

富士北麓，精進湖における沈水植物および車軸藻類の
水平・垂直分布と現存量

Horizontal and Vertical Distribution and Biomass of Submerged Macrophytes and
Charalean Algae in Lake Shoji at the northern foot of Mt. Fuji, central Japan

中 村 誠 司 上 嶋 崇 嗣

NAKAMURA Seiji UEJIMA Takatsugu

芹澤(松山)和世 芹 澤 如 比 古

MATSUYAMA-SERISAWA Kazuyo SERISAWA Yukihiko

富士北麓，精進湖における沈水植物および車軸藻類の 水平・垂直分布と現存量

Horizontal and Vertical Distribution and Biomass of Submerged Macrophytes and Charalean Algae in Lake Shoji at the northern foot of Mt. Fuji, central Japan

中村 誠 司*

上 嶋 崇 嗣**

NAKAMURA Seiji

UEJIMA Takatsugu

芹澤(松山)和世***

芹 澤 如比古

MATSUYAMA-SERISAWA Kazuyo

SERISAWA Yukihiro

要旨：精進湖に18定点を設定し，2016年9～10月にスキューバ潜水による沈水植物と車軸藻類の植生調査を行った。各定点では分布下限水深を確認するとともに，CR法を用いて4段階で各種の優占度（概略的な確認頻度≒概略的な株数）を評価した。また，沈水植物が最も繁茂していた西岸の1定点で水深1m毎に50 x 50 cmの方形枠を無作為に設置して現存量調査を，最も深くまで分布していた東岸の1定点で水深0.5m毎にCR法による垂直分布調査を行った。その結果，8種（沈水植物7種，車軸藻類1種）が確認された。また，クロモとフジエビモは多くの定点で確認され，それらはCR値も高かった。各定点の分布下限水深は2.0～7.5m，平均4.3mであった。東岸の1定点では種によって生育水深や繁茂する水深が様々であった。さらに，西岸の1定点では現存量が水深2mで最大の173.44g d.w./m²であり，次いで3mで88.79g d.w./m²，1mで49.51g d.w./m²，4mで13.23g d.w./m²であった。なお，生物量が最大となる水深は4種では2mであったが，他の3種では異なっていた。定点による繁茂状況や分布下限水深の違いは底質や光量などの環境要因の局所的な違いに起因していると考えられた。

I 緒言

陸水域では水草の多様性が高くなることにより，藻類や水草のバイオマスが増大し，リンなどの栄養塩の保持効果も増加することが示されており（Engelhardt & Ritchie 2001），水草・車軸藻類の高いバイオマスは鳥類や底生動物の多様性とバイオマスを増大させ（Hargeby et al. 1994），高い水質浄化機能を有することが知られている（e.g. Mitsch et al. 1995）。しかしながら，日本に生育する水草の約40%，車軸藻類の約80%の種がレッドリストに掲載されており，多くの種が絶滅の危機に瀕している（角野 2014，Kato et al. 2014）。その背景として，明治・大正時代には2110.62km²あった日本全国の湿地（湖沼とその周辺の湿原）面積が，1999年には820.99km²にまで減少し，琵琶湖の約2倍の広さに相当する1289.62km²の湿地が消失したことが挙げられる（国土地理院 2020）。また，角野（2014）は生育場所の減少だけでなく，除草剤の使用や外来種の侵入も日本の水草種の減少に大きな影響を与えていると指摘している。

富士北麓の高標高域に位置する5つの山岳湖沼群は富士五湖と呼ばれているが，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 2020），近年では観光客が急激に増加しており

* 大学院教育学研究科修士課程修了／大学院医工農学総合教育部博士課程 工学専攻

** 大学院教育学研究科修士課程修了／掛川市立掛川西中学校

*** 教育学域協力研究員

(山梨県 2020a), 湖沼生態系に攪乱が生じている可能性がある。富士五湖の中でも面積が最も小さい精進湖では、特にその影響が懸念される。精進湖ではこれまでに5報の水草・車軸藻類に関する研究報告があり(延原ら 1971, 富士北麓生態系調査会 2007, 芹澤ら 2016, 2019, 中村ら 2018), 種組成と水平分布についてはある程度把握されている。しかし, それらの垂直分布については延原ら(1971)による1960年代の記載があるのみであり, 水生植物の現存量については調べられていないのが現状である。

近年, 水生植物の調査方法についてはいくつかの議論がなされており, 種数や生物量の正確な評価を行うためにはスキューバ潜水による調査が有効であることが示されている(Wade & Bowles 1981, Caper 2000)。日本では琵琶湖においては水生植物の詳細な潜水調査が行われており(浜端 1991, 今本ら 1998, 2006, 大塚ら 2004, 芳賀ら 2006a, 2006b, 2019, 芳賀・石川 2011, 2015), 著者らにより富士五湖の山中湖や本栖湖でも潜水による現存量調査が実施されているが(芹澤(松山)ら 2009, 芹澤ら 2014, 中村ら 2017), 他の湖沼では潜水による現存量や垂直分布についてはほとんど調べられていない。

