

# 都市内物流における輸送業態・トラックサイズ選択モデル

インフラ計画研究室 下田 妙  
指導教官 佐野 可寸志  
松本 昌二

## 1. はじめに

地球温暖化防止のために作成された「京都議定書」では、二酸化炭素を中心とした温室効果ガスの総排出量を、基準年の1990年比で6%削減することが必要であるとしている。しかし、運輸部門の2002年度における二酸化炭素排出量は逆に20%増加しており、これを大幅に削減する必要がある。本研究では、貨物車の輸送業態（営業用/自家用）とトラックサイズ選択を決定する非集計モデルを構築し、環境税が導入された場合の貨物車の転換による二酸化炭素排出削減量を推定することで、貨物車交通が環境に与える影響を評価する。本研究のモデルの特徴は、単に自家用貨物車が営業用貨物車かの2選択ではなく、営業用貨物車に関してはその用途選択（一般貨物運送用、特別積み合わせ運送用、軽貨物自動車運送用）さらにその用途の一つである一般貨物輸送用に関しては、積み合わせの有無も決定することで、実際の貨物車選択行動により近い選択結果となるようなモデルを構築する。また効用関数を貨物輸送にかかる費用で表し、各主体の利益最大化行動を再現するものとする。

## 2. 貨物車選択の要因分析

輸送業態とトラックサイズ選択モデルを構築する際に、その選択要因として考えられる貨物のロットサイズ、品目、従業員数、荷主から貨物の配達先の顧客に到着するまでの所要時間等の項目とどのような関係があるかを分析する必要がある。この分析より、使用貨物車の輸送業態・トラックサイズを選択する選択要因を抽出し、この選択要因を説明変数である輸送費用を算出する場合の変数とし、非集計の輸送業態・トラックサイズ選択モデルを構築する。

## 2.1 データ概要

使用データは、平成6年東京都市圏物資流動調査のB表（貨物車の動きを調査した貨物車運行調査データ）を用いた。貨物車の分類は以下のような分類とする。

- ・自家用貨物車
- ・営業用貨物車
  - 一般貨物運送用（積み合わせ）
  - 一般貨物運送用（積み合わせなし）
  - 特別積み合わせ運送用
  - 軽貨物自動車運送用

図1 貨物車の輸送業態用途分類

## 2.2 分析結果

貨物の輸送業態選択の選択要因として考えられる項目の分析を行った。品目分類については東京都市圏物資流動調査においては、51品目分類となっていたが、本研究では類似の品目をまとめて8品目分類とし分析を行った。以下に輸送所要時間、輸送貨物品目、ロットサイズ、従業員数に着目した分析結果を示す。

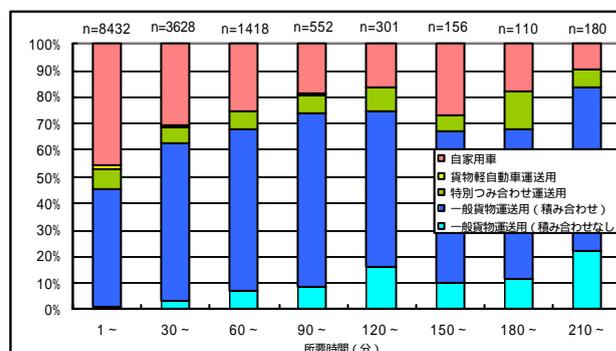


図2 輸送所要時間別輸送業態

1 トリップ間の輸送所要時間に着目した分析において、荷送り事業所または顧客から次の顧客または積み合わせる事業所に到着するまでにかかる所要時間が長くなるにしたがって自家用貨物車を使用する割合が減少し、営業用貨物車を利用する割合が増加しており、距離が遠いほど営業用貨物車を使用していることが分かる。この結果より、自家用貨物車で距離が遠い顧客に配達すると、1日あたりの配達件数が減少し効率が悪いため効率のよい営業用貨物車で輸送していると考えられる。

