

# 車両検知器データを用いたCO2排出量推定手法の開発 ～Cell Emission Approach～\*

## Estimation of CO2 Discharge from Urban Expressway: Cell Emission Approach\*

南善樹\*\*・日下部貴彦\*\*\*・朝倉康夫\*\*\*\*

By Yoshiki MINAMI\*\*・Takahiko KUSAKABE \*\*\*・Yasuo ASAKURA\*\*\*\*

### 1. はじめに

高速道路上での交通マネジメントによるCO2排出量削減策の評価を行う際には、CO2排出量は交通状態に応じて時々刻々と変動するため、空間的、時間的にできる限り連続的かつ継続的にCO2排出量をモニタリングすることが求められる。しかし、高速道路ネットワーク全体で、新たな観測機器を導入し、CO2排出量のモニタリングを行うことは、費用などの面からほぼ不可能と言える。一方で、高速道路ネットワークでは、交通流観測を行う検知器が設置されている。検知器による交通流観測データを用いて排出量を推定すれば、高速道路ネットワーク全域にわたるCO2排出量の継続的なモニタリングが可能となることが期待できる。

本研究の目的は、高速道路上に設置された検知器による交通流観測データからCO2排出量を推定する方法を構築することにある。本研究では、高速道路区間を検知器の設置位置によって複数区間(Cell)に分け、その区間ごとにCO2排出量を推定する「Cell Emission Approach」を構築する。2章ではCell Emission Approachによる推定方法について述べ、3章で阪神高速道路での分析例を示す。

### 2. Cell Emission Approach

Cell Emission Approachでは、図1に示すように高速道路区間を検知器の設置位置に応じて定義したCell毎にCO2排出量を求める。Cellは、CO2排出量を求める際の区間の最小単位であり、ネットワーク全域からの排出量を求める際には、図2のように各Cellからの排出量を合計することで求められる。

各CellからのCO2排出量の推定の手順は、検知器による交通流データからCell内を通過したすべての車両につ

\*キーワード: 二酸化炭素, 地球環境問題, 排出量, 検知器

\*\*学生員, 学士, 神戸大学大学院工学研究科

\*\*\*学生員, 工修, 神戸大学大学院工学研究科

(神戸市灘区六甲台町1-1,

TEL078-803-6360, FAX078-803-6360)

\*\*\*\*正会員, 工博, 神戸大学大学院工学研究科

いて走行軌跡を推定し、推定された走行軌跡から排出量モデルによって排出量を求めるものである。

第1節では、検知器データの仕様について述べ、第2節でCellの定義について述べる。第3節では、排出量モデルについて述べ、第4節で推定方法を構築する。

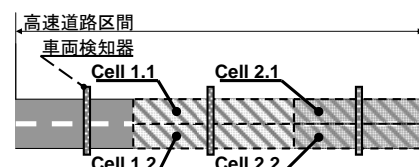


図1 Cellの概念

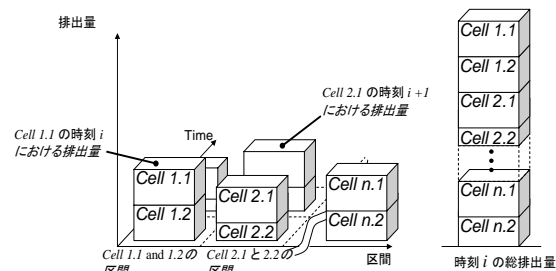


図2 ネットワーク全体での推定の概念図

#### (1) 検知器データ

本研究の手法を適用するための検知器データの要件は、

- 全車線に検知器が設置されていること
- 交通量と速度が観測されていること
- 大型車交通量と小型車交通量が別々に観測されていること

である。1つ目の要件は、検知器設置位置を通過するすべての自動車を対象として排出量を推定するために必要な条件である。2つ目の要件の交通量と速度は、排出量モデルと車両軌跡を推定するために必要な入力値である。3つ目の要件は、大型車と小型車では、CO2排出特性が大きく異なることから排出量モデルが異なるため、これらの車両区分毎に別々に排出量を推定することが望ましいからである。

本研究の分析例で対象としている阪神高速道路では、観測周期は5分であり、上記の条件を満たす検知器の設置間隔は1～5 km程度であるが、交通流の変動をより正確にとらえ、よりよい推定量を求めるためには、観測周期が短く、設置間隔も短いことが好ましいといえる。

