

氏 名 王 健 歡

学位（専攻分野） 博士（学術）

学位記番号 総研大甲第 948 号

学位授与の日付 平成 18 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 統計科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 **Multivariate Times Series Analysis of Heteroscedastic
Date, with Application to Neuroscience**

論文審査委員 主 査 教授 田村 義保
助教授 松井 知子
教授 尾崎 統
研究員 中原 裕之（理化学研究所）
教授 **Juan Carlos Jimenez Sobrino**
(キューバ国立サイバネティックス、
数学、物理学研究所)

論文内容の要旨

This thesis summarizes statistical analysis of some multivariate heteroscedastic time series data, including 2 sets of data from physiological experiments and 2 sets of EEG data about anesthesia and coma.

The aim of this thesis is to provide a statistical tool for analyzing multivariate data which contains non-stationary and heteroscedastic characteristics.

The main contribution of this thesis is that we combine the compartment model and GARCH model to develop compartment-GARCH model. This new model can describe the non-stationarity of the system noise variance. Such an integration of the heteroscedasticity model and the state space model is carried out by fully utilizing the information of innovations and expected values from the filtering process.

Another contribution of the thesis is that we extend Akaike's NCR from constant noise variance to heterogeneous noise variance in order to study time-varying causality. By applying heteroscedasticity models, the phenomenon of an evolving causality relationship can be depicted.

All these methods are illustrated by their application to EEG data including the study of consciousness under anesthesia and the coma, and also to a physical data of head and finger movement.

論文の審査結果の要旨

本論文の主要な特徴は：生体時系列、特に脳神経時系列に見られる独特の非定常性、ノイズ分散の時間非等質性に焦点を当て、これを新しく導入したパラメトリックモデルによって特徴づけ、これによって現実の臨床医学、生理学、心理学における問題解決に、データ解析を通して役立てようとする点である。論文は9の章によって構成されており、前半の1章から4章までは、イントロダクションに続いて方法論に関する記述、例えば Compartment Model とそれに付随する Spectrum, Causality, Heteroscedasticity および推定手法などが議論されている。後半の5章から8章までは前半で導入された方法論の動機付けを与えた4つの応用例とそれら応用問題が前半の手法を用いて如何に解決されるかが記述され、最後に結論が述べられている。

1) 具体的には、麻酔中患者の意識喪失と意識回復状態の判別と早期検知の問題に適用される。脳波の発生源を低周波から高周波まで各コンパートメントに分離し、 δ 波のコンパートメントのシステムノイズの分散変化を検知することにより、麻酔患者の意識喪失の早期判定が可能であることが示されている。

2) 昏睡状態（いわゆる表面的には無反応な植物人間状態）の患者への音声刺激（肉親などによる語りかけ）に対する反応計測脳波のデータ解析からその患者の意識活動の有無を判定するという困難な問題に関しても、本手法の応用の可能性が示されている。

3) さらに2者（母親と幼児を想定）の視線時系列における2者間の非定常な従属性、因果性の解明、左右の指の回転運動時系列（2次元）における非定常な左右従属性、因果性の解明への利用が提示され、その応用が心理生理学、脳生理学などの実学に貢献しつつあることが示されている。

本論文の内容のうち方法論に関するもので新しく注目に値する点は以下の2点にあると考える。

1) 金融工学などで利用されている GARCH などの Heteroscedasticity（ノイズ分散不均一性）のモデル手法を通常の自己回帰型の時系列モデルから多変量 Compartment type の状態空間モデルのクラスに拡張し、種々のパラメトリックモデルとその推定法を導入し、脳神経科学の EEG データ解析における有効性を示した点、

2) それらを赤池の Causality Analysis の議論と結び付け赤池のノイズ寄与率解析の応用の可能性を挙げた点。

第5回 IASC アジア国際会議で最優秀学生論文賞を受賞している。また、上記1)、2)ともにその利便性、有効性が高く評価されている。

本論文で提案された手法は、手法的に斬新であるだけでなく、非定常脳波の周波数分析、心理生理データの解析においても有効な方法であることが認められている。博士論文の内容の一部は、すでに国際学術誌に投稿、受理されており、その研究の質の高さは国際的にも認められつつある。これらの結果、王健歡氏の学位請求論文が学位に十分値する水準にあると判定した。