

海面上昇・気候変動に対する脆弱性評価 —沿岸域に対するインパクトの地球規模の見取り図—

VULNERABILITY ASSESSMENT TO SEA LEVEL RISE AND CLIMATE CHANGE

-A GLOBAL PICTURE OF THE IMPACTS ON THE COASTAL ZONE-

三村信男*・Robert J. Nicholls**・John C. Topping Jr.***

Nobuo Mimura

ABSTRACT; Since global warming drew people's attention in the late 1980s, many efforts have been paid to evaluate the vulnerability of the coastal zone to sea level rise and climate change. In this paper, a brief introduction is made to the world-wide or regional initiatives, such as the IPCC, global vulnerability assessment, the US EPA and the University of Maryland, Asian Development Bank and US Climate Institute, and the South Pacific Environmental Programme. An overview is presented for the global picture on the possible impacts of sea level rise, such as population at risk, wetland at loss, rice production at loss, and cost for coastal protection by summarizing the results of the above activities.

KEYWORD; sea level rise, climate change, vulnerability assessment, global assessment, methodology

1. はじめに

1980年代後半から地球温暖化に対する関心が急速に高まった。1990年6月に発表された「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」の第1次報告書は、この問題に対する科学的知見、影響の評価、対応策の検討の到達点を示すものとして、大きな注目を浴びた。しかし、沿岸域に対する気候変動と海面上昇の影響評価についてみると、定性的には影響項目を網羅的に指摘しているものの、定量的な評価は一部の国や地域の例を挙げるにとどまっていた。他の分野においても、事情はほぼ同様であったと思われる。

地球温暖化は問題の広がりや地球規模である以上、影響の把握も地球規模になされる必要がある。IPCCの第1次報告書が発表されて以降約4年が経過したが、この間様々な形で沿岸域への影響の評価が進められてきた。その結果、定量的評価が進み粗くはあっても global picture を描けるようになってきている。本論では、こうした取り組みを紹介し、認識の現状を示したい。

2. 影響評価プロジェクト

(1) IPCCの脆弱性評価（VA；IPCC CZMS, 1992）

IPCC第3作業部会（旧）の沿岸域管理サブグループ（CZMS）は、1991年海面上昇と気候変動による影響を評価し、対応策の検討を進めるよう各国に呼びかけた。この影響評価プロジェクトは脆弱性評価（Vulnerability Assessment; VA）と呼ばれる。VAは、一国あるいはある地域を対象にしたケーススタディとして実施される。ケーススタディの目的は、沿岸域の自然環境と社会・経済活動に関する総合的な影響評

*;茨城大学工学部都市システム工学科 Dept. of Urban and Civil Eng., Ibaraki Univ., **;Laboratory for Coastal Research, University of Maryland, ***;Climate Institute, USA

価を行い、対象国あるいは対象地域の脆弱性（①沿岸域の物理的な弱さと影響の程度、②適切な対応策を実行しうる技術的、財政的、制度的、社会的な対応力）のプロフィールを得ることとされた。

同時に、VAの結果は世界規模での影響評価の基礎データとして用いられる。そのため、VAケーススタディの結果は相互に比較、集計できることが必要であり、1991年6月には「VAのための7ステップ共通手法」が提案された（IPCC CZMS, 1991, 1992）。この中では、海面上昇の標準的なシナリオとして、2100年までに30cmと100cmの上昇を考慮することとされた。

1994年1月の時点で46ケーススタディが完了、または実施中である。このうち、現時点で結果がえられているのは表2.1に示す37のケーススタディであり、何らかの指標で定量的な評価結果が得られているものは30にとどまっている。

VAケーススタディはIPCC自身の手によって実施された訳ではない。実際の研究は、国連環境計画（UNEP）や

後に紹介する米国、あるいはオランダ、日本などの協力の下で実施されたもので、IPCCは研究の推進と結果の集約のイニシアチブをとっている。VAケーススタディの成果は、1992年3月IPCCヴェネズエラワークショップ（IPCC CZMS, 1992）、1992年6月UNCED、1993年8月IPCC東半球ワークショップ（McLean・Mimura, 1993）、1993年11月世界海岸会議（WCC93, 1994）など、時々区切りを設けて集約されてきている。

