研究論文

サポートベクター回帰を用いた158カ国の国債格付けの再現 Reproduction of Sovereign Bond Ratings for 158 Countries with Support Vector Regression

田辺和俊^{1,2*}, 栗田多喜夫¹, 西田健次¹, 鈴木孝弘²

Kazutoshi TANABE^{1,2*}, Takio KURITA¹, Kenji NISHIDA¹, Takahiro SUZUKI²

1 (独) 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

〒305-8568 つくば市梅園1-1-1

E-mail: k-tanabe@aist.go.jp

2 東洋大学

Toyo University

〒112-8606 東京都文京区白山5-28-20

*連絡先著者 Corresponding Author

格付け会社が行っている国債の格付けを統一的に再現するモデルを作成するために、2011年4月末時点での158カ国の国債格付けと44種の経済・政治指標との相関をサポートベクター回帰(SVR)により一括解析する大規模実験を行った。感度分析により有効な指標を選択し、SVRを最適化した結果、格付けの予測値と設定値のよい一致(平均二乗誤差0.070, 決定係数0.925)が得られ、格付け会社が行っている国債格付けを公開の数値データのみから高精度で再現するモデルを作成することができた。解析に用いた各種指標の中では政治指標の寄与がきわめて高いことから、格付け会社が政治的要因を重視していることが判明した。我が国の国債の格付けについては、国内の格付け会社が高目の評価を行っているのに対し、海外の格付け会社は我が国の債務超過を大きく評価して厳しい格付けをしている傾向が明らかになった。格付けと指標との相関は非線形性が高いことから、国債の格付けを再現するモデルを作成するためには、感度分析により有効な指標を選択し、SVR等の非線形解析手法を用いることが不可欠であることが分かった。

A large-scale experiment using a support vector regression (SVR) to analyze the relationship between sovereign bond ratings of 158 countries and 44 kinds of economic and political indices was carried out to construct a model for reproducing ratings of various countries just from publicly open numerical information. Effective indices were selected by using the sensitivity analysis method, and the SVR model was optimized. The ratings of various countries could satisfactorily be reproduced

from published indices with the root-mean-square error of 0.070 and the coefficient of determination of 0.925. The contribution of political indices is more significant than economical ones, suggesting that rating companies consider political factors important in rating sovereign bonds. Foreign rating companies severely judge the Japan's sovereign bonds by critically estimating the accumulated debt while domestic rating companies judge high compared with index data. The relationship between ratings and indices is highly nonlinear, therefore the combination of SVR and sensitivity analysis is indispensable for constructing a model to reproduce sovereign bond ratings.

キーワード: 国債の格付け, サポートベクター回帰, 経済指標, 政治指標, 感度分析

Sovereign bond rating, Support vector regression, Economical indices, Political indices, Sensitivity analysis

1 はじめに

近年, 世界経済, 特に先進国の景気低迷による国債の格付け低下に大きな関心が集まっている. 2011年3月に発生した東日本大震災の復興と原発事故の補償の費用が甚大になる恐れがあることから, 海外の格付け会社が相次いで日本国債の格付けの引き下げを発表した. また, EU諸国では, 財政危機にあるギリシャ, ポルトガル, スペイン, イタリアばかりでなく, 最上位を保っていたフランスとオーストリアの格付けまで引き下げられ, EUはその対策に追われている. さらに, Standard & Poor'sは11年8月, 米国債の格付けを最上位AAAからAA+に格下げした. この米国の経済不安が契機となって, リーマンショック以来の株価暴落が世界を駆け巡った.

このように, 格付け会社(格付けを付与する団体に対して中立的・非営利的イメージを与える「格付け機関」という名称が用いられることがあるが, 格付け団体はすべて民間営利会社であるため, 本研究では「格付け会社」と呼ぶ)という民間団体が発表する国債の格付けが一国だけでなく, 世界経済に大きな影

響を与えている. 2008年の金融危機の一因が格付け会社の格付けにあるとされ, 以降, 格付け会社が行う格付け方法の透明化についての規制が各国で導入された. その結果, 現在, 格付け会社は格付けの方針・方法・考慮要因等を公表しており(各社の格付け方法については補足に概要を記す), 国内総生産(GDP)や対外債務等の経済指標だけでなく, 政治的要因(政治体制, 政府の安定性, 国内治安状態等)も考慮し, 複雑なプロセスで国債の格付けを行っている.

本来, 国債の格付けは国家や中央銀行が発行する国債等の債務を契約どおりに返済できる可能性について格付け会社が審査し, 返済の確実性の程度を公表するものである. しかし, 国債の格付けは国家の資金調達能力を示すだけでなく, その国の企業・機関発行の債券の格付けの上限となる(ソブリンシーリングの原則)という重要な意味を有している. このような社会的背景から, 民間の格付け会社が国債の格付けを正確に判定する能力を備えているかを問題にし, 国債の格付けは民間会社ではなく, 国際的中立的機関が行うべきではないかとの議論がある.

また, 格付け会社が行っている国債の格付

けの信頼性を検証するために、公表されている情報のみに基づいて格付けが客観的に再現できるかどうかに関心が集まっている。しかし、格付け会社は国債の格付けの際、経済的・政治的要因に関する公開情報だけでなく非公開の情報も用いていること、定量化の尺度が不明な定性的な要因も考慮していること、最終段階でアナリストの主観的評価に基づく調整を行っていること等、種々の不明確要因があるため、格付け会社の格付けを公開情報のみから再現することには多くの困難が予想される。

このような不明確な要素を含む相関関係に対して一つの対処策と考えられるのが人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network, ANN) [1-3]の適用である。ANNは人間の脳が学習する仕組みをコンピュータ上で実現するものであり、格付け会社の専門家が行なっている思考・判断を自動的に再現できる可能性がある。ANNは線形重回帰 (MLR) と異なり、目的変数と説明変数の間の関係式を予め仮定する必要がなく、あらゆる相関関係の解析が可能である。そのため、ANNを用いた国債の格付け予測については多くの研究がある[4-10]。しかし、ANNは解析能力が高い反面、過学習や局所解等、多くの問題があるため、最適なモデルの作成が難しいことが指摘されている[11-13]。

一方、近年注目されているサポートベクターマシン (Support Vector Machine, SVM) [14,15]はANNと同様の非線形解析手法であり、カーネルと呼ぶ非線形関数を用いて写像した後、線形解析を行う。これにより、ANNと比較して飛躍的な高速処理が可能になる。また、SVMでは最適解が一義的に求まるため、ANNで深刻な局所解の問題がない。そのため、データ解析手法として現時点では最

も有効な方法とされ、ANNでは解析不可能な大規模問題にも適用され、問題解決の範囲が拡大している。分類問題を扱うSVMに対し、回帰を行うのはサポートベクター回帰 (Support Vector Regression, SVR) と呼ぶ。SVRを社債の格付けに適用した研究は多い[6,16-20]が、国債の格付けへの応用例は少ない[21,22]。

国債格付けに関する先行研究ではMLRを用いたものが圧倒的に多い。しかし、MLRでは頑健なモデルを作成するためには、説明変数の3~5倍以上のデータが必要であり、指標の数を少なくする必要がある。そのため、GDP、対外債務等の少数の経済指標を用いざるをえない(これまでで最多の説明変数を用いているのは、Cantorら[23]およびMora[24]の8種である)。また、格付け会社が国債の格付けの際には経済指標だけでなく、政治的要因も考慮していることは従前からよく知られている(例えば[23,25])が、政治指標を取り入れて解析した研究も僅少である(政治指標を用いた論文としてはGestelら[21]は汚職認知指数等、Pukthuanthong-Leら[26]は政治的安定性等を用いているが、いずれも政治指標はごく少数である)。

