

# 南太平洋島嶼国を対象とした海面上昇と高潮による浸水影響評価：マングローブによる減衰効果に着目して

野村 悠太<sup>1</sup>・佐藤 圭輔<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 非会員 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒571-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:rv0047hi@ed.ritsumei.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 立命館大学准教授 理工学部 (〒571-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:k-sato@fc.ritsumei.ac.jp

地球温暖化の進行により沿岸域への影響拡大が懸念されている。開発途上国では海面上昇に対する防護策の整備が間に合わず、被害が大きくなることが予想される。そのような地域ではマングローブなどの自然の防潮堤が高潮などに対して有効であることが考えられる。

本研究では高分解能 GIS データと浸水シミュレーションモデルを用いて、マングローブの防波効果を組み込み、南太平洋島嶼国に対する海面上昇、高潮に対する浸水影響の評価を行った。その結果、海面上昇が進むにつれて恒久浸水が飛躍的に増加することや、高潮による高人口密度地域への浸水が起こる傾向が見られた。またマングローブは、対象地域全体において、海面上昇2m時に高潮による浸水面積を約13.5%、影響人口を3.0%減少させ、減災機構として機能することが示された。

**Key Words:** South Pacific island countries, sea level rise, storm surge, flood, mangrove

## 1. はじめに

現在、地球規模の環境変動により、海面上昇や高潮の影響拡大など、沿岸域における浸水影響の拡大が懸念されている。この状況において、開発途上国では財政難や技術力不足から対策が間に合わず、今後さらに沿岸域への被害が大きくなることが予想される。

特に開発途上国が多い南太平洋島嶼国はサイクロンの通り道であるため、高潮や潮汐の影響を受けやすい上に、予算や景観保護のため、大規模な防潮堤などの建設も困難であることから、将来的に浸水被害が増大することが考えられる。

そのような地域においてはマングローブなどの海岸植生が自然の防潮堤として機能している。自然環境を組み込み防災・減災を行っていくグリーンインフラストラクチャーの考え方の普及もあり、マングローブなどの海岸植生が有する減災効果の積極的利用の機運が高まってきている。マングローブはDanielsonら<sup>1</sup>や柳沢ら<sup>2</sup>によって2004年のインド洋大津波や2009年のサモア地震津波において減災の効果があつたことが報告されている他、松田ら<sup>3</sup>やHongzhouら<sup>4</sup>など、ベトナムやアメリカなどに

生息するマングローブを対象とした、高潮に対する粗度の算出や検討が行われている。しかしながら、いずれもSRTMやETOPOなどメッシュサイズが90m以上のデータで検討が行われており、詳細な検討が行えていない可能性がある。また、高潮を対象に数ヶ国で海岸植生の減衰効果に着目して行われた研究は少ない。以上を踏まえて、本研究では南太平洋島嶼国におけるマングローブが有する減衰効果(粗度)を考慮した上で、高分解能 GIS データと浸水シミュレーションモデルを用いて、海面上昇や高潮による浸水影響を評価することを目的とする。

## 2. 研究方法

### (1) 対象地域とデータセット

本研究の対象はサモア独立国(ウポル島・サバイイ島)、ソロモン諸島(ガダルカナル島)、フィジー共和国(ビチレブ島)の3ヶ国とした。対象地域の総面積は約19,300km<sup>2</sup>、総人口は約103万2千人である。いずれの国家も開発途上国であり、沿岸部に首都のような人口密集地域が存在する、サイクロンの到来シーズンがあるなど、今後も高

潮の影響を大きく受ける可能性が高いこと、マングローブ林が存在していることが選定理由である。これら3カ国は複数の島からなる島嶼国であるが、人が居住していない島も存在するため、首都が存在するなど、人口が多い島に絞って検討を行った。対象地域を図-1に示す。

本研究で使用したデータの一覧を表1に示した。外力データについては佐藤ら<sup>6)</sup>が1949年から1988年までの台風のデータを元に推算したものを用いた。対象地域上に表-1に示した標高データを基準として30秒メッシュを設定し、そこに土地利用や外力のデータを与えた。人口データはメッシュサイズを変更せずに、標高データと重ならない人口を持つメッシュを最も近い陸域のメッシュへと人口を移すなどして、標高データと形が整合するデータに加工した。



