

中禅寺湖におけるサケ科魚類とくにヒメマスの鉛直分布について

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者名	岡本,峰雄 奥本,直人 岩田,宗彦 生田,和正 福所,邦彦
発行元	日本水産學會
巻/号	59巻11号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1813-1821
発行年月	1993年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



中禅寺湖におけるサケ科魚類とくにヒメマスの鉛直分布について

岡本峰雄, 奥本直人, 岩田宗彦, 生田和正, 福所邦彦

(1992 年 8 月 10 日受付)

Vertical Distribution of Salmonidae Mainly Consisting of Hime Salmon
Oncorhynchus nerka in Chuzenji LakeMineo Okamoto,*¹ Naoto Okumoto,*² Munehiko Iwata,*³
Kazumasa Ikuta,*³ and Kunihiko Fukusho*³

Acoustic surveys were carried out to examine the diurnal-nocturnal behavior of Salmonidae mainly consisting of Hime salmon *Oncorhynchus nerka* in Chuzenji Lake located around 139°28' E, 37°45' N, with an area of 11.3 km², a maximum water depth of 172 m, and an altitude of 1,271 m.

In summer and autumn, a remarkable level of thermocline was shown between depths of 10 and 30 m, and the water temperature range was more than 15°C at the top of this and less than 5°C at the bottom. During the night many Salmonidae were dispersed in the surface layer (summer: 10-40 m, autumn: 20-30 m) of the whole lake area, and in the daytime ascend to a shallower layer (summer: 3-20 m, autumn: 10-20 m). But during the day, their number was very small compared with the night-time. The reason for this was estimated as horizontal maldistribution.

In winter, the water temperature was stabilized at 5.2~5.4°C in all layers, and Salmonidae were dispersed in the bottom layer (100-172 m) around the deep area of the lake during the day, and were dispersed in the surface layer (20-60 m) of the whole lake area at night.

中禅寺湖ではヒメマス *Oncorhynchus nerka* を主体に、ホンマス (ビワマス *Oncorhynchus* sp.), ニジマス *O. mykiss* などサケ科魚類の増養殖が行われている。しかし湖内におけるこれら魚類の分布や行動に関する知見は少なく、養殖研究所,¹⁾ Yoshihara *et al.*²⁾ らによって、釣獲試験に基づいた概略的な調査が行われているにすぎない。

筆者らは、中禅寺湖のサケ科魚類の行動を研究し、それによって海洋におけるサケ・マス類の行動解明に寄与することを目標におき、1990 年から魚群探知機による調査を始めた。その結果、湖水の鉛直方向の停滞期と循環期におけるサケ科魚類の昼夜の行動や移動に関する知見を得たので報告する。

なお本稿では、ベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) のうち、わが国の湖で生涯を送るものだけをヒメマスと呼ぶことにする。

中禅寺湖の概要

中禅寺湖 中禅寺湖は栃木県日光市に位置する火山による堰止め湖である。その標高は 1,271 m, 面積は 11.3 km², 流入河川は外山沢川, 柳沢川, 地獄川, 人工河川等で、流出河川は大谷川のみである。大谷川は落差 97 m の華厳の滝につながっているため、この湖はほぼ閉鎖された水域となっている。湖の最大水深は、計測者によって 161-172 m の範囲で報告されているが、¹⁾ 筆者らの魚探調査によると最深部はほぼ 172 m であり、本稿ではこの値を用いた。

魚類の生息 養殖研究所¹⁾によれば、中禅寺湖ではかつて魚類は生息せず、1873 年に日光付近のイワナ *Salvelinus pluvius* が最初に放流された。ヒメマスは 1906 年に十和田湖から初めて移殖された。³⁾ 1963 年には中禅寺湖漁業協同組合が設立され、以後、ヒメマスを主体とし

*¹ 海洋科学技術センター (Japan Marine Science and Technology Center, Natsushima, Yokosuka, Kanagawa 237, Japan).

*² 日本水産資源保護協会 (Japan Fisheries Resource Conservation Association, Toyomi, Chuoh, Tokyo 104, Japan).

