

音波探査による中海・宍道湖の塩分躍層 の検討とその意義

徳岡隆夫¹⁾・大西郁夫¹⁾・三瓶良和¹⁾・瀬戸浩二¹⁾・田村嘉之¹⁾
高安克己²⁾・安間 恵³⁾・土屋洋一⁴⁾・松田滋夫⁵⁾
井内美郎⁶⁾・西村清和⁶⁾

A wedge-like saline layer in Lakes Nakaumi and Shinji detected by sonic survey, and its significance

Takao Tokuoka¹⁾, Ikuo Onishi¹⁾, Yoshikazu Sampei¹⁾, Koji Seto¹⁾, Yoshiyuki Tamura¹⁾
Katsumi Takayasu²⁾, Kei Anma³⁾, Youichi Tuchiya⁴⁾, Shigeo Matsuda⁵⁾,
Yoshio Inouchi⁶⁾ and Kiyokazu Nishimura⁶⁾

Abstract: In brackish lakes it is well known that sea water is overlain by fresh water. Their mutual boundary, which is recognized as the boundary of the halocline and thermocline, sometimes appears on echo-sounding records. These phenomena are caused by the rapid change of acoustic impedance at the boundary of saline and fresh water, and has been termed the deep scattering layer (D.S.L), although there has been little interest shown in it. A project to analyse this boundary using more sensitive echo-sounding equipment has been performed, with financial support from the Ministry of Education, Government of Japan in fiscal years 1992 and 1993. The acoustic profiling component was made by modifying a 200 kHz precision echo sounder (Model 101, Senbon Denki Co. Ltd.). The development of such an acoustic profiler with a digital recorder is also reported from a mechanical viewpoint by Nishimura et al. in the present volume. The surveys were done in November 1992, February 1993 and August 1993 along the same transects from Daikon-shima Is. southwest to Yonago Bay in Lake Nakaumi, and in February, 1993 and October, 1993 in Lake Shinji. Clear reflectors could be observed in water about 6 m in depth with additional reflectors, corresponding to changes in water quality, particularly changes in salinity. In lake Nakaumi, seasonal variations in the depth of reflectors were also recognized. In lake Shinji, clear reflectors could be also observed, corresponding to changes in salinity. The digital recorder was first used in Lake Nakaumi in August 1993, when detailed and clear profiles were recorded in color. This was also in lake Shinji in October, 1993. These records are collectively shown in the color figures. The digital and color records can provide us much more informations than the conventional analog records. Thus, newly developed underwater acoustic profiler equipped with a digital recorder can contribute much in understanding many phenomena of brackish lakes.

Key words : acoustic impedance, brackish water, echo-sounding survey, wedge-like saline layer

¹⁾ 島根大学理学部地質学教室
Department of Geology, Faculty of Science, Shimane University,
Matsue 690, Japan.
²⁾ 島根大学汽水域研究センター
Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane
University, Matsue 690, Japan.
³⁾ 川崎地質株式会社
Kawasaki Geological Engineering Co.Ltd., 3-24-17,
Omoriminami, Ota-ku, Tokyo 143, Japan

⁴⁾ 千本電機株式会社
Senbon Denki Co.Ltd., 1299-3 Okanomiya, Numazu, Shizuoka
410, Japan.
⁵⁾ クローバテック株式会社
Clovertech Inc., 3-25-26, Naka-machi, Musashino, Tokyo 180,
Japan.
⁶⁾ 工業技術院地質調査所
Geological Survey of Japan, 113, Higashi Tsukuba, Ibaragi 305,
Japan.

はじめに

一般に河口域では河川からもたらされる淡水は海水の上に重なり、いっぽう海水はその下において河口域から遡上して行き、塩水楔を形成する。海陸境界部に位置する汽水湖では、水面の高さは海水準からそれほど離れていないので、潮の干満や気圧・風などの作用によって海水が浸入してくることになり、塩分躍層が形成される。塩分躍層はまた河川からの淡水の流入量によっても変化する。塩分躍層の存在は汽水湖の本質的な特徴であるといってもよい。塩分躍層の存在は水質を観測することによって容易に知ることができるが、その面的な拡がりについては理論的な検討があるのみで、連続的な観測は実際にはなされていない。それを音波探査によって明らかにしようというのが本研究のねらいである。

この研究テーマは、長年にわたって音波探査による中海・宍道湖の形成史について協力研究を行ってきた島根大学・地質調査所・川崎地質株式会社の相互討論のなかから生まれ、後に千本電機株式会社とクローバテック株式会社が加わることによって実現したものである。なお、機器の開発については、西村ほかによって同時に本誌で報告される。本研究は文部省科学研究費補助金（試験研究(B)）「汽水域の塩水楔およびヘドロ層の音波探査法の開発」（課題番号04554031、平成4,5年度 代表 徳岡隆夫）によるものである。なお本研究については日本地質学会第3回環境地質研究会において中海の調査についての概要を報告した。また、資料の詳細については上記の試験研究報告書（平成5年度）にまとめる予定であるので、それを参照されたい。

本報告をまとめるにあたり、船の使用で便宜を図っていただいた島根県水産試験場三刀屋分場、民主工業造船所、建設省中国地方建設局出雲工事事務所にお礼申し上げます。

研究の方法

本研究は淡水・塩水界面の反射が、既存の各種の音波探査機を改良して検討することによって可能であることがわかったことから、中海・宍道湖で調査測線を設定して、音波調査を行って塩分躍層の実態を捉えようとしたものである。これまでの研究（三梨・徳岡編，1988；徳岡・高安編，1992など）で、千本電機株式会社による底質音波探査装置SH-10型およびこれを改良したSH-20型やアトラスデソ20（クルップ・アトラス製）により、湖底下の堆積層とともに、

その上位に重なる浮泥層（ヘドロ）が捉えられることがわかっていて、また、魚群探知機や測深機による偽像は一般に超音波散乱層（deep scattering layer=D.S.L）と呼ばれているが、中海では塩水の上面辺りに、これらの機器によっても、しばしばそれらしきものが認められることがあり、このような経験から、本研究が発想された次第である。

機器の開発は西村ほか（1994）で報告されるように、測深機や魚群探知機で多く使用されている200kHz付近の周波数を選び、千本電機株式会社により同社の精密音響測深機（PDR-101）を改良し、アナログ式の探査機を開発を行った。その上で川崎地質株式会社とクローバテック株式会社によって、音響測深機の受信部の改良を進め、デジタル収録できる装置を開発した。

調査は中海で3回行っている。1992年11月の中海の調査では、既存の音響探査機で塩分躍層が捉えられることが明らかになった。1993年2月および8月の中海調査では改良を加えた機器のテストを行い、デジタル式水中音響探査機が完成した。また、宍道湖では2回の調査を上記に付随して行っている。本報告では改良を加えた音響探査機によって得られる水中の反射面が、塩分の垂直分布の急変点とよく一致することから、両者の関係を中心に調査結果をまとめている。

