

プローブデータを用いた 旅行時間信頼性の規定要因

谷下 雅義¹・横山 将大²・福田 大輔³

¹正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)
E-mail: tanishi@civil.chuo-u.ac.jp

²非会員 大成ロテック株式会社(〒104-0031 東京都中央区京橋3-13-1)

³正会員 東京工業大学大学院准教授 土木工学専攻(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-M1-11)
E-mail: fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

本研究は、旅行時間信頼性指標の大きさを決定付けている要因を明らかにすることを目的として、関東物流プローブ2007のデータを用いて、約300のリンクを対象に、二種類の旅行時間信頼性指標（速度の変動係数、速度の95%タイル値と50%タイル値との差を平均速度で除したタイル変動係数）をそれぞれ被説明変数とする回帰分析を用いて分析した。その結果、規定要因として平均速度、(平均速度と自由走行速度の比)が有意な変数として抽出された。また、非線形回帰分析より、平均速度が約10~20kmのときにその変動係数が最大となることなどが示された。

Key Words : *travel time variability, probe truck data, free speed, nonparametric regression*

1. はじめに

近年、道路交通サービスの質的な向上が求められる中で、旅行時間の短縮だけではなく、旅行時間信頼性にも着目する必要性が高まっている。高い定時性(Just in time)が要求される貨物輸送においては、移動時間のばらつきにより、出発時の余裕時間や到着地付近での待ち時間などが生じ、それが物流全体の効率性を阻害する原因となっている。信頼性を下げる主な原因は、事故などによって突発的な渋滞が生じてしまうことにある。逆に、慢性的に渋滞している場所は、どの程度時間がかかるか予想ができ、信頼性は高いと考える。従って、『渋滞=信頼性が低い』という訳では必ずしもない。

旅行時間信頼性の経済効果を費用対効果分析の俎上に乗せるためには、その価値付けに加えて将来予測を行うことが必要である¹⁾。価値付けについては、SPデータを用いた研究の蓄積が進みつつある(高橋・福田(2010)²⁾など)。一方、旅行時間信頼性の規定要因の分析に関して、近年のさまざまな旅行時間データベースの利用を前提として研究の蓄積が進みつつある。例えば、野間他(2007)³⁾、上坂他(2010)⁴⁾はAVIデータを用いて時間信頼性指標の算出方法を求めている。原田他(2011)⁵⁾はデータの

取得方法の違い(AVI, VICS, 車両感知器, プローブ)によって信頼性指標に差異があるかどうかを分析している。プローブデータを用いた研究には、関谷他(2011)⁶⁾の複数経路からなるOD間の旅行時間信頼性指標を求めたものや、橋本他(2010)⁷⁾の時間信頼性の考え方をを用いて全国の交通円滑性を評価したものなどがある。また、海外においては、高速道路を対象としてプロジェクト評価のための具体的な旅行時間信頼性指標の予測式の検討も試みられている(UK DfT 2007⁸⁾; Peer et al., 2011⁹⁾など)。このように、旅行時間信頼性指標の規定要因の分析が徐々になされるようになってきたものの、一般的法則の解明のためにはさらなる事例分析の蓄積が必要と考えられる。

そこで、本研究は貨物車に搭載したGPS装置により得られたプローブデータから旅行時間信頼性を推定し、これを決定付けている要因を、回帰分析を用いて明らかにすることを目的とする。規定要因が明らかになれば、実際にデータを取っていない道路でも推定値を得ることができ、旅行時間信頼性の将来予測のみならず、それを考慮した交通行動分析(経路選択モデルの構築等)に役立てることができると思われる。

