

サプライチェーン依存型企業の地震時業務停止期間短縮手法の 確率論的リスク評価

Probabilistic Risk Assessment for Evaluation of Alternatives to Minimize Business Interruption Time of Supply Chain Systems in Case of Earthquakes

○西川智¹, 福島誠一郎², 矢代晴実³

Satoru NISHIKAWA¹, Sei'ichiro FUKUSHIMA² and Harumi YASHIRO³

¹国土交通省

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

²東電設計株式会社

Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

³東京海上日動リスクコンサルティング

The Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.

In order to implement BCP (Business Continuity Plan) for supply chain dependent enterprise, there is a need for a quantitative risk analysis method to evaluate alternatives to reduce the risks of such manufacturing system. The business interruption time is a crucial factor in terms of economic loss. A model enterprise with three factories (nodes) connected through series supply chain pattern is applied in analyzing the risk. Three types of alternative options, i) provision of redundant node, ii) seismic reinforcement of critical node, iii) provision of alternative node in other locations, for decreasing the risk are proposed. The annual exceedance probability of business interruption time of these options are calculated and compared. This risk analysis method is proven to be realistic and functional.

Key Words : Business continuity plan, BCP, Supply chain, Seismic risk, Business interruption time, Risk curve

1. はじめに

2007年7月の新潟県中越沖地震では、柏崎市にある自動車部品メーカーの主力工場からの供給が停止したことにより、日本の主要自動車メーカー各社が1週間余の生産停止を余儀なくされた。これは、企業の事業継続計画(BCP)では、サプライチェーン(SC)で結ばれている他事業所の事業再開をその重要な要素としなければならないことを見せつけた実例となった。

このようなSCに依存した操業形態を有する企業の事業継続を考える上でのリスクの定量化のために、筆者らは、複数個所の立地と、それぞれの地点での被害リスクを組み合わせ、企業活動の業務停止期間(BIT)を定量的に把握し、リスク評価する手法を提案してきた¹⁾²⁾。

被災した企業の製品のユーザーから見て「待てる」期間内に製品供給の見込みがなければ、代替製品あるいは代替メーカーを探すことになる。この「待てる」期間は、製品やその市場での需給関係によって異なる。例えば1社のみが独占的に生産している製品の工場が被災した場合には、他社が同等の製品が生産可能になるまでは、ユーザーは「待たざるを得ない」ため、被災した企業は、他社をあまり意識せずに、自らの能力の範囲内での早期業務再開を目指すこととなる。他社が代替性のある製品を生産している場合には、「待てる」期間の制約は厳しくなる。2004年新潟県中越地震の際の越後製菓と岩塚製菓の場合には、1週間程度であれば小売店はブランドを尊重して売り場の棚を空けて待ってくれるが、それ以上製品再開の見通しがなければ、順次小売りの棚は他の産地の製品に置き換わってしまうことを意識し早期の業務再開を目指した。

企業にとっては、BITは極力短いことが理想である。しかしながら、どのような災害時にもBITを最短にする

ためには、社屋の耐震補強や免震、部品在庫の積み増し、ライフライン停止に備えた予備電源や非常用水槽、代替工場やバックアップオフィスの契約、等が必要となり、それぞれコストがかかる。企業経営の観点からは、自社の経営上「待てる」日数を想定し、それを目指したBITの短縮とそれに必要なコストを比較考慮して、必要な投資を行っていくことが現実的である。

2. 業務停止期間(BIT)の定量化

筆者らが提案してきた、複数拠点を有するSCのBITの確率論的リスク評価手法の概要は以下のとおりである。詳細については文献2)を参照されたい。

SCを構成する拠点が分布する地域において将来発生が考えられる膨大な数のシナリオ地震(イベント)毎に、個々の拠点の損傷確率をもとにそれぞれのBITを求め、これをSCの連結型に応じて組み合わせてSCのBITを求める。直列系では各拠点のBITの最大値を、並列系では最小値を取る。イベントに対するBITの評価の概念を図1に示す。また、提案するBITのリスク評価の手順を図2に示す。なお、リスクカーブを求める際に不確実性を考慮するため、地震動強度や建物強度等を確率変数としたモンテカルロシミュレーションを援用する。

3. 直列型サプライチェーンの脆弱性と業務停止期間短縮の対策

直列型SCは、それを構成する拠点のひとつでも停止すれば、SC全体が停止し、SC全体のリスクカーブは、常に、それを構成する個々の拠点のリスクカーブよりも大きくなるという脆弱性を持っている。この脆弱性を克服するため、いくつかの手法が想定される。

