

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 7 月 31 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350503

研究課題名(和文) 不確実性を考慮した確率的沿岸浸水リスクの時空間評価手法の開発と活用法

研究課題名(英文) Evaluation on Probabilistic Coastal Flood Risk including uncertainty

研究代表者

信岡 尚道 (NOBUOKA, Hisamichi)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：00250986

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：平成23年東北地方太平洋沖地震津波(東日本大震災)をうけて「想定外」を無くすことが重要視されました。現在の津波ハザードマップをみても1000年に1度程度(レベル2津波)と設定していますが、これよりも浸水域が広い津波を否定することはできません。この研究では、予測の不確かさがあることを前提に、100年に1回から10000年に1回までの確率的津波・高潮浸水域を複数の方法で評価を行いました。現在のハザードマップとも整合しながら、それを上回る津波の浸水域を誤差の範囲も含めて表す方法と提示しました。また、耐用年数が堤防よりも長いと考えられる地盤の高上げの効果についても確率浸水域から算定しました。

研究成果の概要(英文)：We had lesson we should prepared any scale of the disaster even of which return period is quite low from the tsunami disaster due to The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. However, today's tsunami hazard map also expresses one flood, of which return period is around 1000 years. This study shows the probabilistic tsunami/storm surge hazard map with uncertainty by use of several probabilistic approaches. The return period of present maps is to 10,000 year or longer. The flood area of present map in which return period is about 1000 year is almost adjust that public hazard map.

研究分野：海岸工学

キーワード：津波 リスク ハザードマップ 高潮 想定外 確率 期待値 被害想定

1. 研究開始当初の背景

- (1) 平成 23 年度東北地方太平洋沖地震に伴う津波は、現地調査（信岡ら，2011）や数値解析（信岡ら 2012）また復興構想会議や中央防災会議，学会での委員会での議論を通して言えることとして，大きく次の 2 つの課題を我々に投げかけた．規模や被害が十分に把握されている過去の津波災害よりも大きな災害，社会では「想定外」との言葉が用いられた災害に対応する方策が必要であること
- 伊勢湾台風などが契機に 1960 年代から取り組まれた防災の方法に対して，経済を始めとした社会状況が変化したため，新しい災害対策が必要であること．この 2 点からも被害をできるだけ減らす「減災」が改めて注目されることとなった．

防災から減災に移れば，リスク（潜在的に危険因子に実際に発生する可能性を合わせたもの）が生じることを意味する．近年，沿岸の水災害におけるリスク研究として 2005 年ころ（たとえば片田敏孝ら）からリスクコミュニケーションが盛んに行われているが，リスクを定量的に評価できていない点に重点を置いた住民への説明方法が中心課題となっている．他方，国民がリスクの定量化を強く期待していることが，申請者らの被災地での活動でも見えてきた．しかし損害保険分野でも津波のリスク評価方法は依然として課題とされていたり（津波に関する合同調査報告会質疑，2011），今村(2012) はまず，津波の確率的ハザードマップの開発の必要性を指摘している．沿岸における先端的な定量的ハザード評価方法でも土木学会原子力土木委員会で進める確率的ハザード（2011）で点を対象としたものに限られる．リスク評価を難しくしているのはハザードの確率的空間評価があげられる．内陸の河川における確率的ハザードマップとして，アメリカでは年発生確率 1/100～1/500 を主とした洪水ハザードマップ（NFIO，1968）がある．日本でも国交省琵琶湖河川事務所（～1/200）などで検討が開始されてはいる．これらを沿岸域に転用するには，確率の元となる母集団のデータ量が河川と沿岸で大きく異なる点を解決しなければならない．

次に減災の対象とする時間スケールの問題について考える．津波では最大クラス（年発生確率 1/1000 年程度）のも

のに対しても国民の命を守るための避難方策を取ることが求められている（国土交通省，2012）．重要施設の一つである原子力発電所については，旧原子力安全・保安院原子力規制委員会の意見聴衆会(2012)の中間状況にて，設計基準津波の年発生確率も 1/1000～1/10000 とした議論が進められている．

