

国別データを用いた 自然災害と経済成長の関連性に関する実証分析

遠藤 壮一郎¹・福田 大輔²

¹非会員 日本貿易振興機構 ものづくり産業部 環境・インフラ課
(〒107-6006 東京都港区赤坂一丁目12-32)

Email: soichiro_endo@jetro.go.jp

²正会員 東京工業大学大学院准教授 理工学研究科 土木工学専攻
(〒152-85524 東京都目黒区大岡山二丁目11-1)

E-mail: fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

本研究では自然災害と経済成長の関係性についての実証分析を行った。具体的には、自然災害統計EM-DATとマクロ経済データWDIの各国統計情報を統合したデータセットを用いて、自然災害の生起とその規模が各国の全体及び産業部門別の経済成長に及ぼす影響を把握するための計量経済モデルを構築し、System-GMM法によりパラメータ推定を行った。その結果、自然災害はGDPに対して統計的に有意ではないものの弱い正の影響があることが確認された。また、自然災害変数は正の影響を与えることから、既往研究で示唆された「自然災害の生産性効果」が存在することが支持された。さらに、一国のGDPに対して自然災害影響が有意でない場合でも、産業部門別に見たら有意な影響が生じている場合があることも確認された。具体的には、農業部門の生産性の成長率に対して、自然災害は統計的に有意な負の影響があること、工業・サービス部門の生産の成長率に対しては有意に正の影響があることなどが示唆された。

Key Words : *natural disaster, economic growth, productivity effect, econometric analysis, panel data*

1. はじめに

自然災害による経済被害は増加傾向にあり、将来的にも気候変動などに起因する被害の増加も懸念されている。一般に、自然災害が発生すると、生産設備やインフラストラクチャーなどのストックに大きな影響が及び、供給量に大きな負の影響 (ie. 生産力の低下) が生じる。特に、農業を中心とする発展途上国では、自然災害の影響を受けやすく、洪水や干ばつによって生産量は大きく変動すると言われている。一方、その他の産業部門が経済活動の中心を占める先進国においても、インフラストラクチャーや生産設備に影響が及ぶことでさらに甚大な影響が生じる場合も考えられる。我が国の巨大地震災害を例にとっても、1995年の阪神淡路大震災、2004年の中越沖地震、さらには2011年3月の東日本大震災によって多くの高速道路や工場が被災し、国全体のマクロ経済も大きな影響を与えた。それぞれの震災による資本ストックの直接被害額は約9兆6千億円 (国土庁)、約3兆円 (新潟県)、約1兆6千9百億円 (内閣府) と甚大なものであったことが報告されている¹⁾。

近年、マクロデータを用いた経済成長と自然災害に関する実証研究が進みつつあり、その潮流は二つに大別される。一つは、短・中期的 (1~5年程度) の効果に関するものであり、自然災害がGDP成長率に及ぼす影響を検証したものである。例えば、災害発生の前後におけるGDP、インフレーション、投資量、部門別生産量等の変化を検証したもの²⁾、開発途上国に着目して自然災害のみならず戦争・紛争なども含めた外的なショックの効果を検証したもの³⁾、各国の制度や政策の相違が自然災害の影響を増大現象させるかどうかを検証したもの⁴⁾、経済部と自然災害の種類を細分化した上でそれらの関連性を検証したもの⁵⁾などが挙げられる (表-1)。

もう一つの研究の方向性として、自然災害のより長期的 (10~30年程度) な経済成長への影響分析が挙げられる。具体的には、約30年分の国別データを用いて災害生起回数長期経済成長との回数の関連性や物的資本の蓄積と人的資本の蓄積との関連性を分析したもの⁶⁾、多様な自然災害指標の影響を分析したもの⁷⁾、災害発赤頻度と技術移転の容易性の関係を検証したもの⁸⁾などが挙げられる (表-2)。

表-1 短・中期的な影響を対象とした既往研究

研究	被説明変数	推定された影響
Albala-Bertrand (1993) ²⁾	GDP 成長率	全災害：0.40%
Raddatz (2007) ³⁾	GDP	気候変動：-2%
Noy (2009) ⁴⁾	GDP 成長率	経済被害額：1.33%、 影響人口：-9.7%
Loayza et al. (2012) ⁵⁾	GDP 成長率	干ばつ：-0.606%、洪水：-0.996%、 地震・嵐：有意でない
Fomby et al. (2013) ⁹⁾	GDP 成長率	干ばつ：-1.5%、洪水：0.2%、 地震：0.5%

表-2 長期的な影響を対象とした既往研究

研究	被説明変数	推定された影響
Skidmore and Toya (2002) ⁶⁾	GDP 成長率	気候関連災害：0.42%、 地理関連災害：-0.32%
Noy and Nualsri (2007) ⁷⁾	GDP 成長率	死亡者数/人口：-6.58 (係数)、 経済被害額/GDP：有意でない
Cuaresma et al. (2008) ⁸⁾	技術伝播	災害数：0.69%
Raddatz (2009) ¹⁰⁾	GDP	気候関連：-0.5%、地理関連：有意でない、 その他：2.0%
Cavallo et al. (2010) ¹¹⁾	GDP	全災害：10%

このように、自然災害が経済成長に対して短中期・長期に渡って影響を与えることが既往研究から示唆されるものの、自然災害と経済成長の関係性に関する統一的な見解を得るには至っていない。そこで本研究では、これらの既往研究に引き続き、自然災害のマクロ経済成長への影響をさらに深度化させた実証分析を行う。具体的には、世界の国単位のマクロ経済データと自然災害データを統合的に利用して、Loayza et al.⁵⁾ で提案されている自然災害指標をさらに細分化した上で、国全体の経済成長と自然災害の影響の関係のみならず、生産部門による被影響の度合いの違い、あるいは、自然災害のタイプによる影響の度合いの違い等について、より包括的な分析を行うものである。

