

富士北麓，西湖における水草・車軸藻類と環境の
2015年までの変遷

Transition of Aquatic plants, Charales and Water Environment until 2015 in Lake Sai
at the northern foot of Mt. Fuji

中村 誠司 上 嶋 崇 嗣
Seiji NAKAMURA Takatsugu UEJIMA
芹澤(松山) 和世 芹 澤 如 比 古
Kazuyo MATSUYAMA-SERISAWA Yukihiko SERISAWA

富士北麓，西湖における水草・車軸藻類と環境の 2015年までの変遷

Transition of Aquatic plants, Charales and Water Environment until 2015 in Lake Sai
at the northern foot of Mt. Fuji

中村 誠司¹ 上嶋 崇嗣¹

Seiji NAKAMURA Takatsugu UEJIMA

芹澤(松山) 和世² 芹澤 如比古

Kazuyo MATSUYAMA-SERISAWA Yukihiro SERISAWA

要約: 西湖の水草・車軸藻類と湖水環境の変遷について明らかにすることを目的に、2015年9月に自作採集器による採集調査を行うとともに、環境と植生に関する既往資料解析を行った。本調査によりこれまでで最大の水草9種、車軸藻類4種の計13種を確認することができた。このうちササバモ、トリゲモ、オトメフラスコモの3種は西湖の新産種であった。また、過去から現在にかけて水草・車軸藻類の種組成や優占種の変化および種数の増加が認められ、多くの種の分布域が拡大傾向にあることが判明した。湖水環境についての既往資料解析の結果、平均水位は0.94mであったが、2008年と2009年には水位が0mを下回った期間が110日以上あった。また、1995年以降TPの下降傾向が、1999年以降Trの上昇・TNの下降傾向が、2005年以降SS, COD, Chl.aの下降傾向が認められた。したがって、西湖では近年、水位の低下や水質の改善により湖底に届く光量が増加していると考えられ、その影響で水草や車軸藻類の種数の増加や優占種の変化および多くの種の分布域の拡大が生じているものと推察された。

I 諸言

富士五湖の中で最大水深と平均水深が2番目に大きく、面積が2番目に小さい西湖は標高902mに位置する面積2.12km²、湖岸線延長9.6km、最大水深73.2mの堰止湖である(環境庁自然保護局 1993)。富士山の構成資産として世界文化遺産に登録されたことから(文化庁 2018)、富士五湖周辺では観光客の急増が伝えられており(山梨県 2018a)、生態系の攪乱や生物多様性の減少が生じている可能性が考えられる。富士五湖の中で面積の小さい西湖や精進湖では特にその影響が懸念されるが、著者らは前報において精進湖の水草・車軸藻類と環境の変遷について報告している(中村ら 2018)。

これまでに西湖では延原ら(1971)、西湖フジマリモ調査会(1995)、富士北麓生態系調査会(2007)、芹澤ら(2016)により調査が行われ、12種の水草・車軸藻類が確認されている(表1)。しかしながら、富士五湖の1つ山中湖では水草・大型藻類の種組成や生育量が水質や水位の変化にตอบสนองして短期的にも長期的にも変化していると報告されており(芹澤ら 2013)、琵琶湖でも同様の指摘がなされている(浜端 1996, 2001, 大塚ら 2004)。また、富士五湖では山梨県により水位や水質の測定が長期的に行なわれており(山梨県 2018b, c)、水質の変動傾向について有泉・吉澤(2002)が1972~2001年度、長谷川・吉沢(2011)が2002~2010年度、中村ら(2016)が1974~2013年のデータを解析している。そして、西湖に関しては有泉・吉澤(2002)が2001年度までの10年間でセッキ透明度(Tr)の低下傾向を、長期的には化学的酸素要求量(SS)、全窒素量(TN)、全燐量(TP)、クロロフィルa量(Chl.a)の上昇傾向を、長谷川・吉沢(2011)が燐制限状態であり、Chl.aはTN/TP比10~30の時に高

