

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

福本潤也¹・土谷和之²

¹正会員 工博 東京大学助手 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)

²正会員 工修 三菱総合研究所研究員 社会システム研究本部 (〒100-8141 千代田区大手町2-3-6)

公共事業をめぐる需要予測において、故意に需要を過大推計するマニピュレーションが行われてきたとの社会的批判が、最近、特に強まっている。本研究では、需要予測におけるマニピュレーションを抑止する制度のあり方について考察する。具体的には、1) 需要予測における一連の手続きをプリンシパル・エージェント・モデルとして定式化し、2) 最適契約を理論的に導出し、3) 分析結果に意味解釈を加えることで具体的な制度設計についての知見を得ることを試みる。分析結果から、需要予測に携わる主体への報酬を事業の事後的な社会的純便益もしくは事業実施後に観察される交通量の事前予測確率のいずれかに連動させる制度がマニピュレーションの抑止に有効であることが明らかにされる。

Key Words : demand forecast, manipulation, principal=agent, value of information, scoring rule

1. はじめに

1997年の総理大臣通達を契機に公共事業の評価制度が導入された¹⁾。欧米諸国と比較して導入が遅れた感否めないものの、わが国でも事業評価の制度化が着実に進められている。

ただし、公共事業の評価制度が十分な社会的信頼を勝ち得ているわけではない点に注意する必要がある。その理由は多数ありうるが、最も大きな理由の一つとして、事業評価の前段において不可避である需要予測の精度が高くないことが挙げられる。表-1は地方空港の需要予測と旅客実績を整理したものであるが、予測値と実績値が大きく乖離している様子が見取れる。マスコミなどによって過大な需要予測の事例の数々が明らかにされ、需要予測において故意に過大推計する恣意的操作(マニピュレーション)が行われていたのではないかと疑念が盛んに喧伝された。結果として、需要予測や事業評価に対する社会的信頼は大きく低下した。

需要予測や事業評価に対する社会的信頼を回復することは、事業計画主体が説明責任を果たしていく上でも喫緊の課題といえる。そのために最も有効な手段は需要予測の精度を高めることであろう。しかしながら、社会経済現象を正確に予測することは一般に困難であり、事後的に予測値と実績値に少なからぬ乖離が生じるのはやむを得ないのも事実である。筆者らは、この問題に対処するには、次の2つの対応が有効であると考えている²⁾。一つは、現在の土

木計画学における需要予測研究の最先端の成果を社会に対して示すとともに、個々の需要予測の場面では予測の精度などを明記することである³⁾。もう一つは、仮に著しく過大・過小な需要予測を行ったことが事後的にでも判明したならば何らかのペナルティが課される制度を設計することである。前者は、正確な予測の困難性を社会に正しく理解してもらうことを目的としたもの、後者は、需要予測におけるマニピュレーションの抑止を目的としたものである。後者の主張に対しては、「多くの分析者は真摯な態度で需要予測に取り組んでおり、マニピュレーションなど行っていない」との反論がありえよう。しかし、昨今の公共事業批判の前では、そうした反論は無力でもある。筆者らは、仮に分析者が利己的であっても、マニピュレーションを行うインセンティブが働かないような制度を確立し、その存在を社会に示していくことが必要であると考えている。

表-1 地方空港の需要予測と旅客実績(1999年実績)
(単位:万人,%)

| 空港(所在地) | 予測 | 実績 | 割合 |
|-----------|-----|-----|----|
| 旭川(北海道) | 163 | 106 | 65 |
| 中標津(北海道) | 41 | 24 | 65 |
| 大館能代(秋田) | 47 | 15 | 32 |
| 秋田(秋田) | 165 | 120 | 73 |
| 花巻(岩手) | 75 | 53 | 71 |
| 松本(長野) | 31 | 19 | 61 |
| 南紀白浜(和歌山) | 28 | 13 | 46 |
| 石見(島根) | 51 | 15 | 29 |
| 佐賀(佐賀) | 74 | 34 | 46 |

出所:中山(2001)⁴⁾

以上の問題意識のもと、本研究では、需要予測におけるマニピュレーション抑止に寄与する制度のあり方について考察することを目的とする。具体的には、1) 需要予測における一連の手続きをプリンシパル・エージェント・モデルとして定式化し、2) 1)のモデルを解いて最適契約を導出し、3) 2)の分析結果に意味解釈を加えたり、2)の分析の前提条件を批判的に考察することで、具体的な制度設計についての知見を得ることを試みる。

論文の構成は次のとおりである。2. では既存研究の整理および本研究の位置づけの確認を行う。3. では最適契約問題を定式化する前段として基本モデルの枠組みを提示する。4. では対称情報下での最適契約問題を解く。5. と6. ではモラル・ハザードおよび逆選択の側面に着目し、非対称情報下での最適契約問題を解き、制度設計の指針についての考察を行う。7. では数値実験を行う。8. では研究成果を総括し、今後の課題について展望する。

2. 本研究の基本的立場

(1) 需要予測をめぐる依頼人＝代理人関係

社会基盤施設の多くは公共財的な性質を有している。市場メカニズムを通じて十分に整備されないため、公的部門による介入が一般に求められる。公的部門のなかでも最も大きな役割を果たしているのは公共事業を所掌する行政である。行政は、事業代替案の設計、代替案の評価、実施代替案の決定、事業の実施や監督といった一連の手続きの各段階において主要な役割を担っている。行政が社会基盤施設に関わることの大きな利点の一つは、彼らが社会基盤施設整備について深い知識や技能を有していることである。依頼人としての国民から代理人としての行政に合理的な社会基盤施設整備の計画や実施が委託されていると捉えられる。

ただし、行政も公共事業の利害関係者である。行政に対しては、組織的に予算獲得や裁量権確保を目的として行動するインセンティブが働いているとの指摘がなされている⁹⁾。計画主体にとって望ましい代替案が国民にとって望ましい代替案と一致する保証はない。この問題に対処するための一つの方策は需要予測や事業評価に関する制度を導入し、分析の実施や分析結果の情報公開を義務付けることである。これにより、国民が行政の行動を監視できるようにすると期待される。

残念ながら、そうした制度を導入したとしても国民が行政の行動を十分に監視できるようになる保証はない。その根本的な原因としては、需要予測や事業評価の分析内容が一般に複雑である点が挙げられる。分析内容が複雑であるため、需要予測や事業評

価を実施する分析者には分析に用いるデータやモデルを操作する場面において大きな裁量の範囲が与えられている。行政が分析を行う場合、彼らは分析に用いるデータやモデルを恣意的に選択することで自らに都合のよい結果を算出することができる。国民がそれらの分析内容を十分に理解していない場合には、分析結果の情報公開が行われたとしてもマニピュレーションの有無を確認することは容易ではない。事後的に需要予測が外れていたことが判明した場合でも、それが行政のマニピュレーションによるものなのか、あるいは分析手法の限界によるものなのかを判断することも容易ではない。結局のところ、情報の非対称性が存在する場合には、行政のマニピュレーションを発見することは容易でないといえる。

現実には行政ではなくコンサルタントなどの第三者が需要予測や事業評価に関する分析を行っている。彼らは社会基盤施設整備の直接的な利害関係者ではない。そのため、行政ほどには分析内容を恣意的に操作するインセンティブが働かないと考えられる。しかし、わが国では需要予測や事業評価の業務を発注する立場にある行政がそれらの業務を受注する立場にあるコンサルタントに対して強い権限を有していると指摘されている。コンサルタントなどの第三者が分析を実施する場合であっても、行政にとって都合のよい分析結果を算出すべくマニピュレーションが行われている危険性は残されている。

(2) マニピュレーション抑止への方策

需要予測や事業評価に関する制度を導入することの大きな目的は、国民と行政の間での社会基盤施設整備をめぐる依頼人＝代理人関係を有効に機能させることにある。しかし、実際には需要予測や事業評価の実施に行政が大きく携わっており、国民と行政との間に需要予測や事業評価をめぐる新たな依頼人＝代理人関係が生み出されている。需要予測におけるマニピュレーション問題は、上述の2つの依頼人＝代理人関係のうち、基本的には後者に内在する問題といえる。もちろん、2つの依頼人＝代理人関係のうち前者の社会基盤施設整備をめぐる関係を見直すこと（例えば、政治過程の見直しを通じた政治家による行政の監視機能の強化、行政の組織構造の見直しを通じた予算や裁量権の組織的な追求行動の抑制、PFI制度の導入を通じた行政の活動領域の縮小など）で、需要予測のマニピュレーション問題を未然に防ぐことは可能である。しかし、それには本研究を包含するより大きな問題についての議論が必要になる。社会基盤施設整備をめぐる国民と行政の依頼人＝代理人関係の見直しについては機会をあらためて議論することとし、以下では、需要予測をめぐる依頼人＝代理人関係の見直しを通じてマニピュレーションを抑止する方策に議論の焦点を絞りたい。

さて、一口に国民と行政の需要予測をめぐる依頼人＝代理人関係の見直しといっても、様々な対応策が考えられる。例えば、需要予測の分析結果を監査する機関を設置することや、需要予測を行政の影響力が及びにくい第三者機関や専門家機関に分析を委託することが考えられる。これらは国民と行政の他に新たな主体を取り入れることで問題に対処する方策といえる。一方、現行の依頼人＝代理人関係を維持したままで問題に対処する方策もあり得る。具体的には、需要予測のマニュアル化を通じて分析者の裁量に委ねられる部分を小さくする方策や、分析者にマニピュレーションを行うインセンティブが生じない報酬メカニズムを導入する方策などである。

ここで取り上げた方策は、いずれも一長一短を有していると考えられる。マニピュレーションの抑止に向けては、それぞれの制度の特徴を理解したうえで適切な制度を設計していく必要がある。様々な対応策が考えられるが、本研究では需要予測の分析者に対する報酬を適切に設計することでマニピュレーションを未然に防ぐ制度を取り上げて分析する。

(3) 需要予測における情報の非対称性

マニピュレーションを抑止する制度について検討する場合、国民と行政の間に存在する情報の非対称性に注意する必要がある。需要予測や事業評価の分析結果を情報公開することで、非効率的な事業の実施が未然に防がれるとともに、事業の影響や効果に関して関係主体間に存在する情報の非対称性が解消・緩和されると期待される。しかし、需要予測や事業評価の実施に起因して新たな情報の非対称性が同時に発生する。例えば、情報公開が十分に進まない場合には、分析結果の導出過程をめぐる情報の非対称性が発生する。また、情報公開が十分に進んだとしても、分析内容を理解する能力に格差が存在するならば分析内容をめぐる情報の非対称性が発生する。これらの非対称性に起因して分析内容が批判的に検討されることが少なくなるとも予想され、結果として、分析者に作業労力を節約するインセンティブや、分析結果を恣意的に操作するインセンティブが生まれる危険性が生まれる。情報の非対称性に起因して分析者の分析能力が外部からの確に評価されなくなるとも予想される。その場合には、分析者に分析能力を向上するインセンティブが働かなくなる危険性や、需要予測に関する研究成果が有効に活用されなくなる危険性が生まれる。

(4) 予測の契約理論

契約の経済理論^{6)・9)}では、プリンシパル・エージェント・モデル(依頼人代理人モデル)と呼ばれるモデルを用いて、主体間に情報の非対称性が存在する状況下で最も効率的に仕事を遂行する制度のあり方

についての分析が進められてきた。契約の経済理論は、予測作業における情報の非対称性に対処するための制度設計にも適用することが可能であり、既にいくつかの有益な研究成果が生み出されている^{10)・13)}。そこでは、ベイズ理論に基づいた需要予測を念頭に、事前の予測値と事後の実績値の乖離に応じて分析者への報酬を変化させるメカニズムについての理論的な検討が行われてきた。筆者らも、それらの研究を援用することで事業評価における事前評価と事後評価の関係について考察した¹⁴⁾。ただし、予測の契約理論を土木計画における需要予測問題に適用した研究は、それ以外に存在しない。本論文では土木計画学における交通需要予測問題を念頭に置きながら、需要予測の分析者に対する報酬メカニズムの設計を通じてマニピュレーションを抑止する制度のあり方について考察する。

(5) ベイズ理論と需要予測

予測の最適契約の分析枠組みを採用する場合、ベイズ理論に基づいて需要予測が行われることが前提となる。ベイズ理論は分析枠組みこそ明快であるものの、事後分布算出などの数値的処理が必ずしも容易でない。そのため、ベイズ理論に基づいた需要予測は、これまでの土木計画学において十分に活用されてこなかった¹⁵⁾。ただし、近年は計算機の処理能力向上とともに数値処理の問題は著しく緩和している¹⁶⁾。需要予測の精度を明記したり、様々な交通統計調査を合理的に設計していくうえでベイズ理論に基づいた需要予測が有効であることは、既に筆者らの別の論文³⁾で指摘している。本論文では、それとは異なり、最適契約として導出される制度の有効性を示唆することで、ベイズ理論に基づいた需要予測の有効性を主張する。

