

ベイジアンネットワークを用いた首都高速道路におけるマクロ交通状態量の変化に関する分析

西内 裕晶¹・吉井 稔雄²・割田 博³・稲富 貴久⁴・田村 勇二⁵

¹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町1603-1)

E-mail: nishiuchi@vos.nagaokaut.ac.jp

²正会員 愛媛大学教授 工学部(〒790-8577愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

³正会員 首都高速道路株式会社 保全・交通部(〒100-8930東京都千代田区霞が関1-4-1)

E-mail: h.warita1116@shutoko.jp

⁴正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 中部支社 都市・環境事業部

(〒451-0046 名古屋市西区牛島町2番5号)

E-mail: takahisa.inatomi@tk.pacific.co.jp

⁵非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 都市・環境事業本部 交通政策部

(〒163-6018 東京都新宿区西新宿六丁目8番1号住友不動産新宿オークタワー22F)

E-mail: yuuji.tamura@ss.pacific.co.jp

本研究は、首都高速道路を対象に、時々刻々と変化するマクロな交通状態量に影響を与えている要因について、ベイジアンネットワークを用いて分析する。具体的には、首都高速道路都心環状線にて車両感知器で1ヵ月間観測されたマクロな交通状態量を用いて、ある時刻から5分先の集計交通流率の変化を、予測時点における道路ネットワークの交通状況を加味しながらベイジアンネットワークにより予測するものである。本稿は、ベイジアンネットワークを構築する際に考慮する道路ネットワークの交通状況を、ネットワーク全体の平均速度、渋滞区間数の割合に加え、突発事象により発生した交通渋滞が1時間以上継続している区間数を説明変数としてそれぞれベイジアンネットワークを構築し、各変数の違いと集計交通流率の変化の捉え方を確認した。

Key Words : MFD, Bayesian Network, Incident, Urban Expressway, Detector Data

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の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)}。しかしながら、現在の交通管制システムにおける交通事故などの突発事象発生の確認は、当事者からの通報や道路上に設置されているCCTVにより確認することが主となっている。このため、交通管制官らは自身らの経験に基づいて状況を判断し、突発事象の検知をしているのが実情である。そこで、高速道路上で発生した突発事象を検知する方法が既に研究が進められている^{3) 4)}。しかしながら、これらの研究は、突発事象発生区間における事象の検知ならびに交通渋滞の影響を分析するものが主と

なっている。高速道路上で大規模に影響を与える突発事象が発生した場合は、それに基づく交通渋滞も広域に発生するものと考えられる。そのような突発事象発生時においても、高速道路ネットワーク全体の交通状態を可能な限り効率的な状態に維持するための交通管制策を検討することが必要になるものと考えられる。このような問題に対して、道路ネットワークエリアの交通状態量として、集計交通流率と集計交通密度の関係(以下、集計QK)に着目した交通管制の検討がなされている^{5) 6)}。これらの制御手法を検討するためには、時々刻々と変化する交通状態とそれを変化させる要因を把握することが重要であると考えられる。

そこで本稿では、時々刻々と変化する集計交通状態量(本稿では集計交通流率)に影響を与える要因把握を試みる。具体的には、首都高速道路都心環状線を対象として、

路線全体の集計交通流率の状態の変化をベイジアンネットワークにより過去の集計交通状態量を学習し、5分後の集計交通流率の状態を予測するモデルを構築する。構築したモデルから、道路ネットワークの交通状況の違いと、5分先の集計交通流率が変化するかを考察する。

2. 本研究の分析対象

(1) 首都高速道路都心環状線

首都高速道路は、路線延長が約300km、1日の利用台数が約100万台以上の道路ネットワークを有しており、首都圏の大動脈としての機能を有している。

都心環状線は、2015年3月に全線開通した中央環状線と共にある環状線の1つで、東京都心の最も中心部に位置する環状線である(図-1参照)。本研究では、都心環状線を1つのエリアと捉え、当該路線における集計交通流率や交通状況を分析の対象とした。