*³ 水産庁養殖研究所日光支所 (Nikko Branch, National Research Institute of Fishery, Chuguj, Nikko, Tochigi 321-16, Japan).

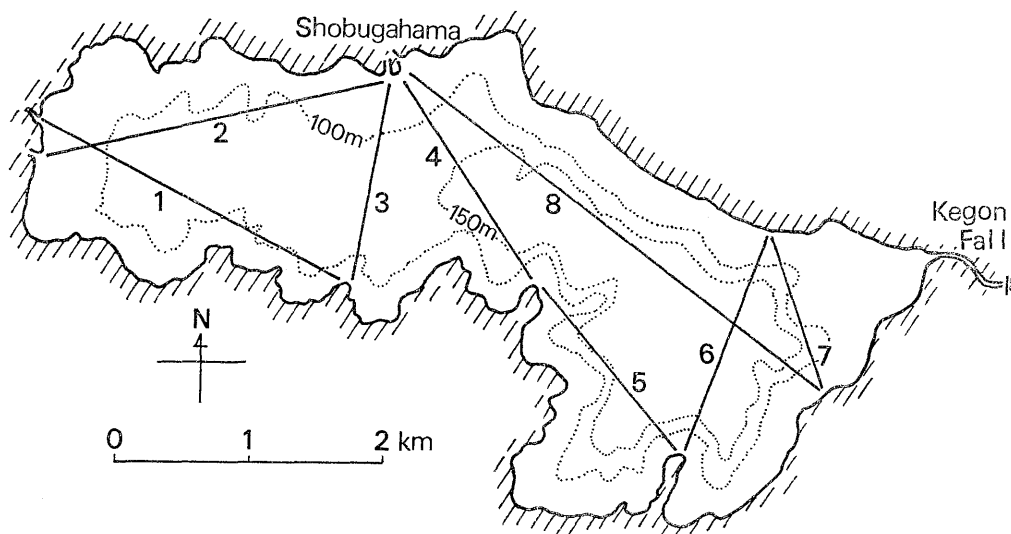


Fig. 1. Acoustic survey lines in Chuzenji Lake (Line Nos. 1~8).

Length of survey lines (m): No. 1, 2,700; No. 2, 3,200; No. 3, 1,500; No. 4, 1,800; No. 5, 1,700; No. 6, 1,900; No. 7, 1,200; No. 8, 3,800.

Table 1. List of acoustic surveys using SIMRAD EY-M*¹ and ES701*²

Date	No. of survey line	Instrument	Range of measurement (m)
Oct., 1990			
23rd-25th	1-8	EY-M	0-97
25th	4, 6	EY-M	0-97, 73-170, 136-233
24th	4, 6	EY-M	0-97
Aug., 1991			
19th	2, 4	EY-M	0-97
"	2, 4	EY-M	0-97
"	2, 4	ES 701J	0-200
Jan., 1992			
22nd	2, 4	ES 701J	0-200
"	4	ES 701J	0-200
"	2, 4	ES 701J	0-200
23rd	4	ES 701J	0-200

*¹ 70-24-F transducer. Beam width: 11°.

*² ES 70 transducer. Beam width: 11°.

たサケ科魚類のふ化放流が行われ、これにより中禅寺湖のサケ科魚類資源が維持されている。¹⁾ 放流は毎年 6 月に行われ、1991 年は中禅寺湖産ヒメマス 130 万尾、ホンマス 30 万尾、ニジマス 20~30 万尾が放流された。

中禅寺湖に生息する魚類は 20 種を越えるが、¹⁾ 漁業の主体はヒメマスを中心としたサケ科魚類である。養殖研究所が 1985 年から 1987 年の間に行った 13 回の釣獲試験結果¹⁾ を整理すると、全釣獲数 3,448 尾に対し、ヒメマスが 85.3% を占めた。またホンマス 5.7%, ブラウンマス *Salmo trutta* 5.2% がそれに次ぎ、全体の 99.5%

にあたる 3,432 尾がサケ科魚類であった。

方 法

調査方法 魚群探知機による測線 8 本 (Nos. 1~8) を菖蒲ガ浜を起点に設定した。(Fig. 1)

