プローブデータを活用した都市間高速道路上の 異常事象に起因する交通状態への影響把握

大畑 長1・桑原 雅夫2・阿部 重雄3・安齋 潤也4・鎌田 恭典5・今井 武6

¹正会員 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番3号09) E-mail: ohhata-ta@plan.civil.tohoku.ac.jp

²正会員 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番3号09) E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

³非会員 東日本高速道路株式会社 (〒980-0021宮城県仙台市青葉区中央3-2-1) E-mail: s.abe.ab@e-nexco.co.jp

⁴非会員 東日本高速道路株式会社 (〒980-0021宮城県仙台市青葉区中央3-2-1) E-mail: j.anzai.aa@e-nexco.co.jp

5非会員 東日本高速道路株式会社 (〒980-0021宮城県仙台市青葉区中央3-2-1) E-mail: y.kamata.aa@e-nexco.co.jp

⁶非会員 本田技研工業株式会社 (〒980-0021埼玉県和光市本町8-1) E-mail: takeshi_a_imai@hm.honda.co.jp

本研究は、都市間高速道路上を走行するプローブカーデータの挙動に着目し、道路上の異常事象の有無 をリアルタイムに検知し、かつ異常事象に起因する交通渋滞の程度を推定する手法を提案し、その手法の 適用性を検証したものである.

現在,高速道路上の異常事象の検知方法はドライバー通報などが主であり,また,その後に誘発される 交通渋滞の状況把握に当たっては巡回車などの目視による.このような方法に対し,本研究では近年,増 加する傾向にあるGPSを搭載するプローブ車両の走行軌跡情報を活用することで,交通状態の変化をリア ルタイムにセンシングすることで異常事象を検知する方法を考案し、推定・検証を行った。また,検知し たボトルネック位置及び発生時刻からの交通流入量を踏まえて渋滞の延伸程度を推定・検証することを試 みたものである。

Key Words : traffic incidents, probe vehicle trajectory, traffic detector data, motorway

1. はじめに

交通繁忙期における都市間高速道路においては、交通 集中による交通渋滞や交通事故による交通事故渋滞など が頻繁に発生している。ドライバーへの負担を軽減する ためには、都市間高速道路上の交通状況をモニタリング し、その情報をドライバーに還元することが重要である。

特に交通事故のような異常事象においては、道路管理 面や道路利用者のサービス水準といった面からも、「い つ」「どこで」「どのような」事象が発生し、ドライバ ーへどのような影響を及ぼすかといった内容を迅速に把 握することが必要である。しかし、地方部の高速道路に おける代表的な交通観測機器である車両感知器の整備状 況をみると、インターチェンジ間に1基設置されている という状況が大半であり、感知器の設置されていない空 間の状態を把握することは困難な環境にある。そのよう な中で、現在の異常事象検知方法としてはドライバーか らの通報が主であり、ドライバーの負傷状況によっては 通報が遅れることも懸念される。

そこで、本稿では近年増加傾向にあるプローブカーに より取得できる移動体の位置・時刻データと車両感知器 データとを活用することで、リアルタイムに異常事象を 検知し、さらに上流交通への影響度合を推定する手法を 考案し、異常事象が発生した日時の交通データを用いて 当手法を適用・検証したものである。 本手法は、対象区間の感知器データから一般的な Fundamental Diagram(FD)を仮定し、対象区間の交通デー タを用いてKinematic Wave理論に基づき異常事象地点上 流の交通状態を推定することで、異常事象の発生時刻・ 位置の推定に繋げるものである。

まず、以下に示す手順①では対象路線の感知器より取 得できる交通量と速度、密度の関係から一般的なFDを 近似的に仮定する。このようにFDを設定した上で異常 事象の影響区間を通過するプローブ車両の速度を踏まえ ると、異常事象地点の交通流率を把握することが可能と なる。異常事象地点の交通流率と上流から流入する交通 流率との関係から、異常事象に起因する渋滞延伸が時刻 推移とともにどのように伝播しているかを求めることが 可能となる。この伝播の様子を事故地点まで遡ることで、 いつどこで異常事象が発生したのかを把握することが可 能となる。さらに、異常事象に起因する今後の渋滞の伸 縮を推定することも可能となる。

