

R言語を用いた経済分析手法の考察*

— R言語の研究動向, regression model およびその周辺を中心に —

熊澤光敏*

1. はじめに

近年わが国の経済分析におけるコンピュータの活用では熊澤^①で示唆しているように租税^②の限られた分野のみにおいても多様化していると同時にソフトウェアパッケージ, プログラミング言語を用いた研究が盛んになっている。

このような状況においてプログラミング言語に着目するとR言語^③を分析手法として取り扱っているものにImai(2005)^④ 間瀬他(2004)^⑤, 金(1998)^⑥ など研究活動が増加傾向のように思われる。R言語の特徴としてそれぞれこれらの言語を使用したプログラミングによって分析ツールのパッケージを作成することができ英語圏を中心に研究成果が集結されている。したがって、日々これらのパッケージは更新もしくは拡張更新がおこなわれており研究の最先端を垣間見ることができる特徴を持っている。分析ツールは統計解析が中心となっており生物学, 統計学もしくは学際的なものが含まれているのが特徴と言えよう。

しかしながら, これらの取り扱っている分析手法の対象は工学, 生物学, 政治学, 医学など多岐に渡っているものの経済分析に焦点をあてた研究として Cribari-Neto and Zarkos(1999)^⑦, Racine J. and Hyndman R(2002)^⑧, 伊藤(2003), Kawakatsu(2004)^⑨ など1990年代後半頃から見られるようになってきているが, この分野における研究蓄積は全体的に少なくましてやわが国においてもこの分野の研究蓄積はあまり見られないのが現状のように思われる。そこで本稿では近年, 多数の分析パッケージが存在するR言語を対象に経済分析の領域に焦点をあて包括的な研究動向を考察することを目的とする。

本稿の構成は以下のとおりである。第2節ではR言語の歴史的背景をS言語との関係を含めて発展過程, 近年の研究動向を考察する。そして第3節ではR言語を用いた経済分析手法に焦点をあてその中でも Computational

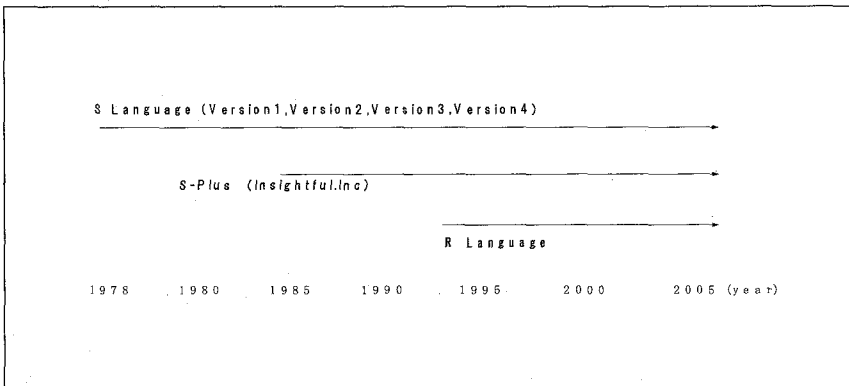
Econometrics¹⁰⁾ の領域における Linear regression models, Microeconometrics を中心に近年の学術動向を踏まえて考察を進め,第4節で結語となっている。

2. R 言語の歴史的背景および近年の研究動向

まずこの節では R 言語の歴史的背景を概観してみる。もともと R 言語は Robert Gentleman, Ross Ihara¹¹⁾らによって開発され 1990 年代から著しい発展を遂げている。この R 言語の特徴は S 言語との類似性が高く S 言語に関するプログラム事例が R 言語の参考になる部分が多くこれまでの S 言語の研究蓄積の活用が可能となっている¹²⁾。

その関係もあってか Chambers(2006)¹³⁾ では S 言語と R 言語との関係からプログラム言語の発展過程を述べている。これは両者の関係を切り離すことができないこれまではあまり見られない特徴を持っているプログラム言語とも言えよう。したがって,ここでは S 言語との関係を踏まえて考察していく。

図表 1 【S 言語および R 言語の変遷過程】



*The S Language and its Implementations を参考に筆者作成

図表 1 は S 言語および R 言語の変遷を表したものである。もともと S 言語は 1976 年に開発されたプログラミング言語であり長い歴史を有するものである。そのため Version1~Version4 と改訂が行われている。この S 言語をもとに商業用として開発されたソフトウェアパッケージが S-PLUS である。このソフ

トウェアパッケージも 1988 年に開発されたものであり歴史的経緯を持っている。

しかしながら、インターネット環境の激変により 1990 年代前半を境にプログラミン言語においても大きな変化が現れた。この時期は Microsoft Windows の急速な普及等によりいわゆるインターネット環境に適用されたプログラミング言語が多数出現しはじめた。その中の一つのプログラミング言語が R 言語である。このインターネット環境に適用されたプログラミング言語はオープンソース方式のため特に英語圏を中心とした研究者に急速に発展し始めた。その結果このプログラミング言語を活用した研究蓄積は急増しプログラミング言語が開発されてわずか 10 年あまりで 1000 以上のパッケージが出現している。その間にもプログラミング言語の改訂も著しく (1997-July)R-0.50 から (2006-Dec)R-2.4.1¹⁰⁾と約 10 年間で頻繁に改良し性能の向上化が行われている。また、わが国¹⁰⁾においては、会津大学、東京大学、筑波大学の 3 校が CRAN(Comprehensive R Archive Network)の拠点となっている。

もともと、R 言語の一般オープンリリースがはじまって以来、遺伝子解析、生物統計、医療統計といった自然科学の分野を中心に用いられていたが、経済学など社会科学の分野ではあまり用いられていなかったが近年変化がみられていることを Ame Henningsen(2004)は指摘している。ここでは主な R 言語を用いた経済分析に関するものを以下表 2 に取り上げまとめてみた。

表 2 【主な R 言語を用いた経済分析に関するもの】

【論文】	【テーマ】
Cribari-Neto and Zarkos(1999)	「R:Yet another econometric programming environment」
Pacine and Hyndman(2002)	「Using R to teach econometrics」
Mahmood Arai (2002)	「A brief guide to R for beginners in econometrics」
Hamann and Henningsen(2004)	「systemfit-simultaneous equation estimation package for R」
Tony Lancaster(2004)	「An introduction to modern Bayesian econometrics」
Grant Farnsworth(2006)	「Econometrics in R」

