

底泥無機態リン源の違いがコカナダモの成長に及ぼす影響

Effects of different forms of inorganic phosphorus
on the growth of *Eloдея nuttallii*

永坂正夫
Masao Nagasaka

〈要旨〉

コカナダモ(*Eloдея nuttallii* (Planch.) St. John)がどのような形態の底泥無機態リンを利用して生育しているかを確認するため、湖沼底泥にリン酸アルミニウム、リン酸鉄を添加し、それぞれにおける成長量を比較する室内培養実験をおこなった。その結果、コカナダモはリン酸鉄を添加した場合に有意な成長量の増大が生じることが明らかとなった。この結果は、1990年代末から2000年代初頭において長野県の木崎湖で生じたコカナダモ個体群の急速な衰退に、底泥中の無機態リンのうちFe型リンの減少が関与していたことを示唆するものと考えられた。

〈キーワード〉

コカナダモ、無機態リン、種間競争、栄養塩吸収

1 はじめに

1990年代末から2000年代初頭にかけて、一旦は大発生した北米原産の沈水植物であるコカナダモ(*Eloдея nuttallii* (Planch.) St. John)個体群がその後の数年で急速に減少するという、著しい個体群衰退が長野県の木崎湖において生じた(Nagasaka 2004)。こうしたコカナダモ個体群の増大とそれに続く急速な衰退は、日本各地の水域でしばしば報告されてきた(谷水と三浦 1976; 船越 1989; Hamabata 1997; 野原 1998; Nagasaka *et al.* 2001)。

各地の個体群衰退の原因としては水質汚濁との関連や(生嶋 1980)、気候の年次変動との関連(Hamabata 1997)などが指摘されてきた。しかし木崎湖における2000年代初頭のコカナダモ個体群の衰退に関しては、従来の指摘とは異なり、衰退に先立つ大発生自体が群落底泥中の可給態リン量を枯渇させたことが原因となっていたことが明らかにされた(Nagasaka 2004)。すなわち、貧栄養土壌の陸上草原における草本種の競争結果が競争種自身の窒素吸収によって定まることを示した、Tilman and Wedin (1991a, b)らの実験に良く似た機構により、木崎湖のコカナダモ個体群の衰退は生じていたといえる。

沈水植物の場合、いずれの種も植物体が吸収するリンのほぼ全量が根により底泥から吸収されることが明らかにされている(Carignan and Kalff 1980)。底泥の可給態リン欠乏を原因としてコカナダモ個体群の衰退が生じているな

らば、コカナダモは在来種のクロモ(*Hydrilla verticillata* (L. fil.) Royle) やセキシウモ(*Vallisneria asiatica* Miki)などの在来種よりも低リン耐性が低いことが予測される。低リン耐性の高い植物のいくつかは、低リン耐性を持たない植物が利用できないA1型リンを利用することが可能である(田中ら 2001)。沈水植物間の低リン耐性の違いとして、ここでは根自体の吸収能の差異に着目し、底泥リンの吸収能力の差が大きいと思われるコカナダモとセキシウモにおいて、利用する無機態リン形態が異なるのではないかという仮説のもと、木崎湖底泥を用いた室内実験からその検証を試みた。

2 方法

2-1 野外分布調査

2005年現在の木崎湖におけるコカナダモ及び在来種の生育状況を確認するため、8月29日と30日の両日、木崎湖沿岸帯全域の沈水植物の分布調査をおこなった。調査は湖岸34ヶ所に設けたトランセクトラインに沿って船で移動しながら、およそ水深1mごとに湖底に生育する沈水植物の草丈と被度の計測をおこなうことで実施した。

2-2 栄養塩添加実験

湖沼底泥の無機態リンは、主にFe型リンとA1型リンおよびCa型リンで構成されているが、木崎湖底泥の無機態リンはそのほとんどがFe型リンとA1型リンであり、Ca型リンはわずかにしか存在しない(山本ほか 1991)。8月の野

