

交通モデルとの統合に向けてのロジスティクスモデリングの課題*

Issues in Logistics Modelling towards Integrating with Transportation Models*

山田忠史**

By Tadashi YAMADA**

1. はじめに

都市圏物流に起因する交通問題に対処するためには、貨物交通に対する施策を評価するためのツールづくりが必要となる。このようなツールづくりに向けての重要な課題の一つに、「ロジスティクスのモデルと交通モデルをどのように統合するか」¹⁾が挙げられる。

本論文では、OR・経営科学等の分野で成果を取ってきたビジネスロジスティクスモデルを概観するとともに、上述の目的を念頭に置いた上で、ロジスティクスに関するモデリングの主要な問題点を整理する。

2. ロジスティクスモデル

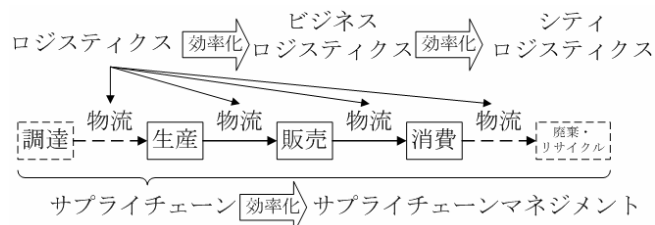
(1) ロジスティクス

物流に関連する用語として、最近では、「ロジスティクス」や「サプライチェーン」が多用されている。「物流」という言葉自体や「サプライチェーンマネジメント(SCM)」も含めて、これらの言葉が混同して使用されている。また、ロジスティクスについて言えば、サプライチェーン内で営まれる複数の物流活動を表現する言葉²⁾なのか、それとも経営的観点からの効率化を含む概念なのか³⁾、明確には区別されていない。さらに、近年、都市・地域の物流マネジメント手法としてシティロジスティクス⁴⁾(もしくは、ソーシャルロジスティクス)が登場してきたことから、ビジネスロジスティクスとシティロジスティクスを区別する必要がある、同時に、ロジスティクスも、これらの派生語と区別されるべき状況にある。

*キーワード：物流計画，ロジスティクス，交通計画

**正員，博士（工学），広島大学大学院工学研究科
(東広島市鏡山1-4-1, TEL/FAX:0824-24-7812

Email:yamada@naoe.hiroshima-u.ac.jp)



図ー1 ロジスティクスとサプライチェーン

上述の物流用語間の関連性を整理すると、図ー1のようになる。ビジネスロジスティクスは、ロジスティクス活動を経営的観点から効率化することであり、シティロジスティクスは、経営的効率化だけでなく、社会的効率化をも目指す概念であると考えられる。ロジスティクスは、サプライチェーンにおいて営まれる複数の物流活動そのものを表す言葉であると位置づけられる。

既存の用例では、ビジネスロジスティクスに関する数理モデルをロジスティクスモデルと称しているが、正確には、ビジネスロジスティクスモデルと呼ぶべきであろう。ロジスティクスやビジネスロジスティクスをシティロジスティクスに昇華させる過程において、ロジスティクスに関するモデルと交通モデルとの統合が必要となる。

(2) ビジネスロジスティクスモデル

ビジネスロジスティクスに関する代表的なモデルは、配送計画モデル、施設配置モデル、スケジューリングモデル、在庫モデル、複合モデルの5種類である。以下に、それぞれのモデルの概要を示す。

① 配送計画モデル(配車配送計画モデル)

運搬経路問題(VRP: Vehicle Routing Problem)⁵⁾とも呼ばれる。顧客訪問順序、使用車両の台数・サイズ、利用経路などを決定する手法である。現実のロジスティクス活動に適用する際には、時間指定(time window)や積載量などに関する制約条件が加味される。時間指定制約を考慮したVRPはVR

