

南太平洋海域調査研究報告 No.47 (2007年 3 月)
OCCASIONAL PAPERS No.47 (March 2007)

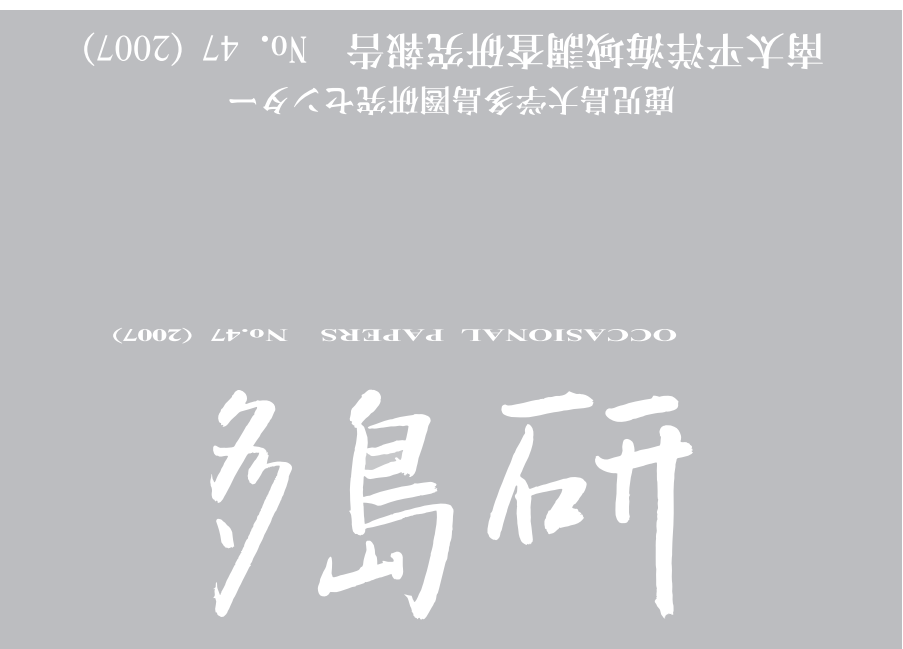
地球温暖化と太平洋島嶼地域
Global Warming and Pacific Islands

森脇 広・河合 溪 編

Edited by MORIWAKI Hiroshi and KAWAI Kei

鹿児島大学多島圏研究センター

KAGOSHIMA UNIVERSITY RESEARCH CENTER
FOR THE PACIFIC ISLANDS



KAGOSHIMA UNIVERSITY RESEARCH CENTER
FOR THE PACIFIC ISLANDS
OCCASIONAL PAPERS No.47 (2007)

鹿児島大学多島圏研究センター
南太平洋海域調査研究報告 No.47 (2007)

鹿児島大学多島圏研究センター

PUBLISHED BY
KAGOSHIMA UNIVERSITY RESEARCH CENTER
FOR THE PACIFIC ISLANDS
Koimoto 1-21-24, Kagoshima 890-8580, Japan
Tel.: +81-99-285-7394
Fax.: +81-99-285-6197
E-mail: tatoken@kuas.kagoshima-u.ac.jp
March 15, 2007
www http://cpi.kagoshima-u.ac.jp

鹿児島大学多島圏研究センター
郵便番号 890-8580
鹿児島市都元一丁目21 番24 号
電話 099(285)7394
ファックス 099(285)6179
平成19年 3 月15日発行

KAGOSHIMA UNIVERSITY RESEARCH CENTER
FOR THE PACIFIC ISLANDS
OCCASIONAL PAPERS (BACK NUMBER)

鹿児島大学多島圏研究センター
南太平洋海域調査研究報告 (バックナンバー)

No. 8	Algae. (in Japanese)	towards the South). (in Japanese)
No. 9	Distribution and Exploration for Germ-plasm of Crops in Tropical Area. (in Japanese)	No.30 The Progress Report of the 1995 Survey of the Research Project, “Man and the Environment in Micronesia”.
No.10	Studies on Distribution and Ecotypic Differentiations of Wild and Cultivated Rice Species in Africa [Report of Kagoshima University Scientific Survey to Africa in 1984 and in 1985].	No.31 Invitation to the South Pacific: Selected Lecture Notes from the Kagoshima University Research Center for the South Pacific Lecture Series 1994-1997. (in Japanese)
No.11	Paleo-geothermal and Active Geothermal Systems. (in Japanese)	No.32 Foraminifera as Indicators of Marine Environments in the Present and Past. (in Japanese and English)
No.12	Future of Southern Fisheries in the Pacific. (in Japanese)	No.33 Islands and Information Society. (in Japanese and English)
No.13	Fisheries and Marine Resources in the South Pacific.	No.34 The Progress Report of the 1999 Survey of the Research Project “Social Homeostasis of Small Islands in an Island-zone”. Yap Proper, Micronesia and Islands in Southern Japan.
No.14	A Research on the Process of Earlier Recovery of Tropical Rain Forest after a Large Scale Fire in Kalimantan Timur, Indonesia.	No.35 “The Power of Place” of the Areas at the Boundary between Land and Sea the Viewpoint from Southern Kyushu and the Southerly Islands. (in Japanese)
No.15	Marine Ecological Study on the Habitat of <i>Nautilus pompilius</i> in Fiji (the Second Operation).	No.36 Health and Medical Issues in Island Areas. (in Japanese and English)
No.16	Diversity and Plant-Animal Interaction in Equatorial Rain Forests.	No.37 Researching Eruption Clouds of Volcanic Island Chains. (in Japanese)
No.17	Religion and Society in the Philippines. (in Japanese)	No.38 The Progress Report of the 2000 and 2001 Survey of the Research Project “Social Homeostasis of Small Islands in an Island-zone”. Islands in Southern Japan. (in Japanese)
No.18	Distribution and Ecotypic Differentiations of Wild and Cultivated Rice Species in Africa.	No.39 The Progress Report of the 2000 and 2001 Survey of the Research Project, “Social Homeostasis of Small Islands in an Island-zone”. Yap Proper and Ujithi Atoll, Micronesia.
No.19	Exploration of Genetic Resources and Growing of Subtropical and Temperate Fruit Crops. (in Japanese)	No.40 The Institution in the Making: An Interdisciplinary Study on Social Life and Economy of the Philippine Local. (in Japanese)
No.20	The Progress Report of the 1989 Survey of the Research Project, “Man and the Environment in Papua New Guinea”.	No.41 “Symbiosis” of Human being and Nature in South Pacific Inlands.
No.21	The progress Report of the 1990 Survey of the Research project, “Man and the Environment in Papua New Guinea”.	No.42 The Progress Report of the 2002-2004 Survey of the Research Project “Social Homeostasis of Small Islands in an Island-zone”. Interdisciplinary Approach to Satsunan Islands Focussing on Yoron Island. (in Japanese and English)
No.22	Islam in Southeast Asia. (in Japanese)	No.43 Islam in Contemporary Southeast Asia. (in Japanese)
No.23	The Progress Report of the 1991 Survey of the Research Project, “Man and the Environment in Papua New Guinea”.	No.44 The Future of <i>Shimauta</i> (in Japanese)
No.24	People’s Lives and History in the South Pacific Region. (in Japanese)	No.45 Innovation of Education in Remote Islands to Affect a Request of the Present Age (in Japanese)
No.25	Decompression Sickness in Divers.	No.46 A Research Project for Sensor Zone Setting on Kagoshima Chain Islands from South to North for Cultural & Environmental Transition (in Japanese and English)
No.26	The Progress Report of the 1994 Survey of the Research Project, “Man and the Environment in Micronesia”.	
No.27	Studies of <i>Nautilus belauensis</i> in Palau.	
No.28	Tropical Fisheries. (in Japanese)	
No.29	Modern Japan’s “Nanpo Kan’yo” (Participation	

KAGOSHIMA UNIVERSITY RESEARCH CENTER
FOR THE PACIFIC ISLANDS
OCCASIONAL PAPERS No.47
南太平洋海域調査研究報告 No.47

地球温暖化と太平洋島嶼地域
Global Warming and Pacific Islands

鹿児島大学多島圏研究センター
多島域フォーラム・国際シンポジウム報告
2006年2月4日

森脇 広・河合 溪 編
Edited by MORIWAKI Hiroshi and KAWAI Kei

鹿児島大学多島圏研究センター
KAGOSHIMA UNIVERSITY RESEARCH CENTER
FOR THE PACIFIC ISLANDS

はじめに

本書は鹿児島大学多島圏研究センターの主催によって2006年2月4日に鹿児島大学で開催された多島域フォーラム・国際シンポジウム「地球温暖化と太平洋島嶼地域」の報告書です。

地球温暖化は地球規模で深刻な問題になっており、異常気象の発生や海水面の上昇など色々な影響を地球全域に与えています。地球温暖化が最も早期にそして大きく影響を及ぼすと考えられている地域が太平洋に多く見られる島嶼低島部です。すでに海面上昇に伴い陸地の浸食や減少が見られ、ニュージーランドなどへ移住を強いられている地域もあります。これにより地域に密着した国家維持が成り立たなくなる可能性が考えられ、この地域の新たなアイデンティティ形成の模索が必要になってきます。このように太平洋島嶼低島部においては自然環境、社会経済システム、国家条件、アイデンティティ形成など色々な方面への影響が引き起こされており、地球温暖化問題は太平洋島嶼の新たな地域形成に密接に関係した問題となっています。

地球温暖化に影響を与える温室効果ガスの排出は主に先進国に偏っており、太平洋島嶼に見られる国々は温室効果ガスをほとんど排出していません。そのためこの問題においては太平洋島嶼地域の国々は完全なる被害者です。一方、日本の温室効果ガス排出量は先進国でも上位をしめています。したがって、日本は地球温暖化防止京都議定書(COP3)の議長国を務めたこともあり、温室効果ガス排出量の低下に率先して努力しなければならないとともに、この分野において国際的なリーダーシップを発揮しなければなりません。

このシンポジウムでは太平洋島嶼部で見られる地球温暖化により引き起こされている影響について報告し、太平洋島嶼地域の地球温暖化に伴う影響の現状と各種課題を浮き彫りにすることを目的におこなわれました。本書は各講演者が講演内容とともにそのシンポジウムにおいて議論された内容を含め記録したものです。

本シンポジウムは地域研究コンソーシアムの助成により行われました。また、日本島嶼学会、日本オセアニア学会、太平洋学会、鹿児島県、地球環境と大気汚染を考える全国市民会議に後援をしていただきました。最後になりましたが、鹿児島大学多島圏研究センター交流企画部会委員を含め多くの方々にご協力をいただきました。皆様に心から感謝の意を表します。

2007年3月

編者 森脇 広・河合 溪

目 次

はじめに.....	i
1. 南太平洋，東ポリネシアの完新世海面変化 - 温暖化に伴う海岸環境変化の自然史的背景 -	1
森脇 広（鹿児島大学法文学部）	
2. 今ツバルに何が起きているか - 地球温暖化最前線の現状 -	9
神保哲生（ビデオジャーナリスト）	
3. 気候変動・海面上昇が環礁州島の地形維持機構に与える影響 - マーシャル諸島マジュロ環礁における現地調査 -	11
横木裕宗（茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター）	
4. 地球温暖化問題に関する国際交渉 - 適応策を中心として -	19
久保田 泉（国立環境研究所社会環境システム研究領域）	
5. 太平洋島嶼域における気候変動に対する適応.....	29
ナン P.D.（南太平洋大学）	
6. 島嶼域の縁に位置する島の問題と見通し：フィジー，モツリキ島を例にして.....	41
クマー R.（南太平洋大学）	

Preface

This document reports on “Global Warming and the Pacific Islands”, and is the output from the Islands Forum-International Symposium that was held at Kagoshima University on 4th February 2006, organized by the Kagoshima University Research Center for the Pacific Islands. The symposium was held to examine the important problems caused by global warming in the Pacific Islands, and to assess the present situation. This symposium was sponsored by Japan Consortium for Area Studies and supported by the Japan Society of Island Studies, Japanese Society for Oceanic Studies, the Pacific Society, Kagoshima Prefecture Government and Citizen's Alliance for Saving the Atmosphere and the Earth.

Global warming has become a serious issue on a global scale and caused various impacts on the environment such as unusual climate and rising sea level. Greenhouse gases which cause global warming are emitted by developed countries but the Pacific Islands hardly emits any at all. These islands are therefore ‘victims’ of foreign greenhouse gas emissions. Japan is ranked high in the list of greenhouse gas emitters. For that reason, we have to work to reduce emissions and exercise our leadership in the international scene, especially considering that we held the presidency of Kyoto Conference on the Prevention of Global Warming (COP3) in the past.

It has been determined that one region where global warming will soon have huge influences is the Pacific Islands. Across these islands, the erosion and loss of land has already been reported and some inhabitants from low-lying atoll nations have been forced to move to the other countries, such as New Zealand, posing problems for community-based identities in the adopted homes. The sustainability of natural environments, socioeconomic systems, and developing nations' wellbeing are becoming serious issues. This document contains the contents discussed in the lectures presented during the symposium.

Editors MORIWAKI Hiroshi and KAWAI Kei

March 2007

Contents

Preface.....	iii
1 . Holocene Sea-level Change in Eastern Polynesia, the South Pacific in the Light of Change in Coastal Environment Associated with Global Warming	1
MORIWAKI Hiroshi (Faculty of Law, Economics and Humanities, Kagoshima University)	
2 . What's Happening in Tuvalu - Realities of Global Warming -	9
JIMBO Tetsuo (Video Journalist)	
3 . Impacts on the Land Maintenance Mechanisms of Atolls Induced by the Climate Change and the Sea Level-rise - Field Survey on Majuro Atoll, the Marshall Islands -	11
YOKOKI Hiromune (Center for Water Environment Studies, Ibaraki University)	
4 . Adaptation Policy in a Post-2012 Climate Regime	19
KUBOTA Izumi (National Institute for Environmental Studies)	
5 . Adapting to Climate Change in the Pacific Islands	29
Patrick D. NUNN (School of Geography, The University of the South Pacific)	
6 . Problems and Prospects for Islands at the Margins: a Case Study of Moturiki Island, Central Fiji	41
Roselyn KUMAR (Institute of Applied Sciences, The University of the South Pacific)	



The village of Navuti on Moturiki Island
(central Fiji) lies only just above sea level.

南太平洋，東ポリネシアの完新世海面変化

－ 温暖化に伴う海岸環境変化の自然史的背景 －

森脇 広

鹿児島大学法文学部自然地理学研究室

Holocene Sea-level Change in Eastern Polynesia, the South Pacific in the Light of Change in Coastal Environment Associated with Global Warming

MORIWAKI Hiroshi

Physical Geography section, Faculty of Law, Economics and Humanities,
Kagoshima University

Abstract

Holocene sea-level changes have been mainly discussed in the light of two points of view: whether eustatic highstand of sea level existed or not, and whether eustatic sea level has fluctuated or not. While extensive regional differences of sea-level heights, which have ever been elucidated, can be geophysically interpreted, various factors are responsible for local sea level heights. Hydro-isostasy, volcanic loading, tectonic movements and sea-temperature change etc. are considered to be responsible for the Holocene highstands and sea-level fall, which have been extensively recognized in the southern Cook islands. Studies on Holocene sea-level change provide fundamental data to discuss sea-level rise associated with global warming and its influence on coastal environments and people.

