

論文

# ツバル国フナフチ環礁における沿岸域土地被覆変化の解析

## Analysis of land use change in the coastal zone on Funafuti atoll, Tuvalu

桑原 祐史\*・横木 裕宗\*\*・佐藤 大作\*\*\*

山野 博哉\*\*\*\*・茅根 創\*\*\*\*\*

Yuji KUWAHARA, Hiromune YOKOKI, Daisaku SATO,

Hiroya YAMANO and Hajime KAYANNE

**要旨:** 地球温暖化に伴う海面上昇の影響により、南太平洋島嶼国に顕著に現れる現象の1つとして海岸侵食が危惧されている。島嶼部における沿岸域を対象とした適応策を策定して行く際には、海面上昇や高波浪の自然現象を分析してゆくことに加えて、生活空間の都市化に伴う人為的な影響に起因する土地利用変化や沿岸植生の減少を把握しておくことが重要となる。そこで、本研究では、南太平洋島嶼国の1つであるツバル国フナフチ環礁のうち、首都が所在するフォンガファレ島を対象として、地質調査図面・空中写真および衛星画像を使用し、約20年間(1984年~2004年)を対象とした沿岸部の土地利用変遷について考察を進めた。検討の結果、緑地が減少し、宅地化が進行していることが確認された。その方向性は州島中央部より端部へ向けて進んでおり、かつ、外洋側に比べてラグーン側に顕著であることが確認された。

**キーワード:** 環礁州島, ツバル, 衛星画像

### 1. はじめに

人間活動に伴い排出される温室効果ガスが原因となる地球温暖化現象は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)における調査結果によると、既に多くの地域・生態系にその影響を与えているとされる<sup>1)</sup>。2007年には、最新の報告書である第四次報告書第1作業部会報告書(自然科学的根拠)が公表され、海水面は100年後に最大59cm上昇するものと予測されている<sup>2) 3)</sup>。このような中、本研究では、低標高の国土より形成される南太平洋島嶼国ツバルにおける気候変動の影響に注目した。複数の環礁州島より形成されるツバルの最高標高は一般的に5m程度と言われており、この州

島における現状の居住環境を維持してゆくためには、波浪・流動等、自然外力に対する地形応答に加えて、州島に居住する人々の居住活動に伴う被覆の変化を分析し、人間活動を考慮に入れた適応策を策定してゆくことも重要となる。

以上の観点から、本研究では、適応策策定に先立つ事前情報作成の位置づけとして、ツバルの主要島群フナフチ環礁のうち、首都が位置するフォンガファレ島を研究対象領域とし、現地の土地被覆を確実に把握することができる空中写真(1984年)および衛星画像(2004年)を使用し、沿岸部を対象とした土地被覆変化を分析することにした。

\* 個人会員 茨城大学 工学部都市システム工学科, \*\* 個人会員 茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター

\*\*\* 学生会員 茨城大学 大学院情報・システム科学専攻, \*\*\*\* 非会員 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター

\*\*\*\*\* 非会員 東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

## 2. 研究の目的と対象領域

### (1) 研究の目的

本研究では、1984年から2004年までの20年間を対象としてフォンガファレ島の沿岸域を対象とした土地被覆変化の分析することを目的とし、以下の4点の解析を実施した。

- ①高空間分解能衛星画像（2004年）・空中写真（1984年）およびツバル政府調査のレポート（Island Report:1992年）<sup>4)</sup>・シドニー大学調査<sup>5)</sup>の各図面のデータに対して加工・編集処理を施し、分析に用いる地理情報を生成する。
- ②2004年度現地調査結果を整理し、GISエンジン上で検索することができるグランドトゥールースデータとして整理する。
- ③衛星画像より土地被覆及び緑被に関する分析を行い、各種調査データとの比較により被覆変化の概況を分析する。
- ④特に、沿岸植生に注目し、フォンガファレ島における増減および沿岸部後背地の土地利用との関係について考察を進める。

### (2) 研究対象領域の概要

フナフチ環礁とフォンガファレ島の概略を図1に示す。ツバル国は、南太平洋のエリス諸島にある島国であり、南緯5～10度、東経176～180度に位置し、南北560kmに9つの環礁が点在している。首都はフナフチ環礁に所在し、面積は25.9km<sup>2</sup>、人口は約4,000人である<sup>4)</sup>。このうち、政府機関と都市が集中するフォンガファレ島の人口密度は特に高い。周辺の島々から仕事を求めて人口が流入した事と、1979年頃に、ナウルでリン鉱山が閉鎖し、帰島人口が増加したことによる。

気候は、熱帯海洋性で年中高温多湿であり、東寄りの貿易風が吹く。平均海拔は約2m（最大5m）

と言われており、海面上昇の影響を顕著に受ける国の1つと想定されている。

## 3. 現地調査の実施とマッピング

### 3.1 現地調査

2004年8月12日～19日の8日間の日程で現地調査を実施した。現地調査は、①南太平洋応用地球科学委員会（以下、SOPACと示す）でのヒアリング、②現地政府での図面収集、③衛星画像の解析に用いるグランドトゥールース取得、以上の内容で実施した。

