

土と基礎の生態学

4. 琵琶湖周辺水域の生物多様性と微地形

西野 麻知子 (にし の まちこ)

滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター 総括研究員

前中 久行 (まえなか ひさゆき)

大阪府立大学大学院教授 生命環境科学研究科

大野 朋子 (おおの ともこ)

大阪府立大学大学院生命環境科学研究科 客員研究員

浜端 悦治 (はまばた えつじ)

滋賀県立大学助教授 環境科学部

佐久間 維美 (さくま まさみ)

国土交通省琵琶湖河川事務所 河川環境課長

4.1 はじめに

琵琶湖は本州のほぼ中央部に位置し、日本最大にして最古の湖で、その歴史は古琵琶湖も含めると約400万年、現在の湖が生じてからでも40数万年を有する世界有数の古代湖である¹⁾。これまでに1000種をこえる水生動植物と60種の固有種が琵琶湖から報告され、うち固有魚類は15種で固有種全体の25%を占めている^{1),2),3)}。また日本の純淡水魚の3分の2、淡水貝類では40%近くの種が生息するなど、日本の淡水域で最も豊かな在来生物相を擁する湖でもある。

しかし滋賀県レッドデータブック2005年版³⁾では固有種全体の62%、固有魚類では73%にあたる11種が絶滅危惧種、絶滅危機増大種、希少種に指定されるなど、固有種をはじめとする在来動植物の多くが生存を脅かされる状況にある。その主な原因の一つが、多くの動植物が生息し、また在来魚類の繁殖場でもある沿岸部や湖岸環境の変化である。

琵琶湖の湖岸は、湖岸景観およびその傾斜から岩礁湖岸、岩石湖岸、レキ湖岸、砂浜湖岸、抽水植物湖岸、人工湖岸の6類型に分けられる⁴⁾。このうち最も緩傾斜の湖岸に広がっているのが、ヨシ帯をはじめとする抽水植物湖岸である。ヨシ *Phragmites australis* は、世界中の湖沼、河川、湿原の水辺に広く分布する普通種で、しばしば大群落を形成する。現在、琵琶湖岸の3分の1が人工護岸化され、抽水植物(ヨシ帯)湖岸は全湖岸長の18%を占めるにすぎない。しかし1940年代には全湖岸長の約40%を占めており、その多くは内湖と呼ばれる内湾状の水域に集中していた⁴⁾。

明治38(1905)年、琵琶湖周辺の洪水防御のため、流出口である瀬田川に南郷洗堰(現在は瀬田川洗堰)が建設された。それ以来、琵琶湖水位は、湖からの放流量を人為的に調整することで管理されるようになった。その後、琵琶湖周辺の浸水被害の軽減や食糧増産への要請に応えるため、瀬田川の河道が掘削された。このため、過去100年の間に湖の平均水位は約1mも低下した。それとともに汀線は湖側に縮まり、湖岸のヨシ帯は内湖と琵琶

湖岸とに分離されるようになった。さらに戦後の干拓によって内湖面積の85%が消失し、琵琶湖岸に残されたヨシ帯でも、湖岸堤の建設などで著しく面積が縮小した。現在、琵琶湖周辺に残されているヨシ帯面積は298ha、うち約60%が内湖に、40%が琵琶湖岸に分布している⁴⁾。

最近の研究で、琵琶湖周辺のヨシ帯が湖の生物多様性に大きな役割を果たしていることが分かってきた。ここでは、ヨシ帯周辺の種多様性がどのような微地形と関係し、それが水位変動とどう結びついているかを、琵琶湖岸のヨシ帯とコイ・フナ類の繁殖環境、内湖については地盤高とヨシ帯に生育する貴重植物種との関係から紹介する。

4.2 琵琶湖のヨシ帯とコイ・フナ類の繁殖環境

4.2.1 琵琶湖の水位変動パターンの変化

琵琶湖の在来魚の漁獲量は、滋賀県が長年積極的な保全施策をとってきたアユを除くと、1972年の3041tをピークに減少傾向にある(図-4.1)。なかでも7種ものの固有種を擁するコイ科魚類の漁獲量は、1990年前後からの減少が著しい。それに大きな影響を与えた要因の一つと考えられるのが、瀬田川洗堰操作規則の制定である。

琵琶湖の平均水位は長期的には低下傾向にあるものの、1960年頃からは、基準水位(B.S.L.: 東京湾平均海面中等水位(TP)+84.371m)±0cm前後を目安に水位が管理されてきた(口絵写真-36)。しかし、琵琶湖開発事業が終了した1992年に瀬田川洗堰操作規則が定められ、琵琶湖水位は6月中旬～10月中旬に洪水期制限水位(B.S.L.-20～-30cm)にまで下げられ、それ以外の時期はB.S.L.+30cmを常時満水位(上限)として管理されるようになった(口絵写真-36)。これにより、年間で降雨量の最も多い梅雨期と台風期に、湖水位を20～30cm低下させることとなり、この期間に降雨で水位が上昇しても、速やかに制限水位まで低下させるべく水位管理が行われてきた。

琵琶湖の最深部は103.6m、平均水位は43m近くもあ

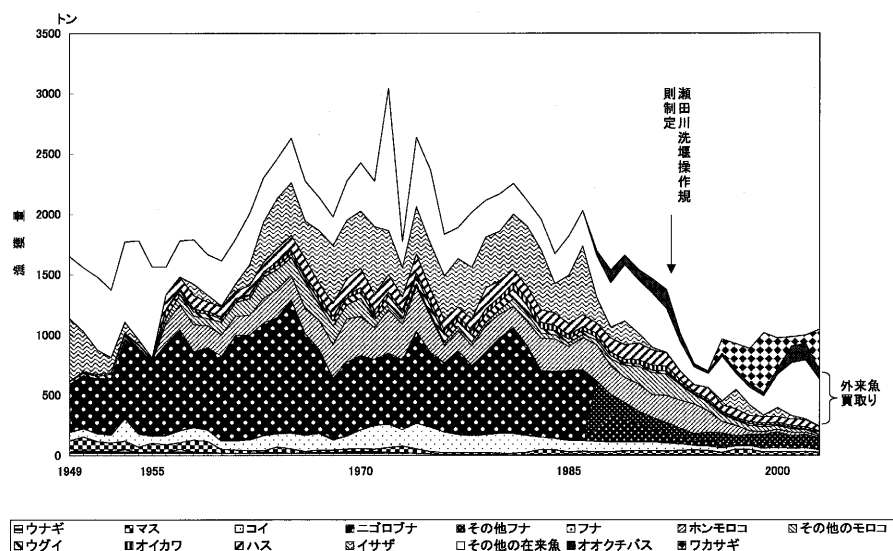


図-4.1 アユを除く琵琶湖の魚類漁獲量の年変化

る。それに対し操作規則では湖水位を4ヶ月間、わずか20~30 cm 低下させるにすぎない。にもかかわらず、この期間の水位低下が在来のコイ科魚類の繁殖環境に大きな影響を与えている。

