

東日本大震災による経済的連鎖寸断の推計

ー メッシュデータによるエコノミックホットスポットの計算と GIS 情報を用いた被災地域との照合による
経済的脆弱性の視覚化ー

海野俊文
清水健吾
布施尚樹

<要 約>

2011年3月11日に起こった東日本大震災による地震、津波の被害は人的資本また建造物や機械設備、インフラ、また農地など甚大な規模に及んだ。経済活動においては、サプライチェーンの寸断されてしまったことで、東北地方だけでなく、首都圏をはじめ他地域のまた多くの産業にまで、東北地方の生産減少の影響が波及した。そのような各産業の被害状況は、多く報道されてきたが、間接被害の規模を示す生産額や従業者数などに関する統計データは現段階では未だ限られている。そこで私たちは、エコノミックホットスポットの計算と GIS 情報を用いて、サプライチェーン寸断による経済的被害の推計方法を検討した。これは、オランダにおけるエコノミックホットスポットの図示と洪水による被害地域とのマッチングを行った Van der Veen.A(2005)の、エコノミックホットスポットの計算を発展させ東日本大震災のケースに応用したものである。

まず、主なデータとして国民経済計算の1つである産業連関表の分析を用いて、各産業のエコノミックホットスポット指標を計算する。このエコノミックホットスポットとは、その経済のサプライチェーンの構造を分析し、各産業の需給の依存度やサプライチェーンのネットワーク上における重要度などの観点を統合した産業の経済的重要度を計る指標である。このエコノミックホットスポットは各産業の生産規模だけでなく、サプライチェーンの中での重要度を表している。つまり、エコノミックホットスポット指数が高い産業は、災害が起きたときの被害が、より大きな影響を及ぼす危険性が高いということを表している。

次に、各産業のエコノミックホットスポット指標の視覚化をした。視覚化のためには各産業の地理情報が必要である。GIS(地理的情報システム)情報を持つ統計データであるメッシュ統計データと用いて、エコノミックホットスポット指標を地理情報と統合し、その図示を行った。エコノミックホットスポットを示す地理情報、つまりマップを地震の震度分布図、津波の浸水範囲図と照合し、東北地方において、どの産業が経済的な重要性を持ち、地理的には、どこの地域において経済的重要度が高かったのか、そして震災による被害の大きさが経済全体ではどうであったのかを分析した。

<キーワード>

産業連関分析、ネットワーク分析、GIS、

1. はじめに

東日本大震災によるサプライチェーン寸断の影響は、日本経済全体に影響を与えたことは、当時の報道等から考察できる。農作物・鮮魚なども生産に影響が水産加工品などの東北からの食品の出荷減少は著しい。また東北地方で生産された消費者へ届く最終需要としての商品ではなく、他の地域で生産される商品の原材料となる生産を東北が多く担っていたことも様々な産業商品が影響を受けた原因である。特に製造業はある商品を生産するために、いくつもの下請け会社によって生産が段階的に行われる。例えば、自動車生産をみると、震災の影響で、東北地方で生産が行われた自動車用半導体、エンジン制御の電子部品や鋼板などあらゆる製品の供給に影響がでた。その他にも、化学製品、建築資材、医療用品などの生産にも影響が出た。消費材ではテープ不足による紙オムツ、紙バック、ボトルキャップなどが減産された。

このように、災害によるサプライチェーンの寸断は経済全体に大きな影響を与える。しかし、その影響の大きさを表すフローのデータは乏しく、その規模を性格に数値で把握することは難しい。本研究では、産業連関表を用いたサプライチェーンの分析によって、1 経済における産業の重要度を示すエコノミックホットスポットを計算し、その図示を、メッシュ統計データを用いて行うことで、被災地域の地理情報と重ね合わせてフローの影響の規模の視覚化を行った。

2. エコノミックホットスポット

(1) エコノミックホットスポットとは

エコノミックホットスポットとは、特定の時間、場所において、何かしらの事物がより集中している地点のことを指す。つまり、エコノミックホットスポットとは経済的な重要度が集中している場所のことを指している。サプライチェーンを地理的な位置のかわりに、その領域としたとき、どの産業がより高いエコノミックホットスポットであるのかを考えることが出来る。では、サプライチェーンにおける経済的重要度を決める要因はいったいなんだろうか。以下の3点からその重要度を考える。

1) 依存性

産業の需給関係の間には、相互依存性がある。企業は自社の生産のために必要な製品を他の企業から購入している。このとき、その企業と取引先の企業に依存関係が成り立っている。例えば、ある企業が自社の生産のためにより多くの製品をより多くの企業から購入をしているとき、需要者としての他の企業に対する依存度が高い。逆に、企業は生産する製品を家計でなく、他の企業へ供給していることがある。このとき企業は、取引相手がいなければ生産が出来ず、この場合にも依存関係が成り立っている。ある企業が例えばもっぱら家庭用電気機械器具を生産するメーカーは、製品は家計によって消費されるので、供給者としての他の企業への依存度は低い。このような依存度は、産業連関表の連関性を分析することで、計算することが出来る。

2) 中心性

中心性とはネットワーク分析において、ネットワークをある尺度でみたときにより中心的な位置はどこかを計る尺度である。サプライチェーンを1つのネットワークとしてみたとき、その特徴は、貨幣また製品のフローは、直接取引のない企業間にも重要な間接的関係を持つ場合があり、さらにそのフローの流れはインタラクティブであるということである。わたしたちの定義するところの中心性とはフローが通る企業間の取引の多さに着目したものである。他の中心性の尺度は Tallberg (2000)を参照。

3) 冗長性

ある産業は、取引関係にあった産業で何かしらのサプライショックがおきたとき、その影響を回避するためにその産業との取引を一時的に中断したり、他の産業と取引を代替的に行ったりする。例えば、原材料となる資源の投入が困難になった化学素材メーカーがあったとする。その化学素材を製品の材料として購入していた企業は、自社の生産量を満たすために同じ素材を生産する化学素材メーカーから投入を代替的に行うか、もしくは他の素材を代替的に使用するなどして対処しなくてはならない。このようにある産業の生産活動には、生産の代替性や生産を遅らせることができるかどうかという観点で、冗長性を持っている。冗長性が低い産業の生産停止は、他の企業への影響がより大きくなる。

以上の3つの尺度からサプライチェーンを評価しエコノミックホットスポットを決定する。ただし、3番目の冗長性の計算はデータの制約上割愛している。実際に冗長性を計算するためのデータは、FEMA(1999)において、一定期間の間隔でハリケーンが起きる地域では、産業の生産移転や代替性のデータを集計している。ここにあげられるエコノミックホットスポットを決定する観点は、ネットワークの中での1つの産業がどれだけ重要かを量るものである。つまり、単に被災地域のフローの減額だけでは計ることのできないその地域の産業の重要度を示すことが出来る。本論文の目的は、エコノミックホットスポットと被災地域を重ね合わせることで、ある地域の経済脆弱性を計ることである。エコノミックホットスポットの各指標が示す経済的な重要度の尺度は、災害を想定した場合に、どのような影響を与えるかを考える尺度として示すことが私たちの関心することである。以下に、各指標の詳しい計算方法と、災害時における影響の尺度について説明する。

(2) 依存性

1) 産業連関表

産業の関係性を示す勘定として国民経済計算の1つに産業連関表がある。産業連関表を使えば、産業部門同士の需要と供給の関係を鑑み、産業間の関係性について分析することが出来る。産業連関表は一国の実物面の経済活動を国内で生産される商品の投入構造と需要構造(産出構造)の両面から捉え、生産部門間の相互依存の姿を体系的に記述する。産業連関表の規模は全国

を1 経済体として計算された全国表だけでなく、各行政地区が都道府県表や市表を作成している場合もある。表 1 は、2 部門で構成された産業連関表の構造を表している。産業連関表についての基礎知識、見方・集計方法は環太平洋産業連関学会編(2010)を参照のこと。