(6) 予測と計画の関係

筆者らは、別の論文³⁾において、土木計画学で行動モデルを用いた分析を行う場合、政策代替案の評価までの一連のプロセスを意識する必要があると主張した。確かに、土木計画学が対象とする社会基盤施設整備事業では、予測の分析結果をもとに費用対効果分析等を行ってから事業代替案を決定するケースが少なからず存在する。予測結果と実施政策の関係が明確である場合には、「(需要)予測の制度設計」を「(事業)評価の制度設計」と呼び変えても差し支えない。ただし、事業評価を必ずしも伴わないものの、社会基盤施設整備に重大な影響を及ぼす予測作業も存在する。例えば、個々の社会基盤施設整備の影響分析の場面でコントロールトータルとして用いられる域内総人口や域内総交通量などの数量の予測がそれに該当する。本論文では、こうした予測作業におけるマニピュレーション抑止制度の必要性も強く意識して

おり、「(事業)評価の制度設計」ではなく、あくまで「(需要)予測の制度設計」に取り組む。

3. モデル

(1) モデル化の視点

本研究では需要予測の分析者に対する報酬を適切に設計することでマニピュレーションを未然に防ぐ制度のあり方について分析する。2. での議論を踏まえ、需要予測をめぐる依頼人＝代理人関係、需要予測の分析手続き、需要予測の予測精度、需要予測をめぐる情報の非対称性といった視点を表現可能なプリンシパル・エージェント・モデルを構築する。以下のモデルは筆者らの既存研究¹⁴⁾を参考としたものである。ただし、需要予測における分析能力の違いが表現可能になっている点で既存研究からの拡張が図られている。その結果、分析能力の違いによって需要予測の最適契約がいかに変化するかといった点や、需要予測の最適契約が分析能力向上のインセンティブに及ぼす影響を及ぼすかといった点についても議論することが可能になっている。後者は土木計画学において非常に重要な論点である。ここでの拡張には一定の意義があると考えられる。

(2) モデルの登場人物

モデルの登場人物として、国民と計画主体の2つを考える。国民は事業を通じて建設される交通基盤施設から便益を享受する主体、計画主体は実際の交通基盤施設整備を計画・実施する主体である。後者の具体例としては、公共事業関連部局と、当該部局から事業評価の委託を受けるコンサルタントなどが一体化した組織を想定している。2. (1) でも指摘したとおり、わが国では行政がコンサルタントに対して強い権限を有していると考えられる。ここでの想定に特段の問題はないものとする。

国民と計画主体の行動規範および取り巻く環境については以下の状況を考える。国民はパラメータ $\lambda \in \Lambda \subset \mathbb{R}^M$ と公共事業の代替案 $a \in A$ によって定まる社会的純便益 $B(\lambda, a)$ の最大化を目的としているものとする。パラメータ λ は確率変数のベクトルの実現値であり、需要予測に用いられるパラメータを表している。需要関数を規定する所得・価格・時間弾力性といったパラメータの他に、将来交通量の推計に用いられる人口成長率や GDP 成長率といったマクロ状態変数の予測値などを想定している。交通量 $x \in X$ とパラメータ λ 、代替案 a の間には関数関係 $x = f(\lambda, a)$ が成立しており、国民と計画主体のそれぞれがこの関係式、いわゆる交通モデルを正しく把握しているものとする。現実には複数の交通モデルが存在し、交通モデルに関する国民と計画主体の

情報の非対称性も小さくはない。ここでの想定が些か非現実的なものであるのは事実だが、ひとまず以上の想定を採用することにしたい。この問題については8. であらためて議論する。

事業実施後に実現する交通量は大きな不確実性を有しており、事業実施前に正確に予測することは困難である。ただし、誰しもが経験的に何らかの予測を行っていると考えられる。そこで、国民と計画主体はパラメータ λ について事前密度関数 $p_\lambda(\lambda) \in \mathcal{F}$ で表される信念を、代替案 a が実施される場合の交通量 x について事前密度関数 $p_x(x|a) \in \mathcal{F}$ で表される信念を抱いているものとする (\mathcal{F} は確率密度関数の集合)。また、国民と計画主体は非合理的な予測を行っておらず、 $p_\lambda(\lambda)$ と $p_x(x|a)$ は関係式

$$p_\lambda(\lambda) = p_x(x|a) |df(\lambda, a)/d\lambda| \quad (1)$$

を満たす整合的な信念であるとする。以上の準備のもと、国民の代替案選択問題が、

$$\max_{a \in A} E_\lambda[B(\lambda, a)] \quad (2)$$

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、この基準は国民の初期信念に基づいたものである。パラメータ λ について精度の高い情報が得られるならば、より大きな期待社会的純便益を実現する代替案の選択が可能になる。需要予測とはパラメータ λ や交通量 x を正確に予測するための分析であり、合理的な代替案選択に寄与すると期待される。ただし、国民が自ら需要予測を行うことは一般に困難である。そこで、国民が計画主体に需要予測の実施を委託する状況を想定する。

本研究では、需要予測を「新たな調査を実施してデータセット $d(l) \in D$ を観測し、パラメータ λ と交通量 x についての信念を事前密度関数 $p_\lambda(\lambda)$ および $p_x(x|a)$ から、事後密度関数 $p_\lambda(\lambda|d(l))$ および $p_x(x|a, d(l))$ へとベイズ更新すること」と定義する。データセット $d(l)$ は水準 $l \in L = [\underline{L}, \bar{L}] \subset \mathbb{R}$ の調査を実施することで観測されるデータであり、国民と計画主体が事前密度関数 $p_{a(l)}(d(l)) \in \mathcal{F}$ で表される信念を抱いている確率変数のベクトルの実現値である。調査の具体例としては、交通需要関数の所要時間弾力性や価格弾力性を決めるための交通量調査や将来人口成長率や GDP 成長率を決めるための各種調査 (各種政府機関が実施した分析結果のサーベイなども含む) を想定している。計画主体の需要予測 (調査と分析の両方を含む) に要する費用は効用タームで $c\psi(l)$ と表されるものとする。 $\psi(\cdot)$ は調査・分析の標準費用関数、 $c \in C \subset \mathbb{R}_+$ は調査・分析の費用効率性を表すパラメータである。

ここで、交通量 x は立証可能な変数であるが、パラメータ λ は立証不可能な変数であるとする。立証

可能であるとは裁判所等の第三者が検証可能との意味である。立証不可能な変数については、その変数に依存した契約事項を契約に盛り込んでも、契約不履行に対する対抗力が不十分であるために契約が遵守されない危険性がある。交通量は事後的に観察することも裁判所等が検証することも比較的容易である。一方、価格弾力性や所得弾力性などの値は事業実施後に交通量等が観察されたとしても裁判所が検証することは一般に困難である。交通量とパラメータの立証可能性に関する以上の仮定は妥当なものであると考えられる。

計画主体は国民との契約に基づいて需要予測を実施し、需要予測の対価として報酬を受け取るものとする。計画主体の報酬については、需要予測に携わる分析者へのコンサルタント料などの他に、公共事業を担当する行政部局の予算や裁量権の増減などを想定している。代替案 a が実施されて事後的に交通量 x が観測された場合に受け取る報酬を交通量 x に依存した関数 $\omega(x, q_x(\cdot|a), \tilde{c}) \in \mathbb{R}$ で表す。ただし、 $q_x(\cdot|a) \in \mathcal{F}$ は、計画主体から国民に報告される需要予測の分析結果を表す確率密度関数である。これまでの表記に従えば $q_x(x|a)$ と書くべきだが、ある交通量 x の実現確率 $q_x(x|a)dx \in [0,1]$ との違いを明確に表現するために $q_x(\cdot|a)$ としている。 $\tilde{c} \in C$ は契約段階で計画主体から国民に対して伝えられる計画主体の調査・分析の費用効率性である。計画主体が報酬から得る効用は $u(\omega)$ で表されるものとする。結果的に、計画主体が報酬 ω と調査水準 l の調査と分析の実施から獲得するペイオフが

$$u(\omega) - c\varphi(l) \quad (3)$$

と表され、計画主体の調査水準の選択と分析結果の報告に関する最適化問題が

$$\max_{l \in L, q_x \in \mathcal{F}} E_{d(l)}[E_x[u(\omega(x, q_x(\cdot|a)))] - c\varphi(l)] \quad (4)$$

と表される。

(3) モデルの流れ

モデルの流れは、図-1に示される8段階のイベントからなる。

【第一ステージ：費用効率性の決定】

計画主体の調査・分析の費用効率性が決定。

【第二ステージ：代替案と契約の提示】

国民がプロジェクトの代替案集合 A と契約 (ω, \tilde{l}) を提示。契約には、国民が計画主体に実施を要求する調査水準 $\tilde{l}: C \mapsto L$ (s.t. $\tilde{l}(\tilde{c})$) と報酬体系 $\omega: X \times \mathcal{F} \times C \mapsto \mathbb{R}$ (s.t. $\omega(x, q_x(\cdot|a), c)$) が記されている。

【第三ステージ：契約の選択】

留保効用 $\underline{U} \in \mathbb{R}$ 以上（未満）の効用を獲得できる

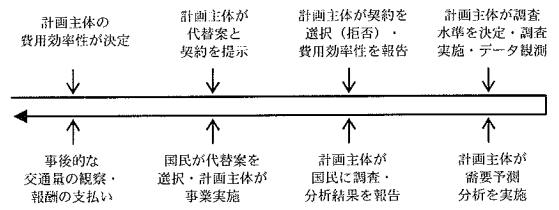


図-1 モデルの流れ

と判断した場合、計画主体が国民に費用効率性 \tilde{c} を報告し、契約を選択（拒否）。

【第四ステージ：調査の実施】

計画主体が調査水準 l の調査を実施、データセット $d(l)$ を観測。

【第五ステージ：需要予測分析の実施】

計画主体が需要予測分析を実施して、交通需要関数のパラメータと交通量に関する確率密度関数 $p_\lambda(\lambda|d(l))$ および $p_x(x|a, d(l))$ を算出。

【第六ステージ：調査・分析結果の報告】

計画主体が調査・分析結果を国民に報告。報告内容は、実施した調査水準 $\tilde{l}(\tilde{c})$ 、調査で観測されたデータ $\tilde{d}(\tilde{l}(\tilde{c}))$ 、需要予測の分析結果 $q_\lambda(\lambda)$ および $q_x(x|a)$ の4つ。ただし、報告されるデータセットと分析結果の間に矛盾はないものとする。すなわち、 $q_\lambda(\lambda) = p(\lambda|\tilde{d}(\tilde{l}(\tilde{c})))$ かつ $q_x(x|a) = p_x(x|a, \tilde{d}(\tilde{l}(\tilde{c})))$ 。

【第七ステージ：代替案の選択と事業の実施】

国民が計画主体からの需要予測の報告結果に基づいて期待社会的純便益を最大化する代替案 a^* を選択。計画主体が事業を実施。

【第八ステージ：交通量の判明と報酬の支払い】

事業実施後の交通量 x が観測され、事前に規定された契約に従い、国民から計画主体へ報酬 $\omega(x, q(\cdot|a^*), \tilde{c})$ が支払われる。

以上のイベントの流れの中で、国民は、①計画主体の費用効率性 c 、②計画主体が実施した調査水準 l 、③計画主体が調査で獲得したデータセット $d(l)$ 、④需要予測の分析結果 $p_\lambda(\lambda|d(l))$ と $p_x(x|a, d(l))$ の4つについて真の情報を観察することができない。すなわち、国民と計画主体の間には情報の非対称性が存在している。しかも、計画主体には調査費用を節約したり、偽りの分析結果を報告することで高い報酬を得ようとするインセンティブが働いている。その結果、 $\tilde{l}(\tilde{c}) = l$ 、 $\tilde{d}(\tilde{l}(\tilde{c})) = d(l)$ 、 $q_\lambda(\lambda) = p_\lambda(\lambda|d(l))$ 、 $q_x(x|a) = p_x(x|a, d(l))$ が常に成り立つ保証はない。国民は契約 (ω, \tilde{l}) を設計することで、計画主体に対して、適切な水準の調査を実施して正しい分析結果を報告するインセンティブを与えなければならない。

(4) 追加的な仮定

解析的に分析を行うために、上述の想定に加えて、分析の簡単化のために以下の仮定を追加する。

代替案の集合 A については、ひとまず一次元上の選択問題であると仮定する。社会的純便益は代替案 a について連続・微分可能であるとし、 $\partial B/\partial a > 0$ を仮定する。公共事業の場合、一般に代替案が離散的であるため、ここでの想定はやや限定的なものといえる。ただし、分析の帰結には大きく影響しないので分析の簡単化を優先する。調査水準についても、一次元上の選択問題であると仮定する。具体的には、 $l \leq l'$ を満たす任意の2つの調査 $l, l' \in L$ に関して、調査水準 l の調査で観測されるデータは調査水準 l' の調査でも全て観測されるものとする。

