

# FORTRAN90/SX の自動ベクトル化について

日本電気株式会社 第一コンピュータソフトウェア事業部 横谷雄司

## 概要

SX-7 システムは豊富なベクトル演算命令を有しており、そのハードウェア性能を十分に引き出すためには、コンパイラの自動ベクトル化機能によりプログラムのベクトル化を行い、ベクトル命令によって処理される時間の割合(ベクトル化率)をできるだけ高くする必要があります。本文では、SX-7 システムの FORTRAN90/SX コンパイラがもつ自動ベクトル化機能について、その特徴と性能向上の観点を紹介する。

### 1. はじめに

SX-7 システムは最大 32 個の CPU をもつノードを複数結合した「スケーラブル・パラレル・スーパーコンピュータ」であり、そのハードウェア性能を十分に引き出すためには、

- ・複数の CPU を効率的に使用する、**並列化**

と共に、

- ・個々の CPU の中で効率的に計算を行う、**ベクトル化**

が大変重要となります。

並列化につきましては別稿に譲り、本文では、FORTRAN90/SX コンパイラがもつ**自動ベクトル化機能**について、ご紹介致します。

SX-7 システムでのベクトル化技法は、SX-4 システムの場合と基本的には同じですが、今回はスーパーコンピュータを初めて使われる方にもご理解いただけるよう、ベクトル化の基本概念からご紹介させていただきたいと思います。

### 2. 自動ベクトル化機能

#### 2.1 ベクトル化の基本概念

通常の演算命令は、一度に一組のデータに対する演算処理を行います。(これを、ベクトル命令と対比させるために**スカラ命令**と呼びます。)

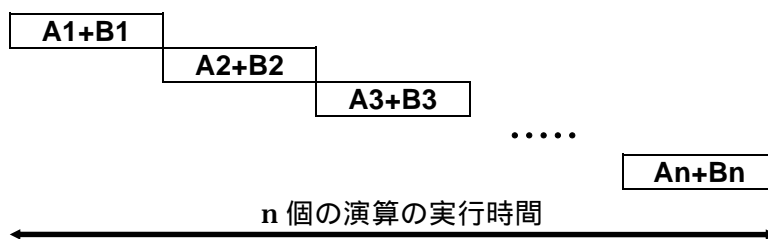


図 1 スカラ命令(スカラ加算)の実行イメージ

これに対して、ベクトル命令は、複数の組のデータに対する演算処理を一つの命令で一度に行うことができます。

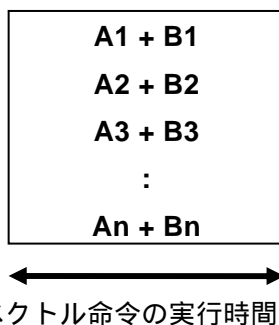


図 2 ベクトル命令(ベクトル加算)の実行イメージ

ループ中で計算される行列の要素など、規則的に並んだ配列データ(ベクトルデータ)に対してベクトル命令を適用することを**自動ベクトル化**と呼び、ベクトル化することによって高速な演算が可能となります。

## 2.2 自動ベクトル化の例

例えば、次の DO ループは、2 つの配列からのデータのロード、ベクトル加算、メモリへのストアの 4 つのベクトル命令で実行されます。

## 例 1 配列代入文と、ベクトル化されて生成される命令の概念

```
DO I=1,100
  C(I) = A(I) + B(I)
END DO
```

VR1 配列 A (配列 A からベクトルレジスタにデータをロード)

VR2 配列 B (配列 B からベクトルレジスタにデータをロード)

VR3 VR1 + VR2 (ベクトル加算)

配列 C VR3 (配列 C に結果をストア)

VRn : ベクトルレジスタ

### 2.3 ベクトル化の対象範囲

FORTRAN90/SX コンパイラは、Fortran プログラムの以下の範囲を対象として自動ベクトル化を行います。

ベクトル化の対象となるループ	配列式、DO ループ、DO WHILE ループ、FORALL ループ、IF 文と GOTO 文によるループ
ベクトル化の対象となる文	代入文、CONTINUE 文、GOTO 文、CYCLE 文、EXIT 文、IF 文、SELECT 構文 (CALL 文、入出力文 等は不可)
ベクトル化の対象となるデータの型	4 バイト / 8 バイトの整数型・論理型 単精度 / 倍精度の実数型・複素数型 (文字型、4 倍精度、2 バイト整数型 等は不可)
ベクトル化の対象となる演算	加減乗除算、べき算、論理演算、関係演算、型変換、組込み関数 (利用者定義演算、ポインタ代入 等は不可)

