

付表7
Appendix 7.

1995/11/6		Lake Shinji																		
測点番号		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	4-1	4-2		
位置	北緯	35°27'36S	35°28'65S	35°28'37Z	35°28'66S	35°28'371	35°28'05S	35°27'56S	35°27'011	35°26'54S	35°26'084	35°27'56S	35°27'314	35°26'64S	35°26'58S	35°26'15Z	35°25'371	35°26'081		
	東経	132°54'56S	132°55'03S	132°55'10S	132°55'20Z	132°55'29S	132°59'64Z	132°59'74S	132°59'86S	133°00'014	133°00'07S	133°03'13S	133°01'43S	132°58'33S	132°56'77Z	132°53'59S	132°56'75S	133°58'30S		
測定時刻	開始	10:39	10:32	10:25	10:17	10:09	9:03	9:12	9:20	9:27	9:34	10:50	10:35	10:12	9:49	9:30	9:58	9:48		
	終了	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
水深 (m)		3.6	5.0	5.2	5.3	5.0	4.4	4.7	4.9	4.9	4.6	1.1	4.4	5.5	5.7	2.7	2.2	5.3		
透明度 (m)		1.30	1.20	1.30	1.20	1.90	1.75	1.40	1.10	1.30	2.40	1.10	1.50	1.30	1.10	1.50	1.70	1.40		
水温 (℃) 0.5m		14.2	14.5	14.6	14.5	14.5	13.7	13.9	13.9	13.9	14.2	14.2	14.0	14.1	14.4	13.8	14.5	14.2		
1m		14.1	14.5	14.6	14.4	14.4	13.5	13.7	13.9	13.9	14.2	14.2	13.9	14.1	14.4	13.8	14.6	14.2		
2m		14.1	14.4	14.4	14.3	14.3	13.7	13.8	13.8	13.9	14.1	13.8	14.0	14.3	14.0	14.5	14.5	14.2		
DO(mg/l) 0.5m		10.32	10.46	10.88	10.87	9.85	9.35	9.77	10.28	10.04	9.85	11.80	10.90	11.60	11.90	11.00	9.95	10.48		
(%) 0.5m		102.3	104.7	109.1	108.4	98.3	92.1	96.6	101.6	99.1	97.9	115.0	105.0	114.0	117.0	104.0	99.7	104.2		
(mg/l) 1m		10.27	10.50	10.93	10.87	9.85	9.36	9.88	10.29	10.05	9.86	11.30	10.60	11.20	11.50	10.60	10.01	10.47		
(%) 1m		101.5	104.6	109.1	108.3	98.1	92.1	97.4	101.6	99.2	98.0	110.0	105.0	109.0	113.0	102.0	100.1	104.2		
(mg/l) 2m		10.22	10.39	10.88	10.84	9.79	9.37	9.90	10.22	9.88	9.89	10.30	11.00	11.20	9.60	9.64	10.50			
(%) 2m		101.2	103.6	108.3	107.6	97.4	92.2	97.8	100.9	97.4	98.2	100.0	108.0	109.0	92.0	96.0	104.2			
pH 0.5m		8.13	8.11	8.03	7.92	7.85	7.20	7.31	7.47	7.59	7.62	8.28	8.00	8.49	8.61	7.82	7.79	7.71		
1m		8.17	8.22	8.25	8.11	7.92	7.28	7.40	7.63	7.67	7.69	8.26	8.04	8.47	8.62	7.80	7.89	7.88		
2m		8.16	8.24	8.28	8.15	7.93	7.30	7.46	7.66	7.69	7.71	7.92	7.92	8.41	8.55	7.40	7.90	7.92		
塩分 (‰) 0.5m		4.9	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.6	5.2	5.2		
1m		4.9	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.6	5.2	5.2		
2m		5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.8	5.2	5.2		
SS (mg/l)		6.8	4.7	4.2	5.5	4.1	3.2	7.5	6.9	7.1	3.9	3.9	3.9	4.6	1.1	7.7	4.3	5.3		
Chl-a (μg/l)		25.44	31.35	29.42	26.96	16.12	16.91	32.48	30.48	5.39	2.40	15.20	19.25	30.10	29.02	19.45	14.75	28.65		
Chl-b (μg/l)		-6.20	1.45	1.53	0.50	0.71	2.89	0.32	0.16	7.52	3.35	0.05	1.26	0.53	-0.19	0.14	0.05	0.25		
Chl-c (μg/l)		102.42	13.01	12.59	7.47	7.58	13.62	9.77	8.85	19.05	8.48	4.80	8.84	10.49	8.50	6.32	3.71	9.39		
Carot. (μg/l) 4E		8.79	10.03	10.43	8.46	5.43	5.35	10.60	10.16	9.30	4.17	5.00	5.32	10.14	9.45	6.27	4.80	10.32		
Carot. (μg/l) 10E		21.98	25.06	26.06	21.15	13.58	13.38	26.50	25.40	23.25	10.43	12.50	13.30	25.35	23.63	15.68	12.00	25.60		
Chl-a (μg/l)		15.76	22.47	19.22	25.05	4.58	7.37	30.02	30.02	19.89	10.02	14.25	14.11	26.83	26.33	17.39	12.02	25.57		
Phaeo. (μg/l)		16.42	15.77	18.19	3.78	19.62	16.88	4.81	1.64	11.36	3.49	2.26	9.03	6.53	4.84	4.65	4.81	6.25		

付表8
Appendix 8.

