

物資流動実態に基づく東京都市圏における輸送エネルギー推計*

Estimation of Transportation Energy in Tokyo Metropolitan Area Based on Goods Movement Survey *

大門創**・森本章倫***・古池弘隆****

By Hajime Daimon**, Akinori MORIMOTO*** and Hirota KOIKE****

1. はじめに

2005年2月の京都議定書の発効に伴い、CO₂排出削減目標の確実な達成が求められていることから企業や消費者の間で地球環境問題に対する関心が高まっている。その中でも、我が国の人口は世界の2%にも関わらず、エネルギー消費量は世界の6%を占めており、エネルギー消費量抑制の重要性が問われている。ここで、エネルギーは一般的に運輸エネルギー・民生エネルギー・産業エネルギーの3種に分類されるが、中でも運輸エネルギーの消費量は約1/4を占め、近年急激に増加する傾向にある。これまで運輸部門の輸送エネルギーに関しては数多くの研究がなされているが、その多くはPT調査に基づく人流関連のもので、物流関連の研究はあまりなされていない。また、2005年11月には新たに“総合物流施策大綱”¹⁾が閣議決定され、効率的で環境にやさしい物流の実現やエネルギー使用の合理化の推進などが目標に組み込まれた。これらを踏まえて環境負荷の小さい社会の実現を目指すためには、まず物流における輸送エネルギー消費量の実態を把握する必要があると考えられる。

そこで本研究では、全国比の25%の物流事業所²⁾が集中している東京都市圏に着目し、東京都市圏における物流の輸送エネルギー消費量の推計を発地ベース及び着地ベースでゾーンに帰着させることで、物流に伴う輸送エネルギー消費の空間的な実態把握を行なう。それによって環境政策の一助となることを研究目的とする。

2. 輸送エネルギー消費量推計の必要性とその方法

(1) 既存研究動向

これまで輸送エネルギー消費量推計に関する研究は、人流の分野を中心として発展してきた。東京都市圏PTデータを利用し、個人の一日の交通エネルギー消費量を居住地ベースで推定したもの³⁾や、都心居住と郊外居住

*キーワード：物流，輸送エネルギー，ゾーン特性

**学生員，修(工学)，宇都宮大学大学院工学研究科

(宇都宮市陽東7-1-2, TEL.FAX: 028-689-6224)

***正員，博(工学)，宇都宮大学工学部建設学科

****フェロー，Ph.D，宇都宮共和大学

との比較分析を行ったもの⁴⁾，全国PTデータを利用し都市構造と運輸エネルギーとの関係を分析したもの⁵⁾⁶⁾，都市を同規模の地区(クラスター)で構成し原単位に移動数と平均移動距離を乗じたもの⁷⁾など様々である。

しかし、物流の輸送エネルギーに関する論文は数少ない。富田ら⁸⁾は都道府県間エネルギー消費量の推計を行い、エネルギー負荷の高い貨物自動車からエネルギー負荷の低い船舶や鉄道にモーダルシフトすることにより、輸送エネルギーがどの程度削減されるのかを分析している。しかし、これは仮想的なケース設定の下でのエネルギー消費量の推計であることから、より現実的な推計が必要であると考えられる。

そこで本研究では、東京都市圏交通計画協議会が実施した第4回東京都市圏物資流動調査を基に、輸送エネルギー消費量を推計し、エネルギー分布メカニズムや都市特性の解明行なうことによりゾーン特性を把握する。

(2) 物流輸送エネルギー消費量推計モデル

本研究では、物資流動量をトンキロで計測し、これに交通手段別エネルギー原単位を乗じることでエネルギー消費量 E_i^k を推計する。交通手段別の輸送エネルギー原単位はEDMC推計の値⁹⁾を用いる。さらに、ゾーン間距離についてはNAVINETで算出された既存のデータを引用し、推計に関しては市区町村ベースで行なう。

$$E_i^k = T_i^k \times d_i^k \times e^k \quad \dots \quad (1)$$

物流輸送量： T_i^k (t)，ゾーン間距離： d_i^k (km)，

輸送エネルギー原単位： e^k (kcal/t・km)