詳細につきましては、「FORTRAN90/SX プログラミングの手引 5.1 ベクトル化の条件およびベクトル化の例」を参照してください。

### 2.4 ベクトル化可能な条件

しかし、上記の範囲内であれば、どんなプログラムでもベクトル化できる訳ではありません。次の例を見てください。

**例 2** DO I=1,99

A(I) = 2.0 ! 代入文 2-1

B(I) = A(I+1) ! 代入文 2-2

END DO

図 3 に、このプログラムをベクトル化しない場合、ベクトル化した場合の演算の実行順序を示します。

ベクトル化しない場合 の実行順序	ベクトル化した場合 の実行順序
A(1)=2.0 ! 代入文 2-1	A(1)=2.0 ! 代入文 2-1
B(1)=A(2) ! 代入文 2-2	:
A(2)=2.0 ! 代入文 2-1	A(2)=2.0 ! 代入文 2-1
B(2)=A(3) ! 代入文 2-2	B(1)=A(2) ! 代入文 2-2
:	:
A(99)=2.0 ! 代入文 2-1	A(99)=2.0 ! 代入文 2-1
B(99)=A(100)! 代入文 2-2	B(2)=A(3) ! 代入文 2-2
	:
	B(99)=A(100)! 代入文 2-2

**図 3** ベクトル化の有無による実行順序の相違

例 2 のループをベクトル化して実行すると、全ての要素に対して 2-1 の代入がベクトル命令で実行され、次に 2-2 の代入がやはり全ての要素に対して実行されます。このため、配列 B(1) ~ B(98) の値は全て 2.0 となり、プログラムの意図と異なる結果となってしまいます。

また、N 回目の繰り返しで定義したスカラー変数を N+1 回目の繰り返しで引用する、例 3 のようなプログラムも、全ての要素に対して 3-1 の代入が先に実行されるため、ベクトル化すると配列 A(1) ~ A(100) の値が全てゼロとなってしまいます。

**例 3** S=0.0

DO I=1,100

A(I) = S ! 代入文 3-1 (スカラー変数 S の引用)

S = B(I)+C(I) ! 代入文 3-2 (スカラー変数 S の定義)

END DO

これらのプログラムのように、ベクトル化によって配列の定義・引用関係に変化が生じてしまう場合には、ベクトル化することができません。

FORTTRAN90/SXの自動ベクトル化機能は、コンパイラがソースプログラムを解析して、ベクトル命令で実行できる部分を自動的に検出するとともに、必要ならベクトル化に適合するようにプログラムを変形して、その部分に対してベクトル命令を生成します。

## 2.5 Fortran95 配列構文のベクトル化

例2のプログラムは、FORTTRAN77と同じDOループでしたが、Fortran95配列構文ではどうでしょうか。

**例 4**     A(1:99)=2.0                   ! 代入文 2-1  
          B(1:99)=A(2:100)           ! 代入文 2-2

配列構文はDOループと異なり、それぞれの文毎に全ての要素を演算することが、規格で定められています。即ち例4では、まず代入文2-1によってA(1:99)=2.0を全て実行してから、代入文2-2を実行します。これは即ち図3に示した「ベクトル化した場合の実行順序」と同じです。従ってFortran95配列構文では、例2のように複数の文の前後関係によってベクトル化が阻害されることはありません。(もちろん他の要因でベクトル化できないことはあります。)なお、Fortran95配列構文については「FORTTRAN90/SX言語説明書」を参照してください。

## 2.6 ベクトル長

個々のベクトル命令は、演算処理に入る前のある程度の準備処理が必要となります。この準備処理に要する時間を立ち上がり時間と呼びます。即ち、実際のベクトル演算に要する時間が余りにも小さいと、立ち上がり時間の影響が大きくなり、ベクトル化による高速化が行えません。

