

計算機の性能指数と価格†

高 橋 茂**

計算機の価格と性能の関係について、昔から Grosch の法則として知られていたスケールメリットは、量産される半導体の比重が高まるにつれて成り立たなくなったものと直感されているが、データに基づく検討はされていなかった。一方、最近 Ein-Dor などは、計算機を価格範囲で分類すれば、それぞれの範囲内では依然 Grosch の法則が成り立つと報告している。この検討を行った。性能の表示については、Ein-Dor などと同じく、Computerworld の R.P. あるいは MIPS 値を用いたが、計算機の分類は各グループが同一アーキテクチャ、同一メーカーの単一製品系列になるようにし、各系列内での価格・性能の関係を求めた。検討の結果、1970 年代後半からは性能は価格にほぼ比例し、スケールメリットは存在しないことが明らかになった。この変化の原因について論じ、量産される半導体部品の影響と推定した。Ein-Dor などの誤った結論は、計算機群をアーキテクチャには無関係に、価格範囲によって機械的に分類し、価格・性能の関係を求めようとしたことにある。R.P. や MIPS 値をアーキテクチャの異なる計算機の性能比較に適用することは、これらの指数の性質上、ほとんど無意味であり、かつ危険である。

1. はじめに

計算機の性能と価格の関係について、古くから「性能は価格の自乗に比例する」という Grosch の法則が成り立つとされていた。

計算機の性能を一つの指数で表すことは難しく、そのこと自体に異論があるにしても、とにかく性能と価格の関係は、古くは K. E. Knight^{1),2)}により、最近では P. Ein-Dor^{3),4)}などによって繰り返し検討されている。

Grosch の法則は定量的に「自乗か 1.8 乗か」などということではなく、むしろ定性的に「大型ほど割安」という意味に解釈すべきものであろう。このいわゆるスケールメリット (economy of scale) は、計算機に限らず、ある範囲内では受注生産品全般について成り立つことは直感的にも明らかであるが、「…の法則」という方が便利であることから、筆者は高速計算機開発の必要性を強調する根拠の一つとして、1962 年頃から、この法則をしばしば引用してきた^{5),6)}。

一方、1970 年代後半からは量産される半導体素子の影響が強くなったことから、システムとしては受注生産が建前の中型以上の計算機についても、ハードウェアの価格だけについて見れば、スケールメリットは次第に失われて行くのではないか、というのが筆者の直感で、その後の解説⁷⁾はその立場に立って行ってきたが、実際のデータについて具体的に検討したことはなかった。

ところが、最近に接した Ein-Dor などの論文^{3),4)}によれば、計算機をマイクロ、ミニ、中型、大型、超大型と 5 クラスに分けると、各クラス内ではこの法則が依然として成り立つという。奇異に感じてこれを検討したところ、アーキテクチャの異なる計算機をすべて一緒にして、価格だけでクラス分けをしているところに問題があることが分かった。彼らは計算機の性能を表すのに後述の MIPS あるいは R.P. を使用しているが、これらをアーキテクチャの異なる計算機の比較に機械的に適用することはもともと無理である。

以下 IBM システム/360 およびシステム/370 アーキテクチャによる計算機の系列を主として、性能指数と価格の関係を調べ、その動向を Grosch の法則との関連において考察した。

2. 性能指数

新しい計算機が発表されると、発表したメーカーが好むと好まざるとにかかわらず、必ず業界雑誌や新聞に現れるのが、MIPS (Million Instructions Per Second) という値である。計算機性能の指数としてこの言葉が現れたのは 1978 年頃であるが、広く使われるようになったのは、Computerworld が 1981 年以来毎年行うサーベイ “Hardware Roundup”⁸⁾ にこの値を掲げるようになってからであろう。

MIPS と並行して相対性能 (Relative Performance) という指数もよく使われる。これは IDC (International Data Corporation) と Computerworld が共同で始めたもので、システム/370 モデル 158-3 をベースマシンとして、その指数を 45 と定め、アーキテクチャがこれと同じか、あるいは極めて近い計算機、すなわ

† Performance Index and Pricing of Computers by SHIGERU TAKAHASHI (Tokyo Engineering University).

** 東京工科大学情報工学科

ち IBM あるいは PCM (Plug Compatible Manufacturer) による計算機の性能をこれに対して相対的に示したものである⁹⁾。以下この定義による相対性能を R.P. と呼び、一般的な意味の相対性能と区別する。

計算機メーカーが次々に新しい CPU のモデルを発表するので、ユーザの立場では CPU の性能、特に速度を示す簡単な指標を求めたくなるのは当然であるが、計算機システムの処理能力は、

- (1) システム構成、例えば補助記憶装置、入出力チャンネルなどの種類と数
- (2) 主記憶装置の速度と容量、およびその構成と制御方式
- (3) オペレーティングシステム
- (4) 言語プロセッサ
- (5) 計算機のアーキテクチャ

など多種多様な条件に左右され、CPU の命令実行速度はこれらの条件の一つにすぎない。

しかしそれでも CPU 速度の物差が欲しいという人達がいる。また CPU はシステムの最も重要な構成要素であるから、極めて大雑把ではあっても、速度の物差があると便利なこともある。この目的で、1960年代の初期からギブソンミクス (Gibson Mix)^{10),11)}を始めとする種々の命令ミクス (instruction mix) が用いられてきた¹²⁾。

命令ミクスは計算機に典型的な仕事をさせた場合の各命令の出現頻度 I_j を一般的に求めておき、これと特定の計算機 X の各命令の実行時間 t_{xj} から、

$$P_x = 10^{-6} / \sum_j I_j \cdot t_{xj} \quad (\text{MIPS}) \quad (1)$$

として平均命令実行速度 P_x を算出しようというものである。

典型的な仕事とはいっても、科学技術計算、事務データ処理など応用によって命令の出現頻度はまったく異なる。ギブソンミクスは科学技術計算用といわれているが、同じ科学技術計算でも、計算機のアーキテクチャやオペレーティングシステムが変わり、言語プロセッサが進歩するとともに、命令出現頻度が大幅に変化するので、ギブソンミクスに限らず、以前からあるすべてのミクスが実情に合わなくなっている。

