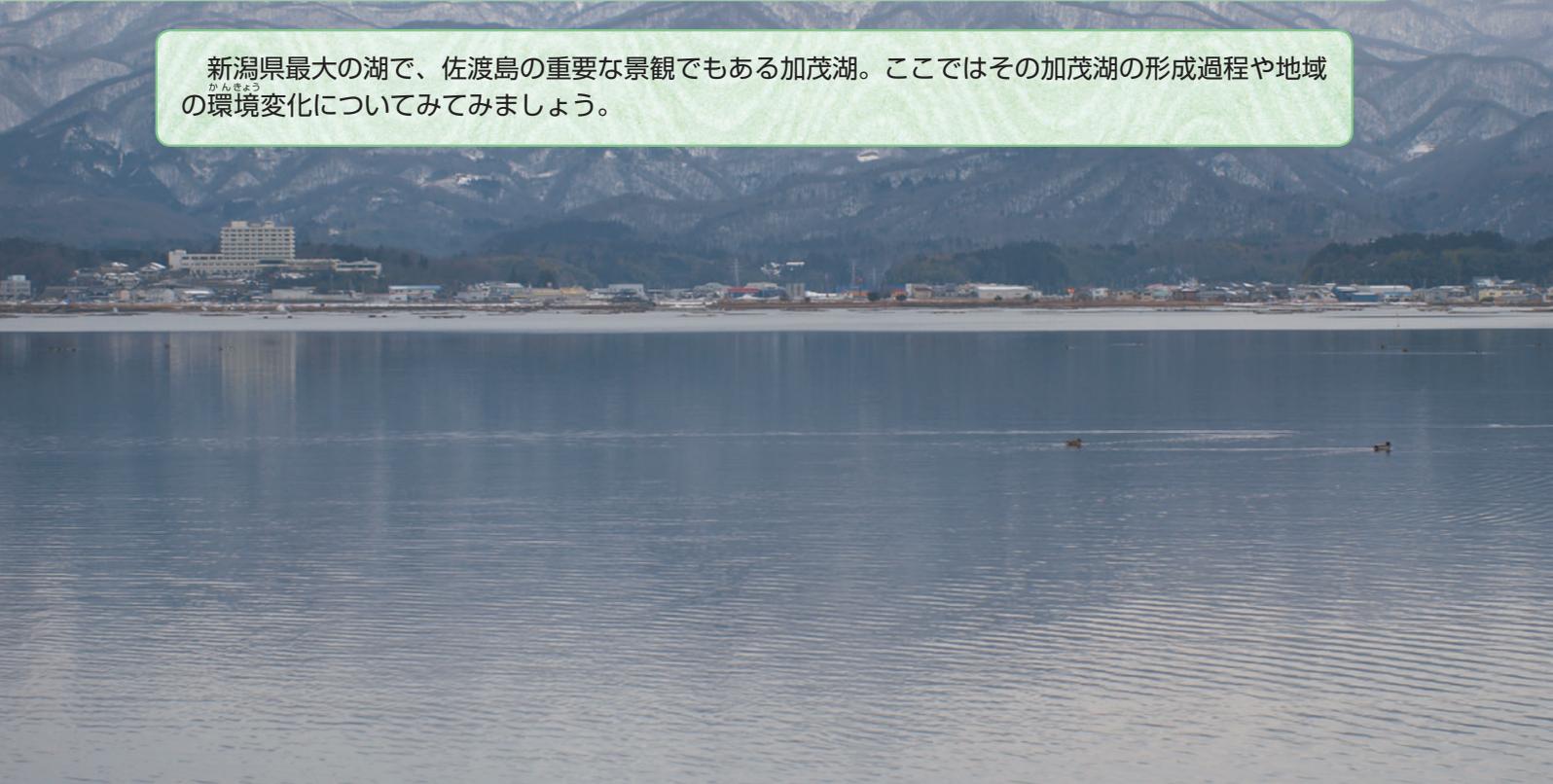




加茂湖と周辺の自然

新潟県最大の湖で、佐渡島の重要な景観でもある加茂湖。ここではその加茂湖の形成過程や地域の環境変化についてみてみましょう。



加茂湖の地形および概要

加茂湖は国中平野の北東部に位置し、砂州によって両津湾から隔てられた海跡湖です。現在、両津湾と加茂湖を隔てる砂州の一部が、1897年（明治30）の大水害ののち人為的に掘削され、海水が湖に流入しています。海水は深さ4m、幅30mの水道を、秒速0.9m（最大）で6時間ごとに流入、流出をくり返していて、6時間に流入する水量は、湖水量の約十分の一にも達します。湖水はほぼ海水です。



加茂湖のデータ

面積	5km ² （全国第46位、新潟県最大）
大きさ	南北10km／東西2km
水深	最大9m、平均5m
湖水量	2,600,000m ³
流入河川	長江川、外城川、貝喰川、天王川
流域の1/3は水田等耕作地、2/3は森林	
流域人口	10,859名