2. データ

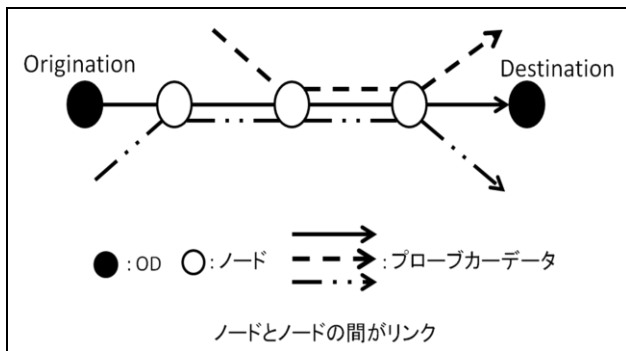


図-1 経路の設定

今回分析するデータは、「関東物流プローブ 2007」という、物流会社2社の合計 161 台で 2007 年 6 月 4 日から 11 月 18 日にかけて、圏央道の料金変更の社会実験に伴い得られたデータである。csv ファイル 10,898 個分のデータベースであり、容量は約 102GB の情報である。プローブデータは、時刻、緯度経度、リンク長、旅行速度から、貨物車の走行経路を時間経過に沿って追うことができる。よってここから必要な情報を抜き出す、または算出して分析に利用する。データはリンクという単位区間で区切られて記録されている。このリンクとは、1 つ目のノード(交差点または合流地点)から次のノードまでの間のことを表す(図-1)。

3. 分析用データの作成と分析方法

(1) 対象リンクの決定とサンプルの抜き出し

まず、各リンクをサンプル数で色分けしたマップを GIS で作成し、サンプル数の多い方から順番に対象リンクを決定する。

サンプル数で色分けした結果が図-2 である。総リンク数は 109,643 である。ここから一般道路において、サンプルが多いリンクから順番に 275 サンプルを抜き出した。方向を考慮し、各リンクで一方のみを使用している。また、交通量が少なくなり、ばらつきがなくなる深夜の時間帯(23 時~翌 5 時)のデータは予め取り除いた。

次に、ネットワーク内の全リンクの平均速度とその標準偏差・パーセンタイル値(95%・90%・50%)などのデータを抽出し、外れ値について検討する。

プローブデータには、荷降ろし作業や休憩などによる値が含まれていたり、エラーで現実的に不可能な速度が記録されている場合外れ値が存在する。より正確な信頼性を求めるために、これらを取り除く必要がある。具体的には以下のようなデータ処理を行った。

- ・速度が遅すぎて、旅行時間が大きすぎるデータ
⇒まず 30 分=1,800 秒以上のデータは無条件に取り除く。いくら渋滞していても 30 分以上一つのリンクに存在するのは考えにくい。その後、旅行時間で 95% タイル値以上のデータを取り除いた。
- ・速度が速すぎて、旅行時間が小さすぎるデータ
⇒80(km/h)以上で走行しているデータは取り除く。制限速度 50+30=80(km/h)でトラックドライバーが一発免停になる速度で走るとは考えにくい。

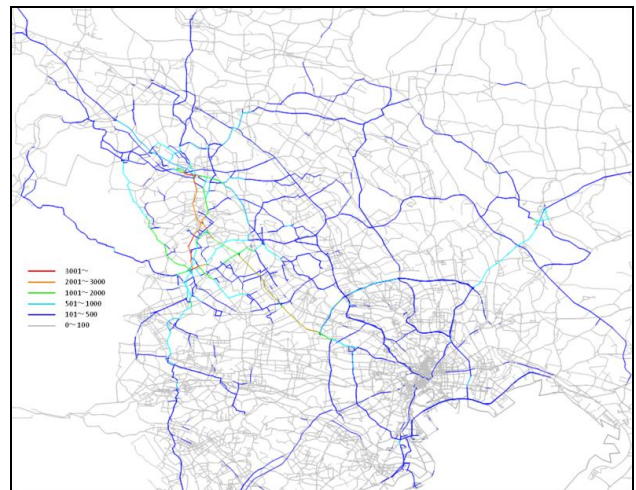


図-2 サンプル数色分けマップ

表-1 基本統計量

	最小値	中央値	平均値	最大値	標準偏差
変動係数	0.06	0.20	0.25	0.84	0.16
タイル変動係数	0.90	0.27	0.40	2.10	0.34
リンク長(m)	15.0	225.5	342.0	456.8	329.3
車線数(0:一車線,1:二車線)	0	1	0.55	1	0.87
信号タミ(0:無,1:有,2:右折レーン有)	0	1	0.90	2	0.87
平均速度(km/h)	13.51	40.43	39.67	61.86	10.44

