

47. 海岸・沿岸域システムに対する地球環境変動の総合的影響評価

Integrated Assessment for the Impacts of Global Change on Coastal Zones

三村 信男*・川口 博行**

Nobuo MIMURA, Hiroyuki KAWAGUCHI

ABSTRACT: Many studies have been carried out for assessing the impacts of sea-level rise and climate change on the coastal zones. However, further studies are needed to set a basis required for strengthening countermeasures against global warming and preparing adaptation to the impacts. As an attempt of this kind, a study aimed at an integrated assessment for the impacts on coastal zones is in progress. The study consists of four areas; such as (1) setting scenarios of the future changes of external forces and socio-economic conditions, (2) developing methodologies to evaluate the impacts on sectors and systems in the coastal zone, (3) developing an integrated assessment system using GIS, and (4) applying this system to the Asian and Pacific region. The present status of this study is presented with the results so far obtained.

Keywords: sea-level rise, climate change, coastal zone, impact assessment, integrated assessment, Asian and Pacific region

1. 研究の背景－地球温暖化に関する影響研究の課題

地球温暖化の影響に関する研究の目的は、1)温暖化問題の重要性の提示、2)危険性の限界（閾値）や脆弱な分野と地域、被害・対策の経済的コスト等に関する情報の提供、3)適応策の検討、の3点に集約できる。これらの目的を達成する上で、影響研究の研究課題には、1)影響項目の抽出（定性的なリストアップ）、2)影響のメカニズムの解明、3)影響予測の方法の開発、4)影響予測のためのシナリオの開発、5)影響の定量的予測、6)影響の経済的損失の評価、7)脆弱な地域、国、セクターの特定、8)影響の危険な水準（閾値）の特定、9)適応策の検討、がある。

温暖化の影響研究は過去10年間急速に進展し、気候変動枠組み条約の締約、京都議定書の採択といった国際的な対策実施への推進力になった。そうした意味では、影響研究が果たした役割は非常に大きいといえる。では、上に示した目的に照らして、影響研究はどこまで達成し、どのような課題を残しているのだろうか（三村、1998）。

(1) 現状認識

IPCCの第1次、第2次報告書にまとめられている研究成果（IPCC、1990;1996）は、温暖化問題の重要性を世界的に認識させる上で極めて大きな役割を果たした。現在では、温暖化問題の重要性の認識は定着したといってよかろう。しかし、危機感は政治・国際交渉分野の方が先行している面があるので、温暖化の実態の把握や影響の予測などによって社会の危機意識に科学的な裏付けを与えるのが今後の課題である。

* 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター Center for Water Environment Studies, Ibaraki University,

** 建設省国土地理院 Geographical Survey Institute, Ministry of Construction

(2) 危険性の限界や経済的コストに関する情報の提供

この点では、到達点は十分ではない。個々の分野毎に起こりうる影響項目はほぼリストアップされたが、世界全体でどの程度の影響量になるのかという量的積算が行われているのはごく限られた分野にすぎない。各国毎の影響については、米国、オランダ、日本、UNEPなどの援助で、国別研究（カントリースタディ）が取り組まれ、過去数年間で飛躍的に進んだ（Mimura(ed), 1999）。しかし、途上国の多くでは、必要なデータが欠如しており、定性的で部分的な評価にとどまっている。国毎の脆弱性評価は、気候変動枠組み条約で要求されている「国別通報」の中に含まれているので、今後も継続して取り組まれるものと考えられる。

今後、地域レベルでも影響の全体像を描く努力がなされるべきである。アジア・太平洋地域はとりわけ影響が厳しく、脆弱性が高いと指摘されているが、その影響はどの程度なのか、とりわけ脆弱性の高い地域とセクターはどこなのかを把握することが必要である。

温暖化防止対策との関係で最も重要な影響研究の対象の一つは、危険水準（閾値）の確定である。京都議定書が実行されても一定の温暖化の進行は避けられないと考えるのが自然である。そのため、温暖化の昇温幅、昇温速度、気候変動と海面上昇の大きさがどの程度であれば、対応可能な範囲に入るのかをできるだけ明確にする研究が必要とされている。

この他の重要な課題は、温暖化問題と開発や人口増加に伴う環境変化との関係を検討することである。温暖化の影響は他の環境変化と同時に生じるために、影響予測は単純にはいかない。様々な問題やリスクに直面している世界の将来像をどう描くかという問題であり、自然科学と工学、人文、社会科学の協力が求められる。

