

我が国の自然災害に対するリスク指標の変遷と諸外国との比較

伊藤 和也¹・菊本 統²・下野 勤智³・大里 重人⁴・稲垣 秀輝⁵・日下部 治⁶

A Study on Application of World Risk Index to Japan and Comparison with Other Countries

Kazuya ITOH¹, Mamoru KIKUMOTO², Kanchi SHIMONO³, Shigeto OSATO⁴,
Hideki INAGAKI⁵ and Osamu KUSAKABE⁶

Abstract

The World Risk Index (WRI) has been published annually since 2011 to assess countries' vulnerability and exposure to natural hazard such as earthquakes, floods and so on. The WRI is widely accepted because of its simple system to determine risk level by quantified risk index, where the risk is defined using several indicators from social and economic perspectives on a global scale. It is essential to obtain a better understanding of WRI rating system and its range of application since only limited data is used for the WRI. In this study, we discussed the characteristics and the tendency of the WRI in detail and revealed dependency of the WRI on regions and economic conditions of the countries. Furthermore, we further investigated the characteristics and changes in Japan's risk estimation through the comparisons with other countries and through the calculation of the risk index of Japan for the past ten years from 2005 to 2014 based on the WRI rating system. As a result, issues related with the evaluation of the WRI were pointed out and the important points in assessing the disaster risk were summarized.

キーワード：自然災害，リスク指標，曝露量，脆弱性，防災

Key words: Natural hazards, risk index, exposure, vulnerability, disaster reduction

¹ 東京都市大学工学部都市工学科
Department of Urban and Civil Engineering, Tokyo City University

² 横浜国立大学都市イノベーション研究院
Institute of Urban Innovation, Yokohama National University

³ アクセンチュア株式会社（元 横浜国立大学大学院都市イノベーション学府）
Accenture (formerly at Yokohama National University)

⁴ 株式会社土質リサーチ
Doshitsu Research, Co. Ltd.

⁵ 株式会社環境地質
Kankyo-Chishitsu Co.,Ltd

⁶ 国際圧入学会
International Press-in Association

本論文に対する討議は平成 29 年 11 月末日まで受け付ける。

1. はじめに

地震、暴雨風、洪水など様々な自然災害が発生し、近年、その高頻度化や被害の激甚化がしばしば指摘されている。国連の世界防災白書2015によると、地震、津波、熱帯性低気圧、河川氾濫による平均の年間損失は建造物への被害だけでも3150億米ドルと推定されている¹⁾。また、小規模で局所的な頻発災害関連の死亡者数ならびに経済的損失が増大傾向であることを警戒すべき展開として取り上げている¹⁾。このような災害による被害の範囲や程度は、自然現象の大きさや発生頻度のみではなく、社会が内包する脆弱性との相互関係の中で決まる。そのため、仮に過去に発生したものと同規模の地震が将来発生したとしても、今後の防災・減災対策の進め方によって受ける被害の大きさは過去の災害とは異なってくる。また、同じ防災・減災対策を進めていても住民の高齢化によって避難できない等によって被害の大きさは異なってくる。特に土石流、地すべり、都市型洪水のような被害規模が比較的小さく、かつ発生頻度が高い「高頻度小規模型」の災害では、不平等、環境の劣化、都市開発の計画や管理の低品質、そして脆弱な行政力等の要因が密接にかつ大きく作用する。このような自然現象と社会的要因が複雑に絡み合っただけで生じる自然災害の被災リスクを自然現象への曝露と社会の脆弱性の観点から定量化したのが World Risk Report (以下、WRR という。)²⁻⁵⁾である。WRRは開発作業アライアンス (Alliance Development Works) により2011年に初版²⁾が発刊され、その後、国連大学環境・人間の安全保障研究所 (UNU-EHS) とザ・ネイチャー・コンサーバンシー (The Nature Conservancy) が協力して、2012年版³⁾、2013年版⁴⁾、2014年版⁵⁾と年一回の更新・改良が行われてきた。

このWRRにおいて、世界各国の自然災害に対する潜在的リスクを定量化することを目的として、世界各国の自然災害に対するリスク指標 World Risk Index (以下、WRI という。)が提案されている。WRIは、自然災害によるリスクは自然現象の頻度や程度を表す曝露量 (Exposure) と社会、政治、経済および環境的要因がもつ脆弱性

(Vulnerability) の掛け合わせで定義している。すなわち、豊かな経済や強靱な社会構造を実現し、国民の健康状態を向上させるといった多角的な取り組みによって、自然災害のリスクは低減可能であることを示唆している。また、WRIは異なる種類の自然災害に見舞われる可能性をもつ世界各国の自然災害リスクを一貫した枠組みで定量化することにより、自然災害に対するホット・スポットを明らかにするとともに、合理的な防災・減災対策を行うために優先的に改善すべき要因を明示している。

ところで、我が国が自然災害の多発国であることは、専門家の中では周知の事実である。我が国が有する自然条件の特殊性については、大石・川島が中央公論に「脆弱国土を誰が守る」と題した論説を発表している⁶⁾。その中で彼らは“わが国土には、もう十分な社会資本整備がなされたとか、大きな公共投資を続けている先進国は、わが国だけであるという批判を散見するが、これらは、西欧の国々とわが国の国土条件や社会条件の違いを如何に無視した議論であるか”と具体例を例示して論証している。また、小島は「日本の地形・地質」にて、“我が国は山地を主体とする国土に多くの人口を抱え、脆弱な地質と活発な火山活動や地震活動、厳しい気象条件が相互に深く関係する災害列島ともいふべき姿をしている”と述べており、「日本における建設投資は大きすぎる、GDPに対する比率が15%を超えるというのは諸外国の3倍の数字で異常ではないか。」という議論に対して、災害列島である我が国と諸外国の状況を比較して理解する必要性について述べている⁷⁾。また、日本の建設投資の対GDP比に関する批判に対して、国土交通省は「建設投資の動向」内でGDPに対する公的固定資本形成 (Ig) の比率 (GDP/Ig) が公共投資基本計画を取りまとめた1990年代では最大6.2%であったが、2004年には欧米並みの3%台にまで減少しており、建設投資額は妥当であると主張している⁸⁾。その後も、政権交代等による政治的判断も加わり、コスト便益率 (B/C) による概念での事業仕分け等によって一層の社会資本整備予算が削減されてきた。しかしながら、そ

の後の東日本大震災後の復旧・復興工事や今後発生する蓋然性が高い南海トラフ地震に対する防災対策など、我が国の自然条件を鑑みると、公共投資が他の先進国よりも高くなることは、社会システムを維持していく上で必然であるが、それを世界と我が国の状況の違いとして統一的指標として評価する指標は存在しなかった。