そこで本研究では精進湖においてスキューバ潜水調査を実施し, 沈水植物と車軸藻類の水平・垂直分布と現存量を詳らかにすることを目的とした。

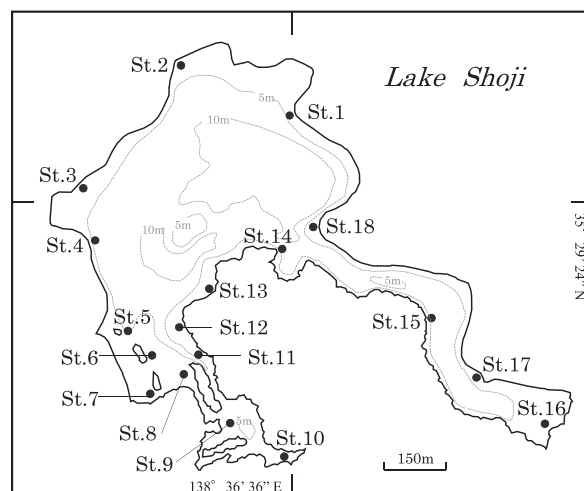


Fig. 1. Map showing the study sites in Lake Shoji at the northern foot of Mt. Fuji, central Japan.

Table 1. Present and past submerged macrophytes and charalean algae list from Lake Shoji, Yamanashi Prefecture, central Japan. *Ed*, *Elodea densa*; *En*, *Elodea nuttallii*; *Hv*, *Hydrilla verticillate*; *Nm*, *Najas minor*; *Plf*, *Potamogeton × leptocephalus* var. *fujimensis*; *Pm*, *Potamogeton maackianus*; *Pa*, *Potamogeton anguillanus*; *Pc*, *Potamogeton crispus*; *Ms*, *Myriophyllum spicatum*; *Cb*, *Chara braunii*.

Japanese name	Nobuhara et al. (1971)	Fuji-hokuroku ecological study group (2007)	Serisawa et al. (2016)	Nakamura et al. (2018)	Serisawa et al. (2019)	Present study
	1969-70	2005	2012	2014-15	2017	2016
<i>Ed</i> オオカナダモ		○				
<i>En</i> コカナダモ		○	○	○	○	○
<i>Hv</i> クロモ	○		○	○	○	○
<i>Nm</i> トリゲモ				○	○	○
<i>Plf</i> フジエビモ			○	○	○	○
<i>Pm</i> センニンモ	○		○	○	○	○
<i>Pa</i> オオササエビモ				○		○
<i>Pc</i> エビモ	○	○	○			
<i>Ms</i> ホザキノフサモ					○	○
<i>Cb</i> シャジクモ			○	○	○	○
Submerged plant	3	3	5	6	6	7
Chararean algae	0	0	1	1	1	1
Total	3	3	6	7	7	8

II 方法

精進湖に18定点を設定し (Fig. 1), 2016年9月26, 27日, 10月4, 25日に沈水植物と車軸藻類のスキューバ潜水による植生調査を行った。各定点では目視観察により分布下限水深を確認するとともに, Common-Rare (CR) 法を用いて4段階で各種の優占度 (概略的な確認頻度≒概略的な株数) を評価し, 徒手採集を行った。CR法は一般に海洋生物の定量的データとして個体数の概数などを3~5段階で評価する方法であるが (eg. 藤井・税所 1973; 澤田 2000; 片山ら 2002; ひょうご環境創造協会 2010), 今回は渡邊ら (2019) が水田の水生植物を評価する際に採用した澤田 (2000) の4段階評価 (CC: 極普通, C: 普通, R: 希, RR: 極希) を用いた。また, 植物は地下茎で繋がった植物体が叢生する場合もあるため, 個体数の計測が不可能であるので, 今回の調査では渡邊ら (2019) と同様に目視による各種の概略的な確認頻度 (観察帯を100区画に区切って出現した区画数の概数の割合) を, $100\% \geq CC > 60\%$, $60\% \geq C > 20\%$, $20\% \geq R > 5\%$, $5\% \geq RR > 0\%$ として判定した。採集したサンプルは研究室に持ち帰り, 種の同定を行った後, 押し葉標本を作成する前後に標本写真を撮影した。

沈水植物が最も繁茂していた西岸の1定点 (St. 3) では一辺50cmの方形枠を用いた3枠の刈り取り採集を水深1m毎に, 最も深くまで分布していた東岸の1定点 (St. 18) では湖岸線に沿った10m以上の目視観察を水深0.5m毎に分布下限水深まで行った。St. 3で刈り取ったサンプルは研究室に持ち帰り, 種毎に分別した後, 恒温乾燥機で80°C, 48時間以上乾燥させ, 水深および種毎に乾燥重量を測定した。St. 18では各種の優占度を上述のCR法を用いて4段階で評価した。また, St. 3とSt. 18では透明度の測定も行った。なお, 調査期間中の水位は0.46~0.82m (量水標0mの標高899.233m) であった (山梨県 2020b)。

