

ベイジアンネットワークを用いた 突発事象発生時の交通状態推定

野村 大智¹・西内 裕晶²・轟 朝幸³・川崎 智也⁴・割田 博⁵

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:csda14017@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 長岡技術科学大学大学院助教 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡1603-1)
E-mail:nishiuchi@vos.nagaokaut.ac.jp

³正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:tdoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

⁴正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:kawasaki.tomoya@nihon-u.ac.jp

⁵正会員 首都高速道路株式会社 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)
E-mail:h.warita1116@shutoko.jp

本研究では、首都高速道路4号線を対象として、ベイジアンネットワークにより交通事故を含む突発事象発生時の交通状態の変化を把握する。既存研究において筆者らは、首都高速道路4号線を対象にベイジアンネットワークを用いて突発事象検知モデルを構築し、約70%の突発事象検知率を達成した。具体的に既存研究では、交通量、速度などの交通状態を説明変数、突発事象発生確率を目的変数として推定したが、ベイジアンネットワークの特徴により、突発事象発生の有無を所与とすることで、蓄積データの学習に基づいて予測される突発事象発生時の交通状態を分析可能である。本稿では、過去に筆者らが構築した突発事象検知モデルを参考に、突発事象発生時の交通状態の予測精度や突発事象発生後の渋滞流の変化など、突発事象発生時の交通状態に関する考察を行う。

Key Words : *traffic conditons, incident detection, bayesian network, urban expressway*

1. はじめに

都市内高速道路では、安全かつ円滑な交通管理や利用者への正確な交通状況の情報提供を目指し、リアルタイムな交通流シミュレーションなどを用いた交通管制システムにより、数時間先の交通状況予測が構築されている^{1) 2)}。その中で、高速道路上に設置されている車両感知器やETC等を用いて、交通事故時の旅行時間予測手法や交通事故発生時における交通現象の変化等の分析が行われている^{3) 4)}。これらの研究では、交通事故等の突発事象発生により、旅行時間や交通量が変動することを確認しているが、突発事象発生後に交通量や速度の交通状態が時間経過に伴いどのように変化するかを明らかにするまでには至っていない。このため、交通管制官らは高度な交通管制システムが導入されているに関わらず、自身らの経験に基づいて高速道路の迂回情報や突発事象に

よる渋滞流の延伸区間を判断し、首都高速道路の利用者に情報提供をしているのが実情である。よって、交通管制システム高度化のためには、交通事故等の突発事象が発生した後の交通渋滞延伸の過程を示すことが重要であると考えられる。

ここで先行研究⁵⁾において筆者らは、首都高速道路上の5路線(4号新宿線, 6号向島線, 7号小松川線, 中央環状線, 川口線)を対象にベイジアンネットワークを用いて突発事象検知モデルを構築し、突発事象検知率や突発事象が発生していないにも関わらず突発事象状況であるとモデルが判断する誤検知率について確認した。その結果、最も検知結果が良い路線で約70%の突発事象検知率を達成し、誤検知率も約0.8%に抑えた。具体的に先行研究では、不確実に発生する事象である突発事象を検知するために、車両感知器より得られる交通情報を用いて、ベイジアンネットワークにより突発事象検知モデルを構

築した。モデル構造は、Zhang⁷⁾や西内⁸⁾のモデル構造を参考に突発事象検知モデルを適用しており、検知対象区間で発生した突発事象を自動で検知する仕組みとなっている。ベイジアンネットワークの特徴により、突発事象発生の有無を所与とすることで、車両感知器より蓄積したデータの学習に基づき予測される突発事象発生時の交通状態も分析することが可能である。つまり、先行研究では説明変数としてきた交通量や速度を目的変数とし、逆に分析することで分析者が確認したい状況下における交通状態を考察することが可能となる。

