

佐渡島加茂湖の水質 — 1997~2001 年の水質断面図 —

神蔵勝明¹・新潟県立両津高校理科部・小林巖雄²・立石雅昭²

Water quality of Lake Kamo, Sado Island, northeast Japan, -1997~2001-

Katsuaki Kanzo¹, Niigata Prefectural Ryotsu High School Science Club,
Iwao Kobayashi² and Masaaki Tateishi²

Abstract: We have examined the water quality of the Lake Kamo over a 4-year period from August 1997 to August 2001 at 17 observation sites that were set up at 250-m intervals along a N-S line in the lake. Measurements on water temperature, salinity, density, transparency, dissolved oxygen and pH were made at all the observation sites for every depth interval of 50 cm. Thus the data were obtained from a total of 180 measurement points during the entire study period, except on certain stormy days. The data were analyzed and the results are summarized.

Key words: Kamo Lake, lagoon, monitoring, natural environment, water quality

はじめに

私たちは、1997年8月から2001年8月までの4年間、佐渡島加茂湖の水質を記録してきた。観測点は湖の南北方向に250 m 間隔で設けた17点で、測定した水深間隔は50 cm、測定日の間隔は約1ヶ月と精度の高いものである。毎月の測定結果は、測定項目ごとに加茂湖の南北方向断面図としてまとめた。冬期間の荒天のための観測中止をのぞいて、断面図は全部で180断面に達している。

環境の変化が激しく、生物生産量が大きな湖沼を注意深くモニターし、長期間の記録を残すこと、湖の環境保全と再生の具体的な議論に必要な基礎資料として非常に重要である。

調査は、4~11月を両津高校理科部が中心になり、気象条件の厳しい12~3月を自然環境に関心のある地元の方々に参加していただいて実施し、加茂湖の真の姿が地域の人々に実体験を通して広がるように

努力した。

加茂湖の概要

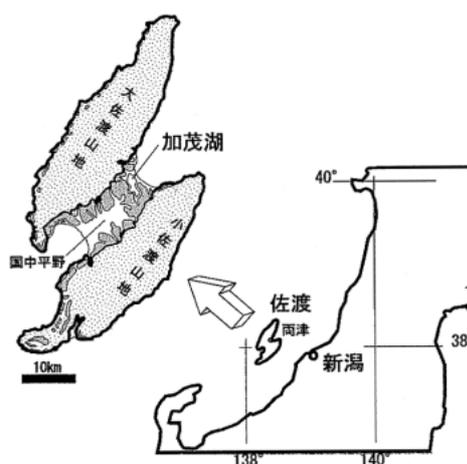


図1. 加茂湖位置図

Fig.1. Map showing the location of the Lake Kamo.

¹ 新潟県立佐渡高等学校 Niigata Prefectural Sado High School

² 新潟大学理学部 Faculty of Science, Niigata University

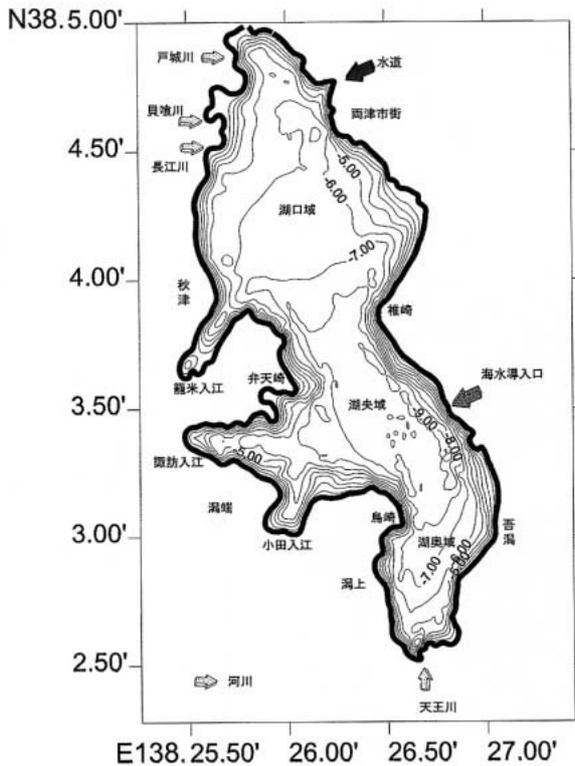


図2. 湖底地形図

Fig. 2. Bathymetry of Lake Kamo.

加茂湖は、新潟県佐渡島の国中平野北東に位置(図1)し、平坦な底をもつ海跡湖である。砂州の一部が明治30年の大水害のち人為的に掘削されて以降、海水が湖に流入している。湖の面積は約5 km²で、新潟県で最大、全国で第46位である。湖は南北方向で10 km、東西方向で最大2 kmをもつ(図2)。最大水深は約9 m、平均水深は約5 mの浅い湖で、湖水量は260万 m³に達する。海水は、深さ4 m、幅30 mの水道を通して、最大で0.9 m/secの速度(夏期)で6時間ごとの流入流出を繰り返している(加茂湖自然環境調査研究グループ, 1997)。この最大速度で6時間に流入する水量は、湖水量の約1/10にあたる。おもな流入河川は、北部の長江川(4.2 km)、外城川(4.2 km)、貝喰川(3.8 km)、南部の天王川の4河川で、いずれも2級河川である。加茂湖に流れ込む河川の流域面積は5430 haで、湖の面積の約11倍である。その約1/3が水田等の耕地で、残りは大佐渡山地の森林で占められている。流域の農家は2,202戸、流域の人口は10,859人(平成5年)である。

加茂湖の湖底地形は、湖底地形図(図3、立石ほか, 1997)に見られるように4 m以浅の浅い部分が著しく少なく、湖岸から急に深くなり、湖底の大半は6~9 mの深さでほぼ平坦である。