¹教育学研究科修士課程 ²教育学域協力研究員

表1 本調査および過去の調査で西湖から確認された水草・車軸藻類とその調査方法。
○：確認種。◎：優占種。

文献		延原ら (1971)	西湖フジマリ モ調査会 (1995)	富士北麓生態 系調査会 (2007)	芹澤ら (2016)	本調査	
調査期間		1969年8月, 1970年7月	1994年10月	2005年 7, 10月	2011年2月- 2012年1月	2015年9月	
方法		自作採集器を 10m曳きずる	自作採集器を 5m曳きずる	引き籠を 10m曳きずる	自作採集器を 10m曳きずる +素潜り	自作採集器を 10m曳きずる	
和名	学名	定点数	8定点	10定点	13定点	4定点	16定点
クロモ	<i>Hydrilla verticillata</i>		○	○	○	○	◎
セキシヨウモ	<i>Vallisneria asiatica</i>		○	◎	○	○	◎
ホザキノフサモ	<i>Myriophyllum spicatum</i>		○	○	○	○	○
ツツミズヒキモ	<i>Potamogeton tosaensis</i>					○**	○
フジエビモ(仮称)	<i>Potamogeton</i> sp.			○*		○	○
コカナダモ	<i>Elodea nuttallii</i>			◎	○	○	○
エビモ	<i>Potamogeton crispus</i>	○	○	○	◎		
エゾヤナギモ	<i>Potamogeton compressus</i>	○		○*	○		
センニンモ	<i>Potamogeton maackianus</i>		○			○	○
トリゲモ	<i>Najas minor</i>						○
ササバモ	<i>Potamogeton malaianus</i>						○
シャジクモ	<i>Chara braunii</i>				○	○	○
カタシャジクモ	<i>Chara globularis</i>	◎	○		○	○	○
ヒメフラスコモ	<i>Nitella flexilis</i>				○	○	○
オトメフラスコモ	<i>Nitella hyaliana</i>						○
水草の種数		5	8	6	7	9	
車軸藻類の種数		1	1	3	3	4	
総種数		6	9	9	10	13	

*芹澤ら(2016)による標本の査定でエゾヤナギモと同定されていた標本がすべてフジエビモであったことからフジエビモも確認種と判定
**本研究によりホソバミズヒキモと同定されていた種を再同定

濃度になる傾向を、中村ら(2016)がTPは1997年, TrとTNは1999年, Chl.aは2002年を境に悪化傾向(Trは1999年まではほぼ横ばい)から改善傾向へ転換していることを報告している。しかし、西湖における水位の変動傾向について言及した研究は少なく、2002年以降の水質の改善傾向が継続しているかも不明である。

そこで本研究では、西湖における水草・車軸藻類と湖水環境の2015年までの変遷を詳らかにすることを目的に研究を行った。

II 方法

水深や形状を考慮して西湖に16定点を設定し(図1)、2015年9月15日に25mロープを付けた自作の採集器を小型船舶から湖内に投げ入れて低速で湖底を10m程度曳きずる方法で水草・車軸藻類の採集を各定点で3回程度行った。採集したサンプルはクーラーボックスに入れて保冷して研究室に持ち帰り、定点毎に種の同定を行った後、押し葉標本を作製する前後に標本写真を撮影した。

また、延原ら(1971)、西湖フジマリモ調

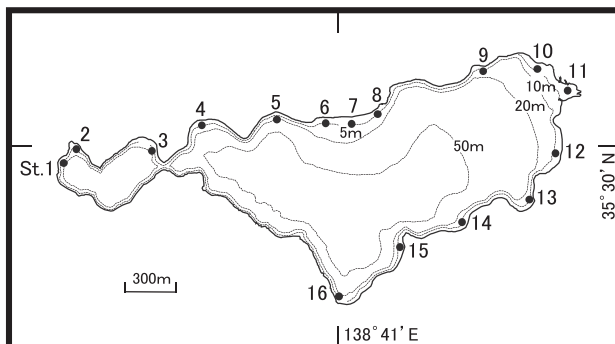


図1 本調査における西湖の調査定点.

査会 (1995), 富士北麓生態系調査会 (2007), 芹澤ら (2016) および本調査の確認種, 優占種, 調査期間および調査方法を比較して西湖の水草・車軸藻類の変遷を解析した。なお, 優占種は便宜上, 出現頻度 (確認定点数/総定点数×100) が80%以上の種としたが, 全種の出現頻度が100%であった芹澤ら (2016) については特定不能とした。また, 分布域の変遷を可視化するため, それぞれの調査で各種が確認された定点を西湖の地図上にプロットした。

さらに, 山梨県のHP上で公開されている「富士五湖の過去の水位」(山梨県 2018b) を参照し, 1999年1月~2015年12月の西湖の水位データを使用して水位変動の解析を行った。また, 同様に山梨県のHP上で公開されている「公共用水域水質測定結果」の富士五湖 (山梨県 2018c) を参照し, 水生植物の生育に関連すると考えられるTr, SS, COD, TN, TP, Chl.aのデータを使用して西湖の水質の変動傾向の解析を行った。なお, データは年間を通して測定が行われている1974年1月~2015年12月までで, 連続している期間 (Tr, SS, CODは全期間, TNは1978年以降, TPは1983年以降, Chl.aは1991年以降) のものを用いた。それぞれの項目で各年の年平均値を中村ら (2016) と同様の方法で算出し, 一次回帰分析を行った。