(営業用貨物：649，自家用貨物：2068，鉄道：114，海運：120)

輸送エネルギーの推計方法には、既存研究で一般的に用いられてきた原単位法以外にも、車両にエネルギー計測装置を設置し、車の挙動からエネルギー計測を行なうような、近年の技術革新によるマイクロな計測方法等も開発されてきた。そのようなマイクロ計測と比較すると、原単位法による推計はあまりにも粗雑な推計法であるとの指摘も多い。しかし本研究では、物流の輸送に伴うエネルギー消費実態を、都市政策の枠組みの中で議論しようとする際には、詳細な分析よりもまず都市圏レベルでの大枠を把握する必要があること、人流との対比を行なうという意味では、同様の推計方法を用いることで違

いが明らかになる、という2点から原単位法による推計方法を選択した。

(3) 人流との対比からみる物流輸送エネルギーの必要性

(1)式を用いて、まず東京都市圏における物流に伴う輸送エネルギー総消費量を算出した。総エネルギー消費量及び単位当たりエネルギー消費量を表-1、表-2に、人流に伴う輸送エネルギー消費量と併せて示す。表-1より、自動車によるエネルギー消費量をみると、物流は人流の約4分の1程度となっている。しかし表-2の単位当たりのエネルギー消費量をみると、物流によるエネルギー消費が圧倒的に高い。特に自動車1台当たりでみると、単位が異なるので一概には言えないが、物流32,402kcal/日、人流3733kcal/日、となり、物流が約9倍弱の値を消費していることになる。これより、人流はトリップ数が多いため、総エネルギー負荷は大きいですが、単位当たりのエネルギー負荷は、圧倒的に物流の方が大きいことが分かる。このことは、事業所単位の輸送効率化など個別の施策でもエネルギー負荷の低減効果が期待され、サスティナビリティやコンパクトな都市政策を議論する上で重要な課題となることわがかる。

表-1 物流と人流の総輸送エネルギー消費量の比較

物流		人流 ³⁾
営業用	自家用	自動車
151.3	148.6	1258
299.9		

単位:億kcal

表-2 物流と人流の平均輸送エネルギー消費量の比較

物流:1台当たりの輸送エネルギー消費量	32402kcal/台・日
人流:1人当たりの輸送エネルギー消費量 ⁶⁾	3733kcal/人・日

3. 物資流動に伴う輸送エネルギー消費量の推計

前章で示したモデル式を用いて、物資流動に伴う輸送エネルギー消費量の推計を行なう。ここで、東京都市圏における物資の輸送手段は94%が貨物車であるため、本研究では営業用及び自家用貨物車に関して輸送エネルギー消費量を推計する。また、東京都市圏外に関連するデータも幾つか見受けられるが、絶対数が少なく全体に与える影響は小さいと考えられるため東京都市圏内の物流のみに着目する。

まず、輸送エネルギー消費量の空間的な消費実態を把握する。その際輸送エネルギー消費量を、発地ゾーン及び着地ゾーンに帰着させて示したが、それは「当該ゾーンから発生及び集中する貨物車によって、物資流動に伴うエネルギーをどの程度消費しているか」ということを意味している。従って発ベースの消費エネルギーは、どの経路を通して物資を輸送しても変化せず、着ベースの消費エネルギーは、どの経路を通して物資が輸送されても変化しない。消費エネルギーはトリップ長と物資の重量にのみ依存して変化する点に留意する必要がある。

図-1、図-2より輸送エネルギー消費量は、発ベースでは比較的広範囲にわたりエネルギーの大きなゾーンが見られ、着ベースでは東京都心付近にエネルギーの大きなゾーンが集中していることがわかる。これより東京都市圏内の物資の総流動量は、広範囲から東京都心部へ集中しているのがわかる。また、1台当たりの輸送エネルギー消費量をみると、発ベースではドーナツ状に郊外で大きな値を示し、着ベースではばらついた分布となっている。物資の総流動量の傾向を加味すると、発ベースに関しては、東京から離れるに従って、輸送距離が増加するため、図のような分布になる。これは、PT データに基づく人流の通勤目的の1人当たりエネルギー消費と似たような傾向を示している。

