

熊本電鉄LRT化プロジェクトの拡大オプション型段階整備計画の評価*

Project evaluation of Kumamoto-Dentetsu Railway LRT project by real option approach *

溝上章志**・藤見俊夫***・平野俊彦****

By Shoshi MIZOKAMI**・Toshio FUJIMI***・Toshihiko HIRANO****

1. はじめに

熊本電鉄では、熊本市電への乗り入れのための軌道延伸、システムのLRT化、既存のバス路線のフィーダール線網への再編を骨子としたLRT化計画案を公表した。H16年度には本計画案に対する需要予測と費用便益分析が行われ、B/C=4.2となっている。しかし、建設費が大きいことや需要の不確実性が大きいなどの理由で、本計画の一括整備は困難であると考えられる。そのため、水道町まで軌道を延伸して、北熊本までLRT化を行い（第1段階）、その後、大池まで北へ延伸し、北熊本から大池までを全面LRT化する（第2段階）という段階整備（図-1参照）を提案している。これまで便益評価方法には主に現在価値法が使われてきた。しかし、この方法では将来の需要の不確実性を考慮に入れたプロジェクト評価は容易ではない。本研究では、金融オプションの理論を取り入れたリアルオプション手法を用い、本LRT化プロジェクトの拡大オプション型段階整備という柔軟性のある整備計画の評価を行うことを目的とする。

2. リアルオプションの概要

将来の原資産が不確実な場合、現在価値法（NPV法）では将来のキャッシュフローの期待値を推定し、それを通常よりも大きな割引率で割り引いて現在の価値に戻すという評価方法をとるのが一般的である。一方、リアルオプションでは、将来有利な状況になればオプションを行使し、不利な状況になればオプションを放棄するというオプション価値をプロジェクトの評価に加えることができる。リアルオプションによる評価は、不確実な環境のもとで意思決定を行う必要があり、その上、不確実性に応じてプロジェクトが将来に事業を変更できる柔軟性を持っている場合に有効である。経済状況に伴って、輸送需要やそれに基づく社会的便益は変動するものであるから、交通プロジェクトの評価へのリアルオプションの適用は有用である。ここでは、第1段階整備終了後に



図-1 段階整備計画案

拡張事業となる第2段階整備を行うかどうかを決定できる拡大オプションを考える。

3. 将来の社会的便益額の推計

(1) 交通需要の予測

原資産の価値となる将来の社会的便益額を推計するために、まず熊本電鉄の将来の需要の予測を行う。需要予測フローを図-2に示す。需要予測の方法は、非集計手段選択モデルと数え上げ法による集計化分担交通量の予測、自動車利用ODの道路網への均衡配分と公共交通ODの確率配分を組み合わせた統合均衡型モデルである。予測プロセスの詳細は文献1)に譲る。交通需要の予測は、現況の熊本電鉄、市電、JRとすべてのバス事業者が設定した路線網から構成されるネットワークに加えて、前述した第1段階整備後と第2段階整備後のネットワークの3ケースについて行っている。なお、バス路線網は第1段階整備時にはすべてフィーダール線網に再編されるものとする。

公共交通機関分担需要を集計した結果、第1段階整備後の自動車から公共交通機関への転換トリップ数は300トリップ/日、第2段階整備まで行うとさらに100トリップ/日、合計で400トリップ/日が見込まれる。得られた公共交通機関利用ODを上記の3ケースのネットワークに配分し、公共交通の路線別の利用需要を求める。各ネットワークに配分した結果を図-3に示す。現況推計では約3,700人/日と算出されたが、第1段階整備後では

*キーワード：リアルオプション、プロジェクト評価、LRT化計画
**正員、工博、熊本大学（熊本県熊本市黒髪2-39-1、TEL:096-342-3541、E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp）
***正員、博（農）、熊本大学大学院自然科学研究科
****学生員、熊本大学大学院自然科学研究科

