

“ゆらぎ”状態の系の特性と確率構造

STOCHASTIC PROCESS ON PROPERTIES OF THE STATE OF "FLUCTUATION" IN TRANSPORTATION DEMAND

堤 昌 文 *・樗 木 武 **

by Masafumi TSUTSUMI and Takeshi CHISHAKI

In this paper, the properties of the state of "fluctuation" are described by 13 indices of statistic, and are classified by using the methods such as Principal Component Analysis and Hierarchical Cluster Analysis. Then, judgement on the stochastic process by using properties of the state of fluctuation is verified as compared with theoretical results. Consequently, the propriety of judgement is confirmed. Furthermore, it makes clear the relations between the properties of the state of "fluctuation" and the stochastic process. Similarly, the relations among prediction models (AROP model, M.M. method model), prediction precision and the stochastic process are given.

Keywords: the properties of the state of "fluctuation", stochastic process, discrimination function, prediction precision

1. まえがき

宇宙論で登場するインフレーションを引き起こすヒッグス場のゆらぎ¹⁾,あるいは物理現象での熱的ゆらぎ,身近なところでは人間の生理的リズムにおけるゆらぎおよび我々の生活している都市や,あるいは地域社会の成立に不可欠な交通現象もゆらぎを呈している。これらの“ゆらぎ”現象は,それぞれのシステムにおける秩序形成にほかならない。

本研究では上述した交通現象の一つである交通輸送需要の時間の経過をゆらぎ状態の系として捉え,これを対象とする。ここで,ゆらぎを強調するのは,ゆらぎ状態の系の保有しているゆらぎの特性に着目

し,これらの特性を利用することで不確定性を包含した交通輸送需要の需要予測モデル²⁾に役立てており,後述する他の事項をも含んで予測理論の展開の基本的概念としているためである。

そこで,本研究では航空の旅客と貨物,海運,カーフェリー,陸上の自動車,旧国鉄および私鉄等を網羅する交通輸送需要 153例が示すゆらぎ状態の系に関し,その予測モデルを確立する一環として,次のことを行うものである。交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系は不確定性を有しており,予測に際しては適用的中率,効率性は予測精度との関係から重要になる。この観点から,ゆらぎ状態の系の特性を使用して系の確率構造の種類,つまり,確率的性質を判断することにより,モデルの的中率や効率性の向上を目指すものであり,そのことを通して判断の妥当性の検証を行うと共に,系の特性,確率構造,

* 正会員 西日本工業大学講師 工学部土木工学科 (800-03 福岡県京都郡菟町新津1633)

** 正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科 (812 福岡市東区箱崎6丁目10-1)

交通需要予測モデル（AROPモデル，季節型月別平均法）²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾および予測精度の4要素間の相互の関係についても論ずるものである。

2. ゆらぎ状態の系の特性

ARIMA (autoregressive integrated moving average) モデルにみられるように，従来の予測モデルは与えられた需要量より直接予測するプロセスで展開されている。このため交通輸送需要が我々の社会生活の秩序形成のためのゆらぎ現象とする概念としてゆらぎ状態の系の予測問題を考える場合，モデル選定等で問題が残されている。そこで，本研究では，ゆらぎ状態の系が保有している情報，つまり，系の特性を最大限に活用することで，予測のプロセスのフレームの中で予測モデルの適用性を考える。

(1) 各指標の定義と意味

上述の考えにそって，ゆらぎ状態の系の特性を表わす指標を図-1のように定める。この指標に関しては，報告⁶⁾の経緯があるが，2指標の定義式を若干変更したので改めて述べる。大きさは(1)周期性，(2)ゆらぎの大きさ，(3)ゆらぎの形態，(4)分布の型の4つの群の中にそれぞれ13指標を設定している。前者

