

人口・経済成長を考慮した気候変動に対する 沿岸域の地球規模影響評価

丸山 陽佑¹・三村 信男²

¹八千代エンジニアリング株式会社 (〒161-8575 新宿区西落合二丁目18-12)

E-mail:ys-maruyama@yachiyo-eng.co.jp

²正会員 工博 茨城大学教授 広域水圏環境科学教育センター (〒316-0033 日立市中成沢町四丁目12-1)

E-mail:mimura@mx.ibaraki.ac.jp

本研究では、海面上昇と気候変動の沿岸域に対する影響をより詳細で総合的に評価する手法を開発した。緯度経度1分メッシュの分解能で10年毎に全球の浸水シミュレーションを行い、水没面積と影響人口を時系列で推定した。また、これまで考慮されていなかった沿岸域の防護能力を一人当たりGDPと人口密度に基づく防護シナリオで与えることで、従来に比べてより現実的な評価を可能にした。さらに水没に伴う被害額の算定方法を開発し、経済的な影響を評価した。この一連の手法を用いて、IPCCのSRESシナリオ毎に影響評価を行い、社会経済発展の経路の違いによる影響出現経路の違いを定量的に明らかにした。

Key Words : Sea-level rise, Impact assessment, Coastal zone, Protection, Economic assessment

1. はじめに

地球温暖化に伴う海面上昇は世界の沿岸域に大きな影響を与えると考えられている。沿岸域には人口や資産が集中しており、将来的にはさらに人口増加が見込まれるため、海面上昇や強化した台風に対する脆弱性の増大は避けられない。そのため、適応策の実施、すなわち、予測される水没や氾濫などの影響をいかにして最小限にし、沿岸域での社会経済活動の安全を保障するかが、世界各国の長期的な政策課題となっている。海面上昇への適応策を検討するためには、まず影響を定量的に把握する必要があるが、経済成長によって各国の防護能力も改善するため、現実的な影響予測には、国毎の人口変化や経済力の考慮も必要となる。

これまでも海面上昇や高潮を外力水位とした浸水シミュレーションを行い、沿岸域の水没面積や影響人口を定量的に評価する研究が行われてきた。例えば、アジア・太平洋地域の影響を評価した三村ら¹⁾の研究や沿岸域の防護能力を考慮したNichollsら²⁾の研究がある。また、気候変動の経済被害についてもTo³⁾などの研究がある。これらは、いずれも国又は地域レベルの空間解像度にとどまっており、同じ国でも海岸毎に異なる高潮水位の確率分布を考慮した世界規模の影響評価研究は行われていない。また、将来の人口増加や経済成長による適応能力

向上の効果についてもほとんど明らかにされていない。

そこで本研究では、2000年から2100年までを対象として、10年毎に沿岸域に対する影響を総合的かつ定量的に予測する方法を開発した。具体的には、IPCCのSRESシナリオ⁴⁾に基づいた人口や経済力の将来予測を反映させて沿岸域の防護レベル(適応策)を決定し、それを考慮して全球の水没面積と影響人口を評価した。また、水没による被害額の算定方法を開発して経済的影響を評価し、物理的・経済的な影響のより総合的、定量的な予測を行った。これらによって、適応策の効果を把握することも本研究の目的である。

2. 浸水シミュレーションの条件と影響評価手法

(1) 計算対象と計算期間

本研究では全球を緯度経度1分で分割し、そのメッシュを評価の空間単位とした。海岸線もこのメッシュで表現され、赤道上では2km程度に海岸線を区切ったことになる。標高データにはNOAA National Geophysical Data CenterのGLOBE⁵⁾を用いた。全球の影響評価は206カ国の個別評価を積み上げたものであり、対象期間は2000年から2100年の100年間で、評価の間隔は10年刻みである。2100年までの人口やGDPの変化は、IPCCのSRESシナリ

オの6つのシナリオのうち、A1B, A2, B1, B2の4つに基づいて想定した。

(2) 浸水シミュレーション方法と評価項目

浸水シミュレーションでは、海岸線のメッシュ毎に満潮位、海面上昇、高潮を合わせた設定水位を与え、水没・氾濫は海岸線からのみ発生すると仮定した。水没域の判定にはレベル湛水法を用い、水没域と判断されたメッシュの水没面積と水没域内の人口を影響人口とした。10年毎に設定水位を与え、この2項目を計算した。

(3) 外力水位

a) 海面上昇

海面上昇量の設定もIPCCのSRESシナリオ (A1B, A2, B1, B2) それぞれについて行った。海面上昇は2000年を基準として、IPCC第四次評価報告書⁹⁾で示されたシナリオ毎の21世紀末の予測最大値に向かって直線的に経年変化するものと仮定した。上昇率は、A1Bは4.8mm/年、A2は5.1mm/年、B1は3.8mm/年、B2は4.3mm/年である。

b) 満潮位

低平な地域では現状でも潮位変動で浸水が発生する場所があるため、満潮位を通常の海面水位の基準とした。満潮位にはUnited Kingdom Hydrographic OfficeのTide Table⁷⁾と海上保安庁の潮汐表⁸⁾に記載されている既往最高値を採用し海岸線メッシュ毎に与えた。潮汐表で満潮位が与えられない海岸線メッシュに対しては内挿によってデータを推定した。なお満潮位については将来も不変であると仮定した。

c) 高潮偏差

高潮は、台風や発達した低気圧による気圧低下や風の吹き寄せによって発生する。2005年のハリケーン・カトリーナや2007年のサイクロン・シドルなど強い熱帯低気圧の来襲は大きい高潮偏差を発生させ、沿岸域に壊滅的な被害をもたらした。さらに、地球温暖化に伴ってより強化した熱帯低気圧が増加する可能性が示唆されているが、将来の熱帯低気圧の変化については定量的には未だ不確実である。そこで、過去に発生した熱帯低気圧を用いて高潮偏差の数値計算を行い、全球の海岸線において、現気候条件下で発生し得る再現期間毎の高潮偏差を推定し外力水位とすることとした。

