

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：12703

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282090

研究課題名(和文) DEAによる予測の理論と応用に関する研究

研究課題名(英文) Studies in Theory and Applications of DEA for Forecasting Purpose

研究代表者

刀根 薫 (Tone, Kaoru)

政策研究大学院大学・政策研究科・名誉教授

研究者番号：00051235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,900,000円

研究成果の概要(和文)：(1)代表的な予測法をDEAの手法で評価する方法を開発した。これまで予測法の評価は単一の評価基準が用いられてきたが、複数の基準で評価する方法は未開発であった。DEAの特長である多基準型評価法を開発した。その方法をWTI原油価格に適用した。(2)DEAによる効率値の信頼区間について、過去現在の時系列データをもとに推定する方法及び過去現在から未来値を予測して推定する方法を開発した。(3)未来のデータをエントロピー最大化原理で推定し、Dynamic DEAを適用して多期間に亘る全効率値を推定する方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：(1) We developed a method for evaluating representative forecasting methods by means of DEA. Our method uses multiple criteria whereas most existing methods employ a single criterion. We applied the method to forecasting WTI crude oil price.(2) We developed a new method for evaluating confidential intervals of DEA scores. We can apply this method for past-present time series data as well as past-present-future data. (3) We employ the entropy maximization model for forecasting volatile future scenario and evaluate the past-present-future overall efficiency scores by applying Dynamic DEA models.

研究分野：オペレーションズリサーチ

キーワード：DEA Forecast Resampling Entropy Dynamic DEA

1. 研究開始当初の背景

(1) DEA は過去現在のデータをもとに企業体の効率性を評価し改善点を見出すことが主たる目的であった。未来のデータを予測して効率性を予測する研究は少なかった。

(2) 予測法の評価は多くの場合単一の基準によってなされていた。そのためどの予測法が優れているかの判定が困難であった。

2. 研究の目的

DEA は主として過去及び現在のデータを用いて企業体の効率性を対象として研究されてきた。OR と経済学の研究者や実務家が多数参加して様々なモデルが提案され企業体の効率性の測定や改善に大きな貢献をなしてきた。今回の研究の目的はその延長として未来予測を対象とした DEA 研究を行う。過去・現在・未来を対象とした DEA 研究はまだ少ない。しかし DEA の発展のためには避けて通れない領域である。過去・現在に関しては確定したデータが存在する 경우가多いが、未来に関してはデータが未確定である。そこで予測の問題が発生する。予測手法としてはこれまで様々なものが提案されて用いられている。たとえば移動平均法、指数平滑法、最小2乗法、成長曲線法、季節調整法、ARCH モデルなどがある。今回の研究では先ずこれらの手法の評価を DEA の手法を使って行う。そのため予測対象をいくつか選ぶ。例えば原油価格 (WTI= West Texas Intermediate) の過去数年分のデータである。金価格や円ドルレート等も対象となる。時系列的変動が激しいデータを選ぶ。多数の予測法を DEA の DMU (Decision Making Unit) とし、各予測法を各データに適用して予測結果の長所と短所を数量的に調べる。短所を入力、長所を出力として DEA により各予測法の順位付けを行う。こうして対象データ毎に有効な予測手法を数個同定する。次にそれらの予測法から得られた予測値 (複数) をもとに未来の企業体の入力、出力値を推定する。過去現在のデータにこの予測値を追加して動的 DEA を適用して過去・現在・未来をとおした効率性の測定を行う。この研究は予測法の評価に新しい基準を提案するとともに DEA の領域を拡張するという点で学術的な意義は大きいと信じる。

3. 研究の方法

(1) 予測方法としては次のものを候補とした。Random Walk (RW), Historical Mean (HM), Simple Moving Average (SMA), Simple Exponential Smoothing (SES), Auto Regressive Model (AR), Auto Regressive Moving Average Model (ARMA), Generalized Auto Regressive Conditional Heteroscedasticity Model (GARCH), GARCH-in-Mean, Exponential GARCH,

Threshold GARCH, Power ARCH, Component ARCH.

予測の評価尺度としては次のものを候補とした。

Mean Error (ME), Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Mixed Error Under-estimation penalized (MMEU), Mean Mixed Error Over-estimation penalized (MMEO), Mean Volatility-Adjusted or Scaled Errors (MVoIScE), Mean Absolute Volatility Adjusted Errors (MAVoIScE), Mean Squared Volatility Adjusted Errors (MSVoIScE), Percentage of Correct Direction Change Predictions (PCDCP).

