

# GNS を用いた東日本大震災前後の 東北地方太平洋側 3 県の自然災害リスクの分析

小山 倫史・伊藤 和也・菊本 統

東北地方の太平洋側に位置する岩手、宮城、福島県は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による大きな揺れと津波による甚大な被害を受けた。これらの地域では、震災後に各種ハード・ソフト対策を含めた防災・減災対策が検討・実施されてきた。そこで、本稿では、GNSを用いて、東北太平洋側3県（岩手、宮城、福島県）の被災前後の自然災害リスクの経年変化を分析することで、防災・減災対策の効果を検証した。その結果、多くの市町村で地震の曝露量が増加したものの、沿岸部の市町村では、津波の曝露量は減少した。また、震災後に実施された防災・減災対策により、ハード・ソフト対策の脆弱性指標は多くの市区町村で減少したことが分かった。

キーワード：GNS, 東日本大震災, 防災・減災対策

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)による震度6弱以上の大きな揺れと高い津波は、東北地方太平洋側に位置する岩手、宮城、福島県の各市町村において特に甚大な被害を及ぼした。甚大な被害を受けた地域では、震災後の復旧・復興の過程で、防潮堤の建設といった大規模ハード対策のみならず、津波のリスクの多いエリアから逃れるための住民の高台移転や、ハザードマップの見直しやJアラートの自動起動装置の整備などのソフト対策を含めたさまざまな防災・減災対策が検討されてきた。そこで、本稿では、自然災害リスク指標 GNS (Gross National Safety for natural disasters) を用いて、東北太平洋側3県（岩手、宮城、福島県）の被災前後の自然災害リスクの経年変化を分析することで、防災・減災対策の効果を検証した。

## 2. GNS の概要

GNS は、「曝露量指数」と「脆弱性指数」を掛け合わせることで評価される<sup>1), 2)</sup>。「曝露量指数」は被害をもたらす可能性がある事象の発生頻度を表す危険源 (Hazard) と、危険源の損失を被る可能性がある影響範囲内の居住人口比率を表す曝露 (Exposure) を掛け合わせることで求め、地震、津波、高潮、土砂災害、洪水、火山の噴火の6つの自然災害が考慮されてい

る。「脆弱性指数」は、危険源の被害や損害を受けやすくする物理的、社会的、経済的、環境的性質を表す脆弱性 (Vulnerability) から求め、ハードウェア対策とソフトウェア対策を合わせて9つの防災・減災対策 (ハードウェア対策:「住宅・公共施設」,「ライフライン」,「インフラストラクチャー」,「情報・通信」,ソフトウェア対策:「物資・備蓄」,「医療サービス」,「経済と人口構成」,「保険」,「条例・自治」) が考慮されている。各指数の項目は、総和が1の重み係数を掛け合わせることで統合される。GNSの算出方法および使用する統計データの詳細については、誌面の都合上、文献<sup>1), 2)</sup>に譲る。

GNSは、自然災害リスクを地図上で可視化することで、市町村ごとにどのような自然災害の危険源があるか、災害に対する備え (ハード・ソフト対策) の現状や課題を把握することができ、防災・減災対策の意思決定者が有効な投資を行うための指標として利用できる。また、年度ごとに更新される各種統計データを使用することで、年度ごとにリスク指標 GNS に加えて算出過程に使用する中間指標から、各市区町村の災害対策の進捗状況を時系列で評価することも可能である。