まず、SOPACではツバル調査の現状を知ることがを目的とし、1984年空中写真を借用するとともに、図書館においてツバルの沿岸域情報を取り扱った既存研究資料を収集した。これらを事前情報として、現地調査ではツバル国の測量および水産管理担当部署（Land Survey, Fishery）を訪問し、図面の収集と沿岸域の現地調査の許可を得た。結果として、1/50,000および1/5,000の環礁全域およびフォンガファレ島の地形図、環礁の代表的島々の土地利用図を入手した。また、フォンガファレ島沿岸域の伝統的な統治機構（政府設立前から存在する島毎の自治組織であり、土地利用の調整や規制等を行っている）であるIsland Councilを訪問し代

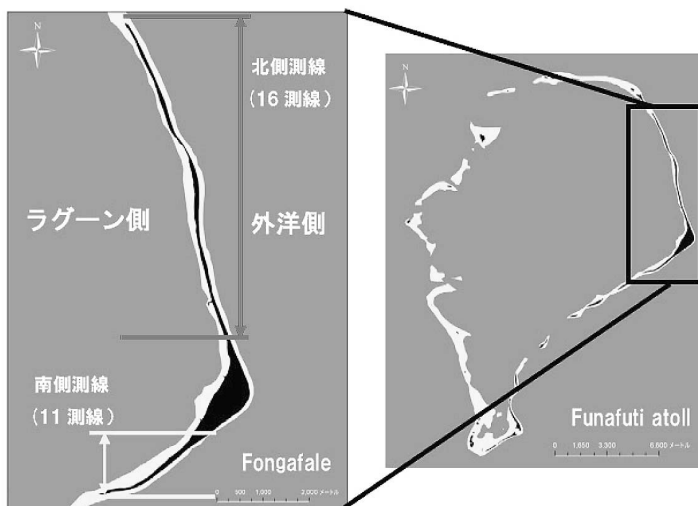


図1 フナフチ環礁とフォンガファレ島

表者と島内を踏査した。調査では、調査地点をできる限り正確に記録するために、GPS カメラを携行した。この機器では、撮影方位を位置情報と同時に取得でき、撮影時間と併せてデジタル画像に直接記録することができる。現地では、調査箇所や時間等物理条件に加えて、スケッチを取ることもできるスペースを有する調査記録簿を持参し、GPS 画像の撮影と断面スケッチを進めた。調査領域は、**図 1**中に示す形で、フォンガファレ島北部 16 測線、中央部、南部 11 測線のデータを取得した。なお、中央部は Lagoon 側から Ocean 側までの距離があるため、海岸線と島内を地点に分けて調査を実施した。

### 3.2 調査データの整理と地理情報の作成

#### (1) 調査データの管理

現地調査で収集したデータは、①現地調査記録簿（電子化）、②GIS を用いた検索データベース、の形で整理した。具体的に、①現地調査記録簿は、現地での記入事項を電子化し、GPS カメラで撮影した画像をファイルに挿入することにより作成した。また、②検索データベースは、GPS により取得された座標値を用い、GIS 上で衛星画像を背景画とした検索データベースを作成した。具体的に、現地調査では、調査記録簿 37 枚と GPS カメラを使用したグラントゥールス 347 枚を取得した。現地調査記録簿は、トゥールス写真を組み込み、**図 2**に示す書式で整理した。また、グラントゥールス写真は、重複撮影等を整理した後に、GIS エンジンを使用し、GPS で取得された座標値をキーとして衛星画像上にハイパーリンクを張ることで整理した。**図 3**に表示例を示す。この情報は、後述する土地被覆分類を行なう際のトレーニングエリア選定の支援や、諸データと現地との比較を進める際に活用した。現地調査とデータ整理結果に基づくと、フォンガファレ島における土地利用に関する顕著な課題は以下の 3 点であった。このうち、

