

ETC車のフィードフォワード制御によるランプメータリングに関する考察

－ 阪神高速道路データウェアハウスの活用 －

M2006MM016 三宅 真悟

指導教員 河野 浩之

1 はじめに

現在、都市間を結ぶ都市高速道路であり、現代社会で重要な役割を占めている阪神高速道路において交通渋滞が社会的問題となっている。主な問題点として、円滑な交通フローが実現できない、時間内に目的地に到着できない、事故率の増加など様々な問題が挙げられる。また、交通渋滞は時間が経過するにつれて拡大することや、渋滞パターンが複雑で様々な箇所に発生するなどの特徴を持っている。

高速道路における交通渋滞の要因として、高速道路利用者の過剰な需要が主な要因となっている。他の要因として、交通事故、工事、清掃、自動車の故障、悪天候、落下物、イベント、さらには、過剰な ETC 利用などが挙げられる。これらの要因によって交通渋滞が発生する。しかし、現在の都市交通ネットワークは複雑化によって交通渋滞が成長し、渋滞緩和に対する更なる取り組みが我々の課題となっている。

そこで、本研究では特に、ETC 利用に注目した阪神高速道路での交通渋滞による問題を解決するために、最初に、交通カウンターデータを用いて交通データマイニングを行う。そして、データマイニング結果に基づいて海外の高速道路で円滑な交通フローを実現するために実装されているランプメータリングを阪神高速道路において導入する。そして、簡単な交通シミュレーションを行い、阪神高速道路でのランプメータリングの導入の可能性や効率性を示す。

2 交通渋滞に関する関連研究

2.1 交通渋滞に対する取り組み

[4] は、ミネソタ大学交通管理センターの高速道路操作グループによる交通データマイニングに関する研究である。この研究では、ミネソタ州高速道路の車線毎に複数の検知器を設置し、占有率、交通量、平均速度などの静的交通カウンターデータの収集を行っている。その収集された交通データをデータベースに格納し、渋滞予測に繋がる交通渋滞の分析、パターン発見、交通量のグラフ化、交通渋滞発生箇所の視覚化などの交通データマイニングを行っている。そして、その結果により交通状況の把握が可能となる。しかし、検知器による静的交通カウンターデータでは高速道路全体をカバーすることができないので、検知器が設置されていない箇所の交通データマイニングが不可能であることが問題となっている。

また、[1] では、[4] の検知器による交通データ収集と

は異なり、GPS を搭載した FCD(Floating Car Data) を道路に巡回させ、動的交通カウンターデータを収集し、高速道路全体の交通データマイニングや交通監視を行っている。このデータは速度、加速度、ワイパーの作動状況などの様々なデータフラグを含んでおり、交通量のグラフ化、渋滞地点の視覚化の他にも、汚染量の視覚化など様々な応用性を含んでいる。そして、データを管理しているサービスセンターから PC、PDA、カーナビゲーション、電光掲示板などを通してドライバーへの情報提供を行うことにより、情報を受け取ったドライバーは道路の現在の状態を把握、今後の渋滞発生の予測をすることが可能になるので、快適なドライブをするための速度制御や適切なルート選択をすることが可能となる。

この様に、世界各地で交通渋滞緩和を目的とした交通渋滞に対する取り組みが行われている。現在の主な交通渋滞解決策を以下、表 1 にまとめる。

表 1 主な交通渋滞解決策

手法	方法	文献
交通データマイニング	交通データを用いた交通渋滞解析、視覚化、渋滞予測など	[1] [4]
交通監視	高速道路全体を監視、適切な情報をドライバーへ提供など	[1]
交通制御	料金水準、交通規制、ETC、ランプメータリングなど	[2]

2.2 阪神高速道路における交通渋滞に対する取り組み

本研究で取り扱う阪神高速道路は 1962 年 5 月 1 日に設立され、営業路線が 233.8km から成る大規模な高速道路であり、1 日の利用台数は約 90 万台以上にも及び、高速道路の利用者数は年々増え続けており、交通渋滞は社会的問題となっている。

