

物流システム効率化による環境改善効果の推計※

～ 時間帯別・車種別均衡配分モデルの適用 ～

*Estimation of Environmental Impact by Improving Physical Distribution System**

~ Application of the Semi-Dynamic Traffic Assignment Model in Multiclass-User Transportation Networks ~

金子 雄一郎 ※※, 福田 敦 ※※※

By Yuichiro KANEKO ※※, Atsushi FUKUDA ※※※

1. はじめに

本研究の目的は、物流システムの効率化による社会経済効果のうち、特に環境改善効果を推計するための計量的手法を開発することである。

これまで我が国において、物流システム自体の効率化に関する計量的研究は多く行なわれてきたが、これらが都市全体の交通、環境に与える影響についてはほとんど考慮されていない。

一般に、大型貨物車の道路交通流、都市および地球環境へ与える影響は非常に大きい。したがって、環境改善のためには、物流システムの効率化を図ることで、大型貨物車の交通量を削減することが必要である。しかしながら、この場合、一方では都市内の物流拠点へ集配送する小型貨物車が増加することが考えられるため、排出源の増加から都市全体として果たして環境が改善されるのか明らかではない。

本研究では、都市全体の交通をネットワーク均衡モデルで表現し、この枠組みの中に物流システムを明示的に取り込んだモデルを開発する。そして、このモデルを用いて物流システムの効率化による環境改善効果を推計し、さらに都市全体としてより環境への負荷が少ない総合的な物流施策を検討する。

2. 既往の研究

物流システムの効率化による効果を検討した研究はこれまで数多く行なわれている。

高橋他(1993)¹⁾は、都市における物流機能の効率化のためには、郊外の広域幹線道路周辺などの交通

利便性の高い地区に整備する必要があると指摘している。松本(1995)²⁾は、我が国における近年の物流拠点の整備状況について整理し、1980年以降のロジスティック時代では、圏域も都市圏(あるいは複数中核都市)へ拡大し、施設の規模も大きくなっていることを指摘している。しかしながら、いずれも計量的検討までは行なっていない。

物流システムの効率化による効果を計量的に検討した研究としては、以下が挙げられる。

吉本(1993)³⁾は、ロジスティックセンター整備による道路交通への負荷量を推計している。この結果からは、大型貨物車交通の改善は得られるものの、立地場所によっては、小型貨物車の走行距離が増加することが指摘されている。この点については、京阪神都市圏を対象とした本田他(1997)⁴⁾の研究においても同様の指摘がなされている。この研究では、物流拠点を数箇所集約化した場合の効果を交通量配分モデルを用いて推計した結果、大型貨物車交通は減少するものの、小型貨物車交通は増加すると試算している。そして、共同化を実施した場合には、小型貨物車交通の減少が見込まれると述べている。

鄧他(1994)⁵⁾は、物流の削減と円滑化による環境負荷の軽減効果を定量的に分析している。具体的には、広域拠点と集配拠点の中継基地として共同物流デポを提案し、これを整備することで貨物車交通が縮減され、CO₂排出量が削減されることを実証している。その他、徳永(1995)⁶⁾は、仙台都市圏を対象に、都市内の物流施設の集約化および共同集配送の効果を、巡回セールスマン問題(TSP)アルゴリズムを用いて推計している。高橋他(1996)⁷⁾は、東京都市圏を対象に、広域物流施設および都市内物流施設の整備効果をシミュレーション分析し、さらに結果に基づいて、広域施設と都市内施設の配置のあり方を検討している。

※ キーワーズ：整備効果計測法、総合交通計画

※※ 学生員 修(工) 日本大学大学院理工学研究科

※※※ 正員 工博 日本大学理工学部交通土木工学科

〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1

TEL : 047-469-5355 FAX : 047-469-5355

これらの研究の多くは、物流システムの効率化による効果を都市システム全体の観点から計量的に検討しているものの、大型貨物車の道路交通流へ与える影響や、効率化を検討するに際して、環境への負荷を明示的に考慮していない。