国債の格付けに関する先行研究を総括すると、少数の経済指標を用いて少数の国債を解析している研究が大多数である。そこで本研究では、公表されている客観的な数値情報のみから各国の国債格付けを統一的に再現できるかどうかを検証するために、総計158カ国の国債格付けと44種の経済・政治指標との相関をSVRで一括解析する大規模実験を行った。筆者の知る限り、このような多数国の国債を、政治指標を含む多様な指標を用いてSVRで解析した論文は見当たらない。

2 方 法

2.1 格付けデータ

国債の格付けは内外の格付け会社5社 (Standard & Poor's (S&P) [27], Moody's (MDY) [28], Fitch[29], 日本格付研究所 (JCR) [30], 格付投資情報センター (R&I) [31]) のホームページから総計158カ国の2011年4月末時点のデータを入手した。国債には外貨建てと自国通貨建ての2種類および長期債と短期債の2種類があるが、本研究で用いたのは外貨建て長期国債についての格付けである。

格付け会社の格付けはMDYのみ記号が異なるが、表1に示すA, B, C等の記号で公表されている。格付けを検証するには、このランクを名義尺度または順序尺度とみなして多群分類を行う方法と、間隔尺度とみなして数量化し回帰分析を行う方法の2つがある。前者を用いた論文もあるが[32,33], この方法では少数のランクの分類のみが可能と考えられる。本研究の国債の格付けは表1に示したランクだけでなく、その中間ランクや種々の付加記号を用いたよりきめ細かい格付けも存在しているため、この方法で扱うことは困難である。

表1 格付け会社5社の格付け記号とその数量化

MDY	他4社	数量化	格付け記号の説明 (MDY)
Aaa	AAA	1	信用力が最も高く,信用リスクが最小限であると判断される債務に対する格付
Aa1	AA+	0.95	信用力が高く,信用リスクが極めて低いと判断される債務に対する格付
Aa2	AA	0.9	
Aa3	AA-	0.85	
A1	A+	0.8	中級の上位で,信用リスクが低いと判断される債務に対する格付
A2	A	0.75	
A3	A-	0.7	
Baa1	BBB+	0.65	信用リスクが中程度と判断される債務に対する格付.中位にあり,一定の投機的な要素を含む
Baa2	BBB	0.6	
Baa3	BBB-	0.55	
Ba1	BB+	0.5	投機的要素をもち,相当の信用リスクがあると判断される債務に対する格付
Ba2	BB	0.45	
Ba3	BB-	0.4	
B1	B+	0.35	投機的であり,信用リスクが高いと判断される債務に対する格付
B2	B	0.3	
B3	B-	0.25	
Caa1	CCC+	0.2	安全性が低く,信用リスクが極めて高いと判断される債務に対する格付
Caa2	CCC	0.15	
Caa3	CCC-	0.1	
Ca	CC	0.075	非常に投機的であり,デフォルトに陥っているか,あるいはそれに近い状態にあるが,一定の元利の回収が見込めると判断される債務に対する格付
C	C	0.05	最も格付が低く,通常,デフォルトに陥っており,元利の回収の見込みも極めて低い債務に対する格付
D	D	0.025	債務不履行
SD	SD	0	債務者がある特定の債券または債務の種類を選択して不履行としたが,その他の債務については期日通りに支払いを継続すると判断される

表2 30カ国*に対する格付け会社の格付けの差の集計結果とその平均値

格付け 5 社の平均からの差	S&P	MDY	Fitch	JCR	R&I
～ -0.10	0	1	0	0	0
-0.10 ～ -0.05	3	4	7	0	0
-0.05 ～ 0.00	20	18	21	6	12
0.00 ～ 0.05	7	7	2	14	16
0.05 ～ 0.10	0	0	0	7	2
0.10 ～	0	0	0	3	0
平均からの差の平均	-0.0118	-0.0132	-0.0266	0.0396	0.0121
予測誤差の平均	0.0117	-0.0134	0.0260	-0.0314	0.0010
データ数	121	113	107	35	45

*30カ国の内訳については本文参照。

一方、後者の方法では格付けランクを等間隔とみなして数値化することが多いが、格付け会社が行っているランクの差が一定であるという根拠はない。しかし、現実の格付けのランク差がほぼ同程度の間隔とみなせることと、多くの先行研究でもこの方法が用いられていることから、この方法を採用した。そこで、表1のように、最高ランクを1、最低を0とし、その間に等間隔に割り振った。ただし、ランクCCC-またはCaa3以下の低位の出現頻度はきわめて低いので、0.1以下の間隔はそれ以上の半分とした。

また、同一国債に対し複数の格付け会社の格付けがある場合には数量化した値の平均値を用いた。しかし、格付け会社の格付けは同一の記号でも評価水準が同じでなく、一般に国内に比べて海外の格付け会社の評価が厳しいといわれている（スプリットレーティングの問題[34]）。したがって、この差を考慮して格付け会社ごとに別個のモデルを作成する方法も考えられる[35]。しかし、本研究では以下の理由から、各社の格付けを一括し、複数の格付けがある場合はその平均値を用いる方法を採用した。

(1)本研究で扱う全国債の内、格付け会社5社の格付けがある30カ国（アメリカ合衆国、イギリス、イタリア、インド、インドネシア、オーストラリア、オランダ、カナダ、シンガポール、スペイン、スロバキア、スロベニア、タイ、チェコ、デンマーク、ドイツ、ノルウェー、ハンガリー、フィリピン、フィンランド、ブラジル、フランス、ベルギー、ポーランド、ポルトガル、マレーシア、メキシコ、韓国、香港、日本）について各国債の格付け平均値からの各社の差を集計すると表2のようになる。国内の格付け会社に比べて海外、特にFitchが厳しい格付けを行っている傾向が認められる。この各社の格付けの差を30カ国について平均した値は表2の下から3行目に示すようになり、格付け5社の平均的水準はFitch < MDY < S&P < R&I < JCRの順であり、全般的に国内格付け会社の甘い評価が裏付けされる。しかし、5社間の格付けの差は最大のFitchとJCRでも2ランク以内であり、格付け会社の差は一般にいわれているほど大きくない。

(2)また、格付け各社の平均値を用いた本研究の予測値と各社の評価値との差の平均は

表2の下から2行目に示すようになり、格付け会社間の差が無視できる程度であることが分かる。

(3)さらに、表2の最下行に示すように、国内の格付け会社では格付けのある国債のデータ数が指標数に比べて多くないため、会社別の予測モデルを作成することは不可能である。本研究ではできるだけ多くの国の国債格付けを再現するモデルの作成を目的としたので、格付け各社の格付けの平均値を用いることにより、格付け会社別に解析する場合より多くの国の格付けを検証することが可能となる。

(4)国債の格付け情報を利用する投資家にとっては、格付け会社ごとの格付けより、各社の平均的な格付けの方が重要であると思われる。格付け会社1社の格付けに左右されることなく、平均的な格付けを重視すべきとの意見もある[36]。

そこで、本研究では以上の理由から、各社の格付けを一括し、複数の格付けがある場合はその平均値により設定値を作成し、このデータを用いて検証した。

2.2 指標データ

格付け会社の国債格付けを検証するモデルを作成するためには、説明変数である指標が客観的な数値データとして入手可能である必要がある。上記のように、格付け会社は国債格付けの際に経済的要因と政治的要因の両面を考慮しており、経済指標としてはGDPや対外債務等、多数の数値データが存在する。しかし、先行研究の多くでは少数の経済指標のみが用いられており、しかもそれらの指標は経験的に選定されたものと思われ、それら以外に格付けに重要な寄与をする指標が存在する可能性がある。本研究では格付

け会社の格付けを高精度で再現するモデルを作成するために、できるだけ多数の指標を用いた。格付け各社の情報や資料[25,37-39]を参考に、表3に示す44種の指標を用いた（これらの内の幾つかの指標と国債格付けとの関係については[40]が詳しい）。