1995/11/7		Lake Shinji																		
測点番号		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	4-1	4-2		
位置	北緯	35°27'36S	35°26'67S	35°26'30S	35°25'061	35°25'37Z	35°28'021	35°27'56S	35°27'02S	35°26'52S	35°26'071	35°27'57S	35°27'334	35°26'831	35°26'62S	35°26'15S	35°25'36S	35°26'10S		
	東経	132°54'94S	132°55'03S	132°55'06S	132°55'201	132°55'28Z	132°59'59S	132°59'73Z	132°59'87Z	133°00'01S	132°59'99Z	133°03'15S	133°01'46S	132°58'32S	132°56'75S	132°53'60S	132°56'74S	133°58'30Z		
測定時刻	開始	10:25	10:16	10:11	10:03	9:57	8:48	8:58	9:05	9:14	9:21	10:46	10:29	10:00	9:42	9:17	9:48	9:33		
	終了	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
水深 (m)		10.29	10.22	10.15	10.07	10.00	8.53	9.02	9.10	9.17	9.25	10.50	10.34	10.04	9.49	9.24	9.49	9.36		
透明度 (m)		3.8	5.1	5.2	5.3	5.3	4.6	4.9	4.9	4.8	4.8	1.1	4.4	5.5	5.7	2.9	2.3	5.3		
水温 (℃) 0.5m		1.30	1.50	1.40	1.60	1.70	1.50	1.30	1.50	1.40	1.50	1.10	1.40	1.50	1.00	1.00	2.30	1.40		
1m		14.3	14.8	14.6	14.5	14.3	13.8	14.0	13.8	14.0	14.1	14.7	14.1	14.2	14.6	13.9	14.3	14.2		
2m		14.3	14.4	14.4	14.3	14.3	13.8	14.2	13.8	14.0	14.1	14.5	14.0	14.1	14.5	13.9	14.3	14.1		
DO(mg/l) 0.5m		10.63	10.96	10.85	10.41	10.41	10.37	10.65	9.84	10.36	10.60	13.40	12.10	12.80	13.20	10.80	9.29	10.67		
(%) 0.5m		106.1	110.6	106.9	104.5	103.6	102.3	105.3	96.9	102.8	105.3	133.0	122.0	127.0	131.0	108.0	92.7	105.9		
(mg/l) 1m		107.7	109.7	109.8	104.9	104.8	103.7	103.9	9.87	10.38	10.64	12.60	12.00	12.40	13.10	9.90	9.22	10.72		
(%) 1m		107.8	110.5	109.9	104.8	104.0	101.8	103.6	97.3	103.0	105.5	128.0	119.0	124.0	129.0	96.0	91.3	105.2		
(mg/l) 2m		107.6	108.8	108.7	10.56	10.49	10.22	10.15	9.82	10.34	10.60	11.40	12.10	12.30	9.50	8.90	10.63			
(%) 2m		107.2	108.3	108.3	105.0	104.5	100.5	96.9	102.0	104.9	112.0	120.0	121.0	93.0	88.5	105.2				
pH 0.5m		8.10	8.05	7.91	7.84	7.70	7.30	7.54	7.64	7.61	7.71	8.70	8.55	8.62	8.82	7.67	7.75	7.67		
1m		8.22	8.23	8.11	7.98	7.85	7.44	7.70	7.67	7.70	7.82	8.45	8.57	8.67	8.82	7.49	7.76	7.87		
2m		8.25	8.27	8.16	8.02	7.90	7.50	7.74	7.67	7.75	7.88	8.55	8.50	8.77	7.47	7.75	7.93			
塩分 (‰) 0.5m		5.0	5.2	5.2	5.2	5.1	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.0	5.1	4.4	5.2	5.2		
1m		5.1	5.2	5.2	5.3	5.1	5.3	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.0	5.1	4.5	5.2	5.2		
2m		5.2	5.2	5.2	5.3	5.2	5.4	5.3	5.2	5.2	5.2	5.5	5.5	3.8	4.9	5.4	5.7	4.8	4.0	
SS (mg/l)		3.7	4.0	4.9	5.5	5.3	4.4	3.9	4.0	5.5	5.5	18.86	23.31	27.92	24.39	5.55	11.89	30.66		
Chl-a (μg/l)		23.51	26.66	27.49	19.32	25.68	22.14	29.25	19.22	31.04	26.13	18.86	23.31	27.92	24.39	5.55	11.89	30.66		
Chl-b (μg/l)		1.18	-0.32	-0.03	-0.10	0.13	-0.02	0.05	0.65	0.02	-0.18	2.63	0.57	0.57	0.45	0.72	1.59	0.09		
Chl-c (μg/l)		9.08	7.47	7.46	4.71	9.23	7.82	8.05	7.73	10.70	8.25	5.58	8.51	8.98	8.55	3.38	7.34	10.74		
Carot. (μg/l) 4E		8.35	9.33	9.36	6.59	8.49	7.46	10.20	6.40	10.41	9.12	6.55	7.94	8.88	9.22	1.67	3.11	9.57		
Carot. (μg/l) 10E		20.88	23.33	23.40	16.48	21.23	18.65	25.50	16.00	26.03	22.80	16.38	19.85	22.20	23.05	4.16	7.78	23.93		
Phaeo. (μg/l)		20.76	25.72	26.83	17.94	21.63	17.94	28.60	17.52	107.28	27.66	16.15	19.92	26.43	20.99	2.32	26.62	29.60		
Chl-a (μg/l)		5.34	2.39	2.04	2.39	7.44	6.12	2.22	3.42	-128.78	1.94	5.83	6.61	3.28	6.68	6.13	-19.67	2.30		

LAGUNA（汽水域研究）3, 73～90 頁（1996年3月）
LAGUNA 3, p. 73-90 (1996)

汽水湖中海における塩分躍層動態の長期観測

徳岡隆夫¹⁾・三瓶良和¹⁾・亀井健史¹⁾・玉理圭太郎¹⁾

西村清和²⁾・松田滋夫³⁾・須崎 聡⁴⁾

Long-term observation of the halocline in Nakaumi Lagoon

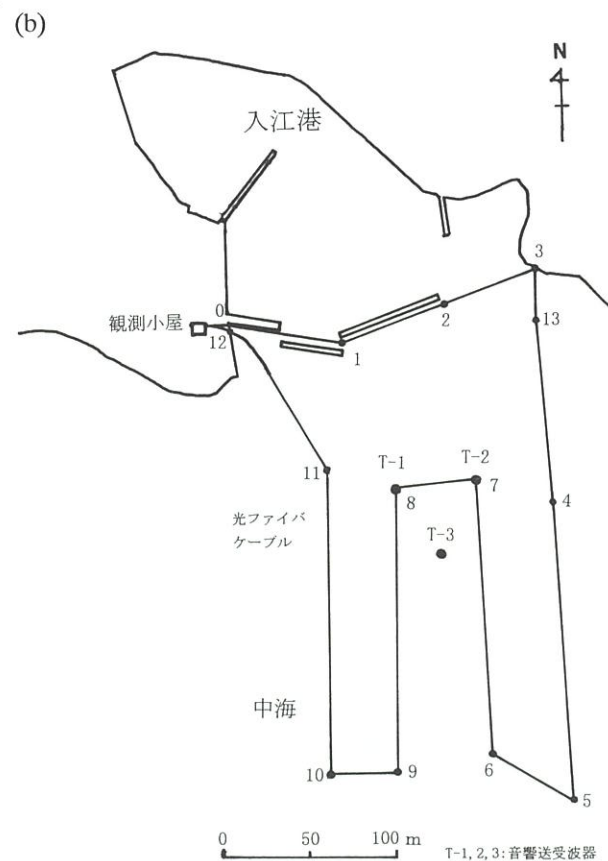
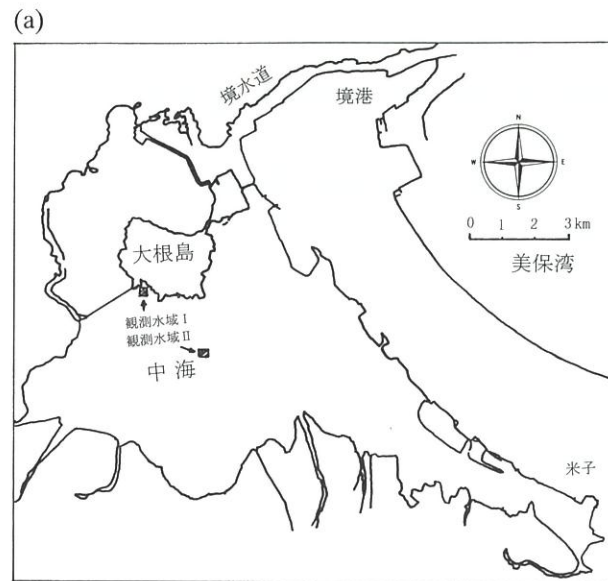
Takao Tokuoka¹⁾, Yoshikazu Sampei¹⁾, Takeshi Kamei¹⁾, Keitaro Tamari¹⁾,
Kiyokazu Nishimura²⁾, Shigeo Matsuda³⁾ and Satoshi Suzaki⁴⁾

Abstract: We have developed a long-term observation system for the study of halocline behavior in brackish lakes and estuaries. The system consists of an acoustic profiling unit, a digital recorder, and a digital play back system. By using this system, we have observed halocline behavior in the center and at the margin of Nakaumi lagoon, southwest Japan. Salinity, pH, dissolved oxygen, water temperature, and water flow rate and direction were checked by the other equipment. The results suggest that the halocline is easily moved, and its behavior is influenced by wind.