*筆者作成

経済分析に関するものを扱ったものとして Cribari-Neto, Zarkos(1999) では Monte Carlo example や Speed improvements relative to S-PLUS などを考察したもの R 言語を取り扱ったものであり, Jeff Racine and Rob Hyndman(2001) では計量経済分析で用いられるパッケージの概要の説明そして Linear regression model⁹⁸, Binary choice models, Selectivity models, Least squares estimation of nonlinear models, Time series⁹⁹, Maximum likelihood estimation, Programming estimators, の分野の model を R プログラミング事例で解説をしたものである。この論文は従来テクニカルの側面を偏った感も見られるように思われた既存研究と異なる展開を提示した R 言語を用いた分析手法を包括的に取り扱ったものであるように思われる。

それ以後, Mahmood Arai¹⁰⁰(2002) “A brief guide to R for beginners in Econometrics”, では, 計量経済分析に必要な基礎統計, データマネジメント, 最小二乗法を用いた線型モデルの推計方法, 統計検定などを取り扱っているものや Tony Lancaster(2004)¹⁰¹ “An introduction to modern Bayesian econometrics” では Linear Regression Models, Non-linear Regression Models, Observational Data, Panel Data, Time Series models などを取り扱ったものであり, Grant Farnsworth(2006)¹⁰² “Econometrics in R” では Cross Sectional Regression, Special Regressions, Time Series Regression など計量経済学の包括的な内容を取り扱ったものなど経済分析の手法に焦点をあてたものが増加傾向にある。

その背景には経済分析の手法を対象とした package の数の増加や経済学者の参入なども考えられる。このように日々オープンソース方式のため更新等も著しく時間の経過とともに分析ツールの向上, あらたなる分析手法の開発が継続されて今日現在に至っている。近年では User Conference も開催されている。2004年, Econometrics の部門のプログラムに限定して取り扱った報告をまとめたものが表3である。

2004年では報告が5件 ミクロ経済理論, 計量経済学を対象に扱った報告であるが

Ame Henningsen(2004) “Microeconomic Analysis with R” では, 需要分析, 生産分析を対象としたモデルを扱ったパッケージ <systemfit:Simultaneous Equation Estimation Package>を紹介している。

このパッケージに関しては主に (OLS), (WLS), (SUR), (2SLS), (W2SLS),

表 3 2004 年 User Conference

報告者	報告テーマ
Ame Henningsen	「Microeconomic Analysis with R」
Christian Kleiber	「Distributions of finite and infinite quadratic forms in R」
Wai Kwong Cheang	「Calculating the autocovariances of fractional ARIMA model」
Syen Knoth	「Statistical Process Control and R: A cautious beginning」
Hiroyuki Kawakatsu	「metrics: Towards a package for doing econometrics in R」

*出所「User R!2004:Econometrics」を参考に筆者作成。⁸⁾

(3SLS), (W3SLS) といった推定のパッケージが含まれている。また, 2006 年でも改正版が報告されている。

一方, Christian Kleiber(2004) “Distributions of finite and infinite quadratic forms in R” では F test, Durbin-Watson test などを取り扱ったパッケージ<Imtst: Testing linear Regression Models> を紹介している。なお, このパッケージの詳細については次節で紹介する。

また, Kawakatsu(2004) “metrics:Towards a package for doing econometrics in R” では, metrics パッケージについて説明しており, その中には robust standard errors, general hypothesis testing, linear instrumental variables estimation, maximum likelihood estimation of binary instrumental variable models, wald.test などを取り上げている。

その他 Wai Kwong Cheang(2004) “Calculating the autocovariances of fractional ARIMA model”, Sven Knoth(2004) “Statistical Process Control and R:A cautious beginning” などの報告がある。

その 2 年後の 2006 年の Econometrics and Social Science における報告が 10 件であり内容のミクロ経済理論, 計量経済学, 統計学と多岐に渡っている。報告内容をまとめたものが表 4 である。2004 年に比較して報告件数, 対象領域の裾野の拡大傾向にあるように思われる。

特に特徴的なのは従来推計法などの技術側面に力点を置く傾向にあったがこの報告では Katarzyna Kopczewska(2006) “Geographical benefits in socio-economics development in post-socialist countries” では東欧の旧社会主義国の経済成長の計測を spdep, geoR packages を用いて実証分析するという経済現象を対象にしたものであった。

表4 2006年 User Conference

報告者	報告テーマ
1. Arne Henningsen and Jeff D. Hamann	systemfit: A Package to Estimate Simultaneous Equation Systems in R
2. Jeff Racine	A Package for Nonparametric Kernel Smoothing with Mixed Datatypes
3. Yves Croissant	Linear models for panel data
4. Christine Choirat, Paolo Paruolo and Raffaello Seri	GNU Econometric Analysis with R
5. Arne Henningsen and Ott Toomet	Microeconomic Analysis with R
6. Achim Zeileis and Giovanni Millo	A framework for heteroskedasticity-robust specification and misspecification testing function for linear models in R

*出所「User R!2006:Econometrics and Social Science」を参考に筆者作成²⁸

Jeff Racine(2006) “np: A Package for Nonparametric Kernel Smoothing with Mixed Datatypes” ではノンパラメトリック平滑化理論の中心的な手法であるカーネル推定法を中心に扱っている。わが国でもこの推計法を取り扱ったものとして元山・両角(2002)「ノンパラメトリック回帰-カーネル法の理論と実践」などがあるがこの報告ではカーネル推定法を中心に約30のコマンドが存在するnpパッケージについての報告である。

一方, Christine Choirat, Paolo Paruolo and Raffaello Seri(2006) “GEAR:GNU Econometric Analysis with R” ではイタリアの研究者のR言語によるEconometricsプログラム開発組織を紹介しその組織の展望を述べている。

そして, Yves Croissant(2006) “plm: Linear models for panel data” ではパッケージの内容の概要及び将来的なプログラム開発の計画を示している。また, Yves Giovanni Millo(2007) “Introduction to plm” は実際のプログラム事例を用いて, Model estimation では General FGLS models, Hausman-Taylor’s model や Tests では F tests, Hausman’s testなどを説明している。

又, Achim Zeileis, Giovanni Millo(2006) “A framework for heteroskedasticity-robust specification and misspecification testing functions for linear models in R” では heteroskedasticity-consistent(HC) などを中心に waldtest, coeftest, sandwich, F-

test などのコマンドの説明を取り扱っている。

その他、Seisho Sato “Web Decomp and E-Decomp-Time Series Analysis using R” や S.Tsumoto and Y.Tsumoto “Construction of Statistical Models for Hospital Management” といった関連分野の報告などが見られる。

以上のように近年研究動向では、経済理論に関する分野、時系列分析に関する分野、モデルの推計方法に関する分野など分析対象が多様化しており R 言語を用いた経済分析手法の研究領域の裾野が拡大している傾向にあることが言えよう。

この節では簡略的な R 言語を用いた経済分析手法の研究動向を扱ったが次節ではさらに多数の分析パッケージが存在する R 言語を対象に経済分析の領域を中心に考察をすすめていく。

