

平成 22 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19310098

研究課題名（和文）ネットワーク型 DEA とその応用に関する研究

研究課題名（英文）Studies on Network Type Data Envelopment Analysis and its Applications

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・アカデミックフェロー

研究者番号：00051235

研究成果の概要（和文）：

従来の DEA は多入力、多出力系の企業体の相対的な効率性を測定するが、その内部構造を測定する点で劣っていた。本研究において企業体を多部門がネットワーク的に連結しているモデルとして把握し、全体効率性ととも部門別の効率性を一貫して計測することに成功した。その理論的成果を論文として発表するとともに、電力、医療、放送、ガス、金融の各事業に適用して理論の有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：

Traditional DEA models deal with measurements of relative efficiency of DMUs regarding multiple-inputs vs. multiple-outputs. One of the drawbacks of these models is the neglect of intermediate products or linking activities. In this study, we captured the inner structure of organizations as a network model and succeeded in formulating it as the Network DEA. We also applied this model to several fields of enterprises, e.g. electric utilities, hospitals, broadcasting, gas, and financial institutes, and confirmed the effectiveness of the model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2008年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：オペレーションズリサーチ

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：DEA, 効率性, SBM, ネットワーク, 金融, エネルギー, 医療

## 1. 研究開始当初の背景

2007 年の研究開始時点では Network DEA は Färe-Grosskopf によるモデルのみであった。そこでは入力、出力要素が比例的に変化することを前提としていて、要素ごと独立に変化するモデルは未完であった。現実の問題においては各要素が必ずしも比例的に変化しな

いので、要素毎の独立性を考慮したこの研究課題は重要な意味をもっていた。また応用面では極めて少数例を見るのみであった。

## 2. 研究の目的

多くの場合、DEA が対象とするのは単体の企業体の比較である。しかしながら現実問題と

して企業は多くの部門から成り立っていて、一つの部門の出力（産出）は別の部門の入力（投入）となっている。この一連の動きはネットワーク構造とみることができる。各部門別の効率性も重要であるが、全部門を通しての効率性がより重要である。たとえば電力業においては発電、送電、配電、販売の各部門が活動している。部門ごとに他社との効率性の比較もできるが、全部門を対象として比較することも重要である。発電部門の活動のために、資本、労働、材料の投入が行われ、そこで産出された電力が送電部門の資本、労働、材料を用いて配電部門へ送られる。このようないわゆる垂直統合型の産業においては各部門の効率性が問われるとともに、総合的な効率性が問題となる。従来の DEA は単一部門のパフォーマンスを取り扱うことができるが、このようなネットワーク構造をした企業体の総合的なパフォーマンスを計測することはできない。本研究においてはネットワーク型 DEA の理論を構築するとともにその応用を幅広く探索することを目的とする。

### 3. 研究の方法

理論面では Färe & Grosskopf による Network DEA を補完するものとして刀根が開発した SBM (slacks-based measure of efficiency) を用いて Network DEA を展開する。応用面では医療（開原）、金融（福山）、放送（浅井）、エネルギー（浅井、筒井）の各分野の問題を取上げてその有効性を検証する。さらに海外共同研究者として Färe, Grosskopf, Weber, Sahoo, Avkiran 教授を招聘して共同研究を行う。

### 4. 研究成果

理論面の成果としては刀根・筒井による EJOR 論文(2009)、OMEGA 論文(2009)および Färe-Grosskopf による DEA Symposium 論文(2008, 2010)をあげることができる。応用面では開原等による自治体病院への適用、浅井による放送事業、ガス事業への適用、福山・Weber による銀行業への適用をあげることができる。いずれの場合もいわゆる black-box モデルでは計測できなかった効率性の部門別定量分析が可能となった。

(1) 刀根・筒井(2009, EJOR)において、Network DEA の事例を電力業、病院、放送業、金融業について述べるとともに、Network SBM の定式化を行ない、全体効率性と部門効率性の関係を明らかにした。ケーススタディとして電力業について Network SBM とブラックボックス DEA、分離型 DEA との計測結果の違いを明示した。刀根・筒井(2010, OMEGA)において、動的 DEA を SBM の枠組み内で展開し、全体効率性と各期の効率性の関係を解明した。また最適解の唯一性について実験しその結

