

+++++  
研究ノート  
+++++

## 品質管理と温故知新

—私とデミング博士との30年—

杉 山 博\*

私は研究ノートとして本稿を依頼されたのであるが、現在まで多年阪大工学部における共通教育の一翼として品質管理論を講じてきている経緯にかんがみ、本誌が「生産と技術」であることから品質管理論に関連して執筆することを思いついた次第である。

私が品質管理にはじめて関心をもつようになったのは1950年（昭和25年）のデミング博士の来日による統計的品質管理の普及啓蒙講演に際して、或いは九大工学部の大講堂で、或いは大阪の日本生命内で、数回に亘って同博士の講演の通訳の1人としての役割りを勤めたことが動機であった。デミング博士は1900年生れだから当時50才の働き盛りで、その名は層化標本調査法における“デミングの割当て”において、また統計的品質管理の実践に関する哲学的認識において世界的に著名な大家であった。

昭和25年当時、デミング博士の通訳として同博士の講演壇上から「シェーハート博士に由来する管理図法において工程に異常がないにもかかわらず、試料によりプロットした点が限界外に飛び出すことにより、異常ありする過誤と、工程に異常があるにもかかわらず、プロットした点が管理限界から飛び出さないことによって工程の異常を見逃がす過誤とを経済的にバランスするのが3シグマ法による管理限界であります」と通訳したことが印象に残って、ひとつ、この管理図法による工程の管理の数学的モデルを考えることによってこの経験則の妥当性を理論的に裏づけられないだろうかと思いついた時代があった。私はまだ20代の後半へさしかかった頃であった。結局、考えぬいた末、管理図法による工程の管理をマルコフ過程論的に定式化する

ことにより、手まわしのタイガー計算機で相当頑張ったつた末、数値計算によって描いたトータル・リスクの曲線の多数例から、経験によって裏づけられた3シグマ限界の妥当性が、この私の数学的モデリングでも裏づけられたかに見えて私もその時は少なからず飛躍感を味わったものであった。ある日、当時の大阪駅前の旭屋書店で発売されたばかりの東大教授・森口繁一博士の岩波全書「品質管理」を手にしてパラパラと頁をくって見ると巻末に近い特論の中でこの私の研究が簡潔に紹介されているのを見て少なからず驚いたこともあった。また日科技連の「管理図ノート」（伊東静男・著）の中での経済性を考慮した管理図の理論でトップに「杉山の考え方」という章を見て驚いたこともあった。またこの私の論文別刷を送ったところ、デミングさんからも、何回かの手紙で大変興味深い研究だとほめられた。

その後、数年たった頃、当時の *Annals of Mathematical Statistics* 誌上に解析用の  $\bar{X}$  管理図では工程が“統計的安定状態”にあるとき各ロットからランダム抽出する試料の大きさが  $n=5$  の場合、25ロット分についてプロットされた点25個が全部3シグマ限界の中におさまる確率は、

$$\text{Pr. } \{|\bar{X}_1 - \bar{X}| \leq A_2 \bar{R}, |\bar{X}_2 - \bar{X}| \leq A_2 \bar{R}, \dots, |\bar{X}_{25} - \bar{X}| \leq A_2 \bar{R}\} \approx 0.95$$

になるという結果を含む E. P. King の論文（カーネギー工科大学の学位論文の一部）が現われた。

これは言わば25個の点を1点、1点見るのではなく、この一元配置の分散分析法における帰無仮説  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_{25}$  ( $\mu_i$  は第  $i$  番目のロットの山の位置) の検定をいわば図式に行う

\* 杉山 博 (Hiroshi SUGIYAMA), 大阪大学, 工学部, 応用物理学科教授, 理学博士・医学博士

解析用管理図では25個の点をつないだ折線全体を1本、1本のサンプル・パスとみると、統計的安定状態のもとでこのサンプル・パスが $\bar{X}$ 管理図の3シグマ限界の内部におさまる確率が約95%であるという結果で、この段階で私の前述の研究には私自ら、興味を失う結果となった。このKingの $\bar{X}$ 管理図についての研究論文は私が1959年に参加したミシガン大学の公衆衛生学部で行われた全米 Health Statistics セミナーの折に、あわせて会談したミシガン大学の統計数学の長老から、pn管理図やc管理図のような不良個数管理図の3シグマ限界の理論へも拡張されていることを教えられた。この統計数学の教授は私の滞在中ミシガン大学近郊にあるベアリング用ボールの工場の現場へも統計的品質管理の現地応用の状況見学に私を案内して頂いたのであった。他方、1950年以降、私自身も乞われるままに、多数の工場で統計的品質管理の実践的研究と勉強を積み重ねてきた。