調査結果

1. 中海（1992.11.23）

民主造船工業所八東丸（船長 井川喜代志氏）を用いて行ったもので、すでに徳岡ほか（1993）で報告しているが、その一部について述べる。中海の調査測線は次の調査（図1）の場合とはほぼ同じである。使用機器は千本電機株式会社で試作した測深機PDR-101改良型である。位置の測定はトリスポンダーによった。

大根島から安来沖にかけては水深約7.5mの様な湖底が連続している。その先の米子湾に至るところは浚渫されていて、水深約10mの湖底からなっている。音波探査記録を全体としてみると、浚渫跡地では水深約6mのところ連続性のよい反射面（I）が認められる。また、測線全体にわたって上記の反射面の上位、水深約4mあたりに反射面らしきもの（II）が認められる（徳岡ほか，1993の第4図を参照）。

水質については4地点で塩分、水温、DO、pH、についての鉛直分布を測定した。ただし、水質の測定

は音波探査の終了後に、ただちに測線にそって引き返しなが、各地点で測定を行うので、音波探査と水質測定の間には1ないし2時間の差がある。位置については電波測位によるので、ほぼ同じポイントにおいて測定がなされている。塩分と水温の鉛直分布を見ると、塩分躍層と水温躍層が全般にわたって形成されていることがわかる。両者とも水深6mのところにある。音波探査の反射面と塩分躍層の深さを比較すると、両者がほぼ対応していて、とくに浚渫跡地では明瞭である。

2. 中海 (1993.2.27)

塩分躍層の発達が最も弱いと考えられる季節をねらって、1993年2月27日に調査を行った。調査測線を図1に示す。調査方法は前回と同じであるが、位置測定はGPSによるので音波探査の測線上に正確にのっているというわけではない。なお、西村ほか(1994)で述べているように音波の反射にもっとも影響するのは塩分のちがいであるので、今回は水質については塩分(および水温は参考のために測定)についてのみ測定することにした。水質(塩分)を測定した地点を中心とした音波探査記録を図5に示す。なお、この調査では前回の調査記録をもとに機器の改良を行った結果、より良好な記録が得られるようになった。

3. 中海 (1993.8.19)

塩分躍層のもっとも発達すると考えられる時期をねらって1993年8月19日に調査を行った。ただし、この夏は全国的に異常気象であり、大量の降雨が夏季に続いたために、塩分躍層の発達は全体に弱かった(宍道湖では殆ど認められないまでになっていた)。この調査も、強い雨の続くなかで行わざるを得なかったため、通常の夏季に得られると予想される記録とかなり異なっていると思われる。調査は92年2月と同じ方法であるが、PDR-101型測深機の受信部をさらに改造するとともに、新たにデジタル収録装置を開発し、使用した(西村ほか, 1994参照)。調査測線を図2に、水質(塩分)の鉛直分布を測定した地点を中心とした音波探査記録を図6に示す。また新たにデジタル記録をカラープリンターを用いてグラフィック表示したものを測線全体について図10に示す。

4. 宍道湖 (1993.2.26)

2で述べた中海の調査に先立って行った。調査測線を図3に、水質(塩分)の鉛直分布を測定した地点を中心とした音波探査記録を図7に示す。

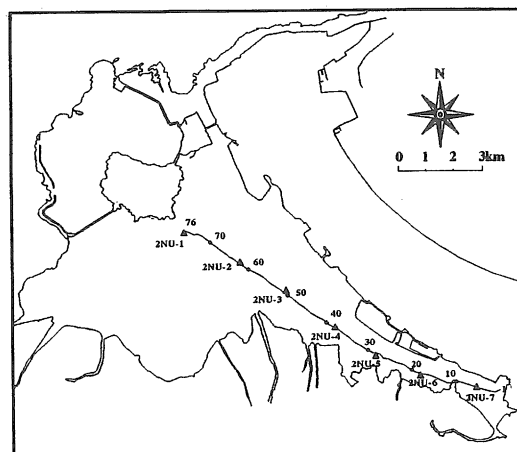


Fig. 1. Echo-sounding survey track in Lake Nakaumi on February 27, 1993.

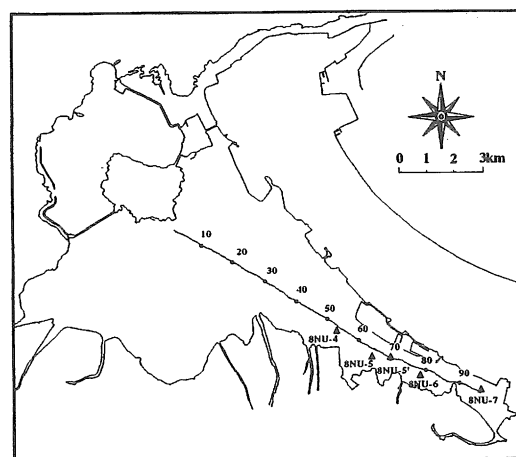


Fig. 2. Echo-sounding survey track in Lake Nakaumi on August 19, 1993.

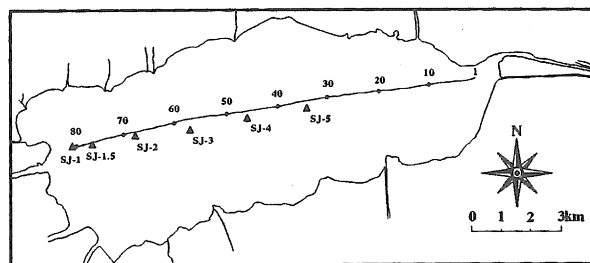


Fig. 3. Echo-sounding survey track in Lake Shinji on February 26, 1993.

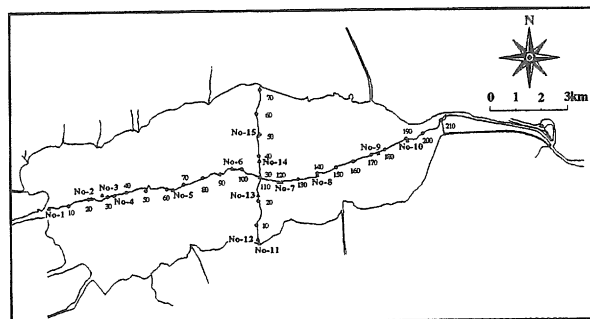


Fig. 4. Echo-sounding survey track in Lake Shinji on October 19, 1993.

