

〔論文〕

東北 3 県における公立病院の経営効率性変化の計測

—DEA Non Radial モデルと新公立病院改革プランの推進—

Measurement of Changes in Management Efficiency of Public Hospitals in three Prefectures of Tohoku: DEA Non Radial Model and New Public Hospital Reform Plan

山本 俊

YAMAMOTO Shun

要旨

いわゆる「2025 年問題」が迫るなか、地域医療構想とともに進められてきた新公立病院改革プランは完了し、公立病院の経営効率性の変化を検証すべき時期にある。実際、山本(2020)や山本(2021)では、こうした検証に取り組んでおり、経営効率性の計測手法として、Data Envelopment Analysis(以下、DEA)の Radial モデルを採用している。このモデルは、我が国の公立病院の経営効率性を DEA によって計測した先行研究の(知る限り)全てで採用されている一般的なものである。しかし、ここから得られる効率値は Non Radial Slack(以下、NRS)の存在により過大評価されることもある。よって、本稿では、公立病院への依存度の高い青森県、岩手県、山形県の公立病院のうち 69 の病院を分析対象として、NRS による効率値の過大評価を回避し得る Non Radial モデル(Russell 及び Zieschang のモデル)を用い、大きく 2 つの課題に取り組んだ。

第 1 は、Non Radial モデルによる代替の必要性の検討である。その結果、分析対象の公立病院のうち約 43%で効率値の過大評価が見られたことから、代替の必要性を一定程度指摘できるものの、Radial モデルと Non Radial モデルの間で効率値の順位の相関係数は高いなど、類似点も見られた。第 2 は、新公立病院改革プランの進行とともに、公立病院への依存度の高い 3 県の公立病院の効率性がどのように変化しているのかを検討した。その結果、平成 28 年度と令和元年度の間で、約半数の公立病院が経営効率性を改善または効率的な水準で維持しており、全体として見た場合には、僅かな低下傾向が見られるものの、概ね「横這い」で推移しているという結論を得た。

1. はじめに

我が国では、2025 年問題に対する効率的な医療提供体制を構築すべく、平成 28 年度から都道府県ごとに地域医療構想を策定し、平成 30 年度より推進している。そこでは、2025 年の機能別必要病床数を明確化しつつ、目指すべき医療提供体制を実現するための施策を講じることが基本となっている。そのため、医療機関には、病棟ごとの医療機能を自主的

に選択し、その現状と今後の方向性を報告することが求められ、「病床機能報告制度」として具体化されている。さらに、公立病院¹には、平成 27 年度または平成 28 年度から令和 2 年度までを対象とし、新公立病院改革プランに基づく改革も求められている。そこでは、主に 4 つの取り組みが促されており、第 1 は「地域医療構想を踏まえた役割の明確化」、第 2 は「経営の効率化」、第 3 は「再編・ネットワーク化」、第 4 は「経営形態の見直し」である。とりわけ、第 1、第 3 の取り組みでは、病床機能の明確化や病院機能の再編などが求められており、それと並行して、「経営の効率化」が第 2 の取り組みとして明示されている。

こうした「新公立病院改革プラン」に取り組む公立病院の多くが令和 2 年度を完了年としているため、総務省は当初、令和 2 年夏頃を目途に「新公立病院改革ガイドライン」を改訂し、令和 3 年度以降の更なる改革プランを、各公立病院に策定することとしていた。しかし、新型コロナウイルス感染症が拡大したことから、ガイドラインの改定等の時期も含め、改めて示すこととなるなど、公立病院改革の停滞が余儀なくされている。

以上から、公立病院は少なくとも、平成 28 年度以降、地域医療構想による要請に加え、新公立病院改革プランの推進と、それに伴う経営の効率化に向き合ってきたと言える。ただし、新型コロナウイルス感染症が広がりを見せ、全国を対象とした緊急事態宣言が発出された令和 2 年 4 月 16 日以降については、各公立病院も感染予防対策などの影響により、それまでと同様の取り組みを推進できなくなった可能性もある。よって、平成 28 年度から令和元年度にかけての公立病院の経営効率性²の変化に関心が集まる。実際、山本(2020)では、全国の公立病院を対象に、平成 27 年度から平成 29 年度までの経営効率性の変化を、未利用病床数の影響を調整した Data Envelopment Analysis (以下、DEA) によって計測しているし、山本(2021)では、青森県の公立病院を対象に、平成 27 年度から平成 30 年度までの経営効率性の変化を、DEA の Assurance Region 法によって計測している。しかし、両研究で採られている経営効率性の計測手法は、DEA の中でも、Radial モデルに属するものである。これは一般的な計測モデルであり、我が国の公立病院の経営効率性を DEA によって計測した先行研究の(知る限り)全てが Radial モデルに属する手法を採用している。しかし、Radial モデルには、Non Radial Slack(以下、NRS)と呼ばれる余剰を経営効率値の計測に反映できないという弱点がある。そのため、同一の効率値の事業者の間にも、経営効率値に反映されていない優劣が存在し、事業者の効率値を過大評価してしまう可能性もある。

一方、こうした NRS を経営効率値の計測に反映するモデルが Non Radial モデルであり、

¹ 本稿では、公立病院を「都道府県や市町村などの地方公共団体、あるいは地方公共団体が設立した事務組合や広域連合の他、地方独立行政法人などによって経営されている病院」と定義する。なお、先行研究等では、自治体病院と呼ぶこともある。

² ここでの(経営)効率性とは、DEA によって計測される「技術効率性 (Technical Efficiency)」を意味する。詳細は 3 節を参照して欲しい。

多くのモデルが提案され、計測に用いられている。例えば、第二地方銀行の2007年度の効率性を計測した國方(2010)³では、RussellモデルやZieschang(1984)のモデル(以下、Zieschangモデル)を採用している。

RussellモデルはNRSを効率値の計測に反映できるものの、「効率化のためには、各公立病院の投入要素の比率⁴も変更可能だ」と想定して、効率性を計測している。しかし、医療サービスの生産は、医療法で定められた人員配置基準などの要請もあるため、投入要素比率の変更を前提とする効率化は医療サービスの生産を停滞、変質させる恐れもある。Zieschangモデルもまた、NRSを効率値の計測に反映し、効率化のための投入要素比率の変更を想定するものの、この想定はNRSを有する事業体に限定される。一方、Radialモデルによる効率値の計測では、投入要素の比率の変更は要求されないため、NRSによる過大評価が限定的であるほど、望ましい計測方法と言える。

こうした手法を用いて、公立病院の経営効率性を計測し、改善を促すことは、とりわけ、公立病院への依存度の高い都道府県にて必要と考えられる。そこで、令和元年度を対象に、各都道府県内の病床数に占める公立病院の病床数のシェアを示したのが図1である。ここでは、岩手県(34.5%)、山形県(33.3%)、青森県(32.6%)の公立病院の病床数シェアが3割を超えており、公立病院への依存度が高い。DEAによる経営効率性の計測では、分析対象となっている事業体の投入・産出物以外の全ての条件が同一と考えられていることから、本稿では、分析対象とする地域を限定し、公立病院への依存度の高い上記3県の公立病院を分析対象とする。

