

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 8 月 28 日現在

機関番号：13701
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22510196
 研究課題名（和文） 震度曝露人口に基づく地震リスク評価システムの開発

研究課題名（英文） Development of a Seismic Risk Assessment System Based on Population Exposure to Shaking Intensity

研究代表者
 能島 暢呂 (NOJIMA NOBUOTO)
 岐阜大学・工学部・教授
 研究者番号：20222200

研究成果の概要（和文）：本研究は、地震が社会にもたらすインパクトを「震度曝露人口」により定量化し、被災地域全体での被害総量を推定する新たな手法を開発するとともに、その評価の流れの体系化・システム化を図ったものである。突発地震の即時的な震度曝露評価、想定地震に対する事前の震度曝露評価および被害予測、さらには、全国の確率論的地震ハザード評価に用いられるすべての想定地震による地震リスク評価を行い、提案手法の有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：This study aims at outlining the impacts of earthquake disaster in terms of Population Exposure to Shaking Intensity (PEX) and providing new methodologies for rapidly estimating damage caused by the earthquake disaster. Applicability of the proposed methodologies were validated through exposure analyses carried out for recent earthquake disaster, anticipated scenarios of megathrust earthquake disaster and all the possible earthquakes considered in the national probabilistic seismic hazard maps.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：地震、震度、リスク評価、曝露人口、被害推定

1. 研究開始当初の背景

わが国では、近年の被害地震で膨大な計測震度データが蓄積されるとともに、地震ハザード・リスク評価のための基盤データが整備されつつある。計測震度を災害情報として正しく理解し、高度に活用することは、今後の地震防災上の重要課題と位置づけられる。研究代表者らは「所定の震度レベルに曝される人数」と定義される「震度曝露人口」を提案し、マクロ的なインパクト評価に有効である

ことを示してきた。

こうした中で、産業技術総合研究所は、地盤の揺れやすさの全国マップと地震観測記録の高速データ処理による広域震度マップ(QuakeMap)の即時公開およびアーカイブ公開を開始した。また防災科学技術研究所の地震ハザードステーション(J-SHIS)では、地震調査研究推進本部の「全国地震動予測地図」の基礎データとして、想定地震の発生確率、断層諸元、地盤増幅度、計測震度分布等を公

開している。このように詳細データの利用が可能になり、既往地震および突発地震による震度曝露人口の即時推計と全国の地震リスク評価の展望が開けた。以上が研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

本研究は、地震が社会にもたらすインパクトを「震度曝露人口」により定量化し、被災地域全体での被害総量を推定する新たな手法を開発することを第一の目的とする。その過程で、既往地震を対象として評価事例を蓄積することを通じて、評価手法の体系化・システム化を図る。さらに、即時的に公開されるハザード情報（計測震度分布）を、曝露評価を通じて一歩踏み込んだリスク情報に変換し、突発地震の即時的な被害予測につなげる。また、全国の想定地震による地震リスク評価を行うシステムを構築し、全国のあらゆる想定地震を対象として、震度曝露人口による網羅的な地震リスク評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題の背景と目的を踏まえて、次の項目を実施する。

(1) まずデータ基盤整備として、震度曝露人口推計および地震リスク評価に必要な各種データを網羅的に収集し、データ相互の参照コードを整合させることによってデータベース化して、一元的に管理する。

(2) 「データ入手、加工、マッチング、震度曝露人口推計、被害総量推定、地震リスク評価」のデータ処理の大半を自動処理化するシステムの流れを実現する。これにより震度曝露人口および被害総量の早期評価を可能とする。なお具体的な被害項目としては、供給系ライフラインの被害・復旧プロセスを代表例とする。

(3) 既往地震および突発的に発生する地震の広域計測震度分布を用いた震度曝露人口推計を行う。具体的には、産業技術総合研究所により開発された QuiQuake のアーカイブ機能と即時公開機能を用いて、広域計測震度分布を取り込んだ後、上記(2)の流れに沿って評価を行う。

(4) 社会的にインパクトの大きい想定地震については、適宜、内閣府等の想定実施主体から計測震度分布を入手し、上記(2)の流れに沿って評価を行う。具体的には、南海トラフ巨大地震を対象とした。

(5) 震度曝露人口による網羅的な地震リスク評価を行うため、地震調査研究推進本部の「全国地震動予測地図」の基礎データとして防災科学技術研究所の J-SHIS (地震ハザードステーション) で公開されているデータを用いた評価を行う。震源断層を特定した地震な

