

S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト

3. 都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

(7) 都市における需要変化に伴う誘発二酸化炭素排出量変化（第Ⅰ期平成16～18年度）

地域間物流に伴う二酸化炭素排出の変化（第Ⅱ期平成19～20年度）

東京大学大学院 新領域創成科学研究科

吉田好邦

平成16～20年度合計予算額 11,159千円

(うち、平成20年度予算額 1,651千円)

※上記の合計予算額には、間接経費2,575千円を含む

[要旨] 本研究は産業連関表と地域間の物流データを接続することにより、消費活動ならびに産業活動によって物流が発生する機構を定式化する手法（物流産業連関分析）を用いて、地産地消の社会によるCO₂削減可能性や、海運・鉄道へのモーダルシフトによるCO₂削減可能性を評価した。H16年度は地域産業連関分析をおこなうことで、誘発二酸化炭素排出量を最終需要別に定量化し、運輸部門におけるCO₂排出量の削減が大きな効果を持つことが示唆された。この結果を踏まえたH17年度は都市間の貨物物流に着目し、需要変化に伴って誘発される貨物物流におけるCO₂排出量を評価した。物流の波及に注目した地域間の物流構造の新しい計算手法の基礎部分を提案した。H18年度には前年度に提案した計算手法を精査し、物流連関分析として体系化した。H19年度は分析手法の妥当性を検証した。実績とモデルの整合性は、本研究の信頼性を担保する上で、重要な意義がある。各種の修正を経て、物流全体の総量は物流センサスによって公表されている都道府県間の輸送量の実績と推定値が概ね合致した。これらの結果は昨年度に示したシナリオ別の脱温暖化社会における物流分野でのCO₂削減ポテンシャルの推定結果の妥当性を担保するものといえる。H20年度は手法を最適化問題に応用し、輸送距離の削減対策（地産地消の促進）、輸送手段の低炭素化（鉄道や海運へのモーダルシフト）のCO₂排出削減効果を推計した。潜在的なCO₂削減量として、地産地消の物流構造となることで年間最大4340万トン、鉄道・海運にモーダルシフトすることで年間最大4720万トンの削減ポテンシャルがあるとの推計結果を得た。

[キーワード] 誘導物流、派生物流、物流産業連関分析、地産地消、モーダルシフト

1. はじめに

CO₂排出の中から物流由来のものに焦点を当て、排出量を削減する方策を探る。物流は部門別の排出においては運輸部門にあたり、運輸部門は全体排出量の21%、およそ2億6000万トンのCO₂を排出している。運輸部門の中で自動車の割合は90%を占めている。自家用車の普及とともに、物流においてトラックが多用されるようになった。自動車は、近年では短距離輸送のみならず600km以上の距離での陸上輸送でも約30%を占めている。このように、自動車は他の輸送機関に比べて多くのCO₂を排出する輸送機関となっている。このような背景から、物流に焦点をあてたCO₂削減対策の具体的な評価が極めて重要といえる。

2. 研究目的

本研究では物流の波及に注目した地域間の物流量の新しい計算手法を構築して、人口シナリオを考慮したモーダルシフト等のCO₂排出削減ポテンシャルの分析に適用する。使用するデータは、物流に関する公表データのうち最も代表的なデータベースである全国貨物純流動調査（物流センサス）¹⁾である。本手法で評価する物流は2つある。ひとつは生産から消費に向かって、すなわち上流から下流に物の流れをみることによる派生物流である。派生物流はある製品が生産されたときにそれが最終消費者に搬送されるまでに発生する地域間の物流をさす。もうひとつは下流から上流に向かって、消費に由来して誘発される物の流れをみることによる誘導物流である。誘導物流では、最終消費者が消費する製品の製造過程をさかのぼるときに、地域間に発生する物流をさす。本手法は各種産業の生産や家計の消費行動と物流との関係を接続する、いわば物流産業連関分析といえる。都道府県間物流の手段（陸上、鉄道、船舶などの種別）については物流センサスにデータが存在するため、県間の物流削減量が得られることによる、モーダルシフトによる効果の分析も比較的容易になる。

3. 研究方法

（1） 物流センサス

物流センサスは、国土交通省が昭和45年度以来5年ごとに実施している統計調査である。物流が発生する個々の事業所から出荷されるすべての貨物について、貨物の品目、重量、届先地、荷受人業種、輸送機関、輸送経路、物流時間などを全国規模で調査しているため、全国各地域の物流施設、交通施策計画の基礎資料、その他物流に関する調査研究に広く用いられている。