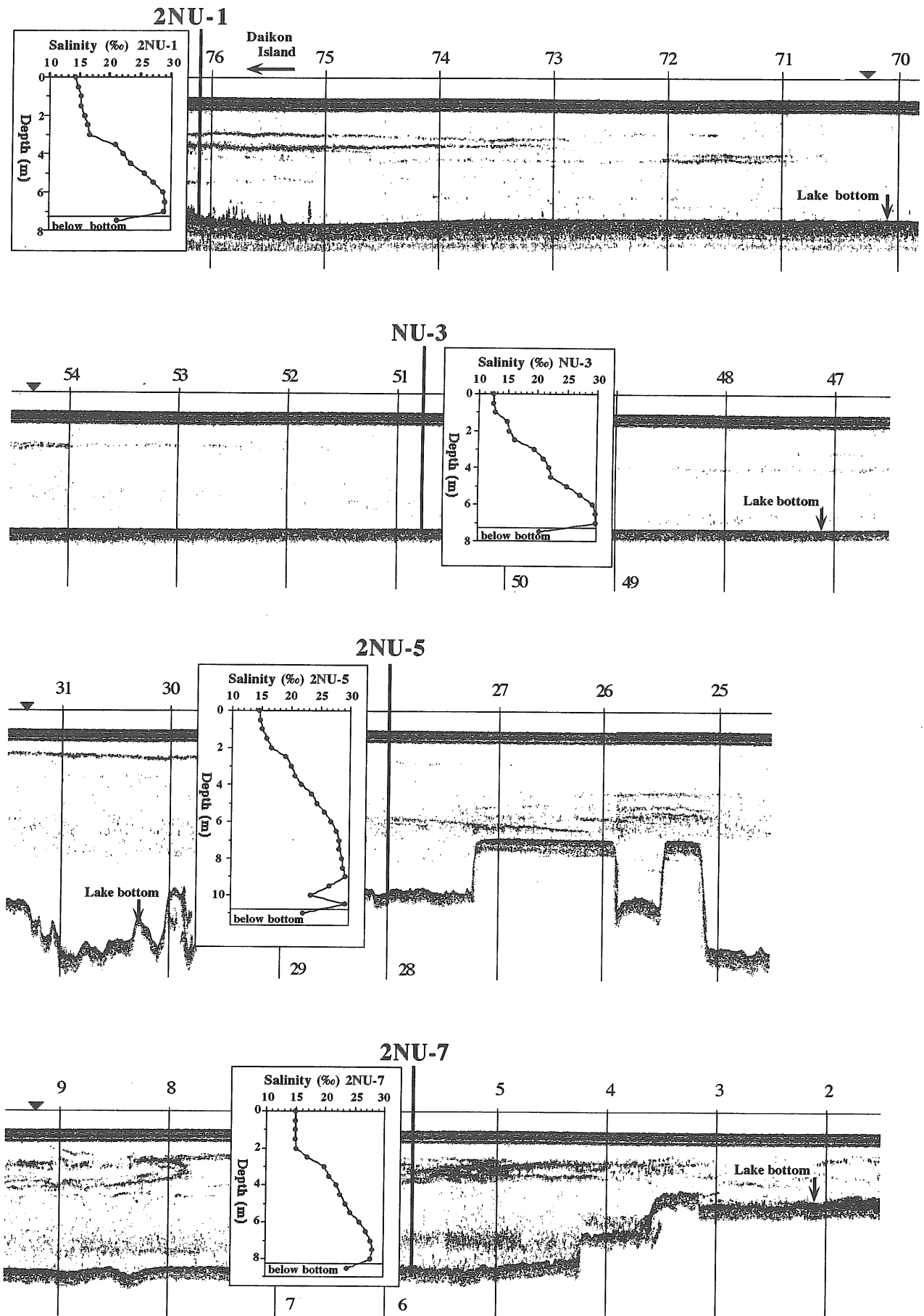
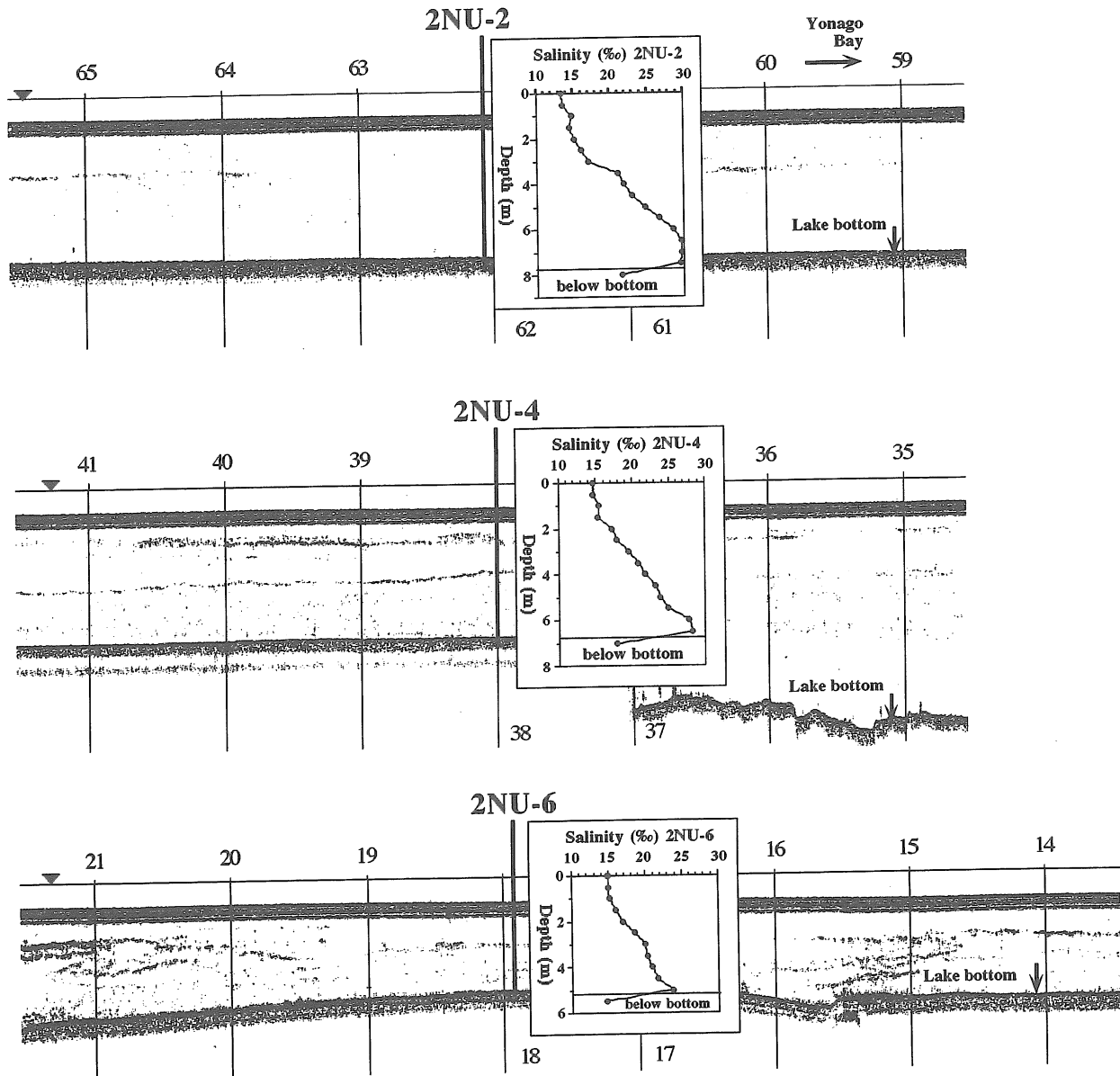


Fig.5 Echo-sounding records and changes of



along the track surveyed on Feb. 27, 1993 in Lake Nakaumi.