調査には 2 種類の計量式魚群探知機 (SIMRAD 製) を用いた。当初は SIMRAD EY-M で、指向角 11° のナロービーム型送受波器 (70-24-F, 70 kHz) を曳航して調査した。計測レンジの制限のため、水面から最大水深の 172 m までを同時にカバーできないので、主に 0~97

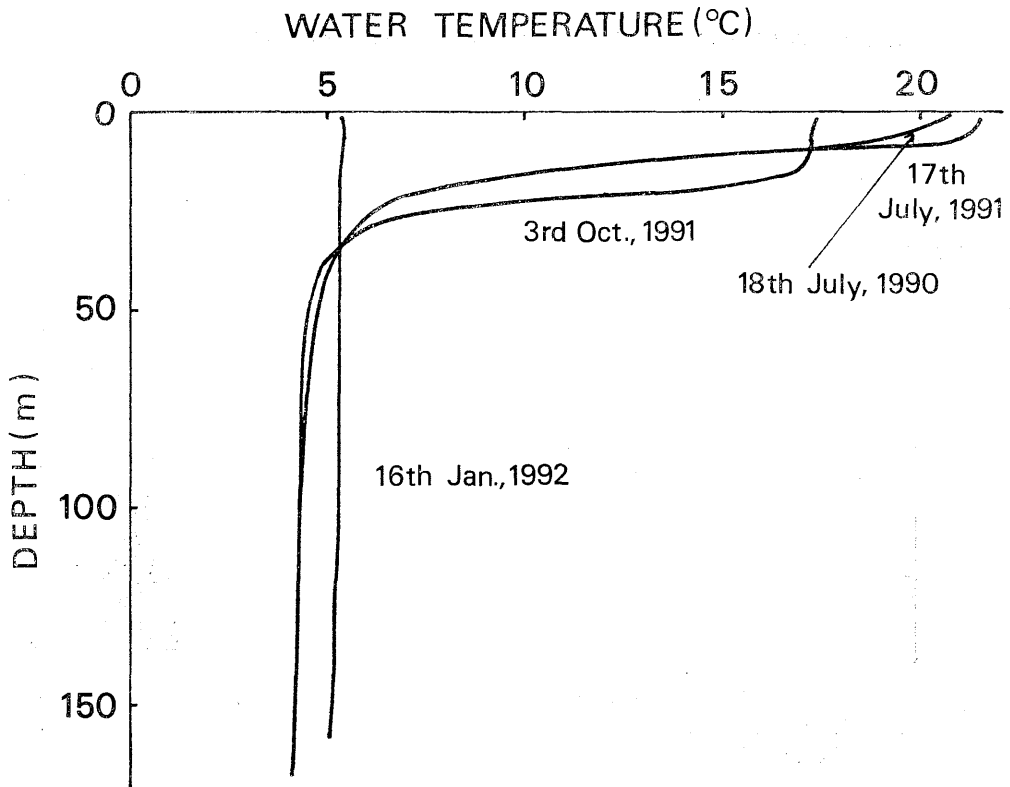


Fig. 2. Temperature profiles at the deepest point of the lake.

m レンジを用い、深い水域の測線では 73~170 m, 136~233 m レンジへと切り換えた。1991 年 8 月以降はスプリットビーム型魚探機 SIMRAD-ES-701J に替えた。本機は 0~200 m の計測レンジを有するため、全層を一回の航走で調べることができた。なお送受波器 (ES 70, 70 kHz) の指向角は 11° である。

魚探航走調査の日時を Table 1 に示した。1990 年 10 月には、湖全域の魚類の状況を把握するため、昼間に 8 測線 (Nos. 1~8) を 0~97 m レンジで調査し、さらに湖の最深部付近を通る 2 測線 (Nos. 4, 6) で、計測レンジを切り換えて、底層まで調べた。夜間は、2 測線 (Nos. 4, 6) を 0~97 m レンジで調査した。その結果、湖内の魚類の分布や昼夜行動変化を知るには、代表的な測線を少数設定すればよいとの見通しを得た。そのため、1991 年 8 月と 1992 年 1 月は、湖西部のやや浅い部分と、中央の深い部分を通る 2 測線 (Nos. 2, 4) を選び、昼間と夜間の調査を行った。なお 1 月には、日没直後の計測を 1 測線だけ行った。

