

## サーボ理論の経営学的吟味

井上 勝 人

- I まえがき
- II サーボ理論と生産管理
- III サーボ理論の本質
- IV 残された課題

## I

戦後、第二次産業革命としての所謂エレクトロニクスや原子力科学技術或いは高分子化学技術などの典型的高度科学技術を尖端に載くところの一般現代科学技術の発展開花は、現代の社会事象に非常な影響を与えつつあるが、これらと並んで、いまや生産力増大への世紀的原動力をなしているオートメーションの出現は、それ自体としてきわめて重大な歴史的事象であるばかりでなく、さらに加えてそれは、その活用の場にある企業のあり方、企業の存在する社会体制の問題にまで重大な変革を促しているものようである。なかでも特に企業経営に対する影響は激しく、企業の経営方法、さらにはその態度において抜本的転回を要請してやまないものである。すなわち各種の事務機械の進展に促されて、その経営乃至管理方法に数量的処理の正確、迅速さを招来するとともに、数量科学の発達、さらには管理的処理における工学的志向への特徴は、今後の経営学の動向をも規制するかのようである。

そこで本稿においては、これら一連の動向のうちから一つを選んで特に工学的な色彩の濃厚なオートメーション理論と関係の深いサーボ理論<sup>(1)</sup>について、経

(1) サーボ理論 (servomechanism theory) とプロセス制御理論は、本質的には同じ原理に立脚しているが、細部のテクニックについては若干の相異が看取される。本稿においては、このような末枝的テクニックにとらわれず、その本質についての経営学的考察を目的とするものであるから、この問題をプロセス制御理論とおきかえても大なる支障はない。なお、本稿を草するに当たって参考にした主要論文は、Herbert A. Simon, Application of Servomechanism Theory to Production Control (in H. A. Simon,

営学の立場からその本質を吟味しよう。けだし、経営環境の変化とともに、その変化の条件に適応を迫られつつある今日、企業の担当者は単なる技法の域にとどまらず、社会科学および自然科学の知識の総合により、問題の把握と理解に努めざるを得ない状況に直面しているからである。もとより自然科学と社会科学は、理論の構成も概念規定の仕方においても異なる方法に依拠するものであり、それらの総合といっても簡単ではない。しかしその困難にも拘らずこれら境界領域<sup>(2)</sup>の発掘は現時の急務であり、何らかの橋わたし的な役割をはたさんとするものに工業経営論あるいは経営工学の登場をみているのである。従って、第二次産業革命の基礎にあるところの科学それ自体の問題も、専門に沈潜すると共にそれを基盤にしたゼネラルな研究組織の必要が迫られているのである。

それはともあれ慥かにサーボ機構の問題は工学的・数学的・物理学的・生理学的・社会的・経済学的・経営学的なアプローチに関する多くの考えさせられる問題をふくんでいるのではあるが、それらの問題に立ちいるに先立ってまず以てより根源的なサーボ機構自体の意味内容が判然と捕捉されなければならぬであろう。かくして本稿の課題は、機械や工程の自動化にとまうひとつの中心的内容をなすフィードバック機能を検討してそこに貫かれている本性を析出し、その理論的意味・内容を明かにしようとするものである。その意味で問題の把握が経営学的に片寄るのも筆者の専門の立場から諒とせられたい。なにぶん、組織的研究を経ることなく筆者個人の力では、その限界を痛感した次第である。

---

Models of Man pp.219—240.) Ditto, On the Application of Servomechanism Theory in the Study of Production Control, *Econometrica* Vol. XX. April 1952) 梅谷陽二稿、自動制御理論(「生産・在庫管理におけるOR技法」所載)などである。サーボ理論乃至自動制御理論は、もと通信工学で開発されてきた。従って制御技術者は主としてこの学問での手法・用語を使っているから、通信工学での諸概念、たとえばラプラス変換や過渡現象、周波数応答などの意味を理解することが先決となる。そのためには、電気通信学会編「通信工学を理解するための数学」を参考にした。

- (2) 境界領域の探求は益々重要な課題となっているが経営における経済計算の究明は、従来の経営学、会計学、経済学あるいは工業技術学(各種工学)のGrenzgebietに位置する新しいしかも重要な研究領域であり、この分野の開拓のためには各方面の専門家の共同研究をまってはじめて達成されるものである。

思うにわが国の企業の生産管理の是正が日程にのぼってから、経営管理科学化の一環として自動制御が重視されたが、この場合、自動制御はフィードバック機能による自己反省型の系を意味するものと解されていたようである。それは正しいにはちがいないが、しかしサーボ理論の本質は何かと問えば、自動制御と答える人が多いが、この答はピントが外れている。すなわち、自動制御はサーボ理論を構成する局所的要素にすぎないし、この答では最近の情報理論による負のエントロピーとしての情報管理機能を見逃している。換言すれば自動制御における閉回路 (loop) は自己反省型の系を流れる信号によって管理される対象物の情報を検出しそれに必要な修正を加えて、プロセスに流すのであり、その情報量は徐々に経営体内に堆積されて随時に管理系の判断資料となるのであるから、現実の自動制御乃至サーボ機構の問題を把握しようとする場合、これらの機能について改めて検討し論証しなければならない課題と思うのである。われわれが本稿で主として取り上げるサーボ機構におけるフィードバックと情報理論の関連はこの点についての本質把握を目途するものである。

## II

さて、オートメーションの核心的機能とされているフィードバック作用は、<sup>(3)</sup>どのような視角からその理論的内容が展開されているのであろうか。ここでは問題を限定して、生産管理に関連する事項を中心に検討しよう。