果を報告した。Network SBM, Dynamic SBM は現在多くの研究者によって更なる展開がなされつつある。

(2) 福山は、2つの Network DEA モデル(NSBI モデル、M&A モデル)を提案し、金融業に適用した。

Fukuyama & Weber (2009, SEPS)では、方向付き距離関数(Chambers et al. 1996)と SBM (Tone 2001)を融合した(方向付き)スラック非効率(SBI)計測モデルを導入し、信用金庫に適用した。更に、Fukuyama & Weber (2010, OMEGA)では、不良債権を望ましくない生産物として捉えたネットワーク型の SBI モデル(これを NSBI と呼ぶ)を提案して、都市銀行・地方銀行に適用した。NSBI は、借り手と貸し手の仲介を行うという銀行の金融仲介機能を明示的に表した、2段階ネットワークモデルである。このモデルは、第1段階で労働、資本などを用い、中間生産物として貯蓄を産出し、これを第2段階で中間投入として利用し、貸出および株式投資という最終生産物を産出するというものである。しかしこの金融仲介過程で発生する不良債権は無視することができないので、NSBI では最適不良債権と実際の不良債権との関係も考慮して非効率値を計測する。

Färe & Fukuyama & Weber (2010, IJISSC)では、Färe & Grosskopf (1996)の動的 DEA を拡張して、信用金庫同士が合併した場合の潜在的利益を計測する M&A モデルを提案した。これは、信用金庫を、労働・資本・預金(資金調達額)を投入要素とし、貸出金と有価証券により運用を行う主体と捉える2期間モデルである。信用金庫は協同組織金融機関であり、会員のための金融機関という特徴をもつ。そこで、2期間にわたる会員向け貸出の最大化問題として定式化する。統合した場合、第1期では資金調達金のうち、貸出金を減らし有価証券の購入を増やすことができる。よって第2期には、有価証券の一部を売却して、貸出金を増やすことも可能となる。このような枠組みの中で、M&A モデルでは、統合された仮想信金の貸出総額と、信金がそれぞれ別々に行動した場合の貸出総額とを比較することにより、統合効果を明らかにすることができる。

海外からは、研究協力者として Färe, Grosskopf, Weber の3教授を科研費により招聘し、DEA シンポジウムで Network DEA および動的 DEA に関する理論および実証研究の報告をしてもらった。3教授の発表内容は以下のとおりである。

● ネットワーク理論の解説および拡張

- 動的DEAの枠組みでの新しいマルムクイスト指標の提案
- 内生的技術進歩を分析するDEAモデルの提案
- 異時点間における資源配分を扱う時間代替 (Time Substitution) モデルの提案

### (3) 放送事業の効率性の計測

浅井は放送事業の効率性について Network DEA を用いて以下の研究を行った。地上放送局は自ら制作した放送番組と外部から調達した放送番組を、自己の設備を使って送信するという垂直統合の形態をとる。この形態に着目し、本研究では、放送局の構造を番組の制作部門と送信部門に分け、2002年から2006年までの7つの地上放送局を対象に、Network DEA による部門毎及び放送局全体の技術効率性の計測を行った。

計測の結果、表1のとおり、放送局の平均で、送信部門の効率性の方が制作部門より高いこと、人的資源に依存するところが大きい送信部門では、放送局間の効率性の差が大きいのに対し、規定された技術基準で電波を送信し、資本集約的な活動を行う送信部門の効率性の放送局間の差異は小さいことが示された。また、同じ業務区域で活動を行っている2つの放送局に関しては、送信部門の効率性がほぼ同じであるのに対し、地方自治体の出資比率が高い放送局の制作部門の効率性は、民間企業の出資により設立された放送局の効率性よりも劣ることが明らかになった。さらに、Network DEA で計測された企業全体の効率性と、企業の内部構造を考慮しない統合型のDEAによる効率性の計測結果の比較では、放送局の効率性の順位に大きな差異はないものの、Network DEA の効率性の方が、放送局間の差異を示す結果となった。このことから、Network DEA は、企業の活動実態を示す有効なツールであることが示唆される。

表1 地上放送局の技術効率性(放送局平均)