III 結果

本調査によりクロモ, セキシウモ, ホザキノフサモ, ツツミズヒキモ, フジエビモ (仮称, これまでエビモとセンニンモの交雑種とされてきたもので, 近く新種として記載される予定), コカナダモ, トリゲモ, センニンモ, ササバモの水草9種, シャジクモ, カタシャジクモ, ヒメフラスコモ, オトメフラスコモの車軸藻類4種の計13種が確認された (表1, 図2)。なお, ツツミズヒキモについては芹澤ら (2016) でホソバミズヒキモと同定されていた種を本研究により再同定したものである。定点別の確認種数はSt.16で10種と最大, 次いでSt.6が9種, St.15が8種であり, St.1, 5が1種と最小, 次いでSt.9が3種であった。

本調査と過去の調査で西湖から確認された水草・車軸藻類とその優占種および調査方法を表1に示す。水草・車軸藻類の確認種数は1969年8月と1970年7月の調査 (8定点の湖底を自作採集器で10m曳きずる採集) では水草5種, 車軸藻類1種の計6種でカタシャジクモが優占種であり (延原ら 1971), 1994年10月の調査 (10定点の湖底を自作採集器で5m曳きずる採集) では水草8種と車軸藻類1種の計9種でセキシウモ・コカナダモが優占種であり (西湖フジマリモ調査会 1995), 2005年7, 10月の調査 (13定点の湖底を引き籠で10m曳きずる採集) では水草6種と車軸藻類3種の計9種でエビモが優占種であり (富士北麓生態系調査会 2007), 2011年2月~2012年1月の毎月の調査 (4定点の湖底を自作採集器で10m曳きずる採集および素潜り徒手採集) では水草7種と車軸藻類3種の計10種で優占種は特定不能であり (芹澤ら 2016), 本調査 (16定点の湖底を自作採集器で10m曳きずる採集) では水草9種と車軸藻類4種の計13種でクロモ・セキシウモが優占種であった。

西湖における本調査および過去の調査で確認された水草と車軸藻類の確認定点の変遷を図3-1と図3-2に示す。クロモ, セキシウモ, ホザキノフサモはすべての調査で確認されており, 確認定点数と出現頻度は増加する傾向が見られた。ツツミズヒキモは2011~2012年と2015年の調査でのみ確認され, 後者で確認定点数が多かった。フジエビモとセンニンモは1994年, 2011~2012年, 2015年の調査で確認されており, 確認定点数はフジエビモでは2015年の調査で, センニンモでは2011~2012年の調査で最大であった。トリゲモとササバモは本調査でのみ確認され, 確認定点数はそれぞれ3定点と1定点であった。コカナダモは1994年の調査以降で確認されており, 確認定点数と出現頻度は減少する傾向が見られた。エビモとエゾヤナギモは2011~2012年と2015年の調査では確認されておらず, エビモは2005年の調査で, エゾヤナギモは1969~1970年の調査で出現頻度が最も高かった。シャジクモとヒメフラスコモは2005年の調査以降で確認されており, 確認定点数は2015年にかけて増加していた。カ



図2 本調査により西湖で採集された水草・車軸藻類の標本写真 a, クロモ *Hydrilla verticillata*; b, セキショウモ *Vallisneria asiatica*; c, ホザキノフサモ *Myriophyllum spicatum*; d, ツツミスヒキモ *Potamogeton tosaensis*; e, フジエビモ(仮称) *Potamogeton* sp.; f, コカナダモ *Elodea nuttallii*; g, トリゲモ *Najas minor*; h, センニンモ *Potamogeton maackianus*; i, ササバモ *Potamogeton malaianus*; j, シャジクモ *Chara braunii*; k, カタシャジクモ *Chara globularis*; l, ヒメフラスコモ *Nitella flexilis*; m, オトメフラスコモ *Nitella hyalina*.