物流センサスにおける品類区分は、以下に示す8種である。

- 1) 農水産品
- 2) 林産品
- 3) 鉱産品
- 4) 金属機械工業品
- 5) 化学工業品
- 6) 軽工業品
- 7) 雑工業品
- 8) 特殊品

物流センサスの産業区分は、大きく分けると鉱業、製造業、卸売業、倉庫業の4産業であるが、今回の計算では、さらに細かく区分をされた46産業を用いて計算している。

物流センサスにおける輸送機関の区分は以下の5種である。

- 1) 鉄道
- 2) 自家用トラック
- 3) 営業用トラック
- 4) 海運
- 5) 航空

純流動物流調査には、年間調査と3日間調査がある。3日間調査には79品目で調査した細かい

流動データがあるのだが、調査期間3日という少ない情報から算出された結果であるので、今回は年間調査の結果のみを用いることにした。よって、2000年に調査された第7回全国貨物純流動調査の結果から、以下のデータを選択した。これらのデータは全て、年間に動いた重量がトン単位で表示されている。

1) 「都道府県間流動量(品別)」(物流センサスⅠ-3-1)

各都道府県間を移動した物流量を示している。従って47都道府県×47都道府県の行列が、品別に8個存在する。行列のij成分は、i県からj県への出荷重量を表している。

2) 「産業業種・品別年間出荷量」(物流センサスⅡ-1-1)

ij成分は、産業iが出荷した品別jの重量を示している。

3) 「産業業種・品別年間入荷量」(物流センサスⅡ-1-2)

ij成分は、品別jとして入荷した後に産業iに投入された重量を示している。

4) 「産業業種別年間輸出入量」(物流センサスⅠ-1-2)

各産業に対して、年間の輸出货量と輸入量を表示したものである。

5) 「都道府県・代表輸送機関別年間出荷量(品別)」(物流センサスⅢ-1-10)

ij成分は、県iから輸送機関jによって輸送される物流量を示している。よって、47都道府県×5輸送機関の行列を8個使用する。

(2) 派生物流

派生物流はある製品が生産されたときにそれが最終消費者に搬送されるまでに発生する地域間の物流をさす。以下にある製品が生産されたときに発生する物流が、どの県の何の最終需要に誘発された物流かに分類する手法を示す。

1) 派生物流行列 $X_c^{(k)}$

ij成分はi県からj県への出荷量を表す。行列は品目別にある。ある派生物流行列に対して、追って物流が発生する。順次派生する物流は最終消費者に届けられたものを控除して次の物流が派生する仕組みで、収束するまで順次発生する。

2) 派生物流行列の最終需要帰属量行列 $D_c^{(k)}$

k回目の派生物流行列 $X_c^{(k)}$ のうち、最終消費者に届けられるものの量。

3) 中間需要行列 F_c

品目c別にある対角行列。ii成分はi県における品目cの中間需要率。中間需要率とは、中間需要を中間需要と最終需要の和である総需要で除した値。中間需要率は産業連関表より算出する。

4) 入荷行列 $N^{(k)}$

ij成分はk回目の派生物流における品目iのj県への入荷量である。

5) 産出係数行列 A

ij成分は、品目jの1単位の入荷量に対して出荷される品目iの量を表す。この行列は地域差を考慮せず、入荷構造を表すU表と出荷構造を表すV表、歩留まり行列Eの積VEUによって得られる。

6) U表

入荷構造を表す。ij成分は、品目jの1単位の入荷量のうち、産業iに投入される量を表す。したがって、各列の和は1となる。

7) V表

出荷構造を表す。ij成分は、産業jの1単位の出荷量のうち、品目iの量を表す。したがって各列の和は1となる。

8) 歩留まり行列 E

入荷量に対する出荷量の重量比を対角成分に並べた行列。ii成分が産業iの歩留まり率を表す。

9) 出荷行列 $S^{(k)}$

ij成分はk回目の派生物流における品目iのj県からの出荷量である。

10) 県間移出行列 R_c

品目別にある。ij成分は品目cがi県から1単位出荷されたときのj県へのお荷量を表す。したがって、各行の和は1である。

以上の行列を用いて派生物流は以下のように計算できる。まず品目cのk回目の派生物流行列を $X_c^{(k)}$ とする。このk回目の派生物流のうち、最終需要に帰属する物流量は $D_c^{(k)} = X_x^{(k)}(I - F_c)$ となる。最終消費者に渡ったこの物流を除いた量 $X_x^{(k)}F_c$ が、中間需要として、各産業へのお荷量となる。入荷行列 $N^{(k)}$ は、 e を全成分が1の横ベクトル $(1 \ \dots \ 1)$ とし、 $n_c^{(k)} = eX_x^{(k)}F_c$ とすると、 $N^{(k)} = (n_1^{(k)} \ \dots \ n_c^{(k)})^t$ となる。ただしCは品目の総数である。産出係数行列を A とすると、出荷行列 $S^{(k)}$ は、 $S^{(k)} = AN^{(k)}$ となる。 $S^{(k)}$ を品目別に $S^{(k)} = (s_1^{(k)} \ \dots \ s_c^{(k)})^t$ と表し、 $s_c^{(k)}$ の成分を対角に並べた対角行列を $\hat{S}_c^{(k)}$ とすると、k+1回目に派生物流は、 $X_c^{(k+1)} = \hat{S}_c^{(k)}R_c$ となる。ただし、 R_c は県間移出行列である。