我が国では、自然災害に対処する方策としてハード対策とソフト対策の最適な組み合わせが必要であるとの認識は、土砂災害基本法成立以来、防災関係者が共有している。しかし、それを実現するためには、どのように自然災害に対して安全な国土を形成するか、そのための費用をどのように配分するかといった社会意思の決定が必要となる。この社会意思の決定には、立法・行政あるいは防災関係の学術分野の専門家だけではなく、納税者である国民が意思決定の過程で活用可能となる指標が必要となる。しかし、そのような指標化は未だに確立されておらず、国土全体あるいは特定地域の防災予算や防災計画に関して国民が議論できる環境にはなく、膨大な予算執行による安全な国土形成の進展を実感できないのが現実である。このような社会背景の下、著者らのグループは経済分野で用いられる国内総生産 (GDP) や国民総生産 (GNP) のような統一指標を自然災害への防災減災対策にも適用することが必要であると指摘し、自然災害安全性指標 (Gross National Safety for natural disaster; GNS) とそれに基づく合理的な防災減災対策の概念を提唱した^{9,10)}。GNS の概念は、東日本大震災から1年後の The Japan Times の震災1周年特別号で紹介され、開発への期待が高まっている¹¹⁾。著者らのグループが提案した GNS では、様々な自然災害の発生確率である曝露量と社会システムの脆弱性の組み合わせによるリスク指標の算出を想定しているため、類似の算出体系を持つ WRI を分析し、その適用性と限界、課題等を確認することは意義がある。

そこで、本論文では WRI における自然災害リスクの評価体系の特徴を概説するとともに、世界各国の数値データを分析することで我が国の自然

災害に対するリスクの特徴や世界の中での位置づけを考察するとともに、世界の地域や所得分類毎の特徴や傾向について把握した。また、WRI 手法に基づき、我が国の過去10年間の自然災害リスク値を算出し、我が国の自然災害リスクの変遷を考察した。最後に、一連の検討をもとに WRI の課題を考察するとともに、我が国の自然災害安全性指標 GNS が備えるべきリスク評価体系について議論を行った。

2. 自然災害に対するリスク指標 World Risk Index の概要

2.1 World Risk Index の背景と発刊の経緯

20世紀末から気候変動をはじめとする環境悪化と自然災害の関係が指摘されており、国連はミレニアム生態系評価 (2005年)¹²⁾と国連世界防災白書 (2009年)¹³⁾にてこれらの関係性に対する意識を強く認識し、言及している。環境悪化と自然災害の関係に関する研究はまだ発展途上であるが、WRI ではこのような国連の意識に連動して長期的なプロセスを自然災害のリスク計算に取り入れている。また、健康や医療は平常時にはもちろん、災害発生時には双方向に作用するため、自然災害リスク評価に欠かせないものとして、健康と医療についても深く言及している点が特徴的である。

WRI では2011年の初版以来、更新によっていくつもの指標がアップデートされている。本章では World Risk Index 2014の結果をさらに分析し、自然災害に対するリスクについて成果各国と日本を比較しながらその特徴について考察を行う。

2.2 WRI におけるリスク評価体系と特徴

自然災害に対するリスク指標は、一般に式 (1) のような多変数関数として評価される。

$$Risk = f(H, E, V, R_e) \quad (1)$$

ここで、H は自然災害の規模や発生確率を反映した危険源 (Hazard)、E は自然災害に晒される度合いを表す曝露量 (Exposure)、V は自然災害に対する脆弱性 (Vulnerability)、 R_e は災害に対する強韌度 (Resilience) をそれぞれ示している。一般

的なりリスク指標作成は(1)式のような多変数関数に何らかの重みを付与させて変数の積もしくは和によって表現することが多く、その多くは積算にて表記される。WRIでは自然災害に対するリスクを以下のような式で評価している。

$$\text{World Risk Index (Risk)} = \bar{E} \times \bar{V} \quad (2)$$

ここで、 \bar{E} は曝露量と定義されているが、WRIにおける算出方法²⁻⁵⁾からは、同変数が一般的なりリスク評価における曝露量だけでなく、自然災害の大きさや頻度を反映した危険源(Hazard)も考慮した変数となっていることがわかる。すなわち、

$$\bar{E} = H \times E \quad (3)$$

である。また、脆弱性を表す \bar{V} は感受性(Susceptibility)の S 、対処能力欠如(Lack of coping capacity)の C 、そして適応能力欠如(Lack of adaptive capacity)の A の3つの指標によって以下の式で表現されている。すなわち、

$$\bar{V} = \frac{S + C + A}{3} \quad (4)$$

なお、 \bar{V} の算出過程には復元力(Resilience)に関

連するデータ群が含まれているため、WRIの計算過程に R_e は明示的には現れない。

WRIでは、自然災害への曝露量 \bar{E} と脆弱性 \bar{V} の積算から自然災害に対するリスクを定義しているため、 \bar{E} が高くて、 \bar{V} を低減させることで自然災害に対するリスクを抑えることが可能であること、また、 \bar{V} が高く自然災害に対して脆弱であっても、 \bar{E} が低く自然災害の脅威に晒されていない場合は災害リスクが低くなることを考慮している。各変数の定義を表1にまとめる。自然災害への曝露量 \bar{E} は、表2に示す地震、暴風雨、洪水に晒されている人数と干ばつ、海面上昇によって脅かされる人数を1:0.5の割合で足し合わせたものを対象地域の総人口で除して算出したものである。具体的には以下の式で表現される。すなわち、

$$\begin{aligned} &[(\text{地震, 暴風雨, 洪水に晒されている人数}) \times 1.0 \\ &+ (\text{干ばつ, 海面上昇によって脅かされる人数}) \\ &\times 0.5 / \text{国内総人口}] \times 100 \end{aligned} \quad (5)$$

となる。

一方、脆弱性 \bar{V} の指標である C 、 S 、 A にはさ

表1 WRIにおける各指標の定義²⁻⁵⁾

指標名	定義
曝露量 (Exposure)	自然現象(Natural Hazard)に曝されている人々の割合である。地震、暴風雨、洪水、さらに長期的なものとして干ばつ、海面上昇を対象とする。
脆弱性 (Vulnerability)	自然現象(Natural Hazard)や気候変動の悪影響の受けやすさであり、身体的、社会的、経済的、環境的要因に関係している。脆弱性(Vulnerability)は感受性(Susceptibility)、対処能力欠如(Lack of coping capacity)、適応能力欠如(Lack of adaptive capacity)から構成される。
感受性 (Susceptibility)	自然現象(Natural Hazard)発生時における被害の受けやすさである。
対処能力欠如 (Lack of coping capacity)	自然現象(Natural Hazard)や気候変動による悪影響を直接的行動や資源を持って直ちに最小限に抑える能力の低さである。
適応能力欠如 (Lack of adaptive capacity)	自然現象(Natural Hazard)や気候変動による悪影響に適応していくための社会構造の変化、基準、戦略の不備を表す。対処能力とは異なり、長期的過程を対象とする。

