HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	酸性化した洞爺湖の植物プランクトン色素量および光合成量
Author(s)	川村, 輝良; 田口, 哲
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 21(3), 201-209
Issue Date	1970-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23428
Type	departmental bulletin paper
File Information	21(3)_P201-209.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

酸性化した洞爺湖の植物プランクトン色素量および光合成量*

川村　輝良** ・ 田口　哲**

Amount of Pigments and Daily Production of Phytoplankton Occurring in Acidified Lake Toya

Teruyoshi KAWAMURA** and Satoru TAGUCHI**

Abstract

Lake Toya (Fig. 1) is a large caldera basin in the southwestern part of Hokkaido. The surface area is 69.6 km² except for three small islands. The average and maximum depths of the basin are 117 m and 180 m respectively. Since 1939, the water of the Nagawa River which contains acid deriving from sulphur mines flows into the lake after generating electric power. In 1968, a decrease in pH value as low as pH 5.1 near the surface was observed (Fig. 2). The number of phytoplankton species was extremely small, 5 species only: *Fragilaria crotonensis*, *Fragilaria* sp., *Synedra pulchella*, *Oedogonium* sp. and *Peridinium* sp. were remaining in 1968 (Kawamura 1969).

This paper deals with an amount of pigments, chlorophyll *a* and pheophytin, and a daily production of phytoplankton occurring in Lake Toya, in which the measurements were carried out concurrent with previous studies (Kawamura 1969).

The amount of chlorophyll *a* and pheophytin in an euphotic zone showed 6.01–10.24 mg Chl.*a*/m² and 3.02–12.76 mg Pheo./m² respectively. The ratio of pheophytin to chlorophyll *a* in the euphotic zone ranged from 0.5 to 1.6 (Table 1). The daily production and the mean of chlorophyll *a* activity of phytoplankton in the euphotic zone measured by *in situ* C^{14} method showed 40–150 mgC/m²/day and 3.8–24.5 mgC/mg Chl. *a*/day respectively (Table 1). Furthermore, the light-photosynthesis curve of phytoplankton sampled from three depths corresponding to 100%, 50% and 1% of incident light intensity was measured in the laboratory. It varied from 7.63 mgC/mg Chl.*a*/hr (0 m, 100% light intensity) to 0.95 mgC/mg Chl.*a*/hr (44 m, 1% light intensity) in the stagnation season. On the other hand, it showed 9.52 mgC/mg Chl.*a*/hr (0 m, 100% light intensity)–5.03 mgC/mg Chl.*a*/hr (22.5 m, 1% light intensity) in the circulation season (Table 2).

In comparison with that of Lake Shikotsu (oligotrophic lake) and Lake Onuma (eutrophic lake), the high ratio of pheophytin to chlorophyll *a* can lead to the conclusion that the phytoplankton occurring in the present lake contains a large amount of useless pigments to primary production. The daily production and

* 国際生物学事業計画，生物群集の生産力，津田松苗班「陸水生物ならびに陸水生物群集の保護の方法に関する研究」昭和41,42,43年度文部省科学研究費特定研究「生物圏の動態」の一部の業績第97号
Contribution from JIBP-PF No. 97
This study was carried out as a part of JIBP Project, the Special Project Research supported by the Japanese Ministry of Education, 'Studies on the Dynamic status of Biosphere'.

** 北海道大学水産学部浮游生物学講座 (*Laboratory of Planktology, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

the chlorophyll *a* activity of phytoplankton in this lake are generally smaller than those of Lake Shikotsu and Lake Onuma. On the other hand, the photosynthetic activity of chlorophyll *a* in this lake is not always low as compared with some oligotrophic lakes of central Japan. In short, it seems that the small amount of chlorophyll *a* of phytoplankton is responsible for the low degree of primary production in Lake Toya.