P-TW(Vehicle Routing Problem with Time Windows)と呼ばれる。

②施設配置モデル（立地モデル）

一般に、空間上で対象物を最適点に配置する問題を、施設配置問題(FLP: Facility Location Problem)⁶⁾と呼ぶ。物流においては、配送センター、倉庫、生産拠点などの配置や、生産拠点内や倉庫内のレイアウトなどを決定する手法が施設配置問題に相当する。施設配置モデルは、対象空間における立地点の設定の相違によって、連続立地モデル、ネットワーク立地モデル、離散立地モデルに分類される。計算技術の進歩に伴い、現実的な問題が扱える離散立地モデルの適用が主流となっている。

③スケジューリングモデル（配分モデル、日程モデル）

保有資源（人材、時間、機器、資金、設備など）の諸活動への配分（割当）を決定する手法である。時間指定制約や車両の出発時刻などの時間的な概念を用いたVRP⁷⁾はスケジューリングモデルの一種(VRS: Vehicle Routing and Scheduling)である。

④在庫モデル（ロットサイズモデル、経済発注量モデル）

発注方策（いつ、どれだけ発注するのか）と在庫量を決定するための手法である。発注量のことを生産現場ではロットサイズと呼ぶことから、ロットサイズモデルとも呼ばれる。

⑤複合モデル

上記の各手法を組み合わせた統合的手法のことを指す。サプライチェーン全体に渡るロジスティクス活動の意思決定などに用いられる。例えば、生産拠点・配送センター・倉庫の配置、輸送手段・輸送量、生産量、在庫量などを同時決定する場合である。

ビジネスロジスティクスに関するこれらのモデルは、個々の企業や企業体（以下、企業と略す）のロジスティクスシステムを、経営的観点から効率化することに目標を置いている。したがって、これらのモデルの多くは、企業が被るコストの最小化を評価基準としている。1960年代以降、計算技術の進歩と最適化手法の発展とが相俟って、OR・経営科学等の分野において、ビジネスロジスティクスモデルの研究成果は、飛躍的に蓄積された。これらの研究成果は、求解効率の向上や、数理モデルを用いた合理的手法の導入による経営効率化に寄与してきた。

3. 交通計画に活用する際の課題

ビジネスロジスティクスのモデルは、ロジスティクスに関する企業の意思決定の補助装置として有用である。しかし、これらのモデルを、企業の意思決定モデルとして、交通計画に活用する際には、次のような課題が残されている。

（1）現状と最適化

現状のロジスティクス活動を効率化するとの意図のもとに、ビジネスロジスティクスモデルが利用される。したがって、ビジネスロジスティクスモデルが記述するのは、効率化された後のロジスティクスシステムである。ビジネスロジスティクスのモデルを交通モデルに組み込むことは、効率化されたロジスティクス活動を前提として、交通状態を表現することになる。

しかし実際には、数理モデルを内包した計算ツールの使用によるロジスティクス効率化に取り組んでいる企業は10%程度⁸⁾である。このような効率化が将来的にはいっそう進展するとしても、企業全般に渡って使用されないのであれば、効率化されていない状態（これを現状と称する）でのロジスティクスシステムを表す必要性が生じる。ロジスティクスに関する意思決定の多くは、熟練者の経験や勘に基づいて実行されているのが実情である。したがって、「経験や勘に基づく意思決定」をモデル化する必要がある。図-1を用いて換言すれば、このことは、ビジネスロジスティクス以前のロジスティクスをモデル化することに相当する。

現状の意思決定については、a) ビジネスロジスティクスモデルとは別の枠組みでモデル化するか、もしくは、b) ビジネスロジスティクスモデルが示す最適化の枠組みで推定する（逆推定）ことが考えられる。前者は、ビジネスロジスティクスが考える最適化とは異なる枠組みで意思決定されていることを意味する。この場合、両者の相違が何に起因するのかを把握する必要がある。