ベクトル化した場合とベクトル化しない場合とで実行時間が等しくなるループの繰り返し数(ループ長)を交差ループ長と呼び、立ち上がり時間と交差ループ長には、図4に示す関係があります。

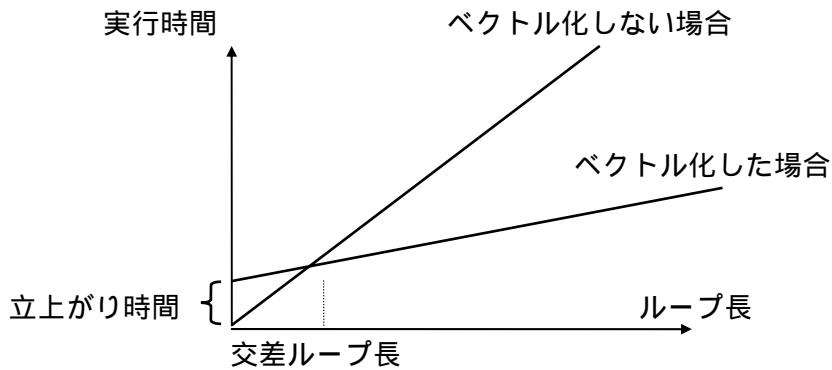


図4 立上がり時間と交差ループ長

この図を見ると、ループ長をできるだけ長くした方が、ベクトル化による高速化の効果が大きいことが、おわかりいただけると思います。

FORTRAN90/SX コンパイラの自動ベクトル化では、ループの繰り返し回数が5未満の場合には、ベクトル化による効果が少ないと判断し、ベクトル化していません。

### 3. 拡張ベクトル化機能

前述の通り、FORTRAN90/SX の自動ベクトル化機能は、ベクトル命令で実行可能な部分を検出しますが、そのままではベクトル化できない場合にプログラムを変形してベクトル化したり、プログラムを変形することによってベクトル化の効果をさらに高めたりします。これを**拡張ベクトル化機能**と呼びます。ここでは、FORTRAN90/SX が持つ種々の拡張ベクトル化機能のうち主なものを紹介します。

#### 3.1 文の入れ換え

先ほどの例2は、「ベクトル化できない」と書きましたが、二つの文を入れ換えるとベクトル化できることに気づかれたでしょうか？

##### 例5 ソースプログラム

```
DO I=1,99
  A(I)=2.0      ! 代入文 5-1
  B(I)=A(I+1)  ! 代入文 5-2
END DO
```

##### コンパイラによる変形

```
DO I=1,99
  B(I)=A(I+1)  ! 代入文 5-2
  A(I)=2.0     ! 代入文 5-1
END DO
```

このプログラムを右のように変形すると、ベクトル化した場合でも配列の定義・引用関係に矛盾は生じませんので、FORTRAN90/SX コンパイラは自動的に 5-1 と 5-2 の文を入れ換えてベクトル化を行います。

### 3.2 ループの一重化

ループ長が長いほどベクトル化の効果が高いとご説明しましたが、例 6 のように多次元配列を 1 次元配列と見なすことができる場合には、多重ループを一重ループに変形することでループ長を拡大すると同時に、外側ループの繰り返し制御の時間を削減します。

#### 例 6 DIMENSION A(M,N), B(M,N), C(M,N)

```
DO I=1,M
  DO J=1,N
    A(J,I) = B(J,I) + C(J,I)
  END DO
END DO
```

コンパイラによる変形のイメージ

```
DO IJ=1,M*N
  A(IJ,1) = B(IJ,1) + C(IJ,1)
END DO
```

このようなループの一重化は、Fortran95 配列構文に対しても行われ、例 7 のような配列代入文は、一重化された上記の DO ループと同じようにベクトル化されま

#### 例 7 REAL , DIMENSION (M,N) :: A, B, C

```
A(1:M, 1:N) = B(1:M, 1:N) + C(1:M, 1:N)
```

コンパイラによる変形のイメージ

```
DO IJ=1,M*N
  A(IJ,1) = B(IJ,1) + C(IJ,1)
END DO
```

### 3.3 ループの入れ換え

多重ループの場合には、通常は最も内側のループをベクトル化します。しかし、ループを入れ換えることにより定義・引用関係の矛盾が解消されてベクトル化できるようになったり、内側のループよりも外側のループの方がループ長が長く、入れ換えた方が速いと判断した場合には、コンパイラがループを入れ換えてベクトル化を行います。