緒 言

洞爺湖(Fig. 1)は北海道南西部の後志火山地帯に存在する大カルデラ湖で，その面積は 69.6km², 最大深度 180m, 平均深度 117m を有する。

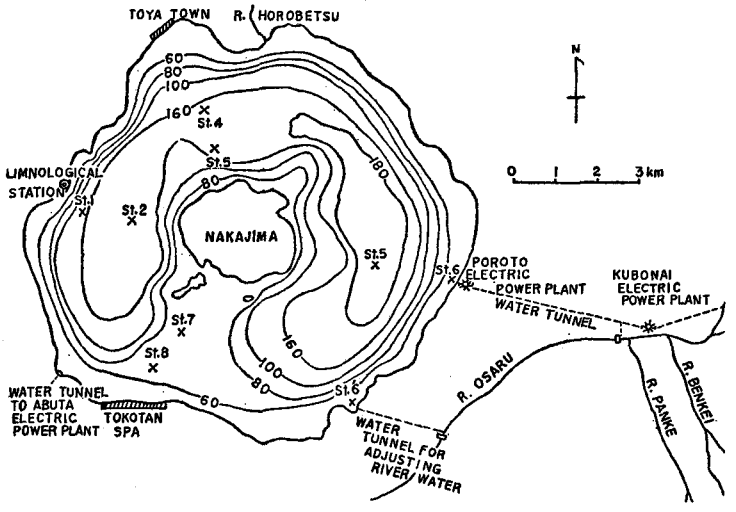

Fig. 1. Map of Lake Toya, showing the location of Sta. 2 in 1967–1968

本湖は元来貧栄養湖であるが，1939年水力発電のため，上流に二硫黄鉱山をもつ長和川（長流川）の水 (pH3.0) を湖の東岸ポロトに導入して以来，湖水の酸化がすすみ，1968 年には表層水で pH5.1 を記録するに至った (Fig. 2)。かゝる湖水の酸性化の経過と，プランクトン生物におよぼした影響，

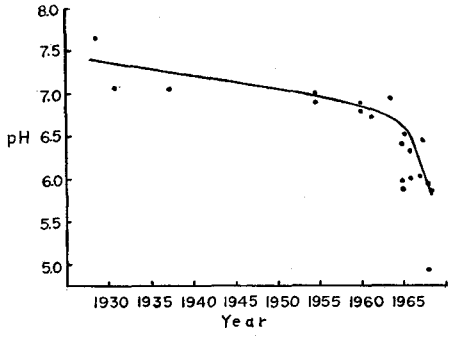

Fig. 2. Drop in pH value of Lake Toya in recent years

すなわち，1968年秋には，わずかに動物プランクトン2種，植物プランクトン5種を産するのみで，かつ，これらの出現量も僅少であることは前報に述べた（元田・他 1967, 1968, 1969; 川村 1969)。

本報告では，上述の研究と並行して行なった酸性湖水中の植物プランクトン色素量と光合成量について述べる。

植物プランクトン色素量

植物プランクトン色素量の測定に供した湖水は，湖の西岸にある北大水産学部洞爺湖臨湖実験所と湖中央の中島を結ぶ線上に設けた定点 Sta. 2 (Fig. 1) で採水したものである。採水地点は水深約 160m のところで，東岸ポロトに流入した鉱毒水 (pH3.0) は北側湖盆を湖水と混合し，稀釈されながら西流し，この地点を通過するから，湖の鉱毒水による汚染を代表する地点である。湖に生息する植物プランクトンについては，すでに報告したように（川村 1969)，*Fragilaria crotonensis*, *Fragilaria* sp., *Synedra pulchella*, *Oedogonium* sp. および *Peridinium* sp. の5種である。

各観測時の植物プランクトンクロロフィル *a* 量，フェオフィチン量および両色素の比を Table 1に示す。有光層内のクロロフィル *a* 量は4回の観測を通じて，6-7 mg Chl. *a*/m² 程度の場合が多く（1967年10月25日，1968年10月21日，11月27日)，もっとも多量のときでも（1967年8月12日) 10 mg Chl. *a*/m² をわずかに越える程度である。他方フェオフィチン量は 3.02 mg Pheo./m² (1968年10月21日)-12.76 mg Pheo./m² (1967年10月25日）にあり，最低の 3.02 mg Pheo./m² を除けば，いづれの場合にも 6.5 mg Pheo./m² を越えている。両色素量の比 (Pheo./Chl. *a*) は 0.5-1.6 を示して，後述の支笏湖，大沼に比較して (Table 1)，概して高い値を示している。換言すれば，本湖には生産に関与しない植物プランクトン色素が相対的に多いことになる。この現象は湖水の酸性化によるものと思われるが，結果を通覧して (Table 1) 湖水の pH 価と両色素量の比との間には必ずしも規則正しい関係が得られていない。これは湖中の植物プランクトンの増殖時期の相違と流入する鉱毒水の量的変動に伴って生じた結果の現象的観察であり，実際には前報（川村 1969）にのべた如く，pH 価の低い湖水ではクロロフィルの活動が減少する事実から湖水の酸性化がクロロフィルを生産に役立たないフェオフィチンに転移させるのであろう。

