

# 公衆衛生対策と DEA

## —感染症対策を中心として—

丸山 幸宏, 濱口 由子, 趙 宇

医療機関を対象とした効率性分析に DEA が導入されるようになって久しいが、公衆衛生における保健衛生政策の評価についての応用例は数少ない。公衆衛生対策では、目標とするアウトカムの達成のためにいかなる要素の組み合わせが、そのパフォーマンスを構成しているのか、またいかにして地域特性を反映した政策評価を行ったらよいのかなどが課題である。本稿では、公衆衛生の課題の中でも歴史の長い感染症政策を中心に、DEA によるパフォーマンス評価のポテンシャルについて議論していきたい。

キーワード：DEA（包絡分析法）、感染症対策、政策評価、Malmquist index、確率的感度分析

### 1. はじめに

公衆衛生において、保健医療サービスの「質」あるいは「効果」の保証は重要な前提条件である。それらの水準を維持しながら「効率性」を上げることは大きな課題とされてきた。医療サービス提供の場における「効率性」と「質」の関係性については、病院における経営効率性分析の結果から、トレードオフの関係が示唆されている [1–3]。一方、非営利活動である公衆衛生対策の効率性評価で考慮されるべきは、利益効率性ではない。言うまでもなく、アウトカムは一般的な財務情報に代表される金銭的価値よりは、健康改善に高いウェイトを置く。特に、健康指標などの疫学指標に加え、技術力、保健医療サービスへのアクセスや QALY (Quality-adjusted Life Years; 質調整生存年) といった保健衛生の水準を示す質的要素は、公衆衛生対策を評価するうえで極めて重要である。また、公衆衛生対策の特徴でもある事業展開の「地域特性」を考慮する必要がある。さらに、公衆衛生対策において効率性の向上、すなわち限られた財源で最大の成果（健康レベルの改善）を上げるためには、財源のコントロールではなく、サービスを提供するプロセスにおけるコスト管理、技術や生産性あるいは質の向上にプライオ

リティが置かれる。とりわけ政策のインパクト（効果）は重要視される。つまり、保健医療政策の効率性評価における投入・産出の項目を構成しているのは、それを実施する事業者のもつ特性や効果そのものを示す質的要素である。したがって、それぞれのプログラムのパフォーマンス評価を行うには、事業者の特徴を反映する複数の要素を取り扱うことが不可欠である。

公衆衛生におけるプログラム評価については、CEA (Cost Effectiveness Analysis; 費用対効果分析) や ICER (Incremental Cost-effectiveness Ratio; 増分費用対効果比) による質的な変数を扱う手法が知られている。これらは一つの資源投入に対して一つの成果、つまり単位当たりのサービスにおけるコストを比較するものである。したがって、公衆衛生政策の中核ともいえる地域基盤型のプログラムがもつ多様性を踏まえた評価を行うには限界がある。

オペレーションズ・リサーチ分野において DEA (Data Envelopment Analysis; 包絡分析法) が注目され、医療機関を対象とした経営効率性分析に導入されるようになって久しい。DEA は、複数の変数を入力（投入資源）と出力（生産物）として定式化することが可能であり、いくつかの事業者 (Decision Making Unit: DMU) を相対的に評価することができる。Nunamaker [4] によって、1983 年に DEA が医療経営の評価に初めて用いられてから、医療経営についての評価は盛んに行われている。公衆衛生のプログラム評価への応用についても発展性が期待できる。本稿では、公衆衛生の課題の中でも歴史の長い感染症に対する政策を中心に、DEA によるパフォーマンス評価のポテンシャルについて議論していきたい。

まるやま ゆきひろ

長崎大学経済学部

〒 850-8506 長崎県長崎市片淵 4-2-1

maruyama@nagasaki-u.ac.jp

はまぐち ゆうこ

北海道大学大学院医学研究科

〒 060-8638 北海道札幌市北区北 15 条西 7

ちょうう

大阪大学大学院情報科学研究科

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

## 2. 公衆衛生分野への DEA の応用

### 2.1 保健医療政策における入出力変数

DEA は、線形計画法を用いて複数の尺度を一つにまとめるモデルである。入力のコストや人的資源などが挙げられ、一般的には最小化が望ましい要素である。一方、出力に挙げられるのは、利益や生産物などの成果として最大化したい要素である。