2. データ

推計を行うためのデータとして、世界各国単位かつ時系列でデータベースが豊富に存在することが条件となる。本研究では、既存の研究で利用されているデータを参考にして、マクロ経済パネルデータと自然災害統計データを統合したデータベースを構築した。ここで、マクロ経済指標に関するパネルデータは、世界銀行が管理する World Development Indicator (WDI)¹²⁾ を利用する。一方、自然災害統計データに関しては Centre for Research on the Epidemiology of Disasters が蓄積している Emergency Disasters Database (EM-DAT)¹³⁾ を利用する。EM-DAT は世界の様々な種類の自然災害の統計データを包括的に扱っているデータベースである。

分析期間は 1980 年から 2010 年までの 30 年間とし、一期 5 年として 6 期分のパネルデータを構築する。対象国については、分析データに欠損の無いものを利用する。

(1) 自然災害の定義

EM-DAT において、自然災害は気候関連、水文関連、気象関連と地理関連という 4 つのカテゴリーに分けられており、EM-DAT による自然災害の定義は以下のようになっている。

1. 10 人以上の人々が亡くなっていること。
2. 100 人以上の人々が影響を受けていること。
3. 被災地域で緊急事態宣言が発令されていること。
4. 国際的な援助を求めていること。

本研究では、主要な自然災害である干ばつ、洪水、嵐、地震に焦点を当てて分析を行う。これらの災害は、統計データの中でも大きな割合を占めており、Kahn¹⁴⁾ によれば、1980～2002年のデータのうち、12%が地震、40%が洪水、37%が嵐となっている。

表-3は上記の主要な自然災害（干ばつ、洪水、嵐、地震）の基本統計量を示している。自然災害の被害はその災害の種類によって異なり、地震のような局地的な災害は影響人口が少ない一方で、一回の発生で大きな経済被害が生じていることがわかる。また、洪水は非常に広範

表-3 自然災害に関する基本統計（1980～2010年）

変数	干ばつ	洪水	嵐	地震	計
影響人口の平均	6022881	1234658	428082	140840	7826461
推定被害額平均(US Million \$)	533.45	348.52	477.91	1076.98	2436.86
災害の数（影響人口あり）	314	2262	1606	730	4912
災害の数（経済被害額あり）	147	1077	1310	318	2852
災害の数（全体）	496	2768	2617	828	6709

※影響人口：緊急時において、迅速な救助を必要とする人々の数。たとえば、救助とは食事、水、住居、衛生や医療行為のことを指す。死亡者数：災害時に、死亡が確認された、もしくは行方不明となったまたは死亡と見なされた人口。推定被害額：災害の直接被害額（たとえば、インフラ、穀物や住宅の破壊など）と間接被害額（歳入の減少、失業の増加や市場の不安定など）両方を当時の金額（US\$）で推定したもの。

困の人々に影響を与えるものの、一回のイベント当たりの経済被害額は比較的小さいものであることもわかる。

(2) 自然指標の構築

本研究では、Loayza et al.⁹⁾を参考に、災害の数、影響人口、推定経済被害額を基にした自然災害指標を以下のとおり複数種類作成する。

a) 被害人口

$$ND_loayza_{i,t} = \log \frac{1}{5} \left(\sum_j \frac{People\ hurts_{i,t,j}}{Peopulation_{i,t}} \right)$$

$People\ hurts \equiv People\ affected \times 0.3 + People\ killed$

ここで、 i :国、 t :時点（5 年を 1 期とする）、 j :災害タイプ、 $People\ affected$: 影響人口、 $People\ killed$: 死亡者数、 $Peopulation$: 人口、である。被害人口を自然災害指標として用いることで、災害の頻度と大きさの両方を分析に組み込むことが可能となる。また、影響人口と死亡者数を両方とも考慮することで、自然災害で被害を受けたすべての人をカバーすることができると考えられる。

b) 影響人口

$$ND_{i,t} = \log \frac{1}{5} \left(\sum_j \frac{People\ affected_{i,t,j}}{Peopulation_{i,t}} \right)$$

ここで、 $People\ affected$: 影響人口である。影響人口は被害人口と同様に、災害の頻度と大きさの両方を考慮できる指標となっている。ここで 1/5 で除しているのは、

c) 災害生起数

$$ND_number_{i,t} = \log \frac{1}{5} \left(\sum_j Number\ of\ disasters_{i,t,j} \right)$$

ここで、 $Number\ of\ disasters$: 各災害の生起数である。

d) 推定被害額

$$ND_economic_{i,t} = \log \frac{1}{5} \left(\sum_j \frac{Estimated\ damage_{i,t,j}}{GDP_{i,t}} \right)$$

ここで、 $Estimated\ damage$: 推定経済被害額、 GDP : 一人当たり GDP である。推定被害額は、直接被害と間接被害の両方を推定した結果を用いたもので、この指標も影響人口と同様に災害の頻度と大きさの両方を考慮することができる。しかし前述の通り、災害によって影響人口と推定被害額の大きさの平均値は異なり、例えば、地震は影響人口が少ない局所的な自然災害であると考えられるが、洪水は影響人口が多く広範囲に渡る災害であるなどの災害種別による相違が見られる。

(2) マクロ経済データ

本研究で用いる各国のマクロ経済指標を表-4 にまとめる。経済成長を説明する変数として教育水準、金融、

表-4 マクロ経済データ一覧

変数名	WDI における指標
経済成長	GDP growth rate per capita (in logs)
生産量の初期値	GDP per capita (in logs)(US\$ (2000))
教育の初期値	Secondary school enrollment rate (in logs)
金融	Private credit/GDP (in logs)
政府支出	Government consumption/GDP (in logs)
貿易開放度	(Import+Export)/GDP (in logs)
対輸入輸出価格	Log difference of net barter TOT (Terms of trade) index/GDP
物価指数	100+growth rate of CPI (Consumer price index) (in logs)
投資	Capital formation/GDP (in logs)

