

原著論文 [Original Paper]

## びわ湖内湖・西の湖における水環境教育

三田村緒佐武<sup>1)2)\*</sup>・石川聡子<sup>3)</sup>・石田典子<sup>4)</sup>・後藤直成<sup>1)</sup>・

橘淳治<sup>5)</sup>・丸尾雅啓<sup>1)</sup>

(2014年3月15日受付, 2014年5月4日受理)

### Environmental Education about Lake Nishinoko, an Attached Lagoon of Lake Biwa

Osamu Mitamura<sup>1)2)\*</sup>, Satoko Ishikawa<sup>3)</sup>, Noriko Ishida<sup>4)</sup>, Naoshige Goto<sup>1)</sup>,  
Junji Tachibana<sup>5)</sup> and Masahiro Maruo<sup>1)</sup>

#### 摘要

びわ湖周辺には小瀉湖が多数ある。びわ湖に繋がったこの内湖と称される瀉湖は、水環境教育の教材として重要な水塊である。本研究の目的は、身近な淡水環境における環境学習を思考するための情報提供である。本研究は、びわ湖北湖に繋がった最大の内湖・西の湖において、環境教育のために行ったはじめての調査である。ここで示したプログラムは、大学学部生に対して環境学習システムを整えたものである。学習プログラムのプロセスと内容は、受講生自らが自主的に決定した。西の湖生態系の構造と機能、すなわち生物地球化学的特性と基礎生産を調査した。その結果から、西の湖の保全と復元を評価した。そして、里水の望ましい保全のあり方が真摯に考察された。

キーワード：里水、内湖西の湖、生態系調査、環境教育

---

<sup>1)</sup> 滋賀県立大学環境科学部 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500, School of Environmental Sciences, University of Shiga Prefecture, Hikone, Shiga 522-8533, Japan

<sup>2)</sup> 現所属住所：滋賀大学教育学部 〒520-0862 滋賀県大津市平津 2-5-1, Faculty of Education, Shiga University, Otsu, Shiga 520-0862, Japan

<sup>3)</sup> 大阪教育大学 〒582-8582 大阪府柏原市旭ヶ丘 4-698-1, Osaka Kyoku University, Kashiwara, Osaka 582-8582, Japan

<sup>4)</sup> 名古屋女子大学 〒468-8507 名古屋市天白区高宮町 1302, Nagoya Women's University, Tempaku-ku, Nagoya, Aichi 468-8507, Japan

<sup>5)</sup> 大阪府教育センター 〒558-0011 大阪市住吉区荻田 4-13-4, Osaka Prefectural Education Center, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-0011, Japan

\* 連絡代表者 (Corresponding author): o.mitamura@gmail.com

### Abstract

Many small, shallow attached lagoons (“*naiko*” in Japanese) are located in the area surrounding Lake Biwa. Of these, the attached lagoons that are directly connected to Lake Biwa are important bodies of water that can be used as teaching materials for environmental education. The aim of this study was to provide information useful to devising environmental education programs on local freshwater environments. This study is the first to investigate environmental education about Lake Nishinoko, the largest attached lake connected to Lake Biwa’s north basin. The specific educational programs examined were part of an environmental learning system for university undergraduate students, who decided the course syllabus and contents themselves. The structure and function of the Lake Nishinoko ecosystem, its biogeochemical characteristics, and its primary productivity were investigated. The maintenance and restoration of Lake Nishinoko was evaluated from these results and ways to conserve and manage these water resources “*SATOMIZU*” were discussed.

**Keywords:** Ecosystem investigation, Environmental education, SATOMIZU, “Naiko” Nishinoko

### はじめに

人間生活に関係して生態学的景観と生物生産が高くなった人里近くに存在する2次林などを里山と称す。里山と同様に、人の手が加わった沿岸海域も里海と呼ぶようになった。これは、広義の里山と同様に2次自然の沿岸海陸域を適正に管理することが重要だからである。

淡水湖の沿岸域とその周辺水域(湿地, 内湖, 河口域), 河川, 沼などは, これら里山と里海の場の概念と一部重なるが多くはその外にある。里山の荒廃が人の働きかけの縮小に起因するとの反省に基づき, 適正な管理をめざしかつての里山に復元されつつある。一方淡水域では, 淡水資源獲得のため適正管理をすることが少なく, 里山に比較して復元が遅れていた。

古来, 湖, 沼, 湿地, 川, 池などの淡水域を「水」と呼び, 人の生活はこれらの水辺で行われ, 伝承文化の発祥と深く関わってきた。筆者は本論文で, 里山・里海と同様に, 適正な管理のもと2次自然を保つべき淡水域を『里水』と称したい。そして里水を人が総合的に管理し, 物質循環機能を適切に維持し生物生産性と生物多様性の保全を保つべき場であると提唱したい。次世代に健全な里水を継承していく責務がある我々は, 水環境教育で里水を学習対象の場として積極的に活用する必要がある。本研究では, そのための学習プログラムの例を述べる。

生態系の機能(生物群集の活性に伴う物質循環とエネルギーの流れ)は, 時間軸を伴う動的平衡の概念であるため科学教育のみならず環境教育では十分に行われているとはいえない。環境教育は環境問題を解決する担い手を育成するという重要な任務を負っている。顕在化する環境問題の多くが複雑に絡みあった4次元現象である

ため, 生態系を科学的に理解させる学習が必要である。そこで, 西の湖において, 環境学習プログラムを立案し, 里水生態系を環境科学的に解析・評価しようと試みた。

本論文は, 大学学部学生を対象として, 西の湖生態系における水環境教育のすすめ方を研究・考察した。演習授業は約300分間15回の必修科目の一部で, 受講生は環境科学専攻2学年15名である。なお, 高等学校生徒と環境学習に興味・関心がある社会人を対象とすることも可能である。受講者自らが西の湖水環境学習プログラムを積極的に提示して, 西の湖の野外学習から湖生態系を解析し, 里水を保全・復元する思考を学ぶことを目的とした。

### 方法

#### 内湖・西の湖の特性

かつて, びわ湖周辺に多くの内湖が存在していた(1890年までは100以上の内湖, 1940年頃は37の内湖で, 最大の内湖は大中の湖であった)。現存する内湖は23であり, 総面積は人造内湖を加えても5.3 km<sup>2</sup>にすぎない(滋賀県土木部河港課, 1966b; 琵琶湖干拓史編さん委員会, 1970; 西野ほか, 2001; 金子ほか, 2011)。びわ湖周辺内湖は, 内湖本来の機能(水質浄化, 生態, 治水)と, 内湖利用の機能(利水, 観光, 景観, 水産, 生活)の場がある(滋賀県土木部河港課, 1966a; 倉田, 1984)。これらの機能は内湖盆の形態と関係する(Traut and Hostetler, 2004; 西野, 2005; Mehner et al., 2005; 浜端, 2010)。