表2 WRIにおける曝露量の算出方法²⁻⁵⁾

対象とする自然災害	算出方法
地震(Earthquake)	地震(Earthquake)に晒される国内の人数
暴風雨(Storms)	暴風雨(Storms)に晒される国内の人数
洪水(Floods)	洪水(Floods)に晒される国内の人数
干ばつ(Droughts)	干ばつ(Droughts)によって脅かされる国内の人数
海面上昇(Sea level rise)	海面上昇(Sea level rise)によって脅かされる国内の人数

表 3 WRI における脆弱性の算出方法²⁻⁵⁾

(1) 感受性 (Susceptibility)

副指標名	重み係数	最下層の副指標 I_i	重み係数 w_i
社会インフラの整備 (Public infrastructure)	28.57	公衆衛生 (Share of the population without access to improved sanitation)	50
		飲料水確保 (Share of the population without access to an improved water source)	50
住宅事情 (Housing conditions)	0	スラムに住む人口割合 (耐震化の割合等) (Share of the population living in slums; proportion of semi-solid and fragile dwellings)	-
栄養摂取 (Nutrition)	14.29	栄養失調の人口割合 (Share of population undernourished)	100
貧困と依存 (Poverty and dependencies)	28.57	従属人口指数 (Dependency ratio)	50
		(12.5US\$ /日以下で生活する) 貧困人口割合 (Extreme poverty population living without USD 1.25 per day or less)	50
経済力と富の配分 (Economic capacity and income distribution)	28.57	1人あたりの GDP (GDP per capita)	50
		ジニ係数 (Gini Index)	50

(2) 対処能力欠如 (Lack of coping capacity)

副指標名	重み係数	最下層の副指標 I_i	重み係数 w_i
政府・当局 (Government and Authorities)	45.00	腐敗認識指数 (Corruption Perception Index)	50
		良い統治 (Good governance)	50
災害への備えと早期警報 (Disaster preparedness and early warning)	0	国連報告による自然災害リスクマネジメント (National disaster risk management policy according to report to the United Nation)	-
医療サービス (Medical services)	45.00	10万人あたり医師数 (Number of physicians per 10,000 inhabitants)	50
		10万人あたり病床数 (Number of hospital beds per 10,000 inhabitants)	50
社会ネットワーク (Social network)	0	自助・共助 (Neighbors, family and self-help)	-
物理的保障 (Material coverage)	10.00	保険 (Insurances)	50

(3) 適応能力欠如 (Lack of adaptive capacity)

副指標名	重み係数	最下層の副指標 I_i	重み係数 w_i
教育・研究 (Education and research)	25.00	成人識字率 (Adult literacy rate)	50
		総就学率 (Combined gross school enrollment)	50
性差別 (Gender equity)	25.00	教育の男女格差 (Gender parity in education)	50
		国会での女性議員比率 (Share of female representative in the National Parliament)	50
環境状況/生態系保全 (Environment status/ Ecosystem protection)	25.00	水資源 (Water resources)	25
		生物多様性と環境保護 (Biodiversity and habitat protection)	25
		森林管理 (Forest management)	25
		農業管理 (Agricultural management)	25
適応策 (Adaptation strategies)	0	自然災害と気候変動に順応するための戦略やプロジェクト (Projects and strategies to adapt to natural hazards and climate change)	-
投資 (Investment)	25.00	健康に関する政府支出 (Public health expenditure)	33
		平均寿命 (Life expectancy at birth)	33
		健康に関する個人支出 (Private health expenditure)	33

らに下の階層に複数の副指標が存在し、最下層は27種類のデータ群となる。表3に各指標の副指標と重み係数の一覧を示す。ただし、WRIではこの27種類のうち住宅事情 (Housing conditions)、災害への備えと早期警報 (Disaster preparedness and early warning)、社会ネットワーク (Social network)、適応策 (Adaptation strategies) はデータの入手の困難さから除外されており、実際の計算では23個の副指標により脆弱性は算出されている。すべての指標は、それぞれの副指標 I_{ni} に重み係数 w_{ni} を乗じてそれらを線形和とする方法で表現される。すなわち、

$$\sum(I_{1i} \times w_{1i}) = \sum \sum(I_{2i} \times w_{2i}) = \sum \sum \sum(I_{3i} \times w_{3i}) \quad (6)$$

で表される。WRIの指標は基本的にフリーアクセス可能なデータソースのデータを用いており、大学や基金などが発表している指標も取り入れている。計算手法は、データの範囲が割合(0~1)もしくは百分率(0~100)で示された数値は全て0~1の割合を指標として用いている。また、最大値が100を超えるものは0~1の範囲に収まるように標準化されている。これら以外の特別な場合として1人あたりのGDP (GDP per capita)、健康に関する政府支出 (Public health expenditure)、健康に関する個人支出 (Private health expenditure)、平均寿命 (Life expectancy at birth) は以下の式によって標準化がされている。

1) 1人あたりのGDP (GDP per capita)、健康に関する政府支出 (Public health expenditure)、健康に関する個人支出 (Private health expenditure) については、

$$I_i = -\log(v_i/v_{\max}) \quad (7)$$

2) 平均寿命 (Life expectancy at birth) については、

$$I_i = 0.25 \log(\log(85/v_i)) \quad (8)$$

としている。ここで、 v_i は各国の値、 v_{\max} は最大値をとる国の値であり、国家間の相対的な評価として表現されている。

2.3 WRI2014の結果と我が国の特徴

図1にWRI2014の上位・下位20カ国のWRIを構成する曝露量、脆弱性と、脆弱性を構成する感受性、対処能力欠如、適応能力欠如を示す。WRI2014での自然災害リスクが高い上位3位はバヌアツ、フィリピン、トンガであった。自然災害リスクが高い上位3位はWRIの初版である2011年からこの3カ国が占めている。日本のWRI順位は2011年では35位²⁾であったが、2012年には16位³⁾と急上昇し、以降15位⁴⁾(2013年)、17位⁵⁾(2014年)と推移している。2011年から2012年にかけてのWRI順位の急上昇は、脆弱性の増加による結果であるが、その詳細は後述する。また、我が国のWRIは他の上位20カ国と比べて曝露量が大きく、脆弱性が低いことが特徴であり、数値の上でも災害大国であることが示されている。

