

## ビーコン情報を用いた交通需要推計に関する研究

### Traffic Demand Estimation from Beacon Information

麦倉 武志 NTT  
桑原 雅夫 東京大学生産技術研究所第5部助教授  
新倉 聡 神奈川県警察本部交通管制課  
織田 利彦 松下通信工業(株)情報システム事業部

#### 1. はじめに

一般街路には光ビーコンが設置されてきており、交通量、オキュパンシーなどを計測できる感知機能に加え、路車間の双方向通信機能も備えている。双方向通信により車載器を搭載している個別の車両の動きを把握することができるので、車載車両の旅行時間情報、経路情報、車種情報等の高度な情報が収集可能である。

本研究では、光ビーコンの特徴についてまとめた後に、光ビーコンの情報を用いて、交通需要を推計する方法を提案し、その推定精度について考察する。対象とする交通需要とは、交差点における方向別交通流、ネットワークにおけるOD交通量、経路交通量である。また、推計方法を横浜地区のビーコン情報に適用し、実用化への課題を整理する。

#### 2. ビーコンの特徴

##### 2.1 ビーコンの機能

光ビーコンは光学式車両感知器とも呼ばれ、赤外線を用いて、車両を感知する装置である。光ビーコンは、感知機能と双方向通信機能の2つの機能を合わせ持つ。感知機能は、既存の感知器と同様に車両の存在を感知する機能である。この機能により、ビーコンの下を通過する交通量、オキュパンシー等の情報を収集することができる。

双方向通信機能は、ビーコンと車両との路車間でデータを双方向に交信する機能である。この機能により、車載装置を搭載した車両から、車両ID番号、前通過地点ビーコンID番号、リンク旅行時間、車種等車両ID情報を収集することができる。

##### 2.2 ビーコンの設置地点

ビーコンは図-1に示すように、リンクの上流端(交差点の出口側)に全ての車線をカバーするように設置されている。これは、リンク旅行時間算出という情報収集装置としての役割から各リンクごとに設置することが目標にされていることと、ビーコンのダウンリンク提供情報が与えられてから、交差点での右左折・直進の経路選択をするまでドライバーに余裕を持たせるといった情報提供の役割から、リンク上流端になったという経緯がある。

## 2.3 路車間通信システム

双方向通信機能により収集される車両ID情報の、路車間の情報の流れを図-2に示す。1トリップにおいては以下に示したような流れになる。

- (1) トリップ開始時(エンジン始動時)には車載装置においてそのタイミングで初期車両ID番号がランダムに発生する。
- (2) 初回通過するビーコンでは、その初期ID番号を送信し、そのビーコンの地点番号を含んだ新たな車両ID番号、およびそのビーコンの地点番号を受信する。
- (3) 次から通過するビーコンでは、車両ID番号、前通過ビーコンID、旅行時間情報、車種等の情報を送信し、ビーコンIDを受信するという操作を繰り返す。
- (4) トリップ終了時(エンジン停止)に、その車両ID番号は車載装置から消去される。
- (5) 次のトリップ開始時に再び違う初期車両IDがランダムに発生する。

このシステムの下では車両ID番号により通過経路を特定することができるが、その車両が一体誰が所有している車両であるのかはわからないので、プライバシーは守られる仕組みである。

## 3. 交通需要推計の方法

### 3.1 はじめに

本研究で提案する手法は、多くの交通需要のうち特定の需要に限定するものではないが、ここでは、1交差点における方向別交通量、OD交通量、経路交通量を例にとって説明を行う。

また次のような仮定をおく：

- (1) 双方向通信機能による車両ID情報や、感知機能による交通量情報に計測エラーはないものとする。
- (2) 交通量の変動は考慮しない。すなわち、観測した期間における交通需要を推定するのであって、確率的に変動する交通需要の期待値を求めようとするものではない。

### 3.2 一交差点の方向別交通量の推定

リンク  $a$  からリンク  $b$  に流れる交通量  $X_{ab}$  を推定する。車載機を搭載した車両については、各ビーコンを通過したかどうかがわかるので、リンク  $a$  にあるビーコンとリンク  $b$  にあるビーコンの両方を通過した車両 ( $Y_{ab}$ ) を知ることができる。従って、 $X_{ab}$  は  $Y_{ab}$  を次のように拡大することで推定できる：

$$\hat{X}_{ab} = Y_{ab} \cdot \frac{X_b}{Y_b} \quad (1)$$

$\hat{X}_{ab}$  : リンク  $a$  からリンク  $b$  に至る台数の推定値

$X_b$  : ビーコン  $b$  の通過台数

$Y_{ab}$  : リンク  $a$  からリンク  $b$  に流れる車載機搭載車の台数

$$Y_b : \sum_a Y_{ab}$$

ここで、観測量  $Y_{ab}$  は  $Y_b$  台の車両のうちリンク  $a$  から来た車両であるから、 $p_{ab}$  リンク  $b$  を通過する車両のうち、リンク  $a$  から流入する車の割合でとすると、二項分布  $B_i(Y_b, p_{ab})$  に従う。ただし、よって、 $\hat{X}_{ab}$  の標準偏差の推定値は、

$$\sqrt{\text{Var}[\hat{X}_{ab}]} = X_b \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}_{ab}(1-\hat{p}_{ab})}{Y_b}} \quad (2)$$

