

2章 生態系への湖岸地形改変等による影響

2-1 湖岸域の変化

東善広・辰己勝¹・西野麻知子²

Abstract:

南湖生態系管理の今後の方向性を検討するために、過去から現在までの湖岸域の変化を整理した。1890年代の琵琶湖の湖岸線は、周囲に多くの内湖が点在し、極めて複雑で入り組んだ地形だったが、現在は、内湖干拓や湖岸堤建設等により、直線的な湖岸線に変化した。南湖において湖岸線の変化が顕著な地域は南岸と東岸である。南湖岸の類型区分調査では、人工湖岸が73%を占めるが、人工湖岸は東岸と南岸に多く、西岸では比較的少ないことがわかった。また、比較的古い地盤高資料と歴史的なピーク水位（年間）の頻度を先行研究事例の結果を用い、水位と冠水域分布の関係を推定した結果、瀬田川に南郷洗堰（1905年）が設置される前の1718年～1904年においては2、3年に一度は水位+1.5m以上に記録し、それともなう冠水域は、南湖面積の約15%にもなることが推定された。一方、近年の高水位と低水位を代表する2時期の航空写真解析では、冠水・干出域は極めて小さく、南湖面積の1%にも達しないことがわかった。

1. 研究の背景

琵琶湖からの唯一の自然流出河川である瀬田川に、南郷洗堰（1905年）が設置される前の琵琶湖の水位は、B. S. L.（琵琶湖基準水位）+2m以上の高水位になることが珍しくなく、洪水災害が起こりやすかった。特に1896年9月に発生した大洪水では、水位はB. S. L. +3.76mに達し、琵琶湖沿岸地域が大規模に浸水した（琵琶湖治水会 1968）。

一方、水位変動による後背地の冠水は、広大な水辺エコトーン（水辺移行帯）の形成に重要である。エコトーンは、一般に洪水等の自然過程や人為的影響による二次遷移によって形成される（Farina 1998）。琵琶湖岸では、水位変動による攪乱、浸食、土砂堆積等が変化にとんだ複雑な地形環境を生み出す役割を果たし、そのことが、生物の側から見ると、多様な生育・生息環境を与えてきたと考えられる。

近年、湖岸域の環境は、干拓、埋め立て、湖岸堤整備、水位調節などによって大きく変化してきた。生態系保全の視点から今後の湖岸域管理を検討するには、過去から現在までの湖岸域の変化を定量的に明らかにすることが重要である。

2. 研究の目的

人工的に改変された湖岸がどのように分布しているかについて、湖岸域全体の变化について定量的に示されたことは少なかった。また、歴史的な水位変動と湖岸域における冠水状況の関係が示されることもなかった。湖岸生態保全の視点から湖岸管理の方向性を検討するには、本来その地域が有していた地形等の環境特性の理解が必要だと考えられる。

そこで、本報告では、まず、琵琶湖環境科学研究センターでまとめられた「琵琶湖岸の環境変遷カルテ（金子ら、2011）」より、湖岸線の変化および琵琶湖岸の湖岸

類型の結果を紹介し、湖岸改変の特徴を示す。また、南湖周辺地域における土地利用変化についても示す（東、2007）。さらに、堤防等の浸水防止設備がなかった時代の水位変動ともなう琵琶湖南湖における冠水分布と頻度を推定し、現在の状況と比較検討した結果を、東（2014）より抜粋して示す。

3. 研究の方法

湖岸線の変化は、1890年代の正式2万分1地形図（地図資料編纂会編、2001；2003a；2003b）、1940年代の航空写真画像（東、2004）および現在の2万5千分1地形図（国土地理院編、2003a；2003b；2003c；2003d）をGISデータ化し、GIS上で重ね合わせることで把握した。

湖岸類型区分については、現地調査を2007年から2009年までに実施した（金子ら、2010）。約220kmの湖岸線を地形、ヨシや樹木などの植生、人工改変状況をもとに分類したが、中間的な細分類でも自然的湖岸と人工的湖岸を合わせて44類型に分かれた。

南湖周辺の土地利用変化は、1976年および2006年の国土数値情報土地利用細分メッシュデータ（国土交通省編）を用いてGISで把握した。

歴史的な水位変動と冠水分布・頻度の推定については、東・南郷洗堰設置前は、湖岸堤等の浸水防止設備がほぼなかったことから、地盤高の分布から冠水域を推定することとした。微細な凸凹が把握できる詳細な地盤高データとしては、近年の圃場整備の影響ができるだけ小さいほうが好ましいと考え、1982、1983年に作成された「数値地図25000（土地条件）西日本」（国土地理院編、2006）に収録されている地盤高線データを用いた。そして、高水位による冠水域面積を定量的に推定するために、地盤高線データから約250m間隔の地盤高メッシュデータを作成した。また、南郷洗堰設置前の時代を代表する汀線の位置は、干拓、埋立ておよび湖岸整備により現在の水

¹ 近畿大学² びわこ成蹊スポーツ大学



図1 明治時代（1890年代）、1940年代および現在の湖岸線

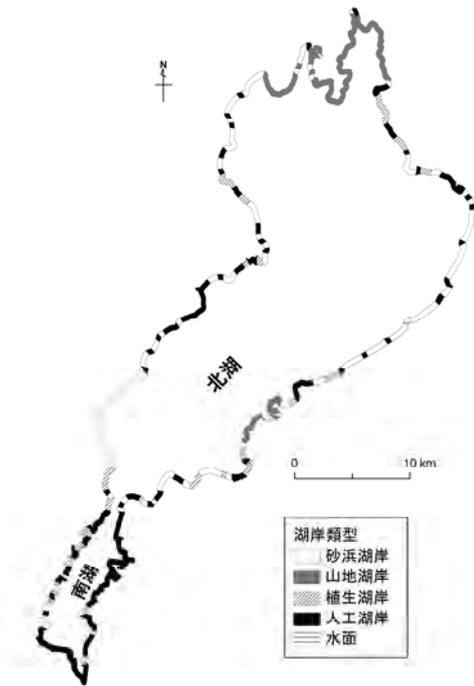


図2 湖岸類型区分

域と異なるため、現在の地形図ではなく、GIS データ化した1890年代の地形図を用いた。さらに、鳥居川水位観測（1874年～）が始まる前の歴史的な水位変動の推定は、庄ほか（2000）の結果を用いた。この推定された歴史的な冠水域の変化と近年における冠水・干出状況と水位との関係と比較するために、1995年、2002年に撮影された航空写真（滋賀県、1995；独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所、2002）をオルソ画像化し、汀線の変化を把握した。

4. 結果と考察

4-1 湖岸線の変化

明治時代である1890年代の湖岸線は、周囲に多くの内湖が点在し、極めて複雑で入り組んだ地形だった（図1）。しかし現在は、内湖干拓や湖岸堤建設等により、直線的な湖岸線に変化した。また、湖岸線の変化は地域差が大きい。最も湖岸線が大きく変化したのは、南湖では南岸と東岸、北湖東岸では琵琶湖大橋東詰～あやめ浜、愛知川河口周辺、早崎内湖周辺、北湖西岸では安曇川デルタであった。

図1の現在と1890年代の湖岸線の線長をGISで求めると、現在（1990年代）では、約243km、明治時代の1890年代では約249kmと、約6km小さくなっているが、近年が極端に小さくなったわけではない（表1）。しかしながら、内湖の湖岸線を含めると、現在（1990年代）は約327km、

表1 琵琶湖の水面面積と湖岸線の変化

	1890年代	現在	減少分	減少率
水面面積（琵琶湖のみ）	688 km ²	669 km ²	19 km ²	2.8 %
水面面積（琵琶湖+内湖）	723 km ²	674 km ²	49 km ²	6.8 %
湖岸線（琵琶湖のみ）	246 km	243 km	6 km	2.4 %
湖岸線（琵琶湖+内湖）	505 km	327 km	128 km	35.2 %

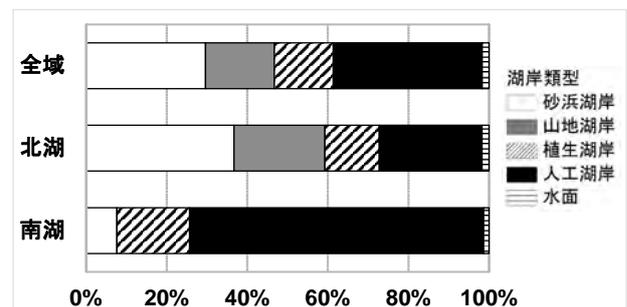


図3 湖岸類型区分の湖岸長割合

明治時代の1890年代は約505kmとなり、その減少率は35.2%にもなる。また、水面面積の変化で見ても、内湖の減少が著しく、内湖を含めた琵琶湖の減少率（6.8%）は琵琶湖のみの減少率（2.8%）より大きい（表1）。つまり、かつての琵琶湖は、内湖が存在することによって入り組