加茂湖では、昭和初期よりカキ養殖が盛んで、加茂湖漁協の組合員数は167人にのぼり、カキの漁獲実績は160~250トン、漁業生産額は2~3億円である。1960年代から1970年代にかけて、やや富栄養化がすすんだため、新潟県によって海水を導入し湖水を若返らせる事業もおこなわれた。

過去30年間に全国的に見られる湖沼の人工改変にはさまざまなものがあるが加茂湖も例外でなく相当の改変が進められてきた。干拓には深すぎることで、離島にあること、湖の周辺の人口が少なかったことなどが幸いし、面積的には大きな変化はみられない。しかし、湖岸はコンクリートで固められ農道と水田の整備が進み、湖の周辺の湿地やアシ原はほとんど失われ、これらの果たしてきた湖水の浄化機能と、この部分に生育していた多種多様な生物のすみかは失われてしまっている。しかし、富栄養化は軽微であり、本格的な環境保全と自然環境の再生が望まれている。

水質観測位置

水質観測地点を図3に示す。観測点は約250 m間隔で、北から2E, 3D, 4D, 5D, 6D, 7E, 8E, 9E, 10F, 11G, 12H, 13H, 14H, 15H, 16H, 17H, 18Hの17地点とした。気象状況によっては、2E, 4D, 6D, 7E, 9E, 11G, 12H, 14H, 16H, 18Hの10地点にとどめた。6D, 11G, 16Hの3地点では、COD、亜硝酸イオン濃度、リン酸イオン濃度を測定したが、これらは別途報告する。観測点2E~10Fまでを湖口域、11G~13Hまでを湖中央域、14H~18Hまでを湖奥域と呼称する。観測点南端の18Hは、天王川の河口に位置し水深が浅く川からの淡水の影響が大きい。また、観測点北端の2Eは両津湾との水路に面し絶えず両津湾の海水が出入りしている。

測定項目および測定機器

測定項目は溶存酸素量(単位:%)、透明度(単位:m)、水温(単位:℃)、塩分(単位:psu)、密度(単位:σ_t)、pHである。調査に使用した機器は、水質測定にメディアン・インスツルメント・ファーマーイースト社製 YSI-model 85,pH測定に東興化学研究所製パーソナルPHメーター TPX-90iである。そのほかに、透明度板、プランクトンネット、採水器である。

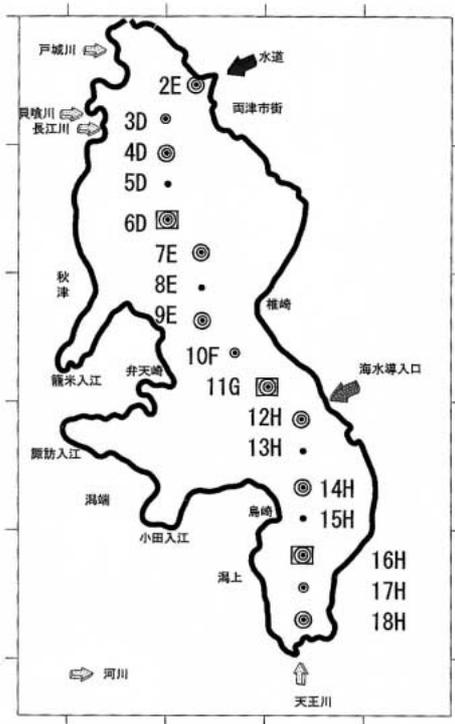


図3. 観測位置図.

- 17 水質観測地点 (1 日間 8 時間コース)
- ⊙ 13 水質観測地点 (午前半日 5 時間コース)
- ⊖ 10 水質観測地点 (午後半日 4 時間コース)
- ⊠ 3 水質観測地点 (COD, NO₂, PO₄, MBAS)

Fig. 3. Location of observation sites.

- 17 sites where observations were made for 8 hours a day.
- ⊙ 13 sites at which measurements were made for 5 hours in the morning.
- ⊖ 10 sites at which measurements were made for 4 hours in the afternoon.
- ⊠ 3 sites where COD, NO₂, PO₄ and MBAS were measured.

観 測 日

観測は毎月第4土曜日に計画され、表1のとおり実施した。加茂湖は南北を山地で東西を海成段丘で囲まれた穏やかな湖である。しかし、冬期間など強風時には相当の波浪がみられ危険を感じることもある。さらに、冬期間はカキ養殖の最盛期で用船に困難な場合があること、観測が休業日でなければならないことなどの理由で1月中の観測ができなかった。同様の理由で2月、3月も観測回数が少なくなっている。これら観測日の不均一は観測項目の平均値に影響するので、平均値の算出と解釈には慎重を要する。本調査は、連続観測期間4年、観測位置間隔250 m、観測水深間隔50 cm、観測日間隔は約1ヶ月

表1. 観測日一覧.

*, 荒天で途中で中止; **, 荒天で採水のみ.

Table 1. Observation dates.

*, days on which observations were stopped due to stormy weather; **, days on which water sampling could not be made due to stormy weather.