5. 宍道湖 (1993.10.19)

3で述べたように夏の大量の降雨が原因で、通常は発達する塩分躍層は殆ど認められない状況が長く続いた。10月以降になって、湖底近くにわずかに塩分躍層が認められるようになり（建設省の宍道湖湖心観測所データによる）、10月19日に調査を行った。調査機器は3の場合と同じである。なお、この調査は建設省中国地方建設局出雲工事事務所による水質調査（新日本気象海洋株式会社による）と連携して、2艘の舟を用いて行った。先行する舟で音波探査を行い、その結果を参考にしながら水質測定位置を決定し、後続する舟において塩分の鉛直分布を測定するようにした。したがって、音波探査記録上に示された水位測定位置は正確であり、両者の時間差は数分以内であると言ってよい。

調査測線を図4に、水質測定を行った地点を含む音波探査記録を図8,9に示す。また、測線（東西および南北）全体のデジタル記録をカラー表示したものを図11に示す。

まとめ

従来の音波探査機を改良することによって汽水域の主に塩分躍層による成層構造を面的に捉えることに成功した。中海ではほぼ同一測線上で時期を異にして3回の調査を行い、季節ごとの成層構造を明らかにした。

音波探査記録と塩分の鉛直分布を測定した結果を比較すると、塩分が急激に変化する深さでは反射面

が記録されていることがわかる。それが明瞭な場合ほど、塩分の鉛直変化もよりシャープであるといってもよい。中海の1993年8月の調査ではデジタル収録装置を開発して使用した。これによって得られたデータと、従来のアナログ記録装置によるデータとを比較すると（中海では図6と図10、宍道湖では、図8,9と図11）、両者の違いは明瞭である。

また、記録装置をデジタル化することによって記録の多面的な処理が可能になるとともに、振幅の小さい反射波も抽出できるようになったことから、より鮮明に塩分躍層の実態を捉えることができるようになった。今後この装置を用いて観測を行うことによって、塩分躍層の実態とその形成メカニズムを動的に捉えることが可能である。このことは、汽水湖の水質観測に新たな方法を提案することになる。

文献

- 三梨 昂・徳岡隆夫編(1998) 中海・宍道湖—地形・底質・自然史アトラス。島根大学山陰地域研究総合センター, 115p.
- 西村清和・安間 恵・松田滋夫・土屋洋一・徳岡隆夫・井内美郎(1994) 塩水楔調査のための水中音響探査機の開発。LAGUNA(汽水域研究), (1), 1-9.
- 徳岡隆夫・高安克己編(1992) 中海北部(本庄工区)アトラス。島根大学山陰地域研究総合センター, 72p.
- 徳岡隆夫・高安克己・三瓶良和・土屋洋一・安間恵・松岡弘和・井内美郎・西村清和(1993) 音波探査による中海の浮泥層と塩水楔の検討(予報)。山陰地域研究(自然環境), (9), 9-17.

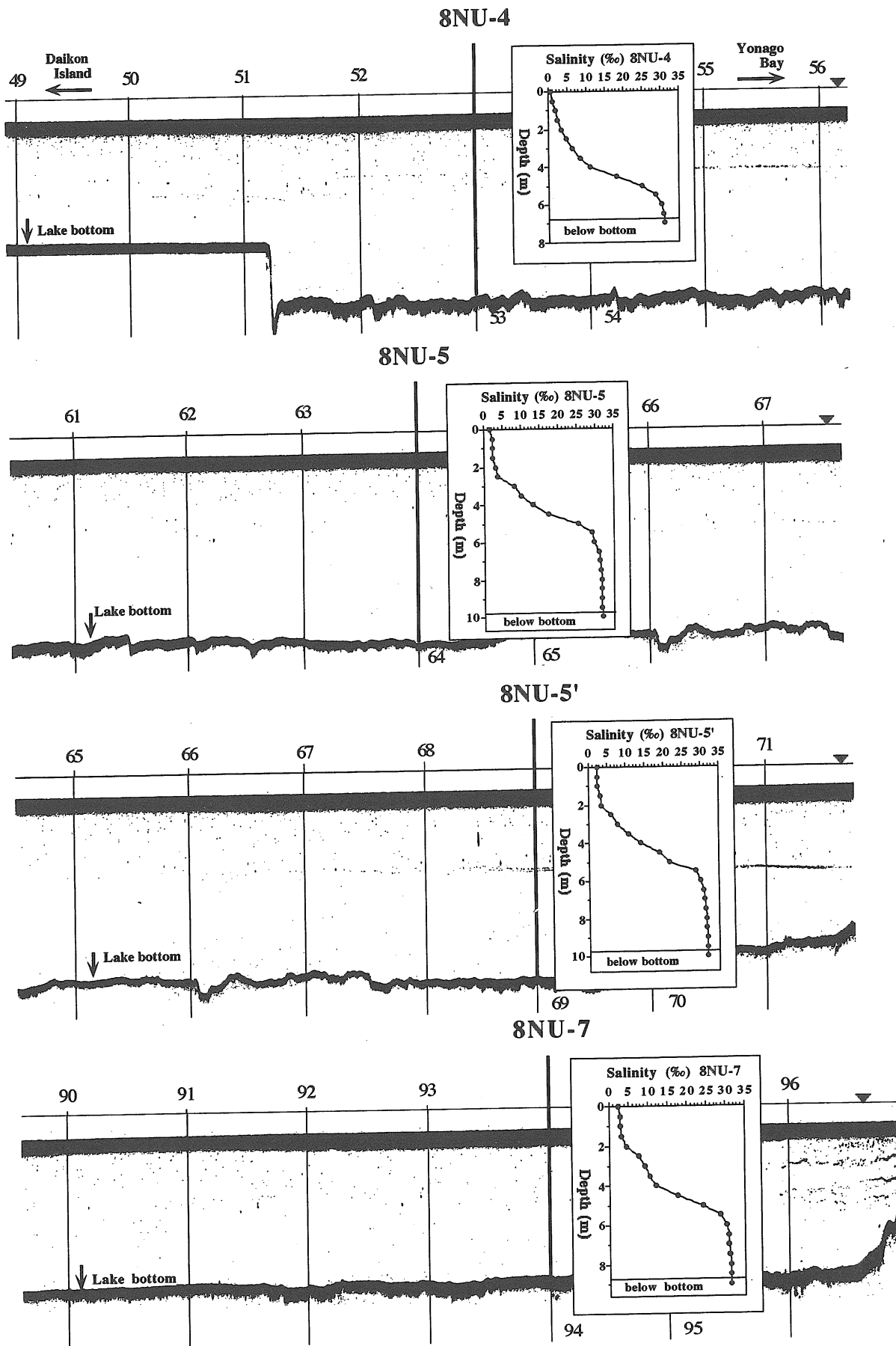


Fig.6. Echo-sounding records and changes of salinity along the track surveyed on August 19, 1993 in Lake Nakaumi.