WRR²⁻⁵⁾では、世界各国のWRIの順位や数値に加えて各指標の順位や数値は示されているものの、指標間の関係性や地域ごとの傾向、さらに日本のリスクの特徴は明らかにされていない。ここからは、図1に示したWRI2014の主要な指標を独自に分析し、地域や分類毎の特徴や傾向について考察する。まず、WRI2014について地域別のプロットで各国の曝露量~脆弱性を図2(1)に示す。また、地域ごとの基本的な統計分析結果を表4に示す。ここで、地域区分は外務省の地域区分に基づいて分類し、アジア(21カ国)、アフリカ(50カ国)、オセアニア(8カ国)、ヨーロッパ(47カ国)、中東(15カ国)、中南米(28カ国)、北米(2カ国)の7地域に分類した¹⁴⁾。ここで、図2(1)には各地域の中央値とWRI値の等高線($V \times E = \text{const.}$)の代表値を示している。これらの結果からは地域毎の傾向を見てとれる。例えば、アフリカ(▲)は他の地域に比べて脆弱性が高く、曝露量は相対的に低い傾向が見られる。一方、中南米(○)はアフリカとは逆に曝露量が相対的に高く、脆弱性は低い。また、オセアニア(▼)は、WRI上位20ヶ国に5カ国が含まれており、バヌアツとトンガは曝露量、脆弱性ともに極めて高く、地域全体としてのWRIのばらつきが大きい。これは、WRIの曝露量に海面上昇に対する曝露の

順位	国名	World Risk Index	曝露量 Exposure	脆弱性 Vulnerability	感受性 Susceptibility	対処能力欠如 Lack of Coping Capacities	適応能力欠如 Lack of Adaptive Capacities
1	バヌアツ	36.5	63.66	57.34	36.4	81.16	54.45
2	フィリピン	28.25	52.46	53.85	33.35	80.03	48.17
3	トンガ	28.23	55.27	51.08	29.15	81.8	42.28
4	グアテマラ	20.68	36.3	56.98	37.92	80.84	52.19
5	バングラデシュ	19.37	31.7	61.1	40.28	86.05	56.96
6	ソロモン諸島	19.18	29.98	63.98	45.37	85.44	61.12
7	コスタリカ	17.33	42.61	40.68	22.98	64.61	34.46
8	エルサルバドル	17.12	32.6	52.52	32.1	75.35	50.13
9	カンボジア	17.12	27.65	61.9	41.99	86.96	56.74
10	バプアニューギニア	16.74	24.94	67.15	56.06	84.22	61.16
11	東ティモール	16.41	25.73	63.76	54.16	81.1	56.02
12	ブルネイ	16.23	41.1	39.48	17.97	63.08	37.4
13	ニカラグア	14.87	27.23	54.63	37.79	81.7	44.41
14	モーリシャス	14.78	37.35	39.56	18.94	61.68	38.07
15	ギニアビサウ	13.75	19.65	69.94	53.21	89.71	66.9
16	フィジー	13.65	27.71	49.28	25.33	75.43	47.08
17	日本	13.38	45.91	29.14	17.55	38.28	31.58
18	ベトナム	13.09	25.35	51.64	27.98	76.87	50.05
19	ザンビア	12.23	19.29	63.39	46.54	83.19	60.45
20	ジャマイカ	12.2	25.82	47.27	27.07	72.17	42.57
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
51	オランダ	8.25	30.57	26.98	14.84	42.15	23.96
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
152	フランス	2.69	9.25	29.08	16.13	43.29	27.83
153	ルクセンブルク	2.52	9.12	27.66	12.87	41.44	28.67
154	セーシェル	2.51	5.99	41.86	22.44	63.2	39.93
155	スイス	2.48	9.56	25.98	14.93	37.92	25.1
156	エストニア	2.43	7.23	33.57	18.67	51.15	30.89
157	イスラエル	2.38	6.41	37.2	19.15	58.93	33.52
158	ノルウェー	2.31	8.58	26.86	14.41	40.05	26.13
159	エジプト	2.29	4.72	48.56	21.34	77.86	46.48
160	シンガポール	2.25	7.82	28.78	14.41	49.2	22.73
161	フィンランド	2.24	8.19	27.38	15.6	39.39	27.17
162	スウェーデン	2.19	7.97	27.49	15.39	40.9	26.18
163	アラブ首長国連邦	1.91	5.93	32.27	10.47	56.51	29.84
164	バーレーン	1.78	4.27	41.56	13.04	66.57	45.07
165	キリバス	1.72	3.05	56.45	42.31	83.69	43.36
166	アイスランド	1.56	5.67	27.46	15	43.15	24.21
167	グレナダ	1.44	3.13	46.15	24.99	69.03	44.43
168	バルバドス	1.21	3.46	34.95	16.85	50.36	37.63
169	サウジアラビア	1.17	2.93	39.82	15.19	70.05	34.22
170	マルタ	0.62	1.65	37.67	15.28	59.58	38.16
171	カタール	0.08	0.28	30.3	8.97	44.76	37.16

図1 World Risk Index 上位および下位20カ国 (WorldRiskReport2014⁵⁾のデータを使用)

