

環境負荷推計の立場からみた道路交通需要推計手法に関する基礎的考察  
 Demand Estimation Methods of Road Traffic  
 with the view to Estimating the Amount of Environmental Load

加藤 博和\*  
 By Hirokazu KATO

1 はじめに

交通活動に伴う環境影響の軽減は、交通政策上の長年にわたる大きな課題であるがゆえに、その状況把握や対策効果予測の基礎データとなり、かつ直接計測することができない環境負荷発生量（汚染物質や音・振動エネルギーの発生量）の推計手法について、多くの研究が行われてきた。特に近年では、地球温暖化問題への認識の高まりにより、従来着目されてきた窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）に代表される大気汚染や騒音・振動に加え、エネルギー消費や二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）に関する推計事例が数多く発表されるようになってきている。

しかし、それらの推計で用いられている手法の大多数は、もともと開発されてきた交通需要推計手法を援用し、その出力に環境負荷発生量原単位（以下「原単位」と略す）を乗じるというものであり、極端に言えば交通需要推計の1アプリケーションとして位置づけることもできる。逆に、既往の交通需要推計手法は、必ずしも環境負荷推計を念頭に置いて開発されているわけではない。環境負荷が交通政策の評価にとって重要な指標となりつつある現在、むしろ環境負荷推計の立場から交通需要推計手法を見直すという「逆転の発想」も必要になってきていると考えられる。

このような認識に立って、本稿では、交通活動起源環境負荷のうちでも圧倒的な割合を占める道路交通に着目し、その推計を行う立場から既往の交通需要推計手法にいかなる課題が存在するかについて整理することを目的とする。

2 環境負荷発生量推計の考え方の分類

keywords: 地球環境問題, 環境計画, 交通計画評価  
 \* 正会員 博(工) 名古屋大学大学院助手 地圏環境工学専攻  
 〒464-8603 名古屋千種区不老町  
 TEL: 052-789-2773, FAX: 052-789-3837  
 E-Mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

表1 環境負荷発生量推計の考え方と使用データ

	使用データ	長所/短所
負荷発生地ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般交通量調査(b)</li> <li>ネットワーク配分モデルによる推計(b)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間単位が任意に設定可能</li> <li>属地的分析が可能</li> <li>速度が考慮可能(問題点は5章で詳述)</li> <li>過小推計のおそれ</li> </ul>
交通発着地ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>PT調査/自動車起終点調査(c)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通行動モデルと整合</li> <li>走行距離や旅行速度が不明</li> </ul>
居住地ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>家計調査年報(a)</li> <li>自動車輸送統計年報(a)</li> <li>PT調査等(b)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>家計や車種の違いが分析可能</li> <li>抽出アンケートのため総量としての信頼性が劣る</li> </ul>
燃料販売地ベース	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー生産・需給統計年報(a)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料・CO<sub>2</sub>排出の総量把握には最適</li> <li>最小単位が都道府県</li> </ul>

※使用データの後ろの記号は、本文中の手法分類と対応

環境負荷発生量推計に関する既往手法は、a)マクロ、b)ネットワーク、c)（トリップベースの）ミクロ、d)交通流シミュレーション、の各アプローチに分かれる。また、対象地域の定義によって手法と使用データが異なり、それらは表1のように分類できる。対象地域の定義で考えると、全国を対象とする場合にはいずれもほぼ同じ環境負荷発生量をとる必要があるが、市町村といった小さな地域を対象とする場合には異なった量になる。

各手法には一長一短があるが、地球温暖化（CO<sub>2</sub>）や酸性化（NO<sub>x</sub>等）を議論する場合に必要な、地域の総排出量そのものを推計する場合には、「エネルギー生産・需給統計年報」による燃料販売量が最も信頼性の高い値である。ただし、データの最小単位は都道府県であるため、それより小さい空間レベルでの値を出すためには、何らかの按分を行う必要が出てくる。最も簡便な按分方法は自動車保有台数を用いるものである。

一方、局地的な環境レベルが問題になる大気汚染や騒音・振動を評価する場合には、ネットワーク分析によって各道路区間からの環境負荷発生量を推計し、汚染物質拡散モデルや騒音伝搬モデルを用いて