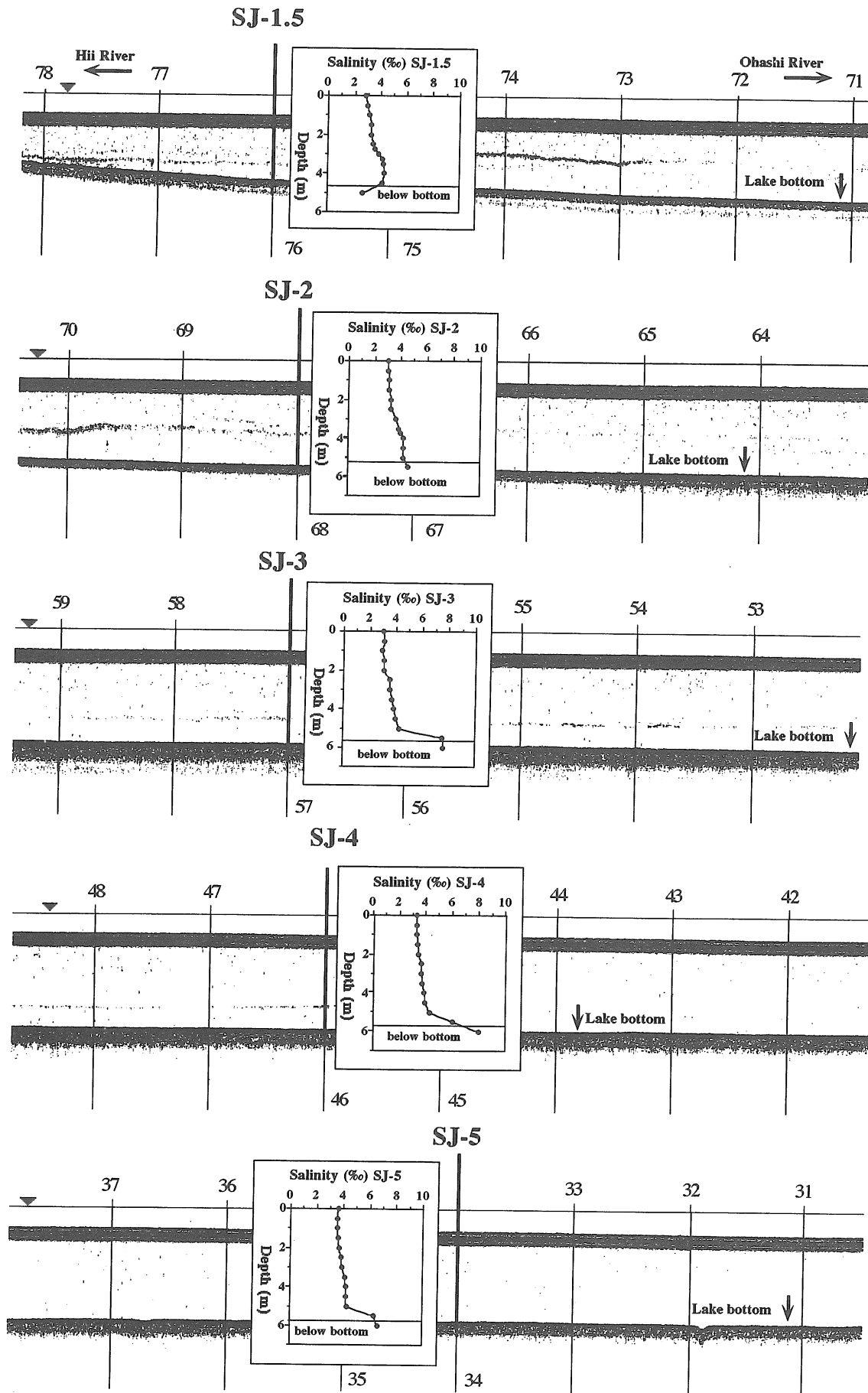


Fig.7. Echo-sounding records and changes of salinity along the track surveyed on Feb, 26, 1993 in Lake Shinji.

