

## PFI 事業におけるリスク評価に関する研究\*

### A Study on Risk Evaluation of Private Finance Initiative\*

内田 賢悦\*\*, 岸 邦宏\*\*, 佐藤 馨一\*\*\*, 加賀屋 誠\*\*\*\*

By Ken-etsu UCHIDA, Kunihiro KISHI, Keiichi SATOH, Seiichi KAGAYA

#### 1. はじめに

PFI (Private Finance Initiative) とは、民間企業が政府機関等からインフラストラクチャーの建設、運営権を取得して、自ら調達した資金で建設し、許可された一定期間有料で運営し、投資額を回収するとともに、適正な利益を得ようとするものである<sup>1)</sup>。

その原型となった英国版 PFI では、VFM (Value for Money)、「税の対価として最も価値の高いサービスを提供する」ことが原則とされ、そのためには「各リスクは、それを最も適切に管理することができる者が負担すべきである」といったリスク分担の考え方<sup>2)</sup>が徹底されている。

わが国でも近年、公共事業に PFI 制度を導入することが検討されている。PFI 制度の導入に当たっては、「官民での適切な責任及びリスクの分担」が図られなければならない。このリスク分担(リスクアロケーション)を適切に行うためには、事業のリスクだけではなく、そのリスクを負担することによって得られるリターンも適切に評価する必要がある。

本研究は、証券投資のリスク評価に用いられるポートフォリオ理論によって、PFI 事業のリスクおよびリターンの関係を明らかにし、官民の適切なリスク分担を提案するものである。対象は北海道石狩市におけるモノレール整備事業であり、これを PFI 制度で行うことを仮定している。

#### 2. 石狩市におけるモノレール整備計画

石狩市は札幌市の北側に隣接し、札幌市のベッド

タウンとしての役割を担っている。また、平成 8 年 9 月には市制施行もなされた。加えて、海岸部には国家的プロジェクトである石狩湾新港地域を抱えており、当該地域の発展が道央圏及び北海道全体の社会や経済に与える波及効果は非常に大きい。

同地域の主要な公共交通である路線バスは、朝夕のラッシュ時はもとより、特に冬季の交通環境の悪化による運行遅延は大きな問題となっている。こうした背景から、石狩市と札幌市の連携を支える交通基盤として昭和 47 年「石狩湾新港開発基本計画」において、モノレール整備計画が盛り込まれ、関係機関によりさまざまな検討が進められてきた。しかし、財政負担の大きさ、事業採算性、先行事例における第 3 セクター制度の非効率性といった問題から、20 年余り経過した現在に至っても実現されていない。

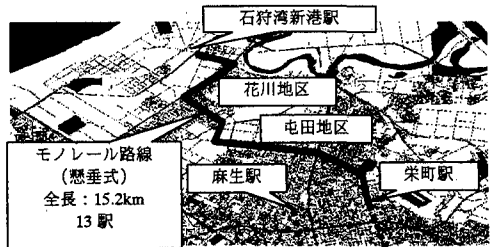


図1 モノレール想定路線図

#### 3. ポートフォリオの概要

ポートフォリオ理論は、最適なポートフォリオ(資産配分)を研究するものであり、投資分析論、金融論等の分野で貢献してきた。ポートフォリオ理論では、リスクを分散、リターンを期待値として捉えることが特徴であり、以下にその概要を示す。

一般的に  $N$  個の資産によるポートフォリオを考える場合、その期待リターンは式(2)で表される。

$$R_p = x_1R_1 + x_2R_2 + \dots + x_NR_N \quad (1)$$

\*キーワード 財源・制度論、公共事業評価法

\*\*正会員 博(工) 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北 13 条西 8 丁目, Tel 011-706-6213, Fax 011-706-6211)

\*\*\*フェロー 工博 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北 13 条西 8 丁目, Tel 011-706-6209, Fax 011-706-6216)

