

トピックス

GISを利用して

琵琶湖岸の景観や地形は変化に富んでいます。湖北地方の葛籠尾崎、海津大崎などの岩石（山地）湖岸、近江八幡市のヨシ植生湖岸、大津市近江舞子水泳場の砂浜湖岸など様々な姿を見せてくれます。しかし、近年は湖岸域の一部が人工的に変えられ、本来の姿がわからなくなっている地域もあります。その例として、長浜市（旧びわ町および湖北町）の早崎内湖が挙げられます。



早崎内湖（2008年2月撮影）

早崎内湖は、以前は琵琶湖に面した内湾で、固有種ゲンゴロウブナの琵琶湖最大の産卵地でしたが、1960年代に食糧増産のために全面干拓されました。しかし、2001年に干拓された土地の一部（17ha）が年間を通じて湛水され、動植物の生息状況について調査が行われています。このような湖岸生態系の保全・再生は、その場所の環境の成り立ちと変化を理解した上で実施することが重要です。そのためには湖岸地形環境の長期変遷を把握する必要があります。

しかし、琵琶湖岸の地形環境については限られた地域では古地図や航空写真などから定性的な調査が行われていましたが、琵琶湖全体で定量的に把握した例はほとんどありません。たとえば琵琶湖の面積について見てみましょう。明治時代以降のかつての面積は 699.96km² から 721.46km² まで、公表されている値にかなり幅がありました（西野，2005）。これは水面面積が干拓や埋め立てで縮小しただけでなく、内湖の面積の扱い方によっても値が異なるのだと考えられるためです。そこで、水域を本湖と内湖に区分したデータを作成し、それぞれの変化の地域性を調べるのが重要になります。

では、水域変化の地域性は、どのように把握したらよいのでしょうか。古い時代の湖岸地形は、古地図や航空写真を見ればわかりますが、面積などの幾何学的情報を求め、現在のものと定量的に比較することは容易ではありません。それを解決する手段として、地理情報システム（GIS：Geographic Information System）を利用する方法があります。

GISとは地図上の位置に関連付けられた様々なデジタル情報（空間情報）を重ね合わせて総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術です。具体的な作業としては、まず、時代の異なる古い地図の図面や航空写真をデジタル化し、画像の歪みを取り除き、画像上で緯度経度がわかるように幾何補正を行います。こうすることで、時代の異なる古い地図の図面や航空写真が共通の地理的座標をもつ一種のGISデータに変換され、内湖や琵琶湖の地形の空間的变化について定量的に比較することができるようになります。その例として、西の湖周辺について1947年に撮影された数枚の航空写真に対し、オルソ補正と呼ばれる幾何補正を行った例を下图に示します。

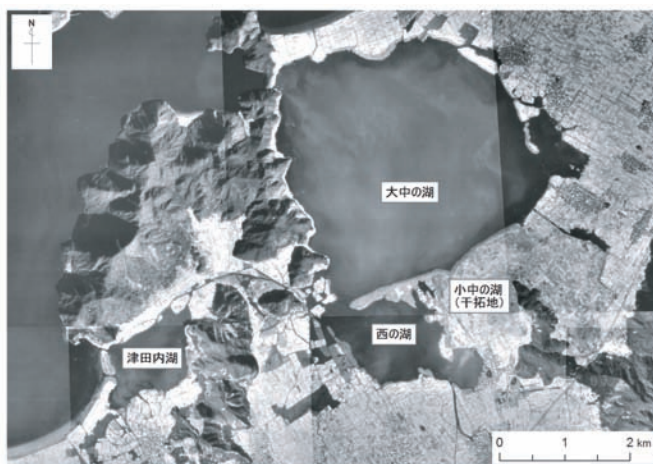


図 1947年撮影の西の湖周辺の幾何補正済みの航空写真画像（この図は、米軍撮影の航空写真を用いて作成）

さて、このようなGISを用いて過去と現在の湖岸地形を調べると、湖岸の原風景のどのような一端がわかったのでしょうか？次頁からの研究最前線では、このような湖岸地形環境の変遷についてご報告します。

