

◆ 溫暖化ガス対策特集 ◆

都市内交通による二酸化炭素排出量の推計モデル

小根山裕之* 大城 湧** 山田俊哉*** 大西博文****

1. はじめに

地球温暖化については、1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約の第3回条約締約国会議(COP3)において二酸化炭素(CO₂)を中心とした温室効果ガスの各国の削減目標が示され、我が国は2008~2012年までに温室効果ガスを1990年の水準の6%削減することとされ、各部門において一層の温室効果ガスの削減のための施策の実施が求められている。

一方、日本における温室効果ガスの排出実態を見ると、1994年には日本全体の排出量の約19.2%が運輸部門からの排出量であり、その内約88%が自動車から排出されている¹⁾。産業、民生などの他の部門が省エネルギー化の進展や長引く不況の影響などで横ばい傾向なのに対し、運輸部門からの排出量は増加の一途をたどっており、運輸部門における温室効果ガスの削減はより重要な問題であると言えよう。特に、活動の集中している都市地域では自動車を中心とした交通部門からの排出量も多いため、より効果的なCO₂排出量削減のための施策の実施が求められている。

このような都市内交通からのCO₂排出量の削減施策を効果的かつ効率的に行うには、様々な施策の組み合わせに対するCO₂排出量削減効果を概括的かつ正確に把握し、施策の実現性なども踏まえて施策の評価を行う必要がある。

本稿では、上で述べたような都市内交通に関するCO₂排出量削減施策の評価を目的として作成された、交通部門からのCO₂排出量推計モデルについて、その概要及びCO₂削減施策の試算例を報告する。

2. 二酸化炭素排出量推計モデルの特徴

本研究で作成したモデルは、都市内交通に関するCO₂排出削減施策の様々な組み合わせによる削減効果を概括的に把握することを目的とするもの

である。そのため、都市内交通に関する広範囲にわたる施策を扱うことができるとともに、効果の概括的把握が可能な、操作性のよいモデルである必要がある。

これらを踏まえ、本研究では以下のような特徴をもったモデルを構築することとした。

①広範囲にわたる施策を評価できること

都市におけるCO₂排出量削減施策に関する様々な施策オプションの組み合わせを検討するため、現在行われている、もしくは検討されている広範囲な施策のCO₂排出量削減効果を評価することができるモデルとした。

②走行台キロ・旅行速度等の変化が反映できること

自動車からのCO₂排出量を把握するには、自動車の走行台キロ、旅行速度等、CO₂排出量に関係する要素の変化を的確に把握する必要があり、これを実現するモデルとした。

③簡便で操作性がよいこと

広範囲にわたる施策を評価するためには、道路ネットワークの精緻な再現など、細部にわたるモデル化が必要となる場合がある。しかし、それにより計算が複雑になると不確定要因が増加し、必ずしもモデルの精度向上にはつながらない。本モデルでは、施策の効果を概括的に把握することを目的とし、より簡便で操作性のよいモデルとなるよう留意した。

3. 二酸化炭素排出量推計モデルの構成

3.1 モデルの全体構造

本モデルで対象とする地域は、一定のまとまりをもった都市又は都市圏とした。都市圏の大きさには特に制限を設けないが、中規模の都市(人口50万人程度)を念頭に置きモデルの開発を行った。

モデルの全体構造を図-1に示す。基本的には、既存の4段階推計法に沿ったフローにより交通機関別の交通需要量や走行台キロを推計し、CO₂排出原単位を乗じて自動車、公共交通機関からのCO₂排出量を推計するモデルとした。