1月				
2月	1998/2/28			
3月	1998/3/28			2001/3/24
4月	1998/4/25	1999/4/22	2000/4/25**	2001/4/28
5月	1998/5/23	1999/5/29	2000/5/20	2001/5/24
6月	1998/6/27	1999/6/26	2000/6/24	2001/6/23
7月	1998/7/25	1999/7/25	2000/7/22	2001/7/28
8月	1997/8/22	1998/8/5	1999/8/29	2000/8/26
9月	1997/9/23	1998/9/5		2000/10/1
10月		1998/10/24	1999/10/3	2000/10/28
11月	1997/11/2	1998/11/28	1999/11/25*	2000/11/25
12月	1997/12/13	1998/12/29*		2000/12/23
観測回数	4回	11回	7回	9回
				6回

と今までに報告されたことのない精度の高いものなので、あえて平均値を算出した。

平均値と時系列変化

上記のように観測日が一定していないという問題は残るが、加茂湖の水質全体像を知るため、図4に4年間における湖水表層、湖底、全水深の平均値を観測点別(北から南)図示した。図4aは湖水表層と湖底の区別をせずに各観測点での最高水温と最低水温を示した。時系列変化の特徴を知るため、図5に加茂湖中央(観測点11G)を湖水全体の代表する値と見なし、4年間における表層測定値、湖底測定値、表層値と湖底値の差の時系列変化を図示した。

気温

アメダス両津の記録によると4年間の日最高気温の最高値は、1991/8/1の35.3℃、日最低気温の最低値は、1999/2/3の-4.7℃である。日最高気温と日最低気温の平均値を気温として図5aに示した。この気温の平均値は13.7℃(図5aの破線)でほぼ3月と9月の気温に相当する。

水温

4年間における全観測点の最高水温は、1999/7の31.9℃(観測点10F, 表層)、最低水温は1997/12の6.0℃(観測点17H, 表層)である(図4a)。水温の全測定値の平均は19.6℃であるが、これは冬期間の観測中止時を考慮すると年間の平均値とはみなせない。年間の水温の平均値は17℃程度と推定され、気

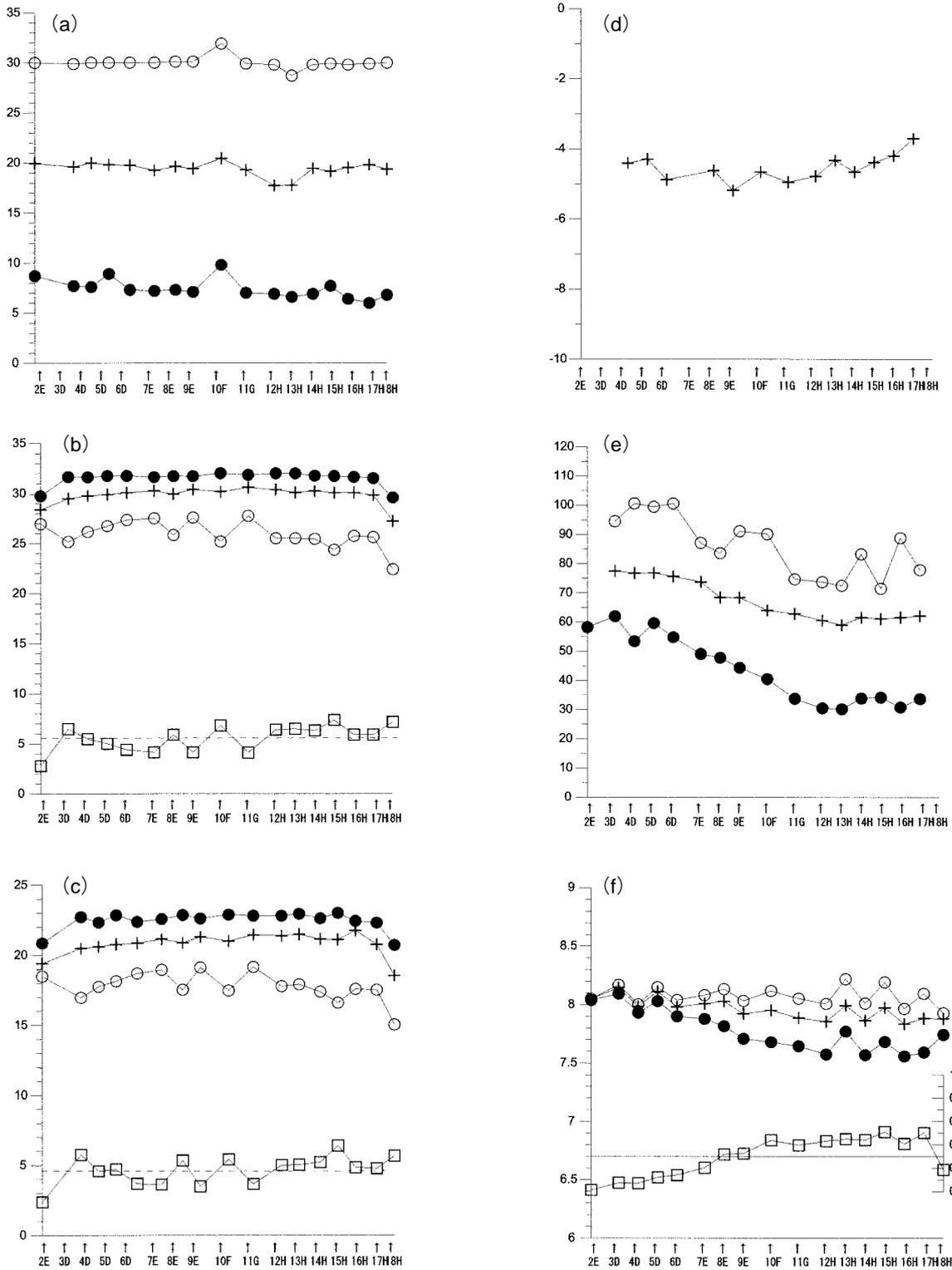


図4. 測定項目平均値の観測点別変化図(横軸は観測点(2Eが北端, 18Hが南端). 南北方向距離で10km). (a), 水温(°C); (b), 塩分(PFU); (c), 湖水密度(σ_t); (d), 透明度(m); (e), 溶存酸素量(%); (f), pH. —○—, 湖水表層の測定項目平均値; —●—, 湖底直上湖水の測定項目平均値; —+—, 表層から湖底までの平均値; —□—, 表層と湖底の平均値の差.

