

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24年6月1日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21310006

研究課題名（和文） 湖沼生態系保全を目的とした車軸藻類衰退要因の解明と植生復元法の検討

研究課題名（英文） Investigation of the factor that declines Charales and the restoration method for the conservation of lacustrine ecosystems

研究代表者

山室真澄（YAMAMURO MASUMI）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：80344208

研究成果の概要（和文）：

沈水植物の中でも特に水質浄化効果があるとされている車軸藻類の保全を目的として、分布範囲と現存量をマルチビームソナーで定量化する手法を開発した。シャジクモを用いた光合成と藻体の成長への除草剤の影響実験により、アトラジンでは 10^{-6} M、DCMUでは 10^{-8} Mで影響を与えることが分かった。現在では車軸藻類が繁茂していない湖沼において過去には複数種の車軸藻類が繁茂しており、その当時の透明度は現在よりも有意に高かったことが、写真判読と種子解析から明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

For the conservation of Charales which is regarded to be most effective in water quality control, we developed the method to quantify the vegetated area and the biomass of submerged aquatic vegetation with a multi beam sonar. Based on the laboratory experiment using *Chara braunii*, we proved that herbicides, Atrazine more than 10^{-6} M and DCMU more than 10^{-8} M, affected the photosynthesis and algal growth. Using photographic interpretation and seeds analysis, we found that the lake without Charales at present used to be inhabited with several species of *Chara* and the transparency at the time with *Chara* was significantly higher than present.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2011年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	1,8200,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境情報・生物モニタリング

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期に全国的に富栄養化が進んだ日本の湖沼では、その生活型によって抽水植物（ヨシなど）、浮葉植物（ヒツジグサなど）、沈水植物（クロモ、車軸藻など）に

分かれる水草類のうち、特に沈水植物が著しく減少・消滅し、アオコや淡水赤潮等の植物プランクトンの異常発生が頻発するようになった。

沈水植物の中でも車軸藻類は、その生育が

湖沼の水質や環境を健全に維持することに果す役割が非常に大きく、湖沼の生態系を健全に保つためのキーストーン生物であるとされている。

日本の湖沼における車軸藻類の減少・衰退は著しく、現存する 78 種類の子軸藻類のうち 62 種類が絶滅野生種・絶滅危惧種である。したがって、現状でみられる車軸藻類の分布範囲の把握や、衰退・生息域の著しい減少が何に起因するかを科学的に解明することは、劣化した湖沼生態系を再生するための技術基盤を確立するために必要である。

2. 研究の目的

本研究では車軸藻群落を含む沈水植物帯の分布調査法を提案する。また人為的影響が車軸藻類に何らかのストレスを与えているかを確認し、実験室でその影響を定量化する。さらに、車軸藻類類が衰退した水域の堆積物から卵胞子を採取し、どのような車軸藻類が繁茂していたのか明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 音響を利用した測器の運用方法を検討し、車軸藻類の分布調査及び環境調査を試行した。

(2) 水田に多くみられるシャジクモ属シャジクモ (*Chara braunii* NIES-1588) を培養に供した。培養条件は、25°C、光強度 25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、12 時間明期/12 時間暗期の条件を与え、無菌的に行った。伸長成長の測定には、大型試験管 (110 ml 容、PYREX TE-32) を用いた。

(3) 1950 年代以前は車軸藻類が繁茂していたことが文献によって確認されている湖沼において柱状試料を採取し、車軸藻類の卵胞子を選別した。

4. 研究成果

(1) 十和田湖でマルチビームソナーを使用した沈水植物帯の調査法の検討を行った。マルチビーム音響測深機とは、左右放射状に指向性の鋭いビームを多数配列して、一度に多数点の水深を測定する装置である。使用機材はマルチビームソナー (Sonic2024 R2sonic 社)、RTK-GPS・慣性 GPS ジャイロ (POS/MV Applanix 社) で、小型船の制動・位置情報を記録しながら走査した。調査測線は、湖岸水深 3m 地点から約 400m (水深 20m 付近まで) に設定し、水深 3m おきに吊り下げ式水中カメラで種同定・撮影を行った。分布図は、地形と水中のエコー (沈水植物や魚影) を分離し地形を作成した後、沈水植物のみを地形データ上に表示する手法で作成した (図 1)。

沈水植物と湖底を分離することにより、沈水植物の自然高の測定・被度の観測が可能となり、沈水植物生育面積は 1948 m^2 ・沈水植物量 1324 m^3 と推定した。