以上を踏まえ、本稿では、大きく2つの検討課題を設ける。

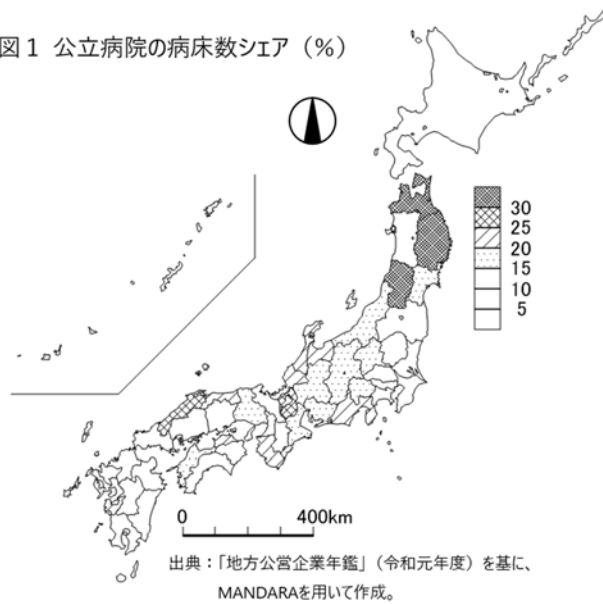
第1は、RussellモデルやZieschangモデルにより、NRSの大きさを反映した公立病院の経営効率値を計測し、Radialモデルの基本であるCRSモデルの結果と比較することで、Non Radialモデルによる代替の必要性を検討する。そこから、Radialモデルを多用してきた先行研究の妥当性にも迫りたい。なお、モデル間で異なる効率性計測結果の比較では、國方(2010)でも採用されているBeauer *et al.* (1998)を参考とする。⁵

³ 國方(2010)は示唆に富んだ分析をしており、本稿でも依るところが大きい。國方には「特定の生産要素の θ が1に近く、他の生産要素でノンレイディアル・スラックが大量にある銀行を考えよう。もし、レイディアル・モデルが効率性の計算に使われるのなら、この銀行の効率性は実態よりも高く評価されてしまう」(p.3)と指摘しており、Non Radialモデルが有用となるケースを示している。なお、 θ とはRadialモデルにおいて効率化に必要な生産要素の縮減率である。國方の指摘を踏まえ、注意すべきは、平成28年度以来の公立病院の経営効率化が、病床機能の明確化や病院機能の再編などと同時に進められたため、例えば、全199病床のうち精神病床全107床を廃止した青森市立浪岡病院のように、特定の投入要素のみが急激に低下するケースである。これはNon Radialモデルが有用となるケースに対応する可能性がある。

⁴ 投入要素の比率は生産技術とも考え得る。詳しくはヴァリアン(2000)pp.282-283を参照。

⁵ 國方(2010)では、Bauer *et al.* (1998)が示す計測結果の比較に関する6つの視点すなわち、i)分布の類似性、ii)順位の類似性、iii)効率的、あるいは非効率と判定される事業体の類似性、iv)効率値や順位の通時的安定性、V)効率値や順位と競争条件との整合性、VI)効率性の順位と外部指標の順位との整合性のうち、iii)とiv)を除く検討をしている。

図1 公立病院の病床数シェア (%)



第2は、平成28年度から令和元年度にかけて、分析対象とする青森県、岩手県、山形県の公立病院の経営効率性を計測し、その変化の程度を明らかにすることである。ここから、3県における新公立病院改革プランの成果に迫る。

本稿の構成は以下の通りである。第1節に続き、第2節では、我が国の公立病院の効率性を計測した先行研究を取り上げ、採用されている計測手法を基に整理する。第3節では、RadialモデルのCRSモデル、Non RadialモデルのRussellモデルとZieschangモデルを説明する。第4節では、データについて紹介し、第5節では、2つの分析課題に取り組み、第6節が結論である。

2. 先行研究

山本(2021)では、我が国の公立病院の経営効率性を計測した20の研究を挙げ、DEAを採用しているものが16と大部分を占め、その他では、Stochastic Frontier Analysis(以下、SFA)を採用していると指摘している。このように、DEAによる先行研究が多い理由として、DEAの2つのメリットを挙げることができる。第1は、外来と入院というような複数の異なるサービスを生産する事業体の効率性を計測することができる点である。第2は、医療サービスの生産の特徴を踏まえた生産関数の形状を事前に特定する必要がない点である。ただし、SFAに比べて、サンプルに紛れる外れ値の影響を受けやすいというデメリットもある。こうした特徴を備えるDEAには様々な計測モデルがあり、効率値のタイプも多様である。そこで、計測モデルごとに先行研究を整理したのが表1である。表1から、クロスセクションデータを用いた1時点の効率性を計測する手法として、CRSモデルやVRSモデル

ルといった基本モデル⁶に加え、4段階 DEA モデルや AR 法を採用する先行研究も見られる。また、複数事業体の複数時点のデータをプールしたプールドデータを用いた Window 法に基づく効率性や、パネルデータを用いた Malmquist 指数も計測されている。ただし、結局のところ、これらの先行研究は Radial モデルに分類される。

Radial モデルによる効率性の計測では、被計測主体と同一の投入要素比率を採用し、かつ、効率的フロンティア上にある活動を基準に効率性を計測する。例えば、被計測主体の投入量を、基準となる活動の投入量とするための縮減率が投入指向型の効率値となる。⁷このとき、投入要素比率が同一の生産活動群は原点から延びる Radiation (放射線) 上に位置し、これに沿って効率性が計測されることから、Radial モデルと呼ばれる。また、効率的フロンティアはサンプルとなっている事業体の線形結合によって形成される。このとき、線形結合のウェイト、すなわち、intensity vector の要素に非負制約のみを課せば、規模に関して収穫一定 (Constant Return to Scale) を想定した効率的フロンティアが形成される。これを効率性の計測に用いるのが CRS モデルであり、計測された効率値は Overall Technical Efficiency (OTE) と呼ばれる。さらに、ウェイトの和を 1 とする制約を追加すれば、規模に関して収穫可変 (Variable Return to Scale) の効率的フロンティアを想定した VRS モデルが得られ、そこから Pure Technical Efficiency (PTE) が計測される。

瀬口 (2013) や山本 (2020) が採用する「4段階 DEA モデル」とは、予め、被計測主体の裁量外にある要因による投入量を控除した上で、CRS モデルや VRS モデルによって効率性を計測する手法である。つまり、各事業体の意思決定だけでは抑制できない投入量が、効率性の計測において、不利にならないように調整する手法と言える。また、木下・開原 (2008) や河口 (2008)、佐々木他 (2017)、山本 (2021) が採用する「Assurance Region (AR) モデル」とは、CRS モデルの双対問題によって効率値を計測するにあたり、不可欠な生産要素を無視して効率値が計測されないよう制約条件を加えたものである。

⁶CRS モデルは CCR モデルとも呼ばれ、VRS モデルは BCC モデルとも呼ばれる。なお、CCR、BCC は提案者のイニシャルである。詳しくは刀根 (1993) の第 3 章、第 4 章などを参照されたい。

⁷投入指向型の他に、効率化に向けた産出量の拡大率の計測を基本とする産出指向型の考え方もある。ただし、病院を対象とする限り、患者の需要を受動的に受け入れる側面が強いため、投入指向型が相応しいと思われる。

