

(30) 地球温暖化に伴う海面上昇・気候変動に対する脆弱性評価支援データベースの構築

Database System for Vulnerability Assessment to Sea Level Rise

町田 聡* 三村 信男* 原沢 英夫** 山田 和人***
Satoshi MACHIDA, Nobuo MIMURA, Hideo HARASAWA, Kazuhito YAMADA

ABSTRACT ; 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. This paper describes a need of the database for vulnerability assessment to sea level rise in Asian and Pacific region, which helps researchers to assess each study area in an objective and common method. Importance of the regional assessment in the Asia and Pacific is also stressed, and the first step of this regional assessment in the study area was carried out, using the Asian Pacific Database.

KEYWORDS ; Global Warming, Sea Level Rise, Vulnerability Assessment, Asia-Pacific Region, Database System, GIS

1. はじめに

「気候変動に関する政府間パネル」(Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC)によると、地球温暖化に伴う海面の上昇量は、西暦2100年には0.3mから1.1mにまで達すると予測されている(IPCC WGI,1990)。海面の上昇は、単に陸地の面積を減少させるばかりでなく、沿岸域における社会環境・自然環境に多くの影響を与えることが予測される。海面上昇や気候変動が沿岸地域に及ぼす種々の影響の大きさを事前に把握し、各々の地域が取るべき対応策を検討すること(脆弱性評価)は、地球環境問題の解決に向けた今後の重要な研究課題のひとつとなっている。

地球環境問題に対する重要な課題の一つは、個々の国や地点だけでなく、地球規模、あるいは一つの地域全体でいかなる影響が生じるかを把握、予測することである。そこで本研究では、アジア・太平洋地域(図1の範囲)を対象に、現在整備されている地理的情報の種類と精度をとりまとめ、今後の地球規模での脆弱性評価に向けた「脆弱性評価支援アジア・太平洋データベース」を構築すべく、その概念およびフレームワークをとりまとめ、地理情報システム(GIS)を活用してプロトタイプを作成した。またこれまでに入手された地理的情報を用いて、アジア・太平洋地域全域に対する概略の脆弱性評価を試みた。

2. 脆弱性評価支援データベースの枠組み

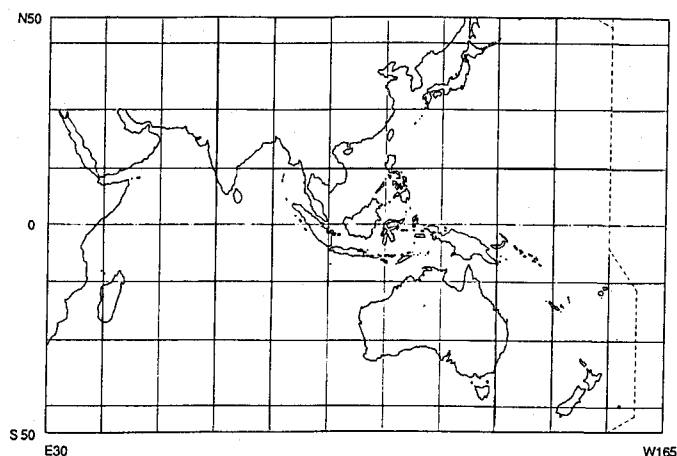
2. 1 脆弱性評価とは

海面上昇に対する脆弱性評価は、地球温暖化に伴って海面上昇・気候変動が起こった場合における、その地域の社会・経済・自然に対する影響を評価するものである。脆弱性評価においては、まずはじめに海面上

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

** 環境庁地球環境研究センター National Institute for Environmental Research, Japan Environmental Agency

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



図一 対象地域

昇と気候変動のシナリオを設定し、その地域の潮位（平常時および異常気象時）と台風・降雨などの気象要素の変化を仮定する。次に、こうした外力に対してその地域が被る物理的な影響を把握するとともに、社会・経済・自然資源への影響を予測する。さらに、その国や地域のもつ行政・財政・技術・社会的対応力を評価し、その中で対応策を構想しようというものである。