表 1:2 部門産業連関表の構造

| (単位：億円) | | 中間需要 | | 最終需要 | 生産額 |
|---------|------|------|------|------|-----|
| | | 産業 1 | 産業 2 | | |
| 中間投入 | 産業 1 | 40 | 120 | 140 | 300 |
| | 産業 2 | 50 | 190 | 160 | 400 |
| 粗付加価値 | | 210 | 90 | | |
| 生産額 | | 300 | 400 | | |

産業連関表は生産者価格表、数量表、投入係数表など、投入部門と産出部門の取引関係を表す要素単位が複数存在する。産業連関表の各列は、その産業が商品を生産するに際しての投入構造を表しており、その構造は、その商品の生産技術の特性を反映していると考えられる。産業連関表の創始者であるレオンチェフの分析枠組みでは、産業部門における各商品の生産技術を中間原材料や生産要素の原単位-ある産業 j の生産物 1 単位の生産に必要な産業部門 i の生産物の量を示す投入係数 a_{ij} —で捉える。すなわち、投入係数が与えられたとき、産業部門 j が生産量 X_j を生産するのに必要な産業部門 j の生産物の量 x_{ij} は、

$$x_{ij} = a_{ij}X_j \quad (1)$$

で計算することができる。産業部門 j が必要な n 種類の商品の全てについて投入係数を並べた

$$a_j = \begin{pmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \vdots \\ a_{nj} \end{pmatrix} \quad (2)$$

を産業 j の投入係数ベクトルという。この投入係数ベクトルを経済におけるすべての n 産業について集めた行列で表したものが投入係数行列という。

$$\mathbf{A} = (a_1 \cdots a_n) = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

一般に、商品の生産量と最終需要を

$$x = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}, f = \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

としたとき、投入係数行列を用いた経済は、

$$x - \mathbf{A}x = f \quad (5)$$

と表すことが出来る。環太平洋産業連関分析学会編(2010)には簡略化された経済を用いた詳細な説明が記載されているので、参照のこと。投入係数行列から、最終需要 f が与えられたときの(5)を満たす生産量 x は、

$$x = f + \mathbf{A}f + \mathbf{A}^2f + \mathbf{A}^3f + \cdots = (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \cdots) \quad (6)$$

という無限の生産波及の連鎖を辿った結果として書くことができる。(4)のカッコの中は、ソローの条件を満たすとき、 $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ に収束することが知られている。すなわち、最終需要 f が与えられたとき、経済全体で生産しなければならない究極の生産量 x は、

$$x = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}f \quad (7)$$

で与えられる。 $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ は産業連関分析の創始者に因んでレオンチェフ行列とよぶ。このレオンチェフ逆行列によって表されたレオンチェフ逆行列表は、生産部門間の全ての直接及び間接の波及効果を遡及した分析上重要な意味を持つ。これは経済全体の生産量が、各部門の最終需要が1単位増加した時の他の部門が満たすべき追加的需要をすべて足し合わせることによって表現しているからである。レオンチェフ逆行列について詳細は環太平洋産業連関分析学会編(2010)を参照のこと。

2) 影響度係数(後方連関)

レオンチェフ逆行列の各列の数値は、その列部門における最終需要が1単位だけ増加した場合に、各行部門が直接間接に生産しなければならない量を示している。レオンチェフ逆行列の列和は、その列部門に対する最終需要1単位の増加によって誘発される他部門への生産波及、つまり他部門への影響の大きさを示していることになる。この影響力の絶対的な大きさを他の部門との比較を容易にするために、各部門の列和を全部門の列和全体の平均値で除した比を求める。その比は、特定の列部門に対する最終需要の1単位の増加があったとき、産業全体の生産に波及する影響力

が相対的にどの程度大きいかを示す、一つの指標になる。これを影響力係数と呼んでいる。

$$j\text{部門の影響度係数} = \frac{\sum_i z_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_i \sum_j z_{ij}} \quad (8)$$

影響力係数の大きさは、ある部門の最終需要の増加が、産業全体にどの程度の生産波及を直接間接にもたらすかをしめす指標であり、各部門間の連関性を示す指標のうち後方連関を示している。では、この後方連関性は災害に面したときどのような尺度でその影響を評価しているのだろうか。後方連関性は、投入量の大きさと投入先となる部門の数に、経済全体への生産波及効果を加味した上で決定される。災害を想定したときに、より後方連関性が高い産業は、より多くの投入を多くの産業からしていたので、そのような産業が被害を受けたとき、その産業へ製品を供給していた産業にフローの影響が波及するということである。たとえば、多くの部品を材料として投入していた自動車メーカーが災害にあい、生産が減少すると、その部品を生産していた多くの企業が自動車の減産に伴い、部品の減産を余儀なくされ、自動車メーカーから波及した間接被害を被ることになる。

3) 感応度係数(後方連関)

逆行列係数の各行の係数は、すべての最終需要に等しく1単位の最終需要の増加があったとき、その行部門において必要とされる直接間接の供給量の波及合計を示している。影響力係数と同様に各部門の行和をすべての部門の行和の平均値で除した比は、各列部門共通に1単位の最終需要の増加があった場合、どの行部門が相対的に大きな影響を受けるかを示している。これを各部門の生産波及における影響を受ける度合いを示す指標として感応度係数と呼ぶ。

$$i\text{部門の感応度係数} = \frac{\sum_j z_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_i \sum_j z_{ij}} \quad (9)$$

感応度係数の大きさは、その財・サービスの特性から、他の部門の中間財として多く供給している部門ほど、感応度は高くなる。感応度係数は各部門間の連関性を示す指標のうち前方連関を示している。つまり、前方連関性が高い産業が受ける被害は、その産業が生産していた製品を投入していた産業に大きく波及する。製鉄産業は、多くの産業へと製品となる鉄を供給しているため、前方連関性が高い。よって、製鉄メーカーが災害に遭い、鉄を生産できなくなってしまうとそれを材料としていた工業製品メーカーなどは材料を調達できなくなり生産が出来なくなってしまう。このように前方連関性の高さは、その産業の供給先への災害時の影響の大きさを示している。

4) Hypothetical extraction (仮想的抽出法)

感応度係数は、実際の最終需要構成を無視して、すべての部門に共通に1単位ずつの最終需要が生じることを仮定しており、前方連関指標としては不適切ではないかとの批判もある。このような批判を受けて、ある部門が存在しない状態と存在する状態を比較することによって、その部門の影響の程度を評価する仮想的抽出法(hypothetical extraction method)が連関性指標の1つとして提示されている。hypothetical extraction を用いた分析は、特定のj部門が経済から削除されたらと仮

定し、 j 部門を失った経済の総生産量の変化をみることで、 j 部門のその経済における重要度を評価することである。投入行列 \mathbf{A} から、 j 列と j 行を削除することで、 j 部門がなくなったと仮定する経済をモデル化する。そのとき、部門 j を失った $(n-1) \times (n-1)$ の投入行列を $\bar{\mathbf{A}}_{-j}$ 、それに伴う最終需要を $\bar{\mathbf{f}}_{-j}$ とすると、部門 j を失った経済は

$$\bar{\mathbf{x}}_{-j} = (\mathbf{I} - \bar{\mathbf{A}}_{-j})^{-1} \bar{\mathbf{f}}_{-j} \quad (10)$$

と表すことができる。もともとの経済は、 $\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{f}$ であるから、 j 部門を失ったことによる経済全体の損失は、

$$\bar{\mathbf{T}}_{-j} = \mathbf{i}'\mathbf{x} - \mathbf{i}'\bar{\mathbf{x}}_{-j} \quad (11)$$

