PFI事業における建設物価変動のリスク分析

白井 健太郎¹・宮本 和明²・森地 茂³

¹正会員 清水建設株式会社 土木事業本部 (〒105-8007 東京都中央区京橋2-16-1)

E-mail: kenta@shimz.co.jp

²正会員 東京都市大学教授 都市生活学部 (〒158-8586 東京都世田谷区等々力8-9-18)

E-mail: miyamoto@tcu.ac.jp

³正会員 政策研究大学院大学教授 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail: smorichi.pl@grips.ac.jp

原材料価格の変化等により建設資材物価も時に大きく変動する。建設事業ではこの建設物価変動リスクの取り扱いが事業の健全性を大きく左右する。特にPFI事業では、入札から資材調達までの期間が一般的な建設請負事業に比べ長く、官民が分担するリスクの影響はより大きい。本研究の目的は、建設資材の物価変動リスクの合理的な官民分担のあり方の議論に資するため、ケーススタディーを通してリスクの定量分析を行い、知見を得ることである。まず、各種経済指標の時系列データに基づいた主要資材の価格形成モデルを導き、時系列分析、モンテカルロシミュレーションを組み込み、建設事業費の変動を分析した。そして、日本の一般的なPFI事業スキームのモデル事業に本システムを適用し、建設物価に関するリスク分担の現状の課題を計量的に明らかにした。

Key Words : *quantitative risk analysis, price of construction materials, PFI, risk sharing, time series analysis, Monte Carlo simulation*

1. はじめに

(1) 研究の背景

グローバル経済の中、新興国の経済成長に伴う需要増加や世界的景気後退の影響により、ここ数年、原材料、特に鋼材類と燃料油価格の乱高下を経験している。原油価格を例にすると、1990年代には\$20/バレル前後で推移してきたが、2000年代に入ると加速度的に値を上げ始め、2008年7月には\$145/バレルの最高値を付けた。その後、翌年1月に\$40/バレルに値を下げ、2010年3月末時点では\$80/バレル近くまで回復した。建設関連資材においても、当然これらの原材料価格に連動する形で価格が乱高下している品目は多く、建設費総額に占める材料費の割合が約40%¹⁾と決して小さくないことと併せて考えると、建設費に与える建設物価変動の影響は大きい。

日本においては、1999年7月の「民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律（通称PFI法）」の施行以後、PFI手法を用いた公共施設の整備が始まり、内閣府のWebによると375の事業でPFI法の適用を受け、実施されている（2010年12月31日現在）。

しかし、2008年度の内閣府によるPFI事業におけるリ

スク顕在化の事例調査²⁾によると、報告された186事例のうち28件が物価変動に関わる事例であり、先に述べたような建設関連資材の高騰により、建設費が著しく増大しているケースが多く見られる。これは、現在のPFI事業契約では建設費に係る物価変動リスクは民間に移転されていることが多いためである。これらの物価変動リスクについて、PFI事業では、建設事業費を早い段階で確定し、価格の枠組みを固定する仕組みを前提とし、また、入札から建設資材の調達までの期間が長期であることから、通常の公共事業よりも影響が大きく、2008年度調査時点における様な急激な物価上昇の局面では民間事業者にとって大きな負担となっている。そのため、事業の健全性にも少なからずの影響を及ぼすこととなり、結果として公共サービスの低下や手続き費用の増加等により本来想定されたVFMの低下にもつながるおそれがある。また物価変動リスクの移転は本来は中立的であることから、逆に、急激な物価下落が生じたにもかかわらず、事業契約額が高止まりする場合には、民間側に不適切な超過利潤を与えることとなり、公共の立場からは同じくVFMを損なうおそれがあると言える³⁾。

こういった現状の下、建設物価変動リスクにおいても

適切な官民分担の取り決めが重要であるのは明らかであるが、その議論は定性的な検討に終始し、データに基づいての定量的な検討はほとんど行われていない。一方、建設物価に関するデータは(財)建設物価調査会などの機関により長期間にわたり豊富にストックされている。これら豊富なデータを用いた建設物価変動に関する体系的なリスク定量分析に対する社会的要請は大きいと言えよう。

(2) 研究の目的

本研究では建設事業、特にPFI事業において、建設資材の物価変動リスクのより合理的な官民分担のあり方に関する議論に資するため、ケーススタディーを通してリスクの定量分析を行うことにより知見を得ることを目的としている。この目的を達成するために以下の項目を個別の目標に設定している。また、分析の中で各資材や事業費などの価格予測を行うが、その有効期限は、PFI事業における建造物の契約から設計、完工までの5年程度と設定する。ここで留意しておかねばならないことだが、本研究は、物価が変動することによってリスク分担にどのような影響があるかについて考察することに主眼があり、価格や事業費の予測自体の精度を目的にしたものではない。

(1) 建設物価の品目別時系列分析

主要建設資材7品目に対して、時系列分析、重回帰分析、モンテカルロシミュレーションを用いた価格予測モデルを構築する。

(2) 建設物価変動リスクの計量分析

品目別価格予測に基づき、想定されるPFI事業における建設物価リスクの計量分析をモンテカルロシミュレーションにより実施し、物価変動の量的な影響を分析する。

(3) 建設物価変動リスクについての考察

(2)の分析に基づき、現状における官民リスク分担の課題について考察する。また、現在導入されつつある「単品スライド条項」についても考察する。

2. 既往研究

建設資材価格変動（価格決定要因）に関する先行研究としては以下のものが挙げられる。

まず、遠藤・深尾⁴⁾は工事費の積算に当たり、建築コストが地域的格差、時系列変動を有するため、それらの予測の必要性から建築コストデータを地域的、時系列的観点から分析している。具体的には、建築資材の地域的、時系列的挙動を抽出・分類整理し、その挙動を業界・メーカー等への聞き取り調査に基づいて合理的に解釈し、発生原因を検討する手法をとっている。有光⁵⁾、田中⁶⁾は、

