

海岸工学に関わる地球規模環境問題の 国内及び国際的な研究の現状

Present status of the Japanese and international studies
on global warming-related problems in the coastal engineering field

海岸工学委員会

三村 信男*

Nobuo Mimura

ABSTRACT; An overview is presented for the current status of the Japanese and international studies. A research sub-committee has been organized under the Coastal Engineering Committee, JSCE, to study the global warming-related problems. Its activity covers the changes in the meteorological and sea conditions, impacts assessment for the coastal natural systems, in frastructures and socio-economic functions, and response strategies. Wide range of impacts are extracted in qualitative manner, and quantitative analyses are attempted for some areas. International efforts are also introduced focusing on the case studies of the vulnerability assessment lead by the IPCC Coastal Zone Management Sub-group and various newly started studies in the Asian and Pacific regions.

KEY WORDS; global warming, sea level rise, climate change, coastal engineering, vulnerability assessment, response strategies, international activities

1. はじめに

沿岸域は、地球温暖化の影響をもっとも厳しく受けると懸念される地域の一つである。そのため、海岸工学の分野では、地球温暖化問題が注目され始めた当初から研究が取り組まれてきた。それを背景に、海岸工学委員会では1991年4月、地球環境問題についての研究を推進するため「地球環境問題研究小委員会」を発足させた。この委員会は委員とオブザーバー52名で構成され、1991年度からの2年間は民間企業からの共同委託研究として実施されている。現在この研究小委員会では海岸に関わる地球温暖化問題を取り扱っており、1) 外因シナリオ、2) 自然沿岸域、3) 沿岸域インフラ、4) 対応ストラテジーの4つのワーキンググループ(WG)を組織して、外力としての気象・海象変化、自然・社会的影響、および対応策について検討している。研究小委員会は、1992年6月には中間報告書を作成し、現在、最終報告書のとりまとめに入っている。

一方、国際的にも、IPCCを中心に沿岸域への影響評価と対応策の検討が進められてきた。また、アジア・太平洋といった地域内、あるいは2国間等様々な形で国際共同研究が取り組まれている。本稿では、以上のような国内外の研究の状況について報告する。

* 茨城大学工学部都市システム工学科

Department of Urban and Civil Engineering, Ibaraki University

一方、海面水位の長期変動については、村上ら（1991）、宇多ら（1992a）等の研究があり、平均海面は中部～北日本で上昇傾向、西日本で下降傾向にあると指摘されている。これらの傾向の中には、静的な海面変化だけでなく、地殻変動、海流の変化、水温・気圧の変化の影響などが含まれており、正確な現象の把握の困難さが問題になっている。

2.2 沿岸域の自然システムへの影響評価

海面上昇・気象変化の影響評価については、自然システムへの影響と社会基盤施設への影響という2つに大きく分けて検討されている。このうち自然システムへの影響評価は「自然沿岸域WG」が担当している。

沿岸域の自然システムとして視野に入れているものには次のようなものである。

- 1) 海岸地形：砂礫海岸、海崖、岩石海岸、河口、サンゴ礁、泥浜・干潟など
- 2) 水質：塩水侵入、水質悪化、プランクトンの変化
- 3) 生態系：岩礁性潮間帯、干潟、塩性湿地、藻場、マングローブ林
- 4) 自然資源：国土と領海、漁業資源、防災資源

これらの項目に対して、考えられる影響を抽出し、整理する作業が進められているが、更に進んで定量的な評価を試みている研究もある。砂浜の侵食について三村ら（1992）は以下のように検討した。沿岸漂砂を無視し海浜の縦断地形の変化だけを考えると、上昇した海面に対する平衡地形に向かって砂浜が変化することによって、静的な後退以上に海岸線は侵食され、汀線が後退することになる。この汀線の後退長は平衡縦断地形に関するいわゆるBRUUN則によって評価できる。

