

## プローブカーを利用した 交通量推定技術の検討

蛭田智昭<sup>†</sup> 奥出真理子<sup>†</sup>

道路の交通量を低コストかつリアルタイムに把握する手段として、プローブカーが注目されている。本発表では、プローブデータを利用して、道路の交通量を推定する技術を検討した。その結果、代表道路の交通量調査を実施することで、交通量を RMSE0.3 以下で推定できることを確認した。

### Study of Traffic Volume Estimation using Probe Car

Tomoaki HIRUTA<sup>†</sup> and Mariko OKUDE<sup>†</sup>

Probe cars are very effective way to collect traffic information without road side vehicle detector. In this paper, we develop traffic volume estimation using probe car. And we show that its accuracy is below RMSE 0.3 with some measurement of traffic volume.

### 1. はじめに

世界の人口が増加し、さらに都市化が進んでいる。図 1 に示すように、2020 年には、新興国の都市人口と農村人口が逆転し、2050 年には、全人口の 69% が都市に居住するようになると予測されている 1)。このように新興国を中心に都市への人口集中が起きることで、交通渋滞問題や環境へ悪影響が懸念される。このため、移動時間・消費エネルギーを低減する新しい都市交通マネジメントシステムが望まれている。

このシステムは、都市部の道路の交通量を常時把握する必要がある。これまで、日本では道路交通センサ調査を実施してきた 2)。これは、将来における道路交通計画を策定するための基礎データとして、5 年毎に全国一斉に交通状況を調査するものである。調査内容は、道路上の調査地点を通過する車の台数、道路を走行する自動車の平均速度である。しかしこの調査には、情報のリアルタイム性と調査コストに課題がある。交通量は、日々変化するものであるから、5 年間に 1 度の調査では不十分である。また、大部分の区間の交通量を人手で計測しているためコストがかかる。そこで、リアルタイムかつ低コストに交通状況を把握できるプローブ交通情報に注目した。

プローブ交通情報は、車両の位置情報を専用の車載端末で無線通信するプローブカーを使って、交通情報（平均速度や旅行時間）を生成する 3)。交通インフラを設置する必要がなく、低コストに構築できるため、新興国の都市部に導入することで、交通渋滞の解消が期待されている。

しかし、プローブ交通情報は、プローブカーの走行した道路の交通情報を生成するのであって、道路上に存在する車両の台数を直接計測することはできない。

よって本報告は、プローブ交通情報を使って、道路の交通量を推定する技術（交通量推定技術）を検討する。プローブ交通情報の課題は、プローブカーの走行エリアに偏りがあるため、すべての道路、時間帯の交通情報データを収集できないことである。この課題は、プローブデータの推定補完技術 4) と、統計交通情報技術 5) とを組み合わせることで解決できる。これらの技術と、本報告の交通量推定技術を組み合わせることで、図 2 のように、推定交通量の時間カバレッジとエリアカバレッジを拡大させることができる。

<sup>†</sup> (株)日立製作所 日立研究所  
Hitachi Research Lab., Hitachi Ltd.

