

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 *

日下部貴彦**・南善樹***・朝倉康夫****

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

1. はじめに

高速道路での交通流マネジメントによるCO₂排出量削減効果を評価するために、空間的、時間的にできる限り連続的かつ継続的なCO₂排出量のモニタリング手法が求められている。例えば、ランプメータリングのような交通流制御など、交通流をより円滑にすることを目的とした施策によるCO₂削減効果をより詳細に把握するためには、時刻、地点によって異なる交通流の状態と交通制御の運用状況に応じたCO₂排出量を把握する必要がある。また、既存の高速道路路線から並行する環状道路や湾岸道路などの高速道路路線への転換を促進することを目的としたロードプライシングなどの料金施策においても、時間帯や地点、課金の実施状況に応じた排出量をモニタリングし、事後評価にいかしていくことが好ましいと考えられる。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。

これまでの道路ネットワークからのCO₂排出量推定に関する研究では、比較的広域な道路ネットワーク全体から排出されるCO₂を推定することに主眼がおかれている。下川ら¹⁾は道路交通センサスを用いて全国の高速道路から排出されるCO₂を推定している。石坂ら²⁾は、道路交通センサスデータから一般道から東名高速道路へ交通需要が転換した場合のCO₂削減量を推計している。紀伊ら³⁾は、道路交通センサスデータと首都高速道路及び一般道の交通管制データを併用して首都高速道路王子線の整備によ

*キーワード：地球環境問題，交通環境，計画情報，情報処理

**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)

***学生員，学士，神戸大学大学院工学研究科

****正会員，工博，神戸大学大学院工学研究科

るCO₂削減効果を評価している。これらの研究では、道路交通センサスによるデータを用いていることで、車両検知器が設置されていない区間を含めた広範囲のネットワークについての推計が可能となっている。このことから、新規路線の開通など比較的マクロな施策によるCO₂削減効果を広域な範囲で評価するためには有効な手法である。一方で、これらの研究ではデータの制約により、時間の解像度は比較的詳細ではなく、また、速度が観測されていないことから、速度をBPR関数やQ-Vモデルを用いて推定した上でCO₂排出量を推定している。したがって、交通流の変動を考慮した空間的、時間的に詳細でかつ継続的なモニタリングという目的には適していないと考えられる。特に検知器が多数設置され、速度が観測されている都市高速道路区間などでは、観測された速度を用いることにより、より時間的、空間的に解像度が高い排出量推定手法が構築できる可能性があり、交通流のマネジメントによる変動に応じた排出量を推定することに生かされることが期待されている。

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。このような手法を構築することによって、高速道路会社などのデータウェアハウスに長期間にわたって蓄積されている車両検知器によるデータを活用し、高速道路などからのCO₂排出量の変動を把握することが可能になり、将来的には交通流のマネジメントなどの施策によるCO₂排出量の評価に応用できるものと考えられる。

第2章では、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。Cell Emission Approachでは、簡便な推定方法として同時刻法と、同時刻法の問題点を解決したタイムスライス法の2種類の推定方法を構築する。第3章では阪神高速道路の検知器データを用いた分析例を示す。分析では、同時刻法による推定結果とタイムスライス法による推定結果の比較を行う。また、推定結果を可視化することにより、検知器によって観測された他の指標との比較し、

定性的な関係について分析を行う。

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として定義され、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。

第一節では、推定の際に必要な検知器データの仕様について述べ、第二節でCellの定義について述べる。第三節では、推定時に用いる車両毎の排出量モデルについて述べ、第四節で推定方法を構築する。

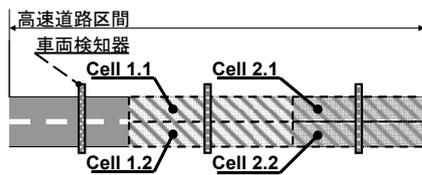


図-1 Cellの概念

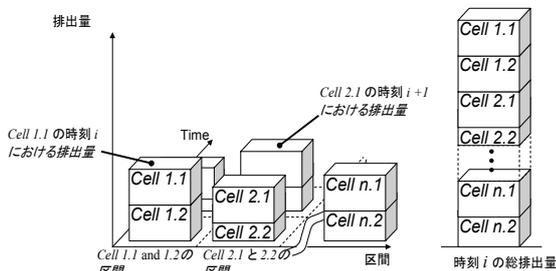


図-2 ネットワーク全体での推定概念図

(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、検知器設置位置の道路断面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ことから必要な要件となっている。

