

# 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\*  
桑原 雅夫\*\*  
新倉 聡\*\*\*  
織田 利彦\*\*\*\*

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、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言った誤差を考慮した需要推定方法

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

## 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、その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、経路交通量などである。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ことにする。

## 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送信する機能である。その送信内容については、2.3で述べる。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、車種等の車両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。また、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・直進の経路選択するまでドライバーに余裕を持たせるという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。

\* NTT  
\*\* 東京大学生産技術研究所第5部助教授(TEL 03-3402-6231)  
\*\*\* 神奈川県警察本部交通管制課  
\*\*\*\* 松下通信工業(株)情報システム事業部

- (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

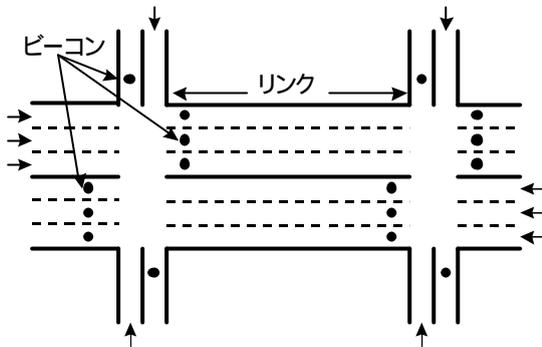


図-1 ビーコン設置地点

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、その地点のビーコン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。

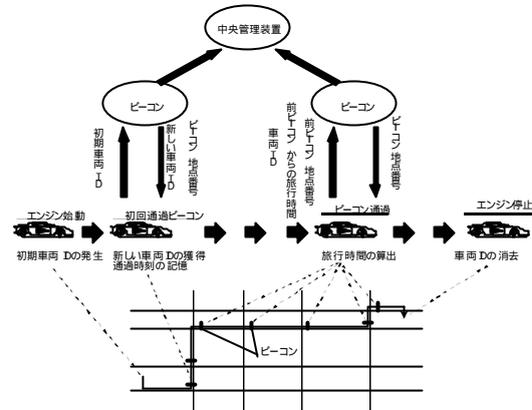


図-2 路車間通信システム

### 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

図-3に示すように、リンク  $a$  からリンク  $b$  に流れる交通量  $X_{ab}$  を推定する。ビーコン  $b$  を通過する交通の中で、リンク  $a$  から来た交通の割合 ( $p_{ab}$ ) を用いると、 $X_{ab}$  は次のように表すことができる。

$$X_{ab} = X_b \cdot p_{ab} \quad [1]$$

$X_{ab}$  : リンク  $a$  からリンク  $b$  に至る台数

$X_b$  : ビーコン  $b$  の通過台数

$p_{ab}$  : リンク  $a$  からリンク  $b$  に流れる車の割合

$X_b$  は観測できる数量であるが、 $p_{ab}$  は母集団の該当交通の割合であり未知数である。ただし、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はわかるので、ビーコン  $b$  を通過する

交通の中で、リンク  $a$  から来た車両の割合を知ることができる。そこで、この割合を  $p_{ab}$  の推定値とすれば、

$$p_{ab} \approx \hat{p}_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_b} \quad [1]$$

$\hat{p}_{ab}$  : リンク  $a$  からリンク  $b$  に流れる車の割合の推定値

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

$Y_b$  : ビーコン  $b$  の車載機搭載車の通過台数

となるので、 $X_{ab}$  の推定値  $\hat{X}_{ab}$  は次のように表せる：

$$\hat{X}_{ab} = X_b \cdot \hat{p}_{ab} = X_b \cdot \frac{Y_{ab}}{Y_b} \quad [2]$$