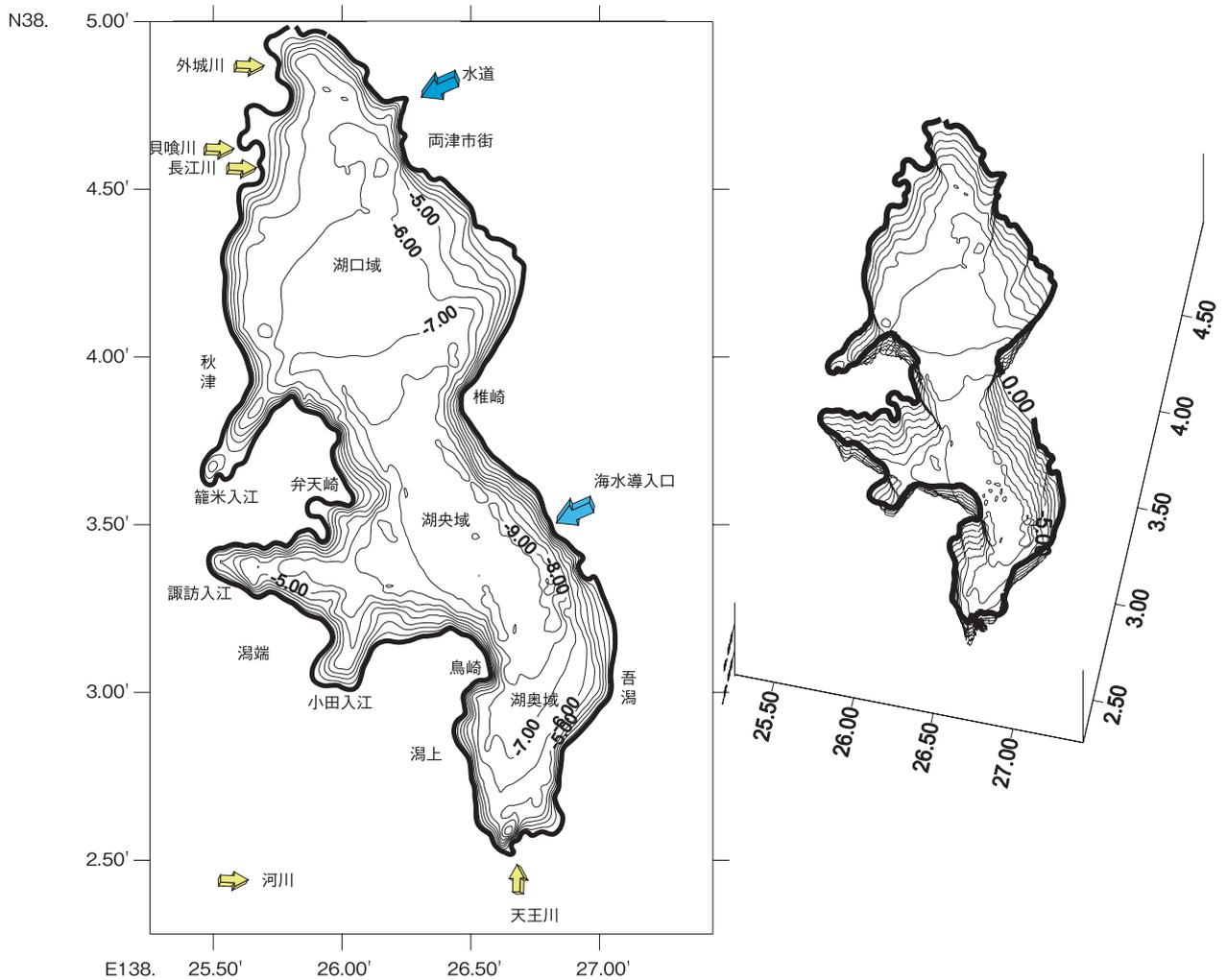
1993(平成5)年現在

加茂湖に流入する河川の主なものは、北部の長江川（4.2km）、外城川（4.2km）、貝喰川（3.8km）、南部の天王川（5.0km）の4河川で、いずれも二級河川^①です。

加茂湖に流れ込む河川の流域面積は5430haで、湖の面積の約11倍です。その約三分の一が水田等の耕地で、残りは大佐渡山地の森林です。流域の農家は2202戸、流域の人口は10859人です（平成5年）。

昭和初期よりカキ養殖が盛んに行われ、加茂湖漁業協同組合の組合員数は130人（平成20年）、カキの漁獲実績は160～250t、漁業生産額は2～3億円と豊かな湖です。

^① 上流から河口まで一群の河川を水系といい、国土保全上または国民経済上とくに重要なものを一級水系という。一級水系の河川のうち河川法で管理をし、国土交通大臣が指定したものを一級河川、一級水系以外の水系で公共の利害に重要な関係があるもので都道府県知事が指定した河川を二級河川という。