4.2.2 コイ・フナ類の繁殖環境と微地形

琵琶湖は275億tという日本最大の水容量を有し、水位が1 cm 上昇するのに680万tの水が必要となる。そのため、集水域に大雨が降っても湖水位の上昇は緩やかで、また水位変動幅も河川に比べると非常に小さい。そのような環境で、水位変動の影響を最も強く受けるのが、陸域と水域の境界領域である水陸移行帯（エコトン）である。

水陸移行帯は、水位変動によって冠水と干出をくりかえす攪乱環境である。ヨシはそのような環境に生育する抽水植物で、一部は陸上、一部は水中に生育し、前者は陸ヨシ、後者は水ヨシと呼ばれる。しかしヨシはB.S.L. - 100 cm より浅い水域にしか分布しないため、わずか数10 cm 水位が上下するだけで、陸ヨシと水ヨシの占める面積割合は大きく変わる。例えば、滋賀県高島市の湖岸では、琵琶湖水位がB.S.L. - 30 cm まで下がると、B.S.L. + 30 cm 時に水ヨシ帯だった面積のほぼ半分以上が干出することが確認されている⁵⁾。

琵琶湖には、日本に広く分布するギンブナ *Carassius* sp. と琵琶湖固有種のゲンゴロブナ *C. cuvieri*, ニゴロブナ *C. buergeri grandoculis* の3種が生息している。かれらは湖周辺の水田まで産卵遡上するものもいるが、湖のヨシ帯で繁殖するものも多い。産卵期は4~8月と比較的長い、6月中旬から7月上旬にかけての梅雨期に産卵のピークを迎える。この時期、多量の降雨で湖水位が上昇すると、陸ヨシの一部が冠水して水ヨシとなる。冠水した土などから栄養塩が溶出し、仔稚魚の餌となるプランクトンが大発生する。このように、仔稚魚にとって餌の豊富な環境が出現する梅雨期に産卵ピークを合わせることで、在来のコイ・フナ類は生活史のデザインをつくりあげてきた。しかしこの時期に水位が数10 cm 下

がることで、そのデザインが大きく狂ってしまっている。

その一つが産卵場所である。かれらは主に水ヨシ周辺の抽水植物や浮遊物に産卵する。これらの浮遊物は水位の変動に伴って上下にゆれ動く。しかし、水ヨシ帯の面積が減少することで、周辺の抽水植物や浮遊物も干上がってしまい、利用可能な産卵基質が著しく減少したと考えられる。実際、1996年頃からコイ・フナ類の産卵数が、6月中旬以降、著しく減少していることが観察されている^{5), 6)}。また洪水期制限水位により、湖水位が最初から20 cm 低く維持されており、梅雨期に降雨で水位が上昇しても、B.S.L. ± 0 cm 以上になることは極めてまれで、そのため、この時期にフナ類の産卵そのものが行なわれなくなっている可能性もある（口絵写真—36）。

もう一つが仔稚魚の育成環境である。コイ・フナ類の仔稚魚は、水ヨシ帯でも水深50 cm より浅い水域に集中して分布する⁵⁾。なかでもリター（ヨシなどの植物遺体）の多い環境で多くの仔稚魚が確認されている。そこは仔稚魚の餌となる甲殻類プランクトンが多いが、溶存酸素濃度が極めて低い⁷⁾。しかしフナ類仔稚魚は、水表面近くの有酸素層に浮上することで貧酸素水域でも生存可能である⁷⁾。一方、活動性の高い捕食者が、浅くて貧酸素の水域で生息することは困難である。フナ類仔稚魚にとってヨシ帯陸側の冠水域は餌が豊富だけでなく、外敵の少ない環境といえる。

さらに、ヨシ帯内の微地形がフナ類の繁殖環境に大きな影響を与えていることも分かってきた⁸⁾。ヨシの生育する琵琶湖岸は緩傾斜だが、湖底形状にはゆるやかな凹凸があり、ヨシ帯の陸側にわずかに窪んだ水域が広がっている湖岸がある。このような窪地には多くのリターが堆積し、溶存酸素濃度は低い⁶⁾。

コイ・フナ類の産卵初期である4~5月の水位は、1992年以降、B.S.L. + 20~30 cm と比較的高く維持されている（口絵写真—36）。この時期、ヨシ帯陸側に冠水した窪地がある湖岸では、フナ類はそこに集中して産卵し、ふ化した仔稚魚も窪地内に広がった（口絵写真—37）。

講 座

しかし6月中旬にB.S.L. - 18 cm 頃まで水位が下がると、琵琶湖とつながっていた水路が干上がり、この窪地は孤立した（口絵写真—38）。既にふ化した仔稚魚も、大部分が窪地内に取り残された（口絵写真—38）。さらに水位がB.S.L. - 23 cm にまで低下した7月中旬には窪地がほぼ干出し、調査区域に生息していたフナ類仔稚魚は全滅した。

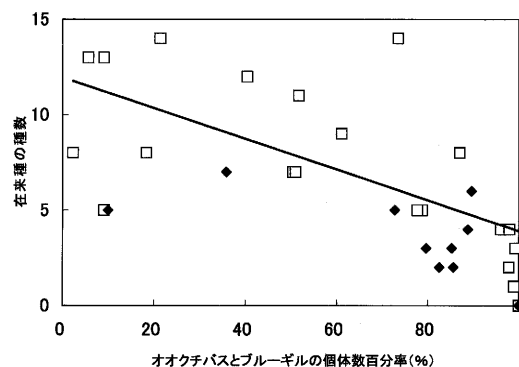
2005年5月にもフナ類仔稚魚は、この窪地を中心に分布していた。しかし降雨量が少なかったこともあり、その後、前年より早く水位が低下し（口絵写真—36）、湖と窪地とをつなぐ水路は半月ほど早く干上がった。6月中旬になると、フナ類の卵および仔稚魚は、ヨシ帯の陸側ギリギリの水域に集中して分布していた（口絵写真—39）。

このように水ヨシ帯の陸側に冠水した窪地があると、フナ類はそこに産卵し、仔稚魚も窪地に集中する。このような窪地は琵琶湖岸のいくつかのヨシ帯に存在し、ここではフナ類仔稚魚が確認されている⁶⁾。ヨシ帯内にこのような窪地が形成される理由として、波浪で湖岸にリター層が打ち上げられることも指摘されている⁶⁾。一方、傾斜がなだらかで窪地が存在しなかったり、水位が低下して窪地が干上がったヨシ帯では、フナ類はヨシ帯内部の陸側の水域に産卵し、仔稚魚もそこに分布すると考えられる（口絵写真—39）。

