

スーパーコンピュータ S-810 東大システム における 基本演算と数学関数の性能評価

東京大学 大型計算機センター

唐木 幸比古

(Yukihiko KARAKI)

パイプライン方式高速アレイプロセッサの登場によって、従来型の逐次方式計算機とは全く異なる数値計算性能の断面が見られるようになりつつある。

ここでは、去る11月1日（1983年）より一般利用者に公開された国産初のスーパーコンピュータ

HITAC S-810 モデル 20

東大システムにおける 基本演算及び数学関数の速度と精度について性能調査を行った結果を報告する。合せて、線型計算や応用計算の性能についても若干の調査例を紹介する。その他、S-810 高速化技法について簡単に述べる。

調査の限りでは、S-810 モデル 20 は、現存する総てのコンピュータの中で、現在、世界最高速である。

0. はじめに

計算機の性能が向上すると、計算フィールドは拡大する。

東京大学大型計算機センターにおける計算処理量を調べると、年々増加の一途をたどっており、特にここ数年の伸びは著しい¹⁾。東大センター利用者(約5000名)の約9割はFORTRANを主要言語に用いており、科学・技術方面の数値計算が中心である。センター登録ライブラリプログラムの利用率は約4割(件数比)であり、その約7割が数値計算、約3割が図形処理(件数比)である²⁾。数値計算の中心は線型計算(行列処理)であり、連立一次方程式や固有値問題がその中核部を占める。統計計算の件数比もそれに次ぐが、演算時間の比率では行列演算やそれらを含む応用計算が圧倒的比重を占める。

これらを背景としてスーパーコンピュータ S-810 は導入された。

ここでは、国産初の公開となったこのスーパーコンピュータ(東大システム)の処理性能について、特に最も基本的な演算に関する性能を中心に実験調査した結果を報告し、並列演算パイプライン方式アレイプロセッサの概要を、利用者プログラムレベルから明らかにすることを試みる。測定は、11月1日~22日の間に行ったものを中心に、若干補足する。

1. 基本演算の性能 4)

S-810は、倍精度浮動小数点演算(64ビット)の高速化を中心に、単精度演算・整数/論理演算なども高速化される。4倍精度演算は高速化されない。IF文は、ANS 66レベルの算術IF文や論理IF文が高速化される他に、ANS 77レベルの構造化IF文も高速化され、IFの深さるまでベクトル化される。配列の添字は、線型変動のみならず⁵⁾非線型変動も高速化され間接添字が自動ベクトル化される。

ベクトル化の対象となるFORTRAN文は、CRAY-1やIAPと同様、最内側DOループに含まれる配列演算だけである。但し、入出力文の並びに書かれた配列は(つまり入力/出力の実行は)高速処理されない。

ここでは、倍精度浮動小数点演算を含む幾つかのFORTRAN文について、その処理速度を実測した結果を紹介する。

始めに、四則演算及び内積・総和・積和などを含む短項/多項の16個の文(図1参照)について、DOループの長さを様々に変えて処理速度を測定した結果を報告する。

次に、基本演算性能のCRAY-1における公表値⁶⁾との比較を試みる。公表された16演算のうち10個を抜粋して他のアレイプロセッサとの比較を行う。(6. 参照)

表1a~eに、ループ長 $\infty, 20, 50, 100, 300$ の実測値を示す。

ARRAY PROCESSOR TEST THROUGH FORTRAN'S BASIC ELEMENTS.
CODED BY Y.KARAKI

- No.
1. $A(I) = PAI$
 2. $A(I) = B(I)$
 3. $A(I) = B(I) + C(I)$
 4. $A(I) = B(I) * C(I)$
 5. $A(I) = B(I) / C(I)$
 6. $S = S + B(I)$
 7. $S = S + B(I) * C(I)$
 8. $S = S + (B(I) + C(I)) * (D(I) + E(I))$
 9. $A(I) = A(I) + B(I)$
 10. $A(I) = A(I) + B(I) * C(I)$
 11. $A(I) = A(I) + (B(I) + C(I)) * (D(I) + E(I))$
 12. $A(I) = A(I) + B(I) * (C(I) + D(I) * E(I))$
 13. $A(I) = A(I) + B(I) * (C(I) + D(I) * (E(I) + F(I) * G(I)))$
 14. $A(I) = A(I) + B(I) * (C(I) + D(I) * (E(I) + F(I) * (G(I) + H(I) * Z(I))))$
 15. $A(I) = A(I) + B(I) + C(I) + D(I) + E(I)$
 16. $A(I) = A(I) + B(I) + C(I) + D(I) * 1.D0 + E(I) * 1.D0$

図1. 基本演算16IL-7°の一覧

表1a. 基本演算の速さ (IL-7°長)

(倍精度)

ARRAY PROCESSOR TEST THROUGH FORTRAN'S ELEMENTS

Loop length N = 10000

| NO. | FLOP | CTIME msec | OVERHEAD msec | MFLOPS | TIME/LOOP nsec | PERIODS |
|-----|-------|---------------|------------------|----------|-------------------|---------|
| 1 | 100. | 0.84 | 0.0 | 119.156 | 8.4 | 0.6 |
| 2 | 100. | 0.82 | 0.84 | 121.363 | 8.2 | 0.6 |
| 3 | 100. | 0.82 | 1.46 | 121.363 | 8.2 | 0.6 |
| 4 | 100. | 0.84 | 1.66 | 119.156 | 8.4 | 0.6 |
| 5 | 100. | 1.66 | 1.46 | 60.125 | 16.6 | 1.2 |
| 6 | 100. | 0.82 | 0.84 | 121.363 | 8.2 | 0.6 |
| 7 | 200. | 0.63 | 1.66 | 319.688 | 6.3 | 0.4 |
| 8 | 400. | 0.82 | 1.46 | 485.452 | 8.2 | 0.6 |
| 9 | 100. | 0.41 | 2.50 | 242.726 | 4.1 | 0.3 |
| 10 | 200. | 0.84 | 2.29 | 238.313 | 8.4 | 0.6 |
| 11 | 400. | 1.68 | 2.29 | 238.313 | 16.8 | 1.2 |
| 12 | 400. | 1.66 | 2.29 | 240.499 | 16.6 | 1.2 |
| 13 | 600. | 1.66 | 3.97 | 360.749 | 16.6 | 1.2 |
| 14 | 800. | 2.72 | 4.99 | 294.544 | 27.2 | 1.9 |
| 15 | 400. | 1.25 | 2.29 | 319.688 | 12.5 | 0.9 |
| 16 | 600. | 1.66 | 2.29 | 360.749 | 16.6 | 1.2 |
| | 4700. | 19.15 | 32.30 | 3763.245 | 191.5 | 13.7 |

AVERAGE MFLOPS = 235.203 Mflops

表1b. 基本演算の速さ (IL-7°長20)

(倍精度)

Loop length N = 20

| NO. | FLOP | CTIME msec | OVERHEAD msec | MFLOPS | TIME/LOOP nsec | PERIODS |
|-----|-------|---------------|------------------|---------|-------------------|---------|
| 1 | 100. | 6.45 | 13.34 | 15.493 | 64.5 | 4.6 |
| 2 | 100. | 8.76 | 25.41 | 11.417 | 87.6 | 6.3 |
| 3 | 100. | 8.74 | 26.67 | 11.437 | 87.4 | 6.2 |
| 4 | 100. | 10.01 | 26.66 | 9.990 | 100.1 | 7.1 |
| 5 | 100. | 15.41 | 26.67 | 6.489 | 154.1 | 11.0 |
| 6 | 100. | 9.78 | 25.42 | 10.224 | 97.8 | 7.0 |
| 7 | 200. | 9.81 | 26.66 | 20.384 | 98.1 | 7.0 |
| 8 | 400. | 11.87 | 26.67 | 33.695 | 118.7 | 8.5 |
| 9 | 100. | 8.74 | 33.34 | 11.437 | 87.4 | 6.2 |
| 10 | 200. | 9.58 | 33.54 | 20.871 | 95.8 | 6.8 |
| 11 | 400. | 12.08 | 33.54 | 33.099 | 120.8 | 8.6 |
| 12 | 400. | 12.28 | 33.34 | 32.564 | 122.8 | 8.8 |
| 13 | 600. | 13.34 | 38.54 | 44.990 | 133.4 | 9.5 |
| 14 | 800. | 17.09 | 41.87 | 46.811 | 170.9 | 12.2 |
| 15 | 400. | 10.83 | 33.54 | 36.922 | 108.3 | 7.7 |
| 16 | 600. | 14.16 | 33.34 | 42.372 | 141.6 | 10.1 |
| | 4700. | 178.96 | 478.55 | 388.198 | 1789.6 | 127.8 |

