

## プロジェクト採択リスクの信頼性分析に関する基礎的研究

川除隆広\*・多々納裕一・岡田憲夫

\* 株式会社 日建設計

### 要 旨

本研究では、社会基盤整備プロジェクトの経済評価のリスク分析として、費用便益分析の代表的評価指標である純現在価値および費用便益比を基にしたプロジェクト採択のリスク分析法を提示している。具体的には、リスク分析が純現在価値を代表指標として評価可能であることを示し、純現在価値の信頼区間推定法およびプロジェクト採択が妥当視される確率として純現在価値の採択基準を満たすプロジェクト採択確率を求める分析法を提示している。

キーワード：プロジェクト評価，費用便益分析，リスク分析，信頼性分析

### 1. はじめに

社会基盤整備プロジェクトの経済的評価法として費用便益分析の重要性が広く認識されている。また、公共事業の効率性と事業実施過程の透明性確保に対する社会的要請が高まり、国民の納得が得られる形での説明責任(アカウンタビリティ)の遂行が強く求められている。費用便益分析は、事業実施以前にプロジェクト採択の経済的妥当性を評価する事業評価法であり、プロジェクトの効果・必要性を国民に理解し易い形で公表し得る事業評価法としても期待されている。しかしながら、現在のところ費用便益分析の実施に際しては、推計された費用や便益の平均値(期待値)等の代表値を用いた評価が主体となっており、分析に用いられたデータ、分析方法等のプロセスや評価の精度等に関する情報が十分に提供されているとは言い難い。

費用や便益がデータから推定される以上、本来、これらの指標がばらつきを持つことは避けがたい。このため、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算定され、採択基準を満たしたとしても、このばらつきのために純現在価値

や費用便益比等の指標が採択基準を満たさないリスクが存在することとなる。こ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、事業評価の説明力を高める上で重要な事項であると考えられる。

費用便益分析の有する不確実性へのアプローチとしては、感度分析とリスク分析が存在する(土木学会編,1989)。感度分析は、費用便益分析を行うための幾つかの投入要素に、それぞれの不確実性に応じたある幅の値を与え、プロジェクト評価の経済的安定性を確認するものである。一方、リスク分析は費用便益分析の投入要素に対して生起する確率分布を与える分析法である。そのため、リスク分析では評価指標も確率分布として表現され、評価指標が許容できない採択基準以下になる確率を定量的に示すことができる。従って、リスク分析ではプロジェクトの経済評価の評価軸として収益性の他に、信頼性を考慮することが可能となる。

本研究では、費用便益分析指標を基にしたプロジェクト採択のリスク分析法として、費用便益分析の代表的評価指標である純現在価値と費用便益比を対象

**Table 1** Example of Costs and Benefits estimation on a Complex Project

|          |       |                    | estimation | term(year) $t =$<br>01 $T_1$ $T_2$ $n$ |
|----------|-------|--------------------|------------|----------------------------------------|
| Costs    | $C_1$ | construction       | $c_{1t}$   | *****                                  |
|          | $C_2$ | maintenance        | $c_{2t}$   | *****                                  |
| Benefits | $B_1$ | main facilities    | $b_{1t}$   | *****                                  |
|          | $B_2$ | amenity facilities | $b_{2t}$   | *****                                  |

に、純現在価値と費用便益比の信頼区間推定法およびプロジェクト採択が妥当視される確率として純現在価値と費用便益比の採択基準を満たす確率(プロジェクト採択確率)を求める方法を提案する。具体的には、費用と便益の推計結果が得られた場合のプロジェクト採択のリスク分析法が、純現在価値を代表指標として評価可能であることを示し、純現在価値の信頼区間推定法およびプロジェクト採択確率を求める方法を提示する。次いで、仮想的なプロジェクトを例とした数値検証を行い、本研究で得た知見をとりまとめる。

