

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月10日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22710232

研究課題名（和文） 動的レジーム理論に基づく植生管理のための生態学的研究：浅い湖沼を対象として

研究課題名（英文） Ecological study toward the vegetation management based on the dynamic regime theory for shallow lake ecosystem

研究代表者

西廣 淳（NISHIHIRO JUN）

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教

研究者番号：60334330

研究成果の概要（和文）：富栄養化した浅い湖沼における植生管理に資する基礎研究として、浮葉植物が広範囲に優占する安定相（レジーム）の維持機構を分析した。三方湖を対象として2003年以降の植生変化をリモートセンシングにより分析したところ、2006年からヒシが急速に増殖したことがわかった。現状のヒシの分布は、湖内での種子分散の空間パターンと塩分濃度に規定されていることが示され、湖への流入河川の水量（種子分散と塩水分布の両方に影響）が湖沼生態系のレジームを左右する可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Ecological mechanism of the formation of large and dense vegetation beds dominated by *Trapa japonica*, a floating leaved plant, was studied in Lake Mikata, in order to obtain basic knowledge for vegetation management in shallow lakes. Remote sensing analyses revealed that the area of *T. japonica* bed in Lake Mikata has been increasing since 2006. The distribution of *T. japonica* beds within the lake was affected by the pattern of seed dispersal and entrance of saline water from a lower lake. Flow regime of tributary rivers can affect both these factors. The importance of the river management on the regime of lake ecosystems was suggested.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学・資源保全学

キーワード：生物多様性保全、生態系管理

1. 研究開始当初の背景

近年、人間活動に起因する生物多様性の喪失、生態系の不健全化が強く認識され、その回復・再生が社会的課題となっている。それに伴い、生態系の変化のあり方についての研究も進展している。その重要な成果の一つが、動的レジーム理論（dynamic regime concept,

Mayer & Rietkerk 2004）である。この理論では、生態系は環境の変化や時間経過に対して連続的に変化するのではなく、閾値を越えた環境変化や生態系の構成要素間の相互作用の変化により、複数の安定状態の間を不連続・跳躍的に変化する。そして安定状態では、要素間に正のフィードバックが生じ、その状

態がさらに強化されることが知られている。たとえば侵入した外来種による環境改変作用で、その外来種にとって生息しやすく在来種にとって生息しにくい環境が形成され、さらに外来種の増殖が加速される現象は正のフィードバックの例である。

動的レジーム理論に基づくモデルがよく当てはまる生態系では、その管理や再生においても、正のフィードバックが生じる機構の解明や、別の安定状態に移行する閾値の検出など、従来の自然資源管理とは異なるアプローチが求められる (Suding & Hobbs 2009)。しかし実際の管理に適用するための科学的知見は不足しており、理論と実践のギャップを埋める現場指向型の基礎研究が求められている (Suding and Hobbs 2009)。

浅い湖沼は、動的レジーム理論がよくあてはまる代表的な生態系である (Scheffer et al. 2001)。浅い湖沼における主要な安定状態としては「沈水植物が優占する状態」と「植物プランクトンが優占する状態」の二つが知られている (Scheffer & Carpenter 2003)。一方、近年日本の多くの浅い湖沼で、一年生の浮葉植物であるヒシ (あるいはオニビシ) が湖面の大部分を覆う現象が報告されており、第三の安定状態とでもいうべき様相が認められる。ヒシ類の繁茂は船舶の航行障害や景観上の問題を起こしたり、水質・底質の貧酸素化を招くということを根拠として、いくつかの湖沼では駆除が行われている。一方、ヒシやオニビシは日本在来の水生植物であり、栃木県、埼玉県、神奈川県、福岡県などでは地域版レッドリストに掲載されている。湖沼管理においては、侵略的外来種に対して行うような「排除」を目的とするのではなく、ヒシ類の動態のメカニズムを明らかにし、適切に「個体群管理」することが求められる。

2. 研究の目的

適切な管理手法の策定に寄与する基礎的知見を得ることを目的とし、ヒシ類優占状態の成立維持機構を解明する研究を、ラムサール条約指定湿地にも含まれる三方湖 (福井県) を対象に実施した。

また、レジームの維持において重要とされる生物種間のファシリテーション (ある生物種が形成する環境が他種の生育可能性を向上させる減少) のメカニズムについて、霞ヶ浦湖岸にある湿性植生を対象に研究した。