GDPから失業率までの23種が経済指標であるが、この内、GDP等の金額単位（表3のデータ源から入手できる経済指標の金額はすべて米ドル単位で統一されている）の指標については、経済規模の違いにより国によって絶対値が大幅に異なる。そのため、国民1人当たりの数値、あるいはGDPに対する比率を用いる方が格付けの予測精度が高くなる可能性がある。

そこで、指標ごとに金額単位、対人口比、対GDP比の中で格付けとの相関が最も高くなるものを採用した。1例として総資本形成について3種の数値と格付けとの相関を図1に示す。格付けとの相関係数は金額単位（ただし対数で正規化）が0.663、対人口比が0.872、対GDP比が0.067であり、予想に反して対人口比の相関が高く、対GDP比はきわめて低い。このようにして、表3に示したように、財政収支（金額単位）と経常収支（対GDP比）以外の経済指標については対人口比の数値を用いた。

一方、格付け会社が考慮している政治的要因については、様々な機関から多くの指標が公表されている。本研究では、表3の軍事費からWorldwide Governance Indicators (WGI)までの21種の指標を用いた。以上の各指標は対数を用いて最大値1と最小値0の間にできるだけ均等に分布するように規格化した後、格付けデータとの相関解析に用いた。

表3 解析に用いた指標

指標	データ源
GDP（現在の為替レート換算の国内総生産）	IMF[41], WB[42], UN[43], CIA[44]
GpC（GDP の対人口比, GDP per Capita）	IMF[41], WB[42], UN[43], CIA[44]
GDP 成長率	IMF[41], WB[42], UN[43], OECD[45], CIA[44]
インフレ率（消費者物価指数）	IMF[41], WB[42], CIA[44]
消費税率	Deloitte[46]
金保有高（対人口比）	Photius[47], CIA[44]
外貨準備高（対人口比）	IMF[41], WB[42], CIA[44]
国内信用ストック（対人口比）	CIA[44]
総資本形成（対人口比）	IMF[41], WB[42], CIA[44]
総貯蓄（対人口比）	IMF[41], WB[42]
輸出額（対人口比）	WB[42], UN[43], CIA[44]
輸入額（対人口比）	WB[42], UN[43], CIA[44]
財政収支（金額単位）	IMF[41], WB[42], OECD[45]
経常収支（対 GDP 比）	IMF[41], WB[42], CIA[44]
政府歳入（対人口比）	IMF[41], WB[42]
政府歳出（対人口比）	IMF[41], WB[42]
累積債務（対人口比）	IMF[41], WB[42], OECD[45], CIA[44]
対外債務（対人口比）	WB[42], CIA[44]
外貨準備高/輸入高	IMF[41], WB[42], UN[43], CIA[44]
外貨準備高/対外債務	IMF[41], WB[42], CIA[44]
対外債務/輸出額	WB[42], UN[43], CIA[44]
ジニ係数	WB[42], UN[43], OECD[45], CIA[44]
失業率（男女計）	ILO[48], IMF[41], WB[42], CIA[44]
軍事費（対 GDP 比）	WB[42], CIA[44], SIPRI[49], EconStats[50]
兵士数（対労働力人口比）	WB[42], EconStats[50], NationMaster[51]
殺人件数（対人口比）	UN[43]
暴力事故死者数（対人口比）	WHO[52]
Composite Index of National Capability (CINC)	Wikipedia[53]
Corruption Perceptions Index (CPI)	Transparency International[54]
Country Indicators for Foreign Policy (CIFP)	Country Indicators for Foreign Policy[55]
Country Risk (CR)	Euromoney[56]
Democracy Index (DI)	Wikipedia[57]
East West Global Index (EWGI)	Eastwestcoms[58]
Failed States Index (FSI)	Foreign Policy[59]
Functional States Index (FSI2)	Wikipedia[60]
Globalization Index (GI)	ATKearney[61]
Happy Planet Index (HPI)	Happy Planet Index[62]
Human Development Indicators (HDI)	UN[63]
Index of Economic Freedom (IEF)	Heritage Foundation[64]
National IQ Scores (NIQS)	Photius[65]
Press Freedom Index (PFI)	Reporters sans frontieres[66], Freedom House[67]
Quality of Life Index (QOLI)	Economist Intelligence Unit[68]
State Fragility Index (SFI)	World Resources Institute[69]
Worldwide Governance Indicators (WGI)	WB[70]

図1 総資本形成と格付けとの相関（横軸：総資本形成（左：金額単位，中：対人口比，右：対GDP比）の対数値，縦軸：格付け設定値）

2.3 検証モデル

格付け検証モデルの作成には、LIBSVM ver.2.89 [71]の回帰機能（SVR）、カーネル関数はRBF（Radial Basis Function; 動径基底関数，ガウスカーネルとも呼ばれる），SVRのタイプは ϵ SVRを用いた。SVRではANNと同様，モデルの最適化が必要であり，LIBSVMの ϵ SVRでは g （RBFカーネルの γ ）， c （cost）および p （loss functionの ϵ ）の3種のパラメータの最適化が不可欠である。本研究では以下の方法によりモデルの最適化と予測性能評価を行った。

- (1) 第1レコードを予測セットとし，その他のレコードをまとめて学習セットとする。
- (2) 学習セットについてLeave-One-Out Cross-Validation Test（LOOCVT）によりパラメータ g ， c ， p の最適値を探索する。最適値の探索法は，パラメータ g と c は値0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5について，パラメータ p は値0.01, 0.02, 0.05, 0.1について，これらの組み合わせをグリッドサーチして，LOOCVTの検証値と格付けの設定値との平均二乗誤差（ $RMSE$ ）が最小になる点を探すことで行う。 $RMSE$ は次式で計算して用いる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Z_{set} - Z_{test})^2}{N}} \quad (1)$$

ここで Z_{set} は格付けの設定値， Z_{test} はCV検証値， N はレコード数である。

- (3) この最適化したモデルに予測セットの指標を入力して格付けの予測値を求める。
- (4) 第2レコード以下の各レコードを予測セットとして以上の操作を繰り返し，全レコードの予測値から $RMSE$ を算出する。

2.4 変数選択

SVRモデルの最適化では， g ， c ， p の3種のパラメータ以外に，指標（説明変数）の最適化も必要である。多変量回帰では，有効でない説明変数を追加すると過学習状態に陥り，学習誤差は減少するが，テストセットに対する予測誤差は増大する。したがって，必要最小限の説明変数を抽出する操作が不可欠である。この操作は変数選択と呼ばれ，変数増減法，焼きなまし法，モンテカルロ法，遺伝的アルゴリズム法等，これまでに多くの手法が提案されているが，決定的なものはない。本研究のSVRの最適化では，説明変数を変える度に上記のパラメータも最適化しなければ

ばならないため、迅速な変数選択法が必要である。しかし、既存の方法はいずれも迅速性の点で問題があり、本研究のような多数の説明変数の中から最適な組み合わせを決定する方法としては採用できない。

そこで本研究では、各指標について格付けに寄与する重要度を計算し、その重要度の低い指標を順次削除しながらSVRモデルを最適化し、*RMSE*が最小となる点を探索するという方法を用いた。指標の重要度の計算法としては次の2方式を検討した。第1は社債の格付けの論文[20]で用いた相関係数法であり、格付けとの単相関係数の絶対値が大きい指標ほど重要度が高いとする方法である。第2は感度分析法であり、以下の方法で求める感度の絶対値が大きい指標ほど重要度が高いとする方法である。

