

プローブカーデータを用いた降雨強度と速度低下の関係分析*

Relationship between Rainfall Intensity and Travel Speed Lowering based on Probe-Vehicle Data*

王立暁**・三輪富生***・山本俊行****・森川高行****

By Lixiao WANG**・Tomio MIWA***・Toshiyuki YAMAMOTO****・Taka MORIKAWA****

1. はじめに

天候は道路ネットワーク上の走行に影響を及ぼす。例えば、雨天時には視界が遮られたり、ブレーキング性能の低下が起るため、走行速度の低下が発生することはよく知られている¹⁾⁻³⁾。このような降雨が走行速度に与える影響は、旅行時間の予測精度を向上させるため、また、効率的な道路ネットワーク利用を目指した経路案内を実現するために考慮されるべきである。本研究では、このような降雨による走行速度の変化を分析することを目的とする。この際、名古屋市周辺で収集されたプローブカーデータと詳細な降雨状況データを用いることで、降雨強度と旅行速度低下の関係をより詳細に分析する。このように、詳細な分析により得られた雨天時の走行特性に関する知見からは、同じ地域でも地点ごとに異なる降雨強度の情報を用いることで、より精緻な旅行時間予測が可能となると考えられる。

ただし、プローブカーデータを用いた分析においては、分析対象とする道路区間ごとに収集されたプローブカーデータのサンプル数が異なることに注意を払う必要がある。例えば、分析対象とする複数の道路区間には、データ収集期間中にたった1台しかプローブカーが通過しなかった区間や、各時間帯で常に数台が通過する区間が混在し、どちらの道路区間からも平均リンク旅行時間を得ることが可能である。しかし、これらを平均旅行時

間は、その信頼性、または統計的有効性においてまったく異なっている。したがって、プローブカーデータを用いた分析においては、データサンプル数の影響を考慮すべきである。そこで、本研究では、降雨強度が速度低下に与える影響を分析するに際して、プローブサンプル数の影響を考慮しつつ分析を進めることとする。

2. 使用データの概要

(1) プローブカーデータ

本研究で使用するプローブカーデータは、2004年5月1日～6月30日の2ヶ月間に、名古屋市周辺で収集されたデータである。データ収集エリアは、図-1に示される、名古屋都心部を含む4枚の2次メッシュでカバーされるエリア(約20km×20km)である。このエリアで収集されたプローブカーデータを、デジタル道路地図(DRM)基本道路網にマップマッチング⁴⁾し、各リンクのリンク通過旅行時間を算出した。ただし、マップマッチングエラーやGPS誤差等によるリンク旅行時間の不当なばらつきを避けるため、100メートル以上長さをもつリンクから収集されたデータのみを分析に用いる。さらに、リンク旅行速度が100km/h以上のデータや、3.6km/h未満のデータは異常値として利用しないものとする。つまり、分析に用いたプローブカーデータは、2ヶ月間にリンク長

*キーワード: 交通情報, ITS, プローブカー

**学生員, 工修, 名古屋大学大学院環境学研究科
(名古屋市千種区不老町, TEL: 052-789-3730,
E-mail: wang@trans.civil.nagoya-u.ac.jp)

***正員, 博(工), 名古屋大学大学院環境学研究科
(名古屋市千種区不老町, TEL: 052-789-3565,
E-mail: miwa@trans.civil.nagoya-u.ac.jp)

****正員, 博(工), 名古屋大学大学院工学研究科
(名古屋市千種区不老町, TEL: 052-789-4636,
E-mail: yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp)

