

アジア・太平洋地域を対象にした海面上昇に対する脆弱性評価

町田 聡*・三村信男**・原沢英夫***・山田和人****

1. 研究の背景と目的

地球温暖化に伴う海面上昇／気候変動が海岸構造物や沿岸域の環境システムに大きな影響を及ぼすことが懸念されている昨今、その潜在的な影響の大きさを評価すること（脆弱性評価）は、沿岸域管理に向けた重要な研究課題のひとつとなっている。この「海面上昇に対する脆弱性評価」に関しては、気候変動に関する政府間パネル（以下 IPCC）を中心に、これまでに多くの研究が行なわれているが（例えば、IPCC, 1994）、それらのほとんどは一国あるいは特定の地点を対象にしたケーススタディに限られていた。海面上昇や気候変動が地球規模の現象であることを考えると、影響の分析もまた地球規模（global）あるいは地域規模（regional）で行われることが必要である。

海面上昇に対する沿岸域の脆弱性を評価する方法に関しては、IPCC (CZMS, 1991) が 1991 年に共通の手法を提案し、これまで各国が行なってきたケーススタディは、この手法に従ってきた。しかしながらこの共通手法は、地点レベルでの評価を対象に作られたものであり、本研究のようにアジア・太平洋地域といった広域を評価するには、全域をカバーする同一精度の情報を入手することが困難である。

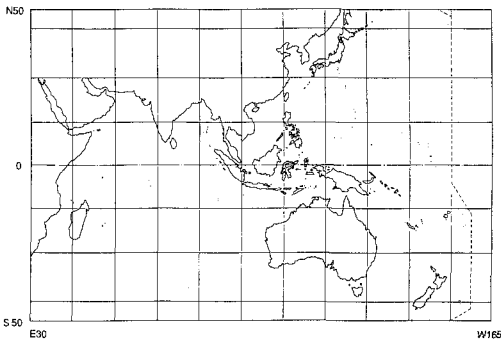


図-1 対象地域

- * 正会員 茨城大学大学院 工学研究科
- ** 正会員 工博 茨城大学助教授 工学部 都市システム工学科
- *** 正会員 工博 環境庁 地球環境研究センター
- **** 正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社

そこで本研究では現在世界的な規模で整備されつつある各種環境情報データベースを活用し、沿岸域の環境システムへの影響を評価する手法を検討した。さらに、図-1 に示すアジア・太平洋地域を対象に入手可能な範囲でデータを収集し、ケーススタディを行った。

2. 評価方法

2.1 影響を受ける沿岸域の環境システムの捉え方

地球温暖化に伴う海面上昇／気候変動は、水没や侵食など沿岸域の土地に対して物理的な影響を与えるのみならず、沿岸域で生活する我々人類やその他の生物に大きな影響を及ぼすことが懸念される。

影響を受ける沿岸域の環境システム、すなわち脆弱性評価の評価対象に関しては、Key ら (1993) が南太平洋島嶼国を対象にした一連のケーススタディの中で、貨幣価値で判断できない自給自足型経済や地域特有の社会・文化を考慮した図-2 に示す環境システムの分類を行っている。彼らの考え方は、沿岸域の環境をひとつのシステムとしてとらえ、それを構成するサブシステム、エレメントといった環境要素に分けた上で、それぞれの要素に対する影響の大きさを評価するというものである。

本研究では基本的にこの考え方に従い、沿岸域の環境システムを、大きく一次的影響（物理的な影響量の変化）と二次的影響（外力の変化による沿岸域の環境システム

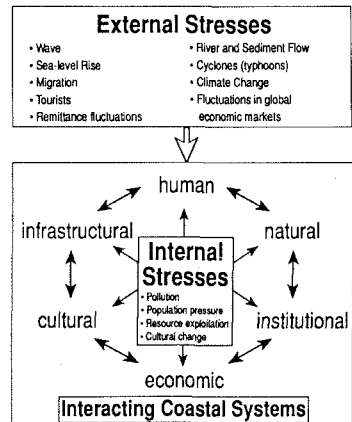


図-2 沿岸域の環境システム構成要素 (Key ら, 1993)

