

ツバル国フォンガファレ島における海岸災害 —全世帯を対象とした アンケート調査を主体として—

COASTAL DISASTERS OF FONGAFALE ISLET, TUVALU
—BASED ON A QUESTIONNAIRE SURVEY ON ALL HOUSEHOLDS—

山崎典和¹・川畑友里江²・泉正寿³・倉田隆喜⁴

Norikazu YAMAZAKI, Yurie KAWABATA,
Masatoshi IZUMI and Takayoshi KURATA

¹国際航業株式会社 国際協力事業部 (〒102-0085 東京都千代田区六番町2番地)

²修 (環境科学) 国際航業株式会社 国際協力事業部 (同上)

³正会員 博 (工) 国際航業株式会社 社会基盤事業部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

⁴博 (水産) 国際航業株式会社 国際協力事業部 (同上)

Fongafale Islet, the capital island of Tuvalu, has a history of damages caused by storm surges and inundation. In order to grasp the spatial distribution of coastal disasters and the degree of impacts, by using GIS, a questionnaire survey was conducted targeting all households on the Islet. Satellite image analysis, field surveys and literature research introduced that the coastal damages are mainly caused by low elevation of the islet as a whole, development of residential areas into proximity to ocean side and low-elevation areas due to severe population pressure in the Islet. There is a concern that coastal damages in Tuvalu could be worsen as results of future sea level rise and increase of extreme weather events caused by global warming. For planning of appropriate coastal protection measures, it is important to acknowledge what type of coastal disasters for which the locals require mitigation and, at the same time, what measures are recommended from the viewpoint of coastal engineering for the sake of a safer living environment for the islanders.

Key Words: Tuvalu, coastal disaster, storm surge, inundation, questionnaire survey, satellite image analysis, extreme weather events, global warming, sea level rise, GIS

1. はじめに

南太平洋の島嶼国であるツバルは、図-1に位置し、9つの主要な島から構成されている。本調査対象の

フォンガファレ島 (図-2) は、フナフチ環礁の中で最も大きな島であり、首都を有し国際空運・海運の拠点であり、国全体の約半数の人口が集中している。

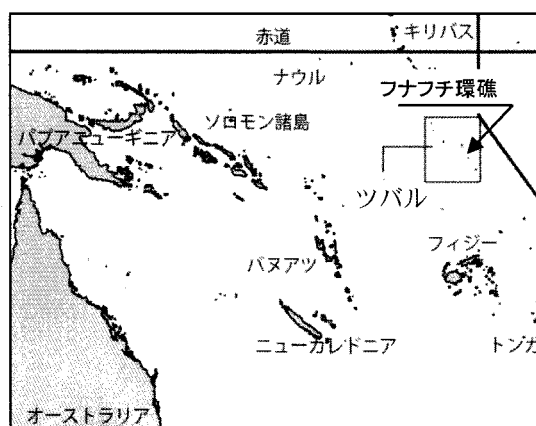


図-1 ツバル位置図

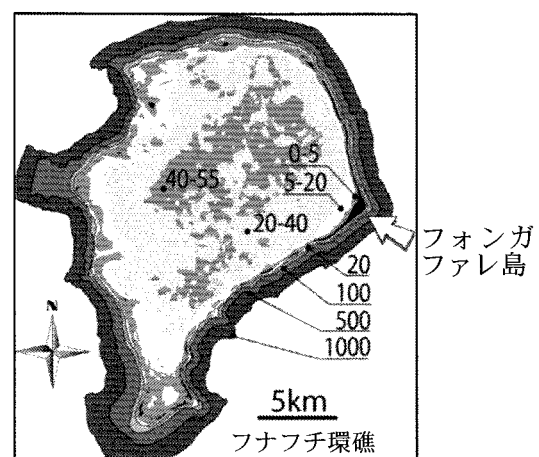


図-2 フォンガファレ島位置図

フォンガファレ島の人口は他の島からの移住や外国からの帰還者によって近年増加しており、1972年は820人であったが、現在は約4,000人¹⁾が、面積1.42km²の線形をした島に住んでいる。また、地盤高が平均潮位+1~3m程度と低いことが特徴である。島民は、太平洋戦争前には比較的安全なラグーン側の高標高部(平均潮位+2~3m程度)に住んでいたが、人口の増加により、現在は外洋側に面した地域や、米軍による埋立地(軍港跡地)及び土取場(掘削跡地)等の標高の低い地域等にも住むようになった²⁾。フォンガファレ島は南緯約8.5度と赤道に近いため、発達したハリケーンが来襲することは稀であるが、低平な地形のためハリケーンのみならず小規模の低気圧が近づいても島は越波や浸水被害を受けやすい。加えて地球温暖化による海面上昇や異常気象による海岸侵食や高潮災害が危惧されている³⁾。