政府支出、貿易開放度、対輸入輸出価格、消費者物価指数、投資となどといった変数を用いる。

3. 計量経済モデル

(1) モデルの特定化

本研究では、Loayza et al.⁹⁾および Durlauf et al.¹⁵⁾を参考に、パネルデータを利用したマクロ経済成長に関する基礎的な計量経済モデルを以下のように特定化する。

$$y_{i,t} = \alpha y_{i,t-1} + \beta X_{i,t} + \gamma Z_{i,t} + \mu_t + \varphi_i + \varepsilon_{it}$$

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = (\alpha - 1)y_{i,t-1} + \beta X_{i,t} + \gamma Z_{i,t} + \mu_t + \varphi_i + \varepsilon_{it}$$

ここで、 $y_{i,t}$: 一人当たりの生産量、 $X_{i,t}$: 投資量、 $Z_{i,t}$: 政策や制度の変数、 μ_t : 時系列項、 φ_i : 観測できない国別固定項、 ε_{it} : 攪乱項である。

上記のモデルの左辺は経済成長率を表しており、右辺に経済成長を説明する変数である投資量、その他の政策や制度の変数が与えられている。本モデルでは初期値の違いから来る国別の固定効果とパネルデータの中にある観測できない時系列項を考慮することでモデルをより広い範囲のデータに適応させることができる。また、右辺には生産量の水準を表す変数として各期の生産量の初期値が含まれているため、動的パネルデータとなっている。動的なパネルデータにおいては通常の OLS (Ordinary Least Squares) 推計などでは一致推計量が得られないため、内生性を減らすための推定方法の工夫が必要となる。

上述最も基本的なモデルでは自然災害の項が含まれていないので、モデルを自然災害の影響を含めた形で拡張する必要がある。Durlauf et al.¹⁵⁾によれば、自然災害は技術と投資に与える可能性があると考えられる。本研究では、自然災害と技術革新に焦点を当てるため、以下のようにモデルを拡張する。

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = (\alpha - 1)y_{i,t-1} + \beta_1 X_{i,t} + \beta_2 ND_{i,t} + \gamma Z_{i,t} + \mu_t + \varphi_i + \varepsilon_{it}$$

ここで、 $y_{i,t}$: 一人当たりの生産量、 $X_{i,t}$: 投資量、 $Z_{i,t}$: 政

策や制度の変数, μ_i : 時系列項, φ_i : 観測できない国別固定項, ε_{it} : 攪乱項, ND_{it} : 自然災害変数である。

上記の拡張したモデルを利用すれば, クロス・セクションデータでは分析することができない 5 年 1 期として自然災害の直接的な被害を推定することができる。また, 操作変数を追加することによって, 高次の影響 (ie. 間接被害や復興事業などの影響) を除いた自然災害の影響を取り出すことができる。セグメントに分けて分析を行うことで, 途上国と先進国との自然災害の影響の違いを評価することが可能となる。

(2) パラメータ推定方法

前述したモデルは右辺に時系列項と国別の固定効果が含まれているため, 標準的な OLS 推計などではパラメータの一致推計量を得ることができない。さらに, モデルで利用される諸マクロ経済変数は一定程度まで内生性を備えた変数であるため, 被説明変数と説明変数の間で相関関係が生じることが予想される。そこで, 本研究では操作変数を利用した推定方法である System-GMM (システム一般化積率法) を用いて, 推計結果の内生性バイアスに対処したパラメータ推定を行うこととする。

GMM (Generalized Method of Moments 一般化積率) 法は, Holtz-Eakin et al.¹⁶⁾, Arellano and Bond¹⁷⁾, Arellano and Bond¹⁸⁾ によって動的なパネルデータの推計に導入された。System-GMM は, GMM のデータに対する要求をさらに小さくするために Blundell and Bond¹⁹⁾ によって開発された推定方法であり, 本研究でもこの手法を用いることとする。推定方法や検定方法の詳細については, Appendix を参照されたい。

4. 推定結果と考察

(1) 基本モデル

表-5 に GDP 成長率を被説明変数, 影響人口を自然災害変数として基本モデルの推定を行った結果を示す。

また, 表-6 に経済部門毎の生産量成長率に分離して個別に推定した場合の結果を示す。すべての回帰分析において, 初期値を除いて同じ説明変数を用いている。また, 統計的な検定テストとして, Hansen 過剰識別制限テストと Arellano-Bond テストを行っている。

表-5 より, GDP のラグ項の係数が正の値を取っており, 過去の実証研究とは異なる結果となっている。これはサンプルによって符号やその絶対値が変化しやすいためであると考えられる。Loayza et al.⁹⁾ によれば, この変化は近年 (ここ数十年) におけるマクロ経済の変動と公共インフラの役割の変化で説明が可能であるとされている。また, 自然災害の成長に対する効果は集計された一人当たり GDP に対して, 5 年を一期として正の係数で

表-5 GDP成長率を被説明変数とした場合の推定結果

説明変数	Coef.	Std. Err.	t
生産量の初期値	0.486	0.338	1.44
対輸入輸出物価指数	0.236	0.046	5.13
自然災害	0.068	0.057	1.19
投資	2.749	0.576	4.77
消費者物価指数	0.717	0.618	1.16
政府支出	-5.107	0.582	-8.77
教育の初期値	-0.836	0.614	-1.36
貿易開放度	-0.552	0.468	-1.18
金融	0.613	0.345	1.78
固定項	4.083	3.617	1.13
Observations	166		
Number of groups	72		
Number of Instruments	47		
Arellano-Bond test AR(1)	z=-1.73	0.084	
Arellano-Bond test AR(2)	z=1.30	0.193	
Hansen test		0.444	