(3) 適応策の検討

適応策検討の前提条件である脆弱性評価の達成度には、上で指摘したように分野毎、国毎に差がある。農業や沿岸域などは研究の進んだ分野である。一方、世界的に大きな影響を被ると考えられる生態系や水資源、都市環境、産業活動などは、明確な影響予測が困難な分野として残されている。適応のあり方は、先進国と途上国とでは大きく異なる。特に、途上国では、現在の経済開発が将来の脆弱性拡大の要因にならないように、予防的に適応策を検討しておくことが必要である。

空間的に脆弱性の高い地域を特定するためには、相当細かい空間的サイズで検討しなければならない。例えば、水没や海岸侵食、土地利用への影響を検討するには、1kmメッシュでも必ずしも十分ではない。こうした検討を行うためには、従来のものに比べて、更に詳細なデータが必要とされるため、データの作成から取り組まなければならない。

2. 総合評価を目指す研究計画

以上のように、これまで相当数の研究があるものの、影響評価研究には次のステップに向けた課題が多く残されている。こうした課題に取り組むために、沿岸域を対象にして、平成9年度から3年計画で総合評価を目指した研究計画が進行している。

本研究計画は、文部省科学研究費（代表：三村信男）と環境庁地球環境研究総合推進費（代表：川口博行）の下で構想されたもので、大学、国立研究機関、民間から合計20名以上の研究者が参加している。研究の目的は、地球環境変動による海岸・沿岸域システムへの影響の予測手法を開発・体系化すること、さらに、その成果をGISベースの環境情報データベースに統合し、総合的な評価システムを構築することである。研究の後半では、このシステムをアジア・太平洋地域に適用し、2050年頃までの影響を評価しようとしている。アジア・太平洋への適用のケーススタディとして、現在タイを中心に研究に取り組んでいる。

本研究は、1)環境変動のシナリオの定式化、2)海岸・沿岸域システムの構成要素毎の影響予測モ

デルの開発、3)総合評価モデルの開発、4)GISシステムによる全体の統合化、という4つのサブグループで構成されている(図-1)。

3. 環境変動シナリオ

温暖化の影響を予測するためには、外力と社会・経済変化のシナリオを設定しなければならない。沿岸域に対する外力として考えるべき項目には、次のようなものがある。

- ・相対的な海面変動(全球平均の海面上昇+局所的な変化+地盤沈下)
- ・気温、降水量、日照などの気候要素の変化
- ・影響を受けるシステム(暴露系)の将来変化

気候要素の中で沿岸域に最も大きな影響を与えるのは、台風の変化であり、台風が強大化したり発生頻度が増大したりすると、著しい影響が生じることになる。そのため、本研究でも、特にこの点に注目して検討を行っている。筒井ら(Tsutsui et al., 1999; 平口ら, 1998)は米国大気研究センター(NCAR)の

最新の全球大気海洋結合モデルを用いて気候シミュレーションを行い、CO₂倍増時における台風の変化について、全球の台風については、発生頻度、発生海域に大きな変化は見られないこと、台風の発達強度は全体的に増加すること、地域的には台風の増減に差が見られるが、自然の変動幅に比べて大きな変化ではないこと、といった結果を得た。

こうした知見に基づいて総合的な外力シナリオを構成し、全ての影響評価へのインプットとして統一的に用いていくことを計画している。

4. 個別の暴露系への影響

影響を受けるものは暴露系と呼ばれ、自然環境と人間社会との2つに大別される。海岸・沿岸域システムの暴露系としては、1)自然環境：砂浜、マングローブ、湿地帯、サンゴ礁、デルタ、海跡湖、エスチュアリ、水質など、2)人間社会：災害ポテンシャル(潜在的危険度)、港湾・道路・防