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。

(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、入口や出口の流入出によって、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。

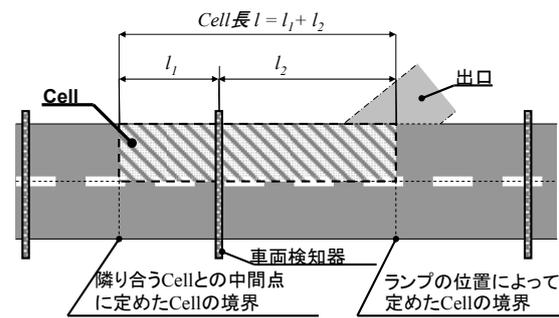


図-3 Cellの定義

(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。車両検知器によるデータでは、速度が観測されている一方で、個々の車両の加速度を正確に推定することが難しいことから、各車両の速度からCO₂排出量を求めるためのモデルとして、大城ら⁴⁾による排出量モデルを用いる。

表-1 大城らのモデルによるパラメータ¹⁾

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

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。

(4) 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それぞれのCell内での車両毎の走行軌跡を求め、検知器の観測周期内に検知器設置位置を通過した自動車によってCellから排出されるCO₂を推定する方法について述べる。本節の方法で推定した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。Cell毎の推定方法では、同時刻法とタイムスライス法の2種類の方法を構築する。同時刻法は、タイムスライス法に比べると計算方法が単純な方法となっている。しかしながら、渋滞時など速度が低速で変動が著しい場合には排出量を過大あるいは過少に推計する可能性があるため、より精緻な排出量を求めるためにタイムスライス法による方法をあわせて構築する。

a) 同時刻法

同時刻法では、時刻*i*の観測周期内に車両検知器設置位置を通過したすべての車両は、その時刻の速度の観測値*v*でCellを通過するという仮定のもとで排出量を求める。図-4はこの仮定によって得られる走行軌跡を示したものである。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。

ある観測周期に*x*₀を通過した車種*m*の車両によってCellから排出されるCO₂は、走行台キロに対してその時の速度に該当する排出原単位をかければ求まる。したがって、その観測周期での車種*m*の交通量*q_m*と速度*v*、Cellの長さ*l*及び式(1)を用いて、

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

とすることで求めることができる。すべての車種について式(2)を適用することにより、該当する時刻に*x*₀を通過したすべての車両のCell内での排出量を求めることができる。なお、同時刻法の考え方は、観測周期内の平均旅行速度と走行台キロからCO₂排出量を推定する方法であり、検知器以外のデータからCO₂排出量を推定する際にも一般的に用いられる方法と同様の考え方である(例えば文献1)~3))。

本研究での同時刻法の仮定は、時刻*i*の観測周期内にCell内を走行している車両は、すべて速度*v*で走行しており、検知器設置位置*x*₀での車頭間隔で走行しているという仮定と同義である。図-5は、この仮定に基づいて、速度の変動がある場合の走行軌跡を示したものである。この図では、観測周期の間で、走行軌跡が不連続になっていることがわかる。つまり、観測周期を境としてCell内の車両の台数が変化しており、交通量保存則が