多くの計算機メーカーでは、そのときどきの典型的な応用プログラムのセットを、典型的な環境で走らせることにより、命令出現頻度を調べ、自社の命令ミクス表を絶えず更新しているようであるが、これらの表は各社の製品計画のツールであるため、公表されてい

ない。したがって異なるメーカーがそれぞれの計算機について発表している MIPS 値によって、計算機系列間の性能を比較することはほとんど意味がないことになる。

実際多くのメーカーは新しい CPU を発表するとき、その性能については自社の既発表の CPU と比較して何倍と説明し、MIPS には触れない方針を採っているようである。それでもなお MIPS 値が氾濫しているのは、業界新聞や雑誌がメーカーの発表を基に推測した値を発表しており、一方ではユーザが一つの数字で手軽に性能を表すものを求めているからであろう。

筆者は、適用範囲を同じメーカーのアーキテクチャを同じくする系列に限定すれば、あるいは多少範囲を拡げて、メーカーは異なっても同じアーキテクチャの計算機に限定すれば、R.P. あるいは MIPS 値はそれなりに有用な指数ではないかと考えている。R.P. はメーカーが提供する値を基礎に、その後のユーザの経験を取り入れて更新したものといわれ、1979年に Computerworld が IBM から提供された同社の内部資料と比較したところ極めてよく一致していたという⁹⁾。MIPS 値は R.P. にほぼ比例しているが、多少ずれている場合もある。以下の検討ではできるだけ R.P. を採用した。なお Computerworld はその後 R.P. をアーキテクチャの異なる計算機にも拡大しているが、アーキテクチャの異なる計算機間の性能をこの方式で比較することには筆者は賛成できない。

表 1 に 1987 年 1 月に日本アイ・ビー・エムが発表した IBM 3090 E の各モデルの相対性能 (R.P. ではない)¹³⁾を示す。発表された数字は表の * が付いていないものであるが、これらの数字を基にして、3090/150 の性能を 1 としたときの各モデルの相対性能 (* を付けたもの) を容易に求めることができる。これと日経コンピュータ推定の MIPS 値¹³⁾ および Computerworld 推定の MIPS 値¹⁴⁾ を比較してみると、図 1 に示すように比例関係がよく成り立っていることが分かる。

MIP (S) は Meaningless Index of Performance の略だとさえ一部でいわれ¹⁵⁾、嫌われものになっている面もあるが、少なくとも IBM によるシステム/370 アーキテクチャの計算機については、メーカーの評価とよく一致しているといえる。使い方を間違えれば "meaningless" になることは当然で、例えばいわゆる RISC (Reduced Instruction Set Computer)¹⁶⁾ の性能とシステム/370 や DEC の VAX の性能を MIPS

表 1 IBM 3090E シリーズのメーカー発表相対性能値 (商業計算用) と推定 MIPS 値の比較 (付: 本体最小構成買取価格)

Table 1 Comparison of officially announced relative performance (commercial application) and trade journal estimated MIPS value of IBM 3090E series. (Attached, purchase price for minimum configuration.)

IBM 3090	日本 IBM による相対性能 (水印を除く)				推定 MIPS 値		本体最小構成買取価格 (10 ³ \$)
	対 150	対 180	対 200	対 400	日経コンピュータ	CW**	
150 E	1.04				9.8	10.1	1,650
180 E	1.7	1.11~1.17			16.1	15.6	2,600
200 E	3.28*	2.2	1.12~1.18		31.0	31.2	4,500
300 E	4.56*		1.6		43.5	46.9	6,150
400 E	5.85*		2.0 ~2.1	1.11~1.13	55.3	61.5	8,375
600 E	7.83*			1.5	73.5	79.0	11,500

* 計算値, 発表相対性能が範囲で与えられているものは, 中央値を採用して計算
 ** Computerworld

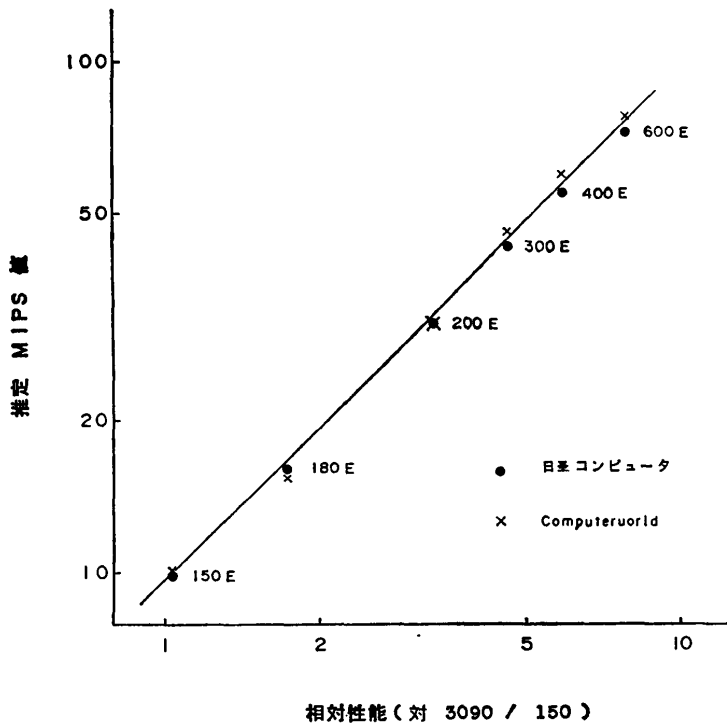


図 1 IBM 3090E シリーズについてのメーカー発表相対性能値と推定 MIPS 値 (直線は正比例の場合を示す)
 Fig. 1 Comparison of officially announced relative performance and trade journal estimated MIPS value of IBM 3090E series. (The plot being on the line shows proportionality.)

