

インドネシアの道路維持管理業務の 定量的効率性評価

宇野 哲生¹・Dedy Gunawan²・貝戸 清之³・青木 一也⁴

¹ 非会員 株式会社パスコ 経営戦略本部 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒 1-7-1)

E-mail: toentu9982@pasco.co.jp

² 非会員 Center of Facilitation for Regional Infrastructure, Ministry of Public Works and Housing, Republic of Indonesia

(JI. Pattimura No.20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12110, Indonesia)

E-mail: dedygw@yahoo.co.id

³ 正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: kaito@ga.eng.osaka-u.ac.jp

⁴ 正会員 株式会社パスコ 経営戦略本部 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒 1-7-1)

E-mail: kiakzo6013@pasco.co.jp

インフラ資産のアセットマネジメントでは、点検データに基づくリスクの定量化やLCC分析等の最適補修戦略の導出等が検討されるが、維持管理業務の効率性を定量的に分析しベンチマーキング評価を実施した例は少ない。本研究では、道路舗装の維持管理業務を取り上げ、地方道路の維持管理業務の効率性を評価することを目的とする。具体的には、道路維持管理業務のコスト、人材、日常業務の活動実績等のパネルデータを用いた確率フロンティア分析を行い、維持管理業務の効率性評価に影響する要因を分析することを試みる。ケーススタディとして、インドネシア国の地方道路維持管理業務を取り上げ、複数の地方自治体の維持管理業務の効率性評価における本提案手法の有効性を検証する。

Key Words: *asset management, regional road, stochastic frontier analysis, efficiency evaluation*

1. はじめに

道路は国民の生活、経済を支える重要な社会資本であり、ライフラインとしての機能を持続的に維持することが求められる。道路のライフサイクルにかかる費用は設計、施工、維持管理の各段階で実施される事業の質に依存する。限られた財源・人的リソースを用いて要求される機能を維持していくためには、可能な限り効率的な維持管理を行う必要がある。

我が国においても人口減少や高齢化の進行により生産性向上の必要性が指摘されて久しい。建設・土木分野においても同様の状況であり、国土交通省¹⁾は、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのすべての建設生産プロセスで ICT 等の活用する「i-Construction」を推進し、建設現場の生産性を、2025年度までに2割向上を目指すとしている。AIやロボット、3次元データ、IoTなど様々な技術が生産性向上のために検討・開発されているが、それらの技術がどの程度生産性、効率性に寄与するのか、定量的に評価する方法ははまだ確立されていない。

以上の問題意識により、本研究では道路維持管理業務の効率

性を評価する手法論として確率フロンティア分析を提案し、インドネシア国の地方道路維持管理業務をケーススタディとした実証分析を実施した。具体的には道路維持管理における生産要素は量的生産要素と質的生产要素から構成されると考え、2軸による確率フロンティア分析による効率性評価を実施した。

本研究の構成は以下通りである。2章においてケーススタディに用いたインドネシア国における道路維持管理の特徴について示す。3章で本研究において用いたモデルを詳述する。4章にて実証分析に用いたデータを示す。5章で分析結果について考察を実施する。6章にてまとめを行う。

2. インドネシア国における道路維持管理

インドネシアは34の州及び511の地方自治体から構成され、道路の総延長は約477千kmであり、その内約9割を地方道路(州道路:約1割, 地方自治体管轄道路:約8割)が占める²⁾。国道はその約9割で国際ラフネス指数(IRI)が8以下と一定程度の水準で管理されているが、地方道路は約5割程度しかその水準を満たしていない。原因としては、地方道路の維持管理予

算の不足や、道路維持管理にかかるシステム的なアプローチの不備による業務の非効率性などがあると考えられている。国の機関である公共事業・国民住宅省は、地方道路の維持管理の現状を把握し、適切な計画、維持管理、予算作成システムの構築を地方自治体と連携して実施するための部局を省内に設置し、地方道路の改善のためのプログラムを実施している。

3. 適用モデル

道路舗装の維持管理業務における技術的効率性を評価することを目的として確率的フロンティア生産関数を用いた評価手法である Stochastic frontier analysis(以下 SFA と呼ぶ)を用いる。パネルデータを用いて技術的効率性の時間的変化、効率性に影響を与える要因を分析することを目的として、以下の2つのモデルを採用した。各パラメータの推計には最尤推定法を用いた。