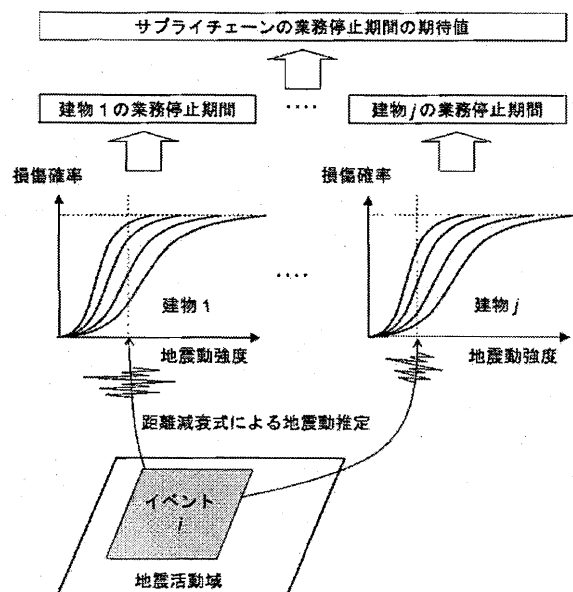


図1 業務停止期間の評価の概念

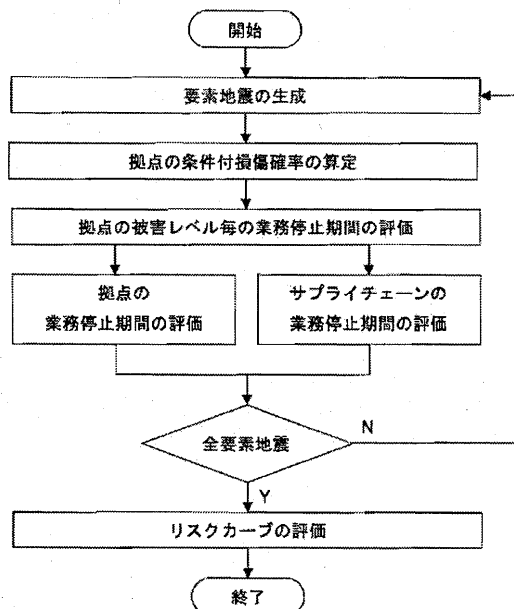


図2 業務停止期間のリスク評価の手順

(1) 脆弱な拠点の同一地点での多重化

SCを構成する拠点のうち、ひとつ、または複数をそれぞれの地点で多重化することにより、SCのリスクを低下させることが可能と考えられる。工場敷地内に既存の工場と同等の第二工場を設置すれば、企業にとっては、新しい敷地や新しい輸送ルートの確保をせずに、かつ、工場を支える間接部門を既存の工場と共有し、コストを押さえることができると考えられる。

(2) 脆弱な拠点の耐震補強

重要な生産拠点の施設や建屋を補強し、地震での被害を軽微に食い止めることが可能と考えられる。この場合も、新しい敷地や新しい輸送ルートの確保をせずに、既存の工場の関連施設をそのまま利用でき、コストを抑えることができる。他方、補強の工法によるが、工事のために操業を一時停止する必要が考えられる。

(3) 拠点の他地点への多重化

地震リスクが高い地点に拠点がある場合に、その拠点の代替施設を既存の他の拠点の場所に多重化することが考えられる。この場合、既存の他の拠点の場所を利用することにより、工場を支える間接部門や社員向け福利厚生施設を既存の工場と共有することができるという利点がある一方、輸送ルートの再構築や既存の拠点に新しい機能をもった拠点を新規に設置するためのコストは必要となると考えられる。

このほか、拠点の移転が考えられる。SCを構成する拠点のうち、地震リスクが高い地点を、地震リスクの低い新規の地点に移転することが考えられる。これは、既存の工場を廃止し新規工場を建設し、事業拠点の再構築と新規のSCを設定するという、大きなコスト負担を前提とした経営判断と考えられる。

4. 直列型サプライチェーンの設定

BITの短縮を検討する直列型SCの基本例として、3拠点からなる南関東での配置（さいたま市、横浜市、千葉市、それぞれ市役所の位置）を想定した。各拠点の耐震性能とBITについては、文献3)ならびに文献4)に従い、表1のように設定した。3拠点の直列での連結を図3に示す。地震活動域モデルについては、文献5)を用いて設定した。

