

民営化後の都市高速道路会社における計画管理システムに関する研究*

Research on the Project Management System in the Urban Expressway Company after Privatization *

岡本太郎 **・谷口栄一 ***・山田忠史 ****

By Taro OKAMOTO **・Eiichi TANIGUCHI ***・Tadashi YAMADA ****

1. はじめに

我が国では、行政改革の一環として 2005 年 10 月に道路関係四公団が 6 つの株式会社に分割・民営化された。

民営化の目的は、約 40 兆円に上る有利子債務の確実な返済、真に必要な道路を、少ない国民負担で建設

民間ノウハウによる多様で弾力的な料金やサービス提供とされており、これら目的のもと平成 18 年 4 月から本格民営化された各道路会社は、民営化後 45 年間で着実に債務を返済するため、民営化時点で予測される交通量と管理費等に基づき締結した協定に則り有料道路事業を運営していくこととなった。

つまり、協定において 45 年間毎年度の計画交通量（計画収入 A）、計画管理費 B、債務の返済額（貸付料 C）が、 $A=B+C$ という形で決定されたことになる。なお、民営化後の道路事業においては、料金に利潤を見込まない（料金収入で利益を出さない）こととされている。

現実の運営においては、交通量や収入（A'）は、景気動向など様々な要因により日々変化するものであるため、常にその変動を把握しながら、既定の債務返済額（C）を差し引いた残りの額を管理費（B'）として収支の均衡を保つ必要がある。

そこで、限られた計画管理費を、種々の管理運営施策に対して如何に分配すれば、安全、安心、快適な都市高速道路の運営を実現し、利用者の安定的確保あるいは増客となって、債務返済を確実にすることが出来るのかという点で、より有効な支出分配方を明らかにし、その意思決定を支援するモデルの構築を行う。

*キーワード：道路計画、交通計画評価、交通管理

**正員、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻博士課程

阪神高速道路株式会社経営企画部経営企画グループ

(大阪市中央区久太郎町4-1-3、TEL06-4963-5191、

E-メールアドレス; taro-okamoto@hanshin-exp.co.jp)

***フェロー、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

都市基盤システム工学講座 教授

(京都市左京区吉田本町、TEL075-753-4789、FAX075-752-5303)

****正員、博士(工学)、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

都市基盤システム工学講座 助教授

(京都市左京区吉田本町、TEL075-753-4787、FAX075-752-5303)

2. 料金収入と管理費の関係

(1) 計画交通量（計画収入）と計画管理費

民営化後 45 年後までを見通した計画に基づき締結されている協定における計画管理費は、各道路の近年の管理実態をもとに民営化前のコスト 3 割削減の自助努力を反映して設定され、実際の管理運営はこれをもとに現場実態に応じてなされている。

実際の管理運営においてまずは年度内の収入と支出（管理費）を均衡させるため、例えば年度途中で交通量が計画値を下回った場合は、直接的に交通量に影響の及ばない管理費を抑制し、次に交通量（収入）の増に向けて即効性のある管理費を増額するなどにより収支のバランスをコントロールする必要が生じてくる。

すなわち、計画管理費の枠内という一定の上限のもとで交通量（収入）を最適化（計画通りあるいは最大化）できる管理への支出、あるいは景気動向などの影響を受けて増減する交通量（収入）に見合った管理費の支出を見極めることが必要となる（図 - 1）。

なお、阪神高速道路の当初協定における平成 18 年度の計画収入、計画管理費、貸付料支払い（債務返済額）はそれぞれ、1,899 億円、422 億円、1,477 億円となっている。¹⁾

