

イールドマネジメント手法による有料道路の 効率最大化に関する研究

M2005MM011 岩田 亮一

指導教員 長谷川 利治

1 はじめに

道路関係四公団が 2005 年 10 月 1 日に民営化された。民営化の最優先目的は約 40 兆円に上る有利子債務を確実に返済し将来の国民の負担を軽くすることであり [1]、高速道路においてもより収益を上げる必要がある。また高速道路では、今日のモータリゼーションに伴う利用状況の多様化（出勤、旅行、物流など）に伴い、24 時間を通して道路の利用価値を高めることが不可欠になってきている。これらを解決すべく本研究では、高速道路利用者に及ぼす様々な要素を分析し、イールドマネジメント手法の概念に基づき、利用者の満足度を高めると共に、高速道路収入の最適化を目指す。

2 アプローチ

阪神高速道路で発生する渋滞は、「交通集中」を原因とするものが、全体の 8 割近くを占めている [2]。この渋滞を解消するため、高速道路では目的地までの所要時間をドライバーに提示するなど様々な方法で交通制御を行っている。特に近年では ETC の普及が加速しており、料金所通行台数の約半分が ETC 車両となれば、料金所渋滞はほぼ解消すると言われている [3]。平成 18 年に入ってから料金所通行台数の 50% 以上が ETC 車両になってきている [4]。しかし時間帯や路線によっては渋滞が依然解消されていない。このことから新たな手法の検討が不可欠であると考えられる。

都市内高速道路での利用者は、調査地点や選択経路とはあまり関係なく、所要時間や渋滞といったリアルタイムで提供される情報に敏感に反応して経路選択を行っている為、このような動的な情報提供を新たに行うことによりドライバーを最適に誘導できる可能性が高い。ここで、どのような情報を動的に提供するかが問題になってくるが、道路公団民営化の目的の中に「多様で弾力的な料金設定やサービスの提供」が挙げられており、本研究でも収入を上げる事が目的であるので料金を新たな動的な情報として提供することとする [5]。

そこで本研究では、まず基本モデル(現状モデル)を作成し、現状分析を行う。そしてより動的にドライバーを誘導するため、最終的には料金が交通量や時間帯によって自動で変化し、その料金情報も所要時間等と同様にリアルタイムで提供されるものと仮定し、モデルによって出力された単位時間毎の交通量によって料金を最適に変化させ、高速道路の総収入が最大になるようにシミュレーションを行う。

3 モデリング

本研究にはシステムダイナミクスを利用してシミュレーションを行うツールである STELLA[6]を用い、モデリングを行う。システムダイナミクスとは、時間の経過に伴って変化するシステム(ダイナミック・システム)を数式モデルや表、グラフとして表現しコンピュータの中で仮想的な現実モデルを作り、作成したモデルをコンピュータでシミュレーションを行う。そして時間の経過による変化を分析する事で、現実の問題に対処するための改善策、解決策を追及していくための手法である [7]。つまり仮想的な現実モデルが作成できれば、そのモデルに様々な仮説を提示し、それをテストする事ができるため、解決策を探ることができる。以降、本研究で作成するモデルの概要を説明する。

3.1 モデル作成にあたって

ドライバーが高速道路を利用する基準となる要素は主に、「目的地までの表示所要時間」と「料金」である。ドライバーは目的地までの所要時間が表示されている表示板の情報を信頼し、戦術的に経路変更をする(出勤の場合は固定的な行動をとるため除く)。このように、利用者に適切な目まぐるしく変わるリアルタイム情報を与えることにより、利用者が普段使う経路と異なる経路に誘導できる可能性は高い [8]。