西の湖(滋賀県近江八幡市)は, 面積2.8 km<sup>2</sup>, 最大水深4 mで, びわ湖内湖の中で最も広大で, 最大のヨシ群落面積を誇る(図1)。西の湖のヨシ群落は水陸移行帯に

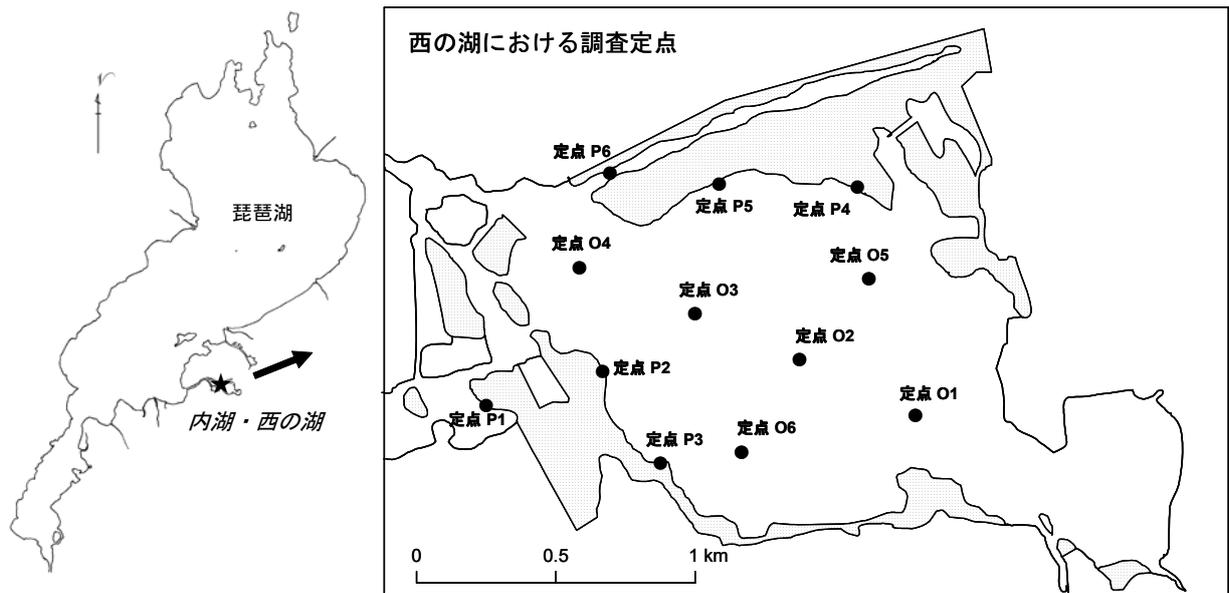


図1. 内湖・西の湖における水環境学習の調査地点. 定点 O1~O6 : 開水面水域, 定点 P1~P6 : ヨシ群落水域.  
 Fig.1. Open water stations O1–O6 and reed belt stations P1–P6, for investigating environmental education regarding Lake Nishinoko, an attached lake connected to Lake Biwa.

発達し、ヨシ栽培業者により保全されている。

### 環境学習プログラム

内湖・西の湖を水環境教育教材の場とした理由は、適度に管理された里水環境であり水域生態系を理解する最適の場であることと、「身近な環境に関心・興味をもつ」という環境教育の理念を達成するのにふさわしい場と考えたからである。

水環境学習受講者自らがブレインストーミングにより指導者の下で野外実習・演習の計画を次のように立案した(表1)。なお、水環境とくに水質調査に関して調査計画の立案、現地作業および測定基礎などは半谷・小倉(1995)に詳しい。

- ①調査する目的は何か、すなわち水環境の何を調べたいのかを議論する。
- ②西の湖の調査の場所と季節、測定項目は何か、予備知識はあるかを討論する。
- ③測定方法の基礎知識はあるか、測定項目は何を物語るのか、選定項目で当初目的を達成できるかを議論する。
- ④調査の全体イメージをもつために、調査の流れを確認して仮想スケジュールを描く。
- ⑤一般品の準備、野外調査器材、測定機器、試薬などを確認して調査の準備をする。
- ⑥現場視察と予備調査を行う。現地から学ぶのが野外学習の基本である。現地を知らなければ、よい計画は立てられない。簡易測定で予備調査も行う。本調査に向

けて追加と削除項目を見直す。

- ⑦計画案に従い本調査を行う。野外は驚くほど変化が激しい。計画案の本調査が困難なときは代替案を実行する。新たに重要な現象が観察されたら内容変更してもよい。
- ⑧持ち帰って測定する試料も速やかに測定する。水環境を分析化(断片化)した結果から何が解るか、総合化すると何が解るかを理解する。
- ⑨円卓対話方式で発表会を開催して目的の達成度を評価する。里水環境を保全・復元する理念を理解する。水環境教育の環境観を水環境調査から醸成できたかを総括する。実習調査成果報告書を作成する。

### 水環境の測定方法

受講者が西の湖生態系(基礎になる生物地球化学的循環)を解析するために立案・実行した測定方法は次であった。

- ①<水環境の概要の必須調査>: 集水域の土地利用、人口、産業構造、水系の河川網調査、流入・流出水の把握
- ②<予備調査と本調査>: 開水面水域とヨシ群落に接した定点にボートを係留した。目視観察(土地利用・地形、湖面・湖中の状況)、天候、風速・風力、波浪、気温、水色の測定を行った。定点位置はポケットGPS計(Garmin社)で測地し、水深は錘付の間縄ロープで、透明度はセッキ板で測定した。湖水は表面水(約0.5 m)

表1. 水環境教育における調査プロセス.

Table 1. Learning syllabus for environmental education.