4.2.3 在来魚のレフュージア（避難場所）としての微地形

日本の他の淡水域同様、琵琶湖でも侵略的外来魚であるオオクチバスやブルーギルが著しく増加し、在来の魚類群集に大きな影響を与えている。琵琶湖周辺内湖でも、残存する23内湖すべてにブルーギルが、19内湖にオオクチバスが侵入している⁴⁾。各内湖における在来魚種数と外来魚2種の個体数百分率との間には、負の相関（有意確率 $P < 0.01$ ）がみられる（図—4.2）。これは、外来魚の個体数が占める割合が高い内湖ほど在来魚の種数が貧弱になることを示している。

琵琶湖におけるオオクチバスとブルーギルの繁殖期は5～7月で、多くのコイ科魚類の繁殖期と重なる⁹⁾。オオクチバスは水深1～2 mの砂利・レキ質湖底に、ブルー



図—4.2 琵琶湖周辺内湖における外来魚の個体数百分率と在来魚種数との関係⁴⁾。□は残存内湖、◆は人工内湖。

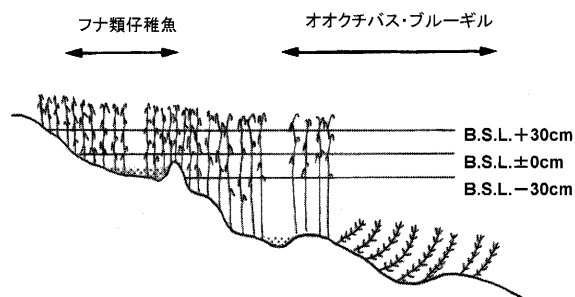
ギルは砂泥・砂質底に産卵する¹⁰⁾。両種ともふ化後、仔稚魚は産卵場付近の沈水植物帯やヨシ帯付近に移動し、在来のコイ・フナ類同様、甲殻類プランクトンを主な餌とする⁴⁾。

体長2～3 cm 頃の稚魚期に入ると、オオクチバスはコイ・フナなど外来魚の仔稚魚を捕食しはじめる⁴⁾。一方、ブルーギルは稚魚期に入ってもプランクトン食が中心で、ユスリカ、エビなどの底生動物食が加わるだけである。そのため内湖の一つである湖北野田沼では、ブルーギル仔稚魚の密度が高い年には餌となる甲殻類プランクトン密度が著しく低くなる¹¹⁾。在来のコイ科魚類仔稚魚は、5月以降、2種の外来魚仔稚魚との間で初期餌料を巡る競争にさらされ、さらに7月以降は成長したオオクチバス稚魚による捕食の危険にもさらされていると考えられる。またブルーギル成魚は在来魚の卵を捕食することが知られており¹⁰⁾、本種の密度が高い地域では、卵の食害の影響も小さくない。

これら外来魚2種の仔稚魚や成魚は、水ヨシ帯の縁辺部で多く確認されているが、ヨシ帯の陸側の冠水域に分布するとの報告はない。このことから、琵琶湖ではコイ・フナ類仔稚魚が、ヨシ帯の内側に分布することで、ヨシ帯縁辺部や周辺の沈水植物帯にすむ外来魚との競争や捕食から逃れることができていると考えられる（図—4.3）。

また琵琶湖のような大きな湖では、波浪で湖岸がしばしば洗われる。遊泳力の小さい仔稚魚にとって、ヨシ帯の縁辺部は波浪が強く危険の多い環境である。このことも、在来魚の仔稚魚がヨシ帯内部に集中する理由の一つとなっていると考えられる。フナ類の仔稚魚は、極めて浅いヨシ帯陸側の水域で生活することで、外来魚との競争や捕食あるいは波浪による物理的衝撃のリスクを回避できているのだろう。しかし前節で述べたように、一方で、水位低下によって生息場所が干上がるリスクにさらされているといえる。

他方、琵琶湖岸と違い、波浪の影響が小さく、ヨシ帯の奥行きが狭い多くの内湖では事情が異なる。湖北野田沼の調査では、コイ・フナ類と外来魚2種の成魚や仔稚魚はヨシ帯縁辺部にはほぼ同所的に生息していた⁴⁾。恐らく、ある程度奥行きのあるヨシ帯でないと、コイ・フナ類仔稚魚が、外来魚2種から逃れることのできるレ



図—4.3 琵琶湖のヨシ帯周辺における在来のフナ類仔稚魚とオオクチバス、ブルーギルの分布模式図。点線はリター層。

フュージアが空間的に形成されないためだと考えられる(図-4.3)。

前述のように、琵琶湖周辺のヨシ帯では、6月中旬以降、コイ・フナ類の卵や仔稚魚がほとんど見られなくなった^{4),5),8)}。この時期は琵琶湖水位がB.S.L. - 20 cmまで人為的に下げられる時期であると同時に、ブルーギルの産卵盛期であり、また成長したオオクチバス稚魚がプランクトン食から魚食性に移行する時期でもある⁴⁾。琵琶湖周辺のフナ類にとって、産卵期初期の4~5月に産卵する個体がいることも、6月以降の水位低下や外来魚仔稚魚との餌をめぐる競争や捕食を逃れ、絶滅を回避できている理由の一つとなっていると考えられる。

これらの結果は、琵琶湖のヨシ帯では、水位変動や外来種との種間関係が、在来種のフナ類の繁殖環境に大きな影響を与えており、その中でわずか20~30 cmほどの窪地の存在やヨシ帯の奥行き(幅)などが、在来魚のレフュージアとして機能していることを示唆している。

最近、河川や湖の護岸工事には矢板等を用いた急傾斜の護岸ではなく、環境に配慮して緩傾斜の護岸をつくることが多くなってきた。しかし、在来種のコイ・フナ類の繁殖環境を考えた場合、単に緩傾斜であるだけでは不十分で、緩傾斜であると同時に、冠水頻度の高い地域に一定の広がりをもった窪地が存在することが重要となる。地域によっては、窪地を人工的に作り出すことで、在来魚の繁殖環境を創出することが可能になるだろう。そのためには、洪水を制御しつつ、適切な水位管理、つまり魚類等の生活史のデザインに合わせ、繁殖期に一定の頻度で水位が上昇し、湖岸や河岸の一部が冠水する状況をつくりだすことも必要となる。同時に、生物相の現状や変化についてのモニタリングを行いながら、その結果を保全のための工事にフィードバックする仕組みも不可欠となる。

