

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25281054

研究課題名(和文) DPSIRモデルによる宍道湖における突発的な水草の分布拡大の評価と対策

研究課題名(英文) Evaluation and measures against the spontaneous expansion of aquatic macrophytes in Lake Shinji by means of DPSIR model

研究代表者

国井 秀伸 (KUNII, Hidenobu)

島根大学・汽水域研究センター・教授

研究者番号：70161651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：宍道湖における透明度は場所によって大きく異なり、年間を通じてのChl.a量は水草帯内部よりも水草帯外部及び湖心のほうが有意に多いことがわかった。ラジコンヘリや衛星データを使い宍道湖の広域的な水草分布のモニタリングを行った結果、宍道湖南岸の中央部で水草が繁茂することが確認された。湖岸域周辺におけるTOC濃度の増加は近年の水草繁茂の影響を示していると思われ、水草の繁茂が底質まで影響する状態まで恒常化していることが示唆された。宍道湖に流入する小河川を対象に水質挙動の把握を行った結果、TNとTPは全ての対象河川において環境省が設定する基準より高い濃度を示し、湖北と湖南で大きな差異が確認された。

研究成果の概要(英文)：During the study period, transparency values differed considerably among sites, and chl.a contents were significantly higher in both lake central and the deeper outer boundary of aquatic vegetation zone than in shallower vegetation zone. As a result of monitoring of aquatic plants distribution using radio control helicopter and satellite data, it was shown that the plants grew abundantly in the central part of the south coast of the lake. The increase of TOC contents observed in shore area seemed to indicate the influence of the recent vigorous growth of aquatic plants, and constant overgrowth was suggested. It was determined that both TN and TP of the small inlets exceeded the lake water environmental standard, and TN and TP showed significant differences between the northern and southern sides of the lake.

研究分野：保全生態学

キーワード：生態系修復 環境変動 モニタリング 保全生態 レジームシフト 貧栄養化 水生植物 汽水域

1. 研究開始当初の背景

2009 年秋に、本研究代表者は宍道湖における水草(沈水植物)の突発的な出現、そして翌年にはその急激な分布拡大を観察した。宍道湖では、国土地理院発行の湖沼図などにより、1960 年代までは湖の北西岸を中心に広大な沈水植物帯が存在していたことが記録されているものの、1980 年代前半以降は、水草は船溜まりなどの極めて限られた場所以外ではその生育は確認されていなかった(國井, 1986; 國井・佐藤, 1995)。研究代表者は、近い将来に宍道湖に水草帯が形成されると予測し、水草の分布の初期の状況を把握する目的で、2010 年 10 月に宍道湖湖岸全周の空撮を行った。湖岸の空撮は 2011 年と 2012 年も同様に行い、分布域の経年的な変化を捉えることができた。初観察から 2 年後の 2011 年には広い場所ではパッチの分布は沖合い 300m 近くまで広がり、2012 年からは糸状藻類のシオグサの仲間 (*Cladophora* sp.) によって水草のほとんどが覆われるようになった。

宍道湖の主要な漁獲物であるヤマトシジミの漁獲量は、2011 年には前年の 3,700 トンから 2,200 トンに激減したが、その原因として春先の塩分の低下や夏季の高水温、あるいは湖底の貧酸素化といった要因の他、これら水草やシオグサの大繁茂との関連も疑われている。湖沼沿岸域の生態系の健全性に関する系統的な調査は世界的にも少なく、植物プランクトンの優占する濁った系から水草の優占する澄んだ系への移行については、まだ十分に知見が得られているとはいえない(Blindow et al., 2006; 高村, 2009)。今回のような自然的な水草の出現と分布拡大はわが国では稀な例であり、この回復過程を湖沼全体の生物生産や様々な構成種の変化、そして水質や底質の変化とともにモニタリングし、さらに統合的流域管理の視点で流入負荷量などを精査することにより、ヤマトシジミの生産量や漁獲量に対する影響評価はもちろんのこと、世界の様々な湖沼の生態系管理や生物多様性保全・資源保全に資することができると考えた。

2. 研究の目的

浅い汽水の湖である宍道湖では、1960 年代までは広大な沈水植物帯が存在していた記録があるものの、1980 年代前半以降は、沈水植物は船溜まりなどの極めて限られた場所以外ではその生育は認められなかった。しかし、2009 年秋に、水面にまで達した沈水植物(オオササエビモ、マツモ、ホザキノフサモ、エビモなど)のパッチが湖の南岸沿いに認められるようになり、1 年後にはその分布域は一気に拡大し、2012 年には沈水植物帯が形成されるまでの状況となった。この突発的な沈水植物の出現と分布拡大は、いわゆる「濁った系」から「澄んだ系」へのレジームシフトの可能性が高いが、人為的な操作