である。 \mathbf{i}' は行の単位ベクトルである。よって $\mathbf{i}'\mathbf{x}$ は \mathbf{x} の各行の列和からなる行ベクトルを意味するが、 \mathbf{x} は各部門の生産量を表す列ベクトルであるから、 $\mathbf{i}'\mathbf{x}$ は総生産量を表している。この計上は、 j 部門の重要性、もしくは j 部門の全連関を意味する。 j 部門を失ったことによる生産量の変化を比較するために、 $\mathbf{i}'\mathbf{x}$ から、 j 部門の生産量 x_j を除く。よって、(11)の右辺から x_j を除いた、 $(\mathbf{i}'\mathbf{x} - x_j) - \mathbf{i}'\bar{\mathbf{x}}_{-j}$ が i 部門の残された経済に対する重要性である。これを総生産量 $\mathbf{i}'\mathbf{x}$ を除いて一般化した

$$\bar{\mathbf{T}}_{-j} = \frac{\mathbf{i}'\mathbf{x} - \mathbf{i}'\bar{\mathbf{x}}_{-j}}{\mathbf{i}'\mathbf{x}} \quad (12)$$

を hypothetical extraction による部門評価数値とする。Hypothetical extraction の数値の高さは、その意味通り、その産業が失われてしまったときに経済全体へ与える影響の大きさを示している。つまりある産業が災害によって被害を受けたことによる経済全体への影響の大きさを表している。産業連関分析の連関性に関する詳しい内容は環太平洋産業連関分析学会編(2010)、Miller and Blair(2009)を参照のこと。

(3) 中心性

1) ネットワーク分析

ネットワーク分析とは、さまざまな対象における構成要素間の関係構造を探る研究方法である。その対象となるネットワークは、人間関係などの社会ネットワーク、インターネットなどのコンピュータ・ネットワーク、食物連鎖などの生物ネットワークなどあらゆる分野に及ぶ。ネットワーク分析では、対象となる関係構造を点と線から構成される構造に抽象化する。その点と線の集合として抽象化したものをグラフと呼ぶ。このようなグラフを扱うことを数学的にはグラフ理論とよぶ。グラフ理論、ネットワーク分析において、グラフがもつ点を頂点、線を辺と呼ぶ。つまり、グラフは、頂点の集合と辺の集合から定義される。

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \quad (13)$$

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\} \quad (14)$$

$$G = (V, E) \quad (15)$$

(13)と(14)が、それぞれ頂点、辺の集合であり、(15)が頂点と辺の集合からなるグラフを定義し

ている。グラフには、頂点と頂点を結ぶ辺に向きがあるかないかによって、有向グラフと無向グラフに区別される。

「同級生」を関係ネットワークとして考えたら、ある頂点から他のある頂点に辺があるとき、つまり、AさんがBさんと同級生であるとき、その逆の関係も必ず成り立つ（BさんはAさんと同級生）。そのときの同級生を表すグラフは、常に双方向もしくは向きがないと考える。

「好意」を関係ネットワークとしたとき、AさんがBさんに好意をもつとき、必ずしもBさんがAさんに好意を持つとは限らない。よって、関係には向きがあり、グラフは有向グラフになる。ネットワーク分析では、グラフを隣接行列によって表現することで、演算を行う。隣接行列はグラフにおける頂点間の関係の有無を行列で表現したもので、 n 個の頂点から成るグラフの隣接行列 B は $n \times n$ の正方行列になる。つまり、頂点 i から頂点 j に辺が引かれるとき、隣接行列の i 行 j に1の値が入り、辺がないときに0の値が入るということである。無向グラフの場合、頂点 i から頂点 j への辺があれば、頂点 j から頂点 i への辺も必ずあるので、隣接行列は対称行列となる。ネットワーク分析の概要は鈴木(2009)、Ulrik(2005)を参照。

2) ネットワークとしての産業連関表

ネットワーク理論に基づいて、産業連関表を隣接行列として用いるとき、以下の特徴があげられる。

1. 産業連関表の中間部門にのみ注目し、各中間部門をネットワークの隣接行列における各頂点とする。中間部門の投入産出量（額）は企業間のみ財・サービスの売買を記録しているので、これは生産過程で必要な投入としてただちに消費されるものだけを表している。
2. 頂点である1つの部門は投入部門と供給部門の2つの役割を持ち、それはフローの方向を表している。よって、部門間のフローである辺には向きがあり、隣接行列は有向グラフとして扱う。
3. 各中間部門間の投入産出量が、ネットワークに各頂点のウェイトを表している。
4. あるネットワークの全ての頂点が直接、間接に連結し、他のネットワークとの結びつきがないとき、そのネットワークは1つの閉鎖型ネットワークと言える。産業連関表の中間部門は実際には最終需要（家計、輸出入）との結びつきがあるネットワークである。しかし、中心性の計測の範囲は産業連関表の範囲である1経済に限定し、その範囲内における各部門の中心性を計算することとする。

ネットワーク理論を用いた産業連関分析に関しては、Duchin(2010)、Newman(2005)を参照のこと。

3) 遷移行列としての産業連関表

産業連関表の中間部門は1経済の財のフローを記録している。各部門の投入産出量は、その部門に含まれる個々の売買すべてを統合した統計データである。産業連関表を確率的に供給先が決定される遷移行列として扱う分析が先行研究で行われてきた。Duchin(2010)では、産業連関表を吸収マルコフチェーンとして表現し、資源の循環分析を行っている。産業連関表を遷移行列として

扱うために、産業連関表を行和で一般化し、各行部門の供給量を他の部門への供給の遷移確率として表現する。産業連関表のネットワークを表す $n \times n$ の隣接行列を要素 (i, j) の i から j のウェイト b_{ij} とするとき、 $B = (b_{ij})$ とする。ウェイト b_{ij} は、各行部門の生産量に占める割合で表された産出係数行列ゴーシュモデルである。これを用いることで、 $0 \leq b_{ij} < 1$ の各要素が供給先への遷移確率を示す行列として産業連関表を扱うことができる。 i の供給先として隣接する部門の集合は、 $N(i) = \{j | (i, j) \in E\}$ とする。Florian(2011)では、遷移行列としての産業連関表を用いて以下に説明する2つの中心性を提示している。この中心性は、それぞれの観点で、何かしらの経済的な衝撃に対する各部門の反応を数量化して計算している。

4) Random walk centrality

中心性の1つめの観点は、各部門間のフローの動きがどれだけ速いかに注目し、他部門との距離が近いほど、その部門はより重要であると解釈することである。つまり、中心性が高いほど、経済的ショックがその部門により速く、容易にたどり着くということである。他部門との距離は、MFPT(Mean first passage times)を計算し、各部門間の平均最短距離を測っている。ここで言う距離とは、遷移行列で、2部門間の直接フローを1ステップとして、目的の部門の間で、確率的に決まるどの部門へ移動するかどうかの選択を足し上げたものである。よって、MFPT $H(s, t)$ は、ランダムウォークが部門 s から始まり t へたどり着くまでの最短距離の期待ステップ数である。数式で表すと、

$$H(s, t) = \sum_{r=1}^{\infty} r P(s \xrightarrow{r} t) \quad (16)$$

となる。ここで、 $P(s \xrightarrow{r} t)$ とは、 s から t にちょうど r ステップでたどり着く確率のことである。すべての部門から対象となる部門への MFPT を計算し、その合計を部門数で割った逆数と Random walk centrality とする。よって、

$$Crw(i) = \frac{n}{\sum_{j \in V} H(j, i)} \quad (17)$$

から、部門 i の Random walk centrality を計算できる。詳しい計算過程は、Florian(2011)を参照のこと。

5) Counting betweenness centrality

2つめの観点は、あらゆる部門間のフローの循環のなかで、どれだけそのフローが頻繁に通る産業であるかどうかということである。つまり、より多くの産業間の行き来の中で、フローを仲介している産業は中心性が高い。Counting betweenness centrality は、

$$Cc(i) = \frac{\sum_{s \in V} \sum_{t \in (V - \{s\})} N^{st}(i)}{n(n-1)} \quad (18)$$