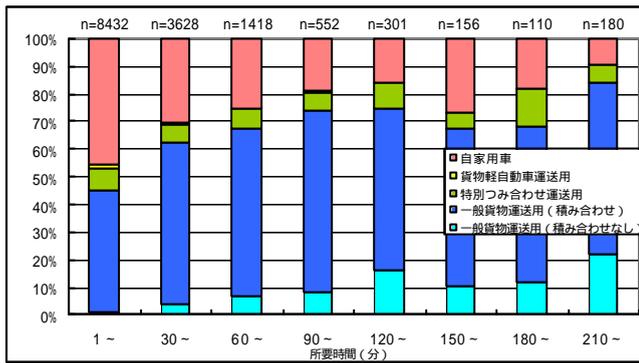


図3 輸送貨物品目別の輸送業態

輸送貨物の品目に着目した分析においては、品目ごとに使用する貨物車の輸送業態やトラックサイズが異なっていることが分かった。したがって本研究では、品目ごとに輸送形態が異なると考え、説明変数である輸送費用を求める際に、品目ごとに推計する。

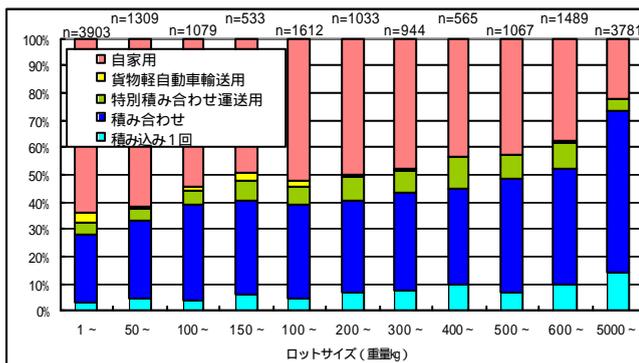


図4 ロットサイズ別の輸送業態

ロットサイズが大きくなるにつれて自家用車を使用する割合が減り、営業用車を利用する割合が増加する傾向にある。また、営業用車の用途別に見ると、貨物軽自動車運送や特別積み合わせ運送は、ロットサイズが小さいほど使用される傾向にあり、一般貨物運送用に関しては、ロットサイズが小さいほど積み合わせを行い、ロットサイズが大きいほど積み合

わせを行わずに貨物を輸送する傾向にある。

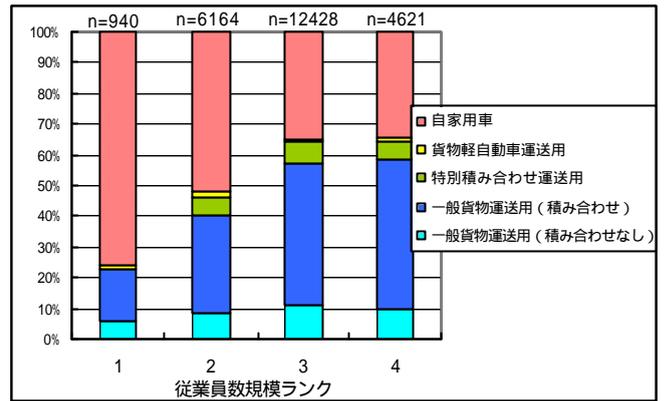


図5 従業員数ランク別の輸送業態

従業員数が増えると、自家用貨物車を使う割合が減り、営業用貨物車を利用する割合が増える。これは、大規模な事業所ほど人件費が高い傾向にあり、相対的に営業用貨物車の費用が低くなるため大規模な事業所ほど営業用貨物車を使用する。逆に、小規模な事業所にとっては、自社でドライバーを雇うのに比べると、相対的に営業用貨物車の料金は高くなるため、小規模な事業所ほど自家用貨物車を使用する傾向にある。一般貨物運送用の積み合わせは、従業員数が増えるにしたがってその割合も増加する。よって、従業員数規模ランクが高いほど顧客（積み込み回数）が多いと考え、積み合わせ回数も増える傾向にあると考える。

