

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00648

研究課題名（和文）外来樹木の侵入と駆除に伴う森林の水循環と植物群集の変化：生態系の持続可能性の検討

研究課題名（英文）Changes in water cycle and community structure in forests with invasion and eradication of an invasive tree: Examination of ecosystem sustainability

研究代表者

畑 憲治 (HATA, Kenji)

日本大学・商学部・准教授

研究者番号：60468147

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：外来樹種の侵入と駆除に伴う森林生態系の変化をNovel ecosystemの考え方に基づき系内の水循環と植物群集の特性の組み合わせに着目して明らかにするために、小笠原諸島において外来樹種トクサバモクマオウの侵入が土壌水分環境に及ぼす影響を評価し同樹種の優占の程度と駆除の有無が異なる場所において、植物群集特性と土壌水分環境との関係を比較した。

その結果、トクサバモクマオウの侵入は乾燥に伴う土壌からの水の消失の促進を介して表層土壌含水量を減少させることが示唆された。また同樹種の侵入と駆除は土壌水分環境と植物群集構成を大きく改変し、駆除後必ずしも侵入前の状態に戻るわけではない可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、外来樹木によって機能が改変・劣化した生態系の効果的な管理手法の確立するうえで有用な知見を提供することが期待される。特に今後温暖化に伴って極端な気象現象（大雨や干ばつ）の頻度が増加することが予想される状況で、外来樹木の侵入やその駆除によって森林生態系の水の収支や循環がどのように変化するかを予測することは、在来生態系の保全だけでなく、治水、利水など森林の生態系サービスを持続的に維持するうえでも不可欠な情報である。

また本研究の結果は、外来樹木の侵入が森林生態系の水循環を改変し、結果、更なる外来樹種の侵入を促進する、という正のフィードバックを引き起こす可能性を示唆した。

研究成果の概要（英文）：To clarify the changes in the forest ecosystem with invasion and eradication of invasive tree species based on "Novel ecosystem" concept, we focused on the combination of water cycle and community structure in the ecosystem. We evaluated effects of dominance of a nonnative tree, *Casuarina equisetifolia* on soil water environments. We compared the relationship between community structure and the soil water environment with a combination of dominance of *C. equisetifolia* and presence of its eradication.

Results of the study suggested that the invasion of *C. equisetifolia* would reduce the surface soil water contents through the acceleration of the loss of water from the soil with drought. In addition, it was suggested that the invasion and eradication of *C. equisetifolia* greatly altered the soil water environment and plant community composition, and the possibility that the eradication did not necessarily return to the pre-invasion state.

研究分野：生態学

キーワード：Novel ecosystem 海洋島 侵略的外来種 トクサバモクマオウ 小笠原諸島 土壌水分環境 駆除

1. 研究開始当初の背景

在来生態系に侵入し、さまざまな攪乱を引き起こす外来生物に対して世界中でその駆除が実施されている。しかし、外来生物の駆除は、必ずしも元の生態系を復元しない (Zavaleta et al. 2001)。これは、外来生物に侵入された生態系内で形成された外来生物を含む新たな生態系内のネットワークが、駆除自体が新たな攪乱となり予想外の影響を及ぼすことによる。このような外来生物の侵入と駆除による攪乱がもたらす影響の解明は、生態系の順応的な管理手法を確立し、持続可能な生態系を保全、復元する上で喫緊の課題である。

外来生物の駆除後に成立した生態系は、生物の種構成や機能の点で外来生物が侵入する前の生態系とは異なることが多い。これは、生態系が攪乱を受けた後に元の状態に戻る力 (レジリエンス) の閾値を超え、別の状態に移行したと考えることができる (図1)。近年、攪乱を受けた生態系の管理において、攪乱前の状態に戻るかどうかよりも持続可能であるかどうかを重視する考え方が提唱されている。生物の種構成や機能の点で攪乱前とは異なるが、持続可能な生態系は「Novel ecosystem」と呼ばれる (Hobbs et al. 2011)。Novel ecosystemは、特に生態系の機能に着目してその持続可能性が評価されることが多い。

陸域生態系の中で特に森林生態系において侵入した外来木本種が強く優占し、生態系内の重要な機能を担うことがある。これらの外来木本種の駆除は、生態系内から大きなバイオマスを消失させ、結果的に物質の収支や循環などの生態系の機能を大きく変化させる可能性がある。