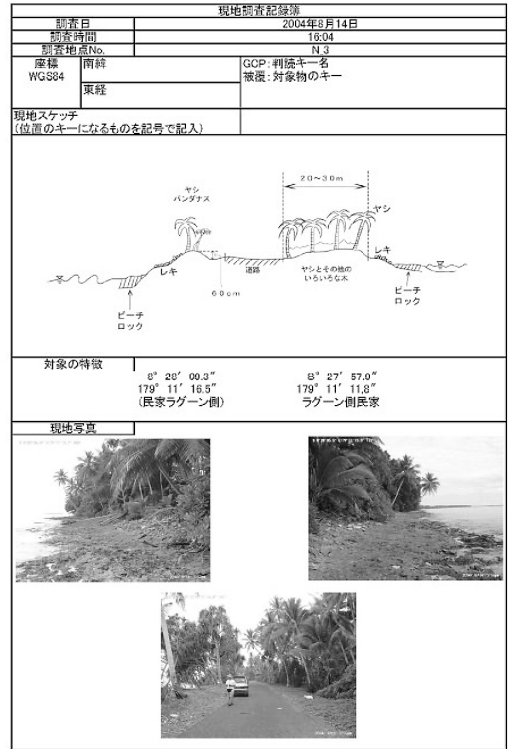


図 2 現地調査整理書式



図 3 GIS エンジンを使用したトゥールスデータ整理

本論では「③沿岸域の土地利用」に焦点を当て、次節より諸データとの比較により分析を進める。

①都市域の土地利用：現地調査の結果、島内中央部に住宅が高密度で分布していることが確認された。但し、中央部であってもタロピットの維持や家屋敷地内におけるパンの木、バナナ等の伝統的生産緑地は保全されていた。また、空港近傍は比較的広域の緑地と裸地が分布している。フォンガファレ島北部（都市隣接部と島の北端2地点）と南部には、ゴミ集積場（投棄箇所を含む）があった。北端のゴミ集積場は、都市域の拡大により隣接部のものが移動と拡大したものと推察された。

②内水域周辺の土地利用：島中央部には、PondやBorrow Pit（人為により掘削された堀）が複数存在した。ゴミ集積場（投棄箇所を含む）があった。島中央部の都市化に伴い、Borrow Pit上や近傍に家屋が建設されていた。また、養豚小屋もあり、水質の悪化が見て取れた。衛生上の課題は、SOPACによる調査（2004年）にも報告されている<sup>6)</sup>。

③沿岸域の土地利用：沿岸域は、都市域北部の港湾区域および中央部ラグーン側の一部に施工されている護岸を除くと、汀線近傍は砂浜または礫、直後の後背地には主としてココヤシが分布していた（以下、沿岸植生と示す）。Island Councilの方によると、ラグーン側沿岸域の土地利用は伝統的組織で保全してきたとのことであった。特に、島南西部では、建設機械を用いた整地の跡があり（用途は不明）、また沿岸部に分布する家屋近傍では船着場としての用途のため随所で沿岸植生を伐採している箇所が見受けられた。

## (2) 地理情報の生成

本研究で使用したデータを表1に示す。土地被覆の変化を比較・分析する際には、異なるデータの座標系を整合させておく必要がある。本研究では、高空間分解能衛星画像を位置基準に取り、各種図面および空中写真に対して、幾何補正処理を

施した。また、空中写真は複数の撮影シーンに分かれていることから、補正処理の後にモザイク処理を施した。なお、幾何補正前後のGCPの精度は、RMS誤差2pixel以内とした。また、高空間分解能衛星画像のモノクロ画像(PAN)の0.6mの空間分解能を活かして、CN変換(Color Normalized Transform)を用いたデータフュージョン画像を作成した。この処理を行うことで、2.4mの可視-近赤外バンドのデータの空間分解能を0.6mに近似することができ、研究目的とする沿岸植生の判読と分析に有意なデータを得ることができる<sup>7)</sup>。この補正データを使用し、地理情報として、①土地被覆分類図によるフォンガファレ島全域の被覆変化概況の解析、②正規化植生指標画像(NDVI)による主として沿岸植生の解析、③緑被率の算定、以上3点を作成した。本研究で生成した地理情報は表2に示す通りである。以下、個々の情報について考察を整理する。なお、ラグーン側および外洋側それぞれの海域については、Yamanoら(2006)の研究成果に基づき<sup>8)</sup>、近赤外バンドのデータを用いた2値化処理により作成したポリンゴンをを用い、GISエンジン上でオーバーレイ処理を施している。

表1 使用データ一覧

データ種類	データ内容	作成・観測年	データ所有
衛星画像	QuickBird2	2004年	茨城大学
空中写真	Fongafale	1984年	SOPAC 国立環境研
各種図面	植生図 (Fongafale)	1992年	茨城大学
	地質図 (Fongafale)	1896年	東京大学

表2 生成した地理情報

生成した情報	生成手順の概略	掲載図番
土地被覆分類図	教師付最尤法を使用し、Fongafale全域を17クラスに分類した。精度評価は区分精度による。	図5
NDVI画像	バンシャープン画像を使用し、可視域データとしてBAND3(赤)を使用したレッドエッジに注目したNDVIを算定した。	図6
緑被率画像	地上対応15×15mカーネル内の緑被を計算し、緑被率50%以上の領域を画像として描画した。	図7

### ①土地被覆分類図の作成

分類方法は教師付き最尤法を採用した。分析に先立ち、分類精度を確認しておく必要がある。本研究では、精度確認に区分精度を採用し、トレーニングエリアの視点から精度を確認した。図4に分類に用いた衛星画像、図5に土地被覆分類図（図は、分類後に、ラグーン・海域・浅海域（1）～（3）の海部についてマスキング処理を施している）を、表3に判別効率マトリクスを示す。

