

## B-12 海面上昇の総合的影響評価と適応策に関する研究

### (3) 脆弱性評価指標と脆弱性マップに関する研究

#### ② GISによる脆弱性マップの作成に関する研究

#### 国土交通省国土地理院

地理調査部 環境地理課

中島秀敏・内川講二・安藤久満・大塚 力

清水雅行・山根清一

防災地理課

丹羽俊二

測図部 地形課

関口民雄・羽生 栄

地理情報部

吉川正幸

茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター

三村信男・横木裕宗

名城大学 都市情報学部

大野栄治

平成12～14年度合計予算額 15,898千円

(うち、平成14年度予算額 5,061千円)

**【要旨】** GISを用いた海面上昇による沿岸域の脆弱性マップを作成するため、これまでに得られた地理情報（標高、水深、行政界、潮汐、台風など）と、社会経済系の要素として人口の他、道路、鉄道、航空施設および送電線、電話線などのユーティリティ施設データを収集・統合し、アジア・太平洋地域の地理情報データベースとして構築した。さらに、アジア・太平洋地域の自然環境データとしてサンゴ礁・マングローブについてもデータベースを構築した。これらのデータに基づき海面上昇が社会経済系および自然環境にどのような影響を及ぼすか把握したところ、カンベイ湾（インド）、ガンジス川河口（バングラデシュ）、ヤンゴン、チャオプラヤ川河口（タイ）、メコン川河口、マレー半島南部（シンガポール）、スマトラ島東海岸、ボルネオ島、ニューギニア島イリアンジャ南部、カーペンタリア湾（オーストラリア）、長江河口、日本では伊勢湾北部、東京湾北部などで大規模な水没が発生する可能性があることがわかった。

次に、これらのうちチャオプラヤ川河口において5万分1地形図を元に数値標高モデルを作成しGTOP030（約1kmメッシュ精度）と比較したところ、今回整備したモデルでは、GTOP030では読みとることが困難な3-5mの微高地が確認でき、低平地の脆弱性を高精度で評価するためには5万分1地形図から作成する数値標高モデルが有効であることがわかった。

さらに、沿岸域の海面上昇により水没する環境資源の経済的価値を評価するモデルを構築し、国内において実施したアンケート調査に基づき分析を行い、沿岸域の環境価値を評価した。

**【キーワード】** 脆弱性マップ、GIS、自然災害、数値標高モデル、経済評価

## 1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル（以下、IPCCとする）ワーキンググループIの第三次評価報告

書「政策決定者のための概要」によると、20世紀を通じて平均気温は $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 上昇し、1990年から2100年までの間に $1.4 \sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 上昇すると予測されている。また、この平均気温の上昇に伴う海面上昇は、 $0.09 \sim 0.88\text{m}$ であると見積られている<sup>1)</sup>。

地域の脆弱性は、気候の温暖化に伴う海面上昇による海岸侵食、地下水の塩水化などの自然現象として現れ、その結果として沿岸域の生物多様性の消失や社会資本の消失と言う影響を与える。

従来作成されているハザードマップは、現象（災害）が発生した際に影響（被害）が及ぶと予測した範囲を記述したものであり、脆弱性（社会・経済的にどのような影響があるか、また、その度合い）の評価と分布を記述したものは少ない。このため、本研究では海面上昇がもたらす社会・経済的な影響についての解析を行うとともに、地球温暖化に対する沿岸域の脆弱性を評価できる手法の開発に関する研究を行う。また、GISを用いた脆弱性マップの作成を行うことで脆弱地域の特定を試みるほか、特定された各地域においてより詳細に影響評価を行うための検討を行う。

## 2. 研究目的

本研究では、地球温暖化によって生じる海面上昇がアジア・太平洋地域の沿岸域に及ぼす種々の影響の大きさを事前に把握し、各々の地域の取るべき適応策を検討するための基本情報として、海面上昇に対する沿岸域の脆弱性評価を行い、脆弱性評価に基づく脆弱性マップの作成を通して地域の特定を試みることにより、今後の温暖化対策の推進に資することを目的としている。

## 3. 研究方法

### (1) 脆弱性評価と脆弱性マップの作成

#### ① 脆弱性評価の考え方

海面上昇・気候変動に対する沿岸域の脆弱性評価手法については、基本的枠組みをIPCCの影響伝搬フローにならい、地球温暖化に伴う外力（海面上昇・気候変動）、物理的環境の変化（一次影響；低沿岸域の水没・氾濫など）、さらに沿岸域システムへの影響（二次影響；人間の居住や生活・自然生態系・経済系など）の三段階とした。

#### ② 外力の統合

本研究では、設計水位として平均海面の上昇に加えて潮汐、高潮を考慮し、これら全ての要素を高さの単位[m]で統合した。

標高は一般に平均海面上の高さで表現されるため、これを外力による過高偏差の基準面とした。平均海面の上昇による過高偏差は、単純に上昇値が過高偏差分に相当する。潮汐

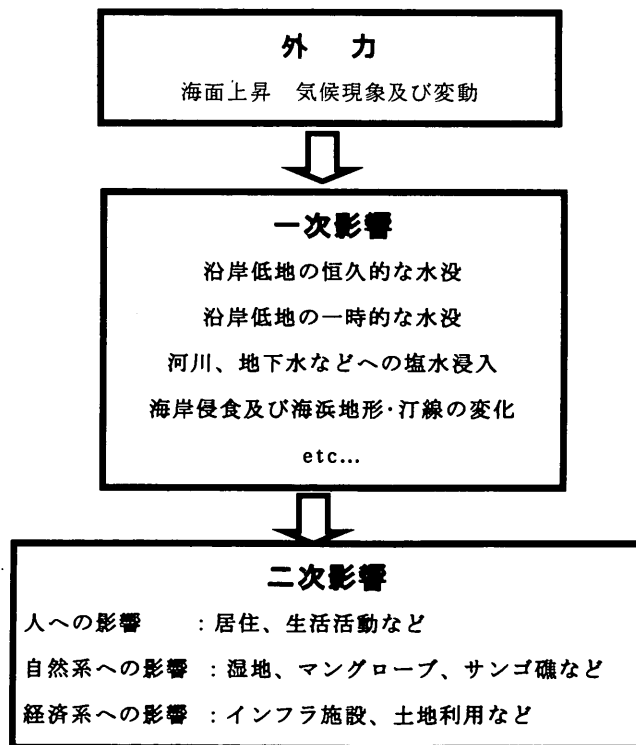


図 3-2-1 地球温暖化による沿岸域への影響伝播に関する概念図

の高さは、基本水準面(略最低低潮面)上の高さで表現されるため、この値から標高の基準面(平均海面)までの高さを減じることで潮汐の過高偏差(潮汐偏差)を算出した。また、一般に高潮の高さは任意の海面上の高さで表現されるため、その高さそのものが高潮の過高偏差(高潮偏差)に相当する。これらの考え方に基づいて設計された水位は、以上の要素(平均海面の上昇、潮汐偏差、高潮偏差)の総和によって求められる。

本研究では、一次影響として水没に着目した。水没の外力としては、平均海面の上昇、潮汐、高潮、地盤沈下、津波などがあるが、本研究では平均海面の上昇、潮汐、高潮の3つについて対象とした。潮汐や高潮が従来どおりの現象(地球温暖化の影響を加味しない状態)であっても、平均海面の上昇が起こり水面レベルが高くなった場合には、これらの影響が顕著に現れることに注意したい。外力を上述の3つに設定した場合、この外力の中で高潮のみが確率的で短時間の(一時的な)影響である。これらの特性を考慮し、一次影響で着目した水没減少を潮汐のみの外力を考慮した影響域として「潮汐の浸水」、高潮以外の外力を考慮した影響域として「恒久的な水没」、高潮を含む全て(3つ)の外力を考慮した影響域として「一時的な氾濫」の3つに大別した。ただし、「潮汐の浸水」、「恒久的な水没」、「一時的な氾濫」とはあくまでも標高に依存する評価のものであり、堤防等の構造物による影響を計算されていないものである。

### ③ 地球環境情報

海面上昇の影響評価を行うにあたって、使用したデータを表3-2-1に示す。

表3-2-1 使用データ一覧

構成要素	データ名称	作成期間及びソース	年次	精度	範囲
海面上昇値	Implication for Climate and Level of Revised IPCC Emissions	IPCC	1992	全球平均	全球規模
標高	GTOPO30	EROS Data Centreが管理	1993	30秒メッシュ	全球規模
水深	ETOPO5	米国NGDC	updated1998	5分メッシュ	全球規模
行政界	Nations World Political Boundaries	CERL(Global GRASS1)	1982	4.8分メッシュ	全球規模
潮汐	Admiralty Tide Tables Volume1~4	THE UNITEDKINGDOM HYDROGRAPHIC OFFICE	過去の知見に基づいて得られた予測値(2001)	観測点データ	全球規模
台風	World-Wide Consolidated Tropical Cyclone Data	NOAA	1842~1989	観測点データ	全球規模
人口	Gridded Population of the World v2	NGCIA,CIESIN	updated 1999~2000	2.5分メッシュ	ほぼ全球規模
人口増加率	世界人口長期推計 1990~2150	世界銀行・編	1994~95		全球規模
インフラ施設	Digital Chart of the World	ESRI		ベクター	全球規模
マングローブ	MANGROVES V3	UNEP-WCMC	1998	ベクター	全球規模
サンゴ礁	CORAL REEF GRID v6.1	UNEP-WCMC	2001	1000m	全球規模

#### ア. 標高

本研究では、米国地質調査所(U.S. Geological Survey;以下、USGSとする)のEROS(Earth Resources Observation System)Data Centerによって取りまとめられているGTOPO30を使用した。今回、30秒の解像度を持つGTOPO30を1分メッシュに平滑化して影響評価を行った。

#### イ. 海岸線

海岸線情報は沿岸域の脆弱性を評価するためのデータベース構築に必要な不可欠な要素である。

本研究では、GTOP030 から標高の存在する地域と海域との境界線を抽出し、海岸線に相当するデータを作成した。

#### ウ．行政界

本研究では、行政界データとして、Nations World Political Boundary を用いた。

#### エ．水深

米国海洋大気庁(National Oceanic and Atmospheric Administration;以下、NOAA とする)の NGDC (National Geophysical Data Center)により作成された ETOPO5 は、標高最大 7,833m、水深最大で-10,376m の範囲が 1 m 単位で表されている。本研究では、水深の部分を使用した。

水深データは高潮偏差を算出する過程で必要となる海岸線の平均スロープを算定するために使用した。各 5 分海岸線メッシュに対し、そのメッシュから「最短距離にある 100m 以上の深度地点までのスロープ」をその海岸線地点の平均スロープとして代表させた。従って、実際には着目海岸線地点からの最大(一番急な)スロープを表現しており、高潮に対する過小評価となりえることも考えられるので注意すべきである。

#### ④ 外力データ

##### ア．平均海面上昇

2100 年までの全球平均海面上昇値として、IPCC 第 3 次報告書を参考に 9cm、50cm、88cm、1m のそれぞれ仮定し、解析に用いた。

##### イ．潮汐

本研究では沿岸影響の外力として潮汐を考慮するために全球規模の潮汐データを調査した。全球規模をカバーしつつデジタル形式で整備されている潮汐のデータは、英国海軍水路部(United Kingdom Hydrographic Office;以下、UKHO とする)が作成した潮汐予測プログラム Total Tide がある。本研究では潮汐による過去最高偏差成分のみが必要となるため Total Tide のアルゴリズムを利用して、Total Tide と同様に UKHO が各年出版している非デジタルデータである Admiralty Tide Tables の 2001 年版を使用した。