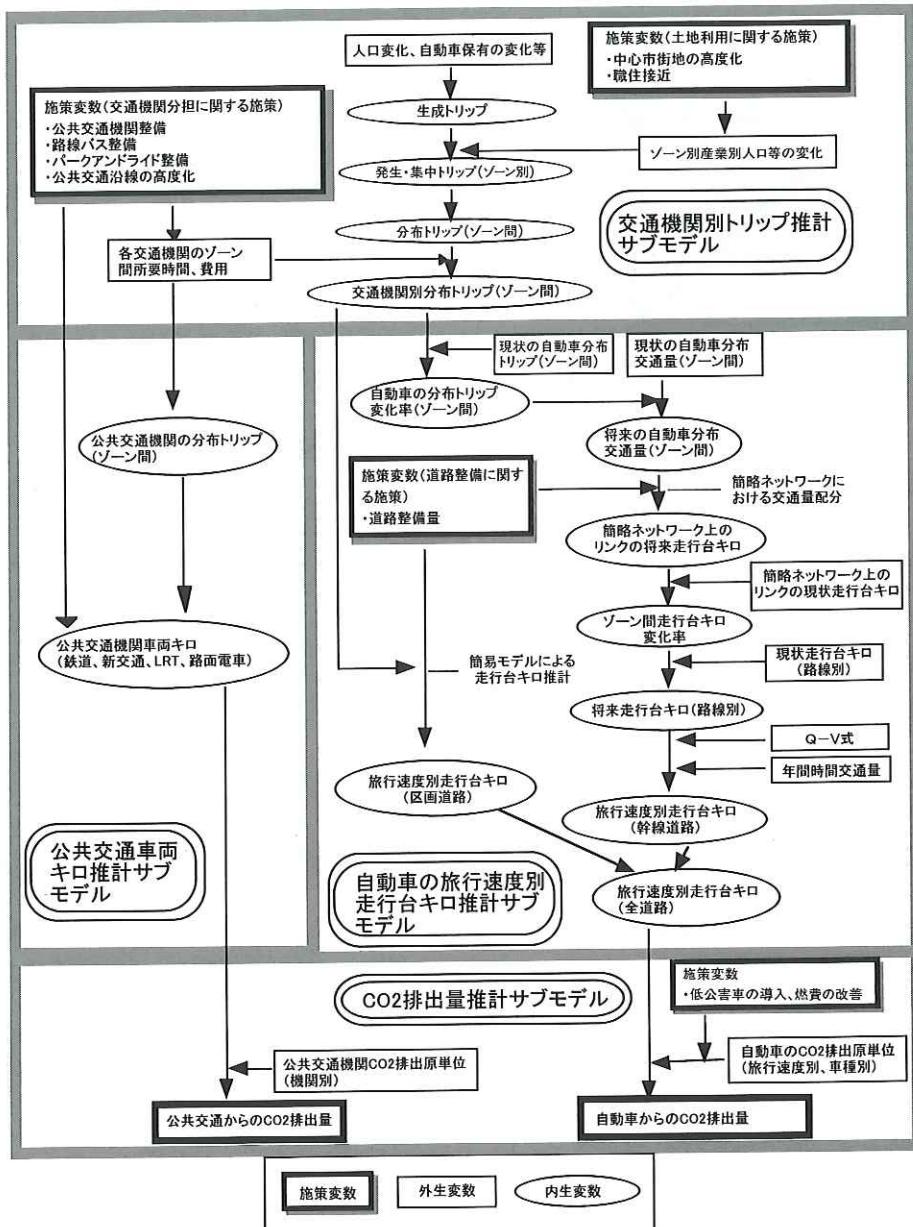


図-1 都市内交通による二酸化炭素排出量推計モデルの全体構造

モデルは4つのサブモデルから構成される。まず、「交通機関別トリップ推計サブモデル」により、施策の実施によるトリップの変化を考慮して、各ゾーン別、交通機関別の分布トリップを推計する。

その後、自動車については、「自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデル」により旅行速度別走行台キロを推計する。ここでは、単に走行台キロの変化だけでなく、渋滞の解消などによる旅行速度の変化を簡単な方法により推計できるようなモデルとなっているのが特徴である。

一方、公共交通機関については、「公共交通車両キロ推計サブモデル」により人キロから機関別の車両キロを推計する。

最後の「CO₂排出量推計サブモデル」では、これらにより推計された自動車の走行台キロ及び公共交通機関の車両キロにそれぞれCO₂排出原単位を乗じることによりCO₂排出量を算出する。