## 2. 費用便益分析指標を基にしたリスク分析法の定式化

### 2.1 費用と便益の推計精度を考慮した費用便益分析モデルの定式化

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、単一複合プロジェクトのケースと排反プロジェクトのケースを例として、費用と便益の推計精度を考慮した費用便益分析モデルの定式化を行う。

#### (1) 単一複合プロジェクトのケース

単一複合プロジェクトの例として、プロジェクトの主要施設と公園等の周辺環境施設の整備を想定する。単一複合プロジェクトにおける各年毎の主要施設・周辺環境施設の建設費、維持管理費、および主要施設、周辺環境施設の便益がTable1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。

通常の費用便益分析においては、推計された各年毎の費用と便益をもとに、主要施設・周辺環境施設の建設費 $C_1$ および維持管理費 $C_2$ 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。

$$C_1 = \sum_{t=1}^{T_2} \frac{c_{1t}}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$C_2 = \sum_{t=T_1+1}^n \frac{c_{2t}}{(1+r)^t} \quad (2)$$

また、主要施設の便益 $B_1$ および周辺環境施設の便益 $B_2$ の現在価値も同様に式(3)、(4)として求められる。

$$B_1 = \sum_{t=T_1+1}^n \frac{b_{1t}}{(1+r)^t} \quad (3)$$

$$B_2 = \sum_{t=T_2+1}^n \frac{b_{2t}}{(1+r)^t} \quad (4)$$

さらに、費用便益分析においては、代表的な評価指標として式(5)に示す純現在価値 $NPV$ (Net Present Value)および式(6)に示す費用便益比 $CBR$ (Cost Benefit Ratio)をもとにプロジェクトの経済評価が行われる。

$$NPV = \sum B - \sum C = (B_1 + B_2) - (C_1 + C_2) \geq 0 \quad (5)$$

$$CBR = \frac{\sum B}{\sum C} = \frac{(B_1 + B_2)}{(C_1 + C_2)} \geq 1 \quad (6)$$

#### (2) 排反プロジェクトのケース

次に、排反プロジェクトの例として、プロジェクトの主要施設とプロジェクトにより失われる自然環境資源を想定する。排反プロジェクトにおける各年毎の主要施設の建設費、維持管理費、および主要施設、自然環境資源の便益がTable2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。

主要施設建設費 $C_1$ および維持管理費 $C_2$ の現在価値、主要施設の便益 $B_1$ および自然環境資源の便益 $B_2$ の現在価値は、上述同様に式(1)~(4)をもとに求められる(当ケースにおいては、 $b_{2t}$ のみ $t=1$ 年からの算定となる)が、上述の単一複合プロジェクトとは異なり、排反プロジェクトにおいては、プロジェクトの主要施設の建設により自然環境資源が失われその便益が犠牲になることから、自然環境資源の便益は機会費用として取り扱うことが必要となる。そのため、排反プロジェクトの純現在価値 $NPV$ と費用便益

Table 2 Example of Costs and Benefits estimation on a Antinomic Project

|          |                        | estimation | term(year) $t =$   |
|----------|------------------------|------------|--------------------|
|          |                        |            | 01 $T_1$ $T_2$ $n$ |
| Costs    | $C_1$ construction     | $c_{1t}$   | *****              |
|          | $C_2$ maintenance      | $c_{2t}$   | *****              |
| Benefits | $B_1$ main facilities  | $b_{1t}$   | *****              |
|          | $B_2$ natural resource | $b_{2t}$   | *****              |

比CBRは、式(7)、式(8)として算定することとなる。

$$NPV = \sum B - \sum C$$

$$= (B_1) - (B_2 + C_1 + C_2) \geq 0 \quad (7)$$

$$CBR = \frac{\sum B}{\sum C} = \frac{(B_1)}{(B_2 + C_1 + C_2)} \geq 1 \quad (8)$$

