植物プランクトンと大形水生植物との拮抗的關係について

(挿図 1—3)

宝月 欣二, 岡西 良治, 菅原 久枝

Studies on the antagonistic relationship between phytoplankton
and rooted aquatic plants

By Kinji HOGETSU, Yoshiharu OKANISHI and Hisae SUGAWARA

植物プランクトンの種内あるいは種間に作用する生長促進あるいは阻害物質が最近注目されるようになり、これによつて種の消長、種間の量的關係が考察されるようになってきた。生活型を異にする水生植物(水草)と植物プランクトンとの間にも拮抗的な量的關係が識られているが、その実態及び機構についてはほとんど明らかにされていない。HASLER 等(1949)は人工池について実験的に水草の植物プランクトン(主として緑藻)の生長に対する阻害作用を認めているが、機構については決定的な結論を得ていない。

この問題は植物相互の關係として興味あるばかりでなく、CLEMENTS の云う *hydrarch succession* における池沼の沼沢化に主要な役割りを行うもので重要である。また水産方面でも重要な意義を持つものと考えられる。我々は数年来この問題に関心を持つてきたが、多少の新知見を得たので、概要を報告する。

1. 湖沼における植物プランクトンと水草との量的關係

富栄養湖である諏訪湖、手賀沼、印旛沼で、大体最大現存量が期待される夏季の植物プランクトンおよび水草の現存量を Fig. 1 に示す。諏訪湖および手賀沼の水草の値は 1947~1951 年および 1943 年に得られた、単位湖面積当りの乾量で示してある(宝月, 1944, 1953 参照)。植物プランクトン量は葉緑素量として測定され、諏訪湖の値は 1950 年 8 月の、表面から 2m 深までの値、すなわち *active* の光合成を行つている層の値である(宝月, 市村, 1954)。手賀沼および印旛沼の値は 1960 年 8 月の表層水のものである。

Fig. 1 に明らかなように、植物プランクトンは水草の多い手賀沼に少なく、水草の少ない諏訪湖に多い。印旛沼の水草の現存量は測定していないが、手賀沼程度と推定され、前の事実と一致する。これらの事実は水草と植物プランクトンの間に拮抗的關係があるとする経験的事実とも、また我国の水草の繁茂状態を異にする湖沼について平均深度と表層水

Fig. 1 Standing crop of rooted aquatic plants and phytoplankton in some eutrophic lakes. The latter is expressed in chlorophyll content of lake water.

の葉緑素量について得られた坂本（未発表）の知見とも完全に一致する。同様な関係は水草の多少と透明度との間にも認められる（宝月，1949，1954 参照）。

2. 容器による培養実験

環境条件の調節が容易であり，自然状態にできるだけ関係ずける目的で，ポットを用いて培養を行つた。ポットは径約 24 cm，深さ 25 cm のものを使用し，水温の変化を小さくするために，直射光をさえぎつて地中に埋めた。容器中には一定量の土あるいは石英砂を入れ（約 4 cm），培養液は DETMER 液を多少改変したものを使用した。雨水の流入はビニール布でふせいだ。

水草としては，クロモ *Hydrilla verticillata* var. *Roxburghii*，セキショ ウモ *Vallisneria spiralis* var. *asiatica*，ガガブタ *Nymphoides indicum* 等をそれぞれ 1 種づつ別の容器に植え，これに培養した *Chlorella* を 1 定量づつ植えた。得られた結果は大体同様であるが，1 例を Fig. 2 に示す。水草を植えた容器では植えてない容器（対照）に比して，用いた水草に関する限り種類に関係なく *Chlorella* の著しい生

Fig. 2 Growth of *Chlorella* in pot culture with or without aquatic plant. Growth rate is given in the increase of cell number per cc. A : control; B : *Hydrilla*; C : *Vallisneria*; D : *Nymphoides*. (25, VIII-10, X, 1959).

長抑制が認められた。

以上の湖沼およびポットによる実験から、植物プランクトンと水草の間に拮抗的な量関係の存在することが明らかにされた。

3. 水草による生長抑制作用

植物プランクトンの生長に対する水草の抑制作用に次のような要因の可能性が一応考えられる。(1) 水草の存在で水の対流、動揺が妨げられ、表層水が高温になること(吉村, 1937)。(2) 水草によつて光が弱められ、植物プランクトンの光合成が低下すること。(3) 水草が栄養塩類を蓄積するために、溶存栄養塩類濃度が低下すること(HASLER, et al. 1949, 中村, 1954)。(4) 植物プランクトンの生長を抑制するある種の物質が水草から出されること。以上について検討した結果は次のようである。

1) 水温 一般に水草の多い湖では夏季に、特に表層で高い水温が見られる。諏訪湖に比して手賀沼でやや高い水温が測定されている(宝月他, 1952, 宝月, 1944 参照)。ごく浅い所をのぞいては水温の著しい差は見られない。その上、水草の多い手賀沼、印旛沼では水温の上昇のまだ著しくない春季にも、すでに植物プランクトンが少ないことが透明度の大きいことから認められる。勿論季節による植物プランクトンの種類組織、さらに最適温度の差異はあるが、水温が前記の拮抗的現象の主要な要因とは考えにくい。また 1959 年 9 月に数回測定したポットでは、植物プランクトンの生長の著しい差にかかわらず、水温には有意な差は認められなかった。このことも前の結論を支持するものである。

