

自然災害に対する安全性指標 GNS (Gross National Safety for natural disasters) の市町村別 GNS (GNS-Ver.2.0) の開発 東日本を一例として

伊藤和也・小山倫史・菊本 統

自然災害に対して安全な国土を形成するか、そのための予算と人員をどのように配分するかといった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であるが、そのような指標化は未だに確立されていない。本報はこのような観点から開発されている自然災害に対する安全性指標 (GNS) について、対象とする6つの自然災害のうち火山災害以外の災害曝露量を市町村別とした市町村別 GNS (GNS Ver.2.0) について、東日本を抽出してその結果について報告する。

キーワード：GNS, 防災・減災対策, 自然災害

1. はじめに

我が国は、地震や豪雨などの様々な自然災害に晒されている。例えば、東北地方太平洋沖地震では津波や土砂災害、また、西日本豪雨や東日本台風等では広域な地域で洪水や土砂災害が発生し甚大な被害を受けている。最近の傾向として気候変動等により短時間・局所的な集中豪雨や都市型水害など被害の形態も多様化している。一方で、行政機関の防災・減災対策に充てられる予算と人員は限られているため、インフラ整備や構造物の補強といったハード対策とハザードマップの整備・公開や防災教育といったソフト対策を効果的に組み合わせた包括的な防災・減災対策が重要となってくる。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、そのための予算と人員をどのように配分するかといった社会意思の決定が本質的には必要となる。この意思決定には、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であるが、そのような指標化は未だに確立されていない。そのため、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、国民は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ていないのが現状である。このような社会背景の下、日下部ら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¹⁾。現在、著者らは GNS の評価体系について更新および高度化を行っている。具体的には、都道府県版の GNS を作成して GNS2015²⁾~³⁾、GNS2017⁴⁾ を公開した。その後、都道府県版から市町村版とより詳細な分析が行えるように検討を進めている⁵⁾~⁶⁾。

本報は、対象とする6つの自然災害のうち火山災害以外の災害曝露量を市町村別とした市町村別 GNS (GNS Ver.2.0) について、東日本を抽出してその結果について報告する。

2. 自然災害安全性指標 (Gross National Safety for natural disaster) GNS の算出

自然災害に対するリスク指標は、様々なリスク指標算出方法があるが、一つの自然災害に特化して詳細に検討したものと、多くの自然災害を網羅したものに大別される。後者の代表的なものとして World Risk Index (WRI) がある⁷⁾。WRI の基本概念は、自然災害によるリスクは単に自然災害の規模や範囲のみによるものではなく、自然災害と社会、政治、経済および環境的要因との相互作用として決まるという思想にある。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が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。著者らが開発しているGNSは、WRIのリスク算出方法を参考にしつつ、日本が有する整備された緻密な各種統計情報を用いたリスク算出を行っているが、複数の自然災害への遭遇度合（災害曝露量）と社会が持つハードやソフト対策の進捗状況（社会の脆弱性）を掛け合わせて自然災害リスクを指標化している点で共通している。GNSは以下の式を用いて算出している^{2)~4)}。

$$\text{Risk(GNS)} = \sum \{ \text{Hazard(危険事象)} \times \text{Exposure(曝露)} \} \times \sum \text{Vulnerability(脆弱性)} \quad (1)$$

式(1)において、Hazard（危険事象）は自然事象が起こる確率を意味する災害発生頻度、Exposure（曝露）は災害の影響下にある人口割合、Vulnerability（脆弱性）は社会が持つ脆弱性を表す。Hazard（危険事象）とExposure（曝露）を乗算したものを災害曝露量と呼称する。以下に、災害曝露量と脆弱性の算出方法について示す。

(1) 災害曝露量の算出方法

災害曝露量は、地震、土砂災害、津波、高潮、洪水、火山の計6種類の自然災害を対象とした。曝露量の算出は、Q-GISを用いて災害の影響下にある人口割合と過去の自然災害発生状況から計算される頻度係数を掛けて算出した。表1に災害の影響下にある人口割合と災害発生頻度の算出方法一覧を示す^{8)~10)}。各自然災害から算出した災害曝露量にそれぞれ重み係数1/6を掛け、6つの指標を加算して算出した。なお、頻度係数は過去の災害発生件数から都道府県の災害発生件数を N_i 、47都道府県の発生件数の平均値を \bar{N} と

