

B-55 低環境負荷型都市交通手段に関する研究

(5) 都市域の交通部門における温暖化防止施策の総合的評価に関する研究

研究代表者

建設省土木研究所環境部交通環境研究室

大西博文

建設省土木研究所

環境部交通環境研究室

大西博文・山田俊哉・大城温

平成9～11年度合計予算額 9,955千円

(平成11年度予算額 3,486千円)

[要旨]

本研究では、地球温暖化の原因となる温室効果ガスのうち二酸化炭素(CO_2)について、都市内における交通部門の CO_2 排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使って CO_2 排出量削減施策の効果を推計するとともに、施策効果の総合的な評価を行った。

初めに、都市の交通部門における CO_2 排出量削減施策の効果予測モデルの基本的枠組みを検討するとともに、施策のモデルへの導入方法について検討を行った。 CO_2 排出量削減施策の効果予測モデルについては、様々な施策の効果を簡便に推計でき、かつ操作性のよいモデルとなるようにした。モデルにおいては、渋滞等による旅行速度の低下や渋滞解消施策による旅行速度の向上などの旅行速度の変化を考慮できるモデルとした。また、本モデルに導入する諸施策を体系的に整理し、モデルへの導入方法を検討した。

次に、この CO_2 排出量予測モデルの基本的枠組みに基づいて、モデルの詳細検討及び作成を行った。モデルは、4つのサブモデル(交通機関別トリップ推計サブモデル、自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデル、公共交通車両キロ推計サブモデル、 CO_2 排出量推計モデル)から構成される。これらの各サブモデルについて、詳細検討及びパラメータの導出などを行うとともに、各サブモデルの感度の検討を行った。

さらに、宇都宮市をケーススタディ対象地として、作成したモデルを用いて都市内交通による CO_2 排出量削減施策の効果予測を行った。自動車からの CO_2 排出量削減については、走行台キロの削減によるものと旅行速度の向上によるものとに分けて予測した。

このケーススタディの結果から、これらの施策の効果は自動車走行台キロの削減による効果だけでなく、旅行速度の向上による効果も同程度あるという結果が得られ、道路交通の円滑化施策も CO_2 排出量削減に大きく貢献することが明らかとなった。

[キーワード]

交通体系、環境負荷、二酸化炭素、都市交通整備、施策評価

1. 序

地球温暖化の原因となる温室効果ガスは、その排出量の大部分を CO_2 が占めており、 CO_2 排出量の削減は喫緊の課題である。我が国では、運輸部門の CO_2 総排出量が全体の約21%を

占めており、その約88%が自動車からの排出である。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であるのに対し、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る。その中でも、社会経済活動の集中している都市地域における排出量が多いことから、より環境負荷の小さい都市の交通体系を形成していくことが必要と考える。1990年に閣議決定された「地球温暖化防止行動計画」においても、示された施策のメニューとして「二酸化炭素排出の少ない都市・地域構造の形成」「二酸化炭素排出の少ない交通体系の形成」があげられている。より環境負荷の小さい都市の交通体系を形成していくためには、都市交通部門においてCO₂排出量削減施策を着実に実施することが必要であるが、そのためには、施策のCO₂削減効果を的確に把握し、実現可能性や利便性等も踏まえて施策を評価する必要がある。

2. 研究目的

本研究では、都市交通部門におけるCO₂排出量の予測モデルを作成すること、このモデルを使って、種々のCO₂排出量削減施策の効果を定量的に推計すること、推計した効果からその施策を総合的に評価できるようにすることにより、環境負荷の小さい交通体系のあり方を定量的なデータをもとに提案することが目的である。

3. 都市交通部門によるCO₂排出量推計モデルの全体構造の検討

本モデルは、都市の運輸部門におけるCO₂排出削減施策の削減効果、利便性、コスト等も含めた総合的な評価を行うための手段として、様々な施策オプションの組み合わせによる削減効果を概括的に把握しようとするものである。

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する。都市圏の大きさには特に制限を設けないが、ここでは自動車から軌道系交通機関への転換が可能と考えられる中規模の都市（人口50万人程度）を念頭に置いてモデルの検討を行った。

評価を行うCO₂排出削減施策は、表1のように分類し11施策を取り上げた。

表1 評価を行うCO₂排出削減施策

分類	手段	施策
自動車総走行距離の削減	生成交通量の削減	・ 中心市街地の高度化 ・ 在宅勤務の促進
	自動車以外の交通機関への転換	・ 鉄道のサービス改善 ・ バスのサービス改善 ・ パークアンドライドの促進 ・ 自転車道の整備 ・ エリアプライシング
自動車走行距離あたりのCO ₂ 排出量削減	自動車単体対策	・ 低公害車の導入
	道路交通の円滑化	・ ボトルネック対策による渋滞の解消 ・ 幹線道路の整備 ・ ピーク時間帯交通量の平準化

CO₂排出量は交通機関別に求める必要があり、特に自動車については旅行速度により大きく排出量が異なることから、旅行速度別の総走行距離（走行台キロ）を推計する必要がある。そこで、モデルは図1に示すとおり、交通機関別トリップ推計サブモデル、自動車の旅行速度別走行

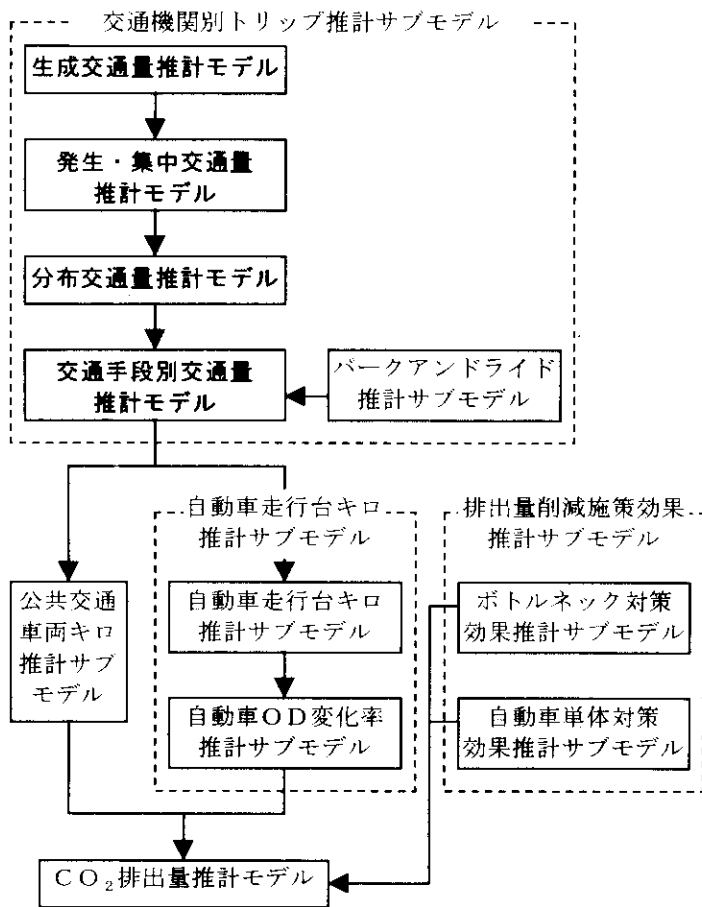


図1 都市交通部門からのCO₂排出量予測モデルの全体構造

4. サブモデルの検討

(1) 交通機関別トリップ推計サブモデル

① サブモデルの概要

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、旅行時間などから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った。

② 生成トリップの推計

トリップ生成原単位は産業別、年齢別人口や自動車保有量等による影響が大きく、例えば第1次産業では自宅近くで仕事することが多いため、他の産業と比較して通勤トリップが1/4程度しか生成せず、65歳以上の高齢者は全体のトリップが第3次産業従事者と比較して半分程度である。また、自動車の保有・非保有については目的地や交通手段の選択に影響し、自動車保有者と非保有者ではトリップ生成原単位が大きく異なると考えられるため分けて推計することとした。

