

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14839

研究課題名（和文）高潮偏差の潮汐依存性に関する新たなパラメータの導出とメカニズムの解明

研究課題名（英文）Proposal of New Indexes for Development Characteristics of Storm Surge Considering Topographical Features and Tides

研究代表者

井手 喜彦 (Ide, Yoshihiko)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：60866680

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、高潮発生メカニズムの理解を深めるために、従来の理論を発展させることに取り組んだ。その結果、従来から使用されてきた理論式よりも正確な新たな理論式を導出することができた。さらに、各湾が持つ海底地形が高潮に及ぼしている影響度を表す指標や水深の変化が高潮に及ぼす影響度を表す指標を新たな理論式から導いた。これらの指標を用いることではやくその湾の持つ高潮に対する特徴を把握できる。この指標を日本の主要な湾に適用した結果、有明海・東京湾の海底地形は高潮の増幅に大きく寄与していることや有明海で生じる高潮は潮汐による水深変化や地球温暖化による海面上昇の影響を強く受けることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は地球温暖化の影響を受けて災害リスクが増大すると言われている高潮災害に対する防災対策を考える上で重要な成果を得た。これまでの高潮に対する理解をさらに深め、高潮を考える際に注目すべき事項についての知見を更新したことや、ここで導出した指標を各湾に適用することでその湾が持つ高潮に対する特徴を簡易的に瞬時に把握できるようになった。この指標を用いることで地球温暖化に伴う海面上昇によって各湾で高潮がどのように変化するかを予想でき、また指標の値は各湾の今後の高潮防災対策をどのように優先順位を付けて実施していけばよいかを決定する有益な情報となる。

研究成果の概要（英文）：This study was undertaken to develop the existing theory to better understand the mechanism of storm surge generation. As a result, I was able to derive a theoretical formula that is more accurate than the one that has been used in the past. In addition, I developed new theoretical formulas for the effect of the bathymetry of each bay on storm surge and for the effect of changes in water depth on storm surge. These indices can be used to understand the characteristics of each bay with respect to storm surge. The application of these indices to major bays in Japan revealed that the seafloor topography of the Ariake Sea and Tokyo Bay contributes significantly to the amplification of storm surge, and that storm surge in the Ariake Sea is strongly influenced by tidal bathymetry and sea level rise due to global warming.

研究分野：海岸工学

キーワード：高潮 水防災 指標の提案 高潮増幅メカニズム

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、国内外で甚大な高潮災害が頻発していることから、高潮防災の重要性が再認識されている。また、平成 27 年に行われた水防法等の改定に伴って、各自治体は高潮浸水想定区域図作成の手引き（以下、「手引き」）に沿った浸水ハザードマップの作成が義務付けられた。現在でも多くの自治体が施策を実施中であり、様々な沿岸海域を対象として多くの高潮シミュレーションが実施されている。同時に、高潮に関する研究も盛んに行われている。手引きは大潮期の満潮時に想定最大規模の台風が最悪経路を通るという状況を想定したものである。したがって手引きで指定された条件で、高潮シミュレーションを実施する際、大潮期の満潮位を天文潮位分として定常に与える。多くの研究においても、手引きと同様に天文潮位を定常に設定した条件のもと、高潮シミュレーションを実施し高潮偏差や高潮浸水について議論している（図 1 ①）。潮汐による潮位変動を考慮し、潮汐位相に対して台風が来襲するタイミングが異なることによる高潮浸水被害の変化を検討した例もあるが、このような検討においても天文潮位を定常に設定した高潮シミュレーションから得た高潮偏差を、潮汐のみを計算した結果と線形的に足し合わせてトータルの潮位を算出している（図 1 ②）。

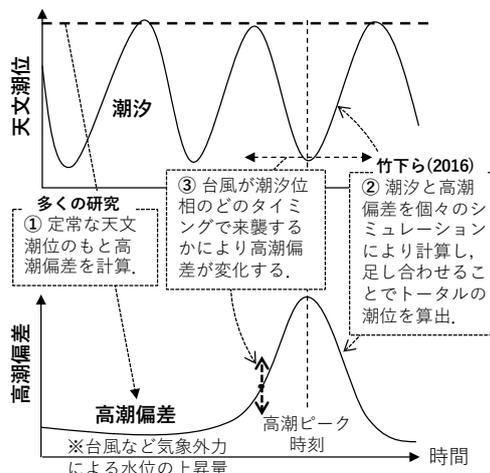


図 1：天文潮位と高潮偏差

(2) 一方で、潮汐が高潮偏差に及ぼす影響の重要性を指摘した研究がある。これらの研究では、潮汐によって水深が変化するため、同じ台風外力を与えたとしても、潮汐位相のどのタイミングで台風が来襲するかによって高潮偏差が変化すること（高潮偏差の潮汐依存性）が指摘されている（図 1 ③）。この影響が大きくなる海域では、潮汐と高潮偏差をそれぞれ別のシミュレーションから計算し、最後に双方を線形的に足す手法では、正確なトータルの潮位を算出できない。この場合は、高潮モデルに潮汐も組み込み相互作用を考慮して同時に計算を行う必要がある。