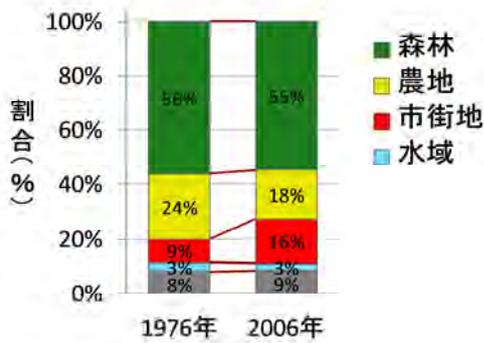


図4 南湖周辺に位置する4市（大津市、草津市、守山市、栗東市）における土地利用面積割合の変化

んだ複雑が湖岸地形を形成していたが、近年は、内湖が失われたことにより、湖岸地形が単純化したと言える。

4-2 湖岸類型

44 類型に分けた湖岸類型を大きく分類し、5つにまとめた(図2)。そのうち、自然的湖岸は、植生が繁茂する植生湖岸、砂や礫が卓越する砂浜湖岸、背後が山地斜面で傾斜の大きな山地湖岸に分かれる。人工湖岸はコンクリートと石積みの湖岸が大半で、人為的に砂浜や植生湖岸に修復された箇所もわずかにあったが、あわせて人工湖岸とした。

琵琶湖湖岸全体では、自然湖岸が61%で、内訳は砂浜湖岸が30%、山地湖岸が17%、植生湖岸が14%である(図3)。一方、人工湖岸は全体の37%であった。ただし、北湖だけでは人工湖岸は25%であるが、南湖では、人工湖岸の割合が73%にもなる。そのうち、ヨシ植栽が8%、人工砂浜等は1%だった。

南湖における湖岸類型の地域特性を検討するために、人工湖岸分布と図1の1940年代の汀線位置を比較すると、東岸と西岸で特徴が異なっていた。東岸では、人工湖岸の部分が多いだけでなく、主要な人工湖岸域が1940年代末の湖岸線より著しく沖側に位置し、大規模な埋立てや湖岸堤建設など、著しく地形改変された上で人工湖岸化がなされたことを示唆している。一方、西岸では、大津市の市街地中心部(南岸)を除くと、人工的湖岸域は小規模なものが点在し、その湖岸位置は、1940年代末当時とほとんど同じである。また、1940年末の航空写真を見ると、当時の南湖東岸は抽水植物帯が卓越する地域だったことがわかる。このようなことから、南湖東岸は、本来そこにあった地形が大きく変化したことが大きな特徴である。

4-3 土地利用の変化

図4の南湖周辺の4市における土地利用割合は、1976

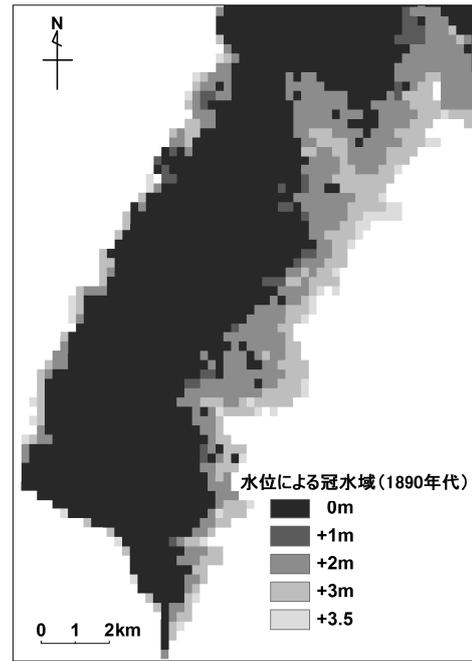


図5 湖岸堤がない時代における水位変動による南湖の湖岸域における冠水域の分布の推定結果

表2 1718年～1904年におけるピーク水位の頻度

+1m以上	106回
+1.5m以上	56回
+2m以上	14回
+3m以上	2回

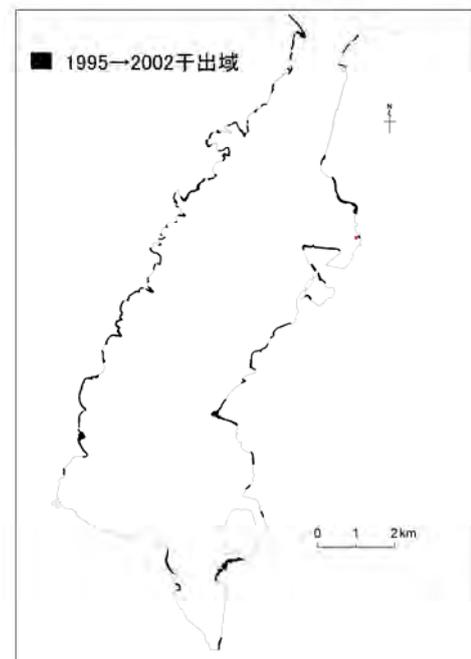


図6 高水位時(1995年5月18日;水位+88cm)と低水位時(2002年9月19日;水位-83cm)における汀線変化

年から2006年の間で、農地が占める割合が24%から18%に減少したのに対し、市街地は9%から16%に増加した。これは、農地が卓越していた南湖東岸側の平野部において、1960年代に入って、京阪神大都市圏の自動車や鉄道による交通ネットワークに滋賀県が組み込まれたことが都市化と工業化を促し、南湖周辺の平野部を中心に、農地から市街地への転換が顕著だったことを示唆している。ただし、農地から市街地への転換は、鉄道の沿線等で顕著であり、南湖東岸の湖岸域については、現在でも水田等の農地がまだ比較的多く残っている（サイエンスレポート2-3章の図1参照）。

4-4 水位変化と冠水域

図5は、南郷洗堰設置前の時代（1890年代）における高水位時の冠水域の推定分布を示す。また、庄ほか（2000）の結果およびその他資料から、洗堰設置前までの1718年～1904年において、高水位がどれくらいの頻度で発生していたかを表2に示す。66年間は水位が不明であるものの、少なくとも、2、3年に一度は水位がB. S. L. +1.5m以上を記録し、それにともない水辺エコトーンとしての役割を果たす冠水域は、南湖面積の約15%にもなることが推定された。

一方、近年の高水位と低水位をそれぞれ代表する1995年と2002年の汀線の比較（水位差1.7m）では、冠水・干出はわずかに存在する河口デルタやヨシ帯などの浅水域でしか認められず、南湖面積の1%にも満たないことがわかった（図6）。

4-5 政策的視点からの提言に向けて

明治時代の湖岸線は、周囲に多くの内湖が点在し、極めて複雑で入り組んだ地形だったが、現在は、内湖干拓や湖岸堤建設等により、直線的な湖岸線に変化した。また、明治時代から現在までに北湖周辺の内湖および水深の浅い南湖が著しく面積が減少した。つまり、琵琶湖では特に浅水域における生息・生育環境が激変したといえる。

湖岸生態系を保全し修復するには、人の利用と生態系保全のバランスを考慮し、現状維持する場所、修復・再生を目指すべき場所を検討し、修復・再生の方向性は、できるだけ本来その地域が有していた環境特性（ここでは特に地形環境）にあう形を模索することが重要である。

ただし、水辺エコトーン域については、農地や市街地の土地利用が発展し、陸域と水域が明瞭に区別された現在においては、後背地の冠水を元に戻すことは難しい。現在における水辺エコトーン域は、堤防の前面、つまり水域側での冠水・干出が重要だと考えられる。そのため、

現在において湖岸域の水辺エコトーン域を確保するには、田畑等に利用されていない小規模な河口デルタ等において、浅水域を保全・回復し、適度な水位変化のもとで、冠水・干出を繰り返す領域を少しでも増やす方向性が望まれる。