## 1) 概要

- ① 手順の概要: 受講者がステップごとに指導者を交えて対話形式でブレインストーミングを行い、調査計画を立案・実行する。  
 < 調査目的 ⇒ 計画立案 ⇒ 測定項目選定 ⇒ 現地調査準備 ⇒ 現場視察と予備調査 ⇒ 本調査 ⇒ 結果の整理と考察 ⇒ 発表と報告 >

## 2) 調査目的

- ① 調査目的: 環境学習は因子が複雑に絡み合っている。目的を絞り込んで明確にする。  
 ② 調査目的の再確認: 目的を達成するために、調査手順を再確認する。

## 3) 計画の立案

- ① 資料検索: 必要な基礎知識、先行研究成果を収集して学習・理解する。  
 ② 調査方法: 場の選定(沿岸調査か湖中調査か)を行う。調査季節を選定する。  
 ③ 測定項目: 測定者の実力に合わせる。野外調査では簡便性を重視して多項目を選定する。必須項目は測定依頼もする。  
 ④ 計画の再確認: 案は調査の成功の可否を決める。ブレインストーミングで再確認する。  
 < 目的達成のための予備知識 >  
 1) 調査地点の選定: 湖心、最深地点、湖流中心、側線、沿岸地点、河口域  
 2) 調査時刻の選定: 生態系変動を気温と水中照度の日内変化から判断する。  
 3) 調査深度の選定: 季節、水温鉛直分布、水中照度から判断する。  
 4) 人間活動の影響: 生産活動(農漁業、工業)、観光、流域住民の生活を考慮する。季節、曜日、時刻で異なる。

## 4) 測定項目の選定

- ① 必須項目: 日時、天候、気温、風向、風力、波浪、湖面状況、湖岸景観、陸域の土地利用  
 ② 一般項目: 湖盆形態、外観、水温、水色、透明度、pH、電気伝導度、懸濁物質  
 ③ 無機成分: 無機イオン成分(主要6イオン成分)、酸化還元成分(鉄・マンガン)、アルカリ度  
 ④ ガス成分: 溶存酸素、全炭酸  
 ⑤ 栄養塩: 窒素化合物(アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素)、リン酸態リン、珪酸態珪素  
 ⑥ 有機物: 溶存有機物(炭素・窒素・リン)、懸濁有機物(炭素・窒素・リン)、COD、BOD、クロロフィル  
 ⑦ 水生生物: 植物プランクトン、付着藻類、大型水生植物、動物プランクトン、底生動物、など  
 ⑧ 現場でただちに測定する。常温・冷暗所・凍結状態で持ち帰って測定する。  
 現場で前処理が必要な測定項目がある。

## 5) 現地調査の準備

- ① 個人準備物: 衣類の選択(長袖衣類)、帽子、カップ類、運動靴、医薬類、飲料水  
 ② 一般準備物: 救命胴衣、参加者連絡簿、携帯電話、拡声器、ティッシュ、プラスチック袋、紙コップ  
 ③ 文具: 野帳、鉛筆(インクペンは不可)、ハサミ、油性マーカーペン、ビニールテープ、輪ゴム、電卓  
 ④ 資料: 地形図、水系図、深度図、調査指針図書、文献コピー  
 ⑤ 調査工具類: ドライバー、ナイフ、ヤスリ、カッター、テーブルタップ  
 ⑥ 調査一般器材: 双眼鏡、距離計、温度計、懐中電灯、巻尺、カメラ、メジャー、ロープ、電池、軍手  
 ⑦ 調査器材: GPS測定器、測深器、水温計、溶存酸素計、電気伝導度計、採水器、採泥器、採水バケツ  
 ⑧ 試薬と簡易測定器: 現地測定試薬、試料保存容器、純水、ビーカー、ビューレット、洗浄瓶、比色計  
 ⑨ 実験室における測定: 調査計画を立案したら、ただちに準備を始め測定可能状態にする。

## 6) 現場視察と予備調査

- ① 野外から学ぶ: 可能な限り調査現場に行き予備調査を行う。現場を知らなければよい計画をたてられない。  
 ② 予備調査項目: 上記の必須項目と一般項目(外観、濁り、水温、pH、電気伝導度)が必要である。  
 ③ 調査項目の調整: 予備調査の結果から、本調査での追加項目の有無を見直す。

## 7) 本調査

- ① 調査場所の変更: 野外の変化は激しい。本調査ができないときは代替案を実行する。  
 ② 調査項目の変更: 興味深い自然・環境現象を観察したら、これを優先する。  
 ③ データの記録: 測定結果は確認し合い野帳に記録する。生データを写し確認する。記録データは複写保存する。  
 ④ 気づいたことと思わぬ結果が出たときすべてを野帳に記載する。複雑な環境解析の手助けになることが多い。  
 ⑤ 野外調査は危険と背中合わせである。無理をしないで安全第一を心がける。

## 8) 結果の整理と考察

- ① 実験室測定: 野外調査から持ち帰った試料は、速やかに測定する。  
 ② 結果の記録: 測定した結果は記憶が薄れない間に表にして記載する。生データも消去しないで複写する。  
 ③ 分析化から総合化: 生データ表から、討論を経て総合化した図表を作成する。  
 ④ 調査の評価: 当初の目的に対して、実行できたことと実行できなかったことを総括する。  
 ⑤ 調査の総括: 次回の水環境調査のために調査反省を行い改善点を抽出する。

## 9) 発表と報告

- ① 発表会: 水環境調査から生態系が明らかになったか、円卓対話方式で発表会を開催し目的の達成度を評価する。  
 ② 環境観醸成: 水環境を保全・復元する意味が理解できたか、次世代に望ましい環境を継承するという水環境教育の環境観を醸成できたかを評価する。  
 ③ 報告書: 実習調査成果報告書を失敗例を含めて作成する。

を採水した。水温は棒状温度計あるいは電気温度計 (Tohodentan type ET-5) で測定した。濁度は懸濁物質 量とした。電気伝導度はポケット EC 計 (Yokogawa model SC-51) を用いた。pH はポータブル pH メー ター (Yokogawa PH-82) で測定した。溶存酸素はウィン クラー法 (Golterman et al., 1978) で測定した。

- ③<藻類の同定>: 藻類試料を希薄ホルマリンで固定し、冷暗所で保存した藻類を顕微鏡下で同定した。
- ④<生元素化合物の化学分析>: 試水の一部は主要イオンとケイ酸態ケイ素の分析に供した。主要イオンの分析はイオンクロマトグラフ (Dionex, DX-120) で測定した。栄養塩測定のために試水をガラス繊維ろ紙 (Whatman GF/F) でろ過し、ろ液中のアンモニア態窒素はインドフェノール法 (Sagi, 1966), 亜硝酸態窒素は BR 法 (Bendschneider and Robinson, 1952), 硝酸態窒素は硫酸ヒドラジニウム法 (Mitamura, 1997), リン酸態リンはモリブデン青法 (Murphy and Riley, 1962) で測定した。なお、ケイ酸態ケイ素は紙ろ紙 (Advantec No.5C) でろ過してモリブデン黄法 (Mullin and Riley, 1955) で測定した。植物プランクトンと付着藻類のクロロフィル a は、ろ紙上に捕捉した試料を 90%アセトンで抽出して分光光度法 (SCOR/Unesco, 1966) で測定した。懸濁態炭素と窒素は CHN コーダー (Yanaco MT-5 type) で測定した。
- ⑤<光合成と光合成活性>: 植物プランクトンと付着藻 (剥ぎ落としたヨシ茎付着藻の適量を湖水で希釈した) を入れた酸素瓶を用意し、一定時間後の明暗瓶中の溶存酸素の変化から求めた。なお、付着藻はヨシ茎から剥ぎ落とした付着物の適量を湖水で希釈した