台風のトラックデータは2つの機関で公開されているものを使用した。大西洋と北東太平洋はNOAA National Hurricane Center⁹⁾、北西太平洋、インド洋、南半球で発生したものはJoint Typhoon Warning Center¹⁰⁾のデータをそれぞれ使用した。1949年から2008年までの60年分のトラックデータを収集したが、中心気圧や最大風速の情報の入力があるもののみを使用したため、台風の総数は約4000個となった。

高潮偏差を構成する気圧低下による吸い上げは、これらの台風データから海岸線メッシュ毎に気圧を算定し、式(1)によって計算した。

$$\eta_p = 0.991 \times (1010 - P_{coast}) \quad (1)$$

ここで、 η_p : 吸い上げ量(m), P_{coast} : 海岸線メッシュの気圧(hPa)である。

また、風による吹き寄せの計算には、海水の定常状態を仮定した式(2)を用いた。風の計算では、台風域内の気圧分布をMyersの式¹¹⁾から推定し、気圧傾度風と台風の進行に伴う場の風をベクトルの的に足して台風域内の風速分布を求めた。計算の方法は三村ら¹⁾と同様である。なお、海岸線のメッシュ毎に周囲の海岸線メッシュから海岸線の向きを計算し、式(2)の風速には海岸線に直交する方向の風速成分を与えた。大型の台風の半径は300km程度であるため、吹送距離は最大を300kmとし、湾など海域の大きさが限られる場合は海岸線から対岸までの距離とした。

$$\eta_w = \frac{4.8 \times 10^{-5}}{s} U^2 \ln \frac{h_0}{h'} \quad (2)$$

ここで、 η_w : 吹き寄せ量(m), s : 海底勾配, U : 海岸線に直交する方向の風速成分(m/s), h_0 : 海岸線に直近の水深(m), h' : 吹送距離の始点における水深(m)である。

以上の計算を、1949年から2008年までの対象とした全ての熱帯低気圧で行い、海岸線メッシュ毎に年最大高潮偏差を算定した。本研究では全球を対象とし、約4000個の熱帯低気圧に対して高潮偏差の計算をしなければならないため、計算機資源の都合上、上記のような簡易な方法を用いた。なお、高潮偏差計算の再現性は過去に大きな高潮を発生した熱帯低気圧を用いて確認しており、1959年の伊勢湾台風によって発生した約4m、2005年のハリケーン・カトリーナによる約7mを各海域で概ね再現している。伊勢湾台風の最大潮位偏差記録¹²⁾と本モデルで計算された高潮偏差の比較を表-1に示す。この結果から、台風経路の中心から離れた地点での再現性は劣るものの、中心に近い地点では観測された高潮偏差をある程度再現していることが分かる。ただし、式(2)は定常状態を仮定した簡易な計算式であるため、現実の台風および地形条件の違いを充分表現するものではない。

これらの計算から得られた年最大高潮偏差を母集団とし、合田¹³⁾の極値統計解析手法によって、海岸線メッシュ毎の年最大高潮偏差の非超過確率分布を推定した。極値分布の当てはめには極値I型分布、極値II型分布(形状母数 $k=2.5, 3.33, 5.0, 10.0$)、Weibull分布($k=0.75, 1.0, 1.4, 2.0$)を用い、最適な非超過確率分布の当てはめには合田¹³⁾に示される最小二乗法による相関係数を用いた。最小二乗法による分布関数への当てはめを行うと、いずれ

の当てはめ結果も相関係数が高くなるため、分布関数の棄却検定を行い詳細に分布関数の決定を行った。用いた棄却基準は、相関係数の残差を用いて棄却検定をするMIR基準、標本の最大値偏差を危険率5%で棄却検定をするDOL基準、そして相関係数の残差を同じく危険率5%で棄却検定するREC基準を使用した。

年最大高潮偏差の非超過確率分布を得ることによって、個々の海岸線メッシュ毎に、再現期間毎に高潮偏差を与えることが可能となる。本研究における外力水位としては、再現期間100年の高潮偏差を用いることとした。上でも述べたとおり、本研究では、高潮偏差の将来的な変化がないと仮定したが、熱帯低気圧の強大化をどのように組み込むかは今後の課題である。

表-1 伊勢湾台風による記録と計算結果の比較

観測所	伊勢湾台風の最大潮位偏差記録(m)	計算結果(m)
名古屋 (愛知県)	3.5	3.56
尾鷲 (三重県)	2.0	1.31
浦神 (和歌山県)	1.8	1.32
舞阪 (静岡県)	1.3	0.83
鳥羽 (三重県)	1.2	0.70
東京 (東京都)	1.0	0.55

