

高潮浸水シミュレーションによる 三大湾奥部の浸水被害の感度解析

SENSITIVITY ANALYSIS ON STORM SURGE INUNDATION DAMAGE AT HEADS OF THREE MAJOR BAYS IN JAPAN

鈴木武¹
Takeshi SUZUKI

¹正会員 工博 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Three major bays in Japan have large low-lying lands. Inundation damage there by storm surges is increased by sea level rise and typhoon strengthening due to global warming. For estimating this damage, numerical models that describe storm surges, waves and inundation were built up. Then, damage graphs that output damage index from sea level rise and typhoon strengthening were drawn based on calculations by the models. The graphs showed that inundation area, inundated population and amount of loss increase rapidly at typhoon strengthening ratio 1.0 to 1.3.

Key Words : *Climate Change, storm surge, inundation, Tokyo bay, Ise bay, Osaka bay*

1. はじめに

IPCC¹⁾では、地球の温暖化によって100年後に海面が18～59cm上昇するとともに、台風が強化する可能性が高いと予測している。地球温暖化によってもたらされる海面上昇と台風の強大化は、わが国沿岸に高潮による浸水被害の増大をもたらす。そうした温暖化による高潮の脅威の増大への備えを、はじめから終局の状況にあわせて行うとすると、当面の被害を軽減・防止する必要から巨大な投資を短期間に行わなければならない、社会として許容することが難しい状況になる。温暖化は何十年、何百年にわたって徐々に進行し、高潮による脅威も同様の速度で進行するため、温暖化の進行に合わせて対策を徐々に進めることが、社会の資金的負担を軽減し、実行可能性を高めることに繋がる。そうした対策の手順を考えていくためには、温暖化の進行に伴って高潮リスクがどのように変化するかを見積もることが必要である。

わが国の沿岸は、三大湾の奥部に大規模な低平地があり、そこに東京、大阪、名古屋の大都市圏の一部が広がり、多くの人口と資産が集積している。そのため、温暖化による高潮浸水の被害は、三大湾奥部の低平地の状況が全国値に大きな影響を持つと考えられる。

そのため、三大湾奥部の低平地を対象に、温暖化の程度の違いによって浸水被害がどのように変化する

るかを調べるため、既往の高潮計算技術をもとに高潮を予測し、得られた高潮から陸上の浸水を予測する数値モデルを作成した。そして、そのモデルを使い、海面上昇量と台風強大化の条件を様々に変化させて浸水予測を行い、その結果を整理することにより、海面上昇量と台風強度が変化した場合に高潮による浸水面積、浸水人口および浸水被害額がどのように変化するかの傾向を予測した。

2. 高潮浸水計算

(1) 高潮浸水計算の方法

高潮による広域浸水の予測においては、高潮時の潮位上昇に伴う越流と高波発生時の越波による陸域への浸水を考慮する必要がある。そのため、波浪と高潮のシミュレーションを組み合わせた浸水モデルを構築し、予測を行った²⁾。湾外および湾内全体の海域を対象とする高潮および波浪計算は、柴木・渡辺³⁾の方法を用いた。高潮の浸水モデルで採用した越波・越流現象を考慮した浸水計算の方法は、次の通りである。

大規模な浸水被害を発生させる高潮の浸水要因は、越流に高波による越波が加わる。高潮浸水計算において、越流時には、津波浸水計算と同様、陸域浸水計算に岩崎・真野⁴⁾の方法を、越流量の計算に本間公式⁵⁾を用いた。越波については、高潮計算および波浪推算や波浪変形計算より求まる各構造物前面で

の潮位および波浪を入力条件として、合田⁵⁾の期待越波流量算定図に基づく越波量の計算を採用した。そして、その越波量を海陸境界から陸域への流量条件として与え、越流時と同じように高潮浸水計算を行った。

台風経路を含む湾外や湾内全体の広域高潮計算および波浪推算と、湾奥周辺海域および浸水域の高潮計算および波浪計算は、図-1に示す手順に沿う計算の組み合わせにより行った。

(2) 高潮浸水計算の条件

高潮浸水シミュレーションにより浸水被害の推定を行う地域は、日本沿岸の代表的な低平地が存在する三大湾の湾奥部とした。湾奥部は人口、資産が集積し、経済活動が高度に行われているため、海岸堤防、護岸等の高潮防護施設がかなり高い水準で整備されている。

