

道路交通シミュレーションを用いた 交通政策の地球環境への影響評価

井ノ口 弘昭¹・秋山 孝正²

¹関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:hiroaki@inokuchi.jp

²関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:akiyama@kansai-u.ac.jp

二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの削減は世界的な課題であり、さまざまな削減対策が行われている。そのなかで、自動車からの二酸化炭素の削減は重要な課題である。本研究では、交通政策が地球環境へ与える影響を検討する。検討にはファジィ・ニューラルネットワークを用いた追従走行モデル、二酸化炭素排出量推計モデルを内生化した交通シミュレーションモデルを用いる。交通政策として、トランジットモールおよびカーシェアリングの導入について検討した。その結果、これらの交通政策が地球環境へ与える影響を定量的に示すことができた。

Key Words : traffic simulation model, carbon-dioxide emission, environmental assessment

1. はじめに

日本をはじめとする世界中で低炭素社会の実現が課題になっている。運輸部門の二酸化炭素の排出割合は、日本全体の約2割であり、効率的に削減を進めていく必要がある¹⁾。日本においても多くの温室効果ガス削減目標が提示されているが、日本全体あるいは都市圏全体の削減目標であることが多い。しかしながら、運輸部門の温室効果ガス排出量は、個別車両のガス排出構造や道路交通状態による変動が顕著であり、地球温暖化対策の定量的基準となる温室効果ガス排出量を的確に算定することが重要である。そこで、本研究では道路交通シミュレーションを用いて個別車両の走行状態から温室効果ガス排出量を算定する。交通政策による環境負荷量の削減効果を定量的に示し、交通政策の環境面での有効性を検討することが本研究の目的である。

2. 交通シミュレーションモデルの構築

ここでは、個別車両の走行状態から環境負荷量を算定するための道路交通シミュレーションモデルを構築する。はじめに概要を述べ、次に交通シミュレーションを構成する主要なモデル(追従走行モデル・二酸化炭素排出量推計モデル)について述べる。

(1) 交通シミュレーションモデルの概要

ここでは、交通シミュレーションモデルの概要について述べる。交通シミュレーションは数多くのモデルが開発されているが、本研究では筆者が開発したマイクロ交通シミュレーションモデルCaTS(Car-following-based Traffic Simulation)を基礎としたモデルを用いる²⁾。CaTSの概要を表-1に示す。

表-1 交通シミュレーションモデルの概要

車両表現と計算時間	車両1台ごとに0.1秒単位で移動
経路選択モデル	・15分単位のリンク所要時間平均値から最短経路を決定 ・最短経路探索を1分間隔で実行 ・各リンクに流入時点で目的地までの最短時間経路を選択
交差点部のモデル	・左折・直進時：流入先ブロックの最後尾車との車間距離を基に速度決定モデルを用いて速度を決定 ・右折時：対向車が減速する必要がある場合は交差点中央部で停止。その他の場合は、左折・直進と同様に速度を決定。
車線変更モデル	・車線変更(追い越し)：希望速度(規制速度)と先行車速度より移動有無を決定 ・車線変更(交差点右左折)：安全余裕(Safety Margin)に基づく車線変更行動決定

本モデルは、車両1台1台の動きを計算する時間間隔を0.1秒単位で設定していること、交差点内も含めて車両の動きを詳細に再現していることが特徴である。また、経路選択はリンクへ流入した時点で目的地までの最短経路を探索し、決定する。

本モデルの計算手順を図-1に示す。基本的なモデル計算手順として、右折判断等も含めて一時点の全車両速度を同時決定して、その後に各車両速度から車両位置を決定する。これより車両の時間分布変化を統一的に表現できる。計算機内部では、車両ごとに起点・終点・出発時刻・走行速度・走行位置・通過リンク・CO₂排出量などのデータを記憶させ、計算に用いている。また、リンクごとに車線数、車線ごとに先頭車・後尾車・CO₂排出量などのデータを記憶させている。