## 3. 分析に使用したデータ

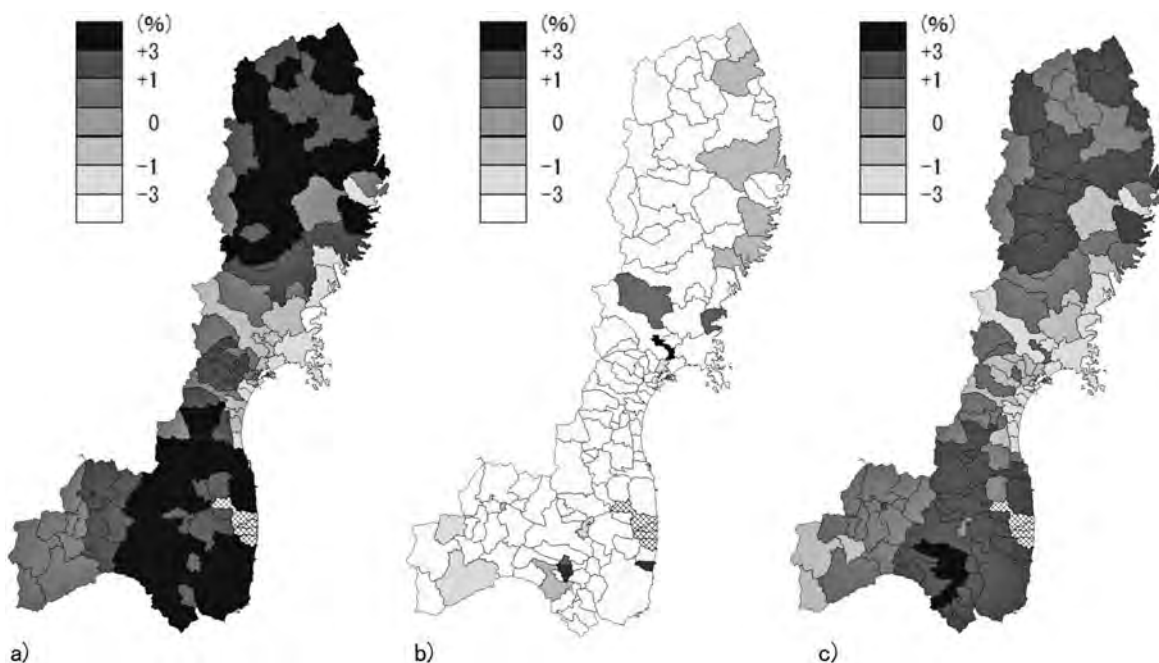
GNSによる分析では、災害の曝露人口を算出するため5年ごとに実施される国勢調査における町字単位

の小地域の人口データ<sup>3)</sup>を使用することから、東日本大震災前後の各種統計データとして、国勢調査が実施された2010年および2015年(震災後4年経過)のものを用いることとした。しかし、脆弱性指標の中には、2010年のデータが市町村ごとに整備されておらず取得できないものがあったため、その場合は、都道府県レベルのデータを用いた。津波の曝露量を評価するには、国土数値情報<sup>4)</sup>における「津波浸水想定」の地図データを用いることとしているが、東北太平洋側3県において、2010年のものは公開されていなかった。そのため、2010年の津波浸水想定として、国土交通省都市局が作成した「東日本大震災津波被災市街地復興支援調査」の成果をもとに、東京大学空間情報科学研究センターがアーカイブ化した「復興支援調査アーカイブ」<sup>5)</sup>で示された津波の浸水深および浸水区域の地図データを代わりに用いた。本地図データは、東日本大震災後の浸水痕跡の現地調査によって得られた浸水深および浸水区域を地図情報に変換したものである。また、地震災害において、頻度係数算出の基となる「確率論的地震動予測地図」が2014年に更新されており、強振動の発生確率の分布および頻度係数が大きく変わっていることに留意する。