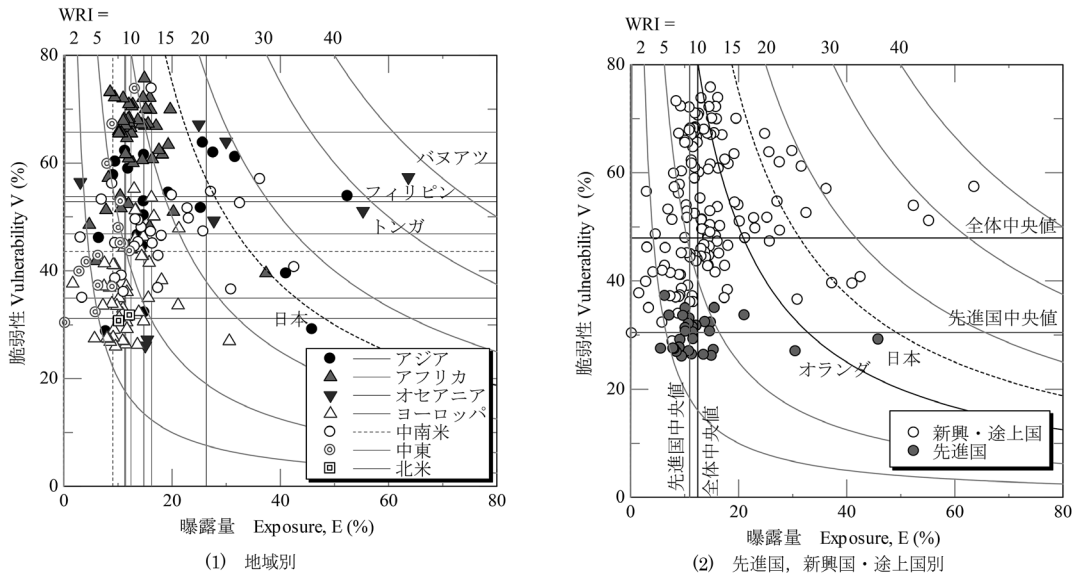


図2 世界各国の Exposure と Vulnerability の分布 (WorldRiskReport2014⁵⁾の数値データを使用)

表4 世界地域別指標値の統計分析結果

	地域別							先進国	全体
	アジア	アフリカ	オセアニア	ヨーロッパ	中東	中南米	北米		
標本数	21	50	8	47	15	28	2	31	171
平均値	20.37	13.35	29.39	12.02	8.02	17.70	11.25	13.04	14.82
中央値	14.81	12.40	26.33	11.41	9.04	16.21	11.25	10.93	12.45
最大	52.46	37.35	63.66	30.57	13.17	42.61	12.25	45.91	63.66
最小	6.52	4.72	3.05	1.65	0.28	3.13	10.25	5.67	0.28
標準偏差	12.90	4.76	20.57	4.65	3.62	9.62	1.41	7.70	9.35
尖度	0.89	12.47	-0.32	4.81	-0.10	0.51	—	11.46	7.83
歪度	1.31	2.60	0.73	1.46	-0.66	0.87	—	3.12	2.44

	地域別							先進国	全体
	アジア	アフリカ	オセアニア	ヨーロッパ	中東	中南米	北米		
標本数	21	50	8	47	15	28	2	31	171
平均値	50.72	62.46	49.83	36.24	46.40	47.20	31.14	30.12	48.95
中央値	52.86	65.72	53.77	34.92	43.59	46.86	31.14	30.49	47.92
最大	63.76	75.72	67.15	55.22	73.73	73.79	31.67	37.20	75.72
最小	28.78	39.56	26.10	25.98	30.30	34.95	30.61	25.98	25.98
標準偏差	10.92	9.16	15.48	7.92	12.32	8.18	0.75	3.11	13.85
尖度	-0.26	-0.10	-0.64	-0.40	0.53	2.82	—	-0.86	-1.10
歪度	-0.82	-0.94	-0.83	0.64	1.01	1.06	—	0.38	0.10

評価が反映されており、島嶼国が多い同地域の曝露量が高まったためである。島嶼国が多いアジアも同様の傾向を示しており、オセアニアに次いで曝露量の標準偏差が高く、フィリピンの曝露量、脆弱性はトンガとほぼ同程度であった。

図2(2)は図2(1)と同様の関係図について先進国と新興・途上国を区分して示したものである。ここで、先進国は、「世界経済の潮流(内閣府)」¹⁵⁾の定義に基づいて、OECD加盟国のうち、一人当たりGDPが1万米ドル以下の国(チリ、トルコ、メキシコ)を除く31カ国(日本を含む)とした。先進国は、脆弱性が相対的に低く、中央値は世界全体の47.92%に対して約17%低い30.49%であった。結果として、先進国のWRIは総じて低い値に抑えられており、下位50カ国中、先進国の約8割の24カ国が位置していた。特に、曝露量については日本とオランダを除いた29カ国はその数値が30以下と低い位置に集中している。つまり、先進国は総じて脆弱性が低く曝露量が低い、安定した地域を中心として発展していることが分かる。言い換えれば、先進国の中でも日本とオランダは災害への曝露量が多い中で発展している希有な国として特徴的であると言える。これは、先述した大石・川島⁶⁾や小島⁷⁾が述べている欧米諸国と我が国の自然条件の違いを一貫した枠組みで数値化したものだと言える。

ここで先進国の中で日本に次いでWRIが上位に位置している51位のオランダについてWRIを構成する曝露量と脆弱性の内訳をしてみる。オランダも日本と同様に全体中央値と比較して曝露量が高く、脆弱性が低い傾向を示している。日本と比較すると、オランダのほうが曝露量は低く、脆弱性も僅かに低い。日本とオランダの脆弱性の差は、副指標の適応能力欠如(Lack of adaptive capacity)の値にあり具体的には性差別(Gender equity)に関する指標が日本のほうが低いことが挙げられる。実際の問題として自然災害が発生した場合に性差別によってその被害に差が出ることは考えにくい、これはWRIの思想が多角的な取り組みを一貫した枠組みで定量化することに注力した指標であるためだと考えられる。そのため、

自然災害リスクに特化して詳細について比較する場合には、WRIの適用範囲には限界があることが現れている。

3. 我が国のWRIの変化

自然災害に対するリスク指標は、リスクの評価単位(世界各国や国内都道府県など)間の相对比较に利用するだけでなく、着目した評価単位(例えば、脆弱性や適応能力欠如など)の経時的なリスク変動の監視にも利用できることが重要である。日本は、更新頻度や信頼性が高い統計データを多く保有している。オープンソースの統計データを利用しているWRIの特徴を生かし、2011年までしか計算されていないWRIについて、WRI2014のリスク評価体系に基づいて、2005年まで遡って計算し、過去10年間の日本のWRIを算出し、その推移を考察するとともに、リスク変動の評価におけるWRIの課題を示す。

3.1 計算手法

日本のWRIの過去10年間の推移を検証するに当たり、以下の条件の下で計算を行った。

1) WRIの推移は2012年度に改訂され³⁾、WRR2014⁵⁾まで継続して用いられている計算手法により計算した。そのため、本論文で示す2011年のWRIはWRR2011に示された結果と値が異なる点に注意が必要である。

2) データはWRI2014と同じソースからデータを取得し、過去に遡って10年間の推移を検証した。ただし、ジニ係数(Gini Index)と10万人あたり病床数(Number of hospital beds per 10,000 inhabitants)はデータの更新頻度が少ないため、日本で公開しているデータを用いた。

