

JAERI-M

9605

計算機の最適取替間隔計算モデル

1981年8月

藤井 実・浅井 清

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

計算機の最適取替間隔計算モデル

日本原子力研究所東海研究所計算センター

藤井 実・浅井 清

(1981年7月17日受理)

計算機の最適取替間隔を求めるモデルを考案した。これは、計算需要、計算機性能、計算機価格などの傾向が既知（入力データ）のとき、計算機の取替を何年で行うのが最も経済的かを示すものである。

4種類のモデルを示した。モデル1は、計算機の能力を中央演算処理装置（CPU）で代表させ、次の取替時までの計算需要を今回取替えた計算機で完全に処理するモデルである。モデル2は、計算機の能力をCPUで代表させ、次の取替時までの計算需要を今回取替えた計算機で完全に処理しなくてもよいモデルである。すなわち、超過（潜在）需要を許すモデルである。この場合、超過（潜在）需要の処理は外部計算センタに外注するため割高とする。モデル3は、計算機の能力をCPU、主記憶装置（MEM）、入出力装置（I/O）の3つで代表させ、需要を完全に処理するモデルである。モデル4は、計算機能力をCPU、MEM、I/Oで代表させ、超過（潜在）需要を許すモデルである。

筆者らの計算センタにおける計算需要、最近の計算機に対するGrosch(グロッシュ)の法則の適合性、計算機取替にかかる費用などについても述べた。

A Model for Calculating the Optimal
Replacement Interval of Computer Systems

Minoru FUJII and Kiyoshi ASAI

Computing Center, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received July 17, 1981)

A mathematical model for calculating the optimal replacement interval of computer systems is described. This model is made to estimate the best economical interval of computer replacement when computing demand, cost and performance of computer, etc. are known.

The computing demand is assumed to monotonously increase every year. Four kinds of models are described. In the model 1, a computer system is represented by only a central processing unit (CPU) and all the computing demand is to be processed on the present computer until the next replacement. On the other hand in the model 2, the excessive demand is admitted and may be transferred to other computing center and processed costly there. In the model 3, the computer system is represented by a CPU, memories (MEM) and input/output devices (I/O) and it must process all the demand. Model 4 is same as model 3, but the excessive demand is admitted to be processed in other center.

(1) Computing demand at the JAERI, (2) conformity of Grosch's law for the recent computers, (3) replacement cost of computer systems, etc. are also described.

Keywords: Computer, Replacement Model, Cost/Performance,
Cost/Benefit, Grosch's Law, Computing Demand,
Replacement Cost

目 次

1. はじめに	1
2. 最適取替モデル	4
2.1 概 要	4
2.2 計算需要を完全に処理するモデル (モデル1)	4
2.3 超過 (潜在) 需要を許すモデル (モデル2)	6
2.4 CPU, MEM, I/O 分離モデル (モデル3)	9
2.5 超過 (潜在) 需要を許す, CPU, MEM, I/O 分離モデル (モデル4)	9
2.6 最適取替政策と予算	10
3. 計算需要	15
4. 計算機の性能, 価格	20
4.1 Grosch の法則と最近の計算機	20
4.2 計算機の価格性能の動向	23
5. 計算機取替に付随して発生する費用 (計算機借料を除く)	24
6. 最適取替モデルによる計算結果	27
7. おわりに	36
謝 辞	36
参考文献	37
付 録 A 最後の区間費用 g_{ϵ} の処理	38

Contents

1. Introduction	1
2. Optimal replacement models	4
2.1 Outline of models	4
2.2 Model which processes total demand (Model 1)	4
2.3 Model which admits excess demand (Model 2)	6
2.4 Model which processes total demand of CPU, MEM and I/O (Model 3)	9
2.5 Model which admits excess demand and processes total demand of CPU, MEM and I/O (Model 4)	9
2.6 Budget for optimal replacement strategy	10
3. Computing demand	15
4. Cost and performance of computer system	20
4.1 Grosch's law and recent computers	20
4.2 Cost and performance of computer system	23
5. Replacement cost of computer system	24
6. Calculation results of optimal replacement models ..	27
7. Concluding remarks	36
Acknowledgements	36
References	37
Appendix A. Various calculation techniques of last interval cost	38

1. はじめに

計算機の最適取替間隔を求める手法を示す。これは、計算需要、計算機性能・価格などの傾向が既知（入力）のとき、計算機の取替を何年間隔で行うのが経済的に最適かを示すものである。

筆者らは、著しい計算機の価格性能比の向上と計算需要の増大の中で、

- (i) 計算機設置者（ユーザ）が同一の計算機を4～5年間使用する現状は経済的に有利か否か、
- (ii) 計算機の最適取替とは何か、
- (iii) 簡単に計算機の取替ができないのはなぜか。

などについてある程度目安が得られる道具（計算モデル）の作成を試みた。

計算機の取替は、単に経済的合理性によってのみ行われるものではない。ユーザの計算機利用に対する姿勢・環境、計算機技術の長期的な動向、利用者の技術的・機能的な要件、最新計算機の発表時期・安定性など様々な要素を統合して行われる。しかし、本稿では経済的合理性のみの観点から最適取替政策を論ずる。

計算機の月額借料（レンタル月額）は買取価格の約40分の1であり、保守費、金利なども含めると計算機の買取りとレンタルの損益分岐ラインは4～5年^{*1}となる。故にユーザは、同一の計算機を4～5年以下使用する場合はレンタルで導入し、より長期に同一計算機を使用する場合はその計算機を買取る方向に進む（現実には、計算機の進歩が速く、リスク^{*2}やサポート^{*3}などの要因からレンタルが圧倒的に多い）。一方、計算機メーカーは、長期的にはユーザが新しい技術に対応して計算需要をふくらませてくれるのを望むが、短期的には同一の計算機をより長くレンタル使用してくれることを望む。このため、計算機の新機種⁴の発表間隔も必然的に4～5年以上のサイクルで行われる。

しかし、上述のレンタル月額が買取価格の約40分の1というのは、計算機メーカーの利益も入れた上での立場で、ユーザ側の立場に沿っているわけではない。本稿では、計算需要と計算機の価格性能比の向上などを入力としたユーザ側の最適取替政策について検討する。

技術的立場から見た計算機選択については文献〔1〕に1973年までのこの分野における手法が概説されている。計算機構成の最適選択^{[2], [3]}や計算機システムの価格性能に関する文献^[4]は多いが、計算機の最適取替間隔、取替後の処理能力を求めるような数学モデルはない。

計算機の価格性能比に関する「性能は価格の2乗に比例する」というGroschの予測（いわゆるグロッシュの法則）や計算機の規模の経済性は、〔4〕～〔7〕などで述べられている。時代の古いものほど、Groschの法則に肯定的で、最近のものほどGroschの法則に適合しなくなっている。

* 1 保守費を買取価格に対して年6%、金利を年6%とし、買取後1年間の保守費は無償とした場合、買取りとレンタルの損益分岐ラインは約54カ月となる。

* 2 計算機を買取った後、しばらくして新しい機能を持った計算機が出現すると、買取った計算機が時代遅れになることなど。

* 3 計算機を買取ると、計算機メーカーのソフトウェアのレベルアップ、修正などのサポート・サービスがレンタルのときより低下する傾向にある。

ることを述べている。

本稿では、2でTable 1.1の4種類の最適取替モデルを展開している。モデル1は、計算機の能力を中央演算処理装置（CPU）で代表させ、次の取替時までの計算需要を今回取替えた計算機で完全に処理するモデルである。モデル2は、計算機の能力をCPUで代表させ、次の取替時までの計算需要を今回取替えた計算機で完全に処理しなくてもよいモデルである。すなわち、超過（潜在）需要を許すモデルである。この場合、超過需要の処理は外部計算センタに外注するため割高とする。モデル3は、計算機の能力をCPU、主記憶装置（MEM）、入出力装置（I/O）の3つで代表させ、需要を完全に処理するモデルである。モデル4は、計算機をCPU、MEM、I/Oで代表させ、超過（潜在）需要を許すモデルである。

Table 1.1 Models of Computer Replacement Strategy.

計算機能力 代表項目 計算機 処理能力	CPU	CPU, MEM, I/O
次の取替時までの計算需要を完全に処理できる	モデル1	モデル3
次の取替時までの計算需要を完全に処理できず、超過(潜在)需要を出してもよい	モデル2	モデル4

3, 4, 5では、最適取替モデルの入力パラメータである計算需要、計算機の価格・性能、計算機取替費用について述べる。4においては、最近の国産計算機に対する Grosch の法則の適合性についても検討している。6に最適取替モデルによる計算結果を示す。

結論としては、

- (i) ユーザの経済的合理性から見ると、現在の計算機の価格性能比の向上の中では、2～3年程度で価格性能比の良い計算機と取替えた方が多い。
- (ii) 最近の国産計算機に対する Grosch の法則の適合性は、
 - ① 同じ年に発表された大型計算機から小型計算機までの価格性能比については適合しない。
 - ② 年々開発されていく大型計算機のCPUの価格性能比に対してのみ Grosch の法則の適合性が見られる。
- (iii) 計算機を簡単に取替えることができない要因には以下のものがある。
 - ① 計算機メーカーの製品サイクルが4～5年以上である。
 - ② どの計算機メーカーの計算機に取替えても利用者が簡単に使用できるように標準化することは、現在の計算機の進歩の速さの中では不可能に近いが、非常に高価である。
 - ③ 計算機の取替による計算センタ担当者、利用者への影響は、単なるプログラムの移行・

修正などにかかる人件費のみでなく、利用者の本来の仕事（研究、業務）などに費す時間の減少とか仕事に対する意欲の減少などの心理的影響も考慮する必要があるかもしれない。

(iv) 本稿で示した計算モデルは、ユーザ側の見方として、実際の判断に利用できると思われる。

2. 最適取替モデル

2.1 概要

この章では、Table 1.1 の4つのモデルについて計算機の最適取替間隔 (x^*) を求める方法を示す。すなわち計算機を x 年毎に取替えたときの T (入力) 年間の総費用 $G_T(x)$ を算出し、 $G_T(x)$ を最小とする x を求める。このとき $G_T(x)$ の最小値をとる x^* は T の値によってあまり変動しないことも示す。本稿では以下の仮定を行う。

- (1) ユーザの計算需要は年率 $d \times 100$ (%) で増加する。
- (2) 計算機の性能は年率 $r \times 100$ (%) で向上する。
- (3) 同一処理能力をもつ計算機は年率 $q \times 100$ (%) で安価になる。計算機の価格性能比に Grosch の法則を用いる場合は、性能が k 倍になれば価格は \sqrt{k} 倍になるとする。
- (4) 費用としては、計算機取替費用、計算機レンタル費、超過 (潜在) 需要が生じたときの超過 (潜在) 需要処理費 (例えば外部計算センタへの外注処理費) を考慮する。
- (5) 計算機の取替費用は、計算機の年間レンタル額の $a \times 100$ (%) とする。
- (6) 評価時 ($t = 0$) の計算需要、計算機処理能力量、計算機性能、計算機価格をそれぞれ 1 に基準化する。

2.2 計算需要を完全に処理するモデル (モデル 1)

Fig. 2.1 に計算需要を完全に処理するモデルを示す。計算需要は年率 $d_c \times 100$ (%) で増加する。 $t = 0$ の計算需要を 1 とすると、 t 年後の計算需要 $y_d(t)$ は、

$$y_d(t) = (1 + d_c)^t \tag{2.1}$$

となる。

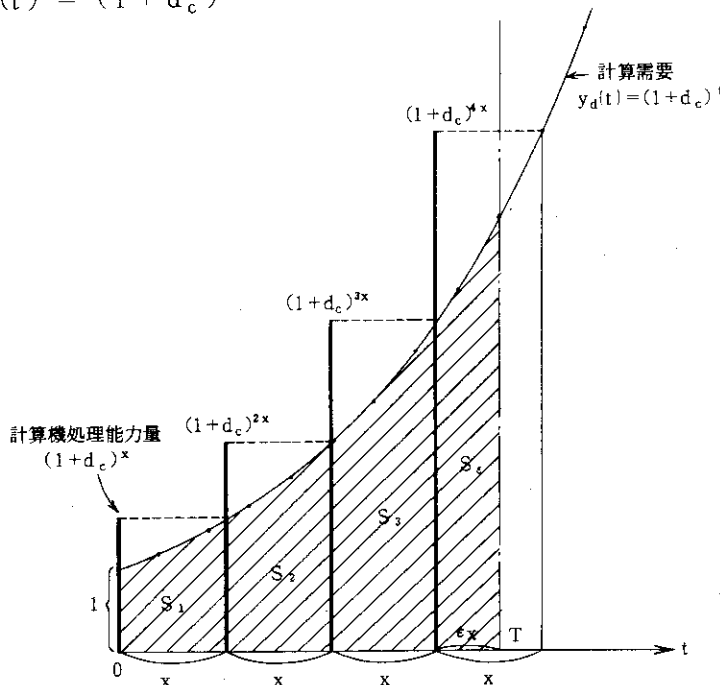


Fig. 2.1 Model which processes all demand.

モデル1では、この計算需要を完全に処理できる計算機をx年毎に導入する。最初 ($t = 0$) に導入する計算機の処理能力量 $P_c(0)$ は、x年目の需要を完全に処理できなければならない。このため、最初に導入する計算機の処理能力量 $P_c(0)$ は、

$$P_c(0) = (1 + d_c)^x \quad (2.2)$$

でなければならない。同様にt年目に導入する計算機の処理能力量 $P_c(t)$ は、

$$P_c(t) = (1 + d_c)^{t+x} \quad (2.3)$$

となる。

ここで、任意の期間T(年、入力値)を設定し、計算機をx年毎に取替えたときのT年間の総費用 $G_T(x)$ を考える。費用は、計算機取替費用、レンタル費である。このT年間の総費用 $G_T(x)$ を最小にする計算機取替間隔 x^* を求める。

$$T = (n + \epsilon) x \quad (2.4)$$

とする。ここでnは整数、 $0 \leq \epsilon < 1$ である。

最初のx年間を第1期、次のx年間を第2期、 $(i-1)x$ 年から ix 年までを第i期とよぶと、第1期の費用 g_1 は、

- x年後の計算需要 : $(1 + d_c)^x$
- $t = 0$ で導入する計算機の処理能力量 : $(1 + d_c)^x$
- $t = 0$ における計算機性能 : 1
- $t = 0$ における計算機価格 (単位処理能力当り) : 1
- x年間の計算機レンタル費 : $x(1 + d_c)^x$
- $t = 0$ における計算機取替費用 : $a(1 + d_c)^x$

より、

$$g_1 = (a + x)(1 + d_c)^x \quad (2.5)$$

となる。

第i期の費用 g_i は、

- ix 年目の計算需要 : $(1 + d_c)^{ix}$
- $t = (i-1)x$ で導入する計算機の処理能力量 : $(1 + d_c)^{ix}$
- $t = (i-1)x$ における計算機性能 : $(1 + r_c)^{(i-1)x}$
- $t = (i-1)x$ における計算機価格 (単位処理能力当り) : $(1 - q_c)^{(i-1)x}$

" Grosch の法則を用いた場合 : $\left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}}\right)^{(i-1)x}$

(以下、計算機(CPU)の価格性能比にはGroschの法則を用いる。)

- x年間の計算機レンタル費 : $x(1 + d_c)^{ix} \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}}\right)^{(i-1)x}$
- $t = (i-1)x$ における計算機取替費用 : $a(1 + d_c)^{ix} \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}}\right)^{(i-1)x}$

より,

$$g_i = (a+x)(1+d_c)^x \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{(i-1)x} \quad (2.6)$$

となる。

最後の εx 年間の費用 g_ε を考える。 $\varepsilon > 0$ のとき、Fig. 2.1のように S_ε の計算需要が存在する。この εx 年間の計算需要の処理にかかる費用に関する検討は付録Aに示し、ここではその結論を使う。

$$g_\varepsilon = \varepsilon (a+x)(1+d_c)^x \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{\left(n+\frac{\varepsilon}{2}-\frac{1}{2}\right)x} \quad (2.7)$$

これは、最後の S_ε の計算需要に対してFig. A. 2のように S_ε が中心にくるような計算機を x 年間導入した場合を考え、その x 年間にかかる総費用を ε 倍したものに等しい。