特に、森林生態系では、樹木が樹冠やリターによる降雨の遮断、光合成に伴う蒸散を介して、生態系における水の循環に大きく影響する (森林水文学編集委員会、2007)。水は、生態系における栄養元素等の物質を運搬する重要な媒介であり、生態系機能の健全性・持続性に不可欠な要素である。

申請者は、過去に小笠原諸島の森林生態系において広く優占する外来木本種トクサバモクマオウの駆除が水循環に及ぼす影響を明らかにする研究を実施してきた。海によって周囲の生態系から隔離されている点、構成種が少なく相互作用を把握しやすい点から、「島」は生態系を研究する上で優れたモデルと言える。同種は、小笠原諸島を含む亜熱帯島嶼で広く侵入している (Weber 2003)。トクサバモクマオウが優占する森林の林床には、大量のリターフォールによる厚いリター層が形成されており、他の木本種の実生の定着が阻害されている (Hata et al. 2009, 2010)。また、このリターを介して窒素循環にも影響を及ぼしている可能性がある (Hata et al. 2012)。現在、小笠原諸島の自然再生事業の一環としてトクサバモクマオウの駆除が実施されている。

これまでに野外におけるトクサバモクマオウの実験的な駆除に伴う土壌含水量の時間的・空間的な変化を定量的に評価した結果、以下の点が明らかになった。

- 1) トクサバモクマオウの駆除によって土壌含水量が増加する (Hata et al. 2015)
- 2) 1) の土壌含水量の増加は、乾燥時の土壌からの水の消失量の減少や降雨時の土壌への水の供給量の増加と関係する (Hata et al. 2016)。
- 3) 2) の関係の強さは、駆除からの経過時間に伴って変化する (Hata et al. 2015)。

これらは、外来木本種の侵入と駆除が森林生態系の水循環を変化させたことを示唆する。

2. 研究の目的

本研究では、外来木本種の侵入とその駆除に伴う森林生態系の変化を、Novel ecosystemの考

え方に基づき、生態系内の水循環と植物群集の特性の組み合わせに着目して明らかにする。そのために、(1) これまでに明らかになっていなかったトクサバモクマオウの侵入が土壤水分環境に及ぼす影響を評価し、(2) トクサバモクマオウの優占の程度と駆除からの経過時間が異なる場所において、植物群集特性と水文環境特性の関係を比較する。これらの結果に基づいて外来木本種の侵入と駆除に伴って森林の植物群集と水文環境がどのように変化するかを予測する。

3. 研究の方法

(1) トクサバモクマオウの侵入が土壤水分環境に及ぼす影響

調査は父島列島父島の洲崎・二子地域における二次林で実施した。トクサバモクマオウが優占する森林(以下モクマオウ林)と在来樹種が優占する森林(以下在来林)各12地点において表層土壌(深さ約5cm)における体積含水率(以下土壌含水率)を約2年4か月間継続的に測定した。また、測定期間における気象庁の父島測候所の気象データ(降雨量、最高気温、日射量)を収集した。

以上のデータを用いて、表層土壌の体積含水率を応答変数、森林タイプ(モクマオウ林と在来林)、日降雨量、日最高気温、1日の日射量および二次の交互作用を説明変数とする一般化線形混合モデル(以下GLMM)を作成した。また、連続した12時間の積算雨量が5mm以下の期間(以下乾燥期間)における土壌含水率の最小値を応答変数、乾燥期間の2時間目の土壌含水率(以下初期値)、森林タイプ、乾燥期間の長さ、最高気温、日射量およびこれらの二次の交互作用を説明変数とするGLMMを作成した。

(2) トクサバモクマオウの侵入・駆除と植物群集特性との関係

調査は、父島列島西島のトクサバモクマオウの優占の程度が異なる森林で実施した。除草剤を用いてトクサバモクマオウを枯殺し立ち枯れ状態にした地域(駆除地域、10地点)と対照地域(8地点)において土壌含水率を約1年間継続的に測定した。また、森林群集の構造や種構成を評価するために各地点で20×20mの範囲に出現した全樹木個体(立ち枯れ個体も含む)の胸高直径を測定した。

森林群集の構造と種構成に基づいた序列化と分類を実施するために、各樹木個体の胸高直径から計算した樹種別の胸高断面積合計に基づいて多次元尺度構成法(以下MDS)とクラスター分析を実施した。この序列化と分類の結果に基づいて土壌含水率の経時的変化を比較した。