関数関係 $x = f(\lambda, a)$ については、任意の $a \in A$ について、 Λ から X への一対一対応の写像であると仮定する。一つの x に複数の λ が対応する場合、観察可能・立証可能な変数 x に依存した報酬体系のもとで、 x については計画主体に真の報告を行うインセンティブを与えられるのに対して、 λ については真の報告を行うインセンティブを与えられない、すなわち、

$$[q_\lambda(\lambda) \neq p_\lambda(\lambda|d(l))] \& [q_x(x|a) = p_x(x|a, d(l))] \quad (5)$$

となる可能性がある。その場合には分析が複雑になり、解析的に分析結果を導出することが困難になる。上記の一対一対応の仮定は式(5)のケースを排除するためのものである。

報酬からの効用については、計画主体は危険回避的であり、 $\partial u/\partial \omega > 0$ 、 $\partial^2 u/\partial \omega^2 < 0$ を満たすと仮定する。関数 $u(\cdot)$ の逆関数 $\varphi(\cdot)$ を定義すると、効用関数についての仮定から $\partial \varphi/\partial u > 0$ 、 $\partial^2 \varphi/\partial u^2 > 0$ が成り立つ。計画主体の報酬 $\omega(x, q_\lambda(\cdot|a), \bar{c})$ は、観察可能・立証可能な変数の実現値 x 、報告された分析結果 $q_\lambda(x|a)$ 、報告された計画主体の費用効率性 \bar{c} に依存している。ただし、上記の x と λ の一対一対応の仮定のもとでは、報酬関数 $\omega: X \times \mathcal{S} \times C \mapsto \mathbb{R}$ を、パラメータ λ 、報告された分析結果 $q_\lambda(\cdot)$ 、報告された計画主体の費用効率性 \bar{c} に依存した関数として定義し直すことが可能である。そこで、報酬関数を $\omega: \Lambda \times \mathcal{S} \times C \mapsto \mathbb{R}$ *s.t.* $\omega(\lambda, q_\lambda(\cdot), \bar{c})$ と再定義し、以下の分析ではこちらの報酬関数を用いる。調査・分析の費用関数について、 $\partial \psi/\partial l > 0$ 、 $\partial^2 \psi/\partial l^2 > 0$ 、 $\psi(\underline{l}) = 0$ 、 $\partial \psi/\partial l|_{l=\underline{l}} = 0$ 、 $\partial \psi/\partial l|_{l=\bar{l}} = \infty$ を仮定する。これらは、最適契約における調査水準が内点解になるための十分条件である。

4. 対称情報下の最適契約

まず、情報の非対称性が存在しない対称情報下の

最適契約問題を解く。ここで得られる契約の構造は、情報の非対称性下での最適契約の構造を検討する際にベンチマークの役割を果たす。

国民が解くべき対称情報下の最適契約問題を (SI-MH/AS-P) で表現する。式(6)は国民の目的関数であり、期待社会的純便益と計画主体への報酬の期待値の差として定義される。式(7)は計画主体の個人合理性条件である。式(6)と式(7)に含まれる $\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot|d(\bar{l}(c))), c)$ は、費用効率性 c の計画主体が事後密度関数 $p_\lambda(\cdot|d(\bar{l}(c)))$ を報告し、代替案 a の実施後にパラメータ λ と一対一対応した交通量が観測された場合に、計画主体に対して支払われる報酬である。なお、多くの最適契約問題では、エージェントの効用の一部がプリンシパルの目的関数に含まれている。本研究でも、計画主体が国民の一部を構成することを考えれば、そうした定式化の方が自然であるかもしれない。ただし、昨今の公共事業批判のなかでは、事業の社会的純便益を最大化することが何よりも望まれている。また、予測の契約理論に関する既存研究から、エージェントの効用をプリンシパルの目的関数に含めると分析が著しく複雑化することが明らかにされている¹³⁾。以上の点を踏まえ、本研究では式(6)の定式化を採用する。

| |
|--|
| <p style="margin: 0;">問題 (SI-MH/AS-P)</p> $\max_{\bar{l}(c), \omega(c)} E_c \left[E_{d(\bar{l}(c))} \left[\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) d(\bar{l}(c))] - E_\lambda [\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot d(\bar{l}(c))), c) d(\bar{l}(c))] \right] \right] \quad (6)$ $\text{s.t. } E_{d(\bar{l}(c))} \left[E_\lambda [u(\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot d(\bar{l}(c))), c)) d(\bar{l}(c))] - c\psi(\bar{l}(c)) \right] \geq \underline{U} \quad \forall c \in C \quad (7)$ |
|--|

この問題を解くことで、対称情報下における最適契約が導かれる。最適契約は、費用効率性 c の計画主体が『①費用効率性 $\bar{c} = c$ を表明、②水準 $\bar{l}^*(c)$ の調査を実施、③データセット $\bar{d}(\bar{l}^*(c)) = d(\bar{l}^*(c))$ を報告、④事後密度関数 $q_\lambda(x|a) = p_\lambda(x|a, d(\bar{l}^*(c)))$ と $q_\lambda(\lambda) = p_\lambda(\lambda|d(\bar{l}^*(c)))$ を報告する場合に報酬 $\omega^*(c)$ を支払い、それ以外の場合に報酬 $-\infty$ を支払う』というものである。ただし、

$$\bar{l}^*(c) = \arg \max_{l \in L} [EB(l) - \varphi(\underline{U} + c\psi(l))] \quad (8)$$

$$\omega^*(c) = \varphi(\underline{U} + c\psi(\bar{l}^*(c))) \quad (9)$$

$$EB(l) = E_{d(l)} \left[\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(l)] \right] \quad (10)$$

である。対称情報下での最適契約では、計画主体の効用は留保効用に等しく、国民の効用は、

$$SEB^{SI}(\bar{l}^*(c)) = EB(\bar{l}^*(c)) - Cost^{SI}(\bar{l}^*(c)) \quad (11)$$

$$\text{ただし、 } Cost^{SI}(\bar{l}^*(c)) = \varphi(\underline{U} + c\psi(\bar{l}^*(c))) \quad (12)$$

になる。また、調査を全く実施しない場合の期待社会的純便益を式(13)の $EB(l)$ で表すならば、式(8)の最適調査の基準は式(14)で表せる。

$$EB(l) = \max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a)] \quad (13)$$

$$\tilde{l}^*(c) = \arg \max_{l \in L} [EB(l) - EB(l) - Cost^S(l)] \quad (14)$$

$[EB(l) - EB(l)]$ は調査水準 l の調査の情報価値に等しいことから、式(14)は、調査の便益（期待社会的厚生 の増加分）と費用（計画主体への期待報酬）の差を最大化する費用便益基準とみなせる。

5. 非対称情報下の最適契約：モラルハザード

以下、情報の非対称性下での最適契約について分析する。まずはモラル・ハザードの側面に着目し、計画主体の費用効率性の異質性は考慮しない。考慮する情報の非対称性は、実施した調査水準、調査で観測されたデータセット、需要予測の分析結果の3種類である。表記の簡単化のため、本節では計画主体の費用効率性を c を省略する。本節における最適契約の導出部分は既存研究¹⁴⁾と重複しているため、以下では該当部分の解説を最小限に留め、本論文の目的でもある制度設計の指針についての考察に議論の焦点を絞る。

(1) 国民の問題

国民の解くべき非対称情報下における最適契約問題 (AI-MH-P) は次のとおり表される。

問題 (AI-MH-P)

$$\max_{l, \omega(\cdot)} E_{d(\tilde{l})} \left[\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a)] - E_\lambda [\omega(\lambda, q_\lambda(\cdot))] | d(\tilde{l}) \right] \quad (15)$$

s.t.

$$E_{d(\tilde{l})} [E_\lambda [u(\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot | d(\tilde{l})))) | d(\tilde{l})]] - \psi(\tilde{l}) \geq \underline{U} \quad (16)$$

$$E_{d(\tilde{l})} [E_\lambda [u(\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot | d(\tilde{l})))) | d(\tilde{l})]] - \psi(\tilde{l}) \quad (17)$$

$$\geq E_{d(l')} [E_\lambda [u(\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot | d(l')))) | d(l')]] - \psi(l') \quad \forall l' \in L$$

$$E_\lambda [u(\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot | d(\tilde{l})))) | d(\tilde{l})] \quad (18)$$

$$\geq E_\lambda [u(\omega(\lambda, q_\lambda(\cdot))) | d(\tilde{l})] \quad \forall q_\lambda(\cdot) \in \mathcal{F}$$

式(16)は計画主体が国民から提示された契約を承諾することを意味する個人合理性条件、式(17)は計画主体が国民から提示された調査水準を選択することを意味する誘因整合性条件、式(18)は計画主体が真の分析結果を報告することを意味する誘因整合性条件である。標準的なモラル・ハザード・モデルではエージェントの行動の成果がプリンシパルとエージェントの双方から観察可能・立証可能であるのに対して、本研究ではエージェント（計画主体）の行動（調査・分析）の成果である真の分析結果もエー

ジェントの私的情報である。真の分析結果を自己申告させる誘因整合性条件として式(18)が加わっている点に特徴がある。

(2) 2つの報酬体系

契約問題 (AI-MH-P) の解を導出するために、情報価値に基づく報酬体系と対数スコアに基づく報酬体系の2つを用意する。

定義1 (情報価値に基づく報酬体系①)

$$\omega(\lambda, q_\lambda(\cdot)) = \varphi \left(r \left[\begin{array}{l} B(\lambda, a(q_\lambda(\cdot))) \\ - \max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a)] \end{array} \right] + s \right) \quad (19)$$

ただし、 r, s : パラメータ、

$$a(q_\lambda(\cdot)) \equiv \arg \max_{a \in A} \int_{\lambda \in \Lambda} B(\lambda, a) q_\lambda(\lambda) d\lambda$$

定義2 (対数スコアに基づいた報酬体系①)

$$\omega(\lambda, q_\lambda(\cdot)) = \varphi(r \log q_\lambda(\lambda) + s) \quad (20)$$

ただし、 $r < 0, s$: パラメータ

計画主体が報酬から得る効用は式(19)もしくは式(20)の報酬を関数 φ の逆関数 u で単調変換したものである。情報価値に基づく報酬体系では、実現した社会的純便益に比例する一方、対数スコアに基づく報酬体系では実現した交通量の事前評価における予測確率の対数に比例する。両方とも変動報酬部分と固定報酬部分からなる線形報酬体系である点では共通している。なお、ベイジ意思決定理論の分野ではスコアリング・ルールと呼ばれる「予測手法の精度の評価法」が開発されてきた¹⁷⁾⁻²¹⁾。定義2における対数スコアとは、そのうちの一つの名称である。対数スコアは、「予測者の私的情報である主観的確率を正直に自己申告させる」性質（プロパティと呼ばれる）を有していることが知られている¹⁸⁾⁻²¹⁾。

(3) 最適契約

(2) で示した2つの報酬体系から、国民の最適契約問題 (AI-MH-P) を遂行する契約を、以下の命題の通り導出できる（証明は文献¹⁴⁾を参照）。

命題1

情報価値に基づく報酬体系を用いる契約のなかで、次の条件を満足する契約だけが最適契約問題 (AI-MH-P) を遂行する。

$$s(\tilde{l}^{**}) \equiv \underline{U} + \psi(\tilde{l}^{**})$$

$$-r(\tilde{l}^{**}) \left[\begin{array}{l} E_{d(\tilde{l}^{**})} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}^{**})]] \\ - \max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a)] \end{array} \right] \quad (21)$$

$$r(\tilde{l}^{**}) \equiv \frac{\frac{d}{d\tilde{l}} \psi(\tilde{l}^{**})}{\frac{d}{d\tilde{l}} [E_{d(\tilde{l}^{**})} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}^{**})]] - \max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a)]]} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \tilde{l}^{**} &= \arg \max_l E_{d(l)} \left[\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(l)] \right. \\ &\quad \left. - E_\lambda \left[\varphi \left\{ \begin{array}{l} r(l) \{ B(\lambda, a^{**}(\tilde{l}^{**})) \\ - \max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a)] \} + s(l) \right\} | d(l) \right] \right] \quad (23) \\ \text{s.t. } \frac{d^2}{dl^2} \left[\begin{array}{l} r \{ E_{d(l)} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(l)]] \\ - \max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a)] \} + s - \varphi(l) \end{array} \right] < 0 \\ \text{where } a^{**}(\tilde{l}^{**}) &= \arg \max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}^{**})] \end{aligned}$$