公衆衛生では、入力変数に用いる財源の事業内訳が対策項目に対応することがあり、主要な対策であれば、質のよいデータが揃う。財務情報が入手できない場合も多く、その場合は、医師や保健師などの専門職の人数や保健所数など衛生基盤を評価する指標を用いることもできる。公衆衛生活動は非営利であるため、財政的な指標が必ずしもマッチしない場合がある。その場合は、コスト相当の指標を準備する。結核対策における患者管理の有効性を考慮したいのであれば、治療失敗や多剤耐性結核の割合などが例として挙げられる。これらはネガティブな指標であり、数値が上がれば上がるほど、公衆衛生上の burden となり、支払うべきコストの上乗せに結びつく。なお、変数の扱いに関しては注意が必要である。感染症においては感染者と感受性者（感染を受ける人）の数や密集度が流行状況に大きな影響を与えるし、都市部や過疎地などの人口規模は財政基盤に格差をもたらすため、投入する資源の比較可能性に問題が出てくる恐れがあるからである。入出力変数として用いる場合は、人口あるいは目的とする疾病や感染症の罹患数などを用いて調整しておくことも一つの方法である（2.2 節参照）。

### 2.2 CCR/BCC モデルを用いた感染症対策のベンチマーキング

実際に、都道府県の健康指標を用いて、2013 年の国内結核対策をベンチマーキングしてみる。

世界保健機関（以下 WHO）によると、2013 年の結核の新規罹患数は 900 万人であり、そのうち 150 万人が死亡している（95% 以上は低所得国）[5]。これは単独の病原体としては HIV に次ぐ死因である。かつて日本では、明治以降の産業革命による人口集中に伴い、結核が国内に蔓延し、「国民病」と呼ばれた時代がある。昭和 26 年に「結核予防法」が制定されて以来、1970 年代まで順調に減少してきた日本の結核罹患率は、80 年代に入って減少率の鈍化を示し、さらに逆転増加傾向を示したことから、厚生省（当時）は 1999 年、「結核緊急事態宣言」を発した。2000 年の時点で、新規結核患者の罹患率は人口 10 万対 31.0 であった（うち結核死

亡者は 2.1）。2014 年の日本の結核罹患率は 15.4（中蔓延）であり、欧米諸国（米国 2.8、ドイツ 5.1、豪州 5.4）に比較して依然として高い。近年では、社会情勢や交通手段の変化に伴い、多剤耐性結核やエイズの蔓延に伴う合併症の増加が危惧されており、「再興感染症」として結核が再び注目されている。

結核の流行抑制では、幼少期のワクチン接種による「予防」に加えて、患者の「早期発見」と「治療成績の向上」が主な目標となる。財政指標と合わせて、それらの指標を出力変数としてパフォーマンス評価に用いるとよい。また、結核対策の財源は、「結核対策費」に集約されているので、入力変数として適している。なお、都道府県には、人口規模や経済力などの異質性があるため、変数を人口で除すなどの調整を加える等の配慮が必要である。

それでは、入力変数を「一人当たり結核対策費」、出力変数を喀痰塗抹陽性結核患者の初回治療の「治療成功率（%）」とした 1 入力 1 出力の設定で、2013 年の 47 都道府県の結核対策のパフォーマンスをベンチマーキングしてみる（喀痰塗抹陽性結核とは、患者が咳をしたときの喀痰中に結核菌が検出されたものを指し、一般的には感染性を有することが多い）。収穫一定 CCR と収穫可変 BCC モデル、出力指向とした場合のそれぞれの DEA 効率値を算出し、図 1 に入出力のプロットを示す。

CCR および BCC のフロンティアをそれぞれ破線、実線で示す。CCR フロンティアでは兵庫、BCC フロンティアでは兵庫・長野・和歌山・岩手の 4 自治体がベンチマークされた。非効率 DMU としてほかの自治体が参照している DMU の特徴で分けると、主に長野・和歌山（16 自治体）および岩手・和歌山（24 自治体）および岩手のみ（3 自治体）の三つにグルーピングすることができる。つまり、この入出力の組み合わせにおける結核対策の活動実態が、大きく三つの特徴に分けられると捉えることもできる。

しかしながら、実際には、出力変数の「治療成功率（%）」とともに、結核予防法により事業所・学校・施設・市町村に義務づけられている「結核健診受診数」の向上も自治体にとって重要なアウトカムになっているので、政策立案者であれば、この両方の組み合わせに興味をもつことになる。そこで、出力変数に「結核健診受診者数」を新たなアウトカムとして加えた 1 入力 2 出力の変数を用いて、出力指向 CCR で再評価すると、兵庫・愛知・東京がベストプラクティスということになる。このように、評価指標の側面が増えること

