

# 東日本大震災に基づく地震災害時の企業取引への影響モデルの検討

小川 芳樹<sup>1</sup>・秋山 祐樹<sup>2</sup>・柴崎 亮介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学特任研究員 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail:yogawa@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京大学助教 空間情報科学研究センター (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

E-mail:aki@csis.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京大学教授 空間情報科学研究センター (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

E-mail:shiba@csis.u-tokyo.ac.jp

2011年東北地方太平洋沖地震は、企業サプライチェーンを通じた企業への経済活動といった間接被害をもたらした。その影響は被災地を超えて日本全国へ広がった。発災後、効率的なサプライチェーンの復旧をするためには、事前にサプライチェーンを構成する企業間での長期事業計画(BCP) 策定をする必要があるが災害による企業間取引の取引喪失・回復要因の潜在的構造は把握されていない。こうした背景から本研究においては、東日本大震災がサプライチェーン全体に与える間接被害に関して震災前後の企業間取引データ(企業単位のネットワークデータ)を用いて各企業の取引喪失・回復の決定要因をスパースモデリングにより分析し、取引喪失・回復モデルを構築した。その結果、被災地企業との直接取引だけを対象としても日本全国へ経済的に被害が及んだことがわかった。また、回復の決定要因は企業の業種・規模・立地の違いであることが明らかになった。

**Key Words :** *Economic indirect damage, Lasso regression, Business continuity planning*

## 1. はじめに

東日本大震災は甚大な人的・経済的被害をもたらしたし、自然災害に対する経済的なレジリエンス向上の必要性が高まっている。2010年1月から2012年12月までの2年間で、各四半期の実質GDPからの前年比成長率を見ると、2010年の各四半期は3%を超える安定した成長率を示していたが2011年の経済成長率は年間を通じて低下した。しかし2012年には、成長率は3.5%に回復した。津波の影響を受けた4県(岩手県、宮城県、福島県、茨城県)のGDPは日本全体の6%にとどまっていたが、三四半期にわたって日本経済に大きな影響を与えた。被災地に大きな影響を与えただけでなく、外国の国も影響を受けた。トヨタやホンダは自動車部品を供給する企業が被害を受けたことにより部品の供給が中断されたため、生産を減らすことになった。すなわち、地震による経済的被害は、災害による直接的な影響だけでなく、サプライチェーンを通じた間接的な影響がある。一方、企業が受注・発注企業と冗長な関係を持つ場合、サプライチェーンネットワークにより代替取引をすることが可能になる。しかしながら、自然災害がサプライチェーンネットワークに及

ぼす影響は全体に影響があることが分かっているが、どのような要因が復旧に影響するかは把握されていない。

こうした背景から本研究では、東日本大震災前後の企業間取引データを用いて東日本大震災前後の企業間取引データにおける取引額の減少率に着目して分析することで企業間取引への影響をモデリングすると共に企業間取引に寄与する変数を明らかにする。

## 2. 利用データ

本研究では東日本大震災前後の企業間取引データ(2010年と2011年)と東日本大震災における建物調査データを用いる。

### (1) 企業間取引データ

企業間取引データとは、サプライチェーンにおける製造業、卸売業、小売業などにおけるそれぞれの相互間の取引(B2B (Business to Business) 取引)をいう。本研究では、株式会社帝国データバンクの企業間取引データを用いる。本データは日本国内の事業所に対して信用調査を行ってお

り、大企業から中小企業まで業種を問わず網羅的に偏りなく調査したものである。全国約143万社の企業データであり、全体の約3割の企業を網羅している(経済センサスにおける企業数との比較)。取引データには発注企業と受注企業に対して、取引金額と発注から受注という有向グラフが形成される。そして企業データが集まることで企業ネットワークデータが形成される。なお利用データは2010年と2011年の全ての最終取引である。

本企業間取引データのデータは以下の2つから構成されている。

#### a) 取引データ

企業間の取引情報を格納したデータベースであり、全国の590万に及ぶ企業間ネットワークデータである。主な属性は、発注企業ID、受注企業ID、取引品目、取引発生月、推定取引額である。

#### b) 企業データ

企業取引に関わった約143万社(2014年)の企業情報を格納したデータベースであり、格納されている主な属性は、企業ID、売上高、住所、資本金、業種、従業員数、営業所数、後継者有無である。