##### ウ．高潮および台風

台風は熱帯の海洋上で発生・発達するため、航空機観測や気象衛星が登場するまでは正確な観測が困難であった。しかし、それ以前からの観測記録の残っている世界の台風情報は、NOAA がとりまとめており、最大で 147 年間のデータが存在する。本研究では World-Wide Consolidated Tropical Cyclone Data Set 内の台風データの風速分布や気圧分布などの情報から高潮のデータを作成した。この台風データは概ね 6 つに区分けされた海洋ごとに、12 時間おきに観測された観測時間・観測経緯度・最大風速などの台風(熱帯低気圧)に関する情報が格納されている。

#### (7) 台風影響の算定(単位時間当たりの接近頻度や継続時間)

台風による影響は、風速、風力、単位期間あたり接近頻度(300km 以内に近づく回数)、継続時

間、あるいは間接的には高潮の影響も考慮する必要がある。実際に算定した台風の影響は大きく分けて二つあり、一つは上に挙げた単位期間あたりの接近頻度や継続時間等、もう一つは既往(147年間)最大風速・気圧分布である。

「単位時間当たりの接近頻度や継続時間等」に関しては高潮偏差の推算には直接用いないものの、台風自体のリスクを多面的に解析するために以下に示す式(3-2-1)に従ってその影響量・影響力を算出した。式(3-2-1)は、台風のトータル影響リスクを各地点における風速とその継続時間並びに来襲頻度の重ね合わせで表現している。影響(量)は風速の関数として取り決め、風速そのもの(風速一乗)を用いて考える場合と、風力(風速二乗)を用いて考える場合の2パターンを算定した。

$$R_{total} = \sum_{年} \{ R_{min}(windspeed) [m/min] \times ST [min/times] \times NT [times/year] \} \quad (3-2-1)$$

- R<sub>min</sub>: 1分間あたりの平均影響
- ST: 台風1回あたりの平均継続時間
- NT: 1年間あたりの平均台風接近頻度
- R<sub>min</sub> × ST: 台風1回あたりの平均影響
- ST × NT: 1年間あたりの平均台風継続時間
- R<sub>min</sub> × ST × NT: 台風のトータル影響

(イ)高潮偏差の推定

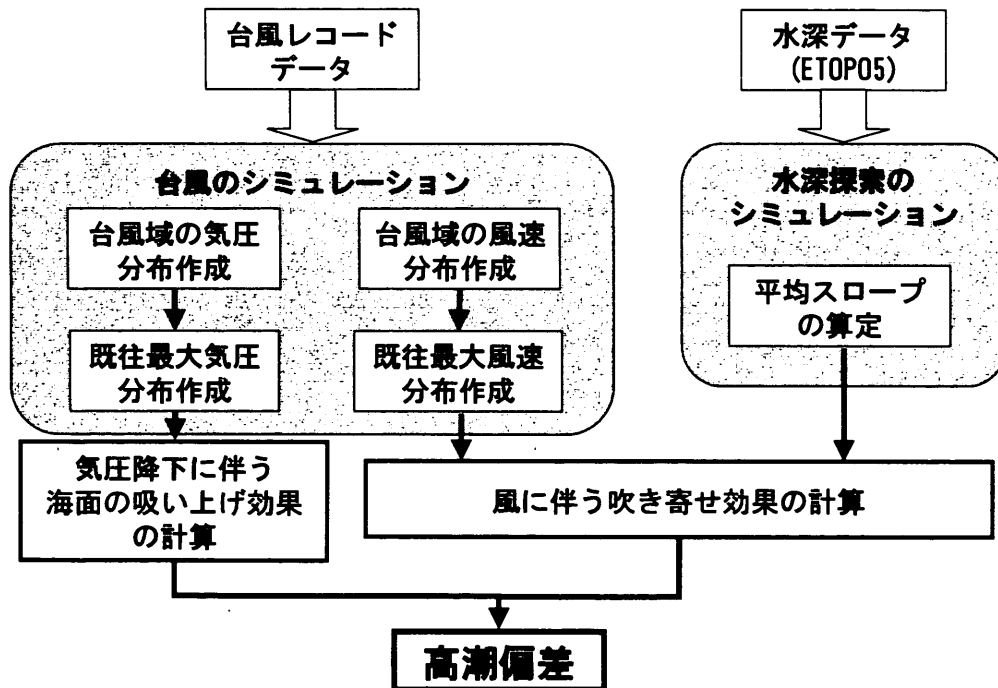


図 3-2-2 高潮偏差の推算フロー

台風記録データ、台風シミュレーション及び水深データから海岸線沿いの高潮偏差を計算した。台風記録データには、台風強度の指標として最大風速の情報しか含まれていない。つまり、最低(中心)気圧や台風の規模といった情報は含まれていない。従って、再現性の高い高潮

偏差の推算には台風をモデル化し、最大風速だけの数値から気圧分布や風速分布を作成する必要がある。そこで、計算に必要な台風進行速度や台風進行方向、経緯度、最大風速のデータを用いて、最大風速の発生する中心からの距離情報を概算した。

台風は気圧の著しい低下と強い風で特徴付けられ、等圧線はほぼ同心円状をなす。台風内の風は、大きな気圧傾度によって生ずる傾度風が主体で、台風内の気圧分布から風速を計算することができる。ここでは気圧分布は Meyer の式(式(3-2-2))に従うこととした。

$$p = p_c + \Delta p \cdot e^{\left(\frac{-r_0}{r}\right)} \quad (3-2-2)$$

- $P_c$  : 台風の中心気圧
- $\Delta P$  : 台風外側と  $P_c$  との差
- $r_0$  : 台風中心からほぼ最大風速までの距離
- $r$  : 台風中心からの距離

この気圧傾度に基づいて起こる傾度風の風速分布は式(3-2-3)に示される。傾度風は等圧線に対する半径方向に関してのみ変化する(同心円状をなす)ため、台風内において同一気圧上では同じ風速をとることになる。こうした傾度風の風速分布は、「中心緯度」、「台風外側と中心気圧との差」、「台風中心からほぼ最大風速までの距離」などによって定義される。

$$U_{gr} = \sqrt{(r\Omega \sin\phi)^2 + \frac{\Delta p r_0}{\rho r} e^{\left(\frac{-r_0}{r}\right)} - r\Omega \sin\phi} \equiv F(r) \quad (3-2-3)$$

- $\Omega$  : 地球自転の角速度=7.29×10<sup>-5</sup>[1/s]
- $\phi$  : 中心緯度
- $\rho$  : 空気の密度=1.1×10<sup>-3</sup>[g/cm<sup>3</sup>]
- $U_{gr}$  : 傾度風の風速

$U_{gr}$  は気圧傾度に基づく理論(理想)的風速であり、台風が静止しているときの実際の海上風は地球表面との摩擦によって減衰すると共に風向も等圧線とある角度をなす。これら傾度風と海上風(中心対象風とも言う)との関係(風速比、等圧接線となす角)は、緯度や気圧配置、気温と水温の温度差などによって異なり、統計的解析から表 3-2-2 に示す関係が提起されている。

表 3-2-2 海上風(中心対称風)と傾度風の関係

緯度 $\phi$ [°]	角度 $\alpha$ [°]	風速比 $U_{10}/U_{gr}$
10	24	0.51
20	20	0.6
30	18	0.64
40	17	0.67
50	15	0.7

一方、実際の台風は時速数十 km で移動するので、風速分布もこの影響を受ける。例えば北半球では、台風の右側では台風の移動方向と海上風(中心対称風)の風向が同じ向きであるため風が強まり、台風の左側では逆のことが起こる。台風の移動によって生ずる風の成分は「場の風」

と呼ばれるが、この性質は十分には解っていない。

台風による高潮や台風内の波の計算では、

- 1) 場の風は台風の進行方向と同じ方向に吹く
- 2) 場の風の速度は傾度風速及び台風の進行速度に比例
- 3) 場の風の速度最大値と台風の進行速度との比は1よりも小さい定数である

と仮定した。場の風  $U_2$  を式(3-2-4)に示した。また、傾度風と海上風(中心対称風)並びに上記の場の風と合成風についてベクトルで示した。

$$U_2 = C_2 \frac{V}{C_1 F(r_0)} U_1 \quad (3-2-4)$$

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| { | $C_1, C_2$ : 定数(風速比に基づく) |
|   | $V$ : 台風の進行速度            |
|   | $U_1$ : 海上風(中心対称風)       |
|   | $U_2$ : 場の風              |

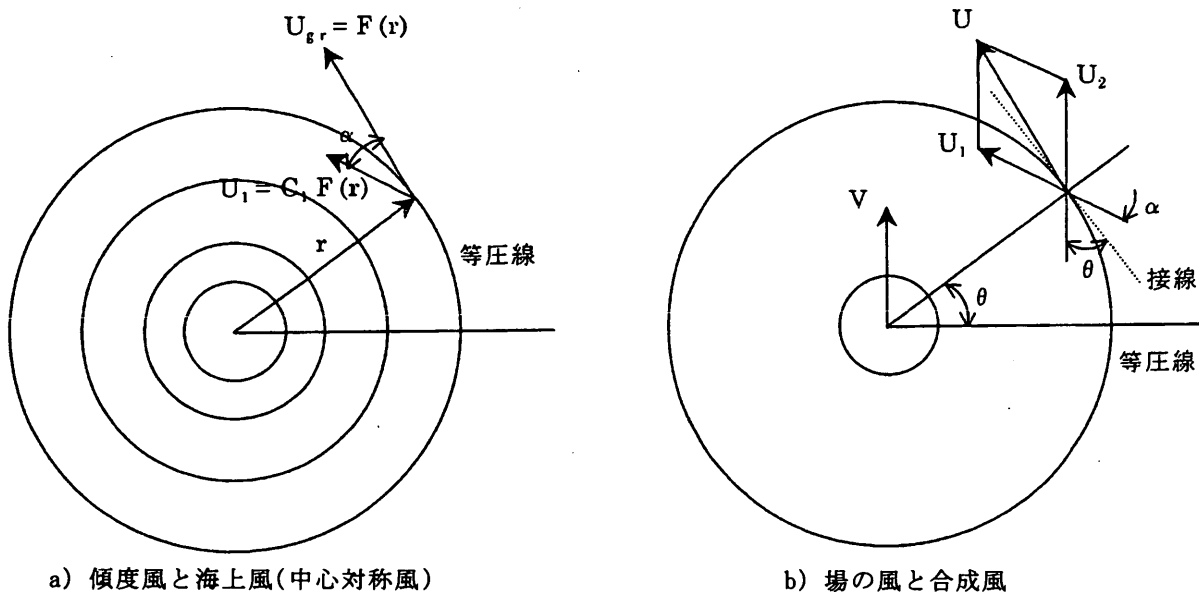


図 3-2-3 台風内の風合成

台風の移動速度を考慮に入れた合成風速  $U$  は、式(3-2-5)に示される。この合成風速  $U$  が海面及び地表面の受ける風である。

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \cos(\pi - \alpha - \theta)}$$

式(3-2-3)より

$$= U_1 \sqrt{1 + \left(\frac{C_2}{C_1} M\right)^2 - 2 \frac{C_2}{C_1} M \cos(\pi - \alpha - \theta)} \quad (3-2-5)$$

$$\text{但し、 } M = \frac{V}{F(r_0)}$$

個々の地域における既往最大気圧および風速分布を最大風速、台風の震央速度、進行方向の情報から求めるため、以下の仮定を設定した。

1) 海上風と傾度風には一定関係がある

2) 台風中心から最大風速までの距離  $r_0$  は最大風速によって決まる。つまり  $r_0$  は台風発生から経過時間に従って変動し、台風の発達・強まりと共に最大風速の位置が台風中心に近づき、逆に台風の衰退・弱まりと共に最大風速の位置が台風中心から離れていく