AVERAGE MFLOPS = 24.262 Mflops

表1c. 基本演算の速さ (IL-7°長50)

(倍精度)

Loop length N = 50

| NO. | FLOP | CTIME msec | OVERHEAD msec | MFLOPS | TIME/LOOP nsec | PERIODS |
|-----|-------|---------------|------------------|---------|-------------------|---------|
| 1 | 100. | 3.13 | 5.20 | 31.969 | 31.3 | 2.2 |
| 2 | 100. | 3.97 | 10.62 | 25.206 | 39.7 | 2.8 |
| 3 | 100. | 4.17 | 11.46 | 24.006 | 41.7 | 3.0 |
| 4 | 100. | 4.59 | 11.44 | 21.773 | 45.9 | 3.3 |
| 5 | 100. | 6.88 | 11.67 | 14.531 | 68.8 | 4.9 |
| 6 | 100. | 4.38 | 10.62 | 22.835 | 43.8 | 3.1 |
| 7 | 200. | 4.17 | 11.67 | 48.012 | 41.7 | 3.0 |
| 8 | 400. | 5.20 | 11.67 | 76.875 | 52.0 | 3.7 |
| 9 | 100. | 3.75 | 14.79 | 26.641 | 37.5 | 2.7 |
| 10 | 200. | 4.17 | 14.79 | 48.012 | 41.7 | 3.0 |
| 11 | 400. | 5.20 | 14.80 | 76.875 | 52.0 | 3.7 |
| 12 | 400. | 5.22 | 14.79 | 76.650 | 52.2 | 3.7 |
| 13 | 600. | 6.24 | 17.72 | 96.141 | 62.4 | 4.5 |
| 14 | 800. | 7.72 | 19.79 | 103.614 | 77.2 | 5.5 |
| 15 | 400. | 5.83 | 14.59 | 68.624 | 58.3 | 4.2 |
| 16 | 600. | 6.27 | 14.57 | 95.673 | 62.7 | 4.5 |
| | 4700. | 80.89 | 210.19 | 857.436 | 808.9 | 57.8 |

AVERAGE MFLOPS = 53.590 Mflops

表1d. 基本演算の速さ (ループ長100)

(倍精度)

Loop length N = 100

| NO. | FLOP | CTIME msec | OVERHEAD msec | MFLOPS | TIME/LOOP nsec | PERIODS |
|-----|-------|---------------|------------------|----------|-------------------|---------|
| 1 | 100. | 1.88 | 2.72 | 53.281 | 18.8 | 1.3 |
| 2 | 100. | 2.50 | 5.62 | 39.961 | 25.0 | 1.8 |
| 3 | 100. | 2.50 | 6.67 | 39.961 | 25.0 | 1.8 |
| 4 | 100. | 2.29 | 6.88 | 43.691 | 22.9 | 1.6 |
| 5 | 100. | 4.17 | 6.67 | 24.006 | 41.7 | 3.0 |
| 6 | 100. | 2.72 | 5.62 | 36.818 | 27.2 | 1.9 |
| 7 | 200. | 2.70 | 6.67 | 74.052 | 27.0 | 1.9 |
| 8 | 400. | 2.70 | 6.88 | 148.104 | 27.0 | 1.9 |
| 9 | 100. | 2.30 | 8.74 | 43.401 | 23.0 | 1.6 |
| 10 | 200. | 2.49 | 8.76 | 80.412 | 24.9 | 1.8 |
| 11 | 400. | 3.34 | 8.74 | 119.700 | 33.4 | 2.4 |
| 12 | 400. | 3.31 | 8.76 | 120.804 | 33.1 | 2.4 |
| 13 | 600. | 3.77 | 10.62 | 159.197 | 37.7 | 2.7 |
| 14 | 800. | 4.79 | 12.50 | 166.971 | 47.9 | 3.4 |
| 15 | 400. | 3.56 | 8.74 | 112.508 | 35.6 | 2.5 |
| 16 | 600. | 3.74 | 8.76 | 160.496 | 37.4 | 2.7 |
| | 4700. | 48.75 | 123.34 | 1423.363 | 487.5 | 34.8 |

AVERAGE MFLOPS = 88.960 Mflops

表1e. 基本演算の速さ (ループ長300)

(倍精度)

Loop length N = 300

| NO. | FLOP | CTIME msec | OVERHEAD msec | MFLOPS | TIME/LOOP nsec | PERIODS |
|-----|-------|---------------|------------------|----------|-------------------|---------|
| 1 | 100. | 1.02 | 1.05 | 97.717 | 10.2 | 0.7 |
| 2 | 100. | 1.25 | 2.29 | 79.842 | 12.5 | 0.9 |
| 3 | 100. | 1.05 | 3.33 | 94.885 | 10.5 | 0.8 |
| 4 | 100. | 1.45 | 3.13 | 68.916 | 14.5 | 1.0 |
| 5 | 100. | 2.29 | 3.13 | 43.647 | 22.9 | 1.6 |
| 6 | 100. | 1.25 | 2.50 | 79.842 | 12.5 | 0.9 |
| 7 | 200. | 1.46 | 3.11 | 136.397 | 14.7 | 1.0 |
| 8 | 400. | 1.45 | 3.34 | 275.665 | 14.5 | 1.0 |
| 9 | 100. | 1.25 | 4.17 | 79.842 | 12.5 | 0.9 |
| 10 | 200. | 1.25 | 4.38 | 159.684 | 12.5 | 0.9 |
| 11 | 400. | 2.09 | 4.36 | 191.155 | 20.9 | 1.5 |
| 12 | 400. | 2.06 | 4.18 | 193.987 | 20.6 | 1.5 |
| 13 | 599. | 2.50 | 5.83 | 239.526 | 25.0 | 1.8 |
| 14 | 799. | 2.91 | 7.51 | 274.222 | 29.2 | 2.1 |
| 15 | 400. | 2.08 | 4.38 | 192.560 | 20.8 | 1.5 |
| 16 | 599. | 2.29 | 4.17 | 261.882 | 22.9 | 1.6 |
| | 4695. | 27.66 | 60.85 | 2469.768 | 276.9 | 19.8 |

AVERAGE MFLOPS = 154.361 Mflops

表1_aによれば、S-810の加算・乗算は120 MFLOPSの速さであり除算はその半分の60 MFLOPSである。マクロ演算では、内積が320 MFLOPS・積和が240 MFLOPS・総和が120 MFLOPSである。(コンパイラオプション⁷⁾はHAP(PP)。)

短項演算に比べて多項演算は一般に速い。加算と内積を組合せた演算の480 MFLOPSをはじめ、5項加算の320 MFLOPS、7項の加乗算の360 MFLOPSなど短項の2~4倍速が得られている。

加算のスカラ処理速度が約4 MFLOPSであるから、加算のベクトル処理速度は、2項加算で30倍、5項加算で80倍高速化される。(但し、5項加算のスカラ速度は約10 MFLOPS)

データ転送速度は120⁸⁾ MFLOPS₀である。

基本演算16ループの平均速度は235 MFLOPSとなり、スカラ平均速度の約40倍である。(加速率 $=\frac{\text{ベクトル処理速度}}{\text{スカラ処理速度}}$
(平均加速率))

表1_{b~e}は、ユーザ・プログラムで通常よく使われるループ長での速さを示す。加算では、ループ長50で約25 MFLOPS、ループ長100で40 MFLOPS、ループ長300で約100 MFLOPSとなっている。ループ長300でほぼ極限速度のレベル(120 MFLOPS)に達していることがわかる。ループ長300の平均速度は154 MFLOPSである。