そこで本研究では、突発事象が発生したと想定した場合の交通状態変化の分析を行うために、筆者らがこれまでに構築した突発事象検知モデル⁹⁾に基づき、突発事象発生時の交通状態の推定を行う。特に本稿では、突発事象発生時の交通状況の特徴や各突発事象により異なる渋滞延伸の違い等、突発事象ごとに異なる傾向を踏まえ、モデルにより突発事象が発生したと仮定した場合の交通状態を把握する。これらを把握することにより、突発事象が発生する前後の交通状態の特性が明らかになり、交通事故等を未然に防止するための動的な交通施策の検討が可能となるものと考えられる。

2. ベイジアンネットワークによる突発事象発生時の交通状態推定モデルの構築

(1) 交通状態推定モデルのグラフ構造

本研究で提案する突発事象発生時の交通状態推定手法は、先行研究と同様にベイジアンネットワークを用いてモデル構築を行う。先行研究では、首都高速道路の車両感知器により計測される交通量、速度、占有率などの変数を用いて、Zhang⁷⁾や西内⁸⁾のモデル構造を参考にベイジアンネットワークのモデル構造を決定した(図-1参照)。ベイジアンネットワークは、複数の確率変数

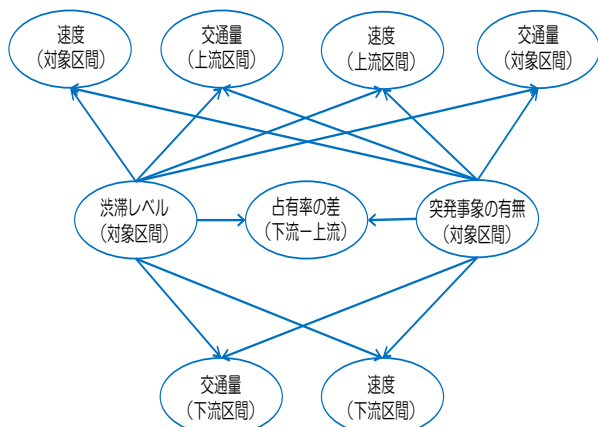


図-1 突発事象検知モデルの構造

間の定性的な依存関係をグラフ構造で表し、個々の変数間の定量的な関係を条件付き確率で表す確率モデルである⁹⁾。具体的には、ある事象が発生する確率を発生原因との条件付き確率として推定するものであるが、ベイジアンネットワークには、モデル上の全ての変数が入力値にも出力値にもなり得るという特徴を有している。本稿で構築したモデルは、対象とした突発事象の確率変数を親ノード、突発事象発生要因である交通状態の確率変数を子ノードとした有向グラフ型のモデル構造として因果関係を表現したモデルである。ベイジアンネットワークが出力する条件付き確率の分布は、蓄積されたデータの学習により推定される。

(2) 交通状態推定モデルの確率変数設定

ベイジアンネットワークは、計算する上で離散値により、親および子ノードの確率変数をカテゴリ化(離散化)する必要がある。また、本研究のように、子ノードを交通状態量とする場合に、それぞれの変数を1単位あたりで細かく離散化すると、条件付き確率表(Conditional probability table)を構成する項目の数が増大し、確率値を確からしく推定するためには、膨大な学習データが必要になる。よって、可能な限り交通状況を詳細に再現しながら、学習するデータ量に応じて適切な組み合わせ数とするための離散化が必要である。先行研究では、各路線で交通流の特性や幾何構造等が異なるため、ベイジアンネットワークの各確率変数の離散化方法によって突発事象検知率が異なると考え、8つのパターンでの離散化方法を検討した。その結果、首都高速道路4号新宿線においては、交通量、速度、占有率を平均値から標準偏差(以下 σ)の ± 3 倍の範囲を $1/2\sigma$ 間隔で区分する離散化方法が最も突発事象検知率が高くなることを明らかにしているため、本研究においても同様の離散化方法を用いる。