値だけで比較することはほとんど無意味であろう。

3. Grosch の法則と 1970 年代前半までの性能・価格

H. R. J. Grosch はいわゆる Grosch の法則を 1940 年代後半から唱えていたようであるが, 文献として参

照できるのは 1953 年の Journal of the Optical Society of America に掲載された解説¹⁷⁾が最初のものである。ここで Grosch が実際に述べたことは, 「計算速度を向上しても, 計算の経済性はその平方根でしか良くならない。すなわち 10 倍安く計算するには, 100 倍早く計算しなければならない」ということであった。この解説は, “High Speed Arithmetic” と題されているくらいで, 実際 Grosch が主張したのは, 高速化の必要性であったと思われる。この法則は従来から多くの著者によりしばしば引用されているが, その大部分 (筆者を含めて) がいわゆる孫引で, 原著を調べての引用ではないことが分かる。

Grosch が述べたことを式で表せば, 性能を P , コストを C として,

$$P/C = kP^{1/2} \quad (k: \text{定数}) \quad (2)$$

となる。これから, よく知られている

$$P = k^2 C^2 \quad \text{あるいは} \quad P/C = k^2 C \quad (3)$$

という関係が導かれる。

いま(3)式の k^2 の代りに改めて k とおき, さらに指数を一般化して,

$$P = kC^a \quad (4)$$

とし, (4)式の a がどうなるかを調べることにする。 $a=2$ が Grosch の法則で, a が 1 より大きければ, いわゆるスケールメリット (economy of scale) が存在するわけである。

ここでは 1965 年 4 月に上位モデルの入替えを行っ

表 2 IBM システム/360 の性能と価格
Table 2 Performance and price of IBM system/360.

モデル	性能 (ギブソンミクス)		最小構成価格 (\$/月)				平均システム構成価格 (\$/月)
	平均命令実行時間 (μs)	平均命令実行速度 (10 ⁶ /s)	CPU・メモリー・マルチプレキサ*	コンソール	その他	計	
30	90	0.011	2,755(32)	227	246	3,228	8,500
40	31	0.032	4,940(64)	297	581	5,818	15,000
50	7.5	0.133	8,600(64)	297	1,440	10,337	28,000
65	1.8	0.556	20,290(128)	297	3,090	23,677	50,000
75	1.1	0.91	32,705(256)	595	3,090	36,390	81,400

* 括弧内はメモリー容量 (kB)

た後の IBM システム/360 (最初の発表は 1964 年 4 月) と, 1975-6 年にモデルの更新を行った後のシステム/370 (最初の発表は 1970 年 6 月) の二つの製品系列について, (4) 式を検討してみよう。

システム/360 の時代にはまだ R. P. も MIPS もなく, ギブソンミクスが最も広く使われていた。表 2 にシステム/360 各モデルのギブソンミクスによる命令実行速度を示す。なおここでいうギブソンミクスとは, 文献 11) による原形ではなく, 文献 12) で「一般に使用されている」としているその変形である。

この種の検討で常に問題になるのは, 価格として計算機本体の最小構成 (CPU, コンソール, 現実的かつ最小限のメモリーおよびチャンネル) 価格をとるか, ハードウェアの平均的なシステム構成価格をとるか, ということである。表 2 には比較のために両方の価格を掲げてある。最小構成としては, 計算機本体としての実現的な最小構成をとった。例えば 360/30 ではメモリー容量は 8 kB からであるが, 現実的な最小容量として 32 kB をとった。平均システム構成価格は IDC が実際に設置されているものについて定期的に行っている調査結果によった。表 2 の値は 1968 年 1 月のものである¹⁸⁾。

表 2 の値から図 2 が得られる。最小構成価格 C_0 と性能 P の関係を示す直線と, 平均システム構成価格 C_a と性能 P の関係を示す直線とは互いに並行で, C_a は C_0 に比例していることが分かる。すなわち性能と価格の関係が (4) 式の形である限り, C が C_0 であろうと C_a であろうと, k が変わるだけで, Grosch 法則がどの程度よく成り立っているかを示す a の値には影響がないことになる。以下の検討では価格にはすべ

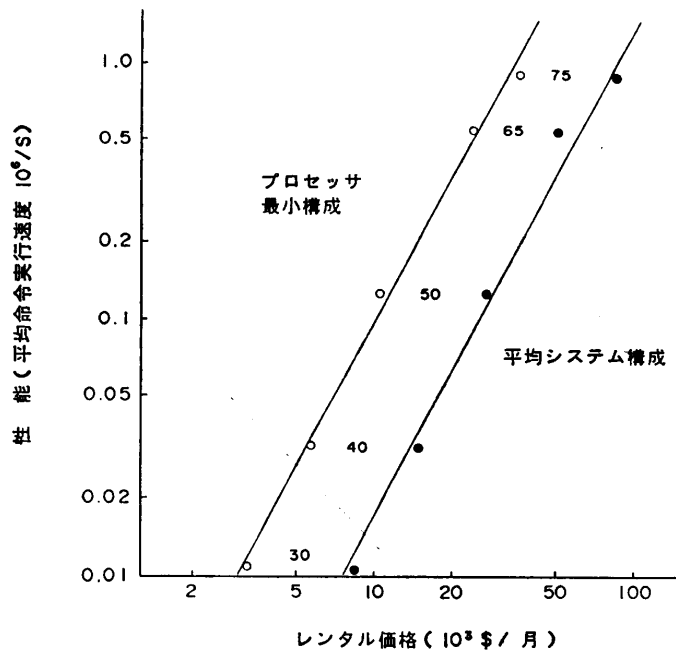


図 2 IBM システム/360 の価格と性能 (ギブソンミクス) $a=1.89$

Fig. 2 Price/performance (Gibson mix) of IBM system/360, $a=1.89$.

表 3 IBM システム/370 の性能と価格
Table 3 Performance and price of IBM system/370.

