

1. はじめに

社会資本整備計画を策定する前段において一般に予測の作業が必要になる。例えば、道路を新規建設する場合、需要予測（やそれに基づいて実施される費用対効果分析）の分析結果に基づいて設計仕様の妥当性の検討や事業代替案の選択が行われる。PFI事業では、将来の不確実な事象に関する予測結果をもとに各種主体が負担する費用やリスクの配分が行われる。予測は合理的な政策策定のために不可欠な作業である。しかし、最近では、マスコミ等によって多くの社会基盤施設整備事業において事前の予測値が事後の実績値を大きく上回っている事実が明らかにされ、事業正当化のための過大推計が行われていたのではないかとの厳しい批判が投げかけられている。需要予測に対する社会的信頼は著しく低下しており、需要予測や政策評価に本来期待されている役割も果たされなくなる危険性がある。需要予測におけるマニピュレーション抑止制度を設計することの社会的意義は非常に大きい。

筆者は、これまでマニピュレーション抑止制度の設計に関する研究に取り組んできた。既に、需要予測の分析者への報酬が事前の予測結果と事後の実現状態の比較結果に連動する制度（以下、リスク負担制度と呼ぶ）を採用することでマニピュレーションの抑止が可能になることを明らかにしている。ただし、そこでの分析結果はリスク負担制度以外のマニピュレーション抑止制度が存在することを否定するものではない。本研究では、需要予測におけるマニピュレーション抑止制度の代替案を複数提示したうえで各制度の性質を比較検討することを目的とする。

2. モデルの設定

(1) 道路投資問題

複数のマニピュレーション抑止制度を比較検討するに当たり、本研究では以下の道路投資問題を取り上げて分析する。

分析対象となるのは一本の道路である。道路利用者の需要関数を

$$q = a(\bar{p} - p) \quad (1)$$

で表す。ただし、 q は需要量、 p ($\leq \bar{p}$) は一般化費用、 \bar{p} と a はパラメータである。パラメータ a は確率変

数であり、 $a = \underline{a}$ もしくは $a = \bar{a}$ のいずれかの値をとると仮定する（ただし、 $0 < \underline{a} < \bar{a}$ ）。一般化費用が p で与えられる場合、道路利用者の消費者余剰は

$$B(p, a) \equiv (a/2)(\bar{p} - p)^2 \quad (2)$$

で表される。

社会的意思決定に関わる問題としては、道路の一般化費用を \bar{p} から p へ変更する道路投資問題を考える。投資費用を

$$C_I(p) \equiv (b/3)(\bar{p} - p)^3 \quad (3)$$

で表す。ただし、 b はパラメータである。

(2) モデルの登場人物

道路投資問題に関わる主体として国民と分析者の二人を考える。国民は、消費者余剰から投資費用を引いた社会的純便益を最大化する投資水準（一般化費用の水準）の選択を望んでいる。パラメータ a についての初期信念（主観的確率）を $P(\underline{a})$ および $P(\bar{a})$ で表すと、国民が解くべき最適道路投資問題は

$$\max_p [P(\underline{a})B(p, \underline{a}) + P(\bar{a})B(p, \bar{a}) - C_I(p)] \quad (4)$$

と定義できる。これを解くことで求められる最適投資水準および期待社会的純便益を $p^*(f)$ および $ESNB^*(f)$ と表す。なお、 f は以下で説明する需要予測が一切行われていないことを意味する記号である。

最適投資水準 $p^*(f)$ は、国民がパラメータ a について有する初期信念から導出されるものである。より精度の高い予測が可能であるならば適切な投資水準の選択を通じて期待社会的純便益が増加する。そこで、1) 国民には需要予測を行うことができないが、2) 分析者が需要予測を行うことができるため、3) 国民が分析者に対して需要予測を委託する状況を考えてみる。

分析者は調査を実施して、調査の結果として観察されたデータに基づいて需要予測を行う。調査で観測されるデータは \underline{d} もしくは \bar{d} の2種類のいずれかであり、パラメータ a と調査で観測されるデータ d の同時生起確率が表-1 で表される。ただし、 $q \in [0, 1]$ は調査の水準（質）を表す変数である。分析者が実施した調査の水準と調査で観測したデータを国民が確認することができないとの意味で、国民と分析者の間には情報の非対称性が存在する。