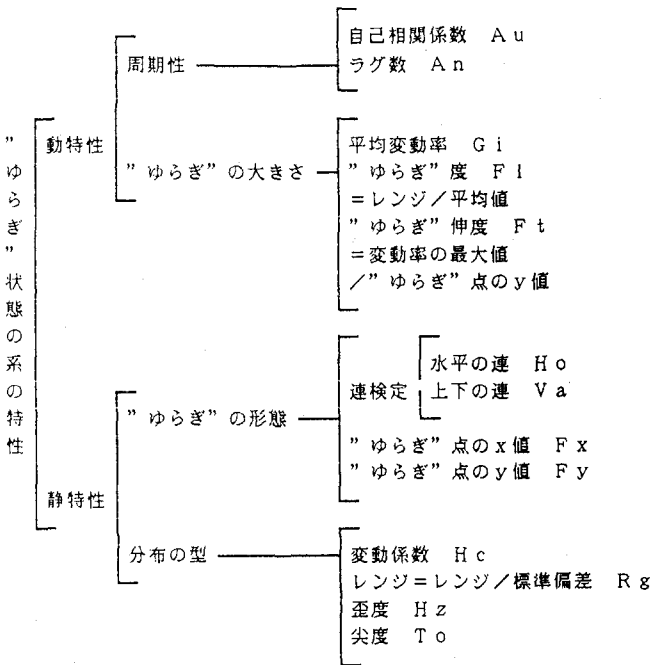
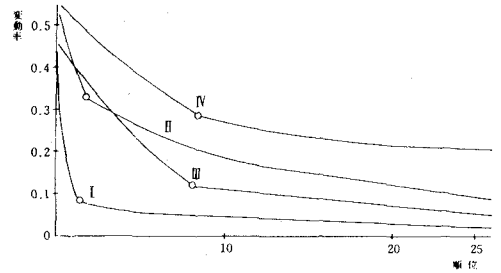


図-1 “ゆらぎ”状態の系の特性を構成する各指標



I：変動率の大きな部分は少なく，しかも，全体的に変動率が低い。

II：変動率の大きな部分は少なく，他の変動率は全体的に高い。

III：変動率の大きな部分が多く，他の変動率は低い。

IV：変動率の大きな部分が多く，しかも，全体的に変動率が高い。

図-2 変動率曲線の概念図

の(1),(2)はゆらぎの動特性，後者の(3),(4)はゆらぎの静特性と呼んでおり，以下，各指標を説明する

$$F_1 = R_x / x \quad \text{----- (1)}$$

$$F_c = F_m / F_y \quad \text{----- (2)}$$

F_1 ：ゆらぎ度， R_x ：レンジ， x ：確率過程の平均，

F_c ：ゆらぎ伸度， F_m ：ゆらぎ状態の系の最大変動率， F_y ：ゆらぎ点の y 座標値

自己相関係数は確率過程 $x_t = X_t - \bar{x}$ と変換して求めており，最大自己相関係数に決定している。ラグ数はこれに対応するものである。平均変動率，式(1)

のゆらぎ度の両者ともゆらぎの大きさを表わしているが，前者が系全体の平均的なゆらぎに対して，後者は系の最大振幅だけに着目している点が相違する。式(2)で示されるゆらぎ伸度は最大変動率とゆらぎ点（後述する）の y 座標値との比であるからゆらぎ点に対する変動率の大きさを意味し，これもゆらぎの大きさを表わす。水平の連については，前者がある基準値に対して上方側あるいは下方側にどの程度の連が存在するかで系の形が決まり，後者は系を構成する実測値の階差をとり，その符号から連を決めるため，系の局所的な増減傾向を確認できることから，これも系の形を示す。ゆらぎ点の x 値と y 値（座標値）は，図-2に示すようなゆらぎ状態の系が示す変動率曲線において曲線の接線勾配が大きく変化している点の座標値で，曲線の形から決まるもの

であり、系の特徴を掴める。図-2は変動率曲線の概念図で4タイプに表せる。変動係数、レンジは通常統計学で使用されているもので分布のバラツキの尺度であり、歪度と尖度については分布の対称性と平坦性を表しており、これら4指標とも分布の型に分類する。

(2) ゆらぎ状態の系の構造

ゆらぎ状態の系の特性を表す指標を使用して主成分分析により、系の特性を明確にすると共に、系の相互の類似性にもとづいてクラスター分析を行い類型化を計る。

ゆらぎ状態の系の13指標間の相関関係をみると、変動係数では正の相関で平均変動率と0.954、ゆらぎ度と0.930等が強い関係にある。歪度では正の相関で尖度と0.747、ゆらぎ度と0.601、ゆらぎ度では正の相関で平均変動率と0.890と強い相関がみられるが、他の指標間には差程強い関係のものはない。

逆に、負の相関で強い関係の指標間がなく、敢えて言えるのは平均変動率と水平の連との-0.319が挙げられる。

主成分分析の結果として、主成分の寄与率をみると第1主成分で22.7%、第2主成分で14.6%、第3主成分で10.4%であり累積寄与率は第3主成分までで考察を行う。第3主成分までの因子負荷量については図-3のように要約できる。第1主成分では、プラス側にゆらぎ度0.944、変動係数0.923、平均変動率0.877、マイナス側に水平の連-0.343、上下の連-0.124、ラグ数-0.118である。プラス側はゆらぎ度と平均変動率の2指標で解釈すればゆら