(2) 追従走行モデル

つぎに、交通シミュレーションの主要なモデルである追従走行モデルについて述べる。これは、周りの交通状態を基に車両の速度を決定するモデルである。通常、運転者は前を走行している車両2台程度、後ろを走行している車両、横を走行している車両の状況を把握しながら運転操作をしていると言われている。ここでは、モデル構造を簡略にするために前を走行している車両との車間距離および走行速度を用いて加速度を決定する。

本研究で用いる追従走行モデルは、運転者のもつ曖昧性を考慮するため、ファジィ推論を用いる。推論ルールを表-2に示す。ここで、走行速度をVEL、車間距離をHDW、加速度をACCと定義する。また、メンバシップ関数はそれぞれの変数について3種類定義する。網羅的にルールを設定したため、9個のルールで構成される。

また、ファジィ推論ではメンバシップ関数の形状を決定する必要がある。本研究ではニューラルネットワークを用いたファジィ・ニューラルネットワークとすることで決定するモデル構造を用いる。すなわち、GPSを用いた車間距離、速度の実測データを用いて、学習を行う。ファジィ・ニューラルネットワークを用いた追従走行モデルの構成を図-2に示す。ニューラルネットワークは6層で構成される。第1層・第2層で前件部のメンバシップ関数を表現する。したがって、それぞれの入力変数に対して、low, middle, highの前件部適合度が出力される。つぎに、第3層・第4層ではファジィルールを適用する。これらの計算により加速度が出力されるモデルになっている。また、実測データを学習データとして与えることで、結合パラメータを求めている。

これにより、人間の持つ曖昧性を考慮し、実測データに整合する追従走行モデルを構成している。

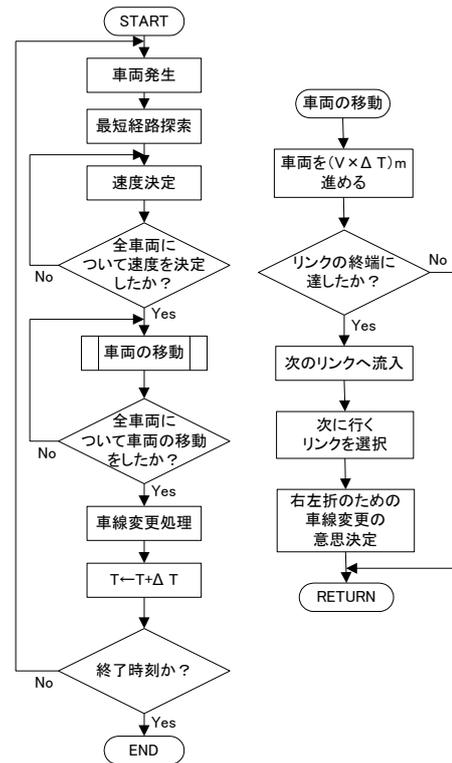


図-1 交通シミュレーションの計算手順

表-2 追従走行モデルのファジィルール

Rule-1: IF VEL is low and HDW is short then ACC is middle.
Rule-2: IF VEL is low and HDW is middle then ACC is high.
Rule-3: IF VEL is low and HDW is large then ACC is high.
Rule-4: IF VEL is middle and HDW is short then ACC is low.
Rule-5: IF VEL is middle and HDW is middle then ACC is middle.
Rule-6: IF VEL is middle and HDW is large then ACC is high.
Rule-7: IF VEL is high and HDW is short then ACC is low.
Rule-8: IF VEL is high and HDW is middle then ACC is low.
Rule-9: IF VEL is high and HDW is large then ACC is middle.