4. 研究成果

(1) トクサバモクマオウの侵入が土壤水分環境に及ぼす影響

GLMMにおいて土壌含水率に対する森林タイプとの違い(モクマオウ林と在来林)有意な効果が検出された。実際に、測定期間を通じて全体的にモクマオウ林における土壌含水率は、在来林における値よりも低い傾向があった(図1)。また、日最高気温、日射量およびこれらと森林タイプとの交互作用の有意な効果が検出された。GLMMの結果は、日最高気温、日射量と土壌含水率の間には有意な負の関係が見られ、この関係の有無や程度は、モクマオウ林と在来林で異なることを意味する。一方で、土壌含水率に対する日降雨量および日降雨量と森林タイプの交互作用の有意な効果は検出されなかった。

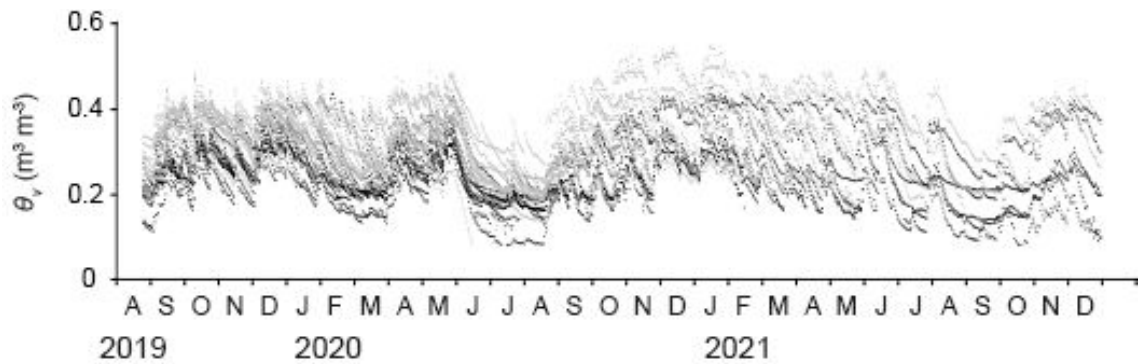


図1 表層土壌の体積含水率 ($\theta_v, m^3 m^{-3}$) の経時的変化。黒色の点がモクマオウ林、灰色の点が在来林を意味する。

乾燥期間における土壌含水率の最小値および初期値に対する森林タイプの有意な効果が検出された。モクマオウ林における最小値および初期値は、在来林よりも有意に低かった(図2)。また、初期値、森林タイプおよびこれらの交互作用を説明変数とするGLMMでは、全ての説明変数に有意な効果が検出された。同じ初期値における最小値を比較するとモクマオウ林のほうが在来林よりも最小値が低く、この傾向は初期値が高い乾燥期間ほど顕著であった。

乾燥期間の長さ、日射量、最高気温すべてが土壌含水率の最小値に対して有意な効果が見られた。3つの説明変数の値が大きくなるとともに最小値が低くなる傾向が見られた。また、最小値に対する日最高気温と森林タイプの有意な交互作用の効果が検出された。日最高気温が高いほどモクマオウ林と在来林との最小値の差が大きくなる傾向が見られた。