Key Words: halocline behavior, long-term observation system, acoustic profile, salinity, water flow rate and direction

1. は じ め に

る塩分躍層の広域的な分布を明らかにしてきた。また、長良川においては同装置によって河口から16km上流にまで遡上した塩水くさびを捉えることができた(徳岡ほか, 1994b)。この装置は受信した反射波をデジタル化してコンピュータ処理を可能とし、塩水くさび探査システムSC-1として商品化(千本電気株式会社)した。しかし、測定機を船に搭載する方法では、先述したように荒天時に出港するこ



とができず、湖水動態に大きく影響を与える強風や台風などの荒天時の観測が不可能であった。この点を克服するため徳岡ほか(1995)は、荒天の影響を受けない湖底設置型音響観測装置の開発を行い、天候によらずに長期間連続の観測記録を得ることを可能にした。今回は、その研究を実証的に発展させ、湖縁(大根島入江)と中海湖心(建設省出雲工事事務所中海湖心観測所)において、3月下旬~5月中旬・7月下旬~11月中旬の6ヶ月間、塩分躍層の連続観測・解析を行ったものである。また、音響観測の特性の検討と定量的な考察を行うため、流向・流速・塩分・水温・水深・濁度・pHの測定および光ファイバー分布型温度計による広範囲の湖底温度分布測定も併せて行った。その結果、中海における塩分躍層動態をある程度把握することができたので、以下にその概要を報告する。

2. 観測場所および観測期間

観測場所は、水深の変化と場所的な変化を考え、湖縁と湖心の2地点を設定した。電源供給とコンピュータ設置場所等の理由から、それぞれ大根島入江と中海湖心の建設省中海湖心観測所近辺を選定し、動態観測を行った。音響観測装置設置位置、光ファイバー敷設位置を図1a, b, cに示す。コンピュータおよび主電源部の設置には、大根島入江では元合同汽船待ち合い所(現八束町門脇誠氏所有倉庫)、中海湖心では建設省出雲工事事務所中海湖心観測所を使用させていただいた。塩分躍層動態の把握のため

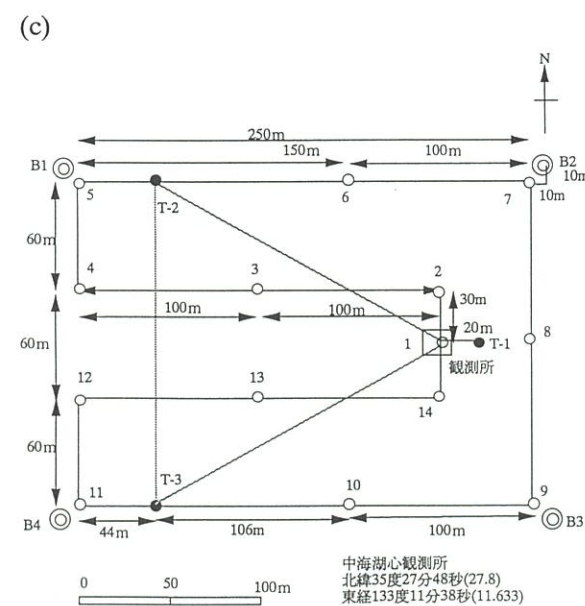


図1 (a) 観測水域, (b) 観測水域 I: 大根島入江, (c) 観測水域 II: 建設省中海湖心観測所
Fig. 1. (a) Map showing the observation area I and II, (b) Observation area I: Nyuko harbor in Daikoku-jima Island, and (c) Observation area II: The Lake Nakami observatory of the Ministry of Construction

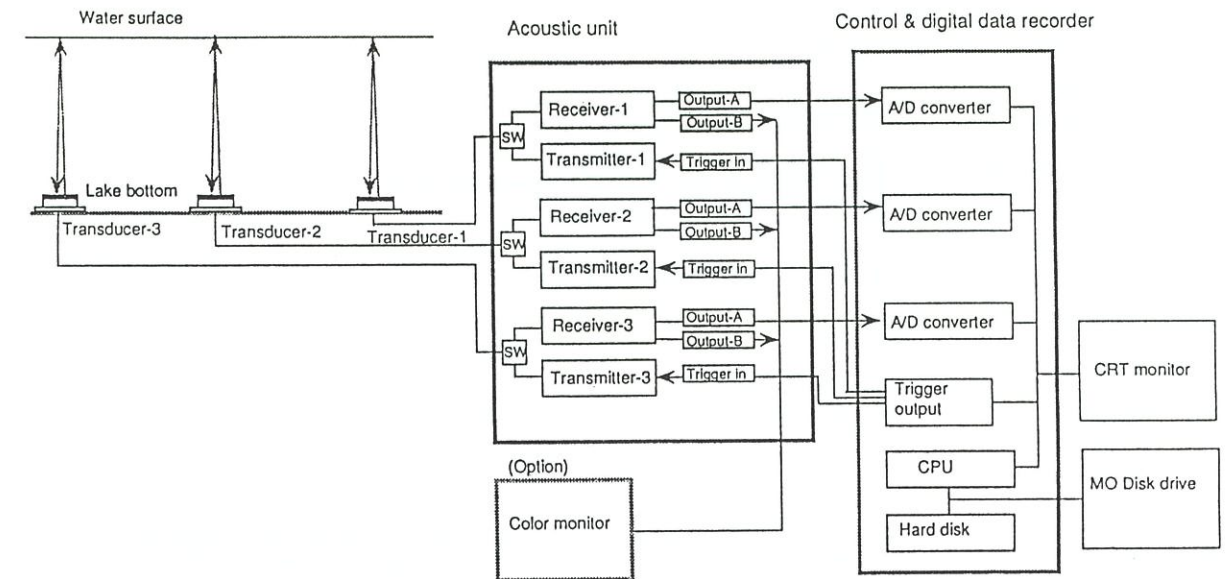


図2 塩分躍層動態観測システムの概念(徳岡ほか, 1995)

Fig. 2. Concept of the observation system for halocline behavior (Tokuoka et al., 1995)

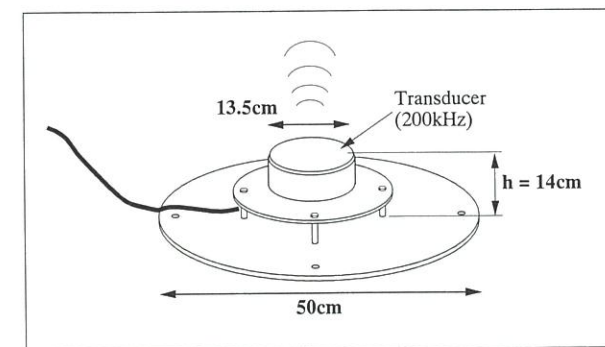


図3 湖底設置型音響送受波器の外観(徳岡ほか, 1995)
Fig. 3. Appearance of the transducer fixed on the lake bottom (Tokuoka et al., 1995)

