

B-10 地球の温暖化による海面上昇等の影響予測に関する研究

(4) 沿岸域の社会基盤システムへの影響評価に関する研究

① 沿岸影響評価手法開発と日本・アジア・島しょ国の脆弱性評価に関する研究

研究代表者

運輸省 港湾技術研究所 堀江 毅

運輸省 港湾技術研究所

海洋水理部部长

堀江 毅

海域環境研究室

村上和男、菅沼史典、清水義勝、

山田邦明

海水浄化研究室

細川恭史、関根好幸、古川恵太、

平野隆幸

(委託先) 茨城大学 工学部 都市システム工学科 三村信男

都立大学 理学部 地理学科 堀 信行

平成2-4年度合計予算額 43,980千円

[要旨]

沿岸域に集積された、人口・社会資本・情報といった有形無形の資産を高潮・高波・降雨等の外力から守るため、沿岸防災システムが整備されてきた。沿岸の防災システムを含む社会基盤システムへの海面上昇の影響を評価する手法の開発と、日本・東南アジア・島しょ国での海面上昇の影響評価をケーススタディとして実施することを試みた。

温暖化による沿岸影響は、温暖化による外力変化とそれを受ける沿岸部の地理的社会的な条件とによって異なってくる。外力変化の地域分布や変化規模・変化速度が不確定であることから、沿岸影響の予測は非常に困難である。そこで、沿岸影響と外力とを結び付ける「影響伝播」の流れを整理した。また、いくつかの防災システムに関し、外力に対するシステムの設計法をレビューした。最も特徴的な外力である海水面に関し、過去の検潮記録を整理してみたが、全国的な海水面の上昇は把握できなかった。

そこで、外力の変化に関し、IPCC等の検討を拠り所に仮想のシナリオを与え、他の条件はそのままにして、システムへの影響の大きさを見積もった。内水排除システムでは、集水域面積の割に内水面面積の小さなシステムで影響が大きく見られるなど、脆弱性の機構が把握できた。さらに、河川河口からの塩水の浸入や内水排除にとっては、降雨パターンの変化や河川流出の変化によって影響が大きく増幅される可能性があること、沿岸高潮の影響は、平均海水面の上昇よりも台風規模の増加の効果が大きく表れる可能性があることなどが示された。平均的な気温上昇や海面上昇と共に、気候の変動幅や頻度が変化し従来以上の極端な気象海象条件が高頻度で表れることの影響が懸念される。

沿岸影響の機構解明には、沿岸の地形図や社会統計が不可欠であるが、多くの途上国では十分に整備されているとは言い難い。IPCCの沿岸域管理部会(CZMS)では、世界のどの地域

地形での影響が大きいかの評価のため、統一的な手法での脆弱性評価を提唱した。水没の恐れのある地域 (area at risk) の、海面上昇による拡大状況を把握しようというものである。これに応える形で、日本沿岸・中国天津沿岸・トンガ王国トンガタブ島沿岸について脆弱性の評価を実施した。日本沿岸では、三大湾を中心にした人口・産業集積地域 (平野) での影響が大きいこと、中国天津沿岸では沿岸に広がる製塩業への影響がまず大きく海面上昇如何によっては天津都市部への影響が懸念されること、トンガタブ島では周辺珊瑚礁の上昇速度は海面上昇に追いつける速度を有してはいるものの人口圧力から生じる沿岸開発が脆弱性を助長していること等を見いだした。こうした解析結果は、IPCCのワークショップへの参加・発表やその他国際会議などで公表され、IPCCのレポートへ反映された。IPCC統一手法の改善提言等への契機ともなっている。

[キーワード] 海面上昇、脆弱性評価、沿岸域、東南アジア、島しょ国

1. はじめに

世界各地の沿岸域には、都市域が発達し人口・社会資本・情報といった資産が集積されている。各国の産業によって沿岸域は様々な利用されており、地域や国の経済を支えている。一方、沿岸域では、外海からの高潮・高波・津波などの外力影響を受け易く、内陸降雨や降雪の流出影響も受ける地域である。卓越作用外力は、地域の所属気候帯や外洋との位置関係などによっても異なり、沿岸の地形や沖合いの海底地形・島の存在等によっても変化する。我国の沿岸部は、毎年季節風や台風の襲来を受けるほか津波も頻発する、人口・産業の集中する都市は内湾奥の河口平野部に発達している、外洋に開いている海岸も多いが砂浜海岸では侵食が問題となっている場所も多い、等の特徴がある。沿岸都市部では、外力からの防護のために沿岸防災のシステムが整備され、沿岸災害の防除は継続的な都市活動の前提となっている。沿岸の土地利用の変化や都市構造の変化は、新たな性格の災害を招く可能性を伴う。地下域の開発や情報化の進展により、地下鉄や地下街の浸水や情報網の切断による都市機能の麻痺なども起こりつつある。