### (2) 東日本大震災津波被災市街地復興支援調査

本研究で用いる2011年の東北地方太平洋沖地震津波による建物被害状況は国土交通省都市局の「東日本大震災津波被災市街地復興支援調査」をアーカイブ化し東京大学空間情報科学センターが管理運営している「復興支援調査アーカイブ」<sup>(1)</sup>内のデータを利用する。このデータは浸水域全域(青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県)の各自治体の罹災証明、国土交通省の現地調査と衛星画像により判別した建物ポリゴンデータがシェープファイル形式で限定公開されており、個別家屋の被災状況、浸水深や構造などが含まれる。(1)と(2)のデータを緯度経度から空間結合することで被害データ付きの企業間取引データを整備する。

## 3. 取引影響モデルと推定結果

### (1) スパースモデリングによる取引影響モデル

近年、様々の計測技術の向上による大量のデータが医療や天文学だけでなく、工学においても観測され蓄積されてきているが、こうした背景に伴いデータモデリングの高次元化が進んでいる。そうした中で、Tibshirani<sup>(2)</sup>は高次元データから科学的知識抽出をするためのモデルとして、スパースモデリングを考案している。スパースモデリングは、2000年代後半より計測工学、応用工学、生化学などの幅広い分野で革新的情報抽出技術として応用されている。圧縮センシングによるスパース化は、高次元データから適切な少数の説明変数を自動抽出し、科学者の恣意

的な推理では導き出せなかった本質的な構造を見出すことが可能であることを示唆している。例えば、従来MRI画像は時間的空間的分解能の問題から病態観測するには十分でなかったが、スパースモデリングにより、時間的空間的分解能の向上が可能になり病態構造の可視化が可能になりつつある<sup>(3)</sup>。本研究においても、企業特性や東日本大震災による被害状況・立地といったGISデータを分析することで取引増減率に寄与している変数選択をスパースモデリングにより行いモデル化する。

本研究で用いる手法はスパースモデリングのLasso回帰を用いるとする。回帰式は式(1)で表される。パラメータ $\beta$ は式(2)で推定される。

$$y = \sum \beta_i x_i + \beta_0 \quad (1)$$

$$\min_{(\beta_0, \beta) \in \mathbb{R}^{p+1}} R_\lambda(\beta_0, \beta) = \min_{(\beta_0, \beta) \in \mathbb{R}^{p+1}} \left[ \frac{1}{2N} \sum (y_i - \beta_0 - x_i^T \beta)^2 + \lambda P_\alpha(\beta) \right] \quad (2)$$

where

$$P_\alpha(\beta) = (1 - \alpha) \frac{1}{2} \|\beta\|_2^2 + \alpha \|\beta\|_{l_1} \quad (3)$$

$$= \sum_{j=1}^p \left[ \frac{1}{2} (1 - \alpha) \beta_j^2 + \alpha |\beta_j| \right]. \quad (4)$$

式(3)、(4)がペナルティ項である。 $\alpha=0$ でLasso回帰となる。 $\lambda$ はComplexity Parameterと呼ばれ、 $\lambda$ が0だと通常の最小二乗法に一致する。パラメータ $\beta$ は式(2)から分かるとおり大きいとペナルティの影響が強くなるので、パラメータ $\beta$ が小さく推定される。 $\lambda$ (Complexity Parameter)の大きさが小さいと複雑なモデルとなり多くの変数を利用するモデルとなる。大きいとシンプル(Shrinkageが大きい)なモデルとなり少数の変数を利用するモデルになるのが特徴である。またLassoは推定と変数選択を同時に行うことができるため、高次元小標本データから変数選択を行うのに有用である。ただし変数間に高い相関性を有するデータの変数選択を考える場合には、Lassoではこの相関は捉えきれず、適切な変数選択が必ずしも行われないうちに留意する必要がある。

Lassoから推定されたモデルのよさを考えるために本研究ではクロスバリデーション(CV: cross validation; Stone(1974))による評価を行う。データとモデル評価に用いるデータを分けてMSE(予測2乗誤差)の推定を行う。まず、データの中から分けた評価用データを取り除いたデータに基づいてモデル構築し、そのモデルに評価用データを用いて予測2乗誤差を推定する。

### (2) 各変数のパラメータ推定結果

地震前後の取引額比率の各変動効果における各変数のパラメータ推定結果を図1と図2に示す。受注企業が被災地の場合(図2)と発注企業が被災地の場合(図2)の両者の結果において、企業の直接被害および浸水の深さの寄与が大きい結果となった。発注企業が被災地の場合、発注側の従業員数、階数、災害カテゴリのいずれかが変化率にプラスの有意な影響を与えている。受注側が被災地の場合、受注側の工場数、代表取締役の年齢、災害カテゴリのいずれかが取引額にマイナスの影響を及ぼしている。この結果は、受注側がより多くの従業員と工場を持つことで、被災地企業や工場と数多くつながり、供給不足に直面する可能性が高いことを意味している。