主要資材である異型棒鋼、H形鋼、普通鋼板の3種類についてそれらの2002年から2004年の価格変動を国内・世界の市況を通じて定性的に分析している。また、燃料油について、2001年から2004年の時系列データを用いて、その価格構成を原油価格、元売りの精製コスト、元売り及び特約店の販売コスト、揮発油税や軽油引取税などの税金に分けて各々について考察している。井原⁷⁾は原材料価格や建設資材価格の動向を踏まえたうえで、原材料の輸入価格の上昇が建設資材の生産コストへ与える影響について考察している。具体的には、産業連関表（価格均衡式）を用いて輸入原材料（原油、天然ガス、鉄鉱石）価格が上昇した場合の国産品建設資材の生産者価格への影響を試算する手法をとっている。輸入原材料価格の上昇が建設資材の生産者価格に与える影響は、依然として原油、天然ガス、鉄鉱石等で大きなものがあるが、その程度は、国際交易条件の変化や技術的な対応等により、次第に緩和される傾向にあると結論づけている。斎藤⁸⁾、西田⁹⁾はアプローチとしては有光⁵⁾、田中⁶⁾と同様であるが、価格決定要因を分析するにあたり、商流も要因として考慮している。1975年から2008年現在までを4つの時期に分け、それぞれの時期に対し、特筆すべき価格決定要因を定性的に分析している。橋本¹⁰⁾、木村・橋本¹¹⁾は、生コンクリート及びコンクリート型枠用合板価格の決定要因についてAHP分析を行っている。資材価格の決定要因として「原価要因」、「取引条件」、「外的要因」に大分し、これらをより細かい要素に細分して、メーカーや販売店にアンケート調査して各要因のウェイトを導出している。その結果、従来は感覚的に把握していた価格変動要因を具体的な数値で説明している。深山・稲村¹²⁾は、個別市場である鉄屑リサイクル市場の価格形成について考察している。鉄屑リサイクル市場をその市場の特徴から電炉メーカーを需要独占者とし、鉄屑問屋の供給関数、電炉メーカーの限界要素費用と限界生産物収入を推定することにより、電炉メーカーの経営悪化を説明している。

建設資材以外の物価変動に関する既往研究に目を向けると、青果や農畜産物の価格変動の時系列分析として、万里・笠原¹³⁾がある。また、サケの産地価格の形成要因についての回帰分析として、清水¹⁴⁾がある。

以上のように物価変動や価格決定要因を取り上げた論文は少なからず存在する。しかし、これらは定量的なデータに基づいてはいるが、結論としては定性的なものとなっているものが多く、本研究のように、「価格決定要因を明らかにした上で、物価変動の量的効果を分析する」という定量的分析に至るものは見当たらない。特に、日本の建設物価に関してこのような視点から取り組んだ研究は筆者らの文献検索からは見いだせない。

一方、PFI事業におけるリスクの計量分析に関しては、

道路事業を対象にMiyamoto, et al.¹⁵⁾, Sato, et al.¹⁶⁾があり、水道事業を対象としたものとして、菅野他¹⁷⁾がある。これらの研究においては各事業の事業段階ごとの重要リスクを抽出しそれらの発生確率及び被害額を推定したうえで、PFI導入メリットを設定して事業形式ごとのVFMを比較するという手法でリスクの計量分析を行っている。この中で建設費用を一部取り扱ってはいるが、建設物価等の詳細な分析は行われていない。

3. 本研究の枠組みと使用データ

1.(2)で示した目的に沿うべく、本研究の枠組みを図-1のように組み立てている。

(1) 建設物価の品目別時系列分析

まず、本研究で分析の対象とする主要建設資材7品目を被説明変数とし、既往研究等による価格決定要因分析を参考に、資材価格決定要因を構造的に把握し、建設投資額、鉱工業生産指数といった説明変数を抽出する。次に、抽出した説明変数を基に、各品目について重回帰分析を行い、重回帰モデルを決定する。平行して、抽出した説明変数について、ARIMAモデルによる時系列分析を行い、その予測統計量(期待値、標準偏差)を得る。最後に時系列分析で得た予測統計量を、重回帰モデルにあてはめ、モンテカルロシミュレーションを行うことにより品目別価格予測モデルを構築する。

(2) 建設物価変動リスクの計量分析

まず、仮定のPFIプロジェクトを設定し、プロジェクトの資材購入費に占める各品目の割合から購入量を設定する。また、同時に購入行動に関して時期と購入量を設定する。この設定に、先の品目別価格予測モデルによって得られる予測統計量(期待値、標準偏差)をあてはめ、モンテカルロシミュレーションを行うことにより物価変動の量的な影響を分析する。

図-1 本研究の枠組み

(3) 建設物価変動リスクについての考察

先の物価変動の量的な影響分析によって得られる仮想プロジェクトにおける価格変動値の統計量(期待値、標準偏差)を基に、プロジェクトの資材購入費に対する収支等を分析し、物価変動リスクの官民分担のありかたを考察し、また、現在導入されつつある「単品スライド条項」についても考察する。