外分布調査でコカナダモの成長量が低く、在来種のクロモやセキショウモへの回復が見られる南岸の水深1.5mの湖底底泥を採取し、主要無機態リンである Fe 型リン, Al 型リンを添加することで、コカナダモ及びセキショウモが主に利用しうる可給態リンを特定する栄養塩添加実験を行った。

南岸から採取した底泥は、全量を攪拌した上で取り分け、それぞれ難溶性の Al 型リンとしてリン酸アルミニウム ($AlPO_4$)、難溶性の Fe 型リンとしてリン酸鉄 ($FePO_4$) を 0.34 P g l^{-1} の濃度で添加し培養底泥を作成した。この培養底泥を 11 つつポットに入れ、コカナダモの芽先、あるいはセキショウモのランナーを各 3 本植え込んだ。

植物体を植え込んだポットは、Smart and Barko (1985) の水生植物栽培用培養液の組成と濃度を一部改変した培養液を満たした水槽 (容量 160l) に設置した (Fig. 1)。なお、この培養液は藻類の繁殖を抑えるために窒素やリンを含んでいないことから、 $1 \text{ NH}_4\text{-N mg l}^{-1}$ の濃度となるよう硫酸アンモニウムを窒素源として培養液に添加した。水槽は室温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に設定された恒温室に設置し、培養期間中は培養液の循環を継続し、一週間ごとに培養液全量の約 1/3 (50l) づつを交換した。光条件は 12 時間ごとの明暗周期とし、光源には蛍光灯を用いて水中での光量が $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ となるよう十分な光量を与えた。

コカナダモに関してはそれぞれ 3 ポットの反復を添加条件ごとに用意した。セキショウモに関しては反復を用意することができず、それぞれ 1 ポットのみを用意する予備的な実験となった。実験は 2006 年 2 月 20 日から 3 月 28 日の 36 日間継続し、結果は期間中の植物体成長量 (終了時の植物体乾燥重-開始時の植物体推定乾燥重) でもって評価することとした。

3 結果

3-1 野外分布調査

2005 年現在、コカナダモ個体群が減少した水深 2m 以浅の湖底においては、明らかにコカナダモより草丈の高い状

態でセキショウモが生育していた (Fig. 2)。クロモの草丈はコカナダモと比べて顕著な差は認められなかったが、セキショウモよりも被度の高い群落を形成していた。特に東岸側の四ヶ所の湖底では純群落に近い植生を形成しており (Fig. 3), コカナダモ侵入以前にあったとされるクロモを優占種とする植生が回復しつつあることが確認された。

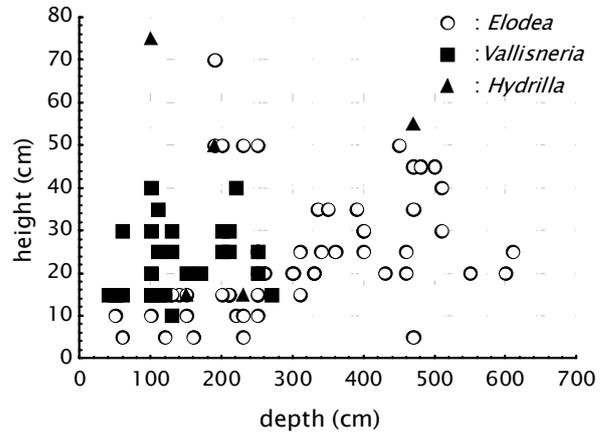


Fig.2 Summer height of submerged plants in Lake Kizaki.