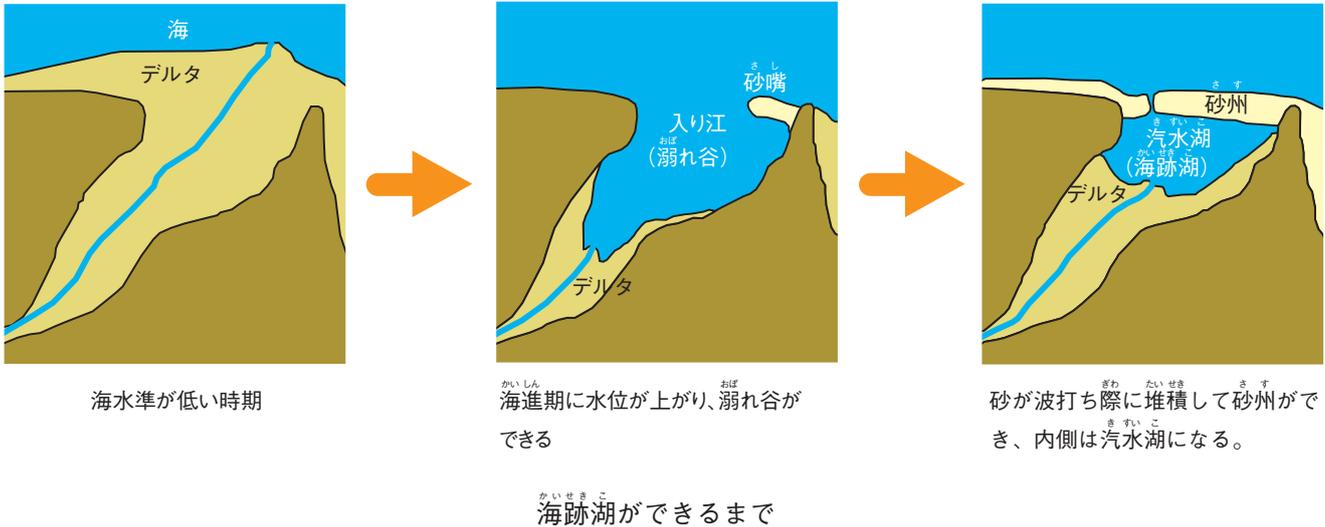


湖底地形図および湖底立体図

加茂湖のおいたち

加茂湖は典型的な海跡湖です。海跡湖とは、沿岸流や波浪の作用で砂州がのび、海湾の一部が外海から分離されてできた湖のことです。

加茂湖は全国に45カ所ほどある主要な海跡湖の一つにあげられています。



両津湾に砂嘴がのび、やがて砂嘴がつながって砂州となります。砂州によって両津湾から分離され、湖となりました。

現在の両津市街は、加茂湖と両津湾を分ける砂州の上にあります。この砂州を構成している砂は、梅津川や久知川によって大佐渡山地や小佐渡丘陵から運び出され、沿岸流や波浪によって海底を移動してきたものです。

このような作用は現在も進行中で、たとえば新しい防波堤の建設で浜が侵食されたり、逆に別の場所に新しい浜ができたりすることがよく観察されます。

細粒砂が砂洲をつくる

山地から河川によって運ばれてくる碎屑物はその大きさによって、礫、砂、泥に区別されます。巨礫や大礫は、河川が山地から出たところで運搬力が衰えて堆積し、扇状地をつくります。河川が海に達すると河川の運搬力は急速に衰え、中礫や細礫も移動できなくなってその場に堆積し三角州をつくります。

ただ、佐渡島のような小規模の地域では、扇状地と三角州が一体となり両者の区別はつきにくくなります。

砂は、浅い海底を自由に移動します。砂の中でも細粒砂はもっとも移動しやすく、晴天時のおだやかな波のエネルギーでも時間をかければ、およそ水深20m程度の深さまで、波の荒いときは80～100m程度の深さまで移動することができます。細粒砂よりも大きい粗粒砂は、波のおだやかなときにせいぜい5m程度の深さまで移動できる程度です。

一方、泥の粒子は、おだやかなときに波の作用が及ぶ水深 20m よりも浅いところでは常に動かされて沈積と定着ができません。泥はおよそ水深 20m よりも深い沖合の海底に堆積します。

このように礫、砂、泥の粒子の動きは大きく違い、砂の粒子だけが浅い海底を波浪や沿岸流によって比較的自由に移動します。移動をくり返しながら最終的に沿岸流の衰える場所に定着する、これが砂州なのです。