一方、効率化による効果を直接検討したものではないが、上記の点を考慮した研究として、谷口他(1998)⁸⁾は、目的関数に環境への負荷の軽減を考慮した項を持つ物流ターミナルの最適規模・配置を同時に決定する方法を提案している。ただし、ここでは負荷指標としてCO₂排出量のみしか取り扱われていない。また、この研究では、道路ネットワークにおける貨物車および乗用車の存在を明示的に考慮するために、小型貨物車(集配車)と乗用車から成る2モードの利用者均衡配分問題として定式化しているが、貨物車の交通流への影響や経路選択特性までは考慮されていない。

本研究では、以上の研究を踏まえ、都市全体の交通をネットワーク均衡モデルで表現し、この枠組みの中に物流システムを明示的に取り入れたモデルを構築する。具体的には、車種間の相互影響および時間毎の需要変動を考慮できる時間帯別・車種別均衡配分モデルを開発し、これを用いて物流システムの効率化による環境改善効果を推計する。さらにより環境負荷の少ない総合的な物流施策を検討する。

3. 本研究における物流効率化施策

物流における環境改善の取り組みとしては、施設整備など公共主導で実施されるもの、共同輸送など民間主導で実施されるもの、さらに両者が共同で取り組んでいるものがある。本研究では、このうち物流システムを直接コントロールすることが可能な公共主導の改善策を取り上げる。

公共主導の主な環境改善策としては、1)発生源自体を規制あるいは代替していく発生源対策、2)交通量を削減させていく交通量対策、3)交通流を円滑化していく交通流対策が挙げられる⁹⁾。具体的な改善策は以下の通りである。

1) 発生源の対策

排出ガス規制、特定地域内での車種規制、規制適合車への代替促進、低公害車の普及促進。

2) 交通量対策

自動車利用の合理化、適切な輸送機関選択、共同事業の推進、物流拠点の計画的整備。

3) 交通流対策

環状道路の整備、鉄道との立体交差、交通管制システムの高度化、路上駐車対策。

この他、VICS、ETC などITS 技術を用いた道路・交通・車両の情報化による貨物車の輸送効率の改善支援や、トラックバンのような改善策も含まれる。

本研究では、物流効率化施策として、都市の外周道路近辺に広域物流拠点(例えば、流通業務団地)を整備する施策を取り上げ、その環境改善効果を推計する。そして、推計結果を踏まえ、より環境への負荷を軽減するための発生源対策について検討する。

4. 時間帯別・車種別均衡配分モデル

(1) 対象とする物流システム

本研究で対象とする物流システムは図-1の通りである。まず、先述した通り、発地から輸送される物資を都市内に輸送するための中継施設として、新たに外周道路周辺に広域物流拠点を整備することを想定する。また、端末に集配するための拠点としては、都市内に集配拠点が配置されているとする。

次に、輸送形態としては、広域物流拠点整備ありの場合では、発地から広域拠点までの流動と広域拠点から集配拠点までの流動である。輸送手段としては、前者は、大型貨物車、後者は小型貨物車によって輸送されると考える。また、広域物流拠点を整備なしの場合では、発地から都市内の集配拠点までの流動であり、輸送手段は大型貨物車とする。

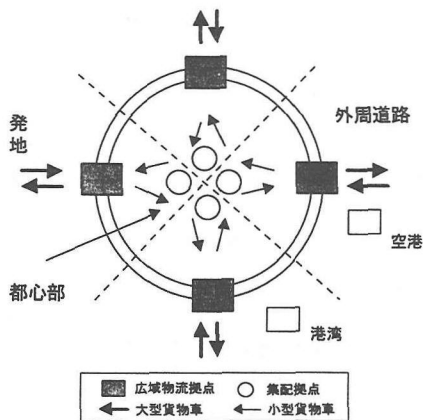


図-1 物流施設と輸送形態¹⁾

(2) モデルの構造

貨物車流動を対象に車種別均衡配分モデルを適用するための前提条件は、以下の通りである。

1) ネットワークは、リンクとノードで構成され、リンクは幹線道路、ノードは広域物流拠点および都市内集配拠点、それ以外のノードで構成される。

2) 車種分類は、道路交通センサスの調査項目を参考に、大型(普通)貨物車、小型貨物車、乗用車の3種とする。整備あり・なしの場合の車種分類については、前節で述べた通りである。