現在の阪神高速道路における交通渋滞解決策として、[4] の様に検知器による交通カウンターデータ収集が行われており、交通量の視覚化、交通解析、渋滞予測が様々な研究者により近年され始めている。また、[1] の様に VICS を用いたドライバーへのリアルタイム情報提供サービスも行われている他、制限速度や時間帯料金水準を設ける交通規制も行われている。さらに、車線閉鎖に繋がる道路工事は夜間に実施されていたり、1 日の交通量が比較的多い金曜日に NO 工事 DAY が実施されているなど様々な取り組みが行われている。

この様に、阪神高速道路では様々な交通渋滞対策を取

り入れ、交通渋滞を減らす努力を行っている。しかし、現在では表 2^{*1}の様に、高速道路料金所付近の渋滞緩和を目的とした ETC の利用率が過去数年間で膨大に増加し、その ETC 搭載車による本線への集団入路が原因で交通渋滞が発生していると言われている。それにより、増え続ける ETC 利用者の需要に対応する更なる取り組みが今後必要となってきている。

表 2 阪神高速道路における ETC 利用率及び台数

年月	利用率(月平均)	台数(月合計)
平成 14 年 4 月	1.03%	171,958
平成 15 年 4 月	3.92%	899,487
平成 16 年 4 月	12.51%	3,026,696
平成 17 年 4 月	30.21%	7,655,431
平成 18 年 4 月	59.00%	14,919,468
平成 19 年 4 月	68.59%	17,255,814

3 交通カウンターデータの詳細

本研究で使用する実験データは、阪神高速道路データウェアハウスから提供される交通カウンターデータを使用する。交通カウンターデータとは、阪神高速道路上に設置された複数の検知器によって 5 分間隔毎に取得された静的交通カウンターデータである。そのデータ内容として地区、系統、設置区分、検知器、車線、日付、時刻、交通量、高車交通量、占有率、平均速度、エラー識別、地区番号、路線番号、系統番号、検知器番号、キロポストなど、様々な項目から構成されている。このデータは、阪神高速道路データウェアハウスから csv 形式で保存することが可能である。さらに、データ容量は、環状線 1 年間のみで約 1TB である様に膨大な情報を含んでいる。そこで、膨大な情報を含む交通カウンターデータを使用するため、データの管理や必要な情報を抽出できる環境を作る必要がある。故に、交通カウンターデータをデータベースに登録するデータ前処理が必要となる。

4 交通データマイニングによる解析

4.1 交通量のグラフ化

ランプメータリングを導入する前に、交通量の変化などを把握するための交通解析をする必要がある。現在、阪神高速道路において、1 日全体の交通量が最も多く交通渋滞が深刻な問題となっているのが 1 号環状線である。その環状線は多くの出入口を設け、様々な路線と連結する複雑な構造から成り立っている。

そこで、最も交通量が多い四ツ橋入口付近 (0.4kp) に絞った天気別の交通量の変化を調べるために、交通カウンターデータを用いて 2006 年 4 月、平日、6:00 ~ 21:00 までの交通量のグラフ化を行った。

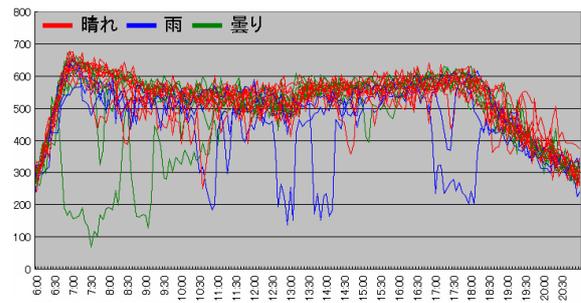


図 1 2006 年 4 月 平日 天気別の交通量の変化

図 1 からわかる様に、晴れの日には交通量の乱れが殆どなく、曇りや雨の日において大きな乱れを確認することができた。これは、スリップや視界不良による事故渋滞が発生したと予想することができる。