空間分布を求める方法が最も有効である。

### 3 環境負荷発生量の基本式

表1に挙げた手法のうち、a)マクロ推計の燃料消費量・販売量に基づく手法以外は、すべて交通データから何らかの計算を行って環境負荷を推計する必要がある。その考え方はいずれの手法においても、式(1),(2)で表される「環境負荷発生量の基本式」に集約することができる。<sup>1)</sup>

$$E = \sum_k e^k \cdot L^k \quad (1)$$

$$L^k = (1/n^k) \cdot l^k \cdot s^k \cdot a \cdot P \quad (2)$$

- $E$ : 環境負荷発生量[g-C/day]
- $e$ : 環境負荷発生原単位[g-C/台(車両)km]
- $L$ : 総走行台キロ[台(車両)km/day]
- $n$ : 平均乗車人数[人(ト)/台(車両)]
- $l$ : 平均トリップ長[人(ト)km/トリップ°]
- $s$ : トリップ手段構成比[トリップ°/トリップ°]
- $a$ : 生成原単位[トリップ°/人・day]、 $P$ : 人口[人]
- $k$ : 交通手段

ネットワークや交通流シミュレーションのアプローチでは、上記のうち「トリップ」を「区間(リンク)」と読み替えることで対応できる。また、この基本式の各変数を検討することで、各種施策に伴う環境負荷変化の把握も可能となる。以下、この基本式を元にして、各推計手法の検討を試みる。

### 4 ネットワーク分析における環境負荷の捕捉率

基本式(1)の中の総走行台キロ  $L$  を地域レベルで把握できるデータは「自動車輸送統計年報」と「道路交通センサス一般交通量調査」である。このうち前者は、毎年のデータが存在するものの、把握可能な地域単位が全国や6大都市圏等に限られるとともに、アンケート調査のため総量としての信頼性が必ずしも高いとはいえない。

一方、後者については、主要道路(高速道路、一般国道・主要地方道・都道府県道など)を対象とした断面交通量調査結果に道路区間長を乗じて推計されることから、「主要道路でない区間」の取りこぼしが存在すると考えられる。その程度を検証するため、例として、平成9年度の愛知県における乗用車(軽

自動車を含む)を対象に考える。乗用車へのガソリン販売量推計値(車種別の販売量は得られないため、車種・燃料別自動車保有台数比で按分して推計)は7,223[kl/day]であるのに対し、平成9年度一般交通量調査による24時間総走行台キロは45,941[千台km/day]となり、平均燃費は6.36[台km/l]と計算される。この解釈は慎重に行う必要があるが、10-15モード平均燃費等から考えると過小推計であると予想される。すなわち、一般交通量調査から推計される総走行台キロは過小であると考えられる。

このことは、同じく主要道路区間(リンク)のみを扱うネットワーク配分モデルによる環境負荷推計においても注意すべき点である。主要道路を通らない自動車交通は速度が相対的に低く、燃費や原単位が大きくなる傾向にあるため、環境負荷は走行台キロよりさらに過小推計になると考えられる。以上を踏まえ、ネットワーク分析を地域の環境負荷発生総量推計に用いる場合は、主要リンクに載らない内々交通量の考慮を行うとともに、燃料販売量データによるコントロールトータルの確認が必要である。

### 5 平均旅行速度を環境負荷発生原単位の説明変数とすることによる問題点

#### (1) 走行状況の代理指標としての平均旅行速度

原単位  $e$  は、車両のエンジン性能はもとより、走行状況(車両挙動)によっても大きく変化する。特に渋滞時には、低速での加減速・停止が頻繁に発生し、燃費の悪化と原単位の上昇が生じる。したがって、原単位の説明要因として走行状況を織り込む必要がある。実際に、環境負荷削減施策の多くは、モーダルシフトや経路短縮とともに渋滞解消を通じて効果をもたらすことが想定されるため、この観点は施策分析上も重要であり、特に新規道路整備やITSを環境面から評価する場合は必須であるといえる。

走行状況を原単位の説明要因とする方法のほとんどは「(停止時間を含む)平均旅行速度」 $v$ を説明変数とするものである<sup>2)</sup>。この原単位関数に関して、走行モードを仮定した走行実験や実際道路上での走行試験による特定結果がいくつか公表されている。平均旅行速度のみで原単位を完全に説明することはむろん不可能であるが、原単位特定における走行状況の代表指標としての妥当性は、大口<sup>3)</sup>による、実