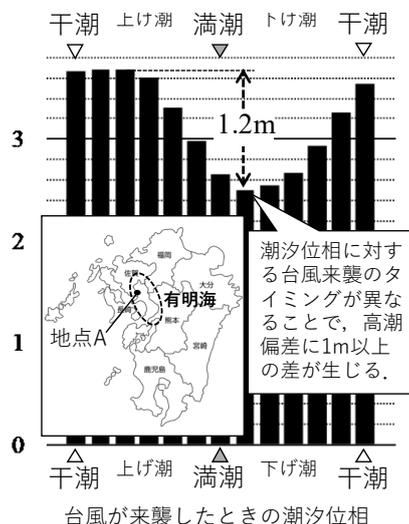


図 2：台風来襲のタイミングと最大高潮偏差(地点 A)の関係

(3) 研究代表者は有明海を対象として、潮汐を組み込んだ高潮シミュレーションを実施し、潮汐位相に対する台風来襲のタイミングを変化させることで最大高潮偏差の変化を確認した（図 1 ③を検証）。その結果、図 2 に示すように、干潮時付近で台風が来襲するとき最も高潮偏差が大きくなり、最も小さくなる満潮時付近との差は 1m を超えるほど大きくなり得ることがわかった。高潮偏差の潮汐依存性は海域の形状や海底地形によって異なるため、検討を行う際は、対象としている海域の高潮偏差が潮汐の影響を受けやすいかを把握しておくことが重要となる。先行研究では高潮偏差の潮汐依存性は、高潮を考える際に従来から使用されてきた単純な基礎方程式より導出される指標によって説明できるとしている。しかし先行研究での議論は定性的な説明に留まっており定量的な検討は行われていない。そこで、高潮シミュレーションモデルを用いて指標の有用性を検証したところ、従来の指標では定性的な説明はできても定量的な説明はできないことを確認した。さらに、先行研究はいずれも国外の海域を対象としており、国内の海域での検討を行った例はない。したがって国内の海域に対しては、高潮偏差を考える上で潮汐の影響が重要であるかどうかさえよく知られていないのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、まず指標を用いて全国の海域を対象に、高潮偏差の潮汐依存性について大まかな特徴を把握する。そのために従来の指標を発展させ、定量的な議論を可能にする新たな指標を

導出する．これによって高潮を考える際にどのような要素を考慮することで精度の良い推定が可能になるかを海域ごとに把握することができる．また，正確な指標を知っておくことは現象の物理的な意味を理解する上でも有意義である．

(2) 次いで，高潮偏差の潮汐依存性を考慮した上で生じる局所的な高潮偏差とその発生メカニズムについて数値シミュレーションを用いて解明する．例えば，台風来襲時の有明海では，地形の特徴によって湾奥で線状の速い流れが発生し局所的な水位上昇が生じるが，指標を用いた評価ではこのような局所的な物理現象による高潮の発生メカニズムについての詳細な検討はできない．このような陸域付近や構造物の周辺での複雑な流れによって生じる海域特有の高潮特性について把握しておくこともハード・ソフト両面の防災計画を立てる上で重要である．そこで，三大湾など日本の主要な海域を対象として，地形を精緻に表現した空間解像度の高い高潮シミュレーションモデルを用いて，その発生メカニズムを明らかにする．

3. 研究の方法

(1) 本研究では「全国の海域を対象とした高潮偏差の潮汐依存性に関する特徴の把握」および「国内の主要海域を対象とした局所的な高潮の発生メカニズムの解明」を2ヵ年で実施する．研究目的・アプローチ・具体的な成果の年次計画を図3にまとめる．