ウィナーによれば、変化する外部環境に従って行動する機械はすべて、効果的に動作するためには、それ自身の動作のもたらす結果についての情報をそれに続いて行なう行動のよりどころになる情報の一部として供給されなければならないとする。<sup>(4)</sup>このように機械をその予定の行動によってではなく実際の行

(3) 機械的連続生産乃至 Ford system の高度化をも、一般には automation と呼んでいるが、厳密にはこれは単なる従来の生産方法の高度化であって automation ではない。固有の automation は feed-back automation と electronic computer とを併称する名称である。しかし慣習的には、Ford-system のそれは Ford 工場の地名に因んで Detroit automation と呼んでいるが、本質的に全く異なるものである。

(4) Norbert Wiener, The Human Use of Human Beings—Cybernetics and Society—1949. 池原止戈夫訳「人間機械論—サイバネティクスと社会—」19頁—20頁。

動にもとづいて制御することがフィードバック（饋還）と呼ばれるものである。しかして、生産政策決定と管理に有用となるようなフィードバックの模型としては、典型的には市場の需要に対応して変動する在庫を検知し、必要な補給を行なって製造部門の製造に支障を惹起しないようなフィードバックを持った自動制御系、すなわち在庫管理の問題<sup>(5)</sup>におきかえたものとして現出するのが普通である。従って、生産体系の機構としては、後に図3で示すような在庫問題に対応する自動制御機構を対象とするものである。便宜上、自動制御理論とサーボ理論とを区別しないものとするれば、以上のような意味でサーボ理論が、われわれの対象となるのである。

ところで、以上によってある一定の適正在庫量を安定的に維持するために適用される一つの手法として重視されてきたサーボ理論<sup>(6)</sup>は、その故に生産管理的観点から、その数量科学的解明を本旨とするものである。しかしてかかる観点よりする「生産管理の科学化」は、それが負帰還系（negative feedback system）に属する自動調節機能を有力な規定因とするという認識から、自動制御理論に基づくオートメーション化の一つとしてその集約的表現が見出されたのであり、この様な自動化こそが経営的に合理的であると見なされたのである。

(5) 生産在庫問題におけるOR手法としては、「機能的分類」と「技法的分類」がなされている。前者は需要が確定している場合、需要が不確定の場合、生産計画と結びつけた場合など、それが適用される場によってどのような在庫管理のやり方があるかを示すものである。後者はOR技法による分け方で、(1)解析的・確率論的方式、(2)サーボ理論の適用、(3)待合せ行列理論の適用、(4)リニア・プログラミングによる方式、(5)ダイナミック・プログラミングによる方法、(6)モンテカルロ・シミュレーションによる方式、(7)ミニ・マックス法による方法などがあげられる。

サーボ理論の適用による方式は、一般には需要量に対する予測量の誤差を在庫によってカバーしながら、予測誤差による在庫量の変動を最小にしたい場合に有効な方式である。しかし、この予測量なる点がわれわれの検討しようとする問題に関連が深いのである。

(6) サーボ理論は上述のように生産管理のなかでも、特にその重要な局面を形成する在庫管理においてその特性を発揮するものと云われる。しかして目標値乃至計画量と、実際の制御量との比較・修正は、これを人為的に自動化せんとしたものがマネジメントの原理であり、機械・装置そのものではなく、恰も人が機械の如く計画・執行・批判・修正（統制）せんとする体制がマネジメント・セオリーそのものにほかならない。この意味で、厳密には、機械そのものと機械化とは厳に区別して用いるべきである。かくしてサーボ理論はこの意味に関してのみマネジメントと同一指導原理に立脚するものである。

これが「経営の自動操作 (automatic operation) 乃至自動化 (automatization)」と呼ばれるものに外ならない。

この経営の科学化乃至自動化は、サイモンに従えば、次のように定式化される<sup>(7)</sup>。この場合の記号と定義は次の如くである。但し、問題を簡単化するため生産対象は規格化された単一生産品目として取り扱う。

$\theta_1$  ..... 目標値

$\theta_0$  ..... 実際の出力

$\oplus$  ..... 比較・修正

$K_1$  ..... 制御される系,  $f(\varepsilon)$  と  $(\theta_0 - \theta_L)$  の関数として  $\theta_0$  の積分に対応する (後出2, 1)

$K_2$  ..... 制御部 (判断・指令機構),  $f(\varepsilon)$  に対応する

$\theta_L$  ..... 外界因子

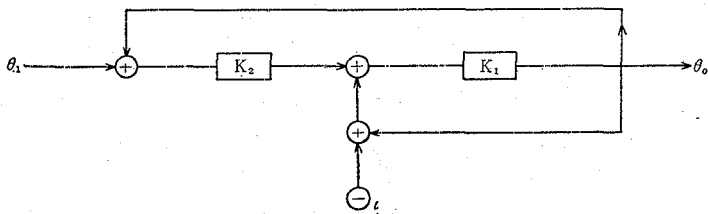


図 1

図 1 から

$$\frac{d\theta_0}{dt} = f(\varepsilon) - k(\theta_0 - \theta_L) \quad (2. 1)$$

$$\varepsilon = \theta_1 - \theta_0 \quad (2. 2)$$

が得られる。

上式によって、このループは制御量を目標値から差し引く構造であり、(負帰環系) その差異はシステムの中にもどされて、これを減少する方向に出力を変化せしめることが分る。なお図 1 によって示されるブロック線図 (block dia-

(7) Ditto, Application of Servomechanism Theory to Production Control, p.221.

