

東京湾の再現期間別高潮浸水深分布の推定 Estimation of inundation depth distributions for different return periods of storm surges along Tokyo Bay coast

久松 力人*, **・金 洙列***・多部田茂*
Rikito HISAMATSU, Sooyoul KIM and Shigeru TABETA

要旨: わが国で公表されている高潮ハザードマップは、想定される確定論的シナリオに基づき予測されたものであるが、確率論的に評価された浸水マップの研究の蓄積は少ない。今後起こりうる台風の強度や経路を確率論的に評価することにより、従来の評価手法では危険度が低いとされているエリアも含め、各地域の高潮リスクを再現期間毎に示すことが期待される。本研究では、確率台風モデルの成果を援用し、東京湾における再現期間別の高潮浸水深分布を推定した。第一に、経験式により10,000年分の高潮偏差を計算し、上位200台風を抽出した。第二に、抽出した台風を数値モデルで解析し、高潮浸水深分布を得る。最後に、得られた浸水深をメッシュ毎に並び替え、再現期間毎の浸水深分布を推定した。
キーワード: 高潮, 東京湾, 損害保険, 確率台風モデル, 再現期間

1. はじめに

平成 28 年に中央防災会議により防災基本計画が修正され、将来的な水害リスク増加をかんがみ、水害保険・共済への加入を促進する旨が追記された¹⁾。世界的に自然災害による経済損失額や保険損失額は増加傾向にあり、また保険損失を直接的にもたらす風水害の発生件数は顕著に増加している²⁾。日本では、風水害に対し、1991 年以降、平均して毎年 1,400 億円を超える保険金支払いが発生している³⁾。こうした政府の動向、風水害リスク増加を背景に、損害保険へのリスク移転の重要性が増してきている。

損害保険会社は自社のリスク管理のために、自然災害のリスク量を計測している。たとえば、国

内の大手損害保険会社グループでは、経営の意思決定に直接使用しうる最大のリスク量として、非超過確率 99.5%を採用している⁴⁾。非超過確率の高いリスク量を計測する自然災害モデルでは、確率論的手法に基づき、ハザードおよび経済被害が評価されている⁵⁾。

台風に伴う強風被害と高潮被害は、気圧が低くなると巨大化する可能性が高く、被害が同時に発生した場合には損害保険会社にとってピークリスクになりうるため、高潮リスクの精緻な評価手法の構築が求められている。東京湾沿岸には、家屋や工場等の資産が集中しており、精緻な高潮解析の重要性が特に高い。

* 正会員 東京大学大学院 新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻, ** 正会員 MS&AD インターリスク総研株式会社 総合企画部リスク計量評価グループ, *** 非会員 鳥取大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻

保険リスクの審査等を行うアンダーライティングでは、再現期間毎の浸水深分布が活用されることがある⁶⁾。これはメッシュ毎に、再現期間別の浸水深を算出することで求められる、任意の再現期間に対する浸水深分布のことである。しかし、政府が公表するハザードマップは想定シナリオに基づく結果であり、アンダーライティングを目的として活用するには十分でない。

また確率論的手法に基づく高潮評価に関する研究の蓄積が少ないことは課題である。辻田ら⁷⁾は、確率台風モデルを援用し、三大湾において1,000年間分の高潮シミュレーションを行い、高潮偏差と浸水面積との関係を明らかにした。しかし、損害保険会社のリスク管理に用いる非超過確率においては、計算期間が短く、また高潮シミュレーションに堤防を考慮していないといった課題がある。

そこで本研究では、東京湾を対象に10,000年間分の高潮を評価する。その後、得られた高潮浸水深データを用いて、再現期間別の高潮浸水深分布図を作成する。

2. 研究方法

本研究の手順を図1に示す。第一に、Nakajoら⁸⁾が開発した確率台風モデルで計算された台風諸元10,000年分を用い、高潮経験式により東京（晴海、以下「東京」と表記）における最大高潮偏差を計算する。再現期間200年を対象とした場合、5,000年程度の計算期間で水位が安定することを事前の数値実験で確認し、計算期間10,000年を採用した。このとき、計算範囲は東経130-145度、北緯28-38度とした。第二に、経験式で求めた最大高潮偏差が上位200個となる台風を対象にKimら⁹⁾による高潮数値モデルSuWAT (Coupled model of surges, waves, and tides)により、高潮浸水深を計算する。計算対象域には、9万超の台風データが存在し、その全てに対し数値解析を実施すること

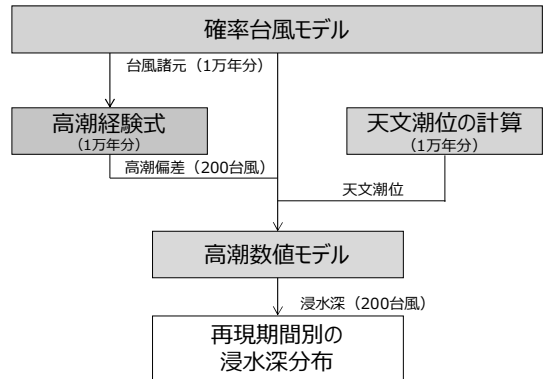


図1 本研究の手順

は非現実的である。計算対象台風を絞るため、高潮経験式により簡易的に東京における高潮を推定し、規模の大きい高潮のみを対象に数値解析を行うこととする。規模の大きい高潮に対しては、経験式の再現性が低いことが既往研究により指摘されており^{10,11)}、本研究では、経験式の結果における最大高潮偏差上位200個の台風を数値モデルの計算対象とする。この際、東京における60分潮の調和定数を用い、推算された天文潮位を数値モデルの計算条件として活用する。最後に、数値計算結果を用い、メッシュ毎に浸水深を並び替え、再現期間別の浸水深分布図を作成する。