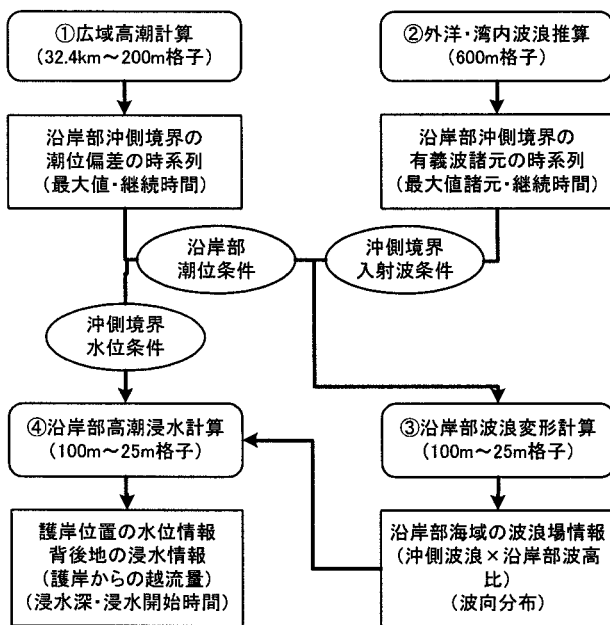


図-1 高潮浸水シミュレーションの計算手順

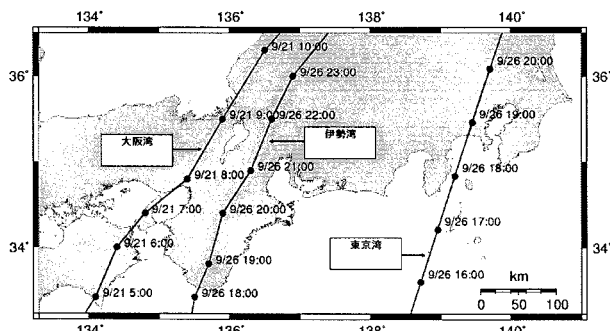


図-2 三大湾の高潮浸水計算に適用する台風経路

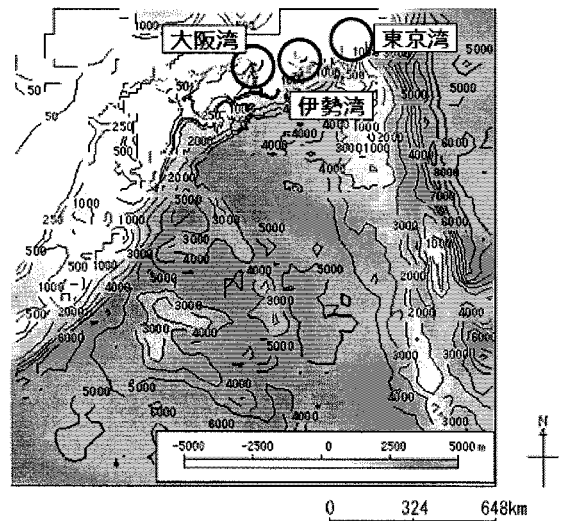


図-3 高潮および波浪計算の広域計算範囲

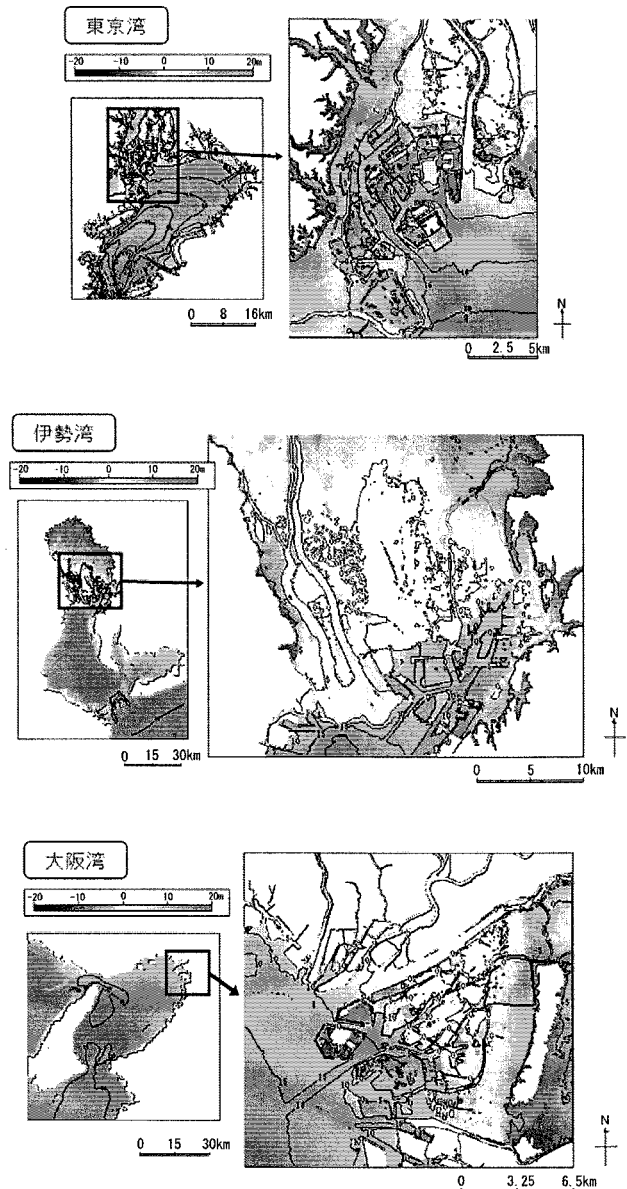


図-4 高潮浸水の計算範囲と水深・地盤高

高潮浸水計算に使用する台風は、三大湾各々の海岸施設計画のための潮位と波浪を設定する条件となった台風（計画台風）を基本とし、上陸時の中心気圧深度を基準にして計画台風を0.1～1.6倍に変化させて与えた。三大湾の計画台風は、台風規模が伊勢湾台風（上陸時の中心気圧は935hPa、中心気圧深度は75hPa）であり、台風コースは、東京湾がキティ台風コース、伊勢湾が伊勢湾台風コース、大阪湾が室戸台風コースとした。また、潮位条件は、三大湾奥部のH.W.L.を基本とし、地球温暖化等による平均海面上昇量を0.0m～1.0mまで変化させた。図-2は設定した台風強度1.0の計画台風の三大湾接近時の台風経路と毎時の中心位置である。

高潮推算および波浪推算の計算範囲は、台風経路を含む太平洋の広域とした。図-3は東京湾、伊勢湾、大阪湾における高潮計算の広域計算範囲で、図内には三大湾の位置を表示してある。また、図-4は三大湾の計算領域である。着色部は浸水計算の対象範囲で、水深および地盤高を表示している。海岸の近傍に低地が広く存在し、計算対象範囲内のH.W.L.以下の面積は、東京湾が53.5km²、伊勢湾が337.0km²、大阪湾が24.3km²である。