こうした外力の変化に対して影響を受けるシステムとしては、国土、人口、資産といった基本的項目の他に、自然・生態系、経済活動（産業）、インフラ（交通施設、海岸構造物等）、社会・文化といった個別分野が挙げられる。またそれらのシステムに対する影響量を評価するための指標としては、例えば国土に関しては水没・氾濫面積、自然システムに関しては水没する危険性の高い湿地帯の面積などが挙げられる。こうして細分化される各種の指標に対してある基準を設定し、地域毎の影響の大きさや対応力の有無を検討するのが、海面上昇に対する脆弱性評価（Vulnerability Assessment; V.A.）である。

2. 2 データベース整備の目的および枠組み

脆弱性評価をアジア・太平洋地域あるいは国毎に進めていくと、データ入手の可否によって客観的な評価を横並びで行うことの難しさに直面する。世界的な脆弱性の評価に向けた基礎情報の整備のためには、国毎にデータ整備を進め、各々の地域においてそれぞれの地域に対する脆弱性評価を実施し、その結果を全域の評価へとフィードバックしていく作業を積み重ねていくことが重要である。こうした作業の集約点として、アジア・太平洋地域の海面上昇に対する脆弱性評価のためのデータベースを構築することを構想した。このデータベースの目的を改めて示すと次の2点のようになる。

- ・アジア・太平洋地域全域を対象にした脆弱性評価に向け、情報の一元的な蓄積とトータルな評価の支援システムを構築する
- ・それぞれの地域を対象に、これから脆弱性評価を行おうとする世界各国の研究者に対する情報提供ツールを提供する

こうした2つの目的を達成するためのデータベース構築を考えた場合、整備すべき情報の内容は、大きく異なってくる。そこで本研究では、利用目的に合わせて2つの段階のデータベースを整備することとした。

ひとつは広域的な脆弱性評価に向けた支援システムとして、現在整備されている各種の情報や、今後整備される各種の地理的情報および社会・経済的情報の一元的な管理を行い、アジア・太平洋地域全体を対象にしたマクロな観点からの脆弱性評価を支援するためのものである。ここに入力される情報は、主として地理

的な原データであり、GISをベースにしてワークステーション上で構築を行うものである。

もう一方は各国の研究者、とくにこれから脆弱性評価を行う研究者に対する情報提供のためのものであり、基本的な海面上昇のシナリオから脆弱性評価の概念、手法、事例等に至るまで、多様な情報を提供するものである。この2次のデータベースにおいては、地域毎の個別の脆弱性評価を支援するために、原データとして蓄積された各種情報の内、そうした地域レベルでの評価を支援するために必要な情報を抽出し、加工処理したものをマルチメディア感覚で用いることができるよう、パソコン上で構築するものとした。

ここでは前者を1次データベース、後者を2次データベースと呼ぶ。(図-2)

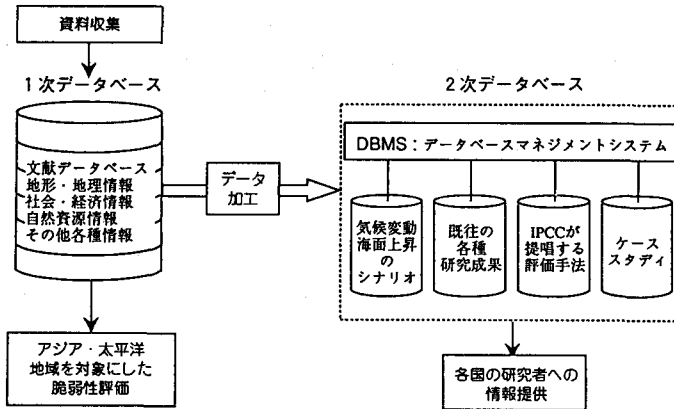


図-2 データベースの枠組み

3. データベースの概要

3. 1 1次データベース

1次データベースにおいては、地理的情報を効率的に蓄積し、また将来的に解析のために用いることが重要である。そこで1次データのデータベース化にあたっては、地理情報システム (Geographic Information System; GIS) をベースにした。