図-1 対象地域(OpenStreetMapより引用)

表-1 使用データ一覧

データ	データ名称	作成機関・データソース	年次	精度
標高	ASTER GDEM (ASTER Global Digital Elevation Model)	経済産業省 米国航空宇宙局 (NASA)	2009	1秒メッシュ (約30m)
土地利用	GLCNMO (Global Land Cover by National Mapping Organization)	世界各国・地域のNGIA (National Geospatial Information Authority)	2013	15秒メッシュ (約500m)
水深	ETOPO5	米国NGDC (National Geophysical Data Center)	1998	5分メッシュ
潮汐	潮汐表	海上保安庁 水路部	1999	観測点データ
台風	IBTrACS	米国NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)	積算値	観測点データ
マングローブ	Global Mangrove Forests Distribution, v1(2000)	米国航空宇宙局(NASA)	2013	ポリゴンデータ

## (2) シナリオの設定

本研究では、「高潮の有無」「マングローブの有無」を考慮し、浸水シミュレーションのシナリオを設定した。各シナリオについては表-2にまとめた。以後、潮汐と海面上昇のみを考慮したシナリオを「Aシナリオ」、潮汐・海面上昇・高潮のみを考慮したシナリオを「Bシナリオ」、潮汐・海面上昇・高潮とマングローブを考慮したシナリオを「Cシナリオ」とする。海面上昇については100年後の予測値がIPCC<sup>6)</sup>からシナリオ別に報告されているが、海面上昇には地域差が存在すると述べられていることから、本研究では0mから2mまでの幅広い値の海面上昇を想定し、シナリオを設定した。マングローブの有無による違いは2章3節に記載する。

表-2 浸水シミュレーションのシナリオ

シナリオ名	外力	海面上昇	波高減衰	マングローブの有無
A0	潮汐のみ	なし	×	-
A1		1.0m	×	-
A2		2.0m	×	-
B0	潮汐+高潮 (マングローブ無)	なし	○	×
B1		1.0m	○	×
B2		2.0m	○	×
C0	潮汐+高潮 (マングローブ有)	なし	○	○
C1		1.0m	○	○
C2		2.0m	○	○

## (3) 摩擦損失係数について

### a) マングローブによる摩擦損失

松田ら<sup>3)</sup>の論文によると1.5km幅の6歳のマングローブ森林は外洋で1mの波を海岸線で0.05mまで減衰させると報告されている。本研究ではこの値を用いてマングローブの土地利用における摩擦損失の式(1)を設定した。また、本研究ではマングローブの有無による差を調べるため、先に述べたBシナリオにおいてはマングローブが全て切り倒されたということ想定し、マングローブの摩擦損失を0とおいた。

$$\text{マングローブ摩擦損失(m)} = (\text{高潮} + \text{潮汐})(\text{m}) \times \left(1 - 0.8 \frac{x(\text{m})}{100(\text{m})}\right)$$

損失を考慮しない場合：0

・・・(1)

ここでxは通過距離を表す。

### b) マングローブ以外の土地利用における摩擦損失係数

マングローブ以外の土地利用の摩擦損失係数は国際航業グループが公表している2011年に起きた東日本大震災における津波の波高<sup>7)</sup>と現地調査により測定した浸水深を用いて、津波の持つエネルギー(位置水頭と速度水頭)から設定された重回帰式より推定されたものを用いた。土地利用区分と区分毎の摩擦損失係数を表-3に示す。

また、元データの土地利用を表-3の土地利用区分へと再分類した。

表-3 土地利用区分及び摩擦損失係数

土地利用	波高減衰係数 (m/m)
建物用地	0.01250
森林	0.00380
田、その他農用地	0.00520
河川地及び湖沼、海浜	0.00410
荒地、幹線交通用地	0.00400

## (4) 修正標高データ

本研究ではメッシュが持ちうる最小の標高を、ArcGISを用いて元の標高データから求められた傾斜角を用いて推算した修正標高を用いた。修正標高の算出式を式(2)に示す。修正標高を用いることでメッシュ毎の浸水割合を計算することができるようになる。浸水割合については2章6節で述べる。

$$H_M = H_E - A \cdot \tan \theta / 2.0 \quad \dots (2)$$

ここに、 $H_M$ は修正標高(m)、 $H_E$ は元の標高(m)、 $A$ は分解能(m)、 $\theta$ は傾斜角(rad)を表す。

### (5) 浸水シミュレーションモデルの概要

本研究で用いた浸水シミュレーションモデルの仕組みは、海岸線沿いに与えられた外力(波高)よりも地盤高が低い区域を浸水予測区域として設定し、浸水メッシュから周囲8方向における外力以下の地盤高を持つメッシュを浸水させていくものである。そのため、極めて簡易な計算にて浸水域の予測を実施できる。