記録紙の画像からは単独魚と魚群を識別し、それぞれについて深度を読み取って整理した。

結 果

水温鉛直分布 湖の最深部付近で計測した水温を Fig. 2 に示した。夏季と秋季の表面水温は 17~23°C で、顕著な水温躍層が 7 月には 5~20 m 層、10 月には 15~25 m 層に生じ、深度 50 m 以深は 4.2~4.3°C であった。冬季は表面から湖底まで 5.2~5.4°C と均一化していた。これらの傾向は従来の観測結果⁴⁾ とよく一致する。

1990 年 10 月 23~25 日の調査 昼間と夜間の魚影分布の典型を Figs. 3, 4 に、また各測線の個体数読み取り結果を Table 2 に示した。

昼間の魚影は湖全域を通じて薄く、単独 (Fig. 3, (B)) または小さな群れ (Fig. 3, (A)) となっていた。その分布は表層に偏り、しかも 10~20 m 層に集中していた (Table 2)。また、40 m 以深では 2 例を除いて魚影は認められなかった。

夜間の魚影は昼間よりはるかに濃く、分布層も拡大し (Table 2), 3 型がみられた (Fig. 4)。岸よりの水深 10 m までの浅所には、深度 3~5 m から湖底まで濃密な小型魚影が認められ、岸から離れるに従って 3~15 m 層に分散し、200~300 m 沖まで広がっていた (Fig. 4, (A))。この表層魚影の下層岸寄りには、大型の単独魚が 20~50

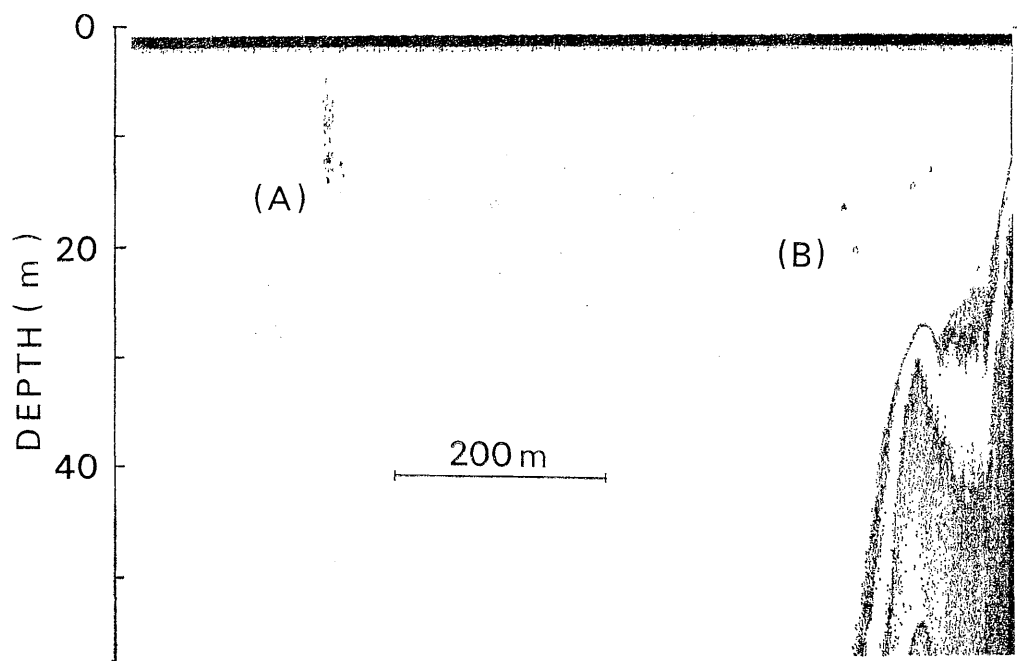


Fig. 3. Typical fish echo of Salmonidae mainly consisting of Hime salmon *Onchorhynchus nerka* in Chuzenji lake, during the daytime on 23rd October 1990.

(A) Fish school (B) Solitary fish.