### 3. 輸送貨物車選択モデル

#### 3.1 モデル構造

3段階のネスティッドロジットモデル構造である。このモデル構造は、下位段階において選択行動を行うことによって得られる効用の期待値（合成変数）も考慮に入れるモデル構造であり、より現実的な予測が可能である。モデル構造を図6に示す。

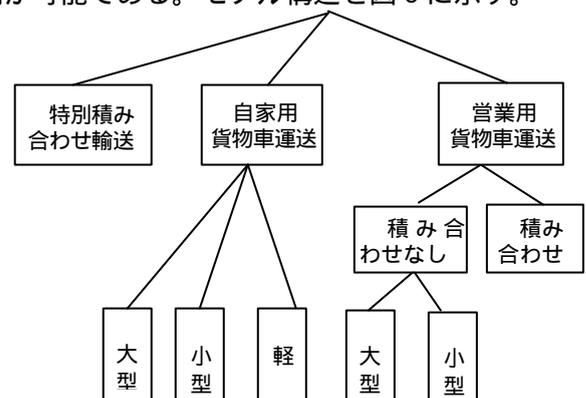


図6 貨物車輸送業態・トラックサイズ選択構造

### 3.2 効用関数と説明変数

本モデルの効用関数は主に、各輸送業態・トラックサイズの貨物車ごとの輸送費であり、ドライバーの人件費、トラックの走行費、諸経費、庸車費等で表現している。これら輸送費を計算する場合に、貨物車の選択要因として考えられた選択要因項目を考慮に入れ計算している。また本研究では個々の輸送貨物ごとを取り扱った貨物車の輸送業態・トラックサイズ選択モデルであるので、ある貨物が貨物車で輸送された場合のトラック単位での輸送費にその貨物のロットサイズの重みをかけることで貨物1個あたりの輸送費を算出している。

自家用貨物車運送（小型）を例にとり、効用関数の算出の方法を示す。自家用貨物車運送（小型）の効用関数は、輸送費用と選択固有ダミー変数からなる。自家用貨物車運送（小型）の輸送費用算出式を以下に示す。

$$C_{private,small} = (Dr_{private,small} + R_{private,small} + MT_{private,small}) \cdot \frac{L_i}{\sum L_i}$$

$C_{private,large}$  : 自家用貨物車運送費用（円）

$Dr_{priv,Irg}$  : ドライバーの人件費（円）

$R_{priv,Irg}$  : 貨物車の走行費（円）

$MT_{priv,Irg}$  : 貨物車の諸経費（円）

$L_i$  : 顧客  $i$  のロットサイズ (kg)

$\sum L_i$  : 自家用貨物車の総重量 (kg)

#### (1) ドライバーの人件費

ドライバーの人件費は会社規模（従業員数）によって異なると考える。全国の従業者数別賃金水準をもとに日1日あたりの賃金を推定し、それをドライバーの人件費とする<sup>[1]</sup>。

$$1日あたりの賃金 = 2192.6\ln(x) + 3739.3 \quad (\text{円/日})$$

$x$  : 従業者数

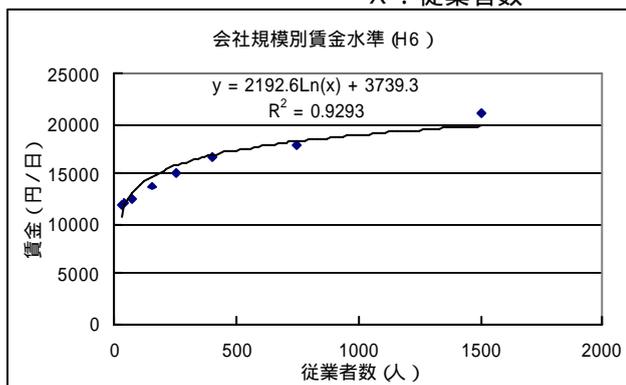


図7 会社規模別賃金水準

#### (2) 貨物車の走行費

東京都全体の混雑時の平均旅行速度は平成9年の道路交通センサスによると21.0km/hであり、区部では18.5km/hと全国平均(35.2km/h)の半分程度の速度でしか走行できない。したがって、東京都内とその周辺の県とでのトラックの速度は異なるため走行費も違ってくる。速度と燃費の関係式を図8に示す<sup>[2]</sup>。したがって、速度ごとの燃費も考慮に入れた走行費用を以下の式により算出する。