測燃費の分析結果と自動車エンジン・車両の理論モデルとの比較でも明らかにされている。

## (2) マクロ分析における走行速度の導入

マクロ分析の多くは、走行状況にかかわらず原単位を一定値に設定している。一般には、「運輸関係エネルギー要覧」等で公表されている全国平均値や、都道府県等の範囲で統計データから平均的な原単位を推計して用いることが多い。最大の理由として、対象地域全体の平均旅行速度に関するデータが入手不可能であることが考えられる。「道路交通センサス」で得られる平均旅行速度は、主要道路の交通量ピーク時の値のみであり、これらの平均値をとったとしても、地域全体の日平均旅行速度とはかけ離れている。ただし、主要道路を対象とすることは速度の過大推計に作用し、ピーク時であることは過小推計に作用することから、これらのキャンセルアウトも考えられる。さらに、現状値の推計は可能であっても、得られるデータサンプルが極めて少ないことから、集計化 Q-V 式の推定には困難が伴う。このように、マクロ分析への走行速度の取り込みはデータ面から非常に困難であり、感度にも問題があると考えられるが、著者らによるマクロ分析例<sup>4)</sup>では、交通施設整備による走行状況変化を扱うために、あえて集計化 Q-V 式を推定し利用している。

## (3) ネットワーク分析における Q-V 式適用

ネットワーク交通需要推計モデルでは、経路配分において Wardrop 第 1 原則を満たす交通量配分結果を得るために、各道路区間に交通量-速度関係式 (Q-V 式) やリンクパフォーマンス関数が設定される。ゆえに、推計結果として各区間の交通量とともに走行速度や所要時間が得られる。この走行速度は区間平均であり、旅行速度とは厳密には定義が異なるが、この値を用いれば、道路走行状況変化を考慮した環境負荷の推計が一応は可能となる。そのため、この手法は多くの既往研究で適用されている。

ところが、通常、ネットワーク配分モデルの基本的な出力結果は各道路区間の交通量であるため、モデルの現況再現性の確認も、交通量に関してのみ行われるのが普通である。そもそも、各道路区間における Q-V 式の設定が便宜上のものであることが多く、その場合走行速度  $v$  は走行状況を表すパラメー

タとしての意味しか持ち得ず、その絶対値の信頼性は低い。当然、その値を説明変数として用いる原単位の精度も低くなってしまふことに注意を要する。

## (4) 交通量・速度の時間帯別変動

ネットワーク配分による環境負荷推計事例の多くは日単位での配分を行っている。しかしこの場合には時間変動が扱われないため、ピーク率が大きくピーク時の渋滞による顕著な原単位増加があっても、1 日で速度を平均化することで無視されてしまい、結果的に環境負荷が過小推計となるおそれがある。

これを定量的に検証するために、中村ら<sup>5)</sup>がマイクロ交通流シミュレーションを用いて推計した、名古屋市のある主要道路 (リンク数 14) の午前 7~10 時における都心方向への交通量と走行速度を用いて、3 時間平均値で環境負荷を推計した場合と、5 分間ごとに推計を行って合計した場合との比較を行った。対象リンクはいずれも、この時間帯に最大と最小との差が 2 倍以上の交通量変動があり、特に渋滞の激しい、都心への入口にあたるリンクでは、5 分間データによる環境負荷推計結果が 3 時間データの 2 倍以上となる場合もあった。これは 3 時間の推計値であり、1 日平均とするとこの差は緩和されるが、それでも無視できない値になると考えられる。

以上の問題を解決するためには時間帯別交通量・速度データを得ることが必要である。米蔵・武山の研究<sup>6)</sup>は時間帯別配分モデルを用いた推計例の 1 つである。また、実用上は時間帯別の調査・分析は負担が大きいことから、例えば 1 日平均走行速度とピーク率による補正係数をあらかじめ用意しておくことも考えられる。

## (5) 所要時間の使用による走行速度変数の回避は可能か？

原単位の説明変数に走行速度を用いることによる問題点を解消するために、走行台キロ  $L$  の代わりに走行時間  $T$  を用いる方法が考えられる。基本式(1)に、 $L=vT$  を代入すると、

$$E = eL = \{a/v + \alpha(v)\} \cdot vT = aT + \alpha(v) \cdot vT \quad (3)$$

$a$ : 定数、 $\alpha(v)$ :  $v$  のゼロ次以上の項

となり、右辺第 2 項が無視できれば  $E=aT$  となって、

環境負荷発生量は走行時間と単純比例関係となる。

しかし、既往研究で用いられている原単位関数のうち、 $1/v$ の項を持つものについて確認したところ、低速域では定数項が無視できず、高速域では $v$ の高次項が卓越するケースが多い。したがって、既往の原単位における $1/v$ の項のパラメータ $a$ をそのまま $E=aT$ に用いることは不可能である。しかし、低速域を対象に $1/v$ のみを説明変数とする原単位関数を新たに推定し、渋滞の激しい都市部を対象としたPTベースの推計に適用すれば、PTベースで問題となる走行台キロ推計時の走行速度設定の問題も回避されることから、有効な方法となる可能性がある。