なお、今回分析対象とする主要資材は、国土交通省による「主要建設資材需給・価格動向調査(通称「資材モニター調査」)」に合わせ、セメント(普通ポルトランド、バラ物)・生コンクリート(18N/mm²-8cm-25cm)・骨材(コンクリート用粗骨材20mm~25mm)・アスファルト混合物(密粒度13)・異型棒鋼(D19, SD295A)・H形鋼(200×100×5.5×8mm)・軽油(JIS1, 2号)の7品目とする。なお、木材については、その価格変動が小さいこと、建設費に占める比率が著しく小さいことを考慮し、除外した。

また、分析において使用する各時系列データは、1991年~2005年の月別データを使用し、予測期間は2006年~2008年の3年間としている。これは、再現性検討に使えるデータ期間の制約によるものである。PFI事業期間では契約後、設計期間2年、建設工事期間3年の計5年間程度が考えられることから、本来は5年程度とすることが望ましいと考えられる。

4. 資材価格形成モデルの決定

(1) 資材価格形成モデルの導出手順

資材価格形成モデルは、以下の手順に従い重回帰分析により導出する。

(a) 価格決定要因(説明変数)の抽出

各資材の価格構成要因の構造を把握することにより、説明変数を抽出する。

(b) 説明変数の時系列データの調整

自己相関分析により季節変動が見られるデータについては12ヶ月移動平均により季節性を除去する。その後、被説明変数と説明変数間の時差相関分析によりラグを決定し以降の分析に反映する。

(c) 多重共線性の調整

説明変数間の単相関係数及びVIF値により説明変数を取捨選択し、多重共線性を排除する。

(d) 説明変数の取捨選択

t値、符号の価格変動特性との論理的な整合性、対象期間を変化させた時のt値の安定性により説明変数を取捨選択する。

(e) 重回帰モデルの特定

以上(a)~(d)により、被説明変数(主要7資材)に対す

る説明変数を決定し、重回帰モデルを特定する。

以下では、主要資材の1つである異型棒鋼を例として重回帰モデルを決定する手順を具体的に示す。

(2) 価格決定要因(説明変数)の抽出

異型棒鋼の価格構成要因の構造を、原材料、物流、市場に区分し、各々において要因を列挙する。

・原材料

異型棒鋼はそのほとんど(約98%)が電炉製品であることが知られている。電炉鋼の原材料は鉄スクラップであり、製造過程において多くの電力を消費する。

・物流

物流費は、燃料費、人件費から構成されるものとする。

・市場

鉄スクラップ市場においては2000年以降から、中国への鉄スクラップ輸出の影響が顕著になり、異型棒鋼価格に与える影響も大きくなることが知られている。また、異型棒鋼はそのほとんどが建設資材として使用されるため、国内建設への投資額も異型棒鋼価格の主要な決定要因であると判断する。その他、一般的な経済指標(鉱工業生産指数など)も決定要因として列挙する。

以上をまとめたものを表-1に示す。

ここで、鉄スクラップ中国輸出総額については多少の注意が必要となる。2000年以降に中国への鉄スクラップ輸出の影響が顕著になると先に述べたが、2000年以降でも図-2から分かるように2002年8月あたりまでとそれ以降とでは鉄スクラップ価格と鉄スクラップ中国輸出総額との変動傾向が異なる。

表-1 異型棒鋼の価格決定要因

区 分	説 明 変 数
原材料	鉄スクラップ価格、電気料金
物 流	原油価格、現金給与総額
市 場	建設投資額(出来高ベース)、鉱工業生産指数、為替レート、消費者物価指数、鉄スクラップ中国輸出総額

図-2 鉄スクラップ価格、鉄スクラップ中国輸出総額重ね図

本分析においては、需給逼迫期のモデル構築を意図し、「鉄スクラップ中国輸出総額」については2002年9月以降の需給が逼迫していると考えられる期間のデータのみを使用し、それ以外の期間の値は0とすることとする。

(3) 説明変数の時系列データの調整

a) 季節性の除去

4.(2)において抽出した説明変数の時系列データにおける季節変動の有無を、自己相関係数の値から判断する。これは、時系列データをグラフ化することによって、直感的に判断することができるが、今回は厳密に分析を進めるために自己相関を使用するものとする。

抽出した説明変数の自己相関図を図-3に示す。

図より「建設投資額」、「鉱工業生産指数」、「現金給与総額」で12ヶ月毎の自己相関が高くなる傾向があり、季節変動していることを読み取ることができる。これらについては12ヶ月移動平均をとることにより季節変動を除去し、以降の分析に用いることとする。

b) 被説明変数-説明変数間の時差の決定

季節性を除去した説明変数と、被説明変数との間の時差相関を分析し、時差相関がある場合は、モデルに時差

図-3 説明変数の自己相関図(抜粋)

図-4 異型棒鋼各説明変数の時差相関図(抜粋)

