

茨戸湖における塩分成層形成時の水質環境の変化とその要因

三上 英敏 日野 修次* 高野 敬史**
 五十嵐聖貴 坂田 康一 藤田 隆男

要 約

茨戸湖は海水の逆流によって深層部では塩分成層が形成されることがある。本報告では1994～1997年の調査結果をもとに茨戸湖の塩分成層が形成される状況とそれにとまっておきる水質環境の変化についてまとめた。その結果、茨戸湖の塩分成層の形成は年により大きく異なっていることがわかった。また、塩分成層における嫌気層の形成により、底泥からの回帰と考えられる嫌気層での高濃度のリンや窒素の蓄積が確認された。さらに、溶存無機態窒素や全窒素濃度の変化から、塩分成層下の嫌気層およびその近傍において、脱窒現象が示唆された。

Key words : 茨戸湖、塩分成層、リン、窒素、脱窒

1 はじめに

茨戸湖は、Fig. 1に示されたように、石狩川下流部の湾曲部が1930年に完成した河床の切り替え工事により本流から隔離されてできた、幅約150～400m、総延長約18km、最大水深約12mの浅く細長い三日月湖である。

茨戸湖は下流部で志美運河により石狩川本流と連絡しているが、1982年に志美運河の約2 km上流に石狩放水路が完成し、日本海とも直接連結している。志美運河と石狩放水路ともに水門が設けられており、通常時は石狩放水路の水門が閉じて志美運河の水門が開けられているため茨戸湖の湖水は志美運河を通じて流出する。しかし、茨戸湖からの流出湖水が少ない時は逆に石狩川の水が茨戸湖内へ侵入する。石狩川の志美運河合流域付近は、石狩川の流量によっては海水が遡上する地点であることから、そのようなときは塩分を含んだ水が茨戸湖へ侵入する¹⁾。一方、石狩川流域での大量の降雨により石狩川の流量が極端に増加したときは、石狩川の河川水が茨戸湖を介して札幌や石狩の市街地に洪水をもたらさないように志美運河の水門を閉鎖し、同時に石狩放水路の水門が開放され、茨戸湖は石狩放水路を通じて日本海と連結される。このときも石狩放水路を通じて海水が茨戸湖内へ侵入する可能性があると思われる。

以上のように、茨戸湖は塩分の侵入について複雑な因子が考えられ、様々な汽水環境が出現すると考えられる。特に、周囲より相対的に深い地点では、高塩水が比重の違いにより深部に入り込み塩分による鉛直的な密度差が生じて

塩分成層が形成されやすい。茨戸湖では1989年に実施された浚渫により最深部の深度が約12mにまで増加したため、1989年以前と比べて石狩川の流量が減少する冬期と夏期に比較的強い塩分成層が見られることが多くなった。また、一般に、塩分成層の形成に伴って、躍層以深では上層からの酸素の供給がほとんど無くなるために嫌気的な環境が出現しやすくなり、これによって、底泥からアンモニア態窒素やリン酸態リンの無機栄養塩類の回帰がおきてくること

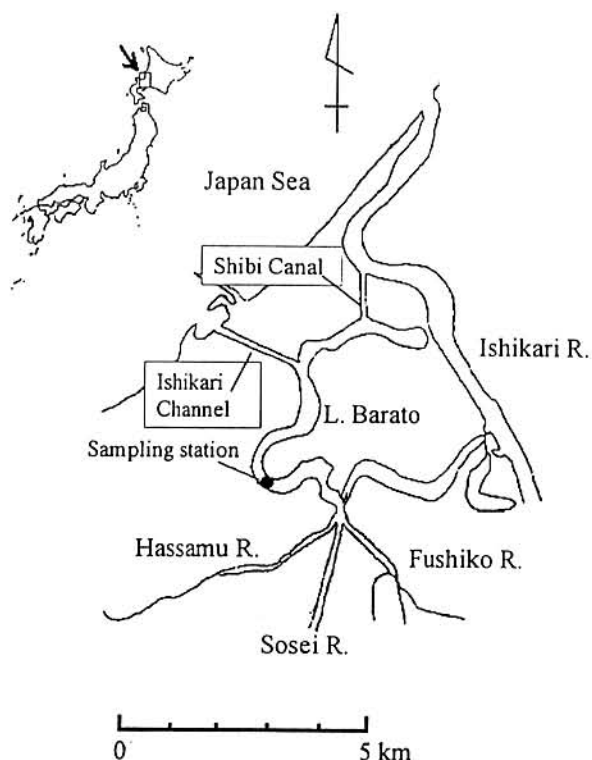


Fig.1 Map of Lake Barato and location of sampling station

* 山形大学理学部

** 北海道立衛生研究所

が知られている。ここでは茨戸湖の最大水深を示す調査地点での浚渫後の1994年から1997年までの調査結果を基に、茨戸湖の塩分成層の形成状態とそれによっておきる水質環境の変化について報告する。