3) 台風域外気圧は 1 気圧(1013[hPa])である

ここで得られた、既往最大風速分布、最大気圧分布を用いて各海岸線上における高潮偏差を計算した。

### ⑤一次影響評価

本研究では、一次影響とは外力が沿岸地形(標高)に及ぼす物理的な影響を指し、設計された水位に対して水の浸入に対する水没影響とした。本研究では一次影響の評価項目を「潮汐の浸水」、「恒久的な水没」、「一時的な氾濫」とし、特に「恒久的な水没」と「一時的な氾濫」についてアジア・太平洋地域で評価を試みた。2100 年までの全球平均海面上昇値としては、9 cm、50cm、88cm、1 m のそれぞれの海面上昇に対する影響評価を行った。

1) 潮汐の浸水 : 設計水位 = 潮汐

2) 恒久的な水没 : 設計水位 = 潮汐 + 平均海面の上昇

3) 一時的な氾濫 : 設計水位 = 潮汐 + 平均海面の上昇 + 高潮

外力(設計水位)に対する水没域の抽出は、水没するメッシュを探索する浸水シミュレーションによって行った。

水没地域は、各海岸線に与えられた設計水位が標高に対してどの地点まで浸水するか探索するアルゴリズムを適用し、セル値として浸水させる設計水位を与えることで作成した。

図 3-2-4 に示した浸水探索の例では、

①～④のサンプル開始地点からの浸

水方向を示している。探索は、水没するメッシュの左に当たるメッシュから右回りに行き、次ステップで選定されたメッシュを対象を移動し、これを水没メッシュとして同様の右回り探索を行うことを繰り返す方法で行った。

この探索により作成される水没域は、回折して浸水するようなパターン表現が可能であり、これまで課題であった内陸低地(盆地など)への浸水を防ぐことができる点から、より現実性の高いものになる。しかしながら、現段階では標高と設計水位のみに依存し、防潮堤等人為的、ある

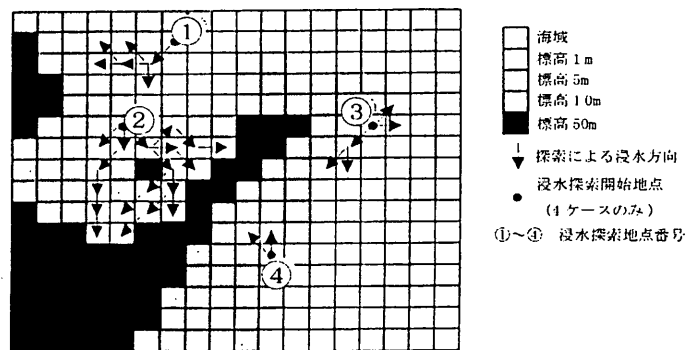


図 3-2-4 浸水探索の概略図  
(設計水位が 1m 以上 5m 未満と仮定)



いは自然的適応力等は考慮していない。従って、この抽出方法はあくまで概念的な水没域の算出を行うものである。この水没メッシュの探索処理を対象領域全ての海岸線メッシュに適用することで水没域の抽出を行った。

## ⑥二次影響

二次影響は、一次影響で得られた地域において、人間の居住、自然生態系、経済系ということで人口、道路、鉄道、航空施設、ユーティリティ(送電線等)、マングローブへの影響を把握した。

### (2) 数値標高モデルの評価

沿岸域は海面上昇と台風などにより洪水・高潮の影響を強く受けやすいことから、脆弱性評価においては海面上昇による水没域の把握などのための詳細な数値標高モデルが特に重要となる。広域を対象とした数値標高モデルは、GTOP030(30秒アーク全球標高データ)、国単位では地球地図(Global Map)、Thailand on a DISC、地域単位では、数値地図50mメッシュ(標高)をそれぞれ収集した。これらのうち数値標高モデルでUSGSの整備するGTOP030は約1km×1kmで区画され、標高値1m間隔で整備されているものの、地域により複数のデータ源から構成されていることから、精度も元データに依存するものとなっている。この問題を解決すべく整備が進められている地球地図も現時点ではデータ公開されているのは12ヶ国のみである(2003年6月現在)。また、タイ環境研究所が整備したThailand on a DISKは25万分1地勢図の100m等高線から作成されている。これらを用いた沿岸域における影響評価の精度を検討するため、タイ国チャオプラヤ川河口周辺をモデル地域として、平成9～11年度に開発したGISによる数値標高モデル推定手法<sup>2)</sup>を用いて、既存の1/5万地形図データ、基準点データ等をもとに地盤高データの作成を行うとともに、脆弱性評価のためのデータベースとして統合した。

### (3) 環境経済評価

環境経済評価は、海面上昇によって水没する土地利用の分布から海面上昇に対する脆弱性を評価する手法を開発することとした。そこで、事例研究として伊勢湾地域を取り上げ、海面上昇に対する市場経済面での脆弱性マップとして、海面上昇1mおよび5m(海面上昇1m+高潮時と仮定)によって水没する用途別土地利用分布図と産業別生産額分布図を作成するとともに、用途別土地資産損失額と産業別生産損失額を推計した。また、環境経済面での脆弱性を把握するために、海面上昇による環境被害額を海岸からの距離の関数で計測するモデルを構築した。

#### ①海面上昇によって水没する用途別土地利用分布図の作成方法

GISによって伊勢湾地域の数値標高モデル「数値地図50mメッシュ(標高)」と土地利用データ「1/10細分区画土地利用データ」を重ね合わせることにより、海面上昇1mおよび5mによって水没する用途別土地利用分布図を作成した。ここで、数値標高モデルは50mメッシュの数値地図であるのに対して、1/10細分区画土地利用データは100mメッシュの数値地図であるため、土地利用データの1メッシュには4箇所の数値標高モデルが存在する。本研究では、100mメッシュ内にある4箇所の数値標高モデルのうち少なくとも1箇所が1m(あるいは5m)未満であれば、当該100mメッシュは海面上昇1m(あるいは5m)によって水没するものと仮定し、当該100

mメッシュ内の損失面積を計測し、それに各土地利用の経済価値の原単位を掛け合わせて損失額を算出した。

### ②海面上昇によって水没する産業別生産額分布図の作成方法

愛知県・岐阜県・三重県の産業連関表を用いて産業別に従業者一人あたりの生産額を算出し、これを従業者ベースで表された数値地図「事業所・企業統計データ」に掛け合わせることで生産額ベースの数値地図を作成した。そして、GISによってこのデータと数値標高モデル「数値地図 50mメッシュ（標高）」を重ね合わせることで、海面上昇1mおよび5mによって水没する産業別生産額分布図を作成した。

ここで、数値標高モデルは50mメッシュの数値地図であるのに対して、産業データは1kmメッシュの数値地図であるため、産業データの1メッシュには400箇所の数値標高モデルが存在する。本研究では、1kmメッシュ内にある400箇所の数値標高モデルのうち少なくとも1箇所が1m（あるいは5m）未満であれば、当該1kmメッシュは海面上昇1m（あるいは5m）によって水没するものと仮定し、当該1kmメッシュ内の生産額を海面上昇による生産損失額として計上した。また、産業は、農林水産業、鉱業、製造業、建設業、電力・ガス・水道業、商業、金融・保険業、不動産業、運輸業、通信・放送業、公務、サービス業の12部門に分類した。

### ③海面上昇による環境被害額を海岸からの距離の関数で計測するモデルの構築

はじめに個人の効用関数を以下のように4つのモデルで設定した。モデル1およびモデル2は伝統的なCVMモデルに距離変数を導入したモデル、モデル3およびモデル4は環境価値を5に分けた上で距離変数を導入したモデルである。なお、距離変数の形については、推定パラメータのt値、推定モデルの適中率、評価結果の符号条件（正の評価値を示すこと）などの点から、不都合な点が最も少ない2次形を採用した。

$$\text{【モデル1】 } V = (\alpha + \beta \cdot q^2)z + \gamma \cdot p \quad (3-2-6)$$

$$\text{【モデル2】 } V = (\alpha + \beta \cdot q^2)z + (\gamma + \delta \cdot t)w \quad (3-2-7)$$

$$\text{【モデル3】 } V = \left( \sum_{k=1}^5 (\alpha_k + \beta_k q^2) x_k \right) z + \gamma \cdot p \quad (3-2-8)$$

$$\text{【モデル4】 } V = \left( \sum_{k=1}^5 (\alpha_k + \beta_k q^2) x_k \right) z + (\gamma + \delta \cdot t)w \quad (3-2-9)$$

$V$  : 沿岸域の環境政策に対する家計の部分効用  
 $z$  : 環境災害防御策ダミー（防御策あり=1、防御策なし=0）  
 $x_k$  :  $k$ 番目の環境価値に対する認識度  
           非常に感じる=1.0  
           かなり感じる=0.75

- 普通に感じる=0.5
- 少し感じる=0.25
- 全く感じない=0.0
- $k=1$  : 利用価値
- $k=2$  : 随意価値
- $k=3$  : 遺贈価値
- $k=4$  : 代位価値
- $k=5$  : 存在価値
- $q$  : 海岸からの距離 [km]
- $p$  : 負担金 [円]
- $w$  : ボランティア活動 [日]
- $t$  : 交通費用 [円/日]
- $\alpha, \beta, \gamma$  : 未知のパラメータ

ここで、交通費用  $t$  は海岸でのボランティア活動に参加するための自宅と現地との往復費用を意味する。なお、交通時間については、ボランティア活動時間の一部であると考え、これを費用換算して交通費用に加えることはしなかった。

次に、環境災害防御策  $z$  の単位変化に対する負担金  $p$  およびボランティア活動  $w$  の単位変化の割合は以下ようになる。

$$\text{【モデル 1】} \quad \frac{dp}{dz} = -\frac{\alpha + \beta \cdot q^2}{\gamma} \quad (3-2-10)$$

$$\text{【モデル 2】} \quad \frac{dw}{dz} = -\frac{\alpha + \beta \cdot q^2}{\gamma + \delta \cdot t} \quad (3-2-11)$$

$$\text{【モデル 3】} \quad \frac{dp}{dz} = -\sum_{k=1}^5 \frac{(\alpha_k + \beta_k q^2) x_k}{\gamma} \quad (3-2-12)$$

$$\text{【モデル 4】} \quad \frac{dw}{dz} = -\sum_{k=1}^5 \frac{(\alpha_k + \beta_k q^2) x_k}{\gamma + \delta \cdot t} \quad (3-2-13)$$

式(3-2-10)～式(3-2-13)は沿岸域管理に対する家計の限界的な支払意思額にほかならない。さらに、式(3-2-12)および式(3-2-13)については、その値が沿岸域管理によって実現される各環境価値の合計で与えられることを示している。すなわち、各環境価値は次式で与えられる。

$$\text{【モデル 3】} \quad M_k = -\frac{(\alpha_k + \beta_k q^2) x_k}{\gamma} \quad (3-2-14)$$

【モデル 4】 
$$M_k = -\frac{(\alpha_k + \beta_k q^2)x_k}{\gamma + \delta \cdot t} \quad (3-2-15)$$

ただし、 $M_k$  :  $k$  番目の環境価値。

そして、式(3-2-6)～式(3-2-9)の効用関数のパラメータを推定するために、本研究で実施したアンケート調査によるデータを用いた。

#### 4. 結果・考察

##### (1) 脆弱性評価と脆弱性マップの作成

###### ①一次影響評価

陸域の水没(土地の消失)という現象は、海面上昇の影響の中でも最も深刻な影響であり、特に国土面積の小さな島々や開発途上国、あるいは沿岸大都市に多大な被害を及ぼすと懸念される。水没域の抽出は、社会基盤の被害を算定する上でのベースになり、評価を行