地球の温暖化により気候変動や海面上昇が生じた場合、沿岸には様々な影響が及ぶと考えられている。しかし、温暖化の進行や海面上昇の速度・規模またこれらの地域分布などの点で不明確さを残している。不確実な事象により引き起こされる結果を考えるために、ここでは次のような方法を採用している。概ね予見される範囲内で原因事象 (海面上昇など) の変化があったとき、対応してどのような変化が起こるのかを、各種の条件下でなるべく具体的に検討する。一般に、海面上昇などによりまず沿岸での様々な水理現象に影響が表れ、それが更に別の作用を引き起こし次の作用を呼び起こしてゆく。そこで、影響の伝達の道筋を整理し、作用外力の変化の大きさと沿岸のシステムの応答関係について調べておくこととなる。外力の変化もこれに対する対応策も、時間をかけて変化してゆくものと想定される。そこで、沿岸が「被災するか否か」ではなく、災害に対する「弱さの程度 (脆弱性) がどう変化するか」に注目する。「概ね予見される外力の変化」として、わが国の沿岸外力状況に関する資料解析も試みつつ、当面IPCCのまとめた知見によることとする。

2. 影響の伝播解析

2.1 地盤沈下域での被害の様子

海水面上昇による沿岸影響の構造を知るために、地盤沈下の生じた海岸部での過去の災害影響を調べた。沿岸地盤沈下域では、見かけ上海水面の上昇が起きたことに相当するからである。各地¹⁾で見られた典型的な障害は、①下水の排水不良、②内水氾濫／冠水の長期化、③塩水の地下水浸入、④橋梁の沈下による通船障害、⑤堤防・護岸の天端高の相対的低下による防護能力の低下等である。地盤沈下による上記の直接的な被害の他、何らかの災害発生時に被災量や被災地域を更に増やすという増強併発型や恒常的な不都合をもたらすジワジワ型の被害もある。

被害の発現状況を見ると、自然条件の変化とこれを受けとめる地域の社会経済条件との両者を知っておく必要があることが解る。すなわち、同じ外力に対しても、後者は被災の規模・様態（卓越影響因子・影響の連鎖の道筋・社会の反応等）を変えるからである。逆に、自然条件が類似で防護方法が均質一定な防災システムであれば、連鎖の道筋は単純になり外力変化と被災とは比較的簡単に結び付けられる。

2.2 影響伝播図の作成

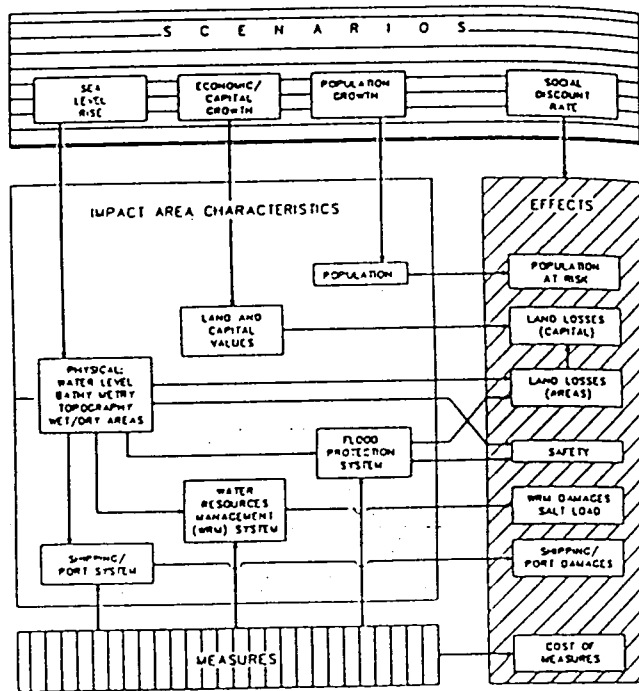
影響の伝播は、「原因」→「結果」の因果関係の連鎖として整理される。「海水面上昇」の影響を「水深の増大」・「相対的海面位置の上昇」という側面に整理する。次いで、「水深の増大」は「沿岸波浪の変化」・「潮汐の変化」等の物理環境の変化をもたらす、更に「沿岸波浪の変化」は「砕波位置の変化」・「流況の変化」・「沿岸構造物に作用する波高や波力の変化」等の沿岸の水理事象の変化を惹起する。個別の事象間の結びつきを因果の連鎖のなかで整理すると、系統樹（イベント・ツリー）が描ける。上記の例は、ひとつの原因「海水面上昇」から様々の事象が波及的に生起する例であるが、一方、「浸水」等の被災事象も様々の原因で（あるいはそれらの複合作用で）生起する。だから、被災事象への道筋も、様々の個別事象を結び付けた系統樹として整理できる。ただし、沿岸での諸事象が複雑に絡み合うほど、沖合い物理事象からの影響伝播と被災事象への伝播とを「原因」→「結果」の同一直線上に同時に並べることは、かえって見づらくなることとなる。

沿岸の防護システムが河口部などを除いて主に砂丘（dune）に依っているオランダでは、気候変動や海水面上昇への関心が高い。比較的大づかみに連鎖をまとめた例²⁾を図一1に示す。この図では、海水面上昇などの気候変動シナリオからの影響伝播を上から下へ、沿岸の影響域での諸システムを介在しての被災・影響への伝播を左から右へと示している。また、気候変動による沿岸物理環境への影響伝播を中心に整理した例³⁾が、図一2である。