なしに湖沼沿岸域に水草が回復した事例は稀である。今回、宍道湖での水草の回復過程を、湖沼全体の生物生産や様々な構成種の変化、そして水質や底質の変化とともにモニタリングし、さらに統合的流域管理の視点で流入負荷量などを精査し、DPSIR モデルにより課題の整理と対応を行うことにより、宍道湖はもとより世界各地の様々な湖沼の今後の生態系管理や生態系保全に資することとした。

3. 研究の方法

(1) 2012 年 5 月から 2015 年 11 月にかけて、およそ 1 ヶ月に 1 度の間隔で透明度と水深別の水質を、南岸と北岸それぞれに 2 測線を設置し、水深およそ 2, 3, 4, 5m の 17 地点(湖心を含む)と、さらに沈水植物の繁茂する南岸 1 カ所(梢庵東保護区)で水草群落の沖側、水草群落の中心部、水草群落の岸側外縁の 3 地点の計 20 地点で測定した。透明度以外の水質項目としては、JFE アドバンテック社製の直読式総合水質計 AAQ-Rinko により、各地点での水深別の水温、電導度、塩分、クロロフィル、濁度、DO、pH、光量子、ORP を測定した。また、湖心並びに梢庵東保護区の水草群落の沖側(梢庵 1: 水深約 4m で沖合い約 300m)と水草群落の中心部(梢庵 2: 水深約 2m で沖合い約 120m)では、上記透明度と水質測定に加え、2013 年 5 月以降は表層水を採水し(各 2 リットル)、研究室に持ち帰り、アセトン抽出法によりクロロフィル量を実測した。

(2) ラジコンヘリにより、宍道湖南岸の水草群落の空撮を 2013 年 7 月と 2014 年 5 月の 2 回、いずれも約 100m 上空から行った。さらに、宍道湖の水草分布を広域にとらえるため、2013 年 4 月から 2015 年 11 月までの 32 シーンの衛星データ(Landsat-8/OLI)を使い、水草の分布を自動算出、マッピングする手法を開発した。まず、OLI データからの水草抽出は、Sakuno et al. (2013) を参照して、NDVI を利用した。水草と非水草を分けるための NDVI のしきい値は 0 に設定した。また、衛星画像のゴマ塩状のノイズを除去するため、メディアンフィルターを使用した。最終的には、OLI データから NDVI 計算を経て、水草の位置と NDVI の xyz データが出力される Matlab(Mathworks) プログラムを開発し、同時期の水草分布を把握した。

(3) 宍道湖に流入する河川の中から 11 河川(10 小河川+斐伊川)を選定した。観測ポイントは宍道湖水位変動の影響が少ないか少ない地点を選定した。調査期間は 2013 年 5 月から 2015 年 11 月とした。現地調査では、ポータブル水質計(HORIBA water quality monitor)を用いた水温や pH 等の水質測定、流量計算のための水深、幅、流速の計測を行い、実験室での水質分析用に河川水のサンプリングを行った。実験室では富栄養化の代表的な物質である窒素やリンに加え、浮遊物質

量(SS)を分析した。窒素は紫外線吸光度法,リンはモリブデンブルー吸光度法,SSは吸引ろ過装置を使いサンプルを吸引・乾燥させ,質量測定を行った。

(4) 水質測定と採泥をセットにした広域定点調査を宍道湖 84 地点で 2013 年 10 月 4 日~10 月 10 日と 2016 年 9 月 22 日~9 月 27 日に行なった。水質測定は多項目水質計(AAQ127: JFE アドバンテック製)を用いて水質プロファイル(水温・塩分・chl. a 濃度・濁度・溶存酸素量)の測定を行なった。採泥はエクマンバージ式採泥器を用い,底質の写真撮影,肉眼による底質の記載,土色計による色調計測を行った。表層数mmと約 1cm について試料採取を行い,表層数mmの試料について CNS 元素分析を行った。

(5) 表層数mmから採取された CNS 元素分析用試料は CNS 元素分析計(Thermo ELECTRON CORPORATION 製,Flash EA 1112)により堆積物試料の全有機炭素濃度,TN 濃度及び全イオン濃度を測定した。また,TOC 濃度,TN 濃度及び TS 濃度から C/N 比と C/S 比を算出した。