Fig. 4. Trends in water quality parameters.(a), temperature (°C); (b), salinity (PSU); (c), density (σ_t); (d), transparency (m); (e), dissolved oxygen (%); (f), pH. —○—, average value of the surface measurements; —●—, average value of the bottom measurements; —+—, average of the measured values at all the points between the surface and bottom; —□—, difference in average of surface and bottom values.

温の平均値より約 3°C も高い。

表層から湖底までの水温の平均値(以下、全層平均値と表記)は、水深の大きい湖央域でやや低くなっている(図4a)。最高水温には南北方向観測点別の差はほとんどみられない。最低水温は湖口域と湖奥域で約 2°C の差がみられ、湖口域から順に湖奥域に向かって低くなる傾向がある(図4a)。

時系列変化にみられる表層水温の振幅は湖底水温の振幅に比べて大きい。気温が平均気温を超えるおおよそ3月～9月間で表層水温が高く、おおよそ10月～2月で逆に湖底水温が高くなっている(図5a)。しかし、後述の湖水密度で述べるようにこの水温の周期的な逆転は湖水密度の逆転とは直接結びついていない。

図5aに見られるように水温変化は年毎に変化が大きく、毎年同じ周期で繰り返していないが、大まかな傾向は以下のものである。1月をのぞくと、2～3月に表層と湖底の水温差は1度程度と小さい。4～9月では湖水表層の温度は湖底に比べ平均で3度ほど高く、10～12月では逆に湖底の水温が平均で3度ほど高い。年間の平均では湖水表層が湖底と比較して約 0.7 度高い。

塩分

表層における塩分の平均値は 26 psu 、湖底の平均値は 32 psu 、全層平均値は 30 psu でいずれも高い値をしめす(図4b)。淡水の影響を強く受ける観測点18Hと両津湾の海水が出入りする観測点2Eをのぞいて、全層平均値と湖底平均値の南北方向の測線に沿う差はほとんど認められない。表層平均値は湖口・湖央域に比べ湖奥域で 1 psu 程度ほど低くなっている(図4b)。

湖底塩分についてみると、 1 psu 程度のわずかであるが塩分が7～8月の夏期に高くなる1年周期の変動が認められ(図5b)、これは表層塩分と湖底塩分の差が小さくなる時期に一致している。この現象は、年周期の湖の潮位が夏期に 30 cm 程度高くなることから、両津湾からの海水流入量の増大によると推定される。図5bにみられる極端に低い表層塩分値は1998/8/04の日総雨量 200 mm に達する記録的大雨によるものである。

密度

表層における密度の平均値は $17.8\sigma_t$ 、湖底の平均値は $22.5\sigma_t$ 、全層の平均値は $20.8\sigma_t$ でいずれも両津湾の海水に近い値を示す(図4c)。淡水の影響を強

く受ける観測点18Hと両津湾の海水が出入りする観測点2Eをのぞいて、湖底平均値と全層平均値の南北方向の測線に沿う差はほとんど認められないが、表層平均値は湖奥域で $1\sigma_t$ 程度ほど低くなっている(図4c)。

湖底密度については、3～4月に密度が $2\sigma_t$ 程度大きくなる1年周期の変動が認められる(図5c)。この現象は塩分の変動周期に水温の変動が重なったためと解釈できる。表層の密度と湖底の密度の差を見ると、年間を通じて湖底密度が大きく、密度の上下の逆転は起こっていない(図5c)。その差が小さくなる時期は、10～11月に多く、まれに密度が小さくなる年は8月である。図5cにみられる極端に低い表層密度は1998/8/04の日総雨量 200 mm に達した記録的大雨によるものである。

透明度

水中に入った光は透明度の2～2.5倍の深さで1%までに減少しこの深さでプランクトンの光合成量と呼吸量が等しくなるとされている。したがって透明度が年間を通して4～5m程度であれば、加茂湖の最大水深が約9mなので湖底での光条件にとくに問題がおこらないことになる。

加茂湖における透明度の平均値は4.5mで、水深の最大値の約50%に達し良好である。平均値は湖央域から湖奥域にかけてしだいに小さくなる(図4d)。湖口域では海水の出入り口(北に)に近くなるほど透明度が小さくなっているが(図4d)、これは海水の出入り口に近づくにつれ水深が4～5mと浅くなり透明度の測定でセッキ板が湖底に届き、透明度の測定値のうち大きな値が平均から除かれるためである。湖口域の真の透明度は海水の出入り口に近いほど大きくなっているものと予想される。なお、2000年11月の観測では湖口域のほとんどで船上から湖底を見ることができるよう希な現象であった。

溶存酸素量

表層における溶存酸素量の平均値は88%、湖底の平均値は42%、全層の平均値は69%で良好である(図4e)。溶存酸素量の平均値は、観測点の南北端で水深がとくに浅いところをのぞくと、観測点から水道までの距離と観測点の水深に関係して変化し、湖口域、湖央域、湖奥域に対応して3グループに区分できる(図4e)。湖口域では全層の平均値が73%であり、年間を通じて溶存酸素量は非常に大きい。水道に近づくにしたがって溶存酸素量の平均が高く