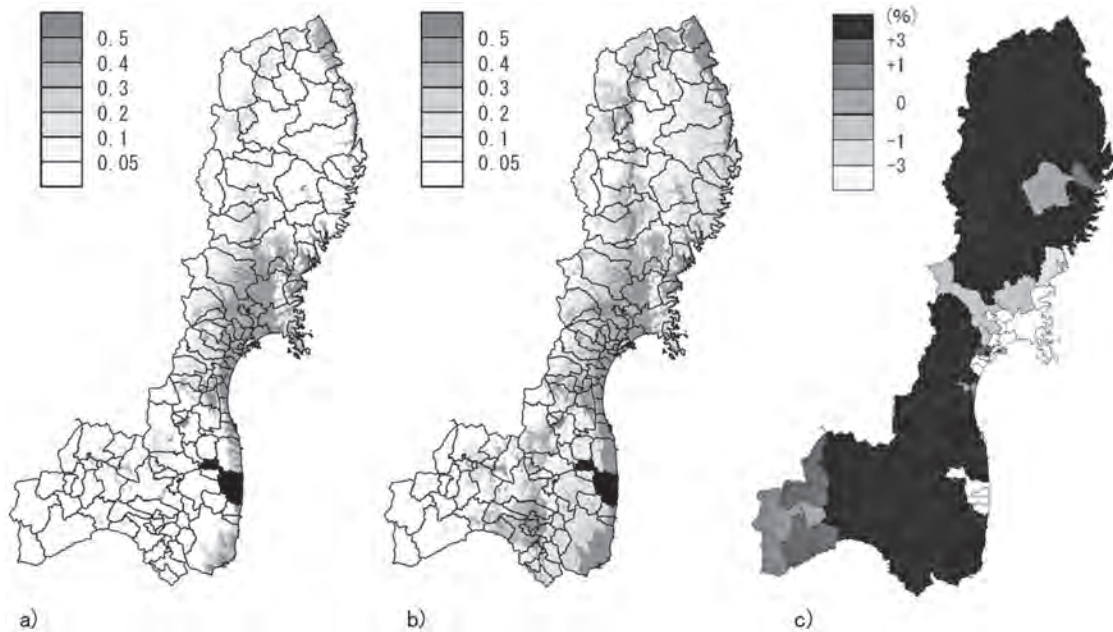
#### 4. 分析結果

図一1a)～c)に東北地方太平洋側3県における曝露量指数、脆弱性指数、GNSの経年変化(2015年と2010年の値の差分)をそれぞれ示す。ただし、福島

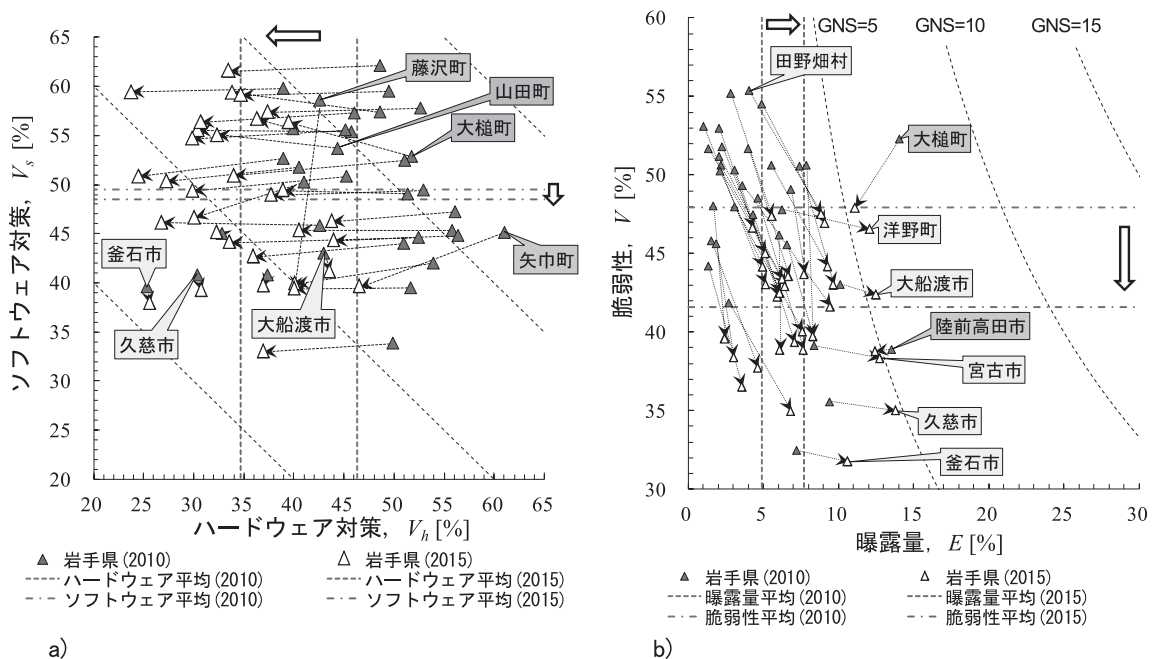
県富岡町、大熊町、双葉町、浪江町では、福島第一原子力発電所の事故に伴う計画避難区域の設定により、2015年時点で人口が0であるため、曝露量およびソフトウェアの脆弱性の一部の統計データにおいて0となっていることに留意する。本図より、震災後に施された各種ハード・ソフト対策の結果として、ほとんどの市町村で脆弱性指数は改善され、値は小さくなっている。一方、曝露量指数は宮城県の太平洋沿岸に位置する市町村を中心に低減が見られるものの多くの市町村で増加している。これは、宮城県の太平洋沿岸に位置する市町村を中心に、住民の高台移転などにより津波に曝される人口(曝露人口)が減少したためであると考えられる。また、岩手県、福島県の多くの市町村で曝露量指数が増加している要因として、「確率論的地震動予測地図」が2014年に見直されたことで、地震の頻度係数の値が大きく変化したことが挙げられる。図一2a)～c)に、東北地方太平洋側3県における2010年、2014年以降の「確率論的地震動予測地図」より得られる震度6弱以上の予測確率を頻度係数に換算したものおよび地震の曝露量の変化をそれぞれ示す。図一1a)および図一2c)より全体的な曝露量の変化には、地震の曝露量の変化が他の災害と比較して支配的であることがわかる。2014年に行われた「確率論的地震動予測地図」の見直しでは、震源断層をあらかじめ特定することが難しい三陸沖の地震について、その不確実性を考慮した形で、想定される震源の規模やマグニチュードの引き上げがなされたことにより強振動の30年以内の発生確率が岩手県、福島県の