ぎの大きさを表し、マイナス側はラグ数の解釈から周期性を示している。これらから第1主成分全体ではゆらぎの動特性を表していると解釈できよう。

第2主成分では、プラス側に水平の連0.703、ラグ数0.610、マイナス側にゆらぎ点のy値-0.280、自己相関関数-0.251である。プラス側は値の大きな水平の連から、また、マイナス側はゆらぎ点のy値からゆらぎの形態すなわち第2主成分では、ゆらぎの静特性を表しているとみることができる。第3主成分では、プラス側に上下の連0.586、マイナス側にゆらぎ度-0.480であり、プラス側はゆらぎの形態、マイナス側はゆらぎの大きさと解釈し、第3主成分全体でゆらぎの大ききの形態性を表す。

次に、主成分スコアを使用しクラスター分析により、ゆらぎ状態の系の特性の類似性を類型化した。

その結果A~Gまでの7グループに分けられた(図-4参照)。この類型化された7グループの特性は、主成分分析結果の第1、2主成分の組み合わせで考察すると第1主成分のゆらぎの動特性でマイナス側の周期性を表している領域にA~Eのグループが存在する。つまり、A~Eのグループのゆらぎ状態の系は規則性を備えたゆらぎである。同じくプラス側はゆらぎの大きさを表しており、この領域にF、Gのグループが存在する。このプラス側にはゆらぎの大ききの大きな系が集中している。類型化されたグループの特徴を各グループの平均の特性とゆらぎ状態の系の153例の平均値および文献⁴⁾等の数値で比較検討すれば表-1のように整理できる。

7グループ間では、当然のことながら周期性を示す領域にあるA~Eとゆらぎの大きさを示すF、Gとは特性に大きな差異がみられる。

3. ゆらぎ状態の系の確率構造

ゆらぎ状態の系の従来からの予測モデルには、Box-Jenkinsにより開発されたARIMAモデルが広く普及している。このモデルは、確率構造の種類で言う定常確率過程と非定常確率過程のいずれにも適用可能であるが、モデルの選定、傾向変動への配慮および季節変動への対処などで問題がある²⁾。このARIMAモデルは、ゆらぎ状態の系の全体的な変化、つまり、基準状態の変化がLevelの変化およびLevelとSlopeの変化をもつ系