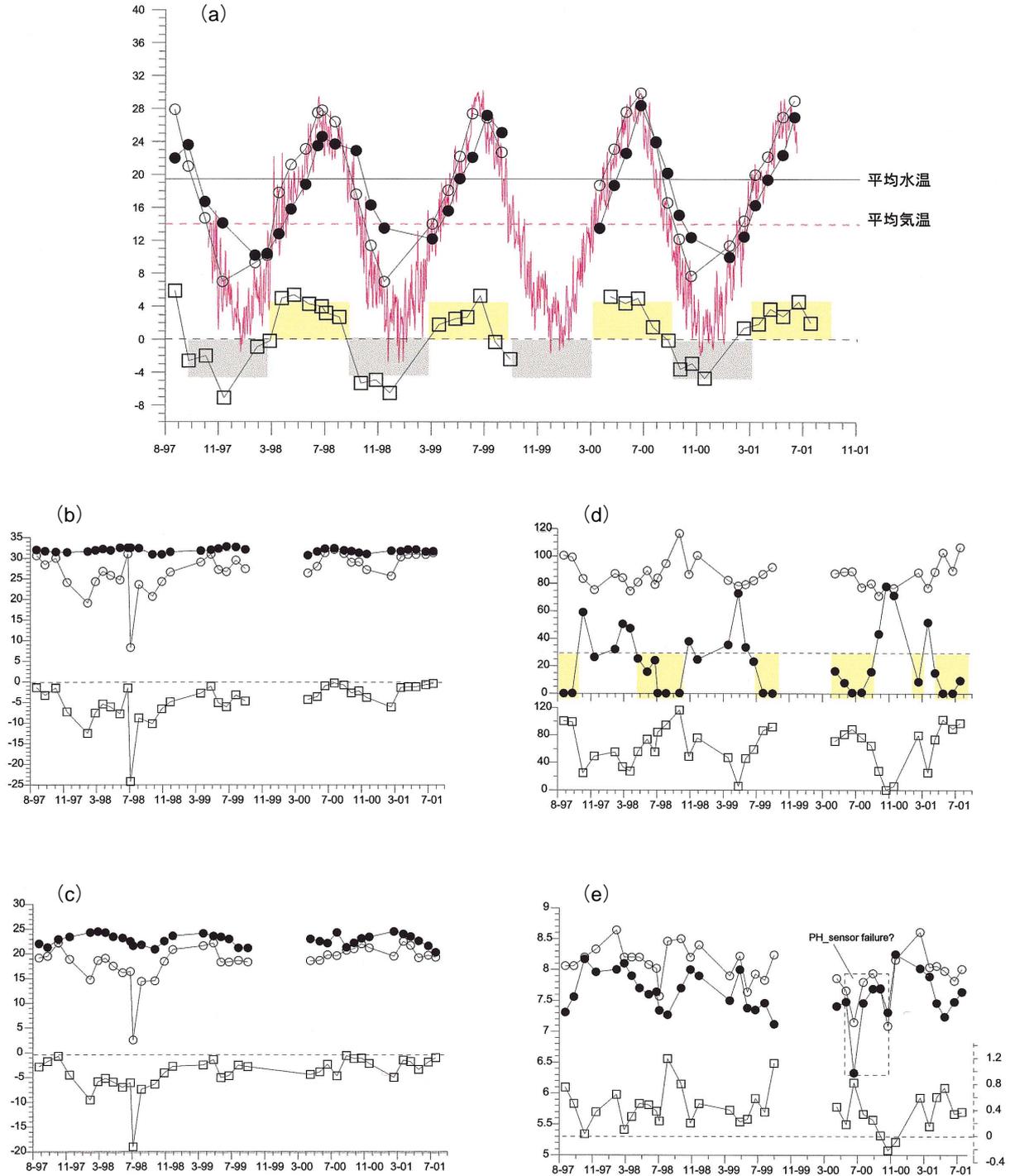


図5. 湖中央(観測点11G)での時系列変化図。横軸は観測年月(月-年)。(a), 気温および水温(°C) ($\color{red}{\text{||||}}$, 日最高気温と日最低気温の平均値; $\color{grey}{\square}$, 表層水温が湖底水温より高い期間; $\color{yellow}{\square}$, 表層水温が湖底水温より低い期間); (b), 塩分 (PSU); (c), 湖水密度 (σ_t); (d), 溶存酸素量 (%) ($\color{yellow}{\square}$, 溶存酸素量が30%より低い期間); (e), pH. \circ —, 湖水表層の測定値; \bullet —, 湖底直上湖水の測定値; \square —, 表層と湖底の差。

Fig. 5. Temporal changes in the water quality at the observation site 11 G in the central part of the Lake (month-year of observation on the horizontal axis; water quality parameter on the vertical axis). (a), air and water temperatures (°C) ($\color{red}{\text{||||}}$, average of the daily maximum and minimum temperatures; $\color{grey}{\square}$, period when the surface water temperature was higher than that of the bottom; $\color{yellow}{\square}$, period when the surface water temperature was lower than that of the bottom); (b), salinity (PSU); (c), density (σ_t); (d), dissolved oxygen (%) ($\color{yellow}{\square}$, period when the DO is lower than 30%); (e), pH. \circ —, measured value of surface water; \bullet —, measured value of bottom water; \square —, difference between surface and the bottom.

なっている(図4e)。湖央域の全層の平均値は61%で3区域の中で最も低い。この部分の水深が深く夏期に30%以下の低酸素層が出現するので平均値が低くなっている。湖奥域の全層平均値は62%で湖央域より多少高い値を示すが、水深を考慮するとこの部分の溶存酸素量は実質的に最も低い。

湖底の溶存酸素量が30%以下になる現象が夏期に水深の深い湖央域で頻繁にみられる。他の場所では例外的に見られるのみである(図5d)。1998/8/4の大雨のあと8～10月まで湖底の溶存酸素量は連続して0%であったのに対し表層の溶存酸素量は連続して上昇をつづけ10月には120%にたつ部分が見られ上層と下層のコントラストが明瞭であった。

pH

表層におけるpHの平均値は8.1、湖底の平均値は7.8、全層の平均値は8.0であり(図4f)、両津湾の海水と同程度である。pHの表層平均値と湖底平均値の差は、湖口域で海水の出入りする水路から遠ざかるほど大きくなり、湖央域と湖奥域で一定となる(図4f)。湖央域と湖奥域でのpHの低下はこの湖域で有機物の分解量が大きいかを示している。pHの変化は溶存酸素量の変化とよく似た動きを示す(図4e, f)。また、1999/6～1999/11の観測値はpHセンサー故障の可能性があり平均値の算出からのぞいた。