2) 水中照度 一般に植物群落では照度は $I = I_0 e^{-KF}$ に従つて低下する(門司及佐伯, 1953)。 I_0 は群落外の照度、 I は群落内の照度、 K は消散係数、 F は葉面積層である。水草群落ではさらに水や seston による光の消散が加わるが、前式に従う照度の低下が起る。このことは当然植物プランクトンの生産を小さくする。

他方、湖沼では水草群落が表層まで占めるのは一般に浅い場合に限られる。手賀沼ではかなりの水面が夏季にも水草ではおおわれることがない、ポット試験では水草による光の低下は下層に限られ、実験開始時の水草の示す被度は 5% 以下にすぎないにもかかわらず、明らかな植物プランクトンの生長の低下がみられる。これらの事実も光条件がこの現象に主要な要因とならないことを示す。

3) 栄養塩類濃度 植物プランクトンも水草も一般湖沼の水よりもはるかに高濃度に栄養塩類を体内に蓄積する。したがつてこれらの植物の生長は、栄養塩類の供給が十分でないときは湖沼の塩類濃度の低下、引いては藻類の生長の低下をまねくはずである。

手賀沼のフサモ、クロモ、セキショウモ、イバラモ、ササバモ等につき測定した Total-N は乾量の 3.2~3.9%, 平均 3.6%, Total-P は 0.11~0.38 mg/g である。したがつて約 320 g/m² の最大現存量 (Fig. 1) では N は約 11.5 g, P は約 83 mg 蓄積されている。平均深度が 1.2 m とすると、前記の蓄積は N で 10 mg/l, P で 0.07 mg/l の減少

Table 1 The amount of dissolved ammonium and phosphorus in some eutrophic lakes during summer season

	NH ₄ -N mg/l	PO ₄ -P mg/l
Tega-numa (31, VIII, '60)	0.080	0.36
Inba-numa (16, VIII, '60)	0.145	0.27
Lake Suwako (VIII, '49)	0.050	0.01

に相当する。

他方、これら諸湖の夏季の塩類濃度は Table 1 に示すようで、表層水は諏訪湖で最も貧栄養的であり、特に PO₄ が不足している。手賀沼及び印旛沼には諏訪湖よりも溶存 NH₄ 及び PO₄ が多いが、それでも後述の培養実験 (Fig. 3) で明らかなように、植物プランクトンの生長には必ずしも十分でない。

培養液を用いたポット実験で、拮抗的現象が明らかに現れた 9, 10 月 (実験開始後 32~60 日) に数回にわたり溶存栄養塩類濃度の測定を行った。1 例を Table 2 に示す。

Table 2 Chlorophyll content and amount of dissolved ammonium and phosphorus in the pots with or without aquatic plant. The measurement was carried out in 3th of October, 1959 (46 days of culture). See Fig. 2.

	Chlorophyll mg/l	NH ₄ -N mg/l	PO ₄ -P mg/l
Control	0.088	2.50	0.27
<i>Hydrilla</i>	0.006	0.40	0.47
<i>Vallisneria</i>	0.005	0.46	0.36
<i>Nymphoides</i>	0.001	0.94	0.47

植物プランクトンの生長は Fig. 2 及び Table 2 の Chlorophyll 量から明らかなように著しい差異が認められるが、溶存栄養塩類、特に NH₄-N は水草のない対称で高い濃度を示す。このことは水草による吸収が大きいことを示す。しかしながら、残存する塩類は NH₄ および PO₄ に関する限り、植物プランクトンの生長に特に制限的に作用するとは考えにくい。

以上の湖沼並びにポット実験の結果に関して重要なことは水草の塩類蓄積によつて植物プランクトンの生長が制限される可能性は十分あること、水草が最大現存量を示すまでの期間に見られる拮抗的現象はこれによつて理解され難いことである。

4) 生長抑制物質 生長抑制物質の有無を確認するために、1960 年 8 月に採水した手賀沼の表層水を沝過し、十分量の栄養塩類を加えたものと加えないものを作り、さらにそ

Fig. 3 Growth of *Chlorella* in the lake water of Teganuma. The growth rate was measured with the increase of optical density in algal suspension ($\log i_0/i$). A: enriched with nutrient salts, heat-treated; B: enriched, non-heat-treated; C: non-enriched, heat-treated; D: non-enriched; non-heat-treated. (3, IX-24, X, 1960).

れぞれについて 120°C に 20 分加熱したものとししないものを作った。これらに 1 定量の *Chlorella* を植え、その生長を $640\text{ m}\mu$ の波長の吸収の強さで測定した (Fig. 3).