	Network DEA			統合型 DEA
	制作部門	送信部門	放送局全体	
効率性	0.8564	0.9399	0.8940	0.9810
平均	18.48	9.21	10.86	2.77
変動係数(%)				

### (4) ガス事業の効率性の計測

浅井はガス事業の効率性について Network DEA を用いて以下の研究を行った。日本の一般ガス事業は、ガスを製造し、自己が構築した導管を使って、加入者にガスを提供するという垂直統合の形態をとる。本研究では、一般ガス事業者の構造を、ガスの製造部門と送信部門に分け、Network DEA を用いて部門毎及び企業全体の技術効率性の計測を行った。

また、ガス市場では、1990年代半ばから、段階的な規制緩和が行われている。本研究で計測された技術効率性の時系列変化により、ここでは、効率性の観点から規制緩和の評価を行った。

1997年から2007年の13社の一般ガス事業者の効率性を計測した結果、図1のとおり、新規参入が見られる大都市圏で活動する事業者の効率性が、2000年頃から向上していること、活発な競争の進展が見られない地域の事業者の効率性も、2004年前後から向上しているものの、その上昇の程度は緩やかであることが明らかとなった。競争が進展している地域の既存事業者の効率性の向上が大きいことは、規制緩和の成果の一つと考えられる。

また、地方でガス需要の増加が見込まれない地域の事業者の効率性も、相対的に高いという結果が得られた。地方都市では、本研究の対象である導管を使ったガス事業者のほか、LPGで利用者にサービスを提供する事業者が活発な活動を行っている。導管を利用した一般ガス事業者の競争だけではなく、他の手段を使ったエネルギー間競争の存在が、一般ガス事業者の効率性の向上に寄与していることが考えられる。このことから、ガス事業の競争政策を考えるに当たって、関連する市場も考慮する必要性が示唆された。

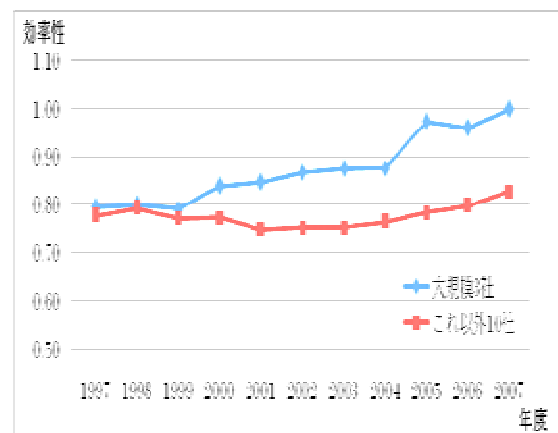


図1 大都市圏のガス事業者3社とこれ以外の10社の技術効率性の推移

### (5) 医療関連

開原は医療関連に Network DEA を適用して以下の結果を得た。公営企業年鑑で公表されている地方自治体の病院のデータを用いて、以下に述べる208病院の6年間分のデータを対象に Network DEA で分析することができた。分析対象は平成11年度から平成16年度の6年間分であり、当該データの病院数は1001病院であったが、病院の同一性を確保するために、研究対象を一般病床のみを有する病院とし、併せて欠損値を有する病院を除外した。その結果、分析対象数は208病院となった。

内部構造と変数に際しては、職員が国家資格を持つ専門職で形成されている病院の内部構造は5部門を設定し、医師や看護師で形成する診療部門、薬剤師の薬剤部門、放射線技師の放射線部門、臨床検査技師の臨床検査部門、栄養士の給食部門とした。主な入力要素は医師、看護師、事務職員などの人員であり、産出要素は医療サービスの量を表わすと仮定した診療保険点数を用い、入力変数と出力変数、リンクは合計20の変数を用いた。全てのリンクは診療部門から各部門に伸びており、薬剤部門へのリンクは1日平均全患者数とし、放射線部門へのリンクは1日平均放射線件数とし、臨床検査部門へのリンクは1日平均検査件数とし、給食部門へのリンクは1日平均入院患者数とした。

研究結果としては、病院全体の効率性は診療部門、放射線部門、臨床検査部門の効率性と関係性があるという評価を得ることができた。これらの結果の要因は示唆できるものであり、病院全体の効率性と診療部門の効率性が優れているということは、その病院と同程度の入力を持つ病院よりも優れた医療サービスを提供していることを意味するからである。次に、診療部門と他部門との影響を考えると、放射線部門と検査部門は診療部門の医師からでる指示の量で医療サービスの増減が決まると考えられ、妥当な結果と言えた。