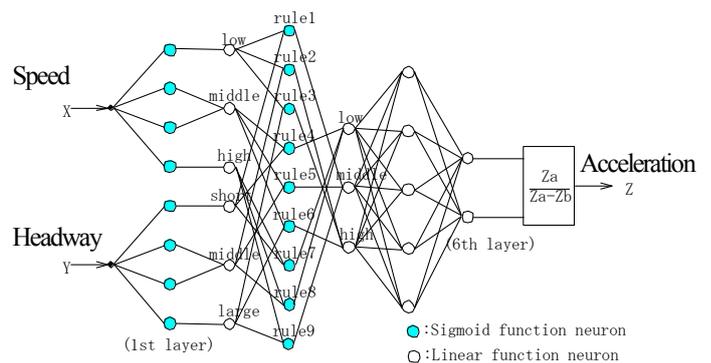


図-2 追従走行モデルの構成

(3) 二酸化炭素排出量推計モデル

本研究では、筆者らが実車両を用いて計測したデータを用いて二酸化炭素排出量の推計を行う。CO₂排出量の計測は、表-3に示すようにいくつかの方法がある。この中で、燃料消費量から推計する方法は、簡便な方法であ

るが、マイクロレベルの推計が困難であることが欠点である。自動車の排出ガス分析の分野では、一般的に赤外線式の計測方法が用いられている。例えば、道路運送車両の保安基準への適合度を調べる場合は、シャーシダイナモメータを用いた室内実験で、赤外線式の計測装置を用いて排出ガスを計測するように定められている³⁾。これらのことを踏まえ、本研究でも赤外線式の計測装置を用いることとする。

調査では、特定の車両を用いて、図-3 に示すデータを収集する。調査車両には、(1) CO₂ 濃度測定装置、(2) ガス流量計、(3) 走行速度などを記録する運行記録計、(4) 機器を動作させるためのバッテリーなどを搭載する。また、排出ガス管にアダプタを取り付け、流量を計測するためのピトー管・温度計や CO₂ 濃度を計測するためのガス引き込み管を設置する。エンジン回転数は車両のパルス信号を取り込み、走行速度は GPS を用いて計測する。

排出ガスの計測は、シャーシダイナモメータを用いた室内実験が一般的である。この場合、大型の測定装置を用いることから、計測精度が高い。一方、本研究ではコンパクトな機器を自動車に搭載して一般道路を走行することにより、データを収集することが特徴である。これにより、道路状況・交通状況を考慮したデータ収集が可能である。これらのデータは1秒間隔で収集する。

ここでは、過去に調査を行ったガソリンエンジンの小型乗用車・普通乗用車の計測データを用いて構築した二酸化炭素排出量推計モデルを用いる^{4),5)}。一般的には、速度帯別の排出係数が用いられるが、ガスの排出量は走行状態に対する変化が顕著である。そこで、本研究では走行速度に加えて加速度を入力変数として用いることで、走行状態に応じた排出量を求めることが可能なモデルとしている^{6),8)}。

3. 交通シミュレーションモデルの適用

ここでは、交通シミュレーションモデルを道路網に適用する方法について述べる。はじめに、対象地域について、つぎに、交通状態の算定結果および環境負荷量の算定結果について述べる。

(1) 対象地域・OD交通量の設定

はじめに、対象地域について述べる。ここでは、京都市の中心部を対象に道路網を設定する^{9),10)}。対象地域の道路網を図-4 に示す。京都市面積 827.9km² に対して、対象地域は 60.4 km² (東西 7.1km、南北 8.5km) である。この都市道路網は全般的に格子状に構成され、南北・東西方向に国道 1 号線、国道 9 号線、国道 24 号線、国道 171 号線の主要幹線道路が存在している。本図に示す都市道路網は、518 の方向別リンク (道路区間)、237 のノード (道路結節点) で構成される。