となる。ただし、 $\hat{p}_{ab}$  は  $p_{ab}$  の推定値で、

$$p_{ab} \approx \hat{p}_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_b} \quad (3)$$

とおく。従って、標準偏差の  $\hat{X}_{ab}$  に対する割合をある値以下に納めたい場合には、観測時間を長くして観測台数  $Y_b$  を増やす必要がある。

### 3.3 OD交通量、経路交通量の推定

以上のように、需要推定の基本的な考え方は、車載器を搭載している車両の需要パターンを全通過交通量を用いて拡大するというものである。従って、他の交通需要を推定する場合は、式(1)における  $\hat{X}_{ab}$ 、 $Y_{ab}$  を、それぞれ推定したい該当交通に置き換えるという操作を行なう。

#### (1) OD交通量の推定

リンク  $o$  からリンク  $d$  へのOD交通量を推定しよう。図-3で、起点リンクが  $o$  の車載機搭載車について、リンク  $d$  におけるフロー保存則を立てると、

$$Y^{od} = Y_d^o - \sum_{b'} Y_{db'}^o \quad (4)$$

$Y^{od}$  : 起点リンクが  $o$ 、終点リンクが  $d$  の車載機搭載車の観測台数

$Y_d^o$  : リンク  $o$  から発生して、リンク  $d$  を通過する車載機搭載車の台数

$Y_{db'}^o$  : リンク  $o$  から発生して、リンク  $d, b$  を通過する車載機搭載車の台数

よって、OD交通量の推定値  $\hat{X}^{od}$  は、式(1)と同様に、

$$\hat{X}^{od} = Y^{od} \cdot \frac{X_d}{Y_d} = X_d \cdot \hat{p}^{od} = X_d \cdot \frac{Y_d^o - \sum_{b'} Y_{db'}^o}{Y_d} \quad (5)$$

$\hat{p}^{od}$  : 起点がリンク  $o$  で、終点がリンク  $d$  である車載機搭載車の割合の観測値

となる。また、推定値の標準偏差は、

$$\sqrt{\text{Var}[\hat{X}^{od}]} = X_d \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}^{od}(1-\hat{p}^{od})}{Y_d}} \quad (6)$$

#### (2) 経路別交通量の推定

リンク  $o-d$  間で経路  $k$  を通過するような交通  $X_k^{od}$  を推定する。推定値は同様に、

$$\hat{X}_k^{od} = Y_k^{od} \cdot \frac{X_d}{Y_d} = X_d \cdot \hat{p}_k^{od} \quad (7)$$

$\hat{X}_k^{od}$  : リンク  $o-d$  間で経路  $k$  を通過する交通量の推定値  
 $\hat{p}_k^{od}$  : リンク  $o-d$  間で経路  $k$  を通過する車載機搭載車の割合の観測値  
 $Y_k^{od}$  : リンク  $o-d$  間で経路  $k$  を通過する車載機搭載車の交通量の観測値  
推定値の標準偏差は、

$$\sqrt{\text{Var}[\hat{X}_k^{od}]} = X_d \cdot \sqrt{\frac{\hat{p}_k^{od}(1-\hat{p}_k^{od})}{Y_d}} \quad (8)$$

となる。

#### 4. 交通需要推計方法の適用実験

##### 4.1 対象データ

適用実験に用いた、日時、場所、使用データはそれぞれ以下の通りである。

日時 1996年11月1日～11月30日

場所 横浜地区

使用データ 車両ID情報（ビーコン情報）

断面交通量（従来感知器情報）

本稿ではビーコン情報のみを用いて交通需要を推定する理論を提案したため、ビーコンの双方向通信機能による車両ID情報と感知機能による車両感知情報を用いて適用すべきある。しかしながら、現在ビーコンの感知情報はデータ蓄積が行われていないため、代わりにビーコンにできるだけ近い地点の従来型車両感知器データで代用する。

##### 4.2 車載機搭載率の分析

現在の車載装置の普及状況、地点による車載機搭載率のばらつきを確認するため、横浜地区における車載機搭載率の分布を求めてみた。ここでは、横浜地区のビーコン307地点の中から、ビーコン設置位置の近傍に従来車両感知器が存在する113地点に限定し、平日・休日共に含めた1996年11月の1ヶ月間に通過した車載機搭載車の台数と総通過台数とから、その比である車載機搭載率を算出した。1ビーコン当たりの車載機搭載率の平均、及び標準偏差、平均断面交通量はそれぞれ、