2.1 経験式による最大高潮偏差の推算方法

経験式により東京の最大高潮偏差を推算するために、確率台風モデルの結果を利用する。本研究では、計算対象内の9万超の台風データを抽出した。このデータは過去の観測情報を基にモンテカルロシミュレーションにより、1年間分の台風を10,000年分生成したものであり、将来気候を考慮したものではない。過去の情報は、IBTrACS (International Best Track Archive for Climate Stewardship, NOAA)の1950-2008年における6時間毎の台風中心の座標および中心気圧の情報を用いている。この資料から、まず年間発生数・発生

地点・発生時の台風特性について、それぞれの確率密度関数から求める。次に、現在の特性値に対応した特性値の時間変化率に関する確率密度関数を用いて、特性値の時系列変化を算出する。計算結果には時系列の台風位置、中心気圧、進行速度が含まれているが、台風半径に関する情報は含まれていない。そのため本研究では、加藤ら¹²⁾による平均半径と中心気圧との関係式を用い、台風半径データを補完する。抽出した台風の中心気圧の最小値および平均値の頻度分布を図2に、進行速度の頻度分布を図3に示す。発生地点の分布や各特性値の検証結果はNakajoら⁸⁾に詳しい。

最大高潮偏差推算のための経験式を(1)式に示す。右辺第一項が気圧寄与分、第二項が風寄与分に相当する。

$$H = a(1010 - P) + bW^2 \cos \theta + c \quad (1)$$

ここで、 H は高潮偏差(m)、 P は気圧(hPa)、 W は平均風速の最大値(m/s)、 θ は主方向（概ね湾軸の方向）と最大風速 W のなす角である。また a, b, c は各地点で既往の観測結果から求めた定数であり、

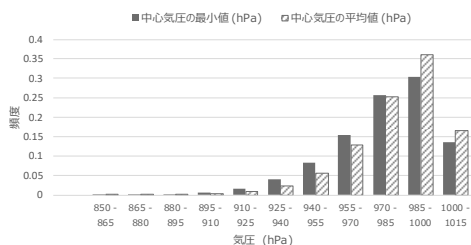


図2 抽出台風の中心気圧の頻度分布

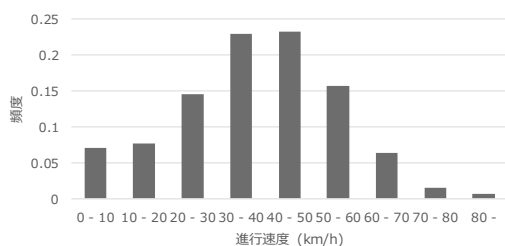


図3 抽出台風の進行速度の頻度分布

本研究で計算する東京においては、主方向は南から 29° 西寄りの方向、 a は 2.332、 b は 0.112、 c は 0 と設定する¹³⁾。

気圧および風速の平面分布は河合ら¹⁴⁾に倣い、下式の通り計算する。気圧はMyers分布を仮定する。

$$P = P_0 + (\Delta P) \exp\left(-\frac{r_{\max}}{r}\right) \quad (2)$$

ここに、 P は台風の中心から距離 r だけ離れた点の気圧 (hPa)、 P_0 は台風の中心気圧 (hPa)、 ΔP は気圧深度 (hPa)、 $r_{\max}$ は台風半径である。

地上風は、傾度風 U_1 に海面摩擦による減衰係数 C_1 （一般的には 0.6～0.7 が使われており、本研究では 0.6）を乗じる。傾度風は台風中心に対して反時計周りに回転し、風向は同心円状から 30 度内向きであるとする。

$$U_1 = C_1 \left(-\frac{fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{fr}{2}\right)^2 + \frac{\Delta P}{\rho_a} \times \frac{r_{\max}}{r} \exp\left(-\frac{r_{\max}}{r}\right)} \right) \quad (3)$$

ここで、 f はコリオリ係数 ($=2\omega \sin \phi$, ω : 地球の自転の角速度 $=7.29 \times 10^{-5}$ rad/s, ϕ : 緯度)、 ρ_a は大気密度 ($=1.22 \text{ kg/m}^3$) である。

台風の進行に伴う風 U_2 は次式で与える。

$$\vec{U}_2 = C_2 \frac{U_1(r)}{U_1(r_{\max})} \vec{r}_r \quad (4)$$

ここに、 C_2 は低減係数（本研究では 0.6）、 V_r は台風の進行速度であり、この成分の向きは台風の進行方向と同じとする。これらを用い、地上風速ベクトルを次式とする。

$$\vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_2 \quad (5)$$

2.2 高潮数値モデル

2.2.1 数値モデルの概要

経験式により計算された東京における高潮のうち、上位の高潮偏差をもたらす台風については、高潮数値モデル SuWAT を用いて浸水深までを解析する。SuWAT は潮汐・高潮・波浪の相互作用を

考慮した双方向結合モデルである。高潮の運動方程式に **radiation stress** 項を導入し、任意の時間間隔で高潮計算モジュールと波浪計算モジュール間のデータを交換することで、高潮と波浪を同時に計算することが可能である。両モジュールは同じ計算領域を共有することで、波浪計算モジュールで求めた時空間的な **radiation stress** および海面抵抗係数を高潮計算モジュールに渡して水位と流れを求める。また求められた水位と流れを波浪計算モジュールに渡して波浪推算を行う。SuWAT では、ネスティング手法を用いて計算領域毎に上記の結合過程を通じて波浪と高潮推算を行う。間瀬ら¹⁵⁾は SuWAT を用い伊勢湾台風の再現計算を実施し、高潮のみの計算に比べ波浪を同時計算した場合に最大高潮偏差の再現性が大きく向上することを明らかにした。したがい、本研究では高潮と波浪を同時計算する手法を採用する。気圧場および風速場は経験式と同じく式 (2) および (3) で計算し、高潮モジュールには気圧場と風場を与えて、波浪モジュールには風場を与える。