計算に用いる地形は、三大湾海域を200m～600m格子で近似し、湾奥の沿岸海域および浸水想定区域（陸上域）では東京湾を50m、伊勢湾を100m、大阪湾を25mの格子で近似した。海域の水深は、海図・海底地形図をもとに設定し、湾奥の港湾区域は港湾計画平面図の水深情報で補正した。陸域の地盤高は、国土地理院発行の数値データ、都市計画図および航空測量データ等をもとに設定した。また、海岸堤防、護岸等の高潮防護施設は、施設台帳をもとに現計画で定められている条件を設定し、防護機能が維持される状態を想定した。

三大湾奥部における資産と人口の格子データ（図-5）を作成し、それを浸水シミュレーションの結果と重ね合わせることで、浸水被害を推計した。資産と人口の格子データは国勢調査成果等の公表データをもとに作成し、被害額は「治水経済調査マニュアル」に準拠して算定し、被災人口は浸水区域の居住人口から算定した。

3. 高潮による浸水域の予測

(1) 高潮シミュレーションによる浸水域の予測

三大湾奥部における浸水範囲と最大浸水深の予測結果の空間分布を図-6に示す。上段の浸水図は、台風強度を計画台風とし、平均海面の上昇を考慮せずに海面高をH.W.L.とした基本ケースである。中段の図は、H.W.L.に平均海面の上昇0.6mを加えた海面高に、計画台風の1.3倍の台風を与えたケース

（中間ケース）で、IPCC第4次報告書が予測する2100年の海面上昇量の最大値を与えた場合の推定結果である。そして、下段の図は、H.W.L.に平均海面の上昇1.0mを加えた海面高に、計画台風の1.6倍の台風を与えたケース（最大ケース）で、本研究の計算条件の中では最悪の計算条件である。