図一1 東北地方太平洋側3県における a) 曝露量指数, b) 脆弱性指数, c) GNSの経時変化(2015年と2010年の差分値)



図一 東北地方太平洋側3県における a) 2010年, b) 2014年以降の「確率的地震動予測地図」より得られる震度6弱以上の予測確率を頻度係数に換算したものの, c) 地震の曝露量の変化



図一 3 岩手県の各市町村における a) ハード・ソフトウェア対策の脆弱性指標, b) 曝露量指標と脆弱性指標の時系列変化 (2015年と2010年の比較)

多くの市区町村で上昇した。一方、宮城県においては、宮城県沖地震に対するモデル化が見直されたことにより、強振動の発生確率が減少し、地震の曝露量も減少した。

図一 3a) に岩手県における震災前後のハードおよびソフトウェア対策の脆弱性指標の時系列変化を示す。本図より、県内全ての市町村でハードウェア対策あるいはソフトウェア対策の脆弱性指標のいずれかが減少しており、全体の64.7%の市町村において、ハー

ド、ソフト対策の脆弱性指標がともに減少していた。ただし、多くの市町村で、震災前後のソフトウェア対策よりもハードウェア対策の脆弱性の方が大きく改善されており、震災後にハードウェア対策を優先し、重点的に復旧・復興がなされてきたことを示している。しかし、「ライフライン」において上下水道の40年超過管率が大きく増加した久慈市、震災後に木造家屋の割合が大きく上昇した大船渡市、釜石市の3市においてハードウェア対策の脆弱性指標の増加がみられた。

また、9市町村（大槌町、山田町、岩手町、花巻市、陸前高田市、洋野町、雫石町、金ケ崎町、平泉町）でソフトウェア対策の脆弱性指標の増加が見られるが、これらの市町村においては、「医療サービス」（10万人あたりの医師数・病床数）および「経済と人口」（老年人口指数）がソフトウェア対策の脆弱性に関する共通の課題であることがわかった。図-3b)に岩手県の震災前後の曝露量指標と脆弱性指標の時系列変化を示す。本図より、岩手県の傾向として、多くの市町村において、震災後にハード対策を中心とした防災・減災対策が実施されてきたことにより脆弱性は低下しているものの、自然災害（特に、地震）の曝露量は上昇しており、その結果としてGNSは増加している。

図-4a)に宮城県における震災前後のハードおよびソフトウェア対策の脆弱性指標の時系列変化を示す。本図より、美里町を除く県内全ての市町村でハードウェア対策あるいはソフトウェア対策の脆弱性指標のいずれかが減少しており、全体の76.9%の市町村において、ハード、ソフト対策の脆弱性指標がともに減少していた。ただし、多くの市区町村で、震災前後のソフトウェア対策よりもハードウェア対策の脆弱性の方が大きく改善されており、岩手県と同様に、震災後にハードウェア対策を優先し、重点的に復旧・復興がなされてきたことを示している。しかし、美里町においてはハード・ソフトウェア対策の両方で脆弱性指標が増加しており、ハードウェア対策における「ライフライン」とソフトウェア対策における「保険」の項目以外の全ての項目で状態が悪化していることがわかっ

