

混合効果モデルを用いた道路走行速度変動の分解に関する研究

金沢大学大学院 自然科学研究科

○宇野 敦伎

金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系

中山 晶一朗

金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系

山口 裕通

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に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。

使用する情報としては、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：

$$\bar{v}_{i,a,dh} = \beta_{a,t} \mathbf{X}_t + \alpha_a + z_{a,dh} + \varepsilon_{i,a,dh} \quad (2)$$

ここで、 $\bar{v}_{i,a,dh}$ 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、 $(\beta_{a,t} \mathbf{X}_t + \alpha_a)$ は固定効果項であり、 $\mathbf{X}_t$ は説明変数ベクトル、 $\beta_{a,t}$ 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。 $z_{a,dh}$ 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 $\beta_{a,t}$, α_a とランダム項の標準偏差 $\sigma(z_{a,dh})$, $\sigma(\varepsilon_{i,a,dh})$ 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 $z_{a,dh}$ の標準偏差 $\sigma(z_{a,dh})$ 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、 $\varepsilon_{i,a,dh}$ の標準偏差 $\sigma(\varepsilon_{i,a,dh})$ 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。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、時間帯だけでなく日付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。

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小となる3時及び最大となる7時・17時の3つの時間帯での平均速度を図-1に示す。同時に信号位置を表示しており、信号の前後で平均速度が増減しているのがわかる。

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-2に示す。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、信号で停止したか止まらず通過したか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的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する。また、日付時間帯のばらつきが比較的大きい箇所、小さい箇所の特定ができた。分解したこれらの標準偏差について空間情報を説明変数に回帰分析を行ったが、ページ上の都合割愛する。

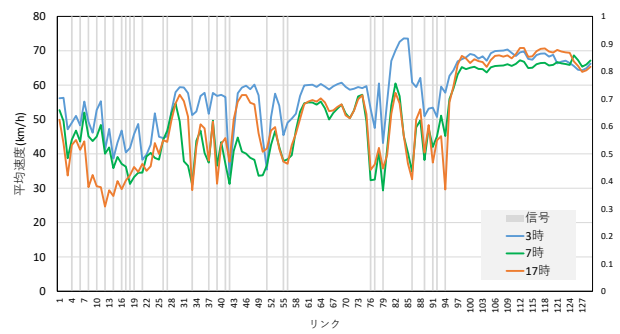


図-1 固定効果結果

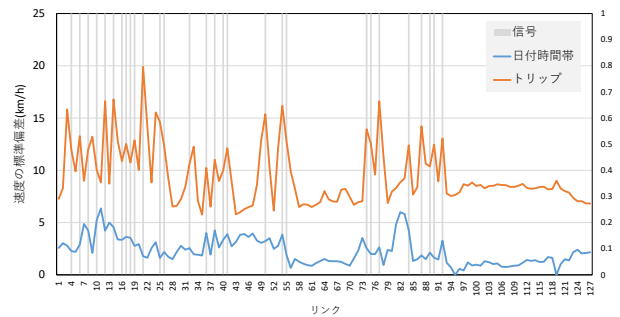


図-2 ランダム効果結果

4. まとめと課題

本論文では、混合効果モデルを用いてプローブデータから得られるリンク速度のばらつきの分解を行った。結果として、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が示された。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で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帯ごとの速度のばらつき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。

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)