Fig. 3 は各観測時におけるクロロフィル *a* 量およびフェオフィチン量の垂直分布を示す。両色素量の分布曲線の交叉する深度は湖水が成層している時期(8月-10月)にいづれも有光層の中層以浅の比較的浅いところに存在する。すなわち，1967年8月12日には6mに，同年10月25日には10mに，また1968年10月21日には25mにあり，これらの層の以浅ではクロロフィル *a* がフェオフィチンを量

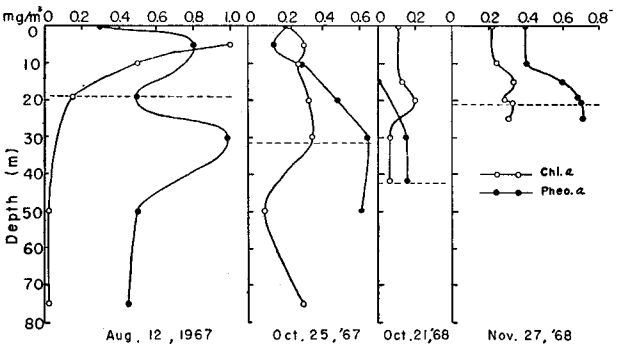

Fig. 3. Vertical distribution of chlorophyll *a* and pheophytin at Sta. 2 in Lake Toya. (....1% light intensity depth)

Table 1. Amount of pigments and daily
lakes, Lake Toya, Lake Shikotsu and Lake

Lake	Date	Depth of sampling (m)	Temp. (°C)	pH value in euphotic zone
Toya	1967			
	Aug. 12	0-70	24.6- 3.9	6.3
	Oct. 25	0-70	13.9- 4.3	6.4
	1968			
	Oct. 21	0-150	13.6- 4.3	5.1-6.4
	Nov. 27	0-100	9.4- 4.2	5.8-7.3
Shikotsu	1967			
	Oct. 13	0-50	14.8- 4.4	7.5-7.7
Onuma	1967			
	Aug. 27	0-10	23.0-16.5	7.3-6.7
	Nov. 2	0-10	10.1- 9.9	7.1-7.0

的に凌駕し，以深では逆にフェオフィチン量がクロロフィル *a* 量を上回っている。11 月は湖水に対流がおこり，上下両層水の混合がさかんになると，有光層においても，その下層と同様フェオフィチンはクロロフィル量をしのいで，表層から多量に分布している。これは停滞期中に深層でフェオフィチンを多量に有していた植物プランクトンが対流により有光層内にはこびこまれて平等に分布したものであろう。成層期における両色素分布曲線の交叉深度の浅い事実は Pheo./Chl. *a* の高値とあいまって，本湖の特異性を示すものと思われる。

植物プランクトン光合成量

現場吊下 C^{14} 法による本湖の植物プランクトン光合成量を Table 1 に示す。日生産量は 40 mg C/m²/day (1967 年 8 月 12 日) -150 mg C/m²/day (1968 年 11 月 27 日) の範囲にあり，その平均は 112 mg C/m²/day である。またこのときの有光層内の単位クロロフィル *a* 量 1 日当りの光合成量は 3.8-24.5 mg C/mg Chl. *a*/day で，平均 16.5 mg C/mg Chl. *a*/day を示している。

Fig. 4 は単位体積 1/2 日当りの光合成量 (mg C/m³/½ day) の垂直分布を示す。光合成量の最大は 1967 年 8 月 12 日 2.2 mg C/m³/½ day, 同年 10 月 25 日 3.2 mg C/m³/½ day, 1968 年 10 月 21 日 4.1 mg C/m³/½ day, 同年 11 月 27 日 6 mg C/m³/½ day を示し，それぞれ 5 m, 10 m, 0 m および 10 m に存在し，1968 年 10 月 21 日の 0 m を除いて，これらの深度はいづれも水中照度約 20% の層にあたる。また，湖水が成層している 1967 年 8 月 12 日および 10 月 25 日には，光合成量最大層は両色素分布曲線の交叉する深度に相当している。しかし，例外もあって，1968 年 10 月 21 日には，水中照度 20 % 層 (25 m) と光合成量最大層 (0 m) とは合致しない。この相違はその日の湖面における太陽照度が他の観測日よりもすくなかったため，表層の植物プランクトンクロロフィルが強光阻害をうけずに活動した結果と思われる。

production of natural phytoplankton in three Onuma, in southwestern district of Hokkaido