管理部 今西 直樹

1 はじめに

琵琶湖の湖岸域は、元来、デルタ・氾濫原・低湿地・内湖などの様々な地形が見られ、多様な生物を育む場でありました。特に、かつての琵琶湖の湖岸域には、数多くの内湖が琵琶湖本湖に付属するように分布していたことはよく知られています。ヨシ帯が広がる内湖では、魚類の産卵の場として重要な役割を果たしていたと考えられています。

一方、湖岸域は、昔から人々の生活の場として利用されてきました。特に内湖は、漁ろうや藻刈り、ヨシ刈りを通じて人々の生活と関わりの深い水辺でもありました。

内湖のほとんどは水深が 2m より浅い水域であったため、土砂堆積、水位変動などで地形が変化しやすいだけでなく、人為的に改変されやすい場であったとも言えます。特に近年、干拓、埋め立て、湖岸堤整備などによってその地形は大きく変化してきました。

今、私たちが目にする琵琶湖の姿（地形）は、近代化が始まった 100 年ほど前と比べてほとんど変化していない特徴もあれば大きく変化した特徴もあります。100 年スケールで、どんな点がどのように変わったかを知ることは、長い時間をかけて形成されてきた湖岸生態系をどのように保全・再生すべきか方向性を決める際に参考になるべきものです。

たとえば表紙ページでも紹介のあった琵琶湖の面積はどのように変化してきたのでしょうか？ 現在は、地形改変によって近代化以前より面積が減少していることは間違いないでしょうが、どこでどのように変化したのでしょうか？

このようなことを明確にしていく手段としての一つとして GIS（地理情報システム）があります。ここでは、GIS を用いて古い紙地図などから地形環境情報を復元し、湖岸地形環境の過去から現在までの変化を調べた結果を紹介します。

2 旧地形図のGISデータ化

比較的位置精度が高いもっとも古い地図としては、旧陸軍参謀本部が明治時代後期（1892 年～1909 年）に測量・作成した「2 万分の 1 正式図」があります。これは、近代的な測量方法（三角測量）により作成されたわが国で最初の地図の一つで、原寸で複製製版した「正式二万分一地形図集成」が柏書房から 2001 年に発行されました。そこで、この地図から明治時代の湖辺地形に関する GIS データを作成し、湖岸地形の変化の解析を試みました。

まず、琵琶湖周辺の地図 38 枚を、スキャナーにより画像化したのち幾何補正を行い、現在一般的に使われている地理座標系のデータに変換します。こうすることで、現在の湖岸

に関する GIS 情報と重ね合わせが可能となります。また、これら 38 枚の幾何補正した琵琶湖周辺の地図画像を一つにまとめたモザイク地図画像も作成し、琵琶湖の湖辺全体が一目でみわたせるようにしました（図 1）。

次に、これら地図画

像から琵琶湖および湖辺の小水域分布に関する GIS データを作成します。湖辺の小水域分布については、形状が比較的塊状を呈し、かつ琵琶湖と水路等で明瞭につながっているものを「内湖」としました。

同様に 4 時期の旧地形図（1920 年代と 1960 年代の旧版 2 万 5 千分の 1 地形図、最近の国土地理院数値地図 25000「地図画像」）および 1 時期の航空写真（1940 年代末頃に米軍撮影）を用いて、近年までの合計 5 時期の琵琶湖と内湖の水域に関する GIS データを作成しました。1940 年代末の航空写真は以前の調査研究において作成したオルソ画像を用いました。

3 明治時代後期以降の琵琶湖と内湖の面積変化

このようにして明治時代後期から近年までの 5 時期について、琵琶湖および内湖の地理的分布を GIS によって復元し、現在のものと正確に空間比較できるようになりました。5 時期の一例として、明治時代後期と現在における本湖と内湖の分布を図 2 に示します。また、明治時代後期から近年までの



