

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月14日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2018

課題番号：26870164

研究課題名（和文）気候変動適応型社会の形成に向けたランドスケープ計画論

研究課題名（英文）Landscape planning toward the climate resilient society in the Pacific Islands

研究代表者

飯田 晶子 (Iida, Akiko)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任講師

研究者番号：90700930

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：太平洋島嶼における気候変動適応型社会の形成に向けたランドスケープ計画論の構築を目的として研究を行った。具体的には、パラオを事例に、洪水や渇水等の気候リスクと過去から現在までの土地利用変化との関係性を実証的に解明した上で、望ましい将来的な土地利用のあり方を考察した。その結果、当該地域の気候リスクの増大は、海面上昇や降雨量といった気候そのものの変化よりも、むしろ人口動態や土地利用変化等の社会的要因によってもたらされていることが明らかとなった。さらに、将来的な気候リスクの低減のためには、都市部への過度な人口集中を防ぎ、自然立地的特性を考慮した適切な土地利用規制を行うことが重要であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太平洋島嶼における将来的な気候リスクについて扱った既往研究は数多く、政府機関等も積極的な対策の必要性を感じている。しかし、議論の中心は将来の気候変化とそれによるリスク向上にあり、人口動態や土地利用変化といった社会的要因がどの程度気候リスクに影響するかという点については、ほとんど研究が行われてこなかった。本研究の学術的意義は、太平洋島嶼において気候変動への適応策を考える上では、人口の分布や土地利用のパターンといった気候リスクを高め得る社会的要因を制御することが極めて重要であることを実証的に明らかにした点、及びその具体的方策として自然立地的特性を考慮した土地利用規制が有効であることを示した点にある。

研究成果の概要（英文）：The study aims to investigate landscape and urban planning method toward the climate resilient society in the Pacific Islands. Republic of Palau, Micronesia was chosen as a case study. The study examined the relationship between past land use changes and climate risks such as flood, drought, and soil erosion, then concluded that social factors such as population distribution and land use changes caused the increase of climate risks rather than natural factors like sea-level rise and changes in weather pattern. In order to mitigate the climate risks, it was considered desirable to control urbanization and promote landscape-based land use management.

研究分野：都市緑地計画

キーワード：パラオ 土地利用 都市化 気候リスク 将来シナリオ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

世界規模で顕在化する気候変動による様々な影響に対し、人間の活動や社会システムを調整することでその影響を軽減させる「適応」の概念が着目されている。特に、アジア太平洋の島嶼地域では、洪水による浸水、干ばつによる水不足、大雨による土砂流出といった気候リスクに直面しているが、気候変化という自然的要因だけでなく、沿岸部等での開発圧力の増大等がリスクを悪化させる社会的要因となっていると考えられる。そのため、将来的な気候リスクの低減のためには、人口動態や土地利用変化といった社会的要因と気候リスクとの関係を明らかにした上で、リスクを向上させ得る社会的要因を制御することが重要であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、太平洋島嶼における気候変動適応型社会の形成に向けて、気候リスクを低減させるためのランドスケープ計画の手法とそのための理論的な根拠を導くことを目的とする。研究対象地は、気候変動に対して脆弱であり、かつ、観光客の増大とともに都市化が進行しつつある太平洋島嶼ミクロネシア地域のパラオ共和国（以下、パラオ）とする。なお、本研究におけるランドスケープ計画とは、土地の自然立地的特性を考慮して土地利用の適正配置を決定する計画を意味することとする。

## 3. 研究の方法

### (1) 土地利用変化と気候リスクの関係性分析

本研究では、まず過去から現在にかけての人口動態と土地利用変化の実態を明らかにした上で、それらがどのように気候リスクの増大をもたらしているか実証的な分析を行った。具体的には、洪水リスク、渇水リスク、土砂流出リスクの3つの気候リスクに着目した。まず洪水リスクと渇水リスクについては、都市化が顕著なコロール島を対象に、満潮時の水位や降水量の変化（自然的要因）と、観光者を含む都市部での人口変化とマングローブ林の伐採による宅地化といった沿岸部での土地利用変化（社会的要因）の分析を組み合わせ、双方がどの程度洪水リスクと渇水リスクの増大に影響を与えているか分析を行った。次に、土砂流出については、パラオで最大の島で、植民地期に農地開拓が進み、その後は最自然化が進んでいるバベルダオブ島を対象に、降水量の変化（自然的要因）と、土地利用の変化（社会的変化）を組み合わせ、SWATモデルを用いた分析により土砂流出量の変化を算出した。

