

サプライチェーン寸断の影響を考慮した 地域経済ハザードマップの開発

山崎 雅人¹・倉田 和己²・仲条 仁³・曾根 好徳⁴

¹正会員 名古屋大学助教 減災連携研究センター寄附研究部門 (〒464-8601名古屋市千種区不老町)
E-mail: yamazaki.masato@nagoya-u.jp

²正会員 名古屋大学助教 減災連携研究センター寄附研究部門 (〒464-8601名古屋市千種区不老町)
E-mail: kurata@nagoya-u.jp

²正会員 株式会社ケー・シー・エス 上級コンサルタント (〒112-0002東京都文京区小石川1-1-17)
E-mail: j-chujo@kcsweb.co.jp

⁴正会員 名古屋大学教授 減災連携研究センター寄附研究部門 (〒464-8601名古屋市千種区不老町)
E-mail: sone@nagoya-u.jp

本研究では、想定される南海トラフ巨大地震の経済被害緩和にとって重要なエリアを明らかにするため、愛知県を対象に、サプライチェーン寸断の影響を考慮した地域経済ハザードマップを開発する。本研究で開発する地域経済ハザードマップは、各エリア（メッシュ）ごとに、サプライチェーン上の重要度で重みづけされた各産業の生産額と、南海トラフ巨大地震における各種地震ハザード（地震動）を対応させたものである。サプライチェーン上の重要度として、2005年愛知県産業連関表から算出したサプライチェーンの後方連関および前方連関に対する影響力係数を利用する。地震ハザードについては2012年内閣府公表被害想定を利用する。両者の対比から、愛知県内におけるサプライチェーン上重要かつ地震ハザードの大きい産業エリアを特定することを試みる。

Key Words : 工業統計メッシュ, 産業連関分析, サプライチェーン, 地震ハザード

1. 巨大自然災害と経済被害

(1) 巨大自然災害とサプライチェーンリスク

地震や津波、洪水等の自然災害のハザードは、工場の生産設備や道路等インフラを破壊し、労働者を死傷させ、産業活動を停滞させる原因となる。直接的に自然のハザードが工場等を破壊し、生産停止を引き起こす場合は多いが、特に現代では広範で複雑なサプライチェーンを経由して経済的な被害が広域におよぶこともある。ここでサプライチェーンとは、製品が消費者に届くまでの一連の工程のことであり、原材料の採掘から製品の生産、小売りまでのつながりを指す。例えば、地震動がある部品工場を破壊しサプライチェーンを寸断させるとする。すると直接被災していない工場でも、その部品が手に入らず生産ができなくなる。産業活動は直接的にも間接的にも自然災害のハザードのリスクにさらされているのである。

東日本大震災では、東日本に立地する部品・素材工場が被災し、輸送機器産業においてサプライチェーンが寸

断した。これにより輸送機器産業では全国レベルで生産が停滞した。一般に自動車1台の生産には3万点以上の部品が必要とされる。そのため極めて広範なサプライチェーンが国際レベルで形成されている。部品の中には特定の工場でしか生産できない特殊なものもあり、その工場のラインが停止すれば、完成車工場のラインも停止してしまう。東日本大震災では特殊な部品を生産するいくつかの工場が被災し、これにより地震や津波の被害を直接受けていない西日本の自動車生産が停止に追い込まれた。

輸送機器産業におけるサプライチェーン寸断を象徴する事例が「ルネサス・ショック」である。ルネサスとは、半導体製品大手のルネサスエレクトロニクスであり、同社は、2010年において、車載用マイコン（マイクロコントローラ）市場で世界トップのシェアを有している¹⁾。車載用マイコンは自動車の電子制御部品に搭載され、その部品が機能する上で欠かせない役割を果たす。東日本大震災では、ルネサスエレクトロニクスの主力工場であった茨城県的那珂工場が被災し、車載用マイコンの生産

