

プロジェクト評価における

DEA (包絡分析法) の適用性に関する研究

A Validity of DEA for Project Evaluation

高野伸栄*、高橋清**、佐藤馨一***

by Shin-ei TAKANO and Kiyoshi TAKAHASHI and Keiichi SATOH

1. はじめに

土木事業は、それを構成する要素が多岐に及ぶとともに、その影響は広範囲に及ぶ場合が多い。また、公共性が極めて高いことから、必然的に評価する人々は多様である。さらに近年においては、経済発展、効率性のみを視点とした土木事業は到底受け入れがたいものとなり、地域開発と環境の保護に代表される相対立する評価軸の調和がなされなければ、たとえば規模の小さい事業であっても容易なことでは事業の実施は行えない状況となっている。この解決にあたっては、計画をより総合的な観点から評価を行い、事業にとりかかる必要がある。本研究は、これらの課題を踏まえ、多入力と多出力系のシステムの効率性を相対評価しうるDEA (Data Envelopment Analysis ; 包絡分析法) ^{1) 2)}を用いて、土木プロジェクトの評価を行う手法を提示し、その有効性を明らかにするものである。

2. DEAの基本

DEA (Data Envelopment Analysis) は事業単位 (Decision Making Unit、以下「DMU」という。) の効率性を相対比較することを基本としている。さらに、DMUの活動は資源を投入 (入力) し、便益を産出 (出力) する変換過程とみなし、その際、次式の産出/投入という比で、その効率性を表現しうると考える。

$$\frac{\text{産出}}{\text{投入}} = \frac{\sum u_r \times \text{出力項目}_r}{\sum v_i \times \text{入力項目}_i} \quad (1)$$

ここで、投入、産出に係わる入力、出力項目は複数あるのが一般的であり、項目間のウェイトの付け方が問題となるが、DEAにおいては、「貨幣換算等による固定ウェイトは、個々のDMUの特色を無視した一律のウェイトであり、現実のDMUの持つ多様性を評価するには適していない」とする。

このため、DEAにおいては、入力項目間及び、出力項目間のウェイトは評価の対象毎に異なっており、それを決める原則は、その対象にとって最も好都合になるように決定するということである。自分の最も得意とする項目に大きいウェイトを付け、苦手とする項目に小さいウェイトを付けてもよい。ただし、それと同じウェイトで他のDMUも評価し、その効率値が1を超えないという制約式を設ける。

また、あるDMUが非効率であると判定されたとき、他のDMUと比べてどの程度劣るか、どの点を改善すれば効率的となるかといった事項を具体的に検討することができ、DEAはDMUの個性及び多様性をより重要視する評価方法であるといえる。DEAの特徴を以下にまとめる。

- ・DMU自らが有利となるようDMUごとの入出力項目間のウェイトをつける。
- ・すぐれたものをベースにDMUの効率性を相対比較でき、効率化への改善案導出も可能である。
- ・入出力項目の数値単位は任意のものでよい。

3. DEAの基本モデル

(1) CCRモデル

キワード：公共事業評価法、整備効果計測法

* 正員 学術修 北海道大学土木工学科 助手
(札幌市北区北3条西8丁目、Tel011-706-6213、Fax011-726-2296)

** 正員 工博 北海道大学土木工学科 助手
(札幌市北区北3条西8丁目、Tel011-706-6822、Fax011-726-2296)

*** 正員 工博 北海道大学土木工学科 教授
(札幌市北区北3条西8丁目、Tel011-706-6209、Fax011-726-2296)

CCR (Charnes Cooper Rhodes) モデルとは、2. で述べた DEA の基本的枠組に基づいた最も基本的なモデルである。

いま、 n 個の DMU があり、 m 個の入力項目と s 個の出力項目が選定され、DMU の投入 (入力) データを $x_{10}, x_{20}, \dots, x_{m0}$ 、産出 (出力) データを $y_{10}, y_{20}, \dots, y_{s0}$ とする。さらに、入力項目間のウェイトを v_i ($i = 1, \dots, m$)、出力項目間のウェイトを u_r ($r = 1, \dots, s$) とすると、次式に示す分数計画問題に定式化される。