#### 例 8 配列 A に依存関係がありベクトル化できない

```
DO J=1,M                                ! 外側ループ
  DO I=1,N                                ! 内側ループ
    A(I+1,J) = A(I,J) + B(I,J)
  END DO
END DO
```

依存関係がなくなりベクトル化できる

```
DO I=1,N                                ! 元の内側ループ
  DO J=1,M                                ! 元の外側ループ
    A(I+1,J) = A(I,J) + B(I,J)
  END DO
END DO
```

### 3.4 部分ベクトル化

ループ構造や配列式に、ベクトル化できる部分とベクトル化できない部分が含まれている場合、ベクトル化可能な部分と不可能な部分に分割し、可能な部分だけをベクトル化します。



**例 9** 4倍精度の式が含まれているため、ベクトル化できない

```
REAL, DIMENSION (M) :: A, B, C
REAL(KIND=16), DIMENSION (M) :: Q
A(1:M) = B(1:M) * REAL(C(1:M) * Q(1:M))
```

二つの配列式に分割することで、ベクトル化する。  
作業用の配列 WK は、コンパイラが用意する。

```
WK(1:M) = REAL(C(1:M) * Q(1:M)) ! この配列代入文はベクトル化できない
A(1:M) = B(1:M)*WK(1:M)          ! この配列代入文をベクトル化する
```

### 3.5 条件ベクトル化

配列の依存関係がベクトル化に適合しているかどうかコンパイル時に不明であったり、ループ長がコンパイル時に不明で、ベクトル化したほうが速いかどうかわからない場合に、ベクトル化したコードとベクトル化しないコードの両方を生成しておき、プログラムを実行するとき、そのどちらかを選択して実行するものです。

**例 10** K が 0 以上であるかまたは、K が-10 未満ならば依存関係に矛盾が生じないのでベクトル化できる

```
DO I=N, N+10
  A(I) = A(I+K) + B(I)
END DO
      コンパイラによる変形のイメージ
IF (K .GE.0 .OR. K.LT.-10) THEN
  A(N:N+10) = A(N+K:N+10+K)+B(N:N+10) ! ベクトル化する
ELSE
  DO I=N, N+10          ! ベクトル化しない
    A(I) = A(I+K) + B(I)
  END DO
END IF
```

**例 11** 繰り返し回数がコンパイル時に不明なため、ベクトル化したほうが速いかどうか判断できない場合

```
A(1:N) = B(1:N) + C(1:N)
           コンパイラによる変形のイメージ
IF (N .GE. 5) THEN
    A(1:N) = B(1:N) + C(1:N)           ! ベクトル化する
ELSE
    A(1:N) = B(1:N) + C(1:N)           ! ベクトル化しない
END IF
```

### 3.6 マクロ演算の認識

次のようなパターンは、配列の定義・引用関係に矛盾があり、本来はベクトル化できませんが、コンパイラが特別なパターンであることを認識し、特別なベクトル命令を用いることで、ベクトル化を行います。

**例 12** 総和:  $n$  回目の繰り返しで定義したスカラー変数  $S$  の値を、 $n+1$  回目の繰り返しで引用するため、通常はベクトル化できないが、配列  $A$  の総和を求めるパターンであるとコンパイラが認識して、特殊なベクトル命令を用いることでベクトル化する

```
DO I=1, N
    S = S + A(I)
END DO
```

**例 13** 漸化式: 配列  $A$  の定義・引用関係に矛盾があるので、通常はベクトル化できないが、特殊なベクトル命令を用いてベクトル化する

```
DO I=1, N
    A(I) = A(I-1) * B(I) + C(I)
END DO
```