走行費（円）

$$= \text{平均1サイクル走行距離} / \text{燃費} \times \text{燃料費単価}$$

(km)                      (km/l)      (71円/l)

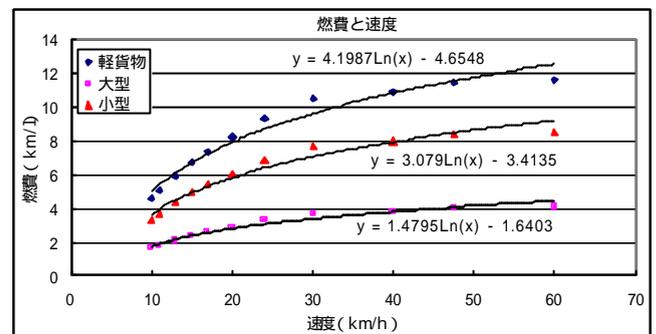


図8 燃費と速度

平均1ツアー走行距離とは、はじめて貨物を積んだ事業所を出発してから、各顧客に荷物を卸し、再びはじめの事業所に戻ってくるまでの走行距離の平均的な値をとった走行距離である。この走行距離はサンプルデータを基に、荷送り側事業所と顧客間の平均距離、積み合わせする荷送り事業所間の平均距離、顧客間の平均距離、さらに平均積み合わせ件数を数量化 類により推定し、以下の式により求める。

$$y = (n_1 - 1)X_1 + (n_2 - 1)X_2 + 2X_3$$

$y$  : 走行距離

$X_1$  : 積み合わせする荷送り側事業所間の平均距離

$X_2$  : 顧客間の平均距離

$X_3$  : 荷送り側事業所と顧客間の平均距離

$n_1$  : 積み合わせする荷送り事業所件数

$n_2$  : 顧客件数

### (3) 諸経費

トラックを維持するために必要な費用としては、車両費と車両保険費が考えられる。この2種類の費用を諸経費とし、諸経費はトラックサイズに比例するものとした<sup>[3]</sup>。

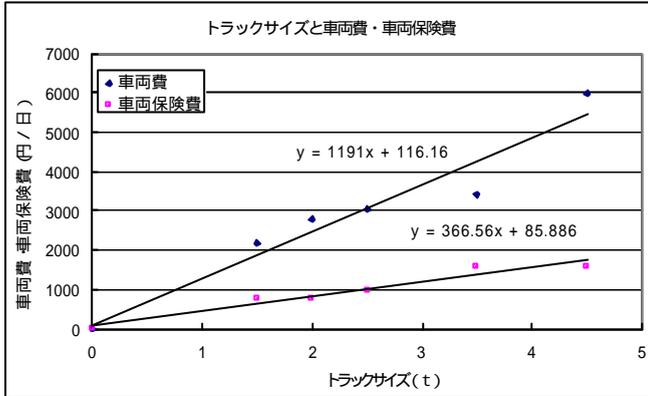


図9 トラックサイズ別諸経費

### 3.3 選択確率

自家用貨物車運送を例にとり、輸送業態・トラックサイズ選択のモデル式を以下に示す。

《自家用貨物車運送の選択確率》

$$P_p = \frac{\exp(V_2 + m_1 \times V_2')}{1 + \exp(V_1) + \exp(V_2) + m_1 \times V_2'}$$