(4) 防護シナリオ

a) 防護シナリオの設定

既往の多くの研究では、沿岸域の防護がないものとして、水没の潜在的影響を推定していた。より現実的な影響評価を行うためには、海岸毎に護岸や防波堤などの防護施設を考慮する必要があるが、各国の護岸高さなどを網羅したデータベースはない。

そのため、本研究では、防護水準が沿岸域の人口密度と一人当たりGDPの組み合わせによって決まると想定した。すなわち、各国は経済成長に応じて人口密度の高い地域から順に防護を行うと考えて、防護される地域メッシュを判定するものである。そのために設定した防護シナリオを表-2に示した。この防護シナリオにおける人口密度の区分は、我が国の人口密度分布を参考にして4つのクラスに分けた。また、国別の経済力は一人当たりGDPで判定するとし、世界銀行の国分類¹⁹⁾を参考にして5つの経済レベルに分けた。表-2中の数値は、例えば、人口密度が15000人/km²で一人当たりGDPが3000US\$の場所は、(満潮位+再現期間10年の高潮偏差)の水位に対して防護されると考えるものである。防護シナリオでは、護岸などの防護施設を設定する代わりに、表-2の条件に該当する空間メッシュの標高を防護可能な水位に嵩上げすることで、防護を表現した。浸水

シミュレーションでは嵩上げされた標高データを用い、レベル湛水法によって水没域と非水没域を特定した。

この防護シナリオ(防護水位)には、さらに2通りのものがありうる。1つは、将来の海面上昇分の水位を考慮せず、2000年の防護水位を2100年まで保持するものである。第2は、海面上昇の進行に応じて水位の増加分を防護水位に加えるものであり、ここでは適応防護シナリオと呼ぶ。適応防護シナリオでは、海面上昇に合わせて各国が徐々に防護施設を嵩上げしていくことを想定したことになる。これまでに示した、外力水位と防護水位の模式図を図-1に示す。

以上のように3つの防護形態があるため、今後、防護を考慮しない場合を「防護なし」、2000年の防護シナリオを考慮した場合を「防護あり」、適応防護シナリオを考慮した場合を「適応防護あり」として区別することにする。

表-2 防護シナリオ

		人口密度 (人/km ²)			
		≤ 99	100-999	1000-4999	≥ 5000
一人当たりGDP (US\$)	≤ 800	-	-	-	-
	801-2999	-	-	-	1
	3000-9999	-	-	1	10
	10000-19999	-	1	10	100
	≥ 20000	-	10	100	1000

表中の数値は高潮偏差の再現期間(年)

-は防護を施さないことを示す。

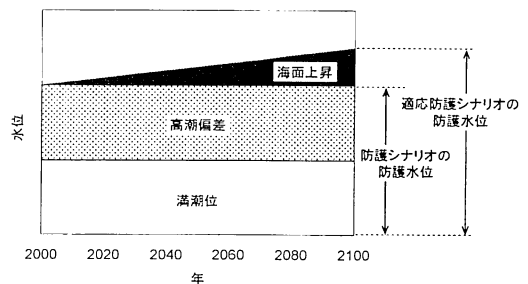


図-1 外力水位と防護水位の模式図

b) 一人当たりGDPと人口の将来予測

人口と一人当たりGDPは今後変化する。こうした社会経済的变化と気候変動とが同時に進行する下での影響を予測するのが本研究の眼目である。そのために必要となる将来の一人当たりGDPと人口の変化は、4つのSRESシナリオの描く将来社会によって異なる。A1Bは高度経済成長社会、A2は多次元化社会、B1は環境指向社会、B2は地域共存型社会とされているが、本研究では、それぞれの社会経済シナリオに基づいて、国毎に一人当たり

GDPと人口の変化経路を設定した。

具体的なデータの作成は、国別の2000年の一人当たりGDPと人口分布を基準とし、それにそれぞれの国別成長率を掛けて将来の変化を表現するものである。2000年の一人当たりGDPはUnited Nations Statistics Divisionの国別データ¹⁵⁾を使用し、GDPデフレーターを用いて2000年の現在価値化した値を用いた。また2000年の人口分布はColumbia大学CIESINのGPW ver3¹⁶⁾を使用した。また将来の人口の予測では、各国における人口の空間分布は2000年と変わらないと仮定した。CIESINの提供するSRESシナリオ毎の国別将来予測データ¹⁷⁾を用いて2000年を基準とした将来の人口成長率を算出し、これらをメッシュ毎の人口データ(2000年)に乗じて算定した。

以上の処理を通して得られた、世界平均の一人当たりGDPの将来変化を図-2に、総人口の将来変化を図-3にそれぞれ示す。経済成長の小さいA2シナリオで人口成長が止まらず増加し続けるのが特徴的である。