琵琶湖では、国土交通省琵琶湖河川事務所が、2003年から生態系に配慮した琵琶湖水位操作の試行を行っている¹²⁾。また口絵写真-37~39に示されるような調査結果をもとに、水位が低下してもフナ類仔稚魚の成育場である窪地が孤立しないよう、窪地と琵琶湖とをつなぐバイパス水路の試験施工も計画されている⁸⁾。いずれも琵琶湖の生態系保全やフナ類の繁殖環境の保全という目標に向け、対象となる生物のモニタリングを併行して行うことで、工事や試行の成否をある程度科学的に評価することが可能となっている。今後も、水位操作の試行や微地形の改善を行うとともに、併行してモニタリングを継続し、その結果をフィードバックすることで、琵琶湖の生態系保全に向けた新たなステップに移行することを期待したい。

4.2.4 ビオトープと野生生物の保全

ビオトープとは、本来は生物の生息場所、あるいは生物との関わりのある環境を意味する。その後、地理学の分野で空間概念に応用され、地理学的地域の細分化を進めていくとき、同質性あるいは機能的・一体的性からみてもはやこれ以上分割しても意味のない最小の地域単位とし

て、最小の基本的植物群落とその占める場所を統合したものをビオトープと呼ぶようになった。また景観生態学では、ビオトープを生態学的に把握される均質な空間単位と定義している。

しばらく前から、学校ビオトープなど、日本各地で「ビオトープ」づくりが進められている。ここでいうビオトープとは、生物の新たな生息空間という意味であろう。各地で野生生物の生息環境が失われ、かつて普通に生息していた生物の多くが絶滅危惧種などに指定される現状では、新たに作られるビオトープに豊かな生物多様性を期待したくなる気持ちは理解できる。ただ残念なことに、多くのビオトープでは、その目標や評価のための指標が不明確で、そのため十分な成果が上がっていないように見える。

地域の自然生態系は、それぞれ固有の地理的、歴史的特性を有している。ビオトープの設計にあたっては、文献や現地調査などの科学的知見をもとに、地域特性を考慮した復元目標となる種や生物群集を選定するとともに、対象となる生物についてモニタリングを行い、その結果について科学的な評価をすることで、次のステップの工事や維持管理にフィードバックすることが求められる。

4.3 貴重植物と微地形

琵琶湖の周辺に点在する内湖は、琵琶湖の内湾的な要素を有しつつも、流出口の地盤高が琵琶湖よりも高いため、渇水時には琵琶湖の湖岸域のように大きく干上がることはない。一方、内湖は流入・流出河川や水路をもち、一時的な貯留池としての性格を持つ。そのため、降雨時には、琵琶湖に比べ、より大きな水位上昇を考えるとされ、内湖の湖辺域は出水による攪乱の影響を強く受けることが予想される。

また湖東平野の場合、扇状地の扇端部にあたる標高100 m付近では、条件によっては地表に地下水が湧出する¹³⁾。湧水量は減少しているものの、現在でも多くの湧水点が分布している。琵琶湖と比べはるかに小さな水体の内湖では、湧水の流入は、水温などにより大きな影響を与えている可能性が考えられる。

こうした環境を有する内湖では、かつて絶滅危惧種ガシャモクが堅田内湖の流出水路で、絶滅危機増大種ミツガシワが浜分沼で採集された¹⁴⁾。水生植物の重要な生育空間だと考えられていた内湖だが、これまで十分な調査が行われてこなかった。

4.3.1 琵琶湖周辺内湖での貴重種の分布調査

内湖とその周辺地域で植物の分布調査を2001~2004年に行ったところ、31科64種の貴重植物の生育が確認された(表-4.1)⁴⁾。その中には、日本での分布の西南限になると考えられるツルスゲ(*Carex pseudocraica*)の発見も含まれる。

これらの貴重種の多くは「原野の植物」¹⁵⁾であった。すなわち、氾濫環境で進行遷移が止められ、ある種の持続群落と位置づけられる群落を構成する種類である。また、オニナルコスゲ(口絵写真-41)、ツルスゲ、ヤナ

講 座

表-4.1 琵琶湖周辺に分布する貴重植物種⁴⁾

分類群			和 名	学 名	貴重種の根拠			
					①	②	③	④
シダ植物	シダ類	ハナナリ科	コトナナナリ	<i>Ophioglossum vulgatum</i> L.		C		
				<i>Ceratopteris thalictroides</i> (L.) Brongn.		準		
				<i>Azolla japonica</i> Fr. et Sav.	VU	準	その他	
種子植物	双子葉植物	ササ科	ナガバノササ	<i>Persicaria hastato-sagittata</i> (Makino) Nakai		C	希少	
				<i>Persicaria maackiana</i> (Regel) Nakai		C		
	離弁花類	ササ科	ササ	<i>Persicaria taquetii</i> (Lev.) Koidz.	VU	C	絶滅増	
				<i>Persicaria foliosa</i> (H. Lindb.) Kitag. var. <i>paludicola</i> (Makino) Hara	VU	C	絶滅増	
				<i>Magnolia praecoxissima</i> Koidz.		C		
				<i>Nuphar japonicum</i> DC. (Nuphar sp.※分類学的検討を要する種を含む)				○
				<i>Ceratophyllum demersum</i> L. var. <i>quadrispinum</i> Makino		A	希少	
				<i>Penthorum chinense</i> Pursh	VU	C	その他	
				<i>Euphorbia adenochlora</i> Morr. et Decne.	VU	C	その他	
				<i>Ammannia multiflora</i> Roxb.		C	その他	
				<i>Rotala pusilla</i> Tulasne	VU	C		
				<i>Ludwigia greatrexii</i> Hara	NT			
合弁花類	サクラ科	サクラ	サクラ	<i>Cicuta virosa</i> L.		C		
				<i>Sium suave</i> Walt. var. <i>nipponicum</i> (Maxim.) Hara	EN	A	絶滅危	
				<i>Lysimachia thysiflora</i> L.		B	分布	
				<i>Lysimachia vulgaris</i> L. var. <i>davurica</i> (Ledeb.) R. Knuth		C	希少	
				<i>Nymphoides indica</i> (L.) O. Kuntze	VU	A	絶滅増	
				<i>Nymphoides peltata</i> (Gmel.) O. Kuntze	VU	A	絶滅危	
				<i>Oenanthe subulata</i> (Miq.) Matsum.		C		
				<i>Callicarpa dichotoma</i> (Lour.) K. Koch		C	その他	
				<i>Eustellaria yatabeana</i> (Makino) Murata	VU	A	絶滅危	
				<i>Scutellaria dependens</i> Maxim.		C	その他	
				<i>Solanum megacarpum</i> Koidz.		C	その他	
				<i>Doinostema adenocaulum</i> (Maxim.) Yamazaki	EN	C	希少	
				<i>Gratiola japonica</i> Miq.	VU	A	要注	
				<i>Limnophila chinensis</i> (Osb.) Merr. ssp. <i>aromatica</i> (Lam.) Yamazaki		C	その他	
				<i>Veronica polita</i> Fries var. <i>ilicina</i> Hara	VU	準	要注	
				<i>Veronica undulata</i> Wall.	NT	準		
				<i>Hydrophila salicifolia</i> (Vahl) Ness			絶滅増	
				<i>Utricularia dimorphantha</i> Makino	CR	A	絶滅危	
				<i>Utricularia tenuicaulis</i> Miki			希少	
				<i>Anaphalis margaritacea</i> (L.) Benth. Et Hook. fil. ssp. <i>yedensis</i> (Fr. et Sav.) Kitamura		B		
				<i>Aster fastigiatus</i> Fisch.		A	要注	
				<i>Inula japonica</i> Thunb.		C	その他	
				<i>Hydrocharis dubia</i> (Bl.) Backer		C	その他	
				<i>Vallisneria spiralis</i> (Miki) Ohwi			分布	
				<i>Vallisneria denseremulata</i> (Makino) Makino		C	その他	
				<i>Potamogeton natans</i> L.			希少	
				<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.			分布	
				<i>Potamogeton angustifolius</i> Koidz.			分布	
				<i>Najas indica</i> (Willd.) Cham.	EN	A	要注	
				<i>Najas osuraensis</i> Miki		A	分布	
				<i>Monochoria kosakowii</i> Regel et Maack	VU	A	絶滅増	
				<i>Iris ensata</i> Thunb. var. <i>spontanea</i> (Makino) Nakai		C	その他	
				<i>Iris laevigata</i> Fisch.	VU	C		
単子葉類	トナリ科	トナリ	トナリ	<i>Eriocaulon cinereum</i> R. Br.		C	絶滅増	
				<i>Agropyron humidorum</i> Ohwi et sakamoto	VU	A	要注	
				<i>Leptochloa chinensis</i> (L.) Nees			その他	
				<i>Paspalum orbiculare</i> Forst.		C	希少	
				<i>Pseudoraphis ukishiba</i> Ohwi		C	希少	
				<i>Sparganium erectum</i> L. ssp. <i>stoloniferum</i> Hara	NT	A	その他	
				<i>Sparganium japonicum</i> Rothert	NT	準		
				<i>Carex neurocarpa</i> Maxim.		C	絶滅増	
				<i>Carex pseudocurica</i> F. Schmidt		初記録	初記録	
				<i>Carex idzuroei</i> Franch. et Savat.	EN	A	希少	
				<i>Carex vesicaria</i> L.		A	その他	
				<i>Cyperus extremiorientalis</i> Ohwi			希少	
				<i>Cyperus nipponicus</i> Franch. et Savat. var. <i>spiralis</i> Ohwi		C	希少	
				<i>Scirpus mitsukurianus</i> Makino		C	その他	
				<i>Scirpus planiculmis</i> Fr. Schm.		B		
				<i>Scirpus wallichii</i> Nees			その他	
合 計	31科			64種類	23	52	50	1