なお、この記号と定義はサイモンにおける thermostat の場合を、敷衍したものである。

gram) は信号の流れだけを示し、エネルギーの流れはあらわさない。また、信号は矢印の方向にのみ流れ、ブロックの所は変換個所で、ここで情報処理をうける。

さて、この基本的原理を前提として、われわれはさらに経営学的に展開しなければならない。上述の自動制御の型は決して目新しいものではなく、すでに広汎に研究され発表されているものである。そこで、次への考察の準備として今暫らくサーボ理論の数量的処理について概観してみよう。今、ブロックの所を抽出してみると、図2のようになる。

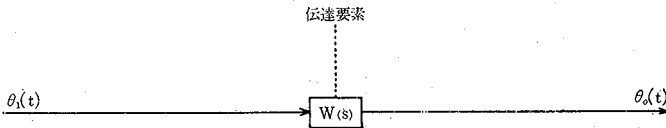


図2

物理的なサーボ機構においては、入力と出力の関係は図2にみる如くおのおのが時間関数であり、一定時点における出力はその時刻までに入った入力の重畳となるから、

$$\theta_0(t) = \int_0^t w(t-\xi) \theta_1(\xi) d\xi \quad (2, 3)$$

ここで  $t-\xi=\tau$  とおけば

$$\theta_0(t) = \int_0^t w(\tau) \theta_1(t-\tau) \quad (2, 4)$$

とあらわせる。しかしこのような積分表示は複雑な系の表現としては煩雑で不適当である。そこでラプラス変換がサーボ機構を取り扱うための最も有力な処

(8) この式での伝達特性は線形であり、 $W(\tau)$  はこの特性表示の一つで、重み関数または荷重関数 (load function) とよばれる。

(9) Laplace transformation method は一種の演算子法であり、初期値、境界値に関する微分方程式、積分方程式、定差(差分)方程式を解くのに広く用いられている。これは与えられた複雑な原方程式にラプラス変換を施すことによって原方程式を簡単な方程式に変換し、未知関数を変換された形で求めた後に逆変換を施して、未知関数を求めるものである。これは一般的に

$$\int_a^b K(s, t) F(t) dt = f(s)$$

理技術となる。

入力のラプラス変換は、その成分頻度に分解され、フーリエ積分と非常に密接な関係を有するに至る。出力に関係のある入力に関しての完全なサーボシステムのラプラス変換は、入力において生起する頻度を振幅と位相を変化することにおいて、濾過する行動を記述するものである。出力のラプラス変換は、成分頻度の見地から入力と外界因子（需要変動）の二つの出力の再現である。かくして、サーボシステムはラプラス変換を決定することによりその大半は理解されうるのである。そこで、

$$\theta_0(s) = L[\theta_0(t)]$$

$$\theta_1(s) = L[\theta_1(t)]$$

(ただし  $L$  はラプラス変換をあらわし、また初期値はすべて 0 とおいた。) と表わすことにより、微積分演算は代数演算に転換し、極めて実践的となる。

かくすることによって、 $\theta_0(s) = W(s)\theta_1(s)$  が得られ、この式に基づいて入出力比  $\frac{\theta_0(s)}{\theta_1(s)}$  を求めて、これをその伝達要素の伝達関数  $W(s)$  と定義する。

$$W(s) = \frac{\theta_0(s)}{\theta_1(s)} \quad (2, 5)$$

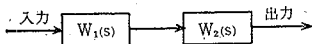
となる。これは、 $F(t)$  なる関数に  $K(s, t)$  なる  $s$  と  $t$  の関数を乗じて  $t$  について定積分を行なって、 $s$  の関数である  $f(s)$  に導くもので、各変換間の相違は、 $K(s, t)$  と積分限界  $a, b$  にあるのである。 $K(s, t)$  を核 (kernel) という。核と積分限界は次のようになる。

$$K(s, t) = e^{-st}, \quad a=0, \quad b=+\infty$$

$$\text{すなわち, } \int_0^{+\infty} e^{-st} F(t) dt = f(s)$$

なお、ラプラス変換はいちいち計算しなくても、詳しい変換表があるからそれを見て求めることができる。

(10) フィードバック系の伝達関数は、図 a, b を経て順序を追って計算してゆくと図 c の



$$W(s) = W_1 \cdot W_2$$

図 a 直列結合

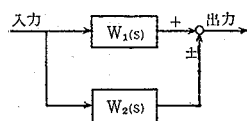


図 b 並列結合

この伝達関数を媒介環として、生産管理の問題特に在庫管理への応用が考えられたのである。しかし、以上の省察によって明らかな如く、このような「在庫の計画化」という考えの背後には、暗黙の裡に、サーボ理論の自動制御機能のみを管理活動の局面に指定するという考えが横たわっており、この意味において、かかる在庫政策にはその活用面において限界を課するものであるといわねばならない。更にはまた外界因子の変動すなわち外乱 (disturbance) を正確に予測することは困難という技術的欠陥も厳密な意味においてサーボ理論の適用限界を狭くしている。すなわち、在庫管理系における伝達特性は、次のように示される。なお、ここである簡単な在庫管理モデルをブロック線図にあらわすと図3になる。<sup>(11)</sup>

