15. 気候変動・海面上昇に対するツバルの脆弱性
－南太平洋の極端に標高の低いサンゴ礁島嶼国の例として－
Vulnerability of Tuvalu to Climate Change and Sea-level Rise
- Case study for Coral Island Country with Low Land Level in the South Pacific -

山田和人[*1]　芹沢真澄[*2]　大野栄治[*3]　三村信男[*4]　西岡秀三[*5]
Kazuhito YAMADA, Masumi SERIZAWA, Eiji OHNO, Nobuo MIMURA, Shuzo NISHIOKA

ABSTRACT: Tuvalu, with its limited land area, low elevation and high population density, is the most vulnerable to climate change and sea-level rise in the South Pacific island countries. The main purposes of this study are to recognize the vulnerability of physical and socio-economic aspects in Tuvalu through literature and field survey, and to assess the vulnerability to sea-level rise in Funafuti Atoll, using a coastal engineering approach. As the results of the study, it is concluded that the vulnerability would consist mainly of physical condition, industrial and economic vulnerability, the discrepancy between traditional culture and modernization, and that Funafuti would be affected fatally by estimated inundation/flooding and wave overtopping. At the present stage, there are no appropriate countermeasure to alleviate the impacts of climate change and sea-level rise in Tuvalu.

KEY WORDS: Climate change, Sea-level rise, Vulnerability, South Pacific Island Countries

1. はじめに

地球温暖化に伴う気候変動・海面上昇は、人間活動にさまざまな影響を及ぼすことが予想されている。特に海面上昇は、人口、インフラが集中している沿岸域に対して、水没・氾濫及び越波の増大を引き起こし、多大な被害を与える可能性がある。南太平洋島嶼国は、熱帯性サイクロンの進路にあたり、気象災害の影響を受けやすいという地域的な特徴をもつ。また、これらの国々では、多くの人々が沿岸域に居住している。彼らは、主に自給自足経済に依存し、脆弱な海岸保全施設により守られて生活している。筆者らは、これまでにトンガ王国（三村ら,1993）、フィジー（SPREP et al., 1993a, 1994a, 1996a）、西サモア（SPREP et al., 1993b, 1994b）を対象として、気候変動・海面上昇の脆弱性評価を行ってきた。これらの検討により、海面上昇によるトンガ王国の首都ヌクアロファの孤立化の可能性、フィジーのスバ港、西サモアのアピア港の罹災の危険性の増大等が明らかになった。また、これらの島嶼国を対象として、南太平洋島嶼国の地域性・固有性を考慮した脆弱性評価の半定量的手法を開発してきた（Yamada et al., 1995）。

トンガ王国、フィジー、西サモアは国土面積、人口・産業の規模から、南太平洋島嶼国の中では「大国」と考えられているが、本研究の対象であるツバルは国土面積が非常に狭く、極端に標高の低いサンゴ礁の島国として、気候変動・海面上昇に対して最も脆弱性が高いと考えられている。ここでは、ツバルが現在抱えている気候変動・海面上昇に対する脆弱性に関連したさまざまな問題について、現地調査により得られた知見を述べるとともに、首都フナフチ島の現地測量に基づいた定量的影響検討、及び南太平洋島嶼国に適した半定量的手法による脆弱性評価をもとに、「気候変動・海面上昇に対するツバルの脆弱性」に関する検討結果を報告する（SPREP et al., 1996b）。

[*1] パシフィックコンサルタンツ（株）環境部地球環境室 Environment Department, Pacific Consultants Co., Ltd.
[*2] （有）海岸研究室 Coastal Engineering Laboratory Co. Ltd.
[*3] 名城大学都市情報学部 Faculty of Urban Science, Meijyo University
[*4] 茨城大学工学部 Department of Civil Engineering, Ibaraki University
[*5] 国立環境研究所地球環境研究グループ National Institute for Environmental Studies

