

不確実性下におけるサプライチェーン ネットワークの強靱性解析

Resilience analysis of supply chain network under uncertainty

田中 将巳*

Masami Tanaka

*交通マネジメント工学講座 交通情報工学分野

1. はじめに (第1章)

わが国では、甚大な被害が予想される巨大地震への懸念が高まってきており、災害時におけるサプライチェーンネットワーク (Supply Chain Network: SCN) の在り方に関心が集まっている。災害による影響は、被災箇所に立地する企業だけでなく、SCN の各所に波及する可能性がある。また、災害の影響を受けた SCN の状態は、「平常→被災→復興」のように経時的に大きく変化する。

災害に強い SCN を形成するためには、上記の経時的な変化を考慮した上で、不確実性下において全体として最適な SCN の状態を把握することや、SCN の強靱性向上目標の方向性をより明確にすることは有用である。

山田と青島¹⁾は、不確実性下での複数主体からなる SCN 全体を最適化するモデルを提案しているが、不確実性に対する状況変化が、一つの確率分布で考慮されており、災害時の「平常→被災→復興」のような、SCN の状況の経時的変化を明示的に考慮していない。

本研究では、強靱性の指標である強靱度の算定方法を提案し、災害時の不確実で動的な状況変化を考慮した上で、強靱性の観点から最適な SCN を算定する手法 (強靱度の観点を取り入れた SCN 最適化モデル) を開発した。製造業者の部品調達リスクを仮定して数値計算を行った。部品調達リスクを想定しないケースとの比較等も行い、SCN の強靱性に関する基礎的な考察を行った。

2. 強靱性, 強靱度 (第1, 3章)

本研究では、地震などの不確実な外乱に対する強さの尺度として、強靱性を採用した。既往の研究より、強靱性を「外乱に対して頑健性を有し、外乱がもたらす変化に対して、性能的、及び、時間的に回復力を持ち合わせること」と定義した。図-1 に示すように、強靱性は、頑健性、時間的回復力、性能的回復力を包含する。

また、SCN の強靱性の指標である強靱度を、「多期間総余剰 (対象期間全体の生産者利潤と消費者余剰の総和)

(図-1 の着色部面積) を、「SCN の規模を表す何らかの基準量」で除したものと定義した。「被災リスクを想定しない計画で、実際に被災にしない場合の多期間総余剰」を基準量とした強靱度の SCN 最適化の計算結果を case A, 「被災リスクを想定しない計画で、実際には被災リスクがある場合の多期間総余剰」を基準量とした強靱度の

SCN 最適化の計算結果を case B とする。

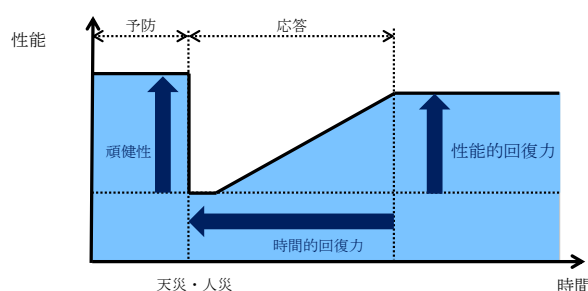


図-1 強靱性の概念図

3. 多期間 SCNE モデルと強靱度の観点を取り入れた SCN 最適化 (第2, 3章)

本研究では、モデル化の対象として、寡占的で単一の流通段階を有する多期間 SCN を想定した。SCN 上の主体は、製造業者、卸売業者、小売業者、消費市場、物流業者の5主体であり、各主体の行動には相互作用がある。

各主体が不確実性を想定せず独立して計画する場合、SCN 全体の均衡条件から、内生的に生産量、取引量、商品価格が決定される (多期間 SCNE モデル)。

不確実性を想定して定式化する SCN 最適化では、離散確率変数が含まれるため、一意的に求解することはできない。そこで本研究では、離散確率変数を含む項をその期待値に変形する。目的関数である強靱度もその期待値に変形できるため、SCN 最適化モデルは、「強靱度の期待値を最大化する SCN」を導出する期待値関数最大化問題になる。最適性条件は変分不等式により定式化できる。各変数が非負であることに着目し変分不等式を相補性問題へと変換する。相補性問題を \min 関数を用いて等価な連立方程式 $\Phi_t(X) = 0$ に変換し、この連立方程式を解くことにより、強靱度の期待値を最大化する生産量、取引量、商品価格を得る。なお、SCN 最適化や以降の計算結果において、強靱度と便宜的に呼称している関数や値の中に、被災しない場合も含まれている点に留意されたい。

生産量、取引量、商品価格から、総余剰や強靱度が計算され、各期間の被災確率を基に、その期待値が計算される。

3. 数値計算 (第4章)