らびに震源を予め特定しにくい地震のすべてを対象として、「切迫度-影響度 (P-PEX) 関係」および「地震リスクカーブ」による評価を実施する。

4. 研究成果

(1) 地震動マップ即時推定システム QuiQuake を用いた震度曝露人口の推定

地震後の災害対応を適切かつ円滑に進めるためには、地震直後の段階で被災規模を推定することが重要である。(独)産業技術総合研究所は、面でとらえた広域で詳細な地震動の揺れを推定する「地震動マップ即時推定システム (QuiQuake)」を開発し、その一部である QuakeMap をウェブ上に 2009 年より一般公開している。このシステムは、(独)防災科学技術研究所の強震観測網 (K-NET, KiK-net) で観測された地震記録を用いて、地盤のゆれやすさを考慮して速やかに空間補間計算を行い、広域かつ詳細な地震動マップを推定・図示するものである。本研究では、この QuiQuake の即時利用により、震度曝露人口を即時推定するシステムを構築した。

QuiQuake には、1996 年 6 月以降に記録された地震に関する地震動マップ (計測震度、最大地動加速度 PGA, 最大地動速度 PGV) が作成されてアーカイブ化されており、任意の地震動マップをダウンロード可能となっている。本研究では、1997~2011 年の 15 年間に発生して震度 6 弱以上を観測した主要な 33 地震を対象として、QuiQuake から計測震度分布データをダウンロードして集計を行った。

東日本大震災をもたらした一連の地震のうち、東北地方太平洋沖地震 (2011 年 3 月 11 日, Mw=9.0) と 3 つの主要地震 (余震および誘発地震) を対象とした結果を図 1 に示す。ここに示すのは、推定震度のばらつきを考慮して正規分布密度関数 ($\mu=0, \sigma=0.45$) のウィンドウにより平滑化した結果である。この他、2004 年新潟県中越地震、2007 年新潟県中越沖地震主要被害地震を対象として震度曝露人口の推計により、得られた結果をアーカイブ化した。被害地震のイメージは当該地震における最大震度で固定化されがちであるが、これらの結果により、揺れの広がりによる空間的な影響度合いを比較・考察することができると思われる。

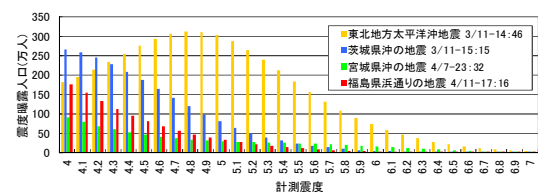


図 1 東日本大震災に関連する主要 4 地震の震度曝露人口

(2) 南海トラフ巨大地震の震度曝露評価と即時被害予測への応用

内閣府に設置された「南海トラフの巨大地震モデル検討会」は2012年3月、南海トラフの巨大地震を想定した6ケース（強震波形計算による基本・東側・西側・陸側の4ケース、経験的手法、最大ケース）の推定震度分布を公表した。これを用いて本研究では、メッシュ人口データと重ね合わせて震度曝露メッシュと震度曝露人口を推定し、想定ケースの比較検討およびライフライン被害・復旧予測への適用を行った。

6ケース（強震波形計算による4ケース、経験的手法、最大ケース）の推定震度分布と、平成17年度国勢調査によるメッシュ人口データとを重ね合わせて、震度曝露人口を推定した。図2に示すように、ケースにより異なるものの、計測震度5.3~6.0および計測震度4.4~5.1の範囲に曝露人口が集中している。近畿圏や中京圏が前者の範囲に、首都圏が後者の範囲に含まれるためである。震度6弱以上（計測震度5.5以上）に曝される人口は、全ケースで2,000万人以上となるが、ケースによる差異は大きい。高震度側では最大ケースは陸側ケースにより支配されていることがわかった。

