



Title	非線形時系列データ解析 : 4. "MemCalc"を用いた経済学分野の時系列データの解析
Author(s)	大友, 詔雄; Ohtomo, Norio; 寺地, 三朗 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 161, 29-38
Issue Date	1992-10-16
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42324
Type	departmental bulletin paper
File Information	161_29-38.pdf



非線形時系列データ解析

— 4. “MemCalc”を用いた経済学分野の時系列データの解析 —

大友 詔雄* 寺地 三朗** 田中 幸雄***

(平成4年6月30日受理)

Nonlinear Time Series Analysis

— 4. An Analysis of Time-Series Data in Economic Branches by The Use of “MemClac” —

Norio OHTOMO, Saburou TERACHI and Yukio TANAKA

(Received June 30, 1992)

Abstract

Time-series data in economic branches, such as variations of the Dow-Jones average price by Nippon-Keizai-Shinbunsha, international airline passengers, house constructions, automobile accidents resulting in injury or death, and sales of a goods in drug-stores, are analyzed by the use of MemCalc system (see paper 2 in the present series). Power spectral densities (PSD's), autocorrelation functions and the best fitting curves for these time-series data are calculated by MemCalc. Examples of forecasts are also demonstrated.

1. はじめに

経済現象は、複雑な相互作用の均衡・不均衡の繰り返しによって、時間とともに不規則に変動する時系列として観測されるが、本質的には物理現象と同様に、ある決定論的な変動に基づいていると考えられる。このことは、第1報で述べたように、我々が経済時系列データ解析を行なう際の問題意識でもあり、また、我々が提起している方法が立脚している考え方でもある。 “MemCalc”システム¹⁻⁴⁾は、こうした経済学、金融、ビジネスなどの分野の時系列データの解析の強力な道具になる。

主要な経済時系列データの解析は、国家の政治・経済の動向や生産・流通などの産業の根幹を分析するという点で重要であるだけでなく、統計学や非線形データ解析などの学問分野においても興味深い内容を有している。このため、これまで多くの解析方法と詳細な解析結果が報告されている。とりわけARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average: 自己回帰和分移動平均) モデルで知られるボックス-ジェンキンス・モデルは定評ある方法で、広く用いられている⁵⁻⁷⁾しかしながら、ARIMA モデルは簡便さに欠け、またその限界もあって、より適用領域の

*) 北海道大学工学部原子工学科

**) 北海道工業大学経営工学科

***) ㈱諏訪トラスト

広い新しい簡便な解析方法の確立が望まれていた。“MemCalc”システムはこの要請に応える新しい方法である。

本報は、“MemCalc”システムを用いて、ダウ平均株価、航空機乗客数、住宅建設件数、自動車事故損害保険件数、商品出荷数などの経済分野の時系列データを具体的に解析した結果について報告する。

2. 時系列データ

本報告では、経済分野の時系列データとして、図-1に示すダウ平均株価、航空機乗客数、住宅建設件数、自動車事故損害保険件数、商品出荷数の5種類の時系列データを解析する。

ダウ平均株価：図-1(a)は、日本経済新聞社による1977年10月から1988年11月までの月毎の134ヶ月間の日経ダウ平均株価 (the Dow-Jones average price) の終値ベースのデータである。データ値は「エコノミスト」誌 (日本経済新聞社刊) からとった。

指数関数的な上昇トレンドに乗った周期構造をもつ基底変動上に、不規則変動成分 (ゆらぎ) が重なっているかなり複雑な時系列である。このゆらぎが白色雑音であるのかそうでないのか、即ち、どのような特性をもつゆらぎかという点は学問的にも興味深い。また、株価が本質的に予測可能かどうかということについても、このゆらぎ特性に基づいて、論じることができ、経済上の最大の感心事にも結びつく。MemCalc システムは、こうしたことについての知見を得る方法としては極めて優秀かつ簡便である。

航空機乗客数：図-1(b)は、米国の航空機乗客数の1949年1月から1960年12月までの月毎の変動データである。データの出所はBox-Jenkinsの書 (文献5) である。