表1 音響による塩分躍層動態観測装置の仕様
Table 1. Specification of the halocline behavior observation system with acoustic profiler

送受波器:	周波数 200kHz	電歪式 指向角 半減角 約6度
送受信機:	送信パルス幅 15~110μs	感度調整 0~30dB
システム制御・データ収録器:	A/D変換器 12bit, サンプリング周波数 1MHz 光磁気ディスクドライブ 230Mbyte	

には、本来は2地点で同時に観測を行うべきところであるが、今回新しく開発した機器ということもあって台数が十分でないため、まず最初に大根島入江で観測を行い、その後中海湖心で行った。観測期間は、大根島入江では1995年3月25日から5月19日の56日間、中海湖心では1995年7月29日から11月18日の113日間である。

3. 観測方法の概要

3-1. 湖底設置型音響観測装置

本システムの構成は既に徳岡ほか(1995)および西村ほか(1995b)が示したとおりであるが、以下にその概要を述べる。

システムの概念は図2に示したように音響送受波器、送受信機、システム制御・データ収録器から構成される。送受波器の下部には、沈下防止と固定のため50cm径の円形鉄板を台座として取り付けられている(図3)。送受信機は同時に3式を湖底に設置した。それぞれの送受波器は独立に音波を発信して反射波を受信し、アナログ信号をデジタルに変換、コンピュータで画像処理してモニターディスプレイ上に表示、同時にMOディスクに記録される。本装置の基本仕様は表1に示したとおりである。

大根島入江では図1bに示した3地点(T-1, 2, 3)に、また、中海湖心では図1cに示した3地点(T-1, 2, 3)に送受波器を湖底に設置した。設置は、船上よりロープを付けて水平を保ちながらゆっくりと湖底におろし、湖底に水平に設置され泥を被っていないことをスキューバダイビングによって全ての地点で確認した。設置した3地点の送受波器はそれぞれ正三角形の頂点の位置関係にあり、大根島入江では約50m間隔、中海湖心では約180m間隔である。中海湖心においては、次に述べる光ファイバー分布型温度計についても同時に位置計測をDGPS(DXアンテナ株式会社による)を用いて行った。これら3地点での音響画像の差を解析することにより、塩分躍

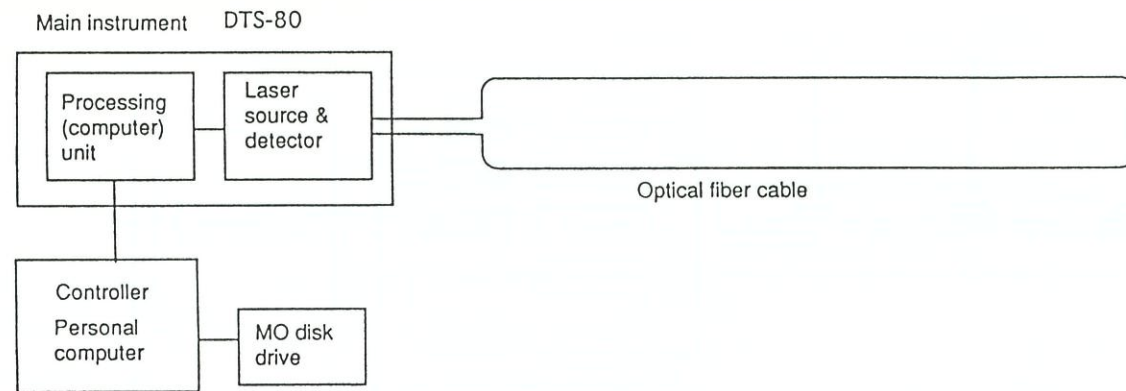


図4 光ファイバセンサによる湖底水温分布観測装置の概念 (西村ほか, 1995b)

Fig. 4. The optical fiber cable system for the observation of lake bottom temperature distribution (Nishimura et al., 1995b)

表2 光ファイバセンサによる湖底水温分布観測装置の仕様
Table 2. Specification of the optical fiber cable system for the observation of lake bottom temperature distribution

測定方法:	ループ方式
使用した光ファイバケーブル:	全長2km, 外径3mmPVC被覆コード
距離分解能:	1m
最大測定距離:	8km/ループ
測定温度範囲:	-200~500℃(ファイバの仕様に依存する)
チャンネル数:	最大4チャンネル(ループ方式) 1チャンネルのみ使用
本体消費電力:	約200W
電源:	AC100V 50/60Hz

層の立体的分布, 移動方向, 移動速度等を把握することができる。音響データは, 10分毎の計測値である。

3-2. 光ファイバ分布型温度計

このシステムについては, 西村ほか(1995a, b)が報告しているように, (株)ワイ・オー・システム(旧日鉱計測システム(株))の陸上用光ファイバ式温度分布計測システム DTS-80を水域に適用したものである。このシステムでは, 後部散乱光(ラマン散乱光)の温度依存性を利用して一本の長い光ファイバケーブル全域が温度計として使用でき, 広域の連続的な温度分布を測定するのに有効である。距離分解能は1mで, 例えば2000mの光ファイバでは, 2000点の温度データが得られる。装置の構成を図4に示す。本システムは, 全長2000メートル, 外径3mmのPVC被覆光ファイバコード, 計測システム本体, パーソナルコンピュータから構成される。本システムの基本仕様は表2に示したとおりである。

3-3. 塩分・水温・pH・溶存酸素・濁度・水深・流向・流速

音響送受信機による記録と塩分・温度変化等の対応を明らかにするため, 音響観測装置を設置した場

所における塩分, 水温, pH, 溶存酸素の水深50cm毎の変化を, WTW社(ドイツ)製OXI-196, LF-196, PH-196T可搬型計測機を用いてほぼ一週間毎に測定した。大根島入江での測定場所は送受信器T-1付近, 湖心の測定場所は中海湖心観測所である。

また, 音響観測装置による記録と併せて湖水の動態を把握するため, 湖底にアレック電子(株)製の電磁流向・流速計(検出部は湖底上60cm)を設置し, 大根島入江では, 3月25日~5月16日, 湖心では7月28日~10月24日の期間, 連続して観測を行った。この流向・流速計には塩分計, 水温計, 圧力式深度計および濁度計が内蔵されていて, それらの検出部は湖底上50cmに位置する。測定は20分に1回の計測で行った。1回の記録は30個の測定値の平均値である。また, 湖心では上部低塩分層の動態も併せて観測する目的で, AANDERAA社製流向・流速計を水面下1.5mの位置に設置した(ただし, この装置はフジボ等の付着により8月9日以降は測定不能となった。測定期間は7月28日~8月8日である)。アレック電子(株)製電磁流向・流速計の設置場所は, 大根島入江, 湖心ともに送受信器T-3付近, AANDERAA製流向・流速計は中海湖心観測所直下とした。

4. 観測結果および考察

4-1. 音響画像の特徴と検出感度

新しく開発した湖底設置型音響送受信波器による画像の特徴について概要を述べる。図5(8月8-9日, 湖心T-3地点の音響プロファイル)に示したように音響画像の色は反射強度を表しており, 強度が強くなるに従って, 淡青, 青, 緑, 黄, 橙, 赤, 黒の順に画像表示される。図5の矢印Aは赤色の強い反射面を表しているが, その上下には緑, 青色を伴っている。これは上方から下方にかけて徐々に反射強度