2 調査・分析方法

Fig. 1に示した地点において各年4月から11月までの年8回調査した。また、成層の変化を詳細に把握するために、調査地点において1994年には3月から6月までに8回、および1994年12月から1995年4月までに7回、追加調査を実施した。本報告では、それら合計47回の調査データを基に解析した。

採水は、6リットルのバンドーン採水器を用いて、1mないし2mおきに鉛直的に行った。水温(WT)と溶存酸素(DO)はDOメータ(YSI model 58 および59)を用いて直接測定した。採水後、ただちにワットマンGF/Fフィルターを用いて濾過し、溶存態栄養塩類等の試料を調整した。塩化物イオン(Cl)は、硝酸銀滴定法、チオシアン酸水銀(II)法もしくはイオンクロマトグラフ法(ダイオネクスDX-100型)によって求めた。硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)およびリン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)は、テクニコンAA-IIもしくはブラウンルーベAACS-IIを用いて分析した。全窒素(TN)は、アルカリ性過硫酸カリウムによる分解の後、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の定量と同様な方法で行った。全リン(TP)は過硫酸カリウムによる分解の後 $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様な方法で行った。

3 結 果

3.1 塩分成層の形成状況

1994年～1997年のWT、DO、Clの鉛直分布をFig. 2～5に示した。1994年3月15日において、6m以深は上部に比べてCl濃度が高かった。3月24日のWTやDOの鉛直分布も、Cl濃度が急激に増加する6m以深でWTが低下し、またDOが大きく減少しており下部は嫌気化していた。その後、融雪期になるに従って、徐々に躍層の深度がさがり始め4月20日では完全に塩分成層は消失した。その後、6月までは、上部と下部のCl濃度の差は認められていないが、徐々に水温差が認められ、下部での貧酸素層が表れた。7月18日では、下部のCl濃度が高くなり、また嫌気層が形成されていた。その後の調査において徐々に塩分成層が弱まり10月27日では嫌気層が消滅した。しかし、11月22日では下部でCl濃度として $2000\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ に達し強い塩分成層が形成され、6m以深は嫌気的環境であった。12月7日においても同様な状態が確認できた。

1995年においては、冬期の2月27日に、塩分の鉛直分布

の変化が確認されたが、下部は嫌気的な状態とはなっていない。3月14日には下部のCl濃度がわずかに高い程度であり、それ以後の3月22日から5月30日まで鉛直的にCl濃度は低濃度でほぼ一様であり水温分布もほぼ一様であることから、循環していたと考えられる。詳細にみると5月30日には塩分成層も水温成層も見られないが、わずかに下部のDO濃度が減少している傾向がみられた。6月27日では、下部にCl濃度の増加が確認され、WTもわずかながら違いが見られ、貧酸素状態($\text{DO } 1\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下)であった。7月18日では、下部のCl濃度は $1400\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度に達し比較的強い塩分成層が認められ、また嫌気層が出現した。8月31日には下部のCl濃度は減少しているものの、塩分成層がおきており嫌気層の形成が確認された。しかし、9月28日では、上部と下部のCl濃度にほぼ違いがなくなり嫌気層は消滅した。10月20日では、弱い成層のため10m層で嫌気の状態が出現したが、11月16日には完全に嫌気層は消滅していた。

1996年以降は4月から11月までの年8回の調査しかおこなっていないが、1996年の特徴は全調査において塩分成層が認められなかったことである。その理由として、海水の侵入がきわめて少なく、かつ創成川などの流入河川や石狩川による茨戸湖への淡水流入量が多かったことが考えられる。WTによる勾配が確認された5月30日と8月29日に関して下部でDOの減少が認められたのは、弱い成層で酸素供給量の減少がわずかでも、茨戸湖では生物代謝が活発であり有機物の分解に伴う酸素消費量が多いことに起因すると考えられる。

