

平成21年3月31日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18760391

研究課題名（和文） サプライチェーン特性を考慮した貨物輸送ネットワーク解析

研究課題名（英文） FREIGHT TRANSPORT NETWORK ANALYSIS CONSIDERING THE CHARACTERISTICS OF SUPPLY CHAIN

研究代表者

山田 忠史（YAMADA TADASHI）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80268317

研究成果の概要：効率的な貨物輸送システムを設計するためには、貨物輸送ネットワークの解析が必要である。本研究では、製造業者、卸売業者、小売業者、消費市場の4主体で構成されるサプライチェーンネットワーク均衡モデルを構築し、効率的な貨物輸送ネットワークについて検討した。都市物流施策の影響は、貨物輸送ネットワーク全体に影響が及ぶことが確認された。また、都市内配送の効率化は供給側にとって効果的であり、都市内流入規制はサプライチェーンネットワークの効率性を低下させる可能性が示唆された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	240,000	3,740,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・交通工学・国土計画

キーワード：サプライチェーン、貨物輸送ネットワーク、都市物流施策

1. 研究開始当初の背景

消費者ニーズの多様化、および、それに伴う国際的な生産・販売競争の激化に伴い、効率的な貨物輸送ネットワークの形成が急務の課題となっている。その一例として、わが国では、「国際物流基幹ネットワークの構築～効率的で環境に優しい国際・国内物流の実現～」が、国土交通省の重点施策の一つとして提唱された。効率的な貨物輸送システムを設計するためには、貨物輸送ネットワークの解析が必要であり、そのための解析手法の開発が肝要である。

貨物輸送は在庫管理や流通加工など多機能から構成される物流の一機能であり、かつ、物流はサプライチェーン上の各過程で生じる活動である。最近では、生産拠点や販売領域の国際的な拡張に伴い、商品の生産・流通・販売をいかにして効率化するか、すなわち、サプライチェーンマネジメントの重要性が増大してきている。

物流および貨物輸送の形態についても、サプライチェーン全体を見渡した中で意思決定される場合が多い。このことは、効率的な貨物輸送ネットワークを形成するに際して、

サプライチェーン特性（すなわち、サプライチェーンと発生貨物量の関係、および、貨物量の変動に伴う貨物交通需要の変化）を考慮することが必要であることを示唆している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、代表的な業種や品目に着目して、サプライチェーン特性を明確にした上で、サプライチェーン特性を考慮したサプライチェーンネットワーク設計モデルを開発し、その解析手法を用いて効率的な貨物輸送ネットワークについて検討することにある。具体的には、以下の三項目について取り組む。

- (1) 種々の調査結果を用いたサプライチェーン特性の把握
- (2) ネットワーク均衡理論に基づく、サプライチェーンネットワーク設計モデルの構築
- (3) サプライチェーンネットワーク設計モデルを用いた、効率的な貨物輸送ネットワークの検討

3. 研究の方法

上記の各項目に関して、以下のような方法で研究を遂行した。

- (1) 種々の調査結果を用いたサプライチェーン特性の把握

代表的な業種・品目のサプライチェーンに着目して、サプライチェーン特性、すなわち、サプライチェーンの形態や、サプライチェーンと貨物量および貨物交通需要との関係について把握する。これらについては、以下のような過程・方法を用いた。

- ・ 国内外の企業へのサプライチェーンマネジメント事例に関するヒアリング調査
- ・ サプライチェーンマネジメントについて調査・研究した既存の文献の調査
- ・ 関連する学会・研究会での資料および情報収集
- ・ わが国で実施されてきた都市圏物流流動調査の結果の援用

既存の知見の調査に際しては、科学研究費若手研究(B)“リバースロジスティクスを考慮した都市圏物流交通の解析(平成15~17年度)”, および、日本学術振興会拠点大学交流事業“海上輸送の総合的研究(参加期間^g_i:平成13~17年度)”での成果も活用した。

- (2) ネットワーク均衡理論に基づく、サプライチェーンネットワーク設計モデルの構築

貨物輸送ネットワークの影響を考慮した上で、サプライチェーンネットワーク(SCN: Supply Chain Network)全体の挙動、すなわち、SCN上の商品取引量(生産量、輸送量)