計算機を x 年毎に取替えたとき T 年間にかかる総費用 $G(x)$ は、

$$G(x) = g_1 + g_2 + \dots + g_n + g_\varepsilon \quad (2.8)$$

である。故に

$$f = \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^x \quad (2.9)$$

とおくと、(2.6)、(2.7)より

$$\begin{aligned} G(x) &= (a+x)(1+d_c)^x \left\{ 1 + f + f^2 + \dots + f^{n-1} + \varepsilon f^{n+\frac{\varepsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \\ &= (a+x)(1+d_c)^x \left\{ \frac{f^n - 1}{f - 1} + \varepsilon f^{n+\frac{\varepsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \end{aligned} \quad (2.10)$$

となる。

最適取替間隔 x^* は以下のように算出する。 x を $XMIN$ から $XMAX$ まで $XSTEP$ 間隔で大きくして、各々の $G_T(x)$ を求め、その最小値を取る x を最適取替間隔 x^* とする。ここで、 $XMIN$ 、 $XMAX$ 、 $XSTEP$ は入力値である。

x^* を求める問題の入力パラメータとしては、 T 、 d_c 、 r_c 、 a がある。 $G_T(x)$ の形状は付録A. で言及している。

2.3 超過(潜在)需要を許すモデル(モデル2)

Fig. 2.2に超過(潜在)需要を許すモデルを示す。このモデルは、次の取替時までの計算需要を今回取替えた計算機で完全に処理できなくてもよいモデルである。すなわち処理できない超過(潜在)需要を許すモデルであり、この超過需要の処理は外部計算センタに外注して処理させることを考え、割高とする。超過分を潜在需要と考える場合は、次の計算機取替まで潜在需要が押

えつけられ、計算機使用機会損失が発生すると考えてもよい。いずれにせよ、この超過（潜在）需要を許すモデルがより現実的である。

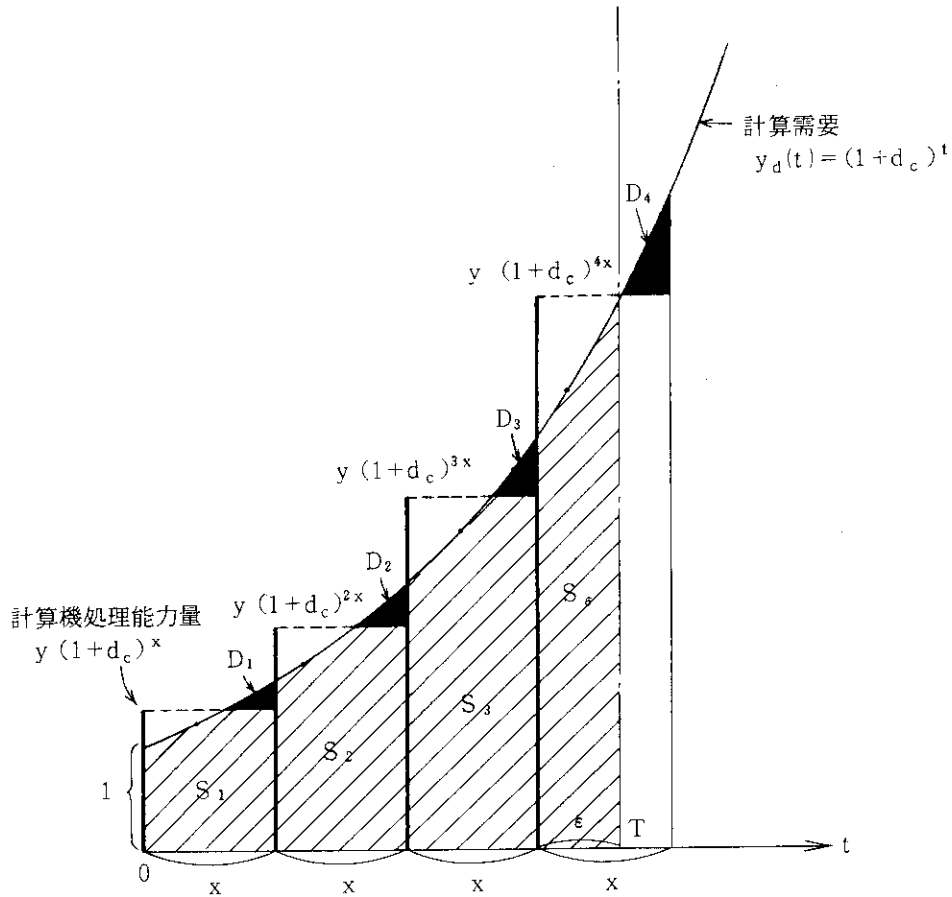


Fig. 2.2 Model which permits excessive or latent demand.

i 期の取替後の計算機処理能力量 $P_c(t)$ は、次の取替時の計算需要 $y_d(ix)$ の $y \times 100$ (%) とする。よって、

$$P_c(t) = y \cdot y_d(ix) = y (1 + d_c)^{ix} \quad (2.11)$$

となる。この計算機処理能力量と計算需要の交点、すなわち i 期の計算機の飽和点 t^* は、

$$(1 + d_c)^{t^*} = y (1 + d_c)^{ix} \quad (2.12)$$

より、

$$t^* = ix + \log_e y / \log_e (1 + d_c) \quad (2.13)$$

となる。

$$h = -\log_e y / \log_e (1 + d_c) \quad (2.14)$$

とおくと、

$$t^* = ix - h \quad (2.15)$$

となる。ここで $h \geq 0$ である。

Fig. 2.2 の 部の超過需要量 D_i は、

$$D_i = \int_{t^*}^{ix} (1+d_c)^s ds - (ix - t^*) \cdot y \cdot (1+d_c)^{ix}$$

$$= (1+d_c)^{ix} \left\{ \frac{1-y}{\log_e (1+d_c)} - hy \right\} \quad (2.16)$$

となる。

$$H = \left\{ \frac{1-y}{\log_e (1+d_c)} - hy \right\} \quad (2.17)$$

とおくと、

$$D_i = H (1+d_c)^{ix} \quad (2.18)$$

となる。

超過需要の処理単価を、その時点における当該ユーザの持つ計算機での処理単価^{*1}の C_L 倍とすると、 T 年間の総費用 $G_T(x, y)$ は、モデル1と同様に算出すると、

$$G_T(x, y) = (ay + xy + C_L H) (1+d_c)^x \left\{ \frac{f^n - 1}{f - 1} + \epsilon f^{n + \frac{\epsilon}{2} - \frac{1}{2}} \right\} \quad (2.19)$$

となる。ここで、

$$\left. \begin{aligned} f &= \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^x \\ T &= (n + \epsilon) x \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

である。

最適取替間隔 x^* と x 年後の需要に対する取替後の計算機の処理能力量の最適比率 y^* は以下のように算出する。 x を $XMIN$ から $XMAX$ まで $XSTEP$ 間隔で大きくし、 y を $YMIN$ から $YMAX$ まで $YSTEP$ 間隔で大きくして、各々の $G(x, y)$ を求め、その最小値を取る x 、 y を最適取替間隔 x^* 、最適処理能力比率 y^* とする。ただし、 $x > 0$ 、 $0 \leq y \leq 1$ とする。

x^* 、 y^* を求める問題の入力パラメータとしては、 t 、 d_c 、 r_c 、 a 、 C_L がある。

* 1 ここでは計算機の価格性能比から見た単価とする、即ち、費用は計算機レンタル費のみで計算機は100%使用を仮定したときの単価とする。

2.4 CPU・MEM・I/O分離モデル(モデル3)

計算機の能力をCPU, MEM, I/O の3つで代表させ、それぞれに対する需要, 装置性能, 装置価格を考える。モデル3では以下の仮定を追加する。

(1) 評価時 ($t = 0$) の計算需要に対する計算機構成のCPU, MEM, I/O 装置価格比率を $\alpha, \beta, r \times 100$ (%) とする。

ここで, $\alpha + \beta + r = 1$ である。

(2) ユーザの需要はCPU, MEM, I/Oに対してそれぞれ年率 $d_c, d_m, d_i \times 100$ (%) で増加する。

(3) 計算需要を処理するCPUの性能は年率 $r_c \times 100$ (%) で向上する。

(4) CPUの価格はGroschの法則に従い, 性能がk倍になれば価格は \sqrt{k} 倍になる。

(5) MEM, I/Oの単位領域当りの価格はそれぞれ年率 $r_m, r_i \times 100$ (%) で安くなる。

(6) 計算機レンタル費は, CPU, MEM, I/Oの装置レンタル費の和とする。

計算機をx年毎に取替えたときのT年間にかかる総費用 $G_T(x)$ は, モデル1と同様に算出すると,

$$G_T(x) = (a+x)(1+d_c)^x \left[\alpha \left\{ \frac{f_c^n - 1}{f_c - 1} + \epsilon f_c^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right. \right. \\ \left. \left. + \beta \left\{ \frac{f_m^n - 1}{f_m - 1} + \epsilon f_m^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} + r \left\{ \frac{f_i^n - 1}{f_i - 1} + \epsilon f_i^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \right] \quad (2.21)$$

となる。ここで,

$$\left. \begin{aligned} f_c &= \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^x \\ f_m &= \left\{ (1+d_m)(1-r_m) \right\}^x \\ f_i &= \left\{ (1+d_i)(1-r_i) \right\}^x \\ T &= (n+\epsilon)x \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

である。

最適取替間隔 x^* はモデル1と同様な方法で求める。 x^* を求める問題の入力パラメータは, $T, \alpha, \beta, r, d_c, d_m, d_i, r_c, r_m, r_i, a, C_L$ である。

2.5 超過(潜在)需要を許す, CPU, MEM, I/O分離モデル(モデル4)

このモデルは, 超過(潜在)需要を許し, 計算機能力をCPU, MEM, I/Oの3つで代表させたものである。2.4で述べたモデル3の仮定に以下の仮定を加える。

(1) 取替後の計算機能力は、次の取替時のCPU, MEM, I/O の計算需要に対し、それぞれ $y_c, y_m, y_i \times 100$ (%) である。

(2) CPU, MEM, I/Oの超過需要の処理は、その時点における当該ユーザのそれぞれの処理単価の C_c, C_m, C_i 倍かかるものとする。

計算機を x 年毎に、次の取替時のCPU, MEM, I/O需要に対してそれぞれ $y_c, y_m, y_i \times 100$ (%) の処理能力をもつものに取替えたとき、 T 年間にかかる総費用 $G(x, y_c, y_m, y_i)$ をモデル2, 3と同様に算出すると、

$$G_T(x, y_c, y_m, y_i) = \alpha (ay_c + xy_c + C_c H_c) (1+d_c)^x \left\{ \frac{f_c^n - 1}{f_c - 1} + \epsilon f_c^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \\ + \beta (ay_m + xy_m + C_m H_m) (1+d_c)^x \left\{ \frac{f_m^n - 1}{f_m - 1} + \epsilon f_m^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \\ + \gamma (ay_i + xy_i + C_i H_i) (1+d_c)^x \left\{ \frac{f_i^n - 1}{f_i - 1} + \epsilon f_i^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \quad (2.23)$$

となる。ここで f_c, f_m, f_i, ϵ は (2.22) で示され、

$$\left. \begin{aligned} H_c &= \left\{ \frac{1-y_c}{\log_e(1+d_c)} - h_c \cdot y_c \right\} \\ H_m &= \left\{ \frac{1-y_m}{\log_e(1+d_m)} - h_m \cdot y_m \right\} \\ H_i &= \left\{ \frac{1-y_i}{\log_e(1+d_i)} - h_i \cdot y_i \right\} \end{aligned} \right\} \quad (2.24)$$

である。(2.24) の h_c, h_m, h_i は、

$$\left. \begin{aligned} h_c &= -\log_e y_c / \log_e(1+d_c) \\ h_m &= -\log_e y_m / \log_e(1+d_m) \\ h_i &= -\log_e y_i / \log_e(1+d_i) \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

である。

最適取替間隔 x^* と x 年後の需要に対する取替後の計算機の処理能力量の最適比率 y_c^*, y_m^*, y_i^* は2.3のモデル2の場合と同様に求められる。

x^*, y_c^*, y_m^*, y_i^* を求める問題の入力パラメータとしては、 $T, \alpha, \beta, \gamma, d_c, d_m, d_i, r_c, r_m, r_i, a, C_c, C_m, C_i$ がある。

2.6 最適取替政策と予算

この節では、最適取替政策 (x^*, y^*) を実行したときに必要となる予算を年単位で算出する。ここでは2.3で述べた超過需要を許すモデル(モデル2)についての算出式を示す。以下に予

測項目と算出式を示す。

[i 年目の予測項目]

1. 計算需要量	D_i
2. 年初における次の取替時点	RT_i
3. 年初の計算機処理能力量	SC_i
4. 年末の計算機処理能力量	EC_i
5. 超過 (潜在) 需要量	ED_i
6. 計算機使用率	U_i
7. 取替予算	RB_i
8. レンタル予算	RC_i
9. 外注予算	OB_i
10. 総予算	TB_i

[算出式]

i 年目を

$$\text{年初} = i - 1 = (i - 1) x^* / x^* = (n_s + \varepsilon_s) x^* \quad (2.26)$$

$$\text{年末} < i = i \cdot x^* / x^* = (n_e + \varepsilon_e) x^* \quad (2.27)$$

とする。ここで、 n_s, n_e は整数、 $0 \leq \varepsilon_s < 1$, $0 \leq \varepsilon_e < 1$ である。

① 計算需要

$$D_i = \int_{i-1}^i (1 + d_c)^t dt = \frac{d_c (1 + d_c)^{i-1}}{\log (1 + d_c)} \quad (2.28)$$

② 年初における次の取替時点

$$RT_i = \left\{ \left[\frac{i - 1}{x^*} \right] + 1 \right\} x^* = (n_s + 1) x^* \quad (2.29)$$

ただし、 $[\]$ はガウス記号である。 $RT_0 = 0$ とする。年初における直前の取替時点を BT_i 、次の取替時点を NRT_i とすると、

$$BRT_i = n_s x^* \quad (2.30)$$

$$NRT_i = (n_s + 2) x^* \quad (2.31)$$

となる。

③ 年初の計算機処理能力量

$$SC_i = y^* (1 + d_c)^{RT_i} \quad (2.32)$$

④ 年末の計算機処理能力量

(i) 次の取替が i 年目にある場合、即ち $RT_i < i$ のとき、

$$EC_i = y^* (1 + d_c)^{NRT_i} \quad (2.33)$$

(ii) 次の取替が i 年目でない場合、即ち $RT_i \geq i$ のとき、

$$EC_i = SC_i \quad (2.34)$$

⑤ 超過（潜在）需要

$$\text{年初の計算機の飽和点 } HT_i = (n_s + 1) x^* - h \quad (2.35)$$

$$\text{次の取替後の計算機の飽和点 } NHT_i = (n_s + 2) x^* - h \quad (2.36)$$

$$\text{とする。ここで、} h \text{ は (2.14) より } h = - \frac{\log y^*}{\log (1 + d_c)} \quad (2.37)$$

である。

$x^* \geq 1$ の場合を仮定すると、超過需要は以下の5ケースで生じる。

(i) 年初が現計算機の飽和点以前で、年末が現計算機の飽和点以後で次の取替時以前のとき、

即ち

$$i - 1 \leq HT_i$$

$$i > HT_i$$

$$i \leq RT_i$$

のとき、

$$ED_i = \int_{HT_i}^i \{ (1 + d_c)^t - y^* (1 + d_c)^{RT_i} \} dt \quad (2.38)$$

(ii) 年初が現計算機の飽和点以前で、年末が次の取替時以後のとき、即ち

$$i - 1 \leq HT_i$$

$$i > RT_i$$

のとき、

$$ED_i = \int_{HT_i}^{RT_i} \{ (1 + d_c)^t - y^* (1 + d_c)^{RT_i} \} dt \quad (2.39)$$

(iii) 年初が現計算機の飽和点以後で、年末が次の取替時以前のとき、即ち

$$i - 1 > HT_i$$

$$i \leq RT_i$$

のとき、

$$ED_i = \int_{i-1}^i \{ (1 + d_c)^t - y^* (1 + d_c)^{RT_i} \} dt \quad (2.40)$$

(iv) 年初が現計算機の飽和点以後で、年末が次の取替時以後で次の計算機の飽和点以前のとき、即ち

$$i - 1 > HT_i$$

$$i > RT_i$$

$$i \leq NHT_i$$

のとき、

$$ED_i = \int_{i-1}^{RT_i} \{ (1+d_c)^t - y^* (1+d_c)^{RT_i} \} dt \quad (2.41)$$