表 3-2-3 アジア・太平洋地域の水没面積  
(海面上昇+潮汐)

海面上昇[m]	面積[km <sup>2</sup> ]	割合[%]
0	241,672	0.97
0.09	263,936	1.06
0.5	378,305	1.52
0.88	419,137	1.69
1	421,762	1.70

表 3-2-4 世界全体の水没面積  
(海面上昇+潮汐)

海面上昇[m]	面積[km <sup>2</sup> ]	割合[%]
0	623,922	0.46
0.09	666,560	0.50
0.5	954,436	0.71
0.88	1,218,683	0.91
1	1,256,416	0.94

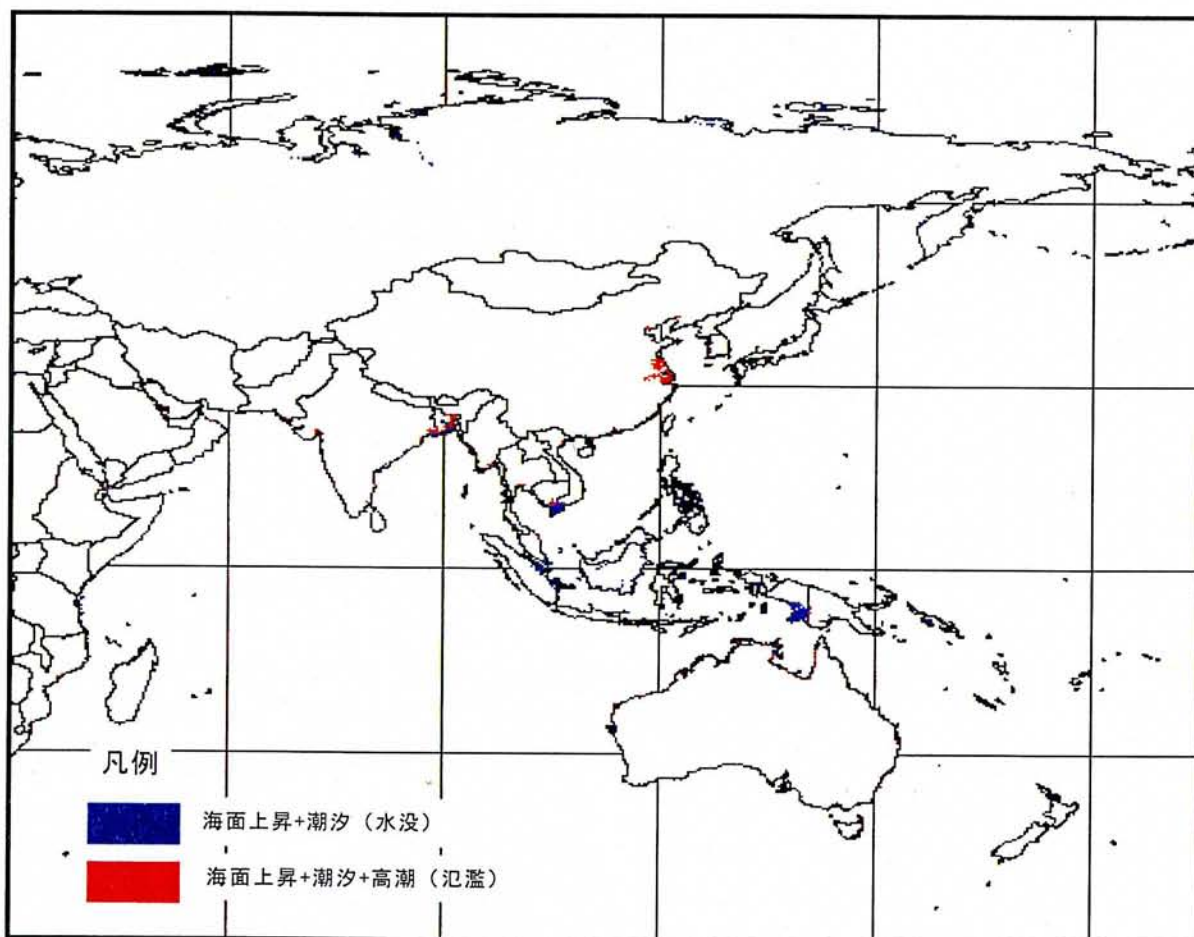


図 3-2-5 アジア太平洋地域脆弱性マップ(一次影響地域：水没と氾濫)



う上で基本的な情報となる。アジア・太平洋地域の水没と氾濫の面積を表 3-2-3、世界全体の氾濫の面積を表 3-2-4、各国の氾濫の面積を表 3-2-5 に示す。アジア・太平洋地域の脆弱性マップを図 3-2-5、東南アジアの水没と氾濫を図 3-2-6 に示す。アジア・太平洋地域において水没と氾濫の影響の大きい地域は、カンベイ湾（インド）、ガンジス川河口（バングラデシュ）、ヤンゴン、チャオプラヤ川河口（タイ）、メコン川河口、マレー半島南部（シンガポール）、スマトラ島東海岸、ボルネオ島、ニューギニア島イリアンジャ南部、カーペンタリア湾（オーストラリア）、長江河口、日本では伊勢湾北部、東京湾北部などになる。

また、全世界の沿岸域を対象に海面上昇の影響範囲を計算し、アジア・太平洋地域との比較を行った。その結果、海面が 1 m 上昇すると仮定して計算した場合、世界全体での水没範囲は全陸域の 0.97% なのに対しアジア・太平洋地域は 1.70% にも及ぶ。

②二次影響評価

二次影響の評価では、一次影響の水没や氾濫で影響のある地域の人口、自然、経済への影響について算出した。

ここでは、現在直ちに海面上昇が生じた場合に影響を受ける人口を潜在的危険人口と定義し、1995 年時の人口分布データを水没域データとオーバーレイさせることにより基準となる危険人口を算出した。また、将来危険人口の評価は、人口増加シナリオを適用した人口を用いて行った。危険人口は、潜在的危険人口と同様に一次影響域のデータと将来人口分布のデータとのオーバーレイ解析によって算定し、危険人口、総人口に対する危険人口割合、影響域平均人口密度を世界全域で推算した。アジア・太平洋地域の人口への影響を表 3-2-6、全世界の人口への影響を表 3-2-7 に示す。現在（1995 年値）においても一次影響と同様、アジア太平洋地域の潜在的危険人口比が高いが、2100 年にはこの傾向はさらに強まり、危険人口比は全世界では 2.66% から 2.42% と微減するのに対し（総影響人口は増加）、アジア・太平洋地域では 2.42% から 4.25% にも上昇すると推算された（海面上昇

表 3-2-5 各国の水没と氾濫の面積

国・地域名	総面積 [km <sup>2</sup> ]	現在		2100年(1.0m海面上昇時)	
		水没面積 比率[%]	氾濫+高潮 比率[%]	水没面積 比率[%]	氾濫+高潮 比率[%]
中国	9,396,870	0.1	0.9	0.9	1.1
朝鮮民主主義人民共和国	120,801	1.2	2.0	2.3	2.9
大韓民国	100,020	2.3	3.8	3.0	4.4
日本	372,568	0.4	1.9	2.1	2.6
台湾	37,166	1.3	5.1	2.8	5.8
フィリピン	300,408	0.1	3.3	3.0	3.8
ベトナム	350,301	8.1	13.2	11.5	13.6
カンボジア	175,979	0.1	3.3	0.9	3.6
マレーシア	344,366	3.5	6.0	6.3	6.8
インドネシア ※1	1,910,220	8.2	9.2	11.8	12.1
ブルネイ	5,389	0.0	20.4	18.8	22.2
タイ	519,400	0.2	2.3	0.6	2.6
ミャンマー(ビルマ)	647,736	0.4	1.4	0.9	1.8
バングラデシュ	129,506	9.7	24.5	12.7	35.6
インド	3,119,901	0.3	0.9	0.6	1.2
パキスタン	863,271	0.2	0.2	0.2	0.7
スリランカ	66,649	0.0	3.6	3.7	4.8
イラン	1,673,348	0.1	0.1	0.1	0.2
イラク	435,161	0.0	0.0	0.0	0.1
クウェート	16,474	0.0	0.9	0.7	1.4
サウジアラビア	1,921,226	0.0	0.1	0.1	0.2
オーストラリア	7,691,934	0.7	1.3	1.1	1.5
ニュージーランド	270,250	0.6	1.4	1.6	2.0
フィジー ※2	19,109	0.0	9.7	11.3	12.0
バブアニューギニア	486,927	3.1	4.4	6.3	6.9
サモア ※3	2,238	0.0	10.9	22.6	23.2
グアム	1,428	0.0	32.8	34.7	36.1
ニューカレドニア	18,899	0.0	3.8	7.2	7.5
バヌアツ	13,439	0.0	9.5	12.2	12.8

※1 東ティモールを含む  
 ※2 ツバル、バヌアツ、ナウル、ソロモン諸島、キリバスの一部、ミクロネシア、マーシャルを含む  
 ※3 トンガ、キリバスを含む

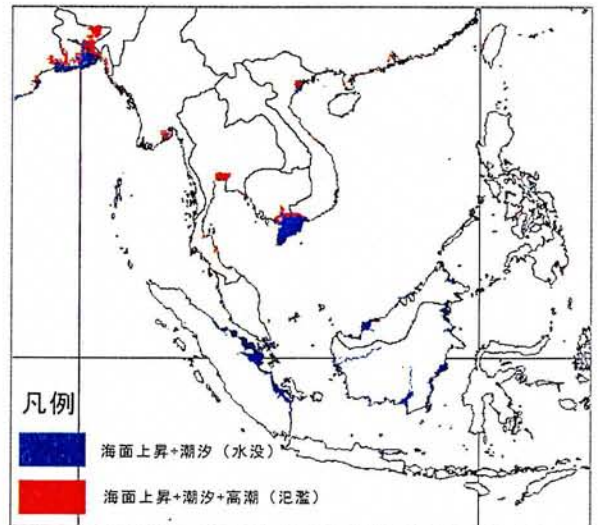


図 3-2-6 東南アジアの一次影響地域

表 3-2-6 アジア・太平洋地域の人口への影響

海面上昇 [m]	1995年		2100年の推計人口	
	人口 [人]	割合 [%]	人口 [人]	割合 [%]
0	27,993,038	1.45	48,053,970	1.67
0.09	30,272,609	1.57	52,591,701	1.83
0.5	52,058,007	2.70	92,466,031	3.22
0.88	69,833,220	3.62	121,524,113	4.24
1	70,154,413	3.64	121,884,003	4.25



表 3-2-7 全世界の人口への影響

海面上昇[m]	1995年		2100年の推計人口	
	人口[人]	割合[%]	人口[人]	割合[%]
0	66,316,174	1.17	112,638,468	1.04
0.09	74,800,342	1.33	129,420,825	1.19
0.5	111,411,720	1.97	199,480,768	1.84
0.88	146,645,525	2.60	256,558,243	2.37
1	150,264,645	2.66	262,478,884	2.42

1 m の場合)。

来るべき将来の海面上昇に備えて生活の快適さを維持するための社会基盤、国土を守るための社会基盤を移動あるいは保護していく必要がある。そのため、道路や鉄道

などの社会基盤データの海面上昇による影響を評価する意義があり、そのまま沿岸域に集中するこれらインフラ施設等の資産価値の影響を把握することに繋がると考えられる。

本研究で使用した社会基盤データは、現代のものであり、予測年次 2100 年の推定値ではない。つまり、現存する施設が将来的に危機に瀕する可能性について明確にし、対応策やより詳しい評価に繋がる参考とするために評価を行った。