*****正員, Ph.D., 名古屋大学大学院環境学研究科
(名古屋市千種区不老町, TEL: 052-789-3564,
E-mail: morikawa@nagoya-u.jp)

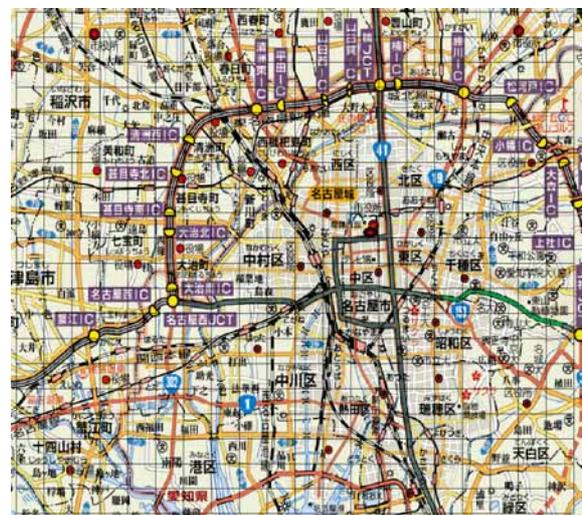


図-1 プローブデータと降雨量データ収集範囲

が100メートルのリンクで観測され、リンク旅行速度が3.6km/h～100km/hのデータである。

(2) 降雨状況データ

本研究で使用した降雨状況のデータは、財団法人日本気象協会から提供されたデータである。このデータは、プローブカーデータと同じ範囲(図-1)、かつ同じ期間に観測された、1kmメッシュ毎の10分間降雨量データ(降雨量の最小単位は0.1mm/10分)である。したがって、地点ごとの降雨量に関する詳細な情報を有しており、プローブカーデータと合わせて、降雨量とリンク走行速度(またはリンク旅行時間)の変化との関係を詳細に分析することが可能となる。

3. 旅行速度と降雨強度の関係分析

より詳細な分析を行う前に、降雨がリンク旅行速度(またはリンク旅行時間)に与える影響についての基礎的な分析を行う。この際、降雨強度を、降雨量の1時間換算値を用いて、晴天(曇りを含む):0.0～0.5mm/h(0.0mm/10分)、弱雨:0.5～4.5mm/h(0.1～0.7mm/10分)、中雨:4.5mm/h～10.0mm/h(0.8～1.6mm/10分)、強雨:10mm/h～(1.7mm/10分～)に分類し、降雨強度の影響を分析する。

(1) 降雨強度が旅行時間に与える影響

図-2は、降雨強度がリンク旅行時間に与える影響を、道路種別、車線数別に、晴天時に対する雨天時のリンク旅行時間比として示している。ここで、使用したリンク旅行時間は、実験期間中の各10分に観測されたプローブカーデータの道路種別、車線数別平均値である。図より、降雨量が多いほどリンク旅行時間が晴天時に比べて長くなることが確認できる。また、車線数が多い道路ほど旅行時間の増加が大きいことが分かる。これは、多

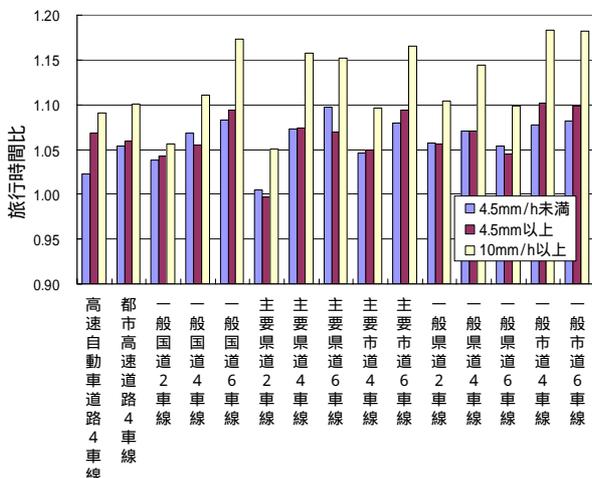


図-2 降雨強度がリンク旅行時間に与える影響

車線道路ほど晴天時の走行速度が高いため、降雨による影響を受けやすいことを表していると考えられる。

(2) 晴天時旅行速度別にみた降雨強度による速度低下

そこで、晴天時の走行特性によって、降雨による影響が変化するかを確認する。図-3は、対象エリア内の一般国道4車線と6車線リンクについて、晴天時の平均リンク旅行速度別に降雨強度によるリンク旅行速度の増減を示している。ここで、使用したデータは、実験期間中の平日に収集されたデータである。晴天時の道路種別、車線数別の平均リンク旅行速度は、実験期間に得られたデータから算出した30分間隔(48区分)平均値であり、日々のばらつきを考慮していない。一方、雨天時のリンク旅行速度は、0.1mm/10分以上の降雨量が観測された日時、地点で観測されたプローブカーデータそのものであり、平均等の処理をしていない。

