

IAPの性能と効果的な使用法

東大大型センター 唐木幸比古

(Yukihiko KARAKI)

科学技術計算用コンピュータとして登場したアレイプロセッサ (Array Processor) について、現在、その主流にあるパイプライン方式のベクトル計算機を中心に、特徴や使い方などを紹介する。ベクトル計算機としては、HITAC M-200H (又はM-280H) IAP (Integrated Array Processor) を例にとり、他の類型機 CRAY-1 等と比較しながらこれらの計算機の有用性や相違点などを探る。それらを土台として、国産スーパーコンピュータの動向にも若干触れる。

1. アレイプロセッサについて

並列処理の考え方の萌芽は、C. Babbage (1865頃) にある。その後の発展は、主に、偏微分方程式の求解や画像データ処理を目標にして展開し、机上設計の SOLOMON I~II を経て、1970年代に入って初めてアレイプロセッサ ILLIAC IV

として結実した。¹⁾

アレイプロセッサには、主に、多数の演算装置を並列に接続し、多くのデータに対して同一操作を行う並列方式の平行計算機 (Parallel Processor) と、単一のデータ流に対して複数の命令が作用するパイプライン方式のベクトル計算機 (Vector Processor) とがある。

表1に科学用コンピュータの分類を示し、表2に主なアレイプロセッサの一覧を示す。

表1. 科学用コンピュータの分類

分類	処理方式	型	例
スカラープロセッサ	逐次方式	SISD型	IBM 704 HITAC 5020E
	パイプライン方式	(MIMD型)	HITAC 8800 FACOM M-382
アレイプロセッサ	並列方式	SIMD型	ILLIAC IV ICL DAP
		MIMD型	テネコア HEP PACS-32
	パイプライン方式	MISD型	CRAY-1 M-280H IAP
		MIM'D型	CDC cyber 205

備考

型は、Flynnの分類(1966)に基づいてゐる。²⁾

- SISD = Single Instruction Single Data stream
- SIMD = Single Instruction Multi Data stream
- MISD = Multi Instruction Single Data stream
- MIMD = Multi Instruction Multi Data stream

表2. アレイプロセッサの一覧

	機種	年	国	主な使用言語	マシン・サイクル	ベクトル・スカラー・交叉ループ長
並列方式	SOLOMON I-II	1962-66	米	(机上設計)	nsec	
	ILLIAC IV	1972	米	IVTRAN (拡張方式)	80(/64)	0
	パロース BSP	1977発表	米	BSP-FORTRAN (?)	80(/16)	0
	ICL DAP	1979	英	行列用言語		
パイプライン方式	TI ASC	1972	米	ASC-FORTRAN (拡張方式)	60nsec	27
	CDC STAR 100	1973	米	STAR-FORTRAN (拡張方式)	40	100
	CRAY-1	1976	米	CRAY-FORTRAN(準自動方式)	12.5	3-7
	FACOM 230-75 APU	1976	日	AP-FORTRAN (拡張方式)	90	8
	HITAC M-200H IAP	1979	日	FORTRAN (自動方式)	42(21)	6-9
	CDC Cyber 205	1981	米	200-FORTRAN (拡張方式)	20	50
	HITAC M-280H IAP	1982	日	FORTRAN (自動方式)	30(15)	6-9
	NEC ACOS-1000 IAP	1982	日	FORTRAN (V:自動/R:拡張)	36	

注) 主な使用言語では、アセンブラを除いてある。ベクトル/スカラー交叉ループ長は、スカラー処理とベクトル処理の演算速度が逆転するループ長の概算値を示す。・言語の横で、自動方式とあるのはFORTRANがそのまま自動的にベクトル化される方式、準自動方式とあるのは全自動でなく関数やサブルーチンがベクトル用に追加されている方式、拡張方式とあるのはFORTRAN仕様をベクトル処理用に拡張している方式 (ex S=S+A... B (内積)) をいう