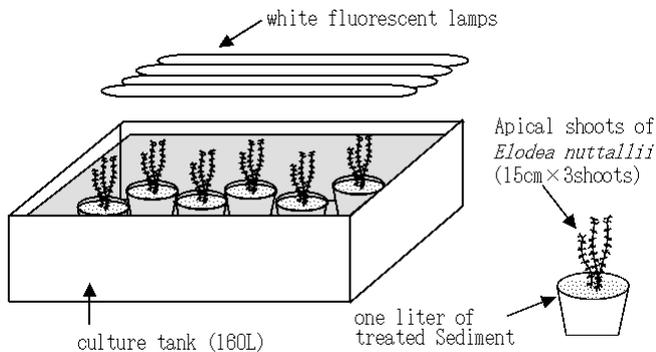


Fig.1 Incubation apparatus used in the fertilization experiment.

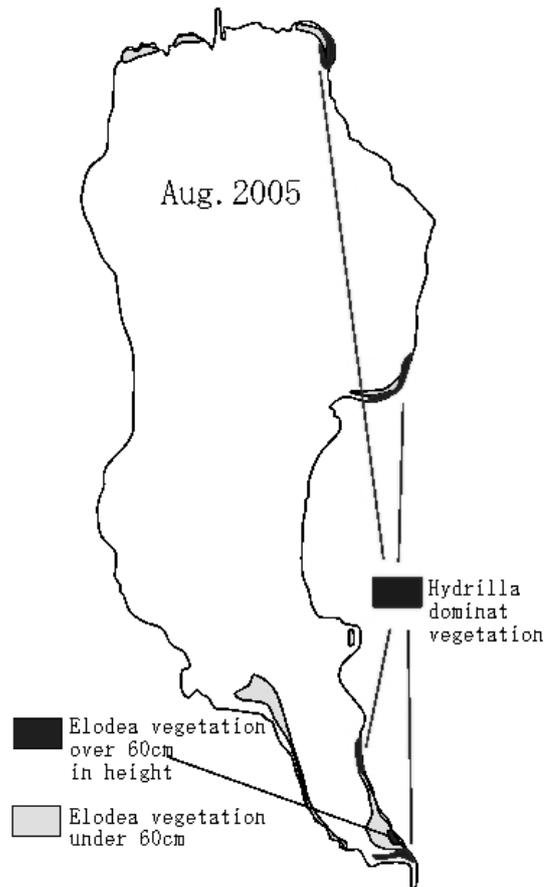


Fig.3 Summer distribution of submerged plants in Lake Kizaki.

3-2 栄養塩添加実験

コカナダモは無機態リンの Fe 型リンが豊富に存在する状態で有意に成長量が大きくなるが、低リン耐性の高い植物では利用可能とされる Al 型リンを添加しても成長量は増大しないことが確認された (Fig. 4)。貧栄養の状態で生育させた場合、一般に植物体に占める根の割合が増大することが知られている。しかし実験では添加したリン源によってそうした違いは確認できなかった (Table 1)。

セキシヨウモの実験は、すべての条件において成長量が小さく、実験の評価にはやや不適切な結果となった (Table 1)。しかしコカナダモと同様、Fe 型リンが添加された状態で成長量が増大し、Al 型リンの添加では増大しないとみなしうる結果を得た (Fig. 5)。

Table 1 Effects of inorganic phosphorus additions.

		Growth (g)	RGR ^a (day ⁻¹)	R/S ratio ^b
<i>Eloдея</i>	Control	0.751 ±0.096	0.040 ±0.003	0.19 ±0.01
	Al-P	0.828 ±0.084	0.041 ±0.001	0.21 ±0.02
	Fe-P	1.046 ±0.066	0.045 ±0.002	0.20 ±0.01
<i>Vallisneria</i>	Control	0.0239	0.009	0.15
	Al-P	0.0296	0.012	0.18
	Fe-P	0.1373	0.016	0.13

Values are means ±SD. ^arelative growth rate (RGR), ^broot to shoot ratio (R/S ratio).