3. 研究対象路線と使用データ

本研究では、図-2に示す首都高速道路4号新宿線の上り線を対象として、突発事象発生時の交通状態推定を行った。構築した交通状態推定モデルに使用したデータは、約300mおきに首都高速道路上に設置されている車両感知器データである。車両感知器データには、交通量、速度、占有率ならびにその時に渋滞であると判断された場合の突発事象要因(事故、故障車、道路障害物、見物、災害、工事)の交通情報データが5分間隔で記録されている。ベイジアンネットワークにて突発事象発生時の交通状態を推定するための学習用データは、2006年6月1日から2007年3月21日までに収集されたデータを用いる。

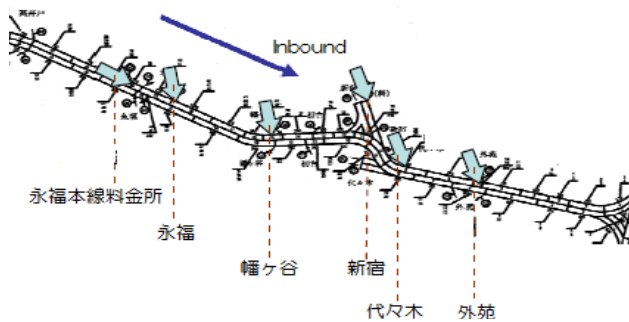


図-2 研究対象路線

また、精度確認のための検証用データは、2007年3月22日から2007年3月31日までに収集されたデータを用いた。

4. 交通状態推定モデルの精度の検証

(1) 離散値とその値に対する速度域

本研究では、交通量、速度、占有率を平均値から σ の ± 3 倍の範囲を $1/2\sigma$ 間隔で区分する離散化方法を適用する。首都高速道路4号線は、車両感知器が設置されている箇所を境にすると、24の区間に区分することができる。各区間によって離散化方法が異なることはないが、離散化の値である離散値に対する速度域は区間ごとで変動する場合がある。これは、区間によって交通流の特性や幾何構造等が異なり、速度の平均値が変動するためである。そこで、各区間ごとの離散値に対する速度域を表-1に示す。また本研究では、高速道路上を走行する車の速度が40km/h以下になった場合を渋滞流と定義した。表-1では、離散値に対する速度が40km/h以上および以下の場合が存在するが、上述した通り区間ごとで速度の平均値が変動するためであり、40km/hからの差が最も小さくなる速度域および離散値を基準とし、その値以下を渋滞流とした。

(2) 交通状態推定モデルの精度の検証

本研究では、首都高速道路4号線内で発生した突発事象で、渋滞流が4号線の末尾である24区間まで延伸して

表-1 離散値に対する速度域

区間	離散値	速度(km/h)	区間	離散値	速度(km/h)
	示した値以下を渋滞流			示した値以下を渋滞流	
01	4	39.5	13	4	38.8
02	6	38.7	14	4	40.4
03	6	42.7	15	3	34.7
04	6	41.1	16	3	37.3
05	5	34.4	17	3	40.6
06	5	38.0	18	3	40.7
07	5	39.0	19	3	38.4
08	5	41.3	20	3	38.3
09	5	37.5	21	2	43.1
10	5	42.9	22	1	40.4
11	5	38.8	23	1	41.8
12	4	37.4	24	0	41.6

いない05区間、08区間、18区間の突発事象発生時の交通状態を推定した。24区間まで渋滞流の延伸がある場合、中央自動車道までその影響が出ている可能性があり、渋滞流末尾の交通状態を正確に把握することができないためである。次項に、実測値より確認した各区間で発生した突発事象の特徴を示す。また、突発事象の発生要因とその影響区間は、突発事象要因データより確認した。

a) 05区間において発生した突発事象の特徴

05区間では、15件の「事故」が発生しており、事故発生前の交通状態は渋滞流状態であることが確認でき、その他に突発事象の発生は確認できていないため、自然渋滞であると考えられる。事故発生直後からの特徴は、時間の経過に伴い、徐々に上流部の区間に影響が及び、最大で18区間まで事故による影響が及んだ。また、事故が発生した時点から事故の処理完了時点とを比較すると、突発事象が発生した区間（05区間）と渋滞末尾（18区間）とで、速度が約10km/h低下していることも確認できた。これは、渋滞末尾において車がほぼ停止状態にあると考えられる。