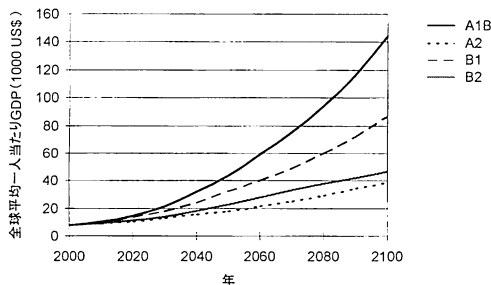


図-2 全球平均一人当たりGDPの将来変化

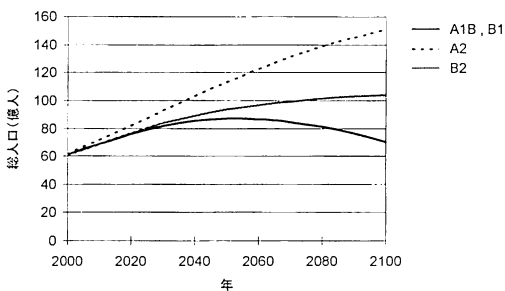


図-3 総人口の将来変化

(5) 被害額の算定手法の開発

沿岸域には人口が集中する都市域が多く存在している。そのため、海面上昇や高潮による水没は生産活動の場を失うことにつながり、経済的な損失は非常に大きいと考えられる。将来の気候変動の損失に関して、Stem Review¹⁸⁾によると、洪水や熱波などの極端現象による被害額はGDPの0.5~1.0%程度であり、今後の温暖化の進行によってはこれをさらに上回るとされている。気候変動の

被害額と対策費用との関係を明確にすることは、適応策の議論の基になる重要な課題である。しかし、これまでの気候変動の被害コストの予測に関する研究は限られている。そこで本研究では浸水シミュレーションの結果を利用して、水没による被害額を算定する方法を開発し、沿岸域の水没の経済的な影響を評価項目の1つとした。本来、沿岸域の水没による被害額には、水没による損害と防護費用が含まれる。しかし、国毎に防護費用は大きく異なるため世界規模で防護費用を推定することはできないので、ここでは水没による被害額だけを扱うこととした。

水没・氾濫の被害をボトムアップ型で詳細に評価するためには、我が国の治水経済調査マニュアル¹⁹⁾などのように水没域の土地利用や経済活動に関する情報が必要である。しかし、そのような情報を、世界規模で、かつ一定の精度で得ることは不可能である。そのため、水没の規模と経済影響とを関連づけるマクロな方法が必要になる。

そこで、水没による経済影響は、大局的には、その地域での経済活動の規模に比例すると仮定した。具体的には、式(3)のように国別に一人当たりGDPと影響人口を掛けた経済活動の規模に比例定数 α を乗じて国別の被害額を表し、それを全球で総和したものをある年の被害総額とみなした。

$$DC = \alpha \times \sum_{i=1}^N \{pGDP_i \times POP_{risk,i}\} \quad (3)$$

ここで、 DC : ある年の全球の被害総額(US\$)、 α : 係数、 N : その年における被災国の総数、 $pGDP_i$: 被災国*i*の一人当たりGDP(US\$)、 $POP_{risk,i}$: 被災国*i*の影響人口の期待値である。係数 α については、国毎に差がないと仮定した。

ここで問題になるのは、係数 α の決定法である。それについては、2000年の実際の被害額と式(3)による計算結果を比較し、決定することとした。2000年の実際の被害額は、CREDのEM-DAT²⁰⁾から2000年の洪水・高潮に関する情報を抽出し、被害額の記載がある事例の総和を求めた。一方、式(3)による被害額は、再現期間がそれぞれ1年、10年、100年、1000年の高潮偏差を用いて計算される影響人口の非超過確率分布から影響人口の期待値を求めて算出した。その結果、2000年の全球の実際の被害額は478億ドル、2000年の影響人口の期待値は7138万人となった。これらを比較することで、係数 α が0.3068という値が得られた。将来予測においてもこの値を使用することとした。

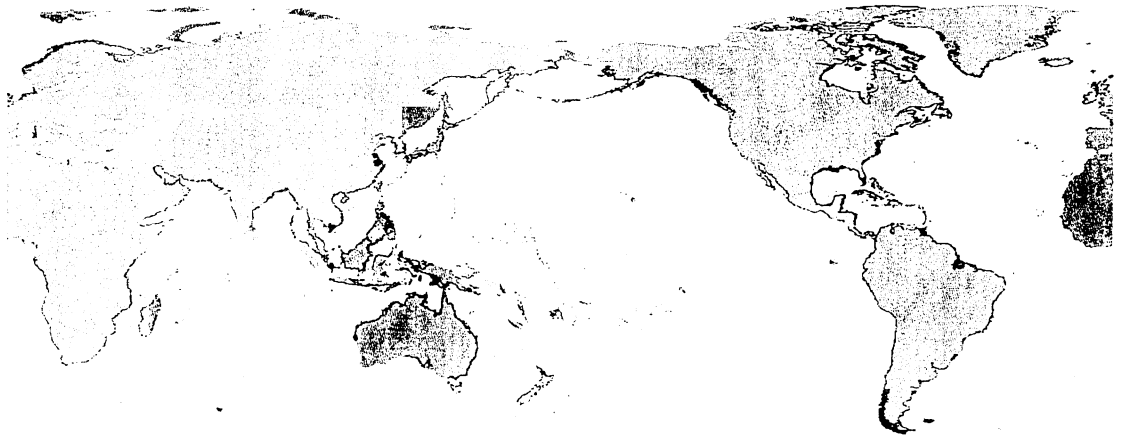


図4 A1Bにおける2100年、防護ありの水没域の分布

3. 脆弱性評価の結果

(1) 水没域の分布

浸水シミュレーションによって、水没域の全球分布を出力することが出来る。A1Bシナリオにおける2100年の「防護あり」の条件下での水没域の分布を図-4に示す。

黒色で着色されている部分が水没メッシュである。中国の長江デルタ沿岸やオーストラリアの北部沿岸、ベトナムやバングラデシュのデルタ地帯などで特に大きな水没が見られる。