4年間の水質断面図について

4年間の加茂湖における湖水調査の記録を、180葉の水質断面図で示す。その概要を知るため、湖中央の吾潟沖(観測点11G)での4年間の記録を時系列等値線図として示した(図6)。図6aは両津でのアメダス記録から日最高気温を、図6cは同記録から月別降水量を示した。これら以外は水深を縦軸に時間を横軸にとり、図6bは水温、図6dは塩分、図6eは密度、図6fは溶存酸素量と透明度、図6gはpHの各測定値をそれぞれ等値線で表した。グラフの等値線が縦方向に立っていれば、湖底から表層までが同じ状態にあり、等値線が横方向伸びていればその期間に上下方向に成層構造が存在していることになる。

水温について

図6aの水温は夏季と冬季をのぞくと等温線が縦に立っていることが多く、上下方向の温度差がすく

ないこと、および水温が気温変化によく同期していることを意味している。

加茂湖が完全な淡水湖であれば、温度差がない期間に湖水密度が一様となって、湖底と表層間の湖水の上下循環が起こることになるはずであるが、加茂湖には海水の流入があるので基本的にどの季節にも上下循環はなかなか起こらない。

温度差が小さくなる典型例は、1998/2、1998/3、2001/3などで冬期間に多く温度差は1度以下であるが、下層の塩分濃度がおおきため密度断面図に成層構造があらわれ、上下方向での湖水の循環はおきていない。

湖水下部の温度が低く、湖水上部の温度が高くなる水温の成層構造が4～9月にみられるが、この時期は下層の塩分が濃いことも関係して安定成層構造となる場合が多い。この安定成層構造の典型例は1997/8であり、このときの温度差は約6度であった。

湖水下部の温度が高く、湖水上部の温度が低くなる成層構造は10～12月に多く見られ、温度のみを考えると湖水下部が軽くなり、上下方向の循環がおこるはずであるが、下層に濃い海水が存在することによって湖水の上下方向循環は起こっていない。湖水下部の温度が高く上部の温度が低くなる成層構造の典型例は、1997/12であり温度差は約7度であるが、塩分濃度との関係で温度による安定成層構造にはなっていない。この観測値は温度差の大きさからして驚きである。

10～11月の湖水温度が逆転する時期で塩分濃度の条件がそろそろと湖水の上下方向密度差が小さくなる。この時期に強い北西季節風が吹くと湖水の上下方向の循環がおこる。この典型例は1997/11である。1998/8～1998/10では3ヶ月間も大きな成層構造が連続してみられた。これは1998/8/4水害時において大量の淡水が流入したためである。

塩分について

加茂湖は全期間にわたり海水湖であるいえるほどに塩分は海水に近い。とくに6～9月には高濃度の海水が下半部に存在する。冬季から6月にかけて、降水の影響をうけて25～30psu程度のやや塩分が薄い層が表層に見られる年が多いが、2001年では認められなかった。2000/8では一ヶ月間の雨量が17mm、2001/7～2001/8では二ヶ月間の雨量が81mmと非常に少なかったこともあって表層近くまで高塩分濃度層が達している(図6d)。