一方、単一複合プロジェクトおよび排反プロジェクトともに、NPVとCBRは式(9)の関係を満たすことから、費用便益分析指標を基にしたリスク分析は純現在価値NPVを代表指標として取扱うことが可能である。

$$\sum B - \sum C \geq 0 \iff \frac{\sum B}{\sum C} \geq 1 \quad (9)$$

そのため、以下、単一複合プロジェクトのケースを例として、費用便益分析指標として純現在価値NPVを代表指標としたリスク分析法の定式化を進める。

ここで、式(5)のNPVについて各項目各年の費用と便益を確率変数 $X = (X_{c1t}, X_{c2t}, X_{b1t}, X_{b2t})$ として取り扱う。そのため、NPVの確率変数 $NPV_X$ は式(10)として定式化される。

$$NPV_X = \sum_{t=T_1+1}^n \frac{X_{b1t}}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_2+1}^n \frac{X_{b2t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{T_2} \frac{X_{c1t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=T_1+1}^n \frac{X_{c2t}}{(1+r)^t} \quad (10)$$

## 2.2 純現在価値を代表指標としたリスク分析法

次に、費用便益分析指標として純現在価値NPVを代表指標とし、NPVの確率変数 $NPV_X$ を対象としたリスク分析法の定式化を行う。

式(10)は、 $X$ の確率変数である。そのため、 $\overline{NPV_X}$ および $\underline{NPV_X}$ を純現在価値の $(1-\alpha) \times 100\%$ 信頼上限、信頼下限とすると、これらの信頼限界は式(11)、式(12)の解として求められる。

$$P(NPV_X \geq \overline{NPV_X}) = \alpha/2 \quad (11)$$

$$P(NPV_X \leq \underline{NPV_X}) = \alpha/2 \quad (12)$$

また、式(10)につき、各々の変数の確率分布が既知のとき、 $NPV_X$ の確率密度関数 $f_{NPV_X}(n)$ は式(13)として求められ、プロジェクト採択が妥当視される確率として、プロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ は、式(14)によって求められる。

$$f_{NPV_X}(n) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f_X(g^{-1}, x_{c12}, \dots, x_{b2n}) \cdot \left| \frac{\partial g^{-1}}{\partial n} \right| dx_{c12} \dots dx_{b2n} \quad (13)$$

$$P(NPV_X \geq 0) = \int_0^{\infty} f_{NPV_X}(n) dn \quad (14)$$

ここで、 $f_X$ は各項目各年の費用と便益の同時確率密度関数を示しており、 $g^{-1}$ は $n = g(x_{c11}, x_{c12}, \dots, x_{b2n})$ の $x_{c11}$ についての逆関数である。

費用便益分析過程において計測された費用と便益の各項目の確率分布が、再生性(日本数学会編集,1985)を有した同一の確率分布形で計測される場合には、解析的に信頼区間やプロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ を求めることが可能である。しかし、そうでない場合や非線形の推定量から推計される場合にはこれらを解析的に求めることは困難である。

一方、費用や便益の各項目の確率分布が既知の場合、それらの確率分布をもとにパラメトリック・シミュレーション法(Krinsky and Robb,1986 ; Kring,1991 ; 川除ら,2000)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。

パラメトリック・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(10)に $X^*$ を適用することで式(15)の $NPV_X$ のシミュレーション値 $NPV_X^*$ が推計される。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(川除ら,2000)。

$$NPV_X^* = \sum_{t=T_1+1}^n \frac{X_{b1t}^*}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_2+1}^n \frac{X_{b2t}^*}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^{T_2} \frac{X_{c1t}^*}{(1+r)^t} - \sum_{t=T_1+1}^n \frac{X_{c2t}^*}{(1+r)^t} \quad (15)$$

以下、パラメトリック・シミュレーション法をもとにした、純現在価値 $NPV$ の信頼区間推定法および、プロジェクト採択が妥当視される確率として純現在価値 $NPV$ の採択基準を満たすプロジェクト採択確率を求める分析法を提示する。