結核対策の入出力変数のプロット

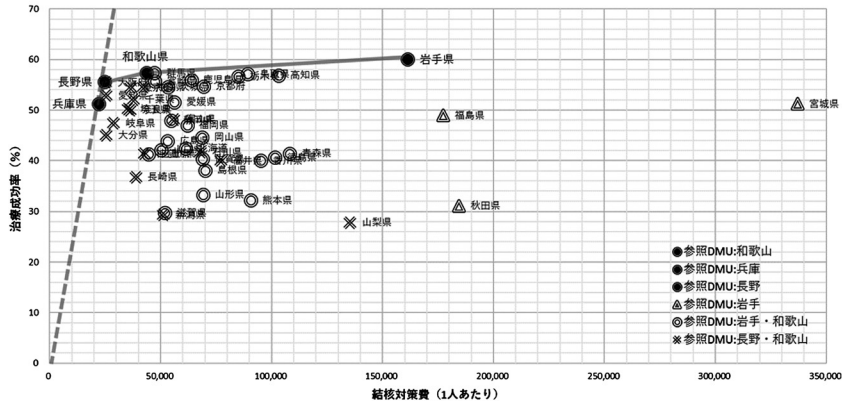


図 1 入出力変数のプロット

で、より実践的に自治体の活動を評価することが可能になる。

### 3. 保健医療政策とパネル分析

保健医療政策の特徴として、アウトカムを観測するまでに、ある程度長期的な時間を必要とすることと、それに伴い、項目も1年ごとではなく、3年から5年の範囲で考慮される。特に結核などは、目標達成まで10年から数十年の単位を見積もる長期的な対策が特徴的である。DEA 効率値の特徴として、ある年の評価は、効率性フロンティアを構成するDMUの振る舞いに依存する相対的なもので、個別のDMUにとって必ずしも絶対的なものではない。そのため、観測時点の違うDEA 効率値を用いて同一のDMUの比較や時間的変化の測定には適さない。そこで、DEA モデルをベースにして算出できるMalmquist indexを用い、全要素生産性としてDEA 効率性の変化を評価することにする。ここでは、日本国内の麻疹対策を取り上げる。

#### 3.1 麻疹（はしか）対策

WHOの推計によると、毎年3000万人以上の人々が麻疹に罹患し、そのうち875,000人が死亡している[6]。2000年代に入ると、WHOは「麻疹による死亡率減少と地域的な排除のための世界麻疹排除対策戦略計画」の中で、具体的な数値目標と、死亡率減少と地域的排除のための活動を進めるためのフレームワークを示し、麻疹ワクチンの2回接種法（生後1年および就学前）を勧奨した。ワクチン未接種および1回目の接種で免疫を獲得しなかった麻疹の感受性者（感染を受ける可能性がある者）に対し、2回目のワクチン接種で免疫を得る機会をサポートするものである。日本国内では、2007年前半、20代前後の若年層を中心に、麻疹の大

規模な国内流行があり、大学や高校などの教育機関の休校や、海外への持ち出しなど、社会的に大きな影響を及ぼしたことは記憶に新しい。南北アメリカやヨーロッパ諸国の多くの国々が、根絶に近い状態である「排除期」に至っている一方、日本は2015年ようやくこの排除期に到達した。しかしながら、麻疹の流行レベルを最低レベルに維持するためには、頑健な対策が持続的に求められる。

#### 3.2 Malmquist index を応用した麻疹対策のパフォーマンス評価

以上より、麻疹対策におけるグローバルスタンダードは、ワクチン接種率の向上をアウトカムとした感受性者のコントロールであることがわかる。WHOの推奨するワクチンプログラムでは、ワクチン接種のタイミングは2期（2回の接種）が推奨されており、麻疹の流行を制圧するためには、いずれも高い接種率を維持する必要がある。したがって、本稿で評価したいパフォーマンスのアウトカムとしては、第1期と第2期（もしくは第4期まで）のワクチン接種率を分けて用いるのが適切である。2期のワクチン接種率は、自治体の公衆衛生上の努力の結果であり、財政状況と組み合わせることにより、自治体の特徴が反映される。DEAを用いれば、その二つのアウトカムと投入した財源の組み合わせから、どの自治体が最適なパフォーマンスを実施していたかどうかをベンチマーキングすることが可能になる。そこで、簡略な1入力2出力のモデルコンセプトを設定することにする。麻疹対策が時限措置で強化された2008年から2012年の5年間を評価するために、同期間の毎年のデータを入出力変数として用いる[7]。具体的には、入力変数として「一人当たりの衛生費」、出力変数として第1期（生後1年）と

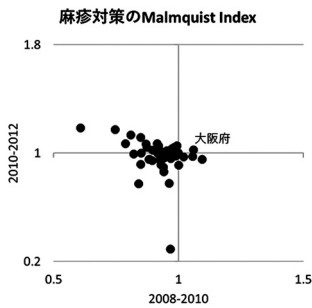


図2 Malmquist index のプロット

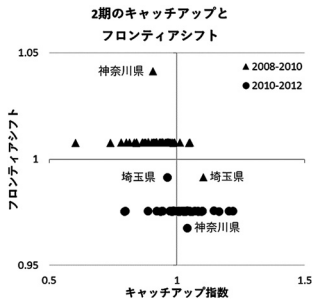


図3 2期のキャッチアップ指数とフロンティアシフト

第2期(就学前)それぞれの「予防接種率(%)」である。衛生費とは、地方自治体が実施する医療、公衆衛生、精神衛生などにかかわる対策(公衆衛生費・保健所費・結核対策費)と、ごみなど一般廃棄物の収集・処理等(清掃費)に支出される公的財源である。