(Mitamura and Tachibana, 1999)。測定は、飽和光 (約 400  $\mu$  Einst  $m^{-2} sec^{-1}$ ) 下で現場水温に調整した光合成イン キュベーターを用いた。

- ⑥<ヨシ群落の水質浄化機能>: 鋸カマを先端に付けた 竿でヨシの地下茎部と茎部を切断して地上部のヨシを 採取した。浄化能の見積もりは測定結果と資料から求 めた。

上述した一部の項目は、西の湖生態系の科学的理解が 深まるように、特定の受講者等と指導者が協同で測定し た。なお、環境教育では環境を解析したい意欲に基づき 学習者自らが測定することが望ましい。

## 結果と考察

### 水環境学習プログラムの開発

西の湖プログラムを立案するにあたって、受講者が調 査したいと考えた内容と測定すべきと判断した項目を 表 2 に示す。

- ①<湖水の基本的特性>: 透明度, 濁度, 電気伝導度, 主要イオン, 栄養塩
- ②<水塊構造と水塊の安定性, 化学成分や生物群集と水 塊構造との関係>: 水温, 電気伝導度, 主要イオン, 栄養塩, クロロフィル, 動植物プランクトン
- ③<びわ湖や河川水と水質が異なるか, 水質が生物分布 に影響を及ぼしているか>: 電気伝導度, 主要イオン, 栄養塩, クロロフィル, 動植物プランクトン
- ④<動植物プランクトンの種類と量はびわ湖などと異 なるか>: 動植物プランクトンの同定と計数, クロロ フィル, 水温, 栄養塩
- ⑤<基礎生産から生態系機能の理解, 水質浄化と物質循 環の評価>: 水温, pH, 栄養塩, 光合成, クロロフィ ル
- ⑥<ヨシ群落の水質浄化能と湖生態系への役割>: 群落 密度, 付着藻類のクロロフィルと光合成, ヨシ刈りによる栄養元素除去量

プログラム立案過程で、測定機器に関する基礎知識が あるか、測定機器を入手できるか、測定方法の基礎知識 があるか、測定結果は何を物語るのか、選定項目で目的・目標が達成できるかも議論となった。

西の湖生態系を解析するためには、測定項目が意味する 内容を把握しておくことが必要である。指導者が資料 を示して理解させた。下記の例は上述の表 2 とは逆の思 考になる。①水温は、水塊の安定性や水平・鉛直構造、 生態系に影響する生元素塩循環、生物の生息・生育環境 としての温度、水生活性などに関する測定項目である。

表 2. 西の湖水環境学習における測定項目。

Table 2. Factors measured in environmental education programs about Lake Nishinoko.

調査項目	測定項目
湖水の特性	透明度, 濁度, 電気伝導度, 主要イオン, 栄養塩
水塊構造	水温, 電気伝導度, 主要イオン
水質形成	電気伝導度, 主要イオン, 栄養塩
プランクトン	動植物プランクトン, クロロフィル, 水温, 栄養塩
基礎生産	水温, pH, 栄養塩, クロロフィル, 光合成
ヨシ帯機能	ヨシ密度, 茎付着藻, クロロフィル, 光合成

②pH は、水の基本的な水質、植物プランクトンの光合成活性、動物プランクトンの呼吸活性などに関係して値が変化する測定項目である。受講者は、この水環境学習を科学的に実践するための合意形成（プロセス）に授業計画構成の中でかなりの時間を費やし、西の湖学習プログラムを完成させた。

里水環境教育の場とした西の湖プログラムにおける野外実習前後の自発的ブレインストーミングの過程と結果を受講者の発現を基に次に記す。

- ①合意形成論を予備学習して、実習目的の総意を得よう努めた。
  - ②プログラムから生態系概念をより理解することが可能になった。例えば、富栄養化と汚濁を科学的に思考し、環境問題は複雑に絡みあっており、環境現象を個別に理解する「分析的思考」と測定結果を元の場に還元させて考える「総合的思考」が必要になることをより理解した。また内湖がびわ湖環境に対して緩衝機能の場であることも理解した。
  - ③環境教育に求められる目標の一つが、水環境問題を解決する能力を育成することであり、この使命を託された実習受講者こそが、理念を理解して自らが行動に移すべきであると痛感した。
- 以上のように、学習プログラムは環境教育の教材として有効であると考えられる。

### 西の湖における水環境調査

**一般項目** 開水面水域とヨシ群落水域の透明度（平均値）は0.8 m および0.6 m、表面水中の懸濁物量は6.0 mg L<sup>-1</sup> および10.8 mg L<sup>-1</sup>であった。西の湖は濁った水域であり、ヨシ群落水域は開水面水域に比較してさらに濁った水域である。水の pH は中性付近であり、溶存酸素はほぼ飽和していた。電気伝導度の値は低く、濁度との相関は認められなかった。

**主要成分と栄養塩** 水系の水質特性を理解するために、主要イオン6成分組成と濃度を測定した。そして富栄養化の現況を理解するために窒素、リン、珪素栄養塩化合物濃度を測定した（表3）。

主要イオン成分濃度は、びわ湖流域河川水濃度の変動内であったが、びわ湖よりもわずかに高かった（成田ほか、2003；吉岡龍馬、1979）。アンモニア態窒素濃度は、開水面水域およびヨシ群落水域で84 μg N L<sup>-1</sup> および56 μg N L<sup>-1</sup> の高い値であった。溶存全無機窒素濃度のほとんどを占めていたのは硝酸態窒素（820 μg N L<sup>-1</sup> および610 μg N L<sup>-1</sup>）であった。亜硝酸態窒素濃度は溶存全無

表3. 西の湖表面水における生物地球化学成分の現存量。

Table 3. Concentrations of biogeochemical factors in surface waters of Lake Nishinoko.