$$\text{目標} \quad \max \theta = \frac{u_1 y_{10} + u_2 y_{20} + \dots + u_s y_{s0}}{v_1 x_{10} + v_2 x_{20} + \dots + v_m x_{m0}} \quad (2)$$

$$\text{制約} \quad \frac{u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j=1, \dots, n) \quad (3)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (4)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (5)$$

さらに、一般に、(2)~(5) と同値である下式に示す線形計画問題を考え、これを解くことによって、解法を行う。

$$\text{目標} \quad \max \theta = u_1 y_{10} + \dots + u_s y_{s0} \quad (6)$$

$$\text{制約} \quad v_1 x_{10} + \dots + v_m x_{m0} = 1 \quad (7)$$

$$u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \quad (j=1, \dots, n) \quad (8)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (9)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (10)$$

(6)~(10) の最適解を $(\mathbf{v}^*, \mathbf{u}^*)$ とし、目的関数値を θ^* とする。そのとき、

a. $\theta^* = 1$ ならば DMU は D 効率的

b. $\theta^* < 1$ ならば DMU は D 非効率的であるという。

いま、DMU が $\theta^* < 1$ (D 非効率) のときを考える。そのとき、制約式 (8) の中にはウェイト $(\mathbf{v}^*, \mathbf{u}^*)$ に対して等式が成立している j が必ず存在している。そのような j の集合を

$$E_0 = \{ j : \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj} = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}, j = 1, \dots, n \} \quad (11)$$

とする。集合 E_0 に属する活動は DMU を D 非効率とさせる DMU である。そのため、これを DMU に対する優位集合という。また、優位集合 E_0 の DMU がなす凸集合を効率的フロンティアと呼ぶ。

また、 $v_i^* x_{i0}$ の個々の値により、投入全体の中各入力項目の比重が分かり、これを本研究においては、加重入力値とよぶ。同様に $u_r^* y_{r0}$ の個々の値のことを加重出力値として DMU の特性を把握することができる。

(2) 領域限定法

CCR モデルの解において、入出力に対する最適ウェイトが 0 となる場合がある。それは、DMU にとって、その入出力項目を考慮することが不利となるために生ずる。しかし、入出力項目の選定にあたっては、その必要性を十分に吟味した上で選定したものであるから、0 ウェイトとなる項目が数多く、出現してしまうと、DEA による分析の意味が薄れることになる。また、分析枠組みの中では、入出力項目のウェイトに何らかの制約をおく必要性のある場合も考えられる。

そこで、下式のように入出力項目間のウェイトに制約を設けることが行われる。例えば、入力第 1 項目と第 2 項目のウェイトの間に

$$l_{12} \leq \frac{v_2}{v_1} \leq u_{12} \quad (12)$$

といった制約を必要に応じて設定する。 l_{12} は比の下限であり、 u_{12} は上限である。これを領域限定法という。このような制限が加えれば、当然のことながら効率値は一般に低下し、CCR モデルで効率的と判定された活動が非効率的となることもあるが、上下限の値が分析の枠組みに適したものであれば、より説得性のある結論が得られる。

なお、入力あるいは出力の第 1 項目の平均値を A_1 、第 2 項目の平均値を A_2 とするとき、1 より大きな M を用いて、(13)、(14) 式を用いることにより、入出力項目の大きさを考慮した上下限を設定することができる。

$$l_{12} = A_1 / A_2 \times 1 / M \quad (13)$$

$$u_{12} = A_1 / A_2 \times M \quad (14)$$

4. 北海道新幹線整備計画案評価へのD E Aの適用

(1) 北海道新幹線整備計画

青森から札幌にいたる北海道新幹線は、現在、事業調査が行われているところであるが、未だ、具体的な計画実施案や財源などについての見通しは明らかではない。一方、これまで、規格については、フル規格新幹線、ミニ新幹線、スーパー特急など多くの案が検討されており、最高速度も350km/h、あるいは260km/hと複数の案がある。さらに、長万部～札幌へ至る在来線の利用を含め、区間毎にこれらの規格の組み合わせが考えられる。そこで、本研究においては、D E Aのケーススタディとして、表2に示す11の北海道新幹線整備計画案をとりあげるものとする。