3. 研究の方法

(1) ヒシ群落の維持機構

① ヒシ分布範囲の経年変化の把握

三方湖におけるヒシ展葉面積の年次変化を、人工衛星によるリモートセンシング画像を活用して検討した。検討では、まず 2009 年から 2011 年までの各年における航空機撮

影写真 (分解能約 0.34m) と現地調査で把握したヒシの被度と、同年における人工衛星データから算出した標準化植生指数 (NDVI) との関係进行分析した。その結果を用いて、人工衛星データが利用可能な 2003 年以降を対象に、三方湖におけるヒシの占有面積の変化を把握した。

② ヒシ分布範囲に影響する要因の解明

三方湖内のヒシの分布解析により、ヒシが大量に繁茂した近年においても、汽水湖である水月湖と接続している湖の下流部および最大の流入河川である鱒川河口部のある上流部には、ヒシがほとんど繁茂しないことが認められた。その原因を明らかにするため、下流部と上流部のそれぞれにおいて、ヒシの生活史を考慮し、種子分散段階と種子発芽・実生段階のそれぞれについて、制限要因の調査・実験を行った。具体的には、種子の分布調査、シードバッグ実験、塩分濃度の測定、塩分濃度がヒシの発芽と初期に与える影響を解明する実験を行った。

(2) 湖岸湿性植生におけるファシリテーション機構

湿性草地において、ヨシの下層で優占するイネ科植物カモノハシが、他種の生育可能性を向上させるファシリテーターとして機能している可能性を、現地での詳細な分布調査と、播種実験により検証するとともに、微環境の測定からファシリテーションの機構を検討した。調査は、茨城県稲敷市の霞ヶ浦湖岸にある湿性草地「浮島湿原」(別称「妙岐の鼻」) で行った。

4. 研究成果

(1) ヒシ群落の維持機構

① ヒシ分布範囲の経年変化の把握

人工衛星画像の解析の結果、三方湖内のヒシは、2003 年から 2005 年までは湖内の湾部に限定して生育していたが、2006 年からは湖の中央付近にまで生育するようになり、2008 年以降は上流部と下流部を除くほぼ全域で繁茂するようになったことがわかった。占有面積の推移をみると、2010 年に湖面の 76.1% を埋めるまでに繁茂したのをピークに、2011 年には減少していた。

② ヒシ分布範囲に影響する要因の解明

発芽開始前において、湖底質中のヒシの種子は、前年にヒシの繁茂が認められなかった調査地点 (湖内に 10 点設けた調査地点のうち 4 点) ではまったく検出されず、また前年においてヒシが低密度だった調査地点では低密度でしか認められなかった。前年に高密度なヒシの繁茂が認められた調査地点では、平均 16.4 個/m²の種子が確認された。このことは、ヒシの種子は主に群落直下に散布され、あまり広い範囲には、多くの種子は拡

散しないことを示唆している。三方湖内の上流部・下流部では、ともに種子分散段階での制限が生じていたことが示唆された。

ヒシの繁茂が認められる場所である湖心部では、シードバッグにいれて湖底に設置した種子のうち約半数が発芽・成長していた。上流部では、ヒシの繁茂は認められない場所であるにもかかわらず、湖心部よりも高い割合 ($P < 0.001$, Chi-square test) での発芽・生存が確認された。

上流部においては、種子分散の抑制が主要な繁茂制限要因であることが示唆された。上流部では三方湖への最大の流入河川である鱒川の河口付近にあたるため、ときに高い流速が生じることが考えられる。このことは、上流部付近の底質の粒径が粗いことから推測される。この流速条件のため、ヒシの種子が下流側に押し流されやすく、上流部には種子が分散・維持されにくかった可能性が考えられる。一方、同様にヒシの繁茂が認められない下流部では、約80%と高い率での種子の死亡が確認された。休眠種子も13%認められた。

湖水中の塩分濃度には、夏から秋にかけて濃度が高まる明瞭な季節変動が認められた。ヒシの発芽から初期成長期にあたる4月から6月については、汽水湖である水月湖に近い下流部では2-3%の値が頻繁に計測されたものの、湖心部および上流部では塩分濃度の変動はほとんど確認されなかった。これらの結果は、下流部における発芽・定着段階での制限要因としては、水月湖からの汽水の流入が影響していることを示唆する。