(1) 時間依存モデル

時間依存性を評価するモデルとして、Battese ら³⁾の提案するモデルを採用した。以下、本研究では時間依存モデルと呼ぶ。

$$Y_{it} = X'_{it}\beta + (V_{it} - U_{it}) \quad (1)$$

$$U_{it} = U_i \exp(-\eta(t - T)) \quad (2)$$

$$(i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T)$$

ただし、 Y_{it} は時点 t における自治体 i の生産量、 X_{it} は時点 t における自治体 i の投入量、 β はパラメータベクトル、 V_{it} は $N(0, \sigma_v^2)$ に従う独立な確率誤差項であり、 U_{it} は V_{it} と独立、 U_{it} は非効率性を表す非負の確率変数であり、 $N(\mu, \sigma_u^2)$ に従うものとする。

(2) 効率性効果モデル

効率性に影響を与える要因を評価するモデルとして、Battese ら⁴⁾の提案するモデルを採用した。以下本研究では効率性効果モデルと呼ぶ。

$$Y_{it} = X'_{it}\beta + (V_{it} - U_{it}) \quad (3)$$

$$(i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T)$$

ただし、 Y_{it} 、 X_{it} 、 β は(1)時間依存モデルと同様、 V_{it} は $N(0, \sigma_v^2)$ に従う独立な確率誤差項であり、 U_{it} は V_{it} と独立、 U_{it} は非効率性を表す非負の確率変数であり、 $N(m_{it}, \sigma_u^2)$ に従うものとする。ここで

$$m_{it} = z_{it}\delta \quad (4)$$

であり、 z_{it} は効率性に影響を与える変数であり、 δ はパラメータベクトルとする。

4. 道路維持管理に関するパネルデータ

(1)対象地域

ケーススタディとして、インドネシア国の地方道路維持管理業務を取り上げ、複数の地方自治体の維持管理業務の効率性評価における本提案手法の有効性を検証する。検証にはインドネシア国内の12自治体における道路維持管理に関する2018年から2020年までのパネルデータを用いた。

検証に用いたパネルデータはインドネシア公共事業省の協力により入手した。

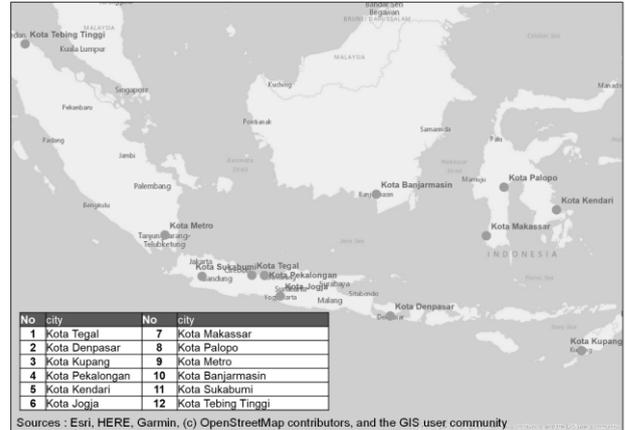


図-1 分析対象とした12地方自治体

(2)道路維持管理における生産量・説明変数の設定

企業の生産活動によるアウトプット(生産要素)とは異なり、地方自治体の道路維持管理業務におけるアウトプットは明確ではない。一例として道路維持関連事業量が生産要素の候補として挙げられる。しかし、適切な維持管理を効率的に実施した際、事業量は相対的に抑えられると考えられるため、効率性評価の観点からは必ずしも適当とは言えない。一方、道路維持管理業務の目的が状態の良い道路舗装の提供であると考え、住民からの苦情要望件数といった道路維持管理の質的評価指標として道路維持管理業務のアウトプットと捉えることが出来る。しかし、苦情要望件数も投入量が増えるにつれて減少していくと考えられ、SFAの必要条件である単調増加を満たさない。以上のように、道路維持管理の効率性を適切に評価するためには、適切な生産量の設定が求められる。

本研究では道路維持管理のアウトプットは量的生産要素と質的生産要素から構成されると捉え、これら2軸により効率性評価を実施する。具体的には量的生産要素として、「道路維持管理関連事業総延長(以下、事業総延長とする)」、質的生産要素として「管理延長における管理基準を満たす道路延長の占める割合(以下、管理基準達成割合)」を採用した。ここで道路維持管理関連事業とは、以下の道路維持管理関連事業を指す。

Routine Maintenance /Periodic maintenance /Rehabilitation /Reconstruction /Bridge Replacement /New Construction/Road Widening and Beridge Duplication.