はあるが, 統計的に有意な影響はあまりみられない。

一方表-6 より, 経済部門毎の結果を見ると, 農業部門では負に有意な影響が見られるが, 工業・サービス部門では正に有意な影響が見られる。農業部門は自然環境の影響を受けやすく, 自然災害の被害が農業経済成長率にも負の影響を与えることが考えられる。しかし, 農業部門の経済成長に対しては, 投資量も負に有意な影響が出ているため, 農業はその他の経済部門とは違った成長の説明変数を持つ可能性が示唆される。工業部門はサービス部門に比べて, 自然災害の正の影響が大きい。サービス部門と比べて, 工業部門は設備投資が生産量に与える影響が大きいと考えられるため, この二つの部門の自然災害の経済成長に与える影響の差は, Okuyama²⁰⁾ および Hallegatte and Dumas²¹⁾ が示唆したような復興期間における技術革新が経済成長を促すという仮説でも説明できるものと思われる (Okuyama²⁰⁾ では, 復興期間における技術革新の要因は特定されていないものの, Hallegatte and Dumas²¹⁾ では, 自然災害の生産資本は破壊後に起こる新たな技術レベルを持った資本蓄積が生産量の成長に影響を与えることが仮定されている)。

(2) 自然災害変数の相違による影響

2. 2) で定義した様々な自然災害変数を説明変数として, System-GMM 推計を行った結果を表-7~9 に示す。

自然災害変数について着目すると, 基本モデルと同様の傾向を表-7~9 のいずれについても確認することができる。しかし, 影響人口を説明変数とした場合の結果と基本的な結果を比較すると, 自然災害変数の係数の大きさが異なっている。特にサービス部門では, 影響人口で見ると自然災害の正の効果が小さくなる。しかし, その t 値は統計的に有意な値ではないため, 影響人口で見るとサービス部門は有意に正の影響が見られるわけではないことがわかる。一方で, 影響人口で見た場合でも, 工

表-6 各経済部門の生産量成長率を被説明変数とした場合の推定結果

	農業部門			工業部門			サービス部門		
	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t
生産量の初期値	-2.905	0.507	-5.73	-0.151	0.440	-0.34	0.996	0.285	3.49
対輸入輸出物価指数	0.040	0.027	1.47	0.482	0.063	7.63	0.160	0.020	8.03
自然災害	-0.648	0.060	-10.87	0.376	0.101	3.73	0.228	0.075	3.05
投資	-2.204	0.596	-3.7	3.609	1.037	3.48	4.982	0.614	8.11
消費者物価指数	1.871	0.693	2.7	0.283	1.156	0.24	-3.721	0.505	-7.36
政府支出	-2.064	0.588	-3.51	-7.544	0.866	-8.71	-4.138	0.774	-5.34
教育の初期値	0.389	0.185	2.1	-0.721	0.626	-1.15	-0.344	0.340	-1.01
貿易開放度	0.992	0.507	1.95	0.306	0.701	0.44	-0.150	0.363	-0.41
金融	0.329	0.309	1.06	1.129	0.466	2.42	-0.668	0.237	-2.81
固定項	7.686	6.030	1.27	11.284	6.430	1.75	14.852	3.936	3.77
Observations	156			157			166		
Groups	67			68			72		
Instruments	47			47			47		
Arellano-Bond test for AR(1):	$z=-1.65$	$Pr> z =$ 0.099		$z=-1.93$	$Pr> z =$ 0.054		$z=-1.91$	$Pr> z =$ 0.056	
Arellano-Bond test for AR(2):	$z=-1.49$	$Pr> z =$ 0.137		$z=0.59$	$Pr> z =$ 0.558		$z=1.20$	$Pr> z =$ 0.230	
Hansen over-identification test	0.547			0.720			0.272		

Pr>zはP値を意味する。

表-7 影響人口を自然災害変数として用いた場合の推定結果

説明変数	GDP 成長率			農業部門			工業部門			サービス部門		
	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t
生産量の初期値	0.494	0.243	2.04	-2.94	0.49	-6	0.093	0.378	0.25	0.709	0.325	2.18
対輸入輸出物価指数	0.202	0.041	4.94	0.09	0.05	1.95	0.325	0.066	4.91	0.089	0.045	1.99
自然災害 (影響人口)	-0.089	0.054	-1.65	-0.24	0.09	-2.62	0.231	0.100	2.3	0.089	0.115	0.77
投資	3.753	0.562	6.68	-2.16	0.79	-2.73	3.634	1.069	3.4	3.514	0.857	4.1
消費者物価指数	1.086	0.731	1.48	2.84	1.04	2.72	-1.333	0.980	-1.36	-2.970	0.746	-3.98
政府支出	-4.574	0.596	-7.68	-2.44	0.70	-3.47	-5.355	1.062	-5.04	-4.056	0.733	-5.53
教育の初期値	-0.650	0.384	-1.69	0.54	0.34	1.59	0.017	0.600	0.03	0.054	0.477	0.11
貿易開放度	-0.703	0.383	-1.83	-0.04	0.57	-0.07	-0.474	0.588	-0.81	-0.757	0.487	-1.56
金融	0.320	0.298	1.07	-0.10	0.37	-0.26	0.586	0.392	1.49	-0.345	0.430	-0.8
固定項	-2.143	3.510	-0.61	12.48	6.63	1.88	12.095	5.347	2.26	16.217	4.940	3.28
Observations	198			186			187			182		
Number of groups	81			75			77			74		
Number of Instruments	47			47			47			47		
Arellano-Bond test for AR(1):	$z=-2.30$	$Pr> z =$ 0.022		$z=-2.10$	$Pr> z =$ 0.035		$z=-1.93$	$Pr> z =$ 0.054		$z=-2.14$	$Pr> z =$ 0.033	
Arellano-Bond test for AR(2):	$z=-0.16$	$Pr> z =$ 0.874		$z=-1.47$	$Pr> z =$ 0.141		$z=-0.36$	$Pr> z =$ 0.722		$z=1.33$	$Pr> z =$ 0.184	
Hansen over-identification test	0.333			0.611			0.396			0.325		