《自家用貨物車運送の合成変数》

$$V_2 = \ln(\exp(V_4) + \exp(V_5) + 1)$$

《効用関数》特別積み合わせ運送の効用

$$V_1 = b_1 C_{1, special} + X_{special}$$

自家用貨物車運送の効用

$$V_2 = X_{private}$$

自家用貨物車運送(小型)の効用

$$V_4 = b_1 C_{1, private, small} + X_{private, small}$$

自家用貨物車運送(軽)の効用

$$V_5 = b_1 C_{1, private, light} + X_{private, light}$$

$m_1$  : 自家用貨物車運送の合成変数のパラメータ

$X_{i,j}$  : 貨物車の輸送業態 i トラックサイズ j の選択肢固有ダミー変数

$C_{i,j}$  : 貨物車の業態 i トラックサイズ j の輸送費用

$b_1$  : 輸送費用のパラメータ

### 3.4 パラメータ推定

3.2 で求めた効用関数を用いて非集計分析を行い、パラメータ推定を行った。表1にパラメータ推定結果を示す。ネスティッドロジットモデルの、合成変数の2つのパラメータ値とも、0と1共に有意な差があり、本モデルで提案したネスト構造は意味があることが判明し、尤度比も0.28と満足のいく結果が得られた。また、3.3で示した選択確率を用いて算出した的中率は、71.5%となった。なお、自家用車大型を過大推計する傾向にある。

表1 パラメータ推定結果

係数	パラメータ	値
輸送費用	-0.00047	-10.57
ロットサイズ	-0.0024	-1.66
輸送距離	0.0044	0.25
特別積み合わせ運送 固有ダミー変数	0.62	0.56
自家用貨物車運送 固有ダミー変数	-0.21	-0.19
自家用貨物車運送(大型) 固有ダミー変数	-0.98	-5.58
自家用貨物車運送(小型) 固有ダミー変数	-0.42	-2.77
営業用貨物車積み合わせなし (大型)固有ダミー変数	5.50	10.01
営業用貨物車積み合わせ 固有ダミー変数	-2.28	-0.78
合成変数1	0.41	-5.82
合成変数2	0.40	-2.39
<sup>2</sup> (尤度比)		0.28

### 4. 環境税導入後の環境影響評価

自動車環境対策としては、低公害車(電気自動車、天然ガス自動車、ハイブリッド自動車及びメタノール自動車)や低燃費車など低環境負荷型自動車の普及のための補助金や税制優遇措置、各種技術開発の推進といった発生源対策や、バイパス等の整備による交通の分散や道路機能の分化促進等の交通対策、環境施設帯の緩衝空間の確保や道路の地下化等の道路構造・沿道対策といった様々な分野において施策が進められている。そこで本研究で仮定する自動車環境対策としては、自動車税にさらに金額を上乗せする形をとり、これを環境税と定義する。そして稼働効率の低い自家用貨物車から営業用貨物車への転換を促し、地球温暖化物質である走行中に排出される二酸化炭素を削減させるという施策をとることとする。本研究での課税によりコストを増加させた場合の使用貨物車の転換率が今後の施策を考える場合の参考になればと考える。

#### 4.1 環境税

本研究では、事業者が自動車を保有する際に徴税される自動車税の2倍の金額を環境税として課税した。自動車税とは、自動車の所有に対して課税される道府県税で、自動車の主たる定置場所在の都道府県において課税するものをいう。対象となる自動車は、道路運送車両法の適用を受ける自動車のうち普通自動車と三輪以上の小型自動車である。毎年4月1日現在の所有者に1年分課税される。以下に本研究で設定した環境税の一覧を示す。

表2 本研究で設定した環境税

	自家用車	営業用車
軽	16,000	-
小型	32,000	18,000
大型	51,000	27,750

(単位:円)

#### 4.2 環境税導入後の使用貨物車の転換量

本研究で構築した都市内物流における輸送業態・トラックサイズ選択モデルを用いて、輸送費用に設定した環境税を課税した輸送費用を適用し、環境税導入後における各輸送業態・トラックサイズ選択を行い、使用貨物車を決定した。以下にその環境税導入後の使用貨物車転換結果を示す。