3. R 言語を用いた経済分析手法の領域

R 言語の特徴としてそれぞれこれらの言語を使用したプログラミングによって分析ツールのパッケージを作成することができ英語圏を中心に研究成果が集結されている。したがって、日々これらのパッケージは更新もしくは拡張更新がおこなわれており研究の最先端を垣間見ることができる特徴を持っている。分析ツールは統計解析が中心となっており生物学、統計学もしくは学際的なものが含まれているのが特徴と言えよう。もともと経済学の分野においても時系列分析を中心に解析パッケージが存在していたものの近年では計量経済学の分野も充実しつつある傾向にある。

そこで本稿は特に経済学の分野に限定した分析ツールに着目し分析ツールの動向を考察することを目的とする。

R サイトではそれぞれ分野別にクラスターしてある領域で分析パッケージを検索できるようになっている。そこで本稿ではこれらの分野別に区分されている経済学および周辺領域である Computational Econometrics の領域を考察対象の中心にさらに考察を進めていく。²³

3-1 Computational Econometrics について

CRAN Task View: Computational Econometrics の領域で取り扱っているコマ

ンドおよびパッケージは図表5で示した1-1:Linear regression models から1-9: Data setsの項目に沿って便宜上区分されている。本稿でもこれらの項目を参考に経済分析に関係の深いコマンド、パッケージに着目して考察を行ってみる。

図表5 CRAN Task View: Computational Econometrics

- 1-1 : Linear regression models
- 1-2 : Microeconometrics
- 1-3 : Further regression models
- 1-4 : Basic time series infrastructure,
- 1-5 : Time series modeling
- 1-6 : Matrix manipulations
- 1-7 : Inequality
- 1-8 : Structural change
- 1-9 : Data sets

**『Rjp Wiki』の2007年3月現在を参考に筆者作成。

これら表5で示されたように Econometrics の領域には数多くの分類が存在しているが本稿ではその中でも基礎的理論と思われる Liner regression models, Microeconometrics, Inequality を中心に経済分析を行う際の主要論点に焦点をあて考察を進めていくこととする。そのため他の領域に関して別の機会に譲ることとする。

3-1-1 Linear regression models に関して

この Linear regression models の部門で扱っている、パッケージでは以下の表6に示されたものが存在する。

表6 Linear regression models における代表的なパッケージ

Package	Title
lmtest	Testing Linear Regression Models
car	Companion to Applied Regression
sandwich	Robust Covariance Matrix Estimators

*筆者作成によるもの

以上の3つの取り上げたパッケージではいずれも Regression Models が基礎的な部分となっているためここでは回帰分析、非線形回帰分析、一般化線形モデルを取り上げ関数との関係を考察する。

一般にデータから導かれたデータ間の関係の規則を関数式で表現したものをモデルと呼びこれらのモデルは

$$y = f(x)$$

で表現されると y :被説明変数と呼ばれ、 $f(x)$ における x :説明変数と呼ばれる。

このような x :説明変数を用いて y :被説明変数を説明するモデルは一般的に回帰分析と呼ばれる。これら説明変数が1つの場合単回帰分析、複数の場合重回帰分析と呼ばれる。

以下モデルで表したものである。

$$y = \alpha + \beta X : (1)$$

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_n x_n : (2)$$

しかしながら、一般に回帰分析を行う時、線型モデル(関数:lm)を用いる場合が多いがこれら線形モデルでは解決できない問題に遭遇する可能性も存在する。このような線形モデルでは説明できない現象に対しては行われる回帰分析は一般に非線形回帰分析と呼ばれる。この分析は線形モデルに対応できるような変換を施し解決を行う方法、非線形の関数を当てはめる方法、(関数:nls)、平滑化、樹木モデル、ニューラルネットワーク法、加法モデルなどの手法が存在する。

表7 代表的な非線形回帰方法

関数	機能
nls	非線形回帰モデル
smooth.spline	平滑化スプラインモデル
lowess	平滑化モデル
gam	一般化加法モデル

*筆者作成によるもの

一方、モデルの残差に着目すると一般に線形回帰分析は残差が通常正規分布

に従う仮定を設けている。これらの仮定条件は緩めた場合正規分布を含んだ分布構造にデータを対応させ、非線形の現象を線形モデルと同様に扱えるように拡張させたモデルが一般化線形モデル (Generalized Linear Model:関数 glm) と呼ばれるものである。

このモデルは通常

$$\eta = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

と表わす。この場合 x_i は $\beta_i = 0$ の時、またその時点のみ y の分布に影響を及ぼさない

この y の分布は次のような形で表される。

$$f_Y(y; \mu, \varphi) = \exp \left[\frac{A}{\varphi} \{y\lambda(\mu) - \gamma(\lambda(\mu))\} + \tau(y, \varphi) \right]$$

ただし、 φ (scale parameter), A : 予め与えられた重みを表す、 $\mu = y$ の平均であり y の分布は μ, φ にも依存されて決定される。

これらのモデルは関数 glm が存在しこの関数に対応できる代表的な分布としてガンマ分布 (関数:gamma), ワイブル分布 (関数:weibull) などが存在する。

以上のような regression model に関連する主に検定関数扱っているものがパッケージ <lmtest> である。これらの中には代表的な関数として表 8 で取り上げまとめたものである。

表 8 代表的な regression model test

関数	機能
dwtest:	Durbin-Watson Test
bdtest:	Breusch-Pagan Test
gqtest:	Goldfeld-Quandt Test
harvtest:	Harvey-Collier Test
hmctest:	Harrison-McCabe test
resettest:	RESET test

*筆者作成によるもの

これらの機能は基礎的な計量経済学の重要項目でありここでは詳細の説明に

関しては省略するがこれらのコマンドは R 言語を用いた経済分析を行う際の基本事項となっておりこれらの事項を用いてパッケージを用い高度な分析手法、応用研究などに結びつけるコアな部分と言えよう。

これらの代表的な関数である Durbin-Watson Test においては代表的なものとして Hisamatsu, H.and K.Maekawa(1994) などの研究蓄積が存在する。

またこの他関数にはデータに関数ものが多数存在する。その中でデータをプロットしたものが図 1 である。このような幅広い分野のデータを扱った関数が存在するのも大きな特徴と言えよう。

一方、これらの回帰分析をもとに応用回帰に関する関連の関数を扱ったものとして

[The car Package: Title Companion to Applied Regression]²⁰
が存在する。

このパッケージではタイトル名のように応用回帰分析で用いられるようなコマンドが集約されている。その内容をまとめたものが図表 7 である。特徴としてはアメリカ・カナダを中心とする諸国の人口動態、経済指標、教育関係、政治投票行動、地域経済、など応用経済学の分野で用いられる公的機関のデータ及び実証分析で使用されたデータのコマンド、また仮説検定など計量経済学における必要な R コマンドが存在しているのが特徴である。

