

東日本大震災の影響と復旧・復興に関する 定量的データ分析

Novia Budi Parwanto, 大山 達雄

地震、津波に限らず、台風、洪水など、わが国は各種自然災害に最も頻繁に見舞われる国の一つである。本稿では最初に過去 110 余年にわたるわが国の自然災害による被害状況を概観する。地震、津波の発生、被害状況の数理モデルを提示、検証する。さらに津波の発生確率に影響を及ぼす要因としてのマグニチュード、震源箇所、深さの影響度を定量的に示す。2011 年 3 月の東日本大震災がわが国の経済、そして東北地域の主要産業としての農業、製造業に及ぼす影響を大震災前後のデータを用いて計量的に計測し、わが国経済の復興、復旧過程を分析評価し、大規模災害対策のまとめを結論とする。

キーワード：地震、津波、発生確率、東日本大震災、被害影響、産業復興

1. わが国の自然災害

わが国は環太平洋火山帯に属し、日本列島には 100 以上の活火山が存在している。火山爆発に限らず、地震、津波、台風、大雨、洪水、土砂崩れなど多くの自然災害を受け、これまでも非常に多くの人的、物的被害を被ってきた。本稿では、最初に、これまでわが国が経験した自然災害の中でも、特にわが国にとって重大な影響を及ぼしてきた地震、津波に注目し、それらの発生、被害状況を概観する。さらに 2011 年 3 月に起こった東日本大震災が及ぼした未曾有の甚大な被害からわが国の東北地域を中心とした地域産業がどのような復旧、復興過程をたどったかについて実証データを用いた分析結果を紹介する。

1995 年 1 月の阪神・淡路大震災の発生直後に通信網の混乱、火災、建物崩壊、高速道路遮断による交通渋滞、電気、ガス、水道等の供給不能状態などが発生して種々の社会システム機能が停止し、われわれの社会生活は完全に混乱したため、かなりの期間にわたって市民生活に大きな支障をきたした。そして 2011 年 3 月の東日本大震災では、1 万数千人の死者、行方不明者という甚大な被害を受け、避難者総数は未だに 30 万人（2015 年 12 月現在）を超えるといわれている。遠くない将来に起こると予想される東南海・南海地震においては、被害想定が最悪ケースで死者 2 万 5 千人、

津波による全壊住宅 96 万棟、そして経済被害は 50 兆円を超えるといわれている。地震、津波といった自然災害に対して、防災対策のあり方、そして実際に災害が起こった場合の減災対策のあり方を考え、レジリエントな社会システムを構築することは、わが国全体にとって必須である。わが国における自然災害データを計量的に国際比較分析し、その発生状況、発生形態、被害状況を精査したうえで、その防災対策のあり方、そして実際に災害が起こった場合の減災対策のあり方を考え、実証的定量的データに基づいた政策分析を実施し、その実施効果と各種政策評価との関連を明らかにすることは、わが国の中央政府および地方自治体における防災減災関連公共政策の策定、実施、評価に貢献すると期待される。

図 1 は 1900 年から 2012 年にかけての日本における自然災害による死者・行方不明者数を示したものである [1]。その最大値 148,344 は 1923 年 9 月 1 日に発生した関東大震災によるもので、死者 99,331 名を記録

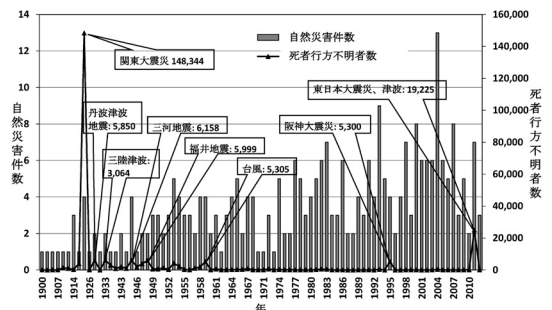


図 1 自然災害件数と死者行方不明者数の推移 (1900~2012)

Novia Budi Parwanto
Institute of Statistics, Indonesia
おおやま たつお
政策研究大学院大学
〒 106-8677 東京都港区六本木 7-22-1
oyamat@grips.ac.jp