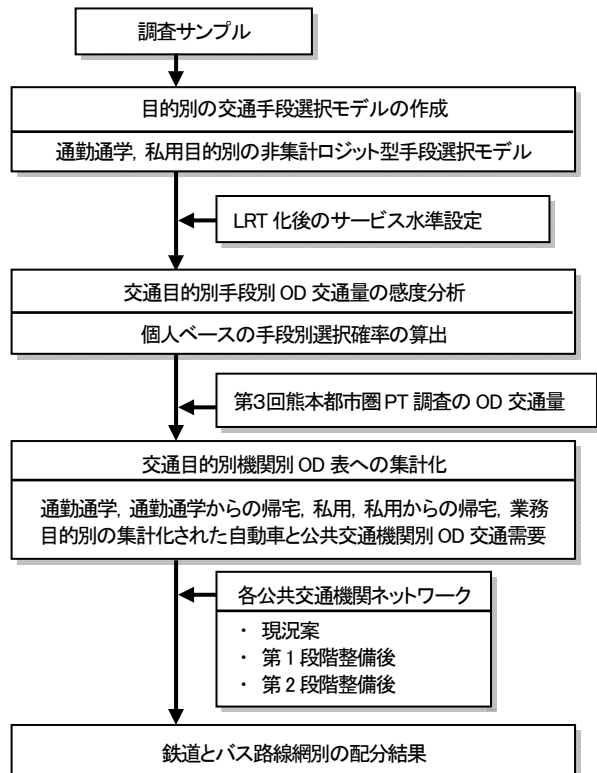


図-2 交通需要予測のフロー

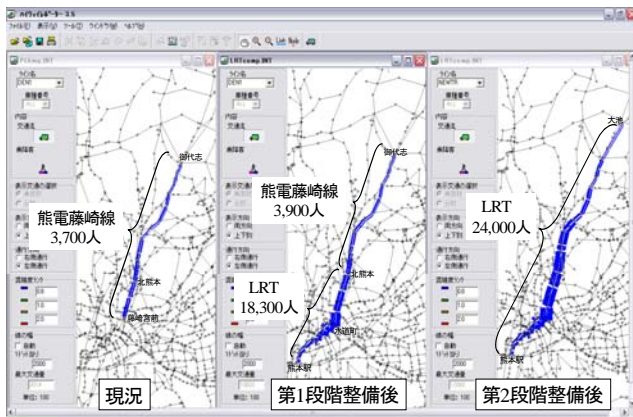


図-3 駅間利用需要の推移

北熊本～御代志間の熊本電鉄藤崎線の需要は約 3,900 人日、熊本駅～北熊本間の LRT 区間の需要は約 18,300 人日となり、全区間では約 22,200 人日となると予測された。さらに第 2 段階整備後では全区間が LRT となり、熊本駅～大池間の需要は約 24,000 人日となった。

(2) 各段階整備後の便益の推計

需要予測の結果を基に、原資産の価値となる将来の社会的便益額を算出する。計測する便益項目は利用者便益、供給者便益、環境等改善便益である。利用者便益とは現況と比較して各整備後の公共交通機関利用者の一般化費用が変化することによって生じる便益である。供給者便益は現況と各整備後との事業者の利益の差である。環境等改善便益は LRT 化後の手段転換によって自動車交通

表-1 各種便益額の推計結果 (単位: 億円/年)

	第1段階整備後	第2段階整備後
利用者便益	12.01	25.47
供給者便益	-0.23	1.66
環境等改善便益	0.56	1.80
合計	12.34	28.93

表-2 プロジェクト評価における設定条件

	一括整備	段階整備
整備期間	3年	第1段階: 2年 第2段階: 1年
投資費用	121.44 億円	第1段階: 62.32 億円 第2段階: 64.01 億円
毎年発生する便益額	28.93 億円	第1段階: 12.34 億円 第2段階: 16.59 億円
便益の発生期間	30年間	
社会的割引率	15%	
ボラティリティ		20%
安全資産利子率		1.6%

注) ボラティリティ、安全資産利子率は拡大オプション型段階整備計画のみに係わる条件

需要が減少し、道路交通混雑が緩和することによって生じる便益である。第 1 段階整備後、および第 2 段階整備後の社会的便益額の推計結果を表-1 に示す。第 1 段階整備後では 14.23 億円/年、第 2 段階まで整備されると 28.93 億円/年の便益が発生すると予測された。

