1)
```

プログラムの後半

```
open(1,file="input")
read(1,*) ...
close(1)
```

Closeした場合、
再定義が必要

必要な処理が終わったらファイルをcloseするように心がける

その他の入出力操作：リダイレクション

例

```
program hello_world
  implicit none
  print *, "hello, world."
end program sample_output
```

標準出力

実行例

```
% ./hello_world > output
```

```
% ./hello_world >> output
```

```
% ./hello_world >& output
```

- ① すでにoutputに何か書かれていた場合、今回の出力で上書きされる
- ② 古い内容の下に追加する形で出力
- ③ エラー出力(コンパイルのエラーメッセージ等)をoutputへ

標準出力内容がファイルに書き出される

演習: すでに作成したhello_worldを使い、

1. ①→①の処理

2. ①→②の処理

を行ってそれぞれの場合のoutputの中身を確認せよ。

その他の入出力操作：リダイレクション(2)⁴⁰

例

```
program sample_input3
  implicit none
  integer :: n1, n2
  read(5,*) n1, n2
  write(6,*) n1, n2
end program sample_input3
```

標準入力
標準出力

“input”

```
100 200
```

実行例

```
% ./sample_input < input > output
```

標準出力内容をoutputへ
標準入力内容をinputから

配列用組込み関数のまとめ

組込み関数	機能
dot_product(a,b)	ベクトルの内積
matmul(a,b)	行列a,bの積
transpose(a)	行列aの転置行列
maxval(a)	配列要素の最大値
minval(a)	配列要素の最小値
sum(a)	配列要素の和
lbound(a,dim=N)	配列の下限の大きさ
ubound(a,dim=N)	配列の上限の大きさ

等価な計算でも所要時間が異なる例

例

```

program sample_kumikomi
!-----
implicit none
#JISSU#
integer, parameter :: nmax=10000000
integer :: i, j
integer, dimension(nmax,nmax) :: a
real(DP) :: t1, t2, t3, x, y
!-----
call cpu_time(t1)
do i=1,nmax
  x = 1.0_DP
  y = exp(x)*exp(x)
end do
call cpu_time(t2)
do i=1,nmax
  x = 1.0_DP
  y = exp(x+x)
end do
call cpu_time(t3)
write(6,'(2f12.6)') t2-t1, t3-t2
!-----
end program sample_kumikomi

```

処理A

処理B

実行

0.473538 0.232642

例

遅い	速い
$\exp(x) \cdot \exp(y)$	$\exp(x+y)$
$\log(m) + \log(n)$	$\log(m \cdot n)$
$\sin(\theta) \cos(\theta)$	$0.5 \cdot \sin(2\theta)$
x^{**3}	$x \cdot x \cdot x$
$x^{**3} + x^{**2} + 1$	$x \cdot x \cdot (x+1) + 1$

組み込み関数やべき乗は、命令は単純だが
実際の演算量は少ない(テーラー展開等)
ので時間がかかる

リンク

複数のソースコードへ分割

例 二つのファイルに分けた

```
module module_constants
  implicit none
  #JISSU#
  double precision, parameter :: pi = 3.141592653589793238_DP
  double precision, parameter :: planck = 6.62606896e-34_DP
end module module_constants
```

module_constants.f95

```
program sample_module
  use module_constants
  implicit none
  write(6,*) pi
  write(6,'(e20.15)') planck
  write(6,*) 1.0_DP
end program sample_module
```

moduleの利用

sample_module.f95

ディレクトリの様子

```
% ls
module_constants.f95 sample_module.f95
```

機能毎にファイルを分けて整理整頓

オブジェクトファイルのリンク

(不完全な)各ソースコードをコンパイルする

```
% pgf95 -c module_constant.f95  
% pgf95 -c sample_module.f95
```

module_constant.oができる
sample_module.oができる

リンク

```
% pgf95 -o sample_module.exe module_constant.o sample_module.o
```

sample_module.exeができる

**各ソースコードをコンパイル→オブジェクトファイル
を作成→リンク**

Make

例 (Makefile)