（2）地球規模の脆弱性評価（GVA; Delft Hydraulics, 1993）

IPCCの各国ケーススタディを押し進めれば、bottom-up型で地球規模の影響の全体像が把握できることになるが、それには数年以上の時間が経過してしまう。そこで、地球規模の環境データを用いたtop-down型の影響評価がオランダ Delft Hydraulics で行われた。これは、Global Vulnerability Assessment(GVA)と呼ばれる。各国ケーススタディと同じ詳細さでGVAが実行できるだけのデータ（種類と精度）がそろっているわけではない。そこで、GVAでの影響評価は次の4つの指標に限定されている。

- ①危険人口：高い頻度で高潮と洪水に見舞われる地域の人口
- ②湿地帯の損失
- ③米作の損害：南、東南、東アジア地域のみで評価
- ④海岸防護費用

評価の枠組みはIPCCの共通手法との対応がとられている。境界条件として、①海面上昇（100年間で1mの上昇）、②社会・経済条件の将来変化（30年間現在のトレンドで成長し、その後一定で推移する）、③対

表 2.1 脆弱性評価ケーススタディの状況

COUNTRY	STUDY TYPE	REMARKS
Antigua	Country study	excludes Barbuda Island
Argentina	Country study	
Australia	Local study areas	Geographe Bay and the Cocos Islands
Bangladesh	Country study	
Belize	Country study	preliminary results
Benin	Country study	
Brazil	Country study	largely qualitative study
China	Country study	preliminary estimates, plus case studies
Cuba	Country study	preliminary results
Egypt	Country study	emphasis on the Nile Delta
England		
and Wales	Local study areas	East Anglia and South Coast
France	Local study area	Rochefort sur Mer
Germany	Country study	preliminary results
Ghana	Country study	qualitative study
Guyana	Country study	
India	Local study area	Orissa and West Bengal
Japan	Country study	emphasis on Tokyo Bay area
Kiribati	Country study	Betio Island
Malaysia	Country study	largely qualitative study
Maldives	Country study	qualitative study
Marshall Islands	Country study	Majuro Atoll
Mexico	Local study area	Rio Lagartos, Yucatan
Moorea Island	Country study	qualitative study
Netherlands	Country study	
Nicaragua	Country study	preliminary results
Nigeria	Country study	
Peru	Country study	qualitative study
Poland	Country study	
Senegal	Country study	
Seychelles	Country study	qualitative study
St Kitts-Nevis	Country study	
Tonga	Country study	Tongatapu Island
Turkmenistan	Country study	qualitative study (Caspian Sea)
USA	Country study	land loss and protection costs
Uruguay	Country study	
Venezuela	Country study	
Vietnam	Local study area	Red River delta (preliminary results)

応策（無対策と全面防護）の3項目に関するシナリオが設定され、各々のシナリオに対する影響評価が行われた。地球規模の環境データベースを用いた同様の研究には、アジア・太平洋地域を対象にした町田らの研究（1993, 1994）がある。

（3）メリーランド大学／US EPAの各国ケーススタディ

1990年から米国EPAの後援で、メリーランド大学の研究者（S.P. Leatherman, R.J. Nichollsら）を中心に途上国の影響評価研究が行われた。対象国は、中国、バングラデシュ、インド、エジプト、セネガル、ナイジェリア、ヴェネズエラ、ウルガイ、アルゼンチンの9カ国である。

この研究では、1mの海面上昇シナリオに基づいて、①海岸侵食と水没による国土と経済活動・資産の損失と、②防護対策（無防護、現状レベルの防護、重点地区の防護、全面防護）の費用が算定された。基礎データとして必要な1mコンターの地形図が多く途上国では得られないため、空中からのビデオ撮影と地上の検定測量とを組み合わせ海岸の標高を求める手法（aerial video-mapping）が開発された（Nicholls et al., 1993）。このプロジェクトは、途上国における海面上昇の影響評価ケーススタディの先鞭をつけたもので、得られた結果はIPCCのVAにインプットされている。