(V) 年初が現計算機の飽和点以後で、年末が次の計算機の飽和点以後のとき、即ち

$$\begin{aligned} i-1 &> HT_i \\ i &> NHT_i \end{aligned}$$

のとき、

$$\begin{aligned} ED_i &= \int_{i-1}^{RT_i} \{ (1+d_c)^t - y^* (1+d_c)^{RT_i} \} dt \\ &+ \int_{NHT_i}^i \{ (1+d_c)^t - y^* (1+d_c)^{NHT_i} \} dt \end{aligned} \quad (2.42)$$

⑥ 計算機使用率

i 年目の計算機使用量は、需要量-超過需要量である。一方、i 年目の計算機処理能力量は計算機の取替が i 年目にあるときとないときで次の2つに分かれる。

$$i \text{ 年目の計算機処理能力量} = P_i$$

とおくと、

(i) 次の取替が i 年目がないとき、即ち

$$RT_i \geq i$$

のとき、

$$P_i = SC_i \quad (2.43)$$

(ii) 次の取替が i 年目にあるとき、即ち

$$RT_i < i$$

のとき、

$$P_i = SC_i * \{ RT_i - (i-1) \} + EC_i * (i - RT_i) \quad (2.44)$$

となる。このとき計算機使用率は、

$$U_i = \frac{D_i - ED_i}{P_i} \quad (2.45)$$

である。

⑦ 取替予算

α を取替に付随して発生する費用 a の中で、予算措置をとる必要のある費用割合とする。

(i) 年初に取替があったとき、即ち

$$BRT_i = i - 1$$

のとき、

$$RB_i = SC_i * \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{BRT_i} * \alpha a \quad (2.46)$$

(ii) i 年目に取替があり、それが年初でないとき、即ち

$$RT_i < i$$

のとき ($RT_{i-1} \neq i-1$ は $x^* \geq 1$ を仮定しているのででない),

$$RB_i = EC_i * \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{RT_i} * \alpha a \quad (2.47)$$

(iii) i 年目に取替のないとき、即ち

$$BRT_i < i - 1$$

$$RT_i \geq i$$

のとき,

$$RB_i = 0 \quad (2.48)$$

⑧ レンタル予算

(i) 次の取替が i 年目がないとき、即ち

$$RT_i \geq i$$

のとき,

$$RC_i = SC_i * \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{BRT_i} \quad (2.49)$$

(ii) 次の取替が i 年目にあるとき、即ち

$$RT_i < i$$

のとき,

$$RC_i = SC_i * \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{BRT_i} * \{ RT_i - (i - 1) \} \\ + EC_i * \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{RT_i} * (i - RT_i) \quad (2.50)$$

⑨ 外注予算

外注コストはユーザの持つ計算機での処理単価^{*1}の C_L 倍と仮定している。⑤の(i)~(iv)の超過需要は現計算機の処理単価の C_L 倍である。⑤の(v)の超過需要の前半は現計算機の処理単価の C_L 倍、後半は次の計算機の処理単価の C_L 倍であるが、近似的に両方とも現計算機の処理単価の C_L 倍とする。

$$OB_i = ED_i * \left(\frac{1}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{BRT_i} * C_L \quad (2.51)$$

⑩ 総予算

$$TB_i = RB_i + RC_i + OB_i \quad (2.52)$$

* 1 ここでは計算機の価格性能比から見た単価とする、即ち、費用は計算機レンタル費のみで計算機は100%使用を仮定したときの単価とする。

3. 計 算 需 要

計算機で処理する計算需要は、計算機の進歩に応じて出てくるものか、本稿のモデルで便宜上仮定したように一定割合で毎年増加するものなのか、予算に応じて出るものなのか、人間の計算機に対する入出力処理量に応じて出てくるものなのかは興味深い問題である。

計算需要が現在の最高速の計算機をもってしても処理できないほどある場合は、計算機の進歩に応じて計算機は目一杯使われる。予算に押えられている利用者は自分の計算を予算の範囲内に押えるであろう。また、計算機が高速になりすぎると計算機からの出力を判断し、計算機に仕事を与える人間の処理量に応じて計算需要が出てくるようになる。利用者が増えたり、新しい分野への計算機利用などの新規需要も存在する。

最近の計算機の進歩は4で述べるが、大きく見ると毎年一定割合で性能が向上しているように見える。したがって、計算機や周辺機器の進歩に応じて人間の入出力処理量も毎年一定割合で増加していくようにしなければならない。

ここでは、筆者らの計算センタにおける計算需要について少し検討する。

Table 3.1 に S 45 ~ S 55 年度のジョブ処理件数、CPU 使用時間のデータを示す。

ジョブ処理件数を見ると、S 51 ~ S 55 年度は年率約 20 % 増で推移している。S 46, S 47 年度は F 230 - 60, 1 CPU から 4 CPU に計算機を増設したため、S 50 年度は F 230 - 60, 4 CPU から F 230 - 75, 4 CPU に計算機をレベルアップしたために 45 ~ 75 % 増加している。

CPU 使用時間の推移を Fig. 3.2 の太線で示す。最近の CPU 使用時間の伸びを S 51 年度の 2,636 時間から S 55 年度の 9,724 時間についてみると、年率 38.6 % 増となる。この年率で CPU 使用時間を内挿したものが Fig. 3.2 の一点鎖線で示したものである。S 54 年度は現実には M200 計算機換算で 5,145 時間使用しているが、一点鎖線の需要曲線は 7,016 時間を示している。この差を潜在需要と考えてはいけないうか。

筆者らは M 200 導入にあたり、昭和 54 年 4 月に計算機の潜在需要を調査した^[8]。これは S 53 年度の F 230 - 75 計算機の CPU 使用時間が 11,700 時間にもなり、F 230 - 75 の CPU 利用時間の上限 13,000 時間 (22 日/月 × 22 H/日 × 12 カ月 × 4 CPU × 0.56, 0.56 はユーザ側 CPU 使用率) 程度の限界に近づき、ジョブを入力してもなかなか出てこないという状態で、利用者はジョブ待ちの状態が増え、思うように計算機が使えなくなったために行ったものである。潜在需要の推定は、計算機が自由に使え、ジョブ処理における実行待時間がなくなった場合の計算機利用の増加を計算したものと、利用者へのアンケート調査の 2 通りで行った。そのとき算出した結果が Fig. 3.3 である。これによると S 53 年度末における潜在需要が 8,600 時間 (F 230 - 75) であり、S 54 年度の潜在需要も含めた CPU 需要は F 230 - 75 で 22,900 時間と推定した。これは、M 200 計算機に換算すると $22,900 \div 3 = 7,633$ 時間であり、Fig. 3.2 に示した S 54 年度の需要推定量 7,016 時間を若干上回っている。アンケート調査による S 54 年度の需要も M 200 換算で 8,120 時間であったことから、S 54 年度の CPU 使用時間の実績 5,145 時間 (M 200 換算) の

他にかなりの潜在需要があったことが推定される。こうしてみると最近の5～6年間における需要の伸びは年率約40%程度で伸びている。

S50年、S51年のCPU使用時間の大幅な伸びは、CPU性能がF230-60からF230-75へと約6倍も大幅に伸びたことと、安全解析等の新規の計算需要が生まれてきたためである。

Table 3.1 Job statistics of our computing center.

年 度	計 算 機	ジョブ処理件数			C P U 使用時間 (単位: 時間)			前年比	
		F 230-60	F 230-75	合 計	前年比	F 230-60	F 230-75		M 200 換算 ^{*3}
S 45	F 230-60 (1CPU)	43,000		43,000		3,341		186	
S 46		70,000		70,000 ^{*1}	1.63	4,449 ^{*1}		247	1.33
S 47	F 230-60 (4CPU)	122,000		122,000	1.74	6,852		381	1.54
S 48		129,000		129,000	1.06	6,697		372	0.98
S 49		166,000		166,000	1.29	9,319		518	1.39
S 50		47,000	195,000	242,000	1.46	1,868	4,141	1,484	2.86
S 51	F 230-75 (4CPU)		290,000	290,000	1.20		7,909	2,636	1.78
S 52			335,000	335,000	1.16		9,050	3,017	1.14
S 53		M 200	401,000	401,000	1.20	M 200	11,702	3,901	1.29
S 54		35,000	430,000	465,000	1.16	624 ^{*2}	13,563	5,145	1.32
S 55	M 200 (4CPU)	483,000	86,000	569,000	1.22	8,606	3,355	9,724	1.89

* 1. 8カ月のデータを年間換算した。

* 2. M 200 の S 54 年度の CPU 時間データはジョブ処理件数から推定した。

* 3. F 230-60, F 230-75, M 200 の性能比は 1:6:18 としている。

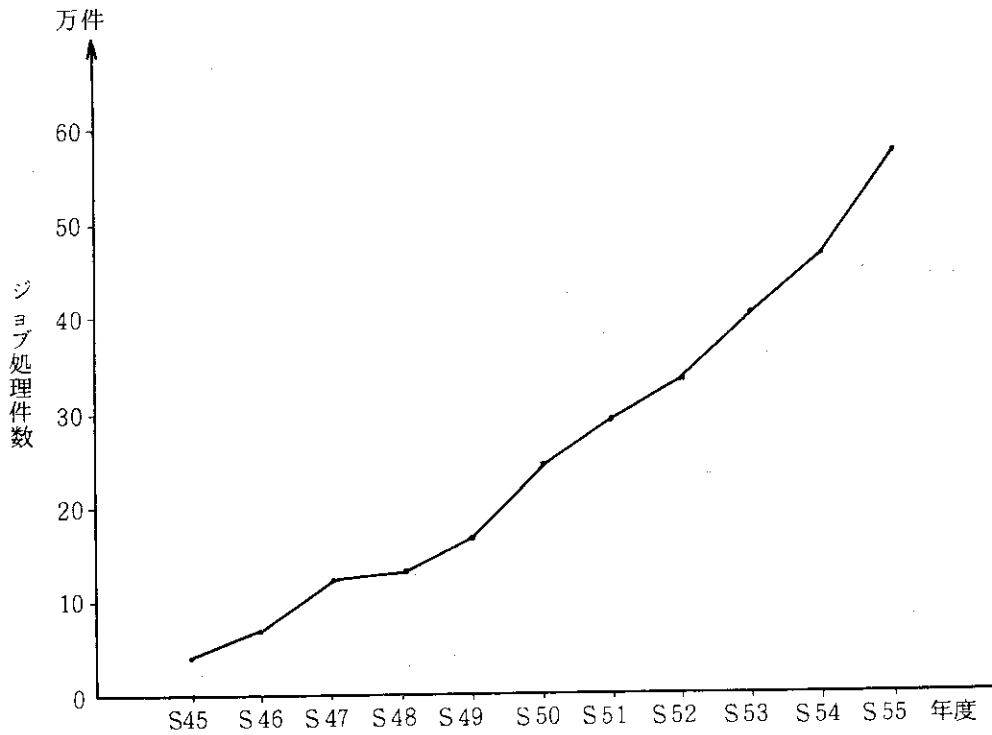


Fig. 3.1 Transition of job processing.

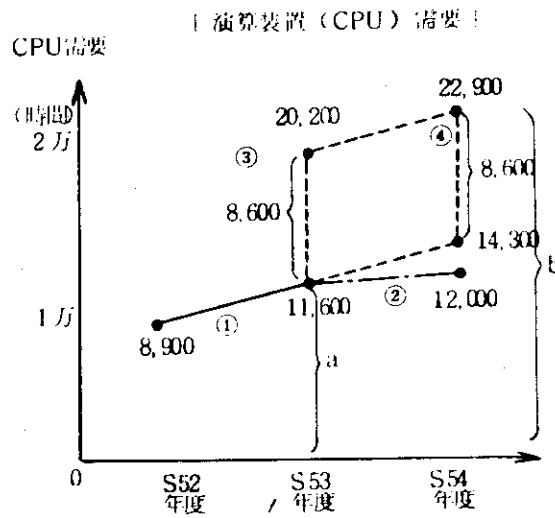


Fig. 3.3 Prediction of CPU Use (F230-75).

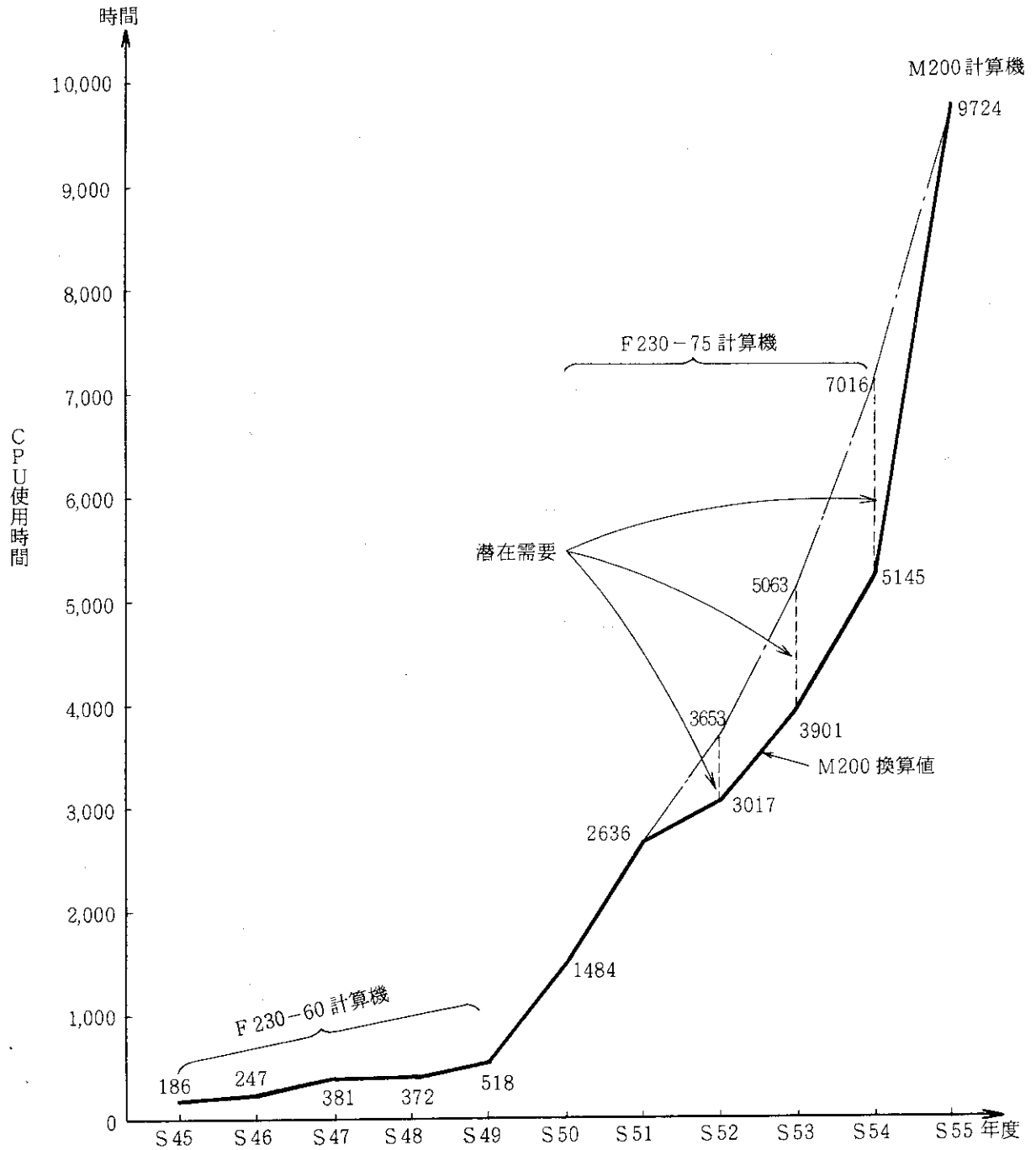


Fig. 3.2 Transition of CPU time.

