

PFI道路事業における リスクの連鎖性を考慮した計量分析

東京都市大学大学院 上田友翔^{*1}東京都市大学 宮本和明^{*2}By Yuto UEDA^{*1}・Kazuaki MIYAMOTO^{*2}

厳しい財政状況の中で道路を含めたインフラ施設の整備を行うにあたり、民間の資金とノウハウを活用するPFI手法の活用が必要となってきた。PFI事業方式においては、特にリスク分析とそれに基づく適切なリスク分担やマネジメントを行う必要がある。中でも多くのリスクを抱える道路事業では体系的なリスク分析を行う必要があるが、わが国ではその実例はほとんど存在しない。本研究の目的は、体系的なリスク分析方法の確立に向けて、リスクの連鎖性を考慮した定量的モデルの構築を行うことである。まず、リスクの連鎖性について整理を行った上で、モンテカルロ・シミュレーションに基づくリスクの計量分析モデルを構築する。その際、時点ごとにスプレッドシートを定義し、そのセル間でリンクさせることでリスクの連鎖性を表現する。シミュレーション結果からリスクの連鎖が最終的な費用や期間の超過において十分有意な影響を与えることが確認された。

【キーワード】PFI, リスク分析, リスクの連鎖, モンテカルロ・シミュレーション

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

1960年代の高度経済成長時期に建設された道路や、上下水道などの公共施設が建設後40年以上経過しており、大規模改修あるいは更新が必要な時期を迎えている。その一方で、近年我が国では厳しい財政状況が続く年々公共事業予算は減少する一方である。このような現況は社会資本のサービス水準の維持が危機的状況にあると言っても過言ではない。

一方、民間の資金やノウハウを活用するPFI(Private Finance Initiative)による公共施設の整備とそれに基づくサービスの提供が行われてきている。しかしながら、事業規模が大きくリスクも大きいインフラ事業の事例はほとんどなく、道路事業においては未だに実施されていないという状況である。

道路事業にPFI事業手法を適用する際には、官民のリスク分担やマネジメント、それらを行うための

リスク分析が事業の成否に大きく影響する。しかし、現在のわが国のリスク分析に対する取り組みは体系的に整備されたものとは言えない。

本研究の目的は、道路事業を対象としたPFI事業に不可欠と考えられる体系的なリスク分析方法を作成するために、従来あまり着目されていなかったリスクの連鎖性を考慮した分析モデルを構築することである。具体的には、(1)道路事業におけるリスク間の関係性を整理し、(2)それをリスクの連鎖性として考慮したモンテカルロ・シミュレーションによる計量分析モデルを構築、そして、(3)シミュレーションを行いリスクの連鎖性の影響の程度を定量的に評価することにより連鎖性考慮の必要性を検討する。

2. 道路PFI事業の現状とリスクの計量分析に関する既往研究

(2) リスクの計量分析に関する既存の研究

*1 学生員 環境情報学研究科環境情報学専攻 045-910-2592 E-mail:g1083106@tcu.ac.jp

*2 フェロー 環境情報学部環境情報学科 045-910-2592 E-mail:miyamoto@tcu.ac.jp

リスクの計量分析方法は、Vose¹⁾らにより一応の確立した手法がある。菅野²⁾らは水道事業における PPP のリスクの定量分析を行った。水道事業におけるリスクを整理し、仮想水道事業の評価モデルを構築しモンテカルロ・シミュレーションによって分析を行った。リスク分担方法をパターン別に比較分析し、最適条件を決定したことでモデルの有効性が確認されている。Sato, et al³⁾は国道工事事務所へのアンケート結果を基に道路事業のリスクそれぞれに確率分布形を設定し、モンテカルロ・シミュレーションにより事業期間と事業費用の定量化を行った。実験から期間延長や費用超過を事前に確率的に知ることが出来ている。江本⁴⁾は Sato, et al³⁾と同じアンケート結果を用いて、道路事業における個々のリスクの発生による費用や期間への影響を定量化した。さらにリスク同士の関係性について集計分析し、関係性のあるリスクをいくつか確認している。