まず、画像全体としての精度を示す平均精度は、84.1%を示し、比較的高い分類精度である。次に、個々のクラスに注目すると、ラグーンおよび外洋といった水域で区分精度が低い値を示した。誤分類のクラスを確認すると、互いのクラス間であり、陸域を対象とした本研究では議論の対象外であることが確認された。その他のクラスについては、区分精度が80%以上を示しており、陸域の被覆変化を議論するに耐える精度が得られたと考える。

### ②NDVI 画像の作成

NDVI は、CN 変換によるフュージョン画像に対して、式（1）に示す方法で算定した。

$$NDVI = (BAND4 - BAND3) / (BAND4 + BAND3) \dots (1)$$

なお、式（1）における BAND4 および BAND3 は、高空間分解能衛星画像の近赤外および可視域（赤）を示す。また、NDVI 算定の後に、現地調査で確認した緑地を表現する指標値の範囲を試行検討により把握し（NDVI=0.35～0.75）、その範囲の NDVI 値を 8 ランクに分けることによって、NDVI 画像を作成した。

図6に示す NDVI 画像を見ると、都市域には画像内白色で表現される構造物（宅地・空港）が多く分布していることが確認できる。また、島中央部①で示した領域と、空港東側 Pond 近傍②で示した領域は指標値のランクが高い領域になっている。現地調査において、①はタロピット、②はマングローブ林であることを現地で確認している。

沿岸植生およびその他の植生の分布密度と活性度が良く表現しており、分布域の詳細確認に耐える結果と判断した。

### ③緑被率の算定

局所的な緑地の多寡を定量化することを目的として、フォンガファレ島の緑地が、単位面積に占める割合を算定した。具体的には、まず、NDVI 値が 0.35～0.75 を示すピクセルを全て植生域とするデータを作成した（計算では一律に“1”）。次に、フォンガファレ島の代表的家屋の平均的なサイズを衛星画像より計測し、15m という数値を得た。最終的には、家屋の存在を緑被率に反映させることを考慮して、地上対応 15×15m のカーネルを単位とした緑被率（%）を計算した。

図7に示す緑被率画像は、15×15m 矩形領域内の緑被率50%以上を示す地点を描画したものである。NDVI 画像の個々のピクセルベースでの評価を集約し、緑地の散布状況を強調することを目的とした。画像を見ると、フォンガファレ島中央部都市部では白色の領域（緑被率50%未満）が散見され、北および南西の地域では、都市部から離れるに従い緑被率が高くなる傾向が明確になった。この知見は、概況として現地調査と一致しており、図面作成の目的は達成できたと考える。

## 4. 沿岸域被覆変化の分析結果と考察

### (1) 地質図（1896年）から確認できる沿岸域の被覆変化

図8に、衛星画像と地質図を示す。なお、紙面の都合上、島中央部の分析画像を掲載した。島中央部の Pond は、現在と比較して分布域は広く、外洋側に連続していたことが確認された。現在、島中央部は空港に改変され、外洋側の連続部分は複数のハリケーンで打ち上げられた礫で形成される Storm Ridge で外洋と区切られている。空港近傍の地形変化は、Yamano ら（2007）の研究で示されている空港近傍を対象とした地形断面の精密



図4 高空間分解能衛星画像（トゥルカ画像）  
R: BAND3, G: BAND2, B: BAND1

※衛星データの現地観測時刻は10:30(現地時)であり、フリンダース大学の潮位予測では干潮の時間帯に該当する。このため、reef flat 部は水位が極めて浅い状態となり、分類結果に誤分類が散見された。