なお、本モデルでは簡便性を考慮しつつ地域的な施策の違いを考慮するため、都市を図-2に示すようなゾーンに区分し、ゾーン毎にトリップの推

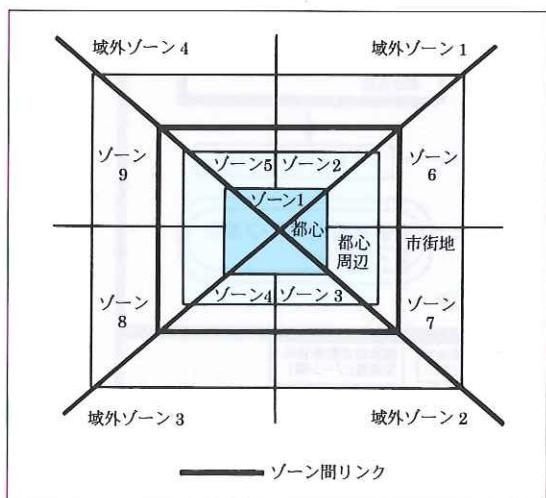


図-2 ゾーン区分のイメージ

計、CO₂排出量の算出などを行うこととした。なお、実際には対象とする都市の構造に合わせて適切なゾーン設定を行うこととなる。

3.2 各サブモデルの概要

3.2.1 交通機関別トリップ推計サブモデル

本サブモデルは、自動車保有量の変化、産業別従業者数などの社会経済指標や公共交通機関の整備量や旅行コスト、旅行時間などを用いて交通機関別のトリップを推計するモデルである。ここでは、生成トリップの推計、発生・集中トリップの推計、分布トリップの推計、交通機関別分布トリップの推計の順に行う。

(1) 生成トリップの推計

産業別、年齢別人口や自動車保有量の変化から生成トリップを推計する。推計に当たっては、自動車保有者と非保有者でトリップ生成原単位が異なると考えられるため、分けて推計することとし、目的別(通勤、通学など)個人属性別(産業別従業者、学生、非就業者など)に生成原単位を算出し、人口、自動車保有の変化を考慮して生成トリップ

数を算出する。

(2) 発生・集中トリップの推計

(1)で推計した生成トリップ数を地域別に分割して目的別の発生・集中トリップを推計するものである。ここでは、産業別人口(例えば第3次産業の昼間人口など)を指標とした線形回帰式を用いるものとした。

(3) 分布トリップの推計

(2)で推計した発生・集中トリップからゾーン間の分布トリップを推計するものである。本モデルでは、現在パターン法の一つであるフレータ法を用いることとした。

(4) 交通機関別分布トリップ推計

分布トリップから、交通機関別の旅行時間、コストなどを用いて機関別分布トリップを推計する。自動車保有者と非保有者で交通手段の選択行動が大きく異なると考えられるため、それぞれ別のモデルとした。それぞれの手段選択モデルは、図-3に示すような二者択一型の集計ロジットモデルを用いることとした。既存のパーソントリップ調査の研究より、トリップ長の短いトリップを先取りした形が安定性が良いとされており²⁾、今回のモデルもこれに従った構造となっている。

3.2.2 自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデル

このサブモデルでは、3.2.1で推計した自動車の分布トリップや道路ネットワークの整備量からゾーン間の走行台キロの変化を推計し、道路ネットワークの各リンクの交通量を推計する。さらに、Q-V式(交通量と速度の関係を表した式)や交通量の時間変動などを用いて、旅行速度別走行台キロを推計するモデルである。

(1) 簡略ネットワークの設定

本モデルでは、配分計算を簡略的に行うため、隣接するゾーン間を結ぶ幹線道路(本研究では道

路交通センサス対象道路が該当するものとした)を1本のリンクに代表させた簡略ネットワークを設定することとした。なお、ゾーン内で閉じているリンクはゾーン内々交通量として扱うこととした。図-4は、本稿で試算を行った宇都宮市における簡略ネットワークの設定例である。(a)が幹線道路(=道路交通センサス対象路線)のネットワーク、(b)が設定

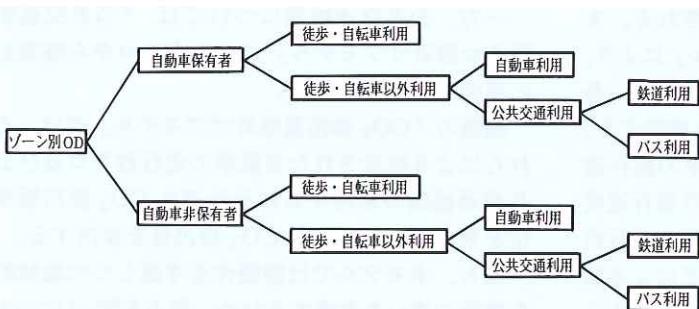


図-3 交通機関別分布トリップの推計フロー

した簡略ネットワークである。

(2) 幹線道路のリンク交通量の推計

分布トリップの変化と現況の分布交通量からゾーン間の分布交通量を推計する。これを簡略ネットワーク上で配分計算を行い、簡略ネットワーク上のリンクの走行台キロを推計する。なお、配分計算は、モデル上では分割配分法（計算上は交通量を10回に分割して配分）を用いることとした。これと現況の簡略ネットワーク上のリンクの走行台キロを比較して、ゾーン間の走行台キロの変化率を推計する。各幹線道路の走行台キロは対応する簡略化ネットワーク上のリンクの走行台キロの変化率にあわせて変化するものとして推計する。