現在、高速道路では ETC による平日時間帯割引や休日割引を実施しているが、交通量によって料金に変化したり、全車対象の割引はほとんど行っていない。そこで本研究では交通量によって料金に変化し、利用者を最適に誘導するために所要時間だけでなく料金もリアルタイム情報として表示板に表示することができると仮定し、シミュレーションを行う。しかし本研究では初めから料金を交通量によって変化させてシミュレーションを行うわけではない。まずは現在行われている交通制御のように、所要時間のみが動的に変化し表示板に表示されるような基本モデルを作り、現状分析を行う。これにより、現状でのドライバーと高速道路の間に存在する関係を確立させる。そしてその後、料金を動的に変化させ、その料金もリアルタイム情報として表示板に載るものとしてシミュレーションを行うことによって、より正確な予測を行う。

3.2 フローダイアグラム

3.1 節で述べたことをふまえて作成したモデルを図 1 に示す。

3.3 レベル-レイト方程式

本節では、モデル内の各要素について説明する。

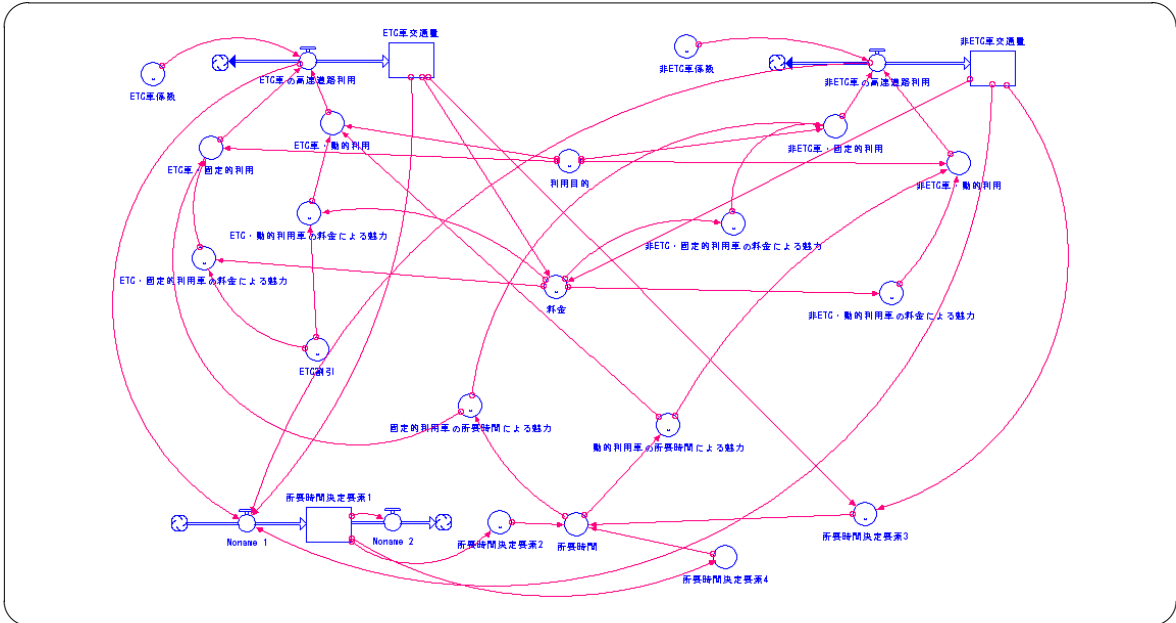


図1 フローダイアグラム

(1)ETC 車交通量 (t)

=ETC 車交通量 (t-dt)+(ETC 車の高速道路利用)*dt

単位時間あたりの ETC 車の交通量を示している。つまり単位時間毎に、ETC 車の高速道路利用を加える（または引く）ことにより、各単位時間の交通量を示す。

(2) 所要時間

= 1+ 所要時間決定要素 2+ 所要時間決定要素 3+ 所要時間決定要素 4

表示板に表示される目的地までの所要時間である。渋滞が発生していない状態、滞りなく道路を走れる状態での所要時間を 1 とし、混雑の度合いによって所要時間を増加させる。単純に現在の単位時間の交通量を用いるだけでは単位時間後における目的地までの所要時間に完全には対応できない。よって下記に定義した所要時間決定要素 1 ~ 所要時間決定要素 4 を用い、所要時間を表す。