表-3 CO₂ 排出量の計測方法

方式	概要	特徴
電気化学式	固体電解質や電解液を用いて CO ₂ 等のガスを検知する	安価 測定濃度範囲が狭い
赤外線式 (NDIR)	ガス分子に赤外線を照射し、特定の波長の赤外線を吸収する特性を利用したもの	測定濃度範囲が広い 多くの種類のガスに応用可能
燃料消費から推計	ガソリン等の燃料消費量と CO ₂ 排出量原単位を用いて推定	特別な装置は不要 マイクロレベルの推計が出来ない

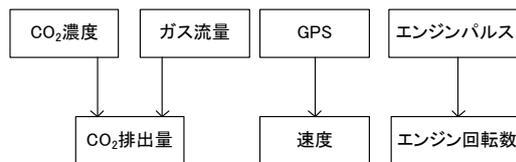


図-3 走行調査での測定項目



図-4 対象地域の道路網

また当該の自動車 OD 交通量は、第 4 回京阪神都市圏パーソントリップ調査(2000 年)のゾーン間 OD 表に基づいて作成する。このとき、具体的な環境負荷の評価時間帯として、都市内交通のピーク時間帯に対応した午前 7:00~10:00 とする。

(2) 交通状態の算定

交通シミュレーションを実行した結果として、各車両の速度・走行時間などのデータが得られる。ここでは、基礎的な交通状態を整理する。

対象地域のピーク時間帯である 8:00~8:15 の平均速度

の分布を図-5に示す。平均速度が10km/h以下である道路区間が25%存在する。一方で、平均速度が30km/h以上の比較的スムーズに流れる道路区間も30%存在することがわかる。平均速度が低い道路区間は、南区および中心市街地である下京区・中京区に多く存在する。

(3) 環境負荷量の算定

つぎに、対象地域の環境負荷量を算定する。ここでは、各道路区間のCO₂排出量を、関連ゾーン別に集計した。行政区画に対応する都市道路網と関連ゾーンのCO₂排出量を図-6に示す。都市内の交通流動量を反映して、産業部門の立地する南区がCO₂排出量は最も大きい。また、中心業務地区(CBD)に相当する中京区・下京区では交通混雑の影響もあり、CO₂排出量が大きく推定されているものと考えられる。

4. 低炭素交通政策の評価

ここでは、具体的な低炭素を目指した交通政策について検討する。交通政策として、1)トランジットモール化、2)カーシェアリングを取り上げる。

(1) トランジットモール化の影響分析

京都市では、2007年にトランジットモールの実証実験を実施した。これは、四条通の四条河原町から四条烏丸間において路線バス・タクシー以外の一般車両の通行を禁止するものである。本研究では、この実証実験を参考に、トランジットモール化の交通流への影響・環境負荷量の影響を分析する。

具体的な設定として、四条通の四条河原町から四条烏丸間の車両の通行を禁止する。このとき、自動車から公共交通への転換が考えられるため、対象地域に関連する自動車OD交通量（トランジットモール化された地域を起終点とするトリップ）を一定の比率で削減する。

OD交通量削減の比率と迂回が考えられる五条通の平均速度との関係を図-7に示す。OD交通量の削減比率が少ない場合は、迂回による混雑が発生し、政策を導入しない場合と比べて平均速度は低下する。特に、削減比率が0%の場合は、平均速度が4.5km/h低下する。したがって、トランジットモールの導入には、自動車から公共交通への転換が見込めないと周辺の道路混雑の悪化につながる事がわかる。

また、OD交通量の比率とCO₂排出量との関係を図-8に示す。OD交通量の比率が小さい場合、トランジットモールの導入により、二酸化炭素排出量は増加する。これは迂回交通で周辺の道路混雑が増加することに起因する。OD交通量削減比率が0%の場合のCO₂排出量は、計算対象時間である3時間で1.0t-CO₂増加する。一方、OD交通