また、高潮を考慮しているシナリオにおいて、前述の土地利用ごとに設定された摩擦損失を用いて、浸水段階が進むごとに恒久浸水深(潮汐+高潮)を下限として波高を減衰させている。

### (6) 浸水影響の算出と評価

浸水計算プログラムから出力された浸水域データおよび浸水深データを用いて ArcGIS 上で浸水面積を算出した。本研究ではメッシュごとの浸水深から浸水割合を算出し、それを考慮した上でシナリオ毎に浸水面積を算出した。浸水割合の定義式を式(3)に示す。

$$\frac{X}{A} = \frac{1}{2} + \frac{(H_W - H_E)}{A \cdot \tan \theta} \quad \dots (3)$$

ここで $A$ は分解能(m)、 $H_W$ は浸水波高(m)、 $H_E$ は標高(m)、 $\theta$ は傾斜角(rad)を表す。

影響人口に対する評価は、海面上昇が起こっていないシナリオについては現在の人口を、海面上昇が起こっているシナリオには100年後の将来人口を対象に行った。100年後の将来人口については国連のHP<sup>9)</sup>より現在の人口と100年後の将来予測人口のデータを入手し、将来予測人口を現在の人口で除したものを対象地域内の人口に乗じて算出した。

## 3. 結果と考察

### (1) 浸水面積・影響人口の評価

対象地域全体におけるシナリオごとの浸水面積を図-2に、シナリオごとの浸水影響人口密度を図-3に示す。

浸水面積を見ると海面上昇2.0m時には、潮汐による恒久浸水域が海面上昇0m時の23倍ほどに増加しており、恒久浸水による土地の喪失が予想される結果となった。浸水域影響人口分布を見ると現状から将来にかけても浸

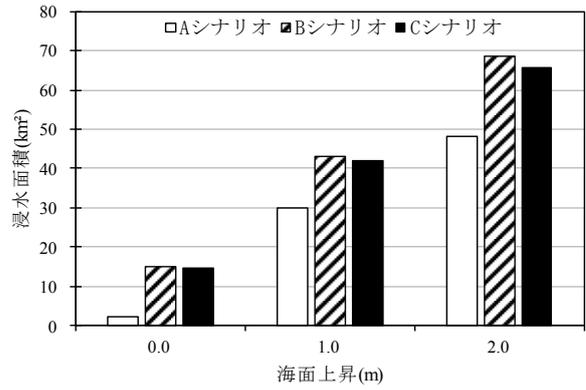


図-2 シナリオごとの浸水面積

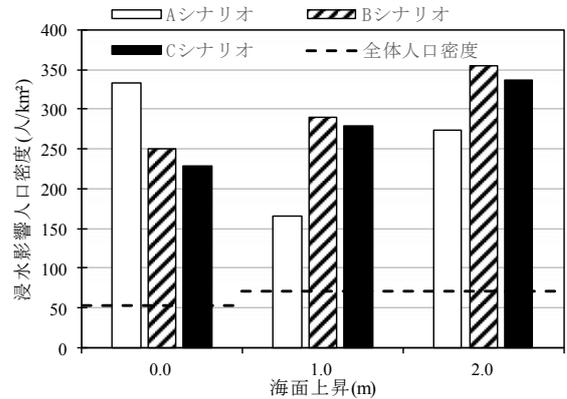


図-3 シナリオごとの浸水影響人口密度

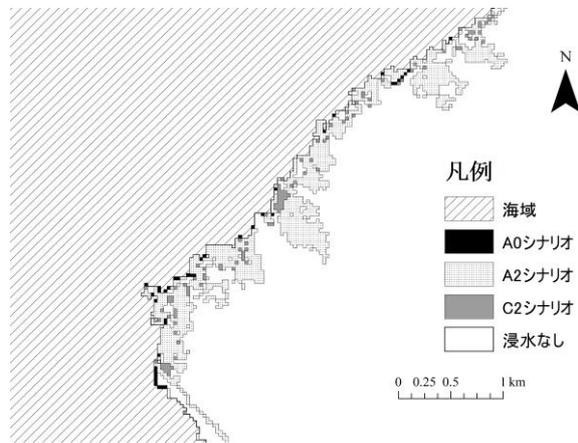


図-4 海面上昇による浸水域変化 (サモア, ウポル島最西端付近)