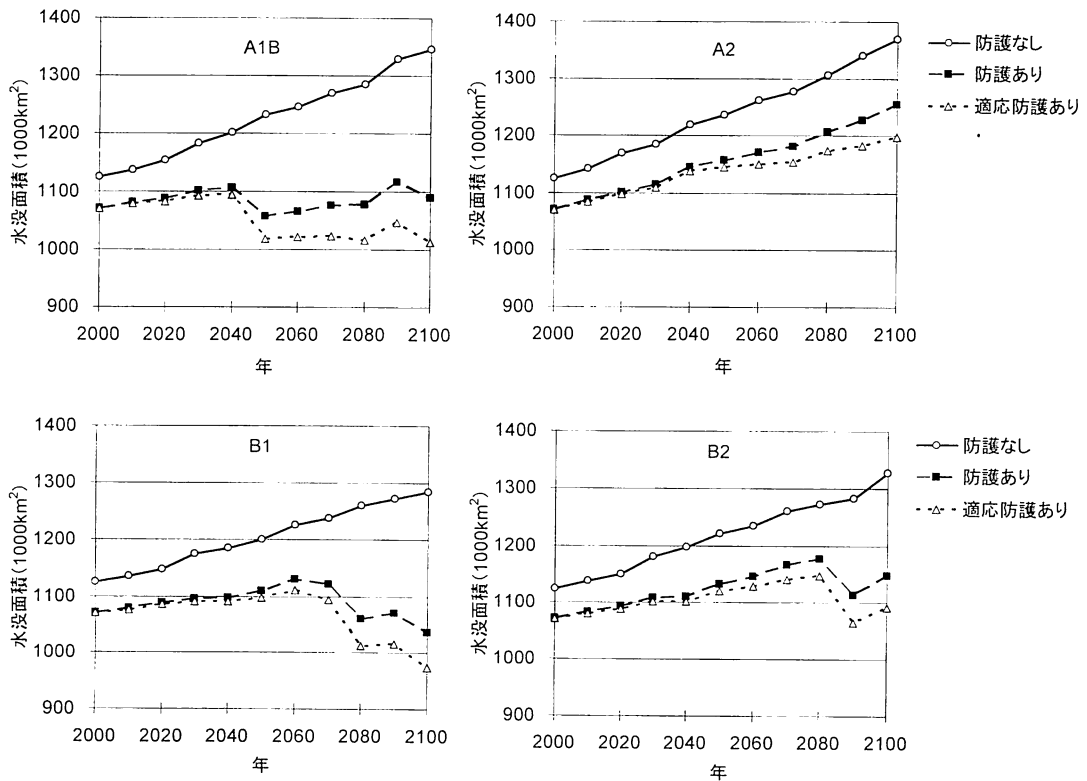


図5 全球の水没面積の推移 (左上図：A1B, 右上図：A2, 左下図：B1, 右下図：B2)

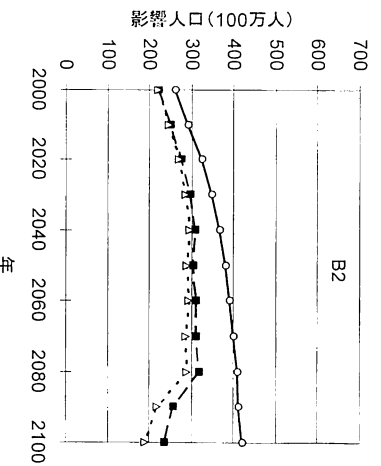
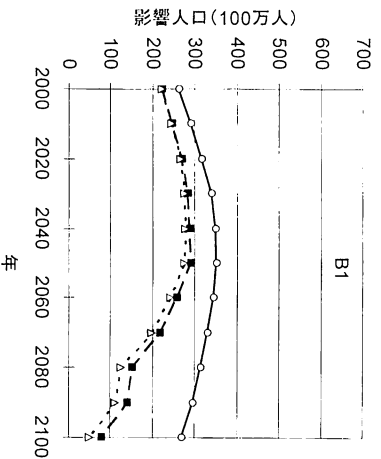
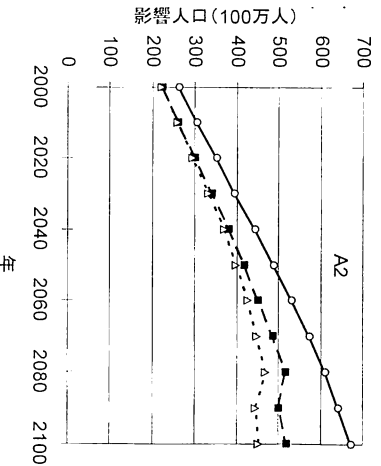
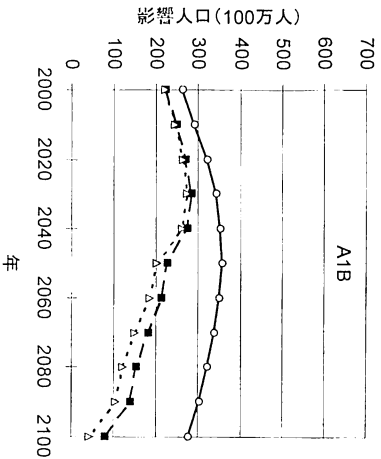


