

(25) 海面上昇に対する沿岸域の脆弱性評価
—中国渤海湾のケーススタディー—

VULNERABILITY ASSESSMENT OF COASTAL ZONES TO SEA LEVEL RISE
—CASE STUDY FOR BOHAI BAY AREA IN CHINA—

三村信男*
NOBUO MIMURA*

細川恭史**
YASUSHI HOSOKAWA**
町田聡****
SATOSHI MACHIDA****

韓慕康***
MUKAN HAN***
山田和人****
KAZUHITO YAMADA****

ABSTRACT; This paper describes two aspects on the assessment of vulnerability of coastal zones to sea level rise; a framework of procedures and results of a case study for China. The Coastal Zone Management Subgroup (CZMS) of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) proposed a world-wide project of the vulnerability assessment on a case study basis. CZMS also developed a common methodology and guidelines for this assessment, which consist of operational procedures of seven steps. These procedures are introduced in the first part of this paper.

A case study of vulnerability assessment was performed for Tianjin area located on the low-lying Bohai Bay Coast in China on the basis of the guidelines. In this case study, sea level rise of 0.3m and 1.0m, and additional rise by storm surge were considered as scenarios for future sea levels. Impacts on land area, population, assets, and economic activities were evaluated by analyzing geographical and socio-economic data and satellite remote sensing images. Fatal or very severe damages would occur in all the fields analyzed in the Tianjin area by the projected sea level rise.

KEYWORDS; Global Warming, Sea Level Rise, Vulnerability Assessment, Case Study, Bohai Bay in China, GIS

1. 研究の背景と目的

近年、地球環境問題がクローズアップされてきた中で、地球温暖化問題は地球上の自然システムと人類の生存基盤に大きな影響を与えるものとして注目され、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）を中心に精力的な調査、研究が行われている。地球温暖化による影響の中で最も重要なものの1つに、海面上昇による影響があげられる。海面上昇は、沿岸域に対して低・湿地帯の水没、高潮・洪水の頻度の増大、海岸侵食、塩水の内陸への侵入など極めて広範な影響を与えることが指摘されている（IPCC WG II, 1990; 三村ら, 1991）。

IPCCのWorking Group IIIに設けられたCoastal Zone Management Subgroup（CZMS; 1990）は、「海岸線を持つ各国が、2000年までに海面上昇への対応策、沿岸資源管理を包括した沿岸管理計画を策定すること」を提案し、その第一歩として、1991年3月に、海面上昇に対する沿岸域の脆弱性を評価する世界各国におけるケーススタディを実施することを決定した。各国の脆弱性評価を共通の土台の上で実施するため、IPCC-CZMS（1991）は共通の評価手法（ケーススタディのガイドライン）を作成している。このケーススタディは30ヶ国以上で着手されており、その中間的成果は、1992年3月にベネズエラで開催されたIPCC国際ワークショップ「The Rising Challenge of The Sea」において発表された。本研究では、IPCC-CZMSの提案に呼応し、中国沿岸域の中で海面上昇に脆弱であると指摘されている渤海湾沿岸のうち天津市を対象地域として、海面上昇に対する沿岸域の脆弱性評価を試みた。研究は、日本の研究グループと北京大学のグループが共同で実施し、ケーススタディを通して評価手法自体の検討を行うことも目的の一つとなっている。

* 茨城大学工学部都市システム工学科 Department of Urban and Civil Engineering, Ibaraki University

** 運輸省港湾技術研究所海洋水理部海水浄化研究室 Purification Hydraulics Laboratory,
Port and Harbor Research Institute, Ministry of Transport

*** 北京大学地理系 Department of Geography, Peking University

**** バシフィックコンサルタンツ株式会社 Pacific Consultants Co., Ltd

2. 脆弱性評価の概要

ケーススタディの前提として、IPCC-CZMS が主導する脆弱性評価（Vulnerability Assessment）の目的と手法の枠組みを紹介する。

2.1 脆弱性評価の目的

海面上昇に対する脆弱性とは新しく用いられはじめた言葉であるが、以下のような概念を含んでいる。

- ・海面上昇によって生じる物理環境の変化に対する沿岸域の影響され易さ
- ・社会・経済システムおよび自然・生態系システムへの影響
- ・当該国あるいは地域が持つ影響回避、影響緩和の能力