分析者にとって水準 q の調査費用は

$$C_S(q) \equiv cq^2 \quad (5)$$

*キーワード：公共事業評価法，財源・制度論，計画情報

**正員 工修 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻
〒113-0033 文京区本郷 7-3-1, TEL&FAX :03-5841-8093
e-mail: fukumoto@k.u-tokyo.ac.jp

表-1 同時生起確率

	\underline{d}	\bar{d}
\underline{a}	$(1+q)/4$	$(1-q)/4$
\bar{a}	$(1-q)/4$	$(1+q)/4$

と表される（ただし、 $c > 0$ はパラメータ）。分析者が調査を実施して需要予測を行う代価として国民から支払われる報酬が確率変数 w で表され、分析者の期待効用が

$$E_w[u(w)] - C_s(q) \quad (6)$$

と表される（ $E_x[\cdot]$ は確率変数 X に関する期待値オペレータ）。ただし、 $u(w)$ は危険回避的な効用関数であり、その逆関数は $j(u)$ で表されるものとする。分析者は次の参加制約条件

$$E_w[u(w)] - C_s(q) \geq 0 \quad (7)$$

が満たされる場合にのみ調査を引受ける。

(3) ファーストベスト解

以上の問題設定のもとでは、分析者が実施する調査に関して情報の非対称性が存在しないならば、国民は分析者に需要予測を委託することで期待社会的厚生（定義は後述）を増加させることができる。以下、この点を確認しておく。

分析者が水準 q の調査を実施した結果として、データ d が観測されたとする。この場合、最適道路投資問題は、

$$\max_p [p(\bar{a} | q, d)B(p, \bar{a}) + p(\underline{a} | q, d)B(p, \underline{a}) - C_I(p)] \quad (8)$$

と定義される。これを解くことで求められる最適投資水準および期待社会的純便益を $p^*(q, d)$ および $ESNB^*(q, d)$ で表す。一方、調査実施前の段階では、いずれのデータが観測されるか知りえない。表-1 から、いずれのデータが観測される確率も 0.5 で与えられることが確認できる。したがって、水準 q の調査実施前段階での期待社会的純便益は

$$ESNB^*(q) \equiv \{ESNB^*(q, \underline{d}) + ESNB^*(q, \bar{d})\} / 2 \quad (9)$$

と定義される。国民は、道路整備から享受する期待社会的純便益から分析者への期待報酬支払いを差し引いたものとして定義される期待社会的厚生の最大化する水準の調査の実施を分析者に要求するものとする。この時、対称情報下における最適調査問題を

$$\max_{q \in [0, 1], w} ESNB^*(q) - E_w[w] \quad (10)$$

$$s.t. \quad E_w[u(w)] - C_s(q) \geq 0 \quad (11)$$

と定義できる。式(10)は国民の目的関数（期待社会的厚生）、式(11)は分析者の参加制約条件である。これより最適調査水準および計画者への報酬が

$$q^* \equiv \min \left\{ (\bar{a} - \underline{a})^2 (\bar{a} + \underline{a}) / 24b^2c, 1 \right\} \quad (12)$$

$$w^* \equiv j(c(q^*)^3) \quad (13)$$

と求められる。式(13)から、対称情報下の最適契約

の下では分析者がリスクを負担しない定額報酬になることがわかる。

3. マニピュレーション抑止制度の代替案

情報の非対称性が存在する場合、分析者に調査・分析への労力を軽減するインセンティブが働くため、ファーストベスト解として得られた契約が機能しない。非対称情報下においてマニピュレーションを抑止する制度は複数考えられる。以下、前節のモデルに則して、リスク負担制度、トーナメント制度、繰返し取引制度、再交渉制度の4つを提案する。

