

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月12日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K07213

研究課題名(和文) 温暖化に対する生物多様性の安定性効果

研究課題名(英文) Diversity-stability relationship in a plant community under climate warming

研究代表者

鈴木 亮 (SUZUKI, Ryo)

琉球大学・理学部・産学官連携研究員

研究者番号：90418781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、受動的温暖化装置による人工環境条件と自然環境条件において、正の多様性・安定性関係を検証した。種の多様性と遺伝的多様性の影響を検証する2つの実験を行った。どちらの実験も2処理条件を設定した：環境処理(開放温室による人工条件/自然条件)および多様性処理(単一種栽培と4種混合栽培、または1遺伝子型単一栽培と8遺伝子型混合栽培)。

種多様性実験では、4種混合群集が1種単一群集と比べ自然条件と人工条件ともに生産性と安定性が高いことが示された。一方、遺伝的多様性実験では明確な傾向は見られなかった。本研究の成果は、生態系機能・多様性関係の頑健性を部分的に支持する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温暖化や気候変動に対する生物多様性の生態系機能(安定性や生産性効果)を検証した新規的な成果である。それらの成果は、どのような特徴をもつ生態系が地球温暖化により脆弱なのか、あるいは頑健なのかを予測する上で極めて役立つ。その知見は、温暖化対策を計画する際に、緊急性・危険性の高い地域を選定する基準として有用になるであろう。

今回の研究は、実験環境下において限られた種数や遺伝子型数での検証となり、本研究の成果の普遍性を確かめるためには今後自然群集や多様な生態系での研究が必要である。

研究成果の概要(英文)：This study tested whether positive diversity-stability relationships are robust in both natural and artificial environmental conditions in a passive warming device. We conducted two experiments testing effects of species diversity and genetic diversity. Both experiments established two treatment conditions: environmental treatment (artificial condition modified by an open-top greenhouse and natural condition in ambient climates) and diversity treatment (one-species monoculture and four-species mixture, or one-genotype monoculture and eight-genotype mixture). The species-diversity experiment showed mixed community has greater productivity and stability under both natural and artificial conditions, whereas the genetic diversity experiment show no clear trends. Our results partially supported the robustness of the positive diversity effects on ecosystem functioning.

研究分野：生態学

キーワード：種多様性 遺伝的多様性 安定性 生産性 温暖化 open top chamber

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生物多様性には生態系を安定化させる働きがある。この働きにより、種多様性や種内の遺伝的多様性の高い生物群集ほど、様々な環境変動に対し頑健である(影響を受けにくくなる)と予測されている(多様性-安定性仮説, Tilman et al. 2006. Nature 441:629-632)。

地球温暖化は今日最も懸念される環境変動であるが、温暖化等の気候変動に対しても多様性-安定性仮説が成り立つかは、十分に検証されていない。もし温暖化に対しても多様性-安定性仮説が成り立つならば、高山地帯など本来多様性の低い生態系や、攪乱を受け多様性が失われた生態系では温暖化に特に脆弱である可能性がある。また、温暖化によって生物多様性が減少すれば、ますますその生態系は温暖化に脆弱になる正のフィードバックが働くであろう。生物多様性の安定性効果を解明すれば、温暖化の生態系へのインパクトを、より正確に予測できるようになると期待される。

### 2. 研究の目的

“多様性・安定性仮説”は、生物多様性が高い生態系ほど環境変動に対し安定性を示すと予測する。地球温暖化は現在最も懸念される環境変動であるが、温暖化に対し生物多様性が生態系の安定化をもたらすのかはほとんど検証されていない。

本研究は、種多様性や種内の遺伝的多様性が高い植物群落ほど、温暖化に対し安定性を示すか(バイオマスの変化が小さいか)を実験的に検証する。そのために、同所的に生育する草原性草本種および、ミヤマハタザオ(アブラナ科)の遺伝子型が異なる複数家系を用いて、それぞれ種多様性と種内の遺伝的多様性の異なる栽培条件をつくり、温暖化環境と非温暖化環境下で栽培して、群落の反応や異なる標高に適応した集団の反応を比較する。