4. 計算機の性能, 価格

4.1 Grosch の法則と最近の計算機

Grosch の法則は, 1940年代にGroschが計算機の価格性能比に関して

「性能は価格の2重に比例する」

こと主張したもので, Solmon〔6〕などによって過去のいくつかの計算機シリーズについて検証され, Grosch の法則と呼ばれるようになった。

Solmon は, IBM System/360 計算機のモデル 30, 40, 50, 65, 75 の 5 計算機について Grosch の法則との適合性を調べた。60 種の計算機命令に対する性能の単純平均からは顕著な適合性は得られなかったが, 現実の計算機プログラムの実行 (Kernel Program の比較) や, Instruction Mix (命令混合法) による性能と価格では Grosch の法則に 95% 以上の適合性を得た。計算機価格を C, 計算時間を T として以下の回帰式算出した。

(1) 行列積を求めるプログラム

$$\log C = 15.423 - 0.4935 \log T \quad (4.1)$$

(2) 平方根を求めるプログラム

$$\log C = 13.263 - 0.4783 \log T \quad (4.2)$$

(3) Instruction Mix

$$\log C = 10.619 - 0.6319 \log T \quad (4.3)$$

これにより, IBM S/360 計算機シリーズにおいては Grosch の法則が成立していることがわかった。

しかし, Grosch の法則に対して昔から批判がなかったわけではない。文献〔5〕によると, Hobbs〔9〕は, 計算機技術の進歩により, Grosch の法則は計算機本来の価格性能より, 計算機メーカーの価格政策により反映されていると主張している。Hobbs が Grosch の法則を主記憶なども含めた計算機システム全体について概観したのについて, Cotton〔5〕は,

Grosch の法則は本質的には CPU について述べたものであって, 計算機システムの他の構成要素まで拡張すると, その正当性を失う。

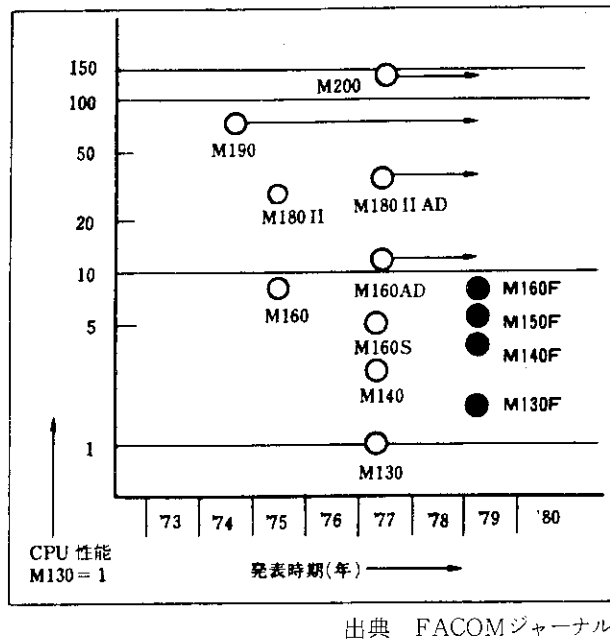
と論じている。

最近の計算機における規模の経済性は必ずしも Grosch の法則にあてはまらないようである。以下に最近の国産計算機における規模の経済性を概覧する。

Fig. 4.1 が対象とした国産の M シリーズ計算機である。この図^{〔10〕}より発表年と性能を, 各計算機の主記憶 (MEM) 量は文献〔10〕の標準的な値を選んだ。レンタル月額^{〔11〕~〔13〕}などを参考にして算出した。計算機の価格は, CPU や MEM の価格のみではなく, 入出力装置なども考慮する必要があるが, ここでは CPU と MEM の価格にのみ着目している。

Table 4.1 は, 発表年が同じ M シリーズの計算機の性能, 価格を示した。これによると M130 ~ M160 S の中小型計算機においては, 「性能は価格に比例する」と言った方が近いような傾向

になっている。大型機のM 180 II ADとM 200 を比較した場合、CPU 価格比 2.48 の1.5 乗が性能比 3.90 になることに注目すると、これは「性能は価格の 1.5 乗に比例する」となる。



出典 FACOMジャーナル

Fig. 4.1 FACOM M series computer.

Table 4.2 は、発表時期の異なる大型計算機に着目したものである。F 230 - 75 と M 200 の CPU 価格と性能の比を見ると、CPU 価格が M 200 は F 230 - 75 の約 1.94 倍、性能は 3 倍である。この値について言うと、 $3 = 1.94^{1.66}$ である。M 200 の CPU 価格はチャンネルを内蔵したもので、F 230 - 75 の CPU の価格はチャンネルを含んでいないものである。このチャンネル分の価格を M 200 から差し引いて F 230 - 75 と価格性能を比較すると、CPU 価格比は約 1.5 ~ 1.7 倍程度となる。これに対して $3 = 1.73^2$ とするならば、Grosch の法則は、「最高速の大型汎用計算機の CPU の価格性能比は Grosch の法則に従っている」となるかもしれない。

この言葉を先日発表された M 380^[14] に適用すると、M 200 と M 380 の性能は 1 : 2.0 ~ 2.5、CPU 価格は 1.43 ~ 1.50 (推定値) であるので、性能を 2.25 倍、価格を 1.5 倍にすると $2.25 = 1.5^2$ となり Grosch の法則が成立つようになる。

Table 4.2 でもっと興味深いことは、MEM 価格の減少についてである。MEM 量を同じにすると、F 230 - 75 の MEM 価格から M 200 の MEM 価格まで 7 年で 4.58 分の 1 に下がっている。これは年率にすると、24% の低下である。CPU + MEM の合計のレンタル額は、1 CPU、4 MB ならば F 230 - 75 より M 200 の方が安くなる。CPU + MEM の合計価格に対する性能比は、7 年で 3.71 倍になっている。これは年率 21% の向上となっている。

ただし、Table 4.1, Table 4.2 は Solomon のような詳細な分析結果ではなく、計算機の価格性能の一断面を概観したものであるに過ぎない。

Table 4.1 Cost and Performance for computers which were published in 1977.

計 算 機	発表年度	性 能	MEM量	レンタル月額 (単位:千円)		
				CPU	MEM	合計 (価格)
M 200	'77	136.40 × 3.90	8 MB	22300 × 2.48	9600	31900 × 2.61
M 180 II AD	'77	34.95 × 3.01	4 MB	9000 × 2.73	3200	12200 × 2.49
M 160 AD	'77	11.62 × 2.23	2 MB	3300 × 1.76	1600	4900 × 1.68
M 160 S	'77	5.22 × 1.92	1 MB	1880 × 1.94	1040	2920 × 1.96
M 140	'77	2.72 × 2.72	512 KB	970 × 2.94	520	1490 × 2.53
M 130	'77	1.00	256 KB	330	260	590

Table 4.2 Cost and Performance for the recent computers.

計 算 機	発表年度	性 能	MEM量	レンタル月額 (単位:千円)		
				CPU	MEM	合計 (価格)
M 380	'81	286.44 ~ 341.00 ^{*2} × 2.1 ~ 2.5	4 MB	31900 - 33500 ^{*3} × 1.43 ~ 1.50	不明	不明
M 200	'77	136.40 × 1.84	4 MB	22300 × 1.14	4800 × 0.5	27100 × 0.93
M 190	'74	74.06 × 1.63	4 MB	19500 × 1.70	9600 × 0.44	29100 × 0.86
M 230-75	'70	45.47 ^{*1}	4 MB	11500	22000	33500

* 1 F 230-75の性能はM 200の約1/3と言われているのでこの値を使った。

* 2 文献〔14〕による。

* 3 文献〔14〕などからの推定値。

4.2 計算機の価格性能の動向

文献〔7〕に示されている図表より、以下のデータを抽出し、本稿で参考にする。

① CPUの価格性能比

1964年～1972年	年率	約33%向上
1972年～1977年	年率	15%～25%向上

② MEM (Random Access Memory) の単位容量当りのコスト

1971年～1977年	年率	30～40%低下
-------------	----	----------

③ 磁気ディスク (I/O装置) の価格容量比

1966年～1976年	年率	約32%向上
-------------	----	--------

④ 主要IBM計算機の収入に占めるコストの割合 (IBM 370/135, 138)

製造費	12.5～18.5%
管理費	38.7%
その他	12.1～15.2%

合計コスト	63.3～72.4%
-------	------------

総利益	36.7～27.6%
-----	------------

⑤ IBM計算機の製品サイクル

S/360世代	6年
S/370世代	7年

⑥ IBM 370 の予想レンタル寿命

158, 168 メインフレーム	46カ月
3330 ディスク装置	58カ月

Table 4.2 で示したデータで見ると以下のようなになる。

筆者らはこのデータを後で利用する。

① CPUの価格性能比

[F 230 - 75 ~ M 380 (1970 ~ 1981)]

性能	約7.5倍	年率	約20%向上
価格	約2.9倍	年率	約10%上昇
価格性能比	約2.6倍	年率	約9%向上

[M 200 ~ M 380 (1977 ~ 1981)]

性能	約2.25倍	年率	22.5%向上
価格	約1.5倍	年率	10.7%上昇
価格性能比	約1.5倍	年率	10.7%向上

② MEMの単位容量当りのコスト

[F 230 - 75 ~ M 200 (1970 ~ 1977)]

単位容量当りのコスト	約0.22倍	年率	24.3%低下
------------	--------	----	---------

5. 計算機取替に付随して発生する費用(計算機借料を除く)

計算機取替に付随して発生する費用は、単に計算機導入諸経費のような直接費のみでなく、計算センタ職員の導入関連作業、利用者の新計算機利用法の学習時間などに対する人件費など様々な間接費用が存在する。

計算機の取替えにもいろいろなケースがあり、システムの一部取替、増設などの取替による影響が小さく、ほとんど取替費用のかからないものから、計算機の基本設計方式の異なる計算機への取替や多数の利用者へのオンライン業務をサポートしている計算機の取替など、取替による影響が大きく、取替費用が計算機借料の数年分になるものまである。

ここでは、筆者らの計算センタにおいてF 230 - 75 計算機(1語 = 36ビット)からM 200 計算機(1語 = 32ビット)に取替えたときにかかったと思われる取替費用項目を以下に示す。F 230 - 75 と M 200 は同一計算機メーカーの計算機であり、F 230 - 75 から M 200 へのファイル移行、プログラム・データ変換の方法、難しさについては〔19〕に詳しい。

〔計算機取替費用項目〕

I. 直接費

1. 計算機導入諸経費(工事費、搬入費など)

II. 間接費

1. 計算機ユーザ側作業項目(人件費換算)

- (1) 次期計算機に関する調査(計算センタ)
- (2) 機種検討委員会(利用者、計算センタ)
- (3) 検討資料作成(計算センタ)
- (4) 導入計画、準備(計算センタ)
- (5) 新計算機の学習(")
- (6) 新計算機の運用検討、運用ユーティリティの作成(計算センタ)
- (7) 新計算機利用手引、利用ユーティリティ作成(計算センタ)
- (8) 計算機取替事務(計算センタ)
- (9) 工事、計算機搬入、ソフトウェア整備の立合、検査(計算センタ)
- (10) 計算機利用法の講習会(計算センタ、利用者)
- (11) 新計算機利用法の学習(" , ")
- (12) ファイル移行、プログラム・データ変換(計算センタ、利用者)
- (13) プログラム相談室(計算センタ)
- (14) 新計算機の障害対策、運用法の再検討(計算センタ)
- (15) ソフトウェア障害などによる作業量の増加(利用者、計算センタ)

2. 計算機利用機会損失項目(計算機使用料換算)

- (1) 取替による運転停止期間

- (2) 計算機ダウンの増加
- (3) 取替後の計算機運用効率の低下
- (4) 取替後の利用者の不慣れによる計算機利用効率の低下，ソフトウェア障害などによる再計算の発生
- (5) 取替に付随して発生した計算需要（機種検討，ユーティリティ作成，ファイル移行，プログラム・データ変換など）
- 3. 新計算機に移項できなかった項目（金額換算）
 - (1) 新計算機システムに接続できなかった機器
 - (2) 新計算機に移行できなかったソフトウェア
- 4. 計算機メーカー側作業項目（人件費換算）
 - (1) 新計算機の機能説明，資料作成
 - (2) オペレータ教育
 - (3) ファイル移行，プログラム・データ変換などの移行ユーティリティの作成，移行・変換支援
 - (4) 計算機障害の修正
 - (5) 運用ユーティリティ，利用ユーティリティ作成支援

実際には，これらの他に新計算機で初めて使用できるようになった新機能（大容量記憶装置（MSS），レーザ・プリンタ（NLP），光ファイバによるリモート・バッチ・ステーション，日本語処理など）に対する作業にも多くの人手がかかっている。

取替費用としては，計算機メーカー側作業項目の一部を除くものの総計として推定計算される必要がある。

以下に定量的評価のできているデータの一部を示す。

〔機種検討委員会用資料〕	約 400 頁
〔利用者に配布した新計算機への取替情報〕	約 400 頁

- 1. Computer 情報 No. 31（S 54 年 3 月）
 - 次期大型計算機検討会の発足について（1 頁）
- 2. Computer 情報 No. 32（S 54 年 10 月）
 - 大型電子計算機の交換計画について（22 頁）
- 3. M 200 利用手引（S 54 年 12 月）
 - M 200 利用方法について（32 頁）
 - ファイル移行，プログラム・データ変換について（14 頁）
- 4. M 200 ジョブ制御文の利用手引（S 54 年 12 月）
 - 移行用制御文（33 頁）
 - M 200 利用制御文（62 頁）
- 5. T S S 利用の手引（S 55 年 2 月）
 - M 200 T S S 利用法，利用例（40 頁）
 - 利用コマンド（109 頁）
- 6. Computer 情報 No. 33（S 55 年 4 月）

- 大型電子計算機の交換（10頁）
 - 7. Computer 情報 No.34（S 55年7月）
 - M 200新運用（3システムによる一元処理）への移行について（15頁）
 - 8. Computer 情報 No.35（S 56年1月）
 - M 200の運用（8頁）
 - 新機能（MSS, NLP, SORP）の利用（30頁）
 - 9. Computer 情報 No.36（S 56年5月）
 - システム運用上の変更（8頁）
- | | |
|-----------------------------------|-------------------|
| 〔 S 55年度総利用者数（Computer 情報配布者数） 〕 | 866名（600名） |
| 〔 複写用貸出マニュアルの利用件数 〕 | 532件 |
| 〔 外来研，変換要員によるファイル移行，プログラム・データ変換 〕 | |
| 変換プログラム数 | 357本（約150万行） |
| バイナリ・データ | 41本 |
| ファイル移行 | 1,314ファイル（約600MB） |
| 変換・移行作業 | 128人月 |

ただし，F 230 - 75 計算機でのディスク・ファイル量は，約 10,000 ファイル（約 4 GB）であった。ファイル移行，プログラム・データ変換の大半は，利用者自身で行った。

6. 最適取替モデルによる計算結果

Table 6.1に以下の場合についてモデル1, モデル2の最適取替間隔 x^* と最適処理能力比率 y^* , T年間の総費用 G_1 (モデル1), G_2 (モデル2)を示した。

- 評価期間 $T = 15$ 年
- 取替に付随して発生する費用 $a = 0.1, 0.33, 1.0, 2.0, 5.0$
 a は, 計算機の年間借料に対する倍率である。
- 計算需要の伸び $d_c = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$
 $d_c \times 100$ %の年率で需要が増大する。
- 計算機性能の向上 $r_c = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$
 $r_c \times 100$ %の年率で向上する。
- 計算機価格 = Grosch の法則に従うものとする。
- 外注コスト $C_L = 3.0$

$C_L \times 100$ %は外部計算センタに計算を外注したときの処理コストの当該計算センタにおける処理コストに対する倍率である。

この表を見ると, 最適取替間隔 x^* が4年以上となるケースはほとんどなく, $a = 2.0, d_c = 0.1, r_c = 0.1 \sim 0.2$ か, $a = 5.0$ で $d_c \leq 0.2$ か $r_c \leq 0.2$ のときのみである。 x^* は a に大きく左右され, $a = 0.1$ のときは $0.5 \leq x^* \leq 1.3$, $a = 0.33$ のときは $0.9 \leq x^* \leq 2.3$, $a = 1.0$ のときは $1.4 \leq x^* \leq 3.8$, $a = 2.0$ のときは $1.8 \leq x^* \leq 5.0$, $a = 5.0$ のときは $2.3 \leq x^* \leq 7.4$ 年である。

筆者らの計算センタでF 230-75からM 200に取替えたときの値を $a = 2.0, d_c = 0.4, r_c = 0.2, C_L = 3.0$ とすると, モデル2の最適政策は $x^* = 3.0, y^* = 0.57$ となる。現在のM 200からM 380への取替を $a = 0.33, d_c = 0.4, r_c = 0.2, C_L = 3.0$ とすると, モデル2の最適政策は $x^* = 1.3, y^* = 0.83$ となる。