GISでは、海岸線、道路、鉄道、国境等経済区分境界などのようにベクトル形式で記録される図形情報の他に、世界の標高データや土壌データなどのようにメッシュ形式で記録されている地理的情報の双方を活用して解析を行う必要がある。そこで本研究では、ベクトル形式のデータとメッシュ (ラスタ) 形式のデータとを複合的に扱えるシステムとして、"ARC/INFO"およびそのオプションソフトである"GRID"を用いた。またデータの入力、加工や、処理の一部においてはパソコン版のGISソフトウェアである"Map Grafix"を用いた。

アジア・太平洋地域全体を対象にした地理的情報としては、国連環境計画 (United Nations Environmental Programme: UNEP) / GRID (Global Resource Information Database) データがある。本研究では、米国CIAが作成しているWDBIIを利用したほか、UNEP-GRIDの日本の窓口である「GRID-つくば」から、全世界を1/12経緯度毎のメッシュに記録した標高データ、1/30経緯度メッシュ毎の土壌データ等を入手した。これらの他に、人口分布については「GRID-つくば」を通して京都大学の松岡氏が作成した1経緯度メッシュ毎の人口データを入手した。また過去の台風による沿岸域への影響に関しては、Murray State大学のKevin R. Birdwell氏ならびにMiami 大学のRichard C. Daniel氏が作成した"A Global Geographic Information System Data Base of Storm Occurrences and Other Climate Phenomena Affecting Coastal Zones"を入手した (表-1)。

表-1 入手した地理的情報の種類

データ名	データの内容	データ形式	データ源 (作成者)
WDB II	海岸線	ベクトル	World Data Bank II (Central Intelligence Agency : CIA)
	行政区分境界	ベクトル	World Data Bank II (Central Intelligence Agency : CIA)
	道路	ベクトル	World Data Bank II (Central Intelligence Agency : CIA)
	鉄道	ベクトル	World Data Bank II (Central Intelligence Agency : CIA)
	河川	ベクトル	World Data Bank II (Central Intelligence Agency : CIA)
	湖沼	ベクトル	World Data Bank II (Central Intelligence Agency : CIA)
ETOPO5	標高	1/12経緯度メッシュ	U.S. National Geophysical Data Center
FAOSOIL	土壌	1/30経緯度メッシュ	1974 FAO/Unesco Soil Map of the world at 1:5,000,000 scale
GLASOD	土壌劣化	ベクトル	International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)
GPOP.GLB	人口密度	1経緯度メッシュ	京都大学松岡氏が作成
MONSOON	台風影響	1経緯度メッシュ	Kevin R. Birdwell(Murray State Univ.), Richard C. Daniels(Miami Univ.)

図-3に、1次データベースでGIS上に構築する各種データのデータ項目とデータ形式の概要を示す。この1次データベースを用いることにより、アジア・太平洋地域全体を対象にした脆弱性評価を行うことが可能となる。アジア・太平洋地域を対象にした脆弱性評価の例は、4に述べる。

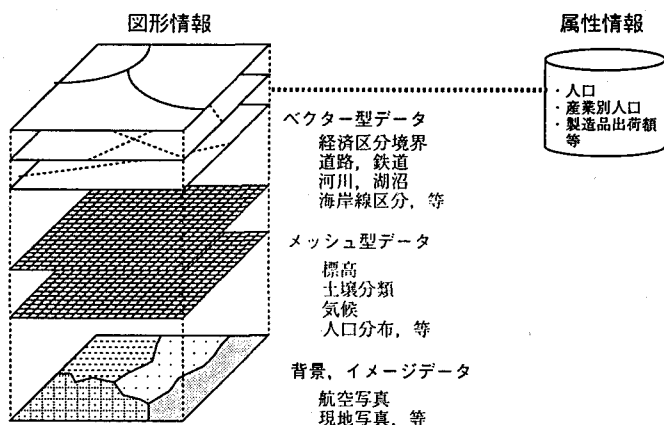


図-3 1次データベースにおけるデータ項目とデータ形式

3. 2 2次データベース

2次データベースは地域レベルでの局所的なケーススタディを行う際の支援情報システムとしての位置づけから、1次データベースに蓄えられた情報の中から地域レベルでの脆弱性評価に必要な項目について情報を整理したものを作成するものとした。

