

リンク速度と交通量を用いた最尤法による 交通状態推定のための基礎的研究

川上 耕平¹・中山 昌一朗²・山口 裕通³・小池 光右⁴・干川 順也⁵

¹学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:kwkm6011@stu.kanazawa-u.ac.jp

²正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:kou0561@stu.kanazawa-u.ac.jp

⁵学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:hoshikawa1008@stu.kanazawa-u.ac.jp

近年、車両にプローブ観測機器の導入が進み、そのデータは交通状況を直接反映していると考えられ、活用が期待されている。利用が多い事例の一つにリンク速度がある。リンク速度の推定であれば、対象となる時間でのサンプル数が比較的少ない場合でも、ある程度の推定は可能であると考えられる。一方、サンプル率が低い場合、あるリンクを通過したプローブ車両数から交通量を推定すると大きな誤差が生じる。そこで、リンク速度とトラカンデータを併用することで、誤差を修正することが期待される。本研究では、同データを用いて、速度と交通量の関係をモデル化する。モデル化には、多変量正規分布に基づく尤度関数を作成し、最尤推定法を使う。そして、モデルとプローブ車両から得た速度を用いて、各リンクの交通量を推定する手法を開発することを目的とする。今回は、観測値とモデルから得た値の誤差はそれぞれ独立として交通状況の推定を行い、特性を調べる。

Key Words : traffic count data, traffic flow, traffic velocity, Maximum likelihood method, probe data

1. はじめに

近年、道路整備事業に対する財政状況が厳しさを増している。道路整備においては、交通量や旅行時間が、事業の前後でどれほど変化するかを精度良く予測することが重要である。こういった予測には配分が用いられるが、OD交通量がデータとして必要となる。しかし、一般にOD交通量データの取得は容易ではない。道路交通センサスの起終点調査やパーソントリップ調査などが利用できるが、ある1時点での調査であるとともに、誤差も含まれる。一方で、リンク交通量の計測は、OD交通量より容易である。しかし、日々観測可能なリンク交通量とOD交通量のデータが整合するとは限らない。また、道路交通センサスの起終点調査やパーソントリップ調査も整合するとは限らない。整合しないからといって、限られたデータのみ使用しないより、様々なデータを組み合わせ、より現実を反映しているOD交通量データ

を作成して、配分を行うことが望ましい。このとき、どのようなデータを用いるか、どのようにデータを組み合わせるかという点が問題となる。

本研究では、様々なデータを融合して、OD交通量データを修正・推定するために必要となる、リンク交通量の推定方法について検証を行う。利用するデータについて、プローブデータの活用を試みる。トラカンによって得られるリンク交通量やリンク速度データは、定点で得られるものであり、それだけではネットワーク全体の把握は難しい。本研究では、プローブデータが有する速度情報に着目し、これをトラカンデータと組み合わせることで、データの持つ誤差を修正しつつネットワーク全体の各リンクの交通量を推定することを目的としている。具体的には、中山ら¹⁾による確率的ネットワーク均衡モデルを理論的基礎フレームワークとして、その枠内で観測リンク交通量もしくはその他の事象が発生する確率が最大となるようにするアプローチを採用する。トラカン

表-1 リンクで観測される利用できるデータの組み合わせ

番号	トラカン		プローブ
	交通量	速度	速度
①	有	有	有
②	有	有	無
③	有	無	有
④	有	無	無
⑤	無	無	有
⑥	無	無	無

やプローブによる各リンクで観測される交通量と速度のデータの組み合わせは、表-1の6通りが考えられる。今回は特に②について着目する。即ち、トラカンデータを用いて、リンク交通量とリンク速度の関係を、多変量正規分布に基づく尤度関数を作成し、最尤推定法を用いてモデル化する。観測値とモデルから得た値の誤差はそれぞれ独立とし、交通状況の推定を行い、道路の特性を調べ、データや手法について考察を行う。

2. 利用データ・分析対象

(1) 利用データ

本研究では、国土交通省より提供いただいた石川県内の国道8号の一部交差点の交差点でのトラフィックカウンター（以下、トラカン）による観測交通量データと観測速度データを用いる。トラカンは、道路上の車両台数や車種判別の把握のために用いられており、道路上に設置されている装置により記録される定点観測データとなっている。今回使用したデータを観測したトラカンの位置は図1、図2に示す。

(2) 分析対象

石川県内の国道8号線能美・西念間上り（新潟方面）を分析対象とした。この区間は、2車線道路と3車線道路が混在し、信号や分流・合流部も存在する。分析対象期間は、2015/8/01～2015/7/31の約1年間とし、通勤の時間帯で交通量の増加を見込む7時台のデータを取り扱う。



