

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32685
 研究種目：若手研究
 研究期間：2019～2022
 課題番号：19K15866
 研究課題名（和文）将来気候における極端現象下での生態系機能最大化に向けた土地管理オプションの提示

研究課題名（英文）Land use management option for maximizing the ecosystem function under the climate extreme

研究代表者
 柳川 亜季（Yanagawa, Aki）
 明星大学・理工学部・准教授

研究者番号：90620469
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、レジスタンスやレジリエンスに関して、これまで十分に考慮されてこなかった、発生確率別の極端現象について、レジスタンスおよびレジリエンスを目的変数に環境要素とそれらの交互作用を説明変数として、気候区分と土地利用区分から作成した土地被覆区分ごとにモデル化することである。1982-2015年の期間を対象とした解析から、干ばつや大雨といった、水バランスの極端現象に対する植生の耐性を示すレジスタンスは、多くの土地被覆で気温の影響を受けており、人間による土地利用の最適化によるレジスタンスの向上が期待できる地点が限られることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、気候区分および土地利用を考慮し、政策決定者や土地管理者が使いやすい土地被覆区分で算出している点に特徴がある。そのため、干ばつや降水量の多い年にレジスタンスやレジリエンスにどの環境要素（説明変数）がどの程度重要であるか定量的に示すことができた。今後、極端現象がさらに激甚化した際の検討の余地は残るものの現在だけでなく、過去の土地利用の履歴が現在の極端現象に及ぼす影響が大きくないことが示されたことは大きな成果だと言える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to model extreme events by the probability of occurrence, which have not been adequately considered concerning resistance and resilience, for each land cover category created from climate and land use categories, with resistance and resilience as objective variables and environmental factors and their interactions as explanatory variables. The modeling is to model each land cover category created from the climate and land use categories. The analysis for the period 1982-2015 suggests that vegetation resistance to water balance extremes, such as drought and heavy rainfall, is influenced by temperature in many land covers. Only a limited number of sites can be expected to improve their resistance by optimizing human land use. This study's results suggest that vegetation's resistance to water balance extremes is affected by temperature in many land covers and is limited to sites where human land use optimization can be expected to improve resistance.

研究分野：Landscape Ecology

キーワード：レジスタンス 脆弱性 NDVI SPEI

1. 研究開始当初の背景

近年の極端現象の増加に伴い、地域の弾力性として、生態系機能が注目されており、その指標として、レジスタンスおよびレジリエンスがある。レジスタンスは極端現象の際の植生の影響の受けにくさを、レジリエンスは極端現象後に植生がそのダメージから回復する能力を示す(図1)。全球を対象とした植生のレジスタンスおよびレジリエンスの推計については、植生指数(NDVI や EVI)の変動と同じ衛星から取得した気象データを自己回帰モデルで解くものが一般的である。しかし、時系列データ以外のレジリエンスに関係する環境要素(例えば種多様性)について、考慮されていないという問題がある。一方で、フィールドを主とした生態学分野では、気象イベント前後の刈取り試験等の植物生産量から算出されたレジスタンスおよびレジリエンスと種多様性との関係性に着目した個別地域や生態系の研究の蓄積がある。生態学分野の課題としては、種多様性以外の詳細な気象条件や、土壌諸性質や土地利用履歴など、レジスタンスおよびレジリエンスと関わる環境要素が十分に考慮されていないことが挙げられる。

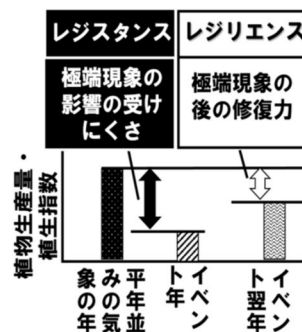


図1 レジスタンスおよびレジリエンスの概念

このような背景をうけて、これまで十分に考慮できていなかった、土壌の諸性質、植物種数や耕作地および草地の利用期間といった環境要素とレジスタンスおよびレジリエンス(極端現象があった年の前後および平年値の植生指数から算出)との関係について、全球を対象に研究をおこなってきた(柳川ほか 2015[3])。その結果、干ばつに対するレジスタンスは耕作期間が長い(> 2000年)ほど高いことが、インドや東アフリカ地域で確認された。一方で、申請者のこれまでの研究では、各地域で発生した個別の極端現象を対象としているため、同程度の発生確率の極端現象でない可能性がある。また、植生指数に直接影響をあたえる、降水量や温度などの気象条件そのものとレジスタンスおよびレジリエンスとの関係は解析していないので、その理解という点において課題が残っている。