3) 2014年のWRIは計算時点で公開されている最新の値を用いた。

以上のような条件にて、データを収集して日本の過去10年間のWRIの推移を把握した。

3.2 日本のWRI, 脆弱性, 曝露量および変動に影響を与えたデータの推移と考察

日本の2005年～2014年の10年間のWRIおよび

WRIの算出に必要な各指標(脆弱性, 曝露量, 感受性, 対処能力欠如, 適応能力欠如)の推移を図3に示す。日本のWRIには2008年と2012年にピークが見られる。WRIを算出する指標である曝露量(Exposure)は自然災害発生時に危険に曝される可能性のある人の割合を示しており, 言い換えれば自然災害のポテンシャルである。各地域の居住者数の変動によって曝露量は幾らか変化するが, 2005年~2014年で各地域の住民数の変動は考慮していない。そのため, 2005年~2014年の値を変化させていない。曝露量では東日本大震災のような災害が発生することを既に加味した数値として表現しているため, 2011年の曝露量の変化はない。つまり, WRIの年毎の変化については脆弱性(Vulnerability)の変動によるものとなる。脆弱性の推移を見ると2008年と2012年にピークが見られる。このピークについて詳細を確認するために, 脆弱性を構成する3つの副指標まで遡って確認すると, 2008年は感受性(Susceptibility), 2012年は感受性に加えて対処能力欠如(Lack of coping capacity)がその要因であることが視覚的に把握できる。図4に感受性の構成要素のうち一人あたりのGDP(GDP per capita(図4(1))), 従属人

口指数(Dependency ratio(図4(2))), 対処能力欠如(Lack of coping capacity)の構成要素のうちの良い統治(Good governance(図4(3)))の年別推移を示す。2008年の感受性が最大となる要因は一人あたりのGDP(GDP per capita)である。一人あたりのGDP(GDP per capita)は, 各年, 世界各国の最大値を用いて式(7)により標準化した値である。一人あたりのGDP(GDP per capita)の最大値は, モナコやルクセンブルクである。両国とも低い税率の国として国外企業の誘致や, 富裕層が移住してくる等国民一人当たりの所得が高い。このような特殊な条件の国が式(7)の分母となるため, 貧しい国に対しては有効な指標となるが, ある一定の経済力を持った国では毎年の値の多少の変化は, 実際の脆弱性の変動とは必ずしも一致しない。さらに, 2008年のリーマンショックでは各国の影響の大きさが相対評価である一人あたりのGDP(GDP per capita)に影響を与えたものと推測される。一方, 2012年については, 東日本大震災によって日本のみが経済的な打撃を受けており, 一人あたりのGDP(GDP per capita)は2008年とは逆の動きをしている。

図4に特徴的な構成要素の年別推移を示す。

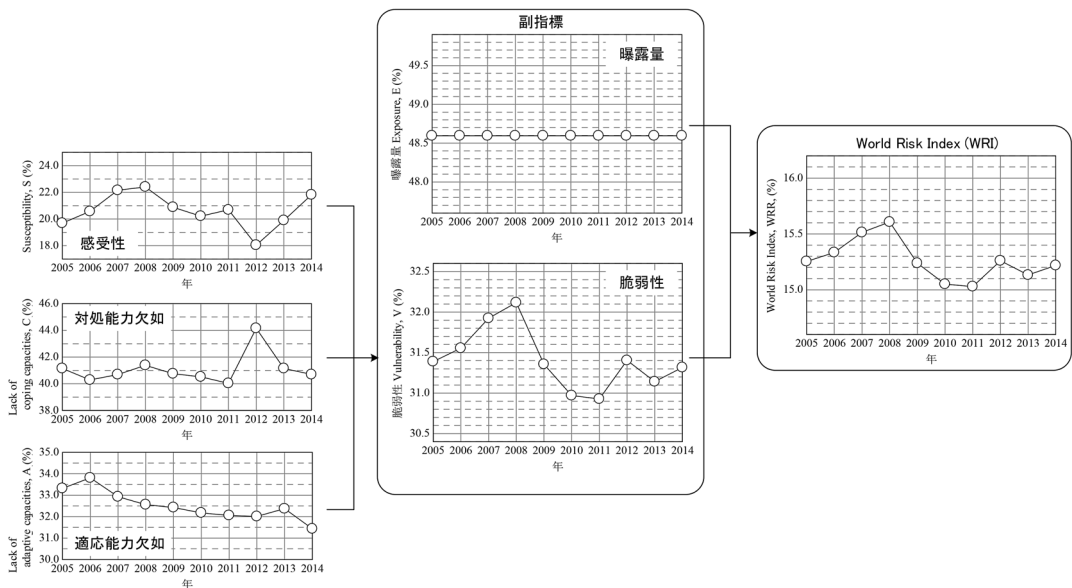


図3 2005年~2014年の10年間における日本のWRI値(右)と算出過程に使用する副指標値の推移

我が国の感受性 (Susceptibility) や対処能力欠如 (Lack of coping capacity) はそれぞれ一人あたりの GDP (GDP per capita) や良い統治 (Good governance) と相似形であることが特徴的であり、また恒常的な問題として従属人口指数 (Dependency ratio) は生産年齢 (15歳~64歳) 人口に対する若齢 (14歳以下) および高齢 (65歳以上) 人口の割合であるが、一貫して増加傾向にある。

3.3 東日本大震災と World Risk Index

東日本大震災が WRI に与える影響として曝露量 (Exposure) の増加を想像するが、前述したように、曝露量は自然災害のポテンシャルとして表現されるため、東日本大震災のような災害が発生

することを加味したものとなっている。実際には、東日本大震災では地震による被害に加えてその後の津波によって多くの人命が失われたため、WRI の地震に晒されている人数が正確であったか不明であるが、WRI では曝露量を変動値としては評価していない。東日本大震災が WRI に与えた影響としては、脆弱性の副指標である対処能力欠如 (Lack of coping capacity) を算出する際に使用する良い統治 (Good governance) がある。良い統治は The Fund for Peace が発表している Failed States Index を基にしている¹⁷⁾。これは、社会、経済、政治の指標からなる12の要素で構成されている。2012年の Failed States Index は前年に比べて前年に発生した東日本大震災によって避難者が増加したことによる「国内避難民」による値が悪化している。そのため、良い統治の指標が悪化している。WRI では国家の社会的安定性を測る代理指標として良い統治を利用している。ここで想定している「国内避難民」は、民族紛争や戦争によって不本意な移動を迫られた人を意味しており、震災による避難者を同等に扱うことは想定している内容とは異なる。