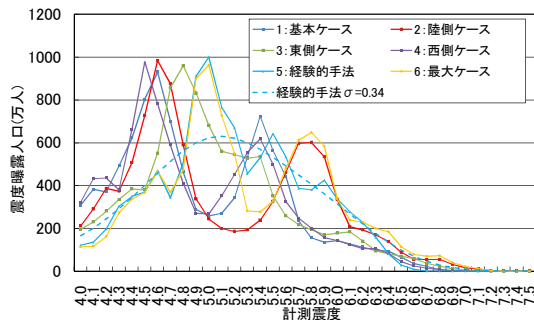


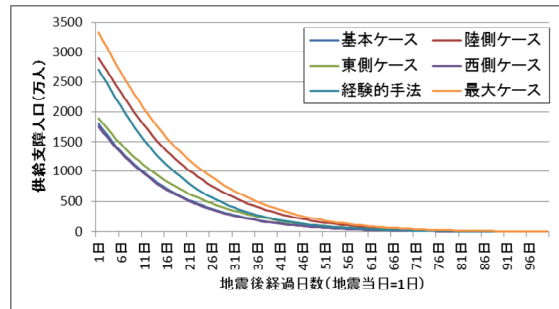
図2 南海トラフの巨大地震による震度曝露人口のケース別比較

(3) ライフライン被害・復旧予測への応用

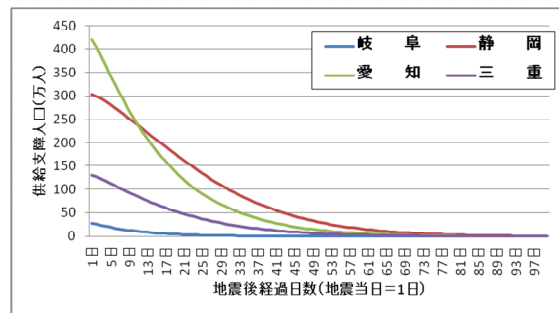
即時的被害推定システムの構築に向けて、兵庫県南部地震の被災事例に基づいて構築された「供給系ライフライン被害・復旧予測モデル」に改良を施し、震度曝露人口の推計結果との結合を図ることによって、ライフライン被害・復旧予測への応用例を示した。

まず、前述の(1)で行った東日本大震災を対象事例とした震度曝露人口に基づいて、停電・断水・都市ガス停止の被災人口およびその復旧プロセスの事後予測を行った。実被害データとの比較から、良好な推定結果が得られることを確認した。そのうえで、南海トラフの巨大地震の被災地域を対象としてモデル改良を施し、震度曝露人口の推計結果との結合により被害・復旧予測を行った。図3には一例として、断水の解消過程の推定結果を

示す。この結果に示すように、想定ケースや地域によって被災規模や復旧過程が異なることが、震度曝露人口の推定を通して把握できることを示した。



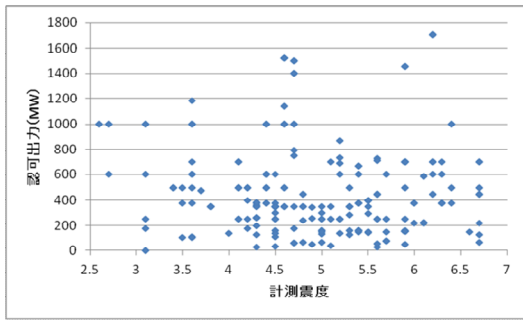
(a) 全国対象，ケース別



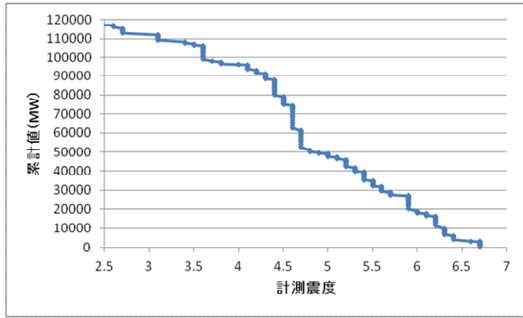
(b) 東海4県別，基本ケース

図3 断水人口の解消過程の推定値

東日本大震災におけるライフライン被害では、発電所、ガス製造設備、下水処理施設など、拠点施設・基幹施設の被災が大きな影響を及ぼした。上述の「供給系ライフライン被害・復旧予測モデル」は、こうした効果を明示的に考慮したものではない。本研究では、ライフライン被害・復旧予測モデルの推定精度を高めることを目指し、全国の発電所、製油所、LNG基地、浄水場を対象として、位置情報・管理事業者・施設容量などに関するデータベースを整備した。これを用いて南海トラフ巨大地震による震度曝露量を推定し、任意の震度レベルに曝される総施設容量を読み取るチャートを作成した。その一例として、図4に南海トラフ巨大地震の基本ケースの震度分布を用いた場合の、火力発電所の認可出力(MW)の震度曝露を示す。地震後、即時的に得られる震度分布による拠点施設・基幹施設の曝露評価を行い、さらに、これに基づいて迅速に実被害状況を把握することによって、推定結果の逐次更新を行い、予測精度を徐々に高めることが期待される。



(a) 推定計測震度と認可出力(MW)