- (1) まず全指標を用い、SVRのパラメータ g , c , p を最適化する。
- (2) 各指標について全レコードの平均値を算出する。
- (3) 感度を求める指標の値は全レコードで実際の数値に設定し、その他の指標の値は全レコードでそれぞれ平均値に設定する。
- (4) そのデータを予測セットとしてSVRに投入し、全レコードの格付けの出力値を求める。
- (5) 全レコードについての当該指標の設定値を説明変数、格付け出力値を目的変数とする単回帰分析を行い、回帰直線の傾きをその指標の感度とする。

3 結果と考察

3.1 変数選択の結果

以上の感度分析法により変数選択を行った結果を図2に示す。指標数を全44種から減らしていくと*RMSE*が徐々に低下し、指標数

が多い場合は過学習状態に陥っていること、そして、指標数をさらに減らしていくと*RMSE*が逆に増加し、格付けに有効な指標が削除されたことが分かる。指標数18の場合に*RMSE*が最小となり、この点が最適モデルと判定される。

このようにして最適化したモデル(RBFカーネルを用い感度分析法で変数選択したSVR)の有効性を検証するために、RBFカーネルを用い相関係数法で変数選択したSVR、線形カーネルを用いたSVR、およびMLRと比較した。MLRでは逐次減少法(F値および標準偏回帰係数が最小の変数を順次削除する方法)で変数選択した。表4に示すように、最適の指標数およびその時の*RMSE*の値はモデルにより異なっている。RBFカーネルと感度分析法を組み合わせたSVRでは、4種のモデルの中では*RMSE*が最小となる。RBFカーネルと相関係数法を組み合わせたSVRでは、指標数28の時に*RMSE*が最小になるが、その値は感度分析法より大きい。線形カーネルと相関係数法を組み合わせたSVR、およびMLRの*RMSE*はRBFカーネルと感度分析法を組み合わせたSVRよりさらに大きい。

これらの結果から、相関係数法は感度分析法より予測精度が低く、また最適指標数が多いのは選定した指標の中に格付けに有効でない指標が含まれているためと考えられ、この方法は変数選択法としては適切でない。また、線形カーネルSVRとMLRの予測誤差がきわめて大きいことから、格付けと指標との関係は非線形性が高く、これらの線形モデルでは予測精度の高いモデルを作成できないことが分かる。したがって感度分析法により選択した変数を用い、RBFカーネルSVRで解析するモデルが最適であると結論できる。そこで以下の考察ではこの方法の結果を用いた。

図2 感度分析法における変数選択の結果

表4 各種モデルの性能比較

モデル	変数選択法	最適指標数	平均二乗誤差 (RMSE)
SVR (RBF カーネル)	感度分析法	18	0.0696
SVR (RBF カーネル)	相関係数法	28	0.0732
SVR (線形カーネル)	相関係数法	25	0.0844
MLR	逐次減少法	11	0.0825

3.2 格付けの予測結果

最適モデルにより全158カ国の国債の格付けを予測した結果を図3に、その内の主要国 (G20参加国の内のEUを除く19カ国) についての予測結果を表5に示す。誤差が 2σ 以上大きい国もあるが、大多数の国では予測値は設定値をよく再現している。全158カ国についてのRMSE (0.0696) が表1に示した格付けの数量化基準と比較して2ランク以下の誤差に対応することから、格付け会社の国債格付けを公開されている数値指標のみから高精度で再現するモデルを作成できたといえる。

一方、国債格付け予測についての先行研究で本研究ほどの高い精度が得られたものはない。格付け設定値と予測値との相関の決定

係数は本研究では0.925であるが、宮崎ら[72]は0.69～0.84と低い。Mora[24]は先行研究の中では最多の88カ国の国債をMLRで解析しているが、決定係数は0.2以下ときわめて低い。このように本研究のSVRモデルで先行研究より良好な予測結果が得られた要因は後で考察する。

格付け5社の国債格付け方法は補足に記したが、統計モデルを十分に活用しているところは現時点ではない。S&Pの公表資料[73]は、格付けの際に考慮している各種の指標や格付けのプロセスについては非常に詳しく記載しているが、統計モデルに関する記述が全く見あたらないので、現時点ではこの種のモデルは採用していないと思われる。

図3 格付けの設定値と感度分析法による予測値との散布図

表5 主要国の格付けの設定値および最適モデルによる予測値

順位	国名	設定値	予測値	順位	国名	設定値	予測値
1	ドイツ	1.000	1.021	41	サウジアラビア	0.817	0.656
4	アメリカ合衆国	1.000	1.000	42	メキシコ	0.636	0.651
5	カナダ	0.975	0.999	46	ブラジル	0.547	0.617
6	オーストラリア	0.965	0.998	47	南アフリカ	0.654	0.608
10	フランス	1.000	0.973	49	ロシア	0.588	0.607
13	日本	0.958	0.956	53	トルコ	0.420	0.585
15	イギリス	1.000	0.925	62	インドネシア	0.469	0.546
22	イタリア	0.875	0.841	71	インド	0.578	0.493
29	韓国	0.792	0.768	102	アルゼンチン	0.275	0.349
40	中国	0.792	0.680				

順位：全158カ国での予測値の順位

また、MDYの資料[74]は、“a mechanistic approach based on quantitative factors alone is unable to capture the complexity of the interaction between political, economic, financial and social factors・・・”と記し、統計モデル等の機械的アプローチで格付けする方法に疑問を示している。さらに、そのような定量的評価モデルに関する記述もない。

これに対して、Fitchの資料[75]は5社の中では唯一、統計モデル（Sovereign Rating Model, SRM）について詳しく記載している。SRMはGpC, consumer price inflation, budget balance, gross debt等、18種の経済・財政変数を用い、MLRで格付け値を出力する。このモデルの有効性について、“Fitch’s sovereign analysts **will** utilize the SRM as an important analytical tool and as one of a range of qualitative and quantitative inputs into the rating process”と記している（太字は筆者）。しかし続けて、“However, Fitch recognizes that no model can fully capture all the relevant influences on sovereign creditworthiness, meaning the actual rating determined by the sovereign rating committee can and does differ from that implied by the rating model”という表現があることから、同社の評価プロセスにおけるSRMの活用度は現時点では低いと見られる（この原因には、SRMでは上記のように経済指標のみを用いてMLRで解析しているため、予測性能が低いことも考えられる）。

以上の各社の国債格付けにおける統計モデルの活用状況は社債格付けにおける状況とは対照的である。山崎[76]の報告のように、各社は社債の格付けではMLRやSVR等の統計モデルを十二分に活用している。この違いの原因としては、社債の格付けでは統計モデル等の機械的アプローチの有効性がアナリ

ストから評価されているのに対して、国債の格付けモデルの信頼性の評価がまだ低い（下記のように、MLRを用いたモデルでは、格付けに対する寄与度を説明できない指標が存在する）。また、国債の格付けはその結果が国際政治・経済・社会的にきわめて大きな影響を与えるため、数年先の予測を含めたアナリストの主観的評価の比重が高いためと推測される。しかし、Fitchの上記の文章の中で“**will**”とあり、また同社の資料でSRMに関する記述が年々増えていることから、将来的には統計モデルの活用度が高くなり、各社ともこの方向に進むものと思われる。

3.3 国債の格付けに有効な指標

最適化された18種の指標について感度分析の結果を表6に示す。WGI, CR, IEF等の政治指標が高い寄与率を示し、さらに、最適指標18種の中に政治指標が7種も含まれ、それらの寄与率を合計すると52.2%にも達する。補足に記した各社の資料では政治指標について1/5～1/4程度の記述であることから考えると、この寄与率はきわめて高い。しかし、このことは、格付け会社が国債の格付けを行う際に実際は政治的要因を重視していることを示すものと考えられる。