基本ケースでは、高潮防護施設前面の埋立地が一部冠水するものの、防護施設背後の低地への浸水はほとんど発生しない。それに対し、中間ケースでは、内陸側までの広範囲の浸水がみられる。高潮による浸水は、東京湾では西側で、伊勢湾では東側で、大阪湾では南側で多く発生する。最大ケースでは、東京湾は主に西側に、伊勢湾は主に北側に、そして大阪湾は北部を中心に東側に浸水範囲が拡大する。

このモデルを用い、台風強度を0.1～1.6倍まで、平均海面上昇0.0～1.0mまで変化させた場合に予測される三大湾奥部における浸水面積の変化を図-7に示す。各湾ともに、台風強度および海面上昇量が増加するにつれて、浸水面積が増加する。東京湾は

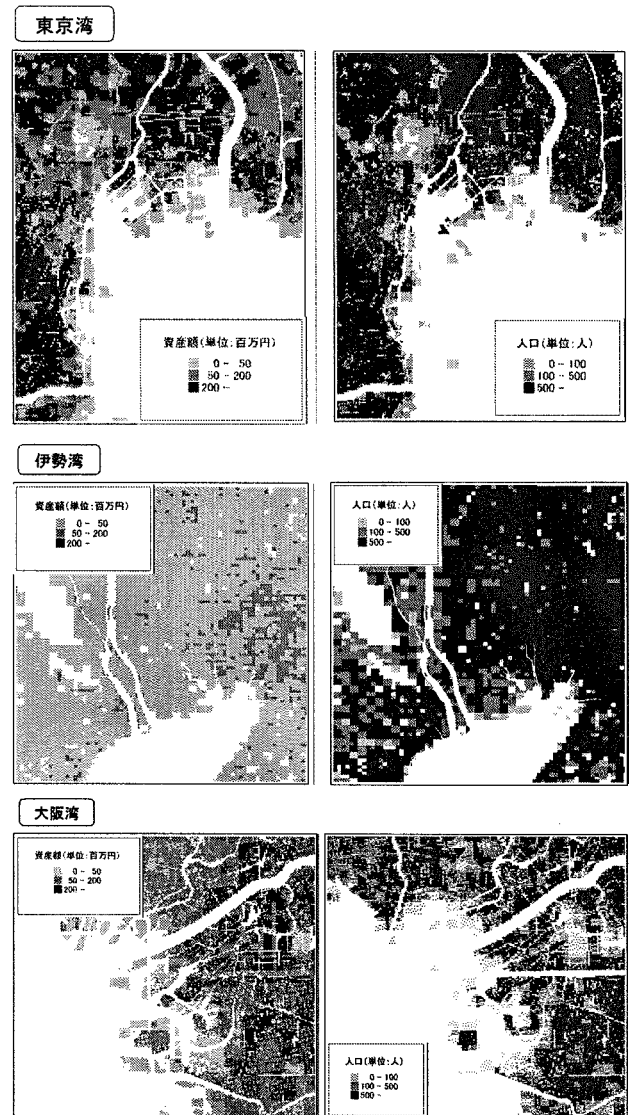


図-5 三大湾奥部における資産および人口



図-6 三大湾奥部の高潮による浸水深 (上: 台風強度 1.0, 海面上昇 0.0m, 中: 台風強度 1.3, 海面上昇 0.6m, 下: 台風強度 1.6, 海面上昇 1.0m)

台風強度が1.3を超えると急に浸水面積が増大する。他の湾はかなり直線的に増加する。そして、浸水面積は、伊勢湾が他の湾に比べてかなり大きいことが分かる。

また、このグラフを使うことで、高潮防護施設が機能するとした場合における任意の台風強度、任意の海面上昇量での浸水面積を直ちに推定することが可能となる。そして、この計算過程で得られたデータを使えば、観察したい点を指定することで、その点での任意の台風強度、任意の海面上昇量における高潮潮位偏差と沖波波浪の時系列値を得ることができ、高潮浸水予測の基礎データベースとしても活用することができる。