(b) 推定計測震度と認可出力累計値(MW)

図4 火力発電所の震度曝露分析

(4) 確率論的地震動予測地図の作成に用いられる全地震モデルに基づく地震リスク評価

政府の地震調査研究推進本部は 2005 年より全国地震動予測地図を公開しており、(独)防災科学技術研究所では「地震ハザードステーション(J-SHIS)」を通じて関連情報を公開している。2012 年度版確率論的地震動予測地図は、2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw=9) の教訓を踏まえて、様々な面で改良が加えられたうえで 2012 年 12 月 21 日に公表された。本研究では、震度曝露人口に基づく地震リスク評価システムのコンテンツの一環として、2012 年度版確率論的地震動予測地図の作成に用いられたすべての全地震モデルを対象として評価を行った。具体的には、震度分布と人口分布を重ね合わせて震度曝露人口 (PEX: Population Exposure to shaking intensity) を求め、30 年地震発生確率 (P) と合わせた「切迫度-影響度 (P-PEX) 関係」と、それに基づく地震リスクカーブによりリスク評価を行った。

内陸活断層地震に関しては、主要活断層帯による地震 181 ケース、その他の活断層による地震 168 ケース、震源断層を予め特定しにくい地震 約 17.3 万モデルを用いた。海溝型地震に関しては、震源断層を特定した地震 22 ケース、震源断層を領域で特定できる地震 21 ケース (震源位置およびマグニチュードの不確実性を考慮した 2211 ケース)、震源断層を予め特定しにくい地震 約 57.7 万モデルである。両者をあわせて約 75.3 万モデルを対象

とした。

内陸活断層地震の震度 6 弱以上の「切迫度-影響度 (P-PEX) 関係」を図 5 に示す。横軸の震度曝露人口 PEX は影響度、縦軸の 30 年地震発生確率は切迫度に相当し、図の右上に位置するほどリスク水準が高いことを意味する。一般的には主要活断層帯による地震 (赤色○) のリスク水準が高く、その他の活断層帯、震源断層を予め特定しにくい地震の順となっている。海溝型地震の震度 6 弱以上の P-PEX 関係を図 6 に示す。震源断層を特定した地震 (赤色○) のリスク水準が高く、想定東海地震の単独発生 (30 年発生確率 56.0%、震度曝露人口約 1,000 万人) や南海～東南海～想定東海 3 連動地震 (震度曝露人口が 3,000 万人以上) など、右上に並ぶ 6 地震はいずれも南海トラフ沿いの地震である。

これらすべての地震 (陸域+海域) のリスクカーブを図 7 に示す。海溝型地震のリスクカーブ (実線) は内陸活断層地震のそれ (破線) よりも右上に位置し、相対的に高いリスク水準にあると言える。ただし、震度 6 強以上および震度 7 を対象とした結果によると、低確率領域での震度曝露人口は、内陸活断層地震で極めて多数となり、低頻度巨大災害のリスク要因として重視すべきであることが明らかとなった。

日本周辺では陸域と海域において、発生確率、地震規模、影響度など、様々な面で異なった特徴を持つ多数の地震のリスクに曝されている。本研究における検討は、すべての震源を考慮した網羅的な分析であり、地震リスクの総合的な検討として有意義と考えられる。

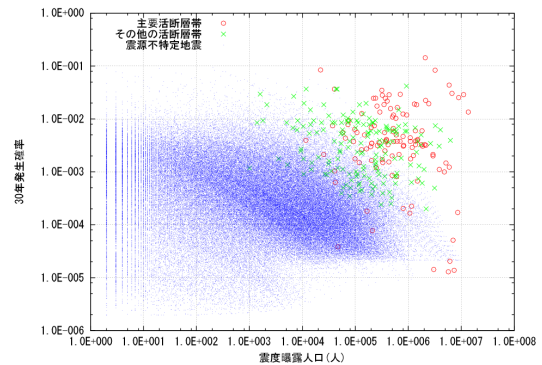


図5 内陸活断層地震の P-PEX 関係 (震度 6 弱以上)

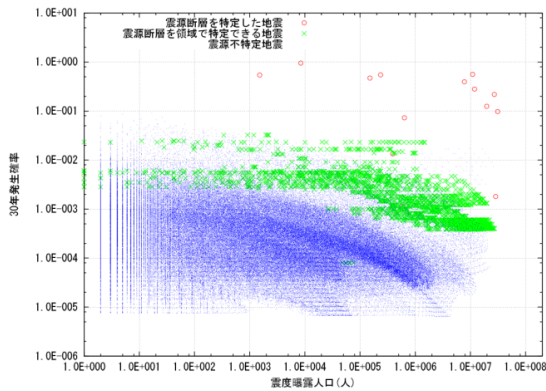


図6 海溝型地震の P-PEX 関係 (震度 6 弱以上)