Mean amount of pigment in euphotic zone		Ratio of two pigments (Pheo./Chl. *a*)	Daily rate of production (mgC/m²/day)	Mean of chlorophyll activity in euphotic zone (mgC/mgChl.*a*/day)
Chl. *a* (mg/m²)	Pheo. (mg/m²)			
10.24	6.56	0.6	40	3.8
7.80	12.76	1.6	140	17.9
6.01	3.02	0.5	120	20.0
6.14	8.17	1.3	150	24.5
14.39	4.90	0.3	351	24.4
39.48	24.30	0.6	—	—
15.65	8.36	0.5	730	46.4

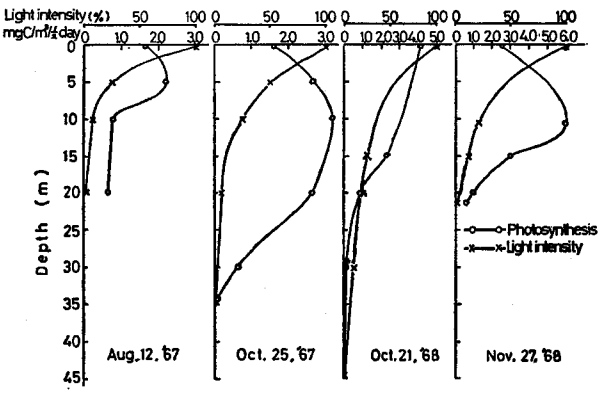

Fig. 4. Vertical distribution of incident light intensity and half day photosynthetic rate at Sta. 2 in Lake Toya

植物プランクトン光合成活性

1968年10月21日および11月27日に水中照度100%，50%および1%の3層からそれぞれ採水した湖水について，人工光下で，クロロフィルの光合成曲線を測定した（Table 2, Fig. 5）。温度躍層が20 m-30 mに存在する10月21日には光合成活性（飽和光合成量）(mg C/mg Chl. *a*/hr) は0 m 7.63 mg C/mg Chl. *a*/hr，温度躍層内の25 m 6.67 mg C/mg Chl. *a*/hr を示して両層に大差なく，Ikもまた0 m 2,500 lux，25 m 2,200 luxで両層は類似している。他方，44 m層水では光合成活性0.95 mg C/mg Chl. *a*/hr およびIk 500 luxを示して，上層の0 mおよび25 m層水に比較していづれも低値である。この層の植物プランクトンは検鏡上0 mおよび25 m層の種類と全く異ならない。上述の如くIk 500 luxは上層のそれに較べて著しく低いから，上層に分布する植物プランクトンと同

Table 2. Chlorophyll *a* activity and Ik of phytoplankton from three depths (100%, 50% and 1% light intensity) at Sta. 2 on October 21 and November 27, 1968, in Lake Toya

Date	Depth (m)	pH value	Chlorophyll *a* activity (mgC/mgChl.*a*/hr)	Ik
Oct. 21	0	5.1	7.63	2500
	25	5.8	6.67	2200
	44	6.4	0.95	500
Nov. 27	0	6.8	9.52	2000
	15	7.3	6.15	2100
	22.5	7.3	5.03	2000

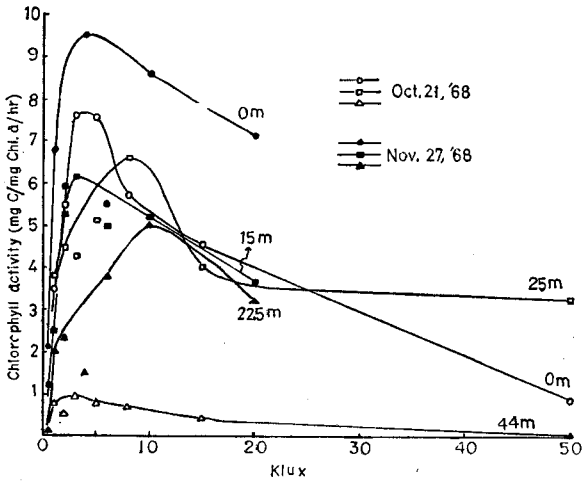

Fig. 5. Chlorophyll activity of lake water from three depths at Sta. 2 on October 21 and November 27, 1968, in Lake Toya