### (1) 純現在価値の信頼区間推定法

費用便益分析指標を基にしたプロジェクト採択のリスク分析法として、純現在価値 $NPV$ の信頼区間推定法を提示する。

純現在価値 $NPV$ の信頼区間は、パラメトリック・シミュレーション法による $NPV_X^*$ 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、 $R/2$ 番目の推計値が中央値であり、 $(1-\alpha) \times 100\%$ 信頼区間は $\alpha/2 \times R$ 番目が信頼下限、 $(1-\alpha/2) \times R$ 番目が信頼上限となる。

### (2) プロジェクト採択確率の推計法

次に、費用便益分析指標を基にしたプロジェクト採択のリスク分析法として、プロジェクト採択が妥当視される確率、すなわち、プロジェクト採択確率(純現在価値 $NPV$ の採択基準 $NPV \geq 0$ を満たす確率 $P$ )を求める分析法を提示する。

プロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ は、パラメトリック・シミュレーション法による $NPV_X^*$ 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 $r$ より、超過確率 $P = r/R$ を求めることで推計される。

一例として $NPV_X$ の確率密度関数 $f_{NPV_X}$ が得られた場合の、プロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ の概念図をFig.1に示した。

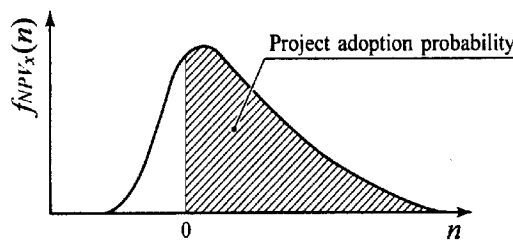


Fig. 1 Conceptual Figure of Project Adoption Probability  $P(NPV_X \geq 0)$

## 3. 仮想データを用いた数値検証

ここでは、これまでに定式化した費用便益分析指標を基にしたプロジェクト採択のリスク分析法をも

とに、費用と便益の推計精度が費用便益分析指標の信頼性にどのように影響を及ぼすかを分析するために、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、単一複合プロジェクトであるTable1の例を適用し、費用と便益の年平均値およびその発生期間がTable3に示しており推計されているものとする。ここで、主要施設の耐用年数は50年間と設定し、割引率 $r$ は4%としている。また、当検証は費用と便益の推計精度が費用便益分析指標の信頼性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、 $C_1, C_2, B_1$ の推計結果の分散は変動係数=1.0を満たすよう設定し、便益 $B_2$ の分散のみが、変動係数=1.0, 4.0, 8.0, 16.0 ( $\sigma = 3, 12, 24, 48$ ; 以下、Case1~Case4と称する)を満たすよう変化するように設定した。

Table 3 Outline of Hypothetical Project data

|                                  |                          | estimation $\mu$ | standard deviation $\sigma$ | t=    |
|----------------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------|-------|
| Costs                            | $C_1$ construction       | 10               | 10                          | 1~10  |
|                                  | $C_2$ maintenance        | 1                | 1                           | 6~55  |
| Benefits                         | $B_1$ main facilities    | 6                | 6                           | 6~55  |
|                                  | $B_2$ amenity facilities | 3                | 3, 12, 24, 48               | 11~55 |
| durable years of main facilities |                          | 50 years         |                             |       |
| discount rate $r$                |                          | 4%               |                             |       |