平成11年度から平成16年度にかけて、薬剤部門の効率性だけが低下傾向を示した。その一要因は院内処方から院外処方への転換と示唆でき、院内処方から院外処方へ転換することによる収入の減少と一致していた。

最後に、先行研究との比較では、先行研究で論じていた結果と類似の結果を得ることができた。それは、病床規模が大きくなるに連れ、効率性が優れていることを示唆し、他会計線入金対経常収益比率が高いほど効率性が優れていることを示唆した結果であった。このことから、Network DEAは従来の研究にも対応できていた。

分析の結果、病院の各部門の特徴が明らかになり、その結果は妥当なものであり、伝統的なDEAモデルよりもNetwork DEAの優位性を示唆した。

## 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25件)

1. Dynamic DEA: A slacks-based measure approach, K. Tone, M. Tsutsui, OMEGA International Journal of Management Science, 査読あり, 38, 145-156, 2010.
2. A slacks-based inefficiency measure

for a two-stage system with bad outputs, H. Fukuyama, W.L. Weber, OMEGA International Journal of Management Science, 査読あり, 38 (5), 239-410, 2010.

3. A mergers and acquisitions index in data envelopment analysis: An application to Japanese Shinkin Banks in Kyushu, R. Färe, H. Fukuyama, W.L. Weber, International Journal of Information Systems and Social Change, 査読あり, 1(2), 1-18, 2010.
4. Estimating two-stage network technology inefficiency: An application to cooperative Shinkin Banks in Japan, H. Fukuyama, Proceedings of DEA Symposium 2010, 査読なし, 76-85, 2010.
5. Developments in Dynamic DEA, R. Färe, Proceedings of DEA Symposium 2010, 査読なし, 1-12, 2010.
6. A Dynamic Malmquist productivity index, S. Grosskopf, Proceedings of DEA Symposium 2010, 査読なし, 13-25, 2010.
7. Technological change and timing reductions in greenhouse gas emissions, W.L. Weber, Proceedings of DEA Symposium 2010, 査読なし, 56-61, 2010
8. A directional slacks-based measure of technical inefficiency, H. Fukuyama, W.L. Weber, Socio-Economic Planning Sciences, 査読あり, 43 (4), 274-287, 2009.
9. Dynamic network DEA: An illustration, P. Bogetoft, R. Fare, S. Grosskopf, K. Hayes, L. Taylor, Journal of Operations Research Society of Japan, 査読あり, 52 (2), 2009, 147-162, 2009
10. Network DEA: A slacks-based measure approach, K. Tone, M. Tsutsui, European Journal of Operational Research, 査読あり, 197, 243-252, 2009.
11. Variations on the theme of slacks-based measure of efficiency in DEA, K. Tone, European Journal of Operational Research, 査読あり, doi:10.1016/j.ejor.2009.01.027.
12. Fair allocation based on two criteria: A DEA game view of "Add them up and divide by two," K. Nakabayashi, B.K. Sahoo, K. Tone, Journal of Operations Research Society of Japan, 査読あり, 52,76-85, 2009.
13. Radial and non-radial