(2) 高潮防護施設の効果分析

計画規模の外力条件の場合に防護施設が機能しな

い場合として、H.W.L. に計画偏差を加えた潮位以下の地域が浸水する状態を想定し、その場合における三大湾奥部の浸水深を求めた (図-8)。従来の温暖化影響研究では、海域の潮位と背後地の地盤高から高潮浸水の潜在的危険性を把握することが行われ、三大湾奥部の低平地では広い範囲が冠水し、被害額および被災人口が図-8 に併記した値となるといったような形で予測が行われていた。しかし、本研究のように高潮防護施設をデータ化して高潮浸水計算を行えば、高潮防護施設の効果を考慮した状況の下で被害想定を行うことができ、これまでよりも実態に即した被害指標を得ることができるようになったといえる。また、図-8 は本研究のような高潮浸水シミュレーションから予測された結果ではないが、それを防護施設が機能しないケースとして、後述する高潮防護施設が機能する場合の被害額および被災人口の算定結果と比較すれば、高潮防護施設の効果

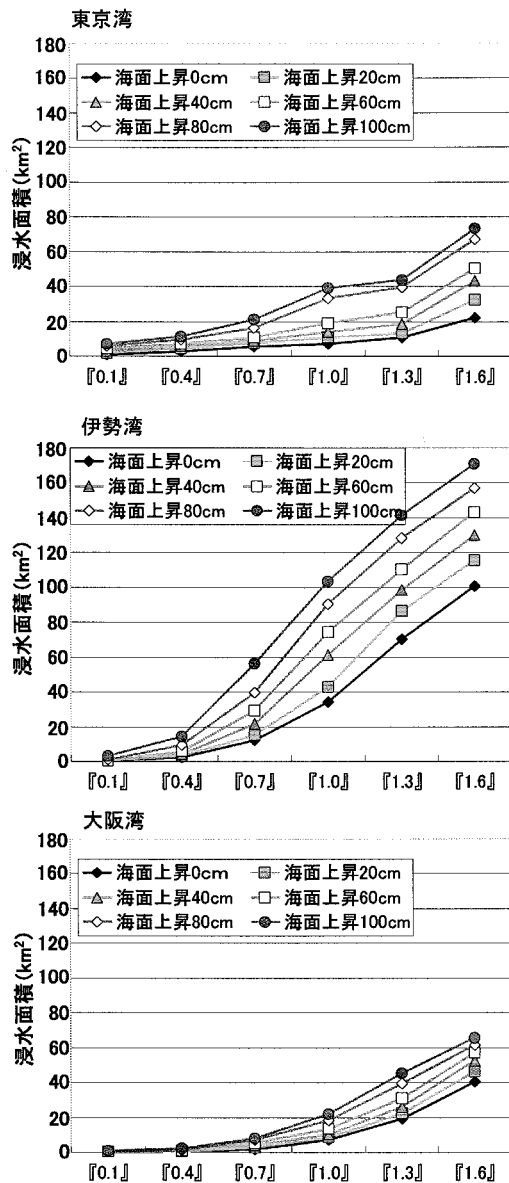


図-7 台風強度と海面上昇量の変化による浸水面積の変化

を評価するうえで有益な情報を得ることができる。

4. 高潮による浸水被害の推定

本研究で構築した高潮浸水モデルを用い、台風強度と海面上昇量を変化させた高潮浸水計算を多数行い、それらの結果から得られた被害額と被災人口をとりまとめ、グラフを作成した。

図-9 は三大湾奥部における被害額の推定結果を、図-10 は被災人口の推定結果をまとめたものである。各湾ともに、計画条件を超えたところから急に被害が大きくなる。被害額は、各湾の高潮防護水準および資産分布の影響を受けて傾向に差がみられ、大阪湾の被害額が東京湾、伊勢湾より大きくなっている。その傾向は浸水面積の傾向と異なるものである。東京湾は台風強度が 1.3 を超えると被害が急に拡大する。さらに、高潮防護施設が機能しない場合の被害（図-8）と比較すると、高潮防護施設が機能するという条件の下では、最大ケース（台風強度 1.6 倍、海面上昇 1.0m）の場合でも、被害は高潮防護施設が機能しない場合よりかなり小さく、施設の防護効果が現れているとみることができる。特に、東京湾および伊勢湾で防護効果が大きいことが分かる。

5. おわりに

高潮による越流と高波による越波を考慮した高潮浸水シミュレーションにより、三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）奥部の高潮浸水被害の予測を行った。そして、それらの結果を整理し、台風強度と海面上昇量を変化させた場合に浸水面積、浸水人口、浸水被害額がどれだけの値になるかを示すグラフを作成した。それらにより台風の強大化や海面上昇の程度の違いによって浸水被害がどれだけ異なるかを把握することができた。また、高潮防護施設が機能しない場合の被害想定と比較することで、防護施設の効果を計測することが可能であることを示した。これらの結果を使うことにより、多様な想定条件下の高