この図より、晴天時の旅行速度が高くなるほど、降雨によるリンク旅行速度の低下が大きくなることが分かる。また、降雨強度が強いほど、速度低下が大きい傾向がある。しかし、晴天時の旅行速度が0km/h～10km/hや10km/h～20km/hの場合は、むしろ降雨によってリンク旅行速度が増加している。特に、一般国道4車線においては、晴天時の平均リンク旅行速度が0～10km/hのリンクについては、中雨によってリンク旅行速度が37km/h程度も増加している。

そこで、図中の晴天時の平均リンク旅行速度を集計するために使用したデータサンプル数を確認する。図-

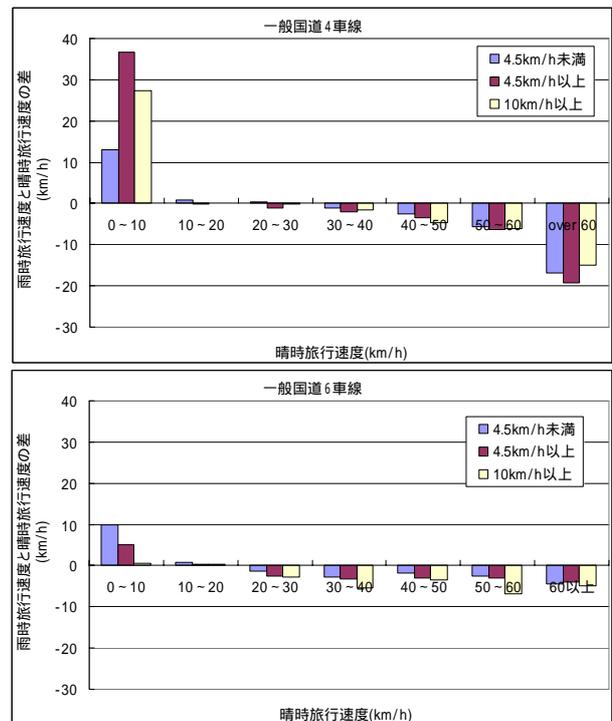


図-3 晴天時旅行速度と降雨による速度低下の関係(横軸:晴天時リンク旅行速度,縦軸:降雨別速度低下)

