

# 特集にあたって<sup>†</sup>

入倉 則夫\*

ここは、ある郊外のちょっと洒落たカフェ。秋の陽射しが店内をやさしく包む。マスターを務める大手メーカーの元エンジニアと若い常連客の青年が、何やら話しこんでいる。耳を傾けてみよう。

## ものづくりにおける解析手法の最前線

青年：マスター、これが品質管理学会誌の最新号ですよ。

マスター：へえ～、品質管理学会誌が新しい手法の紹介を特集したの？ 品質管理の新しい考え方や新手法ってあるのかい？

青年：ありますよ、失礼な！ 様々な解析手法が、設計/開発、生産準備、生産の分野で活用されていますよ(表・1)

マスター：なるほど。従来、品質管理分野ではさほど使われていなかった手法を使って、いろいろな現象の解析や予測をしようとするわけだね。

青年：その通り！ ロジスティック回帰分析、SVM (Support Vector Machine, サポートベクターマシン)、SEM (Structural Equation Modeling, 構造方程式モデリング) など、経済学、心理学や画像認識の分野などでは、既に駆使されている手法も、品質管理分野では馴染みが薄く、使われていなかったわけです。

マスター：ICTの発達で、ガリガリと力ずくで計算を進める手法が、古典的な統計解析法に取って代わりつつあるというわけか。Rというフリーソフトの貢献も大きいらしいね。

青年：はい。ともあれ、面白い事例ばかりなので、読

んでみてください。

## 事例を読む前のワンポイント

マスター：戦後、日本のものづくりの発展に統計的品質管理(SQC)が貢献した功績は大きいね。その精神は、データでものを言うということだね。今回の特集は、その延長線上で、現代のSQCが、今、設計から生産準備、生産、保守に至るものづくりの現場で、どう使われているのかを産業界の事例から紹介し、品質向上に役立つ解析法の適用分野を拡大しようという趣旨だね。

### (1) 設計/開発分野の事例

マスター：吉野弘規さん((株)ホンダ技術研究所)による『ロジスティック回帰を用いた油圧式電子制御AWDシステムにおける油温判別手法の構築』は、自動車の走行安定性能向上のための解析だね。非線形の現象に、ロジスティック回帰分析が効果ありと紹介されている。

青年：表題にあるAWDシステムは、all-wheel drive 四輪駆動の略称で、自動車の前後4輪全てに駆動力を配分する機構ですよ。

マスター：そうだね。高速走行や雪道などの悪路走行に適している。以前は、ジープの代名詞だったが、今では各社から多くの車種が発売されているよ。そのシステムの出力に油温が影響することから、油温とモータ電流に着目して、油温の最適状況を判断しようとしたわけ。2値反応データにロジスティック回帰モデルを適用して、計算速度の速いシステムを作り上げた事例だ。SVMやANN(Artificial Neural Network, 人工ニューラルネットワーク)とそのコストパフォーマンス比較も紹介されていて親切だよ。ベイズ定理やクロスバリデーションについて

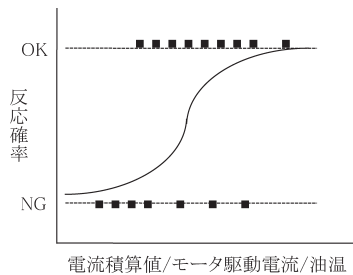
<sup>†</sup>平成26年9月22日 受付

\*職業能力開発総合大学校 生産管理系

連絡先：〒187-0035 東京都小平市小川西町2-32-1(勤務先)

表・1 事例一覧

ものづくりのプロセス	主な解析手法	標題	執筆者(所属)
設計/開発	ロジスティック回帰分析	ロジスティック回帰を用いた油圧式電子制御AWDシステムにおける油温判別手法の構築	吉野弘規 (株)ホンダ技術研究所
生産準備/生産	構造方程式モデリング	工業分野での構造方程式モデリングによる複雑な因果構造の解明	近藤 拓 (アイシン AW(株))
	サポートベクターマシン	画像処理による溶接外観検査	室崎 隆 (株)デンソー
生産	重回帰分析, カルマンフィルター, JIT モデリング	ミラープラントにおける物理・統計ハイブリッドモデル	仲矢 実ほか (横河電機(株))



図・1 ロジスティック回帰の概念図

も検討されているね。ロジスティック回帰分析は、古くから経済や医療分野の事例<sup>[1]</sup>は多いが、工業かつ判別に活用した事例は珍しいね。図・1が、2値反応データにロジスティック回帰モデルをあてはめたイメージだ。油温状態のOK、NGを、2値反応データとし、電流などの変数とその反応確率からロジスティック回帰曲線を略図化した。