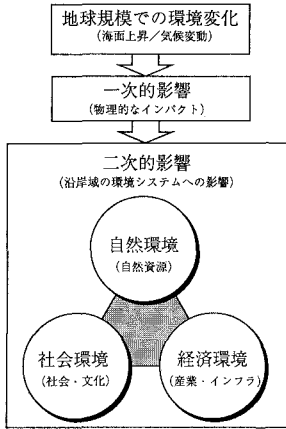


図-3 海面上昇/気候変動の影響の捉え方

への影響)に分けることとした。さらに二次的影響の評価に関しては、沿岸域の環境システムを「自然」「社会」「経済」の3つのサブシステムに細分し、それらを評価対象項目とすることとした(図-3)。

ここで「自然」サブシステムとは動植物等の自然資源を言い、人間以外の生物が影響を受ける主体として捉えられるものを言う。「社会」サブシステムは、人間社会における文化・伝統、地域社会におけるコミュニティなどを意味するものである。しかしながら、こうした人間社会における文化等を定量的に捉えることは非常に困難なものであることから、評価においては沿岸域に生活する人口が物差しとして用いられることになる。また「経済」

サブシステムは人間社会における生活環境を支える各種の社会基盤であり、インフラ施設や産業といった有形の資産が影響を受ける主体となる。この「経済」サブシステムへの影響量に関しては、貨幣価値で換算することが可能であり、各システムの中でも定量的な評価が容易なものであると言えよう。

2.2 使用データ

評価対象地域は東経30度～西経165度、北緯50度～南緯50度までのアジア・太平洋地域である。この地域を緯度経度で1/12度サイズのメッシュに切った。したがって、海洋や内陸部も含めて対象地域の全メッシュ数は2,376,000になる。

沿岸域の環境システムが受ける影響の大きさを評価するために使用したデータは、世界的に整備されている各種の地球環境データベースである。最近ではCD-ROM、コンピュータ・ネットワーク等を媒体とした各種のデータベースが国際機関等で作成されており、広く配布されている。本研究では、それらのデータの中から標高、台風・サイクロン、人口、インフラ施設、湿地帯などの分布に関する情報を収集し、対象地域のデータを抽出してデータベース化を行った。データベース化した項目およびデータ形式を取りまとめ、表-1に示す。

3. 一次的影響量の算出

地球温暖化の影響は、単に海面上昇だけでなく、台風・サイクロンの変化などと重なった時にもっとも顕著になると予想される。そこで、台風・サイクロンによる影響

表-1 データベース化した項目およびデータ形式

	構成要素	使用データの名称	作成機関	入手元	データ種別	データ精度	処理方法, 他	
一次的影響	地形	標高 etopo 5	米国 NGDC	UNEP/GRID	Mesh	1/12deg	—	
	気候	台風・サイクロン World-wide Consolidated Tropical Cyclones	米国 NOAA	World Weather Disk	Point	1/10deg	台風毎にラインを生成→バッファリング→メッシュ化(1/12deg)	
二次的影響	社会	人口 GPOP. GLB	京都大学松岡ら	UNEP/GRID	Mesh	1deg	1/12deg.でリサンプリング	
	経済	都市化率	Areal Percent Urbanized Compared to the Area at the Equator	CERL, Rutgers Univ.	Global GRASS	Mesh	1/6deg	1/12deg.でリサンプリング
		農業	Cultivation Intensity	Matthews	Global Ecosystem Data base	Meth	1deg	1/12deg.でリサンプリング
		道路	World Data Bank II	米国 CIA	Com Grafix, Inc.	Line	—	道路の存在をメッシュ化(1/12deg.)
		鉄道	World Data Bank II	米国 CIA	Com Grafix, Inc.	Line	—	鉄道の存在をメッシュ化(1/12deg.)
	空港	Airport Characteristics Data Bank	ICAO	印刷物より作成	Point	1sec.	空港の存在をメッシュ化(属性データ: 空港の標高, 滑走路本数, 他)	
	自然	湿地帯	Major World Ecosystem Complexes	米国 NOAA	Global GRASS	Mesh	1deg	1/12deg.でリサンプリング
	サンゴ礁	Coral Reefs	Times Atlas of the Oceans	Global GRASS	Mesh	1/12.5deg	1/12deg.でリサンプリング	

略語説明: NGDC: National Geophysical Data Center
 NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
 CERL: Construction Engineering Research Laboratory
 CIA: Central Intelligence Agency
 ICAO: International Civil Aviation Organization
 UNEP/GRID: United Nations Environmental Programme/Global Resource Information Database

を台風の規模と中心からの距離によって5段階にランク分け(表-2)したうえで、米国 NOAA の National Climate Data Center が整備した過去 100 年間の台風・サイクロンの規模と経路のデータを用いて、各メッシュ毎の影響の大きさを求めた(図-4 参照)。