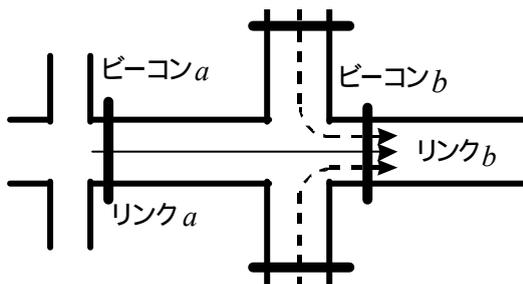


図-3 1 交差点における方向別交通量

### 3.3 推定精度の評価方法

式[1]で表される仮定より、車載機搭載車の観測交通量  $Y_{ab}$  は、二項分布  $Bi(Y_b, p_{ab})$  に従うので、推定値  $\hat{X}_{ab}$  の分散の推定値は、次のようになる。

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

精度の評価指標として、標準偏差の平均値に対する割合をとると、

$$\begin{aligned} \text{評価値} &= \frac{\sqrt{Var[X_{ab}]}}{E[X_{ab}]} \approx \frac{X_b \sqrt{\hat{p}_{ab}(1 - \hat{p}_{ab})/Y_b}}{X_b \cdot \hat{p}_{ab}} \\ &= \sqrt{\frac{1 - \hat{p}_{ab}}{\hat{p}_{ab} \cdot Y_b}} \quad [3] \end{aligned}$$

となる。この評価値は、ビーコン  $b$  における車載機搭載車の通過交通量の観測値  $Y_b$  と、リンク  $a$  からリンク  $b$  に流れる車載機搭載車の割合  $p_{ab}$  に依存する。式[3]を図示したのが図-4 であるが、 $Y_b$  と  $p_{ab}$  が大きいほど、評価値が小さくなって精度が良くなる状況が分かる。もしも、対象としている交通の割合  $p_{ab}$  が小さい場合には、式[3]は次のように近似できる。

$$\text{評価値} = \frac{1}{\sqrt{\hat{p}_{ab} \cdot Y_b}} = \frac{1}{\sqrt{Y_b}} \quad [4]$$

従って、評価値をある値以下に納めたい場合には、観測時間を長くして設定して  $Y_b$  の観測台数を増やす必要があることがわかる。

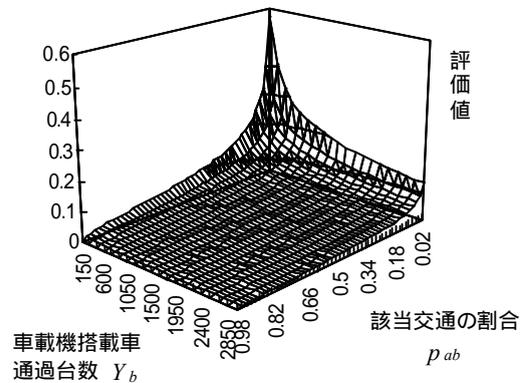


図-4 推定精度

### 3.4 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で全通過交通量を割り振るといったものである。従って、他の交通需要を推定する場合は、[1]、[2]式における  $\hat{X}_{ab}$ 、 $Y_{ab}$  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-5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、

$$Y^{od} + \sum_{b'} Y_{db'}^o = Y_d^o$$

$Y^{od}$  : 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

ゆえに、

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

よって、OD交通量の推定値は、式[2]と同様に、

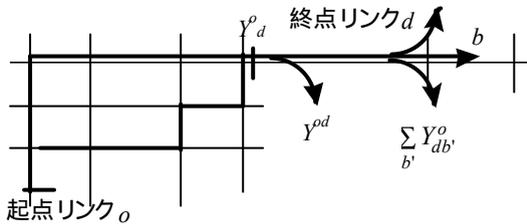


図-5 OD交通量の推定

$$\hat{D}_{od} = X_d \cdot \hat{p}^{od} = X_d \cdot \frac{Y^{od}}{Y_d} = X_d \cdot \frac{Y_d^o - \sum_{b'} Y_{db}^o}{Y_d} \quad [11]$$