2. ツバルの概要

ツバルは、9つのサンゴ礁島からなる群島国家である。9つの島は南緯5～10度の間に散在しており、南端のニウラキタ島から北端のナヌメア島までの距離は670kmに及ぶ。島の地形はラグーン（礁湖）タイプとリーフ（礁）タイプに大別される。首都が位置するフナフチ島に代表されるラグーンタイプの島は、中央のラグーンの回りを、細長く狭いリーフと小島が囲っている。リーフタイプの島はラグーンはなく、急勾配のリーフに囲まれている。9島を合計した国土面積は約23km^{2}であり、南太平洋島嶼国の中で最も小さい。最大の面積を有するバイツプ島でも約500ha、国際空港の位置するフナフチ島のフォンガファレはわずか142haである。全国の人口は約9,000人であり、このうち約5,000人がフナフチ島に居住している。全国の人口密度は約370人／km^{2}であるが、フナフチ島は1,500人／km^{2}を超えており、現在でも増加する傾向にある。

3. ツバルにおける気候変動・海面上昇の影響に関連した問題

3.1 気象災害に対する脆弱性

赤道付近で発生する熱帯性サイクロンは、ツバルを直撃することは多くないが、付近を通過する際に高潮などの気象災害を頻繁に引き起こす。ツバルの各島はサンゴ礁により通常の波力からは守られているが、その標高はほぼ3m以下であるため、この気象災害に対して非常に脆弱である。1972年にフナフチ島を東側から直撃したサイクロン「ベベ（BEBE）」は、6名の犠牲者を出し、4隻の船を遭難させるなど大きな被害を与えた。特に沿岸部における被害は甚大であり、多くの家屋や数千本に及ぶココナッツの木を倒壊させるとともに、広域に及ぶ海岸浸食を生じさせた。

また、透水性の高いサンゴ礁起源の地質は、高潮時に海水を容易に進入させる。最近の例では、高潮時の地下からの浸水により、フナフチ島の国際空港滑走路脇の気象観測所が倒壊させられている。

3.2 産業・経済基盤の脆弱性

ツバルの各島は、海洋資源を除いて天然資源に乏しい。また、透水性の高いサンゴ礁起源の地質であるため、地下水位が高く、土壌の肥沃度は低い。したがって、近海の漁業、ココナッツ栽培に依存した農業以外に主な産業はない。経済水域は広く、漁業資源は豊かであるが、国際市場への遠さ、冷凍施設の不備などにより輸出産業の決め手にはなっていない。ココナッツ栽培も市場価格の変動と輸送コストの問題から輸出は伸びていない。また、政府予算はツバル信託基金（Tuvalu Trust Fund）などの援助に大きく依存している。現金収入はリン鉱山を持つナウルやニュージーランドへの出稼ぎ者、船員からの仕送りに依存しており、輸出による収入を大きく上回っている。このような経済は、MIRAB経済（出稼ぎ:MIgration, 仕送り:Remittance, 援助:Assistance, 官僚:Bureaucracy）と呼ばれている。仕送りと援助が国家収入の大半を占め、それを多くの公務員の給料として支払うことにより、国民に分配している。その一方で、ほとんどの島において援助物資以外は自給自足に近い生活を営んでいるため、自給自足経済の重要性は非常に高い。

3.3 出稼ぎ者の帰国とフナフチ島への人口集中

1991年におけるツバルの人口は約9,000人であるが、出稼ぎ者を含むと約10,000人になる。700人を越えるナウルへの出稼ぎ者は、リン鉱物の枯渇により21世紀初めには帰国する予定である。総人口の約7%に及ぶ人口増加により、新たな住居、食糧、水資源、職業等に関する対策の必要性が生じている。

フナフチ島への人口集中は1970年代に始まり、現在は全人口の43%を占めている。人口増加の原因は、他の島からの移住であり、これにより他の島では人口が一定に保たれている。移住者の割合は、現在では半数近くを占めている。出稼ぎ者の帰国や人口増加に伴い、居住地や水資源の不足、屎尿・廃棄物の問題がますます悪化すると予想される。特に水資源を天水に依存しているフナフチ島において、干ばつが生じた場合の