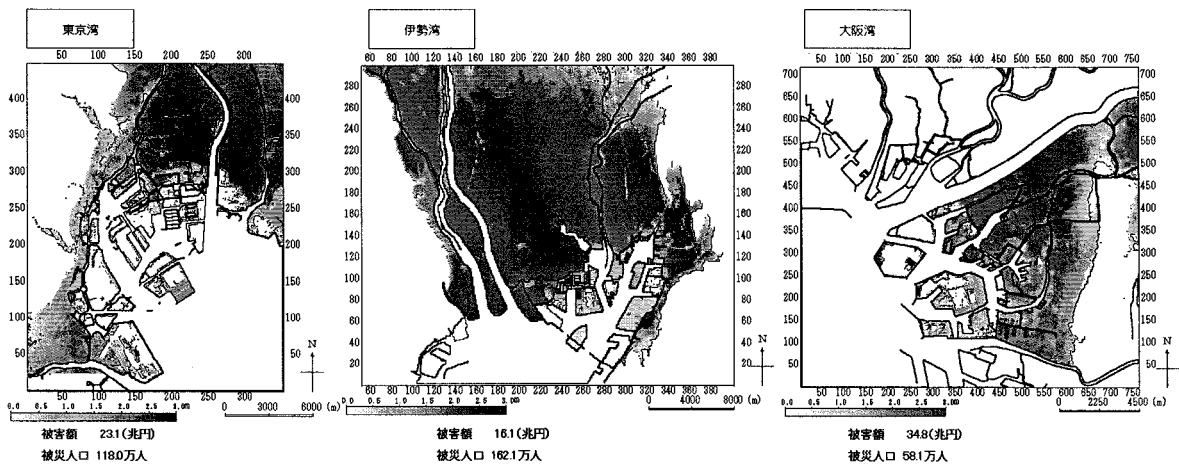


図-8 高潮防護施設が機能しない場合の高潮浸水深、被害額および被災人口

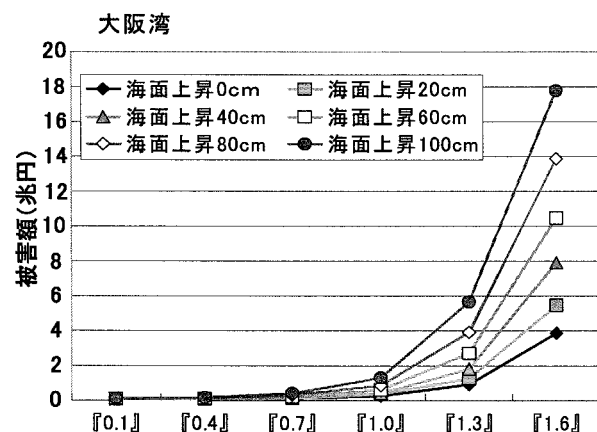
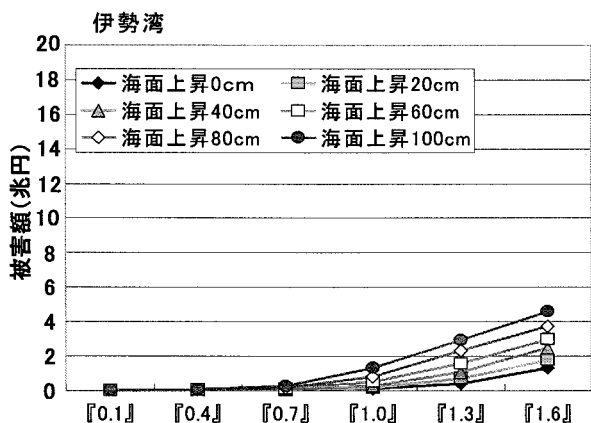
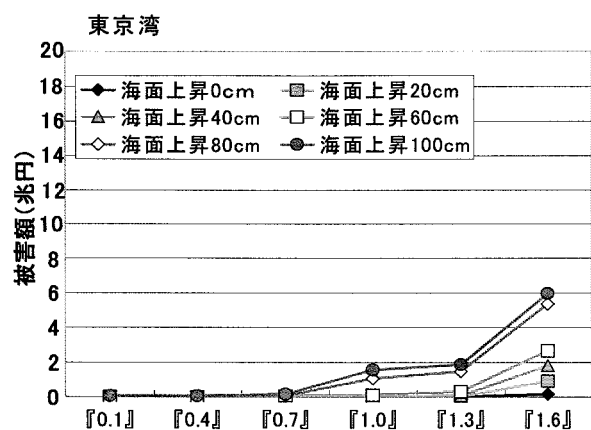


