

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560556

研究課題名（和文）物流の理解深化と物流施策評価のためのサプライチェーンネットワーク解析

研究課題名（英文）MODELLING SUPPLY CHAIN NETWORKS FOR INVESTIGATING GOODS MOVEMENT MECHANISM AND EVALUATING LOGISTICS MEASURES

研究代表者

山田 忠史（YAMADA TADASHI）

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80268317

研究成果の概要（和文）：サプライチェーンネットワーク（SCN）上で生じる現象を的確に捉えることは、行政側の物流メカニズムや施策効果の把握、および、企業側の施策理解につながる。本研究は、それに寄与する手法、すなわち、物流業者の行動を考慮した計算モデル（SCNE モデル）を開発し、交通ネットワークとの相互作用を考慮した SC-T-SNE モデルなどへ拡張した。数値計算の結果、輸送時間や商品需要の不確実性の増大が、SCN の効率性を低減させること、道路リンクの新設は、流通経路の変化を伴いながら、SCN の効率性に大きな影響を及ぼすことなどを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This study develops a supply chain network equilibrium (SCNE) model incorporating the behaviour of freight carriers, and extends it to supply chain-transport supernetwork equilibrium (SC-T-SNE). Application of these models can allow administrators and planners to understand the mechanism of the generation of goods movement as well as to investigate the effects of logistics measures. This can also enable companies to recognise the necessity and effectiveness of such measures. Results of the numerical tests using the models reveal that the increased uncertainty of transport time and demand of products would decrease the efficiency of SCN while the improvement of road networks could enhance it.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木計画学・交通工学

キーワード：サプライチェーン、交通ネットワーク、スーパーネットワーク、不確実性、在庫費用、物流施策

1. 研究開始当初の背景

近年、消費要求の多様化や国際的な販売競争の激化に伴い、サプライチェーンネットワーク (Supply Chain Network: SCN) の効率的な形成が積極的に実施・検討されている。SCN 上では複数の主体が、商品の製造や取引、輸配送や保管などの物流を営む。したがって、物流に関する意思決定が SCN 全体を見渡した上で行われるようになってきており、SCN の理解が物流の理解深化へとつながる。

一方、都市内、都市間、国際の各領域において、様々な物流施策が検討されている。しかし、物流は SCN 上の営みの一つであるので、施策実施効果は対象領域だけでなく、SCN の各所に波及する可能性がある。したがって、物流施策の効果は SCN 全体で推定されるべきであり、施策の効果が生じる要因を把握するためには、SCN 上で生じる現象とそのメカニズムを理解すること、すなわち、SCN 上での商品の流動特性や活動主体の行動特性を考究する必要がある。

しかしながら、物流施策が SCN に及ぼす影響を具体的に分析できる手法、すなわち、複数主体から構成される多段階の SCN 全体で生じる現象を記述するための方法論は確立されていない。また、物流施策の実施には、SCN を構成する企業の理解が不可欠であるが、企業側が施策の必要性や有用性を認識するうえでも、物流施策が SCN に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、物流施策が SCN に及ぼす影響を分析するための手法を構築するために、SCN 上で活動する複数主体の行動・意思決定を数理計画問題の枠組みでモデル化する。その際、SCN 上の活動主体の分権的な意思決定や主体間の行動の相互作用に留意する。具体的には、SCN 全体の挙動、すなわち、SCN 上の商品取引量 (および、生産量、物流量)、商品価格などを記述するために、製造業者、卸売業者、小売業者、消費市場、物流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 (Supply Chain Network Equilibrium: SCNE) モデルを構築する。

SCN 上には、輸送時間や消費市場での商品需要など、変動性を有する不確定な要因が存在する。また、SCN 上の各主体にとっては、他主体の行動も正確には予測できない。それゆえ、本研究では、上述の SCNE モデルを、これらの不確実性に留意したモデルへと拡張する。さらに、主たる物流施策の一つである貨物車交通施策の効果を、より精緻に分析するために、SCNE モデルと交通ネットワークモデルを統合し、双方の相互作用を明示的に考慮したスーパーネットワーク均衡 (Supply Chain-Transport Supernetwork Equilibrium