残念ながらもわが国のデータの収集およびデータを用いた分析の事例などは含まれていないが今後のわが国の応用的研究として参考になるものが多数存在するように思われる。

[The sandwich Package: Robust Covariance Matrix Estimators]²¹

従来回帰分析を行う際に用いられる最小二乗法による推定法の問題点を克服すべき回帰分析法がロバスト回帰である。このパッケージではこのロバスト回帰のコマンド関連を集約させたものである。以下表 7 にまとめたものが主要なコマンドである。

このパッケージのコマンドを扱った論文として Zeileis A(2004)の HC (heteroskedasticity consistent), HAC(heteroskedasticity and autocorrelation consistent) や Zeileis(2006) の Covariance matrix estimators などを取り扱ったものが存在する。

わが国ではこの分野の研究蓄積はやや統計学の分野の側面が強く経済分析に

表9 代表的な the car package おける R topics documented 関するもの

関数	機能
Anova	線型・一般化線型モデルの分散分析表
Ask	対話的の関数の引数を変更
Av.plots	Added-Variable plots
Box.cox.powers	多変量無条件ボックス・コックス変換
Box.cox	Box-Cox 変換族
Box.cox.var	Box-Cox 変換のための構成変数
Car-internal	内部 car 関数
Ceres. Plots	線型モデル,一般線型モデルの Ceres のプロットを描く
Contrasts	対比を構成するための関数
Durbin.watson	残差の自己相関について,一般化 Durbin-Watson 検定
Ellipses	楕円,データ楕円,信頼楕円
Hccm	分散不均一補正共分散行列
Linear. Hypothesis	線型仮説検定
Logit	ロジット変換
n.bins	ヒストグラムのビンの数
ncv.test	誤差分散一定に関する検定
Outlier.test	Bonferroni 外れ値テスト
Panel.car	パネル関数共変量プロット
qq.plot	q-qプロット
Quartet	4つの回帰データセット
Recode	変数の再コード
Scatterplot.matrix	マトリックスの散布図
Scatterplot	箱ヒゲ図つき散布図
spread.level.plot	Spread-Level Plots

* 『Rjp Wiki』の2007年3月現在を参考に筆者作成。

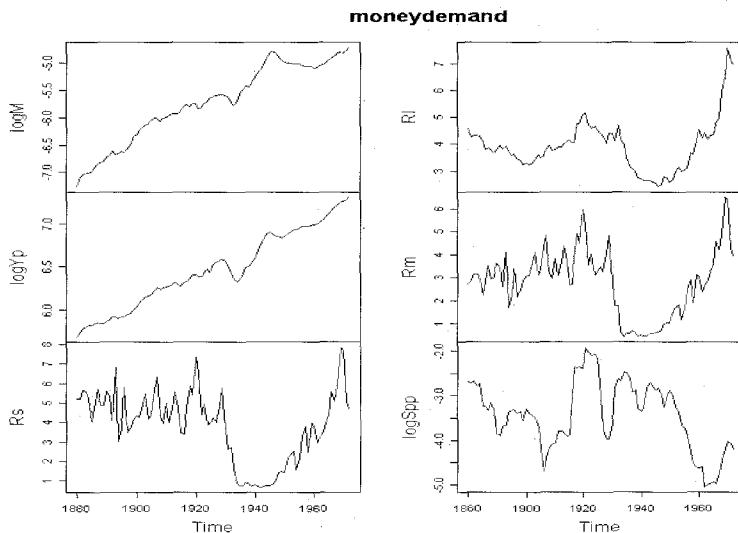
関連する分野であまり取り扱っていないように思われる。しかしながらこれらの分野は計量ファイナス等などに参考になるものと思われる。

表 10 代表的な sandwich Package における R topics documented に関するもの

関数	機能
Investment:	US Investment Data
NeweyWest:	Newey-West HAC Covariance Matrix Estimation
PublicSchools:	US Expenditures for Public Schools
Bread:	Bread for Sandwiches
Estfun	Extract Empirical Estimating Functions
Isoacf	Isotonic Autocorrelation Function
Kweights	Kernel Weights
Meat	A Simple Meat Mmatrix Estimator
Sandwich	Making Sandwiches with Bread and Meat
vcovHAC	heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent (HAC) Covariance Matrix Estimation
vcovHC	Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimation
vcovOPG	Outer Product of Gradients Covariance Matrix Estimation
weightsAndrews	Kernel-based HAC Covariance Matrix Estimation
weightsLumley	Weighted Empirical Adaptive Variance Estimation

* [Rjp Wiki] を参考に筆者作成。

図 1 Money Demand Data : plot(moneydemand)により筆者表示



*:A multivariate yearly time series from 1879 to 1974 with variables

3-1-2 Microeconometrics の関して

このマイクロエコノメトリックスの部門では、パッケージでは以下の表 11 に示されたものが存在する。

表 11 Microeconometrics における代表的なパッケージ

Package	Title
PscI	Political Science Computational Laboratory
Zicounts	Counts data models
Bivpois	Bivariate Poisson Models Using The EM Algorithm
Survival	Survival analysis, including penalised likelihood
micEcon	Microeconomics
bayesm	Bayesian Inference for Marketing/Micro-econometrics
reldist	Relative Distribution Methods

*筆者作成によるもの。

ここで取り上げたパッケージの中ではベイズ統計学など応用経済分析で近年研究が盛んに行われているモデルを扱う<bayesm>や GLM, Poisson model, hurdle modelなどを扱う<pscl>や Bivariate Poisson Modelなどを扱う<bivpois>, また, 阿部・北村(1997)黒田・山本(2003), 湯田(2006)など近年わが国でも盛んに行われているサバイバル分析の関連を扱う<Survival>や Distribution Methodsの関連を扱う<reldist>など存在する。このように応用経済の領域を扱っている分析が多数存在する中, 経済分析固有の領域との関係が深いパッケージとして<micEcon>が存在する。本稿ではこの経済分析固有の領域を扱っている<micEcon>を対象にさらに考察を進めていく。

<micEcon>では取り扱っている関数は約 60 存在しているがその中でも特に経済分析との関連が深い関数を取り上げまとめたものが表 12 である。

このパッケージの特徴として特に経済分析に関連深いものとして Almost Ideal Demand System(以下 AIDS と称す)に関連するものや Symmetric Normalized Quadratic(以下(SNQ と称す)に関連するものが中心になっているように思われる。特にわが国においてはあまりこれらの分析は盛んには行われていないように思われるがここではこの両者を中心に焦点をあてさらに考察を進めていく。