以上から低頻度・長期再現期間の災害に対応する政策決定のためには，自然や社会の変化や不確実性を考慮した浸水リスクを定量的に評価する技術が必要としていた．

2. 研究の目的

研究対象は年発生確率（頻度）が 1/10000 と極低頻度までの津波・高潮による不確実性をも考慮した確率的沿岸浸水リスク評価を行うこと，さらにリスク評価の政策決定支援への活用方法の例を示すことを大きな目的とした．具体的には次の段階的目標を置いた．

津波に加え高潮も対象に，年発生確率の不確実性を考慮して，主に政策決定支援に適した確率的ハザードマップを開発する．

新たな海岸防御施設シナリオを導入した確率的浸水ハザードマップの開発をする．

防御政策シナリオを用いたリスクマップの作成およびリスク低減の期待値の提示である．

3. 研究の方法

- (1) 津波の確率論ハザード解析手法の検討は，極値統計手法，Gutenberg-Richter 則の活用した手法，ロジックツリー手法を活用した 3 つのアプローチから検討した．

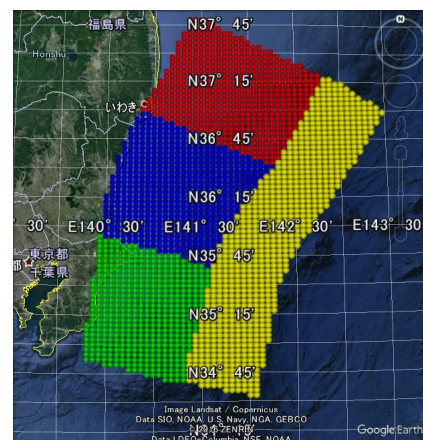


図-1 対象とした主な波源域

解析の対象域は茨城県沿岸としたので、**図-1**のように福島沖、茨城沖、房総沖とJTTの南部を基本波源とした。

極値統計手法は津波観測記録から統計的手法で低頻度の津波を予測するものである。本研究では、茨城県大洗町での歴史的津波記録のうち0.1m以上のもの15個の津波高とその発生年をもとに解析を進めた。極値分布関数の候補には、海岸工学でよく用いられる9種の関数とした。資料の期間は、延宝房総沖地震津波の1677年から平成23年度東北地方太平洋沖地震津波の2011年までの、300年を超えるものである。データの偏りを検討するため、資料の採択や平均発生間隔に関わる資料期間を含め便宜的に11ケースを設定して解析をおこなった。最大値資料の対象期間の間隔は10年とした。棄却検定をおこなったあと、採択された各極値関数に対してJackknife法により、津波高の小さい範囲にデータ数が多いことによるデータの不均一性を補正した。補正した各分布関数での再現確率別の津波高を求め、各確率における最高値と最低値を「津波高の不確実性の幅」とした。

地震マグニチュードと年発生回数によるGutenberg-Richter則の活用した手法については、気象庁地震データベースより波源毎の地震規模別累積度数分布図を作成し、マグニチュードと発生確率の関係式を定めた。地震マグニチュードと断層モデルの関係については茨城県などが採用している方法を用いた。

ロジックツリー手法は、確率論的津波ハザード解析における、偶然的ばらつき (aleatory variability) と認識論的不確実性 (epistemic uncertainty) の2つを考慮できるように、専門家の知見に基づき事象を分岐して解析を進めるものである。近年では、Annakaら(2007)を元にした原子力土木委員会が提案しているロジックツリー手法が原子力発電所の津波想定に用いられている。

- (2) 高潮の確率論的ハザード解析手法の検討：高潮の現象は津波とことなり、地域性が極端に表れることから過去の記録に頼ると過大または過少評価する可能性が高い。そこで予測対象は南北200kmの茨城県の海岸としたが、隣接する小名浜港、大洗港、銚子漁港、布良港、千葉港の5地点における過去の年最高潮位観測記録をもとに、Hosking・Wallis(1997)の地域頻度解析手法の手順に従ってその地域分類について検討した。この手法は、ある観測点における変量の発生頻度を、対象観測点のデータだけでなく頻度