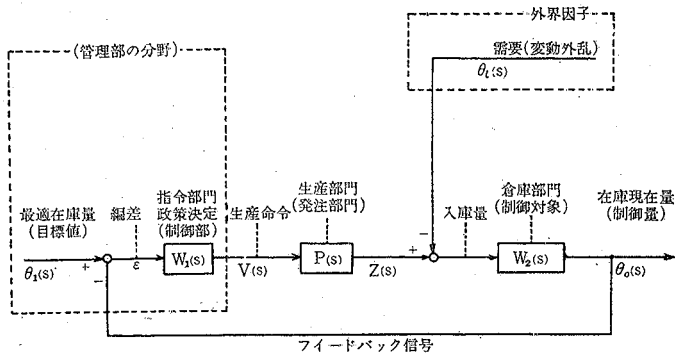
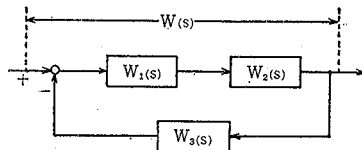


図3 在庫管理系のブロック図線

ように  $W(s) = \frac{W_1 \cdot W_2}{1 + W_1 \cdot W_2 \cdot W_3}$  となる。



図c フィードバック系の伝達関数

(11) 梅谷陽二稿「自動制御理論」(松田武彦, 春日井博共編, 生産・在庫管理におけるOR技法, 204~205頁)

なお、この場合、系の線形性を仮定し、小文字であらわした関数、たとえば、 $y(t)$ は時間関数をあらわし、同じ文字を大文字に書くときはプラス変換関数をあらわすものとする。



ところで、管理システムの目的はある期間を通じての製造費用を最小にすることであるが、この費用乃至これの変動部分は次の2つの因子に依存すると考えられる。第一に製造比率で、これは製造比率が一定のときよりも変動するならば、費用は高くつく種類の性向を有するものである。第二に製品在庫量で、これは運搬費の増加するとき高騰し、顧客の注文を満たすに追いつかないときある一定点を下廻って減少する種類の性向を有するものである。従って、われわれがシステムを判定するこれらの基準は、製造比率と製品在庫量の変動の大きさの関数となる。

かくして、生産が連続的におこなわれたとすると、図3における制御対象である倉庫部門への入力 $\theta_0$ は、生産部門の生産量から需要量を差しひいた量で、出力はその時間における在庫現在量である。従って、倉庫部門の伝達特性として

$$\theta_0(t) = \int_0^t \{Z(t) - \theta_L(t)\} dt$$

ラプラス変換を施して  $W_2(s)$  を求めると、

$$\theta_0(s) = \frac{1}{s} (Z(s) - \theta_L(s))$$

$$\therefore W_2(s) = \frac{\theta_0(s)}{Z(s) - \theta_L(s)} = \frac{1}{s} \quad (2.6)$$

偏差  $\varepsilon$  は最適在庫量から在庫現在量を差し引いた量で、式(2.2)から、

$$\varepsilon(s) = \theta_1(s) - \theta_0(s)$$

また、生産部門の伝達特性

$$P(s) = 1 \quad (2.7)$$

とすると、図3のフィードバック系全体の入出力関係は、出力を在庫量  $\theta_0(s)$  にとると、注(10)を参照して

$$\theta_0(s) = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot P}{1 + W_1 \cdot W_2 \cdot P} \theta_0 - \frac{W_2}{1 + W_1 \cdot W_2 \cdot P} \theta_L(s) \quad (2.8)$$

となる。最適在庫量  $\theta_0(s)$  が時間的に変動なく一定であるとすれば、 $\theta_0(s) = 0$  においても一般性は失われない。式(2.6)、(2.7)を考慮して

$$\theta_0(s) = -\frac{1}{s + W_1} \theta_L(s) \quad (2.9)$$

が需要変動  $\theta_L(s)$  に伴う実際の在庫量変化  $\theta_0(s)$  をあらゆる関係式である。しかし前述の如くこれは需要変動予測がある程度正確且つ可能なことを前提として、所与として扱っていることを見逃してはならない。

かくして、この問題に対するサーボ機構の接近は、理論的には時間的に先のことの予測は不可能ではなく、少なくともある制限内で最も有利な決定をきめることは不可能ではないとの前提に立脚して、いま、

$\eta(t)$  ..... 生産量に関する変動が  $t$  なる時点に示されることを表わす。

$\mu(t)$  .....  $t$  時点における実際の生産量

$\mu(p), \eta(p)$  ..... 生産調整を指令する制御部  $K_4$  の機能とすると、このシステムの数式は次のように示される。

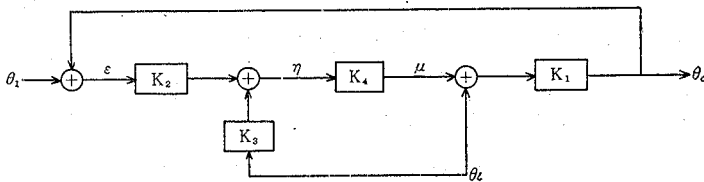


図 4

$$\theta_0 = K_1(\mu - \theta_L) \tag{2, 10}$$

$$\mu = K_4 \eta \tag{2, 11}$$

$$\eta = K_2 \epsilon + K_3 \theta_L \tag{2, 12}$$

$$\epsilon = \theta_L - \theta_0 \tag{2, 13}$$

オペレーター  $K_2, K_3$  は在庫量と需要変動に対応する管理系である。両者とも最適化原理に順応するものであり、従ってわれわれとしては  $K_4$  の適当な行為基準を確立することが、現下の問題点となる。さて、さし当って生産調整を、 $T$  なるある限定期間においておこなわれたとする。この場合の数式的表現は、

$$\mu(t) = \eta(t - T) \tag{2, 14}$$

(2,14)の意味は、与えられた生産量がある期間にわたるものであり、製品の生産量は  $T$  なる時間単位において実現されることになる。 $K_4(p)$  のオペレーター