塩分濃度が0-2‰での発芽率は100%であり、20‰以上での発芽率は0%だった。Bonferroniの方法による多重比較の結果、5‰以上の塩分濃度では0‰の場合と比べて有意な発率の低下が認められた ($P < 0.0001$)。幼茎出現段階の実生の生存率は、4‰以上の塩分濃度では0%だった。Bonferroniの方法による多重比較の結果、2‰以上の塩分濃度では0‰の場合と比べて生存率の有意な低下が認められた ($P < 0.0001$)。三方湖下流部では、仮に種子が分散されたとしても、発生した実生が初期段階で死亡するものと考えられる。

本研究の結果から、三方湖におけるヒシの動態を理解するうえでは、種子分散にかかわる水流の影響や、汽水の流入の影響を含めて検討する必要があることが示唆された。

(2) 湖岸湿性植生におけるファシリテーション機構

湖岸湿原内において、カモノハシは地際に高さ10~20 cm程度の微高地を形成していた。湿地内で連続測定した水位と、微高地の標高を比較した結果、カモノハシの地際に形成される微高地上はそれ以外の場所よりも冠水

頻度が有意に低いことが示された。

播種実験の結果、カモノハシ株の地際の微高地上では、平均280 個体/m² の在来湿生植物の実生が認められたのに対し、それ以外の場所ではほとんど確認できなかった。

微地形と各植物種の出現の関係を、階層ベイズモデルを用いて分析した。その結果、カモノハシは形成する微高地では、蘚類が出現しやすくなることが示された。また、蘚類が出現する場所では在来の維管束植物の全体的な出現確率が上昇し、種ごとに検討した場合でも2種の絶滅危惧植物(カドハリイ: 絶滅危惧 IA 類、ヌマアゼスゲ: 絶滅危惧 II 類)を含む多数の種で、出現確率が有意に高まることがわかった。すなわち、カモノハシは、地際の微高地の生成と蘚類の生育促進を通して、種多様性に寄与するファシリテーター種であることが示唆された。このような生物多様性の「要」となる種は、生態系のレジームに影響する役割を担っている可能性があり、植生管理の上では特にその動態に注意を払う必要があるだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計14件)

1. Wang, Z., Nishihiro, J. and Washitani, I. (2012) Regeneration of native vascular plants facilitated by *Ischaemum aristatum* var. *glaucum* tussocks: an experimental demonstration. *Ecological Research*, 27: 239-244. DOI 10.1007/s11284-011-0897-1. 査読有
2. 久保優・照井慧・西廣淳・鷲谷いづみ (2012) 福井県三方湖周辺の水路・小河川における在来沈水植物の分布に対する外来生物の影響. *保全生態学研究*, 17: 165-173. 査読有
<http://www.esj.ne.jp/hozen/contents.htm>
3. 西廣淳 (2012) 霞ヶ浦における水位操作開始後の抽水植物帯面積の減少. *保全生態学研究*, 17: 141-146. 査読有
<http://www.esj.ne.jp/hozen/contents.htm>
4. 西廣淳 (2012) 霞ヶ浦における国土交通省による「水位運用試験」への意見. *保全生態学研究*, 17: 279-282. 査読無
5. 西廣淳・吉田丈人 (2012) 三方湖におけるヒシの繁茂と管理. *Fukui Nature Guide ナチュラリスト*, 23(2): 2. 査読無
6. Hayashi, H., Shimatani, Y., Shigematsu, K., Nishihiro, J., Ikematsu, S. and