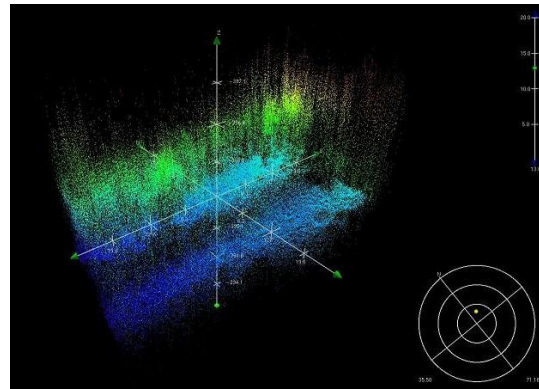


図 1 3次元表示した地形・沈水植物データ

(2) 光化学系 II においてキノン A からキノン B の電子伝達を阻害する除草剤であるアトラジンは、アメリカおよび日本で使用されている一方で EU 諸国では使用が禁止されている。両生類に対して内分泌かく乱物質として作用するという報告があるが (Hayes et al. 2002)、藻類に対する知見は少ない。シャジクモ *C. braunii* にアトラジンを負荷すると、 10^{-6}M でアルカリバンド形成が阻害されており、光合成活性阻害が起きていることを明確に示した (図 2)。

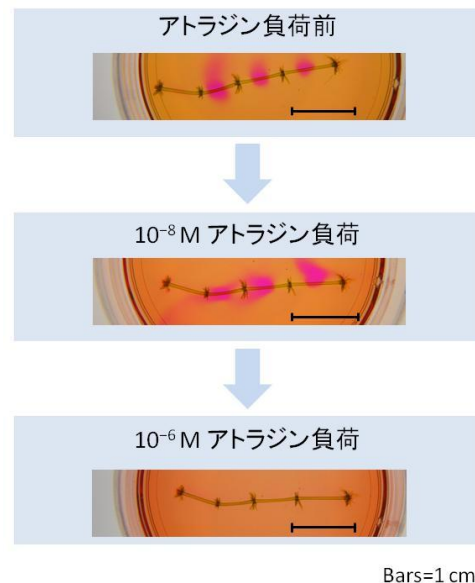


図 2 シャジクモのアルカリバンド形成に与えるアトラジンの影響

さらに、 10^{-6}M アトラジン処理は、シャジクモ藻体の伸長の促進 (図 3) をもたらすことを確認した。しかしながら、顕微鏡観察により、藻体自身は細く矮性が観察された。さらに、生殖器形成が阻害されていることを観察した。

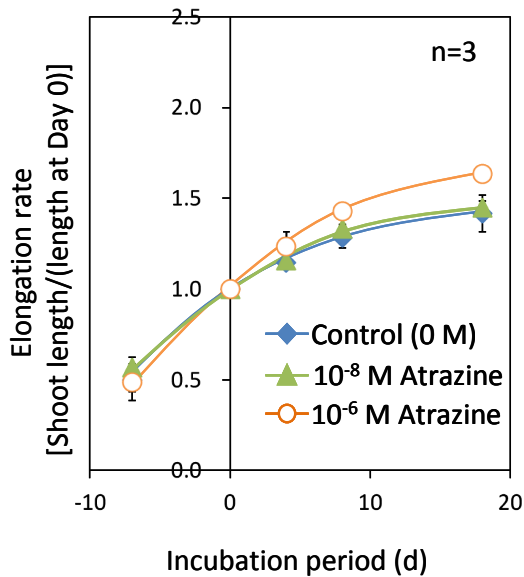


図 3 アトラジンがシャジクモの伸長に与える影響

アトラジンと同一の作用機序で光化学系 II の電子伝達を阻害する DCMU を暴露すると、 10^{-8} M でアルカリバンドの形成阻害が確認され、光合成阻害が明確に起こっていることを確認した (図 4)。

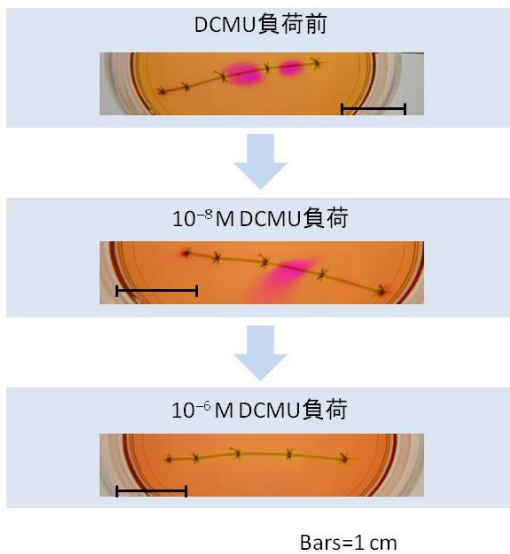


図 4 シャジクモのアルカリバンド形成に与える DCMU の影響

さらに、 10^{-8} M DCMU 処理は、シャジクモ藻体の伸長の促進 (図 5) をもたらすことを確認した。しかしながら、顕微鏡観察により、藻体自身は細く矮性が観察された。また、生殖器官形成が阻害されていることを観察した。