た。また、栗原市では、「住宅・公共施設」のうち建物の腐朽・破損数が大きく増加した結果、ハードウェア対策の脆弱性指標が増加したことがわかった。一方、8市区町村（南三陸町、女川町、松島町、美里町、仙台市若林区、登米市、利府町、多賀城町）でソフトウェア対策の脆弱性指標の増加が見られるが、これらの市区町村においては、「医療サービス」（10万人あたりの医師数・病床数）および「経済と人口」（老年人口指数）がソフトウェア対策の脆弱性に関する共通の課題であることがわかった。図-4b)に宮城県の震災前後の曝露量指標と脆弱性指標の時系列変化を示す。本図より、宮城県の傾向として、多くの市町村において、震災後にハード対策を中心とした防災・減災対策が実施されてきたことにより脆弱性は低下しているが、岩手県の市町村とは異なり自然災害の曝露量の変化は小さい。また、本図において、2010年は、曝露量指数が大きい右側に、沿岸部の市区町村が多く分布し、曝露量の比較的小さな左側に、内陸部の市区町村が多く分布しており、震災後の2015年には、右側に位置する市町村が左へ、左側に位置する市町村が右へと移動していることがわかる。このことは、曝露量が沿岸部で低下し、内陸部で上昇したことを意味している。宮城県全体における2010年から2015年での人口の変化率は-0.61%とほとんど変化していないことから、震災後の県外への流出による人口減少の影響は小さく、県内で地震と津波のリスクがより低い地域に人口が移動したことを意味している。また、その移住の過程において、震災後の住宅再建に伴い、沿岸部で