### (2) 将来的な土地利用シナリオの作成と比較

上記の土地利用変化と気候リスクの関係性分析を踏まえ、将来的な土地利用シナリオを作成し、その比較を行った。具体的には、「人口の動態」と「土地利用の計画方法」の2つの観点について、それぞれ人口の「集中」・「分散」、土地利用規制の「あり」・「なし」を組み合わせ、4通りのシナリオを作成した。その上で、洪水リスク、渇水リスク、土砂流出リスクといった気候リスクがどのように変化し得るか考察を行った。なお、土地利用シナリオ作成にあたっては、現地カウンターパートである政府のパラオ気候変動局とパラオ観光局との議論を踏まえた。

## 4. 研究成果

### (1) 土地利用変化と気候リスクの関係性分析

洪水リスクについては、コロール島において観測された潮位データから、過去30年間で10cmの海面上昇が起きていることがわかった。次に、1938年、1983年、2014年の地図を用いて都市化の変遷を明らかにし、満潮時に浸水被害を受ける建物数と全建物数に対する割合を算出し

た結果、それぞれ 5 戸 (0.4%)、118 戸 (8.1%)、294 戸 (10.9%) と都市化とともに洪水リスクが高まる一方で、洪水リスクに対する海面上昇の影響は 1%以下であることがわかった(図 1)。また、合わせて行った都市住民へのアンケート調査 (N=121) の結果、都市部での人口増加を受け、州政府が沿岸部のマングローブ林を埋め立て貸し出している土地に暮らす農村出身の住民が、洪水の影響をより受けやすい状況に置かれていることがわかった。

渇水リスクについては、コロール島において観測された降水量データ、及びから政府の報告書及び新聞記事から過去に発生した渇水を抽出したところ、1983 年、1998 年、2016 年の 3 度、全島レベルで社会的に大きな影響を与えた水不足が生じ、2005 年、2010 年には主に人口の多い都市部でのみ水不足が発生したことがわかった(図 2)。また、仮に現在の人口が 1980 年代と同程度であったと仮定すると、2000 年代以降の水不足は大幅にその影響が緩和されるレベルであったことも明らかとなった。すなわち、このまま都市部に人口が集中すると、将来の渇水リスクをさらに増大させる要因となることが推察された。

土砂流出については、バベルダオブ島の地形図を元に、1921 年(植民地化以前)、1947 年(植民地期直後)、2012 年(現在)の土地利用図を作成し、SWAT モデルに地形、土壌、各時代の降水量、土地利用とそれに応じた土地管理のデータを挿入し、土砂流出量を計算した。その結果、土砂流出量はそれぞれ  $1.9 \text{ tons ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、 $5.9 \text{ tons ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、 $4.1 \text{ tons ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  となり、農地開拓が進んだ植民地期が最も土砂流出量が多く、その後日本人の撤退と都市部への流入により人口が減少し、最自然化が進む中で土砂流出量は減少傾向にあることがわかった(図 3)。