国産スーパーコンピュータとしてその登場(1983年秋頃)が注目されているVP-200/100(富士通)³⁾及びS-810モデル20/10(日立)⁴⁾は、いずれもパイプライン方式の高速アレイプロセッサに属する。

ピーク性能が50 MFLOPS (Million Floating-point Operations Per Second)以上の計算機は、現在、スーパーコンピュータと分類される⁵⁾。

スーパーコンピュータ及び、それに迫る性能を有するセミスーパー(コンピュータ)の一覧を表3に示す。

我々の調査によれば、現在世界最高速といわれるCRAY-1と、HITAC M-280H IAPは、並列処理(ベクトル処理)の基本演算速度で殆ど並んでおり⁶⁾、スーパーとセミスーパーの境界はそれ程明確なものではない。

表3. セミスーパー及びスーパーコンピュータ

分類		機種	出荷期	ピーク性能 MFLOPS
セミ スー パー	現	FACOM 230-75 APU	1977	22
		HITAC M-200H IAP	1978	24~48
	役	CDC cyber 203	1980	50
		HITAC M-280H IAP	1982	33~67
		NEC ACOS-1000 IAP	1982	14
スー パー コン ピュ ータ	現 役	CRAY-1	1976	80~140
		CRAY-1S	1981	80~140
		CDC cyber 205	1981	400
	製 作 中	CRAY-1M (廉価版)	1982	80~140
		FACOM VP-100	1983.10	250
		HITAC S-810 モデル10	1983.10	315~400
		FACOM VP-200	1983.10	500
		CRAY X-MP	1983.7	400~630
		HITAC S-810 モデル20	1983.10	630~800
		CRAY-2	1984?	1500

2. M-200H/280H IAPの性能と特徴

IAPは、超大型汎用機M-200H（又は280H）に内蔵されたパイプライン方式のレイプロセッサで、実数型演算に限ってベクトル命令が用意されている。⁷⁾ その適用範囲は、四則演算、総和、積和、内積、代入、逐次計算、精度変換（以上M-200H）及びIF文等（M-280Hで追加）で、単精度及び倍精度（32/64ビット）合せて28命令（又は46命令）用意されている。特に、内積・総和・逐次計算など数値計算上重要な命令がCRAY-1⁸⁾などに比べて強化されており、実数演算に限れば、IAPの性能は悪くない。又、IF文の自動ベクトル化⁹⁾（FORTRANの範囲内で自動的に並列処理される）は、CRAY-1やCDC cyber 205に先駆けて、M-280H IAPが世界で初めて実現したものである。

IAPの性能の主な点を以下に示す。¹⁰⁾

- ① 交叉ループ長（スカラー処理（通常命令の処理）とベクトル処理の速度が逆転する時の、DOLループの長さ）
6~9（単項演算）、9~18（複合演算）、30~（総和）
- ② 速度の倍率（スカラー処理速度/ベクトル処理速度）
約6倍（5~8倍、演算によって異なる）
- ③ 多項演算の限界比率（速度倍率の下限値）
約2.5（1~2.5、ループ長100, 8項で1.5）

ループ長20、50又は100で倍率が各々2、3又は5倍程なる。

3. IAPの有効な使い方

IAPは、線型計算や積分（高速フーリエ変換）などに向いており、特に、連立一次方程式で最高性能を發揮する。

表4は、連立一次方程式及び固有値問題に対するIAPの性能の例を示したものである。（Frank行列による。）

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

	Subroutine Name	HITAC M-280H		FACOM M-382	NOTE (Method)
		NOIAP	IAP		
		sec	sec	sec	
Linear Equ- ation (300x300)	\$DLF1M	4.180	1.248	3.165	Gauss elim.
	\$DLK1M	4.170	1.257	3.048	Block Gauss
	\$DLF2M	2.105	0.565	1.472	Mod.Cholesky
	DLNSN3	15.093	10.727	10.903	Gauss Jordan
		sec	sec	sec	
Eigen Value Problem (200x200)	\$DEF2M	11.655	5.423	8.034	Hous/Bis/Inv
	\$DEF1M	8.347	5.152	-----	Doub.QR/Inv
	DEIGN1	113.903	108.588	84.376	Jacobi
	\$DEF6M	14.012	7.505	8.917	Hous/QL
Observed Date		82.11.13		82.11.15	
Computer Center		Univ.Tokyo		Univ.Kyoto	