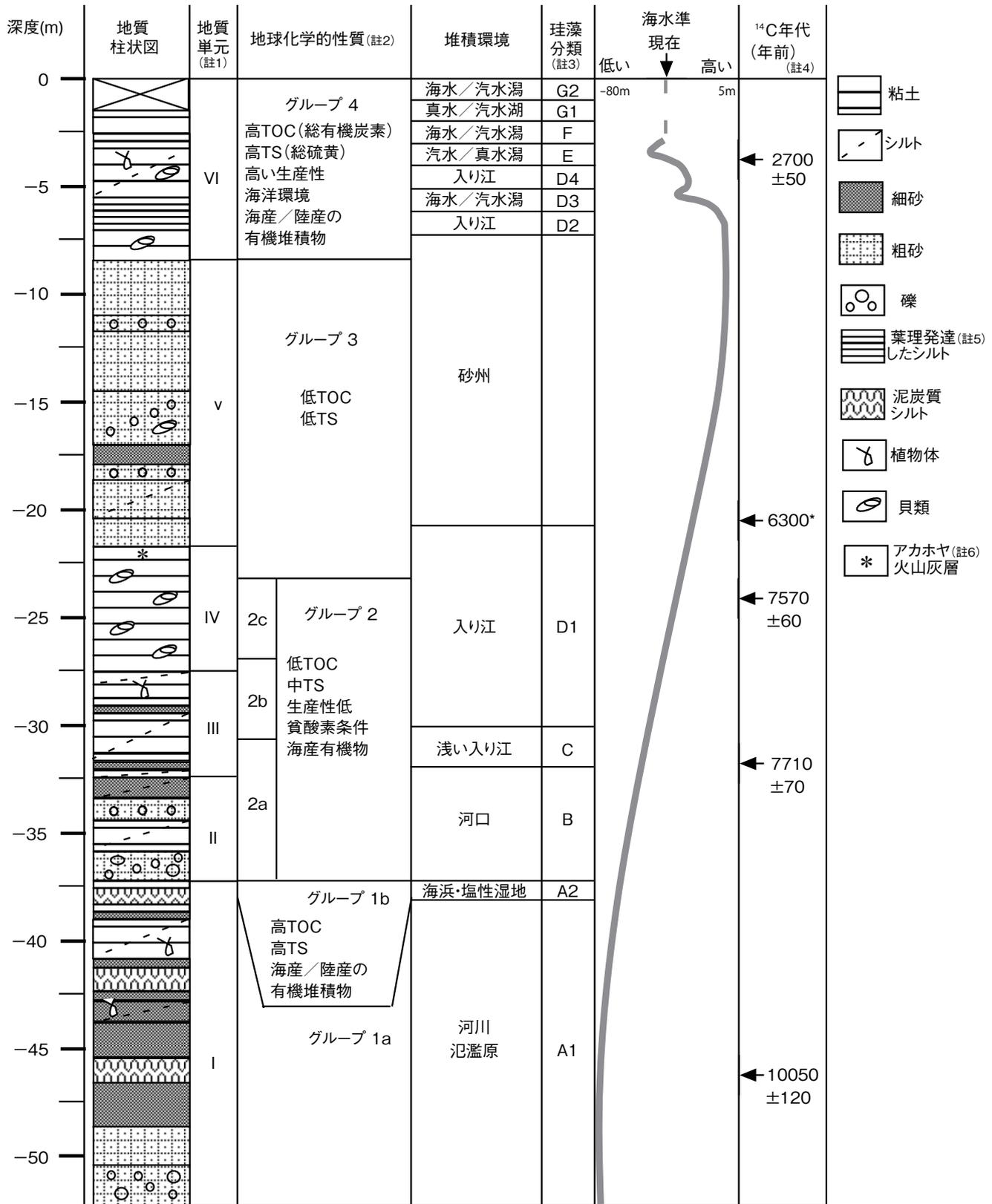
海面変動と砂州の移動・成長

海面の高さは、年間を平均すればほぼ一定です。しかし、数十万年という長い時間で見ると 100m の単位で上下しています。海面の上下に伴って砂粒子の移動できる空間も変化するので、砂州の位置も変化します。一般的には、海面が上昇すれば砂州は山側で成長し、海面が下降すれば標高の低いところに後退します。このような変化は地層の中に記録されて残ることもあり、世界各地で確認されています。また湖底の堆積物には長期間にわたる環境変化がタイムカプセルのように記録されていて、それを解析して環境変化を復元することもできます。これらは近年の地球温暖化を考える基礎データとしても注目され、非常に重要なものです。

次のページの図は湖底ボーリング調査による湖底堆積物解析である。

砂州を形成した細粒砂は、湖底から深さ 10～20m にかけて堆積しており、地層は約 6000～約 5000 年前で縄文時代に相当する。

ここから、現在よりも海水面が高かったことがわかる。



加茂湖湖底堆積物による環境変化

- 註 1：地質学的に区分された堆積年代のこと。
- 註 2：地層内に含まれる全有機炭素 (TOC) や総硫黄 (TS)、全窒素 (TN) などの分析結果。地層が堆積した年代の環境を推定する手がかりにする。
- 註 3：珪藻化石の分析によって分類された地層区分のこと。珪藻化石の種類から環境を分類・推定することが出来る。
- 註 4：炭素の放射性同位体 ¹⁴C の含有率を元に計測・算出された推定年代のこと。
- 註 5：肉眼で識別できる層構造の最小単位のこと。
- 註 6：鹿児島県の鬼界カルデラから約 7300 年前に噴出したとされる火山灰。おおむね日本全体で確認されるので、地層の年代決定に重要な役割を果たしている。

海面の上昇速度と海水準変動の周期

およそ1万8000年前に現在の海面より80～100mも低かった海面が、約1万年間で、ほぼ現在と同じ水準にまで上昇しました。

深い入り江だった加茂湖周辺は、その間でほぼ埋め立てられ、今から約5000年前には浅い水域となり、完全に埋め立てられた部分は低地に変わりました。

このときの平均海面上昇速度は次のように計算でき、1年間で1cmにも達する急激なものです。

$$100\text{m}/1\text{万年} = 10,000\text{cm}/10,000\text{年} = 1\text{cm}/\text{年}$$

近年、二酸化炭素等の増加による地球温暖化が全地球的に問題になっています。それに伴う海水準上昇の推定値はまちまちですが、最大値は100年で1m程度です。

$$1\text{m}/100\text{年} = 100\text{cm}/100\text{年} = 1\text{cm}/\text{年}$$

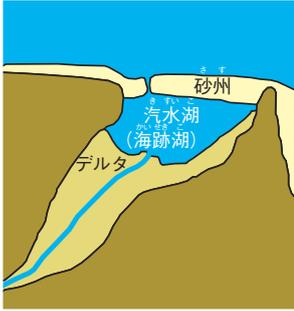
であり、上の値にほぼ等しいものです。この速度は、自然現象ではなく、人為的な現象が主と考えられているので、その大きさは驚くべきものです。