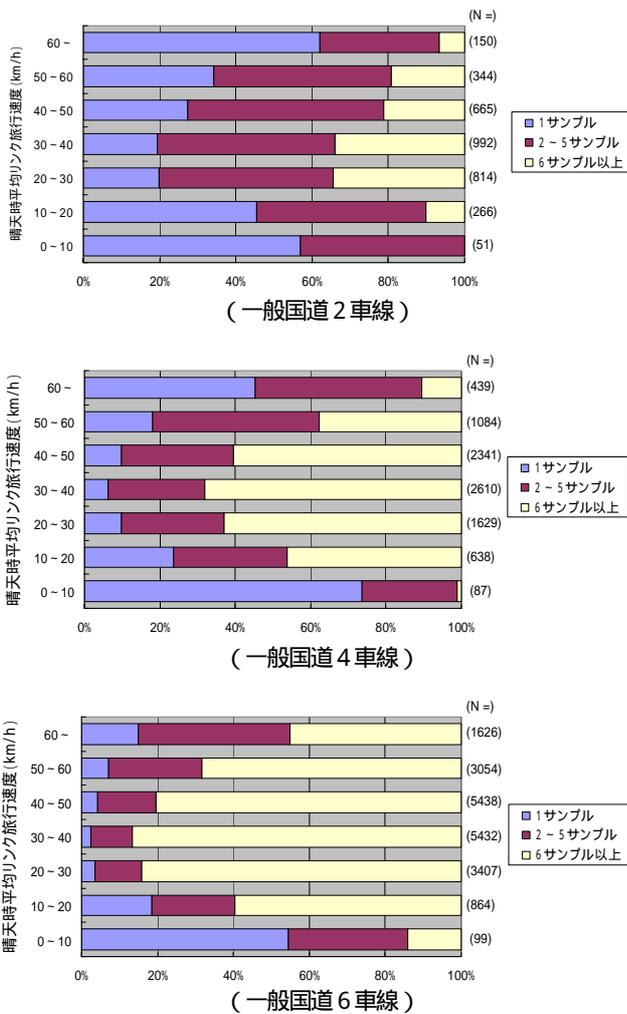


図 - 4 晴天時速度別の平均値算出サンプル数の割合

4は、晴天時の平均リンク旅行速度別に、この平均値を算出したプローブサンプル数の割合を示している。つまり、晴天時平均リンク旅行速度がどの程度のサンプル数のプローブカーデータから算出されているかを示しており、図中右端のNは、晴天時の各平均リンク旅行速度に含まれる、30分時間帯別リンクの数を示している。ここで、この30分時間帯別リンクは、総計が“リンク数×48”となるが、これを以降では、簡単のため“時刻リンク”と呼ぶ。

この図より、車線数が増加するほど、晴天時平均速度を5サンプル以上のプローブカーデータより計算している時刻リンク数の割合が多くなるのが分かる。特に、晴天時に0~10km/hといった低速や、60km/h~のような高速で走行しているとされる時刻リンクは、その平均速度を算出するために使用したプローブサンプル数が少ないことが分かる。また、0~10km/hの場合では、車線数にかかわらず1サンプルにより晴天時平均旅行速度を計算している時刻リンク数が55~75%を占めている。前述の通り、プローブカーデータは収集されたプローブサンプル数の影響により、データのばらつきが大きい。した

がって、サンプル数を無視した分析からは、図 - 3のような降雨によって速度が大きく増加するといった、誤った分析結果を得る可能性がある。

4. サンプル数を考慮した

降雨強度と旅行速度低下の回帰分析

以上の分析を踏まえてここでは、晴天時の旅行速度を考慮した、降雨強度とリンク旅行速度低下の回帰モデルを構築し、プローブサンプル数が推定結果に与える影響についてより詳細に分析する。

(1) 降雨強度と速度低下の回帰モデル

分析に用いる回帰モデルは、降雨時と晴天時のリンク旅行速度の差を非説明変数とし、降雨強度を説明変数とする。ここで、様々な基礎的な分析の結果、降雨強度については対数をとることとする。また、先の図 - 3に示されたような、降雨が速度低下に与える影響が、晴天時旅行速度によって非線形に変化している可能性を考慮するため、降雨強度に関する未知パラメータを晴天時旅行速度を用いて、下式のような3次元関数として構造化した。

$$y_i - \bar{y}_i = (\beta_1 \bar{y}_i^3 + \beta_2 \bar{y}_i^2 + \beta_3 \bar{y}_i + \beta_4) \ln(x_i + 1) + \varepsilon_i \quad (1)$$

ここで、 y_i は雨天時に観測されたプローブカーリンク旅行速度 (m/sec)、 \bar{y}_i は y_i と対応する時刻の晴天時平均リンク旅行速度 (30分平均値, m/sec)、 x_i は y_i と対応する日時の降雨強度 (mm/10分)、 β_i は未知パラメータ、 ε_i は i 番目データのばらつきである。