M-280H IAPは、300元の連立一次方程式（乱行列）を約1秒で解いている（ガウス消去法）。

またFFTでは、データ長1024の時に

1.9 msec (M-280H IAP) / 2.9 msec (M-200H IAP)
の性能が得られている。¹¹⁾

IAPは、ループ長10以上で一般に性能が現れるので、ベクトル長は10を超えて長い程良く、又、多項演算の性能が低いので可能な限り短項化する必要がある。仮想メモリ方

式の主記憶運用であるため、データの連続性について注意を払うと高性能が得られる。逐次計算は、スカラー処理における重要なプログラミング法の一つであるが、レイプロセッサはこれを苦手としており、IAPでも約2倍の高速化が得られるに過ぎない。将来への重要な研究テーマとなろう。

これらの実をふまえて、以下にIAP向き基本アルゴリズムとIAP適用化手法¹²⁾を紹介する。

IAP向き基本アルゴリズム

a) 行列の積 ($C = A \cdot B$; A, B 及び C : $n \times n$ 行列)

($n = 200$)

	プログラム内容	備考	演算速度	対NOIAP比率
1	DO 120 i = 1, n DO 120 j = 1, n C _{j,i} = 0 DO 120 k = 1, n C _{j,i} = C _{j,i} + a _{j,k} * b _{k,i}	内積法 (1) 数学の定義による。 内積ベクトル命令を用いる。	MFLOPS 11.10	4.0
2	DO 145 i = 1, n DO 140 k = 1, n w _k = a _{i,k} DO 145 j = 1, n C _{j,i} = 0 DO 145 k = 1, n C _{j,i} = C _{j,i} + w _k * b _{k,j}	内積法 (2) 補助ベクトルにより、 右辺の記憶列を連続アクセス化する。	19.13	5.7
3	DO 165 i = 1, n DO 160 k = 1, n C _{k,i} = 0 DO 165 j = 1, n DO 165 k = 1, n C _{k,i} = C _{k,i} + a _{k,j} * b _{j,i}	積和法 左辺及び右辺の記憶列を共に連続アクセス化する。	22.29	6.0

備考 主記憶が制約されると、倍精度ではプログラム3よりプログラム2の方が速くなることがある。スカラー処理ではプログラム3を变形した別の積和法プログラム(i, j交換)が最高速になる。

b) 分割計算

(n = 2000)

	プログラム内容	備考	演算速度	対NOIAP比率
1	<pre>DO 2010 I=1,N B1(I)= (A1(I)+A3(I)) + (A2(I)+A4(I)) B2(I)= (A1(I)-A3(I)) - (A2(I)-A4(I)) B3(I)= (A1(I)+A3(I)) - (A2(I)+A4(I)) B4(I)= (A1(I)-A3(I)) + (A2(I)-A4(I)) 2010 CONTINUE</pre>	通常のコーディング	MFLOPS 14.45	3.2
2	<pre>DO 3010 I=1,N X1 = A1(I)+A3(I) X2 = A2(I)+A4(I) X3 = A1(I)-A3(I) X4 = A2(I)-A4(I) B1(I)= X1 + X2 B2(I)= X3 - X4 B3(I)= X1 - X2 B4(I)= X3 + X4 3010 CONTINUE</pre>	IAP特有の コーディング 右辺を分割して 短項化している。	21.06	3.8