以上の枠組みにより、派生物流行列が順次求められる。最初の派生物流行列 $X_c^{(0)}$ を、 $c = c^*$ のとき

$$X_c^{(0)} = (\delta_{ij}) \quad (ij \text{成分のみが} 1 \text{で他の成分は} 0)$$

それ以外るとき

$$X_c^{(0)} = O \quad (\text{零行列})$$

となるような行列のセットをすべての品目 c^* と県i、県jの組み合わせについて用意し、派生物流行列を求める。これによって、県iから県jに1単位の品目 c^* の物流が発生したときに、派生物流

物流が求められる。累積の物流量は、 $X_c = \sum_{k=0}^{\infty} X_c^{(k)}$ によって求められる。Σは収束状況を見ながら適宜打ち切る。同様にして、最初の1単位の物流を最終需要に帰属させると、品目cについて、

$$D_c = \sum_{k=0}^{\infty} X_c^{(k)} (1 - F_c)$$

次に、実際の物流量との整合をとるために、上で求めた単位物流に対する累積の派生物流量 X_c の大きさを調整する。すなわち最初に与える初期物流 $X_c^{(0)}$ の成分を1ではなく、スケール調整して、物流センサスの品目別県間移出量 X_c^{real} のデータに整合するようにさせる。

(3) 誘導物流

誘導物流は、最終消費者が消費する製品の製造過程をさかのぼるときに、製造過程で地域間に発生する物流をさす。産業連関分析では最終需要に由来する生産を求めるが、同様に最終需要に由来して発生する地域間の物流をとらえたい場合に、以下に示す導出手法による誘導物流を用いる。まず必要となるデータ・用語についてまとめる。

1) 誘導物流行列 $X_c^{(k)}$

ij成分が県iから県jへの年間出荷量を表す品目c別の行列。物流は需要に対して誘発する生産を求める度に発生するが、添え字kは波及する生産の回数を表し、最終需要の生産による誘導物流におけるkの値が1である。すべてのkについて $X_c^{(k)}$ の和をとることにより（収束計算により）、品目c別に全誘導物流が求められる。

2) 波及需要量行列 $F_c^{(k)}$

品目c別にある対角行列。そのii成分は、k回目の生産の波及によって県iにおいて発生する品目cの需要量である。

3) 入荷係数行列 B

ij成分は、産業jの1単位の入荷量のうち、品目iの占める量を表す。したがって、各列の和は1となる。この行列は物流センサスの「産業業種・品類別年間入荷量」の表から計算される。

4) 出荷係数行列 D

ij成分は、品目jの1単位の出荷量のうち、産業iから出荷される量を表す。したがって各列の和は1となる。この行列は物流センサスの「産業業種・品類別年間出荷量」の表から計算される。

5) 歩留まり行列 E

入荷量に対する出荷量の重量比を対角成分に並べた行列。ii成分が産業iの歩留まり率を表す。

6) 投入係数行列 A

ij成分は、品目jの1単位の出荷量に対して入荷される品目iの量を表す。この行列は入荷構造を表す B と出荷構造を表す D 、歩留まり行列 E の積 BED によって得られる。

7) 入荷行列 $N^{(k)}$

ij成分はk回目の生産の波及の結果必要となる、品目iの県jへの入荷量を表す。

8) 出荷行列 $S^{(k)}$

ij成分はk回目の生産の波及の結果必要となる、品目jの県iからの出荷量を表す。

9) 県間移入行列 R_c

品目c別にある。ij成分は品目cが県jに1単位輸送されたときの県iからの輸送量を表す。したがって、各列の和は1である。この行列は「都道府県間流動量（品類別）」の表から計算される。

以上の行列を用いた誘導物流の計算方法は以下ようになる。まずk回目の生産の波及において、品目cの需要 $D_c^{(k)}$ が発生しているとする。k回目の誘導物流行列 $X_c^{(k)}$ は県間移入行列 R_c に乗じて、

$X_c^{(k)} = R_c F_c^{(k)}$ によって得られる。得られた誘導物流行列 $X_c^{(k)}$ の行和を求めることにより各県で都

合必要となる品目cの出荷量を求める。つまり \mathbf{e} を全成分が1の縦ベクトル $(1 \ \dots \ 1)^t$ とし、

$\mathbf{s}_c^{(k)} = X_c^{(k)} \mathbf{e}$ とすると、出荷行列 $S^{(k)}$ は、 $S^{(k)} = (\mathbf{s}_1^{(k)} \ \dots \ \mathbf{s}_c^{(k)})$ となる。ただしCは品目の総数で