(2) プローブサンプル数を考慮したモデル推定

さらに、晴天時の平均リンク旅行速度 \bar{y} を算出したデータサンプル数の影響を考慮するため、以下のような4種類の推定方法を適用した。

すべてのデータから推定

\bar{y} が1サンプルから計算された時刻リンクに関するデータを用いない

\bar{y} が5サンプル以下より計算された時刻リンクに関するデータを用いない

すべてのデータを用いるが、誤差項の分散が \bar{y} を構成するプローブサンプル数によって変化するとしてデータ間の異分散考慮する

ここで、における異分散性の考慮は、 i 番目データ

の誤差項 ε_i が従う分布の分散が、プローブサンプル数により異なると仮定し、以下のように表す。

$$\sigma_i^2 = \frac{\sigma^2}{n} \quad (2)$$

ここに、 σ_i はデータ i における誤差の分散、 n は \bar{y} を算出したデータサンプル数である。

表 - 1 回帰分析結果 (一般国道 6 車線)

推定方法				
β_1	-0.005	-0.004	-0.004	-0.006
β_2	0.179	0.166	-0.144	0.221
β_3	-2.182	-2.033	-1.810	-2.754
β_4	7.232	6.715	5.965	9.112
サンプル数	129841	129545	127433	129841
修正R ² 値	0.00	0.00	0.00	0.01

すべてのパラメータが1%有意水準を満たす

表 1 に、一般国道 4 車線のデータによる推定結果を示す。この結果より、モデル適合度については、いずれの推定方法に対しても高くはないが、誤差項の異分散性を考慮した推定方法が最も修正R²値が大きい。ここで、式(1)からも分かるように、 β_4 は、晴天時の走行速度が 0 に近い時刻リンクにおける、降雨による旅行速度の変化を表している。すなわち、この値が大きいほど、図 - 3 に示されるような、晴天時の平均速度が低い時刻リンクほど降雨による速度上昇が大きいことを示している。

からへと、晴天時の平均速度を計算したサンプル数が少ないものをデータから排除するにつれて、この値が小さくなっており、降雨による速度上昇効果が小さくなっていることが分かる。すなわち、信頼性の低いデータを用いないことで、この影響を排除できていることから、降雨が速度を上昇させるという現象は、誤った分析結果である可能性が高い。

また、この推定方法については、逆に β_4 の値が大きくなっており、ここで示した誤差項の異分散性の考慮方法が、プローブカーデータのばらつきを表現するためには適切ではない可能性を示している。つまり、式(1)には、ここでデータ間のばらつきの相違を表現するために考慮した \bar{y} が、右辺にも含まれており、この影響を適切に考慮する必要があることを示唆するものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、名古屋市周辺で収集されたプローブカ

ーデータと詳細な降雨状況データを用いて、降雨強度が速度低下に与える影響を分析した。特に、プローブサンプル数が、データの有する情報の信頼性を表わすことに着目した分析を行った。この結果、分析に使用した、晴天時平均リンク旅行時間情報の算出に用いたデータ数が少ない場合に、これらを分析に用いなくなることで、降雨による速度上昇の影響が排除されることから、プローブカーデータに基づく分析においては、データサンプル数の影響を十分に考慮し、その影響を排除する必要があることを示した。

今後は、本研究で使用したデータをさらに詳細に分析し、降雨による速度低下の影響をより適切に表現しうるモデルの構築を行う予定である。また、これにより雨天時の旅行時間予測を行い、旅行時間実測値の収集と合わせて、より実用的な降雨影響予測システムを構築する予定である。

参考文献

- 1) Kyte, M.Z., et al.: Effect of Weather on Free-Flow Speed, Transportation Research Record 1776, pp.60-68, 2001.
- 2) Zhang, L. and Panos, D.P.: Motorist Perceptions on the Impact of Rainy Conditions on Driver Behavior and Accident Risk, 84th Transportation Research Board, CD-ROM, 2005.
- 3) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2000.
- 4) 三輪富生, 境隆晃, 森川高行: プローブカーデータを用いた経路特定手法と旅行時間推定に関する研究, 第 2 回ITSシンポジウムproceedings, pp.277-282, 2003.