

カプラン・マイヤー法による混雑解析と ETC 利用率の影響に対する考察

2004MT053 前田隆志 2004MT114 和田匠平

指導教員 河野 浩之

1. はじめに

現在、阪神高速道路は営業路線 233.8 km、一日の利用台数は毎年、約 90 万台にも及び、交通渋滞は大きな問題となっている[1].

昨年度の研究として阪神高速道路の環池～塚本地点において、2005 年、2006 年両年の 4 月から 6 月の期間での渋滞変化の研究がおこなわれ、2005 年と 2006 年にかけて混雑状況の変化が見つかった。この要因のひとつとして ETC 利用率の増加が挙げられたが、解析期間が 3 ヶ月と短く、また区間も環池～塚本地点のみであり、阪神高速道路全体でいえるとはいえない[2].

そこで本研究では、解析期間を 2005 年、2006 年両年の 4 月から 9 月に増やし、区間を環状線 4 車線上 kp 地点の全 12 地点について渋滞変化を解析する。解析手法は交通量と速度の関係にカプラン・マイヤー法を用いて交通量の確率分布関数を求める。またその結果に最尤推定法を用いてワイブル分布関数のパラメータを推定し、渋滞変化を数値化して比較する。渋滞変化が起きた地点において、その前後での高車交通量の割合、ETC の利用率、出入口交通量の変化を比較することで、渋滞変化の原因を考察する。また、解析を用いるツールとしては R-2.6.0 を使用し、データの管理は PostgreSQL8.2 を使用する。

2. 混雑解析に関する先行研究

2.1. ケルン環状都市高速における交通容量解析

道路交通において ITS (Intelligent Transport Systems) の発達に伴い、旅行時間、道路状況、交通容量、混雑状況の視覚化など様々な観点から研究がなされている。

文献[3]はルール大学の研究グループによる論文である。この論文ではドイツ西部の都市、ケルンの環状都市高速の交通データを用いて交通容量の確率分布関数を生成し、最尤推定法を用いてワイブル分布関数のワイブルパラメータを推定している。

一般的に、データの数が少なくても精度の高い解析ができるカプラン・マイヤー法を用いて生存分析は行われる。そして生存分析で用いる分布関数と交通容量分析で用いる分布関数がパラメータ・イベント・変数・打ち切り・確率密度関数・確率分布関数などにおいて、同様に表されることが

述べられている。このことから交通容量の分析にカプラン・マイヤー法を適用し、オートマチックループディテクターで取得されるデータを基に地点別の混雑状況解析を行っている。使用しているデータは乾燥した路面状況のときのデータのみ限定している。また導いた分布関数をもとに最尤推定法を用いてワイブル分布関数のパラメータを求め、地点別の分布関数の違いを数値化している。

論文で取り上げられているケルンの高速道路が阪神高速道路と同じ環状都市高速道路であることから同じ評価方法を阪神高速道路の交通モデルに適用すると、この論文による評価結果と同様の結果を導くことができると予想される。そこで我々の研究では阪神高速道路の料金所付近の交通量と車両速度に上記手法を適用し、地点別混雑状況解析を行う。また ETC の利用率とワイブル分布関数のパラメータとの関係を考察する。詳しい関数の定義や計算については 4 章で述べる。

3. 阪神高速道路データウェアハウスの PostgreSQL を用いた処理混雑解析

3.1. トラフィックカウンタ

本研究に使用されるデータは、阪神高速道路のトラフィックカウンタから取得したものである。トラフィックカウンタデータには、管理日付、検知器番号、5 分間検知器交通量、5 分間検知器平均速度などがあり、一ヶ月で約 60MB の容量がある。本研究ではこの中から渋滞情報を解析する際に、管理日付、検知器番号、5 分間検知器交通量、5 分間平均速度の 4 種類のデータを使用する。またプロットを行い、最尤推定法を用いて新たなパラメータを求める際に、検知器番号、5 分間検知器交通量、5 分間平均速度を使用する。