1万年で100mに達する海面上昇は、世界的に確認でき全地球規模で起こった現象です。今から1万8000年前は、最終氷河の最盛期です。気温は今より約8℃ほど低く、北アメリカ大陸の大半は数千mの氷床でおおわれ、現在の南極大陸のような状態でした。大量の海水が氷となって大陸に固定されたため、海水面が現在よりも100m程度も下がっていました。

逆に、約5000年前の縄文時代前期から中期は気温が約2℃程度高く、氷河がとけて海水面は今より4～5m高いものでした。

このような気候の変化が、およそ10万年周期で数十回もくり返されたことが確認されています。

激しく変化する湖水の特性



海水と淡水の中間の塩分を持つ水のことを汽水といいます。通常、海水1ℓ 中にとけ込んでいる塩分は30～35gであり、淡水は0.5g以下です。したがって汽水は1ℓ 中に0.5～30gの塩分を含む水ということになります。汽水を特徴とする水域を汽水域といいます。汽水域は砂州などで海と隔てられた沿岸潟湖や大きな河川の河口などに見られます。

汽水域は面積が広いわりには浅く、集水域の末端にあるため栄養塩類(窒素やリンを含む塩類)が集まりやすくなっている。また、太陽エネルギーが十分に行きわたるので、植物プランクトンが繁殖しやすく、それを食べる水生生物も多くなり豊かな生態系をつくる。

しかし、その豊かさは微妙なバランスの上に成り立っているので環境因子のわずかな変化で大きな影響を受けやすいのが特徴である。

水塊の動きと水質

加茂湖の湖水特性を知るために、比較的簡単に測定可能な、水温や塩分濃度などの項目について見てみましょう。

(1) 水温

一年のうちで温暖な3～9月では表層水温が湖底水温より高く、密度成層状態(冷たく重い水が湖底に、暖かく軽い水が湖面に分布した状態)となっています。逆に10～2月は湖底の水温が表層の水温より高くなります。

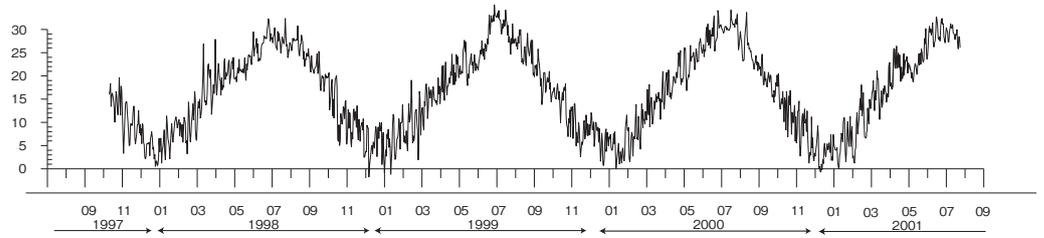
一般に、温度分布は湖内の水や物質の循環を考えるうえで重要な目安とされています。

湖面から湖底までの温度差がほとんどない期間は、水の密度の差も上下方向であまり違いがないので、大陸からの季節風や大型低気圧の接近などで湖面が攪乱されると湖面と湖底の間で容易に水が循環(ターンオーバー〔turnover〕)して、これと同時にさまざまな物質が上下方向に移動します。

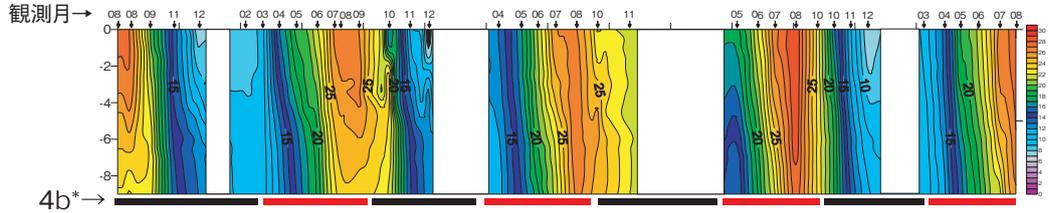
例えば、酸素は湖面から湖底方向に輸送され、逆に湖底に堆積した有機体や栄養塩類は湖面方向に拡散します。一方、密度成層状態が生じている時期は湖面と湖底との物質循環が起りにくくなります。

ただし、加茂湖の場合は汽水湖であり、水温だけでなく塩分濃度も水の比重に大きな影響を及ぼします。

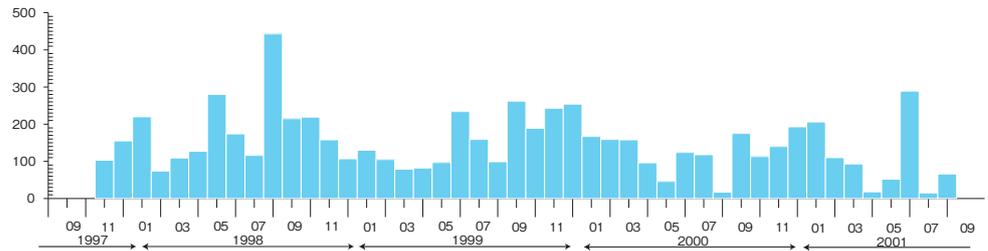
a 日最高气温
(単位 °C)