ある。次に投入係数行列を A とすると、入荷行列 $N^{(k)}$ は、 $N^{(k)} = A(S^{(k)})^t$ となる。 $N^{(k)}$ を品目別

に $N^{(k)} = (\mathbf{n}_1^{(k)} \ \dots \ \mathbf{n}_c^{(k)})$ と表し、 $\mathbf{n}_c^{(k)}$ の成分を対角に並べた対角行列を、k+1回目の生産の波及

需要量 $F_c^{(k+1)}$ とする。以上の手続きを繰り返すことにより、誘導物流行列が順次求められる。最初

の波及需要量 $F_c^{(0)}$ を、最終需要によって与えることにより、最終需要により誘発される物流を求めることができる。

4. 結果・考察

(1) 実績物流量との整合性の検証

実績とモデルの整合性は、本研究の信頼性を担保する上で、重要な意義がある。19年度では整合性を追求して、細部にわたるモデル計算の修正を行った。まず既述のとおり、出荷量に対する物流関連の入荷量の比率を用いて計算方法自体を修正した。また、投入係数を作成するときに、入荷量/出荷量で作成していたものを、(入荷量+輸入量)/(出荷量+輸出量)によって計算するように変更した。さらに、物流センサスでは、農林産品は主産物としての出荷産業がない。すなわち「農業」、「林業」が調査対象外となっている。農産品でいえば、農産品は食品業からの出荷として扱われ、一方で食品業での入荷としての素材としての農産品もあり、2つの異なる特徴を有しており不都合である。したがって、農林産品は本来生産の波及で入荷が0に近いはずであるが、入荷出荷比行列の計算では食品業の入荷出荷比が反映されてしまい、レオンチェフ逆行列を計算すると自部門への波及が非常に大きくなってしまう。これが誘導物流の見かけ上の増

加につながっている。そこで、農産品と林産品の自部門投入を0とするように修正したところ、物流全体の総量は実績と概ね合致した。すなわち図1の各点のプロットの物流量の総和は縦軸、横軸の合計ではほぼ等しい。都道府県間の物流量においても概ね整合的であるといえる。図2では全国の物流総量を品別別に示した。モデルによる推定結果では鉱産品が過大で化学品が過小となっている。この原因としては、物流センサスの品目別流動量データは総量が年間調査で、品別の分配は3日間調査に基づいていることによると考えられる。むしろ年間調査だけのデータから整合的に求めたモデル推定結果が妥当といえる。

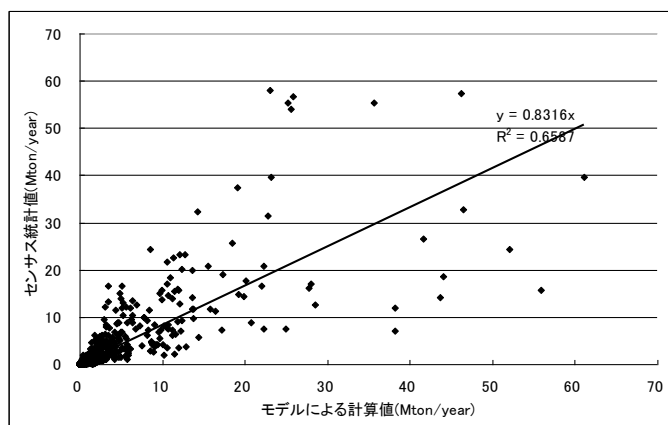


図1 都道府県間年間物流量のモデルによる計算値と実績値の比較

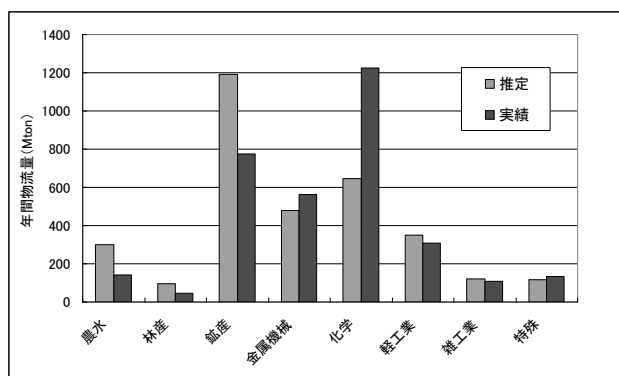


図2 品別年間物流量のモデル推定値と実績値の比較

(2) 特定地域における消費による誘導物流の計算

以上の計算手法により求めた結果の一例として、東京都における農水産品の最終需要が1トン発生した場合の誘導物流量を表示する。

表1は品別別に表した誘導物流量であり、東京に1トンの農水産品を最終需要として届けるまでに、全国全品類で4.257トンの物流が必要になることがわかる。農水産品そのものがやはり多いが、その他には農水産品を加工した食品が含まれる軽工業類の物流量や、鉱産品の物流量が多いことが見て取れる。