評価は、道路、鉄道、航空関連施設、ユーティリティ、マングローブの情報と一次影響域とのオーバーレイ解析によって算定し、各施設数、換算延長、総セル数に対する影響の割合によって行った。各国の道路の影響を表 3-2-8、各国の鉄道への影響を表 3-2-9、航空関連施設への影響を表 3-2-10、ユーティリティへの影響を表 3-2-11、マングローブへの影響を表 3-2-12 に示した。また、東南アジアの各解析結果を図 3-2-7~図 3-2-11 に示した。

(2) 数値標高モデルの評価

水没と氾濫の影響の大きい地域のうち、タイ国チャオプラヤ川河口域について詳細に数値標高モデルを評価したところ、GTOP030 では海岸平野がほぼ一様の標高となってしまう、微高地を読みとることは困難であった(図 3-2-12)。さらに、5 万分 1 地形図から作成した数値標高モデルと GTOP030 の数値標高モデルを精度検証したところ差の標準偏差が 9.69m であった。図 3-2-12 の GTOP030 と 5 万分 1 地形図より作成した数値標高モデルの西側を比較してみると GTOP030 では東から西に標高の見かけ上の段差があることがわかる。これは GTOP030 を作成する際に何らかの不都合があり段差ができたと考えられる。

表 3-2-8 各国の道路の影響

国・地域名	総面積 [km <sup>2</sup> ]	全道路セル数	2100年(1.0m海面上昇時)			
			満潮		満潮+高潮	
			水没セル数	影響セル比率[%]	氾濫セル数	影響セル比率[%]
中国	9,396,870	369,968	706	0.19	5581	1.51
朝鮮民主主義人民共和国	120,801	8,218	204	2.48	274	3.33
大韓民国	100,020	7,638	227	2.97	389	5.09
日本	372,568	49,008	1152	2.35	1478	3.02
台湾	37,166	2,850	118	4.14	247	8.67
フィリピン	300,408	19,844	714	3.60	1012	5.10
ベトナム	350,301	22,350	2529	11.32	3180	14.23
カンボジア	175,979	8,674	103	1.19	387	4.46
マレーシア	344,366	9,579	565	5.90	679	7.09
インドネシア	1,910,220	61,063	3845	6.30	3991	6.54
ブルネイ	5,389	291	113	38.83	127	43.64
タイ	51,340	28,540	174	0.61	1083	3.79
ミャンマー(ビルマ)	647,736	36,905	222	0.60	535	1.45
バングラディッシュ	129,506	7,785	577	7.41	2049	26.32
インド	3,119,901	202,592	1019	0.50	2055	1.01
パキスタン	863,271	39,573	51	0.13	119	0.30
スリランカ	66,649	4,503	260	5.77	345	7.66
イラン	1,673,348	79,819	112	0.14	124	0.16
イラク	435,161	23,078	0	0.00	2	0.01
クウェート	16,474	902	13	1.44	25	2.77
サウジアラビア	1,921,226	49,388	249	0.50	348	0.70
オーストラリア	7,691,934	313,502	4208	1.34	5691	1.82
ニュージーランド	270,250	30,560	443	1.45	546	1.79
フィジー他(周辺の国を含む)	19,109	1,160	202	17.41	220	18.97
バブアニューギニア	486,927	6,417	589	9.18	626	9.76
サモア他(周辺の国を含む)	2,238	176	56	31.82	59	33.52
グアム	1,428	235	71	30.21	81	34.47
ニューカレドニア	18,899	1,422	141	9.92	146	10.27
バヌアツ	13,439	715	175	24.48	179	25.03

※1 東ティモールを含む  
 ※2 ツバル、バヌアツ、ナウル、ソロモン諸島、キリバスの一部、ミクロネシア、マーシャルを含む  
 ※3 トンガ、キリバスを含む

表 3-2-9 各国の鉄道への影響

国・地域名	総面積 [km <sup>2</sup> ]	全鉄道セル数	2100年(1.0m海面上昇時)			
			満潮		満潮+高潮	
			水没セル数	影響セル比率[%]	氾濫セル数	影響セル比率[%]
中国	9,396,870	54,441	52	0.10	895	1.64
朝鮮民主主義人民共和国	120,801	3,545	161	4.54	207	5.84
大韓民国	100,020	2,212	48	2.17	115	5.20
日本	372,568	18,041	456	2.53	645	3.58
台湾	37,166	1,519	36	2.37	136	8.95
フィリピン	300,408	1,588	39	2.46	65	4.09
ベトナム	350,301	1,915	46	2.40	94	4.91
カンボジア	175,979	445	0	0.00	1	0.22
マレーシア	344,366	1,505	63	4.19	73	4.85
インドネシア	1,910,220	4,812	191	3.97	225	4.68
ブルネイ	5,389	8	4	50.00	5	62.50
タイ	510,400	2,779	10	0.36	228	8.20
ミャンマー(ビルマ)	647,736	2,346	31	1.32	135	5.75
バングラディッシュ	129,506	1,908	25	1.31	428	22.43
インド	3,119,901	41,995	275	0.65	647	1.54
パキスタン	863,271	6,437	0	0.00	0	0.00
スリランカ	66,649	930	69	7.42	91	9.78
イラン	1,673,348	3,771	1	0.03	1	0.03
イラク	435,161	1,806	0	0.00	0	0.00
クウェート	16,474	0	0	0.00	0	0.00
サウジアラビア	1,921,226	711	20	2.81	21	2.95
オーストラリア	7,691,934	32,122	426	1.33	492	1.53
ニュージーランド	270,250	3,436	82	2.39	96	2.79
フィジー他(周辺の国を含む)	19,109	171	53	30.99	62	36.26
バブアニューギニア	486,927	0	0	0.00	0	0.00
サモア他(周辺の国を含む)	2,238	0	0	0.00	0	0.00
グアム	1,428	0	0	0.00	0	0.00
ニューカレドニア	18,899	0	0	0.00	0	0.00
バヌアツ	13,439	0	0	0.00	0	0.00



表 3-2-10 航空関連施設への影響

国・地域名	総面積 [km <sup>2</sup> ]	全航空関係施設セル数	2100年(1.0m海面上昇時)			
			満潮		満潮+高潮	
			水没セル数	影響セル比率[%]	浸没セル数	影響セル比率[%]
中国	9,396.870	370	5	1.35	21	5.68
朝鮮民主主義人民共和国	120.801	58	4	6.90	4	6.90
大韓民国	100,020	36	1	2.78	2	5.56
日本	372,568	91	11	12.09	11	12.09
台湾	37,166	32	3	9.38	5	15.63
フィリピン	300,408	55	6	10.91	9	16.36
ベトナム	350,301	116	19	16.38	24	20.69
カンボジア	175,979	8	0	0.00	2	25.00
マレーシア	344,366	25	7	28.00	7	28.00
インドネシア	1,910,220	70	14	20.00	14	20.00
ブルネイ	5,389	2	1	50.00	1	50.00
タイ	519,400	48	1	2.08	2	4.17
ミャンマー(ビルマ)	647,736	27	0	0.00	1	3.70
バングラデシュ	129,506	9	1	11.11	4	44.44
インド	3,119,901	169	1	0.59	2	1.18
パキスタン	863,271	52	0	0.00	0	0.00
スリランカ	66,649	12	3	25.00	3	25.00
イラン	1,673,348	77	1	1.30	1	1.30
イラク	435,161	65	0	0.00	0	0.00
クウェート	16,474	2	0	0.00	0	0.00
サウジアラビア	1,921,226	58	1	1.72	4	6.90
オーストラリア	7,691,934	223	26	11.66	33	14.80
ニュージーランド	270,250	32	5	15.63	5	15.63
フィジー他(周辺の国を含む)	19,109	0	0	0.00	0	0.00
バブアニューギニア	486,927	18	6	33.33	6	33.33
サモア他(周辺の国を含む)	2,238	1	1	100.00	1	100.00
グアム	1,428	2	2	100.00	2	100.00
ニューカレドニア	18,899	4	2	50.00	2	50.00
バヌアツ	13,439	2	1	50.00	1	50.00

表 3-2-11 ユーティリティへの影響

国・地域名	総面積 [km <sup>2</sup> ]	全ユーティリティセル数	2100年(1.0m海面上昇時)			
			満潮		満潮+高潮	
			水没セル数	影響セル比率[%]	浸没セル数	影響セル比率[%]
中国	9,396.870	42,169	49	0.12	1,386	3.29
朝鮮民主主義人民共和国	120,801	5,836	83	1.42	102	1.75
大韓民国	100,020	4,954	90	1.82	190	3.84
日本	372,568	25,101	193	0.77	284	1.13
台湾	37,166	1,348	15	1.11	42	3.12
フィリピン	300,408	1,632	8	0.49	17	1.04
ベトナム	350,301	1,454	85	5.85	177	12.17
カンボジア	175,979	33	0	0.00	0	0.00
マレーシア	344,366	1,622	78	4.81	100	6.17
インドネシア	1,910,220	2,536	57	2.25	69	2.72
ブルネイ	5,389	96	55	57.29	60	62.50
タイ	519,400	3,800	19	0.50	348	9.16
ミャンマー(ビルマ)	647,736	1,219	0	0.00	23	1.89
バングラデシュ	129,506	566	49	8.66	354	62.54
インド	3,119,901	23,211	67	0.29	306	1.32
パキスタン	863,271	4,384	0	0.00	0	0.00
スリランカ	66,649	547	2	0.37	4	0.73
イラン	1,673,348	14,665	9	0.06	16	0.11
イラク	435,161	6,371	0	0.00	0	0.00
クウェート	16,474	886	5	0.56	9	1.02
サウジアラビア	1,921,226	5,161	91	1.76	149	2.89
オーストラリア	7,691,934	12,563	94	0.75	136	1.08
ニュージーランド	270,250	5,458	35	0.64	64	1.17
フィジー他(周辺の国を含む)	19,109	92	1	1.09	1	1.09
バブアニューギニア	486,927	0	0	0.00	0	0.00
サモア他(周辺の国を含む)	2,238	0	0	0.00	0	0.00
グアム	1,428	0	0	0.00	0	0.00
ニューカレドニア	18,899	34	0	0.00	0	0.00
バヌアツ	13,439	0	0	0.00	0	0.00

表 3-2-12 マングローブへの影響

国・地域名	総面積 [km <sup>2</sup> ]	全マングローブセル数	2100年(1.0m海面上昇時)			
			満潮		満潮+高潮	
			水没セル数	影響セル比率[%]	浸没セル数	影響セル比率[%]
中国	9,396.870	18	6	33.33	9	50.00
朝鮮民主主義人民共和国	120,801	0	0	0.00	0	0.00
大韓民国	100,020	0	0	0.00	0	0.00
日本	372,568	13	4	30.77	4	30.77
台湾	37,166	11	3	27.27	4	36.36
フィリピン	300,408	390	69	17.69	104	26.67
ベトナム	350,301	745	648	86.98	653	87.65
カンボジア	175,979	203	28	13.79	71	34.98
マレーシア	344,366	1,948	1,165	59.80	1,215	62.37
インドネシア ※1	1,910,220	12,345	9,170	74.28	9,308	75.40
ブルネイ	5,389	4	4	100.00	4	100.00
タイ	519,400	679	175	25.77	284	41.83
ミャンマー(ビルマ)	647,736	1,145	78	6.81	104	9.08
バングラデシュ	129,506	1,855	794	42.80	1,264	68.14
インド	3,119,901	1,507	102	67.15	1,149	76.24
パキスタン	863,271	374	80	16.04	264	70.59
スリランカ	66,649	18	7	38.89	10	55.56
イラン	1,673,348	199	66	33.17	67	33.67
イラク	435,161	0	0	0.00	0	0.00
クウェート	16,474	0	0	0.00	0	0.00
サウジアラビア	1,921,226	53	9	16.98	13	24.53
オーストラリア	7,691,934	12,286	6,465	52.62	8,505	69.23
ニュージーランド	270,250	77	24	31.17	26	33.77
フィジー ※2	19,109	100	63	63.00	67	67.00
バブアニューギニア	486,927	1,528	1,152	75.39	1,203	78.73
サモア ※3	2,238	0	0	0.00	0	0.00
グアム	1,428	1	1	100.00	1	100.00
ニューカレドニア	18,899	0	0	0.00	0	0.00
バヌアツ	13,439	3	3	100.00	3	100.00