この評価式を用いて、0.3m、0.65m、1mの海面上昇に対して、約180kmの茨城県の海岸を対象にした汀線の後退長と砂浜の侵食面積、侵食体積を算定した結果によれば、1mの海面上昇に対して平均的には約90mの汀線の後退が生じる。図-2に静的後退による水没面積と侵食面積の全砂浜面積に対する割合を示す。上のシナリオに対して、茨城県に現存する全砂浜面積の実に43.8%、76.2%、89.5%が侵食される。海面上昇1mでは、砂浜のほとんどで海面が護岸まで達しており、護岸前面の水深は約1.5m、大きいところでは2mにも及んでいる。

一方、沿岸漂砂が卓越するような海岸では、海岸侵食の主要な要因は沿岸漂砂であり、海面上昇の影響は小さいという研究（宇多ら、1992b）もある。砂浜の侵食については、過去の研究の蓄積によって定量的な評価手法があるというものの、長期的な海面上昇の効果に対する信頼性の高い将来予測は今後の課題である。

さらに、生態系など、他の多くの分野では、定性的な影響の抽出の段階にとどまっており、海岸工学の分野においてもこれらの問題を検討しうるように視野を広げていく努力が望まれている。

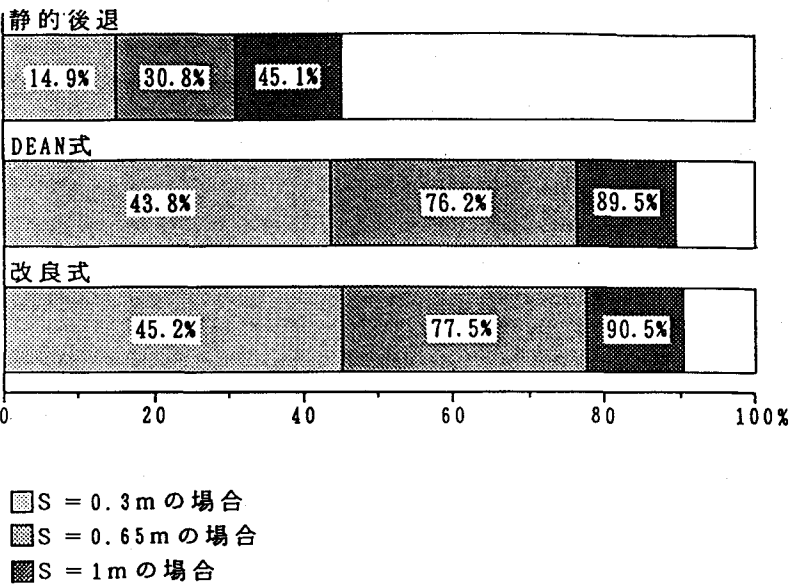


図-2 海面上昇による砂浜の侵食面積

2.3 沿岸域の社会基盤システムへの影響評価

「沿岸域インフラWG」では、個々の社会基盤施設に対する検討の前に、まず、地球温暖化にともなう諸現象のうち、特に海面上昇が社会経済活動に対してどの程度の潜在的影響力を持つものかを調べた。具体的には、ある設定した水位以下の地盤高の土地の面積・人口・資産がどれくらいに及ぶかを算定した（松井ら、1992）。

まず、対象とする代表的な海水位として平均海水位、満潮時の海水位、および異常時（高潮または津波来襲時）における最高海水位（満潮位＋偏差＋波高の10%）をとりあげ、沿岸域別にそれらの値を設定した。海面上昇後の設定水位はそれらに海面上昇分を加えたものである。そして、国土数値情報を用いてそれらの設定水位以下の土地の面積、人口、および資産を算出した。

図-3は、全国の1mごとの標高値以下の土地の面積、人口、および資産をプロットしたものである。いずれもT.P.2mから4m付近の勾配が急になっており、この標高付近での海水面変動の影響が大きいことがわかる。表-1は、設定した各水位以下の土地の面積、人口、および資産を示す。特に、現状の朔望平均満潮位において水面下となる面積が861km²、人口が200万人、資産が54兆円であるのに対し、1mの海面上昇により面積が2.7倍の2,339km²、人口が2倍以上の410万人、資産が2倍の109兆円になることがわかる。これは全国