1. はじめに

海岸環境の変化は海面の変化に大きな影響を受けている。ある海岸の海面は様々な要因で変化するので、海面の相対的な上昇・低下 - 相対的海面変化 - は多様な要因の総和である (貝塚 1978)。要因の中には海面の上昇・低下のように地域的に一様なものもあれば、陸地の隆起・沈降など地域によって違うものもある。過去数万年の海面変化史の中でもっとも大きな影響を汎世界的に及ぼしたものは氷河の消長に関わる変化 - 氷河性海面変化 - である。その変化規模は100m以上に及ぶ。その変化は、様々な自然環境の変化、生物や人類の移動・拡散に多大な影響を及ぼしてきた。さらに人類への影響という視点から見ると、これより小規模の海面変化も軽視することはできない。特に、大陸氷床が現在の規模にまで縮小した、つまり大局的には海面が現在付近に安定した過去数千年間の完新世中・後期は、こうした小規模な海面変化が海岸環境の変化や人々の生活に大きな影響を及ぼしてきたとみられる。温暖化に伴って予想されている海面上昇も海岸環境に多大な影響を及ぼすことが予想されている (海津・平井 2001)。

こうした小規模な海面変化は、周囲を海に囲まれた低平なサンゴ礁島からなる南太平洋の島々でも海岸環境の変化と人間活動に大きな影響を及ぼしてきた (ALLEN 1998, NUNN 2000a 2000b, DICKENSSON 2003)。この小論では、南太平洋のクック諸島でみられる海面変化・海岸変化のこれまでの研究を紹介し、温暖化に伴う海面上昇による海岸環境と人間活動への影響について自然史的な背景を考える。

2. 最終氷期最盛期以降の海面変化の研究小史

最終氷期最盛期以降におけるある地域の相対的海面変化を大きく支配した氷河性海面変化の軌跡は、大きく二つの問題を中心として論じられてきた (森脇 1978, 森脇 1995)。一つは海面が完新世において現在の海面より高い時期があったか否かという点であり、もう一つは海面変化曲線が上下変動したか平滑であったかという点である。

最初に高海面の存在を広く認めたのは DALY (1920) である。これ以後、サンゴ礁地域を中心として多くの離水した汀線が認められ、それらはデリー汀線と呼ばれた。

1960年代になって海岸環境の変化の年代特定について、 ^{14}C 年代測定が多くなされるようになると、世界各地の海岸で旧海面の痕跡と年代が明らかになっていった。これを用いて、1960年代以降、多くの海面変化曲線が描かれてきた。高海面の存在の代表例が FAIRBRIDGE (1961) で、オーストラリアなど世界各地の旧海面資料を収集して、高海面の存在を認めた (図1)。一方、現在が完新世のもっとも高い時期とする報告の代表例が SHEPARD (1964) である (図1)。SHEPARD (1964) はオランダやアメリカ合衆国のテキサス、フロリダからの資料を基にしていた。どれが氷河性海面変化を反映しているかはこれ以後大きな論争の一つとなった (森脇 1978)。

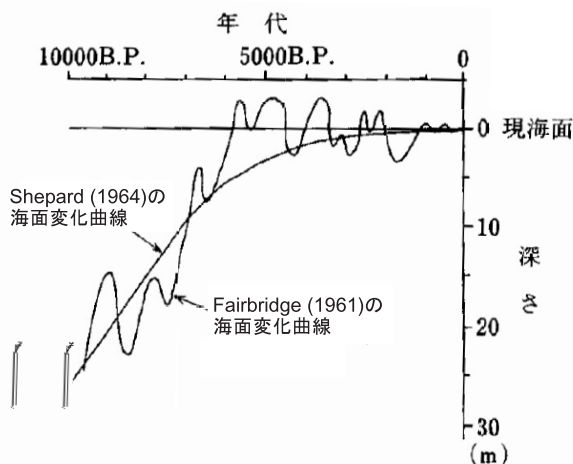


図1 1960年代の代表的な完新世海面変化曲線
森脇 (1995) を改変

例えば、1960年代後半アメリカ合衆国の研究者たちは、南太平洋のカロリン・マーシャル諸島で大がかりなプロジェクトを組織して、こうした高海面を検証するための調査を行った結果、完新世において高海面の証拠は認められないとした (BLOOM 1970

CURRAY *et al.* 1970など)。このように汎世界的に高海面があったか否かの論争は1970年代初期までつづいた。

世界各地からの旧海面高度と年代資料が蓄積されてくると、完新世の旧海面には広範囲な地域性が認められるようになり、これに広域の変動が関わっているという新しい考えが提出された (WALCOTT 1972)。すなわち、WALCOTT (1972) は、氷床と海水の交換が地殻やマントルに与えるアイソスタティックな影響 - 氷河性アイソスタシーとハイドロアイソスタシー - を基に、3つの地域、すなわち 氷床によって覆われた区域、その周辺区域、それ以外の区域に区分した。の旧氷床地域は氷河性アイソスタティック回復によって隆起し、の区域は旧氷床地域の周辺地域で沈降し、そしての区域は海水付加に伴って海岸がハイドロアイソスタティックな傾動隆起を生じるとした。FAIRBRIDGE (1961) が主として求めた高海面の資料はの地域であったのに対し、SHEPARD (1964) はの地域からの資料であったことが明らかとなった。WALCOTT (1972) 以後、海面変化に関するハイドロアイソスタシー、氷河性アイソスタシーの研究は進み、海面変化曲線の問題も検討された。CLARK *et al.* (1978)、CLARK and LINGLE (1979) は氷河性アイソスタティック・ハイドロアイソスタティックな視点から地域区分し、予想される海面変化曲線を各地帯で復元した。この中で南太平洋はV帯に区分され、完新世中期の高海面を生じるような曲線が算出されている。それは、これまで南太平洋の野外調査で得られてきた高海面とも合う。

もう一つの論争点である海面の小変動が汎世界的に生じたか否かも、FAIRBRIDGE (1961)、SHEPARD (1964) 以後、長く論争され、いまだ十分に解明されているとはいえない。FAIRBRIDGE (1961) は、完新世に振幅が数メートル以内の小変動が数回生じたことを認めた (図1)。しかし、世界各地からの資料から描かれた曲線であったため、低海水準の記録は沈降域 - メキシコ湾沿岸など氷河性アイソスタティックな沈降域 -、高海水準は隆起域の証拠を使っているなどの問題があった。一方、平滑な曲線を示すSHEPARD (1964) の曲線の証拠は旧氷床周辺にあたる合衆国南部の沈降域でとられたものである。その曲線は旧海面の高度・年代精度の問題から、それらの資料の平均的なものをもって平滑とされた (図1)。

以後、広域な資料によって曲線を描くことから、テクトニックな環境などできるだけ同質な地域 - 狭い地域 - での資料によって海面変化曲線が得られるようになってきた (太田ほか 1982, PIRAZZOLI 1991)。

晩氷期の海面上昇期の上下変動については、約1.1万年前 (Younger Dryas 期) の海面低下の存否が注目されている。Younger Dryas (YD) 期は晩氷期の温暖化の過程で急激な寒冷化が生じた時期で、来るべき温暖化に伴って参考にするべき現象の一つとして注目される。1970年代の研究では、この時期には海面は安定したか、または低下した曲線がよく描かれてきた (森脇 1978, 太田ほか 1982, PIRAZZOLI 1991)。しかし、近年のサンゴ礁地域でえられた精度のよい海面変化曲線では、YD ころは上昇の速さは緩慢となったが、海面低下はしていないという (FAIRBANKS 1989)。しかし、この時期の海面の小変動についてはまだ未解決で、今後に残された研究課題である。

完新世中・後期 - 約7000 cal 年前以降 - の海面安定期は現在付近に海面があったために、その痕跡を直接の野外観察で検出しやすいが、小変動が存在した場合、その振幅が微細なので見逃しやすいという問題もある。そのため、上下変動していない安定した海面変化を描くものもある一方、上下変動させるものもあり、やはり広域にまたはグロー

バルに海面が上下変動したか否かは異なる意見がある。日本の臨海沖積低地の研究では2000年ほど前の海面低下が広く認められてきた(太田ほか 1982)。更新世と最近の観測時代の長短二つの年代幅でみると、要因・規模は別として、海面は明らかに上下変動している。こうした点は、この二つの年代幅の間にある完新世においても海面の上下変動の存在を示唆している。

ある地域の旧海面の高さや相対的海面変化は、必ずしも海面変化やハイドロアイソスタティックな変動によってだけで説明されるものではない。プレート境界地域など変動帯でのローカルなテクトニック変動やクック諸島で議論されているような第四紀火山の形成の効果、さらに水温変化に伴う海面変動など他の要因も旧海面の高さや相対的海面変化に関わっている場合もある。海面変化がある地域の海岸環境の変化に与える影響を考えると、こうした相対的海面変化の諸要因を各地域で分析・総合する必要がある。

海岸環境の変化・人類の居住基盤の変化という点からみると、高海面や微細な上下変動のほかに、完新世前期の急激な海面上昇がいつどのように現在付近の高さに安定したかという点を考えることも重要である(森脇 1995, 森脇 2004a)。それは、この変化期に一般に臨海の低地が海の方へ進出を開始し、これが人類の低地への進出に影響を与えたからである(森脇 2004b)。一般的にはその時代はおよそ6000-7000 cal 年前である。しかし、地域の地殻変動や堆積・侵食条件などによりその形成開始の時期は微妙に異なる。

3. 南部クック諸島の海面変化

南部クック諸島の島々(図2)は、YONEKURA *et al.* (1988), WOODROFFE *et al.* (1990) などによって詳しい調査がなされた。それらによると、南部クック諸島の島々では一般に完新世において高海面が記録されている。WOODROFFE *et al.* (1990) によれば、クック諸島での完新世高海面の年代は5100~3400 ^{14}C 年前に入り、これより新しい時期には離水した証拠はないという。また、南部クックの Mangaia 島の海岸は、3400~2900

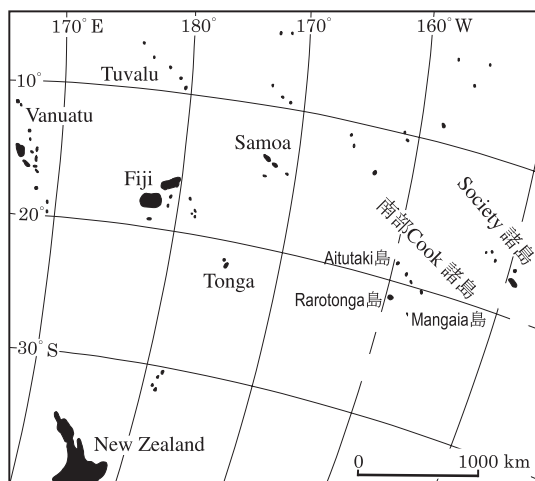


図2 南部 Cook 諸島の位置
MORIWAKI *et al.* (2006) を改変

^{14}C 年前に現海面または現海面下まで急激に離水し、これ以後はほぼ現在の海面に安定しているという (YONEKURA *et al.* 1988)。

加えて、こうした隆起には新しい火山島である Rarotonga 島と Aitutaki 島の負荷によって引き起こされるリソスフェアの flexure が周辺海域の島々への隆起に影響を与えているという見解がある (McNUTT and MENARD 1978, JARRARD and TURNER 1979, LAMBECK 1981, SPENCER *et al.* 1987)。WOODROFFE *et al.* (1990) によれば、この flexure が南部クック諸島の高海面高度の微妙な違いに影響している可能性があるという。しかし、これについて、YONEKURA *et al.* (1988) はまだ検討すべき問題があるという。

南部クック諸島ではおよそ3000年前以降の高海面の記録は得られていない。この時期に関する確実な証拠は Aitutaki 島で得られ、およそ +0.5m の高海面を示す離水サンゴが1500年前頃の年代を示す (YONEKURA *et al.* 1988)。最近、MORIWAKI *et al.* (2006) は南部クック諸島の Rarotonga 島の海岸低地とサンゴ礁の調査から次のような海面変化を得た。すなわち、約6500 cal 年前頃に現在の海面付近に上昇した海面はさらに徐々に上昇し、約4500 cal 年前頃にピークに達した。堤間湿地での調査から知られるその高さはおよそ海拔 +1.5m ほどで、ほぼこの高さを保って、約600 cal 年前頃までつづいた。600 cal 年前頃の高海面の痕跡は、更新世離水サンゴ礁に付着してるキクメイシサンゴで、それは明瞭な高海面の存在を示す。それ以後、海面は現在の海面にまで低下する。このように、約3000年前以降においてあまり見いだされてこなかった高海面が検出されている。Rarotonga 島で見いだされた約600 cal 年前の高海面を示すサンゴは貧弱で、このことがこれまで Rarotonga 島で高海面が見いだせなかった理由であろう。約3000年前以降の高海面については、上記したように Aitutaki 島でも認められており、今後、他の島でも精査することによってこの時期の高海面が検出できる可能性が高い。

上記のように南部クック諸島の完新世高海面は、Rarotonga 島と Aitutaki 島の負荷が周辺域のサンゴ礁からなる島々の隆起に関与したとする議論がなされてきた。Rarotonga 島で得られた高海面の存在は、こうした説明に再検討を加えることになる。またここで得られた海面変化は一般に東ポリネシアで得られたもの (PIRAZZOLI 1991)

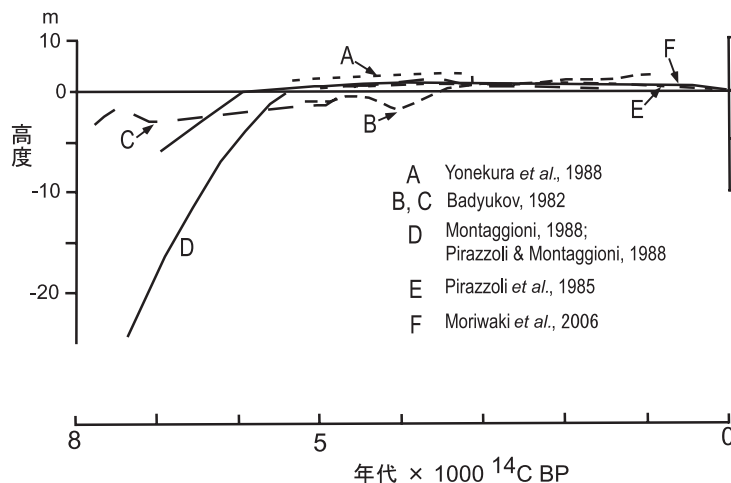


図3 東ポリネシアの完新世海面変化

簡略化した PIRAZZOLI (1991) の曲線に Rarotonga 島の曲線 (MORIWAKI *et al.*, 2006) を追加

と基本的には類似する(図3)。YONEKURA *et al.* (1988) は太平洋の完新世の高海面はハイドロアイソスタティック変動から算出したV帯(CLARK and LINGLE 1979)と調和しているとしている。このことは、Rarotonga島で得られた完新世の高海面にこうしたハイドロアイソスタティックな要因が関与していることを示唆する。

一方、600 cal 年前頃からの海面低下は、NUNN (2000a, 2000b) が南太平洋の島々で認めた海面低下の現象と類似する。NUNN (2000a) はこの時期の海面低下とこれによって引き起こされた海岸環境の変化が人類活動の変化 - 例えば、居住地の移動など - を引き起こしたことを認め、そうした現象はエルニーニョの発生頻度変化と調和しているという。Rarotonga島でこの時期以降の海面低下に伴うとみられる現象の一つは、低地の段丘化である。流域の大きい、比較的流量の多い河川は明瞭に低地を下刻している。今後、さらにこうした海面変化が海岸の環境変化にどのような影響を及ぼし、さらに当時の人々にどのように影響を与えたかの検討を行う必要があるだろう。

4. おわりに

東ポリネシア、南部クック諸島では完新世において一般に高海面が認められる。しかし、そうした高海面の期間や、現海面までの低下の過程には島によって違いが見られ、まだ十分に解明されているとはいえない。これまでの研究からはそれはハイドロアイソスタティックな変動や第四紀火山の負荷、島によってはテクトニックな変動、さらに海水温変化などが関与しているとみられる。さらに、南極・グリーンランドの氷河の微細な消長の影響など他の要因も考慮に入れておく必要がある。温暖化に伴う海面上昇が引き起こす海岸環境の変化とこれが人々の生活に与える影響を考える上で、こうした諸要因による微細な海面変化がこれまでの海岸環境にどのような影響を及ぼしてきたか、そして現在どのような海岸環境にあるかをという各島の海岸の特性を把握しておくことは重要であろう。

南部クック諸島の海面変化研究が示すように、過去1000年間の歴史時代の海面変化は、観測時代(過去およそ100年間)と地学的な時代(過去1000-10000年間)の海面変化と比べて、海面変化の振幅の微細さと年代精度などの問題があり、もっとも検出しにくい時期といえる。これは日本列島に関しても同様で、海面変化研究の中ではもっとも未解明の時代であるといえる。しかし、過去1000年間の相対的海面変化の軌跡を各地で解明し、これが及ぼした自然環境・人類への影響を明らかにしておくことは、温暖化による海面変化とその影響を考えるのに大きな判断材料を提供するだろう。

引用文献

- ALLEN, M. S. 1998. Holocene sea-level change on Aitutaki, Cook Islands: Landscape change and human response. *Journal of Coastal Research*, 14, 10-22.
- BLOOM, A. L. 1970. Paludal stratigraphy of Truk, Ponape and Kusaie, Eastern Caroline Islands. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81, 1895-1904.
- CLARK, J. A., FARRELL, W. E. and PELTIER, W. R. 1978. Global changes in postglacial sea level : a numerical calculation. *Quaternary Research*, 9, 265-278.
- CLARK, J. A. and LINGLE, C. S. 1979. Predicted relative sea-level changes (18,000 years to present) caused by late-glacial retreat of the Antarctic ice sheet. *Quaternary Research*, 11,

279-298.