入手した台風・サイクロンのデータは、12 時間毎の台風の位置および規模等の情報をテキスト形式で記録したものである。それらをもとに台風経路の線情報図形ファイルを作成し、影響範囲のパップファリング、メッシュ化を各台風に対して行った(図-5)。さらにそれらのデータを 100 年分重ね合わせ、台風規模によるランキングを考慮して台風の影響可能性評価を行った。

台風の影響範囲に関しては、一般には台風は緯度 10 度~20 度付近の海上で発生してから勢力を強めつつ移動し、ある程度の緯度に達してからは勢力を弱めていき、消滅するという特性を持っている。しかし、それぞれの台風に対する勢力の変化を全台風について取り込むことは困難なため、ここでは安全側を考え、過去の台風の中でも大規模なもの(伊勢湾台風級)の中心位置周辺の風速分布(図-6)を参考に、半径 200 km 以内を影響範囲と考えた。

こうして作成した台風の影響可能性ランキングを標高データとオーバーレイすることによって、一次的影響の大きい地域を抽出した結果を図-7 に示す。また一次的影響量のランクを国別に集計した結果を表-3 に示す。

これらを見ると、バングラデシュ、インド、ベトナム、中国など、大河川の河口デルタを有する国の脆弱性が高いことが確認できる。一方、台風・サイクロンの影響と

表-2 台風による影響のランク

	標高	過去100年間で の台風の影響	最大風速64ノット 以上の台風
ランク 0	10 m 以上	—	—
ランク 1	10 m 未満	ゼロ	—
ランク 2	10 m 未満	50回未満	—
ランク 3	10 m 未満	50回以上	20回未満
ランク 4	10 m 未満	50回以上	50回以上
ランク 5	10 m 未満	50回以上	50回以上



図-5 台風データのメッシュ化処理

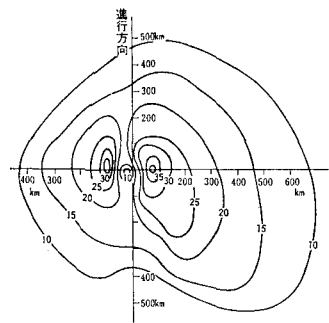


図-6 台風の影響範囲(山岬, 1982)

いう点では、バングラデシュ、フィリピン、中国南部が著しいことがわかる。

デルタ地帯が広がり、これまでも海面上昇に対する脆弱性が高いと指摘されているバングラデシュについて見ると、全 1553 メッシュの内 387 メッシュ、面積に換算すると 14.4 万 km² の国土の約 25% にあたる 3.6 万 km² が影響を受ける可能性の高い土地ということになる。