このような要因を反映するために、目的別（通勤、買い物、私事、業務の4分類）個人属性別（第1次産業従事者、第2次産業従事者、第3次産業従事者、無職65才未満、無職65才以上）

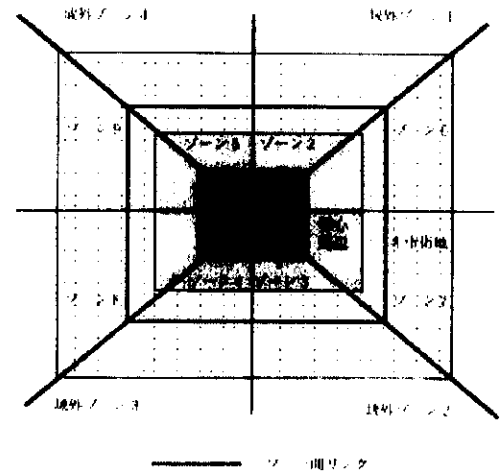


図2 ゾーン区分の概念図

台キロ推計サブモデル、公共交通車両キロ推計サブモデル、CO₂排出量推計サブモデル、排出量削減施策効果推計サブモデルから構成される。

なお、本モデルでは簡便性を考慮しつつ地域的な施策効果の違いを考慮できるようにするため、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構造に合わせて適切なゾーン設定を行う。

に生成原単位を算出した（図3）。将来の予測を行う場合には、人口の変化量や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こととした。

③発生・集中トリップの推計

各ゾーンから発生するトリップは、それぞれのゾーンにおける社会・経済活動と密接な関係にある。例えば、夜間人口の多いゾーンでは通勤目的のトリップが多く発生することなどがあげられる。そこで、②で推計した生成トリップ数をゾーン毎に目的別、自動車保有者・非保有者別の発生・集中トリップを推計する。ここでは、産業別人口や昼間人口・夜間人口を指標とした線形回帰式を用いるものとした。

④分布トリップの推計

③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1つであるフレータ法を用いることとした。

⑤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。

まず、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、それぞれに集計することとした。それぞれの手段選択モデルは、バイナリーチョイス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は良いとされているため、本モデルもそれに従った。また、パークアンドライド（P & R）の手段選択は、主に自動車の利用者が公共交通に乗り換える状況を表現するために、自動車の利用者の中から選択する構造とした（図4）。

それぞれの選択モデルについては、以下の式を用いた。モデルには精度向上を目的として、ダミー変数を導入した。ダミー変数は都心ダミーと鉄道ダミーの2種類を用い、都心ダミーはトリップの出発ゾーンまたは目的ゾーンが都心ゾーンであるか否かを表現しており、鉄道ダミーは出発ゾーンと目的ゾーンが鉄道で結ばれているか否かを表現している。

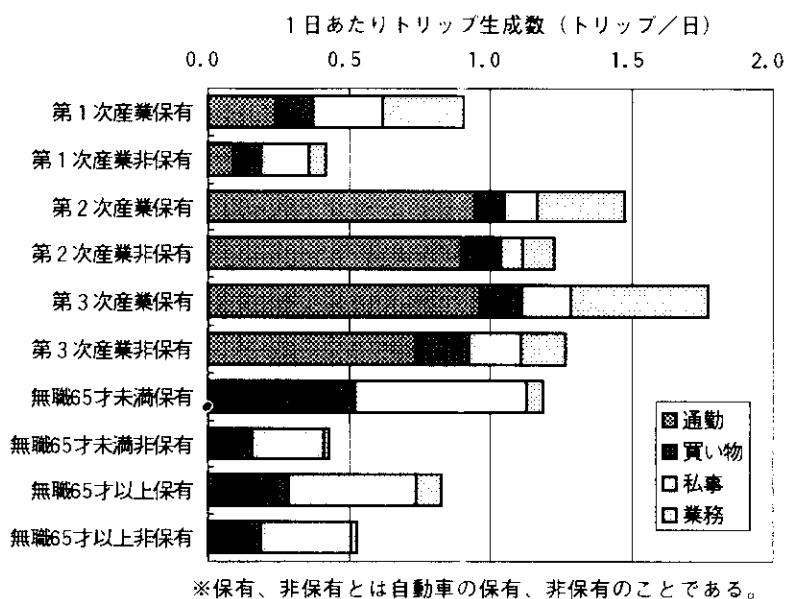


図3 個人属性別の目的別トリップ生成原単位

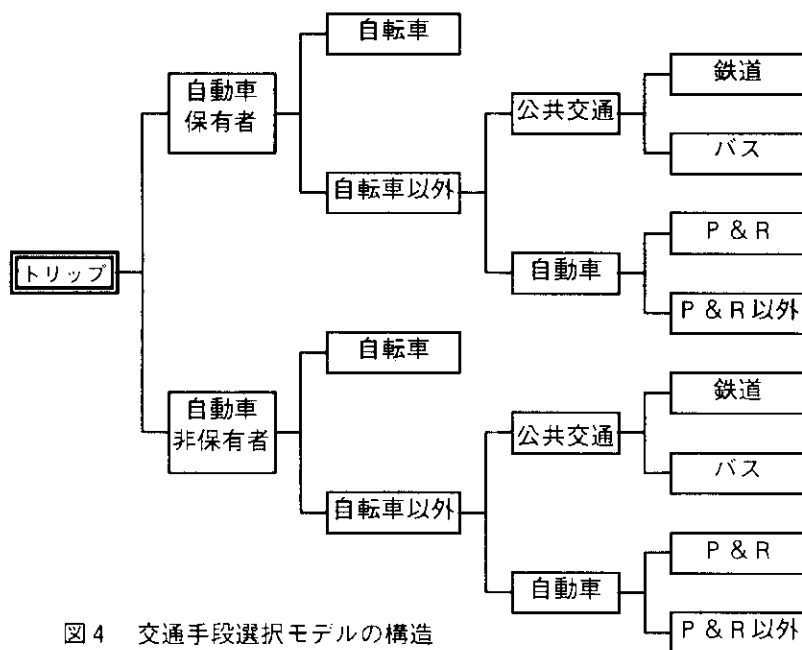


図4 交通手段選択モデルの構造

a. 自転車選択モデル

$$\text{自転車選択確率} = 1 / (1 + \exp(\alpha \cdot d + \beta \cdot k + \gamma)) \quad (1)$$

d : ゾーン間距離

k : 都心ダミー (目的地を都心部に持つ場合 $k = 1$ 、それ以外 $k = 0$)

α 、 β 、 γ : パラメータ

b. 自動車／公共交通選択モデル

$$\text{自動車選択確率} = \exp(V_{car}) / (\exp(V_{car}) + \exp(V_{pub})) \quad (2)$$

V_{car} : 自動車の効用関数

V_{pub} : 公共交通の効用関数

$$\text{ここで、} \quad V_{car} = \alpha \cdot t_{car} + \beta \cdot c_{car} + \gamma \cdot k + \delta \quad (3)$$

$$V_{pub} = \alpha \cdot t_{pub} + \beta \cdot c_{pub} \quad (4)$$

t_{car} 、 c_{car} : 自動車の所要時間、費用

t_{pub} 、 c_{pub} : 公共交通の所要時間、費用

k : 都心ダミー (目的地を都心部に持つ場合 $k = 1$ 、それ以外 $k = 0$)

α 、 β 、 γ 、 δ : パラメータ

c. 鉄道／バス選択モデル

$$\text{鉄道選択確率} = \exp(V_{rail}) / (\exp(V_{rail}) + \exp(V_{bus})) \quad (5)$$

V_{rail} : 鉄道の効用関数

V_{bus} : バスの効用関数

$$\text{ここで、} \quad V_{rail} = \alpha \cdot t_{rail} + \beta \cdot c_{rail} + \gamma \cdot k + \delta \quad (6)$$

$$V_{bus} = \alpha \cdot t_{bus} + \beta \cdot c_{bus} \quad (7)$$

t_{rail} 、 c_{rail} : 鉄道の所要時間、費用

t_{bus} 、 c_{bus} : バスの所要時間、費用

k : 鉄道ダミー

(出発地と目的地が鉄道で結ばれている場合 $k = 1$ 、それ以外 $k = 0$)