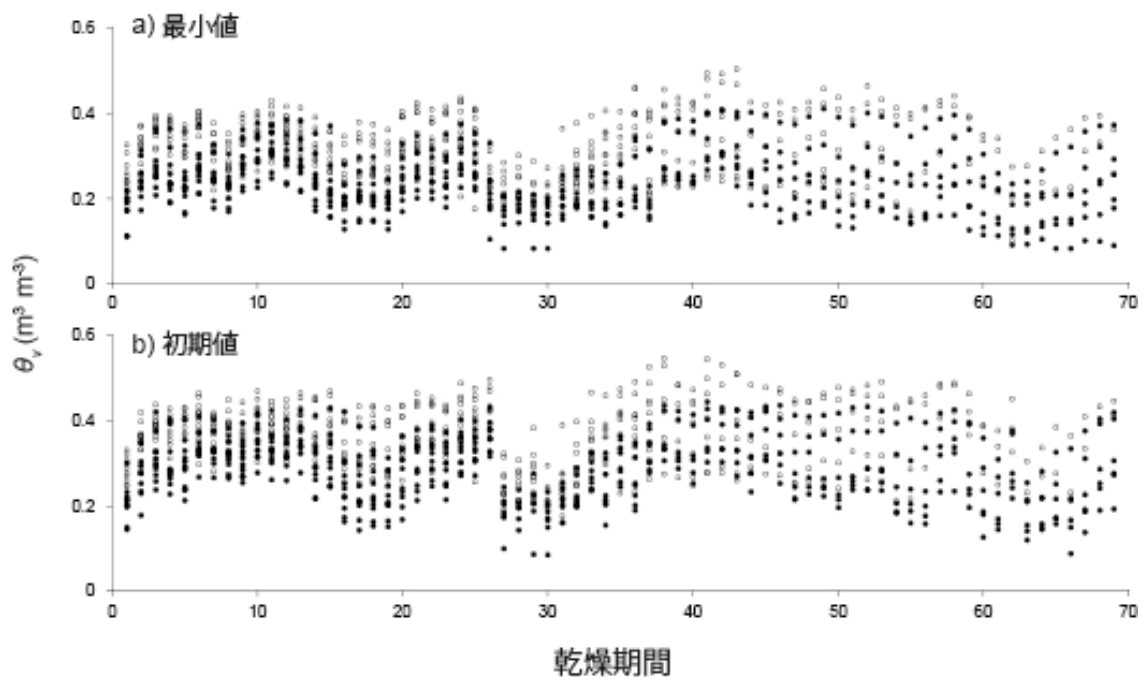


図2 xx回の乾燥期間における表層土壌の体積含水率 ($\theta_v, m^3 m^{-3}$) のa) 最小値とb) 初期値。xがモクマオウ林、○が在来林を示す。

以上の結果は、小笠原諸島の在来森林生態系におけるトクサバモクマオウの侵入・優占は、表層土壌の含水量を減少させることを示唆した。また、この減少は、乾燥に伴う土壌からの

水の消失量が増加したことが主な原因と考えられる。このような土壌からの水の消失量の増加は、トクサバモクマオウの蒸散速度が在来樹種よりも速いことが原因かもしれない。

(2) トクサバモクマオウの侵入・駆除と植物群集特性との関係

樹種別の胸高断面積合計に基づいた MDS とクラスター分析の結果、トクサバモクマオウが優占する群集では、トクサバモクマオウの駆除の有無でその種構成が明確に区分された。一方で、トクサバモクマオウの優占の程度が低い群集では、トクサバモクマオウの駆除の有無による種構成の違いは小さかった。その結果、トクサバモクマオウが優占する対照地域の森林（以下モクマオウ群集）、トクサバモクマオウが優占する駆除地域の森林（駆除群集）、在来樹木が優占する森林（在来群集）に大きく区分された。

土壌含水率のばらつきは、3つの群集タイプの違いで有意に説明できた。土壌含水率は、在来群集、駆除群集、モクマオウ群集の順に高い傾向が見られた。乾燥期間における土壌含水率の最小値は、モクマオウ群集は在来群集よりも低い傾向があった。駆除群集の乾燥期間における体積含水率の最小値は、群集内で大きなばらつきが見られた。

以上の結果は、トクサバモクマオウの侵入と駆除は、土壌水分環境と植物群集構成を大きく改変する可能性を示唆する。また、この改変は、トクサバモクマオウの駆除の結果、群集の構造や種構成と点や土壌水分環境という点で必ずしもトクサバモクマオウが侵入する前の森林生態系に戻るわけではない可能性を示唆した。

< 引用文献 >

Hata K, Kato H & Kachi N (2009) Ogasawara Research 34: 33-50.

Hata K, Kato H & Kachi N (2010) Journal of Forest Research 15, 384-390.

Hata K, Kato H & Kachi N (2012) Weed Res. 52, 542-550.

Hata K, Kawakami K & Kachi N (2015) Pac. Sci. 69: 445-460

Hata K, Kawakami K & Kachi N (2016) Sci. Total Environ. 545-546: 372-380

Hobbs et al. (2006) Glob. Ecol. Biogeogr. 15: 1-7.

Hobbs et al. (2011) Novel ecosystems, Willey-Blackwell, 368p.

森林水文学編集委員会編 (2007) 森北出版, 337p.

Weber E (2003) Wallingford, UK: CABI Publishing, 88.