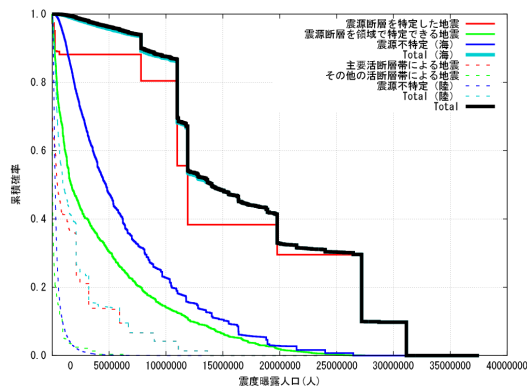


図7 すべての地震のリスクカーブ (震度 6 弱以上)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 能島暢呂・加藤宏紀：自動車交通量にみる高速道路機能の時空間的分析 — 東日本大震災と阪神・淡路大震災の事例比較 —, 土木学会論文集 A1S, Vol. 69, 2013. (掲載決定) 査読有.
- ② 能島暢呂・加藤宏紀：供給系ライフラインの地震時機能評価モデルの検証 — 東日本大震災の被災事例に基づく —, 地域安全学会論文集 No. 18, 2012. 11, pp. 229-239. 査読有.
- ③ 能島暢呂：地震動予測手法の違いが推定震度分布に及ぼす影響の要因分析, 土木学会論文集 A1S, Vol. 68, No. 4, 2012. 7, pp. I_31-I_39. 査読有. http://dx.doi.org/10.2208/jscejsee.68.I_31
- ④ 能島暢呂：事業者と利用者の対策効果を考慮した供給系ライフラインの地震時機能停止の影響評価モデル, 地域安全学会論文集 No. 15, 2011. 11, pp. 153-162. 査読有.

- ⑤ 能島暢呂：緊急地震速報による予測震度の不確定性を考慮した緊急対応モデル, JCOSSAR2011 論文集 (第 7 回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム), 2011. 10, TM1-4A, pp. 111-118. 査読有.
- ⑥ 石川裕・奥村俊彦・藤川智・宮腰淳一・藤原広行・森川信之・能島暢呂：確率論的地震動予測地図の検証, 日本地震工学会論文集 第 11 巻, 第 4 号, 2011, pp. 68-87. 査読有. http://dx.doi.org/10.5610/jae.11.4_68
- ⑦ 能島暢呂：緊急地震速報の震源情報を用いた地震動強度予測の不確定性に関する考察, 地域安全学会論文集 No. 13, 2010. 11, pp. 397-406. 査読有.
- ⑧ 牧紀男・陳海立・馬場俊孝・澤田雅浩・鈴木伸吾・佐藤栄治・能島暢呂：長期湛水被害からの災害対応・復旧のあり方に関する研究—南海地震による高知市を事例として—, 地域安全学会論文集 No. 13, 2010. 11, pp. 195-202. 査読有.
- ⑨ 能島暢呂・藤原広行・森川信之・石川 裕・奥村俊彦・宮腰淳一：震度曝露人口による活断層の地震リスク評価, 日本地震工学会論文集 第 10 巻, 第 2 号, 2010, pp. 22-40. 査読有.

[学会発表] (計 20 件)

- ① 能島暢呂・加藤宏紀：南海トラフ巨大地震の震度曝露評価, 地域安全学会梗概集, No. 32, 2013. 5. (印刷中) 男鹿市.
- ② 王 棟・能島暢呂：全国地震動予測地図で用いられる地震ハザード情報を利用したリスク評価, 土木学会中部支部平成 23 年度研究発表会講演概要集, 2013. 3, I-30, pp. 59-60. 愛知工業大学.
- ③ 斎藤光将・能島暢呂：地震動マップ即時推定システムを用いたライフライン拠点施設の震度情報の抽出, 土木学会中部支部平成 23 年度研究発表会講演概要集, 2013. 3, I-29, pp. 57-58. 愛知工業大学.
- ④ 宮本健嗣・能島暢呂：広域地震災害におけるリスク評価のための都市ガス施設状況に関する考察, 土木学会中部支部平成 23 年度研究発表会講演概要集, 2013. 3, I-31, pp. 61-62. 愛知工業大学.
- ⑤ 能島暢呂：水道統計に基づく配水管路網の脆弱性評価 — 地域格差と長期トレンドの考察 —, 第 4 回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム, (社)土木学会地震工学委員会, 相互連関を考慮したライフライン減災対策に関する研究小委員会, 2012. 12, pp. 113-118. 神戸市.
- ⑥ 藤川智・石川裕・奥村俊彦・藤原広行・森川信之・能島暢呂：人口分布を考慮した全国の確率論的地震ハザードの統計的

