

# 東日本大震災における経済的脆弱性の視覚化

海野 俊文、清水 健吾、小野寺 将也、和田 知之

2014年7月11日

## 1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災による被害は、人的資本から固定資本に至るまで広範囲に及んだ。災害による被害は、大きく二つに分けられる。インフラの倒壊などストックに対しての直接的な損害である直接被害。その結果生じる生産活動の停止・停滞に伴い生産額が減少するという、フローに対する間接被害だ。2つ目の間接被害の影響は、被災地に留まらず広く他地域にまで波及し、サプライチェーンの寸断と表現された。これについて自動車産業を例に見ると、東北において生産されていた自動車用半導体、エンジン制御の電子部品、鋼板といったあらゆる製品の生産停止・減産が、自動車という最終製品の生産をストップさせた。その他、化学製品、建築資材、医療用品から、紙おむつのテープ、紙バック、ボトルキャップといった消費材に至るまで、あらゆる商品の生産に影響が及んだ。東北地方が工業製品の部品や中間製品を多く生産しているためだ。報道などによる震災の直接的な被害を示すデータは多く存在するが、間接的な被害のデータは乏しい。しかし、より実際に近い災害による被害額を推計するためには、間接被害の規模を把握する必要がある。間接被害は波及効果によりさらなる被害を生み、先に挙げた自動車の生産停止のような事態をもたらすからだ。本論文では、間接的な被害を具体的に把握するために、産業連関表におけるある部門の一国経済の中で的重要度を示す Economic Hotspot を地域間産業連関表を用いて計算する。

## 2 昨年度の分析

本論文の土台となる海野・清水・布施(2013)では Economic Hotspot を計算、GIS により図示し、そこに災害の地理情報を重ねて震災によるフローの被害を視覚化、推計した。しかしここで計算に用いられた産業連関表は、東北各県ごとの表、東北地域に限られた地域表でありそれぞれ各県内、または東北地域内という閉鎖経済における連関性を示す表であった。これらを用いて推計した結果は、各区域内という閉鎖空間内での重要度を示しているだけであり、日本全国内における重要度を正確に示しているとは言えない。たとえば、全国表で推計した EH では製造業部門の重要度が高い一方、宮城県表を使って推計した EH は製造業部門が相対的に低い重要度となっている。本論文では、北海道・東北・関東・中部・近畿・中国・四国・九州・沖縄の9地域の産業構造を示す METI 地域間表、青森・岩手・宮城・秋田・山形・福島・新潟の7県の産業構造を示す東北地域間表、を組み合わせ、東北各県と日本国内他地域との取引関係を含む表を作成し Economic Hotspot を再計算する事で、上記の問題を解決する。

### 3 東北地域間表と全国地域間表のリンク

東北7県の地域間表と東北を含む全国地域間表が利用可能であるが、図1の斜線部分の情報が欠如している。全国地域間表から東北とその他の地域の取引の状態がわかるので、これらの取引額を Gravity Model によって距離および地域の総需要額と総供給額の関係としてとらえ、東北各県とその他の地域の距離を与えて東北各県とその他の地域の取引額を理論値として推定した。最終的なバランス調整は RAS 法によって実施した。

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
1	北海道	METI地域間表							METI地域間表						
2	青森		東北地域間表												
3	岩手														
4	宮城														
5	秋田														
6	山形														
7	福島														
8	関東								METI地域間表						
9	中部														
10	近畿														
11	中国														
12	四国														
13	九州														
14	沖縄														

図1 東北地域間表と全国地域間表のリンクのイメージ

#### 3.1 Gravity Model

Gravity model は、Isaac Newton の万有引力の法則を国際貿易の分野に応用したモデルである。Newton は、惑星と太陽に働く引力の大きさを惑星と太陽の運動を定式化したケプラーの法則を適用することで説明している。この式は、 $G$  を万有引力定数として

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

で表される。 $F$  は働く引力の大きさ、 $M$  は太陽の質量、 $m$  は惑星の質量である。これを太陽と惑星だけに限らずあらゆる万物に働く力だと考えたものが万有引力の法則と呼ばれる。その場合、2つの物体の質量をかけたものを物体間の距離の2乗で割った力が、2つの物体に働いている引力である。2つの物体の質量や距離に