を取り込む。これは、説明変数と被説明変数との間に時差を伴う因果関係がある場合、それを適切にモデルに組み込むためである。

具体的には被説明変数のデータを固定し、説明変数を1期ずつずらし相関係数を分析する。

図-4（前頁）に時差相関図を示す。

図より「鉱工業生産指数」、「消費者物価指数」、「鉄スクラップ価格」が異型棒鋼価格に時差相関を持ち、それぞれ-2、-8、-3ヶ月の時差を持つことがわかる。

「消費者物価指数」と「鉱工業生産指数」の時差の間に6ヶ月の差が生じてはいるが、「消費者物価指数」が家計に係る財及びサービスの価格等の変動を測定したもの、「鉱工業生産指数」が鉱業または製造業に属する企業の生産活動状況を示すものであることを考えると、異型棒鋼生産という産業においては前者より後者的の方がより素早くその数値の変動による影響を受けやすいと考え、定性的にはあるが妥当であると判断した。

以降の分析においては、これらの時差を考慮したデータを用いる。

(4) 多重共線性の調整

データ調整済みの説明変数と、被説明変数間の単相関を分析し、多重共線性を排除する。

本分析においては多重共線性の判断指標である(VIF値) $=1/(1-(\text{単相関係数})^2)$ に基づき、その値が一般的な目安である10以上となるものに多重共線性が発生していると判断している。その結果、異型棒鋼価格の分析においては、「建設投資額」と「電気料金」間でVIF=14となったが、異型棒鋼価格に対してより説明力が高いと考える「電気料金」を残し、「建設投資額」を除くこととした。

その他にも、VIF値は10以下であっても直接の因果関係から多重共線性が発生する可能性が考えられる説明変数も存在するが、その他の影響を含めて検討した結果、

十分に独立して説明力があると判断し残している。例えば、鉄スクラップ価格と鉄スクラップ中国輸出総額である。これらは図-2に示すように説明変数に取り組む期間においては大局的には共に上昇傾向をとってはいるが、スクラップの供給量等に起因して独立した変動をしている。また、鉄鋼製品の価格説明においては、前者は後者以外の影響を含めての材料価格としての影響、後者は前者に影響を及ぼしているであろうが、一方で国内での鉄鋼製品全体における製品ごとの生産割り振りという供給側の影響を説明すると解釈することができる。

(5) 説明変数の取捨選択、重回帰モデルの決定

t値、実際の価格構成との符合の整合性、対象期間を変化させた時のt値の安定性により説明変数を適切に取捨選択し、最終結果に至る。その結果を表-2に示す。

本分析結果より、得られた異型棒鋼の重回帰モデルは式(1)のようになる。決定係数とt値は表-2のとおりである。

$$RB_t = 2.58 \times 10^5 - 3.08 \times 10^3 \cdot CPI_{(t-8)} + 2.60 \cdot OIL_t + 0.963 \cdot SI_{(t-3)} + 3.29 \times 10^3 \cdot EL_t + 1.48 \times 10^2 \cdot ER_t + 1.26 \cdot SIEC_t \quad (1)$$

(RB: 異型棒鋼価格 CPI: 消費者物価指数)
(OIL: 原油価格 SI: 鉄スクラップ価格)
(EL: 電気料金 ER: 為替レート)
(SIEC: 鉄スクラップ中国輸出総額)

ここで、消費者物価指数の係数が負の値をとっていることの妥当性が問題となるが、表-2に示すように他の3品目においても同様に負値の有意なパラメーターとして一貫して推定されていること、また消費者物価指数が家計消費における600品目から構成されており、建設物価

表-2 主要7品目の重回帰モデル

				説明変数											
				決定係数 (自由度 調整済)	切片	建設投資額	鉱工業 生産指数	消費者 物価指数	現金給与 総額	原油価格	石炭価格	鉄スクラップ 価格	電気料金	為替レート	鉄スクラップ 中国輸出 総額
						億円	—	—	万円	円/バレル	円/t	円/t	円/kWh	円/ドル	百万円
被説明 変数	セメント	円/t	0.890	2.63E+04 11.0	9.96E-02 29.0	—	-2.31E+02 -10.4	—	—	9.85E-02 4.6	—	—	—	—	
	生コン	円/m³	0.877	-8.60E+03 -8.5	6.61E-02 19.1	—	—	4.49E-02 19.7	—	—	—	—	—	—	
	骨材	円/m³	0.922	-1.26E+04 -21.6	6.30E-02 31.5	—	—	3.51E-02 26.4	—	—	—	—	—	—	
	アスファルト 合材	円/t	0.854	5.51E+03 6.2	3.51E-02 11.8	2.24E+01 5.3	-9.75E+01 -7.8	1.80E-02 6.6	—	—	—	—	6.14 5.8	—	
	異型棒鋼	円/t	0.894	2.58E+05 7.8	—	—	-3.08E+03 -12.1 8ヶ月	—	2.60 5.0	—	9.63E+01 7.0 3ヶ月	3.29E+03 6.0	1.48E+02 5.1	1.26 4.3	
	H形鋼	円/t	0.863	1.72E+05 4.0	—	—	-2.22E+03 -6.4	—	3.53 4.7 3ヶ月	—	1.29 7.4 3ヶ月	2.91E+03 4.3	1.82E+02 4.7	2.08 5.4	
	軽油	円/L	0.852	4.70E+01 95.7	—	—	—	—	4.87E-03 31.2 1ヶ月	—	—	—	—	—	