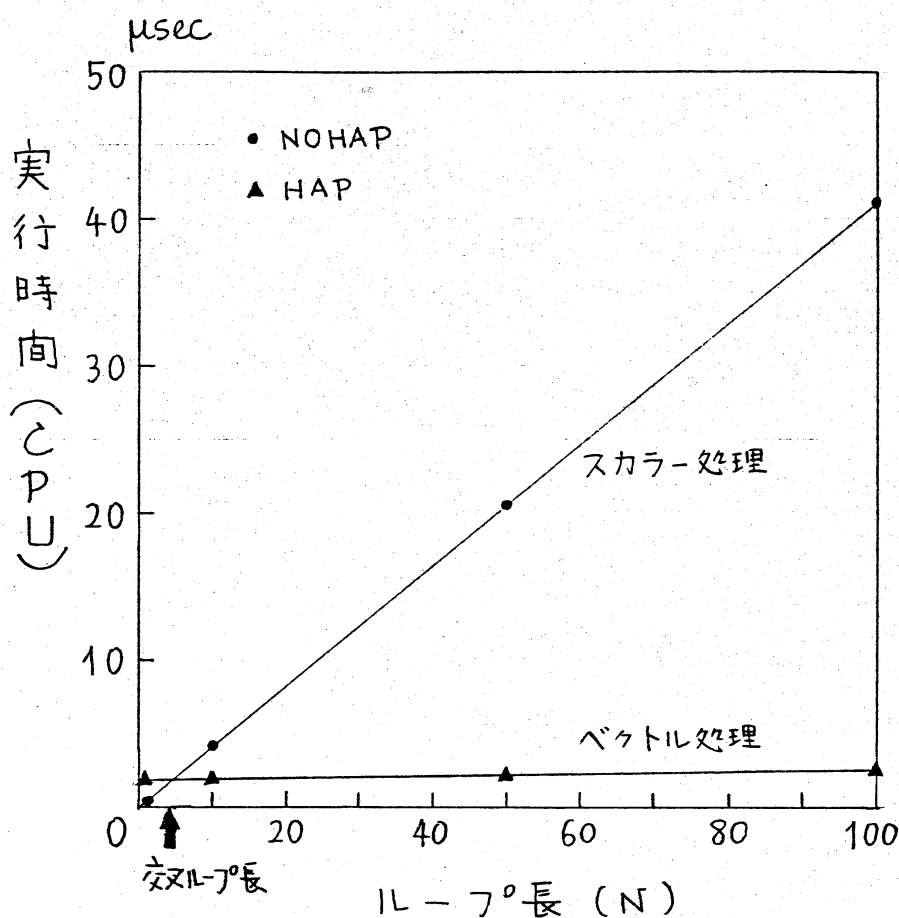


図2. S-810のベクトル/スカラー処理の比較

実行時間は、次の積和ループ

```

DO 10 I = 1, N
  A(I) = A(I) + B(I) * C(I)

```

を測定したものをプロットしている。

積和ループの交叉ループ長は、約4である。

図2は、ベクトル処理とスカラー処理の実行時間とループ長の関係を示す。(ベクトル処理速度とスカラー処理速度が交叉する) ループ長を交叉ループ長と呼ぶ。

交叉ループ長は、短項演算で4~8、多項演算で2~5であった。総和ループの交叉長(8)を除いて、非常に短い。

2. 数学関数の性能

S-810用FORTRANコンパイラ FORT77/HAP
が提供する数学関数(組込関数)の総てについて、速度と精
度を調査した。

表2a~dは、数学関数のベクトル処理速度とスカラー処
理速度を比較したものである。

表2a. 数学関数の速さ (倍精度実数)

Speeds of Mathematical Functions on HITAC S-810/20
Real Function in FORTRAN 77 (Double Precision)

| Func | Vector | Scalar | Ratio | Range |
|--------|--------|--------|-------|----------------------|
| | nsec | nsec | S/V | |
| DEXP | 166.7 | 4041.7 | 24.2 | $ x \leq 20$ |
| DLOG | 250.0 | 3791.7 | 15.2 | $0 < x < 20$ |
| DLOG10 | 270.8 | 3875.0 | 14.3 | $0 < x < 20$ |
| DSIN | 166.7 | 3520.8 | 21.1 | $ x < 20$ |
| | 187.5 | 3041.7 | 16.2 | $ x < \text{pai}/2$ |
| DCOS | 187.5 | 3437.5 | 18.3 | $ x < 20$ |
| | 166.7 | 2937.5 | 17.6 | $ x < \text{pai}/2$ |
| DTAN | 7791.7 | 7812.5 | 1.0 | $ x < 20$ |
| | 7729.2 | 7791.7 | 1.0 | $ x < \text{pai}/2$ |
| DARSIN | 8520.8 | 8520.8 | 1.0 | $ x < 1$ |
| DARCOS | 8541.7 | 8604.2 | 1.0 | $ x < 1$ |
| DATAN | 250.0 | 5875.0 | 23.5 | $ x < 20$ |
| | 229.2 | 5729.2 | 25.0 | $ x < \sqrt{2}-1$ |
| DATAN2 | 354.2 | 7166.7 | 20.2 | $ x < 1$ |
| DSINH | 8375.0 | 8416.7 | 1.0 | $ x < 20$ |
| | 3479.2 | 3520.8 | 1.0 | $ x < 1$ |
| DCOSH | 8812.5 | 8791.7 | 1.0 | $ x < 20$ |
| | 8687.5 | 8604.2 | 1.0 | $ x < 1$ |
| DTANH | 187.5 | 8312.5 | 44.3 | $ x < 20$ |
| | 187.5 | 4645.8 | 24.8 | $ x < 1/2$ |
| DSQRT | 208.3 | 4000.0 | 19.2 | $0 < x < 20$ |

NOTE

The value of speed is the CPU time per operation
of $A(i) = \text{Func}(X(i))$. The speed is the average of
10000 times.

スカラー処理では、倍精度と単精度の速度差が大きかったが、ベクトル処理では速度差は僅かである。その結果、例えばEXP関数では単精度で15倍速、倍精度で24倍速といった加速率の差が見られることになる。CDEXP及びDTANHの44倍速を最高に、ベクトル化された関数の加速率は14~44倍速の間に様々に分布する。(MAX1、MIN1、REALは7~10倍)

表2b. 数学関数の速さ (単精度実数)

Speeds of Mathematical Functions on HITAC S-810/20
Real Function in FORTRAN 77 (Single Precision)

| Func | Vector | Scalar | Ratio | Range |
|--------|--------|--------|-------|----------------------|
| | nsec | nsec | S/V | |
| EXP | 145.8 | 2187.5 | 15.0 | $ x \leq 20$ |
| ALOG | 229.2 | 3333.3 | 14.5 | $0 < x < 20$ |
| ALOG10 | 229.2 | 3354.2 | 14.6 | $0 < x < 20$ |
| SIN | 125.0 | 2604.2 | 20.8 | $ x < 20$ |
| | 125.0 | 2270.8 | 18.2 | $ x < \text{pai}/2$ |
| COS | 125.0 | 2458.3 | 19.7 | $ x < 20$ |
| | 125.0 | 2187.5 | 17.5 | $ x < \text{pai}/2$ |
| TAN | 6687.5 | 6625.0 | 1.0 | $ x < 20$ |
| | 6666.7 | 6604.2 | 1.0 | $ x < \text{pai}/2$ |
| ARSIN | 6750.0 | 6812.5 | 1.0 | $ x < 1$ |
| ARCOS | 6687.5 | 6708.3 | 1.0 | $ x < 1$ |
| ATAN | 208.3 | 4666.7 | 22.4 | $ x < 20$ |
| | 208.3 | 4395.8 | 21.1 | $ x < \sqrt{2}-1$ |
| ATAN2 | 250.0 | 5708.3 | 22.8 | $ x < 1$ |
| SINH | 6458.3 | 6395.8 | 1.0 | $ x < 20$ |
| | 2875.0 | 2791.7 | 1.0 | $ x < 1$ |
| COSH | 6645.8 | 6729.2 | 1.0 | $ x < 20$ |
| | 6645.8 | 6708.3 | 1.0 | $ x < 1$ |
| TANH | 125.0 | 4875.0 | 39.0 | $ x < 20$ |
| | 208.3 | 6020.8 | 28.9 | $ x < 1/2$ |
| SQRT | 208.3 | 3541.7 | 17.0 | $0 < x < 20$ |

NOTE

The value of speed is the CPU time per operation of $A(i) = \text{Func}(X(i))$. The speed is the average of 10000 times.