引用文献

- 東善広（2004）オルソ空中写真画像から見た琵琶湖湖岸域の変化。琵琶湖研究所所報, 21, 85-90.
- 東善広（2007）土地利用。『琵琶湖ハンドブック』（琵琶湖ハンドブック編集委員会編），76-77, 滋賀県, 大津.
- 東善広（2014）琵琶湖南湖における水位変動ともなう冠水分布変化の解析, 環境情報科学学術研究論文集, 28, 149-154.
- 琵琶湖治水会（編著）（1968）琵琶湖治水沿革誌 第1巻, 琵琶湖治水会, 大津, 1179pp.
- 地図資料編纂会編（2001）正式二万分一地形図集成「関西」, 柏書房, 東京, 181pp.
- 地図資料編纂会編（2003a）正式二万分一地形図集成「中部日本2」, 柏書房, 東京, 150pp.
- 地図資料編纂会編（2003b）正式二万分一地形図集成「中部日本3」, 柏書房, 東京, 97pp.
- 独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所（2002）平成14年度琵琶湖湖岸等航空写真.
- Farina, A. (1998) Principles and methods in landscape ecology. Chapman & Hall, London, 235pp.
- 金子有子・東善広・佐々木寧・辰己勝・橋本啓史・須川恒・石川可奈子・芳賀裕樹・井上栄壮・西野麻知子（2010）湖岸生態系の保全・修復および管理に関する政策課題研究・湖岸生態系の保全・修復および管理に関する政策課題研究 平成19～20年度（2007-2008年度）中間報告. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告, 5:55-85.
- 金子有子・東善広・石川可奈子・井上栄壮・西野麻知子（編著）（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, 大津, 47pp.
- 国土地理院編（2003a）数値地図25000（地図画像）—岐阜—（平成15年9月1日刊行版）, 日本地図センター, 東京, CD-ROM.
- 国土地理院編（2003b）数値地図25000（地図画像）—京都及大阪—（平成15年4月1日刊行版）, 日本地図センター, 東京, CD-ROM.
- 国土地理院編（2003c）数値地図25000（地図画像）—名古屋—（平成15年9月1日刊行版）, 日本地図センター, 東京, CD-ROM.
- 国土地理院編（2003d）数値地図25000（地図画像）—鳥取—（平成15年4月1日刊行版）, 日本地図センター, 東京, CD-ROM.
- 国土地理院編（2006）数値地図25000（土地条件）—西日本—（平成18年3月1日刊行版）, 日本地図センター, 東京, CD-ROM.
- 国土交通省編 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.htm>
- 滋賀県（1995）琵琶湖高水時湖辺状況調査の航空写真.
- 庄建治朗・長尾正志・富永晃宏（2000）古記録による琵琶湖歴史洪水の水位推定, 水工学論文, 44, 371-376.
- 滋賀県（1995）琵琶湖高水時湖辺状況調査の航空写真.

2-2 在来植生・希少植物に対する人為的圧力

金子有子・佐々木寧¹・東善広

Abstract;

生物多様性の第1の危機は開発などが引き起こす負の要因による危機である。平成19～20年度に実施した分布調査で絶滅のおそれのある希少植物の生育に対する圧迫要因を調べた結果、最多は第1の危機であった。調査によれば、自然湖岸が26%しか残っていない南湖では、希少植物の約8割は植生湖岸に生育しており、希少植物にとって人工緑地は生育適地ではないことが分かった。また、在来植物群集の更新維持を担保することが希少植物の生育環境を確保することにつながっていることも明らかになった。

1. 研究の背景

生物多様性国家戦略2012-2020では生物多様性の損失を止めるために効果的かつ緊急な行動を実施することを短期目標としている。短期的な取組みとは生物種の保護（希少種保護と外来種対策等）と生態系の保全（保護地域の設定・管理等）である。滋賀県では、平成26年度には生物多様性地域戦略を策定することが決定している。今後の生物多様性保全を考える際には、世界目標及び国の長期目標を踏まえ、自然資本・遺伝資源の賢明な持続的利用を視野に入れた取組みがより重大な課題となっている。

2. 研究目的

生物多様性の危機は第1～4の危機に整理されており、第1の危機は開発等の人間活動による危機である。国が行った平成21年当時の有識者アンケートによれば、過去50年間の国内の湖沼の生物多様性の損失には、第1の危機が最も大きく影響しているとされており、琵琶湖と内湖等その周辺水域においても、この百年余りの間に生育域の大部分が失われてしまったことが大きく影響していると考えられる。本研究では、大規模な干拓や埋立てが行われていない近年における生物多様性への圧迫要因を明らかにすることの一環として、人工湖岸化（園地化・レジャー利用・緑地管理等）の在来植生・希少種への影響を明らかにすることを試みた。

3. 研究方法

3-1. 希少植物の分布調査

平成19～20年に、日本・近畿地方・滋賀県版レッドリスト・レッドデータブックの掲載種を対象として琵琶湖及び内湖等周辺水域の湖岸域（水域から人工構造物までの範囲）における分布調査を行った。調査地を踏査し、対象種の個体または株についてGPS（全地球測位システム）で生育地点の緯度経度を測定し、生育地点毎に、生育段階や生育面積、生育状況等を記録した。これらの情

報をGIS（地理情報システム）ソフト（ArcView ver.9）上で電子データ化した。

3-2. 1980～2000年代における植生の変遷解析

平成19～20年に、埼玉大学佐々木寧教授との共同研究により、湖岸域において植生調査を行い、琵琶湖全域について湖岸植生図を作成した。旧琵琶湖研究所が昭和63～平成元年に行った湖岸植生の調査により作成された湖岸植生図と共に、これらの植生図をGISソフト上で電子データ化した。GISソフトを用いて南湖湖岸域について湖岸植生に関するオーバーレイ解析を行った結果を当年代間における湖岸植生の変化とし、植物群集の特性から、干陸化、湿生化、変化なし、人工緑地化に分類した。

3-3. 植生及び植生変遷と希少植物分布の関係解析

GISソフトを用いて希少植物の分布地点と植生及び植生変遷についてオーバーレイ解析を行った。

4. 結果

4-1. 希少植物の生育に対する圧迫要因

分布調査した貴重植物のうち、約30種には比較可能な十数～二十年前の分布情報があり、約33%に当たる9種でこの間に生息地点数や生息量が減少していた。希少植物の生育に対する圧力を調べた結果、最多の圧迫要因は第1の危機であった。その内容は、1) 緑地化・公園化と管理による生育環境の破壊や悪化：植生導入による在来植生の破壊。過度な除草・清掃作業による生育数の減少。除草範囲の拡大による水辺環境の喪失・干陸化・藪化・植生遷移の加速化。例) 近江舞子沼園地、守山市みさき公園等。2) レジャー利用による車・船等の踏みつけや生育環境の喪失。近隣住民からのレジャー圧。3) 開発等による消失：小規模な内湖の埋立て工事、河川の拡幅工事、遺跡の発掘調査。4) 採取圧による生育数の減少等である。

¹ 埼玉大学

4-2. 南湖における希少植物の分布特性

絶滅のおそれのある希少植物のうち、海浜植物と氾濫原性植物の分布と湖岸植生図を重ねた結果、南湖地域には海浜植物は現存していなかった。また、氾濫原性の希少植物の78%が南湖岸に18%しか存在しない植生湖岸に生育していた。

また、南湖全湖岸の2007-2008年の湖岸植生の内訳をみると、湖岸植生の面積比で最多44%が公園や植栽林等の人工緑地になっていた。さらに、面積比で15%がナガエツルノゲイトウ等の侵略的外来植物群集で占められていた。一方、湿生植物群集（ジャヤナギ-アカメヤナギ群集、ヨシ-カサスゲ群集、ウキアガラ-マコモ群集）は、ヨシ植栽地を含めても合計で37%しか存在していなかった（図1上図）。これに対し、希少植物の最多45%がジャヤナギ-アカメヤナギ群集、31%がヨシ-カサスゲ群集、4%がウキアガラ-マコモ群集の中に存在していた。南湖岸植生の44%を占める人工緑地内には6%しか分布していなかった（図1下図）。