選定基準

①環境庁(2000)「改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物(植物Ⅰ)」

カテゴリー: EX:絶滅, EW:野生絶滅, CR:絶滅危惧ⅠA類, EN:絶滅危惧ⅠB類, VU:絶滅危惧Ⅱ類, NT:準絶滅危惧, DD:情報不足, LP:地域個体群

②近畿(2001)「改訂・近畿地方の保護上重要な植物」

カテゴリー: 掲載種

③滋賀県(2000)「滋賀県で大切にすべき野生生物」

カテゴリー: 絶滅:絶滅種, 絶滅危:絶滅危惧種, 絶滅増:絶滅危惧増大種, 希少:希少種, 要注:要注目種, 分布:分布上重要種, その他:その他重要種, 郷土:郷土種

④県内で分布の限定されていると考えられるもの

カテゴリー: 任意

ギトラノオ, クサレダマ, オオマルバノホロシ, ドクゼリなどの寒冷地に分布の中心を持つ種類も多く含まれ, 氷期の遺存種である可能性も考えられる。

これらの貴重種は, 西の湖(222 ha), 曽根沼(21.6 ha), 浜分沼(5.4 ha), 小松沼(7.8 ha)といった比較的大きな内湖で多く見つかったが, 中でも現在最大の面

積を持つ西の湖(口絵写真—40)では42種の生育が確認され, 貴重種にとって最も重要な生息空間であることがわかった。

4.3.2 西の湖における貴重種の分布

西の湖周辺には105 haのヨシ帯が残っており, 現在も葭簀(よしず)生産が行われている。しかし貴重種の

分布という視点からすると、現在はヨシ地としての利用がされていない円山地区の流出口に近い地域（口絵写真—40 A）にオニナルコスゲ、ヤナギトラノオ、クサレダマ、カキツバタ、ナガバノウナギツカミなど多くの種類が確認され、非常に重要な生育地であると考えられた。また、面積は小さいながらも安定したノウルシ（口絵写真—42）の群落が、ヨシ刈りと火入れとが毎年行われている地域に分布していた。ノウルシの分布する西の湖北部（口絵写真—40 B）のヨシ帯部分は、西の湖とその北部の戦後干拓によって失われた大中の湖との境界にあった砂嘴状の地形に見られる。

その中央付近で横断面（口絵写真—40 c）を調べたものが図—4.4である。砂嘴の尾根的な部分から北側の水辺付近までの40 mの断面図を描いている。そして主要な植物の分布は、微高地部分にノウルシがオギなどとともに生育し、標高の低下とともに、ヒメシダ、セイタカアワダチソウ、シロネが、そして汀線付近からハンゲショウ、カサスゲ、ウキヤガラが分布を始め、水深30 cm付近からはヨシの純群落となっている。このように、1 mほどの地盤高差に対応して種の分布に違いが認められ、低湿地の植物群落の分布には、微地形が大きく影響を及ぼしていると考えられる。

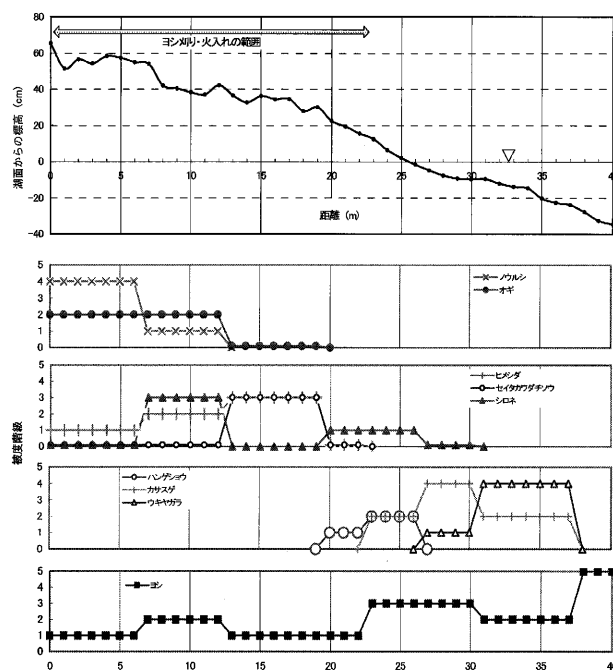
北部地区における貴重種のノウルシは、最も標高の高い地域に分布していた。ここは、本来ならヤナギ林などへと遷移していく地域であるが、葎簀の生産を行うためにヨシ刈りとその後の火入れが行われるため、遷移をおこすことなくヨシ地が存続されている。ノウルシのような貴重種の保全にはこうした管理行為が必要であると考えられる。しかし円山地区（口絵写真—40 A）では、この10年程度はこうした管理行為が行われていない。にもかかわらず、多くの貴重種がこの地区から出現しており、別の維持機構が働いていると考えられる。その機構解明の一步として西の湖での航空3次元測量を行い、貴重植物の残存状況と微地形との関係の解明を試みた。