モデル	性能		本体最小構成買取価格 (\$) (メモリー容量 B)
	ギブソンミクス (10 ⁶ 命令/s)	R. P.	
115-2	0.018	2.25	110,550(384 k)
125-2	0.030*	6.3	216,100(512 k)
138	0.13	11.7	329,680(1 M)
148	0.18	24	562,890(1 M)
158-3	0.83	45	1,545,365(2 M)
168-3	2.80	124	3,496,350(4 M)

* 125 の値 0.022 をサイクル時間の改良に応じて修正して本体の最小構成価格を用いた。
さて図 2 から (4) 式の a の値を求めると 1.89 とな

り、Grosch の法則にかなり近いことが分かる。

表 3 に IBM システム/370 の性能と価格を示す。1975-6年に更新されたこの系列には Computerworld がすでに R. P. を与えている⁹⁾。表 3 にはギブソンミクスによる平均命令実行速度と R. P. とを併記した。これらのデータから図 3 が得られる。ギブソンミクスと R. P. とでは傾斜が異なり、

$$a=1.49 \text{ (ギブソンミクス)}$$

$$=1.15 \text{ (R. P.)}$$

となる。

ギブソンミクスが科学技術計算用の性能評価を目的にしたものであり、また 1970 年代の命令出現頻度を反映していないことから、このような相違は当然予想されることである。

実態をよりよく表していると思われる R. P. で、 $a=1.15$ ということから、1975-6 年の製品系列ではすでに Grosch の法則から程遠く、スケールメリットが著しく減少していることが分かる。この系列ではすでにメモリーはすべて IC に切り換えられ、論理 IC の集積度も増大して、半導体素子の量産効果が計算機の価格にもかなり反映されていたと考えられる。

この頃、もともと独立なものとして作られた計算機を複数台接続する従来の多重プロセッサシステムとは異なり、同一筐体内にプロセッサを複数収容するシステム (370/168 AP および MP) が現れた。プロセッサ 2 台の場合、政策的な価格は別として、メーカーのコストは当然 2 倍に近く、一方性能は高々 1.8 倍程度にしかならないから、このようなシステムをメーカーが提供し、その市場があったということは、その頃からスケールメリットが期待できなくなったことを意味する。

4. 1970 年代後半以降の性能・価格

表 4 に 1977 年に発表されたシステム/370 後継の IBM 303 x シリーズ、および 1979 年にほぼ同じアーキテクチャの中型機として発表された IBM 43 xx の R. P. と最小構成価格を示す¹⁹⁾。

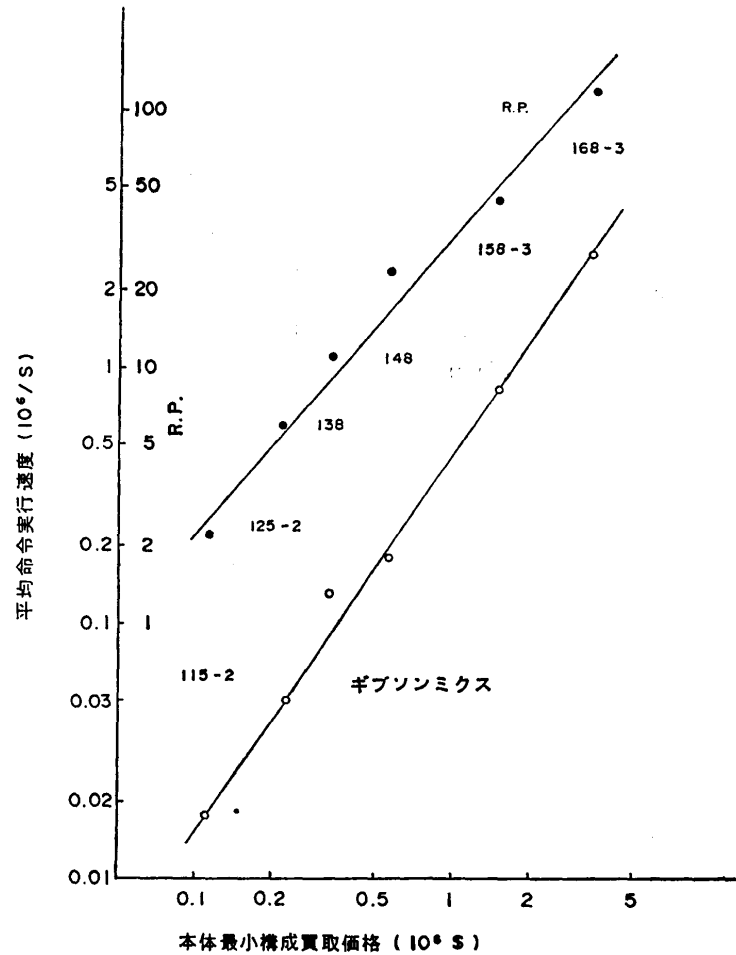


図 3 IBM システム/370 の価格・性能
 $a=1.49$ (ギブソンミクス)
 $=1.15$ (R. P.)

Fig. 3 Price/performance of IBM system/370, $a=1.49$ (Gibson mix) and $a=1.15$ (R. P.).

表 4 IBM 303 x および当初発表時の 43xx シリーズの価格・性能

Table 4 Performance and price of IBM 303 x and IBM 43 xx when initially announced.

モデル	発表	R. P.	本体最小構成買取価格 (10 ⁶ \$)
3031	1977. 10	54	1, 000
3032	1977. 10	124	2, 077
3033	1977. 03	223	3, 380
3033 MP	1977. 10	374	7, 140
4331	1979. 01	11	69
4341	1979. 01	37	249

この表から図 4 が得られる。303 x シリーズにも多重プロセッサが含まれているが、図から明らかなようにスケールメリットとは完全に逆行する傾向になって

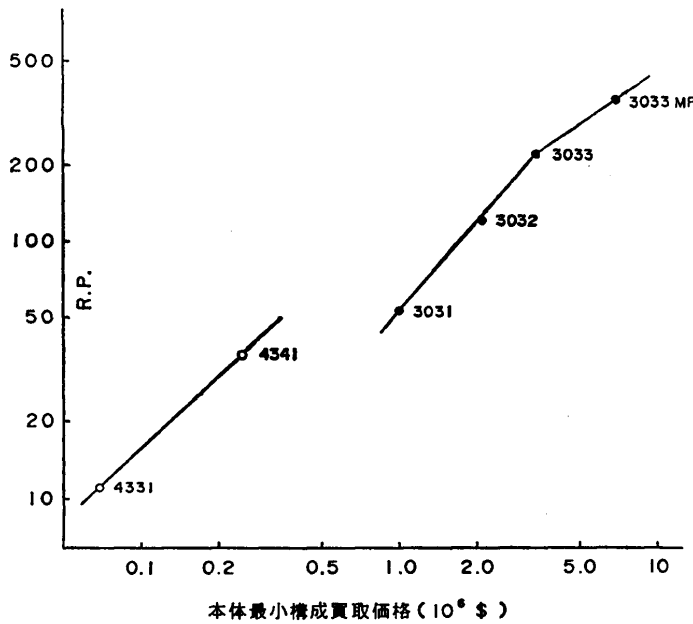


図4 IBM 303x と 43xx シリーズの価格・性能
 $a=1.16$ (3031, 2, 3)
 $a=0.92$ (4331, 4341)