b) 08区間において発生した突発事象の特徴

08区間では、12件の「故障車」が発生しており、故障車発生前の交通状態は05区間同様に自然渋滞が発生している。故障車発生直後からの特徴として、故障車の発生から処理完了まで、速度に大きな変化は見られず、時間経過に伴う渋滞流の延伸区間もほぼ一定であることが確認できた。これは、08区間で発生した故障車が路肩に移動可能であり、05区間で発生した事故のように交通流に大きな影響を及ぼさなかったためと考えられる。この点が「事故」と「故障車」がそれぞれ及ぼす影響の違いであると推察する。

c) 18区間において発生した突発事象の特徴

18区間では、3件と比較的規模の小さい「事故」が発生しており、事故発生前の交通状態は、これまでの区間と同様に渋滞流状態であることが確認できた。しかし、突発事象発生後からの交通状態は、05区間で発生した事故とは異なり、突発事象が発生した区間（18区間）よりも渋滞末尾（23区間）の方が速度は高くなる傾向にあることが確認できた。これは、全体的に10km/hほど向上しており、05区間で発生した事故とは異なる特徴がある。

前項の各突発事象の特徴を踏まえ、本研究で構築した交通状態推定モデルを用いて、精度検証用データにより突発事象発生前の交通状態と突発事象発生後の交通状態を推定した。表-2から表-4に、突発事象発生前の交通状態推定結果を、突発事象発生後の交通状態の推定結果を表-5から表-7に示した。また、渋滞流の判断を行うために、本稿では特に速度についての推定結果を示す。ここで、表中にある数値が交通状態推定モデルにより出力された推測値、括弧付き数値が車両感知器データより確認

した実測値を示しており、黄色箇所は推測値と実測値が合致している箇所である。また、青枠の範囲が突発事象要因データより確認した突発事象による影響を及ぼした区間と時間帯である。数値が赤で示されている部分は、前節の渋滞流の定義に基づき、筆者らが推測値のみを参考に渋滞流であると判断した部分である。

まず、表-2から表-4の各区間にて発生した突発事象発生前の交通状態推定結果を確認すると、どの区間においても自然渋滞流が発生していることが確認できる。このことから、対象とした3つの区間で発生した突発事象は、自然渋滞中に発生した追突事故等が考えられる。表-5の05区間における事故発生後の推定結果を確認すると、時間の経過に伴い、事故による影響が上流部の区間に延伸し、最大で18区間まで影響していることが分かる。表-5の推測値を確認すると、ある程度の誤差が生じているものの05区間の事故の特徴を捉えることができていることが確認でき、筆者らが渋滞流であると判断した箇所もおおよそ合致していると言える。また、渋滞末尾よりも上流部の区間では、どの時間帯においても推定値が実測値と合致していない場合が多くなっている。理由として、本研究で用いているベイジアンネットワークが急な変化

表-2 05区間における事故発生前の交通状態推定結果

速度	突発事象発生時点からの経過時間 (分後)																
	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0		
04	5 [4]	5 [5]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [5]	5 [5]	5 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
05	5 [4]	5 [5]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [5]	5 [5]	5 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
06	5 [4]	5 [5]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [5]	5 [5]	5 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
07	4 [4]	5 [5]	5 [5]	4 [4]	4 [4]	5 [5]	5 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
08	5 [4]	5 [5]	5 [5]	4 [4]	4 [4]	5 [5]	5 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
09	4 [4]	5 [5]	5 [5]	4 [4]	4 [4]	5 [5]	5 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
10	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
11	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
12	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
13	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
14	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
15	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
16	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
17	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
18	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
19	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		

表-3 08区間における故障車発生前の交通状態推定結果

速度	突発事象発生時点からの経過時間 (分後)																
	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0		
07	4 [3]	4 [3]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [3]	4 [3]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [3]		
08	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
09	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
10	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
11	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
12	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
13	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
14	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
15	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [1]	3 [1]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
16	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [1]	3 [1]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
17	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [1]	3 [1]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
18	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [1]	3 [1]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
19	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]		