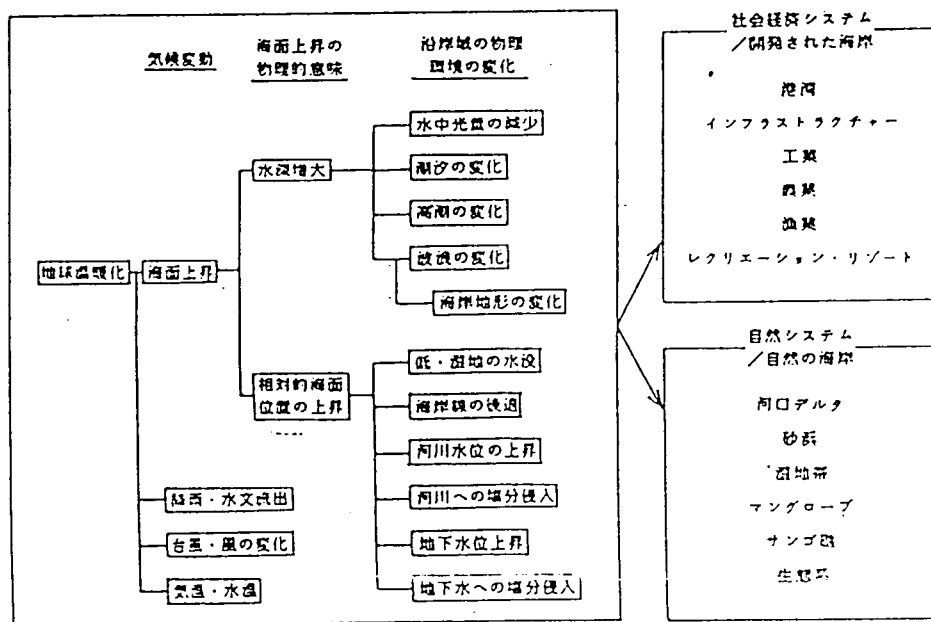
3. 作用外力の変動

3.1 海面の変動特性

地球規模の温暖化による海水面上昇の影響を理解するために、通常为我国沿岸での海水面の揺らぎについて整理してみる。変動の周期で分けると、①数秒から十数秒程度の周期の波浪による数十cmから十数mオーダーの変動、①' 長周期波浪に近い周期を有する地震に起因する津波、②数分周期で数十cm～の振幅の副振動等、③台風などによる数十分～数時間継続する数十cm～数m程度の高潮、④太陽や月などの引力の影響で生じる潮汐変動で、6時間から1年程度の個別の周期を持つ複数の成分振動の重合。それぞれの成分の振幅は数cm～数十cm。大潮時の振幅は、日本海側



図一 1 気候変動シナリオから沿岸影響までの影響連鎖の概念図²⁾



図一 2 気候変動から沿岸の物理環境の変化への影響連鎖系統樹の例³⁾

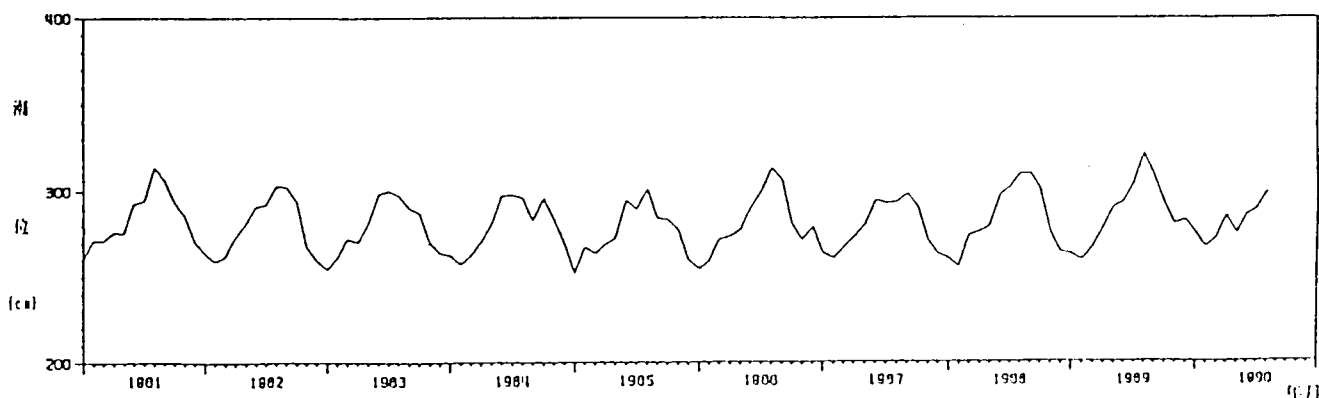
で～数十cm、太平洋側で1m～、有明海などで～数m程度。⑤海流等の変動による比較的長期の変動、等に分類される。④、⑤はゆっくりした変動であり、①、②、③は周期が比較的短いが変動幅が大きく沿岸での災害に結びつき易い。沿岸の防災構造物は、平均海面の他①～⑤について変動の既往観測記録を解析考慮して計画され設計されている⁴⁾。海面変動を与える外力は、①～