Fig. 4 Price/performance of IBM 303x and 43xx, $a=1.16$ (3031, 2, 3) and $a=0.92$ (4331, 4341).

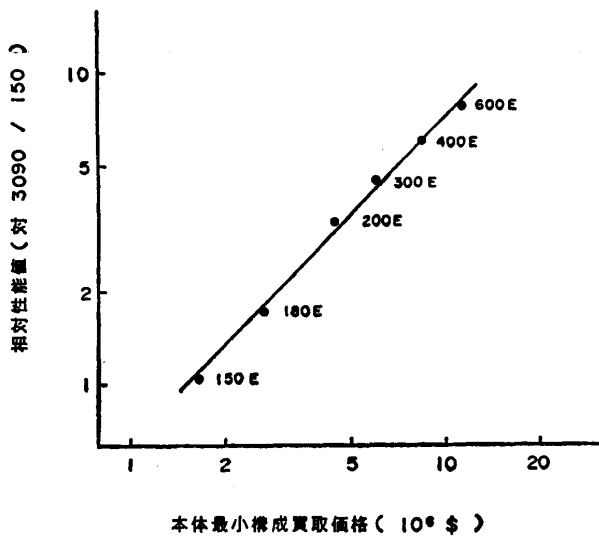


図5 IBM 3090 E シリーズの価格・性能
 $a=1.02$

Fig. 5 Price/performance of IBM 3090 E series, $a=1.02$

いる。この 3033 MP を除外して 303x の a の値と、43xx の a の値を求めると、それぞれ 1.16, 0.92 となり、Grosch の法則にはまったく合わなくなっていることが分かる。

この頃から「MIPS 当たりの価格」ということがし

ばしば取沙汰されるようになった。ということは Grosch の法則にかわって、いまや

$$P = kC \quad (5)$$

になったことを仮定していることになる。

ここで表1から IBM 3090 E の価格・性能を調べてみると図5が得られ、 $a=1.02$ であることが分かる。

IBM だけではなく PCM のデータを調べてみよう。表にいちいち数字を挙げることは省略し、図6、図7にそれぞれ Amdahl と NAS (National Advanced Systems) 両社の計算機の価格・性能の関係を示す(データは1985年版 Hardware Roundup⁹⁾による)。 a の値はそれぞれ 1.28, 1.10 である。

国産機についても傾向は同様である。ただし国産機の場合、性能は国内業界誌推定の MIPS 値、価格は JECC (日本電子計算機株式会社) に登録したレンタル価格で表示されていることが多い。価格は買取でもレンタルでも比が一定であれば、 a の値

には影響しない。図8に富士通の M-730, M-760, M-780 の3系列についての価格・性能を示す(データは週間電波コンピュータ^{20),21)}による)。 a の値は系列によって異なり、それぞれ 1.30, 0.96, 1.11 である。図9に日立の M-660 系列の価格・性能を示す(データは週間電波コンピュータ²²⁾による)。この場合 a の値は 1.04 である。アーキテクチャについては不明で

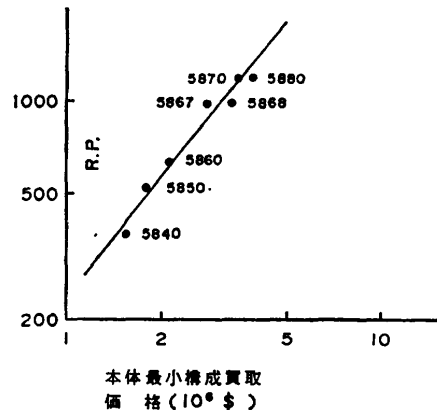


図6 Amdahl 58xx シリーズの価格・性能
 $a=1.28$

Fig. 6 Price/performance of Amdahl 58xx series, $a=1.28$.

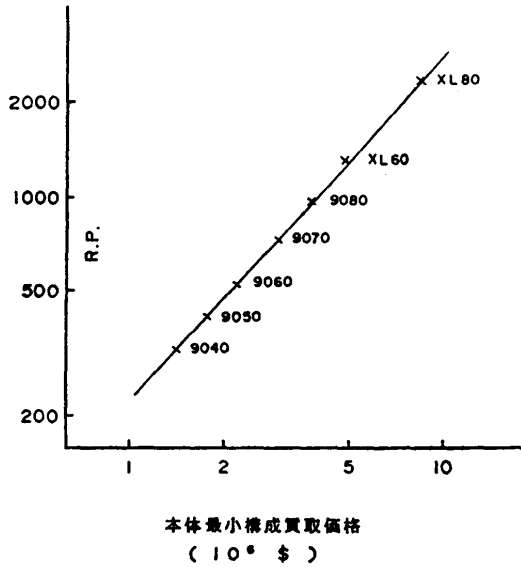


図 7 NAS 90 xx および XL シリーズの価格・性能 $a=1.10$
 Fig. 7 Price/performance of NAS 90 xx and XL series, $a=1.10$.