このデータの特徴は、非線形な上昇トレンドに乗った、暫時増大する振幅をもった明瞭な周年サイクルの周期変動である。MemCalc による解析結果は、これまでの方法では得ることのできなかったこうした時系列の構造的特徴に関する知見

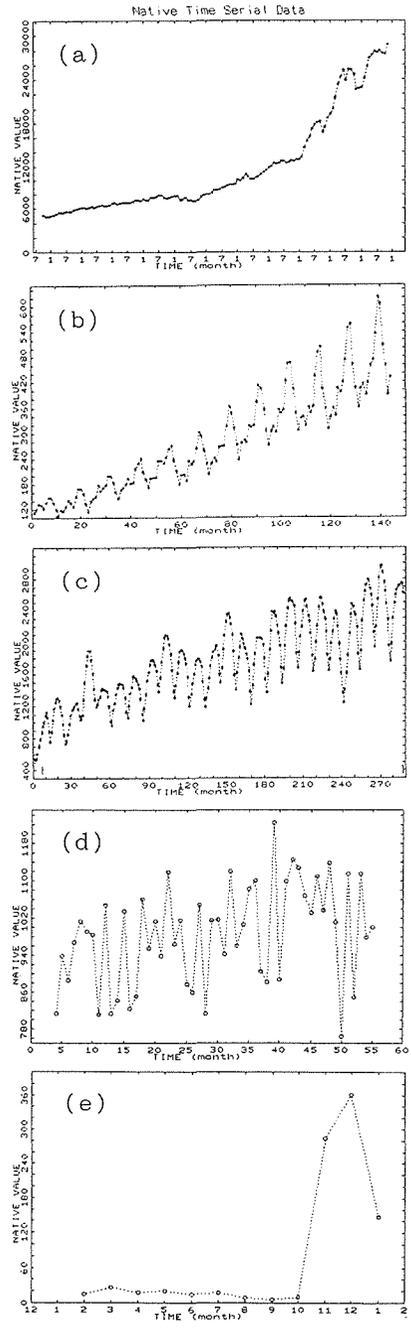


図-1 時系列データ

- (a) 日経ダウ平均株価
- (b) 米国の航空機乗客数
- (c) 米国の新規住宅建設数
- (d) 日本のある保険会社における自動車事故損害保険の対人保険件数
- (e) 北海道のある地域の薬チェーン店全体のある商品の売上個数

を与える。

住宅建設件数：図-1(c)は、1947年1月から1968年12月までの月毎の米国の新規住宅建設データである。データの出所は文献6である。このデータは、明瞭な12ヶ月サイクルの周期変動もっている。同時に、上昇トレンドに乗った4～5ヶ月周期の循環変動も見られる。これまでの解析では、この循環変動については十分解析されていない。

自動車事故損害保険件数：図-1(d)は、日本のある保険会社における自動車事故損害保険の対人保険件数である。4月を起点とした月毎の52点、ほぼ4ヶ年半のデータである。全体に上昇トレンドがあるものの、月単位でかなり不規則に変動しており、周期的構造的な存在するかどうかは即断しかねるデータである。

商品出荷数：MemCalcは、商品在庫管理や販売実績などの流通分野での経営管理情報処理システムとしても利用できる。1例として、図-1(e)に示す商品の月毎、1年間の出荷数を解析対象とする。これは、北海道のある地域の薬局チェーン店全体のある商品の売上数である。この商品は2月に初めて市場に出されたが、その後8ヶ月ほどして売上が急増し、データの変動パターンとしても特異なものになっている。在庫管理上からはこの後の売れ行きがどうなるかという点に感心が集中するが、簡単には予測しかねるものである。

データ解析上からは、データ数が12点と少ない上に、終わりの3点目で突然立ち上がるという極めて異常な時系列であり、従来はこうした時系列が解析対象になることはまず考えられなかった。MemCalcはこうした時系列の解析も可能にしている。