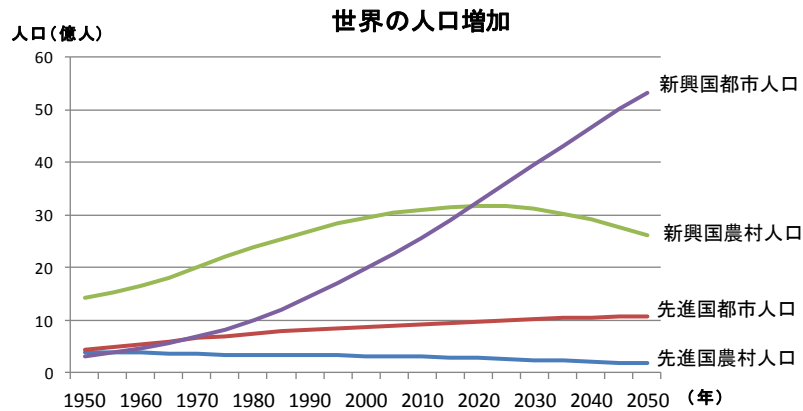


図 1 世界の人口増加

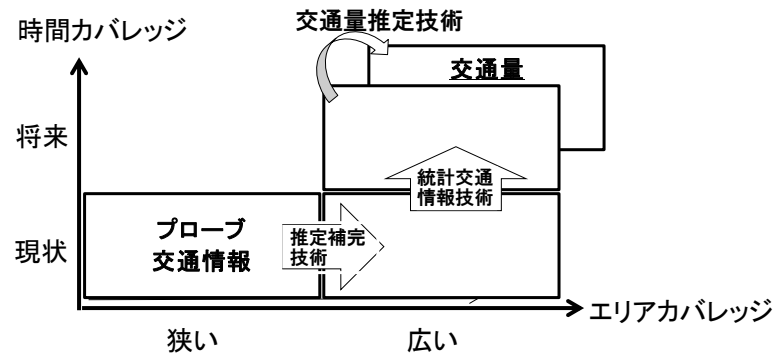


図 2 交通量推定技術の狭い

## 2. 交通量推定技術

ある道路区間の交通量  $Q$  (単位: 台/h) と平均速度  $v$  (単位: km/h) の関係は(式 1)で表せる。

$$Q = kv \quad (\text{式 1})$$

交通密度  $k$  (単位: 台/km) は、道路の単位距離内である瞬間に存在する車両の台数である。本報告では、平均速度  $v$  には、プローブ交通情報から得た平均速度を使用する。交通密度  $k$  は、衛星写真などの手段で測定することで得られる。しかし、データの入手が難しい。

そこで本報告では、平均速度  $v$  と交通密度  $k$  の関係式に、(式 2)に示すアンダーウッドのモデル式を使い、平均速度  $v$  のみから交通量  $Q$  を推定することを考える 6)。

$$v = v_f \exp\left(-\frac{k}{k_0}\right) \quad (\text{式 2})$$

アンダーウッドのモデルのパラメータは、自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_0$  である。自由速度  $v_f$  は、交通密度が 0 のときの速度である。臨界密度  $k_0$  は、交通量が最大となるときの交通密度で、日本では車線あたり 40~60 台/km である 7)。さらに、平均速度  $v$  から交通量  $Q$  を求める式を、(式 1)と(式 2)から以下のように導出する。ここで対数の底は自然対数である。

$$Q = k_0 v (k_0 \log(v_f) - \log(v)) \quad (\text{式 3})$$

(式 3)は、2つのパラメータ (自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_0$ ) に依存するが、これを正確に設定するためには、道路毎に定点観測しなければならず、コストがかかる。そこで、地図情報、プローブ交通情報でパラメータを推定できれば、低コストで交通量を求めることができると考えた。

## 3. パラメータ推定方法

### 3.1 感度分析

(式 3)のパラメータである自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_0$  を感度分析して、影響の大きいパラメータを調査する。

パラメータを推定するフローを図 3 に示す。図 3 では、プローブ統計交通情報の平均速度から(式 3)で推定した交通量と、道路交通センサスの一般交通量 (真値) を比較して、誤差最小になるようにパラメータを推定する。道路交通センサスの一般交通量は、上り・下り方向別に、5年に1回のある1日の1時間毎の交通量を記録したデータである。プローブ統計交通情報は、蓄積したプローブ交通情報を統計処理したデータである。さらに、道路交通センサスの調査区間 ID と、プローブ統計交通情報の道路リンク ID の対応テーブルを作成する。このテーブルを使って両方のデータを比較できる。

感度分析は、始めに道路交通センサスとプローブ統計交通情報を使って、(式 3)のモデルのパラメータ (自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_0$ ) を推定する。次に、各パラメータを-30%

から+30%まで変化させたときの交通量の変化率を計算する。このとき一方のパラメータは固定している。

感度分析を実施した区間は、国道 246 号線の全長 2.1km の 1 区間である。また、道路交通センサスの交通量データは、平成 17 年度に収集された一般交通量データを使用する。一般交通量は、調査員により手作業で計測された。プローブデータは、2010 年 9 月 1 日から 3 ヶ月間、平日の時間帯のデータを使用する。道路交通センサスの時期とプローブデータの時期が異なるが、ここでは交通量に差がないとして扱う。