（4）アジア開発銀行の温暖化対応策研究プロジェクト（Topping Jr. et al., 1993）

1992年アジア開発銀行は、アジア諸国における温暖化の影響評価と温室効果ガスの排出規制策・温暖化への適応策を検討するため各国ケーススタディに着手した。研究のオーガナイザーは米国 Climate Institute であり、対象国は、パキスタン、インド、スリランカ、バングラデシュ、インドネシア、マレーシア、ベトナム、フィリピンの8カ国であった。この研究は、1992年5月にスタートし、1993年8月に終了した。

この研究は地球温暖化と気候変動全般を視野にいたったものであるが、南・東南アジアの地理的、地形的特徴を反映して、海面上昇とサイクロン・台風の影響評価に力が注がれた。各国の研究の前提条件をそろえるために、オーストラリア連邦科学産業共同機構（CRISO）が域内の気候変動（気温、モンスーン、降水量、海面上昇など）のシナリオを作成した。海面上昇のシナリオとしては、2010年までに9cm（3-15cm）上昇、2070年までに45cm（15-90cm）上昇という値が与えられている。

（5）南太平洋環境計画（SPREP）の気候変動研究プログラム（Hay・Kaluwin, 1993）

南太平洋環境計画（SPREP）は、フィジー、西サモア、ニューカレドニア、オーストラリア、ニュージーランドなどの諸国が参加する地域国際機関である。1987年にはUNEPの主導で気候変動に関するTask Team が設立された。それ以降、様々な形で研究が進められたきたが、サンゴ礁の島国が多いため、海面上昇問題は中心的テーマとなっている。実際の研究は、南太平洋大学など域内の研究機関やオーストラリア、ニュージーランド、米国、日本との協力・援助の下で進められており、これまで、フィジー、西サモア、マーシャル諸島、キリバス、トンガ、仏領モレア諸島、ヤップにおけるケーススタディが報告されている。

それらの多くはIPCCの共通手法に基づいているが、南太平洋には集落単位の伝統的な社会構造や自給自足経済をもつ国が多く、こうした国々に適用可能な影響評価の手法の開発が要請されている（例えば、山田ら, 1994）。

3. 脆弱性評価結果の概要

3.1 GVAの結果（Delft Hydraulics, 1993）

まず地球規模の脆弱性評価（GVA）の結果を見てみよう。表3.1は2.（2）で示した指標のうち危険人口、湿地帯への影響、米作への影響の算定結果を、現状と1mの海面上昇後とに分けて示したものであり、図3.1は世界を20に区分した沿岸域の脆弱性に関する特性分布を示したものである。

表 3.1 GVAの結果

Impact category	Present situation		1 METER ASLR			
			NO MEASURES		WITH MEASURES	
			No development	30 year development	No development	30 year development
Socio-econ. system:						
- World Population [million]	5,100		5,100	7,600	5,100	7,600
- People in Risk Zone [million]	210		260	400	260	400
- Population at Risk: [million]	47		61	100	7	12
Coastal ecosystem: [km ² *1000]						
- Coastal Wetlands remaining unaffected:	302		133	122	122	112
. salt marsh	75		33	31	30	28
. intertidal	94		42	38	38	34
. mangroves	134		58	53	55	50
- Wetlands at loss through development:	-		-	26	-	26
. salt marsh	-		-	6	-	6
. intertidal	-		-	8	-	8
. mangroves	-		-	11	-	11
- Wetlands potentially at loss (ASLR):	-		169	154	180	164
. salt marsh	-		41	38	44	41
. intertidal	-		52	47	56	51
. mangroves	-		76	69	79	72
Rice production:	World	Asia				
- area [km ² *1000]	1,450	1,250	-	-	-	-
- production [million tonnes]	485	418	-	-	-	-
- people equivalents [million]	2,200	1,900	-	-	-	-
Potentially at change in Asia:						
- area [km ² *1000]			160	-	-	-
- production [million tonnes]			47	-	-	-
- people equivalents [million]			214	-	-	-