4.3.3 解析方法

(1) 解析に用いたデータおよび解析ソフト

微地形の解析には、西の湖上空において航測カメラで連続して垂直写真を撮影し、数値表層モデルを作成して、表層高を算出した航空3次元測量データを用いた。航空写真の撮影はヨシ刈りがほぼ終了し、地盤高データが取得しやすい平成18年2月22日に行い、撮影縮尺は1/5000だった（口絵写真—40）。航空写真の面積は約1048 ha、地上解像度約10 cmでオルソ幾何補正を行い、算出した全表層ポイントデータ数は3435465点にのぼった。

植物の分布については、琵琶湖研究所が2001～2004年度に実施したプロジェクト研究「内湖の生物多様性維持機構の解明」で作成した西の湖周辺に生育する貴重植物の分布データを使用した。微地形と貴重植物の分布との解析には、ESRI社のArc/Info ver.8.3とERDAS Imagine ver.8.7およびVisual Basic6.0を用いて作成したプログラムを使用した。なお以下の解析では、植物の



図—4.4 西の湖北部の砂嘴状地形の横断面（口絵写真—40 c）と主要種の分布。古いヨシの稈の有無や、焼けこげた稈の存在などから、22～23 m付近まで、春先にヨシ刈り・火入れが行われていたことがわかる。

分布と直接関係しない丘陵地や集落地は除外してある。

(2) 解析方法

西の湖周辺に生育する43種の貴重植物の中から、群落を形成しているクサレダマ、ノウルシ、タコノアシ、オニナルコスゲ、コバノカモメヅル（口絵写真—43）の5種について微地形との関係を調べた。これら5種の分布図を、GISを用いてデジタルデータ化し、表層高ポイントデータとの重ね合わせ（オーバーレイ解析）により貴重植物が分布する微地形を把握した。

4.3.4 結果および考察

(1) 表層高からみた貴重植物の分布状況

表—4.2に、対象地域における全ポイントデータおよび貴重植物5種が分布するポイントの表層高の概要を、また図—4.5に解析地域の全ポイントの表層高頻度分布を示した。航空写真撮影時の水位はTP+84.03 mで、多くのポイントはこの水位の前後の値であったが、全ポイント中の最低表層高はTP+70.6 mであった。

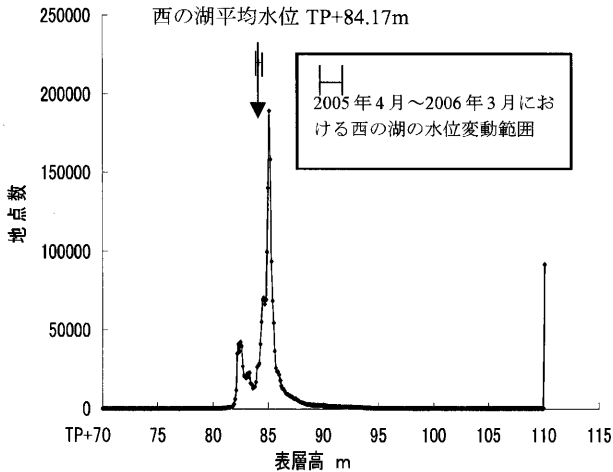
表層高が算出されたポイントのうち西の湖周辺58地点について標高を実測し比較したところ、平均誤差は2 cmで、プラス側最大誤差は+24 cm、マイナス側最大誤差は-71 cmだった。しかし表層ポイントデータ数は3百数十万点に及ぶため、ごく低い確率で生じる誤差であっても、現実にはあり得ない標高が算出されることもあると考えられ、注意が必要である。

図—4.6は各貴重植物の分布ゾーンの相対頻度分布を表している。すなわち、それぞれの植物について頻度の合計が1.00になるように相対値化されている。解析地域の表層高ポイント値のほとんどがTP+85 m前後であ

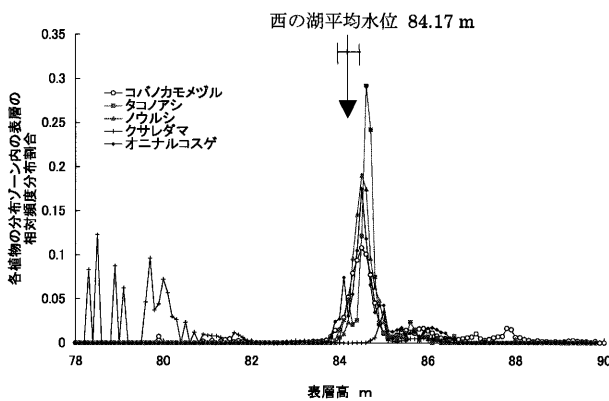
講 座

表—4.2 表層高ポイントデータからみた主要な貴重植物の分布

	解析地域	コバノカモ メヅル	タコノアシ	ノウルシ	クサレダマ	オニナル コスゲ
解析地点数 (点)	2252720	78868	827	3574	2848	3821
最低標高 (m)	70.6	79.9	84	82.8	78.3	82.1
最高標高 (m)	110.1	90.9	86.6	88	87	87.3
出現頻度(%)	100.00	1.73	0.01	0.06	0.28	0.06