このように価格性能比の良い計算機が連続的に発売されるときには, 計算機の取替間隔を比較的短くし, 価格性能比の良い計算機に小まめに取替えるのが経済的である。しかし, 現実には計算機メーカーはメーカーの利益戦略として価格性能比の良い計算機の発表は4~5年のサイクルで行ってくる。このため, 同一メーカーの計算機を継続的に使用する場合は, 取替に付随して発生する費用 a は比較的小さくて済むメリットはあるが, 価格性能比の良い計算機をタイムリーに得られないという悩みがある。これに対して, 異ったメーカーの計算機を次々に入れることは計算機利用者にとって多大の負担をかけ, 取替に付随して発生する費用 a が大きくなるという悩みがある。異ったメーカーの計算機に取替えても利用者に負担をかけないように計算機利用を標準化するには, 標準化にかかる費用があまりにも大きく, 計算機の進歩の著しい現状では必ずしも効果的であるとは言えない。

故に, 価格性能比の良い計算機が発表され, 安定的に使えるようになった時点で小まめに計算機を取替えていく政策をユーザ (計算機設置者)は取っていく必要がある。その判断材料にこのモデルは有効であると思われる。

Table 6.2に外注コスト C_L を変化させたときの最適解 x^* , y^* の変化を示す。

モデル1の x^* はもちろん変化しない。モデル2は、外注コストが割高になればなるほど、次の取替時の計算需要に対する今取替時の計算機処理能力量の比率 y^* は高くなり、計算機取替間隔 x^* も短くなっていく。

Table 6.3に計算機取替に付随して発生する費用 a （年間レンタル額に対する倍率）の変化による最適解 (x^*, y^*) の変化を示す。モデル2において、 $a = 3.0$ のとき取替間隔が3年（36か月）となる。

Table 6.4に計算需要の伸び d_c を変化させたときの最適解 (x^*, y^*) の変化を示す。需要の伸びが大きいときほど取替間隔が短くなる。

Table 6.5に計算機性能の伸び r_c を変化させたときの最適解 (x^*, y^*) の変化を示す。性能の伸びが大きいときほど取替間隔が短くなる。

Table 6.6にこのモデルの評価期間 T の違いによる最適解 (x^*, y^*) の変化を示す。 $10 \text{年} \leq T \leq 25 \text{年}$ に対して、モデル1では $2.1 \leq x^* \leq 2.2$ 、モデル2では $2.4 \leq x^* \leq 2.6$ 、 $0.60 \leq y^* \leq 0.61$ とかなり安定しており、判断材料としては実用に耐えうるモデルであると思う。

超過（潜在）需要を許したモデル2のモデル1に対する効果は最適取替間隔 x^* が長くなり、 T 年間の総費用がかなり節約できることである。 $a = 2.0$, $d_c = 0.4$, $r_c = 0.3$, $C_L = 3.0$, $T = 15.0$ のとき、モデル2の総費用 $G_2 = 253.5$ に対し、モデル1の総費用 $G_1 = 320.0$ であるので、モデル2がモデル1に対して約20%の費用節約となる。

Fig. 6.1に $a = 2.0$, $d_c = 0.4$, $r_c = 0.3$, $C_L = 3.0$, $T = 15.0$ のときのモデル2の総費用 $G(x, y)$ を図示する。Fig. 6.2は $G(x, y)$ を x 軸方向から見た図であり、Fig. 6.3は $G(x, y)$ を y 軸方向から見た図である。

Table 6.7に $a = 2.0$, $d_c = 0.4$, $r_c = 0.3$, $C_L = 3.0$, $T = 15.0$ のときの最適取替政策 $(x^* = 2.5, y^* = 0.60)$ を実行したとき、必要となる予算の推移を示す。この表では取替に付随して発生する費用のうち予算措置の必要な割合を50% ($\alpha = 0.5$)としている。

Table 6.8に同様な条件で、取替間隔をメーカー側の希望する $x = 4.0$ 程度にした場合 ($y^* = 0.60$) の予算の推移を示す。

Table 6.1 Optimal interval of computer replacement and optimal ratio for model 1 and model 2.

A	DC	RC	CL	T	X*	G1	X*	Y*	G2
0.10	0.1	0.1	3.0	15.0	1.1	25.8	1.3	1.0	25.3
0.10	0.1	0.2	3.0	15.0	1.0	18.7	1.1	1.0	18.4
0.10	0.1	0.3	3.0	15.0	0.9	14.3	1.0	1.0	14.0
0.10	0.1	0.4	3.0	15.0	0.8	11.4	0.9	1.0	11.2
0.10	0.1	0.5	3.0	15.0	0.8	9.4	0.8	1.0	9.3
0.10	0.2	0.1	3.0	15.0	0.9	59.8	1.1	0.9	57.9
0.10	0.2	0.2	3.0	15.0	0.8	40.3	0.9	0.9	39.1
0.10	0.2	0.3	3.0	15.0	0.8	28.8	0.8	1.0	28.0
0.10	0.2	0.4	3.0	15.0	0.7	21.6	0.8	1.0	21.0
0.10	0.2	0.5	3.0	15.0	0.7	16.9	0.7	1.0	16.5
0.10	0.3	0.1	3.0	15.0	0.8	142.4	0.9	0.9	136.8
0.10	0.3	0.2	3.0	15.0	0.7	90.9	0.8	0.9	87.6
0.10	0.3	0.3	3.0	15.0	0.7	61.5	0.8	0.9	59.4
0.10	0.3	0.4	3.0	15.0	0.6	43.8	0.7	0.9	42.3
0.10	0.3	0.5	3.0	15.0	0.6	32.5	0.7	0.9	31.5
0.10	0.4	0.1	3.0	15.0	0.7	339.5	0.8	0.9	323.9
0.10	0.4	0.2	3.0	15.0	0.6	208.7	0.8	0.9	199.7
0.10	0.4	0.3	3.0	15.0	0.6	135.6	0.7	0.9	130.0
0.10	0.4	0.4	3.0	15.0	0.6	92.5	0.7	0.9	88.9
0.10	0.4	0.5	3.0	15.0	0.6	66.0	0.6	0.9	63.5
0.10	0.5	0.1	3.0	15.0	0.6	795.0	0.8	0.9	754.5
0.10	0.5	0.2	3.0	15.0	0.6	475.6	0.7	0.9	452.5
0.10	0.5	0.3	3.0	15.0	0.6	300.5	0.7	0.9	286.5
0.10	0.5	0.4	3.0	15.0	0.5	199.0	0.6	0.9	189.9
0.10	0.5	0.5	3.0	15.0	0.5	137.3	0.6	0.9	131.2
0.33	0.1	0.1	3.0	15.0	2.0	29.4	2.3	0.9	28.3
0.33	0.1	0.2	3.0	15.0	1.7	21.7	1.9	0.9	20.9
0.33	0.1	0.3	3.0	15.0	1.6	16.8	1.7	0.9	16.3
0.33	0.1	0.4	3.0	15.0	1.4	13.5	1.5	0.9	13.2
0.33	0.1	0.5	3.0	15.0	1.3	11.3	1.4	1.0	11.0
0.33	0.2	0.1	3.0	15.0	1.5	70.3	1.8	0.9	66.1
0.33	0.2	0.2	3.0	15.0	1.4	48.0	1.6	0.9	45.4
0.33	0.2	0.3	3.0	15.0	1.3	34.7	1.5	0.9	32.9
0.33	0.2	0.4	3.0	15.0	1.2	26.3	1.4	0.9	25.0
0.33	0.2	0.5	3.0	15.0	1.2	20.8	1.3	0.9	19.8
0.33	0.3	0.1	3.0	15.0	1.3	171.3	1.6	0.8	158.6
0.33	0.3	0.2	3.0	15.0	1.2	110.7	1.4	0.9	103.1
0.33	0.3	0.3	3.0	15.0	1.1	75.7	1.3	0.9	70.7
0.33	0.3	0.4	3.0	15.0	1.1	54.3	1.2	0.9	50.9
0.33	0.3	0.5	3.0	15.0	1.0	40.7	1.2	0.9	38.2
0.33	0.4	0.1	3.0	15.0	1.2	415.7	1.5	0.8	379.7
0.33	0.4	0.2	3.0	15.0	1.1	258.3	1.3	0.8	237.4
0.33	0.4	0.3	3.0	15.0	1.0	169.5	1.2	0.8	156.4
0.33	0.4	0.4	3.0	15.0	1.0	116.6	1.1	0.9	108.0
0.33	0.4	0.5	3.0	15.0	1.0	83.7	1.1	0.9	77.7
0.33	0.5	0.1	3.0	15.0	1.1	988.5	1.3	0.8	893.6
0.33	0.5	0.2	3.0	15.0	1.0	597.2	1.2	0.8	543.0
0.33	0.5	0.3	3.0	15.0	1.0	380.6	1.1	0.8	347.4
0.33	0.5	0.4	3.0	15.0	0.9	253.9	1.1	0.8	232.4
0.33	0.5	0.5	3.0	15.0	0.9	176.4	1.0	0.8	161.9
1.00	0.1	0.1	3.0	15.0	3.3	36.1	3.8	0.9	33.6
1.00	0.1	0.2	3.0	15.0	2.8	27.3	3.1	0.9	25.6
1.00	0.1	0.3	3.0	15.0	2.5	21.5	2.7	0.9	20.4
1.00	0.1	0.4	3.0	15.0	2.3	17.7	2.5	0.9	16.8
1.00	0.1	0.5	3.0	15.0	2.2	15.0	2.3	0.9	14.3
1.00	0.2	0.1	3.0	15.0	2.5	90.2	3.0	0.8	80.6
1.00	0.2	0.2	3.0	15.0	2.3	63.0	2.6	0.8	56.8
1.00	0.2	0.3	3.0	15.0	2.1	46.3	2.4	0.8	42.0

Table 6.1 (con't)

1.00	0.2	0.4	3.0	15.0	1.9	35.6	2.2	0.8	32.5
1.00	0.2	0.5	3.0	15.0	1.8	28.4	2.0	0.8	26.0
1.00	0.3	0.1	3.0	15.0	2.1	227.1	2.5	0.7	196.6
1.00	0.3	0.2	3.0	15.0	1.9	149.6	2.3	0.8	130.9
1.00	0.3	0.3	3.0	15.0	1.8	103.8	2.1	0.8	91.4
1.00	0.3	0.4	3.0	15.0	1.7	75.4	2.0	0.8	66.8
1.00	0.3	0.5	3.0	15.0	1.6	57.1	1.8	0.8	50.8
1.00	0.4	0.1	3.0	15.0	1.9	565.2	2.5	0.7	476.4
1.00	0.4	0.2	3.0	15.0	1.7	357.4	2.1	0.7	304.5
1.00	0.4	0.3	3.0	15.0	1.7	237.7	1.9	0.7	204.1
1.00	0.4	0.4	3.0	15.0	1.6	165.5	1.8	0.7	142.9
1.00	0.4	0.5	3.0	15.0	1.5	119.9	1.7	0.7	104.0
1.00	0.5	0.1	3.0	15.0	1.7	1372.8	2.1	0.7	1132.6
1.00	0.5	0.2	3.0	15.0	1.6	842.9	1.9	0.7	702.4
1.00	0.5	0.3	3.0	15.0	1.5	543.3	1.9	0.7	456.7
1.00	0.5	0.4	3.0	15.0	1.5	366.5	1.7	0.7	309.7
1.00	0.5	0.5	3.0	15.0	1.4	257.1	1.6	0.7	218.2
2.00	0.1	0.1	3.0	15.0	4.4	43.6	5.0	0.8	39.2
2.00	0.1	0.2	3.0	15.0	3.7	33.7	4.2	0.8	30.7
2.00	0.1	0.3	3.0	15.0	3.3	27.1	3.6	0.8	24.8
2.00	0.1	0.4	3.0	15.0	3.0	22.5	3.3	0.9	20.8
2.00	0.1	0.5	3.0	15.0	2.8	19.3	3.0	0.9	17.9
2.00	0.2	0.1	3.0	15.0	3.4	113.2	3.8	0.7	95.7
2.00	0.2	0.2	3.0	15.0	3.0	80.4	3.5	0.7	68.9
2.00	0.2	0.3	3.0	15.0	2.7	59.9	3.1	0.7	51.8
2.00	0.2	0.4	3.0	15.0	2.5	46.6	2.8	0.8	40.6
2.00	0.2	0.5	3.0	15.0	2.4	37.6	2.6	0.8	32.9
2.00	0.3	0.1	3.0	15.0	3.0	292.1	3.7	0.6	235.1
2.00	0.3	0.2	3.0	15.0	2.5	195.4	3.0	0.7	159.6
2.00	0.3	0.3	3.0	15.0	2.4	137.4	2.8	0.7	113.4
2.00	0.3	0.4	3.0	15.0	2.2	100.9	2.5	0.7	83.9
2.00	0.3	0.5	3.0	15.0	2.1	77.1	2.4	0.7	64.4
2.00	0.4	0.1	3.0	15.0	2.5	740.5	3.0	0.6	572.3
2.00	0.4	0.2	3.0	15.0	2.2	476.1	3.0	0.6	373.1
2.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.6	253.5
2.00	0.4	0.4	3.0	15.0	2.0	225.0	2.4	0.6	179.7
2.00	0.4	0.5	3.0	15.0	1.9	164.4	2.2	0.6	132.1
2.00	0.5	0.1	3.0	15.0	2.5	1828.6	3.0	0.5	1358.6
2.00	0.5	0.2	3.0	15.0	2.1	1138.0	2.5	0.5	860.3
2.00	0.5	0.3	3.0	15.0	1.9	742.4	2.5	0.5	567.8
2.00	0.5	0.4	3.0	15.0	1.9	505.0	2.2	0.6	389.8
2.00	0.5	0.5	3.0	15.0	1.8	356.9	2.1	0.6	277.0
5.00	0.1	0.1	3.0	15.0	6.3	61.4	7.4	0.7	51.2
5.00	0.1	0.2	3.0	15.0	5.2	49.3	5.9	0.7	41.9
5.00	0.1	0.3	3.0	15.0	4.6	40.7	5.1	0.7	35.0
5.00	0.1	0.4	3.0	15.0	4.2	34.6	4.6	0.7	29.9
5.00	0.1	0.5	3.0	15.0	3.9	30.2	4.2	0.8	26.3
5.00	0.2	0.1	3.0	15.0	5.0	169.3	5.4	0.5	126.7
5.00	0.2	0.2	3.0	15.0	4.1	124.2	4.9	0.6	94.4
5.00	0.2	0.3	3.0	15.0	3.7	94.6	4.2	0.6	73.0
5.00	0.2	0.4	3.0	15.0	3.4	74.9	3.8	0.6	58.3
5.00	0.2	0.5	3.0	15.0	3.2	61.3	3.6	0.6	48.1
5.00	0.3	0.1	3.0	15.0	3.8	455.4	5.0	0.4	309.0
5.00	0.3	0.2	3.0	15.0	3.7	313.0	3.9	0.5	218.7
5.00	0.3	0.3	3.0	15.0	3.1	224.2	3.7	0.5	158.5
5.00	0.3	0.4	3.0	15.0	3.0	167.2	3.4	0.5	119.5
5.00	0.3	0.5	3.0	15.0	2.8	129.4	3.2	0.5	93.2
5.00	0.4	0.1	3.0	15.0	3.7	1190.6	5.0	0.3	750.1
5.00	0.4	0.2	3.0	15.0	3.0	779.9	3.7	0.4	505.0
5.00	0.4	0.3	3.0	15.0	3.0	534.9	3.7	0.4	352.2
5.00	0.4	0.4	3.0	15.0	2.6	381.5	3.0	0.4	253.2
5.00	0.4	0.5	3.0	15.0	2.5	281.9	3.0	0.4	188.9
5.00	0.5	0.1	3.0	15.0	3.0	2990.4	3.8	0.3	1779.8
5.00	0.5	0.2	3.0	15.0	3.0	1904.5	3.7	0.3	1156.9
5.00	0.5	0.3	3.0	15.0	2.5	1263.0	3.0	0.3	778.0
5.00	0.5	0.4	3.0	15.0	2.5	870.8	3.0	0.3	542.5
5.00	0.5	0.5	3.0	15.0	2.3	623.1	2.7	0.4	392.0

Table 6.2 Change of optimal solutions (x*, y*) for change of CL.

A	DC	RC	CL	T	X*	G1	X*	Y*	G2
2.00	0.4	0.3	1.1	15.0	2.1	320.0	3.7	0.2	171.0
2.00	0.4	0.3	1.5	15.0	2.1	320.0	3.0	0.3	201.0
2.00	0.4	0.3	2.0	15.0	2.1	320.0	3.0	0.4	226.1
2.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.6	253.5
2.00	0.4	0.3	4.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.7	268.7
2.00	0.4	0.3	5.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.7	278.5
2.00	0.4	0.3	7.5	15.0	2.1	320.0	2.2	0.8	291.9
2.00	0.4	0.3	10.0	15.0	2.1	320.0	2.2	0.9	298.6
2.00	0.4	0.3	15.0	15.0	2.1	320.0	2.2	0.9	305.6
2.00	0.4	0.3	20.0	15.0	2.1	320.0	2.2	0.9	309.2

Table 6.3 Change of optimal solutions (x*, y*) for change of A.

