時系列モデルによる都市高速道路の突発事象のオンライン検知に関する研究

京都大学工学研究科　学生員　○　賓　美鶯
京都大学工学研究科　正　員　倉内　文孝
京都大学工学研究科　フェロー　飯田　恭敬

1. はじめに

偶発する車両事故，故障などの突発事象は，事象発生の早期把握・処理が重要である．その対策として，都市高速道路では画像センサーを用いた突発事象検知装置が導入されているが，高価，維持・管理の難しさのため事故多発地点などにのみ設置されている．本研究では，都市高速道路のほぼ全路線に設置され，リアルタイムでデータを収集している車両検知器を用いて，突発事象をオンラインで把握する方法論を提案する．分析に用いたデータは，阪神都市高速道路守口線に500m ごとに設置されている超音波検知器により，30秒間隔で観測された時間占有率である．

2. オンライン突発事象検知の方法

平常時における交通流は，ピークアワーの時間帯を含め，ある一定のパターンを有すると考えられる．すなわち，突発事象が発生していない時には，1 期先の時間占有率はパターン学習を通じて予測可能と考えられる．一方，突発事象発生時は，車線閉塞などによる突然の容量低下により，平常時の交通流パターンとは大きく乖離する可能性が高い．本研究では，平常時における交通流パターンを表現するために時系列モデルを適用することとした．時系列モデルにおいては，予測値は推定された平均および分散に従う正規分布として定義される．現時点までの観測値より，1 期先の予測分布の平均および分散を求めておけば，1 期先の観測値が得られた時，その観測値以上の値が予測分布より得られる確率が計算できる．本研究では，この確率（以下：判定確率）を用いて突発事象の検知を試みることにした．すなわち，判定確率がある閾値以下であるなら，突発事象と判定することとする．

3. 時系列モデルの同定

守口線上り 6.0Kp の検知器データ（データ数 24, 926）を例として，時系列モデルの同定結果を示す．なお 30 秒ごとに観測された時間占有率データは変動が大きかったため，2 分 30 秒（5 時間帯）で移動平均化したデータを用いて分析を行った．

(1) データの定常性

時系列モデルを適用するためには，データの定常性が保証されていなければならない．そのため，自己相関関数，ピリオドグラムなどにより定常性解析を行った．さらに，隣接した検知器間では，観測値に大きな相関が生じる可能性があり，この場合には多変量時系列モデルを適用する必要がある．この点については，隣接する検知器からのデータを用いて，交差共分散により検証した．紙面の都合上，結果のみを示す．

- 観測値より求められる自己相関関数の計算結果より，観測時系列は非定常データである．
- 1 階差分を取ったデータで自己相関関数を計算した結果，移動平均値をとった 5 期間ごとの周期的な相関はあるもののラグが大きくなれば自己相関関数値はゼロに近づく．
- 交差共分散の計算結果より，1 階差分を取ったデータは空間相関性が少ない．

したがって，時系列モデルとしては，データの 1 階差分を取り，5 期間ごとの周期性を考慮した単変量季節変動時系列モデル [1)]を適用することにした．

(2) モデルの同定結果

モデル同定には SAS[2)]を用いた．様々な次数モデルを推定し，AIC を用いてモデルの適合度が最も高かったものを選択した結果，$ARIMA(2,1,0)(1,1,0)_5$ が得られた．推定されたパラメータは表 1 のとおりである．パラメータ推定結果より，最も影響力が強いのが，1 次の季節調整パラメータ Φ_1 で，次が 1 次の AR 係数 ϕ_1 であった．この 2 パラメータでほとんどの変動を表現していることがわかる．

図 1 は 5 時点で移動平均をとった観測値と，モデルにより得られた 1 期先予測分布の平均および 95%信頼区間を, 事故があった時点を中心に示したものである．

キーワード：突発事象検知，時系列モデル，時間占有率
〒606-8501 京都市左京区吉田本町，Tel:075-753-5126，Fax:075-753-5907

18:25～18:35 の非渋滞状態や 18:40 以降の渋滞発生からある程度時間が経過した状態においては，観測値がほぼ予測分布の 95%信頼区間の中に収まっており，このモデルは平常時の交通流の変動をうまく表現しているといえる．

表１モデルの推定結果

パラメータ		T 値	AIC
ϕ_1	0.13375	21.11	83185
ϕ_2	- 0.01546	- 2.44	
Φ_1	- 0.62576	-126.58	