α 、 β 、 γ 、 δ : パラメータ

d. パークアンドライド (P & R) 選択サブモデル

$$\text{P \& R 選択確率} = \exp(V_{par}) / (\exp(V_{par}) + \exp(V_{other})) \quad (8)$$

V_{par} : P & R の効用関数

V_{other} : それ以外の端末交通手段の効用関数

$$\text{ここで、} \quad V_{par} = \alpha \cdot t_{par} + \beta \cdot c_{par} + \gamma \quad (9)$$

$$V_{other} = \alpha \cdot t_{other} + \beta \cdot c_{other} \quad (10)$$

t_{par} 、 c_{par} : P & R の所要時間、費用

t_{other} 、 c_{other} : それ以外の端末交通手段の所要時間、費用

α 、 β 、 γ : パラメータ

(2) 自動車の旅行速度別走行台キロ推計サブモデル

①サブモデルの概要

(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

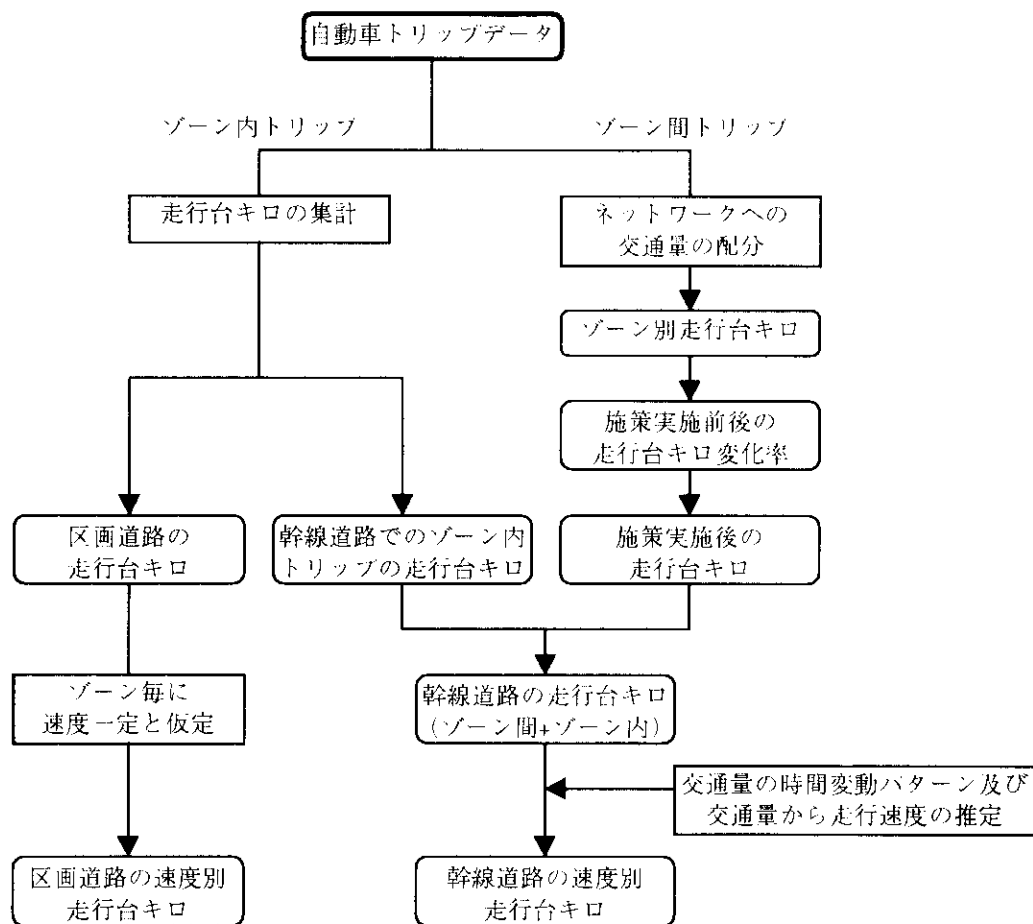


図5 自動車走行台キロ推計サブモデルの流れ

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。なお、自動車走行台キロは幹線道路の走行台キロと区画道路の走行台キロに分けて推計を行う。ここでいう幹線道路とは、道路交通センサスが実施され車種別交通量やピーク時旅行速度等が実測されている道路である。幹線道路の走行台キロは、簡略化したトリップでのネットワーク配分の結果と、道路交通センサスの交通量データを用いて推計した。区画道路では道路交通センサスが実施されておらず、これらのデータがないため、ゾーン単位の発生・集中交通量とトリップ当たりの走行台キロ推計モデルにより推計した。

②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。ネットワークの簡略化の例を図6に示す。

③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定する。これを簡略化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定する。なお、配分計算は、モデル上では分割配分法を用いることとした。これと現況の簡略ネットワークの走行台キロを比較して、施策実施前後のゾーン間の走行台キロの変化率を推定する。施

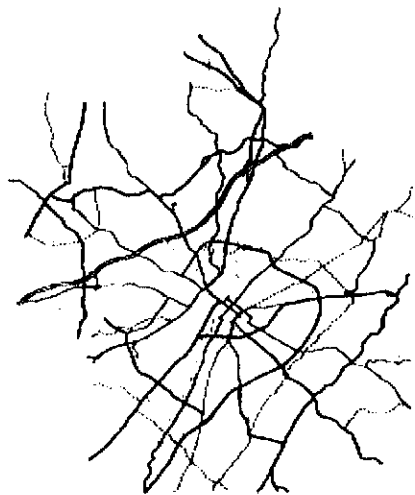


図6 道路ネットワークの簡略化（宇都宮市）

策実施後の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を乗じて推定する。

④ 幹線道路の旅行速度別走行台キロ分布

本モデルでは、各リンクについて年間の時間帯別交通量及び旅行速度を車種別に推計し、それを集計することにより都市圏全体のCO₂排出量を推計する。各リンクの年間走行台キロは、日交通量を設定した後に時間帯別交通量を推計してそれらを集計した。

日交通量は、道路交通センサスの一般交通量調査の値を用いる。24時間交通量観測地点については、24時間の観測値を用いるものとし、12時間交通量観測地点については、昼夜率を用いて24時間交通量を推計した。

時間帯別交通量は、道路交通センサスの観測値は用いずに、道路交通量の時間帯変動パターン（図7）と各区間の交通容量より推計した。時間帯別交通量の変動パターンは、全国の道路交通センサス対象区間の時間帯変動パターンより作成したものを用いた。時間帯変動パターンは、道路容量に影響されない時間帯別の交通需要の変動を推計するために、渋滞が発生していないと考えられるセンサス区間を対象として作成した。