図 1 明治時代後期の合成地図画像
正式二万分一地形図集成（柏書房）
から作成した 38 枚の幾何補正済み地
図画像のモザイク処理により作成。

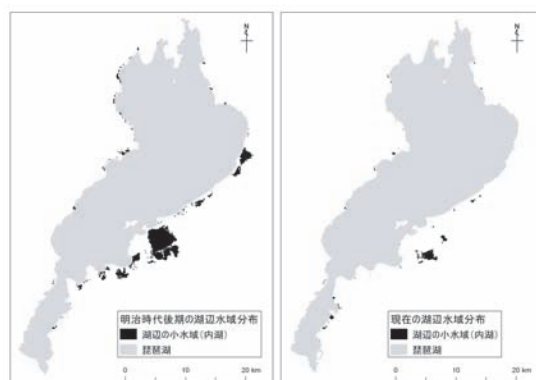


図 2 明治時代後期（1892 年～1909 年）と現在における琵琶湖本湖と内湖の水域分布

本湖と内湖の水域面積の変化を表1に示します。南湖に付属する内湖を除く北湖の本湖と内湖および南湖本湖は、時代とともに水面面積が減少していることがわかります。北湖では近年までに約9.9km²減少しましたが、北湖周辺の内湖は30.9km²と、より大きく減少しています。一方、南湖では、本湖の減少が顕著で、その減少量は約9.5km²で、北湖本湖の減少量に匹敵します。

水面面積は、水位変動や土砂堆積などによっても変化します。明治時代以降の琵琶湖の年平均水位の変化から(図3)、内湖干拓等が始まる以前の1890年代から1920年代の面積変化のいくらかには、1905年の南郷旧洗堰設置に関連して水位が低下したことに伴う水面面積の減少も含まれていると考えられます。それ以降は干拓・埋立て・湖岸整備などの人為的な改変の影響が大きいのと考えられます。また、平均水深が約4mの浅い南湖および北湖周辺に位置する浅い内湖の面積減少が大きいのことは、琵琶湖全体で浅い水域がかなり消失したことを意味します。では、どれくらい減ったのでしょうか？入手可能な琵琶湖の水深分布に、近年までに陸化した水域や、減少した内湖の面積を加えて明治時代後期の水深1.5m以下の水域の面積を推定計算してみたところ、約64.3km²となりました。この値は、当時の琵琶湖面積723.3km²の約8.9%に相当します。

一方、現在の平均水位は、明治時代後期に比べて約1m低下していますので、水深2.5m以下の浅水域が明治時代のそれに対応し、その値は約29.4km²となります。この値は、現在の琵琶湖面積の約4.4%に過ぎません。いいかえると、明治時代にあったと考えられる浅水域面積の約54%が消失したことになります。

このように琵琶湖の面積を一つの尺度にして湖岸環境変化を捉えると、琵琶湖では浅水域の減少が特徴としてあげられ、そのことが湖岸域の水生动植物の物理的な生育・生息環境に大きな影響を与えたと考えられます。

4 湖岸生態系を支える場としての地形の役割

湖岸生態系を保全し修復するには、失われつつある生物そのものの保全行為だけでなく、長期的視野でその生育・生息環境を取り戻すことで、自然の力による生態系の回復を促すという姿勢も重要だと考えられます。そのような自然の回復力の基盤の一つが、長い時間をかけて自然に形成されるデルタ、氾濫原、湿地、内湖などの多様な地形環境だと言えます。ただ、それらの物理環境が生態系へ与える影響は必ず

しも明確ではなく、また水位操作のように過去とは大きく変わってしまった要素もあります。そのため、野生生物の生育・生息の場を修復する時に、予期しない影響が生じる可能性があります。例えば、失われた内湖など浅い水域を修復すると、ヨシ帯がよみがえる前にアゾラやナガエツルノゲイトウなど外来の抽水、浮葉植物が繁茂してしまうかもしれません。それでも、積極的な駆除を行うなどで対応しながら試行錯誤的に長い目で取り組んでいくことが、結果的に生態系の修復につながっていくのだと信じています。