(2) 入出力項目の選定

新幹線計画案を評価するためには、建設費、経営費、乗車人数等の採算性に係わるもののみならず、鉄道所要時間の短縮がもたらす地域経済効果、経済波及効果等幅広い観点から、その評価を行う必要がある。本研究においては、D E Aの有用性を示すことを目的として、表1に示すように入力（投入）項目としては建設費、経営費を、出力（産出）項目としては乗車人数、短縮時間を採用し、2入力2出力のD E Aによる分析を行い、整備計画案の評価を行うこととする。

表1 入出力項目の概要

投入	建設費	初期的費用及び国レベルでの負担の程度を表す
	経営費	経常的費用及び運営者の負担の程度を表す
産出	乗車人数	利用者数及び採算性への効果の程度を表す
	短縮時分	新幹線がもたらす沿線地域への社会経済効果の程度を表す

(3) 計画案に対する入出力項目の算出

入力項目については、東北新幹線の実績を基本として検討を行い、各計画案に対する建設費及び経営費を算出した。短縮時間については、現在の青森～札幌間の所要時間（302分）から各整備案の想定所要時間を減じたものを用いる。³⁾乗車人数については、実験計画法に基づく意識調査を用いた浅見ら

⁴⁾の集計ロジット型のモデルを用いて、算出を行った。以上の結果を表2に示す。

表2 本研究で対象とする整備計画案

	青森～函館	函館～長万部	長万部～札幌	備考
A案	フル規格	フル規格	フル規格	最高350km/h
B案	フル規格	フル規格	フル規格	最高260km/h
C案	フル規格	スーパー特急	在来線	室蘭回り
D案	スーパー特急	スーパー特急	スーパー特急	
E案	フル規格	スーパー特急	スーパー特急	
F案	フル規格	ミニ新幹線	フル規格	
G案	フル規格	ミニ新幹線	ミニ新幹線	
H案	ミニ新幹線	ミニ新幹線	ミニ新幹線	
I案	スーパー特急	在来線	スーパー特急	
J案	フル規格	在来線	スーパー特急	
K案	フル規格	在来線	在来線	室蘭回り

※B、J案以外は全て小回り

5. D E Aを用いた計画案の評価

(1) C C Rモデルによる評価

図1は、C C Rモデルによる各計画案のD効率値を示したものである。

計画案、()内は優位集合

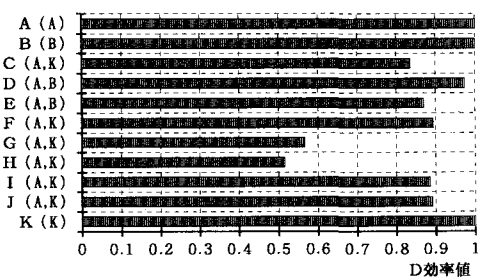


図1 C C RモデルによるD効率値

これによると、A案、B案、K案がD効率値1となり、効率的なD M Uであることがわかる。A案及びB案は全線フル規格新幹線による整備であり、K案は青森～函館間をフル規格新幹線で、函館～札幌間は現状の在来線を利用するという整備案である。この3案が他の整備案にとっての優位集合となっているが、この中でも特にA案は非効率なD M Uのすべてにとっての優位集合となっており、B案、K案