3.2. ETC

ETC (Electric Toll Collection system) は、高速道路料金所にあるゲートを通るだけで料金の計算や支払いを行い、出入口付近をスムーズに通ることに出来るシステム環境の総称を指す。ETC 導入によって交通渋滞の緩和だけでなく、加減速を減らすことで、車の排出ガスを削減する地球環境にも良いシステムだと言われている。ETC は 2001 年 4 月に導入され、ここ 5 年間で急速に普及し、2007 年 4 月における阪神高速道路を利用する車両の 7 割以上の車が ETC を搭載している[4]。ETC データには 1 ヶ月ごと、料金

所ごとの通行車両の種類(普通車,大型車),台数(一日平均台数,平日平均,土曜平均,休日平均)のデータが格納されている。

3.3. PostgreSQL による交通データ処理

阪神高速道路データウェアハウスのデータは1ヶ月分で約120万件ものデータ量がある。これはExcel2003における許容範囲である65,536行を大幅に上回っており、読み込むことができない。そこで本研究ではトラフィックカウンタデータを格納して処理するために、PostgreSQL8.2を使用する。PostgreSQL上で、トラフィックカウンタデータと天候データと日種データをそれぞれ結合させ、本研究に必要なデータのみを条件付出力を行い、新しいファイルに抽出する。

3.4. Rによるデータ処理

PostgreSQLで処理したデータを用いて、R-2.6.0による統計解析と、グラフの作成を行う。処理したデータにカプラン・マイヤー法を用いて、阪神高速道路の各kp地点における実データを用いた交通容量の分布関数を求め、グラフを作成する。また、導いた分布関数の数値をもとに最尤推定法を用いてワイブル分布関数のパラメータを求める。

R言語は、ベクトル、配列、行列、データフレーム、リスト、複素数計算など、統計計算の上で必要となる数多くのデータをまとめるデータ型が最初から実装されている。R言語は、単なるプログラミング言語ではなく、統計計算を行う環境であり、グラフ、図の描画機能を備えている。また本研究で取り扱う阪神高速道路の実データを入力として読み込むことが可能である。図1は実際にRに取り込んだデータの一部分である。Rの既存パッケージを用いて数値解析を行い、グラフを作成することが可能であるためRを用いる。

管理日付	記録時刻	5分間交通量	5分間高車交通量	占有率
2006/4/3	18:00:00	195	41	21
2006/4/3	18:05:00	178	33	20
2006/4/3	18:10:00	167	35	18
2006/4/3	18:15:00	167	23	15
2006/4/3	18:20:00	158	23	16
2006/4/3	18:25:00	148	22	15
2006/4/3	18:30:00	161	41	17
2006/4/3	18:35:00	148	32	16
2006/4/3	18:40:00	151	29	14
2006/4/3	18:45:00	153	29	17
2006/4/3	18:50:00	168	24	17
2006/4/3	18:55:00	167	34	18
2006/4/3	17:00:00	158	30	18
2006/4/3	17:05:00	178	30	17

図1 Rに取り込んだトラフィックカウンタデータ

4. 混雑状況の解析

4.1. 環状線の時間帯交通量による条件設定

解析を行う地点・時間帯等を設定するために混雑している時間帯を調べておく必要がある。本研究では阪神高速道路で特に混雑するといわれている大阪・環状線を取り扱う。

トラフィックカウンタデータから、土日祝日と比較して平日は交通量が約11%増加、天候では晴れの日が雨の日と比

べて交通量が4-7%増加している。よって解析条件を平日の晴れの日交通データに絞る。

図2, 図3は各区分における環状線の時間帯交通量をグラフ化したものである。環状線東側においては図2のように夕方17時~19時においてピークを迎えるグラフとなった。また、西側においては図3のように夕方7時~9時と夕方17時~19時においての2回交通量のピークを迎えるグラフになった。このことから、環状線全体で混雑する時間帯を17時~19時とし、解析条件には混雑が収束する時間帯を考慮に入れ、16~21時の時間帯の交通データに絞る。