	開水面水域		ヨシ群落水域	
	AV ± SD	CV	AV ± SD	CV
一般項目				
透明度 (m)	0.8 ± 0.2	20	0.6 ± 0.1	24
水温 (°C)	27.6 ± 0.2	1	28.0 ± 0.2	1
pH	7.0 ± 0.2	2	7.0 ± 0.3	2
溶存酸素 (%)	102 ± 5	4	94 ± 6	6
懸濁物量 (mg L <sup>-1</sup> )	6.0 ± 1.4	23	10.8 ± 4.0	37
電気伝導度 (mS m <sup>-1</sup> )	15 ± 0	1	14 ± 2	12
主要イオン成分				
ナトリウムイオン (mg Na L <sup>-1</sup> )	21.1 ± 0.4	2	19.9 ± 1.5	7
カリウムイオン (mg K L <sup>-1</sup> )	3.0 ± 0.2	6	2.6 ± 0.3	10
マグネシウムイオン (mg Mg L <sup>-1</sup> )	4.7 ± 0.3	6	4.5 ± 0.3	7
カルシウムイオン (mg Ca L <sup>-1</sup> )	21.4 ± 0.7	3	19.4 ± 1.7	9
塩化物イオン (mg Cl L <sup>-1</sup> )	30.8 ± 1.1	4	29.2 ± 1.3	4
硫酸イオン (mg SO <sub>4</sub> L <sup>-1</sup> )	42.3 ± 1.2	3	41.7 ± 0.8	2
栄養塩				
アンモニア態窒素 (μg N L <sup>-1</sup> )	84 ± 14	17	56 ± 22	38
亜硝酸態窒素 (μg N L <sup>-1</sup> )	15 ± 5	30	10 ± 4	39
硝酸態窒素 (μg N L <sup>-1</sup> )	820 ± 40	5	610 ± 320	53
溶存全無機窒素 (μg N L <sup>-1</sup> )	920 ± 60	6	680 ± 340	49
リン酸態リン (μg P L <sup>-1</sup> )	46 ± 4	9	36 ± 10	28
珪酸態珪素 (mg Si L <sup>-1</sup> )	6.8 ± 0.9	13	5.6 ± 0.8	15
溶存有機物				
溶存有機炭素 (mg C L <sup>-1</sup> )	3.5 ± 0.4	13	4.0 ± 0.5	12
溶存有機窒素 (mg N L <sup>-1</sup> )	0.33 ± 0	8	0.31 ± 0	3
溶存有機リン (μg P L <sup>-1</sup> )	29 ± 3	11	25 ± 4	14
懸濁有機物				
懸濁態炭素 (mg C m <sup>-3</sup> )	1.3 ± 0.2	17	4.8 ± 1.3	43
懸濁態窒素 (mg N L <sup>-1</sup> )	210 ± 40	19	440 ± 180	41
懸濁態リン (mg P L <sup>-1</sup> )	21 ± 7	33	38 ± 20	52
クロロフィルa (mg chl.a L <sup>-1</sup> )	8.2 ± 1.5	18	29.1 ± 20	69

\*AV: 平均値, SD: 標準偏差, CV: 変動係数 (%)

\*開水面水域, ヨシ群落水域ともに定点数は6である。

機窒素のわずか（2%および1%）であった。リン酸態リン濃度は46 μg P L<sup>-1</sup> および36 μg P L<sup>-1</sup>であった。水中の無機窒素と無機リン濃度は高く、西の湖水域は富栄養化している水域と考えた。窒素栄養塩とリン栄養塩の比はびわ湖と同様に高く、リンが植物増殖の制限因子になると考えがちである。しかし西の湖のリン濃度が高いことから、窒素もリンも基礎生産の制限因子ではなかったと考えられる。珪酸態珪素濃度は6.8 mg Si L<sup>-1</sup> および5.6 mg Si L<sup>-1</sup> で比較的高い値であった。これは、西の湖が止水系水域ではなく流水系水域に近い流況であることを示している。これらの栄養塩濃度は、開水面水域よりもヨシ群落水域で変動が激しいが低いことが多く、ヨシ群落帯のヨシ茎付着藻類や他の一次生産者による摂取がその一因であると推測した。

西の湖は人間生活の影響を受け栄養塩負荷は経時的に変動する。そして生物群集量とその活性の変化も時間的に変動するため、測定された栄養塩濃度は富栄養化のめやすである。西の湖はびわ湖よりも栄養塩濃度がかなり高く富栄養化した水域である。このことは、西の湖は豊かな農漁生産を保つことが可能な水系であると同時に、流出河川からびわ湖に栄養塩負荷を与える。びわ湖の富栄養化に関する環境対策にも配慮しなければならない。まさに、自然との調和を考慮して適正な管理の下で保全対策が必要な里水の例であり、これからの環境教育に適した場といえる。

**溶存・懸濁有機物** 西の湖の溶存有機炭素、窒素、リン濃度は、びわ湖より高いが汚濁水域の値ほどではない (Mitamura and Saijo, 1981)。このことは、藻類の炭素、窒素、リンとクロロフィル a 比に対応して、クロロフィル a 濃度 (開水面水域およびヨシ群落水域で 8.2 mg chl.a L<sup>-1</sup> および 29.1 mg chl.a L<sup>-1</sup>) が高かったことから理解される。なお、ヨシ群落水域で懸濁有機物が高かった理由は、風の影響でヨシ茎から剥離した付着藻類が水中に懸濁したことが考えられる。

**動植物プランクトンの種構成** 開水面水域およびヨシ群落水域の両水域で確認された植物プランクトンは、藍藻、珪藻、緑藻、ユーグレナ藻の 81 種であり、その生物量は 590×10<sup>6</sup> 細胞 m<sup>-3</sup> および 780×10<sup>6</sup> 細胞 m<sup>-3</sup> であった (表 4)。植物プランクトンの優先種は緑藻であった。

表 4. 西の湖表面水における動植物プランクトンと現存量。  
Table 4. Amount of phyto- and zooplankton in surface waters of Lake Nishinoko.