図-1 本研究で用いるトラカンの位置



図-2 本研究で用いるトラカンの位置

3. リンク交通量と速度に関する推定

(1) リンク交通量と速度について

交通流の状態を量的に表すパラメータとして、主に交通流 Q 、交通密度 K 、速度 V の三つが用いられている。一般的に三つのパラメータの関係は次式で表される²⁾。

$$Q = KV \quad (1)$$

パラメータ θ 、自由走行速度 V_f を用いて K - V の関係は図-2の状態を仮定する。

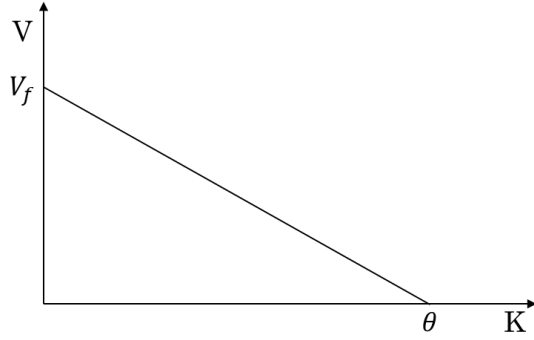


図-2 K-V 曲線

図-2の直線関係は式(2)によって表せる.

$$V = -\frac{V_f}{\theta}K + V_f \quad (2)$$

即ち,

$$K = \theta \left(1 - \frac{V}{V_f}\right) \quad (3)$$

また, パラメータ θ をパラメータ α, β , 車線数 N を用いて次の式を仮定する.

$$\theta = \alpha N + \beta \quad (4)$$

式(1), 式(3), 式(4)をまとめ, 交通流を表す Q を交通量 x , 速度を表す V をリンク速度 v とすると, 交通量 x は式(5)で表される.

$$x = (\alpha N + \beta) \left(1 - \frac{v}{V_f}\right)v \quad (5)$$

これを用いて, プローブ観測速度をリンクの仮想交通量に変換し, 最尤推定法を用いてパラメータ α, β, V_f を推定する.

(2) 最尤法による推定

トラカンでリンク交通量の観測が行われ, 観測リンク交通量ベクトルを $\tilde{\mathbf{x}}$ とする. 観測されたリンクの集合を \tilde{A} とする. また, 複数回それらのリンクを観測している場合, 第 r 回目の観測値を $\tilde{\mathbf{x}}_r$ とする. ただし簡単のために異なった回の観測値は独立と仮定する. またプローブデータから得られるリンクの旅行速度ベクトルを $\tilde{\mathbf{v}}$ とする.

観測リンク交通量は周辺確率として, 以下の確率密度関数を持つ多変量正規分布に従う.

$$f_{\tilde{\mathbf{x}}}(\tilde{\mathbf{x}}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{\tilde{n}} |\tilde{\Sigma}|}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\tilde{\mathbf{x}} - \tilde{\boldsymbol{\mu}})^T \tilde{\Sigma}^{-1} (\tilde{\mathbf{x}} - \tilde{\boldsymbol{\mu}}) \right\} \quad (6)$$

ここで, $\tilde{\mathbf{X}}$ は観測交通量の確率変数ベクトル, $\tilde{\boldsymbol{\mu}}$ は観測交通量の平均値ベクトル, $\tilde{\Sigma}$ は観測交通量の分散共分散行列, \tilde{n} は観測リンクの総数である. $\tilde{\boldsymbol{\mu}}$ と $\tilde{\Sigma}$ は, 観測しているリンクに関する要素を抜き出して構成することが

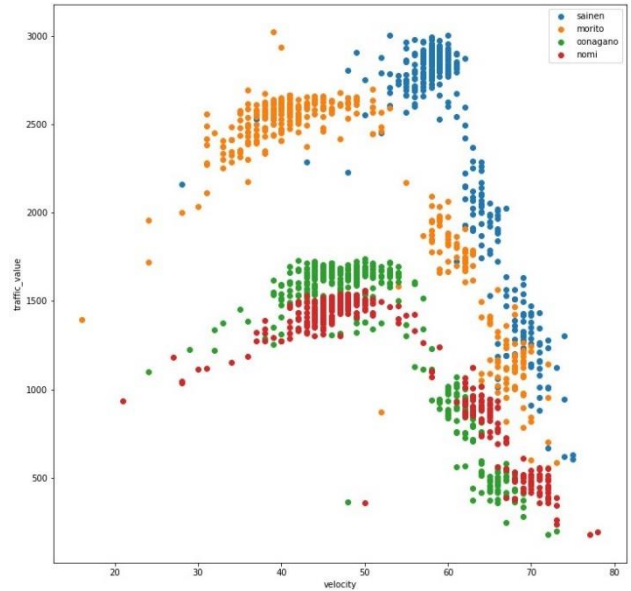


図-3 交通量と速度の散布図

できる.