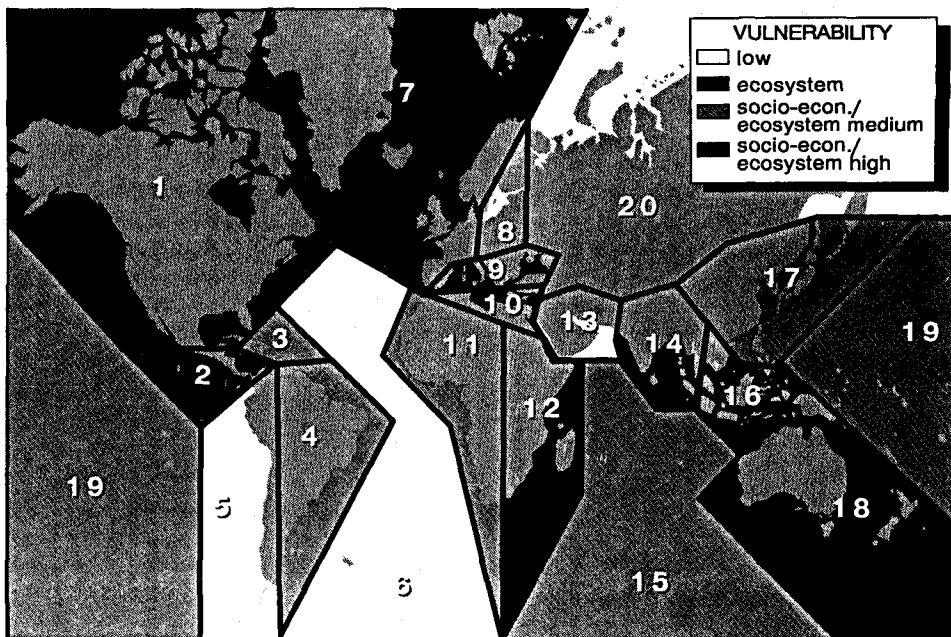


図 3.1 世界の沿岸域における脆弱性の特性分布

前にも述べたとおり、データの精度などに問題があり G V A の評価結果が個々の沿岸域毎にどの程度の精度を持っているかという点には疑問が残っている。しかし、地球規模での大づかみな傾向としては次のような評価が得られている。

(1) 危険人口

- ①現状で2億人から2.5億人が1,000年確率の高潮の潮位以下の地域 (risk zone) に居住している。1mの海面上昇によってこの数字は25%増加し、さらに2010年までの人口増加 (国連の中位予測) を考えると倍増する。
- ②1年に1回以上氾濫を経験すると推定される人口は現状で4,700万人であるが、1mの海面上昇によって6,100万人に、その上に2010年までの人口増加を考えると1億人に増加する。
- ③危険人口の観点からとくに脆弱性の高い地域は、アジア、南地中海、アフリカの大西洋・インド洋沿岸、カリブ海と多くの島国である。
- ④温暖化による、サイクロンや台風の発生頻度、強度、経路の変化の予測は現状では困難である。しかし、もしこれらが変化すれば、著しい影響が生じると懸念される。

(2) 湿地帯への影響

- ①世界の沿岸域の1/3が湿地帯で占められている (塩性湿地が15%, 潮間帯10%, マングローブ8%)。沿岸の湿地帯は急速に減少しつつあり、その主たる理由は人為的活動起源の地盤沈下、海岸防護構造物の建設、土砂供給の減少、埋立などである。
- ②海面上昇はこの傾向をさらに強め、1mの海面上昇で現存の湿地帯の1/2以上が失われる可能性がある。
- ③とくに影響の大きいのは、米国、地中海、アフリカ大西洋岸、アジアのインド洋沿岸、オーストラリア、パプアニューギニアである。