3) 発地-集配拠点のロット別(品目別)貨物OD量は外生的に与えられるとする。広域物流拠点を整備した場合については、全ての貨物がこの拠点を經由すると仮定する。

4) ロット別(品目別)貨物量(t)を大型・小型貨物車(台)の変換については、平均積載率(重量)を用いる。この平均積載率については、対象地域における調査結果などに基づいて決定されるものである。

5) 積載容量は、大型貨物車は12 t、小型貨物車は4 tとする。

6) 車種別配分は、外周道路の内側を対象に行なう。この際、域外流入交通量については、外周部に幾つかの集約ゾーンを設定することで対応する。したがって、整備ありの場合には、車種分類は小型貨物車と乗用車となり、小型貨物車については、広域拠点・集配拠点間のトリップ、乗用車については、全てのトリップを対象とする。大型貨物車については、発地(域外集約ゾーン)から広域拠点までのトリップをあらかじめネットワークに配分する。なお、前述したように、広域拠点を整備した場合、全ての貨物がこの拠点を經由すると仮定している。また、その際の拠点における積替え費用および時間についても考慮する。

一方、整備なしの場合、車種分類は、大型貨物車と乗用車である。大型貨物車については、発地・集配拠点間のトリップ、乗用車については、全てのトリップを対象とする。

(3) モデルの定式化

異なる車種間の相互影響を考慮した均衡配分モデル(車種別均衡配分モデル)に関しては、従来の研究成果より、リンク間に相互干渉がある場合の利用者均衡問題に帰着する方法が有効であることが知られ

ている。これは、車種が混在しているリンクを車種の数に相当する単車種リンクに分解し、同一リンクにおける車種間の相互影響を単車種のリンク間の相互影響と見なして、リンク間の相互影響を考慮した単車種均衡モデルを修正することによってモデルを定式化するものである¹⁰⁾。したがって、車種別にWardrop均衡が成立していると仮定している。本研究では、貨物車流動をこの車種別均衡配分モデルを用いて表現していくが、一般に環境への負荷は走行速度に大きく関係することから、より正確な分析を行なうために、従来の日配分モデルではなく時間帯別配分の枠組みで考える。

この時間帯別均衡配分モデルについては、既にいくつかの研究例があるが、本研究では、藤田他(1988)¹¹⁾によるOD修正法を用いる。この方法は、時間帯内に目的地に到達しない交通量(残留交通量)をODベースで修正する方法である。ここで、 n 時間帯の修正OD交通量は以下で定義される。

$$g_{rs}^n = q_{rs}^{n-1} + Q_{rs}^n - q_{rs}^n \quad (4.1)$$

ここに、

g_{rs}^n : n 時間帯の修正後のODペア rs 間の交通量

q_{rs}^{n-1} : $n-1$ 時間帯のODペア rs 間の残留交通量

Q_{rs}^n : n 時間帯の所与のODペア rs 間の交通量

q_{rs}^n : n 時間帯のODペア rs 間の残留交通量

である。

すなわち、OD交通量 Q_{rs}^n に前時間帯の修正交通量 q_{rs}^{n-1} を加え、現時間帯の修正交通量 q_{rs}^n を除いて配分することになる。

一方、車種別配分における均衡条件は、通常の単車種の場合の均衡条件と基本的には同じである。これを以下に示す。

まず、各々の車種の利用者の経路選択がWardropの第1原則に従うとすると、以下が成立する。

$$f_{k,m}^{rs} (c_{k,m}^{rs} - u_m^{rs}) = 0 \quad \forall k, r, s, m \quad (4.2a)$$

$$c_{k,m}^{rs} - u_m^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s, m \quad (4.2b)$$

$$f_{k,m}^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s, m \quad (4.2c)$$

経路交通量とOD交通量の関係は以下の通りである。

$$\sum_k f_{k,m}^{rs} = q_m^{rs} \quad \forall k, r, s, m \quad (4.3)$$

リンク交通量および所要時間の関係は以下の通りである。

$$x_a^m = \sum_{rs} \sum_k f_{k,m}^{rs} \delta_{a,k,m}^{rs} \quad \forall a, m \quad (4.4)$$

$$c_{k,m}^{rs} = \sum_{rs} t_a^m \delta_{a,k,m}^{rs} \quad \forall k, r, s, m \quad (4.5)$$