表 2c. 数学関数の速さ (複素数)

Speeds of Mathematical Functions
on HITAC S-810 model 20 (FORT77 / HAP)
Complex Function in FORTRAN 77

| Func | Vector | Scalar | Ratio |
|--------|--------|---------|-------|
| | nsec | nsec | S/V |
| CEXP | 375.0 | 13729.2 | 36.6 |
| CLOG | 645.8 | 13833.3 | 21.4 |
| CSIN | 437.5 | 15062.5 | 34.4 |
| CCOS | 458.3 | 14895.8 | 32.5 |
| CSQRT | 500.0 | 14125.0 | 28.3 |
| CDEXP | 395.8 | 17583.3 | 44.4 |
| CDLOG | 687.5 | 15979.2 | 23.2 |
| CDSIN | 458.3 | 19166.7 | 41.8 |
| CDCOS | 437.5 | 18916.7 | 43.2 |
| CDSQRT | 562.5 | 15812.5 | 28.1 |

NOTE

The value of speed is the CPU time per operation of $A(i) = \text{Func}(X(i))$. The speed is the average of 10000 times.

表 2d. 数学関数の速さ (組込関数)

Kumikomi Kansuu no Jikan Sokutei (S-810) DATE 83-11-22

| Func | Vector | Ratio | Scalar |
|--------|------------|-------|-------------|
| ----- | ----- | ----- | ----- |
| IDINT | 20.8 nsec | 26.0 | 541.7 nsec |
| DFLOAT | 20.8 nsec | 29.0 | 604.2 nsec |
| DINT | 20.8 nsec | 12.0 | 250.0 nsec |
| DNINT | 20.8 nsec | 23.0 | 479.2 nsec |
| DABS | 20.8 nsec | 12.0 | 250.0 nsec |
| DMOD | 41.7 nsec | 30.0 | 1250.0 nsec |
| DSIGN | 20.8 nsec | 21.0 | 437.5 nsec |
| DDIM | 20.8 nsec | 17.0 | 354.2 nsec |
| DMAX1 | 41.7 nsec | 9.5 | 395.8 nsec |
| DMIN1 | 41.7 nsec | 8.5 | 354.2 nsec |
| DBEKI | 270.8 nsec | 14.4 | 3895.8 nsec |
| REAL | 41.7 nsec | 7.0 | 291.7 nsec |
| AIMAG | 20.8 nsec | 13.0 | 270.8 nsec |
| CMPLEX | 20.8 nsec | 16.0 | 333.3 nsec |
| CONJG | 20.8 nsec | 14.0 | 291.7 nsec |
| CABS | 208.3 nsec | 39.4 | 8208.3 nsec |

FORTRAN 77 に属する組込関数の多くは高速化されているが、TAN、SINH、COSH、ARSIN、ARCOS (単/倍精度) はベクトル化されていない。

また、77規格外のCBRT、ERF、ERFC、GAMMA、ALGAMA (単/倍精度) もベクトル化されていない。

べき乗 (**) は、単・倍精度実数及び複素数のいずれもベクトル化されている。

4倍精度関数は、4倍精度基本演算と同様、全くベクトル化されない。

DEXPはQEXPの160倍速、DSINはQSINの153倍速、DSQRTはQSQRTの59倍速である。

DMODはQMODの441倍速である。

基本演算の加速率が 約20~60倍速 に分布しているのに対して、数学関数の加速率が 約10~40倍速 に分布しているのは、数学関数の内部演算に分岐命令等の減速要因が含まれているためであろう。

IF文や間接添字を含む演算の性能については、別の機会にゆずることとし、ここでは省略する。

表3a. 数学関数の精度 (倍精度実数)

Error Bounds of Mathematical Functions on HITAC S-810/20 (FORT77/HAP) .
Real Function in FORTRAN 77 (Double Precision)

| Func | Rel / Abs | Vector Processing Max.Error (place) | Ratio V/S | Range |
|--------|-----------|--|--------------|------------------------------|
| DEXP | Rel.Error | 2.031E-16 (-1.379E+01) | 1.1 | $ x \leq 20$ |
| DLOG | Rel.Error | 1.966E-16 (2.944E+00) | 1.0 | $0 < x \leq 20$ |
| DLOG10 | Rel.Error | 2.296E-16 (1.162E+00) | 0.9 | $0 < x \leq 20$ |
| DSIN | Rel.Error | 2.020E-16 (6.360E-02) | 1.0 | $ x < \text{pai}/4$ |
| | Abs.Error | 2.895E-17 (-2.344E+00) | 1.0 | $-20 \leq x < -\text{pai}/4$ |
| DCOS | Abs.Error | 2.621E-17 (1.046E+01) | 1.0 | $\text{pai}/4 < x \leq 20$ |
| | Abs.Error | 2.998E-17 (-1.644E+01) | 1.0 | $ x \leq 20$ |
| DTAN | Abs.Error | 2.264E-17 (-8.407E-01) | 1.0 | $ x < \text{pai}/2$ |
| | Rel.Error | 3.298E-16 (-6.988E-02) | 1.0 | $ x < \text{pai}/4$ |
| DARSIN | Rel.Error | 4.287E-16 (-1.877E+01) | 1.0 | $-20 \leq x < -\text{pai}/4$ |
| | Rel.Error | 4.177E-16 (3.075E+00) | 1.0 | $\text{pai}/4 < x \leq 20$ |
| DARCOS | Rel.Error | 2.050E-16 (6.543E-02) | 1.0 | $ x < 1/2$ |
| | Abs.Error | 2.183E-16 (-9.038E-01) | 1.0 | $-1 < x \leq -1/2$ |
| DARCOS | Abs.Error | 2.175E-16 (8.729E-01) | 1.0 | $1/2 \leq x < 1$ |
| | Abs.Error | 3.354E-16 (-6.010E-01) | 1.0 | $ x < 1$ |
| DATAN | Rel.Error | 2.848E-16 (1.702E+00) | 1.0 | $ x \leq 20$ |
| | Rel.Error | 2.210E-16 (6.990E-02) | 0.9 | $ x < \sqrt{2}-1$ |
| DSINH | Rel.Error | 3.289E-16 (-1.740E+01) | 1.0 | $ x \leq 20$ |
| | Rel.Error | 2.003E-16 (7.043E-02) | 1.0 | $ x < 1$ |
| DCOSH | Rel.Error | 3.231E-16 (1.748E+01) | 1.0 | $ x < 1$ |
| | Rel.Error | 2.079E-16 (-6.244E-02) | 1.0 | $ x \leq 20$ |
| DTANH | Rel.Error | 2.627E-16 (1.401E-01) | 2.1 | $ x \leq 20$ |
| | Rel.Error | 3.801E-16 (1.024E-01) | 2.3 | $ x < 1/2$ |
| DSQRT | Rel.Error | 1.768E-16 (1.222E+00) | 1.8 | $0 < x \leq 20$ |

NOTE

Rel.Error = $| \text{DFUNC}(x) - \text{QFUNC}(x) | / | \text{DFUNC}(x) |$ Abs.Error = $| \text{DFUNC}(x) - \text{QFUNC}(x) |$

DFUNC := Mathematical Function of Double Precision .

QFUNC := Mathematical Function of Quadruple Precision .

Double Precision := 64 bit data length (REAL*8)

Quadruple Precision := 128 bit data length (REAL*16)

Ratio = Max.Error (Vector) / Max.Error (Scalar) .

Max.Error is the maximum of errors for 1000 points of equi-interval .
Place shows the value of the variable (x) at which the error becomes maximum in test .