III 結果と考察

本研究で精進湖から確認された沈水植物と車軸藻類を過去の知見とともにTable 1に示す。本調査により沈水植物7種 (クロモ, フジエビモ, コカナダモ, センニンモ, ホザキノフサモ, トリゲモ, オオササエビモ) と車軸藻類1種 (シャジクモ) の計8種が確認された (Fig. 2)。本研究で確認された種のうち, ホザキノフサモは2014-15年 (中村ら 2018) までは確認されておらず (延原ら 1971, 富士北麓生態系調査会 2007, 芹澤ら 2016), 2017年には確認されていることから (芹澤ら 2019), 精進湖へは本調査を行った2016年に侵入し, その後定着したものと推察された。一方, 2005年に10地点で確認されたオオカナダモは (富士北麓生態系調査会 2007), 本研究と, その前後 (延原ら 1971, 芹澤ら 2016, 2019, 中村ら 2018) では確認されておらず, 侵入し分布を広げたものの, 定着できなかったか, 富士北麓生態系調査会 (2007) 以外の報告で確認されているクロモの誤同定であるのかも知れない。

精進湖の各定点における沈水植物と車軸藻類のCR値と出現頻度 (出現定点数/全定点数*100) をTable 2に示す。各種の出現頻度はクロモが17定点で94.4%と最大であり, 次いでフジエビモが16定点で88.9%, コカナダモが12定点で66.7%, センニンモが6定点で33.3%, ホザキノフサモが5定点で27.8%, トリゲモが3定点で16.7%, シャジクモが2定点で11.1%であり, オオササエビモが最小の1定点で5.6%であった。CR値がC (普通) 以上と判定された定点数は, クロモが15定点, フジエビモが13定点, コカナダモが7定点, センニンモが6定点, ホザキノフサモが4定点, トリゲモとシャジクモが1定点, オオササエビモが0定点であった。精進湖の水平的な植生の特徴としては湖内全域に広くクロモとフジエビモが分布し, この2種の優占度が高いことがわかった。一方, ホザキノフサモ, トリゲモ, オオササエビモ, シャジクモは湖内の限られた場所に分布しており, 確認された定点での優占度はホザキノフサモではやや高いものの, 他の3種ではいずれも低いことがわかった。

定点毎の確認種数は1 (St. 10) ~8 (St. 7) 種, 平均で3.4種であり, St. 7では本研究で確認された8種全てが確認された (Table 2)。精進湖より面積が広い山中湖と河口湖における沈水植物の1定点あ