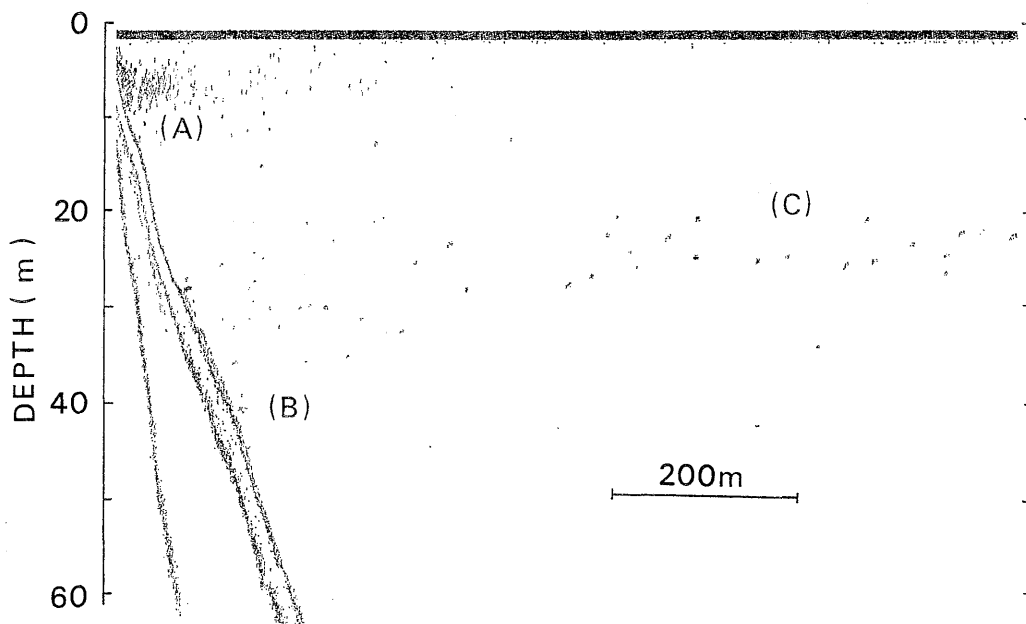


Fig. 4. Fish echo during the night-time on 24th October 1990.

(A) Small and dense echo at the surface layer around the shallow bottom area.

(B) Solitary echo beneath (A) close to the bottom. (C) Solitary echo scattered over the whole survey line.

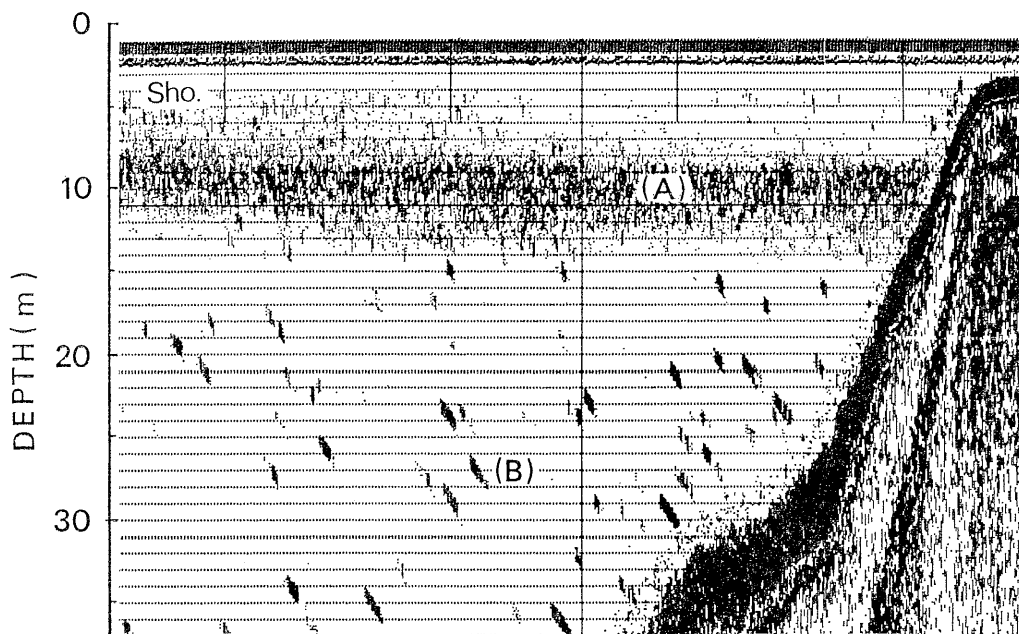


Fig. 5. Fish echoes during the night-time on 19th August 1991.