感度分析の結果を図 4 に示す。横軸はパラメータの変化率、縦軸は交通量の変化率を示している。自由速度  $v_f$  は、臨界密度  $k_0$  と比較して、交通量を大きく変化させるパラメータであることが分かった。感度の傾きを調べると、自由速度  $v_f$  は臨界密度  $k_0$  の 7.5 倍感度が高い。さらに、パラメータをそれぞれ+30%変化させたときの推定交通量の時系列データを図 5 に示す。横軸は時刻 0:00~24:00、縦軸は交通量を表している。臨界密度+30%の場合は、交通量の多い時間帯でやや高めに交通量を推定している。一方、自由速度+30%の場合は、全時間帯で交通量を高めに推定する傾向にあり、推定精度が悪いという結果になった。以上の分析結果から、自由速度  $v_f$  の推定精度が、交通量の推定精度に大きく影響することがわかった。

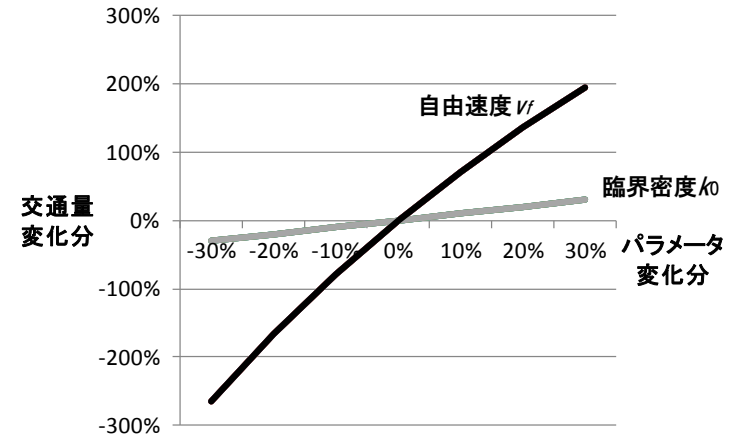


図 4 感度調査結果

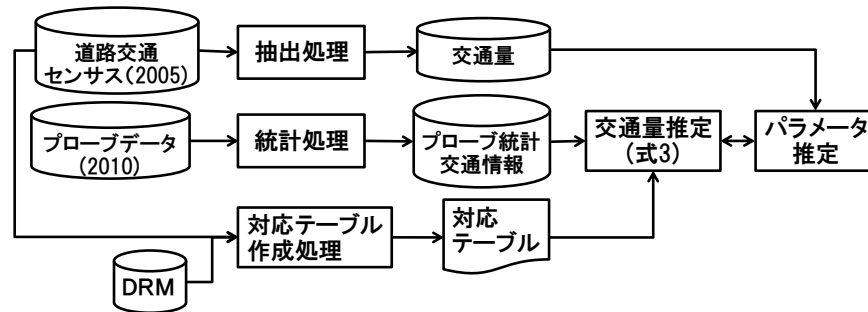


図 3 パラメータ推定フロー

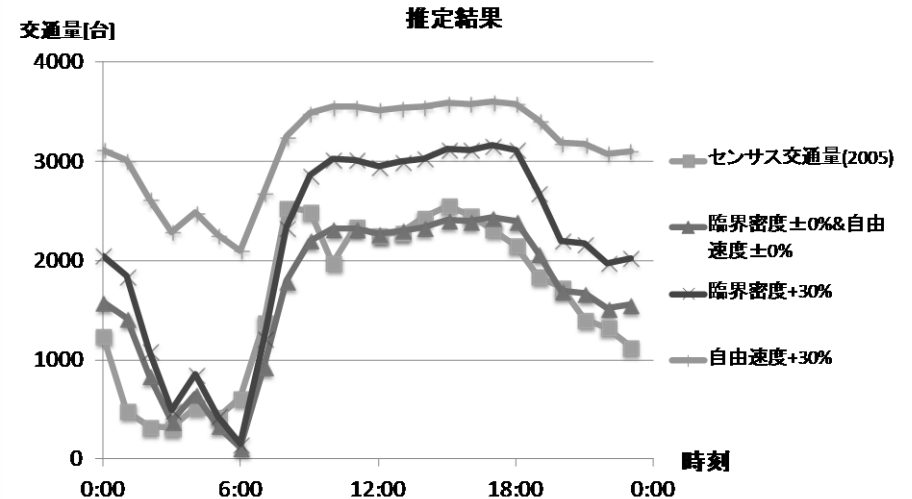


図 5 交通量推定結果

### 3.2 パラメータの設定方法

(式 3)のパラメータ推定の方法を、データの取得の難しさと精度のバランスで決める。

最も精度の高い推定方法は、全ての道路を定点観測することであるが、データの取得が難しいため現実的でない。そこで本節では、パラメータ（自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_0$ ）の推定方法を分類し、次節でそれぞれの精度を調べる。

自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_0$  の推定方法を表 1 に分類する。縦軸の自由速度  $v_f$  の推定方法を V0 から V3、横軸の臨界密度  $k_0$  の推定方法を K0 から K2 に分類する。この 2 つの推定方法を組合せて、パラメータを設定する。以下、推定方法の組み合わせを (Vi, Kj) と表現する。右上 (V3, K2) ほど、データの入手が容易になる。V0、V1、K0、K1 は、定点観測した交通量を教示データとして使用する。

自由速度  $v_f$  の推定方法 V0、V1 は、全区間で定点観測による交通量調査が必要である。V1 は、数本の代表区間で交通量調査を行い、パラメータを推定する。その後、その他の区間に代表区間のパラメータを適用する方法である。このため、V0 よりも交通量調査の回数を少なくできる。また、V2 はプローブデータを統計処理して、パラメータを推定する方法である。自由速度  $v_f$  は、交通量が 0 のときの速度であるため、実際に計測することができない。しかし、実績のあるプローブデータの平均速度の最大値は、自由速度  $v_f$  に近いと仮定する。V3 は、区間の規制速度を使ってパラメータを推定する方法である。この方法は、交通量調査やプローブデータを必要としないため、データを容易に入手できる。

