

# イールドマネジメント手法による都市内高速道路料金の最適化

2001MT030 一柳 義輝

2001MT042 岩田 亮一

指導教員 長谷川 利治

## 1 はじめに

まずイールドマネジメントとは、アメリカの航空会社で初めて導入された考え方で、限られた座席で、最適な顧客に、最適な時期で、最適な価格でチケットを販売する事により、収入を最大にする為の経営戦略の一つであり、イールドとは収穫という意味である [1]。

今回の我々の研究テーマである都市内高速道路にこの考え方を応用すると、限られた座席を道路として考え、可変の最適料金を設定する事により、高速道路の総収益を最大にする。

## 2 研究目的

交通量制御は、最近では日々刻々と変化する目的地までの表示時間を、ドライバーに提示する事も研究されているが、今までの交通量制御は料金固定のもとで、料金以外の物理的な方法（古くは車幅制限や、今日でも高速道路のパーなど）で行われてきた。しかし、要約でもふれたが、利用状況が多様化し、24時間を通しての高速道路の価値を高める事が必要な今、上記の方法では限界にきている為、新たな手法の検討が不可欠である。

都市内高速道路での利用者の経路選択では、調査地点や選択経路とはあまり関係なく、固定の概念である料金を経路選択理由に選ぶドライバーは限りなく少なく、その一方で、約半数程度は、所用時間等の動的な情報に反応して経路を選択している為、動的な情報提供を行うことにより、ドライバーを最適に誘導できる可能性がある [2]。そこで、本研究のモデルでは、より動的にドライバーを誘導するため、まず基本モデルを作成し、現状分析（料金は固定のものとし、現在でも行われている、目的地までの表示時間を動的に変化させる）を行い、最終的には、今までは完全に固定の概念であった料金を、柔軟に変化させることにより、ドライバーを最適に誘導し、尚かつ、高速道路の総収益を最大にする。

## 3 モデリング

### 3.1 STELLA

まず今回我々がモデリングに使用する STELLA とは、「システムダイナミクス」を利用したシミュレーションソフトウェアである。

「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い、時間の経過による変化を分析する事である。つまり、まず自分の仮説を提示し、次にそれをテストする事ができる

ソフトウェアである [3][4][5]。

### 3.2 モデル作成にあたって

今回の我々のテーマは先にも述べたが、24時間を通して高速道路の利用価値を高める事であり、つまり様々な利用状況、目的に応じて多くの利用者を集める事により、総収益を上げる事である。多くの利用者を集める為には、利用者の満足度を高めることが必要であると同時に、根本的な渋滞問題がある程度解決する事も必要である。

高速道路における総収益は、ある数理的モデルに基づいた単位時間あたりの交通量を考えれば良い事になる。ある数理的モデルとは、我々が高速道路を利用するか否かという状況を考えてみた場合、2つの大きなポイントが存在する事がわかる。

2つの大きなポイントとは、目的地までの表示時間と料金である。なぜその2つであるのかと言えば、高速道路の利用状況を見た場合に明白である。出勤など日常的に高速道路を利用する利用者は、固定的な行動を取るため、経路選択に影響をあまり与えない事や、先に述べた利用者の半数程度は、目的地までの表示時間等の動的な情報に反応して経路を選択する可能性があり、適切な動的情報により誘導が可能 [2] である事を考慮すると、ドライバーが高速道路を利用するか否かは、動的情報の中でも、ドライバーが一番影響を受ける目的地までの表示時間と、本研究の取り組みである動的な料金設定がモデル作成にあたり核になる。

ただ注意したいのはいきなり最初から目的地までの表示時間、料金を共に動的なものとしてモデル作成を行うのではなく、まずは現状（料金固定、目的地までの表示時間は動的）分析による基本モデルを作成し、現状での利用者と高速道路の間に存在する関係を確立させた後に、料金を可変なものとして、シミュレーションを行う事により、より正確な予測を行う。

### 3.3 フローダイアグラム

3.2節で述べたことをふまえて作成したモデルを次ページ図1に示す。

### 3.4 レベル-レイアウト方程式

(1) 表示時間 = グラフ (交通量)

目的地までの表示時間である。阪神高速道路公団の混み具合マップ [6] と、堺線の一日の交通量 [7] を基に決定している。混み具合マップを参照にし、単位時間あたりの交通量が 2500 台までの場合、渋滞が全く起こっていないと考えられるので、表示時間を 1 とする。単位時間あたりの交通量が 2500 台より増加するにつれて、表示時間を上げていく。