これらの変数による出力指向CCRモデルのDEA効率値をベースに算出されたMalmquist indexのプロットを図2に示す。

5年間を2期に区切り、横軸に2008年から2010年(前期)、タテ軸に2010年から2012年(後期)のMalmquist indexをプロットしている。なお、Malmquist indexは、1より大であれば前進、1に等しければ変化なし、1より小の場合は後退を示す。Malmquist indexの分布を見ると、1で区切られた象限のうち、第1象限にある自治体は大阪府であり、前期・後期ともに全要素生産性を向上させている。第1、第2および第4象限にあり前期・後期のいずれかにおいて生産性を向上させた自治体は半数以上である。一方で、第3象限にある21の自治体が全期間を通して全要素生産性を低下させていることも示唆される(第3象限)。さらに、全要素生産性を分解して得られる二つの指数、キャッチアップ指数とフロンティア指数を前期・後期に分けて図3に示す。

それぞれの指数の意味は、Malmquist indexと同様である。なお、出力指向CCRモデルでベンチマーク

された自治体は2008年に神奈川県、2010年に埼玉県、2012年に再び神奈川県と、それぞれ1自治体のみが参照される結果になっているため、分布にばらつきが少ない。まず前期では、ほとんどの自治体が参照自治体(神奈川県)のフロンティアの前向きシフトに対してキャッチアップできていないことがわかる(富山・大阪・栃木を除く)。後期では、参照自治体は期間中埼玉から神奈川に交代した影響により、2010年に埼玉を参照していたほとんどの自治体のフロンティア指数は1以下に後進したものの、キャッチアップ指数に注目すると多くの自治体がキャッチアップしていることがわかる。これはベストプラクティスである自治体(フロンティア)のパフォーマンスに追いついていることを示す。このように、Malmquist indexによる全要素生産性分析を用い、DEA効率性のダイナミクスをうまく表現することで、後半の地域格差の改善が、日本全体の麻疹対策の目標値達成の底上げに貢献している可能性を垣間見ることできる。中長期的で先が見えにくい公衆衛生活動の評価に多角的な視点を加えることで、実践家にとって改善の糸口をつかむきっかけとなり、モチベーションの向上に結びつくことを期待する。

#### 4. 保健医療政策のパフォーマンスと影響要因

DEAは、自身がどのベストプラクティスの活動を見習うべきかを探ることと同時に、具体的な業務改善を数値化することが可能な便利なツールである。次にくる興味は、どのような要因がパフォーマンスの向上に影響しているのかということである。それは、公衆衛生のマネジメントにおいても興味を中心といってもよい。政策立案者や評価者であれば、経験則によりいくつかの要因を容易に挙げることが可能であるだろう。たとえば、エイズ対策と結核対策のアプローチの類似点に着目した場合、縦割りの部署で個別に対策するよりは、協働や組織再編により資源を共有することでより業務の効率性が増すかもしれない。そのような疑問に対し、DEA効率値を変数として用いる統計的手法が一助となる。ここでは、例として高齢者の肺炎対策を取り上げることにする。

##### 4.1 高齢者の肺炎予防対策の背景

肺炎は1975年以降日本における主要死因であり、2011年にはそれまで悪性新生物(がん)、心疾患(心不全など)に次いで死因の第3位だった脳血管疾患(脳梗塞など)を上回り、増加傾向である[7]。さらに、年齢構成別に見ると、肺炎による死亡の96.9%は65歳以上の高齢者が占め、肺炎の年齢階級別死亡率は65歳

以上になると急激に高くなっている。

肺炎を引き起こす主な病原体は、肺炎球菌、インフルエンザ菌およびマイコプラズマなどの細菌やインフルエンザなどのウイルスである。特に、日常生活における肺炎の主な病原体としては、肺炎球菌が1位を占める(全体の約3割)[8]。さらに、インフルエンザシーズンにおける肺炎の肺炎球菌への感染割合は50%から60%にまで上昇する。これは、肺炎球菌がヒトの口腔内の常在菌であり、インフルエンザ感染などによる体力や免疫の低下が肺炎を引き起こすことによる。このため、肺炎の予防には、インフルエンザワクチンと肺炎球菌ワクチンの両方接種が推奨されている。日本国内では、2000年代前半より市町村自治体による高齢者に対する肺炎球菌ワクチンの公費助成接種が徐々に増えたが、予防接種法に基づく定期接種となったのは、2014年10月からである。現在は、インフルエンザワクチンに加え、肺炎球菌ワクチンの接種対象が小児から高齢者(および60歳以上64歳以下の特定の内部障害)に拡大されている。