(2) 生産準備/生産分野の事例1

**マスター:** 近藤拓さん(アイシンAW(株))による『工業分野での構造方程式モデリングによる複雑な因果構造の解明』は、自動車のトランスミッション(変速装置)のケースの casting 条件を決める事例だね。構造方程式モデリングは共分散構造分析, SEM(セムと読む)とも呼ばれている手法だよ。

**青年:** はい。重要な品質特性(y)とそのyに寄与する操業管理項目(x<sub>i</sub>)があります。そのxが水面下のいくつかの潜在変数から成立しているのではないかな? 心理学でよく使われる手法ですね。

**マスター:** そうだね。パス図といって、因果関係をブロック線図で表す。それを仮説(モデル)として、データが合致するか否かを適合度という統計量で、モデルの確からしさを確認するわけだ。

**青年:** 因果関係がはっきりとわからない場合でしょう

ね。

**マスター:** この事例では、ある品質特性に關与するとおもわれる数十個の特性のうち、温度A、熱交換特性A、材料特性A、材料特性Dの4つが重要であることが判明したというわけか。工場では、管理項目が少なければ少ないほど容易な管理体制をしることができる。あれもこれも管理では、技術力が無いことを露呈するようで、たまったものでない。多くの変数間の因果関係は、長年のノウハウの塊だよ。

**青年:** そうですね。時間的先行関係から因果関係を探るのがグラフィカルモデリングと言われていますね。

**マスター:** パス分析, グラフィカルモデリング, 因子分析もSEMファミリーというわけだ。回帰モデルもSEMという学者もいる。事例の表・1(p.15)に、難しそうなモデルの適合度が記載されているので、見方を簡単に記しておこう<sup>[2]</sup>。モデルの適合度とは、仮定したモデルがデータに近いか遠いかの目安のことだ。

① CFI(Comparative Fit Index)… 1に近いほどモデルの当てはまりが良い。

② AGFI(Adjusted GFI)… 1に近いほどモデルの当てはまりが良い。重回帰分析の自由度調整済み重相関係数に対応。

③ GFI(Goodness of Fit Index)… 1に近いほどモデルの当てはまりが良い。重回帰分析の重相関係数に対応。AGFI ≤ GFI

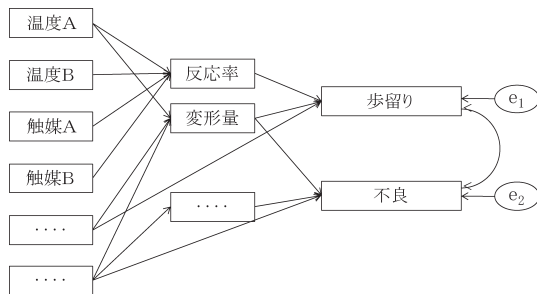
④ SRMR(Standardized Root Mean square Residual)… 0に近いほどモデルの当てはまりが良い。

⑤ RMSEA(Root Mean square Error of Approximation)… 0に近いほどモデルの当てはまりが良い。χ<sup>2</sup>統計量の改良版

**青年:** 1に近いほど、0に近いほどというのはいささか曖昧な尺度ですね。適合度の検定と言うと、χ<sup>2</sup>統計量を思い浮かべますが、なぜχ<sup>2</sup>統計量を使わない

のですか？

マスター：いや、使っていけないことはない。ただ、サンプルが多くなると、数百かな、検出力が高くなり、モデルが棄却(否定)されるわけ。痛し痒しというわけだ。わかりやすい $\chi^2$ 統計量でも良いと思うけど、これらの統計量は、あくまで目安で、最後は技術で判断しなくてはならないよ。参考として、概念図を図・2に示したが、観測できるデータや観測できないデータ(潜在変数)など、書きづらいね。それらに誤差(e)もあるだろうし。