したがって、IPCC-CZMSの提案した脆弱性評価は単なる影響評価（Impact Assessment）にとどまらず、最終的には社会の潜在的な対応力まで含めて評価しようとするものである。こうした意識は、手法の中にも反映されている。IPCC-CZMSは今回のプロジェクトを通して次のような二つの目的の達成を掲げている。第1の目的は、一国、とりわけ発展途上国の脆弱性を総合的に把握することである。これにより、沿岸域管理計画の中で援助の必要な分野を明らかにできる。第2の目的は、沿岸域の脆弱性に対する世界規模での評価の基礎を与えることである。これは、世界規模での影響を定量的に把握する初めての本格的試みとなる。

2.2 脆弱性評価の枠組み

脆弱性評価のケーススタディの枠組みを図-1に示す。具体的な評価は、図-1に示されたような7つのステップに従って実行される。各ステップの内容は以下に示すとおりである。

(1) ケーススタディ領域と海面上昇・気候変動のシナリオの設定

最初のステップはケーススタディ領域の設定であり、それは一部地域でも一国全体でもかまわない。次いで、海面上昇とその他の気候変動のシナリオを設定する。海面上昇に対しては、IPCCの第一作業部会の予測（IPCC WG I, 1990）を参考にして、以下の2つを標準的シナリオとして設定した。

- ・SLR-1：2100年までに0.3m上昇
- ・SLR-2：2100年までに1.0m上昇

その他の気候変動としては、台風の変化、降雨・水文流出の変化、気温・水温の変化などを考慮することになっているが、地域レベルでの信頼性の高い予測は現状では得られていない。

(2) ケーススタディ領域の特性の列挙

このステップでは脆弱性評価を行う上で必要なデータを収集する。収集すべきデータの主なものは、自然の特性（物理的条件、地形、生態系および種など）と社会・経済的特性（人口、国民総生産、産業、土地利用など）である。具体的な項目を表-1に示すが、これらをまとめるためのチェックリストが提案されている。

(3) 将来の変化の見通し

実際の影響は将来のある時点で現われることになるので、可能な限り沿岸域の将来の変化の見通しを立てることが望ましい。これには、自然と社会、両面での変化がありうる。

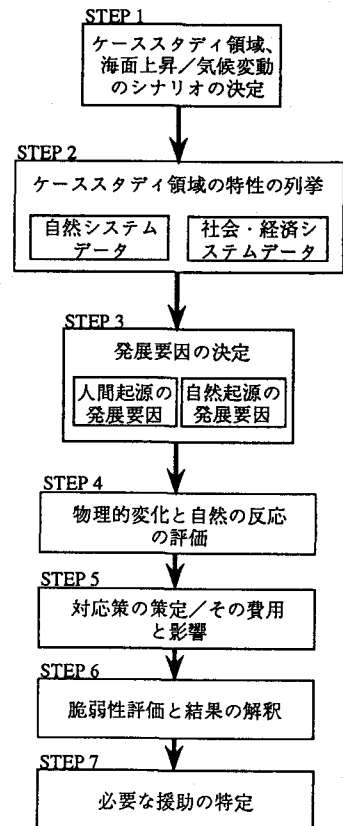


図-1 脆弱性評価の枠組み

(4) 物理環境の変化と自然システムの反応の評価

いわゆる影響評価のステップである。まず、海面上昇によって引き起こされる物理的变化、すなわち、水没、汀線の変化（侵食／堆積）、氾濫の出現確率の変化などを予測し、これに伴う社会・経済システムおよび自然・生態系システムへの影響を評価する。IPCC-CZMSのガイドラインでは、影響評価の項目もチェックリストの形で整理されている。