本研究では、計算領域を 3 つのドメインに分けてモデル化する (図 4)。図 4 の標高は、東京湾平均海面を 0m とし、鉛直方向下向きを正とする。まず 1 番外側のドメイン (D1) では、グリッドサイズが $2,430 \times 2,430\text{m}$ となっており、九州地方から東北地方を含む海域をモデル化している。次に 2 番目のドメイン (D2) は、 $810 \times 810\text{m}$ の解像度

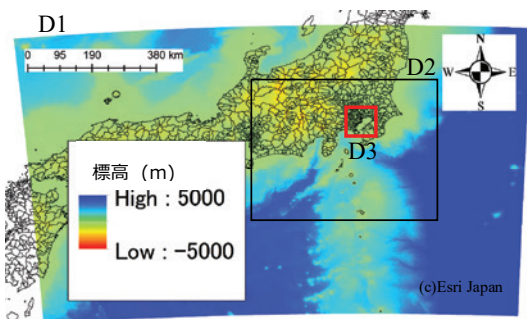


図 4 高潮数値モデルの各ドメイン

で東京湾・駿河湾を含む海域をモデル化する。最後に 1 番内側のドメイン (D3) は、東京湾沿岸全域を覆う範囲を、 $90 \times 90\text{m}$ グリッドでモデル化する。

2.2.2 天文潮位の設定

高潮の数値計算時に、それぞれの台風に、天文潮位を与える。天文潮位は気象庁が公表する 60 分潮の調和定数¹⁶⁾を用い、分潮毎にランダムに設定された時刻から振幅を決定し、台風毎に求めた 60 分潮の振幅の重ね合わせを天文潮位とする。時刻をランダムに設定したのは、本研究では確率論的な高潮推算を目的としており、目標となる日時を設定していないためである。求められた天文潮位は計算中では変動させず、全計算領域の水域に対して一様に海面を上昇させて解析する。

2.2.3 水深・標高・堤防・粗度係数

D3 の堤防・粗度係数データは内閣府¹⁷⁾を用い、 90m メッシュでモデル化し、高潮数値モデルに用いる。全てのドメインの水深・標高も同様に内閣府のメッシュデータ¹⁷⁾から構築したが、特に堤外地において朔望平均満潮位より低い標高を示すエ

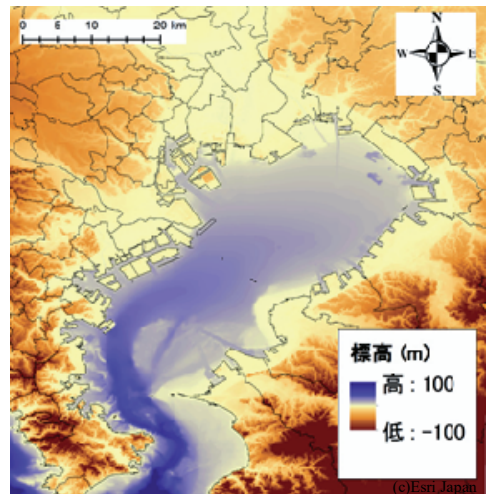


図 5 東京湾沿岸の地形モデル

リアが見られ、実態と乖離していた。浸水域および浸水深を過大評価する可能性があるため、D3における標高モデルは国土地理院の5mメッシュの数値標高モデル¹⁸⁾により、内閣府の陸上データを補正し、高潮数値モデルに入力する(図5)。図5の標高は、東京湾平均海面を0mとし、鉛直下向きを正として図示している。

2.2.4 モデルの検証方法

高潮数値モデルによる解析に先立ち、モデルの精度を検証する。1949年のキティ台風以降、東京湾では大規模な高潮氾濫が発生していない。しかし、1985年6号台風はキティ台風匹敵する高潮を引き起こした¹⁹⁾。そこで本研究では、構築したモデルで当該台風の再現計算を実施し、その計算結果と観測された2地点(東京・千葉)の時系列高潮偏差²⁰⁾および4地点(東京・千葉・横浜・横須賀)の最大高潮偏差²¹⁾とを比較した。1985年6号台風の経路を図6に示す。

2.3 再現期間毎の浸水深の推定

メッシュ毎に得られる200台風分の浸水深を大きい順番に並び替え、再現期間別の浸水深を決定する。例えば、あるメッシュにおいて一番大きい

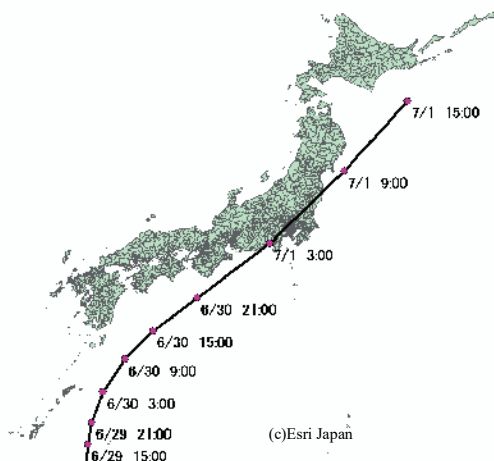


図6 1985年6号台風の経路

浸水深は10,000年間で最大の浸水深であるため再現期間は10,000年であり、2番目に大きい浸水深は10,000年に2回発生するとして再現期間が5,000年であると考ええる。本研究では、各メッシュで同一の再現期間の浸水深の分布図を作成する。