(2) 本研究で用いるデータ

本研究で用いるデータは、前述の首都高速道路都心環状線内回りならびに外回りのそれぞれの区間における車両感知器より計測された交通流率、速度、渋滞要因を用いる。データは、2013年10月の1ヵ月間に5分単位で集計されたものである。



図-1 首都高速道路ネットワーク (拡大図水色が都心環状線)
(首都高ドライバーズサイト (<http://www.shutoko.jp/>)より抜粋)

(3) 対象とする集計QK

本研究では、都心環状線を1つのエリアとして捉え、当該路線における集計QKを基本とした交通状態量の5分ごとの変化について分析を行う。図-2には、前節にて述べたデータを用いて作成した集計QKの関係を示したものである。本研究では、図-2のように収集したデータから得られた5分間の集計交通流率の増減に着目し、その変化の要因の把握を試みることにする。

3. 集計交通流率状態量予測モデル

(1) ベイジアンネットワーク

本研究は、ベイジアンネットワークを用いて集計交通流率の状態を予測するモデルを構築する。ベイジアンネットワークとは、複数の確率変数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は、要因と仮定される事象の組み合わせにより定義される条件付き確率により発生すると定義するものである。よって、要因となる確率変数を親ノード、対象とする事象である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することが可能である。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、蓄積されたデータを学習することにより推定される。

図-3には本研究で構築するベイジアンネットワークの構造を示している。本研究は、集計交通流率の状態がある時刻から次の5分先でどのように変化するかを分析するものである。よって、ある時刻の集計交通流率の状態が次の5分後の集計交通流率に影響を与えるものと考え、リンクで繋がっている。また、ネットワーク全体の交通状況に関するノードを都心環状線の内回りと外回りでそれぞれ用意し、それらを集計交通流率が変化する要因としてそれぞれのノードに関連付けさせた。交通状況に関

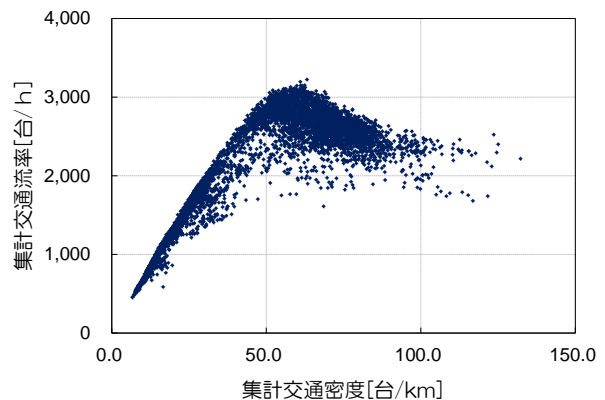


図-2 都心環状線における集計QKの例

するノードは、ネットワーク全体の平均速度、渋滞区間数、突発事象に発生状況の3つの視点で検討する。また、ベイジアンネットワークは確率変数同士の関係で記述される条件付確率を出力する。蓄積データによるベイジアンネットワークの確率分布の学習では、限られたデータから各要因の状態によって異なる予測値を示すなど、各変数について、データを適切に離散化(カテゴリ化)する必要がある。例えば、集計交通流率を単純に100や50刻みで離散化するのか、出現頻度の高い値の周辺を細かくするのかを適切に検討するべきである。以下では、ベイジアンネットワーク上で設定する各ノードとなる確率変数の設定方法について説明する。

(2) 集計交通流率の離散化

本研究で構築する予測モデルでメインとなる集計交通流率の離散化については、図-4に示すように、計測された集計交通流率のヒストグラムを確認して決定した。図-4より、頻度が100未満のエリアと分布形状の頻度が高い100以上の交通流率レベルで分類し、水色の網掛け部分を200[台/hour]ごとに分類し(計9カテゴリ)、頻度が100以上の部分を50[台/hour]と細かく分類した部分(計21カテゴリ)で集計交通流率を離散化した。