4. リアルオプションによるプロジェクト評価

得られた社会的便益を用いて LRT 化プロジェクトの評価を行う。ここでは、まず本 LRT 化プロジェクトの一括整備計画、前述した段階整備を独立の事業として行う独立型段階整備計画を現在価値法によって評価する。次に、リアルオプション・アプローチを用いて拡大オプションを考慮した段階整備計画を評価し、それぞれの整備計画の評価結果を比較する。表-2 にはプロジェクト評価に必要な設定条件を示す。

(1) 一括整備計画の評価

一括整備を行う場合は現在価値法を用いる。この場合のプロジェクトの状況を表-3 に示す。これらの設定のもとで算出された総便益額、総投資額の現在価値はそれぞれ 124.9 億円、121.2 億円となり、NPV は 3.7 億円となった。費用便益比は 1.03 となり、H16 年度の研究結果の 4.18 と比べるとその約 4 分の 1 となっているが、これは本研究では LRT 化プロジェクトの不確実性が大きいと考え、社会的割引率を 4.0% としていたものを 15% と高く設定したためである。

(2) 独立型段階整備計画の評価

独立型段階整備では、各段階整備を独立した 2 つの事

業として捉え、不確実性を考慮せずに現時点ですべての意思決定を行うこととする。独立型段階整備のプロジェクトの状況を表-4に示す。独立型段階整備では、第1段階整備事業と第2段階整備事業をそれぞれ独立した事業として評価を行うことから、事業全体のNPVは、現在価値法で算出される段階整備ごとのNPVの和として求められる。まず、第1段階整備による総便益額と総投資額の現在価値は、それぞれ61.27億円、62.25億円となり、第1段階整備のNPVは-1.0億円となった。第2段階整備による総便益額と総投資額の現在価値は、それぞれ54.16億円、63.79億円となり、NPVは-9.6億円となった。事業全体のNPVは両者の和の-10.6億円となり、独立型段階整備は社会的に効率的ではないという結果になった。以上の検討では、一括整備計画を行った方が良いということになるが、建設費の絶対額が非常に大きいため、建設費を分散できる段階整備が望まれている。次項ではオプションを考慮した段階整備計画の評価を行う。

(3) 拡大オプション型段階整備計画の評価

オプションには延期や中断等、様々なオプションが考えられるが、ここでは本プロジェクトに最も適していると思われる拡大オプションを考慮した段階整備について評価を行う。原資産は将来の社会的便益額である。拡大オプション型でも各段階整備にかかる期間や投資額、整備後の便益は独立型と同じ値に設定した。ただし、拡大オプション型では、便益の現在価値が不確実性(ボラティリティ)により1年ごとに変動すると考えるので、ボラティリティと安全資産利子率を条件に加える必要がある。ボラティリティについては、まず、熊本電鉄の1965年から2004年までの収入を S_t としたときの $\ln(S_{t+1}/S_t)$ の標準偏差である、ヒストリカル・ボラティリティを求める。これによって算出された値は8.6%であった。次にこの値を用いてインプライド・ボラティリティを予測する。しかし、モータリゼーションの進展、

少子高齢化社会等、地方鉄道を取り巻く状況には不確実な面が多数存在するため、これを予測するのは困難である。そのため、今回は得られた値より大きい20%と仮定した。安全資産利子率はオプション価値算定のための割引率として用い、その値は10年ものの日本国債の利回りである1.6%を用いた。

第1段階整備については、オプションを考慮しないため、前項と同じNPV(=-1.0億円)となる。第2段階整備では拡大オプションを考慮し、Cox, Ross, Rubinsteinの2項モデルを用いてオプションの価値を含むプロジェクト価値を求め、両者を足し合わせて事業全体のNPVを求める。2項モデルでは、まず、ボラティリティにより便益がどのように変化するかを1年ごとに順次推計し、第2段階整備開始時点の便益を求める(図-4参照)。上昇率 u と下落率 d はボラティリティを σ とした場合にはそれぞれ $e^\sigma, e^{-\sigma}$ となる。ここでは $\sigma=0.2$ であるので、 u, d は、それぞれ1.22, 0.82となる。