表 1 品別誘導物流量（東京都で農水産物の最終需要が単位トン発生した場合）

品類	誘導物流量(t)
農水産品	1.708
林産品	0.116
鉱産品	0.862
金属機械工業品	0.337
化学工業品	0.397
軽工業品	0.556
雑工業品	0.123
特殊品	0.158
合計	4.257

図3は、誘導物流を出荷した具体的な県を品別別に図示したものであり、図4は同様に誘導物流を入荷した県を表示した図である。この2つの図を見比べると、出荷物流の方が比較的全国に散らばっているのに対し、入荷物流は極端に東京都に偏っており、全国の物流が徐々に東京都に集まっていく過程が予想できる。

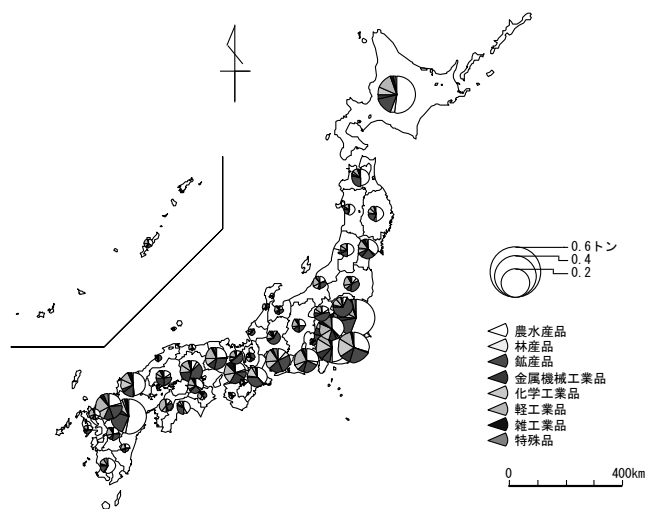


図 3 東京都で農水産物の最終需要が1トン発生した場合の誘導物流各品類の出荷量の都道府県別内訳

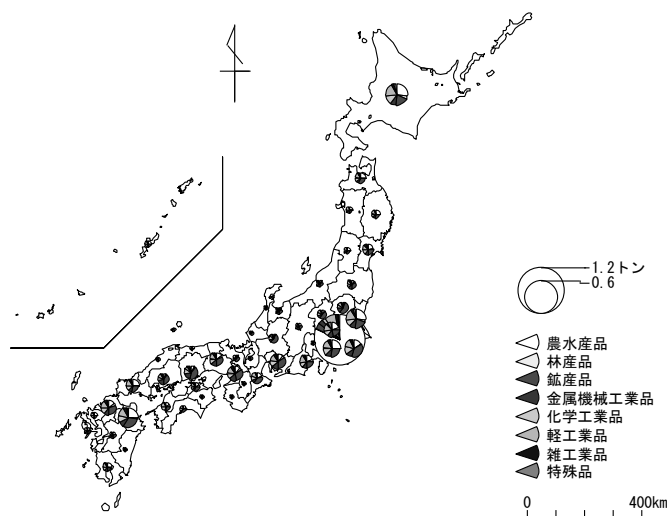


図 4 東京都で農水産品の最終需要が1トン発生した場合の誘導物流各品類の入荷量の都道府県別内訳

1トンの農水産品の最終需要が北海道で発生した場合の結果を取り上げてみると、都道府県品別の出荷量と入荷量は、それぞれ図5と図6のようになる。この2つの図を見ると、東京都で需要が発生した場合に比べて、入荷、出荷ともに、物流が北海道内に集中している。東京都とは逆に、北海道は割合と農水産業が盛んであるので、需要が発生したとしても道内で補えてしまうためだろう。