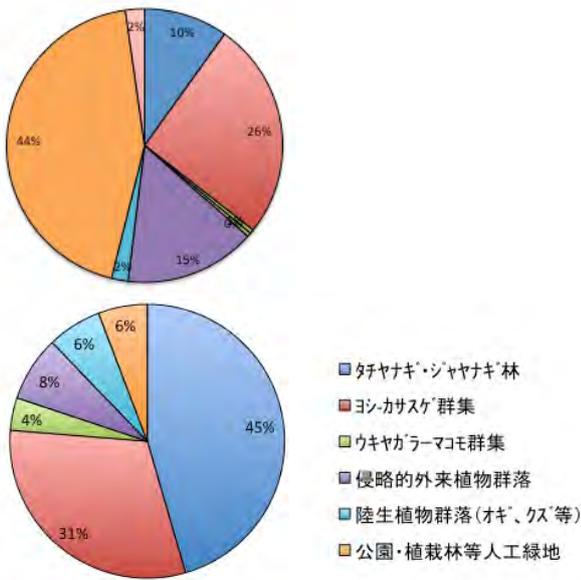


図1 希少植物分布と現存植生の関係

また、各群集内に生育している平均希少植物種数は、ジャヤナギ-アカメヤナギ群集で7種、ヨシ群落・ヨシ-カサスゲ群集で6種、ウキアガラ-マコモ群集で2種であるのに対し、侵略的外来植物群落では1.7種、陸生植物群落（オギ、クズ等）では1.5種、人工緑地では1種であった。

4-3. 植生変化と希少植物分布の関係

南湖の湖岸植生について、1988-1989年と2007-2008年の植生調査に基づく植生図から植生の変化と希少植物

の分布との関係を調べた結果、現在希少植物が分布している地点のうち41%は植生が変化せず、20年前と同じ植物群集が成立していた。（図2）。

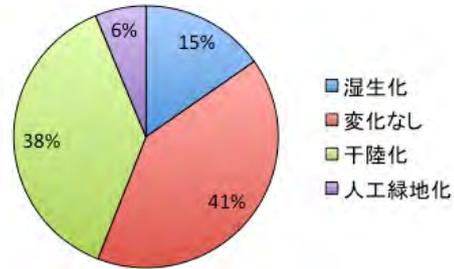


図2 希少植物分布と植生変化の関係

5. 考察

南湖地域には海浜植物は現存していなかったが、砂浜環境が回復すれば再生される可能性があると考えられた。また、希少植物の分布地点と現存植生の関係を調べた結果からは、人工緑地は生育適地ではないと考えられる。また、在来植物群集の更新維持を担保することが貴重植物の生育環境を確保することにつながっており、少なくとも植物群集レベルの生育環境全体の保持が望ましいと考えられる。

東岸ではヨシ植栽が盛んに実施され植栽由来を含むヨシ群落が多く分布しているが、地形改変の少なかった西岸には、ヨシ群落だけでなく、ツルヨシ群集、ジャヤナギ-アカメヤナギ群集等他の湿生植物群集も多く残されている。希少植物分布地点の地点数、平均種数は共に、ジャヤナギ-アカメヤナギ群集がヨシ群落を上回っていたことから、ヨシという単一種が優占する抽水植物帯ではなく、多様な湿生植物群集の成立している植生湖岸が、多様な希少植物の限られた生息地となっていると思われる。

希少植物分布と植生変化の関係をみると、38%の地点では、より干陸化した立地に成立する陸生の植物群落に推移したことから、洪水攪乱の減少や除草による干陸化の促進等によって、植生遷移が進行しているものと考えられた。干陸化した場所に分布していた希少植物にはオギノツメ、オオマルバノホロシ等が多く、ノウルシ、ドグゼリ等の低湿地の植物はみられないことから、希少植物相も、より陸生性の高い植物相に置き換わっているものと推測される。

また、希少種保護に関する条例や制度が整っていても第1の危機がなくなる原因の一つには、土地利用の意思決定の現場に、多様な分類群に属する生物の生息・生育情報といった判断材料が十分に提供されていないことも考えられ、今後の課題と思われる。

2-3 南湖集水域における環境と流入負荷量の長期変化

大久保卓也・東善広

Abstract:

南湖集水域の土地利用状況は、1976年から2008年にかけて都市化の進展によって、農地が減少し(-24km²)、宅地・市街地が大幅に拡大した(+33km²)。しかし、下水道整備を中心とした水質保全対策によって、南湖集水域の排出汚濁負荷量は大幅に減少し、南湖流入河川の水質も改善された。下水道が整備された市街地の単位面積あたりの有機物、窒素、リンの汚濁負荷量は、農地よりも小さいことが確認されており、市街地面積の拡大が汚濁負荷量の増加には結びついていないと考えられる。集水域からの排出汚濁負荷量と湖内水質との対応関係をみた結果、BOD、T-Pについては対応関係がみられたが、T-Nについては、対応関係がはっきりみられず、これは北湖からの流入負荷量の影響が大きいと考えられた。一方、農地の圃場整備に伴う農業濁水の発生は、水路・河川や沿岸の底質の泥質化の原因になっている可能性があり、注意が必要である。また、圃場整備は生態系への影響も大きいことが指摘されており、今後の対策が必要である。南湖の底質環境の面では、野洲川放水路の建設によって、南湖の北東部への土砂供給が少なくなった可能性があり、今後、その底質および生態系への影響の解析が必要と考えられる。

1. はじめに

本項では、南湖の環境(水質、底質、生態系)の管理の方向性を考える上で、基礎的な情報となる集水域環境の概況について述べる。南湖集水域の土地利用の変遷、流入汚濁負荷量の変化、流入河川の水質の変化、湖内水質の変化などについて既存の資料、データをもとに整理する。このようなデータ整理によって、南湖の水質や底質の長期的変化の原因について考察する。

2. 方法

土地利用については、1976年、1997年および2006年の国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(国土交通省編)を用いてGISで把握した。南湖集水域からの排出汚濁負荷量については、第6期琵琶湖水質保全計画策定に伴い収集されたデータ(滋賀県, 2010)を元に解析した。河川の水質と流量、琵琶湖の水質は、滋賀県環境白書資料編のデータ(滋賀県, 1982~2013)に基づき解析を行った。

3. 結果と考察

3-1 南湖集水域の土地利用の変化

1976年(昭和51年)、1997年(平成9年)および2006年(平成18年)の南湖集水域の土地利用状況(図1)および土地利用面積(図2)を比較すると、この30年間で森林面積は若干減少した程度(-5km²)であったが、農地面積は大幅に減少し(-24km²)、住宅地・市街地が大幅に増加した(+33km²)。この都市化は、1964年の東海道新幹線の東京・大阪間の開通、1965年の名神高速道路の開通、1972年から1997年までの琵琶湖総合開発事業による滋賀県内の道路、下水道等

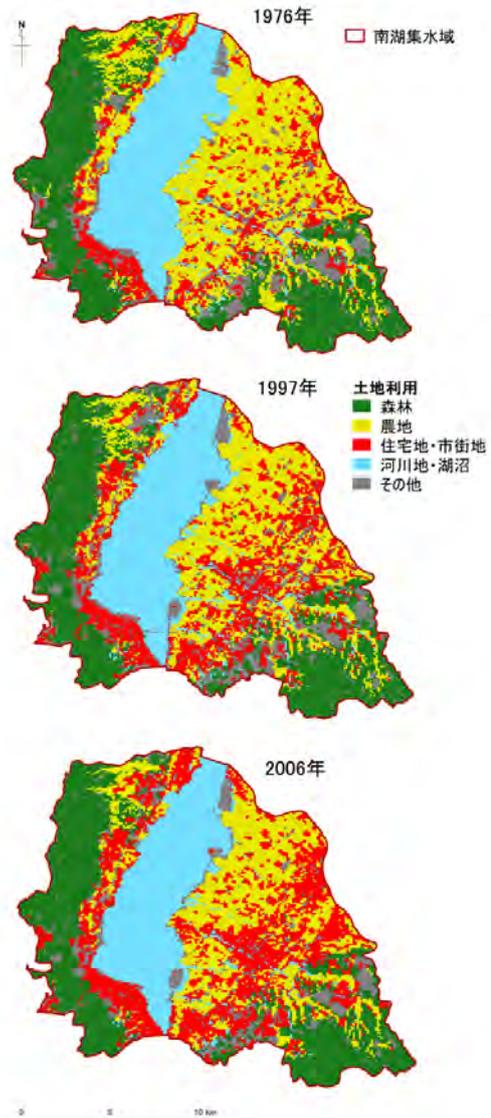


図1 南湖集水域の土地利用状況の変化

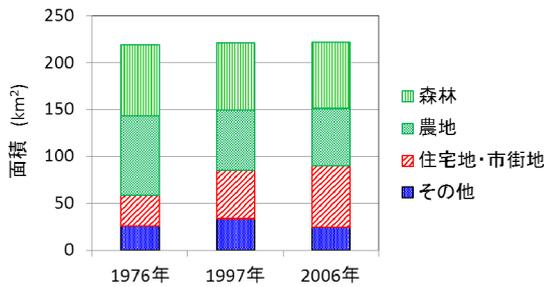


図2 南湖集水域の土地利用面積の変化

のインフラ整備を基盤として人口および工場立地が進んだ結果である。また、京阪神への交通アクセスが便利になったため、大阪、京都方面に通勤する人のベッドタウン化も進んだ。また、2008年には亀山・草津間で新名神高速道路が開通し、草津周辺の開発がさらに促進されている。

