

プロジェクトの経済性評価の信頼性分析に関する基礎的研究*

A Study on Reliability Analysis of Economic Assessment of Project *

川除 隆広**, 多々納 裕一***, 岡田 憲夫***

By Takahiro KAWAYOKE**, Hirokazu TATANO*** and Norio OKADA***

1. はじめに

公共事業の計画段階における経済的な評価手法として費用便益分析が多く用いられるようになってきている。費用便益分析では計画案の幾つかの主要な効果について便益が計量化されるとともに、建設費や維持管理費等の費用についても試算がなされ、プロジェクトライフを考慮した比較を行うことにより事業の経済的妥当性に関する検討が行われている。

特に、事業便益の計量化法については、平成10年6月建設省「社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一的運用指針(案)」⁵⁾を期に、河川、道路、土地地区画整理、下水道、鉄道、港湾などの事業について積極的なマニュアル整備^{1) 2) 6) 7)}が進められ、各々の事業特性を踏まえることで、消費者余剰法、ヘドニック法、トラベルコスト法、仮想評価法(CVM)等の代表的な計量化手法に関する適用可能性が検証されるとともに、各事業の代表的な計測方法についても整備がなされてきている。

一方で、現在の費用便益分析の実施に際しては、便益の計量化自体に主眼が置かれており、推計された費用や便益の平均値等を用いた評価が主体となっている。そのため、費用便益分析の代表的な評価指標である純現在価値や費用便益比においても、費用や便益の推定精度を考慮したリスク評価はあまり多く行われていない。

推計された費用や便益が何らかの設定条件とデー

タをもとに推計される限り、それらの指標がばらつきを持つことは避けたい。推計された費用と便益の平均値をもとに純現在価値や費用便益比が試算され、評価基準を満たしたとしても、各々の項目の推計精度を考慮した場合においては、それらの指標は確率変数となり評価基準を満たさないリスクが存在することとなる。純現在価値や費用便益比をもとに事業計画の経済的妥当性が評価される限り、それらの指標の有するリスク評価を可能な限り併せ示しておくことは重要な事項であると考えられる。

さらに、昨今の事業計画の検討に際しては、主要施設の整備とともに付加的な環境整備を行う等の複合型プロジェクトが多く求められるようになってきており、推計便益の精度が異なると考えられる複数の効果を考慮した費用便益分析の実施が大きな課題となっている。

本研究では、プロジェクトの経済性評価の信頼性分析手法として、費用便益分析の代表的評価指標である純現在価値と費用便益比をもとに、費用と便益の推計精度を考慮した信頼性評価法を提案する。具体的には、複数の費用と便益の推計結果をもとに、純現在価値と費用便益比の評価基準を満たす超過確率を求める分析法を提示するとともに、仮説検定の視点から帰無仮説の棄却域値を求める分析法を提示する。さらに、仮想的なプロジェクトを例とした数値検証を行い、本研究で得られた知見および今後の課題についてとりまとめを行う。

2. 費用便益分析結果の信頼性評価法の定式化

ここでは、費用便益分析の代表的な評価指標である純現在価値と費用便益比をもとに、推計された複数の費用と便益の推計精度を考慮した信頼性評価法

*キーワード：公共事業評価法、整備効果計測法、計画情報

**正員、工修、京都大学大学院 工学研究科 博士課程
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5070)
株式会社 日建設計 土木事務所 環境計画室
(〒541-8528 大阪市高麗橋4-6-2, Tel 06-6229-6384,
Fax 06-6203-4302)

***正員、工博、京都大学 防災研究所 総合防災研究部門
(〒611-0011 宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4308,
Fax 0774-38-4044)

表一 1: 特定プロジェクトにおける費用と便益の推計例と発生期間例

項目		平均	分散	発生期間(年) t =
				0 T ₁ T ₂ n
費用	C 1 主要施設・環境施設建設費	c _{1t}	V(c _{1t})	*****
	C 2 維持管理費	c _{2t}	V(c _{2t})	*****
便益	B 1 主要施設	b _{1t}	V(b _{1t})	*****
	B 2 環境施設	b _{2t}	V(b _{2t})	*****

を定式化する。

特定プロジェクトにおける各年毎の主要施設・環境施設の建設費、維持管理費、および主要施設、環境施設の便益が表一に示すとおり推計されているものとする。また、その費用と便益が設定した期間に発生するものとする。