種の弱光適応とも考えられるが，弱光適応にしてはこの層の光合成活性 0.95 mg C/mg Chl. *a*/hr は上層のそれよりも低くすぎる。おそらく 44 m 層の植物プランクトンは上層のものと同種であるが，温度躍層以深（深水層）にあって，生存はしているが，クロロフィル活動に可成り劣えがきている群と推測される。11 月 27 日には 0 m, 15 m, 22.5 m の 3 層のうち，0 m は光合成活性 9.52 mg C/mg Chl. *a*/hr において下層よりもやや高い傾向がみられるが，Ik 2,000 lux は下層の 15 m および 22.5 m のそれとほぼ等しい。この時期には表面から 30 m まで湖水は対流により混合しているが（水温9.4 -9.0°C），極く表層では，ポロトに流入した鉱毒水の影響をうけ，下層よりも低い pH 5.8 を示している。このように表層で下層より湖水の酸性が強いのに光合成活性が下層より高いことが知られる。実験室培養の植物プランクトンでは pH 5.8 以下の湖水にこれを収容した場合，その光合成量は著しく減少することが，明かになっている（川村 1969）。自然の植物プランクトンにおいても，当然培養植物プランクトンの場合と似た影響を受けることはたしかであろうが，酸性湖水中でこれまで生存してきた前歴が，植物プランクトンにある程度の順応性を与えているということを示唆しているのかも

しれない。対流で湖水が混合した11月は湖水が成層していた8月-10月よりも，光合成活性が一般に高い。これはおそらく対流により深層から表層へ回帰してきた燐酸塩態燐の存在に依存したものであろう。実際に 11 月には小量ながら，この栄養塩が増加していた。

他湖との比較

本湖との比較のために観測した支笏湖および大沼では (Fig. 6)，有光層全層にわたって，クロロフィル *a* 量がフエオフィチン量を凌駕し，両色素量の垂直分布曲線の交叉深度がいづれも有光層の下縁以深に存在する。洞爺湖では前述の如く両色素量分布曲線の交叉深度は有光層の中層以浅に存在することが多い。この点で前2湖と相異なる。勿論この関係は植物プランクトン増殖期，盛期，衰退期によって異なるであろうが，同時期の観察で上述の特異性が認められた。

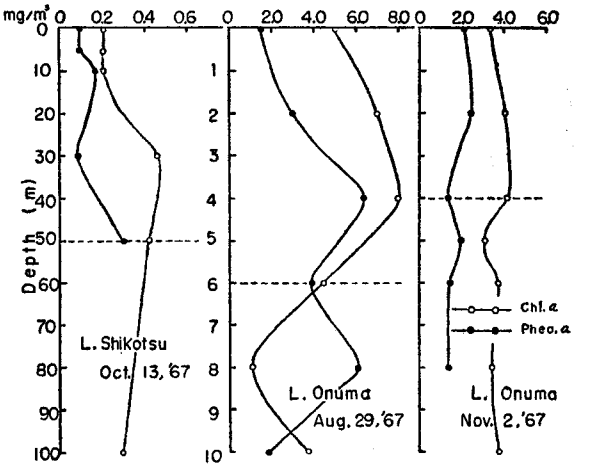

Fig. 6. Vertical distribution of chlorophyll *a* and pheophytin in Lake Shikotsu and Lake Onuma. (....1% light intensity depth)

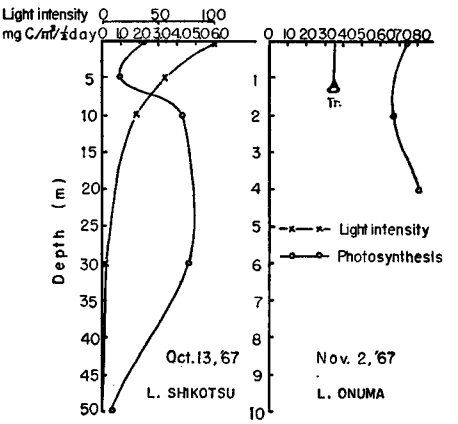

Fig. 7. Vertical distribution of incident light intensity and half day photosynthetic rate in Lake Shikotsu and Lake Onuma

支笏湖および大沼では，一般に有光層内のクロロフィルの絶対量が洞爺湖よりも多い。またクロロフィル *a* 量はフェオフィチン量よりも相対的に多い (Table 1. Figs. 3, 6)。両色素量比をとれば，洞爺湖は 0.5-1.6, 支笏湖は 0.3, 大沼は 0.5-0.6 を示して，洞爺湖に最も大きい。すなわち，洞爺湖には生産にあづからぬ植物プランクトン色素が大きな割合で存在することが特徴である。