は上式に対応して

$$K_4(p) = e^{-\tau p} \quad (2, 15)$$

なる関係式を得る。 $K_1(p)$  と  $K_4(p)$  の機能に置きかえて、この系全体の解決式は次のようになる。

$$Y(p) = \frac{\theta_0(p)}{\theta_L(p)} = \frac{(e^{-\tau p} K_3 - 1)}{p + e^{-\tau p} K_2} \quad (2, 16)$$

(2, 16)式によって、生産調整の影響は(2, 16)式の分子と分母に及ぶことがわかる。かくて、われわれはさらに問題の深奥にメスを入れなければならない。

(2, 16)式の分子に対する考量は、在庫管理が日常のルーチンワークとして処理できない重大な因子を含蓄していることを示唆するものである。ここにもし、 $K_3=1$  と見做すならば、分子は  $(e^{-\tau p} - 1)$  となり、そのことは  $p$  が  $2n\pi i/\tau$  に接近するとき、 $n$  は 0 か或いは整数であることを示す。それ故、この手続きは複雑な負荷を安定させ、負荷の頻度は生産調整に応じて正確に倍加せしめる作用を有すると考えることができる。かくて、われわれはこの管理系は、顧客に関する何らの情報も存在しない場合よりは、 $K_3=1$  のときにのみ、よりよく機能する系であると考えることができる。しかし、これとて決して完全なものではないことは明らかである。然らば、何故を以て  $K_3=e^{\tau p}$  とおかないのか。われわれは、 $e^{-\tau p} K_3 - 1 \equiv 0$  とした場合、変動量  $\phi(p)$  は、

$$\phi(p) = e^{\tau p} \theta_L(p) \quad (2, 17)$$

と規定され、両辺の逆変換を試みると、

$$\phi(t) = \theta_L(t + \tau) \quad (2, 18)$$

と定義づけられるからである。従って、 $K_3=e^{\tau p}$  なる式は、実際の顧客増加につれて  $T$  時間単位における  $\theta_L$  の値を予測する関係式と解せられる。しかし結果は直観的に明らかである。すなわち、もし  $T$  期間における注文を予測せんとするならば、実際の注文に先立って生産計画が策定されていなければならず、その場合には計画策定後いかなる在庫の変動もできるだけ避ける必要があるからである、ここに目的と実際の技術計算との間に重大な自己矛盾が現出することになるが、われわれの問題探求は実はここにこそ存在するのである。以

上によって  $\theta_L(t+r)$  を予測することは甚だ困難な課題であることを知った。ここにおいて不確定性下におけるデジジョン・ルールをめぐって、われわれの新しい視角からの接近の研究が重要となると思われるのである。

以上で論じたのは、サーボ機構における3つの構成要素、すなわち負のフィードバック、情報理論、予測の問題<sup>(12)</sup>であり、それらがいかに生産管理に活用されるかをみてきた。そしてそこにおいてはフィードバック機能を本質的なものとして、他はそれに付属するとみるサーボ機構一般論であった。次に、われわれはこれらのみ方が果してその本質を把握しているか否か、現代におけるみ方として適当かどうか、また既述の如き生産管理の科学化が、はたして各企業の自生的要求として発現しえる基礎が、各企業の中に見出し得るか否か、これらの点に焦点をおいて問題を考察しなければならない。従って、本稿においてはサーボ理論における系全体の安定性の問題<sup>(13)</sup>、時間おくれのあるフィードバック系の応答<sup>(14)</sup>などについては、考察の主対象から排除せざるを得ない。

- 
- (12) 予測のための手法は、A. N. Kolmogoroff, *Interpolation und Extrapolation von stationären Zufälligen Folgen*, Bull. Acad. Sci. U. S. S. R. Ser. Math, 1941 と N. Wiener, *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series*, Technology Press and Wiley, New York, 1949. によって樹立された線型予測の一般理論と、いくつかの特殊な非線型予測器の数学的分析とからなる。これはそれだけでもきわめて重要な分野であり、高度に数学的な問題だが、サーボ理論の本姓把握を目的とする本稿では触れ得なかつた。他日、更に研究を積みあげて、論議の対象としたい。
- (13) 安定性の確認は特にフィードバック構成の上から注意すべき問題である。何故なら線型負フィードバック系は入力のかんによらず安定か不安定かのどちらかであるから。簡単な判別法は、系の入出力間の伝達関数の分母を0とおき、これを判別式と呼ぶ。式(2,9)より  $S+W_1(s)=0$ 、これを  $S$  について解くとき、その解のいずれもが負の実数部を持たばその系は安定である。結局、この判別式で安定性を確認した後、種々の整定条件を満足するように  $W_1(s)$  を決定することがサーボ理論の中核であろう。H. A. Simon によれば過渡応答の場合には、 $W_1(s) = -\frac{a+bs}{S^n}$  ( $n \geq 1$ ,  $a, b$  は正の定数) をあげている。(H. A. Simon, *On the Application of Servomechanism Theory in the Study of Production Control*, *Econometrica* Vol. XX. pp.247—268.)
- (14) 生産部門における製造時間のおくれ (dead-time element) があるときは、このようなおくれ (delay) があるときの系全体の安定性と式の如き、自己平衡性を検討しながら、周波数領域に変換しながら Nyquistの判別法などを用いる。