$\hat{p}^{od}$  : 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。

推定精度の評価値は、式[3]と同様に、

$$\text{評価値} = \frac{\sqrt{\text{Var}[\hat{D}_{od}]}}{E[\hat{D}_{od}]} \approx \sqrt{\frac{1 - \hat{p}^{od}}{\hat{p}^{od} \cdot Y_d}} \quad [12]$$

となる。

**(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、

$$\hat{X}_k^{od} = X_d \cdot \hat{p}_k^{od} = X_d \cdot \frac{Y_k^{od}}{Y_d} \quad [13]$$

$\hat{X}_k^{od}$  : 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

推定精度の評価値は、

$$\text{評価値} = \frac{\sqrt{\text{Var}[\hat{X}_k^{od}]}}{E[\hat{X}_k^{od}]} \approx \sqrt{\frac{1 - \hat{p}_k^{od}}{\hat{p}_k^{od} \cdot Y_b}} \quad [14]$$

となる。

**4. 交通需要推計方法の適用実験**

**4.1 理論適用の条件**

(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)

本論文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るべきある。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。これを、0.0001ごとにヒストグラムに描いたものが図-6である。

また、1ビーコンにおける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 [15]

平均断面交通量 ( $\bar{X}$ ) = 585611 (台)  
 となった。

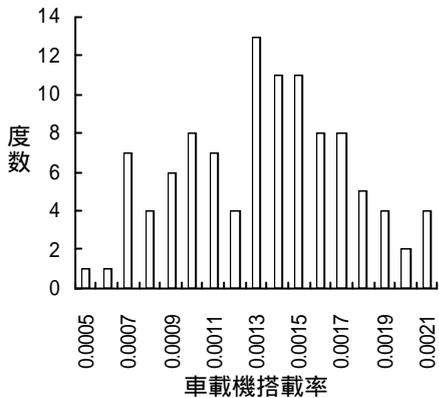


図-6 車載機搭載率のヒストグラム

もしも対象地域全体で車載率が一樣であれば、  
 車載率の観測値の標準偏差は、

$$\sqrt{\text{Var}[\hat{a}]} \approx \sqrt{\frac{\bar{a}(1-\bar{a})}{\bar{X}_b}} = 0.000048 \quad [16]$$

となるはずである。ところが、[15]式と[16]式を比較すると、実際の標準偏差はこの値と比べて非常に大きい。標準偏差が大きくなる原因として以下のことが考えられる。

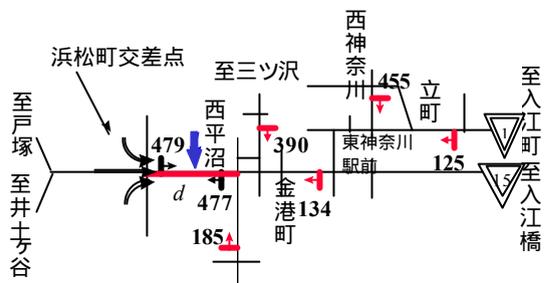
- 車種によって車載率がかなり異なり、移動のパターンも車種によって違うので、地点によって車載率が大きく異なることが考えられる。現在のところ、車載器を搭載している車は乗用車がほとんどであり、貨物車の車載率はほぼゼロである。乗用車と貨物車では移動のパターンも異なるので、車載率が全域に渡って一樣とは言えないと思われる。
- 感知器情報と双方向通信情報の双方とも、ある程度の誤差を含んでいるために、車載率を正しく計測できていない可能性がある。ビーコンの計測誤差の種類は大きく分けて 2 種類あるだろう：
  - ダブルカウント、数え落とし等の従来の感知器にも存在するエラー、路車間通信システムの中の I D 内容に関するエラーである。このエラーについて、ダブルカウントは路車間通信システムのソフト上でなくなるように設計されているが、数

