

# HIPAC 101 での命令の使用頻度について\*

矢 島 敬 二\*\*

## 1. 調査の目的

HIPAC 101は2進、固定小数点の科学技術用計算機で、77種類の命令をもっている。記憶装置は磁気ドラムで記憶容量は短語4,096(1短語21ビット)である。この機械で各種の命令がどのように使われているかを調査したのがこの報告である。調査のためにプログラムをつくり、実行中の各プログラムを1命令ごとに追って頻度表に集計をとった。このため、演算時間の約30倍の調査時間を要することになったので、とりあげたプログラムはいくつかの典型的な問題にすぎない。

計算機の設計にあたって、命令構成の決定は常に大きな問題であろう。この機械の場合、いかなる意図でこのような命令体系が採用されたかは関知しないが、現実の使用状況の姿から、新しい機械設計のさいのいくつかの方針が得られるのではないかと考える。

つぎには、実行プログラムの性質と使用頻度との関連である。コンパイラが働いているとき、科学技術計算を実行しているときは、命令語の使い方に差異があると思われる。これは、たとえば第2表の分類別割合をながめることによって情報が得られよう。コンパイラが働いているときの割合は、(2)、(9)の列に示され、一方科学技術計算の実行時のものは、(4)、(7)、(8)の列で示されている。これをみると四則の割合が異なっており、翻訳中は14%程度、科学技術計算で20%ほどである。また、分類の(2)MD、Acc関係、というものはMDレジスタ、Accと記憶装置とのやりとりを行なわせる命令群であるが、この割合がかなり異なり、翻訳時の使用率の少ないことがわかる。

以上のことも、命令体系設計者の予想したところであろうが、その姿を数量的に示す資料として提供するしだいである。なんらかの形で役に立つことがあれば幸に思う。なお、本調査の実施に当たって、木村興治君の協力を得た。ここに記して感謝する。

この結果は1964年1月伊東で行なわれた第5回ブ

\* Frequency Distributions of Machine Codes Used in HIPAC 101 Computing System, by Keiji Yajima (Computing Center, Nippon Kagaku Gizyutsu Kensyuzyo, Co. Ltd., Tokyo)

\*\* 日本科学技術研究所電子計算機センター

ログラミング・シンポジウムで報告したが、今回報告集に掲載した数字の誤りを訂正し、また新しい調査結果を追加したものである。

## 2. 調査したプログラム

第1表の表頭にある(1)~(9)を説明する。

(1) コンパイラ：日本科学技術研修所で開発されたアルゴリズムコンパイラ。ただし、使用言語は計算機独特のものである。このプログラムの命令全体の統計がこの列である。詳細については、第5回ログラミング・シンポジウム報告集所載の、浦部雅子，“HIPAC 101のCompiler,” pp. (S<sub>2</sub>-6)-(S<sub>2</sub>-15), 1964年1月。を参照のこと。

(2) 翻訳：(1)のプログラムで簡単な例題を翻訳させたときの命令使用度数。例題はつぎのとおり：

逆正弦関数表

$$\arcsin x = \frac{\pi}{2} - \sqrt{1-x}P(x).$$

ここでP(x)はn次の多項式とする。この次数nと多項式の係数はテーブルから読み込むものとして、x=-0.95からきざみ0.05で0.95まで関数の値を計算する。

プログラム	説明
'10>I, N; 1> ACSINX, A, PP;	scale declaration
αN;	次数nの読み込み
ΣA[1:N];	array declaration
&I=1<1>N ↓ αA[I]; ↑	多項式の係数読み込み
&X=-0.95<0.05>0.95 ↓	xを-0.95よりきざみ
≡U <sub>p</sub> (X)XO(Y)F≡	0.05で0.95まで実行
W=1-Y;	機械語の挿入(Xの絶対値をとる)
≡U <sub>p</sub> 2048XG(W)F≡	機械語(平方根サブルーチンへのリンク)
PP=A[N];	
&I=N-1<-1>1 ↓	多項式の計算
PP=PP*Y+A[I]; ↑	
ACSINX=1.570796326-PP*W;	$\arcsin x = \frac{\pi}{2} - \sqrt{1-x} P(x)$
<X 0>→, , L1;	x ≥ 0 なら L1へ
ACSINX = -ACSINX;	
L1: βF#X, ACSINX; ↑	印刷形式指定
≡;	