表1 DEAによる公立病院等の効率性計測モデル

Data type	Radial モデル	Non Radial モデル
クロスセクション	<CRS・VRS モデル> 青木・漆(1994)、南・郡司(1994)、中山(2003)、中山(2004)、 谷川(2006)、野竿(2007)、藍原他(2010)、瀬口(2012)、 鳥井(2014)、前田(2018) <4段階 DEA モデル> <AR モデル> 瀬口(2013) 木下・開原(2008)、河口(2008)、 佐々木他(2017)	なし
プールド	<Window モデル> <4段階 DEA モデル> <AR モデル> 足立(2013) 山本(2020) 山本(2021)	なし
パネル	<Malmquist 指数> 中山(2009)	なし

出典：筆者作成

さらに、複数の事業体の複数時点のデータからなるプールドデータを用い、CRS モデルなどから効率性を計測しているのが、足立(2013)や山本(2020)、山本(2021)である。プールドデータとすることで、より効率的なフロンティアが形成され、これを基に、同一事業体の異時点の効率性を計測できる。そして、それらの平均値を効率値の基本とする Window 法では、異常値の影響を抑制した効率性を計測できるし、効率性の時間的な変化も検討し得る。最後に、パネルデータを用いて Malmquist 指数を計測した研究に、中山(2009)がある。Malmquist 指数は各事業体の2時点間の効率性の変化を、効率的フロンティアのシフトを踏まえて計測することができ、効率的フロンティアが2時点間でシフトしないと想定するプールドデータによる計測よりも洗練されている。

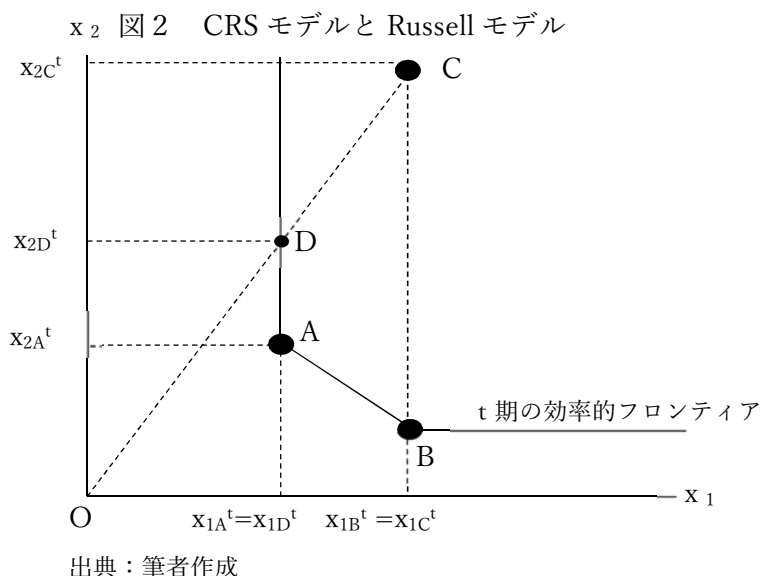
以上から、我が国の公立病院の効率性の計測に、Non Radial モデルを採用したものはなく、Non Radial Slack を効率性の計測に反映してこなかったということになる。では、次節において、CRS モデルと Russell モデル、Zieschang モデルを説明する。

3. CRS、Russell、Zieschang のモデル

3.1 具体例による図形的な説明

まずは、CRS モデル、Russell モデル、Zieschang モデルによる効率性計測のアイデアを図形的に説明する。ただし、簡単化のため、まずは A、B、C の3つの公立病院を考えることとし、いずれも t 期に、2種類の投入物を投入し、1種類の産出物を生産していると想定

する。例えば、公立病院 A については、 X_{1A}^t 、 X_{2A}^t を投入し、 Y_A^t だけ生産していると書く。ここで、規模に関して収穫一定 (CRS) を仮定し、投入量を産出物 1 単位あたりに基準化すれば、A については、 $(X_{1A}^t / Y_A^t) \equiv x_{1A}^t$ 、 $(X_{2A}^t / Y_A^t) \equiv x_{2A}^t$ と書ける。B、C についても同様であり、図 2 の大きな●のようであったとする。



A と B を結ぶ線分上の投入ベクトルは「技術の凸性」(convexity)の仮定から得られる仮想的な生産活動を示し、A から垂直または B から水平に延びる半直線上の投入ベクトルは「自由処分可能性」(free disposability)の仮定から得られる仮想的な生産活動を示す。これらの線分と半直線から効率的フロンティアが形成され、原点を含まない領域には、3 つ以外の他の公立病院の生産活動がプロットされていると考えてもよい。

このとき、公立病院 C の CRS モデルに基づく、投入指向型の全体技術効率性 (Overall Technical Efficiency) $O TE_C^t$ は、公立病院 C と同一の投入要素比率となっている効率的フロンティア上の生産活動を効率化のための基準とすることから、 $OD/OC (=x_{1D}^t/x_{1C}^t = x_{2D}^t/x_{2C}^t)$ によって求められる。これは公立病院 C の全ての投入量を OD/OC 倍に縮減すれば効率化されることを意味するものの、基準 D は「自由処分可能性」に由来する仮想的な生産活動であり、A に比べ x_2 が、 $(x_{2D}^t - x_{2A}^t)$ だけ過剰投入されており、非効率である。この過剰投入量が Non Radial Slack (NRS) であり、CRS モデルでは、これを OTE に反映できない。

一方、公立病院 C の Russell モデルに基づく投入指向型の効率性 R_C^t は、効率的フロンティア上の生産活動を対象に、 x_{1C}^t 、 x_{2C}^t のそれぞれの縮減率 θ_{1C}^t 、 θ_{2C}^t を計算し、その平均値 $(\theta_{1C}^t + \theta_{2C}^t)/2$ の最小値とされている。例えば、生産活動 A を対象としたときに、 $(\theta_{1C}^t + \theta_{2C}^t)/2$ が最小になるとすれば、 $R_C^t = \{(x_{1A}^t/x_{1C}^t) + (x_{2A}^t/x_{2C}^t)\}/2$ となる。⁸

⁸ 自由処分可能性の仮定によって得られた仮想的な生産活動、例えば D を対象とした R_C^t は最小値になり得ない。何故

ここで、注意点が2つある。1つ目は、CとAが、原点0から延びる同一の放射線上にないことから、 $R_C^t = \{(x_{1A}^t/x_{1C}^t) + (x_{2A}^t/x_{2C}^t)\}/2$ は、効率化に向けて、公立病院Cの当初の投入要素比率(x_{2C}^t/x_{1C}^t)から、公立病院Aと同様の投入要素比率(x_{2A}^t/x_{1A}^t)への変更を要求していることである。2つ目は、公立病院CがNRSを持たない場合であっても、Russellモデルによる効率化では、一般に⁹、上記のような投入要素比率の変更が要求されることである。しかし、医療サービスの生産は、医療法の人員配置基準などの要請を受けるため、投入要素比率の変更を前提とする効率化は医療サービスの生産を停滞、変質させる恐れもあり、効率化に向けた投入要素比率の変更は最小限に限定されるべきである。そこで、その変更をNRSをともなう事業体に限定するのが、Zieschangモデルである。