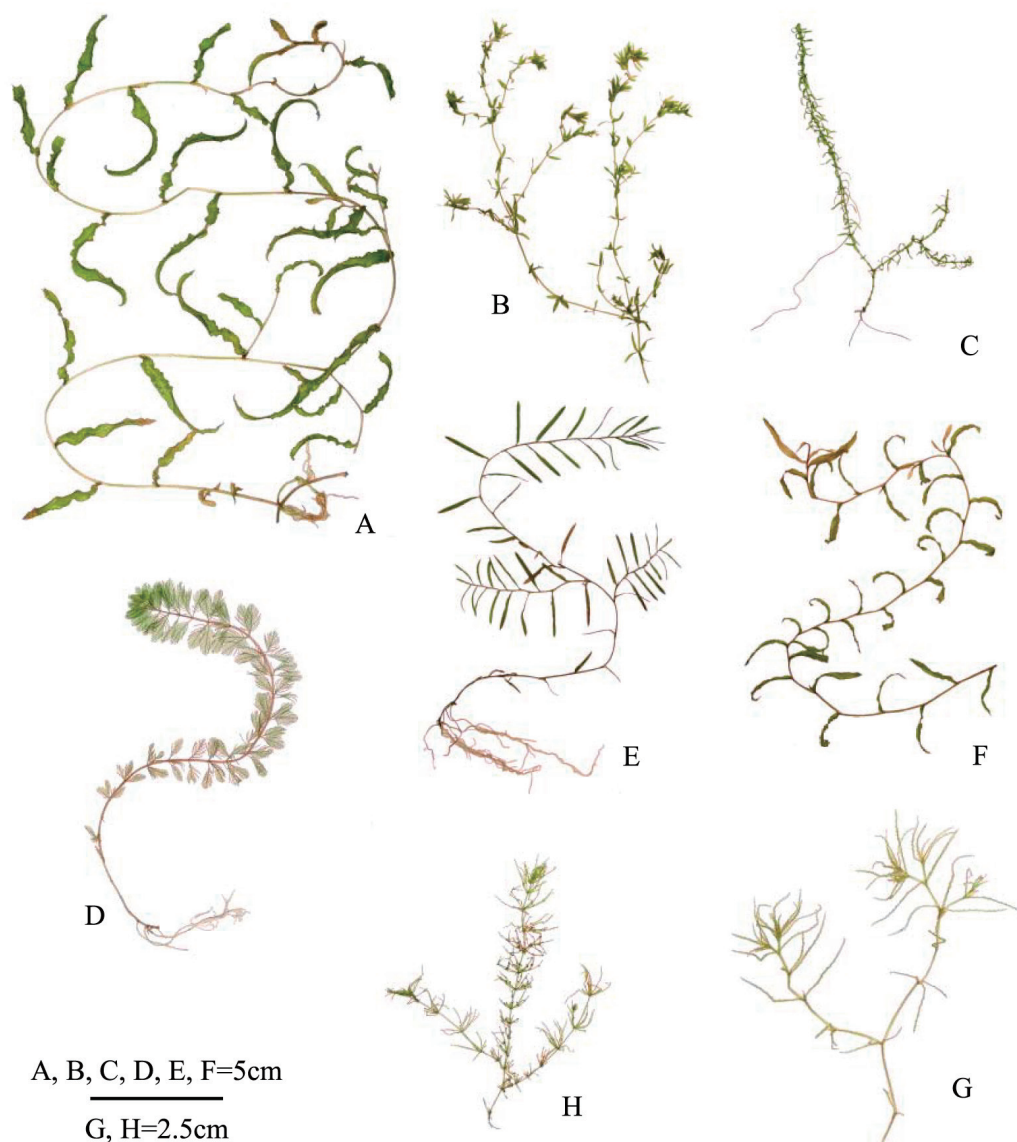


Fig. 2. Photographs showing the specimens of submerged macrophytes and charalean algae in Lake Shoji. A, *Potamogeton anguillanus*; B, *Hydrilla verticillate*; C, *Elodea nuttallii*; D, *Myriophyllum spicatum*; E, *Potamogeton maackianus*; F, *Potamogeton* × *leptocephalus* var. *fujiensis*; G, *Najas minor*; H, *Chara braunii*.

たりの確認種数はそれぞれ11種（芹澤ら 2014）と13種であり（上嶋ら 2018），精進湖より多かった。一般に湖沼では生育可能面積が大きいほど種数が多いことが報告されているが（Vestergaard & Sand-Jensen 2000），湖沼あたりの種数は定点あたりの種数にも影響している可能性が示唆された。最も多くの8種が確認されたSt. 7と，それに次ぐ5種が確認され優占度が極普通と判断された種が3種と最も多かったSt. 3では，湖底の傾斜が比較的緩やかで，水深が5mより浅い湖底が広がっていた。一方，種数が3種で全て稀であったSt. 16でも同様に傾斜が緩やかで浅い湖底が広がっていた。St. 16の湖底は浮泥が広く堆積しており，この違いが多様性や優占度の違いに影響しているのかも知れない。以上より，種により水平的な分布域は異なり，生育量も定点により異なることがわかった。また，東岸では確認される種が多い傾向が見られた。定点により底質や光量などの環境も異なるため（Fig. 3），わずかな調査定点から湖全体の植生を明らかにすることは難しいことが再確認された。

各定点における沈水植物・車軸藻類の分布下限水深は2.0（St. 10）～7.5（St. 18）mの間であり，平均値が水深4.3m，中央値が4.0mであった（Table 2）。本調査で測定されたSt. 3とSt. 18の透明度はそ

Table 2. Horizontal CR evaluation, frequency, and growth limit depth of submerged macrophytes and charalean algae confirmed in each station. See the explanation of Table 1.

Japanese name	Station number																		Frequency (%)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	CC	C	R	RR
<i>Hv</i> クロモ	C	CC	CC	C	C	C	CC	CC	C		CC	CC	CC	RR	C	R	C	CC	8	7	1	1
<i>Plf</i> フジエビモ	C	C	CC	C	C	C	CC	CC		RR	CC	C	C		R	R	C	CC	5	8	2	1
<i>En</i> コカナダモ	C	C	C		C		C	C	R		C			RR		R	R	R	0	7	4	1
<i>Pm</i> センニンモ	C		CC				C	C			C							C	1	5	0	0
<i>Ms</i> ホザキノフサモ		C	C		C		RR				C								0	4	0	1
<i>Nm</i> トリゲモ							C	R				R							0	1	2	0
<i>Pa</i> オオササエビモ							RR												0	0	0	1
<i>Cb</i> シャジクモ							R											C	0	1	1	0
Number of species	4	4	5	2	4	2	8	5	2	1	4	4	2	2	2	3	3	5				
Growth limit depth (m)	5.5	6.0	4.0	5.5	4.0	3.5	2.5	3.0	4.5	2.0	3.5	5.0	5.0	6.5	3.5	3.0	3.5	7.5				

それぞれ4.0mと5.1mであり、St. 18で1.0m以上深い値を示した。前述のように、精進湖の分布下限水深は半数以上の定点で5m未満であり、St. 3では4.0mであったがSt. 18では7.5mと3m以上深かった。精進湖では湖底に堆積している浮泥が多い場所と少ない場所が見られ、St.18では急深で湖底の傾斜が大きいところが多いため浮泥の堆積が少なく、底泥の巻き上がりも少ない。さらに、ゆらぎが多く見られることから湧水量も多いと考えられ、それらの影響により透明度が高かったと推察された。このような場所では水中光量が高くなることから、深くまで沈水植物・車軸藻類が生育できると考えられる。芹澤ら(2017)による精進湖におけるフジマリモの生育水深と、本研究における沈水植物・車軸藻類の分布範囲を比較すると、フジマリモが最も繁茂する水深帯や分布限界水深は多くの定点で沈水植物・車軸藻類の分布範囲よりも深い。フジマリモは沈水植物や車軸藻類と競合関係にあるが、フジマリモの方が低光量でも生存できる特性を持っていると言えよう。