次に第2段階整備開始時点の便益として算定された各ケースの値から、第2段階整備に必要な費用の4年目での価値68.0(=63.79×(1+0.016)⁴)億円を差し引いた値を求める。この値が4年目でのプロジェクト価値として与えられる。この時点で、便益よりも費用が大きくなる場合は、事業を放棄するため、プロジェクト価値は0となる。このようにして求められた4年目での価値をリスク中立確率と安全資産利子率を用いて1年ごとに遡り、現時点でのプロジェクト価値に逆算する(図-5参照)。ここでリスク中立確率とは、1時点後の原資産価格の期待収益率が安全資産利子率に等しくなるように算出される仮想的な値である。価値が上昇するときのリスク中立確率 q は、 $q = \frac{1+r-d}{u-d} = \frac{1+0.016-0.82}{1.22-0.82} = 0.49$ となり、下落するときのリスク中立確率は $1-q=1-0.49=0.51$ となる。ここで、 r は安全資産利子率である。算出したリ

表-3 一括整備を行う際のプロジェクトの状況 (単位: 億円)

評価時点 (T=0) を基準とした年次	0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	...	20年目	...
プロジェクトの状況	判断	整備	整備	整備	供用	供用	供用	...	供用	...
各年に得られる便益額	0	0	0	0	28.93	28.93	28.93	...	28.93	...
投資費用	121.16	0	0	0	0	0	0	...	0.30	...

表-4 段階整備を行う際のプロジェクトの状況 (単位: 億円)

○第1段階整備										
評価時点 (T=0) を基準とした年次	0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	...	20年目	...
プロジェクトの状況	判断	整備	整備	供用	供用	供用	供用	...	供用	...
各年に得られる便益額	0	0	0	12.34	12.34	12.34	12.34	...	12.34	...
投資費用	62.25	0	0	0	0	0	0	...	0.07	...
○第2段階整備										
評価時点 (T=0) を基準とした年次	0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	...	20年目	...
プロジェクトの状況					判断	整備	供用	...	供用	...
各年に得られる便益額	0	0	0	0	0	0	16.59	...	16.59	...
投資費用	0	0	0	0	63.78	0	0	...	0.23	...