## 6 交通流シミュレーション適用における問題点

車両ベースの交通流シミュレーションでは、各車両の細かい走行挙動、特に他車との関係を再現することで、道路交通状況や交通容量を推計する。

この方法の大きな特色は、走行挙動、特に加減速や停止といった走行モードが明示的に再現され、かつ走行モードの割合が環境負荷発生量の規定要因であるという点にある。したがって、もし各走行モードに対応する原単位があらかじめ得られれば、平均旅行速度を説明変数とする原単位では説明しきれない要因が再現でき、より原理的に環境負荷を推計する方法であると言える。同時に、走行試験におけるモード設定の妥当性や、走行実験に伴う原単位のバラツキといった問題も解消される。都市圏レベルのような大規模な適用は現状では困難であるが、信号交差点やボトルネックの改良といった交通流改善施策による環境負荷変化の推計には有利である。

しかし、交通流シミュレーションを用いた環境負荷推計例がほとんどないため、現状のシミュレーションのレベルが、環境負荷推計の立場から十分といえる程度に車両走行挙動を表現できているかどうかは未知である。その最大の理由は、走行モードに対応した原単位の未整備にある。さらに原理的には、加減速・停止モードとアクセルの踏み込み量、エンジン出力・回転数、そしてそれと燃料消費量や環境負荷発生量との関係に立ち戻って定式化することが必要になるであろう。そのような試みは既に行われ始めている。<sup>7)</sup>

## 7 まとめ

本稿では、環境負荷発生量推計の立場から、交通需要推計手法に何が求められるかについて論じてきた。その要点は以下にまとめられる。

- 1) 平均旅行速度を説明変数とする環境負荷発生原単位を用いる場合、原単位自体のバラツキはもとより、速度の精度が低く、また速度の時間変動を考慮しないことによる誤差も無視できない。したがって、旅行速度に関する実測データ整備が必要である。それによってQ-V式を再検討し、旅行速度の推計精度を高めることも可能となる。これは、ネットワーク分析はもとより、マクロ分析に走行状況を導入するためにも重要である。
- 2) ネットワーク分析を環境負荷の総発生量推計に適用する場合、一般に過小推計となる。
- 3) ミクロ分析は、交通行動モデリングとの整合がとれるため、環境負荷基本式の変数を変化させる施策の分析に適しているが、走行台キロの値が直接計測されないという問題がある。ただし、大都市部のように渋滞が多い地域では、走行時間を用いた推計により問題が回避できる可能性がある。
- 4) シミュレーション分析は、原理的には優れた方法であるが、この方法に対応した走行モード別原単位の整備が遅れている。この整備を足がかりに適用例を蓄積し、環境負荷推計の立場からシミュレーションがどの程度交通状況を再現できているかについて評価することが求められる。

## 参考文献

- 1) 加藤・林：都市旅客交通に伴うCO<sub>2</sub>排出メカニズムの定式化と実際都市への適用に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集 No.16, pp.449-454、1999.10
- 2) 石田・小島・岩倉・七元：旅客交通の大気汚染排出原単位に関する比較考察、土木計画学研究・講演集 No.19(2)、pp.105-108、1996.11
- 3) 大口：道路交通における燃費消費量推定方法に関する考察、土木計画学研究・講演集 No.22(2)、pp.575-578、1999.10
- 4) 加藤・林・丸田：モータリゼーション進展過程を考慮した都市旅客交通起源CO<sub>2</sub>の長期的分析手法、土木計画学研究・講演集 No.22(2)、pp.563-566、1999.10
- 5) 中村・平松・内海：マイクロ交通流シミュレーションと手段選択モデルを用いたダイナミック・パーク・アンド・ライドの評価、土木計画学研究・講演集 No.23、2000.11
- 6) 米蔵・武山：ネットワークシミュレーションに基づくNO<sub>x</sub>排出強度の推定仙台における交通部門でのCO<sub>2</sub>排出に関する研究、土木学会第52回年次学術講演会講演概要集第IV部、pp.524-525、1997.9
- 7) 森野・寺町・角：交差点付近の窒素酸化物の濃度分布予測、環境システム研究 Vol.27、pp.643-648、1999.10