

首都高速道路における突発的ボトルネック判定手法構築に関する研究

ふなおかなおき わりたひろし くわはらまさお さとうこう
船岡直樹¹・割田博²・桑原雅夫³・佐藤光¹

¹パシフィックコンサルタンツ（株）（〒206-8550 東京都多摩市関戸1-7-5）

²首都高速道路（株）（〒221-0044 神奈川県横浜市神奈川区東神奈川1-3-4）

³東北大学大学院情報科学研究科（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06）

首都高速道路の交通管制システムでは、事故や故障車等による突発的渋滞発生時の交通状況や旅行時間予測情報の提供等の検討のため、リアルタイムシミュレーションによるオンライン短期予測を開発中である。シミュレーションでは、事故等による突発的渋滞の発生の有無やその先頭位置、即ち突発的ボトルネックを的確・迅速に把握し、シミュレーションへ入力・反映させる必要がある。そこで、本稿ではオンライン短期予測の予測精度向上のため、既設の車両感知器データを活用し、突発的ボトルネックを的確・迅速に判定するロジックの構築を行った。その結果、“取りこぼしはややあるが嘘が少ない”実務に適した良好な判定結果となった。

Key Words : 突発的ボトルネック検出, 交通事故, オンラインシミュレーション

1. はじめに

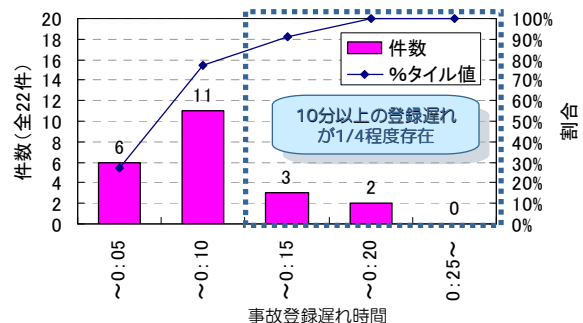
首都高速道路は、日平均31件の事故、28件の故障車両が発生しており、これらによる渋滞は全渋滞の12%に及ぶとされている¹⁾。他に落下物などの障害も併せると、高速道路上では常時何らかの突発事象が起きていると言ってもよく、これら突発的に発生する交通障害は、深夜等の需要交通量の少ない時間帯を除き、殆どの場合において渋滞を誘発し、利用者の信頼性や満足度を大きく損ねている。

そのため、現在首都高速道路の交通管制システムでは、突発事象発生時の交通状況や旅行時間予測情報の提供、更には突発事象時における交通管理手法（例えば、流入制御）等の検討のため、リアルタイムシミュレーション（以下、シミュレーション）によるオンライン短期予測を開発中である²⁾。シミュレーションでは、突発的渋滞の発生の有無やその先頭位置、即ち突発的ボトルネック（以下、突発的BN）を的確・迅速に把握し、入力する必要がある³⁾。

しかし現在の交通管制システムでは、突発事象が発生した場合、外部（交通管制室）にて異常事象イベント登録（以下、イベント登録）がされないと、突発的BNとして設定されない^{2) 3)}。事故を例に実態を見ると、事故発生から事故登録までには、10分以上の登録遅れが1/4程度存在する（図-1）。イベント未登録の間はシミュレーション上で容量制約が出

来ないため、将来予測が的確に出来ず、旅行時間予測の誤差も大きく生じる。

そこで、突発的渋滞の先頭位置を的確・迅速に判定するロジック（突発的BN判定）を構築し、シミュレーションに組み込むことにより、交通状況予測、旅行時間情報提供精度の向上を目指す。本稿では、突発的BN判定手法構築に関して報告する。



※サンプルデータ：2008年上半期川口線下りの事故渋滞を伴う事故
※事故発生時刻の特定は、直前の時空間の車両感知器区間5分間データより交通量が概ね30台/5分以下、または速度が概ね20km/h以下に低下した時間帯とした。