命題 2

対数スコアに基づく報酬体系を用いる契約のなかで、次の条件を満足する契約だけが最適契約問題 (AI-MH-P) を遂行する。

$$s(\tilde{l}^{**}) = \underline{U} + \psi(\tilde{l}^{**}) - r(\tilde{l}^{**}) E_{d(\tilde{l}^{**})} [E_\lambda [\log p_\lambda(\lambda | d(\tilde{l}^{**})) | d(\tilde{l}^{**})]]] \quad (24)$$

$$r(\tilde{l}^{**}) = \frac{\frac{d}{dl} \psi(\tilde{l}^{**})}{\frac{d}{dl} E_{d(\tilde{l}^{**})} [E_\lambda [\log p_\lambda(\lambda | d(\tilde{l}^{**})) | d(\tilde{l}^{**})]]]} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \tilde{l}^{**} &= \arg \max_l E_{d(l)} \left[\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(l)] \right. \\ &\quad \left. - E_\lambda [\varphi \{ r(l) \log p_\lambda(\lambda | d(l)) + s(l) \} | d(l)] \right] \quad (26) \\ \text{s.t. } \frac{d^2}{dl^2} [E_{d(l)} [E_\lambda [r \log p_\lambda(\lambda | d(l)) + s | d(l)]] - \varphi(l)] < 0 \end{aligned}$$

命題 3

最適契約問題 (AI-MH-P) を遂行する報酬体系は、プロパー・スコアリング・ルール (その具体例の一つが対数スコアに基づく報酬体系) のクラスに属するもの、もしくは、情報価値に基づく報酬体系のいずれかであり、これ以外には存在しない。

(4) 制度設計の指針

a) 最適契約からの考察

まず、非対称性情報下の最適契約問題 (AI-MH-P) の解として導出された2つの最適契約の特徴を検討することで、需要予測の制度設計の指針について考察する。

命題3から、計画主体への報酬を事後的に実現した社会的純便益が事後的に実現した交通量の事前予測確率のいずれかに連動させることでマニピュレーションを抑止できることが確認される。ただし、両者が誘因整合性を満たすメカニズムは異なっており、前者では高い社会的純便益が実現する事業代替案を国民に選択させるべく正直な報告が行なわれるのに対して、後者では予測精度そのものが評価されることから正直な報告が行われる。この違いによる影響は、「事後的に事業の社会的純便益が大きいことが判明したが、事前の需要予測では低い予測確率しか付与していなかった交通量が観測された」状況を考えてみればわかりやすい。情報価値に基づく報酬体

系では計画主体に高い報酬が支払われるのに対して、対数スコアに基づく報酬体系では低い報酬しか支払われないからである。計画主体に分析精度向上のインセンティブを与えるためには後者の方がより望ましい。また、情報価値に基づく報酬体系では社会的純便益が事後的に計測される必要があるのに対して、対数スコアに基づく報酬体系では交通量が観測されれば十分である。後者の方が、事後的な社会的純便益の計測作業を必要としない点で制度運用のコストが低く、2. (6) で指摘した事業評価を伴わないものの社会基盤施設整備に重大な影響を及ぼす数量の予測にも適用可能な点で利用可能性が大きいといえる。

最適契約の導入が需要予測の分析精度にいかなる影響を及ぼすかも興味深い検討課題の一つである。この点については、計画主体が「固定報酬を受け取り、予測リスクを負担しない」状況と比較すればわかりやすい。何故なら、この場合の計画主体は明らかに最低水準の調査しか実施せず、分析結果についても正直な報告を行うとは限らないからである。本論文の分析における調査水準の選択は分析手法の選択と読み替えることも可能であり、ここでの議論からは、最適契約の導入は計画主体に優れた予測手法を積極的に導入するインセンティブを与えるものと考えられる。

最適契約のもとで計画主体が負担しなければならないリスクの大きさも興味深い検討課題である。標準的なモラル・ハザード・モデルでは、非対称情報下の最適契約のもとでのエージェントの努力水準が対称情報下の最適契約の場合と比較して低下することが知られている。その理由は危険回避的なエージェントにリスク負担が課されるからである。一方、本節のモデルでは努力水準について明快な結論は得られない。その理由はエージェントである計画主体が2種類の不確実性 (調査で観測されるデータの不確実性と事業実施後に実現する交通量の不確実性) に直面しているからである。調査水準を低下させた場合、事業実施後に実現する交通量の不確実性が増大してしまうため、非対称情報下の最適契約のもとでも計画主体の最適調査水準が上昇する可能性が生まれる。最適契約を導入した場合に計画主体が負担しなければならないリスクが著しく大きい場合には、制度の実行可能性が損なわれてしまう。この点は実証分析を通じて詳細に検討すべき課題である²²⁾。

以上の議論は、以下のとおり整理される。

知見 1

- 1) 需要予測におけるマニピュレーションの抑止には、計画主体への報酬を、①事後的に実現した社会的純便益か、②事後的に実現した交通量の事前予測確率のいずれかに連動させる必要がある。

- 2) 分析精度向上の誘因付けやメカニズム運用に必要な情報の観点からは、②がより有効である。
- 3) 最適契約の導入は、優れた需要予測手法が有効利用されるためにも必要である。
- 4) 最適契約の導入が計画主体の負担するリスクに及ぼす影響については明快な結論が得られない。実証分析を通じた検討が必要である。

b) 分析の留意点からの考察

次に、本節の分析の留意点を検討することで、マニピュレーション抑止制度の更なる可能性について検討してみたい。本節では、①適切な報酬体系を設計して、②一人の計画主体と、③一回限りで、④再交渉を認めない契約が行われる状況が想定された。現実には上記4つの条件が適切でない場合は少なくない。より拡張した枠組みの分析の必要性は大きいといえる。幸いなことに、既にそれぞれの条件が緩和された場合の契約のあり方についても研究の蓄積が進んでいる。既存の研究成果を敷衍することで、新たなマニピュレーション抑止制度の設計可能性についての知見を得ることができる。

①と③については、需要予測の業務委託が繰り返し行われる状況を利用することで、明示的な契約を結ばなくとも機能するメカニズムを検討するべきであろう²³⁾。交通需要予測の場合には交通量が事後的に立証可能な変数として観察されるが、土木計画に関わる予測業務のなかには事後的に立証不可能な変数を予測するケースがあり得る（例えば、公共工事における地盤条件など）。そうした状況では、本研究で提案する最適契約を導入することは困難である。しかし、業務委託が国民と計画主体の間で繰り返されるのならば、予測したい変数が裁判等の判断に利用可能との意味で高い精度で観察可能（立証可能）なものでなくても、国民や計画主体から観察可能なものであれば、需要予測におけるマニピュレーションを抑止することが可能になる。何故なら、国民は当該変数の予測値と実現値の乖離の程度に応じて次回業務の発注確率を変更することを事前に計画主体に伝えることで、計画主体に分析精度を向上させるインセンティブや、分析結果を正直に報告するインセンティブを与えることが可能になるからである。また、立証不可能だが観察可能な変数を予測する業務についても、予測結果の情報公開を制度化することで、計画主体の分析能力に関する評判形成の促進を通じて、分析精度を向上させるインセンティブを与えることが可能になる。

②については、トーナメント方式に基づいたメカニズムを検討すべきであろう²⁴⁾。近年、交通需要予測の予測値と実績値に大きな乖離が生じている事例が少なくないことは既に指摘した通りである。その理由としては、人々の交通行動を十分にモデル化で

きなかったことの他に、予期し得ない景気水準の低迷が生じたことが挙げられる。このうち、前者の要因に起因する予測リスクについては需要予測に携わる主体が一定の範囲で責任を負うべきであろう。しかし、後者の要因に起因する予測リスクについては需要予測に携わる主体が負うべきではないと考えるのが一般的見解であろう。本研究で提案する最適契約のもとでは、計画主体の報酬が需要予測の実績値と予測値の乖離に連動するため、計画主体がモデル化の失敗に起因する予測リスクと景気変動に起因する予測リスクの2つを必然的に負担する。結果として、計画主体に過度に大きなリスクを負担させることで社会的非効率性を引き起こしている可能性がある。トーナメント方式の採用は、この問題に対処するための一つの方策である。トーナメント方式とは、一人の依頼人が複数の代理人のそれぞれに互いに類似した業務を委託する状況において用いられるメカニズムである。各代理人に対する報酬がそれぞれの成果の相対評価を通じて決められる点に特徴がある。トーナメント方式のもとでは、各代理人に共通するリスク要因が存在したとしても、それぞれの報酬が相対評価を通じて決められるために、各代理人がそうしたリスクを負担せずにすむ。需要予測における景気変動リスクも複数の予測作業に共通する大きなリスク要因である。景気変動リスクが大きい場合には、トーナメント方式を採用することで計画主体が負担するリスクを過度に大きくしない必要がある。

④については、調査・分析結果が観察可能・立証不可能な情報である場合、事後的な交通量が判明する前に国民と計画主体の間に再交渉を行う余地が生じる点に注目すればよい²⁵⁾。調査・分析結果が判明した段階で、国民が計画主体に対して、次の条件を満足する一定報酬 $\bar{w}(d(\tilde{I}))$ をオファーするとしよう。

$$u(\bar{w}(d(\tilde{I}))) = E_{\lambda}[u(w(\lambda, p_{\lambda}(\cdot|d(\tilde{I}))))] d(\tilde{I}) \quad (27)$$

式(27)を式(16)から式(18)に代入すれば、計画主体の個人合理性条件や誘引整合性条件が変更されないことが確認される。したがって、再交渉が行われる場合でも計画主体によって最適な調査水準が選択される。一方、式(27)を式(15)に代入すれば、国民の報酬支払額の期待値が減少することが確認される。以上より、このケースでは再交渉を許容することが常に望ましいといえる。再交渉制度が望ましくなる理由は、最適契約において分析者に課される2つのリスク、すなわち調査で観測されるデータに関するリスクと需要予測の実施後に観察される交通量に関するリスクのうち、後者が再交渉段階で危険中立的な国民へと移転されることにある。ただし、再交渉を行う場合には国民と計画主体が交渉費用を新たに負担しなければならない。再交渉を行うことで生じる報酬支払い額の減少分と再交渉に要する費用の大小関

係を勘案したうえで、再交渉制度を導入することの是非について議論する必要がある。

以上の考察から得られた知見は、以下のとおり整理される。

知見 2

- 1) 事後的に立証可能な変数がない場合には、分析結果の情報公開を通じた評判効果の形成や次回業務の受注確率の変更といった繰り返しゲームを前提として機能するメカニズムが有効になる可能性が高い。
- 2) 事業実施後の施設供用状況が景気変動の影響を受ける状況では、複数の予測結果の精度を相対評価して計画主体に対する報酬を決定するメカニズムが有効になる可能性が高い。
- 3) 知見 1 で指摘した最適契約メカニズムでは、需要予測の分析結果が報告された段階で国民と計画主体の間で再交渉が行われるならば、より高い社会的厚生を達成することが可能になる。

$$\begin{aligned}
 & E_{d(\tilde{c})} \left[E_{\lambda} [\omega(\lambda, p_{\lambda}(\cdot | d(\tilde{l}(c))), c) | d(\tilde{l}(c))] \right] - c\psi(\tilde{l}(c)) \\
 & \geq E_{d(l')} \left[E_{\lambda} [\omega(\lambda, p_{\lambda}(\cdot | d(l')), \tilde{c}) | d(l')] \right] - c\psi(l') \quad (30) \\
 & \quad \forall \tilde{c} \in C, \forall l' \in L \\
 & E_{\lambda} [\omega(\lambda, p_{\lambda}(\cdot | d(l)), c) | d(l)] \\
 & \geq E_{\lambda} [\omega(\lambda, q_{\lambda}(\cdot), \tilde{c}) | d(l)] \quad \forall q_{\lambda}(\cdot) \in \mathcal{F} \quad (31)
 \end{aligned}$$

(2) 2つの報酬体系

契約問題 (AI-MH/AS-P) の解を導出するために、情報価値に基づく報酬体系と対数スコアに基づく報酬体系の2つを用意する。

定義 3 (情報価値に基づく報酬体系②)

$$\omega(\lambda, q_{\lambda}(\cdot), \tilde{c}) = r(\tilde{c}) \left(\frac{B(\lambda, a(q_{\lambda}(\cdot)))}{-\max_{a \in A} E_{\lambda} [B(\lambda, a)]} \right) + s(\tilde{c}) \quad (32)$$

ただし、 $r(\tilde{c})$ 、 $s(\tilde{c})$: パラメータ

$$a(q_{\lambda}(\cdot)) \equiv \arg \max_{a \in A} \int_{\lambda \in \Lambda} B(\lambda, a) q_{\lambda}(\lambda) d\lambda$$