量的生産要素に対する説明変数として「道路維持管理関連事業に対する予算総額(以下、予算総額とする)」及び「道路維

持管理関連事業に係るスタッフ総数（以下、スタッフ総数）」、質的生産要素に対する説明変数として「日常維持管理（Routine Maintenance）に関する予算（以下、日常維持予算とする）」、「管理延長：舗装道路（以下、舗装管理延長とする）」を採用した。説明変数の選択には、相関係数の比較、回帰分析による自由度調整済み決定係数の確認により変数選択の妥当性について検証を行った。詳細は付録に示す。

5. 結果

(1) 時間依存モデル推計結果

2つの生産要素に対する時間依存モデルの推計結果を表-1、表-2に示す。量的生産量、質的生産量ともに投入量に関するパラメータが正を示しており、単調増加の仮説を満たしている。効率性の時間依存性を示す η に着目すると、量的生産量に対しては有意にならないが、質的生産量に対しては有意となり、効率性が時間が経過するごとに有意に改善されていることを示している。

一方 γ はモデルの分散に占める σ_{it}^2 の占める割合を意味し、効率性項の重要度を示している。もし、 $\gamma = 0$ であれば効率性項は意味を持たず、モデルの推計結果は効率性項を考慮しない最小二乗法による回帰分析の結果と同じとなる。反対に $\gamma = 1$ となるとモデルの残差は全て効率性項で説明されるとなり、確率誤差項 V_{it} は意味を持たないと解釈される。本研究では量的生産量において0.721、質的生産量において0.569と推計され、効率性項及び確率誤差項ともに考慮する必要があることが分かる。

表-1 量的生産量：事業総延長の時間依存モデル推計結果

変数	係数	標準誤差
定数項	-5.140*	2.154
ln 事業総額	0.260**	0.101
ln スタッフ総数	0.730***	0.128
σ^2	0.498.	0.279
γ	0.721***	0.183
η	-0.232	0.271
対数尤度	-19.987	

注：以下の有意水準で有意であることを示している。
 ．****:0.1%、***:1%、**::5%、*:10%

表-2 質的生産量：管理基準達成割合の時間依存モデル推計結果

変数	係数	標準誤差
定数項	3.172***	0.295
ln 日常維持予算	0.051***	0.013
ln 舗装管理延長	0.076***	0.023
σ^2	0.007*	0.003
γ	0.569**	0.220
η	0.527**	0.164
対数尤度	37.675	

注：以下の有意水準で有意であることを示している。

る。****:0.1%、***:1%、**::5%、*:10%

(2) 効率性効果モデル推計結果

効率性効果モデルでは効率性の水準は追加の説明変数（以下効率性変数と呼ぶ）による影響を分析する。効率性に影響を与える要因としては、新技術の導入といったハード的要因、教育やマネジメントに関する情報の取得といったソフト的要因が考えられる。本研究では、対象自治体が住民からの苦情を把握しているかどうかを表す「苦情ダミー」、対象自治体内の登録されている自動車数を把握しているかどうかを表す「自動車ダミー」、研究所を持つかどうかを表す「研究所ダミー」、建設機材：バックホウを保有するかどうかを表す「バックホウダミー」を効率性変数として検討した。質的生産量に関しては「研究所ダミー」、「バックホウダミー」を含めないことで対数尤度が改善されたため、これらの変数を考慮しないこととした。

効率性変数パラメータの負の値は、対象ダミー変数が該当する（ダミー変数が1となる）ことで非効率性を減少させることを示しており、逆に正の値は、非効率性を増加させることを示している。表-3、表-4に効率性効果モデルの推計結果を示す。

量的生産量の効率性変数のパラメータに着目すると「苦情ダミー」「研究所ダミー」、「バックホウダミー」が有意に負の値を示しており、非効率性を低減させることを示している。一方「自動車ダミー」が有意に正の値を示しており、非効率性を増加させることを示している。

質的生産量の効率性変数のパラメータに着目すると「自動車ダミー」が有意に正の値を示しており、非効率性を増加させることを示している。

表-3 量的生産量：事業総延長の効率性効果モデル推計結果

変数	係数	標準誤差
定数項	-5.140*	2.154
ln 事業総額	0.260**	0.101
ln スタッフ総数	0.730***	0.128
効率性変数		
定数項	0.410**	0.144
苦情ダミー	-1.420***	0.224
自動車ダミー	1.196***	0.180
研究所ダミー	-0.240***	0.037
バックホウダミー	-0.360***	0.055
σ^2	0.147***	0.032
γ	1.040e-8***	1.402e-9
対数尤度	-15.903	