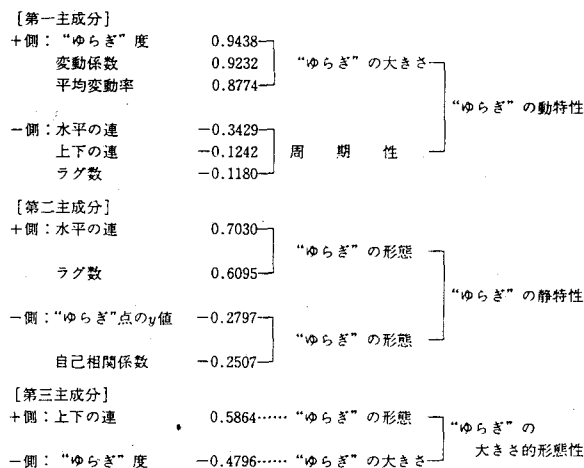


図-3 各主成分の因子負荷量と解釈

表一 1 類型化された“ゆらぎ”状態の系の特性

類型化されたグループ	“ゆらぎ”状態の系の特性値	“ゆらぎ”状態の系の特性
A	歪度 0.323 尖度 3.510 “ゆらぎ”点のx値 3.489 “ゆらぎ”点のy値 0.102 水平の連 20.878 上下の連 36.426 変動係数 0.138 レンジ 4.746	静特性：分布は正規化正規分布にやや近く、バラツキはやや小さな分布で変動率の高い部分は少なく、全体的に変動率曲線は低い形態をしている。
	ラグ数 9.021 “ゆらぎ”度 0.658 平均変動率 (0.109<0.165)	動特性：周期は長く、全体的に“ゆらぎ”の大きさはやや小さい。
B	歪度 -0.241 尖度 3.730 “ゆらぎ”点のx値 2.753 “ゆらぎ”点のy値 0.052 水平の連 28.375 上下の連 38.500 変動係数 0.066 レンジ 5.049	静特性：分布は正規化正規分布にやや近く、バラツキは極く小さな分布で変動率の高い部分は少なく全体的に変動率曲線は極く低い形態をしている。
	ラグ数 9.500 “ゆらぎ”度 0.256 平均変動率 (0.051<0.165)	動特性：周期は長く、全体的に“ゆらぎ”の大きさは非常に小さい。
C	歪度 0.173 尖度 3.405 “ゆらぎ”点のx値 4.310 “ゆらぎ”点のy値 0.156 水平の連 14.154 上下の連 34.077 変動係数 0.243 レンジ 7.265	静特性：分布は正規化正規分布にやや近く、バラツキは大きな分布で変動率の高い部分は平均的で、全体的に変動率曲線はやや低い形態をしている。
	ラグ数 3.692 “ゆらぎ”度 1.192 平均変動率 (0.201>0.165)	動特性：周期は短く、全体的に“ゆらぎ”の大きさは大きい。
D	歪度 0.147 尖度 2.762 “ゆらぎ”点のx値 4.782 “ゆらぎ”点のy値 0.142 水平の連 22.667 上下の連 33.833 変動係数 0.207 レンジ 4.608	静特性：分布は正規化正規分布に近似し、バラツキはやや大きな分布で変動率の高い部分は少なく、全体的に変動率曲線はやや低い形態をしている。
	ラグ数 8.167 “ゆらぎ”度 0.984 平均変動率 (0.177>0.165)	動特性：周期はやや長く、全体的に“ゆらぎ”の大きさはやや大きい。
E	歪度 -0.581 尖度 3.667 “ゆらぎ”点のx値 3.490 “ゆらぎ”点のy値 0.132 水平の連 10.000 上下の連 34.500 変動係数 0.207 レンジ 4.616	静特性：分布は正規化分布にやや近く、バラツキはやや大きな分布で変動率の高い部分はやや多く、全体的に変動率曲線はやや低い形態をしている。
	ラグ数 1.000 “ゆらぎ”度 0.961 平均変動率 (0.167>0.165)	動特性：周期は非常に短く、全体的に“ゆらぎ”の大きさは境界の値とはほぼ同じである。
F	歪度 1.311 尖度 5.250 “ゆらぎ”点のx値 3.303 “ゆらぎ”点のy値 0.206 水平の連 21.333 上下の連 36.333 変動係数 0.384 レンジ 4.826	静特性：分布は正規化正規分布でなく、バラツキは大きな分布で変動率の高い部分はやや少なく、全体的に変動率曲線は高い形態をしている。
	ラグ数 8.333 “ゆらぎ”度 1.451 平均変動率 (0.291>0.165)	動特性：周期はやや長く、全体的に“ゆらぎ”の大きさは大きい。
G	歪度 0.852 尖度 3.513 “ゆらぎ”点のx値 6.553 “ゆらぎ”点のy値 0.245 水平の連 17.500 上下の連 32.667 変動係数 0.461 レンジ 4.259	静特性：分布は正規化正規分布にやや近似、バラツキは非常に大きな分布で変動率の高い部分は平均的で、全体的に変動率曲線はやや低い形態をしている。
	ラグ数 5.500 “ゆらぎ”度 1.958 平均変動率 (0.365>0.165)	動特性：周期はやや短く、全体的に“ゆらぎ”の大きさは非常に大きい。

の階差をとることによって定質（均質）な定常確率過程を求め、このことにより非定常確率過程（定常確率過程と非定常確率過程を以後、簡単に定常過程と非定常過程と呼ぶ）への適用が可能になる。このように非定常過程を Level とか Slope といった表現を使っているが、この概念が明確化されているものではない。

そこで、本研究では、予測モデルの適用上に合理

性をもたせるために、上述した不明確さを避け確率構造を判断するとともに、前述したゆらぎ状態の系の特性を使用することを考える。確率構造は、ゆらぎ状態の系の確率的性質を指しており、定常過程と非定常過程に分かれる。これを交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153例の特性にもとづいて判別する。また、定常過程と非定常過程とを演算子を使用した複素方程式から理論的に求めることができるため、ゆらぎ状態の系の特性による判別関数の妥当性が検討できる。なお、敢えて、ゆらぎ状態の系の特性による判別関数を使用する理由は、理論的に求めるには後述するモデル適用後に判明すること、あるいは自己相関係数とパラメータの関数により得られる非線形方程式を解くことなど、実用上に問題がある。交通輸送需要が示すゆらぎ状態の形の153例に対するAROPモデルの予測精度が20%未満であるか否かを外的基準として判別関数 P_0 で求めれば判別関数 P_0 式(3)のようである。

$$P_0 = 0.268H_z + 7.740 G_1 - 2.272 A_0 - 0.022H_0 - 0.027V_u + 0.275 \quad \text{-----(3)}$$

