

持続可能性を考慮したサプライチェーン構築

2020年9月30日 オンライン配信

講師——マハルジャン ラジャリ 運輸総合研究所研究員

コメンテーター——鈴木定省 東京工業大学工学院経営工学系准教授

開催概要

1——はじめに

サプライチェーン・ネットワーク設計（以下、「SCND」）とは、特定のサプライチェーン・ネットワークにおいて、物流施設の場所、施設数、施設容量、異なるエシュロン（階層）間の流通量等に関して、最適な結果を示すことができる手法である。SCNDはサプライチェーン・マネジメントにおいて重要な計画問題の一つと言える。

近年、サプライチェーン構築において、持続可能性への関心が高まっている。これまでSCNDは、顧客が求めるレベルのサービスを低費用及び高利益で提供するように考えられてきた。しかし、近年、顧客、規制当局、競合業者、国内外の団体といった関係者、また政府・非政府組織からの要求により、製造業界は、持続可能性を考慮した取組みを自社のみでなく、物流全体のビジネスにも取り込むよう求められている。そのため、サプライチェーン・ネットワークを持つ企業の多く

は、持続可能性を考慮する形で、サプライチェーンを再編しようと努力している。

こうした中、持続可能なサプライチェーンは望ましいと言われるものの、これがサプライチェーン・ネットワークの構成とどのように関係しているかはよく分かっていない。特に、SCNDと持続可能性に関する研究は多数行われてきたが、持続可能性の3要素（経済、環境、社会面）全てを考慮した研究が少ない。

本研究では、サプライチェーン構築に関する3つのモデルを開発し、サプライチェーン構築において持続可能性を考慮することの意義をまとめる。併せて、サプライチェーン・ネットワークの新たな構築や再構築を目指す企業に対する示唆もまとめる。なお、本報告は、アジア交通学会のジャーナル（Journal of the EASTS）2019年第13巻に掲載された論文1）に基づいており、モデルの詳細等については当論文に譲る。また、当論文は、OECD International Transport ForumのYoung Award 2020 TOP4にも選ばれている。

2——モデルの概要

本研究では、オプションI、オプションII、そしてオプションIIIという3つのモデルを開発した。最初のモデルは従来型である効率性（経済面）のみ、次のモデルは持続可能性の2要素（経済、環境面）、最後のモデルは持続可能性の3要素全てを組み込んだ上で、サプライ

チェーン・ネットワークの最適な形を示した。そして、数値ネットワーク分析を用いて、3つのモデルの結果を比較した。

モデルにおいては、サプライチェーンを構築する際に検討される要素として、1) 物流施設の最適な数や立地、2) ネットワーク構成の中に含まれる最適な供給拠点、3) 各サプライヤーから物流施設、または物流施設から顧客ゾーンに輸送すべき商品数、4) 各顧客ゾーンに設置すべき物流施設の数などを考慮した。

目的関数として、費用（オプションI）、費用及びCO₂排出量（オプションII）、費用、CO₂排出量及び未充足需要（オプションIII）を用いた。

3——結果の概要

3つのモデルの試算結果を比較したところ、持続可能性の3要素間でトレードオフの関係があることが分かる。例えば、図—1はオプションIIモデルの結果（横軸は費用、縦軸はCO₂排出量）、図—

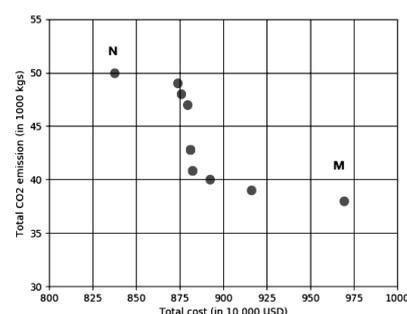


Figure 8: Results for Option II model

■図—1



講師：マハルジャン ラジャリ

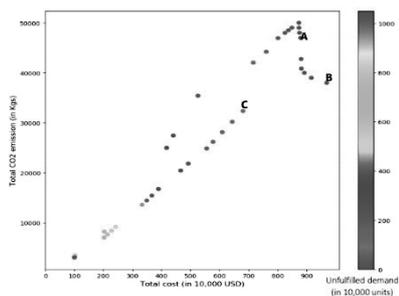


Figure 9: Result for Option III model

■図一2

2はオプションIIIモデルの結果（横軸は費用、縦軸はCO₂排出量、点の色は未充足需要量）を示している。これらの結果は、サプライチェーン構築において、意思決定者に対して最適な代替案を提供するものとなる。

次に、数値例を用いて結果を示す。一般的に、持続可能性に関する要素を考慮することは、非常に高コストとなると思われる。表一1に示すとおり、持続可能性の要素を考慮すると、費用、CO₂排出量、顧客満足度、そして物流施設の立地に影響を与える。目的を、費用の最小化（オプションI）からCO₂排出量の最小化（オプションII）にシフトすると、費用が増加するとともに、物流施設の立地が1つ変化する。企業は、この費用の増加を、環境にも配慮した方法で売上を上げることにより、費用の増加と相殺する方法を考えることが求められる。一方、企業は顧客需要にどの程度応じるか自由を選べる場合（オプション