平均 ( $\bar{a}$ ) = 0.00134

標準偏差 = 0.00038

平均断面交通量 ( $\bar{X}$ ) = 585611 (台)

となった。現在のところ車載率は0.1%程度と非常に低い。

もしも対象地域全体で車載率が同様であれば、車載率の観測値の標準偏差は、

$$\sqrt{Var[\hat{a}]} \approx \sqrt{\frac{\bar{a}(1-\bar{a})}{X_b}} = 0.000048 \quad (9)$$

となるはずである。ところが、式(9)と比較すると、実際の標準偏差は非常に大きい。これより、車種によって車載率がかなり異なり、移動のパターンも車種によって違うので、地点によって車載率が大きく異なることが考えられる。さらに、感知器情報と双方向通信情報の双方とも、ある程度の誤差を含んでいるために、車載率を正しく計測できていない可能性がある。

#### 4.3 方向別交通量の推定

##### (1) 対象地点

図-4 に示すように、浜松町交差点における3方向の交通量を推定する。

##### (2) 集計方法

平日についてそれぞれ朝、昼、夕方毎の1時間の平均交通量を推定する。式(1)で方向別交通量を推定し、式(2)で精度を評価する。6時から10時までの朝、11時から15時までの昼、16時から20時までの夕方に分けて、 $X_b$ には感知器データから各時間帯の1時間平均交通量を代入し、 $Y_b$ および $Y_{ab}$ には、各時間帯の車両ID情報の合計(対象月の平日19日間の合計)を、車両ID情報が異常と思われるものを除き使用する。

##### (3) 結果

直進交通についての結果を図-5 に示す。縦軸の推定値の幅は、1標準偏差の範囲を示したものである。このように、ビーコン情報を用いて容易に方向別交通量を時間帯別に推定することができる。

精度については、交通量の多い直進は精度は良いが、右、左折については推定値の半分程度ばらつくという結果になった。

#### 4.4 OD交通量の推定

##### (1) 対象地点

OD交通量の推定は、図-4 の国道1号線の西平沼から浜松町にかけてのリンク(477番)を終点とする交通量の推定を行った。起点についてはサンプルの多かったビーコンの地点番号134番(国道1号金港町)、125番(国道1号浦島が丘)、185番(県道平戸桜木町線日ノ出町)、455番(国道1号西神奈川)390番(三沢方面)のものについて推定する。

##### (2) 集計方法

求めるODの車両ID情報のサンプル数は非常に少なく時間帯毎に推定するのが困難なので、平日の1日平均OD交通量を推定する。1ヶ月分の感知器データ、車両ID情報データを用いて、異常IDのデータを除いた後、式(5)、(6)を用いて推定する。

##### (3) 結果

図-6 に示すように、方向別交通量の推定と比べ精度は落ちているものの、起点を 134 にもつ OD が最も多くなり大まかな傾向はつかむことができる。

## 5. 考察

方向別交通量の推定、OD 交通量の推定ともに車両 ID のサンプル数が少なく、よりきめ細かな需要の推計を行うには車載装置の普及率が上がるのを待たなければならない。

ID の情報内容のエラーが意外に多く、ID のサンプルを増やすためには、ハード装置の改良、ソフト面の改良によるエラーの修復等が考えられよう。

## 6. おわりに

本論文では、ビーコン情報のみを使って交通需要を推計する方法、及びその精度評価の方法論を構築した。さらに、実際のデータを用いて、理論を適用した。

その結果、今後に向けて以下のような課題、及び方針が提示された。

- (1) 車種毎に車載機搭載率が異なることを前提として交通需要を推定する方法を開発する必要がある。
- (2) ビーコンの双方向通信機能、感知機能ともどの程度計測エラーがあるか把握しておくべきである。
- (3) 車両 ID 情報の情報内容のエラーを修復する方法およびエラーを考慮した精度評価を開発する必要がある。