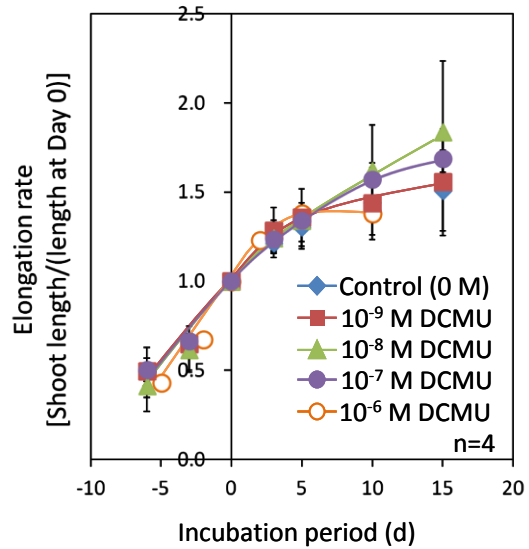


図 5 DCMU がシャジクモの伸長に与える影響

培養時にあたえる光を強くし、光合成阻害剤としての作用を強めたところ、より低濃度で伸長促進が観察された (図 6)。

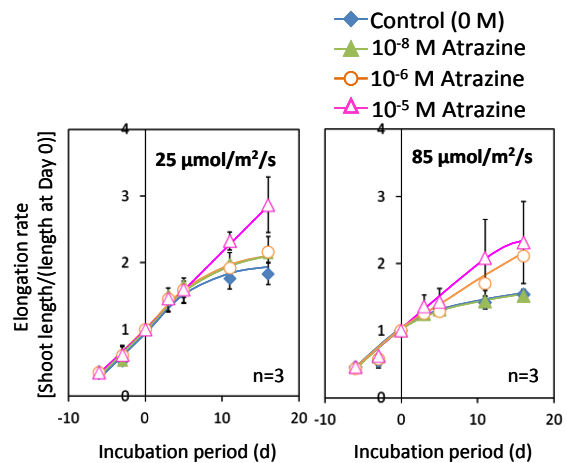


図 6 光強度がアトラジン負荷時のシャジクモの伸長に与える影響

以上の結果から、*C. braunii* のアトラジンおよび DCMU 負荷による伸長促進は、光合成電子伝達系阻害剤による光合成阻害効果の二次的影響により、シャジクモ藻体の物質生産や細胞壁形成の変化をもたらし、結果的に藻体の矮性化をもたらしたものと考えられた。生殖器官の形成阻害も見られたことから、低濃度であっても光合成を阻害する除草剤の影響がシャジクモの成長と世代継続に影響する可能性が強く示唆された。

(3) 1947~48年に全国を対象に撮影された米軍写真を使用し、沈水植物衰退以前の水生植物帯の分布範囲を復元する方法を開発した。研究対象地として島根県の宍道湖を選定し

た。宍道湖では 1950 年代半ばに沈水植物が衰退した。衰退する以前は、肥料に使用する目的で沈水植物が採取されていたが、その種類は車軸藻類であるシャジクモ (*Chara braunii*) とオトメフラスコモ (*Nitella hyaline*) のみが 1960 年代に確認されている程度である。また平塚ら (2006) によると、沈水植物の面積は湖全体の 3 割ほどあったとされている。

写真判読には 1947 年 10 月に米軍によって撮影された 16 枚の画像を使用した。この空中写真はネガフィルムから直接デジタルスキャンされているため、使用するには入手した高解像度データを加工しやすい 600dpi まで落とし込み、Adobe Photoshop CS5 により判読に使用する範囲の切り出しを行った。判読の方法は切り出した写真データを ArcGIS 10 上でモザイク図化し、目視による判読結果から分布域のマッピングと面積の算出を行った。

種子分析に供する堆積物は、2011 年 8 月 4 日に内径 8.5cm、長さ 102cm のアクリル管を使いダイバーにより湖心部 7 地点で採取した。採取された湖底堆積物は船上で特別に開発した篩 (目合 500、250、100 μ m) を用いてふるった。船上で篩われたサンプルは 40°C で乾燥させた後にステンレス篩 (目合 2.0mm、500、250、100 μ m) で再び篩った後、顕微鏡 (KEYENCE VH-5000) を用いて種子・卵胞子を選別し、同定を専門家へ依頼した。