水不足は、居住者の生存に関わる最も深刻な問題となることが予想される。

3.4 伝統的文化と近代化の矛盾

ツバルの人々は、古来より狭小で低平な土地の上で、限られた資源を利用して生活を営なみ、極限的な環境に適応しながら、生き残る知恵を子孫に伝えてきた。そのひとつにタロピットと呼ばれるものがある。これは、数m四方の腐葉土の穴であり、肥沃な土壌のないツバルの各家庭において、タロ芋やプラカと呼ばれる作物を栽培する、いわば家宝のような位置づけにある。立派なタロピットを所持していることは、社会的地位の象徴でもあり、落葉や生ゴミにより現在でも大事に維持されている。このような物質循環を基調とした多くの伝統的文化と知恵は、親族間の強い絆と家長の権威により維持されてきた。しかし、1978年の英国からの独立を契機として、議会制民主主義の導入、近代化による貨幣経済の浸透に伴い、社会構造や消費パターンが変化した結果、親族間の絆や物質循環を基調とした生活が変化しつつある。人口が著しく増加し、国際空港の存在により貨幣経済の浸透の早いフナフチ島ではその傾向が強い。

4. 気候変動・海面上昇に対するフナフチ島の脆弱性評価

フナフチ島は国際空港が位置し、政治経済的に最も重要なツバルの首都である。また、フナフチ島には他の各島の村落を代表する人々がそれぞれ集落を持ち、親族の絆に基盤を置く伝統的な社会のネットワークの中心でもある。このように気候変動・海面上昇に対する脆弱性が、社会経済的にも地形的にも最も高いと考えられるフナフチ島を対象とした現地測量に基づいて、海面上昇の影響を定量的に検討した。また、この結果を踏まえて、南太平洋島嶼国に適した脆弱性評価手法を用いて総合的な評価を行った。

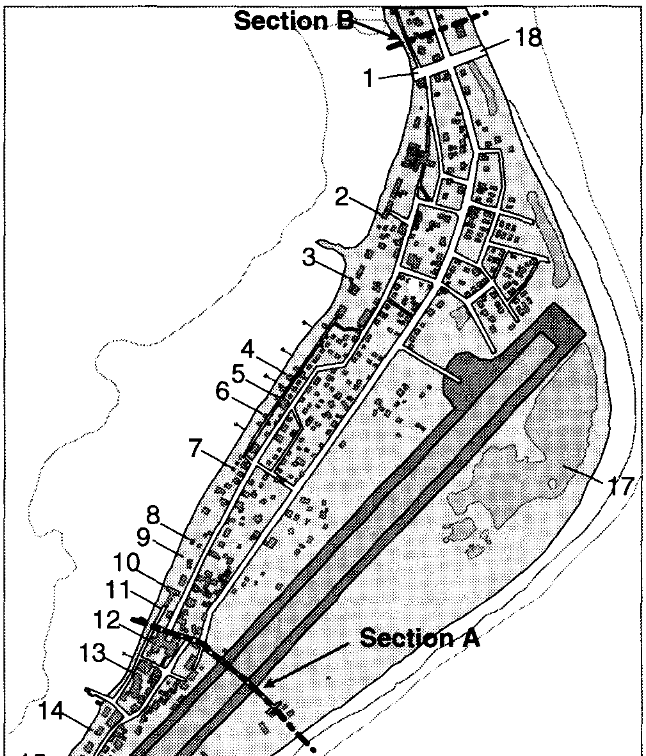

図1　フナフチ島における測量調査実施地点

4.1 現地測量に基づいた海面上昇の影響の定量的検討

政府施設や民家の集中しているラグーン側を中心に、土地の標高を測量棒で測量した（図1，1～18）。各地点の標高は、平均潮位上1.1～2.7m、平均満潮位上0.5～1.9mであり、非常に低いことが明らかになった。この結果を利用して、以下に示す項目について検討を行った。

