

混合効果モデルを用いた プローブ車両速度変動評価

宇野 敦伎¹・中山 晶一朗²・山口 裕通³

¹ 学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:atk118tgt@gmail.com

⁵ 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

⁶ 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

道路ネットワークの時間信頼性を向上させるために、時間信頼性を低下させる要因を明らかにする必要がある。そのためのアプローチの 1 つとして、プローブデータを用いて速度の分散に着目した速度変動要因を検討する。その中でも速度の変動に影響する時間的要因について、固定効果とランダム効果に分けてそれぞれの効果を考慮したモデルである混合効果モデルを用いた混合効果分析を行った。本研究ではリンク毎に、トリップ平均速度を被説明変数とし、時間的要因として時間帯を固定効果、日付×時間帯をランダム効果としたモデルの推定結果から、速度の分散を日付×時間帯間の差によるばらつきとトリップ間差によるばらつきに分解した。結果として、トリップ間の速度のばらつきの影響が大きいことと、信号の影響はトリップ間のばらつきで表現できていることが確認できた。

Key Words: probe data, mixed model, dispersion of velocity, travel time reliability

1. はじめに

日常の道路交通において、旅行時間の変動が大きい、すなわち時間信頼性が低い場合、目的地に時間内に到達するためには予め出発時間を早めるなど余裕時間を確保する行動が必要となる。この余裕時間は経済的・社会的・心理的な損失になる。この損失を低減するためには時間信頼性を向上させることが必要となる。このためには、時間信頼性を低下させる要因を明らかにし、それに対する何らかの対策を講じる必要がある。本研究ではそのためのアプローチの 1 つとして、移動速度の時間変動に着目する。

移動速度の時間変動は、従来はトラフィックカウンター（以下、トラカン）などの定点観測データを用いて観測されてきた。しかし、これらのデータは観測地点に限りがあるという問題があり、空間的に断片的な情報となっている。一方で、GPS 機能を搭載した車両の走行記録データであるプローブカーデータであれば、観測区間を限定せずに広範囲の時間変動情報を得ることができる。そのため、広範囲かつ空間的に連続したデータによる時間信頼性情報の分析が可能となる。

本研究では、プローブカーデータを道路ネットワークの時間信頼性評価に適用するための基礎的な分析として、移動速度の時間変動の分散について混合効果モデルを用いて分析する。宇野ら²では、3時・7時・17時の日平均速度の標準偏差をプローブカーデータから分析し、その空間差について信号や分合流を説明変数とした回帰分析を行った。しかし、これらの空間情報のみでは決定係数が低く標準偏差を説明することはできなかった。そこで、本研究では、この速度情報のばらつきには空間的な要因以外も大きく作用しているのではないかと考えて、複数のランダム項を含む混合効果モデルによって、トリップ毎の速度の時間的なばらつきを複数の要因に分解していく。そして、道路の設計や空間要因が旅行速度の変動に与える影響をより精度よく抽出することを試みる。

2. 使用データ

本研究は、富士通交通・道路データサービスより提供いただいた貨物商用車（業務用トラック）の 1 年間（2015 年 8 月 1 日から 2016 年 7 月 31 日まで）の走行デ

ータから抽出・蓄積されたプローブデータ（以下、富士通プローブデータ）を用いる。これは1秒毎の車両の挙動情報を1年分収集したものであり、データの取得範囲としては2次メッシュ10個分のデータを使用している。データ項目としては、車両ID、トリップ番号、2次メッシュ番号、ドットデータ日時、車測速度、リンク番号、DRMリンク吸着後緯度及び経度、等がある。

本研究ではこの情報のうちで、車測速度・トリップ番号・データ日時・リンク番号を用いて分析を行う。まず、トリップ i ・リンク a ・時間帯 t を満たす測位データの集合を $K_{i,a,t}$ とすると、その平均速度 $\bar{v}_{i,a,t}$ は、式(1)から算出できる：

$$\bar{v}_{i,a,t} = \frac{\sum_{k \in K_{i,a,t}} v_k}{n(K_{i,a,t})} \quad (1)$$

ここで、 v_k は測位データの車測速度で、 $n(K_{i,a,t})$ は集合 $K_{i,a,t}$ に含まれるデータ数である。

3. 速度の混合効果分析

(1) 混合効果モデル

本章では、リンク a における速度のばらつきの要因を、線形混合効果モデル³⁾を用いて分析していく。線形混合効果モデルは、固定効果とランダム効果を持つ線形モデルで、リンクで観測された速度 $\bar{v}_{i,a,t}$ の差異をそれぞれの効果を分離して考えることができる。一般的にランダム効果としては、説明変数と相関がないばらつきの情報が得られることとなる。また、この混合効果モデルは、単純に分散分析で分散を分解していくことと比較して、信号の有無・交通量などの追加情報を説明変数として付加した分析や、その交互作用を考えるなど、拡張性の高い分析の枠組みである。