以下に異常事象検知の手順を示す。

- ② まず、対象区間に設置される車両感知器データを 用いて、ボトルネック(異常事象地点)を除く
 一般的なFundamental Diagram (FD)を設定する。
- 事故地点の上流に位置する感知器から事故地点に 流入する交通流率qlを把握する。
- ② 現在時刻までに走行しているプローブカー軌跡から事故地点xを推定する。
- ③ プローブカー軌跡から渋滞領域の速度vを求め、
 ④で仮定したFDの関係から交通流率qzを推定する.
- ④ ql, q2をFDに当てて,渋滞延伸(衝撃波)速度c
 を求める。
- ⑤ 衝撃波速度cを用いて、プローブカー軌跡から把 握する渋滞末尾から事故発生時刻t_lを推定する。







Fundamental Diagram

図-1a 衝撃波推定における各交通状態指標の関係 (図 laの①~⑤の値を図 lbの FDを用いて推定する。)

3. 当手法を適用した異常事象の概要

本稿では、図2に示す東北自動車道(下り) 白石 IC から蔵王 PA間において H25.8.13 AM6:15 に発生した交通事故をケーススタディとして検証を行った。



図-2 交通事故の発生区間

交通事故の発生状況は以下のとおりである。

発生日 : 2013年8月13日(火)晴れ
事故発生時刻: AM6:15 (22500秒※)
規制内容 : 走行車線規制
規制開始時間: AM6:27 (23220秒)
規制終了時間: AM8:27 (30420秒)
※AM0:00を0秒とした場合の現在時刻の秒数表記

(1) 車両感知器データの示す交通状況

当手法で使用する感知器データは5分間単位に集計さ れた交通量と速度データである。

当該区間の上下流に設置される車両感知器より当日の 交通状況を図3に示す。事故地点(303.3kp)の直近上流に 位置する感知器2(301.2kp)の事故発生時刻以降(22500秒 ~)の各グラフを見ると、23000秒以降から交通量は1 時間換算値で1000台h程度まで低下し、速度は10km/h 未満となり、密度は著しく上昇しており、交通事故の影 響で渋滞が発生していることがわかる。





(2) プローブカー軌跡の示す交通状況

図4に当手法で使用するプローブカー軌跡データ(6 秒ごとに位置情報を計測したデータ)をプロットした。 車両感知器データと同様にプローブカー軌跡において も事故発生時刻以降から速度低下がみられる。

さらに当該区間では車線規制の規制終了後に渋滞が解 消していく。事故渋滞解消後、33500秒以降もボトルネ ックが 292.2kp付近に移り交通集中による速度低下が生 じている。



4. 異常事象検知方法の適用結果

本章では2章に示した異常事象の検知手順®~⑤を適 用した結果を示す。

(1) 手順① 一般的なFundamental Diagram (FD) の仮定 当分析に使用する一般的なFDとしては、異常事象下 の交通量・速度・密度関係も表現するFDである必要が ある。よって、今回は対象とするH25.8.13の事故に加え て、H25年に東北道で発生した3件の事故発生日の交通 データから交通量・速度・密度関係を集計し、一般的な FDを仮定するものとした。今回の対象とした事故を表 1に示す。

表-1 FD分析対象とした東北道の事故概要

日時	曜日	上下	路線名	事故地点 名称	事故地 点KP	最大 渋滞長	事故発生 時間	規制開 始時間	規制終 了時間	規制内容
H25.5.3	峥	F	東北道	北上金ヶ崎IC付近	457.3	13.4	9:10	9:23	10:10	走行車線規制
H25.813	火	下	東北道	蔵王PA付近	303.3	21.3	6:15	6:27	8:27	走行車線規制
H25.8.14	水	ጉ	東北道	水沢IC付近	445.4	22.4	11:55	12:17	15:12	追越車線規制
H25.8.17	±	F	東北道	福島TN付近	247	38.6	9:37	9:46	9:58	路肩規制

また、当検知手法で使用する異常事象下における渋滞 領域の速度情報はプローブカーから収集するデータであ る。よって、分析対象とするデータは事故4件が発生し た東北道前後区間に設置される車両感知器と、当該地点 地点を通過するプローブカーデータとして、プローブ速 度データと車両感知器の速度データの相関を見つつ、そ れぞれの交通量・速度・密度関係を網羅したFDを設定 するものとした。

FDを設定する際に確認した事項は以下の点である。

a) 感知器とプローブによる速度データの差異 b)地点別の感知器から作成した FD の差異

c)事故渋滞領域を通過するプローブ速度と当該時刻感 知器交通量から作成した FD と、b)で作成した FD との比較

a) 感知器とプローブカー速度情報の比較

はじめに、プローブカーと車両感知器との速度データの比較を行った。比較するデータとして、プローブは車 両感知器の設置地点を含む200m区間を通過する際の時 間を読み取り速度情報と、その通過時刻と同時刻に読み 取った車両感知器の速度との比較を行った。結果を図5 に示す。相関係数は0.86、RMSEは16.7 km/hと若干ばら つきはあるものの良好な相関が見られた。