表1 フラジリティ曲線の特徴値と業務停止期間

被害レベル	フラジリティ曲線の特徴値		業務停止期間 (日)
	中央値(cm/s/s)	対数標準偏差	
小破	200	0.4	3
中破	600	0.4	15
大破	1000	0.4	60
倒壊	1400	0.4	180

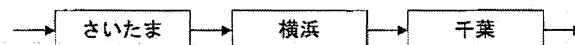


図3 直列型サプライチェーンの基本例の設定

距離減衰式については、Annaka & Yashiro⁶⁾を参照し、以下の安中式を採用した。

$$\log a = 0.61M + 0.00501h - 2.203\log(d) + 1.377 \quad (4)$$

$$d = \sqrt{\Delta^2 + 0.45h^2} + 0.22\exp(0.699M)$$

ここに、 a は最大加速度 (cm/s/s)、 Δ は震央距離 (km)、 h は震源深さ (km)、 M はマグニチュードである。距離減衰式のばらつきを表す対数標準偏差は、自然対数で0.5と設定した。

(1) 直列型サプライチェーンのリスクカーブ

図4に、直列型SCのBITのリスクカーブを示す。横軸はBITの90%非超過値を、縦軸はBITに対する年超過確率を示しており、また、同図中で太線はSCに、細線は個別の拠点に対応する。

直列型では、3つの拠点のうち1箇所が停止すればSC全体が停止する。そのため、SCのリスクカーブは、いずれの拠点のリスクカーブよりも大きくなる。各拠点のBITを見ると、横浜のリスクカーブが最も大きいことがわかる。したがって、直列型のSCの業務停止リスクを低減するためには、横浜について対策を講じることが効果的である。

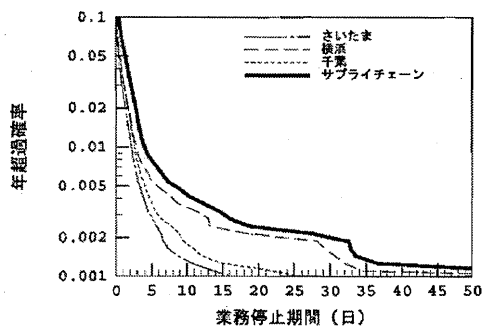


図4 業務停止期間のリスクカーブ（直列型）

5. 業務停止期間短縮のための代替手法とその効果

3章で述べた BIT 短縮のための代替手法を図5～図8のように設定する。

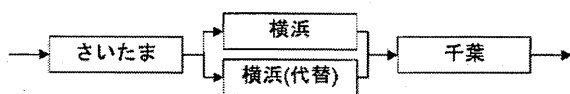


図5 横浜二重化

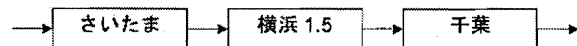


図6 横浜 1.5 倍耐震補強

横浜二重化は、既存の横浜の拠点に同等の代替拠点を新たに設置すること、1.5 倍耐震補強は、既存の施設を1.5 倍の設計地震動対応の補強を行ったものとした。

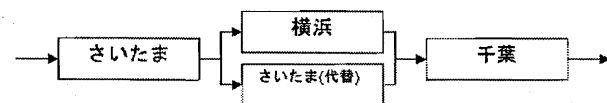


図7 横浜のさいたまへの二重化

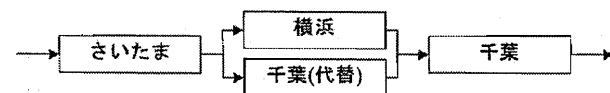


図8 横浜の千葉への二重化

横浜のさいたまへの二重化は、横浜の代替拠点をさいたまの既存拠点と同じ場所に新たに設置、横浜の千葉への二重化は、横浜の代替拠点を千葉の既存拠点と同じ場所に新たに設置するものとする。

(1) 拠点の二重化によるリスク低減

図9に横浜での二重化によるSCのBITのリスクカーブを示す。二重化により、SCのBITのリスクカーブが低下すること、特に年超過確率が小さい領域でのBITが短縮することが明らかになった。これは、横浜の同一地点での二重化であっても、単一施設があるレベルの被害を受ける確率に比べ、2つの施設が同時に同一レベルの被害を受ける確率が低くなるからである。