そこでは、管理図法という統計的方法ひとつをとりあげても、もはや既に述べたような管理図の理論そのものよりも、ロット内のバラツキを偶然変動の“物さし”とみなし、その“物さし”をもって測ることにより検出されるロットの間の変動、あるいは“ずれ”が工程を望ましいレベルにおいて安定化させるための要因の探求に役立つようにロットを構成することが管理図法の有効なる活用のために必須の条件である

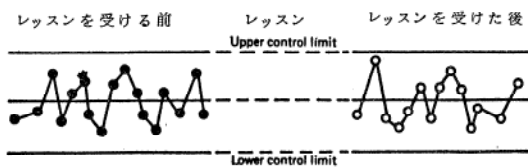


図1 ゴルフに熟練している人が自分のスコアを更に改善しようと思いたってレッスンを受けたが、彼のティーチャーには彼のスコアを改善することは出来なかった。彼のテクニックは彼のからだに沁みついていたのである。上の図1は、彼がレッスンを受ける前に達成されていた統計的安定状態 (state of statistical control) がレッスンを受けた後もそのまま続いていることを示している。毎週ごとのスコア平均 ( $\bar{x}$ ) を表わす点は同じ管理限界内で変動 (上り下り) している管理図のパターンから、この間の状況は一目瞭然である。

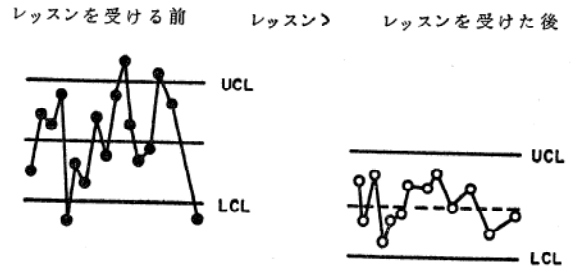


図2 図2はゴルフの初心者の場合のスコア平均 ( $\bar{x}$ ) の管理図を示す。この人の場合はレッスン前のスコア平均を表わす点が上部、下部の管理限界から飛び出しており、未だ統計的安定状態が達成されていないことを示している。よって、レッスンによる改善の望みがあるわけである。果せるかな、この人の場合はレッスン後の毎週のスコア平均はレッスンと前とはうって違って、ずっと改善されたスコア水準で統計的安定状態を示していることが一目瞭然である。“システム”は変わったのである。

ことを私は身に沁みて認識するようになったのである。ロット分けに魂が入らなくて何のための管理図法かと言えよう。そうしてこそ、要求される品質特性の安定せる確率分布を望ましい水準 (規格の範囲) において確立していくために、管理図法が固有技術の力と共に必要な要因の探求に役立つのであり、それこそが実は1930年に刊行された W. A. シューハート博士の “Economic Control of Quality of Manufactured Product” の哲学的洞察であり、その魂に通じるものであると思うに至った次第である。

既に1年前になるがデミングさんから3冊、最近の論文別刷が届いた。もう75才を過ぎたデミング博士の論文の中から抜粋した管理図法の応用例を図1、図2に掲げる。この例は数学的には極めてシンプルなモデリングに基づく管理図法の実用上の偉力を端的に物語っているものである。ゴルフの打球動作に関するこの管理図法の応用例はゴルフの打球動作の正しい訓練による目、脳・神経系、無数の筋のシナジー (協調連携動作) が定着していく過程の見事な表現である。シンプルな数学的モデルを背景とする管理図法でもこのように運用の妙を発揮できるのである。

他方、このようにわかりやすい例をもって管

理図法の意義を示された経験大家デミング博士に改めて畏敬の念を禁じ得ないのである。

さて、最近、確率システムとその同定、フィルタリング、制御、などの数学的発展には著しいものがある。そこでこの領域から眺めると管理図法に関しても、より高度のシステム論的モデリングを行ない、プロットされていく点の挙動に関してたとえばAR（自己回帰）モデルを想定し、AICによる次数決定を踏まえて管理図法の研究を行うことが考えられるであろう。しかし、少なくとも品質管理の場の中での統計的方法としてはシューハート流の管理図法はその手法のシンプルさの故にこそ大きな存在価値をもち続けることであろうと思う。けれども、他方、地震波の観測データをもとに、“異常を早期に検出するための管理図法”を生み出すためには前述のようにもっと数学的に深入りしたARモデルに基づく管理図法、また、さらに複数の地点の観測データのクロス・コリレーションを折り込んだ“複合管理図”の理論的かつ実践的研究が必要ではなかろうかと思われる。数学的モデリングと言っても、現象面と数学的方法とを、魂を込めて結んでこそ意義がある筈であり、これが科学技術と工学の精神でなければならないと思う。