注：以下の有意水準で有意であることを示している。
 ．****:0.1%、***:1%、**::5%、*:10%

表-4 質的生産量：管理基準達成割合の効率性効果モデル推計結果

変数	係数	標準誤差
定数項	3.126***	0.314
ln 事業総額	0.049***	0.013
ln スタッフ総数	0.093***	0.024
効率性変数		
苦情ダミー	-0.119	0.088
自動車ダミー	0.204**	0.074
σ^2	0.015*	0.006
γ	0.821***	0.154
対数尤度	30.945	

注：以下の有意水準で有意であることを示している。
 ***:0.1%, **:1%, *:5%, :10%

(3) 自治体ごとの効率性評価

次に自治体ごとの効率性の値について着目する。表-5 に効率性効果モデルでの量的生産量、質的生産量の年別平均値を示す。

時間依存モデルでも確認されたように、質的生産量の効率性は経年的に効率性が改善されている。

表-5 効率性効果モデルでの平均効率性

年度	量的生産量	質的生産量
2018	0.816	0.872
2019	0.816	0.899
2020	0.846	0.936

効率性効果モデルでの量的生産量、質的生産量の効率性を図-2 に示す。質的生産量に関しては各自治体の効率性が概ね 0.8-0.95 の範囲に収まっており、一方量的生産量は効率性の変動幅が大きい。

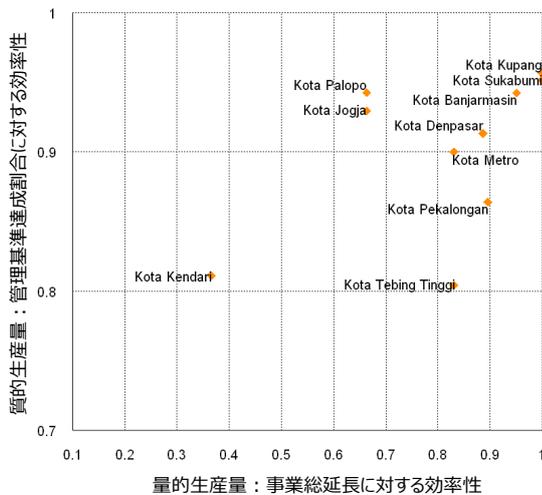


図-2 自治体ごとの効率性の相対評価

効率性効果モデルでの量的生産量、質的生産量の効率性の自治体平均の積を効率性 Index とし、図-3 に示す。図から、首都ジャカルタを有するなど比較的経済規模が大きい自治体が多いジャワ島に効率性 Index が高い自治体が集まっていることが分かる。

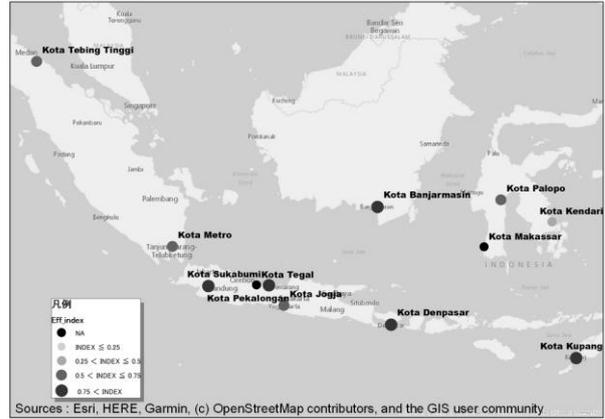


図-3 自治体ごとの効率性評価図

6. おわりに

本研究においては、量的生産量として道路維持関連事業総延長、質的生産量として管理基準達成割合を道路維持管理の生産を表す代理変数として、道路維持管理の生産関数を推定し、道路維持管理の効率性について分析した。確率的フロンティア分析としては時間依存を考慮できるモデルと効率性に影響を与える要因を分析するモデルの2種のモデルを用いて推計を行った。質的生産量に関しては経年的に効率性が上昇する結果となった。この結果についてはインドネシア国公共事業省関係者の感覚とも一致しており、モデルの有用性を支持するものであると考えられる。効率性に影響を与える要因を分析するモデルにおいては、バックボウといった機材の有無による効率性の影響だけでなく、苦情把握の有無といった維持管理に関する情報を把握することで効率性を改善することが示唆された。また2種の生産量に対する効率性を評価することにより、各自治体の道路維持管理における効率性について評価する手法について試行した。