4. 二次的影響量の算出

二次的影響に関しては、沿岸域の環境システムを大きく自然、社会、経済の3つのサブシステムに分けて、各

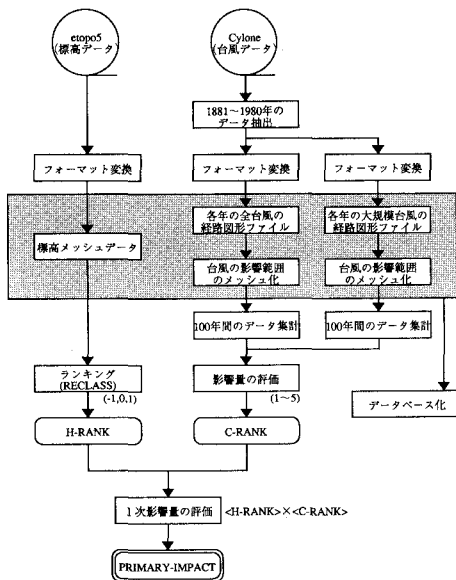


図-4 一次的影響の評価フロー

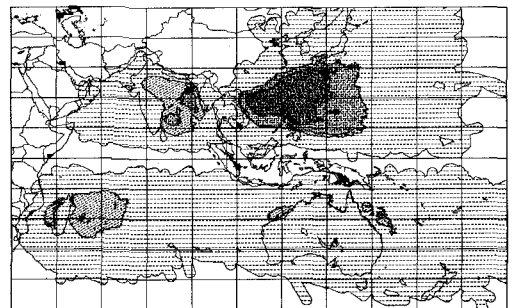


図-7 一次的影響の分布

表-3 一次的影響の国別集計結果

国別	ランク0	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	ランク5
日本	5,252	0	38	0	0	0
中国	132,788	27	808	0	23	20
北朝鮮	1,789	0	28	0	0	0
大韓民国	1,295	0	17	0	0	0
台湾	436	0	0	0	0	0
ベトナム	3,776	0	279	2	14	0
カンボジア	1,893	0	234	0	0	0
タイ	6,104	0	128	0	0	0
マレーシア	3,905	7	6	0	0	0
シンガポール	10	0	0	0	0	0
フィリピン	3,124	0	9	0	0	0
インドネシア	18,636	2,176	323	0	0	0
ミャンマー	7,979	0	181	0	0	0
バングラデシュ	1,268	0	2	309	76	0
インド	39,101	0	258	340	124	0
スリランカ	747	0	0	0	0	0
パキスタン	11,597	0	57	0	0	0
オーストラリア	98,562	10	1,720	1	0	0
ニュージーランド	4,064	6	54	0	0	0

サブシステムに対する影響分布図を作成した。「自然」サブシステムに関する影響に関してはサンゴ礁および沿岸湿地の分布、「社会」サブシステムに関しては人口（都市域）の分布、「経済」サブシステムに関しては農業、道路、鉄道、空港といった情報が用いられている。

各サブシステムに対する影響量の算出にあたっては、メッシュ化されたそれぞれのデータをオーバーレイ処理

することによって、各メッシュにおける影響ランク値を求め、その結果を色分けして表示した(図-8~図-11)。

5. 脆弱性評価の結果

世界的な規模で集約されつつある各種環境情報データベースを用いて、アジア・太平洋地域全体における海面上昇に対する脆弱性評価を試みた。その結果、対象地域における台風の影響を考慮した一次的な海面上昇の影響分布、および環境のサブシステム毎の二次的な影響に関する脆弱性分布図を作成することができた。

インフラ施設の中でもとくに大きな影響が懸念される空港を例にとると、対象地域内に249箇所ある空港のうち、約1/4にあたる63箇所が10m未満の土地に建設されている。

中国の渤海湾沿岸域、バングラデシュ、タイのバンコクなどでは、台風・サイクロンによる一次的な影響とあいまって、社会・経済サブシステムに対する影響が非常に大きいものと考えられ、社会・経済面での脆弱性が高い地域であると考えられる。

また農業への影響に関して見てみると、Matthewsが作成した農業耕作強度指数によると、バングラデシュでは表-4に示すように、標高10m未満の土地のほとんどが農業耕作強度の高い土地であることがわかる。

バングラデシュでは全人口11559.4万人（1990年現

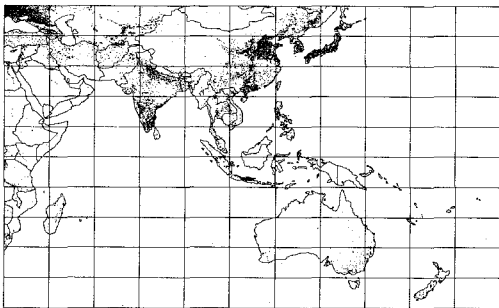


図-8 二次的影響量 (社会)

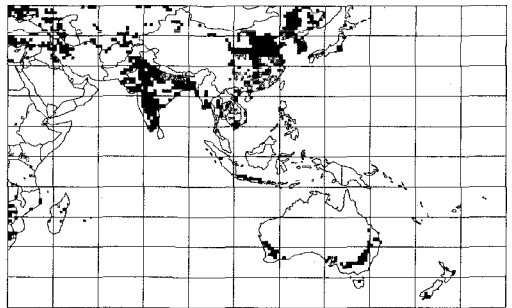


図-10 二次的影響量 (経済-農業)

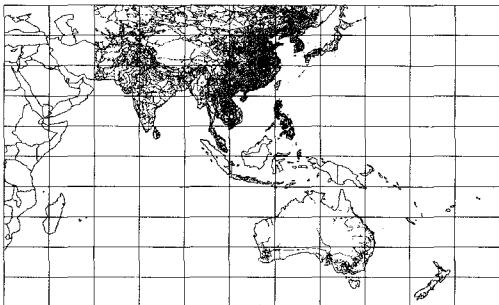


図-9 二次的影響量 (経済-インフラ)