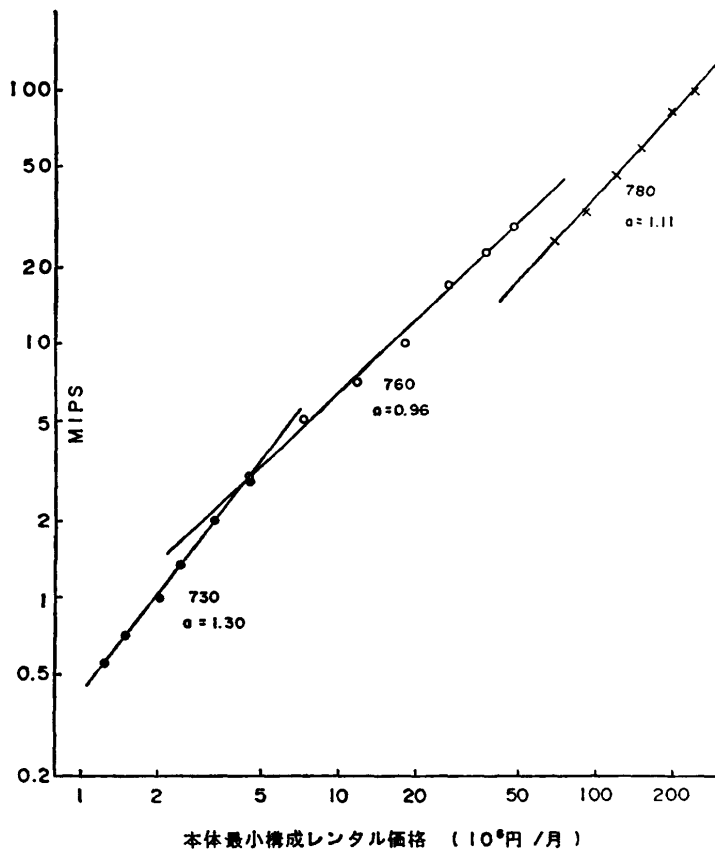


図 8 富士通の製品系列の価格・性能 $a=1.30$
 Fig. 8 Price/performance of Fujitsu product line, $a=1.30$ (730 series), 0.96 (760 series), 1.11 (780 series).

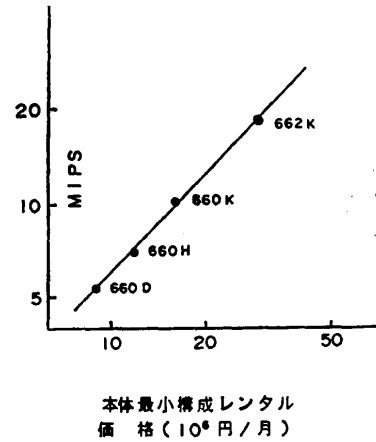


図 9 日立 M-660 シリーズの価格・性能 $a=1.04$
 Fig. 9 Price/performance of Hitachi M-660 series, $a=1.04$.

あるが、語長は同じく 32 ビットの日本電気の ACOS 910 系列について価格・性能を示すと図 10 のようになる (データは日経コンピュータ²³⁾による)。 a の値は 0.98 である。

最後に IBM システム/370 とはまったくアーキテクチャが異なる計算機について調べてみよう。データはすべて 1985 年版の Hardware Roundup⁸⁾による。図 11 に Honeywell DSP 90 シリーズ、図 12 に Sperry 1100 シリーズ、図 13 に NCR V-86 シリーズ、図 14 に CDC の Cyber/180 シリーズの価格・性能を示す。 a の値は Honeywell で 1.52, Sperry で 1.45 であるが、NCR では 0.93, CDC は三つに分かれ、1.18, 1.06, 1.08 である。

5. 考 察

以上の検討の結果、1970 年代後半以降の IBM システム/370 あるいはこれに近いアーキテクチャの計算機では、価格と性能の関係は Grosch の法則よりは、むしろ正比例に近くなっていることが明らかになった。本論文は当然のことながら、(4) 式の a の値を定量的に論ずるものではない。しかしそれが 2 に近いか 1 に近いかといえ、現在では明らかに 1 に近いといえることができる。以下これが 2 から 1 に変わった

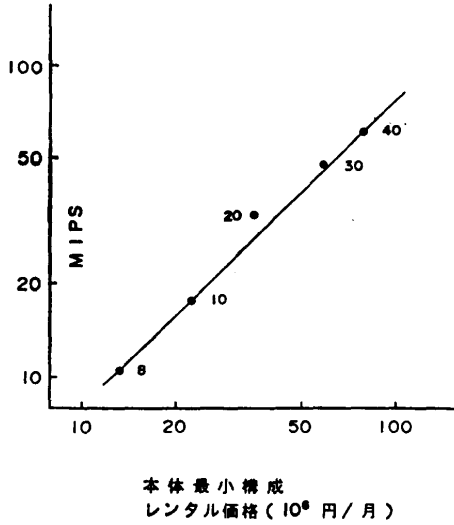


図 10 日本電気 ACOS 910 シリーズの価格・性能
 $a=0.98$
Fig. 10 Price/performance of NEC ACOS 910 series,
 $a=0.98$.

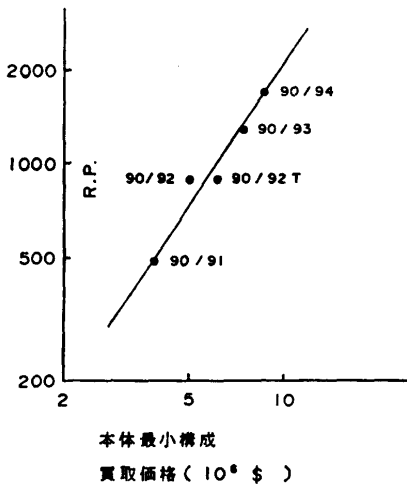


図 11 Honeywell DSP 90 シリーズの価格・性能
 $a=1.52$
Fig. 11 Price/performance of Honeywell DSP 90 series,
 $a=1.52$.