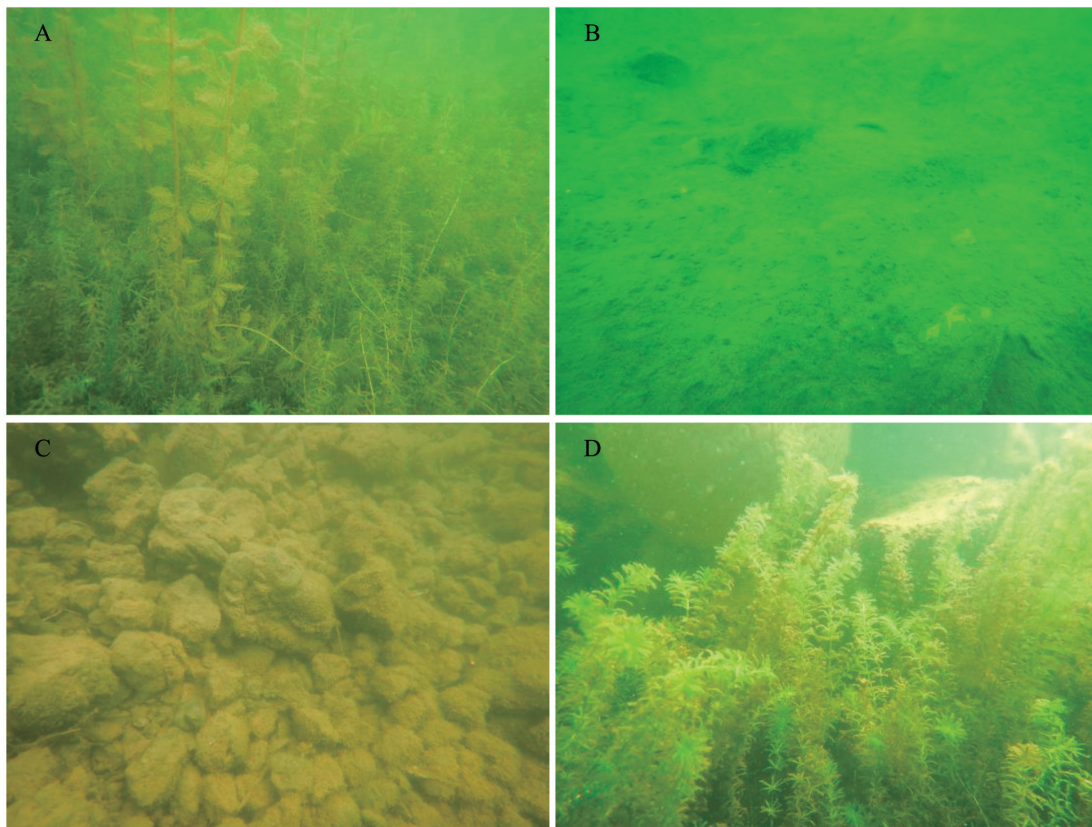


Fig. 3. Photographs showing study sites. A, St. 3 (1.5m depth); B, St.4 (6m depth); C, St.11 (1m depth); D, St. 18 (2m depth).

Table 3. Vertical CR evaluation of submerged macrophytes and charalean algae at St. 18. See the explanation of Table 1.

	<i>Hv</i>	<i>Plf</i>	<i>En</i>	<i>Pm</i>	<i>Cb</i>
0					
0.5					
1.0	CC	C	C	C	
1.5	CC	CC	R	R	
2.0	CC	C			
2.5	CC	C			
3.0	CC	C	R		
3.5	CC	CC	C		C
4.0	CC	C	C		C
4.5	C	C	C		C
5.0	C	R	R		R
5.5	C	R	R		R
6.0	R		R		R
6.5	R	RR			
7.0	R	RR			
7.5	RR				
8.0					

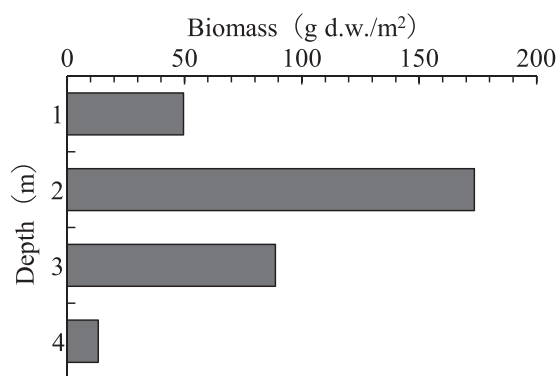


Fig. 4. Vertical biomass of submerged macrophytes and charalean algae at St. 3.

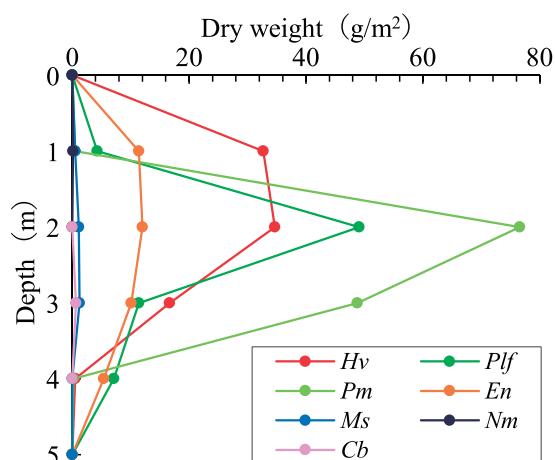


Fig. 5. Vertical dry weight of each species for submerged macrophytes and charalean algae at St. 3. See the explanation of Table 1.