以上の優位性をうかがい知ることができる。

一方、G案、H案は他のDMUに比べるとかなりD効率値は小さい。G案は青森～函館間フル規格・函館～札幌間ミニ新幹線方式による整備案であり、H案は青森～札幌間全線をミニ新幹線で整備する案である。どちらの案もミニ新幹線を基本として整備するものであり、ミニ新幹線方式は効率性の面から他の計画案よりも劣っていることがわかる。

(2) 領域限定法による評価

(13)、(14)式において、 $M=2$ とすると、

入力項目ウエイトの上下限

$$l = 7.33, \quad u = 29.3$$

出力項目ウエイトの上下限

$$l = 6.89, \quad u = 27.6$$

となり、これを用いて領域限定法による各計画案のD効率値を算出し、図2に示す。

これによると、D効率値=1となっているA案(全線フル規格350km/h)、B案(同260km/h)以外はCCRモデルよりも、D効率値が減少していることがわかる。特に、K案(青森～函館フル規格・函館～在来線利用)はCCRモデルではD効率値=1であったが、領域限定法では0.97となり、A案を優位集合とする非効率の計画案となった。

図3は、各計画案の投入における建設費と経営費、産出における乗車人数と短縮時分の加重入出力値の比率を示したものである。出力では、A、B案は乗車人数よりも短縮時分に、K案では乗車人数に重きを置いてD効率値が算出され、入力ではK案が建設費よりも経営費に重きを置いていることが明らかとなる。

計画案 ()内は優位集合

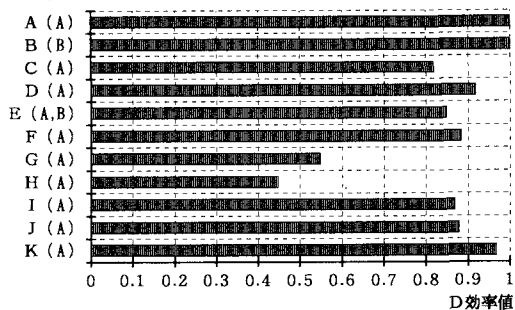


図2 領域限定法によるD効率値

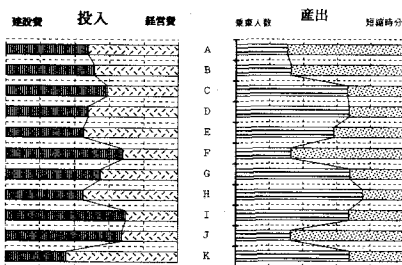


図3 加重入力(投入)及び加重出力(算出)値

6. おわりに

以上、DEAによるCCRモデル、領域限定法を用いて、北海道新幹線の計画案の評価を試みた。DEAにおいては、効率的フロンティアの制約条件により、さらにBCC、IRS、DRS、GRS等のモデルが提案されており、プロジェクトの環境条件に適合したより詳細な評価を行うことができる。

DEAは、前述したとおり、入出力項目のウエイトを自らが有利になるように、個々のDMUが決定できる点に特徴があり、より長所を重視したプロジェクトの評価を行うことができ、次元にこだわらず、多様な特性データを用いて分析を行うことができる。そのため、DEAはプロジェクトのみならず、DMUとしての都市の評価さらには目標の設定等幅広く適用が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 刀根薫：包絡分析法DEAによる経営効率性の測定と改善，日科技連，1993年9月
- 2) Lawrence C.walters, Glen Thurgood, and Donald L. Adolphson: New Approach to Integrating Engineering, Managerial, and Political Judgment: Development of the Utah Project Prioritization System, TRANSPORTATION RESEARCH RECORD No.1400 Planning and Administration, NATIONAL ACADEMY PRESS, August 1993
- 3) 小西，高橋，佐藤：高規格鉄道整備に伴う将来交通量の推計に関する研究，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第4部，p742-743，1993年5月
- 4) 浅見，佐藤，五十嵐：北海道における高規格幹線鉄道システムの導入可能性に関する研究，平成2年度土木学会北海道支部論文報告集，p689-694，1991年2月