A	DC	RC	CL	T	X*	G1	X*	Y*	G2
0.10	0.4	0.3	3.0	15.0	0.6	135.6	0.7	0.9	130.0
0.20	0.4	0.3	3.0	15.0	0.8	152.1	1.0	0.9	143.1
0.30	0.4	0.3	3.0	15.0	1.0	165.7	1.2	0.9	153.6
0.50	0.4	0.3	3.0	15.0	1.2	189.1	1.5	0.8	170.7
1.00	0.4	0.3	3.0	15.0	1.7	237.7	1.9	0.7	204.1
2.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.6	253.5
3.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.5	394.5	3.0	0.5	292.0
5.00	0.4	0.3	3.0	15.0	3.0	534.9	3.7	0.4	352.2
10.00	0.4	0.3	3.0	15.0	3.4	868.1	3.8	0.2	443.2
20.00	0.4	0.3	3.0	15.0	3.7	1502.7	5.0	0.1	521.7

Table 6.4 Change of optimal solutions (x*, y*) for change of dc.

A	DC	RC	CL	T	X*	G1	X*	Y*	G2
2.00	0.0	0.3	3.0	15.0	4.7	13.5	4.7	1.0	13.4
2.00	0.1	0.3	3.0	15.0	3.9	18.4	4.1	0.9	17.6
2.00	0.1	0.3	3.0	15.0	3.3	27.1	3.6	0.8	24.8
2.00	0.1	0.3	3.0	15.0	3.0	40.1	3.3	0.8	35.6
2.00	0.2	0.3	3.0	15.0	2.7	59.9	3.1	0.7	51.8
2.00	0.3	0.3	3.0	15.0	2.5	90.4	2.9	0.7	76.3
2.00	0.3	0.3	3.0	15.0	2.4	137.4	2.8	0.7	113.4
2.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.6	253.5
2.00	0.5	0.3	3.0	15.0	1.9	742.4	2.5	0.5	567.8
2.00	0.6	0.3	3.0	15.0	1.9	1690.7	2.1	0.5	1256.0

Table 6.5 Change of optimal solutions (x^* , y^*) for change of rc .

A	DC	RC	CL	T	X^*	G1	X^*	Y^*	G2
2.00	0.4	0.0	3.0	15.0	3.0	1154.9	3.8	0.5	873.9
2.00	0.4	0.1	3.0	15.0	2.5	943.9	3.7	0.5	721.9
2.00	0.4	0.1	3.0	15.0	2.5	740.5	3.0	0.6	572.3
2.00	0.4	0.1	3.0	15.0	2.5	589.7	3.0	0.6	458.9
2.00	0.4	0.2	3.0	15.0	2.2	476.1	3.0	0.6	373.1
2.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.2	388.1	2.5	0.6	306.0
2.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.6	253.5
2.00	0.4	0.4	3.0	15.0	2.0	225.0	2.4	0.6	179.7
2.00	0.4	0.5	3.0	15.0	1.9	164.4	2.2	0.6	132.1
2.00	0.4	0.6	3.0	15.0	1.8	124.5	2.1	0.6	100.5

Table 6.6 Change of optimal solutions (x^* , y^*) for change of T.

A	DC	RC	CL	T	X^*	G1	X^*	Y^*	G2
2.00	0.4	0.3	3.0	10.0	2.1	104.8	2.5	0.6	83.0
2.00	0.4	0.3	3.0	11.0	2.2	132.1	2.6	0.6	104.8
2.00	0.4	0.3	3.0	12.0	2.1	165.9	2.4	0.6	131.4
2.00	0.4	0.3	3.0	13.0	2.1	207.1	2.6	0.6	164.0
2.00	0.4	0.3	3.0	14.0	2.1	257.9	2.5	0.6	204.6
2.00	0.4	0.3	3.0	15.0	2.1	320.0	2.5	0.6	253.5
2.00	0.4	0.3	3.0	17.5	2.2	545.0	2.5	0.6	431.7
2.00	0.4	0.3	3.0	20.0	2.2	921.0	2.5	0.6	729.4
2.00	0.4	0.3	3.0	22.5	2.2	1549.7	2.5	0.6	1226.7
2.00	0.4	0.3	3.0	25.0	2.1	2597.9	2.5	0.6	2057.7

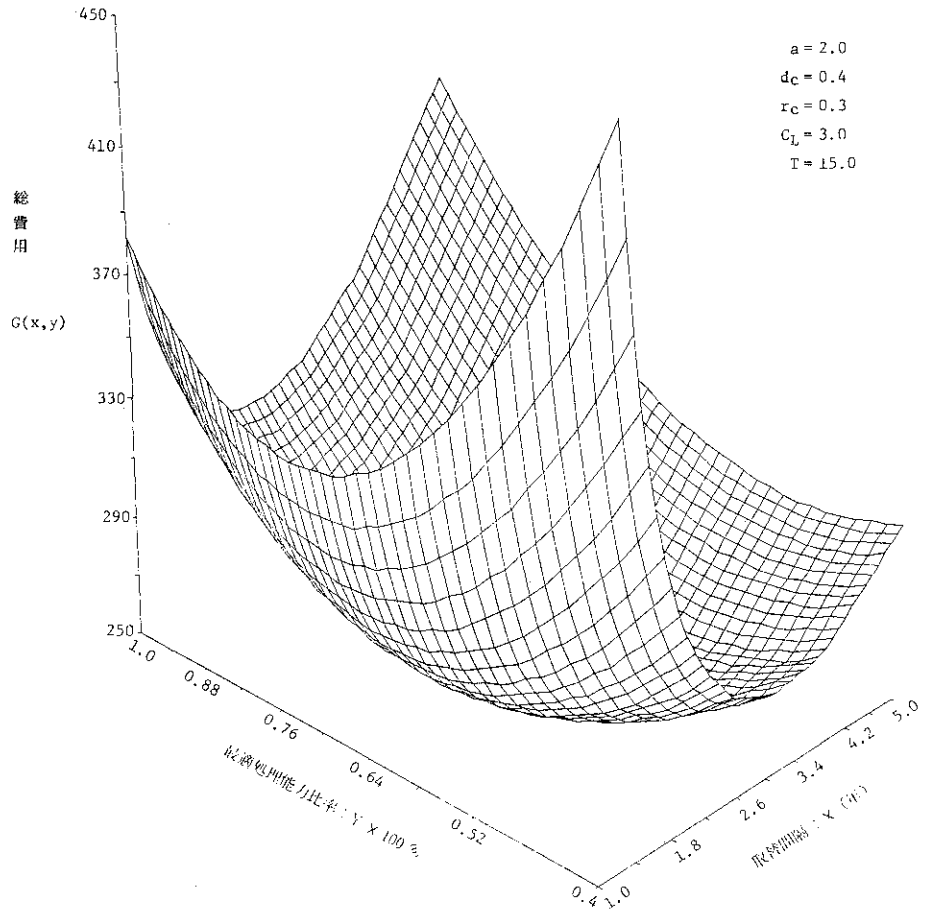


Fig. 6.1 Total Cost $G(x,y)$ of Model 2.

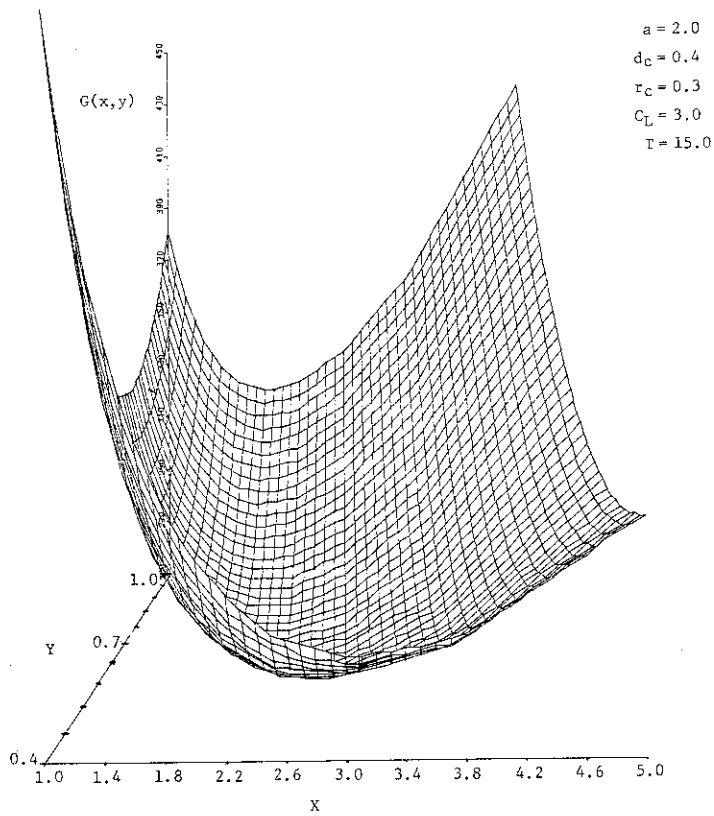


Fig. 6.2 Total Cost $G(x,y)$ of Model 2 (X-axis).

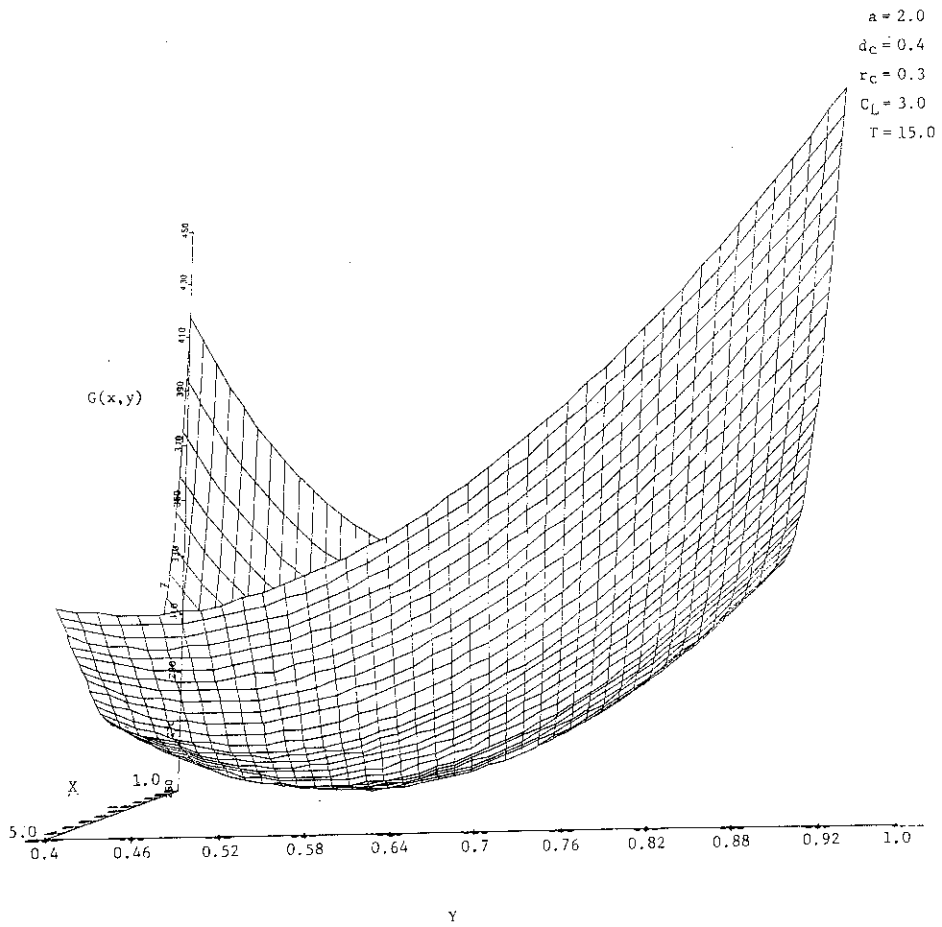


Fig. 6.3 Total Cost $G(x,y)$ of Model 2 (Y-axis).

Table 6.7 Transition of budget for optimal solution ($x^*=2.5$, $y^*=0.60$).

I	D	RT	SG	EC	ED	U	RB	RE	OB	TB
1	1.19	2.50	1.39	1.39	0.00	0.85	0.83	1.39	0.00	2.23
2	1.66	2.50	1.39	1.39	0.27	1.00	0.0	1.39	0.82	2.21
3	2.33	2.50	1.39	3.23	0.37	0.85	1.39	1.86	1.11	4.37
4	3.26	5.00	3.23	3.23	0.15	0.96	0.0	2.32	0.33	2.66
5	4.57	5.00	3.23	3.23	1.34	1.00	0.0	2.32	2.90	5.22
6	6.39	7.50	7.48	7.48	0.00	0.85	2.33	3.88	0.00	6.21
7	8.95	7.50	7.48	7.48	1.47	1.00	0.0	3.88	2.28	6.17
8	12.53	7.50	7.48	17.36	2.00	0.85	3.89	5.19	3.11	12.19
9	17.54	10.00	17.36	17.36	0.83	0.96	0.0	6.49	0.93	7.42
10	24.56	10.00	17.36	17.36	7.21	1.00	0.0	6.49	8.08	14.57
11	34.39	12.50	40.25	40.25	0.00	0.85	6.50	10.84	0.00	17.35
12	48.14	12.50	40.25	40.25	7.89	1.00	0.0	10.84	6.38	17.22
13	67.40	12.50	40.25	93.34	10.75	0.85	10.87	14.48	8.68	34.02
14	94.36	15.00	93.34	93.34	4.47	0.96	0.0	18.11	2.60	20.71
15	132.10	15.00	93.34	93.34	38.76	1.00	0.0	18.11	22.56	40.67
TOTAL	459.38	127.50	375.22	440.01	75.52	14.00	25.82	107.60	59.80	193.22

Table 6.8 Transition of budget for maker strategy ($x^*=4.0$, $y^*=0.60$).