(5) 対応策の策定およびその費用と影響の評価

IPCC-CZMS（1990）は対応策として、撤退、順応、防護の3つを挙げている。最終的な対応策はこの分類に基づいて検討されることになるが、現段階では少なくとも、無対策と完全な防護の両極端について評価する。無対策のケースは海面上昇による最大影響を与え、完全防護は海面上昇に対する対応策の最大費用を与えることになる。

(6) 脆弱性評価と結果の解釈

対象領域の脆弱性は二つの段階で評価される。第1段階は海面上昇と気候変動による社会・経済と自然・生態系への影響評価であり、第2段階は対応策の実施可能性である。第1段階の影響評価では、影響の程度を、失われる価値（Value at loss）、危険に瀕する価値（Value at risk）、その他の影響の3つのレベルで整理する。第2段階では、対象地域の対応力を検討する分野として、法律／制度、経済／財政、技術、文化／社会の4つが挙げられ、それぞれの分野において、既存の枠組み、実施上の問題などを検討することになっている。

(7) 必要な援助の特定

発展途上国に対しては、以上のステップの評価から援助の必要な分野を特定する。

表-1 脆弱性評価のための基礎データチェックリスト（要約）

1. 沿岸域の物理環境・地形	2. 生態系および種	4. 土地利用
・ 海岸地形の類型と延長 (自然海岸) (人口・半人工海岸) - 砂浜 - 護岸 - 泥浜 - 海岸堤防 - 海崖 - 離岸堤・突堤など - ラグーン - バリア島 - サンゴ礁など ・ 潮位・潮差 ・ 高潮の潮位 ・ 地盤沈下 ・ 波浪条件 ・ 河川流量、洪水流量 ・ 流送土砂量など	・ 生態系の類型と面積など - 湿地帯 - 藻場 - 砂丘 - マングローブ - サンゴ礁 ・ とくに保全に必要な生態系と生物種	・ 土地利用区分 - 農業 - 林業 - 工業 - 都市域 - レクリエーションなど ・ 各区分ごとの生産性など
	3. 社会・経済システムのデータ ・ 人口分布 ・ GDP ・ 資産の分布 ・ これらの成長率など	

3. 中国渤海湾沿岸域のケーススタディ

3.1 地域の概況（任編, 1986; 衛ら編, 1988; 除, 1988）

図-2および写真-1に示すとおり、本研究対象地域は、中国の内湾である渤海湾の西に位置している。湾内はほぼ全域が泥質で、水深は20mより浅く、沿海部では10mに達しない。渤海湾にそそぐ海河（ハイファ）の河口

に位置する天津港は、北京の外港にあたり、中国北部最大の国際貿易港および国内最大の水陸運輸センターとして重要な位置を占めている。天津市は、人口819万人を有する中国第三の都市であり、「北京の海の玄関口」と呼ばれる重要な拠点である。

地形は、黄河、淮河、海河他の沖積作用によって形成された華北平原の北部（海河平原）に含まれ、総面積11,305km²の約93%が平原である。大部分が海拔5m以下、傾斜1/5,000から1/10,000であり、非常になだらかな地形である。地勢は、海河を軸に、北は燕山、東は渤海湾に臨んでおり、華北地区の数多くの河川が流入して渤海湾に注いでいる。天津市は、天津市区のみならず周辺の11の区・県を含んでいる。天津市の中でも特に標高が低い濱海平原区は、海拔1～3mに位置し、高潮等の被害が顕著に現われる地域である。この濱海平原区には、漢沽区、塘沽区および大港区の東部が含まれる。この地区は塩の大生産地であるが、排水が悪く地下水位も非常に高いため、現在でも塩害による被害の多い地域である。