(3) 米作への影響：世界の米の85%は南、東南、東アジアで生産されている。このうちの10%を生産する面積が1mの海面上昇の影響域内にある。

(4) 海岸防護費用：世界の沿岸域を防護するのに要する費用は約1兆ドルと見積もられる。この費用が100年間で必要になるとして1年当たりの支出に直せば、その額は世界の G N P の0.056%に相当する。

上のように脆弱性の程度と内容は地域毎に異なる。これを生態系と社会・経済活動への影響に分けてランクづけしたのが図3.1である。両方の分野で顕著な影響が生じるとされたのは、南、東南アジア、アフリカのインド洋沿岸、そして地中海沿岸である。

3.2 各国ケーススタディ

V A ケーススタディでは沿岸域の自然環境と社会・経済活動にかかわる広範な項目に対する影響が評価される。これらの中から人口 (影響, 危険), 資産, 国土, 防護費用, 湿地帯への影響を取り上げ、相互の比較が試みられた (I P C C C Z M S, 1992; Nicholls, 1993)。各項目の評価は、表3.2に示すように、Low, Medium, High, Critical の4段階にランク分けされている。このランクにしたがって各国の脆弱性プロフィールを示したのが図3.2である。

影響人口は全人口との比で計られているが、アンチグア、バングラデシュ、ガイア

表 3.2 脆弱性のランク分けの基準

IMPACT CATEGORIES	VULNERABILITY CLASSES			
	LOW	MEDIUM	HIGH	CRITICAL
People affected (#people / total) * 100%	<1%	1-10%	11-50%	>50%
People at risk (#people * probability) / 1000	<10	10-100	100-500	>500
Capital value at loss (total loss / GNP) * 100%	<1%	1-3%	3-10%	>10%
Dry land at loss (area / total area) * 100%	<3%	3-10%	10-30%	>30%
Protection/adaption cost (total cost / GNP) * 100%	<0.05%	0.05-0.25%	0.25-1%	>1%
Wetland at loss (area / total area) * 100%	<3%	3-10%	10-30%	>30%