本研究では式(2)のような線形混合効果モデルを用いて分析を行う：

$$\bar{v}_{i,a,t} = \beta_a X_t + \alpha_a + z_{a,t} + \varepsilon_{i,a,t} \quad (2)$$

ここで、 $\bar{v}_{i,a,t}$ は被説明変数であり、式(1)から算出された平均速度の情報である。また、 $(\beta_a X_t + \alpha_a)$ は固定効果項であり、 X_t は説明変数ベクトル、 β_a はパラメータベクトルである。本論文では、説明変数には時間の情報から作成した時間帯ダミー変数のみを利用し、パラメータベクトルはリンク a ごとに別々のものを推定する。また、 α_a は定数項である。 $z_{a,t}$ がランダム項であり、ここでは時間 t の間でのばらつきをランダム項として考える。このランダム項は同じ時間・リンクごとには同じ値が適用される効果であり、固定効果部分を除いた速度のばらつきのうちで、日付×時間帯が異なることによるばらつきのみを抽出したものである。 $\varepsilon_{i,a,t}$ は普通の回帰分析と同じ残差であり、トリップ毎のばらつきを含むランダム

効果とも考えられる。そして、固定効果のパラメータ β_a, α_a とランダム項の標準偏差 $\sigma(z_{a,t}), \sigma(\varepsilon_{i,a,t})$ をそれぞれデータから推定していく。

このようなランダム項のうちで $z_{a,t}$ の標準偏差 $\sigma(z_{a,t})$ が、時間帯ごとの道路の平均走行速度の変動を示しており、道路の時間信頼性と称すべき指標であると考えられる。一方で、 $\varepsilon_{i,a,t}$ の標準偏差 $\sigma(\varepsilon_{i,a,t})$ は、トリップ間でのばらつきを示すものであり、クルマやドライバーの異質性、あるいは測位された場所ごとの速度の差異を示すものに相当する。

(2) 混合効果モデルの適用結果

今回この線形混合モデルを石川県内の国道8号線の上り線127リンク（延長約30km）において適用する。ここで、リンクは基本的にDRMリンクに従っているが、DRMリンクには信号交差点内に位置する10m程度のリンクが存在し、それらのリンクは現実的に望ましくないため除いている。取得したプローブデータの範囲及び分析対象リンクの位置を記した地図を図-1に示す。対象とする道路は本線上の道路であり、走行する車両は主に平面信号や分流・合流といった道路構造の影響を受けると考えられる。このとき、日付だけでなく時間帯と組み合わせた日付×時間帯（eg. 2015年8月1日0時ならば2015080100）の365日×24時間のデータをランダム効果に用いる。これは、同じ日付の同じ時間帯であればほとんど同じ混雑状況での速度変動が見られることを意味する。また、固定効果には時間帯のダミー変数を用いる。今回行う分析はRのパッケージlme4中のlmer関数による混合効果分析である。

まず、固定効果の結果を見ていく。固定効果は時間帯ごとのパラメータが得られ、時間帯ごとのリンク平均速度が算出できる。ここでは見やすいように、トラカン交通量が最大及び最小となる3時・7時・17時の3つの時間帯の平均速度を実測値と比較する（図-2の平均交通量の時間帯推移のグラフ参照）。固定効果の結果から算出した推定値と実測値のリンク毎の差を図-3に示す。横軸はリンクを西から順に1~129のリンク番号を振って並べている。結果としては、どのリンクも誤差が0.5より小さく、かなり現実に近い平均速度の推定ができたと言える。

次に、ランダム効果の分析結果を考察する。混合効果分析から得られた、ランダム効果の標準偏差の比較図を図-4に示す。この図では参考にトリップ数と平面信号の位置を示している。まず、トリップ間の差について見ると、信号の位置で標準偏差が大きくなっており、信号の影響がトリップ間差としてかなり説明できていることがわかる。また、どのリンクに関しても、日付×時間帯でのばらつきは比較して小さくトリップ間のばらつきの方