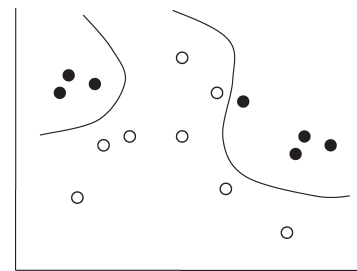
図・2 パス SEM の概念図

### (3) 生産準備/生産分野の事例2

マスター：SVMの事例もあるね。これは何だろう。  
青年：室崎隆さん((株)デンソー)による『画像処理による溶接外観検査』です。溶接部位の外観検査装置の良否判定に、線形判別では誤判定が多いので、非線形判別テクニックを導入したようです。  
マスター：画像による外観検査は、主成分分析を利用した事例が多いね。SVMは、機械学習の分野では、かなりの研究が進んでいるらしいが、インライン検査に適用したのは目新しいと思うよ。著者は、ソフト開発を含めて、苦闘したのではないかな。先駆的な取り組みに脱帽だね。  
青年：SVMって、品質管理屋には解りにくいのですが…。  
マスター：SVMは非線形判別だが、ラフに言えば、カーネルトリックと呼ばれる、高次元からの切り口で、得体の知れない超平面かな、現象を鳥瞰するわけで、非線形判別にジャンプできるわけ。古典的な多変量解析は、データの次元を下げる(圧縮する)ことを考えたが、SVMは逆だ。2次元の世界を3次元から見ると判然とすることもあろう？  
青年：???  
マスター：まあ、いい。ダージリン2ndフラッシュが冷めるぞ。

青年：はい。いつもながらのストレートが美味しい紅茶ですね。ありがとうございます。ところで、やさしいSVMの参考書はありますか？

マスター：う〜ん。SVMについては、和書[3],[4],[5]が読みやすいかな。掲載の順番に、骨が折れるよ。SVMによる●と○データの判別イメージが図・3だ。



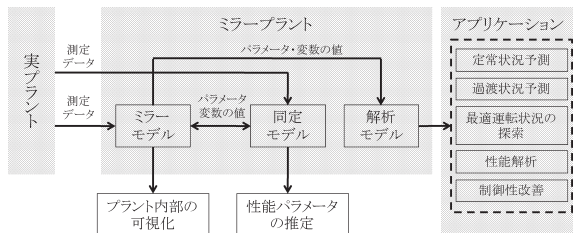
図・3 SVMによる非線形判別の概念図

### (4) 生産の事例

マスター：プラント産業の事例があるね。これは面白そうだね。  
青年：仲矢実さん他(横河電機(株))による『ミラープラントにおける物理・統計ハイブリッドモデル』です。  
マスター：ミラープラントとは、一種のシミュレータかい？最適な操業環境や条件を予測するのか？  
青年：そうです。ミラーとは、写像の意味です。石油や石油化学プラントでは、内部状況が分かりにくいので、それを可視化したいそうです。プラントのオペレータにとっては、化学反応器内の触媒や生成物を制御したいわけですが、必ずしも把握できないので、そこで、現実のプラントから制御条件の反応時の温度、圧力、流量などの諸データをオンラインで採取して、数時間後の運転状況(化学器内の触媒や反応物の状態)を予測するわけです。その予測結果から、良い運転効率を維持・向上するアクションをとるわけです。  
マスター：ほう。最適オペレーション支援システムというわけか。そのシステムのベースは物理や化学モデルだろう？  
青年：はい。そこに、統計的な加工をするわけですよ。線形モデルの重回帰分析が、従来から多く使われていましたが、予測精度を上げるためにPLS(Partial Least Squares, 部分最小二乗法)や、非線形モデル対応のためにカルマンフィルターやJITモデルが開発されているようです。JITと言って

も、トヨタ生産管理システムではありませんよ。  
 マスター：なるほど。著者は、そこに一捻りして、新しい計算方法を提案しているわけか。多重共線性の克服か。

青年：はい、M-JITと呼ぶロバスタな計算法です。Mは、あのマハラノビス距離を意味するそうですよ。図・4がミラープラントのシステム構成です[6]。同定モデルとは、実測値に合わせこむために定期的に機器の性能パラメータを推定することです。また、アプリケーションとは運転支援機能のこ



図・4 ミラープラントのシステム構成

とですよ。

マスター：以上の4つの事例は読み応えがあるね。たぶん、他にも新しい解析法も沢山あるだろうね。次の特集も期待するよ。

#### 参考文献

- [1] 丹後俊郎・山岡和枝・高木晴良(2013)：「新版ロジスティック回帰分析」，朝倉書店。
- [2] 狩野裕・三浦麻子(1997)：「グラフィカル多変量解析」，現代数学社
- [3] 小西貞則(2010)：「多変量解析入門」，岩波書店。
- [4] 麻生英樹・津田宏治・村田昇(2003)：「パターン認識と学習の統計学」，岩波書店。
- [5] 赤穂昭太郎(2008)：「カーネル多変量解析」，岩波書店。
- [6] 横河ソリューションサービス(株)(2014)：“ダイナミックプロセスシミュレータの新しい展開 操業革新を実現するミラープラント”，商品説明リーフレット。