

都市物流施策の評価モデル・評価手法に関する研究

Research on Evaluation Models and Evaluation Methods for Urban Logistics Policies

剣持 健¹ 岡 英紀² 宮内弘太³ 上野優太⁴ 河上翔太⁵ 井村祥太郎⁵ 谷 亮太⁵ 萩野保克⁶

Takeshi KENMOCHI, Hideki OKA, Kota MIYAUCHI, Yuta UENO, Shota KAWAKAMI, Shotaro IMURA, Ryota TANI, and Yasukatsu HAGINO

1 はじめに

都市において、私達が日常生活を営み、企業が事業活動を行うためには、「必要な物資が、必要な数量だけ、必要な場所・時間に届けられる」ことが不可欠である。昨今、「物流」は、都市の機能を支える上で不可欠な要素であると認識されている。物流は主に民間企業が行う活動であるが、物資の積替え、保管、輸配送といった一連の活動から成り立ち、これらの活動を行うためにはスペースを必要とする。例えば、トラックの荷さばき駐車場、物資の保管や積替えを行うための物流施設がこれに該当する。物流業界の人手不足が進展し、物流を効率化しなければならない状況下において、まちづくりの中でこれらのスペースをどこにどれくらい確保するかを考えることは重要である。

本稿では、当研究所が関わっている東京都市圏物資流動調査を念頭に置きながら、最近の都市における物流の課題を概説し、課題への対応を検討するにあたって、都市物流施策の評価モデルを活用することが有効であることを指摘する。今後、東京都市圏物資流動調査の調査結果が整備され公表された後に、当研究所では都市物流施策の評価モデルの構築に着手する予定である。本稿は、モデル構築に向けてこれまでにやってきた既往研究のレビュー、モデル開発の方向性に関する検討内容を報告するものである。

2 物流に関する都市・交通課題と分析・解析の視点

(1) 近年の物流に関する都市・交通課題

a) 宅配の増加による住宅地の都市・交通課題

商業施設が様々な形態で立地・集積する中心市街地については、これまでも、店舗へ商品を配送するトラックの駐車・荷さばき場所の不足や、商品の配送と人の交通の錯綜の問題が指摘されてきた¹⁾。近年は、ネットショッピ

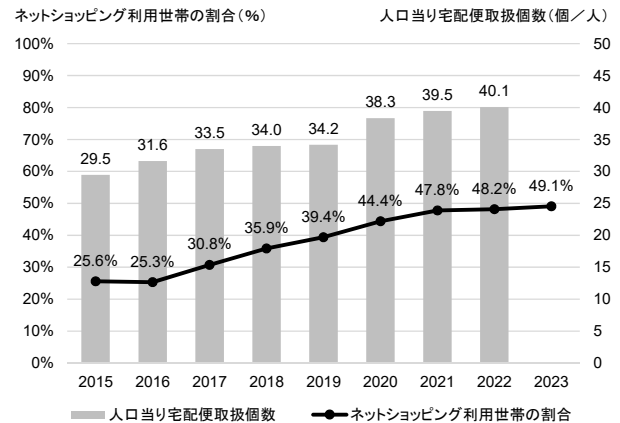
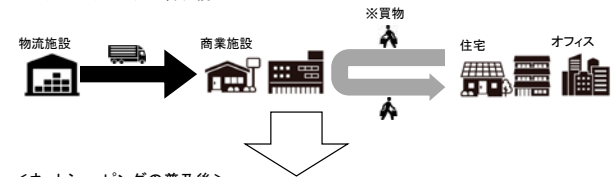


図-1 ネットショッピングや宅配の近年の推移

出典：家計消費状況調査（総務省）、人口推計（総務省）、宅配便取扱実績（国土交通省）より IBS 作成

<ネットショッピングの普及前>



<ネットショッピングの普及後>

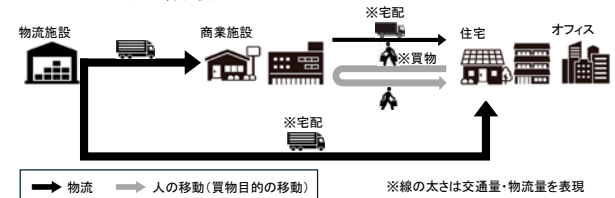


図-2 宅配の増加による物流の変化

出典：IBS 作成

ングの普及に伴う宅配の増加によって、中心市街地に加えて、住宅地における宅配トラックの駐車・荷さばきの問題も注目され始めている。

家計消費状況調査（総務省）によると、ネットショッピングを利用する世帯の割合は増加傾向にあり、2023年には全世帯の約半数（49.1%）となっている。また、これに伴って、1人が平均的に受け取る宅配便の個数も増加しており、2015年には年間30個程度だったが、2022年には年間40個程度となっている（図-1）。