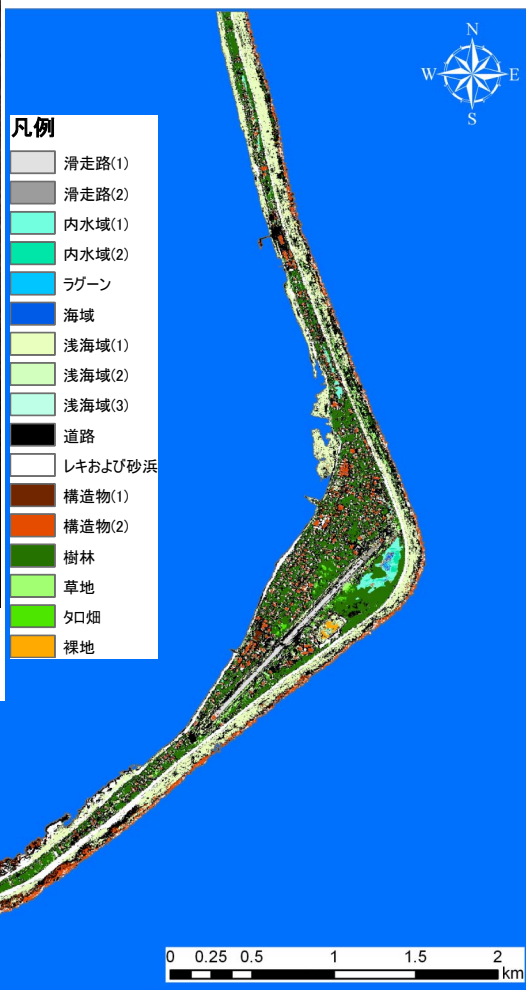


図5 土地被覆分類図（教師付最尤法：BAND1-BAND4 全4バンドを使用）

表3 判別効率マトリクス（単位：(%)）

クラス名	滑走路(明)	滑走路(暗)	小規模内水域	大規模内水	Lagoon	Ocean	浅海(サンゴ)	浅海(沖)	浅海(掘削)	道路	Ridge	構造物(政府)	構造物(一般)	樹林	芝地	タロ畑	裸地
滑走路(明)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
滑走路(暗)	0	100	0	0	0	0	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小規模内水域	0	0	91.89	0.84	0	0.08	0	0	0	1.37	0	0	0	0	0	0	0
大規模内水	0	0	2.7	99.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lagoon	0	0	0	0	88.57	38.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ocean	0	0	0	0	11.43	58.58	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浅海(サンゴ)	0	0	0	0	0	0.86	94.45	0	0	10.96	0	0	0	0	0	0	0
浅海(沖)	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浅海(掘削)	0	0	0	0	0	0	0.33	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
道路	0	0	0	0	0	0.35	3.66	0	0	83.56	0.6	0	0	1.12	0	0	0
Ridge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.4	0	0	0	0	0	0	0
構造物(政府)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.37	0	100	0	0	0	0	0
構造物(一般)	0	0	1.35	0	0	1.6	0.22	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
樹林	0	0	4.05	0	0	0	0	0	0	1.37	0	0	0	98.6	0	0	0
芝地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.37	0	0	0	0	93.06	4.84	0
タロ畑	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.28	6.94	95.16	0
裸地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