#### 4.2 肺炎球菌ワクチンの定期接種について

高齢者を対象とした肺炎球菌ワクチンとしては、成人用肺炎球菌ワクチン(23価肺炎球菌莢膜ポリサッカライドワクチン;PPSV23)が導入されている。肺炎球菌には93種類の血清型があり、そのうちの23種類の血清型に効果があるとされる。また、この23種類の血清型は成人の重症の肺炎球菌感染症の原因の約7割を占めると報告されている[9]。肺炎球菌ワクチンの抗体価は接種後1カ月で最高値となり、5年を過ぎると徐々に低下する。なお、一度感染した血清型については、免疫獲得が可能である。

現在、2014年度から65歳以上の高齢者について、5歳刻みの年齢で接種対象とし、2014年から2018年の5年間をかけて、すべての高齢者をカバーする経過措置制度として接種が行われている。

#### 4.3 インフルエンザワクチンの定期接種について

インフルエンザワクチンについては、感染や発症そのものを完全には防御できないが、重症化や合併症の発生を予防する効果は証明されており、高齢者に対してワクチンを接種すると、接種しなかった場合に比べて、死亡の危険を5分の1に、入院の危険を約3分の1から2分の1にまで減少させることが期待できると言われている。現行ワクチンの安全性は極めて高いと評価されている。成人の場合、接種後約2週間で免疫獲得し、約5カ月間持続する。A型2種類、B型2種類の4価ワクチンが導入されて、65歳以上の高齢者

(および60歳から64歳までの特定内部障害)が予防接種法における定期接種の対象となっている。定期接種スケジュールは、1年に1回である。

#### 4.4 高齢者の肺炎予防対策のパフォーマンスに影響を及ぼす影響

それでは、2014年の肺炎予防の都道府県自治体の取り組みについて、パフォーマンスにどのような要因が影響を与えているかを探索的に分析していくことにする。肺炎予防対策の主要アウトカムを、肺炎球菌ワクチンとインフルエンザワクチンの定期接種率の向上とする。入力データは、「一人当たり衛生費」、人的資源として「保健師数(10万対)」を用いる。また、出力データとして、「インフルエンザワクチン定期接種率(%)」および「肺炎球菌ワクチンの定期接種率(%)」とする[10]。

以上の2入力2出力変数を用いた出力指向CCRモデルで評価すると、2014年のDEA効率性フロンティアを構成するのは、群馬県、神奈川県、愛知県および大阪府の4自治体である。DEA効率値の平均値は0.77(標準偏差0.14)であった。

次に各自治体のDEA効率値を従属変数とした場合の影響要因を統計的手法で推定する。背景因子については、「財政力指数(自然対数)」、「老人福祉費割合(%)」、「衛生費割合(%)」、「一般診療所数(人口10万対)」および「後期高齢者医療費(一人当たり)」とした。すべて2014年のデータである[11]。従属変数のDEA効率値はCut-off値「1」の打ち切りデータ特性を持つため、Tobitモデルによる多変量回帰分析を用いた(統計パッケージ:Stata/SE 13.1)。統計的有意水準は両側1%とした。結果を表1に示す。

財政力指数と衛生費割合の係数がそれぞれ有意であった。財政力が高いほどDEA効率値が高く、衛生費の割合が高いほどパフォーマンスが落ちる傾向にある。また、老人福祉費割合の係数に着目すると、そのほかの背景因子と比較してポジティブであり有意に近い。実際には、介護保険や後期高齢者医療制度などの高齢者施策でイニシアチブをとるのは市町村自治体であり、高齢者にダイレクトに働きかけができる機会が多い。また、ワクチン定期接種制度を法定受託事務として管轄、つまり直接サービス提供を図っているのが、市町村である。よって、市町村の実施する高齢者施策に財源の投入を図るほうが、効率的な可能性が高いという示唆は、実践的に妥当な印象を受ける。

現時点では、肺炎球菌ワクチンの定期接種制度は開始時点であるため、5年間の経過措置が終わった段階

表 1 高齢者肺炎対策の効率性の影響要因

項	推定値	標準誤差	t 値	p 値	信頼区間	
					上限	下限
財政力指数 (自然対数)	0.2187	0.0475	4.61	0.000**	0.1229	0.3145
老人福祉費割合 (%)	0.0302	0.0155	1.95	0.058	-0.0011	0.0614
衛生費割合 (%)	-0.0508	0.0189	-2.69	0.010**	-0.0889	-0.0127
一般診療所数 (人口 10 万人当たり)	-0.0006	0.0013	-0.48	0.63	-0.0033	0.0020
後期高齢者医療費 (一人当たり)	-7.E - 08	2.E - 07	-0.41	0.684	-4.E - 07	3.E - 07
切片	1.0618	0.1498	7.96	0.000	0.7594	1.3641