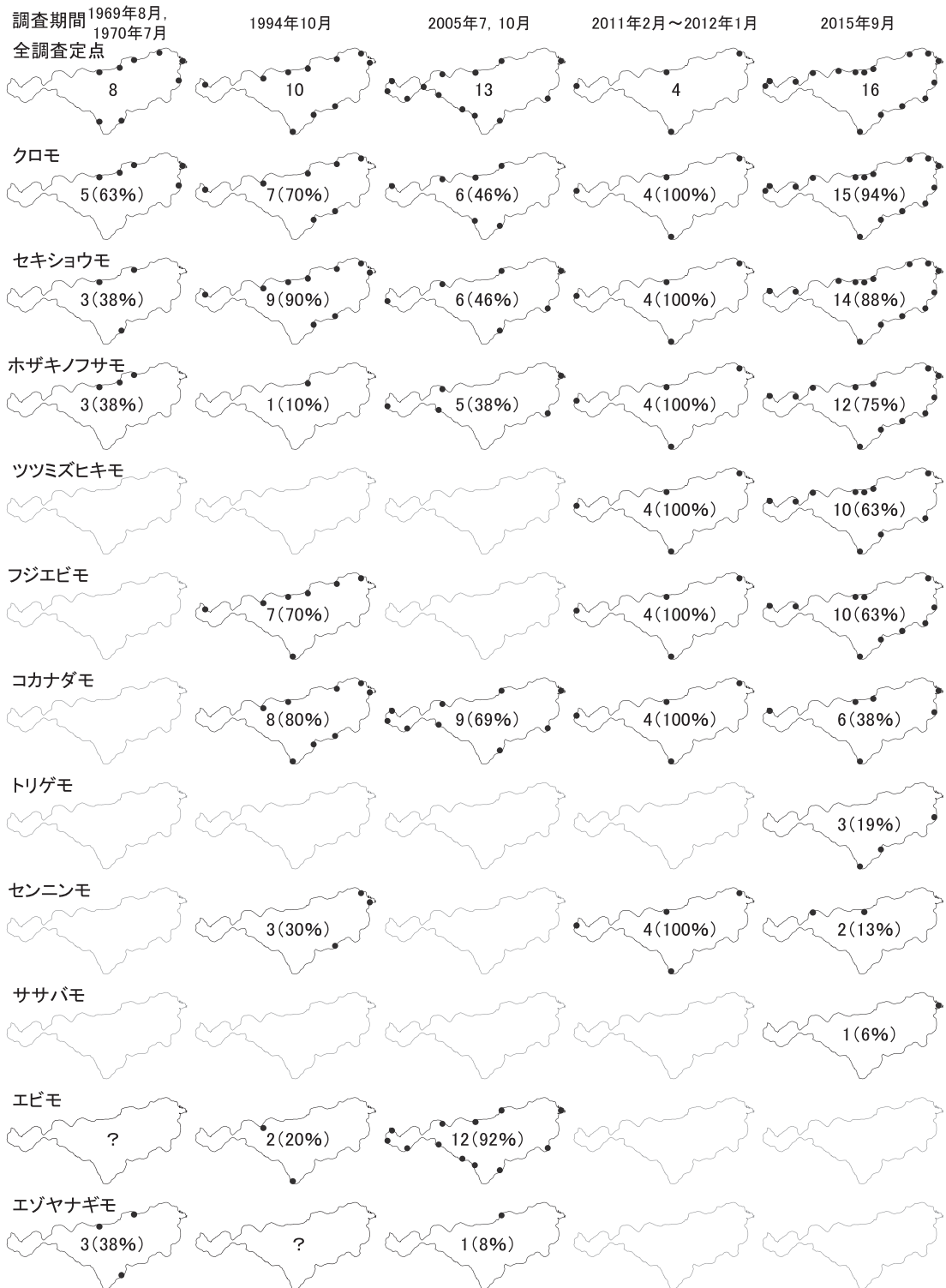


図3-1 西湖における本調査および過去の調査で確認された水草の確認定点の変遷。●:確認定点。西湖の中の数値:調査定点数または確認定点数(出現頻度)。?:確認定点不明。データは延原ら(1971), 西湖フジマリモ調査会(1995), 富士北麓生態系調査会(2007), 芹澤ら(2016), 本調査による。