の面積の0.6%、人口の3%、資産の4%である。この数字は、人為的に防護すべき土地が海面上昇の結果大きく広がり、潜在的な影響が相当大きいことを示している。沿岸域インフラWGでは、さらに、港（港湾、漁港・水産施設、専用港湾）、湾岸交通、人工島・埋立地、沿岸農業、高潮・津波防災、内水排除・下水道システム、海岸保全施設、レクリエーションなど多面的な社会・経済活動を取り上げて影響の抽出と影響評価手法の検討を行っている。この中で、浸水、越波、打ち上げ高の増大、波力の増大、栈橋等の場圧力の増大、地盤の支持力低下などの社会基盤施設に対する直接的な影響項目の多くは、表-2に示すように現行の設計マニュアルで評価できるとしている。

この他に地球温暖化の影響については竹下ら（1991）、山本ら（1992）の研究がある。

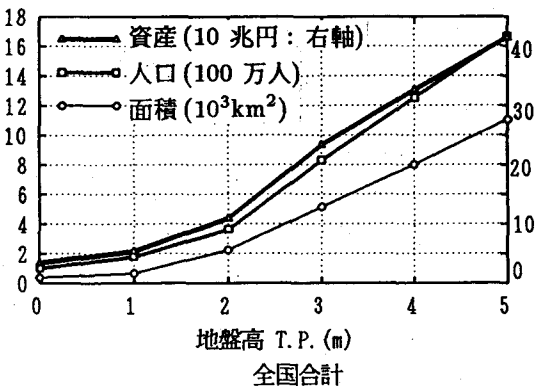


図-3 各標高値以下の土地の面積・人口・資産

2.4 沿岸影響に対する対応策

地球温暖化や海面上昇の問題は、将来の予測に様々な不確実性を残している。

「対応ストラテジーWG」の課題は、こうした不確実性の存在下で、いかなる立場でどのような対応策を考えるべきかということである。これに対して、短期的で従来技術の延長上での対応策と、長期的な対応策の2本立てで検討を行っている。

短期的な対応策として用いる固有の技術には、以下に示すようにハード

表-1 各設定水位以下の土地の面積・人口・資産 (単位: 面積 (km²), 人口 (万人), 資産 (兆円))

	現 状			0.3m上昇		
	面積	人口	資産	面積	人口	資産
平均海面時	364	102	34	411	114	37
満潮時	861	200	54	1192	252	68
台風または津波発生時	6268	1174	288	6662	1230	302

	0.5m上昇			1.0m上昇		
	面積	人口	資産	面積	人口	資産
平均海面時	521	140	44	679	178	53
満潮時	1412	286	77	2339	410	109
台風または津波発生時	7583	1358	333	8893	1542	378

な技術とソフトな技術があげられる。

＜ハードな技術の例＞

- a. 海岸堤防，防潮堤，時には防潮水門，内水排除システムも併設。
- b. 護岸。
- c. 突堤・緩傾斜堤。
- d. 離岸堤・潜堤・浮防波堤。
- e. 既存の構造物のかさ上げ，消波ブロック付設，消波機能の改善。
- f. インフラストラクチャーの改修，栈橋，埠頭，道路のかさ上げ，内水排除システムの改修，種々の施設の移設等。
- g. 防潮水門，防潮堰。
- h. 塩水楔上防止用の堰，河川においてはロックとダム。地下水への塩水侵入に対しては地下ダムの建設や淡水の充填。
- i. 地盤の改良工作。
- j. 航路・港内の浚渫，河床の浚渫。

＜ソフトな技術の例＞

- a. 砂浜の造成・保全。
- c. 湿地帯・マングローブの創出。
- d. 海岸防護のために，人工海藻，人工リーフ・魚礁の建設，サンゴ礁の回復，海藻の植林，海洋汚染からのサンゴ礁の保護等。

表-2 影響項目と設計マニュアルの対応

マニュアル名	影響項目
港湾の施設の技術上の基準・同解説 海岸保全施設築造基準解説 漁港構造物標準設計法 Shore Protection Manual	海面上昇による： 越波，打ち上げ高，防波堤・護岸の安定，浮力
港湾の施設の技術上の基準・同解説 港湾鋼構造物防食マニュアル 海洋鋼構造物の防食指針・同解説（案） 海洋コンクリート構造物の防食指針（案） 鉄筋コンクリート構造物の耐久性に関する考え方 道路橋の塩害対策指針（案）・同解説	腐食，塩害
道路橋示方書・同解説V，耐震設計編 水道施設耐震工法指針・解説 LNG地下式貯槽指針 火力発電所の耐震設計指針-JEAG3605	地下水位上昇による： 地盤支持力，液状化
揚排水ポンプ設備技術基準（案）解説 火力・原子力発電所土木構造物の設計	ポンプ排水，発電所取排水路