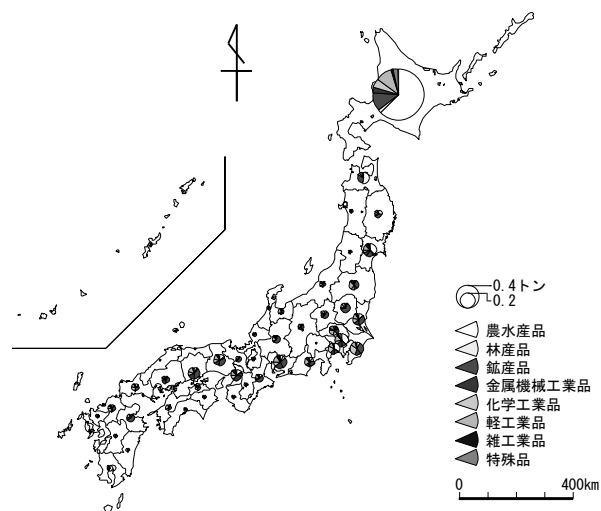


図 5 北海道で農水産品の最終需要が1トン発生した場合の誘導物流各品類の出荷量の都道府県別内訳

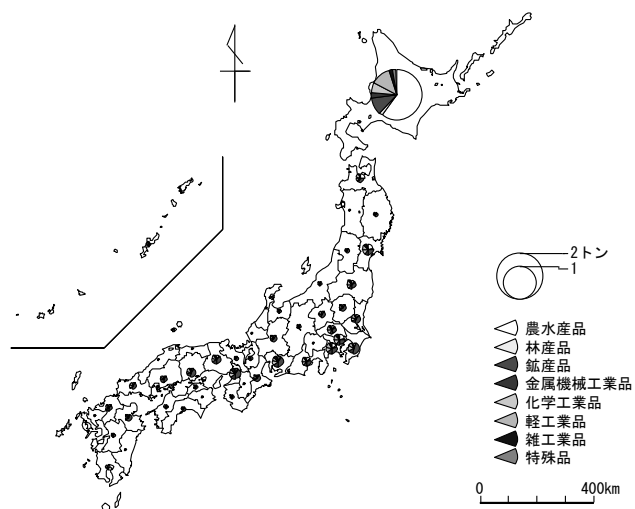


図6 北海道で農水産品の最終需要が1トン発生した場合の誘導物流各品類の入荷量の都道府県別内訳

(3) 2050年におけるCO₂排出量

2050年でのCO₂排出量を計算するにあたっては、人口シナリオA,Bを考慮した評価をおこなう。人口の変化を最終需要の変化と捉えて検討した。結果を図7に示す。この結果からは、排出量が多く算出されているのはシナリオBの方であるが、それは2050年時点での予想されている人口が多いため、合計での一人当たりのCO₂排出量は表2のようになり、シナリオBの方が一人当たりの排出量は低い。よって、この結果だけをもって排出削減ポテンシャルはシナリオAの方が高いとは一概にいえない。

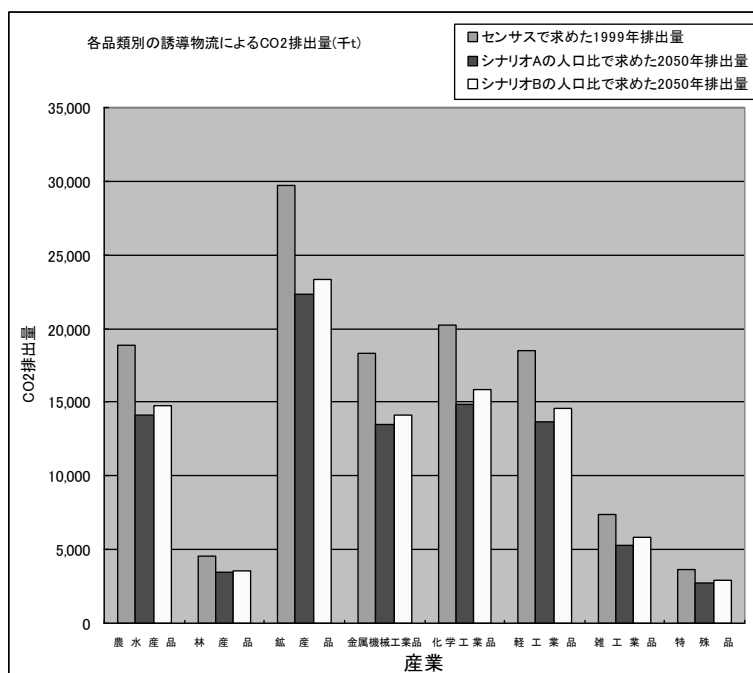


図7 人口シナリオ別の品類別CO₂排出量(単位: 千t・CO₂)

表 2 人口シナリオ別の一人当たり CO₂ 排出量(単位:kg・CO₂/人)

シナリオA	シナリオB	現在の排出量
9.51	9.46	9.56

次に、対策としてモーダルシフトを実施すると仮定した場合のCO₂削減量を推定する。政府が2001年に策定した「新総合物流施策大綱」では、環境負荷を低減させる物流体系の構築と循環型社会への貢献を目標に、2010年までにモーダルシフト化率(500km以上での鉄道、海運の利用率)を50%まで向上させるとしている。ただ輸送手段の選択権は貨物の運搬側が握っているわけではなく、少量他頻度配送などの荷主側の要求に応えることを優先する傾向にあるので、貨物業界の一存でモーダルシフトを実施することには限界がある。したがって、本節では荷主に着目してモーダルシフトを検討するために、誘導物流を求める計算を用いて、需要品類別にその品類が運搬される過程の流通におけるモーダルシフト効果を求める。モーダルシフトは自動車輸送を鉄道と海運にシフトするとした。また農水産品の輸送は鮮度等の理由を考慮しモーダルシフトの対象外とする。