3. 研究結果と考察

3.1 高潮数値モデルの検証結果

1985年6号台風を高潮数値モデルにより再現した結果を図7～9に示す。図7は計算した最大高潮偏差分布と検証地点を示す。図8には東京および千葉における時系列高潮偏差、図9には東京・千葉・横浜・横須賀の4地点における最大高潮偏差を示す。各地点の高潮偏差の解析結果は概ね観測値と一致しており、モデルの再現性は確保できていると考えられる。千葉では高潮偏差のピークは1度しか発生しないが、東京では第1のピークからおよそ1時間遅れて第2のピークが現れる。これは高潮の強制波が湾奥で反射した自由波で、東京湾の固有振動のひとつであると考えられており²¹⁾、数値モデルでもこの現象を再現することができた。また、4地点における最大高潮偏差は、どの地点も約10cm以内の精度で再現できている。

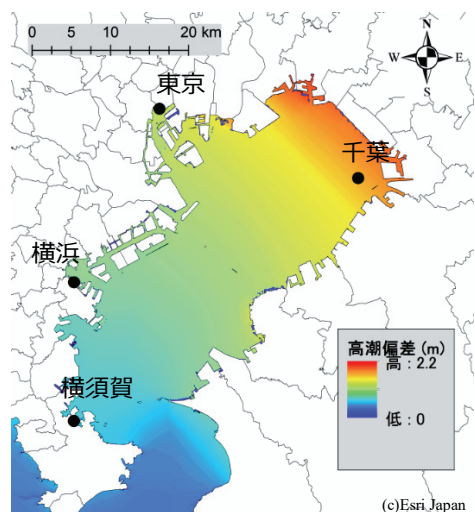


図7 最大高潮偏差分布の再現結果および検証地点

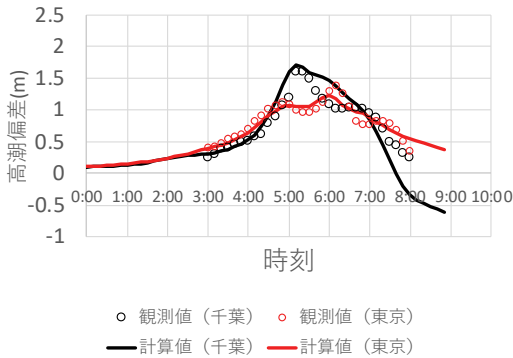


図8 時系列高潮偏差の検証結果

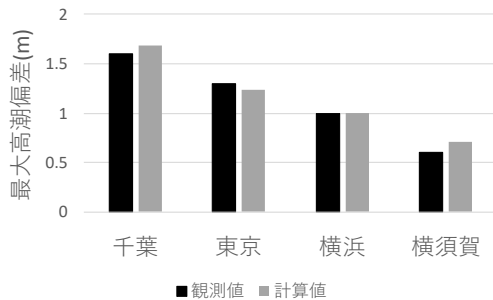


図9 最大高潮偏差の検証結果

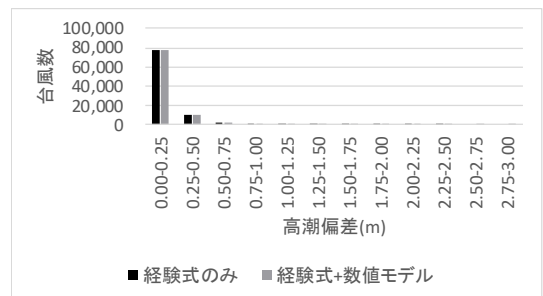
3.2 推算最大高潮偏差の比較

東京の推算最大高潮偏差の頻度分布を図10に示す。図10の上図(a)は推算した10,000年分の全台風、下図(b)は推算最大高潮偏差が1m以上をもたらす台風の高潮偏差である。黒いバーは経験式のみによる高潮偏差の推算値であり、灰色のバーは経験式で上位200位の高潮をもたらす台風についてのみ数値モデルによる解析結果で補完したものである。この結果から、最大高潮偏差が1.5m以上となると、数値モデルを加えたケースの台風数が経験式だけのケースの台風数を上回る。数値モデルと経験式との結果を比較すると、200台風のうち146台風について、数値モデルが経験式を上回った(図11)。すなわち、数値モデルによる結果が経験式による結果を上回る場合が多いため、

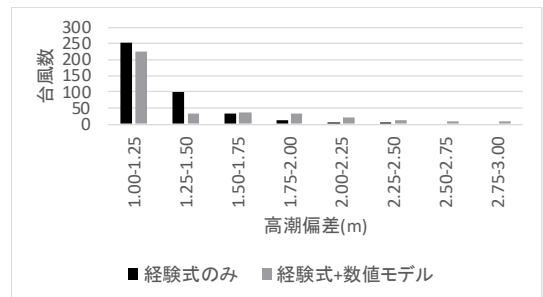
推算最大高潮偏差の頻度分布が推移するといえる。

経験式による最大高潮偏差が上位200位の台風経路を図12に示す。抽出した台風は、特に東京湾の西側を通る経路が多い。これは台風の進行方向右側は危険半円と呼ばれ、台風がもたらす風の風向と、台風自身の進行方向とが重なり、台風が東京湾の西側を通過した際に東京湾における風速が比較的大きくなるためである。