4. 研究成果

(1) 図 1 は梢庵東保護区の 3 地点を除いた 17 地点の透明度の経時変化を示す。透明度は,2013 年度の最大値は No.2 で 8 月 2 日に測定された 3.4m で,2014 年度は 10 月に No.7 で 3.5m を記録した。2015 年度は全体的に透明度の上限は頭打ちの傾向が見られたが,下限については 2014 年 12 月を除けば経年的に上昇傾向にあった。各測定日ごとの透明度は地点間で大きな違いがあり,そのばらつきは沈水植物や糸状藻類が活発に成長して湖底を覆う時期(5~10 月)に大きかったことから,植物が底泥の巻き上げりを抑制し,植物プランクトンの増殖を抑えることで透明度を高めた結果であると考えた。

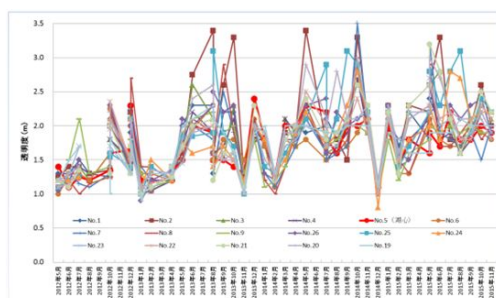


図 1. 2012 年 5 月から 2015 年 11 月までの宍道湖 17 地点での透明度の経時変化。

水草帯の発達している梢庵東保護区の水草群落の中心部(梢庵 2:水深約 2m で沖合い約 120m)と群落外(梢庵 1:水深約 4m で沖合い約 300m),そして湖心のクロロフィル量の 31 ヶ月分のデータを用いて 2 項検定と t 検定を行った結果,水深の浅い梢庵 2 のほうが水深の深い梢庵 1 に比べて有意にクロロフィル量が少ないこと,そして湖心と梢庵 1 の間にはクロロフィル量に差がなく,湖心と梢庵 2 の間では梢庵 2 のほうが湖心に比べて有

意にクロロフィル量が少ないことがわかった。ヤマトシジミによる植物プランクトンの捕食の影響も考えられるが,植物プランクトンが湖棚の駆け上がりよりも深い部分で生じている可能性が示唆された。

(2) 図 2 より宍道湖南岸の中央部で 9 月から 11 月に多く水草は繁茂し,毎年 11 月中旬から翌 6 月は繁茂しない傾向にあった。この結果は現地調査の結果と非常によく一致した。

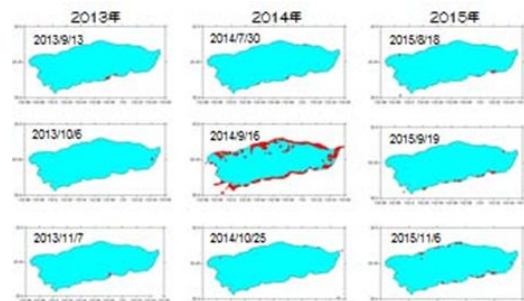


図 2. 衛星データから抽出された宍道湖の水草分布(赤い部分が藻の分布箇所)。

(3) TN, TP 濃度では多くの観測地点で各群に統計的な差が確認された。一方,SS 濃度ではその傾向は強くなかった。また調査期間中の外れ値を除いた最小値と最大値を見ると,TN, TP では古曾志川が最もその差(変動幅)が大きかった。次いで TP においては秋鹿川も大きな変動幅を示した。SS では古曾志川よりも東長江川や草野川が大きな変動幅であった。水質の中央値を見ると,TN および TP で古曾志川,秋鹿川,そして草野川が高い傾向を示した。次に,全対象河川の平均水質は,TN: 0.82 mg/L ($n=333$),TP: 0.082 mg/L ($n=338$),SS: 8.9 mg/L ($n=338$)であった。斐伊川を境にして湖北と湖南とに分割し比較すると,湖北の平均水質は,湖南の平均水質の 2 倍程度であった。TN および TP において統計的な有意差が示された($p < 0.001$)。また,湖北・湖南の水質と斐伊川水質を比較すると,TN 濃度では斐伊川と湖北河川で統計的有意差が示された($p < 0.05$)。TP 濃度では斐伊川と湖北・湖南の両河川群とで統計的有意差が示された($p < 0.001$)。宍道湖の環境基準に比べ,湖北・湖南,そして斐伊川の平均水質は高い値を示していた。