(3) 所要時間決定要素 1

= 所要時間決定要素 1(t-dt)
+(Noname_1-Noname_2)*dt

目的地までの所要時間は現在までの交通量によって変化する。交通量が少なければ高速道路を渋滞なしで走れるがある程度交通量が増えてくると渋滞が発生し、通常より時間がかかる。本要素は単位時間前の交通量と現在の交通量を足したものである。

(4) 所要時間決定要素 2

= グラフ (所要時間決定要素 1)

先述した、単位時間前の交通量と現在の交通量を足した交通量である所要時間決定要素 1 が、所要時間にどれだけ影響を与えるかを数値化したものである。

(5) 所要時間決定要素 3

= グラフ (ETC 車交通量 + 非 ETC 車交通量)

所要時間決定要素 1 が単位時間前の交通量と現在の交通量を足したものであるのに対し、本要素は現在の交通量によってどれだけ所要時間に影響を与えるかを表したものである。

(6) 所要時間決定要素 4

= if(time>=18)and(所要時間決定要素 1>=7600) then 0.466 else 0

朝の渋滞と夕方の渋滞では渋滞発生理由が異なり、所要時間決定要素 1 のみでは夕方の渋滞における混雑を所要時間に対応させることができない。そのため本要素を用い、夕方の混み具合を忠実に再現する。

(7) 動的使用車の所要時間による魅力

= グラフ (所要時間)

目的地までの所要時間の変動によって、ETC 車の動的使用ドライバー（業務、買い物など）が高速道路利用に魅力を感じる場合の変動を示した。所要時間が増えるにつれて、所要時間による魅力を減らしていく。

(8) 料金 = グラフ (TIME)

阪神東線の普通車の通行料金である 700 円にする。最終的にはこの料金が交通量によって動的に変化するように設定し、シミュレーションを行う。

(9)ETC 割引 = グラフ (TIME)

現在、ETC 車の場合、時間帯により通常の通行料金から割引がされるため、時間帯によって割引率を設定する。料金による魅力の各要素の概要

本研究では、シンガポール陸上交通庁 (LTA) から頂いたデータを参考に料金と交通量の関係を確認させ

た．データを表 1 に示す．データはシンガポール都心部のアレクサンドラ通りへ至るアヤ・ラジャ高速道路の交通量であり，シンガポールの高速道路の一般的な平日の交通量と料金のデータである．このデータを頂いた 2005 年 11 月 7 日時点での為替レート（1 シンガポールドル=70.75 円）を適用し日本円での料金と交通量の関係を考える．しかし表 1 のデータのみでは，日本の高速

表 1 シンガポールの高速道路の一般的な平日の交通量（台）と料金（シンガポールドル）

時間帯	交通量	ERP Rates
7:00-7:30	3548	0
7:30-8:00	4736	0
8:00-8:30	4190	0.5
8:30-9:00	3750	1.5
9:00-9:30	3263	0.5
9:30-10:30	3942	0

道路における料金と交通量の関係に適用することが困難である．そこで本研究では，シンガポールと日本との一人当たり名目 GDP を比較することにより，より忠実に料金と交通量の関係を確立させる [9]．表 2 に，日本とシンガポールにおける GDP の比較を示す．

表 2 日本とシンガポールにおける GDP(100 万 US\$) 比較 (2005 年)

	名目 GDP	一人当たり名目 GDP
日本	4,799,061	35,757
シンガポール	116,326	26,833

(10)ETC・動的利用車の料金による魅力

= グラフ (料金 *ETC 割引)

料金の変動によって，ETC 車の動的利用ドライバー（業務，買い物など）が高速道路利用に魅力を感じる場合の変動を示した．時間帯によって ETC 割引が適用される．

(11) 時間帯別利用目的 = グラフ (TIME)