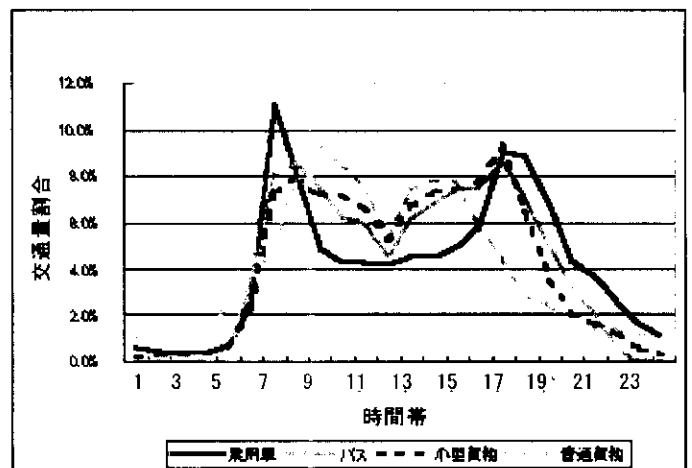


図7 車種別の交通量時間変動パターン

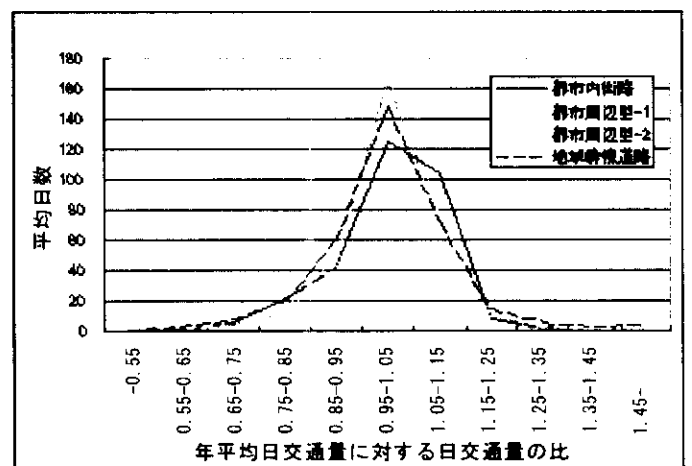


図8 年平均日交通量に対する日交通量の比の頻度分布

道路交通量は、時間帯別に変動するほか、日によっても変動が発生するため、本モデルでは平成6年度の交通量常時観測調査の日交通量変動データ（図8）を用いた。モデルでは、道路交通センサスで観測された交通量が年平均日交通量と一致していると仮定し、日交通量変動データの頻度分布を用いて年間交通量を推計した。ただし、モデルの負荷を軽減するため、出現頻度の低い日交通量比0.75以下の場合と1.25以上については捨象し、日交通量比が0.8～1.2の間で変動するとしてモデルを作成した。

以上の計算により、各センサス区間の年間時間交通需要量（ $365 \times 24 = 8760$ 時間の時間帯別交通量）を推計した。

次に、旅行速度別に走行台キロを集計した。道路の交通量は、道路の交通容量により制約を受け、道路の交通需要量が道路交通容量を上回った場合には、その道路は渋滞し、旅行速度は著しく低下する。そこで、各センサス区間が渋滞状態にあるか非渋滞状態にあるかの判別は、道路交通容量を用いて行った。

本モデルでは、道路交通センサスの片側ピーク時交通量と片側交通容量を比較し、値の大きいものを道路交通容量として設定している。片側交通容量Cは、乗用車換算時間交通容量に対して沿道状況区別に計画水準による補正を行い、上り下りを2分配（半分）したものとする。ここで、D1D及びその他市街地については、

$$C = \text{乗用車換算時間交通容量} \times 0.9 / 2$$

とし、平地、山地については、

$$C = \text{乗用車換算時間交通容量} \times 0.85 / 2$$

とした。

道路交通容量と時間帯別交通需要量を比較し、時間帯別交通需要量が道路交通容量を上回る時間帯は、渋滞時間帯として処理した。ただし、道路上である時間帯に交通需要量が交通容量を超過した場合には、超過交通量を処理し終わるまで渋滞が続く。そこで、本モデルでは、図9に示すように、ある時間帯で交通需要量が交通容量を超過した場合には、超過交通量を処理するまでの時間を渋滞時間と判定する。

旅行速度の推計は、旅行速度と交通量／交通容量比の関係式（以下Q-V式という）を用いて行った（図10）。本モデルで用いるQ-V式は、渋滞／非渋滞別に分類した。時間帯別交通量を推計する際に判別された渋滞／非渋滞の判別結果と、交通量、道路交通容量のデータによ

交通量／交通容量

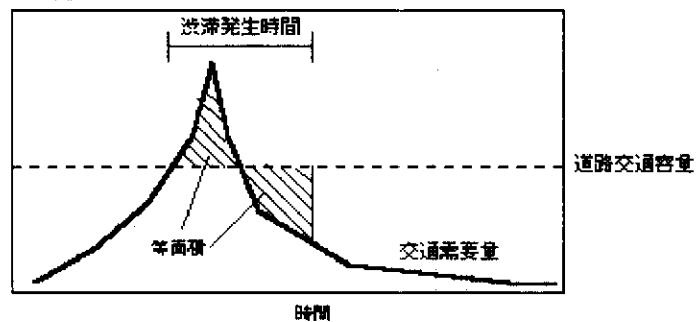


図9 渋滞時間の定義

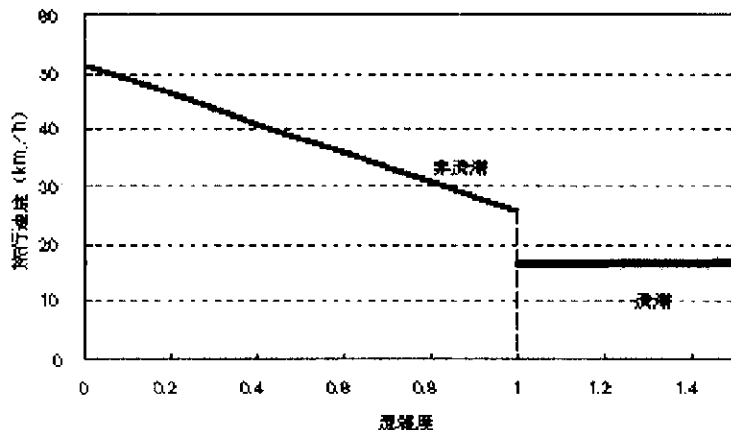


図10 旅行速度と混雑度（交通量／交通容量比）の関係式の例

り旅行速度を推計した。Q-V式は道路種類別・信号密度別に算出した。

この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。これを全ての幹線道路について行うことにより、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。

⑤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地区内の街路を仮定し、街路から発生する交通が最短ルートを通し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した（図11）。その結果、区画道路の単位発生トリップ当たりの走行距離 $=5/16D$ （ D ：幹線道路の間隔）となった。

しかし、実際には仮定のような最短経路で幹線道路に到達できるとは限らないため、誤差が生ずる。運輸省自動車輸送統計年報による全走行台キロと道路交通センサスによる走行台キロ（幹線道路走行台キロ）の差が区画道路の走行台キロと考えると、上記の区画道路走行台キロの推定結果の1.3倍であった。そこで、ここでは区画道路走行台キロの推計の際には、1.3を補正係数として乗ずることとした。