表3a~bは、数学関数の精度を示す。スカラー処理の関数に比べて、誤差限界値(最大誤差)はベクトル処理の関数の方がやや悪く、DSQRT、DTANH、SQRT、EXP、TANHなどで約2倍の性能差が出ている。しかしながら、逆にベクトル関数の誤差限界値の方が小さいものも幾つかあり、全体的には、スカラーとベクトルの関数精度は同程度

表3b. 数学関数の精度 (単精度実数)

Error Bounds of Mathematical Functions on HITAC S-810/20 (FORT77 / HAP) .
Real Function in FORTRAN 77 (Single Precision)

| Func | Rel / Abs | Vector Processing | | Scalar Processing | | Ratio V/S |
|--------|-----------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | Max.Error | (place) | Max.Error | (place) | |
| EXP | Rel.Error | 9.390E-07 | (-5.545E+00) | 4.556E-07 | (1.111E+01) | 2.1 |
| ALOG | Rel.Error | 8.972E-07 | (2.824E+00) | 8.972E-07 | (2.824E+00) | 1.0 |
| ALOG10 | Rel.Error | 8.980E-07 | (1.065E+01) | 1.208E-06 | (1.053E+01) | 0.7 |
| SIN | Rel.Error | 8.116E-07 | (-7.143E-02) | 7.482E-07 | (-6.515E-02) | 1.1 |
| | Abs.Error | 1.027E-07 | (-5.496E+00) | 1.389E-07 | (-2.304E+00) | 0.7 |
| COS | Abs.Error | 1.018E-07 | (1.156E+01) | 1.493E-07 | (1.029E+01) | 0.7 |
| | Abs.Error | 1.020E-07 | (-8.868E+00) | 1.351E-07 | (-1.956E+01) | 0.8 |
| TAN | Abs.Error | 1.010E-07 | (-5.640E-01) | 1.140E-07 | (7.119E-01) | 0.9 |
| | Rel.Error | 1.600E-06 | (6.519E-02) | 1.600E-06 | (6.519E-02) | 1.0 |
| ARSIN | Abs.Error | 1.904E-06 | (-1.263E+01) | 1.904E-06 | (-1.263E+01) | 1.0 |
| | Rel.Error | 2.083E-06 | (3.075E+00) | 2.083E-06 | (3.075E+00) | 1.0 |
| ARCSIN | Rel.Error | 5.770E-07 | (6.345E-02) | 5.770E-07 | (6.345E-02) | 1.0 |
| | Abs.Error | 9.483E-07 | (-9.716E-01) | 9.483E-07 | (-9.716E-01) | 1.0 |
| ARCCOS | Abs.Error | 9.400E-07 | (9.855E-01) | 9.400E-07 | (9.855E-01) | 1.0 |
| | Abs.Error | 1.245E-06 | (-4.090E-01) | 1.245E-06 | (-4.090E-01) | 1.0 |
| ATAN | Rel.Error | 8.546E-07 | (1.822E+00) | 1.035E-06 | (1.982E+00) | 0.8 |
| | Rel.Error | 9.024E-07 | (-6.329E-02) | 8.358E-07 | (6.411E-02) | 1.1 |
| SINH | Rel.Error | 8.812E-07 | (-1.101E+00) | 8.812E-07 | (-1.101E+00) | 1.0 |
| | Rel.Error | 8.058E-07 | (8.830E-01) | 8.058E-07 | (8.830E-01) | 1.0 |
| COSH | Rel.Error | 9.728E-07 | (7.030E-01) | 9.728E-07 | (7.030E-01) | 1.0 |
| | Rel.Error | 9.905E-07 | (6.306E+00) | 9.905E-07 | (6.306E+00) | 1.0 |
| TANH | Rel.Error | 3.817E-07 | (1.403E-01) | 2.518E-07 | (1.002E-01) | 1.5 |
| | Rel.Error | 8.558E-07 | (-6.542E-02) | 4.263E-07 | (-6.742E-02) | 2.0 |
| SQRT | Rel.Error | 8.156E-07 | (1.242E+00) | 4.157E-07 | (1.062E+00) | 2.0 |

NOTE

Rel.Error = $| \text{FUNC}(x) - \text{DFUNC}(x) | / | \text{FUNC}(x) |$

Abs.Error = $| \text{FUNC}(x) - \text{DFUNC}(x) |$

FUNC := Mathematical Function of single precision .

DFUNC := Mathematical Function of double precision .

Single Precision := 32 bit data length (REAL*4)

Double Precision := 64 bit data length (REAL*8)

Ratio = Max.Error (Vector) / Max.Error (Scalar) .

Max.Error is the maximum of errors for 1000 points of equi-interval .

The range of variable (x) is equal to the test on double precision .
(See the Table 3a.)

であるといえる。面白いのは、高速化された関数の中で、精度の変化したものと不変のものが見られることである。例えばEXP (単・倍)、ALOG10 (単・倍)、SIN、COS、TANH (単・倍)、SQRT (単・倍)などは精度が変化しているのに対して、ALOG (単・倍)、DSIN、DCOSなどは高速化されているにもかかわらず精度不変である。

3. ピーク性能

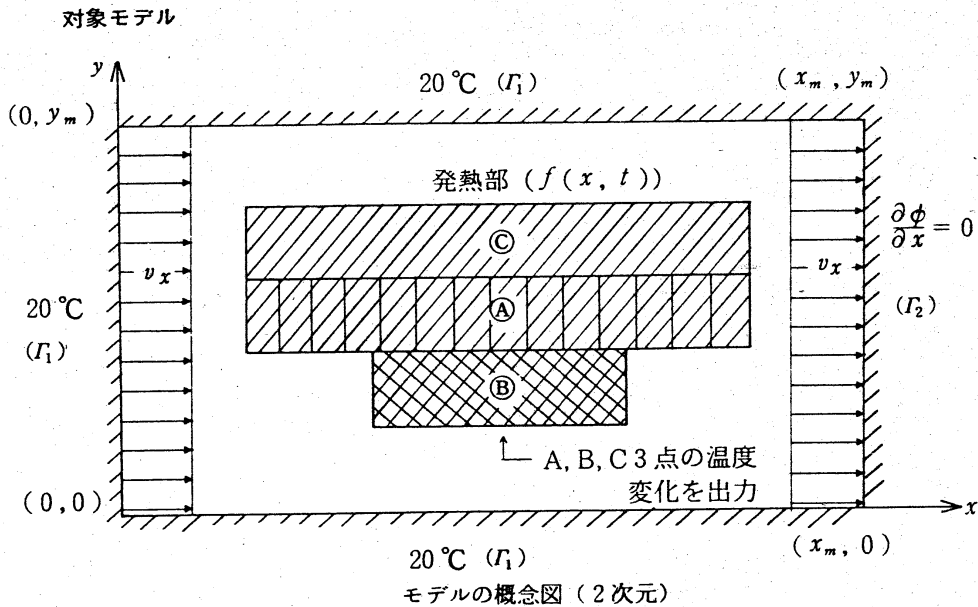
スーパーコンピュータのピーク性能は、通常、瞬間風速を表わすだけの非実用的数値といわれる。ところが、S-810モデル20の公表ピーク性能(630 MFLOPS)は、実用的価値を有する性能値であった。

東大センターに設置されたS-810/20は、2次元移流拡散方程式の直接解法プログラム(差分法)を 687 MFLOPS の速さで実行し、解を求めるのに成功した。⁸⁾ 運用方式を1多重でなく、3多重にすると、⁹⁾ 693 MFLOPS の速さも観測されている。この速さは、FORTRANプログラムによって倍精度演算で実現されており、現存する全てのコンピュータの中で、実用上役に立つ 世界最高速 の速さとなっている。

630 → 687 MFLOPSへの向上は、マシン・サイクル、ロード・ストア・パスの強化(6 → 8本)及びユードィングの工夫による。この実用的ピーク性能を実現する問題例の概要を東大センターニュース(Vol.15, 1983, No.9・10, pp39-62)から抜粋して転載紹介する。

次に示すのは、S-810モデル20東大システムが687 MFLOPSの速さを実現した偏微分方程式問題と対象モデルの図、支配方程式及び計算結果(伝熱解析図)である。解法の詳細は先の文献を参照されたい。

到達性能 6 8 7 MFLOPS (FORTRAN倍精度)
 対象問題 非定常伝熱解析 (2次元)。熱伝導率は温度に依存する。
 解法 中心差分で離散化し、陽解法で計算する。