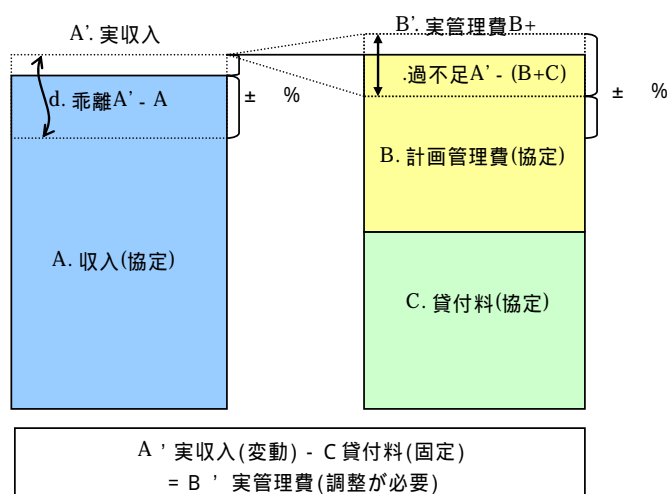


図 - 1 計画管理費、計画収入、貸付料の関係(イメージ図)

(2) 管理費のコスト削減と交通への影響

有料道路の維持管理コストは、大まかに分類すれば、料金収受費（料金所での収受員配置等）
交通管理費（パトロール、交通事故対応等）
道路保全費（舗装、橋梁、トンネル等の機能保存）
道路交通情報提供を含む広報・公聴費
といったものがある。

各道路会社は、管理費の削減について民営化の以前から取り組んできており、最近では平成14年度を初年度として平成17年度までに3割削減を目標とした抜本的なコスト削減計画を立てて実施してきた。

その結果、管理費トータルとしては概ね3割削減が達成できた状況となった。削減計画に伴う主な管理費の推移と交通現象への影響については表 - 1のとおり。

表 - 1 管理コストと交通現象の推移(阪神高速データを元に作成)

		H14	H15	H16	H17
維持修繕費	H14を100	100	95	83	70
清掃頻度	H14を1	1.00	0.92	0.54	0.58
1kmあたり不具合	"	1.00	1.35	1.31	1.40
料金収受費	H14を100	100	93	79	61
ETC利用率	%	2.2	7.4	17.3	46.0
交通管理費	H14を100	100	94	81	67
事故件数	H14を1	1.00	1.11	1.10	1.11
渋滞回数	"	1.00	1.03	1.01	0.95

表 - 1のデータによれば、維持修繕費では平成17年度は対平成14年度比で3割の削減を行い、それに応じて、清掃頻度も対平成14年度比で4割削減を達成している。

関連する交通現象例として、飛び石事故や苦情などの1kmあたりの不具合件数が1.4倍に増加している。

また、パトロール等を行う交通管理費についても同じく3割余の削減を達成している。

関連する交通現象例として、事故件数は1割増加しているが、渋滞回数は数%増減している状況である。

一方、料金収受費は、予算上では約4割の削減を行っているが、収受手段を収受員(人)からETCへ移行段階にあることから基本的に交通現象への影響は与えないように進められている。

このように、管理費の各項目におけるコスト削減は、何らかの影響を交通へ及ぼす可能性があることは見て取れるものの、例えば、清掃頻度でいえば各路線一律に削減したか交通量の多寡に応じて調整したかなどを含めた分析は検討段階にあり、どの項目をどの程度まで削減できるか、交通に対する直接的な影響との因果関係などについては、現段階では定性的・定量的な把握は出来ておらず、今後も試行しつつ見極めていく必要がある。

なお、各道路会社では、維持管理(サービス)水準の定量化・指標化に向けて、お客さま満足度(CS)調査などの取り組みを開始している。

(3) 計画交通量及び計画収入とそれぞれの実績値

a) 管理コスト削減段階の交通量と収入への影響

(2)では、管理費の各項目においてコスト削減を行ったことと、事故がなど交通への影響について何らかの因果関係を見いだす途上であることを説明したが、月や年度といった範囲での影響については以下の通りである。

そもそも都市高速道路の短期交通量予測は、近年(過去2年程度)の交通量実績をもとに一次回帰的に傾向線を算出し、さらに季節変動を加味した月別の予測交通量を算出する方法により行っており、それに一定の料金率を乗じるなどして月別収入を算定している。

図 - 2に、平成13年度~17年度の交通量と収入の計画値と実績値を示す。この期間のうち、平成14年度から平成17年度にかけては、先述の管理費3割削減を段階的に実施してきた時期にあたるが、計画交通量(予算)は、景気動向などから平成16年度まで減り続ける予測としていたが、実際の交通量は平成14年度以降漸増しており、コスト削減との影響は直接的には見出すことはできないし、収入についても同じく減少傾向の予測に反して平成14年度以降増加している。