後者は、企業が現状において、数理モデルの探索する最適点に気づいていない場合には、特に有効であろう。この方法は、数理最適化問題の目的関数

を前提として、効率化前後の乖離を調べることになる。効率化されない場合の解は最適解に比べて、どの程度劣るのか、また、そのような解は、最適化モデルの中でどのように表現できるのか（例えば、目的関数のパラメータ設定、制約条件の付与、最適解以外の実行可能解）を検討することになる。なお、ビジネスロジスティクスモデルの求解法にランダム手法を内包したヒューリスティクスが使用されている場合には、解の一意性が確保されないことに留意する必要がある。このような場合には、使用するヒューリスティクス手法のオペレータやパラメータ設定を詳細に示すことが重要である。

（２）個々と全体

ビジネスロジスティクスのモデルは、個々の企業もしくは企業体を対象としたモデルであるが、交通計画に適用する際には、計画対象地域内の全ての企業に拡大する必要がある。このとき、業種・品目による相違を考慮しなければならない。また、特定の業種・品目の一社に注目してモデル化した場合には、その企業のロジスティクス活動に代表性を見出す必要もある。

（３）対象期間

ロジスティクスに関する意思決定項目は、対象とする期間によって異なる。例えば、短期 (operational) の意思決定では、生産・輸配送のスケジューリングや配送計画に重点が置かれ、中期 (tactical) の場合には、生産計画（生産量）、在庫計画、輸送計画（輸送手段や固定ルートを選択）が中心となる。また、長期 (strategic) の場合には、施設配置モデルや複合モデルの決定変数である、生産拠点、配送センター、倉庫の配置、生産ラインの配置、人材雇用、購入車両台数、生産能力などが対象となる。また、対象期間が長くなればなるほど、サプライチェーン全体を見渡した意思決定がなされる。

さらに、中・長期を対象とした場合には、企業が最も重要視する項目の一つである在庫計画を考慮しなければならない。サプライチェーン全般に渡って詳細な在庫管理を行う場合には、サプライチェーンの上流ほど需要のばらつきが増幅される現象

(Bullwhip Effect)にも注意を払わなければならない。

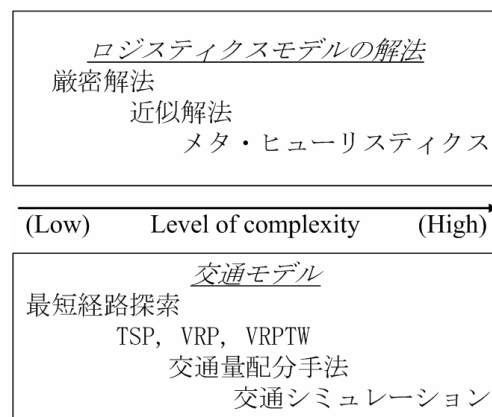
いずれにせよ、限定的なエリアでの Day-to-day の交通状態把握なのか、それとも広範なエリアにおける将来的な交通需要予測であるかによって、ロジスティクスモデルが対象とする意思決定範囲も異なるのである。

（４）対象範囲

交通計画では、対象範囲を分離して（例えば、国際、地域間、都市内、地区内）施策を検討することが多い。これを物流に当てはめれば、地域間チャンネル²⁾で物資流動を捉えていることに他ならない。しかし、ロジスティクスに関する企業の意思決定は、業種間や施設間のチャンネルで捉えた方が实际的であり、上述の行政的な地域区分で限定的に捉えるのは難しい。また、昨今の生産拠点の海外進出に見られるように、サプライチェーンは、グローバルに展開している。サプライチェーン全体を対象としたロジスティクスモデルの適用は、自ずと地理的範囲を広げることになる。したがって、グローバルに展開する業種間や施設間のチャンネルを、地域間チャンネルと対応させることも、必要な作業の一つとなる。

（５）複雑さへの対応

交通モデルには、最短経路探索のような単純な手法から交通シミュレーションまで存在するが、例えば、交通シミュレーションモデルは、最短経路探索などに比べて、現実の交通現象を記述できる一方で、モデルの複雑さが増大する（図－２）。ロジスティクスモデルの場合についても、実際的な条件を含有すればするほど、問題は複雑になり、求解の際