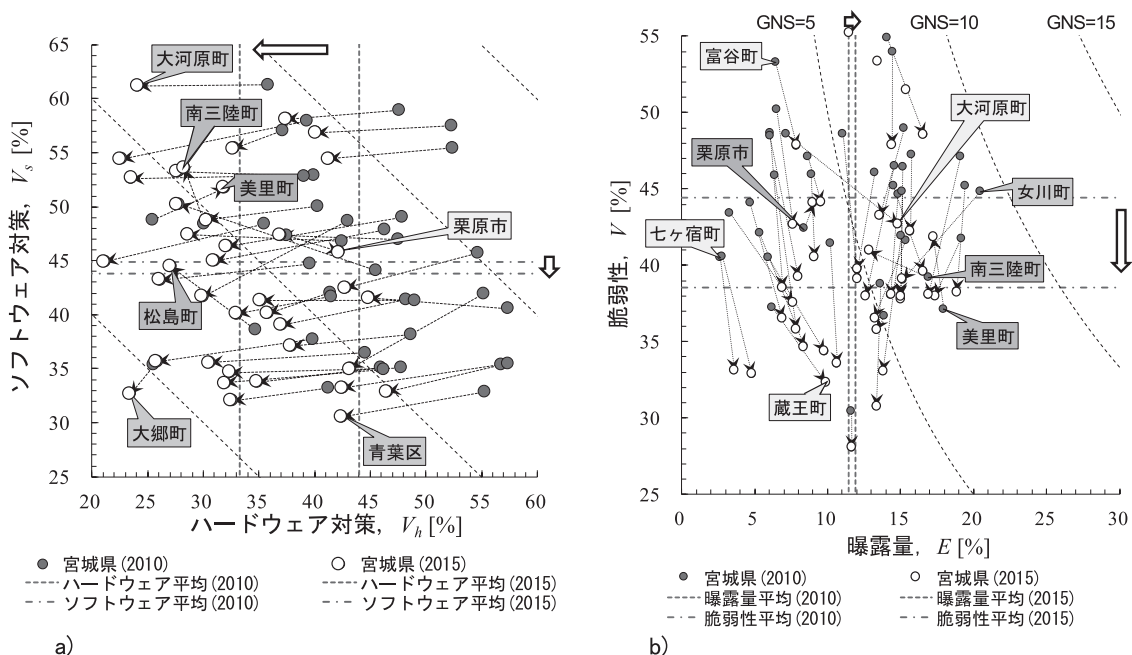


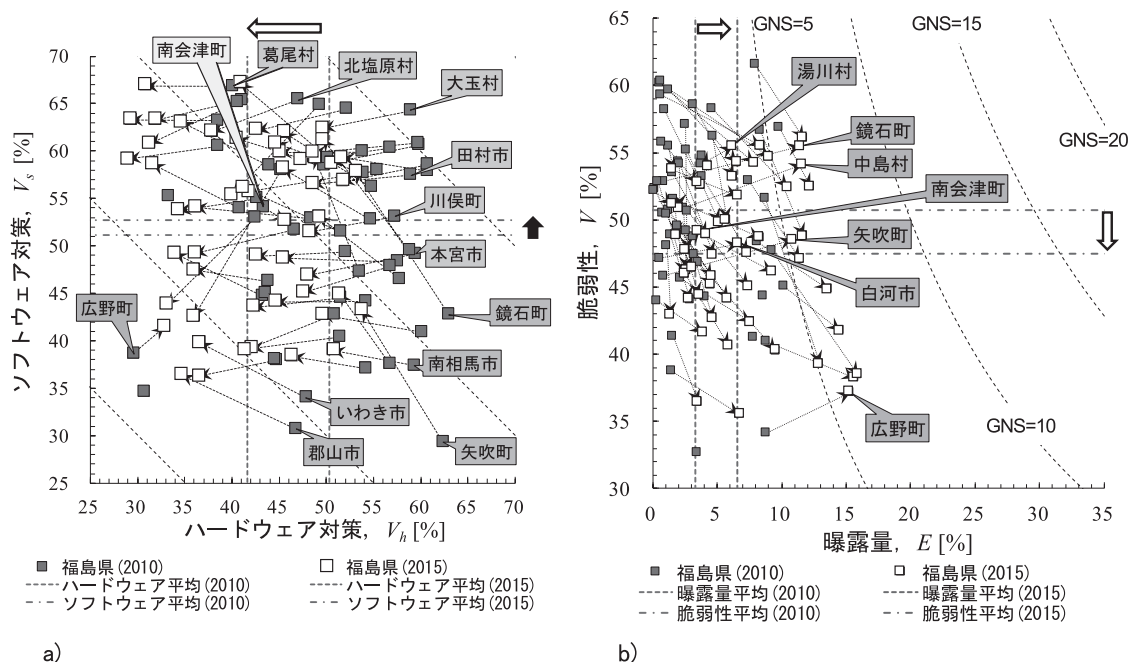
図-4 宮城県の各市町村における a) ハード・ソフトウェア対策の脆弱性指標, b) 曝露量指標と脆弱性指標の時系列変化 (2015年と2010年の比較)

は木造住宅が減少し、内陸部では非木造住宅が増加することで木造住宅割合の低下が起こり、脆弱性が減少する傾向となっていることがわかった。

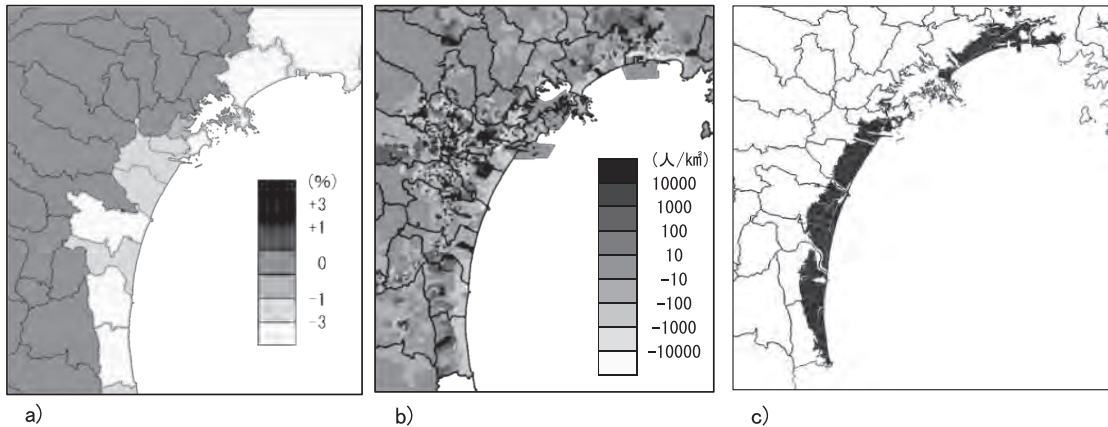
図—5a) に福島県における震災前後のハードおよびソフトウェア対策の脆弱性指標の時系列変化を示す。本図より、広野町を除く県内全ての市町村でハードウェア対策あるいはソフトウェア対策の脆弱性指標のいずれかが減少しているが、ハード、ソフト対策の脆弱性指標がともに減少していた市町村は、全体の46.6%にとどまっている。ただし、多くの市区町村で、震災前後のソフトウェア対策よりもハードウェア対策の脆弱性の方が大きく改善されており、岩手県、宮城県と同様に、震災後にハードウェア対策を優先し、重点的に復旧・復興がなされてきたことを示している。しかし、市町村が全体の44.8%の市町村（例えば、いわき市、南相馬市、郡山市など）でソフトウェア対策の脆弱性指標が増加し、2015年の福島県内の全市町村のソフトウェア対策の脆弱性指標の平均値は、2010年のものよりも大きな値となった。この傾向は、先述の岩手、宮城県とは異なる傾向を示している。これは、福島第一原子力発電所の事故に伴い、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町から人口が内陸の市町村に移動したことにより、人口が著しく増加した市町村において、単位住民当たりの充足度を表すソフトウェア対策の項目（例えば、「医療サービス」など）において、脆弱性が高まる傾向がある。また、広野町において、ハード、ソフトウェア対策の脆弱性指標がともに増加しているが、脆弱性指標の値そのものは小さく、2010年では、