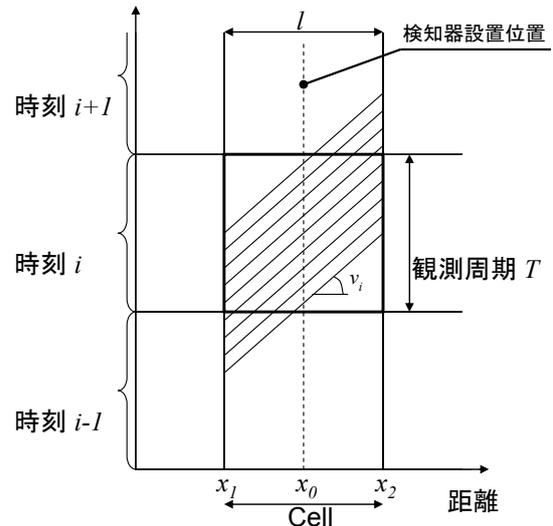


図-4 同時刻法による走行軌跡

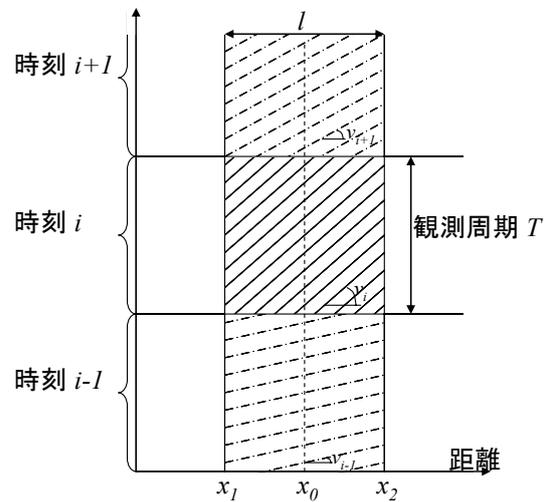


図-5 同時刻法による走行軌跡の問題点

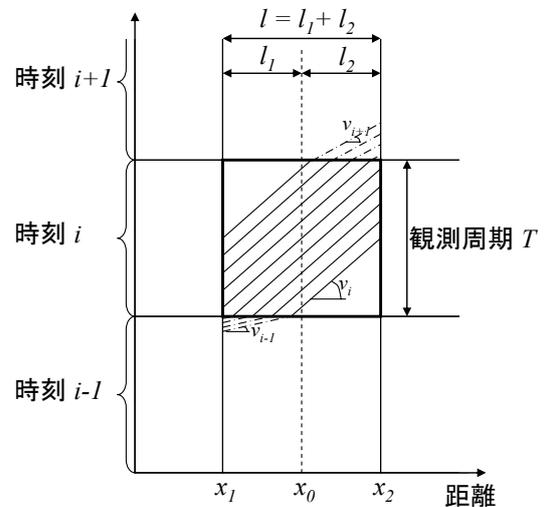


図-6 タイムスライス法による走行軌跡

成立していないといえる。すなわち、実際に検知器設置位置 x_0 した車両台数とCellの端点 x_1 , x_2 での車両台数が一致しないことを示している。このことによって、CO₂排出量を過大あるいは過少に推定する可能性があるといえる。次項では、このようなCell内での交通流の不整合を解消した方法論として、タイムスライス法による方法を構築する。

b) タイムスライス法

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-6 はこれを模式的に示したものである。なお、この図で l_1 はCellの起点 x_1 から検知器設置位置 x_0 までの距離を示しており l_2 は検知器設置位置 x_0 からCellの終点 x_2 までの距離を示している。

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。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_{im} のとき、この時刻の車頭間時間間隔は、

$$t_{im} = \frac{T}{q_{im}} \quad (3)$$

と表すことができる。 $NA_{i,m,j}$ を時刻 i に検知器設置位置を通過し、時刻 $i+j$ にもそのCell内を走行している車種 m の車両の台数とする。 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、

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

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。式(4)で $NA_{i,m,j|j=1} = 0$ のケースは、時刻 i の観測周期の最後に x_0 を通過した車両がその観測周期内に l_2 以上の距離を移動し、Cellの終点 x_2 に到達する場合となっている。その他のケースで $NA_{i,m,j|j=1}$ の値は、観測周期内に l_2 以下の距離しか移動できなかった車両の台数を表している。

時刻 i に検知器設置位置を通過し、時刻 $i+j$ にもそのCell内を走行している車種 m の車両による時刻 $i+j$ 以降の総走行距離を $A_{i,m,j}$ とする。このとき、時刻 i に検知器設置位置を通過し、時刻 $i+1$ 以降にCell内を走行する車両の時刻 $i+1$ 以降の総走行距離は、それぞれの車両が時刻 i に走行した距離を l_2 から引いたものを足

し合わせればよいことから、

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

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も、 $NA_{i,m,j|j=1}$ の場合と同様に考えると、

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

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、

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

となる。

時刻 i の観測周期に検知器設置位置を通過する車両で時刻 $i-j$ 以前にCell内を走行する車両についても、式(7)までに示した時刻 $i+j$ 以降にCell内を走行する車両と同様の考え方を適用することができる。 $NB_{i,m,j}$ を時刻 i に検知器設置位置を通過し、時刻 $i-j$ 以前にもそのCell内を走行している車種 m の車両の台数とすると、時刻 i に検知器設置位置を通過する車両で時刻 $i-j$ 以前にもCell内を走行する車両の台数は、 $j=1$ のとき、