(2) 拠点の耐震補強によるリスク低減

図10に横浜を1.5倍に耐震補強したSCのBITのリスクカーブを示す。各拠点のリスクカーブを見ると、横浜は1.5倍の補強によりリスクカーブが低下し、さいたま

や千葉のリスクカーブに近い形になっている。この結果、SC全体のリスクカーブは大きく低下している。

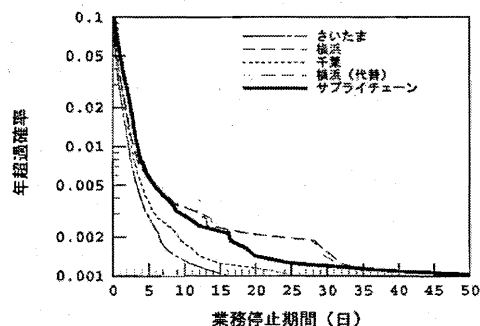


図9 横浜二重化の業務停止期間のリスクカーブ

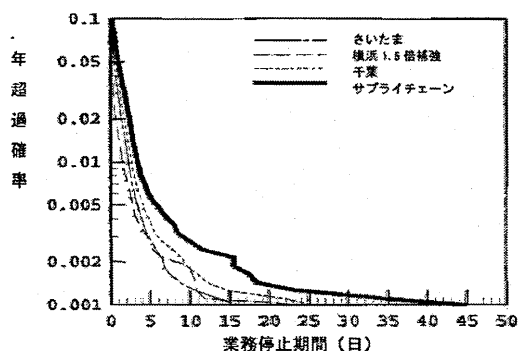


図10 横浜 1.5 倍補強の業務停止期間のリスクカーブ

(3) 拠点の他地点への多重化によるリスク低減

図11に横浜の代替拠点をさいたまに、図12に横浜の代替拠点を千葉に、設定したSCのリスクカーブを示す。いずれも図5の直列型SCのリスクカーブよりも大きく低下している。図9と図11及び図12を比較すると横浜での二重化に比べて、さいたまや千葉への代替拠点設定したSCのリスクカーブが低いことがわかり、同一地点での二重化よりも、他地点への代替拠点のほうが、BITの短縮の効果があることがわかる。図11と図12ではSCのリスクカーブに大きな差はないが、さいたまへの代替拠点設定のほうが千葉よりもリスクカーブが若干低下していることがわかる。これはさいたまが千葉よりも地震リスクが低いことによる。

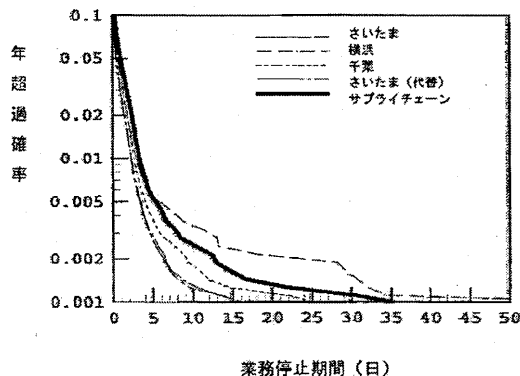


図11 横浜の代替をさいたまに置いたリスクカーブ

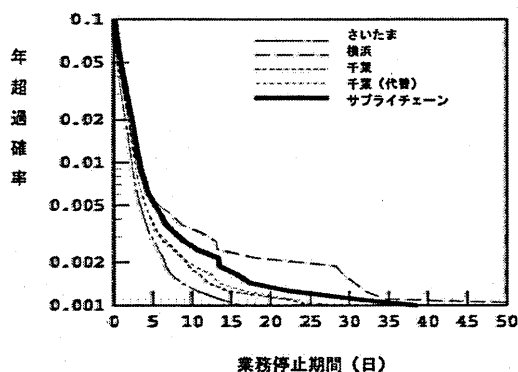


図 12 横浜の代替を千葉に置いたリスクカーブ

6. 目標とする業務停止期間と BCP への反映

以上の手法により、直列型 SC の BIT の短縮のためのいくつかの代替手段について、リスクカーブを用いてその効果を定量的に示すとともに、代替手段相互間の比較が可能であることが明らかになった。それぞれの企業にとって「待てる」期間は異なり、したがって目標とする BIT の短縮を達成するにはどの代替手段を講じれば良いか、経営者にわかりやすく提示することが必要である。そこで BIT のリスクカーブによる表現の他に、BIT を日数で区切ることにより、「この代替手段を講じれば、BIT が〇〇日を超える確率をどの程度下げる事が出来るか？」を表現する。

それぞれの代替手段により、BIT が、「3 日を超える」、「7 日を超える」、「14 日を超える」、「28 日を超える」確率が、直列型 SC との対比で、何倍になるかを図 13 に示す。