	開水面 水域	ヨシ群落 水域
植物プランクトン (×10 <sup>6</sup> 細胞 m <sup>-3</sup> )		
藍藻 (3 種)	2	1
珪藻 (41 種)	33	78
緑藻 (28 種)	530	640
ユーグレナ藻 (14 種)	22	78
動物プランクトン (×10 <sup>4</sup> 個体 m <sup>-3</sup> )		
葉状仮足 (5 種)	8	3
ワムシ (31 種)	540	380
ミジンコ (9 種)	33	42
カイアシ (4 種, ノープリウス)	150	160

表に示していないが、ヨシ茎の付着藻類の優先種は珪藻であった。一方、動物プランクトンは、葉状仮足、ワムシ、ミジンコ、カイアシの 49 種で 730×10<sup>4</sup> 個体 m<sup>-3</sup> および 590×10<sup>4</sup> 個体 m<sup>-3</sup> が確認できた。動植物プランクトンの種構成からも、西の湖は富栄養化した水域である。

### 西の湖生態系の基礎生産と浄化機能

**基礎生産とヨシ付着藻類の寄与** 開水面水域およびヨシ群落水域における植物プランクトンによる光合成は 33 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> および 91 mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> でヨシ帯の植物プランクトンの光合成が高く生物量に依存していた (表 5)。クロロフィル a 当りの光合成量 (光合成活性) は開水面水域で高かった。ヨシ群落にはヨシ茎から剥離し活性の低い藻類が混在していたためと考えた。付着藻類の光合成活性が植物プランクトンの約 1/10 であることから理解される。

ヨシ群落面積当りの藻類量は植物プランクトンを 5.2 mg chl.a m<sup>-2</sup> そして付着藻類を 8.6 mg chl.a m<sup>-2</sup> と見積もった。付着藻類は大型水生植物を除く基礎生産者の 60% を占めた。そしてヨシ群落面積当りの基礎生産量は、植物プランクトンが 17.2 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>、付着藻類が 6.7 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> と計算された。付着藻類の光合成活性が植物プランクトンより低いため基礎生産に対する付着藻類の寄与は 30% と低かった。このように生態系動態は栄養塩濃度や生物量からは解明できず、動的平衡概念が必要であることが基礎生産から理解できる。

ヨシ茎の付着藻類の基礎生産を西の湖全水域の植物プランクトンの基礎生産と比較した。基礎生産に伴う窒素とリン摂取速度が、表 3 に示す藻類の炭素：窒素：リンの比に従うとして、ヨシ群落付着藻類の水質浄化能を評価した。また水中窒素とリンの循環速度に対する植物プランクトンと付着藻類の役割を考察した。本論文ではその詳細を述べることはできないが、西の湖の窒素とリンの除去 (水質浄化) に対する付着藻類の役割は小さかった。一方の植物プランクトンの役割は大きく、かつ水中の窒素・リン化合物を速やかに循環させ、これら栄養塩の動的平衡に寄与していた。

**ヨシ群落帯の機能** ヨシが生育過程で取り込む窒素とリン量を計算して、ヨシ刈りによる窒素とリン量の年間除去量から、びわ湖の富栄養化防止に対する寄与を見積もった。ヨシ刈りはびわ湖の窒素の約 0.5%、リンの 1% を除去していたと計算された。西の湖のヨシ群落はびわ湖の窒素とリンのわずかししか除去していない。しかし西の湖の面積はびわ湖の約 1/240 で容積もきわめて小さい

表 5. 開水面域水域とヨシ群落水域における植物プランクトンとヨシ付着藻類の光合成, およびヨシ群落帯面積あたりの植物プランクトンとヨシ付着藻類の基礎生産量.

Table 5. Distributions of phytoplankton photosynthetic rate in open waters and reed belt waters, of algae attached at reed stems, and phytoplanktonic primary productivity and attached algae per unit area in the reed belt zone.

	AV ± SD	CV
開水面域水域の植物プランクトン		
クロロフィルa (mg chl.a m <sup>-3</sup> )	8.2 ± 1.5	18
光合成 (mg C m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> )	33 ± 5	15
光合成活性 (mg C mg chl.a <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	4.2 ± 1.1	25
ヨシ群落水域の植物プランクトン		
クロロフィルa (mg chl.a m <sup>-3</sup> )	29 ± 20	69
光合成 (mg C m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> )	91 ± 42	46
光合成活性 (mg C mg chl.a <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	3.6 ± 1.2	33
ヨシ群落水域のヨシ付着藻類 (ヨシ付着面あたり)		
クロロフィルa (mg chl.a m <sup>-2</sup> )	23 ± 8	35
光合成 (mg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	6.7 ± 1.0	15
光合成活性 (mg C mg chl.a <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0.3 ± 0.1	23
ヨシ群落帯面積あたりのクロロフィルa (水生植物を除く)		
植物プランクトン (mg chl.a m <sup>-2</sup> )	5.2 ± 2.5	47
付着藻類 (mg chl.a m <sup>-2</sup> )	8.6 ± 1.3	15
全藻類 (mg chl.a m <sup>-2</sup> )	13.9 ± 2.3	17
付着藻類の寄与 (%)	63	
ヨシ群落帯面積あたりの基礎生産 (水生植物を除く)		
植物プランクトン (mg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	17.2 ± 5.3	31
付着藻類 (mg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	6.7 ± 1	15
全藻類 (mg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	23.9 ± 5.8	24
付着藻類の寄与 (%)	29	

\*AV: 平均値, SD: 標準偏差, CV: 変動係数 (%)

\*ヨシ群落水域定点数は6, 付着藻類は各5試料を採取した.

ことを考慮すると除去機能は無視できない。内湖はびわ湖集水域から負荷される富栄養化関連物質が内湖を経由する中間の一時たまりとして窒素・リンを除去する緩衝能(富栄養化物質削減能)を有する。広大なヨシ植生面積の西の湖は適正な管理が必要な内湖であり, 里水環境を保全するために環境学的に再評価が必要である。

水陸移行帯のヨシ群落は, ①生物の生息・生育, ②護岸作用, ③水質浄化, ④景観機能を有する場として評価されている(倉田, 1984; Hoyer and Canfield, 1994)。これらの機能について, 西の湖学習プログラム受講者は次に総括した。

①受講者は, 文献・資料などから生物の生息・生育の場の意味の概略を学習し, 野外実習ではヨシ帯巡検途上ヨシ群落帯で水鳥や魚類を観察した。ヨシ帯は多様な生物が生息・生育するいわゆる「命の賑わい」の水陸移行帯である。

②抽水植物ヨシは地下茎が発達し茎は大気中にもある。ヨシ群落帯は水流を穏やかにし, 強風でも湖面の波浪は開水面より穏やかである。湖岸侵食を防止する働きをもち, 護岸機能がある。

③西の湖プログラムで実習した水質浄化機能の結果は既に述べた。真の水質浄化は植物が取り込んだ富栄養化関連物質を湖から除去する必要がある。ヨシが朽ちて湖底に沈積してヨシ成分が水中に回帰しないようにヨシ群落を適正に管理していくことが求められる。