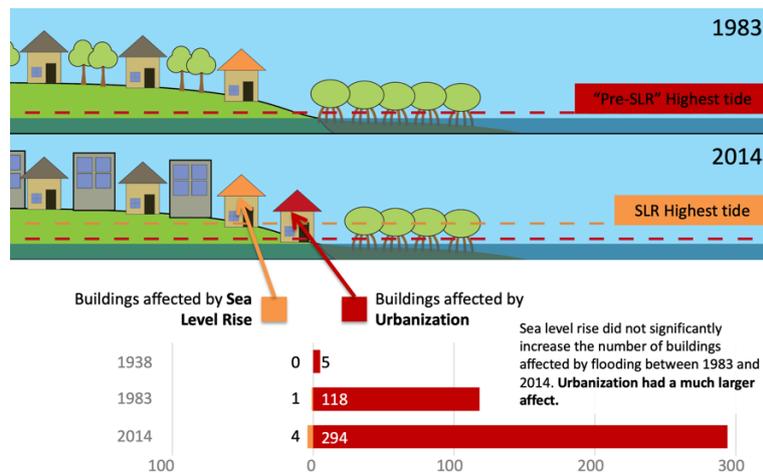


図 1 都市部 (コロール島) での大潮の満潮時に浸水する建物数の変化

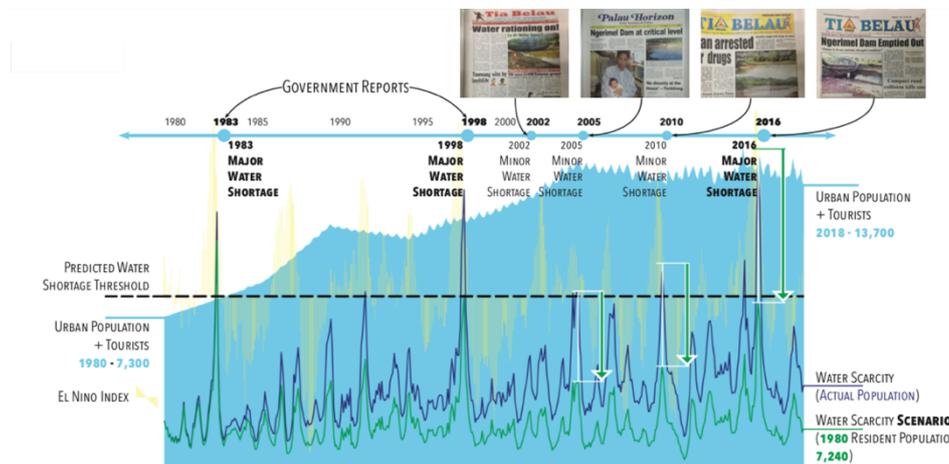


図 2 都市部 (コロール島) での渇水の発生と人口変化

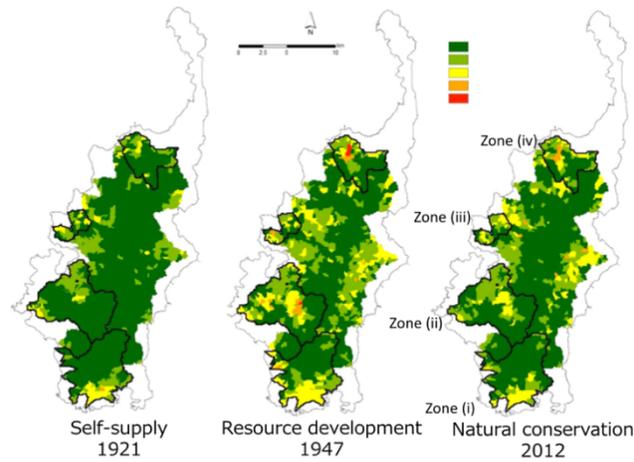


図3 農村部（パベルダオブ島）での土砂流出量の変化

以上をまとめると、都市部においては、過去から現在にかけての人口の増加とそれに伴う土地利用変化（沿岸域でのマングローブ林の伐採と宅地化）が、洪水リスクと渇水リスクを増大させる大きな要因となっていることがわかった。そのため、これらの気候リスクを低減させるためには、都市部への人口集中を緩和させることが重要である。一方で、農村部においては、人口の減少とそれに伴う土地利用変化（農地の減少と森林の回復）が、土砂流出量を低減させる方向に働いていることが明らかとなった。しかし、今後もし観光開発等により都市部から農村部に人口が移動し、農村部の再び開発が起これば、土砂流出量が増大する可能性がある。すなわち、都市部での変化と農村部での変化はトレード・オフの関係にあり、相互への影響を鑑みた国土全体での対策が必要であるといえる。