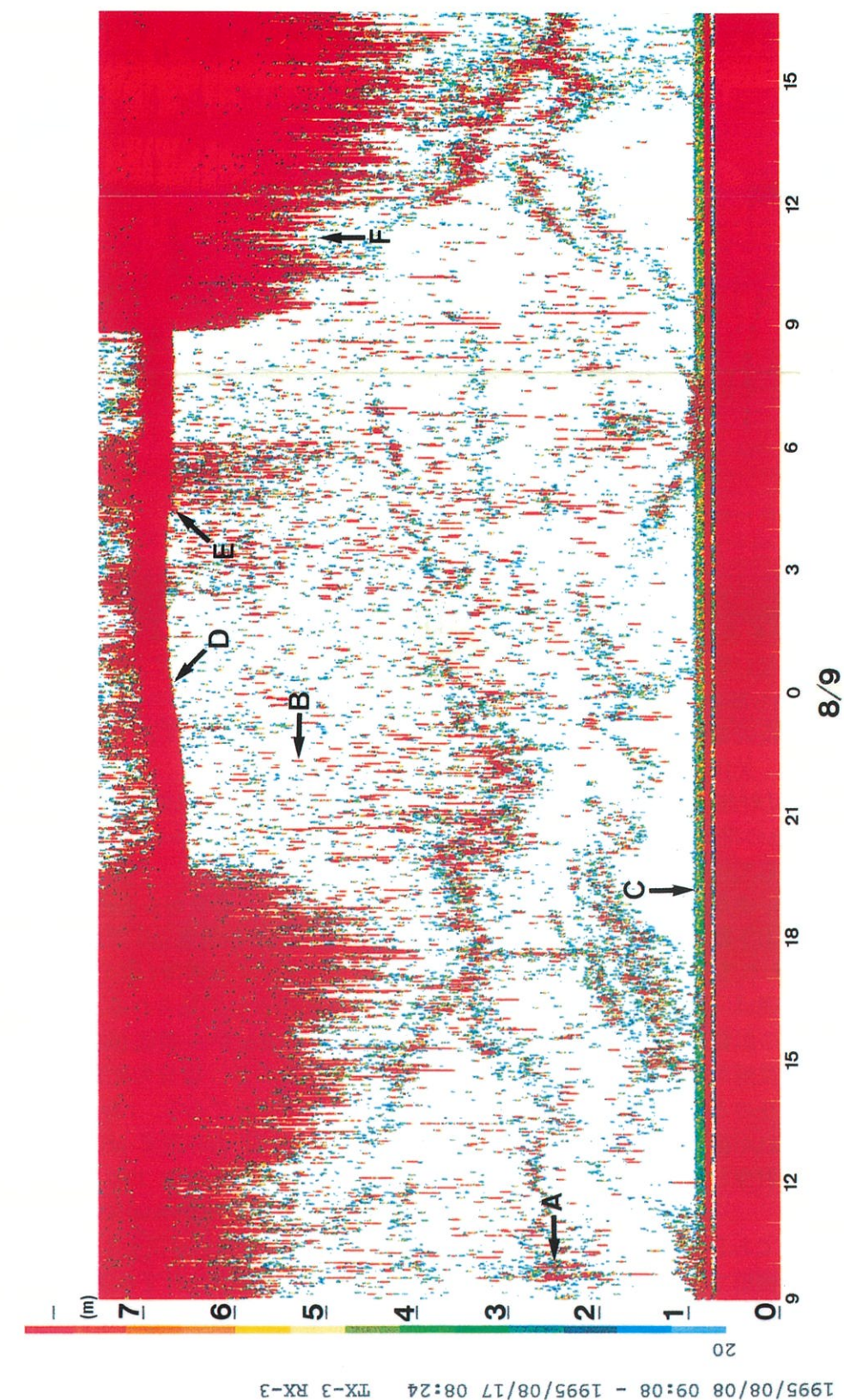


図5 塩分躍層動態観測装置による音響画像(1995年8月8日9時~9日16時の湖心T-3地点における例)

縦軸の数字は, 湖底(0m)からの水深で, Dの赤バンドの下限が水面をさす。説明は本文を参照。
Fig. 5. Graphics of a time series data of acoustic profile by the halocline behavior long-term observation system (Point T-3 in the center of, August 8 (9:00)~9 (16:00), 1995)

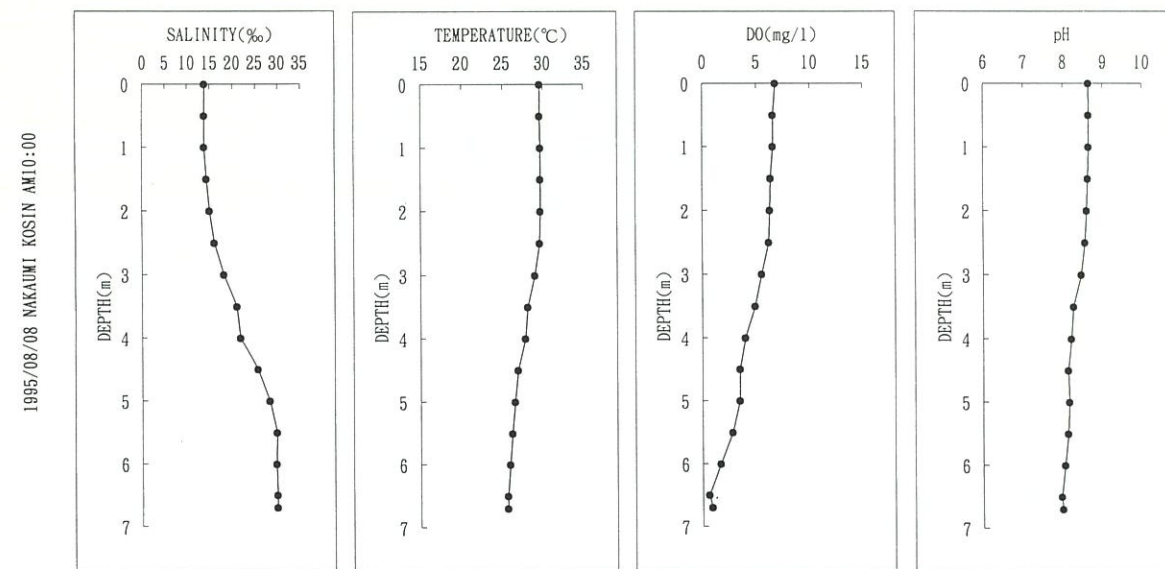


図6 1995年8月8日10時の湖心における塩分、水温、溶存酸素およびpHの鉛直分布
Fig. 6. Profiles of salinity, temperature, dissolved oxygen (DO) and pH in the center of Nakaumi, 10:00 August 8, 1995

が増加して減少した様子を表している。このことは、水温があまり変化しない場合には、塩分躍層の勾配が赤色のところで最も高いことを示している。矢印Bのような斑点状の反射像は浮遊物またはノイズによるものと思われる。矢印Cの湖底から直上約90cmまでの赤い帯状の反射波は発信パルスの直接波である。矢印Dの赤色の帯は、水面反射波を示し、その下端が水面を表している。そのゆるやかなうねりは潮位変化を示し、また、反射面の細かな上下振動は波による水面の上下動を表している。ここでは10cm以下の波と思われる。矢印Eが示すやや幅広い不規則な赤色の範囲は、大きな波を表しており、矢印Fの散乱波は波の影響によるものと考えられる。このような厚い散乱層が生じる理由は必ずしも明らかではないが、現在のところ、波が水塊の上下振動を引き起こし、それが徐々に下向へ伝播していくために水塊振動が反射像として捕らえられているものと推定している。