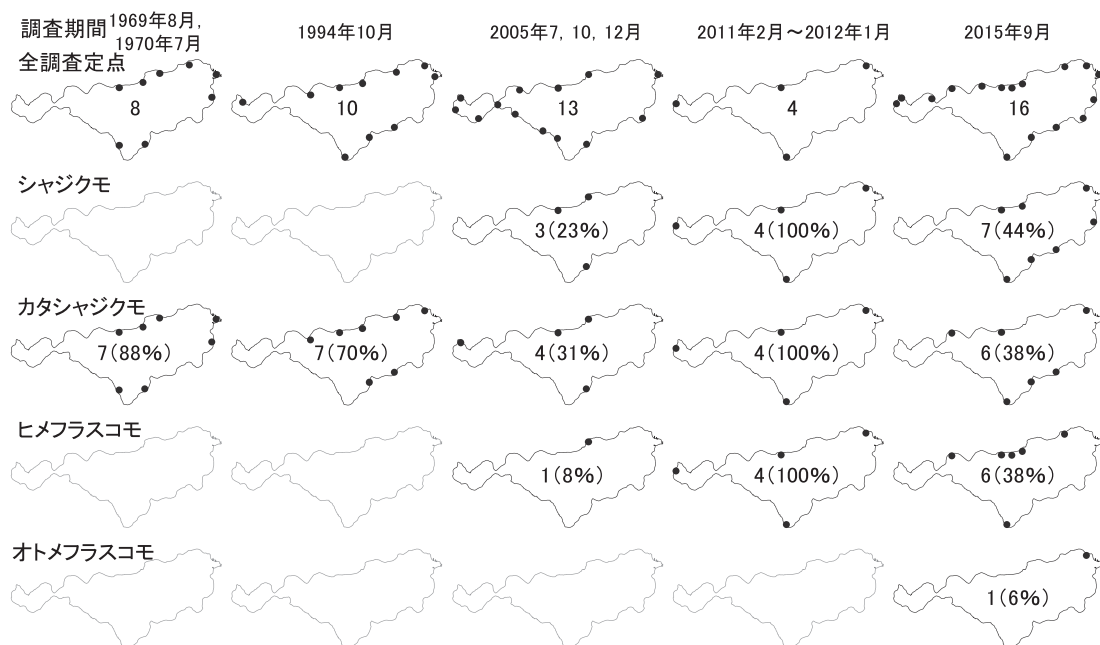


図3-2 西湖における本調査および過去の調査で確認された車軸藻類の確認定点の変遷。●:確認定点。西湖の中の数値:調査定点数または確認定点数(出現頻度)。データは延原ら(1971), 西湖フジマリモ調査会(1995), 富士北麓調査会(2007), 芹澤ら(2016), 本調査による。

タシャジクモはすべての調査で4定点以上で確認されており、出現頻度も30%以上であった。オトメフラスコモは本調査でのみ確認され、確認定点数は1定点であった。

富士五湖の過去の水位データ(山梨県 2018b)を使用した西湖における水位の1999~2015年の変動を図4に示す。解析期間中の水位は-0.52m(2008年4月7日)~4.68m(2004年11月2日)の範囲で変動し(量水標0mの標高は899.233m)、変動幅は5.20m、平均水位は0.94mであった。なお、短期的には2004年7月21日の0.86mから11月2日の4.68mまで上昇し、その後2005年6月17日の0.55mまで減少傾向がみられ、変動幅は4.13mと大きかった。また、2011年7月22日の0.54mから10月1日の3.93mまで上昇し、その後2012年3月31日の0.64mまで減少傾向がみられ、変動幅は3.39mと大きかった。上記の期間を除くと水位は、1999年1月1日~2004年7月21日には0.39~3.15m、変動幅は2.76m、平均水位は1.31mであり、2005年6月17日~2011年7月22日には-0.52~1.57m、変動幅は2.09m、平均水位は0.53mであり、2012年3月31日~2015年12月31日には-0.36~1.59m、変動幅は1.95m、平均水位は0.72mであった。水位が量水標0mを下回った期間は2007年6月29日~7月14日の16日間、2008年2月6日~5月25日の110日間、2009年1月1日~5月6日の126日間、2010年2月23日~3月4日の10日間、2013年8月4日~9月4日の32日間であった。

公共用水域水質測定結果データ(山梨県 2018c)を使用した西湖における水質6項目の1974~2015年の変動解析を図5に示す。Trは5.2m(2012年)~9.6m(1981年)の範囲で変動し、1999年以降有意な上昇傾向が認められた($p < 0.05$)。SSは0.5mg/L(1988, 2002, 2006, 2014, 2015年)~1.5mg/L(1992年)の範囲で変動し、1988年と2005年を境に有意ではない下降($p = 0.08$)、上昇($p = 0.48$)、下降($p = 0.37$)傾向が認められた。CODは1.1mg/L(1977, 1978年)~2.8mg/L(2005年)の範囲で変動し、2005年を境に有意な上昇、下降傾向が認められた($p < 0.05$)。TNは131.7 μ g/L(2009年)~480.8 μ g/L(1999年)の範囲で変動し、1999年を境に有意な上昇、下降傾向が認められた($p < 0.05$)。TPは3.1 μ g/L(1988年)~17.7 μ g/L(1995年)の範囲で変動し、1995年までは有意ではない上昇傾向が($p = 0.07$)、それ以降