さらに、当検証ではパラメトリック・シミュレーション法の有用性検証も兼ねることから、費用と便益の全項目が独立な正規分布であると仮定し、式(16)、(17)より、式(18)の $NPV_X$ の $(1-\alpha) \times 100\%$ 信頼区間および式(19)のプロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ が解析的に求められるよう設定した。

$$\begin{aligned}
 E(NPV_X) &= \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} NPV_X f_X dx_{c_{11}} \dots dx_{b_{2n}} \\
 &= \sum_{t=T_1+1}^n \frac{b_{1t}}{(1+r)^t} + \sum_{t=T_2+1}^n \frac{b_{2t}}{(1+r)^t} \\
 &\quad - \sum_{t=1}^{T_2} \frac{c_{1t}}{(1+r)^t} - \sum_{t=T_1+1}^n \frac{c_{2t}}{(1+r)^t} \quad (16)
 \end{aligned}$$

$$V(NPV_X) =$$

$$\begin{aligned}
 &\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} (NPV_X - E(NPV_X))^2 f_X dx_{c_{11}} \dots dx_{b_{2n}} \\
 &= \sum_{t=T_1+1}^n \frac{V(b_{1t})}{(1+r)^{2t}} + \sum_{t=T_2+1}^n \frac{V(b_{2t})}{(1+r)^{2t}}
 \end{aligned}$$

Table 4 Estimations of Project Adoption Risk

|                                        |                                     | Case 1           | Case 2            | Case 3            | Case 4            |
|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                        |                                     | $B_2 \sigma = 3$ | $B_2 \sigma = 12$ | $B_2 \sigma = 24$ | $B_2 \sigma = 48$ |
| Net Present Value ; $NPV$              |                                     | 48.2             |                   |                   |                   |
| Cost Benefit Ratio ; $CBR (B/C)$       |                                     | 1.5              |                   |                   |                   |
| Analytical results                     | $E(NPV_X)$                          | 48.2             | 48.2              | 48.2              | 48.2              |
|                                        | $V(NPV_X)$                          | 1014.7           | 1745.8            | 4085.4            | 13443.7           |
|                                        | $NPV_X$ 2.5% upper limit            | 110.7            | 130.1             | 173.5             | 275.5             |
|                                        | $NPV_X$ median                      | 48.2             | 48.2              | 48.2              | 48.2              |
|                                        | $NPV_X$ 2.5% under limit            | -14.2            | -33.7             | -77.0             | -179.0            |
|                                        | <b>Project adoption probability</b> | 93.5%            | 87.6%             | 77.5%             | 66.1%             |
| Parametric simulation<br>( $R=50000$ ) | $NPV_X$ 2.5% upper limit            | 110.8            | 130.1             | 173.6             | 275.2             |
|                                        | $NPV_X$ median                      | 48.1             | 48.2              | 48.1              | 48.7              |
|                                        | $NPV_X$ 2.5% under limit            | -14.2            | -33.3             | -77.6             | -178.3            |
|                                        | <b>Project adoption probability</b> | 93.5%            | 87.6%             | 77.5%             | 66.1%             |

$$+ \sum_{t=1}^{T_2} \frac{V(c_{1t})}{(1+r)^{2t}} + \sum_{t=T_1+1}^n \frac{V(c_{2t})}{(1+r)^{2t}} \quad (17)$$

$$[Lower_{NPV_X}, Upper_{NPV_X}] \quad (18)$$

ここで,

$$Lower_{NPV_X} = E(NPV_X) - z_{\alpha/2} \sqrt{V(NPV_X)}$$

$$Upper_{NPV_X} = E(NPV_X) + z_{\alpha/2} \sqrt{V(NPV_X)}$$

$$P(NPV_X \geq 0) = 1 - \Phi \left( \frac{0 - E(NPV_X)}{\sqrt{V(NPV_X)}} \right) \quad (19)$$

ここで,  $z_{\alpha/2}$ は標準正規分布の片側  $\alpha/2$  確率を与える値を示し,  $\Phi$ は標準正規分布の分布関数を示している。