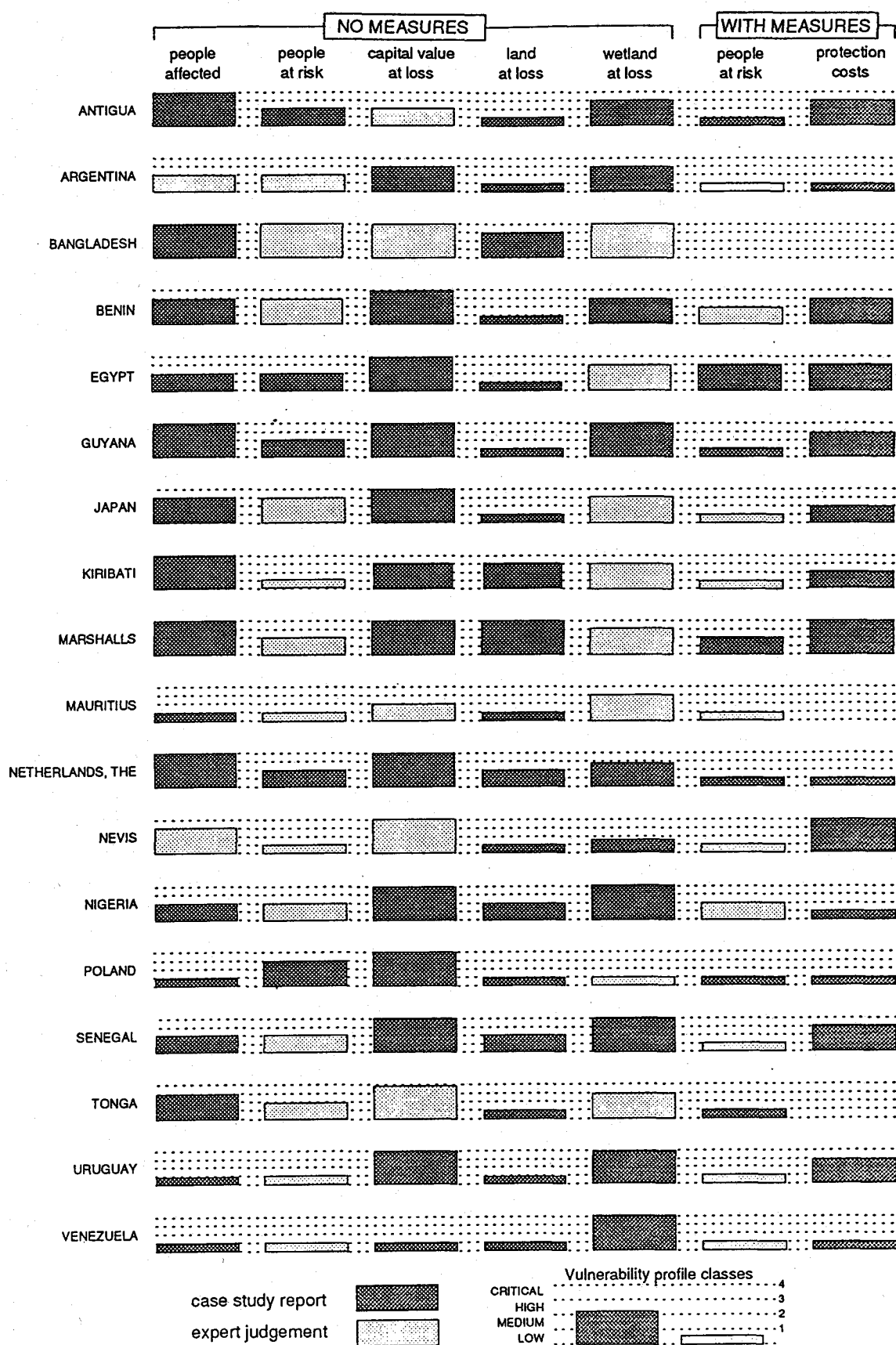


図 3.2 各国の脆弱性プロフィール

ナ、キリバス、マーシャル諸島、オランダなどの脆弱性が高い。エジプト、ガイアナ、日本、オランダ、ポーランド、ウルガイなどでは、国土の損失が比較的小さい割に資産の損害が大きく、人口と経済活動が沿岸の低地に集中していることを示している。一方、ほぼ全ての項目で脆弱性が高いのは、バングラデシュやキリバス、マーシャル諸島であり、大河川のデルタ地帯や小さな島国で脆弱性が高いことを示している。このような形で脆弱性プロフィールを整理すれば、国によって特性に大きな差異があることが理解される。一方、すべての国で、対策をとった場合脆弱性が小さくなっており、各国とも適切な対応策によって影響を緩和できる可能性があると考えていることがわかる。

4. 評価手法上の問題

上でみたように、脆弱性評価を推進する上でIPCCのVAの呼びかけと共通手法の提案は大きな推進力となった。未だ粗いとはいえ、こうしたイニシアチブがなければ、われわれの認識は現在の到達点にも達していなかったであろう。しかし、VAケーススタディの経験を通して、様々な手法上の問題点が指摘されてきた。その主要なものをまとめておくと、次のようになる。

①基礎的データの欠如：多くのケーススタディで1mコンターの地形図や潮位記録、人口や土地利用の分布図といったもっとも基本的なデータの欠如が指摘されている。これを克服するために、aerial video-mappingなどの手法が開発されたが、改めて、各国が基礎的なデータを整備することの重要性を浮きぼりにした。また、データだけでなく、例えば海面上昇に対するサンゴ礁やマングローブ林の応答など、予測に必要な知識も欠如していることが指摘されている。

②気候変動シナリオ：海面上昇を含めて、地域レベルの気候変動にたいするより信頼性の高いシナリオが求められている。

③社会構造や文化的伝統の違いへの配慮：IPCCの共通手法の中では、経済活動や資産に対する評価はGNPを基準にして評価することになっている。これに対して、南太平洋の島国などから、集落単位の伝統的社会構造の下で自給自足経済の比重が高い国に、貨幣経済のモノサシは適用できないという批判が寄せられている。