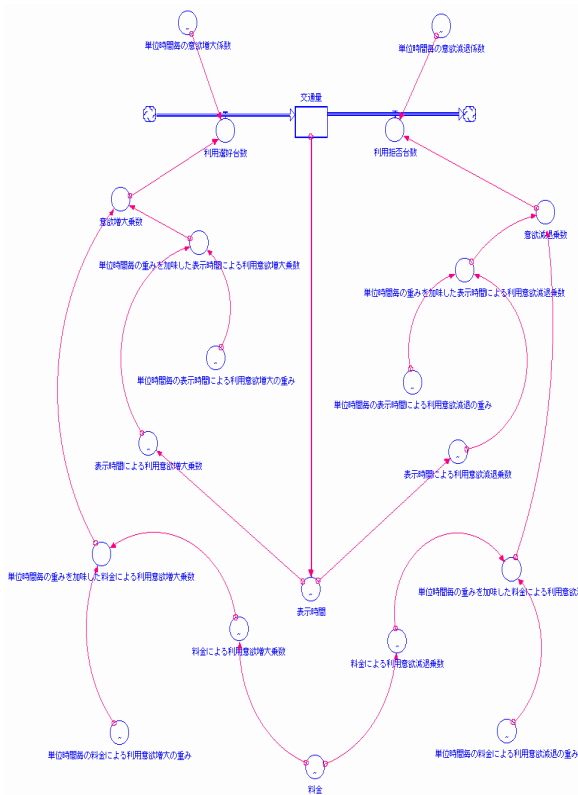


図1 フローダイアグラム

(2) 表示時間による利用意欲増大乗数 = グラフ (表示時間)

目的地までの表示時間の変動によって、ドライバーが高速道路利用に魅力を感じる場合の変動を示した。目的地までの表示時間が1の時、表示時間による利用意欲増大乗数を1とし、目的地までの表示時間が増えるにつれて、表示時間による利用意欲増大乗数を減らしていく。

(3) 単位時間毎の表示時間による利用意欲増大の重み = グラフ (TIME)

TIME 関数 (単位時間毎に値を変化させる) を使い、各単位時間毎にドライバーが高速道路利用にどの程度魅力を感じるかを重みづけしたものである。

高速道路 (堺線) 利用者を分析すると [2], 朝や夕方の交通量が多い時間帯では、交通量自体は多いが、その利用者の大半が出勤、帰宅目的であり、固定的な行動を取っていることがわかり、表示時間による利用意欲はほぼ影響を受けない一方、昼間や夜間の時間帯は、利用者自体は朝のラッシュ時ほどは多くないが、業務目的などでの利用が大半であり、動的な情報に対して影響を受けやすい事がわかる。

(4) 単位時間毎の重みを加味した表示時間による利用意欲増大乗数 = 表示時間による利用意欲増大乗数 \* 単

位時間毎の表示時間による利用意欲増大の重み

目的地までの表示時間の変動によって高速道路利用意欲が増大する場合の影響度合を考慮した場合、(2) で示した乗数だけでは、(3) で示した通り、利用者の構成を全く考えていない、そのため出勤や帰宅といった固定客や、業務目的利用者による利用意欲の重みづけを、各時間帯の利用者の構成から考える事により 24 時間を通しての高速道路の利用価値を追求する事ができる。

(5) 料金 = 700

阪神高速道路の普通車の通行料金である 700 円にする。

(6) 料金による利用意欲増大乗数 = グラフ (料金)

料金の変動によって、ドライバーが高速道路利用に魅力を感じる場合の変動を示した。

現在の阪神高速道路の利用料金である 700 円を基準とし、700 円の時に料金による利用意欲増大乗数を 0.5 とし、料金を減らせば利用意欲増大乗数を増やし、料金を高くすれば利用意欲増大乗数を減らす。

(7) 単位時間毎の料金による利用意欲増大の重み = グラフ (TIME)

(3) と同様であり、TIME 関数 (単位時間毎に値を変化させる) を使い、各単位時間毎にドライバーが高速道路利用にどの程度魅力を感じるかを重みづけしたものである。

(3) と同様に、単位時間毎の堺線の交通量 [7] を見た場合、最も交通量が多く、出勤ラッシュの影響を受けていると考えられる 7~8 時の単位時間毎の料金による利用意欲増大の重みを最小の 1 とする事により、固定客が多く動的情報に影響される割合が少ないことを表し、昼、夜間は、重みを多くする事により、動的情報に左右される割合が多い事を示す。

(8) 単位時間毎の重みを加味した料金による利用意欲増大乗数 = 料金による利用意欲増大乗数 \* 単位時間毎の料金による利用意欲増大の重み

(4) と同様に考え、各時間帯の利用目的まで考慮して、料金の変動による利用意欲増大を考えることが必要であるため、(6) で示した関係に、(7) で示した重みを乗ずる事により、より深く利用意欲増大乗数を定義する。