定義 4 (対数スコアに基づく報酬体系②)

$$\omega(\lambda, q_{\lambda}(\cdot), \tilde{c}) = r(\tilde{c}) \log q_{\lambda}(\lambda) + s(\tilde{c}) \quad (33)$$

ただし、 $r(\tilde{c})$ 、 $s(\tilde{c})$: パラメータ

6. 非対称情報下の最適契約：逆選択

本節では、モラル・ハザードと逆選択の両方の側面を考慮した最適契約について分析する。以下で考慮される情報の非対称性は、計画主体の費用効率性、実施した調査水準、調査で観測されたデータセット、需要予測の分析結果の4種類である。ここで、次の二つの仮定を追加する。第一に、計画主体の費用効率性は $[c, \bar{c}]$ の範囲に確率密度関数 $p_c(c) \in \mathcal{F}$ に従って分布していると仮定する。第二に、計画主体の報酬に関する効用関数が危険中立的であると仮定する。前者は逆選択の問題を考慮するための仮定であり、後者は解析的に分析結果を導くための技術的な仮定である。

(1) 国民の問題

国民の解くべき最適契約問題は (AI-MH/AS-P) で与えられる。式(30)の制約条件を通じて、費用効率性の報告に関する誘引整合性条件が加わっている点が前節の最適契約問題 (AI-MH-P) との大きな違いである。

問題 (AI-MH/AS-P)

$$\max_{\tilde{l}(c), \omega(c)} E_c \left[E_{d(\tilde{c})} \left[\max_{a \in A} E_{\lambda} [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}(c))] \right] - E_{\lambda} [\omega(\lambda, q_{\lambda}(\cdot), \tilde{c}) | d(\tilde{l}(c))] \right] \quad (28)$$

s.t.

$$E_{d(\tilde{c})} \left[E_{\lambda} [\omega(\lambda, p_{\lambda}(\cdot | d(\tilde{l}(c))), c) | d(\tilde{l}(c))] \right] - c\psi(l) \geq \underline{U} \quad \forall c \in C \quad (29)$$

定義 3 と定義 4 の報酬体系の特徴は、それぞれ、定義 1 と定義 2 の報酬体系のそれに類似している。ただし、計画主体が危険中立的であると仮定したために効用の逆変換 $\varphi(\cdot)$ がかかっていない点と報酬を規定するパラメータが計画主体の費用効率性に依存している点の二点において異なっている。

(3) 最適契約

情報価値に基づく報酬体系と対数スコアに基づく報酬体系のそれぞれから、国民の最適契約問題 (AI-MH/AS-P) を遂行する契約を以下の命題の通り導出できる (命題 4 と命題 5 の証明は付録参照、命題 6 は命題 3 と同様にして証明可能であり省略)。ただし、 $h(c)$ は、

$$h(c) = P_c(c) / p_c(c) \quad (34)$$

と定義される関数である ($P_c(c)$ は累積分布関数)。

命題 4

式(32)で示される情報価値に基づく報酬体系のなかで、以下の式(35)–(37)を満足する契約は最適契約問題 (AI-MH/AS-P) を遂行する。

$$r^{**}(\tilde{c}) \equiv \frac{\tilde{c}}{\tilde{c} + h(\tilde{c})} \quad (35)$$

$$s^{**}(\tilde{c}) \equiv \tilde{c}\psi(\tilde{l}^{**}(\tilde{c})) + \int_{\tilde{c}}^{\bar{c}} \psi(\tilde{l}^{**}(\tau)) d\tau + \underline{U} \quad (36)$$

$$- \frac{\tilde{c}}{\tilde{c} + h(\tilde{c})} E_{d(\tilde{c})} \left[\frac{\max_{a \in A} E_{\lambda} [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}^{**}(\tilde{c}))]}{-\max_{a \in A} E_{\lambda} [B(\lambda, a)]} \right]$$

$$\tilde{r}^{**}(\tilde{c}) \text{ s.t. } \frac{d}{d\tilde{c}} \left[\frac{E_{d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))}[\max_{a \in A} E_{\lambda}[B(\lambda, a) | d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))]]}{-(\tilde{c} + h(\tilde{c}))\psi(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))} \right] = 0 \quad (37)$$

命題 5

式(33)で示される情報価値に基づく報酬体系のなかで、以下の式(38)-(38)を満足する契約は最適契約問題 (AI-MH/AS-P) を遂行する。

$$r^{**}(\tilde{c}) = \frac{\tilde{c}}{\tilde{c} + h(\tilde{c})} \frac{d}{d\tilde{c}} \left[\frac{E_{d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))}[\max_{a \in A} E_{\lambda}[B(\lambda, a) | d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))]]}{d \left[E_{d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))}[\log p_{\lambda}(\lambda | d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c})))] | d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c})) \right]} \right] \quad (38)$$

$$s^{**}(\tilde{c}) = c\psi(\tilde{r}^{**}(\tilde{c})) + \int_c^{\tilde{c}} \psi(\tilde{r}^{**}(\tau)) d\tau + U$$

$$-r^{**}(\tilde{c}) \left[\frac{E_{d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))} [E_{\lambda}[\log p_{\lambda}(\lambda | d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c})))] | d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))]]}{-\max_{a \in A} E_{\lambda}[B(\lambda, a)]} \right] \quad (39)$$

$$\tilde{r}^{**}(\tilde{c}) \text{ s.t. } \frac{d}{d\tilde{c}} \left[\frac{E_{d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))}[\max_{a \in A} E_{\lambda}[B(\lambda, a) | d(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))]]}{-(\tilde{c} + h(\tilde{c}))\psi(\tilde{r}^{**}(\tilde{c}))} \right] = 0 \quad (40)$$

命題 6

最適契約問題 (AI-MH/AS-P) を遂行する報酬体系は、プロパー・スコアリング・ルールクラスに属するもの、もしくは、情報価値に基づく報酬体系のいずれかであり、これ以外には存在しない。

(4) 制度設計の指針

a) 最適契約からの考察

非対称性情報下の最適契約問題 (AI-MH/AS-P) の解として導出された2つの最適契約を検討することで、需要予測の制度設計の指針について考察する。

命題6から、知見1の1)から3)が最適契約問題 (AI-MH/AS-P) についても同様に成立することが確認される。逆選択の側面が加わったことで生じた主な変更点は次の二つである。

第一は、変動報酬の係数が計画主体の費用効率性に依存する項 $\tilde{c}/[\tilde{c} + h(\tilde{c})]$ に比例する点である。逆選択モデルでも計画主体が予測リスクの一部を担っているが、リスク中立的な計画主体が想定されているためモラル・ハザードを防ぐ役割は全く担っていない。計画主体の調査・分析能力の費用効率性をスクリーニングする役割をもつばら担っている。計画主体の調査・分析能力の費用効率性を明らかにする制度 (例えば、技術者資格制度など) を導入すれば、非対称情報下の最適契約が対称情報下のそれに近づいていくため社会的厚生が向上する。

第二は、計画主体の事前の期待効用水準が、最も調査・分析能力の低い費用効率性 \tilde{c} で留保効用水準に等しく、調査・分析能力の向上に従って上昇する点である (式(81)参照)。この帰結はモラル・ハザードと逆選択を組み合わせたモデルに共通する性質であるが²⁶⁾、最適契約を導入することで、計画主体に調査・分析能力向上のインセンティブを与える可能

性があることを示している点で非常に興味深いものといえる。

以上の議論は、以下のとおり整理される。

知見 3

- 1) 知見1の1)から3)と同じ。
- 2) 計画主体の能力を明らかにする制度は、非対称情報下の最適契約を対称情報下の最適契約に近づける点で社会的厚生を向上させる。
- 3) 最適契約の導入は計画主体に能力向上のインセンティブを与える。

b) 分析の留意点からの考察

次に、分析の留意点を検討することで、需要予測の制度設計の更なる可能性について検討したい。本節でも前節と同様、①適切な報酬体系を設計して、②一人の計画主体と、③一回限りの、④再交渉を認めない契約が行われる状況が想定された。

危険中立的な計画主体を仮定して最適契約を導出したため、危険回避的な計画主体を仮定して導かれた知見2のうち、2)と3)は本節において成立しない。一方、1)については詳しい検討が必要である。本節で想定した一回限りの取引の場合には、計画主体が自らの費用効率性を自己表明することで留保効用水準を上回る高い効用を享受できる。一方、次回以降も取引が行われる場合には、費用効率性を自己表明すると一度だけは留保効用水準以上の効用を享受できるものの、その後は留保効用水準の効用しか享受できなくなってしまう。この場合には、計画主体に長期的な効用を最大化すべく自らの費用効率性を偽って表明するインセンティブが生じることになる。一方、繰り返しゲームの場合には計画主体が留保効用水準しか享受できないため、分析能力を向上するインセンティブが阻害される危険性もある。計画主体の費用効率性表明のインセンティブと分析能力向上へのインセンティブの両方を考慮しながら動学的な視点から適切なメカニズムを設計していく必要があると考えられる。

7. 数値実験

5. と6. で導出された最適契約についての理解を深めるため、本節では仮想データを用いた数値実験を行う。

(1) モデルの設定

次の道路投資問題を例として取り上げる。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線形需要関数

$$q = \lambda(\bar{p} - p) \quad (41)$$

表-2 同時生起確率

| | d | \bar{d} |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| $\underline{\lambda}$ | $(1 + \kappa\theta)/4$ | $(1 - \kappa\theta)/4$ |
| $\bar{\lambda}$ | $(1 - \kappa\theta)/4$ | $(1 + \kappa\theta)/4$ |

で表されるものとする。ただし、 q : 需要量、 p : 一般化費用、 $\bar{p} > 0$ 、 $\lambda > 0$: パラメータである。道路の一般化費用が p で与えられる場合の道路利用者の消費者余剰 $B(p)$ が、式(41)から、

$$B(p) = (\lambda/2)(\bar{p} - p)^2 \quad (42)$$

と導かれる。 $B(p)$ は、 $B(\bar{p}) = 0$ 、 $B'(\bar{p}) = 0$ 、 $B'(p) \leq 0$ 、 $B''(p) > 0$ を満たす。一方、一般化費用を \bar{p} から p に減少させる場合の投資費用関数 $C_I(p)$ を、 $C_I(\bar{p}) = 0$ 、 $C_I'(p) \leq 0$ 、 $C_I'(\bar{p}) = 0$ 、 $C_I''(p) \geq 0$ を満たす関数

$$C_I(p) = (b/3)(\bar{p} - p)^3 \quad (43)$$

で表されるものとする(ただし、 b : パラメータ)。

ここで、パラメータ λ は、 $\lambda = \underline{\lambda}$ か $\lambda = \bar{\lambda}$ の二つの値のいずれかしか取らないものと仮定する(ただし、 $\underline{\lambda} < \bar{\lambda}$)。また、計画主体はパラメータが二値であることは知っているものの、いずれが正しいかは把握していないとする。計画主体が $\lambda = \underline{\lambda}$ および $\lambda = \bar{\lambda}$ の事象について有する主観的確率をそれぞれ $p(\underline{\lambda})$ および $p(\bar{\lambda})$ で表す。この時、最適道路投資問題が

$$\max_p [p(\underline{\lambda}) \frac{\lambda}{2} (\bar{p} - p)^2 + p(\bar{\lambda}) \frac{\bar{\lambda}}{2} (\bar{p} - p)^2 - \frac{b}{3} (\bar{p} - p)^3] \quad (44)$$

と定義され、これを解くことで、最適政策および期待社会的純便益が

$$p^*(\phi) = \bar{p} - (\underline{\lambda} + \bar{\lambda})/2b \quad (45)$$

$$ESNB^*(\phi) = (\underline{\lambda} + \bar{\lambda})^3 / 48b^2 \quad (46)$$

と導かれる。

(2) 情報構造のモデル化

ここで、未知パラメータ λ の値について、次のような調査が可能であるとしよう。調査の結果、観測されるデータは d および \bar{d} の2種類である。パラメータ λ と調査で観測されるデータ d の同時生起確率が表-2 で表される。ただし、 $\theta \in [0, 1/\kappa]$ は調査の水準(質)を表す変数、 $\kappa \geq 1$ は分析能力を表すパラメータである。また、水準 θ の調査費用関数 $C_S(\theta)$ を、 $C_S(0) = 0$ 、 $C_S'(0) = 0$ 、 $C_S'(\theta) \geq 0$ 、 $C_S''(\theta) \geq 0$ を満たす関数

$$C_S(\theta) = c\theta^3 \quad (47)$$

で表されるものとする(c はパラメータ)。

計画主体が水準 θ の調査を実施し、データ d が観測された場合の最適道路投資問題は、

$$\max_p [(1 + \kappa\theta)/2 \{(\lambda/2)(\bar{p} - p)^2 - (b/3)(\bar{p} - p)^3\} + (1 - \kappa\theta)/2 \{(\bar{\lambda}/2)(\bar{p} - p)^2 - (b/3)(\bar{p} - p)^3\}] \quad (48)$$