図13に東京における推算最大高潮偏差に対する、千葉・横浜・横須賀の推算最大高潮偏差を示す。平均的な高潮偏差は千葉、東京、横浜、横須賀の順番に大きい結果となったが、推算した台風毎にみると必ずしもこの順番とは限らない。辻田ら⁷⁾は、代表地点の高潮偏差から被害額を推定するロス関数を開発したが、代表地点の高潮偏差が増加すれば必ずしも被害額が増加するわけではないことも示されている。これは台風諸元によって高潮偏差の分布特性が変わるからだと考えられる。



(a) 10,000年分の全台風



(b) 高潮偏差1m以上

図10 推算最大高潮偏差の頻度分布(東京)

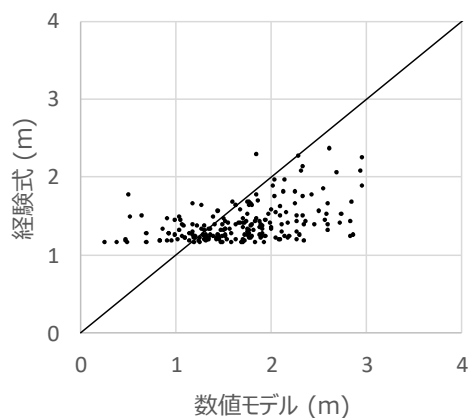


図 11 数値モデルと経験式による最大高潮偏差

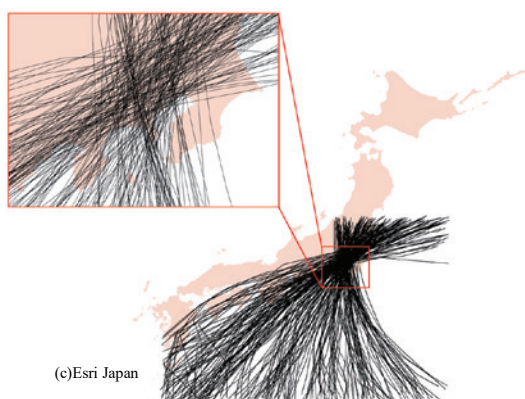


図 12 最大高潮偏差が上位 200 の台風経路

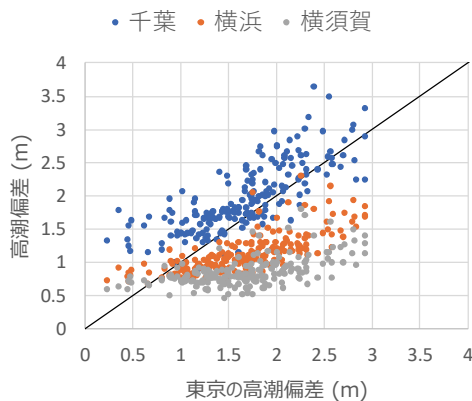


図 13 地点間の推算最大高潮偏差の比較

3.3 推算海面水位

数値モデルで推算された最大高潮偏差に別途計算した天文潮位を加算し、東京湾平均海面からの水位を計算した。なお計算された天文潮位の平均値は 0.00 m、標準偏差は 0.46 m である。

数値モデルにより得られた東京・千葉・横浜・

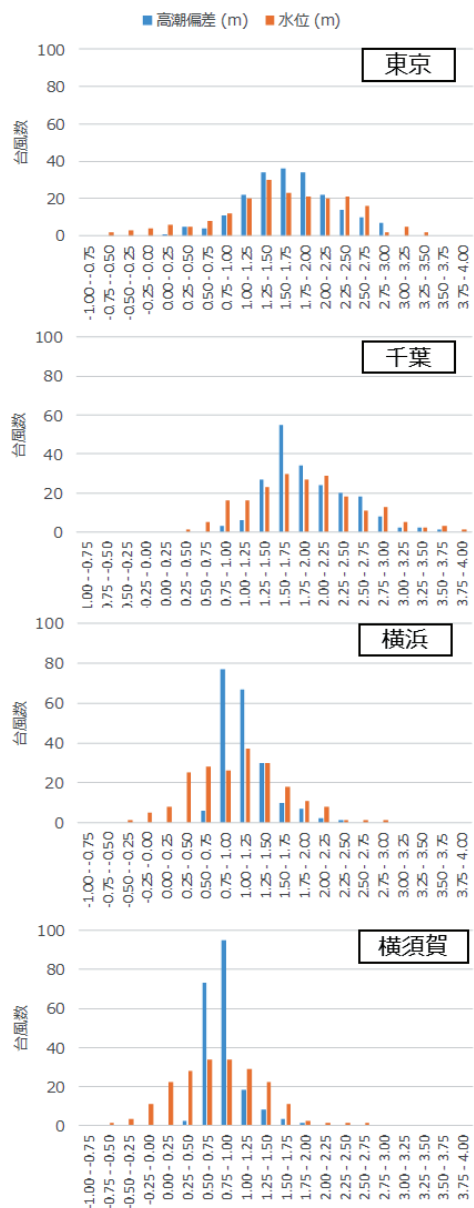


図 14 高潮偏差・水位の頻度分布

横須賀の海面水位のヒストグラムを図 14 に示す。

それぞれの地点において、高潮偏差よりも天文潮位を含めた水位のばらつきが大きくなるのが分かる。これは、天文潮位は乱数により決定しており、平均海面より上の場合もあれば下の場合もあり、その天文潮位が高潮偏差に加わることによるためである。