I	D	RT	SC	EC	ED	U	RB	RE	OB	TB
1	1.19	4.00	2.30	2.30	0.0	0.52	1.38	2.30	0.0	3.69
2	1.66	4.00	2.30	2.30	0.0	0.72	0.0	2.30	0.0	2.30
3	2.33	4.00	2.30	2.30	0.11	0.96	0.0	2.30	0.33	2.64
4	3.26	4.00	2.30	2.30	0.96	1.00	0.0	2.30	2.87	5.18
5	4.57	8.00	8.85	8.85	0.0	0.52	3.14	5.24	0.0	8.38
6	6.39	8.00	8.85	8.85	0.0	0.72	0.0	5.24	0.0	5.24
7	8.95	8.00	8.85	8.85	0.42	0.96	0.0	5.24	0.75	5.99
8	12.53	8.00	8.85	8.85	3.68	1.00	0.0	5.24	6.53	11.77
9	17.54	12.00	34.02	34.02	0.0	0.52	7.15	11.91	0.0	19.06
10	24.56	12.00	34.02	34.02	0.0	0.72	0.0	11.91	0.0	11.91
11	34.39	12.00	34.02	34.02	1.63	0.96	0.0	11.91	1.71	13.62
12	48.14	12.00	34.02	34.02	14.12	1.00	0.0	11.91	14.84	26.75
13	67.40	16.00	130.68	130.68	0.0	0.52	16.24	27.07	0.0	43.32
14	94.36	16.00	130.68	130.68	0.0	0.72	0.0	27.07	0.0	27.07
15	132.10	16.00	130.68	130.68	6.26	0.96	0.0	27.07	3.89	30.96
TOTAL	459.38	144.00	572.73	572.73	27.18	11.80	27.92	159.04	30.92	217.88

7. おわりに

一般的に情報処理の分野は時代の先端を行き、最も科学的な分野のひとつと見られている。しかし、現実の計算センタの運用・管理などにおいては、まだほとんどの事柄が経験的に決められている。これは、計算機の進歩が速く、ソフトウェアも複雑多様化してきているためで、筆者らの計算センタにおいてもそれに追従するのに精一杯で、多くの事柄が単純な加工データにもとづいて経験的に決められている。

計算機メーカーも有用な運用ソフトウェアを次々に提供してきているが、その実施に際しての評価ツールはほとんど提供していない。学術的な論文は汎用的すぎて、個別の問題に適用するとその価値を失ってしまうものが多く、経験以上のものをもたらすものが少ない。

本稿では、計算機の最適取替間隔を求めるモデルとその周辺データについて述べた。筆者らはこのモデルによって、現実とモデルの解にかなりの差があることに気づいた。これがモデルの構造に由来するものなのか、入力データの不正確さによるものなのか、現実がユーザ側の立場で動いていないのか、もっと別な要因を考慮する必要があるのか、まだよくわかっていない。しかし、このモデルによって次の検討ステップが始まっている。筆者らは、このモデルをさらに検討し、入力パラメータをより正確にすることによって、今後の取替政策において利用していきたい。

謝 辞

計算センタ・システム係の田部井誠氏、計算技術係の山崎和彦氏には、グラフィック表示プログラムについて御協力いただきました。オンライン係の石黒美佐子氏には本報告書全般にわたって御検討いただきました。計算技術係の斎藤直之氏、事務計算係の栗田直久氏、富士通外来研究員の石川雅章氏には取替費用について御助言をいただきました。

深く感謝する次第です。

7. お わ り に

一般的に情報処理の分野は時代の先端を行き、最も科学的な分野のひとつと見られている。しかし、現実の計算センタの運用・管理などにおいては、まだほとんどの事柄が経験的に決められている。これは、計算機の進歩が速く、ソフトウェアも複雑多様化してきているためで、筆者らの計算センタにおいてもそれに追従するのに精一杯で、多くの事柄が単純な加工データにもとづいて経験的に決められている。

計算機メーカーも有用な運用ソフトウェアを次々に提供してきているが、その実施に際しての評価ツールはほとんど提供していない。学術的な論文は汎用的すぎて、個別の問題に適用するとその価値を失ってしまうものが多く、経験以上のものをもたらすものが少ない。

本稿では、計算機の最適取替間隔を求めるモデルとその周辺データについて述べた。筆者らはこのモデルによって、現実とモデルの解にかなりの差があることに気づいた。これがモデルの構造に由来するものなのか、入力データの不正確さによるものなのか、現実がユーザ側の立場で動いていないのか、もっと別な要因を考慮する必要があるのか、まだよくわかっていない。しかし、このモデルによって次の検討ステップが始まっている。筆者らは、このモデルをさらに検討し、入力パラメータをより正確にすることによって、今後の取替政策において利用していきたい。

謝 辞

計算センタ・システム係の田部井誠氏、計算技術係の山崎和彦氏には、グラフィック表示プログラムについて御協力いただきました。オンライン係の石黒美佐子氏には本報告書全般にわたって御検討いただきました。計算技術係の斎藤直之氏、事務計算係の栗田直久氏、富士通外来研究員の石川雅章氏には取替費用について御助言をいただきました。

深く感謝する次第です。

参 考 文 献

- [1] Timmreck, E.M.: Computer Selection Methodology, Computing Survey, Vol.5, No.4 (December 1973), 199-222.
- [2] Kishor, S.T. et al.: Optimal Selection of CPU Speed, Device Capacities, and File Assignments, J.ACM 27,3 (July 1980), 457-473.
- [3] Kuck, D.J.: The Structure of Computers and Computations-Volume 1, John Wiley & Sons, New York (1978).
- [4] Cale, E.G. et al.: Price/Performance Patterns of U.S. Computer Systems, C.ACM 22, 4 (April 1979), 225-233.
- [5] Cotton, I.W.: Microeconomics and Market for Computer Services, Computing Survey, Vol.7, No.2 (June 1975), 95-111.
- [6] Solomon, M.B.: Economics of Scale and the IBM System/360, C.ACM 9, 6 (June 1966), 435-440.
- [7] Evans, B.O. : コンピュータ過去, 現在および未来, 情報処理, Vol. 21, No.9 (1980).
- [8] 藤井, 浅井 : FACOM 230 - 75 計算機の性能評価(2), JAERI-M 8976, 日本原子力研究所 (1980).
- [9] Hobbs, L.C.: The rationale for smart terminals, Computer (Nov. - Dec. 1971), 33-35.
- [10] FACOM MシリーズFモデルの概要, FACOMジャーナル, Vol. 6, No.2 (1980).
- [11] レンタル価格表, JECC日本電子計算機社 (1977, 1979).
- [12] 1981年版内外電子計算機の性能と諸元一覧, Computer Report, Vol. 21, No.2, 日本経営科学研究所 (1981).
- [13] 世界コンピュータ年鑑 1980年版, コンピュータ・エージ社 (1980).
- [14] 電波新聞 (S 56.5.29).
- [15] 情報産業新聞 '77後期縮刷版, 情報産業新聞社 (1978).
- [16] P.レクト : 80年代のコンピュータ産業, 企画センター (1978).
- [17] 新版情報処理ハンドブック, オーム社 (1980).
- [18] 村松 : 生産管理の基礎, 国元書房 (1973).
- [19] M 200 利用の手引, 日本原子力研究所計算センター (1979).

付録A 最後の区間費用 g_ϵ の処理

2章で述べた取替政策モデルは在庫モデルの考え方に近いが異質なものである。在庫モデルは定常状態の問題を解いているのに対し、取替政策モデルは需要などが一定率で伸びているため、非定常状態のものを解こうとしている。このため、取替政策モデルでは単位時間あたりの費用を最小とするような問題には定式化できない。そこで、任意の期間 T （入力）における総費用を最小とする問題となる。一方、このモデルの解は計算機取替間隔 x を求める。だから、

$$\frac{T}{x} = n + \epsilon \quad (\text{A. 1})$$

となり、 T は必ずしも x の倍数ではなく、Fig. 2.1の S_ϵ のような半端な区間を生ずる。ここで、 n は整数、 $0 \leq \epsilon < 1$ である。

Fig. A. 1の最後の区間の計算需要 S_ϵ の処理にかかる費用 g_ϵ の扱いによって、総費用 $G(x)$ が変化し、最適取替間隔 x^* の評価期間 T によるバラツキ幅に差が生じる。ここでは、 g_ϵ の考え方による総費用 $G(x)$ の違いについて述べる。

① CASE-1

Fig. A. 1のように $(n+1)$ 回目に導入する計算機は、 $(n+1)x$ 年目の計算需要 $(1+d_c)^{n+1}$ を満足するものを入れる。そして計算需要 S_ϵ は、 S_{n+1} に対する費用 g_{n+1} の ϵ 倍とする。即ち、(2.7)、(2.8)、(2.9)より

$$g_\epsilon = \epsilon * (a+x)(1+d_c)^x \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{nx} \quad (\text{A. 2})$$

$$G_1(x) = (a+x)(1+d_c)^x \left\{ \frac{f^n - 1}{f - 1} + \epsilon * f^n \right\} \quad (\text{A. 3})$$

となる。

② CASE-2

CASE-1と同じ計算機を導入し、 g_ϵ の費用は g_{n+1} の費用の S_ϵ/S_{n+1} 倍とする。これはFig. A. 1のような面積比であり、 nx 年目から $(n+1)x$ 年目までの計算需要の処理単価を平均化、同一化したものである。

$$S_\epsilon = \int_{nx}^{(n+\epsilon)x} (1+d_c)^t dt = \frac{(1+d_c)^{nx} \{ (1+d_c)^{\epsilon x} - 1 \}}{\log_e (1+d_c)} \quad (\text{A. 4})$$

$$S_{n+1} = \int_{nx}^{(n+1)x} (1+d_c)^t dt = \frac{(1+d_c)^{nx} \{ (1+d_c)^x - 1 \}}{\log_e (1+d_c)} \quad (\text{A. 5})$$

$$E_2 = \frac{S_\epsilon}{S_{n+1}} = \frac{(1+d_c)^{\epsilon x} - 1}{(1+d_c)^x - 1} \quad (\text{A. 6})$$

$$= E_2 * (a+x) (1+d_c)^t \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{nx} \quad (A. 7)$$

$$G_2(x) = (a+x) (1+d_c)^x \left\{ \frac{f^n - 1}{f - 1} + E_2 * f^n \right\} \quad (A. 8)$$

③ CASE - 3

Fig. A. 2 のように S_ϵ が中心に位置する計算機導入を仮想する。即ち、 $(n + \frac{\epsilon}{2} - \frac{1}{2})x$ 年目に $(n + \frac{\epsilon}{2} + \frac{1}{2})x$ 年目の計算需要を満足する計算機を導入すると考え、 S_ϵ の費用はこの仮想計算機の x 年間にかかる費用の ϵ 倍とする。

$$g_\epsilon = \epsilon * (a+x) (1+d_c)^x \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{(n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2})x} \quad (A. 9)$$

$$G_\epsilon(x) = (a+x) (1+d_c)^x \left\{ \frac{f^n - 1}{f - 1} + \epsilon * f^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \quad (A. 10)$$

④ CASE - 4

CASE - 3 と同じ計算機を導入し、 g_ϵ の費用は S_ϵ の占める面積比で負担させる。(A. 4) と

$$S_{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} = \int_{(n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2})x}^{(n+\frac{\epsilon}{2}+\frac{1}{2})x} (1+d_c)^t dt = \frac{(1+d_c)^{nx} \left\{ (1+d_c)^{\frac{(\epsilon+1)x}{2}} - (1+d_c)^{\frac{(\epsilon-1)x}{2}} \right\}}{\log_e (1+d_c)} \quad (A. 11)$$

より、以下のようになる。

$$E_4 = \frac{S_\epsilon}{S_{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}}} = \frac{(1+d_c)^{\epsilon x} - 1}{(1+d_c)^{\frac{(\epsilon+1)x}{2}} - (1+d_c)^{\frac{(\epsilon-1)x}{2}}} \quad (A. 12)$$

$$g_\epsilon = E_4 * (a+x) (1+d_c)^x \left(\frac{1+d_c}{\sqrt{1+r_c}} \right)^{(n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2})x} \quad (A. 13)$$

$$G_4(x) = (a+x) (1+d_c)^x \left\{ \frac{f^n - 1}{f - 1} + E_4 * f^{n+\frac{\epsilon}{2}-\frac{1}{2}} \right\} \quad (A. 14)$$

⑤ CASE - 5

Fig. A. 3 のように S_ϵ のみのために計算機を導入する。導入経費 a は全部負担する。

$$g_{\epsilon} = (a + \epsilon x) (1 + d_c)^x \left(\frac{1 + d_c}{\sqrt{1 + r_c}} \right)^{n + \epsilon - 1} \quad (\text{A. 15})$$

$$G_5(x) = (a + x) (1 + d_c)^x \left(\frac{f^n - 1}{f - 1} \right) + (a + \epsilon x) (1 + d_c)^x f^{n + \epsilon - 1} \quad (\text{A. 16})$$

ただし、(A. 16) は $\epsilon > 0$ のときで、 $\epsilon = 0$ のときはあとの項は除かれる。

⑥ CASE - 6

S_{ϵ} のみのために計算機を導入するが、導入経費 a は ϵ 倍を負担する。

$$g_{\epsilon} = \epsilon (a + x) (1 + d_c)^x \left(\frac{1 + d_c}{\sqrt{1 + r_c}} \right)^{n + \epsilon - 1} \quad (\text{A. 17})$$

$$G_6(x) = (a + x) (1 + d_c)^x \left\{ \frac{f^n - 1}{f - 1} + \epsilon * f^{n + \epsilon - 1} \right\} \quad (\text{A. 18})$$

これら6ケースの $G(x)$ の形状を調べるために、このモデルの標準的入力 $a = 1.0$, $d_c = 0.25$, $r_c = 0.2$, $T = 15.0$ を代入したのが Fig. A. 4 である。 x は 1.0 から 6.0 まで 0.05 年おきに計算し、 $G(x)$ をプロットしてある。

CASE - 1, SASE - 5 は、 T が x で割切れる点で $G(x)$ の最小値をとりやすく、CASE - 2, CASE - 6 は T が x で割切れない点で $G(x)$ の最小値をとる傾向にある。このため、CASE - 1, 2, 5, 6 は評価期間 T の値によって取替の最適間隔 x^* の解がバラツクので好ましくない。標準的入力に対して、CASE - 3, CASE - 4 はほぼなめらかな曲線を描く。そこで、本稿では、 g_{ϵ} の評価にはCASE - 3を用いることにする。モデル2の超過需要を許すモデルに対しても、CASE - 3の g_{ϵ} は総費用 $G(x, y)$ を Fig. 6.1 ~ Fig. 6.3 に示すようになめらかな関数にする。

次に、CASE - 3の g_{ϵ} の評価を用いたときの

- (i) 入力データに対する最適取替間隔 x^* のバラツキ
- (ii) 評価期間 T に対する最適取替間隔 x^* のバラツキ

について調べる。

[入力データに対する最適取替間隔 x^* のバラツキ]

Fig. A. 5 に入力データにかなり極端なデータ ($a = 10.0$, $d_c = 1.0$, $r_c = 0.6$, $T = 15.0$) を使ったときの総費用 $G(x)$ を示す。この図では、 $G(x)$ は x に対してなめらかではなくなっており、 T が x で割切れる点で $G(x)$ は最小値をとりやすくなっている。 Fig. A. 5 の最小値をとる 2.0 近辺の部分拡大したのが Fig. A. 6 であり、このことがよくわかる。 Fig. A. 6 より、このような極端なデータに対しては最適取替間隔 x^* は 1.67 か 1.875 か 2.14 となりやすい。

現実には、最適取替間隔 x^* は 1.0 年 ~ 5.0 年程度の間落ちつくので、 T を大きく取れば取るほどこのモデルで計算される最適取替間隔 x^* との誤差は小さくなる。 x^* の誤差の最大値

ERRMAXは,

$$\frac{T}{x^*} = n + \epsilon \quad (\text{A. 19})$$

とすると, このモデルでは x^* は $\frac{T}{n}$ から $\frac{T}{n+1}$ の間の値をとるので,

$$\text{ERRMAX} < \frac{T}{n(n+1)} \quad (\text{A. 20})$$

となる。 $T = 50$, $x^* = 3$ なら $\text{ERRMAX} < 0.184$ 年となる。

$T \rightarrow \infty$ にすると, $\text{ERRMAX} \rightarrow 0$ となる。

[評価期間 T に対する最適取替間隔 x^* のバラツキ]

Fig. A. 7 に標準的入力データ ($a = 1.0$, $d_c = 0.25$, $r_c = 0.2$) に対して, 評価期間 T を 5 年, 15 年, 30 年としたときの $G(x)$ の最小値近辺のグラフを示す。

$T = 5$ 年では $x^* = 2.08 \sim 2.10$ 年, $T = 15$ 年では $x^* = 2.12 \sim 2.14$ 年, $T = 30$ 年では $x^* = 2.14$ 年の点であり, x^* のバラツキはこの場合 0.1 年以下となっている。

かなり極端なデータ ($a = 10.0$, $d_c = 1.0$, $r_c = 0.6$) に対しても T による x^* のバラツキは, $T = 5$ 年 \sim 30 年に対して 0.2 年以下であり, 実用に耐えうる。

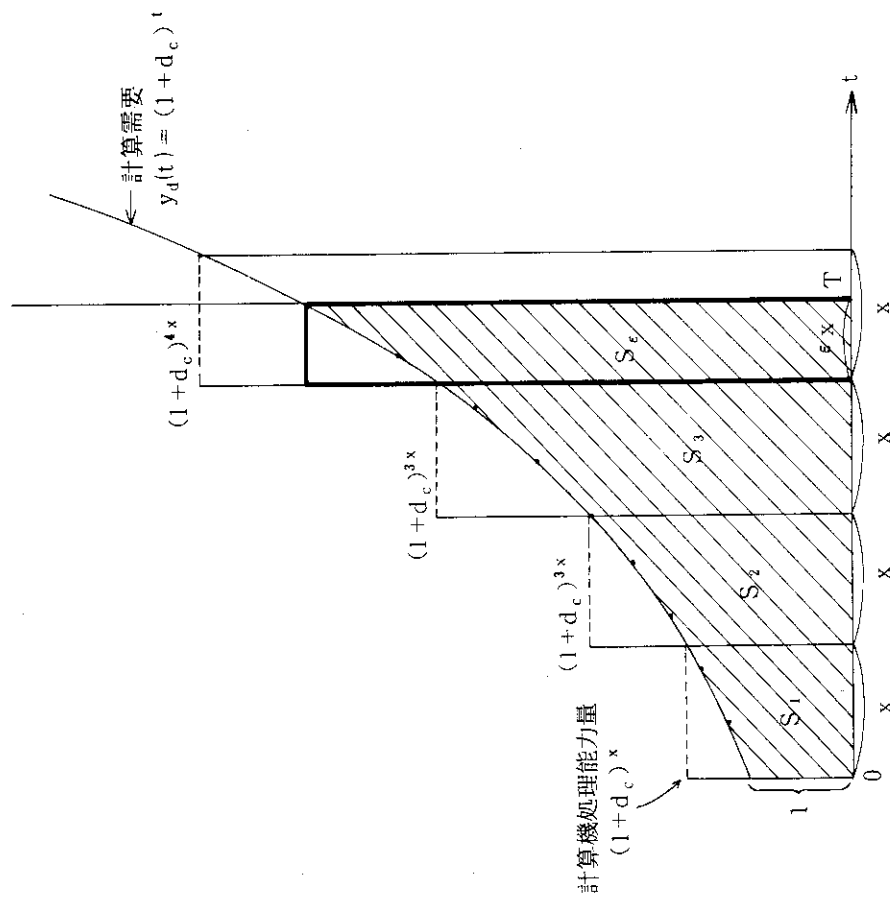


Fig. A.3 Last computer of case 5, case 6.