1997年は、1996年とは対照的に、4月30日においてすでに12m層のCl濃度が $6000\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ を越えており、強い塩分成層が認められ嫌気層が形成されていた。その後、下部のCl濃度は段階的に減少していく傾向が認められたが、10月21日まで下部は高塩分で嫌気状態という環境が継続していた。11月20日では、下部にわずかに塩分成層のなごりがあるが10m層までは好気的であった。1997年の4月以前から10月に渡る長期間において塩分成層の形成が続いた理由として、4月以前の段階で大量の塩分が下部に入り込み拡散したために、強い鉛直密度勾配が生じて強い塩分成層が形成されたこと、および、その後の創成川などの流入河川や石狩川による茨戸湖への淡水流入量が少なかったために塩分の拡散流出に時間がかかったことが考えられる。

Fig. 6に1994年から1997年までのDOの季節変化を0m、6m、10m層について示したものである。この図からは嫌気層が形成される状況の変化を簡潔に見ることができ、茨戸湖は植物プランクトン現存量がきわめて多い湖であることから²⁾、光合成の活発な時は0m層のDOは高い過飽和状態が見られる。しかし、塩分成層により下部では嫌気的になることが示されたが、この図から1994～1997年間で下部の10m層が嫌気的であったのは、1994年の3月

