

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

(6) 地域間物流に伴う二酸化炭素排出の変化

東京大学 新領域創成科学研究科

吉田好邦

[要旨] 本年度の研究では平成19年度までに構築した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による推定物流量の、実績物流量との整合性の検証をおこなった。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、物流全体の総量は実績と推定値が概ね合致した。また都道府県間の物流量においても概ね整合的である結果が得られた。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。モデルの信頼性を確認した後、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計算し、波及によって発生した物流に伴うCO₂排出量を都道府県別品目別に計算した。地産地消型の消費をする傾向のある都道府県と、製品の輸送を誘発する消費構造の都道府県では物流に伴うCO₂排出量が大きくことなることが示唆された。

[キーワード] 誘導物流、物流連関分析、整合性、最終需要、物流センサス

1. はじめに

我が国のCO₂排出源のうち、物流由来のものに焦点を当て、産業や消費活動との連関を考慮しながら、排出量を削減する方策を探る。現在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。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ており、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。物流は産業や消費活動と密接に結びついているため、物流単体でのCO₂排出構造を検討するだけでは片手落ちであり、最終需要により発生する誘導物流の全国への波及を評価することが必要である。

2. 研究目的

本研究では平成18年度までに構築した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利用して、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可能となる。

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ので、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、8種である。また物流センサスにおける輸送機関の区分は5種である。いずれも詳細は18年度の報告書を参照されたい。

(2) 物流の計算方法

誘導物流の計算方法は平成17年度の報告書に掲載したが、19年度で一部を改良した。具体的には「歩留まり行列」によって入荷量と出荷量の比を与えていたものを、出荷量を分母として、物流に関連する入荷量がどれだけあるかを表す比を用いるようにし、より整合的に物流量を把握できるようにした。あわせて「歩留まり行列」の名称も「入荷出荷比行列」と改訂した。以下に計算方法を記す。

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。

・ 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。

・ 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。

・ 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。

・ 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。

・ 入荷出荷比行列 E

入荷量 / (出荷量 + 輸出货量) によって与える。これを入荷量行列にかけることで、国内の生産と物流に必要な入荷のみを取り出す。

・ 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。

・ 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。

・ 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。

・ 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 $(1 \ \Lambda \ 1)^t$ とし、

$\mathbf{s}_c^{(k)} = X_c^{(k)} \mathbf{e}$ とすると、出荷行列 $S^{(k)}$ は、 $S^{(k)} = \begin{pmatrix} \mathbf{s}_1^{(k)} & \Lambda & \mathbf{s}_c^{(k)} \end{pmatrix}$ 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 $N^{(k)} = \begin{pmatrix} \mathbf{n}_1^{(k)} & \Lambda & \mathbf{n}_c^{(k)} \end{pmatrix}^t$ 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ふ。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。