このため、ツバル国政府の要請により独立行政法人国際協力機構(JICA)を通じて海岸防護に向けた短期的対策の検討を行うことになった。本調査研究は、フォンガファレ島全世帯(有効回答数586)を対象としたアンケート調査により海岸災害の分布、被害状況を把握し、現地踏査や既存文献等により島の地形特性と外力を分析し、海岸災害の種類、度合い、概略分布とそれらを生じさせている要因を推定することを目的とする。さらに、推定された要因に基づき、地球温暖化に伴う気候変動への適応策を見据えたツバル国における今後の海岸保全のあり方について考察する。

2. 対象地域の地形特性

フォンガファレ島中央部の断面と潮位関係を図-3に示す。この図はラグーン側Aと外洋側Bを東西に切った断面で、図-4にその位置を示す。最大天文潮位

(CDL+3.24m, 平均潮位+1.233m)は島の大部分より高く⁴⁾、2月~3月の高潮位時に島の低標高部は定期的に浸水する。このような浸水や今後発生する可能性のある高潮位時の高波浪に対して、現状では一部に約30cm角のブロックが積み上げられている程度で有効な対策がなされていないことから極めて脆弱な居住空間であるといえる。

陸上の地質は、主に未固結のサンゴの破砕屑であるため⁵⁾、透水性が高い。また、図-4(衛星写真判読、ただし、飛行場埋立範囲はSOPAC^{6) 7)})に飛行場埋立範囲として示す地区は、米軍が飛行場建設のため、サンゴ破砕屑で沼地等の感潮域を埋立てた地区である。このため、透水性は更に高く、潮位の高い時に海水が湧き出す孔が無数に存在する。埋立用の土砂は図中のBP(borrow pit)として示す掘削跡や戦前の砂浜範囲として示す海浜から採取していた。古老へのヒアリングによると採取前の砂浜には平均海面上1.5m程度の小規模な砂丘が連続していた。