業部門における自然災害の正の影響は統計的に有意であることが結果から確認できる。また、農業部門においては、自然災害変数の係数の絶対値は少し小さくなるが、負に有意な結果となっていることが確認できる。

災害の数で見た場合には、サービス部門のみが統計的に有意な正の影響が確認でき、その他の産業部門では有意な結果が確認できなかった。災害の数は、自然災害の頻度のみを考慮できる説明変数となっており、災害の強さを考慮できなかったことで、統計的に有意な結果が確認できなかった可能性がある。

推定被害額は、推計の中では内生変数として扱った。これは、推定被害額の中に自然災害による直接的な被害と空間・時間的に広がるような間接的な被害が含まれているからである。二次的な災害は経済成長自体と相関を持っている可能性がある。自然災害変数はどの部門においても統計的に有意な結果を得ることはできなかった。

投資量はすべての分析において、統計的に有意な正の影響が確認できる。また、災害の数を自然災害変数とした場合の工業部門以外において、生産量の初期値の係数は同様の符号と同等の大きさを持っている。

表-8 災害生起数を自然災害変数として用いた場合の推定結果

説明変数	GDP 成長率			農業部門			工業部門			サービス部門		
	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t
生産量の初期値	0.498	0.261	1.91	-2.835	0.540	-5.25	-0.067	0.317	-0.21	0.965	0.358	2.7
対輸入輸出物価指数	0.127	0.029	4.41	0.031	0.034	0.9	0.269	0.046	5.82	0.117	0.022	5.39
自然災害 (災害の数)	0.066	0.044	1.48	-0.021	0.070	-0.3	-0.003	0.100	-0.03	0.184	0.038	4.78
投資	5.326	0.659	8.08	-1.382	0.700	-1.98	6.675	1.059	6.31	3.064	0.854	3.59
消費者物価指数	2.931	0.805	3.64	4.750	0.986	4.82	-1.844	1.038	-1.78	-0.642	0.864	-0.74
政府支出	-2.118	0.552	-3.84	-0.580	0.665	-0.87	-5.896	0.902	-6.53	-3.195	0.611	-5.23
教育の初期値	-1.054	0.314	-3.35	0.807	0.320	2.52	0.120	0.454	0.26	-1.193	0.478	-2.5
貿易開放度	-1.077	0.426	-2.53	0.187	0.538	0.35	-0.489	0.672	-0.73	-1.099	0.431	-2.55
金融	0.372	0.244	1.52	-0.161	0.306	-0.53	-0.092	0.417	-0.22	0.333	0.305	1.09
固定項	-18.585	4.330	-4.29	-4.162	6.810	-0.61	8.518	6.330	1.35	5.104	4.321	1.18
Observations	221			208			207			202		
Number of groups	85			78			80			77		
Number of Instruments	47			47			47			47		
Arellano-Bond test for AR(1):	$z=-2.13$	Pr> $z=$ 0.033		$z=-2.74$	Pr> $z=$ 0.006		$z=-2.23$	Pr> $z=$ 0.026		$z=-2.59$	Pr> $z=$ 0.010	
Arellano-Bond test for AR(2):	$z=-0.76$	Pr> $z=$ 0.449		$z=-1.46$	Pr> $z=$ 0.144		$z=-1.22$	Pr> $z=$ 0.221		$z=1.37$	Pr> $z=$ 0.170	
Hansen over-identification test	0.594			0.384			0.526			0.347		

表-9 推定被害額を自然災害変数として用いた場合の推定結果

説明変数	GDP 成長率			農業部門			工業部門			サービス部門		
	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t
生産量の初期値	0.854	0.250	3.42	-0.374	0.280	-1.33	0.384	0.511	0.75	0.693	0.380	1.82
対輸入輸出物価指数	0.233	0.027	8.74	0.060	0.053	1.15	0.209	0.069	3.03	0.138	0.030	4.55
自然災害 (経済被害額)	-0.045	0.083	-0.54	-0.163	0.058	-2.83	-0.039	0.062	-0.63	0.051	0.066	0.76
投資	4.625	0.670	6.91	-0.258	0.990	-0.26	2.862	1.373	2.08	6.823	1.066	6.4
消費者物価指数	-2.888	0.445	-6.48	-1.173	0.485	-2.42	-3.378	1.225	-2.76	-4.289	0.609	-7.04
政府支出	-4.506	0.688	-6.55	-2.272	0.686	-3.31	-7.098	1.058	-6.71	-2.337	0.729	-3.21
教育の初期値	-1.594	0.507	-3.15	0.302	0.523	0.58	-1.066	0.629	-1.7	-0.548	0.443	-1.24
貿易開放度	-1.044	0.458	-2.28	-0.410	0.427	-0.96	-0.613	0.767	-0.8	-2.089	0.525	-3.98
金融	-0.265	0.373	-0.71	-0.114	0.237	-0.48	0.025	0.549	0.05	-0.761	0.468	-1.63
固定項	18.464	2.287	8.07	14.488	4.108	3.53	32.021	10.676	3	16.995	2.347	7.24
Observations	138			131			131			128		
Number of groups	65			60			62			59		
Number of Instruments	53			53			53			53		
Arellano-Bond test for AR(1):	$z=-1.35$	Pr> $z=$ 0.177		$z=-1.20$	Pr> $z=$ 0.230		$z=-1.51$	Pr> $z=$ 0.132		$z=-1.41$	Pr> $z=$ 0.159	
Arellano-Bond test for AR(2):	$z=-0.94$	Pr> $z=$ 0.348		$z=-1.05$	Pr> $z=$ 0.295		$z=-1.45$	Pr> $z=$ 0.147		$z=-0.94$	Pr> $z=$ 0.346	
Hansen over-identification test	0.794			0.72			0.706			0.487		