図—4.5 西の湖周辺の航空3次元測量によって測定された表層ポイントの頻度分布および西の湖の年間水位変動範囲。矢印は2005～2006年の平均水位。

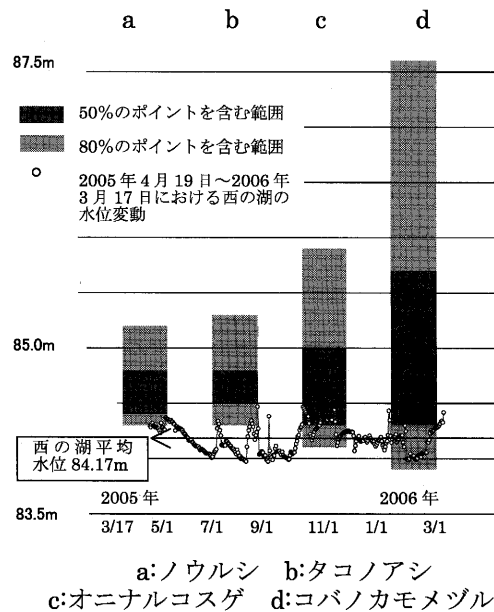


図—4.6 西の湖における主要な貴重植物の分布ゾーンの表層高の頻度分布および西の湖の年間水位変動範囲。凡例は図—4.5と同じ。

ったが、コバノカモメヅルとクサレダマについては分布最低表層高と最高表層高には約10 mの幅があった。一方、タコノアシは2.6 m、ノウルシ、オニナルコスゲでは5.2 mの分布幅があった。図—4.6によればコバノカモメヅル、タコノアシ、ノウルシ、オニナルコスゲは表層高85 m前後に分布が集中している。しかし、クサレダマでは78～80 mに分布が多い。この高さは沈水域に相当することから、前述の誤差である可能性が極めて高く、これらの値の処理・除去が今後の課題である。そのため、以下の解析には、クサレダマを除く4種の植物を用いた。

(2) 表層高からみた貴重植物の出現率と水位との関係

図—4.7は貴重植物種の分布ゾーンの表層高ポイント出現範囲を示したものである。ノウルシ、タコノアシ、



図—4.7 西の湖における貴重植物の生育場所の表層高範囲と西の湖の日水位変化 (2005～2006年)

オニナルコスゲ、コバノカモメヅルの分布中心は85 m付近であった。また、分布の中心範囲が比較的狭いノウルシやタコノアシと、範囲がより広いオニナルコスゲ、コバノカモメヅルとの特性の差がみられた。なお図—4.4ではノウルシの分布範囲は水面より30～60 cm高い場所だったが、図—4.7に見る表層高の値はそれより広範囲だった。

水辺の植物の分布を規定するのは、水位との相対的高低であると考えられる。図—4.7のように植物ごとに分布の範囲が異なっており、4種の貴重植物は対象地の中では限られた場所で生育している。ただコバノカモメヅルのように比較的多くのポイントデータが得られた植物もあるが、他の3種では、得られた表層高ポイントが少ない。タコノアシは分布地が1ヶ所のエリアに限られている。このため、そのエリア内に表層高の誤差が重なり、その影響を強く受ける危険性がある。

これら4種の表層高範囲は、いずれも年間の水位変動からみると、普段は陸地だが、時折冠水するような場所だと考えられ、4種は氾濫原に生育可能な植物であるといえる。またノウルシ、タコノアシ、オニナルコスゲの分布は「湿地に生える」、コバノカモメヅルは「山野に生える」とされている¹⁶⁾。表層高の差は、種の生態的特性を反映していると考えられる。

ところで、2005年は降雨量が少なく、西の湖の年間水位変動幅は約50 cmと極めて小さかった。西の湖の流出口には樋門が設けられており、水位が管理されることで出水による攪乱頻度が小さくなっている可能性が高い。また西の湖の水位は、長期的には琵琶湖水位と連動して低下傾向にある。これら植物の分布は、現在の水位変動を反映しているのか、あるいは過去の水位変動にも影響を受けているのかについて、今後詳細な検討を行う必要がある。

4.3.5 地表の高さの検討

今回の微地形データは、表層高を用いて解析を行っているため、必ずしも貴重種が分布する地表の標高を表しているわけではない。表層高は、工作物や置かれている農機具のみならず、生育する植物高を含めた地表の高さである。調査地域は、ヨシ刈りが行われている場所と刈り取りされていない場所が混在し、ヨシの植物高は2～3 mにも達する。植生が疎らな場合には、地表高を読み取っているが、植生が密な場合には植物高を含めた高さを読み取っている可能性がある。詳細な微地形と植物の分布との関係を明らかにするためには、表層高から植物高などを引いた地表高を算出する必要がある。そこで、表層高ポイントデータから地表高の検討を行った。

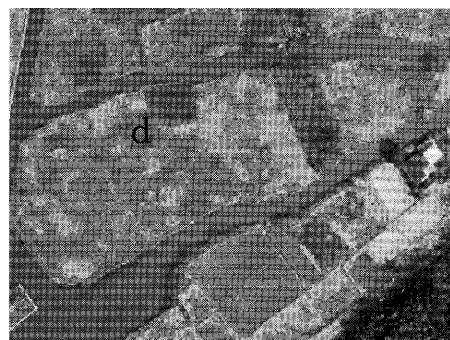
写真—4.1は口絵写真—40 dの拡大写真で、図—4.8は写真—4.1のdの島を高さ別の表層高ポイントデータで表現している。写真—4.1からは、dの島の内部に植物高の異なる表層パターンが確認できる。図—4.8を見るとその違いは明らかで、写真—4.1との対応が確認できる。図—4.8は便宜上、高さを3区分して表したが、表層高ポイントデータは地表高と植物高を含む表層高が混在することから、この高さの違いをより詳細にみれば、地表高を推測することは可能である。図—4.8は、地表を真上からみた水平面投影であるが、横から見た場合、つまり垂直面投影した場合は図—4.9に示した。

図—4.9から、同じ南北の座標帯に高さの上限と下限が存在することがわかる。この下限の高さが地表高を表している可能性は高い。しかし、図—4.9はdの島全体を垂直面投影していることから、図—4.8の東西の座標に幅があり、必ずしも高さの下限が地表高であるとは限らない。そこでdの島に東西幅5 mのベルト（図—4.8の直線b）帯を設け、このベルト帯に沿った断面の高さの垂直投影を図—4.10に示した。

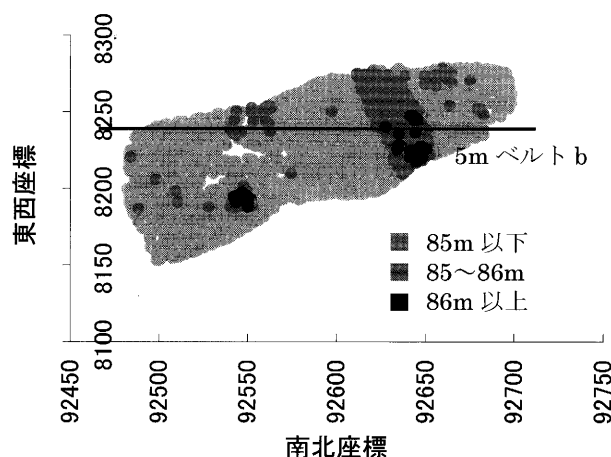
幅5 m間の地形は東西の座標に対して起伏がないと考えるならば、それぞれの座標帯での高さの下限が地表高であると推測できる。また、高さは2分されており、下限が地表高を表しているのに対して、上限は植物などの高さを表していると推測される。