- Kawaguchi, Y. (2011) A study on seed dispersal by flood flow in an artificially restored floodplain. *Landscape and Ecosystem Engineering*, 8: 129-143. doi: 10.1007/s11355-011-0154-3. 査読有
7. Nishihiro, J. and Washitani, I. (2011) Post-pollination process in a partially self-compatible distylous plant, *Primula sieboldii* (Primulaceae). *Plant Species Biology*, 26: 213-220. doi: 10.1111/j.1442-1984.2011.00318.x. 査読有
 8. Wang, Z., Nishihiro, J. and Washitani, I. (2011) Facilitation of plant species richness and endangered species by a tussock grass in a moist tall grassland revealed using hierarchical Bayesian analysis. *Ecological Research*, 26: 1103-1111. DOI 10.1007/s11284-011-0862-z. 査読有
 9. 池上佑里・西廣淳・鷺谷いづみ (2011) 茨城県北浦流域における谷津奥部の水田耕作放棄地の植生. *保全生態学研究*, 16: 1-15. 査読有
<http://www.esj.ne.jp/hozen/contents.htm>
 10. 西廣淳 (2011) 湖の水位操作が湖岸の植物の更新に及ぼす影響. *保全生態学研究*, 16: 139-148. 査読有
<http://www.esj.ne.jp/hozen/contents.htm>
 11. 大谷雅人・石濱史子・西廣淳 (2010) 日本産被子植物の絶滅リスクと生態的特性の関係：系統関係を考慮した地域間・科間比較. *日本生態学会誌*, 60: 193-205. 査読有
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007682235>
 12. 野副健司・西廣淳・ホーテス シュテファン・鷺谷いづみ (2010) 霞ヶ浦湖岸「妙岐の鼻湿原」における植物の種多様性指標としてのカモノハシ. *保全生態学研究*, 15: 281-290. 査読有
<http://www.esj.ne.jp/hozen/contents.htm>
 13. 西廣淳 (2010) 生物多様性条約 COP10 と霞ヶ浦の生物多様性モニタリング. *霞ヶ浦研究会報*, 13: 75-78. 査読無
 14. 西廣淳 (2010) 生物多様性を守る：保全生態学という科学. UP-東京大学出版会, 453: 14-19. 査読無
- [学会発表] (計 20 件)
1. Kato, Y., Nishihiro, J. and Yoshida, T. (2012) The effects of dense beds of a floating-leaved macrophyte on seasonal dynamics of a lake ecosystem. The 5th EAFES International Congress, March 19, 2012, Shiga, Japan.
 2. Nishihiro, J. (2012) Long-term change in Japanese lake biodiversity: a preliminary analysis of aquatic macrophyte flora. The 5th EAFES International Congress, March 18, 2012, Shiga, Japan.
 3. Oyama, Y., Yang, F., Matsushita, B., Fukushima, T., Nishihiro, J. and Takamura, N. (2012) Biodiversity monitoring in inland waters from satellite remote sensing -mapping impervious surface areas and macrophyte distribution. The 5th GEOS Asia-Pacific Symposium. April 3, 2012. National Museum of Emerging Science and Innovation (Mirai), Tokyo.
 4. Nishihiro, J. (2012) Toward the restoration of aquatic macrophytes: researches and practices in two Japanese lakes. ASLO Aquatic Science Meeting. July 12, 2012. Otsu Shiga Japan.
 5. 藤原愛弓・西廣淳・鷺谷いづみ. 「里山におけるニホンミツバチコロニーの季節的発達と花資源利用」. 日本生態学会第 59 回大会. 2012 年 3 月 18 日. 大津市.
 6. 西廣淳. 「湖沼生態系の中の浮葉植物」. 日本陸水学会第 77 回大会. 2012 年 9 月 16 日. 名古屋大学.
 7. 吉田丈人・西廣淳・加藤義和. 「福井県三方湖におけるヒシの急増とその湖内生態系への影響」. 日本陸水学会第 77 回大会. 2012 年 9 月 16 日. 名古屋大学.
 8. 鏡味麻衣子・西廣淳. 「印旛沼におけるオニビシ群落の機能評価：適正な植生管理に向けて」. 日本陸水学会第 77 回大会. 2012 年 9 月 16 日. 名古屋大学.
 9. 赤堀由佳・鏡味麻衣子・西廣淳. 「印旛沼においてオニビシ帯及びその刈り取りが水質に与える影響」. 日本陸水学会第 77 回大会. 2012 年 9 月 16 日. 名古屋大学.
 10. Wang Zhe・西廣淳・鷺谷いづみ. 「保全上重要な湖岸湿原における種・植生レベルの促進効果と伝統的植生管理」. 日本生態学会第 58 回大会 (企画集会「Facilitationを理解/応用するための理論基盤の整備にむけて」). 2011 年 3 月 8 日. 札幌市.
 11. 大谷雅人・西廣淳・寺内浩・寺内優美子・鷺谷いづみ. 「絶滅危惧植物カッコソウの保全遺伝学：9 年間に渡るモニタリングから見えてきたこと」. 日本生態学会