※1 東ティモールを含む  
 ※2 ツバル、バヌアツ、ナウル、ソロモン諸島、キリバスの一部、ミクロネシア、マーシャルを含む  
 ※3 トンガ、キリバスを含む

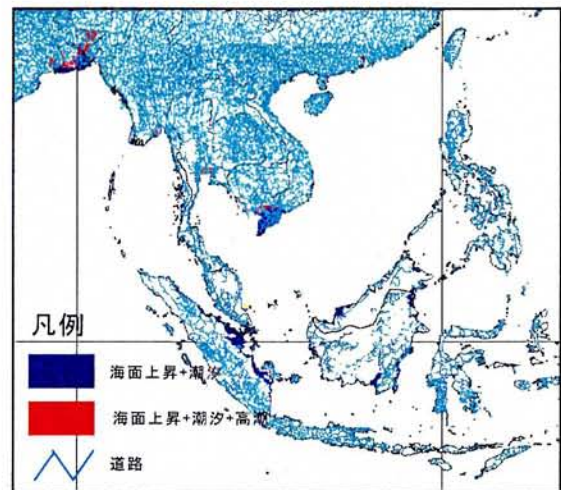


図 3-2-7 水没域と道路

今回、5 万分 1 地形図から新たに取得した地理情報データを元に作成した数値標高モデルでは、バンコク市街南部に広がっている 3-5m の微高地が確認できた。今後、デルタなど低平な地形の分布する場所の脆弱性を高精度で評価するためには、5 万分 1 地形図などの中縮尺以上の地形図より作成した数値標高モデルが有効である。

(3) 環境経済評価

①海面上昇によって水没する用途別土地利用分布図

伊勢湾地域において海面上昇 1m および 5m (1m 上昇+高潮時) によって水没する地域は、図 3-2-13 に示すとおりである。ここで、それぞれの海面下地域の面積は 1,378km<sup>2</sup> (1m 上昇時) および 4,222km<sup>2</sup> (5m 上昇時) である。次に、水没する地域の用途別土地利用面積を計測し、それ



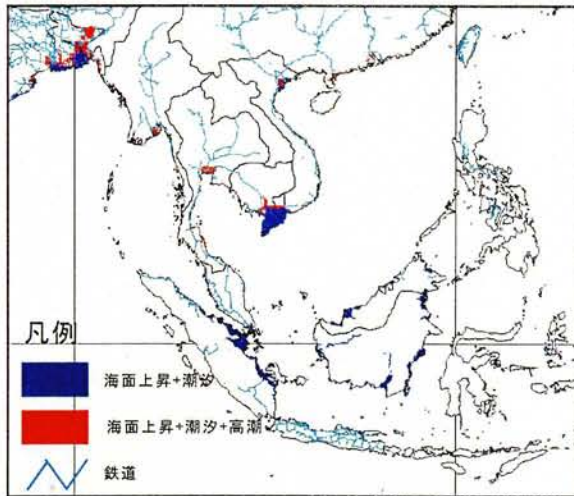


図 3-2-8 水没域と鉄道

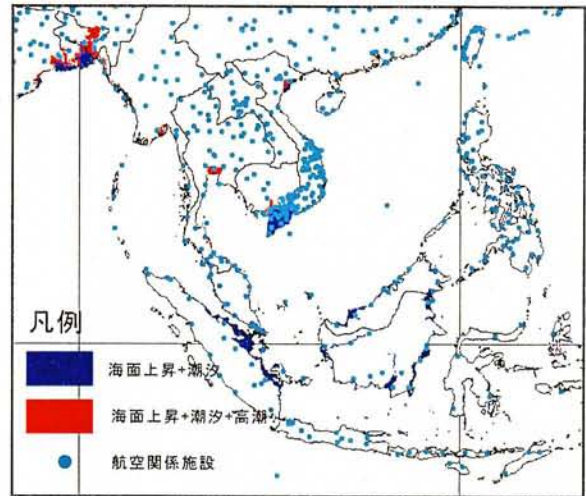


図 3-2-9 水没域と航空関係施設

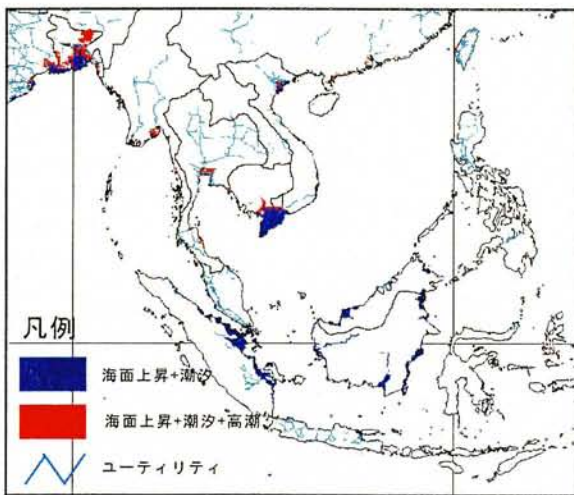


図 3-2-10 水没域とユーティリティ

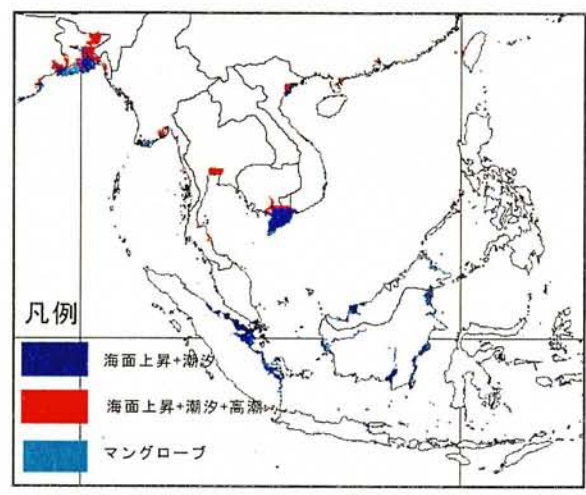


図 3-2-11 水没域とマングローブ

に各土地利用の経済価値の原単位を掛け合わせて損失額を算出した。そのうち、海面上昇1mによる用途別損失面積および損失額を表3-2-13に示す。これによる伊勢湾地域における土地資産損失額は19.7兆円に上ることがわかる。

### ②海面上昇によって水没する産業別生産額分布図

事業所・企業統計調査データ（産業別従事者数の数値地図）と産業連関表（産業別に従事者一人当たりの生産額を算出）を用いて、海面上昇による生産損失額を算出した。そのうち、海面上昇1mによる産業別生産損失額を図3-2-14に示す。これより、伊勢湾地域における生産損失額は8.1兆円/年となり、産業別生産損失額の上位は製造業の3.8兆円/年、サービス業の1.1兆円/年、商業の1.0兆円/年という順であった。しかし、ここでは「ある日突然に海面が上昇する」との仮定で計算しており、被害額が過大に評価されている恐れがある。実際には土地利用や産業構造がこの速さに順応して徐々に変化し、本研究で計測されたような大きな被害にはならないかも知れない。本件については、動的な土地利用モデルや社会経済モデルによる分析が必要であり、今後の課題としたい。



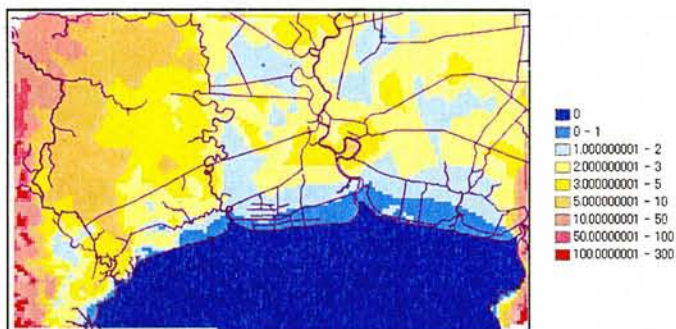


図 3-2-12 a) 5 万分 1 地形図から作成した数値標高モデル

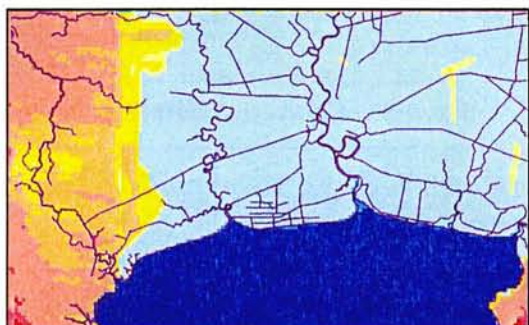


図 3-2-12 b) GTOP030 の数値標高モデル

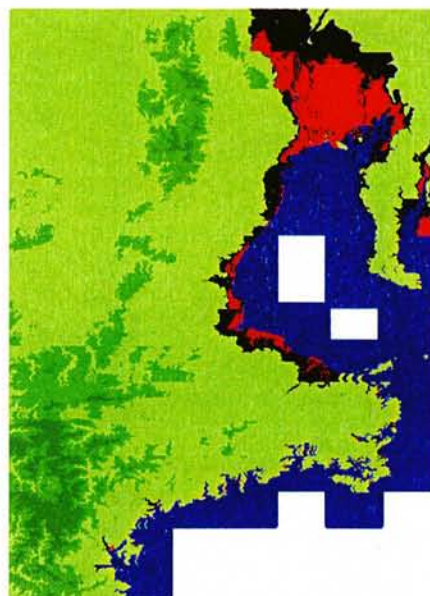


図 3-2-13 海面下になる地域

(赤色部：1m 上昇時／

黒色部：5m 上昇時)

③海面上昇による環境被害額を海岸からの距離の関数で計測するモデル

モデル 3 およびモデル 4 の推定結果に基づく価値種類別の評価結果は、それぞれ図 3-2-15 および図 3-2-16 に示すとおりである。価値種類別の評価結果を見ると、WTP による評価値については、図 3-2-15 より、随意価値・代位価値が距離に応じて逡増し、利用価値・遺贈価値・存在価値は逡減することがわかる。WTW による評価値については、図 3-2-16 より、随意価値・遺贈価値・代位価値が距離に応じて逡増し、利用価値・存在価値は逡減することがわかる。ここで、距離に応じて価値が逡減することは直感的に理解

表 3-2-13 海面上昇 1m による用途別経済損失額

土地利用	損失面積 [km <sup>2</sup> ]	経済価値の原単位 [百万円/km <sup>2</sup> ]	損失額 [百万円]
田	191.8	93.90 / 0.04	450,251
畑	25.25	1,060.30 / 0.04	669,314
果樹園	11.9	510.40 / 0.04	151,844
その他の樹木畑	1.31	510.40 / 0.04	16,716
森林	58.44	4.55 / 0.04	6,648
荒地	11.02	0	0
建設用地	48.35	41,800	2,021,030
建物用地	111.43	122,000	13,594,460
幹線交通用地	10.73	41,800	448,514
その他の用地	56.22	41,800	2,349,996
河川敷	1.8	0	0
海浜	1.51	0	0
陸地合計	529.76		19,708,773
内水池	8.27		
河川	54.1		
海水域	640.58		