図-5 プローブと感知器の速度データ比較

次に813の時刻別速度比較結果を示す。プローブ速度はや やばらつくものの両者の時刻別の速度変動傾向は一致している。



図-6 8/13 プローブと感知器の時刻別速度データ比較

これらのことからは、車両感知器データのみから推定 した FDを使用しても、渋滞領域であればプローブ速度 を用いて感知器の設置されていない区間の密度、交通量 を推定することが可能であると言える。

b) 複数地点の感知器から作成したFDの差異有無の確認

次に、感知器の設置されている地点の道路構造などの 違いにより交通量と速度、密度の関係に差異があるかを 確認した。今回対象とした感知器を表2に示す。

表-2 分析対象とした車両感知器

上流		下流	方向	KP	曲線半径(m)	縦断勾配(%)	集計期間
花巻南IC	2	北上江釣子IC	上り	471.5	4,000	-0.7%	H25/4/27~29,5/3~6
北上金ケ崎IC	2	水沢IC	"	455.9	3,000	-1.1%	п
水沢IC	2	平泉前沢IC	"	446.8	4,000	0.6%	11
国見IC	2	福島飯坂IC	"	267.7	3,600	-0.9%	H25/8/10~18
福島飯坂IC	2	福島西IC	"	264.1	5,000	0.6%	"
福島西IC	2	福島松川PA	"	246.9	700	2.2%	"
二本松IC	2	本宮IC	"	229.8	600	1.6%	"
福島飯坂IC	~	国見IC	下り	267.7	3,600	0.9%	"
国見IC	ł	由石IC	n	293.8	800	-2.8%	W
白石IC	?	村田IC	"	301.3	1,200	-1.0%	"
一関IC	2	平泉前沢IC	"	429.5	600	1.5%	"
平泉前沢IC	1	水沢IC	"	446.8	1,500	-0.6%	п
水沢IC	?	北上金ケ崎IC	"	455.9	3,000	1.1%	11

計13地点の感知器データを図7aに交通量・速度関係 を、図7bに交通量・密度関係を示す。今回対象とした 感知器では地点による大きな差異は見られなかった。



図-7a 感知器 交通量と速度関係

(グラフプロットの色は表2の行色に対応している。)



図-7b 感知器 交通量と速度関係

c) プローブ速度から求めたFDと感知器FDの比較

最後に、事故渋滞領域を通過するプローブの速度デー タとその領域に設置される感知器(又は事故ボトルネッ ク直下流に設置される感知器)の交通量との関係から交 通量と密度関係を確認し、その形状がb)の感知器のみか ら集計したFDの形状と差異があるかを確認した。

図8の凡例「プローブ個別軌跡」とは、プローブ1台 1台の渋滞領域を通過する速度と、感知器が領域の直下 流に位置する場合はその領域を流出する時刻の含まれる 5分間交通量とを、感知器がその領域途中に含まれる場 合は感知器地点を通過する時刻の含まれる5分間交通量 とから交通量・密度を求めプロットしたものである。

結果、8/13~17は概ね感知器FDと概ね同様の傾向を示 しているのに対して、5/3は異なる形状を示している。 これは、5/3の事故発生地点がIC直上流に位置し渋滞領 域に含まれていること、さらに感知器が事故地点直下流 に位置していることから、渋滞領域内にあるICで流出車 両が存在することから、渋滞領域速度と感知器交通量に 乖離が生じているためと考えられる。



図-8 渋滞領域の感知器FDとプローブFD比較

上記より、今回使用するFDの形状は5/3のQK関係を除いた図9に示すFDを採用するものとした。自由流領域は 直線近似し、渋滞領域は二次関数で近似させた。



図-9 今回使用する対象路線の一般的なFD

(2) 手順① 事故地点xに流入する交通量Q1

交通量 Q1 は 8/13 の事故地点(303.3kp)の上流に位置す る感知器 3 を使用する。(図 3 に時刻変動交通量図を掲載)

(3) 手順② 事故地点xの推定

事故地点の把握方法は2つの場合に分けて考える。

a) 現在時刻a):事故以降1台目プローブがxを通過前
 まず、図 10 に示す Time 軸の時刻 a)考える。
 このような場合、今回の手順の~⑤を用いることで求