人口シナリオ別に結果を示す。表3は、シナリオAで求めた2050年のCO₂排出量からモーダルシフトを行った場合のCO₂削減量である。金属機械工業品、化学工業品、軽工業品は他の品類と比べて、モーダルシフトにより多くCO₂排出量を削減できる。農水産品以外の品類でモーダルシフトを50%達成すると、現在の排出量の30%以上削減を見込むことができる。

表 3 シナリオ A 最終需要品類・モーダルシフト率別 CO₂ 削減量(千 t・CO₂)

モーダルシフト率 需要品類	10%	20%	30%	40%	50%
農水産品	59	173	307	473	650
林産品	0	0	0	0	0
鉱産品	0	0	0	0	0
金属機械工業品	144	453	834	1,329	1,861
化学工業品	151	426	797	1,346	1,982
軽工業品	151	460	823	1,286	1,777
雑工業品	94	243	409	607	815
特殊品	0	0	0	0	0
合計	599	1,755	3,171	5,041	7,086
現在からの削減量	37,037	38,194	39,609	41,479	43,524
削減ポテンシャル	26.4%	27.2%	28.2%	29.6%	31.0%

シナリオBでモーダルシフトを行った場合には、表4のようである。農水産品以外の品類で40%のモーダルシフトを行うと、現在の排出量の25%以上削減を見込むことができる。

表4 シナリオB 最終需要品類・モーダルシフト率別 CO₂削減量(千 t・CO₂)

モーダルシフト率 需要品類	10%	20%	30%	40%	50%
農水産品	66	196	347	532	730
林産品	0	0	0	0	0
鉱産品	0	0	0	0	0
金属機械工業品	163	505	925	1,462	2,041
化学工業品	179	503	934	1,554	2,268
軽工業品	170	520	930	1,450	2,001
雑工業品	108	278	466	688	921
特殊品	0	0	0	0	0
合計	688	2,001	3,601	5,685	7,960
現在からの削減量	31,270	32,585	34,185	36,269	38,544
削減ポテンシャル	22.3%	23.2%	24.4%	25.8%	27.5%

(4) 物流の最適化

最適化対象としてはCO₂排出量に加えて、輸送コストや輸送時間の最適化によりCO₂排出量がどのように変化するかを検討する。最適化計算は各都道府県間の輸送機関の利用割合を一定にして都道府県間の流動量を変数とした場合と、都道府県間流動量を一定として各都道府県間の輸送機関の割合を変数とした場合の2ケースである。前者のケースについて説明する。まず物流センサスの「都道府県間流動量(品類別)」から実際の都道府県間流動量のデータを得る。変数は都道府県間流動量であるから目的関数がCO₂排出量の際には、輸送機関の利用割合、輸送距離のデータを用いて定式化できる。この場合、各都道府県において必要な入荷量を満たし、さらに各都道府県が出荷できる上限を超えないような制約を課した。後者のケースについては同様に実際の都道府県間流動量のデータを得る。次に「都道府県・代表輸送機関別年間出荷量(品類別)」を利用して求めた各都道府県からの輸送機関別の出荷量を求める。この値を各都道府県で利用できる輸送機関のごとくの出荷量の制約条件として利用する。目的関数がCO₂排出量の際にはこれを定式化して、同時に都道府県間の輸送機関の利用割合を変数とした上で各都道府県からの輸送機関ごとの出荷量についての上限を設ける。

まず都道府県間流動量を変数とした場合の結果を示す。表5に目的関数別のCO₂排出量、輸送コスト、輸送時間の比較を示した。いずれのケースにおいても合計値は減少していることが分かる。これは、都道府県間の流動量を変数としたためにいずれの場合でも対象の最適化のために基本的に輸送距離が短くなるような物流構造へと変化したためである。CO₂排出量の最小化では4340万トン、輸送コストの最小化では4020万トン、輸送時間の最小化では2540万トンのCO₂排出量の削減ポテンシャルとなる。

次に、都道府県間流動量を一定にして、輸送機関の利用割合を変化させた場合についての結果を示す。表6に目的関数別のCO₂排出量、輸送コスト、輸送時間の比較を示した。CO₂排出量の最小化と輸送コストの最小化では輸送時間は増大している。輸送時間の最小化ではCO₂排出量、輸送コストは増加している。これらの違いはCO₂排出量、輸送コスト、輸送時間により影響を与える長距