④景観に対して, 人が物の豊かさと心の豊かさを求める程度はあんばいで価値が決まり, 評価は各個人さまざまである。資料によると, 近年はヨシ帯を心和む景観と評価する人の割合が増加してきた。

## 論考

上述は, 内湖・西の湖において大学学部学生を対象として行った里水環境学習プログラムである。環境教育の理念・目標は, 基本的に発達段階で変化する科学的基礎知識に大きく左右されるものでない。そこで, 本章「論考」では, 前章「結果と考察」を受け, 学校教育課程の環境教育の教材として里水の重要性と有効性を探った。さらに広く水環境教育における里水環境の保全・復元の重要性を考察した。

### 学校ビオトープ学習を補完する里水学習

ビオトープは, もとは自然で生育する生物群集の生息空間を意味して, ビオトープ活動は自然の保全・復元が目標とされていた(江崎・田中, 1998; 鷺谷・鬼頭, 2007)。日本の学校のビオトープ学習も, 自然を保全・復元するために子どもがビオトープに踏み込まないようにしていた。現在の学校ビオトープの多くは本来のビオトープ概念が薄れている。擬似ビオトープを校庭に造成して, 子どもたちに生きものと自然との関係を可視的に体験させることに変化したからである(鈴木, 1994; 呉・無藤, 1998; 赤尾, 1999; 谷村, 1999; 日本生態系協会, 2000)。しかし, 日常的に環境教育を進める上では, 学校ビオトープの役割は有効であると考えられている。学校ビオトープと類似した水環境として環境用水がある。環境用水の基礎概念も広く, 自然水域, 2次自然水域, 人造水域まで包括される(神山, 1996; 秋山, 2007; 秋山ほか, 2012)。環境用水を学校ビオトープと一体化させ, 子どもたちに擬似自然とふれあう都市域の学校づくりが模索されている(澤井・石田, 2010)。しかし生態系の理解は, 現在の学校ビオトープや環境用水の学習か

表 6. 里水環境教育の位置づけ.

Table 6. Location of environmental education about water resource SATOMIZU management.

	人と自然が共生する場	人と自然が共存する場	人が生活する場
場の考え方	保存すべき自然水域	適正な管理が必要な2次自然水域（里水環境）	自然破壊が進行して回復困難な水域
水環境の例	熱帯原始水域，寒帯大湿原，大雪氷地	沿岸水域，河川域，小湖沼，内湖，湿地	用排水路，公園池，農地，人工水環境，環境用水
環境教育学習の事例	エコツアー，野外巡検，映像資料による座学	里水環境学習	身近な人造水環境調査，学校ビオトープ学習，環境用水学習
環境教育学習の目的	自然水域生態系の理解	水域生態系の理解，環境問題の解決，環境教育が求める環境保全・復元の理解	水域生態系の断片的理解，里水・自然水環境を想定，自然感性ある人を育成，擬似自然から水環境問題解決能力を育成
ビオトープ概念との比較	理想的な自然ビオトープ	初期の学校ビオトープ：自然生態系や多様な生物相の理解，再生ビオトープ（びわ湖早崎内湖ビオトープ）	現在の学校ビオトープ：擬似自然から豊かな心情・感性を育成

ら得るものは少ない。ビオトープ復元の目標も生態系の再認識であるならば，学校ビオトープ学習の目標もそこに据えたい（山田，1999）。

里水学習は水環境教育を基本から考えることができる優れた野外のビオトープ学習の場である。校外の里水を積極的に活用して本来のビオトープ環境教育のねらいを再認識したい。里水こそが，環境教育のねらい「身近な環境に関心・興味を持ち，自らが環境保全・復元に行動できる人を育てる」場であり，「環境問題を解決する能力を育成する」ことが可能になる場である。本論文で示した水環境教育の趣旨を子どもたちに理解させ，身近な里水で環境学習を体験学習することが今後ますます重要になってくる（表6）。

### 里水環境教育とは何か

里水環境教育とは何かを西の湖環境学習プログラムから論考する。環境教育の目標の基礎ともいえる水環境問題を解決する考え方はおよそ次の3点に集約される。

- ①水環境は「人と自然が共生する場」＝「自然を保存すべき水環境」，「人と自然が共存する場」＝「自然を適正に管理すべき水環境（里水環境）」，そして「人が生活する場」＝「自然破壊が進行して回復が困難な水環境」の3つに分けられる。私たちが克服しなければならない課題は，人と自然が共存する里水の環境問題の解決である（表6）。
- ②豊かさを求める欲望は複雑に絡み合っており，環境問題を根本治療あるいは対処治療から取り組んでも現在

社会ではその解決は容易ではない（阿部，2012）。筆者は，「環境解析」，「環境改善」，そして「環境倫理」から環境問題の解決方法を探りたい。「環境解析」（環境問題が所在する場の科学的解析）が環境問題の解決にとって基本的に重要である。顕在化した環境問題の解決が迫られたときは「環境改善」も改善手段を間違えなければ有効である。例えば受講者は，西の湖の誤った「環境改善」の例を周辺住民から聴取した。受講者は，水環境学習プログラムで里水生態系に「関心をもつ，働きかける，体験する，理解する」＝「環境解析」を実習した。彼らは，西の湖の「環境解析」を基礎として，望ましい里水環境の創出に向け適正に保全・管理して「改善する，創造する」＝「環境改善」することが重要であることを痛感したと考えられる。そして，環境問題をいかに考えるかの哲学，とくに，未来の水環境を託す子どもたちのための「環境教育」＝「環境倫理」が最も基本であることを再認識したと思われる。

③上述したように，水域生態系を十分理解しないで手を加えると，生態系の破綻をまねくことがある。水域生態系の構造と機能を把握した上で適切な管理をすることが望ましい。生態系を理解する方法論は，先端科学的思考ではなく総合科学的思考が有効である。水環境教育においては，水域生態系の構造と機能の基本を机上で学習して，里水環境教育を体験学習することが重要である。受講者は，以上のごとく内湖・西の湖生態系学習を総括した。なお筆者は，本論文で提唱する里水の生態系景観を，日本の高度成長が始まる1960年代