2次データベースに入力される情報は、文字、数値等テキスト形式で記録される情報に留まらず、地形・地理に関する各種図形情報から写真などイメージとして入手される情報まで、各種の形式の情報が含まれる。またデータベースの利用に際しては、ユーザーが簡単な操作で多くの情報にアクセスできるよう、マニュアル不要の操作性を持ったデータベースであることが望まれる。そういった観点から、本研究ではAppleコンピュータのHyper Cardというデータベースソフトウェアをベースにシステムの構築を行った。Hyper Cardはカード型データベースシステムソフトウェアのひとつであり、テキスト形式のデータから表形式、写真等のイメージまで各種の形式のデータを容易に取り込むことが可能である。また各々の検索画面から他の画面への移動はボタン操作によって容易に行うことが可能であり、文献等のテキスト形式のデータセットの利用にお

いては条件検索等も可能である。

本研究で作成した2次データベースのプロトタイプには、大きく以下の4つの内容が含まれる。

(A) 文献データベース

気候変動に伴う海面上昇に関してこれまでに発表された論文を収集し、論文名、著者、発表時期および発表学会等、アブストラクトならびにキーワードの整理を行った。

(B) 気候変動・海面上昇シナリオ

気候変動に伴う海面上昇の予測に関しては、IPCCの第1ワーキンググループが中心に研究が進められている。本研究では、IPCCが1992年のベネズエラワークショップで発表した最新の気候変動ならびに海面上昇シナリオについて整理し、データベースの中に取り込んだ。

(C) 脆弱性評価手法

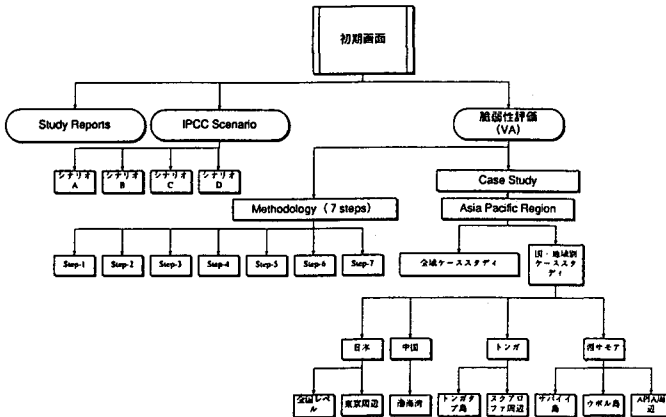
海面上昇に伴う沿岸域への影響に関しては、対象とする地域・国によって解析の内容や精度が異なるものである。当然、それらの外力に対してその地域がとるべき対応策に関しても、地域性を重視して検討が進められるべきではある。しかしながら脆弱性の評価を進めるにあたって従来開発されてきた手法やガイドラインを明示することは、これから評価を始めようとする研究者にとって有意義な情報である。

本研究では、7段階のステップからなるIPCCのCommon Methodology (IPCC CZMS, 1991)を整理し、評価を進めていく上で必要になる表のフォーマットとともにその内容を取りまとめ、データベースに取り込んだ。

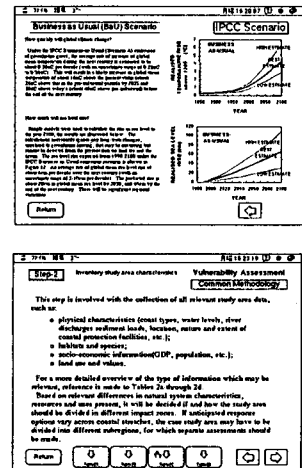
(D) ケーススタディ

これまでに各地域・国を対象に行われてきた脆弱性評価の結果は、他国が研究を進めていく際の参考になるばかりでなく、将来的に広域の脆弱性を評価するための局地的な情報の蓄積のためにも重要なことである。そこで、各国・地域を対象にしてこれまでに行われてきた脆弱性評価において用いられたデータならびに評価結果を整理し、データベースの中に取り入れた。