Zieschangモデルは2段階からなる。第1段階で、CRSモデルにより効率値 OTE_C^t を計測し、それに基づいて効率化($OTE_C^t \times x_{1C}^t$, $OTE_C^t \times x_{2C}^t$)する。第2段階で、効率化されたA、B、Cの生産活動を基に、Russellモデルにより効率値 $R_C^{t'}$ を求める。公立病院CのZieschangモデルの効率値(Z_C^t)は($OTE_C^t \times R_C^{t'}$)によって得られ、 $Z_C^t = (x_{1D}^t/x_{1C}^t) \times \{(x_{1A}^t/x_{1D}^t) + (x_{2A}^t/x_{2D}^t)\}/2$ となる。もし、公立病院CがNRSを持たないならば、($OTE_C^t \times x_{1C}^t$, $OTE_C^t \times x_{2C}^t$)は効率的フロンティア上に位置するため、 $R_C^{t'} = 1$ となり、 $Z_C^t = OTE_C^t$ となる。つまり、効率化に際し、投入要素比率の変更は要求されないことになる。

3.2 一般的な定義

CRSモデル、Russellモデル、Zieschangモデルの一般的な定義を示しておく。

公立病院 H_j ($j=1, \dots, J$)が W 種類の投入物から M 種類の産出物を生産していると想定する。 t 年の第 i 番目の病院の全体技術効率性を OTE_i^t とすると、これは(1-1)式から(1-4)式で示される投入指向型CRSモデルにより定式化される最小化問題の最適解として定義される。

$$\min_{\lambda} \quad \theta_i^t \equiv OTE_i^t \quad (1-1)$$

$$s \cdot t \quad \theta_i^t x_i^{wt} \geq \sum_{j=1}^J \lambda_j x_j^{wt} \quad (w=1, \dots, W) \quad (1-2)$$

$$y_i \leq \sum_{j=1}^J \lambda_j y_j \quad (m=1, \dots, M) \quad (1-3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (1-4)$$

ならば、Aを対象とした場合に、NRSの($x_{2D}^t - x_{2A}^t$)だけ、 R_C^t を小さくする余地があるからである。こうして、NRSの大きさも効率値の計測に反映される。

⁹ 例えば、図2において、原点から延びる半直線が線分ABと交わり、その半直線上に公立病院Cが存在するとき、公立病院CはNRSを持たない。さらに、半直線と線分ABが直行する場合に限り、CRSモデルとRussellモデルの双方において、公立病院Cの効率性計測の基準となる仮想的な事業体が一致し得るため、Russellモデルにおいても投入要素比率の変更は要求されない。

ただし、 x_j^{wt} はt年の第j病院($j=1, \dots, J$)の第w番目の投入量を示し、 y_j^{mt} はt年の第j病院の第m番目の産出量を示す。 λ はJコの要素からなる Intensity Vector であり、 λ_j はその要素である。なお、 $0 < \theta \leq 1$ である。

同様の記号法により、Russell モデルによる効率値 R_i^t は(2-1)式から(2-5)式で示される最小化問題の最適解として定義される。

$$\min_{\lambda} \quad \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W \theta_i^{wt} \equiv R_i^t \quad (2-1)$$

$$s \cdot t \quad \theta_i^{wt} x_i^{wt} \geq \sum_{j=1}^J \lambda_j x_j^{wt} \quad (w=1, \dots, W) \quad (2-2)$$

$$y_i^{mt} \leq \sum_{j=1}^J \lambda_j y_j^{mt} \quad (m=1, \dots, M) \quad (2-3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (2-4)$$

$$0 < \theta_i^{wt} \leq 1 \quad (2-5)$$

注目すべきは、W本ある投入制約式であり、(1-2)式では、全ての制約式に共通の θ_i^t が乗じられているものの、(2-1)式では、制約式ごとに異なる θ_i^{wt} が乗じられていることである。(1-2)式のように θ を共通の値に限定している場合、被測定主体iと同一の投入要素比率となっている効率的フロンティア上の生産活動を効率化目標に限定することから、得られた効率値に基づく効率化の際に、投入要素比率の変更は迫られない。しかし、投入制約が等号で満たされない場合、NRSが生じる。一方、(2-2)式のように、こうした限定がない場合には、一般に、投入要素比率の変更を迫られるものの、投入制約は等号で満たされるため、NRSは生じない。

次に、同様の記号法を用いて、Zieschang モデルによる効率値 Z_i^t を定義しておく。そこでは、先ず、(1-1)式から(1-4)式によって定義される CRS モデルから θ_i^t 、 θ_j^t を得る。そして、(2-2)式を(3-2)式に、(2-5)式を(3-5)式に改めた以下のRussellモデルから得られる最適解を $R_i^{t'}$ とする。

$$\min_{\lambda} \quad \frac{1}{W} \sum_{w=1}^W \theta_i^{wt'} \equiv R_i^{t'} \quad (3-1)$$

$$s \cdot t \quad \theta_i^{wt'} \theta_i^t x_i^{wt} \geq \sum_{j=1}^J \lambda_j \theta_j^t x_j^{wt} \quad (w=1, \dots, W) \quad (3-2)$$

$$y_i^{mt} \leq \sum_{j=1}^J \lambda_j y_j^{mt} \quad (m=1, \dots, M) \quad (3-3)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (3-4)$$

$$0 < \theta_i^{wt'} \leq 1 \quad (3-5)$$

以上から、 $\theta_i^t \cdot R_i^t \equiv Z_i^t$ となる。

(3-2) 式は、 $\theta_i^t x_i^{wt}$ によって効率的フロンティア上の活動となっても、なお残り得る NRS をゼロとするための縮減倍率 θ_i^{wt} を求めるための制約式である。よって、NRS を伴う投入物 w については、 $0 < \theta_i^{wt} < 1$ であり、その他は 1 となる。¹⁰

3.3 プールドデータ

本稿では、異時点間の公立病院の効率性の変化を計測することから、異時点間の効率値の比較について、山本 (2020) を参考に、若干補足しておく。例えば、図 2 に示してある t 期の効率的フロンティアの原点を含まない領域に、 $(t+h)$ 期の効率的フロンティアがあり、これが $(t+h)$ 期の公立病院 A と C によって形成されているとする。このとき、公立病院 A の効率性を各期のクロスセクションデータによって計測すれば、 t 期も $(t+h)$ 期も効率的フロンティア上にあることから、効率値は 1 と計算される。しかし、例えば、 $x_{1A}^{t+h} > x_{1A}^t$ であるから、 t 期の活動の方が効率的であることは明らかである。こうした紛らわしい事実面に直面する理由は、効率的フロンティアが 2 時点間で異なるためであり、2 時点のデータをプールしたプールドデータを用いることで、効率的フロンティアを一つに限定し、異時点間の効率性の比較が可能となる。つまり、図 3 の A を例にすれば、一つに限定された効率的フロンティアは t 期のものであり、 $OTE_A^t = 1 > OTE_A^{t+h} > 0$ となる。