4.2 交通カウンターデータの精度分析

本研究で取り扱う交通カウンターデータは検知器取得による静的な交通カウンターデータなので、以下の理由によりカウント誤差を含んでいる可能性が考えられる。

- 検知器付近で車線変更する自動車の誤差
- 団子状に繋がった自動車の誤差
- 電波障害による誤差 など

そのため、どの程度誤差を含んでいるか確認する必要があり、0.4kp, 0.9kp, 四ツ橋入口の交通カウンターデータを用いて、例として 2006 年 4 月 3 日の上流とランプ要求の合計台数に対する下流の誤差台数を計算した。

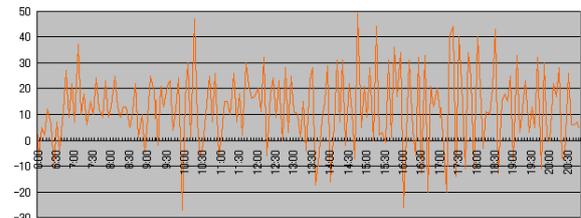


図 2 2006 年 4 月 3 日 四ツ橋入口下流における誤差台数

図 2 から、この交通カウンターデータは多少の誤差を含んでいることが解る。また、時間帯の変化に伴い誤差台数も変化していることから、交通量や時間の変化にカウント誤差が関係すると言することができる。

そこで、可能な限り誤差を補正する必要があり、誤差に関係する要因を時間、天候、曜日、各入口の様に分類し、 a =それぞれの要因のパラメータに対応する日にち、 b =その合計日数 (今回は 4 月の 1 ヶ月) と定義して、上流とランプ要求の合計台数に対する下流の誤差を補正するための補正式を以下の式 1、式 2、式 3 の様に考えた:

^{*1} <http://www.hanshin-exp.co.jp/drivers/etc/guide/2007-0606.html>

$$\text{誤差係数} = \frac{\sum a \text{ の誤差百分率}}{b} \quad (1)$$

$$\text{補正数} = \frac{\text{誤差係数}}{100} \cdot (\text{上流} + \text{ランプ要求}) \quad (2)$$

$$\text{補正後下流} = \text{補正前下流} - \text{補正数} \quad (3)$$

そして、これらの式を用いて四ツ橋入口下流の誤差補正を行った。補正前と補正後の誤差百分率を比較したグラフを図3に示す。

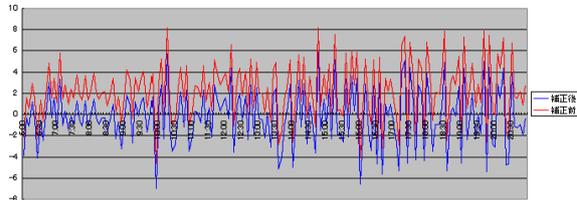


図3 補正前と補正後の誤差百分率

結果として、誤差補正によって誤差が生じていなかった時間に誤差が生じてしまう箇所も見られるが、全体の誤差を補正前の誤差割合約 2.25% から補正後に約-0.16% に低減することができた。しかし、完全な誤差補正をすることができなかった。やはり静的な交通カウンターデータその物が真値ではないので完全な誤差補正は不可能であった。動的な交通カウンターデータを補正に用いたりすれば、より精度の高い誤差補正が行えると思われる。

5 交通シミュレーション

5.1 ランプメータリングの導入

ランプメータリングとは、本線の合流付近のランプに信号を取り付け、入路を一定間隔に制御し、本線のフローや入路を円滑にする手法である。アルゴリズムは世界の各高速道路の構造や様々な制御目的によって数多く存在する [3]。問題として、本線のフローを制御できる代わりに、本線へ合流するランプが渋滞してしまうことが挙げられる。その渋滞を避けるためには、適切なアルゴリズムの導入や、交通解析により交通フローを正確に把握している必要がある。

今回、本研究で導入するアルゴリズムとして、数多く存在するアルゴリズムの中からデマンド-キャパシティーアルゴリズム [3] を選択した。これは、比較的精度の高いランプメータリング率を計算することができる他、閾値を使用することから様々な結果に対する考察が可能、フィードフォワードな手法であり手元にある交通カウンターデータのデータ項目の範囲内で実装することができるので用いた。