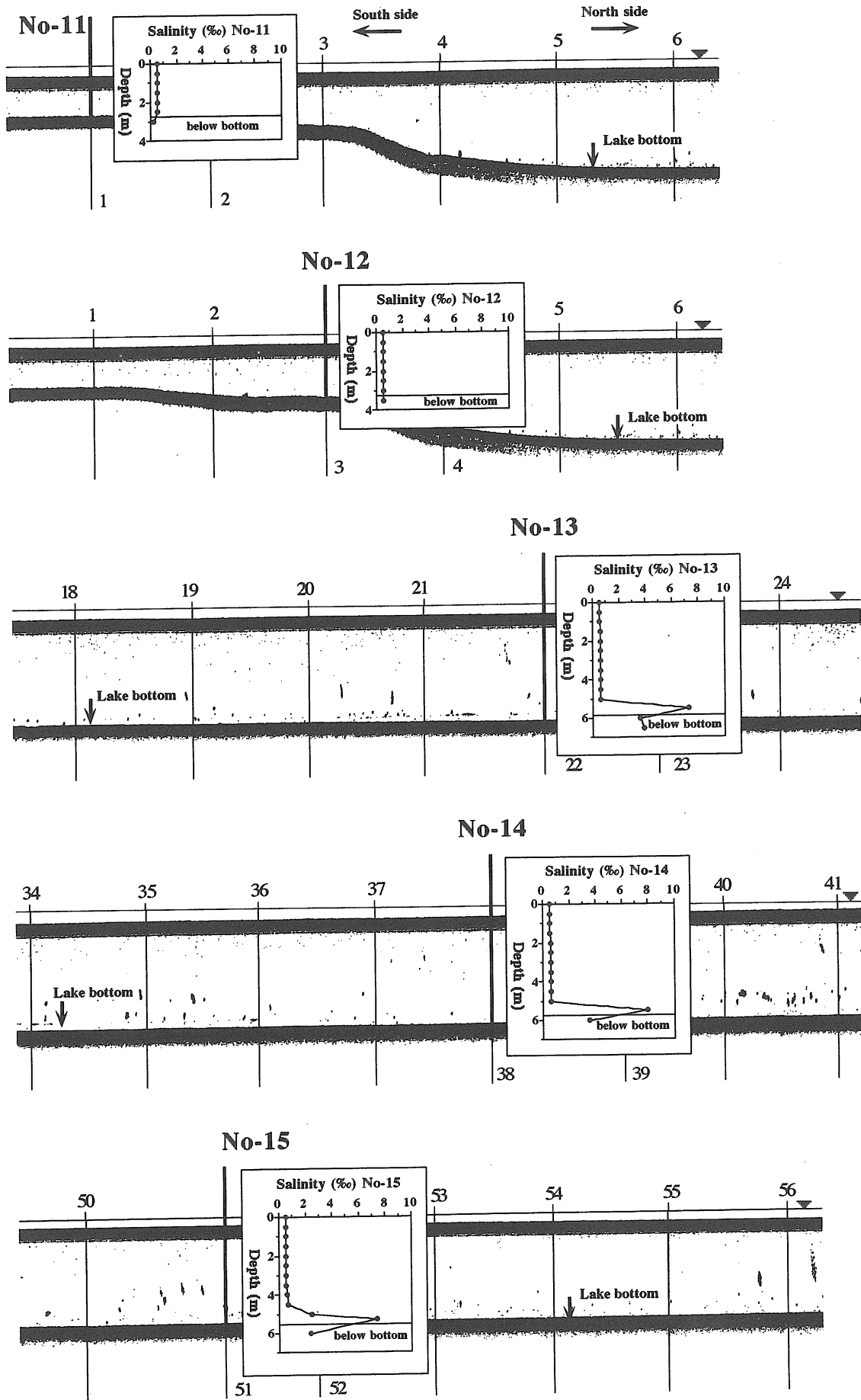


Fig.8. Echo-sounding records and changes of salinity along the N-Strack surveyed on October 19, 1993 in Lake Shinji