が大きいことがわかる。これは、時間ごとの平均速度のばらつきよりもドライバー特性や信号といった要因による観測車両間でのばらつきの方がはるかに大きいことを意味している。次に、日付×時間帯のばらつきを見ていこう。全体的に見て、標準偏差が比較的大きい区間が2箇所と標準偏差が0ではないが非常に小さいリンクが2箇所ある。まず、標準偏差の大きい箇所について周辺の道路構造を見ていくと、1つ目の区間は総合運動公園と病院の間の区間であり信号間区間である。信号で停止したか否かはトリップ間のばらつきで表現されるはずであるため、これらの周辺施設が要因であると予想できるがこの地点のみでは断定できない。2つ目の区間は立体交差点の高架上道路の区間であり、延長上で北陸自動車道の金沢東 IC 出口から国道 8 号本線に合流する形となっている。これらから、日付×時間帯のばらつきには周辺施設や交差する道路の規格が要因となっている可能性が考えられる。次に、標準偏差の非常に小さい(0に近い)リンクの周辺情報を見ると、1つは国道 159 号(山側環状道路)との分岐前リンク、もう1つは県道からの合流後かつ県道との分岐前リンクである。これらから、分合流が要因である可能性を考え、図4に信号の代わりに分合流地点を記したグラフ図5を作成した。しかし、分合流が日付×時間帯間のばらつきの要因であると一概に言えず、標準偏差の小さい2つのリンクは単に時間信頼性が高いリンクである可能性も考えられる。

最後に、ランダム効果の標準偏差とリンク長の関係を散布図で示した図6について見ていく。トリップ間差の近似線の傾きは負であり、リンク長が大きいほどばらつきが小さい傾向にあると言える。一方で、日付×時間帯間の差については近似線の傾きはわずかに正であるが、リンク長による大きな影響は見られなかった。