3. 解析の方法

前述の5種類の時系列データについて、最大エントロピー法(MEM: Maximum Entropy Method)と非線形最小二乗法を結合させた汎用時系列データ解析システムであるMemCalc(詳細については文献2あるいは4などを参照されたい)を適用し、スペクトル解析(パワースペクトル密度(PSD: Power Spectral Density)及び自己相関関数の計算)と非線形最小二乗解析(最適あてはめ曲線の計算)を行ない、時系列データの周期的構造を明らかにする。

4. PSDと自己相関関数

図-1に示された時系列データに関するPSDと自己相関関数が、図-2に示されている。上から順に、ダウ平均株価、航空機乗客数、住宅建設件数、自動車事故損害保険件数、商品出荷数の時系列データに対するPSD(左)と自己相関関数(右)である。

ダウ平均株価：このデータのように、非線形な(指数関数的)上昇トレンドが顕著に見られる(図-1(a)の場合には、前処理として対数変換を行ない、得られた修正時系列データ(図-3(a)の点線)を解析対象とするほうが都合よい。指数関数的に上昇するトレンドを1次関数によって傾向線処理できるからである。

得られたPSD(図-2(a))には、127ヶ月の周期(ピーク位置の周波数値の逆数)の卓越ピークの他に無数のピークが観測されている。これらのピークの周期値をピーク振幅の大きい順に5つまで、書き下すと次のようになる: 127.74(相対強度1), 36.94(同0.003), 12.95(同0.001), 22.59(同0.0005), 10.01ヶ月(同0.0002)。指数関数的に上昇するトレンドに、これらの周期をもつ周期関数を重畳したものが株価の基底変動を構成していると考えられる。