(1) 水没・氾濫：平常時（平均潮位）と異常時（平均満潮位＋高潮偏差）について、海面上昇量0.3m、0.5m、1.0mの３ケースにおける水没・氾濫の影響を検討した。異常時の水位は、高潮位時に再現期間10年の熱帯性サイクロンが来襲した状況を想定した（表1）。

検討結果を図2に示す。異常時では、0.3mの海面上昇で地点6、7が浸水し、0.5mの海面上昇で測量調査実施地点の約1/3が、1.0mで約2/3が浸水する。

(2) 越波・打ち上げ：異常時における海面上昇による越波災害の影響を検討した。また、波浪の再現期間を変化させた場合について、波の打ち上げ高を計算し、越波災害の頻度の変化を検討した。

図3に示すとおり、現状の打ち上げ高は既に多く

表１　設定した水位のまとめ

	平常時	異常時
対象水位	平均潮位（MSL） = C.D.L+2.0m (M.S.L)	平均満潮位 (HWL)+ 高潮偏差(0.19m) =C.D.L+2.99m (H.H.W.L)
対象水位+0.3m	C.D.L+2.3m	C.D.L+3.29m
対象水位+0.5m	C.D.L+2.5m	C.D.L+3.49m
対象水位+1.0m	C.D.L+3.0m	C.D.L+3.99m

の地点で地盤高を越えており、0.3mの海面上昇によりほぼ全地点において越波が生じる。これは、後背地の家屋が越波にさらされ、危険な状況が生じることを意味する。図１に示す内陸部の国際空港の滑走路は、すり鉢上の地形の最底部にあるため、越波による浸水の被害が著しくなることが予想される。図４に示すとおり、現状の30年の再現期間が、0.3、0.5、1.0mの海面上昇により、それぞれ20、15、7年に短縮される可能性がある。

(3) 地下水位への影響：海面上昇の地下水位への影響は、現地調査で得られたA、B測線における地盤高と地下水位の縦断面積の減少割合から推定した。その結果、0.3、0.5、1.0mの海面上昇により、地盤高と地下水位の縦断面積は69～78%、50～67%、23～37%に減少する可能性がある。

