土木学会第52回年次学術講演会（平成9年9月）

II－140　Local approximation methodを用いた降雨時系列のカオス性の判定

九州大学大学院　学生員○中川　賢治
九州大学工学部　正　員　森山　聡之
九州大学工学部　正　員　平野　宗夫
大成建設　　　　　　　　田中　哲也

1.はじめに

近年、決定論的カオス(deterministic chaos) の認知に伴い、気象現象も含め非線形現象として取り扱われていた多くの時系列データが見直され始めている。そこで本研究では、決定論的非線形予測の一つである Local approximation method を用いて降雨時系列の予測を行い、その予測誤差の変動により降雨時系列のカオス性を検討する。

2.内容

2-1.カオス時系列の予測

予測対象となる時系列データを $\{x_t\}$ としたとき、現在の状態を埋め込み次元(Embedding Dimension) mのベクトルX_t^mとして次のように表す。

$$X_t^m = \left(x_t, x_{t-\tau}, x_{t-2\tau}, \cdots, x_{t-(m-1)\tau}\right) \tag{1}$$

ここで、τは遅れ時間である。

時系列データのアトラクタのフラクタル次元がDであれば、mはD以上である必要がある。次にX_t^mからリードタイムTの点を予測するために次式

$$X_{t+T} = f_T(X_t^m) \tag{2}$$

を満たす局所関数 f_T を推計することを考える。この関数 f_T の推計には様々な方法があるが、本研究では、Local approximation method (Sugihara and May, 1990) [1]を用いる。この手法を用いることにより予測誤差と埋め込み次元m、リードタイムTの関係からカオス性の判定が可能となる。

2-2. Local approximation method

まず最初に、m次元相空間上で時刻tにおける点のX_t^mから $t' < t$ の条件のもとで、$X_{t'}^m$と近いものをk個捜し出す。そして、そのk個の点の時間T後の値を調べ、以下のk個の点の指数重みつき平均の式を用いて予測値を算出する。

$$X_{t+T} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \exp(w_i) X'_{t_i+T}}{\sum_{i=1}^{k} \exp(w_i)} = \frac{e^{w_1} X_{t'_1+T} + e^{w_2} X_{t'_2+T} + \cdots + e^{w_k} X_{t'_k+T}}{e^{w_1} + e^{w_2} + \cdots + e^{w_k}} \tag{3}$$

ここで、w_iは各々のk個の点からX_t^mまでの距離に依存する重みである。

この手法による予測精度から、以下に述べるような二種の手法でカオス判定を行う。

2-2-a.最適な埋め込み次元推定によるカオス判定

埋め込み次元mに対し1ステップ先の予測値と実測値との誤差を調べるものである。Casdagli(1989) [2]は、時系列がカオスであるならば埋め込み次元mを増加していった際、予測誤差が最小となる埋め込み次元 m^* の出現後急激に予測誤差が増大するが、白色雑音ならばそのような変動は見られないことを明らかにしている。

2-2-b.予測精度の持続性によるカオス判定

予測精度の持続性、つまり誤差とリードタイムTの関係から、予測精度の低下がTの指数関数オーダーならばカオスであると判定するものである。このとき予測精度の持続性の評価には相関係数を用いる。

キーワード：決定論的カオス、Local apprroximation metod、降雨時系列
連絡先：〒812　福岡市東区箱崎6-10-1　tel 092-642-3289

2-3.降雨時系列への適用

解析には、図-1-(a),(b)に示す福岡管区気象台で観測された1890年1月から1990年12月までの月雨量（データ数1212個）、および雲仙岳測候所で観測された1990年1月1日から1995年7月31日までの日雨量（データ数1673個）の時系列を用いる。また、それぞれ単位時間当たりの変動量も解析の対象とする。ここで、遅れ時間τの決定には自己相関係数が最初に0近傍を示したときの値、kは$k=m^*+1$として解析を行う。