島中央部の外洋側は、ハリケーンBebe(1972年)の来襲で複数の死亡者がでてからは、政府用地に区画されている。この区画に一般の住居は建てられな

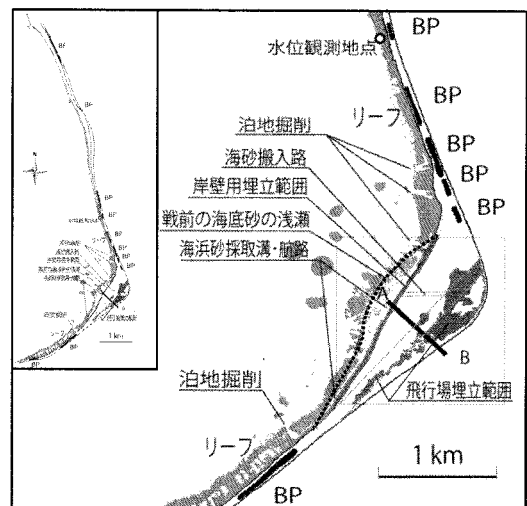


図-4 米軍による掘削と埋立位置

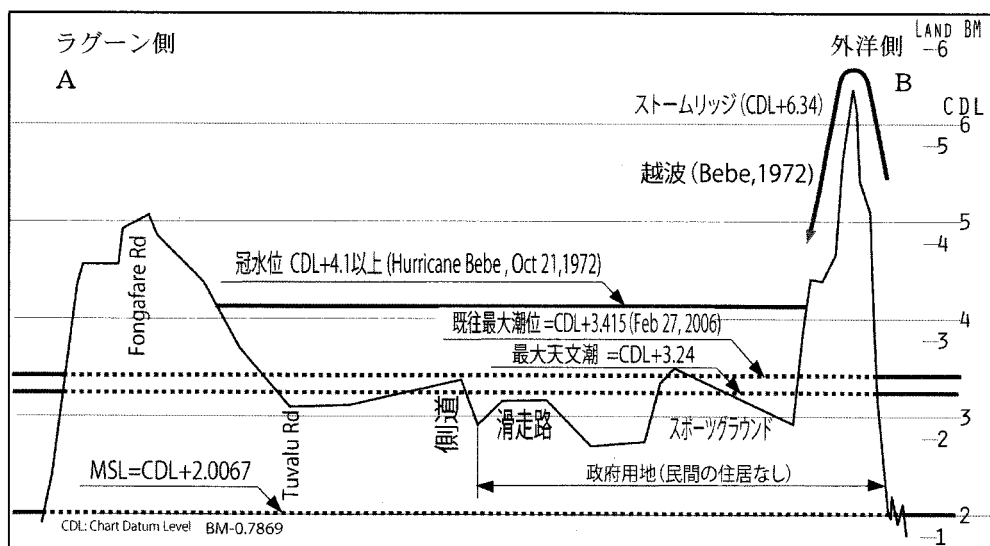


図-3 フォンガファレ島の断面地形と潮位関係図

いが、発電所、飛行場、気象局等の重要なインフラが建設されている。

3. アンケート調査

(1) 調査手法

海岸災害による被害状況を把握するため、島内の全世帯を対象としたアンケート調査を実施した。アンケート調査は、回収率を上げる目的と他の住民の意見に影響されないように、世帯ごとの戸別訪問による対面式の調査（一世帯一名）を行った。調査の際には、回答者の家屋の位置情報を簡易GPSにより取得し、GIS上で調査結果の分布を把握した。なお、教会、事務所、政府庁舎及び発電所等住居以外の建物の被害については、回答者が住居と職場を混同して重複回答する可能性があること、及び異常気象時には出勤しない可能性があり、被害の実態を把握していないと考えられること等を考慮して対象から除外した。アンケート調査の実施にあたっては、事前にフナフチ役場(Funafuti Kaupule)及び島の最高意思決定機関である長老会(Fale Kaupule)に対し、全世帯に対するアンケートの必要性と実施について説明し、了承を得た。また、円滑に調査を実施するため、全島民に向けて2日間、計8回、協力を呼びかけるラジオ放送を流し周知を図った。調査は3班編成で行った。各チームは、フナフチ役場職員または地元NGOのリーダー1名、位置情報の取得、アンケート用紙への位置番号の記録を行うGPS担当員1名、そして地元住民で構成する調査員を各班3～4名配置した。調査員は、住民にヒアリングし、アンケート用紙へ回答の記入を行った。調査初日には、アンケート調査団員に対し、調査実施要領の説明及びトレーニングを行った。2009年10月6日から4日間にわたって調査を実施し、有効回答数586件を得た。位置番号の重複や欠損、主要な解答欄が空欄であること等、無効としたものが約30件あるが、最新の国勢調査¹⁾によれば、フナフチにおける世帯数は639世帯であることから、島のほぼ全世帯から回答を得ることができた。

(2) 調査内容

本論文では、海岸災害を①浸水（高潮位および越波による）、②越波及び③侵食の3つの観点から整理した。住民が質問を理解しやすいようツバル語の質問票を作成し、できる限り集計が容易で、曖昧さを排除した情報となるよう回答を「選択式（択一または複数回答）」とした。調査内容は次の項目である。

- 1) 被害特性：浸水被害の内容と頻度、越波被害の内容と頻度、侵食被害の内容と時期、高波による避難経験の有無。
- 2) 回答者の属性：性別、年齢、現在位置における居住年数、出身島名、土地所有の有無、主な収入源。

また、海岸災害に対する自由回答欄を最後に設けた。

4. 海岸災害の実態把握と要因の推定

アンケートの調査結果に基づき、災害の有無及び地理的分布を明らかにするとともに、現地踏査及び既存文献等からそれらを生じさせている要因を推定した。図-5にアンケート調査地点を、図-6に災害ごとの被害実態（被害を受けた家屋の位置）を示す。

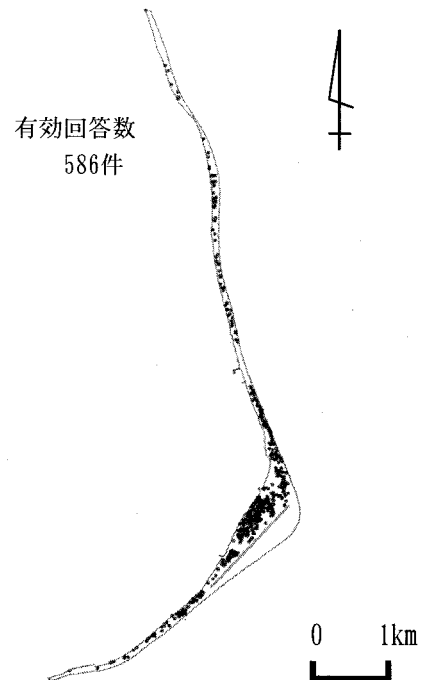


図-5 アンケート調査地点

(1) 浸水被害

a) 被害の実態

浸水の被害状況を図-6 (a) に、また、大潮時の湧水位置を図-6 (b) に示す。Yamano et.al.²⁾ やマスメディアを通じて島の内陸部では2月から3月の高潮位時に海水が地面から湧出し、毎年のように浸水することが指摘されていたが、島のほぼ全域で生じていることが本調査によって新たに確認された。