- decompositions of profit change: With an application to Indian banking, B.K. Sahoo, K. Tone, European Journal of Operational Research, 査読あり, 196, 1130-1146. 2009.
14. Decomposing capacity utilization in data envelopment analysis: An application to banks in India, B.K. Sahoo, K. Tone, European Journal of Operational Research, 査読あり, 195, 575-594, 2009.
  15. Dynamic DEA and traditional DEA: A comparative study on generation division of electric utilities, M. Tsutsui, K. Tone, Proceedings of DEA Symposium 2009, 査読なし, 44-47, 2009.
  16. 「ガス事業における所有形態と技術効率性」浅井澄子, 『ガス事業研究会報告書』査読なし, 33-44, 2009.
  17. Thoughts about Network DEA, R. Färe, DEA Symposium 2008, Proceedings of DEA Symposium 2008, 査読なし.1-4, 2008.
  18. Network DEA: Some applications and illustrations, S. Grosskopf, Proceedings of DEA Symposium 2008, 査読なし, 5-12, 2008.
  19. Bridging radial and non-radial measures of efficiency in DEA, N.K. Avkiran, K. Tone, M. Tsutsui, Annals of Operations Research, 査読あり, 164, 127-138, 2008.
  20. Comparisons of the results of network DEA and those of black box type DEA- The case of Japanese municipal hospitals, 木下善皓, 開原成允, 吉田秀一, Proceedings of DEA Symposium 2008, 査読なし, 127-130, 2008
  21. 「ガス事業における効率性の計測」浅井澄子(2008) 『社会情報学研究』査読なし, 大妻女子大学紀要17, 1-14, 2008.
  22. 経営の移譲が病院の運営効率に与えた影響, 木下善皓, 開原成允, 病院経営・管理学会誌, 査読あり, 45 (3), 5-14, 2008
  23. Decomposition of cost efficiency and its application to Japan-US electric utility comparisons, K. Tone, M. Tsutsui, Socio-Economic Planning Sciences, 査読あり, 41, 91-106, 2007.
  24. Some models and measures for evaluating performances with DEA: past accomplishments and future prospects, W.W. Cooper, L.M. Seiford, K. Tone, J. Zhu, Journal of Productivity Analysis, 査読あり, 28, 151-163, 2007.
  25. Several properties of the slacks-based network DEA models, K. Tone, M. Tsutsui, Proceedings of DEA Symposium 2007, 査読なし, 64-69, 2007.
- [学会発表](計10件)
1. Experiments on the uniqueness issue of the optimal solutions in Dynamic SBM models, K. Tone, M. Tsutsui, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2009年9月9日, 長崎大学
  2. 自治体病院の経営効率性の測定における意義, 木下善皓, 開原成允, 日本医療・病院管理学会学術総会, 2008年11月15日, 静岡県立大学
  3. Dynamic DEA: A slacks-based measure approach, K. Tone, M. Tsutsui, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2008年9月11日, 札幌コンベンションセンター
  4. Network DEA と Separate DEA の比較 - 自治体病院を例に-, 木下善皓, 刀根薫, 筒井美樹, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2008年9月11日, 札幌コンベンションセンター
  5. 「日本の地上放送局の技術効率性ネットワーク DEA の適用」浅井澄子, 情報通信学会, 2008年6月15日, 駒澤大学
  6. Network DEA による自治体病院の効率性分析, 木下善皓, 刀根薫, 筒井美樹, 吉田秀一, 開原成允, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2008年3月26日, 京都情報大学院大学
  7. Translating ordinal data into ratio scale data in DEA, K. Tone, N.K. Avkiran, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2008年3月25日, 京都情報大学院大学
  8. 経営の移譲が病院の運営効率に与えた影響, 木下善皓, 開原成允, 病院管理学会, 2007年10月26, 神奈川県横浜ロイヤルパークホテル
  9. Network DEA: A basic framework, K. Tone, M. Tsutsui, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2007年9月28日, 政策研究大学院大学
  10. 経営の移譲が病院の運営効率に与えた影響, 木下善皓, 刀根薫, 開原成允, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2007年9月27日, 政策研究大学院大学
- [図書](計3件)
1. 「規制改革の評価 情報通信との比較」浅井澄子 竹中康治編著『都市ガス産業の総合分析』第7章 147-169, NTT出版 2009.

2. Data Envelopment Analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software, Second Edition, W.W. Cooper, L.M. Seiford, K. Tone, Springer, 2007, 490pp.
3. 「数理計画」刀根薫著, 朝倉書店、2007, 236 頁.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
なし

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・アカデミックフェロー  
研究者番号：00051235

(2) 研究分担者

開原 成允 (Kaihara Shigekoto)  
国際医療福祉大学・医療経営管理学科・教授

研究者番号：30010234

福山 博文 (Fukuyama Hirofumi)

福岡大学・商学部・教授

研究者番号：80218958

浅井 澄子 (Asai Sumiko)

大妻女子大学・社会情報学部・教授

研究者番号：00329476

(3) 研究協力者

筒井 美樹 (Tsutsui Miki)

(社) 電力中央研究所・社会経済研究所・主任研究員