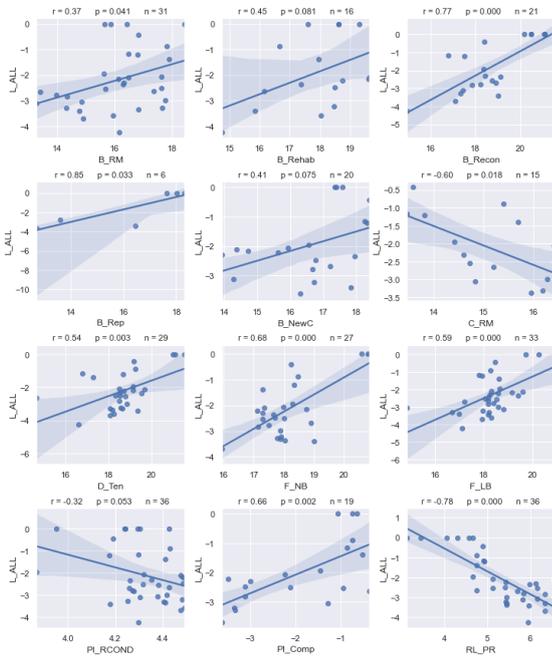
最後に、残された課題としては、適切な生産量の設定、それに付随する説明変数の設定が挙げられる。本研究においては各自治体の維持管理に関する効率性を評価するために本研究においては量的生産量として道路維持関連事業総延長、質的生産量として管理基準達成割合を使用した。これらの変数では、異常が発生した際の対応の柔軟さや緊急時における対応に関する議論を行うことは困難である。これらに関しては今後の課題としたい。

謝辞：本論文は、独立行政法人国際協力機構「インドネシア国地方道路維持管理能力向上プロジェクト」における現地活動と連動して実施した研究であり、ここに本プロジェクトの関係各位に謝意を表します。

付録 説明変数の選択

質的生産量、量的生産量に対する2種の確率的フロンティア分析を行うための説明変数選択においては、両生産量とアンケート調査から得られた変数との相関係数を計算し、単調増加を満たす正の相関を示すものを説明変数候補とした。両生産量を目的変数とした回帰分析を実施し、説明変数候補の組み合わせの内、自由度調整済み決定係数の高い組み合わせを2種の確率的フロンティア分析の説明変数として採用した。

付録図-1 量的生産量との相関係数算出の例



付録表-1 量的生産量：事業総延長の回帰分析推計結果

変数	係数	標準誤差
定数項	-7.129***	1.814
ln 事業総額	0.340***	0.089
ln スタッフ総数	0.619***	0.091
自由度調整済み決定係数	0.857	
対数尤度	-22.457	

注：以下の有意水準で有意であることを示している。***:0.1%, **:1%, *:5%, .:10%

付録表-2 質的生産量：管理基準達成割合の回帰分析推計結果

変数	係数	標準誤差
定数項	1.668**	0.566
ln 日常維持予算	0.104***	0.025
ln 舗装管理延長	0.174***	0.036
自由度調整済み決定係数	0.857	
対数尤度	21.855	

注：以下の有意水準で有意であることを示している。***:0.1%, **:1%, *:5%, .:10%

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction の推進について、<https://www.mlit.go.jp/common/001170255.pdf>, 2017.
- 2) Ministry of Transportation, Republic of Indonesia: Stastic Transportasi Darat – Lasnd Transportation Statistics, 2019.
- 3) Battese, G.E. and Coelli, T.J.: Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India, Journal of Productivity Analysis, 3, 153-169, 1992.
- 4) Battese, G.E. and Coelli, T.J.: A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data, Empirical Economics, 20, 325-332, 1995.

(2021.?.? 受付)

EFFICIENCY EVALUATION OF LOCAL ROAD MANAGEMENT IN INDONESIA

Tetsuo Uno, Dedy Gunawan, Kiyoyuki Kaito and Kazuya Aoki

For infrastructure asset management, a risk assessment and evaluation based on inspection data and optimization of repair strategy through LCC analysis are considered, however, there are few cases in which the efficiency of maintenance work and benchmarking evaluation are quantitatively analyzed. The purpose of this study is to evaluate the efficiency of road maintenance work. Specifically, this paper conducted a stochastic frontier analysis using panel data, such as road maintenance costs, human resources, and daily work activity results, and analyzed the efficiency factors that affect the evaluation of maintenance work. As a case study of local road maintenance work in Indonesia, the efficient of local road maintenance work in Indonesia was verified.