また、浸水の頻度に関する質問に対しては、床下浸水、床上浸水ともほぼ毎年発生しているという回答が最も多かった。

b) 要因の推定

フォンガファレ島は、太平洋戦争時に対日戦線の最前線基地として使われた。米軍は島内の一部を大規模に掘削し(図-4)、珊瑚の破砕屑を主とした盛土材によって低湿地等を埋立て⁶⁾、空軍飛行場及び付帯施設用地を造成した。これらの地域は標高が低く、透水性が極めて高く、多数の孔が開いた地質構造をしている。このため、内陸部における浸水は潮位に連動した海水の湧出によるものと推定された。

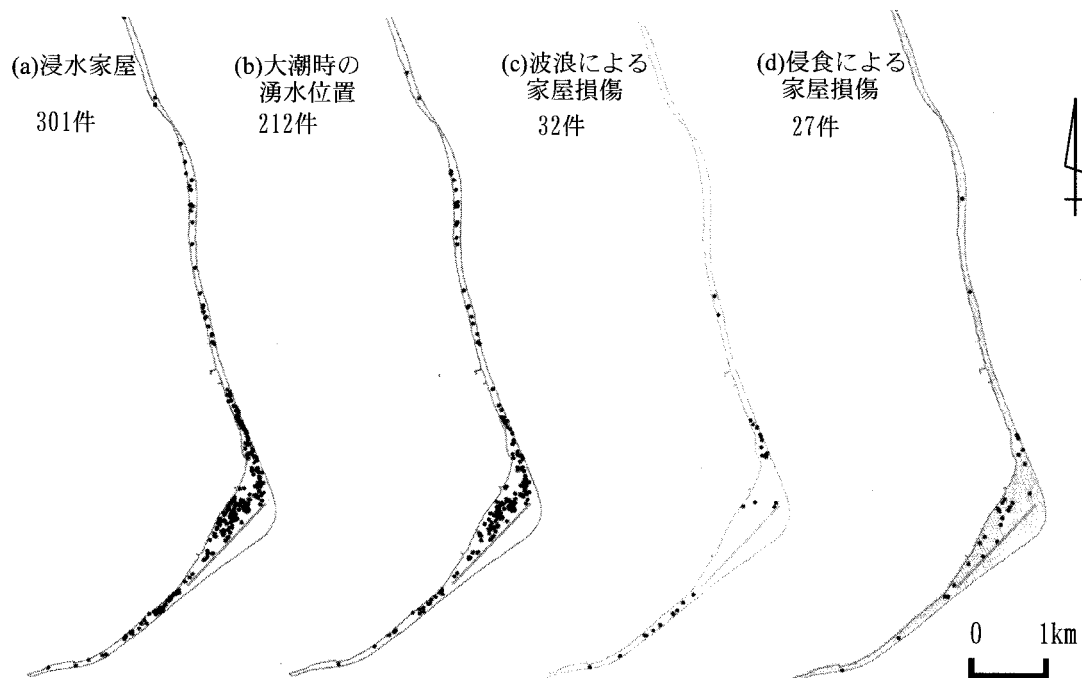


図-6 アンケート調査による被害状況

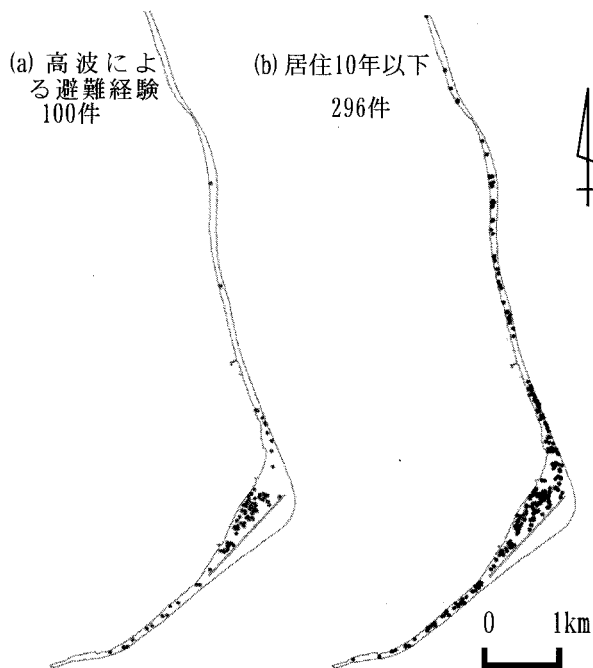


図-7 アンケート調査による避難経験者及び居住状況

図-7 (a) は、これまで高波により避難を経験したことのある世帯の分布を示している。図-6 (a) の浸水による被害を受けた世帯と比較すると、海岸沿いに位置する世帯の多くが高波によって浸水が生じたため避難していることが推定された。

なお、Tannatt⁸⁾によると、このような浸水被害は、昔から生じている現象であり、近年になって発生した新たな問題ではない。しかしながら、今後温暖化によりハリケーン等の規模が増大し、潮位偏差が大きくなるとより深刻な浸水被害が生じることが予想される。

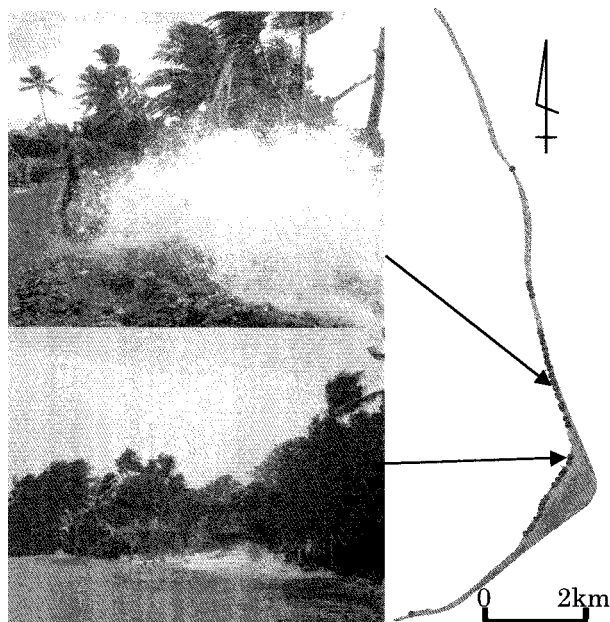
(2) 越波被害