洞爺湖の日生産量についてこれを支笏湖および大沼に比較すると，著しい差があり (Table 1, Figs. 4, 7)，貧栄養湖支笏湖の 1/5-1/7，富栄養湖大沼の 1/5-1/18 程度である。またこれを中部日本の貧栄養湖の青木湖，本栖湖等に比べてやはりすくない (Ichimura 1958)。有光層内の単位クロロフィル *a* 量 1 日当り光合成量 (mg C/mg Chl. *a*/day) は観測時を通じて可成りの範囲に変動している (3.6-24.5 mg C/mg Chl. *a*/day)。この値は太陽照度の変化によって決まるが，本湖で最大を示した場合は，支笏湖と同じ程度まであがった。しかし，大沼よりは著しくすくない。洞爺湖の 16.5 mg C/mg Chl. *a*/day (平均値) を中部日本湖沼の有光層内の平均 8 mg C/mg Chl. *a*/day (Sakamoto 1966) に比較すると洞爺湖にむしろ高いが，しかし，中部日本の貧栄養湖 (Sakamoto 1966) よりも本湖は有光層に現存するクロロフィルの絶対量がすくないので，したがって日生産量がすくなくなる。

要　　約

1. 1967 年および 1968 年に酸性化した洞爺湖の植物プランクトン色素量と光合成量を測定した。

2. 有光層における植物プランクトンクロロフィル *a* 量は 6.01-10.24 mg Chl. *a*/m², フェオフィチン量は 3.02-12.76 mg Pheo./m³ を示し，両色素量の比 (Pheo./Chl. *a*) は 0.3-1.6 を示した。両色素量の垂直分布曲線の交叉する深度は有光層の中層以浅に存在した。

3. 有光層内の植物プランクトン光合成量は 40-150 mg C/m²/day，単位クロロフィル *a* 量 1 日当りの光合成量は 3.8-24.5 mg C/mg Chl *a*/day であり，可成りの変動を示した。

4. 人工光下で行った湖水の光合成曲線から求めた光合成活性は 0.95-9.52 mg C/mg Chl. *a*/hr にあり，温度躍層以浅に高く，以深に低く，湖水が対流で混合している時期には上下両層の値がちかづいた。

5. 洞爺湖は植物プランクトンクロロフィル *a* 量および光合成量において比較のために測定した支笏湖および大沼よりも著しくすくない。また本湖のフェオフィチン量/クロロフィル *a* 量は支笏湖および大沼よりも大きいから本湖は生産に役立たない植物プランクトン色素を大きな割合で有する。

本研究は JIBP-PF Project の一部として行なわれたもので，研究分担責任者北海道大学水産学部教授元田茂博士に本稿の発表について御好意と御助言を忝うした。また研究の成果は北海道大学水産学部大友渉助教授，同学部箕田嵩博士の御協力によるところ大である。ここにこれらの方々に対し深甚の謝意を表する。

文　　献

1) Ichimura, S. (1956). On the standing crop and productive structure of phytoplankton community in some lakes of central Japan. *Bot. Mag.* Tokyo. **69** (811), 7–16.

2) 川村輝良 (1969). 最近の洞爺湖の酸性化と生物に対する影響. 陸水雑 **30** (3), 87–97.

3) 元田　茂・大友　渉・川村輝良・箕田　嵩 (1967). 洞爺湖の人為変化の影響と自然保護. 特定研究「陸水生物ならびに陸水生物群集の保護の方法に関する研究」. 昭和41年度報告, 1–2.

4) 元田　茂・川村輝良・大友　渉・箕田　嵩・田中庸央・田口　哲 (1968). 北方貧栄養湖の生物群集の保護の方法 (洞爺湖の人為変化の影響と自然保護) 特定研究「陸水生物ならびに陸水生物群集の保護の方法に関する研究」報告 2 (昭和 42 年度), 1–6.

5) 元田　茂・川村輝良・大友　渉・箕田　嵩・田中庸央・田口・哲　(1969). 北方貧栄養湖の生物群集の保護の方法（洞爺湖の人為変化の影響と自然保護). 特定研究「陸水生物ならびに陸水生物群集の保護の方法に関する研究」報告 3 (昭和 43 年度), 1–5.

6) Sakamoto, M. (1966). The chlorophyll amount in the euphotic zone in some japanese lakes and its significance in the photosynthetic production of phytoplankton community. *Bot. Mag.* Tokyo. **79** (932–933), 77–88.