⑤までそれぞれ異なる。それぞれの外力のうち、温暖化による影響として、風の吹き方が変わることなどによる波浪の変化、台風の巨大化や発生頻度・来襲コースの変化、沿岸海流の規模・コース等の変動が考えられる。また、作用外力そのものの変化ではないが、水深の変化による波浪・津波・副振動等の浅海変形や進行速度の変化もしくは海底面での摩擦応力の相対的な減少といった、沿岸水域での海水面変動の伝達過程における水理条件の変化も有り得る。図一2の影響伝播図にまとめられている様に、従来の平均海水面と異なる平均海水面となったり・既往の記録とは異なった海面変動特性を持ち始めると、沿岸防災構造物や防災システムに不都合が生じる恐れがでてくる。ここではいくつかの作用外力の変化を調べてみた。

3.2 平均海水面

ゆっくりした海水面の変動を、検潮所の潮位資料から検討してみた⁵⁾。対象とした検潮所は、港湾の建設に必要な潮位記録を得るために設置された全国沿岸の検潮所のうち記録期間の比較的長いものを用いた。周辺の気象官署の観測記録より気圧補正を施し、各月毎に平均海水面を求めた。ほぼ10年間の変化を示すと、例えば志布志港では図一3の様な変動がみられる。一般に、春から夏にかけて平均海水面は上昇し、冬季に下降する傾向がみられる。半年もしくは1年の周期の潮汐成分は、大きくても30cm～50cm程度である。

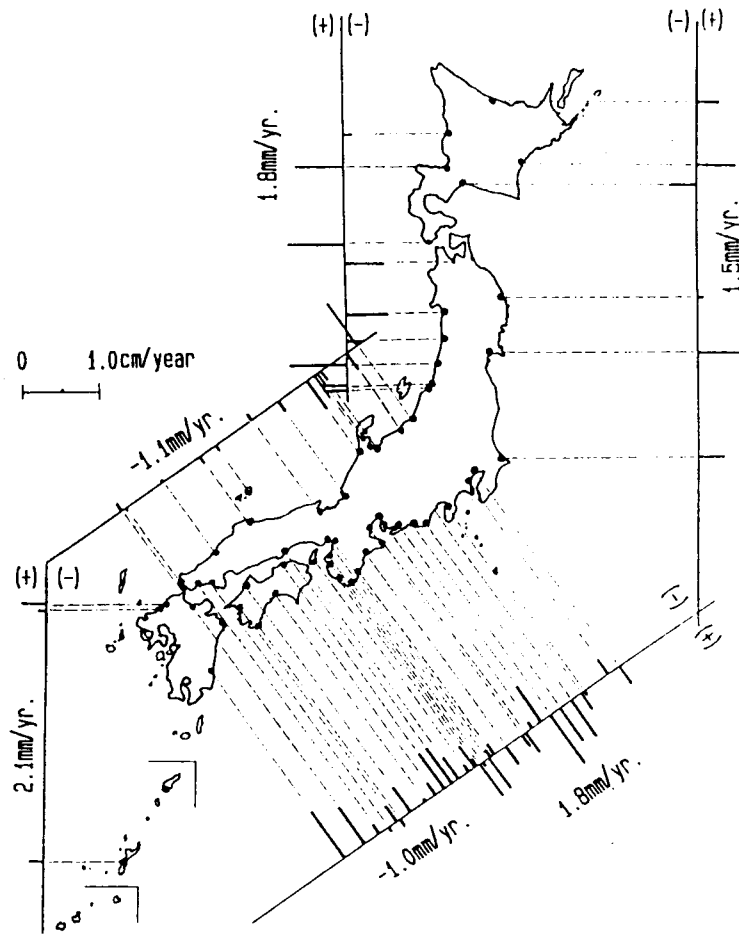
季節的変動を繰り返しながらも平均海水面が上昇傾向にあるのか否かを計算した。ここでの平均海面は、検潮所の基準位置（球分体）との相対的な高さを示している。平均海面の上昇速度の沿岸分布は、図一4の様になった。わが国沿岸では、一様な海面上昇は認められず、上昇傾向にある地域、下降傾向にある地域、上昇・下降の不明な地域があることが解る。上昇地区の相対上昇速度は年1mm程度であり、温暖化による予想上昇速度より1オーダー低い値である。現在までの記録からは、相対的な海水面の変動は、温暖化による地球規模の上昇よりも地殻変動等の地域分布を持った変動機構によるものとの影響が大きいと推察される。



図一3 月平均した海水面の経時変化の例⁵⁾ (志布志港・気圧補正済み)

3.3 潮汐振幅・進行速度

I P C C のシナリオによれば、21世紀末に見込まれる海面上昇量は65cm (35cm～110cm)程度である。また上昇量のうちほぼ半分は、海洋表層の海水の膨張によるものである。従って、太陽・月の引力影響を受ける全球的な海水量の増加はそれほど大きくはなさそうである。外洋での潮汐周期・振幅が変わらない条件で、内湾部での潮汐振幅や進行速度の変化を数値計算してみた⁶⁾。東京湾を例にとり、従来水深のケースと海水面が1m上昇したケースとについて湾口