図-1 事故登録遅れ時間

2. 突発的BN検出の基本フロー

突発的BNの判定の基本的なロジックとしては、車両感知器データより、当該時間帯・箇所での臨界速度を基にした渋滞判定を速度データにより行う。渋

滞と判定された場合、当該時間帯の直前の時間帯・同箇所が自由流か渋滞流かによって検出ロジックを分岐させる。突発的BN検出の基本フローを図-2に示す。また、突発的BN検出時には、シミュレーションへ入力すると同時に、交通管制室への突発事象発生アラームの発報を併せて行うことを念頭においている。そのため交通管制室の現場の声を踏まえ、「取りこぼしは許せども嘘は許さない」ロジックの構築により、信頼性を確保することが必要である。

尚、事前に把握できる工事渋滞の影響については、工事区間を含む前後区間の工事規制時間帯前後30分間は、予め除外する。

ここで、突発的BNの判定とは、突発事象の判定とは異なり、突発事象発生時に渋滞を発生させた場合の先頭地点の判定を意味していることを付け加えておく。

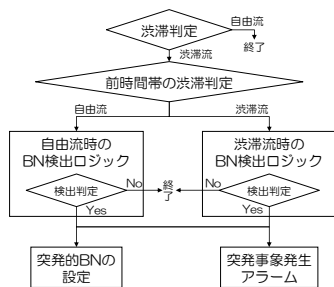


図-2 突発的BN検出の基本フロー

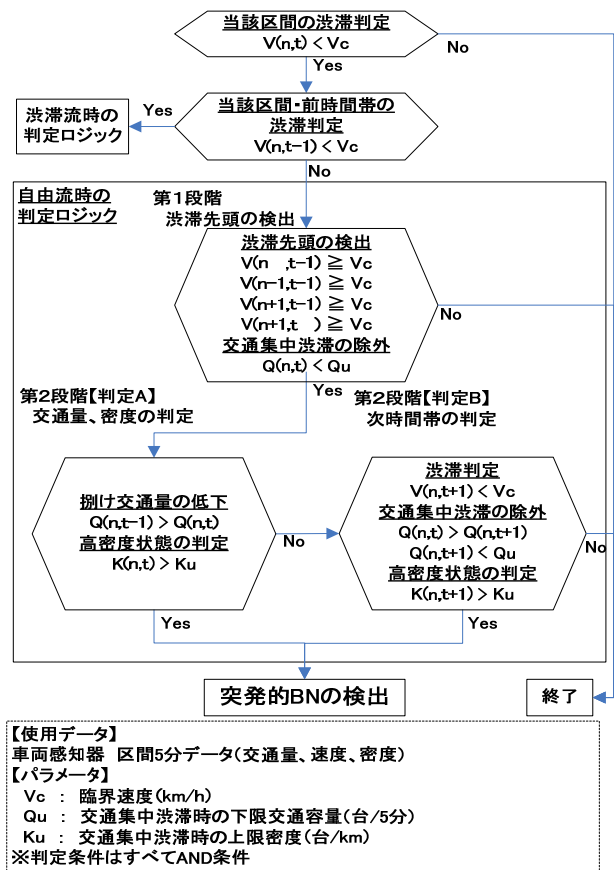


図-3 自由流時の判定ロジック

3. 自由流時の突発的BN検出

(1) ロジックの構築

自由流時の突発的BN検出フローを図-3に、判定データの時空間の関係イメージを図-4に示す。検出の第1段階として、車両感知器区間5分データの時間的・空間的な速度変化から渋滞の先頭箇所を検出する。これに、第2段階【判定A】として、捌け交通量の低下状況、密度の状況を加味し、一時的な速度低下現象の除外を行う。さらに、取りこぼしを少なくするために、第2段階【判定B】として、次時間帯の交通状況も監視し、BNの検出精度の向上を図った。

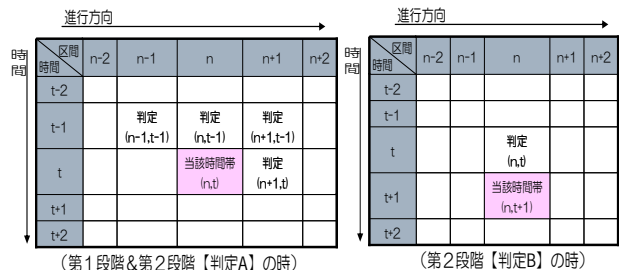


図-4 自由流時判定データの時空間の関係イメージ

(2) ロジックの検証

a) 検証対象路線の特徴

前節にて、構築したロジックの検出精度を検証する。検証事例としては、4号新宿線上りの2008年4月の1ヶ月間とする。当該路線は、中央自動車道から中央環状線、都心環状線へと接続する重交通を抱える路線であり、突発事象による車線閉塞が発生すると、それに伴う突発的渋滞の影響も甚大である。