比例する重力によって、物体がお互いを引っ張り合う力が変わる。国際貿易においても GDP の大きさや 2 国間の距離によって、重力が変化すると同様に 2 国間の貿易量が変化すると考えられた。これを表した式が Gravity model である。Gravity model の基本式は、

$$X_{ij} = GS_i M_j \phi_{ij}$$

で示される。  $X_{ij}$  は、地域  $i$  から地域  $j$  への輸出価値を貨幣的に表したものの、  $M_j$  は輸入国の需要規模、  $D_i$  は輸出国の供給規模を示す変数である。  $G$  は、世界全体の経済事情を表す変数である。最後に  $\phi_{ij}$ 、輸出国である地域  $i$  が輸入国  $j$  への輸出のしやすさ (取引コスト) を示している。これには 2 国間の物理的距離による影響を含む。

本研究で推定する Gravity Model は以下のものである。

$$\ln x_{ij}^{rs} = \beta_0 + \beta_S \ln x_i^r + \beta_D \ln x_j^s + \delta \ln d_{rs} + \beta_1 D_A + \beta_2 D_M + \epsilon_{ij}$$

- $x_{ij}^{rs}$ :  $s$  地域の  $j$  部門による  $r$  地域の  $i$  部門への投入。
- $x_i^r$ :  $r$  地域からの  $i$  部門の総供給。ただし、これは総生産から外国への輸出を引いたもの。
- $x_j^s$ :  $s$  地域における  $j$  部門の総需要。
- $d_{rs}$ : 地域  $r$ 、 $s$  間の距離。
- $D_A$ : 農業ダミー。
- $D_M$ : 製造業ダミー。
- $\epsilon_{ij}$ : 誤差項。

OLS による推定結果は以下のとおりである。

表 1 Gravity Model の推定結果

$\beta_S$	0.609	***
	(0.008)	
$\beta_D$	0.605	***
	(0.008)	
$\delta$	-0.677	***
	(0.017)	
$D_A$	1.069	***
	(0.085)	
$D_M$	1.681	***
	(0.027)	
$\beta_0$	-4.323	***
	(0.314)	
サンプル・サイズ	48,691	
自由度調整済み決定係数	0.265	

() 内の数値は標準偏差。

\*\*\*は 1% 水準で有意であることを示す。

## 4 Economic Hotspot

Economic Hotspot は、ある時間・場所において、経済的重要度が集中している地点を指す。Economic Hotspot が高いということは、その地域におけるある産業の経済的重要度が高いことを示す。それは同時に災害に対するリスクが高い、災害が起きた場合により深刻な影響をもたらすことを意味する。Economic Hotspot は以下の3つの尺度により決定される。各尺度の具体的な計算方法については、環太平洋産業連関分析学会(2010)、海野ほか(2013)を参照されたい。

### 4.1 依存性 dependency

産業連関分析において、ある部門が生産に必要とする投入・ある部門の生産する製品の供給先の関係から、ある区分内において、各部門が相対的にどれだけ他の部門に対して依存度があるかを測定する。影響度係数、感応度係数、仮想的抽出法の3つの指標を用いる。

■**影響度係数** 各部門の列和を全部門の列和の平均値で割った値を示し、後方連関性 (backward linkage) とも呼ばれる。ある列部門の最終需要が1単位増加した時、各行部門の生産量はどの程度増えるか、つまり生産波及の影響の大きさを示す。影響度係数が高い産業とはつまり、より多くの投入を多くの産業から受けていた産業のことであり、たとえば自動車メーカーの組立工場が被災した場合、自動車の部品を供給していた多くの企業が減産を余儀なくされ、より多くの間接被害を波及させる。

■**感応度係数** 各部門の行和を全部門の行和の平均値で割った値を示し、前方連関性 (forward linkage) とも呼ばれる。すべての部門の最終需要が1単位増加した時、どの行部門が相対的に大きな生産波及の影響を受けるか、つまりある産業の供給先への影響の大きさを示す。感応度係数が高い産業とはつまり、ある産業が生産する製品を、中間財としてより多くの他の産業に投入している産業のことであり、たとえば製鉄メーカーが被災し鉄の生産がストップした場合、鉄を材料として使用していた多くの企業が減産を余儀なくされる。