3-2 流入汚濁負荷量の変化

1985年から2010年までの南湖集水域の排出汚濁負荷量の変化(図3)をみると、COD、T-N、T-Pともに、下水道の整備を主体とした汚濁負荷削減対策により、大幅に減少している。ただし、湖南中部下水処理場の排水は瀬田川に放流されているため、ここでは南湖への排出負荷量には含めていない。

筆者らが実施した守山市、草津市における調査結果によると、単位面積当たりの排出汚濁負荷量は、有機物、窒素、リンともに、農地の方が市街地よりも大きい(大久保ら, 2011)。したがって、農地が減少し、住宅地・市街地が増加したことにより、有機物、窒素、リンの排出汚濁負荷量が増加することはないと考えられる。

南湖に流入する汚濁負荷量を考える場合、南湖集水域からの流入負荷量だけではなく、(1)北湖からの流入負荷量、(2)底泥からの溶出負荷量、(3)大気から湖面への降下負荷量などを考慮する必要がある。1990年時点の推定(滋賀県, 1994)によると、COD、T-Nでは北湖からの流入負荷量が半分以上を占め、T-Pでは南湖集水域からの流入負荷が主体となっている(図4)。なお、ここでは、降雨時の南湖集水域からの流入負荷量も実測値に基づいて推定されており、面源負荷量も考慮されている。一方、図3に示した農地、市街地、山林等の面源負荷量は、降雨時の流入負荷量が十分考慮されていない。

流入汚濁負荷量に関連して、農業濁水の問題がある。

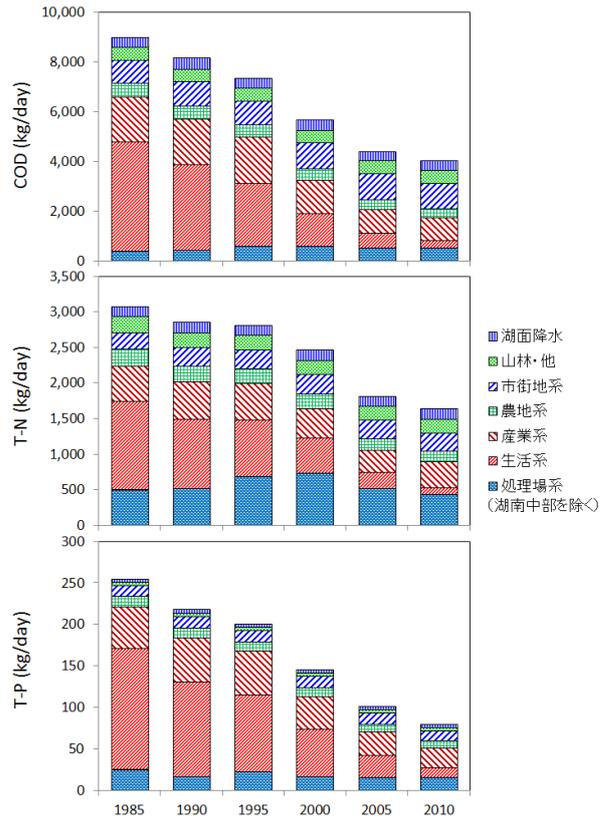


図3 南湖集水域の排出汚濁負荷量の変化

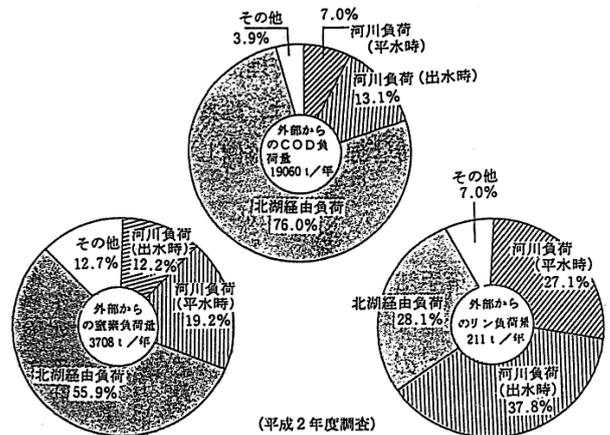


図4 南湖に流入する汚濁負荷量の内訳(1990年時点) 出典: 滋賀県(1994)

これは、圃場整備によって、用水が水田に十分供給できるようになった結果、5月の連休時期前後に農家が一斉に代かき・田植えを行うため、代かきで発生した濁水が琵琶湖に流入する問題である。圃場整備は

1970～1990年頃にかけて急速に進み、水田の物理構造の変化（田面と排水路の段差が拡大し、排水が容易になった）および農業用水の使用量増加によって、農業濁水が琵琶湖に流入し易くなったことが考えられる。この農業濁水の流入は、水路や沿岸部の底質の泥質化（滋賀県，2005）の原因になっている可能性がある。また、圃場整備によって生物の生息環境としての水田環境も大きく変化した可能性がある（松井ら，2004；森，2007）。

3-3 流入河川の水質の変化

南湖に流入する河川は32本ほどあるが、（資料編表1参照）、流域面積が最大のものは新草津川（48.3km²）である。それ以外で流域面積が7km²以上の河川は、大きいものから葉山川（18.0km²）、天神川（9.5km²）、伊佐々川（9.4km²）、新守山川（8.5km²）、法竜川（7.9km²）、伯母川（7.8km²）がある。また、南湖に直接流入しないが、河口が南湖に近い河川としては、野洲川（387km²）、日野川（223km²）、和邇川（15.5km²）がある。

滋賀県等が実施している流入河川の水質モニタリングは、必ずしも大きな河川で実施されていない（図5）。しかし、河川水質の変化傾向を把握することはできる。南湖とその周辺に流入する河川において、1981年から2010年までのBOD、T-N、T-P濃度は減少傾向にある（図6）。特に、生活排水や工場・事業場排水の影響の大きかった市街地河川（十禅寺川、吾妻川、葉山川、大宮川）では、最初の15年程度で大きくBOD、T-N、T-P濃度が減少している。このように、南湖流入河川の水質は、流入汚濁負荷量の減少と対応して改善してきたと言える。