仮想データをもとにプロジェクト採択のリスク分析を行った結果をTable4に示す。仮想データをもとにした結果では、いずれのケースでも当プロジェクトの費用および便益の期待値は一定であり、これらを基に純現在価値 $NPV$ は48.2、費用便益比 $CBR$ は1.5と推計されている。通常の平均値主体の経済評価ではプロジェクト採択が妥当な結果と判断されることとなる。一方、費用と便益の推計精度を考慮し、 $B_2$ の推計精度の変化を考慮した場合のCase1~Case4の比較においては、解析解の結果から、便益 $B_2$ の推計精度が悪くなる( $\sigma = 3 \rightarrow 48$ )に従い、 $NPV_X$ の期待値 $E(NPV_X)$ は変化しないものの、分散 $V(NPV_X)$ は増大していくことが確認される。このことは、Fig.2に示す $NPV_X$ のパラメトリック・シミュレーション法によ

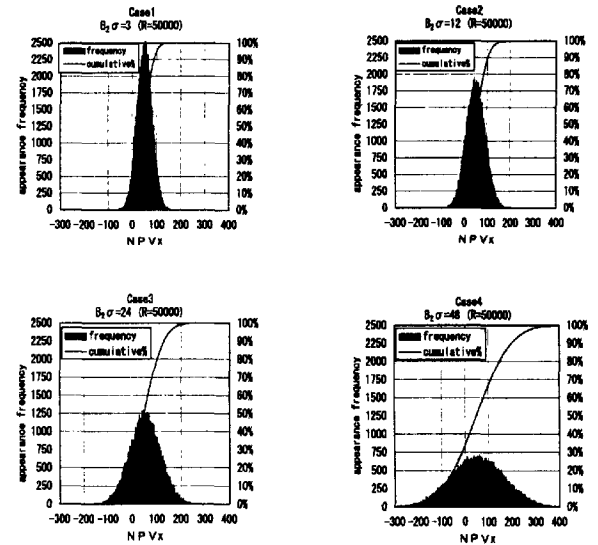


Fig. 2  $NPV_X$  distributions of Simulation Method

る再現分布結果からも明らかである。この結果、 $B_2$ の推計精度の低下に伴い、 $NPV_X$ の信頼区間は拡大し、プロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ は93.5%→87.6%→77.5%→66.1%と低下していく。このプロジェクト採択確率の変化は、 $B_2$ の推計精度が悪くなるに従い、採択基準を満たさないリスク $P(NPV < 0)$ が6.5%→12.4%→22.5%→33.9%と増大していくことを示している。

また、 $R = 50000$ 回を適用したパラメトリック・シミュレーション法の結果と解析解の比較において

は、シミュレーション結果が解析解の結果に0.1のオーダーで一致する良好な結果が得られている。

さらに、特定の $CBR = B/C = a$ (定数)を所与として、費用の総現在価値 $\sum C$ の変動係数 $\eta_C$ と便益の総現在価値 $\sum B$ の変動係数 $\eta_B$ の関係から、プロジェクト採択確率をFig.3のように示すことができる。本研究では以下、この図をプロジェクト採択リスクの「簡易評価図」と呼ぶ。Fig.3では、代表的な例として、 $B/C \approx 1.0(=1.04)$ ,  $B/C = 1.5$ ,  $B/C = 2.0$ ,  $B/C = 3.0$ を満たす簡易評価図を示している。Fig.3からは、 $B/C = a$ (定数)の設定が大きくなるに従い、費用と便益の総現在価値の変動係数の変化に対する同一の採択確率を満たす領域が拡大していくことが確認できる。また、費用便益比の定式上の関係から、 $B/C = a$ (定数)の設定が大きいくほど、費用の推計精度(費用の総現在価値の変動係数)の変化に比べ、便益の推計精度(便益の総現在価値の変動係数)の変化がプロジェクト採択確率に対する影響が大きいことが確認できる。ここで、仮想データに基づく各々のケースのプロジェクト採択確率は一つの点で与えられる。推計した費用と便益の総現在価値の変動係数をもとに、各々のケースのプロジェクト採択確率をFig.3の $B/C = 1.5$ の簡易評価図に図示した。仮想データにおいては $B_2$ のみの推計精度を変化させたことから、費用の総現在価値 $\sum C$ の変動係数 $\eta_C$ は一定であり、Case1→Case4の便益の総現在価値 $\sum B$ の変動係数 $\eta_B$ が大きくなるに従い、プロジェクト採択確率の小さな領域に図示されていくことが確認できる。