が停止した。これによりトヨタ自動車をはじめとする国内自動車メーカー、米国 **General Motors** といった海外自動車メーカーの生産に深刻な影響を与えた。2011年3月の国内乗用車生産台数は前年同月比で57.5%の減少となっている。国内販売は前年同月比で36.9%減少し、輸出は26.3%減少した²⁾。

(2) サプライチェーンのリスクと便益

一般に、輸送費が十分に低い場合、そして規模の経済が成立する場合、1つの部品は少数の工場で生産される。規模の経済とは、生産量1単位当たりの費用である平均費用が、生産量の増大とともに低下する状態のことである。生産量とともに平均費用が低下する要因として、生産量に関係なく必要となる固定費用（例えば工場の建設費用）の存在がある。平均費用は、固定費用に、生産量に伴い変化する可変費用（例えば原材料費）を加え、それを生産量で割ったものとして定義される。生産量に対する可変費用の比率が一定である場合、生産量が増えるほど平均費用は低くなる。そのため、規模の経済が働く場合、生産シェアが相対的に大きい企業はより低価格で製品を供給でき、ますますそのシェアを拡大できる。そのため企業数は絞られてゆく。輸送費が十分に低ければ、世界中の需要に応じる事ができるため、世界シェアの大半を占めるような生産の集中も起こりえる。一般にサプライチェーンの川上に位置する産業は固定費用の割合が大きく、他業種に比べて規模の経済が働きやすい。東日本大震災では、サプライチェーンの川上に位置し、かつ世界シェアがトップレベルの企業が被災した。これにより世界レベルでのサプライチェーン寸断が生じ巨額の生産被害が生じたのである。

少数企業への生産の集中は、サプライチェーン全体にとって大きなリスクである。部品の調達先を分散することはサプライチェーンのリスクを減らすために欠かせない。一方で、少量の部品を多くの工場で生産する事は、規模の経済による利益を放棄することを意味する。多様な調達先の確保と調達費用の間にはトレードオフ構造が存在し、その中でいかにバランスをとっていくかがサプライチェーンのリスク管理にとって課題となる。

サプライチェーン寸断による経済被害の拡大を阻止しつつ、規模の経済といった経済効率性の恩恵を享受する1つの方法は、サプライチェーン上に存在するリスクをあらかじめ認識し、その上で経済の要衝を的確に自然災害のハザードから守り抜くことである。その試みの1つが以下で説明される「地域経済ハザードマップ」の作成である。

2. 地域経済ハザードマップの構想

(1) 地域経済ハザードマップの考え方

地域の任意のエリアの経済活動は、サプライチェーンを通じて他のエリアの経済活動と関連している。あるエリアで、他のエリアでの経済活動を支える重要な部品を生産している場合、重要な部品を生産しているエリアでの出荷額や付加価値額が例え小さくても、経済全体の生産活動から見た場合、そのエリアの生産活動は重要視されるべきである。また、あるエリアでの生産活動は、他のエリアから供給される部品を大量に投入しており、他のエリアの生産活動を需要の側面から支えている場合がある。多くの中間財を投入するような生産活動を担うエリアは、他のエリアの出荷額や付加価値額を間接的に影響を与える。その意味において、そうしたエリアも、例え出荷額や付加価値額が小さくても、経済全体における役割から重要視されるべきであろう。そのため、サプライチェーンまで考慮した場合、各エリアの出荷額や付加価値生産額は当該エリアの経済的重要性をそのまま反映しているわけではない。

各エリアをサプライチェーン上での役割まで考慮した上で、その重要性の分布を明らかにし、さらに地震動や津波、液状化といった自然災害のハザードマップと対応させることで、経済活動上重要かつ災害リスクの高いエリアを特定することができる。こうしたエリアには、耐震補強や土壌改良等の事業を優先的に行うべきであると勧告することが合理的であろう。またそうした重要エリアと接合する道路や鉄道、湾港の点検や補修、補強はサプライチェーンを通じた経済被害の拡大を抑えることにもつながる。本研究では、経済活動上の重要度と自然災害リスクを対応させ可視化したものを経済ハザードマップと呼び、特に都道府県や市町村等の地域レベルにまで解像度を上げたものを地域経済ハザードマップと呼ぶこととする。