## III

以上の如くして、経営学的観点よりする、生産管理科学化の要求は、結局のところ、さらにより一層の本質的究明が要請されざるを得ないものと考えられる。ただし単に自動操作乃至フィードバック作用のみにその本質を見出す見解は、現下のマネジメント体制確立の状況からして、あまりにもかたよった観察と考えられるからである。しかしながら、「生産管理科学化」それ自体は、私的企業の経営管理の立場よりしても、当然要求されるべきものである。いわゆる「管理の科学化」は、企業構造の基底としての生産過程におけるものから、漸次機能的階層的に上昇し、遂には最高経営者による管理内容の「科学化」をも要求するに至った。この意味において、サーボ理論の本質は、その計画原理から自ら異なった形をとって現出することはいうまでもない。換言すれば、一つのパターンは本質的には一つの並べ方を意味する。そして、その特徴は、そのパターンを構成する諸要素自身の固有の性質によってではなく、むしろそれらの要素の並べ方乃至重みづけによって決定されるものである。すなわち、企業の基本目的が広義利益の極大化<sup>(15)</sup>にあるならば、生産管理の科学化もまた、他の経営政策と全く同様に、窮極的にこの基本目標の実現を志向するものであろうことは言うまでもない。だがそれと並んで、「生産管理の科学化」は、その直接的目標として、要因間の定量化、定式化を志向する。これら利潤志向性と定量性にわたる考察こそサーボ理論の本質をより現代的な感覚で把握することの鍵があるように思えるのである。すなわち、企業の最高経営者層は、長期的経済趨勢、市場動向を考慮しながら、生産管理の科学化を企てることによって、企業全体の利潤極大化を志向する。従ってこのトップ・マネジメントの市場動向に立脚せんとする情報処理の統計的・確率的<sup>(16)</sup>本性こそが、サーボ理論の経営の本質とみるべきである。もとより、フィードバックを用いる自己制御機

(15) 広義利益は、単純に短期的な利益を意味するものではない。それは、従業員の福祉、社会的責任を内包するところの長期革新利潤と定義すべきである。拙稿「イノベーション利潤と現代企業」(産業経理第21巻3号)参照。

(16) H. M. James, N. B. Nicholas, and R. S. Phillips, Theory of Servomechanism,

能というメカニズムは、従来の機械的システムと異なる一大特徴であることは首肯し得る重要な点であるが、それに加えて乃至結びつけて情報理論にその本質を求めるのが、現代的経営の立場からする解釈であろうと思われる。現代におけるオートマトン (automaton) と呼称せられる電子計算機および類似の複雑な装置を想起するとき<sup>(17)</sup>、サーボ理論においても経営の新紀元を劃する革新的機能に、われわれは注目しなければならないと思う。

すなわち、前節の論述において仮定せられる最適在庫量の確定をこれをいま一つの社会現象と観ずるならば、当然制御できない面をその根底にもっていることを見逃してはならない。それは時間的に変ってゆく有限又は無限の系列、すなわち時系列の予想に関するところの問題である。今日の最適在庫量は決して明日のそれを保障するものとはいえないし、経済変動の平衡性は、自然現象のそれに比較して時系列としての模型が簡単な形で得られていないのである。しかし反面、それだからこそさらに深い考察ともろもろの情報システムの確立が要請されているともいえるが。情報システムにおいて、一般に情報の量は、シャノンにおける英語の統計的構造についてのエントロピーの計算にみる如く<sup>(18)</sup>、確率の概念を伴うことがわかる。サーボ理論における出力は、たとえ最適在庫量の固定化を仮定したとしても、一つのインフォメーションであり、これを一つの集合と考えるとその集合の元素は夫々異なる確率を以てあらわれる。このような統計の状態を考慮した集合を論じるために、さきのエントロピーなる量を導入する。

例えば  $n$  個の外乱要因があって、これに番号をつけ、 $i$  番目の外乱要因の生起する確率を  $p_i$  とする。このとき

$$H = -\sum p_i \log p_i \quad (\text{ビット}) \quad (3, 1)$$

#### 1947. Chapter VI—VIII.

N. Winer, The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. 1949.

(17) 自動機械を意味する言葉であるが、現代では電子計算機の発達にともない従来の機械より、さらに人間的な人工頭脳を意味して、新しいニュアンスで用いられている。

(18) C. E. Shannon, The Mathematical Theory of Communication, 1949.

(19) あらゆる可能性の集合の元素が有限であれば、すなわちその集合の濃度が有限なら

で定義される  $H$  を一外乱要因当りのエントロピーという。すなわち、 $-\log p_i$  は第  $i$  番目の外乱要因を知ったときの情報の量である。しかもこの外乱要因が現れる確率は  $p_i$  であるから、(3.1) の  $H$  は平均して一つの外乱要因が荷っている情報の量と理解される。またこのエントロピー  $H$  は、この  $n$  個の外乱要因の集合から任意の一つの外乱要因を選択する場合、集合にふくまれている選択の量をあらわしていると解することもできる。更に一つの外乱要因が取り出された結果についていえば、この結果はどの程度不たしかであるかをあらわしていることもできる。これらのことは、 $n$  個の変数  $p_i (i, 1, 2, \dots, n)$  の代りに連続な無数の値としてランダム変数  $x$  の集合を考える場合にも敷衍することができる。<sup>(20)</sup>