表 1 地震と津波による死者・行方不明者数に関する基本統計量 (1900~2012)

期間	地震				津波			
	合計	平均	標準偏差	最大値	合計	平均	標準偏差	最大値
I	3,950	0.28	25.98	3,022	5,389	0.39	32.29	3,022
II	11,579	0.83	51.60	5,131	5,242	0.38	31.02	3,358
III	7,832	0.59	50.92	5,502	865	0.07	5.32	441
全期	23,361	0.57	44.35	5,502	11,496	0.28	26.23	3,358

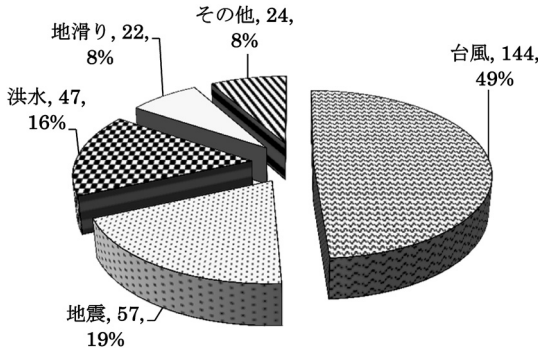


図 2 自然災害件数の内訳構成 (1900~2012)

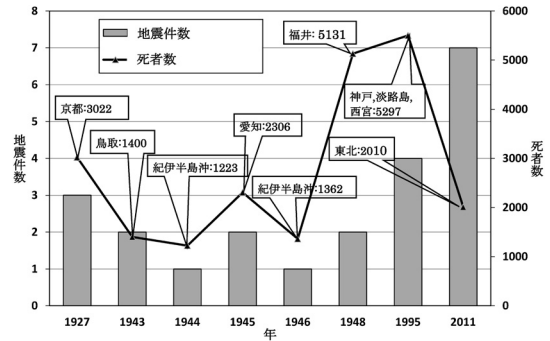


図 3 1,000人以上の死者をもたらした地震の発生推移

している。2番目に大きな死者・行方不明者数は、われわれの記憶に新しい2011年3月11日の東日本大震災に伴う津波によるもので、死者19,057名となっている。わが国の津波被害としては1933年3月の昭和三陸津波、1896年6月の明治津波などがあり、それぞれ3,000名、22,000名を記録している。3番目に大きな死者・行方不明者数は1945年に発生した三河地震の6,158名である。

図2はわが国の1900年から2012年にかけての自然災害件数の内訳構成を示したものである。EM-DAT [2]によると、自然災害総件数は294件、そのうち台風被害が144件とほぼ半分を占め、地震は57件(19%)である。

図3は1900年から2012年にかけての日本における自然災害の中で地震による死者・行方不明者数が1,000名以上の年の発生件数と死者・行方不明者数を示したものである。なお図3は1923年の関東大震災によるものを除いてある。

表1は1900年から2012年にかけての日本における自然災害の中で地震と津波による被害が大きかった年(2011年東日本大震災を除く)の死者・行方不明者数を示したものである。なお表1において上記期間(1900~2012)を三つの期間(I:1900~1937, II:1938~1975, III:1976~2012)に分割したうえで、それぞれ36,7年からなる各期間における死者・行方不明者数の基本統計量を示す。なお表1には例外的に甚

大な被害をもたらした1923年の関東大震災、2011年の東日本大震災のデータは含まれていない。表1からわかるように、全期間を通じてのわが国の地震、津波による死者・行方不明者数の平均値は0.57人/日、0.28人/日である。ちなみにインドネシアの場合は、アチェ島を中心とするインド洋津波(2004年)を除いた同期間における死者・行方不明者数の平均値はそれぞれ0.39人/日、0.19人/日である。上述のように、表1の結果は二つの例外的重大災害を除いているため、それらを含めると津波による死者・行方不明者数の平均値は0.28人/日から7.44人/日、そして標準偏差は25.98人/日から843.52人/日とかなり大きくなる。また同様に表1におけるⅢ期の平均値は上記2例を含めると0.07人/日から1.51人/日、そして標準偏差は5.32人/日から165.81人/日へと大きく増加する。ちなみにインドネシアの場合は、インド洋津波データを含めるとⅢ期に対しては0.46人/日から13.53人/日、そして標準偏差は22.78人/日から1,502.65人/日へと大きく増加する。