(2) 平成20年工業統計メッシュデータ

地域経済ハザードマップの作成において重要な役割を果たすデータが工業統計メッシュデータである。工業統計メッシュデータは、製造業を含む全国の事業所（工場）を対象に経済産業省が毎年行っている工業統計調査によって作成されているデータである。都道府県および市区町村の行政区画単位に集計され、産業別、品目別などに事業所数や従業者数、製造品出荷額が1kmメッシュデータとして整備されている。今回は、平成24年度時点において最新の平成20年版のメッシュデータを用いた。ただし、1メッシュ内に存在する事業所数が2未満の場合、そのメッシュの年間出荷額等の合計値が、秘匿扱いとされ、データ上0とされる。これは、事業所数が1や2のメッシュの場合、年間出荷額の合計値がそのまま特定事業所のデータに一致しかねないためである。本研究では、

秘匿対象とならない事業所数または従業者数のデータに基づいて、秘匿されてしまった出荷額等の金額を按分する方法により、秘匿メッシュのデータを補完した。具体的には、秘匿されていない都道府県総計でのある産業の出荷額とメッシュ統計データの出荷額等の合計値との差分を取り、秘匿された額の合計を算出し、それを従業者数に応じて按分するものである。

(1) 後方関連指標

生産者は、サプライチェーンにおいて2種類の役割を担う。1つは、中間財の需要者である。任意の生産者の生産水準が変化すれば、その生産者に中間財を供給している生産者の生産水準も変化する。産業関連分析において、任意の生産者から見て、その生産に関わる中間財のサプライチェーンは後方関連(Backward linkage)と呼ばれている。産業関連分析の枠組みで、任意の生産者が後方関連に対してどの程度の影響力を持つかはレオンチェフ(Leontief)逆行列から計算される指標を利用して表現できる。ある地域の産業関連表を想定し、移輸入内生型のレオンチェフ逆行列を行列 L で表す。すると各産業部門の後方関連に対する相対的な重要度は以下の式(2a)で示すことができる。ただし、 i は全ての要素が1のベクトルである。式(2a)は、レオンチェフ逆行列の任意の産業についての列和を、全産業についての列和の単純平均で除した値であり、影響力係数と呼ばれている。相対的な値でありベクトル b は1を平均とし、後方関連に対する各産業の相対的な重要性を示している³⁾。

$$b = \frac{ni'L}{i'Li} \quad (2a)$$

(2) 前方関連指標

生産者は、サプライチェーンにおいて担うもう1つの役割は、中間財の供給者としての役割である。任意の生産者の生産量が増えれば、それを中間財として利用している生産者の生産水準も変化すると思われる。例えば自動車の重要部品の生産が停止し、他の部品で代替できない場合、完成車の生産も停止してしまうであろう。産業関連分析において、任意の生産者から見て、その製品の需要者のサプライチェーンは前方関連(Forward linkage)と呼ばれている。産業関連分析の枠組みで、任意の生産者が後方関連に対してどの程度の影響力を持つかは、感応度係数という形でレオンチェフ逆行列から指標を計算できるが、本研究はより前方関連指標として移輸入内生型のゴース逆行列 G から計算される指標を利用する。各産業部門の前方関連に対する相対的な重要度は以下の式(2b)で示すことができる。式(2b)は、ゴース(Ghosh)逆行列の任意の産業についての行和を、