今後も宅配が増加すれば、図-2に示すとおり、これま

¹ 交通・社会経済部門 担当部門長兼グループマネジャー 博士（社会経済） ² データサイエンス室 室長代理兼 IT マネジャー 博士（工学）

³ データサイエンス室 研究員 博士（工学） ⁴ データサイエンス室 研究員 ⁵ 交通・社会経済部門 研究員

⁶ 業務執行理事、研究本部執行管理部長 博士（工学）

で私達が実店舗で買物し、家に持ち帰っていた商品が、宅配によって自宅に直接届けられるようになる。そうなる、住宅地に集まる物流量や宅配トラックの交通量が増加すると考えられる。

一般的に、宅配は、中小型トラックによって住宅の近くまで運ばれ、路上や路外の駐車スペースに駐停車して荷下ろしをした上で、配達員が各戸（あるいは宅配ボックス）に届けるという運びが多い。

住宅地における配送の問題として、最近、宅配事業者、通販事業者からよく聞かれるのは、宅配トラックが駐停車できる場所が不足しているという問題である。例えば、多くの人が居住する都市部の大規模マンションでは、宅配トラックが集中するため、駐停車スペースの取り合いになっている施設がある。また、戸建て住宅が密集し狭隘な道路しかない地区では、路上にトラックを停車させることが難しいため、宅配事業者は届け先から離れた場所にトラックを駐停車させ、そこから台車等で商品を運ぼうとするが、そのような駐車スペースの確保も難しい場合がある。ネットショッピングや宅配の利便性を確保しようとすると、住宅地において宅配トラックの駐停車スペースをどこにどれくらい確保したらよいかを検討することは重要と考えられる。

また、宅配事業者・通販事業者は、効率よく商品を住宅に運ぶために、商品の積替えや一時保管を行うための物流施設を、住宅地からさほど遠くない場所に設置するニーズを有している。こうした施設がないと、宅配トラックが物流施設と住宅地の間を長距離移動しなければならず、トラック運転手の労働時間の長時間化やトラックの排出ガスの増加につながり、好ましくない。ネットショッピング、宅配の普及に対応して、物流施設をどこにどれくらい立地誘導するかは重要な検討課題である。

b) 物流の2024年問題と都市・交通課題

最近「物流の2024年問題」という言葉を頻繁に見聞きするようになった。「物流の2024年問題」とは、簡単に言うと、今後、トラック運転手の労働力の不足によって、私達の手元に物資が安定的に届かなくなる可能性があるという問題である。

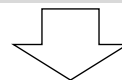
2024年4月から、物流業界では働き方改革を進めるため、トラック運転手を対象とした「時間外労働の上限規制（年間960時間）」の適用が開始された。これに合わせて、運転手の労働時間等の基準を定めた「改善基準告示」

（厚生労働省）²⁾が改正され、トラック運転手の拘束時間の上限が引き下げられた。これらの動きは、トラック運転手の労働環境の改善を狙ったものではあるが、トラック運転手の労働時間の短縮を促すものであるため、トラック運送業界の輸送能力の低下や輸送サービス水準の低下に繋がることが懸念されている（図-3）。「物資が安定的に届かなくなる」事態を回避するため、企業は業種の垣根を超えた物流効率化の取り組みを進め、国はそれを支援するための大規模な対策に乗り出している^{2)、3)}。

2024年問題は、喫緊の差し迫った問題であるが、それと同時に、今後も続く中長期的な問題でもある。したがって、物流の持続性を確保するために、まちづくりの中で長い目で見た対応を行うことも重要である。

例えば、近年、長距離輸送を行うトラック運転手は、改善基準告示に示された休息时间（1日9時間以上）を確保するため、高速道路のサービスエリア/パーキングエリア（SA/PA）に長時間駐車しており、高速道路SA/PAは夜間を中心に大型トラックの混雑が大きな問題となっている⁴⁾。こうした状況の中で、運送業界では、1人のトラック運転手が長時間運転をしなくて済むように、輸送経路の途中に中継拠点を設け、そこで運転手を交代して運ぶ中継輸送の取り組みなどを試行している。ただし、トラック運転手の休息や中継のためのスペースを高速道路内に確保することには限界があると思われる。近年、立地が進んでいる高速道路インターチェンジ近傍の物流施設において、休息や中継のための空間を提供できるとよいのかもしれない。こうしたことを考慮に入れ、輸送を効率化するために、高速道路沿線を含めて物流拠点をどこにどれくらい