一方、先行研究では、各指標の寄与の方向に関して指標の意味と整合しない結果となった研究がある。例えば、宮崎ら[72]はアジア9カ国の国債の格付けをMLRで検証したが、対外債務が有意な要因となったものの、符号が正であり、債務が大きい国ほど格付けも高いという常識に反する結果となった。これは彼らが僅か5～6種の指標を用いてMLRにより解析しているためと考えられる。これに対し、本研究の結果では、累積債務等の感度がいずれも負の符号であるように、各指標

の感度の符号がその指標の意味に合致している。

この原因としては、本研究ではSVRという非線形手法を用いて格付けと各種指標との相関を精密に解析していることと、感度分析法により各指標の重要度が正確に評価できたためと考えられる。すなわち、表6のように各指標についての格付け設定値との単相関係数と感度とは大きな違いが認められる。格付けとの相関係数の大きな指標が必ずしも大きな感度とはなっていない。むしろ、相関係数と感度の符号が異なる指標が多く存在する。

一例として、累積債務について格付けとの見かけの相関と感度分析の結果を図4に示す。

この指標は格付けと高い相関が認められる（単相関係数は0.803）が、符号は正であり、債務が多い国ほど格付けが高いという関係は常識とは逆である（表3のように、この指標は国民1人当たりの数値であるため、経済規模の効果はある程度相殺されていると考えられる）。これに対して、感度分析の結果は符号が負であり、常識と一致している。

以上の結果から、指標と格付けとの見かけ上の相関関係やMLR等の解析結果に基づいて国債格付けに対する各指標の寄与の大小やその方向を議論することには問題があり、感度分析から得られる感度の方が指標の寄与の正しい方向や大きさを示していると考えられる。

表6 最適化した18種の指標の感度、感度分析での決定係数、寄与率、日本の格付けへの寄与順位、および格付けとの相関係数（順位）

順位	指標	感度	決定係数	寄与率 (%)	日本の格付けへの寄与順位	相関係数 (順位)
1	WGI	0.421	0.999	20.9	21	0.876 (1)
2	CR	0.334	0.966	13.1	18	0.868 (5)
3	輸出額	0.256	0.996	7.7	43	0.830 (13)
4	IEF	0.253	0.998	7.5	18	0.782 (19)
5	外貨準備高	0.230	0.998	6.2	10	0.701 (21)
6	GDP	0.220	0.990	5.7	3	0.667 (24)
7	政府歳出	-0.196	0.973	4.5	140	0.862 (7)
8	累積債務	-0.193	0.999	4.4	158	0.803 (16)
9	総資本形成	0.183	0.999	3.9	12	0.872 (3)
10	対外債務/輸出額	-0.179	0.976	3.8	126	0.131 (39)
11	財政収支	-0.175	0.920	3.6	2	-0.303 (36)
12	FSI	0.170	0.995	3.4	145	-0.850 (12)
13	HDI	-0.163	0.993	3.1	148	0.808 (15)
14	DI	-0.157	0.987	2.9	136	0.623 (28)
15	対外債務	-0.153	0.998	2.8	28	0.802 (17)
16	総貯蓄	0.149	0.968	2.6	13	0.872 (4)
17	GDP 成長率	-0.148	0.948	2.6	76	-0.119 (40)
18	CIFP	-0.104	0.999	1.3	17	-0.795 (18)

太字の指標：政治指標、寄与率 (%) : $100 \times (\text{感度})^2 / \sum (\text{感度})^2$ で計算した各指標の寄与率、日本の格付けへの寄与順位：世界158国中での順位、相関係数の斜字：感度と異符号のもの、順位：全指標44種中での順位。

図4 (左) 累積債務と格付けとの見かけの相関 (横軸：累積債務値，縦軸：格付け設定値)，
(右) 感度分析の結果 (横軸：累積債務値，縦軸：累積債務単独での格付け予測値)

また、表3の経済指標の内、対外債務/輸出額という比率はデットサービスレシオ (DSR) として国の支払能力を示し、外貨準備高/輸入高、外貨準備高/対外債務の2種の比率は国の財務安定度を示し、いずれも格付け会社が国債評価の際に重視している指標である[77]。表6のように、対外債務/輸出額は最適指標18種の中に残り、10番目の重要度である。しかし、他の2種の指標は最適指標の中に残らず、本研究の感度分析では不要な指標であると判定された (外貨準備高/輸入高の重要度は23番目、外貨準備高/対外債務は39番目である)。このように、本研究で提案した感度分析法では各指標の重要度について定量的かつ正確な評価が可能である。

3.4 我が国の国債の格付けの予測

以上の結果に基づき、我が国の国債の格付けの予測結果を検証する。我が国の格付けの予測値0.956は世界158カ国の中で上から第13位である。我が国の累積債務が世界で最大

であるにもかかわらず、本研究のモデルが我が国の格付けを第13位と予測した原因を調べるために、18種の最適指標それぞれが単独で我が国の格付けを予測する数値が世界中で何位であるかを集計した結果を表6に示す。

確かに、我が国の累積債務の寄与は世界158国中で最下位であり、格付けの予測値の向上には全く寄与していない。また、HDI (148位)、FSI (145位)、政府歳出 (140位)、DI (136位)、対外債務/輸出額 (126位) 等の指標も格付けを下げる方向に寄与している。しかし、我が国の指標の中では、財政収支 (2位)、GDP (3位)、外貨準備高 (10位)、総資本形成 (12位)、総貯蓄 (13位)、CIFP (17位)、CR (18位)、IEF (18位)、WGI (21位) 等、格付けの向上に寄与する指標が多い。したがって、我が国の格付けの予測値が世界第13位になったのは、累積債務等のマイナス要因よりも財政収支、GDP等のプラス要因の方が多いためと考えられる。

我が国の格付けの予測値0.956は格付け各

社の格付けを平均した設定値0.958にきわめて近い。しかし、各社別の評価値（本研究のデータ取得の2011年4月末時点）はS&Pが0.917, MDYが0.925, Fitchが0.950（前記のスプリットレーティングの記述とは異なり、ここでは海外格付け会社の中ではFitchが最も高く、予測値にきわめて近い）であるのに対し、JCRとR&Iはともに最高位の1.0である。したがって、各種の指標値から見て国内の格付け会社が高目の評価を行っているのに対し、S&PとMDYは我が国の債務超過を大きく評価して（正確に言えば、債務超過に対する政府の無策ぶりを指標値以上に大きく評価して、ということであろう）、厳しい格付けをしていると推測される[78]。

参考までに2012年6月末現在の各社の我が国の格付けは、S&PがAA-（表1によれば0.85）、MDYがAa3（0.85）、FitchがA+（0.8）と、海外格付け会社はすべて引き下げている。これに対し、JCRはAAA（1.0）であるが、R&Iは2011年12月21日にAAAからAA+（0.95）に初めて引き下げている。したがって、国内の格付け2社の評価には最近の日本の政治・経済情勢が客観的に十分考慮されていないとみられる。

3.5 格付け予測精度が向上した原因

以上の結果から、本研究の国債格付けモデルが先行研究より予測精度が向上した原因をまとめる。まず第1は、政治指標を始めとする多数の指標を用いたことである。先行研究ではほとんど政治指標は用いられず、GDP、対外債務等、少数の経済指標を用いているにすぎない。それに対して、本研究で用いたSVRではデータ数に対する説明変数の数に制限がない。そのため、これまで考慮されていなかった多数の指標を用いて解析できた

ことが好成績の第1原因である。特に、格付けに有効な政治指標を多数利用できたことが大きい。

第2は、先行研究では主としてMLRで解析しているのに対し、本研究では非線形解析手法であるSVRを利用したことである。表6のように、感度分析から得られる感度と、指標と格付けとの間の単相関係数とが異符号の指標が数多く存在する。したがって、格付けと指標との相関は非線形性がきわめて高く、MLRでは十分な予測精度が得られないことが分かる。