本研究は Sato, et al³⁾と江本⁴⁾をもとに、リスクの連鎖性を計量分析モデルに取り組んでいる。

3. リスクの連鎖性を考慮した計量分析

(1) リスクの連鎖性とは

道路事業には多数のリスクが存在し、リスク同士がそれぞれ関係性を持っていると考えられる。例えば、あるリスクが発生することで、他のリスクが起りやすくなるのが有り得る。このようなリスク同士の関係性を本研究ではリスクの連鎖としている。他のリスクに影響を与えるリスクが多く存在する道路事業では、リスクが連鎖することで、例えば建設段階において期間や費用に大きく影響することが十分に考えられる。そのため、リスクの連鎖性を考慮した計量分析を行う必要があると考える。

(2) 考慮すべきリスクの連鎖パターン

リスクの連鎖性には以下のようなパターンがある。

- ① リスクの発生により他のリスクが起りやすくなる。
- ② リスクの発生により他のリスクの影響度合いが大きくなる、または小さくなる。
- ③ 2 つ以上のリスクが同時発生することで、それぞれのリスクの影響度合いが大きくなる。

- ④ リスクの発生が想定してなかった新たなリスクを引き起こす。

4. リスクの連鎖性を考慮したモデルの構築とシミュレーション分析

(1) リスクの連鎖性を考慮した簡易モデルの構築

a) 連鎖性を考慮するリスク項目

本研究ではリスクの連鎖性を考慮した計量モデルの構築にあたり、表－1にある4つのリスクの関係性に関するデータを江本⁴⁾から使用している。ここでは「環境対策に関する協議」と「ルート・構造に関する協議」のリスクが関係性を持ち、「周辺地域への対応」と「予期せぬ地質条件の変化への対応」のリスクが関係性を持っている。

表－1の被害費用、被害期間はそれぞれリスク事象から生じる損失の期待値のことである。また、被害費用は事業費用から計算し、例えば、影響値が0.01で事業費用が800億円だとすれば8億円となる。

b) 定量分析モデルの構築方法

連鎖性を考慮していない従来のリスク計量分析モデルを構築した上で、連鎖性部分を導入する。システムの作成にあたってはモンテカルロ・シミュレーションを行えるようにExcelとCrystal Ballを使用している。Excel上に表－1の個別のリスクの影響値を用いてプロジェクトリスクによる総超過費用と総超過期間をアウトプットするように設定を行う。

表－1 連鎖影響の設定値

	確率	被害費用	被害期間(年)	連鎖費用	連鎖期間(年)
環境対策に関する協議	24 %	0.01 (0.01)	0.28 (0.28)	0.09 (0.08)	1.16 (1.18)
ルート・構造変更に関する地元協議	56 %	0.00	1.30 (0.86)	0.07 (0.07)	0.80 (0.80)
周辺地域への対応	12 %	0.00	0.04 (0.02)	0.01 (0.01)	0.12 (0.12)
予期せぬ地質条件変化への対応	10 %	0.06 (0.09)	0.11 (0.10)	0.05 (0.05)	0.06 (0.05)