また東西によって混雑パターンに違いが見られたことから、時間帯や東西の違いによって環状線の利用目的に何らかの傾向があることが示唆される。

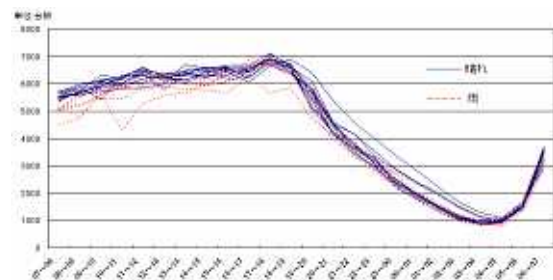


図2 東横合~長堀入口間時間帯交通量

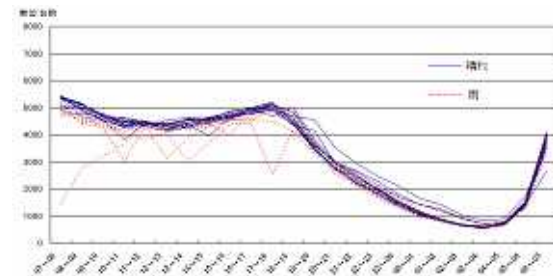


図3 信濃出口~信濃入口間時間帯交通量

以上の条件に加え、混雑状況の比較をおこなうために車線数を4車線の地点に絞って解析を行うこととする。よって取り扱うデータの条件は表1のようにまとめられる。

表1 データの抽出条件一覧

条件項目	条件
期間	2005年4月~9月及び 2006年4月~9月
時間	16:00~20:55
場所 (kp地点)	0.4, 0.9, 1.5, 2.1, 2.3, 3.2, 4.5, 4.7, 5.2, 5.8, 6.1, 6.5
天候	晴れ
日種	平日
車線数	4車線

4.2. Rによる交通容量解析

抽出した交通データを用いて、Rによる統計解析と、グラフの作成を行う。処理した交通データに文献[3]の手法を用いて、阪神高速道路の各kp地点における交通容量の分布

関数を求め、グラフを作成する。また、導いた分布関数の数値をもとに最尤推定法を用いてワイブル分布関数のパラメータを求める。

4.2.1. カプラン・マイヤー法を用いた交通容量分布関数データ生成

カプラン・マイヤー法を交通容量の分析に適用した式が(1)式で表される。

$$F_c(q) = 1 - \prod_{i:q \leq q_i} \frac{k_i - d_i}{k_i}; i \in \{B\} \quad (1)$$

$F_c(q)$: 最大交通量 c の分布関数

q : 交通量

q_i : 5分間交通量

k_i : q_i のときの交通量

d_i : q_i のときに速度が減少している車両の交通量

$\{B\}$: 交通量計測間隔毎データ

PostgreSQL で条件付出力したデータにカプラン・マイヤー法を適用するための判定値を加える。R のパッケージ関数 survival() では最大交通量のデータベクトルに判定値 1 を、それ以外のデータベクトルの判定値に 0 を与えることによりカプラン・マイヤー法を適用し数値解析を行うことができる。

4.2.2. 分布関数グラフの作成と比較

生成したデータから解析・比較のために2005年、2006年の年間kp地点ごとのグラフ(20個)、連続3kp地点ごとのグラフ(20個)、全kp地点のグラフ(1個)、月別kp地点ごとのグラフ(20個)の4種類のグラフを作成した。図4は環4.7kp地点の2005年、2006年の確率分布関数グラフである。2005年、2006年の年間各kp地点の確率分布関数グラフを見ると、どのグラフにおいても図4のように、2006年の確率分布関数が上にずれている。これは速度低下の事象が2005年と比べて少ない交通量で起こっていることを示している。

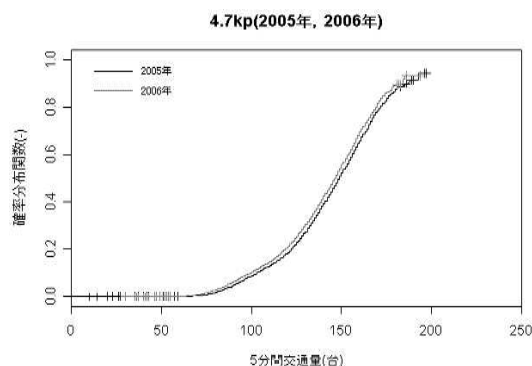


図4 環4.7kp地点の確率分布関数

また全ての地点において確率分布関数の波形が5分間交通量が50台からグラフが上昇し200台前後で収束するという同様の形状となることから、解析した全地点において同様の特徴があるといえる。また月別kp地点の確率分布関数のグラフを算出したところ、2005年のグラフにあったばらつき