天津市の産業については、工業が中心であり、北京、天津、唐山からなる製鋼業集中地区に含まれている。濱海平原区では製塩工業がさかんで、中国最大の海塩産区であり、中国第4位の塩生産量を誇っている。なお、塘沽区には中国最大の製塩工場がある。また、渤海沿岸には大港油田および渤海油田があり、高い生産量をあげている。天津市の農業は、トウモロコシ、麦が中心であるが、その生産額は中国の中では低い。

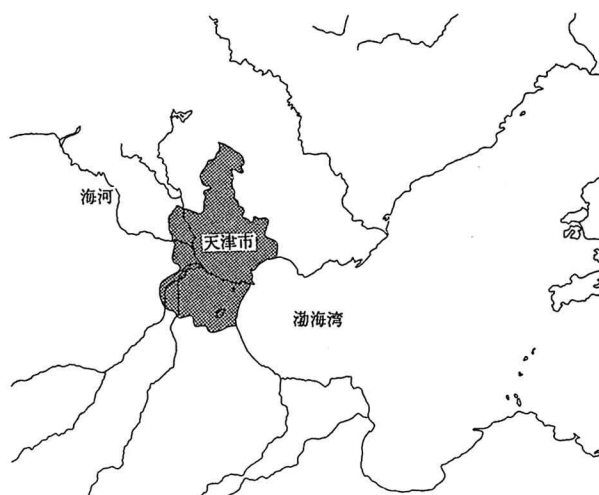


図-2 天津市の位置

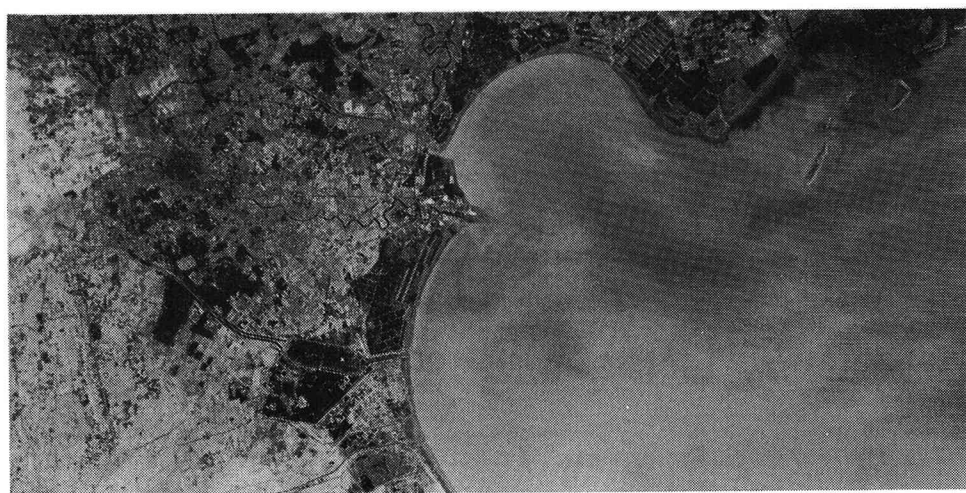


写真-1 渤海湾沿岸地域

3.2 研究方法

(1) 海面上昇・気候変動のシナリオ

ガイドラインでは、海面上昇に関して0.3m (SLR-1) および1.0m (SLR-2) の2つのシナリオを提案している。図-3に示した渤海湾の潮位のとおり、現在の海岸線（大潮平均満潮位）は、地図上の標高基準面である黄海平均海面上2.2mである。また高潮時の潮位は、1985年8月の台風時に2.89m、過去100年に遡れば1895年に4.45mという記録が残されている（Han et al., 1990）。この地域は地下水の汲み上げによる地盤沈下地帯であるが、本研究では、海岸線の標高が将来的に変化しないものと仮定して黄海平均海面上2.2mを基準の海岸線とし、海面上昇シナリオ（SLR-1およびSLR-2）に対する影響範囲、すなわち水没危険地域を求めることとした。また、高潮時の潮位は平均海面上2.9mとして、同様に影響範囲を求める。これは、将来の氾濫危険地域にあたる。