以上のように、交通量や収入は社会全体の経済状況などの全体に影響を及ぼす事柄によるものが大きいとみられる。

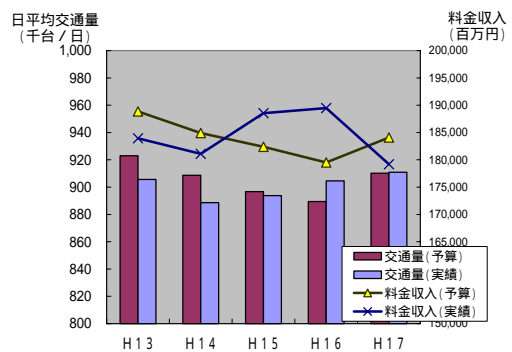


図 - 2 交通量と料金収入の推移(阪神高速データ)

b) 計画収入と実収入との乖離の動向

次に平成17年度一年間における月ごとの交通量と収入の予測と結果については、図 - 3に示すとおりであるが、交通量については実績がほぼ計画どおりであるといえる。

一方、収入については、実収入と計画収入の誤差は、民営化の10月以降月平均では+1.3%である。

当初協定の平成18年度の計画収入(約1,899億円)で換算すると、約25億円の超過であるといえる。

同じく当初協定上の平成18年度の計画管理費が422億円であることからすれば、年度の計画管理費総額の約6%に相当する額について支出調整の必要が生じていると見ることが出来る。

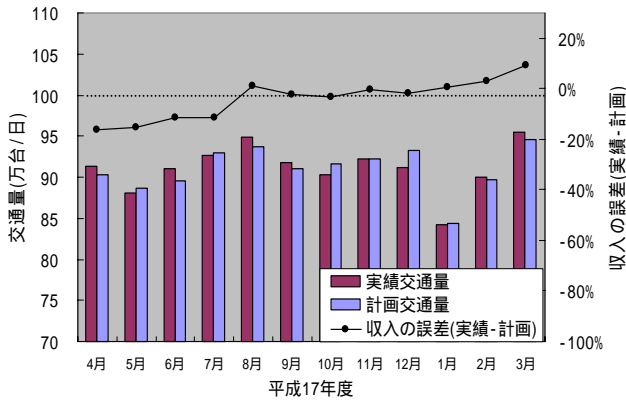


図 - 3 交通量と収入の月別動向 (阪神高速データ)

略は例えば以下のようなものが考えられる。

行動 a_1 : 料金収受

報酬 r_1 : a_1 に伴う料金所処理能力向上による収入の増額分と料金収受費用の差

行動 a_2 : 交通管理

報酬 r_2 : a_2 に伴う落下物や事故の早期撤去による渋滞の減等による収入の増額分と交通管理費用の差

行動 a_3 : 道路保全

報酬 r_3 : a_3 に伴う路面平坦性向上、構造物長寿命化による収入の増額分と道路保全費用の差

行動 a_4 : 広報公聴

報酬 r_4 : a_4 に伴う円滑な走行、CS向上による収入の増額分と広報公聴費用の差

3. 管理費の支出に対する意思決定支援システムの構築

(1) システム構築とマルチエージェント

以上のように、現実の管理運営では、計画した交通量や収入に対して実績値が日々変動する状況下であるため、常にその結果や動向を把握しながらどの管理項目への支出を執行、抑制するかを意思決定して、収支均衡を保つ必要がある。このため仮想の道路会社モデルを構築し、そこで試行錯誤的に施策を実施しその効果を検証することで実際の意思決定を支援するシステムの構築を試みる。

すなわち、先に述べた計画収入と実収入との差額 d に対する各管理項目の支出配分を、交通量の増につながる支出の比率を上げることで支出効果を高める解を試行錯誤的に求めることによって限られた管理費をより有効に支出する判断を支援する仕組みである。