\*\*\*\*フェロー 学博 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (札幌市北区北 13 条西 8 丁目, Tel 011-706-6210, Fax 011-706-6211)

$$E(R_p) = x_1 E(R_1) + x_2 E(R_2) + \dots + x_N E(R_N) \\ = \sum_{i=1}^N x_i E(R_i) \quad (2)$$

$R_p$ : ポートフォリオのリターン

$E(R_p)$ : ポートフォリオの期待リターン

$E(R_i)$ : 各資産の期待リターン ( $i=1,2,\dots,N$ )

$x_i$ : ポートフォリオの組入比率 ( $x_1 + x_2 + \dots + x_N = 1$ )

一方、ポートフォリオのリスクは、各資産相互間の関係を考慮する必要があり、式(3)で表される。

$$Var(R_p) = x_1^2 Var(R_1) + x_2^2 Var(R_2) + \dots + x_N^2 Var(R_N) \\ + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j Cov(R_i, R_j) \quad (i \neq j) \quad (3)$$

#### 4. モノレール整備事業のリスク設定

##### (1) 想定リスクケース

モノレール整備事業のリスクアロケーションを行うに当たり、以下に示す4つのリスクケースを説明変数とし、また純利益を目的変数とした重回帰分析を行う。すなわち、式(1)におけるポートフォリオの組入比率を偏回帰係数として取り扱うことにする。各リスクケースは以下のように仮定した。

(a) 利用者数の変動によるリスク:  $R_1$

これは、運営者のサービスレベルによって利用者数が変動することによるリスクである。

(b) 運賃増額によるリスク:  $R_2$

運賃が増額されることによって利益が変動するリスクである。

(c) 建設費増額によるリスク:  $R_3$

工期延長により建設費が増加することによるリスクである。

(d) 季節による利用者数変動:  $R_4$

季節によって利用者数が変動することによるリスクである。

##### (2) リスクケースの設定

(a) 利用者数の変動によるリスク

これは、日利用者数が計画日利用者数( $T_p$ )に達しなかった場合を想定するものである。本研究では、他都府県で既に開業しているモノレールの計画利用者数と実質利用者数を参考として、定常利用率( $R_i$ )を31%、41%、66%、87%、100%と5個の値を設定した<sup>3)</sup>。定常利用率とは、運賃増額、季節変動を考

慮しない場合の利用率であり、この値が100%である場合の計画日利用者数は、17,581人/日とした<sup>3)</sup>。

(b) 運賃増額によるリスク

基本料金を250円に設定し、運賃増額( $F_i$ )を10円単位とし、表1に示すように設定した。

表1. 運賃設定

$F_i$ (円)	運賃変動率 $R_2(\%)$
10	1.04
20	1.08
30	1.12
40	1.16
50	1.20

一方、運賃の増額により利用率は低下するものと考えられる。藤田ら<sup>4)</sup>は、石狩市においてモノレールの利用率を交通目的、アクセスバスの有無、運賃等で回帰させた、集計ロジットモデルを提案している。同モデルでは、重相関係数が0.98であり、さらに各説明係数のt値も十分に高い値をとっている。したがって、本研究における運賃の増額による利用率の低下率( $r_2$ )を同モデルから、10円値上げすることにより0.24%利用率の低下があると設定した。

(c) 建設費増額によるリスク

これは、工期が1年延びることにより総建設費に1.5%が増加<sup>3)</sup>するものとし、追加建設費( $C_i$ )を表2に示すように設定した。総建設費( $C_F$ )の基本額は、65.9億円としている<sup>3)</sup>。

表2. 工期延長による追加建設費

遅延年数	建設費増加率 $R_3(\%)$	増加費用 $C_i$ (千円)
1	1.5	98,985
2	3.0	197,970
3	4.5	296,955
4	6.0	395,940
5	7.5	494,925