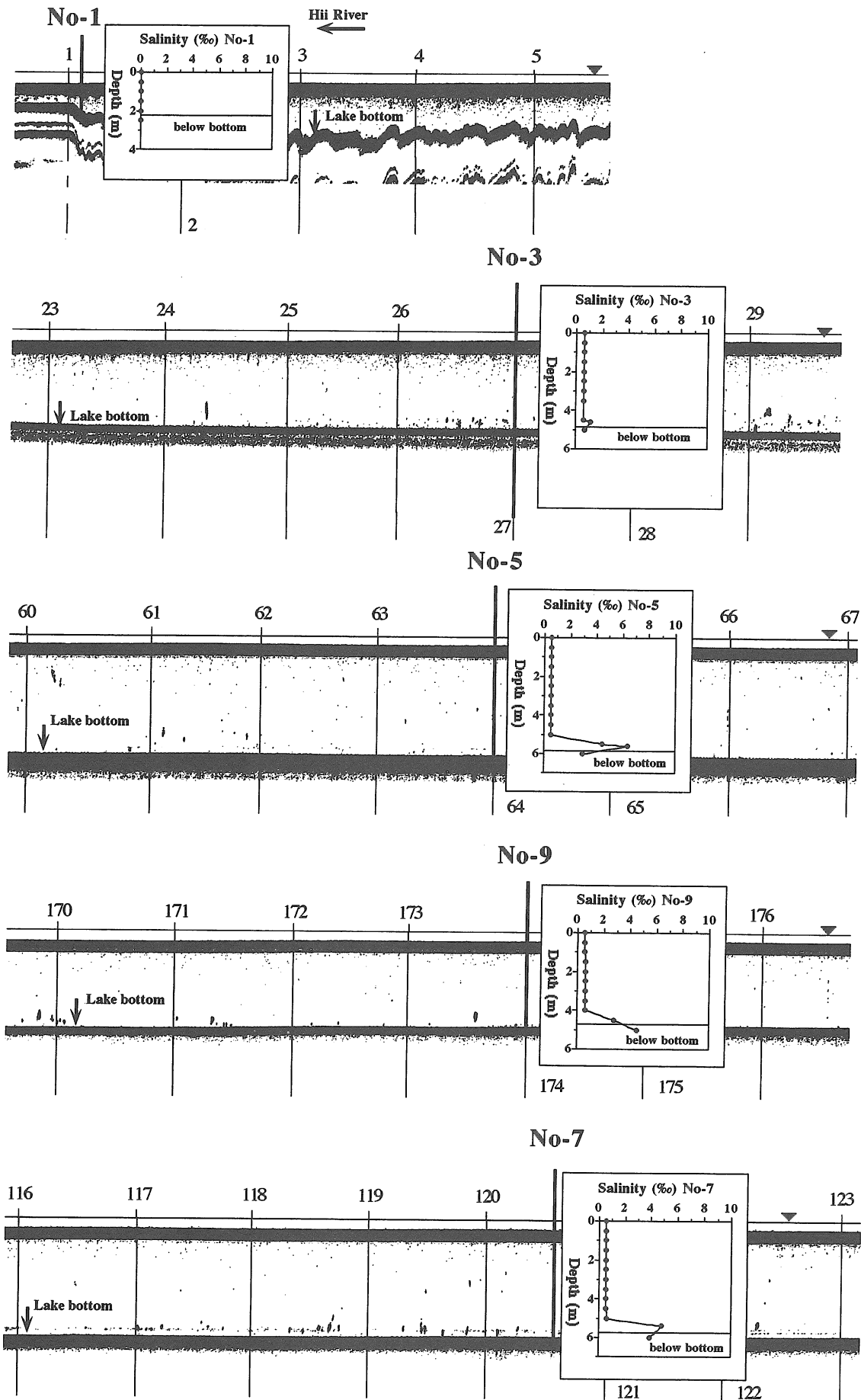
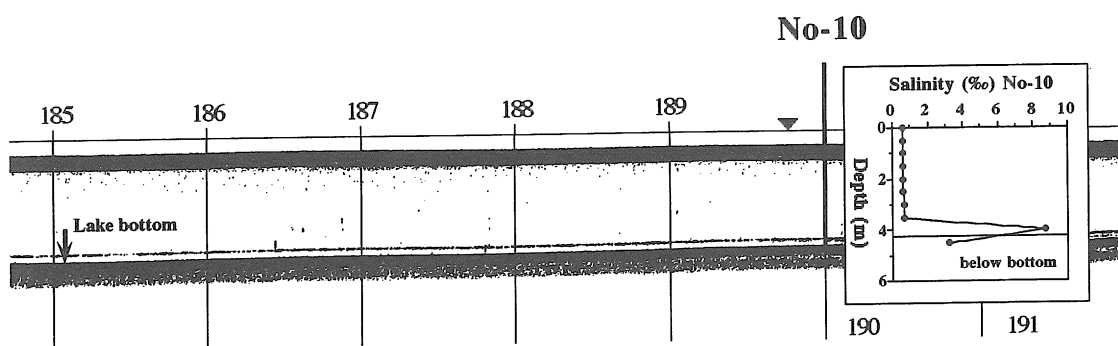
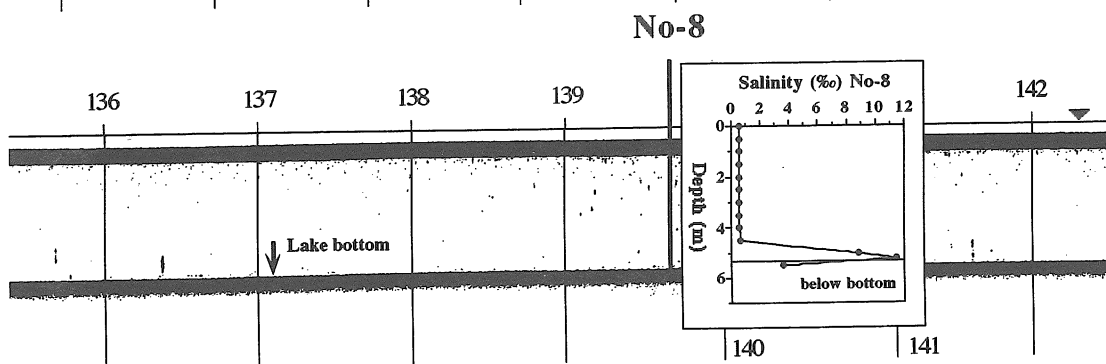
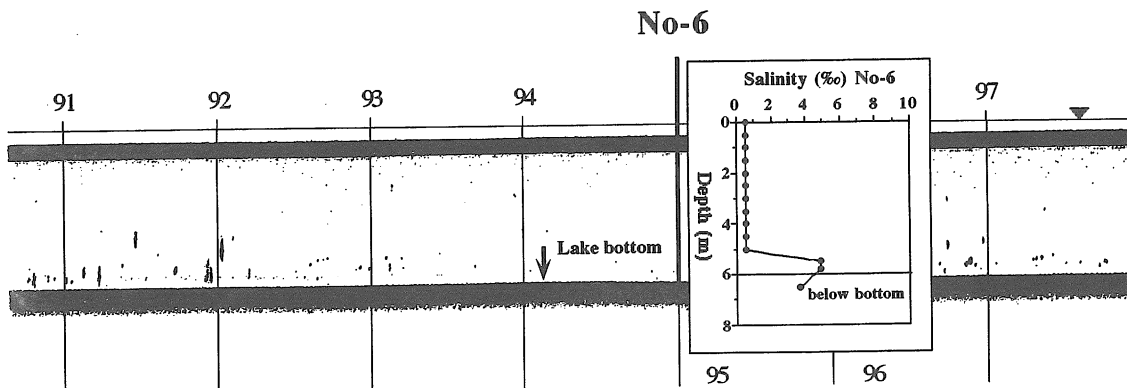
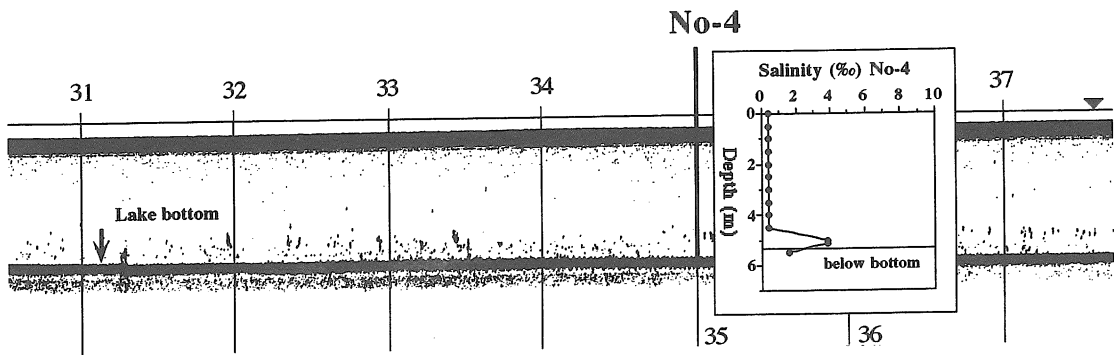
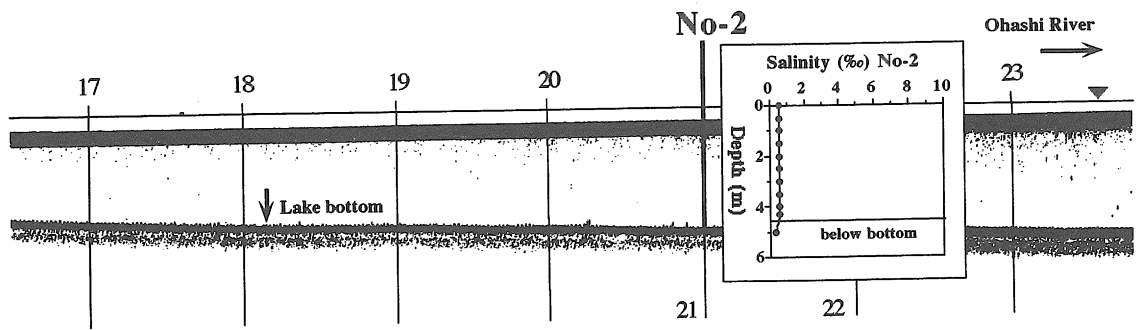


Fig.9 Echo-sounding records and changes of salinity



along the E-W track surveyed on October 19, 1993 in Lake Shinji.