おくと、0から1の値を取る頻度係数 F_i は以下の式(2)が成立するものとして計算している。

$$F_i = 1 - \exp\left(-\frac{N_i}{\bar{N}}\right) \quad (2)$$

(2) 脆弱性の算出方法

脆弱性をまとめたものを表2に示す。脆弱性は、各市町村でハード・ソフト対策についてのデータを更新可能なe-stat⁸⁾などから収集して算出した。なお、市町村データが存在しない場合には都道府県データを一律で与えている。

3. 東日本のGNSの算出結果

(1) 東日本の災害曝露量の算出結果

図1に各自然災害の災害曝露量を示す。地震の凡例は80%以上を黒、20%以下を白としており、地震以外の5種類の自然災害の凡例は14%以上を黒、2%以下を白としている。6つの自然災害による曝露量は、地震によるものが大きく影響を与えていることが分かる。地震の災害曝露量を見ると、太平洋沿岸のほとんどの地域で60%以上の曝露量となっている。一方、地震以外の災害を見ると、津波と高潮は沿岸域が、土砂災害と火山は中山間地域が、洪水は河川流域においてそれぞれ高い曝露量を示しており、土地条件という素因が災害曝露に影響を与えていることが分かる。

図2は6つの自然災害による曝露量のそれぞれを1/6倍して足し合わせて算出した災害曝露量である。個別の災害の曝露量と比較すると、地震による影響を大きく受けている傾向は見られる一方で、洪水や土砂災害で曝露量が高い市町村も災害曝露量が高くなっている。特に東日本の中では、静岡県や長野県が全域にわたって曝露量が高い結果となった。

表1 各自然災害の曝露量算出方法一覧^{8)~10)}

	災害の影響下にある人口割合	頻度係数（都道府県データ）
地震	J-SHIS 確率論的地震動予測地図と e-stat の小地域データを重ね合わせ 30年以内に震度6弱以上の地震に曝される確率	
津波	国土数値情報の標高データから標高3m未満の人口割合	1498年～2006年までの津波発生回数
高潮		1961年までの高潮発生件数（江戸期, 1925年～1955年）
土砂災害	国土数値情報の土砂災害警戒区域データ（地すべり, 土石流, 急傾斜）と行政区域データ, e-stat の人口データと人口メッシュデータを重ね合わせ	年発生件数
火山	（都道府県データ）火山地に住む人口	1600年以降の活火山災害発生件数
洪水	国土数値情報の浸水想定区域データと行政区域データ, e-stat の人口データと人口メッシュデータを重ね合わせ	2006年～2016年の洪水発生件数（水害統計調査）

表-2 脆弱性の分類指標と副指標一覧^{B)}

	分類指標	副指標 (データ)
ハード対策	住宅・公共施設	耐震化率 (戸建て・公共) / 木造割合 / 腐朽・破損
	ライフライン	上水道耐震化率 (管路・浄水施設・配水池) / 40年超過管率
	インフラ	道路指数 / 橋梁修繕率
	情報・通信	防災無線施設整備率 / Jアラート整備率
ソフト対策	物資・備蓄	食料備蓄 (5項目) / 飲料水備蓄 / 毛布備蓄 / スーパー指数 / コンビニ指数
	医療サービス	10万人当たり医師数 / 10万人当たり病床数
	経済と人口構成	財政力指数 / ジニ係数 / 高齢者人口指数 / 被保護実人員割合
	保険	地震保険加入率
	条例・自治	土砂災害警戒区域指定率 / ハザードマップ公開率 / 自主防災組織カバー率