と定義される。これより、最適政策と期待社会的純便益が次のとおり導かれる。

$$p^*(d) = \bar{p} - \{(1 + \theta)\underline{\lambda} + (1 - \theta)\bar{\lambda}\}/2b \quad (49)$$

$$ESNB^*(d) = \{(1 + \theta)\underline{\lambda} + (1 - \theta)\bar{\lambda}\}^3 / 48b^2 \quad (50)$$

一方、データ \bar{d} が観測された場合も、同様に最適政策と期待社会的純便益が次のとおり導かれる。

$$p^*(\bar{d}) = \bar{p} - \{(1 - \theta)\underline{\lambda} + (1 + \theta)\bar{\lambda}\}/2b \quad (51)$$

$$ESNB^*(\bar{d}) = \{(1 - \theta)\underline{\lambda} + (1 + \theta)\bar{\lambda}\}^3 / 48b^2 \quad (52)$$

調査を実施する前は、データ d が観測されるか、それともデータ \bar{d} が観測されるかを当然のことながら知りえない。それぞれが観測される確率は表-2 から、いずれも 0.5 で与えられる。これより、水準 θ の調査の情報価値が、

$$VOI(\theta) = \frac{1}{2} ESNB^*(d) + \frac{1}{2} ESNB^*(\bar{d}) - ESNB^*(\phi) \quad (53)$$

と定義される。また、調査実施前の段階における最適調査・道路投資問題は、

$$\max_{\theta \in [0, 1/\kappa]} [\frac{1}{2} ESNB^*(d) + \frac{1}{2} ESNB^*(\bar{d}) - C_S(\theta)] \quad (54)$$

と定義され、これより最適調査水準

$$\theta^* = \min\{(\bar{\lambda} - \underline{\lambda})^2(\bar{\lambda} + \underline{\lambda})\kappa^2 / 24b^2c, 1/\kappa\} \quad (55)$$

が求められる。式(55)で表される最適調査水準は、対称情報下の最適契約において指定される調査水準に他ならない。

(3) 最適契約の数値実験：モラル・ハザード

まずは、5. の分析結果に基づきながら、モラル・ハザードの状況下での最適契約に関する数値実験を行う。

a) 最適契約

命題1から次の最適契約が導かれる。

$$\theta^* = \arg \max_{\theta \in [0, 1/\kappa]} [Z(\theta)^3 + W(\theta)^3] / 96b^2 - \left\{ \begin{aligned} & -\frac{1 - \kappa\theta}{4} \varphi \left\{ \frac{24b^2c}{XY^2} \left(\frac{\lambda}{2} \left(\frac{W(\theta)}{2b} \right)^2 - \frac{b}{3} \left(\frac{W(\theta)}{2b} \right)^3 - \frac{X^3}{48b^2} \right) \frac{\theta}{\kappa^2} + V(\theta) \right\} \\ & -\frac{1 + \kappa\theta}{4} \varphi \left\{ \frac{24b^2c}{XY^2} \left(\frac{\bar{\lambda}}{2} \left(\frac{W(\theta)}{2b} \right)^2 - \frac{b}{3} \left(\frac{W(\theta)}{2b} \right)^3 - \frac{X^3}{48b^2} \right) \frac{\theta}{\kappa^2} + V(\theta) \right\} \\ & -\frac{1 + \kappa\theta}{4} \varphi \left\{ \frac{24b^2c}{XY^2} \left(\frac{\lambda}{2} \left(\frac{Z(\theta)}{2b} \right)^2 - \frac{b}{3} \left(\frac{Z(\theta)}{2b} \right)^3 - \frac{X^3}{48b^2} \right) \frac{\theta}{\kappa^2} + V(\theta) \right\} \\ & -\frac{1 - \kappa\theta}{4} \varphi \left\{ \frac{24b^2c}{XY^2} \left(\frac{\bar{\lambda}}{2} \left(\frac{Z(\theta)}{2b} \right)^2 - \frac{b}{3} \left(\frac{Z(\theta)}{2b} \right)^3 - \frac{X^3}{48b^2} \right) \frac{\theta}{\kappa^2} + V(\theta) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

$$r^{**} \equiv \frac{24b^2c\theta^{**}}{XY^2\kappa^2} \quad (57)$$

$$s^{**} \equiv \underline{U} + c(\theta^{**})^3 - r^{**}VOI(\theta^{**}) \quad (58)$$

一方、命題2から次の最適契約が導かれる。

$$\theta^{**} \equiv \arg \max_{\theta \in (0,1)} [Z(\theta)^3 + W(\theta)^3] / 96b^2 - \frac{1+\kappa\theta}{2} \varphi \left\{ \frac{6c}{\log(1+\kappa\theta) - \log(1-\kappa\theta)} \left(\log \frac{1+\kappa\theta}{2} - S(\theta) \right) \frac{\theta^2}{\kappa} + U + c\theta^3 \right\} - \frac{1-\kappa\theta}{2} \varphi \left\{ \frac{6c}{\log(1+\kappa\theta) - \log(1-\kappa\theta)} \left(\log \frac{1-\kappa\theta}{2} - S(\theta) \right) \frac{\theta^2}{\kappa} + U + c\theta^3 \right\} \quad (59)$$

$$r^{**} \equiv \frac{6c}{\log(1+\kappa\theta^{**}) - \log(1-\kappa\theta^{**})} \frac{(\theta^{**})^2}{\kappa} \quad (60)$$

$$s^{**} \equiv \underline{U} + c(\theta^{**})^3 - r^{**}S(\theta^{**}) \quad (61)$$

ただし、 $X, Y, Z(\theta), W(\theta), V(\theta), S(\theta)$ は、

$$X \equiv \underline{\lambda} + \bar{\lambda} \quad (62)$$

$$Y \equiv \bar{\lambda} - \underline{\lambda} \quad (63)$$

$$Z(\theta) \equiv (1+\kappa\theta)\underline{\lambda} + (1-\kappa\theta)\bar{\lambda} \quad (64)$$

$$W(\theta) \equiv (1-\kappa\theta)\underline{\lambda} + (1+\kappa\theta)\bar{\lambda} \quad (65)$$

$$V(\theta) \equiv \underline{U} + c\theta^3 - \frac{c(Z(\theta)^3 + W(\theta)^3 - 2X^3)}{4XY^2} \frac{\theta}{\kappa^2} \quad (66)$$

$$S(\theta) \equiv \frac{1+\kappa\theta}{2} \log \frac{1+\kappa\theta}{2} + \frac{1-\kappa\theta}{2} \log \frac{1-\kappa\theta}{2} \quad (67)$$

と定義される変数である。

b) 数値実験

計画主体の報酬に関する効用関数を危険回避的な

$$u(\omega) = (\omega + K)^\gamma - K^\gamma, \quad \gamma \leq 1 \quad (68)$$

と特定化し、表-3に示されるパラメータを用いて数値実験を行う。

数値実験では、情報価値に基づく報酬体系と対数スコアに基づく報酬体系のそれぞれについて、計画主体の危険回避選好および分析能力が最適契約に及ぼす影響について考察する。前者では、分析能力を表すパラメータ κ を $\kappa=1$ に固定し、効用関数に含まれるパラメータ γ を $\gamma=0.9$ から $\gamma=1.0$ まで0.01刻みで変化させる。分析結果は図-2から図-4に示すとおりである。後者では、危険回避選好を表すパラメータ γ を $\gamma=0.9$ に固定し、分析能力を表すパラメータ κ を $\kappa=1.0$ から $\kappa=2.0$ まで0.1刻みで変化させる。分析結果は図-5から図-7に示すとおりである。

c) 分析結果の考察

図-2には計画主体の危険回避選好と非対称情報下の最適契約における最適調査水準と計画主体の変動報酬の係数の関係が示されている。いずれの報酬体系においても、計画主体が危険回避的から中立的と変化するに従って最適調査水準が増加することが確認される。一方、変動報酬の係数については、前者では単調に増加するのに対し、後者では非線型に変化している様子が確認される。この原因は、情報価値に基づく報酬体系では調査水準の増加に伴って

表-3 数値実験のパラメータ

| | | | |
|-----------------------|----------|-----------------|------|
| $\bar{\lambda}$ | 0.0010 | \bar{p} | 2000 |
| $\underline{\lambda}$ | 0.0015 | \underline{U} | 0 |
| c | 30 | K | 1000 |
| b | 0.000001 | | |

正確な予測が行われ、変動報酬の分散が小さくなるのに対して、対数スコアに基づく報酬体系では調査水準の増加に従ってシャノン・エントロピーが減少、すなわち変動報酬の分散が大きくなることにある。

図-3には計画主体の危険回避選好と計画主体に支払われる報酬の関係が示されている。報酬の絶対値が、対数スコアに基づく報酬体系のもとでは、情報価値に基づく報酬体系と比較して、相対的に小さい様子が見て取れる。その結果、計画主体が負担するリスクが小さくなり、対数スコアに基づいた報酬体系のもとでの期待社会的厚生が、情報価値に基づいた報酬体系のもとでのそれより大きくなっている

(図-4参照)。図-4からは計画主体が危険中立的な場合には報酬体系の違いによる影響がなくなり、対称情報下の最適契約のもとでの期待社会的厚生（期待社会的純便益と計画主体への報酬の期待値の差）に等しくなることも確認される。以上の議論のうち、今後の制度設計についての最も有益な知見は、「最適契約を通じて期待社会的厚生を最大化するには、報酬体系の選択を通じて計画主体が負担するリスクを小さくしなければならず、報酬体系選択の重要性は計画主体が危険回避的になるほど大きくなる」ことであろう。

図-5には計画主体の分析能力と対称情報下と非対称情報下のそれぞれの最適契約における最適調査水準と計画主体の変動報酬の係数の関係が示されている。当初は分析能力の向上に従って調査水準が増加する一方で、ある水準（調査水準を増加させても分析精度が改善されない水準）を越えると調査水準が低下していくことが確認される。図-6には計画主体の分析能力と報酬の関係が示されている。図-5と比較すると、非対称情報下の最適契約における最適調査水準が大きいくほど計画主体に対して支払われる報酬の絶対水準が大きくなる様子が見て取れる。図-7には計画主体の分析能力と期待社会的厚生の関係が示されており、分析能力の増加にしたがって報酬体系の違いによる影響が小さくなることが確認される。また、情報の非対称性の存在によって生じる期待社会的厚生の損失（エージェンシー・コスト）について、当初は分析能力の向上に従って増加する一方で、ある水準（調査水準を増加させても分析精度が改善されない水準）を越えると低下していくことも確認される。以上の議論のうち、今後の制度設計についての最も有益な知見は、「分析能力の向上

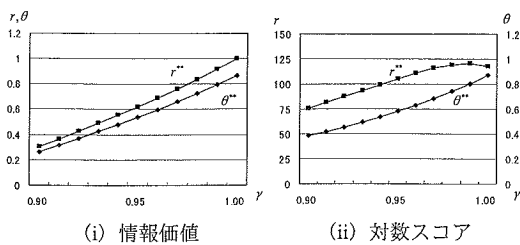


図-2 危険回避度の影響 (変動報酬の係数と調査水準)

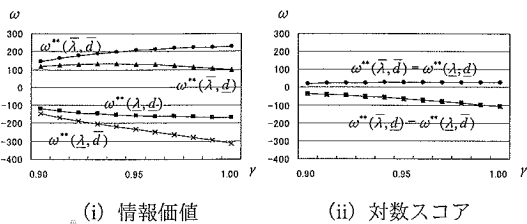


図-3 危険回避度の影響 (計画主体への報酬)

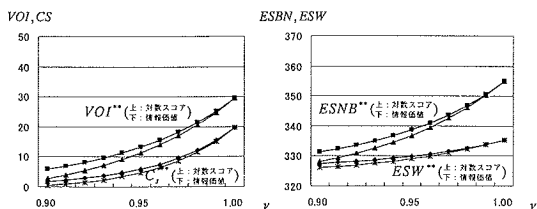


図-4 危険回避度の影響 (報酬体系の比較)

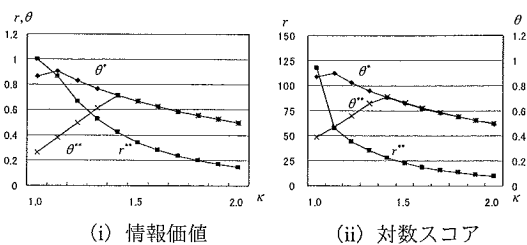


図-5 分析能力の影響 (変動報酬の係数と調査水準)