かくして、エントロピーは知らなさ加減の尺度であり、エントロピーの最大の時が知らなさ程度が最高で、情報が増えるにつれてエントロピーは減少する。すなわちエントロピーは状態を示す量であり、エントロピーの減少が情報量に相当する。このことは、負帰還系におけるプロセスの情報を検出してそれに必要な完成を加え、プロセスを管理する、サーボ機構の機能と全く同じであり、サーボ理論の本質をフィードバック自体にではなく、情報理論に求める所以である。かかるアプローチによれば、外界因子すなわち需要の変動は自己相関関数 (autocorrelated function) と考えられ、そのスペクトル密度が求まったとし、自己相関関数を  $R(\tau)$ 、スペクトル密度を  $S(f)$  と表わすと、自己相関関

ば、情報の量はその単調増加関数である。この関数として 2 を底とする対数が採用され、その単位をビット (bit) という。

(20) 本稿は数学的厳密さを追求することではなく、経営学的分析を主眼とするところから、これ以上は省略する。詳細は、喜安善市稿「通信理論」(「通信工学を理解するための数学」電気通信学会) John R. Pierce, Symbols, Signals and Noise, 1961. 参照。

(21) 通信理論において、ランダム雑音として表わされる散弾雑音電流  $I(t)$  が周期的又は概周期的であれば  $I(t)$  は Fourier 級数であらわされる。

$$\int_{-\infty}^{\infty} |I(t)|^p dt$$

が収斂するように  $t \rightarrow \infty$  に対して  $|I(t)| \rightarrow 0$  となる場合には Fourier 積分によって、何れも周波数の部分振動に分析される。この部分振動の強さの割合を普通周波数スペクトルと言う。しかし一般に散弾雑音の場合には Fourier 級数によっても Fourier 積分によってもあらわされない。このような場合も含めて一般的には、 $I(t)$  が種々の部分振

数から次のように計算される。<sup>(22)</sup>

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) \cdot x(t+\tau) dt \quad (3, 2)$$

$$S(f) = 4 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos 2\pi f\tau \cdot d\tau \quad (3, 3)$$

このスペクトル密度を、式 (2, 9) に適用すれば、 $S(f)$  を  $X(s)$  の代わりにおいて、

$$Y(f) = \left| \frac{-1}{s+w_1} \right|^2 S(f) \quad (3, 4)$$

さらにこの値の2乗平均値を小さくするには

$$\begin{aligned} \bar{y}^2 &= \int_0^{\infty} Y(f) d(f) \\ &= \int_0^{\infty} \left| \frac{-1}{s+w_1} \right|^2 s(f) df \end{aligned} \quad (3, 5)$$

を最小にするように  $\bar{y}^2$  の許しうる分散を指定して  $W_1$  の決定をすればよい。

なお確率過程が複雑な場合は図式計算で求めればよい。

以上みてきたごとく、サーボ機構における本質は情報理論にあり、フィード

動から合成されていると考え、この部分振動の平均電力の周波数分布を考え、これを電力周波数スペクトルと言ひ、数学的には一般にこのような量をスペクトル密度と言ふ。

②2) スペクトル密度は自己相関関数と密接な関係にある。例えば雑音電流を  $I(t)$  とすれば、この  $I(t)$  の統計的諸性質 (例えば平均値、バリエンス、 $n$  次モーメント等) は時間の移動に対して不変である。すなわち  $I(t)$  と  $I(t+\tau)$  とは全く統計的性質によって区別することは出来ない (定常の時系列)。 $\tau=0$  であれば明らかに  $I(t)$  と  $I(t+\tau)$  とは完全に同じ瞬時値を有する。又  $\tau$  が充分大であれば、 $I(t)$  の瞬時値が分つていても、 $I(t+\tau)$  の瞬時値は全く予想されない。 $\tau$  が余り大きくなれば、 $I(t)$  の瞬時値から  $I(t+\tau)$  の瞬時値が或る程度予想される。このように  $I(t)$  と  $I(t+\tau)$  との相関関係を示すものとして  $I(t)$  の自己相関関数  $\psi(\tau)$  がある。 $\psi(\tau)$  は

$$\psi(\tau) = \overline{I(t) \cdot I(t+\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi} \int_{-T}^T I(t) I(t+\tau) dt$$

のように  $I(t)$  と  $I(t+\tau)$  との積の平均値として定義される。

この  $\psi(\tau)$  と  $I(t)$  のスペクトル密度  $W(f)$  との間には

$$w(f) = \psi \int_0^{\infty} \psi(\tau) \cos 2\pi f\tau d\tau$$

$$\psi(\tau) = \int_0^{\infty} w(f) \cos 2\pi f\tau df$$

なる関係が存在する。ただし、 $I(t)$  には周期的な成分はふくまないものとする。



バック作用にのみその機能があるとの見解はやや狭きに失すると言わねばならない。つまり自動化としての問題は、オートメーションの基本原理であり、それを人為的におこなわんとする目的に出ずるものがマネジメント原理であるならば、科学技術的發展の現代および将来に対する影響から考えても、サーボ理論は単に機械や工程の自動化という問題以上に意味するところが深く、それをその計算原理から情報理論として把握すべきことを強調したいのである。なおフィードバック概念を情報の伝達と復帰の連鎖と規定するならば、フィードバックと情報理論はふたつにしてひとつに帰する如く考えられるが、それにしても情報理論はフィードバックとしては表現し得ない次元にあるように思われる。すなわちフィードバックが、ある系が行った仕事の結果をその系に再挿入することによってなされる系の制御であり、仕事の結果が系の行なう判断とその調整のための数値的データとしてのみ用いられる技術的な判断であるに対し、情報理論は仕事の結果から送りかえされる情報が仕事の一般方式と仕事遂行のパターンとに関係するより汎用な論理といえよう。