わが国の場合、津波被害をもたらす原因の95%は地震である。1900年から2012年にかけての日本における自然災害に対して、地震と津波の発生間隔日数データの頻度分布は指数分布に従っていることがわかる[1]。したがって地震、津波による被害発生事象はポアソン過程となる。指数分布の確率密度関数はパラメタ λ を用いて次式のように与えられる。

表2 地震のマグニチュード、震源と死者数被害 (1900~2012)

マグニチュード	死者数	
	沖合	内陸
< 5	0	0
5.0~5.4	0	1
5.5~5.9	0	2
6.0~6.4	0	47
6.5~6.9	200	5,605
7.0~7.4	5,231	4,697
7.5~7.9	0	13
8.0~8.4	2,667	0
8.5~8.9	0	0
9.0~9.4	2,000	0
≥ 9.5	0	0

$$y = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0 \quad (1)$$

ここでパラメタ λ を推計すると、地震、津波に対してそれぞれ 0.00537, 0.00366 のように得られる。このことは、それぞれの分布に対する平均発生間隔日数が $1/\lambda$ として 186.22, 273.22 のように与えられることを示している。したがって地震、津波の発生間隔日数がそれぞれ平均 186 日, 273 日となり、津波のほうが地震よりも 90 日近く長いことがわかる。

1900 年から 2012 年にかけての 1 カ月当たりの地震、津波による死者・行方不明者数のデータを取り、適合する確率分布を求めるとポアソン分布がほとんどの場合に最も適合していることがわかる。ポアソン分布の確率密度関数は次式のように与えられる。

$$y = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

ここでパラメタ λ を推計すると地震、津波に対してそれぞれ 17.330, 8.535 のように得られる。これらの値はそれぞれ、1900 年から 2012 年にかけての 1 カ月当たりの地震、津波による死者・行方不明者数の平均値にほぼ一致している。ポアソン分布の平均値はパラメタ値 λ で与えられるので、地震による死者・行方不明者数は津波のみの場合の約 2 倍となることがわかる。

表 2 はわが国で発生した地震のマグニチュード、震源とそれに伴う被害との関係を示したものである。わが国で発生する地震の震源については全体の 78.4% が沖合となっており、内陸を震源とするものは全体の 20% に満たない。表 2 からわかるように、死者数に関しては、震源が沖合の場合と内陸の場合とではほぼ同数で

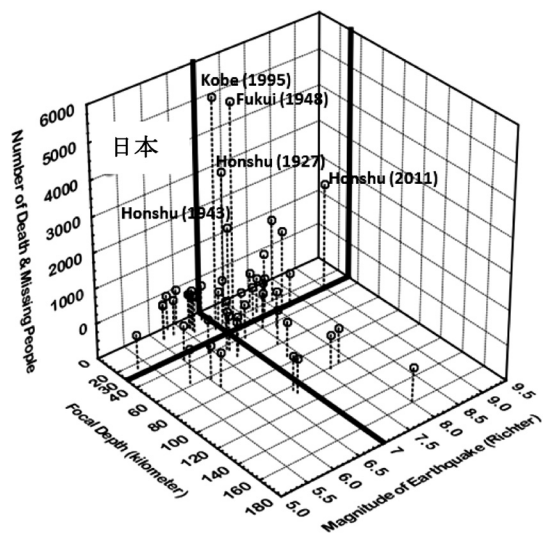


図4 地震マグニチュード、震源の深さと死者・行方不明者数

あることから、被害に関しては後者の場合のほうが前者の場合より 4 倍近く大きくなることがわかる。

地震については人的被害をもたらすのは大部分がマグニチュード 6.0 から 7.4 以下であることもわかる。ここで地震の各種特性要因と津波の発生確率との関係を表わす数理モデルとして下記のような重回帰モデルを考える。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon = x\beta + \varepsilon \quad (3)$$