- CURRAY, J. R., SHEPARD, F. P. and VEEH, H. H. 1970. Late Quaternary sea-level studies in Micronesia: CARMARSEL Expedition, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81, 1865-1880.
- DALY, R.A. 1920. A recent world wide sinking of ocean-level. *Geological Magazine*, 57, 246-261.
- DICKINSON, W.R. 2003. Impact of mid-Holocene hydro-isostatic highstand in regional sea level on habitability of islands in Pacific Oceania. *Journal of Coastal Research*, 19, 489-502.
- FAIRBANKS, R. G. 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342, 637-642.
- JARRARD, R. D. and TURNER, D. L. 1979. Comments on, 'lithospheric flexure and uplifted atolls' by M. McNutt and H. W. MENARD. *Jour. Geophys. Res.* 84, 5691-5694.
- FAIRBRIDGE, R.W. 1961. Eustatic changes in sea level. *Physics and Chemistry of the Earth*, 4, 99-185.
- 貝塚爽平 1978. 変動する第四紀の地球表面, 笠原・杉村編「変動する地球 - 現在および第四紀」, 岩波講座地球科学10, 183-233.
- LAMBECK, K. 1981. Lithospheric response to volcanic loading in the southern Cook Islands. *Earth and Planetary Science letters*, 55, 482-496.
- McNUTT, M. and MENARD, H. W. 1978. Lithospheric flexure and uplifted atolls. *Jour. Geophys. Res.*, 83, 1206-1212.
- 森脇 広 1978. 完新世における海水準変動の諸問題 - 諸外国の例 - . 地理学評論, 51, 176-187.
- 森脇 広 1995. 人類の大移動を起こした海面の大変動, 講座「文明と環境」第7巻 町田 洋・速水 融 編, 人口・疫病・災害, 288p, 朝倉書店, 84-97.
- 森脇 広 2004a. 海面変化と考古学. 安田喜憲編「環境考古学ハンドブック」706p. 朝倉書店, 135-143.
- 森脇 広 2004b. 鹿児島湾奥における縄文海進最盛期以降の沖積低地の地形変化と人間活動. 日下雅義編「地形環境と歴史景観」, 246p, 古今書院, 59-66.
- MORIWAKI, H., CHIKAMORI, M., OKUNO, M. and NAKAMURA, T. 2006. Holocene changes in sea level and coastal environments on Rarotonga, Cook islands, South Pacific Ocean. *The Holocene*, 16, 839-848.
- NUNN, P.D. 2000a. Environmental catastrophe in the Pacific islands around A.D. 1300. *Geoarchaeology: An International Journal*, 15, 715-740.
- NUNN, P.D. 2000b. Illuminating sea-level fall around AD 1220-1510 (730-440 cal yr BP) in the Pacific islands: implications for environmental change and cultural transformation. *New Zealand Geographer*, 56, 46-54.
- 太田陽子・松島義章・森脇 広 1982. 日本における完新世海面変化に関する研究の現状と問題. 第四紀研究, 21, 133-143.
- PIRAZZOLI, P. A. 1991. *World atlas of Holocene sea-level changes*. Elsevier, 300pp.
- SHEPARD, F.P. 1964. Sea level changes in the past 6,000 years: possible archeological significance. *Science*, 163, 574-576.
- SPENCER, T., STODDART, D. R. and WOODROFFE, C. D. 1987. Island uplift and lithospheric

flexure: observations and cautions from the South Pacific. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, 63, 87-102.

海津正倫・平井幸弘編 2001. 海面上昇とアジアの海岸。古今書院, 190p.

WALCOTT, R. I. 1972. Past sea levels, eustasy and deformation of the earth. *Quaternary Research*, 2, 1-14.

WOODROFFE, C. D., STODDARD, D. R., SPENCER, T., SCOFFIN, T. P. and TUDHOPE, A. W. 1990. Holocene emergence in the Cook islands, South Pacific. *Coral Reefs*, 9, 31-39.

YONEKURA, N., ISHII, T., SAITO, Y., MAEDA, Y., MATSUSHIMA, Y., MATSUMOTO, E. and KAYANNE, H. 1988. Holocene fringing reefs and sea-level changes in Mangaia island, southern Cook islands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 68, 177-188.

今ツバルに何が起きているか

－ 地球温暖化最前線の現状 －

神保 哲生

(ビデオジャーナリスト)

What's Happening in Tuvalu － Realities of Global Warming －

JIMBO Tetsuo

(Video Journalist)

Abstract

Tuvalu is located in the middle of the South Pacific. This country is severely affected by global warming. The situation was presented by video footage of Tuvalu.

南太平洋の真ん中にツバルという国がある。人口1万人あまりの小さな国だが、豊かな海の恵みに囲まれて、平和な自給自足の生活を営む、友好的な人々が住む国だ。このツバルが今、海に沈み始めている。もともと平均標高が2メートルにも満たない低い国土だったが、過去10年ほど、加速的な海岸浸食と、海水が地下水を通じて内陸に噴き出してくる洪水に悩まされるようになった。

これは地球温暖化に起因する海面上昇の影響である可能性が高い。地球の気温が上がることで海水の温度も上昇し、それが海水の体積を増やしている。もちろん、氷河や極地の氷床の溶解も影響している可能性がある。

ツバルの国土全体が丸ごと海に沈むには、まだまだ何十年、いやもしかしたら何百年もかかるかもしれない。しかし、ツバルの人たちはツバルがそう遠くない将来、人間が住めない土地になることを知っている。既にツバルの人たちの生活基盤は根底から奪われ始めているからだ。

地下水を通じて内陸に浸入した海の塩水が、自給自足を営むために不可欠なツバルの畑に入り込み、主食のブラカ芋を始めとする作物が収穫できなくなっている。根菜は塩につかると根が腐ってしまうからだ。

自給自足が維持できなくなれば、食べ物は買うしかない。しかし、これといって産業のないツバルでは、現金収入を得る手段が無い。そのためツバル人の多くが、現金収入を得るために、海外に出稼ぎに出なければならなくなっている。

もはやツバルはこのままでは生き残れない。そう判断したツバル政府は2001年から、海外への移住計画を実行に移し始めた。国を捨てても何とか海外でツバル人とツバル文化を残そうという、生き残りをかけたぎりぎりの選択だった。手始めにニュージーランドに毎年75人が移住している。75人といっても人口1万余のツバルにとっての75人は日

本のほぼ100万人に相当する。しかも、働き盛りで英語のできる有能なツバル人が優先的に国を去っていく。このままではツバルは国土の沈没を待たずして、沈んでしまう。

生き残り計画を実践する一方でツバル政府は、自分たちの運命を左右していると思われる地球温暖化の問題でも積極的な働きかけを始めた。ツバルの首相は温暖化の国際会議には必ず顔を見せ、世界に向けて地球温暖化を阻止することの重要性を訴えている。

もしかしたらもう人類はツバルを救うことは出来ないかもしれない。今ただちに抜本的な温室効果ガスの削減を行ったとしても、既にツバルを救うには手遅れの可能性が高い。しかし、人類にとってツバルは炭坑のカナリアなのかもしれない。炭鉱内にガスが出たことを察知するために、あえて抵抗力の弱いカナリアを連れて坑内に入る。カナリアが死んだのを見て急いで炭坑を出れば、より抵抗力のある人間は何とか生きられる。ツバルが、今苦しんでいる。それを単なる対岸の火事として見過ごすか、それともそれを炭坑のカナリアと見るか。今先進国に住む私たちの常識が問われている。しかも、地球温暖化を起こしているのは、他でもない、先進国に住む私たちなのだ。

気候変動・海面上昇が環礁州島の 地形維持機構に与える影響

－ マーシャル諸島マジュロ環礁における現地調査 －

横木 裕宗

茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター

316-8511 日立市中成沢町4-12-1

Tel: 0294-38-5219, Fax: 0294-38-5268, Email: yokoki@mx.ibaraki.ac.jp

Impacts on the Land Maintenance Mechanisms of Atolls Induced by the Climate Change and the Sea Level-rise －Field Survey on Majuro Atoll, the Marshall Islands－

YOKOKI Hiromune

Center for Water Environment Studies, Ibaraki University

Email: yokoki@mx.ibaraki.ac.jp

Abstract

According to IPCC Third Assessment Report, the mean sea level is projected to rise to 9 to 88 cm by 2100 relative to in 1990 due to the global warming and climate changes (IPCC, 2001). Various impacts are anticipated to be caused by the sea-level rise in coastal areas. As for the inundation risks for example, the potentially inundated area are expected to increase by 1.5 times relative to the present against 50cm sea-level rise according to the calculations using the global topographical data. Storm surges enhance the risk. In particular, the countries which consist of atolls like Marshall Islands and Tuvalu in the South Pacific region are exposed to the risk of inundation. This paper focuses on the impacts of global warming and sea-level rise onto the coastal areas of atolls, and presents the preliminary results of the field survey in Majuro atoll supported by Global Environment Research Fund (GERF), Ministry of the Environment, Japan.

1. はじめに

太平洋をはじめとする海洋上には、多くの島嶼があり、現在多くの国の人々が比較的小規模の島で生活している。また、地球温暖化、海面上昇が進行しており、IPCC (2001) によると、2100年には、全球平均気温で1.4～5.8℃上昇し、平均海面は9～88cm上昇すると予測されている。海面上昇および温暖化に伴う気候変動が島嶼国に及ぼす影響はさまざまであるが、面積や標高などの地形的な面で島嶼国は適応力が比較的小さいとされており、温暖化、海面上昇による影響は甚大になるものと考えられる。

本稿では島嶼の海岸のうち、サンゴ礁海岸、特に環礁州島海岸と取り上げて、地形的特性と海面上昇によって受けると考えられる影響を述べることにする。環礁州島は一般的に細く長いので、海岸における侵食・堆積は、州島の地形維持に直接影響することになる。そこで本稿では、海面上昇や高波浪が環礁州島の海岸地形ひいては州島の地形維持にどのような影響を及ぼすのかについて考察する。サンゴ礁そのものが温暖化、海面上昇から受ける影響としては、海面上昇による水没や海水温の上昇による白化の頻発などが挙げられている（例えば、原沢・西岡編 2003）が、本稿では言及しない。また、筆者が所属している環境省のプロジェクトで実施したマジュロ環礁への現地調査について調査内容と結果の概要を紹介する。

2. 環礁州島海岸における土砂収支の特徴

環礁とはサンゴ礁が中央のラグーンを囲むように環状に連なった地形のことをいい、そのサンゴ礁の上に形成された細長い島を州島とよぶので、ここでは環礁上に形成された州島を環礁州島とよんでいる。図1は典型的な環礁および環礁州島を示したものである。一般に見られる環礁ではサンゴ礁の幅は数百mから1km程度で、その上に形成されている州島の幅は広いところでも数百m程度である。また、州島の標高はせいぜい数m程度であることが多い。このような狭い地形では、降った雨はすぐに海岸に流出するか、地下に浸透するため、河川が形成されることはない。

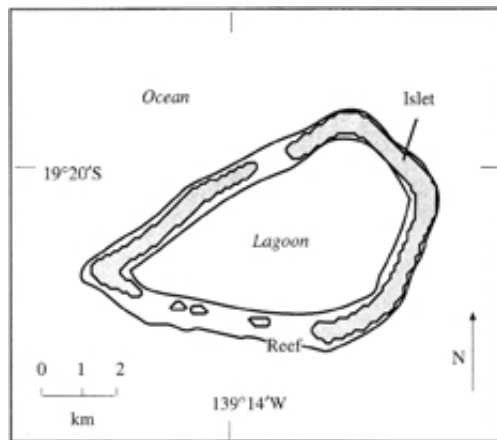


図1 環礁の例

（ツアモツの一環礁, Nunn 1999より）

規模の大きい火山島や大陸の海岸の底質（礫、砂、シルトなど海浜を構成する物質）は、河川の河口から流れ出た土砂や海崖の崩落によって生じた土砂が海岸に沿って運ばれ、海岸に供給されている。つまり、海岸の底質は陸域から供給されていることになる。しかし、環礁州島では河川や崖がないので、海岸の底質は陸域から供給されるのではなく、サンゴの破片や有孔虫の死骸などサンゴ礁で形成されたリーフから供給されている。

したがって、例えば日本の海岸の砂浜で海岸侵食問題を考える場合は、河口や崖からの土砂供給と沿岸漂砂の連続性が非常に重要となるが、環礁州島海岸での土砂収支を考察する場合は、サンゴの破片や、有孔虫による生物生産による底質の供給、波浪や流れによる沿岸漂砂による運搬、そしてリーフからの消失や州島の一部としての堆積が重要な要素となる。

3. 海面上昇・気候変動の影響

次に、波浪や流れによる沿岸漂砂が海面上昇によって受ける影響を考える。

サンゴ礁海岸は、一般に自然の防波堤を持った海岸といわれている。それは、リーフ

エッジで碎波することで外洋から入射する波のエネルギーが減衰し、リーフ上および海岸に入射する波は比較的穏やかになるからである。これは、一般の砂浜海岸と比較して、海岸の底質を移動させるエネルギーが小さくなっていることを意味する。そのため、サンゴ礁海岸は高波浪による侵食・堆積の影響を受けにくい、安定した海岸とされている。

しかし、海面上昇によってリーフ上の水位が上昇すると、入射波がリーフエッジで碎波しにくくなり、その結果、入射波のエネルギーが減衰することなく海岸に入射することになる。これは、底質が移動しやすくなり、沿岸漂砂による運搬が活発になることを意味する。また、リーフ上に比較的大きな波浪場が発生することになるので、リーフ上の底面流速が大きくなり、底質がリーフエッジを越えて流出する可能性が高くなることも考えられる。ここでは、海面上昇のみを考慮し、温暖化に伴う気候変動による波浪そのものの変化は考慮していない。入射波浪が変化するとその影響も評価する必要がある。

現状では、海面上昇によって有孔虫による生物生産が受ける影響を評価することは難しいので、それほど変化がないと仮定すると、海岸に入射する波浪エネルギーが大きくなることで、沿岸漂砂が大きくなり、土砂供給量（速度）が変化しなければ環礁州島全体にわたって土砂の運搬が活発となり、侵食・堆積傾向がより顕著になると考えられる。さらに、リーフエッジを越えて流出する底質の割合も増加することが危惧される。

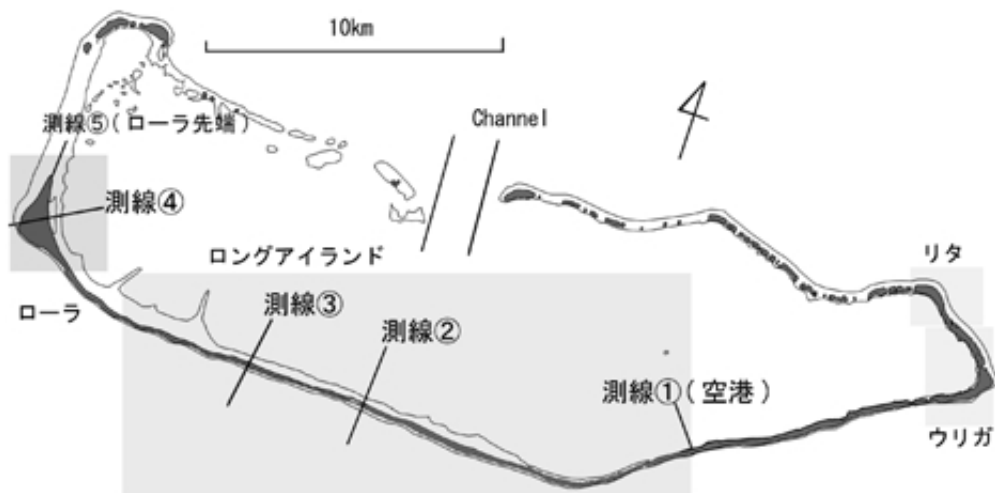


図2 マジュロ環礁

4. マジュロ環礁における現地調査

4.1 調査の概要

筆者は、気候変動・海面上昇に対する環礁州島での脆弱性評価と適応策の提案を目的とする、環境省地球環境研究総合推進費（課題番号 B-15、環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持に関する研究、2003～）のプロジェクトに属しており、2003年より環礁州島の調査を行う機会に恵まれた。このプロジェクトは、代表者の茅根創氏（東京大学理学系研究科、地理・地質）、山野博哉氏（国立環境研究所、地理、リモートセ