4. データ

本稿では、公立病院への依存度の高い 3 県（青森県、岩手県、山形県）を対象に、平成 28 年度から令和元年度にかけての公立病院の経営効率性の変化の程度を明らかにすることを課題の一つとしている。よって、この間に継続して医療サービスの生産にあたった 69 の公立病院を分析対象とした。¹¹また、平成 28 年度は新公立病院改革プランが本格的に始動した時期であり、令和元年度のデータが入手可能な最新であった。¹²

DEA による効率性の計測では、被測定主体の生産活動の投入物と産出物を特定化する必要がある。本稿では、山本 (2020) を踏まえ、2 つの基準により特定した。第 1 は、「ケースミックス」の回避である。つまり、医師数や看護師数、患者数などの数量ベースでは考慮

¹⁰ OTE_i^t 、 R_i^t 、 Z_i^t の間に成り立つ関係を簡潔に検討しておく。第 1 は、 R_i^t の計測にともなう θ_i^{wt} について、 $\theta_i^t = \theta_i^{2t} = \dots = \theta_i^{wt}$ となっている場合、 w 種類のどの投入物についても NRS は生じておらず、しかも、 $OTE_i^t = R_i^t = Z_i^t$ となることは明らかである。特に、 $\theta_i^t = \theta_i^{2t} = \dots = \theta_i^{wt} = 1$ ならば、 $OTE_i^t = R_i^t = Z_i^t = 1$ である。第 2 は、 $\theta_i^t = \theta_i^{2t} = \dots = \theta_i^{wt}$ となっていない場合、 $OTE_i^t > R_i^t$ である。さらに、Ferrier *et al.* (1994) では、殆ど注目されていないとしつつも、 $OTE_i^t \geq Z_i^t \geq R_i^t$ となることを言及している。第 3 は、 $OTE_i^t = 1 \neq R_i^t = Z_i^t$ となる公立病院 i は自由処分可能性の仮定に基づく、効率的フロンティア上に位置する。

¹¹ 分析対象から除外したのは、一般病床を有しない 5 つの公立病院（つくしが丘病院、むつりハビリテーション病院、南光病院、こころの医療センター、湯田川温泉リハビリテーション病院）、平成 28 年 10 月に診療所へ転換した六戸町国民健康保険診療所、データを入手できなかった日本海総合病院や釜石病院などである。

¹² NHK の特設サイト「新型コロナウイルス」を基に、各県の令和元年度中の新型コロナウイルスへの感染者数を見ると、青森県では 8 名、岩手県では 0、山形県では 1 名となっており、新型コロナウイルス感染症による改革プラン推進への影響は無かったものとみなす。

できないキャリアや重篤度などの個の違いを捉えるため、人件費や医業収入（外来収益、入院収益）といった金額ベースでの特定化を基本とする。第2は、「医業費用の項目別シェア」である。山本(2020)では、(2009年度、2012年度、2015年度の)全国の公立病院を対象に、医業費用の項目別シェアを計算しており、職員給与費シェアが約48%、材料費シェアが約24%、減価償却費シェアが約7%、経費シェアが20%であること、これらが医業費用の99%を占めていることを指摘している。よって、本稿では、公立病院の生産活動を、職員給与費や材料費、減価償却費、経費を投入して患者を治療し、入院収益と外来収益を産出する事業体と定義する。上記の4投入物及び2産出物のデータは総務省の「地方公営企業年鑑」から入手した。

なお、CRSモデル、Russellモデル、Zieschangモデルによる効率性の計測では、3.3節を踏まえ、平成28年度の69公立病院と令和元年度の69公立病院からなる138公立病院のプールドデータを用いた。経営効率性の計測にはMicrosoft社のExcel(ソルバー及びVBA)を用いた。

5. 実証分析

本節では、大きく2つの検討課題に取り組む。第1はNon Radialモデル(RussellモデルやZieschangモデル)によって、公立病院の経営効率性を計測し、Radialモデル(CRSモデル)の結果と比較することで、Non Radialモデルによる代替の必要性を検討することである。第2は平成28年度から令和元年度にかけての(青森県、岩手県、山形県の)公立病院の経営効率性の変化の検討である。これらを踏まえ、3県における新公立病院改革プランの成果についても検討する。

5.1 異なる手法間の計測結果の比較

まずは、第1の検討課題であり、國方(2010)でも採用されているBauer *et al.* (1998)が示す異なる手法間の計測結果の比較に関する視点を踏まえ、(1)から(4)に分けて検討する。

(1)は、CRSモデルによるNRSの大きさについてである。これが大きいほど、Non Radialモデル、すなわち、RussellモデルやZieschangモデルなどの意義が大きいことになる。そこで、表2に、投入要素別のNRSの大きさを示した。

表2から、材料費を除く3つの投入要素において、NRSを有する公立病院の存在を確認でき、少なくとも一つの投入要素にNRSを有する公立病院は平成28年度で37病院の53.6%であり、令和元年度で30病院、43.4%であった。また、平成28年度のNRSの合計は約36.5億円であり、これはNRSを有する公立病院のNRSを伴う投入物の合計額の約18.5%(NRSシェア)を占める。令和元年度のNRSの合計は約22.6億円で、NRSシェアは13.5%となっており、平成28年度より減少している。これらの公立病院では、上記の規模のNRSが、CRSモデルによる効率性計測に未反映であり、OTEが過大評価されていることになる。よって、Non Radialモデルによる効率性計測の意義を指摘できる。

表 2 CRSモデルによるNon-Radial Slack(NS)の状況

平成28年度	職員給与費	材料費	減価償却費	経費	4 投入の合計
NRSのある病院数 (シェア)	8/69 (11.6%)	0/69 -	32/69 (46.4%)	5/69 (7.2%)	37/69 (53.6%)
NRSの合計(十万円)	7597	0	25894	2982	36473
最大値(十万円)	2463	-	5569	1160	5569
最小値(十万円)	72	-	5	93	5
NRSシェア	12%	-	24%	11%	18.5%
令和元年度	職員給与費	材料費	減価償却費	経費	
NRSのある病院数 (シェア)	6/69 (8.7%)	0/69 -	27/69 (39.1%)	4/69 (5.8%)	30/69 (43.4%)
NRSの合計(十万円)	7169	0	14098	1296	22563
最大値(十万円)	3007	-	3571	646	3571
最小値(十万円)	260	-	6	143	6
NRSシェア	8%	-	21%	15%	13.5%

注：NRSシェアとは、各投入物に関して、NRSのある公立病院の投入物の合計に対するNRSの合計の割合である。また、最小値は0を除いた値である。

さらに、投入要素ごとに見れば、とりわけ、減価償却費のNRSの大きさが目立つ。平成28年度では、69病院中32病院がNRSを有し、その合計は約25.9億円になる。さらに、この32病院の減価償却費の合計に占める減価償却費に関するNRSの合計の割合（NRSシェア）は約24%であり、こうした規模のNRSがOTEの計測結果に反映されていないことになる。このように、減価償却費でNRSをともなう公立病院が目立つということは、そうした公立病院では減価償却費の投入過多によって、効率的な公立病院が医療サービスを生産する上で採る投入要素比率から乖離していると解釈できる。ただし、減価償却費は相対的に見て中長期的な視点の強い設備投資によって生じることを踏まえれば、ある程度の投入過多は許容され得るとも言える。さらに、令和元年度においては、減価償却費のNRSを有する公立病院が27となっており、合計が約14.1億円へと低下していることから、病院あたりのNRSの規模は低下している。これは減価償却費の投入過多が抑制され、効率的な公立病院が採る投入要素比率へと収斂してきていることを意味する。こうした変化はCRSモデルの効率値から把握できないものの、新公立病院改革プランの成果の一つとも考えられる。