$N^{st}(i)$ は部門 s から t に、また t から s に初めてたどり着くまでに、部門 i を通る期待値であり、右辺の分子は、隣接行列のすべての2つの部門間の行き来で、 i を通る期待値であり、それを一般化したものを Counting betweenness centrality とする。Counting betweenness centrality の計算方法は Florian(2011)、Newman(2005)を参照のこと。この Counting betweenness centrality はサプライチェーンの中での産業の媒介性を計算している。より高い媒介性を持つ産業の生産が停止してしまうことは、より多くの産業間のフローに影響があることを意味している。よって、媒介性の高い産業の災害による被害は、より大きな被害を他の産業へと波及させる可能性がある。

(4) 計算結果

全国産業連関表と宮城県産業連関表について評価分析することで、宮城県産業の特徴について調べるとともに、各指標の妥当性について調べた。平成17年全国産業連関表は列部門520、行部門407部門によって構成されている。一方宮城県表は行列ともに110部門によって構成されている。各部門の比較を行うためには、各表が同部門数である必要がある。宮城県表の構成は、全国表の分類による部門を広義の部門へ分類し直したものである。よって、部門数の多い全国産業連関表をより少ない部門数の宮城県産業連関表の部門数に合わせて再集計し、列部門、行部門ともに部門数110の産業連関表に集計した。

表:2 各指標の計算結果(全国表)

| 全 国 | 後方連関性 | 前方連関性 | He | Crw | Cc |
|--------|----------|-------------------|--------------|----------|-------------|
| 1 | 乗用車 | 銑鉄・粗鋼 | 卸売 | 鋼材 | 医療・保健 |
| 2 | その他の自動車 | 金属鉱物 | 金融・保険 | 銑鉄・粗鋼 | その他の自動車 |
| 3 | 事務用品 | パルプ・紙・板紙・加工紙 | その他の自動車 | その他の自動車 | その他の食料品 |
| 4 | その他の鉄鋼製品 | 石炭製品 | その他の対事業所サービス | 卸売 | 特殊産業機械 |
| 5 | と畜・畜産食料品 | 石炭・原油・天然ガス | 乗用車 | 広告 | 飲料 |
| 6 | 鋼材 | 石油化学基礎製品 | 建築 | 自動車・機械修理 | 自動車・機械修理 |
| 7 | 自家輸送 | 再生資源回収・加工処理 | 医療・保健 | 金融・保険 | 卸売 |
| 8 | 有機化学工業製品 | 化学肥料 | 小売 | プラスチック製品 | と畜・畜産食料品 |
| 9 | 船舶・同修理 | インターネット 付随サービス | 自家輸送 | 化学最終製品 | 電子計算機・同付属装置 |
| 10 | 事務用・サービ | 飼料・有機質肥 | 自動車・機械修理 | 有機化学工業 | 金融・保険 |

| | | | | | |
|----|--------------|-----------|----------|--------------|--------------|
| | ス用機器 | 料(除別掲) | | 製品 | |
| 11 | 合成樹脂・化学繊維 | 印刷・製版・製本 | 鋼材 | 自家輸送 | 公務 |
| 12 | 精穀・製粉 | その他の鉄鋼製品 | 化学最終製品 | 電力 | 小売 |
| 13 | 畜産 | 無機化学工業製品 | 研究 | 研究 | 自家輸送 |
| 14 | プラスチック製品 | 非鉄金属製錬・精製 | 電力 | その他の電子部品 | 水産食料品 |
| 15 | 建設・建築用金属製品 | 放送 | 広告 | 建設補修 | 一般産業機械 |
| 16 | 通信機械・同関連機器 | 広告 | 飲食店 | パルプ・紙・板紙・加工紙 | 化学最終製品 |
| 17 | 広告 | 鋳鍛造品 | 建設補修 | 合成樹脂・化学繊維 | 広告 |
| 18 | 民生用電気機器 | 鋼材 | 情報サービス | 映像・文字情報制作 | 通信 |
| 19 | その他の電子部品 | 映像・文字情報制作 | 物品賃貸サービス | 非鉄金属加工製品 | 畜産 |
| 20 | パルプ・紙・板紙・加工紙 | 物品賃貸サービス | 公務 | 畜産 | その他の対事業所サービス |

表 3:各指標の計算結果（宮城県表）

| 宮城 | 後方関連性 | 前方関連性 | He | Crw | Cc |
|----|-------------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 広告 | 放送 インターネット | 金融・保険 | 広告 | 医療・保健 |
| 2 | 非金属鉱物 | 附随サービス | 卸売 その他の対事業所サービス | 金融・保険 | 水産食料品 |
| 3 | 精穀・製粉 | 広告 | 卸売 | 卸売 | その他の食料品 と畜・畜産食料品 |
| 4 | 自家輸送 | 事務用品 | 自家輸送 | 自家輸送 | 飼料・有機質肥料(除別掲) |
| 5 | インターネット 附随サービス | 自動車・機械修理 | 小売 物品賃貸サービス | 放送 その他の対事業所サービス | 畜産 |
| 6 | 畜産 と畜・畜産食料品 | 農業サービス | 自動車・機械修理 | 電力 | 漁業 |
| 7 | | 自家輸送 | 通信 | 自動車・機械修理 | 卸売 自動車・機械修理 |
| 8 | 放送 | 映像・文字情報制作 | 通信 | 電力 | 卸売 自動車・機械修理 |
| 9 | 航空輸送 | 建設補修 | 電力 | 通信 | 卸売 自動車・機械修理 |
| 10 | セメント・セメント製品 | 不動産仲介及び賃貸 | 研究 | 研究 | 公務 その他の電子部品 |
| 11 | 水道 | 金融・保険 | 公務 | 小売 | パルプ・紙・板紙・加工紙 |
| 12 | 飼料・有機質肥料(除別掲) | その他の対事業所サービス | 広告 | 米 | パルプ・紙・板紙・加工紙 |

| | | | | | |
|----|----------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| 13 | 水運 無機化学工業製 品 | 物品賃貸サービ ス | 建築 不動産仲介及び 賃貸 | 公務 物品賃貸サービ ス | 電子計算機・同 付属装置 金融・保険 |
| 14 | 映像・文字情報 制作 | 非金属鉱物 | 道路輸送(除自 家輸送) | 映像・文字情報 制作 | 飲料 |
| 15 | パルプ・紙・板 紙・加工紙 | 石炭製品 | | インターネット 附随サービス | 小売 通信 |
| 16 | 金融・保険 物品賃貸サービ ス | 電力 研究 | 医療・保健 建設補修 | 事務用品 不動産仲介及び 賃貸 | 自家輸送 通信機械・同関 連機器 |
| 17 | その他の食料品 その他の窯業・ 土石製品 | 廃棄物処理 非鉄金属製錬・ 精製 | 公共事業 情報サービス | 農業サービス | その他の対事業 所サービス |
| 18 | | 合成樹脂・化学 繊維 | 住宅賃貸料(帰 属家賃) | 畜産 | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |

計算結果より、関連性の高い産業を見ると、全国表の後方関連性の1位の乗用車部門、前方関連性の1位の鉄鉄・粗鋼をはじめ、高度経済成長期以降の主たる産業である重工業が、現在もその重要度が高いことがわかる。一方、宮城県表の関連性を比較すると、製造業よりも、広告部門やインターネット附随サービス、放送部門などが上位になっている。これは、県外からの輸入を差し引いた閉鎖経済における関連性を計算しているため、実際の県内の製造業の生産規模に対して関連性は相対的に低くなっている。一方輸入による投入の少ない部門がより関連性が高まっている。と解釈できる。中心性の順位見ると、関連性の順位と比較すると、関連性のどれかの指標で順位の高い部門が中心性でも高い順位になっている。明らかに異なる点は、**Counting betweenness centrality**の1位が、医療・保健部門であるということである。医療・保健部門の生産規模は他に比べたら少なく、取引の大半も自部門投入である。このような部門が1位になることは本来の中心性の解釈と矛盾する。考えられうる原因は、**Counting betweenness**の定義から、その点の中心性は他の部門間のフローの間に位置する度合いで決まる。つまり、産業関連表が、その数学的な構造上、医療・保健部門を介して複数のクラスターにわかれているか、特定の部門へのフローには必ず医療・保健部門を通る。というようなネットワークになっている可能性が高いということである。この点に関しては、ネットワーク分析や、産業関連表におけるクラスターに関する研究を進めていきたい。