上段：係数の値、下段：t値（最下段：先行ラグ）

表-3 SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)による分析手順

1	対象時系列の分散が不均一な場合、データを対数変換
2	単位根検定を行い、単位根が無くなるまで差分(d回差分)
3	データに近似曲線(本研究では線形近似)をあてはめ、トレンドを除去
4	次数 p,q,P,Q をあてはめ、SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)モデルのパラメータを計算
5	パラメータのt検定
6	AR 仮定に対し定常性の検定(Ljung-Box 検定)
7	残差の自己相関の検定(p 検定)
8	AIC(赤池情報量基準)を計算し、最小値のモデルを採用
9	8のモデルに対し予測統計量(期待値, 標準偏差)を計算

表-4 各説明変数のSARIMA(p,d,q)(P,D,Q)モデル

説明変数	対象期間	データ数	(p,d,q)	(P,D,Q)
建設投資額	1991.1 ～ 2005.12	180	(0,1,4)	(0,1,1)
鉱工業生産指数			(0,1,5)	(0,1,5)
消費者物価指数			(0,1,2)	(0,1,1)
現金給与総額			(0,0,6)	(0,0,6)
原油価格			(0,1,5)	(0,1,2)
石炭価格			(0,2,3)	(0,2,3)
鉄スクラップ価格			(0,1,4)	(0,1,1)
電気料金			(2,0,1)	(0,0,0)
為替レート			(3,0,6)	(0,0,2)
鉄スクラップ 中国輸出総額	2003.1～ 2005.12	36	(0,1,3)	(0,1,1)

図-5 建設投資額予測グラフ

を直接含むものではないことから、符号の不一致それ自体は矛盾を意味するものではないと判断している。

5. 価格形成モデルの説明変数の予測

前章において、主要7資材全てについて重回帰モデルを得たが、それらに含まれる説明変数は、10種類である。これら説明変数について、時系列分析を行い、予測統計量(期待値, 標準偏差)を得る。

時系列分析には、多くの手法が存在するが、本研究で

図-6 異型棒鋼価格シミュレーション結果

は、ARIMAモデルの中でもデータの季節変動を取り入れることのできるSARIMA(季節自己回帰和分移動平均)モデル¹⁸⁾を使用する。SARIMAモデルによる分析では、ARモデルの次数p, MAモデルの次数q, 和分モデルの次数dを、データの誤差項と季節変動項に対し(1)同定(2)推定(3)診断(4)予測の手順に従い計算し、予測統計量を得る。実際の手順を表-3に、得られたモデルを表-4に示す。また、建設投資額の予測グラフを図-5に示す。

6. 主要7資材の価格予測

時系列分析で得た予測統計量(期待値, 標準偏差)を重回帰モデルにあてはめ、モンテカルロシミュレーションを行い、主要7資材価格の予測統計量を得る。

予測期間は、2006年～2008年の3年間、3ヶ月毎12期を予測する。シミュレーションの試行回数は5000回とした。異型棒鋼のシミュレーション結果を図-6に示す。

異型棒鋼価格は2008年初めから急激に値上がりし、夏頃に11万円台の高値を付けてその後暴落している。重回帰モデルに説明変数の実データを代入した値は、異型棒鋼の実データと多少の乖離はあるものの、その大きな流れは一致しており、モデルが実際の変動をかなりの程度再現していることが分かる。しかしシミュレーション予測値については、特に2008年について当てはまりが悪い。これは、シミュレーションの入力データである説明変数の予測統計量に原因がある。すなわち、説明変数の時系列分析において、本研究ではトレンドを機械的に線形としたため、2008年の様な急激な変動をトレースするモデルとはなっていないことに起因する。この点が、本研究におけるモデルの有意性の限界になることは否めない。

7. 仮想プロジェクトを対象とした建設物価変動の計量分析

前章で得た、主要7資材の価格の予測統計量をもとに想定プロジェクトの物価変動による量的な影響を見積る。

本研究では以降に記す仮想のPFIプロジェクトを設定しそれに適用することとした。

(1) 仮想プロジェクトの設定

仮想のPFIプロジェクトを想定するにあたり、対象プロジェクトを表-5に示すように2つ設定している。一つは現況でもPFIの手法が多く適用されている「PFI官庁舎整備事業」であり、もう一つは今後の事業展開も期待で

表-5 仮想PFIプロジェクトの設定項目

対 象	(1) PFI官庁舎整備事業 (中央合同庁舎第7号館整備等事業(PFI事業)程度) (2) PFI高規格幹線道路事業(高速道路 20km程度)
事業費 (請負額)	700億円(建設のみ)
契約時期	2003年12月
期 間	設計: 2004年1月~2005年12月(2年間) 施工: 2005年1月~2009年6月(3.5年間)
請負単価	2003年12月現在の単価
購買方法	2005年12月~2008年12月 6ヶ月毎7回 1/7ずつ

表-6 資材購入量(官庁舎事業)

	2003年12月 時点資材単価		官庁舎事業			
			総費用 (万円)	1回あたり		
				費用 (万円)	購入数量	
セメント	8,400	円/t	4,774	682	812	t
生コンクリート	11,200	円/m ³	156,245	22,321	19,929	m ³
骨材	3,400	円/m ³	12,343	1,763	5,186	m ³
アスファルト	6,800	円/t	3,313	473	696	t
異型棒鋼	39,000	円/t	59,144	8,449	2,166	t
H形鋼	49,000	円/t	468,824	66,975	13,668	t
軽油	64	円/l	94,466	13,495	2,109	kl
合計			799,109	114,158