以上を総括すると、国債の格付けを再現するモデルを作成するためには、多数の経済・政治指標の中から有効な指標を感度分析により選択し、SVR等の非線形解析手法を用いることが最適であると結論できる。

4 結 論

本研究では、総計158カ国の国債格付けデータと政治指標を含む44種もの多数の指標データとの相関をSVRで一括解析した。得られた結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 格付け設定値との平均予測誤差（RMSE）0.070, 決定係数0.925と、先行研究より良好な結果が得られ、これまで格付け会社が行ってきた多数国の国債格付けを公開されている数値データのみから高精度で再現するモデルを作成できた。
- (2) 解析に用いた各種指標の中では政治指標の寄与がきわめて高いことから、格付け会社が国債の格付けを行う際には政治的要因を重視していることが判明した。
- (3) 我が国の国債格付けについては国内の格付け会社が各種の指標値と比較して高目の評価を行っているのに対し、海外の格付け会

社は我が国の債務超過を指標値以上に大きく評価して厳しい格付けをしている傾向が明らかになった。

(4)各指標の数値と格付けとの関係は非線形性が高いため、感度分析から求まる感度が各指標の寄与の大きさや方向の正しい情報を与えることが分かった。したがって、国債の格付けを再現するモデルを作成するためには、多数の経済・政治指標の中から有効な指標を感度分析により選択し、SVR等の非線形解析手法を用いることが最適である。

今後の研究課題としては以下の点があげられよう。まず、図3の結果を見ると、予測誤差が 3σ 以上大きな国が幾つか存在する。したがって、これらの国の誤差の原因を究明し、全体的な予測誤差を低下させ、本研究のモデルの信頼性をさらに向上させることが今後の課題である。また、本研究の解析では全158カ国を同じ重みで取り扱ったが、種々の指標データの信頼性には大きな相違があり、国別に重みを変えて解析すべきかもしれない。しかし、データの信頼性の評価は難しい面があり、この点は今後の研究課題である。

さらに、本研究では格付けと各種指標は最新のデータだけを用いて解析したが、過去のデータを用いて各国の国債格付けの変動が再現できるかどうかを検証することも今後の課題である。また、国債の格付けデータが存在するにもかかわらず、本研究で用いた44種の指標の内の1部の指標が欠落していたために解析できなかった国が18カ国もある。このような国のほとんどが低格付け国であるため、解析可能になれば格付け予測モデルの信頼性がさらに向上する可能性がある。このような欠損データが存在する場合の対処法として種々のデータ推定法が提案されているので、これらの手法を検討することも今後

の検討課題である。

SVRはANNと同じ非線形解析手法であるが、ANNで深刻な局所解の問題がないことや、ANNより圧倒的に短い時間で処理できるという利点がある。そのため、様々な問題に適用され、その有効範囲が拡大している[79]。しかし、ANNが長い歴史があるのと比べて、SVRは提案されてまだ浅い手法であるため、解決すべき課題も多く、変数選択は最新の研究テーマとなっている[80,81]。本研究で提案した感度分析法は国債格付けの問題では有効性が実証されたが、本研究の感度分析の方法にも問題はある。上記の感度計算では、当該指標のみ数値を変化させ、その他の指標はすべて平均値に固定した時の予測格付けの傾きを当該指標の感度としており、いわば指標間の相互作用を無視し、線形独立性を仮定して求めている。格付けと指標の関係は非線形性が高いことが判明しているため、上記の方法で求めた指標の感度は1次近似といえよう。感度分析の近似度の改善は今後の課題である。

補 足

格付け会社5社が公表している格付け方法の概要を記す。

1. Standard & Poor's(S&P)

同社は5社の中で最も詳しい43ページの資料[73]を2011年6月30日に公表している。格付けに当たっては、(1) political score, (2) economic score, (3) external score, (4) fiscal score, (5) monetary scoreの5種のkey areaのscoreを評価する。この内、(1)については、WBのWorld Governance Indicators, UNのHuman Develop Indicators等、(2)と(5)につい

てはGDP per Capita, consumer price index等, (3)についてはcurrent account receipts, gross external financing needs等, (4)についてはgross/net general government debt, general government financial assets等のデータを用い, 各areaのscoreを6段階で評価する. 次に, (1)と(2)のscoreを平均してpolitical and economic profileを, (3), (4), (5)のscoreを平均してflexibility and performance profileを求める. これら2種のprofile値を評価表に当てはめ, aaaからccc/ccまでの17段階のsovereign indicative rating levelに格付けする. この格付けにexceptional adjustment factors, zero to two notches of upliftの調整を行い, 最終的な格付けとする. 同社の格付けプロセスの公開度は5社の中では最高位である.

2. Moody's (MDY)

同社は19ページの資料[74]を2008年9月に公表している. 格付けに当たっては, (1) economic strength, (2) institutional strength, (3) government financial strength, (4) susceptibility to event riskの4種のkey factorを評価する. この内, (1)についてはGDP per capitaを主体に, (2)についてはWBのRule of Law, Government Effectiveness Index等, (3)についてはdebtをgovernment balance-sheet tool kitおよびbalance of payments tool kitにより, (4)はfinancial, economic and political riskについて, 各scoreを5段階で評価する. 次に, (1)と(2)のscoreを評価表に当てはめてeconomic resiliency levelを, (3)と(4)のscoreを評価表に当てはめてfinancial robustness levelを5段階で評価する. 次に, これら2種のlevel値を評価表に当てはめ, Aaaからcまでの18段階に格付けする. 一部の指標については記載の具体性が乏しいものもあるが, 5社の中で公開性の程度は

中位と見られる.

3. Fitch

同社は20ページの資料[75]を2011年8月15日に公表している. 格付けに当たっては, (1) macroeconomic performance and prospects, (2) structural features including macroeconomic stability, public finance, political risk and governance factors, (3) public finances including structure and sustainability of public debt and public financing, (4) external financesの4項目を評価する. これらはGDP, GNI per Capita, consumer price index, real effective exchange rate, general government and central bank gross external debt, WBのGovernance Indicators等, 多数の指標で評価する. 同社の格付け方法で最も特徴的なことは, 統計モデルSovereign Rating Model (SRM)の採用である. SRMはGDP per Capita, consumer price inflation, budget balance, gross debt等, 18種の経済・財政変数を用い, MLRで格付け値を出力する. しかし, 同社の格付けプロセスにおけるSRMの活用度は現時点では低いと見られる. 以上の資料による同社の公開性の程度はS&Pに次ぐ2位と見られる.

4. 日本格付研究所(JCR)

同社は14ページの資料[82]を2009年2月10日に公表している. 格付けは「ソブリン格付多段階評価システム」を用いて行っているが, このシステムの特徴は流動性リスクを評価している点, および当該国の債務償還能力に関する格付け評価を5段階で行っている点である. この5段階評価システムの第1段階の定量評価プロセスではコンピュータ評価プログラム(詳しい記載なし)を用いて中長期リスク評価と流動性リスク評価を行う. その後,

総合分析，定性評価，総合判断，予測評価の各プロセスを経て，格付けが最終決定される．また，格付けに当たっては，当該国の社会，政治，経済等の多岐の側面を総合的に分析・判断するとしている．しかし，格付けの方法や評価項目に関する記載内容はほとんど概念的，抽象的であり，5社の中では情報公開の程度は最も低い．

5. 格付投資情報センター(R&I)

同社は8ページの資料[83]を2012年3月16日に公表し，また同社の担当アナリストが9ページの資料[84]を寄稿している．格付けに当たっては，財政状況・資金調達構造，経済・政治社会基盤，政策運営力の3側面を分析する．これらは，名目GDP，1人当たりGDP，実質GDP成長率，消費者物価上昇率，債務残高，財政収支，経常収支，WEFのGlobal Competitiveness Index，WBのWorldwide Governance Indicators等で評価する．一部具体的な評価項目もあるが，格付け方法や評価項目の具体的な記述は十分とはいえず，公開度の程度は5社の中で4位と見られる．