県内で2番目に小さい値であり、2015年でも3番目に小さい値であった。図—5b) に福島県の震災前後の曝露量指標と脆弱性指標の時系列変化を示す。本図より、原子力発電所の事故によって人口が0となった富岡町、大熊町、双葉町、浪江町を除くと、福島県内で曝露量が低下した市町村はなく、白河市、広野町、矢吹町、鏡石町、南会津町、湯川村、中島村の7市町村では曝露量・脆弱性指数ともに増加している。福島県の傾向として、多くの市町村において、震災後にハード対策を中心とした防災・減災対策が実施されてきたことにより脆弱性は低下しているが、岩手県と同様に自然災害（特に、地震）の曝露量は上昇しており、その結果としてGNSは増加している。

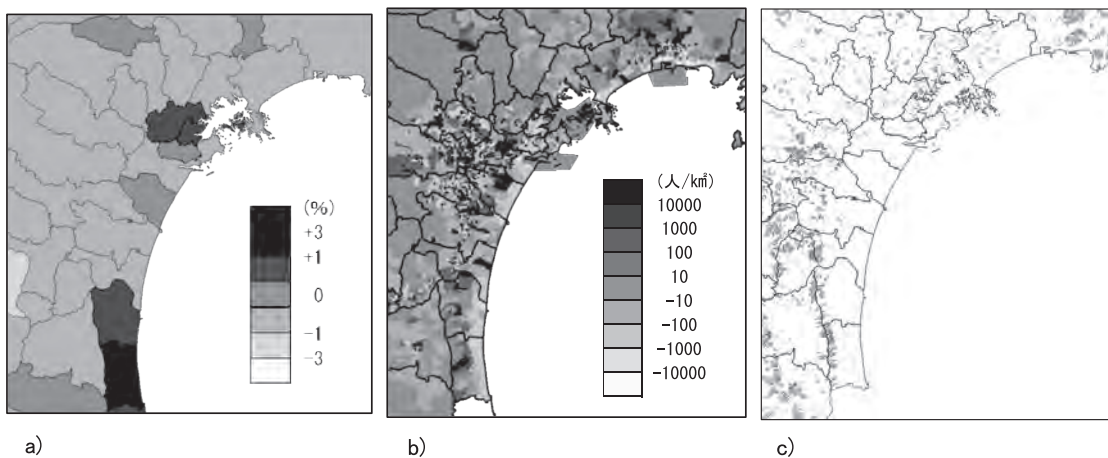
図—6a)～c) に、宮城県の沿岸部の市町村における津波の曝露量の変化、町字ごとの人口密度の変化、東北地方太平洋沖地震による津波の浸水域を、図—7a)～c) に、土砂災害の曝露量の変化、町字ごとの人口密度の変化、土砂災害危険個所の分布をそれぞれ示す。本図より、津波による大きな被害を受けた市町村では、高台移転などにより津波の浸水域において曝露人口が大幅に減少し、その結果、津波の曝露量指標が減少していることが分かる。しかし、津波浸水域から人口が移動することにより、土砂災害危険個所と重なる町字の人口が増加し、土砂災害や洪水の曝露量指数が増加している市町村がある（例えば、山元町、亘理町など）。このことは、特定の災害のみに着目するのではなく、複数の災害を総合的に評価する必要があることを示している。



図—5 福島県の各市町村における a) ハード・ソフトウェア対策の脆弱性指標, b) 曝露量指標と脆弱性指標の時系列変化 (2015年と2010年の比較)