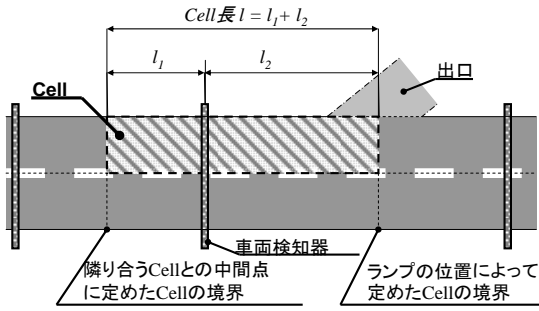


図3 Cellの定義

(2) Cellの定義

Cellは、図3のように検知器の設置位置に応じて車線毎に定義する。それぞれのCellの区界は、検知器設置地点間の中間点とする。ただし、入口や出口がある場合にはその地点を区界とする方が望ましい。これは、入口や出口の流出入によって、本線を通過する自動車の交通量や速度が変化する可能性があるためである。

(3) 排出量モデル

本研究の手法では、検知器による観測データから各車両の時刻毎の軌跡の推定し、その推定された軌跡から排出量モデルを用いてCellからのCO2排出量を求める。その際、各車両の走行状態に応じたCO2排出量を求めるための排出量モデルが必要となる。本研究では、大城ら<sup>1)</sup>による排出量モデルを用いる。大城らのモデルは、シャシダイナモ試験によって得られた測定値を、速度を変数とした3次式で回帰して得られたものである。一台の車両が時速  $v$  kmで走行した時の1kmあたりのCO2排出量は、

$$e_m(v) = a_{m1} \frac{1}{v} + a_{m2}v + a_{m3}v^2 + a_{m0} \quad (1)$$

で表される。ただし、 $a_{mn}$  ( $n=0,1,2,3$ ) は、車両区分  $m$  の自動車に対する回帰パラメータである。本研究で車両区分は、車両検知器のデータの区分に応じて、大型車、小型車の2車種の車両区分を設定する。表1に車両区分毎の回帰パラメータの値を示す。

表1 大城らのモデルによるパラメータ<sup>1)</sup>

車種分類	m	パラメータ			
		$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	$a_{m0}$
普通車	s	1525	-3.0	0.025	203
大型車	h	51	-27.3	0.209	1593

(3) Cell毎の排出量の推定方法

本節では、検知器による観測データからCell内での車両毎の走行速度を求め、大城らの排出量モデルを用いてCellから検知器の観測周期内に排出されるCO2を推定する方法について述べる。

検知器による観測データからCO2排出量を推定する最も単純な方法は、同時刻法による推定方法である。この方法では、ある観測周期に車種  $m$  によって排出されるCO

2は、その観測周期に観測された交通量  $q_m$  と速度  $v$ 、Cellの長さ  $l$  を用いて、

$$EF_m(v) = e_m(v) \cdot l \cdot q_m \quad (2)$$

と表すことができる。同時刻法による推定値は、観測周期内に検知器設置地点を通過したすべての自動車が、Cell内を一定の速度  $v$  で通過するという仮定の上で算出されるものである。しかし、渋滞時のように速度が遅い場合には、実際には複数の観測周期にまたがってCellを通過することになり、さらに速度の変動が大きい場合には、速度  $v$  とは大きく異なる速度で通過する区間が出てくるため、正確なCO2排出量の算出ができなくなる恐れがある。このため渋滞時の排出量の変動に対応するためには、タイムスライス法を用いる方が望ましい。

タイムスライス法による推定では、各車両の走行速度を求める際、検知器の観測周期内に検知器設置地点を通過する自動車は、車両区分毎に一樣な車頭間隔で通過していると仮定する。タイムスライス法は、時刻  $i$  に検知器設置地点を通過した自動車が、時刻  $i+1$  にもCell内を通行している場合には、時刻  $i$  には時刻  $i$  に観測された速度で走行しており、時刻  $i+1$  を走行した分については時刻  $i+1$  に観測された速度で走行しているとするものである。図4はこれを模式的に示したものである。なお、図4で  $x_0$  は検知器の設置位置、 $x_1$  はCellの起点、 $x_2$  はCellの終点を示している。