(3) 交通状況変数の離散化

ここでは、図-3に示したベイジアンネットワークの確率変数の内、交通状況を示す確率変数の離散化の方法について説明する。

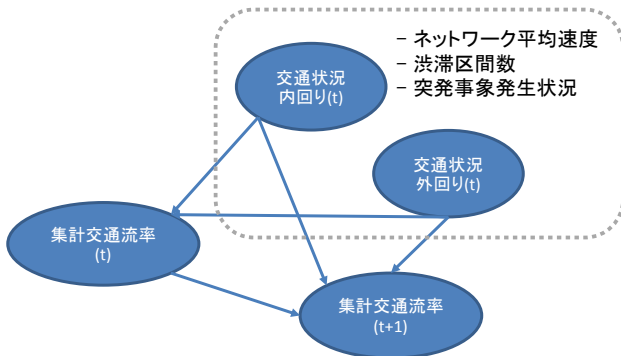


図-3 構築したベイジアンネットワークの構造

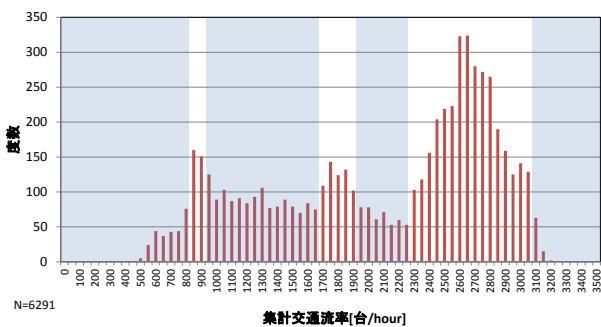


図-4 集計交通流率のヒストグラム

a) ネットワーク平均速度

都心環状線内回り・外回りそれぞれについて、道路ネットワーク全区間で集計した平均速度が40[km/h]以下か否かの2カテゴリに分類した。

b) 渋滞区間数

首都高速道路で定義される混雑の判断基準である区間の平均速度が40[km/h]以下の区間数を求め、内回り(34区間)と外回り(32区間)のそれぞれの全区間数に対する割合を求め、それが30%未満か60%未満か60%以上かの3カテゴリで渋滞区間数の度合いを分類した。

c) 渋滞の継続時間を考慮した突発事象による渋滞発生区間数

突発事象が原因となる渋滞が連続して発生している場合に、渋滞開始からの継続時間を集計し、1時間以上継続して渋滞が発生している区間を抽出する。ある時刻において上述の渋滞が発生している区間数を求め、各時間帯でそのような区間が無い場合(0区間)、5区間の場合、それ以上の場合の3カテゴリで交通状況を分類した。

4. 交通状況に応じた集計交通流率の変化

本章では、前章で構築したベイジアンネットワークを用いて、ネットワーク全体の交通状況により、ある時刻の5分先の集計交通流率の状態がどのように予測されるかをベイジアンネットワークの出力である条件付確率表により確認する。具体的には、交通状況を考慮せず集計交通流率の時間変化のみで構築したベイジアンネットワークでどのように次の時間帯の集計交通流率の状態を予測するかを確認する。次に、それに対して前章で定義した交通状況を考慮したベイジアンネットワークの条件付確率表の傾向を確認するものである。これらの確認により、ベイジアンネットワークで学習した車両感知器のデータで、集計交通流率が変化した場合に、道路ネットワーク全体の交通状況がどのような状況であったかを考察可能である。

(1) 交通状況を考慮しないモデルによる検証

本節は、交通状況の変化を考慮せず、ある時間帯の集計交通流率の状態に対して次の5分先の時間帯における集計交通流率がどのように予測されるのかを確認する。

表-1には、ベイジアンネットワークの出力である条件付確率表を示している。表内の赤が濃くなるほど時刻tにおける集計交通流率状態量(列)に対する時刻t+1における予測集計交通流率状態量(行)の発生確率が高くなる。これを集計すると、5分先の予測集計交通流率が予測時点と同じであると出力される場合が30カテゴリ中21カテゴリと最も多い。一方で、本稿で試みた集計交通流率の