また、当該路線は、2007年12月の中央環状線山手トンネル供用に伴い、以前より交通集中渋滞が減少している。今後、他の路線においてもネットワーク整備による交通状況変化を受け、検出ロジックのパラメータ調整等が発生した場合のモデルケースとすることも見据え、同路線を検証対象路線としている。検証対象路線の位置を図-5に示す。



図-5 検証対象路線

b) 判定指標

判定指標としては、以下の3指標で評価する。

- 事象検出率 (リコールレート) :

$$RR = \frac{DR}{IR} \quad (1)$$

- 正検出率 (プレジジョンレート) :

$$PR = \frac{DR}{(DR + DE)} \quad (2)$$

- イベント登録時刻に対する早期検出時間

$$EDT = RT - DT \quad (3)$$

ここで、
 IR : 真の事象数 (件)
 DR : 正検出数 (件)
 DE : 誤検出数 (件)
 RT : イベント登録時刻
 DT : 突発的BN検出時刻

事故や故障車による突発的な渋滞のほか、交通集中渋滞を除いた原因不明の渋滞に対しても、突発的な渋滞が発生すると、シミュレーションの将来予測精度は低下する。そのため、事象の区分によらず速度低下している場合は、真の事象とした。

一方、一時的な速度低下 (5分データの場合、5分間) の場合、本ロジックで検出し、シミュレーション側へ伝えた時点で実現象では速度回復している。そのため、速度低下継続時間が5分の事象については、誤検出と定義した。判定指標のイメージを図-6に示す。

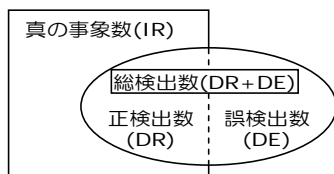


図-6 判定指標のイメージ

c) 判定結果

判定結果を以下に示す。また、早期検出時間 EDT を図-7に示す。4号新宿線上りの判定に用いたパラメータは表-1に示す。

- ・ RR = 52% (13件/25件中)
- ・ PR = 86% (13件/15件中)

判定の結果、事象検出率 RR は52%と低く、正検出率 PR は86%と高い結果となった。しかし、第2章でも述べたように、突発的BN検出時には、シミュレーションへの入力と同時に、交通管制室への突発事象発生アラームの発報を併せて行うことを念頭に置いているため、正検出率 PR は100%に近づけることが必要である。

早期検出時間 EDT は、イベント登録が無い突発的な渋滞 (図-7中では「不明」) を判定出来ていること、イベント登録がある事象に対しても概ね登録よりも早い、もしくは同時に検出出来ており、良好な結果と言える。一方で、3件がマイナスの値 (イベント登録よりも検出が遅い) であるが、これらは運用の段階で既にイベント登録がある箇所を検出対象から除外することによって、無駄な検出を省くことが出来るため、実質的には「未検出」と読み取ることが出来る。

イベント登録内容別に早期検出時間 EDT をみると、事故は渋滞発生からの登録までの時間差が比較的少ないが、故障車は渋滞発生からイベント登録までに時間差がある場合がある。これは、事故の場合、事故の当事者もしくは通行者が速やかに警察または交通管制室等に連絡する傾向が強いが、故障車は通報をせず当事者で故障を直そうとしている、もしくはJAFや修理業者へ第一報を入れるため、交通管

制室での故障車の把握が遅くなるも推測される。したがって、本検出ロジックが一番効果を発揮するのは、発生から登録までの時間が短い事故よりも、発生から登録までの時間が長い故障車や道路障害物等によって発生した渋滞である可能性が伺える。