以上は音響画像の特徴であるが、本装置がどの程度の鋭敏さで塩分躍層を検出できるのか、いわゆる機器の検出感度を明らかにしておくことは重要である。本装置を含め、一般に音波測深機や魚群探知機では、発信された音波のうち音響インピーダンスの異なる境界（密度と音速の積： ρV ）で反射し戻ってきた音波が検知され、画像化される。音響インピーダンスの異なる境界は、水と海底、水と魚、水とプランクトン、暖流と寒流などが知られている（海洋音響研究会、1984）。徳岡ほか（1993）および西村ほ

か（1994）が既に示しているように、入射波と反射波の振幅比は反射係数 r として、次式で表される。

$$r = (\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1) / (\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1)$$

ここで ρ_1 、 ρ_2 はそれぞれの媒体の密度、 V_1 、 V_2 はそれぞれの媒体の音速をあらわす。本装置での観測結果は色調で表れるため、 r と音響画像色調との関係を明かにしておく必要がある。図6に8月8日10時の塩分・水温・溶存酸素・pHプロファイルを示した。音響プロファイル画像（図5）での塩分躍層は、4~4.5mに反射面として見られる。塩分プロファイルでは0mの13.9‰から湖底（6.7m）の29.9‰まで徐々に変化しており、塩分勾配が最大となるのは4~4.5mで3.8‰/50cmである。 r もこの深度で最大値0.0020となる。水温・溶存酸素・pHそれぞれの表層および湖底の値はそれぞれ29.6・25.6℃、6.8mg/l（91%）・0.9mg/l（12%）、8.65・8.00である。一方、図7、8には9月6-7日の音響プロファイルおよび6日17時の塩分・水温・溶存酸素・pHプロファイルを示した。9月6日の音響プロファイル画像においては、塩分躍層は確認できない。塩分プロファイル（図8）は、8月8日よりさらにゆるやかに変化しており、0mの16.1‰から湖底（6.7m）の29.3‰まで徐々に変化し、塩分勾配が最大となるのは3.5~4mで、2.6‰/50cmである。 r はこの深度で最大値0.0018となる。水温・溶存酸素・pHそれぞれの表層および湖底の値は、26.4℃・27.2℃、9.9mg/l（122%）・0mg/l

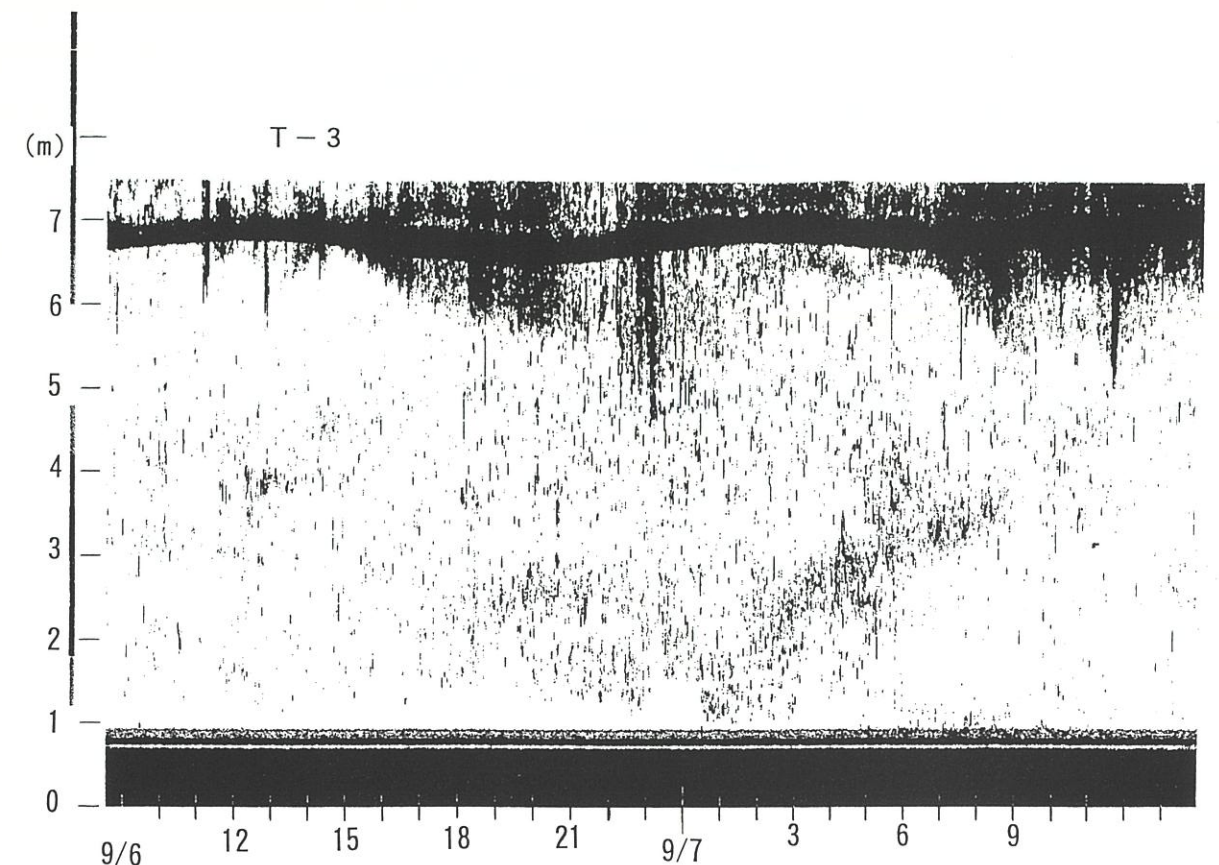


図7 1995年9月6-7日の湖心T-3地点における音響画像
Fig. 7. Graphics of the time series data of acoustic profile in the center of Nakaumi T-3, September 6-7, 1995

