

# プローブカーデータによる 速度変動分析のための混合効果モデル

宇野 敦伎<sup>1</sup>・古屋 健登<sup>2</sup>・熊谷 成則<sup>3</sup>・小池 光右<sup>4</sup>  
中山 晶一郎<sup>5</sup>・山口 裕通<sup>6</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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:sheringford@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>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: kumagai@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup>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:kou0561@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>5</sup>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

<sup>6</sup>正会員 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: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は、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。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、トリップ間の速度のばらつきの影響が大きいことと、信号のあるリンクでは日付間のばらつきを確認できた。

**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という余裕時間を確保する必要がある。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<sup>3)</sup>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、その空間差を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）の石川県 3 市町の範囲のデータを用いる。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る。データ項目としては、車両ユニーク 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、前位置データとの速度差、リンク番号、リンク距離、リンク所要時間、吸着後緯度及び経度（DRM リンクに吸着した後の緯度及び経度）、リンク内距離、トリップ累積距離、吸着距離、走行方向フラグ、道路種別コード、（GPS から取得した）緯度及び経度、実空車状態、リンク連番、反転フラグがある。

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<sup>4)</sup>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・交通量などの追加な情報を説明変数を付加した分析や、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、 $\beta_a$  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、 $\alpha_a$  は定数項である。 $z_{a,t}$  がランダム項であり、ここでは時間帯  $t$  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  $\beta_a, \alpha_a$  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、時間帯ごとで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呼ぶ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間、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 号線上の、平面信号交差点に隣接したリンク（森戸）、立体交差点の高架上道路リンク（西念）、津幡町内にある信号のないリンク（津幡）の 3 リンクでそれぞれ適用して比較する。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、それぞれのリンク周辺の地図を図-2,3,4 に示す。対象とする道路は本線上の道路であり、森戸は信号の影響を直接的に受けるが、西念および津幡は信号の影響を受けないという特徴がある。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。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、ランダム効果の分析結果を見ていく。混合効果分析から得られた、ランダム効果の標準偏差をまとめたものを表-1 に、その比較図を図-1 に示す。表-1 および図-2 から、これらの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や信号・測位した位置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リンク間で比較していこう。すると、森戸で特に大きいことが分かる。この要因は、二つの要因が考えられる。一つ目は、森戸のみが信号の影響を受けるリンクであり、その要因によってこの場所のみばらつきが大きくなったと考えられる点である。しかし、信号の影響は、赤信号で止まった車と青信号で止まらなかった車の間のばらつきとして現れるため、時間帯によって現示時間が調整されない限り、トリップ間の差として現れるものと思われる。二つ目の要因としては、森戸周辺の交差点が他の二つより混雑しやすい場所であり、空いている時間と混んでいる時間の間でのばらつきが大きくなったことも考えられる。このような結果が得られた要因については、より多くのリンクについて同様な分析をして比較を進めていくことで、より明確に答えられるようになると期待できる。

次に、固定効果の結果について考察する。ここでは、同一時間帯ごとの平均速度の差異を固定効果として扱っており、その推定結果を図-7に示す。図-7から、森戸のみでピーク時間（午前7時、8時付近）で速度の低下が見られる。これは、表-1でトリップのデータ数が多いことからわかるように、最も混雑している場所であり、朝のピーク時には渋滞によって大幅な平均速度低下が発生している場所であることがわかる。その結果として、混んでいる日と空いている日の間のばらつきが多く存在し図4で見られたように日付×時間のランダム効果の分散が大きいと推察される。



図-1 森戸周辺地図



図-2 西念周辺地図



図-1 プロブデータ取得範囲地図



図-3 津幡周辺地図

表-1 ランダム効果分析結果 (標準偏差)

Random effects:	森戸		西念		津幡	
グループ	データ数	標準偏差	データ数	標準偏差	データ数	標準偏差
日付×時間帯	7162	2.742	5152	0.884	5977	0.915
トリップ	24664	8.888	8932	7.458	12223	8.536

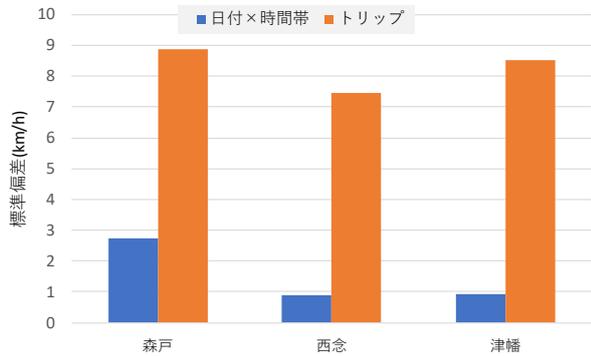


図-4 ランダム効果比較図 (標準偏差)

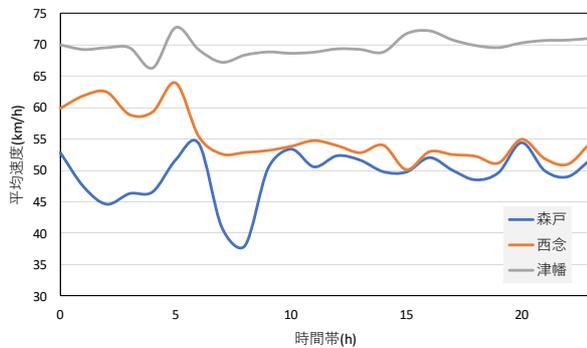


図-7 時間帯ごとの速度変動 (固定効果)

#### 4. まとめと考察

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、本研究で対象にした3ゾーンでの分析の結果、トリップ数が多く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、より広範囲・多数のリンクにおける速度のばらつきの分析を進めていく。具体的には、より多くのリンクのトリップ毎の速度を被説明変数として、リンクごとの分散の大小や、複数のリンクに同時に作用するリンク間の共分散を分析していく。そのうえで、混雑やリンクの条件などに応じた、日付×時間ごとの平均速度のばらつきを大きくするような要因の特定を進めていく予定である。

謝辞：本研究の一部は国土交通省 新道路技術会議において採択され、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究により実施したものである。また、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) 谷下雅義, 横山将大, 福田大輔：プローブデータを用いた旅行時間信頼性の規定要因, 土木計画学研究・講演集, 2012
- 3) 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
- 4) 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)

### MIXED MODEL FOR ANALYSIS OF DISPERSION OF VELOCITY USING PROBE CAR DATA

Atsuki UNO, Kento FURUYA, Sigenori KUMAGAI, Kosuke KOIKE, Shoichiro NAKAYAMA and Horomichi YAMAGUCHI