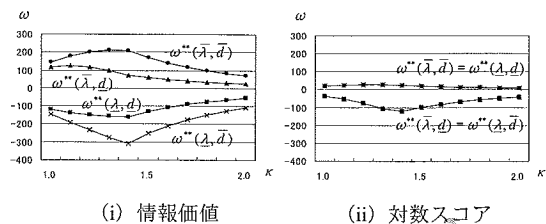


図-6 分析能力の影響 (計画主体への報酬)

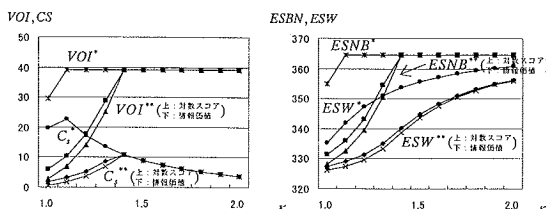


図-7 分析能力の影響 (報酬体系の比較)

は分析精度の向上を通じて社会的純便益の増加に寄与するのみならず、エージェンシー・コストの低下を通じて情報の非対称性の損失の減少にも寄与することである。

(4) 最適契約の数値実験：逆選択

以下、6. の分析結果に基づいて逆選択の状況での最適契約の数値実験を行う。

a) 最適契約

命題3から次の最適契約が導かれる。

$$\theta^{**}(\bar{c}) \equiv \frac{XY^2}{24b^2[\bar{c} + h(\bar{c})]} \kappa^2 \quad (69)$$

$$r^{**}(\bar{c}) \equiv \frac{\bar{c}}{\bar{c} + h(\bar{c})} \quad (70)$$

$$s^{**}(\bar{c}) \equiv \bar{c}(\theta^{**})^3 + \int_c^{\bar{c}} \psi(\theta^{**}(r)) d\tau + \underline{U} - r^{**}(\bar{c}) VOI(\theta^{**}(\bar{c})) \quad (71)$$

一方、命題4から次の最適契約が導かれる。

$$\theta^{**}(\bar{c}) \equiv \frac{XY^2}{24b^2[\bar{c} + h(\bar{c})]} \kappa^2 \quad (72)$$

$$r^{**}(\bar{c}) \equiv \frac{\bar{c}}{\bar{c} + h(\bar{c})} \frac{XY^2 \kappa \theta^{**}(\bar{c})}{4b^2 \{\log(1 + \kappa \theta^{**}(\bar{c})) - \log(1 - \kappa \theta^{**}(\bar{c}))\}} \quad (73)$$

$$s^{**}(\bar{c}) \equiv \bar{c}(\theta^{**})^3 + \int_c^{\bar{c}} \psi(\theta^{**}(r)) d\tau + \underline{U} - r^{**}(\bar{c}) S(\theta^{**}(\bar{c})) \quad (74)$$

b) 数値実験

計画主体の報酬に関する効用関数を危険中立的な

$$u(\omega) = \omega \quad (75)$$

に特定化し、計画主体の費用効率性については、一様分布

$$c \sim U[30, 45] \quad (76)$$

に従っているものと仮定する。その他のパラメータについては、表-3 に示される数値を用いる。

数値実験では、情報価値に基づく報酬体系と対数スコアに基づく報酬体系のそれぞれについて、計画主体の費用効率性および分析能力が最適契約に及ぼす影響について考察する。前者では、分析能力を表すパラメータ κ を $\kappa = 1$ に固定し、費用効率性を表すパラメータ c を $c = 30$ から $c = 45$ まで1刻みで変化させる。分析結果は図-8 に示すとおりである。後者では、費用効率性を表すパラメータ c を $c = 45$ に固定し、分析能力を表すパラメータ κ を $\kappa = 1.0$ から $\kappa = 2.0$ まで0.1刻みで変化させる。分析結果は図-9 に示すとおりである。

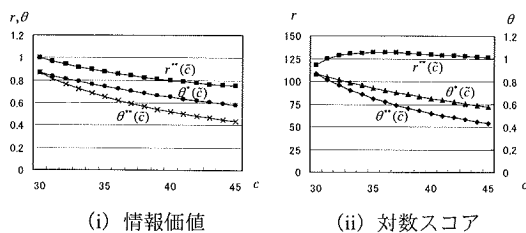


図-8 費用効率性の影響（変動報酬の係数と調査水準）

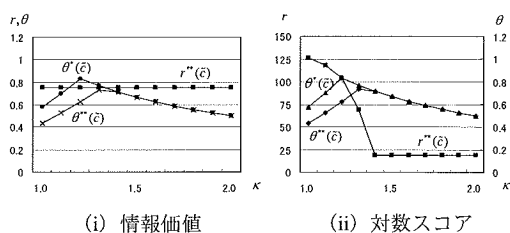


図-9 分析能力の影響（変動報酬の係数と調査水準）

c) 分析結果の考察

図-8には、計画主体の費用効率性と非対称情報下の最適契約における最適調査水準と計画主体の変動報酬の係数の関係が示されている。最も費用効率性の高い計画主体に対しては対称情報下と非対称情報下のそれぞれの最適契約における最適調査水準が一致し、費用効率性が低下するに従って両者の乖離が拡大する様子が見て取れる。危険中立的な計画主体が仮定されているため、最適調査水準は2つの報酬体系の間で違いはない。ただし、計画主体の変動報酬の係数については、情報価値に基づく報酬体系では単調に増加するのに対して、対数スコアに基づく報酬体系では非線形の変化を示している。

図-9には、計画主体の分析能力と非対称情報下の最適契約における最適調査水準と変動報酬の係数の関係が示されている。当初は分析能力の向上に従って調査水準が増加する一方で、ある水準（調査水準を増加させても分析精度が改善されない水準）を越えると調査水準が低下していくことが確認される。また、分析能力がさらに向上すると、非対称情報下の最適契約における最適調査水準と対称情報下の最適契約における最適調査水準と一致する様子も見取れる。以上の議論のうち、今後の制度設計についての最も有益な知見は、「分析能力の向上は分析精度の向上を通じて社会的純便益の増加に寄与するのみならず、エージェント・コストの低下を通じて情報の非対称性に起因する損失の減少にも寄与する」ことであろう。

8. おわりに

本論文では、需要予測の分析者に対する報酬メカニズムの設計を通じて、需要予測におけるマニピュレーションを抑止する制度のあり方について考察した。プリンシパル・エージェント・モデルに基づいた分析から得られた本論文の主要な成果は次の3つである。

- 1) 需要予測におけるマニピュレーションを抑止するには、計画主体への報酬を、事後的に実現

した社会的純便益か、事後的に観測された交通量の事前予測確率のいずれかに連動させる制度が有効であることを明らかにした。

- 2) 1)で得られた最適契約の性質について検討することで、最適契約の導入が予測手法の開発を促進する可能性があることを明らかにした。
- 3) 最適契約の導出に際して置かれた仮定を吟味することで、需要予測の業務委託が継続的に行われる状況を利用したメカニズムや複数の需要予測の分析精度の相対的な評価を利用したメカニズムの可能性を指摘した。

無論、以上の成果はモデル分析の前提条件に依存したものである。分析の留意点や今後の課題が多数残されている点に注意する必要がある。主な留意点は次の通りである。

第一は、最適契約の導出にあたって国民と計画主体の間で共有知識²⁷⁾の前提が置かれていた点である。モデル分析では「国民と計画主体が需要予測の方法や精度(具体的には、 $x = f(\lambda, a)$, $p_\lambda(\lambda)$, $p_{d(t)}(d(t))$)について共通の認識を抱いている」との想定がなされた。これが共有知識の前提に対応する。本研究で提案した最適契約がマニピュレーションの抑止に効果的であるためには、少なくとも契約に関わる人達の間において需要予測に関する共通の理解が成立している必要がある。現時点では、そうした理解が成立しているとは考えにくい。最適契約の有効性についての判断にも一定の留保が必要であるといえる。なお、共有知識の欠如に対する方策としては、最適契約以外の共有知識の欠如に頑健な制度を用いる方策と、分析に用いるモデルやデータの基準化や分析結果等の情報公開の義務付けなどを通じて需要予測に関する知識の共有知識化を図る方策の二つが考えられる。

第二は、交通モデルが一つしか存在しないと仮定されていた点である。モデルが複数存在する場合には、計画主体が自らにとって都合のよい分析結果を算出するモデルを選択するという意味でのマニピュレーションが行われる危険性が生じる。ベイズ意思決定理論の分析枠組みを用いれば、複数のモデルが存在する状況にもモデルを拡張して最適契約を導出

することは可能である^{3),18)}。ただし、その場合には各モデルの妥当性や信頼性について国民と計画主体が共通の認識を抱いているという新たな共有知識の前提を置く必要がでてくる。現実には多数の交通モデルが存在しており、それぞれの妥当性や信頼性に対する判断は（研究者の間においてすら）大きく異なっている。モデルの複数性を利用したマニピュレーションを抑止するには最適契約だけでは不十分であり、新たな制度が求められる。この問題への対応策については筆者らの別の研究²⁸⁾を参照されたい。

第三は、最適契約の導入により計画主体に予測リスクの一部負担が求められる点についてである。本論文では計画主体として行政担当部局とコンサルタントが一体化した組織を想定していた。行政担当部局はコンサルタントに対して強い権限を有しているとされる。そのため、最終的にはコンサルタントが予測リスクを一部負担する可能性が高いといえる。しかし、需要予測における予測リスクがきわめて大きいのも事実である。コンサルタントの規模が一般に小さいことを踏まえると、リスク負担を求められるコンサルタントが需要予測業務を受託しなくなってしまう危険性がある。最適契約の導入により計画主体に分析精度向上のインセンティブが与えられるとの知見が得られたが、行政担当部局とコンサルタントの関係まで考慮すると、むしろ長期的には需要予測の分析能力の停滞を引き起こす危険性がある。研究開発に対するインセンティブ効果なども含めて、最適契約の導入が長期的にいかなる効果を生み出すか改めて議論する必要がある。

以上の通り、本研究で提案した最適契約は具体的な制度として直ちに用いるものではない。ただし、需要予測に対する社会的批判が高まるなか、ひとまず具体的なマニピュレーション抑止制度を導出し、そこから様々な知見を得ることに成功したのも事実である。その点で本論文は当初の目的を達成したといえる。今後は、2.（2）で言及した他の制度設計の可能性についても分析を行い、現実における制度設計に向けての知見を探っていきたい。

筆者らは、1. でも指摘したとおり、需要予測に対する社会的信頼の回復には、1) 分析精度の向上、2) 需要予測研究の現状に対する正しい理解の促進、3) マニピュレーション抑止の制度設計という3つの方策を用いていく必要があると考えている。本論文は3)の方策を検討したものであるが、これまでの議論からも明らかとなっており、1)や2)の方策とも関わっている（図-10）。土木計画学は需要予測（特に、交通需要予測）に関して非常に優れた研究成果を生み出してきたものの、社会資本整備を取り巻く制度設計について必ずしも十分な成果を生み出してこなかったように見受けられる。しかし、昨今の社会資本整備を取り巻く情勢変化のなかで、後者の研究（例

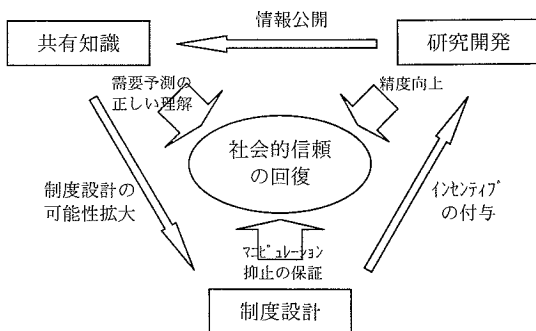


図-10 本研究の土木計画学における位置づけ

えば、プロジェクト・ファイナンスやリスク・マネジメント）の必要性が高まっている。伝統的な需要予測研究と最近の制度設計研究の両方の橋渡しを図る点において、本研究の土木計画学における意義はきわめて大きいと考えられる。

謝辞：本研究は(財)東日本鉄道文化財団（助成番号01-4-2-8）および文部科学省科学研究費補助金（課題番号15760391）より研究助成を受けました。匿名の差読者からも論文内容を見直すうえで有益なコメントをいただきました。ここに記して謝意を表します。なお、今回の研究は、第二著者が東京大学大学院在籍中に第一著者ととも開始し、その後、第一著者が独自に研究内容を進展させたものであります。

付録 命題4と命題5の証明

以下、命題4と命題5の証明を行う。モラル・ハザードと逆選択を同時に扱った既存研究^{12),26)}を参考に、ひとまず(AI-MH/AS-P)の制約条件のいくつかを緩和された最適契約問題を解き、その後で緩和された問題の解が元の最適契約問題(AI-MH/AS-P)の制約条件全てを満足していることを確認するという手順を踏む。