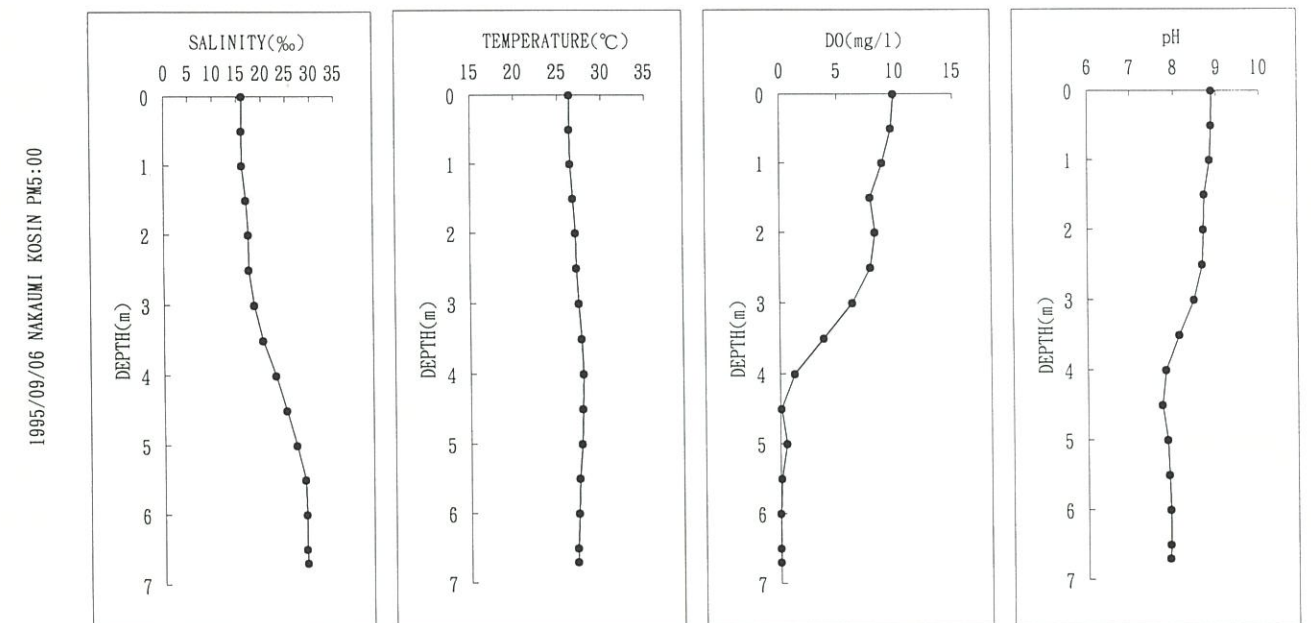


図8 1995年9月6日17時の湖心における塩分、水温、溶存酸素およびpHの鉛直分布
Fig. 8. Profiles of salinity, temperature, dissolved oxygen (DO) and pH in the center of Nakaumi, 17:00 September 6, 1995

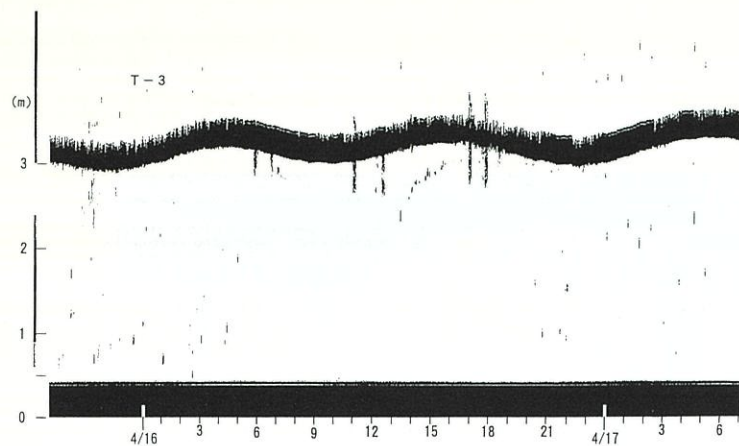


図9「無風時」1995年4月16-17日の大根島入江T-3地点における音響画像

Fig. 9. "Windless day" Graphics of the time series data of acoustic profile at the margin of Nakaumi (Nyuko harbor, Daikon-jima Island) T-3, April 16-17, 1995

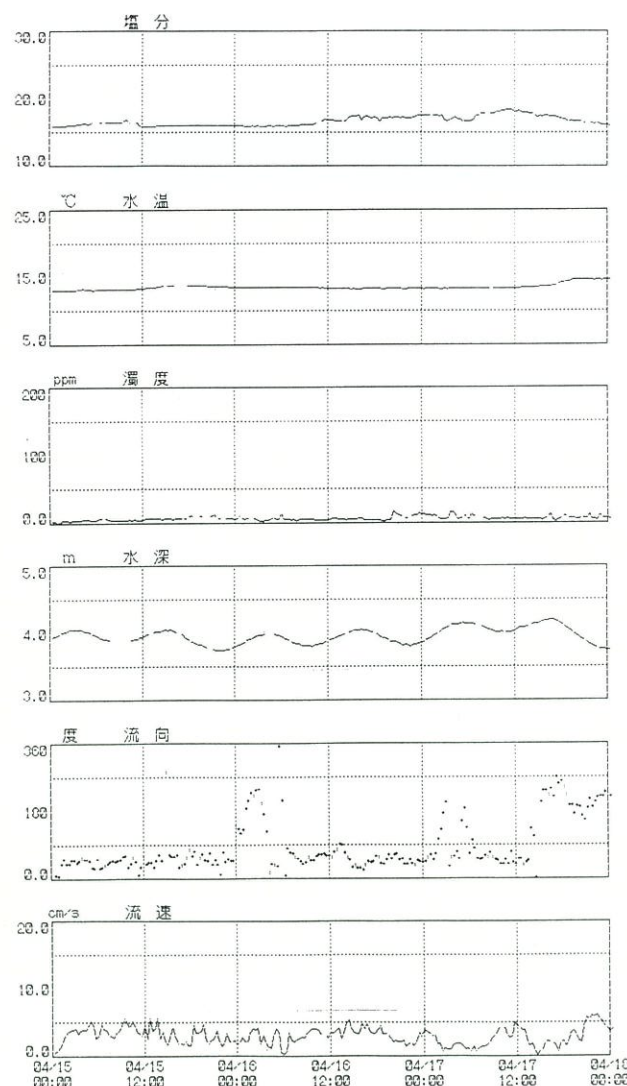


図10「無風時」1995年4月15-17日の大根島入江T-3地点の湖底における塩分、水温、濁度、水深、流向および流速の経時変化

Fig. 10. "Windless day" The time series data of salinity, temperature, muddiness, water depth, water flow direction and water flow rate in lower portion of the lake water at the margin of Nakaumi (Nyuko harbor, Daikon-jima Island) T-3, April 15-17, 1995

(0%), 8.89・7.90である。ここで9月6日の測定結果では温度がほぼ一定であったために、音響インピーダンスの差は主に塩分変化によっているものと判断できる。その結果、本音響観測装置での検出感度は、塩分勾配にして3‰/50cm程度、音響インピーダンスを用いた反射係数にして $r=0.002$ 程度であり、これ以上の値でないと、弱い反射面を表す青色の画点も表示されない。

4-2.「無風時」,「強風時」および「通常時」の塩分躍層動態

本研究の観測結果から、中海塩分躍層の動態は、天候、特に風と密接な関係があることが明らかとなった。このことは、浜田・藤田(1988)、奥田ほか(1992, 1994)らも指摘しているところではあるが、本研究では、塩分躍層動態を風速の強弱によって3つの特徴的なパターンに分けることができた。無～弱風、強風およびその中間の天候状態下においてである。本報では、中海での一日の平均風速が3m/s以下で波のない状態を「無風時」(気象庁風力階級表では、静穏および軽～軟風)、低気圧や台風等の荒天に伴って12m/s以上の風が観測された状態を「強風時」とした。また、その中間的な状態で中海で最も多く見られる状態を「通常時」とし、次のように定義した。すなわち、中海では普段、朝方はほとんど波がないが、昼近くになると西風によって波が立ち始める。この風速は4~8m/sであることが多い。このような荒天強風時でない場合に通常見られる波浪状態を、本報では中海における「通常時」(気象庁風力階級表では、軟～雄風)と呼ぶことにする。以下、それぞれの代表的な観測結果を示し、その特徴と湖水の動態について考察する。