これらの対応技術を，影響項目に対するチェックリストの形にしたのが表-3である。こうした整理によって，地球温暖化や海面上昇という新しい事態に対して我々の保持している技術の有効性が評価できる。社会基盤施設への影響のほとんどはハードな技術によって技術的には対応可能である一方，自然システム等も含めて沿岸域を保全するソフトな技術は相対的に未開発であるといえる。

長期的な対応策については，中間報告書の時点では様々なアイデアを出した段階であり，現在も検討が続けられている。長期的な対応策の検討には，海面上昇・気候変動の時間的推移の予測，沿岸域全体を対象にした総合的管理計画の視点が必要であり，今後に多くの課題が残されている。

3. 国際的な研究の動向

3.1 IPCCの主導による活動

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は，1990年に地球温暖化に関する第1次評価報告書（IPCC WG1，WG2，WG3，いずれも1990）を発表し，世界に強い衝撃を与えた。その後，1992年6月の地球サミットにむけて第1次評価報告書のup-dateに取り組んだ。IPCCの中では，海面上昇や気象変化の沿岸影響については，第3作業部会の沿岸域管理サブグループ（CZMS，1992年末の作業部会の再編にともなって新第2作業部会のサブグループBに統合・再編）を中心に検討されてきた。CZMSは，1992年6月の地球サミットにむけて，世界規模での「沿岸域の脆弱性評価」を行うよう呼びかけた。

この脆弱性評価では，7つのステップからなる共通な手法（Common Methodology）が開発され，共通の基準

表-3 沿岸域の自然環境と自然資源に対するチェックリスト例

影響項目	ハードな技術										ソフトな技術				新技術	タイムスケール
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	a	b	c	d		
砂礫海岸	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	M
砂浜機能の消失	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	○	○	-	○		
構造物堤脚水深の増大	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
海浜断面の変化	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	○	○	-	○		
離岸方向漂砂の増大	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	○	○	-	○		
沿岸漂砂量の変化	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	○	○	-	○		
土砂供給量の変化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	○	
泥浜・干潟	-	-	-	○	○	-	-	○	-	○	○	-	○	○	○	S
河川流出土砂量の変化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	○	
波浪の変化	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
生物相の変化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	
干潟の減少・消滅	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	
生物の内陸への移動	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○		
塩性湿地・藻場・マングローブ林	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	○	-	○	○	○	S
濁度発生による水中光量の減少	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○		
土壌の流出	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○		
高潮の危険性の増大	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○		
陸側への移動	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	
漁業資源	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○	○	M
海水温の上昇により魚や海の 生息地が移動する	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	
有用種の魚類の分布や再生産性の変化	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○	○	

の下で海面上昇・気候変動の影響を評価することが試みられた。1992年3月に開催されたベネズエラワークショップの時点で脆弱性評価の結果を発表したのは以下の諸国と地域であった。

- 1) アジア：日本，中国，インド，バングラデシュ
- 2) 太平洋・インド洋：モルジブ，トンガ，マーシャル諸島，キリバス，仏領モーレア，オーストラリア
- 3) 南北アメリカ：アメリカ合衆国，メキシコ，ベネズエラ，ガイアナ，ペルー，ウルグアイ，アルゼンチン，アンティグア島，ネービス島
- 4) ヨーロッパ：オランダ，フランス，ポーランド
- 5) アフリカ：エジプト，ナイジェリア，セネガル

この脆弱性評価の中で、衛星リモートセンシングの利用や小型航空機によるビデオ画像を用いたマッピングなど新しい評価支援技術が開発された。また、こうした取り組みによって、各国毎に従来より精度の高い影響の見積りが得られた。こうした成果は、IPCC CZMS(1992)に詳しい。