St. 18における確認種毎の水深別のCR値をTable 3に示す。確認種の分布下限水深はクロモが最大の7.5m, 次いでフジエビモが7.0m, コカナダモとシャジクモが6.0mであり, センニンモが最小の1.5mであった。また, 各種の分布中心と考えられる水深帯 (CCまたはC評価が集まる水深帯) はクロモが1.0~4.0m, フジエビモが1.5~3.5m, コカナダモとシャジクモが3.5~4.5m, センニンモが1.0mであった。延原ら (1971) の1969-70年の調査ではクロモの分布下限水深は4mであり, 存在量の極大値は水深2mおよび4mに認められ, 同様にセンニンモの分布下限水深と極大値は1mであったことが示されている。本調査結果と比較すると生育量の多い水深には大きな違いはないものの, 本研究では分布下限水深が最大で3m以上深いことが明らかとなった。精進湖における透明度は1974年から2013年までの40年間で約1.5m程度上昇していることから (中村ら 2016), 水中光量が増加したことにより, 分布下限水深も深くなった可能性がある。

St. 3における水深別の現存量をFig. 4に, 種毎の重量をFig. 5に示す。現存量 (乾重/m²) は水深2mで最大の173.44gであり, 次いで3mで88.79g, 1mで49.51g, 4mで13.23gであり, 水深5m以深では沈水植物および車軸藻類の生育は認められなかった。水生植物の現存量は水中光量が大い浅部ほど大きくなることが予想されるが, 精進湖ではトリゲモを除き, 全ての種で1mより深部で重量が最大となっていた。浅部では水位変動や風波等により環境が不安定になりやすいことから, 環境がより安定した水深で現存量が最大となる種が多いと考えられ, 琵琶湖や山中湖でも同様の傾向が報告されている (浜端 1991, 今本ら 1998, 芹澤ら 2014)。

現存量調査における各種の分布水深はクロモ, フジエビモ, センニンモ, コカナダモは水深1~4m, ホザキノフサモは水深1~3m, トリゲモは水深1mのみ, シャジクモは水深3mのみであった (Fig. 5)。また, 各種の水深別の重量 (乾重/m²) はクロモが0.49 (4m) ~34.67 (2m) g, フジエビモが4.31 (1m) ~49.08 (2m) g, センニンモが0.21 (4m) ~76.59 (2m) g, コカナダモが5.39

(4m) ~12.00 (2m) g, ホザキノフサモが0.53 (1m) ~ 1.24 (3m) g, トリゲモが0.11 (1m) g, シャジクモが0.64 (3m) gであった。各水深帯で重量(乾重/m²)が最大であった種は水深1mではクロモで32.67 g, 2mと3mではセンニンモで76.59 gと48.75 g, 4mではフジエビモで7.13 gであり, 水深により最大の重量を示した種は異なっていた。分布水深が1~4mであった4種の重量はいずれも水深2mで最大だったが, 極小となった水深はクロモ, センニンモ, コカナダモで4m, フジエビモで1mと異なっていた。これら4種のうち, トチカガミ科のクロモとコカナダモの水深1mの重量は2mに次いで大きく, ヒルムシロ科のフジエビモとセンニンモの水深1mの重量は2mの重量の1/10以下と急激に減少していたことから, 光合成光特性だけでなく根茎などの体構造も生育水深と現存量に関係しているのかも知れない。

琵琶湖における様々な水深の52地点での複数年にわたる潜水調査により明らかにされた沈水植物の現存量の平均値は54~352 g d.w./m²であり, その内訳である各種の重量は精進湖に生育している種のみを抽出すると, センニンモが11~57 g d.w./m², クロモが8~57 g d.w./m², コカナダモが1~96 g d.w./m², ホザキノフサモが1~16 g d.w./m²であると報告されている(芳賀ら 2006b, 2019, 芳賀・石川 2011, 2015)。本研究のSt. 3における現存量について水深を無視して平均値を計算すると81.2 g d.w./m²となり, 各種の重量の水深を無視した平均値はセンニンモが31.5g d.w./m²と最大で, 次いでクロモが21.1 g d.w./m², フジエビモが18 g d.w./m², コカナダモが9.7 g d.w./m², ホザキノフサモが0.7 g d.w./m², シャジクモが0.2 g d.w./m², トリゲモが0.03 g d.w./m²であった。ホザキノフサモ, シャジクモ, トリゲモは1 g d.w./m²未満と少なかったが, その他の種は琵琶湖における沈水植物の重量の変動の範囲内にあることがわかった。精進湖と琵琶湖の湖沼型はかつて富栄養湖と中栄養湖と分類されていたが(環境庁自然保護局 1993), 2000年以降の栄養塩類の濃度は精進湖ではTPが0.012~0.022 mg/l, TNが0.20~0.42 mg/l(中村ら 2016), 琵琶湖ではTPが0.015~0.020 mg/l, TNが0.25~0.35 mg/l(大久保・東 2016)とほぼ同レベルである。しかしながら, 透明度は精進湖では2.7~3.6m(中村ら 2016), 琵琶湖では2~2.8m(北川ら 2013)であり, 精進湖で若干水中光量が大いことが示唆される。したがって, 冬季に結氷する山岳湖沼である精進湖では, 栄養塩類や光量以外の要因, 例えば温度や日照時間など他の要因が沈水植物の現存量を制限しているのかもしれない。