る場合と上がる場合の両方の割合が増えていることが分かる。しかしながら、表-4では、5分先の集計交通流率が下がると予測する場合が比較的多くなることが分かった。表-4は、突発事象が原因となる渋滞が1時間以上継続している区間数を示しており、更にその区間数も多い場合のみを示している。よって、交通渋滞の影響が広範囲に影響を及ぼしており、集計交通流率のレベルでもその変化を的確に捉えることができたと考えられる。すなわち、表-4のように交通渋滞の継続時間を考慮した形でベイジアンネットワークの変数として組み込むことにより、よりの確な集計交通流率の予測値を出力できる可能性を示唆している。その他、交通状況が内回りと外回りで異なる場合や、自由流や渋滞流では、予測される集計交通流率が変化無しであると出力される割合は減っているものの、その変化の傾向に規則性は見られず、今後、よりの確な変数の設定や離散化を精査する必要がある。例えば、様々な状態変化を捉えるために学習データを増やしたり、予測する時間の単位を10分等より長時間に集約する等の工夫も、より適切に集計交通流率の変化を把握するためには必要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、首都高速道路都心環状線のエリア交通状態量の特に集計交通流率に着目し、ベイジアンネットワークを用いて、過去に蓄積された当該路線の車両感知器データを学習し、ある時間帯から5分先の集計交通流率を予測するモデルを構築した。モデル構築には、ネットワーク全体の交通状況を示す変数を3種類用意し、それぞれのモデルが出力する予測集計交通流率が、予測時点の状態からどのように変化するかを確認した。特に本稿では、ネットワーク平均速度、渋滞区間数、突発事象が原因となる交通渋滞の発生区間をネットワーク全体の交通状況の代表値として考慮する形でベイジアンネットワークを構築した。その結果、突発事象が原因となる交通渋滞の発生区間数が、ネットワークに対して広範囲に影響を及ぼす場合に、集計交通流率が下がることを明らか

にした。また、他の要因でも、明確な規則性を見出すことはできなかったが、混雑や渋滞により、集計交通流率の状態も変化することを確認した。

今後は、より長期的な学習データを用いてベイジアンネットワークを構築することと、細かな集計交通流率の変化を的確に捉えるために、ネットワークの速度変化や、渋滞の空間的なつながり等を詳細に考察しながら、集計交通流率の変化に関係する要因を把握することが必要である。

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, 第30回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2004.
- 3) モイスル フセイン, 室町泰徳: ベイジアンネットワークによるリアルタイム交通事故予測モデルの開発, 交通工学, Vol.47, No.2, pp.39-44, 2012.
- 4) Kun Zhang, Michael A. P. Taylor: Towards Universal Freeway Incident Detection Algorithms, Transportation Research Part C, Vol.14, No.2, pp.68-80, 2006.
- 5) 野村大智, 西内裕晶, 轟朝幸, 川崎智也, 割田博: ベイジアンネットワークを用いた都市内高速道路における突発事象検知モデルの構築, 土木学会論文集F3(土木情報学)特集号, Vol.70, No.2, pp. I_303-I_309, 2014.
- 6) 米澤悠二, 吉井稔雄, 北村隆一: 集計 QK を用いたエリア流入制御の有効性に関する研究, 第49回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2009.
- 7) 稲富貴久, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光: 都高速道路における集計 QK を用いた流入制御の適用に向けた検討, 第41回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2010.
- 8) 割田博, 桑原雅夫, 吉井稔雄, 稲富貴久: 首都高速道路における集計 QK を用いたエリア流入制御の適用に関する研究, 第49回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2014.
- 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.

(2015.4.24 受付)

Analysis of Change of Macroscopic Traffic States on Metropolitan Expressway using Bayesian Network

Hiroaki NISHIUCHI, Toshio YOSHII, Hiroshi WARITA, Takahisa INATOMI
and Yuji TAMURA