太平洋島嶼における将来的な気候リスクについて扱った既往研究は数多く、政府機関等も積極的な対策の必要性を感じている。しかし、議論の中心は将来の気候変化とそれによるリスク向上にあり、人口動態や土地利用変化といった社会的要因がどの程度気候リスクに影響するかという点については、ほとんど研究が行われてこなかった。パラオを対象に行った本研究を通じて、太平洋島嶼において気候変動への適応策を考える上では、人口の分布や土地利用のパターンといった気候リスクを高め得る社会的要因を制御することが極めて重要であることを実証的に明らかにすることができた。

## (2) 将来的な土地利用シナリオの作成と比較

将来的な土地利用シナリオについて、「人口集中・土地利用規制なし」「人口集中・土地利用規制あり」「人口分散・土地利用規制なし」「人口分散・土地利用規制あり」の4案を作成し、それぞれの場合の洪水リスク、渇水リスク、土砂流出リスクの変化を考察した。なお、土地利用規制の「ある」・「なし」については、それぞれに経済性（道路からの距離・経済的中心地からの距離）を重視し、土地利用規制を行わない方法と、土地の自然立地的特性（地形・土壌・傾斜、川からの距離、マングローブ林・森林の分布）を考慮し、土地利用規制を行う方法を考え、それぞれの場合の土地の開発ポテンシャルを評価した（図4）。

そして、各シナリオごとの気候リスクの変化を推定した。その結果、現状趨勢を意味する「人口集中・土地利用規制なし」シナリオでは、農村部での土砂流出リスクは減少するが、都市部での洪水リスクと渇水リスクは高まることが示された（表1）。また、「人口集中・土地利用規制あり」シナリオでは、沿岸部での土地利用規制により、洪水リスクは減少するが、渇水リスクは引き続き増大することが示唆された。次に、都市部から農村部へ人口を分散させる場合に

は、「人口分散・土地利用規制なし」シナリオでは、洪水リスクは現状とさほど変化がなく、渇水リスクは減少し、一方で農村部での開発が進むため土砂流出リスクは高まると考えられた。最後に、「人口分散・土地利用規制あり」シナリオの下で、十分に土地利用規制が効いた場合には、洪水リスクと渇水リスクは減少し、かつ土砂流出リスクは現状と同程度の状態が維持されるため、最も望ましい人口の分布と土地利用のパターンであることが推察された。

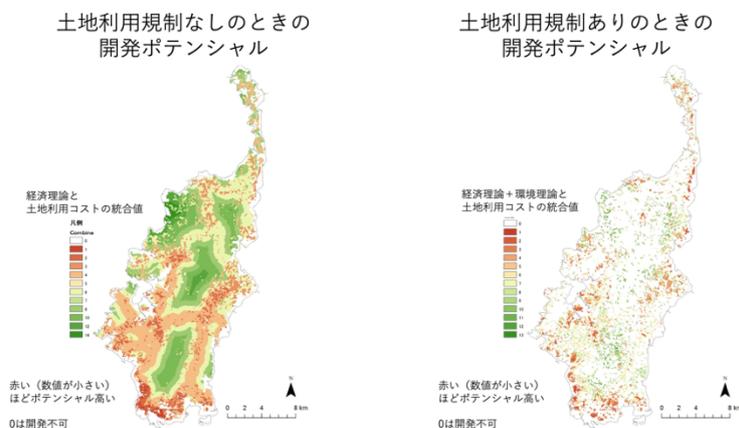


図4 土地利用規制のあり・なしごとの土地の開発ポテンシャル

表1 将来の土地利用シナリオごとの気候リスクの増減の推定

	シナリオ1 人口集中・ 規制なし	シナリオ2 人口集中・ 規制あり	シナリオ3 人口分散・ 規制なし	シナリオ4 人口分散・ 規制あり
洪水リスク	➡ 増大	➡ 減少	➡ 維持	➡ 減少
渇水リスク	➡ 増大	➡ 増大	➡ 減少	➡ 減少
土砂流出リスク	➡ 減少	➡ 減少	➡ 増大	➡ 維持