また、その他の操作変数に関しても自然災害変数には寄らず、産業部門の違いによって異なることが確認できる。この結果から、自然災害変数は経済成長率に対してある程度頑健な説明変数であることが示唆される。しかし、自然災害変数によっては統計的に有意な結果が出ておらず、その係数も小さいことから、必ずしも経済成長に大きな影響があるとは言えない結果となっている。

(3) 開発途上国における自然災害の影響

抽出した 94 か国のサンプルの中で、OECD に加盟している国々とそうでない国々に分けて推定を行った。こ

れは、経済の発展度合いに応じて、経済成長への自然災害の影響の変化を把握したいためである。OECD に加盟をしていない国々を発展途上国として扱い、それらのサンプルを利用して推計を行った結果を表-10~11 に示す。

発展途上国では自然災害の正の影響がさらに小さくなることが確認できる。結果は統計的に有意でなく、また、自然災害変数の係数も全体のサンプルと比べた場合に小さくなっていることが分かる。これは、Hallegatte and Dumas²¹⁾ で分析されたように、GDP に対して自然災害による被害が大きい場合には、200 年のモンテカルロシミュレーションの分析結果から平均の GDP の成長率が小

表-10 開発途上国のみを対象とした場合の推定結果
(被説明変数=GDP成長率)

説明変数	Coef.	Std. Err.	t
生産量の初期値	-0.138	0.352	-0.39
対輸入輸出物価指数	0.180	0.033	5.41
自然災害	0.002	0.050	0.04
投資	2.217	0.718	3.09
消費者物価指数	1.431	0.740	1.93
政府支出	-5.037	0.538	-9.36
教育の初期値	-0.303	0.273	-1.11
貿易開放度	-0.100	0.372	-0.27
金融	0.573	0.303	1.89
固定項	2.686	4.779	0.56
Observations	134		
Number of groups	55		
Number of Instruments	47		
Arellano-Bond test for AR(1) in first differences:	z=-1.79	Pr>z=0.073	
Arellano-Bond test for AR(2) in first differences:	z=1.08	Pr>z=0.280	
Hansen over-identification test	0.464		

表-11 開発途上国における各産業部門を対象とした場合の推定結果

	農業部門			工業部門			サービス部門		
	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t	Coef.	Std. Err.	t
生産量の初期値	-3.812	0.631	-6.04	-0.448	0.577	-0.78	-0.519	0.475	-1.09
対輸入輸出物価指数	-0.070	0.026	-2.71	0.279	0.050	5.58	0.098	0.031	3.21
自然災害	-0.619	0.069	-8.92	0.635	0.120	5.27	0.204	0.062	3.32
投資	-2.088	0.480	-4.35	2.468	1.161	2.13	4.534	0.530	8.56
消費者物価指数	2.119	0.624	3.39	-2.843	0.743	-3.83	-1.697	0.411	-4.13
政府支出	0.795	0.452	1.76	-7.412	0.714	-10.39	-3.148	0.716	-4.4
教育の初期値	1.546	0.225	6.87	0.329	0.695	0.47	0.784	0.428	1.83
貿易開放度	-0.304	0.387	-0.79	1.151	0.717	1.61	0.071	0.345	0.21
金融	0.443	0.264	1.68	-0.308	0.492	-0.63	-0.098	0.333	-0.29
固定項	4.515	5.441	0.83	29.771	5.644	5.28	7.450	2.967	2.51
Observations	127			126			125		
Groups	53			52			52		
Instruments	47			47			47		
Arellano-Bond test for AR(1):	z=-1.37	Pr>z=0.172		z=-1.74	Pr>z=0.081		z=-1.72	Pr>z=0.086	
Arellano-Bond test for AR(2):	z=-1.03	Pr>z=0.305		z=-0.89	Pr>z=0.374		z=1.28	Pr>z=0.202	
Hansen over-identification test	0.619			0.626			0.465		

さくなってしまうという結果とも適合している。また、産業部門別に見てみると、発展途上国においては農業部門における自然災害の影響が全体のサンプルよりも大きくなっていることから、発展途上国において農業は災害に対する経済脆弱性が強いことが示唆される。

5. おわりに

本研究では、自然災害と経済成長の関係性についての計量経済学な分析を行った。モデルの推定結果より、自然災害はGDPに対して統計的に有意ではないものの、弱い正の影響が見られることが確認された。また、説明変数に投資量が含まれた上で、自然災害変数は正の係数であることから、従来の理論モデル研究で提唱された「生

産性効果」の存在を支持する結果が得られた。また、集計されたGDPにおける自然災害の有意でない影響は、産業部門別に自然災害の影響が異なっていることに起因していることが示唆された。農業部門の生産性の成長率に対して、自然災害は統計的に有意な負の影響がある、一方で、工業・サービス部門の生産の成長率に対しては、有意に正の影響があることが確認された。様々な自然災害指標を利用して推定をした場合でも、同様の傾向を概ね確認することができた。

本研究では、説明変数として使用したマクロ経済指標のデータ数の制約があり、災害別の詳細な推計を行うことができなかった。分析対象期間をより長く取ることや一期の間隔を短くすることでデータ数を確保できる可能性があり、今後はそのような検討を行う必要がある。