ここで建設費の償却は、総建設費と工期遅延による追加建設費を合計したものを30年で等額償却するものとし、その間のインフラ率、利息等は考えないことにする。

(d) 季節による利用者数変動

積雪寒冷地における公共交通機関は、冬季には利用者数が増え、逆に夏季には利用者が減る傾向がみられる。本研究では、札幌市市営地下鉄における利

用者数の季節別利用率( $R_s$ )を用いて、季節別利用者数を推定した(表3)。

表3. 季節別利用率

季節	$R_s$ (%)
早春(4月)	104
春(5,6月)	100
夏(7~8月)	94
秋(10~12月)	99
冬(1~3月)	103

## 5. モノレール整備事業のリスク評価

### (1) 純利益の推定

目的変数としての月純利益( $P_P$ )は、月総収入(利用者の運賃収入: $P_G$ )から、月総費用( $C_G$ )としての固定費(建設費: $C_F$ )および変動費(人件費: $C_V$ )を差し引いたものとした(式(4))。

$$P_P = P_G - C_G \quad (4)$$

ここで人件費は、札幌市営地下鉄の1人当たりの人件費に計画就労人員(103人)を乗じたものとし、年間で8.079億円としている。

計画利用者数は基本値を17,581人/日とし、それに各利用率を乗じて実際の日利用者数を推定した。

月総収入は、1人あたりの運賃を250円として設定して推定している。

### (2) 重回帰分析

目的変数に純利益、説明変数にリスクケースを用いて重回帰分析を行った。データ数は625個である。標準化変数を用いた回帰式を式(5)に、標準化しない変数を用いた回帰式を式(6)に示す( )内の数値は、t値である)。

$$P_P^* = 0.9957R_1^* - 0.0089R_2^* - 0.0116R_3^* + 0.0858R_4^* \quad (5)$$

(749.8)      (6.7)      (8.7)      (64.6)

$$P_P = 1324148 R_1 - 52656R_2 - 183305R_3 + 861375R_4 - 149471673 \quad (6)$$

(3.8)

$$R^2 = 0.99$$

ここからは、標準化した変数および偏回帰係数をそれぞれ  $R_i^*$ 、 $\beta_i^*$  と表し、標準化しない変数および偏回帰係数をそれぞれ  $R_i$ 、 $\beta_i$  と表すことにする。

### (3) リスク指標

信頼区間を95%、純利益のリターンを  $E(P_P)$  とし、

純利益の上限値( $U$ )、下限値( $L$ )、リスク値( $V$ )をそれぞれ、式(7)、式(8)、式(9)より求めた(表4)。

$$U = E(P_P) + 1.96\{\text{Var}(P_P)\}^{1/2} \quad (7)$$

$$L = E(P_P) - 1.96\{\text{Var}(P_P)\}^{1/2} \quad (8)$$

$$V = U - L \quad (9)$$

表4. 純利益のリターンとリスク(千円/月)

	リターン値	リスク値	上限値	下限値
$P_P$	18,064	131,637	83,882	-47,755

ポートフォリオ理論によると、リスクは分散として捉えているが、本研究ではリスク値を金額として評価するため、標準偏差を用いることにした。

次に、事業全体のリスクを想定したリスクケースに分配する。各リスクケースのリスク値( $V_i$ )は、式(10)より求めた。

$$V_i = V \cdot |\beta_i| \{ \text{Var}(R_i) \}^{1/2} / \sum_{k=1}^4 |\beta_k| \{ \text{Var}(R_k) \}^{1/2} \quad (10)$$

想定したリスクケースにおけるリスク値は、表5に示す通りである。

表5. 想定ケースのリスク(千円/月)