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。

なお、区画道路からの CO_2 排出量算出の際の旅行速度は、 $D \times D$ 地域内は18km/h、それ以外の地域では28km/hと仮定した。

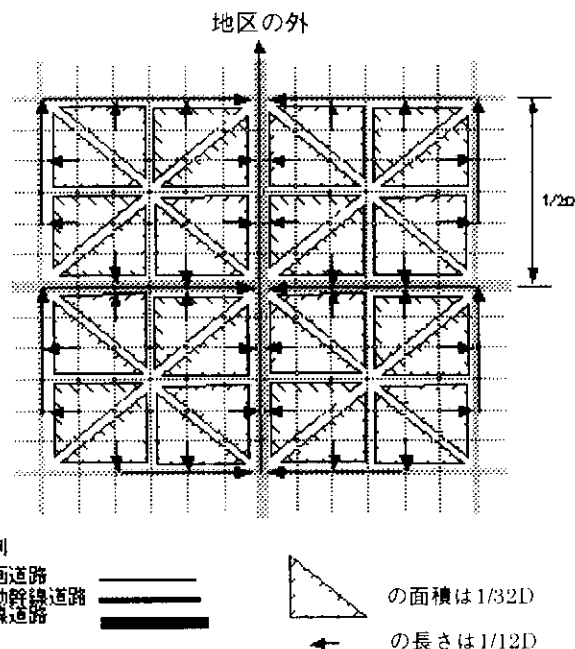


図11 区画道路のトリップあたり走行距離算出の考え方

(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

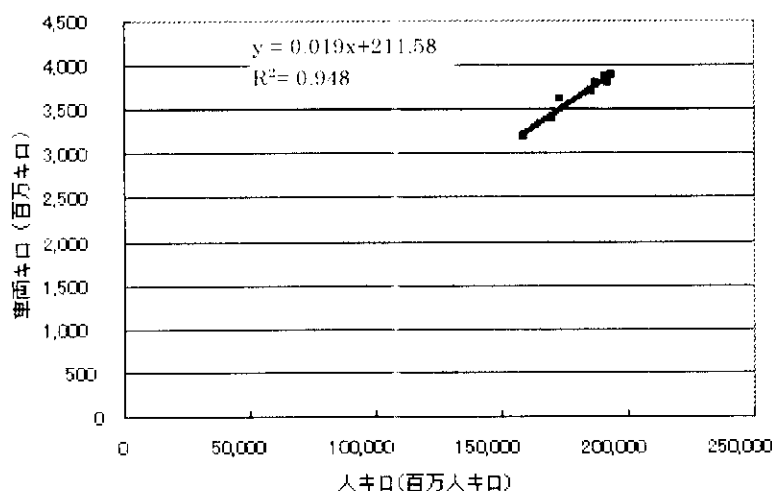


図12 鉄道車両キロと旅客人キロの関係

とした（図12）。

また、CO₂削減施策実施により公共交通利用者数が増加する場合は、車両キロが利用者数の増加割合と同じ割合で増加すると考え、利用者数と車両キロの回帰式から車両キロ増加割合を求めることとした。

（4）CO₂排出量推計サブモデル

（2）や（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交通機関のCO₂排出係数を乗じて、交通機関別CO₂排出量を推定するモデルである。自動車については、CO₂排出係数としてシャシーダイナモメータ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（図

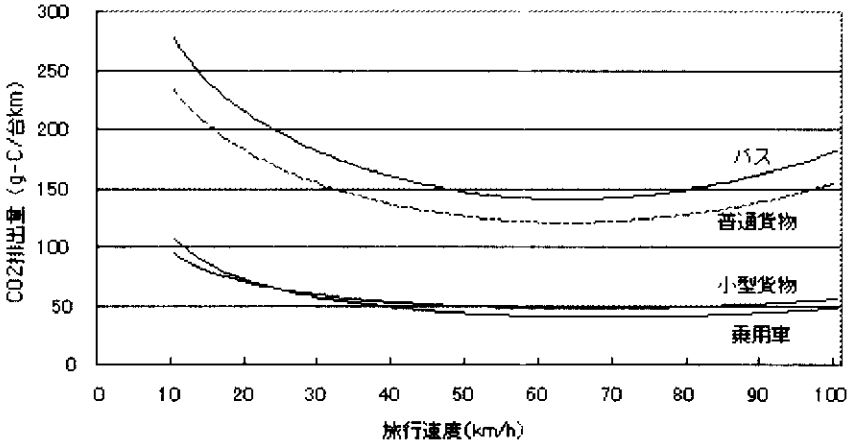


図13 自動車の車種別速度別CO₂排出係数

13)。また、鉄道等の公共交通機関については、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。

5. CO₂排出量削減施策の効果の試算

（1）中心市街地の高度化

交通需要は、土地利用と大きくかわりを持つ。公共交通機関の利便性の高い都心部での土地利用を高度化することにより、公共交通需要を喚起することができる。土地利用によって交通需要をコントロールする施策としては、オランダの「ABCポリシー」や、シアトル（アメリカ）で導入されている「アーバンビレッジ」等がある。

CO₂削減量推計モデルでは、中心市街地の高度化による効果を発生・集中交通量推計サブモデルで反映させることとした。例えば、通勤交通の場合、発生交通量は夜間従業者人口の関数であらわされ、集中交通量は昼間従業者人口の関数であらわされる。従って、夜間従業者人口と昼間従業者人口の変化をモデルに反映することにより、中心市街地の高度化による効果を推計する。

表2 中心市街地の高度化による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量 (t-C/年)		交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
都心	102,996	99.5%	15.1		9,145	99.2%	自動車	154,812	99.1%
近郊	390,575	98.9%	14.8		33,791	98.1%	鉄道	5,312	100.0%
郊外	1,543,360	99.6%	27.3		111,876	99.5%	合計	160,124	99.3%
全域	2,036,931	99.5%	22.4	0.383	154,812	99.1%			

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

ここでは、中心市街地の高度化施策の効果を都心ゾーンの第3次産業就業人口の増加で表現することとした。具体的には、都心ゾーンの第3次産業就業人口を現況の1.2倍とし、都心以外のゾーンの第3次産業就業人口を一律に減少させた。

その結果、都市からのCO₂排出量は0.7%とわずかに減少した。これは、都心部に第3次産業が集中することにより、わずかに自動車走行台キロが減少したこと、平均走行速度がわずかに向上したことによると考えられる。

(2) 情報通信の利用による在宅勤務の促進

近年、インターネット等の普及により、在宅勤務やサテライトオフィスによる業務の可能性が拡大している。

情報通信の利用による在宅勤務が普及した場合には、通勤トリップの削減をはかることが可能となる。ただし、従来形態では勤務地から発生していた業務トリップや私事トリップが、居住地から発生することになるため、業務目的や私事目的の分布にも影響を与える。そのため、モデル化に際しては、通勤目的のみではなくすべての目的のトリップに対して評価する必要がある。

CO₂削減量推計モデルでは、情報通信による在宅勤務のモデル化は、生成交通量推計サブモデルあるいは発生・集中量推計サブモデルを用いて行う。

ここでは、在宅勤務を行う業種は第3次産業のみとし、在宅勤務により第3次産業従業者の10%が通勤を行わないものと仮定し、通勤トリップは発生しないものとした。その結果、都心部での第3次産業就業者人口は減少し、都市周辺部での第3次産業就業者人口が増加する。

その結果、在宅勤務によるCO₂排出量削減効果は0.4%とわずかなものであった。これは通勤トリップが削減された代わりに、私事トリップや業務トリップが居住地周辺のゾーンで増加し、道路の平均走行速度が減少すること、通勤トリップは鉄道利用者の割合が他のトリップと比較して高いため、鉄道利用者の減少が大きいことなどが理由として考えられる。

表3 在宅勤務の促進による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)	
都心	102,013	98.6%	15.4		9,030	97.9%
近郊	396,481	100.4%	14.4		34,691	100.6%
郊外	1,541,922	99.6%	26.6		112,094	99.7%
全域	2,040,416	99.7%	21.9	-0.133	155,815	99.8%

交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
自動車	155,815	99.8%
鉄道	5,013	94.4%
合計	160,828	99.6%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

(3) 軌道系交通機関のサービス改善

軌道系交通機関（鉄道、路面電車、モノレール、新交通システム等）は、1人あたりのCO₂排出量が自動車と比較して少ないため、自動車から軌道系交通機関へ転換させることにより、CO₂排出量を削減することができる。CO₂削減量推計モデルでは、公共交通機関のサービス改善策のモデル化は、交通手段推計サブモデルを用いて行う。

公共交通機関のサービス改善策としては、以下のようなものがある。

- ・運賃の見直し

- ・運行頻度の改善
- ・走行速度の向上
- ・交通結節点の利便性向上
- ・新規整備

ここでは、運賃の見直しと走行速度の向上を取り上げる。

(1) 運賃の見直し

公共交通機関の運賃を変更する場合には、ゾーン間の所要費用を変化させることによりモデル上で表現する。一般に、パーソントリップ調査などでは、各トリップの交通手段やトリップの所要時間についてはデータがとられているが、費用については調査されない。そのため、CO₂削減効果推計モデルでは、ゾーン間の交通手段別の平均移動距離より費用を推計する方法をとっている。このモデルでは、交通手段選択モデルに多段型のバイナリーチョイスモデルを用いている。モデルの各段階ではロジットモデルを用いて交通手段の割合を推計しており、ロジットモデルの変数は所要時間・所要費用・ダミー変数の3つを用いている。