3. GIS 情報の図示

地理情報システム（GIS : Geographic Information System）は、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である。詳しくは、国土交通省国土地理院 HP を参照。マッピングのツールには Esri 社の ArcMap software を用いた。

1) エコノミックホットスポットの図示

統計情報を図示するためには地域メッシュ統計データを用いる。地域メッシュとは、統計に利用するために、緯度・経度に基づいて地域をほぼ同じ大きさの網の目（メッシュ）に分けたものである。メッシュを識別するためのコードを地域メッシュコードと言う。3次メッシュは1kmメッシュを表している。

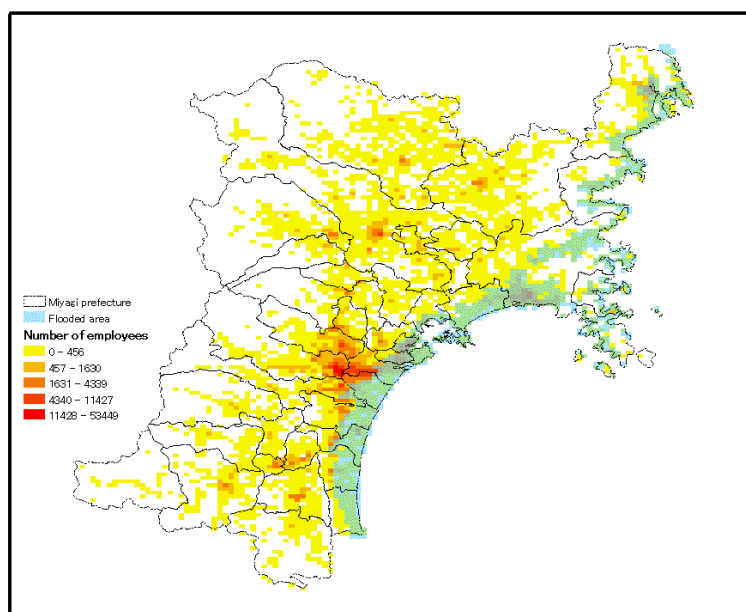


図 1:従業員数分布図と浸水地域とのオーバーレイ(宮城県)

図 1,2 は、それぞれ宮城県、石巻市の範囲における従業員数（平成 18 年事業所企業統計集計）分布図と、東日本大震災における浸水範囲地域をメッシュデータで図示し、重ね合わせたものである。メッシュデータを用いれば図のように、市区町村より細かい単位で、統計データを図示することができる。統計局の集計表では、浸水地域にかかる事業所数は市区町村別の総数と割合しか記載されていない。しかし、石巻市の図を見ると、海沿いに市内の従業員数が集中しており、浸水地域とその集中している地域が重なっていることが知ることができる。このように GIS からは、集計表では数字でしか理解できないことを地理情報と統合することで、他の要素をさらに詳細に分析することができる。表(4)は、統計局が行った平成 21 年度経済センサスに基づく津波による浸水地域にかかる事業所、従業員数のデータと、平成 18 年度事業所企業統計に基づく GIS 情報から集計したデータの比較をした表であり、時間的差異と集計方法によるデータの差異はさほどないことが確認された。

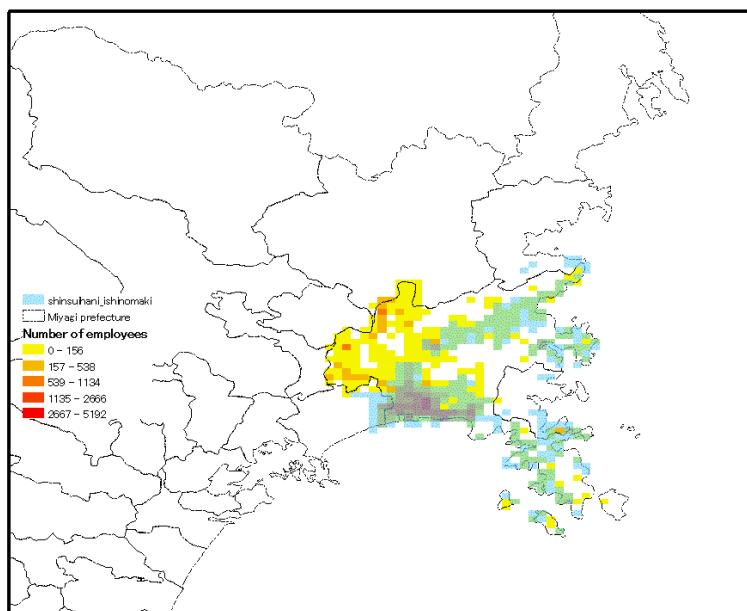


図 2:従業員数と浸水地域とのオーバーレイ（石巻市）

表 4:統計局集計表と GIS 集計との比較

| | 全体 | | 宮城県 | | 石巻市 | |
|--------|-------|--------|-------|--------|------|-------|
| | 事業所数 | 従業員数 | 事業所数 | 従業員数 | 事業所数 | 従業員数 |
| 統計局 | 53303 | 489161 | 25129 | 223299 | 7865 | 62678 |
| GIS集計 | 52807 | 444895 | 28247 | 234193 | 8161 | 63919 |
| 差異 (%) | -0.9 | -9 | 12.4 | 4.9 | 3.8 | 2 |

エコノミックホットスポット図との比較を行うためにまず、平成20年工業統計、平成19年工業統計3次メッシュ統計データから、各メッシュの製品出荷額と産業分類を得て、宮城県地図にその分布を図示した。図3、図4はデータの制約上かなりの欠損値を含んでいる。というのも工業統計、商業統計メッシュデータが含むメッシュ製品出荷額もしくは売上計は、もしそのメッシュ内に立地する企業の数が少ない場合、地理情報からどの企業の製品出荷額かが特定される可能性がある。よって秘匿情報保護の観点からそのような企業数の少ないメッシュの製品出荷額は欠損値になっている。図5、図6は、統計値を持つメッシュデータとNAのメッシュデータを色分

けた図である。表 5 は、メッシュデータと集計表を数値で比較している。表 5 の数値を見ると、図で見た NA の多さのわりに、そこまでの違いがないと感じる。これは、各メッシュが含む統計データの量に違いがあるからだ。NA になってしまうメッシュは比較的事業所数が少ないメッシュである。そのような事業所は、他の事業所が密集していない地域に立地していることを考えても比較的生産規模の小さい事業所だと考えられる。一方 NA ではない地域は事業所も密集していて、生産額も大きい。そのため、NA になってしまうメッシュがかなり多くある一方で、集計データではさほどの違いが見られない結果になった。工業統計、商業統計メッシュデータに、農地面積メッシュデータから推計した農業部門の生産高メッシュデータ(図 7)を合わせた生産額の分布図を作成した(図 8)。