分布が類似した周辺観測点のデータも用いて推定する手法である。

- (4) 建物被害想定には、東南海・南海地震に係る被害想定手法の建物被害基準を用いた。建物被害量想定は津波浸水予測で求めた浸水深と建物分布データを比較することにより求める。建物被害低減期待値については、治水経済調査マニュアル(国交省)の算定手法に従った。対策シナリオごとに被害の期待値の差で評価した。

4. 研究成果

- (1) 津波に関する確率的リスク解析について、まず極値統計の結果、次にロジックツリー手法を中心に3種の手法による結果の比較を示していく。

極値統計による結果：大洗における1677年と2011年の津波高実績は5mと4.0mである。本研究の結果、同地点での千年に一回の確率の津波高は4.9~5.6mとなったが、一万年に1回の確率の津波高は9.6~15.6mと不確実の幅が大きくなった(**図-2**)。津波高記録に基づく極値統計解析では不確実性の幅の値も示す必要がある。茨城県の浸水面積は万年に一回の津波に対する想定結果は100~

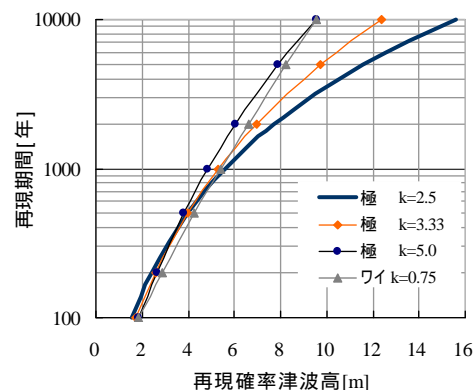


図-2 津波高の極値統計解析例

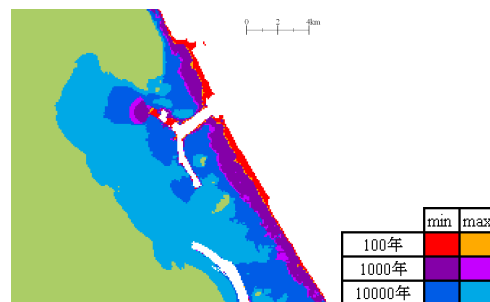


図-3 確率的津波浸水想定域の例 (min, max : 津波高の幅の最小値と最大値)

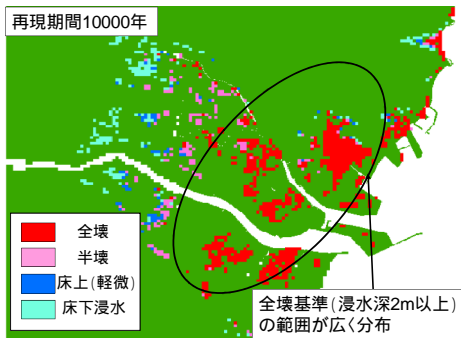


図-4 建物被害マップ(左:再現期間500年, 右:再現期間10000年)

115 km², 203 ~ 350 km² となった。各幅が大きいことから、この幅を含む浸水想定マップを1つの図で表現するには三つほどの確率に絞る必要がある(図-3)。

津波による建物被害と人的被害のリスク評価(例として建物被害の比較を図-4)では、津波高を確率的に段階で扱うことで、小規模であるが高頻度の津波から現在の実用的ハザードマップを越える巨大津波までのリスクの変化を表せ、高頻度の事象の見落としや想定外の発生を相当に減らせる可能性がある各解析段階における精度の問題、津波高の調整に伴う地区境界での評価値の差など今後の課題をまとめたが、この段階でのリスク評価方法でも専門家による津波対策の検討に活用できることを示した。

ロジックツリー手法で算定した波源域ごとの平均ハザード曲線を合算したもの(図-5)は概ね極値統計手法による結果と一致しているが、平均1000年に1回(10⁻³/年)付近を境に津波高の変化傾向が異なった。この変化の傾向は波源域ごとに異なる平均発生間隔と地震マグニチュードに関する断層すべり量によるものである。茨城沿岸では、高頻度の低津波高には茨城県沖と房総沖を波源とする津波の寄与が大きく、低頻度の高津波高には連動型波源、その中間にはJTT波源の寄与が大きい(図-6)。GR則手