表 12 <micEcon: Microeconomics>における代表的な関数

関数	機能
aidsEst()	Estimation of the Almost Ideal Demand System(AIDS)
probit()	Probit binary choice models
snqProfitShadowPrices()	Shadow Prices of a SNQ profit function
tobit2()	function to calculate Heckman-type selection models
translogCalc()	Calculate dependent variable of a translog function
quadFuncEst()	Estimate a quadratic function
linearPredictors()	Calculates linear predictors for different models
maxLik()	Maximum likelihood estimation

* 『Rjp Wiki』の2007年3月現在を参考に筆者作成

3-1-2-1 Almost Ideal Demand System(AIDS)に関して

AIDS に関しては Matsuda,T, (2007), Matsuda,, T,(2006a,b) など近年に至るまで研究活動が行われてきており、またこの分析を用いてわが国の適用例として Oleksandr Movshuk(2001)による “Medium-Term Estimation of the Almost Ideal Demand System in Japan” などの研究蓄積が存在する。

Almost Ideal Demand Systemとは C.L.A.Attfield(2004) では標準的な AIDM は

$$\omega_{hjt} = \alpha_{0j} + \sum_i \gamma_{ij} \ln p_{it} + \ln(x_{ht} / P_t^*) \beta_j$$

ω_{hjt} :the budget share for good j at time t for household h , x_{ht} :perhousehold total income, p_{it} :price of commodity i at time t , $\ln P_t^*$:Stone's price index

と定義しており、また R.Puenpaton(2006) では

$$\omega_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_j + \beta_i \ln \left[\frac{m}{a(p)} \right]^2$$

ω_i : household budget share of the i goods, m : household expenditure of all goods in the demand system
 p_j is the price of good j , p :N-vector of prices, $\ln a(p)$ is a price index which is defined as:

$$\ln a(p) = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j$$

など Quadratic Almost Ideal Demand System (QUAIDS) または Almost Idea

Quadratic Logarithmic Demand System など分析対象に即したモデルの変換が比較的多く施されている場合が多々見られるのが特徴であるように思われる。

以下このパッケージに含まれる AIDS に関連する代表的なものを取り上げまとめたものが表13である。

表 13 AIDS に関連する代表的な関数について

関数	機能
aidsBestA0	Find'best' Value for alpha 0 in the AIDS
aidsCalc	Sharers and Quantities of the Almost Ideal Demand System
aidsEla	Elasticities of the AIDS model
aidsEst	Estimation of the Almost Ideal Demand System(AIDS)
aidsPx	Price Index for the AIDS
aidsTestConsist	Consistency Test of the AIDS

*筆者作成によるもの

表 13 では AIDS の基礎的な部分における計測方法に関する関数であるが特に Price Index のように分析対象に関する経済指標をどのように定義するかにより分析結果が大きく異なるためこの AIDS はモデル作能力が問われるように思われる。このように需要分析において AIDS は用いられるが一方供給サイド特に生産分析などで用いられるモデルとして Symmetric Normalized Quadratic (SNQ) profit function が用いられる。以下 SNQ

Profit function に着目していく。

3-1-2-2 The Symmetric Normalized Quadratic(SNQ)profit function に関して

ここでは SNQ の利潤関数に関するものが中心に取り上げられているがもともと Flexibility な関数型を意味している。そのため SNQ cost function を用いた費用関数,または生産関数として扱った実証分析なども存在する。ここでは利潤関数を用いていたパッケージ関数になっているので利潤関数を用いた SNQ profit function を考察していく。

一般に The Symmetric Normalized Quadratic(SNQ)の利潤関数の定義は以下のように示されている場合

$$\pi(p, z) = \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i + \frac{1}{2} \omega^{-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_i p_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \delta_{ij} p_j z_j + \frac{1}{2} \omega \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \gamma_{ij} z_i z_j$$

with π = profit, p_i = netput prices,

z_i = quantities of fixed inputs, $\omega = \sum_{i=1}^n \theta_i p_i$ = price index for normalization,

θ_i = weights of prices for normalization, α_i, β_{ij} , and γ_{ij} = and coefficients to be estimated.

The netput equation (out supply in input demand) can be obtained by Hotelling's Lemma ($\partial \pi / \partial p_i$)

$$\chi_i = \alpha_i + \omega^{-1} \sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_j - \frac{1}{2} \theta_i \omega^{-2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \beta_{jk} p_j p_k + \sum_{j=1}^m \delta_{ij} z_j + \frac{1}{2} \theta_i \sum_{j=1}^m \sum_{K=1}^m \gamma_{jk} z_j z_k$$

しかしながら、上記の定義では望ましい結果が導かれな場合が経験上見られたので例えば Diewert and Wales(1987), Diewert and Wales(1992), Kohli(1993) などにも見られるように独自の関数型の工夫を行い問題の克服を行っている。この (SNQ) においても以下の利潤関数に改良しプログラム事例を示している。

すなわち、

$$\pi(p, z) = \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i + \frac{1}{2} \omega^{-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_i p_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \delta_{ij} p_i z_j + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \gamma_{ijk} p_i z_j z_k$$

The netput equations are now:

$$\chi_i = \alpha_i + \omega^{-1} \sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_j - \frac{1}{2} \theta_i \omega^{-2} \sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^n \beta_{jk} p_j p_k + \sum_{j=1}^m \delta_{ij} z_j + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{K=1}^m \gamma_{ijk} z_j z_k$$

と示している。

この SNQ に関連する代表的な関数を取り上げまとめたものが表 14 である。

表 14 SNQ に関連する代表的な関数について

関数	機能
predict.snqProfitEst	Predictions from an SNQ profit function
print.snqProfitEst	Print output of estimated SNQ profit function
residuals.snqProfitEst	Residuals of an SNQ profit function
snqProfitCalc	Calculations with the SNQ Profit function

snqProfitEla	Price Elasticities of SNQ Probit function
snqProfitEst	Estimation of a SNQ Profit function
snqProfitFixEla	Fixed Factor Elasticities of SNQ Profit function
snqProfitHessian	SNQ profit function: Hessian matrix
snqProfitHessianDeriv	SNQ profit function: Derivatives of the Hessian
snqProfitImposeConvexity	Imposing Convexity on a SNQ Profit function
snqProfitShadowPrices	Shadow Prices of a SNQ Profit function
snqProfitWeights	SNQ profit function: Weights of prices for normalization

*筆者作成によるもの

この中には上記で示された SNQ に関連して (snqProfitEla: *Price Elasticities of SNQ Profit function*) では 価格弾力性を以下のように定義している。

$$E_{ij} = \frac{q_i}{P_j} \frac{\partial q_i}{\partial P_j} = \frac{\partial q_i}{\partial P_j} \times \frac{P_j}{q_i}$$

Thus, e.g. $E_{ij} = 0.5$ means that if the price of netput j (P_j) increase by 1%, the quantity of netput will increase by 0.5%.