全産業についての列和の単純平均で除した値である。相対的な値でありベクトル f は1を平均とし、前方関連に対する各産業の相対的な重要性を示している。

$$f = \frac{nGi}{i'Gi} \quad (2b)$$

3. 計算結果とその可視化

(1) 後方関連および前方関連指標の計算値

表1および表2は2005年愛知県産業関連表を用いて計算した、式(2a)で示される後方関連指標および式(2b)で示される前方関連指標の値である。実際には産業関連表の業種分類で計算しているが、工業統計メッシュの業種分類に対応させて示している。表1で示される後方関連指標を見ると、輸送用機器器具製造業が1.312と最も高い。愛知県内には大手自動車メーカーの工場および自動車部品メーカーの工場が多数立地している。自動車の生産には多数の部品が必要であり、さらにこれらの部品の生産に鉄鋼やプラスチックといった素材が必要となる。そのため自動車産業を含む輸送用機器器具製造業が高い値をとっていると考えられる。一方、前方関連指標を見ると、鉄鋼業が1.274と最も高い。これは自動車および自動車部品の生産に対し、多くの鉄鋼が素材として利用されているため、前方関連への影響が強く出ているものと考えられる。

地域経済ハザードマップでは、愛知県内の1kmメッシュで示される各工業の製品出荷額に、上記指標をかけ、メッシュごとに全ての産業を足しあげることによって、そのエリアの経済的重要性を定量化した。そのため、地域経済ハザードマップは後方関連に関するものと前方関連に関するものの2種類作成している。工業生産出荷額が大きいほどそのエリアの重要度は高くなるが、サプライチェーン上での重要度を示す後方ないし前方関連指標で重み付けしているため、必ずしも当該エリアの工業生産出荷額の大きさがそのエリアの経済的重要性を示すわけではない。

(2) 経済枢要エリアの可視化と意義

図1は出荷額の秘匿メッシュを補正した場合の全工業の各メッシュ出荷額合計である。図2は各メッシュ各工業の出荷額に対応する後方関連指標をかけ、全ての工業について足し合わせた後方関連に関する地域経済ハザードマップである。図3は各メッシュ各工業の出荷額に対応する前方関連指標をかけ、やはり全ての工業について足し合わせた前方関連に関する地域経済ハザードマップである。赤い色であるほど経済的に重要なエリアであり、青い色であるほどその逆を示す。

表-1 愛知県の各工業における後方連関指標.

産業	b
食料品製造業	0.990
飲料・たばこ・飼料製造業	0.990
繊維工業	0.926
木材・木製品製造業	0.972
家具・装備品製造業	0.972
パルプ・紙・紙加工品製造業	0.972
印刷・同関連業	0.972
化学工業	0.998
石油製品・石炭製品製造業	0.753
プラスチック製品製造業	1.045
ゴム製品製造業	1.045
なめし革・同製品・毛皮製造業	0.980
窯業・土石製品製造業	0.974
鉄鋼業	1.143
非鉄金属製造業	0.975
金属製品製造業	1.031
はん用機械器具製造業	1.031
生産用機械器具製造業	1.031
業務用機械製造業	1.031
電子部品・デバイス・電子回路製造業	1.130
電気機械器具製造業	1.070
情報通信機械器具製造業	1.114
輸送用機械器具製造業	1.312
その他の製造業	0.980

表-2 愛知県の各工業における前方連関指標.

産業	f
食料品製造業	0.737
飲料・たばこ・飼料製造業	0.737
繊維工業	0.719
木材・木製品製造業	0.930
家具・装備品製造業	0.930
パルプ・紙・紙加工品製造業	0.930
印刷・同関連業	0.930
化学工業	0.839
石油製品・石炭製品製造業	1.083
プラスチック製品製造業	1.142
ゴム製品製造業	1.142
なめし革・同製品・毛皮製造業	0.918
窯業・土石製品製造業	0.718
鉄鋼業	1.274
非鉄金属製造業	1.068
金属製品製造業	1.018
はん用機械器具製造業	0.713
生産用機械器具製造業	0.713
業務用機械製造業	0.713
電子部品・デバイス・電子回路製造業	1.150
電気機械器具製造業	0.805
情報通信機械器具製造業	0.654
輸送用機械器具製造業	0.965
その他の製造業	0.918