ンシング), 山口徹氏 (慶應義塾大学, 考古学), 近森正氏 (慶應義塾大学, 帝京平成大学, 文化人類学) と筆者 (横木裕宗, 海岸工学) という多様な分野の研究者からなっている。また筆者と協力して調査研究を行う研究協力者として, 桑原祐史氏 (茨城大学工学部, 空間情報工学) も加わっている。

現地調査では, 海岸の踏査とともに, 流速計を設置して流動場の定点観測を実施した。これらの調査に際してマーシャル諸島共和国政府の許可が必要であり, 許可の取得と調査に関するアドバイスを, 環境保護局の C. McCLENNEN 氏および T. A. ISHODA 氏 (当時, 現在は海洋資源局) から得ることができた。特に, McCLENNEN 氏には, マジュロ環礁における海岸保全計画についての情報も提供してもらえなど, 調査研究の成果の現地適用に向けて友好的な関係を築いている。

このプロジェクトでの現地調査は, 2003年と2005年にマーシャル諸島共和国のマジュロ環礁で, 2004年にツバルのフナフチ環礁で行った。本稿では2005年のマジュロの調査について紹介する。

現地調査の対象であるマーシャル諸島共和国の首都マジュロ環礁 (図2) は, 南太平洋 (北緯7度6分, 東経171度22分) に位置し, 伝統的な居住環境が保たれた地域があるものの, 比較的高度に都市化した環礁である。マーシャル諸島共和国の総人口約52,000人に対して, マジュロ環礁には約25,000人居住しており (1993年推計; DOUMENGE 1999), 近隣の島嶼国と比較しても, 都市人口が多いのが特徴である。

4.2 主な調査結果

マジュロ環礁の沿岸環境の概略を把握するために, 図2のリタ, ウリガ地区からロングアイランドを経てローラ地区にかけて踏査を行った。マジュロ環礁東部のウリガ・リタ地区は, 近代建築物と住宅・工場等が分布する都市域である。一方で, 環礁西部のロー



図3 マジュロ環礁の海岸風景 (a: ウリガ, リタ地区, b: ロングアイランド地区, c: ローラ地区)

ラ地区は, 2000年前に既に人類が居住していた痕跡が発見されている伝統的な居住域であり (YAMAGUCHI ほか 2005), 現在でも密度の高い樹林に覆われた地域となっている。しかし最近数十年では激しい海岸侵食に見舞われており (XUE 2001), 海面上昇の影響による将来の海岸侵食の加速が危惧されている。ウリガ・リタ地区とローラ地区の間にあるロングアイランド地区は, 細長い島 (州島) が連なっており, 細長い海岸が繋がっている。これら3地区の海岸の様子を図3に示す。図3より, ウリガ・リタ地区では, 海岸にゴミが投棄されもはや自然海岸とは言い難い状況である。それに比べてロングア

イランド、ローラ地区の海岸は自然の砂浜が豊富に残っている状況が分かる。

波浪や流れによる漂砂の場を推定するための基礎資料を得るために、いくつかの測線を設定して、海岸地形の断面測量を行った。断面地形の特徴としては、オーシャン側、ラグーン側ともに典型的なリーフ海岸であること以外に、オーシャン側は、汀線付近に砂礫があり、リーフはビーチロックとなっていた。一方ラグーン側は底質が砂の部分が比較的長く続き、リーフエッジに近づくともサンゴが見られた。一般的な環礁州島海岸では、ラグーン側よりオーシャン側の方が大きな波浪が来襲するので、リーフエッジ付近のサンゴの発達が顕著であるが、マジュロのロングアイランドの海岸では、以前調査したフナフチの海岸ほど顕著なサンゴの生息は見られなかった。これは、人間居住による水質変化の影響も考えられる。

図2で示した測線のラグーン側海岸において、リーフ上の適当な位置に電磁流速計を設置し流動場の定点観測を行った。流動場の特性を把握するために、観測された流速の時系列データから、波浪による往復流成分と、潮流による平均流成分とに分離した。その結果の一例を図4、5に示す。

図4は、ロングアイランド地区の測線 No. 3 のラグーン側海岸での観測結果である。この図からわかるように、ロングアイランド沿いの海岸では、平均流向が周期的に変動しており、これは潮汐流に対応している。また、軌道流速の流向はほぼ一定となっており、入射波の波向きが一定であったことを示している。平均流速と軌道流速ではほぼ同じ大きさとなっており、この海岸では波浪による流れと平均流（潮汐流）の大きさがほぼ同じであると言える。

一方、図5はローラ地区の先端付近の測線 No. 5 における観測結果であるが、潮汐に応じて平均流向が明確に反転していることが分かる。また、流速の大きさも、外洋側からラグーン側へ流入する流速が、流出する流速より大きくなっていることが分かる。軌道流速やその流向があまり変化していないことを考慮すると、ローラ先端では潮汐による流れが支配的になっていると考えられる。

以上の流速観測結果の考察から、ロングアイランド沿いの海岸では波浪による流れと潮汐流が拮抗しているのに対して、ローラ先端では明らかに潮汐流が支配的となっており、このことは土砂収支を含めた海岸管理を考える上で重要な視点となりうる。

5. まとめ

本稿では、環礁州島の海岸が、海面上昇・気候変動に対してどのような影響を受ける可能性があるかを検討し、特に波浪場の変化とそれに伴う土砂収支の変化、ひいては環礁州島の地形維持機構へ及ぼす変化に着目して考察した。また、筆者が所属する研究プロジェクトで実施されたマジュロ環礁における現地調査および調査結果の概要について述べた。

土砂収支という海岸工学的な視点に限っても、将来受ける影響を定量的に評価するにはまだまだ知見が足りない状況である。今後も現地調査を中心として、さらに室内実験や数値モデルによる開発も援用して、環礁州島の温暖化、海面上昇によって受ける影響を予測し、さらに効果的な適応策を検討していきたい。

謝辞：本報告で述べた現地調査は環境省地球環境研究総合推進費（課題番号 B-15、代

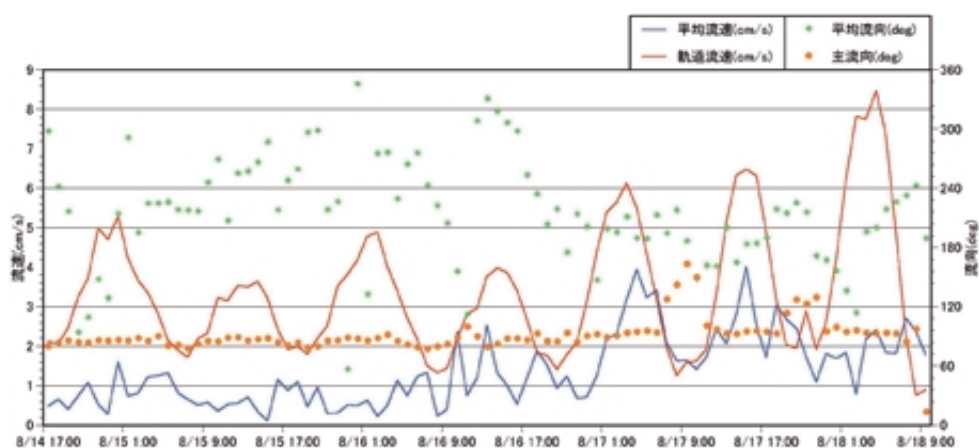


図4 測線 No. 3 における流速観測結果

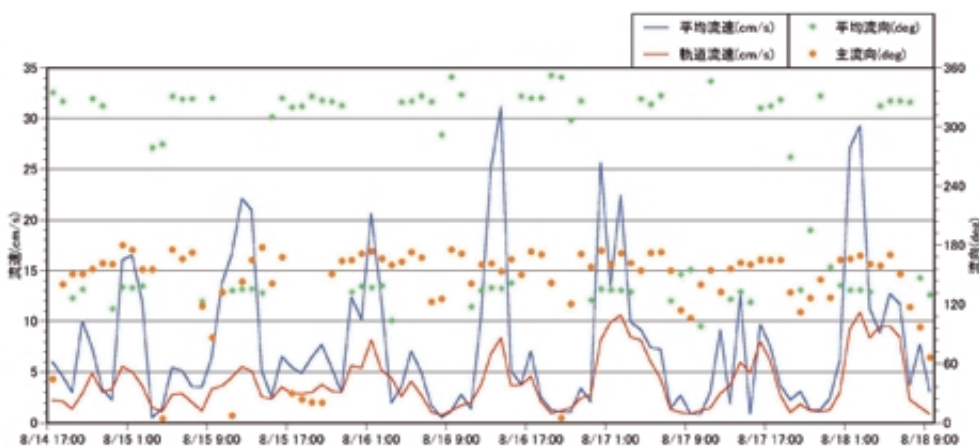


図5 測線 No. 5 における流速観測結果

表者：茅根創(東京大学助教授)の援助をうけて実施されたものである。また報告の内容には、現地調査の際に研究メンバーの間で交わされた様々な情報や意見交換の結果が反映されている。研究代表者の茅根創氏をはじめ、研究参画者の山野博哉氏、山口徹氏、近森正氏、研究協力者の桑原祐史氏に深甚な謝意を表します。

参考文献

- 原沢英夫・西岡秀三編 2003. 地球温暖化と日本 自然・人への影響予測第3次報告，古今書院，411p.
- 横木裕宗・佐藤大作・山野博哉・島崎彦人・安藤創也・南陽介・高木洋・茅根創・Albon ISHODA 2004. 環礁州島における地形維持機構とラグーン内波浪場の関係に関する現地調査，海岸工学論文集，第51巻，土木学会，1381-1385.
- 横木裕宗・桑原祐史・林利一・佐藤孝一・三村信男 2006. Majuro 環礁における持続可能な国土利用に向けての現地調査，第14回地球環境シンポジウム講演論文集，

pp.241-246.

- DOUMENGE, J-P. 1999. Urbanization, In Rapaport, M. ed.: The Pacific Islands: Environment and Society, The Bess Press, Inc., 315-325.
- IPCC 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Cambridge University Press, 1032p.
- NUNN, P. D. 1999. Geomorphology, In Rapaport, M. ed.: The Pacific Islands: Environment and Society, The Bess Press, Inc., 43-55.
- XUE, C. 2001. Coastal erosion and management of Majuro atoll, Marshall Islands, Journal of Coastal Research, 17, 4, 909-918.
- YAMAGUCHI, T., H. KAYANNE, H. YAMANO, Y. NAJIMA, M. CHIKAMORI, and H. YOKOKI 2005. Excavation of pit-agriculture landscape on Majuro atoll, Marshall Islands, and its implicaitons, Global Environmental Research, 9 (1), 27-36.
- YOKOKI, H., H. YAMANO, H. KAYANNE, D. SATO, Y. MINAMI, S. ANDO, H. SHIMAZAKI, T. YAMAGUCHI, M. CHIKAMORI, A. ISHODA, and H. TAKAGI 2005. Comparison between longshore sediment transport due to waves and long-term shoreline change in Majuro atoll, Marshall Islands, Global Environmental Research, vol.9, no.1, 21-26.

地球温暖化問題に関する国際交渉

－ 適応策を中心として －

久保田 泉

国立環境研究所社会環境システム研究領域

Adaptation Policy in a Post-2012 Climate Regime

KUBOTA Izumi

Social and Environmental Systems Division,

National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan

e-mail: izumi@nies.go.jp

Abstract

The Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) at its 11th session and the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol at its first session (2005), at Montreal, signified a successful start into a new era of international climate policy.

Much literature has been published offering proposals on what should be done with a post-2012 regime. Most of them mention the importance of enhancing adaptation policy. Adaptation as a strategy to cope with impact of climate change is increasingly the focus of policy action at each level. Developing countries, including Small Islands Developing States, urge to amplify the adaptation policy in the UNFCCC framework. It has been indicated the needs for an international mechanism for assisting the Parties to adapt to climate change at local level suitable to their sustainable development strategy.

This article summarizes concepts of adaptation and adaptive capacity in the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, introduces treatments of adaptation in the UNFCCC and the Kyoto protocol, and shows proposals on adaptation policy options in the future regime. Finally it presents the points at issue on adaptation policy for discussing post-2012 framework.

1. はじめに

気候変動対処のための国際枠組みは、2005年末にモントリオールにて開催された、気候変動枠組条約（以下、条約）第11回締約国会議（COP11）及び京都議定書（以下、議定書）第1回締約国会合（COP/MOP1）を経て、次なる段階を目指すこととなった。

これまで、国際社会における気候変動対策は、緩和（温室効果ガスの排出削減と吸収

源の増強)策を中心に考えられてきたが、近年、もう一つの気候変動対策、すなわち、温暖化しつつある気候に対して自然・社会システムを調節して対応する適応策の重要性に対する認識が急速に高まりつつある。その理由の一つには、排出削減努力を最大限行っても、なんらかの影響の発現は免れ得ず、特にその影響は適応能力の小さい途上国で早い時期に顕在化することが研究により示され、途上国の適応能力を向上させるための取り組みが緊急課題であることが多くの政策決定者に理解されるようになってきたことが挙げられる。さらに、適応策は、京都議定書第1約束期間後の国際枠組み（以下、将来枠組み）への途上国（とりわけ大規模排出国）の参加を求めるという政治的要因とも結び付けられ、ますますその重要性を高めてきている（松本 2005）。京都議定書第1約束期間後、国際社会がいかにして気候変動に立ち向かうかという問題については、既に多くの研究成果が公表されている。それらのうちの多くが、将来枠組みにおいて、適応策を拡充していくことが必要であることを指摘しているものの、具体的に適応策に関する制度設計を提示した研究は少なく、また、緩和策に比べると、提案されている政策オプションも少ない。

本稿は、将来枠組みにおける適応策を検討するにあたっての課題を同定することを目的とする。まず、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第3次評価報告書における、気候変動への適応、適応能力の概念整理を示す。次に、気候変動国際レベルの適応策に関する現行制度を概観し、その問題点を明らかにする。そして、適応策に関する将来枠組み提案につき検討する。最後に、今後の課題について述べる。

2. 気候変動への適応、適応能力の概念整理

適応とは、IPCCによれば、「既に発現しているもしくは予期される気候及びその影響に対してとられる、生態学的、社会的、経済的システムの調整」と定義される（IPCC 2001）。すなわち、生物・個人・集団等が、その生物反応、行動様式、制度、設備等を変更することにより、気候変化に起因する悪影響を軽減したり、さらには気候変化をうまく利用して好影響を増幅させたりすることが適応である。適応には、気候変化による被害を直接的に軽減すべく施されるものと、将来の適応能力を高めることで間接的に気候変化被害の軽減に資するものの両方が含まれる。適応を実施する主体は、個人の場合もあれば国家や企業等の集団の場合もあるが、各主体によりとられる適応策は他の主体による適応策から独立したものではない。

適応能力とは、あるシステムがその性質や行動様式を変化させることにより、気候変化や変動性に対してよりうまく対処できるように調整を行う潜在能力である（IPCC 2001）。つまり、効果的な適応を計画・実施する能力であり、気候変化影響による有害な結果の頻度・程度を軽減すべく、増大するリスクやストレスに対して反応する能力である。