PSDの裾野は、高周波数領域(>0.2)を除きほぼ周波数の“-1乗”で遙減している。これは

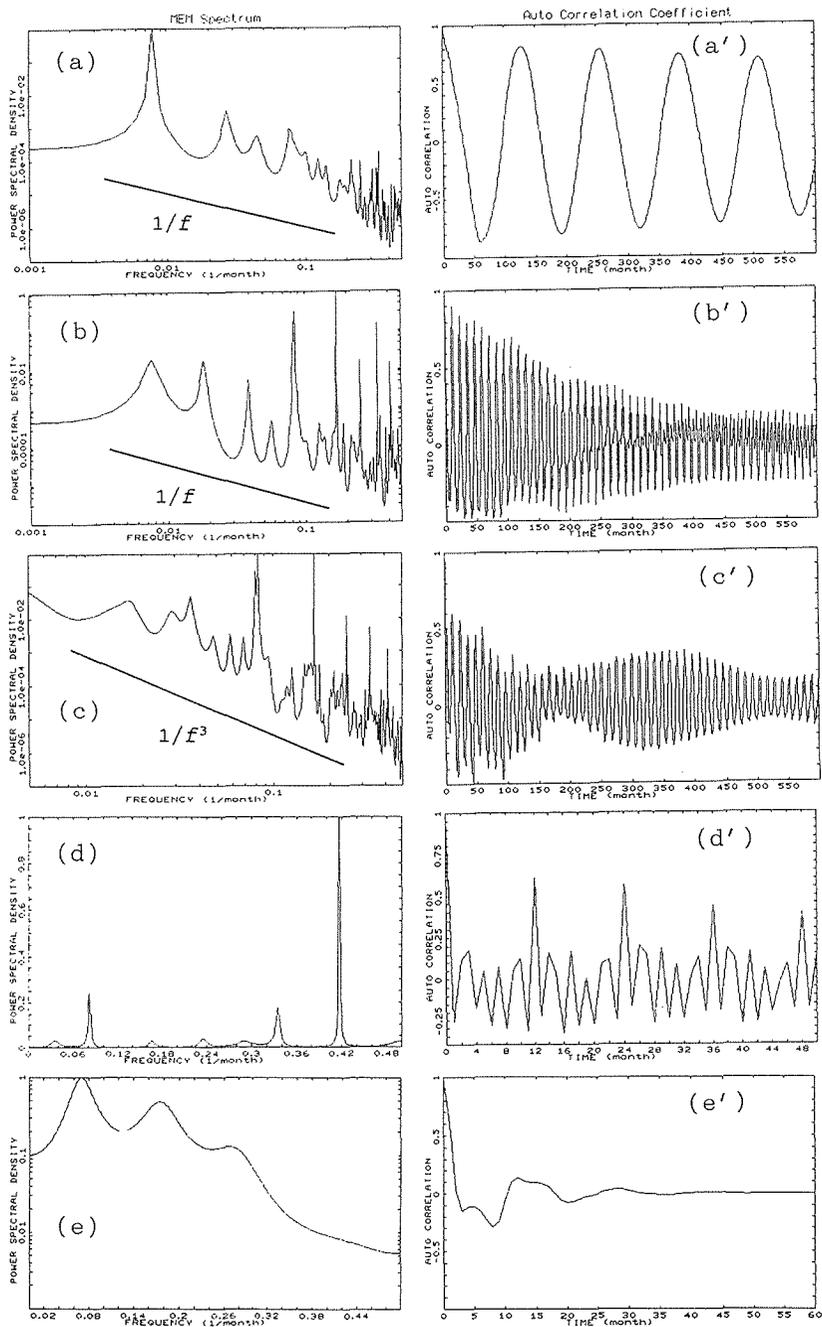


図-2 MEM-PSD (a)-(e)と自己相関関数(a')-(e')

- (a), (a') 日経ダウ平均株価
- (b), (b') 航空機乗客数
- (c), (c') 住宅建設件数
- (d), (d') 自動車事故損害保険件数
- (e), (e') 商品出荷数

興味深い結果である。もしこの“ $1/f$ ”特性がカオス現象に由来するものであれば、株価は短期的に予測可能であることを意味する。

自己相関関数(図-2(a'))の変動パターンは、卓越周期の影響が顕著であり、その他の周期成分の影響はごく僅かに見られるに過ぎない。

航空機乗客数：このデータも非線形な上昇トレンドが見られる(図-1(b))ので、前処理として対数変換を行なって得られた時系列データ(図-3(b))の点線を解析対象とする。

得られたPSD(図-2(b))には、無数の鋭いピークが観測される。これらのピークの振幅の大きい順に5つまで、その周期値を書き下すと次のようになる：5.89(相対強度1), 11.89(同0.309), 3.01(同0.159), 130.61(同0.020), 54.40ヶ月(同0.020)。特徴的には、3ヶ月、半年、1年などの季節変動の他に、4年半(54ヶ月)、11年(130ヶ月)などの循環変動が観測されている。

また、PSDの裾野がほぼ周波数の“ -1 乗”で逓減している。こうなる理由は、一体何であるのか、このこのことを突き止めるのは興味深い。

自己相関関数(図-2(b'))の変動パターンは、これらの周期成分に対応したものとなっている。とりわけ3つの季節変動モードの影響が顕著である。

住宅建設件数：このデータの上昇トレンドの非線形性は、先の航空機乗客数の場合よりも弱く、前処理として対数変換は必ずしも必要ではないが、ここでは対数変換した時系列データ(図-3(c))の点線を解析対象とした。

図-2(c)に示されるPDSは、航空機乗客数の場合と同様に無数の鋭いピークが観測されている。これらのピークに対応する周期値は、ピーク振幅の大きい順に、6.01(相対強度1), 11.90(同0.889), 56.74(同0.063), 26.76(同0.046), 4.01ヶ月(同0.045)となっている。ここでも、4ヶ月、半年、1年といった季節変動と、ほぼ2年(27ヶ月)、5年(57ヶ月)などの循環変動が見られる。