める衝撃波速度 c と、事故以降1台目プローブ速度の折 れ点位置及び事故発生時刻から最も近い時刻に通過した プローブ軌跡との関係から事故地点 x を次のように推定 することが可能である。

x`1 < x < x`2

b) 現在時刻b):事故以降1台目プローブがxを通過後

続いて図 10 に示す Time 軸の時刻 b)考える。 このような場合、プローブ軌跡の速度変化から速度が 回復した地点が事故地点 x と推測する。



図-10 今回使用する対象路線の一般的なFD

今回分析の手順⑤における事故発生時刻の推定にあた っては、事故地点 x は検知済みとして推定を行っている。

(4) 手順③ 渋滞領域速度vとq2の推定

当手順ではプローブ軌跡から渋滞領域速度 v の読み取 りを行う。読み取った v を手順②で仮定した FD にあて ることで q2 を求め、感知器の同時刻の交通量と比較検 証を行っている。

本項ではプローブ速度を図11に示すように500m×5 分単位で集計し扱う。

8/13 のプローブ速度メッシュ集計結果を図 12 に示す。 このように集計したプローブ速度データから渋滞領域 速度 v を読み取る。



なお、渋滞領域速度vの読み取りは次の3つの方法で 平均をとりq2の推定を行うものとした。

- a) 現在時刻(毎5分間)の渋滞領域内にある衝撃波境界 部(渋滞末尾)のメッシュ平均。
 - ⇒毎5分、紫枠(大よそ渋滞末尾と考えられる部分) に含まれるメッシュの速度を平均。
- b)現在時刻(毎5分間)の渋滞領域内メッシュ平均
 ⇒毎5分、緑枠(その時刻の渋滞領域全て)に含まれるメッシュの速度を平均
- c)現在時刻までの渋滞領域内全てのメッシュ平均 ⇒現在時刻までの渋滞領域に含まれる全てのメッシ ュ速度を平均。ピンク色枠に含まれる領域。
- ※今回、a)~c)における渋滞領域の判定は 30km/h 以下 を閾値とした。

渋滞領域速度 vの推定結果を図 13 に示す。3 つの方法 の推定結果を見ると、a)とb)は時刻推移と関係なくばら つきいるの対して、c)は時間経過とともに値が 5kmh付 近に収束している。このように求めた渋滞領域平均速度 を一般的 FD に適用して q2 を求めた。その結果を図 14 に示す。



図-13 渋滞領域速度 v の推定結果



図-14 渋滞領域交通流率 q2 の推定結果

推定した q2 について、推定時刻と同時刻の感知器 交通量(台h)を併せて図 14 にプロットしている。この感 知器交通量を真値としてそれぞれの RMSE を確認した ところ、渋滞領域速度 c)を用いて求めた q2 の値が最も 誤差が小さい結果となった。

ついては以降の手順においては、渋滞領域速度 c)を用いて求めた q2 を採用するものとする。

(5) 手順④ 衝撃波速度cの推定

当手順では、手順①で求めた ql と手順③で求めた q2 より衝撃波速度 c を推定する。

なお、ここで使用する ql については次の2とおりの方 法で求めるものとした。

c1:衝撃波速度cを推定した時刻と同時刻帯の交通流率 c2:渋滞が開始してから推定時刻までの交通流率の平均

※なお、感知器3と事故地点直上流に位置する感知器2 との途中には白石ICが存在することから、渋滞末尾 に到着する交通流率とは厳密には異なる。

衝撃波速度cの推定結果を次頁の図15に示す。



図-14 衝撃波速度 c の 推定結果

衝撃波速度 c と同時刻の5分間交通流率 ql を使用し た衝撃波速度 cl は推定時刻によってばらつきがあるも のの、渋滞が発生してから現在時刻までの平均をとった 交通流率 ql を使用した衝撃波速度 c2 は分散が小さく、 速度としては-6kmh 程度となった。それぞれプローブ軌 跡の渋滞末尾を結び求めた衝撃波速度との RMSE は cl よりも c2 の方が小さくなっている。これらの衝撃波速 度 cl、2 にて次の手順⑤で事故発生時刻 tl を推定する.