備考:もし  $A(I-1)=A(I)*B(I)+C(I)$  であれば、定義・引用関係に矛盾はなく、そのままベクトル化できる。

#### 例 14 最大値、最小値を求める

```
DO I=1, N
  IF (XMAX .LT. X(I)) THEN
    XMAX = X(I)
  END IF
END DO
```

### 3.7 ループ融合

拡張ベクトル化機能ではありませんが、コンパイラは同じ形状(次元数と各次元のサイズ)を持つ複数の配列式、同じ繰り返し回数を持つ複数のループ構造を一つにまとめてベクトル化します。これを**ループ融合**と呼びます。

**例 15** 次の二つの配列代入文は形状が一致しているので、下の二重ループと同じように解釈、最適化されてベクトル化されます。

$$A(1:M, 1:N) = B(1:M, 1:N) + C(1:M, 1:N)$$

$$D(1:M, 1:N) = E(1:M, 1:N) * F(1:M, 1:N) + S$$

コンパイラによる変形のイメージ

```
DO J=1,N
  DO I=1,M
    A(I, J) = B(I, J) + C(I, J)
    D(I, J) = E(I, J) * F(I, J) + S
  END DO
END DO
```

コンパイラは、同じ形状の配列式・ループ構造が連続していれば融合しますが、間に形状の異なる配列式・ループ構造や、他の文があると融合できません。

高速化のためには、出来るだけ同じ形状の配列式・ループ構造を連続させるようにしてください。

**例 16** 二つの配列代入文の間に、形状の異なる配列代入文があるために、二つの配列式は融合されません。このような場合には、文の順序を入れ換えて、同じ形状の配列代入が連続するように書き換えてください。

下のように書き換えることにより、ループ融合される

$$A(1:M, 1:N) = B(1:M, 1:N) + C(1:M, 1:N)$$

$$X(1:L) = 0.0$$

$$D(1:M, 1:N) = E(1:M, 1:N) * F(1:M, 1:N) + S$$

$$A(1:M, 1:N) = B(1:M, 1:N) + C(1:M, 1:N)$$

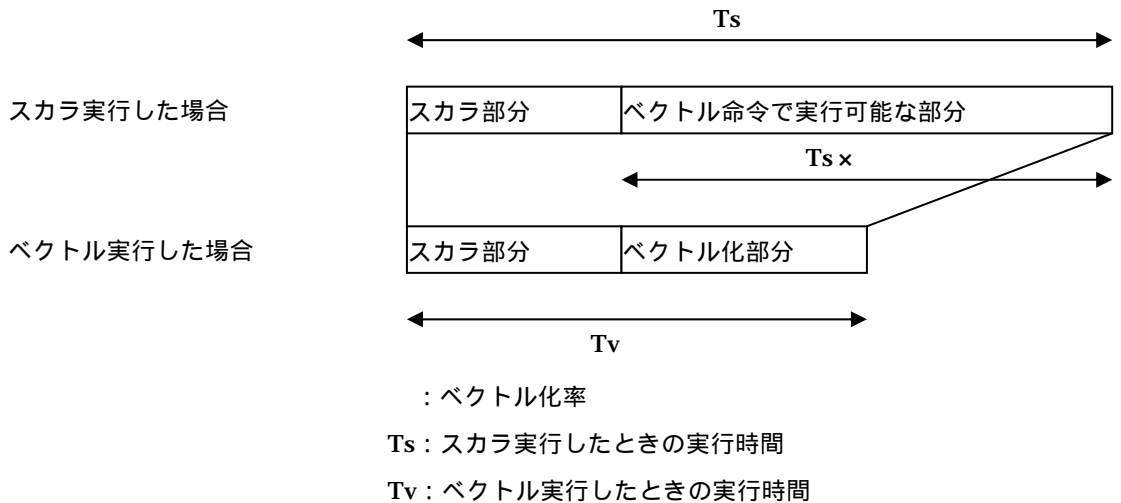
$$D(1:M, 1:N) = E(1:M, 1:N) * F(1:M, 1:N) + S$$

$$X(1:L) = 0.0$$

## 4. ベクトル化率向上のための手法

### 4.1 ベクトル化率

プログラムをスカラ命令だけで実行させた場合の実行時間に占める、ベクトル命令で実行可能な部分の時間の割合をベクトル化率と呼びます。



**図 5** ベクトル化率

プログラムをベクトル化することにより実行性能が向上しますが、プログラムの

一部だけをベクトル化しても、ベクトル化の効果はあまり期待できません。ベクトル化部分の実行時間が非常に小さくても、ベクトル化率が 50%程度では、高々2倍の性能にしかならないことは、図 5 からもわかると思います。一般にはベクトル化率が 90~95%以上ないと、ベクトル化による大きな効果は期待できません。