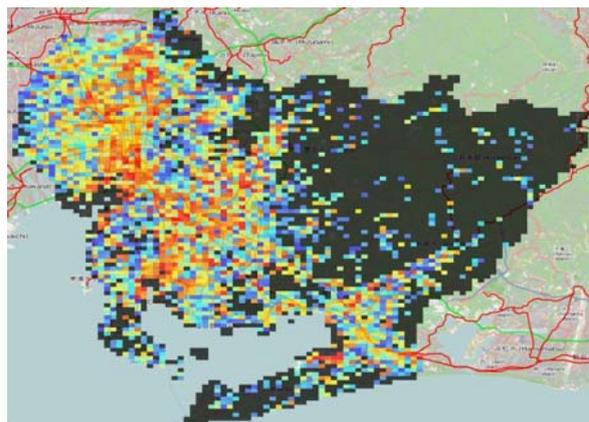


図-1 秘匿メッシュ補正のみ

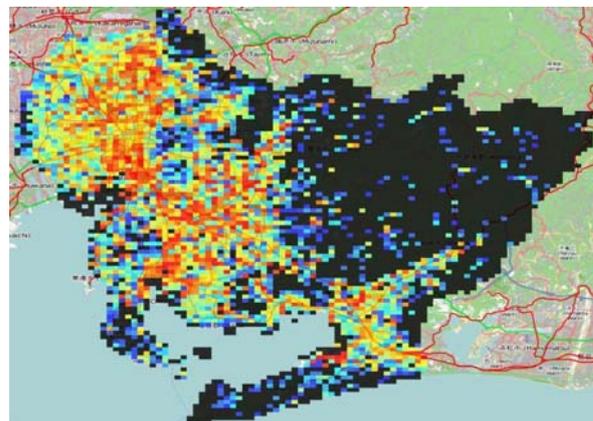


図-2 後方連関指標による重み付け

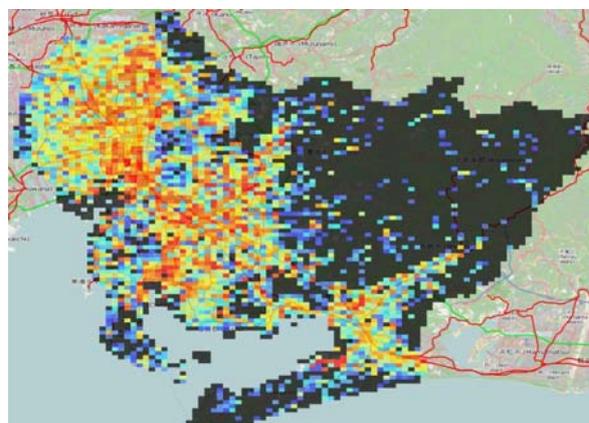


図-3 前方連関指標による重み付け

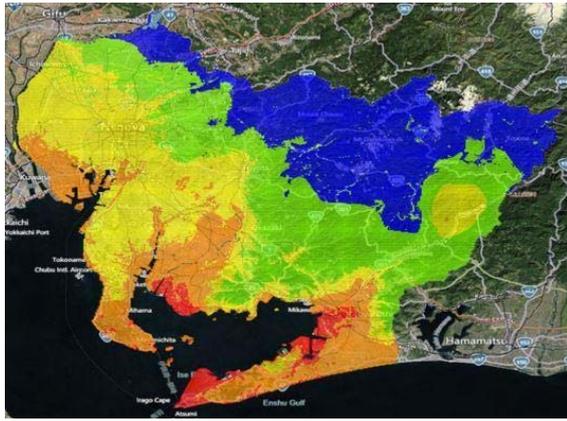


図4 南海トラフ巨大地震の地震動想定

地域経済ハザードマップから3点の経済活動枢要エリアを見出すことができる。それは名古屋市中心部および西三河、そして豊橋平野である。これらの地域では、図1の秘匿メッシュを補正したのみのマップと比べて、図2および図3ではよりわずかながらより強調されている。つまり、サプライチェーンにおいても重要な産業が立地しており、県経済全体にとっても重要なエリアとなっている。さらに2012年に内閣府中央防災会議が示した「南海トラフの巨大地震」の地震動想定と重ね合わせると、西三河および豊橋平野は経済的に重要である一方、強い揺れをうける可能性があることがわかる。これより、上記3地域に存在する工場等では耐震補強や液状化対策の事業が優先的に行われるべきであろう。工場内の生産装置等の固定化についても同様である。また、これらのエリアと接合する道路や鉄道の点検や補修、補強はサプライチェーンを通じた経済被害の拡大を抑える上で重要であり、これらも優先的に行われるべきである。

4. 今後の研究課題

最後に今後の研究課題を整理したい。まず工業統計メッシュにおける出荷額等の秘匿にどう対応するかという課題がある。現在は上述の通り、秘匿されている出荷額を従業者数で按分している。しかし、重工業で広大な工場施設が点在する地域では、ほとんどのメッシュで出荷額等が秘匿されてしまう。同業種について従業者数で按分するため重大な乖離は生じないとも考えられるが、今後、秘匿メッシュの補完方法についてもより検討が必要である。

次に、各産業の重み付けの指標についてである。図2と図3はそれぞれ後方連関と前方連関の観点から作成した経済ハザードマップであるが、両者を見比べても大きな違いを見つけることができない。今回は指標としてのわかりやすさから、式(2a)と式(2c)を採用したが表1および表2からわかる通り、数値のばらつきは決して大きく