図6 全球の影響人口の推移 (左上図：A1B、右上図：A2、左下図：B1、右下図：B2)

(2) 全球の水没面積と影響人口

図5に全球の水没面積、図6に全球の影響人口の推移を、シナリオ毎に防護の種類別で示した。

2100年における水没面積で比較すると、「防護なし」の場合はA2で137万km²に達し、「防護あり」の場合は同じくA2で125万km²となった。SRSSシナリオ毎に防護シナリオが異なるため、防護の効果はSRSSシナリオ間で異なる。しかし、いずれのSRSSシナリオでも「防護なし」「防護あり」「適応防護あり」の順で水没面積が小さくなった。

特徴的なのは、A2では防護を考慮しても水没面積が増加し続けるのに対し、A1BやB1では2040年から防護による水没面積の減少が見られることである。これは、経済成長によって防護能力が増大し、影響を低下させる可能性があることを示している。B2では、中国などの経済成長の結果、2080年代に水没面積が大きく減少するのが特徴的である。しかし、その後の海面上昇の増加に伴って、経済成長が遅れた国々で水没域が拡大し、水没面積が増加する。

また、影響人口では、人口成長の大きいA2で最も被害が大きくなり、「防護なし」では2100年に6.7億人、

「防護あり」では5.2億人、「適応防護あり」では4.5億人に達することがわかった。SRSSシナリオ毎に人口増加の程度が異なるため、A1BやB1では水没面積と同様に、21世紀半ばでの防護による影響人口の減少がみられる。

以上の結果から、防護を考慮した場合、A2では21世紀を通じて被害人口が増加し続けるのに対して、A1BとB1における影響は21世紀半ばから縮小することがわかった。図2に示したように、A1BやB1は共通して経済成長の速いシナリオであるため、経済成長の速度によって防護能力が異なることが影響の減少につながるといえる。

(3) アジアに対する影響

全球での評価と共に、地域別の被害の評価を行った。特にアジアは沿岸域に低平な土地やデルタ地帯が多く存在し、このような地域に多くの人口が密集しているため、海面上昇や高潮に対し、非常に脆弱な地域である。また今後大きな人口増加と経済成長を遂げるとされる途上国都市の数も増加すると予想される。そのため、将来的な沿岸域の適応対策が重要となっている。

図7には、A1Bにおけるアジアの「防護なし」と「適

「防護あり」の影響人口を示した。ここでいうアジアとは、ユーラシア大陸に位置する国、インドネシアやフィリピンなどの島嶼国、さらに中東地域を含んでいる。

全球の影響人口のうち、アジアの影響人口が約8割を占めていることから、アジアの脆弱性が非常に大きいことがわかる。例えば、2070年の結果でみると、全球の結果は適応防護によって影響人口が1.9億人減少するのに対し、アジアのみで適応防護によって1.4億人も減少が算定される。このことから、全球の適応防護による影響人口の減少のうち、7割がアジアにおけるものである。このアジアにおける影響人口の減少は、主に中国やインド、バングラデシュ等のアジアの途上国におけるもので、これらの国々における将来的な経済成長が防護能力の向上を促し、影響人口の縮小に寄与していると考えられる。B1においても同様の傾向がみられた。

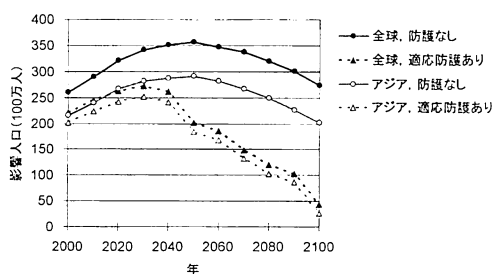


図-7 全球とアジアの影響人口の比較 (A1Bの場合)

(4) オセアニアに対する影響

アジアと同様に、オセアニアの島嶼国は海面上昇による国土の減少が懸念されている。図-8にはA1Bにおけるオセアニアの影響人口の推移を示した。「防護なし」、「防護あり」の結果では、年々の海面の上昇によって、2060年から2070年にかけて影響人口が約200万人増加している。これは、この時期に多くの島嶼国で水没域が拡大し、影響人口が増加するためである。このことから、オセアニアでは21世紀の半ばまたは後半に、海面上昇値が30cm程度に達すると、その影響が顕著に現れることがわかる。また、「適応防護あり」の結果は2000年からほぼ横ばいで、他の防護形態にあるような急激な影響人口の増加は見られなかった。従って、オセアニアでは海面上昇に対する適応策の導入によって、被害を大幅に縮小できる可能性がある。ただし、ツバルやキリバスのような標高が2m程度しかない環礁の島では、透水性の高いサンゴ礁の石灰岩のために護岸や海岸堤防といった構造物だけでは浸水を防げない。そのため、適応策の有効性の検討が必要であり、場合によっては移住などの対策が必要になるかも知れない。本研究の「適応防護あり」