図-7 官庁舎事業における各期の資材購入費

きる「PFI高規格幹線道路事業」である。

各プロジェクトの購入資材量については、国土交通省建設工事費デフレーターを参考とし、PFI官庁舎整備事業(以降、官庁舎事業)を「SRC非住宅」、PFI高規格幹線道路事業(以降、道路事業)を「日本道路公団」にあてはめて算出する。

官庁舎事業の資材購入量を表-6に示す。

(2) 仮想プロジェクトにおける建設物価変動の計量分析の考え方

6章で得た主要資材の予測統計量(期待値, 標準偏差)を正規分布の仮定のもと, 設定したプロジェクトの1回あたりの主要資材購入数量モデルに入力し, モンテカルロシミュレーションを行う。入力データの確率分布(正規分布)に沿った乱数を発生させ, 重回帰モデルに入力することにより, 仮想プロジェクトの1回あたりの購入費の予測統計量(期待値, 標準偏差)を得ることができる。

予測期間は, 2005年12月~2008年12月の6ヶ月ごとの7回, シミュレーションの試行回数は5000回とする。これは再現性の検討が可能なデータの期間に依存してのものであり, 先にも記したとおり, 本来は5年程度の期間が必要であると考えられる。

官庁舎事業の結果を図-7に示す。

(3) 感度分析

シミュレーションによる予測の過程において, 単期資材購入費の変動に与える, 各資材の寄与度を感度分析によって知ることができる(表-7)。

ここで, 官庁舎事業における単期資材購入費の変動に対し鋼材類(異形棒鋼とH型鋼)の寄与度が66.1%であり全体の約2/3を占めていることが解る。先に図-7に示した各期の実勢価格での資材購入費がシミュレーション平均価格での資材購入費の95%信頼区間から外れているが, これは寄与度の大きい鋼材類の価格予測が同様に実勢価格から外れていること(前頁図-6)によるところが大きい。先にも述べたが本研究の分析方法の適用限界を示すと考えられる。

表-7 官庁舎事業における単期資材購入費の変動に対する主要資材寄与度(%)

	06/6	06/12	07/6	07/12	08/6	08/12	構成率
セメント	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
生コンクリート	2.9	1.1	5.5	5.7	8.0	7.6	19.6
骨材	0.0	0.0	0.4	0.1	0.4	0.3	1.5
アスファルト	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
異型棒鋼	1.4	1.1	0.9	1.5	0.7	0.9	7.4
H形鋼	94.9	96.4	92.8	92.0	89.3	90.2	58.7
軽油	0.4	0.9	0.5	0.7	0.6	0.8	11.8

各資材の寄与度は、プロジェクトにおける資材構成率に因るところが大きい。例として2008年の6月を見てみると、官庁舎事業において寄与度が89%と一番高いH形鋼の価格構成比が59%である。このことを考えると、この時期におけるH形鋼の与える影響が比較的大きくなっていることが分かる。道路事業においても同様の分析を行うことができ、建設工事の性質に応じ感度分析の結果を用いて、資材購入の時期の変更といった購入戦略を検討することも可能である。

また、期間を通して事業費の変動に対する寄与度の高い資材は、大きな物価変動リスクを与えうる要因であると考えられる。物価変動リスクを小さく抑えるため、設計段階、又はその前段階である要求水準書の策定段階において、この感度分析の結果を基に、大きな変動を与える要因となり得る資材については、それをなるべく使用しないようにできるか否かについても検討することが可能である。

8. 仮想プロジェクトにおける資材購入収支の考察

前章で得た、単期の資材購入費の予測統計値を入力値とし、累計（通期）の資材購入費用の予測統計量をモンテカルロシミュレーションによって導出し（シミュレーション試行回数5000回）、実勢価格との比較によって資

材購入収支及び官民分担のありかたを考察する。

官庁舎事業における累計資材購入費用の予測統計量と、実勢価格、物価変動が無かった場合の価格を図-7（前頁）に示す。

通常工事の入札においては基本的にその時点における設計単価で建設費を見積もるが、ここでは、単期の資材購入費の予測統計値（期待値、標準偏差）を基に、入札時点における設計単価（表-6の「2003年12月時点資材単価」）で請負った場合を含め、表-8に示す4条件で請け負った場合の収支を対象とする。

建設業における粗利益率は約7%、売上高経常利益率は約15%程度であることを考慮すると、一般的な入札時点における設計単価による請負では、民間側が取っているリスクの影響が今回の様な特殊な時期（資材高騰期）を対象とした分析では大きい結果となり、シミュレーションに基づく請負単価であれば最終的に事業損失を回避もしくは低減できる結果となった。PFIにおいては事業継続性が重要であることを考えると、今回の設定条件での試算では、シミュレーションに基づいた請負単価が比較的妥当である結果となった訳であるが、これは民間側の入札提案における検討でももちろん必要ではあるが、官側が設定する予定価格において十分に反映することで、入札不調等のリスク回避につながるものと考えられる。

しかし、実際には、高値入札と受注の可能性はトレードオフの関係にあり、シミュレーションの結果に基づく単価での請負は、他社と差別化できる明確な条件（技術や地理条件等）が無い限り現実的ではない。加えて今回の様な異常な資材高騰期における物価リスクは一種の不可抗力リスクとも捉えることができることから、それに対する適切な措置が必要となる。PFIにおいては事業（ここでは建設事業）の継続性が重要であることを考えると単品スライド（後述）や全部スライド等のスライド条項を参考に、個々のPFI事業において契約前に予め対象資材を絞り、本研究の様なシミュレーションを行い、例えば資材の実勢単価と設計単価との差の絶対値がシミュレーション単価（平均値）と設計単価との差の絶対値を超えればスライド条項（逆スライドを含む）を適用するという様にリスク分担を何らかの指標を用いて明確化することが必要である。官側も民側も共に負っているリスクを低減させるべく、設計変更による使用資材の変更等の活発化を促す取決めを契約内容に反映しておくことも肝要である。