Appendix 推定方法の詳細

(1) Difference-GMM (差分一般化積率法)

まずはじめに式から時系列項と国別の固定効果を取り除くために、モデルの階差を取ることを考える。

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \alpha(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) + \beta'(CV_{i,t} - CV_{i,t-1}) + (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1})$$

ここで、 $y_{i,t}$: 一人当たりの生産量、 $CV_{i,t}$: $X_{i,t}$, $Z_{i,t}$ を含む説明変数群である。

上記のモデルを推定しようと考えた場合でも、 $y_{i,t}$ に自己相関がある場合には、一致推計量を得ることができない。また、自己相関がない場合でも $CV_{i,t}$ が内生的な変数である場合は $\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1}$ と関連しない場合にしか一致推計量は得られない。ここで、 $CV_{i,t}$ と ε_{it} の関連のパターンを考えてみると、まず、一つ目として $CV_{i,t}$ と ε_{it} およびそれ以前の ε と関連しない場合で、これを $CV_{i,t}$ が内生的な変数であるという。次に、二つ目として $CV_{i,t}$ とそれ以前の ε_{it} と関連する場合は、 ε_{it} およびそれ以降の ε と関連がない場合があり、これを $CV_{i,t}$ が先決変数という。このように固定効果が存在する場合は OLS 推計や固定効果モデル、または階差式を推計しても推計結果にバイアス残ってしまう。

そこで、 $t-2$ 期の $y_{i,t-2}$ は、それより後に決まる $\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1}$ とは関連しないが、 $y_{i,t-1} - y_{i,t-2}$ とは関連しない性質を利用して、 $y_{i,t-2}$ を操作変数として使うことができる。Arellano and Bond¹⁷⁾ において、より多くのラグ変数を操作変数として利用し、GMM 推計を行うことが提唱された。すなわち、

$$E\left[y_{i,t-s} \cdot (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1})\right] = 0 \text{ for } s \geq 2; t = 3, \dots, T$$

$$E\left[CV_{i,t-s} \cdot (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1})\right] = 0 \text{ for } s \geq 2; t = 3, \dots, T$$

のように、 $y_{i,t-2}$ だけでなく、 $y_{i,t-3}, y_{i,t-4}, y_{i,t-5}$ を利用する。また、 $CV_{i,t}$ が内生的である場合には、 $CV_{i,t-2}, CV_{i,t-3}, CV_{i,t-4}, CV_{i,t-5}$ を操作変数として利用する。このように、操作変数を利用して、前述の一階の差分方程式に対して GMM 推計を行うことを差分一般積率法という。

Difference-GMM の操作変数行列は以下のように表される。ただし、ここでは記述を簡単にするために説明変数が $y_{i,t}$ だけである場合について考える。

$$Z_i = \begin{pmatrix} y_{i,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & y_{i,2} & y_{i,1} & y_{i,3} & y_{i,2} & y_{i,1} & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}$$

ここで、 $y_{i,1}$: 説明変数、 Z_i : 操作変数の行列である。上記のモーメント条件を実際のデータに当てはめた形で定式化すると、

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i' \Delta \varepsilon_i = 0$$

このとき、操作変数の数とパラメータの数が一致すれば、モーメント条件とパラメータの数が一致することになり、連立方程式を解くことでパラメータの推定結果を得ることができる。しかし、上記の場合のように操作変数の数が多い場合、パラメータの数と一致することがない場合は、連立方程式をすべて満たす解は存在しないことになる。そこで、以下のような評価関数の最小化問題定式化することでパラメータの推定値を得ることができる。

$$\min J_N = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i' \Delta \varepsilon_i \right) W_N \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i \Delta \varepsilon_i' \right)$$

Z_i : 操作変数の行列, W_N : 半正定置な加重行列

(2) System-GMM (システム一般化積率法)

Difference-GMM の潜在的なバイアスと差分推計量の不正確性を減らすために Arellano and Bover¹⁸⁾ や Blundell and Bond¹⁹⁾ によって新たに System-GMM 推計量が開発された。これは、差分方程式と最初の推計方程式を統合したものを利用することで操作変数を増やし、その連立方程式から推計量を得る方法である。Blundell and Bond¹⁹⁾ で提案された方法では、従来の Difference-GMM 推定のバイアスを改善するために、

$$E\left[(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) \cdot (\varphi_i + \varepsilon_{it})\right] = 0 \text{ for } t = 3, \dots, T$$

$$E\left[(CV_{i,t-1} - CV_{i,t-2}) \cdot (\varphi_i + \varepsilon_{it})\right] = 0 \text{ for } t = 3, \dots, T$$

という性質を利用して、以下のような操作変数行列を定義する。

$$Z_i^+ = \begin{pmatrix} Z_i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & \Delta y_{i,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & \Delta y_{i,3} & 0 & 0 & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}$$

ここで、 $y_{i,t}$: 説明変数、 Z_i : 操作変数の行列、 Z_i^+ : 新たな操作変数の行列である。

上記の新たな操作変数行列においては Difference-GMM における操作変数にさらに追加的な操作変数である、 $\Delta y_{i,t}$ を使用する。これらを利用して、Difference-GMM の場合と同様の方法でパラメータの推定値を得ることができる。これを System-GMM という。

System-GMM 推計において、理論上、パネルデータのすべての時系列に対して操作変数を定義することが可能である。しかし、クロスセクション (今回の場合は国単位) のサンプル数が限られている場合、過剰識別バイアスが発生してしまうため、より少ないモーメント条件を使用することが推奨されている。そこで、モーメント条件を制約するために、2-Step System-GMM を用いた。前述の GMM 推計量の中でも最も単純なものは、

$$W_N^1 = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i' H Z_i) \right)^{-1}$$