このアルゴリズムは、図4の状況下において、下流の占有率 O_{cr} と最小のランプメータリング率 r_{min} を閾値として、ある時間帯における下流の占有率と、下流と上流の差台を各閾値と比較することによってランプメータリング率を決定する方法である。

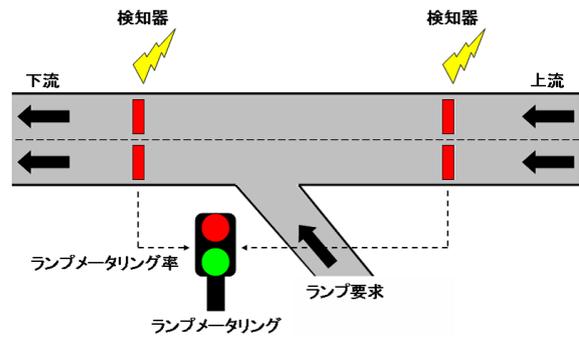


図4 アルゴリズム導入における状況下

以下、そのデマンド-キャパシティーアルゴリズムにおけるランプメータリング率の計算式を式4に示す。

$$R = \begin{cases} \max(q_{cap} - q_{in}, r_{min}) & \text{if } O_{out} < O_{cr} \\ r_{min} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

定義：

- R = ランプメータリング率 (台/時間)
- r_{min} = 最小のランプメータリング率 (台/時間)
- O_{cr} = 下流の占有率 (%)
- O_{out} = ある時間における下流の占有率 (%)
- q_{cap} = ある時間における下流の台数 (台)
- q_{in} = ある時間における上流の台数 (台)

この式により、単位時間あたりに入路することができる台数を制御することができる。実際に四ツ橋入口でのランプメータリング率の決定を行う上で、ランプに大規模な渋滞を発生させない様にするため、四ツ橋入口における平日の1時間単位毎の最大入路台数が400台前後であることから、 r_{min} を300台と設定した。また、ラッシュ時における下流の占有率が常に10%を超えており、ピーク時には20%を超えている場合が多いことから、 O_{cr} を20%とした。そして、実際に2006年4月3日の誤差補正結果を含めた交通カウンターデータをこのアルゴリズムに対応させ、ランプメータリング率の決定を行った。以下、図5にランプメータリングの単位時間あたりの信号間隔を示す。

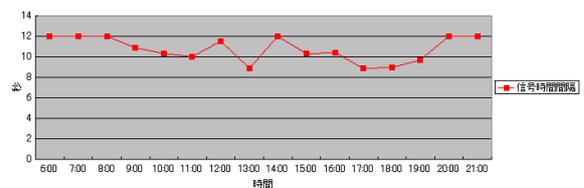


図5 制御による各時間における信号間隔

図5からわかる様に、アルゴリズムによってランプからの本線への入路を制御することができると言える。しかし、閾値の微妙な設定によって信号間隔も変化することから適切な閾値の設定が今後求められてくる。

5.2 交通シミュレーションによる評価

ランプメータリングによってどの程度交通フローが変化するかを示すために、車線変更や入路による上流の減速などを考慮しない簡単な交通シミュレーションを行った。概要として、図6の様に、本線のランプ側の1車線のみを考え、ランプからの集団到着の極端な例として、ETC利用率の割合に比例した台数を5分間の最初の1秒間に入路要求させる非制御の場合と、ランプメータリング率毎に均等入路する制御の場合において、入路可能な車間の場合にランプからの入路を行い、それぞれの本線の車両の連なった箇所(割込み回数)のカウントを行う。そして、それぞれのカウントを下流の減速に結びつけ、その速度を比較することによりランプメータリングの効率性を示すこととする。