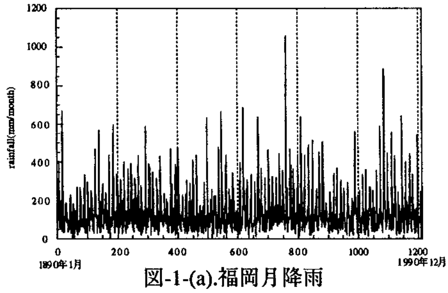

図-1-(a).福岡月降雨

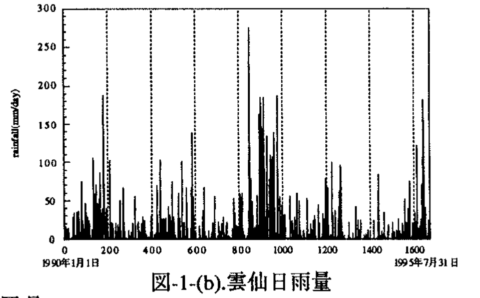

図-1-(b).雲仙日雨量

図-2に各埋め込み次元と予測誤差の結果を示す。福岡月雨量時系列データでは、最適な埋め込み次元m^*は求められず、埋め込み次元の増加につれて予測誤差が減少している。他の時系列データもm^*は与えられるものの、予測誤差の増加はあまり顕著ではない。そして、二つの単位時間変動量時系列データは、ある埋め込み次元を過ぎたところで予測誤差が一定になっている。加えて、これらの予測誤差の動き方は、カオス時系列にfractinal Brownian motion（以下fBmと略記）を加えた時系列と類似しており、雲仙日雨量時系列データはカオス時系列に白色雑音を加えた時系列と類似している。

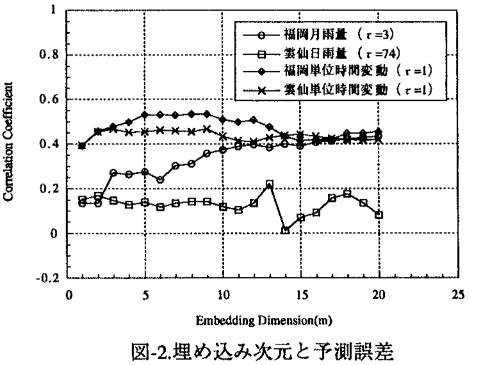

図-2.埋め込み次元と予測誤差

また、図-2よりそれぞれ時系列の最大の相関係数をとる埋め込み次元をm^*として、予測精度の持続性を調べた結果を図-3に示す。福岡月雨量、雲仙日雨量時系列データともに局所的には増減は見られるものの、全般的にはほぼ一定の値を中心とした変動を示しており、カオス性を示す特徴は見られない。また、両者の単位時間変動量時系列データも同様である。

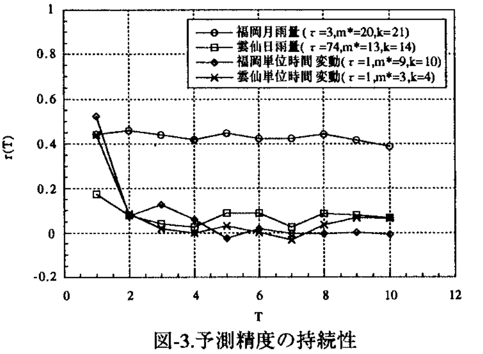

図-3.予測精度の持続性

3.結論

福岡月雨量、雲仙日雨量およびそれぞれの単位時間当たりの変動量の時系列に2-2節に示した解析手法を適用した結果、降雨時系列にカオス性を示す特徴はみられなかった。しかし、埋め込み次元に対する予測誤差の変動から、カオス時系列にfBm、白色雑音を加えた時系列に類似していることが分かった。カオス時系列解析において誤差成分の与える影響は非常に大きなものであるため、降雨時系列観測時における測定誤差の低減を考慮した解析を行う必要があると考えられる。

参考文献

1) G.Sugihara. and R.M.May : Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series, Nature,344, 734-741, Apr., 1990.

2)M.Casdagli : Nonlinear Prediction of Chaotic Time Series, Physica D, 35, 335-356, 1989.