え落としについてはどの程度存在するか分からない。このエラーは、路車間通信の過程において、車載装置の問題、通信のダウンリンクの問題、アップリンクの問題が複雑に絡み合って、情報内容にエラーが生ずると考えられる。車両 I D 情報の内容を検証した結果、エラーがあるデータは、異常な数値が入っているため正常データと異常データの判別は可能である。本適用実験では、車両 I D 情報内容が正常と思われるもののみを用いて分析している。

### 4.3 方向別交通量の推定

#### (1) 対象地点

図-14 に示すように、浜松町交差点を対象とする。



#### (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[2]で方向別交通量を推定し、式[3]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 I D 情報の合計 (対象月の平日 19 日間の合計) を、車両 I D 情報が異常と思われるものを除き使用する。

#### (3) 結果

1号線乗り (光感知器地点番号 479) の交通についての結果を図-15~図-17 に示す。縦軸の推定値の幅は、評価値を用いて、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。

精度について考えると交通量の多い直進は精度が良いが、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る。

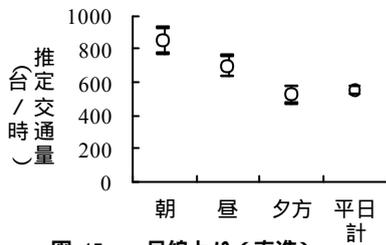


図-15 一号線上り(直進)

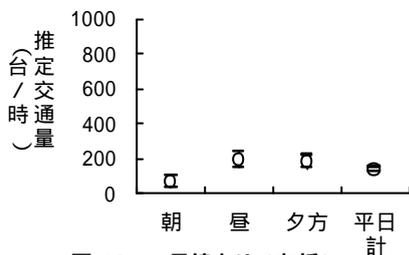


図-16 一号線上り(左折)

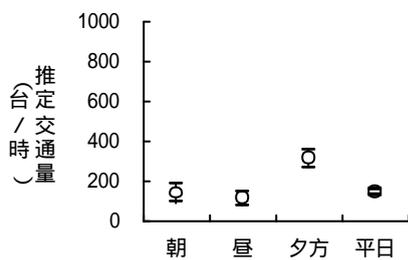


図-17 一号線上り(右折)

#### 4.4 O D 交通量の推定

##### (1) 対象地点

O D 交通量の推定は、図-18 の国道 1 号線の西平沼から浜松町にかけてのリンク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)のものについて推定する。

##### (2) 集計方法

求める O D の車両 I D 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 O D 交通量を推定する。1 ヶ月分の感知器データ、車両 I D 情報データを用いて、異常 I D

のデータを除いた後、式[11]を用いて推定する。精度の評価値はそれぞれ[10]式、[12]式で求める。

##### (3) 結果

方向別交通量の推定と比べ精度は落ちているものの、両推定方法とも起点を 134 にもつ O D 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、O D 交通量の推定ともに車両 I D 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
- I D の情報内容のエラーが意外に多く、I D 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。

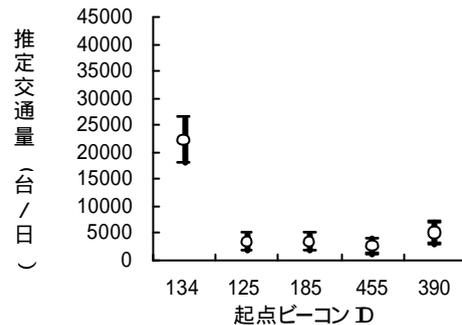


図-20 O D 交通量の推定

#### 6. おわりに

本論文では、以下のことを行った。

- 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。
- 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る。
- 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べきである。
- 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するべきである。

- 本論文では適用の検証をしてはいないので、検証を行うべきである。
- 他の装置等を用いて、推定精度の誤差をさらに小さくする推定方法が開発されるべきである。
- 車両 I D 情報の情報内容のエラーを修復する方法を開発するべきである。

2) 日本経済新聞社：“ITSのすべて”，1995.11

### 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