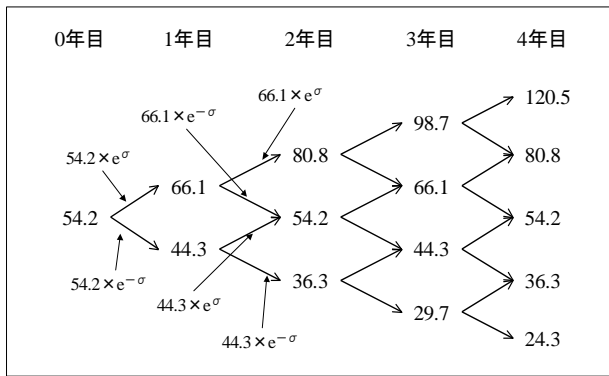


図-4 イベントツリー

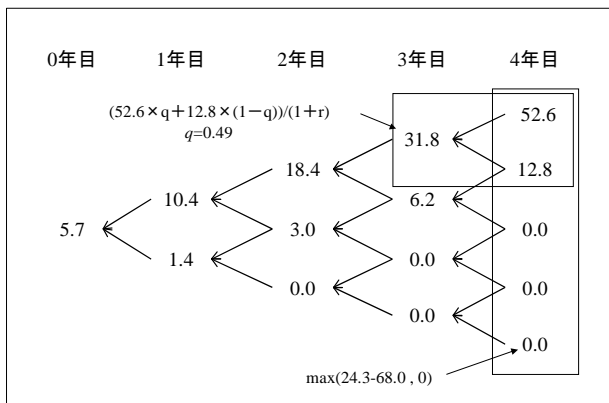


図-5 第2段階整備後のNPV算定ツリー

スク中立確率を用いて期待値を取り、安全資産利子率で割り引くことで前年のプロジェクト価値を求める。この計算を0年目まで繰り返し行うことで現時点のプロジェクト価値を算出する。算出された第2段階整備のNPVは5.7億円となった。以上より、全体事業のNPVは4.7億円となった。第1段階整備までのプロジェクトの価値はマイナスになってしまうが、オプションを含んだ第2段階整備まで考慮するとNPVはプラスに転じるため、プロジェクトを採用するのは効率的であるという結果になった。

各ケースのNPV推計結果をまとめたものを図-6に示す。一括整備計画と比較しても拡大オプション型のNPVが1.0億円だけ高く算出されている。これより、本研究で検証した3ケースの中では拡大オプション型の実施が最良の選択であることがわかる。

表-5 NPVの弾力性

	社会的割引率	ボラティリティ	安全資産利子率
1%増加時のNPV (各変数の値)	3.62億円 (15.15%)	4.83億円 (20.2%)	4.74億円 (1.616%)
変化量(ΔNPV)	-1.12億円	0.09億円	0.00億円
変化率(ΔNPV/NPV)	-23.59%	1.97%	-0.03%
変化率(Δp/p)		1%	
弾力性値	-23.59	1.97	-0.03

注) 標準のNPVは4.74億円である。

5. 弾力性分析

拡大オプション型段階整備計画のNPVの弾力性について考察する。各変数の変化率に対するNPVの変化率 $\frac{\Delta NPV}{NPV}$ を弾力性とする。ここで、 p は各変数である。ここでは、標準として定めた各変数の値(社会的割引率:15%,ボラティリティ:20%,安全資産利子率:1.6%)から1%増加させたときに、NPVが何%変化するかを計算する。表-5にその結果を示す。社会的割引率に対する弾力性値が-23.59と他の2つと比較して大きくなっていることから、社会的割引率がNPVに与える影響は大きいことがわかる。また、ボラティリティについても弾力性値が1を超えているため弾力的であるといえる。社会的割引率と安全資産利子率については変化率の符号がマイナスであるため、この2変数の値が大きくなるとNPVは小さくなる。逆にボラティリティが大きくなるとNPVも大きくなる。

6. おわりに

本研究では、リアルオプション・アプローチによる便益評価手法を用いて、熊本電鉄LRT化プロジェクトの段階整備の評価を行った。また、従来のプロジェクト評価手法である現在価値法による評価と比較した。その結果、原資産のもととなる交通需要など、不確実性の大きいプロジェクトの段階整備計画を考える際は、オプションを考慮したプロジェクト評価を行うことは有用であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 溝上章志, 橋内次郎, 斎藤雄二郎: 熊本電鉄の都心乗り入れとLRT化計画案実施に伴う利用需要予測, および費用対効果の実証分析, 土木学会論文集D, Vol.63, No.1, pp.1-13, 2007.
- 2) 高橋宏直, 吉田二郎, 山本幸司: 社会資本整備の評価手法へのリアルオプションの適用に関する研究, 国土技術政策総合研究所報告, No.22, 2005.
- 3) Trigeorgis, L.: A Log-Transformed Binomial Numerical Analysis Method for Valuing Complex Multi-Option Investments, Journal of Financial and Quantitative analysis, Vol.26, pp.309-326, 1991.

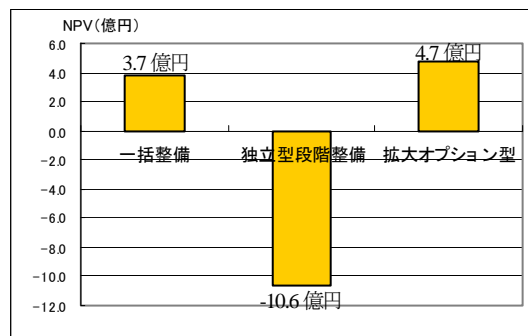


図-6 ケース別NPV推計結果