ただし、 H_z ：歪度、 G_1 ：平均変動率、 A_0 ：自己相関係数、 H_0 ：水平の連、 V_u ：上下の連

定常過程と非定常過程のしきい値は零で、正側は非定常過程で負側は定常過程となり、群別重心で1.158，-0.410，的中率は70.0%，81.4%である。また、判別関数は平均変動率と0.81，強い相関があり、この定常過程と非定常過程に分類された結果を図-4に示す。交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153例のうち前者113例と後者40例に分かれる。

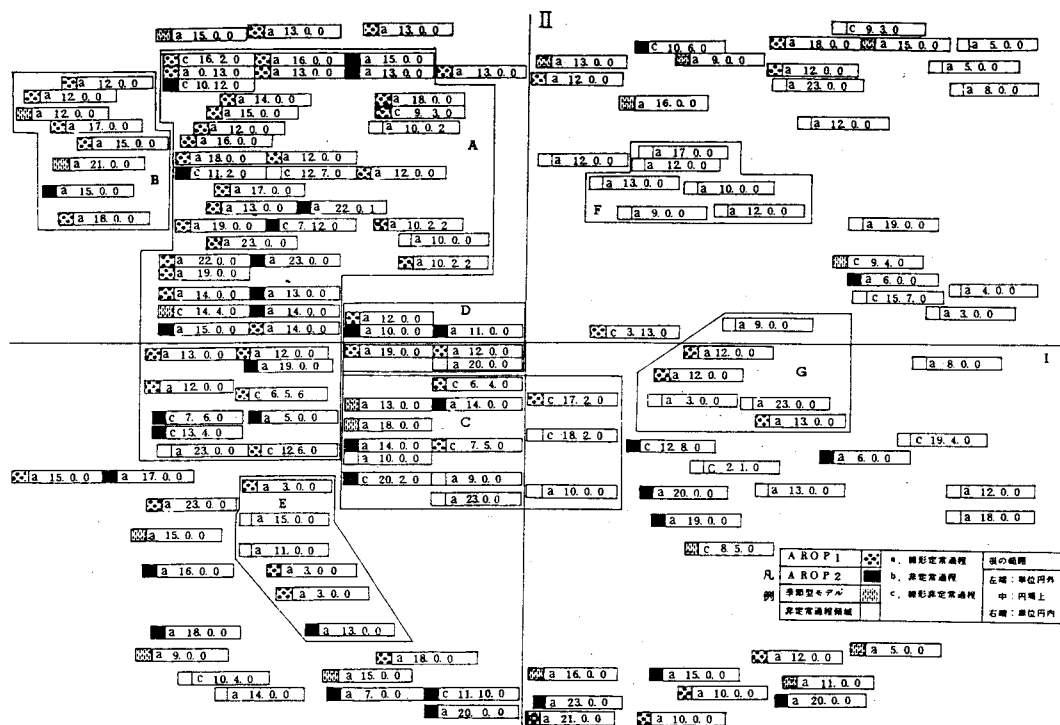


図-4 “ゆらぎ”状態の系の特性と確率過程のタイプ

ゆらぎ状態の系の特性の主成分スコアを使用して同ような判断をする判別関数 P_p をも求めれば式(4)を得る。

$$P_p = 1.063Z_1 - 0.269Z_4 - 0.221Z_5 + 0.176Z_6 + 0.274Z_7 - 0.372Z_8 + 9.186Z_{12} + 0.006 \quad (4)$$

ただし、 Z_1 : ゆらぎの動特性 (第1主成分), Z_4 : 周期的・変化度の形態性 (第4主成分), Z_5 : ゆらぎの大きさの動特性 (第5主成分), Z_6 : 周期的・ゆらぎの大きさの形態性 (第6主成分), Z_7 : 変化度のゆらぎの大きさ (第7主成分), Z_8 : 変化度の・分布のゆらぎの大きさ (第8主成分), Z_{12} : 分布の型的静特性 (第12主成分)

P_p と同様に、しきい値は零で、正側是非定常過程、負側は定常過程となり、群別重心1.210と-0.429, 的中率70.0%, 81.4%である。また、判別関数 P_p とゆらぎの動特性 (第1主成分) と0.80といった強い相関が認められる。