一方、PSDの裾野の減衰は大きく、ほぼ周波数の“ -3 乗”で逓減している。これは航空機乗客

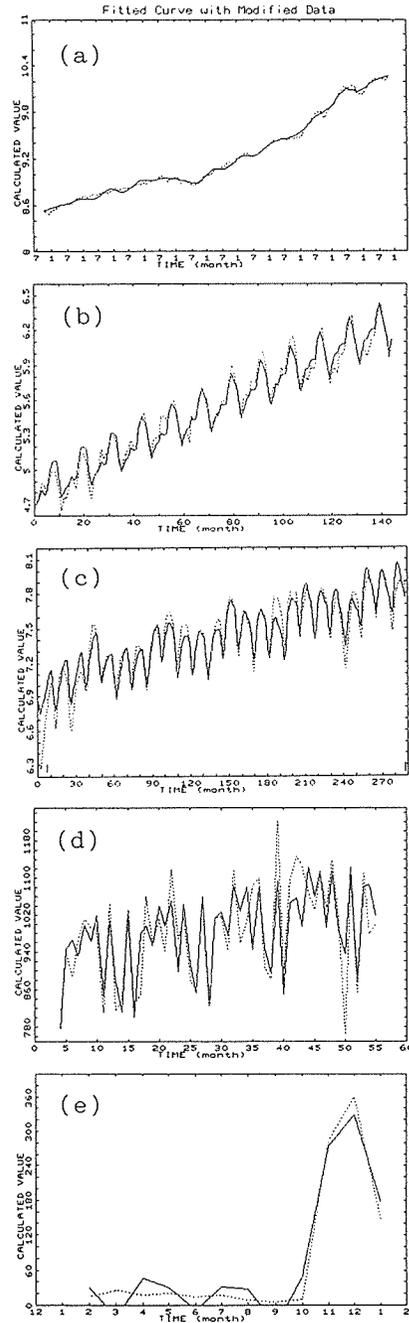


図-3 時系列データ(破線)と最適あてはめ曲線(実線)

- (a) 日経ダウ平均株価
- (b) 航空機乗客数
- (c) 住宅建設件数
- (d) 自動車事故損害保険件数
- (e) 商品出荷数

数の場合（ほぼ周波数の“－1乗”で逓減）と違う点であるが、実はこの違いはスペクトルとしては全く異質なものであることを意味する。

自己相関関数（図-2(c')）の変動パターンは、これらの周期成分に対応したものとなっている。PSDの2つの卓越ピークによる特徴的なビート構造が観測されている。

自動車事故損害保険件数：解析対象時系列データは、図-1(d)に示されたそのままのものを用いた。得られたPSD（図-2(d)）には、周期値2.40ヶ月の卓越ピーク（相対強度1）が観測される他、ピークの振幅の大きい順に見ると、その周期値は、12.20（相対強度0.243）、2.98（同0.177）、4.25（同0.038）、6.05ヶ月（同0.030）となっている。特徴的には、1年、3ヶ月といった季節変動が現われていることがわかる。2.4ヶ月の周期をもつ卓越ピークの由来は不明である。

自己相関関数（図-2(c')）の変動パターンは、これらの周期成分に対応した規則性の強いものとなっている。とりわけ1年毎に顕著な正の相関が見られる。

商品出荷数：データ数が12点と少なく、時系列変動パターンも極めて異常であるが、全体としてパルス関数に近く、スペクトルは比較的平坦になるものと予想される。

得られたPSDは、図-2(e)に示されるように、3つのピークが観測され、対応する周期値は、ピーク振幅の大きな順に、14.25（相対強度1）、5.71（同0.484）、3.75ヶ月（同0.132）であるが、ピーク幅が広く全体にゆったりと変動する特有の形状になっている。

このPSDの形状は、自己相関関数に強い相関がない（図-2(e')）という事実と整合的である。

5. 最適あてはめ曲線

MemCalcシステムの最小二乗フィッティング・ルーチンを用いて計算された最適あてはめ曲線が図-3に示されている（点線：時系列データ、実線：最適あてはめ曲線）。(a)はダウ平均株価、(b)は航空機乗客数、(c)は住宅建設件数、(d)は自動車事故損害保険件数、(e)は商品出荷数の時系列データに対する結果である。