水影響人口が全体人口密度を上回っており、人口が多い都市部などが浸水していることが示唆された。また、海面上昇が生じた時には、潮汐による影響人口密度と比較して高潮による一時浸水域内の影響人口が常に増加傾向であることから、高潮が人口密集地により影響を与えるようになることが予想される。海面上昇浸水域の変化の一例としてサモアのウポル島最西端付近を図4に示す。この例においては海面上昇により潮汐の浸水面積が大き

く増加していること、高潮により潮汐によって浸水しなかった沿岸域の高所が浸水していることが分かる。

マングローブによる防護効果としては海面上昇 2m 時に最大値を取り、高潮のみによる一時浸水(高潮の影響—潮汐の影響)に対して、浸水面積を約 13.5%、影響人口を 3.0%減少させたことから、将来的にも減災面で有効に機能することが示された。

## (2) マングローブの国ごとにおける防護効果

マングローブの有無で減少した浸水面積と影響人口を浸水したマングローブの面積で除すことでマングローブ単位面積あたりの防護効果を算出した。

国ごとの浸水マングローブ単位面積あたりの防護浸水面積を図-5に、浸水域の分布についてフィジーの Cautata 村付近を図-6に示す。

防護浸水面積について、図-5 から分かるように国ごとに全く異なる傾向を示した。サモアでは海面上昇が 2m になると 1mの時の 10倍以上に増加した。これは、やや高い場所に存在する平地をマングローブが防護しているためであると考えられ、今後海面が上昇した際に重要な減災の機構としてマングローブが機能することを示している。ソロモン諸島では、マングローブはほとんど減衰に寄与しておらず、防護機構として機能しづらいということが示唆された。これは沿岸部における平地の割合が高いためであると思われる。フィジーにおいては 0m 時を最大として、1mで最小値を取り、2mで0mと1mの中間値付近を取るという結果が現れた。これは沿岸域に標高が低い場所が多く、マングローブによる減衰効果が現れづらかったためであると考えられる。ただし、防護面積は全体的に増加傾向であり、図-6に見られるようにマングローブの有無によって浸水域が大きく異なる地域も存在することから、将来的にも高潮に対する減災機構としては十分な働きを続けると考えられる。

防護影響人口の変化については、サモアとソロモン諸島は防護面積と同じような傾向を取ったが、フィジーにおいては異なる傾向が見られた。具体的には、フィジーにおいては海面上昇 2m 時に人口防護効果が 20.4 人/km<sup>2</sup>となり、海面上昇なしの時の 81.0 人/km<sup>2</sup>の約 0.25 倍という結果になった。これはフィジーにおける単位面積当たりの防護面積の変動(約 0.82 倍)と比べて大きく減少している。このことから、フィジーにおいては海面上昇時に恒久浸水によって人口密集地が既に浸水しており、マングローブの防護効果が人口が少ない内陸に現れているためであると考えられる。