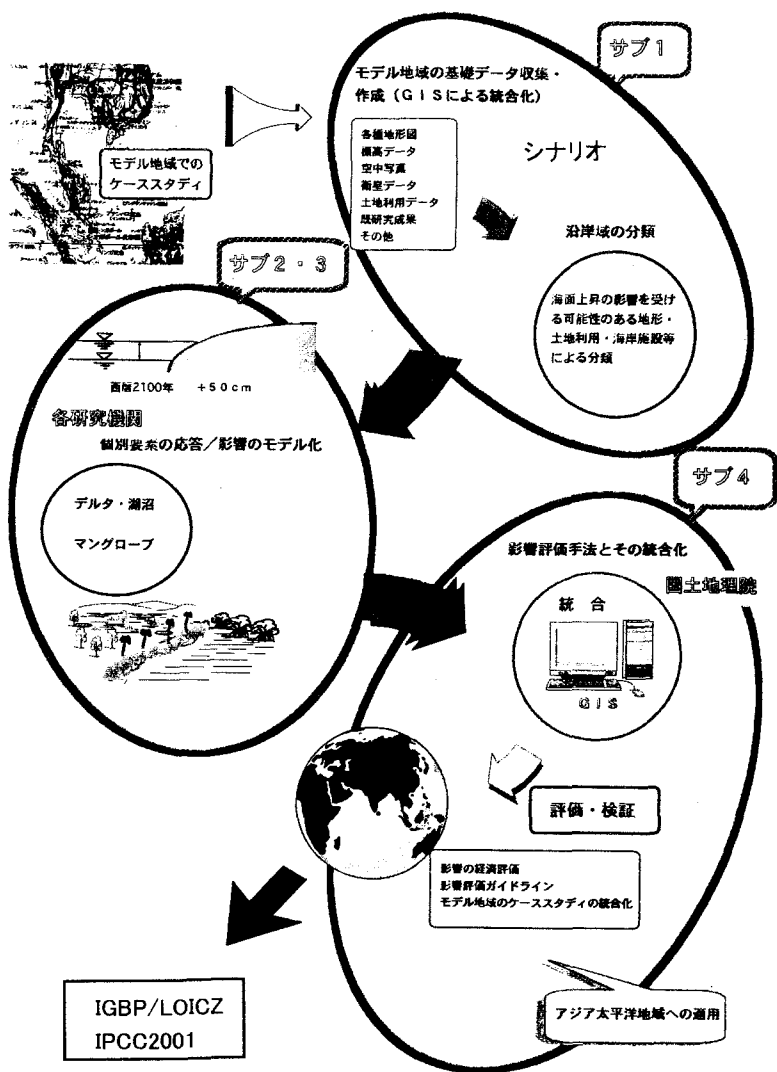


図-1 総合評価研究の枠組み

災施設などのインフラ施設、農業、水産・養殖業、観光、社会的安定性、地域文化など、があげられる。下に例示するように、暴露系毎に評価手法の開発が必要である。

(1) デルタ

デルタは、アジアの大河川の流域に多く発達している。その低平な地形から、水没、氾濫、侵食といった海面上昇や気候変動の著しい影響を受ける地域である。これらのデルタは、最終氷期後の海水準の上昇に強く支配されながら形成されてきた。タイのデルタや海岸平野において、過去に堆積した地層から形成過程を推定することができる。この解析結果から、海水準上昇に対するデルタの応答が推定できる（海津, 1999）。

(2) マングローブ

海面上昇によって、マングローブは消滅したり面積の減少、種構成の変化などの影響を受けると予想される。マングローブの立地変動を予測するための基本要素としては、海面上昇の他に、土砂供給や泥炭質の堆積速度、マングローブの立地する地形（干潟、デルタ、砂堤列、潟湖等）がある。地域的な要素には、潮差、微地形、マングローブの群落構造、人為的な土地利用などがある。

タイにおける2つの地点のマングローブ林の調査によって、次のようなことが分かった。

約6000年前までの海面上昇速度は約4mm/yrであり、この速度ではマングローブ生態系の維持は困難であった。他方、1000年前以降の海水準の安定期には、土砂と有機物を堆積し、マングローブが自ら1m以上地盤高をかさ上げしてきたと推測される。こうしたことから、将来の海面上昇が100年で50cm程度であれば、タイのマングローブ林は存続でき、海面上昇が1m程度になると追従できずに、森林面積が著しく減少する地点が現れる、と予測される。Miyagi et al. (1999) は、堆積速度、海面上昇速度、潮差の3つの要素を用いて各地のマングローブ林の種構成の変化を含む予測モデルを構築している。

(3) 海跡湖

海跡湖は沿岸の平地に存在するために、汽水域や湿地帯など多様な自然環境が広がるとともに、漁業やリゾート開発など様々な利用が行われている。タイにも、マレー半島に琵琶湖の1.6倍の面積をもつソクラー湖という海跡湖がある。ソクラー湖地域の北部は、自然の湿地帯であるが近年急速に水田→エビ養殖場への変化が進んでいる。また、湖岸や周辺では、リゾート開発や熱帯雨林のプランテーション化（ゴムやココヤシ、サヨウヤシ）が進んでいる。こうした、人為的な圧力を受けつつある地域に対する海面上昇の影響評価手法を、自然環境、社会・経済両面から評価する手法を開発している（平井, 1999）。

(4) 災害ポテンシャル

大河川の流域やデルタには、人口が集中し、多数の大都市が形成されている。そのため、台風による高潮、洪水災害は途上国で大きな脅威になっている。タイではチャオプラヤ川下流部にバンコクを擁しており、タイ湾に台風が来襲することはまれであるが、高潮に対する潜在的な危険性は大きいと考えられる。磯部ら（藤城・磯部ほか, 1996; 磯部・藤城, 1997）は台風に伴う高潮の数値シミュレーションモデルを開発した。タイ湾における高潮の予測結果から、海面上昇は、ちょうどその分だけ高潮の潮位を高める効果をもつことが分かった。