4 考察

木崎湖のコカナダモ個体群の急速な衰退には底泥可給態リン欠乏が関与していたことが明らかになっている (Nagasaka

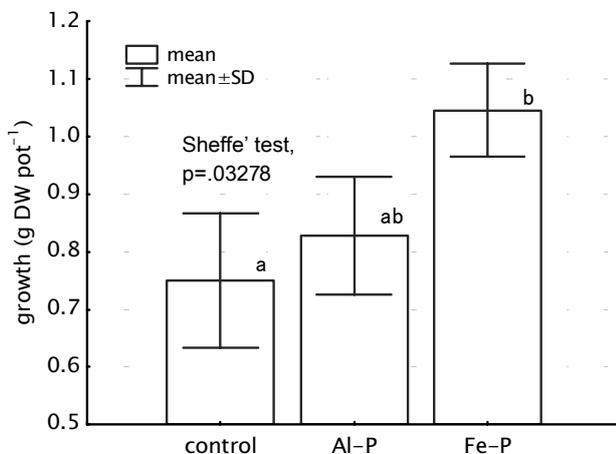


Fig.4 Effects of inorganic phosphorus additions on the growth of *Elodea shoot* (mean ± SD, n = 3). The same alphabet did not show significant difference (Scheffe's test, p < 0.05).

2004)。しかしその底泥可給態リン量の指標として、無機態リンの Ca 型, Fe 型, Al 型のいずれをも抽出する Bray No. 2 抽出リン量 (Bray and Kurtz 1945) を用いたため、コカナダモの成長量低下に直接影響を及ぼしていた無機態リンの特定をおこなうことができなかった。

圃場などの土壌中の無機態リンは、リン酸吸収係数として知られている土壌中の活性 Al 量, Fe 量によってその分配状態が決まる (南條ほか 1995, 1998)。湖沼底泥中の無機態リンの分配も基本的には同様であるが、湖沼底泥中の無機態リン量は特に Fe 量と高い相関を持つことなどが明らかにされている (Jensen *et al.* 1992; Søndergaard *et al.* 1996)。木崎湖の場合も外部負荷として流入したリンはこの Fe 型リンとして湖岸底泥中に保持されていたものと考えられる。本実験結果は、2000 年代初頭のコカナダモ個体群の衰退が Al 型リンの欠乏ではなく、この Fe 型リン量の減少に起因していたことを示唆するものである。

水田土壌や湖沼底泥など還元状態の発達する環境下においては、Fe³⁺から Fe²⁺への還元に伴って Fe 型リンは PO₄-P として可溶化する (古川 1984; Wetzel 2001)。本添加実験の結果は、実験期間中にポット底泥に添加された難溶性の Fe 型 P が還元によって可溶化し、これを両植物根が吸収した結果である。コカナダモと在来種であるクロモ、セキシヨウモには底泥リン吸収能力に生理的な差があると仮定して実験を進めたが、コカナダモとセキシヨウモの両植物とも難溶性の Al 型 P を可溶化することはできず、低リン耐性を示す植物のように根からの有機酸を分泌し可溶化する能力などに乏しいことが予測された。

今後の課題として、水耕栽培を用いてより詳細に根の生理的活性の違いを明らかにして行くのみでなく、根への資源投資量の違いとして生じる根量の差異が及ぼす低リン耐性への影響など、リン吸収力の差異に及ぼすより広範な要因について再検討を行う必要があると思われる。

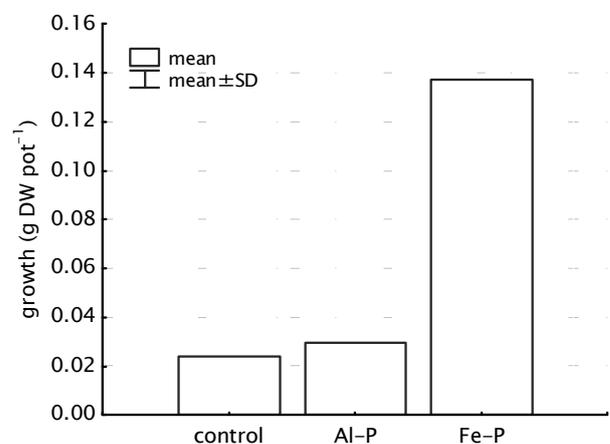


Fig.5 Effects of inorganic phosphorus additions on the growth of *Vallisneria runner*.