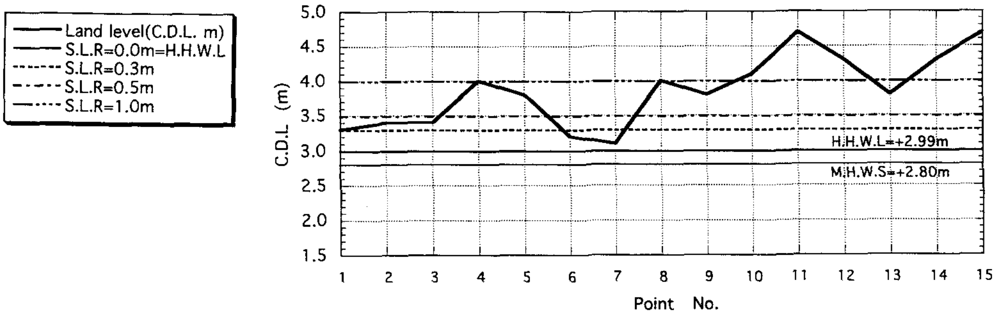

図２　水没・氾濫の検討結果（相対的地盤高の変化：異常時）

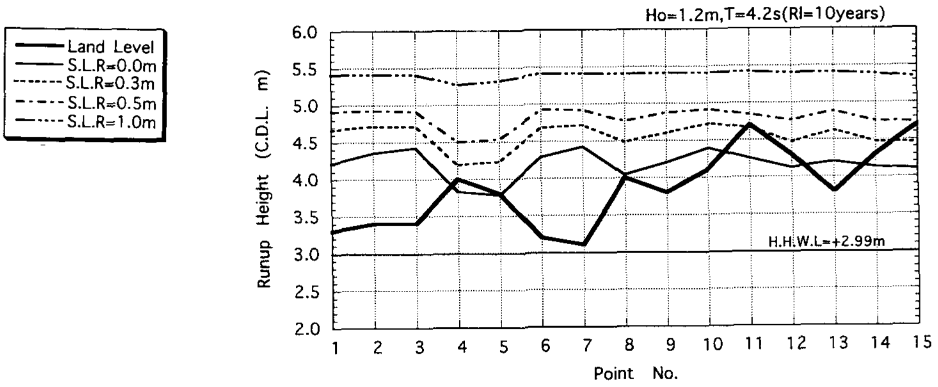

図３　越波・打ち上げ高の検討結果

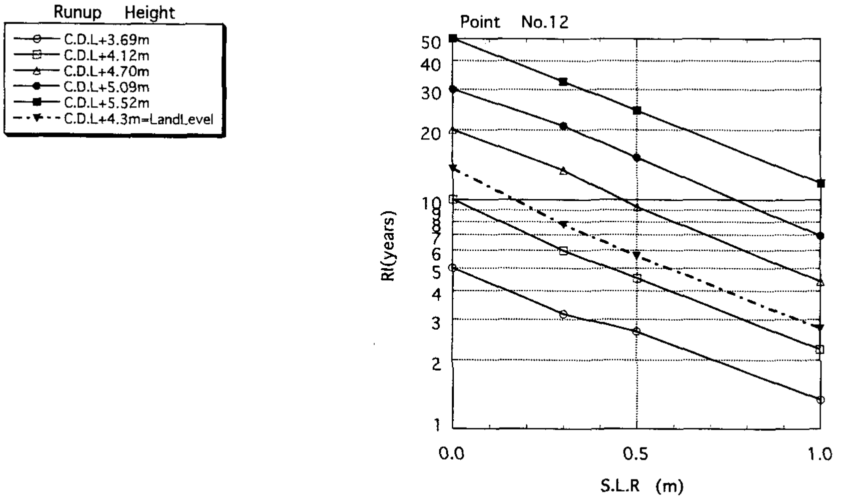

図４　海面上昇と波浪の再現期間の関係のまとめ

4.2　フナフチにおける気候変動・海面上昇に対する脆弱性の総合評価

現地調査で得られた知見と現地測量に基づいた定量的検討を踏まえて、南太平洋島嶼国に適した評価手法により、フナフチ島の脆弱性を総合評価した。この手法では、まず沿岸域を2つのカテゴリー（ハード、ソフト）に属する6つのシステム（自然／インフラ／人間／経済／組織・制度／文化）に分類する。次いで各システムの脆弱性（Vulnerability:V）と緩衝力（Resilience:R）をスコアリング判断基準表（Yamada et al., 1995）を参照してスコア（Vは−3〜0, Rは0〜3）をつけ、VとRを各システム毎にたしあわせて、気候変動・海面上昇に対する沿岸域の適応力を評価するものである。以下に検討結果の概要を示す。

(1) ハード（自然、インフラ、人間）に対する影響

4.1の検討結果で示したとおり、現在でも自然システムにおける物理的環境の脆弱性は高い。海面が上昇するとサンゴ礁の波力の緩衝作用は弱められるため、適応力は著しく低下する。フナフチ島では道路建設用の骨材としてラグーン側のサンゴ礁を掘削したため、現在でもその穴を埋め戻すように砂が移動し、浸食が進行している。海面上昇により、この砂浜浸食は加速されると考えられる。

また、水没・氾濫、越波の増大により、国際空港や沿岸部に集中している政府施設、家屋等のインフラの脆弱性は高まり、緩衝力も低下する。特に国際空港はすり鉢の地形の最低部にあるため、高潮により透水性の高い地盤に海水が進入し、浸水被害を受け易くなる。従って、物資や人の輸送等が大きな影響を受ける。