河川流量については、月1回の測定であるため、長期的な変化傾向を把握することは難しかった。ただし、



図5 南湖周辺の流入河川で水質モニタリングを行っている河川

相模川については、下水道整備や大津放水路建設の影響で流量が減少していることがわかった（図7）。

3-4 流入汚濁負荷量変化と湖内水質変化との対比

南湖の流入汚濁負荷量は、図3に示したように1985～2010年の期間に大幅に減少していることが推定されているが、この変化と湖内水質の変化は対応してい

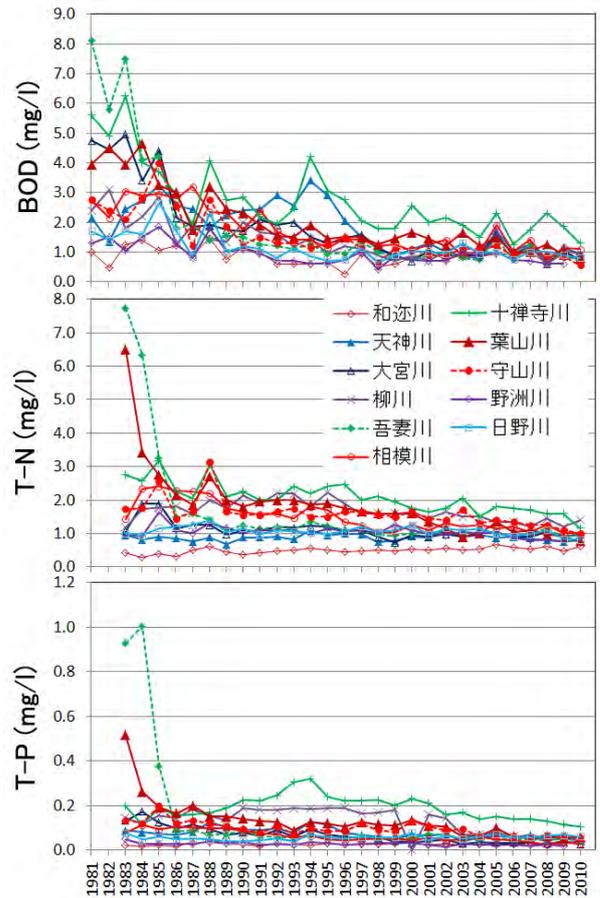


図6 南湖周辺に流入する河川の水質変化（各年度の中央値をプロットした）



図7 相模川の流量の変化（各年度の中央値をプロットした）

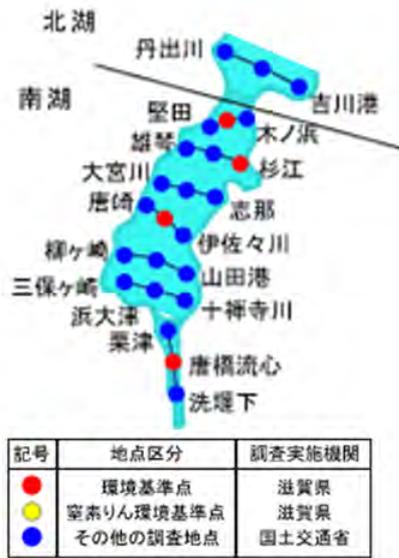


図8 南湖水質のモニタリング地点

るか検討する。南湖およびその北側の水質モニタリング地点(図8)のうち、南湖の入口の北湖側の地点(丹出川沖中央)と南湖の最北部地点(堅田沖中央)、その南側の地点(雄琴沖中央)、南湖の中央地点(唐崎沖中央)、南湖の出口の瀬田川の地点(唐橋流心)について1979年から2010年までの水質変化をみた(図9)。また、各測定項目において経年変化のトレンドがあるかどうかをみるために、30年間の各測定項目の値と年度の Kendall 順位相関係数を計算した結果を表1に示した。

透明度はすべての地点で上昇傾向を示した。つまり、見た目の水のきれいさは良くなっていると言える。SS、BOD、T-Pは、丹出川沖中央を除き減少傾向、クロロフィル a はすべての地点で減少傾向を示していた。T-Nは唐橋流心では増加傾向にあったが、その他の地点はトレンドなし(横ばい)または減少傾向にあった。唐橋流心でT-Nが増加したのは、湖南中部下水処理場の下水処理水が瀬田川に放流されているためと推定される。このように、南湖の水質は全般的に改善傾向にあることがわかる。

南湖のBOD、T-P濃度の減少傾向は、南湖集水域の流入負荷量の減少(図3)と対応しているが、T-Nについては、南湖の濃度と流入負荷量の長期変化の対応がはっきりみられない。これは、T-Nについては、丹出川沖中央から唐崎沖中央までの濃度差が小さく、BODやT-Pに比べ北湖から流入する負荷量の割合が大きいためではないかと推定される(図4)。

一方、南湖流入河川の水質の長期トレンドをみると

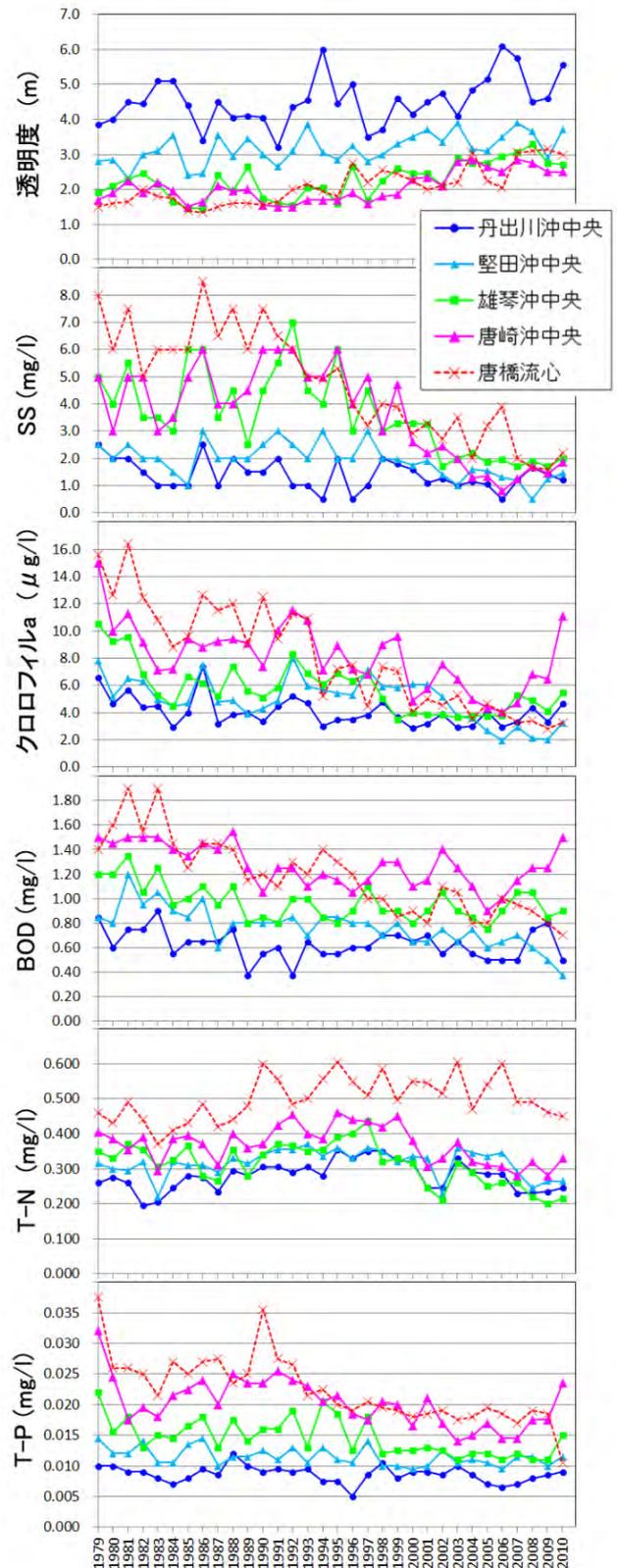


図9 南湖水質の変化
(各年度の中央値をプロットした)

(表2)、SS、BOD、COD、T-N、T-P についてのほとんどの河川で濃度が減少傾向にあり、南湖集水域の流入負荷量の減少(図3)と対応していた。

南湖への汚濁負荷量の変化としては評価できないが、南湖への土砂の供給量については、1980年頃から大きな変化が起きている可能性がある。それは、野

表1 南湖と北湖南部の水質と年度のケンドール順位相関係数 (1981~2010年度の各測定項目の中央値で計算)

		透明度	水温	pH	DO	SS	BOD	COD	Ch-a	T-N	T-P	Cl	SO ₂
丹出川中央	相関係数	.316*	.310*	.017	-.310*	-.183	-.217	.701**	-.274*	.101	-.236	.878**	.300*
	有意確率(両側)	.012	.013	.895	.016	.157	.094	.000	.028	.425	.067	.000	.018
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
堅田中央	相関係数	.402**	.302*	.038	.375**	-.476**	-.649**	.654**	-.372**	.082	-.313*	.876**	.301*
	有意確率(両側)	.001	.015	.769	.003	.000	.000	.000	.003	.516	.015	.000	.017
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
雄琴中央	相関係数	.475**	.243	-.135	-.084	-.527**	-.341**	.432**	-.451**	-.391**	-.506**	.822**	.058
	有意確率(両側)	.000	.052	.289	.512	.000	.008	.001	.000	.002	.000	.000	.649
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
唐崎中央	相関係数	.407**	.322**	.168	.304*	-.484**	-.408**	.605**	-.433**	-.238	-.421**	.811**	-.119
	有意確率(両側)	.001	.010	.183	.016	.000	.002	.000	.001	.057	.001	.000	.346
	N	32	32	32	32	32	32	31	32	32	32	32	32
唐橋流心	相関係数	.633**	.283*	.055	-.267*	-.719**	-.728**	.021	-.761**	.273*	-.678**	.730**	.020
	有意確率(両側)	.000	.023	.669	.033	.000	.000	.870	.000	.030	.000	.000	.871
	N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

* 相関係数は5%水準で有意(両側)です。
** 相関係数は1%水準で有意(両側)です。

表2 流入河川水質と年度のケンドール順位相関係数 (1981~2010年度の各測定項目の中央値で計算)