1960 年 9 月 2 日採水したものでは栄養塩類を加え、さらに熱処理をしたものにだけ、*Chlorella* の顕著な生長が見られ、他ではほとんど認められない (Fig. 3). 水草の枯れだしている 9 月 27 日に採水したものおよび 12 月に採水したものでは、栄養塩類を加えたものは処理現に関係なく

顕著な *Chlorella* の生長を示した。

これらの事実は夏季の手賀沼の表層水では栄養塩類の不足が植物プランクトンの生長に抑制的に作用するだけでなく、熱に対して不安定と考えられるある種の阻害物質が存在することを示す。さらにこのものは水草の弱まると共になくなるようである。印旛沼についても大体同様であることから、他の湖沼でもこのような物質の存在および作用は恐らくあるものと期待される。

尚、この物質の植物プランクトンの光合成及び呼吸に対する作用に関して多少の知見を得ているが、別報として報告する。

要 約

植物プランクトンと水草の現存量の間に明らかな拮抗的關係のあることが 2~3 の富栄養湖およびポット実験で確かめられた。このような現象の起る原因として種々の要因が検討されたが、水温および光条件の変化は主要なものでないことが結論された。栄養塩類は場合によって植物プランクトンの生長に抑制的に作用するが、水草から出されると思われる熱に比較的不安定なある種物質の作用が重要であることが分つた。この物質は水草が枯れ出すと失われると考えられる。

文 献

HASLER, A. D. and E. JONS: Demonstration of the antagonistic action of large

- aquatic plant on algae and rotifers. Ecol., 30 : 359~364, 1949.
- 宝月欣二：手賀沼湖沼植物の生態学的研究。植物学雑誌, 61 : 715~716, 1947.
- 宝月欣二, 北沢右三, 他：内水面の生産及び物質循環に関する基礎研究 (1)。水産研究会報, 4, 41~127, 1952.
- HOGETSU, K. : Studies on the biological production of Lake Suwa. V. The standing crop of rooted aquatic plants. Misc. Rep. Res. Inst. f. Nat. Res., 30 : 4~9, 1953.
- HOGETSU, K. and S. ICHIMURA : Studies on the biological productin of Lake Suwa. VI. The ecological studies on the production of phytoplankton. Jap. Jour. Bot., 14 : 280~303, 1954.
- MONSI, M. und T. SAEKI : Über den Lichtfaktor in der Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. Jour. Bot., 14 : 22~52, 1953.
- 中村一雄, 島立孫玄他：長野県塩田平の七面の溜池に於ける魚類の生産と水理。淡水区水産研報告, 3 : 1~80, 1953.
- 吉村信吉：湖沼学。1937.

S U M M A R Y

An antagonistic relationship between large rooted aquatic plants and phytoplankton has been long recognized intuitively and empirically according to the facts that even in eutrophic lakes the smaller the amount of rooted aquatic plants is, the larger the amount of phytoplankton or transparency of lake water becomes, and *vice versa*. This relationship must be an important factor in the course of hydrarch succession of lakes. In the present paper, the authors are going to clarify the antagonistic relationship objectively, and then to analyse the relationship experimentally. The main results obtained are as follows.

1. In some eutrophic lakes, the standing crop of rooted aquatic plants and phytoplankton were determined in the summer season when the maximum values were attained. The standing crop of phytoplankton was remarkably larger in Lake Suwako than in Lakes Tega-numa or Inba-numa, while the amount of rooted aquatic plants per unit surface in the former lake was smaller than in the latter lakes. Transparency was smaller in the former lake than in the latter lakes.

2. In a series of pot cultures with or without rooted aquatic plants of several kinds, such as *Hydrilla verticillata* var. *Roxburghii*, *Vallisneria spiralis* and *Nymphaeoides indicum*, the same phenonmena as seen in the lakes were also observed regardless of the difference in species.

3. The concentration of nutrient salts in the water of lakes and pot cultures was lower than that of minimum requirement of phytoplankton for normal growth. The fact that the growth of phytoplankton is inhibited by rooted aquatic plants in the initial stage of culture even under sufficient supply of nutrient salts, indicates that the antagonistic relationship mentioned above is not always resulted by the lowering of the nutrient factor. It was confirmed that the changes in underwater illumination and water temperature by rooted aquatic plants are not the main reason why the antagonistic relationship occurs.

4. A series of culture experiments of *Chlorella* sp. in the water of Lake Tegayama was carried out under the conditions of enriched or non-enriched nutrient salts and with or without heat-treatments at 125°C for 20 minutes. The results indicate that the lake water contains a substance inhibiting the growth of *Chlorella*, and moreover that the inhibition is lost easily by heat-treatment. The concentration of this substance seemed to decrease with the march of season, and no inhibiting effect was observed no longer in early winter.

(著者：宝月欣二，岡西良治，菅原久枝，東京都立大学理学部生物学教室，諏訪市城南小学校，森村学園，Kinji HOGETSU, Yoshiharu OKANISHI and Hisae SUGAWARA : Department of Biology, Fac. of Science, Tokyo Metropolitan University; Jonan Primary School, Suwa City, Nagano Pref.; Morimura-Gakuen, Tokyo.)