所要時間と所要費用の2つの変数はそれぞれ独立ではないが、各交通機関の所要時間と所要費用を変更することによる影響を把握する必要がある、2つの変数は施策を評価する上で重要であるために採用している。

(2) 走行速度の向上

快速電車の運行など、鉄道の表定速度を上昇させることにより、サービスの改善を行う場合には、ゾーン間の鉄道所要時間を変更することによりモデル上で表現される。CO₂削減効果推計モデルの交通手段選択サブモデルでは、交通手段の選択を推計する変数として所要時間を用いているため、鉄道の所要時間の変更による交通手段の選択の変化を推計する。

ここでは、鉄道の運賃を20%割り引いた場合のCO₂排出量削減効果を試算した。その結果、鉄道の利用者は10%程度増加したものの、CO₂排出量削減効果はほとんどないという結果が出た。これは、鉄道への転換の大半をバスからの転換が占めているためである。この原因として、移動に公共交通が利用できる人が限られていることや、運賃が安くなっても依然として自動車利用よりトリップ費用がかなり高いということが考えられる。また、交通手段選択モデルが多段型の二者択一モデルで、モデル中の「自動車利用」に対する選択肢が「公共交通利用」であるため、鉄道運賃の低減に対する反応が鈍いことも原因として考えられ、今後の検討課題の1つである。

表4 軌道系交通機関のサービス改善による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)		交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
都心	103,445	100.0%	15.0		9,217	99.9%	自動車	156,155	100.0%
近郊	394,933	100.0%	14.4		34,462	100.0%	鉄道	5,643	106.2%
郊外	1,548,606	100.0%	27.0		112,476	100.0%	合計	161,798	100.2%
全域	2,046,984	100.0%	22.0	0.010	156,155	100.0%			

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

(4) バスのサービス改善

宇都宮のような規模の都市圏では、軌道系交通機関がそれほど発達しておらず、鉄道の利用が可能な人口は限られている。そこで、バスのサービスを改善して自動車からの転換を促進する施策の効果を検討する。

バスサービスの改善施策としては、運賃の低減・基幹バス（ガイドウェイバスを含む）の導入・バスレーン（バス専用道路を含む）の整備などがある。ここでは、バスレーンの整備や運行頻度の増加などの施策により、都市圏内のバスによる移動時間を20%短縮した場合の効果を試算した。その結果、CO₂排出量削減効果は1.1%と推計された。交通手段別にみると、バスと鉄道の利用が増加し、自動車の利用が減少している。バスのサービス改善に伴って鉄道の利用が増加する原因としては、バスと鉄道の乗り継ぎ利用が増加することや（3）で述べた交通手段選択モデルの問題が考えられる。

表5 バスのサービス改善による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)		交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
都心	102,331	98.9%	15.4		9,052	98.1%	自動車	154,276	98.8%
近郊	392,101	99.3%	14.7		34,040	98.8%	鉄道	5,377	101.2%
郊外	1,532,834	99.0%	27.1		111,184	98.8%	合計	159,654	98.9%
全域	2,027,266	99.0%	22.3	0.225	154,276	98.8%			

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

(5) パークアンドライドの促進

宇都宮都市圏では、自動車ですべての都心に乗り入れるトリップが多く、都心部での旅行速度低下を招いている。そこで、鉄道駅に自動車を駐車して鉄道で都心部へ向かう「パークアンドライド（以下P&Rという）」に適した環境をつくり、鉄道利用を促進して自動車利用を抑制する。

CO₂削減量推計モデルでは、4.で述べたP&R選択サブモデルを用いて、そのCO₂削減効果を推計する。ここでは、P&R駐車場利用時に鉄道運賃の割引券を配布する等により、P&R選択時のコストを半分にすると仮定した場合の効果を推計した。

その結果、鉄道利用者は2.3%増加したもののCO₂排出量は変化がなかった。これは、宇都宮都市圏では鉄道網が発達しておらず、鉄道駅までの距離が長いP&R利用者が多いため、自動車走行台キロの削減に結びつかなかったと考えられる。

表6 P & Rの促進による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)		交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
都心	103,421	99.9%	15.0		9,214	99.9%	自動車	156,152	100.0%
近郊	394,940	100.0%	14.4		34,461	100.0%	鉄道	5,377	101.2%
郊外	1,548,624	100.0%	27.0		112,477	100.0%	合計	161,530	100.0%
全域	2,046,985	100.0%	22.0	0.011	156,152	100.0%			

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

(6) 自転車走行空間の整備

自転車走行空間の整備は、自転車の走行性や安全性の向上を目的として行われる。具体的には、自転車道の整備や自転車通行帯の確保、自転車優先信号の設置、駐輪場の整備などがある。自転車の利用しやすい環境の整備により、自動車から自転車へ的手段変更を促す効果が期待される。

CO₂削減量推計モデルでは、自転車道の整備により自転車の走行性が向上し、自転車トリップの所要時間が短縮されるものとしてモデル化を行う。自転車走行空間の整備により自転車の旅行速度の短縮効果は、ゾーン間所要時間を変更することにより表現される。ここでは、自転車道の整備によりゾーン間の自転車所要時間が10%短縮されると仮定し、効果を試算した。

その結果、自転車を利用するトリップ数が10%増加し、CO₂排出量は1.2%削減されると推計された。特に、都心ゾーンでの自動車走行台キロが2.7%減少し、大きな効果があることが示された。このことは自転車の利便性向上は、近距離トリップの自転車への転換促進策として有効であることを示している。

表7 自転車走行空間の整備による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)	
都心	100,708	97.3%	15.7		8,823	95.7%
近郊	388,826	98.4%	14.9		33,540	97.3%
郊外	1,544,579	99.7%	27.3		111,995	99.6%
全域	2,034,113	99.4%	22.6	0.537	154,358	98.9%

交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
自動車	154,358	98.9%
鉄道	5,202	97.9%
合計	159,559	98.8%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

(7) エリアプライシング

エリアプライシングとは、都心を中心とした一定の範囲内を走行する自動車に課金する施策である。この施策によるCO₂排出量削減効果については、モデルの簡略化のために以下の仮定により推計する。

- ・全車一律に課金するものとする。
- ・1日中、同一金額を課金するものとする。
- ・エリアプライシングによるトリップの目的地の変更は起こらない。
- ・課金額は現在の自動車利用コストと同様の扱いとする。

課金後の走行コスト＝課金前の走行コスト（時間コスト＋燃料費用）＋課金額

これらの仮定のもとに、自動車のトリップあたり費用を修正した上で交通手段選択モデルにより、自動車から他の交通手段に転換する量を推計する。このモデルでは、自動車の費用として燃料費のみを計上している。モデル上では、エリアプライシングによる費用を自動車の燃料費に加算して影響を推計している。

ここでは、自動車利用者に対し1トリップあたり300円の費用が上乗せされると仮定した。その結果、自動車走行台キロは1.3%減少し、CO₂排出量は4%削減されると推計された。また、自動車のトリップあたりコストが約4.5倍に増加し、鉄道やバスよりも高くなっている。それでもあまり自動車利用が減少しないのは、自動車利用の旅行時間が鉄道やバスの半分程度であることが原因と考えられ、公共交通の利便性向上が必要であることを示唆している。

表8 エリアブライジングによる効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)		交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
都心	103,845	100.4%	16.7		8,912	96.6%	自動車	149,975	96.1%
近郊	395,857	100.2%	16.1		33,366	96.9%	鉄道	5,128	96.5%
郊外	1,519,446	98.1%	29.9		107,697	95.8%	合計	155,103	96.0%
全域	2,019,148	98.7%	24.3	2.314	149,975	96.1%			