通常費用便益分析においては、推計された各年の費用と便益の平均値をもとに、主要施設・環境施設の建設費C1および維持管理費C2についてt=0を基準年とした現在価値を式(1)、(2)として求める。ここで、rは割引率を示している。

$$C1 = \sum_{t=0}^{T_2-1} \frac{c_{1t}}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$C2 = \sum_{t=T_1}^n \frac{c_{2t}}{(1+r)^t} \quad (2)$$

また、主要施設の便益B1および環境施設の便益B2の現在価値も同様に式(3)、(4)として求められる。

$$B1 = \sum_{t=T_1}^n \frac{b_{1t}}{(1+r)^t} \quad (3)$$

$$B2 = \sum_{t=T_2}^n \frac{b_{2t}}{(1+r)^t} \quad (4)$$

費用便益分析の代表的な評価指標としては、式(5)に示す純現在価値NPV(Net Present Value)と式(6)に示す費用便益比CBR(Cost Benefit Ratio)が存在する。

$$NPV = (B1 + B2) - (C1 + C2) \geq 0 \quad (5)$$

$$CBR = \frac{(B1 + B2)}{(C1 + C2)} \geq 1 \quad (6)$$

ここで、NPVとCBRは式(7)の関係を満たすことから、NPVとCBRの信頼性評価はNPVを代表指標として評価することが可能である。

$$B - C \geq 0 \iff B/C \geq 1 \quad (7)$$

以下、NPVを代表指標とした費用便益分析結果の信頼性評価法を定式化する。

ここで、NPVについて各項目各年の費用と便益

を確率変数 $X = (X_{C1t}, X_{C2t}, X_{B1t}, X_{B2t})$ として取り扱い、確率変数 NPV_X を式(8)として設定する。

$$NPV_X = \sum_{t=T_1}^n \frac{X_{B1t}}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_2}^n \frac{X_{B2t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{T_2-1} \frac{X_{C1t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=T_1}^n \frac{X_{C2t}}{(1+r)^t} \quad (8)$$

式(8)につき、各々の変数の平均と分散および確率分布が既知のとき、 NPV_X の平均 $E(NPV_X)$ と分散 $V(NPV_X)$ は式(9)と式(10)をもとに求められる。

$$E(NPV_X) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} NPV_X f_X dx_{B11} \dots dx_{C2n} = \sum_{t=T_1}^n \frac{b_{1t}}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_2}^n \frac{b_{2t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{T_2-1} \frac{c_{1t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=T_1}^n \frac{c_{2t}}{(1+r)^t} \quad (9)$$

$$V(NPV_X) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} (NPV_X - E(NPV_X))^2 f_X dx_{B11} \dots dx_{C2n} = \sum_{t=T_1}^n \frac{V(b_{1t})}{(1+r)^{2t}} + \sum_{t=T_2}^n \frac{V(b_{2t})}{(1+r)^{2t}} + \sum_{t=0}^{T_2-1} \frac{V(c_{1t})}{(1+r)^{2t}} + \sum_{t=T_1}^n \frac{V(c_{2t})}{(1+r)^{2t}} \quad (10)$$

ここで、 f_X は独立計測から求められた各項目各年の費用と便益の同時確率密度関数を示す。

しかしながら、費用便益分析過程において個別に計測された費用と便益の各項目の確率分布が、再現性を有した同一の確率分布形で計測されることは極めて稀である。また、各々の項目も非線形の推定量から推計される場合には分散の直接推計等は困難である。そのため、平均 $E(NPV_X)$ と分散 $V(NPV_X)$ を有した NPV_X の確率分布を解析的に直接推計することは困難となっている。

一方、費用や便益の各項目がロジットやプロビットモデル等に代表される確率分布の推計が可能なモデル等から求まっている場合、それらの確率分布をもとにシミュレーション法を適用することで、 NPV_X の近似的な確率分布の推計が可能となる⁴⁾。

シミュレーション法では、費用と便益の各項目の

確率分布をもとに $X^* = (X_{C1t}^*, X_{C2t}^*, X_{B1t}^*, X_{B2t}^*)$ を乱数として発生させ、式(8)に X^* を適用することで NPV_X のシミュレーション値 NPV_X^* を推計する。また、乱数を任意に (R 回) 発生させることで、 NPV_X^* の分布が形成される。なお、乱数の発生回数 R は1000程度(以上)において、安定した推計結果が得られることが報告されている^{10) 4)}。