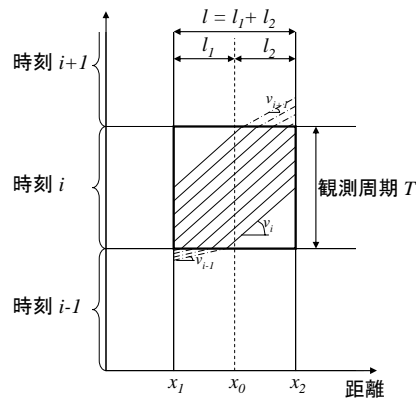


図4 車両速度の推定方法

観測周期が  $T$  である検知器によって観測時刻  $i$  に観測された車両区分  $m$  の自動車の交通量が  $q_m$  のとき、この時刻の車頭間時間間隔は、

$$t_m = \frac{T}{q_m} \quad (3)$$

と表すことができる。  $v_i$  を時刻  $i$  に検知器によって観測された速度とすると、時刻  $i$  に検知器設置位置を通過し、 $i+1$ 以降もCell内を走行する車両の台数は、

$$NA_{m,j|j=1} = \begin{cases} 0 & \text{if } l_2 - \frac{t_m v_i}{2} < 0 \\ \left[ \frac{l_2}{t_m v_i} - \frac{1}{2} \right] + 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

である。ただし  $[\ ]$  はガウス記号であり整数部分を表している。これらの車両が時刻  $i+1$  以降にCell内を走行する総走行距離は、

$$A_{m,j|j=1} = \begin{cases} 0 & \text{if } NA_{m,1} = 0 \\ l_2 - \frac{t_m v_i}{2} + \sum_{k=1}^{NA_{m,1}-1} \left\{ l_2 - \frac{t_m v_i}{2} - t_m v_i k \right\} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{if } NA_{m,1} = 0 \\ l_2 \cdot NA_{m,1} - \frac{t_m v_i}{2} NA_{m,1}^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

となる。時刻  $i$  に検知器設置位置を通過し  $i+j$  以降にCell内を走行する車両の台数は、

$$NA_{m,j|j>1} = \begin{cases} 0 & \text{if } l_2 - \frac{t_m v_i}{2} - \sum_{k=1}^{j-1} T_{v_{i+k}} < 0 \\ \left[ \frac{l_2}{t_m v_i} - \frac{1}{2} - \sum_{k=1}^{j-1} \frac{v_{i+k} q_m}{v_i} \right] + 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

と表され、それらの車両の  $i+j$  以降のCell内での総走行距離は、

$$A_{m,j|j>1} = \begin{cases} 0 & \text{if } NA_{m,j} = 0 \\ \left( l_2 - \sum_{k=1}^{j-1} T_{v_{i+k}} \right) NA_{m,j} - \frac{t_m v_i}{2} NA_{m,j}^2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

となる。同様に、時刻  $i$  に検知器設置位置を通過する車両で時刻  $i-j$  以前にCell内を走行する車両の台数は、 $j=1$  のとき、

$$NB_{m,j|j=1} = \begin{cases} 0 & \text{if } l_1 - \frac{t_m v_i}{2} < 0 \\ \left[ \frac{l_1}{t_m v_i} - \frac{1}{2} \right] + 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

で表され、 $j>1$  のとき

$$NB_{m,j|j>1} = \begin{cases} 0 & \text{if } l_1 - \frac{t_m v_i}{2} - \sum_{k=1}^{j-1} T_{v_{i-k}} < 0 \\ \left[ \frac{l_1}{t_m v_i} - \frac{1}{2} - \sum_{k=1}^{j-1} \frac{v_{i-k} q_m}{v_i} \right] + 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

と表される。それらの車両の  $i-j$  以前の総走行距離は、 $j=1$  のとき、

$$B_{m,j|j=1} = \begin{cases} 0 & \text{if } NB_{m,1} = 0 \\ l_1 \cdot NB_{m,1} - \frac{t_m v_i}{2} NB_{m,1}^2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

となり、 $j>1$  のとき

$$B_{m,j|j>1} = \begin{cases} 0 & \text{if } NB_{m,j} = 0 \\ \left( l_1 - \sum_{k=1}^{j-1} T_{v_{i-k}} \right) NB_{m,j} - \frac{t_m v_i}{2} NB_{m,j}^2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

となる。時刻  $i$  に検知器設置位置を通過した車両が時刻  $i$  に排出するCO2の量は、

$$E_m = q_m e_m(v_i) \cdot l - B_{m,1} e_m(v_i) - A_{m,1} e_m(v_i) \quad (12)$$

と表すことができる。これらの車両が  $i+1$  以降にCell内で排出するCO2の量は、

$$EA_m = A_{m,1} \cdot e_m(v_{i+1}) + \sum_{j=2} A_{m,j} (e_m(v_{i+j}) - e_m(v_{i+j-1})) \quad (13)$$