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

(8) ボトルネック対策

信号交差点や踏切等で発生する交通渋滞は、自動車の走行速度を低下させ、大気汚染物質の排出量を増大させる等の悪影響を及ぼしている。信号交差点や踏切などにおける渋滞を解消するために、交差点改良や鉄道の立体化などが行われている。

自動車走行台キロ推計サブモデルでは、比較的長い区間（数km程度）での道路交通の状態を推計するためのモデルであり、ボトルネック対策のような数百mから1km程度の交通状態の変化を推計することができないため、これらの対策については、このモデルで評価することは難しい。そこで、ボトルネック対策によるCO₂削減効果は、新たなサブモデルを作成して推計するものとした。

ボトルネック対策効果推計サブモデルでは、対策前後の渋滞状況の変化よりCO₂排出量の削減効果を推計する。対策前後の渋滞長や渋滞時旅行速度、対策後の非渋滞区間の旅行速度、渋滞時間帯の交通量は観測データを用いるか、データが得られない場合には仮定して効果を推計する（図14）。

このサブモデルで推計されたCO₂削減効果は、メインモデルとは切り離されて推計されたものである。都市圏全体でのCO₂削減効果は、メインモデルで推計されたCO₂排出量から、サブモデルでの推計された効果分を減じることで推計される。ただし、ボトルネック対策効果推計サブモデルはメインモデルとは別構造であるため、対策による自動車の経路選択の変化は表現できない。また、対象地域内の平均旅行速度の推計はメインモデル内で処理されるため、ボトルネック対策による旅行速度の向上効果は反映されないため過小評価になるのが課題である。

交差点改良による渋滞解消効果は、既存の事例を調査し、対策種類ごとに集計して設定した。ここでは、交差点の立体化・道路拡幅・交差点部分の車線数増に分類して、渋滞解消効果を100%、90%、61%と設定した。

また、渋滞区間の旅行速度は10km/h、非渋滞区間は25km/hと仮定した。

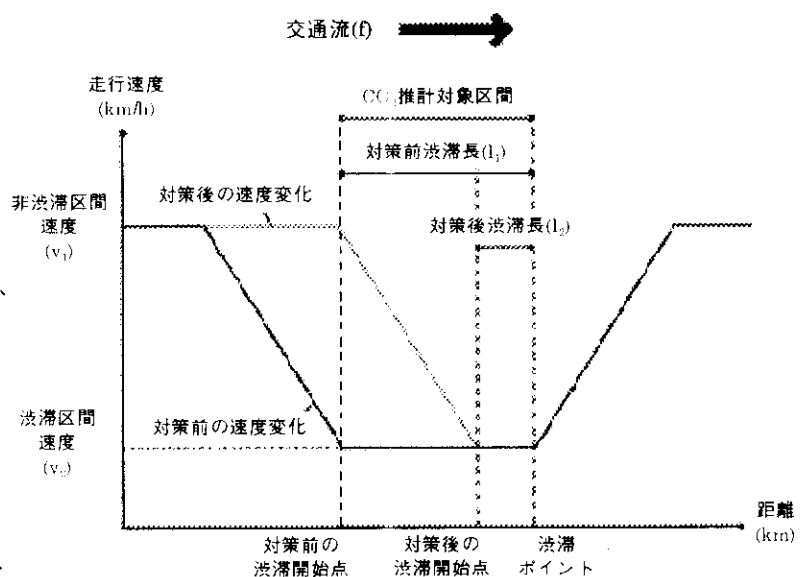


図14 ボトルネック対策による渋滞解消効果推計の考え方

ここでは、宇都宮都市圏の主要渋滞ポイント15箇所計画されている立体交差化や道路拡幅を実施した場合のCO₂排出量削減の効果を試算した。その結果、都市圏全体の排出量にはほとんど効果がなかったものの、各交差点でのCO₂排出量は23～39%削減された。

(9) 幹線道路の整備

幹線道路の整備により、道路容量の増加による旅行速度の向上や、より短い経路への変更による走行台キロの減少によってCO₂排出量が減少する。

自動車走行台キロ推計サブモデルは、「ネットワーク配分」と「旅行速度別走行台キロの推計」の2つのモデルで構成されている。ネットワーク配分については、ゾーン間の簡略ネットワーク上でシミュレーションが行われる。道路の新設・改良が行われた場合、この簡略ネットワークの容量を変更することにより、配分交通量の変化を推計することができる。また、各道路の旅行速度別の走行台キロを推計する際には、モデルシミュレーションの過程で、時間帯別の混雑度を推計している。道路の改良効果を推計する際には、該当する道路の交通容量を変更することにより、旅行速度の向上効果を推計することができる。

ただし、上記のモデルは、都市内交通に対する施策を評価する目的で構築されているため、都市間交通に対象とした大規模なバイパス等を整備するなどの施策を評価することができない。都市間交通については、別途域外交通に対するバイパスをネットワークに追加し、通過交通が都心部を通過しなくなるものとして配分を行う。

ここでは、宇都宮の外環状道路の交通容量が1.5倍に拡大したと仮定して、CO₂排出量削減効果を試算した。その結果、通過交通が環状道路へ経路変更することにより都市圏全域で旅行速度が向上し、CO₂排出量が3.9%削減された。特に都心ゾーンや近郊ゾーンでは10%程度削減されており、通過交通を都心部から排除した効果が大きいことがわかった。ただし、他の交通機関からの転換は考慮しているものの、平均旅行速度の向上により新たに発生する誘発交通は、現段階では考慮できないためこの点が課題として残っている。

表9 幹線道路の整備による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)		交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
都心	97,943	94.6%	16.6		8,428	91.4%	自動車	149,810	96.1%
近郊	375,060	94.9%	15.9		31,467	91.3%	鉄道	5,312	100.0%
郊外	1,556,759	100.6%	29.7		109,915	97.8%	合計	155,122	96.1%
全域	2,029,762	99.2%	24.7	2,698	149,810	96.1%			

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

(10) ピーク交通量の平準化

フレックスタイムや時差通勤などにより、ピーク時に集中する交通を他の時間帯に分散して旅行速度を向上することにより、CO₂排出量を削減することが可能である。フレックスタイムの効果は、モデル上では対象地域内における交通量の時間変動パターンを変更することにより表現される。交通量の時間変動パターンは、車種別（乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車）別に作成されている。このうち、フレックスタイムや時差通勤の影響を受けるのは乗用車のみと仮定

し、他の3車種については時間変動パターンを変更しない。

ここでは、時差通勤等の普及によりピーク時1時間の交通量を前後1時間の範囲で平準化し、ピーク時をはさむ3時間の交通量が一定になる（図15参照）と仮定して試算を行った。

その結果、旅行速度が都市圏平均で2 km/h向上したことにより、CO₂排出量が2.2%削減されると推計された。今回の試算では完全にピークが平準化されると仮定したが、業種によっては時差通勤等

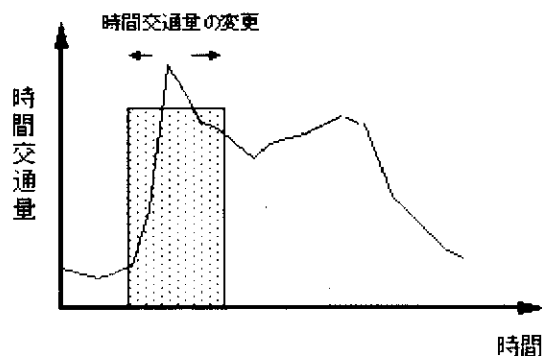


図15 ピーク時交通量平準化の考え方

表10 ピーク交通量の平準化による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)	
都心	103,479	100.0%	16.1		9,001	97.6%
近郊	395,051	100.0%	15.6		33,620	97.5%
郊外	1,548,736	100.0%	29.5		110,203	98.0%
全域	2,047,266	100.0%	24.0	2.007	152,824	97.8%