- ・速度が遅すぎて、旅行時間が大きすぎるデータ
⇒まず 30 分=1,800 秒以上のデータは無条件に取り除く。いくら渋滞していても 30 分以上一つのリンクに存在するのは考えにくい。その後、旅行時間で 95% タイル値以上のデータを取り除いた。

(2) 説明変数・被説明変数の設定

被説明変数である旅行時間信頼性指標には、A. 速度の変動係数=(平均速度の標準偏差 / 平均速度) (以下、変動係数と記す)と B. (平均速度の 95%と 50%タイル値の差 / 平均速度) (以下、タイル変動係数と記す)の 2 つを用いる。

説明変数については、リンク長、車線数、右折レーンや信号の有無、そして平均速度あるいは(自由走行速度(リンク長を走行時間の 10%タイル値で除した値=速度の 90%タイル値)/平均速度、以下、速度比と記す⁸⁾)を用いる。説明変数に平均速度を用いる場合を case 1、速度比を用いる場合を case 2 とし、推定を行う。

これらの基本統計量を表-1 に示す。

(3) 分析

非線形関係を表現するノンパラメトリック回帰手法である一般化加法モデル (GAM) ¹⁰⁾、および重回帰分析を行う。はじめに、一般化加法モデルで推定を行い、その関数の形状を踏まえて重回帰分析を行う。そしてそれ

らの結果から変動の規定要因について考察を行う。なお、連続量については対数を用いた方が精度が高かったため、以下ではその結果のみを示す。

4. 分析結果

結果を表—2~5 および図—3, 4 に示す。

(1) 被説明変数：変動係数

まず、車線数と右折レーン有りにおいては、2つの case で有意な結果となり、符号はどちらも変動に対して + という結果になった。車線数が多い方が交通が流れるはずであり、また、右折レーンがある方が、ない方に比べてスムーズに流れるはずなのに、逆の結果である。これは、信号サイクル長の代理変数になっている可能性があると考えている。またリンク長と信号有りでは case1 では有意な結果になったが、case2 では有意にならなかったため、影響を及ぼしているかどうかは断言できない。

平均速度や自由走行速度については、GAM の推定結果より 2 次関数で近似表現することが適切と判断されたため 2 次の項まで説明変数に含めている。変動係数が最大となるのは、平均速度が $18.3 \div 18 \text{km/h}$ で、自由走行速度の $1.98 \div 2$ 倍と推定された。

(2) 被説明変数：タイム変動係数

こちらではリンク長が有意な結果となり、符号は - である。リンク長が短い方がばらつきも小さくすると予想していたが、これに反する結果になった。車線数においては、影響を与えていると推定されたが、2つの case で符号が逆になっているため、指標 A と同様に断定できない。右折レーン有りについても、case1 では有意だが、case2 では有意ではなく、(1)とは異なる結果になった。

平均速度や自由走行速度については、変動係数同様、2 次関数で表現された。平均速度が $12.1 \div 12 \text{km/h}$ で、自由走行速度の $2.88 \div 3$ 倍の時に変動係数が最大になると推定された。

5. 結論

以上、本研究では平均速度が約 $12 \sim 18 \text{km/h}$ のとき、また平均速度が自由走行速度の約 $2 \sim 3$ 倍のときに、変動係数が最大になることを示した。

今後の課題を以下に列挙する。

・サンプル数(リンク数)