で、市町村行政を意思決定単位とした評価を行うことで、より実践的な評価が行えるだろう。

## 5. 国際保健の DEA 効率性分析における確率的感度分析手法の活用

前述の肺炎球菌ワクチンの定期接種制度の入出力変数から算出された DEA 効率値は、1 年間というある時点の観測データに基づく。DEA は、同じサンプル集団内のほかの DMU の振る舞いの影響を受けやすい相対的指標である。加えて欠損値の影響や、サンプリングによるバイアスの影響も否定できない。さらに、推定された DEA 効率値はランダムエラーや外的ショックなどの影響を考慮していないことや、分布にノンパラメトリックな仮定をおく性質があるという限界がある。そのため、確率的感度分析を行うことが推奨されている。いくつかの手法が提案されているが、ここでは、Bootstrap 法を用いた例を示すことにする。

### 5.1 Bootstrap 法

同じ母集団から抽出した標本は、無作為抽出であるため、標本を構成する要素、標本のサイズが異なると、それらの統計量は異なっている。このため、標本データを用いて母集団の性質を推測する際には常に誤差が伴う。そこで、確率分布の性質に頼らない Bootstrap と呼ばれる方法が提唱されている [12]。

Bootstrap 法は、母集団の推定量 (分散など) の性質を、近似分布にしたがって標本化したときの性質を計算することで推定する手法のことである。測定値から求められる経験分布を近似分布として用いるのが標準的である。また、仮定される分布が疑わしい場合や、パラメトリックな仮定が不可能ないし非常に複雑な計算を必要とするような場合に、パラメトリックな仮定に基づく推計の代わりに用いられる。

### 5.2 Bootstrap 法により推定した DEA 効率値を用いた統計的推定

ここでは、2002 年から 2012 年までの 11 期の世界 114 カ国の結核対策 (National Tuberculosis program;

以下 NTP) のアウトカム指標を用いて、Bootstrap 法による DEA 効率値の推定値 (以下 Bootstrap DEA 効率値) を用いた GLM 解析を行ったので紹介する。DEA の確率的感度分析に用いたパッケージは DEA Solver Pro (ver.13.0) である [13]。

入力変数を「保健医療費の GDP 比 (%)」, 「結核罹患率 (10 万対)」および「TB/HIV 重複感染者数 (10 万対)」, 出力変数を NTP のアウトカム指標である「治療成功率 (%)」と「検診発見率 (%)」と設定する [14, 15]。検診発見率 (Case detection rate; CDR) とは、推定結核罹患数に対する新規届出結核患者の割合である。結核と HIV 重複感染は、全世界の結核患者のおよそ 4 分の 1 を占め、結核の発病、すなわち活動性結核への進行確率を最大で 50 倍にも上昇させると言われる。結核と HIV の重複感染が増加すれば、間接的に治療上のコストが高まることから、入力変数として扱った。

この 114 カ国を母集団とした 3 入力 2 出力変数からなる 11 期の Historical data からのリサンプリングを 5,000 回繰り返して抽出した Bootstrap 標本から、出力指向 CCR 乗数モデルで DEA 効率値 (以下 Bootstrap DEA 効率値) を推計し、平均値および 95% 信頼区間を図 4 に示した。

114 カ国を結核蔓延度別にグループ化すると、低蔓延国、中蔓延国、次いで高蔓延国の順に、Bootstrap DEA 効率値が増加する傾向にあり、特に低蔓延国との間に大きな格差が存在しそうだ。この Bootstrap DEA 効率値に対し、「人間開発指数 (Human development index; HDI)」, 「腐敗認識指数 (Corruption perception index; CPI, 自然対数)」, 「一般政府財政支出に占める保健財政支出の割合 (%)」, 「純移動率 (移民の移動)」, 「結核と HIV 重複感染症の治療ガイドラインの有無 (ダミー変数)」, 「多剤耐性結核治療ガイドラインの有無 (ダミー変数)」および「結核登録者情報システムの有無 (ダミー変数)」の六つの独立変数で多変量モデル化した。HDI が二峰性の分布を示すため、第 2 四分位点 (中央値) でカットオフして層別解析を

Bootstrap法による結核蔓延度別DEA効率値の推定平均値と95%信頼区間  
(5000 time re-sample)