ダウ平均株価：図-3(a)は、PSDピーク位置から求めた5つの周期値127.74、36.94、12.95、22.59、10.01（単位：月）を用いて得られた結果である。この場合の最適あてはめ曲線は、指数関数的な上昇トレンドに乗った周期構造をもつ原時系列のトレンドを十分良く再現している。これが平均株価の基底変動を示すものであるが、基本的に単調増加でありこれから株価の変動についての詳細な知識を得るのは難しい。

従って、この基底変動に重なっているゆらぎ成分について、更に解析を進めることが望ましい。このために、原時系列データと最適あてはめ曲線との差として得られる残差の時系列データを、ふたたびMemCalcによって解析する必要がある。これについては、次節で検討する。

航空機乗客：図-3(b)は、対数変換された航空機乗客数の時系列に対し、MEM-PSDから求めた周期値の中から、ピーク振幅の大きなものに対応する周期値を3つ（11.89、5.98、3.01ヶ月）選び、それらを用いて計算した結果である。

このデータの特徴は、非線形な上昇トレンドに乗った、振幅を暫時増大させる明瞭な周期変動であったが、計算された最適あてはめ曲線はこの独特の変動パターンを十分に再現している。

住宅建設件数：図-3(c)の住宅建設データについては、対数変換された時系列データに対して、PSDから得た5つの周期値（56.74、26.76、11.90、6.01、4.01ヶ月）を用いて最適あてはめ曲線を計算した。

得られた最適あてはめ曲線は、原時系列に見られる不規則な変動を含め概ね再現し尽くしてい

る。

自動車事故損害保険件数：図-3(d)には、MEM-PSD から得られた周期値の中から、大きなピーク振幅に対応する3つの周期値(12.20, 2.98, 2.40ヶ月)を用いて計算した最適あてはめ曲線が示されている。

このデータは、先に指摘したように、一見全く不規則で、周期構造が存在するとは考えられない時系列であった。MemCalcによって求められた結果は、見事に周期構造が抽出されている。即ち、5月から10月にかけて分離されない3つの極大と、12月および3月の孤立した2つの極大というパターンを1年サイクルで繰り返している。こうした周期構造が解明された意義は大きい。

商品出荷数：この時系列データは、データ数が少なく、しかも、終わりの3点目で突然立ち上がる極めて異常な時系列であった。このような時系列が再現できるものかどうかは大変興味深い。

図-3(e)は、MEM-PSD から得られた3つの周期値(14.25, 5.71, 3.75ヶ月)を用いて計算された最適あてはめ曲線が示されている。原時系列の変動パターンは基本的に再現されている。この結果は、MemCalcがこの種の時系列データの“周期構造”でさえ、解析することが可能であることを示している。

6. 残差の時系列データの解析

残差の時系列データは、原時系列データの基底変動部分を取り除かれた、非周期的なゆらぎ成分である。従って、この残差の時系列データを解析することによって、ゆらぎに関する知見が得られる。ここでは、日経ダウ平均株価について検討する。

対数変換された原時系列データ(図-3(a)の点線)から最適あてはめ曲線(同図の実線)を差し引き、残差の時系列データ(図-4(a))を得る。これが平均株価の月単位のゆらぎである。極めて不規則に上昇・下降を繰り返す“ランダム変動”である。この残差の時系列データを再びMemCalcの解析対象とする。

図-4(b)に残差の時系列データに対するPSDが示されている。これから明らかなように、残差の時系列データのPSDは、11.6(相対強度1)、43.9(同0.92)、15.7(同0.43)ヶ月などの周期値をもつ周期的変動を示すピークが観測されているが、周波数領域全体にわたって、周波数の“ -1 乗”で逓減している、即ち、“ $1/f$ -スペクトル”になっている。このことは、株価のゆらぎ(不規則変動)は“間歇性カオス”として扱う可能性を示唆するものである。このカオス性の検証は更にいろいろな角度から進められる必要がある。