(2) DEA の入出力データは様々な要因により変動している。例えば測定誤差、履歴変動等である。これらの変動は DMU 毎に、また入出力毎に異なっている。したがって DEA による効率性はこれらの変動を考慮して検証しなければならない。そのため Resampling を行って効率値の信頼区間を推定する必要がある。Simar and Wilson の bootstrap 法はデータの変動や測定誤差まで考慮していない。我々は2つの新しい Resampling 法を開発した。一つは過去現在のデータによるもの、もう一つは過去現在のデータから未来のデータを予測しその効率値の信頼区間を推定することである。

(3) 環境変数の変動が大きい場合、過去の結果だけで企業の効率性を測定することは困難である。将来の変動まで考慮して評価する必要がある。そのため最大エントロピー法を適用する。

4. 研究成果

(1) WTI の daily spot price を 1986 年 1 月 2 日から 2010 年 5 月 28 日までの 6,157 日分を対象にした。主要な予測法 14 種 (DMU) につき、入出力の様々な組合せについて Context-dependent-Super-SBM model を適用して評価した。モデルのタイプとしては non-oriented, VRS を採用した。結果の一部を表 1 に示す。詳細は論文⁹を参照されたい。

表 1 : 評価の例

| Inputs | Output | 1 位 | 2 位 | 3 位 |
|--------------|--------|-----|-----|-----|
| ME, MAE | PCDCP | 3 | 5 | 8 |
| ME, MAVoIScE | PCDCP | 3 | 5 | 11 |
| ME, MSE | PCDCP | 3 | 5 | 14 |
| ME, MSVoIScE | PCDCP | 3 | 5 | 14 |
| ME, MMEU | PCDCP | 3 | 14 | 5 |
| ME, MMEO | PCDCP | 3 | 5 | 2 |

* ³SMA20, ⁵SES, ⁸AR(5), ¹¹EGARCH(1,1), ¹⁴CGARCH(1,1), ²HM

この例では SMA20 (Simple Moving Average with averaging periods of 20) が最も良い評価を得ている。

(2)効率値の信頼区間を調べるため(過去、現在)と(過去、現在、未来)の二通りの場合について Resampling を行った。(過去、現在)の場合、各 DMU の各 input, output について Lucas weight をつけてランダムサンプルし、そのデータを使って DMU の効率値を測定する。この過程を例えば 500 回繰返して効率値の分布を調べ、95%信頼区間を推定する。(過去、現在、未来)の場合、各 DMU の各 input, output の未来値を予測法(例えば加重 1 次近似法)によって近似し、Lucas weight をつけてランダムサンプルしそのデータをもとに未来の効率値を予測する。この過程を例えば 500 回繰返して効率値の 95%信頼区間を推定する。詳細は論文²を参照されたい。

(3)Dynamic DEA を用いて過去、現在の構造を記述し各期の input, output, carry-over を与える。未来については幾つかの可能性を仮定しその生起確率を entropy maximization 原理によって決定する。こうして過去、現在、未来を含む Dynamic model を作成し Dynamic SBM を用いて過去、現在、未来を含む overall efficiency を求める。このモデルを台湾の 40 high-tech IC design companies の 2010 - 2014 間のデータに適用した。その際、2010-2013 を過去、現在とし、2014 を未来として分析した。こうして得られた overall-efficiency と 2014 の実現値を用いて計算した overall-efficiency を比較した結果平均 5%程度の誤差で未来の予測が出来た。詳細は論文¹を参照されたい。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

TS Chang, K Tone, CH Wu, DEA models incorporating uncertain future performance, European Journal of Operational Research, 査読有, 2016, DOI 10.1016/j.ejor.2016.04.005

K Tone, J Ouenniche, DEA Scores ' Confidence Intervals with Past-Present and Past-Present-Future Based Resampling, American Journal of Operations Research, 査読有, 2016, 6, 121-135, DOI 10.4236/ajor.2016.62015.

M Mehdiloozad, K Tone, R Askarpour, MB Ahmadi, Finding a maximal element of a non-negative convex set through its characteristic cone: an application to finding a strictly complementary solution, Computational and Applied Mathematics, 査読有, 2016, DOI 10.1007/s40314-016-0324-x.