話はまた変わるが、昨年、ある日ふと受取ったデミングさんからの手紙をあけてみると、「Quality Controlのコントロールは修正的措置 (corrective action) をとるために count するという意味で contra に由来するが、米・英・濠など英語を母国語とする多くの人々が“Control”を“Govern”（舵とり）という意味に使っているのは語源的に間違っている」というデミングさんの意見が述べられていた。日本でも永年 Control Theory は制御理論と呼ばれてきており、一方 Quality Control は品質管理と訳されて今日に至っている。しかも、品質管理と制御工学の専門家はそれぞれの進歩発展にもかわらず2、30年来互いに会話をかわすことなく今日に至っている。私はこの2つの領域が数学的モデリングと実践的応用の2つの側面を通して融合反応を起すことが今日からの大きな学際的研究課題であると思うものである。

このような品質の管理と制御の両面にまたがる問題として、たとえば、1962年以降の Box と Jenkins による適応品質管理の研究と応用があげられると思う。これは温度、湿度、電力、ガスの流量など、製造工程をとり巻く環境条件が非定常的に変化する製造条件のもとで出力としての品質特性を一定の幅の中に収めるために制御変数の調節操作量をば、過去から現在に至る計測データに基づいて作成される比例管理図、累積管理図、階差管理図を合成した調節管理図（アクション・チャート）を用いるものであるが、この種の調節管理図の理論は今後、さらに確率制御論的に数学的モデリングを行うことにより、さきの Box-Jenkins 流の調節管理法が案外、対応する確率制御論的な高度の解の feasible な empirical formula に相当することになりはしないかと思う。夢多くして実用上も重要な研究テーマであると思うのである。

さて、1960年代から1975年頃にかけて、私は R. Bellman 教授の招聘により長期、短期をあわせて数回、ロスアンゼルス南カリフォルニア大学 (USC) において Bio-medical な諸問題の数学的研究を行なった。それらのうちの主な私の研究は神経生理におけるスパイク列の間隔の確率分布に関する研究で、数学的には Ornstein-Uhlenbeck 過程の first passage 問題の研究になるが私は全力投球で頑張った結果、確率論的方法から、数値解析における Crank-Nicholson の方法を用いる方法（無限回の Monte Carlo シミュレーションを行なうことに相当する）まで含めて、3通りの方法で解を求めることに成功し、1969年の夏、MIT における国際生物物理学会で発表講演を行なう途中、ワシントン D. C. へ立寄り、数年振りにデミング博士宅で歓待を受け、地階の同博士の“図書館”と研究室で有意義な学問的な歓談を共にした。前述の spike 間隔の分布に関する研究は在庫管理の問題にも示唆的であるかもしれない。また、その後の USC において私になし遂げた主要な研究にはダイナミック・プログラミング (DP) を用いるスキャン・リスキャン過程とその RI 核医学への応用研究がある。これは Bayes 流の統計学と DP を応用し

て最短時間で正確な画像シンチグラムを獲得するために探索領域の重点的スキニングを繰り返していく方法であるが、私はこの方法を抜取検査法に応用することを試み、一応の成功を得た。これは、通常 Lot by Lot に行なう抜取検査をば、あらかじめ製造工程から生み出されていくロットの2次元の配列をしかるべく構成しておいて、そこへ前述のシンチグラフィへの応用のために開拓した私のスキャン・リスキャン方式を応用し、棄却さるべき不良ロットの所在をつきとめようと言うのである。本稿図3にこの種の集団抜取検査方式のシミュレーション結果の1例を示す。

この図3には、もともとロット不良率が10%のロットが15ロット、残り135ロットについてはロット不良率2%を想定し、スキャン・リスキャン過程を毎回1ロット当り、平均  $n=5$  の試料を抽出しながら10回繰り返して得られた各ロット不良率のベイス (Bayes) 推定値を示してある。枠で囲んだところに、まさしく15の不良ロットの所在がつきとめられていることになる。この150ロットについて、もし普通どおりロット毎の抜取検査を行うとすると図3の

説明の中に記載したとおり Wald の逐次計数抜取検査方式を用いても、この150ロット中の15の不良ロットを棄却するという結果を得るためには平均1ロット当り、大きさ  $n=85$  の試料を要するから、150ロットを並べてスキャン・リスキャン過程を応用したこの方式では、1ロット当り平均35個の試料の節約になることがわかる。

製品品質の検査についても、科学技術の急速且つ著しい進歩発達に伴ない、たとえば LSI(超高度集積回路) などの場合は1個、1個の製品の自動検査装置が米国などにおいてここ7、8年来開発され、殆んど一瞬間に90項目から100項目に亘ってチェックされるようになっていいるが、一方ではより経済的な品質の管理と検査と生産製造システムの制御のために前述のような数学的方法の進歩発展を欠くことは出来ないと思う。

また話はかわるが1950年当時のデミングさんの SQC (統計的品質管理) の定義と、いわゆるデミング・サイクル、また“品質は検査自体によってつくられるものではない。それは製造工程によってつくり込まれるものである”、“品