		水温	pH	DO	SS	BOD	COD	T-N	T-P	Cl	流量	
南湖流入河川	天神川	相関係数	-.238	-.328*	-.250	-.495**	-.485**	-.364**	-.045	-.506**	-.517**	-.014
		有意確率(両側)	.066	.014	.061	.000	.000	.005	.737	.000	.000	.917
		N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	27
	大宮川	相関係数	.175	.225	-.213	-.734**	-.738**	-.702**	-.465**	-.824**	-.591**	-.092
		有意確率(両側)	.175	.089	.111	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.504
		N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	27
	柳川	相関係数	-.055	.147	-.106	-.555**	-.633**	-.584**	-.430**	-.377**	-.416**	-.155
		有意確率(両側)	.668	.271	.420	.000	.000	.000	.002	.005	.001	.260
		N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	27
	吾妻川	相関係数	-.028	.583**	.155	-.405**	-.717**	-.570**	-.681**	-.716**	-.123	.130
		有意確率(両側)	.830	.000	.246	.003	.000	.000	.000	.000	.343	.347
		N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	27
相模川	相関係数	.019	.498**	.272*	-.521**	-.658**	-.424**	-.702**	-.743**	-.436**	-.402**	
	有意確率(両側)	.886	.000	.039	.000	.000	.001	.000	.000	.001	.003	
	N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	27	
十禅寺川	相関係数	.063	-.010	.021	.228	-.595**	-.502**	-.685**	-.293*	-.621**	.111	
	有意確率(両側)	.630	.942	.872	.080	.000	.000	.000	.030	.000	.427	
	N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	26	
葉山川	相関係数	.219	.209	.247	-.339*	-.782**	-.777**	-.854**	-.797**	.323*	-.373**	
	有意確率(両側)	.090	.114	.056	.010	.000	.000	.000	.000	.013	.008	
	N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	26	
守山川	相関係数	.180	.282*	.410**	-.326*	-.718**	-.600**	-.629**	-.621**	.470**	.161	
	有意確率(両側)	.164	.033	.002	.013	.000	.000	.000	.000	.000	.251	
	N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	26	
北湖流入河川	和迹川	相関係数	-.122	-.188	-.231	-.082	-.116	.622**	.523**	.249	.697**	-.066
		有意確率(両側)	.344	.160	.079	.540	.379	.000	.000	.066	.000	.632
		N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	27
	野洲川	相関係数	-.067	.043	.147	-.452**	-.480**	.243	-.389**	-.358**	.527**	-.098
		有意確率(両側)	.612	.749	.267	.001	.000	.068	.005	.009	.000	.570
		N	29	29	29	29	29	29	27	27	29	18
日野川	相関係数	-.037	.046	.002	.019	-.389**	.171	-.255	.335*	-.421**	.004	
	有意確率(両側)	.775	.732	.986	.885	.003	.192	.060	.013	.001	.979	
	N	30	30	30	30	30	30	28	28	30	23	

** 相関係数は1%水準で有意(両側)。
* 相関係数は5%水準で有意(両側)。

洲川放水路の建設による影響である。琵琶湖流入河川のうち最大の流域面積(387km²)をもつ野洲川は、かつて北流と南流の2つに分かれて琵琶湖に流入し、南流は現在の琵琶湖大橋の東側取り付け部付近に流入していた(図10)。南湖の水深は北東部で浅くなっており(図11)、野洲川から多量の土砂が供給された結果と考えられる。また、南湖底質の細粒子分は水深の浅い南湖北東部で少なく(図12)、粗粒子分の砂が多かったことを示している。しかし、野洲川放水路の建



図10 野洲川の流路変更(青が現在の流路。赤は野洲川放水路ができる前の流路。)

出典:2003年航空写真(国土交通省琵琶湖河川事務所撮影)を基に作図。

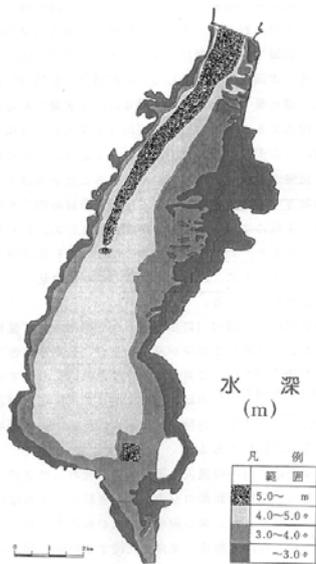


図11 南湖の水深
出典:滋賀県(1991)

設(1971~1979年)後は一本の川となり、流路変更され北湖に流入するようになった。そのため、野洲川から流出する水や土砂は、直接南湖に流入することはなくなった。このため、南湖への土砂、特に砂の供給量が少なくなったことが、南湖の底質形成に影響を及ぼしている可能性がある。この点は、今後、検証していく必要がある。

引用文献

国土交通省編 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>
 大久保卓也, 東善広, 佐藤祐一, 辻村茂男, 金子有子, 森田尚, 大前信輔(2011) 面源負荷量の定量的把握と今後の面源負荷対策の方向性の検討, 琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 7, 70-86.
 滋賀県(1994) 第1回琵琶湖底質改善対策検討委員会資料.
 滋賀県(1991) 平成2年水理模型実験による湖水停滞解消検討調査報告書.
 滋賀県水産試験場(2005) 平成14-15年度琵琶湖沿岸帯調査報告書, 204pp.
 滋賀県(2010) 第6期琵琶湖水質保全計画資料(内部資料).
 滋賀県(1982~2013) 滋賀県環境白書資料編.
 森淳(2007) 水田生態系の変質と保全のための研究・技術開発, 水環境学会誌, 30, 556-560.
 松井明, 佐藤政良(2004) 茨城県下館市の水田圃場整備によって造成された排水路系における水生生物の分布, 保全生態学研究 9(2), 153-163

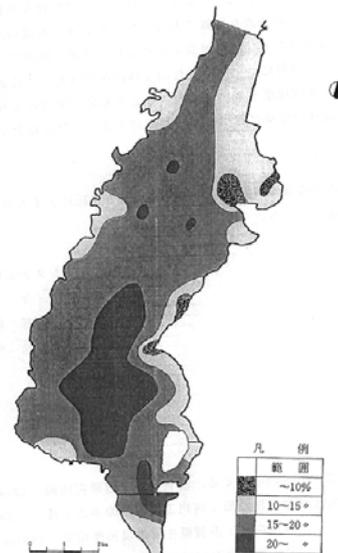


図12 南湖底質の細粒子分(2.6μm以下の重量%)の分布
出典:滋賀県(1991)

<資料編>

表1 南湖流入河川の概要

河川名	河川特性			流域土地利用				河川整備状況 (改修計画)		
	流域面積 (km ²)	河道延長 (km)	背水区間 (m)	農地 (ha)	宅地 (ha)	山林・原野 (ha)	その他 (ha)			
東 部 ブ ロ ッ ク	①狭川	5.9	5.30	840	72.8	152.2	84.2	277.7	小規模河川改修(S.49年)	
	②十禅寺川	2.0	3.73	700	123.8	62.6	4.2	11.8	河川局部改良(S.46年)	
	③前川	1.6	2.00	—	73.9	47.5	3.2	39.1		
	④新草津川	48.3	12.50	—	—	—	—	—	中小河川改修(S.46年)	
	⑤伯母川	7.8	10.77	640	176.0	212.8	82.7	305.1		
	⑥山寺川	3.0	3.00	200	109.8	114.0	12.0	66.7		
	⑦草津川	9.4	8.10	1600	341.7	416.3	79.8	106.7		
	⑧伊佐々川	9.4	8.10	1600	341.7	416.3	79.8	106.7		
	⑨栗山川	18.0	11.60	2800	593.5	551.5	297.7	360.7	中小河川改修(S.39年)	
	⑩埴川	2.1	3.52	1250	144.9	58.0	0.4	10.9		
	⑪山賀川	4.2	4.65	320	208.1	185.8	0.0	28.4	新守山川完成後は 自己流域0ka'	
	⑫新守山川	8.5	8.35	1820	—	—	—	—	中小河川改修(S.47年)	
	⑬守山川	5.3	4.78	—	324.9	178.5	7.2	16.0	新守山川完成後は 自己流域1.0ka'	
	⑭天神川	3.3	5.16	—	199.8	124.0	0.3	2.6		
	⑮法竜川	7.9	3.57	2100	553.7	206.3	7.1	26.4		
	西 部 ブ ロ ッ ク	①栢模川	3.1	2.52	300	17.8	79.2	209.6	5.6	
		②富世川	0.7	0.96	80	0.0	54.2	17.1	0.0	中小河川改修(S.51年)
		③香妻川	1.9	2.25	—	0.0	49.6	139.2	0.0	
		④百々川	1.3	1.35	—	0.0	61.6	73.1	0.0	
⑤熊野川		0.5	0.30	—	—	—	—	—		
⑥不動川		1.2	1.50	300	0.6	40.6	71.5	9.1	小規模河川改修(S.49年)	
⑦切川		3.4	3.50	—	1.6	96.1	139.9	102.2		
⑧熊川		3.1	2.05	—	18.1	77.3	193.8	20.8		
⑨四ツ谷川		2.8	1.77	—	1.2	25.4	257.2	0.8		
⑩塚ノ木川		1.7	2.35	440	9.7	54.3	101.7	2.0	小規模河川改修(S.47年)	
⑪大宮川		6.0	4.78	240	19.9	52.2	504.2	20.6	小規模河川改修(S.48年)	
⑫足洗川		1.3	2.25	—	6.2	26.8	37.3	61.7		
ブ ッ ク	⑬高橋川	1.2	2.55	—	14.0	2.9	36.3	67.2		
	⑭大正寺川	2.8	1.80	—	37.5	11.9	232.7	1.9		
	⑮越琴川	4.8	3.47	500	130.7	65.4	276.8	4.5		
	⑯御呂戸川	2.1	0.70	170	11.4	10.4	42.9	141.3		
	⑰天神川	9.5	6.77	—	173.6	76.7	627.5	73.2		