支配方程式

$$\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - \text{div}(k(\phi) \text{grad } \phi) + v \cdot \text{grad } \phi + C(\phi - \phi_0) = f(x, t)$$

初期条件

$$\phi = 20^\circ\text{C} \quad ; \quad t = 0$$

境界条件

$$\phi = 20^\circ\text{C} \quad \text{on } \Gamma_1 \text{ (固定境界条件)}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \text{on } \Gamma_2 \text{ (自然境界条件)}$$

記号の記味

ϕ ; 温度 (未知数) ϕ_0 ; 冷却媒体温度 (20°C)
 t ; 時刻 $k(\phi)$; 熱伝導係数 (温度 ϕ に依存)
 $f(x, t)$; 発熱量 C ; 熱伝達係数 (定数)
 (場所と時刻に依存) $v = (v_x, v_y)^T$; 流速 (v_x は定数, v_y は 0.0)

離散化された2次元モデルは、 $511 \times (201-2)$ の格子長上で逐次的に物理量が計算されるわけだが、ベクトル処理を有効に働かせるために、配列を一次元化して 10^5 のループ長で計算処理するコーディングになっている。

S-810モデル20は、ベクトル演算器を12個もち、1マシンサイクル当り最大12個並列で演算パイプラインが動く。従って、理論ピーク性能は

$$\frac{12}{\text{マシンサイクル(秒)} \times 10^6} = \frac{12 \times 10^3}{\text{マシンサイクル(ナノ秒)}} \text{ MFLOPS}$$

$$= 800 \text{ MFLOPS}$$

(マシンサイクル = 15ナノ秒)

となる。東大システムは、マシンサイクルが向上し、実際の理論ピーク性能は 857 MFLOPS である。しかし、この性能はまず実現不可能であり、我々は次のプログラム

```

DO 3 I=1,N
  S1=S1+(A(I)+B(I))*2
  S2=S2+(A(I)-B(I))*2
  S3=S3+(C(I)+D(I))*2
  S4=S4+(C(I)-D(I))*2
3   CONTINUE

```

で、 $N = 4 \times 10^5$ の場合に

751 MFLOPS

の実測最高速の速さを観測した(1983年11月1日午前5時)。

これは、倍精度(64ビット)演算で現存する世界最高速である。従来の記録は CDC Cyber 205 の 400 MFLOPS 弱(及び Cray X-MP の約 400 MFLOPS) である。ちなみに、CRAY-1 の実測最高速は 141 MFLOPS が知られる。

4. 線型計算の性能

S-810における、連立一次方程式と固有値問題の求解プログラム性能を若干紹介する。(表4参照)

300元の対称帯行列の連立一次方程式では、およそ

$$\text{NOIAP} \xrightarrow[\text{vector}]{4\text{倍}} \text{IAP} \xrightarrow[\text{hardware}]{4\text{倍}} \text{S-810} \xrightarrow[\text{coding}]{4\text{倍}} \text{S-810}$$

となる。HDLPPM (MATRIX/HAPライブラリ⁹⁾の性能は約300 MFLOPSである。

200元の固有値問題(全固有値・固有ベクトル)では、二分法の部分がベクトル化の障害であったが、HDES1M (MATRIX/HAPライブラリ)では並列二分法によって障害を乗り越えている。多項演算に強いS-810には、QR法がよく適合する。

表4. 線型計算に対するS-810/20の性能例.

Table 4. Comparison of Through-put on Linear Algebraic Problems.

| | Subroutine Name | HITAC M-280H | | HITAC S-810 model 20 | NOTE (Method) |
|------------------|--------------------|--------------|---------|-------------------------|--------------------|
| | | NOIAP | IAP | | |
| | | sec | sec | sec | |
| Linear | ¥DLF1M | 4.180 | 1.248 | 0.327 | Gauss elim. |
| Equ- | ¥DLK1M | 4.170 | 1.257 | 0.330 | Block Gauss |
| ation | ¥DLF2M | 2.105 | 0.565 | 0.188 | Mod.Cholesky |
| (300) | DLNSN3 | 15.093 | 10.727 | 7.503 | Gauss Jordan |
| (x) | HDLPPM | ----- | ----- | 0.062 | S-810 method |
| (300) | | | | | (M.Chol.type) |
| | | sec | sec | sec | |
| Eigen | ¥DEF2M | 11.655 | 5.423 | 3.483 | Hous/Bis/Inv |
| Value | ¥DEF1M | 8.347 | 5.152 | 1.042 | Doub.QR/Inv |
| Problem | DEIGN1 | 113.903 | 108.588 | 97.518 | Jacobi |
| (200) | ¥DEF6M | 14.012 | 7.505 | 2.250 | Hous/QL |
| (x) | HDES1M | ----- | ----- | 0.832 | S-810 method |
| (200) | | | | | (Hous.type) |
| Observation Date | | 82.11.13 | | 83.11.7 | |
| Computer Center | | Univ.Tokyo | | Univ.Tokyo | |

NOTE

The resolved matrix is the dense matrix of double precision, for example, the Frank's matrix of $A(i,j)=N+1-\text{Max}(i,j)$.

5. 行列演算における S-810 高速化技法

行列の和及び積について、S-810 高速化技法の例を紹介する。高速化の主な技法を次に掲げる。

- a) 演算器の並列利用
- b) ループ長の拡大
- c) リストベクトル (間接添字) の活用

表5a. S-810 高速化技法 (行列の和)

Table 5. Speed-up Technique for S-810 model 20 .

| | DO loop | | Speed |
|---|--|----------|---------------|
| 1 | DO 1 J=1,N DO 1 I=1,N C(I,J)=A(I,J)+B(I,J) CONTINUE | HAP | 18.00 MFLOPS |
| | | HAP (PP) | 21.60 MFLOPS |
| 2 | DO 2 J=1,N,2 DO 2 I=1,N C(I,J)=A(I,J)+B(I,J) C(I,J+1)=A(I,J+1)+B(I,J+1) | HAP | 28.80 MFLOPS |
| | | HAP (PP) | 33.23 MFLOPS |
| 3 | DO 3 J=1,N,3 DO 3 I=1,N C(I,J)=A(I,J)+B(I,J) C(I,J+1)=A(I,J+1)+B(I,J+1) C(I,J+2)=A(I,J+2)+B(I,J+2) | HAP | 39.27 MFLOPS |
| | | HAP (PP) | 36.00 MFLOPS |
| 4 | DO 4 J=1,N,4 DO 4 I=1,N C(I,J)=A(I,J)+B(I,J) C(I,J+1)=A(I,J+1)+B(I,J+1) C(I,J+2)=A(I,J+2)+B(I,J+2) C(I,J+3)=A(I,J+3)+B(I,J+3) | HAP | 39.27 MFLOPS |
| | | HAP (PP) | 39.27 MFLOPS |
| 5 | DO 5 K=1,N*N CC(K)=AA(K)+BB(K) CONTINUE | HAP | 54.00 MFLOPS |
| | | HAP (PP) | 144.00 MFLOPS |
| 6 | *VOPTION VEC DO 6 K=1,N*N I=II(K); J=JJ(K) C(I,J)=A(I,J)+B(I,J) CONTINUE | HAP | 21.60 MFLOPS |
| | | HAP (PP) | 25.41 MFLOPS |
| 7 | N2=N*N/2 DO 7 K=1,N2 CC(K)=AA(K)+BB(K) CC(K+N2)=AA(K+N2)+BB(K+N2) CONTINUE | HAP | 108.00 MFLOPS |
| | | HAP (PP) | 144.00 MFLOPS |

NOTE N is equal to 30 in the above DO loops (N = 30).
The test was done on HITAC S-810 model 20, at Computer Centre, University of Tokyo, in Nov.15, 1983 .