Zavaleta ES, Hobbs R & Mooney HA (2001) Trends in Ecology & Evolution 16: 454-459

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hata K	4. 巻 45
2. 論文標題 Nakado-jima, an oceanic island of Ogasawara Islands, in the northern Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 DIWPA News Letter	6. 最初と最後の頁 2-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Hata K	4. 巻 23
2. 論文標題 Loss of ecosystem functions caused by severe disturbances in the Ogasawara islands can limit restoration: Implications for a new framework of practical restoration of disturbed ecosystems after eradication of feral goats	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Environmental Research	6. 最初と最後の頁 37-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yoshida, K., Hata, K., Kawakami, K., Osawa, T., Hiradate, S. and Kachi, N.	4. 巻 143
2. 論文標題 Ecosystem changes following the eradication of invasive species: evaluation of various eradication scenarios by computer simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecological Modeling	6. 最初と最後の頁 108831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolmodel.2019.108831	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 畑 憲治・可知直毅	4. 巻 86
2. 論文標題 海洋島における野生化ヤギ駆除後の生態系の変化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 森林科学	6. 最初と最後の頁 7-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hata K, Osawa T, Hiradate S, Kachi N	4. 巻 27
2. 論文標題 Soil erosion alters soil chemical properties and limits grassland plant establishment on an oceanic island even after goat eradication	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Restoration Ecology	6. 最初と最後の頁 333-342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/rec.12854	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 Hata K., Kachi N.	4. 巻 22
2. 論文標題 Establishment of early-stage planted seedlings of a native woody species under a closed canopy of invasive <i>Casuarina equisetifolia</i> in the subtropical oceanic Ogasawara Islands	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 135-140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2017.1284031	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 Hata K, Iwai N, Sato T, Sawada H	4. 巻 22
2. 論文標題 Species-specific growth patterns of trees neighboring dead oak trees caused by Japanese oak wilt disease	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 248-255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2017.1337554	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 Hata K, Yamaura Y, Kachi N.	4. 巻 43
2. 論文標題 31-year dynamics of a secondary forest that invaded by <i>Bischofia javanica</i> after simultaneous death of <i>Pinus luchuensis</i> in Chichijima Island	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ogasawara Research	6. 最初と最後の頁 19-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 畑 憲治
2. 発表標題 海洋島における侵略的外来木本種の侵入に伴う土壌水分環境と森林動態との関係
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畑 憲治
2. 発表標題 海洋島における外来哺乳動物の攪乱と駆除に伴う生態系の変化 (Loss of ecosystem functions caused by severe disturbances of feral goats in oceanic islands can limit restoration)
3. 学会等名 京大大学生態学研究センター第318回生態研セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 畑 憲治・川上和人・阿部 真・可知直毅
2. 発表標題 小笠原諸島における外来樹木の侵入と駆除に伴う土壌含水量と植物群集構成の変化
3. 学会等名 日本生態学会67回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 畑 憲治・可知直毅
2. 発表標題 土壌流出に伴う土壌の化学特性の改変による植物の定着の制限
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 畑 憲治
2. 発表標題 駆除に伴う侵略的外来樹木トクサバモクマオウの枯死は土壤水分環境を改変するか？
3. 学会等名 京都大学生態学研究センター公募研究会「樹木の乾燥枯死、樹病枯死メカニズムの解明と温暖化等による乾燥影響評価」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 畑 憲治・川上和人・可知直毅
2. 発表標題 小笠原諸島における外来樹トクサバモクマオウ駆除後の外来樹ギンネムの侵入が在来植物の定着に及ぼす影響
3. 学会等名 日本生態学会第65回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平舘俊太郎・畑 憲治・大澤剛士・川上和人・可知直毅
2. 発表標題 小笠原諸島・媒島に生育する主要草本植物の環境適性：植物栄養学および土壤肥料的アプローチ
3. 学会等名 日本生態学会第65回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平舘俊太郎・畑 憲治・大澤剛士・可知直毅
2. 発表標題 小笠原諸島・媒島に分布する土壤の荷電特性
3. 学会等名 第61回粘土科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 畑 憲治・平舘俊太郎・可知直毅
2. 発表標題 土壌流出に伴い化学特性が変化した土壌は、草本植物の初期成長を種特異的に制限する：野生化ヤギの攪乱を受けた小笠原諸島の事例
3. 学会等名 日本生態学会第64回大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

日本大学研究者情報システム https://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/149/0014875/profile.html
--

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
---------	---------