### 3. 研究の方法

共通ほ場での野外温暖化実験によって、以下の3つの課題を検証した。各実験はいずれも、温暖化環境と非温暖化環境での多様性、安定性、生産性(バイオマス)を比較した。温暖化区は、園芸用ビニールハウスの側面のみビニールを張った天上開放型温室を設置した。

#### (1) 実験1. 種多様性の高い群落は温暖化の影響を受けにくい

共通圃場に隣接する菅平高原の草原に生育する草本4種(ススキ、ヨモギ、イタドリ、コウゾリナ)を用いた。それぞれの種について、実験室で種子から約1ヶ月半育苗後、個体を温暖化区と対照区を移植した。各処理区内に、1単一種区(1種から4個体)と、多様性区(4種から1個体ずつ)をそれぞれ12反復ランダムに設置した。1反復は20×20 cmのグリットとし、中心10 cm四方に均等に4個体を配置した。移植4ヶ月後、全個体を採集し、個体ごとに地上部と地下部の乾燥重量を測定した。

#### (2) 実験2-1. 種内の遺伝的多様性の高い群落は温暖化の影響を受けにくい

30 m から 2902 m までの標高に生息する計 27 集団から採取された種子を栽培室で継代栽培したものを使用した。高標高集団(1528 m 以上)8 集団、低標高集団 8 集団の計 16 集団を使用し、実験室で種子から約1ヶ月半育苗後、個体を温暖化区と対照区を移植した。各処理区内に、1多様性区(1集団から8個体)と、8多様性区(8集団から1個体ずつ)をそれぞれ8反復ランダムに設置した。1反復は25×25 cmの区画とし、中心から直径12 cmの円周上に均等に8個体を配置した。

#### (3) 実験2-2. 高標高由来の家系ほど温暖化に脆弱

実験2-1で使用したミヤマハタザオ16集団を含む計27集団を使用した。それぞれの集団について、種子から育苗後、各集団3~6個体を温暖化区と対照区に単体で移植した。

#### (4) 温度測定

各区画中央の地上30 cmと地中5 cmの地点に温度ロガーを設置し、毎時の気温を記録した。温暖化区(3区)と対照区(3区)それぞれで、毎時温度の平均値を算出し、処理区間の温度差をt検定により比較した。

#### (5) 統計解析

統計解析は、統計解析フリーソフトRを用いた(ver. 3.3.3.; R Core Team 2017)。実験1のデータは、グリット単位の総重量、個体重について、環境条件(温暖化/対照)と多様性条件(1種/4種)の効果を分割区画分散分析(split-plot ANOVA)で解析した。安定性は2つの指標を計算した。一つ目は、同一処理条件内の安定性で、環境と多様性の条件が同一のグリットのバイオマスについて、安定性(平均/標準偏差)を求めた。二つ目は、環境に対する安定性で、温暖化区と対照区間に見られるグリットバイオマスの安定性(平均/標準偏差)を求めた。どちらの安定性も無作為化重複抽出法により10000回の計算を行い、安定性の信頼区間を算出した。統計的有意性は、信頼区間の重なりがないことによって判定した。

実験2のどちらも共通して、移植時および10月から11月に1回、各移植個体のロゼット面積(ロゼット直径の最大値×最小値)を測定した。各区画の合計ロゼット面積の対数値をバイ

オマスの指標とした。温暖化区と対照区で集団と多様性が同じ区画をペアにして、ペアごとにバイオマスの平均と標準偏差を求めた。その平均/標準偏差を安定性の指標とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 温度環境

温暖化区内の気温は、対照区と比較して実験期間を通じ平均 0.07 高かった( $P < 0.0001$ )。特に日中の気温差が大きく、その差は最大で 4 になった。土壌温度も平均 0.53 高かった( $P < 0.0001$ )。

##### (2) 実験 1

地上部、地下部、全体のグリットバイオマスはいずれも 4 種条件の方が 1 種条件より、温暖化・対照どちらの環境でも有意に大きかった(表 1、図 1)。また、環境に対する安定性も 4 種条件の方が高かった。同一処理内安定性は、多様性温暖化条件で最も高かった(図 2)。