図-2 に示す SCN を対象とした。計算に際して、各関数形とパラメータ値をあらかじめ定めておく必要がある。既存の研究で使用されている関数形を参考にするととも

に、国内企業の物流費用調査結果と整合するようにパラメータ値を調整した。調整の際には、記述モデルの使用が適切であることから、多期間 SCNE モデルを用いた。

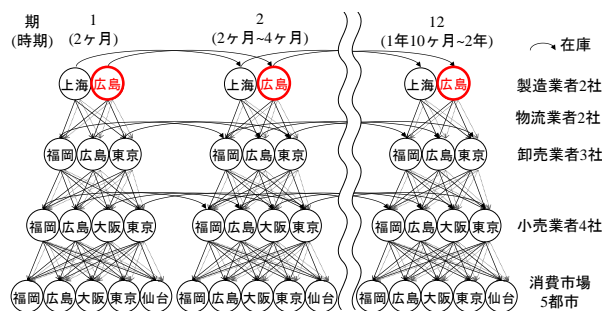


図-2 計算対象とする SCN

東日本大震災時、調達先の被災や流通網の不全により製造業者の部品調達が長期的に難航していたことから、広島に製造業者の部品調達に被災リスクが生じると仮定した。平常時、被災時、復興第1期、復興第2期、復興第3期、復興第4期、復興完了以降という7つの状態を設定し、広島の生産費用関数中の係数値をそれぞれ、1倍、11倍、9倍、7倍、5倍、3倍、1倍に変化させることで、部品調達リスクを表現した。広島が30年以内に震度5弱以上の地震で被災する確率87.3%を基に、南海地震がBPT分布、それ以外の地震がポアソン分布に従うと仮定し、マルコフ連鎖に基づき、各期の被災確率を求めた。

(1) 各モデルの計算結果

各モデルの計算結果を表-1に示す。

表-1 各モデルの計算結果

	強靱度		多期間総余剰	
	期待値	変動係数	期待値	変動係数
case SCNE	0.967	0.1125	642411	0.112
case A	0.971	0.0864	645085	0.086
case B	1.010	0.0590	644478	0.075

※case SCNE: 多期間 SCNE モデルで計画した場合の計算結果。強靱度の基準量はcase Aと同じ。

case SCNE よりも case A の方が強靱度の期待値は大きく、変動係数は小さい。また、case B の強靱度の期待値が1を超えていることから、各主体が不確実性を想定せず計画することは、強靱性の観点で望ましくないと言える。

この結果の要因として、生産量が挙げられる。case SCNE と比較して、case A と case B とともに、被災の可能性のある製造業者は減産し、被災の可能性のない製造業者は増産するのが望ましいとの結果となった。これは、被災の可能性のある製造業者の生産量が大きいと、被災による生産費用のばらつきの影響を受けやすいためである。SCN 全体として減産の影響を抑えるべく、被災の可能性のない製造業者は、生産量が増加したと考えられる。

(2) 強靱性の要素検討

強靱性を構成する頑健性、時間的回復力、性能的回復力の内、どの性能の強化が強靱性向上に効果的かを検討し

た。各性能の強化を、対応するダメージの20%低減により表現した。頑健性、時間的回復力、性能的回復力を強化し、case A と同じ SCN 最適化による計算結果をそれぞれ case A-1, A-2, A-3, case B と同じ SCN 最適化による計算結果をそれぞれ case B-1, B-2, B-3 とする。表-2 のような計算結果が得られた。

表-2 性能強化後の強靱度最適化の計算結果

	強靱度	
	期待値	変動係数
case A-1	0.9764	0.072
case A-2	0.9755	0.074
case A-3	0.9713	0.086
case B-1	1.005	0.032
case B-2	1.006	0.034
case B-3	1.009	0.055

A 群の内、case A-1 の強靱度の期待値が最も上昇し、強靱度のばらつきが最も減少した。また、B 群では全体的に強靱度の期待値が小さくなったが、これは、ダメージの低減に伴い、基準量も増加してしまったためである。なお、強靱度が最も減少していたのは case B-1 であること、また、B 群では被災を想定しない計画量を基準量に据えていることから、あらかじめ頑健性を強化しておくことで、被災リスクを想定した場合の性能と被災リスクを想定しない場合の性能が最も近づいたと言える。従って、被災リスクを想定して計画する場合など、被災リスクを負っている主体の計画量が減少傾向にある場合、頑健性の強化が強靱性の向上により寄与する可能性があることが示された。頑健性の強化施策としては、生産拠点や調達ルート多重化、災害に強いインフラの整備などが挙げられる。

4. おわりに (第5章)

本研究は、災害を始めとする不確実な外乱に対する強靱性の尺度として、強靱性を明確に定義した上で、強靱性の観点でSCN全体を最適化したことに意義がある。

数値計算から、各主体が被災リスクを想定して計画することが、SCN全体の強靱性を高めうることを定量的に確認し、最適状態を示した。最適状態においては、地震による被災の可能性のある企業は生産量を抑制し、可能性のない企業は生産量を増加させる。また、被災リスクを想定して計画する場合など、被災リスクを負っている主体の計画量が減少傾向にある場合、頑健性の強化が、SCNの強靱化により寄与する可能性があることが示唆された。

本研究の成果が、自然災害の多い我が国のSCNの強靱化に寄与することに期待する。

参考文献

1) 山田忠史, 青島一政: 不確実性下における複数主体のサプライチェーンネットワークの最適化, 土木学会論文集 D3 (土木計画学) Vo.73, No.5, 2017.