- 第 58 回大会 (自由集会「希少植物研究の魅力：希少植物が語る複雑な事情」)。
2011 年 3 月 9 日。札幌市。
12. 加藤義和・西廣淳・吉田丈人。「三方湖 (福井県) におけるヒシの繁茂が生態系の季節動態に及ぼす影響」。日本生態学会第 58 回大会。2011 年 3 月 10 日。札幌市。
 13. 齊藤温・鏡味麻衣子・西廣淳。「印旛沼におけるオニビシとジュンサイハムシの関係」。日本生態学会第 58 回大会。2011 年 3 月 10 日。札幌市。
 14. 久保優・照井慧・西廣淳・鷺谷いづみ。「オオカナダモとクロモの排他的分布の原因：アメリカザリガニが引き起こす見かけ上の競争の可能性」。日本生態学会第 58 回大会。2011 年 3 月 10 日。札幌市。
 15. 西廣淳・加藤義和・吉田丈人・鷺谷いづみ。「三方湖 (福井県) におけるヒシの分布に影響する要因」。日本生態学会第 58 回大会。2011 年 3 月 10 日。札幌市。
 16. 西廣淳。「日本の湖沼植生の変遷の把握に向けて」。水草研究会第 33 回全国集会。2011 年 8 月 20 日。群馬県立自然史博物館。
 17. Nishihiro, J. and Washitani, I. (2010) "Factors affecting the germination and seedling emergence of a floating leaved plant, *Trapa japonica*", Seed Ecology III An International Meeting on Seeds and the Environment, June 21, 2010, Salt Lake City, Utah, U.S.A..
 18. 鏡味麻衣子・小林達也・西廣淳。「印旛沼におけるオニビシのジュンサイハムシによる被食過程」。日本陸水学会第 75 回大会。2010 年 9 月 18 日。弘前大学。
 19. 加藤義和・西廣淳・吉田丈人。「ヒシの繁茂が三方湖のベントス・プランクトン群集に及ぼす影響」。日本陸水学会第 75 回大会。2010 年 9 月 18 日。弘前大学。
 20. 西廣淳・加藤義和・吉田丈人・鷺谷いづみ。「近年の三方湖におけるヒシの繁茂とその機構：種子発芽特性からの検討」。日本陸水学会第 75 回大会。2010 年 9 月 18 日。弘前大学。
- Lake Kasumigaura." In S. Nakano, T. Yahara, T. Nakashizuka (eds.) The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring. 445-458. Springer.
4. 鷺谷いづみ・宮下直・西廣淳・角谷拓 (編) (2010) 保全生態学の技法：調査・研究・実践マニュアル。324。東京大学出版会。(編集)
 5. 西廣淳・西廣美穂 (2010) 湿地の土壌シードバンク調査法。297-313。保全生態学の技法：調査・研究・実践マニュアル。鷺谷いづみ・宮下直・西廣淳・角谷拓 (編)。東京大学出版会。(分担執筆)
 6. 矢原徹一・松田裕之・竹門康弘・西廣淳 (監修) 日本生態学会 (編) (2010) 自然再生ハンドブック。264。地人書館。(監修)
 7. 西廣淳 (2010) 順応的管理の指針。42-46。自然再生ハンドブック。日本生態学会 (編)。地人書館。(分担執筆)
 8. 西廣淳 (2010) 霞ヶ浦における湖岸植生の保全・再生の試み。79-87。自然再生ハンドブック。日本生態学会 (編)。地人書館。(分担執筆)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西廣 淳 (NISHIHIRO JUN)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教

研究者番号：60334330

[図書] (計 8 件)

1. 西廣淳 (2012) 湖沼における沈水植物の再生。淡水生態学のフロンティア。日本生態学会 (編)。208-21。吉田 丈人・鏡味 麻衣子・加藤 元海 (担当編集委員)。共立出版。(分担執筆)
2. 西廣淳 (2012) 「種概念：保全生物学の観点から」。進化学辞典。768-770。日本進化学会 (編)。共立出版。(分担執筆)
3. Nishihiro, J. (2012) "Conservation and restoration of lakeshore vegetation in