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

で表され、 $j>1$ のとき

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

と表される。それらの車両の総走行距離も同様に、 $B_{i,m,j}$ を時刻 i に検知器設置位置を通過し、時刻 $i-j$ 以前にもそのCell内を走行している車種 m の車両の時刻 $i-j$ 以前の総走行距離とすると、 $j=1$ のとき、

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

となり、 $j > 1$ のとき

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

となる。

時刻 i の観測周期に検知器設置位置を通過した車種 m の車両が時刻 i の周期内に排出する CO_2 の量 E_{im} は、これらの車両の時刻 i の周期内での走行分に相当する走行台キロに排出原単位をかけることによって、

$$E_{im} = (q_{im} \cdot l - B_{i,m,1} - A_{i,m,1}) \cdot e_m(v_i) \quad (12)$$

と表すことができる。時刻 i の観測周期に検知器設置位置を通過した車種 m の車両が時刻 $i+1$ 以降に Cell 内で排出する CO_2 の量 EA_{im} は、それぞれの時間区分での排出原単位に走行台キロをかけることになるので、

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

と表せ、同様に $i-1$ 以前に排出する CO_2 の量 EB_{im} は

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

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 CO_2 の総排出量 TE_{im} は、

$$TE_{im} = E_{im} + EA_{im} + EB_{im} \quad (15)$$

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。

3. 検知器データを用いた分析例

阪神高速道路の検知器データを用いて、Cell Emission Approach を用いた CO_2 排出量の推定を行う。第一節では、推定に用いた区間と検知器データについて説明を行う。第二節では、第二章で構築した同時刻法とタイムスライス法による推定を行い双方の推定量を比較し、モデルの性質について考察を行う。第三節では、推定量について可視化の例を示すとともに、交通流の時間変動と CO_2 排出量の変動について定性的な比較を行う。

(1) データ

阪神高速神戸線入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。

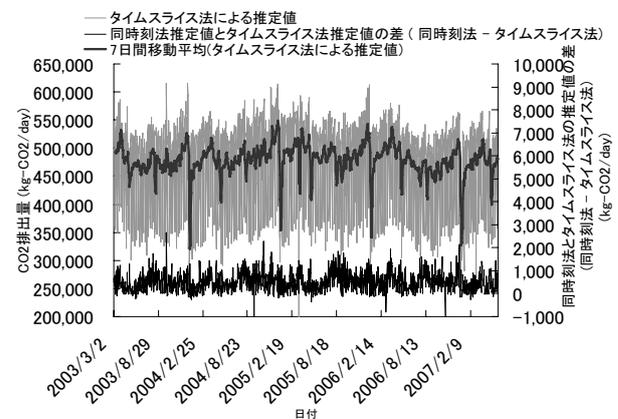


図-7 同時刻法とタイムスライス法による CO_2 日排出量の差

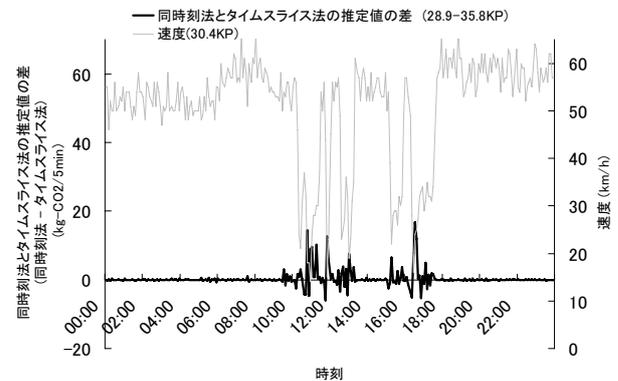


図-8 同時刻法とタイムスライス法による CO_2 排出量の差と速度の関係

(2) 同時刻法とタイムスライス法の比較

図-7は、タイムスライス法による推定値による期間中の日排出量と、同時刻法による推定値とタイムスライス法による推定値の差を図示したものである。この図によると、同時刻法による推定では、タイムスライス法による推定結果に比べ過大に推定する傾向があることがわかる。これら二つのモデルの推定値の差の

平均は、一日あたり515(kg-CO₂/day)であり、最大値は2,664(kg-CO₂/day)であった。これらの差は、タイムスライス法による推定値の0.1%に相当する。