(1) 超過確率 P の推計

以上をもとに、費用便益分析結果の信頼性評価法として、 $NPV \geq 0$ を満たす超過確率 P を求める。 $NPV \geq 0$ を満たす超過確率 P は、 NPV_X^* の推計値をもとに順列評価を行い、乱数の発生回数 R に対する $NPV_X \geq 0$ の超過個数 r を求めることで、超過確率 $P = r/R$ の推計が可能となる。

(2) 仮説検定に基づく棄却域値 Z の推計

次に、 $NPV \geq 0$ について仮説検定の考え方を適用した信頼性評価法について提示する。ここでは、仮説検定に適用する帰無仮説 H_0 および対立仮説 H_1 を式(11)、式(12)として設定する。

$$H_0 : NPV < 0 \quad (11)$$

$$H_1 : NPV \geq 0 \quad (12)$$

帰無仮説 H_0 のもとで NPV が有意水準 α 以下でしか生じない領域に入れば、 H_0 を棄却すべきであるから、式(13)を満たす棄却域値 Z を見出す必要がある。

$$P(NPV > Z | H_0) \leq \alpha \quad (13)$$

式(13)を満たす棄却域値 Z は、 NPV_X^* の推計値をもとに順列評価を行い、上限から $\alpha \times R$ 番目の推計値から式(9)から求まる $E(NPV)$ を引いた値として推計可能である。よって、 $NPV > Z$ のとき $H_0 : NPV < 0$ は有意水準 α で棄却され、 $(1 - \alpha) \times 100$ %の確率で $H_1 : NPV \geq 0$ が採択されることとなる。

以上を踏まえ、一例として NPV_X の確率密度関数 f_{NPV_X} が求められた場合の、超過確率 P および有意水準 α の棄却域値 Z の概念図を図-1に示した。

3. 仮想プロジェクトをもとにした数値検証

ここでは、これまで定式化した費用便益分析結果の信頼性評価法をもとに仮想データを適用した数値検証を行う。

仮想的なプロジェクトとしては、表-1の例を適用し、費用と便益の推計値およびその発生期間を表

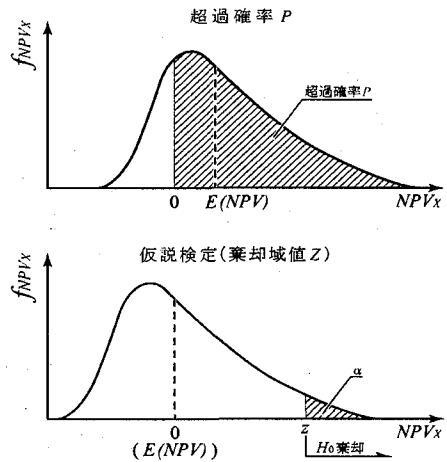


図-1: 超過確率 P と棄却域値 Z

2に示すとおり設定した。また、発生期間は主要施設の耐用年数を供用後50年間として設定し、割引率 r は4%とした。なお、当検証は費用と便益の推計精度の違いが費用便益分析結果にどのように影響を及ぼすかを検証することを目的とすることから、簡単のため、 $C1, C2, B2$ の推計結果の分散は変動係数 $=0.5$ を満たすよう設定し、主要施設の便益 $B1$ のみの分散が変動係数 $=0.5, 1.0, 2.0, 3.0$ (以後、ケース1~4と記す) を満たすよう変化するように設定した。また、当仮想データでは非常に特殊なケースであるが、全項目が正規分布を満たすと仮定し、超過確率 P および棄却域値 Z が解析的にも推計が可能としている。

表-2: 仮想データの概要

項目		平均	分散	t=
費用	C1 主要施設・環境施設建設費	10	25	0~9
	C2 維持管理費	1	0.25	5~54
便益	B1 主要施設	6	9,36,144,324	5~54
	B2 環境施設	2	1	10~54
割引率 r		4%		

注1) 各項目の分散は変動係数 $=0.5$ を基準として設定
 注2) B1の分散についてのみ変動係数 $=0.5, 1.0, 2.0, 3.0$ を適用

仮想データをもとに純現在価値(費用便益比)の信頼性評価を行った結果を表-3に示した。仮想データをもとにした当プロジェクトの純現在価値 NPV は36.6、費用便益比 CBR は1.4と試算されている。通常費用便益分析における平均値主体の経済性評価では妥当な結果と判断されることとなる。