- 分析, 日本地震工学会大会－2012 梗概集, 2012. 11, pp. 318-319. 東京.
- ⑦ 能島暢呂・加藤宏紀: 東日本大震災における鉄道運休に関する基礎的分析, 日本地震工学会大会－2012 梗概集, 2012. 11, pp. 334-335. 東京.
- ⑧ Nojima, N., "Restoration Processes of Utility Lifelines in the Great East Japan Earthquake Disaster, 2011," Proc. of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, September 2012, paper No. 2088 (DVD-ROM).
- ⑨ 原 章裕・能島暢呂・松岡昌志・小山真紀: 東日本大震災に関連する主要 4 地震の震度曝露人口の推定, 土木学会中部支部平成 23 年度研究発表会講演概要集, 2012. 3, I-2, pp. 3-4. 信州大学.
- ⑩ 石原慎也・能島暢呂: 重要拠点施設の地震時 BCP のためのライフライン機能被害の影響評価, 土木学会中部支部平成 23 年度研究発表会講演概要集, 2012. 3, I-3, pp. 5-6. 信州大学.
- ⑪ 能島暢呂・松岡昌志・小山真紀・原章裕: 地震動マップ即時推定システム (QuiQuake) を用いた震度曝露人口の推定, 第 30 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 2011. 11, pp. 187-188. 東京.
- ⑫ Nojima, N., "Restorations and System Interactions of Lifelines in the Great East Japan Earthquake Disaster, 2011," Proc. of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 2012, Tokyo, Japan, pp. 1526-1531.
- ⑬ 能島暢呂: 東日本大震災における供給系ライフラインの被害と復旧, 第 3 回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム, (社)土木学会地震工学委員会, 相互連関を考慮したライフライン減災対策に関する研究小委員会, 2011. 12, pp. 121-127. 東京.
- ⑭ 能島暢呂: 東日本大震災における供給系・通信系ライフラインの復旧概況, 地域安全学会梗概集, No. 28, 2011. 5, pp. 97-100. 島原市.
- ⑮ 久世益充・杉戸真太ほか 1 名: 地域固有の地震動特性を考慮した設計用地震動算定法の検討, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, 2010. 11. つくば市.
- ⑯ 能島暢呂・小山真紀・藤原広行・森川信之・石川裕・奥村俊彦・宮腰淳一・藤川智・圓地則仁: 震源断層を予め特定しにくい陸域の地震の都道府県別 30 年発生確率の評価, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, 2010. 11, pp. 2534-2541. つくば市.
- ⑰ 小山真紀・能島暢呂・藤原広行・森川信之・石川裕・奥村俊彦・宮腰淳一・藤川智: 地震リスク評価のための震源断層を予め特定しにくい地震における断層走向の設定手法－活断層詳細デジタルマップと地体構造区分に基づく－, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, 2010. 11, pp. 2526-2533. つくば市.
- ⑱ 能島暢呂・小山真紀・藤原広行・森川信之・石川裕・奥村俊彦・宮腰淳一・藤川智: 地震リスク評価のための震源断層を予め特定しにくい地震における震源断層の設定について, 第 29 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 2010. 9, pp. 1-2. 岐阜大学.
- ⑲ 岡田知樹・能島暢呂: 震源断層を特定した地震動予測地図における揺れの広がり比較, 第 29 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 2010. 9, pp. 3-4. 岐阜大学.
- ⑳ Kuse, M., Sugito, M. and Kawade, S. "Simulation of Earthquake Motion at Near Field Region of the Past Disastrous Earthquakes," Proc. of the 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Tronto, Ontario, Canada, July 2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

能島 暢呂 (NOJIMA NOBUOTO)
岐阜大学・工学部・教授
研究者番号: 20222200

(2) 研究分担者

杉戸 真太 (SUGITO MASATA)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
研究者番号: 60115863
久世 益充 (KUSE MASUMITSU)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・助教
研究者番号: 30397319

(3) 連携研究者

該当なし