第1表 命令使用度数

プログラム		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
命令		コンバイナ	翻 訳	連立方程式	実 行	翻 訳	実 行	線型計画法	統計計算	翻 訳
四	XA/	11	426	16	164	11	149	253	78	2571
	XA//	183	1465	15	75	0	204	279	41	7975
	A/	7	116	14	89	7	916	293	582	558
	A//	19	275	8	41	1	321	38	77	1450
	XB/	1	27	5	79	5	424	254	2	201
	XB//	7	18	9	16	0	78	15	1	319
	B/	6	35	8	27	2	117	179	19	314
	B//	24	572	4	24	1	399	33	16	3514
	A/MD	3	144	7	74	2	219	26	128	856
	B/MD	11	32	2	52	1	219	147	168	687
則	XAO/	0	0	1	0	1	39	0	2	0
	AO/	1	0	1	16	0	0	0	0	0
	XBO/	1	0	1	40	0	0	0	0	0
	BO/	0	0	3	4	0	0	0	0	0
	XMA/	2	30	6	92	4	840	274	43	130
	XMA//	3	135	3	4	1	0	16	198	822
	MA/	1	0	1	0	0	78	45	17	0
	MA//	2	77	0	0	0	0	0	93	324
	XMB/	1	30	6	92	1	39	95	5	0
	XMB//	1	72	0	0	0	0	0	0	324
小 計	MB/	1	0	2	30	3	320	0	1	0
	MB//	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	XAD/	0	0	2	4	1	180	0	53	0
	XAD//	0	0	1	0	0	78	45	16	0
	AD/	1	0	0	0	0	0	0	5	0
	AD//	1	378	4	27	0	78	171	132	2075
	XBD/	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	XBD//	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	BD/	4	0	1	0	0	0	0	0	0
	BD//	2	0	0	0	0	0	0	0	0
R/	2	30	5	175	0	80	280	17	0	
小 計	295	3862	127	1125	42	4778	2443	1694	22120	
M D・A c c 関係	T/	12	537	29	623	18	2202	1215	397	2295
	T//	60	443	11	48	1	0	40	378	2372
	LMD/	7	174	11	151	6	909	147	195	926
	LMD//	139	578	6	59	0	243	331	179	3225
	XT/	14	92	3	64	0	34	262	141	455
	XT//	6	32	1	4	0	0	10	16	115
小 計	238	1856	61	949	25	3438	2005	1306	9388	
ケタザらし	SL/	51	2547	16	447	5	1552	1018	727	13722
	SR/	25	717	11	87	18	829	189	181	3499
	SLD/	3	112	0	0	0	0	9	68	0
	SRD/	2	72	0	0	3	398	45	16	324
	SC/	1	371	5	27	0	9	2	9	1834
小 計	82	3819	32	561	26	2788	1263	1001	19379	
飛 び 越 し	J/	353	2174	34	323	7	1282	1030	418	11729
	JP/	29	1696	9	301	2	156	505	274	9823
	JM/	25	964	7	402	6	1098	548	425	5139
	JZ/	60	911	9	65	1	282	2	37	5452
	JO/	1	0	2	25	0	0	27	0	0
	HJ/	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	BHJ/	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	JSW/	3	4	1	12	0	0	7	0	10
NE/	13	6	1	1	1	368	0	0	36	

プログラム		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
命令	コンパイラ	翻訳	連立方程式	実行	翻訳	実行	線型計画法	統計計算	翻訳	
	I1J/	225	542	11	59	9	504	279	57	3261
	小計	709	6297	76	1188	27	3690	2398	1211	35450
インデックス・レジスタ	I1S/	154	1413	27	188	1	352	289	96	8199
	I2S/	106	2061	38	122	8	774	450	230	12732
	TI1/	49	945	8	40	0	321	205	33	5593
	TI2/	25	265	7	15	0	9	155	30	1566
	I1Z/	12	303	3	0	0	78	32	15	1985
	I2Z/	13	287	1	5	0	319	207	48	2125
	I1N/	11	1084	14	150	0	0	133	177	6054
	I2N/	8	170	6	60	0	40	185	193	860
	小計	378	6528	104	580	9	1893	1656	822	39114
番地演算	XAA/	126	546	27	173	5	729	182	48	3006
	AA/	88	2007	35	698	4	650	1063	539	8655
	TA/	100	1876	123	463	5	1502	863	93	8945
	小計	314	4429	185	1334	14	2881	2106	680	20606
論理演算	XEA/	7	113	2	0	0	0	0	0	0
	AND/	7	285	2	6	0	0	18	0	1701
	小計	14	398	4	6	0	0	18	0	1701
入出力	RH/, XRH/	1	390	1	241	0	128	453	193	1544
	OW/	6	20	1	0	0	0	0	0	15
	ON/, OS/	40	918	20	49	2	468	482	219	4549
	その他(8種)	0	0	1	0	24	0	0	0	0
	小計	47	1328	23	290	26	596	935	412	6108
計	2077	28517	612	6033	169	20064	12826	7126	153866	