**Group Sampling Inspection**

(AQL)  $P_0 = 0.02$  (LTPD)  $P_1 = 0.10$  (N=5 SCAN NO.1.0)

BAYES ESTIMATE OF P (150 lots)

.07	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.05	.02	.02	.02	.03	.02	.02	.02
.02	.02	.02	.02	.02	.04	.02	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.03	.02	.02
.03	.02	.02	.02	.03	.02	.03	.02	.10	.10	.02	.10	.09	.02	.02	.02
.02	.02	.03	.08	.04	.02	.02	.02	.02	.10	.10	.10	.02	.03	.02	.02
.02	.03	.02	.03	.03	.03	.03	.02	.03	.10	.10	.10	.02	.03	.02	.02
.03	.03	.02	.02	.03	.02	.02	.03	.02	.10	.10	.10	.02	.02	.02	.03
.03	.03	.02	.02	.02	.03	.03	.02	.03	.10	.10	.10	.02	.02	.02	.02
.03	.03	.02	.02	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.10	.02	.02	.02	.02	.02
.02	.03	.02	.02	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.02	.04	.02	.02	.02	.02
.02	.03	.02	.02	.02	.02	.02	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.04	.03	.02

4 false positive errors in this example (3% out of 135 good lots).  
Very much superior to the pointwise SPRT ( $\alpha=.05$ ,  $\beta=.05$ )  
where  $n \approx 85$  is required on the average.

質は設計段階から設計・再設計によってより経済的に改善されていく”，等々の認識は今も変わるべきものではないが，1975年のデミングさんの論文では品質管理の推進のために整えるべき場をシステムとして捉え，次のような諸々の注意をリスト・アップしている。

〔通常よく見られる生産システムの欠陥〕

(諸々の変動原因)

- (1) 部品と組立て製品の性急な設計。原型の不十分なテストと性急に踏みきられた生産。
- (2) 投入される原材料の不十分な試験。厳し過ぎたり，ゆる過ぎたり，或いは無意味な規格。あるいは規格の放任。
- (3) “統計的安定状態”にある各工程について，その工程能力を把握しておらず，このような工程能力を量的にも，また品質の面においても知らずして契約を結ぶこと。
- (4) 生産に従事している作業員達に，彼らの行っている作業に関する統計的なシグナルを提供せず，いつ作業変更を行うべきかの統計的判断を教えるようになっていないこと。
- (5) システムの欠陥を指摘してくれるような管理図を活用せず，またシステムの欠陥を低減していくために経営管理によってとられるアクションの効果を表わす尺度として，管理図や統計的なチャート類を用いていないこと。
- (6) 統計的管理の手段・方法をかりて作業者を十分に訓練していないこと。
- (7) 慢性的に不正確な生産機械のセッティング（そのセッティングに責任ある職場の従事者の欠陥）
- (8) 信頼出来ない計測器機や試験。
- (9) 喫煙，騒音（とくに低周波の騒音は作業

者に悪影響があると思われる。（杉山注），塵，不十分な照明，温度・湿度条件の乱れ。

以上，本稿ではデミング博士との30年間の交流を想起しながら執筆した。しかし，どの業種，どの業態規模の生産企業体もそのおかれる経済環境のもとに，営存を続けるための進化と適応が必要である。また，十分大局的な視野にたつての経営が必要である。生物界における淘汰と適者生存はこの場合にもあてはまる。大波の上の中波，その上の小波さざ波管理的な品質管理とシステム制御ではいか程数学的な方法を用いてもキヤタストロフィーに陥入ることが懸念されるのである。

参考文献

- 1) W. A. Shewhart, Economic Control of Quality of Manufactured Product. 1931 (N. Y. Van Nostrand Company)
- 2) W. E. Deming, SOME THEORY OF SAMPLING. 1950 (John Wiley & Sons, INC.)
- 3) W. E. Deming, ON SOME STATISTICAL AIDS TOWARD ECONOMIC PRODUCTION, INTERFACES Vol. 5, No. 4, August, 1975.
- 4) H. Sugiyama, G. P. Moore, D. H. Perkel, Solutions for a Stochastic Model of Neuronal Spike Production, Mathematical Biosciences 8, 1970, 323—341.
- 5) 杉山 博；確率統計要論（養賢堂出版社）1971（第9章・品質管理概論，他）
- 6) R. Bellman, H. Sugiyama, B. Kashef: Applications of Dynamic Programming and Scan-Rescan Processes to Nuclear Medicine and Tumor Detection; Mathematical Biosciences 21, pp. 1~29 (1974)
- 7) 杉山 博；ダイナミック・プログラミングを用いるスキャン・リスキャン過程とその応用；システムと制御，Vol. 21, No. 5, pp. 257~266 (1977)