

## 時系列データのカオスの解析法について — cos 解析法の応用 —

01006143 名古屋工業大学 大鑄 史男\* OHI Fumio  
 02202893 名古屋工業大学 鈴木 達也 SUZUKI Tatsuya  
 名古屋工業大学 石川 雄俊 ISHIKAWA Taketoshi

序.

ある対象の動きが連続的な dynamics に従っているとし、その対象に対して観測を行い時系列データを得るとする。もし、その対象に異常が生じれば、正常な場合の時系列データとは異なったものが得られるはずである。また、異常の種類が異なれば、この場合も得られる時系列データは異なったものになるはずである。

大鑄、鈴木 [3] は、このような時系列データの判別を目的として、カオス的な考え方に従った一つの簡便な手法を提案し、cos 解析法と呼んでいる。

本稿では、cos 解析法の応用可能性を調べることを目的とし、樹脂押し出し機の圧力変化データに対して適応し、樹脂押し出し機の状態を把握できるかどうかを検証する。

### 1. cos 解析法の基本的な考え方.

dynamics が相空間に描く軌道は、なめらかであり軌道上の近接した 2 点における接線の方向はほとんど同じであると考えられる。

もし対象に異常が生じれば、軌道は擾乱させられ、軌道上のごく近い二点における方向は互いにズレ始めると考えられ、この方向の違い（または同一性）を見る事で、異常の判別ができると考えられる。

相空間における軌道の方向に関する情報は、Takens の定理を用いて時系列データからその軌道を再構成することで取り出すことができる。

### 2. Takens の定理.

Takens [3] の定理から、 $n$  次元相空間における dynamics を観測することで得られた時系列データを  $x_1, x_2, \dots, x_N$  とし、 $d \geq 2n$  に対して、

$$X_1 = (x_1, x_{1+\tau}, \dots, x_{1+(d-1)\tau}),$$

$$X_2 = (x_2, x_{2+\tau}, \dots, x_{2+(d-1)\tau}),$$

...

として  $d$  次元ベクトル  $X_1, X_2, \dots$  を  $d$  次元空間にプロットすれば、元の軌道を再構成することができる。 $d$  は埋め込み次元、 $\tau$  は時間遅れと呼ぶ。従って、このようにして時系列データから再構成された軌道から方向の変化に関する情報を取り出せばよい。この方向の変化の取り出し方に関しては、Kaplan and Glass [2],

Wayland, Bromley, Pickett and Passamante [4], 五百旗頭 [1] 等のいくつかの提案があるが、アルゴリズム的に煩雑である。これに反して、大鑄 and 鈴木 [3] は、次のような簡便な量を提案している。

### 3. 大鑄 and 鈴木 [3] の量.

$X_j$  の前後の点  $X_{j-1}, X_{j+1}$  をとり、ベクトル  $X_j - X_{j-1}$  と  $X_{j+1} - X_j$  とのなす角度の余弦を考える。

$$\begin{aligned} & \cos(X_j - X_{j-1}, X_{j+1} - X_j) \\ &= \frac{(X_j - X_{j-1}) \cdot (X_{j+1} - X_j)}{\|X_j - X_{j-1}\| \cdot \|X_{j+1} - X_j\|} \end{aligned}$$

もし、元の dynamics が異常の影響を受けず、データが十分多くあれば、 $X_{j-1} - X_j$  と  $X_{j+1} - X_j$  の向きが大きく異なることはなく、これらのなす角度の余弦は 1 に近くなると期待できる。また異常の影響が大きくなれば、軌道は乱れ始め、これらの二つのベクトルがなす角度の余弦は 1 からずれていくはずである。また、異常の種類によって、余弦の値は異なるはずである。

このような考え方に従い、次のような量を考える。 $X_1, X_2, \dots$  から  $k$  個の点  $X_{i_1}, X_{i_2}, \dots, X_{i_k}$  を選び（これらを基準点と呼ぶ）、

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{(X_{i_j} - X_{i_{j-1}}) \cdot (X_{i_{j+1}} - X_{i_j})}{\|X_{i_j} - X_{i_{j-1}}\| \cdot \|X_{i_{j+1}} - X_{i_j}\|}, \\ C_s &= \frac{\sum_{j=1}^k (X_{i_j} - X_{i_{j-1}}) \cdot (X_{i_{j+1}} - X_{i_j})}{\sum_{j=1}^k \|X_{i_j} - X_{i_{j-1}}\|^2} \end{aligned}$$