適応能力は、経済力、技術、情報・技能、インフラ、制度、衡平性などの構成因子の組み合わせにより得られるものであるが、適応が行われる状況や直面する災害の性質等により、各構成因子の相対的な重要性は異なる。また、各構成因子は、それぞれが独立・排他的なものではなく、相互に密接な関係を持っている。国際的な枠組みの中で、特に温暖化に対して脆弱な途上国への適応援助を行うことを検討する場合には、懸念される気候変化・気候変動性による悪影響を軽減するための適応が効率的・効果的に実施でき

るように、適応能力を低めている原因を見定め、それを改善・補強するための援助を行うことが重要となる（高橋・久保田 2005）。

3. 適応関連制度の現状と課題

3.1 気候変動枠組条約及び京都議定書における適応関連規定

条約及び議定書においては適応に関する規定も置かれている（表 1 参照）。その問題点としては、いかなる措置／行動をもって気候変動の影響への「適応」とするかが曖昧なまま、「適応」という語が断片的に登場していることや（YAMIN and DEPLEDGE 2003）、適応につき、締約国がとるべき措置の具体性に欠ける点や、また条約も議定書も、締約国に対し、気候変動による悪影響に適応するため、とりうるあらゆる措置をとるという一般的義務を設定していないこと（VERHEYEN 2004）が指摘されている。

表 1 気候変動枠組条約及び京都議定書における適応関連の規定

	行為主体	内 容
気 候 変 動 枠 組 条 約	全締約国	・ 適応を容易にするための措置を含む、自国／地域の計画の作成・実施・公表・定期的更新（4条1項(b)）
		・ 適応のための準備についての協力（4条1項(e)）
		・ 自国の政策措置における考慮（4条1項(f)）
		・ 気候変動の悪影響または対策措置の実施による悪影響を受ける途上国への資金供与、保険、技術移転等についての十分な考慮（4条8項）
		・ 資金供与及び技術移転における LDC の個別のニーズ及び特別な事情についての十分な考慮（4条9項）
	附属書 国	・ 資金供与：途上国がインベントリ及び国別報告書の提出（12条1項）並びに条約4条1項の約束を履行するための費用負担の支援を目的とした新規かつ追加的な資金の供与（4条3項） ・ 気候変動の悪影響を特に受けやすい途上国の適応費用の支援（4条4項）
京 都 議 定 書	全締約国	・ 適応を容易にするための措置（適応技術及び国土に関する計画を改善するための方法等）を含む、自国／地域の計画の作成・実施・公表・定期的更新（10条(b)）。
	附属書 国	・ 悪影響（気候変動の悪影響、国際貿易への影響、並びに途上国への社会上・環境上・経済上の影響）を最小限にするような方法で政策措置（議定書2条）を実施するよう努力（2条3項） ・ 途上国に対する社会上・環境上・経済上の悪影響を最小限にするような方法で、排出削減約束を履行するよう努力（3条14項）
	COP/MOP	・ CDM の認証事業活動からの収益の一部が気候変動の悪影響を特に受けやすい途上国への適応費用の支援に用いられるよう確保（12条8項）

出典：高橋・久保田（2005）。

3.2 国際交渉における適応に関連する議論の進捗状況

国際交渉の場においても、適応策よりも緩和策の方が優先されてきたが、ここ数年、適応策の重要性に対する認識が急速に高まってきた。その背景としては、第1に、気候

変動の影響の発現が免れ得ず、それはとりわけ適応能力の小さい途上国で早い時期に顕在化することが研究により示され、途上国の適応能力を向上させるための取り組みが緊急課題であることが多くの政策決定者により理解されるようになってきたこと、第2に、将来枠組みにおいて途上国（とりわけ大規模排出途上国）の参加を求める観点から、先進国が適応策の拡充の必要性を認識するようになったことが挙げられる（高橋・久保田2005）。

国際交渉の分析から浮かび上がってきた課題は下記3点にまとめられる。

（1）適応策の策定に必要な情報交換・経験共有の促進

各国／地域の実情にあった適応策を練るためには、信頼性の高い影響評価及び脆弱性評価が必要だが、途上国には、それを実施するための知識・技能を有する人的資源が不足しており、適応技術を含む基礎情報の整備・集約・共有も遅れている。信頼性の高い影響評価及び脆弱性評価を実現するための能力構築が重要であり、先進国－途上国間の技術移転と途上国間の情報共有がさらに進められる必要がある。また、過去の気候関連災害に対する経験や、それを軽減するために取られてきた地域固有の比較的安価な対策が、将来の気候変化による影響被害を軽減するためにも有用であり、主として先進国において開発・実施される技術的対策と適切に組み合わせて利用していくことで、適応を効率的に実施していくことが求められている。

このような観点から、各国が影響・脆弱性・適応への理解を深め、評価を改善し、科学的及び社会経済学的知見に基づいた適応活動に関する意思決定を可能にすることを目指して、科学上・技術上の助言に関する補助機関（SBSTA）第22回会合（2005年5月、ボン）より、適応5か年作業計画の策定交渉が進められてきた。COP11（2005年11月-12

表2 SBSTA 適応5か年作業計画の構造

テーマ	サブテーマ
(a) 影響と脆弱性	(i) 影響及び脆弱性評価のための方法論及びツールの開発・普及の促進
	(ii) 観測データ、及び現在／過去の気候とその影響に関する関連情報の収集、管理、交換、アクセス、利用の改善、並びに、観測の改善の促進
	(iii) 気候変動予測に関する情報及びデータの開発、アクセス、利用の促進
	(iv) 気候変動、現在及び将来の気候変化、極端な気象現象の影響及びそれに対する脆弱性、並びに持続可能な開発への示唆についての理解の促進
	(v) 気候変動の社会経済的側面に関する情報の入手可能性の向上及び影響評価・脆弱性評価への社会経済的情報の統合
(b) 適応計画、措置・行動	(i) 適応計画・措置・活動の評価及び改善、並びに、持続可能な開発への統合に関する方法論及びツールの開発及び普及の促進
	(ii) 過去／現在の実践的な適応活動・措置に関する情報の収集、分析、普及（適応プロジェクト、短期及び長期の適応戦略、地方及び土地固有の知識）
	(iii) 適応オプションの研究、並びに、適応に関する技術、ノウハウ、実践の開発及び普及の促進
	(iv) 締約国、関連機関、企業、市民社会、政策決定者、その他のステークホルダー間のコミュニケーション及び協力の促進
	(v) 措置、方法論及びツールの理解、開発、普及の促進

出典：久保田・高橋・脇岡（2006、印刷中）。

月、モンテリオール)において、同作業計画の骨格部分が決議された(COP11決定2)。その概要を表2に示す。同作業計画によって、政策決定者が適応策を検討するためにいかなる情報を必要としているかを把握することができる(久保田・高橋・脇岡 2006)。なお、COP12(2006年11月、ナイロビ)において、同作業計画の前年2年分の具体的な作業内容について合意し、「影響・脆弱性・適応に関するナイロビ作業計画」と名称が変更された。

(2) 適応策のメインストーリーミング化

過去の気候関連災害に対する経験や、それを軽減するために取られてきた地域固有の比較的安価な対策が、将来の気候変化による影響被害を軽減するためにも有用であり、主として先進国において開発・実施される技術的対策と適切に組み合わせて利用していくことで、適応を効率的に実施していくことが求められている。そして、適応策は、たとえそれが効率的・効果的なものであったとしても、貧困削減、産業発展といった既存の上位開発政策との一貫性を有していない場合には、適切に実施されない。適応策を、開発政策と独立したものとして別個行うのではなく、開発政策の中に取り組み推し進めていく、いわゆる適応策のメインストーリーミング化の重要性が増してきている。

このメインストーリーミングの鍵となる概念として、多くの研究において「持続可能な発展」が挙げられている。「適応策と対応措置に関するブエノスアイレス作業計画」(COP10決定1)でも主要項目に盛り込まれているし、また、多くの文献もこの点を指摘している。たとえば、適応策を持続可能な発展イニシアチブに組み込むために既存のODAの評価の必要性を指摘するもの(KLEIN 2002)、地方レベルでの適応プロジェクト実施の際に国際環境条約の相互連関(インターリンケージ)を考慮する必要性を指摘するもの(ROJAS BLANCO 2004)、貧困削減を気候変動への脆弱性低減の一環として位置づけるもの(African Development Bank *et al.* 2003)、リスク管理アプローチを世界銀行の業務プロセスや、プロジェクト・サイクルに取り込む必要性を指摘したもの(BURTON and van AALST, 2004)等が挙げられる。

(3) 適応関連資金メカニズムの改善

COP1(1995年)において、COP1決定11が採択された。これは、適応策適応の研究を始め、研究実施の大まかなタイムテーブルを示すためのものであり、具体的には、適応を、ステージ：計画、ステージ：対策措置、ステージ：十分な適応を促進する対策措置、の3つのステージで行うものとし、地球環境ファシリティー(GEF)はこの指針に従って資金供与を行っている。その後、COP7(2001年)において、条約下に特別気候変動基金及び後発発展途上国基金が、議定書下に適応基金が新たに設置された。

現行の適応関連基金は、表2に示す通りである。適応基金の具体的な運用のしくみについては、議定書発効後から交渉が開始されたところである。資金メカニズムの運用に関して、途上国側から指摘される問題点としては、特別気候変動基金及び後発発展途上国(LDC)基金については、先進国の自主的拠出金に頼る制度となっており、またこれが少ないこと、GEFが管理している基金について、とりわけ小規模島嶼国にとってはGEFに要請される手続きが煩雑で、実際に資金供与を受けるまでに時間がかかること等が挙げられる(NURSE and MOORE 2006, 久保田・高橋・脇岡 2006)。

表3 適応関連基金

基金名	設立根拠	受益主体	資金源	適応 PJ の段階	“地球環境の便益”の扱い	主な COP 及び GEF ガイダンス
GEF 信託基金	条約	途上国	GEF	ステージ	・地球環境の便益を達成するための増分費用	COP1決定11, COP7決定5 GEF/C.23/Inf.8
GEF 適応に関する戦略的優先分野 (SPA)	条約	途上国	GEF	ステージ	・地球環境の便益を達成するための増分費用	COP7決定6 GEF/C.23/Inf.8
特別気候変動基金	条約	途上国	先進国の自主的拠出金	ステージ	・適応措置にかかる追加的費用・スライディングスケールの採用	COP7決定5, COP7決定7, COP9決定5, GEF/C.24/12, GEF/C.25/4/Rev.1
後発発展途上国基金	条約	後発発展途上国	先進国の自主的拠出金	ステージ	・適応措置にかかる追加的費用・スライディングスケールの採用	COP7決定5, COP7決定7, COP7決定27, COP7決定28, COP7決定29, COP9決定6,
適応基金	議定書	とりわけ脆弱な発展途上国 (適格性クライテリアは交渉中)	CDM の収益の一部, 先進国の自主的拠出金等	(交渉中)	(交渉中)	COP7決定5, COP7決定10, COP7決定17, COP/MOP1決定28

出典：Mace (2005) をもとに筆者作成。

4. 適応策に関する将来枠組み提案

気候変動への適応は、各国／地域レベルにおいて、影響や、それぞれの実情に合わせて実施されなければならない、国際枠組みにおいて、それを可能にするようなシステムを構築していく必要がある（久保田 2006）。

将来枠組み提案は既に数多く提示されているが、ほとんどが緩和策に関するものであり、適応策の扱いは、その拡充の必要性について言及される程度で、関連する具体的な施策オプションを盛り込んだものは少ない。その数少ない例としては、条約の下での防災基金の設立（気候変動による影響への対応と気象関連災害への国際救援活動の費用をカバーする）（MULLER 2002）、条約及び京都議定書下の適応関連基金（最後発発展途上国基金、特別気候変動基金、適応基金）を基盤としてとりわけ脆弱な国（島嶼国など）の適応を支援するもの（CAN 2003）、排出量取引による収益により、適応保険を設置し、適応と被害の補償への充当を提案するもの（JAEGER 2003）、気候変動の悪影響への責任に対し、先進国の汚染者負担原則に基づく支出を求め、さらに、官民のパートナーシップにより保険制度の構築を提案するもの（OTT *et al.* 2004）、汚染者負担原則に基づき世界における被害額に応じて排出国から費用を徴収し、各国の被害額

に応じて資金を配分するもの（大塚 2005）、気候変動の影響に対して最も脆弱な国々への資金供与（適応能力を高める間に被支援国が低排出発展経路をたどるための政策措置のための支援を含む）及び適応技術の移転を確保することを内容とする適応議定書を策定するもの（TORVANGER *et al.* 2005）、が挙げられる。

5. 今後の課題

将来枠組みにおける適応策については、どうすれば各国／地域がそれぞれの実情にあった適応策を練ることができるような能力を得られるよう国際枠組みの中で確保するか、また、適応策をいかに発展途上国の開発政策の中に取り組みで推し進めていくか、といった様々な課題が存在している。まずは、現行制度の問題点を把握し、それを改善する作業が必要である。たとえば、条約上の技術移転や能力構築といった制度は、現在のところ、抑制策を主眼としたものであり、適応策も視野に入れた場合、どのような改革が必要なのか（あるいは必要でないのか）を検討する必要がある（久保田 2006）。

関連研究者は、将来枠組みにおける適応関連の追加的な施策として、適応のための何らかの資金源が必要となることを認識し、主たる関心を「適応のための資金をいかにして確保し、それをどのように配分するか」に向けていることがわかる。国際交渉過程を見ても適応に関する議題では、適応措置に対する資金供与への途上国の大きな期待と、先進国のさらなる負担へのおそれとのギャップがとりわけ大きく、それが交渉を停滞させる要因のひとつになっていることに鑑みても、適応に関する費用負担とその配分の方方を具体的に検討することが必要である。

さらに、適応策は緩和策とのバランスでも論議されなければならない。上述の通り、緩和策を最大限行ったとしても、気候変動の影響の発現は免れ得ない。発現する影響を最小限にとどめるために、適応策にどこまで頼るべきか、緩和策・適応策のコスト比較、排出国と被害国の責任分担、また、緩和策が地球規模でとらえられる対応であるのに対し、適応策が地方レベル対応であることや、共にインフラ整備に時間がかかること、また、緩和策・適応策共に持続可能な社会形成に強く関連することなどを勘案し、国際枠組みの中に適応策を位置づける研究が必要となる（久保田 2006）。また、今後さらなる研究が求められる分野として、気候変動への適応の社会正義的側面が挙げられる（ADGERR *et al.* 2006）。

今後、具体的な適応策に関する将来枠組み提案（とりわけ、資金供与メカニズムに関するもの）を構築する作業を行うが、汚染者負担原則以外の法原則（応能負担原則、衡平性等）をどのように位置づけるか、現状の資金供与メカニズムとの整合性をどうはかるか、あるいは、汚染者負担原則を基盤とした資金供与メカニズムに統合するのか（現行の議定書下の適応基金は適応に関する具体的なプロジェクトに対する支援であるが、上述の汚染者負担原則をベースとした枠組みは、資金の拠出側も支援を受ける側も国家を基盤とすることになるが、どのように調整をはかるか）等の課題が存在している。

謝 辞

本稿は、平成18年度環境省地球環境研究総合推進費 H-064「気候変動に対処するための国際合意構築に関する研究」及び同 H-7「中長期的な地球温暖化防止の国際制度を規律する法原則に関する研究」の成果の一部である。

参考文献

- ADGER, W. N., PAAVOLA, J. and HUQ, S. 2006. Toward Justice in Adaptation to Climate Change,” in: Adger, W. N. PAAVOLA, J., HUQ, Saleemul and Mace M. J. (eds.), *Fairness in Adaptation to Climate Change*. MIT Press: Cambridge, Massachusetts.
- African Development Bank *et al.* 2003. *Poverty and Climate Change. Reducing the Vulnerability of the Poor through Adaptation*.
- BURTON, I. and van AALST, M. 2004. *Look Before You Leap: A Risk Management Approach for incorporating Climate Change Adaptation into World Bank Operations*.
- Climate Action Network (CAN) 2003. “A Viable Global Framework for Preventing Dangerous Climate Change”.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001, Impacts, adaptation and vulnerability*, Cambridge University Press: Cambridge.
- JAEGER, C. C. 2003. “Climate Change: Combining Mitigation and Adaptation,” in: Michel, David (ed.), *Climate Policy for the 21st Century: Meeting the Long-Term Challenge of Global Warming*, Washington, D.C., Center for Transatlantic Relations.
- KLEIN, R.J.T 2002. *Climate Change, Adaptive Capacity and Sustainable Development*.
- 久保田泉 2006. 気候変動への適応策. 『地球温暖化はどこまで解明されたか』(小池勲夫編), 202-209, 丸善, 東京.
- 久保田泉・高橋潔・脇岡靖明 (2006) 「政策決定支援のための適応研究に関する検討」環境情報科学論文集20号, 457-462.
- MACE, M. J. 2005. Funding for Adaptation to Climate Change: UNFCCC and GEF Developments since COP7. *Review of European Community and International Environmental Law*, 14 (3), 225-246.
- 松本泰子 2005. 高まる適応のニーズ. 『地球温暖化交渉の行方』(高村ゆかり, 亀山康子編), pp. 124-132, 大学図書, 東京.
- MÜLLER, B. 2002. An FCCC Impact Response Instrument as part of a Balanced Global Climate Change Regime. available at: <http://www.wolfson.ox.ac.uk/~mueller/OCP/iri.pdf>.
- NURSE, L. and MOORE, R. 2005. Adaptation to Global Climate Change: An Urgent Requirement for Small Island Developing States. *Review of European Community and International Environmental Law*, 14 (2), 100-107.
- 大塚直 2005. 「中長期的な地球温暖化防止の国際制度設計 - 日本の環境法における基本原則からのパースペクティブ」季刊環境研究138号128-133.
- OTT, H. *et. al.* 2004. “South-North Dialogue on Equity in the Greenhouse: A proposal for an adequate and equitable global climate agreement”, Eschborn.
- 高橋潔・久保田泉 2005. 「将来枠組みにおける適応策の位置づけ」季刊環境研究138号102-110.
- Torvanger *et. al.* 2005. *Broadening the Climate Regime: Design and Feasibility of Multi-stage Climate Agreements*, CICERO Report.
- 鶴田順・久保田泉 2005. 「国際法上の「汚染者負担原則」の法過程的分析」季刊環境研究138号134-142.
- YAMIN, F. and DEPLEDGE, J. 2003. *The International Climate Change Regime: A Guide to Rules, Institutions and Procedures*, Cambridge University Press: Cambridge.