ここに、

$f_{k,m}^{rs}$: 車種 m の OD ペア rs 間の経路 k の交通量

$c_{k,m}^{rs}$: 車種 m の OD ペア rs 間の経路 k の所要時間

u_m^{rs} : 車種 m の OD ペア rs 間の最短所要時間

q_m^{rs} : 車種 m の OD ペア rs 間の交通量

$\delta_{a,k,m}^{rs}$: 車種 m のリンク a が経路 k 上にないとき: 0
あるとき: 1

である。

また、車種別のリンクコスト関数の一般形は、以下のように設定される。

$$t_a^m = t_a^m(x_a^m, \dots)$$

ここに、

t_a^m : リンク a における車種 m の所要時間

である。

以上の OD 修正法と車種別均衡配分モデルを統合することで、時間帯別・車種別均衡配分モデルが構築されるが、一般にリンク間に相互干渉がある場合の利用者均衡問題は、等価な最適化問題は存在せず、変分不等式を用いて定式化される。

5. 環境改善効果の推計

道路ネットワークにおける貨物車交通量の削減によって影響を受ける環境質として、都市環境問題としての大気汚染および騒音、さらに地球環境問題としての地球温暖化を計測対象とする。各々の計測項目は以下の通りである。

1) 大気汚染への影響

貨物車交通の汚染寄与率が高い NO_x および CO の排出量を算定する。

2) 騒音への影響

沿道で観測される等価騒音レベルを算定する。

3) 地球温暖化への影響

CO_2 の排出量を算定する。

広域物流拠点整備による環境改善効果は、整備あり・なしの場合について、4. で構築した時間帯別・車種別均衡配分モデルを用いて車種別のリンク交通量および速度を推計し、これに基づき上記各負荷指標を算定し、両ケースを比較することで行なう。

6. おわりに

本研究では、物流システム効率化による環境改善効果を推計するための手法として、道路ネットワークにおける物流システムを明示的に取り入れた時間帯・車種別均衡配分モデルを構築した。そして、効率化の一例として、広域物流拠点を整備した場合の環境改善効果を推計する方法を検討した。なお、分析結果、施策の検討結果については、講演時に報告する予定である。

参考文献

- 1) 高橋洋二, 望月明彦, 柴 武男: 広域物流拠点および集配拠点の整備の方向, 土木計画学研究・講演集 No. 16(2), pp. 25-28, 1993.
- 2) 松本昌二: ロジスティック時代における広域物流拠点の配置論, 日交研シリーズ A-196「都市内物流システムの体系的研究」第4章, 日本交通政策研究会, pp. 18-30, 1995.
- 3) 吉本隆一: 物流施設整備と道路交通システム, 土木計画学研究・講演集 No. 16(2), pp. 17-20, 1993.
- 4) 本田武志, 赤坂忠明, 岸野啓一, 長谷川哲郎: 京阪神都市圏における物流施策の効果分析, 土木計画学研究・講演集 No. 20(2), pp. 435-438, 1997.
- 5) 鄧 英平, 高田邦道, 岐美 宗: 都市内物流の削減と円滑化のための共同物流デポ計画 - 特に, 二酸化炭素排出の少ない交通体系の形成の観点から -, 第29回日本都市計画学会学術研究論文集, pp. 73-78, 1994.
- 6) 徳永幸之: 都市内物流構造と拠点集約の効果, 日交研シリーズ A-196「都市内物流システムの体系的研究」第5章, 日本交通政策研究会, pp. 31-45, 1995.
- 7) 高橋洋二, 苦瀬博仁, 兵藤哲朗, 清水真人: 物資流動調査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.
- 8) 谷口栄一, 則武彦彦, 山田忠史, 泉谷 透: 物流ターミナルの最適規模および配置の決定法に関する研究, 土木学会論文集 No. 538/IV-38, pp. 71-81, 1998.
- 9) 塩見英治, 齋藤 実 編著: 現代物流システム論, 中央経済社, 1998.
- 10) 河上省吾, 徐 志敏, 広島康裕: 車種別均衡配分モデルに関する実証的な研究, 土木学会論文集 No. 431/IV-15, pp. 57-66, 1991.
- 11) 藤田素弘, 松井 寛, 溝上章志: 時間帯別交通量配分モデルの開発と実用化に関する研究, 土木学会論文集 No. 389/IV-8, pp. 111-119, 1988.