今回はサンプル数 300 としたが、さらにサンプル数を増やし、精度の高い分析を目指していく必要がある。また、違うエリアや異なる環境の道路でも分析を行うことで、場所による異なる傾向や、道路構造による違いなどが得られるかもしれない。

- ・自由走行速度の定義の妥当性
10%タイム値を用いることは適切かどうかを検証する必要がある。
- ・信号のサイクル長、リンクを出る時に直進したのか、曲がったのかなど、今回考慮できなかった変数の考慮
信号が赤から青に変わる時間や、右折車のために矢印が表示されるのかどうかといった情報がないので、それを考慮して分析をする必要がある。今回、右折レーンになる方が、ない方より信頼性が低いという結果になったが、これを考慮すれば異なる結果が出る可能性がある。また右折で待っていたりしたデータが混ざったままだとその分平均速度が遅くなるので、リンクによって偏りが生じている可能性がある。

参考文献

- 1) 福田・Fosgerau 「道路交通における旅行時間分布特性の統計解析：時間信頼性の経済評価に向けて」、土木計画学研究・講演集、第 37 巻、CD-ROM, 2008.
- 2) 高橋・福田 「選好意識調査と統合モデルに基づく旅行時間変動価値の推計の試み」、土木計画学研究・講演集、第 41 巻、CD-ROM, 2010.
- 3) 橋本・門間・上坂・前川 「時間信頼性指標を用いた全国の交通円滑性評価」、土木計画学研究・講演集、第 43 巻、CD-ROM, 2011.
- 4) 関谷・上坂・門間・橋本・中西 「プローブカーデータを用いた複数経路からなる OD 間の旅行時間変動」、土木計画学研究・講演集、第 43 巻、CD-ROM, 2011.
- 5) 原田・中村・田名部・上坂 「旅行時間データの取得方法の違いによる時間信頼性指標の差異に関する事例分析」、土木計画学研究・講演集、第 43 巻、CD-ROM, 2011.
- 6) 上坂・橋本・吉岡・中西・朝倉 「AVI データを用いた一般道における時間信頼性指標の算出方法」、土木計画学研究・講演集、第 41 巻、CD-ROM, 2010.
- 7) 野間・奥谷・橋本 「道路ネットワークの評価における時間信頼性指標の適用に関する研究」、土木計画学研究・講演集、第 37 巻、CD-ROM, 2008.
- 8) Peer, S., Koopmans, C. C., and Verhoef, E. T.: Predicting Travel Time Variability for Cost-Benefit Analysis, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 46, pp. 79-90, 2011.
- 9) Department for Transport, United Kingdom (UK DfT): Forecasting travel time variability in urban areas, Technical Report, 2007.
- 10) Hastie, T. and Tibshirani, R.: *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall, London, UK. 1991.
- 11) 井坪・絹田・中嶋・牧村：「旅行速度把握を目的としたプローブカー調査に関する諸課題」、土木計画学研究・講演集、第 32 巻、CD-ROM, 2005.

表-2 一般化加法モデル(被説明変数: log(変動係数))

	case1		case2	
	推定値	t値	推定値	t値
切片	-1.91	-44.79	-1.68	-99.62
車線数	0.35	6.59	0.07	4.08
信号有	0.14	2.34	0.02	1.05
信号+右折レーン	0.21	3.86	0.05	2.46
	F	p-value	F	p-value
s(log(リンク長))	7.09	0.00	9.81	0.00
s(log(平均速度))	62.02	<2e-16		
s(log(速度比))			794.68	<2e-16
決定係数	0.77		0.97	
AIC	155.00		-360.66	