ではそのような対策を想定していないので、解釈に当たっては注意が必要である。

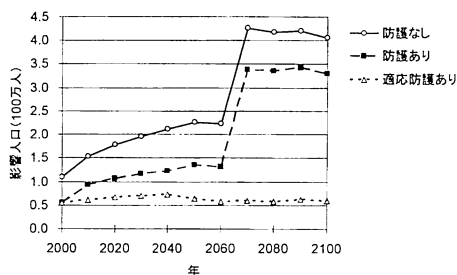


図-8 オセアニアの影響人口 (A1Bの場合)

(5) 被害額の算定結果

2.(5)に示したように、本研究では、一人当たりGDPと影響人口から水没による被害額を算定する方法を開発し、将来の被害額を推定した。図-9には全球の被害額の算定結果をA1B, A2, B1, B2のそれぞれについて示した。共に「防護あり」の結果よりも「適応防護あり」の結果が小さい被害額となった。

CIESINの将来予測データ¹⁷⁾によると2100年におけるA1BのGDPは523兆US\$であり、Stem Reviewと同様にGDP比で見ると、2100年には、A1Bの「防護あり」でGDP比の0.2%、「適応防護あり」でGDP比の0.09%となりStem Reviewの値よりも小さく見積もられた。これは、本研究の対象が沿岸域の水没に限定されていることによるものであろう。なお、この計算では社会的割引率は考慮していない。

4. 結論

本研究では、海面上昇と気候変動の沿岸域に対する影響をより詳細で総合的に評価する手法を開発した。全球の浸水シミュレーションを、緯度経度1分メッシュの分解能で10年毎に行った結果、既往の研究成果に比べ、海面上昇と高潮による浸水被害の時間変化をより詳細に把握することが可能となった。また、これまで考慮されていなかった沿岸域の防護能力を一人当たりGDPと人口密度に基づく防護シナリオで与えることで、従来に比べてより現実的な評価を可能にした。さらに、水没による被害額を算定する手法を開発した。この一連の手法を用いて、IPCCのSRESシナリオ毎に影響評価を行い、社会経済発展の経路の違いによる影響出現経路の違いを明らかにした。

社会経済シナリオの差では、防護シナリオを考慮すると、SRESのA2シナリオでは影響が拡大し続けるのに対して、A1B, B1シナリオでは21世紀の半ば以降顕著に水

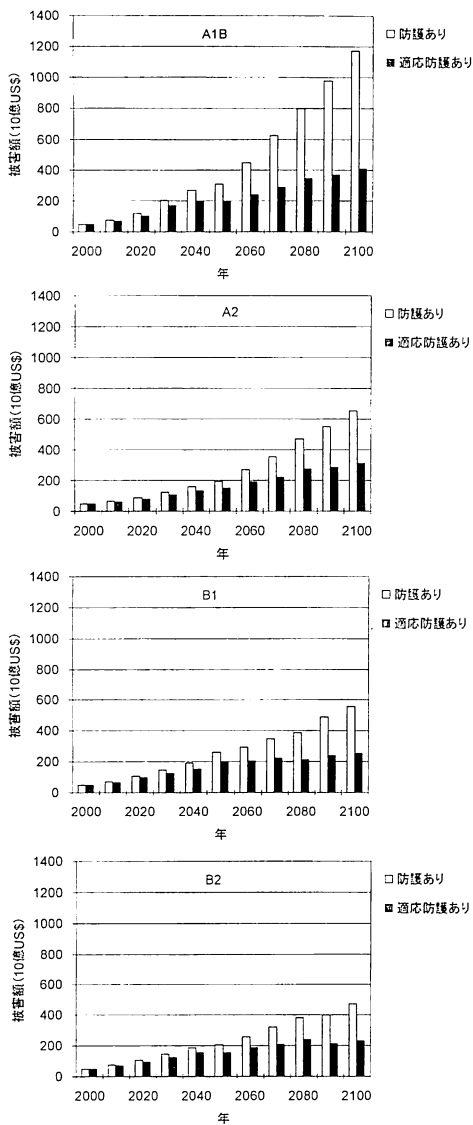


図9 全球の被害額 (上図からA1B, A2, B1, B2)

没面積、影響人口の減少が見られた。さらに海面上昇を考慮した適応防護シナリオを導入したケースでは、水没面積、影響人口がより小さくなることを示した。このことから、気候変動に対する適応策が有効であり、適応能力の向上には経済成長が重要な要因になるといえる。

また、全球とアジアの影響を比較した結果、防護による全球の被害減少のうち、約7割がアジアにおける減少であった。このアジアの被害の減少は、途上国の経済成長に伴う防護能力の増大による。したがって、アジアの影響を最小限に抑える上で、途上国が経済成長等を通して適応策を実施する能力を高めることが重要になると思われる。

全球の被害額推定では、「防護なし」「防護あり」「適応防護あり」の順に被害額は小さくなる。イギリス政府が実施したStem Reviewでは、洪水や熱波などの極端現象による被害額はGDPの0.5～1.0%程度であり、今後の温暖化の進行によってはこれをさらに上回るとされている。一方、本研究で得た沿岸域の水没・浸水被害は防護あり(A1Bシナリオ)で0.2%程度であった。本研究の数値の方が小さいのは、沿岸域の水没・浸水に限定されているためであり、そのことを考えると、Stem Reviewと本研究はほぼ同じオーダーに入っているように見える。しかし、本研究のように災害毎に積み上げ型で全球の被害額を推定する研究は少ないため、今後他の災害事象に対しても、このような評価方法の開発が必要であろう。