理由について考察してみよう。

計算機に限らず、発電機や大型の変圧器などの技術指向の注文生産品にはスケールメリットがあることが古くから知られている。一般に性能 n 倍の装置は、 n 倍の物量と人手を掛けて作るわけではない。1970 年代前半まで、計算機のコストが広い範囲で $n^{1/2}$ に比例していたのは、偶然とも半ば人為的とも考えられるが、 n 倍よりは $n^{1/2}$ 倍に近くて当然であった。1960 年代に Grosch の法則が有名になり、製品計画段階

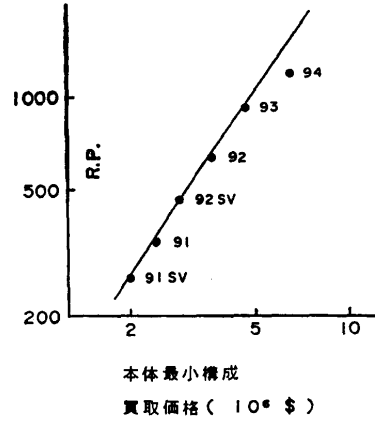


図 12 Sperry 1100 シリーズの価格・性能
 $a=1.45$ (モデル 94 を除く)
Fig. 12 Price/performance of Sperry 1100 series,
 $a=1.45$ (except model 45).

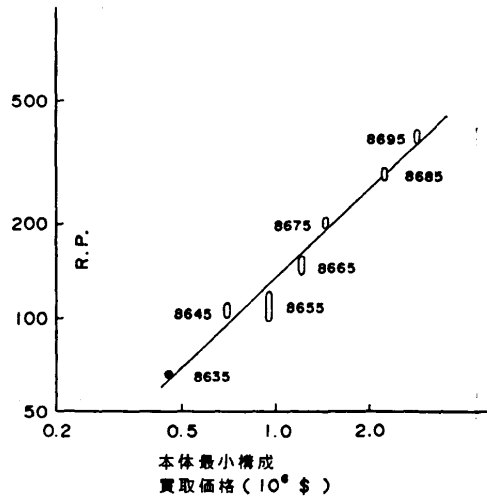


図 13 NCR V-86 シリーズの価格・性能
 $a=0.93$
Fig. 13 Price/performance of NCR V-86 series,
 $a=0.93$.

から $n^{1/2}$ に比例するような価格付けが、無理のない範囲で行われていたともいえる。

1970 年代半ばに IC メモリーが登場してから、メモリーはもちろん、論理回路も高集積化が可能になり、計算機の半導体部品への依存度が急速に高まった。一方ではマイクロプロセッサやパーソナルコンピュータの登場もあって、半導体部品の需要が増大したため、メモリーは当然であるが、論理回路部品もこれらの量産の影響を強く受けるようになった。量産部品の特徴は、特定の規格のものだけが著しく安く、例えばその 2 倍の性能のものは 10 倍も高いということである。したがって n 倍の性能のものは、性能の高い部品を使

うように設計を変えるよりは、むしろ同じものを n 個並べて作った方が経済的だということになる。その端的な現れは IBM 3090-600 E (プロセッサ 6 台) やスーパーコンピュータ ETA-10 (プロセッサ 8 台) のような多重プロセッサ構成である。勢い、性能と価格は比例する傾向となった。

このようにスケールメリットがなくなったことは、分散処理を推進する大きな力になっているが、だからといって大型計算機の開発が不要になるわけではない。この問題は二つに分かれる。すなわち、(1) パフォーマンス p_0 のプロセッサ A があるときに、なぜ A を n 台使わないで、一つの筐体にこれを n 台収容したシステム B が使われるか。(2) システム B があるのに、なぜまた 1 台でパフォーマンス np_0 のプロセッサ C が開発されるのか。ということである。

これらについて論ずることは本論文の主題から多少逸れる恐れがあるが、あえて蛇足を付け加えれば、(1)の理由は、(a)何らかのデータベースを中心とした応用が多く、処理は分散しても、データベースは集中しないと更新や管理が難しい。(b)磁気ディスクなどの補助記憶装置についてはスケールメリットが大きい。(c)ハードウェアのスケールメリットはなくなってもソフトウェアにはある。端末装置から何人のユーザが使ってもソフトウェアのレンタル料は同じ。(d)オペレータ、入出力機器のコスト、センタ運営費まで含めると、ソフトウェアは別にしても、まだスケールメリットがある。(e)処理をある程度分散しても、相互の情報交換が必要であり、大型計算機を中央においてスター接続にしないと回線料金が嵩む。などということであろう。(2)の理由は、(f) B のようなシステムを使いこなせるのは、互いに無関係な多数のプロセスが走るような応用で、大きな科学技術計算のような場合には、 C のように 1 台のプロセッサでパフォーマンスをできるだけ高くすることが望ましい。(g) 半導体メーカー間の競争で、量産品の中心が急速にパフォーマンスの高い方へ移って行くため、経済的に実現できるプロセッサのパフォーマンスの上限も年々上昇する。ということであろう。

6. 結 言

R. P., MIPS 値などの CPU あるいは計算機本体の性能を簡便に表す指数を、異なるアーキテクチャの計算機の比較に適用するのはもともと無理である。し

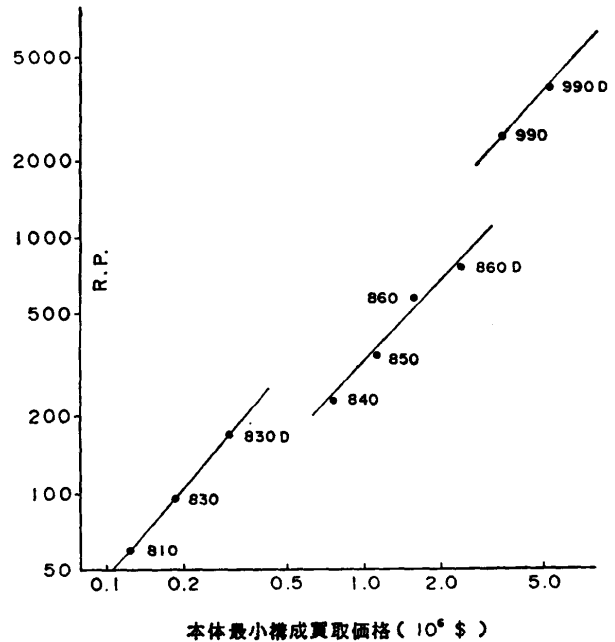


図 14 CDC の Cyber/180 シリーズの価格・性能
 $a=1.18$ (830 シリーズ)
 $a=1.06$ (860 シリーズ)
 $a=1.08$ (990 シリーズ)

Fig. 14 Price/performance of CDC Cyber/180 series,
 $a=1.18$ (830 series), $a=10.6$ (860 series),
 $a=1.08$ (990 series).