塩分が10psu以下の低塩分湖水が、大規模に存在

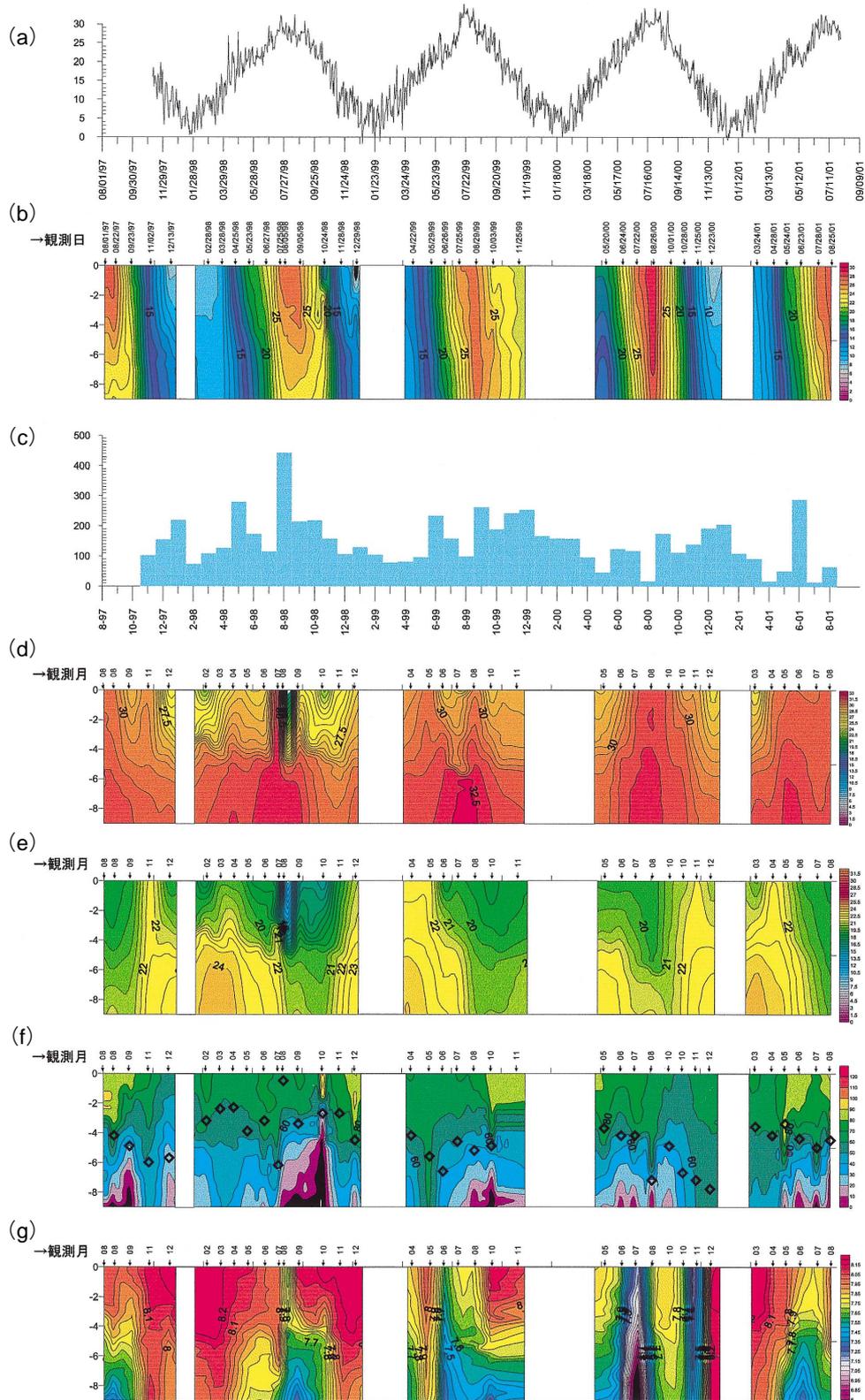


図 6. 湖中央(観測点 11 G)での時系列等値線図。横軸は観測月、縦軸は深度(m)。(a), 日最高気温(°C); (b), 水温(°C); (c), 月別降雨量(mm); (d), 塩分(PSU); (e), 密度(σ_t); (f), 溶存酸素量(%)と透明度(\diamond , m); (g), pH.

Fig. 6. Time series isometric lines of water quality parameters at observation site 11 G in the central part of the Lake (date/month of observation on the horizontal axis and water quality parameter on the vertical axis). (a), maximum air temperature (°C); (b), water temperature (°C); (c), monthly precipitation (mm); (d), salinity (PSU); (e), density (σ_t); (f), dissolved oxygen (%) and transparency (\diamond , m); (g), pH.

した例はすくない。例外は1998年8月である。1998/8/4に加茂湖の流域は24時間で約200mmの集中豪雨に見舞われた。大量の泥水が流れ込み、表層から1.5mの間にとどまった(図6dの緑部分)。このときでも1.5mより深い部分の塩分は大きく変わらなかった。

密度について

湖水の密度はほとんどの時期を通じて下層が大きく、安定成層構造となっている。等密度線が立ち密度差が小さくなる時期は10~11月で年1回のことが多い(図6e)。この時期には北西の強風が吹くことも多く、季節風が吹き始めると湖水はいっきに均一となる。典型的な例として1998/8~1998/10の2ヶ月にわたる溶存酸素量の極端な減少は、1998/11月に見事に消えてしまった(図6f)。このような上下方向の循環は下層の低酸素層とそれに含まれることがある硫化水素を表層にもたらしことも多く、加茂湖の漁業に大きな影響を与えることになる。

温度の項にあるように、3月ごろにみられる湖水の上下方向の温度差が小さくなる時期に、湖水の上下方向循環が起らないことは注目される。塩分の濃い湖水が下層に存在すること、上層の湖水が冬期間の降雨降雪や梅雨時の降水で低塩分となっていることがその原因である。

1997/8は、夏期に湖水上層の温度は著しく上昇し上下の温度差がおおきくなって安定成層構造となった典型的な例である。逆に珍しい例として2000/8のように湖水が非常に高温で一様であり、かつ降水量が少なく塩分濃度も高く一様な場合には、夏期とはいえ湖水の密度がほぼ均一になることもある。

湖水全層にわたる循環のほかに、湖水の下半部の循環が、1998/3、1998/6、1999/4、1999/8、2000/5などにおこっている可能性もあり、これが湖底堆積物中の栄養塩類を上昇させていることも考えられるが詳細は不明である。

溶存酸素量について

1998/8/4に加茂湖の流域は24時間で約200mmの集中豪雨に見舞われた。湖に大量の泥水が流れ込み、表層から深さ1.5mの間にとどまり、透明度が0.3~0.9mとなった。1998/7/25に50~70%を示していた溶存酸素量が1998/8/5には深度6m以深の溶存酸素量が10%以下となった。湖に大量の泥水が流れ込んだあとでのたった24時間での変化である。こ

れほどまでに光合成による酸素生産量は大きい。その後、泥水と一緒に流れ込んだ栄養塩類のため、表層を中心に、1998/9~1998/10にかけてプランクトンが大発生し、死滅プランクトンの分解による酸素消費のため酸素不足域が出現した。1998/11では溶存酸素量が、30~10%以下の場所とカキの死滅箇所がほぼ一致していた。1998/10の溶存酸素断面図はコントラストが非常に大きく、1.5mより深い部分は30~0%の酸素不足で死の世界であるのに対し、1.5mより浅い部分の溶存酸素量は100~120%であり、酸素が飽和~過飽和のプランクトン異常増殖の世界である。