- 2024年4月～：トラック運転手の時間外労働960時間上限規制の適用開始
- 2024年4月～：改正改善基準告示の適用開始
 - ※1年の拘束時間：原則3,300時間
 - ※1か月の拘束時間：原則284時間、最大310時間
 - ※1日の休息期間：継続11時間を基本とし、9時間下限



以下のような問題の発生が懸念

●運送業者



- ・これまでの物流を維持するためには、トラック運転手の増員が必要だが、人材が確保できない

●荷主



- ・荷物が指定した日時に届かないかもしれない
- ・荷物を運んでもらえなくなるかもしれない

●消費者

- ・当日、翌日配送の宅配サービスが受けられないかもしれない
- ・水産品、成果物など新鮮なものが手に入らないかもしれない

図-3 物流の2024年問題の概要

出典：公益社団法人全日本トラック協会ホームページを参考にし
てIBS作成

立地誘導するかを検討することは重要と考えられる。

(2) モデルによる分析・解析の重要性

上述のような課題への対応を検討するためには、住宅地への配送の実態、長距離トラックの幹線輸送の実態、物流施設の立地の実態を理解することが重要である。しかし、既存の統計調査（例えば、物資流動調査、物流センサス等）を用いた現況分析のみから、宅配トラックが住宅地への配送をどのように行っているか、商品の幹線輸送がどのように行われているか、広域物流施設、都市内集配施設がそれぞれどのような場所に立地しているか等の全体傾向を定量的に把握することは極めて困難である。そのため、統計調査でサンプルとして把握された住宅地への宅配、長距離トラックの幹線輸送、物流施設の立地の実態や影響要因（例えば、積載品目、輸配送距離等）に関するデータから、運送事業者や荷主など物流に関連した企業の物流活動を表現することができる数理モデルを構築し、モデル・シミュレーション等を用いて、推計ベースではあるが統計調査のみからはわからない輸配送の特徴を確認することには意味がある。

また、近年、ICTの発達、労働力不足の進展等、物流を巡る状況は大きく変化している。これらの変化が今後の企業の物流活動をどう変化させ、行政における政策対応にどのような影響を及ぼすかは、統計調査による現況分析からはわからない。そのため、モデル・シミュレーションによって、社会情勢の変化による今後の物流の変化に関する推計を行い、将来の見通しを示すことも有効と思われる。

3 都市物流施策の評価モデル

(1) 評価モデルの既往研究

a) 物流施設の立地選択行動のモデリング

物流施設の立地が土地利用に及ぼす影響は重要な研究課題の1つである。近年は、国内外ともに、物流施設のスプロール化（郊外化）に着目した研究が多い。萩野ら⁵⁾は、物資流動調査のデータ等を用いて物流施設や工場・商業施設といった施設立地モデルを構築し、東京都市圏臨海部への人口増加が物流施設立地に及ぼす影響や、物流施設の立地誘導施策について分析している。また、Sakai et al.^{6), 7)}は、物流施設の立地が物資輸送に及ぼす影響等を評価可能なモデルを構築した。東京都市圏を

対象とした物流施設に関する複数の土地利用パターンの比較検討の結果は、物流施設を都心に一局集中させるパターンが都市圏全体の物資輸送の効率化には必ずしもつながらないこと、都市圏に住む人々に万遍なく物資を届けるためには適度な郊外立地も必要であることを示唆していると解釈することができる。また、平田ら⁸⁾は、物資の搬出入先の位置との関係を考慮した物流施設の立地場所選択モデルを構築し、物流施設の立地が物資輸送の効率性に及ぼす影響等を検討可能な分析的枠組みを提案している。

前節で説明した宅配の増加によって、今後、商品の消費者への直接的な輸配送が増加し、物流施設の立地需要の重心が都心部に近づいていく可能性がある。また、「物流の2024年問題」への対応として、運転手の乗り換えや物資の積替えができる中継拠点の立地需要も生じている。既往研究の物流施設の立地選択モデルにこうした近年の動向を考慮することができれば、新たな視点から、都心近郊や郊外部の物流施設に関連した土地利用問題を検討することができると考えられる。

b) トラックの走行経路選択行動のモデリング

当研究所は、物資流動調査のデータ等を活用して、トラック交通からみた道路ネットワークに関する研究に取り組んできた。萩野ら⁹⁾は、道路幅員や交差点での曲がりやすさなど、大型トラックの道路における走行しやすさを考慮した一般化費用を説明変数に加えた大型トラックの経路選択モデルを開発した。岡ら¹⁰⁾は、車種や距離帯を考慮して、ある程度大規模なネットワークにも適用可能なモデルを構築し、トラックの経路選択のシミュレーション分析への適用可能性や、リンク交通量の推計可能性等を検討している。これらのモデルを用いて、トラック輸送を効率化する観点から、圏央道など高速道路の整備の影響評価等も行ってきた。