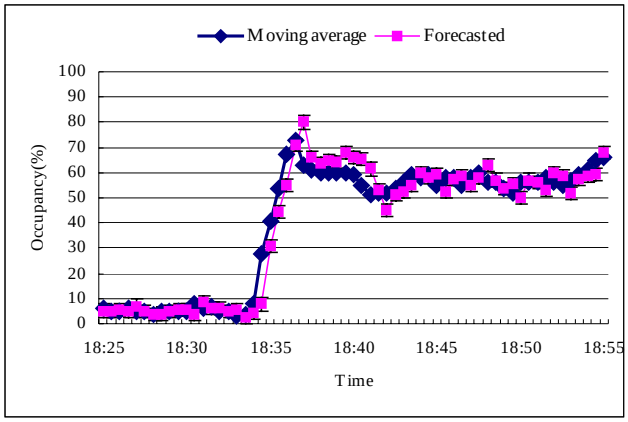

図 1. 観測値とモデルによる 1 期先予測値の比較（5 期間移動平均データ）

4. 突発事象の検知結果

突発事象検知のための閾値の決定方法は，この方法の運用方針によって大きく異なるであろう．すなわち，事故の誤検知を認めても，全ての事故を検出することを目的とするのか，あるいは，多小の検知漏れは認めても誤検知を少なくするのか，によって閾値の設定は異なることが考えられる．ここでは，一例として，閾値を 1.0×10^{-7} として設定したケースについて報告する．図 2 は，対象突発事象が起こった守口線上り 6.0 Kp を中心に 4.5 Kp から 7.0 Kp までの 6 区間について判定結果を示したものである．なお，考慮対象としたのは，非渋滞時に車両事故という比較的深刻な突発事象が生じたケースである．縦軸は各検知器の設置キロポストを，横軸は時間を示す．グレーのセルは，阪神高速道路公団における渋滞判定基準のひとつである 20%以上の時間占有率を示す．白抜き文字で示したセルは，モデルにより突発事象であると検知したところである．

阪神高速道路公団の交通障害日報に事故が記録された時間は 18:40 であった．図 2 より，モデルを用いた場合には，18:34 に検知された．およそ 6 分程度早く検知したことになる．しかしながら，6.5 Kp において，18:52 に渋滞の延伸を，さらにその後の渋滞中にも何回か突発事象が検知されていることがわかる．これより，突発事象に起因する渋滞や渋滞中の不安定な交通流を，突発事象と検知する時があるといえる．

5. おわりに

本研究は，都市高速道路の突発事象をオンラインで検知する方法を提案した．超音波検知器から得た時間占有率データを用いて突発事象検知を試みた結果，日報に記録された時間より早く検知可能であることが明らかとなった．しかし，自然渋滞と突発事象後の不安定な交通流を区別できず，誤検知する場合もあり，これらを分類するアルゴリズムの検討が必要と考える．また，閾値の決定方法についてはさらなる検討を要する．

今後の展開として，提案した手法を異なる地点で発生した，様々なレベルの突発事象に適用していく予定である．

本研究は，阪神高速道路公団による財政的支援と，データ提供により実施された．ここに記して深謝したい．

参考文献

1) W. ヴァンデール：“ 時系列入門：ボックスージェンキンスモデルの応用 ”，多賀出版，pp. 60-66，1998
2) SAS Ins. ”Seasonal Adjustments to Time Series Data”, *In SAS/ETC Software : Application Guide 1*，SAS，pp. 129-148, 1991.

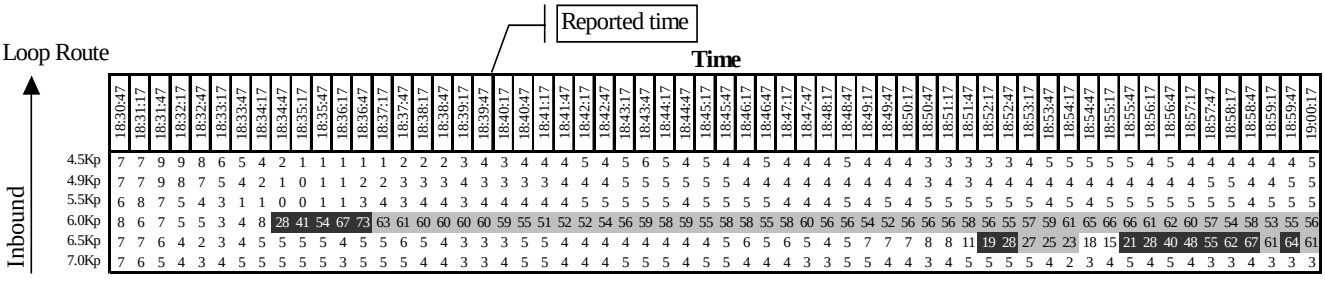

図 2　突発事象の検知結果