図—4に、本研究で構築した2次データベース（プロトタイプ）の構成を示す。また図—5に操作画面例を示す。これらの情報は、今後更新されていく性質のものである。例えば、気候変動のシナリオについて言えば、従来は地域レベルの台風や降雨の変化などに関する信頼性の高いシナリオはなかったが、現在その必要性が強く認識され、一部提案され始めている。同様にMethodologyやケーススタディについても、事例の増加につれて、より豊富にされるべきものである。



図—4 2次データベースの構成



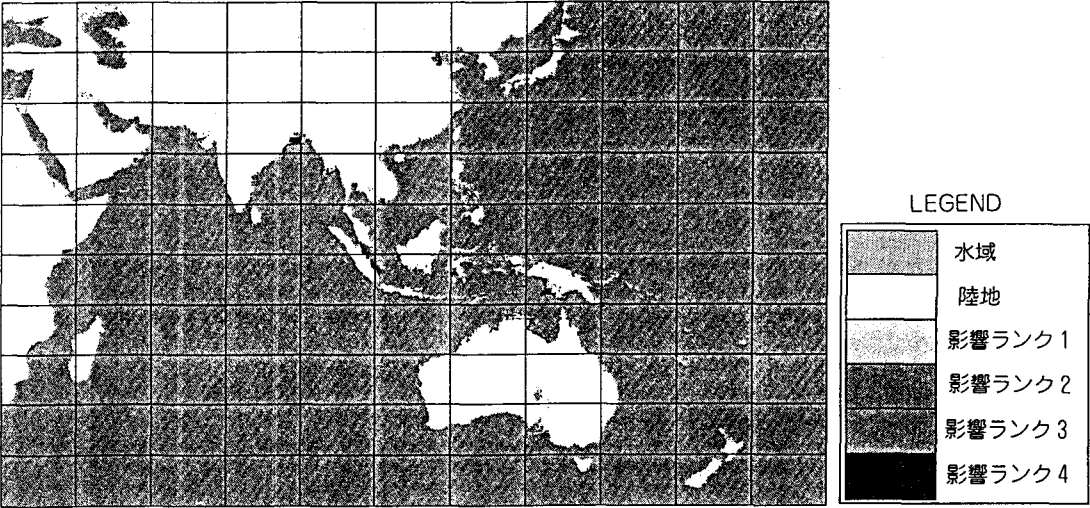
図—5 2次データベースの操作画面例

4. アジア・太平洋地域を対象にした脆弱性評価 (Asia-Pacific V.A.)

現在の段階で入手されている地形・地理データを用い、アジア・太平洋地域全域を対象にした概略の脆弱性評価を試みた。

図一6は、対象地域における標高の分布を示したものである。図中で黒く濃淡が示されている地域は、標高が10m以下の地域である。今回の評価に用いた標高データ (etopo5) は、1m単位で各メッシュの標高が記録されているものであるが、地形図等と照らし合わせたところ沿岸域の標高10m以下の地域については十分な精度が確認できなかったことから、今回の評価においては10mを境界値とした。

現在予測されている海面上昇のオーダーが100年間で1m程度であることから、標高10m以下の地域が海面上昇によって全て影響を被るとは考えられない。しかし、台風による高潮の氾濫などの影響も合わせて考えると、標高10m以下の地域を抽出することで、どこに潜在的に脆弱性の大きい地域が分布しているのかを知るための手掛かりを得ることはできるであろう。