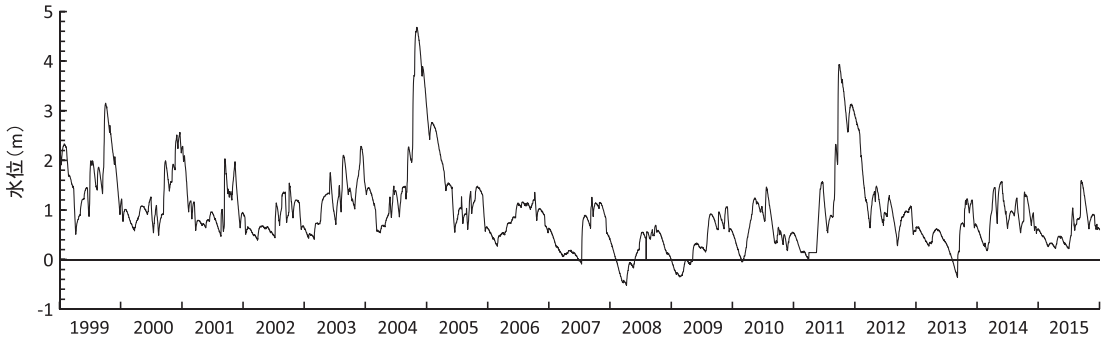


図4 西湖における水位の1999～2015年の変動. 量水標0mの標高:899.233m. 富士五湖の過去の水位データ(山梨県 2018b)を使用.

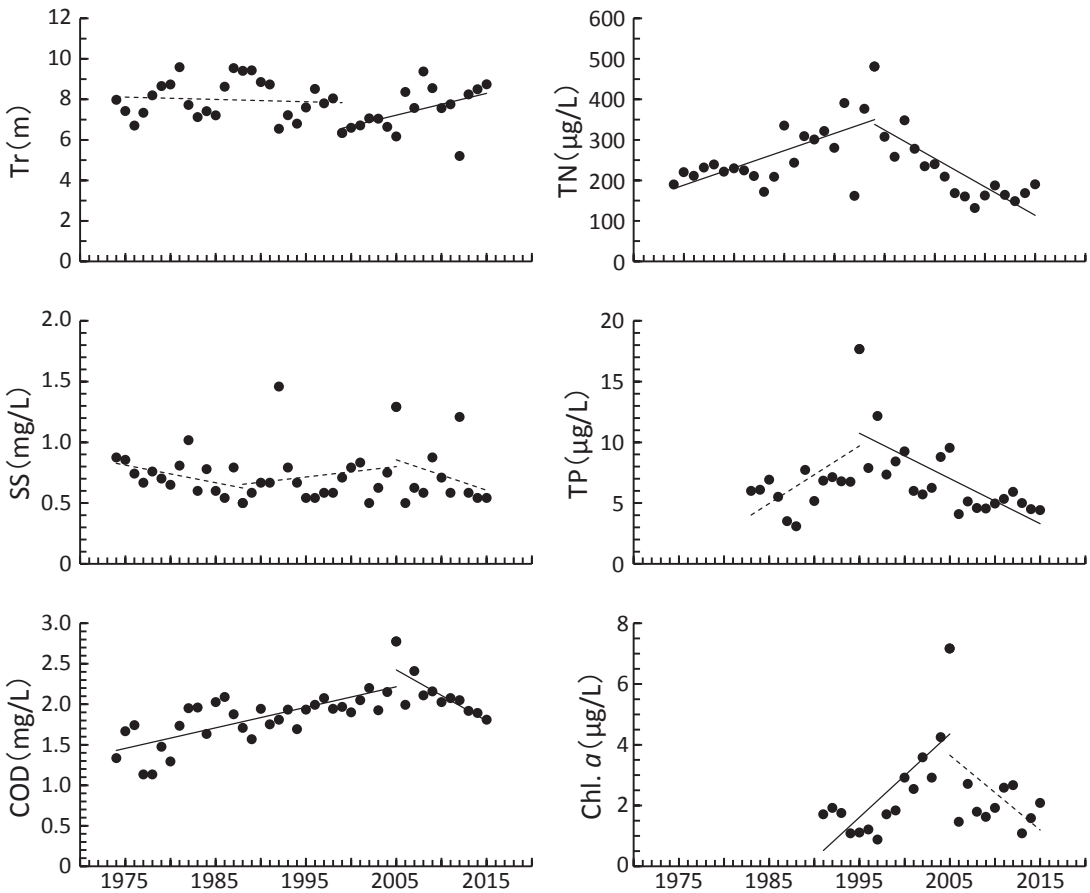


図5 西湖における水質6項目の1974～2015年の変動. 黒丸: 各年の年平均値. 実線: 有意な変化傾向. 破線: 有意でない変化傾向. 富士五湖における公共用水域水質測定結果データ(山梨県 2018c)を使用.