さらに、フナフチ島への人口集中が継続すれば、気象災害等に対する居住者の脆弱性は著しく高くなる。特に地下水に乏しく、水資源を雨水に依存しているフナフチ島では、生活用水が居住人口の制限要因になる。島民へのインタビューによれば、干ばつの際には、まず地下水を利用し、それも枯渇するとココナッツの実に頼るという。海面上昇による地下水資源の減少が、干ばつ時の脆弱性をさらに高めると考えられる。

対応策としては、地盤のかさ上げや防波堤、堅牢な護岸、地下貯水タンクの建設等の土木工事的なものが考えられるが、建設コストと環境改変による悪影響を考慮すると実現可能性は低い。また、海岸線から建造物までの緩衝地帯の確保、気象災害に強い建造物の建築指針の策定とその指導なども考えられるがいずれも対処療法的なものであり、決め手にはならない。

(2) ソフト（経済、組織・制度、文化）に対する影響

代替産業のないツバルでは、MIRAB経済が好転する要因は、援助の拡大、出稼ぎ者の増加による仕送りの増加以外にない。また、地下水位の上昇によるpulakaやココナッツへの影響により、自給自足経済も打撃を受ける可能性がある。産業発展対策として、水耕栽培技術や漁業技術の導入が考えられる。

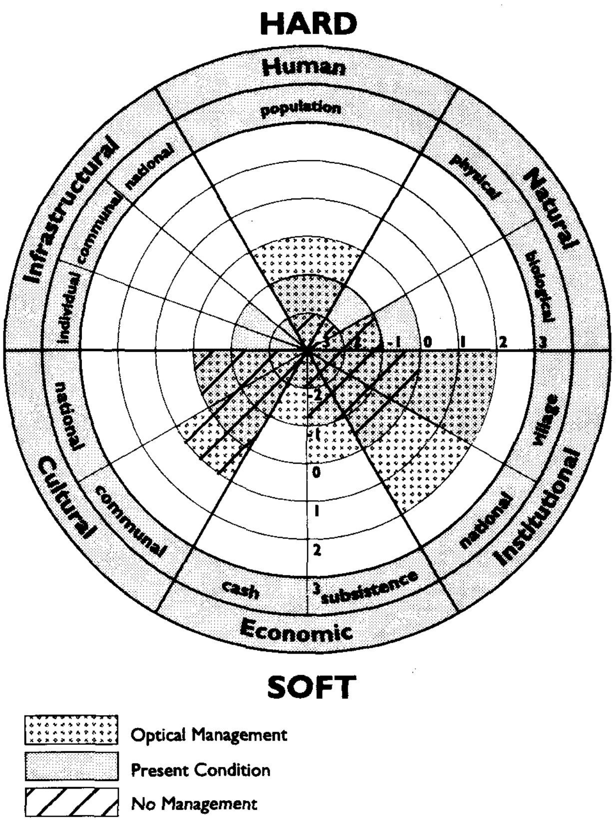

図5　レーダーチャートによる評価

フナフチ島では、家長を中心とする親族の強い結束力に基盤をおいた共同体組織、物質循環を基調とした伝統的文化は変化しつつある。しかし、気候変動・海面上昇による外的な悪影響が共同体組織に認識された場合には、再び結束力を強め、困難に対応する可能性がある。例えばツバルでは、ある島が気象災害で壊滅

的な影響を受け、他の島に移住を余儀なくされた場合、移住者の受け入れは共同体組織間の連携でスムースに進むと考えられ、移住後の新しい生活への適応は、親族の強い結束力がプラスに働く。気候変動・海面上昇の影響に対して有利な条件がないツバルにおいて、これに立ち向かう力は、家長を中心とする共同体組織の強さと親族の結束力が最も期待の持てるものである。