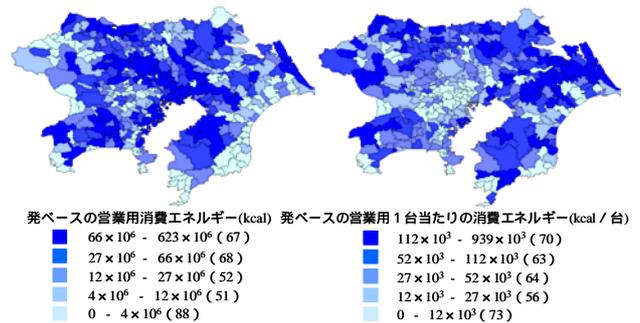


図-1 発ベース輸送エネルギー消費量

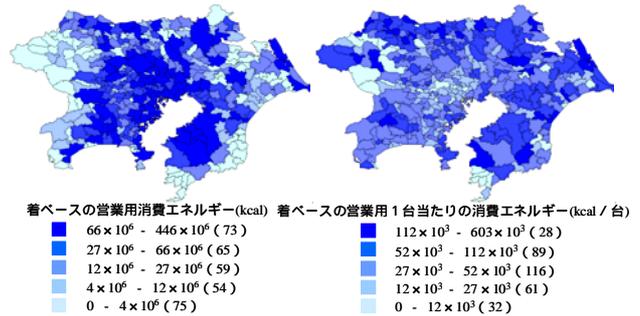


図-2 着ベース輸送エネルギー消費量

しかし、人流と物流の交通特性には相違点があることに留意する必要がある。既往研究にあるように人の輸送に係るエネルギー推計は、一般的に交通手段別エネルギー原単位にトリップ長を乗じることで消費量を求めることが多い。これは、人流の交通行動が、個人の嗜好性によって変化するものであり、基本的には一日のスケジュールの中でトリップが完結するという安定した特性を担保しているため成立するものである。しかし物流に関しては、貨物の動きと貨物車の動きが必ずしも一致しないケースが生じる。すなわち、貨物車は発地と着地との間を往復する輸送方式(ピストン輸送)と、複数の配達先を循環する輸送方式(巡回型輸送)が存在する。そのため本研究は、エネルギー消費量を「物の動きに伴う貨物車」という範囲内で扱っているのであって、荷捌きによる空車等の貨物車から発生するエネルギー消費量は考慮していない。従って、実際の物流に伴うエネルギー消費量は、表-1に示したのものよりも高い値を示すことは明

白である。また図-1, 図-2では, 貨物の動きに伴うエネルギー消費を推計したのであって, 貨物車の動きに伴うそれとは違うため, 「人と物は東京に集まる」という特性が本章の分析には表れたと考察できる。そのため, 物流本来の交通特性を把握するためには, 人流の交通特性にはない, 生産から消費までの一連の物資の流れに着目した分析をする必要がある。そこで, 施設間の物流チャンネルに着目して輸送エネルギー消費量の分布を推計する。

4. チャンネル別輸送エネルギー消費量の推計

“もの”は大きく分類すると, 生産地・中継地・消費地の3つの場所を行き来する¹⁰⁾ため, まず図-3に示すようなAからIの9つのチャンネルを考える。ここで施設間別の物流割合をみると, チャンネルFの生産施設から生産施設への物流, チャンネルDの生産施設から消費施設への物流に関して大きな値を示している。そこで, それらの輸送エネルギー消費量の実態を把握する。