発注企業が被災地の場合、発注企業の工場数、従業員数と災害カテゴリ、受注企業の災害カテゴリが、売上の変化率にプラスの影響を与える。また受注企業の浸水深と代表取締役の年齢が、取引額の変化率にマイナスの影響を与える。つまり、発注企業自体が被害を受けていないことも重要であるが受注企業を災害リスクの小さい場所に配置するか、代替ルートを計画しておく必要があることを示唆している。また、受注企業が被災地の場合のMSEは0.17であり、発注企業が被災地の場合のMSEは0.24であった。

4. まとめ

本論文は、サプライチェーン・ネットワークに焦点を

当て、東日本大震災を対象として企業の取引額増減率にどのような影響を与えるかについて、東日本大震災の被災地企業のデータを用いて明らかにした。

本論文では、災害に対する強靱性について、企業特性について着目し、それらの構成要素が重要であることを強く示唆している。

したがって、今後予想される南海トラフ地震のような大災害に対して備えるには、日本の各地域において、地域内のみで完結した企業ネットワーク、サプライチェーンを構築するのではなく、他の地域ともつながった多様な複線型のネットワークを構築していくことが必要であると考えられる。また、本論文の分析では必ずしも明示的には扱っていないが、海外との取引も多様なネットワークの構築に寄与するので、地域の中小企業の国際化支援や海外からの投資の誘致なども災害に対して強靱な経済の構築に役立つと考えられる。

参考文献

- 1) 東京大学空間情報科学研究センター:復興支援アーカイブ: (<http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>), 最終アクセス日:2017年7月31日
- 2) ibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. J. Royal. Statist. Soc B., Vol. 58, No. 1, pages 267-288).

(2017. x. x 受付)

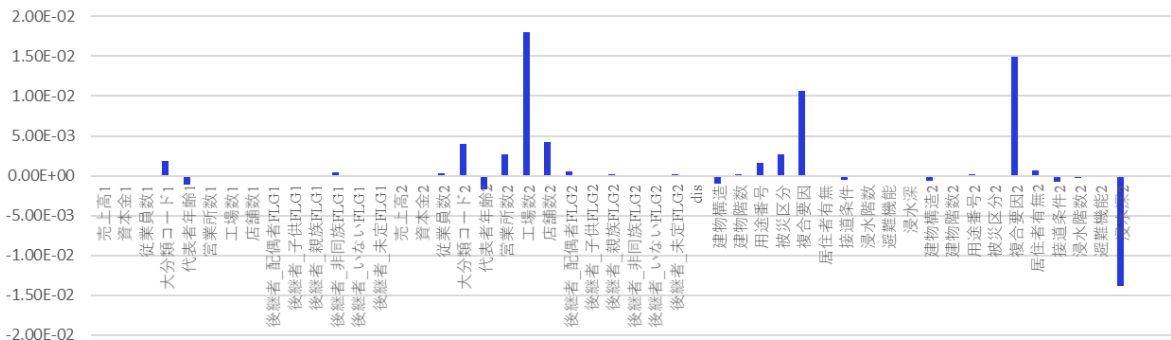


図-1 受注企業が被災地の場合の各変数のパラメータ

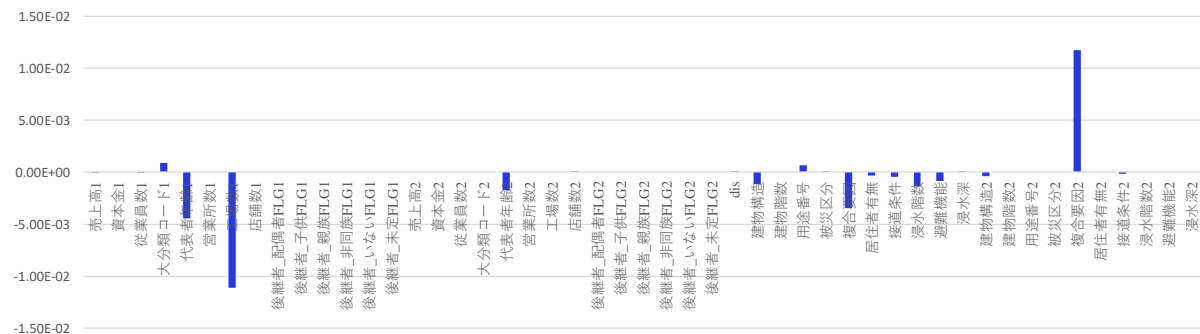


図-2 発注企業が被災地の場合の各変数のパラメータ