図一 4 平均海面の相対的な変動速度分布⁵⁾ (+は海面の上昇・-は下降を示す)

で半日周潮振幅を与え、湾内の沿岸での振幅と満潮位の到達時間とを比較した。海面水位上昇後では潮汐の湾内進行速度が早まることは確認できたが、潮汐振幅では有意な差は確認できなかった。

3. 4 波浪、その他

港湾の建設などの為に設置された波高計記録をもとに、有義波波高と平均気温等を年毎に比較するなどしてみたが、はっきりした傾向は把握できなかった。日本海側では、冬場の大陸からの季節風の吹き出しによって冬季波浪が作られる。季節風の強さは、その場所の気温のみでは必ずしも評価できない、年平均気温では評価できない等、波浪の作られる機構との関係性を考慮した解析が必要であろう。潮位記録ほどには十分長期の波浪記録が整備されているわけではなく、今後の観測の積み重ねも必要であろう。

その他、台風規模の変動などは、気象力学的な解析例はあるものの、過去の記録に基づいた検討はあまり行われていない。

4. 沿岸社会基盤システムの応答解析

4. 1 応答解析の方法

沖合いや海洋における気象・海象条件や外力の変化は、沿岸の浅海部での伝達過程を経て、やがて沿岸の諸施設に対し作用する事となる。例えば波浪などの海面の波動は、浅い沿岸部で浅水

変形をおこし、やがて碎波するようになる。浅水変形や碎波の位置の変化の結果、沿岸の防波堤や護岸に作用する波力も変化し、護岸を越波する越波流量も変わる。浅水変形や碎波位置は水深、海底地形、波高、周期等に依存し非線型的に変化する。作用波力や越波量は、これらの他に構造物の設置水深や構造形式にも依存している。これらの関係性は算定図表や算定式としてまとめられており、地形や波浪の条件が明かであれば見積もることが可能となる。防災のシステムや構造物は、これらの関係性にに基づき防護の効果を定量的に評価して設計されている。そこで、設計方法を参考に、設計の諸条件の内温暖化により変化するであろうと思われる条件を、妥当な範囲内で変化させれば、その影響も定量的に予想できることとなる。ただし、定量的な算定には、地形条件などを具体的に与えなければならない。以下では、具体的な地形条件や施設の周辺条件を仮に与え、そこでの応答性を検討するという方法を採用した。

4.2 内水排除システムの解析

沿岸の低地の内水排除システムを取り上げた。都市低地部は、海に面して高潮護岸を巡らし、背後からの降雨の域内流入に対しては排水機で排除し、低地部の浸水被災を防いでいる。海水面上昇にともなう影響としては、①高潮護岸の天端高が不足し、海域から高潮が乗り越えて浸入すること、または来襲波浪の越波量が増大すること、②外海の水位が上昇するため排水機の排除揚程が増加する、このため排水能力が低下し流入降雨が低地内に氾濫すること、の2点が考えられる。前者は、海面の上昇に加えて潮位・台風の来襲による高潮・波浪等の条件が重なったときの水面上昇と護岸天端高との比較になる。後者は、低地域における雨水の貯留容量と、①排水機自体の揚程増加にともなう排水能力の低下特性、②気候変動による降雨強度や降雨パターンの変化、③将来の都市化にともなう降雨流出の変化、等との相互比較となる。②、③による負荷増に対し、①の対処能力減が大きければ、低地域の内水の許容貯留量を越えてしまう恐れがでてくる。

いくつかのモデル排水システムを具体的に仮定し、各種の条件下での内水位の変化を数値計算で比較した⁷⁾。内水位の算定例を図一5に示す。外海の水位（外水位）として天文潮による大潮の潮位曲線に台風による高潮を加え、最も条件の悪いケースを与えている。台風による降雨流出を、背後集水地の条件を考慮して与え、排水機場の運転による排除水量を差し引いた分が内水に貯留するとしている。時々刻々の外水位変化・降雨流出量の変化を与え、排水機の排水能力変化を算定しながら各時点毎に内水位を計算していったものである。

三つの異なるモデル地区について、海水面上昇などの効果を比較した。背後集水域面積/有効貯留域面積の比は、9.0から108までの範囲である。1mの海水面上昇により、数cmから20cm程度の内水面の上昇が算定された。外水位の平均海面を徐々に上昇させたときの内水位の上昇の程度は各地区毎に大きくばらつき、貯留内水面の大きさや降雨流出等によっても応答性が変わることが解った。背後集水域面積/有効貯留域面積の比が大きな地区では、内水位上昇も大きく、システムの外部設計条件の変動に敏感であり、脆弱な内水排除システムとなりやすいことが解った。さらに、内水位の上昇が最も大きい地区について、降雨強度が1割増加したり流出が1割増加する場合と、1mの海水面上昇とを比べると、前者の方が大きかった。これはまた、都市化による流出係数の1割増加が1mの海水面上昇よりも大きくなることと等価であった。急速な都市化の影響は、海水面上昇よりも大きな影響を与える可能性があることも解った。防護能力に余裕がないと、少しの変動に対しても大きな影響が生じる傾向が認められた。