時間帯別に利用目的が動的なものと固定的なものの割合を示した．内田氏の研究 [8] では大阪で高速道路の時間帯別トリップ目的調査をしており，どの時間帯にどのような目的で高速道路を利用するかが推測できるが，全ての時間帯を対象にした調査ではないため他のデータが必要となる．図 2 は東京と福岡での平日における自家用車の時間帯別目的別交通量の変化である [10]．図 2 の東京，福岡のトリップ目的は高速道路のみを対象にしている訳ではないがこれらと内田氏の調査を比較した場合，大阪と福岡の時間帯別トリップ目的が類似している．よって高速道路を動的に利用するか，固定的に利用するかといった要素は，この福岡県の「時間帯別目的別交通量の変化」を参考にモデルに反映させる．

固定的利用が 100% の場合，利用目的を 1 とする．よっ

て動的利用は (1- 利用目的) と表せる．

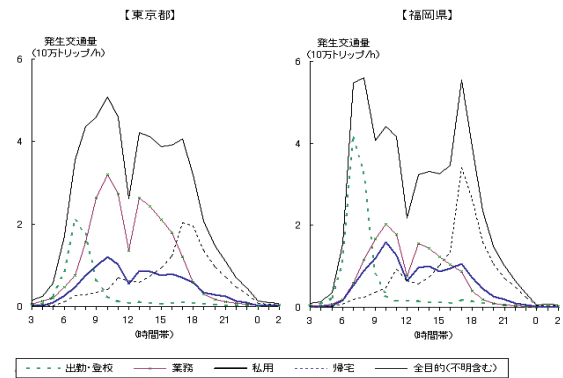


図 2 時間帯別目的別交通量の変化 ([10] より引用)

(12)ETC 車係数

= グラフ (TIME)

阪神高速道路池田線をモデル化するにあたり，考えられる要素を洗い出し，モデルに適用したがそれだけでは出勤，帰宅ラッシュ時のような交通量の極端な増加・減少や深夜の交通量の減少への対応が十分ではなかった．そのため本要素を用い，モデルの ETC 車と現実の池田線の ETC 車との誤差を補完する．

(13)ETC 車・動的利用

= $1000 * (1 - \text{利用目的}) * (\text{ETC} \cdot \text{動的利用車の料金による魅力} + \text{動的利用車の所要時間による魅力})$

ETC 車のうち，所要時間や料金などの情報によって戦略的に経路を選択する，動的利用車を示す．また，1000 を乗ずることにより，数値を増幅し，魅力を実際の交通量に昇華させた．

(14)ETC 車の高速道路利用

= ETC 車係数 + ETC 車・固定的利用 + ETC 車・動的利用

単位時間あたりの ETC 車の高速道路利用の増減を示したものである．

以上の要素のほか，非 ETC に関する要素，固定的利用車に関する要素も同様に定義する．固定的利用車は動的利用車に比べ，表示板に表示される所要時間に左右されにくいと考えられるので，固定的利用車に関する要素の影響を動的利用車より緩やかにする．

4 シミュレーション

4.1 現状分析シミュレーション

シミュレーションを行う路線は，渋滞する時間帯の多い阪神高速道路池田線とする．シミュレーションを通して，各要素を調整し，モデルの交通量（ETC 車 + 非 ETC 車）が現実の池田線の単位時間ごとの交通量（1 日分）に沿うようにし，池田線とドライバーとの関係を確立させる．ここでの現実の交通量とは，平日の池田線に

おける1ヶ月間の単位時間ごとの平均とする。本研究では実データに、ほぼ忠実に近づけることができた。

4.2 料金変動シミュレーション

料金固定シミュレーションでは、動的な情報は所要時間のみであり、料金に関する要素の値は常に固定であった(ETC割引を除く)。しかし本シミュレーションで料金を交通量によって変化させることができると仮定することにより、料金に関する要素の値を変化させることができるため、料金によって交通量を制御することができる。実際の池田線のETC車、非ETC車を合わせた交通量とシミュレーションにより最適な料金設定を図った交通量の比較とその料金が表3である。また、1日の池田線における通行料総収入の実データとシミュレーション結果の比較が表4である。