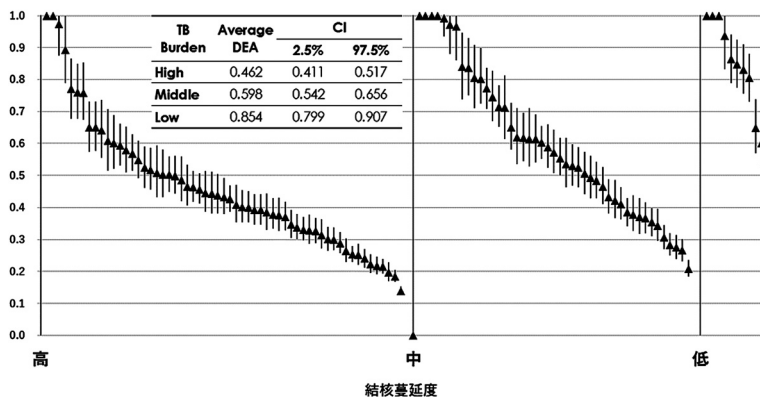


図4 Bootstrap法によるDEA効率値の平均と95%信頼区間

表2 TobitモデルによるHDI層別解析

Bootstrap DEA(Ln) Low HDI < 0.659	Descriptive statistics		Coef.	Std.Err.	t	P >  t	95% Conf. interval	
	Mean	Std.Dev.					Lower	Upper
CPI(Ln)	32.04	10.56	0.007	0.159	0.05	0.963	-0.313	0.328
GGHE as % of GGE	10.36	3.89	-0.053	0.014	-3.72	0.001	-0.082	-0.025
Net migration rate	-1.26	2.06	0.015	0.026	0.56	0.577	-0.038	0.067
TB/HIV guideline	73.7%	achieved	-0.153	0.260	-0.59	0.559	-0.675	0.369
MDR guideline	73.7%	achieved	0.280	0.261	1.07	0.289	-0.244	0.804
Electronic database for TB	31.6%	achieved	-0.152	0.111	-1.38	0.175	-0.374	0.070

Observations: 56 [left-censored:0 right-censored: 1 uncensored: 54], Log likelihood = -22.565714

Bootstrap DEA(Ln) High HDI ≥ 0.659	Descriptive statistics		Coef.	Std.Err.	t	P >  t	95% Conf. interval	
	Mean	Std.Dev.					Lower	Upper
CPI(Ln)	52.18	19.00	0.146	0.198	0.74	0.464	-0.255	0.548
GGHE as % of GGE	11.86	3.80	-0.005	0.020	-0.25	0.806	-0.046	0.036
Net migration rate	1.83	8.38	0.033	0.026	1.27	0.213	-0.020	0.086
TB/HIV guideline	45.5%	achieved	-0.364	0.231	-1.57	0.124	-0.833	0.105
MDR guideline	52.3%	achieved	0.310	0.231	1.34	0.189	-0.159	0.778
Electronic database for TB	78.2%	achieved	0.334	0.147	2.27	0.029	0.036	0.631

Observations: 43 [left-censored:0 right-censored: 3 uncensored: 40] Log likelihood = -17.864385

行った。結果を表2に示す。

低HDIグループでは、保健医療支出割合が低いほど効率性が高くなる傾向がある。支出に無駄が多いというよりは、ODAなどの外部資金割合の高さが関係しているかもしれない。一方、高HDIグループでは、結核登録者情報システムの有無が効率性に影響を与えていることが示唆された。HDIは、GDPなどの経済指標と違い、国家の経済力、教育水準および保健医療水準を考慮した指標であるから、高HDIグループには高度な医療インフラや技術力に支えられた保健医療システムをもつ高所得国が多い。ICTによって患者情報を一元化することで、介入の質の向上につながったと解釈できそうである。感染症流行の背景として、蔓延度の高い国から低い国への移民の影響が指摘されているが、どちらのグループでも純移動率の影響は示唆され

ていない。

このように、質のよいHistorical dataがそろっていれば、確率的感度分析の手法を用いることで、経験分布からDEA効率値がどのような振る舞いをするのか、ある程度の見当をつけることができる。また、DEA効率値のもつ限界を修正して、データとしての精度を高めることができる。このことは、政策立案者の予算配分や数値目標の見積もり、あるいはリスクヘッジの検討において、意思決定を支える助けとなるだろう。

## 6. 結論／おわりに

本稿では、感染症を中心に、DEAを応用した保健医療における政策評価の一部をいくつか例示した。従来の経済的評価の視点にバリエーションが増えることで、より実践的な評価が期待できそうである。いくつかの

適用例で示唆されたように、設定した出入力変数の条件下において、個別の自治体にとってのベストプラクティスはどの自治体なのか、あとどれだけのキャッチアップが必要かなど、ある程度の見積もりが可能になることがわかる。また、確率的手法を用いれば、DEA 効率値のもつ不確実性を考慮に入れた影響要因の探索も可能である。しかしながら、課題は多い。