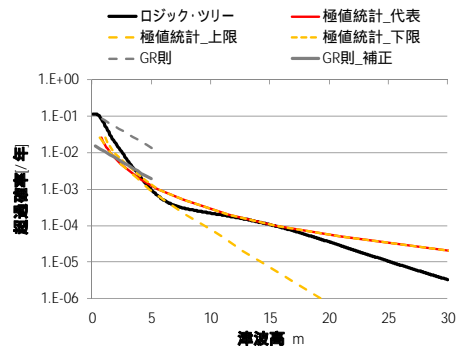


図-5 確率的ハザード解析手法の違いによる津波高の比較

法は、地震と津波の発生頻度の変換を感度分析的に補正すれば、10⁻³/年以上の頻度の津波高に限定されるが他の手法と大きさは異なる結果が得られる(図-5)。極値統計解析手法において波源域ごとの算定には、またGR則手法において地震動と津波発生頻度の関係を定めるには十分なデータが必要であるが、長期のデータを蓄積するには世紀を超える時間が必要である。したがって現代において、高頻度から低頻度までの津波高を一括して求めるのには、ロジックツリー手法が適切と考えられた。L1津波とL2津波の発生頻度を10⁻²/年と10⁻³/年とした場合、ロジックツリー手法による津波高は茨城県(2012)の津波浸水想定のもので沿岸域全体で矛盾しない結果となった。作成された確率的浸水図も、10⁻³/年の範囲は既往の津波浸水想定域(L2津波、茨城県)と矛盾なく、他の頻度でも段階的に浸水域の拡大を示せることを確認した。

以上から長期の津波記録が蓄積されるまでの間、高頻度低津波高(L1津波)から低頻度高津波高(超L2津波)までを確率的に示すのに適した手法はロジックツリー手法である言え、津波の確率

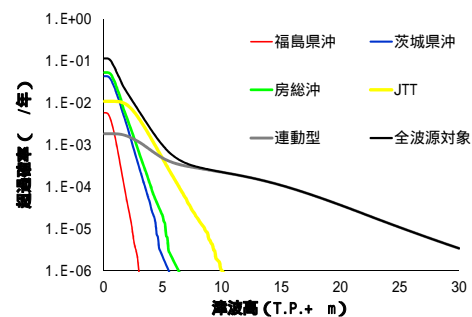


図-6 ロジックツリーにおける波源域ごとの津波

的リスク管理や津波対策の費用便益算定への活用が期待される

- (2) 高潮の確率的浸水域の水位・地域頻度解析における地域分類の結果は、小名浜港から千葉港までの5地点を1つの地域としてみなすことができた。地域共通分布を用いることで、隣接する地点間のばらつきをまとめるような関数を選択できた。様々な高潮の極値統計解析：再現期間ごとの確率統計量の比較を行うために、5地点の結果(L5と定義)に加えて合田(1990)の最小二乗法に基づく極値統計解析、地域区分の設定指標の確認は省いた3地点(小名浜港、大洗港、銚子漁港)の地域頻度解析(Lと定義)、および単地点ごとのL-モーメント比をそのまま用いることによる解析(Sと定義)をそれぞれ行った。小名浜港から銚子漁港までの結果のうち、大洗港の例を図-7に示す。地域頻度解析と単地点に当てはめた場合の結果の比較から、地域頻度解析手法を用いることで大洗港、銚子漁港について極値データの統計的変動を小さくすることができた。

数値計算による高潮の確率的浸水域を、各極値統計解析の高潮位になるように、一様な風の場を仮定することから求めた結果の一例が、図-8である。確率が高い浸水域の方からハザード域を定めている(濃青から赤へ発生確率が小さく)。小名浜港から千葉港までの5地点の地域頻度解析の結果と小名浜港から銚子漁港までの3地点の地域頻度解析の結果を比べたところ、浸水域および浸水面積にさほど差が生じなかったことから、布良港と千葉港の極値統計解析の結果は茨城県沿岸の浸水域にあまり影響しないという可能性を見出した。また茨城県沿岸だけで見れば、地域頻度解析の結果を用いることで場所的変動を抑えることができ、地点単独に当てはめた結果を用いるよりも平均的で安定した浸水想定を行うことができると考えられた。