の水環境に復元することを目標としたい。

## 結 語

『里水』西の湖から「何を学ぶべきか」、「何を学べたか」、そして「望ましい湖に向けて保全・復元する管理とは何か」が本論文の論点である。西の湖プログラムは、受講者自ら開発・展開して観察、実習、討論を行った。受講者は生態系理解の重要性と里水環境保全の必要性を理解し、真の環境観を獲得したと信じる。里水環境教育受講者のその後の活動が答えを与えてくれるに違いない。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、野外調査と実験室での測定に多大なる協力をいただいた滋賀県立大学環境科学部湖沼環境実験施設の海外文一郎氏、ならびに同大学環境科学研究科環境動態学専攻および環境科学部環境生態学科の学生諸氏には深謝の意を申したい。

## 引用文献

- 安部治 (2012) : 序章なぜ環境教育を学ぶのか。環境教育, 日本環境教育学会 (編), 1-10, 教育出版。
- 赤尾整志 (1999) : 共生の関係と共生の思想。自然復元特集 6, 学校ビオトープの展開—その理念と方法論的考察, 杉山恵一・赤尾整志 (監修), 51-59, 信山社サイテック。
- 秋山道雄 (2007) : 環境用水の性格と機能。環境技術, 36 : 89-90。
- 秋山道雄 (2012) : 環境用水の成立と展開方法。環境用水, 秋山道雄・澤井健二・三野徹 (編), 2-31, 技報堂出版。
- Bendschneider, K. and R.J. Robinson (1952): A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water, *J. Mar. Res.*, 11: 87-96.
- 琵琶湖干拓史編さん委員会編 (1970) : 琵琶湖干拓史。琵琶湖干拓史編纂事務局。
- 江崎保男・田中哲夫編 (1998) : 水辺環境の保全 —生物群集の視点から, 朝倉書店。
- Golterman, H.L., R.S. Clomo and R.S. M.A.M. Ohstad (1978): Methods for physical and chemical analysis of fresh waters, *International Biological Programme. Handbooks No.8*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- 浜端悦治 (2010) : 湖沼生態系の保全・回復に向けて。関西自然保護機構会誌, 32 : 47-51。
- 半谷高久・小倉紀雄 (1995) 水質調査法。丸善株式会社。
- Hoyer, M.V. and D.E. Canfield (1994): Bird abundance and species richness on Florida lakes: influence of trophic status, lake morphology, and aquatic macrophytes, *Hydrobiologia*, 279/280: 107-119.
- 神山敬次 (1996) : 環境用水の取扱についての一考察。水利科学, 231 : 11-25。
- 金子有子・東義広・石川可奈子・井上栄荘・西野麻知子 (2011) : 琵琶湖岸の環境変遷カルテ。滋賀県琵琶湖環境科学研究センター。
- 倉田亮 (1984) : 内湖—その生態学的機能。滋賀県琵琶湖研究所報, 2 : 46-54。
- Mehner, T., M. Dielmann, U. Bramick and R. Lemcke (2005): Composition of fish communities in German lakes as related to lake morphology, trophic state, shore structure and human-use intensity, *Freshwater Biology*, 50: 70-85.
- Mitamura, O. (1997): An improved method for the determination of nitrate in freshwaters based on hydrazinium reduction, *Mem. Osaka Kyoiku Univ. Ser. III*, 45: 297-303.
- Mitamura, O. and Saijo, Y., 1981, Studies on the seasonal changes of dissolved organic carbon, nitrogen, phosphorus and urea concentration in Lake Biwa. *Arch. Hydrobiol.*, 91: 1-14.
- Mitamura, O. and Tachibana, J., 1999, Primary productivity of epiphytic and planktonic algae and biogeochemical characteristics at reed zone of Lake Biwa, *Jpn. J. Limnol.*, 60: 265-280.
- Mullin, J.B. and J.P. Riley (1955): The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters, *Anal. Chim. Acta*, 12: 162-176.
- Murphy, J. and J.P. Riley (1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- 成田哲也・遠藤修一・三田村緒佐武・奥村康昭・芳賀裕樹・中島拓男・上田孝明・小坂橋忠俊 (2003) : 琵琶湖全域一斉陸水調査 —日本陸水学 100 年記念行事—。陸水学雑誌, 64 : 39-47。
- 日本生態系協会編著 (2000) : 学校ビオトープ 考え方 つくり方 使い方 —地球を救う, 「生きる力」を育てる, 環境教育入門—。講談社。
- 西野麻知子 (2005) : 琵琶湖と内湖の関係。西野麻知子・浜端悦治 (編), 54-61, 内湖からのメッセージ 琵琶

- 湖周辺の湿地再生と生物多様性保全, サンライズ出版, 西野麻知子・浜端悦治・大高明史・石田昭夫 (2001): 内湖の特性と保全の方向性について. 滋賀県琵琶湖研究所所報, **20**: 12-25.
- 呉宣児・無藤隆 (1998): 自然観と自然体験が環境価値観に及ぼす影響. 環境教育, **7**: 2-11.
- Sagi, T. (1966): Determination of ammonia in sea water by the indophenol method and its application to the coastal and off-shore waters, *Oceanogr. Mag.*, **18**: 43-51.
- 澤井健二・石田裕子 (2010): 環境用水の創出に向けた地域的な取り組みー淀川左岸地域における取り組みの検証ー. 環境技術, **39**: 8-14.
- SCOR/Unesco Working Group 17 (1966): Determination of photosynthetic pigments in sea water, UNESCO.
- 滋賀県土木部河港課 (1996a): 琵琶湖周辺湖保全対策基本計画. 滋賀県土木部河港課, 9-10.
- 滋賀県土木部河港課編 (1996b): 琵琶湖周辺内湖現況台帳. 滋賀県土木部河港課.
- 鈴木善次 (1994): 人間環境教育論ー生物としてのヒトから科学文明をみるー, 創元社.
- 谷村載美 (1999): 教育方針としての着眼点. 自然復元特集 6. 学校ビオトープの展開ーその理念と方法論的考察, 杉山恵一・赤尾整志 (監修), 87-97, 信山社サイテック.
- Traut, A.H. and M.E. Hostetler (2004): Urban lakes and waterbirds: effects of shoreline development on avian distribution. *Landscape Urban Planning*, **69**: 69-85.
- 山田辰美 (1999): ビオトープ復元の理論・方法. 自然復元特集 6. 学校ビオトープの展開ーその理念と方法論的考察, 杉山恵一・赤尾整志 (監修), 15-26, 信山社サイテック.
- 吉岡龍馬 (1979): びわ湖流入河川の水質 (1). びわ湖とその集水域の環境動態, 環境科学研究報告書 B24-R12-2, 39-46.
- 鷲谷いずみ・鬼頭秀一編 (2007): 自然再生のための生物多様性モニタリング. 東京大学出版会.