図-8は、ある1日(2005年6月10日)に着目して30.4KPで観測された速度と、28.9~35.8KPのCO₂排出量に関する同時刻法とタイムスライス法の推定値の差を示したものである。なお、対象日(2005年6月10日)は、分析対象路線で、通常の平日に観測されることが多い混雑による渋滞が発生している日の中から一例として選んだ。この図によると午前10~午後6時の間に断続的な渋滞による速度低下が観測されていることがわかる。二つのモデルの推定値の差は、この速度低下が発生している時間帯に大きくなっていることが確かめられる。これらの差は、最大でタイムスライス法の推定値に対して3.0%であった。

図-7で示したように、期間全体でのタイムスライス法による推定結果と同時刻法による推定値を比べると、同時刻法の方がわずかながら過大推計をする傾向があることがわかった。一方で、図-8での分析で示された結果からは、非渋滞時にはそれらの方法の推定値の差は小さいのに対して、渋滞時には大きくなる傾向が示された。これらの結果より、本研究での分析対象路線よりも、多くの渋滞区間を含む路線や、渋滞時間が長い路線を対象とする場合には、より大きな推定値の差が生じることが推察できる。このことは、渋滞区間での同時刻法の使用には注意が必要であることを示している。一方で、非渋滞区間では、タイムスライス法に比べて簡便な同時刻法で代用できることが示されたといえるだろう。

(3) 推定量の可視化と交通流の変動

図-9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。この期間中のCO₂日排出量の平均値は520(t-CO₂/day)であり、標準偏差は39.0(t-CO₂/day)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。よって日単位の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-10~14は、ある一日(2005年6月10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)についてそれぞれコンタマップを用いて可視化したものである。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。なお、車両は図の右側から左側へと走行している。図-10のCO₂排出量と図-12の交通量に着目すると、CO₂排出量が大き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-10、11のCO₂

排出量と図-13の速度に着目すると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-11の一台あたりのCO₂排出量と図-14の大型車混入率を比較すると、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排出量の増加が読み取れる。