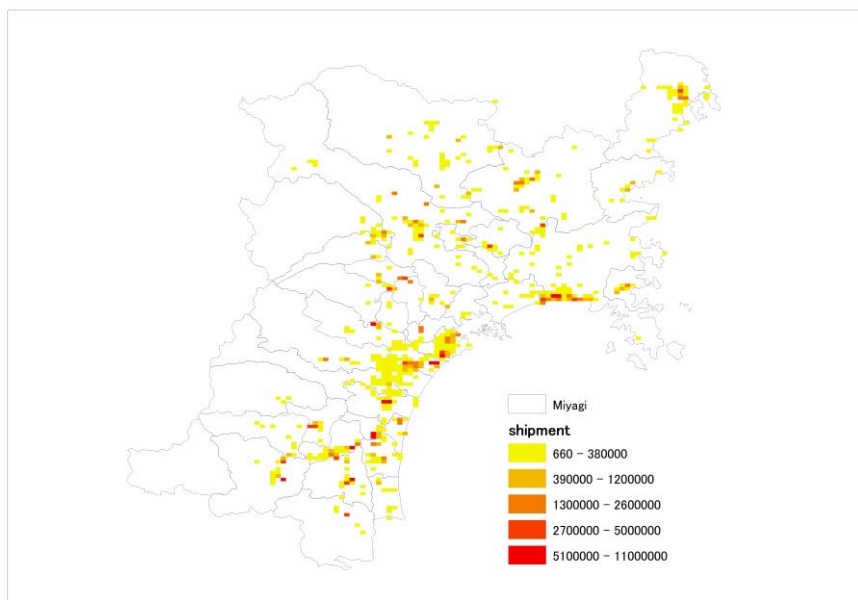


図 3:平成 20 年メッシュ工業統計出荷額(宮城県)

図 7 は平成 7 年農地面積メッシュデータと、平成 22 年生産農業所得統計をもとに農業部門の生産高のメッシュデータを図示したものである。色がついているところがすべて農地なのではなく、生産高の大きさを意味しているところに注意。この生産額の分布図と計算したエコノミックホットスポット指標を統合してエコノミックホットスポットを図示する。統合するための計算方法は以下の通りである。

$$BL = \sum_{j=1}^n w_j BL_k, \quad FL = \sum_{j=1}^n w_j FL_k, \quad He = \sum_{j=1}^n w_j He_k$$

w_j はメッシュ内における各部門の生産額を表しており、メッシュ内の関連性の指標は、それぞれ

の部門の生産額の大きさによって比重をわけて計算している。

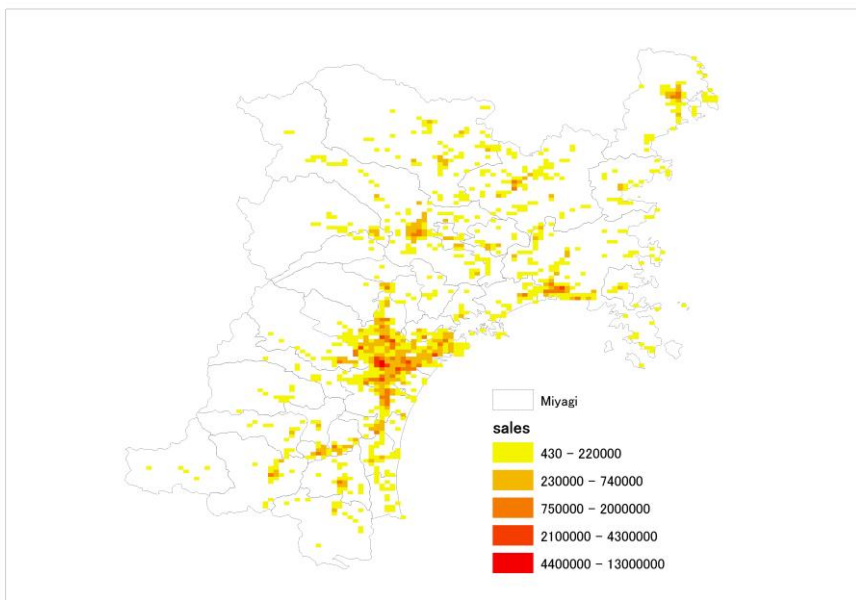


図 4:平成 19 年メッシュ商業統計商品販売額(宮城県)

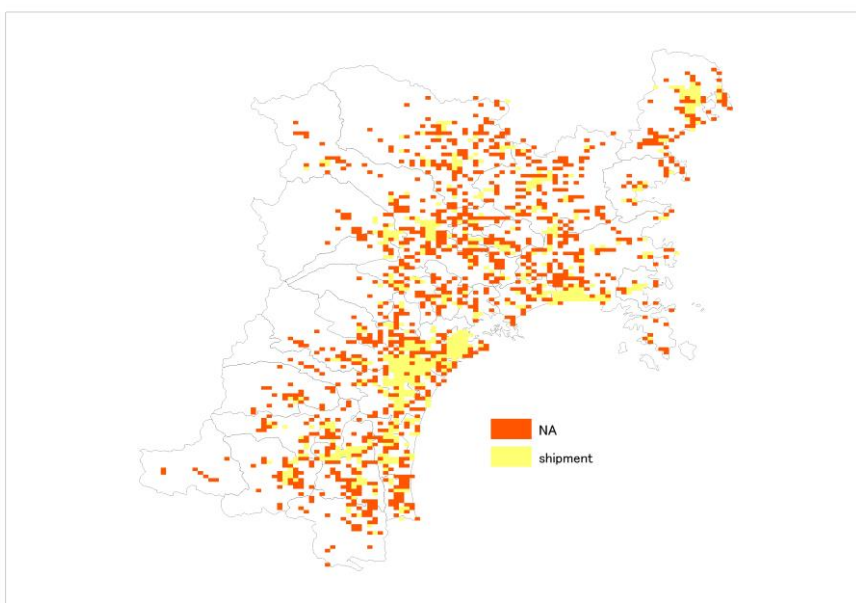


図 5:平成 20 年工業統計出荷額(宮城県)

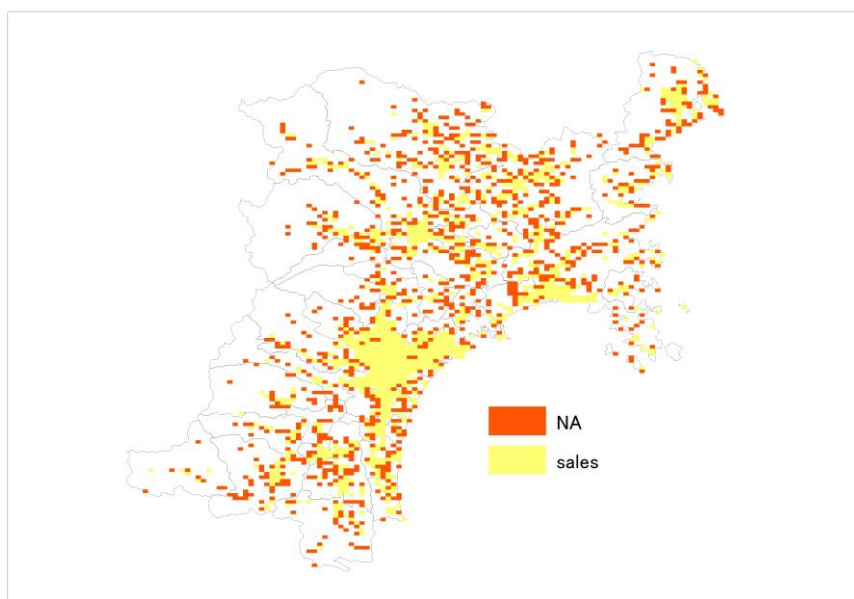


図 6:平成 19 年商業統計商品販売額(宮城県)

表 5:メッシュデータと統計表との差異

| 宮城 | メッシュデータ | 統計表 | 差額(統計表-メッシュ) | 差異(メッシュ/統計表) |
|----|---------|-------|--------------|--------------|
| 工業 | 28252 | 35689 | 7437 | 79% |
| 商業 | 24621 | 25318 | 697 | 97% |

エコノミックホットスポットの指標は、 Q がメッシュ内の生産額の県内生産額に占める割合、 L がメッシュ内の従業者数の県内総従業者数に占める割合であり、連関性指標、中心性指標をそれぞれ非加重平均したものをさらに生産高、従業者数のシェア率と非加重平均したものをエコノミックホットスポットの指標とする。図 9 は宮城県表をもとにエコノミックホットスポットを計算し、図 10 は平成 17 年地域間産業連関表をもとに宮城県内のエコノミックホットスポットを計算したものである。地域間産業連関表とは、各地方の各産業同志の投入産出の取引を記録したもので、53 部門表は、9 地方 53 部門の 477×477 の行列である。