そのため、例えば先述の4つの管理項目を各々エージェントとしたマルチエージェントシステムで取り扱い、支出を実行した場合の効果を料金収入の増などで費用化し、それに支出した費用との和 (効果は正、支出は負) を最大化することを目指しつつ、全ての管理項目の支出費用の総和を計画収入と実収入との差額 d に均衡させるものとする。

各エージェントは、各自が置かれた状態の情報を情報交換やネゴシエーションなどの相互作用により共有ながらそれぞれの報酬を最大化させる方向へ進むものとする。その一方で、経営全般を見る経営エージェントは、管理項目エージェントと相互作用を行いながら収入の差額 d に均衡するかとの確認、交通量への影響による収入の増減、お客さま満足度などを総合的に判断し、それらを満足する状態となる各エージェントの行動をもって管理項目の有効な分配結果とする (図 - 4)。

4つの管理項目の行動に対する報酬の内容については、実際の詳細な項目については別途検討することとして概

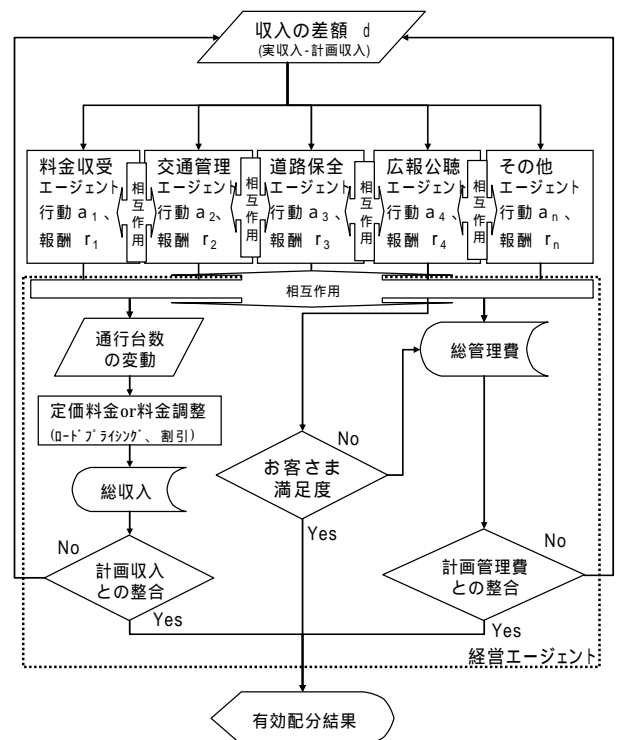


図 - 4 管理項目エージェントによる意思決定フローイメージ

(2) エージェントの学習手法と意思決定フロー

これらの各報酬 r の総和を試行錯誤しながら最大値に近づけるためエージェントを繰り返し学習させる必要があるが、その手法として一般的とされる強化学習を適用することとする。

ここでは、それぞれの管理行動が動的に独立して複雑かつ多岐にわたるなどから報酬の推定について他の報酬に依存しないほうが適用しやすいと考えられるため、まずは非ブートストラップ型を前提とした強化学習の適用を試みる。

例えば、モンテカルロ法を適用する場合、以下の更新式により報酬の和を更新する。

$$SumReward(s_t, a_t) = SumReward(s_t, a_t) + r,$$

where $t = 0, \dots, episode - 1$;

$$Q(s, a) = SumReward(s, a) / RewardCount,$$

$s \in S, a \in A$

$SumReward(s, a)$ は状態 s において行動 a を実施したときに得た報酬の累積値。

r と $Q(s, a)$ は報酬と状態 s において行動 a をとるときの価値、 $RewardCount$ は報酬獲得回数を示す。特に、時刻 t は前の報酬獲得からの経過時間（実行回数）を示し、新たに報酬が獲得されると 0 にリセットされる。²⁾

(3) システム構築に向けた課題と展望

まず第一の課題としては、2. で述べたとおり、現段階では都市高速道路の管理においては、管理の各行動が交通に与える影響については、定性的、定量的ともに把握が出来ていないため、表 - 1 などのデータや維持管理（サービス）水準の定量化・指標化などの取り組みを踏まえ、支出による効果を費用化し、各エージェントの報酬獲得に対する設定を試行錯誤的に行う必要がある。