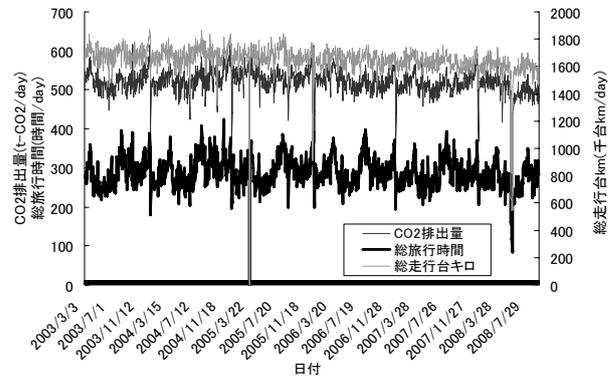


図-9 タイムスライス法によるCO₂日排出量と総旅行時間、総走行台kmの比較

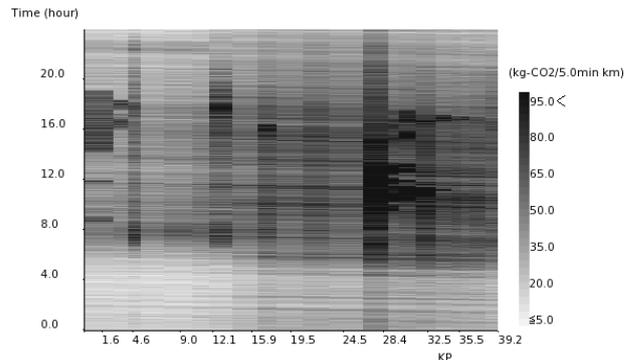


図-10 距離あたり排出量

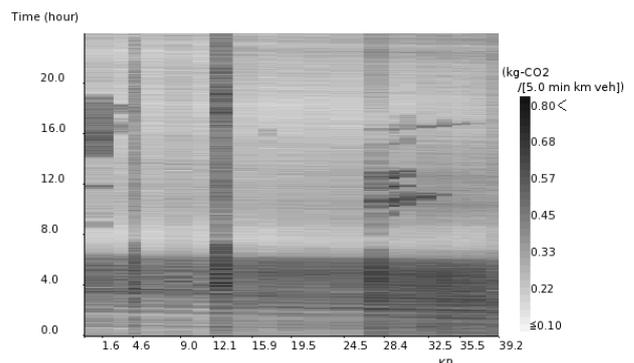


図-11 一台あたり排出量

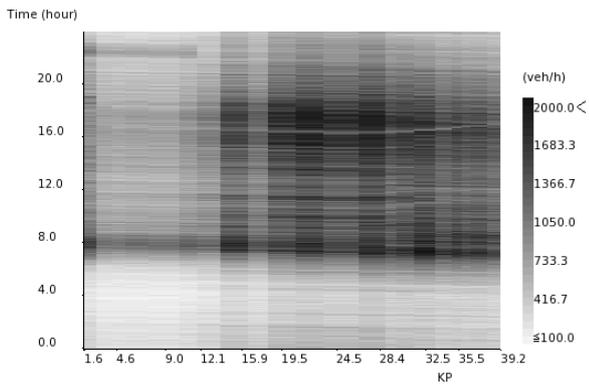


図-1 2 交通量

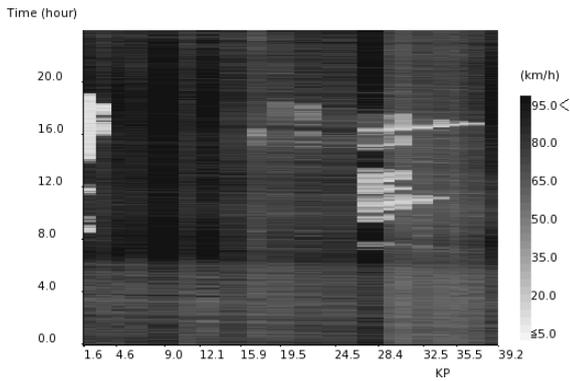


図-1 3 速度

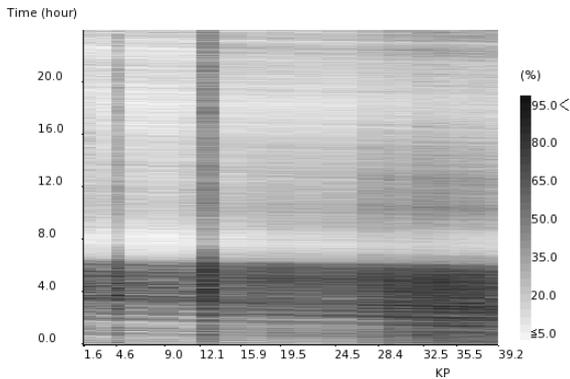


図-1 4 大型車混入率

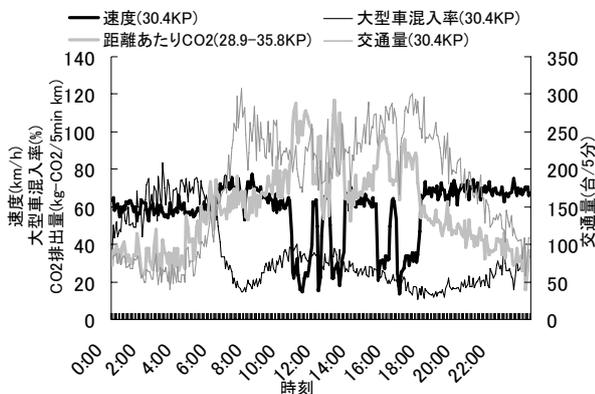


図-1 5 速度・大型車混入率・CO₂排出量・交通量の比較(30.4KP)

図-1 5は、より詳しく渋滞による速度低下時の排出量に着目するために30.4KPの速度、大型車混入率、交通量と28.9KPから35.8KPで推定された1キロあたりのCO₂排出量をグラフ上に図示したものである。この図で12:30~12:59と16:30~16:59の速度低下に着目すると、これらの時間帯の平均速度は、12:30~12:59が29.8(km/h)、16:30~16:59が29.0(km/h)であった。しかし、CO₂の排出量は12:30~12:59が572(kg-CO₂/km)であり、16:30~16:59が527(kg-CO₂/km)となっており、速度低下がより小さい前者のCO₂排出量が大きくなっていた。大型車混入率に着目すると、前者が33.5%であり、後者が18.7%であることから、大型車の通行台数が影響したと考えられる。CO₂の排出には、速度低下だけでなく大型車の混入率や交通量の水準などが排出量に影響するが、Cell Emission Approachでは、これらの変動による排出量の変動を表すことができ、時間帯や地点に応じた交通流の状態に応じた推定結果が得られることが確認できた。