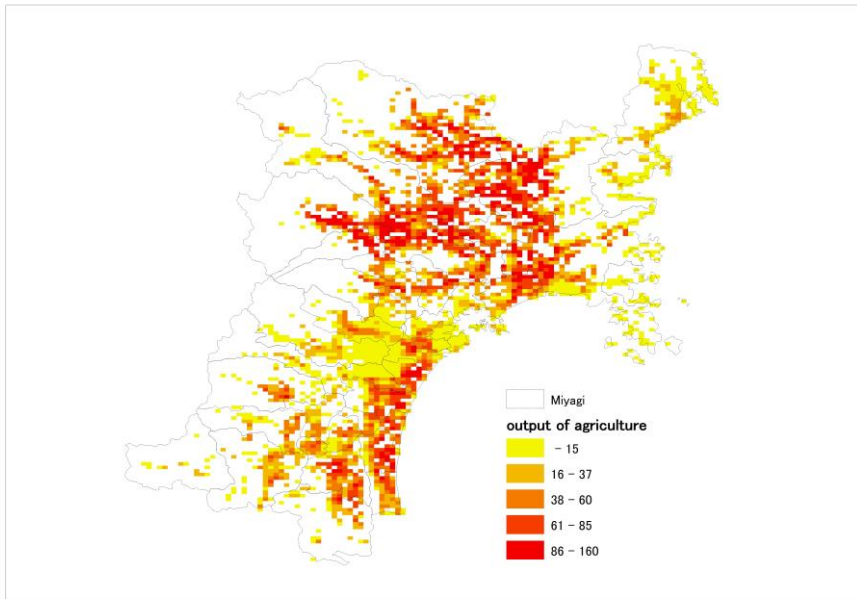


図 7:農業生産額(宮城県)

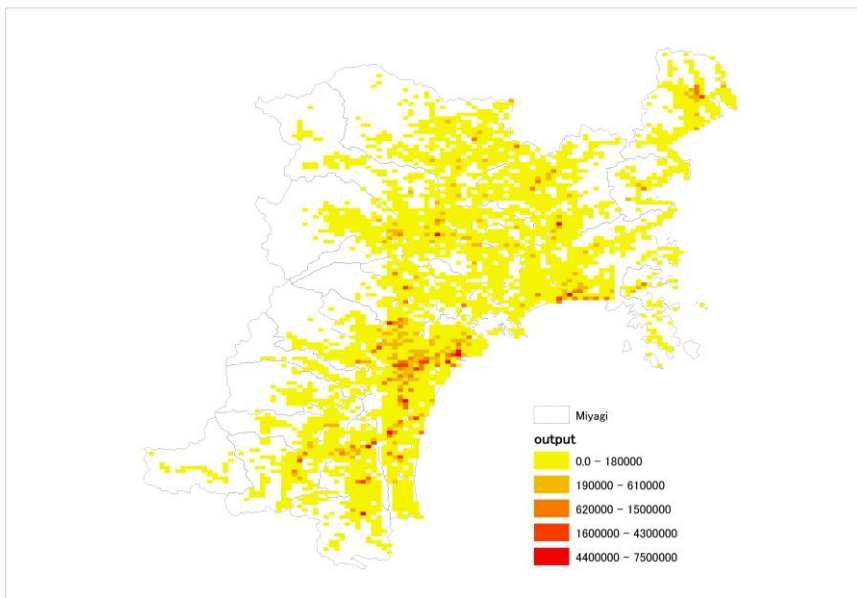


図 8:工業、商業、農業部門の総生産額(宮城県)

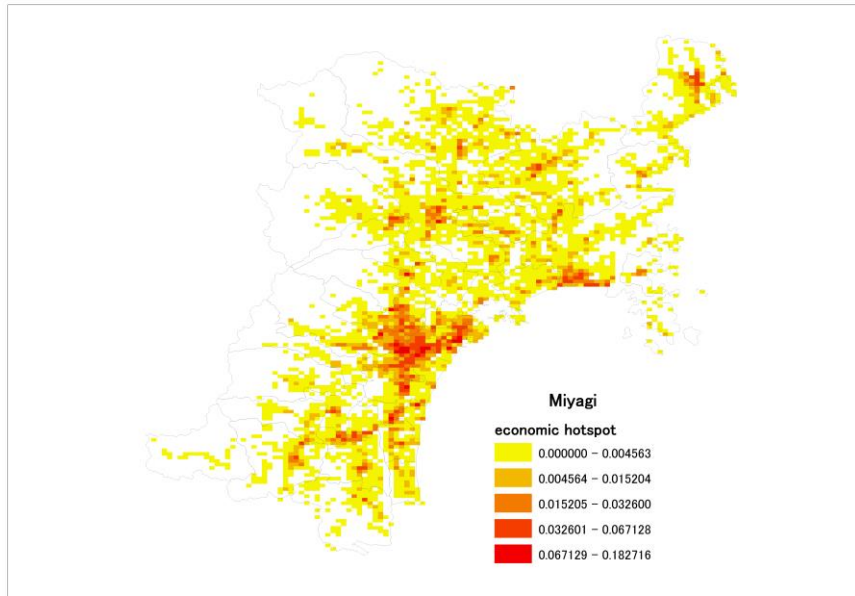


図 9:エコノミックホットスポット(宮城県表ベース)

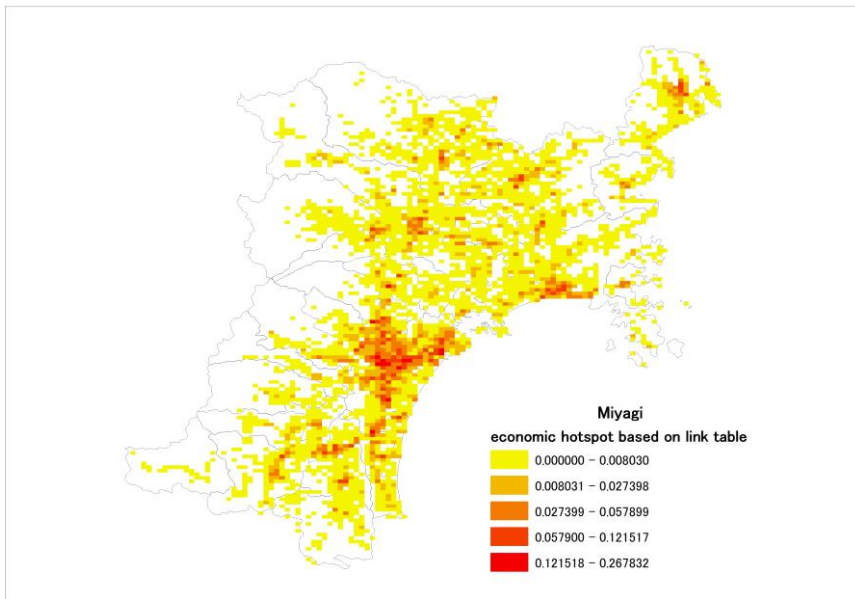


図 10:エコノミックホットスポット(地域間表ベース)