図－２ モデリングのcomplexity

に高度なヒューリスティクス手法を適用する必要性が生じる。したがって、現実的な要件を考慮すればするほど、ロジスティクスモデルも交通モデルも複雑になり、その結果、統合モデルの複雑さも増すことになる。

また、物流に関する利害関係者(stakeholder)は複数に及ぶため(例えば、行政、住民、物流業者、荷主)、複数の意思決定主体を対象としたモデリングも必要となる。単一主体を対象としたモデリングよりも、複数主体を対象としたモデリングの方が複雑であることは容易に想像できる。

(6) データ収集

企業のロジスティクス活動をモデル化するには、ロジスティクス活動に関連するデータを入手する必要がある。わが国の既存の物流データ(物流センサス、道路交通センサス、都市圏物流調査など)を活用することも一案であるが、残念ながら、ロジスティクス活動のマクロな現況(台数、量、活動パターンなど)を把握することはできても、将来予測に利用するには無理がある。

しかし一方で、企業秘密という言葉が示すように、個々の企業のロジスティクス活動全般に渡るデータを収集するのは容易ではない。また、データ収集の際に、ロジスティクスに関する意思決定者を特定化することも難件である。企業内の誰がロジスティクスに関して包括的に意思決定しているのか明確でない場合もある。

複数の主体が意思決定に関与する場合があることも、データ収集を困難にさせる要因の一つである。例えば、配送計画の場合、訪問順序、使用トラック台数などは荷主が決め、経路選択は運送業者(ドライバー)に任されていることもある。このような場合には、意思決定者と行為者が単一である場合に比べて、データ収集に、より多くの労力が必要となる。

多岐に渡るロジスティクス活動の膨大なデータを収集するのが困難なのは、企業サイドでも同様である。したがって、企業自体が自らのロジスティクス活動を正確に把握していないケースも見られる。情報収集機器の導入や膨大な情報の保管は、企業のコスト負担を増大させる。この点については、IT

が果たす役割は大きく、データ収集方法として、GPS や電子タグの使用が見られるようになり、電子化されたデータは、巨大なデータベース(data warehouse)に保管することが可能となった。企業独自のデータ収集については、その困難さが解消される傾向にある。

企業が独自に蓄積したこのような情報をどうすれば交通計画側が利用できるか、それがデータ収集効率化の一つの鍵となる。その際には、官民の協調(PPP)のあり方が問われることになるだろう。大切なことは、企業データを活用する見返りに、官側から企業側に何を還元できるかである。これについては、良質な交通情報や最適化ツールの提供も一案である。

4. おわりに

本論文が示すところは、都市圏の貨物交通を対象とした交通施策評価に向けた課題の一部にすぎない。また、ビジネスロジスティクスモデルの課題についても、本論文で捨象された課題も存在する。しかし、様々な貨物交通対策が提案・施行される中で、評価ツールづくりの同時進行の必要性については疑いの余地がない。ロジスティクスモデルと交通モデルの統合については、今後いっそう検討されるべきであろう。

参考文献

- 1) 谷口栄一, 根本敏則, 他 10 名: 都市圏物流のモデル化・政策・評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.24, CD-ROM, 2001.
- 2) 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.
- 3) <http://www.clm1.org/about/purpose.asp>.
- 4) Taniguchi, E., Thompson, R.G., Yamada, T., Duin, J.H.R., van: *City Logistics - Network Modelling and Intelligent Transport Systems*, Pergamon, 2001.
- 5) 例えば, Laporte, G. and Osman, I.H.: Routing problems; A bibliography, *Annals of Operations Research*, **61**, pp.227-262, 1995.
- 6) 例えば, Daskin, M.S.: *Network and Discrete Location; Models, Algorithms, and Applications*, John Wiley & Sons, 1995.
- 7) 例えば, Ball, M.O., Magnanti, T.L. and Monma, C.L. (Eds.): *Network routing*, Elsevier, 1995.
- 8) 細川貴志: トラックの配車・配送システムの高度化による道路交通への影響に関する研究, 京都大学大学院工学研究科修士論文, 1998.