また一方で、総合評価一般競争入札においては、価格の過当競争をできるだけ避けた総合評価の方法も工夫されてきている。建設物価変動リスクを考慮した入札条件や総合評価のあり方等に関して、本研究から得られた知見をもとにさらなる検討が必要と考えられる。

最後に、PFIにおいても徐々に導入されつつある「単

表-8 請負単価の違いによる資材購入収支

請負単価		官庁舎事業	道路事業
(1)	シミュレーション単価 (平均値+2σ)	+17.7 億円 (+2.5%)	+6.1 億円 (+0.9%)
(2)	シミュレーション単価 (平均値)	+11.1 億円 (+1.6%)	-1.8 億円 (-0.3%)
(3)	シミュレーション単価 (平均値-2σ)	+4.4 億円 (+0.6%)	-9.8 億円 (-1.4%)
(4)	設計単価	-45.7 億円 (-6.5%)	-49.4 億円 (-7.1%)

※各事業左側数値は事業費（700 億円）に対する収支額を、右側括弧内数値は事業費に対する割合を示す。

表-9 単品スライド適用による官民分担

		変動額(億円)			適用外 総額	官負 担額 (億円)	民負 担額 (億円)
		単品スライド適用総額					
		燃料油	鋼材類				
		軽油	異型棒鋼	H形鋼			
官庁舎事業	5.1	5.0	35.2	0.4	332	125 (1.8%)	
		40.2					
		45.3					
	合計 45.7						
道路事業	3.1	18.5	17.3	10.5	28.8	20.6 (2.9%)	
		35.8					
		38.9					
	合計 49.4						

※民負担額の項の括弧内数値は事業費（700 億円）に対する割合を示す

品スライド条項」について考察する。同条項は、資材価格高騰を受け、物価変動リスクの適切な官民分担のあり方を目指し、民側がマネジメントできない著しい価格変動を官側が吸収するものとして、国土交通省から2008年6月に発動されたものである。具体的には、鋼材類と燃料油の2品目のうち、品目類ごとの増額分が対象工事費の1%を超える額を官が負担する（1%までは民が負担）というものである。つまり、今回の設定では燃料油、鋼材類の各々の変動額が事業費700億円の1%である7億円を超えなければ当条項は発動されない。

今回設定したプロジェクトにおいて、単品スライドによる官民リスク分担を考察する。表-9（前頁）に仮想プロジェクトに単品スライドを適用させた結果を示す。官庁舎事業で見ると、燃料油及び鋼材類の変動額はそれぞれ5.1億円、40.2億円である。官側は、事業費の1%である7億円を超えない燃料油の変動額については負担せず、鋼材類の変動額である40.2億円から7億円を差し引いた金額である33.2億円を負担し、民側は、総変動額である45.7億円から官負担分33.2億円を差し引いた金額である12.5億円を負担することとなる。適用前に比べると民間負担額は大きく下がったが、事業費に対する比率を見ると、先に述べた民間建設事業者の経常利益率である1.5%程度に対し、2~3%と依然として大きい。この量をどうみるかは関係者の判断であるが、本研究で構築したモデルがリスク分担の在り方を検討する上で重要な情報を提供できることが示されていると言えよう。

9. 結論

本研究では建設事業、特にPFI事業において、建設物価変動の適切なリスク分担を考察するための実践的方法論を構築するために、建設物価変動リスクの計量分析を行った。

モデル構築の過程において、主要資材の価格決定要因を明確にするとともに、資材価格形成モデル（重回帰モデル）を構築し、また、要因（説明変数）自体の予測をARIMAモデルによる時系列分析によって行った。

さらに、構築したモデルを用いて仮想PFIプロジェクトを題材とした資材購入収支の検討を行い、この検討の過程で、感度分析により事業費（資材購入費）の変動に大きく寄与する要因を特定することができた。この知見により、官民共にプロジェクトの各段階において、資材購入費の変動による影響を小さくする選択肢を選ぶことを支援することができる。ただし、本研究において想定したプロジェクトは、その工程等を考慮せず、時期による資材購入の偏りの無いプロジェクトとしたため、実際の適用においては、プロジェクトに合わせた、より詳細

な購買計画に基づいて分析すべきである。

また、複数の請負条件を設定することにより、条件ごとに事業費、特に資材購入費の予測統計量を導出し、今回の様な資材の高騰期においては物価変動リスクが、民間側に多く負っていることを定量的に示した。

ついで、最近PFIにも導入されつつある単品スライド条項についても考察し、本分析の範囲内では、条項の適用による民から官へのリスク移転は、本事業においては依然民間に受容困難な負担を与える可能性があることが示された。このように本研究のアプローチはリスクの再分担を検討する上で非常に有効な手法であるとの知見を得た。