(3) 幹線道路の旅行速度別走行台キロ分布

(2)で推定した幹線道路の走行台キロに、交通量常時観測データなどから得られる時間変動、曜日変動を考慮して、幹線道路の時間帯別走行台キロを推計する。これとQ-V式から、旅行速度を推定し、旅行速度別に走行台キロをまとめることにより旅行速度別走行台キロの分布を推計する。なお、Q-V式は、道路交通センサスのデータを用いて、道路種類別（高速道路、一般国道など）、沿道状況別（市街地、その他）、信号密度別に設定した。一例を図-5に示す。これを全ての幹線道路について行い、ゾーン別に集計することにより、対象地域（あるいはゾーン）別の旅行速度別走行台キロが推計できる。

(4) 区画道路の旅行速度別走行台キロの算出

幹線道路以外の道路（ここでは区画道路という）の走行台キロはこれまで述べてきた方法では推計できない。そこで、区画道路については、正方形の幹線道路に囲まれた街路を仮定し、街路から発生する交通が最短ルートを通って幹線道路に出て、地区外へ移動するものとして、単位発生交通量当たりの走行距離を計算する。この値に、ゾーンの発生・集中トリップを乗じることにより、区画道路の走行台キロを推計した。

3.2.3 公共交通車両キロ推計サブモデル

公共交通機関（鉄道等）の公共交通車両キロについては、都市内路線延長に運行車両数（運行本数に1運行当たりの平均編成車両数を乗じたもの）を乗じることにより推定する。運行車両数は、公共交通

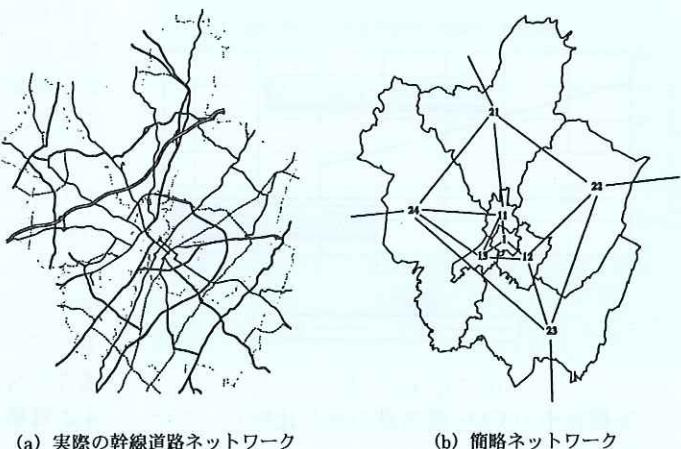


図-4 簡略ネットワークの設定例（宇都宮市）

機関の分布トリップ（＝公共交通機関の利用者数）に比例するものとし、既存のデータから運行車両数と利用者数の関係を推定することとした。但し、既に鉄道の運行本数が輸送能力の限界に達している大都市圏などでは、利用者数の増加に対応するためには莫大な設備投資が必要になるため、運行本数の増加が現実的ではないといった場合も考えられる。このような場合、モデル上の単純計算は必ずしも適当ではない。公共交通機関の輸送量については、採算性との関係も考慮しなければならないなど、まだ考慮されていない課題がある。

3.2.4 CO₂ 排出量推計サブモデル

本サブモデルでは、3.2.2や3.2.3で推計された自動車の旅行速度別走行台キロや公共交通の車両キロに各機関のCO₂排出係数を乗じて、機関別CO₂排出量を推計する。自動車については、CO₂排出係数としてシャシダイナモ試験等のデータを用いて推計された旅行速度別CO₂排出係数を用いる。

また、鉄道等の電力で運行される公共交通機関については、運行に伴い消費される電力の発電に当たり発生するCO₂を当該地域で発生するCO₂として考える。この場合、CO₂排出係数は、統計値により得られる路線別の電力消費量に単位電力当たりのCO₂排出量を乗じ、車両走行キロで割ることにより推計する。