#### 4. おわりに

本研究では、社会基盤整備プロジェクトの事前の経済評価のリスク分析として、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)を基にしたプロジェクト採択のリスク分析法の提示を行った。具体的には、複数の費用と便益の推計結果が得られた場合の、費用と便益の推計精度を考慮した費用便益分析モデルの定式化を行い、費用便益分析指標を基にしたリスク分析法が純現在価値を代表指標として定式化可能なことを示し、プロジェクト採択のリスク分析法として純現在価値の信頼区間推定法およびプロジェクト採択が妥当視される確率として純現在価値の採択基準を満たすプロジェクト採択確率を求める分析法の提示を行っている。

仮想データを用いた数値検証においては、費用と便益の全項目の確率分布が正規分布に従うものと仮定し、解析的に $NPV_X$ の信頼区間およびプロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ の推計が可能な枠組みに

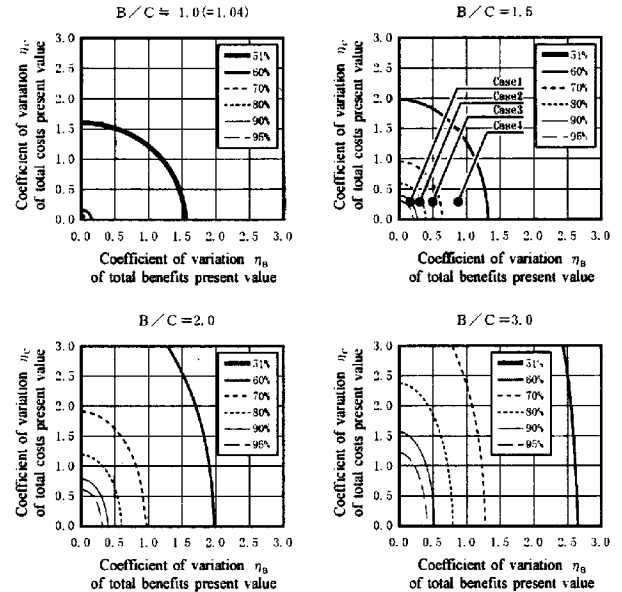


Fig. 3 Simplified Evaluation Figure of Project Adoption Risk

注) 特定の $CBR = B/C = a$ (定数)を所与として、費用の総現在価値 $\sum C$ の変動係数 $\eta_C$ と便益の総現在価値 $\sum B$ の変動係数 $\eta_B$ の関係から、プロジェクト採択確率 $P(NPV_X \geq 0)$ は以下のように求まる。なお、 $N$ は正規分布を示す。

$$NPV_X = \sum B - \sum C$$

$$\sum B \sim N(\mu_B, \sigma_B), \eta_B = \frac{\sigma_B}{\mu_B} \quad \sum C \sim N(\mu_C, \sigma_C), \eta_C = \frac{\sigma_C}{\mu_C}$$

$$CBR = \frac{\mu_B}{\mu_C} = a \iff \mu_B = a\mu_C$$

$$P(NPV_X \geq 0) = 1 - \Phi\left(\frac{0 - E(NPV_X)}{\sqrt{V(NPV_X)}}\right) = 1 - \Phi\left(\frac{1 - a}{\sqrt{a^2\eta_B^2 + \eta_C^2}}\right)$$

で数値検証およびプロジェクト採択リスクの簡易評価図の提示を行った。仮想データ(全項目正規分布を仮定)を適用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、従来の平均値主体の評価のみならず、プロジェクト採択のリスク分析として費用便益分析指標に確率表現を用いることの有用性を肯定する結果が得られている。また、 $CBR = B/C = a$ (定数)を所与とし、費用と便益の総現在価値の変動係数をもとにしたプロジェクト採択確率の簡易評価図を提示することで、費用と便益の推計精度が採択基準に及ぼす影響度を明示することが可能となっている。