これと類似して (snqProfitFixEla: *Fixed Factor Elasticities of SNQ Profit function*) では fixed factor elasticity では以下のように定義をしている。

$$E_{ij} = \frac{q_i}{z_j} \frac{\partial q_i}{\partial z_j} = \frac{\partial q_i}{\partial z_j} \times \frac{z_j}{q_i}$$

Thus, e.g. $E_{ij} = 0.5$ means that if the quantity of fixed factor j (z_j) increases by 1%, the quantity of netput i (q_i) will increase by 0.5%.

その他 SQN 関連のコマンドとして田近(1986)などでも用いられている (snqProfitShadow Prices: *Shadow Prices of a SNQ Profit function*) や (snqProfitWeights: *SNQ Profit function: Weights of prices for normalization*) など Diewert and Wales(1992)を応用した

$$\theta_i = \frac{|x_i| p_i^0}{\sum_{i=1}^n |x_i| p_i^0} \quad \text{Defining the scaled netput quantities as } \tilde{x}_i \& = \& x_i^t * p_i^0$$

などが存在する。

3-1-3 Inequality に関して

Inequality の Task には<ineq:Measuring inequality, concentration and poverty >パッケージが存在する。この<ineq> は不平等,集中および貧困の尺度化に関連するローレンツ曲線,集中尺度,不平等尺度,貧困尺度などを計測するコマンドが存在する。

特にわが国では経済学の所得再分配効果の計測,所得税の累進度に関する計測において用いられる場合が多く田近(1976), 両角・荒木・美添(2005), 熊澤(2006)でも示したようにわが国におけるこの分野の研究蓄積は財政学, 労働経済学, 開発経済学など多数の領域に存在している。

このパッケージでは代表的な関数として以下表 15 にまとめたものが取り上げられている。

これら取り上げられたものはいずれも経済分析手法として重要なものが多数存在している。

表 15 <ineq: Measuring inequality, concentration and poverty>に関する代表的な関数

関数	機能
conc()	Concentration Measures
Ilocos()	Income Metadata from Ilocos, Philippines
Ineq()	Inequality Measures
Lc.mehran()	Mehran Bounds For Lorenz Curves
Lc()	Lorenz Curve
Major()	Majorization
Pen()	Pen's Parade
Plot.Lc()	Plot Lorenz Curve
Plot.theorLc()	Plot Theoretical Lorenz Curves
Pov()	Poverty Measures
theorLc()	Theoretical Lorenz Curves

*[Rjp Wiki] の 2007 年 3 月現在を参考に筆者作成

ここではこれらの関数の中でも <Plot.theorLc: Plot Theoretical Lorenz Curves> 注目し実例を示していきたいと思う。

周知のとおりローレンツ曲線 $L(c)$ を確率密度関数 $f(x)$ 、累積分布関数 $F(x)$ を用いて表現すると以下のような式で表現することができる。

$$L(c) = \frac{\int_{-\infty}^{x(F)} xf(X)dx}{\int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx} = \frac{\int_0^F x(F')dF'}{\int_0^1 x(F')dF'}$$

ただし、 $x(F)$ は累積分布関数 $F(x)$ の逆関数を表す。

これらの式を参考に所得分配を10段階のデータで考えてみる場合プログラミングでは

```
x<-c(x1~x10)
n<-c(n1~n10)
Lc.min<-Lc.(x,n=n)
Lc.max<-Lc.mehran(x,,n)
Plot (Lc.min)
Lines (Lc.max,col=3)
lines (Lc.lognorm,parameter=0.85)
lines (Lc.dagum,parameter=c(3.4,2.6))
```

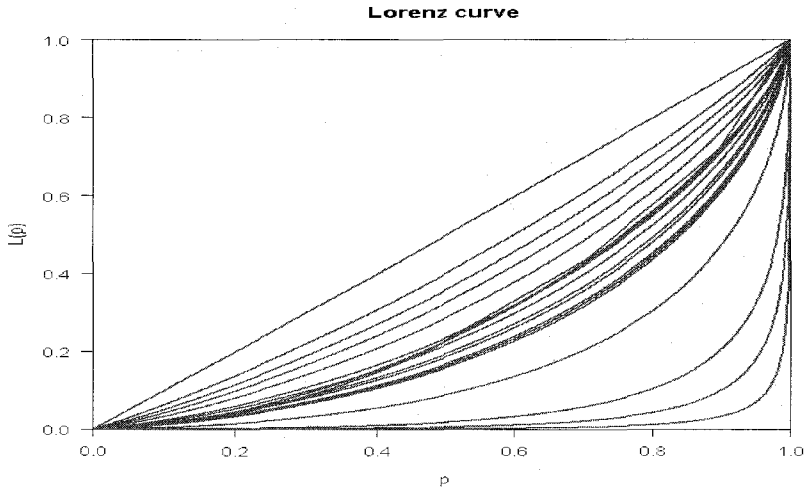
これらのプログラミングでローレンツ曲線が plot されたのが図2である。

ここでは他の条件を一定として Lc.lognorm,parameter のみを変化させたローレンツ曲線の plot を表示させたものである。

p (0.003~3.12) の変化にともなうローレンツ曲線の変化が表されたものである。

p の値の最小値が 0.003 ではほぼ直線状態を表され、最大値が 3.12 では右下に表示された曲線が示されている。

図2 ローレンツ曲線によるグラフィックス化



*筆者作成によるもの

以上のように R 言語を用いた場合、この分析に用いられた高水準の散布図を表記できるグラフィックス機能がこのプログラミング言語の最大の特徴であり、これはシミュレーション分析の結果、経済現象の動態などプレゼンテーションの際などにも大変有効なもの言えよう。

4. 結語

本稿ではプログラミング言語 R に着目し、その中でも経済分析に関連する研究動向、関数などを中心に考察を行った。

近年の研究動向では国際プログラムの発表研究を中心に考察をおこなった。年々この分野における研究発表は増加傾向にあり、それぞれの研究領域の細分化が進行しているように思われる。

一方、プログラミング機能と経済分析手法の関係からはやはりオープンソース方式のためか最先端の分析手法、また近年の流行的研究の動向の把握が比較的容易である。

今回の取り上げた経済分析手法はいわば regression model の基礎的な部分に

限定された考察に踏みとどまったものであったが確かに複雑な計算過程が必要な model が多数存在するのも事実である。しかしながらこれら複雑な計算過程が必要な model も一見複雑のように思われるものでも根本的には本稿で取り上げた model が基礎になっているものが多いように思われる。