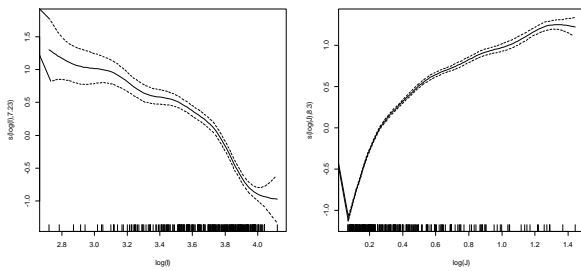
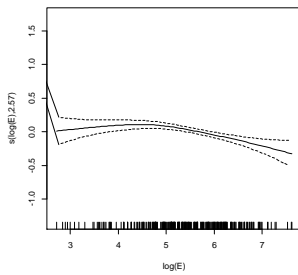


図-3 一般化加法モデルにおける
ノンパラメトリックカーブ
(上: リンク長, 左: log(平均速度), 右: log(速度比))

表-3 重回帰分析(被説明変数: log(変動係数))

	case1		case2	
	推定値	t値	推定値	t値
切片	-14.31	-6.30	-3.13	-15.94
log(リンク長)	0.37	2.11	0.05	0.67
log(リンク長)^2	-0.05	-2.72	-0.01	-1.25
車線数	0.31	5.60	0.05	2.16
信号有	0.13	2.12	0.04	1.67
信号+右折レーン	0.22	3.99	0.08	3.46
log(平均速度)	8.83	6.97		
log(平均速度)^2	-1.52	-8.33		
log(速度比)			7.56	36.56
log(速度比)^2			-5.52	-20.59
決定係数	0.76		0.95	
AIC	176.33		-276.99	
最大となる平均速度/速度比	18.3		1.98	

表-4 一般化加法モデル(被説明変数: log(マイル変動係数))

	case1		case2	
	推定値	t値	推定値	t値
切片	-1.36	-30.83	-1.14	-42.62
車線数	0.22	3.84	-0.11	-3.45
信号有	0.06	0.95	0.00	0.12
信号+右折レーン	0.10	1.74	-0.01	-0.26
	F	p-value	F	p-value
s(log(リンク長))	1.83	0.08	3.84	0.00
s(log(平均速度))	70.04	<2e-16		
s(log(速度比))			343.53	<2e-16
決定係数	0.80		0.93	
AIC	172.85		-111.93	

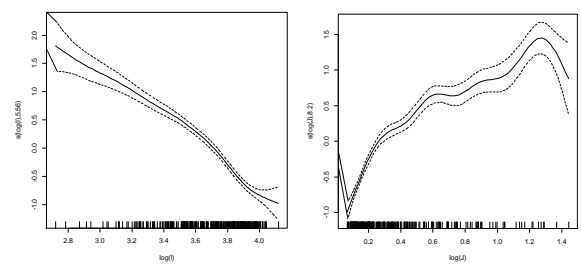
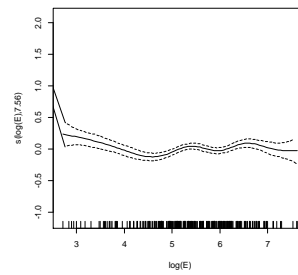


図-4 一般化加法モデルにおける
ノンパラメトリックカーブ
(上: リンク長, 左: log(平均速度), 右: log(速度比))

表-5 重回帰分析(被説明変数: log(マイル変動係数))

	case1		case2	
	推定値	t値	推定値	t値
切片	-6.18	-2.81	-1.83	-6.43
log(リンク長)	-0.06	-2.50	-0.24	-2.13
(log(リンク長))^2			0.02	2.08
車線数	0.21	3.78	-0.13	-4.01
信号有	0.08	1.26	0.03	0.90
信号+右折レーン	0.12	2.12	0.04	1.05
log(平均速度)	5.29	4.13		
log(平均速度)^2	-1.06	-5.73		
log(速度比)			5.95	19.81
log(速度比)^2			-2.81	-7.21
決定係数	0.78		0.92	
AIC	185.68		-72.08	
最大となる平均速度/速度比	12.1		2.88	