- VERHEYEN, R. 2004. “The Legal Framework of Adaptation and Adaptive Capacity”, *in*: Klein, R.J.T., Huq, S. and Smith, J.B., *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, Imperial College Press: London.
- ROJAS BLANCO, A.V. 2004. *Comprehensive Environmental Projects: Linking Adaptation to Climate Change, Sustainable Land Use, Biodiversity Conservation and Water Management*.

Adapting to Climate Change in the Pacific Islands

Patrick D. NUNN

School of Geography, The University of the South Pacific, Suva, Fiji

Abstract

Much of the response to past climate change and future climate change in the Pacific Islands has been driven by outside bodies that have agendas which are international but not necessarily applicable locally. Much uncertainty in responding to climate change by Pacific Island decision-makers has also arisen because of the international view of 'climate change' (or global warming) as a problem that is isolated from others. In the Pacific Islands, issues of environmental sustainability are intermeshed with those of climate change.

Much of the international assistance given to the Pacific Islands has been focused inappropriately, particularly on developing legislation to ensure environmental sustainability. In reality, national legislation, particularly when it involves resource issues, is frequently ignored in the Pacific Islands. In the future, more realistic assistance needs to be given to Pacific Island nations to help combat the challenges of climate change.

1. Introduction

A range of challenges from future climate change are faced by the Pacific Islands and their inhabitants. How successfully they cope with these challenges depends on a number of factors, including

- how well informed decision-makers in the Pacific Islands are,
- how able these people are to both develop and apply appropriate solutions, and
- whether or not there is the will, at both national level (among politicians) and at community level (among community leaders), to respond appropriately.

There is abundant evidence to suggest that the present approaches to climate-change adaptation in the Pacific Islands - many sponsored by the international community (including bilateral aid from Japan) - are not successful in

- either adapting (in either physical or human terms) to short-term climate (and related) changes,
- or adequately preparing for future (longer-term) changes (ensuring environmental and societal sustainability).

This view is based on the author's 20 years of involvement in climate change issues in the Pacific Islands, his interactions with key decision-makers at both national (government) level and at community (traditional, religious) level, and his understanding of the likely future effects of climate change (and sea-level rise) on the Pacific Islands and their inhabitants. There is great cause for concern that not enough is presently understood or presently being done in the Pacific Islands to ensure that they can continue to sustain their inhabitants in the future. The lack of a long-term vision, and the emphases on short-term profit-making, is part of the wider 'development' debate. Yet such views in the Pacific Islands are particularly worrying because their environments and societies are comparatively vulnerable compared to other parts of the 'developing world' where such views are also prevalent.

This paper outlines the nature of future climate change and its likely effects in the Pacific Islands. It then goes on to look at the nature of the responses of Pacific Island governments, community-level decision-makers, and the international community to the worsening situation in the region. It concludes that many efforts at improving adaptation to climate change are misguided in the Pacific Islands and, should they continue, there will be no significant improvement in most places. This paper ends by suggesting ways in which the situation could be improved, so that the environments and societies of the Pacific Islands endure.

2. Nature of future climate change

Future climate change will affect Pacific Island nations in myriad ways, some of which can be predicted with certainty, others of which are less certain (HAY *et al.* 2003). The key factors to be considered are temperature rise and sea-level rise, although a host of other climatic factors (such as precipitation, tropical cyclones) will contribute to environmental stress although these are less easily predictable (NUNN and MIMURA 1997, 2006).

The most recent estimates of future temperature from the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) involve a net rise of Earth-surface temperature of between 1.4 and 5.8 by the end of this century (for the period 1990-2100 - IPCC WGI, 2001). This compares to a rise of around 0.6 in the Pacific Islands for the past 100 years (NUNN 2001), and therefore represents an increase in the rate of temperature rise in the future of at least 2.3 times faster, perhaps more than 9 times faster. Recent work suggests that the temperature increase by the year 2100 will be even greater than that estimated by the IPCC (STAINFORTH *et al.* 2005).

The other important aspect of future climate change that is causing concern in the Pacific Islands is sea-level rise (Fig.1). Sea-level rise is a direct result of temperature rise, predictable with a high degree of accuracy for the rest of this century. The IPCC estimates that sea level will rise 9-88 cm by the year 2100 (relative to 1990 level), and there have recently been suggestions that sea level is rising faster than predicted within this scenario. The sea level in the Pacific has risen about 10-15 cm in the past 100 years (WYRTKI 1990, NUNN 2001 2004b) so its future rate (1990-2100) may be as much as 6 times faster.

More so than temperature rise, the effects of sea-level rise over the past few decades has been widely felt in the Pacific Islands (Fig.2). Most sandy coastlines have been eroded, even those that are reef-protected, and the mobilized sediment has been dumped in lagoons or on

reefs. The other major impact of recent sea-level rise has been the salinization of lowland groundwaters (NUNN and MIMURA 1997, 2006, MIMURA and NUNN 1998).

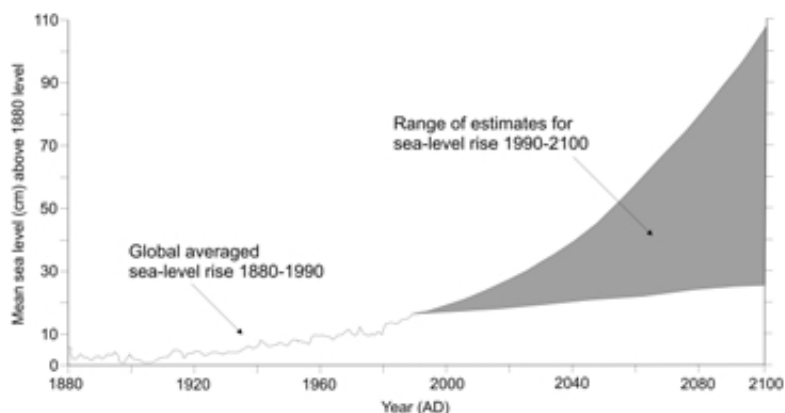


Figure 1. Sea-level changes, AD 1880 to AD 2100. Upper limit of estimates comes from the maximum sea-level rise under the A1F1 scenario of the IPCC WGI (2001). Lower limit comes from minimum sea-level rise under the B1 scenario.



Figure 2. The effect of sea-level rise along sandy shorelines is to cause their erosion. This example comes from Naigani Island in central Fiji, where fallen coconut trunks are evidence of shore-line erosion.

It is sometimes easy to focus on future challenges rather than on those that arise from present unsustainable people-nature interactions. Most Pacific Island archipelagic nations, especially in their central, more ‘developed’ parts, are experiencing environmental problems resulting from prolonged unsustainable people-nature interactions (BELLER *et al.* 1990, PELLING and UITTO 2001, NUNN 2003 2004a). These are principally a result of

- increasing 20th-century population densities (including temporary or visitor occupation) and
- changing and more complex demands on the environment for the purposes of food acquisition for both subsistence and cash and, more broadly, resource exploitation (such as mining, deforestation, and coastal 're-modelling' for infrastructure).

This 'human backdrop' to the challenges of future climate change is something that will, if not improved in the short term, make the goal of environmental sustainability far more difficult to achieve in the future. Put another way, the dilemma for environmental management currently facing the Pacific Islands can be divided into two parts.

- First, there are the present problems associated with unsustainable people-nature interactions. If there were no extraneous 'threats' to Pacific Island nations in the future, then the current trends of present unsustainable people-nature interactions should be enough to cause concern to Pacific leaders.
- Second, there are the challenges posed by future climate change. Even if present people-nature interactions in the Pacific Islands were sustainable, then it would be prudent for Pacific Island leaders to plan effectively for future changes across a range of natural systems.

One difficulty is the poverty of most Pacific Island nations, as measured by GDP, which limits the implementation of high-cost 'big-fix' approaches to present and future challenges, approaches that are deemed most appropriate and are practiced by richer nations. Another difficulty is that most Pacific Island leaders, because they are locked into a system of democracy and therefore re-election against often vigorous opposition every 4-5 years, are focused on short-term goals not the long-term future of people and nature in their constituencies (NUNN 2004a).

3. Likely effects of future climate change

An increase in temperature is already affecting the Pacific Islands, disrupting activities that have been sustaining humans for generations in the region. Among these activities are agriculture and fishing. Yet it is difficult to identify the contribution of climate change to the declining success of such activities because climate change has occurred at the same time as profound changes in people-nature interactions in the Pacific Islands. The spread of the cash economy has changed the way in which people interact with their environment, and led to the more common 'western' view of the environment as a limitless supplier rather than the earlier 'indigenous' view of the environment as provider with limits that needed occasionally to be 'conserved' (AKIMICHI 1986, KLEE 1980, McNEILL 1999, NUNN 2003 2004a).

Changes in precipitation in the Pacific Islands over the next 100 years or so remain uncertain. Too small to register in most GCM (Global Climate Model) simulations of future precipitation change, some predict that rainfall will increase but most that it will decrease and perhaps

become more seasonal (so that the dry season becomes drier, and the wet season wetter). Of particular concern, because of their often devastating effects on Pacific Islands and their inhabitants are the changing frequency and intensity of tropical cyclones (typhoons or hurricanes). In the last decade or so, tropical cyclones in the South Pacific have occurred increasingly outside the 'normal' season and have increasingly formed and penetrated outside the 'normal' areas. For example, Tropical Cyclone Ofa in 1990 was the first to hit Samoa in 35 years, but several have hit these islands since then. Islands in the Cook Islands and western French Polynesia have also experienced several tropical cyclones in the past 20 years - high unusual occurrences that are interpreted as tropical cyclones extending their geographical spread.

Both the increased seasonality and geographical spread of tropical cyclones in the South Pacific are likely to be a result of increased sea-surface temperatures. Tropical cyclones form only in places where the sea-surface temperature is greater than 26 °C. In addition, the frequency and intensity of tropical cyclones appears to have increased. The frequency of tropical cyclones in Fiji, for example, appears to have increased by as much as 3-4 times since the 1940s (NUNN 1994) while the intensity has demonstrably increased (EMANUEL 2005), both effects attributable to higher sea-surface temperatures in the tropical Pacific.

The fact that it is unclear whether or not tropical cyclone seasonality, range, frequency and intensity will continue to change in the future as they have in the past, reflects the poor understanding that we have of these processes and the climatic factors controlling their development. It does seem reasonable to suppose that changes represent a new tropical-cyclone regime, one arising from a warmer world, and that therefore this new regime will at least continue in the future.

Future sea-level rise will have a range of effects on Pacific Islands, perhaps even rendering some islands uninhabitable. While the challenges are severe, there are dangers in exaggerating the 'threat' from sea-level rise so that it is perceived - both popularly and by the international donor community - as 'the problem' confronting Pacific Island nations in the 21st century. The dangers are primarily

- that other climate-associated challenges will be ignored or sidelined, both by island governments and international aid donors, and
- that the issue of sea-level rise will be increasingly regarded as a 'problem' in isolation, capable of being 'solved' independently of the other issues to which in reality it is inextricably linked.

Effects on Pacific Island environments

Future increases in temperature will have profound effects on Pacific Island environments, particularly in the ways that they are able to sustain human life. It is likely that in the future, as temperatures rise this century, that they will cause changes to the vegetation of Pacific Islands. In particular, higher lands where a range of cooler-adapted crops are presently grown may experience higher temperatures with a result that such crops can no longer be grown successfully. In lower lands, it is rising sea level - and the associated salinization of groundwater - that may

have the greatest effects on agriculture (AALBERSBERG *et al.* 1993).

Temperature rise is likely to be a major cause of future coral death through the process of coral bleaching. The world's area of coral-reef is likely to become significantly less in the next few decades, as prolonged sea-surface temperatures higher than the 30 °C that corals can endure for only a short time become widespread in the tropics, particularly during El Niño events (HOEGH-GULDBERG 1999).

Future sea-level rise will see increased inundation (flooding) and salinization and an increased rate of erosion along many island coasts, rendering them less suitable for a range of human uses (SHERWOOD and HOWORTH 1996). Some islands, typically low-lying atoll *motu*, may be completely eroded and disappear, as have islands like Bikeman and Tebua in Kiribati in the past 30 years (HOWORTH 2000, MOORE 2002). It has been suggested that the structure of many atoll islands (*motu*) is such that, while current shoreline erosion may be slow, the rate of erosion will increase abruptly when sea level reaches the level at which the fossil-reef foundation of *motu* is overlain by unconsolidated sand and gravel (DICKINSON 1999).

Effects on Pacific Island societies

Little is known about the nature and effects of changing patterns of agriculture in the Pacific Islands resulting from temperature rise, but it is likely that people will have to change, perhaps reduce, the range of crops currently grown, for both subsistence and for export. Diets may change, and effective pre-planning is needed to minimize the impacts of temperature rise on agriculture.

The death of corals from coral bleaching will render the biotic productivity of many reefs much lower, and this will mean that far less edible marine foods will live on or around them. This in turn will have major consequences for most Pacific Island people who depend on reef- and lagoon-associated foods, often acquired from nearshore areas (without using boats).

Temperature rise in the Pacific Islands may see diseases spread by temperature-limited insects, for example, increase their spatial (geographical) range and their altitudinal range. For example, in Papua New Guinea, most highland dwellers live beyond the upper (altitudinal) limit of the malarial mosquito but this limit is likely to rise as temperatures rise, perhaps bringing significant numbers of people within the reach of this mosquito.

A fall in precipitation will render many vulnerable populations, particularly in already drier (leeward) parts of islands more so. Rain-fed agriculture will suffer, and it may be time to re-introduce traditional methods of food cropping involving raised gardens and irrigation. Although more labour-intensive than most modern agriculture in the Pacific Islands, many such traditional methods made more efficient use of available water and therefore made food supplies less vulnerable than they appear to be at present.