- (3) 対策による被害低減期待値の試算を、茨城県ひたちなか市の海岸をモデルにおこなった。対策シナリオは、海岸堤防のみシナリオ、県道の高さを+1m,+3m,+6m,+9m嵩上げしたシナリオ、海岸背後地全体の高さを+1m,+3m,+6m,+9m嵩上げシナリオの9つとした。このシナリオにおいて確率的浸水域を示した例が図-9である。全体嵩上げと道路嵩上げの両シナリオにおいて浸水面積は軽減されていること、その中で予

想どおり全体嵩上げの方がリスク低減が

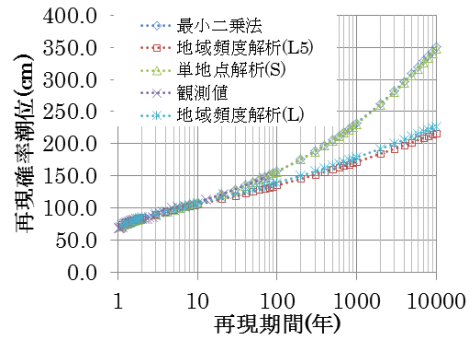


図-7 大洗港における各最適関数の比較

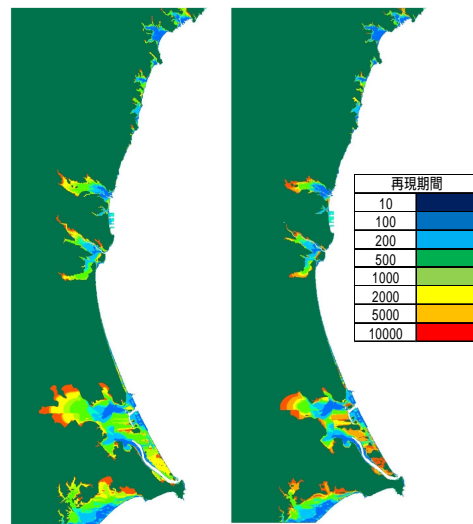
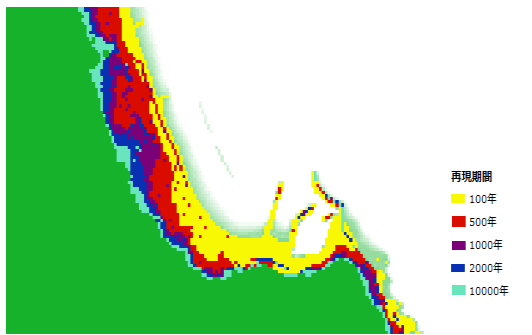
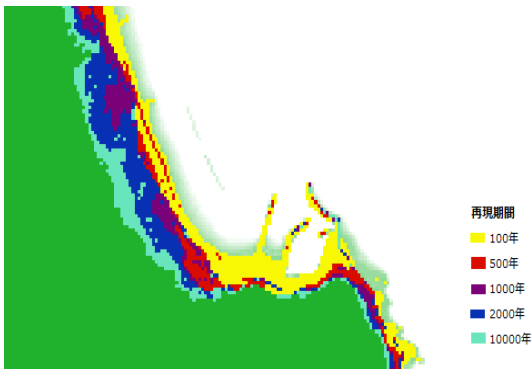


図-8 確率的高潮浸水域 (左:最大予測(不確実性大),右:平均的予測:地域頻度解析)