図-9 台風強度、海面上昇量と高潮浸水被害額

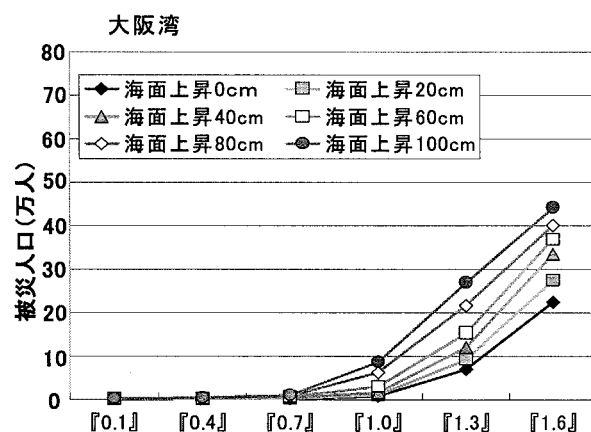
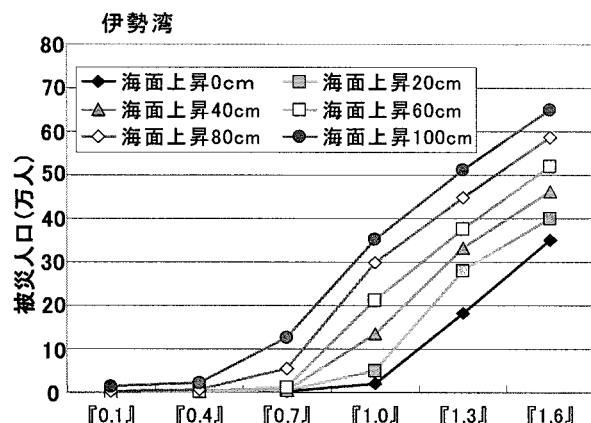
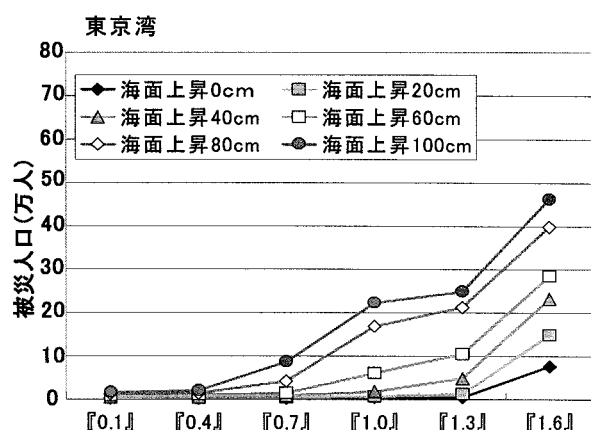


図-10 台風強度、海面上昇量と高潮浸水による被災人口

潮浸水被害と高潮防護施設の防護効果を簡易に推定することが可能になった。

謝辞：本文は、環境省地球環境推進研究（S-4）（H18-H21）の一環として行われた研究の一部をまとめたものである。本研究の遂行に際し協力をいただいた方々に深く感謝する。

参考文献

- 1) Alley, B. R. et al: "Summary for Policymakers: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", 18p, IPCC, 2007.

- 2) 鈴木武：三大湾奥部における温暖化による高潮浸水領域の変化の予測，地球環境シンポジウム講演論文集，Vol.15，土木学会，pp.167-170，2007.
- 3) 柴木秀之・渡辺晃：密度成層とWave Setupを考慮した多層高潮推算に関する研究，土木学会論文集，No.719/II-61，pp.47-66，2002.
- 4) 岩崎敏夫・真野明：オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算，海岸工学講演会論文集，Vol.26，土木学会，pp.70-74，1979.
- 5) 土木学会編：水理公式集 昭和60年度版，土木学会，pp.287-288，1985.
- 6) 合田良實：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，pp.118-125，1975.