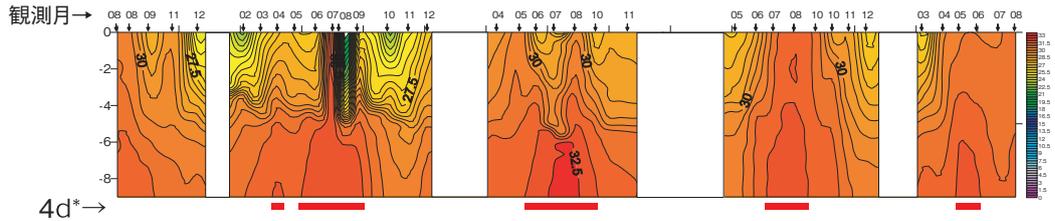
b 水温
(単位 °C)



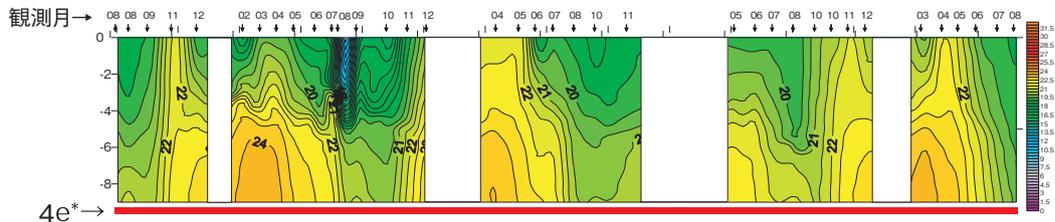
c 月別降雨量
(単位 mm)



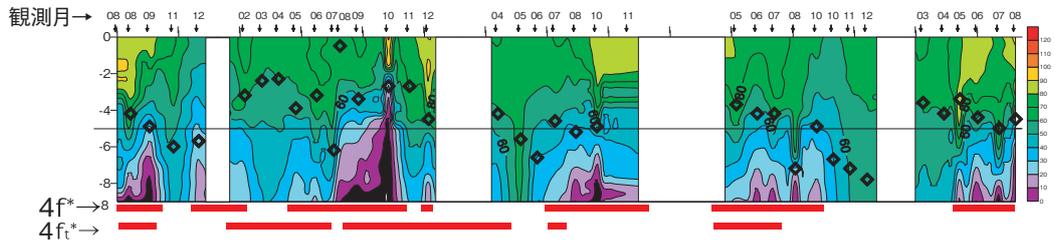
d 塩分
(単位 PSU)



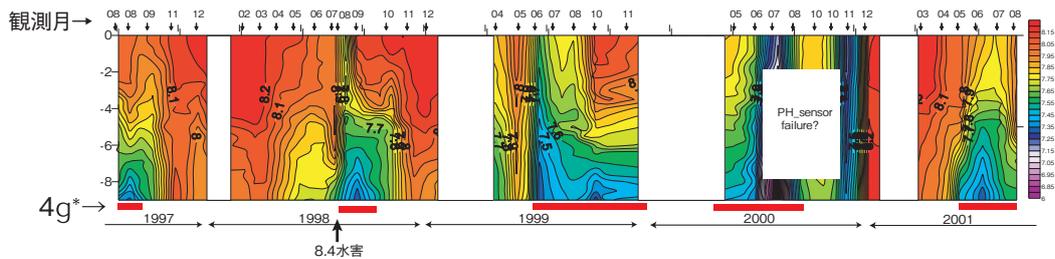
e 密度
(単位 σt)



f 溶存酸素量
(単位 %)
透明度 (記号◇)
(単位 m)



g pH



加茂湖中央での水質等値線

横軸は観測月、縦軸は深度 (単位 : m)、横軸上のアルファベットと数字の組み合わせは調査ポイントを示す。

(2) 塩分

加茂湖の塩分は、実質的には海水といえる数値です。湖口域、湖央域、湖奥域の地域差は、湖底と全層でほとんど見られませんが、表層は湖口域でわずかに低く、7～8月に湖底の塩分がわずかに高くなります。冬期の降雪・降雨や、梅雨・秋雨の降雨の多い時期に湖水上半部の塩分がやや低下します。

前ページd塩分に見られる極端に低い表層塩分は、1998（平成10）年8月4日の記録的大雨によるもので、海水の上に真水が乗った状態になっています。

(3) 密度

水は、性質が違うものどうしが簡単に混ざることはありません。加茂湖では、湖水の表面温度が下層の温度より下がる時期を含めて、年間を通して上下方向の移動が起きていないことがわかっています。

しかし、10～11月頃に湖水の上層と下層の密度差が小さくなり、そこに強い北西の季節風が吹くと年に一回だけ、上層と下層の水の入れ替えが起き、一気に均一状態となります。

(4) 透明度

加茂湖の透明度はプランクトン量に反比例すると考えられ、湖央域から湖奥域にかけてやや低くなっています。これは、湖奥域に栄養塩類がたまりがちなることを意味しています。

(5) 溶存酸素量

溶存酸素量の平均値は、表層で88%、湖底で42%、全層平均で69%と良好です。

しかし、湖央域では値が低くなっています。この部分の水深が深く、夏期に30%以下の低酸素層が現れることが溶存酸素量を低くしています。

(6) pH

加茂湖のpHの平均値は、表層で8.1、湖底で7.8、全層平均で8.0です。

これは両津湾の海水と同程度の値です。pHの表層平均値と湖底平均値の差は、湖口域の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ります。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ことを示しています。