臨界密度  $k_0$  の推定方法 K0、K1 は、V0、V1 と同様に交通量調査が必要である。K1 は、V1 と同様に代表区間のパラメータを推定して、他の道路に適用する方法である。K2 は、日本での経験値 (40 台/車線・km) を採用する方法である。この方法は、交通量調査を必要としないため、データの入手が容易である。

表 1 パラメータ設定方法分類

自由速度 $v_f$	V3:規制速度			
	V2:プローブ統計値			入手容易
	V1:交通量調査(代表道路)			
	V0:交通量調査(全道路)			
		K0:交通量調査(全道路)	K1:交通量調査(代表道路)	K2:経験値
		臨界密度 $k_0$		

### 3.3 精度評価

#### (1) 評価手順

表 1 のパラメータの推定方法の組み合わせ毎に、推定交通量の精度を評価する。真値は、道路センサスの一般交通量とする。またプローブカーは、東京都内を走行する

タクシーを使用する。精度の評価指標は RMSE とする。

評価区間を表 2 に示す。評価区間は、上り・下りの 2 方向で定義されている。道路種別は、道路交通センサスで定義されたもので、高速道(2)、一般国道(3)、主要地方道(4)、一般都道府県道(6)である。パラメータ推定方法 V1、K1 の代表区間は、道路種別毎に設定する。同じ道路種別のパラメータは、近い値をとると仮定しているためである。代表区間は、表 2 の代表のカラムに”○” が付いている区間の上り方向とする。なお、代表区間は評価対象外とする。

評価の時間帯は、交通量の多い 7 時から 18 時までとする。これは、一般都道府県道の道路交通センサスの一般交通量の調査時間帯と一致する。

表 2 評価区間

道路種別	路線名	区間 ID	区間長(km)	代表
高速道(2)	高速2号目黒線	507	5.7	○
	高速3号渋谷線	508	11.6	
一般国道(3)	一般国道246号	1111	2.1	○
	一般国道246号	1112	2.5	
	一般国道246号	1113	1.1	
	一般国道246号	1114	2.2	
	一般国道246号	1115	1.1	
	一般国道246号	1116	3.3	
主要地方道(4)	環状7号線	4105	4.7	○
	環状7号線	4106	1.7	
	環状7号線	4107	2.4	
	環状7号線	4108	2.9	
一般都道府県道(6)	東京都道416号	6026	2.8	○
	東京都道416号	6027	3.8	
	東京都道420号	6030	3.2	
	東京都道420号	6031	2.5	