できよう。逆に、距離に応じて逡増する価値については、日常的に海岸の利用機会が少なくなればなるほど、すなわち海岸からの距離が遠くなればなるほど、将来の利用可能性（随意価値）、子供や知人の利用可能性（代位価値）に対する期待が大きくなることによるものと考えられる。しかし、本モデルには適用範囲に限界がある。すなわち、海岸からの距離に応じて逡減する価値については、いずれ負値となる可能性があるが、負値の解釈は困難である。モデル3については海岸から約60km以遠で、モデル4では海岸から約30km以遠で、そのような問題が発生する。この問題は負値を生じないような関数形の設定によって解決できると考えられるが、本研究ではそのような関数形の発見には至らなかった。この点については今後の検討課題としたい。

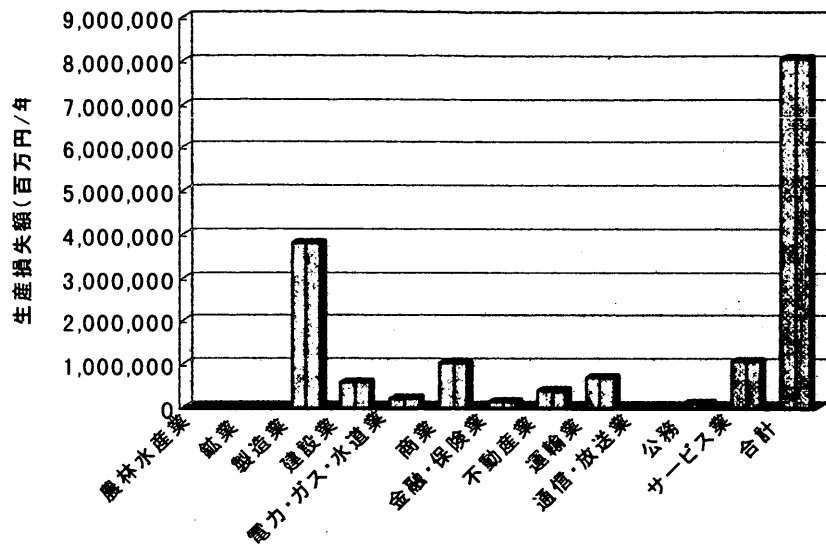


図 3-2-14 海面上昇 1m による産業別生産損失額

なることによるものと考えられる。しかし、本モデルには適用範囲に限界がある。すなわち、海岸からの距離に応じて逡減する価値については、いずれ負値となる可能性があるが、負値の解釈は困難である。モデル3については海岸から約60km以遠で、モデル4では海岸から約30km以遠で、そのような問題が発生する。この問題は負値を生じないような関数形の設定によって解決できると考えられるが、本研究ではそのような関数形の発見には至らなかった。この点については今後の検討課題としたい。

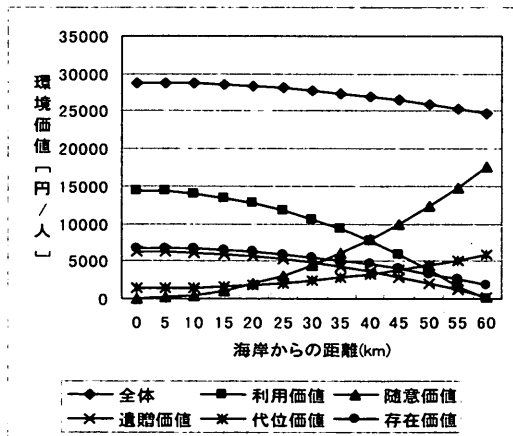


図 3-2-15 WTP と距離との関係

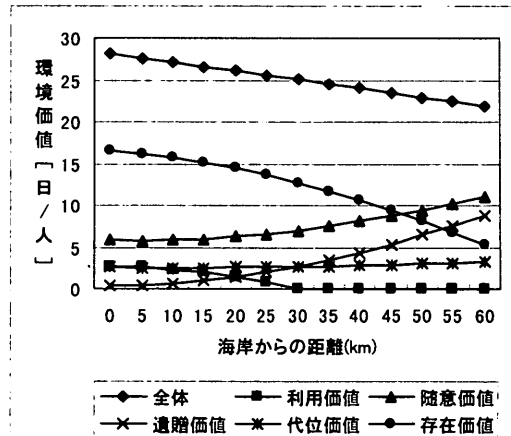


図 3-2-16 WTW と距離との関係

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 脆弱性評価と脆弱性マップの作成

#### ① 海面上昇による一次影響

既往の台風データベースを用いてアジア・太平洋沿岸域における最大高潮偏差を算出することができた。その結果と、潮汐偏差（満潮時）、将来予測される海面上昇量を足し合わせたものと、アジア・太平洋地域の数値標高モデルを比較し、潜在的な浸水被害の算定を行うとともに、アジア・太平洋地域の脆弱性マップを作成して脆弱な地域を抽出・特定することができた。また、表

3-2-3～表 3-2-5 から判るように、アジア・太平洋地域は、世界全体の影響割合と比較して、脆弱な（被害を受けやすい）地域であることが明確になった。

今回は、脆弱な地域を抽出するにあたり海水が陸域に対して海面と平行に進入すると仮定して解析を行っている。現実には高潮といった一時的な氾濫においては、水は傾斜をもって陸域に進入するため、特に内陸部において過大に計算されていると考えられる。一方、河川付近においては排水不良により今回計算された範囲より上流においても氾濫が生じると考えられる。今後、各地域ごとの詳細な解析を行う際には水の進入傾斜を考慮した解析を行う必要があるが、その際には、より詳細な数値標高モデルによる解析が望まれる。

## ②海面上昇による二次影響

アジア・太平洋地域において、様々な量の海面上昇を仮定し、それと潮汐偏差による水没面積、潜在的危険人口（水没域に居住する人口）、および将来の危険人口を算定した。この点においても表 3-2-6～表 3-2-7 のようにアジア・太平洋地域は脆弱であり、将来的には脆弱性がさらに増大していくことも明らかになった。さらに、海面上昇した際に水没・浸水域に存在する、道路、鉄道、航空施設、ユーティリティ、マングローブの影響を算定することができた。今後は各地域において環境経済評価を加えた詳細な解析が必要である。

## （2）数値標高モデルの評価

アジア・太平洋地域や全世界といった広域単位において海面上昇の脆弱性地域を抽出するには、GTOPO30 が有効と考えられる。しかし、今後、デルタ等の低平地や個々の沿岸域の脆弱性を高精度で評価するためには現存する地理情報では不十分で、5 万分 1 地形図から作成する、詳細な地形情報を有する数値標高モデルが有効であることがわかった。しかし、今回、5 万分 1 地形図から作成した数値標高モデルでもタイ湾最深部にある沿岸域では海岸線付近に延びる砂州（砂堆）の特徴を考慮した数値標高モデルを作成することができなかった。今後、海岸線付近の地形の形状を考慮した数値標高モデル作成の手法開発が必要と考えられる。

## （3）環境経済評価

伊勢湾地域を取り上げ、海面上昇に対する市場経済面での脆弱性マップとして海面上昇 1m および 5 m（海面上昇 1 m + 高潮時）によって水没する用途別土地利用分布図と産業別生産額分布図を作成するとともに、用途別土地資産損失額と産業別生産損失額を算出した。後者については今後、動的な土地利用モデルや社会経済モデルによる分析が必要である。

また、海面上昇による環境被害額を海岸からの距離の関数で計測する環境経済評価モデルを構築した。その結果、環境被害額における随意価値・代位価値が距離に応じて逡増し、利用価値・存在価値は逡減することがわかった。これより、海面上昇対策に対する地域間の費用負担問題が議論できるようになると期待される。

## 6. 引用文献

- 1) IPCC (2001): A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers, p20
- 2) 川口博行ほか (2000): 海面上昇の影響の総合評価に関する研究 (平成 9 年度～11 年度) 終

## 7. 国際共同研究等の状況

タイ国カセサート大学の協力により、チャオプラヤ川河口における現地の情報交換および海岸侵食のメカニズム等の意見交換を行うとともに、海面上昇の影響評価及び脆弱性マップ作成について検討を行いながら研究を進めた。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表（学術誌・書籍）

<学術誌（査読あり）>

- ① 佐藤圭輔、三村信男、町田聡：海岸工学論文集、土木学会、47,1236-1240(2000)  
「アジア・太平洋の海岸・沿岸域に対する気候変動の影響評価」
- ② 大野栄治：環境システム研究論文集、28, 445-452(2000)  
海面上昇による土地損失の影響の経済評価（タイの場合）
- ③ E. Ohno: Economic Evaluation of Impact of Land Loss Due to Sea Level Rise in Thailand, Global Change and Asia Pacific Coasts: Proceedings of APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia-Pacific Region, 231-235(2001)
- ④ 大野栄治：日本沿岸域学会論文集、13, 65-74(2001)  
「コンジョイント分析による伊勢湾の環境価値の経済評価」
- ⑤ 大野栄治：総合学術研究論文集、名城大学総合研究所、1, 15-23(2002)  
「沿岸域管理による環境保全便益の評価」
- ⑥ 大洞久佳，大野栄治：環境システム研究論文集、30, 45-54(2002)  
「利用価値計測のみによる環境経済評価の可能性」
- ⑦ 大洞久佳，大野栄治：環境工学研究論文集、39, 143-151(2002)  
「ボランティア活動による環境保全便益の評価」
- ⑧ 大洞久佳，大野栄治：日本沿岸域学会論文集、15, 13-24(2003)  
「海岸からの距離に応じて変化する沿岸環境価値の評価」

<学術誌（査読なし）>

- ① 三村信男、加藤貴子、横木裕宗：第8回地球環境シンポジウム講演論文集、143-148(2000)  
「タイの沿岸環境問題と気候変動の影響」
- ② 三村信男、佐藤圭輔、大高京子、横木裕宗：第8回地球環境シンポジウム講演論文集、149-156(2000)  
「地球環境情報を用いたアジア・太平洋地域に対する海面上昇の影響評価」
- ③ Mimura, N., K. Satoh, and S. Machida: Proc. the Comprehensive Assessment on Impacts of Sea-Level Rise, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand, 123-128(2000)  
“Asian and Pacific vulnerability assessment-An approach to integrated regional

assessment”

- ④ Mimura, N.: Global Change and Asia Pacific Coasts, Proc. APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference(Mimura and Yokoki, eds), pp.21-25(2001)  
“Distribution of Vulnerability and adaptation in the Asia and Pacific Region”
- ⑤ Vanualailai, P. and N.Mimura: Proc. APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference(Mimura and Yokoki, eds), pp.237-243(2001)  
“Technology assessment of coastal protection system in the South Pacific countries”
- ⑥ 大野栄治：土木学会第 56 回年次学術講演会，CD-ROM(2001)  
「伊勢湾の環境資源に対する経済評価」
- ⑦ 大野栄治，大洞久佳，落合鋭充：土木学会第 57 回年次学術講演会，CD-ROM(2002)  
「沿岸域管理による環境保全便益分布図の作成」
- ⑧ 落合鋭充，大洞久佳，大野栄治：第 26 回土木計画学研究発表会，CD-ROM(2002)  
「海面上昇による沿岸域の経済損失とその波及被害の計測」
- ⑨ 三村信男：ミニ特集 CO<sub>2</sub>と土木，土木学会誌，Vol.88，pp.72-76 (2003)  
「地球温暖化の影響」
- ⑩ 大洞久佳，落合鋭充，大野栄治：土木学会第 58 回年次学術講演会，CD-ROM(2003)  
「距離変数を導入した沿岸環境価値関数の推定」
- ⑪ 落合鋭充，大洞久佳，大野栄治：土木学会第 58 回年次学術講演会，CD-ROM(2003)  
「海面上昇による経済損失の計測と地図表示」
- ⑫ 中島秀敏：季刊環境研究、No.130，(2003) (投稿中)  
「海面上昇の総合的影響評価と適応策」