4. ケーススタディ

4.1 CO₂ 総排出量の試算

宇都宮市を対象として、本研究で作成したCO₂推計モデルにより平成6年度のCO₂排出量を推計した。また、運輸部門の石油製品消費量から算出

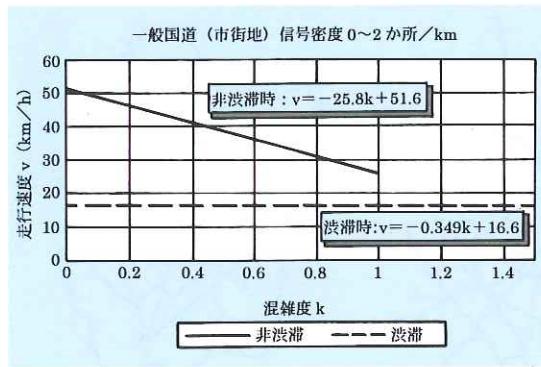


図-5 Q-V 式の例

した宇都宮市のCO₂排出量の値と比較し、モデルの妥当性を検証した。

宇都宮市の運輸部門の石油製品消費量を表す直接的なデータは存在しないため、以下の方により推定した。まず、栃木県の平成6年度の石油製品消費量(ガソリン、石油)³⁾に、総合エネルギー統計から算出した石油製品の消費量に占める運輸部門の割合の全国平均値(ガソリン: 99.7%、軽油: 77.0%)を乗じ、栃木県の運輸部門の石油製品消費量を算出した。次に、運輸部門の石油消費量は走行台キロに比例するものと仮定して、栃木県の運輸部門の石油製品消費量に、平成6年度道路交通センサスにより求められる栃木県全体に占める宇都宮市のセンサス走行台キロの比率を乗じて、宇都宮市の石油製品消費量を算出した。これに燃料種類別CO₂排出原単位⁴⁾(ガソリン: 643g-C/l、軽油: 721g-C/l)を乗じて、宇都宮市の運輸部門のCO₂排出量とした。

このようにして算出した宇都宮市の運輸部門か

表-1 CO₂排出量削減施策の効果の試算結果

らのCO₂排出量(炭素換算)は17.5万t-Cであった。但し、宇都宮市は栃木県の中では旅行速度が低く燃費が悪いことから、実際にはこの値より若干大きなCO₂排出量になると考えられる。

一方、CO₂推計モデルにより求めた平成6年度のCO₂排出量は16.1万t-Cであった。両者の差は約8%であり、オーダーとしては概ね一致している。本モデルによる値が若干小さいが、その要因の一つとして区画道路の走行台キロを低く見積もっていることが考えられ、今後更なる検討が必要な部分である。

4.2 施策によるCO₂排出量削減効果の試算

作成したモデルを用いて、宇都宮市を対象として、いくつかの施策についてCO₂の削減効果を試算した。なお、これらの施策の内容とモデルにおける条件設定方法については、必ずしも十分に吟味されたものではないため、効果についても参考値として捉える必要がある。

対象とした施策及びCO₂削減効果の試算結果を表-1に示す。今回試算対象としたケースについては、すべての場合においてCO₂の削減効果が見られた。

各ケースにおけるCO₂削減のメカニズムは、以下の通りと考えられる。すなわち、Case1~4は、自動車から公共交通機関等への転換による自動車の走行台キロの減少とそれに伴う旅行速度の向上、Case5は交通の円滑化による旅行速度の向上と走行経路の変化、Case6,7は、発生・集中、分布トリップの変化(長距離トリップの減少)による走行

	概要	モデルへの導入方法	自動車の平均旅行速度(km/h)	自動車からのCO ₂ 排出量の削減率(単位%、△は削減を表す)		
				合計	走行台キロの削減によるもの	旅行速度によるもの
(現況)			26.9			
Case1	基幹バスの導入	基幹バス導入ゾーン間のバス所要時間が3分の2に短縮	27.4	△0.94	△0.40	△0.54
Case2	自転車道の整備	自転車の所要時間1割短縮	27.1	△0.36	△0.06	0.30
Case3	公共交通運賃の割引	公共交通の運賃割引率3割	27.4	△1.14	△0.54	△0.60
Case4	公共交通の総合的なサービス改善	(Case1+2+3)	27.4	△1.55	△0.82	△0.73
Case5-1	道路容量の増加(5%)	全ゾーンの道路容量が均等に5%増加	27.6	△1.08	0.14	△1.22
Case5-2	道路容量の増加(10%)	全ゾーンの道路容量が均等に10%増加	28.8	△3.97	△0.72	△3.25
Case5-3	道路容量の増加(20%)	全ゾーンの道路容量が均等に20%増加	30.1	△6.64	△1.20	△5.44
Case6	在宅勤務	サービス業従業者の5%、技術的・専門的職業従業者の20%が在宅勤務(→分布トリップの変化)	27.3	△1.29	△0.74	△0.55
Case7	都市部居住	近郊ゾーン居住で都心ゾーン通勤者の1割が都心ゾーンへ移住(→分布トリップの変化)	27.4	△1.14	△0.65	△0.49