#### (2) 評価結果

高速道(2)の評価結果を表 3、一般国道(3)の評価結果を表 4、主要地方道(4)の評価結果を表 5、一般都道府県道(6)の評価結果を表 6、全区間の評価結果を表 7 に示す。

さらに一般国道(3)の区間 1111 下りの推定結果 ((V0,K0)、(V1,K1) のみ) を図 6 に示す。横軸は時刻、縦軸は交通量を表している。

表 3 高速道の評価結果

V3	0.83	0.78	0.72
V2	0.49	0.48	0.34
V1	0.37	0.31	0.51
V0	0.15	0.31	0.44
	K0	K1	K2

表 4 一般国道の評価結果

V3	0.87	1.07	0.77
V2	0.33	0.36	0.37
V1	0.33	0.29	0.23
V0	0.14	0.51	0.37
	K0	K1	K2

表 5 主要地方道の評価結果

V3	0.27	0.33	0.45
V2	0.17	0.35	0.38
V1	0.24	0.30	0.41
V0	0.19	0.42	0.45
	K0	K1	K2

表 6 一般都道府県道の評価結果

V3	0.35	0.49	0.22
V2	0.24	0.45	0.31
V1	0.29	0.30	0.43
V0	0.22	0.32	0.41
	K0	K1	K2

表 7 全区間の評価結果

V3	0.51	0.62	0.48
V2	0.25	0.34	0.31
V1	0.26	0.26	0.31
V0	0.15	0.36	0.35
	K0	K1	K2

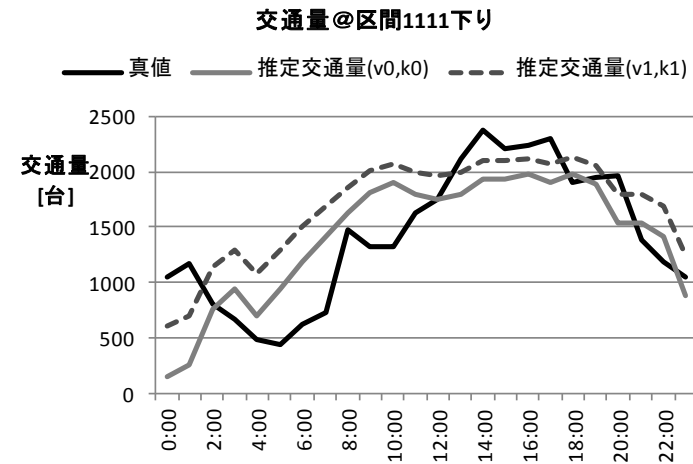


図 6 区間 1111 の推定交通量

### (3) 考察

(V0、K0) は、最も精度の高い推定方法であり、この精度はモデルの理論的限界値である。この手法は、全区間の交通量調査結果を使ってパラメータを推定するため、データの入手が最も困難であり、現実的な手法ではない。このため自由速度  $v_f$  は V1 ~ V3、臨界密度  $k_0$  は K1、K2 でパラメータを推定する必要がある。

この条件を満たす高精度な推定方法は、(V1、K1) で、RMSE0.26 であった。(V1、K1) は、交通量調査した代表区間のパラメータを他の区間に適用する手法である。しかし、同一の道路種別のパラメータ (自由速度  $v_f$ ・臨界密度  $k_0$ ) がばらつくときは、(V1、K1) の推定交通量の精度は悪くなる。パラメータのばらつきを確かめるために、(V0、K0) で推定した各評価区間の自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_0$  を図 7 に示す。横軸は臨界密度  $k_0$ 、縦軸は自由速度  $v_f$  を表している。