注) 1. 改修計画の()内は着工年度を示す。
 2. 流域土地利用は湖沼計画による。
 3. 背水区間延長はB. S. L. ± 0に対する値。

出典：滋賀県：第1回琵琶湖底質改善対策検討委員会資料(1994)

南湖に流入する平水時と出水時負荷量の推定値 (2001年)

平水時流出負荷量(2001年)

(t/年)

	負荷量		
	COD	T-N	T-P
南湖西岸流入河川			
相模川	7.16	2.26	0.14
常世川	3.81	0.77	0.07
吾妻川	1.63	0.75	0.04
不動川	1.56	0.52	0.07
柳川	3.19	2.47	0.24
原川	7.58	3.94	0.45
四ツ谷川	0.52	0.16	0.01
藤ノ木川	4.10	1.34	0.13
大宮川	1.99	1.04	0.07
高橋川	0.76	0.25	0.02
大正寺川	3.25	1.08	0.05
鎌琴川	7.08	6.13	0.10
御呂戸川	6.50	2.04	0.15
天神川	10.14	2.50	0.33
その他の西岸河川	110.15	38.02	8.18
	169.42	63.28	10.04
南湖東岸流入河川			
去竜川	25.79	20.51	1.42
天神川	10.34	8.74	0.56
守山川	10.14	1.89	0.22
山賀川	3.05	1.13	0.18
原川	6.32	3.36	0.22
薬山川	109.96	35.63	3.64
伊佐々川	20.18	7.27	0.68
草津川	2.21	2.68	1.23
山寺川	12.21	3.29	0.27
伯母川	9.25	4.66	0.31
前川	5.70	1.36	0.16
十禰寺川	6.47	3.64	0.42
狼川	19.19	8.05	1.01
その他の東岸河川	315.14	109.86	12.01
	555.96	212.07	22.34
合計	725.38	275.35	32.38

出水時流出負荷量(2001年)

(t/年)

	負荷量		
	COD	T-N	T-P
南湖西岸流入河川			
相模川	41.66	8.91	1.16
常世川	1.43	0.77	0.10
吾妻川	5.04	1.49	0.08
不動川	3.76	1.62	0.10
柳川	14.37	5.76	0.32
原川	11.12	6.13	0.24
四ツ谷川	7.76	2.75	0.12
藤ノ木川	10.22	3.59	0.34
大宮川	18.31	8.86	0.47
高橋川	7.03	2.28	0.19
大正寺川	10.42	3.21	0.23
鎌琴川	15.95	2.15	0.20
御呂戸川	4.45	1.57	0.10
天神川	31.32	10.26	0.28
その他の西岸河川	274.41	85.67	1.91
	457.25	145.00	5.83
南湖東岸流入河川			
去竜川	179.30	31.00	4.56
天神川	71.90	13.21	1.80
守山川	75.27	17.44	2.25
山賀川	142.48	31.22	4.21
原川	11.42	1.40	0.12
薬山川	102.74	38.28	3.69
伊佐々川	172.36	37.99	5.06
草津川	155.97	52.03	2.52
山寺川	24.97	9.09	0.90
伯母川	156.31	37.07	4.57
前川	7.89	2.24	0.13
十禰寺川	15.59	5.34	0.23
狼川	192.11	55.93	6.23
その他の東岸河川	286.30	105.55	6.28
	1594.60	437.79	42.55
合計	2051.85	582.79	48.38

出典：滋賀県：第1回琵琶湖底質改善対策検討委員会資料 (1994)

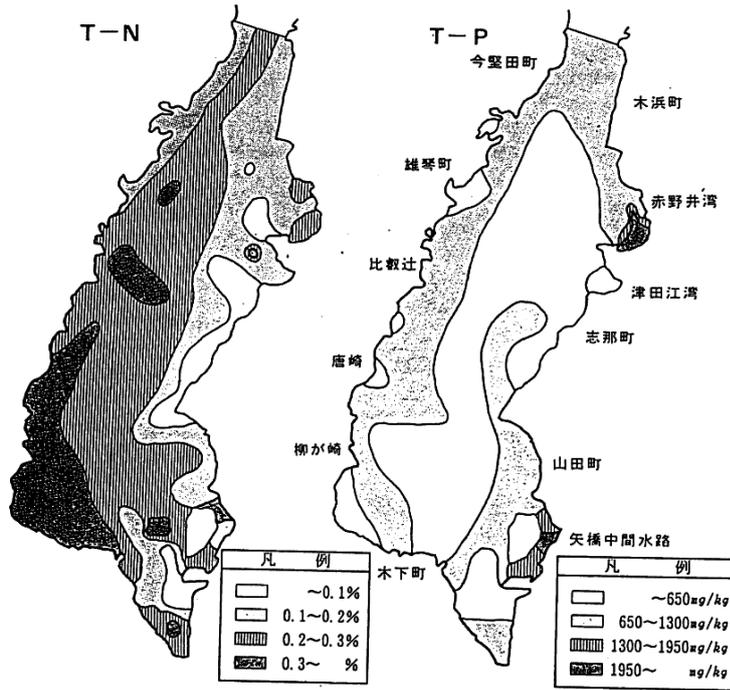
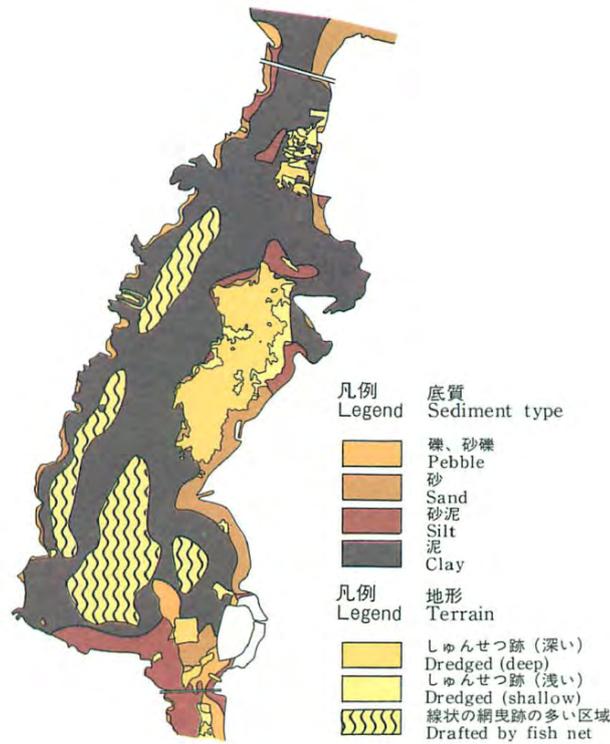


図 1-21 南湖表層底質における T-P 及び T-N 含有量
 出典) 南湖環境の現況解析・評価報告書 滋賀県 平成 4 年 3 月

出典：滋賀県：第 1 回琵琶湖底質改善対策検討委員会資料（1994）



出典：滋賀県琵琶湖研究所：滋賀県環境アトラス