このように航空3次元測量を用いることで、分解能約10 cmという極めて詳細な微地形の把握が可能となった。また今回の研究で、貴重植物の分布標高に種特性が見られることが明らかとなった。さらに今後、表層高データを詳細に解析していけば、地表高の推測は可能であるとの見通しができた。地表高データの取得は同時に植物高のデータも取得できるという利点を持つことから、水位変動時の地表の状況把握にも利用できる。

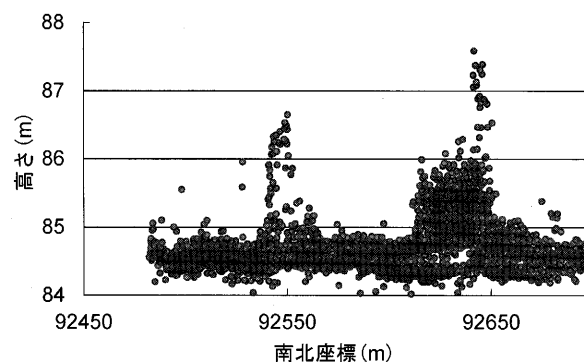
航空3次元測量から得られた微地形データは、現地調査と併用することで、今後、さらに詳細な動植物の生育環境を明らかにすることが可能で、貴重な動植物の保全計画に役立てていけるものと期待される。動植物にとっては、わずかな起伏でも生育や移動の妨げになる可能性がある。生物の生息状況や生育条件を客観的かつ詳細に明らかにするためにも、広範囲に詳細な地形データを



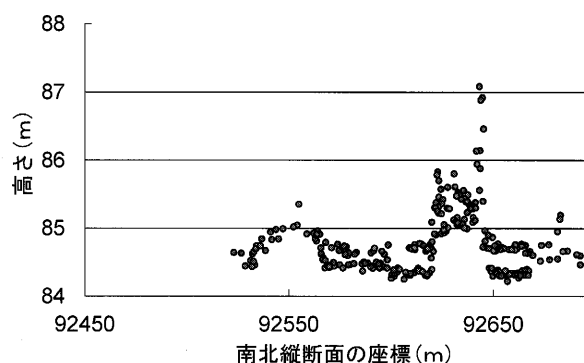
写真—4.1 航空写真からみた調査地域（口絵写真—40 dの地域を反時計回りに90度回転してある）



図—4.8 高さ別表層高ポイントデータ



図—4.9 高さの垂直面投影



図—4.10 幅5 mのベルトに沿った断面の高さの垂直面投影

講 座

取得することが今後必要になっていくだろう。

4.3.6 自然群落からみたビオトープの造成と管理

内湖の調査から、貴重種の残存種数と内湖面積との間には正の相関が見られた⁴⁾。それは面積が大きくなれば、それだけ生育環境が多様になるためだと考えられる。新たなビオトープの造成のためには、大面積であることに越したことはないが、狭くとも湿地の平面や横断の形状を複雑にすることによって、種の生育環境に多様性を持たせることは可能であろう。しかし、この様にしてお膳立てはできたとしても、西の湖でのヨシ刈り・火入れの管理の例や水位との関係からわかるように、水位変動も含め、いかに管理をしていくかが、人工的に作られたビオトープでは最も重要となるだろう。

また、造成当初は積極的に管理されても、その後の管理がなされず、荒れ果ててしまった元ビオトープをよく見かける。ビオトープを造成する際、近年の外来種排除の考えから、植え込み材料が近くの湿地から採集されてくる場合が多い。そのようにしてできあがったビオトープが、数年もたたない間に打ち捨てられてしまうと、単なる湿地破壊の何者でもない。その場所の埋土種子などを用い、また鳥類などの動物による種子などの持ち込みなどにより、時間をかけて、その場の地域特性に合った湿地の復元が望まれる。

なお、これまで述べてきたように在来のコイ・フナ類も原野の植物も、一定の水位変動があることが生活史のデザインに組み込まれている。これらの生物の保全には、微地形を考慮すると同時に、水位変動による攪乱が不可欠で、とくに多くの降雨が予測される時期に、ある頻度で水位上昇を起こすことが重要となる。

参 考 文 献

- 1) Nishino, M. and N. C. Watanabe : Evolution and ende-

- mism in Lake Biwa, with special reference to its gastropod mollusc fauna. Adv. Ecol. Res., 31, pp. 151~180, 2000.
- 2) 西野麻知子：琵琶湖の固有種をめぐる問題。1. 固有種リストの一部修正について。オウミブ, 76, pp. 3~4, 2003.
- 3) 滋賀県生きもの総合調査委員会(編)：滋賀県で大切にすべき野生生物。滋賀県レッドデータブック2005年版。563 pp., 2006.
- 4) 西野麻知子・浜端悦治(編)：内湖からのメッセージ, 257 pp., 2005.
- 5) 山本敏哉・遊磨正秀：琵琶湖におけるコイ科仔魚の初期生態—水位操作に翻弄された生息環境。(森 誠一編) 淡水生物の保全生態学—復元生態学に向けて—, pp. 193~203, 1999.
- 6) 琵琶湖河川事務所：平成17年度琵琶湖沿岸部環境実態調査業務報告書, 2006.
- 7) 藤原公一・臼杵崇広・根元守仁：ニゴロブナ資源を育む場としてのヨシ帯群落の重要性とそのあり方。滋賀県琵琶湖研究所所報, 16, pp. 86~93, 1999.
- 8) 琵琶湖河川事務所：生命のゆりかご、琵琶湖を守る、うおしまプロジェクト編、琵琶湖の水位編。2006.
- 9) 遠藤 誠・太田滋規・金辻宏明・三枝 仁：沿岸帯の温水性魚類生産機能修復再生研究2。琵琶湖沿岸におけるフナ類の産卵状況。滋賀県水産試験場事業報告, pp. 16~17, 2003.
- 10) 全国内水面漁業共同組合連合会：ブラックバスとブルーギルのすべて—外来魚対策検討事業報告書, 1992.
- 11) 細谷和海：魚類を中心とした内湖の生物多様性維持機構。平成14年度滋賀県琵琶湖研究所委託研究報告書, p. 93, 2003.
- 12) 琵琶湖河川事務所：琵琶湖の環境保全・再生のための瀬田川洗堰試験操作について, <http://www.biwakokasen.go.jp/media/index.html>, 2006.
- 13) 宗宮 功(編)：琵琶湖, 2000.
- 14) 北村四郎(編)：滋賀県植物誌, 1968.
- 15) 梅原 徹・栗林 実：滅びつつある原野の植物, Nature Study, 13, pp. 3~7, 1991.
- 16) 北村四郎・村田 源・堀 勝：原色日本植物図鑑。上, 中, 下, 1960.