: SC-T-SNE) モデルを開発する。

つぎに、SCN や交通ネットワーク上で生じる現象の記述 (SC-T-SNE モデル) を制約条件とし、施策実施の有無や実施の程度を決定する均衡制約付き最適化問題を定式化し、物流施策の有無およびその実施程度について最適解を求める。施策の効果は SCN の効率性、すなわち、各主体の利潤と消費者の余剰にて計測し、商品取引量 (および、生産量、物流量) などから、施策が SCN に及ぼす影響を考究する。

なお、既存の関連研究においては、モデルに使用する関数形やパラメータ、および、モデルから得られた推定値に関して、現実との整合性が示されていない。本研究では、現実の SCN の形態、および、SCN 上で発生するコストや商品取引量に関して、企業へのヒアリング調査、既存の文献や物流調査の結果の精査を通じて、現実 (実現値) を把握するとともに、実現値とモデルの推定値との整合性を検証する。

3. 研究の方法

上述の目的を遂行するために、以下のような方法を用いた。

- (1) 企業へのヒアリング調査、既存の物流調査、既存の関連文献に基づいて、実際の SCN 特性を把握する。
- (2) SCN 上の行動主体 (製造業者、小売業者、卸売業者、物流業者、消費市場) の意思決定、および、その相互作用を考慮したうえで、多段階の SCN 上で生じる現象 (商品の生産量、取引量、物流量、価格など) を記述するモデル (以降、物流業者の行動を考慮した SCNE モデルと称する) を構築する。
- (3) SCN に関連する様々な不確実性、SCN の多様な形態、SCN と交通ネットワークとの相互作用に着目し、上述のモデルを以下のように拡張する。
 - ① 輸送時間の不確実性の考慮
 - ② 消費市場における商品需要の不確実性に基づき発生する在庫費用の考慮
 - ③ SCN 上の各主体が、他の主体の行動を正確には予測できないことに基づく、確率的モデル。
 - ④ 商物分離の考慮
 - ⑤ 交通ネットワークモデルと SCNE モデルを統合することによる、双方の相互作用の考慮 (SC-T-SNE モデル)
- (4) 実際の SCN での実現値とモデルから得られた推定値との整合性を検討することにより、構築したモデルの記述モデルとしての性能を検証する。
- (5) SC-T-SNE を制約条件とし、施策実施の有無や実施の程度を決定する数理計画問題を定式化・求解する。

(6) 構築したモデルを用いて、輸送の高速化、輸送時間の信頼性向上、交通ネットワークの新設・改良などの物流施策について、その効果分析を行う

4. 研究成果

はじめに、ヒアリング調査や既存研究に基づいて、物流業者の行動を考慮した SCNE モデルを開発した（研究の方法(1), (2)に相当）。具体的には、消費市場を除く各主体の意思決定を、利潤最大化を目的関数とする非線形最適化問題を用いて定式化し、各主体の意思決定に関する最適性条件と消費市場の均衡条件から構成される SCN 全体の均衡条件が、有限次元の変分不等式問題で定式化できることを示した。さらに、商品価格の導出や、解の定性的性質（解の存在と一意性など）を明示した。定式化された変分不等式問題が、FB 関数を用いて制約なし非線形最適化問題に変換可能であることを示し、準ニュートン法を用いた解法を提示した。

SCN 上での商品の流動特性や活動主体の行動特性を記述するモデルは、SCNE モデルに限定されており、物流施策を検討するために、物流業者の行動を組み込んだ SCNE モデルは、国内外においてこれまで開発されていない。また、本研究で開発したモデルには、卸売業者の行動や施設費用などが内包されているが、これらもまた、既存研究において、考慮されていないものである。

開発したモデルを図1のような SCN に当てはめることにより、実際の SCN での実現値とモデルから得られた推定値との整合性を検討した（研究方法(1), (4)に相当）。