K Tone, M Tsutsui, How to deal with non-convex frontiers in data

envelopment analysis, Journal of Optimization Theory and Applications, 査読有, 2015, 166, 3, 1002-1028, DOI 10.1007/s10957-014-0626-3.

K Tone, M Tsutsui, Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach, OMEGA, 査読有, 42, 2014, 124-131. DOI 10.1016/j.omega.2013.04.002.

BK Sahoo, J Zhu, K Tone, BM Klemen, Decomposing technical efficiency and scale elasticity in two-stage network DEA, European Journal of Operational Research, 査読有, 2016, DOI 10.1016/j.ejor.2013.09.046

WD Cook, K Tone, J Zhu, Data envelopment analysis: Prior to choosing a model, Omega, 査読有, 44, 2014, 1-4. DOI 10.1016/j.omega.2013.09.004.

H Kawaguchi, K Tone, M Tsutsui, Estimation of the efficiency of Japanese hospitals using a dynamic and network data envelopment analysis, Health Care Management Science, 査読有, 2014, 17, 101-112, DOI 10.1007/s10729-013-9248-9.

J Ouenniche, B Xu, K Tone, Relative performance evaluation of competing crude oil prices' volatility forecasting models: A slacks-based super-efficiency model, American Journal of Operations Research, 査読有, 2014, 4, 235-245, DOI 10.4236/ajor.2014.44023.

BK Sahoo, M Mehdiloozad, K Tone, Cost, revenue and profit efficiency measurement in DEA: A directional distance function approach, European Journal of Operational Research, 査読有, 2014, 237, 921-931, DOI 10.1016/j.ejor.2014.02.017.

J Ouenniche, B Xu, K Tone, Forecasting models evaluation using a slacks-based context-dependent DEA framework, Journal of Applied Business Research, 査読有, 2014, 30, 1477-1484. DOI

H Fukuyama, H Masaki, K Sekitani, J Shi, Distance optimization approach to ratio-form efficiency measure in data envelopment analysis, Journal of Productivity Analysis, 査読有, 2014, 42, 175-186, DOI 10.1007/s11123-013-0366-7.

TS Chang, K Tone, CH Wu, Past-present-future intertemporal DEA models, Journal of the Operational Research Society, 査読有, 2013, 66, 16-32, DOI 10.1057/jors.2013.139.

[学会発表](計 7 件)

K Tone, SBM-variations revisited, INFORMS, 2015/11/3, Philadelphia (U.S.A.)
K Tone, Resampling in DEA, IFORS 2014, 2014/7/18, Barcelona (Spain)
K Tone, Setting handicaps to industrial sectors in DEA, The Operational Research Society,招待講演, 2014/9/10,London (United Kingdom)
K Tone, How to deal with S-shaped curve in DEA, The Operational Research Society,招待講演,2013/9/4, Exeter (United Kingdom)
K Tone, A scale and cluster adjusted DEA model, European Workshop on Efficiency and Productivity, 2013/6/18, Aalto University (Finland)
H Fukuyama, Input-oriented enhanced radial efficiency measure and Malmquist indexes on DEA technology: An application to Japanese banking, European Workshop on Efficiency and Productivity, 2013/6/18, Aalto University (Finland)
H Fukuyama, Measuring dynamic-network inefficiency with an application to regional economics, International Conference on Data Envelopment Analysis, 2013/6/28, University Samsun (Turkey)

[図書](計 4 件)

K Tone, M Tsutsui, Springer, Data Envelopment Analysis - A handbook of Modeling Internal Structure and Network, 2014, 599(231-259)
H Fukuyama, WL Weber, Wiley, Efficiency and Productivity Growth: Modelling in the Financial Sector Services Industry,2013, 530(193-213)
H Fukuyama, WL Weber, Springer, Data Envelopment Analysis - A Handbook of Modeling Internal Structure and Network, 2014, 599(451-474)
BK Sahoo, J Zhu, K Tone, Springer, Data Envelopment Analysis - A Handbook of Modeling Internal Structure and Network, 2014, 599(137-164)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

刀根 薫 (TONE, Kaoru)

政策研究大学院大学・政策研究科・名誉教授

研究者番号：0 0 0 5 1 2 3 5

(2)研究分担者

福山 博文 (FUKUYAMA, Hirofumi)

福岡大学・商学部・教授

研究者番号：8 0 2 1 8 9 5 8