Instrument: SIMRAD ES-701J.

(A) Small and dense echo at the surface layer around the shallow bottom area.

(B) Solitary echo scattered over the whole survey line.

m 層に分布していた (Fig. 4, (B))。また沖の湖全域には、大型魚が単独で主に 20~30 m 層に分布していた (Fig. 4, (C))。

1990 年 8 月 19 日の調査 昼間と夜間の 2 測線の個体数読み取り結果を Table 3 に示した。1990 年 10 月の結果に比べ、昼間の魚影はごく少なく、大型魚が主として岸近くの深度 3~20 m 層に分布していた。夜間は昼間より魚影ははるかに濃く、大型魚が湖全域の 10~40 m 層に分布していた (Fig. 5)。なお岸寄りの 3~15 m 層には濃密なエコーがみられたが、魚類との判断は難しく、Table 3 の個体数には含めなかった。

1992 年 1 月 22~23 日の調査 初日の昼間、薄暮、夜間、そして翌日の昼間について調査を行い、個体数読み取り結果を Table 4 に、2 測線 (Nos. 2, 4) の昼夜別魚群分布の変化を Figs. 6, 7 に示した。ここで魚影が右に傾斜しているのは、送受波器が前後に若干傾いたのが原因である。

最大水深 120 m の測線 No. 2 (Fig. 6) では、昼間の魚影は水深 100~120 m の湖底から 20 m 上層の範囲で認められた。夜間は、測線全域の深度 20~60 m 層に大量の魚影がみられた。また、傾斜のゆるやかな岸寄りの水深 50 m までの水域で、湖底から約 10 m 上層の間に濃密な小型魚影がみられたが、計数はできなかった。

最大水深 160 m の測線 No. 4 (Fig. 7) において、昼

間には濃密な魚影が 100 m 層から 160 m の測底までみられた。日没直後にそれが分散して上昇を開始し、夜間には測線全域の 20~60 m 層に拡がった。また翌日の昼間、魚影は再び底層に下降した (Table 4)。湖の深い所の底層には動物プランクトン等によると考えられる弱い反射がみられ (Fig. 7)、昼間は 80~120 m、夜間は 120~160 m 層に移動した。

水深が 120 m を越えない測線 No. 2 で、昼間、湖底直上に出現する魚影は疎らであった。一方、最大水深 160 m の測線 No. 4 では、魚影は 120 m 以深の場所に分布し、しかも水深 150~160 m の平坦な湖底に集中していた。また夜間の魚影は 2 測線ともに測線全域で大量に認められた。

以上から、湖全域において、ヒメマスを中心とするサケ科魚類は、昼間は深い所の底層に集中し、夜間には表層に上昇して湖全域に分散する日周鉛直移動を行っていることがわかった。

考 察

昼夜のサケ科魚類の分布状況 魚影の分布層の季節変化をまとめてみる。魚影は夏季 (1991 年 8 月)、秋季 (1990 年 10 月) とともに昼間はまばらで夜間に多かった。夏季の昼間は、大型魚が岸に近い所の 3~20 m 層に、夜間は湖全域の 10~40 m 層に分布していた (Table 3)。秋

Table 2. Number of fish*1 at each survey line in October, 1990

Depth (m)	Daytime								Nighttime			
	No. of survey line											
	1	2	3	4	5	6	7	8	4	6	4	6
3- 10	14	0	0	3	0+	1	1	0	0+	0	101*2	93*2
10- 20	48+	3卅	6	9+	2+	4	14+	17	8+	1	43	54
20- 30	11	1	3	1	1	1	2	0	0	1	73	80
30- 40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	17	36
40- 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
50- 60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60- 70	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
70- 80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80- 90	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
90-172	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	—	—

*1 Number of fish is result of direct read out from echogram which shows fishes in 11° beam width. Numeral shows number of solitary fish and a plus sign (+) shows one small fish school.