なお、本研究では、海面上昇の時間経過および将来の社会・経済変化等を考慮せず、現在の諸条件のまま一挙に海水面が上昇した場合の影響を検討したことになる。また、降雨や台風の変化など他の気候要素の変化も考慮にいてない。

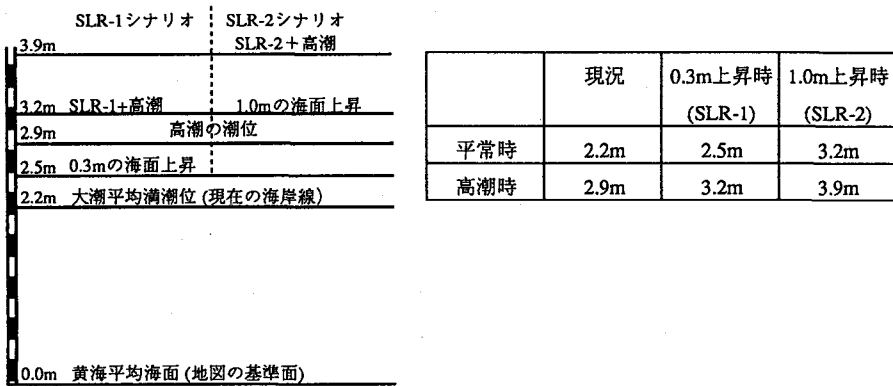


図-3 渤海湾の潮位および海面上昇シナリオ

(2) 地域特性に関する情報の収集

地形・地理情報、現況土地利用および社会・経済指標についてはできる限り広い範囲の資料を収集し、以下のとおりとりまとめた（井上, 1992）。

a) 地形・地理情報

地図の形の情報は、デジタイザを用いて地理情報システムに入力した。データベース化した地形・地理情報は、以下に示すとおりである。

- ・天津市市界、天津市内の行政区界（12区・県）
- ・等高線（0m、1m、2m、3m、4m、5m（およびこれらを補間して2.5m、2.9m、3.2m、3.9mを作成））
- ・塩田、河川、鉄道、主要道路、主要都市（1～5万人、5～10万人、10～50万人、100万人以上）

b) 現況土地利用状況

1990年4月4日に受信されたランドサットTMデータを用い、既存の地形図（縮尺1/100,000）をもとに、幾何補正を行った後、10項目への土地被覆分類を行った。

c) 社会・経済指標

天津市統計年鑑（天津市統計局, 1991）等から、行政区ごとの面積、社会総生産値、常住人口数、農業人口数、農耕地面積、各産業の生産額等を取りまとめ、地理情報に付加する属性情報として整理した。

(3) 影響の定量的評価手法

海面上昇による影響を定量的に把握する際の処理方法として、地理情報システム（GIS）を用い、地形・地理

情報のデジタル処理を行った。また、現況の土地利用に関しては、既存の地図から十分な情報が得られないことから、ランドサットデータに基づく土地被覆分類から推定した。

行政区（区・県）ごとに、属性情報として人口、産業等各種の社会・経済情報をリンクさせ、これらと現況土地利用データを複合的に処理することにより各評価項目に対する海面上昇の影響量を算出した。社会・経済指標に関しては、以下のとおり影響量の算出を行った。人口に関しては、ランドサットデータより分類した各区・県別の市街地面積のうち、海面上昇の影響を受ける市街地面積を算出し、これに統計資料による各区・県別人口を面積比で配分してそれぞれのシナリオによる影響人口を算定した。同様に、農業、林業に関しても各区・県ごとの現況土地利用面積および生産額より影響量を算定した。なお、製塩業に関しては、各区・県の生産額に関するデータが得られなかったため、塩田面積が生産量に比例するものと仮定し、影響量を算定した。図-4にランドサットデータとGISの利用の手順を示す。