[注] SIP code のつぎの / は長語に対する演算, // は短語演算を示す。

第2表 分類別割合

プログラム		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
分類	コンパイラ	翻訳	連立方程式	実行	翻訳プログラム	実行	線型計画法	統計計算	翻訳	
1	四則	14.2	13.5	20.8	18.6	24.9	23.8	19.1	23.8	14.4
2	MD, Acc 関係	11.5	6.5	10.0	15.7	14.8	17.1	15.6	18.3	6.1
3	ケタずらし	3.9	13.4	5.2	9.3	15.4	13.9	9.9	14.0	12.6
4	飛び越し	34.1	22.1	12.4	19.7	16.0	18.4	18.7	17.0	23.0
5	インデックス	18.2	22.9	17.0	9.6	5.3	9.4	12.9	11.5	25.4
6	番地演算	15.1	15.5	30.2	22.1	8.3	14.4	16.5	9.5	13.4
7	論理演算	0.7	1.4	0.7	0.1	0	0	0.1	0	1.1
8	入出力	2.3	4.7	3.8	4.8	15.4	3.0	7.3	5.8	4.0
計		100.0	100.0	100.1	99.9	100.1	100.0	100.1	99.9	100.0

第3表 命令使用度数ベストテン

(1)					(2)					(3)				
順位	命令	使用度数	%	累積%	順位	命令	使用度数	%	累積%	順位	命令	使用度数	%	累積%
1	J/	353	17.0	17.0	1	SL/	2547	9.0	9.0	1	TA/	123	20.1	20.1
2	I1J/	225	10.8	27.8	2	J/	2174	7.6	16.6	2	I2S/	38	6.2	26.3
3	XA//	183	8.8	36.6	3	I2S/	2061	7.2	23.8	3	AA/	35	5.7	32.0
4	I1S/	154	7.4	44.0	4	AA/	2007	7.1	30.9	4	J/	34	5.6	37.6
5	TI1/	139	6.2	50.2	5	TA/	1876	6.6	37.5	5	T/	29	4.7	42.3
6	XAA/	126	6.1	56.3	6	JP/	1696	6.0	43.5	6	I1S/	27	4.4	46.7
7	I2S/	106	5.1	61.4	7	I1S/	1413	5.0	48.5	7	XAA/	27	4.4	51.1
8	TA/	100	4.8	66.2	8	I1N/	1084	3.8	52.3	8	ON/	20	3.3	54.4
9	AA/	88	4.2	70.4	9	JM/	964	3.4	55.7	9	SL/	16	2.6	57.0
10	JZ/	60	2.9	73.3	10	TI1/	945	3.3	59.0	10	XA/	16	2.6	59.6
計		1534					16767					365		
総計		2077					28517					612		
(4)					(5)					(6)				
1	AA/	698	11.6	11.6	1	T/	18	10.6	10.6	1	T/	2252	11.2	11.2
2	T/	623	10.4	22.0	2	SR/	18	10.6	21.2	2	SR/	1552	7.8	19.0
3	TA/	463	7.7	29.7	3	XA/	11	6.5	27.7	3	TA/	1502	7.5	26.5
4	SL/	447	7.4	37.1	4	I1J/	9	5.3	33.0	4	J/	1282	6.4	32.9
5	JM/	402	6.7	43.8	5	I2S/	8	4.7	37.7	5	JM/	1098	5.5	38.4
6	J/	323	5.4	49.2	6	J/	7	4.1	41.8	6	A/	916	4.6	43.0
7	JP/	301	5.0	54.2	7	A/	7	4.1	45.9	7	LMD/	909	4.5	47.5
8	I1S/	188	3.1	57.3	8	LMD/	6	3.5	49.4	8	SL/	829	4.1	51.6
9	XAA/	173	2.9	60.2	9	JM/	6	3.5	52.9	9	I2S/	774	3.9	55.5
10	XA/	164	2.7	62.9	10	SL/	5	3.0	55.9	10	XAA/	729	3.6	59.1
計		3782					95					11843		
総計		6033					169					20064		
(7)					(8)					(9)				
1	T/	1215	9.5	9.5	1	SL/	727	10.2	10.2	1	SL/	13722	8.9	8.9
2	AA/	1063	8.3	17.8	2	A/	582	8.2	18.4	2	I2S/	12732	8.2	17.1
3	J/	1030	8.0	25.8	3	AA/	539	7.6	26.0	3	J/	11729	7.6	24.7
4	SL/	1018	7.9	33.7	4	JM/	425	6.0	32.0	4	JP/	9823	6.5	31.2
5	TA/	863	6.7	40.4	5	J/	418	5.9	37.9	5	TA/	8945	5.8	37.0
6	JM/	548	4.3	44.7	6	T/	397	5.6	43.5	6	AA/	8655	5.6	42.6
7	JP/	505	3.9	48.6	7	T//	378	5.3	48.8	7	I1S/	8199	5.3	47.9
8	ON/	482	3.8	52.4	8	RH/	287	4.0	52.8	8	XA//	7975	5.2	53.1
9	RH/	453	3.5	55.9	9	JP/	274	3.8	56.6	9	I1N/	6054	3.9	57.0
10	I2S/	450	3.5	59.4	10	I2S/	230	3.2	59.8	10	TI1/	5593	3.6	60.6
計		7627					4257					93427		
総計		12826					7126					153866		