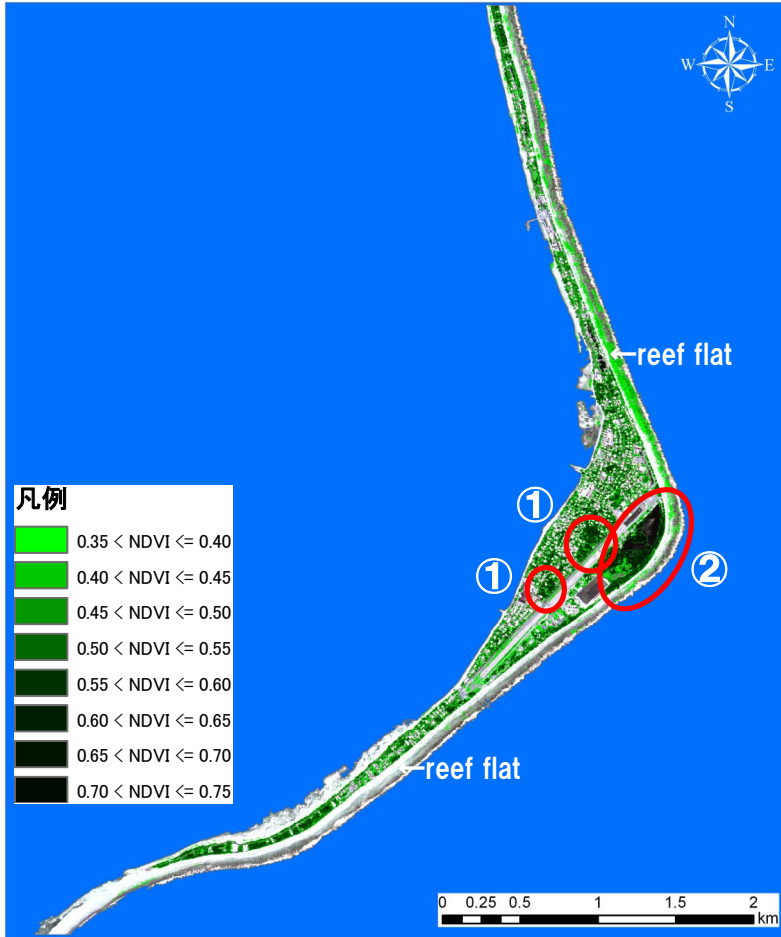


図6 NDVI 画像

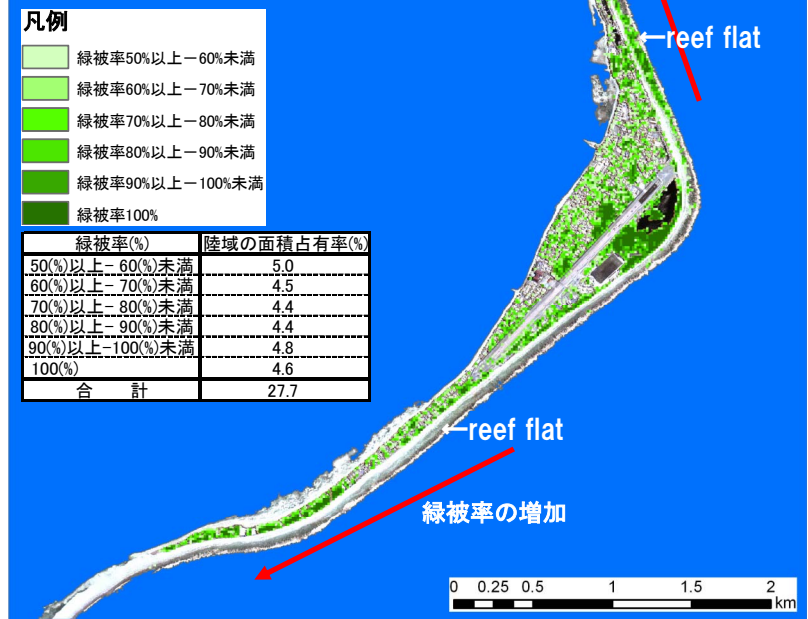


図7 緑被率画像

な分析成果（1896年～現在）<sup>9)</sup> および Webb ら（2005）による空中写真および高空間分解能衛星画像を網羅的に用いた（1941年～2003年を対象）土地被覆変化の分析<sup>10)</sup>にも示されるように、自然および人為による最近100年以内の変化である。

**(2) 空中写真（1984年）から確認できる沿岸域の被覆変化**

図9に、衛星画像と空中写真を示す。なお、紙面の都合上、島南西部の分析画像を掲載した。写真内丸印部に注目すると、1984年空中写真の主としてラグーン側は、沿岸植生になっていることが

確認できる。一方、2004年衛星画像を見ると、ラグーン側に宅地が造成され、ラグーンを覆うように広がっていた沿岸植生が失われていることが確認できる。この地域は、空港に隣接した地域であり、最近20年の間に都市化（宅地の造成）が進んできていることが確認できる。

**(3) 植生図（1992年）から確認できる沿岸域の被覆変化**

図10に、土地被覆分類図と土地利用現況（概要図）を示す。なお、紙面の都合上、島南西部の分析画像を掲載した。島全域に渡る傾向として、

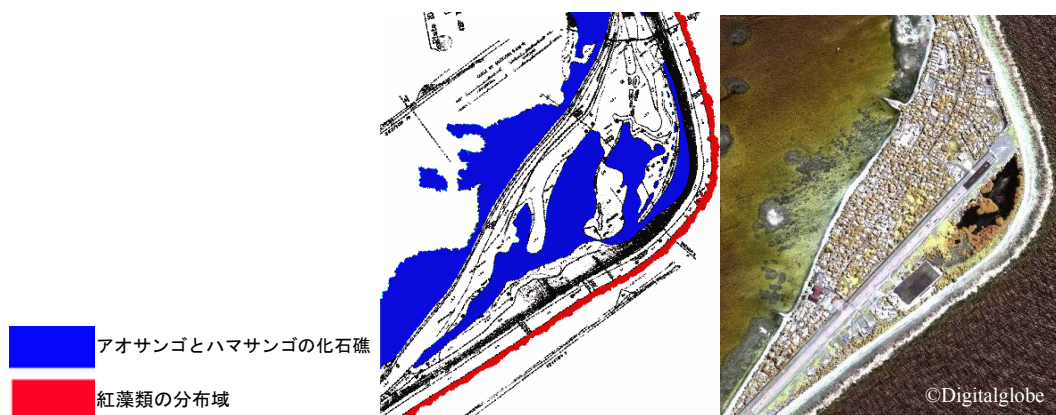


図8 地質図（右：1896年）および衛星画像（左：2004年）



図9 空中写真（左：1984年）および衛星画像（右：2004年）



宅地の拡大が確認できたが、画像を掲載した島南西部では、2) 空中写真で確認された傾向と同様に、1992年調査時に低木林であった領域が構造物(宅地)や砂浜または礫の分布域に変化していることが確認できる。

ここまでの検討を通して確認できた点は、以下の2点である。

①最近100年の間に、フォンガファレ島の滑走路近傍において人為・自然による大規模な地形変化があった。現在、その地域は空港・宅地・グラウンドとして利用されている。

②空中写真および土地利用現況(概要図)と衛

星画像との比較を通して、最近20年の間にフォンガファレ島中央部に隣接する北・南西地域で宅地の造成が進んできた。以上の傾向について緑地の分布の観点から、更に考察を進めた。

#### (4) NDVI および緑被率画像(2004年)から確認できる沿岸域の植生

図11に、NDVI画像、緑被率画像および現地写真を示す。なお、紙面の都合上、島南西部の拡大画像を掲載した。現地調査による緑地減少確認のポイントは、人間の居住区として従来利用されてこなかった北部と南西部の宅地化の進行であった。南西部では、島嶼部断面約100mを横断する形で



図10 植生図(左:1992年)および土地被覆分類図(右:2004年)