a) 被害の実態

波浪による被害状況を図-6 (c) に示す。図-7 (a) との比較から、越波による被害を受けている地域は、ラグーン側及び外洋側の両方であることが分かった。

b) 要因の推定

中央部の外洋側は、図-3に示すように政府用地となっており、居住を制限しているため災害から免れている。一方、居住地が多く集中するラグーン側は、海岸から25～30m程度の埋立地付近の標高が平均水面+1.5～2mと低く、2月～3月の高潮時には小さな波高でも越波が生じやすくなっている。図-7 (b) は、現在位置における居住年数が10年以下の世帯の分布を示している。越波被害を受けている家屋は、図-7 (b) より、近年になって移住してきた住民が、居住に適さない低地や海岸沿いに居住しているため、より被害を受けやすくなっていることが現地調査により確認できた。さらに、海岸沿いでは、特に外洋側はストームリッジを削り建設資材に利用したり、植生を伐採したりしており、これが被害を更に大きくしている要因と考えられる。ラグーン側では、キングタイドと呼ばれる一年のうちでもっとも潮位が高くなる時期に、西風を受けると越波が生じる。2010年1月30日の越波状況を図-8に示す。海水とともにレキが打ちあがり、島の中心部と港を結ぶ幹線道路の通行や居住に障害を与えている。図-8には簡易GPSで明らかに越波が生じた地点を押さえ、その位置を整理した。この結果は、図-6 (a) の浸水被害と図-6 (c) の越波被害の実態を裏付ける結果となり、アンケート調査結果の妥当性が確認できた。