## 参考文献

- 1) 日本交通管理技術協会：“日本の交通管制システム”，1995.3
- 2) 日本経済新聞社：“ITS のすべて”，1995.11

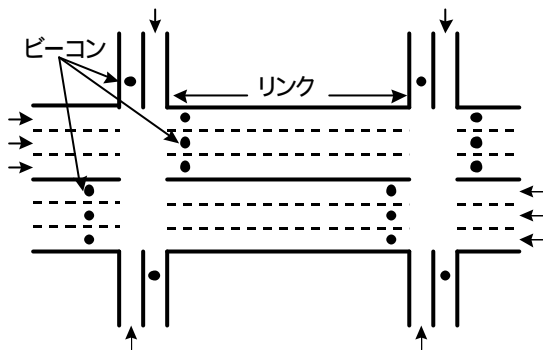


図-1 ビーコン設置地点

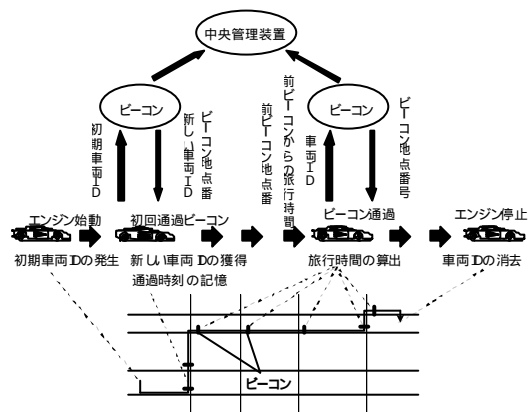


図-2 路車間通信システム

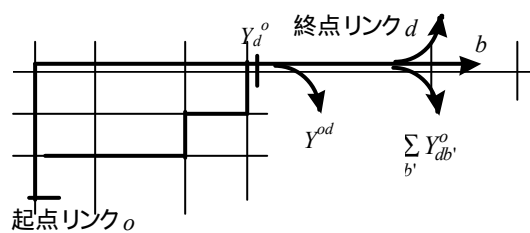


図-3 OD交通量の推定

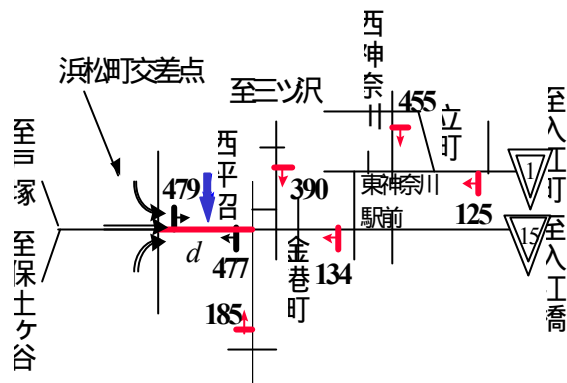


図-4 対象ネットワーク

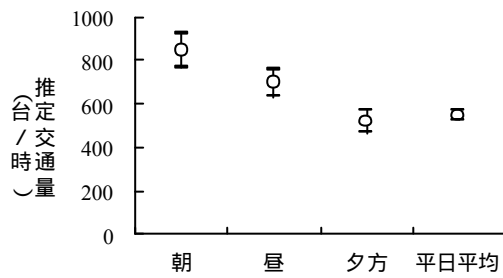


図-5 浜松町交差点直進交通量

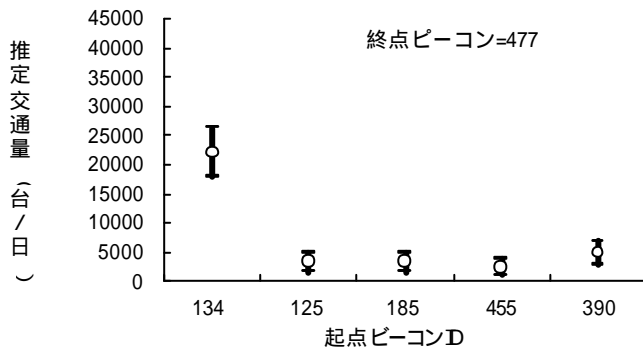


図-6 OD 交通量の推定



## キャプションリスト

- 図-1 ビーコン設置地点
- 図-2 路車間通信システム
- 図-3 OD 交通量の推定
- 図-4 対象ネットワーク
- 図-5 浜松町交差点直進交通量
- 図-6 OD 交通量の推定

## アブストラクト

本研究においては、光ビーコン情報から交通需要を推定する方法を提案し、その推定精度に関する考察を行なった後、横浜地区に本方法を適用し実用化への課題を整理した。光ビーコンは、従来の車両感知器と同様に交通量、オキュパンシーなどを計測できる感知機能に加え、路車間の双方向通信機能も備えている。双方向通信により車載器を搭載している個別の車両の動きを把握することができるので、様々な交通需要の推計に利用できる。本研究では、交差点における方向別交通量、面的な広がりを持った地域におけるOD交通量、経路交通量などの交通需要を推計する方法および精度を評価する方法を提案した。横浜地区への適用を通して、車載器の普及率が0.1%程度と低い上に、車種によって普及率に大きな偏りがあることがわかったので、車種別に需要を推定する方法、感知エラーや通信エラーといった誤差を考慮した需要推定方法の開発が望まれる。

キーワード OD交通量、経路交通量、方向別交通量、ビーコン、双方向通信