総合解析部門 東 善広

表1 明治時代から近年までの本湖と内湖の水域面積^{注)}の変化

本湖		単位: km ²				
	1890年代	1920年代	1940年代	1960年代	1990年代	
南湖	60.2 (100.0%)	58.0 (96.3%)	56.9 (94.5%)	53.6 (89.0%)	50.7 (84.2%)	
北湖	627.9 (100.0%)	626.1 (99.7%)	620.9 (98.9%)	618.5 (98.5%)	618.0 (98.4%)	
合計	688.1 (100.0%)	684.1 (99.4%)	677.8 (98.5%)	672.1 (97.7%)	668.7 (97.2%)	
内湖						
	1890年代	1920年代	1940年代	1960年代	1990年代	
南湖	0.3 (100.0%)	0.3 (100.0%)	0.5 (166.7%)	0.6 (200.0%)	1.3 (433.3%)	
北湖	34.9 (100.0%)	32.7 (93.7%)	22.8 (65.3%)	4.8 (13.8%)	4.0 (11.5%)	
合計	35.2 (100.0%)	33.0 (93.8%)	23.3 (66.2%)	5.4 (15.3%)	5.3 (15.1%)	
本湖と内湖の合計						
	1890年代	1920年代	1940年代	1960年代	1990年代	
南湖	60.5 (100.0%)	58.3 (96.4%)	57.4 (94.9%)	54.2 (89.6%)	52.0 (86.0%)	
北湖	662.8 (100.0%)	658.8 (99.4%)	643.7 (97.1%)	623.3 (94.0%)	622.0 (93.8%)	
合計	723.3 (100.0%)	717.1 (99.1%)	701.1 (96.9%)	677.5 (93.7%)	674.0 (93.2%)	

注) 各面積の値は、本文で示した手順にしたがいGISで計測した値であり、公称値とは異なる。

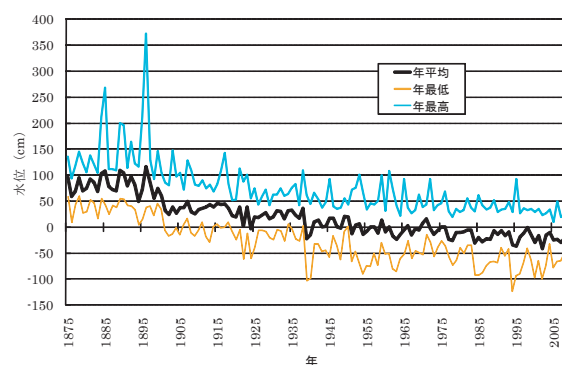


図3 琵琶湖水位の年平均値の変化

びわ湖 視点 論 点

琵琶湖の低酸素化問題

近年、琵琶湖の低酸素化に関する情報が新聞などで取り上げられることが多くなっています。2007年3月には「暖冬で琵琶湖が酸欠」といった記事が大きく報道されました。このセンターニュースでも、「暖冬がもたらした琵琶湖の異変(No.08 2007/10)」として報告しています。その年の12月には当センターの自律型潜水ロボット「淡探」による調査で、水深90m付近の湖底にイサザやスジエビが数多く死んでいるのが見つかったことがニュースになりました。翌2008年11月には、1979年から継続観測している今津沖中央定点の湖底直上1m(水深約90m)で0.5mg/Lという過去最低値を記録したことから、再び琵琶湖の低酸素化が脚光を浴びました。これらの事象はいずれも琵琶湖の低酸素化問題として取り上げられていますが、その要因やメカニズムは、互いに関係しているものの、必ずしも同一ではありません。ここでは以下の3点に着目して整理してみたいと思います。