ない。つまりウェイトの弱さが図2と図3の違いを弱くしている可能性がある。地域経済ハザードマップは各エリアをサプライチェーン上での役割まで考慮し、自然災害のハザードの分布と対応させることで、経済活動上重要かつ災害リスクの高いエリアを特定することである。そのため経済的な重要性を適切に示しつつ、重要なエリアをより具体的に特定できるような指標開発が必要である。ただし、各メッシュでは後方ないしは前方連関指標で重み付けされた全産業の出荷額が足し合わされている。メッシュによっては、後方連関の観点から重要な産業と前方連関の観点から重要な産業が近接ないしは並存する、もしくは鉄鋼業のようにどちらの観点からも重要な産業が立地している場合もあり一概に指標の問題に帰することはできない。そのため、データそのものの詳細な検討も今後必要となってくる。

次に分析地域をより広げる必要である。今回の指標作成に当たり採用したモデルでは、移輸入分は生産量に比例して調達できると仮定されている。つまり、愛知県外での生産停止等は考慮されていない。しかし、政府の想定する南海トラフの巨大地震が仮に発生した場合、非常に広域での生産停止が予想され、県外での生産停止がサプライチェーンを通じて愛知県の経済に被害をもたらす可能性は高い。または愛知県内での生産停止が他の都道府県の経済に大きな被害をもたらす可能性もある。これらの可能性を考慮するため、より広範な地域を対象とした地域間産業連関表を利用する必要がある。

参考文献

- 1) ルネサスエレクトロニクス株式会社：アニュアル・レポート 2011, ルネサスエレクトロニクス株式会社。 http://japan.renesas.com/media/ir/library/pdf/annual/2011_annual_all.pdf (2013年5月1日閲覧)
- 2) 日経産業新聞「震災で生産活動停滞 - 7社が5～6割減 -」, p3, 2011年4月26日。
- 3) Miller, E. R. and Peter, D. B. : *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*, Cambridge., 2009.