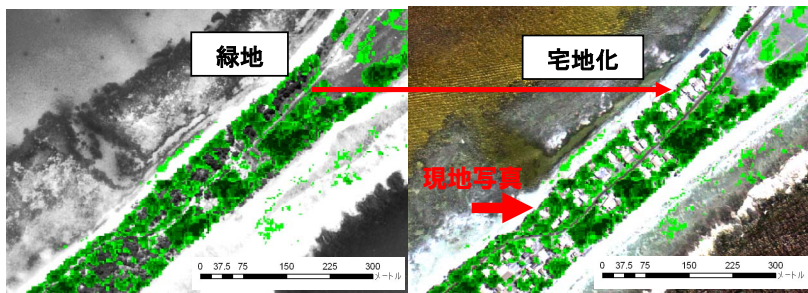


図11- (1) NDVI画像(背景画, 左:1984年空中写真, 右:2004年衛星画像)

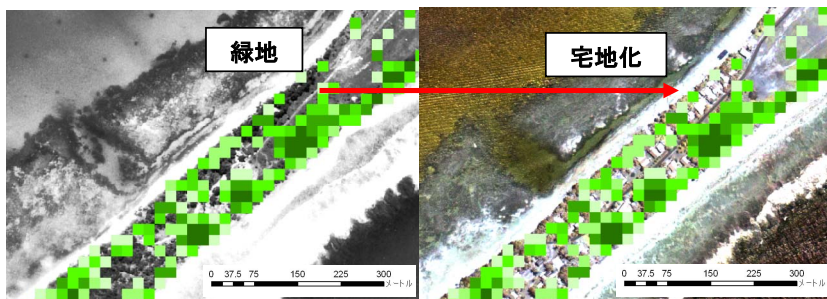


図11- (2) 緑被率画像(背景画, 左:1984年空中写真, 右:2004年衛星画像)

宅地や造成地およびココヤシが分布している。しかし、**図 11** で確認できるように、各所において沿岸植生が伐採され、宅地化が進んでいる（**矢印地点**）。このような人為による沿岸植生の減少が進むことは、今後進むことが予測されている海岸侵食や、台風などの風・高波浪による災害からの防護機能低下に繋がるものと言える。

ここで、緑被率画像に注目する。この図を見ると、空港南部から州島先端方向に、緑被率 50%未満の地域が分布している。特に、ラグーン部に注目すると、緑地の連続性が低いことが確認できる。背景画像を確認すると、1984 年に沿岸植生であった箇所が宅地に変化していることが確認できる。現地では、**図 12** に示すように、船着場や宅地の庭として使用されており、宅地開発に伴う影響、いわゆる人為による沿岸植生の減少傾向を見て取ることができる。

## 5. 結論

①高空間分解能衛星画像より土地被覆分類図、NDVI 画像、および緑被率画像を作成し、空中写真および既存調査図と比較した結果、島北部および南西部では、1984 年～2004 年の 20 年間における緑地の減少が確認された。減少の傾向は、宅地の増加に伴い、フォンガファレ島中央部より端部への方向性が顕著であることを確認した。

②NDVI 画像、緑被率画像および GPS 画像を比較した結果、人為による沿岸植生の減少は、外洋側に比べてラグーン側に顕著に散在していることが確認された。その多くの地点は、ラグーンへのアクセスと宅地の庭として使われている。

本研究では、1984 年～2004 年の 20 年間における沿岸植生に絞った土地被覆変化を議論の対象とした。気候変動に伴う国土保全に関する適応を考えてゆく際には、流況や波浪等、いわゆる外力の影響を考慮することが必須であり、かつ、州島の形成に関する根本的なメカニズム(地形形成過程、

有孔虫やサンゴ等による砂の供給など)の解明も重要な点となる。研究の今後の展開として上記研究成果との融合を目指して行きたいと考えている。

## 謝辞

本研究は、環境省地球環境研究推進費（課題 No.B-15,代表：茅根創東京大学教授）による研究プロジェクトの一環として実施された。さらに、研究の一部は科学研究費補助金（基盤研究（A1）, 課題 No.14209003,代表三村信男茨城大学教授）による援助を受けて実施されたものである。ここに記して深甚なる謝意を表します。

また、現地調査や各種情報の収集は、前述の推進費研究プロジェクトチーム全員の協力のもと実施したものであり、高空間分解能衛星画像および空中写真は SOPAC Wolf Forestreuter 氏、Noud Leenders 氏の厚意により提供頂いた。記して深甚なる謝意を表します。そして、本研究のデータ処理・整理に多大なる協力を頂いた丹祥亮氏（元茨城大学工学部学生）に感謝申し上げます。



図 12 現地写真（図 11 内赤矢印部）

## 引用文献

- 1) 原沢秀夫・西岡秀三編著：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.2003
- 2) Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change -Summary for Policymakers, <http://www.ipcc.ch/>, (入手 2007.5.19)