は有意な下降傾向が認められた ($p < 0.05$)。Chl.*a*量は0.9 $\mu\text{g/L}$ (1997年) ~ 7.2 $\mu\text{g/L}$ (2005年) の範囲で変動し、2005年までは有意な上昇傾向が ($p < 0.05$)、それ以降は有意ではない下降傾向が認められた ($p = 0.12$)。

IV 考察

本調査により西湖から水草9種と車軸藻類4種の計13種を確認することができ、そのうちトリゲモ、ササバモ、オトメフラスコモは新産種であることが判明した (表1)。本調査では過去最大の調査定点数で過去最大の種数を確認しており、芹澤ら (2016) では定点数は少なかったものの通年毎月の調査に加え補足的に潜水調査も行っており過去2番目に多い10種を全4定点で確認している。水生植物の調査では定点数または調査回数を多くするか潜水調査を行うことが多くの種を確認するためには有効と言えそうである。西湖に近い河口湖では以前からササバモが (延原ら 1971)、近年になってオトメフラスコモが確認されており (Nagasaka et al. 2002)、最近トリゲモも認められるようになったことが報告されている (上嶋ら 2018)。西湖でこれら3種が確認された定点は本調査以前にも調査されていた定点であったので、これらの種は鳥類や人為的な輸送により近年移入した可能性がある。一方で、本研究ではエビモとエゾヤナギモを確認できなかった。これら2種は2011~2012年の調査 (芹澤ら 2016) でも確認されていないことから、西湖ではその個体数が大幅に減少しているか消滅している可能性が考えられた。また、芹澤ら (2016) が西湖で初めて確認したホソバミズヒキモは標本の査定からツツミズヒキモであったことが本研究で明らかとなった。さらに、本調査で確認されたトリゲモと車軸藻類4種の計5種は環境省レッドリストに掲載されている種であり (環境省 2018)、今回西湖で確認された水草・車軸藻類の約40%が絶滅危惧種であることがわかった。

本調査と過去の調査 (延原ら 1971, 西湖フジマリモ調査会 1995, 富士北麓生態系調査会 2007, 芹澤ら 2016) の比較から、西湖の水草・車軸藻類の種数は1969~1970年に6種, 1994年と2005年に9種, 2011~2012年に10種, 2015年に13種と増加傾向にあり、優占種はカタシャジクモ→セキシウモ・コカナダモ→エビモ→クロモ・セキシウモへと変化していることが明らかになった (表1)。また、それぞれの調査で定点 (数) は異なるものの、コカナダモでは分布域の減少傾向が、クロモ, セキシウモ, ホザキノフサモ, シャジクモ, ヒメフラスコモでは分布域の拡大傾向が見られることがわかった (図3-1, 3-2)。

今回の水位変動の解析により、2008年と2009年には水位が量水標0mを下回った期間が110日以上あったことがわかった (図4)。また、水質の解析から、TPの下降傾向が1995年以降、Trの上昇・TNの下降傾向が1999年以降、SS, COD, Chl.*a*の下降傾向 (SSとChl.*a*は有意でない) が2005年以降に認められたことから (図5)、西湖では水質の改善傾向が継続していることが明らかとなった。木崎湖では底泥からの溶出磷の低下によりコカナダモが減少していることが示されており (Nagasaka 2004)、西湖では上記のような環境変化にตอบสนองして水草・車軸藻類の種組成や優占種および分布域が変化しているものと推察された。また、琵琶湖南湖や山中湖では水位低下後に沈水植物の種数や現存量が増加したことが報告されており (浜端 1996, 2001, 芹澤ら 2013)、Vestergaard & Sand-Jensen (2000) は水生植物の種数が生育可能面積の拡大に比例して増加することを指摘している。西湖における近年の長期間に及ぶ2回の水位低下や水質の改善傾向の継続は湖底に届く水中光量を増加させ、その結果、水草・車軸藻類の生育可能面積が拡大している可能性がある。したがって、西湖ではその影響で種数の増加や多くの種の分布域の拡大が生じているものと推察された。また、現時点では西湖の水草・車軸藻類に対する観光客急増の悪影響は生じていない可能性が高いと判断された。