や商品価格などを記述するためのモデルを構築した。

具体的には、製造業者、卸売業者、小売業者、消費市場の4主体で構成されるSCN(図1参照)を対象に、サプライチェーンネットワーク均衡(SCNE: Supply Chain Network Equilibrium)モデルを構築した。図1において各主体間の矢印が貨物輸送ネットワークを表す。

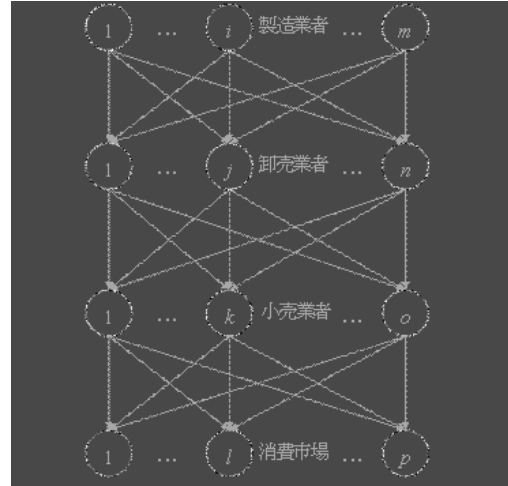


図1 サプライチェーンネットワーク

ネットワーク上には、 m 個の製造業者、 n 個の卸売業者、 o 個の小売業者、 p 個の消費市場が存在すると仮定する。このとき、製造業者 i の行動は、利潤最大化を目的関数として、以下のように表される。なお、式中の*は均衡解を表す。

$$\text{Max} \quad \sum_{j=1}^n \rho_{ij}^* q_{ij} - f_i(Q^i) - c_{ij}(Q^i) - g_i(Q^i)$$

$$\text{Subject to} \quad q_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$$

ここに、

ρ_{ij} : 製造業者 i から卸売業者 j への販売価格

q_{ij} : 製造業者 i と卸売業者 j 間の商品取引量

Q^i : q_{ij} を要素とする mn 次元ベクトル

f_i : 製造業者 i の生産費用関数

c_{ij} : 製造業者 i と卸売業者 j 間の輸送費用関数

g_i : 製造業者 i の施設費用関数

なお、生産費用には材料費や設備費等が含まれる。また、施設費用には土地代や施設の維持管理費が含まれる。生産費用関数、輸送費用関数、施設費用関数は連続かつ凸であると仮定する。

次に、卸売業者 j の行動は利潤最大化を目的関数として、以下のように定式化できる。

$$\text{Max} \quad \sum_{k=1}^o \rho_{jk}^* q_{jk} - c_j(Q^j) - c_{jk}(Q^j) - g_j(Q^j) - \sum_{i=1}^m \rho_{ij}^* q_{ij}$$

Subject to $\sum_{k=1}^o q_{jk} \leq \sum_{i=1}^m q_{ij} \quad \forall j, q_{ij} \geq 0, q_{jk} \geq 0 \quad \forall i, j, k$

ここに、

- $\rho_{2,jk}$: 卸売業者 j から小売業者 k への販売価格
- q_{jk} : 卸売業者 j と小売業者 k 間の商品取引量
- c_j : 卸売業者 j の保管費用関数
- c_{jk} : 卸売業者 j と小売業者 k 間の輸送費用関数
- g_j : 卸売業者 j の施設費用関数

保管費用関数、輸送費用関数、施設費用関数は連続かつ凸であると仮定する。

小売業者 k の行動は、卸売業者と同様に以下のように定式化できる。

$$\text{Max} \quad \sum_{i=1}^p \rho_{3ki}^* q_{ki} - c_k(Q^2) - c_{ki}(Q^3) - g_k(Q^2) - \sum_{j=1}^n \rho_{2jk}^* q_{jk}$$

Subject to $\sum_{i=1}^p q_{ki} \leq \sum_{j=1}^n q_{jk} \quad \forall k, q_{jk} \geq 0, q_{ki} \geq 0 \quad \forall j, k, i$

ここに、

- ρ_{3kl} : 小売業者 k から消費市場 l への販売価格
- q_{kl} : 小売業者 k と消費市場 l 間の商品取引量
- c_k : 小売業者 k の保管費用関数
- c_{kl} : 小売業者 k と消費市場 l 間の輸送費用関数
- g_k : 小売業者 k の施設費用関数