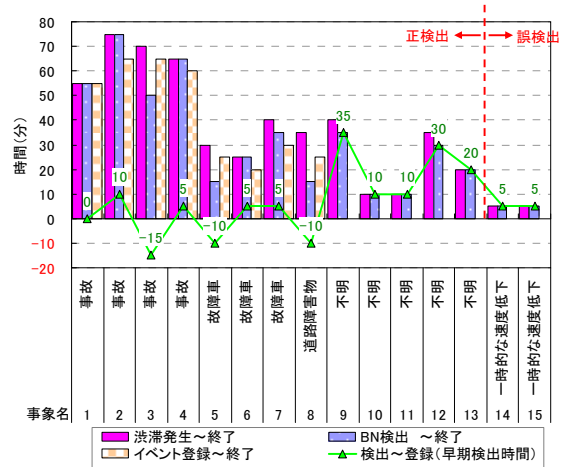


図-7 イベント登録時刻に対する早期検出時間(自由流時)

表-1 4号新宿線上りのパラメータ (自由流時)

| 区分 | 値 |
|----------------|----------------------|
| 临界速度 | $V_c=50\text{km/h}$ |
| 交通集中渋滞時の下限交通容量 | $Q_u=200\text{台/5分}$ |
| 交通集中渋滞時の上限密度 | $K_u=50\text{台/km}$ |

4. 渋滞流時の突発的BN検出判定

(1) ロジックの構築

渋滞流時の突発的BN検出フローを図-8に、判定データの時空間の関係イメージを図-9に示す。渋滞流時も自由流時と同様に、車両感知器区間5分データから、時間的・空間的な速度変化を基本としながら、【判定A】にて、捌け交通量の低下状況を加味し、突発的BNの検出を行う。さらに、取りこぼしを少なくするために、【判定B】として、前々次時間帯の交通状況との比較を追加し、BNの検出精度の向上を図った。

(2) ロジックの検証

a) 検証対象路線の特徴

前項にて、構築したロジックの検出精度を検証する。検証事例としては、自由流時と同様に4号新宿線上りの2008年4月の1ヶ月間とする (検証対象路線の位置は図-5参照)。

b) 判定指標

判定指標も自由流時と同様に以下の3指標で評価する。

- 事象検出率 (式(1) 参照)
- 正検出率 (式(2) 参照)
- イベント登録時刻に対する早期検出時間 (式(3) 参照)

ただし、渋滞流時の突発的BNの真の事象とは、事故、故障車、道路障害物のイベント登録のうち、渋

滞流時に発生しているイベント，かつイベント登録区間が滞流の先頭となっている事象，すなわち従前のBN位置（恒常的BN・突発的BN問わず）から当該箇所にBNが移動した事象とした。

判定指標のイメージは図-6と同様である。

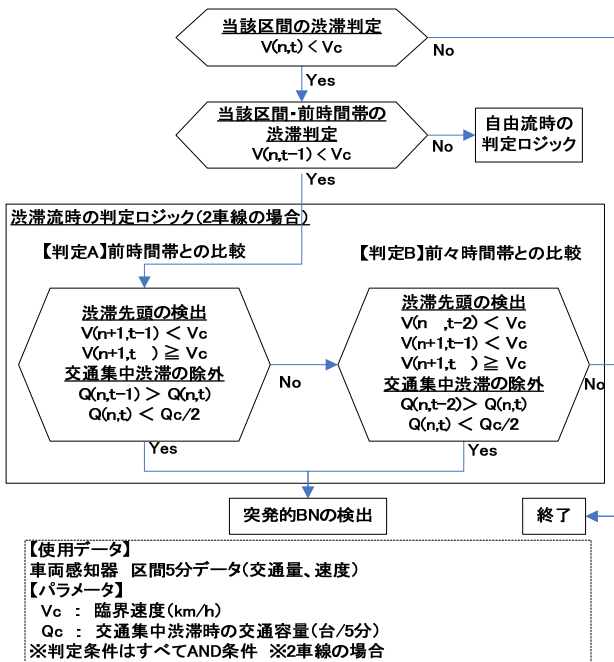


図-8 渋滞流時の判定ロジック

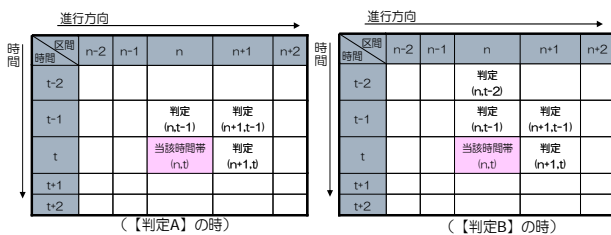


図-9 渋滞流時判定データの時空間の関係イメージ

c) 判定結果

判定結果を以下に示す。また，早期検出時間 *EDT* を図-10に示す。4新宿線上りの判定に用いたパラメータは表-2に示す。

- *RR* = 78% (7件/9件中)
- *PR* = 100% (7件/7件中)