次に、理論的に定常過程か非定常過程かを検討する。いま、後進演算子 ${}^{7)}a$ を式(5)のように、また、後進差分演算子 ${}^{7)}b$ を式(6)のように記述する。

$$\begin{aligned} Bx_t &= x_{t-1} \\ B^m x_t &= x_{t-m} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \nabla x_t &= x_t - x_{t-1} = (1-B)x_t \\ \nabla^d x_t &= (1-B)^d x_t \end{aligned} \quad (6)$$

この時、従来からARモデル, MAモデル, ARM AモデルおよびARIMAモデルの各予測モデルを定義すれば次の通りである。

ARモデル:

$$\begin{aligned} \Phi(B)x_t &= \xi_t \\ \Phi(B) &= 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \end{aligned} \quad (7)$$

MAモデル:

$$\begin{aligned} x_t &= \psi(B)\xi_t \\ \psi(B) &= 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \end{aligned} \quad (8)$$

ARAMAモデル:

$$\Phi(B)x_t = \psi(B)\xi_t \quad (9)$$

ARIMAモデル:

$$\Phi(B)\nabla^d x_t = \psi(B)\xi_t \quad (10)$$

自己回帰演算子, 移動平均演算子の各モデルに含まれる $\Phi(B)$, $\psi(B)$ をさらに、一般の自己回帰演算子 $\Psi(B)$ とすることで次のようにその内容が分類できる。① $\Psi(B) = 0$ のすべての根が単位円

の外側に存在する、 $2 \Psi(B) = 0$ のすべての根が単位円の内側に存在する、 $3 \Psi(B) = 0$ のd個の根が単位円上に残りのすべての根が単位円の外側に存在する。

1 は線形定常過程を、2 は非定常過程を、3 は線形非定常過程を表している^{7) 8)}。

交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153 例にAROPモデル^{2) 3) 5)}を適用した結果 ϕ_i を用いて複素方程式を解き、理論的な確率構造を求めた。この結果を図-4に示したが、上述の線形定常過程をa、非定常過程をb、線形非定常過程をcとして付記した。また、単位円の外側、単位円周上および単位円の内側に存在する根の数についても、先の記号の右側に示している。

以上のゆらぎ状態の系の特性を使用して得られる判別関数の確率構造、つまり、確率的性質の判断結果と前述の理論的に求めた結果とを検討すれば以下の通りである。すなわち、判別関数側からみた両者の一致率は、交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153 例中100 例で65.4%であり、誤判別（不一致率）は53例、34.6%である。しかし、定常過程領域の誤判別は適用上の有効性に重点をおいて考えれば、上述の誤判別の中でも、予測精度が良好なゆらぎ状態の系が存在する。この良好な系は、適用上に関していえば、とくに、支障とはならないので、この良好な系を誤判別から除外すれば、一致率は、ゆらぎ状態の系の153例中120例 78.4%となり、誤判別は33例、21.6%となる。この結果から判断して、ゆらぎ状態の系の特性を使用しての判別関数による方法は、妥当性をもっているといえよう。

4. 確率構造の相互作用

予測モデルの適用性を検討していく過程で、ゆらぎ状態の系の特性、系の確率構造（確率的性質）、予測モデルおよび予測精度の相互の関係を図-5のように考えて明らかにする必要がある。

(1) ゆらぎ状態の系の特性と予測精度

前述したゆらぎ状態の系の特性をもとに主成分分析を行った結果と、AROPモデル^{2) 3) 5)}および季節型月別平均法⁴⁾の予測精度結果の関係をみてもみる。図-4の第1主成分と第2主成分で考察すると、ゆらぎの大きさを表す第1主成分のプラス側には、

交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153 例中58例で、その中の30例（30/153=19.6%）、51.7%が予測の精度範囲の20%未満に含まれている。同様にマイナス側で比較的周期性を示す領域にあるゆらぎ状態の系が95例あるが、予測の精度範囲20%未満のものは83例（83/153=54.2%）、87.4%を占める。第2主成分では、ゆらぎの形態性を示すプラス側で予測の精度範囲の20%未満のゆらぎ状態の系が81例中60例（60/153=39.2%）、74.1%あり、マイナス側では72例中53例（53/153=34.6%）、73.6%含まれる。このように第2主成分のゆらぎの形態性を表す場合は、ほぼ同程度であり、つまり、ゆらぎの動特性は、予測精度に強く影響しているといえる。