ここで $x = (1, x_1, \dots, x_k)$, $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)^T$ とする。また従属変数 y は津波が発生するときに 1, そうでないときに 0 をとるものとする。独立変数を震源の深さ、マグニチュードとし、式 (3) に基づいて最小二乗プロビットモデル、ロジットモデルの推計を行うと、パラメタ推計値は表 3 左欄のように得られる。ここで Colin and Trivedi [3] に基づいてプロビットモデル、ロジットモデルの推計を行うとそれぞれの独立変数に基づく“限界影響”が表 3 右欄のように得られる。表 3 の推計結果から、次のようなことが示唆される。(i) 地震マグニチュードが 1 Mw^1 増加すると、津波発生確率は 14.4%ないし 15.4%増加する。(ii) 震源深さが 1 km 浅くなると、津波発生確率は 0.6%増加する。(iii) 震源が沖合になると、津波発生確率は 66.6~69.2%増加する。

図 4 は地震のマグニチュードと震源の深さと死者・行方不明者数の関係を示したものである。地震のマグ

¹ National Geophysical Data Center (NGDC) において定められたマグニチュードを表す単位表記。

表3 LPM, ロジット (Logit), プロビット (Probit) モデルによる津波発生に伴う限界影響

独立変数	LPM (OLS)	Probit (MLE)	Logit (MLE)	独立変数	Probit	Logit
マグニチュード	0.090* (0.044)	0.374* (0.159)	0.646* (0.293)	マグニチュード	0.144* (0.060)	0.154* (0.067)
震源深さ	-0.003*** (0.000)	-0.016*** (0.004)	-0.028*** (0.007)	震源深さ	-0.006*** (0.001)	-0.006*** (0.001)
位置	-0.561*** (0.077)	-1.730*** (0.310)	-2.904*** (0.567)	位置	-0.666*** (0.125)	-0.692*** (0.146)
定数	0.819* (0.355)	0.530 (1.234)	0.796 (2.269)	定数	0.144* (0.060)	0.154* (0.067)
N	178	178	178	限界影響 $y = Pr$	0.6040	0.6075
LLV		-77.04	-77.10	(Tsunami)		
R ²	0.393			(predict)		
Pseudo-R ²		0.346	0.346			

() 内は標準偏差, LLV: Log-likelihood 値. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

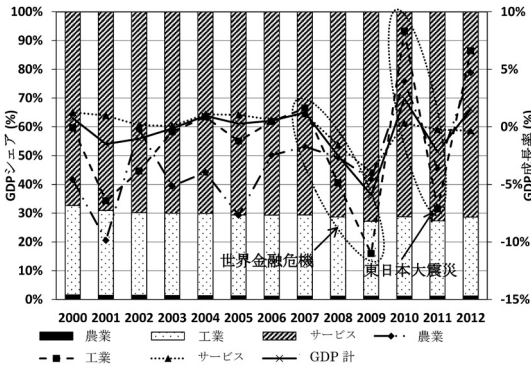


図5 GDP 成長率と対 GDP シェア (2000~2012)
(出典: 日本統計年鑑 (2000~2012))

ニチュードに関しては7.0あたりを境に死者・行方不明者数が大幅に増加し, また震源の深さに関しては30 kmあたりを境に死者・行方不明者数が大幅に増加することがわかる。

2. 東日本大震災前後の日本経済

図5は, 2000年から2012年にかけてのわが国のGDPの成長率と産業構造のシェア推移の状況を示したものである。2011年以前の2000年から2010年にかけての産業構造は, シェア平均として一次農業が1.3%, 二次製造業が28.4%, そして三次サービス産業が70.3%であった。そしてその間, わが国の経済は平均0.4%減で最大成長率は2010年の2.4%である。これは2008年のリーマンショックに伴う世界金融危機のわずか2年後である。わが国の経済は2007年から2009年にかけての世界金融危機と2011年の東日本大震災との二つの危機的状況を経験した。前者では2008年と2009年のGDPの減少がそれぞれ2.5%, 5.9%となり, また

後者では2011年の2.2%減となって表れている。特に製造業部門における打撃は大きく, 前者危機時においては11%, 後者危機時においては7.1%の減少を示している。