(1) リスク負担制度

分析者への報酬が定額報酬である場合、分析者に調査・分析に労力をかけるインセンティブが働かない。インセンティブを働かすための最も単純なアイデアは、分析者への報酬が努力水準に比例して増大するようなメカニズムを設計することであろう。筆者らの先行研究では、分析者の報酬体系として、情報価値に基づく報酬体系（式(14)）と対数スコアに基づく報酬体系（式(15)）の2つを取り上げ、それぞれのもとで需要予測におけるマニピュレーションの抑止が可能になることを明らかにしている。

$$w_{\text{vor}}(a | q, d) \equiv j(rB(p^*(q, d), a) + s) \quad (14)$$

$$w_{\text{log } s}(a | q, d) \equiv j(r \log q(a | q, d) + s) \quad (15)$$

ただし、 r と s はパラメータ、 $q(a | q, d)$ は水準 q の調査でデータ d が観測された場合に状態 a が実現する予測確率である。分析者に事後的に支払われる報酬が情報価値に基づく報酬体系では事後的に実現する社会的純便益に比例しており、対数スコアに基づく報酬体系では事後的に実現した状態に対して事前の需要予測において付与された確率の対数に比例している。導出されたリスク負担制度の下では、分析者がファーストベスト解と同様に留保効用を享受する一方で、国民は危険回避的な分析者にリスクを負担させる分だけファーストベスト解よりも低い期待社会的厚生を享受する。

なお、リスク負担制度は契約理論におけるモラルハザードモデルを解くことで導かれるのだが、そこでのモデルは標準的なそれと比べて次の二点で異なっている。第一は、調査で得られるデータに関する不確実性と事後的に実現する状態に関する不確実性の2種類の不確実性に分析者が直面している点である。第二は、分析者の誘因整合性条件として、需要予測の分析結果の正直な報告に関する誘因整合性条件が課されている点である。この二点への対処の仕方を工夫することで様々なマニピュレーション抑止制度を設計することが可能になる。

(2) トーナメント制度

a) 着眼点

社会資本整備では、事業実施後の施設供用水準（施設利用者数など）が景気変動などの複数のプロジェ

表-2 同時生起確率

		分析者 2			
		\underline{a}, \bar{d}	$\underline{a}, \underline{d}$	\bar{a}, \bar{d}	\bar{a}, \underline{d}
分析者 1	\underline{a}, \bar{d}	$(1-q_1)(1-q_2)/8$	$(1-q_1)(1+q_2)/8$	0	0
	$\underline{a}, \underline{d}$	$(1+q_1)(1-q_2)/8$	$(1+q_1)(1+q_2)/8$	0	0
	\bar{a}, \bar{d}	0	0	$(1+q_1)(1+q_2)/8$	$(1+q_1)(1-q_2)/8$
	\bar{a}, \underline{d}	0	0	$(1-q_1)(1+q_2)/8$	$(1-q_1)(1-q_2)/8$

クトに共通した不確実性の影響を受けやすい。リスク負担制度のもとでは個々の事業ごとに最適契約が結ばれるため、危険回避的な分析者には、それらの影響を的確に予測すると同時にリスクの一部を負担することが求められる。しかし、各々の分析者がマクロ的な要因で生じるリスクを個別に負担することが望ましいかは定かではない。そこで、分析者の需要予測のパフォーマンスを相対的に評価する制度（以下、トーナメント制度と呼ぶ）の利用可能性が考えられうる。

b) 舞台設定

ここでは、次の状況を想定する。ある時点において、2. で提示された社会基盤施設整備事業が2つ実施される。国民は2つの社会基盤施設整備に共通しており、それぞれの事業から得られる期待社会的純便益の和の最大化を試みる。国民はそれぞれの事業の需要予測を異なる分析者に委託する。事業実施の結果として実現するパラメータ a が2つの事業に共通しているとの意味で、景気変動の影響は2つの事業に共通している。一方、調査で観測されるデータ d は2つの事業間で独立しており、それぞれの分析者は他の分析者が観測したデータを知ることはできない。パラメータ a とデータ d の同時生起確率は表-2 で表される。なお、本節では右下添字は分析者 $i \in \{1, 2\}$ を表す。