当面のモデルにおいては、簡便に収入の差額 $d > 0$ の場合にその余剰分を有効に分配するシステムを構築することとし、各エージェント間の相互作用の有無が分配結果へ及ぼす影響などについて知見を得ることを目指す。

次のステップとして、支出による交通への効果をさらに循環的に収入へ反映させたう収束させるシステムへの改良を考えている。

また、それぞれの管理項目の行動を単に費用化する段階から、例えば交通管理エージェントの意思決定ルールに巡回頻度や密度、発着地点（基地局）の配置などをより現実の現象にあった行動を加えるなど、それぞれのエージェントをモジュールとしてとらえ、ルールに具体的な行動を記述することで、経営上の諸政策をよりリアルにシミュレーション出来るモデルへの展開、あるいは、会社内部のエージェントに加え、利用者や行政、沿道住民といった外部のステークホルダーをエージェントとして、走行安全性の向上、渋滞の緩和および沿道環境の改善などを評価できるモジュールとして追加構成し、有料道路の社会的な役割についてもシミュレーションできるモデルの構築も視野に入れている。

4. 最後に

本研究は、道路関係四公団の民営化に伴ってこれまでの社会基盤としての公共性を最優先した高速道路の管理運営から、民営化会社による経営の観点に立った管理運営への移行にあたり必要となる意思決定支援モデルの構築を目差すものであるが、その構築にあたっては今回の民営化の趣旨に添って45年以内の確実な償還を進めつつ、高速道路が安全、安心かつ快適なネットワークとして公共の福祉としての役割を果たすことを目的としていることが重要である。

そのために、交通安全や交通の円滑化、環境改善などを通じた都市高速道路の社会的責任が果たされ、その結果、好循環として新規路線の建設を含んだ広義の道路管理（計画管理 = Project Management）の寄与につながるモデルへの発展を目指したい。

参考文献

- 1) 阪神高速道路株式会社「事業許可」「阪神高速道路（阪神圏）」（別紙2）収支予算の明細，2006.3.
- 2) 高玉圭樹：マルチエージェント学習 - 相互作用の謎に迫る - コロナ社, 2003.
- 3) 大内東 他：マルチエージェントシステムの基礎と応用 - 複雑系工学の計算パラダイム - コロナ社, 2002.
- 4) 木村元他：強化学習システムの設計指針「計測と制御」vol.38, 10, 1/6, 1999.
- 5) 篠田孝祐：マルチエージェント系における組織学習を用いた動的環境への適応に関する研究, 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科知識社会システム専攻修士論文, 2001.2.
- 6) 河村竜幸, 上野敦志, 武田英明：移動ロボットにおける状態空間の再構成を可能とする報酬分配法
- 7) 柴田克成 他：多人数ゲームにおける報酬分配学習
- 8) 相良博喜, 谷本潤, 萩島理：マルチエージェントシミュレーションを適用したプロジェクトマネジメントのモデル化, 日本計算工学会, 2004.
- 9) 植村 涉, 辰巳 昭治：強化学習 Profit Sharing の今後の可能性, 第四回 AI 若手の集い (人工知能学会主催), 2003.
- 10) 山崎和子：マルチエージェントシステム～記憶の階層構造のエージェントへの実装と協調の創発～, 経営情報科学 Vol.9 4
- 11) 山口智浩：人工知能分野における強化学習研究の広がり, The 16th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2002.
- 12) Paul Davidsson et al.: An analysis of agent-based approaches to transport logistics. 2005.
- 13) Sascha Ossowski et al.: Decision support for traffic management based on organisational and communicative multiagent abstractions. 2005.
- 14) Ronald van Katwijk et al.: Coordination of traffic management instruments using agent technology. 2002.
- 15) Lawrence E. Henesey et al.: Agent-based simulation of stakeholders relations: An approach to sustainable port terminal management
- 16) Jianxin Jiao et al.: An agent-based framework for collaborative negotiation in the global manufacturing supply chain network. 2006.