参考文献

- [1] 時永祥三：「複雑系による経済モデル分析」，九州大学出版会，2000.
- [2] 田辺和俊：「Neurosim/Lによるニューラルネットワーク入門」，日刊工業新聞社，2003.
- [3] 岡本大輔：「AIによる企業評価」，中央経済社，2006.
- [4] Hwang, M.; Liu, W.; Lin, J.: "Assessing Sovereign Debt Service Capacity: A Neural Fuzzy System Approach", AMCIS 1998 Proceedings, paper 58, 1998.
- [5] Cooper, J. C.: "Artificial Neural Networks versus Multivariate Statistics: an Application from Economics", Journal of Applied Statistics, Vol. 26, No. 8, pp. 909-921, 1999.
- [6] Huang, Z.; Chen, H.; Hsu, C.-J.; Chen, W.-H.; Wu, S.: "Credit Rating Analysis with Support Vector Machines and Neural Networks: a Market Comparative Study", Decision Support Systems, Vol. 37, No. 4, pp. 543-558, 2004.
- [7] Bennell, J. A.; Crabbe, D.; Thomas, S.; Ap Gwilym, O.: "Modelling Sovereign Credit Ratings: Neural Networks versus Ordered Profit", Expert Systems with Applications, Vol. 30, No. 3, pp. 415-425, 2006.
- [8] Angelini, E.; di Tollo, G.; Roli, A.: "A Neural Network Approach for Credit Risk Evaluation", The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol. 48, No. 4, pp. 733-755, 2008.
- [9] Frascaroli, B. F.; Silva, L. da C.; Filho, O. C. da S.: "Ratings of Sovereign Risk and the Macroeconomics Fundamentals of the Countries: a Study Using Artificial Neural Networks", Brazilian Review of Finance, Vol. 7, No 1, pp. 73-106, 2009.
- [10] Hájek, P.: "Municipal Credit Rating Modelling by Neural Networks", Decision Support Systems", Vol. 51, No. 1, pp. 108-118, 2011.
- [11] 石井健一郎；上田修功；前田英作；村瀬洋：「パターン認識」，オーム社，1998.
- [12] 麻生英樹；津田宏治；村田昇：「パターン認識と学習の統計学」，岩波書店，2003.
- [13] 渡辺澄夫；萩原克幸；赤穂昭太郎；本村陽一；福永健次；岡田真人；青柳美輝：「学習システムの理論と実現」，森北出版，2005.
- [14] 大北剛（訳）：「サポートベクターマシン入門」，共立出版，2005.

- [15] 小野田崇:「サポートベクターマシン」, オーム社, 2007.
- [16] Cao, L. J.; Tay, F. E. H.: “Support Vector Machine with Adaptive Parameters in Financial Time Series Forecasting”, IEEE Transactions of Neural Networks, Vol. 14, No. 6, pp. 1506-1518, 2003.
- [17] Gestel, T. V.; Baesens, B.; Garcia, J.; Dijcke, P. V.: “A Support Vector Machine Approach to Credit Scoring”, Bank en Financieuzen, Vol. 2, pp. 73-82, 2003.
- [18] Gestel, T. V.; Martens, D.; Baesens, B.; Feremans, D.; Huysmans, J.; Vanthienen: “Forecasting and Analyzing Insurance Companies’ Ratings”, International Journal of Forecasting, Vol. 23, No. 3, pp. 513-529, 2007.
- [19] Lee, Y.-C.: “Application of Support Vector Machines to Corporate Credit Rating Prediction”, Expert Systems with Applications, Vol. 33, No. 1, pp. 67-74, 2007.
- [20] 田辺和俊; 栗田多喜夫; 西田健次; 鈴木孝弘: 「サポートベクターマシンを用いた企業の信用格付けの予測」, 経営情報学会誌, 20巻, 1号, pp. 23-38, 2011.
- [21] Gestel, T. V.; Baesens, B.; Van Dijcke, P.; Garcia, J.; Suykens, J. A. K.; Vanthienen, J.: “A Process Model to Develop an Internal Rating System: Sovereign Credit Ratings”, Decision Support Systems, Vol. 42, No. 2, pp. 1131-1151, 2006.
- [22] Härdle, W.; Moro, R.; Schäfer, D.: “Estimating Probabilities of Default with Support Vector Machines”, SFB 649 Discussion Papers, No. 18, 2007.
- [23] Cantor, R.; Packer, F.: “Determinants and Impact of Sovereign Credit Ratings”, FRBNY Economic Policy Review, Vol. 2, No. 2, pp. 37-54, 1996.
- [24] Mora, N.: “Sovereign Credit Ratings: Guilty Beyond Reasonable Doubt?”, Journal of Banking & Finance, Vol. 30, No. 7, pp. 2041-2062, 2006.
- [25] 山澤光太郎: 「よくわかる格付けの実際知識」, 東洋経済新聞社, 2003.
- [26] Pukthuanthong-Le, K.; Elayan, F. A.; Rose, L. C.: “Equity and Debt Market Responses to Sovereign Credit Ratings Announcement”, Global Finance Journal, Vol. 18, pp. 47-83, 2007.
- [27] Standard & Poor's: “Sovereigns Ratings List”, <http://www.standardandpoors.com/ratings/sovereigns/ratings-list/en/ap/?subSectorCode=39§orId=1221186707758&subSectorId=1221187348494>, (2011年4月30日参照) .
- [28] Moody's Investors Service: “Research & Ratings Sovereign & Supranational”, <http://www.moody's.com/researchandratings/market-segment/sovereign-supranational/-/005005/4294966293/4294966623/0/0/-/0/-/en/global/rr>, (2011年4月30日参照) .
- [29] Fitch Ratings Sovereigns: <http://www.fitchratings.com/jsp/sector/Sector.faces?selectedTab=Overview&Ne=4293330737%2b11>, (2011年4月30日参照) .
- [30] 日本格付研究所: 「ソブリン国際機関格付一覧」, http://www.jcr.co.jp/rat_ove/rat_list.php, (2011年4月30日参照) .
- [31] 格付投資情報センター: 「ソブリン格付」, <http://www.r-i.co.jp/jpn/cfp/sovereign/>, (2011年4月30日参照) .
- [32] 小林正人: 「順序プロビット・モデルのテストと社債格付データへの応用」, 金融研究, 20巻, 別冊1号, pp. 1-18, 2001.
- [33] 安川武彦: 「平行性の仮定と格付けデー

タ：順序ロジットモデルと逐次ロジットモデルによる分析」，統計数理，50巻，2号，pp. 201-216, 2002.

[34] 下田尚人；河合祐子：「格付格差の現状と背景：依頼格付と非依頼格付レーティングスプリット」，日本銀行ワーキングペーパーシリーズ，No. 07-J-3，2007.

[35] Hill, P.; Brooks, R.; Faff, R.: “Variations in Sovereign Credit Quality Assessments across Rating Agencies”, Journal of Banking & Finance, Vo. 34, pp. 1327-1343, 2010.

[36] 中野正健：「ソブリン格付評価に関する提言」，嘉悦大学研究論集，46巻，1号，pp. 1-7，2003.

[37] 格付投資情報センター国債格付部編：「アジアを格付けする一国の信用力とは何か」，格付投資情報センター，2000.

[38] 河本文明；高谷尚志：「国と会社の格付け 実像と虚像」，講談社，2003.

[39] 黒沢義孝：「格付け情報のパフォーマンス評価」，梓出版社，2009.