c) トーナメント制度の契約

国民が分析者に次の契約を提示する状況を考える。第一に、国民は各分析者に調査水準 q_i を指定する。第二に、国民は各分析者に調査の結果として観測されたデータ d とパラメータ a についての需要予測の結果 $q_i(a | d_i)$ を報告させる。ただし、 d_i は分析者 i が報告するデータ、 $q_i(a | d_i)$ はパラメータ a について分析者 i が報告する条件付き確率である。第三に、国民は分析者からの報告結果に基づいて各事業の投資水準を決定する。第四に、報告された需要予測の分析結果が表-2 から導出される事後確率と整合しており、事後的に観測されたパラメータ a について $q_i(a | d_i) \geq q_j(a | d_j)$ が成立する場合、分析者 i に報酬

$$w^H = j(u^H - e(q_i(a | d_i) - q_j(a | d_j))^2) \quad (16)$$

を支払い、それ以外の場合に報酬

$$w^L = j(u^L) \quad (17)$$

を支払う。

d) トーナメント制度の性質

トーナメント制度の性質について分析すると、次の5点が確認される。第一は、分析者 i の分析結果の報告に関する最適戦略が

$$q^i(a | d) = q^j(a | d) \quad (18)$$

と横並び戦略になることである。第二は、 e が0に限りなく近い微小な正の数になることである。第三は、分析者の期待効用が留保効用水準に等しくなることである。第四は、 $q < 1$ の場合には国民の期待社会的厚生が分析者にリスクの一部を負担させる分だけファーストベスト解より低くなることである。第五は、最適調査水準が $q = 1$ の場合、常に共通のデータが観測されるために同一の需要予測が行われる一方で、需要予測のパフォーマンスが相対評価されるために分析者がリスクを一切負担せず、ファーストベスト解が達成されることである。

(3) 繰返し取引制度

a) 着眼点

社会基盤施設整備の需要予測をめぐる実際の契約では、過去に実施した需要予測のパフォーマンスに応じて新たな業務の発注の是非が検討されている。すなわち、国民と分析者の間で繰返しゲームが行われているとみなせる。以下、取引引きが繰り返される状況で機能するマニピュレーション抑止制度（以下、繰返し取引制度）について検討する。

b) 舞台設定

ここでは、次の状況を想定する。ある時点において、2. で提示された社会基盤施設整備事業が n 個実施される。国民は期待社会的純便益の最大化を目的として同一の分析者に需要予測を委託する。分析者は各事業毎に調査を実施してデータ d_i を観測し、需要予測の結果 $q_i(q | d_i)$ を報告する。データ d_i とパラメータ a_i の同時生起確率は表-1 のとおりであり、それぞれの事業毎に独立している。第 $t+1$ 期の期首に第 t 期に実施された事業 i について実現したパラメータ a_i が明らかになる。分析者は時間選好率 d を有しており、各期に享受できる効用の割引現在価値を目的関数として行動する。なお、本節では右下添字は事業 $i \in \{1, \dots, n\}$ を表す。

c) 繰返し取引制度の契約

国民と分析者の間で次の繰返しゲームが行われる状況を考える。第一に、国民は分析者に対して定額報酬 w を支払って需要予測を委託する。委託に際して調査水準 q を指定する。第二に、国民は分析者に対して調査の結果として観測されたデータ d_i とパラメータ a_i についての需要予測の結果 $q_i(q | d_i)$ を報告させる。第三に、国民は分析者からの報告結果に基づいて各事業の投資水準を決定する。第四に、第 $t+1$ 期に第 t 期に実施された全事業の平均便益を計測する。平均便益が次のトリガー条件

$$\left| ESNB(q) - \frac{1}{n} \sum_{i \in \{1, \dots, n\}} B(p^*(q, d_i), a_i) \right| < Tr \quad (19)$$

表-3 マニピュレーション抑止制度の比較

	リスク負担制度	トーナメント制度	繰返し取引き制度	再交渉制度
分析者の期待効用	0 (= 留保効用水準)	0 (= 留保効用水準)	正 (> 留保効用水準)	0 (= 留保効用水準)
分析者が負担するリスク	データと将来状態	データのみ	なし	データのみ
分析者への誘因付け	報酬と運動(絶対評価)	報酬と運動(相対評価)	報酬と運動(将来取引)	報酬と運動(絶対評価)
期待社会的厚生 (リスク負担制度との比較)	-	?	?	リスク負担制度より常に大
ファーストベスト解との一致条件	一致しない	最適調査水準においてデータと将来事象が一对一対応	各時点の事業数が時間選好率が1に近い	一致しない
制度を支える前提条件 (リスク負担制度との比較)	-	きわめて類似した事業が2つ実施されること	複数の事業が每期実施されること	国民が必要予測の分析内容を確認すること