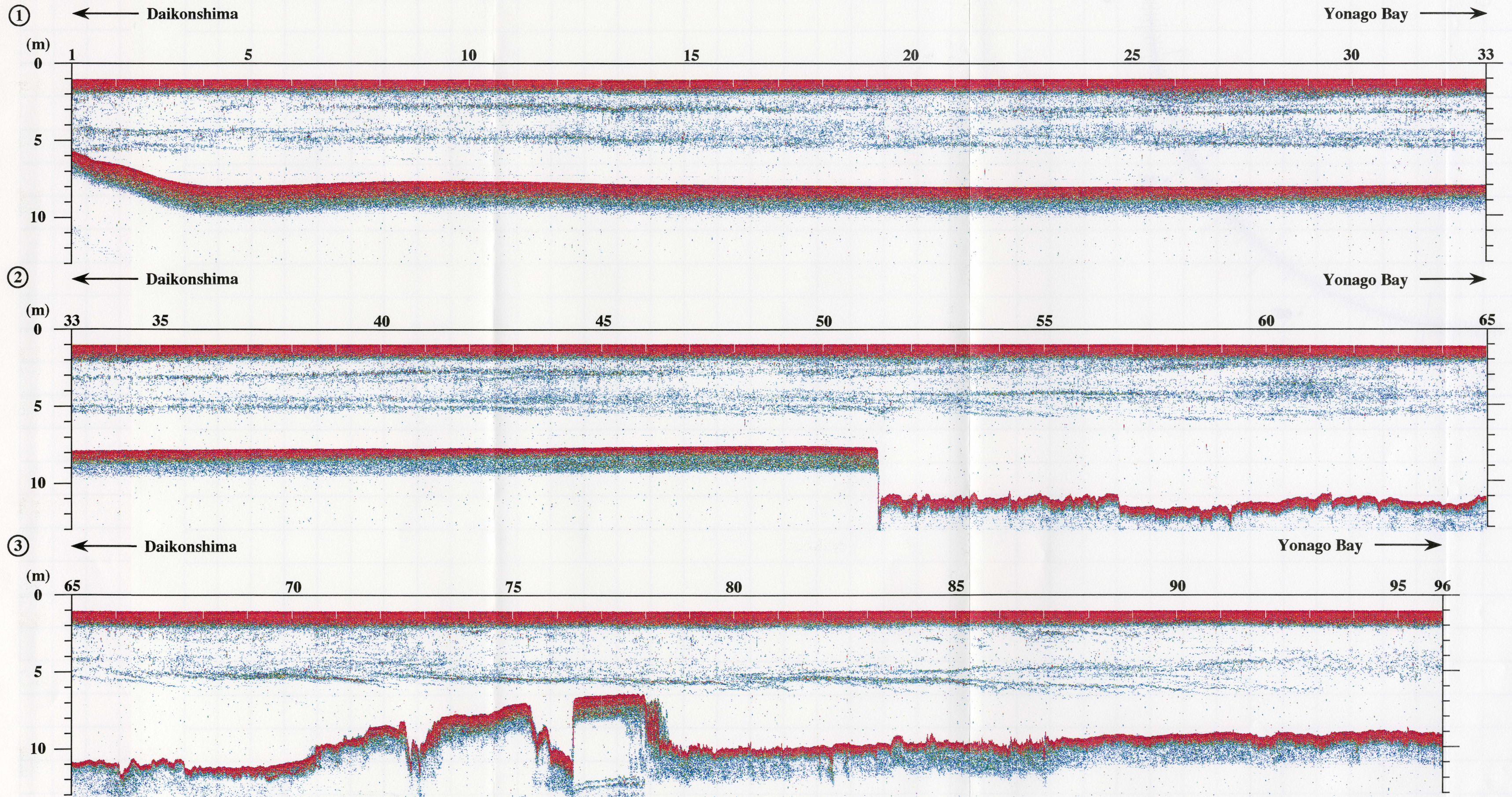


Fig. 10 Echo-sounding digital records along the track surveyed on August 19, 1993 in Lake Nakaumi

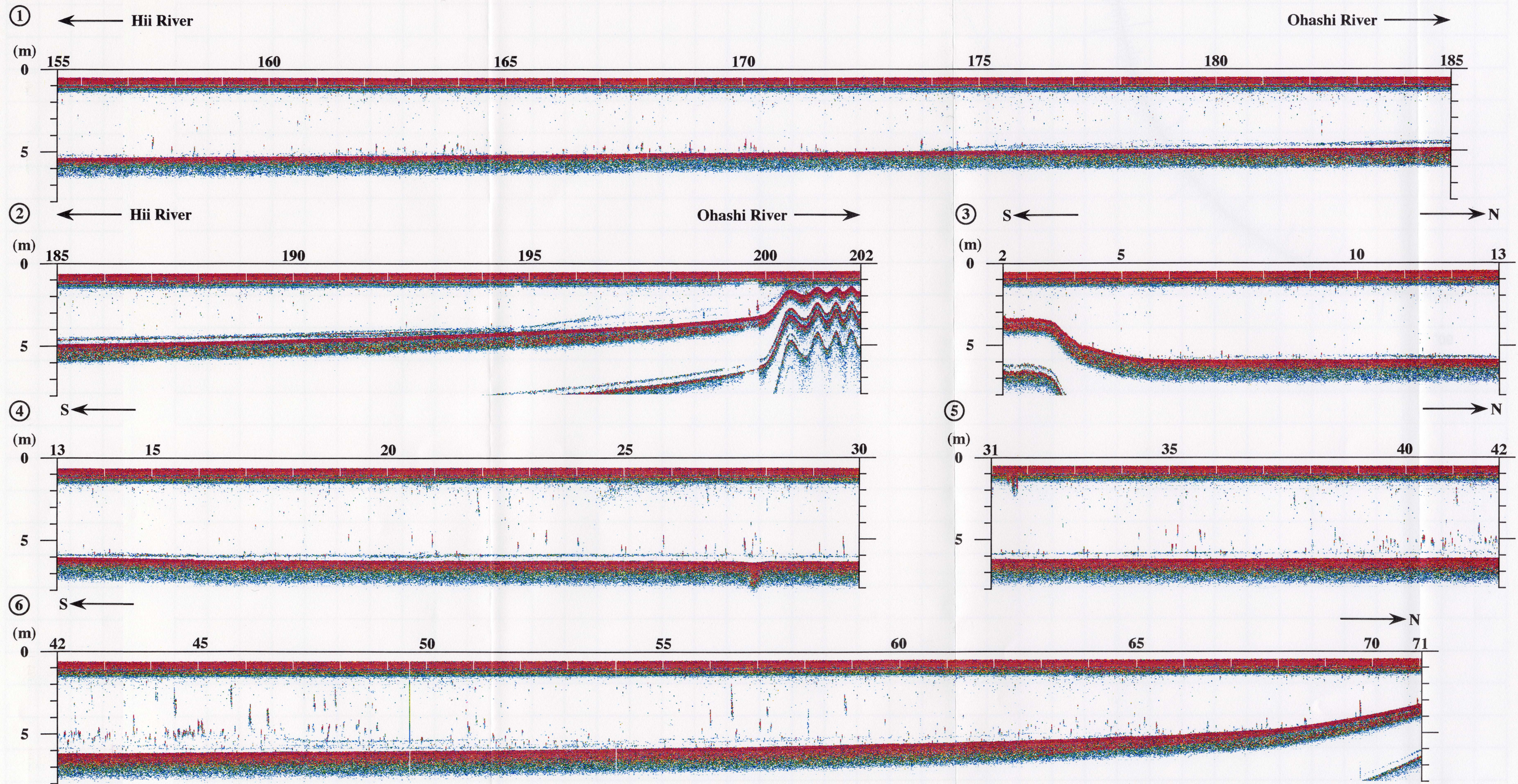


Fig. 11 Echo-sounding digital records along the tracks (E-W and N-S) surveyed on Feb. 26, 1993 in Lake Shinji