WRI において東日本大震災前後で曝露量 (Exposure) が変化していないのは死者数や負傷者数ベースではないからである。そのため、東日本大震災の後にも曝露量の値は変化せず、東日本大震災の大きな被害は我が国の自然災害リスクや曝露量が高い結果、自然災害リスクが自然災害被害となって現れたものと考えられる。一方、将来的な取り組みとして自然災害のポテンシャルである曝露量自体の値を低下させる取り組みが必要となる。これは自然災害の影響に曝される人の減少、すなわち、防災の観点での区画整理や移住推進の重要性が示唆される。これらの移転等によって危険に曝される可能性のある人の割合を減らすことが出来れば、曝露量を低下することが可能であり、行政施策によって自然災害に対するリスクを低減することを示唆している。

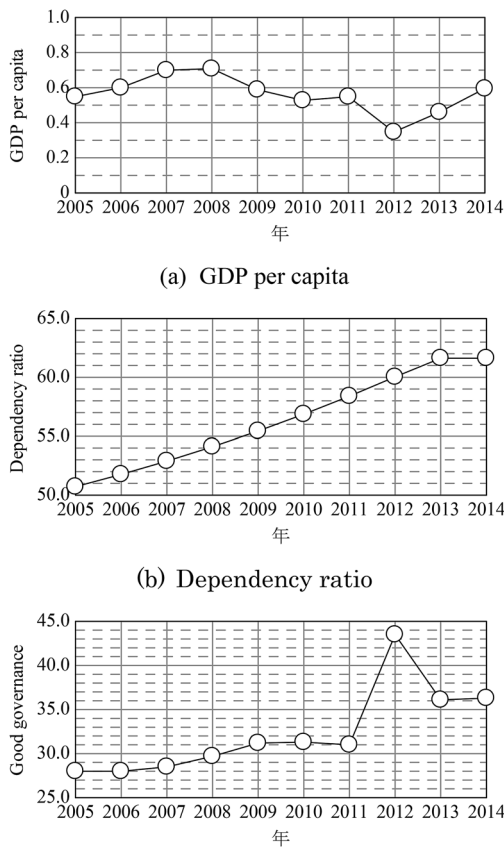


図4 脆弱性を算出するために使用した指標のうち WRI に影響を与えた各指標の2005年~2014年の推移

3.4 GNS 開発における WRI の手法適用の適否について

これまで検証してきたように WRI の手法は簡便に自然災害リスクを算出でき、地震や洪水等による自然災害による被害を直接的に抑える対策のみならず、様々な要因が交錯し複雑化した自国がもつ脆弱性をどのように改善すべきかを示すことができる。一方、WRI は全世界的な比較を行うため、概略的に自国が世界中でどれぐらいの順位にいるのか知ることはできるが、絶対的な評価ではない。そのため、その適用範囲や精度には限界があり、先進国同士の比較などはその適用範囲に合わせた新たな指標の導入や、先進国同士では差がほとんど無いような不要な副指標の削除を行わなければならない。またデータの更新頻度や信頼性が問題であり、データ自体が事実と異なるものであると結果が正しく算出されない。また、先述の東日本大震災での良い統治のようにデータの目的意図が本質と異なる結果となる場合もあることを考慮しなければならない。

以上をふまえて、著者らが開発を行う自然災害安全性指標 (GNS) 算出にあたり、以下の点を考慮する必要性を確認した。

1) 自然災害リスクを検証するに当たり、国全体で決定される教育や栄養状態、性差別のように国全体で値が決まる指標については、全世界的な指標作成時には必要である。

2) 他の先進国と我が国の社会資本整備予算を比較することが幾度となく行われていた⁶⁻⁸⁾が、自然災害に晒されるリスクの違いを明確に説明することが難しかった。社会システムや自然災害リスクが加味された統一的指標の算出は、他の先進国よりも社会資本整備予算が多いことに対する明確な根拠として必要である。そのためには、先進国間で影響が少ない項目の取舍選択も必要である。

3) 都道府県別単位のように国よりも小さい単位での検討の際には除外する項目を選定するなど、目的に応じて指標の取除を行う必要がある。例えば、日本国内では統計データが詳細に整備されているため、雪害などのハザードやコンビニエンスストアの店舗数等も組み入れた指標を構築するこ

とが可能であり、日本国内の自然災害リスクにつながる新たな指標を導入することも検討できる。

4) 上述のように日本には WRI で用いられている指標より新しく信頼性の高い公開データが多くあり、国内の例えば都道府県別単位のような GNS 算出の検討には活用していくことで、より精度が高い指標作成が可能となる。

5) 一方、より精緻な検討をする場合には、それらの重み付けに関する議論も充実させる必要がある。

4. まとめ

本論文では、WRI における自然災害リスクの評価体系の特徴について概説し、WRI から得られるデータについていくつかの地域や分類毎の特徴や傾向について把握した。その後、我が国の WRI を 2005~2014 年の 10 年間について算出し、WRI の推移と変動の要因について考察した。最後に、GNS の開発のために WRI のフレームワークを使用することの適否について検討し、その問題点や解決策を提案した。以下に本論文の結論を述べる。

(1) 世界の地域毎の災害リスクの特徴

WRI2014 をベースに地域毎の曝露量~脆弱性の関係を確認したところ、海面上昇や暴風雨の影響が高いアジアやオセアニア地域に曝露量が高い地域が集中することなど、それぞれの地域に特徴を有していることが分かった。

(2) 先進国と新興・途上国のリスクの特徴と違い

経済的な分類として先進国と新興・途上国に区分して分類したところ、ほとんどの先進国は脆弱性と曝露量がいずれも低い地域にあることが分かった。一方、日本とオランダについては、先進国でも曝露量が高い希有な国であることが示された。曝露量の違いは水害リスクが高いオランダを除く欧米諸国と日本の自然条件の違いを反映したものとと言える。このような結果は、社会システムや自然災害リスクが加味された統一的指標により我が国の社会資本整備予算が他の先進国よりも多い明確な根拠として提示することができるものと

思われる。

(3) 過去10年の日本のリスクの推移と特徴

過去10年間のデータをもとに日本の WRI の年推移を算出した結果、自然災害のポテンシャルとして曝露量は過去の統計資料から想定した被害度合いとして同一であり、脆弱性が変動していた。この変動要因としては、東日本大震災による避難者数や経済的な落ち込みなどが反映されていた。

(4) 防災・減災対策に資する全世界的な統一的指標としての適否について

全世界的な統一指標としては、公開データを用いた評価手法が望ましいが、世界で統一的な統計データは限られるため、指標の精度は大雑把なものとなる。一方、国別ではなくそれよりも細かい都道府県別単位での検討の際には、詳細な統計データを利用できる場合もあるが、その国で統一的な指標を除外するなど、目的に応じて指標を取捨選択する必要がある。