図一6 アジア・太平洋地域を対象にした脆弱性評価例

さらに、上記の標高データと人口データ、台風データを用い、オーバーレイ解析によって脆弱性評価を試みた。その結果が図一6に示されている。ここでは、「標高」「人口密度」「台風による影響」という3つの要素を組み合わせ、表一2に示す方法で各メッシュの影響の大きさをランキングし、図中に濃淡で示している。バングラデシュ、ベトナムのメコンデルタなどの地域は、標高が低いばかりか人口も集中しており台風による影響も大きい。したがって、これらの地域は、海面上昇と気候変動の社会的影響が大きい地域と考えられる。一方、インドネシアのスマトラ島東部やニューギニア島南部は人口の集中は見られないものの標高の低い地域で台風の影響の多い地域が広がっており、自然システムへの影響の大きい地域と考えることができるであろう。

表一2 標高、人口、台風データを用いた脆弱性ランキング例

低地 (1~10m)	台風 (多い)	人口 (多い)	影響ランク
○	○	○	4
○	○	×	3
○	×	○	2
○	×	×	1
×	—	—	0

標高データに海岸線、国境のデータ(WDB2)をオーバーレイすることにより、東南アジア地域の6ヶ国を対象にして10m以下の低地の面積比率（メッシュ数比率）を試算した（表—3）。各メッシュの絶対的な大きさが緯度によって異なるために、算定された比率がそのまま陸地面積の比率を表わすものとはなっていないが、海面上昇に対する脆弱性の大きそうな国を、この表から見てとることができる。

従来から指摘されているとおり、ブラマプトラ川、ガンジス川のデルタをもつバングラデッシュ、メコンデルタを有するベトナムの比率が大きい。カンボジアが12%と大きい比率となっているが、これは内陸部のトンレサップ湖が含まれているためである。一方、タイは3%と小さい比率となっているが、低地のほとんどは首都バンコクの周辺部であり、タイに対する社会・経済的影響は面積比率の数字以上に大きいと推測される。

表—3 東南アジア6ヶ国における低標高地域の面積比率

国 名	バングラデシュ	ミャンマー	タ イ	マレーシア	カンボジア	ベトナム
全陸地部のメッシュ数	1670	8285	6089	1468	2172	3806
標高10m以下のメッシュ数	332	202	157	12	252	347
標高10m以下のメッシュ比率	20%	2%	3%	1%	12%	9%

図—7はこれらの6ヶ国について、標高10m以下の低地と鉄道・道路といった交通インフラ施設の分布を重ね合わせたものである。低地部の交通施設が影響を被ることは、社会・経済への2次的な影響を及ぼすことから、図に見られる以上に大きな影響となって現われることが予想される。



(A) 鉄道への影響

(B) 道路への影響

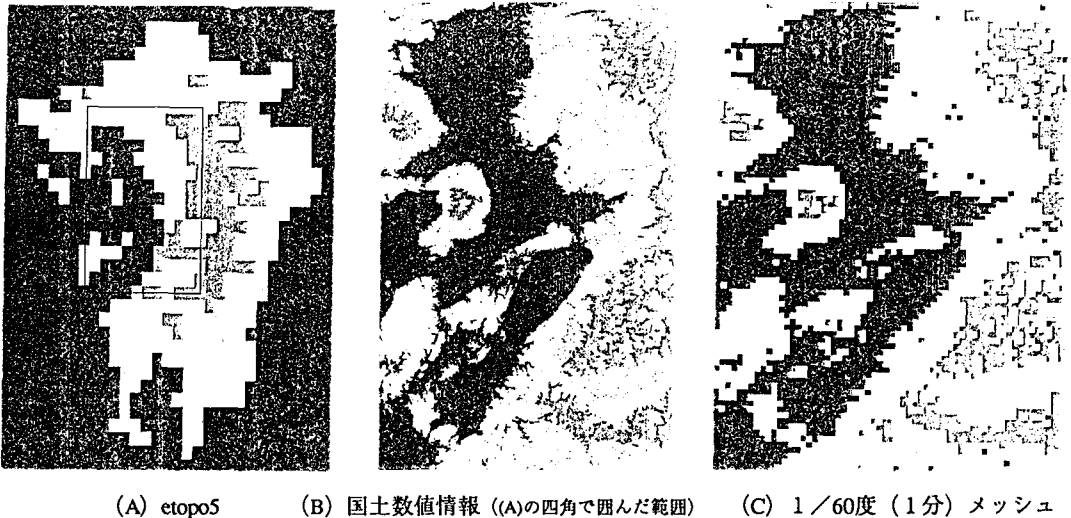
図—7 東南アジア6ヶ国における交通インフラ施設への影響予測図

5. 現在の地理的情報の不十分性および制約

本研究では、現在地球規模で整備されている唯一の標高データであるetopo5を用いたが、etopo5ではひとつのグリッドの大きさが $1/12$ 度と粗く、沿岸域における標高データの精度が十分確保できないことに大きな問題がある。