とする。一番目の量  $C$  は、軌道の接線の方向の変化を推定したものである。一方、二番目の量  $C_s$  は、一番目の量を簡便化したものである。

大鑄 and 鈴木 [3] は、これらの量を代表的なカオス力学系を用いて作成したデータに適応し、異常信号の識別に応用可能であることを示唆している。

本稿では、具体的な対象である樹脂押し出し機の圧力データに適応することによって、cos 解析法の生産現場への応用可能性を探る。

### 4. 樹脂押し出し機.

樹脂押し出し機の全体像は、次の図 1 のような機械であり、図の左側に見える三本のアーム状の樹脂押し出し機と、上からの二本のアーム状樹脂押し出し機か

ら樹脂が押し出され、壁面が5層からなる円筒状のものが生成される。この円筒状のものを適当な長さに切ることによって、いろいろな樹脂の容器が作られる。

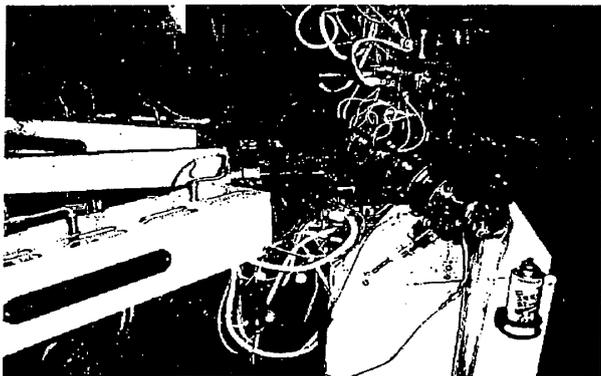


図1: 樹脂押し出し機

生成される円筒状のものには、例えば細かい粒子が混入していたり、白濁していたりする不良品が出現する。また、不良品は、一時期に大量に出現したりする。最終的な目標は、このような不良品が出現する時期をあらかじめ検知し、対応策を講じられるようにすることである。本稿では、このことに対して  $\cos$  解析法が適応可能性であるかどうかを調べる。

このために、一つの樹脂押し出し機の出口における圧力データを  $\cos$  解析にかけ、不良品が一時期に大量に出現したときと、不良品がランダムに出現しているとき（つまり、機械が正常に動いているとき）との間で  $C_s$  の値に違いがあるかどうかを調べる。

### 5. $\cos$ 解析の適応.

圧力を電圧に変換し、20ms 間隔で測定した。不良品がランダムに出現しているときと、不良品が一時期に大量にかたまっても出現したときの二種類のデータをも  $\cos$  解析にかけた結果を示す。

図2は、20分後と40分後に不良品が一度に大量に出現した時の約260,000個からなるデータに対して  $\cos$  解析を適応した結果である。 $\cos$  解析の適応の仕方は、次の通りである。

(1) 1番目から30000個のデータに対して、埋め込み次元100、時間遅れ1でベクトルを構成し、10間隔で基準点を取り、 $C_s$  を計算する。

(2) 以下同様にして、2000個ずつずらしながら  $C_s$  の値を計算し、グラフにしたものが図2である。

不良品が一度に大量に出現した20分前から大きな山が始まり、40分前から小さな山が始まっていることが見て取られる。

一方、図3は、不良品がランダムに出現していたときのデータを用いて、図2と同様にして作成したものであり、 $C_s$  の値が、0.32を中心として、安定していることがわかる。

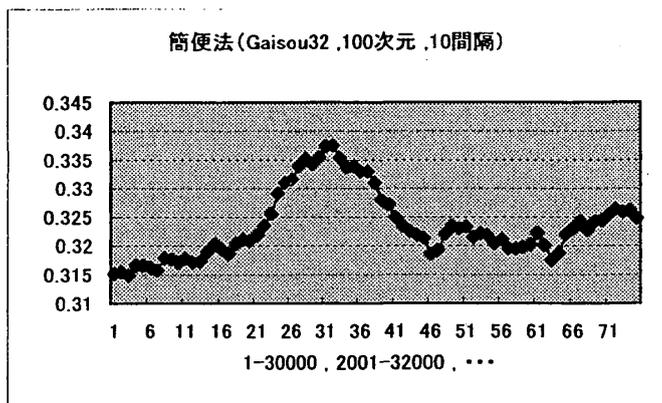


図2

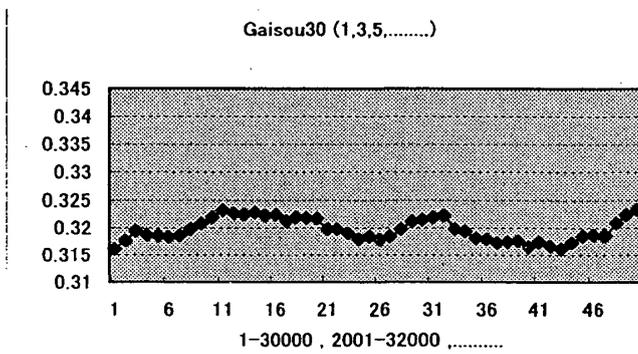


図3

### 6. 結論.

機械が安定して動いているときは、 $C_s$  の値は、0.32を中心として、安定しているが、大量に不良品が出現する前から、 $C_s$  の値が増加し始めていることがわかる。また、不良品が一度に大量に出現してくる時と、機械が安定して動作しているときとは、 $C_s$  の値に大きな違いが見られることがわかる。

### 参考文献.

- [1] 五百旗頭 (1997), 中部支部三学会講演会予稿集. [2] Kaplan and Glass (1993), Physica D, Vol.64, pp.431-454. [3] 大鏑 and 鈴木 (1999), 時系列データのカオス的解析法について—  $\cos$  解析法 —, 日本OR学会1999年度秋季研究発表会予稿集. [4] Takens (1980), Lecture Notes in Mathematics 898, Dynamical Systems and Turbulence, Warwick, eds. D. A. Rand and L. S. Young, Springer Verlag, pp.365. [5] Wayland, Bromley, Pickett and Passamante (1993), Physical Review Letters, Vol.70, No.5, pp580-582.