- ・長期的な年最低溶存酸素濃度の変化
- ・秋に記録する年最低溶存酸素濃度
- ・冬の全循環に伴う深層水の溶存酸素の回復

琵琶湖北湖では、表層水が暖まる春から秋に成層し、表層水と深層水の温度差がなくなる冬に上下の水が混合(循環)します。このような年間の混合パターンを示す湖を年一回循環湖といいます。成層期となる春から秋に深層水中の溶存酸素は低下し、全層の混合が起きる冬に深層水の溶存酸素濃度が回復します。このことから冬季の全循環は俗に「琵琶湖の深呼吸」と呼ばれ、例年1月下旬頃に観測されています。北湖深底部の溶存酸素濃度は「深呼吸」が起こる前に年間で最も低くなりますが、この年最低値の変化を長期的にみると、富栄養化が進行した1960-70年代に低下したことが明らかとなっています。その主要因は、富栄養化に伴う表層での有機物生産の増大とその沈降によって酸素消費が大きくなったためと考えられています。つまり、最近になるまで低酸素化問題は琵琶湖の富栄養化が顕在化した現象の一つとして捉えられていました。

北湖深底部の溶存酸素濃度は「深呼吸」が起こる前に年間で最も低くなると述べましたが、実は、湖底直上で溶存酸素濃度が最低になるのは、「深呼吸」の“直前”ではありません。今津沖中央定点での湖底直上1mの溶存酸素濃度の最低値は毎年秋に記録しています。2008年にニュースになった溶存酸素

濃度の最低値記録の更新も11月のことでした。この時期、表層水との混合による深底部への溶存酸素の供給はほとんど起こっていません。溶存酸素濃度が最も低くなっている湖底直上の水が、その少し上の水と混じり合うことによって、湖底直上で溶存酸素濃度が増加に転じるのです。一方、湖底から少し上の溶存酸素濃度は「深呼吸」まで低下を続けます。この秋に起こる深層水内での水の混合には、台風など湖上での風の強弱がどうやら関係していることがわかってきました。つまり、一年の最低値には、深底部での酸素消費のみならず秋期の気象も関与していることになります。この湖底直上水の酸素濃度上昇は、深層水全体からみると酸素回復とは言えないかもしれませんが、溶存酸素濃度2mg/L未満では多くの動物が酸欠で生存の危機に曝されることを考えますと、湖底の生態系にとっては重要な意味を持つと思います。

今津沖中央定点は、第一湖盆の縁、ほぼ水深90m等深線上にあり、もう少し深い第一湖盆内の湖底直上では、今津沖中央定点より低い溶存酸素濃度がよく記録されます。したがって、今津沖中央定点の湖底直上1mの溶存酸素濃度の値が2mg/L程度にまで低下しているときには、第一湖盆内の湖底は生物にとって生息困難な環境になっていることになるでしょう。1980年代に既に今津沖中央定点での年最低溶存酸素濃度が2mg/L未満になった年が数回あることから、2008年に初めて確認されたイサザやスジエビの斃死が溶存酸素低下によるものだとすると、このような現象はもっと以前から起きていたのではないかと考えています。

冒頭に紹介したように、例年にない暖冬であった2007年は3月になっても全循環が起こらず、北湖深底部の溶存酸素濃度は回復しませんでした。その後、これまた例年にない3月下旬の冷え込みによって深底部の溶存酸素濃度はどうにか回復しましたが、すぐに成層の形成とともにその年の溶存酸素低下が始まりました。一回循環湖の琵琶湖で年に一度の全循環が欠けてしまうと、成層開始時の深層水中の溶存酸素濃度が回復しないまま、溶存酸素濃度が低下していくことになってしまいます。その場合、その年の夏から秋には広範囲の深底部で貧酸素状態になることが想定され、琵琶湖生態系に大きな影響が与えることが危惧されます。全循環が起きるかどうかは湖内の水温分布状況とその冬の気象が大きく影響しており、富栄養化とは違った問題として認識する必要があります。

総合解析部門 辻村 茂男



■ 編集・発行

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター
Lake Biwa Environmental Research Institute

〒520-0022 滋賀県大津市柳が崎 5-34 TEL: 077-526-4800 / FAX: 077-526-4803 / E-mail: info@lberi.jp / URL: http://www.lberi.jp

センターニュースのバックナンバーは下記のアドレスからご覧いただけます。
<http://www.lberi.jp/root/jp/31kankou/bkjhindex.htm>