アジア・太平洋地域には、 $1/12$ 経緯度という粗い精度のメッシュでは認識できないような小さな島嶼国や地域が非常に多く存在し、かつ、こうした島国への影響は極めて大きいと懸念されている。そうした地域に対する脆弱性を大陸国と同様のレベルで評価するためには、精度を向上させた情報の整備が必要である。

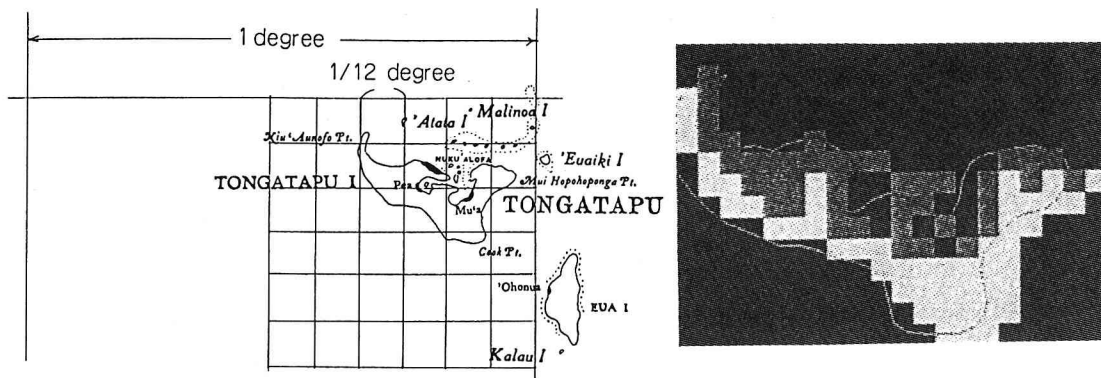
図一8 (A), (B)は、日本の九州北西部の有明海付近の標高データについてetopo5と日本の国土地理院が整備している国土数値情報とを比較したものである。国土数値情報では標高メッシュの大きさが $1/320$ 経緯度（約250m四方）となっており、情報量はetopo5（約6～7km四方）と比べて約700倍もの開きがある。図一8 (C)は、同じ地域を $1/60$ 度メッシュで表わしたものであるが、etopo5に比べて相当大きな精度の向上になっていることがわかる。



図一8 標高データの精度比較

図一9 (A)は、南太平洋島嶼国のひとつであるトンガ王国の主島であるトンガタブ島の地図にetopo5で採用されている $1/12$ 度メッシュを重ね合わせて表現したものであるが、etopo5ではデータの精度上、この島が陸地として認識されていない。一方(B)は既存の地形図から等高線をデジタイザ入力し、 $1/60$ 度（1分）の大きさのメッシュで標高の分布を表現したものであるが、島の中でも脆弱性が高いと見られる北部地域と比較的標高の高い南部地域を識別することができる。

地球規模で詳細な標高データを整備することは相当困難であろうが、以上2つの例からみると、脆弱性評価の基礎としては、 $1/60$ 度（1分）程度の経緯度メッシュでのデータ整備が必要といえる。



(A) トンガタブ島の大きさ

(B) 1/60度(1分)メッシュでの表現

図—9 トンガタブ島の標高分布とetopo5のデータ精度

地形・地理データの精度を向上させる一つの方法は、国毎に個別にデータを収集することである。表—4に、アジア・太平洋地域における地理的情報の整備状況と公開制限の現状を示す。これらのデータは各国で同一の精度では整備されておらず、かつ異なる情報公開の制限があることがわかる。こうした制限の下でも、これまでに各国の研究者が脆弱性評価を行っている国や地域に関しては、人口、経済から自然資源にいたるまで、すでに詳細な地理的情報が入手され、利用されている場合が多い。そうした精度の高いデータを収集して一元的な管理を行うことにより、今後脆弱性評価の精度を高めていくことが期待される。