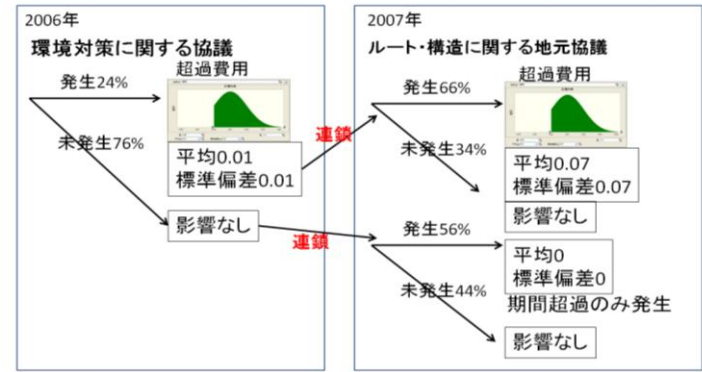
計量モデル作成に際しては、年ごとにスプレッドシートを分けて作成することで、時系列を表す。不確実性のあるそれぞれのリスクの発生確率や発生時の影響値に対しては確率分布を設定し、モンテカルロ・シミュレーションを用いることで、アウトプットは総超過費用や総超過期間がグラフの形で表現される。確率分布の設定はそれぞれのリスクについて不明な点が多いことから本検討では正規分布を用いることを原則としている。正規分布の設定は表－1の平均値、()内の標準偏差を設定している。

c) 連鎖性の導入

連鎖影響の導入方法としては条件式による場合分けを行い、図－1のように、異なる時点間の変数である影響値などでリンクさせることによりリスク間の連鎖を表現している。この図のようにリスクイベントの発生により次年の異なるリスクにおいて、場合分けにより選択する影響値が変化するように設定している。連鎖に関しては先に紹介したいくつかのパターン別に作成している。なお、連鎖時の数値は江本⁴⁾から用いているが、これに関しては事業者が数値やリスクの数、連鎖の仕方などの設定を調整することが可能である。

(2)リスクの連鎖性を考慮した定量分析結果

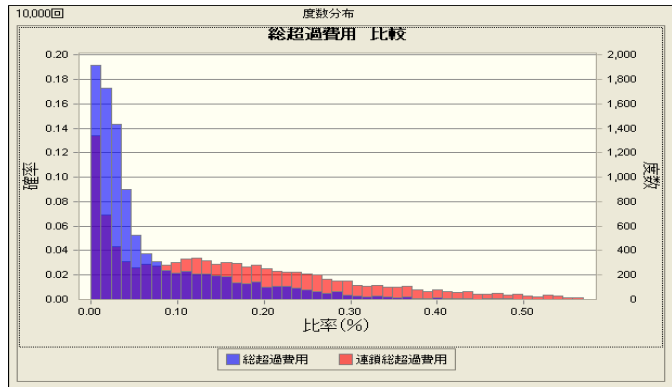
図－3、図－4と表－2は先に作成したモデルに対してモンテカルロ・シミュレーションを実施した結果を確率分布と統計値で示したものである。図－3はリスクによる超過費用の合計、図－4は超過期間の合計をそれぞれ表し、4つのリスクのみを考慮した事業として計算を行った結果であり、図－1に示すようなパターンの連鎖を考慮したモデルの結果である。



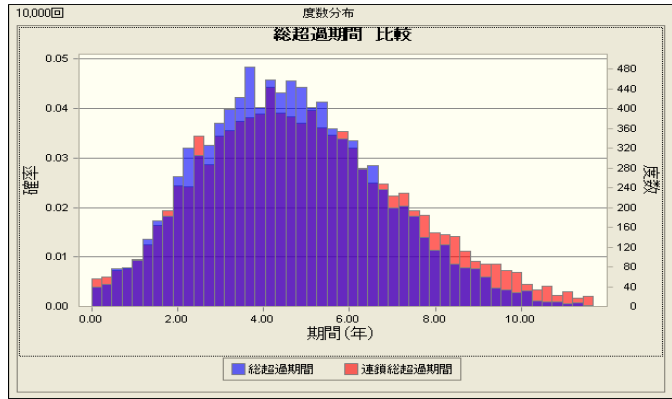
図－1 スプレッドシートにおけるリスクの連鎖性の設定

グラフは青（濃）色が従来式のリスク分析の結果、赤（淡）色が連鎖性を考慮し条件式で新たに影響値などを加えたモデルの結果を示している。グラフから連鎖性を考慮したモデルの結果の方が従来式の結果に比べて超過費用、超過期間共に大きくなっていることが確認できる。また、グラフのバラつきを示す標準偏差の値も大きくなっていることがわかる。