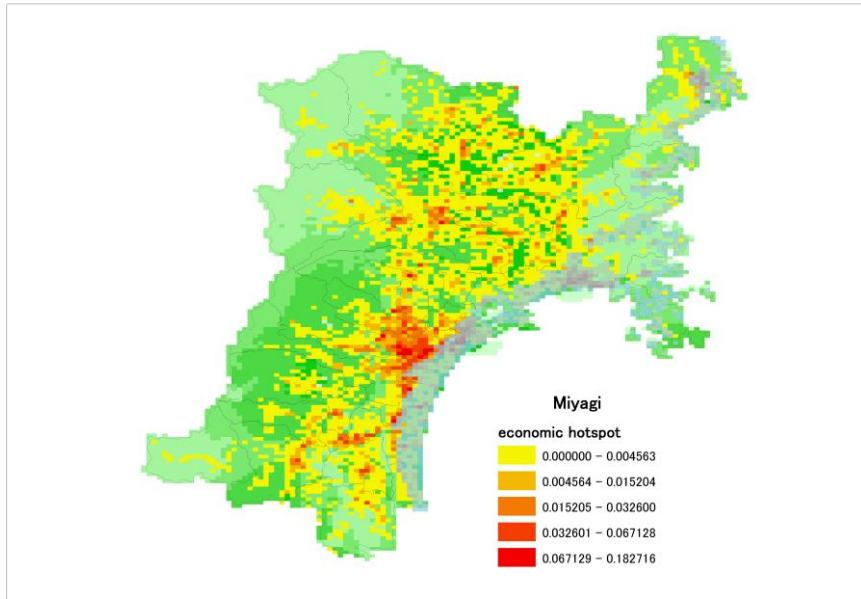


図 11:エコノミックホットスポット(宮城県表ベース)と被災地域との照合

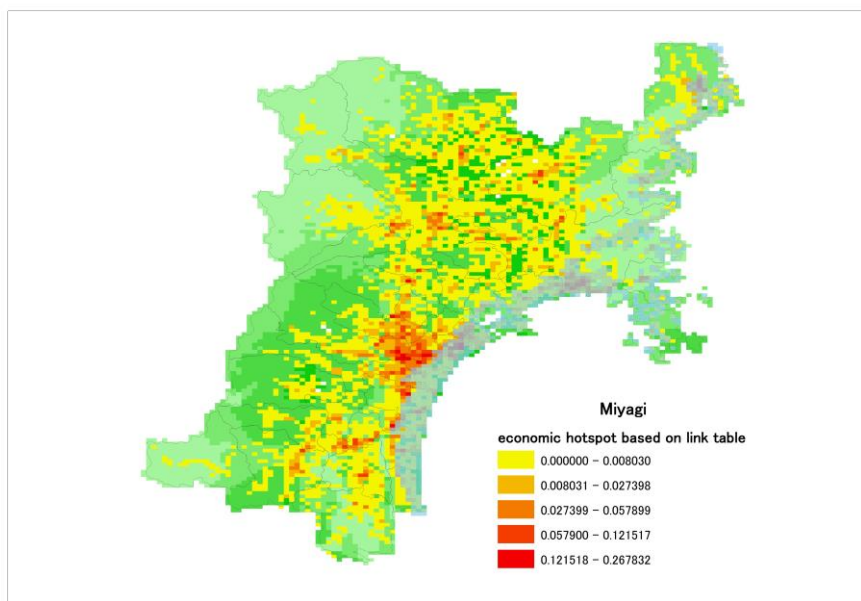


図 12:エコノミックホットスポット(地域間表ベース)と被災地域との照合

| | 生産高 | エコノミックホットスポット | エコノミックホットスポット(地域表ベース) |
|------------|-------|---------------|-----------------------|
| 浸水 | 33.7% | 28.4% | 28.4% |
| 震度 5 未満 | 0.1% | 0.4% | 0.6% |
| 震度 5-5.4 | 9.8% | 9.0% | 9.2% |
| 震度 5.5-5.9 | 64.1% | 69.6% | 69.3% |
| 震度 6-6.6 | 26.1% | 20.9% | 20.9% |

表 6:被害地域にかかる生産額、エコノミックホットスポットの割合

図 8 と図 9、図 10 を比較すると生産額だけで数値分類をした場合よりも、エコノミックホットスポットで数値分類した場合の方が、仙台市や石巻市などの工業部門の生産が多き都市の重要度がより高くなり、エコノミックホットスポットが集中していることがわかる。また、宮城県表を用いた場合と地域間表を用いた場合のエコノミックホットスポットの計算結果を比較することで、県内経済の重要度を異なる経済規模から比較することができる。つまり、県別表から計算されるエコノミックホットスポットは県内における県内各地の重要度を表している。一方、地域間表で計算されたエコノミックホットスポットは、日本全体からみた宮城県内の各地域の重要度を表している。図 9 と図 10 を比較すると県別表をもとに計算されたエコノミックホットスポットは、地域間表をもとに計算されたエコノミックホットスポットよりも、仙台市周辺、また石巻市、大崎市、白石市への集中度が高く、地域間表ベースのエコノミックホットスポットは集中度が分散していることがわかる。これは県内経済における仙台市の重要度は、日本経済における仙台市の重要度よりも高いと解釈できる。図 11、図 12 からエコノミックホットスポットと被災地域と照合すると、地震の震度が高く、津波の被害にあった海岸近辺にはエコノミックホットスポットが集中していたことが分かる。そのような被災地域との照合結果をまとめたのが表 6 である。これを見ると、浸水地域で、震度 6 以上の地域で、生産額の集中度が、エコノミックホットスポットの集中度よりも高く、震度 5-5.5 の地域で、エコノミックホットスポットの集中度が生産額の集中度よりも高いことが分かる。

4. 結論

今回の報告では、宮城県を対象として、エコノミックホットスポットの計算方法とその図示方法を報告した。エコノミックホットスポットの計算に関しては、ネットワーク分析を用いた産業連関表の分析方法の研究を進めるとともに、Counting betweenness によって明らかになった産業連関表の構造上の特徴についても研究を進めて行きたい。そのうえで、さらにエコノミックホットスポットの概念的枠組みを構築し、サプライチェーンの構造をエコノミックホットスポットとして図示する方法を研究して行きたい。またエコノミックホットスポットの図示と被災地域との照合によるデータ集計は、使用データの制約上、その計算結果も限定的なものになっている。しかし、

実際のデータを用いて分析を行ったことから、この分析によって分かりうる事実について理解することができた。現在までは、宮城県を対象に、エコノミックホットスポットの計算とその図示を行ってきた。今後は、その範囲を東日本大震災の被災範囲である岩手県、福島県を含めた全範囲まで広げて、計算を行っていく。

また、このエコノミックホットスポットを用いた経済的脆弱性の推計は、起こりうる災害に対する被害予測の推計に応用が可能である。現在、南海トラフ地震に関する被害規模の推計は、地震学の分野などで進められている。このようなデータと組み合わせることにより、エコノミックホットスポットを使用した南海トラフ地震に対する経済的影響に関するシミュレーションなども発展的に行っていきたいと考えている。

参考文献

- [1] Van der Veen, A. and Logtmeijer, C. (2005): "Economic Hotspots: Visualizing Vulnerability to Flooding." *Natural Hazard*, 36, 65-80.
- [2] Tallberg, C. (2000): *Comparing Degree-based and Closeness-based Centrality Measures*, Department of Statistics, Stockholm University, Stockholm.
- [3] FEMA (1999): *Hazus: Technical Manual, Volume 3*, FEMA, Washington, USA.
- [4] 環太平洋産業連関分析学会編 (2010): 『産業連関分析ハンドブック』東洋経済新聞社
- [5] Ronald E. Miller and Peter D. Blair (2009): *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge University Press
- [6] 鈴木努 (2009): 『R で学ぶデータサイエンス 8 ネットワーク分析』, 共立出版
- [7] Ulrik Brandes and Thomas Erlebach, editors (2005): *Network Analysis: Methodological Foundations*, Springer-Verlag
- [8] Faye Duchin, Stephen H. Levine, (2010): "Embodied Resource Flows and Product Flows: Combining the Absorbing Markov Chain with the Input-Output Model," *Rensselaer Working Papers in Economics*,
- [9] M. E. J. Newman, (2005): *Social Networks*, 27, 39
- [10] Florian Blöchl, Fabian J. Theis, Fernando Vega-Redondo, and Eric O'N. Fisher (2011): "Vertex Centralities in Input-Output Networks Reveal the Structure of Modern Economies" *Physical Review E*, 2011, 83, 4