判定の結果，事象検出率 *RR* は78%，正検出率 *PR* は100%とともに高い結果となった。特に正検出率 *PR* は，誤検出が無く100%となっており，交通管制室での突発事象発生アラームの発報の運用にも耐えられる精度となった。

しかしながら，早期検出時間 *EDT* は，マイナスの値（イベント登録よりも検出が遅い）が7件中3件と多い結果となった。第3章でも述べたように，マイナスの値は実質的には“未検出”と読み取ることが出来るが，検出時間の早期化に向けて更なるロジック・パラメータの検討が必要と思われる。

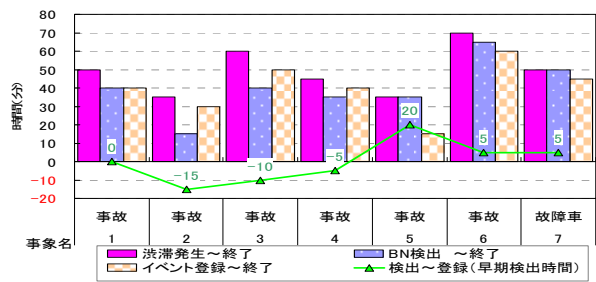


図-10 イベント登録時刻に対する早期検出時間(渋滞流時)

表-2 4号新宿線上りのパラメータ (渋滞流時)

| 区分 | 値 |
|--------------|----------------------|
| 臨界速度 | $V_c=50\text{km/h}$ |
| 交通集中渋滞時の交通容量 | $Q_c=300\text{台/5分}$ |

5. おわりに

本稿では，首都高速道路のリアルタイムシミュレーションによるオンライン短期予測の予測精度向上のため，突発的BNを的確・迅速に判定するロジックの構築を行った。

構築したロジックの判定結果は，前時間帯が自由流時の場合，事象検出率は低く，正検出率が高い。渋滞流時の場合，事象検出率，正検出率ともに高い結果となった。また，イベント登録に対する早期検出時間も，概ねは登録時刻よりも早く，良好な結果が得られた。

今後は，実運用を見据えた更なる精度向上のため，以下の課題を踏まえ，ロジック，パラメータの検討を引き続き行っていく所存である。

- ・ 路線毎のパラメータの設定・検証，特異箇所の検出ロジックの検討（JCT 部，3 車線路線，等）
- ・ 判定データの違い（車線 1 分データ，移動平均値等）による検出精度の優劣の整理・検討
- ・ 統計値を組み合わせたロジックも併せて検討
- ・ 突発的ボトルネック判定後の渋滞継続時間の検討（事故時の車線閉塞時間等を参考⁴⁾）

謝辞：本研究は，首都高速道路の「新しいリアルタイムネットワークシミュレーション研究WG」の一環として遂行しているものである。研究遂行に際し，愛媛大学：吉井稔雄准教授，首都大学東京：小根山裕之准教授，株式会社アイ・トランスポート・ラボ：堀口良太氏から貴重な助言を得た。ここに記し感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 首都高速道路株式会社HP <http://www.shutoko.jp/>
- 2) 宗像恵子，田村勇二，割田博，白石知良：首都高速道路におけるリアルタイム予測シミュレーションの開発，第29回交通工学研究発表会論文集，pp. 293-296，2009。
- 3) 船岡直樹，割田博，桑原雅夫，佐藤光，岡田知朗：首都高速道路におけるボトルネック判定手法構築に関する一考察，土木計画学研究・講演集，Vol136，2007。
- 4) 稲富貴久，割田博，桑原雅夫，佐藤光：首都高速道路における事故時車線閉塞時間予測に関する研究，第29回交通工学研究発表会論文集，pp. 297-300，2009。