溶存酸素量

100%が酸素の飽和状態。0%が無酸素状態。

植物プランクトンの光合成によって簡単に増加し、その呼吸によって減少する。

pH

酸性やアルカリ性の程度を表す数値。

pH=7 が中性、海水にはいろいろなものが溶けているので普通 pH=8.1 程度。薄い食酢は pH=3.0、石けん水は Ph=10 程度。

「8.4 水害」で加茂湖に何が起きたか

1998年（平成10）8月4日の豪雨で起きた災害は、通称「8.4水害」と呼ばれ、島内に林道崩壊や堤防決壊など多くの被害をもたらしました。両津の総雨量194mm。これは両津での観測史上（20年間）最大です。

加茂湖の西側では、藤津川が決壊、上流では川が堤防を乗り越え水田に流れ込みました。この記録的な大雨に、藤津川ダムは満杯状態で、ダムのすぐ下では土砂崩れも発生し、洪水を防ぐことができませんでした。

「8.4水害」が加茂湖にどのような影響をもたらしたのかをデータをもとに見てみましょう。

① 8月5日 豪雨翌日

加茂湖の水質は、溶存酸素量、水温、塩分、密度、pHといった項目において深度1.5mを境界として明瞭に二分されました。1.5mよりも浅い部分は洪水の影響を強く受けて淡水に近い層となり、1.5m以深は洪水の影響が少なく、洪水以前の状態を残しています。

溶存酸素量は、最高値94.0%～最低値0.1%を示し、透明度は0.3～0.9m、平均0.8mと非常に低いものです。流入した泥水のためと考えられます。

深度6m以深には、溶存酸素量10%以下の低酸素状態を示す部分が広がっておりこれは次のことが原因と考えられます。

豪雨により湖水が濁る

▼
水中に入ってくる光の量が低下

▼
植物プランクトン類の光合成速度が低下して酸素濃度が減少

▼
プランクトンの呼吸により酸素量の減少

① 9月5日 豪雨後約1ヶ月

溶存酸素量は、最高値115.3%～最低値0.1%を示し、表層から深度1.5mの部分には90%～115%（過飽和）を示す高酸素濃度層が湖全域に広がりました。これらの高酸素濃度層は植物プランクトンの大増殖によるもので、船からも肉眼で湖表面のプランクトンを無数の白点として認めることができました。