その結果、図2が示すように、業種別の対売上高物流費用（保管費用と運賃の和）比率は、各業種とも概ね、実際の値と整合した。また、中国の製造業者（日本企業の現地法人）の対売上高物流費用比率が7%と推定され（実際のデータでは3~5%）、物流業者の施設費用と運行費用の比が1:10（わが国の物流業者1社のデータによると1:11）になった。SCNE に類する研究において、実現値とモデルの推定値との整合性を検証した事例は、本研究が最初である。

物流業者の行動を考慮した SCNE モデルに、消費需要の変動を在庫費用として、輸送時間の変動を期待遅刻費用として、それぞれ取り込んだ（研究方法(3)①, ②に相当）。また、SCN 形態の相違を考慮するために、商物分離を組み込んだ（研究方法(3)④に相当）。

いずれのモデルも、物流業者の行動を考慮した SCNE モデルと同様に、有限次元の変分不等式問題で定式化できること、得られる解の存在と一意性が保証できること、定式化した変分不等式が FB 関数を用いて制約なし非線形最適化問題に変換されることなどを示

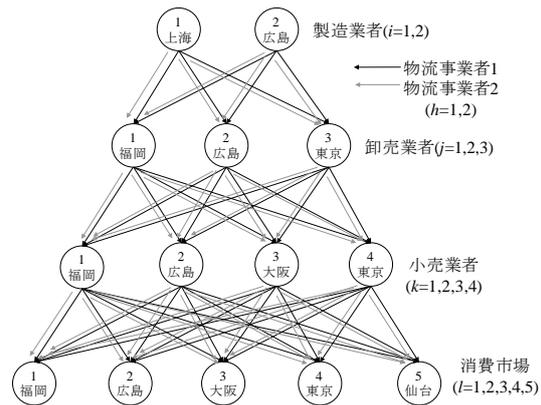


図1 対象とする SCN

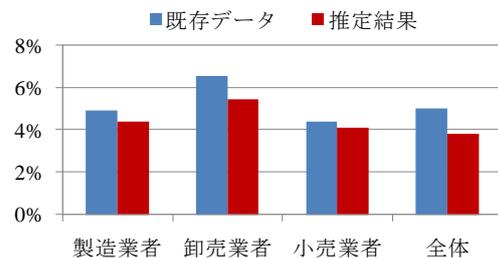


図2 売上高に占める物流費用の比率

した。これらのモデルを用いて、仮想的な SCN を対象に数値計算を実施した（研究方法(6)に相当）。その結果、輸送の高速化や信頼性の向上が商品の生産量や物流量、および、SCN の効率性を向上させること、商品の消費需要のばらつきが大きくなると、商品の生産量や物流量、および、SCN の効率性が減少することを明らかにした。また、商物分離の流通形態が進展すれば、商品の生産量や物流量、および、SCN の効率性が增大することも示唆された。

つぎに、物流業者の行動を考慮した SCNE モデルを発展させて、各主体にとって、他の主体の行動が不確実である（確率的に変動する）ことを想定し、他の主体の行動を予測して、自らの意思決定を行う確率論的モデルを構築した（研究方法(3)③に相当）。このとき、導出される確率的変分不等式問題を、期待残差最小化法 (Expected Residual Minimization Method: ERM) により求解した。

このモデルを用いた数値計算の結果（研究方法(6)に相当）、不確実性の増大が商品の生産量や物流量の減少につながり、SCN の効率性を低下させることが示された。

さらに、物流業者の行動を考慮した SCNE モデルに、交通ネットワークユーザーの行動を考慮することにより、サプライチェーンネットワーク上で発生する輸送費用が内生的に決定されるだけでなく、交通ネットワークと SCN との相互作用、すなわち、交通ネット