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CO₂排出量を推定する方法を構築し、分析例を示した。第2章では、Cell Emission Approachによる推定方法として同時刻法とタイムスライス法の2種類の推定方法を構築した。第3章での分析例では、阪神高速道路の検知器データを用いた推定を行った。第3章2節で同時刻法とタイムスライス法の推定結果を比較した結果、同時刻法による推定では、タイムスライス法による推定に比べ過大にCO₂排出量を推定することが確かめられた。特に渋滞発生時に顕著に過大に推計する傾向に有り、分析例では、最大3%の推計値の差が確認され、渋滞区間で同時刻法を用いる場合には注意が必要であることが改めて確認された。同時刻法は、同一観測周期の交通量と平均速度のみを用いて計算できることから、Microsoft Excel等のスプレッドシートでも簡単に実装できる方法であり、簡便な試算に用いるのには適しているといえる。一方で、タイムスライス法は、前後の観測周期の平均速度も考慮した計算が必要となるため、スプレッドシートでは実装が難しくプログラム言語で記述することになると考えられる。したがって、タイムスライス法は同時刻法に比べ実装が難しくなる傾向がある。しかし、CO₂排出の推定方法を実装する際に、プログラミングでの実装が要件である場合には、より渋滞時の排出量を精緻に算出できるタイムスライス法を実装することが望まれる。

第3章3節では、推定結果を可視化することにより、定性的な分析を行った。分析結果では、渋滞による速度低下が原因となって排出量が増加している時間帯や、早

朝のように大型車混入率が高くなっていることが原因となつて排出量が大きくなっている時間帯があり、時間帯や地点によって異なる要因によってCO₂排出量が増加していることが確認された。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交通状態の変化によるCO₂排出量の増減を捉えることが可能であることが示されたといえるだろう。このことから、本研究の手法は、時間帯や交通状態によって、変動があるランプ制御などの交通制御や料金施策などの施策の事後評価などに利用されることが期待される。また、検知器のデータをリアルタイムで用いて推定することにより、CO₂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。

本研究の手法は、高速道路上など検知器の設置密度が高い道路でのCO₂の排出量を推定する方法論であった。一方で、検知器の設置密度が低い一般道では、本研究の方法を直接適用することは難しいと考えられる。しかし、温暖化対策を念頭としたCO₂削減策では、高速道路上の交通制御を行う場合においても、高速道路と一般道での排出量の合計を削減する必要がある。したがって、今後の研究では、本研究の手法を一般道等の観測密度が低い道路で用いるための改良を行うことや、それらの道路で用いられている既存の推定方法と本研究の手法との整合

性を検証することが必要である。また、本研究の手法及び一般道での推定手法による推定値を用いて具体的な施策に対する評価をおこないたい。

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) 下川澄雄, 福田敦, 森田緯之, 石坂哲宏: 高速道路における自動車の走行状態別CO₂排出量の推計, 交通工学, Vol.44, No.4, 2009.
- 2) 石坂哲宏, 福田敦, 下川澄雄, 寺館直樹: 自動車交通におけるCO₂排出量の推計方法の整理とその適用——一般国道から高速道路へ転換させた場合の試算を例として——, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, 2009.
- 3) 紀伊雅敦, 伊東大厚, 大野栄嗣: 交通管制データを活用した交通対策によるCO₂削減効果の事後評価——首都高速王子線整備を対象として——, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, 2006.
- 4) 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.

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—*

日下部貴彦**・南善樹***・朝倉康夫****

本研究で開発した「Cell Emission Approach」による排出量推定手法は、高速道路上に設置された車両検知器によって観測された交通量及び速度データから時々刻々と変動する交通流に応じた二酸化炭素排出量を高速道路上の区間毎に算出するものである。推定方法では、同時刻法とタイムスライス法の二種類の方法を構築した。分析では、阪神高速道路で観測された5年間半分の検知器によるデータを用いて路線毎の二酸化炭素排出量を推定した。分析では、同時刻法とタイムスライス法による推定結果の比較し、それらの方法の特性を確認した。また、推定結果を可視化し、区間毎の交通量・速度等の交通流指標と比較し考察を行った。

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

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

This paper proposes a Cell Emission Approach for estimating CO₂ emission in urban expressways. The estimation models rely on traffic flow data collected by traffic detectors. Two cell-based estimation models, called as the instantaneous model and the time slice model are proposed. The instantaneous model is one of the simplest methods for estimating CO₂ emission. The time slice model is more accurate model than the instantaneous model because trajectories of each vehicle are considered. CO₂ emission from the Hanshin Expressway in Japan is estimated by the proposed models. The results of the estimation are represented by visualization methods.