c) 逐次計算

$$f(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k$$

プログラム 1

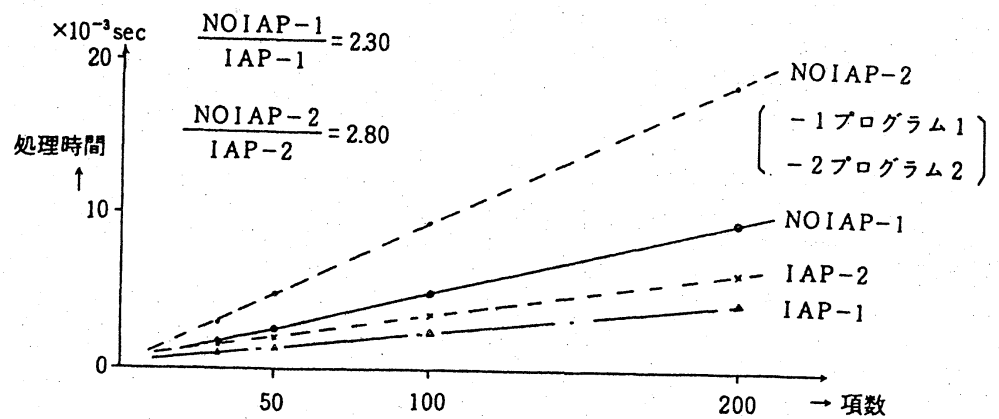
```
B(N+1) = A(N)
DO 111 k=N,1,-1
111 B(k) = A(k-1)+B(k+1)*X
U = B(1)
```

プログラム 2

```
Y(0) = 1.E0
DO 222 k=1,N
222 Y(k) = Y(k-1)*X
V = 0.E0
DO 2222 k=0,N
2222 V = V+Y(k)*A(k)
```

備考 IAPでは逐次処理でも、2倍高速化される

測定結果



d) 配列処理

(n = 10000)

	プログラム内容	備考	演算速度	対 NOIAP 率
1	<pre>DO 103 I=1,N PHASE(1,I)=PHASE(1,I)+TTT*PHASE(2,I) PHASE(3,I)=PHASE(3,I)+TTT*PHASE(4,I) 103 CONTINUE</pre>	スカラー処理向き のコーディング 右辺が連続アクセス。	MFLOPS 7.68	1.9
2	<pre>DO 208 I=1,N PHAS2(I,1)=PHAS2(I,1)+TTT*PHAS2(I,2) PHAS2(I,3)=PHAS2(I,3)+TTT*PHAS2(I,4) 208 CONTINUE</pre>	ベクトル処理向き のコーディング 左辺が連続アクセス	19.20	12.0

IAP適用化手法

- 最内側のループ長を大きく
- 記憶域を連続に (左辺を特に)
- 右辺の項数を短かく
- データの独立性を確保
- I下文を除く (M-200H の場合)
- 添字の形を線型に