F# (0.2)3(1.7);  
 実行

終り

データ

8,	} 次数 多項式の係数
1.5707963050,	
- .2145988016,	
.0889789874,	
- .0501743046,	
.0308918810,	
- .0170881256,	
.0066700901,	
- .0012624911,	

(3) 連立方程式：固定小数点方式で、各行の尺度因子を考えたルーチン。数値入出力を含む。

(4) 実行：(3)のプログラムで4元の連立方程式を解いたときの状況。

(5) 翻訳プログラム：(2)の段階でできあがったプログラムの命令構成。平方根 サブルーチンは含むが、入出力のプログラムは含まない。

(6) 実行：(5)のプログラムを実行して関数表を印刷させたとき、入出力その他実行時に必要なプログラムは(6)とは別に入れておいた。

(7) 線型計画法：固定小数点方式の専用ルーチンで簡単な例題を解かせたときの使用度数。例題は下のとおり、

$$\begin{aligned}
 &57.4 X_1 + 54.6 X_2 + 53.3 X_3 \\
 &\quad + 57.2 X_4 + 33.0 X_5 + 20.0 X_6 \geq 100 \\
 &0.306 X_1 + 0.125 X_2 + 0.194 X_3 \\
 &\quad + 0.299 X_4 + 8.370 X_5 + 6.320 X_6 \geq 1.333 \\
 &0.044 X_1 + 0.052 X_2 + 0.185 X_3 \\
 &\quad + 0.139 X_4 + 0.884 X_5 + 1.264 X_6 \leq 0.584 \\
 &0.604 X_1 + 0.109 X_2 + 0.659 X_3 \\
 &\quad + 0.113 X_4 + 0.060 X_5 + 0.202 X_6 \leq 1.381 \\
 &1.69 X_1 + 7.01 X_2 + 4.42 X_3 \\
 &\quad + 3.09 X_4 + 2.32 X_5 + 2.89 X_6 = 5.79 \\
 &0.161 X_1 + 0.044 X_2 + 0.054 X_3 \\
 &\quad + 0.046 X_4 + 0.000 X_5 + 0.019 X_6 \geq 0.0800
 \end{aligned}$$

目的関数：

$$\begin{aligned}
 &5290 X_1 + 5130 X_2 + 5200 X_3 \\
 &\quad + 4850 X_4 + 4480 X_5 + 800 X_6
 \end{aligned}$$

上の六つの制限条件式を満たし、目的関数の値を最小にするような  $X_1$  から  $X_6$  までの変数の負でない値を求める。

(8) 統計計算： $n$ 個のデータ  $(x_{11}, x_{12}), (x_{21}, x_{22}), \dots, (x_{n1}, x_{n2})$  から棄却楕円を計算するプログラムを実行させたときの使用度数。

(9) 翻訳：(1)の翻訳プログラムを用いて、モンテカルロ実験のソースプログラムを翻訳させたときの使用度数。

[注1] (2)と(9)とは同じ性質の調査である。結果もかなり類似している(第2表参照)。

[注2] (7), (8)については実行時の集計で、単純集計は調べてない。

### 3. 若干の注釈

(a) 調査に要した時間の総計は約45時間である。(9)の場合、154,000 命令を追うのに約30時間を要した。

(b) 第1表の(2)の RH/, XRH/ のところは390となっている。これは、スペースを含めてこのテストプログラムが390字であったことを示す。同様に(6)の128字読み込みは多項式の係数の読み込みに当たる。(9)についても同様である。

(c) (1), (9)を見るとソースプログラムの1字をコンパイラが処理するのに70~100 step 要していることがわかる。

(d) (2)のプログラムから(5)のプログラムができたわけであるから、翻訳プログラム1命令当たり平均170命令を要したことがわかる。

(e) 第1表の番地演算というのは、命令語のなかの番地部に対する演算であるが、これが積極的に各種のプログラムで取り入れられているのが第2表からわかる。

(f) コンパイラも科学技術計算も飛び越しの命令が多い。これはプログラムの本質というべきものであろう。

(g) 第2表は第1表の分類に従って集計した数字である。ここで採用した分類は便宜的なものである。調査の目的に応じて分類の方針は考えられるべきであらう。(昭和39年2月14日受付)