(5) 経済評価

海面上昇・気候変動による物理的、生態的、社会的な影響は、最終的に国民経済に影を落とすことになる。こうした意味で、すべての影響を国民経済に対する影響として統一的に評価することを目的に、経済評価モデルを開発している。タイを5地域（バンコク都市圏、中部、北部、東北部、南部）、各地域の産業を8部門（農林水産業、鉱業、製造業、建設業など）に分け、開発中の経済モデルを適用して、海面上昇に対する生産額、労働者数、賃金、地代などの変化を計測したところ、25, 50, 75, 100cmの海面上昇により、バンコク全体の生産額がそれぞれ約7, 10, 14,

17%減少するという結果を得た（大野、1999）。

5. 総合評価

個々の影響評価手法が開発されれば、それらを統合して総合的、広域的に影響を予測することが次の目標である。近年、地球環境情報に関するデータベース整備が進んでいることから、こうした研究を進める条件が急速に整いつつある。本研究では、影響評価を行う際に必要となる基礎データについて、標高(GTOPO30)や人口(CIESIN)、湿地帯(米国NOAA)など、9項目、29種類の地球環境情報データを収集した。これらのデータをGISシステムを用いて統合し、気候変動が沿岸域システムに及ぼす影響をアジア・太平洋全域において予測・評価することをめざしている。

(1) 評価の枠組み

影響は、直接的な一次影響とさらにそれが原因となって広がる二次影響とに分けてとらえる。

海面上昇・気候変動の一次影響としては、
・恒久的な水没：海面上昇により、水没する面積、
・台風の影響：台風によって影響を受ける地域、の2つを取り上げた。台風の影響地域については、接近頻度と影響程度が比例するものと仮定し、評価の指標として台風の接近頻度を用いた。

二次影響としては、
・影響人口：一次影響(水没、台風)が影響を及ぼす人口、
・経済影響：影響域内の社会基盤施設、
・自然影響：動植物等の自然生態系が受ける影響、を対象にした。

(2) 予測結果

1)恒久的な水没地域：1mの海面上昇で水没すると予測された地域分布を図-2に示す。ニューギニア島南部の河口デルタ地帯、ベトナムのメコン川デルタ地帯は広範囲にわたって水没することがわかる。水没すると予測された面積(約53万km²)は日本の面積の1.5倍に及び、全陸域面積に対して1.1%にあたる。

2)台風の影響：台風の影響を受ける地域をランク毎に図-3に示す。フィリピン諸島をはじめ、バングラデシュやインド西部に影響の大きい地域が分布していることがわかる。また、沿岸域(海岸線から距離300km以内)に着目して算出した全面積に対する影響面積の割合(表-1)から、アジア・太平洋の沿岸域の65%以上に台風の影響が及び、特に毎年影響を受けると予測される沿岸域は、全沿岸域の20%以上にのぼることがわかった。