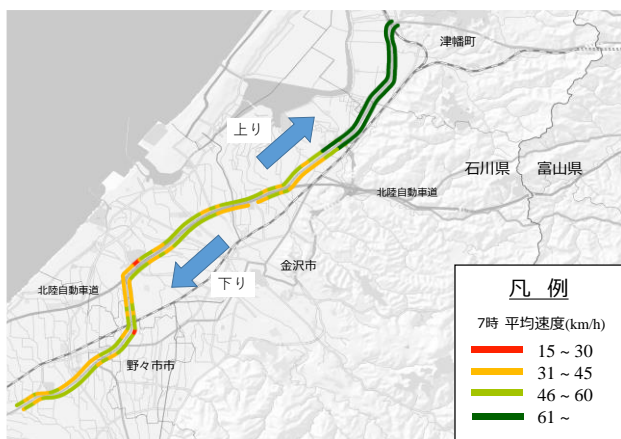


図-1 プローブデータ取得範囲地図

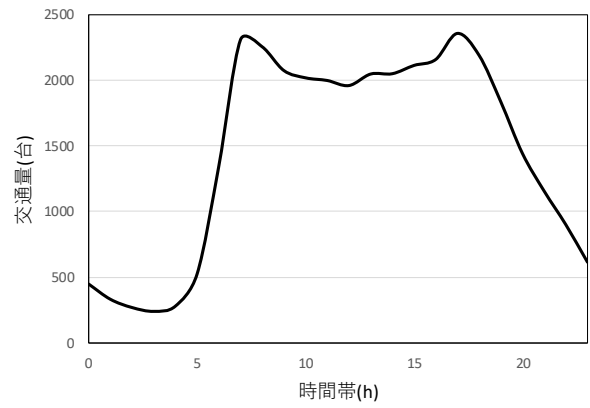


図-2 トラカン観測交通量の時間帯推移

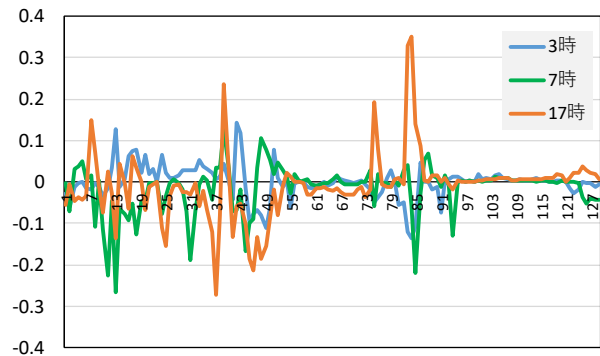


図-3 固定効果推定値と実測値の差

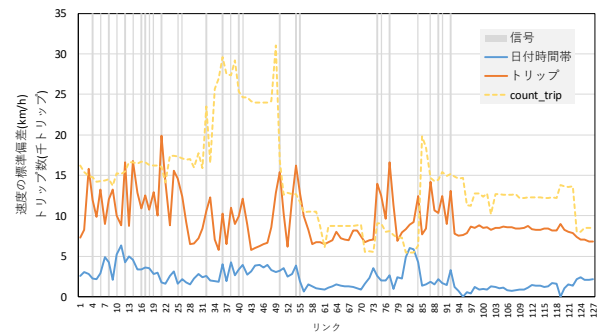


図-4 ランダム効果結果の比較

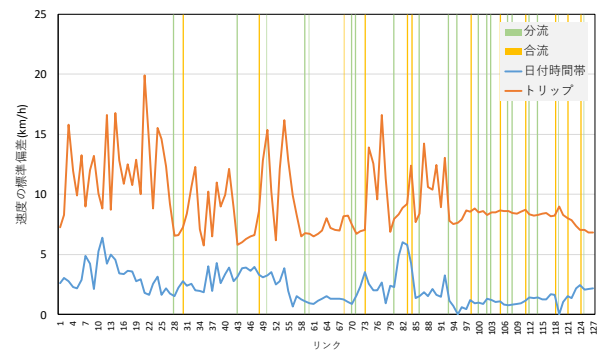


図-5 ランダム効果と分合流の関係

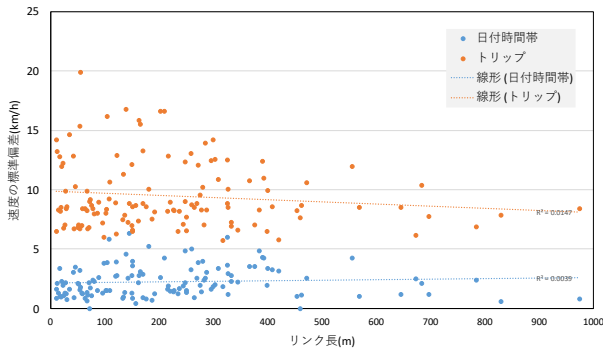


図-6 ランダム効果とリンク長の関係

4. まとめと展望

本論文では、プローブカーデータから得られるリンク速度のばらつきについてランダム効果を組み込んだ混合効果モデルによる分析を行った。その結果、本研究で用いるプローブカーデータの速度のばらつきには、時間帯間の平均速度のばらつきよりも、トリップ間のばらつきがはるかに大きいことが明らかになった。これは、道路上の混雑度合いのばらつきと比較して、ドライバーの違いや測位された位置・タイミングによるばらつきの方がはるかに大きいことを示している。このことから、プローブカーから得られる速度情報を用いて、平均速度の時

間的なばらつきを分析するためには、本研究で用いたような混合効果モデルで、トリップ間の速度のばらつきと時間帯間の平均速度に分離して分析するアプローチが望ましいといえる。そして、信号があるリンクにおいて日付×時間ごとの平均速度の標準偏差が大きいことが分かった。これは、混雑による旅行速度の不確実性を示すものとして直感と合致する結果である。

今後は、日付×時間帯間のばらつきの大小に影響する要因を検討する。具体的には、交差する道路の規格や交通量、本線の交通量、沿道施設などとの関係を検討し、時間信頼性に影響する要因の特定を進めていく予定である。

謝辞：株式会社富士通交通・道路データサービスからデータを提供いただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 中山晶一郎, 朝倉康夫：道路交通の信頼性評価, コロナ社, 2014
- 2) 宇野敦伎, 古屋健登, 熊谷成則, 小池光右, 大澤脩司, 中山晶一郎, 山口裕通：プローブカーデータによる道路の旅行時間変動と道路構造の関係性分析, 土木計画学講演集, 2018
- 3) 久保拓弥：データ解析のための統計モデリング入門, 岩波書店, 2012

(?受付)

ANALYSIS OF DISPERSION OF VELOCITY USING PROBE CAR DATA BY MIXED MODEL

Atsuki UNO, Shoichiro NAKAYAMA and Horomichi YAMAGUCHI