一方、本稿では極めて限定的な model を取り上げ研究動向技術動向の考察にとどまっているが今回の考察ではこれらの model を用いた実証研究、理論研究に関して触れることができなかった。これらは今後の課題としておきたい。

【References】

- [1] 阿部正浩・北村行伸(1997)「結婚の意思決定モデルとその実証」一橋大学経済研究所
- [2] 荒木英一(2000)「地域景気動向の MS モデル推計」『経済経営論集』第 42 巻第 1 号
- [3] 伊藤成郎(2003)「インドにおける米市場統合度と裁定統制」アジア経済, v 44(7):2-33
- [4] 石弘光(1979)『租税政策の効果—数量的接近—』東洋経済新報社
- [5] 熊澤光敏(2006a)「本邦の租税に関する文献的一考察(I)—所得税に関する数量分析文献を中心に—」『一橋研究』第 30 巻第 4 号
- [6] 熊澤光敏(2006b)「本邦の租税に関する文献的一考察(II)—所得税に関する数量分析文献を中心に—」『一橋研究』第 31 巻第 3 号
- [7] 熊澤光敏(2007)「本邦の租税に関する文献的一考察(III)—所得税に関する数量分析文献を中心に—」『一橋研究』第 32 巻第 1 号
- [8] 黒田祥子・山本勲(2003)「名目賃金の下方硬直性が失業率に与える影響—マクロ・モデルのシミュレーションによる検証—」IMES DISCUSSION PAPER SERIES
- [9] 田近栄治(1976)「所得分配と経済成長—最適所得再分配政策に関する一研究—」『アジア経済』第 17 巻第 9 号
- [10] 田近栄治(1986)「シャドウ・プライスの計測方法とその戦後日本経済への適用」『アジア経済』第 27 巻第 11 号 pp24-42
- [11] 間瀬, 神保, 鎌倉, 金藤(2004)「工学のためのデータサイエンス入門」数理工学社

- [12]元山齊・両角良子(2002)「ノンパラメトリック回帰—カーネル法の理論と実践」統計情報研究開発センター研究「家計のミクロ統計分析」第6章 pp127-162
- [13]両角良子・荒木万寿夫・美添泰人(2005)「80年代以降の日本の勤労者世帯の所得格差・所得分散—タイル尺度による検証—」統計的照合技術の研究と家計データ分析への応用:研究成果報告書
- [14]湯田道生(2006)「国民年金・国民健康保険未加入者の計量分析」『経済研究』第57巻第4号
- [15]Andrews DWK, Monahan JC(1992). “An Improved Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix Estimator”. *Econometrica*, 60(4), 953-966.
- [16]Andrews DWK(1993) “Tests for Parameter Instability and Structural Change With Unknown Change Point.” *conometrica*, 61, 821-856.
- [17]Asai.M(2006) “Comparison of MCMC methods for Estimating GARCH Models”, *Journal of the Japan Statistical Society*, 2006,36(2), 199-212
- [18]Black, Dan A. and Jeffrey A. Smith.2004. How robust is the evidence on the effects of college quality? Evidence from matching. *Journal of Econometrics* 121:99-124
- [19]Bai J, Perron P(2003) “Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models.” *Journal of Applied Econometrics*, 18,1-22.
- [20]Cameron AC and Trivedi PK(2005), *Microeconometrics: Methods and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [21]Cheang, W.K, and Reinsel,G.C.(2003) “Finite sample properties of ML and REML estimators in time series regression models with long memory noise, *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 73: 233-259.
- [22]Cribari-Neto and Zarkos(1999) “R: yet another econometric programming environment” *Journal of Applied Econometrics* 14(3):319-329
- [23]Cribari-Neto,F.(2004) “Asymptotic inference under heteroskedasticity of unknown form. *Computational Statistics and Data Analysis* 45,215-233
- [24]D.A.Nicols(1983),Macroeconomic Determinants of Wage Adjustments in White Collar Occupations. *Review of Economics and Statistics* 65,203-213

- [25] Genz and Malik(1997)“Subregion-algorithm for numerical integration over an N-dimensional rectangular region”. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 6,295-302.
- [26] Hamori,S, Yamaguchi.M(2006) “Empirical Evidence on Commodity Futures Prices in the Tokyo Grain Market: the Component GARCH approach” *Empirical Economics Letters*,Vol.5,pp.66-75.
- [27] Hisamatsu,H.andK..Maekawa(1994) “The distribution of the Durbin-Watson statistic in integrated and nearintegrated models” 1994. *Journal of Econometrics*,vol. 161.No.2,pp.367-382
- [28] Ho, Daniel E., kosuke Imai, Gary king, and Elizabeth A. Stuart.(2007)“Matching as Nonparametric Preprocessing for Reducing Model Dependence in Parametric Causal Inference” *Political Analysis*, forthcoming
- [29] Ihaka and Gentleman(1996) R: language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299-314.
- [30] Imai, kosuke, and David A. van Dyk (2005) “A Bayesian Analysis of the Multinomial Probit Model Using Marginal Data Augmentation” *Journal of Econometrics*, Vol.124,No.2, pp.311-334
- [31] John Chambers (2006) A History of S and R (with some questions for the future) *useR! 2006 Keynote Lectures*
- [32] J.H. Stock and M.W.Watson.(1996)“Evidence on structural instability in macroeconomic time series relation.” *Journal of Business and Economic Statistics*,14:11-30
- [33] J.D. Rea(1983), The Explanatory Power of Alternative Theories of Inflation and Unemployment, 1895-1979. *Review of Economics and Statistics* 65, 183-195.
- [34] J.B. Ramsey(1969), Test for Specification Error in Classical Linear Least Squares Regression Analysis. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 31,350-371
- [35] Kawakatsu.H(2004) “merics: Towards a package for doing econometrics in R” *useR! 2004 Conference Program*
- [36] Kawakatsu,H.(2006). “Matrix exponential GARCH.” *Journal of Econometrics* 134, 95-128.
- [37] Long JS, Eriviv LH(2000). “Using Heteroscedasticity Consistent Standard