(1)「無風時」

一日の平均風速が3m/s以下であったのは、大根島での観測期間中は3月29日、4月5, 16, 18, 24, 25, 27日、湖心での観測期間中は、7月28, 8月13, 14, 15, 17, 21, 22, 25, 30日、9月6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 22, 25, 26, 28, 29日、10月4, 7, 8, 14, 17, 29日、11月5, 6, 12, 13, 16, 18日(建設省出雲工事事務所中海湖心観測所記録)であった。このうち音響記録の湖水面状態から判断して、一日中波がほとんどなかった(10cm程度以下)のは4月16日、9月22日および10月14日のみであった。中海において波のない状態が継続する「無風時」はまれである。

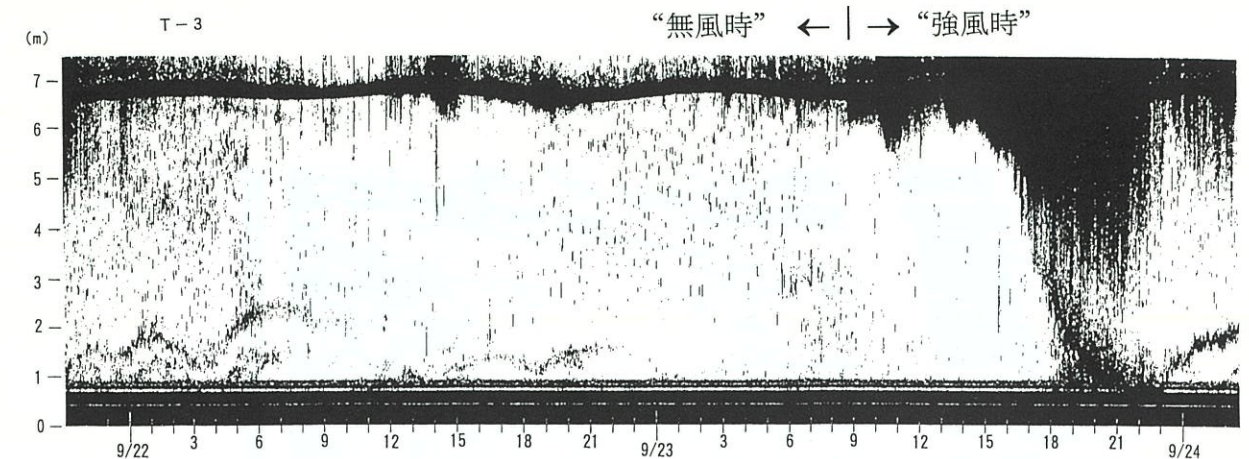


図11「無風時」-「強風時」1995年9月22-23日の湖心T-3地点における音響画像

Fig. 11. "Windless-strong windy day" Graphics of the time series data of acoustic profile in the center of Nakaumi T-3, September 22-23, 1995

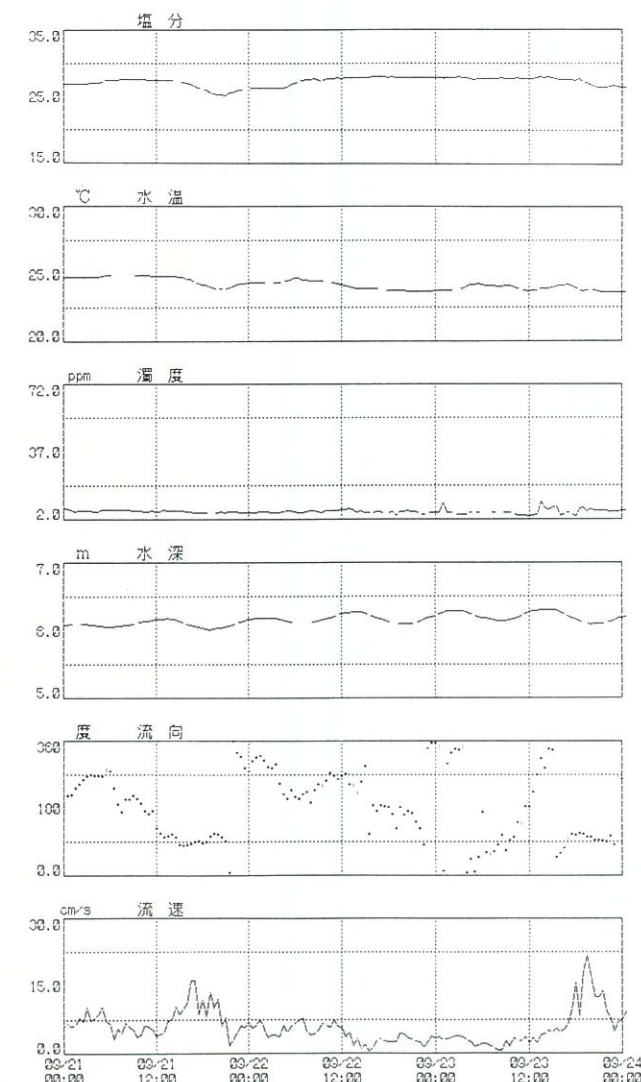


図12「無風時」1995年9月21-23日の湖心T-3地点の湖底における塩分、水温、濁度、水深、流向および流速の経時変化

Fig. 12. "Windless day" The time series data of salinity, temperature, muddiness, water depth, water flow direction and water flow rate in lower portion of the lake water in the center of Nakaumi T-3, September 21-23, 1995

a.「無風時」の湖縁(大根島入江)

4月16日の大根島入江T-3地点の音響プロファイルを図9に示した。これは「無風時」の代表的な記録である。14-16時にかけて湖面から0.5-1mに弱い反射面が見られるが、そのほかは、まったく反射像が記録されていない。波はほとんどなく、12時間周期の干満を明瞭に記録している。

湖底での塩分・水温の経時変化(図10)は、それぞれ17‰, 13℃と一定の値を示し、濁度の変化も認められない。また、水深変化は音響記録と一致していて潮位差約20cm、周期12時間の規則的な波形を示している(図10)。観測地点の水深は約3.5mであり、この時期の中海塩分躍層は約3.5mに存在しているので、潮位の上昇により塩分躍層が上位に移動すれば速やかに躍層を感知できるはずである。しかしながら、音響記録および塩分・水温記録には、20cm程度の潮汐による変位が塩分躍層に与える影響は確認されなかった。その原因の一つとして、本音響観測装置では、湖底より90cmまでは発信パルスの残響によって記録が得られず、また、湖底に設置した塩分計は湖底上約50cmに検出部が位置するため、0-50cm間の測定が行えなかったことが考えられる。

流向は、全般に北東向き(図10; 0°→360°:北-東-南-西-北)であるが、4月16日0-4時に変化しており、北東-東-南-南西、南西-南-東-北東と時計回りに180度回転して、反時計回りにもとに戻る。この観測結果は、「無風時」の大根島入江近辺の湖水がほぼ一定方向の流れを示し、時折何らかの理由で流向が変化することを示している。流速は平均3~4cm/s(108~144m/h)であった(図10)。

b.「無風時」の湖心

9月22-24日の湖心T-3地点の音響プロファイルを