(6) 手順5 事故発生時時刻t1の推定

手順4で求めた衝撃波速度c別に事故発生時刻を推定 した結果を図15に示す。図の縦軸の予測結果とは事故 発生時刻(秒)を意味する。今回の推定結果について、 事故調書上の事故発生時刻と比較し RMSE を確認した。

結果、推定時刻が早い段階では予測結果の差異はほとんど見られないものの、時間経過とともに衝撃波 cl については事故調書時刻との乖離がばらつく傾向にある。

一方で、衝撃波速度 c2 を用いると RMSE は 1652 秒で あり、事故発生時刻から約 500 秒後に通過したプローブ 軌跡から推定した事故時刻 t1 は誤差 60 秒弱とほぼ近し い時刻を推定することが出来た。



図-15 事故発生時刻tlの推定結果

今回の異常事象検知方法を適用し検証した結果、使用 する渋滞領域速度 v、渋滞領域に流入する交通流率 ql、 渋滞領域内の q2 ともに、衝撃波速度 cを用いて推定す る時刻時点までの平均値を用いた方が良好な推定結果を 得ることができた。

5. 異常事象の影響による渋滞伸縮の把握

本章では、4章の(1)~(4)までに求めた事故渋滞領域の q2(ボトルネックの交通流率)と(2)で把握する交通量 q1を用いて、事故渋滞末尾の伸縮の様子を推定する。

推定方法としては、Kinematic Wave 理論に基づいた Daganzo(2005a,b)や桑原(2011)の提唱する Variational Theory という手法を用いる。当手法は対象区間に流出入交通量 とボトルネック地点の交通流率、当該区間を走行するプ ローブ車両軌跡情報をインプットすることで、対象区間 の Time Space に車両軌跡をアウトプットすることが可能 となる。この手法は渋滞末尾の伸縮を把握することが可 能であり、かつ現在時刻から近未来の交通状態を推定す ることが可能である。

すなわち、高速道路上を走行するドライバーにとって、 自分が「いつ」「どこで」渋滞領域に遭遇するか、「ど の程度」渋滞に巻き込まれるか、通過するまでの所要時 間を推定することが可能となる。

さらに、車線規制の終了時刻を予測できた段階で、 FDからわかる衝撃波速度より、その後どのように渋滞 が縮むかをも推定することが可能となる。このような情 報は長距離運行するドライバーの運行計画選択時におい て有用な判断材料となると考えられる。

なお、当手法による渋滞影響程度の推定・検証結果は 研究発表会にて提示する。



図-16 異常事象による渋滞影響程度の把握

6. まとめと今後の課題

本研究は、都市間高速道路上を走行するプローブカー の軌跡情報に着目し、道路上の異常事象の有無をリアル タイムに検知し、かつその異常事象に起因する交通状態 への影響度合いを推定する手法を提案し、その手法の適 用性を検証したものである.本手法の特徴はプローブデ ータや車両感知器データから伺える対象区間の交通量・ 速度・密度関係を分析しFundamental Diagram を設定する ことで、Kinematic Wave 理論に基づき異常事象地点の飽 和交通流率を推定する点にある。

このように推定した飽和交通流率に基づき推定した衝 撃波や事故発生時刻は事故調書で記録される事故データ と良い整合を見せていた。

また、今後の課題としては、異常事象下における交通 状態の推定手法の検討がある。推定の基本的な手法とし ては Variational Theory を考えており、今回、設定した Fundamental Diagram を活用する方法を検討する。

参考文献

- 船岡直樹,割田博,桑原雅夫,佐藤光: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:交通工学研究発表会論文集(CD-ROM), Vol.29, №76, 2009.10
- Lighthill, M. J., & Whitham, G. B. (1955). On kinematic waves.I: Flood movement in long rivers II : A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of Royal Society, A229, 281–345.
- (社)交通工学研究会編:交通工学ハンドブック 2005 (CD-ROM),(社)交通工学研究会,2005.
- 4) 桑原雅夫,大畑長,瀧川翼,阿部公一,今井武:プ ローブデータと車両感知器データを融合活用した都 市間高速道路における交通状態の推定:第47回土木 計画学研究発表会講演概要集,CD-ROM, 2013.
- 5) Babak Mehran and Masao Kuwahara (2011): Fusion of Probe,Passing Time and Signal Timing Data to Estimate Vehicle Trajectorieson Urban Arterials: 交通工学, Vol.46 (No.1), 77-89

(2014.4.25 受付)

THE METHOD OF SENSING TRAFFIC INCIDENTS AND ESTIMATING THE INFLUENCE ON TRAFFIC CONDITIONS BY PROBE TRAJECTORY AND DETECTOR DATA

Takeshi OHATA, Masao KUWAHARA, Shigeo ABE, Junya ANZAI, Yasunori KAMATA and Takeshi IMAI