と表せ、同様に  $i-1$  以前に排出するCO2の量は

$$EB_m = B_{m,1} \cdot e_m(v_{i+1}) + \sum_{j=2} B_{m,j} (e_m(v_{i-j}) - e_m(v_{i-j+1})) \quad (14)$$

となる。したがって、時刻  $i$  に検知器設置位置を通過した車種  $m$  の車両のCell内でのCO2の総排出量は、

$$TE_m = E_m + EA_m + EB_m \quad (15)$$

となる。すべての車種についてこの方法を適用することにより、時刻ごとのCellからの総排出量を求めることができる。また、Cell毎の排出量を足しあわせることで任意の区間の排出量を求めることができる。

### 3. 検知器データを用いた分析例

#### (1) データ

阪神高速神戸線乗り方面に設置された21地点48個の検知器による観測データを用いる。この区間は、2車線区間と3車線区間があり、対象とした検知器はいずれの設置地点でもすべての車線に設置されている。データ取得周期は5分であり、交通量、高車交通量、速度、オキュパンシを観測している。なお、本研究では、高車交通量を大型車交通量とみなして扱う。対象とするデータは2003年3月2日から2008年9月30日までの約5年半の平日である。

対象としている検知器が48個であることから、対象区間を48個のCellに分けて取り扱う。今回の分析では、すべてのCellについてその境界は検知器設置地点間の中間点とした。これによりCellの長さは、平均で1.9kmとなっており、0.75~3.2kmの長さのCellで構成されている。

#### (2) 推定結果

図5にCO2の日排出量の推定結果及び、検知器データからタイムスライス法を用いて求めた総旅行時間、総走行台キロの推定結果を示す。CO2排出量の平均値は520tであり、標準偏差は39.0であった。また、CO2排出量と総旅行時間との相関係数は0.69であり、CO2排出量と総走行台キロの相関係数は0.86であった。このことより日単位のCO2排出量は、総旅行時間よりも総走行台キロと強い相関関係にあることがわかる。

図6~10は、ある一日の距離あたりCO2排出量、距離あたりの一台あたりのCO2排出量、交通量、速度、大型車混入率(大型車交通量/全交通量)をそれぞれコンタマップに示したものである。これらの図では、縦軸が時刻、横軸がキロポストとしている。

図6と図8に着目すると、CO2排出量が多い時間帯は交通量が多い時間帯であることが確認できる。図6、7と図9に着目すると30KP付近で、渋滞による速度低下

が発生している時間帯に、一台あたりのCO2の排出量が増加し、CO2排出量全体も増加していることがわかる。図7と図10を比較すると、大型車混入率が大きい早朝の時間帯には、一台あたりのCO2排出量が増加していることが読み取れる。