2. 研究の目的

レジスタンスやレジリエンスに関して、これまで十分に考慮されてこなかった、発生確率別の極端現象について、レジスタンスおよびレジリエンスを目的変数に環境要素とそれらの交互作用を説明変数として、気候区分と土地利用区分から作成した土地被覆区分ごとにモデル化する。そして、レジスタンスおよびレジリエンスを最大化するため、今後の予測される気象条件をモデルに入れ、優先的に取り組む土地管理オプションを提示する(図2)。

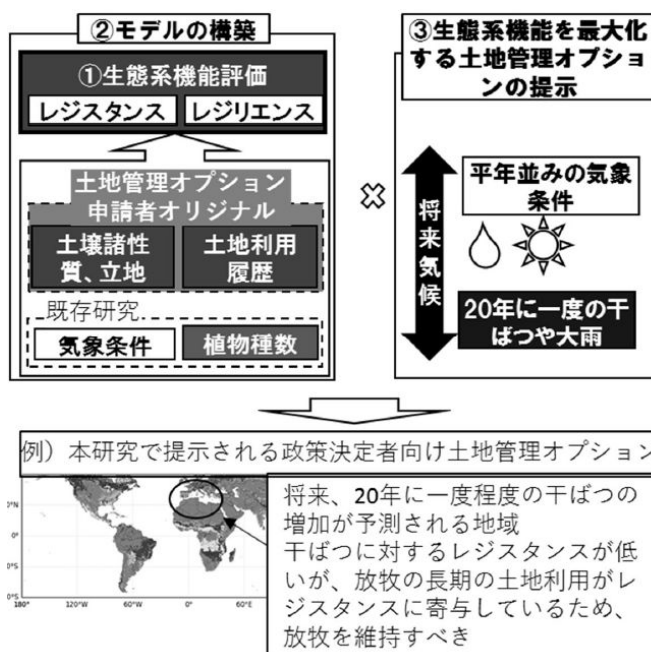


図2 研究概要と目的のイメージ

3. 研究の方法

本研究は全球を対象としたグリッドベースの研究であり、空間解像度は 10km×10km とする。明らかにするのは以下の 2 点である。

(1) レジスタンスとレジリエンスの算出

1982 年から 2015 年までの植生指数 (GIMMS-NDVI3g) を用いて (15 日毎) 月最大値から毎月のデータを生成し、年間最大 NDVI となる回数が最も多い月を各グリッドで計算する。NDVI の年最大値を最も頻繁にとる月を解析対象月 (NDVI 最大月) とする。例えば、NDVI の年最大値として 7 月が最も多い場合、7 月の NDVI の値を年間生産量とする。この 7 月を基準として、7 月の平均 NDVI とイベント年の 7 月の NDVI の差分を用いて、レジスタンスおよびレジリエンスを以下式に基づいて算出する。

$$\text{レジスタンス} = \frac{1}{(\text{NDVI}_m - \text{NDVI}_e) + 1} \quad \text{レジリエンス} = \frac{1}{(\text{NDVI}_m - \text{NDVI}_{e+1}) + 1}$$

NDVI_m : 1982-2015 の NDVI 最大月における平均 NDVI NDVI_e : 気象イベント年における NDVI 最大月の NDVI NDVI_{e+1}: 気象イベント翌年の NDVI 最大月における平均 NDVI

算出したレジスタンスおよびレジリエンスについて水バランスを示す SPEI (The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index: 標準化降水量蒸発散量指数) を使って (月毎) 5、10、25 - 75、90、95 パーセントタイルに気象イベントを 7 分類する (図 3)。SPEI は月データであるため、NDVI で決定された、NDVI 最大月の SPEI (1982-2015 年) を用いる。