表-4 18区間における事故発生前の交通状態推定結果

速度	突発事象発生時点からの経過時間 (分後)																
	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10				
17	1 [2]	3 [4]	3 [4]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [4]	3 [4]	3 [4]	3 [4]	3 [4]	3 [4]	3 [4]				
18	1 [1]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]				
19	1 [0]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]				
20	0 [0]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]				
21	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [1]	0 [1]	0 [0]	0 [1]	0 [1]	0 [1]	0 [1]	0 [1]				
22	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [1]	0 [1]	0 [1]	0 [1]				
23	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [1]	0 [1]	0 [1]	0 [1]				
24	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]				

表-5 05区間における事故発生後の交通状態推定結果

速度	突発事象発生時点からの経過時間 (分後)																
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75		
04	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
05	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
06	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
07	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]	4 [4]		
08	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
09	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
10	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
11	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
12	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]		
13	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
14	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
15	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
16	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
17	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
18	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		
19	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]		

表-6 08区間における故障車発生後の交通状態推定結果

速度	突発事象発生時点からの経過時間 (分後)																
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60					
07	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]					
08	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]					
09	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]					
10	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]					
11	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]					
12	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]	3 [3]					
13	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]					
14	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]					
15	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]					
16	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]					
17	1 [1]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]	1 [1]					
18	1 [1]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	2 [2]	1 [1]	1 [1]	1 [1]					

表-7 18区間における事故発生後の交通状態推定結果

速度	突発事象発生時点からの経過時間 (分後)						
	-5	0	5	10	15	20	25
17	1 [4]	3 [4]	2 [7]	2 [7]	8 [5]	7 [4]	3 [1]
18	1 [2]	2 [3]	2 [2]	2 [2]	3 [4]	4 [4]	3 [2]
19	1 [0]	2 [1]	1 [0]	1 [1]	7 [1]	7 [3]	1 [5]
20	0 [0]	1 [1]	0 [0]	1 [1]	1 [1]	3 [3]	5 [5]
21	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	7 [3]	7 [4]
22	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	6 [0]	6 [3]
23	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	0 [0]	6 [0]
24	0 [0]	0 [6]	0 [0]	0 [0]	0 [3]	0 [0]	0 [0]

への対応が困難であるという特性によるものと考えられ、モデルが学習するデータを増加させることで対応が可能になると考えられる。

表-6の08区間で発生した突発事象は、05区間や18区間とは異なり故障車によるものである。故障車による交通状態への影響は、他の区間で発生した事故時の交通状態と比較すると、時間の経過に伴う渋滞流の延伸区間に変動がほぼ無いことがわかる。この点が事故による影響と故障車による影響の違いであると考えられる。また、故障車の発生から20分後の15区間から16区間について、故障車による影響が及んでいないが、実測値の離散値は2(約20km/h前後)を示しており、渋滞流状態である。このことから、突発事象要因データでは故障車による影響が及んではいなくとも交通状態が渋滞流であれば、本モデルは推定することが可能である。

18区間では、05区間での突発事象要因と同様の事故が発生している。18区間での事故は、05区間の事故とは異

なり、渋滞末尾ほど速度が高くなる特徴があるが、表-7よりそのような事故でも本モデルはその特徴を捉えることができている。しかし、事故が発生する前の交通状態を確認すると、推測値と実測値で多少の誤差はあるが、事故が発生する前から18区間では推測値、実測値の両離散値が低く、渋滞流が発生していることがわかる。さらに、事故発生時点から事故処理終了までわずか15分程度であるため、交通流に影響を与えにくい事故であったことが考えられる。

ここで、3つの全ての区間において突発事象が発生した区間の下流部で、推定値と実測値に差異が生じている。例えば05区間では、実測値の離散値が8であるのに対して、推測値の離散値は4と推定している。これらは本モデルの構造上、下流部の交通状態を推定する際に検知対象とする区間の交通状態とその上流部の区間の交通状態に基づき、推定するためであると考えられる。つまり、検知対象区間と上流部の区間が渋滞流状態であれば、それらの区間と因果関係にある下流部に位置する区間もその影響を受け、本モデルは渋滞流状態に近い推測値を算出した可能性がある。