3.3 解析結果

(1) 海面上昇の影響範囲

図-5に0.3m（SLR-1）および1.0m（SLR-2）の海面上昇による影響範囲を、また表-2に各区・県別の影響面積を示す。天津市全域に占める水没危険面積は、SLR-1において12%、SLR-2において44%であり、高潮時の氾濫危険面積は2つのシナリオに対してそれぞれ44%と52%にのぼる。とくに濱海平原区の塘沽区、漢沽区、大港区では、SLR-1の水没危険面積55%（高潮時の氾濫危険面積94%）、SLR-2の水没危険面積94%（高潮時の氾濫危険面積98%）であり、海面上昇によって極めて打撃的な影響を受けることが予想される。

天津市の中心である天津市区においても、SLR-2において69%（高潮時の氾濫危険面積100%）の面積が水没の危険に類する。天津市区は現在でも低平であり、海面上昇を考慮しない高潮時（2.9m）において全市の30%の面積が氾濫危険地域となっている。

(2) 社会・経済的影響

表-3に天津市各区・県の人口への影響量の算出結果を示す。天津市全域では現在でも2.9mの高潮の氾濫危険区域内に人口の26%が住んでいる。それが海面上昇の結果、SLR-1において8%、SLR-2において56%が平均満潮位以下の地域に居住し、高潮時には影響を受ける人口が各々56%、74%に拡大することになる。

濱海平原区の塘沽区、漢沽区、大港区だけで見ると、SLR-1において61%（高潮時95%）、SLR-2において95%（高潮時98%）の人口が、また天津市の中心である天津市区では、SLR-2において70%（高潮時100%）の人口が影響を受けることになる。

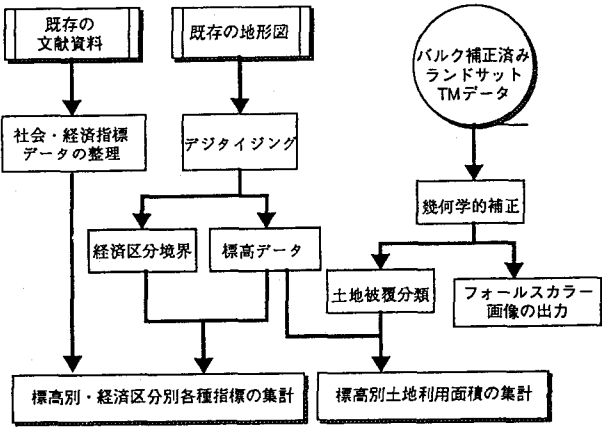


図-4 ランドサットデータとGISの利用の手順

表-2 各区・県別の影響面積

		単位：ha			
区・県名	総面積	2.5m以下	2.9m以下	3.2m以下	3.9m以下
天津市区	15,552	0	3,259	10,662	15,550
塘沽区	68,388	61,803	68,388	68,388	68,388
漢沽区	34,925	17,433	33,494	34,925	34,925
大港区	95,006	29,506	69,367	83,137	90,952
東郊区	49,135	4,434	33,161	39,374	47,148
西郊区	55,655	0	17,084	32,780	40,364
南郊区	40,411	10,807	40,411	40,411	40,411
北郊区	47,884	0	0	0	1,165
寧河県	141,426	913	30,048	52,044	83,534
武清県	156,905	0	0	0	0
静海県	148,247	0	2,736	75,791	102,544
宝坻県	152,450	0	0	0	911
合 計	1,005,984	124,895	297,948	437,512	525,893