すなわち、ベクトル化による高速化技法の一つは、ベクトル化率を高め、100%に近づけることにあります。

しかし、一般にベクトル化率を正確に求めることは困難であるため、SX-7では、ベクトル化率に近い値として、プログラム特性情報(`proginf`)に表示される**ベクトル演算率**を用いています(5.1 `proginf` 情報参照)。ベクトル演算率は、実行された命令の数をハードウェアがカウントすることで、プログラムで処理された全演算数に占める、ベクトル演算命令で処理された数の割合を求めたものです。

SX-7では、この**ベクトル演算率**を高くすることを目標に、チューニングを行ってください。

ここでは、ベクトル化率(ベクトル演算率)を向上させる手法の一つとして、コンパイラ指示行についてご紹介します。

## 4.2 コンパイラ指示行の挿入による高速化

コンパイラは、プログラムに対して自動的に最適なベクトル命令を生成しますが、例えば変数のもつ値のように、コンパイラがプログラムを解析してもわからない情報があると、必ずしも十分なベクトル化が行われるとは限りません。

このような場合に、コンパイラが知り得ない情報を利用者が与えることにより、ベクトル化の効果を一層促進させるものが、**コンパイラ指示行**です。

コンパイラ指示行は、

```
!CDIR オプション[,オプション]
```

```
*CDIR オプション[,オプション] (ソースが固定形式の場合のみ)
```

のいずれかの形式で、!CDIR、\*CDIR は、1 桁から 5 桁に書かなければなりません。

備考：FORTRAN77/SX の互換形式 (\*VDIR)も使用できます。

詳しくは「FORTRAN90/SX プログラミングの手引 3.2 コンパイラ指示行」を参照してください。

以下に、主な指示行のオプションとその使い方について説明します。

### a) VECTOR/NOVECTOR

直後の配列式 または DO ループを自動ベクトル化の対象とする(**VECTOR**)か、対象としない(**NOVECTOR**)ことを指定します。

一般に **VECTOR** を指定する必要はありませんが、ベクトル長が小さく、ベクトル化しない方が効率の良いことがわかっていような場合に、**NOVECTOR** を指定します。

**例 17** 例えば「M は、1 又は 2 にしかなり得ない」ことを利用者が知っている場合、以下の様に **NOVECTOR** を指定して、ベクトル化を抑止したほうが効率がよい

#### **!CDIR NOVECTOR**

$$A(1:M) = B(1:M) * C(1:M) + D(1:M) * E(1:M) - F(1:M) * G(1:M)$$

### b) NODEP

配列の定義・引用関係がコンパイル時に不明で、自動ベクトル化できない場合に、利用者が「定義・引用関係に矛盾が無いから、ベクトル化するように」指示するものです。

**例 18** NK の値が正であればベクトル化できる。条件ベクトル化で NK の値を判断するコードが出力されるが、「NK の値が常に正である」ことを利用者が知っている場合、**NODEP** を指定することにより無条件にベクトル化される。

#### **!CDIR NODEP**

```
DO I=1, N
    A(I) = A(I + NK)
END DO
```

**例 19** IP(I)の値に重複するものが無ければベクトル化できるが、もし重複するものがある場合にはベクトル化できない。通常コンパイラにはどちらか判断できず、またこの場合には条件を判断する条件ベクトル化もできない。

もし利用者が、「IP(I)の値に重複するものがない」ことを知っている場合には、**NODEP** を指定することによってベクトル化することができる。

#### **!CDIR NODEP**

```
DO I=1, N
  A( IP(I) ) = A( IP(I) ) + B(I)
END DO
```

#### **c) SELECT(VECTOR)**

指定した DO ループをベクトル化することを指示します。

**例 20** ループの一重化ができない場合、コンパイラには変数 L,M,N の値がわからないので、通常最内側ループでベクトル化する。しかし、例えば L の値がとても大きく、M や N の値がごく小さいことを利用者が知っているならば、次のように **SELECT(VECTOR)** 指示行を挿入することにより、右のように変形されて、ループ長の長い DO I=1,L のループでベクトル化される。