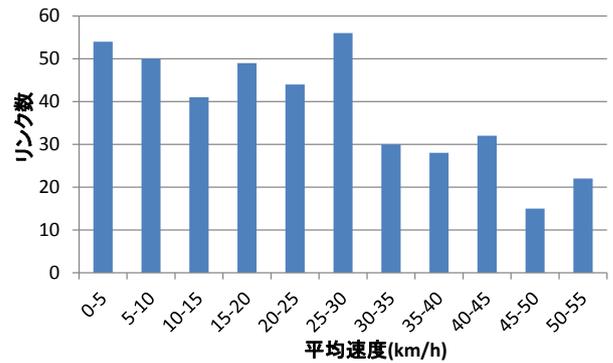


図-5 対象地域の平均速度の分布

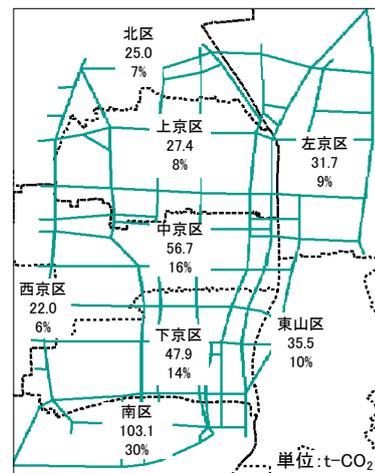


図-6 対象地域の二酸化炭素排出量の空間分布

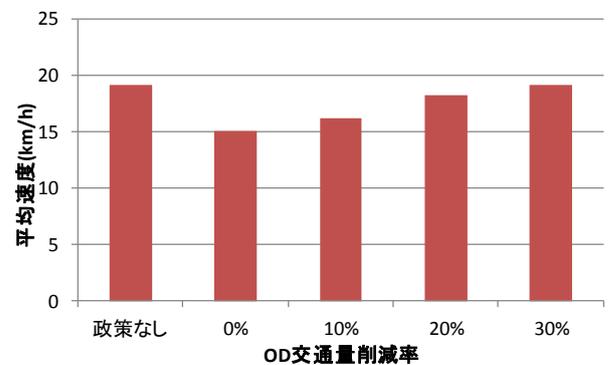


図-7 迂回道路（五条通）の平均速度

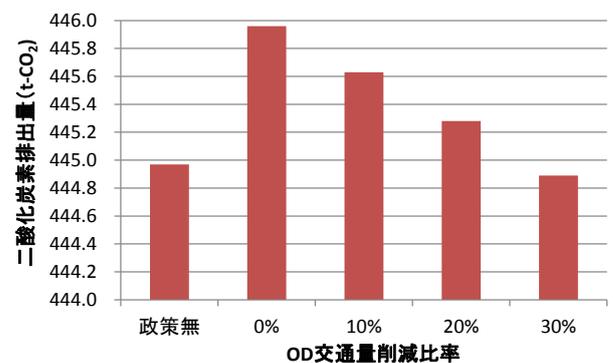


図-8 二酸化炭素排出量の算定値

量削減比率が30%程度以上であれば、政策を導入しない場合と比べてCO₂排出量の削減が見込める。したがって、このことから自動車から公共交通への転換を促進しないとトランジットモール導入により環境悪化につながる事がわかる。

(2) カーシェアリングの普及による影響分析

日本では、カーシェアリングを行う企業が増えつつある。カーシェアリングにより、電気自動車などの環境負荷量の少ない車両の導入が進むと考えられる。例えば、京都市では自治体でも東山区・中京区のホテル宿泊者を対象に電気自動車の貸し出しを行っている。そこで本研究では、電気自動車を用いたカーシェアリングに伴う環境負荷量の削減効果について分析する。

カーシェアリングは、拠点数が地域により異なるため、本研究では区を単位にカーシェアリングの数を設定する。具体的には下京区および中京区は京都市の中でも中心地区であり、拠点数も多いことが考えられるため、他の地域と比べ多く配置する。