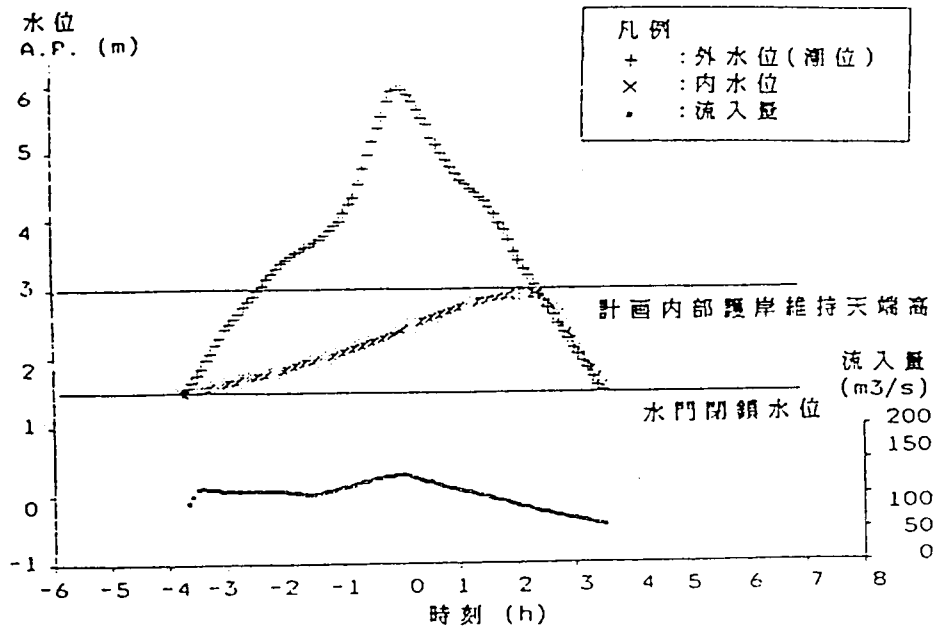


図-5 台風来襲時の内水位の算定例⁷⁾

4.3 防波堤の安定解析

沖合いの波の統計的性質は比較的研究が進んでおり、防波堤単体に対する波による被災の確率的な知見が最近蓄積されてきた。海底地形や波の条件を仮定することで沿岸での浅水変形を算定すれば、沿岸防波堤に作用する波力が算定できる。海面上昇により、単純な斜面上におかれた防波堤の被災(波力による滑動)確率がどう変化するかを算定した⁸⁾。砕波帯付近の浅い水深に設置された防波堤で被災確率が大きく上昇する傾向がみられた。

4.4 塩水浸入、海浜変形、その他

信濃川を例にとり、河口部の海面水位が上昇した際の塩水楔の浸入状況の変化を検討した。現地調査から淡水・塩水の2層が緩混合型の楔を形成していることを確認し、境界面の連行条件などを把握した。これらの知見をもとに、現況の流下淡水流量と海面上昇とをパラメーターにとり、楔の侵入距離を比較した。現況での侵入距離は3.7~3.9kmである。結果を図-6に示す。河川流量が少ないときには、塩水の遡上距離が大きく増大している。海面上昇による楔の侵入は、温暖化による河川流量の減少を伴うとより敏感に応答することが解る。

海面上昇は、静的に水没する位置以上に背後まで海浜を侵食させるといわれている。しばしば波の作用による安定斜面再形成として説明され、ブルンの法則として知られている。この簡便な法則には適用限界があると思われるが、十分な解析が出来ていない。

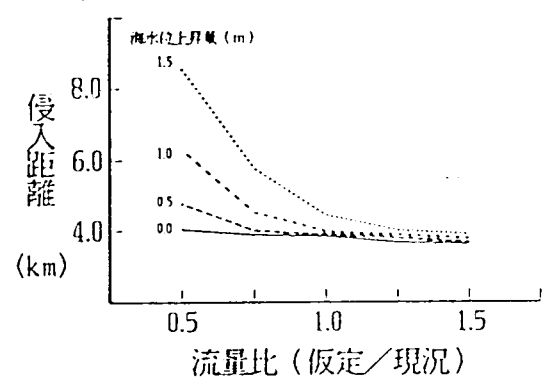


図-6 塩水楔の遡上距離の変化

5. 沿岸脆弱性解析

5.1 脆弱性解析の方法

沿岸の社会基盤システムのそれぞれについて上記のような解析ができれば、どの地区のどのシステムが脆弱かの判断が可能となろう。しかし、地域の脆弱性の相互比較のための第一歩として、より大づかみな方法がIPCCの沿岸域管理サブグループから提案された。簡便な共通手法により、世界の様々な地形・位置による潜在的影響の分布を比較しようとしたものである。ここでの共通手法は、沿岸に防護構造物がないときの浸水の危険のある地域を見積もろうというもので、海面上昇による氾濫危険地帯の増加の様子を危険地帯の面積・地帯内の人口・資産といった指標で数量化するものである。これらは人為的に防護すべき土地の広がりと重要度を示すものであり、影響の重大さを示す物差しとして考えられた。