横浜の二重化は「14 日を超える」、さらに「28 日を超える」確率を低下させる効果が大いことがわかる。横浜のさいたまへの代替と、千葉への代替を比較すると、「3 日を超える」ではほぼ同じであるが、「7 日を超える」、「14 日を超える」では、さいたまのほうが有利である。横浜の 1.5 倍の耐震補強は、横浜での二重化とほぼ同等の効果がある。仮に、この企業にとっての「待てる」日数が 3 日であれば、図 13 からみて、横浜を、さいたまか千葉へ多重化することにより「業務停止期間が 3 日を超える確率を 0.7 倍に出来る。」ことがわかる。「待てる」日数が 14 日(2 週間)であれば、さいたまへの多重化が望ましい。

もし、前後の工程の制約等により、横浜の生産工程を他の場所に移すことが困難であるとすれば、横浜での耐震補強か二重化のいずれかを選択することになる。

これらの場合、それぞれの対策にかかる直接費用、耐震補強となれば現在の工場を一定期間停止させなければならないこと、二重化となればそのための十分な敷地が確保出来るかといった制約、これらを比較考慮しながら、経営者は、それぞれに要するコストを含めた比較をすることにより、どの手段を選択すべきか定量的に判断することが出来る。

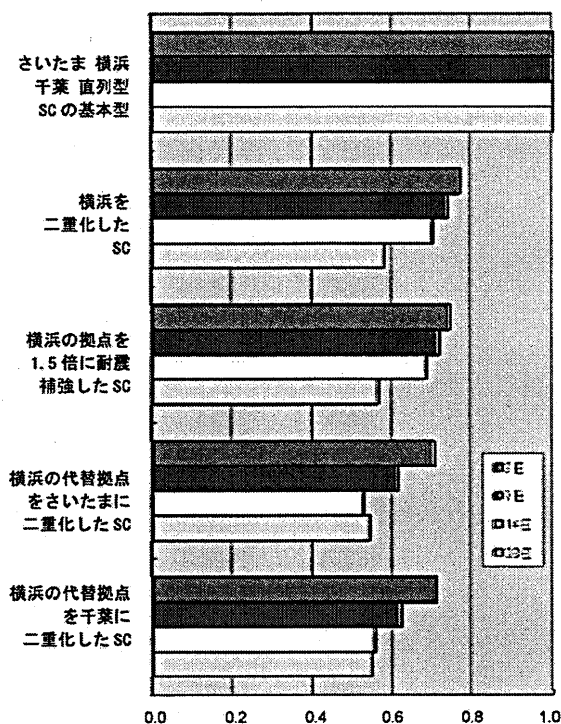


図 13 直列型 SC の業務停止期間を 1 とした場合の各代替手段の業務停止期間の年超過確率の比

7. まとめ

本研究では、SC の BIT を定量的に算出する方法を基に、直列型で連結されている SC の業務停止期間リスクを低減させる 3 種類の手法を提案し、事例に即してこれらによるリスク低下の効果を定量的に比較するとともに、企業の「待てる」日数に応じたリスクの低減効果を試算した。

これにより企業は、自社にとっての「待てる」日数を超過する業務停止期間の数量的な低下とそれに要するコストを比較考慮しての判断が可能となる。今後は、さらに代替拠点の立地条件によるリスク低下の効果等についても明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 西川智, 福島誠一郎, 矢代晴実: 事業継続 (BCP) のためのサプライチェーンのリスク分析手法の提案, 地域安全学会梗概集 No21, pp.39-42, 2007.11
- 2) 福島誠一郎, 西川智, 矢代晴実: サプライチェーンを考慮した事業停止期間の確率論的リスク評価, 地域安全学会梗概集 No22, pp.143-146, 2008.5
- 3) 福島誠一郎, 矢代晴実: 地震ポートフォリオ解析による多地点に配置された建物群のリスク評価, 日本建築学会計画系論文集, No.552, pp.169-176, 2002.2
- 4) 坂本成弘: 事業継続計画における復旧曲線の評価, 大成建設技術センター報 第 39 号, 2006
- 5) 日本建築学会編: 建築物荷重指針・同解説, 2004.9
- 6) T. Annaka and H. Yashiro: A seismic source model with temporal dependencies of large earthquake occurrence for probabilistic seismic hazard analysis in Japan, Risk Analysis, WIT PRESS, pp.233-242, 1998