次に第二の論点を考慮しなければならない。それは、このようなサーボ理論がはたして各企業の自生的要求として発現しえる基礎が、各企業の中に見出し得るか否かの問題である。わが国の企業経営は、戦後のアメリカ式管理技術の導入に吸々のあまり、新しい経営技術も、一夏咲いて枯れてしまうような、単なるアクセサリーに終わってしまう現象がたびたびみられた。<sup>(23)</sup> 思うに、新経営

⑳ OR的思考がどの程度浸透しているかを示すものに、次の表が参考になる。勿論これはOR活動が行なわれているという意味ではなく、知識としてどの程度の浸透度かを概観するものであり、現存企業の態度をある程度窺知することができよう。(青山博次郎稿、日本の企業におけるOR活動の実態、統計数理研究所彙報第11巻第2号より)

資本金	浸透度	ごく一部に知られている	かなり多くに知られている	会社全体に知られている	計
100億円～		5	16	2	23
50 ～		6	7		18
10 ～		21	17		38
1 ～		16	1		17
その他		1	1		2
計		49	42	2	93

(1964年におけるORの浸透度)

技術が実を結ばないのは、企業が何を必要としているかを十分につかまないと、他社の動きに釣られ、あるいは他社との張合いから、わけもわからずフラフラと飛びつく結果であろう。加えて、技術のもつそれ自体の発展法則は、経営の社会関係の下に従属することによって初めて意義付けが行なわれるものであるから、現今の私企業の立場においては企業目的との関連上、経営における優れた管理技術も、歴史的にして支配的な主要法則の下に従わざるを得ない。従って情報理論を本旨とするサーボ機構もこのような制約の下に、必ずしも活用されているとはいえないのである。以上二つの論点から、サーボ理論によって定量的な判断をくだすのはまだまだ十分でないことが看取される。むしろ当面の問題としては、まず現行の管理組織をシステムの接近によって改変すると共に、まずもって定性的な判断をくだす努力につとめることこそ肝要ではなからうか。そしてさらに重要なことは、サーボ理論についての一層明確な概念を把握することであり、このような予備的ステップを経て、はじめて企業内における自生的な要求が生成し得る基盤が培かわれるのである。

#### IV 残された課題

以上、われわれは現段階におけるサーボ理論の特質を出発点として、このような特質に対応して考察されるところの経営学的吟味を問題にし、それがいかに把握されるべきかの論点を集約的に描出した。しかもそれは、究極的には再び市場動向との直接的接触、経営外的条件への主体的適応への復帰を意味する。かくて経営の経済計算は、<sup>(24)</sup>現在の市場動向の特質により、その齎らす情報により規制されている。しかも、この市場動向の経営への反映は、経営が利潤極大化の手段として生産するところの、或いは経営がその社会的機能を果すものとしておこなわれる生産管理において端的に表明される。けだしサーボ理論を情報理論として把握する所以である。

24) 本来、経済計算は意思決定の際、選択さるべき代替案の経済的効果（収益や原価におよぼす効果）を比較測定する技法を意味するが、ここではより広義に一般的な数値計算をすべて包含して使う。

サーボ理論において、われわれはその3つの要素、すなわち、情報理論と負のフィードバックと予測に関して論じた。しかし、すべての数量化がそうである如く、それは一つの複雑な現実からの抽象である。従っていくつかの仮定を前提としており、例えば最適在庫量を固定し、需要変動を適確に考慮できず、管理系全体を連続系とみなし、系の線形性を仮定し、在庫容量や生産速度の限界を考えずに問題を考へてきた。これらは一つ一つ解決していかねばならない問題であり、現に最適在庫量を自動的に時々刻々と修正してゆく技術は、ポントリヤギンの<sup>(25)</sup>最大化原理を適用することによって盛んに研究されている。殊に前述のサーボ理論における統計的・確率的アプローチの充実は、一刻もはやく達成すべきであり、これを俟ってはじめて真の意味での情報理論として確証されるものであろう。

以上われわれは、生産管理わけでも在庫の管理理論に滲透したサーボ理論的思考方法を対象として、そこに打ち出された情報理論という視角を析出し、それを情報システムの確立の一環として素描しながら、かかる情報理論の現実的意義と役割とを評価したのである。もとより、この点をなお一層明かにするためには、さらに通信における情報処理の統計的・確率的本性についての筋道だった分析が必要ではあろうが、それは本稿の課題を超える。

ところで、情報システムとしての企業体は、すぐれて人間的社会的状況におけるコントロール・システムである。そして社会的状況においても、恰も物理的事象であるかの如くにして扱う側面がある。しかし、かくの如きシミュレーションは、あくまでもシミュレーションであり、したがって物理学者の公式のような実在の記号的表示とは若干性質を異にするものであって、つねに意志と理解と期待に関する仮説の上に立つものである。従って、これらは絶えず再評価を続けて、問題の解析に当らねばならないのである。

本稿の課題とした生産管理におけるサーボ理論に貫かれる情動的視角の析出とそのフィードバックとの関連の追究は、極めて不十分ではあったが、かかる視角形成の一つの試みを行なったものである。

(25) L.S. Pontryagin, The Mathematical Theory of Optimal Processes, 1962.