(2) モデルの構築と生

態系機能を最大化する
土地管理オプションの
提示

(1) で算出したレジスタンスおよびレジリエンスを目的変数とし、説明変数を、18 の環境要素とし、これらの交互作用も含め、

変数選択をしたものについて、一

般化線形モデルで解く。一般化線形モデルの前処理として、各変数の分布様式から解析に適した標準化および正規化をおこなう。土壌の不飽和透水係数に関するパラメーターの補正もこれまでの申請者の複数の土壌におけるデータを用いて行う。モデルは、国別、気候区分および土地利用を考慮し、政策決定者や土地管理者が使いやすい土地被覆区分とする。このモデルにより、干ばつや降水量の多い年にレジスタンスやレジリエンスにどの環境要素 (説明変数) がどの程度重要であるか定量的に示すことができる。土地管理オプションを説明変数に含めることで、レジスタンスおよびレジリエンスを最大化する土地管理を明らかにする。

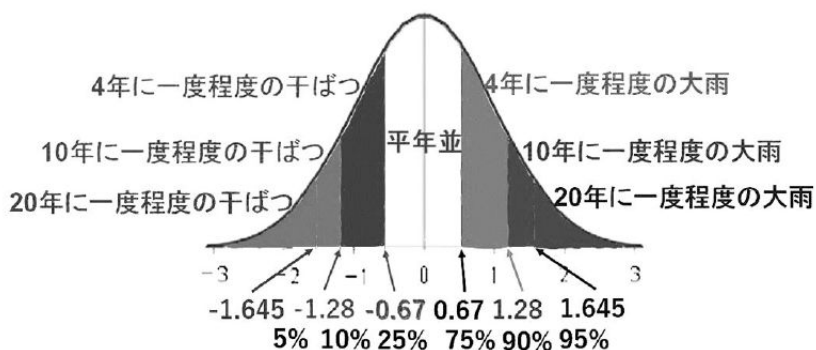


図 3 SPEI を用いた発生確率別の気象イベント分類

4 . 研究成果

土地被覆区分ごと、気象条件ごとにデータを分類し、そのデータごとに、モデル構築した。モデル式を構成する説明変数を分類するための機械学習手法である Light GBM (Light Gradient Boosting Machine) を用いて、説明変数がどの程度目的変数である、レジスタンス、およびレジリエンスに寄与しているか検討した。Light GBM は教師あり学習であり、データの 7 割をランダムに教師データとして解析することを 1000 回繰り返した。その結果、多くの土地被覆が気温に

関する変数が極端現象に影響していた。ただ、草原など、一部の土地被覆では、植物種数がレジスタンスやレジリエンスに最も影響を与えていた。このような土地被覆は、植物種の多様性を維持することが極端現象に対する脆弱性を低下させることが示唆された。最終的に、どの土地被覆においても、本研究で考慮された、土地管理オプションに関する有意な結果は得られなかった。