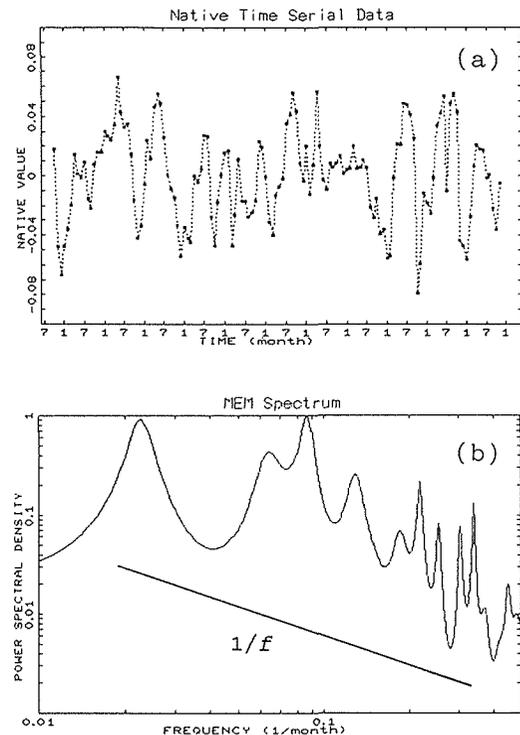


図-4 日経ダウ平均株価の残差の時系列データの解析

(a) 残差の時系列データ

(b) 残差の時系列データに対する PSD

るが、もし株価のゆらぎが“間歇性カオス”であれば短期的な予測可能性は否定できない。

7. 予測解析

時系列データのある時点での実現値は、その時点以前(過去)の履歴と無関係ではない。通常、過去の履歴は現在と未来に影響を与える。ウィナーの予測の理論の立脚点はまさにこの点にあった(第1報参照)。従って、与えられた時系列データの不規則変動を支配しているメカニズム(規則性あるいは法則性)を突き止めることによって、現象の本質的な性質や将来の動向に対する洞察を得ることができることになる。これは経済分野では極めて重要な課題であり、これまでに様々な予測解析システムが提起されてきた。先に述べた Box-Jenkins の方法も、こうした予測解析に関する代表的システムの一つである。

さて、MemCalc システムは、予測解析システムの“エンジン”としても用いることが出来る。この本格的な利用については、本シリーズでも紹介する予定である。ここでは、経済時系列データの予測解析の例として、円レートの変動予測と航空機乗客数の変動予測の結果について紹介する。

対米ドル円レートの変動予測：対米ドル円レートの変動(図-5の白抜き四角)について、1988年1月から1990年11月までの3ヶ年を解析区間として、MemCalc を用いて解析し、得られた解析結果に一定の統計処理を加えて、予測区間1990年12月から1991年12月までのほぼ1ヶ年間の予測曲線を求めた(実線)。図に示された3本の予測曲線は、上から順に予測値上限、最適予測、予測値下限である。予測結果は1991年8月までの実績とよく一致している。

航空機乗客数の変動予測：先に解析した航空機乗客数の変動時系列データ(図-1(b))について、

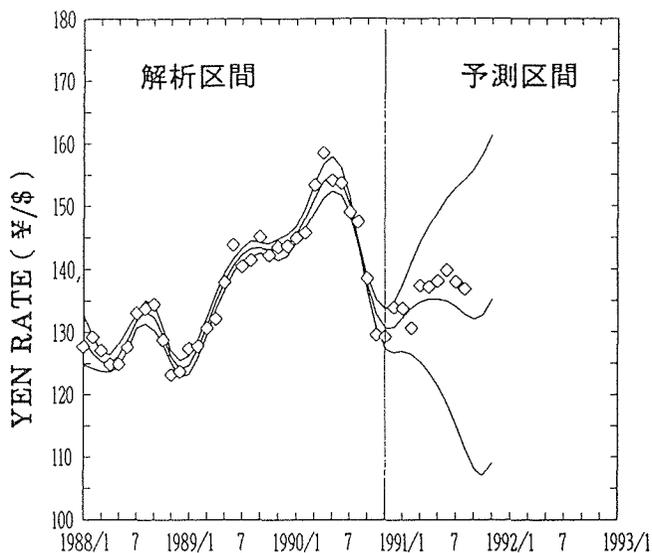


図-5 対米ドル円レートの変動予測

1949年1月から1957年6月までを解析区間として、その後1960年12月までの42ヶ月にわたる予測区間の変動曲線を求め、実際の時系列データとの比較を試みた(図-6(a))。