交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
自動車	152,824	97.8%
鉄道	5,312	100.0%
合計	158,136	97.8%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

（11）低公害車の導入

低公害車の導入をした場合には、1台あたりのCO₂排出量が削減される。低公害車には、ハイブリッド車、天然ガス車（CNG車）、電気自動車、燃料電池自動車などの代替燃料自動車と在来のがソリン車及びディーゼル車を低燃費化したものがあり、その削減効果はそれぞれ異なる（図16）。

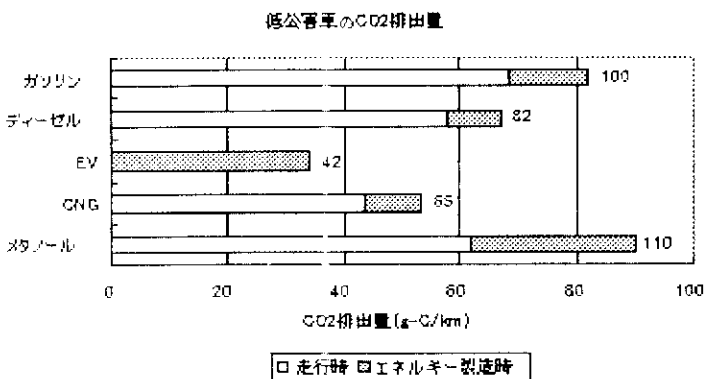


図16 低公害車のCO₂排出量の比較（ガソリン車を100とする）

モデル上では、低公害車が全体の車種

の中で占める割合を設定し、CO₂排出量削減効果を推計する。低公害車の1台あたりの走行台キロは、従来の自動車と同じであると仮定し、低公害車の使用形態（1日の走行距離の違いなど）

表11 低公害車の導入による効果の試算結果

	自動車走行台キロ (千台km/年)		平均旅行速度 (km/h)		自動車によるCO ₂ 排出量(t-C/年)	
都心	103,479	100.0%	15.0		8,419	91.3%
近郊	395,051	100.0%	14.4		32,657	94.7%
郊外	1,548,736	100.0%	27.0		106,717	94.9%
全域	2,047,266	100.0%	22.0	0.000	147,793	94.6%

交通手段	CO ₂ 排出量 (t-C/年)	
自動車	147,793	94.6%
鉄道	5,312	100.0%
合計	153,105	94.6%

※各項目ともに右側の欄は現況との比率（平均旅行速度は変化分）

は考慮していない。また、速度別のCO₂排出量の傾向は在来車と同じと仮定し、一定の低減率を乗じた。

上記の仮定のもとに、ここでは宇都宮都市圏の全てのバスと小型貨物車の3割に天然ガス自動車を導入した場合のCO₂排出量の試算を行った。その結果、CO₂排出量は5.4%削減されると試算された。今回、低公害車の普及割合を仮定して試算したが、今後は低公害車の普及状況をモデル化する必要があると考える。

(12) CO₂排出量削減施策の比較

(1)～(11)で試算した施策のCO₂排出量削減効果を「走行台キロの削減効果」と「旅行速度の向上効果」に分けて比較したものが図17である。この図から、走行台キロの削減によるCO₂排出量削減効果は最大1%程度、旅行速度の向上効果は最大3%程度なのに対して、低公害車の導入効果は約5%と、大きいことがわかる。また、宇都宮のように公共交通機関のネットワークが発達していない都市圏では、自動車から公共交通への転換が起きにくく、CO₂排出量削減効果が小さいことがわかった。

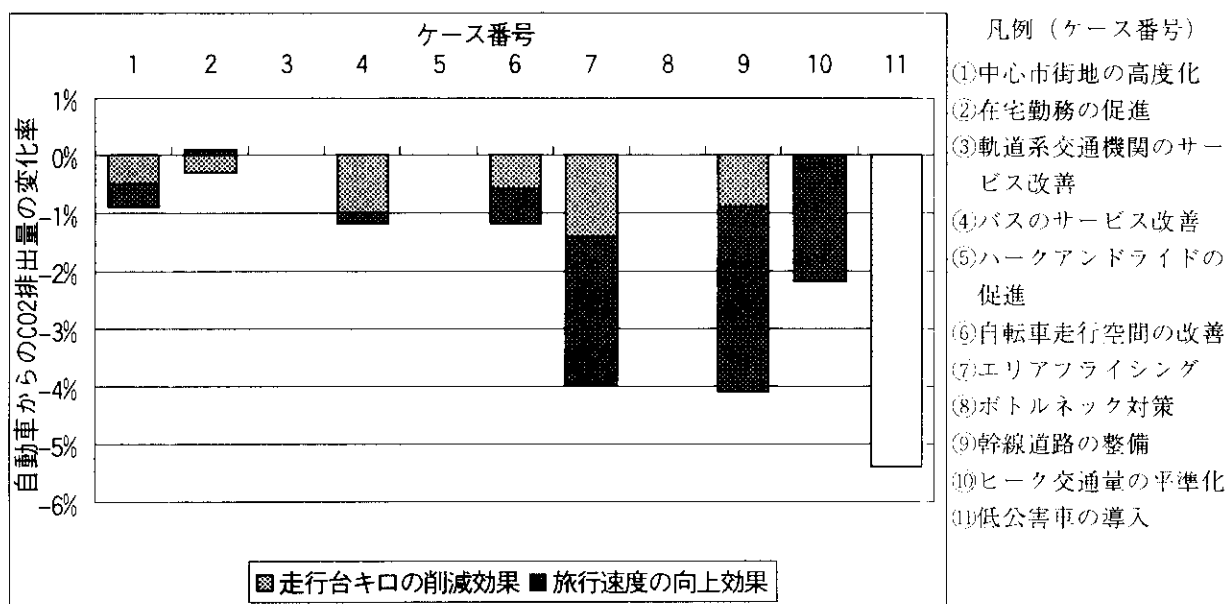


図17 自動車から排出されるCO₂の排出量削減施策の効果の比較

6. まとめと今後の課題

本研究では、地球温暖化の原因となる温室効果ガスのうち二酸化炭素（CO₂）について、都市内における交通部門のCO₂排出量の予測モデルを作成し、このモデルを使ってCO₂排出量削減施策の効果を推計した。

都市交通部門からのCO₂排出量削減施策の効果を予測するため、宇都宮市をケーススタディ対象地として選定し、11施策の効果を推計した。自動車からのCO₂排出量削減については、走行台キロの削減によるものと旅行速度の向上によるものとに分けて予測を行った。

これらのケーススタディの結果から、自動車走行台キロの削減による効果だけでなく、旅行速度の向上による効果も大きいという結果が得られ、幹線道路の整備やピーク交通量の平準化など

道路交通の円滑化施策も、CO₂排出量削減に大きく貢献することがわかった。

今後の課題としては、各施策の効果を試算する際にいくつかの仮定により変数を設定しているが、これらの変数をモデル化してより現実的な値を入力できるようにすることや、各施策の組み合わせにより施策の効果の相殺あるいは相乗作用を考慮することなどが挙げられる。

〔研究成果の発表状況〕

(1) 口頭発表

- ① 小根山裕之，大西博文：環境負荷の小さい都市構造・交通体系に関する一考察，第20回土木計画学研究発表会，土木計画学研究・講演集20(2)，pp.129-132，1997.
- ② 小根山裕之，大西博文：都市の交通部門における二酸化炭素排出量削減効果推計モデル，第21回土木計画学研究発表会，土木計画学研究・講演集21(2)，pp.685-688，1998.

(2) 論文発表

- ①小根山裕之，大城温，山田俊哉，大西博文：都市内交通による二酸化炭素排出量の推計モデル，土木技術資料，Vol.41，No.11，pp.24-29，1999.