表 1 分割区画分散分析の結果：地上部、地下部、全体のグリットバイオマスに対する環境(E)と多様性(D)および交互作用の効果を検定した。

Variables	Df	Aboveground biomass			Belowground biomass			Total biomass		
		SS	F	P	SS	F	P	SS	F	P
Environmental treatment (E)	1	18.6	5.61	<b>0.027</b>	10.9	3.17	0.089	16.14	3.95	0.060
Diversity treatment (D)	1	36.5	7.53	<b>0.012</b>	35.9	7.88	<b>0.010</b>	40.56	7.70	<b>0.011</b>
E:D	1	4.7	1.41	0.247	5.0	1.44	0.242	5.61	1.37	0.254
Residuals	44	179.8			176.0			205.89		

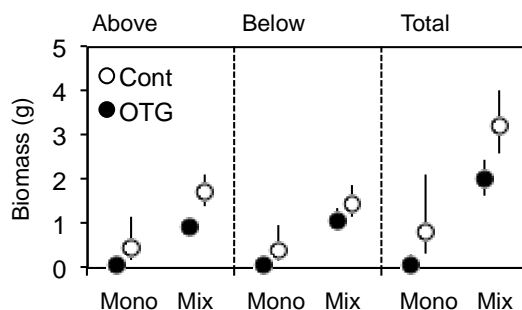


図 1 温暖化区(OTG), 対照区 (Cont), 単一種条件(Mono)、4 種条件(Mix)でのグリットバイオマス(平均 ± 標準誤差)

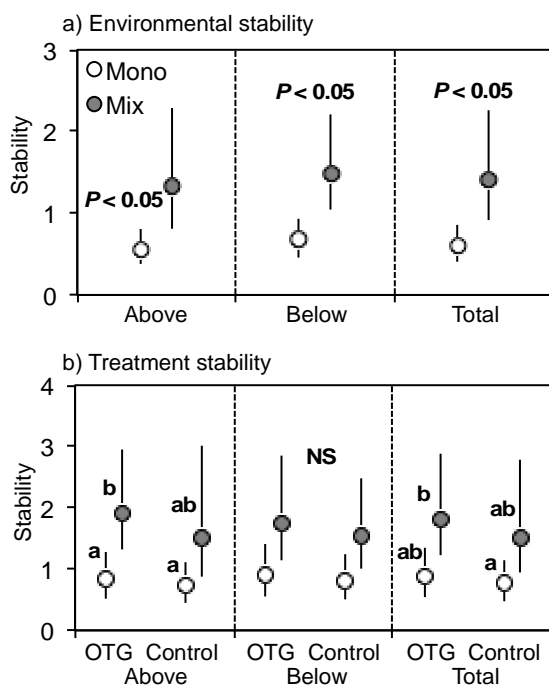


図 2 環境に対する安定性(a)と処理区内安定性(b)の比較(平均 ± 95%信頼区間)。異なるシンボルは有意な差を表す。

### (3) 実験 2-1 : 遺伝的多様性実験

高標高では温暖化区、対照区共に 8 多様性区の方が合計ロゼット面積は大きくなり、温暖化区で多様性処理区間の差が大きかった。低標高では温暖化区、対照区共に 8 多様性区の方が値は小さくなり、温暖化区の方が多様性処理区間での差が大きかった。また区画ごとの生存率は、高、低標高共にロゼット面積と同様の結果が得られた。安定性は、高標高、低標高共に 8 多様性区の方が低くなった(図 3)。これらの結果は本研究の予測と反する。低標高集団については、生存率が今回の結果に影響している可能性がある。