物流の2024年問題や環境問題への対応のため、これまで以上にトラック輸送を効率化することが重要となっている。トラック交通の効率化に寄与する道路ネットワークのあり方を検討するニーズは大きいと思われ、トラックの経路選択モデルを適用した解析・分析は引き続き重要性が高いと考えられる。また、宅配の増加に伴い、今後は、大型トラックのみならず、宅配を担う中小型トラックの交通量を分析可能なモデルが求められるかもしれない。ネットショッピングの普及や夜間人口の変化に伴い、今後、住宅地にどれくらいの宅配トラックが集まるのかを分

析・解析できるようになれば、前節で述べた住宅地における駐停車場所不足等の問題への対応も検討できると思われる。

c) エージェントベースのモデル

近年、都市物流施策を評価するためのモデルとして注目されているのが、エージェントベースのモデルである。Sakai et al.¹¹⁾は、都市の物流を統合的に分析するためのエージェントベースの都市貨物交通モデル（以下、SimMobility Freight）を提案している。SimMobility Freightは、商品契約、物流計画、配送計画、駐停車場所の選択といった企業の物流に関連したさまざまな意思決定を記述するサブモデルから構成される分析的な枠組みである。モデル全体として見ると、企業のそれぞれの意思決定が相互に影響し合うことが考慮されており、物流施設などの土地利用、物資流動OD、貨物車の交通量や交通流への影響等を一体的かつ整合的に検討することができる。また、四段階推計モデルのような集計レベルのアプローチとは異なり、非集計レベル（事業所単位および貨物車単位）のアプローチを採用しているため、業種、規模、地域、車種など、企業や車両に関するさまざまな属性ごとに、物流の実態や施策等による影響等を計算することができる。

最近、Sakai et al.¹²⁾は、個人のネットショッピングに関する選択行動（購入額、注文頻度、商品の受取方法など）を表現するモデルを開発し、従来のSimMobility Freightにサブモデルとして追加した。これによって、SimMobility Freightは宅配を含めた物流を分析・解析できるようになっている。

SimMobility Freightを用いると、いくつかの前提条件の下で、ネットショッピングの普及、物流の2024年問題（トラック運転手の労働力不足）等のさまざまな社会情勢の変化に伴う物流への影響を推計することができると考えられる。同モデルによって、現在顕在化していないものの将来生じるかもしれない課題を前もって把握することや、それに基づき、今後の都市物流政策の検討を行うことができると思われる。

(2) 評価モデルの開発の方向性

a) 評価モデルの必要性

人口減少・高齢化、ネットショッピングの普及、働き方改革に伴う物流の2024年問題等、物流を取り巻く環境は大きく変化している。不確実な要素が数多く存在する

中、確かな未来を予測することは困難だが、起こりえる事象を幅広に想定し、様々な可能性があることを理解しておくことが求められている。そのためには、都市の物流実態を調査するとともに、その活動・行動を分析・モデリングすることが必要である。実態調査は現状を知ることに関立つが、モデルは実態調査だけでは分からないことに対して、シミュレーションを通してギャップを埋め、現状に対する理解を深めることに役立つと期待される。

b) 評価モデルの活用方法

評価モデルの活用方法は2点あげられる。1点目は現況分析への活用である。調査されたサンプルデータをもとに、都市の物流活動をミクロにシミュレーションし、これをもとに都市の物流実態を分析することで、実態調査のみからは把握が難しいミクロな分析にも活用することが期待される。