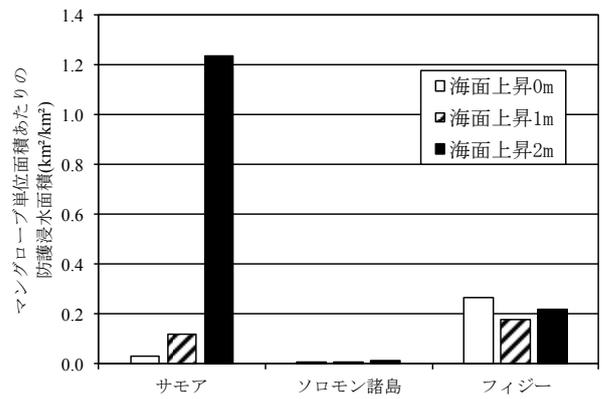


図-5 マングローブ単位面積あたりの減少浸水面積

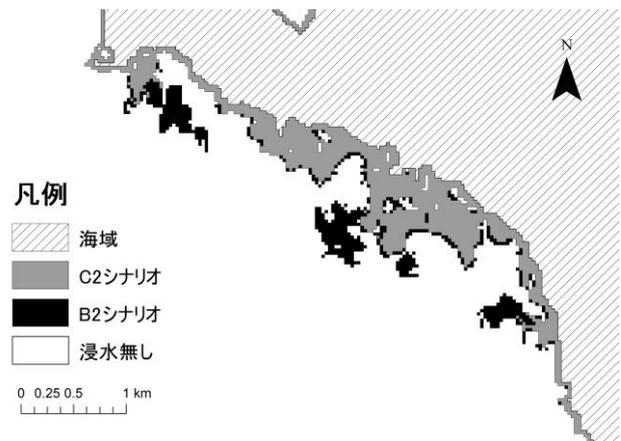


図-6 マングローブの有無による浸水域変化 (フィジー, Cautata 村付近)

## 4. おわりに

本研究では高分解能 GIS データおよび、浸水計算シミュレーションを用いて、サモア、ソロモン諸島、フィジーの3カ国においてマングローブの粗度を考慮し、海面上昇と高潮による浸水影響評価を行った。その結果、この地域が将来海面上昇が生じた際、恒久浸水により大きく土地が失われる他、サイクロンによる高潮によって被災する人口密集地への影響が大きくなることが明らかとなった。また、マングローブによる防護効果は全体では海面上昇 2m 時に高潮による一時浸水域を約 13.5%、影響人口を約 3.0%減少させており、減災にマングローブが大きく貢献していることが分かった。一方で、その防護効果は国ごとの地形によって大きく異なる傾向を取り、地形によっては防護効果がうまく発現しないことも明らかとなった。

なお、本研究で用いた外力データは、佐藤らが 1949 年から 1988 年までのデータを元に算出したものを用いている他、マングローブデータについても 2000 年時点のものであり、現在の状況などが取り入れられていない

ため、より今に適した評価を行うためには、これらのデータの更新が必要である。また、マングローブの粗度はベトナムで松田らによって測定されたものを、その他の土地利用は日本の東北地方のデータから算出されたものを用いているためより現地にあった評価を行うためには、現地調査等を行った上で現地に適した粗度や現在の土地利用を設定することが望ましい。さらにマングローブなどの海岸植生の粗度は植生の種類や樹高などによっても異なるため、樹高などに応じた粗度の設定などを行っていくことを今後の課題としたい。

## 参考文献

- 1) Danielson, F., M.Sorensen, M. Olwig, V. Selvam, F. Parish, N.Burgess, T. Hiraishi, V. Karunagaran, M. Rasmussen, L.Hansen, A. puarto, N. Suryadiputra: The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation, SCIENCE, VOL.310, 28,OCTOBER, pp.643, 2005
- 2) 柳澤英明, 宮城豊彦, 馬場繁幸: 2009年サモア地震津波におけるマングローブ林の津波減災効果, 土木学会論文集, Vol 66, No.1, pp251-255, 2010
- 3) Yoshihiro Mazda, Michimasa Magi, Motohiko Kogo, Phan Nguyen Hong.: "Mangroves and Salt Marshes", Volume 1, Issue 2, pp 127-135, 1997.
- 4) Hongzhou Xu, Keqi Zhang, Jian Shen, Yuepeng Li: Storm surge simulation along the U.S. East and Gulf Coasts using a multi-scale numerical model approach, Ocean Dynamics Vol. 60: pp.1597-1619, 2010
- 5) 佐藤圭輔・三村信男・町田聡: アジア太平洋の海岸・沿岸域に対する気候変動の影響評価, 海岸工学論文集, 47, pp.1236-1240, 2000.
- 6) IPCC(文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省訳): 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書統合報告書 政策決定者向け要約, 2014.
- 7) 国際航業グループ: 津波水位分布図, URL: [http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201103\\_touhoku-taiheiyo/data.html](http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201103_touhoku-taiheiyo/data.html) (閲覧日: 2017年7月).
- 8) 国際連合: World Population Prospects 2017, URL: <https://esa.un.org/unpd/wpp/> (閲覧日: 2017年12月)