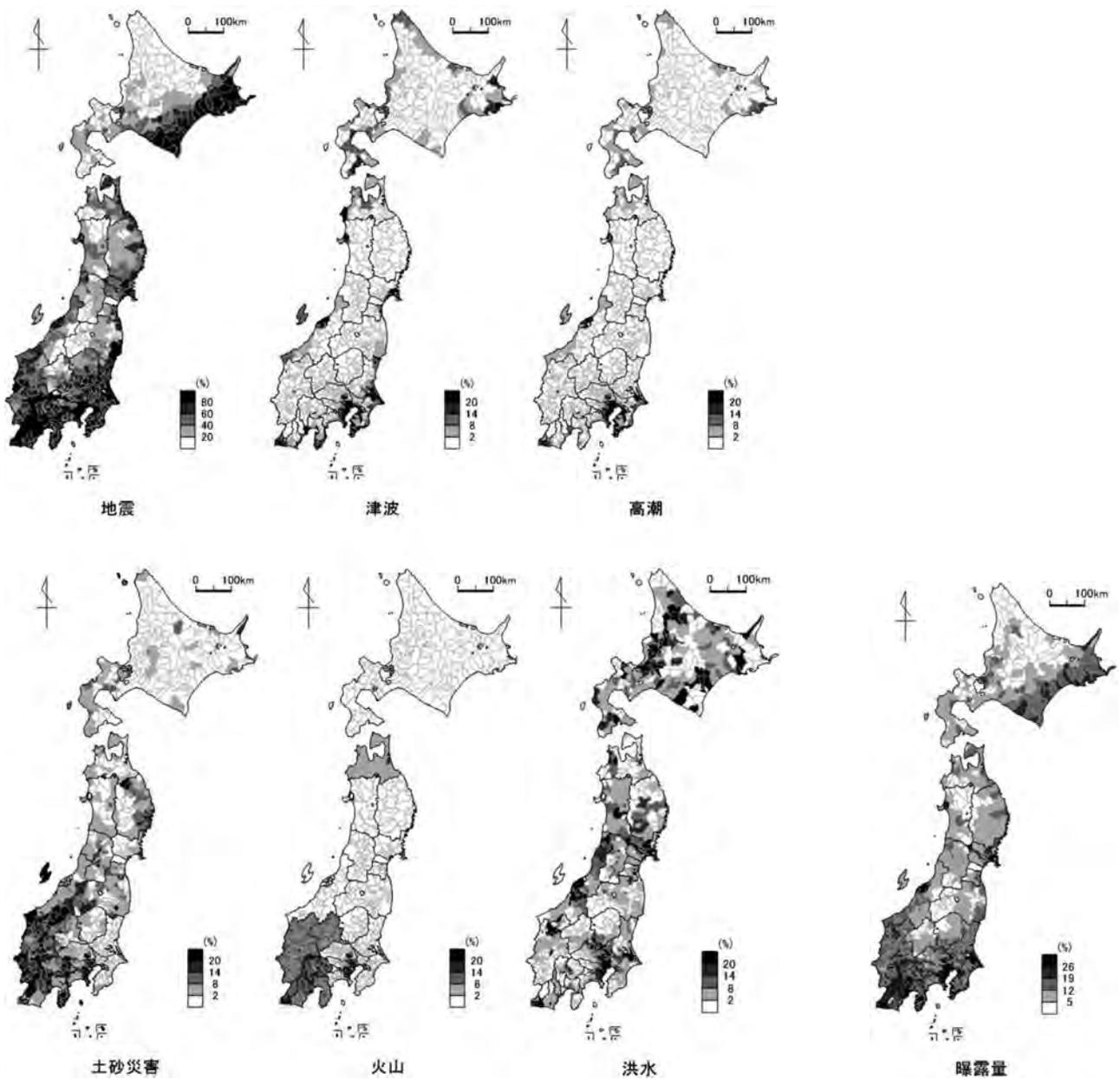


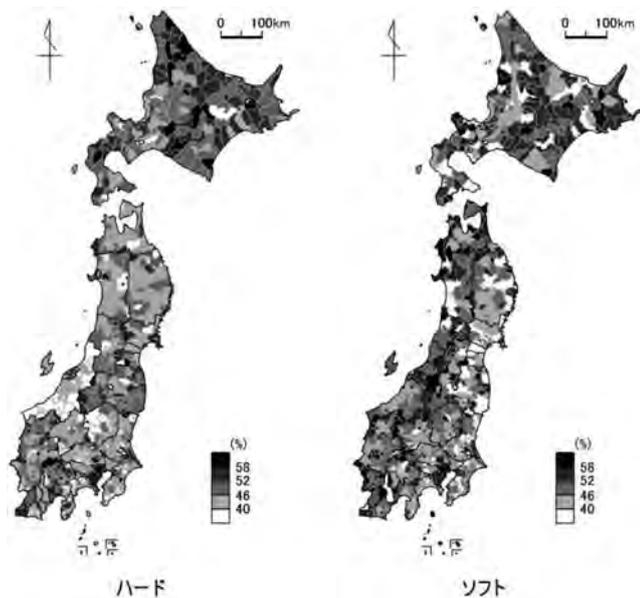
図-1 対象とした自然災害の曝露量 (H × E)

図-2 東日本の災害曝露量

(2) 東日本の脆弱性の算出結果

図一三に脆弱性の副指標であるハード対策とソフト対策の算出結果を示す。これらの凡例は58%以上を黒、40%以下を白としており、白いほど災害対策が進んでいることを示している。ハード対策では都道府県毎に違いが見られるが、ソフト対策では都道府県毎の特徴は見られず“まだら模様”となっている。全体の傾向としては、ハード対策では新潟県が低く、北海道のほぼ全域が高い結果となっており、ソフト対策では北海道と東北地方・甲信越の県境で比較的高い結果となっている。ハード対策が県全体として低くなっている新潟県はインフラが中心部を除いて低いことによってハード対策全体が低くなっている。一方、ハード対策・ソフト対策ともに高い傾向を示している北海道について副指標を確認すると、ハード対策ではインフラの中の橋梁修繕率が低く、ソフト対策では物資・備蓄量が全体として不足していることが影響しているようである。また、県境の市町村でソフト対策が高い傾向を示している理由は、複数あると考えられるが、主要な理由として医療サービスが挙げられる。これは、病院が行政区分を超えた医療圏を設定していることが影響していると考えられる。

図一四はハード対策とソフト対策を1/2倍して足し合わせて算出した脆弱性である。ハード対策・ソフト対策共に高かった北海道は黒が目立つが、総じて“まだら模様”となっている。



図一三 東日本の脆弱性の副指標であるハード対策とソフト対策



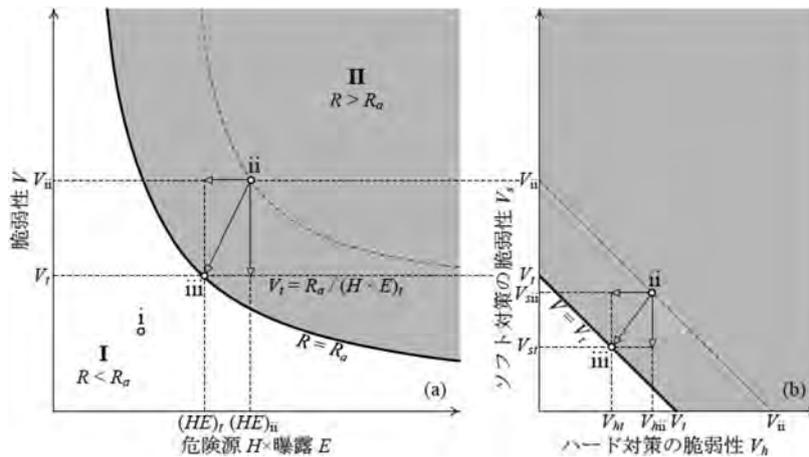
図一四 東日本の脆弱性 (V) 算出結果

(3) 東日本のGNSの算出結果

図一五に災害曝露量(図一二)と脆弱性(図一四)を掛け合わせて算出したGNSの算出結果を示す。凡例は11%以上を黒、5%以下を白としており、白いほど自然災害リスクが低いことを表している。関東地方沿岸域及び甲信越地方と北海道の太平洋側で高い結果となり、北関東、東北地方、北海道の太平洋側を除く地域では低い結果となった。これは、脆弱性が全体的にまだら模様で特徴が少ないのに対して災害曝露量は地域に特徴があることから、相対的に災害曝露量の算出結果がGNSに影響を与えたものと考えられる。甲信越地方と北海道の太平洋側の地域に関しては、災害曝露量、脆弱性共に高いことから特に東日本の中では自然災害リスクが高いことが分かる。



図一五 東日本のGNS算出結果



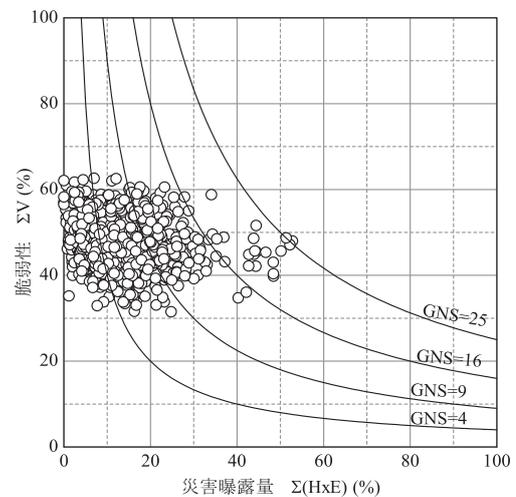
図一六 GNS を用いたリスク管理の概念図³⁾

4. GNS の利活用

菊本らは GNS を用いたリスクの管理の方法について図一六のような概念図をまとめている³⁾。ここで、図一六の右側は脆弱性の副指標であるハード対策とソフト対策の関係を、左側は災害曝露量と脆弱性の関係を示している。また、図中の反比例曲線は GNS である。ここで、ii の GNS を低減させる方法としては、脆弱性・災害曝露量をどのように下げれば最も効果的なのかを検討する必要がある。最短ルートは iii に向かうルートであるが、各指標の低減に要する費用や労力、時間を鑑みて合理的に検討する必要があると述べている。従来の自然災害の対策ではハード対策・ソフト対策の大小はあるが主に脆弱性の対策に重点が置かれていた。GNS ではそれに加えて災害曝露量を低減することで全体のリスク低減を図ることができる。この考え方は、災害の影響下にある人口割合を低減すること、すなわち、危険な場所には住まない・住ませないという「居住地域の再考」を検討することにつながる。このような観点は昨今「防災」として取り上げられている¹¹⁾が、税制や立地適正化計画などの社会システムの側面から実現可能性が期待できる。図一七に東日本の市町村別の災害曝露量～脆弱性の関係を示す。脆弱性は多くの市町村が30～60%に存在するが、災害曝露量は0～60%と比較的広範に位置している傾向が見られており、脆弱性を低減させるよりも災害曝露量、すなわち、被災する人口割合を低減することが効率的な市町村もあると考えられる。

5. おわりに

本報は著者らが開発を進めている自然災害に対する安全性指標 (GNS) について、対象とする6つの自然



図一七 東日本の市町村別災害曝露～脆弱性関係

災害のうち火山災害以外の災害曝露量を市町村別とした市町村別 GNS (GNS Ver.2.0) について、東日本を抽出してその結果について報告し、利活用について述べた。なお、詳細情報については、地盤工学会関東支部「自然災害に対する安全性指標 (GNS) の開発とその利活用に関する研究委員会」のホームページ (<http://jibankantou.jp/group/gns.html>) に公開されているので、参照していただきたい。

謝 辞

本報執筆にあたり、加藤丈琉氏 (東京都市大学都市工学科4年)、藤間怜央氏 (現、セントラルコンサルタント、元東京都市大学)、梶谷斐和氏 (関西大学大学院社会安全研究科、修士2年) に多大なる協力を得た。ここに深甚の謝意を表する。

《参考文献》

- 1) 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.
- 2) 自然災害に対するリスク指標 GNS 2015年版: <http://www.jgskantou.sakura.ne.jp/group/pdf/GNS2015.pdf> (2020年8月20日確認)
- 3) 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), Vol. 73, No. 1, 43-57, 2017/10.
- 4) 自然災害に対するリスク指標 GNS 2017年版: <http://www.jgskantou.sakura.ne.jp/group/pdf/GNS2017.pdf> (2020年8月20日確認)
- 5) Yusuke Mukai, Tomofumi Koyama, Mamoru Kikumoto, Kazuya Itoh: The application of GNS to evaluate natural disaster risk in Kinki area, The Society for Risk Analysis, Asia Conference 2018, 2018/03.
- 6) 梶谷姿和, 小山倫史, 伊藤和也, 菊本統: GNSを用いた広島県の市区町村における土砂災害リスクの経年評価, Kansai Geo-Symposium 2019 — 地下水盤環境・防災計測技術に関するシンポジウム —, No. 4-5, 2019/11.
- 7) Bündnis Entwicklung Hilft: The World Risk Report, <https://weltrisikobericht.de/english/> (2020年8月20日確認)
- 8) 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)
- 9) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス国土交通省: 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)
- 10) 国立研究開発法人防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション (J-SHIS), <http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2020年8月20日確認)
- 11) 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, pp.30-31, 2018.

[筆者紹介]



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



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



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