(9) 意欲増大乗数 = 単位時間毎の重みを加味した表示時間による利用意欲増大乗数 + 単位時間毎の重みを加味した料金による利用意欲増大乗数

ドライバーが高速道路利用に魅力を感じ、利用意欲が増大する場合に、目的地までの表示時間と料金によって変動する総合的な意欲増大乗数である。

つまり、各時間帯の利用目的まで考慮した、単位時間毎の重みを加味した表示時間による利用意欲増大乗数 (4) と、単位時間毎の重みを加味した料金による利用意欲増

大乗数 (8) を加えることによって、総合的な利用意欲増大乗数を定義する。

(10) 単位時間毎の意欲増大係数 = グラフ (TIME)

阪神高速道路-堺線において、出勤、帰宅ラッシュ時のような交通量の極端な増加や、深夜の交通量の減少に対応させるために、まず堺線の一日の交通量 [7] を参考にし、TIME 関数を用い各時間帯毎に係数化した。朝や夕方方の出勤、帰宅ラッシュにより交通量が極端に増加しだす、5~6 時を最大値 1500 とし、ラッシュによる渋滞が解消するにつれて係数を減少させる。

(11) 利用選考台数

= 単位時間毎の意欲増大係数 \* 意欲増大乗数

目的地までの表示時間や料金に関わる要素間の関係を与えた事により、単位時間においてどれほどの台数が高速道路を利用しようとするかを表したものである。

(12) 表示時間による利用意欲減退乗数

= グラフ (表示時間)

表示時間による利用意欲増大乗数 (2) と関連しているが、目的地までの表示時間の変動によって、ドライバーの利用意欲が減退する場合の変動を示したものであり表示時間による利用意欲増大乗数 (2) と逆の考え方となる。

(13) 単位時間毎の表示時間による利用意欲減退の重み = グラフ (TIME)

単位時間毎の表示時間による利用意欲増大の重み (3) に対応し、TIME 関数を用い、各単位時間毎にドライバーが高速道路利用意欲が減退する場合に、どの程度影響を受けるかを重みづけしたものであり、基本的には単位時間毎の表示時間による利用意欲減退の重みの逆の考え方である。

単位時間毎の堺線の交通量 [7] を見た場合、単位時間毎の表示時間による利用意欲増大の重み (3)、単位時間毎の料金による利用意欲増大の重み (7) に関連し、最も交通量が多く、出勤ラッシュの影響を受けていると考えられる時間帯では、意欲が増大するドライバーより、意欲が減退するドライバーの方が多く考えられるので、その時間帯においては、単位時間毎の表示時間による利用意欲増大の重み (3) より、減退としての重みを強くおいた。

(14) 単位時間毎の重みを加味した表示時間による利用意欲減退乗数 = 表示時間による利用意欲減退乗数 \* 単位時間毎の表示時間による利用意欲減退の重み

(4) と同様の考え方である。

(15) 料金による利用意欲減退乗数 = グラフ (料金)

(6) と関連している。料金の変動によって、ドライバーの利用意欲が減退する場合の変動を示したものであり、(6) と逆の考え方である。

(16) 単位時間毎の料金による利用意欲減退の重み

= グラフ (TIME)

ここでは (7) と関連している。TIME 関数を用い、各単位時間毎にドライバーの高速道路利用意欲が減退する場合に、どの程度影響を受けるかを重みづけしたものであり、(7) と逆の考え方になる。

単位時間毎の堺線の交通量 [7] を見た場合、単位時間毎の料金による利用意欲増大の重み (7) と同様に、最も交通量が多く、出勤ラッシュの影響を受けていると考えられる時間帯では、7~8 時の単位時間毎の料金による利用意欲減退の重みを最小の 1 とする事により、固定客が多く動的情報に影響される割合が少ないことを示している。

(17) 単位時間毎の重みを加味した料金による利用意欲減退乗数 = 料金による利用意欲減退乗数 \* 単位時間毎の料金による利用意欲減退の重み

(8) と同様の考え方である。

(18) 意欲減退乗数 = 単位時間毎の重みを加味した表示時間による利用意欲減退乗数 + 単位時間毎の重みを加味した料金による利用意欲減退乗数

(9) に対応し、ドライバーの高速道路利用意欲が減退する場合に、目的地までの表示時間と料金によって変動する総合的な意欲減退乗数である。

(19) 単位時間毎の意欲減退係数 = グラフ (TIME)

(10) の考え方と同様であるが、深夜の時間帯は、交通量の極端な増加や減少が考えられないので、値を小さく設定してある。

(20) 利用拒否台数

= 単位時間毎の意欲減退係数 \* 意欲減退乗数

(11) に対応し、目的地までの表示時間や料金に関わる要素間の関係を与えた事により、単位時間においてどれほどの台数が高速道路利用に意欲減退し、利用を拒否するかを表したものである。