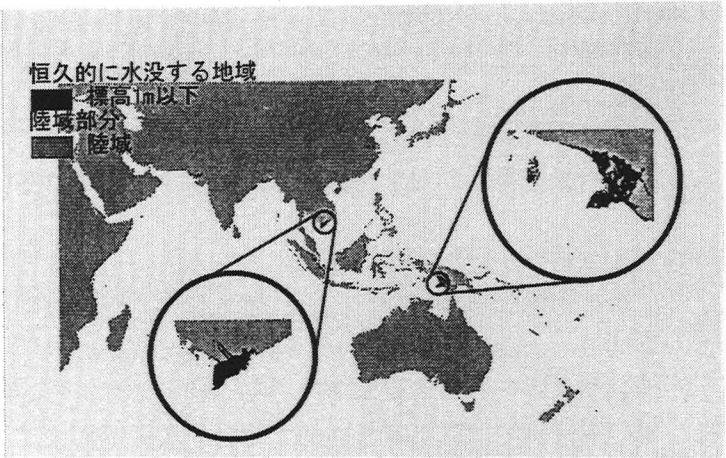


図-2 恒久的な水没地域分布

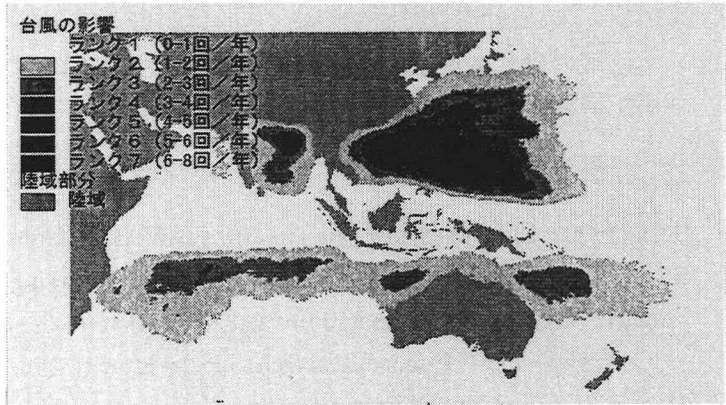


図-3 台風の影響分布

表-1 台風のランク別影響面積

ランク	頻度(回/年)	面積(千km ²)	全沿岸域面積 に対する割合(%)
1	0 ~ 1	8702	44.7
2	1 ~ 2	2857	14.7
3	2 ~ 3	670	3.4
4	3 ~ 4	264	1.4
5	4 ~ 5	110	0.6
6	5 ~ 6	79	0.4
7	6 ~	0	0

3)影響人口：水没地域に住む人口は、対象領域全体で6,200万人、対象領域内全人口の1.6%にあたる。影響人口の大きい地域は、インドのカルカッタを中心として広範囲の地域、また、南シナ海を囲む中国南部の沿岸域・台湾のカオシュン付近・フィリピンのマニラ付近に広がっている。

4)経済影響：幾つかの空港について、恒久的な水没の影響を受ける危険性がある。

5)自然影響：ニューギニア島南部の湿地帯が最も大きな影響を受ける。また、対象領域内の湿地帯面積(約92万 km²)に対し、水没する湿地帯面積は約30万km²、つまり32%もの湿地帯が水没するという評価結果を得た。湿地帯の多くは水没する地域に存在することがわかる。

6. まとめ

温暖化の影響評価研究は、これまで数多くなされてきた。しかし、危険性の限界(閾値)や脆弱な地域とセクターの特定など、今後必要な情報の提供のためには一層の進展が必要である。こうした情報が基礎となって、緊急度の高い地点における適応策の検討が現実味をおびることになる。

本研究計画では、より具体的で総合的な影響評価手法を検討している。また、ここで紹介したほかにも、社会経済的な開発、発展とのかかわりや適応策の検討などの研究にも取り組んでおり、各国の対応策の検討に役立つ形で、新しい影響評価手法とシステムの確立に努力したい。

本研究の研究グループの方々及び援助を頂いている文部省科学研究費基盤研究(B)(1)、環境庁地球環境研究総合推進費(温暖化(影響)部門)に心から感謝したい。

参考文献

IPCC(1990): Climate Change (Reports from 3 Working Groups)

IPCC(1996): Climate Change 1995 (Reports from 3 Working Groups), Cambridge University Press.

Mimura, N.(ed.)(1999): Vulnerability and Adaptation to Climate Change -A Synthesis of Results of the Country Studies-, Climate Research, Special Issue (in press).

Miyagi, T., C.Tanavud, P.Pramojanee and K.Fujimoto(1999): Mangrove habitat dynamics and sea-level change, 熱帯研究, Vol.8-3.

Tsutsui, J., A.Kasahara and H.Hirakuti(1999): The impacts of global warming on tropical cyclones -A numerical experiment with the T42 version of NCAR CCM2, Preprints volume of The 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Amer. Meteor.Soc., pp.1077-1080.

磯部雅彦・藤城透(1997): ベンガル湾奥における高潮遡上計算、海岸工学論文集、第44巻、pp.346-350.

海津正倫・川瀬久美子(1999): タイ南部の沖積低地における沖積層とマングローブ林の発達、名古屋大学文学部研究論集、第134巻、pp.15-26.

大野栄治(1999): 影響と対応策の経済評価、平成10年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)報告書.

平井幸弘(1999): タイ国南部ソンクラー湖湖岸における自然および社会・経済システム、愛媛大学教育学部紀要 第III部自然科学、第19巻、第2号、pp.1-15.

平口博丸・丸山康樹・筒井純一・仲敷憲和(1998): NCARの大気海洋結合モデルによる温暖化予測実験、第6回地球環境シンポジウム講演論文集、pp.187-192.

藤城透・磯部雅彦ほか(1996): タイ湾における高潮被害の将来予測、東京大学工学部総合試験所年報、第55巻、pp.55-60.

三村信男(1998): 温暖化影響研究の今後の課題について、地球環境研究展望—地球の温暖化(影響)—、国立環境研究所地球環境研究グループ.