(2) ゆらぎ状態の系の特性と確率的性質

ゆらぎ状態の系の特性を使用して構築した判別関数から得られた確率構造、つまり、確率的性質の判断結果と理論的に求めたものとを、ここでは図-4の主成分軸上で考察する。判別関数での結果では、第1主成分において、ゆらぎの大きさを示すプラス側に交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153例中58例が存在し、そのうち30例、51.7%が定常過程と判別され、58例中28例、48.3%が非定常過程で、逆に、周期性を示すマイナス側にゆらぎ状態の系の95例中83例、87.4%が定常過程と判別され、12例、12.6%が非定常過程である。一方、第2主成分のゆらぎの形態性では、交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153 例の中でプラス側に81例中60例、74.0%が定常過程と判別され、21例、25.9%が非定常過程である。マイナス側では、72例中53例、73.6%が定常過程、19例、26.4%が非定常過程となる。これから、ゆらぎ状態の系の動特性のうち周期性を保有

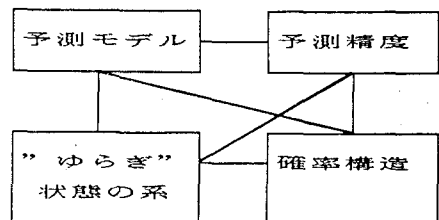


図-5 “ゆらぎ”状態の系の特性、確率構造、予測モデル、予測精度の相互の関係

する側に定常過程が多く存在することから、定常過程は、言い換えると秩序の中の乱れと表現できる。逆に、ゆらぎの大きさ側は、乱れの性質をもつものと考えられ、非定常過程を示す。

理論的な結果については、上述と同様に第1主成分のプラス側に58例中47例、81.0%が定常過程、11例、19.0%が非定常過程であり、マイナス側は95例中80例、84.2%が定常過程、15例、15.8%が非定常過程である。第2主成分では、プラス側に81例中70例、86.4%が定常過程、11例、13.6%が非定常過程であり、マイナス側は72例中57例、79.2%が定常過程、15例、20.8%が非定常過程である。このように判別関数と理論的結果との間には、第1主成分のプラス側（ゆらぎの大きさ）で若干の差異があるが（これは同定期間で定常過程の動きを示すが、予測期間で急激に変化するゆらぎ状態の系も存在すること等による。）、マイナス側、第2主成分等はほぼ同じで、上述の判別関数の解釈に集約される。

(3) ゆらぎ状態の系の特性と予測モデル

図-4に示すようにゆらぎ状態の系の特性の主成分上への各予測モデルの分布状態をみる。交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153例に対し、第1主成分でプラス側のゆらぎの大きさの領域では、58例存在し、その中で予測モデルのAROPモデル²⁾³⁾は21例(21/153=13.7%)、36.2%、季節型月別平均法⁴⁾は9例(9/153=5.9%)、15.5%、および非定常過程28例(28/153=18.3%)、48.3%である。一方、マイナスの周期性領域には95例中AROPモデル²⁾³⁾⁵⁾で74例(74/153=48.3%)、77.9%、季節型月別平均法⁴⁾9例(9/153=5.9%)、9.5%、および非定常過程12例(12/153=7.8%)、12.6%である。全体的な傾向としては周期性領域にAROPモデルが多数を占め、ゆらぎの大きさの領域に非定常過程がやや占める。第2主成分（ゆらぎの形態性）においてプラス側は、ゆらぎ状態の系の81例中AROPモデルで51例(51/153=33.3%)、63.0%、季節型月別平均法9例(9/153=5.9%)、11.1%および非定常過程21例(21/153=13.7%)、25.9%である。一方、マイナス側は、72例中AROPモデルで44例(44/153=28.8%)、61.1%、季節型月別平均法9例(9/153=5.9%)、12.5%および非定常過程19例(19/153=12.4%)、26.4%である。第2主成分では、

系の特性に関連しての予測モデルの特徴はなく、全体的に分布している。

(4) 確率構造と予測モデル

ゆらぎ状態の系の特性による判別関数の判断と理論的に求めた結果とを予測モデルについて検討する。AROP1モデル²⁾では、ゆらぎ状態の系の59例を分担しており、これを両者の一致率でみると51例、86.4%であり、誤判別は8例、13.6%である。AROP2モデル²⁾⁵⁾では、36例中27例で一致率75.0%で誤判別は9例、25.0%、季節型月別平均法⁴⁾での一致率は18例中15例、83.3%、誤判別は3例16.7%である。非定常過程は、40例を判別し、そのうち7例、17.5%の一致率を示し、誤判別は33例、82.5%になる。このように、各予測モデルはほぼ定常過程の性質をもつものと言える。非定常過程の誤判別が高いのは、上述の(2)でも述べたような理由(33例)等による。