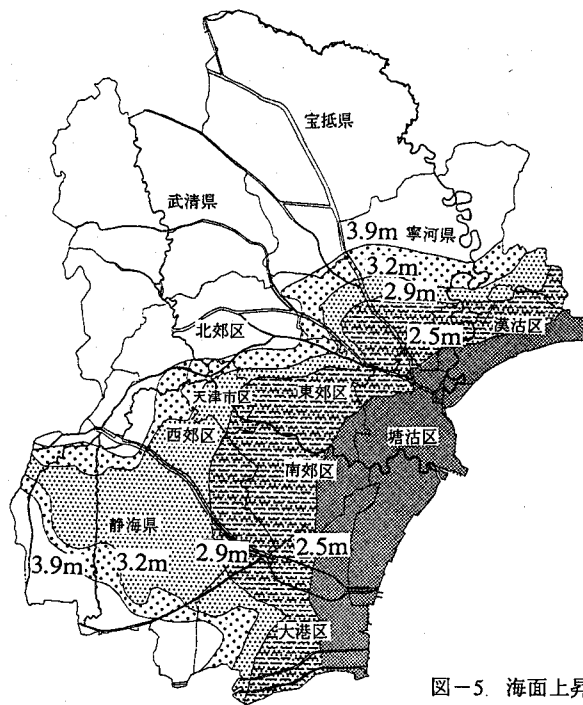


図-5 海面上昇の影響範囲

図-6 には社会・経済指標に与える海面上昇の影響量を示す。森林が比較的標高の高い地域に分布していることから、林業への影響は比較的少ない。農業に対する影響はSLR-2の高潮時で40%程度であり、市街地、塩田は海岸近くに分布していることから、人口、製塩業に対する影響が大きい。とくに、製塩業に関しては、SLR-1において約80%、海面上昇を考慮しない高潮時（2.9m）においても製塩量の100%の影響を受けることが推測される。また、3.1でも述べた通り、天津港周辺を中心に重工業が立地しており、工業部門に対する影響も著しいと推測されるが、今回の研究では、工業生産額の資料が入手できなかったため、定量的な評価はできなかった。

しかし、ここまでの結果においても、天津市のような広大な低平地に対して海面上昇がきわめて大きな影響を与える可能性があることが理解できる。

表-3 天津市各区・県の人口への影響量

区・ 県名	1991 年	単位：万人					
		2.5m 以下	(%)	2.9m 以下	(%)	3.2m 以下	(%)
天津市区	355.2	0.0	0	49.7	14	248.7	70
塘沽区	42.5	40.4	95	42.5	100	42.5	100
漢沽区	16.2	2.4	15	16.0	99	16.2	100
大港区	28.6	10.3	36	21.5	75	24.3	85
東郊区	28.3	5.9	21	22.1	78	24.3	86
西郊区	28.9	0.0	0	1.4	5	11.8	41
南郊区	35.4	5.7	16	35.4	100	35.4	100
北郊区	30.6	0.0	0	0.0	0	0.0	0
寧河県	31.7	0.6	2	10.8	34	18.1	57
武清県	76.5	0.0	0	0.0	0	0.0	0
静海県	45.6	0.0	0	0.0	0	11.4	25
宝坻県	59.0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
合 計	778.4	65.3	8	199.4	26	432.7	56