III）、最適な費用とCO₂排出量を達成することができる。この際、オプションIIと同じネットワーク構成でありながら、CO₂排出量はオプションI及びIIよりもはるかに少ない結果となり、また、物流施設の立地は、オプションIと比べて1つ変化する。

また、サプライヤーの場所、物流施設の設備能力、アップストリーム及びダウンストリームの商品の配分も変化する。表一2に示すとおり、費用の最小化（オプションI）と企業が顧客需要にどの程度応じるか自由を選べる場合（オプションIII）を比較すると、同じサプライヤーが選定されるとともに物流施設の場所が変化する。また、物流施設の設備能力と商品の配分も変化する。次に、CO₂排出量の最小化（オプションII）と企業は顧客需要にどの程度応じるか自由を選べる場合（オプションIII）を比較すると、物流施設の場所や数、設備能力、商品の配分は同じとなるが、サプライヤーの選定に影響が生じる。つまり、持続可能性の要素を考慮することは、企業にとって、サプライチェーンの変更やそれに関連した意思決定の変更は避けられないと言える。

最後に、本研究の結果は、持続可能性を考慮したSCNDの新たな構築や再構築の際に示唆を与えるものとなるが、一定の前提条件のもとでの試算を行ったことから、一般的な示唆を与えるには至っ

ていない。また、持続可能性の社会的要素に関して、かなり簡略化した指標を用いた。今後はメーカーや物流企業の実態を踏まえた指標の設定、一社あるいはそれ以上の企業の実際のデータを活用したケース・スタディなどを行っていきたい。

■コメントの概要

SCNDとは、調達→生産→物流→販売というサプライチェーンの中で、サプライヤー、物流施設、最終消費者などを効率的に統合するための計画手法である。貿易摩擦、環境問題、大規模災害など不確実なビジネス環境に対応するために多くの企業では、持続可能性という概念を考慮したサプライチェーンの構築や再編を行うことを試みているが、SCNDの手法や知見などが不足していることが課題となっている。

こうしたことから、本研究では、持続可能性に考慮したサプライチェーンの構築や再編に資するために経済面（トータルコストの最小化）だけでなく、環境面（CO₂排出量の最小化）、社会面（販売機会損失の最小化）を目的変数とするモデルを構築し、物流施設やサプライヤーの拠点数と立地の変化、それに伴う費用やCO₂排出量の変化などについて試算した。

今回の研究は、限定的ではあるが持続可能性の観点からコスト面だけでなく、環境面、社会面といった3つの視点を考慮したモデルを構築したこと、サプライチェーンの構築に際し、3つの視点間のトレードオフ関係の存在を明らかにし、SCNDの指針を明示したことが評価できる。

一方で、今回のモデルが、限られたパラメータ設定に基づく解であることから、パラメータ設定に依存したトレードオフ関係がある可能性がある。また、多期間を考慮した需要変動への対応（未充足需要の次の期への影響、急な増産

■表一1

	Total cost (million USD)	Total CO ₂ emission (tons)	Total unsatisfied demand (million units)	Facility locations
Option I	8.734	50	N/A	F4,F5,F6, and F7
Option II	9.69	38	N/A	F1,F4,F5, and F6
Option III	6.81	32.36	1 (9.32%)	F1,F4,F5, and F6,0

■表一2

Comparison of network configuration	Location	Capacities	Allocation
Option I	<ul style="list-style-type: none"> Location of suppliers remain same Location of facilities are different 	Capacities of facilities changers	Allocation of goods both upstream and downstream changes
Option III			
Option II	<ul style="list-style-type: none"> Location of suppliers are different Location of facilities remain same 	Capacities of the facilities do not change significantly	Allocation strategies remain similar
Option III			

要請のCO₂排出量への影響等)が必要となると考える。

日本ではサプライチェーン・マネジメントは、コスト削減のための管理手法との位置づけが濃くなっている。顧客価値創造、市場動向に対する対応力強化により費用、資産削減のみならず、サプライチェーン・マネジメントを経営の柱とした



コメンテーター：鈴木定省

売上増への取組みが持続可能性の観点からも重要となる。

■質疑応答

Q モデルを構築する際、どの国のデータを用いたのか。

A 今回の研究は、ネパールの国内輸送に基づく実データや推定値を用いている。

Q 社会面に関する定義は国により異なるのではないかと。また、グローバルに拡張した場合に新たに考慮すべき要素があるのではないかと。

A 社会面に関する変数の一般的な定義は難しい。本研究における社会面

の変数の選択はネパールの状況を反映しているかもしれない。より多くのデータがあればより詳細なモデルに拡張することができる。

その他、今後のモデルの拡張の方向性（多期間を考慮、目的変数の追加）、社会面の要求を満たそうとする動機やそのステークホルダーに関する質疑が行われた。

注

1) Maharjan, R., Asakura, Y., Nakanishi, W., Wang, J.Y.T. [2019] "Integrating Sustainability in Supply Chain Network Design", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2019, Vol. 13, pp. 975-992.

(とりまとめ：マハルジャン ラジャリ、安部遼祐、深作和久)