(2)は3モデルの効率値の代表値の違いについてであり、表3に効率値の記述統計を示した。¹³

¹³ 各々のモデルでは、平成28年度及び令和元年度のデータをプールして効率値を計測しているため、効率値の異時点間の比較も可能であるものの、「第2の検討」として、5.2節に譲る。

表3 3モデルの効率値の記述統計

計測モデル	CRS(OTE)		Russell(R)		Zieschang(Z)	
	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度
分析年度						
平均値	0.884	0.874	0.809	0.792	0.855	0.846
中央値	0.908	0.905	0.818	0.788	0.885	0.882
最小値	0.604	0.567	0.413	0.480	0.413	0.492
標準偏差	0.111	0.121	0.149	0.159	0.137	0.143
歪度	-0.770	-0.752	-0.413	-0.113	-0.994	-0.688
尖度	-0.535	-0.469	-0.505	-1.214	0.600	-0.663
効率的な 公立病院数	14	17	14	17	14	17

脚注10の第2の関係として示したように、計測モデルごとの効率値の大きさは、 $OTE_i^t \geq Z_i^t \geq R_i^t$ を満たす。実際、表3の平均値、中央値、最小値はこれを満たしている。さらに、効率的(効率値が1)な公立病院数は31で一致し、全て同一である。よって、脚注10の第3の関係を満たす公立病院は存在しない。

(3)は、3モデルの効率値の分布の違いについてである。表3の歪度は全て負であり、3モデルに共通して左裾が長くなっていること、尖度が概ね負で、扁平であることが分かる。実際には、図3、図4、図5のようである。

これら3つの分布について、「これらの分布が同一の分布に従う」という帰無仮説を立て、Kolmogorov-Smirnov検定を実施した。その結果を表4に示した。表4から、①のCRSモデルとRussellモデルに対する検定では、帰無仮説が分析年度を通じて棄却され、「同一の分布に従う」とは言えないものの、②のCRSモデルとZieschangのモデルや、③のRussellモデルとZieschangモデルに対する検定では、令和元年度においてのみ、帰無仮説が棄却されている。

①の検定において、帰無仮説が棄却された背景には、RadialモデルとNon Radialモデルという計測手法の違いがあるかもしれない。さらに、②の検定において、平成28年度を対象とした場合に、帰無仮説が棄却されなかった背景には、「NRSが少ないほど、CRSモデルとZieschangモデルの計測結果は類似する」という特徴があり得る。なお、第二地方銀行を対象とした國方(2010)では、①、②の検定では帰無仮説が棄却されており、③の検定では棄却されないという結果を得ており、本稿と概ね同様の結果を得ている。

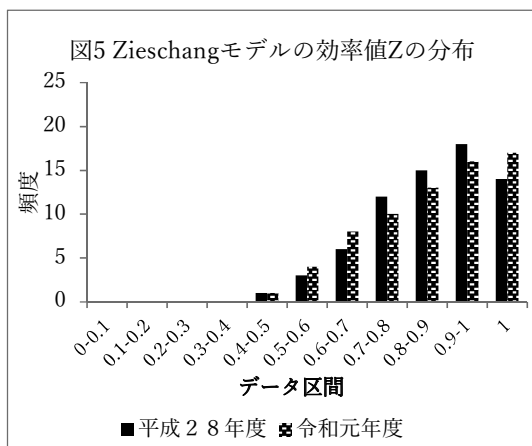
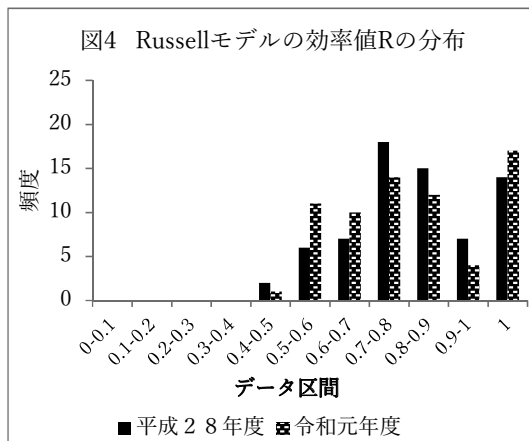
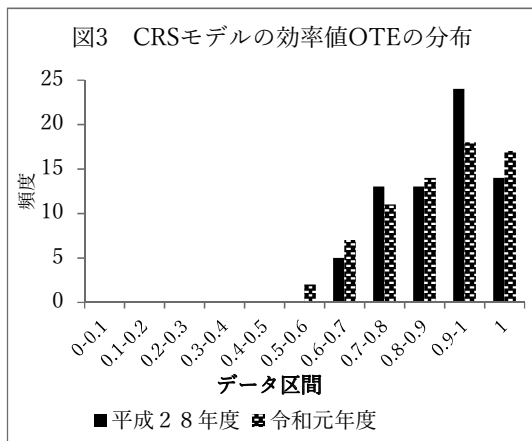


表4 Kolmogorov-Smirnov検定の結果

モデルの組み合わせ			平成28年度	令和元年度
①	CRS-Russell	検定統計量(P値)	0.319*** (0.002)	0.290*** (0.006)
②	CRS-Zieschang	検定統計量(P値)	0.145 (0.463)	0.246** (0.030)
③	Russell-Zieschang	検定統計量(P値)	0.203 (0.117)	0.217(0.077)

注：***、**は順に、1%、5%の水準で有意であることを示す。

(4)は、3モデルの効率値の順位の違いについてである。表5には、Spearmanの順位相関係数を示してあり、最小で約0.96と高い値を示している。念のため、無相関検定を実施したところ、1%を大きく超える有意水準で「無相関だ」という帰無仮説は棄却された。

表5 Spearmanの順位相関係数

モデルの組み合わせ		平成26年度	令和元年度
①	CRS－Russell	0.968***	0.958***
②	CRS－Zieschang	0.975***	0.960***
③	Russell－Zieschang	0.988***	0.991***

注：***は1%の水準で有意であることを示す。

5.2 分析年度間の違い

次は、第2の検討課題についてであり、平成28年度から令和元年度にかけての(青森県、岩手県、山形県の)公立病院の効率性の変化を、(1)から(4)の視点で検討する。

(1)は、平成28年度から令和元年度にかけての効率性の変化の検討である。表3の3つのモデルのいずれにおいても、平均値及び中央値は僅かに低下していることから、3県の公立病院を全体として見た場合、効率性のわずかな低下傾向を指摘できる。ただし、3モデルのいずれにおいても、「平成28年度と令和元年度の中央値が等しい」という帰無仮説は、Friedman検定によって棄却されなかったため、統計的に有意な差とまでは言えない。以上を踏まえると、効率性は概ね「横這い」で推移しているとも評価できよう。