表5a
に、行列
の和にお
ける技法
適用例を
示す。
IL-7°1.....
原型
IL-7°2~4...
技法a
IL-7°5.....
技法b
IL-7°6.....
技法c
(a,b)
IL-7°7.....
技法bとa

備考
PPは技法a
の自動化。
(バンプ・パイプ)
(ライン・モード)

表5b. S-810 高速化技法 (行列の積)

Table Speed-up Technique for S-810 model 20 .

| | DO loop | | Speed |
|-----|---|-----------------|-------------------------------|
| 1 | DO 1 J=1,N DO 1 I=1,N C(I,J)=0.DO DO 1 K=1,N C(I,J)=C(I,J)+A(I,K)*B(K,J) CONTINUE | HAP HAP (PP) | 21.65 MFLOPS 21.02 MFLOPS |
| 222 | DO 2 J=1,N DO 222 K=1,N C(K,J)=0.DO DO 2 I=1,N DO 2 K=1,N C(K,J)=C(K,J)+A(K,I)*B(I,J) CONTINUE | HAP HAP (PP) | 32.08 MFLOPS 39.33 MFLOPS |
| 333 | DO 3 J=1,N,2 DO 333 K=1,N C(K,J)=0.DO C(K,J+1)=0.DO DO 3 I=1,N DO 3 K=1,N C(K,J)=C(K,J)+A(K,I)*B(I,J) C(K,J+1)=C(K,J+1)+A(K,I)*B(I,J+1) CONTINUE | HAP HAP (PP) | 37.62 MFLOPS 30.64 MFLOPS |
| 444 | DO 4 J=1,N,2 DO 444 K=1,N C(K,J)=0.DO C(K,J+1)=0.DO DO 4 I=1,N,2 DO 4 K=1,N C(K,J)=C(K,J)+A(K,I)*B(I,J)+A(K,I+1)*B(I+1,J) C(K,J+1)=C(K,J+1)+A(K,I)*B(I,J+1)+A(K,I+1)*B(I+1,J+1) CONTINUE | HAP HAP (PP) | 101.65 MFLOPS 93.24 MFLOPS |
| 666 | DO 666 J=1,N,2 DO 666 I=1,N,2 S1=0.DO ; S2=0.DO ; S3=0.DO ; S4=0.DO DO 6 K=1,N S1=S1+A(I ,K)*B(K ,J) S2=S2+A(I+1,K)*B(K ,J) S3=S3+A(I ,K)*B(K ,J+1) S4=S4+A(I+1,K)*B(K ,J+1) C(I,J)=S1 ; C(I+1,J)=S2 C(I,J+1)=S3 ; C(I+1,J+1)=S4 CONTINUE | HAP HAP (PP) | 61.42 MFLOPS 44.46 MFLOPS |

NOTE N is equal to 30 in the above DO loops (N=30) .
The test was done on HITAC S-810 model 20, at Computer Centre, University of Tokyo, in Nov.15, 1983 .

表5b は
行列の積へ
の適用例で
ある。

ル-7°1
原型
(内積型)
ル-7°2
ストP型
(外積型)
ル-7°3~4...
ストP型と
技法a
ル-7°6 ----
内積型と
技法a

備考
PPは技法a
の自動化。

(行列の積
の一次元化
(技法b)
は省略した。)

この例は、原型のル-7°長が30なので、技法bが最も効果的である。行列の和ではル-7°5 (PPモード)、行列の積ではル-7°4 (NOPPモード)が最高速であり、原型コードの約8倍及び約5倍、スカラーの約36倍及び約22倍である。

6. スーパーコンピュータの性能比較

表6 a~bに、各種の高速機における基本演算の性能比較(スカラー処理速度及びベクトル処理速度)を示す。^{6,10)}

ベクトル処理では、S-810が10.nsecを切って世界最高速にある。S-810は、浮動小数点加算でCRAY-1の5倍速、チェイニング効果(No.10)でCRAY-1の5.7倍速、SIN肉教でCRAY-1の2倍速である。除算もCRAY-1の4.4倍速である。基本演算のベクトル処理速度で、S-810/20はCRAY-1の4~5倍高速である。

スカラー処理では、S-810はM-382に一歩及ばない。しかし、CRAY-1の約2倍速、Cyber 205の約1.4倍速である(浮動小数点加算)。

リバモアループの性能比較を表7 a~bに示す。S-810の性能値は、昨年10月公表時より若干向上している。リバモア平均速度でS-810が100MFLOPSを大幅^{*}に超えている。
(^{*}最近最大で、150MFLOPSを超えた。)

CRAY-1及びCyber 205の最高性能の約4倍で、世界最高速クラスにある。この平均速度は、基本演算16ループのループ長300における平均速度にほぼ対応する。

表7bは、リバモアループのコーディング変更による性能向上の度合を示す。国産機の「自動ベクトル化」=「バカチョン性」の優位が窺える。

表6a. 基本演算性能の比較 (ベクトル処理)

Table Comparison of through-put between Very High-Speed computers.
Vector Processing for Basic Operations.

| No. | DO loop | Through-put (CPU time) | | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| | | CRAY-1 | HITAC M-280H IAP | NEC ACOS1000 IAP | CDC Cyber205 2 pipes | HITAC S-810 model 20 |
| | | nsec | nsec | nsec | nsec | nsec |
| 1 | A(i)=1. | 31.3 | 32.8 | 131.0 | 11.1 | 8.5 |
| 2 | A(i)=B(i) | 31.3 | 30.7 | 131.0 | 11.9 | 9.1 |
| 3 | A(i)=B(i)+10. | 32.5 | 29.8 | 132.0 | 12.0 | 9.2 |
| 4 | A(i)=B(i)+C(i) | 46.2 | 41.6 | 130.0 | 11.7 | 9.2 |
| 5 | A(i)=B(i)*10. | 32.5 | 31.0 | 133.0 | 11.9 | 9.4 |
| 6 | A(i)=B(i)*C(i) | 46.2 | 43.9 | 130.0 | 11.6 | 9.2 |
| 7 | A(i)=B(i)/10. | 46.2 | 32.2 | 1022.0 | 11.9 | 9.4 |
| 8 | A(i)=B(i)/C(i) | 90.0 | 425.7 | 1021.0 | 33.4 | 20.6 |
| 9 | A(i)=SIN(B(i)) | 392.5 | 2270.1 | 4443.0 | 1047.5 | 196.3 |
| 10 | A(i)=B(i)*C(i)+D(i) | 62.5 | 96.5 | 273.0 | 23.1 | 11.0 |
| Observation Year | | 1977 | 1982 | 1982 | 1982 | 1983 |
| Date | | Ref.6 | Sept.10 | July | Oct. | Oct.31 |
| Place | | Cray Inc. | U.Tokyo | U.Tohoku | CDC | U.Tokyo |
| Data Length (bits) | | 64 | 32 | 36 | 64 | 64 |

NOTE

The through-put value is the CPU time per operation for each DO loop of loop length 1000 .

表6b 基本演算性能の比較 (スカラー処理)

Table Comparison of through-put between Very High-speed Computers .
Scalar Processing for Basic Operations .

| No. | DO loop | Through-put (CPU time) | | | | |
|----------------------|---------------------|--------------------------|--------------|----------------|-----------|--------------|
| | | FACOM M-382 | NEC ACOS1000 | HITAC S-810/20 | CRAY-1 | CDC CYBER205 |
| | | nsec | nsec | nsec | nsec | nsec |
| 1 | A(i)=1. | 135.8 | 249.0 | 169.3 | 281.2 | 240.4 |
| 2 | A(i)=B(i) | 197.0 | 317.0 | 196.8 | 387.5 | 341.3 |
| 3 | A(i)=B(i)+10. | 212.0 | 318.0 | 252.7 | 462.5 | 320.3 |
| 4 | A(i)=B(i)+C(i) | 209.6 | 361.0 | 253.2 | 512.5 | 361.0 |
| 5 | A(i)=B(i)*10. | 213.4 | 354.0 | 308.6 | 475.0 | 320.1 |
| 6 | A(i)=B(i)*C(i) | 212.7 | 384.0 | 309.1 | 525.0 | 360.6 |
| 7 | A(i)=B(i)/10. | 471.4 | 1022.0 | 308.8 | 650.0 | 320.2 |
| 8 | A(i)=B(i)/C(i) | 467.0 | 1036.0 | 709.4 | 750.0 | 1180.2 |
| 9 | A(i)=SIN(B(i)) | 1976.7 | 2644.0 | 3020.5 | 2476.2 | 3982.8 |
| 10 | A(i)=B(i)*C(i)+D(i) | 270.2 | 477.0 | 364.8 | 650.0 | 380.2 |
| Data Length (bits) | | 32 | 36 | 64 | 64 | 64 |
| Observation Year | | 1982 | 1982 | 1983 | 1977 | 1982 |
| Date | | Sept.6 | July | Oct.31 | Ref.6 | Oct. |
| Place | | U.Kyoto | U.Tohoku | U.Tokyo | Cray Inc. | CDC |

NOTE

The through-put value is the CPU time per loop (loop length 1000) .