保管費用関数、輸送費用関数、施設費用関数が連続かつ凸であると仮定する。

消費市場 l における消費者の行動は、需要関数が連続であるとの仮定の下、以下の均衡条件により記述する。

$$\rho_{3kl}^* \begin{cases} = \rho_{4l}^* & \text{if } q_{kl}^* > 0 \\ \geq \rho_{4l}^* & \text{if } q_{kl}^* = 0 \end{cases}$$

$$d_l(\rho_{4l}^*) \begin{cases} = \sum_{k=1}^o q_{kl}^* & \text{if } \rho_{4l}^* > 0 \\ \leq \sum_{k=1}^o q_{kl}^* & \text{if } \rho_{4l}^* = 0 \end{cases}$$

ここに、

- ρ_{4l} : 消費市場 l の消費者価格
- ρ_4 : ρ_{4l} を要素とする p 次元列ベクトル
- d_l : 消費市場 l の需要関数

各主体が以上のように行動するとき、ネットワーク全体の均衡条件は、以下の変分不等式の解と等価になる。

なお、下式において、 γ_j はラグランジュ乗数であり、 γ は γ_j を要素とする n 次元列ベクトルである。また、 Q^2 は q_{jk} を要素とする no 次元列ベクトルである。同様に、 δ_k はラグランジュ乗数であり、 δ は δ_k を要素とする o 次元列ベクトルである。 Q^3 は q_{kl} を要素とする op 次元列ベクトルである。

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{\partial f_i(Q^*)}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_{ij}(Q^*)}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_j(Q^*)}{\partial q_{ij}} \right] \times [q_{ij} - q_{ij}^*] \\ & + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o \left[\frac{\partial c_j(Q^*)}{\partial q_{jk}} + \frac{\partial c_{jk}(Q^*)}{\partial q_{jk}} \right] \times [q_{jk} - q_{jk}^*] \\ & + \sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^p \left[\frac{\partial c_{kl}(Q^*)}{\partial q_{kl}} + \delta_k^* - \rho_{4l}^* \right] \times [q_{kl} - q_{kl}^*] \\ & + \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m q_{ij}^* - \sum_{k=1}^o q_{jk}^* \right] \times [\gamma_j - \gamma_j^*] + \sum_{k=1}^o \left[\sum_{j=1}^n q_{jk}^* - \sum_{l=1}^p q_{kl}^* \right] \times [\delta_k - \delta_k^*] \\ & + \sum_{l=1}^p \left[\sum_{k=1}^o q_{kl}^* - d_l(\rho_{4l}^*) \right] \times [\rho_{4l} - \rho_{4l}^*] \geq 0 \\ & \forall (Q^*, Q^{2*}, Q^{3*}, \gamma^*, \delta^*, \rho_{4l}^*) \in R_+^{mn+no+op+n+o+p} \end{aligned}$$

上記の変分不等式の解については、 f_i が加法関数かつ凸関数、 c_{ij} 、 c_{jk} 、 c_{kl} 、 c_j 、 c_k 、 g_j 、 g_k 、 g_l が凸関数、 d_l が単調減少関数であれば、一意性が確保できる。解法については、変分不等式問題を等価な非線形相補性問題へ、さらには、FB関数を用いて等価な制約なし最小化問題へと変換したうえで、準ニュートン法を適用する。

(3) サプライチェーンネットワーク設計モデルを用いた、効率的な貨物輸送ネットワークの検討

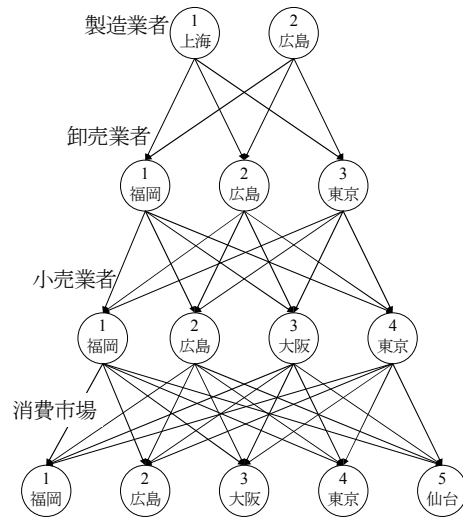


図2 計算対象SCN

ここで用いるSCNは、サプライチェーン特性に関する調査結果を活用した仮想的なネットワークであり、主体数がそれぞれ、製造業者2社、卸売業者3社、小売業者4社、消費市場5箇所とする(図2)。計算に用いるパラメータと関数形は、既存研究とサプライチ