図中の○は越波発生地点
図-8 ラグーン側の越波状況調査結果

(3) 海岸侵食

a) 被害の実態

侵食による被害状況を図-6 (d) に示す。フォンガファレ島は、海岸沿いの家屋を除くと、家屋被害を生じさせるほどの海岸侵食は少ないことが分かった。

b) 要因の推定

航空写真及び衛星写真から、侵食が生じたのは、戦時中に米軍により作られた仮設岸壁（図-9）が腐食し土砂が流出した島中央部ラグーン側の埋立地であり、その他の地域では、海岸線位置に変化はほとんど見られない⁶⁾。また、個人が自己の敷地を広げるためにラグーン側に埋立てを行った部分が崩壊している地点が数箇所見受けられた。これは、海岸に前出した護岸が不安定な構造であったために崩壊したものであり、本来の海岸侵食とは異なるものである。一方、外洋側の海岸は前面に固結した珊瑚の干潟が分布し、汀線付近にはビーチロックが汀線方向に広範囲にわたり分布しているため、侵食に対しては堅固であり、衛星写真⁶⁾によればラグーン側と同様に汀線の変化は見られない。

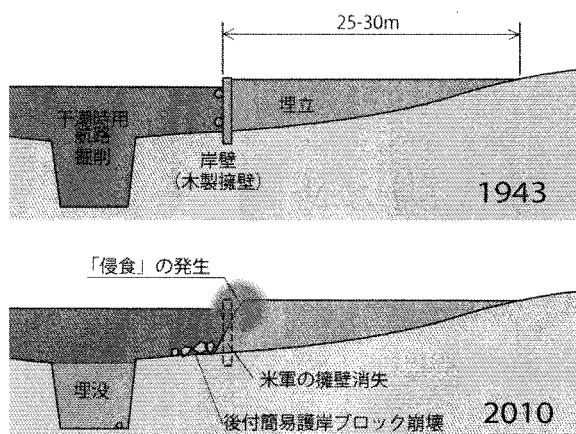


図-9 米軍による仮設岸壁

(4) 異常気象時の越波と浸水被害

a) 被害の実態

図-7 (a) は、高波による避難経験者の世帯分布を示している。避難経験者は内陸部に多いことがわかる。

b) 要因の推定

標高の高い内陸部に避難経験者が多い理由は、フォンガファレ島出身者が長年居住している区域であることから（図-7 (b) より）、1972年のハリケーン Bebe（最大風速36.1m/s、瞬間最大風速51.5m/s⁴⁾）来襲時の被災によるものと考えられる。Bebe来襲前は島中央部の外洋側の住居もあったが、ハリケーンの越波により住居は全て全壊、死者3名、当時の全島人口820名中、住居を失った人約700名、他に座礁船で2名死亡という大災害が発生した。この時は、ほぼ全島が水没するところまで浸水面が上昇し、外洋から島内に打ち込む越波が、ラグーン側近くまで及んだという (Pasefika⁹⁾)。このことから、当時の最高水位は、滑走路標高より約1m高い平均潮位+2m以上であったと推定される。当日の10月21日は10月の大潮に当たり、この時にBebeがフォンガファレ島を通過したため、潮位が更に上り、越波・浸水災害が生じたものと考えられる。波は午後3時ごろから、外洋側から打ち込み始め、午後11時頃の越流量が最も大きく、多くの家屋を押し流した。当日の昼前後の外洋側の水位はラグーン側と比較して明らかに高かったという証言がある (Pasefika⁹⁾)。珊瑚由来の小石や岩石が飛行場まで打ちあがり、沖合いには高さ3m、延長15～20kmにおよぶストームリッジが一夜のうちに出現したという（写真-1）。

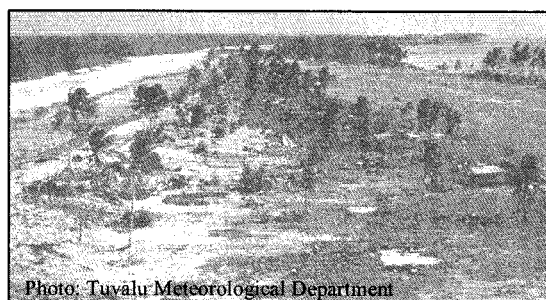


写真-1 ハリケーンBebe通過後の外洋側被災状況

5. 温暖化の海岸災害への影響

以上の結果より、浸水、越波といった海岸災害は島のほぼ全域で生じ、特に2～3月の高潮位時に被害が顕在化していることが確認された。この潮位変化が温暖化の影響によるものかどうか検討した。

1999～2008年のラグーン側（図-4）年平均水位の変化を図-10に示す。観測期間が10年と短い、この期間ではIPCC第4次評価報告書の海面水位上昇率が 3.1 ± 0.7 mm/年とする下限に近い年間約2.3mmの平均水位の上昇が観測された。2005年2月8日に高潮災害が発生しているが (Silafaga¹⁰⁾)、この時の観測潮位、