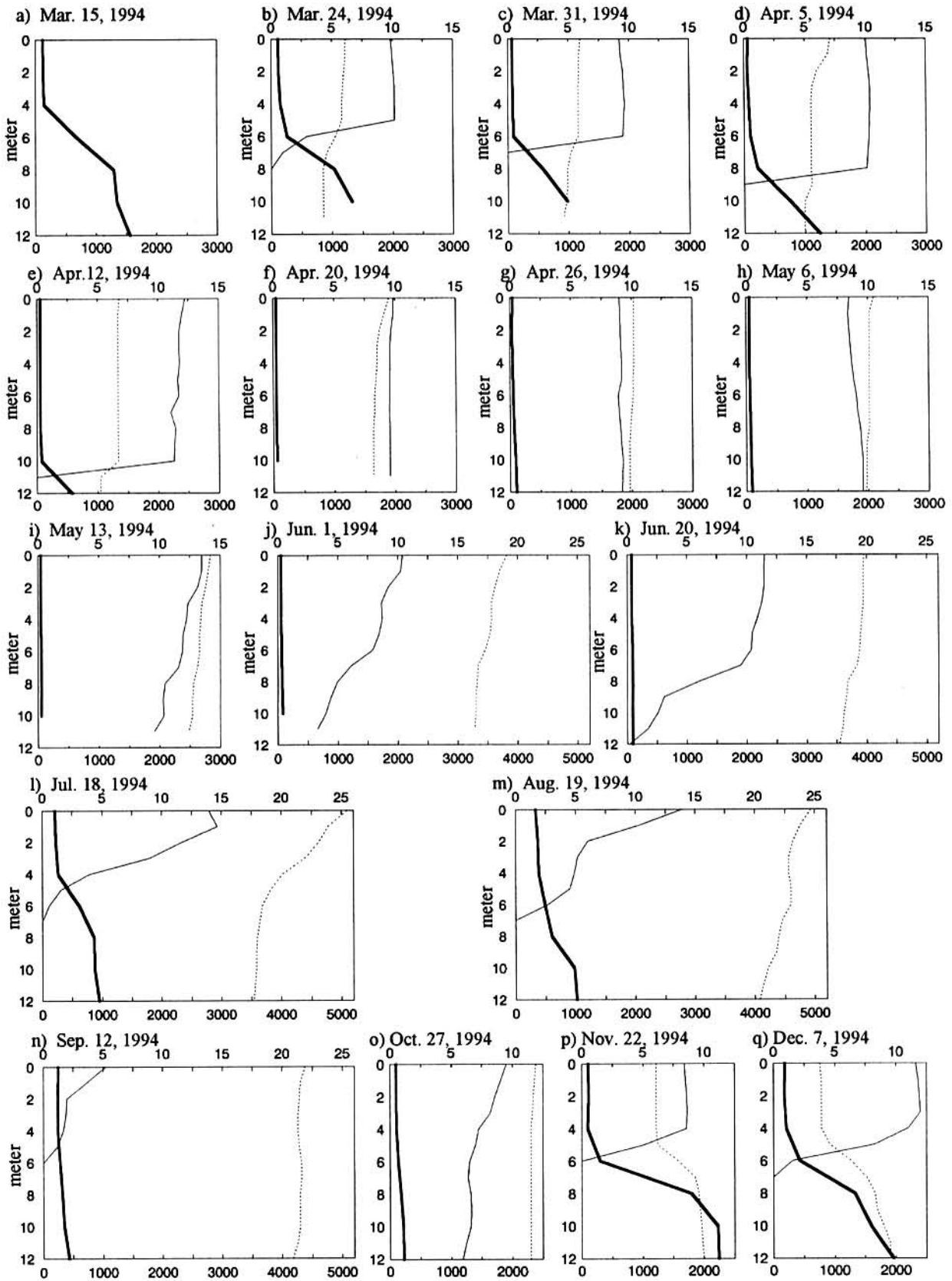


Fig. 2 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1994. Upper axis: WT(°C) — DO(mg·l⁻¹), Downer axis: — Cl(mg·l⁻¹)

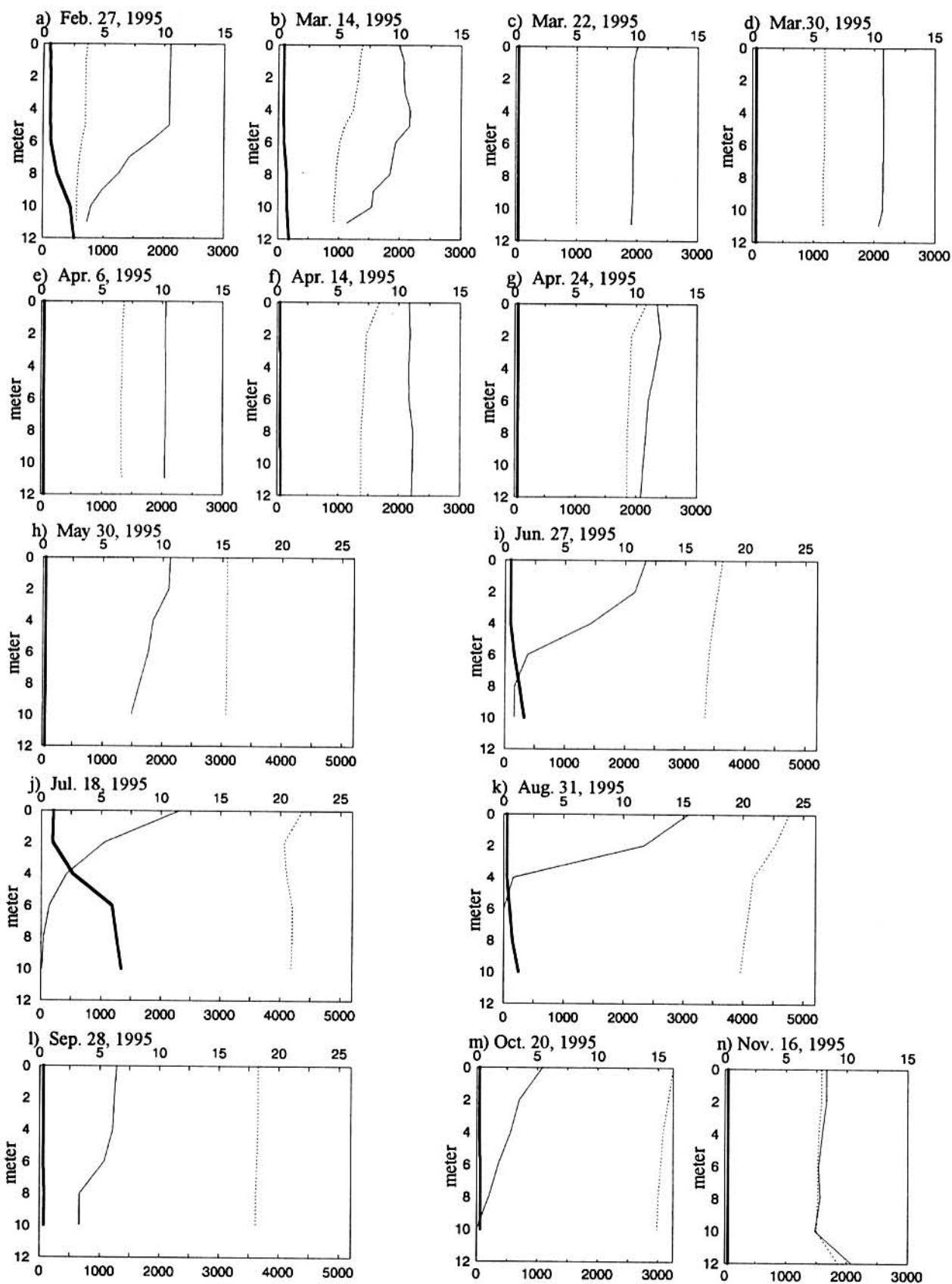


Fig. 3 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1995. Upper axis: WT($^{\circ}\text{C}$) — DO($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), Downer axis: — Cl($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)