(2)は、平成28年度から令和元年度にかけての県ごとの変化の検討である。表6に、県ごとの効率値の記述統計を示した。

代表値の水準を比較した場合、山形県は他の2県に比べて低いように見える。また、効率的な公立病院数を見ても、同様の傾向が見られる。そこで、3県から3組のペアをつくり、分析年度は区別せず、計測モデルごとに「中央値は等しい」という帰無仮説を立て、Mann - WhitneyのU検定を実施した。その結果、帰無仮説は棄却されなかった。よって、中央値で見ると、3県の公立病院を全体として見た場合、効率値に統計的な有意な差があるとは言えない。

一方、3県の効率値の代表値の時間的な変化を、モデルごとに見ると、一部に上昇傾向が見られたものの、それは全て、Russellモデル及びZieschangモデルにおいてであり、青森県の中央値、山形県の平均値と中央値であった。

表6 青森県、岩手県、山形県の効率値の記述統計

計測モデル	CRS		Russell		Zieschang	
	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度
青森県						
平均値	0.895	0.880	0.824	0.814	0.871	0.868
中央値	0.897	0.916	0.771	0.814	0.862	0.910
最小値	0.604	0.567	0.561	0.561	0.604	0.567
標準偏差	0.102	0.124	0.125	0.144	0.105	0.123
効率的な公立病院数	5/23	6/23	5/23	6/23	5/23	6/23
岩手県						
平均値	0.896	0.888	0.827	0.788	0.862	0.839
中央値	0.916	0.886	0.853	0.781	0.913	0.868
最小値	0.630	0.578	0.413	0.480	0.413	0.492
標準偏差	0.112	0.110	0.167	0.168	0.158	0.152
効率的な公立病院数	7/27	7/27	7/27	7/27	7/27	7/27
山形県						
平均値	0.853	0.847	0.766	0.771	0.824	0.828
中央値	0.908	0.900	0.765	0.795	0.872	0.900
最小値	0.669	0.649	0.523	0.545	0.526	0.555
標準偏差	0.123	0.136	0.149	0.174	0.144	0.161
効率的な公立病院数	2/19	4/19	2/19	4/19	2/19	4/19

(3)は効率性を改善または効率値1を維持した公立病院についてであり、表7にまとめられている。

表7 効率性を改善または効率値1を維持した公立病院

計測モデル	平成28年度－令和元年度	
	改善	維持(効率値=1)
CRS	26/69(37.7%)	8/69(11.6%)
Russell	26/69(37.7%)	8/69(11.6%)
Zieschang	29/69(42.0%)	8/69(11.6%)

平成28年度から、令和元年度にかけて、効率性を改善または効率値1を維持したのは、CRSモデル及びRussellモデルで、サンプル全体の約38%にあたる26病院、Zieschangモデルでは、約42%にあたる29病院となっており、全てのモデルで効率性の改善を確認できたのは、サンプル全体の約35%にあたる24病院である。さらに、効率値1を維持した公立病院は、いずれのモデルにおいても、サンプル全体の約12%にあたる8病院であった。よって、効率的な状態を維持または改善させた公立病院数の合計は、いずれのモデルにおいても約半数であり、一定程度の成果を確認できる。

(4)は、いわゆる「424 病院リスト」に含まれる公立病院の効率性の変化についてである。「424 病院リスト」とは、令和元年に厚生労働省が発表した全国 1652 の公立・公的病院を対象に、再編統合の再検討が必要な病院をリストアップしたものである。リストアップの基準は、特定領域の診療実績の少なさや、そうした診療実績のある病院間の近接性などであり、合理性を備えているように見える。しかし、全国知事会などは「地域の個別実情を踏まえていない」として、再編統合の再検討要請に反発した。こうした「基準」と「個別事情」の狭間にあつて、「経営効率性」という視点もまた、再編統合の正否に示唆を与えるものと考えられる。例えば、リストアップされている公立病院の経営効率性が、リストにない病院グループに比べて、著しく低いようならば、再編統合を加速させる一つの要因となり得る。青森県、岩手県、山形県の公立病院のうち、このリストには 27 病院が含まれており、そのうち、本稿の 69 サンプルには 23 病院が含まれている。よって、この 23 病院と、それ以外の 46 病院の 2 グループの効率性の記述統計を表 8、表 9 に示した。

表8「424病院リスト」にある23病院の効率値の記述統計

計測モデル	CRS		Russell		Zieschang	
	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度
分析年度						
平均値	0.879	0.862	0.806	0.794	0.857	0.842
中央値	0.884	0.894	0.758	0.758	0.847	0.846
最小値	0.604	0.567	0.561	0.547	0.604	0.567
標準偏差	0.115	0.143	0.143	0.167	0.120	0.147
効率的な病院数(割合)	5 (21.7%)	7 (30.4%)	5 (21.7%)	7 (30.4%)	5 (21.7%)	7 (30.4%)
悪化数(割合)	12(52.2%)		12(52.2%)		11(47.8%)	

表9「424病院リスト」にない46病院の効率値の記述統計

計測モデル	CRS		Russell		Zieschang	
	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度	平成28年度	令和元年度
分析年度						
平均値	0.887	0.880	0.811	0.790	0.853	0.848
中央値	0.914	0.907	0.829	0.797	0.899	0.902
最小値	0.630	0.649	0.413	0.480	0.413	0.492
標準偏差	0.112	0.110	0.154	0.159	0.147	0.144
効率的な病院数(割合)	9 (19.6%)	10 (21.7%)	9 (19.6%)	10 (21.7%)	9 (19.6%)	10 (21.7%)
悪化数(割合)	23(50%)		23(50%)		21(45.7%)	

表 8、表 9 から、平均値で見ると、令和元年度の Russell モデルの計測結果を除いて、「424 病院リスト」にない 46 病院グループの効率値の方が高い。また、中央値を見た場合には、いずれの計測モデルにおいても、46 病院グループの効率値の方が高い。ただし、その差が僅かであることから、「23 病院グループと 46 病院グループの各々の中央値は等し

い」という帰無仮説を立て、計測モデル及び分析年ごとに、Mann - Whitney の U 検定を実施した。その結果、いずれにおいても帰無仮説は棄却されなかった。よって、2グループ間に有意な違いはないと考えられる。

第6節 結論

前節では、大きく2つの課題に取り組んできた。

第1は、我が国の公立病院の効率性を DEA により計測した先行研究の全てが Radial モデルによるものであることを踏まえ、Non Radial モデルによる代替の必要性の検討であった。よって、5.1 節において、CRS モデルと、Russell モデル、Zieschang モデルによって公立病院の効率性を(1)から(4)の視点で検討した。そこから以下の結論が得られる。

まず、(2)から、3つのモデル間で効率的な公立病院が同一であることや、(4)から、3種類の効率値の相関係数が高いことから、モデル間の高い類似性を指摘できる。しかし、(1)から CRS モデルの効率値が、令和元年度でも約43%の公立病院で過大評価されていることや、(3)の分布の違いなどを踏まえれば、Non Radial モデル、とりわけ、効率化に向けた投入要素比率の変更が限定的な Zieschang モデルによる代替の必要性も指摘できる。特に、先行研究の中で、効率値を被説明変数とする要因分析をしているものや、効率値に基づく改善可能性に着目しているものについては、Non Radial モデルによる分析と併せることで頑健性を高める必要もあろう。