カーシェアリング台数とCO₂排出量との関係を図-9に示す。電気自動車のCO₂排出量はガソリン自動車と比べて少ないため、カーシェアリングの増加に伴い、CO₂排出量は減少する。しかしながら、1,000台のカーシェアリングを実施してもCO₂排出量の減少量は全排出量の0.1%である。

5. おわりに

本研究では、道路交通シミュレーションを用いて交通政策による環境負荷量の削減効果を定量的に示し、交通政策の有効性を検討した。本研究の成果を以下に示す。

- 1) 交通シミュレーションを用いて環境負荷量を算定する方法を示した。
- 2) 交通政策の例として、トランジットモールの導入効果について検討した結果、自動車から公共交通への転換により自動車交通量の削減が見込めない状況では、周辺の道路混雑が発生し、CO₂排出量の増加につながる事がわかった。
- 3) 電気自動車によるカーシェアリングの普及による影響を分析した結果、普及が進むと環境改善につながる事がわかった。しかしながら、環境改善効果を生むためには大規模なカーシェアリングを行う必要がある事がわかった。

本研究では、環境負荷量削減を目指した交通政策について検討したが、これらの交通政策について更なる検討の余地がある。今後は、交通政策についてより具体的に示し、その効果をより詳細に分析する必要がある。

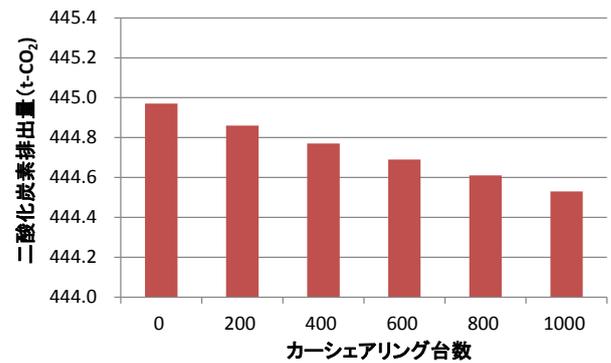


図-9 カーシェアリング台数とCO₂排出量との関係

参考文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター：日本における温室効果ガス排出量の推移，http://www.jccca.org/chart/chart04_01.html
- 2) 井ノ口弘昭，河上省吾，荻野弘：ファジィ的ニューラルネットワークを用いた微視的道路交通シミュレーションモデルの開発，土木計画学研究・論文集，Vol.16，pp.911-918，1999.
- 3) 国土交通省：道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添 42（軽・中量車排出ガスの測定方法）。
- 4) 井ノ口弘昭，秋山孝正：道路交通運用のための自動車排出ガス推計モデルの構築，交通工学研究発表会論文集，Vol.30，pp.145-148，2010.
- 5) 井ノ口弘昭，甲斐智則：ハイブリッド自動車の二酸化炭素排出量推計モデルの構築，第 29 回交通工学研究発表会論文報告集(CD-ROM)，No.51，2009.
- 6) 井ノ口弘昭，秋山孝正：自動車からの二酸化炭素排出量推計モデルの精緻化，土木計画学研究・講演集，Vol.42，No.178，2010.
- 7) 井ノ口弘昭，秋山孝正：ファジィニューラルネットワークを用いた二酸化炭素排出量推計，ファジィシステムシンポジウム講演論文集，Vol.26，pp.902-907，2010.
- 8) H. Inokuchi, T. Akiyama : Practical Estimation of Carbon Dioxide Emission for Automobile by Neural Network, SCIS & ISIS 2010, SA-D5-3, 2010.
- 9) 井ノ口弘昭，秋山孝正，奥嶋政嗣：ハイブリッド車の普及を考慮した都市道路網の環境政策評価，交通学研究，pp.35-44，2010.
- 10) 井ノ口弘昭，品川翔一：LRT 導入に伴う二酸化炭素排出量削減効果の推計，交通科学，Vol.40，No.1，pp.9-14，2009.

(2012.5.7 受付)