と表される。ここで、 $H = I$ または、

$$H = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 & \cdots \\ -1 & 2 & -1 & \cdots \\ 0 & -1 & 2 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

である。これらのウェイト行列を利用して得られる推計量を 1 ステップ GMM 推計量と呼ぶ。これは一致推計量が得られるものの、必ずしも漸近的に効率的ではない。さらに、不均一分散の場合にはパラメータの推計量は一致推計であるの、その標準誤差の推計量は一致推計ではない。より頑健な標準誤差を用いる必要があり、

$$W_N^* = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(Z_i' \Delta \hat{\varepsilon}_i \Delta \hat{\varepsilon}_i' Z_i \right) \right)^{-1}$$

を加重行列として利用したものである。

ここで、 $\Delta \hat{\varepsilon}_i$ は一致推計量を利用して推計した誤差項のベクトルを表すが、多くの場合で上記の 1-Step GMM によって得られた誤差項の推計値を用いる。このようにして得られた GMM 推計量を 2-Step GMM と言う。

(3) 統計的検定

上記の GMM 推計量から得られる推計結果が一致性を持つどうかを判定するために、様々な検定テストが提案されている。本研究では、二つの検定テストを実行した。GMM において、操作変数の選び方が推計結果に大きな影響を与えることは明らかである。そこで、一つ目の検定テストとして、Hansen 過剰識別制限テストを行った。このテストでは、操作変数の妥当性を判定することができ、帰無仮説を棄却することができない場合にモデルは支持される。二つ目は、Arellano-Bond テストと呼ばれるものであり、攪乱項の自己相関の程度を調べることができる。System-GMM は、操作変数として過去の被説明変数を使用するため、攪乱項の自己相関がある場合には推計一致が得られない。このテストでは、帰無仮説が棄却されない場合にはモデルが支持される。

参考文献

- 1) 内閣府 : <http://www5.cao.go.jp/j-j/cr/cr11/chr11020201.html>
- 2) Albala-Bertrand, J. M. (1993), 'Natural Disaster Situation and Growth: A Macroeconomic Model for Sudden Disaster Impact', *World Development* 21, 1417-1434.
- 3) Raddatz, C. (2007), 'External shock responsible for the instability of output in low-income countries?', *Journal of Development Economics* 84, 155-187.
- 4) Noy, I. (2009), 'The Macroeconomic consequences of disasters', *Journal of Development Economics* 88, 221-231.
- 5) Loayza, N. V., Olaberria, E., Rigolini, J., Christensen, L. (2012), 'Natural disasters and growth: Going Beyond the Averages', *World Development* 40, 1317-1336.
- 6) Skidmore, M., Toya, H. (2002), 'Do natural disasters promote long-run growth?', *Economic Inquiry* 40, 664-687.
- 7) Noy, I. and Aekkanush, N. (2007), 'What do exogenous shock tell us about growth theories?', *Working papers, Santa Cruz Center for International Economics* 07-16.
- 8) Cuaresma, J. C., Hlouskova J., Obersteiner, M. (2008), 'Natural Disaster as Creative Destruction? Evidence from Developing Countries', *Economic Inquiry* 46, 214-226.
- 9) Fomby, T., Ikeda, Y., Loayza, N. V. (2013), 'The growth aftermath of natural disasters', *Journal of Applied Econometrics* 28, 412-434.
- 10) Raddatz, C. (2009), 'The Wrath of God Macroeconomic Costs of Natural disasters', Policy research working paper, the world bank 5039, 1-35.
- 11) Cavallo, E.A., Galiani, S., Noy, I., Pantano, J. (2010), 'Catastrophic Natural Disaster and Economic Growth', IDB Working Paper 58, 1-31.
- 12) World Bank (2012). World Development Indicators 2012. Washington, D.C.: World Bank.
<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>
- 13) Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: EM-DAT, <http://www.emdat.be/>
- 14) Kahn, M. E. (2005), 'The death toll from natural disasters: The role of income, Geography and Institutions', *The Review of Economics and Statistics* 87, 271-284.
- 15) Durlauf, S.N., Johnson, P A., Temple J. R. W. (2004), 'Growth Econometrics', Vassar College Working Paper 61, 1-183.
- 16) Holtz-Eakin, D., Newey, W. & Rosen, H. S. (1988), 'Estimating vector auto-regressions with panel data', *Econometrica* 56, 1371-1395.
- 17) Arellano, M. & Bond, S. (1991), 'Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations', *Review of Economic Studies* 58, 277-297.
- 18) Arellano, M. & Bover, O. (1995), 'Another look at the instrumental variable estimation of error-components model', *Journal of Econometrics* 68, 29-52.
- 19) Blundell, R. & Bond, S. (1998), 'Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models', *Journal of Econometrics* 87, 115-143.
- 20) Okuyama, Y. (2003), 'Economic of Natural Disasters: A critical review', Discussion paper.
- 21) Hallegatte, S., Dumas, P. (2009), 'Can natural disasters have positive consequences? Investigating the role of embodied technical change', *Ecological Economics* 68, 777-786.

(2015.7.31 受付)

ON THE RELATION BETWEEN NATURAL DISASTERS AND ECONOMIC GROWTH USING CROSS-COUNTRY DATA

So-ichiro ENDO and Daisuke FUKUDA

In this study, the relationship between natural disasters and economic growth is examined both empirically. We set up an econometric model to analyze real data of macroeconomic and natural disaster. Natural disasters affect GDP positively but not statically significant. In each economic sector, the effect of natural disasters is different. Natural disasters do affect agricultural growth negatively while the growth of industrial and service affect positively. In developing countries, the effect of natural disasters on GDP is relatively small because the positive effect of natural disaster is smaller than developed countries. The effect of natural disasters on economically or physically small countries is large compared with the countries which have intermediate scale.