図 7 を見ると、高速道(2)のパラメータは、区間 508 上り方向を除きばらつきが少ない。この区間は、他の区間と比較して、プローブ統計交通情報のサンプル数が少ないため、パラメータ推定の信頼度が低いと考えられる。

一般国道(3)、主要地方道(4)、一般都道府県道(6)は、(V1、K1) で RMSE0.30 以下を達成した。図 13 に示すように、重要なパラメータである自由速度のばらつきが小さいため、代表区間のパラメータを他の区間に適用できたことが要因である。しかし、臨界密度  $k_0$  のばらつきは大きい。推定交通量の精度をさらに向上させるためには、臨界密度  $k_0$  のばらつきを抑える必要がある。このためには、道路種別に加えて、パラメータを共通化するための区間の分類方法を検討する必要がある。

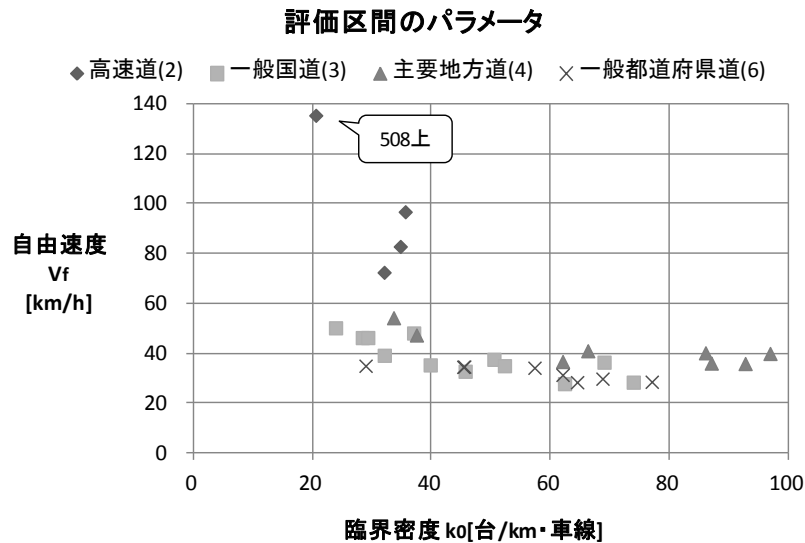


図 7 パラメータの分布

#### 4. 結言

本報告では、プローブ交通情報を使った交通量推定技術を検討した。道路の平均速度と交通密度の関係は、アンダーウッドのモデルを使用した。このモデルのパラメータは、自由速度  $v_f$  と臨界密度  $k_o$  である。始めにパラメータの感度分析をした結果、自由速度  $v_f$  は、臨界密度  $k_o$  よりも 7.5 倍感度が高いことが分かった。さらに、パラメータを推定する方法として、代表区間のみ交通量調査を実施して推定パラメータを共通化する手法を検討した。その結果、RMSE0.3 以下で交通量を推定することができた。さらに、各パラメータのばらつきを求めた結果、臨界密度  $k_o$  がばらつくことが分かった。

推定交通量の精度を向上させるためには、道路種別に加えて、より細かく道路を分類する方法を検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) United Nations:World Urbanization Prospects: The 2007 Revision Population Database, <http://esa.un.org/unup/>.
- 2) 国道交通省：平成 22 年度道路交通センサス, <http://www.mlit.go.jp/road/h22census/>.

- 3) 伏木匠, 横田孝義, 君田 和也, 熊谷 正俊：交通情報提供の更新周期を考慮したプローブカー台数算出モデルの定式化とその評価, 電気学会論文誌, Vol.126-D, No. 7, pp.741-747, 2006.
- 4) Kumagai, et al.:Spatial Interpolation of Real-Time Floating Car Data Based on Multiple Link Correlation in Feature Space, Proc. of 13th World Congress on ITS London,2006.
- 5) Kumagai, et al.: Interpolation and Forecast Application of Floating Car Data Based on Principal Component Analysis, Proc. of 12th ITS World Congress, 2005.
- 6) R.T.Underwood:Speed,Volume and Density Relationships,Quality and Theory of Traffic Flow,1961.
- 7) 佐々木綱, :交通工学, 国民科学社