今回のモデルでは限定的なリスクのみを取り扱っているが、図－2に示すように費用超過におけるレンジへの影響が十分に大きい結果が得られている。



図－2 超過費用の比較



図－3 超過期間の比較

表－2 計量分析結果(統計値)

	連鎖を無視		連鎖を考慮	
	総超過費用	総超過期間(年)	総超過費用	総超過期間(年)
平均	0.07	4.65	0.16	4.98
中央	0.03	4.52	0.13	4.75
標準偏差	0.01	2.08	0.02	2.39
分散	0.8	4.31	0.15	5.72
最小	0	0	0	0
最大	0.53	12.67	1.09	15.46

5. まとめ

(1) 研究の成果

道路 PFI 事業を想定して、リスクイベントの連鎖性を明示的に考慮に入れたモンテカルロ・シミュレーションモデルを構築した。その際、時点ごとにスプレッドシートを定義し、異なる時点のセル間にリンクを設定することにより連鎖をモデル化する方法を考案している。構築したモデルにおいては、アンケート調査に基づいて連鎖が明確に確認できるリスク項目のみを考慮している。この簡略モデルのシミュレーションを実施した結果、リスクイベントの連鎖は事業の費用および期間を変動させ、特に費用超過のレンジに有意な影響を与えることを確認した。

(2) 今後の課題

本研究で残された課題は以下に挙げられる。まず、リスク同士の連鎖を計量化したが、リスク同士の関係性を分析した研究事例が少なく、構築したモデルに使用するデータが少ないことから、現時点では実用モデルの段階には達していない。今回は連鎖が確認されたリスクのなかから一部のみをモデル化しているが、前述したさらなるリスク連鎖事例の検討を踏まえてモデルを構築する必要がある。さらに、実用モデルの構築に際しては改めての調査を実施し、その抽出を図ることも必要と考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教授である東京都市大学の宮本和明教授から多大なご指導をいただいたことに対し深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) Vose, D., Risk Analysis - a Quantitative Guide, John Wiley & Sons, 2000
- 2) 菅野一敏・宮本和明・森地茂, 水道事業 PPP のリスクの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, 275-288, 2010.6
- 3) Yukiya SATO, Keiichi KITAZUME, Kazuaki MIYAMOTO, QUANTITATIVE RISK ANALYSIS OF ROAD PROJECTS BASED ON EMPIRICAL DATA IN JAPAN, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 2005.9, CD-ROM
- 4) 江本英明, リスク間の関連性を考慮した道路事業コストのリスク分析, 関西大学大学院修士論文集, 2003
- 5) 土木学会建設マネジメント委員会 PFI 研究小委員会, 道路関係事業における PFI 導入に向けたリスクマネジメント検討調査報告書, 2006

Quantitative Risk Analysis with a focus on Chains of Events in Road Projects

By Yuto UEDA • Kazuaki MIYAMOTO

In a road project, there are various risks in each project stage. From the viewpoint of project management, it is essential to qualitatively analyze the risks and conduct the risk management. However, in Japan, it has been very rare to conduct such a systematic and reasonable risk management so far. In addition, even in existing risk management schemes in the world, the interaction of risks and the chain have not been explicitly considered in a quantitative analysis with Monte-Carlo simulation. The aim of the present study is to build a quantitative analysis model that explicitly considers the interaction of risks in road projects and to evaluate the effectiveness of the model. First, a risk model is built in a set of spread sheets for a real project as a case study. Then, the model is transferred to be equipped with Monte-Carlo simulation function with additional information regarding probabilistic distributions of both occurrence of events and degree of impacts. In the process, risk chains with time lags/leads are explicitly included. At this moment, a simple model is completed with a selected set of risks and the performance shows very acceptable.