表- 3: 仮想データをもとにした純現在価値(費用便益比)の信頼性評価

項目	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
純現在価値; NPV	36.6				
費用便益比; CBR(B/C)	1.4				
$E(NPV_x)$	36.6	36.6	36.6	36.6	
$V(NPV_x)$	267.2	504.2	1452.1	3032.0	
解析解	超過確率P	98.7%	94.8%	83.1%	74.7%
	棄却域値Z(95%)	26.9	36.9	62.7	90.6
シミュレーション	超過確率P	99.1%	94.9%	82.9%	74.9%
	棄却域値Z(95%)	26.4	37.6	62.9	90.3

注) 有意水準 $\alpha = 0.05$ を採用。

一方、費用と便益の推計精度を考慮し、B1の推計精度の変化を考慮した場合のケース1~4の比較においては、ケース1~4のB1の推計精度が不良になるに従い、 NPV_x の平均 $E(NPV_x)$ は変化しないものの、分散 $V(NPV_x)$ が増大していくことが確認される。その結果として、ケース1~4の $NPV \geq 0$ を満たす超過確率Pは解析解において98.7%→94.8%→83.1%→74.4%と変化し、 $NPV < 0$ であるリスクが1.3%→5.2%→16.9%→25.3%存在していることが確認される。さらに、仮説検定の視点からは、 $NPV \geq 0$ を95%で信頼するためには、NPVがケース1~4で、26.9→36.9→62.7→90.6を満たしている必要があることが示されている。

また、 $R = 10000$ 回を適用したシミュレーション結果と解析解の比較においては、解析解に対し良好なシミュレーション結果が得られているといえよう。

4. おわりに

本研究は、プロジェクトの経済性評価の信頼性分析法として費用便益分析の代表的評価指標である純現在価値(費用便益比)をもとに、費用便益分析結果のリスク評価法として費用と便益の推計精度を考慮した信頼性評価法の提案を行ったものである。具体的には、複数の費用と便益の推計結果をもとに、評価基準 $NPV \geq 0$ を満たす超過確率Pを求める分析法および仮説検定の視点から帰無仮説の棄却域値Zを求める分析法の提示を行っている。

仮想的なプロジェクトを例とした数値検証からは、費用と便益の推計精度を費用便益分析の枠組みに考慮することで、純現在価値(費用便益比)(本稿では $NPV = 36.6$, $CBR = 1.4$)の信頼性評価として

確率表現を用いることの有用性を示唆するとともに、シミュレーション法の有用性を肯定する結果が得られているといえよう。

また、本研究では4変数を例とした数値検証を行ったが、変数が増加した場合においても単純に純現在価値(費用便益比)の分散が増大するわけではなく、特に、信頼性分析の解析的な直接評価が困難な場合において当分析法による信頼性評価が有効であることを付記しておく。

以上の結果は、プロジェクトの経済性評価の信頼性分析を行う上での有用な方法論を提供するものと考えられる。今後の課題としては、費用・便益の計測事例の収集を行うことで、具体的な費用便益分析結果の信頼性評価を実施し、これらのリスク評価から得られる知見をとりまとめることを予定している。

[参考文献]

- 1) 運輸省鉄道局監修：鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル97, 1997.
- 2) 河川に関わる環境整備の経済評価研究会：河川に関わる環境整備の経済評価の手引き(試案), 1999.
- 3) 川除隆広・多々納裕一・岡田憲夫：支払意思額の異質分散性を考慮したCVMによる推計便益の信頼区間推定法, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.319-326, 1999.
- 4) 川除隆広・多々納裕一・岡田憲夫：離散選択モデルを用いたレクリエーション便益に関する信頼区間推定法, 土木計画学研究・論文集, No.17, 2000.
- 5) 建設省：社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一の運用指針(案), 1998.
- 6) 港湾投資の社会経済効果に関する調査委員会編：港湾投資の評価に関するガイドライン, 1999.
- 7) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編：道路投資の評価に関する指針(案), 1998.
- 8) 中村英夫編：道路投資の社会経済評価, 東洋経済新報社, 1997.
- 9) 森杉壽芳：社会資本整備の便益評価, 勁草書房, 1997.
- 10) Krinsky I. and A.L. Robb : On Approximating the Statistical Properties of Elasticities, The Review of Economics and Statics, 68, pp.715-719, 1986.