この大増殖は、洪水によって流れ込んだ栄養塩類が引き起こしたものです。

一方、深度5.0m以下に溶存酸素量10%以下の低酸素濃度層が全域で認められ、小規模ながらカキに被害が出始めました。

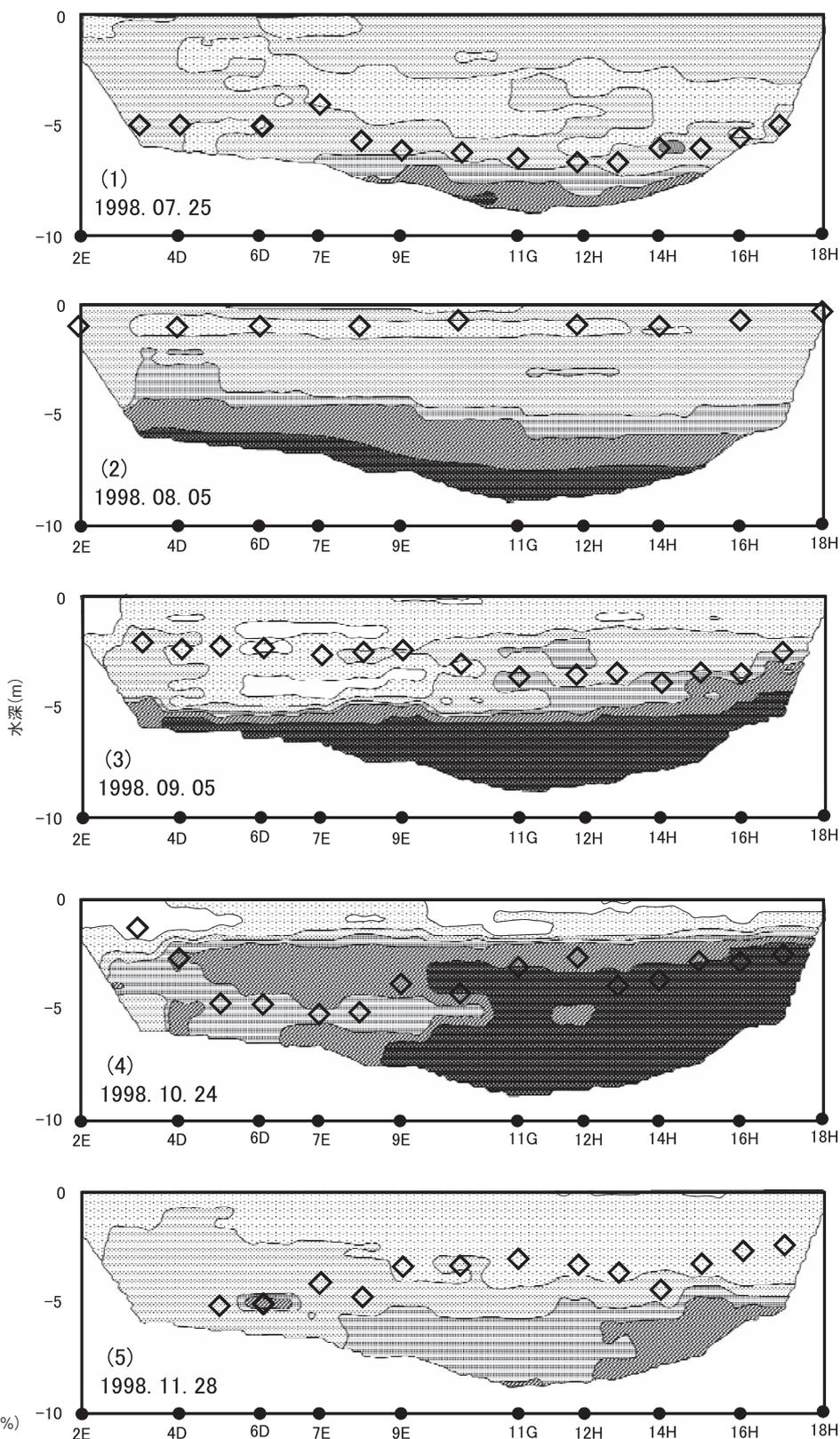
② 10月24日 約2.5ヶ月後

溶存酸素量は、最高値147.2%～最低値0.0%を示し、表層から深度1.5mの部分に依然90%～140%を示す高酸素濃度層が広がっていました。

また、深度 3.0m 以下に 10% 以下の低酸素層が全域に広がりました。この規模の大きさは 1 ヶ月前をはるかに上回っており、観測を始めてから最大のものです。カキの被害は過去最悪で生産量は例年の 3 割程度に落ち込みました。

③ 11 月 28 日 約 4 ヶ月後

高酸素濃度層と低酸素層の両方が消えました。「8.4 豪雨」の影響が消えるのに約 4 ヶ月も要したことになります。



溶存酸素と透明度の水質断面図の 8.4 水害前後の変化

図中横軸の数字とアルファベットの組み合わせは、観測点を示す。
◇は透明度 (m)。

よみがえれ水辺 —加茂湖および周辺環境の長期的展望—

1998（平成10）年の「8.4水害」では、養殖カキの70%と多くの魚が死んでしまいました。また、その後、2009年10月の台風でも青潮や赤潮といわれる水質異常が起き、カキの大量死につながっています。この二つの事件ではともにプランクトンの大繁殖が起きたことで大きな被害が発生しています。プランクトンの異常発生の原因解明には、まだ研究が必要な部分がたくさんありますが、少なくとも富栄養化が大きな要因の一つであることは明らかです。このため、まずはプランクトンの養分になる窒素やリンを適切な濃度に制御してやる必要があります。では、そもそも、この窒素やリンはどこから出てくるのでしょうか。

栄養塩類の主な排出源として考えられるのは、生活系排水と農業系廃水です。生活系排水とは、家庭の汚水や排水のことで、これが各家庭の浄化槽を通過して河川に流れ込んでいきます。見た目は「きれいな水」なのですが、実はこの中に多くの窒素やリンが含まれています。公共下水道を整備して、この「きれいな水」が加茂湖に流れ込まないようにすることが、加茂湖を綺麗に保つためにはとても大事な方法になります。

一方、農業系廃水は、農地の肥料分や有機物が大雨の際に河川に流れ込むものです。今から30～50年前の加茂湖周辺には広大なヨシ原が広がり、水中の栄養塩類を吸収する役割を果たしていましたが、これらは開発されて道路や農地に変わっていきました。また、河川の治水工事や農業排水路の整備によって、加茂湖には以前に比べて雨水が短い期間に大量に流れ込むようになりました。こうしたことが原因で、加茂湖の富栄養化が進んでいきました。

このヨシ原を復元することも、加茂湖復活のための夢のある方法でしょう。加茂湖に流入する河川と、周辺の耕作放棄地を中心に100ha程度のヨシ原を復元させ、ここを蛇行河川・塩性湿地・藻場・浅瀬につくりかえます。コンクリートの護岸は撤去し、湖底と陸地を結ぶ移行帯（エコトーン）を形成するのです。こうすることで、比較的費用をかけずに環境再生が行えるほか、ヨシ原は多様な生物・微生物を育成させ、豊かな生態系を形成し、野鳥・水鳥の生息地となります。ヨシを刈り取って利用し、カキを養殖し、また鳥が餌を食べることで、窒素やリンは次第に湖の外に排出されていきます。また、ヨシ原が作り出す親水空間は、人びとが憩いながら環境を考える機会も提供してくれるでしょう。

こうした手法は、これからの佐渡島が目指すべき一つの将来像ではないでしょうか。加茂湖は「汚れていて、将来の展望がない」という人がいます。しかし、それはマスメディアの論調をうのみにしたもので、実際に調査をして結論づけられたものではありません。たしかに、市街地周辺にはごみなどが見られ、とても泳げる環境ではありませんが、全体としては一般にいわれているほど極端に汚染が進んでいるわけではありません。これからの私たちの努力で維持・再生は十分可能なのです。

これからも加茂湖は佐渡市、新潟県の貴重な財産となり続けることでしょう。