5. まとめ

ツバルが現在抱えている気候変動・海面上昇に対する脆弱性について、現地調査をもとに明らかにした。その結果、低平な地形と狭小な国土に起因した気象災害に対する物理的環境の脆弱性のみならず、人口問題、MIRAB経済、伝統的文化と近代化の矛盾など、社会経済的環境の脆弱性が浮き彫りにされた。特に、地下水などの自然条件が良好でないにも関わらず、人口やインフラが集中しているフナフチ島の脆弱性は著しく高い。30cmの海面上昇でさえ住民の日常生活に大きな影響を与え、1mの海面上昇が生じた場合、水没・氾濫、越波の影響は著しく、国家の存亡さえ危ぶまれる可能性がある。

島民へのアンケート調査では、海面上昇の対応策について「無報酬でも護岸の建設工事に参加する」という回答とともに、「他国に移住する以外に対策はない」という回答も得られている。筆者らも、気候変動・海面上昇が現実に生じた場合に、ツバルに適応可能で現実的な対応策があるかどうかについて、現段階では答えは見いだせていない。しかし、地球温暖化を進行させている先進国の一員である日本の責任として、また同じ太平洋に位置する島嶼国の友人として、今後もツバルが現在抱えている問題の解決と将来の気候変動・海面上昇への対応に関して総合的に取り組んでいきたいと考えている。

謝辞：1992～96年に環境庁の支援で南太平洋地域環境計画(SPREP)と日本の共同調査「南太平洋地域の沿岸域管理計画策定支援調査」が行われた。本編の一部はこの調査の成果である。研究チームを構成したGraham Sem (Univ. of Papua New Guinea), John R. Campbell (Univ. of Waikato), John E. Hay (Auckland Univ.), Patrick D. Nunn, William Aalbersberg, William C. Clarke, Isoa Korovulavula (Univ. of the South Pacific), Chalapan Kaluwin (SPREP)及び日本の環境庁関係者に謝意を表する。

参考文献

Ralf Carter (1986) : Wind and Sea Analysis, SOPAC Technical Report NO. 58.

SPREP, EAJ, OECC (1993a) : Assessment of Coastal Vulnerability and Resilience to Sea-Level Rise and Climate Change - Case Study - Viti Levu Island, Fiji, Phase I, Concept and Approach.

SPREP, EAJ, OECC (1993b) : Assessment of Coastal Vulnerability and Resilience to Sea-Level Rise and Climate Change - Case Study - Upolu Island, Western Samoa, Phase I, Concept and Approach.

SPREP, EAJ, OECC (1994a) : Assessment of Coastal Vulnerability and Resilience to Sea-Level Rise and Climate Change - Case Study - Yasawa Islands, Western Fiji, Phase II, Development of Methodology.

SPREP, EAJ, OECC (1994b) : Assessment of Coastal Vulnerability and Resilience to Sea-Level Rise and Climate Change - Case Study - Savai'i Island, Western Samoa, Phase II, Development of Methodology.

SPREP, EAJ, OECC (1996a) : Integrated Coastal Zone Management Programme for Fiji and Tuvalu, Coastal Vulnerability and Resilience in Fiji, Phase IV, Assessment of Climate Change Impacts and Adaptation.

SPREP, EAJ, OECC (1996b) : Integrated Coastal Zone Management Programme for Fiji and Tuvalu, Coastal Vulnerability and Resilience in Tuvalu, Assessment of Climate Change Impacts and Adaptation.

The Government of TUVALU (1982) : Report on Prevention of Coastal Erosion Analysis.

Yamada K., Nunn, P.D., Mimura, N., Machida, S. and Yamamoto, M. (1995) : Methodology for the Assessment of Vulnerability of South Pacific Island Countries to Sea-Level Rise and Climate Change, Journal of Global Environment Engineering, Vol.1, pp101-125

海岸保全施設築造基準解説 (1987),269p.

土木学会海岸工学委員会 (1994) :地球温暖化の沿岸影響、海面上昇・気候変動の実態・影響・対応戦略、221p.

三村信男、山田和人、町田聡他 (1993) :海面上昇・気候変動に対する南太平洋島嶼国の固有性と脆弱性評価、第48回土木学会年次学術講演会、Vol.II, 88-89