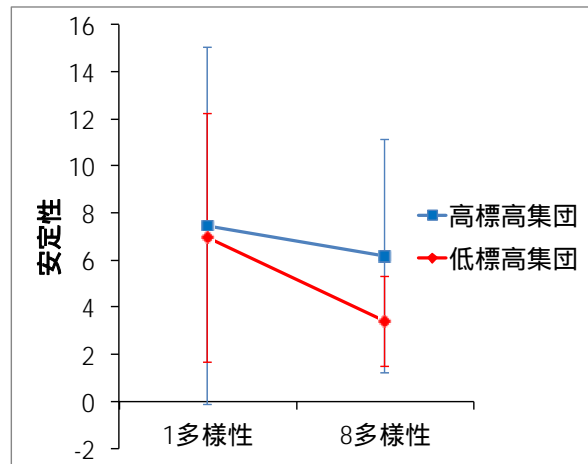


図 3 種内の遺伝的多様性と安定性の関係

### (4) 実験 2-2 : 標高反応実験

温暖化区では高標高由来の個体ほどロゼットサイズは小さくなり、対照区ではわずかに大きくなった(図 4)。これは予測と合致する。

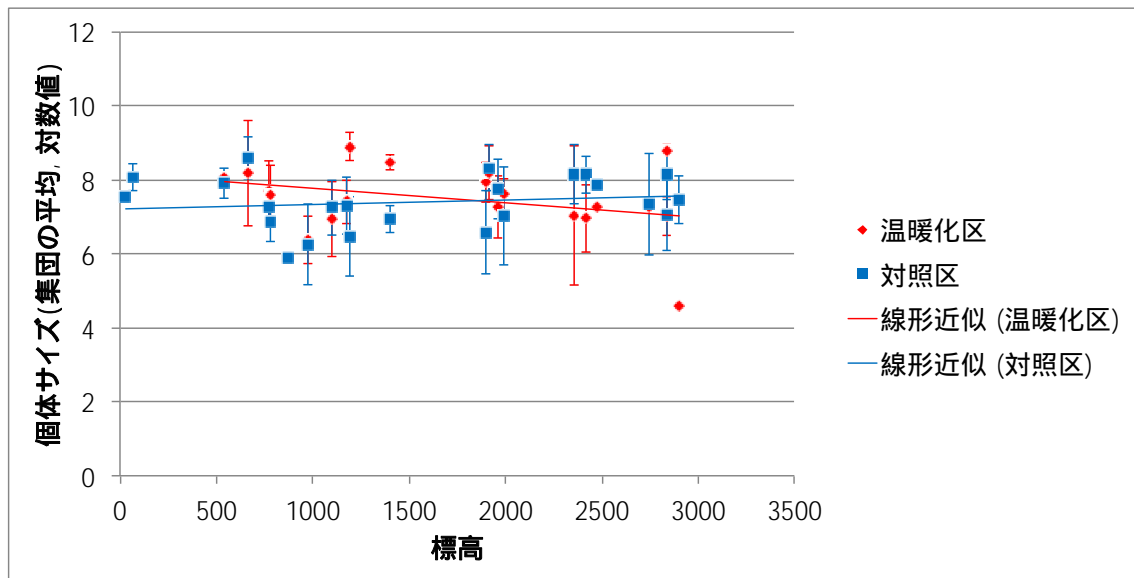


図 4 標高とロゼット面積の対数値との関係

### 考察

実験 1 の結果から、種多様性の高い群集は、温暖化環境、非温暖化環境いずれにおいても生産性が高く、安定性が高いことが見出された。すなわち、多様性・生態系機能の関係性は、環境変動に対し頑健であることが示唆される。

実験 2 の結果から、高標高集団ほど温暖化に弱く、低標高集団ほど実験地(菅平高原)の寒冷気候に弱い可能性が示唆された。しかしながら、遺伝的多様性と安定性には必ずしも正の関係が見出せなかった。その原因として、移植個体の高死亡率が考えられる。圃場の実験環境が、移植個体の生育には厳しく、そのことが実験結果に左右した可能性がある。

実験 1 の成果は、論文にまとめ現在国際学術誌に投稿中である。実験 2 の成果は、統計解析方法のさらなる検討が必要である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Suzuki R.O., Nagaoka, N. (2017) Warming can enhance the detrimental effect of pathogens on a host plant, *Miscanthus sinensis*, in a cool-temperate montane grassland in Nagano, Japan. *Écoscience* 24: 137-144.

〔学会発表〕(計1件)

鈴木亮, 温暖化に対する生物多様性の安定性効果, 日本生態学会第64回大会(早稲田 2017年3月)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 田中 健太

ローマ字氏名: TANAKA, Kenta

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。