湖北と湖南の流域内の集落排水施設の有無を用いて平均値の比較をしたところ,湖北においては TN, TP, SS の全ての項目で統計的に有意差が確認されたが,湖南においては TP のみ統計的な有意差が検出された。土地利用と水質との相関関係を見ると,湖北と湖南で違った傾向が把握され,幾つかの土地利用とで相関が認められたが,明確なものは検出されなかった。これまで継続的なデータが少なかった宍道湖周辺小河川を対象に TN, TP, SS の水質挙動の把握を行った。これにより周辺河川が宍道湖の水環境へ与える影響について一端を明らかにすることができた。

(4) 広域調査は 2006 年にも行っており、その時の水質と 2013 年および 2016 年とを比較した。水質は地点によって異なり、変化しやすいことから定点で観測するだけでは不十分である。今回は広範囲でデータを得ることができたため、平均的な比較を行なった。宍道湖の表層の塩分は、2006 年がもっとも低い 2.1psu、2013 年がもっとも高い 3.4psu、2016 年がその中間の 2.5psu であった。しかし、表層と底層の差は 2016 年が大きかった。chl. a 濃度および濁度は、どの水域でも増加していた。このパラメータは、水系全体に影響されているものと思われた。宍道湖の表層の溶存酸素量は、2006 年がもっとも高い 8.8mg/l、2013 年がもっとも低い 7.9mg/l、2016 年がその中間の 8.2mg/l であった。この変化は chl. a 濃度の傾向と異なることから、水温による飽和濃度の変化に起因していると思われた。宍道湖の底層の溶存酸素量は、2006 年と 2013 年は 6.6mg/l 前後で、2013 年がわずかに高かった。2016 年は 5.3mg/l ともっとも低い。宍道湖では、貧酸素化が進んでいるものと考えられた。

(5) 宍道湖における表層堆積物の TOC 濃度の平面的な変化について検討を行った(図 3)。2006 年の TOC 濃度は、平均 2.45%、最大 3.89%であった。2013 年は、平均 3.77%、最大 7.36%と大幅に増加していた。2006 年の TOC 濃度の分布を見ると、高 TOC 濃度は宍道湖中部から西部に長く伸びており、中部では北よりに、西部では南よりになっていた。一方、2013 年は 2006 年と同様な形状をしているが、中部の北よりに明瞭なピークが見られた。この 2 つの TOC 濃度の分布の変異量を求めた結果、中部の北よりの範囲で 3.5%以上増加、西部の南よりの範囲も 3.0%以上増加していた。2010 年から 2012 年にアオコが異常発生しており、湖内による有機物の生産が宍道湖の TOC 濃度の増加の主原因であることが示唆された。

2016 年は平均 3.69%、最大 6.37%と減少していた。2013 年と 2016 年の TOC 濃度の分布の変異量をみると減少の中心は、前に増加した範囲とほぼ一致した。これは前に有機物の生産された範囲で過剰な生産・堆積が無くなり、相対的に減少したものと思われた。しかし、まだ高いレベルの TOC 濃度を示すことから、異常な生産が見られないだけで恒常的な生産量の増加は継続しているものと思われた。また、東部では、高い生産を示していないにもかかわらず、減少傾向は見られている。これは密度流による堆積物の希釈効果を示唆する。一方で、湖岸域周辺は TOC 濃度の増加を示している。そのような場所は C/N 比も高くなっていることから、近年に見られる水草の繁茂の影響を示しているものと思われた。このような傾向は 2013 年までにはほとんど見られなかったことから、水草の繁茂が底質まで影響する状態まで恒常化していることを示唆している。