Arc GIS 10 でのジオメトリ演算により算出された沈水植物の面積は約 3km² で、湖全体の約 4% であった。これは目視判断可能な範囲での結果であった。作成したモザイク写真に湖沼図の等深線を重ね合わせると、当時 3m とされていた透明度 (平塚ほか、2006) が、それ以上の 4m までであることが分かった。また、現在は泥質である水深 4m の湖底が、当時は砂質であったことが明らかになった。

さらに、現在は自然再生活動としてヨシの植栽が行われている湖西岸では抽水植物は確認されず、湖全域においても抽水植物は確認されなかった。このことから、湖西岸を中心としたヨシ原再生事業による植栽は、自然再生した状態とは言えないことが分かった。

湖心部 7 地点より採取された柱状堆積物の全てから、車軸藻類の種子が採取された (図 5)。維管束植物の種子は採取されなかった。シャジクモ (*Chara braunii*)、オウシャジクモ (*Chara corallia*)、イトシャジクモ類 (*Chara fibrosa subsp. flassida*)、シラタマモ (*Lamprothamnium succinctum*) が採取され、かつて記録されたシャジクモ類以外に新たに 3 種を発見した。シラタマモについては、現在、さらに詳しい解析を行って確認中である。

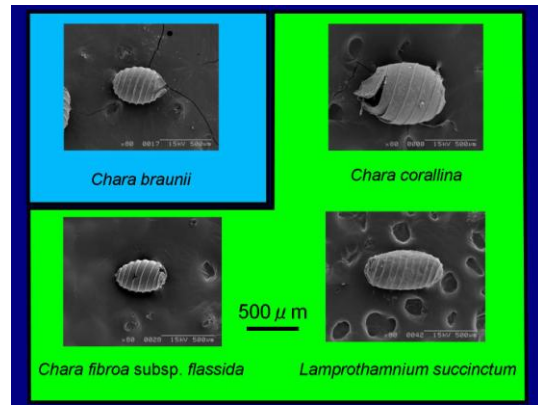


図 5 宍道湖堆積物から採取された車軸藻類の卵胞子。青色で囲った種は既報があるが、緑色で囲った種はこれまでに宍道湖での繁茂は確認されていない。

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 3 件)

- ① Kazuki Abukawa, Masumi Yamamuro, Zaal Kikvidze, Akira Asada, Chunhui Xu, Kenichi Sugimoto、Assessing biomass and distribution of submerged aquatic vegetation using multi-beam echo sounder in Lake Towada, Japan、査読有、Limnology (accepted) (掲載確定)
- ② 小室隆、山室真澄、水生植物の種子・卵胞子を含んだ湖底堆積物を船上で篩い分ける装置の開発、査読有、水草研究会誌、97号、2012、29-33
- ③ 蛇川和紀、山室真澄、ザール・キクビッツェ、湯の湖におけるサイドスキャンソナーを用いた沈水植物帯分布調査、査読有、水草研究会誌、96号、2011、16-23

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① 佐藤真奈美・伊藤史紘・福田真也・鈴木石根・白岩善博、絶滅危惧種シャジクモ類の衰退要因の解明：除草剤アトラジンがシャジクモ *Chara braunii* へ与える短・中期影響の解析、第 53 回日本植物生理学会年会、2012 年 3 月 16 日、京都産業大学
- ② 小室隆・Sergey K. Krivonogov・山室真澄、米軍空中写真を用いた沈水植物の判読、日本陸水学会第 76 回大会、2011 年 9 月 23 日、島根大学
- ③ 蛇川和紀・徐純輝・杉本憲一・浅田昭・山室真澄、十和田湖におけるマルチビームソナーを用いた詳細地形解析、日本陸水学会第 75 回大会、2010 年 9 月 19 日、弘前大学

- ④ 虻川和紀・山室真澄・KIKVIDZE Zaal、サイドスキャンソナーと水中カメラを用いたシャジクモ帯を含む沈水植物帯の分布調査、応用生態工学会第13回埼玉大会、2009年9月26日、埼玉会館
- ⑤ 川幡智佳・山室真澄、国内におけるシャジクモ類石灰化条件の解明、日本陸水学会第74回大分大会、2009年9月15日、大分大学

[図書] (計1件)

渡邊 信 (監修)、佐藤真奈美・白岩善博 (分担執筆)、株式会社エヌ・ティー・エス、藻類ハンドブック～藻類のバイオリファイナーと豊かさを求めて～、2012年(印刷中)
(発行確定)

[その他]

ホームページ等

<http://nes.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/profile/profile.html> (準備中)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山室 真澄 (YAMAMURO MASUMI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：80344208

(2) 研究分担者

渡邊 信 (WATANABE MAKOTO)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：10132870

白岩 善博 (SHIRAIWA YOSHIHIRO)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：40126420