<書籍>

- ① Edited by N. Mimura and H. Harasawa: Data Book of Sea-Level Rise 2000, Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Environmental Agency of Japan, 56-59(2000)  
「3.4 Methodologies for Impact Assessment (E. Ohno)」
- ② 大野栄治編：環境経済評価の実務，勁草書房，3-104(2000)  
「第 1 章 環境経済評価手法の概観（執筆担当：大野栄治）」  
「第 2 章 環境変化の経済評価理論（執筆担当：大野栄治）」  
「第 3 章 旅行費用法（執筆担当：大野栄治、高木朗義）」  
「第 4 章 ヘドニック価格法（執筆担当：大野栄治、高木朗義）」  
「第 5 章 CVM（仮想市場評価法）（執筆担当：大野栄治）」
- ③ 海津・平井編：海面上昇とアジアの海岸、古今書院、pp.59-65(2001)  
「日本の砂浜海岸における海面上昇の影響（執筆担当：横木裕宗、三村信男）」
- ④ 海津・平井編：海面上昇とアジアの海岸、古今書院、pp.121-134(2001)  
「南太平洋の島国における海岸の諸問題と海面上昇に対する脆弱性（執筆担当：三村信男）」
- ⑤ 環境省地球温暖化問題検討委員会編：地球温暖化の日本への影響 2001，環境省地球環境局，308-310(2001)

「6.4 沿岸域とインフラ施設に対する影響の経済評価（執筆担当：大野栄治）」

⑥ 浅見泰司編：住環境—評価方法と理論—，東京大学出版会，143-167(2001)

「第7章 住環境の経済評価（執筆担当：大野栄治）」

⑦ 不破敬一郎・森田昌敏編著：地球環境ハンドブック，朝倉書店，pp.193-198（2002）

「温暖化・海面上昇の沿岸域への影響」（執筆担当：三村信男）

⑧ 池田駿介・林良嗣・嘉門雅史・磯部雅彦・川島一彦：新領域土木工学ハンドブック，朝倉書店，pp.663-718（2003）

「20. 地球環境」（編集担当：三村信男）

⑨ 総合科学技術会議環境担当委員、内閣府政策統括官（科学技術政策担当）共編：地球環境研究の最前線、総合科学技術会議、pp.83-94(2003)

「3-2 日本に対する影響（執筆担当：三村信男）」

⑩ ブリタニカ国際年鑑 2003，ブリタニカ・ジャパン，p.452（2003）

「ツバル—海面上昇の驚異に直面する島国（執筆担当：三村信男）」

⑪ Hay, J. E., N. Mimura, J. Campbell, S. Fifita, K. Koshy, R. F. McLean, T. Nakalevu, 100p., SPREP(2003)

“Climate Variability and Change and Sea-level Rise in the Pacific Islands Region”

<報告書類等>

なし

## （2）口頭発表

① 大高京子・三村信男：土木学会第55回年次学術講演会、CS-208(2000)

「人口予測シナリオに基づいたアジア太平洋地域に対する海面上昇の影響評価」

② Mimura, N.: APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia and Pacific Region (2000)

“Distribution of vulnerability and adaptation strategies in the Asia and Pacific region”

③ Vanualailai, P. and N. Mimura: APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia and Pacific Region (2000)

“Technology assessment of coastal protection system in the South Pacific countries”

④ 大野栄治：第28回環境システム研究論文発表会(2000)

「海面上昇による土地損失の影響の経済評価（タイの場合）」

⑤ Mimura, N.: Annual Meeting of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers (2001)

“Vulnerability to climate change and sea level rise in the Asia and Pacific Region”

⑥ Mimura, N.: ICSU/SCOPE 11<sup>th</sup> General Assembly (2001)

“Impact of climate change on the coastal zone”

⑦ Mimura, N.: The Eleventh Asia-Pacific Seminar on Climate Change(2001)

“Adaptation Assessment in the South Pacific”

⑧ Mimura, N.: The Twelfth Asia-Pacific Seminar on Climate Change(2002)

“Resource Book on climate change and sea-level rise for the South Pacific”

- ⑨ 大野栄治：土木学会第 56 回年次学術講演会(2001)  
「伊勢湾の環境資源に対する経済評価」
- ⑩ E. Ohno: APN/SURVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia-Pacific Region(2001)  
「Economic Evaluation of Impact of Land Loss Due to Sea Level Rise in Thailand」
- ⑪ 大野栄治、大洞久佳、落合鋭充：土木学会第 57 回年次学術講演会(2002)  
「沿岸域管理による環境保全便益分布図の作成」
- ⑫ 大洞久佳、大野栄治：第 30 回環境システム研究論文発表会(2002)  
「利用価値計測のみによる環境経済評価の可能性」
- ⑬ 大洞久佳、大野栄治：第 39 回環境工学研究フォーラム(2002)  
「ボランティア活動による環境保全便益の評価」
- ⑭ 落合鋭充、大洞久佳、大野栄治：第 26 回土木計画学研究発表会(2002)  
「海面上昇による沿岸域の経済損失とその波及被害の計測」
- ⑮ 大洞久佳、落合鋭充、大野栄治：土木学会第 58 回年次学術講演会(2003) (発表予定)  
「距離変数を導入した沿岸環境価値関数の推定」
- ⑯ 落合鋭充、大洞久佳、大野栄治：土木学会第 58 回年次学術講演会(2003) (発表予定)  
「海面上昇による経済損失の計測と地図表示」
- ⑰ 中島秀敏：総合科学技術会議地球温暖化研究イニシャティブ平成 15 年第 1 回影響・リスク評価/抑制政策プログラム会合(2003)  
「海面上昇の総合的影響評価と適応策に関する研究」

### (3) 出願特許

なし

### (4) 受賞等

- ① 2001 年 7 月 7 日、平成 12 年度日本沿岸域学会論文賞を受賞  
対象論文『大野栄治：コンジョイント分析による伊勢湾の環境価値の経済評価，日本沿岸域学会論文集，13，65-74(2001)』
- ② 2002 年 5 月 22 日、平成 13 年度日本不動産学会著作賞を受賞  
対象著作『浅見泰司編：住環境－評価方法と理論－，東京大学出版会(2001)』

### (5) 一般への公表・報道等

- ① 日刊建設工業新聞(2000. 6. 16、地球温暖化と海面上昇－アジア・太平洋地域に与える影響に関する記事、三村信男)
- ② 東京電力技術研究所での講演(2000. 9. 12、アジア・太平洋地域における沿岸環境の現状と課題について講演、三村信男)
- ③ 土木学会全国大会研究討論会座長(2000. 9. 23、「気候変動に係る共同実施活動における土木の役割と可能性」の座長、三村信男)
- ④ NHK 教育テレビ、サイエンス・ワンダーランド (2000. 10、温暖化問題について 30 分解説)



- ⑤ APN/SURVAS/LOICZ Symposium(2000.11.17、Impact and Response Strategies to Climate Change and Sea Level Rise in the Asia Pacific Region, N.Mimura)
- ⑥ (財)日本損害保険協会、高校教育資料、No. 213 (2000.11、地球温暖化と海面上昇の影響について紹介、三村信男)
- ⑦ エネルギーを考える会で講演(2001.3.28、「海面上昇の危機」、三村信男)
- ⑧ 神戸新聞(2000.11.21、沿岸都市リスク拡大ー温暖化による海面上昇 神戸で国際シンポという記事で紹介、三村信男)
- ⑨ 北海道新聞(2001.1.1、地球を狂わす温暖化 道内「100年で5度」予測もという記事でコメント、三村信男)
- ⑩ ゲンダイ(2001.1.24、地球温暖化で東京23区の東半分が水没する！という記事で紹介)
- ⑪ 全国海岸協会、雑誌「海岸」41-1、(2001.6、地球温暖化に伴う海面上昇、三村信男)
- ⑫ (財)地球・人間環境フォーラム、グローバルネット、127号(2001.6、海洋と沿岸域に対する温暖化の影響、三村信男)
- ⑬ 国立環境研究所、地球環境研究センターニュース、Vol.12、No.3(2001.7、アジア・太平洋地域における海面上昇の影響はどの程度か？、三村信男)
- ⑭ 環境省、平成13年度地球環境研究総合推進費公開シンポジウム「地球温暖化の研究最前線」における講演(2001.12、温暖化の影響・リスク研究の現状と今後、三村信男)
- ⑮ 河川協会、雑誌「河川」平成13年12月号(2001.12、海岸域及び社会基盤施設への影響と適応策、三村信男)
- ⑯ 日本財団、「シップ&オーシャン」第34号(2002.1、海面上昇とアジア・太平洋地域、三村信男)
- ⑰ 茨城県コミュニティカレッジにおける講演(2002.1、地球温暖化、三村信男)
- ⑱ 文部科学省科学技術政策研究所で講演(2002.5.29、温暖化の影響・リスクに関する研究の現状と温暖化研究の将来、三村信男)
- ⑲ NHK教育テレビ、ETV特集(2002.5、海面上昇問題とツバルの選択について解説、三村信男)
- ⑳ 日本テレビ、熱帯赤道紀行(2002.7.20、バングラデシュで植林、ツバルの島が沈むで監修・解説、三村信男)
- 21 テレビ朝日、素敵な宇宙船地球号(2002.8.18、海面上昇ー失われゆく国土で解説、三村信男)
- 22 東京新聞(2002.8、ヨーロッパの洪水と温暖化の関係についてコメント、三村信男)
- 23 全国建設技術協会研修会で講演(2002.8.28、地球温暖化と国土防災、三村信男)
- 24 茨城大学、公開講座で講義(2002.9.3、地球温暖化と都市、三村信男)
- 25 茨城町、地球環境研修会で講演(2002.9.30、地球温暖化の現状認識、三村信男)
- 26 (社)日本海洋開発建設協会、設立30周年記念シンポジウム「21世紀の海洋国家日本の姿を探る」で講演(2002.10.30、地球環境と海洋、三村信男)
- 27 五霞町、職員研修会で講義(2002.12.2、地球温暖化の現状認識、三村信男)
- 28 国土地理院、沿岸環境講演会で講演(2003.3.22、海面上昇・気候変動の影響に関する研究の現状と課題、三村信男)
- 29 国土地理院、「GSIテクノニュース」平成15年6月号(2003.6.10、海面上昇の総合的影響評価と適応策に関する研究ーGISによる脆弱性マップの作成ー、中島秀敏)



## 9. 成果の政策的な寄与・貢献について

- ① IPCC 第4次評価報告書のスコーピングにおいて、WGIIの共同議長から海岸の章の構想検討を依頼されている。第4次報告書がまとめる世界の研究動向の中で、推進費による研究成果を含めて、海面上昇の影響評価及び沿岸域での適応策に関するわが国の研究成果が取り入れられると予想される。
- ② 平成13年度に設置された国土交通省の「地球温暖化に伴う海面上昇に対する国土保全研究会」において、わが国の影響予測および中長期的対策について提言をとりまとめた。この研究会の報告書には、本研究を含めて従来からの推進費による成果が反映されている。
- ③ 総合科学技術会議の地球温暖化研究イニシャティブの世話人として、影響評価と適応策の研究推進を担当している。温暖化イニシャティブが対象とする研究テーマは温暖化全般であるが、海面上昇に関わる諸問題も含まれており、これまでの推進費による成果が基礎となっている。