5. おわりに

本研究では、過去に筆者らが構築したベイジアンネットワークによる突発事象検知モデルに基づいて交通状態推定モデルを構築し、首都高速道路4号新宿線を対象とし突発事象発生時における交通状態の分析を行った。その結果、対象とした3つの区間でそれぞれ異なる突発事象による渋滞流延伸の違い等の特徴を本モデルはおおむね表現できた。しかし、3つの全ての区間において、突発事象が発生した区間の下流部では、推測値と実測値に差異が生じた。これは、本研究で構築したモデルの構造によるものと考えられ、今回のようにある1つの区間でモデルを構築し、その区間を中心にモデルを拡張したことが原因であると考えられる。改善策として、1つの区間に対して1つの交通状態推定モデルを構築して、適用することで、各区間の推測値と実測値との乖離を改善することができると考えられる。また、渋滞末尾の上流部の区間においても、推測値と実測値とで乖離が生じている。これは、急な変化への対応が困難であるベイジアンネットワークの特性によるものと考えられる。これには、学習用データを増やし、様々な突発事象時の交通状

況をモデルに学習させることで対応できるものと推察される。さらに、今回対象とした各区間で発生した突発事象は、首都高速道路4号線の末尾である24区間まで渋滞流が延伸していない突発事象を対象としたが、対象とした3つの区間全てで突発事象発生前の交通状態は自然渋滞状態であった。このため、突発事象発生後も速度に差異が生じにくい状況となるため、推定が容易となった可能性もある。

今後は自然流状態において発生する突発事象等の突発事象発生前と発生後で交通状態に差異が生じる場合を想定して、本モデルを再度検証する必要であると考えられる。また、突発事象が発生した区間の下流部と渋滞末尾の上流部の区間で交通状態が大きく変化するため、推定が困難な状況である。そのような交通状態の急な変化を推定するための検討が最も重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 有田公也, 鎌田譲治, 伊藤功, 織田利彦, 飯田英明: 交通流予測アルゴリズム, *National Toxicology Program, Vol.34, No.4, pp.429-437, 1988.*
- 2) 白石智良, 桑原雅夫, 堀口良太: リアルタイム予測交通流シミュレーションシステムの開発, *土木計画学研究・講演集, 第30回, CD-ROM, 2004.*
- 3) 上野秀樹, 森田緯之, 桑原雅夫, 割田博: 事故継続時間を考慮した突発事象発生時の旅行時間予測方式の研究, *交通工学研究発表会論文報告集, Vol.27, pp.221-224, 2007.*
- 4) 秋元健吾, 小根山祐之, 西内裕晶, 割田博, 桑原雅夫: ETC データを用いた首都高速道路のランプ入口・出口選択行動に関する実証分析, *土木計画学研究・講演集, Vol.37, CD-ROM, 2008.*
- 5) 田村勇二, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光, 岡田知朗: 首都高速道路における流入制御時の入口転換行動分析, *土木計画学研究・講演集, Vol.37, CD-ROM, 2008.*
- 6) 野村大智, 西内裕晶, 轟朝幸, 川崎智也, 割田博: 検知遅れの解消を目指したベイジアンネットワークによる突発事象検知モデルの構築, *土木計画学研究・講演集, Vol.50, CD-ROM, 2014.*
- 7) Kun Zhang, Michael A. P. Taylor: Towards Universal Freeway Incident Detection Algorithms, *Transportation Research Part C, Vol.14, No.2, pp.68-80, 2006.*
- 8) 西内裕晶, 割田博: 都市内高速道路における交通現象診断モデル構築のための基礎的検討, *土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-ROM, 2013.*
- 9) 繁榊算男, 植野真臣, 本村陽一: ベイジアンネットワーク概説, pp.71-74, 培風館, 2006.

(?受付)