ここでは、地図や社会統計の揃っている日本と、こうした資料が不十分な地区とをともに取り上げ、資料不足を補完する技術も含めて検討してみた。

5.2 日本の沿岸

国土数値情報や国民経済統計等を援用した。沿岸の水位上昇として、平均海面上昇・満潮位・高潮など異常時の水位を考慮した。潮位振幅などの特性から沿岸を大きく5地区に分割し、各地区毎に海面上昇後の海水位を設定した。設定海水位より低い土地の面積を求め、そこでの人口・資産を推計した。海面上昇量毎の算定値を表一1に示す。現状の朔望平均満潮位において水面下になる土地は861km²、人口200万人、資産54兆円に対し、海面上昇1mにより面積は2.7倍、人口は2倍以上、資産は2倍に増加する。この時の値は、全国の面積の0.6%、人口の3%、資産の4%にあたる。資産を都道府県別に集計すると、東京近郊、愛知、大阪に集中している。

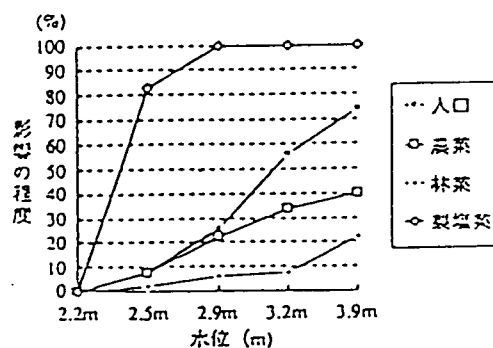
表一1 海面下地域の面積・人口・資産の海面上昇による変化⁹⁾

単位：面積 (km²)、人口 (万人)、資産 (兆円)

| | 現状 | | | 0.3m上昇 | | | 0.5m上昇 | | | 1.0m上昇 | | |
|------------|------|------|-----|--------|------|-----|--------|------|-----|--------|------|-----|
| | 面積 | 人口 | 資産 | 面積 | 人口 | 資産 | 面積 | 人口 | 資産 | 面積 | 人口 | 資産 |
| 平均海面時 | 364 | 102 | 34 | 411 | 114 | 37 | 521 | 140 | 44 | 679 | 178 | 53 |
| 満潮時 | 861 | 290 | 54 | 1192 | 252 | 68 | 1412 | 286 | 77 | 2339 | 410 | 109 |
| 台風または津波発生時 | 6268 | 1174 | 288 | 6662 | 1230 | 302 | 7583 | 1358 | 333 | 8898 | 1542 | 378 |

5.3 河口デルタ地形

中華人民共和国天津市では、渤海湾に面した低平な沖積平野に位置し、毎年洪水に見舞われており潜在的な脆弱性を有していると考えられる。衛星リモートセンシング技術を用い土地利用の様子を地理情報システムとして整備した。地形データを重ね合わせることで、水位の上昇による影響人口・産業を推定した。現況平常時の朔望平均満潮位（海岸線）は黄



図一7 社会経済指標に与える海面上昇の影響¹⁰⁾

海平均海面上+2.2mにあり、高潮の偏差は0.7mとされた。黄海平均海面からの高さを横軸に、天津市全域に対して影響を被る割合を横軸にとり、海水面上昇の影響をプロットすると図一7のようになる。まづ沿岸製塩業（塩田）の殆どが影響を受け、上昇量が1mを越えると影響人口が急増することが解る。

5.4 島しょ国

珊瑚礁に囲まれたトンガタブ島は、トンガ王国最大の島であり、そこには全人口の67%が集中している。周囲はほとんどが自然海岸であり、マングローブ・砂浜が約半分を占める。海水面上昇量を、0.3mと1.0mとに想定し、満潮位0.7mを加えた場合の浸水域を損失地帯(values at loss)、高潮位2.8mを加えた場合の浸水域を危険地帯(values at risk)とした。それぞれの面積・人口は表一2のようになった。高潮時の危険地帯の増加が大きい。

周辺の珊瑚礁の成長速度を調べると、2~3cm/年程度と見積もられた。予想される海水面上昇速度は1~2cm/年程度と思われることから、生育条件さえ良好であれば礁の成長は水面の上昇について行けると予想される。いっぽう、島の人口増加により沿岸部の開発圧力は大きく、ますます住居地の沿岸への進出が進みつつある。こうした動きが与える影響も考慮してゆく必要がある。

表一2 トンガタブ島における脆弱性評価¹¹⁾

| Impact categories | Present Situation (0.0m) | SLR 1 (0.3m) | SLR 2 (1.0m) |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| 1. Values at loss | | | |
| - Land area (km ²) | 0 | 3.1(1.3%) | 10.3(3.9%) |
| - Residence area (km ²) | 0 | 0.7 | 2.2 |
| - Population to be affected | 0 | 2,700(4.7%) | 9,000(14.2%) |
| 2. Value at risk | | | |
| - Land area (km ²) | 23.3(8.8%) | 27.9(10.6%) | 37.3(14.1%) |
| - Residence area (km ²) | 4.9 | 5.9 | 7.6 |
| - Population to be affected | 19,880(31.3%) | 23,470(37.0%) | 29,560(46.6%) |

* Percentages of affected areas and populations are based on the total values of the Tongatapu Island.