地点毎の高潮偏差・水位の標準偏差を図 15 に示す。この結果から、湾奥部では高潮推算値のばらつきが比較的大きく、湾口部では小さいことが分かった。

3.4 浸水深分布

200 台風に対し高潮数値モデルで計算した浸水面積のヒストグラムを図 16 に示す。200 台風のう

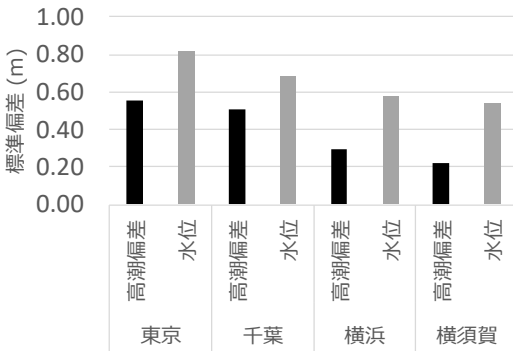


図 15 高潮偏差・水位の標準偏差

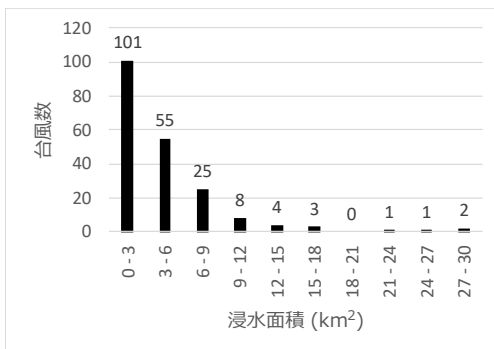


図 16 浸水面積のヒストグラム

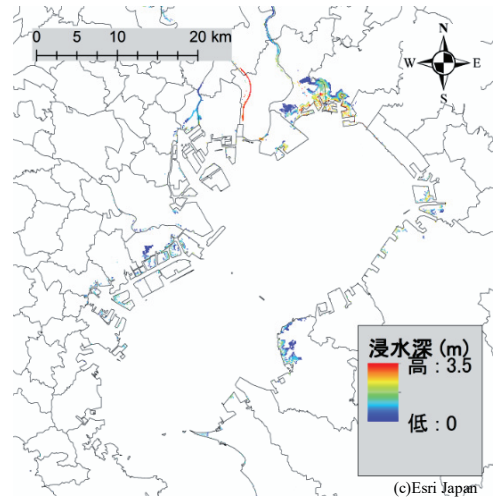


図 17 浸水深分布の解析結果の一例

ち約半数は、浸水面積が 3km^2 以下となった。これは、モデル上で河川や海岸の堤外地が浸水するケースである。しかしこのような浸水域は、高潮リスクが高いため、住宅や工場等が存在しないケースが多く、建物などに対する経済的被害は少ないと考えられる。一方で、数値モデルにより推算された浸水面積が最大のものでは、およそ 30km^2 となる。このような大規模の浸水が発生した場合、海岸の背後に位置する工場などが多く浸水する。特に湾奥に位置する千葉県船橋市や市川市の沿岸部では大規模な浸水が予想された。また、川崎港周辺は、京浜工業地帯の中核を成すが、大規模な高潮が発生すると、浸水する結果となった。

高潮浸水深分布の計算結果の一例として、最大浸水面積を示したイベントにおける解析結果を図 17 に示す。これは上述の通り、湾奥および川崎港周辺に浸水が発生しているイベントである。