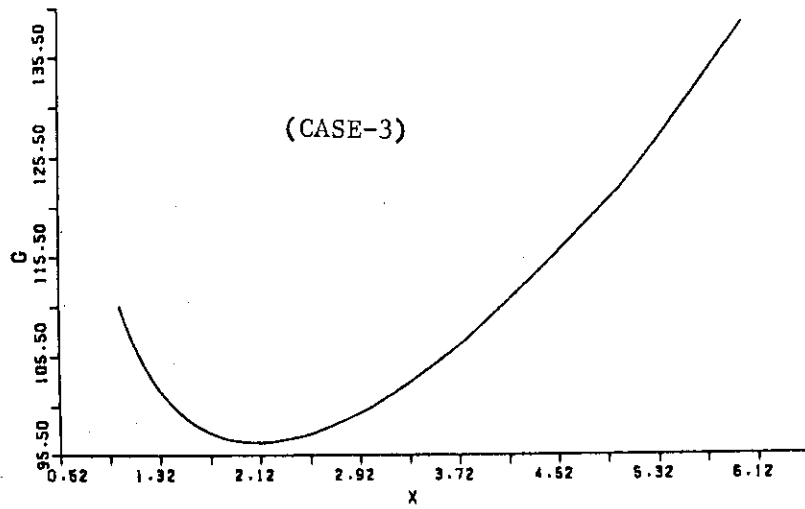
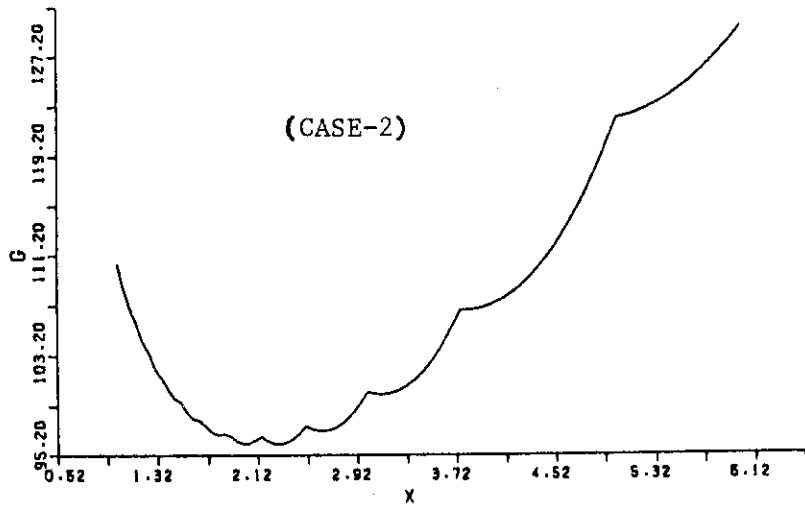
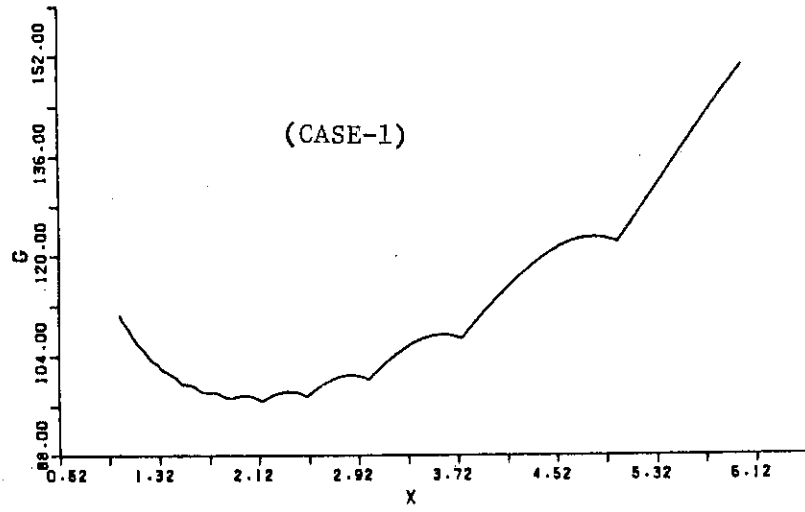


Fig. A.4 Total Cost $G(x)$ ($a=1.0$, $d_c=0.25$, $r_c=0.2$, $T=15.0$).

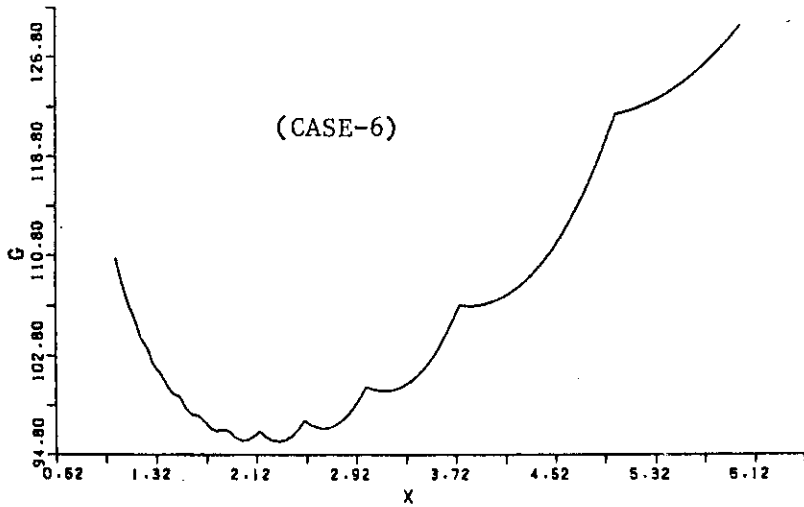
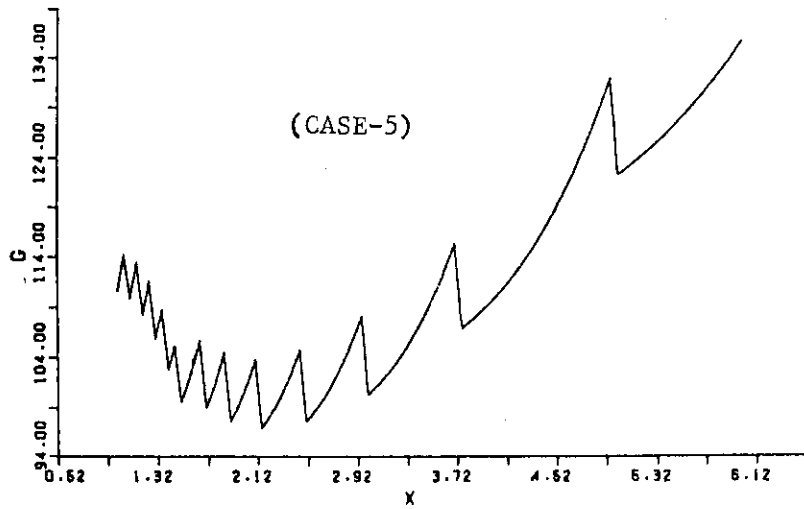
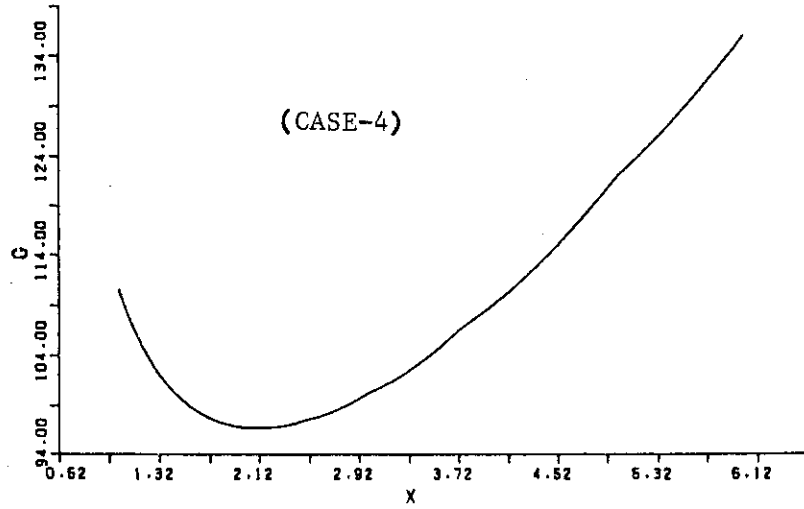


Fig. A.4 Total Cost $G(x)$ ($a=1.0$, $d_c=0.25$, $r_c=0.2$, $T=15.0$).

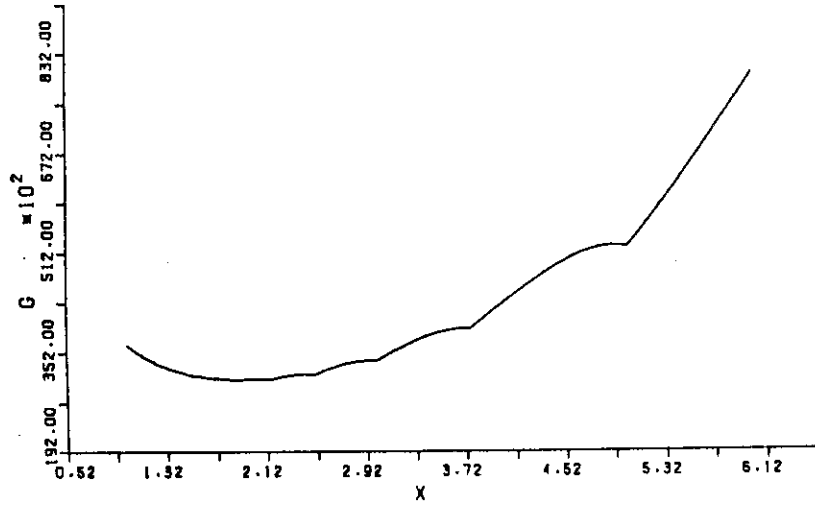


Fig. A.5 Total Cost $G(x)$ ($a=10.0$, $d_c=1.0$, $r_c=0.6$, $T=15.0$).

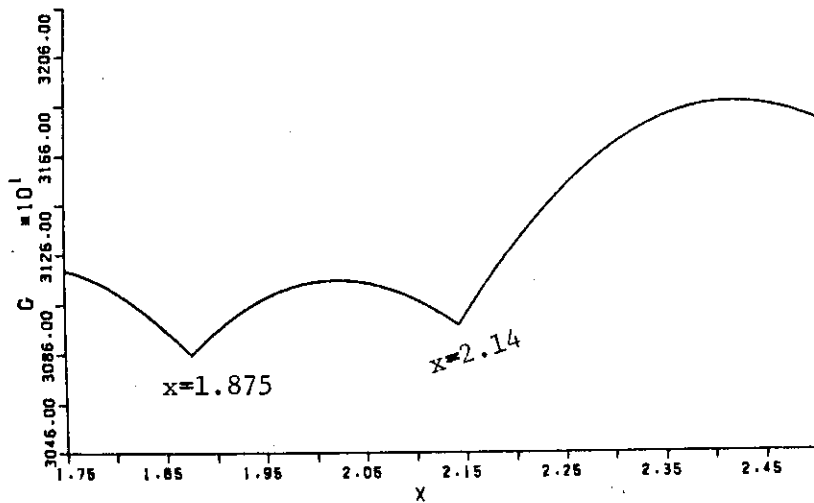


Fig. A.6 Magnifying Figure of Fig. A.5.

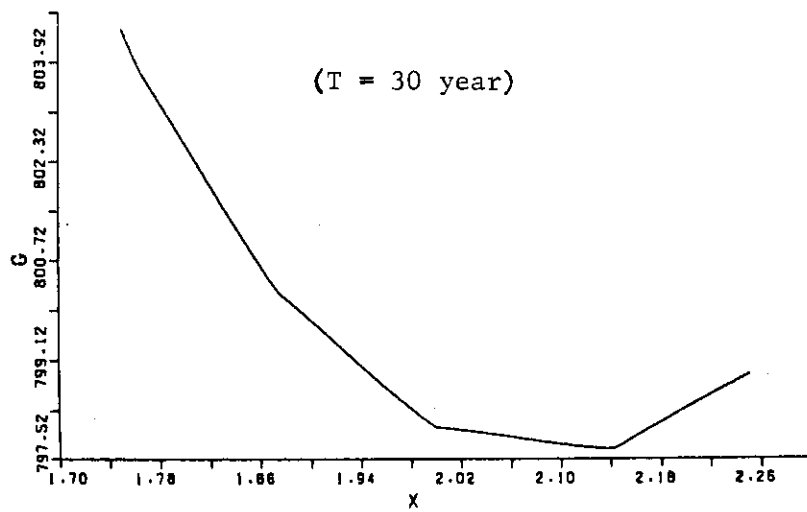
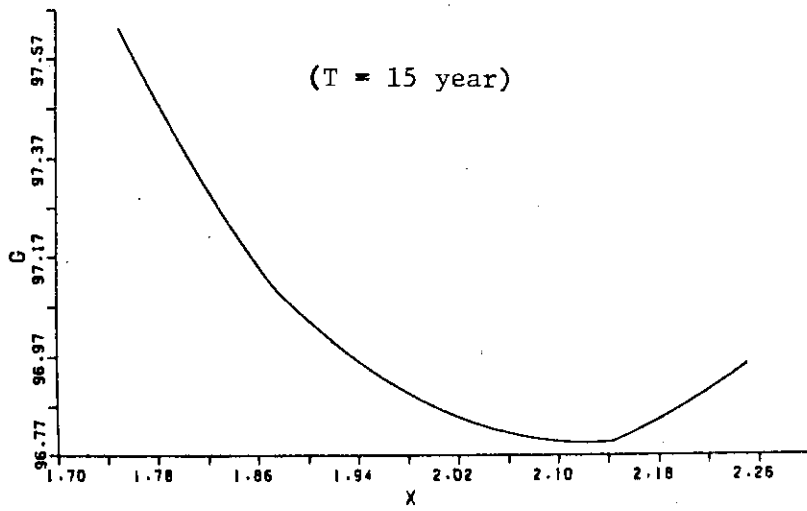
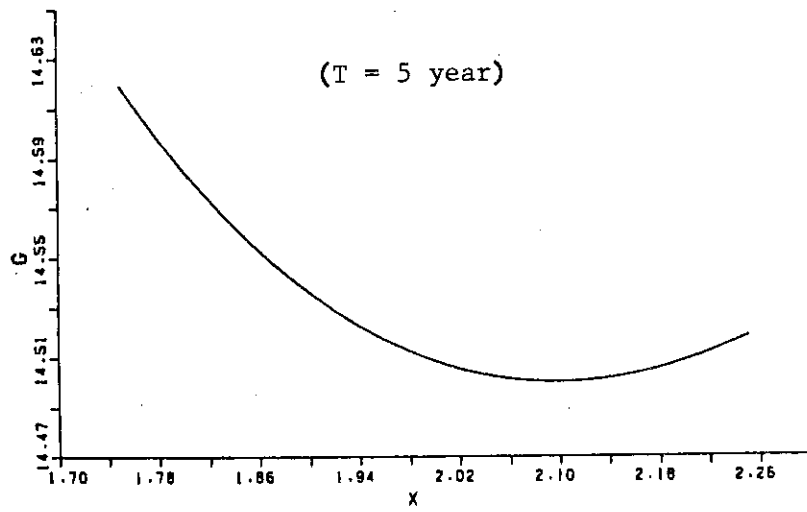


Fig. A.7 Change of $G(x)$ for change of T .