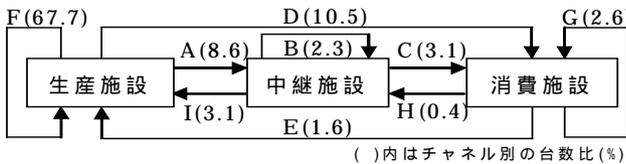


図-3 チャンネル別施設間流動とその割合

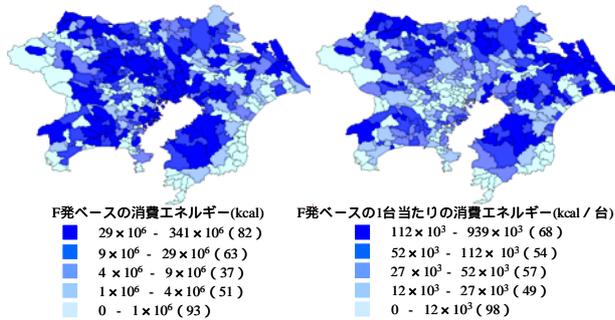


図-4 チャンネルFの発ベース輸送エネルギー消費量

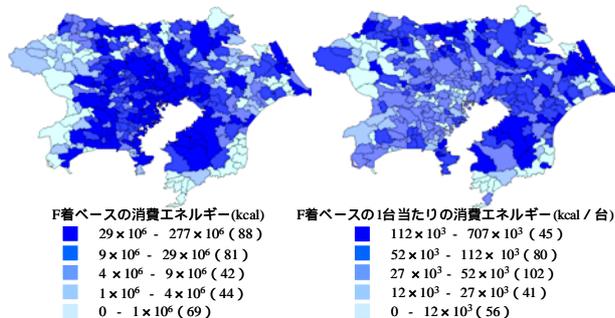


図-5 チャンネルFの着ベース輸送エネルギー消費量

図-4, 図-5よりチャンネルFの営業用貨物車の輸送エネルギー消費量は, 高速道路のIC付近や重要港湾, 空港のあるゾーンに大きい傾向が見られる。また, 発ゾーン及び着ゾーンのエネルギー消費量の推移より, 生産施設から生産施設への総流動量は, 広範囲から東京都心部

へ比較的移動しているのがわかる。しかし, 1台当たりの輸送エネルギー消費量は, 高速道路のIC付近から離れたゾーンや内陸地に大きい傾向が見られる。これは, そのゾーンに大規模な工場や物流施設が立地しているにも関わらず, ICや港湾から距離が離れているため交通の便が悪く非効率になっていることが理由として考えられる。

一方図-6, 図-7より, チャンネルDの営業用貨物車の輸送エネルギー消費量は, 消費地に運び易いゾーン(さいたま市, 江東区等)を中心に都市圏全域に幅広く分布している。また, 発ゾーン及び着ゾーンのエネルギー消費量の推移より, 2次中継施設は1次中継施設の周辺に立地し, 図-1, 図-2のような総輸送エネルギーとは逆の移動をしているのがわかる。