3.5 再現期間毎の浸水深分布

200 台風を対象に得られた浸水深分布を用い、再現期間毎の高潮浸水深分布図を作成した。今回数値解析を実施した台風は、経験式による最大高

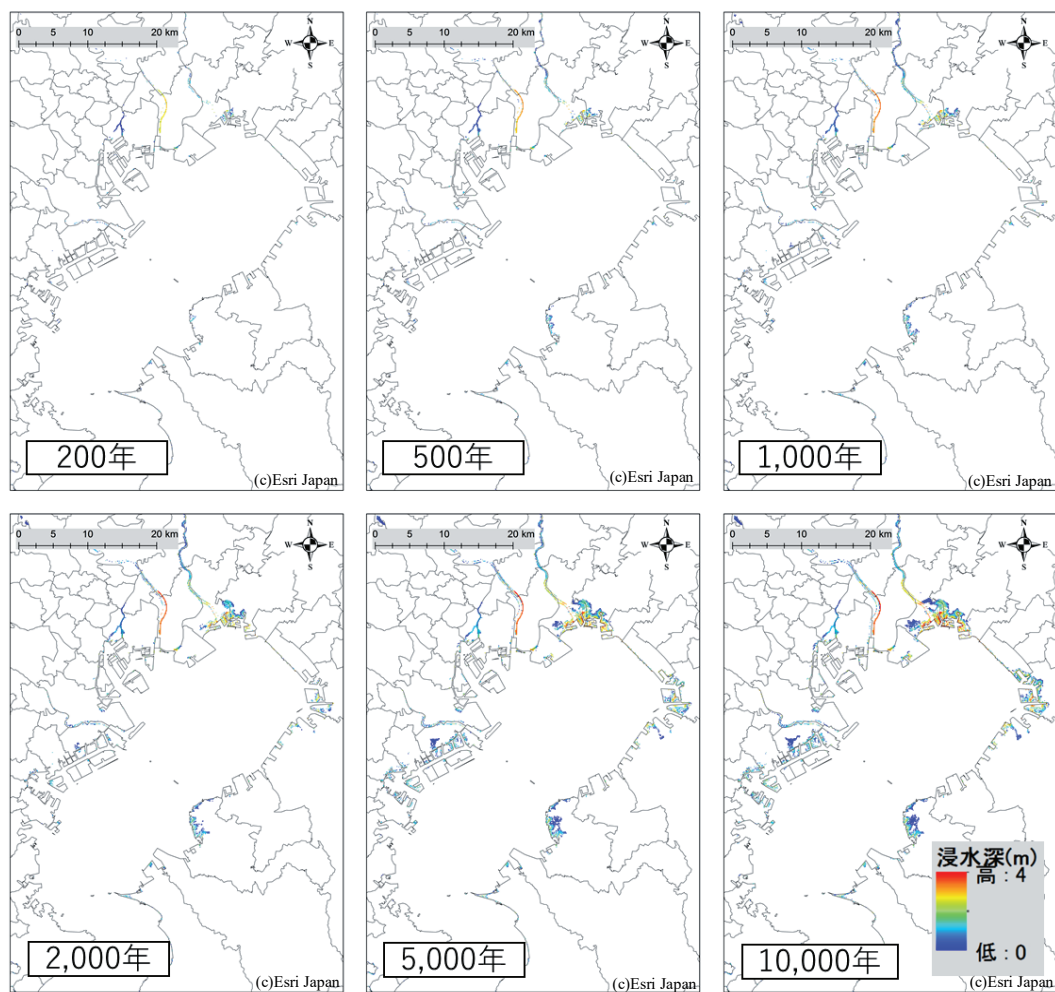


図 18 再現期間別の高潮浸水深分布

潮偏差が 200 位までを対象としているが、天文潮位を考慮すると、その順位が大きく変動する。東京において、経験式および数値モデルにより得られた最大高潮偏差に天文潮位を加えて改めて順位を付けたところ、上位 50 位までは数値モデルの計算対象台風によるものがその全てを占める。しかし、50 位以降は数値モデルの対象台風以外の台風によるものが含まれる結果となる。これは、数値モデルの対象となる規模の大きな台風であっても、

天文潮位が低いと水位が相対的に低くなる場合があり、逆に規模の小さい台風でも天文潮位が高ければ水位が高くなり、水位の順位が高潮偏差のみの順位と大きく変わるためである。そのため、上位 50 位以内、すなわち再現期間 200 年以上の浸水深マップを作成する。これは各メッシュにおいて、計算された 200 パターンの最大浸水深を大きい順番に並び替え、対象再現期間に対応した最大浸水深を示したものである。図 18 に、再現期間 200、

500, 1,000, 2,000, 5,000, 10,000 年の浸水深分布を示す。

再現期間 200 年では、湾奥の千葉県沿岸で一部浸水が見られるが、湾全体として大きな浸水範囲は得られていない。再現期間 1,000 年では、木更津市沿岸にも浸水が見られる。再現期間が 5,000 年になると、船橋市周辺や木更津市沿岸の浸水範囲は拡がり、千葉市沿岸や京浜工業地帯も浸水する。再現期間 10,000 年になると、各所の浸水はさらに拡大する。

4. おわりに

本研究では、まず東京湾を対象に確率台風モデルの結果と高潮経験式により、大規模高潮をもたらす 200 台風を抽出し、それらによる高潮の数値解析を行った。次に、数値解析による浸水深分布から、再現期間毎の浸水深分布を作成した。

従来の想定台風イベントに基づく高潮浸水深分布ではなく、確率論的アプローチによる高潮リスクマップを構築した。本研究の成果は、保険リスク管理に必要な再現期間を対象として、従来の確定論的な手法に基づく浸水深分布では反映しきれていない、東京湾沿岸の全ての地点における高潮リスクを表現している。本成果は損害保険業界における保険リスク審査等にも活用が期待される。

本研究では高潮の計算に破堤は含まれていない。大規模な高潮が発生した際、波浪や越流等により破堤が発生し、氾濫がより広範囲に及ぶ可能性がある。また、特に再現期間の長い高潮リスクの評価時には不確実性が大きいことを認識する必要がある。再現期間 200 年では、上位 50 台風が評価対象となるが、再現期間 5,000 年では上位 2 台風が対象となる。例えば天文潮位はランダムに設定されているため、この上位 2 台風の天文潮位が、本研究での推定結果より大きく計算されれば、当該再現期間の浸水深マップは拡大する。本研究では、

浸水面積が 1 位のイベントでは、東京における天文潮位は 0.77 m, 2 位は 0.88 m となった。これらは、数値モデルで計算した 200 台風のうち、それぞれ 10 位, 4 位の天文潮位である。これらの天文潮位は再度計算した場合には、本研究の結果より低くなる可能性が高いが、別の台風の天文潮位が高く計算され、順位が入れ替わる可能性もある。また図 18 には、本研究で推定された再現期間毎の浸水深分布を示したが、特に再現期間 2,000 年以上の結果においては、不確実性が大きいと考えられる。これらの再現期間が特に長い台風に対しては、天文潮位の設定数を増やす、あるいは計算期間を大幅に増やすことで、不確実性を減少させることが期待できる。

今回は、高潮ハザードの観点で評価を行ったが、保険会社のリスク管理では、これらのハザードから被害を推定するための被害関数が必要である。国交省は洪水や高潮の被害関数を公表しているものの、久松ら²²⁾はこの洪水被害関数と保険損失データに乖離があることを指摘しており、今後高潮についても被害関数の精緻化を検討する必要があると考えられる。

謝辞

確率台風モデルにより算出された、10,000 年間の台風データは、大阪市立大学講師の中條壮太氏より提供を受けたことを付記し、謝意を表します。

引用・参考文献

- 1) 内閣府：防災基本計画，
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html>, 2017. (最終閲覧日：2018/2/8)
- 2) Munich Re: TOPICS GEO, pp56, 2017.
- 3) 一般社団法人日本損害保険協会：ファクトブック 2017, pp79, 2017.