#### **!CDIR SELECT(VECTOR)**

```
DO I = 1, L
  DO J =1, M
    DO K=1,N
      A(K, J, I)=B(K, J, I)+C(K, J, I)
    END DO
  END DO
END DO
```

コンパイラによる変形のイメージ

```
DO J = 1, M
  DO K =1, N
    DO I = 1,L          ! このループがベクトル化される
      A(K, J, I)=B(K, J, I)+C(K, J, I)
    END DO
  END DO
END DO
```

上の例で、もし、M の値がとても大きく、L や N の値が小さいならば、DO J=1, M の直前に

**!CDIR SELECT(VECTOR)**

の指示行を挿入すればよいことは、もうおわかりのことと思います。

**d) SHORTLOOP**

SX システムのベクトル演算命令では、一つの命令で一度に最大 256 要素のデータを処理することができます。それでは、処理したいデータの要素数が 256 個を超える場合にはどうでしょうか？この場合には次のように 256 回ずつの繰り返しを持つループ(例 21 では配列式)に分割してベクトル化を行います。

**例 21** 繰り返し回数が 256 を超える配列式のベクトル化の概念

$$C(1:1000) = A(1:1000) + B(1:1000)$$

DO I = 1,1000,256           ! コンパイラが生成するループ

$$C(I:MIN(I+255,1000)) = A(I:MIN(I+255,1000)) + B(I:MIN(I+255,1000))$$

! この配列代入文は常にベクトル化される

END DO

このようにコンパイラが生成するループを、**ストリップマイニングループ**と呼びます。

しかし、ループ長が常に 256 以下であることがわかっているならば、このストリップマイニングループの処理が不要となりますので、このための処理時間を削減できると同時に、レジスタを効率的に使用することができます。

**SHORTLOOP** は、ループ長が必ず 256 以下であることを指示します。

**例 22** 変数 M の値が、常に 256 以下であることがわかっているならば、次の指示行を挿入することで、ストリップマイニングループを作成しないようにします。

**!CDIR SHORTLOOP**

$$A(1:M) = B(1:M) + C(1:M)$$



FORTRAN90/SX コンパイラのコンパイラ指示行には、ここで紹介した他にもいろいろなオプションが指定でき、ベクトル化を制御することができます。詳細につきましては、「FORTRAN90/SX プログラミングの手引 3.2 コンパイラ指示行」をご参照ください。

## 5. 性能解析のツール

### 5.1 proginf 情報

先に述べた、ベクトル演算率を始め、プログラムの実行性能を調べる最も簡単で有効な情報がプログラム特性情報(proginf 情報)です。

proginf 情報は、プログラムの実行時に、

```
setenv F_PROGINF YES
```

または

```
setenv F_PROGINF DETAIL
```

を指定することで、表示されます(東北大学では規定値として DETAIL が設定されています)。

図 6 は、setenv F\_PROGINF DETAIL で採取した proginf 情報の例ですが、ベクトル演算率(図 6 の )、ベクトル長(図 6 の )ともに非常に大きく、とても効率よくベクトル化されたプログラムでの例を示しています。

もしベクトル演算率が低ければ、コンパイラや後述の簡易性能解析機能の出力情報をもとに、ベクトル化できていないループ構造を抽出し、ベクトル化できるように変形したり、指示行を挿入するなどして、ベクトル演算率の向上を図ります。