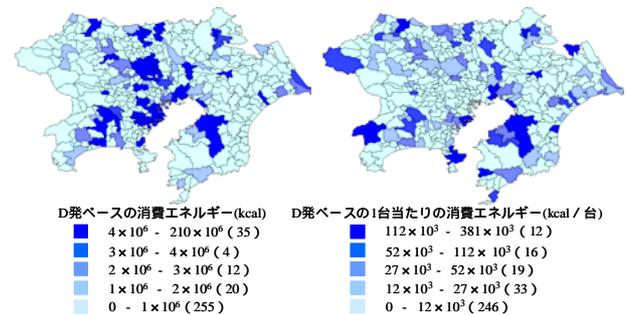


図-6 チャンネルDの発ベース輸送エネルギー消費量

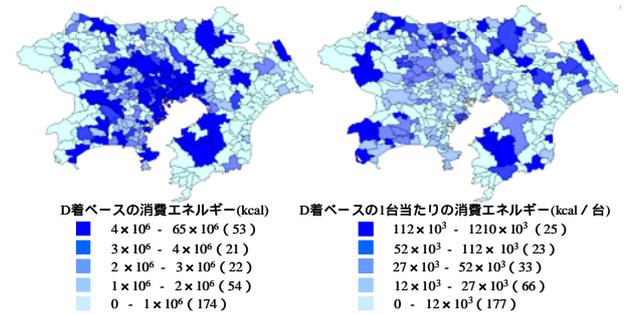


図-7 チャンネルDの着ベース輸送エネルギー消費量

5. 広域物流施設に着目した輸送エネルギー消費量推計

広域物流施設とは, 高速交通網整備の進展や経済活動の広域化を踏まえ, 都市間及び都市内物流の効率化を図るため, 他都市へのアクセスが良い地域に整備された物流施設のことを指す。現在, 東京都市圏には京浜二区・足立・葛西・板橋の4箇所に広域物流施設が整備されており, これは「流通業務市街地の整備に関する法律」における東京都区部の流通業務団地と一致する。しかし, これらの広域物流施設はどの程度整備効果があげられているのか, また輸送エネルギー消費量にどのように影響しているのかなど不明な点が多い。従って, 本章では広域物流施設に関する物流ODを把握することにより輸送エネルギー消費量の分布を捉え, ゾーン特性の把握を行なう。

まず図-8より, 広域物流施設を着地とした時の発地

ベースの輸送エネルギー消費量は、広域物流施設の周辺のゾーンに大きい傾向が見られる。さらに、広域物流施設は港湾寄りに2カ所、埼玉県方面の内陸寄りに2カ所立地しているため、港湾付近や埼玉県南部のゾーンに輸送エネルギー消費量の大きなゾーンが存在する。また、1台当たりの輸送エネルギー消費量は広域物流施設付近では小さく効率良い輸送となっているが、物流施設からやや距離が離れているゾーンでは、輸送距離が大きいため1台当たりの輸送エネルギー消費量が大きくなっている。しかし、全体の輸送を考慮した1台当たりの輸送エネルギー消費量と比較すると、郊外全般に大きなエネルギー消費量を示しているわけではない。これは、遠方のゾーンから輸送が行われる場合は、一度どこかで物流施設等の中継地を経由していることが理由として考えられ、広域物流施設まで直接運搬されるケースは稀であることを示している。