④対応策との連続性：VAは対応策の検討の第1段階と位置づけられていた。VAの結果は対応策を検討する引き金にはなるが、地域毎の対応策をきめ細かに考えていくには精度が不足している。

今後は、影響評価と長期的な対応策の確立という脆弱性評価の2つの目的を区別し、それぞれの目的に応じた手法の整理と改善が図られる必要があろう。

5. まとめ

本論では、最近数年間に取り組まれた海面上昇と気候変動に対する脆弱性評価研究を紹介した。1990年代に入って精力的に研究が進められた結果、各国の脆弱性に関する認識とともに、地球規模での影響の全体像が得られるようになってきている。これらを総合すると、想定されている1m未満の海面上昇によって世界全体では相当大きな影響が生じるという結果になる。それと同時に、各国ケーススタディの結果は、対応策によって影響を緩和できる可能性があることも示しており、気候変動や海面上昇といった長期的な問題を視野にいれた沿岸政策の重要性が示唆されたといえる。

もう一つの特徴は、各国の検討で、逆に現在の沿岸域をめぐる諸問題に対して強い関心が払われていることである。現在、多くの国で、高潮・洪水、海岸侵食、水質汚濁、マングローブやサンゴ礁などの自然資源の消失などが等しく問題にされている。これらは、それ自体が重大な問題であるとともに、将来の気候変動や海面上昇に対して沿岸域の脆弱性を増加させる方向に作用する。そのため、IPCCをはじめ国際的な議論は、現在の問題の解決と将来の懸念への対応という両面から総合的な沿岸域管理計画の策定と実行が必要であるという方向に進んでいる。今日の沿岸域を健全に保持することは、将来の脆弱性を小さくすることで

あり, Precautionary Principle (予防原理) を現実化した方向であろう。

本論をまとめるにあたり, 茨城大学修士1年村瀬径介君が行ったアジア地域の脆弱性評価の結果のレビューが参考になった。感謝の意を表したい。

参考文献

- Delft Hydraulics(1993):Sea Level Rise-A Global Vulnerability Assessment, Second Revised Edition.
- Hay, J. and C. Kaluwin(eds)(1993):Climate Change and Sea Level Rise in the South Pacific Region, Proceedings of the Second SPREP Meeting, SPREP, 238p.
- IPCC CZMS(1991):The Seven Steps to the Vulnerability Assessment of Coastal Areas to Sea Level Rise-Guidelines for Case Studies, 24p.
- IPCC CZMS(1992):Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea, Supporting document for the IPCC-update report 1992.
- McLean, R. and N.Mimura(eds)(1993):Vulnerability Assessment to Sea-Level Rise and Coastal Zone Management, Proceedings of the IPCC Eastern Hemisphere Workshop, 429p.
- Nicholls, R.J.(1993):Synthesis of Vulnerability Analysis Studies, An update of Appendix D 'A Global Aggregation of the IPCC-CZMS report', WCC93 Work Document, 42p.
- Nicholls, R.J., K.C.Dennis, C.R.Volonte, and S.P.Leatherman(1993):Methods and problems in assessing the impacts of accelerated sea-level rise, The World at Risk:Natural Hazards and Climate Chnage, AIP Conference Proceedings 277, pp.193-205.
- Topping, J.C., R.Nicholls, and N.Mimura(1993):Climate Change in Asis;Implications for Coastal Areas, Thematic Reportof the Regional Study on Global Environmental Issues ADB T.A.No.5463.
- WCC93(1994):Report of the World Coast Conference 1993(in press).
- 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・気候変動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.
- 町田聡・三村信男・原沢英夫・山田和人(1994):アジア・太平洋を対象にした海面上昇に対する脆弱性評価, 海岸工学論文集, 第41巻(印刷中)。
- 山田和人・三村信男・山本充弘・P.D.Nunn・町田聡(1994):南太平洋島しょ国を対象にした海面上昇・気候変動に対する脆弱性評価手法の検討, 第2回地球環境シンポジウム, 土木学会。