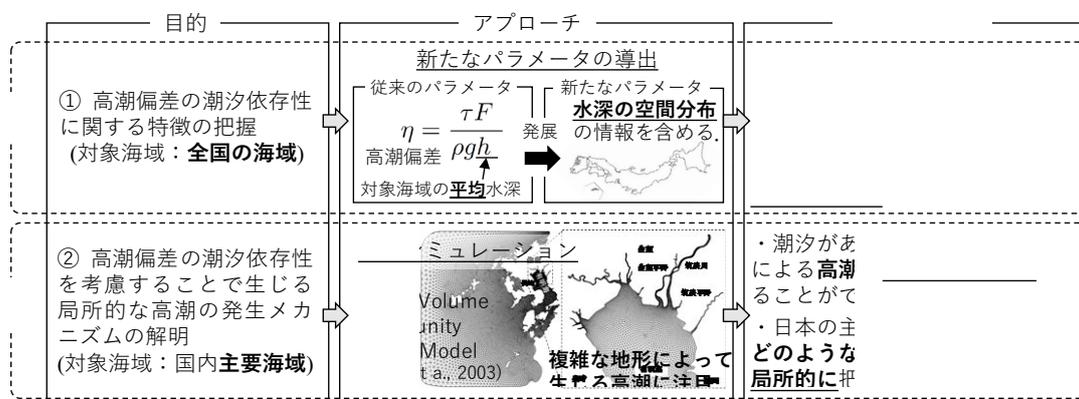


図3：研究目的・アプローチ・具体的な成果の年次計画

(2) 初年度(2020年度)は，全国の海域を対象として高潮偏差の潮汐依存性に関する特徴を把握する．この検討のために全国すべての海域に対して数値シミュレーションを実施するのは計算コストの面で現実的ではない．したがって，単純化した基礎方程式から導出される指標を用いて海域の大まかな特徴を把握する．その際，従来の指標を発展させ，より正確な指標の導出を試みる．従来の基礎方程式には，対象としている海域の水深情報として，その海域の水深の空間平均が用いられている．しかし，当然ながら実際の水深は空間変化しており，空間変化の情報は含まれていない．特に，一般的な湾の特徴である湾口から湾奥に向かって水深が浅くなるような地形勾配の効果が高潮に大きな影響を及ぼす．このことは数値シミュレーションによって確認済みである．したがって，新たな基礎方程式には水深の空間変化の情報を含めることで指標の高精度化を図る．導出した指標は，数値シミュレーションの結果と比較し，その有用性および適用範囲の把握を行う．新たな指標を全国の海域に適用し，個々の海域が持つ高潮に対する特徴を把握する．また，新たな指標からわかる高潮偏差の潮汐依存性に関する物理的な意味も明らかにする．

(3) 二年目(2021年度)には，国内の主要海域を対象として局所的な高潮の発生メカニズムの解明に取り組む．対象とする海域は三大湾および有明海であり，細かな地形まで精緻に表現した高潮シミュレーションモデルを構築し用いる．対象海域に有明海を含めたのは湾の形状や海底地形を考慮すると高潮偏差の潮汐依存性が大きくなりやすい海域であり，本検討に適した海域であると判断したためである．高潮シミュレーションモデルには Finite-Volume Community Ocean Model (Chen et al., 2003) を使用する．本モデルは，水平空間方向に非構造格子系を採用しており海岸線を滑らかに表現できるモデルであるため，本研究のように複雑な地形を高い精度で表現したい場合に適している．また，陸域と海域を連続的に一貫して解くことができ，本研究後に見据える陸域まで計算領域に含めた高潮浸水計算も高精度な結果が望める．シミュレーション結果から潮汐が高潮に及ぼす影響を海域ごとの特徴に注目し，そのメカニズムを解明する．特に海岸線や構造物付近で生じる複雑な流れによる高潮に着目し，局所的な高潮発生プロセスを明らかにする．

(4) これらの成果は，現在全国的に実施されている多くの高潮シミュレーションには含まれていない要素を考慮することによって結果がどのように変化するのかを理解する助力となる．さらに，本研究は水深変化に伴う高潮偏差の変化について考えているため，地球温暖化による平均

海面の上昇（すなわち水深変化）に対する影響を考える上でも有益な知見となる。

4. 研究成果

(1) 本研究では、潮位変動が高潮に及ぼす影響について、理論的アプローチと数値シミュレーションにより検討した。図4は有明海における数値シミュレーションモデルの計算メッシュを示