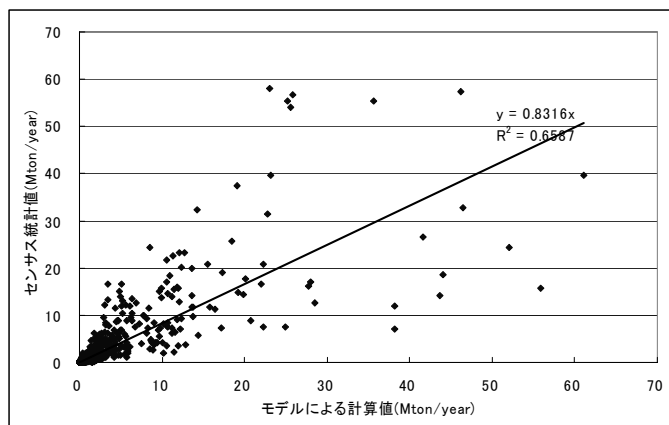


図1 都道府県間年間物流量のモデルによる計算値と実績値の比較

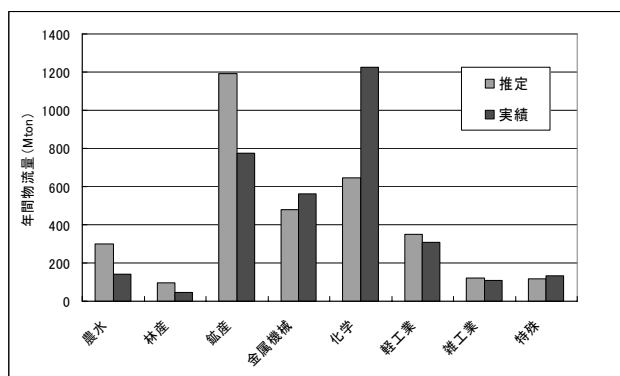


図2 品別年間物流量のモデル推定値と実績値の比較

(2) 誘導物流量の都道府県別比較

1トンの各品目が、各都道府県で最終需要として発生するときに、各地で誘発される物流によって発生するCO₂の量は表1のように推定された。沖縄のように地域的に輸送距離が大きくならざるを得ないところもあるが、東京の農水産品の最終需要は他地域での生産による輸送に依存するため比較的大きな値となっている。また表の値は地産地消型の生産消費構造であるほど小さい値となる。

表1 1トンの需要発生都道府県・品類別CO₂排出量(kg・CO₂)

	農水産品	林産品	鉱産品	金属機械製品	化学製品	軽工業品	雑工業品	特殊製品
北海道	218	274	120	387	244	421	460	379
青森県	182	270	105	358	227	401	411	314
岩手県	196	236	103	328	185	383	356	321
宮城県	176	232	102	286	197	344	330	295
秋田県	249	254	118	328	200	378	377	438
山形県	235	243	86	282	184	339	323	329
福島県	194	276	124	287	205	332	380	303
茨城県	133	277	130	273	195	313	336	289
栃木県	233	234	83	270	167	324	334	293
群馬県	191	229	92	260	187	321	327	302
埼玉県	151	230	110	248	177	329	307	277
千葉県	166	266	136	270	185	343	320	293
東京都	263	260	117	270	177	359	324	283
神奈川県	281	333	127	272	183	321	332	294
新潟県	208	242	136	299	214	351	401	334
富山県	214	196	74	258	164	320	316	325
石川県	173	207	100	260	179	302	344	326
福井県	141	224	93	237	159	335	366	275
山梨県	169	209	78	254	158	312	331	274
長野県	179	232	112	267	195	289	304	308
岐阜県	157	182	90	224	146	293	280	251
静岡県	176	201	105	250	183	301	328	310
愛知県	143	190	93	223	161	298	300	259
三重県	142	203	76	234	155	297	292	264
滋賀県	172	234	96	244	147	293	313	268
京都府	176	217	81	226	150	274	294	253
大阪府	208	272	96	236	161	315	303	271
兵庫県	187	194	95	227	167	292	306	293
奈良県	148	169	85	233	143	273	275	266
和歌山県	205	192	95	235	156	305	308	273
鳥取県	154	176	85	247	145	280	281	299
島根県	216	267	73	247	152	309	334	277
岡山県	139	216	77	210	147	292	308	309
広島県	187	222	88	238	151	329	309	273
山口県	163	202	86	245	156	317	311	305
徳島県	173	171	82	236	143	324	277	250

香川県	148	201	62	236	135	294	263	335
愛媛県	173	203	80	278	152	305	326	312
高知県	221	205	66	278	134	300	353	272
福岡県	197	217	81	266	163	331	332	285
佐賀県	174	173	71	272	158	314	341	282
長崎県	154	214	68	249	142	294	385	299
熊本県	169	204	90	275	163	317	357	289
大分県	202	169	53	288	119	331	262	276
宮崎県	189	250	98	241	180	336	374	296
鹿児島県	161	223	98	307	183	381	342	300
沖縄県	364	365	79	380	151	490	477	371
最大	364	365	136	387	244	490	477	438
最小	133	169	53	210	119	273	262	250
平均	188	227	94	266	169	326	332	298

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。またその推定結果の信頼性を実績値と比較することにより検証した。

(2) 地球環境政策への貢献

地産地消型の生産消費構造がCO₂削減に寄与すること、輸送距離のCO₂排出量への影響などを定量的に明らかにすることができた。もちろん地産地消だけでなく、産業資本の大型化による原材料搬入効率化による低炭素化も方向性としてあり得るので、次年度の課題としたい。これらの結果はCO₂削減に関する政策の策定に寄与することが期待できるので、今後、学会発表や論文の公表を通じ、成果の広報・普及に努める。

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）」，2002

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

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（1），47-54，2008
- 2) Y. YOSHIDA and R. MATSUHASHI, "Analyzing the Environmental Effect of Greening the Automobile Tax System in Consideration of Consumers' Preferences", Journal of

Environmental Information Science, 36(5), 81-86, 2008

<査読付論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表>

なし

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) Y. Yoshida, R. 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

Y. Yoshida, R. 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。