If the recent changes in tropical-cyclone regime noted above continue in the foreseeable future, then its effects will continue to impact Pacific Islands. This impact is particularly severe in upland (steep) areas where there is little alternative to agriculture on steep slopes. The effects on economic activities and infrastructure will likely continue to cause pauses in 'development' activities.

The human effects of sea-level rise on Pacific Island coastlines have been much discussed. Perhaps the most profound effect will be the displacement of coastal-dwelling people from locations that they and their ancestors have occupied for generations. It seems inevitable that 21st-century sea-level rise will see a massive re-organization of coastal populations with significant numbers of present lowland dwellers being required to move inland and upland. The loss of coastal lands will also impact many of the economic activities, from subsistence cropping to manufacturing, in such areas with probable serious consequences for those island governments that fail to respond adequately. Salinization of coastal and lowland groundwaters will also make it more difficult for humans to occupy such areas as sources of potable water (from wells) may be reduced.

4. Nature of the responses to climate change

As elsewhere in the world, it is convenient to divide the nature of the responses to climate change in the Pacific Islands into those responses concerned with mitigation and those concerned with adaptation. Understandably, most efforts at mitigation have been led by island governments and targeted at supporting international agreements to reduce emissions of greenhouse gases. The very small contribution of Pacific Island nations to global greenhouse-gas emissions has meant that in-country emissions reductions have not been pursued very vigorously.

This section focuses only on adaptation to climate change in the Pacific Islands, arguing that many of the efforts to help island nations to cope with climate change are ineffective because they ignore the nature and effectiveness of island decision-making. For example, much of the aid that has been directed towards Pacific Islands for the purpose of climate-change adaptation has been for ‘policy development’, the assumption being that policy in the form of legislation is the best way to ‘adapt’. In fact, very little environmental legislation in the Pacific Islands is effective, largely because it cannot be enforced.

International responses

The earliest phase of climate-change assistance to Pacific Island countries (1988-1998) focused on helping them understand the nature of their environmental and societal vulnerability. Many studies of the “what-if” kind were carried out; for example, “what if temperatures rise 3 in 100 years?” or “what if sea level rises 2 m in 80 years?”. Many such studies employed some of the earliest scenarios of future climate change that we now know to be much higher than the IPCC consensus. Examples of such studies include AALBERSBERG and HAY (1992) on Tuvalu, and NUNN *et al.* (1994) on Samoa.

Such studies were valuable because it allowed Pacific Island nations not only to understand the nature of their environmental and societal vulnerability but also to make inventories of their environmental resources and societal trends, and therefore to make predictions of future trends in these variables that could inform appropriate decision making. The clearest expression of such work were the ‘country reports’ produced by every Pacific Island nation as part of their obligations as signatories to the UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate

Change). The position of the Pacific Islands was summarized in DAHL and BAUMGART (1993).

The more recent (second) phase of climate-change assistance (1998-present) has come with increasing acceptance worldwide of scenarios of future climate change. In the Pacific Islands, it has focused on adaptation, specifically on “what can we do about this particular problem?”, be it shoreline erosion, coastal flooding, or coral-reef bleaching. Many aid donors have been more comfortable with funding adaptation strategies in Pacific Island nations, although unfortunately most of these efforts have been directed at informing and developing supposedly appropriate policy (a top-down approach) rather than enabling adaptation at community level (a bottom-up approach).

The problem in this approach is that it runs contrary to both the geography and the culture of Pacific Island nations.

Many Pacific nations are archipelagic - they have many islands. Travel between these islands is often difficult, so that there is no easy way to enforce environmental laws or to give advice to particular communities on environmental issues (see KUMAR paper in this volume for a discussion of the margins and the centre). In addition, most Pacific Island governments employ only a few people to develop and enforce environmental laws, far too few to effectively enforce these. Hence such laws are generally ineffective.

In the rural parts of the Pacific, most decisions affecting the environment are made by ‘persons of influence’ within a particular community, be they traditional (hereditary) leaders (chiefs), elected leaders, or religious leaders. Government attempts to enforce particular environmental legislation may be ignored, especially when

- there is no inducement for community leaders to follow the legislation, and
- where there are inducements for communities to ignore the legislation.

Cash inducements or chiefly directives to allow, for example, logging or mining of key ecosystems (forests or coral reefs) will usually overrule government legislation. In addition, many community leaders argue that such legislation simply does not apply to the land that they own.

In this context, it must also be mentioned that corruption surrounding the exploitation of natural resources is becoming as institutionalized in the Pacific Islands as it is in parts of Southeast Asia. Examples include the logging of parts of Solomon Islands, discussed by HVIDING and BAYLISS-SMITH (2000) and LOMO (2001).

Government responses

Most Pacific Island governments have been reluctant to commit their own funds to initiatives targeting adaptation to climate change. Most climate-change managers at government level, indeed often most staff of national environment agencies, are funded by ‘soft money’, commonly recurrent aid or project-associated aid. Governments justify such a situation by pointing to their short-term ‘development’ goals, most of which are linked to income generation. Activities like environmental conservation do not generate income, in fact in many situations they limit income-generating possibilities, so they are not funded directly.

Most Pacific Island governments have signed most international agreements associated with climate change mitigation and adaptation. This opens the door for external funding of various initiatives on which governments often come to depend for a whole range of non-income generating activities, including climate change mitigation and adaptation.

Projects intended to help Pacific Island nations adapt to climate change have also brought much-welcomed external funds into Pacific Island government coffers. As noted above, much project-based funding as well as much aid is directed towards policy development. This is something that is ineffective but not discouraged by island governments who benefit from it directly. Some project-based funding is directed towards adaptation, usually shown in a small number of key studies, based in a few supposedly representative parts of the country, usually in the easily-accessible centre rather than the margins. Such 'pilot studies' are intended to develop solutions that government can then implement across the country in comparable situations. But in reality, most pilot studies are never widely implemented because aid donors commonly regard this as something for governments to fund themselves, not using external funds.

The dilemma is that top-down government-sponsored initiatives about climate change are not working in Pacific Island nations. The onus is on the aid donors to understand that this is principally a result of geography and culture. Just because top-down legislation is effective in donor countries does not mean that it is (or that it can become) so in those countries that receive such aid. The process of effective decision-making about the environment in Pacific Island nations is not well understood, yet needs to be so if there is to be successful and widespread adaptation to future climate change.

Community-level responses

In the rural parts of the Pacific Islands, the effects of recent (20th century) climate change are being felt most severely. In particular, the effects of sea-level rise are being felt, typically as

- crops in lowland areas growing less well than they once did, because of the salinization of the groundwater,
- coastal flats being inundated (flooded) by rising sea level, often shown by coastal villages being squeezed into much smaller lowland areas than they were within living memory, and
- shorelines being eroded as a result of sea-level rise, with consequent loss of valued land (for agriculture, for dwellings) and mobilization of sediment in nearshore areas, some of which smothers once-productive coral reefs.

Many communities have responded to the most obvious and the most worrying of these problems - that of shoreline erosion - by building sea walls, in simple mimicry of those built around the few urbanized areas of the islands (Figure 3). In rural areas, as on Moturiki Island in Fiji (see KUMAR, this volume), most such seawalls are inappropriate solutions because they are vertical and impermeable, thus changing the shoreline dynamics. This has many

consequences, including



Figure 3. Most sea walls in the rural parts of the Pacific Islands are ineffective, and many are abandoned after repeatedly collapsing. This example comes from Yadua village, on the southwest coast of Viti Levu Island, the largest in the Fiji archipelago.

- the concentration of wave energy at the foot of the sea wall, often leading to its scouring and the scouring of the shore flat with the removal of nearshore habitats for shellfish and other organisms, and often the replacement of a sandy sea bed with a coarser (gravel) bed,
- the ponding of water on the landward side of the sea wall, and the associated undermining of the sea wall as water seeps slowly underneath it back into the sea, and
- the transference of wave energy to areas peripheral to the sea wall, accelerating their erosion.

For the first two reasons, most sea walls in the rural parts of the Pacific Islands collapse within 1-2 years of their first construction. Many are repaired over and over again, but often finally left in ruins.

This example underlines the point that most rural communities in the Pacific Islands are not receiving appropriate advice about how to cope with current environmental problems, let alone those that may arise from climate change in the future. Community leaders in the Pacific Islands need to be empowered appropriately to make decisions about their environments that are consonant with best practice in similar geographical situations and in the cultural context of the region.

5. Optimal future responses to climate change

The first challenge for Pacific Island nations is to improve the sustainability of present people-nature interactions. This is something that requires government direction and community participation. Many valuable such initiatives are already underway in the region, but these have yet to be extended to every community.

As to the future, it is likely that the flow of aid targeting climate change in Pacific Island

nations will become less,

- because donor nations will perceive the climate-change issue as having had sufficient support, and that it is time that Pacific Island nations took over its management,
- because these donor nations may be facing increasing problems of their own, requiring large-scale funding, associated with climate change, and
- because there may be other, more pressing, more short-term issues in the Pacific Islands that seem more deserving recipients of aid (such as high population densities).

It is unlikely in the author's view that Pacific Island governments, even harder pressed in the future to fund economic growth, will give much priority to climate-change issues. It is probable that communities will become ever more responsible for managing their own environments.

In the light of this probable future, and in the light of the nature of decision making in Pacific Islands (the ineffectiveness of top-down approaches, discussed above), it is clear that the optimal future responses to climate change in this region must be focused on empowering persons of influence in local communities to make appropriate decisions about their environments.

References

- AALBERSBERG, W. and HAY, J. 1992. Implications of climate change and sea-level rise for Tuvalu. SPREP (South Pacific Regional Environment Programme) Reports and Studies 54.
- AALBERSBERG, W., NUNN, P.D. and RAVUVU, A.D. (editors). 1993. Climate and Agriculture in the Pacific Islands: Future Perspectives. Suva: Institute of Pacific Studies, The University of the South Pacific, 80 pp.
- AKIMICHI, T. 1986. Conservation of the sea. In: ANDERSON, A. (editor). Traditional Fishing in the Pacific. Honolulu: Bishop Museum, pp. 15-34.
- BELLER, W., D'AYALA, P. and HEIN, P. (editors) 1990. Sustainable Development and Environmental Management of Small Islands. Paris: UNESCO and Parthenon Publishing Group.
- DAHL, A.L. and BAUMGART, I.L. 1993. The State of the Environment in the South Pacific UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 31.
- DICKINSON, W.R. 1999. Holocene sea-level record on Funafuti and potential impact of global warming on central Pacific atolls. *Quaternary Research*, 51: 124-132.
- EMANUEL, K.A. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436: 686-688.
- HAY, J.E., MIMURA, N., CAMPBELL, J., FIFITA, S., KOSHY, K., MCLEAN, R.F., NAKALEVU, T., NUNN, P. and DE WET, N. 2003. Climate Variability and Change and Sea-Level Rise in the Pacific Islands Region. Apia, Samoa: South Pacific Regional Environment Programme, 108 pp.
- HOEGH-GULDBERG, O. 1999. Coral bleaching, climate change and the future of the world's coral reefs. *Review of Marine and Freshwater Research*, 50: 839-866.
- HOWORTH, R. 2000. Waves and vanishing islands. *Islands Business*, June 2000, 48-49.

- HVIDING, E. and BAYLISS-SMITH, T.P. 2000. Islands of Rainforest: agroforestry, logging and eco-tourism in Solomon Islands. Aldershot: Ashgate.
- IPCC WGI. 2001. Climate Change 2001, Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press.
- KLEE, G. (editor). 1980. World Systems of Traditional Resource Management. London: Edward Arnold.
- LOMO, F.F. 2001. Commercial logging, subsistence livelihoods and rural development: a case study of Rufoki Village, Malaita Province, Solomon Islands. Unpublished MA thesis, Department of Geography, The University of the South Pacific.
- MCNEILL, J.R. 1999. Islands in the Rim: Ecology and History In and Around the Pacific, 1521-1996. In D.O. FLYNN, L. FROST, and A.J.H. LATHAM (editors). Pacific Centuries: Pacific and Pacific Rim History since the Sixteenth Century. London: Routledge, pp. 70-84.
- MIMURA, N. and NUNN, P.D. 1998. Trends of beach erosion and shoreline protection in rural Fiji. *Journal of Coastal Research*, 14: 37-46
- MOORE, C.A. 2002. Awash in a rising sea - how global warming is overwhelming the islands of the tropical Pacific. *International Wildlife*, January-February 2002: 1-5.
- NUNN, P.D. 1994. Oceanic Islands. Oxford: Blackwell.
- NUNN, P.D. 2001. Sea-level change in the Pacific. In: NOYE, J. and GRZECHNIK, M. (editors). Sea-Level Changes and their Effects. Singapore: World Scientific Publishing, pp. 1-23.
- NUNN, P.D. 2003. Nature-society interactions in the Pacific Islands. *Geografiska Annaler*, 85 B: 219-229.
- NUNN, P.D. 2004a. Through a mist on the ocean: human understanding of island environments. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 95: 311-325.
- NUNN, P.D. 2004b. Understanding and adapting to sea-level change. In: HARRIS, F. (editor). Global Environmental Issues. Chichester: Wiley, pp. 45-64.
- NUNN, P.D. and MIMURA, N. 1997. Vulnerability of South Pacific nations to sea-level rise and climate change. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 24: 133-151.
- NUNN, P.D. and MIMURA, N. 2006. Promoting sustainability on vulnerable island coasts: a case study of the smaller Pacific Islands. In: McFADDEN, L. (ed). Managing Coastal Vulnerability: An Integrated Approach. Amsterdam: Elsevier, 193-220.
- NUNN, P.D., RAVUVU, A.D., BALOGH, E., MIMURA, N. and YAMADA, K. 1994. Assessment of Coastal Vulnerability and Resilience to Sea-Level Rise and Climate Change. Case Study: Savai'i Island, Western Samoa. Phase 2: Development of Methodology. Apia, Western Samoa: South Pacific Regional Environment Programme, 109 pp.
- PELLING, M. and UITTO, J.I. 2001. Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. *Environmental Hazards*, 3: 49-62.
- SHERWOOD, A. and HOWORTH, R. (editors). 1996. Coasts of Pacific Islands. SOPAC Miscellaneous Report 222, 39 pp.
- STAINFORTH, D.A., AINA, T., CHRISTENSEN, C., COLLINS, M., FAULL, N., FRAME, D.J., KETTLEBOROUGH, J.A., KNIGHT, S., MARTIN, A., MURPHY, J.M., PIANI, C., SEXRON, D., SMITH, L.A., SPICER, R.A., THORPE, A.J. and ALLEN, M.R. 2005. Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature*, 433: 403-406.
- WYRTKI, K. 1990. Sea level rise: the facts and the future. *Pacific Science*, 44: 1-16.

Problems and Prospects for Islands at the Margins: a Case Study of Moturiki Island, Central Fiji

Roselyn KUMAR

Institute of Applied Sciences, The University of the South Pacific, Suva, Fiji

Abstract

Outsiders sometimes fail to appreciate the complex geography of the Pacific Islands region when trying to understand the problems associated with global warming and their potential solutions. For this reason this presentation looks at an island on the margins rather than in the centre of a large island group - the Fiji Islands.

Moturiki Island is home to some 800 people living in 10 villages, mostly engaged in subsistence farming and fishing. Increasing population has strained the resource base of the island, and making the population less resilient and more dependent on outside assistance. The physical fabric of the land of Moturiki is being slowly inundated by sea-level rise associated with global warming. Agriculture is being affected by rising temperatures. Decisions about adaptation - both current and proposed - are being driven from the community level and are often inappropriate.

In the foreseeable future it is likely that conditions on Moturiki will become far worse, with large areas of coastal lowland being flooded. Key uncertainties include future precipitation levels and changes in the frequency of typhoons (tropical cyclones). Moturiki is typical of hundreds of smaller, more marginal, inhabited Pacific Islands on which life may be more difficult to sustain in the future because of climate change.

1. Introduction

Many responses to the issue of climate change in the Pacific Islands assume that the region is homogenous. In other words, they assume that all parts of it are equally vulnerable to threats from climate change and that all parts are able to respond equally. This is not true.