図一六 宮城県の沿岸部の市町村における a) 津波の曝露量の変化, b) 町字ごとの人口密度の変化, c) 東北地方太平洋沖地震による津波の浸水域



図一七 宮城県の沿岸部の市町村における a) 土砂災害の曝露量の変化, b) 町字ごとの人口密度の変化, c) 土砂災害危険箇所

## 5. おわりに

東日本大震災前後（2010年および2015年）の地図データおよび統計データを使用し、GNSにより東北地方太平洋側3県（岩手、宮城、福島県）における自然災害リスクの時系列分析を行い、震災後に実施されたハード・ソフト対策の効果の検証を行った。本分析により得られた知見を以下に示す。

- ・宮城県の太平洋沿岸に位置する市町村を中心に、住民の高台移転などにより津波に曝される人口（曝露人口）が減少したことから、曝露量指数は大きく低減した。一方、「確率論的地震動予測地図」が2014年に見直されたことで、地震の頻度係数の値が大きく変化したことから、岩手県、福島県の多くの市町村で曝露量指数が増加している。
- ・震災後に優先的に施されたハード対策により、多くの市町村で脆弱性指数は改善され、値は小さくなっている。しかし、ソフトウェア対策の脆弱性指標が増加している市区町村もあり、人口の移動などに伴って、単位住民当たりの充足度を表すソフトウェア

対策の項目（例えば、「医療サービス」など）や「経済と人口」（老年人口指数）が悪化したことが要因であると考えられる。

- ・県内避難においては合理的な立地であったとしても、その地域における自然災害リスクの変動を十分に考慮した移住が必要である。また、受け入れ先の市町村で人口が増えたとしても脆弱性を増加させない方策を講じる必要がある。
- ・津波が襲来し甚大な被害のあった沿岸部において、その後の生活再建の場を同じ県内の内陸部の他の市町村に移すケースや、同一市町村内におけるより内陸側のエリアに移すケースが見られたが、内陸に住居を移すことで、津波の曝露量は大幅に減少したが、土砂災害や洪水の曝露量が増加するというケースが見られた。このことから、特定の自然災害リスクを単独で評価するのみならず、複数の自然災害について総合的に捉えることが必要かつ重要である。
- ・自然災害リスク（GNS）を減少させるためには、ハード・ソフト対策を充実させることで「脆弱性」を低減させる方策と自然災害に曝される人口割合である

「曝露量」を低減させる方策が考えられる。従来、各種防災・減災対策を実施し「脆弱性」を減少させる前者が主に検討されてきたが、ハード対策には限界があり、ソフト対策との適切な組み合わせにより防災・減災対策を講じる必要がある。また、災害の影響下にある人口割合を低減させる（危険な場所には住まない、住ませない）後者についても併せて検討する必要がある（後者は、自然災害から免れるという点で、「免災」と呼ばれている<sup>6)</sup>）。

## 謝 辞

本原稿の執筆にあたり、梶谷娑和氏（関西大学社会安全研究科、修士2回生）、向井友亮氏（日本工営株、元関西大学社会安全研究科修士課程）に多大なる協力を得た。ここに深甚の謝意を表す。

J C M A

## 《参考文献》

- 1) 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：自然災害に対するリスク指標 GNS [2017年版]，地盤工学会関東支部，2017，<http://www.jgskantou.sakura.ne.jp/group/pdf/GNS2017.pdf> (2020年8月20日確認)
- 2) 菊本 統・下野勘智・伊藤和也・大里重人・稲垣秀輝・日下部 治：我が国の自然災害に対する統合的リスク指標，土木学会論文集 F6（安

全問題），73（1），43-57，2017。

- 3) 総務省統計局：政府統計の総合窓口（e-stat），<https://www.e-stat.go.jp/>（2020年8月20日確認）
- 4) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス，<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>（2020年8月20日確認）
- 5) 東京大学空間情報科学研究センター：復興支援調査アーカイブ，<http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>（2020年8月20日確認）
- 6) 日経コンストラクション：さらば災害リスク，自然災害と闘わない「免災」という選択肢，2018年12月10日号

## 【筆者紹介】

小山 倫史（こやま ともふみ）  
関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科  
准教授



伊藤 和也（いとう かずや）  
東京都市大学 建築都市デザイン学部 都市工学科  
教授  
兼 総合研究所 インフラ維持管理と災害制御に関する  
研究センター  
センター長



菊本 統（きくもと まもる）  
横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院  
准教授