ワーク上の交通状態がSCN上の各主体の行動に及ぼす影響、および、その逆が検討可能となるモデル(SC-T-SNEモデル)を開発した(研究方法(3)⑤に相当)。なお、SC-T-SNEモデルは、SCNと交通ネットワークが明示的に統合された、国内外で最初の計算手法である。このモデルでは、SCNと交通ネットワークの二つの均衡モデルが、一つの均衡モデルとして記述される。加えて、本研究では、SC-T-SNEモデルを制約条件(下位レベル)とし、物流施策の実施の有無や実施の程度を決定する(上位レベル)数理計画モデルも開発した(研究方法(5)に相当)。

このモデルを用いて、仮想的なスーパーネットワーク(すなわち、交通ネットワークとSCNを統合したネットワーク)を対象とした数値計算を行い、モデルのパフォーマンスの妥当性を確認するとともに(研究方法(4)に相当)、道路ネットワークの改良などの交通施策が実施された場合の影響について、基礎的検討を行った(研究方法(6)に相当)。その結果、混雑した道路区間の容量増大は、SCNの効率化につながり、商品の生産量や物流量、および、SCN上の効率性を増大させること、道路の新設も混雑区間の容量増大と同様の効果をもたらすと同時に、SCN上の流通経路に大きな変化をもたらす可能性があることを示した。

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9件)

- ① Yamada, T., Imai, K., Nakamura, T., Taniguchi, E.: A supply chain-transport supernetwork equilibrium model with the behaviour of freight carriers, *Transportation Research Part E*, Vol.47, pp.887-907, 2011, 査読有, doi:10.1016/j.tre.2011.05.009.
- ② 山田忠史, 中村昂雅, 谷口栄一: 商物分離型サプライチェーンネットワーク均衡モデル: 異なるネットワーク形態の比較分析, *土木学会論文集D3(土木計画学)*, Vol. 67, No. 5, pp. I_801-I_811, 2011, 査読有.
- ③ 中村昂雅, 山田忠史, 谷口栄一: サプライチェーンを考慮した交通ネットワークの離散型設計モデル, *土木計画学研究・講演集*, Vol.44, CD-ROM, 2011, 査読無.
- ④ 山田忠史, 繁田健, 今井康治, 谷口栄一: 在庫費用を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡モデル: 消費需要の不確実性に伴う物資流動量とネットワーク効率性の変化, *土木学会論文集D*, Vol. 66, No. 3, pp. 359-368, 2010, 査読有, <http://dx.doi.org/10.2208/jscej.66.359>.

- ⑤ 今井康司, 山田忠史, 谷口栄一: 交通ネットワークとの相互作用を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡モデルに関する基礎的研究, *土木計画学研究・講演集*, Vol.42, CD-ROM, 2010, 査読無.
- ⑥ 中村昂雅, 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商物分離の影響分析, *土木計画学研究・講演集*, Vol.42, CD-ROM, 2010, 査読無.
- ⑦ 山田忠史, 今井康治, 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分析, *土木学会論文集D*, Vol.65, No.2, pp.163-174, 2009, 査読有, <http://dx.doi.org/10.2208/jscej.65.163>.
- ⑧ Yamada, T., Russ, B.F., Castro, J., Taniguchi, E.: Designing Multimodal Freight Transport Networks: A Heuristic Approach and Applications, *Transportation Science*, Vol.43, No.2, pp.129-143, 2009, 査読有, doi:10.1287/trsc.1080.0250.
- ⑨ 繁田健, 山田忠史, 今井康司, 谷口栄一: 在庫費用を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡モデル, *土木計画学研究・講演集*, Vol.40, CD-ROM, 2009, 査読無.

[学会発表](計3件)

- ① 山田忠史: 行動予測における不確実性を考慮したサプライチェーンネットワークモデル, 平成23年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2011年6月12日, 関西大学(吹田市).
- ② 山田忠史: 商物分離を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡分析, 平成22年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2010年5月22日, 京都大学(京都市).
- ③ Yamada, T.: Modelling supply chain networks with the behaviour of freight carriers, *Research Seminar on Global Critical Infrastructure Systems*, Jun.7, 2009, Kyoto Research Park(京都市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 忠史 (YAMADA TADASHI)
 京都大学・工学研究科・准教授
 研究者番号: 80268317

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし