

令和元年6月26日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03156

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Establishment of vulnerability value for GNS and reflection to its disaster prevention strategy

研究代表者

伊藤 和也 (ITO, Kazuya)

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号：80371095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、国内自治体の自然災害に対する脆弱性の評価・計測方法を確立し、統一的な数値的指標として提案しているGross National Safety for natural disasters(自然災害安全性指標：GNS)を国内自治体単位レベルまで適用範囲を拡大することで、GNSを用いた科学的根拠に支えられた防災戦略立案に対する意志決定への活用を行うものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然災害に対する国土の安全性・脆弱性を定量的に表し、防災投資の意思決定指標として開発した自然災害安全性指標GNS(Gross National Safety for natural disasters)について、都道府県別GNS算出の確立と重点化すべき防災減災投資箇所の具現化の実施、市町村別GNS指標の開発、GNS指標や各副指標の経年変化の算出から各自治体の防災・減災対策の進捗評価手法の確立にある。研究期間にて災害曝露量に洪水災害を追加し、市町村別のGNSの試算を行った。都道府県別については、パンフレット「GNS2017」を作成し、自治体首長・防災担当者へ送付・アンケート調査に利用した。

研究成果の概要(英文)：The concept and the assessment method of Gross National Safety for natural disasters (GNS) were introduced and the initial calculation results were presented as the 2015 version of GNS. The results of GNS risk index including vulnerability and exposure are presented in the prefecture and municipality scales in Japan. We need to be aware that the Exposure index only based on five natural disasters is insufficient for the assessment of the risk. There are other factors such as flood disaster caused by heavy rain, which has currently caused serious damage in Japan. In this research, flood disaster was included in the Exposure index. It is essential not only to continuously update the data available but also improve and develop the range of application of GNS.

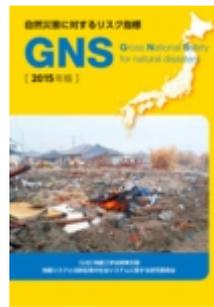
研究分野：安全工学

キーワード：自然災害 危機管理 災害リスク 防災・減災 国土保全

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

本研究にて統一的な数量的指標として提案している Gross National Safety for natural disasters（自然災害安全性指標：GNS）は、東日本大震災による未曾有の地震・津波災害の経験と復興の方向性の議論の過程の観察と考察から着想され、平成 25 年度に科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「自然災害安全性指標（GNS）の開発」（課題番号 25560184、代表研究者：日下部治）として採択されて研究活動を実施した。これらの成果の一つとして日本国内の都道府県単位の自然災害に対するリスク指標 GNS [2015 年版] を試算し、そのエッセンスをまとめた冊子「自然災害に対するリスク指標 GNS [2015 年版]」を公開した（図-1）。



日本語版  
GNS2015



日本語版  
GNS2017

図-1 冊子 GNS

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、自然災害に対する国土の安全性・脆弱性を定量的に表し、防災投資の意思決定指標として開発した自然災害安全性指標 GNS（Gross National Safety for natural disasters）について、①都道府県別 GNS 算出の確立と重点化すべき防災減災投資箇所の具現化の実施、②市町村別 GNS 指標の開発、③GNS 指標および脆弱性指数を代表とする各副指標の経年変化の算出から各自治体の防災・減災対策の進捗を評価する方法の確立、を行うことにある。

### 3. 研究の方法

本研究課題の先行研究として実施された「自然災害安全性指標（GNS）の開発」（課題番号 25560184、代表研究者：日下部治）では、都道府県別 GNS 算出が行われ、さらに都道府県版をベースとした市区町村別 GNS 算出を東海 3 県にて実施されている。災害曝露量として先行研究では、①地震、②土砂災害、③津波、④高潮、⑤火山の 5 種類の自然災害を対象としていた。本研究課題では、先行研究においては都道府県を超える流域災害であることから算出を断念していた⑥洪水災害を新たに加える方法について検討を行い、改めて GNS 算出を行った。また、各指標の重みの妥当性について、階層分析法（AHP）を用いた検討を行った。さらに市町村別 GNS では、災害曝露量で市町村別で算出されていた災害は先行研究では高潮と津波だけであったが、本研究では全ての災害に随時拡張させた。なお、全ての災害に対応した地域は関西地域と東北地方太平洋側の三県（岩手、宮城、福島）である。市町村別 GNS は、一部の空白域があるが、土砂災害、洪水、高潮、津波の 4 種類の災害曝露量については、全国を網羅するような市町村版 GNS の作成を行った。特に、東日本大震災の被害を受けた東北地方の岩手県、宮城県、福島県については、東日本大震災前後の GNS の経時変化を分析して防災減災対策の効果を検証している。なお、都道府県版は GNS [2015 年版] の英語版と情報を更新した GNS [2017 年版] を刊行した（図-1）。特に、GNS [2017 年版] は、行政機関に送付してアンケート調査を実施している。

#### (1) GNS 算出方法

これまでのリスク指標の多くが特定の災害に関するものであった。これに対して GNS では複数の自然災害への遭遇度合（災害曝露量＝曝露量指数）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＝脆弱性指数）を掛け合わせることで自然災害リスク GNS を指標化している。社会の脆弱性である脆弱性指数はハード対策とソフト対策に分けられており、フリーアクセス可能な統計情報を抽出して使用した。自然災害への遭遇度合である災害曝露量は、今までの都道府県版 GNS にて想定した自然災害では、地震、津波、高潮、土砂災害、火山災害の 5 種類であったが、本研究では新たに洪水災害を追加した。いずれのデータも継続的に更新できるように定期的に更新されるフリーアクセスのデータを副指標として使用し、それらを階層化され重み付けされた指標の線形和（図-2）として計算した。なお、線形和のための重み係数の妥当性については、AHP を用いて検討を行った。



図-2 GNS 指標算出方法

#### (2) 地理空間情報を用いた災害曝露量の算出による市町村版 GNS の開発

自然災害の影響範囲は対象となる市町村全域とは限らない。しかし、先行研究（GNS2015）では人口や災害の影響範囲を都道府県単位で想定しているため、過密や過疎といった人口分布の偏りや海岸・山地の有無などの自然条件に応じた災害の曝露量が正確に表現できていなかった。そこで本研究では、公開されている各災害の影響範囲を表す地図データと市町村内における町字単

位での居住人口を表す「国勢調査（小地域）」の地図データを GIS 上で交差させ、面積按分することで精緻な影響範囲における曝露人口の割合 E を求めた。

GIS を利用した用いた災害曝露量の検討手法では、これまで考慮できなかった災害についても算出が可能となり、本研究では新たに洪水災害について算出を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 階層分析法を用いた重み係数算出方法と GNS の評価体系の妥当性について

本研究では、階層分析法を用いて、専門家へのアンケート結果から重み係数を算出する手法を提案した。また、自然災害に対するリスク指標 GNS の評価体系に対して、専門家へのアンケートによる、自然災害や防災・減災対策の種類ごとの重み係数の結果を示し、考察を行った。集団幾何平均法および C.I. のしきい値を用いて、回答者集団別の重み係数を求めたところ、茨城県、神奈川県および有識者の 3 つの回答者集団による曝露量指数の重み係数には、値の大小と近年の自然災害の発生度合いに関係性がみられた。一方、脆弱性指数の重み係数は、回答者集団ごとの値に差はあるものの、重み係数の大小に関しては概ね同じ傾向を示した。また、回答者集団別の脆弱性指数の評価基準別の重み係数は、回答者集団を問わず同じ傾向を示したことから、本アンケートによる重み係数の算出の妥当性を示した。さらに、どの回答者集団においても、「死傷者を出さない」と「経済的損失を抑える」の重み係数の比は、概ね 3 : 1 の関係となり、防災・減災対策の決定においては、死傷者を出さない対策が重視されることがわかった。以上より、重み係数の合理化の手法の一つとして、AHP によるアンケートが有意であることを示した。AHP を適用し、指標の目標や用途に合わせ、アンケートの対象を設定することで、総合指標のデータ群に依存することのない重み係数を求めることができる。

##### (2) 洪水災害の曝露量の算出方法及び結果

本研究で新たに導入した洪水災害の曝露量の算出方法について以下に述べる。洪水災害の曝露量の算出には、災害影響範囲の人口割合と過去の洪水発生状況から計算する頻度係数を用いる。洪水災害の曝露人口の割合は、公開されている国土数値情報の浸水想定区域データ及び行政区画データ、e-Stat の人口データ及びメッシュデータを Q-GIS 上で交差、結合することで算出した。また、洪水災害の頻度係数の算出には、国土交通省がまとめている水害統計調査の平成 18 年～28 年の過去 11 年間の水害発生状況データを用いた。災害の発生頻度を表す頻度係数は、過去の災害発生件数から各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  $N$  とおくと、0 から 1 の値を取る頻度係数  $F_i$  を以下の式-1 によって計算した。

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

この頻度係数と洪水災害の曝露人口の割合を掛け合わせたものが曝露量指数となる。なお、洪水災害の浸水深については、床上浸水となる 0.5m 以上を影響範囲の基準とした。以上の算出方法を踏まえて算出した関東地方の洪水災害の災害曝露量を図-3 に示す。本図は、赤色ほど洪水災害の影響が大きく、緑色ほど洪水災害の影響が小さいことを示している。算出結果から、特に茨城県常総市や栃木県足利市、千葉県市川市などの市区町村において、洪水災害の曝露量が高いことがわかった。また、利根川水系や荒川水系といった一級河流域を中心に洪水災害の曝露量が高い地域が広がっていることから、洪水災害の曝露量は河川の有無という地域特性に大きく左右される指標であるといえる。

##### (3) 地理空間情報を利用した市町村版 GNS の開発

洪水災害の災害曝露量も加えた形での市町村版 GNS の算出結果について、各地方の結果のうち東日本を一例として以下に示す。

###### ① 東日本地方の算出結果

東日本の GNS 算定結果を図-4 に示す。本図の GNS の値は、赤色ほど自然災害リスクが高く、緑色ほど自然災害リスクが低いことを示している。算出結果から、総じて災害曝露量が高い箇所にて自然災害リスクが高い傾向を示している。一方、北関東の群馬県、栃木県では脆弱性と災害曝露量がともに低いことから自然災害リスクも低く算出されている。

###### ② 関東地方の算出結果

上述の東日本での算出において関東地方は土砂災害を市町村版とした結果を示している。土砂災害の市町村版の算出には都道府県版と同じ算出方法と GIS を用いた方法によるものがあり、後者の方が高い精度を有している。そこで、ここでは、GIS を用いて土砂災害の

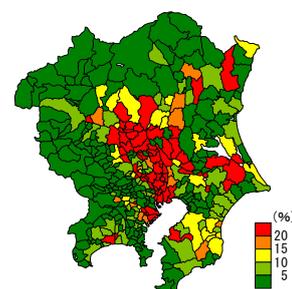


図-3 洪水災害の災害曝露量（関東地方）

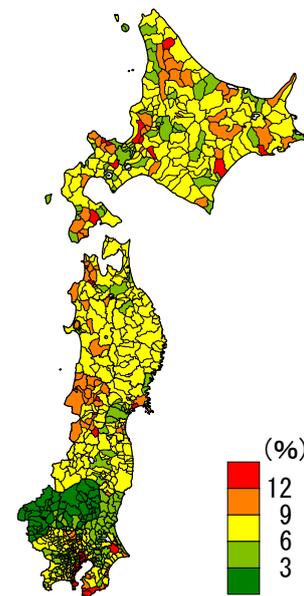


図-4 東日本の GNS

災害曝露量を算出して市町村版 GNS を算出した結果を示す。図-5 は関東地方の市町村版 GNS である。関東地方では、特に東京湾西岸地域や千葉県太平洋側といった南関東の沿海部地域で GNS が高い結果が得られた。これは、曝露量指数の評価と同様の傾向である。掛け合わせて算出する脆弱性指数には地域差がそれほどないため、曝露量指数によって GNS が評価されたためと考えられる。また、ハード対策とソフト対策を比較すると、関東地方では全体的にソフトウェア対策が遅れている傾向がみられた。今回新たに導入した洪水災害によって、北関東県境の一級河川（利根川、荒川）流域において GNS が高くなった。

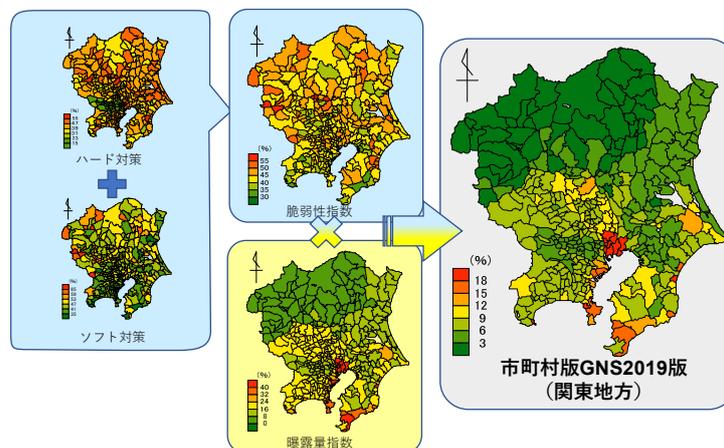


図-5 関東地方の市町村版 GNS

今回新たに導入した洪水災害によって、北関東県境の一級河川（利根川、荒川）流域において GNS が高くなった。

(4) 東日本大震災前後の自然災害リスクの評価

東日本大震災前後の自然災害の曝露量を算出するためには、町字単位で人口の変動を把握する必要がある。そこで、震災前後の人口データとして国勢調査が実施された 2010 年および 2015 年のものを集計対象の年次とした。図-6(a)~(c)に、岩手・宮城・福島県における GNS、曝露量、脆弱性の変化量（2015 年と 2010 年の値の差分値）をそれぞれ示す。本図より、震災の前後で宮城県沿岸部に位置する市町村を中心に多くの市町村で自然災害リスクが減少している一方、岩手、福島県では自然災害リスクが増加していることが分かる。なお、曝露量と脆弱性を掛け合わせた GNS 値の変化には、脆弱性よりも曝露量の変化の方が大きく影響していることがわかる。

図-7(a)~(e)に宮城県の沿岸部における、町字ごとの人口密度の変化、東日本大震災における津波の浸水域、津波の曝露量の変化、土砂災害危険区域、土砂災害の曝露量の変化をそれぞれ示す。

これらの図より、津波による甚大な被害を受けた市町村では、津波浸水域において人口が大幅に減少したことで、曝露人口の割合が大幅に低下し、曝露量の減少につながった。しかし、人口の移動に伴い、土砂災害危険区域と重なる町字で人口が増加し、土砂災害の曝露量が増加している市町村もある。このことから、各災害の影響する範囲における人口の移動は曝露量を大幅に変動させることにつながる。例えば、宮城県の場合、震災直後に人口が大幅に減少したことで、大きく低下した津波の曝露量は 2015 年時点においても変化しておらず、人口が震災前の状態まで回復していないことを示唆している。また、市町村によっては、津波のリスクが減少したものの、土砂災害の曝露量が増加しており、特定の災害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。

図-8 に、岩手・宮城・福島県における曝露量と脆弱性の変動傾向を表した散布図と地図を示す。本図より、曝露量の増加以上に脆弱性が減少してい

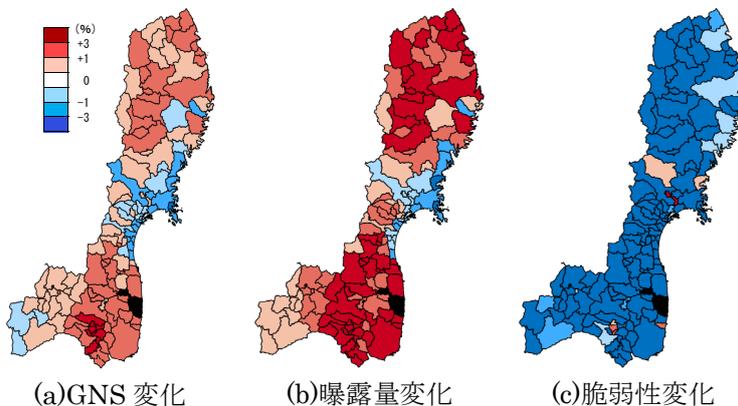


図-6 関東地方の市町村版 GNS

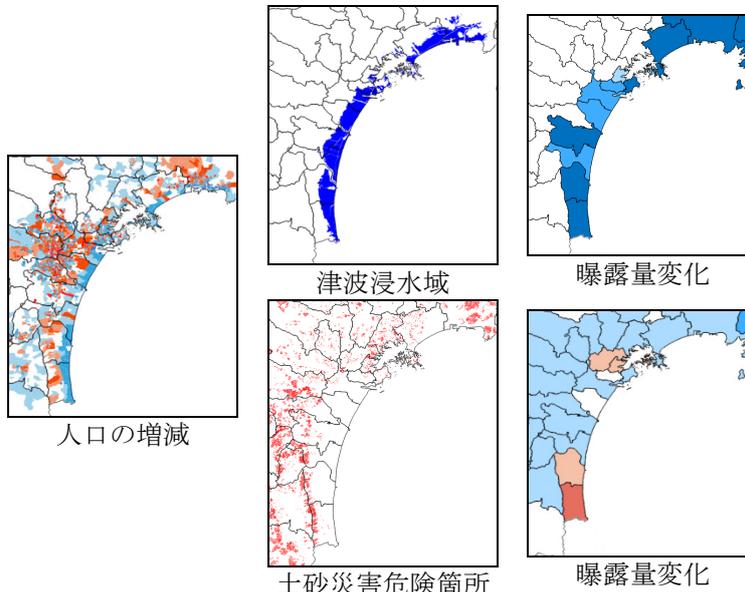


図-7 宮城県沿岸部における津波と土砂災害の変化

る市町村が多く確認できるが、GNS の低下には至っていない。また、GNS が減少したほとんどの市町村が曝露量と脆弱性の両方で減少を示していることから、災害のリスクを低下させるには、ハード・ソフト対策のみならず、曝露人口のコントロール、すなわち「危険な場所には住まない」ことが重要であることがわかる。

本研究では、GNS を低減させるには、二つの方法が挙げられる。一つ

目は、「脆弱性」を低下させることである。これは、公共投資の限られた予算を有効に活用し、ハード対策及びソフト対策を進めていくことで改善することができる。二つ目は、災害の「曝露量」を低下させることである。これは、曝露量を構成する要素のうち災害発生頻度は変えることができないため、災害影響範囲内の人口割合を低下させる必要がある。そのため、災害の危険性が高い地域に人を住ませないようにすることが求められる。実際に2018年に発生した西日本豪雨の土砂災害による死者は119名（53箇所）であり、このうち94名（42箇所）は土砂災害警戒区域内等で被災していることから、災害想定区域内の人口割合を低下させるような社会システムの構築が不可欠であるといえる。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 8 件）

1. 神谷主祐, 菊本統, 伊藤和也, 日下部治: 階層分析法による総合指標の重み係数の合理化と自然災害に対するリスク指標への適用, 自然災害科学, Vol.37, No.2, pp.219-234, 2018 (査読付)
2. 伊藤和也, 菊本統, 小山倫史, 永松伸吾, 今井龍一, 吉川直孝, 小花隆太郎, 大里重人, 稲垣秀輝, 日下部治: 市町村レベルでの自然災害リスク GNS の評価～関東地方を対象としたケーススタディ～, 安全工学シンポジウム, 2018 (査読無し)
3. 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 (査読付)
4. Kazuya ITOH, Mamoru KIKUMOTO, Shingo NAGAMATSU, Satoshi KOYAMA, Ryuichi IMAI, Osamu KUSAKABE, Shigeto OHSATO, Hideki INAGAKI, Naotaka KIKKAWA : Development of Gross National Safety Index for Natural Disasters- Case Study in Kanto Branch, World Bosai Forum IDRC Sendai 2017 conference in Sendai, 2017 (査読無し)
5. 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, pp.43-57, 2017 (査読付)
6. 伊藤和也, 菊本統, 下野勘智, 大里重人, 稲垣秀輝, 日下部治: 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, 自然災害科学, Vol.36, No.1, pp.73-86, 2017 (査読付)
7. O. Kusakabe, M. Kikumoto, K. Shimono, K. Itoh, H. Inagaki, S. Ohsato, K. Watanabe : Development of Gross National Safety Index for Natural Disasters, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, Vol. 48, No. 1, pp.90-101, 2017 (査読付)
8. 下野勘智, 菊本統, 伊藤和也, 大里重人, 稲垣秀輝, 日下部治: 自然災害に対する全国 47 都道府県のリスク指標の試算と考察, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 72, No. 1, pp.1-10, 2016 (査読付)

〔学会発表〕（計 12 件）

1. 梶谷装和, 向井友亮, 小山倫史, 伊藤和也, 菊本統: 拡張版 GNS を用いた東日本大震災前後の岩手・宮城・福島県の自然災害リスクの評価, 土木学会第 74 回年次学術講演会, 2019
2. 福島英征, 高德亮太, 金井翔哉, 伊藤和也, 今井龍一, 菊本統, 向井友亮, 小山倫史: 自然災害安全性指数 GNS の高度化～関東圏における洪水災害の曝露量の算出～, 第 46 回土木学会関東支部, 2019
3. 向井友亮, 小山倫史, 伊藤和也, 菊本統: 地理空間情報を用いた拡張版 GNS による大阪府内の市区町村間での自然災害曝露量の検討, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018
4. 梶谷装和, 向井友亮, 小山倫史: GNS を用いた近畿地方の市町村の災害リスク分析, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018
5. 高德亮太, 小花隆太郎, 伊藤和也, 今井龍一, 菊本統: 関東圏の市町村データを用いた GNS のリスク算定から関東圏での土砂災害の災害曝露量の算出, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018

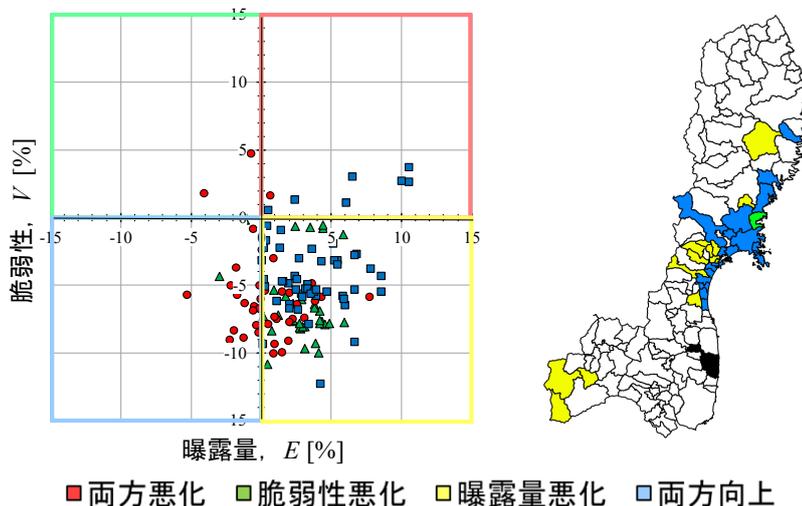


図-8 曝露量と脆弱性の変動傾向と変動傾向の市町村分布状況

6. 滝沢有哉, 今井龍一, 伊藤和也 : 有償データを用いた自然災害安全性指標の算出に関する考察, 第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2018
7. 小花隆太朗, 伊藤和也, 菊本統, 日下部治 : 自然災害安全性指標 GNS のリスク算定～関東圏での土砂災害の曝露量の算出～, 第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2018
8. 高德亮太, 石澤幹太, 伊藤和也, 菊本統, 今井龍一 : 関東地方の市町村レベルでの自然災害リスク GNS の評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017
9. 神谷圭祐, 菊本統, 伊藤和也, 日下部治 : 階層分析法を用いた自然災害に対するリスク指標の合理化, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017
10. 石澤幹太, 伊藤和也, 今井龍一, 鈴木直人, 菊本統, 日下部治 : 関東地方の市町村レベルでの自然災害リスク GNS の評価, 第 44 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2017
11. 神谷圭祐, 菊本統, 伊藤和也, 日下部治 : 自然災害に対するリスク指標 GNS の推移と考察, 第 13 回地盤工学会関東支部発表会, 2016
12. 川合彩加, 菊本統, 伊藤和也, 大里重人, 稲垣秀輝 : マルチスケールで捉えた自然災害のリスク, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016

[図書] (計 1 件)

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事例研究委員会 編 (分担執筆) : 法律家・消費者のための住宅地盤 Q&A, 186p, 民事法研究会, 2016

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

- ・ 研究分担者氏名 : 菊本 統  
ローマ字氏名 : KIKUMOTO Mamoru  
所属研究機関名 : 横浜国立大学  
部局名 : 大学院都市イノベーション研究院  
職名 : 准教授  
研究者番号 (8 桁) : 90508342
- ・ 研究分担者氏名 : 永松 伸吾  
ローマ字氏名 : NAGAMATSU Shingo  
所属研究機関名 : 関西大学  
部局名 : 社会安全学部  
職名 : 教授  
研究者番号 (8 桁) : 90335331
- ・ 研究分担者氏名 : 小山 倫史  
ローマ字氏名 : KOYAMA Tomofumi  
所属研究機関名 : 関西大学  
部局名 : 社会安全学部  
職名 : 准教授  
研究者番号 (8 桁) : 20467450
- ・ 研究分担者氏名 : 今井 龍一  
ローマ字氏名 : IMAI Ryuichi  
所属研究機関名 : 東京都市大学  
部局名 : 工学部  
職名 : 准教授  
研究者番号 (8 桁) : 90599143
- ・ 研究分担者氏名 : 吉川 直孝  
ローマ字氏名 : KIKKAWA Naotaka  
所属研究機関名 : 独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所  
部局名 : 建設安全研究グループ  
職名 : 上席研究員  
研究者番号 (8 桁) : 60575140

### (2) 研究協力者

- ・ 研究協力者氏名 : 日下部 治  
ローマ字氏名 : KUSAKABE Osamu
- ・ 研究協力者氏名 : 稲垣 秀輝  
ローマ字氏名 : INAGAKI Hideki
- ・ 研究協力者氏名 : 大里 重人  
ローマ字氏名 : OHSATO Shigeto

※科 研 費 に よ る 研 究 は、 研 究 者 の 自 覚 と 責 任 に お い て 実 施 す る も の で す。 そ の た め、 研 究 の 実 施 や 研 究 成 果 の 公 表 等 に つ い て は、 国 の 要 請 等 に 基 づ く も の で は な く、 そ の 研 究 成 果 に 関 す る 見 解 や 責 任 は、 研 究 者 個 人 に 帰 属 さ れ ま す。