表7a リバモアル-7°の性能の比較

Table Lawrence Livermore Loops on Very High-speed Computers .
(Revised for machine-oriented)

| NO. | DO LOOP | CDC | Cray | HITAC | HITAC | NEC |
|---------------------|------------------|--------------------|-----------|------------------|--------------|----------------------|
| | | Cyber205 2pipes | CRAY-1 | S-810 model20 | M-280H MP | ACOS-1000 model40 |
| | | AP | AP | AP | IAP | IAP |
| | | MFLOPS | MFLOPS | MFLOPS | MFLOPS | MFLOPS |
| 1 | Hydro excerpt | 79.1 | 70.3 | 248.1 | 25.4 | 12.7 |
| 2 | MLR, Inner pro. | 88.0 | 48.1 | 326.5 | 32.0 | 14.1 |
| 3 | Inner product | 88.0 | 66.8 | 309.7 | 32.0 | 14.1 |
| 4 | Banded lin. eq. | 12.2 | 39.6 | 105.1 | 17.9 | 13.4 |
| 5 | Tri-diag. el.(b) | 5.6 | 7.8 | 34.9 | 8.1 | 7.4 |
| 6 | Tri-diag. el.(a) | 6.5 | 6.5 | 35.6 | 8.4 | 11.3 |
| 7 | Eq. of state ex. | 51.0 | 82.5 | 259.6 | 22.0 | 13.5 |
| 8 | P.D.E. integrat. | 15.7 | 41.9 | 111.5 | 10.6 | 9.2 |
| 9 | Integer predict. | 47.3 | 80.1 | 226.0 | 14.1 | 11.6 |
| 10 | Difference pred. | 23.5 | 20.5 | 62.0 | 3.8 | 2.4 |
| 11 | First sum. | 7.6 | 5.8 | 36.1 | 6.5 | 5.7 |
| 12 | First diff. | 86.2 | 23.1 | 101.1 | 15.5 | 8.1 |
| 13 | 2-D p. pusher | 2.0 | 3.6 | 7.6 | 1.6 | 1.9 |
| 14 | 1-D p. pusher | 4.3 | 7.2 | 12.1 | 2.5 | 3.1 |
| Average | | 36.9 | 36.0 | 134.0 | 14.3 | 9.2 |
| Data Length (bit) | | 64 | 64 | 64 | 32 | 36 |
| Observation Date | | 82.10. | 81. | 83.11.19 | 82.5.24 | 82.8.26 |
| Computer Center | | CDC Min. | Cray Inc. | Hitachi | U.Tokyo | U.Tohoku |

Average = Total sum of each MFLOPS / Number of LOOPS (14)

NOTE

The MFLOPS values were obtained by averaging tests of 10000 times ,
except for CRAY-1 test of 1000 times .

AP=Array Processor . IAP=Integrated Array Processor .
MP=Multi-Processor .

表7b リバモアル-7°の性能向上度の比較

Table Comparison of Mean Speed between Array Processors .

| Machine Name | Through-put | | | Ratio | |
|--------------|---------------|---------|---------|----------|------|
| | original | fastest | natural | ori/fast | |
| | | MFLOPS | MFLOPS | MFLOPS | % |
| Cray | CRAY-1 | 26.23 | 35.99 | 24.60 | 72.9 |
| CDC | Cyber 205 | 26.36 | 36.93 | ----- | 71.4 |
| HITAC | S-810 / 20 | 109.29 | 133.99 | 109.66 | 81.6 |
| HITAC | M-280H IAP | 11.57 | 14.32 | 13.64 | 80.8 |
| NEC | ACOS-1000 IAP | 7.31 | 9.18 | 7.78 | 79.6 |

NOTE

The through-put value is the average of MFLOPS's for the Lawrence Livermore Laboratory's 14 kernels .

7. 結 び

国産初のスーパーコンピュータ S-810 モデル 20 の性能調査例を通じて、このプレイプロセッサの特徴をながめてみた。

基本演算・数学関数及び応用演算において、優秀な性能が達成されている。基本演算ではループ長 300 が S-810 本性能發揮の目安となるが、現状のユーザ・プログラムはその長さを下回る例が多く、高速化に対しては「一定の工夫」が必要となる。数学関数では、TAN、SINH、COSH 等の ANS 77 規格内の関数は総てベクトル化されるのが望ましい。スカラー処理の高速化も切望される。

調査の外では、チューニング支援ソフト VECTIZER とコンパイラ実行能力の間にまだ差がある。これは無くして欲しい。しかしながら、11月公開後の東大センターの S-810 利用状況を見る限り、スーパーコンピュータの利用効率は非常に高い。推定ベクトル化率は 88% である(下表参照)。

S-810 ジョブ処理状況(東大)

| | 処理件数(大型ジョブ) | S-810利用率 % | VPU利用率 % | 推定ベクトル化率 % |
|-----|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 11月 | 4,242(286) | 59.4 | 40.4 | 87.1 |
| 12月 | 3,901(334) | 85.3 | 43.1 | 88.3 |

$$\text{備考} \quad \text{VPU利用率} = \frac{\text{S-810全VPU時間}}{\text{S-810全CPU時間}} \times 100$$

$$\text{推定ベクトル化率} = \frac{\text{VPU利用率} \times \text{加速率} \times 100}{(1 - \text{VPU利用率}) + \text{VPU利用率} \times \text{加速率}}$$

(加速率 = 10 と仮定 …… ループ長 50 レベル)

これは、コンパイラの自動ベクトル化能力の高さと、ユーザ教育の効果が相乗されたと見ることができる。その上に、センターの運用方式等によるベクトル化推進効果が加わった結果の高率と思われる。S-810利用度は向上の一途をたどっている。

スーパーコンピュータへの関心と要望は全国に広がりつつあるといえよう。

8. 終りに

S-810の〔製作及び〕性能調査に関して、一方ならぬ御協力を戴いた日立製作所神奈川工場・ソフト工場・同技術センター・中央研究所・ファコムハイテック社並びに日立電子サービスの関係者多数に対して厚く御礼申し上げます。特に、森田・小高・河辺・青山・石井（神奈川工場）、青山・後・高貫（ソフト工場）、堀越・梅谷・安村（中央研究所）並びに坂本・村井・原田（FHL）の各氏に対し、深く感謝の意を表します。また、統計についてセンター業務掛の諸氏、特に、香田氏の御協力を戴きました。その他、センター内外の多数の方々の御指導・御協力を得ましたことを申し添えます。

参考文献

- 1) 東京大学大型計算機センター「年報」第1～13号(昭和46～58年)。
- 2) 木村友則; 東京大学大型計算機センターニュース, Vol.15 (1983) No.7, p.25.
- 3) 唐木幸比古, 東京大学大型計算機センターニュース, Vol.15 (1983) No.9・10, p.27.
- 4) HITAC S-810 処理装置, 6010-2-001 (昭和58年9月、日立製作所)。
- 5) HITAC S-810 プレイプロセッサ 機能説明書, 6010-2-002 (昭和57年8月、日立製作所)。
- 6) R. M. Russell, Comm. ACM, 21 (1978) 63.
- 7) HITAC プログラムプロダクト, VOS2・VOS3 最適化FORTRAN77、HAP FORTRAN77 使用の手引, 8080-3-258-50 (昭和58年10月、日立製作所)。
- 8) 唐木幸比古, 東京大学大型計算機センターニュース, Vol.15 (1983) No.9・10, p.39.
- 9) 行列計算用副プログラムライブラリMATRIX/HAP, 8090-7-035 (昭和58年10月、日立製作所)。
- 10) 唐木幸比古, SUPERCOMPUTER WORKSHOP REPORT1, (JUNE, 1983, 分子科学研究所), p.24.