まず第一に、DEA の利点である目標改善値と期待値の推定についてである。これに関しては、理論値の域を得ず、資源配分の意思決定を支えるには根拠が不足している。

第二に、入出力変数の選択や組み合わせである。変数の背景にある疾病特異性などの医学的あるいは疫学的な影響は、評価において無視できない要素である。疫学的特徴とアウトカム指標を取り込んだ適切な変数選択について、検証を重ねる必要がある。

第三に、DEA 効率値の妥当性と信頼性の確保である。DEA モデルの抱える限界点を補い、精度の高い推計を行うために、妥当な統計学的アプローチを確立する必要がある。

第四に、評価にどのくらいの期間の観測が必要かという点である。たとえば HIV や結核の特性 (Natural History) を考慮すれば、成果を観測するまでに、極めて長期的な時間を必要とする。一方、インフルエンザやノロウイルスなどの集団感染の予防を評価しようとするのであれば、少なくとも 2 シーズン (おおむね 2 年間) を観測する必要がある。

DEA は「過去」の生産活動において、その効率性や生産性を評価していく。一方、近年脅威となった新型インフルエンザあるいは中東呼吸器症候群 (MARS) などの新興感染症や、デング熱やジカ熱などの輸入感染症については、危機管理の観点から重視される。したがって、DEA の今後の展望として、「未来」の評価、すなわち未然の評価によるリスクヘッジの視点を期待したい。

DEA を用いた評価における変数選択の多様性は、公衆衛生活動の重視する地域 community という多様性を踏まえた評価を可能にし、政策立案者の実務的な疑問に答えてくれるに違いない。DEA やオペレーシ

onz・リサーチの手法が、今後の公衆衛生の発展の一助となってくれることに期待を寄せる。

## 参考文献

- [1] R. Singaroyan, C. A. Seed and R. M. Egdell, "Is a target culture in health care always compatible with efficient use of resources?: A cost-effectiveness analysis of an intervention to achieve thrombolysis targets," *Journal of Public Health*, **28**(1), pp. 31-34, 2006.
- [2] D. K. Helling, K. M. Nelson, J. E. Ramirez and T. L. Humphries, "Kaiser permanente Colorado region pharmacy department: Innovative leader in pharmacy practice," *Journal of the American Pharmacists Association: JAPhA*, **46**(1), pp. 67-76, 2005.
- [3] L. R. Mobley and J. Magnussen, "The impact of managed care penetration and hospital quality on efficiency in hospital staffing," *Journal of Health Care Finance*, **28**(4), pp. 24-42, 2001.
- [4] T. R. Nunamaker, "Measuring routine nursing service efficiency: A comparison of cost per patient day and data envelopment analysis models," *Health Services Research*, **18**(2 Pt 1), pp. 183-205, 1983.
- [5] World Health Organization, "Global tuberculosis report," 2016.
- [6] World Health Organization, "Measles," <http://www.who.int/topics/measles/en/> (2016 年 12 月 23 日閲覧)
- [7] 総務省統計局, 「地方財政白書」, [http://www.soumu.go.jp/menu\\_seisaku/hakusyo/chihou/28data/index.html](http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/hakusyo/chihou/28data/index.html). (2016 年 12 月 23 日閲覧)
- [8] 厚生労働省, 「人口動態統計 (確定数)」, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1a.html> (2016 年 12 月 23 日閲覧)
- [9] 石田直, "市中肺炎," *呼吸器ケア*, **1**(4), pp. 436-443, 2003.
- [10] 国立感染症研究所, 2013 年度の侵襲性肺炎球菌感染症の患者発生動向と成人患者由来の原因菌の血清型分布」, *IASR*, **35**(7), pp. 179-181, 2014. <http://www.nih.go.jp/niid/ja/id/1373-disease-based/ha/streptococcus-pneumoniae/idsc/iasr-news/4729-pr4132.html> (2016 年 12 月 23 日閲覧)
- [11] 総務省統計局地域別統計データベース, 「都道府県・市区町村のすがた」, <https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL02010101.do> (2016 年 12 月 23 日閲覧)
- [12] B. Efron, "Bootstrap methods: Another look at the jackknife," *The Annals of Statistics*, **7**(1), pp. 1-26, 1979.
- [13] K. Tone, "Resampling in DEA," GRIPS Discussion Paper, No. 13-23, 2013.
- [14] World Health Organization, "Tuberculosis," <http://apps.who.int/nha/database> (2016 年 12 月 23 日閲覧)
- [15] World Health Organization, "Global Health Expenditure Database," <http://apps.who.int/nha/database> (2016 年 12 月 23 日閲覧)