今後は、図5のように WRI のフレームワークを参考としながら、公共投資の説明責任者が説明可能かつ防災・減災対策の意思決定に役立つ

ことが可能な統一的指標（自然災害安全性指標、GNS）の開発ならびにその利用方法の提案についても行っていく予定である。

謝辞

本研究は、科学研究費（挑戦的萌芽研究）「自然災害安全性指標（GNS）の開発」（研究代表者：日下部治，課題番号25560184）並びに科学研究費（基盤研究（B）（一般））「自然災害安全性指標（GNS）構築のための脆弱性評価の確立と防災戦略への反映」（研究代表者：伊藤和也，課題番号16H03156）による成果の一部であり、地盤工学会関東支部「地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する研究委員会」脆弱性評価 WG メンバーの支援を受けた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) UNISDR (The United Nations Office for Disaster Reduction)(2015): Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015. <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/index.html>
- 2) UNU-EHS (The United Nation University, the

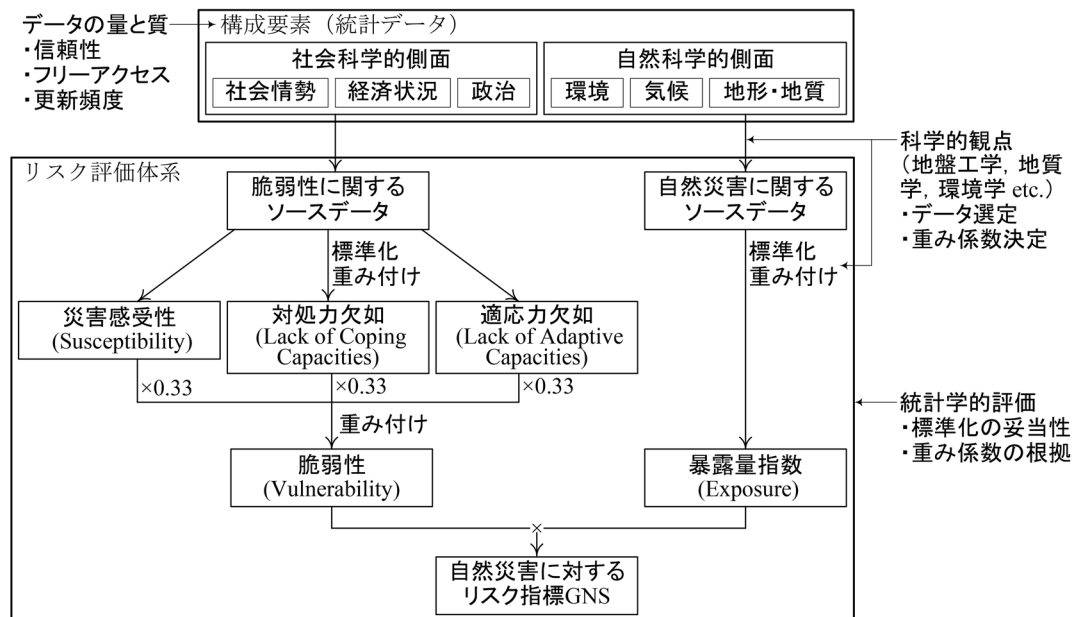


図5 WRI を参考にした GNS 指標の算出体系

- Institute for Environment and Human Security)
(2011): World Risk Re-port 2011.
- 3) UNU-EHS (The United Nation University, the Institute for Environment and Human Security)
(2012): World Risk Re-port 2012.
- 4) UNU-EHS (The United Nation University, the Institute for Environment and Human Security)
(2013): World Risk Re-port 2013.
- 5) UNU-EHS (The United Nation University, the Institute for Environment and Human Security)
(2014): World Risk Report 2014.
- 6) 大石久和・川島一彦：脆弱国土を誰が守る，中央公論，1998年6月号，pp. 148-165，1998.
- 7) 小島圭二：第1章 日本の国土の特異性，日本の地形・地質－安全な国土のマネージメントのために（全国地質調査業協会連合会編），鹿島出版会，2001
- 8) 建設投資の動向について，国土交通省資料 <http://www.mlit.go.jp/common/000129755.pdf>
- 9) 日下部治・伊藤和也・小梅川博之・稲垣秀輝・大里重人：地盤リスクに関する保険制度と統一的评价手法の必要性，地盤工学会誌，Vol. 61, No. 7, pp. 12-15, 2013.
- 10) 日下部治・伊藤和也・稲垣秀輝・大里重人・菊本統・渡邊康司：自然災害に対する脆弱性の計測－世界の動向－，第49回地盤工学研究発表会講演集，DVD-ROM, pp. 67-68, 2014.
- 11) Roger Pulvers: Japan's disasters must prompt a radical re-think of citizens' quality of life, Japan Times, <http://www.japantimes.co.jp/opinion/2012/03/11/commentary/japan-disasters-must-prompt-a-radical-rethink-of-citizens-quality-of-life/>
- 12) Millenium Ecosystem Assesment <http://www.unep.org/maweb/en/Index.aspx>.
- 13) United Nations: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2009/>
- 14) 外務省：国・地域 <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/index.html>
- 15) 内閣府：世界経済の潮流，<http://www5.cao.go.jp/keizai3/whitepaper.html#chouryuu>
- 16) Jorn Birkmann ed.: Measuring Vulnerability to Natural Hazards (2nd edition), United Nations University Press, 2006.
- 17) <http://library.fundforpeace.org/fsi>

(投稿受理：平成28年4月1日
訂正稿受理：平成28年12月20日)

要 旨

地震や洪水といった自然現象への曝露量と社会や経済が内包する脆弱性の観点から世界各国の自然災害に対するリスクの定量化を試みた World Risk Index (WRI) は，自然科学や社会科学の多面的な視点から各国が直面する自然災害の程度を表す指標として2011年に公開され，毎年の更新が続けられている。WRI は，様々な要因が複雑に絡む自然災害に対する脆弱性の在り処を端的に教えてくれる一方で，その利用においては限定的なデータソース等から適用範囲と限界を把握しておくことが重要である。本論文では，WRI における自然災害リスクの評価体系の特徴について概説し，得られる。

データについていくつかの地域や分類毎の特徴や傾向について把握した。その後，我が国の WRI を2005～2014年の10年間について算出し，WRI の推移と変動の要因について考察した。これらの結果を基にして WRI の課題を指摘するとともに，今後，国内レベルで自然災害に対するリスクを定量化する上で留意すべき事項をまとめた。