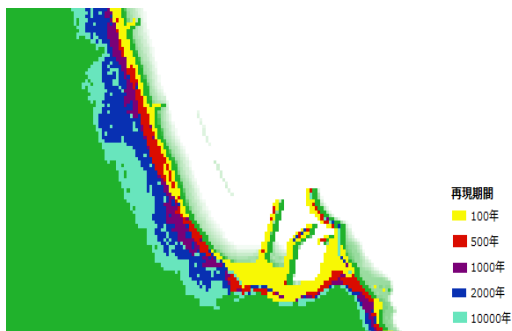
大きいことが10-3/年(1000年に一度,紫色)付近でよくわかる。建物被害は地区全体の嵩上げで,被害棟数が最も少なく,県道の嵩上げのみも減少量は小さくなるが被害棟数が少なる計算となった。各シナリオの再現期間と年平均建物被害低減期待値の関係では,再現期間100年~500年の津波において,期待値の上昇が大きいことから,その範囲内での地盤嵩上げが効果的であると考えられる。全体嵩上げと道路嵩上げで同じ嵩上げ高さの場合,全体嵩上げの方が,期待値が高いことから,被害の低減効果が大きいとの結果となった。期待値の変化は再現期間100年~1000年の間で有意なものであった。嵩上げにおいて締め固めなどで強固なものにして十分な耐用年数にしておけばリスク低減策として有効であることを示す結果となった。



(a) 浸水予測図(現状)



(b) 浸水予測図(道路嵩上げ+3m)



(c) 全体嵩上げ+3m

図-9 対策による確率浸水域の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8件)

榎野公平, 信岡尚道『地域頻度解析手法を用いた茨城県沿岸における確率的な高潮浸水想定』土木学会論文集 B2(海岸工学)(土木学会), 第72巻, I_193-I_198, 2016, 査読有

http://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_193
Hisamichi Nobuoka, "Possibility of Tsunami Risk Map Based on Extreme Value Analysis with Historical Records", Coastal Management, Institution of Civil Engineers, pp. 129-138, 2016, 査読有
DOI: 10.1680/cm.61149.129

信岡尚道・尾上義行『確率モデルの違いによる面的な津波リスク評価の比較』, 土

木学会論文集 B2(海岸工学)(土木学会), 第71巻, I_1579-I_1584, 2015, 査読有

http://doi.org/10.2208/kaigan.71.I_1579
信岡尚道, 安田誠宏, 田島芳満, 森信人, 下園武範, 佐々木淳, 辻尾大樹, Andrew KENNEDY, 宮本守, 『強大台風ハイランに伴うヘルナ二町沿岸の浸水被害の調査』, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 第70巻, pp.1426-1430, 2014, 査読有

http://doi.org/10.2208/kaigan.70.I_1426
信岡尚道・鍋谷泰之・住岡直樹・北野利一, 極値統計法に基づく極低頻度までを対象とした津波リスクマップの基礎的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 第69巻, 1351-1355, 2013, 査読有

http://doi.org/10.2208/kaigan.69.I_1351
北野利一, 信岡尚道, 喜岡涉観測期間長の曖昧な伝説的記録を含む水域外力の極値統計解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 第69巻, 111-115, 2013, 査読有
http://doi.org/10.2208/kaigan.69.I_111

〔学会発表〕(計 15件)

中野敬太, 信岡尚道『地盤嵩上げによる津波リスク低減効果の検討』, 第44回土木学会関東支部技術研究発表会概要集(土木学会), 9(CD), 2pp. 2017. 3 埼玉大学

尾上義行, 信岡尚道『ロジックツリーを用いた確率論的津波ハザード解析手法によるL1・L2津波評価の可能性』, 18(CD), 2pp. 2017. 3 埼玉大学

釜屋秀光, 信岡尚道『避難を考慮した久慈川・茂宮川流域の津波リスク低減効果の評価』, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会概要集(土木学会), 61(CD), 2pp. 2016. 3 東京都市大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕なし

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

信岡尚道 (NOBUOKA HISAMICHI)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号: 10123456

(2) 研究分担者 無し

(3) 連携研究者 無し

(4) 研究協力者 鍋谷泰之 (NABETANI YASUYUKI), 椎名啓 (SHINA AKIRA), 榎野公平 (MAKINO KOHEI), 尾上義行 (ONOUE YOSHIYUKI), 釜屋秀光 (KAMAYA HIDEAKI), 鈴木拓未 (SUZUKI TAKUMI) (以上, 茨城大学・理工学研究科・博士前期課程)