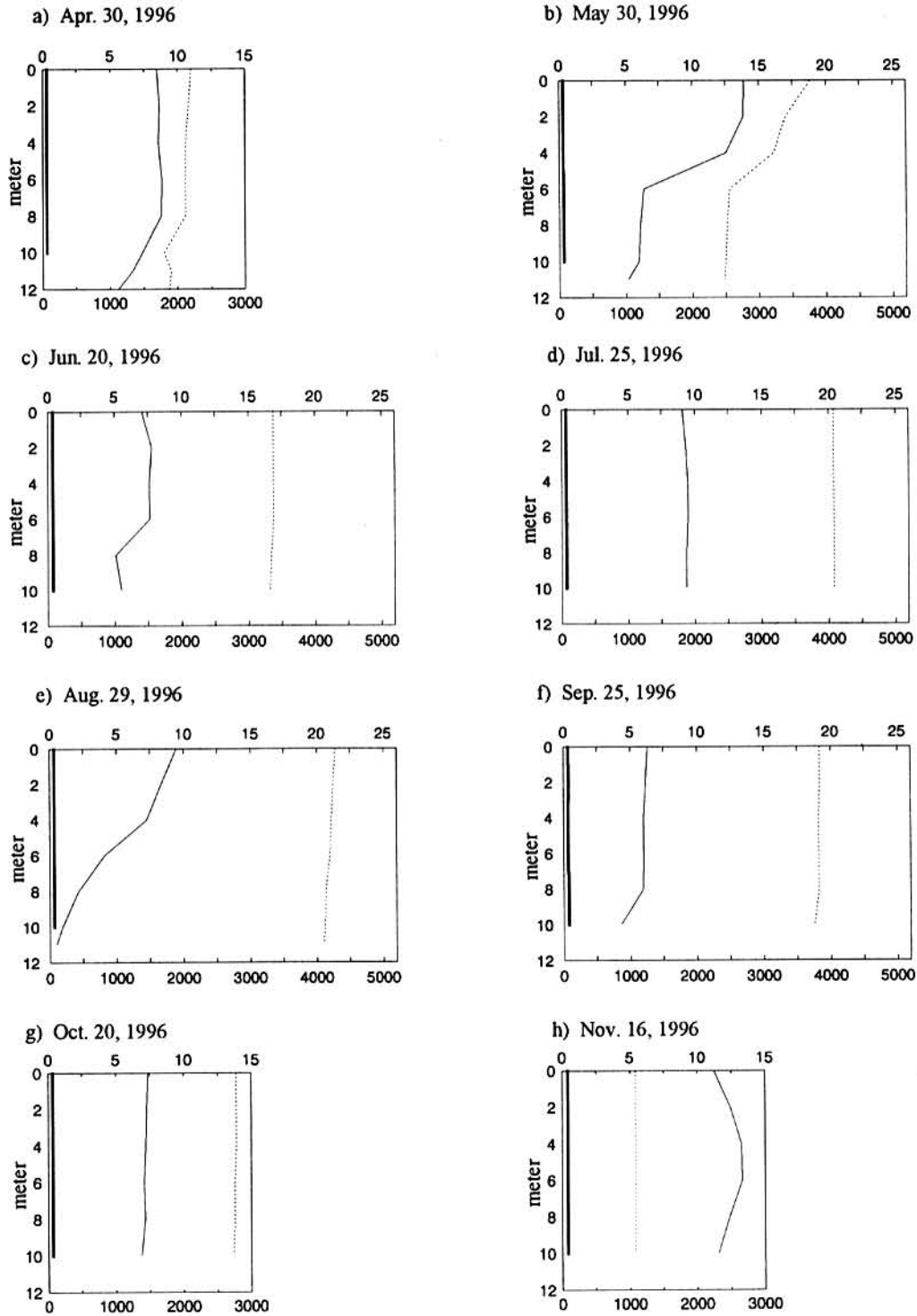


Fig. 4 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1996. Upper axis: WT(°C) — DO (mg·l⁻¹), Downer axis: — Cl (mg·l⁻¹)