きが、2006年になると小さくなる傾向が全地点でわかった。

4.2.3. 最尤推定法を用いた分布関数グラフの作成と比較

カプラン・マイヤー法を用いて生成した分布関数に最尤推定法を用いてワイブル分布関数のパラメータを推定する。最尤推定法で用いられる尤度関数とワイブル分布関数は式(2)(3)のように定義される[3]。

$$L = \prod_{i=1}^n f_c(q_i)^{\delta_i} \cdot [1 - F_c(q_i)]^{1-\delta_i} \quad (2)$$

$f_c(q_i)$: c の統計密度関数

$F_c(q_i)$: c の累積分布関数

n : データの数

$\delta_i = 1$: 速度低下の事象

$\delta_i = 0$: それ以外のとき

$$F(X) = 1 - e^{-\left(\frac{X}{\beta}\right)^\alpha} \quad \text{for } X \geq 0 \quad (3)$$

α : 形状パラメータ(=ワイブル係数)

β : 尺度パラメータ

最尤推定法を用いてワイブル分布関数のパラメータを推定するプログラムを用いてパラメータを推定した。推定したワイブルパラメータをまとめたものが表2である。また推定されたパラメータを代入したワイブル分布関数のグラフと、カプラン・マイヤー法によって実データを基に生成したグラフを重ね合わせた図の例が図5である。

表2 推定したワイブルパラメータ一覧

kp	2005年 (α, β)	2006年 (α, β)	$\Delta(\alpha, \beta)$
0.4	(7.51, 155)	(6.96, 154)	(0.55, 1)
0.9	(8.17, 167)	(7.28, 165)	(0.89, 2)
2.1	(4.68, 163)	(4.12, 162)	(0.56, 1)
2.3	(3.52, 164)	(3.82, 162)	(-0.30, 2)
3.2	(6.93, 161)	(6.62, 158)	(0.31, 3)
4.5	(5.18, 174)	(4.93, 171)	(0.25, 3)
4.7	(5.86, 158)	(5.68, 156)	(0.18, 2)
5.8	(7.57, 163)	(7.19, 161)	(0.38, 2)
6.1	(6.02, 170)	(5.57, 167)	(0.45, 3)
6.5	(5.11, 160)	(5.00, 159)	(0.11, 1)

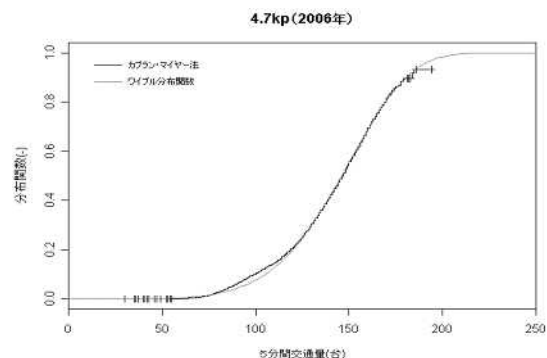


図5 和4.7kp地点確率分布関数グラフ

4.3. ETC データの比較と混雑状況の関連

表3は2005年、2006年における総交通量の変化とそれに関係する交通量の変化を表にまとめたものである。数値は各kp地点および各出入口交通量の和を算出している。2005年、2006年を比較すると、ETC利用率のみに大きな変化が認められ、総交通量、高車交通量、出入口交通量に大きな変化は見られなかった。このことから、ETC利用率の影響が示唆される。また、月別のETC利用率を算出したところ2005年が単調増加しているのに対して、2006年は70%前後を横這いになる傾向が全kp地点においていえる。