PFI事業においては事業全体としての効率化及び特別目的会社（SPC）による公共事業継続の社会的必要性が大きいため、SPCがコントロールが困難または受容できない影響が発生するリスクの移転はSPCの存続にも影響する。一方で、物価下落時におけるSPCの超過利潤も問題である。これらは共にVFMの低下を招くこととなる。リスク中立の適正な官民リスク分担の在り方を本研究で得た知見を基に対等の立場で議論することがその改善につながるものと考えられる。ここでのリスク中立とは、単品スライド条項においては、物価下落時には逆に民間からの超過利潤を官側に移転する同等の規定（逆スライド条項）を設けることにより、同等のリスクを分担することを意味している。

以上、本研究ではこれまで概念的あるいは定性的にのみ議論されてきた官民間の物価変動リスク分担の在り方を、定量的かつ客観的に議論することのできる基礎を構築したといえる。

しかし、本研究における適用対象は抽象化したモデル事業であり、必ずしも全ての事業形態を反映したのではなく、得られた結論は現時点ではあくまでもその対象事業に限定的なものである。今後、より実地的な事業において適用を重ねることにより、より一般的な結論を導くことが必要である。

謝辞：本論文は白井が政策研究大学院大学に在籍していた時の修士論文をまとめたものである。研究に際しては政策研究大学院大学の稲村肇客員教授、日比野直彦准教授、財団法人建設物価調査会の橋本真一氏、池原一彦氏から有益なご助言を賜った。また、本研究で利用したデータは、財団法人建設物価調査会総合研究所から提供していただいた。さらに、匿名の査読者から適切な修正意見をいただいた。以上記して深謝の意を表したい。なお本稿に残りうる誤謬は全て著者たちの責任であることは言うまでもない。

参考文献

- 1) 杉山純：積算実績データに基づく建設コストの分析，建設マネジメント技術，pp.34-38，2004.
- 2) 内閣府 PFI 推進委員会，総合部会検討会：PFI 事業におけるリスク顕在化事例，pp.6-8，2009.
- 3) 内閣府 PFI 推進室：PFI 事業契約に際しての諸問題に関する基本的考え方，pp.18-20，2009.
- 4) 遠藤和義，深尾知隆：建築コストの地域的・時系列的挙動に関する研究 1 日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.933-934，1995.8.
- 5) 有光克伸：建築資材の価格動向 その 1—鋼材関係—建築コスト研究，2004 年秋，pp.56-59，2004.
- 6) 田中勇：建築資材の価格動向 その 2—石油関係—，建築コスト研究，2005 年冬，pp.56-59，2005.
- 7) 井原常貴：輸入原材料価格の高騰が建設資材価格へ与える影響について，建築コスト研究，2008 年春，pp.24-29，2008.
- 8) 斎藤英人：資材価格はどうか決まってきたのか？異型棒鋼価格の長期時系列決定要因分析，建築コスト研究，2008 年秋，pp.52-59，2008.
- 9) 西田知文：資材価格はどうか決まってきたのか？H 形鋼価格の長期時系列決定要因分析，建築コスト研究，2008 年春，pp.58-65，2008.
- 10) 橋本真一：資材価格はどうか決まってきたのか？生コンクリート価格の長期時系列決定要因分析，建築コスト研究，2008 年冬，pp.56-61，2008.
- 11) 木村麻衣子，橋本真一：資材価格はどうか決まってきたのか？コンクリート型枠用合板価格の長期時系列決定要因分析，建築コスト研究，2008 年夏，pp.80-85，2008.
- 12) 深山敬大，稲村肇：鉄屑リサイクル市場の価格形成の考察，東北大学工学部土木工学科卒業論文概要集，2006.
- 13) 万里，笠原浩三：農畜産物価格変動の予測に関する研究，鳥大農研報，Vol.54，pp.63-70，2001.
- 14) 清水幾太郎：サケの産地価格にみられる短期および長期の変動要因，さけ・ます資源管理センター研究報告，第 5 号，pp.13-19，2002.
- 15) Miyamoto, K., Sato, Y. and Kitazume, K. : Economic and financial impacts of private sector participation in infrastructure projects and the value for money, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1932, pp.16-22, 2005.
- 16) Sato, Y., Kitazume, K. and Miyamoto, K. : Quantitative risk analysis of road projects based on empirical data in Japan, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 2005 (CD-ROM).
- 17) 菅野一敏，宮本和明，森地茂：水道事業 PPP のリスク定量分析に基づく事業形式の検討，土木学会論文集 F，Vol.66，No.2，pp.275-288，2010.
- 18) 田中孝文：R による時系列分析入門，シーエーピー出版，2008.

(2012.2.20 受付)

BUILDING A QUANTITATIVE RISK ANALYSIS SYSTEM FOR THE PRICE FLUCTUATIONS OF CONSTRUCTION MATERIALS IN PFI PROJECTS

Kentaro SHIRAI, Kazuaki MIYAMOTO and Shigeru MORICHI

The fluctuation of the price of construction materials has an influence on the viability of construction projects, and is one of the key risks to manage. In the case of PFI (private finance initiative) projects, the risk is more serious because the period between contract signing and the procurement of materials is longer than that with conventional projects. The purpose of the present study is to establish a quantitative risk analysis system with which more rational risk sharing regarding construction materials can be investigated between the public and the private sectors. Structural equations determining the prices based on related economic variables are built for seven major construction materials with the data recorded by month for 15 years. With additional time-series analysis of the economic variables, a Monte Carlo simulation system is built to estimate the total cost of construction projects. By applying the system to some model PFI projects, it is found that the present prevailing rule of risk sharing in Japan is biased in favor of the public sector.