チェーン特性調査の結果を利用した。

ケース0は、基本ケースであり、他のケースと比較するために設定したものである。ケース1は、ケース0において、配車配送計画システムの導入などにより、都市内配送が効率化された場合を想定している。ケース2は、ケース0において都市内流入規制が実施された場合である。

4. 研究成果

モデルのパフォーマンスの妥当性を確認するために、各主体の売上高に占める物流コストの比率について、ケース0の計算結果と実際のデータを比較した(図3)。図3において、保管費用と輸送費用の和を物流コストと定義している。この結果、一部の結果に過ぎないが、本研究の設定について、少なくともこの指標に関しては、現実との整合性を確保したと言える。なお、ケース0も含めて、本研究でのケーススタディにおける各主体の施設費用は、総費用に対して3~5%程度であった。

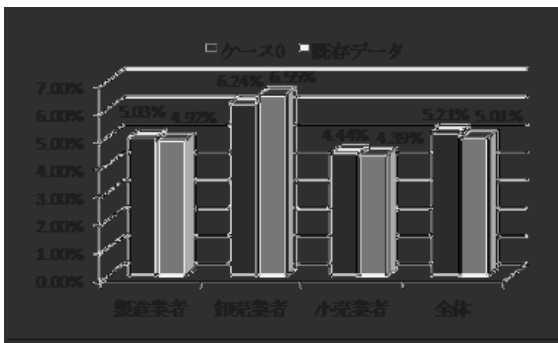


図3 推定結果と既存データの比較

ケース1では、ケース0と比較して、都市内配送が効率化されて、輸送費用が減少する場合を想定する。既往の都市内配車配送計画に関する研究成果に基づき、都市内配送が効率化された場合の効果として、同一都市内に存在する小売業者と消費市場間の輸送費用のみ、基本ケースの20%減になるように設定した。

小売業者と消費市場間の商品取引量について、ケース0に対するケース1の増減した結果、輸送費用が削減された全てのリンクにおいて、取引量がケース0よりも大きく増加した。このとき、商品需要量の総和や最終的な商品価格には大きな変化が生じなかったことから、小売業者と消費市場の双方が立地する都市では、都市内配送が効率化された場合、他の都市からの輸送を都市内配送に転換するものと考えられる。

ケース2では、ケース0において、貨物に対して他の都市から東京への流入が規制された場合を想定する。このとき、規制に伴い、

輸送する貨物量1単位あたりに定額が課金されるものとする。課金額は、ケース0において小売業者-消費市場間の輸送費用が約10%増加する値であることを考慮して、限界輸送費用を1単位増加させる。

各リンクの商品取引量について、ケース0に対するケース2の増減を調べた結果、他の都市から東京への取引量が減少し、東京の都市内取引量が増加することがわかった。それに伴い、東京から他の都市への取引量が減少する傾向が見られた。

各主体の余剰を求めることにより、SCNの効率性について考察すると、ケース1では、ケース0に対して総余剰が微増しており、特に供給側の余剰が増加した。一方、ケース2では総余剰が微減した。このことから、都市内配送の効率化は、供給側にとって有益であるといえるが、流入規制による課金は、SCN全体の効率性を低下させる可能性があるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 今井康司, 山田忠史, 谷口栄一: 輸送時間の変動がサプライチェーンネットワークに及ぼす影響に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 38, CD-ROM, 2008. 査読無
- ② 田辺健二, 山田忠史, 谷口栄一: サプライチェーンネットワーク均衡モデルを用いた流通経路特性および都市物流施策の影響評価に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vo. 25, No. 2, pp. 431-439, 2008. 査読有
- ③ 今井康司, 山田忠史, 谷口栄一: 物流事業者の行動を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡モデル, 平成20年度土木学会関西支部年次学術講演会 講演概要集, IV-70, CD-ROM, 2008. 査読無
- ④ 田辺健二, 谷口栄一, 山田忠史: サプライチェーンネットワーク均衡モデルを用いた流通経路の比較分析, 平成19年度土木学会関西支部年次学術講演会 講演概要集, IV-63, CD-ROM, 2007. 査読無
- ⑤ 山田忠史: 物流・ロジスティクスの眺め方 - サプライチェーン指向の必要性 -, 交通工学, Vol. 41, pp. 7-10, 2006. 査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 忠史 (YAMADA TADASHI)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 80268317