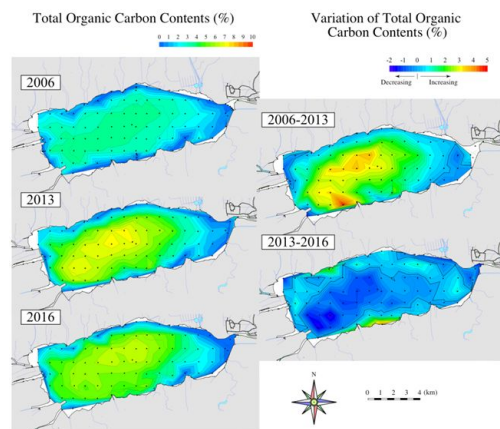


図 3. 宍道湖における TOC 濃度の分布とその変差。

引用文献

- Blindow, I. et al. (2006) Primary production in two shallow lakes with contrasting plant form dominance: a paradox of enrichment? *Limnology and Oceanography*, 51:2711-2721.
- 國井秀伸(1986)宍道湖および斐伊川河口域の小河川で見られた水生植物. 山陰地域研究(自然環境), 2:53-57.
- 國井秀伸・佐藤あすか(1995) 宍道湖および斐伊川河口域の流入河川における 1985 年から 1994 年にかけての水生植物相の変化. *LAGUNA(汽水域研究)*, 2:53-56.
- 高村典子編著(2009) 生態系再生の新しい視点 -湖沼からの提案-. 共立出版. 225p.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 15 件)

杉谷優一・宗村広昭・武田育郎(2017)宍道湖・中海へ流入する 2 河川における溶存態有機物の挙動, *Laguna*, 23:47-58, 査読有.

中川昌人・國井秀伸(2015) 宍道湖, 天神川および斐伊川河口域の小河川における 2013 年の水生植物相, *Laguna*, 22:1-10, 査読有.

Sakuno, Y. and Kunii, H. (2013) Estimation of growth area of aquatic macrophytes expanding spontaneously in Lake Shinji using ASTER, *International Journal of Geosciences*, 4(6A):1-5, DOI:10.4236/ijg.2013.46A1001, 査読有.

〔学会発表〕(計 39 件)

森田健太郎・瀬戸浩二, 2016 年広域調査における宍道湖の底質環境, 汽水域研究会第 5 回例会, 2017 年 1 月 7 日~8 日, 島根大学教養講義室棟(島根県松江市).

作野裕司, Landsat-8 データによる宍道湖水草の自動マッピングシステムの開発, 日本地球惑星科学連合大会 2015 年大会, 2016 年 5 月 24 日~28 日, 幕張メッセ国際展示場(千葉県千葉市).

宗村広昭・國井秀伸, 宍道湖へ流入する小河川の水質, 汽水域研究会第 4 回例会, 2016

年1月9日～10日 労働会館(島根県松江市).
Sakuno, Y. and Kunii, H., Lake surface salinity estimation using Landsat-8 data in the brackish Lake Shinji, The 36th Asian Conference on Remote Sensing, 19-23 October 2015, Manila (Philippines).

Sakuno, Y. and Kunii, H., Chlorophyll-a estimation in Lake Shinji from Landsat-8 OLI data using Linear Combination Index (LCI) algorithm, International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015, 26-31 July 2015, Milan (Italy).

國井秀伸, 宍道湖の水草と透明度について, 汽水域研究会第3回例会, 2015年1月10日～11日, くにびきメッセ(島根県松江市).

廣田 充, 水草の存在が底質および水質環境に与える影響の評価, 汽水域研究会第5回大会, 2013年10月26日～27日, 海洋研究開発機構(神奈川県横浜市).

〔図書〕(計3件)

國井秀伸, 今井書店(松江), 中海・中海における水生植物相の現状と課題(島根大学「斐伊川百科」編集委員会編「フィールドで学ぶ斐伊川百科」), 2015, 104-111.

國井秀伸・瀬戸浩二, 今井書店(松江), 中海・宍道湖・大根島をめぐる(島根大学「斐伊川百科」編集委員会編「フィールドで学ぶ斐伊川百科」), 2015, 252-263.

瀬戸浩二, 今井書店(松江), 中海・宍道湖の水質環境と湖底の環境(島根大学「斐伊川百科」編集委員会編「フィールドで学ぶ斐伊川百科」), 2015, 80-90.

〔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

http://home.hiroshima-u.ac.jp/sakuno/Shinjiko_project/NSR_L8.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

国井 秀伸 (KUNII, Hidenobu)

島根大学・汽水域研究センター・教授

研究者番号: 70161651

(2) 研究分担者

瀬戸 浩二 (SETO, Koji)

島根大学・汽水域研究センター・准教授

研究者番号: 60252897

宗村 広昭 (SOMURA, Hiroaki)

島根大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号: 90403443

作野 裕司 (SAKUNO, Yuji)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・

准教授

研究者番号: 20332801

廣田 充 (HIROTA, Mitsuru)

筑波大学・生命環境科学研究科(系)・准

教授

研究者番号: 90391151

(3) 連携研究者

大谷 修司 (OHTANI, Shuji)

島根大学・教育学部・教授

研究者番号: 50185295

(平成26年度より研究協力者)