6. おわりに

海水面上昇による社会基盤システムの一部に関し、影響伝播をふまえた影響評価を試みた。応答性をなるべく定量的に評価するように努めた。個別の条件下での評価には成功し、余裕あるシステムと脆弱なシステムとの比較ができるようになってきた。また、地域の脆弱性を、人為的に保護すべき土地の広がりや重要度の観点から比較した。関連情報の不十分な途上国型の海岸に対しては、条件に見合った解析法の検討が必要であると思われた。また、情報の比較的揃った沿岸部では、現実の防護のレベルを考慮した解析法の検討が必要であると思われた。

参考文献

- 1) 環境庁水質保全局企画課監修(1990): 地盤沈下とその対策、白亜書房
- 2) Wind, H.G. (ed.) (1987): Impact of Sea Level Rise on Society, A.A. Balkema, Rotterdam, 191p.
- 3) 三村信男ら(1990): 海面上昇・気候変動による沿岸域への影響とその対応策、海岸工学論文

集第37巻、863-867

- 4) 日本港湾協会(編)：港湾施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、469p.499p.
- 5) 村上和男ら(1992)：我国沿岸の海面水位の長期変動の特性とその要因、海岸工学論文集第39巻、1026-1030
- 6) 古川恵太(1992)：下記7)の付録
- 7) 細川恭史ら(1992)：地球温暖化による港湾域の排水機場機能への影響、港湾技術研究所報告第31巻第I号、51-115
- 8) 高山知司(1990)：防波堤の滑動安定性に及ぼす海面上昇の影響、海岸工学論文集第37巻、873-877
- 9) 松井貞二郎ら(1992)：海面上昇にともなう日本の沿岸域の浸水影響予測、海岸工学論文集第39巻、1031-1035
- 10) 三村信男ら(1992)：中国沿岸域の海面上昇に対する脆弱性評価、環境システム研究Vol.20、176-183
- 11) Mimura, N. et al. (1992): Vulnerability Assessment of Sea Level Rise on the Kingdom of Tonga, Proc. IPCC/WG3 CZMS VENEZUELA Workshop 'Rising Challenge of the Sea',

国際共同研究等の状況

本研究を進めるにあたって、以下の3委員からなる検討会を組織し研究の方向性についてご意見を頂いた。愛媛大学 柳哲雄教授、東京大学 磯部雅彦教授、東京工業大学 灘岡和夫助教授。また、中華人民共和国北京大学のHan Mukang教授、トンガ王国政府国土省のMs.N.P.Fifitaには、それぞれの国の脆弱性解析に共同して取り組むことができた。記して感謝いたします。運輸省・環境庁のご尽力により、IPCCとの連携がはかられ、成果をIPCCワークショップで紹介するなどの寄与ができた。上記検討会委員の参加も含め、IPCC改組後のWG2-B(沿岸域と離島)グループとの連携の下、本研究参加者が主体となって1993年8月の「沿岸域の管理と海面上昇に関する東半球ワークショップ」運営委員会を組織し成功に導いた。

主な研究発表の状況

三村信男ら：海面上昇・地球温暖化の沿岸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、土木学会

三村信男：地球温暖化による海面上昇・海象変化の影響評価、海岸工学論文集第38巻、土木学会

細川恭史：海面上昇の沿岸影響と対応策の検討課題、地球規模環境問題に関するミニワークショップ、土木学会

細川恭史：海面上昇が沿岸域環境に及ぼす影響とその対応、土木学会平成3年度全国大会研究討論会、土木学会

細川恭史ら：地球温暖化による港湾域の排水機場機能への影響、港湾技術研究所報告第31巻第I号、51-115

村上和男ら：我国沿岸の平均海面の変動特性、日本海洋学会春季大会

三村信男ら：中国沿岸域の海面上昇に対する脆弱性評価、環境システム研究Vol.20、土木学会
村上和男ら：我国沿岸の潮位と平均海面の変動特性、港湾技術研究所報告第31巻第3号、
村上和男ら：我国沿岸の海面水位の長期変動の特性とその要因、海岸工学論文集第39巻、土木学会

Mimura,N et al.: An overview of potential impacts of sea level rise, International Conference on CIES

Hosokawa,Y. et al.: Nationwide cost for bank raise against sea level rise, International Conference on CIES

Mimura,N. et al.: Vulnerability Assessment of Sea Level Rise on the Kingdom of Tonga, Proc. IPCC/WG3 CZMS Venezuela Workshop 'Rising Challenge of the Sea', IPCC

Mimura,N. et al.: Vulnerability assessment for Japanese coast, Proc. IPCC/WG3 CZMS Venezuela Workshop 'Rising Challenge of the Sea', IPCC

Mimura,N. et al.: Vulnerability assessment to sea level rise, Proc. of the ILT'92 ON POLD, Saga University

Hosokawa,Y. et al.: Vulnerability of coastal lowlands due to sea level rise, Proc. of the ILT'92 ON POLD, Saga University

Hosokawa,Y. et al.: Impact of sea level rise and response strategies, International Conference on Sea Level Changes and their Consequences(SEACHANGE'93), UNESCO/IHP