(1) 緩和された最適契約問題の導出

まず、式(30)中に含まれる l を $\tilde{l}(\tilde{c})$ で置き換え、式(31)の誘因整合性条件はひとまず満たされているものと仮定し、式(30)を式(77)に書き換える。緩和された最適契約問題の解が、2つの条件を満足しているかどうかは事後的に確認する。

$$E_{d(\tilde{c})} [E_{\lambda} [\omega(\lambda, p_{\lambda}(\uparrow d(\tilde{l}(\tilde{c}))), c) | d(\tilde{l}(\tilde{c}))]] - c\varphi(\tilde{l}(\tilde{c}))] \geq E_{d(\tilde{c})} [E_{\lambda} [\omega(\lambda, p_{\lambda}(\uparrow d(\tilde{l}(\tilde{c}))), \tilde{c}) | d(\tilde{l}(\tilde{c}))]] - c\varphi(\tilde{l}(\tilde{c}))] \quad \forall \tilde{c} \in C \quad (77)$$

ここで、式(77)の右辺を次式で定義する。

$$\varpi(c, \tilde{c}) = E_{d(\tilde{c})} [E_{\lambda} [\omega(\lambda, p_{\lambda}(\uparrow d(\tilde{l}(\tilde{c}))), \tilde{c}) | d(\tilde{l}(\tilde{c}))]] - c\varphi(\tilde{l}(\tilde{c}))] \quad (78)$$

式(77)は式(79)に、式(29)は式(80)に置き返られる。

$$\varpi(c, c) \geq \varpi(c, \bar{c}) \quad (79)$$

$$\varpi(c, c) \geq \underline{U} \quad (80)$$

本論文で仮定されている加法的効用関数のもとでは、式(79)と式(80)が成立するための必要十分条件が式(81)と式(82)で与えられることが知られている^{8),12)}。

$$\varpi(c, c) = \int_c^{\bar{c}} \psi(\tilde{l}(\tau)) d\tau + \underline{U} \quad (81)$$

$$\tilde{l}_c(c) \geq 0 \quad (82)$$

以上の展開より、最適契約問題 (AI-MH/AS-P) の緩和問題 (AI-MH/AS-P2) を以下の通り定義できる。

問題(AI-MH/AS-P2)

$$\max_{\tilde{l}(c), \varpi(c)} E_c \left[\begin{array}{l} E_{d(\tilde{l}(c))} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}(c))]] \\ -\varpi(c, c) - c\psi(\tilde{l}(c)) \end{array} \right] \quad (83)$$

$$s.t. \varpi(c, c) = \int_c^{\bar{c}} \psi(\tilde{l}(\tau)) d\tau + \underline{U} \quad (84)$$

$$\tilde{l}_c(c) \geq 0 \quad (85)$$

さらに、式(84)を式(83)に代入し、式(34)を用いて書き換えると、緩和問題 (AI-MH/AS-P2) を以下の緩和問題 (AI-MH/AS-P3) に変形できる。

問題(AI-MH/AS-P3)

$$\max_{\tilde{l}(c)} E_c \left[\begin{array}{l} E_{d(\tilde{l}(c))} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}(c))]] \\ -(c+h(c))\psi(\tilde{l}(c)) - \underline{U} \end{array} \right] \quad (86)$$

$$s.t. \tilde{l}_c(c) \leq 0 \quad (87)$$

式(87)をひとまず無視すると、式(86)の制約なし最適化問題の1階条件および2階条件は次式で与えられる。

$$\frac{d}{d\tilde{l}} [E_{d(\tilde{l}(c))} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}(c))]]] - (c+h(c)) \frac{d}{d\tilde{l}} \psi(\tilde{l}(c)) = 0 \quad (88)$$

$$\frac{d^2}{d\tilde{l}^2} [E_{d(\tilde{l}(c))} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}(c))]]] < (c+h(c)) \frac{d^2}{d\tilde{l}^2} \psi(\tilde{l}(c)) \quad (89)$$

式(88)を全微分して包絡線定理を適用すると、 $\tilde{l}_c(c)$ が次式で表される。

$$\tilde{l}_c(c) = \frac{(1+h_c(c)) \frac{d}{d\tilde{l}} \psi(\tilde{l}(c))}{\frac{d^2}{d\tilde{l}^2} [E_{d(\tilde{l}(c))} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}(c))]]] - (c+h(c)) \frac{d^2}{d\tilde{l}^2} \psi(\tilde{l}(c))} \quad (90)$$

分母は式(89)の2階条件から正であるため、式(87)が成立するのは $h_c(c) \geq -1$ の場合である。 $h_c(c) \geq -1$ は、一様分布、正規分布、ガンマ分布など多くの確率分布で満たされることが知られている。本研究でもこれが成立するものと仮定する ($h_c(c) \geq -1$ が成立しない場合、最適契約はバンチング最適解となる²⁹⁾)。

(2) 計画主体の問題

計画主体は、費用効率性の表明、調査水準の報告、

分析結果の報告について次の最適化行動に従う。

問題 (AI-MH/AS-A)

$$\max_{\tilde{l}, q(\cdot)} E_{d(l)} [E_\lambda [\omega(\lambda, q_\lambda(\cdot), \bar{c}) | d(l)]] - c\psi(l) \quad (91)$$

分析結果の報告については、ひとまず真の報告が最適であると想定して、式(92)の $q_\lambda(\cdot)$ を $p_\lambda(\cdot | d(l))$ に置き換える。調査水準と費用効率性の報告に関する最適化の1階条件は次の通りである。

$$\frac{d}{dl} E_{d(l)} [E_\lambda [\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot | d(l)), \bar{c}) | d(l)]] - \frac{d}{dl} c\psi(l) = 0 \quad (93)$$

$$\frac{d}{d\bar{c}} E_{d(l)} [E_\lambda [\omega(\lambda, p_\lambda(\cdot | d(l)), \bar{c}) | d(l)]] = 0 \quad (94)$$

(3) 遂行問題

以上より、最適契約問題 (AI-MH/AS-P) の解は次の3つの条件を満たしなければならないことがわかる。

- ①緩和された最適契約問題(AI-MH/AS-P3)の最適化の必要条件である式(88)と式(89)を満足する。
- ②計画主体の最適化の必要条件である式(93)と式(94)を $(l, \bar{c}) = (\tilde{l}(c), c)$ で満足する。
- ③計画主体の真の分析結果の報告の条件である式(31)を満足する。

(4) 命題4の証明

証明は(3)で示された3段階からなる。

①式(37)は緩和された最適契約問題 (AI-MH/AS-P3) の1階条件である式(88)に他ならない。2階条件である式(89)は仮定から満たされる。

②式(32)、式(88)、式(93)から

$$\frac{d}{d\tilde{l}} \left[\left(\frac{1}{c+h(c)} - \frac{r(c)}{c} \right) E_{d(\tilde{l}(c))} [\max_{a \in A} E_\lambda [B(\lambda, a) | d(\tilde{l}(c))]] \right] = 0 \quad (95)$$

が導かれ、式(35)が得られる。また、式(35)と式(78)を式(84)に代入すると式(36)が得られる。

③式(32)で与えられる計画主体の報酬のうち、固定された部分を無視すると、計画主体の分析結果の報告は以下の最適化問題に従う。

$$\max_{q_\lambda(\lambda)} \int_{\lambda \in \Lambda} B(\lambda, a(q_\lambda(\cdot))) p_\lambda(\lambda | d(\tilde{l}^{**}(c))) d\lambda \quad (96)$$

$$\text{ただし、} a(q_\lambda(\cdot)) = \arg \max_{a \in A} \int_{\lambda \in \Lambda} B(\lambda, a) q_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (97)$$

式(96)と式(97)を比較すれば、式(96)の最適解は明らかに $p_\lambda(\cdot | d(\tilde{l}^{**}(c)))$ である。したがって、式(31)の誘引整合性条件が満たされることが確認された。(証明終)

(5) 命題5の証明

証明は、(3)で示された3段階からなる。

①と②は命題3の証明と同じ手順で行われる。③は対数スコアがプロパーな性質を有することから、確認される。(証明終)

参考文献

- 1) 例えば, 総務庁行政監察局: 公共事業の評価に関する調査結果報告書, 2000.
- 2) 福本潤也: 多様な意見と社会の決定, 土木学会誌編集委員会編, 合意形成論: 総論賛成・各論反対のジレンマ, 土木学会, 2004.
- 3) 上田孝行, 福本潤也: 観測・被観測関係と行動モデル, 土木学会論文集, No.688/IV-53, pp.49-62, 2001.
- 4) 中山徹: 公共事業改革の基本方向, 新日本出版社, 2001.
- 5) 例えば, Niskanen, Jr., W.A.: *Bureaucracy and Public Economics*, Edward Elgar, 1994.
- 6) Salanie, B.: *The Economics of Contracts*, MIT Press, 1997, 細江守紀, 三浦功, 堀宣昭訳: 契約の経済学, 勁草書房, 2000.
- 7) Macho-Stadler, I. and Perez-Castrillo, J.D.: *An Introduction to the Economics of Information*, Oxford University Press, 2001.
- 8) Wolfstetter, E.: *Topics in Microeconomics: Industrial Organization, Auctions, and Incentives*, Cambridge University Press, 2000.
- 9) Laffont, J.-J.: *The Economics of Uncertainty and Information*, MIT Press, 1989, 佐藤公敏訳: 不確実性と情報の経済学, 東洋経済新報社, 1992.
- 10) Osband, K.: Eliciting forecasts: a general characterization of scoring rules, *Harvard Institute of Economic Research Discussion Paper*, No.1194, 1985.
- 11) Osband, K.: Optimal forecasting incentives, *Journal of Political Economy*, Vol.97, pp.1091-1112, 1989.
- 12) Lawrence, D.B.: *The Economic Value of Information*, Springer-Verlag, 1999.
- 13) Bogetoft, P.: *Non-Cooperative Planning Theory*, Springer-Verlag, 1993.
- 14) 福本潤也: 最適契約として捉えたインフラプロジェクトの事前評価と事後評価, 地域学研究, Vol.33, pp.103-121, 2003.
- 15) 例外として, 森地茂, 屋井鉄雄, 平井節生: 個人データと集計データとの統合利用によるモデル構築方法, 土木計画学研究・論文集, No.5, pp.51-58, 1987.
- 16) Gamerman, D.: *Markov Chain Monte Carlo: Stochastic Simulation for Bayesian Inference*, Chapman & Hall, 1997.
- 17) Brier, G.W.: Verification of forecasts expressed in terms of probability, *Monthly Weather Review*, Vol.78, No.1, pp.1-3, 1950.
- 18) Bernardo, J.M. and Smith, A.F.M.: *Bayesian Theory*, Wiley, 2000.
- 19) Savage, L.J.: Elicitation of personal probabilities and expectations, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 66, No. 336, pp. 783-801, 1971.
- 20) 平館道子: 金沢大学経済学部研究叢書 8, ペイジアン理論と回帰分析, 金沢大学経済学部, 1993.
- 21) 繁榊算男: ベイズ統計入門, 東京大学出版会, 1985.
- 22) Nadiminti, R., Mukhopadhyay, T. and Kriebel, C.H.: Risk aversion and the value of information, *Decision Support Systems*, Vol.16, pp.241-254, 1996.
- 23) 松島斉: 繰返レゲームの新展開 私的モニタリングによる暗黙の協調, 今井晴雄・岡田章編著, ゲーム理論の新展開, 勁草書房.
- 24) Lazear, E.P. and Rosen, S.: Rand-order tournaments as optimum labor contracts, *Journal of Political Economy*, Vol.89, pp.841-864.
- 25) Hermalin, B.E. and Katz, M.L.: Moral hazard and verifiability: the effects of renegotiation in agency, *Econometrica*, Vol.59, pp.1735-1753, 1991.
- 26) Laffont, J.-J. and Tirole, J.: Using cost observation to regulate firms, *Journal of Political Economy*, Vol.94, pp.614-641, 1986.
- 27) Aumann, R.J.: Agreeing to disagree, *Annals of Statistics*, Vol.4, pp.1236-1239, 1976.
- 28) 福本潤也, 土谷和之: プロジェクト評価の監査制度に関する研究, 土木学会論文集, 2004 (印刷中).
- 29) Fudenberg, D. and Tirole, J.: *Game Theory*, The MIT Press, 1991.

(2003. 4. 14 受付)

DESIGN OF MANIPULATION PREVENTING MECHANISM OF DEMAND FORECAST

Jun-ya FUKUMOTO and Kazuyuki TSUCHIYA

Recently, it is severely criticized that the demand forecast of public investment has been manipulated by Japanese administration to justify the implementation of their projects. The aim of this paper is to design the mechanism which prevents the manipulation of demand forecast. Based on the contract theory, we formulate the principal-agent relationship in demand forecast. By solving this, we derive two optimal contracts. One is VOI reward scheme and the other is logarithmic scoring reward scheme. By examining this result, we derive some implications for the mechanism design of demand forecast.