引用文献

- Bray RH, Kurtz LT (1945) Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59:39-45.
- Carignan R, Kalff J (1980) Phosphorus sources for aquatic weeds: water or sediments? *Science*, 207:987-989.
- 船越眞樹(1989) 木崎湖におけるコカナダモの衰退. 長野県地域植物研究会誌, 22:11-17.
- 古川秀顕 (1984) 水田土壌におけるリン酸の挙動. 日本土壌肥料学会 (編), 水田土壌とリン酸-供給力と施肥. 博友社, 東京, p5-58.
- Hamabata E (1997) Distribution, stand structure and yearly biomass fluctuation of *Elodea nuttallii*, an alien species in Lake Biwa - Studies of submerged macrophyte communities in Lake Biwa (3). *Jpn. J. limnol.*, 58:173-190
- 生嶋 功 (1980) オオカナダモ・コカナダモ-割り込みと割り込まれ. 河合禎次, 川那部浩哉, 水野信彦 (編), 日本の淡水生物-侵略と攪乱の生態学. 東海大学出版会, 東京, p56-62.
- Jensen HS, Kristensen P, Jeppesen E, Skytthe A (1992) Iron-phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 235:731-743.
- 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.
- Nagasaka M, Funakoshi M, Hayashi H (2001) Macrophytes. In: Saijo Y, Hayashi H (eds) Lake Kizaki. Backhuys Publishers, Linden, p231-241.
- 南條正巳, 小林慶一郎, 庄子貞雄 (1995) 土壌および Al-スメクタイトの交換性 Al とリン酸イオンの反応. *粘土科学*, 35:15-23.
- 南條正巳, 中丸康夫, 伊藤豊彰, 山崎慎一 (1998) リン酸 Ca, Mg 塩の影響を受けない土壌のリン酸保持容量の測定とその活性 Al, Fe の形態, 含量との関係. *日本土壌肥科学雑誌*, 69: 144-149
- 野原精一 (1998) 尾瀬沼に始まったコカナダモの衰退現象について. 福島県尾瀬保護調査会 (編), 尾瀬の保護と復元, No. 23:39-46.
- Smart RM, Barko JW (1985) Laboratory culture of submerged freshwater macrophytes on natural sediment. *Aquatic Botany*, 21:251-263.
- Søndergaard M, Windolf J, Jeppesen E (1996) Phosphorus fractions and profiles in the sediment of shallow Danish lakes as related to phosphorus load, sediment composition and lake chemistry. *Wat. Res.*, 30:992-1002.
- 田中啓文, 磯井俊行, 幡井健太郎 (2001) コムギ幼植物の分泌物による難溶性リン酸塩の溶解. *日本土壌肥科学雑誌*, 72:63-68.
- 谷水久利雄, 三浦泰蔵 (1976) びわ湖における沈水植物群落に関する研究, I. 南湖における侵入種オオカナダモの分布と生産能. *生理生態*, 17:283-290.
- Tilman D, Wedin D (1991a) Plant traits and resource reduction for five grasses growing on a nitrogen gradient. *Ecology*, 72:685-700.
- Tilman D, Wedin D (1991b) Dynamics of nitrogen competition between successional grasses. *Ecology*, 72:1038-1049.
- Wetzel RG (2001) The phosphorus cycle. (In) *Limnology, Lake and River Ecosystems*. Academic press, p239-286.
- 山本鎔子, 佐藤昇良, 林 秀剛 (1991) 湖沼底泥におけるリンおよびリン溶解菌の分布. *陸水学雑誌*, 52:205-213.