図6は2000年から2012年にかけてのわが国のGDPの付加価値額と成長率の推移を八つの地域別に示したものである。上記期間におけるGDPシェアの平均値を比較すると, 関東地域はわが国全体のGDPの36.9%のシェアを占め, 次いで中部(17.8%), 近畿(17.2%), 九州(沖縄含む)(9.4%), 東北(6.5%), 中国(5.7%), 北海道(3.8%), そして四国(2.7%)となっている。また地域別GDPの成長率の減少率も関東が0.30%と最も小さく, 次いで九州(沖縄含む)(0.33%), 中部(0.37%), 中国(0.44%), 近畿(0.55%), 四国(0.58%), 東北(0.73%), そして北海道(0.81%)となっている。

3. 農業と製造業の生産額と付加価値額の推移

図7は2000年から2012年にかけてのわが国の8地域の農業総生産額(GAP, Gross Agricultural Product)と当該期間の米の生産量の推移を示したものである。図7に示したように, 8地域は三つのグループに分けることができる。第一のグループはGAP, 米生産量ともに大きなシェアを有する東北, 中部, 関東, 九州の4地域である。中でも東北は米生産量が最大でGAPが最小である。一方, 九州は東北とは逆に, 前者が最小で後者が最大という特徴を有しているのがわかる。第二のグループは北海道のみで, 他地域とは異なる傾向を有している。第三のグループは米生産量, GAPともに小さな地域で中国, 近畿, 四国の3地域が該当する。中では四国の米生産量が最小である。

2000年から2012年にかけての東北6県の地域別

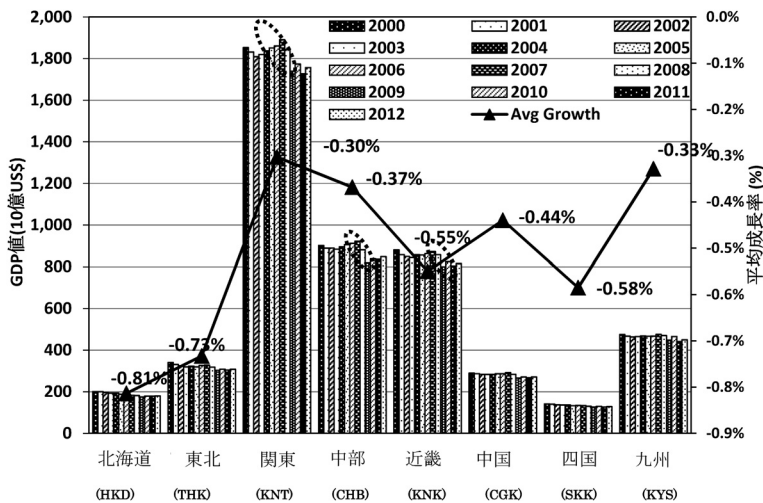


図6 地域別 GDP 値と平均成長率 (%) (2000~2012)

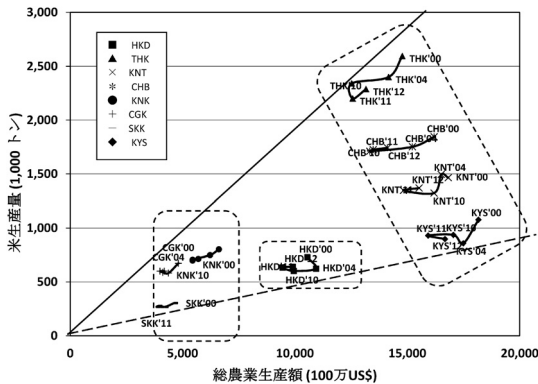


図7 東北地方の総農業生産額

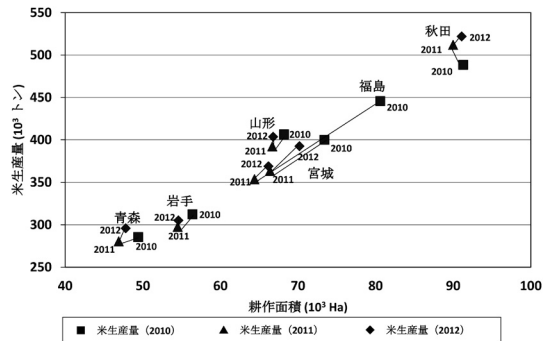


図8 東北地方の耕作面積と米生産量 (出典: 農水省データ (2010~2012))