*2 Dense echo near shore.

Table 3. Number of fish at each survey line in August, 1991

Depth (m)	Daytime		Nighttime	
	No. of survey line			
	2	4	2	4
3-10	2	0	0*1	0*1
10-20	12	3	229	81
20-30	0	0	186	50
30-40	0	0	53	16
40-50	0	0	0	0
50-60	0	0	0	0
60-70	0	0	0	0
70-80	0	0	0	0
80-90	0	0	0	0

*1 Dense echo near shore.

季の大型魚は、昼間は 10~20 m 層に集中し (Fig. 3), 夜間は岸近くの 20~50 m 層と沖全域の 20~30 m 層に分布していた (Fig. 4)。また夜間だけ、岸近くの 3~15 m 層に小型魚 (Fig. 4, (A)) がみられた。冬季 (1992 年 1 月, Figs. 6, 7) には、大型魚は単純な日周鉛直移動を示し、昼間は湖の深い所の底層に分散し、夜間は湖全域の 20~60 m 層に拡がった。昼間の底層における分布傾向をみると、この魚は湖底の最大水深 172 m の場所にも生息すると判断された。この他、岸寄りの傾斜のゆるやかな浅い水域に小型魚が多数みられた。

これらの魚影のうち、夏季と秋季における昼間のまばらなものと、夜間、湖全域に分布するもの、および冬季の日周鉛直移動を行うものは、中禅寺湖の概要で述べたように、放流尾数の比率と中禅寺湖の主要漁業の魚種から、ヒメマスと判断した。ただし、ホンマスやブラウンマスが混じる可能性もある。

ここでヒメマスと判断した魚影の夏季・秋季の分布層

Table 4. Number of fish at each survey line in January, 1992

Depth (m)	Day- time	Night- fall		Night- time		Day- time
	No. of survey line					
	2	4	4	2	4	4*1
3- 10	0	0	0	0	0	0
10- 20	0	3	2	25*2	17	0
20- 30	0	1	12	125*2	46	0
30- 40	2	0	32	291*2	43	2
40- 50	0	0	47	245	116	2
50- 60	2	0	70	186	56	0
60- 70	3	1	42	18	10	1
70- 80	1	1	53	10	1	0
80- 90	6	2	72	3	0	0
90-100	18	4	83	4	0	0
100-110	23	11	46	1	0	4
110-120	20	17	18	3	0	7
120-130	—	22	8	—	0	15
130-140	—	48	2	—	0	19
140-150	—	86	4	—	2	43
150-160	—	59	1	—	1	62

*1 Next day of left five lines.

*2 Dense echo near shore.

を水温と対比してみる。中禅寺湖の従来⁴⁾の知見によれば、6~8 月には 10~30 m, 9~10 月には 15~30 m に水温躍層が形成される (Fig. 2)。ヒメマスは、昼間は躍層上部以浅に分布し、夜間は分散して躍層の下部付近にまで達しているが、それより深い停滞層には達しないと判断される。

以上から、中禅寺湖におけるヒメマスを中心としたサケ科魚類の昼夜の分布状況を Fig. 8 に示した。最大水深 172 m の中禅寺湖において、夏季及び秋季の水温停滞期には、ヒメマスを中心としたサケ科魚類は昼・夜間とも