適用化の内容

手法	改良前	改良後
a, b, c	悪いベクトル化	良いベクトル化
d, e, f	スカラー処理	ベクトル処理

備考) 二重ループなどで、ループ長の短かいものが内側にあると、ベクトル化の効率が良くないなどのケースを、悪いベクトル化と呼ぶ。

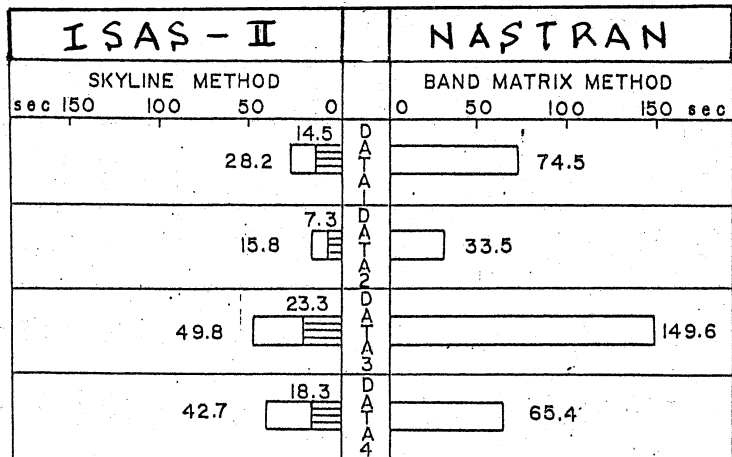
表5. IAP適用化手法の適用例

(N = 500)

改 良 前	改 良	向上比	手 法
Case 5) DO 510 I=1,N DO 510 K=1,N 510 Z(I,K)=Z(I,K)+X(J,K)*Y(K,I)	520 DO 520 K=1,N DO 520 I=1,N Z(I,K)=Z(I,K)+X(J,K)*Y(K,I)	2.22	b
Case 10) DO 1010 K=1,N10 J=J+1 1010 X(J,I)=X(J,I)-S*X(K,L)	1020 DO 1020 K=1,N10 W(K)=X(K,N) DO 1022 K=1,N10 J=J+1 1022 X(J,I)=X(J,I)-S*W(K)	2.00	d
Case 18) DO 1810 J=1,N DO 1810 I=1,3 1810 X(J,I)=X(J,I)+B(J)*Y(J,I)	1820 DO 1820 J=1,N X(J,1)=X(J,1)+B(J)*Y(J,1) X(J,2)=X(J,2)+B(J)*Y(J,2) X(J,3)=X(J,3)+B(J)*Y(J,3)	3.50	a+b
Case 20) S=0.000 DO 2010 I=1,N 2010 S=S+A(I)*B(I)+C(I)*D(I) * E(I)*W(I)	S1=0.000 S2=0.000 S3=0.000 DO 2020 I=1,K S1=S1+A(I)*B(I) S2=S2+C(I)*D(I) S3=S3+E(I)*W(I) 2020 CONTINUE S =S1+S2+S3	2.81	c+d
Case 38) SDOT=0.000 DO 3810 I=1,N,3 SDOT=SDOT+A(I)*B(I)+A(I+1) * B(I+1)+A(I+2)*B(I+2) 3810 CONTINUE	3820 SDOT=0.000 DO 3820 I=1,N SDOT=SDOT+A(I)*B(I) 3820 CONTINUE	3.42	a+c

(711プロセッサ IAP の性能評価(日本電子計算)より)

応用プログラム (有限要素法)



□ : WITHOUT VECTOR PROCESSOR ▨ : WITH VECTOR PROCESSOR MODEL M-200H
MEMORY 1024 kB

4. 世界最高速級プロセッサの比較 ———— CRAY-1とIAPの比較
を 中心に

計算の自動化(機械化)が欧州大陸で発祥し、大西洋を渡って米国大陸に伝わってからそこで高速性を得たとするならば、米国から太平洋を渡ってアジア大陸(日本)に伝わってから、そこで高速性の上に使い易さという要素をも得つつあると見る¹³⁾ことができそうである。

ここでは、現時点で世界最高速級の計算機について、高速性と使い易さの2点から簡単な比較を試みる。

高速性

表6. 基本演算の速度比較

<ベクトル処理速度> (ループ長1000、1ループ当りの値)