本研究において沈水植物と車軸藻類が最も繁茂していたSt. 3と分布下限水深が最も深かったSt. 18における垂直分布を比較すると, 前述のようにSt. 18ではSt. 3より深い水深まで沈水植物の分布が確認されているが, ホザキノフサモとトリゲモが確認されておらず, 確認された種数はSt. 3より少なかった。St. 18の透明度はSt. 3より大きく, 湖底に届く光量はSt. 18の方が多いたことが推察されることから, 両定点の沈水植物と車軸藻類の多様性の違いも光量以外の環境要因が大きく影響していると考えられる。

山梨県中部に位置する千代田湖では2014年には確認されなかったトリゲモが2017年に一部で確認されるようになり, 2019年には湖内全域で確認されたことが報告されており(芹澤ら 2020), 山中湖でも浮泥の溜まった平野ワンドでホザキノフサモが大繁茂している(芹澤ら 2014)。精進湖ではトリゲモが初めて確認されたのは2014-2015年, ホザキノフサモは本研究以降であり, 両種が精進湖に侵入してからの期間はまだ短い, 引き続き, 湖内での分布の広がりを見守る必要がある。また, 本研究では確認されなかった種が新たに移入して定着する可能性も考えられ, 本研究で確認された種が今後, 外来種などの侵入により駆逐されず, 現在の多様性が維持されることを期待したい。

IV 謝辞

本研究は山梨大学大学院教育学研究科の2016年度生の修士研究の一部をまとめたものである。また, 本研究の一部はJSPS科研費JP16K00633及び山梨大学教育学部戦略プロジェクトの助成を受けて

遂行した。

V 引用文献

- 文化庁 (2020) 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 (2020年8月25日閲覧)
- Capers R S (2000) A comparison of two sampling techniques in the study of submersed macrophyte richness and abundance. *Aquatic Botany* 68:87-92
- Engelhardt K A M & Ritchie M E (2001) Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. *Nature* 411:687-689
- 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, pp.157-177
- 藤井清文, 税所俊郎 (1973) 鹿児島湾における動物性プランクトンとくに枝角類および橈脚類について. 鹿児島大学水産学部紀要 22:113-126
- 芳賀裕樹, 石川可奈子 (2011) 2007年夏の琵琶湖南湖における沈水植物の現存量分布および2002年との比較. *陸水学雑誌* 72:81-88
- 芳賀裕樹, 石川可奈子 (2015) 琵琶湖南湖における2014年夏の沈水植物の現存量分布ならびに2002, 2007, 2012年との比較. *陸水学雑誌* 77:55-64
- 芳賀裕樹, 芦谷美奈子, 大塚泰介, 松田征也, 辻彰洋, 馬場浩一, 沼畑里美, 山根猛 (2006a) 琵琶湖南湖における湖底直上の溶存酸素濃度と沈水植物群落現存量の関係について. *陸水学雑誌* 67:23-27.
- 芳賀裕樹, 大塚泰介, 松田征也, 芦谷美奈子 (2006b) 2002年夏の琵琶湖南湖における沈水植物の現存量と種組成の場所による違い. *陸水学雑誌* 67:69-79
- 芳賀裕樹, 酒井陽一郎, 石川可奈子 (2019) 琵琶湖南湖における2017年9月の沈水植物の現存量の平面分布. *陸水学雑誌* 80:13-21
- 浜端悦治 (1991) 琵琶湖の沈水植物群落に関する研究: (1) 潜水調査による種組成と分布. *日本生態学会誌* 41:125-139
- Hargeby A, Andersson G, Blindow I & Johansson S (1994) Trophic web structure in a shallow eutrophic lake during a dominance shift from phytoplankton to submerged macrophytes. *Hydrobiologia* 279: 83-90.
- ひょうご環境創造協会 (2010) 平成22年度 大阪湾広域廃棄物処理場整備事業 海生生物育成調査報告書
- 今本博臣, 加藤正典, 堀家健司, 原稔明 (1998) 琵琶湖の湖岸環境に関する研究I. 沈水植物の種組成と分布. *応用生態工学* 1:7-20.
- 今本博臣, 及川拓治, 大村朋広, 尾田昌紀, 鷺谷いづみ (2006) 琵琶湖に生育する沈水植物の1997年から2003年まで6年間の変化. *応用生態工学* 8:121-132
- 角野康郎 (2014) 日本の水草. 文一総合出版, 東京
- 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
- 片山幸恵, 江崎恭志, 長本篤 (2002) 豊前海における水質とプランクトン相の変化. *福岡水技セ研報* 12:67-72
- Kato S, Kawai H, Takimoto M, Suga H, Yohda K, Horiya K & Sakayama H (2014) Occurrence of the endangered species *Nitellopsis obtusa* (Charales, Charophyceae) in western Japan and the genetic differences within and among Japanese populations. *Phycological research* 62:222-227