- 4) ERM 経営研究会：保険 ERM 経営の理論と実践，一般社団法人金融財政事情研究会，東京，2015.
- 5) エーオンベンフィールドジャパン株式会社：自然災害リスクに係る外部調達モデルの構造等に関する調査報告書，pp7-39，2012.
- 6) AIRWORLDWIDE: AIR Probabilistic Flood Hazard Maps in Touchstone, <https://www.air-worldwide.com/publications/brochures/documents/air-probabilistic-flood-hazard-maps-in-touchstone>, 2018. (最終閲覧日：2018/2/8)
- 7) 辻田大輝，安田誠宏，篠原瑞生，森信人，間瀬肇：複数地域での同時被災を考慮した高潮災害の集積リスク評価手法に関する研究，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.72, No.2, I_1639-I_1644, 2016.
- 8) S. Nakajo, N. Mori, T. Yasuda, H. Mase: Global Stochastic Tropical Cyclone Model Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis, Journal of Applied Meteorology And Climatology, Vol. 53, 1547–1577, 2014.
- 9) S.Y. Kim, T. Yasuda, H. Mase: Numerical Analysis of Effects of Tidal Variations on Storm Surges and Waves, Applied Ocean Research, Vol. 30, No. 4, 311–322, 2008.
- 10) 安田誠宏，平井翔太，岩原克仁，辻尾大樹：伊勢湾と三河湾を対象とした高潮災害の集積リスク評価に関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.73, No.2, I_241-I_246, 2017.
- 11) R. Hisamatsu, S. Kim, S. Tabeta: A Preliminary Study on Storm Surge Estimation along Tokyo Bay based on a Stochastic Approach, Proceedings of The 8th East Asia Workshop for Marine Environment and Energy (EAWOMEN2), 282-289, 2017.
- 12) 加藤史訓：高潮危険度評価に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，第 275 号，pp10, 2005.
- 13) 社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻），pp122-123, 2007.
- 14) 河合弘泰，富田孝史：台風による内湾の高潮のリアルタイム予測に関する基礎的検討，国土技術政策総合研究所資料，第 1085 号，pp6-7, 2004.
- 15) 間瀬肇，武藤遼太，森信人，金洙列，安田誠宏，林祐太：詳細気象予測値を用いた伊勢湾台風高潮の再現実験，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.2, I_401-I_405, 2011.
- 16) 気象庁：分潮一覧表 東京，<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tidt/suisan/harms60.php?stn=TK&year=2017&tttyea=2017>，2017. (最終閲覧日：2018/2/14)
- 17) 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会：計算入力データ，2012.
- 18) 国土地理院：基盤地図情報（数値標高モデル），<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>. (最終閲覧日：2018/2/14)
- 19) 水谷武司：伊勢湾台風災害のインパクトと戦後台風災害の経年的変化，防災科学技術研究所研究報告，第 75 号，pp19, 2009.
- 20) 小西達男，上平悦朗，瀬河孝博：台風 8506 号による高潮と副振動，天気，33 巻，6 号 pp263-270, 1986.
- 21) 宮崎正衛：高潮の研究，成山堂書店，東京，pp56, 2003.
- 22) 久松力人，河辺賢，水野佑亮，篠塚義庸，堀江啓：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の保険損失に基づく洪水被害関数の構築，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.73, No.4, I_1279-I_1284, 2017.

著者紹介

久松 力人（正会員）

東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）、MS&AD インターリスク総研株式会社（東京都千代田区神田淡路町 2-105）、昭和 60 年生まれ、平成 22 年 3 月東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻修士課程修了、同年 4 月パシフィックコンサルタンツ株式会社に入社、平成 24 年 10 月株式会社インターリスク総研（現 MS&AD インターリスク総研株式会社）に入社、現在同社総合企画部主任研究員、平成 29 年 4 月東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻入学、現在同大学博士課程在学、環境学修士、日本沿岸域学会会員、日本船舶海洋工学会会員、土木学会会員、地域安全学会会員、日本気象学会会員。

E-mail: 6865396467@edu.k.u-tokyo.ac.jp

金 洙列（非会員）

鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻（鳥取県鳥取市湖山町南 4-101）、平成 19 年 3 月京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻博士課程修了、同年 4 月京都大学大学院工学研究科、平成 20 年鳥取大学大学院工学研究科勤務、現在同大学助教、博士（工学）、土木学会他 3 学会会員。

多部田 茂（正会員）

東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）、平成 6 年 3 月東京大学大学院工学系研究科船舶海洋工学専攻博士課程修了、同年 4 月横浜国立大学工学部、平成 11 年東京大学大学院新領域創成科学研究科勤務、現在同大学教授、博士（工学）、日本沿岸域学会他 5 学会会員。

Estimation of inundation depth distributions for different return periods of storm surges along Tokyo Bay coast

Rikito HISAMATSU, Sooyoul KIM and Shigeru TABETA

ABSTRACT : The storm surge hazard maps released by the Japanese government are predicted based on scenario-based deterministic methods, but there is little accumulation of studies on probabilistically-evaluated inundation maps. By probabilistically evaluating possible strengths and paths of typhoons, it is expected that the storm surge risk with return periods in each region would be estimated, including the area considered to be low risk in the conventional evaluation method. In this study, typhoon data projected by the probabilistic typhoon model are used to estimate distributions of storm surge height with the return period in Tokyo Bay. First, the storm surges for the period of 10,000 years are calculated by an empirical formula and the top 200 typhoons are extracted. Secondly, the extracted typhoons are analyzed by a coupled model of surge, wave and tide (SuWAT) to estimate the distributions of inundation depth. Finally, the obtained inundation depths are rearranged for each mesh, and the depth distribution for each return period is estimated.

KEYWORDS : *Storm surge, Tokyo Bay, Insurance, Stochastic typhoon model, Return period*