■**仮想的抽出法** 前述の感応度係数は、すべての部門の最終需要が1単位増加した場合、という現実にはありえない仮定にもとづいた指標であるため、指標として不適切だという批判がある。この批判を受けて、ある部門が存在する場合・存在しない場合の状態を比較することで、その部門の影響の程度を評価する指標が仮想的抽出法 (hypothetical extraction method) である。ある部門がなくなったと仮定した時、経済の総生産量の変化を計測することで推計する。仮想敵抽出の数値が高い産業とはつまり、その産業が失われたとき経済全体へ与える影響の大きさを示す。

### 4.2 中心性 centrality

依存性では各部門の需要供給関係からその重要度を決定したが、ここでは各部門間の取引関係に注目し、取引量の多さにより重要度を測定する。ネットワーク分析を用いる。ネットワーク分析とは、人間関係から本論におけるような産業同士の関係に至るまで、さまざまな対象における構成要素間の関係構造を探る手法である。対象の構造を、グラフと呼ばれる点と線、頂点と辺の集合から構成される構造に抽象化し、頂点同士を結ぶ辺に向きがあるかどうかによって、有向グラフと無向グに大別する。演算に際しては、 $n$  個の頂点から成るグラフ  $n \times n$  の正方行列として捉える。有向グラフにおいて、頂点  $i$  から頂点  $j$  に辺が引かれる時、隣接行列の

$i$ 行  $j$ 列に 1、引かれない時は 0 が入る。無向グラフにおいて頂点  $i$  から頂点  $j$  の辺がある場合、頂点  $j$  から頂点  $i$  への辺も必ずあるので、隣接行列は対象行列となる。産業連関表におけるネットワーク分析の特徴については海野ほか (2013) で詳述されている。Economic Hotspot の計算には、以下の 2 つの中心性指標を用いる。

■Random walk centrality Random walk centrality は、各部門間のフローの動きの速さに注目し、ある部門  $s$  から部門  $t$  に至る期待ステップ数の数により中心性を判断する。ステップ数が少ないほど、つまり他部門との距離が近いほど、経済的ショックがその部門により速く、容易にたどり着く事を示しており、中心性が高くなる。

■Counting betweenness centrality Counting betweenness centrality は、ある部門について、どれだけ頻繁にフローが通過する産業であるか、より多くのフローを仲介する産業ほど中心性が高くなる。この指標は、サプライチェーンにおける産業の媒介性を示しており、中心性の高い産業ほど、災害時により大きな被害を他産業へと波及させる可能性がある。

### 4.3 冗長性 redundancy

ある地域の特定部門の生産の冗長性により測定する。もともと行われていた生産の最終需要が、他地域・または他部門の生産によって代替されるかどうかを計算する。冗長性が高いとは、ある部門の代替生産が容易であるため災害等による生産停止の影響が小さいこと。冗長性が低いとは、代替生産が困難であるため、生産停止の影響が大きいことを示す。しかし、冗長性を把握するためには各生産部門の需給関係に関して、地理的に詳細なデータ、代替生産が具体的にどのように行われているかを示すデータが必要になる。現地でのヒアリングを繰り返しデータの収集を行ったが、サンプルの少ないため、本研究に用いる Economic Hotspot の計算には使用しない。

### 4.4 Economic Hotspot 指標

依存性の指標を次のように定義する。

$$D = \sqrt[3]{B \times F \times H}$$

- $B$ : 後方連関性
- $F$ : 前方連関性
- $H$ : 仮想的抽出

次に中心性の指標を次のように定義する。

$$C = \sqrt{C_R \times C_B}$$

- $C_R$ : Random walk centrality
- $C_B$ : Counting betweenness centrality

最後に、Economic Hotspot 指標は、これら 2 つの指標の幾何平均で定義する。

$$EH = \sqrt{D \times C} \quad (1)$$

## 5 結果と今後の課題

図 2、3、4 は、工業統計および商業統計の 1km メッシュデータに記録されている事業所に関して Economic Hotspot 指標を計算し、メッシュの地理情報を利用して、Economic Hotspot の強さをグラデーションで表現して視覚化したものである。図中、Economic Hotspot は黄色から赤のグラデーションで表現されていて、赤いほどその指標が大きい。

図を見てわかるように宮城県の石巻市一带に Economic Hotspot の高い事業所が集中している。つまり、災害があった場合には、この地域一体は経済的に脆弱な地域である。図 2 は、津波による被害地域をブルーでオーバーレイしたもので、図 3 は、震度 6 および 7 の地域を薄いグリーンでオーバーレイしている。赤で示される宮城県における Economic Hotspot の高い地域のほとんどが、津波または地震によって多大な被害を受けたことがわかる。また、図 4 では、福島第 1 原子力発電所の事故によって避難地域に指定された領域をピンクでオーバーレイした。原子力発電所を含む福島県沿岸地域にも Economic Hotspot の高い地域が散在している。