以上、本研究においては、社会基盤整備プロジェ

クトの事前の経済評価のリスクマネジメントとして、従来の平均値主体の経済評価のみならず、費用便益分析指標に費用と便益の推計精度を考慮したプロジェクト採択のリスク分析法を適用可能性に関する有用な知見が得られたものとする。また、本研究で提示したプロジェクト採択確率の簡易評価図は、今後とも改善が必要であるものの、プロジェクト採択のリスク分析の簡易評価図として利用可能性は高いものと考えている。なお、今後は当リスク分析法の実用化および精度向上に向けて、既往プロジェクトの費用・便益の計測事例の収集とともに、特に事業費データの収集による事業費分布の把握が重要な課題であると考えている。

### 参考文献

- 浅野耕太(1998)：農林業と環境評価，多賀出版。
- 市川伸一編(1996)：認知心理学4 思考，東京大学出版会。
- 川除隆広・多々納裕一・岡田憲夫(2000)：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，土木計画学研究・講演集，No.23(1)，pp.223-226。
- 川除隆広・多々納裕一・岡田憲夫(2000)：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，pp.431-438。
- 川除隆広・多々納裕一・岡田憲夫(2000)：離散選択モデルを用いた旅行費用法に基づく信頼区間推定法，京都大学防災研究所年報，第43号 B-2。
- 多々納裕一(1998)：不確実性下のプロジェクト評価：課題と展望，土木計画学研究・論文集，No.15，pp.19-30。
- 土木学会編(1989)：第四版土木工学ハンドブックII，第53編プロジェクトの評価，pp.2163-2192。
- 中村英夫編(1997)：道路投資の社会経済評価，東洋経済新報社。
- 日本数学会編集(1985)：岩波数学辞典第3版，岩波書店。
- 日本リスク研究学会編(2000)：リスク学事典，TBSブリタニカ。
- 細江守紀(1987)：不確実性と情報の経済分析，九州大学出版会。
- 森杉壽芳(1997)：社会資本整備の便益評価，勁草書房。
- 依田高典(1997)：不確実性と意思決定の経済学，日本評論社。
- Davison, A.C. and D.V. Hinkley(1997)： *Bootstrap methods and their application*, Cambridge University Press.
- Efron, B. and R.J. Tibshirani(1993)： *An Introduction to the Bootstrap*, Chapman & Hall.
- Hall, P.(1992)： *The Bootstrap and Edgeworth Expansion*, Springer Series in Statistics.
- Johansson, P.-O.(1993)： *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*, Cambridge University Press.
- Kring, C.L.(1991)： Estimating the Precision of Welfare Measures, *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, pp.244-259.
- Krinsky, I. and A.L. Robb(1986)： On Approximating the Statistical Properties of Elasticities, *The Review of Economics and Statistics*, 68, pp.715-719.
- Park, T., J.B. Loomis and M. Creel(1991)： Confidence Intervals for Evaluating Benefits Estimates from Dichotomous Choice Contingent Valuation Studies, *Land Economics*, 67(1), pp.64-73.

## Study on Reliability Analysis of Project Adoption Risk

Takahiro KAWAYOKE\*, Hirokazu TATANO and Norio OKADA

\* Nikken Sekkei Ltd.

### Synopsis

This paper presents risk analysis methods of project adoption based on cost-benefit criteria. One is confidence interval estimation method of net present value in consideration of reliability of estimated costs and benefits on project. Second is Probability estimation method of net present value is over zero in consideration of reliability of estimated costs and benefits on project. Both methods use parametric simulation method. Illustrations are executed with hypothetical project data to evaluate performances of these proposed methods.

**Keywords** : project evaluation; cost benefit analysis; risk analysis; reliability analysis