表3 環境税導入前・後の貨物車選択件数

	モデルで選択した貨物車選択件数	環境税導入後の使用貨物車転換
自家用貨物車(大型)	6,010	5,850
自家用貨物車(小型)	4,854	4,636
自家用貨物車(軽)	587	577
営業用貨物車(積み合わせ)	1,427	1,529
営業用貨物車(積み合わせなし 大型)	397	403
営業用貨物車(積み合わせなし 小型)	9,427	9,521
特別積み合わせ運送用貨物車	1,450	1,636
合計	24,152	24,152

環境税導入前後の使用貨物車件数を比較すると主に自家用貨物車から営業用貨物車に160台使用貨物車が転換してきている。これはやはり、営業用貨物車は、多くの複数の貨物と積み合わせて運送している特徴を持っているので、環境税が導入されることで運送費用が上がった際に、効率よく運送しコストを抑えている営業用貨物車に自家用車が転換してきたと考えられる。

#### 4.3 環境税導入による二酸化炭素排出削減量の推定

各輸送業態の貨物車の輸送方法を考慮に入れ、環境税導入後に増減した貨物車走行距離を算出し、二

酸化炭素削減量を推定する。ここでは、自家用貨物車から営業用貨物車に転換してきた場合を述べる。

##### 4.3.1 自家用貨物車と営業用貨物車の相違点

環境税を導入した場合自家用貨物車から営業用貨物車に使用貨物車を転換しているケースが多かった。この要因として考えられるのが自家用貨物車と営業用貨物車の輸送形態(走行経路)の違いにより、自家用貨物車から営業用貨物車に転換することで1貨物当たりの輸送コストが少なくなることが転換要因の一つと考えられる。以下にその輸送形態(輸送経路)の違いを簡単に図により説明する。

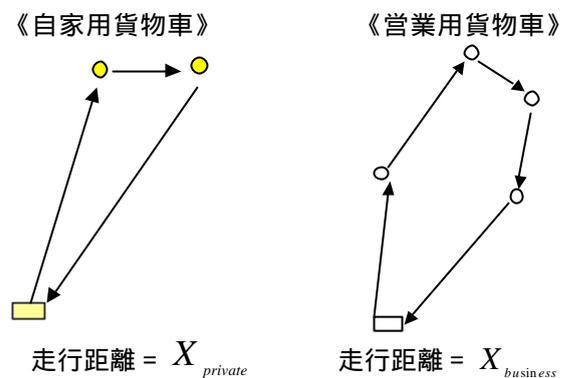


図10 自家用貨物車・営業用貨物車の輸送形態例

自家用貨物車は図10のように自社の顧客の貨物を輸送している。しかし、営業用貨物車は、複数の事業所のもつ顧客の貨物を積み合わせて輸送している場合がほとんどである。次に環境税が導入され、自家用貨物車が営業用貨物車に転換してきた場合の貨物車の輸送経路を図11に示す。