- 3) Climate Change 2007:Impacts,Adaptation and Vulnerability –Working Group 2 Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, <http://www.ipcc.ch/>, (入手2007.5.19)
- 4) FUNAFUTI Island Report: TUVALU LAND RESOURCES SURVEY, Tuvalu, 60pp.1992.
- 5) THE ATOLL OF FUNAFUTI: CORAL REEF COMMITTEE OF THE ROYAL SOCIETY, 428pp.1904.
- 6) SOPAC: Tuvalu Technical & Country Mission Report, SOPAC Secretariat, FIJI Suva, 32pp., 2004.
- 7) Vrabel, Jim : Multispectral Imagery Band Sharpening Study, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.62, No.9, pp.1075-1083, 1996.
- 8) Yamano, H., H. Shimazaki, T. Matsunaga, A. Ishoda, C. McClennen, H. Yokoki, K. Fujita, Y. Osawa, H. Kayanne: Evaluation of various sensors for satellite for waterline extraction in a coral reef environment: Majuro Atoll, Marshall Island, Geomorphology 82, Vol.82, pp.398-411, 2006.
- 9) Yamano, H., H. Kayane, T. Yamaguchi, Y. Kuwahara, H. Yokoki, H. Shimazaki, M. Chikamori: Atoll island vulnerability to flooding and inundation revealed by historical reconstruction: Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu, Global and Planetary Change57, pp.407-416,2007.
- 10) Webb, A., :Tuvalu technical report-Coastal change analysis using multi-temporal image comparisons-Funafuti Atoll. SOPAC Project Report, vol.54, 2006.

## 著者紹介

### 桑原祐史 (個人会員)

茨城大学工学部都市システム工学科 (茨城県日立市中成沢町4-12-1),1992年東京理科大学理工学部土木工学科卒業, 1994年同大学院修士課程修了, 1995年同大学院博士課程中退。同年茨城大学工学部都市システム工学科助手, 1998年博士 (工学), 1999年茨城大学工学部都市システム工学科講師, 現在に至る。日本沿岸域学会, 土木学会, 日本リモートセンシング学会, 地理情報システム学会, 環境情報科学センター, 各会員。

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

### 横木裕宗 (個人会員)

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター (茨城県日立市中成沢町4-12-1), 1989年東京大学工学部土木工学科卒業, 1991年同大学院修士課程修了, 1991年東京大学助手, 1996年博士 (工学), 1996年茨城大学工学部都市システム工学科講師, 1998年茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター助教授, 2007年同准教授, 現在に至る。日本沿岸域学会, 土木学会, 日本サンゴ礁学会, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会, 環境情報科学センター, 各会員。

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

### 佐藤大作 (学生会員)

茨城大学大学院理工学研究科情報・システム科学専攻 (茨城県日立市中成沢町4-12-1), 2004年茨城大学工学部都市システム工学科卒業, 2006年茨城大学大学院理工学研究科博士前期課程都市システム工学専攻修了, 2006年同大学院理工学研究科博士後期課程入学, 現在に至る。日本沿岸域学会, 土木学会, 各会員。

E-mail: 06nd308s@hcs.ibaraki.ac.jp

### 山野博哉 (非会員)

独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター (茨城県つくば市小野川16-2), 1994年東京大学理学部地学科地理学課程卒業, 1996年同大学院修士課程修了, 1999年同大学院博士課程修了, 博士 (理学)。同年科学技術振興事業団プロジェクト研究員, 独立行政法人国立環境研究所研究員, 2003年同主任研究員, 現在に至る。日本サンゴ礁学会, 日本リモートセンシング学会, 写真測量学会, 地理情報システム学会, 日本海洋学会, 各会員。

E-mail: hyamano@nies.go.jp

### 茅根創 (非会員)

東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 (東京都文京区本郷7-3-1), 1982年東京大学理学部地理学課程卒業, 1984年同大学院修士課程修了, 1988年同大学院博士課程修了, 理学博士, 1988年通産省工業技術院地質調査所, 1995年東京大学大学院理学系研究科地理学専攻助教授, 2000年同地球惑星科学専攻助教授, 2007年同教授, 現在に至る。日本サンゴ礁学会事務局長。

E-mail: kayanne@eps.s.u-tokyo.ac.jp

## **Analysis of land use change in the coastal zone on Funafuti atoll, Tuvalu**

Yuji KUWAHARA, Hiromune YOKOKI, Daisaku SATO,  
Hiroya YAMANO and Hajime KAYANNE

**ABSTRACT:** In the country of South-Pacific Island, the coastal erosion due to sea-level rise with global warming is a remarkable concern. When the adaptation plan in the island country is considered, the land-use change based on human activities and decrease in the coastal vegetation becomes an important issue. Therefore, tracing and analysis of the history of land cover and coastal vegetation for recent 20 years on Fongafale island of Funafuti atoll, Tuvalu has conducted in this study. For the analysis, previously investigated data of the geographical map, vegetation map and aerial photograph were collected and then the change is identified by comparison with high-resolution satellite image. Through the investigation the results of this study could be described as follows: 1) Decrease areas of the coastal vegetation were extending in the direction of the north and south-west from the centre of the Fongafale Island. 2) The decrease of the coastal vegetation was more remarkable in the ocean side compare to lagoon side.

**KEYWORDS:** *Coral atoll, Tuvalu, Satellite image*