The purpose of this paper is to show that there are considerable differences between what I call the “centre” and the “margins” of a country. These differences are normal in any country but are exaggerated in an archipelagic nation - like most of those in the Pacific Islands region. In many Pacific Island groups, the outer islands are more difficult to reach and less ‘developed’ than the larger more central islands. The situation is the same in Japan, with the centre of economic activity perhaps being concentrated on Tokyo-Osaka and the margins being Hokkaido and the Ryukyu Islands. Besides being the centre of economic development, such a centre is normally the place where new ideas develop first. In contrast, the margins are where new ideas take longest to reach, and where traditional ways of life are strongest.

I argue that it is important for anyone trying to help Pacific Island people adapt to climate change to understand the important cultural and geographical differences between the centre and

the margins of an archipelagic Pacific Island nation like Fiji. In Fiji (Fig.1), the centre comprises the area on the south side of the largest island (named Viti Levu) between the two largest cities, Suva and Lautoka. The rest of the country, which comprises 300 islands, 90 of which are inhabited, can be regarded as the margins. It is about one of the islands on the margins - Moturiki Island in central Fiji - that this paper focuses on.



Figure 1. Map of the Fiji Islands showing the centre and the margins, and the location of Moturiki Island.

Since 2000, I have visited Moturiki many times, to undertake research into both climate change issues and geoarchaeology. I am grateful to the people of the island, especially those of Nasauvuki and Uluibau villages, for their assistance and hospitality.

2. The geographical context: central Fiji and Moturiki Island

Moturiki Island is part of the central Fiji group, a group of smaller islands lying between Viti Levu (in the west), Vanua Levu (in the north), and the Lau Islands (in the east). The islands are mostly volcanic, being the eroded remains of volcanoes dating from the late Tertiary period about 5-10 million years ago. They form lines which are believed to show that they formed parallel to a former plate boundary (COULSON 1970).

The island of Moturiki is 10.7 square kilometres in area (Fig.2). It rises to about 133 m above sea level and is fault-bounded along its northeast coast. This coast faces Ovalau Island, which is the remains of the centre of the Lovoni Volcani. Moturiki is interpreted as a broken-off piece of the Lovoni Volcano. The general geology of Moturiki is of breccias and pyroclastic flows dipping southwestwards, away from the centre of the Lovoni Volcano. The geological structure of the island is the main control of its landscape.

There is a coastal plain around most of Moturiki, except in the extreme north, where the village of Savuna sits on a hill top. The coastal plain along the northeast coast is narrow and bounded by steep cliffs representing the fault scarp (Fig.3). Around the eastern part of the island



Figure 2. Map of Moturiki Island showing the main villages, the coastal lowlands (light shading), reefs and the offshore islands (including Yanuca).

(Naicabecabe to Daku) there is a coastal plain thought to have formed when sea level fell in the period 4000-1000 years ago (NUNN 2005). Along the other coasts of the island, the coastal plain is quite wide because the rocks beneath are dipping gently seawards. For the same reason, this coast has a broad mangrove fringe.



Figure 3. Photo of the cliffs behind Nasauvuki Village. There is no inland area to which the Nasauvuki community could easily move.

There is a coral reef fringing most of the Moturiki coast. This reef is widest (as much as 2.5 km) in the south of the island. This reef has attracted people to settle on Moturiki Island since the earliest period of human arrival in Fiji, about 3000 years ago (KUMAR *et al.* 2004).

Some 800 people live on Moturiki today, in ten villages (see Fig.2) including one on smaller nearby Yanuca Island, classified as part of Moturiki for administrative purposes.

With the exception of Savuna Village, all the villages on Moturiki (including Yanuca) are on low-lying flat areas along the islands' coasts. The reasons for this include

- ease of construction and maintenance (shelter) of dwelling houses,
- easy access to flat land for horticulture, and to the ocean for marine foods and other resources, and
- ease of access to other islands and communities.

These coastal flats formed only about 4000 years ago, when they were cut during the high sea level of the middle Holocene period. Holocene sea-level changes on Moturiki and nearby Ovalau Island have been studied in great detail by NUNN (2000a).

Since the middle Holocene, sea level has generally fallen around Moturiki, exposing ancient reef corals in the coastal flats. This sea-level fall created the coastal flats which became overlain with sediments - both from the sea and the land - and developed fertile well-drained soils. These are used widely by the present people of Moturiki for crop growing, especially taro, cassava, yams, and a range of green vegetables. Most of these crops are for on-island consumption.

Root-crop agriculture also dominates the farming in the islands' interiors, where the high-return export crop yaqona (or *kava* - *Piper methysticum*) is grown. Yaqona is the traditional drink of Fiji, and has become an important export crop. The other important use of the islands' interiors is for forestry, with many areas of what used to be grassland (known in Fiji as talasiga) having been planted with exotic pine (*Pinus caribea*) which can be harvested some 20-30 years after planting.

The landscape of Moturiki has changed considerably within the past two hundred years, especially along its coast. Before about AD 1800, as with most parts of the higher islands in the tropical Pacific (NUNN 2000b), most people on Moturiki lived in fortified upland settlements, alert to attack from neighbouring groups. The root of this conflict was competition for a pool of food resources that had been reduced during the AD 1300 Event. A good study of this in Fiji, in the Sigatoka Valley on Viti Levu Island, has just been published (KUMAR *et al.* 2006).

As conflict ended, particularly with the arrival of missionaries, so people moved from uplands to lowlands and the modern villages on Moturiki were established. The British colonial administration that took over in the late 19th century laid the foundations of the modern organization of rural Fiji society on islands like Moturiki. Besides requiring people to live along island coasts, many colonial medical officers also encouraged people to chop down the mangrove swamps that fringed these coasts. It was thought that these mangrove swamps were undesirable because they were the breeding grounds of disease-carrying insects, particularly mosquitoes. One result of mangrove clearance was the exposure of island coasts to marine erosion. Shoreline erosion around Moturiki can be attributed to mangrove clearance and 20th-century sea-level rise (NUNN 2000c).

Today, almost all exposed coasts on Moturiki are experiencing shoreline erosion. A view of the coast near Daku Village is shown in Figure 4. The response to shoreline erosion has been

generally to build sea walls, which has usually made the problems of coastal sustainability more severe rather than solving them.



Figure 4. Shoreline erosion just north of Daku Village is shown by the fallen and leaning coconut trees.

In the modern villages of Moturiki, there is a mixture of traditional (thatched) houses called *bures* and modern houses of bricks with roofs made from corrugated iron. In all villages, the grandest building is the church (Methodist). The church roof is normally an important catchment for rainwater, being directed into communal tanks. Many individual houses also capture rainwater in this manner. Yet almost all villages on Moturiki depend on well-water for drinking, washing and cooking. Some have cement-lined pools for bathing.

The modern population of Moturiki is dominated, as on many islands on the margins, by older people and their grandchildren. The young adults in particular often live elsewhere, where they can be in cash employment, and send money home to their families on the island. This situation is changeable, depending in particular on

- the wage employment available else (pull factors), particularly seasonal labour during sugar-cane harvesting, and
- the demand and price of cash crops, such as *yaqona*, which can be grown on Moturiki (push factors).

The modern population and age structure of Moturiki influences environmental practices. Many food gardens are overgrown because there is no-one to tend them, especially far away from the villages. Subsistence crops are dominated by cassava, an “easy” crop to grow compared to the more labour-intensive crops like yams and taro. And fishing practices, especially during holiday seasons when large numbers of people living “off the island” return home briefly, are often of the non-sustainable kind - using fish poison (*duva root*), for example.

3. The future of Moturiki

It is expected that this century, the temperatures in the tropical Pacific (and everywhere else

in the world) will increase by 1.4-5.8 (1990-2100), which will certainly influence subsistence dwellers throughout the region. Higher temperatures may restrict the types of crops able to be grown. Higher temperatures are also likely to cause coral bleaching, which will have dire consequences for the production of marine foods.

Sea level is also expected to rise 9-88 cm (1990-2100) which will see the problems associated with 20th-century sea-level rise get worse. Sea-level rise will cause flooding and shoreline erosion, perhaps forcing coastal villages to relocate inland. Sea-level rise will also cause salinization of lowland groundwater, causing problems for crop growing in lowland areas.

There will also be changes in the society of Moturiki - and many other islands on the margins in the Pacific. Population growth is currently quite fast, most families having 3-5 children. This will cause increased demands on the environment, although this may be offset by rural depopulation. There are concerns among the older people that such changes will lead to a loss of cultural identity.

This section discusses the future of Moturiki in more detail in three sectors. The first is agriculture, then water, and then coasts.

The future of agriculture on Moturiki

Most crops grown on Moturiki today are for subsistence, that is for on-island consumption. While many of these crops are grown close to the villages, some are grown inland, mostly because the complicated system of land ownership on Moturiki requires it. Many extended family groups (*mataqali*) own land that is a considerable distance from their homes. Other family groups have to lease land.

Some varieties of taro, particularly the swamp taro (known as *via*), are tolerant of saline groundwater and grow well even in lowland areas where groundwater is salty. But most subsistence crops are not, and large areas inland of some villages (like Naniubasaga, Uluibau and Wawa) have been cleared for such agriculture. This trend is likely to continue, as coastal lowland areas become less suited to growing crops. It is likely that areas increasingly higher up the valleys (where these exist) will be cropped, but this is not an easy option for some villages (like Naicabecabe, Nasauvuki and Navuti - see Fig.3) where there are no areas suitable inland.

Fortunately Moturiki is not too large, so that crops can be grown at considerable distances from villages and brought back daily for consumption in those villages. But the ease of subsistence agriculture in modern Moturiki is likely to disappear in the future.

The nature of the crops will also change, and the Fiji Government has been working on developing new strains of (salt-tolerant) crops that its people can grow in more saline groundwaters. Some of the taro so developed is being grown just south of Nasesara Village.

New cash crops have occasionally been introduced to Moturiki, but none have been very successful. The longest-term cash crop is coconuts, the copra from which is bought by the government's National Marketing Authority. But this is a labour-intensive and low-return crop, so not very popular, although many uninhabited coastal flats on Moturiki are covered with coconut forest.

Sea-based crops like beche-de-mer (sea slug) and seaweed have been farmed commercially

but the difficulties of sustaining the supply of these has reduced its commercial success. Trochus shells are occasionally collected and sold to the button factory in Suva.

Much of the future of Moturiki's agriculture depends on how rainfall will change in the future. If there is more rain, that will present problems for inland agriculture, much of which is on steep slopes. If there is less rain, as there probably will be, then water-management practices will have to be improved on Moturiki. The island is already sensitive to drought.

Future water supply and water management on Moturiki

Like many islands on the margins, most communities on Moturiki do not manage their water supplies in ways that are sustainable in the short term. Many roof catchment systems are falling apart or have been dismantled. Many pipes are leaking. Many rainwater tanks, particularly the communal ones, are likewise leaking or polluted. And, in response to this, many families who can afford it have purchased their own rainwater-collection tanks, thereby excluding themselves from the communal system.

The problem is the cost of installing and maintaining the rainwater-collection infrastructure. On islands like Moturiki that are on the margins, there is little cash. This is not a criticism. Normally there is little need for cash and, when that need arises, then the cash can be earned. But pipes and cement for rainwater tanks are costly, and most communities look to government for financial aid. The government's dilemma is that they do not have enough money for every village in need, so inevitably some villages are "left out" - usually the villages on the margins.

Water management needs to be improved on Moturiki in the future, whether rainfall becomes more or less. Reservoirs could be established, boreholes could be dug, but people also need to be more aware of the need to conserve the water they have, whether that water is used for agriculture or directly by people.

The future of Moturiki's coasts

The coasts of Moturiki are where most of its people live at present, and where most economic activity (agriculture) and infrastructure (villages, schools, nursing station) is located. As sea level rises, so life will become more difficult along low-lying coastal flats,

Many communities have responded to the problem of shoreline (coastal) erosion by building sea walls. This was done as community initiatives, with little professional input from government, and has generally been unsuccessful. The sea wall at Nasauvuki is a typical vertical impermeable sea wall (Fig.5), which sea water at high tide goes under and around, and often over. It has caused scouring of the area offshore for more than 200 m, reducing its ecological productivity. As seen in Figure 5, the house nearest the sea has raised its entrance to prevent flooding at high tide.

One of the most vulnerable villages is Naicabecabe (Fig.6) which, being the lowest-lying on Moturiki, is regularly flooded at high tide. Life in Naicabecabe become very difficult at such times, but the people own no land on Moturiki so cannot easily locate themselves.

One very important cultural site is at Naitabale in the south of Moturiki. It is one of the ear-

liest-known human settlements in Fiji, dating from more than 3000 years ago (KUMAR *et al.* 2004), and was the place from which a complete Lapita-era skeleton was recovered. The person in question died about 800 BC (KATAYAMA *et al.* 2003). This site is also threatened by sea-level rise. This emphasizes the point that sea-level rise threatens not only modern livelihoods, but also cultural heritage.



Figure 5. The sea wall at Nasauvuki.



Figure 6. The front of Naicabecabe Village, the lowest-lying village on Moturiki.

In the future, if sea level rises as the IPCC predict, it is likely that some villages on Moturiki (Naicabecabe, Navuti, Yanuca) will be abandoned. The question of where the affected people will move is unresolved. Other villages may be able to continue living in their present locations if appropriate coastal conservation is carried out. Such villages include Nasauvuki and Uluibau, where mangrove replanting along the shoreline needs to be carried out.

4. Barriers to problem solving, opportunities for problem solving

There are barriers to problem solving on Moturiki. The main one is that community leaders - traditional chiefs, village headmen (*turaga ni koro*), and religious leaders (*vakatawa*) - do not

have the appropriate information to make informed decisions about environmental management. They need to know about appropriate coastal protection (mangroves rather than sea walls), they need to know about water conservation, and about likely future climate changes, so that they can plan effectively for the future of Moturiki.

The other major barrier to problem solving is resources, particularly financial resources. Perhaps a combination of government assistance and local contributions could provide sufficient money to buy the basic materials for constructing better rainwater-collection infrastructure, for example, but it is not all about the money.

Many of the problems of present and future environmental management on Moturiki - and many other islands on the margins - could be solved by “appropriate empowerment” of community-level decision makers. By giving such people, the information they need to make informed decisions is to empower them to make such decisions. The hierarchical nature of many traditional Pacific Island societies - like that on Moturiki - is appropriate to such empowerment.

Other opportunities include income-generating activities, ranging from tourism to mariculture (seaweed farming), and the improvement of village-level infrastructure (electrification, for example) to encourage more young adults to stay on the island.

5. Conclusion: sustaining People-Nature Interactions on Moturiki

Present people-nature interactions on Moturiki are not sustainable. The first challenge is to make them sustainable. The second challenge is to prepare for future changes, resulting from 21st-century climate change. The solution lies in empowering the community leaders of Moturiki to make appropriate choices about the future management of the islands’ environment and its natural and cultural resources.

References

- COULSON, F.I.E. 1976. Geology of the Lomaiviti and Moala Island groups. Fiji Mineral Resources Department, Bulletin 2.
- KATAYAMA, K., NUNN, P.D., KUMAR, R., MATARARABA, S. and ODA, H. 2003. Reconstruction of a Lapita lady skeleton unearthed from the Moturiki Island, Fiji (Preliminary Report). *Anthropological Science*, 111: 404-405.
- KUMAR, R., NUNN, P.D., FIELD, J.E. and DE BIRAN, A. 2006. Human responses to climate change around AD 1300: a case study of the Sigatoka Valley, Viti Levu Island, Fiji. *Quaternary International*, in press.
- KUMAR, R., NUNN, P.D., KATAYAMA, K., ODA, H., MATARARABA, S. and OSBORNE, T. 2004. The earliest-known humans in Fiji and their pottery: the first dates from the 2002 excavations at Naitabale (Naturuku), Moturiki Island. *South Pacific Journal of Natural Science*, 22: 15-21.
- NUNN, P.D. 2000a. Significance of emerged Holocene corals around Ovalau and Moturiki islands, Fiji, southwest Pacific. *Marine Geology*, 163: 345-351.
- NUNN, P.D. 2000b. Environmental catastrophe in the Pacific Islands about AD 1300.

Geoarchaeology, 15: 715-740.

NUNN, P.D. 2000c. Coastal changes over the past two hundred years around Ovalau and Moturiki Islands, Fiji: implications for coastal-zone management. *Australian Geographer*, 31: 21-39.