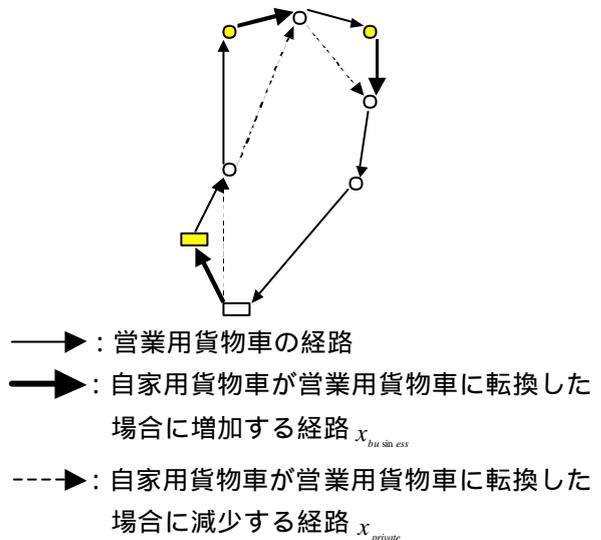


図11 自家用貨物車が営業用貨物車に転換した場合の輸送経路の変化

### 4.3.2 環境税導入により削減された二酸化炭素排出削減量

自家用貨物車が営業用貨物車に転換された場合に輸送経路として追加される経路と、輸送経路ではなくなる経路が存在する。この2つの経路と、環境税導入前の自家用貨物車の走行距離を用いて、以下の式により各輸送業態別の環境税導入により増減した走行距離を算出し、二酸化炭素原単位を乗じることで、削減できた二酸化炭素排出量を推計する。この計算の際に必要な顧客間の距離、荷送り側事業所間の距離、荷送り側事業所と顧客間の距離、貨物輸送中に立ち寄る顧客数、積み合わせを行う事業所数等は、各輸送業態・トラックサイズ別の平均的な値を用いる。

環境税導入前：自家用貨物車使用  
環境税導入後：営業用貨物車使用

$$Y = CO_{2,size} \cdot X_p - CO_{2,size} (n_{b1}x_{b1} + x_{b2})$$

$$X_p = (n_{p1} - 1) \cdot x_{p1} + 2x_{p2}$$

Y：環境税導入後、増減した二酸化炭素排出量

X<sub>p</sub>：環境税導入前の自家用貨物車の総走行距離

n<sub>p1</sub>：自家用貨物車の顧客数

x<sub>p1</sub>：自家用貨物車の顧客間の距離

x<sub>p2</sub>：自家用貨物車の事業所と顧客間の距離

n<sub>b1</sub>：営業用貨物車の顧客数

x<sub>b1</sub>：営業用貨物車の顧客間の平均走行距離

x<sub>b2</sub>：営業用貨物車の事業所と顧客間の平均走行距離

CO<sub>2,size</sub>：二酸化炭素排出原単位（size：大型、小型）

### 4.3.3 二酸化炭素削減量

本研究で用いた 24,152 件のサンプル全体の貨物車交通が排出する二酸化炭素は、285.72t-CO<sub>2</sub>であり、環境税導入後に削減された二酸化炭素は 4.76t-CO<sub>2</sub>であった。これは本研究サンプルの貨物車交通全体が排出する二酸化炭素の 1.6%に相当する。なお、本計算に用いた二酸化炭素排出原単位を以下に示す<sup>〔4〕</sup>。

表4 輸送機関別二酸化炭素排出原単位

	二酸化炭素排出原単位 (g-CO <sub>2</sub> /km)
大型貨物車	155
小型貨物車	54

### 5.まとめ

貨物車業態やトラックサイズが決定される要因を、東京都市圏物資流動調査のデータを用いて抽出し、それらの要因を変数とするネスティッドロジットモデルを構築した。モデルは、第1段階は自家用貨物車、営業貨物車（一般）、特別積み合わせ運送の3種類に分類し、第2段階は積みあわせの有無、第3段階でトラックサイズ（大型貨物車、小型貨物車、軽貨物車）を決定する。既存データを使用しており、貨物車業態やトラックサイズを決定する個別の要因を抽出することが不可能であるため、モデルの精度は十分とはいえないものの、的中率70%以上のモデルを作成することができた。

このモデルを、自動車税の負担増加という環境税を導入した際に、貨物車業態やトラックサイズの決定行動にどのような影響を与えるかを本研究で構築したモデルを使用して定量的に把握した。その結果、環境税の導入により輸送コストが上昇すると、効率の良い営業用貨物車に、自家用貨物車からシフトすることが確認できた。また、輸送方法の変化も含めて輸送業態やトラックサイズが変化した場合のトータルのエネルギー消費量を、環境税導入の前後で比較した結果、貨物車交通全体に対して1.6%の二酸化炭素排出量を削減でき、環境税が導入されると貨物車のトータルエネルギー消費量が削減され、二酸化炭素削減につながることを示した。

### 参考文献

- 1) 日本国勢図会 全国の従業者数別賃金水準 平成6年
- 2) 国土交通省「交通関係エネルギー要覧」平成15年版
- 3) カーゴニュース 主要荷主の運賃・倉庫料金の実態 平成5年
- 4) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編 道路投資の評価に関する指針（案）環境への影響の算定式