以上のことから、湖水の溶存酸素量のコントロールは、植物性プランクトンの増殖をコントロールすること、すなわちチッソやリンなどの栄養塩類の流入量をコントロールすることであることがわかる。また、流入する栄養塩類の量は、1998/8のような洪水時の物質流入量が大きくかかわっていることに注意する必要がある。加茂湖での洪水時の栄養塩類の流入量の測定例をあまり知らないが、私たちのおこなった洪水時の水質分析の一例では、亜硝酸イオン濃度で30倍、リン酸イオン濃度で2倍、CODで30倍、メチレンブルー活性物質濃度は1/100以下であった。これらの濃度をもとにして、洪水量を考慮した栄養塩類の流入量は相当なものであり、洪水が湖に及ぼす影響は非常に大きい。

栄養塩類が豊富で光条件が良好であると、プランクトンが異常に増殖し、その光合成によって溶存酸素量が100%を越す場合がしばしば見られる。溶存酸素量が100%を越えた場所はプランクトンノ異常発生場所と考えてもよく、その例は、1997/8、1998/2、1998/10、1998/12、2001/5、2001/8であった。

図6fに見られように、低酸素層の出現する時期は、図6eの夏期の安定成層構造が発達する時期によく一致している。とくに水深の深い湖央域で著しい。低酸素層の例は、1997/8、1998/8、1998/9、1998/10、1999/8、1999/10、2000/7、2001/7、2001/8であった。

冬から初夏にかけて湖底に高密度の海水が長時間滞在するが、この時期の溶存酸素量は良好のことが多い。

1998/2では、3m以浅に溶存酸素量が100~120%の層が湖のほとんど地域で確認できた。この水域でプランクトンの異常増殖がおこっており、冬が終わって光条件が回復したことで、湖水の循環による栄養塩類の供給の結果と考えられる。さらに、湖

水温がほぼ均一であったが、溶存酸素の低い部分と pH の低い部分の一致し、溶存酸素の高い部分と pH の高い部分のみごと一致している。溶存酸素の高い水域でプランクトンが異常に増殖していることが、透明度の値からもうかがえた。

pH について

pH の分布は、溶存酸素の分布にほぼ一致し (図 6 g), pH の低いところでは光合成による酸素の生成よりも呼吸による酸素の消費が大きく有機物の分解がすすんでいることを。また、pH の高いところは、光合成による二酸化炭素の消費が多く、光合成による酸素の生成が呼吸量を上回っていることを示している。このような例は多く見られ、典型的な例としては、1997/12, 1998/2, 1998/9, 1998/10 などであった。

4 年間の湖水断面図

湖水の水質断面図 180 個を観測日順に示す次の pdf ファイルは島根大学汽水域研究センターのホームページ (<http://www.kisuiiki.shimane-u.ac.jp>) で見る事ができる。

1 月					
2 月	199802.pdf				
3 月	199803.pdf		200103.pdf		
4 月	199804.pdf	199904.pdf	**	200104.pdf	
5 月	199805.pdf	199905.pdf	200005.pdf	200105.pdf	
6 月	199806.pdf	199906.pdf	200006.pdf	200106.pdf	
7 月	199807.pdf	199907.pdf	200007.pdf	200107.pdf	
8 月	199708.pdf	199808.pdf	199908.pdf	200008.pdf	200108.pdf
9 月	199709.pdf	199809.pdf		200009.pdf	
10 月		199810.pdf	199910.pdf	200010.pdf	
11 月	199711.pdf	199811.pdf	199911.pdf*	200011.pdf	
12 月	199712.pdf	199812.pdf*		200012.pdf	

* 荒天で途中で中止 ** 荒天で採水のみ

おわりに

調査にあたり両津市秋津の浜松芳明氏には、調査船「マルヨ丸」を使用させていただいた。加茂湖漁業共同組合の皆さま、尾瀨恒雄氏、伊藤隆一氏、佐藤吉春氏、伊藤敏明氏、土屋富男氏には調査に特別の便宜を図っていただいた。調査に参加してくださった方々は、次の 55 名で、4 年間で延べ 179 人である。齋藤彰、鈴木昌仁、葉梨敦義、野口雅喜、本間充、本間幸子、本間一浩、福嶋亜美、桧田知子、土屋利紀、土屋壯論、土屋信人、土屋高宏、土屋貴裕、渡辺潤、仲川徹、中村辰也、中村寿樹、中山佐重、池野絵美、池田智彦、川上誉正、石田里美、松木菜穂、松本善人、市橋直輝、山崎一真、山口悠一、山下直行、佐合杏子、金子広明、野崎ますみ、高橋知智(以上、両津高校)、磯部浩伸(羽茂高校)、豊岡正通、高野将記(以上、佐渡農業高校)、神蔵沖夫(佐渡高校)、本間博昭、中原功志、森和人、市橋勝三郎(以上、佐渡地区理科教育センター)、兼子高志、グエンバンラップ(以上、新潟大学理学部)、藤井徳三、佐藤吉春、伊藤隆一(以上、加茂湖漁協)、尾瀨照一、畠山美緒、渡辺朝子、大地秀武、神蔵恵子、山田昭夫、加門俊行、加藤康雄(以上、両津市)、山本誠(金井町)。

引用文献

- 加茂湖自然環境調査研究グループ(1998)佐渡加茂湖の水質と底質環境. LAGUNA(汽水域研究), No.5, 137-152.
- 加茂湖自然環境調査研究グループ(1998)1996年8月, 加茂湖の水質・底質調査資料. 「海跡湖堆積物からみた汽水域の環境変化—その地域性と一般性—」に関する平成7-9年度科学研究費補助金(基盤研究 A-1)研究成果報告書(代表者高安克己), 83-136.
- 立石雅昭・田村嘉之・神蔵勝明・Nguyen Lap Van・小林巖雄・松岡和弘(1997)加茂湖湖底地形と浅層地下地質, 「湖底堆積物の堆積学的解析による佐渡島加茂湖の物質循環システムと環境変化」平成8-9年度科学研究補助金(基盤研究 C) 成果報告書(代表者立石雅昭), 5-34.