台キロの減少とそれに伴う旅行速度の向上により CO₂ 排出量が減少している。

ここで、ケーススタディの結果から得られる考察をいくつか示す。まず、どのケースにおいても、旅行速度の向上による CO₂ 排出量の削減率の寄与が大きく、走行台キロの減少による CO₂ 排出量の削減率よりも大きい場合も多い。これは、本モデルにおいて旅行速度の変化が反映されていること、交通の円滑化による旅行速度の向上が CO₂ 排出量の削減に当たって重要であることを示している。なお、Case5-1 のみで走行台キロの増加が見られる。これは簡略ネットワーク上において分割配分を行う際に、混雑する最短のリンクを避けて迂回するリンクへ流れてしまうためであると考えられる。

また、Case1~3 の複合施策である Case4 の CO₂ 削減率は、Case1~3 の個々の削減率の合計よりも小さい。また、鉄道の利用者数は Case3 では 3 割の運賃割引にもかかわらず、20%程度の増加にとどまり、Case4 では基幹バスに転換するため 14% 減少する。この場合、鉄道の採算性という観点から実現可能性に問題が残る。このように、効率的に環境負荷の低減を図るために、実現性も踏まえてより効果的な施策を組み合わせていくことが必要となる。

なお、道路容量の増加による CO₂ 排出量の削減効果がかなり大きいが、本モデルでは旅行速度の向上に伴う道路交通への転換や、誘発される交通量については考慮されていない。宇都宮市のような地方都市では自動車の分担率が既に高いため、新たな道路交通の発生はあまり多くないと考えられるが、東京都市圏などのように公共交通機関の分担率が高い都市に適用する場合には、考慮すべき問題であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、都市内交通に関する CO₂ 排出量削

減施策の評価を行うための CO₂ 排出量推計モデルを提案し、その概要を示した。モデルは、4 つのサブモデルから構成され、モデルの各段階で都市内交通における様々な CO₂ 排出量削減施策を考慮することにより、広範囲な施策の効果を推計することができるモデルとなっている。特に、自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデルでは、旅行速度別走行台キロ分布を推計することにより、走行台キロ、旅行速度等の変化を表現できるモデルとなっているのが特徴である。

ただ、今回のモデルでは、交通機関分担率の推定精度があまり高くないこと、公共交通車両キロの推計に公共交通機関の整備コストなどの実現性を考慮していないこと、幹線道路以外の道路(区画道路)の走行台キロの予測精度が高くないこと等の問題点があり、今後改良していく必要がある。

また、提案したモデルを用いて、宇都宮市を対象としたケーススタディにより、CO₂ 排出量削減施策の効果を試算し、推計モデルの適用性を検証した。但し、先にも述べたとおり、施策の内容とモデルにおける条件設定については、必ずしも十分に吟味されたものではないため、具体的な施策のモデル上の条件設定方法については今後の課題である。

今後は、モデルの改良を行うとともに、本モデルを用いて都市内交通に関する CO₂ 削減施策の効果推計を行い、施策の実現性等も踏まえた施策の評価を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 運輸省編：平成 9 年版運輸白書, 1997.
- 2) 宇都宮都市圏総合都市交通計画協議会：宇都宮都市圏総合都市交通体系調査報告書テクニカルレポート, 1995.
- 3) データで見る県勢 1994, 国勢社
- 4) 環境庁：地球温暖化対策技術評価調査報告書, 1996.3

小根山裕之



東京大学生産技術研究所
第 5 部
(前 交通環境研究室研究員)
Hiroyuki ONEYAMA

大城温



建設省土木研究所
環境部交通環境研究室
研究員
Nodoka OSHIRO

山田俊哉



同 交通環境研究室
主任研究員
Toshiya YAMADA

大西博文



同 交通環境研究室長
Hirofumi OHNISHI