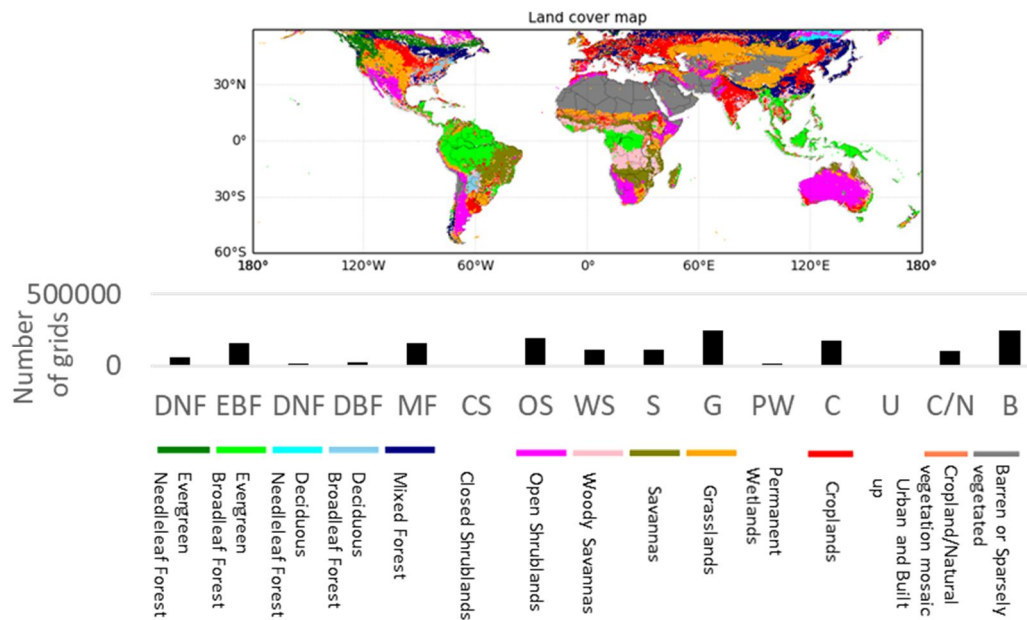
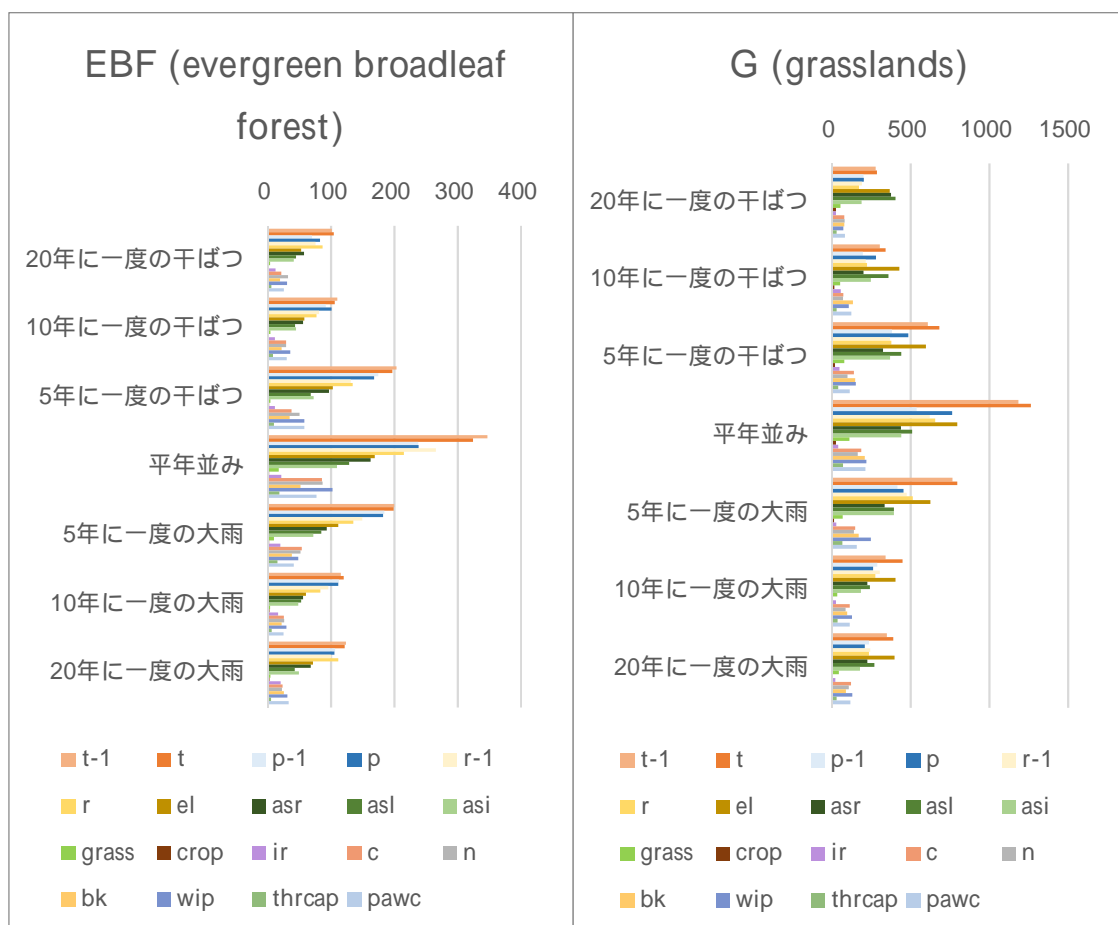