(5) 確率構造・予測精度・予測モデル

確率構造と予測精度の関係では、ゆらぎ状態の系の特性による判別関数の結果、ゆらぎ状態の系の113例(113/153=73.9%)が定常過程で予測の精度範囲は20%未満、40例が非定常過程で精度範囲は20%以上である。理論的に求めた場合は、ゆらぎ状態の系の127例(127/153=83.0%)が定常過程で、その中の25例、19.7%が予測の精度範囲20%以上、一方、26例が非定常過程で、その中で予測の精度範囲が20.0%以上に6例、23.1%存在する。定常、非定常過程の両者とも不良な精度の比率はほぼ同じである。

予測モデルと予測精度の関係では、予測モデルであるAROPモデル²⁾³⁾⁵⁾の95例、季節型月別平均法⁴⁾18例はそれぞれゆらぎ状態の系の153例に対して、上述の予測精度範囲の20%未満であるので、これらの定常過程のモデルは精度的にも良好な結果を示すとみてよい。

5. あとがき

交通輸送需要が示すゆらぎ状態の系の153例について、ゆらぎ状態の系の特性による確率構造を判断する判別関数を構成して、理論的に求めたものとの検証を行い、また、ゆらぎ状態の系の特性、確率構造、予測モデルおよび予測精度の相互の関係も論じ

，予測モデルの適用性に関する一連の考察を行ったもので，以下の事項が得られた。

(1) ゆらぎ状態の系の特性を13の統計的指標で表現することで，系の特性を計量的に捉えることができ，ゆらぎ状態の系の分析に有効に活用できる。

(2) ゆらぎ状態の系の特性を用いて系の全体的な構成に関し考察し，また，7グループに類型化することにより系の全体像を明らかにした。

(3) ゆらぎ状態の系の特性と予測精度の関係から，ゆらぎ状態の系の動特性が予測精度に強く影響を与えていることが分かった。とくに，ゆらぎの大きさの領域で予測精度が悪く，反対に周期性の領域で良い結果となる。

(4) ゆらぎ状態の系の特性を用いて，系の確率構造の判断に判別関数を求め，これを一般の自己回帰演算子の複素方程式を解くことによる理論的な結果と比較検討した。その結果約80%の一致率を得たので，その妥当性はあると考える。この判別関数を活用することで，予測モデルの適用性に合理性をもたせることができ，しかも，予測の効率性，的中率を向上させることができる。

(5) ゆらぎ状態の系の特性と確率的な性質の関係は，ゆらぎの動特性のうち周期性の領域に定常過程が多く存在し（判別関数，理論の結果とも全体の半数），ゆらぎの大きさの領域には定常，非定常過程はほぼ同程度の存在である。ゆらぎの形態性は，とくに確率的性質の特徴はない。

(6) ゆらぎ状態の系の特性と予測モデルの関係は，ゆらぎの動特性のうち周期性の領域にAROPモデルが全体の半数を占め，他のモデルは同程度の分布状態である。

(7) ここで示した予測モデルのAROPモデル，季節型月別平均法は，当然であるが定常過程を示し，またこれらのモデルは予測精度で良好な結果（153例中113例）を示す。確率構造からいえばゆらぎ状態の系は定常過程のものが多く，予測精度との関係では定常過程が若干よい。なお，判別関数による結果に従えば，非定常過程に20%以上の悪い予測精度のものが集まっている。

参考文献

1) 佐々木 節：インフレーション宇宙のダイナミ

ミックスと密度ゆらぎの形成，数理科学，No. 27 6, pp.30 36, 1986.

2) 堤 昌文，樗木 武：交通輸送需要の時系列システムとAROPモデル，土木学会論文報告集，投稿中。

3) 吉田 信夫，堤 昌文：AROPモデルの検証，土木学会第36回年次学術講演会概要集，第4部，昭和56年10月。

4) 堤 昌文，樗木 武：季節型月別平均法 交通需要予測，土木学会第41回年次学術講演会概要集，第4部，昭和61年11月。

5) 堤 昌文，樗木 武：AROP2モデルによる交通需要予測，土木学会西部支部研究会講演概要集，昭和61年度，3月。

6) 堤 昌文，樗木 武：“ゆらぎ”状態の系の特性と予測問題，土木学会第42回年次学術講演会概要集，第4部，昭和62年9月。

7) 藤田 睦博：線形系の解析，土木学会誌，1月号，1978。

8) 長谷部 正彦：Box-Jenkinsの理論による非定常降水時系列の解析と予測について，土木学会論文報告集，第261号，5月，1977年。