

審査の結果の要旨

氏 名 鈴木 健 二 郎

本論文は「On a non-linear risk analysis based on the theory of KM_20 -Langevin equations (KM_20 -ランジュヴァン方程式論に基づく非線形リスク解析について)」と題し、5章からなる。実験数学の理論である KM_20 -ランジュヴァン方程式論に新たに付け加える理論的な部分として、 KM_20 -ランジュヴァン方程式論における階数有限の揺動過程に対する非線形情報解析を行い、もとの確率過程に対する非線形情報空間の新たな生成系を構成し、それに基づいた非線形予測公式を確立した。その時系列解析への応用として、非線形予測誤差を用いたリスク関数を導入し、時系列の異常を予測誤差関数の挙動で捉え、アメリカ、イギリスおよび日本の株式市場指数、血清クレアチニン濃度と地震波の時系列データを扱い、時系列データの異常の前兆を捉える実証分析を行った。従来のTest (ABN)では、時系列の異常を定常性の破れの度合いで捉え、定常関数と異常関数の挙動で時系列の異常の前兆を捉えるものであったが、本論文で用いられるリスク関数はTest (ABN)では捉えきれない大域的異常を捉えることができ、Test (ABN)と併用することによって、複雑系現象に現れる時系列のリスク解析への応用を示した。

第1章「Introduction(序文)」では、時系列の異常の前兆を捉える時系列のリスク解析において、時系列の異常をどのように数学的に定義し、それをどのように定量的に定義することが必要であるかを論じ、従来のTest (ABN)は、時系列の異常を定常性の破れの度合いで捉え、定常関数と異常関数の挙動で時系列の異常の前兆を捉えるものであったが、そこでの問題点を解決するために、本論文でリスク関数を導入する経過を詳しく述べている。

第2章「Non-linear analysis for stochastic process(確率過程に対する非線形解析)」はさらに二つの節：2.1節「Non-linear information analysis(非線形情報解析)」と2.2節「Non-linear prediction analysis(非線形予測解析)」から成り立つ。

2.1節ではドブルーシン・ミンロスの可積分条件を満たす離散時間の確率過程に対し、従来ある多項式型の生成系(生成系(1))の中で有限階数を固定したとき導かれる KM_20 -ランジュヴァン揺動過程を基礎として、その非線形情報空間の多項式型の生成系を構成することによって、もとの確率過程の非線形情報空間の新しい生成系(生成系(2))を構成した。

2.2節では、生成系(1)に基づく非線形予測子と非線形予測誤差を計算する公式を求める考えを用いて、生成系(2)に基づく非線形予測子と非線形予測誤差を計算する公式を求めた。

第3章「Non-linear analysis for time series(時系列に対する非線形解析)」はさらに二つの節：3.1節「The first kind of risk function(第1種リスク関数)」と3.2節「The second kind of risk function(第2種リスク関数)」から成り立つ。

3.1節では、対象とする時系列から切り口の長さ(cut length)の長さだけ切り出した時系列の終端時刻に、前章の生成系(1)に基づく非線形予測誤差を適用して得られる予測誤差を第1種リスク値として定義し、終端時刻をシフトして得られる関数を第1種リスク関数として導入した。

3.2節では、対象とする時系列から切り口の長さ(cut length)の長さだけ切り出した時系列の終端時刻に、前章の生成系(2)に基づく非線形予測誤差を適用して得られる予測誤差を第2種リスク値として定義し、終端時刻をシフトして得られる関数を第2種リスク関数として導入した。

第4章「Results of empirical analysis(実証解析の結果)」はさらに三つの節：4.1節「Stock market indexes(株式市場指数)」、4.2節「Serum creatinine concentration(血清クレアチニン濃度)」と4.3節「Seismic waves(地震波)」から成り立つ。三つの実証解析に行く前に、前章で導入した時系列解析の手法をステップに分けて詳しく丁寧に説明している。

4.1節では、アメリカ、イギリスおよび日本の代表的株価指数としてそれぞれDow、FTSE100、日経225の1984年の日次データに、異常性のテストTest (ABN)を行い、異常グラフと定常グラフを求めた上でさらに、前章で導入した第1種リスク関数と第2種リスク関数のグラフを求めた。その結果、特にDowと日経225のリスク関数は、1985年9月の円高を容認したプラザ合意までは減少傾向にあったが、その直後から一転して上昇傾向に転じ、1987年10月19日のブラックマンデーの時期までは一貫して増加している挙動を示した。これは、Test (ABN)では局所的にはブラックマンデーの兆候を捉えたが、大域的にはブラックマンデーの前の多くの異常性を区別できなかったTest (ABN)を補強する結果を示している。一方、従来の市場リスク指標である Value at Risk ではそのような傾向は見られなかった。

4.2節では、腎機能の指数である血清クレアチニン濃度の時系列データに対し、上と同様の解析を行った。その結果、腎機能の悪化を示唆する値2.0を超える前で、リスク関数は一度減少した後に急に上昇する挙動を示した。この場合も、Test (ABN)では大域的には捉え切れなかった異常性の前兆を捉えている。また、緊急人工透析の開始と離脱の前後で一貫してリスク関数は上昇する挙動を示している。非線形リスク解析の予防医学での施術判断への利用が期待できる。

4.3節では、通常地震と深部低周波地震という異なる2種類の地震波の時系列データに対し、上と同様の解析を行った。その結果、特に、通常地震に対するリスク関数は、上下成分ではP波到達の直前で一度減少した後で急に上昇する挙動を示したが、南北・東西の水平成分ではその挙動を示さず、P波の前兆を捉えたTest (ABN)の結果を補強している。またS波到達の直前では、上下・南北成分に対するリスク関数は大きく上昇する挙動を示したが、東西成分では上昇する挙動を示さなかった。これは、Test (ABN)からは捉えられなかったことであるが、震源に対する観測地点の位置関係に起因する地理的条件を示唆している可能性がある(東大地震研究所の武尾実教授からの口頭)。深部低周波地震に対するリスク関数はS波到達後に興味ある挙動を示しているが、深部低周波地震の構造解析に結ぶまでには至っていない。

第5章「Conclusion and more problems to be solved(結論と今後の課題)」では全体の総括にあてられ、本研究の学問的な位置づけと今後の問題に触れている。

以上を要するに、本論文は KM_20 -ランジュヴァン方程式論に新たに付け加える理論的研究として、階数有限の揺動過程の非線形構造を調べる非線形解析を行い、それに基づく非線形予測公式を確立した。さらに、その時系列解析への応用として、時系列の異常性を予測誤差の悪さで捉えるリスク関数を導入し、株式市場指数、血清クレアチニン濃度と地震波における時系列データに適用することによって、従来のTest (ABN)では捉えきれない大域的異常を捉えることができることを示した。本論文は、Test (ABN)に現れる定常関数、異常関数とリスク関数を併用することによって、複雑系現象に現れる時系列の異常性の兆候を捉えるリスク解析への応用の可能性を示し、数理情報工学上の貢献が顕著である。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。