第2は、新公立病院改革プランの進行とともに、公立病院への依存度の高い青森県、岩手県、山形県の公立病院の効率性がどのように変化しているのかを明らかにすることであった。よって、5.2 節において、2時点のプールドデータを用いて効率性を計測した。そこから以下の結論が得られる。

まず、分析対象の69の公立病院を全体として見た場合、新公立病院改革プランが進められた平成28年度から令和元年度にかけての効率性の変化は、(1)から概ね「横這い」で推移していると評価でき、(3)から約半数の公立病院が効率性を改善または維持していることが分かった。また、「424」病院リストに含まれる23の公立病院の再編統合については、経営効率性という観点に限定する限り、(4)から、積極的に推進されるものではなく、「個別の地域事情」を十分に踏まえたものとするべきと考えられる。

各公立病院は今後、ますます機能分化を求められるようになるため、(医業、経常)収支比率などの画一的な評価がよりそぐわないものになる可能性がある。よって、効率化を検討するにあたり、病院の多様性をしっかり意識し、投入要素比率を同一にする最も効率的な公立病院を基準に、改善目標を相対的に設定する意義が強まる。公立病院の多様性に目を向けず、収支比率などの画一的な基準だけで評価を進めるならば、「医療という命もつなぐ最前線に、効率化を持ち込むな」という妥当そうな視点に、正当化の材料を与えてしまうことになる。

献辞

本稿の執筆にあたり、公益財団法人 21 あおもり産業総合支援センターの今喜典理事長、青森中央学院大学の竹内紀人教授、青森公立大学の國方明准教授より有益なコメントを頂くことができた。特に、國方准教授からは、Non Radial モデルに関する先行研究を執筆なさった経験から、多くのアドバイスを頂いた。また、本稿は令和3年度前学期青森中央学院大学学長裁量経費より助成を頂いている。記して感謝申し上げる。ただし、本稿に有り得る全ての誤りは筆者の責任によるものである。

参考文献

- ・藍原雅一、小林貴子、関庸一（2010）「DEA 法による公立病院の効率性の分析」『日本医療経営学会誌』Vol. 4 No. 1、日本医療経営学会、51-59。
- ・青木研、漆博雄（1994）「Data Envelopment Analysis と公私病院の技術効率性」『上智経済論集』第 39 巻第 1・2 号合併号、上智大学経済学会、56-73。
- ・足立泰美（2013）「自治体病院経営の効率性—医療機関の機能分化と地域医療連携—」『会計検査研究』No. 47、会計検査院、169-180。
- ・内田治（2017）「R によるノンパラメトリック検定」オーム社、110-166。
- ・瀬口浩一（2012）「自治体病院の経営効率性分析」『琉球大学経済研究』第 83 号、琉球大学法文学部、51-82。
- ・瀬口浩一（2013）「非裁量要因を考慮した自治体病院の経営効率性」『琉球大学経済研究』第 86 号、琉球大学法文学部、25-51。
- ・國方明（2010）「Russell モデルに基づく銀行業の効率性について」『青森公立大学経営経済学研究』第 16 巻第 1 号、青森公立大学、3-18。
- ・河口洋行（2008）「病院の効率性測定における DEA の領域制限の効果に関する研究」『日本医療・病院管理学会誌』45 巻 1 号、日本医療・病院管理学会、17-27。
- ・喜田泰史、清水昌美、荒谷眞由美、坂本圭、平田智子、植田麻祐子（2009）「医療サービス生産に関する効率性分析の展望」『川崎医療福祉学会誌』Vol. 19 No. 1、川崎医療福祉大学、25-34。
- ・木下善皓、開原成允（2008）「自治体病院の経営効率性の測定における意義」『日本医療・病院管理学会誌』45 巻、日本医療・病院管理学会、178。
- ・佐々木健太、石川智基、藤原健祐、谷祐児、小笠原克彦（2017）「領域制限法による北海道自治体病院の経営効率性評価」『医療情報学』Vol. 37 No. 2、日本医療情報学会、81-86。
- ・末吉俊幸（2001）『DEA—経営効率分析法—』朝倉書店、83-102。
- ・谷川佳澄（2006）「自治体病院の効率性分析—Translog 型費用関数および DEA によるアプローチ—」『青森公立大学経営経済学研究』第 12 巻第 1 号、青森公立大学、29-37。

- ・刃根薫 (1993) 『経営効率性の測定と改善 包絡分析法 DEA による』日科技連、79-88。
- ・鳥井隆志 (2014) 「データ包絡分析法 (DEA) による兵庫県立病院の効率性分析」『商大ビジネスレビュー』第 4 巻第 3 号、兵庫県立大学大学院経営研究科、161-174。
- ・中山徳良 (2003) 「パラメトリックな方法とノンパラメトリックな方法による距離関数の比較：日本の公立病院の例」『医療と社会』Vol. 13 No. 1、医療科学研究所、83-94。
- ・中山徳良 (2004) 「自治体病院の技術効率性と補助金」『医療と社会』Vol. 14 No. 3、医療科学研究所、69-79。
- ・中山徳良 (2009) 「愛知県内の公立病院の効率性と生産性—Malmquist 指数によるアプローチ—」『国際地域経済研究』Vol. 10、名古屋市立大学経済学部附属経済研究所、pp. 103-112。
- ・野竿拓哉 (2007) 「地方公営病院におけるインセンティブ問題—DEA による非効率性の計測及びその要因の計量経済分析とともに—」『会計検査研究』No. 35、会計検査院、117-128。
- ・前田瞬 (2018) 「DEA を用いた山口県内自治体病院の経営効率性評価」『徳山大学総合研究所紀要』第 40 号、97-105。
- ・南商堯、郡司篤晃 (1994) 「医療機関における効率性評価に関する研究—DEA による自治体病院の人的資源の効率性評価を中心に—」『病院管理』Vol. 31 No. 1、日本病院管理学会、33-39。
- ・山本俊 (2020) 「公立病院の経営効率性は改善しているのか？—未利用病床数に対する裁量の限定を考慮した DEA による検証—」『青森中央学院大学研究紀要』第 33 号、青森中央学院大学、1-16。
- ・山本俊 (2021) 「青森県内公立病院の経営効率性の変化—DEA Assurance Region 法によるウェイト制限の再検討—」『青森中央学院大学研究紀要』第 34 号、青森中央学院大学、71-85。

- ・Cooper, W. W., L.M. Seiford, and K. Tone (2007) *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Second Edition, Springer, pp. 87-130.
- ・Ferrier, G. D., K. Kerstens, and P. Vanden Eeckaut. (1994) “Radial and Nonradial Technical Efficiency Measures on a DEA Reference Technology: A Comparison Using US Banking Data,” *Recherches Economiques de Louvain*, Vol. 60, pp. 449-479.
- ・Hal R. Varian (1999) *Intermediate Microeconomics: A Modern Approach*, 5th edition, W. W. Norton & Company. (ハル・R・ヴァリアン, 佐藤隆三訳 (2000). 入門ミクロ経済学, 原著第 5 版、勁草書房)
- ・Russell, R. R. (1985) “Measures of Technical Efficiency,” *Journal of Economic Theory*, Vol. 35, pp. 109-126
- ・Zieschang, K D. (1984) “An Extended Farrell Technical Efficiency Measure,” *Journal of Economic Theory*, Vol. 51, pp. 387-396