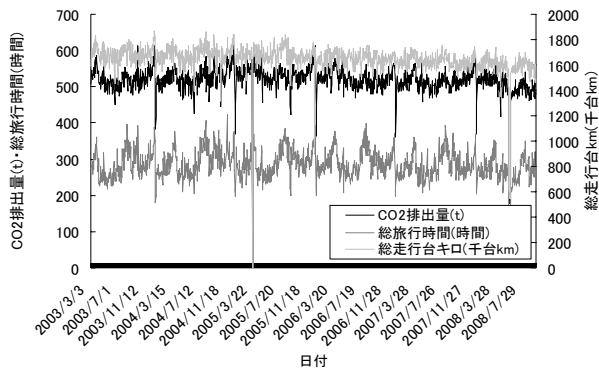


図5 推定結果

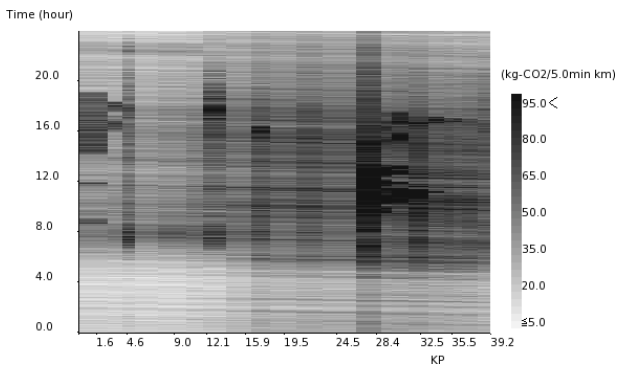


図6 距離あたり排出量

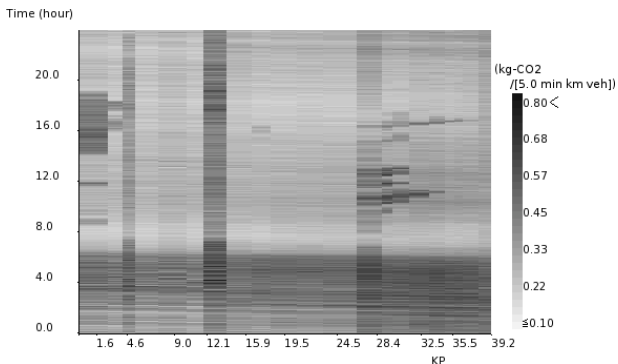


図7 一台あたり排出量

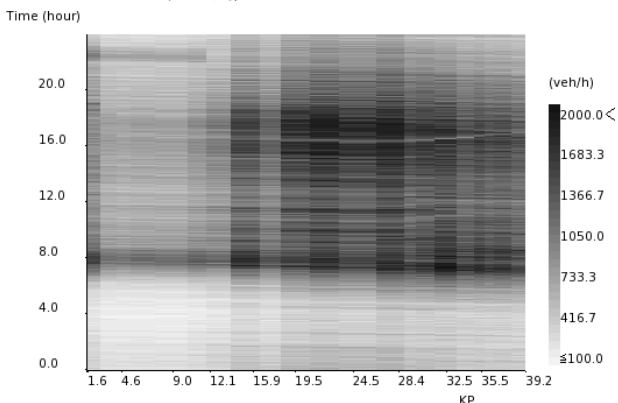


図8 交通量

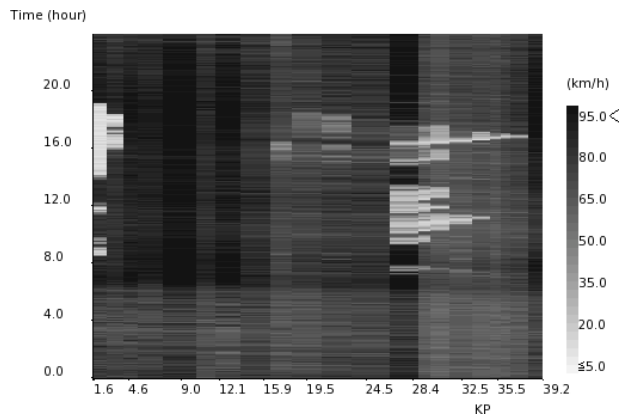


図9 速度

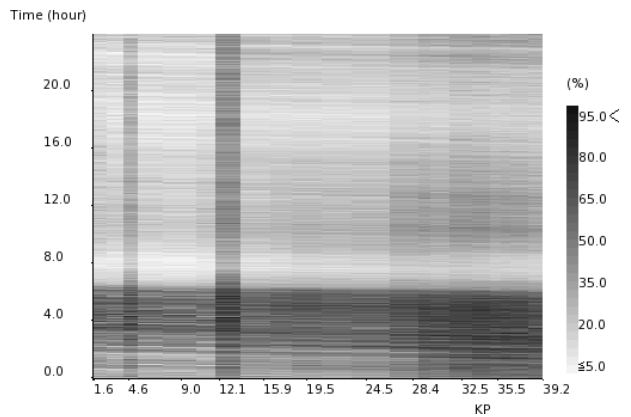


図10 大型車混入率

#### 4. おわりに

本研究では、高速道路に設置されている車両検知器によるデータから二酸化炭素排出量を推定する方法を構築し、分析例を示した。3章での分析例では、Cell Emission Approachによる推定結果を用いることで、交通流の速度変動などによるCO2排出量の増減を分析できることが示された。このことから、本研究の手法はランプ制御などの交通制御やロードプライシングなど交通流の変動が伴う施策の事後評価への適用が可能である。また、今後、検知器のデータをリアルタイムで用いることにより、二酸化炭素排出量を考慮したリアルタイムでの交通制御などへの応用が期待されるだろう。

謝辞：本研究で用いたデータは阪神高速道路株式会社より提供していただいたものである。

#### 参考文献

- 1) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文: 「自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数」, 土木技術資料, Vol.43, No.11, pp.50-55, 2001