- Errors in the Linear Regression” *The American Statistician*, 54,217-224
- [38]Matsuda,T., “Linearizing the Inverse Quadratic Almost Ideal Demand System”
*Applied Economics*39(3),2007:381-396.
- [39]Matsuda,T., “Linear Approximations to the Quadratic Almost Ideal Demand System”
*Empirical Economics*31(3),2006:663-675
- [40]Matsuda,T., “A Box-Cox Consumer Demand System Nesting the Almost Ideal Model”
*International Economic Review*47(3),2006:937-949
- [41]McCullagh, Peter, and James A. Nelder.1989.Generalized linear models. 2nd ed.
Monograph on statistics and applied probability 37.(NY): Chapman, Hall.
- [42]P.Royston and D.G.Altman(1994), “Regression Using Fractional Polynomials of
Continuous Covariates: Parsimonious Parametric Modelling”. *Applied Statistics*,
43,429-453.
- [43] Quandt, Richard(1972) “Methods of estimating switching regressions.” *Journal
of the American Statistical Association* 67:306-10
- [44]Raymond a., Michael r. “Applied Calculus-for business, economics, life
science,and social sciences”-fifth edition
- [45]Racine J. and Hyndman R (2002) “Using R to Teach Econometrics” *Journal of
Applied Econometrics*, ol.17,No.2,2002, pp.149-174
- [46]Royston and D.G. Altman.(1994) “Regression using fractional polynomials of
continuous covariates: Parsimonious parametric modelling. *Applied Statistics*,43:
429-453
- [47]R.L. Brown,J.Durbin, and J.M.Evans.(1975) “Techniques for testing the con-
stancy of regression relationships over time. *Journal of the Royal Statistical
Society*,B37:149-163.
- [48]R. Davidson and J.Mackinnon(1981). Several Tests for Model specification in
the Presence of Alternative Hypotheses. *Econometrica*,49,781-793
- [49]S.D.Allen(1982), Kleins’s Price Variability terms in the U.S. Demand for
Money. *Journal of Money, Credit and Banking* 14,525-530
- [50]Thomas M. Fullerton, JR and E. Araki (1996) “New Direction in Latin
American Macroeconometrics” *Economic and Business Review* 38:49-73
- [51]T.Q.Cook and P.H.Hendershott(1978),The Impact of Taxes, Risk and Relative

- Security Supplies of Interest Rate Differentials. *The Journal of Finance* 33, 1173-1186
- [52] White, (1980) A heteroskedastic consistent covariance matrix estimator and a direct test of heteroskedasticity. *Econometrica* 48, 817-838
- [53] White H (1980). "A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix and a Direct Test for Heteroskedasticity". *Econometrica*, 48, 817-838
- [54] White H, Domowitz I (1984).
 "Nonlinear Regression with Dependent Observations." *Econometrica*, 52, 143-161
- [55] Williams, D.A. (1987) Generalized linear model diagnostics using the deviance and single case deletions. *Applied Statistics* 36, 181-191.
- [56] Zeileis A, Leisch F, Hornik K, Kleiber C (2002). "strucchange: An R Package for testing for Structural Change in Linear Regression Models." *Journal of Statistical Software*, 7(2), 1-38
- [57] Zeileis A (2006), "Object-oriented Computation of Sandwich Estimators" *Journal of Statistical Software*, 16(9), 1-16.

* 本稿作成にあたり R プログラミングの件に関しては荒木英一先生（桃山学院大学），山口昌樹先生（山形大学）にアドバイスをいただきました。また私の所属している公共経済コースの先生方にも常日頃お世話になっております。この場をお借りして深く御礼申し上げます。もちろん，本稿のありべき誤りは全て筆者に属するものである

* 国際公共政策大学院公共経済コース

- (1) 詳細は熊澤(2006), (2007)を参照されたい。
- (2) この分野の先駆的業績として石(1979)「租税政策の効果—数量的接近—」東洋経済新報社などがある。
- (3) ここでは特に R 言語を用いた経済分析の手法に焦点をあてている。したがって，基本的な事項に関しては Peter Dalgaard (2002) "Introductory Statistics with R." Springer, Michael J. Crawley (2005) "An Introduction using R." Wiley などを参照されたい。
- (4) Imai, Kosuke, and David A. van Dyk (2005) "A Bayesian Analysis of the Multinomial Probit Model Using Marginal Data Augmentation" *Journal of Econometrics*, Vol.124, No.2, pp.311-334.
- (5) 間瀬, 神保, 鎌倉, 金藤(2004)「工学のためのデータサイエンス入門」数理工学社
- (6) 金(1998)「人文科学研究のための情報処理」第5巻数量的分析編」尚学社
- (7) Cribari-neto and Spyros Zarkos (1999) "R: Yet Another Econometric Programming Environment" *Journal of Applied Econometrics*
- (8) Racine J. and Hyndman R (2002) "Using R to Teach Econometrics" *Applied Econometrics*, Vol.17, No.2, 2002, pp.149-174.
- (9) Hiroyuki Kawakatsu (2004) "Metrics: Towards a package for doing econometrics in R" *UserR! 2004*

Conference Program

- (10) Computational Econometrics の CRAN Task View では Linear regression models, Microeconometrics, Further regression models, Basic time series infrastructure, Time series modeling, Matrix Manipulations, Inequality, Structural change, Data sets に区分されている。
- (11) *Department of Statistics University of Auckland*
- (12) site R における books related to R の list においても “Statistical Models in S” や “Modern Applied Statistics with S” など S 言語が取り上げられている理由である。
- (13) JohnM.Chambers(2006) “A History of S and R(with some questions for the future)” を参照されたい。
- (14) 約 10 年間で 60 以上の改訂版が存在する。詳細は Index of/src/base における R-0/R-1/R-2 を参照されたい。
- (15) 2007 年 3 月現在ではわが国の R の Donors として Shigeru Mase, Minato Nakazawa, また Supporting Members として Masafumi Okada, Shusaku Tsumoto, Shigeru Mase となっている。
- (16) この分野では Transformation of variables in regression models, Interaction of variables in regression models, Common F tests in regression models, Tests for serial correlation and heteroskedasticity in regression models, Prediction in regression models のプログラミング事例を示している。
- (17) この分野では ARIMA model, GARCH model のプログラミング事例を示している。
- (18) *Department of Economics, Stockholm University*, ここでは Data management, Basic statistics, Test-statistics, Graphics 等を中心に取り扱っている。
- (19) *Department of Economics, Brown University, The book uses R*. ここでは Bayesian Calculations, Nonlinear Regression Models, Models for Panel Data 等を中心に取り扱っている。
- (20) *Department of Economics, Northwestern university*, ここでは Cross Sectional Regression, Special Regression, Time Series Regression 等を中心に取り扱っている。
- (21) ここでは Econometrics のセクションに限定しているが Finance, Data Analysis, Applications, Software, Spatial Statistics, Teaching, にも経済分析の手法を取り扱っているがここでは扱っていない。
- (22) ここでは 2004 年とは異なり Econometrics and Social Science のセクションに限定しているが, Bayesian Methods and Graphical Models, Finance and Applied Time Series Modeling, Applied and Medical Statistics, Business Analytics, Robust Statistics にも経済分析の手法を取り扱っているがここでは扱っていない。
- (23) ここでは便宜上 R サイトの定義を用いている。
- (24) 『Rjp Wiki』のオブジェクト一覧を参考に筆者作成