かし同じあるいは類似のアーキテクチャの計算機の性能の比較には有用な指数であると考えられる。

本論文では適用範囲をさらに限定し、同じメーカーの同じ系列に属し、同じ時期に発表された計算機間の価格・性能の関係を検討することにだけこれらの指数を用いた。検討の結果 1970 年代前半までは良く成り立っていた経験則である Grosch の法則は、1970 年代後半から成り立たなくなり、性能は価格の自乗に比例するよりは、むしろそれに正比例し、スケールメリットがなくなったことを明らかにすることができた。またその変化が量産される半導体部品の影響であることを考察した。

中型以上の計算機は現在でも基本的には受注生産だと思われるが、以上検討したようにその価格には受注生産品に対して一般に期待されているスケールメリットがなくなった。これは容易に想像できることであったが、いままで定量的な検討が行われたことはなかった。逆に Ein-Dor などは製品系列の相違、アーキテクチャの相違、メーカーの相違などは無視して、計算機を価格によって機械的に幾つかのクラスに分類し、各クラスでは依然として Grosch の法則が成り立つとい

う誤った結論を導いているので、あえてこの検討を行ったわけである。

なお本論文では各メーカーの製品系列についての価格・性能はそれぞれ別の表または図によって示している。これらを互いに比較することは本論文の目的ではない。またこれらの指数の性質から、これらの比較、特にアーキテクチャの異なる計算機間の比較はほとんど意味がないばかりでなく、むしろ危険であるから注意を要する。

参 考 文 献

- 1) Knight, K. E.: Changes in Computer Performance, *Datamation*, pp. 40-54 (September 1966).
- 2) Knight, K. E.: Evolving Computer Performance, *Datamation*, pp. 31-35 (January 1968)
- 3) Ein-Dor, P.: Grosch's Law Re-Revisited: CPU Power and Cost of Computation, *Comm. ACM*, Vol. 28, No. 2, pp. 142-151 (1985).
- 4) Ein-Dor, P. and Feldmesser, J.: Attributes of the Central Processing Units: A Relative Performance Prediction Model, *Comm. ACM*, Vol. 30, No. 4, pp. 308-317 (1987).
- 5) 高橋 茂, 西野博二, 吉広和夫, 淵 一博: ETL Mk-6 の方式設計, 電気通信学会電子計算機研究専門委員会資料 (1962. 2).
- 6) 高橋 茂: 中央処理装置の動向と役割, 電子技術, Vol. 12, No. 4, pp. 24-30 (1968).
- 7) 高橋 茂: 四半世紀を経た我が国のコンピュータ, 電子通信学会誌, Vol. 68, No. 5, pp. 482-485 (1985).
- 8) Henkel, T.: Hardware Roundup, *Computerworld*, July 13, pp. 12-20 (1981); August 2, pp. 23-33 (1982); August 8, pp. 29-39 (1983); August 20, pp. 23-40 (1984); August 19, pp. 23-34 (1985).
- 9) Rosenberg, M. and Lundell, E. D. Jr.: IBM and Compatibles, *Computerworld*, January 8, pp. 10-12 (1979).
- 10) 石田晴久: ギブソンミックスの起源について, 情報処理, Vol. 13, No. 5, pp. 333-334 (1972).
- 11) Gibson, J. C.: The Gibson Mix, IBM Poughkeepsie Lab. Technical Report, TR 00.2043 (January 1970).
- 12) 高橋義造: コンピュータ評価のための各種ミックス, 情報処理, Vol. 13, No. 11, pp. 777-781 (1972).
- 13) 最大6プロセッサの IBM 3090 新ファミリー6モデル, 日経コンピュータ, No. 142, p. 152 (March 2, 1987).
- 14) *Computerworld*, February 2 (1987).
- 15) Brandt, R.: Some Chipmakers Are Taking a Gamble on RISC, *Business Week*, pp. 88-89 (July 22, 1987).
- 16) Patterson, D. A. and Sequin, C. H.: A VLSI RISC, *IEEE Computer* (September 1982).
- 17) Grosch, H. R. J.: High Speed Arithmetic: The Digital Computer as a Research Tool, *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 43, No. 4, pp. 306-310 (April 1953).
- 18) EDP Industry Report, International Data Publishing Co., Newtonville, MA (January 26, 1968).
- 19) Rosenberg, M. and Whitmarsh, J.: IBM 4300 Churns up CPU Scene, *Computerworld*, July 16, pp. 1, 10-13 (1979).
- 20) 週間電波コンピュータ, 2月17日 (1986).
- 21) 週間電波コンピュータ, 3月9日 (1987).
- 22) 週間電波コンピュータ, 3月30日 (1987).
- 23) ACOS シリーズ大型機3機種 14モデル, 日経コンピュータ, No. 142, p. 153 (March 2, 1987).
(昭和62年9月29日受付)
(昭和63年2月10日採録)

高橋 茂 (正会員)



1921年生。1944年9月慶応義塾大学工学部電気工学科卒業。同年6月電気試験所に入る。1956年4月同所電子部回路課長。わが国最初のトランジスタによる電子計算機 ETL Mark 3, Mark 4 を開発。1962年4月(株)日立製作所に移り, 同社神奈川工場開発部長, 設計部長, 副工場長, 同社コンピュータ事業本部次長を歴任。この間 HITAC 8000 シリーズ, DIPS, HITAC M シリーズなどの製品計画並びに開発を担当。1980年1月筑波大学教授(電子・情報工学系)に転出。1986年4月東京工科大学教授。1979-80年本会副会長, 1988年本会情報規格調査会長。電気学会, 米国 IEEE 各会員。工学博士。