リンク交通量の実現値, つまりリンク交通量の観測値 $\tilde{\mathbf{x}}$ が与えられた場合, プローブからのリンク旅行速度データ $\tilde{\mathbf{v}}$ からパラメータ θ を推定するための以下の対数尤度関数 $L(\theta | \tilde{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{v}})$ を定義することができる.

$$L(\theta | \tilde{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{v}}) = \ln f_{\tilde{\mathbf{x}}}(\tilde{\mathbf{x}}) = \sum_{a \in \tilde{A}} \ln f_{x_a}(x_a) \quad (7)$$

簡単のため, 観測リンク交通量は更にそれぞれのリンク間で独立と仮定する. このとき, 最尤法は, 最小二乗法の形をとる. 観測回数, 今回は観測日数を \tilde{R} とし, 式(5)より観測リンク速度 \tilde{v} を用いて得られる仮想交通量を x' とすると, 最小二乗法は, 以下のように表せる.

$$\min_{\theta} \sum_{r \in \tilde{R}} \sum_{a \in \tilde{A}} (x_{a,r} - x'_{a,r})^2 \quad (8)$$

本研究では, 観測値とモデルの関係性を調べることを目的とするため, サンプル数の多いトラカンから得た観測リンク交通量と観測リンク速度を用いて分析を行う.

4. 分析結果

(1) 各観測地点のリンク交通量と速度の散布図

使用データの特性理解のため, 観測地点ごとに色を変えた, リンク交通量と速度について7つのデータ欠損を除いた合計1453点がプロットされた散布図を図-3に示す.

(2) 分析結果

4つの観測地点のデータを用いて, パラメータ α, β , 各リンクでの自由走行時間 V_f を最尤法で推定する. その結果を表-2に示す. 最尤法にて求めたパラメータから求められる各リンクのQ-V曲線を図-4に示す. リンク交通量によって曲線が取る極大値も変わっており, 西念が

表-2 推定結果

	α	β	V_f
西念			93.81
森戸	21.46	67.12	77.93
大長野			70.15
能美			70.14

最も大きい極大値を取る。トラカンデータの散布図と比較して、西念のリンクが最も交通量が多いことは一致しているが、西念におけるQ-V曲線において、推定したモデルでは、50-60 km/hでは実際の交通量よりも小さい値を示し、60km/h以上では実際の交通量よりも多い交通量を示している。また、大長野や能美におけるQ-V曲線においても、50km/hより小さい速度でモデルによって求まる交通量は実際の交通量より多く、大きい速度では実際の交通量より小さく求まる傾向にある。森戸のみ3車線における観測であったが、今回の推定では車線を考慮してパラメータを推定することが出来ている。しかし、その他の道路の要因、例えば合流・分流や信号等が、モデルに影響を与えることも考えられる。図-2における仮定も、そのほかの仮定を用いることで、改善する可能性がある。

5. おわりに

確率的ネットワーク均衡モデルを理論的基礎フレームワークとして、その枠内で観測リンク交通量もしくはその他の事象が発生する確率が最大となるようにするアプローチを実際のトラカン観測データに適用し、リンク旅行速度からリンク交通量を求めるモデルを作成した。一

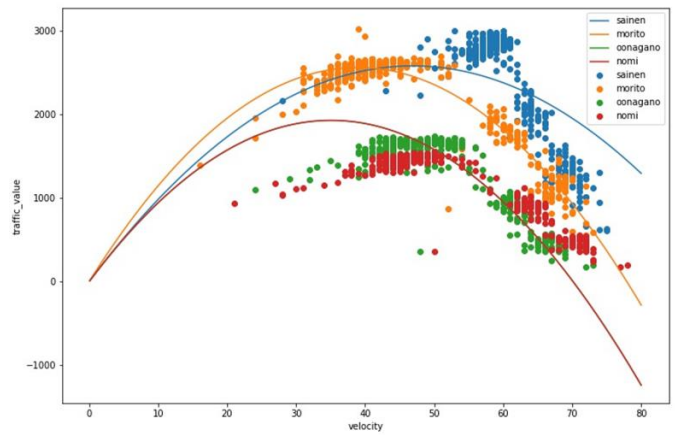


図4 各リンクにおけるQ-V曲線

方で、より精度よく交通量を求めるために必要な交通量と速度の関係をどのようにモデル化するか考慮すべき点、課題を発見した。

今後の展望として、リンク交通量と速度の関係についてモデルをより現実に即したものにすることが必要である。また、実際に用いるには表-1の③や⑤の組み合わせを考える必要があるが、その場合、データ数は1対1に対応せず、データの特性も異なる。周囲の観測リンクとの相関を踏まえつつ、より精度の良い推定手法を提案していく。

参考文献

- 1) 中山 晶一郎, 高山 純一: リンク交通量を用いた交通ネットワーク均衡モデルのパラメータ推定: リンク間相関を考慮した最尤法, 土木学会論文集 D, vol.62, No.4, pp.548-557, 2006
- 2) 松井寛, 藤田素弘: 交通量配分における日交通容量とQV式の合理的設定方法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, vol.6, pp.153-160, 1988

(? 受付)

A FUNDAMENTAL STUDY ON ESTIMATION OF TRAFFIC FLOW BY MAXIMUM LIKELIHOOD METHOD

Kohei KAWAKAMI, Shoichiro NAKAYAMA, Hiromichi YAMAGUCHI, Kosuke KOIKE, and Junya HOSHIKAWA