次に、平均ベクトル長が短い場合には、2重以上のループ構造を抽出し、SELECT(VECTOR)指示行を挿入してループ長の一番長いループがベクトル化されるようにすることで、ベクトル長を拡大します。また、ループ長が極端に短いループ構造がベクトル化されている場合には、NOVECTOR 指示行を挿入して、ベクトル化を行わないことも検討します。

```

***** Program Information *****
Real Time (sec)      :      23.579208      経過時間
User Time (sec)     :      22.588967      ユーザ時間
Sys Time (sec)      :       0.227827      システム時間
Vector Time (sec)   :      22.044968      ベクトル命令実行時間
Inst. Count         :    1680849884.      全命令実行数
V. Inst. Count      :    964802200.      ベクトル命令実行数
V. Element Count    :    21529543316.    ベクトル命令実行要素数
FLOP Count         :    95763953865.    浮動小数点データ実行要素数
MOPS               :    9562.698298     MOPS 値
MFLOPS            :    4239.412620     MFLOPS 値
VLEN              :    223.149816     平均ベクトル長
V. Op. Ratio (%)   :    99.668514     ベクトル演算率
Memory Size (MB)   :    240.031250     メモリ使用量
MIPS              :    74.410213     MIPS 値
I-Cache (sec)     :    0.057218     命令キャッシュミス
O-Cache (sec)     :    0.043932     オペランドキャッシュミス
Bank (sec)        :    0.006768     バンクコンフリクト時間

Start Time (date)  : 2002/08/28 16:42:34   プログラムの開始日時
End Time (date)   : 2002/08/28 16:42:57   プログラムの終了日時

```

図 6 proginf 情報の出力例

## 5.2 簡易性能解析機能(fttrace)

proginf 情報では、プログラム全体のベクトル化率(ベクトル演算率)等を知ることができますが、手続き単位の性能を知ることができません。

これに対して、簡易性能解析機能(fttrace 機能)を使用すれば、手続き単位や指定した範囲の性能情報を表示することができ、この情報を元にプログラムの性能上の問題点を調べることができます。

簡易性能解析機能の使い方を以下に示します。

- 1) プログラムを `-fttrace` オプションをつけてコンパイル・リンク  
`% sxf90 -fttrace test.f90`
- 2) できた実行ファイルを実行  
`% a.out`
- 3) `fttrace` コマンドを実行  
`% fttrace`

このようにするだけで、第 7 図に示すように手続き単位の平均ベクトル長、ベクトル演算率などの性能情報が出力されます。

なお、3)の `fttrace` コマンドを実行する代わりに、2)の実行の前に環境変数 `F_FTTRACE` に `YES` を設定しておく、プログラムの実行が終了したときに、

性能情報が自動的に表示されます(東北大学では規定値として YES が設定されています)。

```

*-----*
FLOW TRACE ANALYSIS LIST
*-----*
Execution : Wed Aug 28 16:42:57 2002
Total CPU : 0:00'22"569

```

手続き名	Call回数	実行時間					ベクトル演算率	平均ベクトル長		
PROG.UNIT	FREQUENCY	EXCLUSIVE TIME[sec]( % )	AVER.TIME [msec]	MOPS	MFLOPS	V.OP RATIO	AVER V.LEN	.....	BANK CONF	
calc2	800	7.594( 33.6)	9.492	9778.0	4874.4	99.72	222.3		0.0000	
calc1	800	7.053( 31.2)	8.816	10119.8	4642.8	99.76	222.3		0.0000	
calc3	798	5.565( 24.7)	6.973	9212.8	3827.9	99.77	222.3		0.0000	
shallow	1	2.346( 10.4)	2346.201	8122.2	1998.5	98.87	232.1		0.0067	
initial	1	0.007( 0.0)	6.979	6084.6	2188.4	98.93	222.4		0.0000	
calc3z	1	0.005( 0.0)	5.479	3930.8	0.0	99.31	222.5		0.0000	
total	2401	22.570(100.0)	9.400	9570.7	4243.0	99.67	223.2		0.0067	

図 7 ftrace コマンドの出力例

より詳しい使い方については、「FORTRAN90/SX プログラミングの手引 10.3 簡易性能解析機能」をご参照ください。

## 6. おわりに

以上、FORTRAN90/SX コンパイラの自動ベクトル化機能を中心にご紹介させていただきました。今回は特に、スーパーコンピュータを初めて使われる方にも解りやすくご説明したつもりです。しかし全てをご紹介することはできませんでしたので、さらに詳細につきましては、「FORTRAN90/SX プログラミングの手引」を参照して下さるようお願い致します。

皆様が SX-7 と FORTRAN90/SX を使っていただくうえで、本稿が、多少なりともお役に立てれば幸いです。

### 参考文献

- (1) FORTRAN90/SX 言語説明書 (G1AF06)
- (2) FORTRAN90/SX プログラミングの手引(G1AF07)