(21) 交通量 = 交通量 (t-dt) + (利用選好台数 - 利用拒否台数) \* dt

初期値 交通量 = 845

ここでは単位時間あたりの交通量を示している。つまり単位時間毎に、利用選好台数から利用拒否台数を引くことにより、各単位時間の交通量を示すことができる。

## 4 シミュレーション

### 4.1 料金固定シミュレーション

次ページ表 1 に料金固定シミュレーションの実行結果を示す。この表 1 と堺線の単位時間毎の交通量 [7] を見比べると、各単位時間毎の交通量や一日の総交通量における誤差が非常に少なく、厳密に現実分析ができた事がわかる。

料金固定での実行結果	
時間	上り
0~1	845
1~2	702
2~3	507
3~4	432
4~5	572
5~6	1068
6~7	3304
7~8	3834
8~9	3432
9~10	3120
10~11	3004
11~12	2869
12~13	2717
13~14	3083
14~15	3190
15~16	3279
16~17	3202
17~18	3345
18~19	2636
19~20	2069
20~21	1799
21~22	1524
22~23	1397
23~0	1174
合計	53104

表 1 料金固定による現状分析シミュレーションの実行結果

#### 4.2 料金変化シミュレーション

3.4節で示したレベル-ライト方程式において、料金を変化させたシミュレーション結果を以下の表 2 に示す。

時間	料金	交通量	収入
0~1	700	845	591500
1~2	600	911	546600
2~3	600	916	549600
3~4	600	946	567600
4~5	600	1186	711600
5~6	600	1888	1132800
6~7	850	3529	2999650
7~8	1150	3051	3508650
8~9	750	2660	1995000
9~10	700	2560	1792000
10~11	700	2636	1845200
11~12	700	2654	1857800
12~13	700	2590	1813000
13~14	700	3012	2108400
14~15	700	3144	2200800
15~16	700	3245	2271500
16~17	700	3178	2224600
17~18	700	3327	2328900
18~19	700	2623	1836100
19~20	700	2057	1439900
20~21	650	1900	1235000
21~22	650	1702	1106300
22~23	650	1660	1079000
23~24	650	1527	992550
合計		53747	38734050

表 2 料金変化を考慮したシミュレーションの実行結果

堺線上りの一日の総収益は 3711 万 1200 円 [7] であり、この表 2 より、一日の総収益は 3873 万 4050 円と上昇し、渋滞によるピークの交通量が 3829 台であったところを、約 3500 台におさえる事ができた。また一日の最低交通量が 3~4 時において 427 台であったところを、946 台まで上昇させる事ができた。

## 5 おわりに

本研究において我々は、24 時間を通して高速道路の利用価値を高める事を考えることが利用者の満足度を高め、それに伴い高速道路の総収益を最大にする事ができると考え、まず交通量が、目的地までの表示時間と料金に深く依存している事をつきとめると同時に、ドライバーが動的な情報に左右される事を考えた。

まず料金固定、目的地までの表示時間変動における現実モデルを作成後、本研究の最大のテーマである料金変化手法を用いて交通量のシミュレーションを行うことにより、結果として単位時間毎の最低交通量も上昇させ、渋滞もおさえ、総収益も上げる事に成功した。

しかし、ドライバー一人一人まで考慮した場合、高速道路を利用するか否かは目的地までの表示時間、料金に動的な情報として提供した場合でも、それら以外の要素で利用価値を求めるであろう。例えば、天気、曜日、行事などの要素を追加していけば、より適応範囲が広まる結果を提供できる可能性がある。

また今回は阪神高速道路公団から頂いた単位時間毎の交通量に大型車混入率のデータを含んでいなかったため、そのデータを手に入れ、物流に対応する大型車のモデル作成も今後の課題として残っている。

## 謝辞

本研究にあたり、多大な助言を頂き、熱心に御指導して下さいました長谷川利治教授、より詳細なデータを提供して下さいました阪神高速道路公団、その他助言、協力をして下さいましたすべての方々に深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] PETER P. BELOBABA: "Airline Yield Management: An Overview of Seat Inventory Control", *Transportation Science* 21;2,63-73 (1987).
- [2] 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, (1993).
- [3] STELLA 「STELLA:使用説明書」(1997).
- [4] STELLA 「STELLA:システム思考入門」(1997).
- [5] STELLA 「STELLA:活用のための手引き」(1997). 高橋 裕 監修 (株) パーシティブューブ
- [6] 阪神高速道路公団: "阪神高速お出かけ MAP, 混み具合マップ (時間帯別)", <http://www.hepc.go.jp/guide/jutai/index.html>.
- [7] 阪神高速道路公団: "入口交通量日報", 阪神高速データウェアハウス.