No.	DO loop	Through-put (CPU time)				
		CDC	CRAY	HITAC	HITAC	NEC
		CYBER205 AP nsec	CRAY-1 AP nsec	M-280H IAP nsec	M-200H IAP nsec	ACOS-1000 IAP nsec
1	A(i)=1.	11.1	31.3	32.8	52.4	131.0
2	A(i)=B(i)	11.9	31.3	30.7	57.5	131.0
3	A(i)=B(i)+10.	12.0	32.5	29.8	57.4	132.0
4	A(i)=B(i)+C(i)	11.7	46.2	41.6	79.4	130.0
5	A(i)=B(i)*10.	11.9	32.5	31.0	62.4	133.0
6	A(i)=B(i)*C(i)	11.6	46.2	43.9	77.2	130.0
7	A(i)=B(i)/10.	11.9	46.2	32.2	66.8	1022.0
8	A(i)=B(i)/C(i)	33.4	90.0	425.7	601.4	1021.0
9	A(i)=SIN(B(i))	1047.5	392.5	2270.1	3130.6	4443.0
10	A(i)=B(i)*C(i)+D(i)	23.1	62.5	96.5	195.3	273.0

<スカラー処理速度> (ループ長1000、1ループ当りの値)

No.	DO loop	Through-put (CPU time)					
		FACOM	HITAC	NEC	HITAC	CRAY	CDC
		M-382 nsec	M-280H nsec	ACOS-1000 nsec	M-200H nsec	CRAY-1 nsec	CYBER205 nsec
1	A(i)=1.	135.8	245.7	249.0	363.8	281.2	240.4
2	A(i)=B(i)	197.0	246.1	317.0	358.8	387.5	341.3
3	A(i)=B(i)+10.	212.0	245.4	318.0	354.6	462.5	320.3
4	A(i)=B(i)+C(i)	209.6	245.5	361.0	289.2	512.5	361.0
5	A(i)=B(i)*10.	213.4	245.4	354.0	363.3	475.0	320.1
6	A(i)=B(i)*C(i)	212.7	245.6	384.0	301.6	525.0	360.6
7	A(i)=B(i)/10.	471.4	591.8	1022.0	807.3	650.0	320.2
8	A(i)=B(i)/C(i)	467.0	562.7	1036.0	785.3	750.0	1180.2
9	A(i)=SIN(B(i))	1976.7	2492.7	2644.0	3541.5	2476.2	3982.8
10	A(i)=B(i)*C(i)+D(i)	270.2	287.7	477.0	402.7	650.0	380.2

表7. 応用問題の速度比較 (リバモアループ)

NO.	DO LOOP	CDC	CRAY	HITAC	HITAC	NEC	FACOM
		Cyber205	CRAY-1S	M-280H	M-200H	ACOS-1000	M-382
		AP	AP	IAP	IAP	IAP	MP
		MFLOPS	MFLOPS	MFLOPS	MFLOPS	MFLOPS	MFLOPS
1	Hydro. excerpt	73.719	67.089	20.802	13.590	7.962	10.941
2	MLR, Inner pro.	12.345	27.488	32.075	22.467	14.114	12.579
3	Inner product	87.084	27.802	31.904	22.181	14.104	8.190
4	Banded lin. eq.	3.308	3.158	17.517	12.080	13.456	5.965
5	Tri-diag. el.(b)	6.958	4.093	8.113	5.509	6.640	10.560
6	Tri-diag. el.(a)	5.167	3.530	8.349	5.629	6.649	9.583
7	Eq. of state ex.	50.206	79.278	16.115	11.558	8.181	15.584
8	P.D.E. integrat.	14.783	17.099	10.054	6.994	9.243	14.634
9	Integer predict.	11.031	53.599	11.293	7.737	7.128	13.699
10	Difference pred.	4.934	26.533	4.038	2.887	2.404	8.295
11	First sum.	8.573	2.660	6.579	4.628	5.659	4.699
12	First diff.	84.423	22.808	19.851	14.541	8.058	4.710
13	2-D p. pusher	2.277	3.790	1.844	1.054	2.092	2.418
14	1-D p. pusher	4.263	5.478	2.466	1.673	3.155	4.154
Average		26.362	24.600	13.643	9.466	7.775	9.001
Total average		8.371	8.025	7.820	5.196	6.215	7.693
Clock overhead(ms)		4977.18	3457.86	7065.41	10135.59	12524.00	10602.00
Total CPU time(ms)		25699.33	26805.53	27510.60	41401.20	34613.00	27964.00
Total floating point operations							215120
Observation Date		82.10.	82.2.8	82.5.29	82.2.27	82.10.16	82.9.6
Computer Center		CDC USA	Cray.Inc.	U.Tokyo	U.Tokyo	U.Tohoku	U.Kyoto