[40] 黒沢義孝：「格付け講義」，文眞堂，2007.

[41] The International Monetary Fund: “World Economic Outlook Database”，<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/02/weodata/index.aspx>，(2011年4月30日参照) .

[42] The World Bank: “Open Data”，<http://data.worldbank.org/>，(2011年4月30日参照) .

[43] The United Nations: “Statistics Division Economic Statistics”，http://unstats.un.org/unsd/economic_main.htm，(2011年4月30日参照) .

[44] The Central Intelligence Agency: “The World Factbook”，<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>，(2011年4月30日参照) .

[45] Organization for Economic Co-operation and Development: “Economic Surveys and

Country Surveillance”，http://www.oecd.org/departement/0,3355,en_2649_34111_1_1_1_1_1,00.html，(2011年4月30日参照) .

[46] Deloitte: “International Tax Source”，<http://www.deloitte.com/dits/>，(2011年4月30日参照) .

[47] Photius: “COUNTRIES of the WORLD”，<http://www.photius.com/rankings/>，(2011年4月30日参照) .

[48] International Labour Organization: “LABORSTA-Database of Labour Statistics”，<http://laborsta.ilo.org/>，(2011年4月30日参照) .

[49] Stockholm International Peace Research Institute: “Databases”，<http://www.sipri.org/>，(2011年4月30日参照) .

[50] ECONSTATS: “ECONSTATS”，<http://www.econstats.com/>，(2011年4月30日参照) .

[51] NationMaster.com: “Statistics”，<http://www.nationmaster.com/statistics>，(2011年4月30日参照) .

[52] World Health Organization: “Health statistics and health information systems, Disease and injury country estimates”，http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates_country/en/index.html，(2011年4月30日参照) .

[53] Wikipedia: “Composite Index of National Capability”，http://en.wikipedia.org/wiki/Composite_Index_of_National_Capability，(2011年4月30日参照) .

[54] Transparency International 2011: “Corruption Perceptions Index”，<http://cpi.Transparency.org/cpi2011/>，(2011年4月30日参照) .

[55] Country Indicators for Foreign Policy: “Country Indicators for Foreign Policy”，<http://www4.carleton.ca/cifp/>，(2011年4月30日参照) .

[56] Euromoney Institutional Investor PLC: “Country Risk”，<http://www.euromoney.com/>

- poll/10683/PollsAndAwards/Country-Risk.htm, (2011年4月30日参照) .
- [57] Economist Intelligence Unit: “Democracy Index”, http://www.eiu.com/public/topical_report.aspx?campaignid=DemocracyIndex2011, (2011年4月30日参照) .
- [58] East West Communications: “East West Global Index”, <http://www.eastwestcoms.com/global.htm>, (2011年4月30日参照) .
- [59] Foreign Policy: “Failed States Index”, <http://www.foreignpolicy.com/failedstates>, (2011年4月30日参照) .
- [60] Wikipedia: “Functional states index”, http://en.wikipedia.org/wiki/User:WagePeace/Functional_states_index, (2011年4月30日参照) .
- [61] AT Kearney: “Globalization Index”, <http://www.atkearney.com/index.php/Publications/globalization-index.html>, (2011年4月30日参照) .
- [62] Friends of the Earth: “Happy Planet Index”, <http://www.happyplanetindex.org/>, (2011年4月30日参照) .
- [63] The United Nations: “Human Development Reports, Human Development Indicators”, <http://hdr.undp.org/en/statistics/>, (2011年4月30日参照) .
- [64] The Heritage Foundation: “Index of Economic Freedom”, <http://www.heritage.org/index/ranking>, (2011年4月30日参照) .
- [65] Photius: “National IQ Scores”, http://www.photius.com/rankings/national_iq_scores_county_ranks.html, (2011年4月30日参照) .
- [66] Reporters sans frontieres: “Press Freedom Index”, <http://en.rsff.org/press-freedom-index-2011-2012.1043.html>, (2011年4月30日参照) .
- [67] Freedom House: “Freedom of the Press”, <http://www.freedomhouse.org/report-types/freedom-press>, (2011年4月30日参照) .
- [68] International Living: “Quality of Life Index”, <http://internationalliving.com/2010/02/quality-of-life-2010/>, (2011年4月30日参照) .
- [69] World Data Center: “State Fragility Index”, <http://wdc.org.ua/en/node/39601>, (2011年4月30日参照) .
- [70] The World Bank Group: “The Worldwide Governance Indicators Project”, <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.asp>, (2011年4月30日参照) .
- [71] Chang, C. C.; Lin, C. J.: “LIBSVM-A Library for Support Vector Machines”, <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>, (2011年4月30日参照) .
- [72] 宮崎浩一；中原智恵；伊東隆康；石井昌宏：「アジア諸国のソブリン格付けの検証：回帰モデルからのアプローチ」，新潟大学経済論集，85号，pp. 133-148，2008.
- [73] Standard & Poor’s, “Criteria | Governments | Sovereigns: Sovereign Government Rating Methodology And Assumptions”, <http://www.standardandpoors.com/servlet/BlobServer?blobheadername3=MDT-Type&blobcol=urldata&blobtable=MungoBlobs&blobheadervalue2=inline%3B+filename%3DCriteriaGovernmentsSovereignsSovereignGovernmentRatingMethodologyAndAssumptions.pdf&blobheadername2=Content-Disposition&blobheadervalue1=application%2Fpdf&blobkey=id&blobheadername1=content-type&blobwhere=1243943646614&blobheadervalue3=UTF-8>, (2012年6月30日参照) .
- [74] Moody’s, “Rating Methodology: Sovereign Bond Rating”, http://www.moody.com/research/documentcontentpage.aspx?docid=PBC_109490, (2012年6月30日参照) .
- [75] Fitch, “Sovereign Rating Methodology”, <http://www.fitchratings.com/creditdesk/reports/>

report_frame.cfm?rpt_id=648978, (2012年6月30日参照) .

[76] 山崎慎一:「定性要因の定量化による新たな格付けモデルの提案ー判別分析をベースに考察するー」, 2004年度早稲田大学アジア太平洋研究科国際経営学専攻修士論文, 2005.

[77] 日本公社債研究所:「わが国債券格付けの歩み 日本公社債研究所の20年」, 日本公社債研究所, 1995.

[78] 津田和夫:「日本国債の格付けを考える」, 証券経済学会年報, 38号, pp. 214-216, 2003.

[79] Chang, C. C.; Lin, C. J.: “LIBSVM Data: Classification, Regression, and Multi-label”, <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvmtools/datasets/>, (2011年4月30日参照) .

[80] Shen, K.-Q.; Ong, C.-J.; Li, X.-P.; Wilder-Smith, E. P. V.: “Feature Selection via Sensitivity Analysis of SVM Probabilistic Outputs”, Machine Learning, Vol. 70, No. 1, pp.

1-20, 2008.

[81] Waske, B.; van der Linden, S.; Benediktsson, J. A.; Rabe, A.; Hostert, P.: “Sensitivity of Support Vector Machines to Random Feature Selection in Classification of Hyperspectral Data”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48, No. 7, pp. 2880-2889, 2010.

[82] 日本格付研究所:「ソブリン・準ソブリン格付方法」, <http://www.jcr.co.jp/coc/coc11.pdf>, (2012年6月30日参照) .

[83] 格付投資情報センター:「ソブリン格付の考え方」, http://www.r-i.co.jp/jpn/body/cfp/topics_methodology/2012/03/topics_methodology_20120316_807537779_01.pdf, (2012年6月30日参照) .

[84] 関口健爾:「ソブリン格付けの視点ー格付け会社が見る日本経済ー」, 証券アナリストジャーナル, 50巻, 5号, pp. 55-63, 2012.

(2012年3月31日受付)

(2012年10月4日採択)