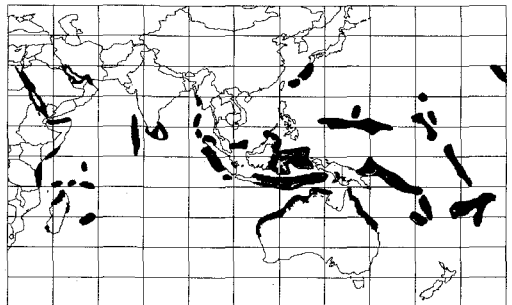


図-11 二次的影響量 (自然)

表-4 バングラデシュの標高と農業耕作強度

	農業耕作強度	標高10m未満メッシュ数	標高10m以上メッシュ数
1	0%	0	63
2	20%	0	95
3	50%	1	144
4	75%	0	0
5	100%	365	858

在)のうち約20%にあたる2319万人が農業に従事していると言われている。この農業耕作強度の値を用いて大雑把な試算を行うと、農作物への影響は現在の収穫量に対して27.8%、就業人口では645万人への影響ということになる。(ただし、これらの値はあくまでも1/12度あるいは1度メッシュのデータをもとに算出したものである。)

一方、社会・経済に対する影響が比較的少ないと見て取れるスマトラ島東北部、カリマンタン島、ニューギニア島などでは、自然資源に対する影響が強く懸念されることがわかる。

このように、沿岸域の環境システムをサブシステムに分割して評価を行うと、各国の低標高地域における土地利用の相違が、影響を受ける環境システムの違いによく現われていることがわかる。

6. 評価手法に関する考察

本研究における脆弱性評価の結果は、あくまでも現時点で入手できる情報を用いたため、限られた指標に対する評価にとどまっている。しかしながら、このサブシステム(自然、社会、経済)毎に評価を行う方法は、広域を対象にした脆弱性評価において、影響の大きさとその分布をおおまかに捉える有効な方法であることが確認できた。

一方、こうしたメッシュによる解析では、太平洋やインド洋の島嶼国は脆弱性が大きいと考えられるものの、十分に表現されないという問題も残されている(町田ら、1993)。

今後、より詳細な評価を行なうためには、情報の種類、メッシュ間隔、データの精度を向上させることが必要である。それができれば、本研究のような手法は、地球規模の環境問題を解析するより有力な手法となりうるであ

ろう。

7. おわりに

海面上昇に対する脆弱性評価の本来の目的は、単に海面が上昇した場合における影響量を把握することにとどまらず、それら外力の変化に対する対応策を地域毎に策定するところにある。各地域がとりうる対応策の代替案としてIPCCは、防御、順応、撤退の3つを挙げている(IPCC WGIII, 1990)。それぞれの国や地域がいずれの対策をとるにせよ、沿岸域の環境現況を評価できるシステムの構築は、政策決定者にとって重要な課題である。

環境というものはいくつでも定量的に捉えることが容易なものではないことは、言うまでもないことである。しかしながら、こうした半定量的解析で大きく地域の概況を評価することは、地域毎の詳細な検討を補間するものとして、大きな意味を持つものである。

本研究で行った沿岸域の環境評価手法は、沿岸域環境の捉え方を整理したものの、情報の種類・精度の制限から、現在のところ指標の作成段階にある。今後、世界レベルで環境情報のデータ蓄積が進み、一方で沿岸域管理に関する政策決定の意志決定プロセスのエキスパート化が進んでいけば、このシステムは将来的には政策決定の支援システムとして有用なものとなるであろう。

本研究の実施に際しては、関連地理情報の収集にあたってGRIDつくばの橋本氏をはじめ、多くの方の協力を得た。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 町田 聡, 三村信男, 原沢英夫, 山田和人 (1993): 地球温暖化に伴う海面上昇に対する脆弱性評価支援データベースの構築, 環境システム研究 Vol. 21, pp. 200-209.
- 山岬正紀 (1982): 台風, 東京堂出版, 206 p.
- IPCC WGIII (1990): Climate change, The IPCC Response Strategies, Island Press, 272 p.
- IPCC-CZMS (1991): The Seven Steps to the Vulnerability Assessment of Coastal Areas to Sea Level Rise-Guidelines for Case Studies, 24 p.
- IPCC (1994): Preparing to Meet the Coastal challenges of the 21 st century, conference Report of World Coast Conference 1993, 49 p.
- Kay, R. and J. Hay (1993): A decision support approach to coastal vulnerability and resilience assessment, in R. Mclean and N. Mimura (eds); Proceedings of the IPCC Eastern Hemisphere Workshop, pp. 213-225.