2点目はシナリオ分析への活用である。ただし、確かな将来を予測するのではなく、構築したモデルを用いて、社会動向の変化や施策の実施が都市物流に及ぼす影響をシナリオ的に分析することが考えられる。将来起こりうる変化を多角的に捉えて将来に対する理解を深めた上で、施策検討へ活用することが期待される。

c) 評価モデルの開発方針

物流を取り巻く社会情勢が複雑化し、将来を見通すことがますます難しくなる中で、都市物流施策を評価するためにはエージェントベースのモデルが有効と考えられる。当研究所は、今後、東京都市圏物資流動調査の調査結果が公表された後に、前述の評価モデルの必要性和活用方法を念頭に置き、物流施設の立地選択行動や貨物車の経路選択行動、さらには世帯の宅配受取行動を内包し、都市の物流を一体的に分析・解析することができるエージェントベースのモデルの構築に取り組む予定である。具体的には、SimMobility Freight (Sakai et al., 2020) を参考にしながら、世帯の宅配受取行動を考慮した都市物流施策の評価モデルを開発することを想定している。

ただし、既存のSimMobility Freightには、物流施設の立地選択行動を既述したサブモデルが含まれていない。物流施設に関する土地利用問題を考察するためには、これを組み込む必要があるため、物流施設の立地選択モデルと都市物流施策評価モデルを相互に連携させたモデリングを行うことを検討している。

4 おわりに

本稿では、ネットショッピングの普及や物流の2024年問題等、昨今の都市物流の課題と分析・解析の視点を概説した。続いて、都市物流のモデリングに関する既往研究をレビューした上で、弊社が今後取り組む都市物流施策評価モデルの開発の必要性や方向性を述べた。

物流を巡る社会情勢は目まぐるしく変化し、スタートアップをはじめとする新たなプレイヤー・プラットフォームが登場する等、都市の物流活動はますます複雑化・多様化していくことが考えられる。確かな未来を予測することは困難だが、起こりえる事象を幅広く想定し、さまざまな可能性があることを理解しておくためには、都市の物流実態を調査するとともに、その活動・行動を分析・モデリングすることが必要不可欠であると思われる。当研究所では、引き続き関連する動向にアンテナを張りつつ、今後は、都市物流評価モデルの開発・構築に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏の望ましい物流の実現に向けて、平成27年12月
- 2) 我が国の物流の革新に関する関係閣僚会議：「物流革新に向けた政策パッケージ」（2023.6.2）、内閣官房ホームページ
- 3) 我が国の物流の革新に関する関係閣僚会議：「物流革新緊急パッケージ」（2023.10.6）、内閣官房ホームページ
- 4) 公益財団法人高速道路調査会、高速道路クオリティ研究部会、高速道路における大型車長時間駐車対策に関する調査研究委員会（2024）：「高速道路等における大型車長時間駐車対策に関する調査研究 報告書」、公益財団法人高速道路調査会ホームページ
- 5) 萩野保克・遠藤弘太郎・兵藤哲朗（2011）：土地需給バランスを考慮した施設立地モデルによる東京都市圏の物流施設配置分析、都市計画論文集、Vol.46、No.3、pp. 859-864.
- 6) Sakai, T., Kawamura, K., Hyodo, T. (2017). Spatial Reorganization of Urban Logistics Systems and Its Impacts: Case of Tokyo. Journal of Transport Geography, Volume 60, pp. 110-118.
- 7) Sakai, T., Kawamura, K., Hyodo, T. (2018). The Relationship between Commodity Types, Spatial Characteristics, and Distance Optimality of Logistics Facilities. Journal of Transport and Land Use, Volume 11, No. 1, pp. 575-591.
- 8) 平田輝満、笠原徳文、豊崎祐司：東京都市圏における搬出搬入条件を考慮した物流施設の立地選択モデルの構築、土木学会論文集D3（土木計画学）、Vol.72、No.5、pp.1_1057-1_1065、2016.
- 9) 萩野保克・兵藤哲朗・宮原ゆい（2011）：特車申請電子データ及び道路情報便覧データを用いた海上コンテナ車の経路選択特性、土木学会論文集D3（土木計画学）、Vol.67、No.5、pp.599-609.
- 10) 岡英紀、力石真、田名部淳、福田大輔、大口敬：車種及び距離帯を考慮した貨物車経路選択行動のモデル分析、土木学会論文集D3、Vol.74、No.5、pp.1_657-1_666、2018.
- 11) Sakai, T., Alho, A. R., Bhavathrathan, B. K., Dalla Chiara, G., Gopalakrishnan, R., Jing, P., Ben Akiva, M. (2020). SimMobility Freight: An agent based urban freight simulator for evaluating logistics solutions. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 141, 102017.
- 12) Sakai, T., Hara, Y., Seshadri, R., Alho, A. R., Hasnine, M. S., Jing, P., Ben Akiva, M. (2022). Household based E commerce demand modeling for an agent based urban transportation simulation platform. Transportation Planning and Technology, 123.