表3 実データとシミュレーション結果の比較
(予測料金は非ETC車の料金)

時間帯	実データ台数	予測台数	予測料金
0:00 - 1:00	1071	1070	500
1:00 - 2:00	788	1485	500
2:00 - 3:00	511	1905	500
3:00 - 4:00	391	2485	700
4:00 - 5:00	374	2466	700
5:00 - 6:00	710	2801	750
6:00 - 7:00	2886	4804	1000
7:00 - 8:00	5049	4936	1000
8:00 - 9:00	4576	2606	750
9:00 - 10:00	4512	3967	850
10:00 - 11:00	4466	4784	1000
11:00 - 12:00	4234	3054	800
12:00 - 13:00	4024	3529	850
13:00 - 14:00	4454	3986	850
14:00 - 15:00	4455	4364	900
15:00 - 16:00	4619	4367	900
16:00 - 17:00	4694	4214	900
17:00 - 18:00	4697	4146	900
18:00 - 19:00	4214	4050	900
19:00 - 20:00	3464	2697	750
20:00 - 21:00	2818	3273	800
21:00 - 22:00	2201	2314	700
22:00 - 23:00	1758	1872	500
23:00 - 0:00	1497	2307	700
合計台数	77480	72462	

表4 1日の池田線における通行料総収入の実データとシミュレーション結果の比較

実データ(円)	シミュレーション結果(円)
48,596,827	61,881,515

表3より、深夜1時から早朝6時の交通量を増加させることができ、総交通量も増加させることができた。また、1時間当たりで最大となる交通量を抑制することができたので渋滞の緩和にある程度の効果が期待できると考えられる。ただし、まだ多くの時間帯で渋滞が起り得る交通量になっている。その一方で、表4より、1日当たりの池田線の通行料による総収入は27.3%増加させることができた。この結果は本研究の目的である有料道路の総収入の最適化を実現することができたことを確認している。

4.3 おわりに

さらに細かくドライバーの行動心理を分析した場合、所要時間、料金だけでなく天気や行事といった動的情報にも反応する可能性は低くない。これらの要素やその他、ドライバーの行動に影響を与える要素を追加していけば、より精密で適応範囲が広いシミュレーションを行うことができる可能性がある。また、本研究では休日の交通量を対象としていないが、おそらく使用目的での利用車がより多いであろう休日のドライバーの行動を分析し、休日を対象としたモデルを作成し、休日の有料道路の利用価値を高めるために休日用の新たな料金設定を設定することも興味深い提案であると考えられる。このような提案を実現するためには、高速道路利用車に対する広報活動などを行い、提案しているシステムの合理性についてドライバーの理解を深める必要があるだろう。

参考文献

- [1] 首相官邸「行政改革推進本部」:
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/gyokaku/>.
- [2] 阪神高速道路株式会社:
<http://www.hanshin-exp.co.jp/>.
- [3] 財団法人道路システム高度化推進機構:
<http://www.orse.or.jp/>.
- [4] 国土交通省道路局:「ETCの普及・利用状況」,
<http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/riyou.pdf>.
- [5] 国土交通省道路局:「道路関係四公団民営化の基本的枠組みについて(概要)」,
<http://www.mlit.go.jp/road/4kou-minei/20040120/sankoh.pdf>.
- [6] 高橋 裕 監修:STELLA「STELLA:使用説明書」,
パーシティブューブ(1997).
- [7] D.H. メドウズ:成長の限界 ローマ・クラブ人類の危機レポート,ダイヤモンド社(1972.5).
- [8] 内田 敬:“情報提供を考慮した動的経路選択の交通行動分析に関する研究”,京都大学学位論文,pp.198-208(1993.12).
- [9] Report for Selected Countries and Subjects(2005),
<http://www.imf.org/>.
- [10] 国土交通省道路局:「道路IR・道路整備効果事例集・道路関連データ」,
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/22.html>.