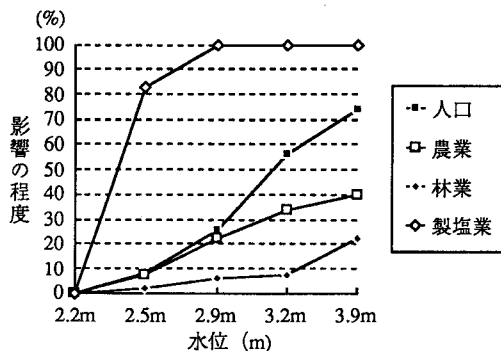


図-6 社会経済指標に与える海面上昇の影響量
水位の基準面は黄海平均海面であり、2.2mが現在の海岸線（大潮平均満潮位）にあたる。

4. 結論

本論文では、IPCC-CZMSの提案に基づいて、中国渤海湾沿岸、天津市を対象に海面上昇に対する脆弱性評価を試みた結果を示した。その結果、水没地域、氾濫危険地域、人口、産業活動に対して極めて大きな影響があることが明らかになった。本研究では、地理情報システムと衛星リモートセンシングとを組み合わせ用いたが、IPCC-CZMSの提案している共通の評価手法を具体化し、定量的評価を行う上で有効な手法であることがわかった。しかし、今回の研究で検討できたものは、水没と高潮による氾濫の社会・経済的な影響にとどまった。海面上昇の基本的な影響には、海岸侵食や塩水の侵入などの現象があり、その結果国土の損失や沿岸域の生態系の変化、水資源への影響などが広がることが指摘されている。しかし、これらについては十分な資料が収集できないだけでなく、予測手法も確立されていない。

また、IPCC-CZMSのガイドラインでは、対応策の検討、影響による被害額と対応策に要する費用の比較、さらに当該地域の制度的、財政的、技術的な対応力の評価を求めている。海面上昇の脆弱性評価を完結させるためには、これらの検討まで行う必要があることは理解しようとしても、実際に実行するには研究者と行政との協力が不可欠である。とくに、2. に示した脆弱性評価の後半のステップは行政の課題に直結している。したがって、脆弱性評価は、最終的には当該の国、地域の手で実施されるべきである。

以上のように問題点、課題が多く残されたが、世界レベルで海面上昇の脆弱性を評価するという目標が示されたことの意義は大きい。残された個々の現象への影響評価手法を開発するのは工学の課題であり、脆弱性評価を完結させる手法の確立にむけて研究を進める必要がある。

(謝辞)

本研究を進めるにあたり、東京大学磯部雅彦教授、東京都立大学堀信行助教授には度々議論に加わっていただいた。また、(財)地球・人間環境フォーラムの地球温暖化問題検討委員会・海面上昇分科会においても有益なご検討をいただいた。中国現地調査では、パシフィックコンサルタンツ(株)の鮮明さん、藤森眞理子さんの協力を得、データ処理では茨城大学大学院生の新井祐二君、井上馨子さんの協力を受けた。これらの方々に心からの謝意を表する。

参考文献

- Han Mukang, Hou Jianjun, Wu Lun, Liu Chuang, Zhao Genmou, Zhang Zulu (1990) : Adverse Impact of Projected One Meter Sea Level Rise on North China Coastal Plain and the Response Strategies, unpublished report, 22p.
- IPCC WG I (1990) : Climate Change - The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, 365p.
- IPCC WG II (1990) : Climate Change - The IPCC Impacts Assessment, Australian Government Publishing Service.
- IPCC WG III CZMS (1990) : Strategies for Adaptation to Sea Level Rise, 122p.
- IPCC WG III CZMS (1991) : The Sevens Steps to the Vulnerability Assessment of Coastal Areas to Sea Level Rise Guidelines for Case Studies, 24p.
- 井上馨子 (1992) : 海面上昇に対する沿岸域の脆弱性評価—中国天津海岸のケーススタディー, 茨城大学卒業論文, 110p.
- 衛傑文、陸旦中、楊閔、王効乾、楊伯震編、河野通博、青木千枝子 (1988) : 現代中国地誌, 古今書院, 272p.
- 除華、(1988) : 天津自然地理, 天津市地方史志編集委員会総編集室.
- 天津市統計局 (1991) : 天津市統計年鑑, 中国統計出版社, 798p.
- 任美鏐編、安部治平、駒井正一訳 (1986) : 中国の自然地理, 東大出版会, 376p.
- 三村信男、細川恭史、磯部雅彦 (1991) : 海面上昇・地球温暖化の沿岸域への影響の諸相と影響評価の枠組み, 環境システム研究, Vol. 19, pp.15 - 21.