今後の課題は、これらの図から Economic Hotspot 別の経済的損失額を推定し、震災によってどれだけの産業別、地域別にどれだけの経済フローが喪失したかを明らかにすることである。被災地域の経済的復興とは、これらの失われた活動を元通りに復元するのか、それとも新たな地域発展の方向を探るのかの選択である。ここに示した Economic Hotspot の計算が、事業所の建設計画段階でなされて、起こり得る災害との関係でそこに立地することの妥当性を判断するために使われるのが有効である考えられる。そのためには、Economic Hotspot の計算の精度が高いことが要請される。データの利用可能性と各指標の適合度をさらに検討することによって、より精度の高い Economic Hotspot の推定を目指していきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] 海野俊文・清水健吾・布施尚樹 (2013) 「東日本大震災による経済的連鎖寸断の推計—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—」、2012 年度報告書。
- [2] 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。

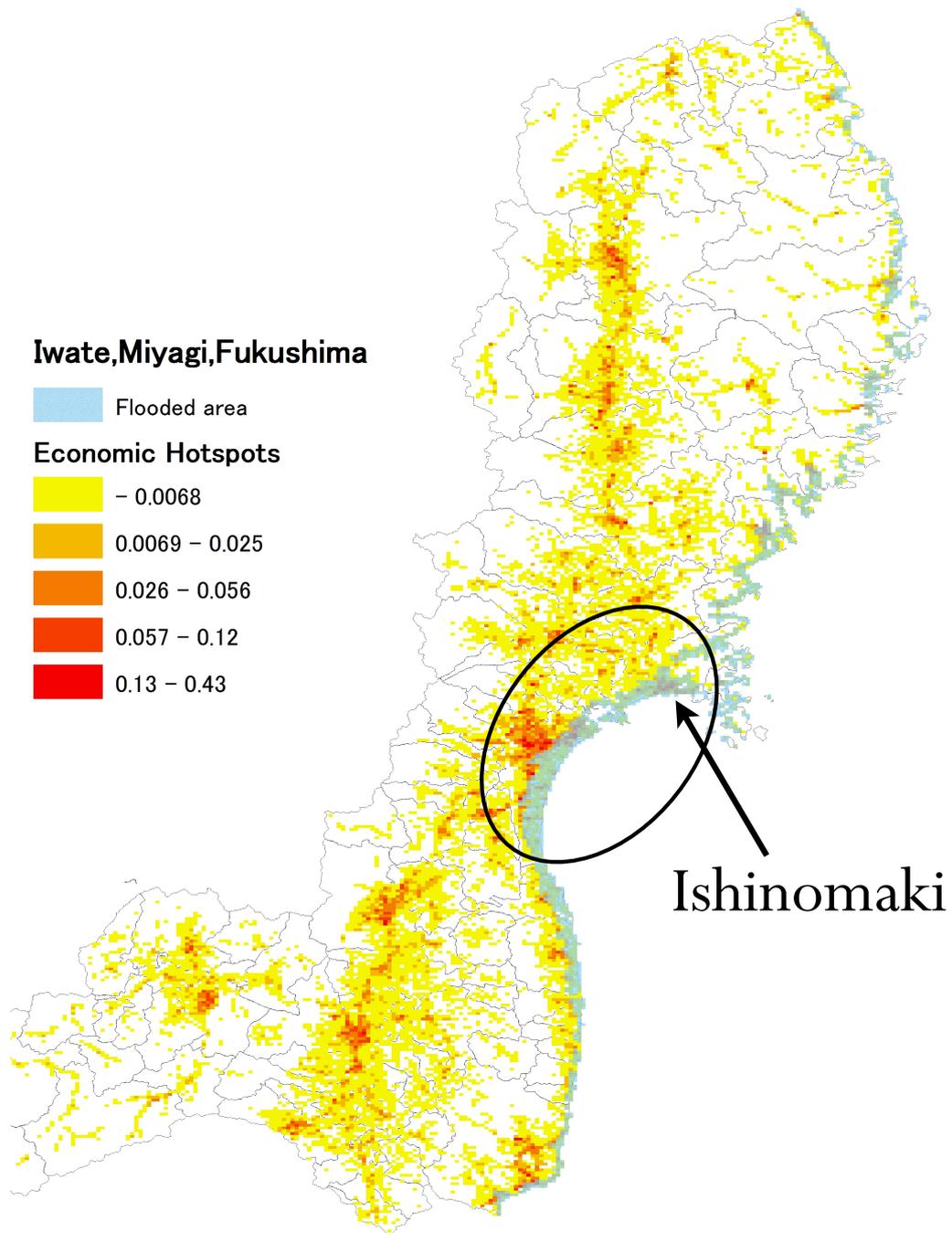


図2 Economic Hotspots と津波被害地域

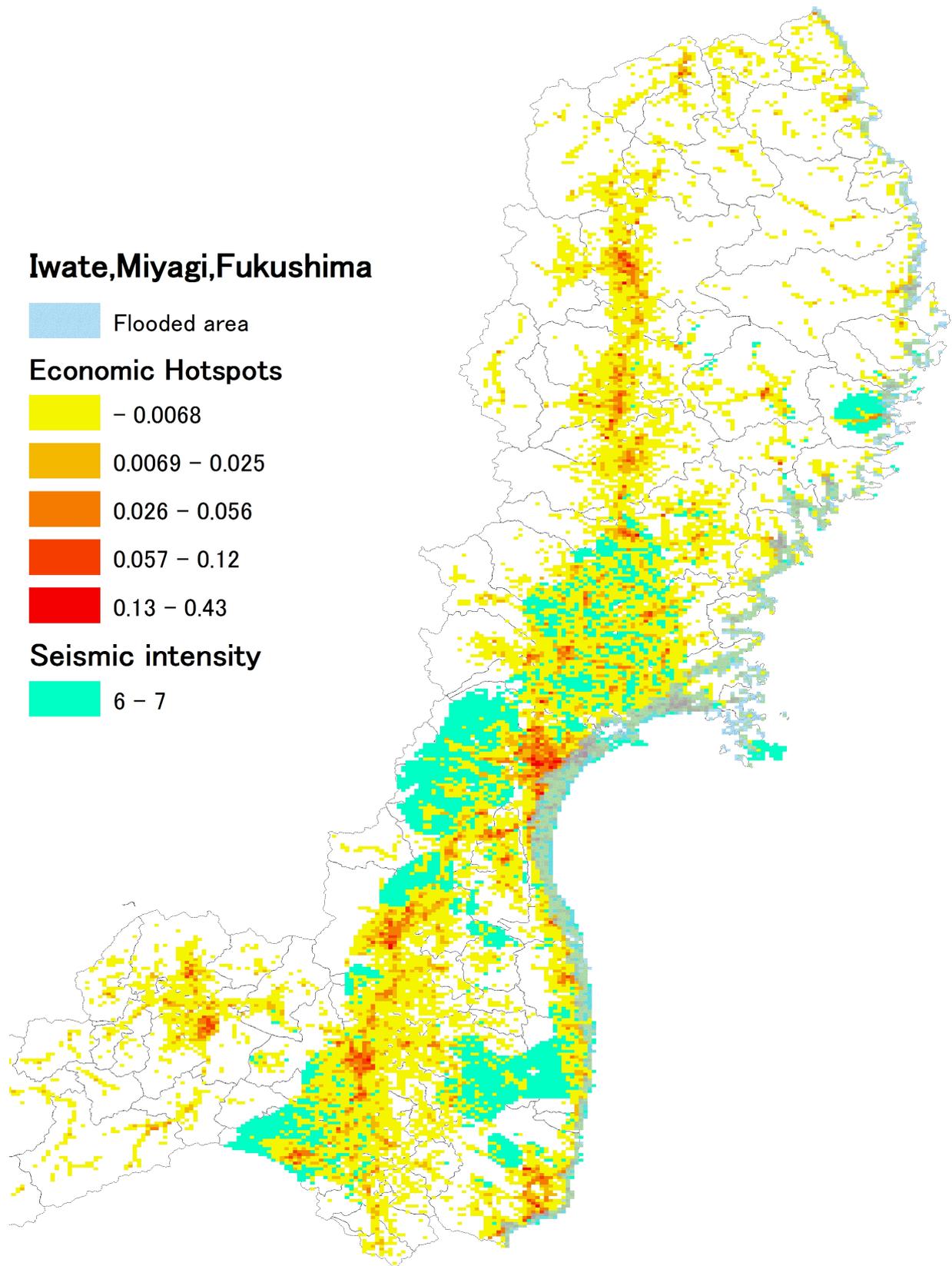


図3 Economic Hotspots と震度

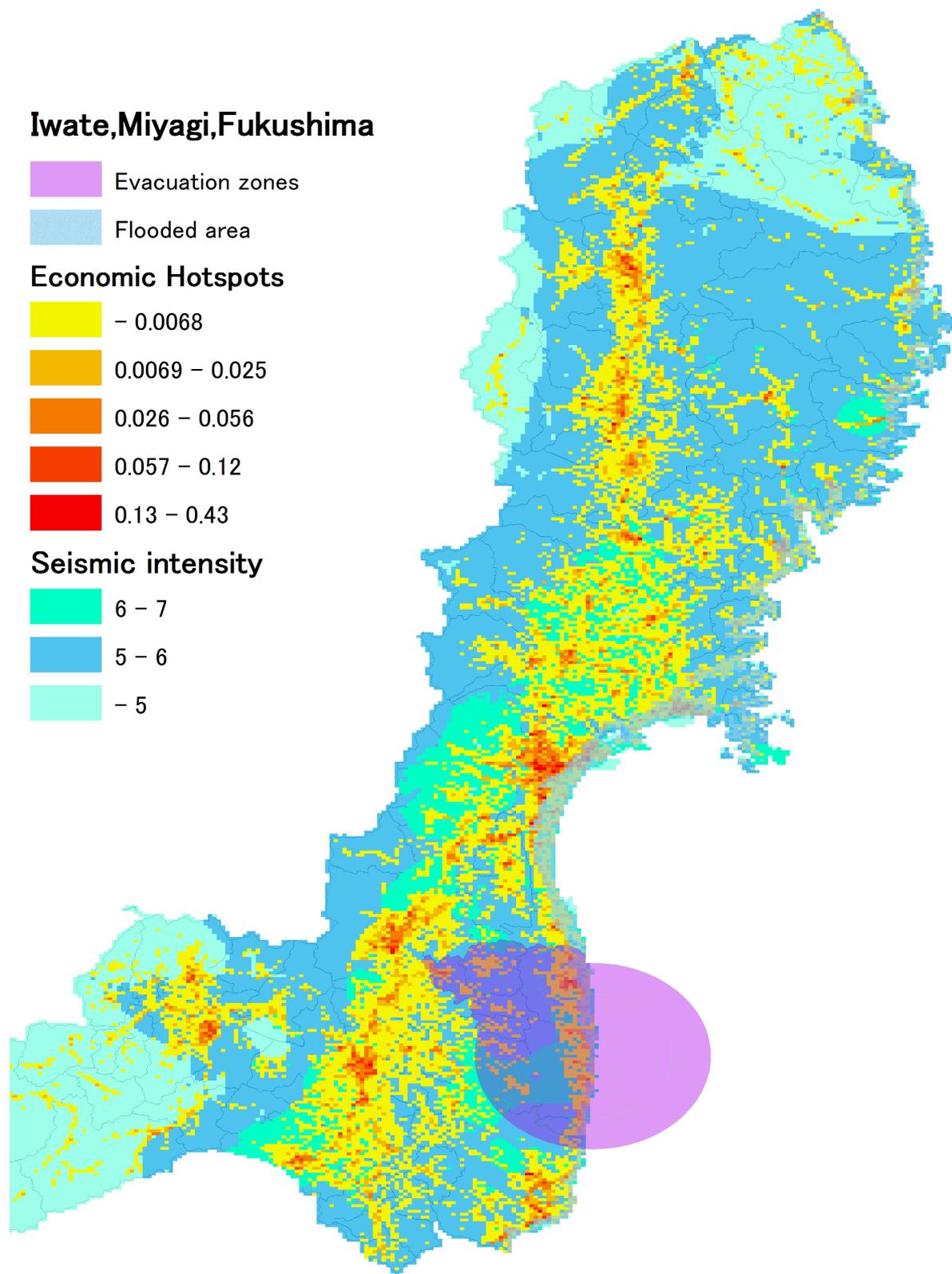


図4 Economic Hotspots と福島第1 原発事故の避難地域