V 謝辞

本研究を行うにあたり共に調査や標本作成を行った山梨大学水圏植物学(芹澤)研究室の学生・院生の諸氏に謝意を表す。本研究は平成27年度山梨大学教育人間科学域戦略プロジェクトの助成を受けて行った。なお、富士五湖が国の名勝に指定されていることから、富士五湖での調査は文化庁と山梨県から特別の許可を得て行った。

VI 引用文献

- 有泉和紀, 吉澤一家 (2002) 富士五湖の水質. 山梨衛公研年報 46 : 32-41
- 文化庁 (2018) 富士山—信仰の対象と芸術の源泉 世界遺産 (文化遺産) 一覧 文化財の紹介
http://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/sekai_isan/ichiran/fujisan.html
- 富士北麓生態系調査会 (2007) 富士北麓水域の生態系の特徴と保全のための課題. 富士北麓水域 (富士五湖) における生態系多様性に関する調査報告書. 富士北麓生態系調査会, 山梨
- 浜端悦治 (1996) 1994年の水位低下とその影響2 水位低下時に計測された湖岸植生面積. 滋賀県琵琶湖研究所報 13 : 32-35
- 浜端悦治 (2001) 2000年水位低下報告書② 琵琶湖における夏の渇水と湖岸植生面積の変化—2000年の渇水から—.
 滋賀県琵琶湖研究所所報 20 : 134-145
- 長谷川裕弥, 吉澤一家 (2011) 富士五湖の水質環境の変化. 山梨衛環研年報55 : 80-85
- 環境庁自然保護局 (1993) 第4回自然環境保全基礎調査 湖沼調査報告書 (全国版). 環境庁自然保護局, 東京, p. 141
- 環境省 (2018) レッドデータブック <http://ikilog.biodic.go.jp/Rdb/>
- Nagasaka M, Yoshizawa K, Ariizumi K (2002) Temporal changes and vertical distribution of macrophytes in Lake Kawaguchi. The Japanese Society of Limnology 3:107-114
- Nagasaka M. (2004) Changes in biomass and spatial distribution of *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John, an invasive submerged plant, in oligomesotrophic Lake Kizaki from 1999 to 2002. Limnology 5:129-139
- 中村誠司, 上嶋崇嗣, 渡邊広樹, 芹澤 (松山) 和世, 芹澤如比古 (2016) 富士五湖における水質の周年変化と長期的変動. 富士山研究 10:31-40
- 中村誠司, 上嶋崇嗣, 芹澤 (松山) 和世, 芹澤如比古 (2018) 富士北麓, 精進湖における水草・車軸藻類と環境の2015年までの変遷. 山梨大学教育学部紀要26 : 157-164
- 延原 肇, 岩田好宏, 生嶋 功 (1971) 富士五湖の水草の分布. 富士山総合学術調査報告. 富士急行株式会社, pp. 559-577
- 大塚泰介, 桑原靖典, 芳賀裕樹 (2004) 琵琶湖南湖における沈水植物群落の分布および現存量—魚群探知機を用いた推定—. 陸水学雑誌 65 : 13-20
- 西湖フジマリモ調査会 (1995) 山梨県指定天然記念物「フジマリモ及び生息地」調査事業報告書. 山梨県足和田村, 山梨
- 芹澤如比古, 佐藤裕一, 深代牧子, 土屋佳奈, 芹澤 (松山) 和世 (2013) 富士北麓, 山中湖に生育する水生植物の種組成と現存量の周年変化-2008~2010-. 水草研究会誌100:61-71
- 芹澤如比古, 上嶋崇嗣, 中村誠司, 渡邊広樹, 白澤直敏, 芹澤 (松山) 和世 (2016) 富士北麓, 西湖と精進湖の水草・大型藻類と光環境. 山梨大教育人間学部紀要 17 : 201-210
- 上嶋崇嗣, 中村誠司, 渡邊広樹, 芹澤 (松山) 和世, 芹澤如比古 (2018) 富士北麓, 河口湖の水草・大型藻類と光環境. 山梨大学教育学部紀要26 : 147-156
- Vestergaard O, Sand-Jensen K (2000) Aquatic macrophyte richness in Danish lakes in relation to alkalinity, transparency, and lake area. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57:2022-2031
- 山梨県 (2018a) 山梨県観光入込客統計調査結果. <https://www.pref.yamanashi.jp/kankou-k/17390378357.html>
- 山梨県 (2018b) 富士五湖の過去の水位. https://www.pref.yamanashi.jp/chisui/113_006.html
- 山梨県 (2018c) 公共用水域水質測定結果 (富士五湖). In 公共用水域及び地下水の水質測定結果 (常時監視). <http://www.pref.yamanashi.jp/taiki-sui/sokutei.html>