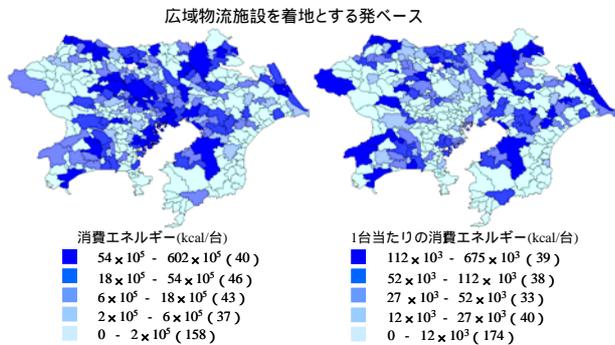


図-8 広域物流施設を着地とする発ベース推計

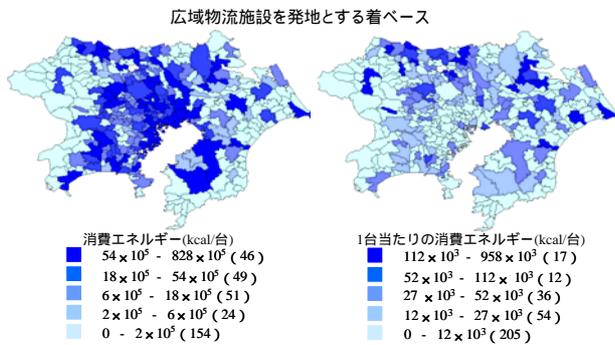


図-9 広域物流施設を発地とする着ベース推計

次に図-9より、広域物流施設を発地とした時の着地ベースの輸送エネルギー消費量は、東京都心を中心に神奈川県東部や埼玉県南部に輸送エネルギー消費量の大きなゾーンが存在する。これは、広域物流施設から発せられる物資が、概ね東京都市圏の中心部に多く運搬されていることが原因として考えられる。また、1台当たりの輸送エネルギー消費量は、輸送距離が大きくなる郊外にてエネルギーの大きい傾向が見受けられる。しかし、図-8の1台当たりの消費エネルギーと比較すると、全体的には1台ごとのエネルギーは小さくなっており、広域物流施設から発する物資流動は効率の良い輸送であることが現れる。更に、図-8と図-9を比較すると、どちらの分布図にも幾つか共通したゾーンに輸送エネルギー

消費量の大きなゾーンが見受けられる。これは、広域物流施設とそのゾーンに立地する施設が互いに多くの物資を輸送していることが原因として挙げられる。当該ゾーンは、大規模な物流施設や工場が立地していることから、これらの施設は広域物流施設に次ぐ地方のゾーンにおける物資の集約施設となっていることが考えられる。

6. おわりに

本研究では、物資流動に基づくエネルギー消費量の基本的な実態把握を、第4回東京都市圏物資流動調査データを用いて行った。得られた知見を以下に示す。

- ・ 物資流動調査を用いて、物流輸送量とゾーン間距離から輸送エネルギー消費量の実態をマクロ的視点から把握できた。
- ・ チャネル別に物資流動量をみると、生産施設から生産施設への輸送量が最も多く、広範囲から生産したものを、更に東京都心部へ移動させて加工しているという輸送実態を把握できた。
- ・ 広域物流施設に焦点を当てた場合、1台当たりの輸送エネルギー消費量は、全体に比べて低く、広域物流施設に一度物資を集約することで効率的な輸送形態になっているといえる。

今後、本研究より得られた物流輸送エネルギー消費の実態を踏まえ、エネルギー負荷低減のためにどのような物流施策が有効かを検討していく必要があると考える。

【謝辞】

物流データの解析にあたっては、東京都市圏交通計画協議会の物流調査研究会（座長：苦瀬博仁東京海洋大学教授）における検討を参考にしました。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：総合物流施策大綱（2005-2009），2005。
- 2) 東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏の物流の実態，東京都市圏交通だより特別号 Vol.18，2005。
- 3) 森本章倫，古池弘隆：都市構造からみた輸送エネルギー削減施策の効果推計に関する研究，第33回日本都市計画学会学術研究論文集，pp181-186，1998。
- 4) 杉田浩，橋詰貴志，谷下雅義，鹿島茂：交通エネルギー消費量，交通費用，都市整備費用からの都心居住と郊外居住の比較分析，第20回交通工学研究発表会論文報告集，pp225-228，2000。
- 5) 森本章倫，古池弘隆：都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究第30回日本都市計画学会学術研究論文集，pp685-690，1995。
- 6) 森本章倫・小美野智紀・品川純一・森田哲夫：東京都市圏におけるPTデータを用いた輸送エネルギー推計と都市構造に関する実証的研究，土木計画学研究・論文集，No.13，pp361-368，1996。
- 7) 谷口守，村川威臣，森田哲夫：個人行動データを用いた都市特性と自動車利用量の関連分析，第34回日本都市計画学会学術研究論文集，No.34，pp967-972，1999。
- 8) 富田安夫・小原和浩・金本浩司：都道府県間の物流にともなう輸送エネルギー消費量の推計，土木学会第49回年次学術講演集，pp474-475，1994。
- 9) 日本エネルギー経済研究所：EDMC / エネルギー - 経済統計要覧，1991。
- 10) 苦瀬博仁：付加価値創造のロジスティクス，税務経理協会，1999。
- 11) 高橋洋二・苦瀬博仁・兵藤哲朗・清水真人：物資流動実態にもとづく物流施設の整備効果に関するシミュレーション分析，国際交通安全学会誌，Vol.21，No.4，pp.200-211，1996。