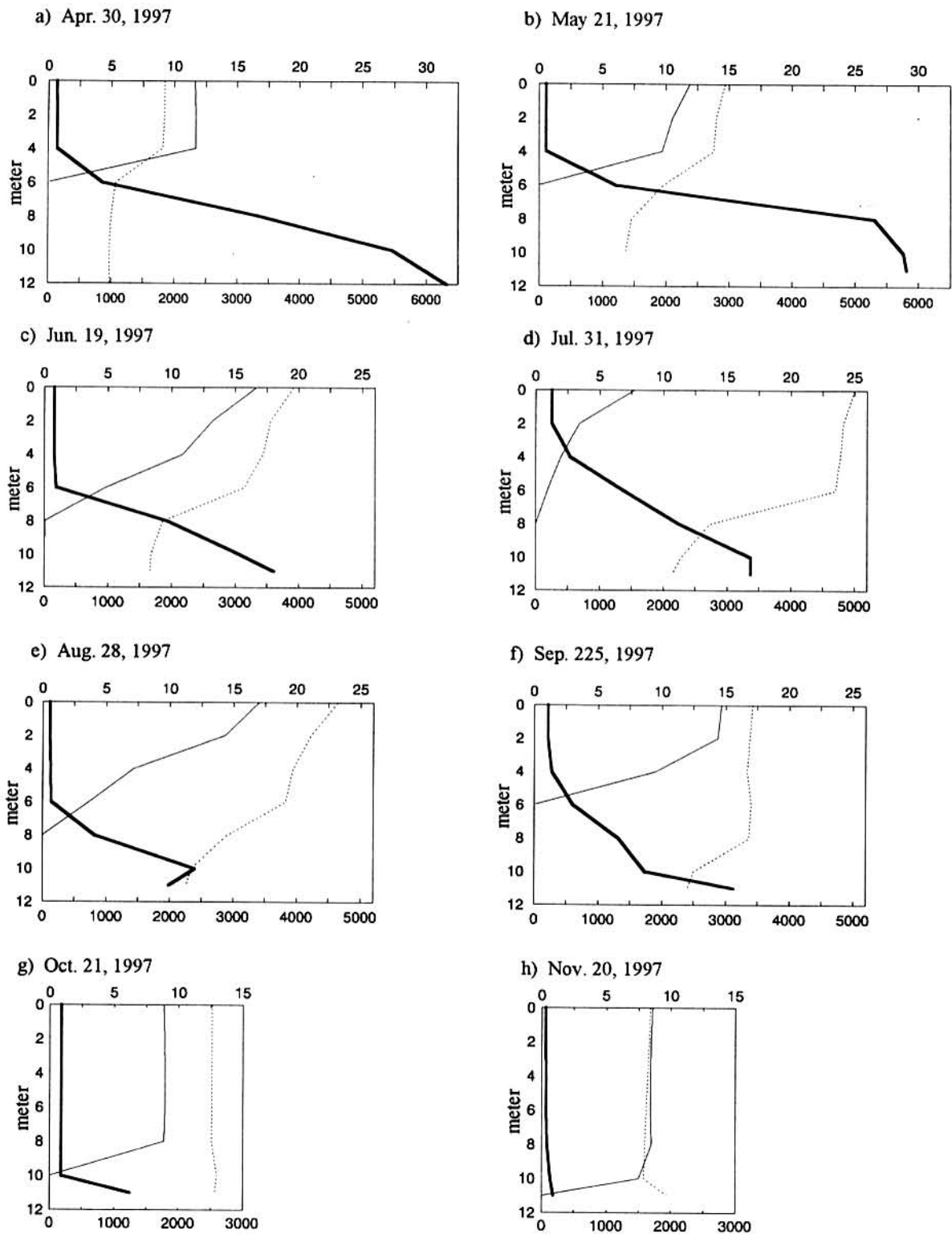


Fig. 5 Vertical distributions of water temperature (WT), dissolved oxygen (DO) and chloride ion (Cl) in Lake Barato in 1997. Upper axis: WT(°C) — DO (mg·l⁻¹), Downer axis: — Cl (mg·l⁻¹)