IPCCでは、現在、1995年に第2次評価報告書を出す計画を進めており、これに向けて、1993年7月にはアメリカ・ニューオリンズで西半球ワークショップ、8月には日本・筑波で東半球ワークショップ、さらに11月にはオランダでWorld Coast Conferenceを開いて、各国の研究を集結しようとしている。

3.2 アジア・太平洋地域における活動

アジア地域では、地球温暖化・海面上昇問題への取り組みが立ち遅れていた。しかし、現在は、日本も含めたいくつかの先進国の援助もあって、各国で総合的な温暖化の影響評価と対応策の検討が進められている。

1991年にはアジア開発銀行の援助で2年間の組織的な調査研究が着手されたが、それへの参加国は、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、タイ、マレーシア、フィリピン、ベトナム、中国である。この研究の中には海面上昇・気候変動の沿岸影響に関する研究も含まれており、アジア地域では、ここに来て、一斉に各国で研究が開始されたという観がある。

一方、太平洋地域では、海面上昇が標高の低い小さな島国に大きな打撃を与えると懸念されたことから、早くから影響評価に取り組まれた。しかし、この地域では、詳細な標高データ、潮汐、高潮、波浪等のデータ、など基本的なデータが欠如しており、また、島国に特有な社会的歴史的な背景があることから、こうした地域に対して有効な研究方法の開発が必要とされている。

4. おわりに

本稿では、国内外における海岸工学に関わる地球温暖化・海面上昇の研究の状況について報告した。海岸工学委員会としては、当面、研究小委員会の研究成果をとりまとめ、研究の到達点を明らかにすることに努力を傾注したいと考えている。それと同時に、このようにして蓄積されつつある成果と力量を国際的な活動とリンクさせ、国際共同研究の分野でも積極的な役割を果たすべく取り組むつもりである。

本稿で挙げた研究の他にも、様々な場所で多くの研究成果が発表されているが、紙面の都合で全てを紹介できなかったことにご容赦をお願いしたい。

参考文献

- IPCC WG1 (1990) : Climate Change - The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, 365p.
- IPCC WG2 (1990) : Climate Change - The IPCC Impacts Assessment, Australian Government Publishing Service.
- IPCC WG3 (1990) : Climate Change - The IPCC Response Strategies, Island Press, 273p.
- IPCC CZMS (1992) : Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea.
- 宇多高明・伊藤弘之・大谷靖朗 (1992a) : 日本沿岸における1955年以降の海水準変動, 海岸論文集, 第39巻, pp. 1021-1025.
- 宇多高明・山本幸次・岡本俊策・河野茂樹 (1992b) : 駿河海岸の過去9,000年間における海浜変形の再現計算と将来予測, 海岸論文集, 第39巻, pp. 426-430
- 河田恵昭 (1991) : 台風特性に及ぼす長期的な気温変化の影響, 海岸論文集, 第38巻, pp. 381-385.
- 竹下正俊・高津宣治・大神孝明・泉 浩二・宮崎祥一 (1991) : 海面水位の上昇による臨海部への影響に関する研究, 海岸論文集, 第38巻, pp. 941-945.
- 土木学会海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会 (1992) : 「海岸工学に関わる地球規模環境問題」に関する調査・研究 中間報告書, 152p
- 松井貞二郎・立石英機・磯部雅彦・渡辺 晃・三村信男・柴崎亮介 (1992) : 海面上昇に伴う日本の沿岸域の浸水影響予測, 海岸論文集, 第39巻, pp. 1031-1035.
- 三村信男・幾世橋慎・井上馨子 (1993) : 砂浜に対する海面上昇の影響評価, 海岸工学論文集, 第40巻 (投稿中)
- 村上和男・山田邦明 (1992) : 我国沿岸の海面水位の長期変動の特性とその要因, 海岸論文集, 第39巻, pp. 1026-1030.
- 山口正隆・大福 学 (1992) : わが国における気象要素の長期変動および周期性の解析, 海岸論文集, 第39巻, pp. 1016-1020.
- 山本吉道・堀川清司・長沼良子 (1992) : 地球温暖化が海岸堤防越波に及ぼす影響について, 海岸論文集, 第39巻, pp. 1036-1040.