GDP 割合の平均値は宮城 (25.4%), 福島 (23.4%), 岩手 (13.8%), 青森 (13.7%), 山形 (12.2%), そして秋田 (11.6%) の順である。したがって東日本大震災で甚大な被害を受けた宮城, 福島, 岩手は東北地域の県別 GDP の上位 3 県である。上記期間における東北 6 県の県別 GDP 成長率の減少率は青森 (0.47%) が最も小さく, 次いで宮城 (0.72%), 秋田 (0.73%), 山形 (0.96%), 福島 (0.98%), そして岩手 (1.37%) が最大である。

図 8 は 2010 年から 2012 年にかけての東北 6 県の米生産量と, 東日本大震災で発生した津波によって冠水し米作地が失われた耕作面積の関係を示すグラフである。米生産量の減少が最大なのは福島, 次いで宮城, 岩手, 山形, 青森, 秋田となっている。また大震災後の回復が, 福島が最も遅いことは予想どおりであるが, 最も早かったのが青森であることもわかる。

定量的に分析するために, 東日本大震災の前後における各種変数の変化量を従属変数とする次のような重回帰モデルを考える。

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \beta_1 y_{i,t-1} + \beta_2 Z_{i,t} + \beta_3 GEJE_{i,t} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

ここで $y_{i,t}$ は県 i の期 (年) t における県民 1 人あるいは 1 世帯当たり生産額の成長率, Z は各種政策変数, $GEJE_{i,t}$ は県 i が期 (年) t に東日本大震災の影響を受けた場合に 1, そうでないときに 0 をとるような 2 値変数とする。そして μ_i, η_t はそれぞれ県 i あるいは期 (年) t に付随する効果を表す項, そして $\varepsilon_{i,t}$ は誤差項である。なおここで上記モデルの推計に際しては, わが国の 47 都道府県を東日本大震災の被害を受けた 9 県 (青森 (2), 岩手 (34), 宮城 (39), 福島 (59), 茨城 (37),

表4 東日本大震災の農業生産額に及ぼす影響（システム GMM）従属変数：農家1世帯当たり農業生産額の成長率

	全都道府県 [1]	被害影響都道府県 [2]	被害重大影響都道府県 [3]
自然災害変数			
2011年東日本大震災	-0.0507* (-1.80)	-0.0641** (-2.17)	-0.103* (-1.67)
制御変数			
農家1世帯当たり初期農業生産額 (log)	-0.0220** (-2.51)	-0.0871*** (-4.83)	-0.268*** (-2.99)
教育 (log)	0.0894 (0.45)	1.383* (2.65)	2.072* (1.77)
県民1人当たり公共事業支出 (log)	-0.0165 (-1.88)	0.0143 (1.60)	0.0379 (0.52)
県民1人当たり災害防災救援支出 (log)	-0.00628** (-3.47)	-0.0260*** (-8.22)	-0.0129 (-0.83)
県民1人当たり厚生福祉支出 (log)	0.0447*** (5.00)	0.0567** (3.05)	0.205*** (2.59)
インフレ変数 (log (100 + % CPI 成長率))	-2.447*** (-7.47)	-2.540*** (-4.05)	-2.112 (-1.63)
定数	-10.86*** (6.03)	-5.547 (1.34)	-0.540 (-0.07)
データ数	550	108	48

注：() 内数値は t -統計量。*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ はそれぞれ 1, 5, 10% 有意を示す。