- 北川典孝, 奥村陽子, 岡本高弘, 坪田てるみ, 大野達雄, ほか10名 (2013) 琵琶湖等湖沼環境のモニタリング -2010～2011年度琵琶湖水質環境基準点調査-. 琵琶湖環境科学研究センター研究報告書8:33-43
- 国土地理院 (2020) 日本全国の湿地面積変化の調査結果. 湖沼調査, 主題図(地理調査), 地図・空中写真・地理調査 <https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/shicchimenseki2.html> (2020年8月25日閲覧)
- Mitsch W J, Cronk J K, Wu X, Nairn R W & Hey D L (1995) Phosphorus retention in constructed freshwater riparian marshes. *Ecological Applications*, 5:830-845
- 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, 佐野英樹, 田口由美, 渡邊広樹, 芹澤(松山)和世, 芹澤如比古 (2017) 富士北麓, 本栖湖の水草・大型藻類と光環境. 富士山研究 11:11-22.
- 中村誠司, 上嶋崇嗣, 渡邊広樹, 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 29:157-164
- 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
- 大久保卓也, 東善広 (2016) 過去35年間の琵琶湖の水質変化と流域環境の変化. 海洋化学研究 29:2-16
- 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. 陸水学雑誌 65:13-20
- 澤田威 (2000) 駿河湾西岸の海藻. 自費出版, 静岡
- 芹澤(松山)和世, 吉澤一家, 高橋一孝, 中野隆志, 安田泰輔, 芹澤如比古 (2009) 山中湖における水草・大型藻類-2007年-. 水草研究会誌 92:1-9
- 芹澤如比古, 吉澤一家, 高橋一孝, 加藤将, 野崎久義, 芹澤(松山)和世 (2014) 富士北麓, 山中湖に生育する水生植物の水平・垂直分布—2008年—. 富士山研究 8:7-14
- 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
- 芹澤如比古, 金原昂平, 芹澤(松山)和世 (2017) 富士北麓, 精進湖に生育するフジマリモの分布状況. 山梨大教育人間学部紀要 25:193-199
- 芹澤如比古, 渡邊亮, 中村誠司, 原野晃一, 芹澤(松山)和世 (2019) 水草研究会第39回全国集会のフィールドワークで精進湖, 本栖湖, 河口湖から確認された水生植物. 水草研究会誌 108:13-25
- 芹澤如比古, 原野晃一, 東祐之介, 近山卓也, 松井悠一郎, 芹澤(松山)和世 (2020) 甲府市千代田湖(丸山貯水池)の水生植物とその生育環境. 山梨大学教育学部紀要 30:121-134
- 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・車軸藻類と光環境. 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
- Wade P M & Bowles F (1981) A comparison of the efficiency of freshwater macrophyte surveys carried out from underwater with those from the shore or a boat. *Progress in Underwater Science* 6:7-11
- 渡邊亮, 中村誠司, 芹澤(松山)和世, 芹澤如比古 (2019) 山梨県の水田域に生育する水草・大型藻類の優占度の評価. 富士山研究 13:43-59
- 山梨県 (2020a) 山梨県観光入込客統計調査59報告書. 山梨県観光入込客統計調査結果, 観光情報, 観光・魅力 <http://www.pref.yamanashi.jp/kankou-k/17390378357.html> (2020年8月25日閲覧)

山梨県 (2020b) 富士五湖の過去の水位 河川管理 河川 河川・砂防・治山 まちづくり・環境
https://www.pref.yamanashi.jp/chisui/113_006.html (2020年8月25日閲覧)

Abstract: The vegetation of submerged macrophytes and charalean algae were investigated by scuba diving at 18 survey stations in Lake Shoji, Yamanashi prefecture in September and October 2016. At each station, the growth limit depth was confirmed and the abundance (rough frequency \approx rough number of plants) of each species was evaluated by Common-Rare method in four levels. Vertical distribution was surveyed by Common-Rare (CR) method in each 0.5 m depth at one station of the eastern bank where submerged macrophytes grew deepest. In addition, biomass was investigated by 50 x 50 cm quadrates haphazardly placed in each 1m depth at one station of the west bank where submerged macrophytes luxuriate. As a result, 8 species (7 submerged macrophytes and 1 charalean algae) were confirmed in Lake Shoji. *Hydrilla verticillate* and *Potamogeton* \times *leptocephalus* var. *fujiensis* were confirmed at many stations and their CR values were high. The growth limit depth was 2.0 to 7.5 m, with an average of 4.3 m. At one station of the west bank, the growing depth and luxuriating depth were various in each species. In addition, at one station of the east bank, biomass was largest at 2 m depth (173.44 g d.w./m²), followed by 3 m (88.79 g d.w./m²), 1 m (49.51 g d.w./m²), and 4 m (13.23 g d.w./m²). The largest biomass appeared at 2 m depth in 4 species, but did not appear at 2 m in other 3 species. It was considered that the difference in the luxuriant condition and the growth limit depth among stations was due to the local difference in environmental factors such as bottom sediment and light intensity.