を満たす場合には第 $t+1$ 期に実施する事業の需要予測についても同一の分析者に再度委託する。一方、トリガー条件を満たさない場合には別の分析者に委託する。ただし、 $Tr > 0$ はパラメータである。

d) 繰返し取引き制度の性質

繰返し取引き制度の性質について分析すると次の5点が確認される。第一に、パラメータ Tr が十分に小さければ需要予測の分析結果の報告に関する誘引整合性が確保されることである。第二に、分析者の個人合理性条件が不等号で満たされなければならず、分析者が留保効用水準以上の効用を常に享受することである。第三に、一般に個人合理性条件が厳密に不等式で成立するため、国民の期待社会的厚生がファーストベスト解よりも低くなることである。第四に、各時点で実施されるプロジェクト数が無限大に近づくことと大数の法則より任意の正のパラメータ Tr についてトリガー条件が満たされることである。第五に、分析者の時間選好率が十分に1に近く、プロジェクト数が無限大に近づく場合、国民が享受する期待社会的厚生がファーストベスト解に収束することである。

(4) 再交渉制度

a) 着眼点

社会基盤施設整備の場合、需要予測を行ってから施設供用後の施設利用水準が明らかになるまでに相当な長期間を要する。また、近年では需要予測の分析内容の情報公開が進められている。今後、需要予測の分析結果の報告後に国民によって分析内容が適切かどうかを確認する作業が行われる可能性が少なくない。この場合、事前にリスク負担制度が採用されていたとしても、分析内容が確認された段階で国民と分析者の間で事前の契約内容を見直される可能性がある。以下、事後的な再交渉が行われる状況において機能するマニピュレーション抑止制度(以下、再交渉制度)について検討する。

b) 舞台設定

ここでは、次の状況を想定する。ある時点において、2. で提示された社会基盤施設整備事業が1つ実施される。国民は期待社会的純便益の最大化を目的として分析者に需要予測を委託する。国民は分析者から分析結果が報告された段階において、分析内容をゼロの費用で確認可能であり、分析者に対して再契約をオファーすることができる。

c) 再交渉制度の契約

国民が分析者に次の契約を提示する状況を考える。第一に、国民は分析者に対してリスク負担制度における最適契約を提示する。第二に、分析者は調査で観測されたデータと需要予測の分析結果を報告する。第三に、国民は分析内容を確認し、分析者に対して take-it or leave-it 式の再契約をオファーする。

d) 最適契約

再交渉制度について分析すると次の4点が確認される。第一は、再交渉段階で調査で観測されたデータに依存した次の定額報酬

$$\bar{w}(d) \equiv j(E_a[u(w(a|q, d)) | q, d]) \quad (20)$$

がオファーされることである。第二は、分析者の期待効用が留保効用水準に等しくなることである。第三は、国民の期待社会的厚生がリスク負担制度の場合よりも常に増加することである。第四は、調査で観測されるデータのリスクの一部は分析者が負担するためファーストベスト解は依然として達成されないことである。

4. マニピュレーション抑止制度の比較

本研究で取り上げた4つのマニピュレーション抑止制度の性質を比較した結果は表-3に示されておりである。具体的な制度設計に向けての知見としては、1) 再交渉制度とリスク負担制度を比較した場合、前者が後者よりも常に高い期待社会的厚生を達成できるという点において優越している、2) トーナメント制度と繰返し取引き制度は特殊な状況においてファーストベスト解を達成できる、という二点を確認できる。しかしながら、一般的なケースにおいていずれの制度が優れているかは不明である。

現時点では、今後の課題として、制度の実行可能性、実証研究の分析結果から得られる知見、現在の制度からの変更可能性、などの様々な視点から複数のマニピュレーション抑止制度を相対的に比較検討することで、制度設計にむけての有益な知見を探ることを考えている。

参考文献

1) 福本潤也・土谷和之 需要予測におけるマニピュレーション抑止の制度設計に関する研究, 土木学会論文集, 2003 (投稿中)