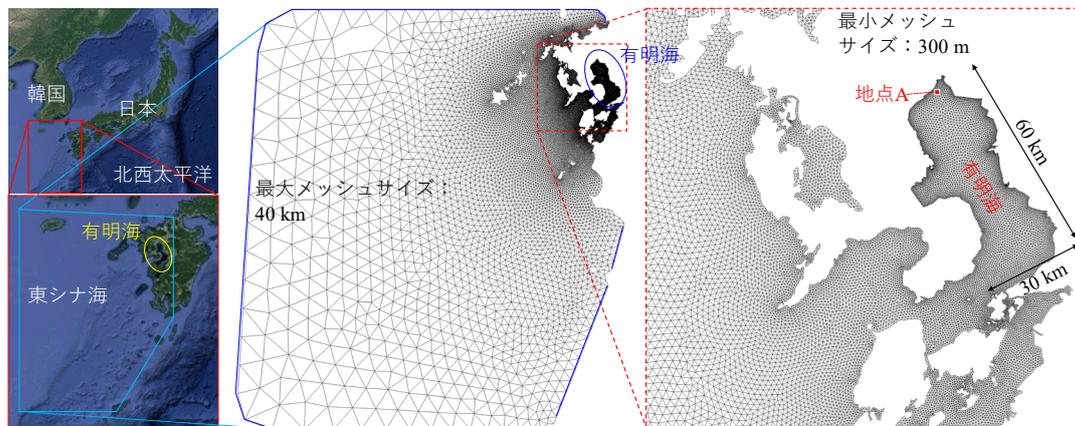


図4：有明海における数値シミュレーションモデルの計算メッシュ

す。数値シミュレーションを用いて、潮汐位相に対して様々なタイミングで台風（既往最大規模の台風が有明海にとって最悪経路を通過した場合を想定）を来襲させたときの図4の地点Aで生じた最大高潮偏差の違いを図5に示す。満潮時よりも干潮時に台風が来襲の方が最大高潮偏差は高いことが分かる。その差は2.24 mにもなり、この差は従来の高潮の理論式からでは説明できないほど大きなものである。そこで、この数値シミュレーション結果を定量的に説明するために、従来式に水深勾配を考慮した新たな高潮の理論式を導出した。新たな式は、従来式では表現できなかった水深が浅く、水深勾配が大きい湾での高潮をより正確に表現することができた。新たな理論式を用いて、高潮偏差の水深勾配、吹送距離（風が吹いている空間的な長さ）、平均水深への依存性を詳細に検討し、生じる高潮の大きさは何にどのように依存しているのかを明らかにした。

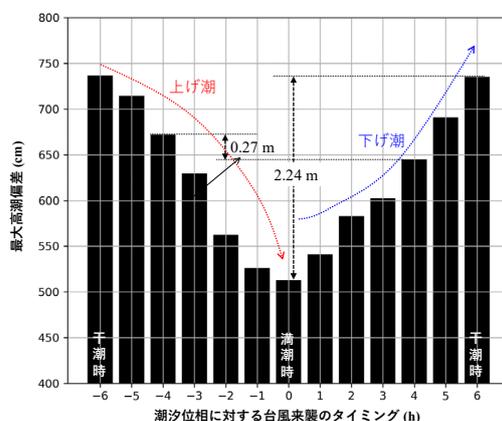


図5：潮汐位相に対する台風の来襲のタイミングによる最大高潮偏差の違い

(2) さらに、新たな式に基づき、「湾の水深勾配が高潮偏差に及ぼす影響」と「潮汐が高潮偏差に及ぼす影響」を示す2つの指標を新たに提案した。これらの指標を詳細に検討することによって、高潮の発生特性を把握することができた。これらの指標を日本の主要な湾（有明海・三大湾）に適用し、湾内の高潮の特徴を明らかにした。「湾の水深勾配が高潮偏差に及ぼす影響」を表す指標を日本の主要な湾に適用した結果を図6左に示す。有明海と東京湾が水深勾配の影響を大きく受け、生じる高潮偏差が大きくなることがわかる。一方、伊勢湾は水深勾配の影響をあまり受けていない。また、図6右に「潮汐が高潮偏差に及ぼす影響」を表す指標を日本の主要な湾に適用した結果を示す。こちらも有明海、次いで東京湾の順で影響が大きく、この値が大きいほど生じる高潮が潮汐による水深変化によって変化すること、また地球温暖化による海面上昇の影響を受けやすいということになる。

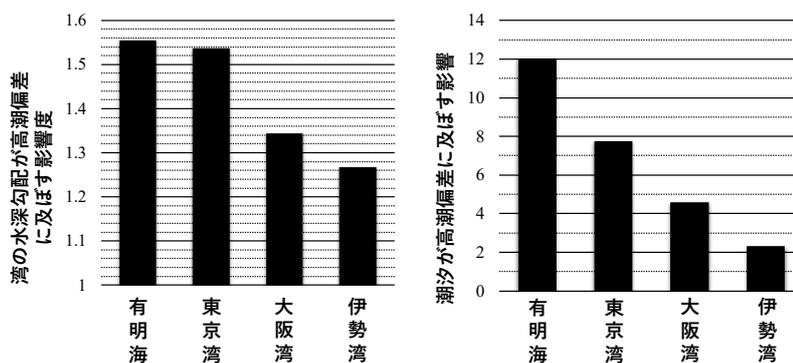


図6：有明海・三大湾における水深勾配が高潮偏差に及ぼす影響度（左）と潮汐が高潮偏差に及ぼす影響（右）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ide Yoshihiko, Yamashiro Masaru, Hashimoto Noriaki	4. 巻 なし
2. 論文標題 Proposal of new indexes for development characteristics of storm surge considering topographical features and tides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 1~19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/21664250.2021.1883292	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 井手喜彦、山城賢、橋本典明
2. 発表標題 Proposal of New Indexes for Development Characteristics of Storm Surge Considering Topographical Features and Tides
3. 学会等名 第67回海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------