NOTE

Average = Total sum of each MFLOPS / Number of LOOPS (14)
 Total average = Total floating point operations / Total CPU time

表6に示される通り、CRAY-1とM-280H IAPのベクトル処理性能は、実数基本演算で殆ど並んでいる。スカラー処理性能では逆に、M-280HがCRAY-1より約40%速い。そのことは、表7の総平均MFLOPS値(Total average)でも示され、アレイプロセッサの性能を見る場合には、ベクトル処理速度と並んでスカラー処理速度も考慮に入れる必要がある。

CDC cyber 205は、交叉ループ長が大きいため、ループ長100では、CRAY-1やIAP程度の速さになる。

使い易さ表8. ベクトル命令適用条件の比較 (FORTRAN DOループ)

	適用性	M-200H IAP	M-280H IAP	CRAY-1
1	最内側のDOループである	○	○	○
2	IF文, GO TO文を含んでもよい	△ ^{注1)}	○	×
3	実数型演算がベクトル化される	○	○	○
4	複素数型演算もベクトル化される	○	○	○
5	整数型, 論理型演算もベクトル化される	×	×	○
6	ユーザ定義関数の引用, CALL文を含んでもよい	△ ^{注2)}	△ ^{注2)}	×
7	組込関数の引用を含んでもよい	△	△	○
8	添字式に制約がある (線型変動)	○	○	○
9	データの定義参照関係に矛盾が生じない	○	○	○
10	EQUIVALENCE 結合時の制約がある	○	○	○
11	組込関数の中にベクトル化されるものがある	×	△ ^{注3)}	○
12	拡張仕様による加速化は不要	○	○	△

注1) 条件不変IF文を含んでもよい (コンパイラ特殊オプションによる)。

注2) 30行以内のサブルーチン, 外部関数がインライン展開される (プリプロセッサSAFによる)。

注3) ABS等がベクトル化される (コンパイラ特殊オプションによる)。

cyber 205 では、拡張仕様によって添字式の制約 (8) を拡大している (非線型変動、リストベクトル¹⁴⁾)。国産スーパーコンピュータ S-810 等では、リストベクトルも自動ベクトル化される、つまり、FORTRAN 文の $A(I) = B(K(I))$ 等がベクトル処理されて高速化する。

表9. 適用化手法の比較

	適用化手法	M-200H IAP	M-200H IAP	CRAY-1
a	最内側のループ長を大きく	要	要	要
b	記憶域を連続に(左辺を特に)	必要	必要	要
c	右辺の項数を短かく	必要	必要	不要
d	データの独立性を確保	要	要	必要
e	I F文を除く	必要	不要	必要
f	添字の形を線型に	必要	必要	必要
g	アセンブラ化する	不要	不要	要

必要……………是非とも必要

要……………ある程度必要

不要……………必要なし

cyber 205では、手法aが特に重要でループ長50以上(できれば1000程度)が必須となる。IAPやCRAY-1では、その点、ループ長10以上でよいので、多くのプログラムでレイプロセッサの性能が発揮される(ベクトル化率及び高速化率が高い)。S-810等では、手法fが緩和されるほか、手法b及びcが実メモリ方式やチェイニング機能⁸⁾などのサポートによってCRAY-1と同様のレベルになると予想される。特に、国産スーパーコンピュータはFORTRANコンパイラの自動ベクトル化機能が米国機を上回る事が予想され、手法gは当然不用になると共に、使い易さの点で優れたものになるだろうと思われる。