表3 各年度における交通量の変化

	2005年	2006年
総交通量(台)	28,433,144	27,467,601
高車交通量(台)	3,200,605	3,063,643
出口交通量(台)	1,942,299	1,922,281
入口交通量(台)	8,468,008	8,304,383
ETC利用台数(台)	3,282,590	5,480,939
ETC利用率(%)	39%	66%

5. 考察

解析期間の年別、月別それぞれで確率分布関数の変化がみられ、変化の要因として交通量、交通量と高車交通量の割合、出口交通量、入口交通量、ETC利用率の5項目の数値解析を行った。

結果、ETC利用率のみに大きな変化が認められた。2005年、2006年のETC利用率を比較すると、最大で32.6%、最低22.1%、平均26.1%以上の上昇がみられた。そこで生成した分布関数のグラフ、ワイブルパラメータ及びETC利用率の変化を基に混雑状況の変化を解析したところ、解析を行った全地点において年別ETC利用率の増加に伴い確率分布関数のグラフが上昇している。また月別ETC利用率の上昇度合いが大きい2005年のグラフにあった確率分布関数グラフのばらつきが、ETC利用率が横這いの2006年になると小さくなる傾向が全地点で見取れた。

次に環4.7kp地点を例に挙げると、分布関数に最尤推定法を用いて求めたワイブルパラメータの差が0.18であった。また環2.3kp地点以外のワイブルパラメータの値は、環4.7kp地点と同様に全て2006年の値が2005年の値と比べて減少している。環2.3kp地点については総交通量が30万台も減少しており、年別交通量の差が他地点より16万台以上と大きいことから例外として解析対象から除いているが、この結果から交通量もワイブルパラメータへ影響すると思われる。これらのことから総合的に判断すると、ETC利用率の上昇が2005年と2006年の渋滞変化に対して少なからず影響しており、その変化の割合に応じてワイブルパラメータの値に変化があると考えられる。ワイブルパラメータの変化が Kaplan-Meier 法を適用した交通容量確率分布関数の

グラフと酷似しているワイブル分布関数の波形に影響を及ぼしていることから、ETC利用率とワイブルパラメータの関連性があるのではないかと推測される。また解析地点における交通量によってもワイブルパラメータは影響を受けるということも分かった。

6. おわりに

データ解析の結果、阪神高速道路環状線4車線上の各kp地点において、交通容量のETC利用率の違いによる変化を確認することができた。阪神高速道路環状線4車線地点のどの地点においても交通容量の確率分布関数が上昇しており、2006年において2005年よりも少ない交通量で混雑するようになったことがわかった。ただし渋滞は天候や道路の利用目的、交通量の違いなどさまざまな要素が絡み合っただけで混雑状況が決定される。そこで出入口交通量、高車交通量、総交通量のデータに関しては時間帯の抽出を行ったが、ETC利用台数に関しては時間帯抽出を行うことができず、月ごとの通行台数データを利用した解析となっている。そのためETCの利用率の変化のみに着目した解析を行うには、ETCデータの時間帯別交通量データを使用し、本研究で定義した条件に加えて交通量がほぼ等しくなるような条件下での解析が必要であると考えられる。また本研究の解析区間が阪神高速道路環状線4車線上の各kp地点のみであるので、阪神高速道路の他の路線、他の区間と解析範囲を拡大することで路線ごとの渋滞パターンを見つけ、新たな渋滞解決策を導くことが今後の課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、最後まで御指導頂いた河野浩之教授、さまざまなデータを提供して下さった阪神高速道路株式会社、そして共に研究を進め、様々な助言をして頂いた河野研究室のみなさんに深く感謝します。

参考文献

- [1] 阪神高速道路,
<http://www.hanshin-exp.co.jp/drivers/index.html>,
(accessed by 2007.6)
- [2] 三岡慈生, 榊原靖浩, “ArcGIS を用いた阪神高速道路における混雑解析,” 南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文要旨集 pp196-199, 2006.
- [3] Werner Brilon, Matthias Regler, Justin Geistefeldt, “Reliability of Freeway Traffic Flow A stochastic Concept of Capacity,” Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.125-144, (July 2005)
- [4] ETC 総合情報ポータルサイト,
<http://www.go-etc.jp/index.html>, (accessed by 2007.9)