離への輸送でCO₂排出量を最適化する際には鉄道、輸送コストを最適化する際には内航海運、輸送時間を最小にするためには自家用トラックの利用割合を高めるように輸送機関の利用割合が変化したためである。輸送距離別に輸送機関の利用割合を比較した。CO₂排出量の最小化または輸送コストの最小化の結果は、長距離輸送において環境負荷が小さく、低コストである鉄道、内航海運の利用割合が高くなっており、モーダルシフトがより推進された社会と言える。輸送時間の最小化の結果は輸送時間が短い自家用トラック、航空の割合が高くなっていることが分かる。特に1500km以上の輸送距離において航空の利用割合が高くなっており、長距離の輸送において環境負荷が高く、高コストである輸送機関の利用割合が高くなっている。CO₂排出量を最小化によって4720万トンのCO₂排出削減ポテンシャルが推計された。

表5 目的関数別のCO₂排出量、輸送コスト、輸送時間の比較（操作変数：地域間輸送量）

現在との 比較対象 最適化の 目的関数	CO ₂ 排出量	輸送 コスト	輸送 時間
CO ₂ 排出量	57.5%	47.9%	92.9%
輸送コスト	60.6%	44.1%	92.5%
輸送時間	74.9%	54.6%	67.0%

表6 目的関数別のCO₂排出量、輸送コスト、輸送時間の比較（操作変数：輸送機関の利用率）

現在との 比較対象 最適化の 目的関数	CO ₂ 排出量	輸送 コスト	輸送 時間
CO ₂ 排出量	53.8%	69.4%	122.7%
輸送コスト	55.7%	65.4%	139.2%
輸送時間	520.9%	206.0%	62.8%

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、最終需要により発生する誘導物流の全国への波及に注目した計算手法を構築し、算出した誘導物流により生じるCO₂排出量を計算した。またその計算結果を利用し、人口シナリオを考慮した2050年におけるCO₂排出量削減ポテンシャルを求めた。特定の都道府県で最終需要が発生したとき、どの地域からどのような品類を出荷しているか、また最終需要が入荷する際に、他にどのような品類がどの程度入荷するかを東京都と北海道を例にとって示し、最終消費地域によって発生する物流が異なることを示した。

(2) 地球環境政策への貢献

物流産業連関分析によって、最終需要品目別の1単位の消費に誘発される物流を求め、輸送機関別のCO₂排出原単位を用いて、CO₂排出量に換算した。これにより、最終消費と物流によるCO₂排出の関係が明らかになり、物流分野におけるCO₂排出削減対策を評価できる枠組みを作成できた。この枠組みを用いて、輸送距離の削減対策（地産地消の促進）、輸送手段の低炭素化（鉄道や海運へのモーダルシフト）のCO₂排出削減効果を推計した。潜在的なCO₂削減量として、地産地消の物流構造となることで年間最大4340万トン、鉄道・海運にモーダルシフトすることで年間最大4720万トンの削減ポテンシャルがあるとの推計結果を得た。

6. 引用文献

- 1) 国土交通省：「第7回全国貨物物流調査（物流センサス）」（2000年実施）

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 吉田好邦，金山真之，松橋隆治，「選好分析による住宅用太陽光発電の普及可能性評価」，日本太陽エネルギー学会誌，34巻，1号，pp.47-54，2008
- 2) Yoshikuni YOSHIDA and Ryuji MATSUHASHI，：“Analyzing the Environmental Effect of Greening the Automobile Tax System in Consideration of Consumers’ Preferences” ， Journal of Environmental Information Science, Vol.36, No.5, pp.81-86, 2008

<その他誌上発表（査読なし）>

なし

(2) 口頭発表（学会）

- 1) Y. Yoshida, C. Nishimori, R. Matsuhashi: “Interregional Analysis on the Freight Transportation and CO₂ Emission Reduction Potential” , Proceedings of the 7th International Conference on EcoBalance, Tsukuba, pp.237-240, 2006
- 2) 吉田好邦，西森千紗，松橋隆治：「物流の波及を考慮した貨物輸送の地域連関」，第25回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，pp.255-258，2006
- 3) Yoshikuni Yoshida, Ryuji Matsuhashi: “The evaluation of CO₂ emission reduction in Japan utilizing the interregional repercussion model on the freight transportation” , Proceedings of 6th International Conference on Environmental Informatics, November 21-23, Bangkok, Thailand, 2007

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

1) 吉田好邦，西森千紗，松橋隆治：「物流の波及を考慮した貨物輸送の地域連関」，第25回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，pp. 255-258，2006の発表で、エネルギー・資源学会「第11回茅奨励賞」を受賞。

2) Yoshikuni Yoshida, Ryuji Matsuhashi: “The evaluation of CO₂ emission reduction in Japan utilizing the interregional repercussion model on the freight transportation” の発表で、The Best Paper Award (6th International Conference on Environmental Informatics) (2007. 11. 22; Bangkok, Thailand)を受賞。

3) 吉田好邦，金山真之，松橋隆治，「選好分析による住宅用太陽光発電の普及可能性評価」，日本太陽エネルギー学会誌，34巻，1号，pp. 47-54，2008で、日本太陽エネルギー学会2008年度論文賞を受賞。