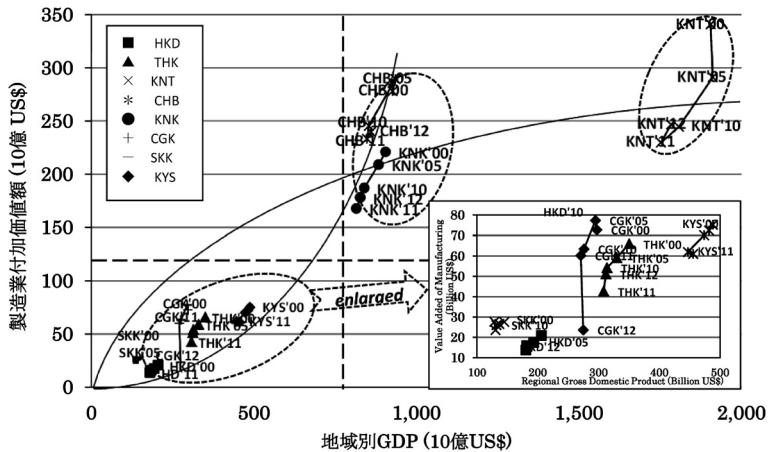


図9 地域別 GDP と製造業付加価値額 (2000~2012) (出典：経済産業省, 工業統計)

栃木 (15), 千葉 (8), 新潟 (3), 長野 (1)², そしてその中でも最も大きく影響被害を受けた4県 (青森, 岩手, 宮城, 福島), そしてすべての47都道府県の三つのグループに分類した。上記重回帰モデルの従属変数は農家1世帯当たりの農業生産額の成長率, 独立変数は東日本大震災による被害影響の有無, 制御変数として, 東日本大震災による被害影響の有無, 農家1世帯当たりの初期農業生産額, 教育変数 (高卒者の中の進学者割合), 県民1人当たり公共事業支出, 県民1人

当たり災害防災救援支出, 県民1人当たり厚生福祉支出, インフレ変数などの対数値をとった場合のパラメータ推計値を表4に示す。

表4の推計結果から, 当然のことながら東日本大震災の影響が最も大きいのは被害影響が最大のグループで, 次に影響が大きいのは被害を受けたグループ, そしてすべての都道府県の場合が最も小さいことがわかる。表4の推計結果における制御変数に関しては, 農家1世帯当たりの農業生産額の成長率に関して有意に負に働くのは農家1世帯当たりの初期農業生産額, 災害防災救援支出, 県民1人当たり公共事業支出 (有意で

² () 内数値は各県において震災被害を受けた市町村数を表す。

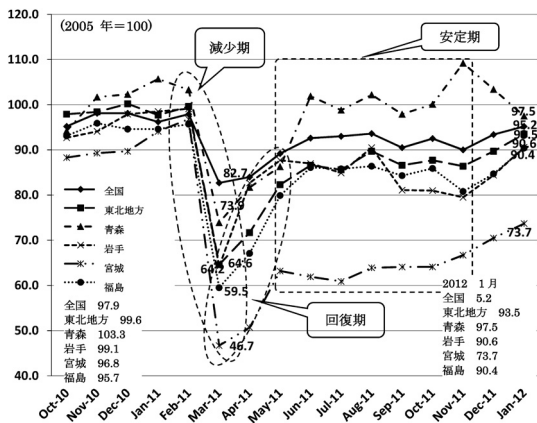


図 10 工業生産指数の推移 (季節調整済) (出典：経済産業省データ)

はない),そしてインフレ変数である。特にインフレ変数の影響が大きいこともわかる。一方、農家1世帯当たりの農業生産額の成長率に関して正に働くのは、教育変数(有意ではない)と県民1人当たり厚生福祉支出であることがわかる。

図9は2000年から2012年にかけてのわが国の8地域の地域別GDP額と製造業付加価値額の推移を示したものである。図9に示したように、8地域は三つのグループに分けることができる。すなわち、地域別GDP額と製造業付加価値額に関して、いずれも高い第一グループ、前者が中位で後者が高い第二グループ、いずれも低い第三グループの三つである。第一グループに属する関東は、全生産額に占める製造業の生産額のシェアは2000年から2012年にかけて14.73%である。それに対して第二グループに属する中部、近畿はそれぞれ29.01%、22.49%と高く、特に中部地域の製造業の生産額は最大である。第三グループに属するその他地域はすべて低く特に北海道は8.81%と低いのが特徴的である。またここで、図9から地域別GDP額と製造業付加価値額の関係に関して特徴的なこともわかる。すなわち地域別GDP額がある程度(中部地域のGDP額であるUS\$800B)までは製造業付加価値額は急激に上昇する。つまり製造業がGDPを“牽引”するのに対して、地域別GDP額がそれを超えると製造業の伸びは“飽和傾向”をたどり、代わりにたとえばサービス業といった第三次産業がGDPを“牽引”するといった特徴が見られる。図9は地域別GDP額がUS\$800Bを境に、それ以前では下に凸の曲線に沿って上昇するのに対して、それ以降では逆に上に凸の曲線に沿って上昇する傾向を示したものである。