リスクケース	リスク値
$R_1$	114,553
$R_2$	5,777
$R_3$	1,333
$R_4$	9,868

### (4) リターン指標

リスクアロケーションを行うにはリスクだけでなくリターンの指標も必要であり、本研究では、リターンの指標として2つの値を用いることとした。

#### (a) 経営リターン

これは想定したリスクケースにおいて、標準化された説明変数が1単位改善されたときに得られる利益の増分( $P_i$ )である。ここでの重回帰分析では、各変数が標準化されているため、式(11)から経営リターンを求めた。

$$P_i = |\beta_i^*| \{ \text{Var}(P_P) \}^{1/2} \quad (11)$$

#### (b) 期待リターン

これは、リスクを負担することで年間に得られるであろう期待リターン( $ER_i$ )である。この合計値が月純利益の期待値となるように期待リターンを定める

ことにする。式(6)より、式(12)の関係が成立する。

$$E(P_F) = \beta_1 E(R_1) + \beta_2 E(R_2) + \beta_3 E(R_3) + \beta_4 E(R_4) + C \quad (12)$$

$$C = -149471674$$

式(12)右辺第 5 項の定数項を考慮して期待リターンを式(13)より求めた。

$$ER_i = \beta_i \cdot E(R_i) + C/4 \quad (13)$$

すなわち、定数項の部分を各リスクケースに等分配することによって、純利益の期待値と各リスクケースにおける期待リターン合計値を等しくしている。

これらのリターンとリスクの関係を表 6 に示す。

表 6. リスクとリターン (千円/月)

リスクケース	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
リスク値	114,553	5,777	1,333	9,868
経営リターン	33,435	298	389	2,880
期待リターン	49,761	-43,265	-38,193	49,761

表 6 に示したリスクとリターンの関係は、リスクがリターンよりも大きいから危険というわけではない。ここでのリスクとは、あくまでも信頼区間を 95% としたときの、最高利益と最低利益(または最高損失)の差額と考えるべきである。したがって、リスク値、経営リターン、期待リターンを総合的に評価してリスクアロケーションを行う必要がある。

## 6. モノレール整備事業におけるリスクアロケーション

リスクアロケーションは、①リスクをコントロールできるものが負担する、②民間側にインセンティブを損なわない程度のリスクを分担させる、という 2 つの方針で行うことにする。

リターンとリスクの関係から、以下に示すリスクアロケーションを提案する。

民間：実質交通量変化+運賃設定

公共：建設費増額+季節変動

この場合、民間が負担するリスク値は約 1 億 2000 万円/月、それによって得られる経営リターンは約 3,300 万円/月、期待リターンは約 650 万円/月となる。一方、公共側のリスク値、経営リターン、期待リターンは、それぞれ 1100 万円/月、250 万円/月、1,200 万円/月となる(表 7)。

表 7. リスクアロケーション (千円/月)

	民間	公共
リスク値	120,331	11,201
経営リターン	33,137	2,491
期待リターン	6,496	11,568

民間側のリスクは、公共側と比較して大きい値をとり、また期待リターンは公共側と比較して小さい値となっている。しかし、民間側の経営リターンは公共側と比較して大きな値をとっており、運営したいで民間側は大きな利益を上げることができる。また、民間側の期待リターンは正の値をとっているため、民間のインセンティブを損なうようにはなっていない。

工期延長による建設費増額および季節変動によるリスクは、民間側でコントロールすることは困難であると考えられる。そのため、公共側が分担するものとした。

## 7. まとめ

本研究では、ポートフォリオ理論における「分散=リスク」、「期待値=リターン」という関係と、重回帰分析を用いて北海道石狩市におけるモノレール整備事業のリスクアロケーションを行った。しかし、分析に用いたデータやリスク設定が十分に現実を反映したものであったとはいえない。これは今後の課題としたい。

### 参考文献

- 1) 榎本信一：コンサルタント、コンストラクターからみた海外の BOT プロジェクトにおける役割と問題点、道路交通経済、No.77, pp.33~37, 1996
- 2) 日本開発銀行 PFI 研究会：PFI と事業化手法, pp.108~109, 1998
- 3) 石狩町軌道系交通等事業化調査, 1995, 石狩町
- 4) 藤田正人他：PFI 方式による新交通システムの整備計画に関する研究, 第 34 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.895~900, 1999
- 5) 第 3 回道央都市圏パーソントリップ調査報告書, 199
- 6) 平成 7 年国勢調査