表—4 地形図・一般図の整備・公開状況

	1/1万以上	1/5万以上	1/20万以上
日本	○	○	○
中国	▲	●	●
インド	×	◆	◆
インドネシア	▲	●	●
バングラデシュ	×	●	●
韓国	△	○	○
マレーシア	△	△	●
フィリピン	△	○	○
シンガポール	◆	○	○
タイ	×	●	○
ベトナム	▲	▲	▲
フィジー	△	△	△
トンガ	△	○	—
西サモア	△	○	—

(認が必要)

○全域整備 (公開) ●全域整備 (非公開) ◆全域整備 (一部非公開)
 △一部整備 (公開) ▲一部整備 (非公開)
 ×未整備 (ごく一部整備されているものの未確認のものを含む)
 —不明

6. おわりに

本研究では、アジア・太平洋地域における海面上昇に対する脆弱性評価の支援データベースについて、その概念設計を行うとともに1次データベースのプロトタイプを構築し、それを用いてアジア・太平洋地域を対象にした概略の脆弱性評価を試みた。また、これら1次データベースに蓄えられた各種の情報を加工/処理することによって、広く世界の研究者に対する情報提供手段のひとつとして有効な、2次データベースのプロトタイプを作成した。

プロトタイプを作成した。

その結果、限られたデータの範囲内ではあるが、標高、人口、台風の頻度などを組み合わせることによって、アジア・太平洋地域における影響ランクの地域分布を求めた。

今回構築したデータベースに、各国のケーススタディの結果得られる地形・地理情報を追加・更新したり、今後整備される精度の高い地形・地理情報を取り込むことによって、広域の脆弱性評価、そして最終的には地球全体を対象にした脆弱性評価の精度を高めていくことが可能になると考えられる。

(謝辞)

本研究の遂行にあたっては、海面上昇に関してこれまでに行われている各種の脆弱性評価研究の成果を参考にさせていただいた。またデータベースの核とも言えるUNEP/GRIDのデータ利用に関しては、国立環境研究所地球環境研究センターの橋本浩一氏はじめ多くの方々の協力をいただいた。また、同センターを通して京都大学松岡譲助教授らの作成した人口分布データを利用させていただいた。また本研究で作成したデータベースの構築においては、パシフィックコンサルタンツ株式会社の田中昭弘氏ならびに山本年浩氏に多大な労力を提供していただいた。ここに感謝の意を表したい。

参考文献

- IPCC WGI (1990) : Climate Change - The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, pp.257 - 281
- IPCC WGII (1990) : Climate Change - The IPCC Impacts Assessment, Australian Government Publishing Service, pp.6.1 - 6.28
- IPCC WGIII (1990) : Climate Change - The IPCC Response Strategies, 270p.
- IPCC WGIII CZMS(1990) : Strategies for Adaptation to Sea Level Rise, 122p.
- IPCC CZMS (1991) : The Seven Steps to the Vulnerability Assessment of Coastal Areas to Sea Level Rise - Guidelines for Case Studies, 24p
- IPCC WGIII CZMS (1992) : Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea, 34p.
- Netatua P.FIFITA, Nobuo MIMURA, Nobuyuki HORI : Assessment of the Vulnerability to Sea Level Rise for the Kingdom of Tonga, 1992
- Nobuo MIMURA, Masahiko ISOBE, Yasushi HOSOKAWA : Impacts of Sea Level Rise on Japanese Coastal Zones and Response Strategies, 1992
- 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
- 三村信男、細川恭史、韓慕康、町田聡、山田和人(1992) : 海面上昇に対する沿岸域の脆弱性評価, 環境システム研究, Vol.20, pp.176 - 183