予測区間の3つの連続する山の左側が高い値を示す傾向があるが、ピークの高さや谷について

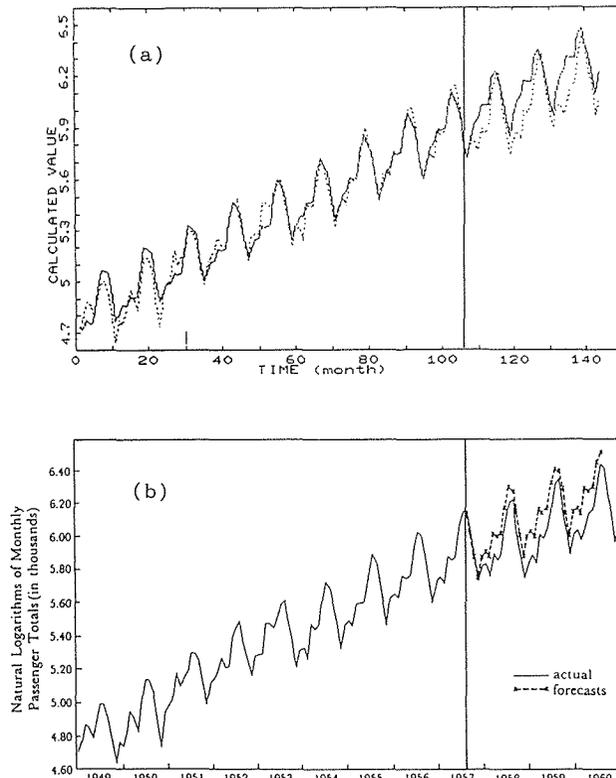


図-6 航空機乗客数の変動予測

(a) MemCalc システムによる結果

(b) ARIMA モデルによる結果⁵⁾

は、実際の変動時系列を十分良く再現できている。

一方、図-6(b)は、同じ時系列データについて、Box-Jenkins の書(文献6, Fig.9.2)に報告されている ARIMA モデルによる予測結果である。解析区間は我々の解析区間と同じであるが、予測区間は1957年7月から36ヶ月である。ARIMA モデルの結果は、予測区間の3つの山を再現しているものの、実際の変動値よりも系統的に高い値で推移する結果となっている。

図-6の結果からわかるように、MemCalc による予測結果は、ARIMA モデルと同等もしくはそれを凌ぐものになっている。尚、MemCalc システムでは、例えば、図-6(a)の結果を得るのに要する解析時間は、数値演算プロセッサ搭載の32ビット・マシンで、10数秒である。

8. 引用文献

- 1) 大友詔雄, 寺地三朗, 田中幸雄: 非線形時系列データ解析 1. 解析法と基礎理論, 北海道大学工学部研究報告, 第158号, (1992), 43 [第1報]
- 2) 田中幸雄, 大友詔雄, 寺地三朗: 非線形時系列データ解析 2. 汎用時系列データ解析システム "MemCalc" の構成, 北海道大学工学部研究報告, 第160号, (1992), 11 [第2報]
- 3) 大友詔雄, 寺地三朗, 岩佐浩克, 田中幸雄: 非線形時系列データ解析 3. "MemCalc" を用いた理工学分野の時系列データの解析, 北海道大学工学部研究報告, 第160号, (1992), 25 [第3報]
- 4) 三宅浩次監修, 高橋延昭, 神山昭男, 大友詔雄編: 生物リズムの構造—MemCalc による生物時系列データの解析—, (1992), 富士書院

- 5) Box G. E. P. & Jenkins G. M. : Time Series Analysis-forecasting and control- (1976), Holden-Day.
- 6) W. ヴァンデル著, 蓑谷千鳳彦・広松毅訳, 時系列入門, (1988), 多賀出版
- 7) 広松毅・浪花貞夫, 経済時系列分析, (1990), 朝倉書店