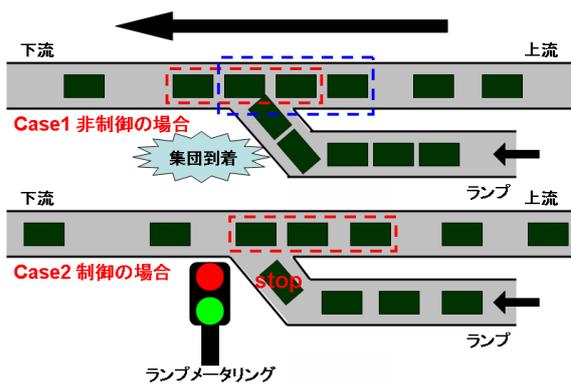


図6 交通シミュレーションの状況下

この交通シミュレーションで用いるデータとして、5分間の上流交通量、上流高車交通量、上流平均速度、ランプ台数を使用した。集団到着の頻度を再現するために、ETC利用率も入力データとした。さらに、できるだけ現状の交通フローを再現させるために、一般車の車間や、バスやトラックなどの全長が長い車両の車間を乱数を用いて前後4メートル内で調整した。

尚、今回は、9:00~9:05、11:00~11:05、13:00~13:05、15:00~15:05、17:00~17:05において実験を行った。ETC利用率については、当時の数値に近づけるため60%とした。実験を通して本線の車両の連なった箇所のカウントを行い、それぞれ比較した結果を図7に示す。

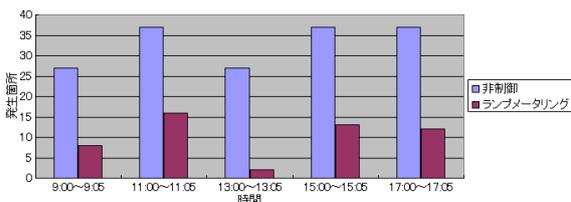


図7 2006年4月3日 四ツ橋入口のシミュレーション結果

結果として、非制御の場合とランプメータリング制御の場合とでは、明らかにカウント数が違い、13:00~

13:05では、最大14倍の効果を得ることができた。また、各時間帯の変化から、交通量、高車交通量、平均速度、ランプ台数それぞれが制御に関係することが解った。

続いて、2005年のETC利用率(30%)において同様の入力データを用いて実験を行うと、非制御の場合で多少のカウント数の低下が見られた。そして、カウントと下流の減速を結びつけるために、各年のそれぞれの非制御のカウント数と、当時の平均速度を比較し、ランプメータリング制御によるカウント数におけるおよその平均速度を計算した。以下、その結果と2005年、2006年の実測データの平均速度との比較を表3に示す。

表3 非制御の場合と入路制御の場合における下流の平均速度

時間	2005年	2006年	入路制御
9:00~9:05	62km/h	40km/h	75km/h
11:00~11:05	60km/h	43km/h	69km/h
13:00~13:05	62km/h	43km/h	79km/h
15:00~15:05	61km/h	43km/h	70km/h
17:00~17:05	56km/h	50km/h	61km/h

また、四ツ橋入口に限らず、他の入口においても同様に、すべての時間において速度増加が見込まれた。

6 まとめ

四ツ橋入口において、デマンド-キャパシティアルゴリズムによるランプメータリングの可能性を示した。しかし、今回は手元にあるデータ項目の限界から、車両の連なりとその減速の関係を過去2年間の実測データの比較から求めた。もしこの事をより改善できれば、更なる効率性を導き出すことが可能となると予想できる。

参考文献

- [1] A. Guhneemann, R. Schafer, K. Thiessenhusen, and P. Wagner, "Monitoring Traffic and Emissions by Floating Car Data," Institute of Transport Studies, Working Paper ITS-WP-04-07, 2003.
- [2] C. Lee, B. Hellinga, and K. Ozbay, "Quantifying Effects of Ramp Metering on Freeway Safety," Proceedings of Journal of Accident Analysis and Prevention, 2005.
- [3] J. Scariza, "Evaluation of Coordinated and Local Ramp Metering Algorithms using Microscopic Traffic Simulation," Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Transportation at the Massachusetts Institute of Technology, 2003.
- [4] S. Shekhar, C. Lu, S. Chawla, and P. Zhang, "Data Mining and Visualization of Twin-Cities Traffic Data," Computer Science Technical Report, TR 01-015, 2001.