現在のパラオでは、中央政府が観光者からの環境税を徴収し、州が管理する自然保護区へ充当するなど、先進的な自然保護の取り組みが行われている。一方で、自然保護区以外での土地利用規制はほとんど行われておらず、場当たりの開発により自然破壊が行われているという二面性がある。実際に、本来開発を規制する立場の州政府が沿岸部のマングローブ林を伐採して宅地化することが、気候リスクを増大させていることが研究を通じて明らかとなった。そのような状況を改善し、将来的な気候リスクの低減を図っていくためには、本研究が示したように、都市部への過度な人口集中を防止し、合わせてランドスケープの観点から土地の自然立地的特性を考慮して適切な土地利用規制を行うことが有効であると考えられた。

今後は、中央政府と州政府が連携しながら、国土全体の土地利用調整の観点から現状の政策の見直しを行い、適切な人口分布と土地利用へ誘導していくことが望まれる。しかし、実行可能な土地利用の誘導の方法については、現地の社会・経済体制と意思決定の仕組みに依存するところが大きく、本研究では十分には扱いきれなかった。過去にも国際援助の一貫でマスタープランが策定されたが、実際にそれが履行されることはほとんどなかった経緯もある。そのような地域においてどのような方法であれば、実際に望ましい土地利用の誘導とそれによる気候リスクの低減を図ることができるのか、今後の研究の中で探っていきたい。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件、うち査読あり4件)

- ① Noda, K., Iida, A., Watanabe, S., Osawa, K. Efficiency and Sustainability of Land-Resource use on a Small Island. Environmental Research Letters 14(5) 054004, 2019.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ab1455>. 査読あり
- ② 武正憲・飯田晶子. 自然観光地における観光者の環境負担金に対する支払意思と貢献実感の関係. ランドスケープ研究 79(5) 495-500, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5632/jila.79.495>. 査読あり
- ③ 乃田啓吾・飯田晶子・渡部哲史・大澤和敏・沖一雄. パラオ共和国バベルダオブ島における土地資源利用効率の検討. 応用水文 28, 31-40, 2016. 査読あり
- ④ 飯田晶子・武正憲. パラオ共和国における自然保護政策の展開にみる観光資源の保全と利用. ランドスケープ研究 78(5), 783-786, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5632/jila.78.783>. 査読あり

[学会発表] (計11件、うち国際会議5件)

- ① Mason, D., Iida, A., Watanabe, S., Yokohari, M. How urbanization increased exposure to coastal flood risk in the Pacific Islands: A case study of the Republic of Palau. EGU General Assembly 2019. April 2019.
- ② Iida, A., Noda, K. Watanabe, S. A Scenario-based Approach to Sustainable Land Management: Case of Republic of Palau. Oceania Ecosystem Services Forum 2017, March 2017
- ③ Watanabe, S., Iida, A., Nakatani, J., Noda, K., Take, M., Nakamura, S. Downscaling climate and socio-economic scenarios at the scale of the Pacific Islands. Meeting for Establishing a Network of Island Country Researchers & International Symposium. March 2016
- ④ Iida, A., Noda, K. Watanabe, S. Assessing long-term land use changes and sediment runoff towards sustainable land use management: Case study of the Republic of Palau. Meeting for Establishing a Network of Island Country Researchers & International Symposium. March 2016
- ⑤ Watanabe, S., Iida, A., Nakatani, J., Noda, K., Take, M., Nakamura, S. The construction of future scenarios toward sustainable development considering the climate and socioeconomic changes in the Pacific Islands. American Geophysical Union Fall Meeting. December 2015

[図書] (計3件)

- ① Iida, A. Watershed and Living with Nature. IN: Palau International Coral Reefs Center eds. Paradise of Nature: Understanding the wonders of Palau. 222-226, 2017 ISBN:978-982-9079-04-6
- ② 飯田晶子. パラオの文化的景観にみる自然共生. 琉球大学国際沖縄研究所編. 島嶼型ランドスケープデザイン. 沖縄タイムズ社 11-28, 2016. ISBN:978-4871272315
- ③ 飯田晶子. パラオにおける自然共生型地域計画. 藤田陽子・渡久地健・かりまたしげひさ編. 島嶼地域の新たな展望－自然・文化・社会の融合体としての島々. 九州大学出版会. 151-167, 2014. ISBN:978-4798501307

## 6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：乃田 啓吾

ローマ字氏名：NODA, keigo

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。