```
F95 = pgf95
.SUFFIXES:
.SUFFIXES: .f95 .o
OBJS = module_constants.o ¥
       sample_module.o
sample_module.exe: ${OBJS}
       ${F95} -o sample_module.exe ${OBJS}
.f95.o:
       ${F95} -c $<
clean:
       rm -f *.o *.mod *.exe
```

依存関係

.f95から.oの作成方法を記述

cleanの方法

実行

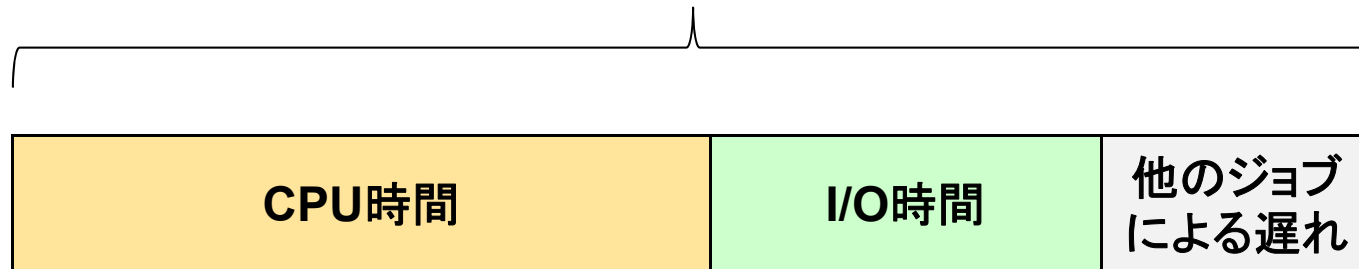
```
% ls
Makefile module_constants.f95 sample_module.f95
% make
pgf95 -c module_constants.f95
pgf95 -c sample_module.f95
pgf95 -o sample_module.exe module_constants.o sample_module.o
```

基本的には新たに編集したファイルだけを再コンパイル。多数のソースファイルがからなるプログラムのコンパイルを効率化

数値計算の効率化

処理にかかる時間

経過時間



CPU時間

- プログラムが消費する時間
- OSが消費する時間

I/O時間

- データの読み書きに使う時間

反復回数の少ないdoループの展開

例

```

program sample_doexpand
!-----
implicit none
#JISSU#
integer, parameter :: nmax=100000000
integer :: i, j
integer, dimension(3,nmax) :: a
real(DP) :: t1, t2, t3, x, y
!-----
call cpu_time(t1)
do i=1,nmax
  do j=1,3
    a(j,i) = a(j,i) + 1
  enddo
enddo
call cpu_time(t2)
do i=1,nmax
  a(1,i) = a(1,i) + 1
  a(2,i) = a(2,i) + 1
  a(3,i) = a(3,i) + 1
enddo
call cpu_time(t3)
write(6,'(2f12.6)') t2-t1, t3-t2
!-----
end program sample_doexpand

```

実行

1.872249	0.706740
----------	----------

何度もこのループに到達し、初期設定が行われて時間をロスする

展開してあらわに書いた → 速くなる

ループに到達すると、「ループカウンタの初期設定」が行われ、時間を費やす

インライン展開による高速化

例

```

program sample_inline
!-----
implicit none
#JISSU#
integer, parameter :: nmax=100000000
integer :: i
real(DP) :: t1, t2, t3, y
!-----
call cpu_time(t1)
do i=1,nmax
  call oneone(y)
end do
call cpu_time(t2)
do i=1,nmax
  y = 1.0_DP + 1.0_DP
end do
call cpu_time(t3)
write(6,'(2f12.6)') t2-t1, t3-t2
!-----
end program sample_inline

!*****
subroutine oneone(y)
implicit none
#JISSU#
real(DP), intent(out) :: y
y = 1.0_DP + 1.0_DP
end subroutine oneone
!*****

```

実行

0.444058	0.126826
----------	----------

} 単純作業をサブルーチンのコールで処理

} 同じことを直接行う

やりすぎるとプログラムが見にくくなるので注意