以下では、その他の今後の課題について述べたい。本研究では、沿岸影響として水没を対象とし、適応策としては防護(護岸や海岸堤防, 河川堤防を組み合わせた人口密集地の浸水対策)のみを対象にしている。適応策の種類には、その他に撤退(都市計画的な土地利用の制限)や順応策(沿岸域の利用形態の変更)等があり、また、適応能力の要素としても経済力以外に、政府や自治体の適応政策立案能力、技術力、社会の科学的情報へのアクセス能力、対策の社会的受容性など多くの要素がある。このような項目を影響と適応策の予測に組み込むことは、一層大きな課題である。本研究は、全球規模の影響を計測するために、対象とする影響と適応策を単純化して取り扱ったものであり、今後国や地域レベルの適応策の立案にはこうした複合的な影響や対策の考慮が不可欠である。

地球温暖化対策には、緩和策と適応策があることは長く指摘されてきた。気候変動の影響を最小限に抑制するためには、各国、各地域が適応できる範囲に温暖化の進展を抑える緩和策の実施が必要である。一方、本研究の結果は、経済成長の速度によって被害減少の程度が左右されることを示している。環境と経済の両立は、低炭素社会形成に向けた政策の中で強調される考え方であるが、適応策においても同じ考え方が重要であると言える。各国の適応能力を高めること、具体的には対策の実施費用をどのように生み出していかについても、環境と経済の両立の中で解決策を見いだしていくことが求められる。ただし、既に起こりつつある気候変動の影響に対しては適応策を始める必要がある、そのためには国際的な援助が必要である。その意味では、近未来における国際的支援から長期的な途上国自身の自律的適応へとどのように移行させるのが国際的な大きな課題になる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、茨城大学都市システム工学科横木裕宗准教授、信岡尚道准教授、地球変動適応科学研究機関田村誠准教授から多大な助言や情報の提供を頂いたことに対して深く感謝致します。なお本研究は、科学技術振興調整費(戦略的拠点育成)のフラッグシッププロジェクト(茨城大学担当)及び環境省地球環境研究総合推進費戦略研究 S4 のサブテーマ「沿岸域における気候変動の複合的災害影響・リスクの定量評価と適応策に関する研究」(代表 茨城大学安原一哉教授)の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 三村信男, 佐藤圭輔, 大高京子, 横木裕宗 : 地球環境情報を用いたアジア・太平洋地域に対する海面上昇の影響評価, 第 8 回地球環境シンポジウム講演集, pp.149-156, 2000
- 2) Nicholls, R.J., F.M.J. Hoozemans and M. Marchand : Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses, *Global Environmental Change*, 9, S69-S87, 1999
- 3) Tol, R.: Estimates of the Damage Costs of Climate Change Part II. Dynamic Estimates, *Environmental and Resource Economics* 21, 135-160, 2002.
- 4) IPCC : Special Report on Emission Scenario, 2001
- 5) NOAA National Geophysical Data Center : GLOBE, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globeget.html>
- 6) IPCC : Climate Change 2007 Fourth Assessment Report, 2007
- 7) United Kingdom Hydrographic Office : Admiralty Tide Table, 2001
- 8) 海上保安庁 : 平成 11 年潮汐表, 1999
- 9) NOAA National Hurricane Center : Hurricane Best Track Files (HURDAT), <http://www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml>
- 10) Joint Typhoon Warning Center : Tropical Cyclone Best Track Data Site, http://www.usno.navy.mil/NOOC/nmfc-ph/RSS/jtwc/best_tracks/
- 11) Myers, V.A. : Characteristics of United State Hurricane pertinent to level design for Lake Okeechobee, Florida, Hydrometeor. Rep. No.32, U.S. Dept. Commerce, 106pp.
- 12) 気象庁 : 災害をもたらした気象事例, 伊勢湾台風, 高潮観測表, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/1959/19590926/19590926_tide.html
- 13) 合田良實 : 港湾構造物の耐波設計 - 波浪工学への序説 -, 鹿島出版社, 333p, 1990
- 14) OECD, DAC : 国別データブック, 2006
- 15) United Nations Statistics Division : National Accounts Main Aggregates Database, Per Capita GDP in US Dollars, <http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnlList.asp>
- 16) CIESIN:GPWver3, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>
- 17) CIESIN : Downscaled Population and Income Data, <http://ciesin.columbia.edu/datasets/downscaled/>
- 18) Stern Review on the Economics of Climate Change : http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm, 2006
- 19) 国土交通省 河川局 : 治水経済調査マニュアル(案), 2005
- 20) CRED : EM-DAT The International Disaster Database, <http://www.emdat.be/>

Global Assessment of Climate Change Impacts on Coastal Zones with Combined Effects of Population and Economic Growth

Yosuke Maruyama, Nobuo Mimura

This study developed a comprehensive method to assess the impacts of climate change and sea-level rise on the coastal zones based on the 1 minute by 1 minute grid system along the longitude and latitude covering the whole globe. The inundated areas and population at risk due to sea-level rise and storm surges were calculated for each 10 years from 2000 to 2100. Coastal protection was assumed based on the population density and per capita GDP in the coastal areas of each country, which enables more realistic assessment of the impacts. Furthermore, method for a macroscopic economic assessment was also developed. Using this series of methods, evolutions of impacts along socioeconomic scenarios proposed by the IPCC as SRES scenarios were determined quantitatively.