表10. コーディング変更レベルの比較

		M-200H/280H IAP	CRAY-1
レベル0	プログラムを変更しない		
レベル1	FORTRANプログラムを部分的に手直しする	↓	
レベル2	ハードウェアを意識してFORTRANプログラムをかなり書き換える		⋮
レベル3	FORTRANに追加された拡張表現で書く		
レベル4	アレイプロセッサ専用の行列用言語で書く		
レベル5	アセンブラで書く		↓

cyber 205 では、レベル3による加速化が重要であり、プログラムの互換性が全く失われる可能性が大きい。S-810等では、アレイプロセッサの豊富な機能を生かすために、レベル2の加速化が有効になるケースが増えるかもしれないと予想される。

5. 討論

パイプライン方式のアレイプロセッサは、並列方式に比べ一般に汎用性が高く、高速化されるプログラム範囲が広い。

しかしながら、各アレイプロセッサの特徴や利用法は、汎用機に比べてバラツキが大きいので、それぞれのシステムに対する一定の配慮や習熟が必須となる。数値解析及びプログラミング技術の両面から、新たな検討や研究を進めることが必要であろう。並列処理システムにおけるアルゴリズム最適化の課題は、将来の興味深いテーマである。

6. 謝辞

IAPの調査・研究にあたって、様々にご協力戴いた日立製作所及びIAP研究会(東大大型センター)の関係者の方々に感謝申し上げます。中でも特に、リバモアルーフ測定その他で多大の御協力を戴いた梅谷征雄氏(日立中央研究所)には深謝申し上げますと共に、武田喜一郎氏(日本クレイ社)、高橋理氏(東北大学)、日本CODCの方々に御礼申し上げます。

また、仮想メモリその他のメモリ容量と演算速度の関連や、大規模計算の見積りなどについて、貴重な御指導・御助言を下された村田健郎氏(日立中央研究所)に感謝申し上げます。

最後に、この研究会で発表する機会を与えて下さった森正武氏・名取亮氏(筑波大学)はじめ研究会のメンバーの方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Y. 唐木: スーパーコンピュータの現状と将来, COMPUTERWORLD (JAPAN) Oct. 11 (1982) p.11.
- 2) M. J. Flynn: Very High-Speed Computing Systems, Proc. IEEE

- 54 (1966) p.1901 .
- 3) 日経コンピュータ, 7.26 (1982).
- 4) スーパーコンピュータ HITAC S-810 アレイプロセッサシステム
の開発, HITAC 製品ニュース, 昭和57年8月 (日立製作所).
- 5) T. 元岡: スーパーコンピュータの現状と展望, 情報処理, Vol.22
No.12 (1981) p.1103 .
- 6) Y. 唐木: M-280H IAP と CRAY-1 の比較, 東京大学大型
計算機センターニュース, Vol.14, No. (1982) p.18 .
- 7) HITAC M-180/200H 内蔵アレイプロセッサ, 8080-2-041 (日立製作所)
- 8) CRAY-1 Hardware Reference Manual, Cray Research Inc.
- 9) 日経エレクトロニクス, No.277, 11-9 (1981).
- 10) Y. 唐木, T. 木村: FORTRAN プログラムから見たアレイプロ
セッサの性能評価, 情報処理学会, 計算機アーキテクチャ研究
会資料4 (1981.4.15)
- 11) S. 吉野: FFT の M-200H IAP 向けコーディング, IAP 研究会
資料 (1982.6.16) (東京大学大型計算機センター)
- 12) Y. 唐木: アレイプロセッサの効果的な使用法, 分子科学研究
所研究会報告 (1982.3月); 東京大学大型計算機センターニュース
Vol.14, No.4 (1982) p.46 .
- 13) S. 一松: 計算機の歴史, 数学セミナー 11月号 (1982).
- 14) 日本CDC, IAP 研究会資料 (1982.6.16) (東京大学
大型計算機センター).