図10は2010年10月から2012年1月にかけての

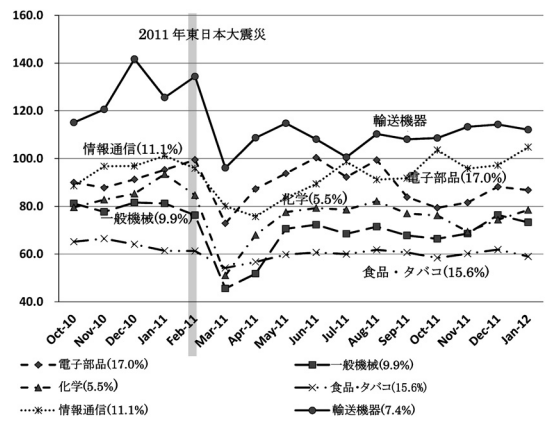


図 11 地域別工業生産指数の推移 (東北地方) (出典：経済産業省東北経済産業局統計)

製造業生産額指数(IIP)の推移(2005年を100とする)を全国、東北地域、青森、岩手、宮城、福島に対して示したものである。東日本大震災後の減少量が全国IIP指数と比較して東北地域、特に福島、宮城でかなり大きいことがわかる。

図11は2010年10月から2012年1月にかけての東北地域の産業別IIPの推移を示したものである。東日本大震災を境にすべての産業でIIPが減少した傾向は見られるが、特に一般機械における減少が顕著で、次いで化学、輸送機器において大きな減少傾向が見られる。また大震災後の復旧、復興に関しては、やはり一般機械における復旧が顕著で、次いで化学、電子機器が大震災以前の状況には至っていないものの速やかな復旧傾向を示しているのがわかる。また食料、輸送機器、情報通信などの産業においては、復旧が未だ緩やかであることもわかる。

4. まとめと結論

2011年3月11日に発生した東日本大震災がわが国全体に未曾有の甚大な被害をもたらしたことは事実である。この大震災が原子炉の水素爆発によって福島原子力発電所の機能を完全に停止させ、そのことがわが国の防災減災対策に限らずエネルギー政策、経済産業政策にも大きな影響を及ぼしていることもまた事実である。東日本大震災によってわが国のGDPは2.2%減少し、特に製造業を中心とする第二次産業は7.13%減少し、農業を中心とする第一次産業、サービス業を中心とする第三次産業もそれぞれ3.64%、0.85%の減少を示した。

本稿では最も大きな打撃を受けたとされる農業と製造業を対象として分析を行った。

農業部門においてはほぼ 5.8%の耕地が冠水し、84.7 億 US ドルの損失となり、宮城が最大の被害を受け、次いで福島、岩手が大きな被害を受けた。また製造業部門においては製造業の生産を示す IIP 指標は全国レベルで 3.97%減少したのに対して、東北地域では 8.13%の減少となっている。IIP 指数は全国レベルでは 2011 年第 3 四半期には回復傾向を示したものの、未だ大震災以前の水準までは戻っていない。

農業と製造業はわが国の基幹産業である。地震、津波に限らず自然災害に強い生産体制、産業構造がどのようなものかを考えることが求められている。

参考文献

- [1] N. B. Parwanto and T. Oyama, “A statistical analysis and comparison of historical earthquake and tsunami disasters in Japan and Indonesia,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **7**, pp. 122–141, 2014.
- [2] EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain, Belgium, <http://www.emdat.be>
- [3] C. A. Colin and P. K. Trivedi, *Microeconomics using Stata*, Stata Press, 2009.
- [4] N. B. Parwanto and T. Oyama, “Investigating the impact of the 2011 Great East Japan Earthquake and evaluating the restoration and reconstruction performance,” *Journal of Asian Public Policy*, **8**, pp. 329–350, 2015.