図4 本研究で用いた土地被覆区分



Legends of each column				el	Elavation
9 Climate bvariables	t-1	Temperature in a pre-event year	5 Abiotic factors	c	Soil carbon contents
	t	Temperature in the event year		bk	Bulk density
	t+1	Temperature in the post year		wip	Water content at the wilting point
	p-1	Precipitation in a pre-event year	3 Biodiversi ty factors	pawc	Profile available water
	p	Precipitation in the event year		asi	Anthropogenic species increase
	p+1	Precipitation in the post year		asr	Anthropogenic species richness
	r-1	Radiation in the in a pre-event year	3 land use facors	asl	Anthropogenic species Loess
	r	Radiation in the vent year		grass	Land use history of grasslands
	r+1	Radiation in a post event year		crop	Land use history of croplands
			ir	Area equipped for irrigation expressed	

図 5 本研究成果の一例

常緑広葉樹林 (EBF) では、20 年に一度の干ばつや 20 年に一度の大雨といった極端現象の際に温度がレジスタンスに影響を与えている。草原 (G) では、極端現象でも特に干ばつの時は、植物種数 (asr や asl) がレジスタンスの重要な要因となることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kaoru Kakinuma, Aki Yanagawa, Takehiro Sasaki, Mukund Palat Rao, Shinjiro Kanae	4. 巻 11
2. 論文標題 Socio-ecological Interactions in a Changing Climate: A Review of the Mongolian Pastoral System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 5883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su11215883	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 A. Yanagawa, *, H. Fujimaki, U. Jamsran, T. Okuro, and K. Takeuchi	4. 巻 52
2. 論文標題 Changes in Dominant Perennial Species Affects Soil Hydraulic Properties After Crop Abandonment in a Semi-Arid Grassland in Mongolia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Eurasian Soil Science	6. 最初と最後の頁 1378-1390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1134/S1064229319110140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Haruyuki Fujimaki, Aki Yanagawa	4. 巻 52
2. 論文標題 Application of evaporation method using two tensiometers for determining unsaturated hydraulic conductivity beyond tensiometric range	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Eurasian Soil Science	6. 最初と最後の頁 405-413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1134/S1064229319040069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Megumi Watanabe, Aki Yanagawa, Satoshi Watanabe, Yukiko Hirabayashi, Shinjiro Kanae	4. 巻 53
2. 論文標題 Quantifying the range of future glacier mass change projections caused by differences among observed past-climate datasets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Climate Dynamics	6. 最初と最後の頁 2425-2435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00382-019-04868-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Aki Yanagawa, Shigeki Mori, Kaoru Kakinuma, Subhojit Shaw
2. 発表標題 食料生産量の増加は貧栄養を改善し地域の生態系機能を下げるのか
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryo Sasaki, Haruyuki Fujimaki, Aki, Yanagawa
2. 発表標題 An Estimation of desertification using ecosystem resistance and resilience in drylands
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤村 和正, 井芹 慶彦, 柳川 亜季
2. 発表標題 積雪山地流域の水循環解析と近い将来の流出予測の試み
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazumasa Fujimura, Aki Yanagawa, Yoshihiko Iseri, Masahiro Murakami, Shinjiro Kanae, Shoji Okada
2. 発表標題 Flow Duration Curves Focusing on Flood Runoff in relation to different distributions of soil and geology in Japan
3. 学会等名 European Geosciences Union (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳川亜季、西村敦也、庄司悟、芳村圭
2. 発表標題 1150年分の長期SPEIデータの整備にむけた経過報告
3. 学会等名 生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柿沼薫、Sabhojit Shaw、柳川亜季
2. 発表標題 干ばつに対する生態系の脆弱性と子供の低栄養
3. 学会等名 生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳川亜季、花田貴則、芳村圭、庄司悟
2. 発表標題 Evaluation of ecosystem function by long-term climate data
3. 学会等名 生態学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
インド	人口科学研究所			