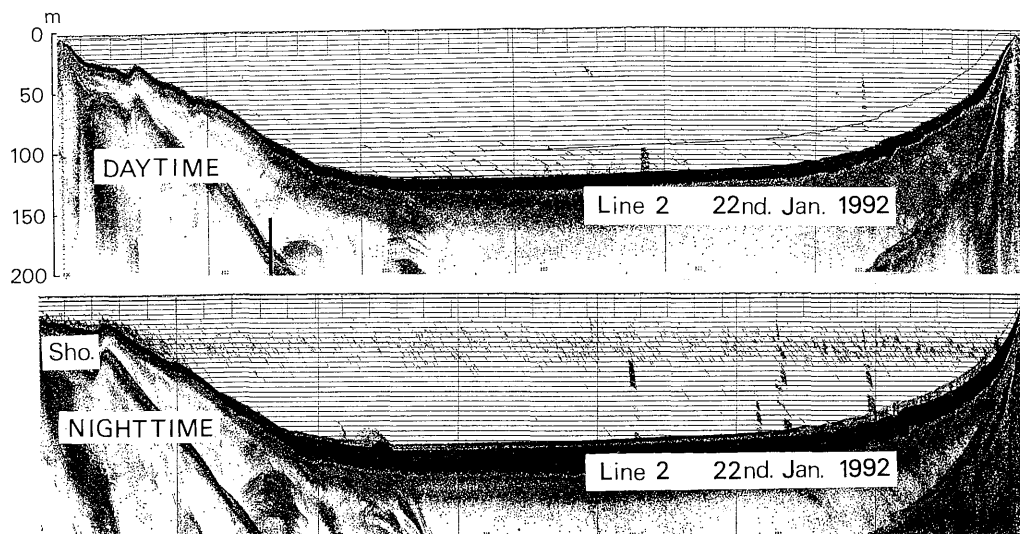


Fig. 6. Diel echogram at line 2 on 22nd January 1992, 3,200 m in length.
Sho. shows the location of Shobugahama.

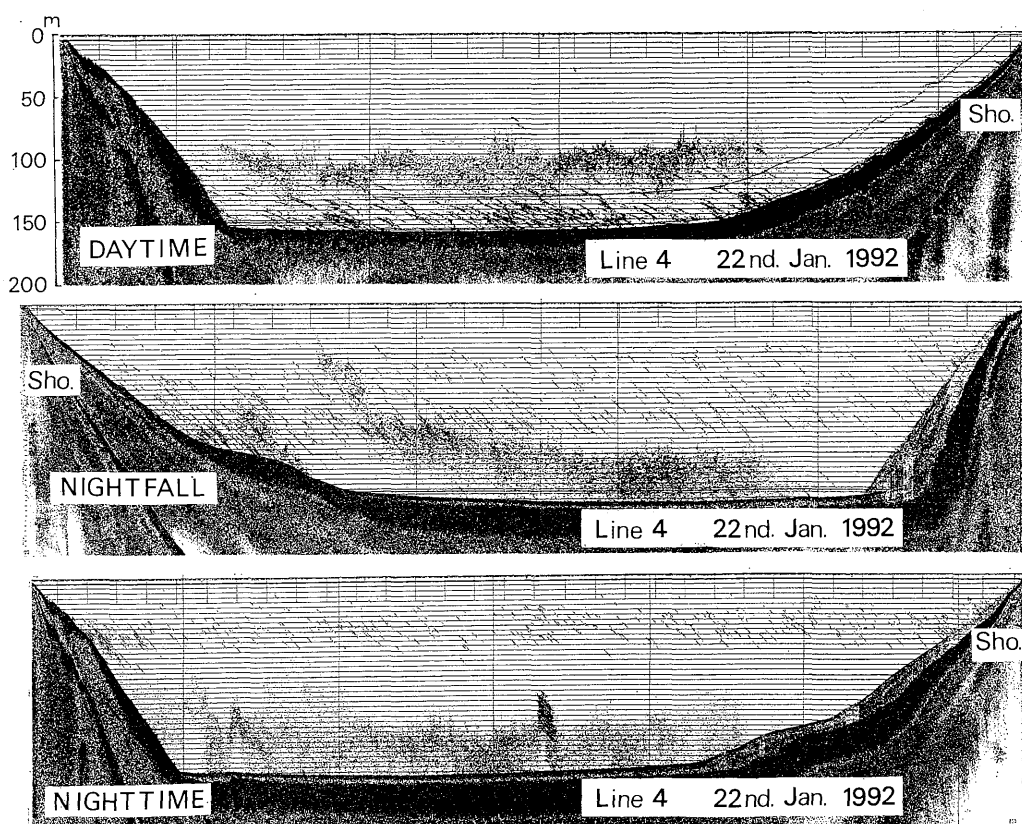


Fig. 7. Diel echogram at line 4 on 22nd January 1992, 1,800 m in length.
Sho. shows the location of Shobugahama.

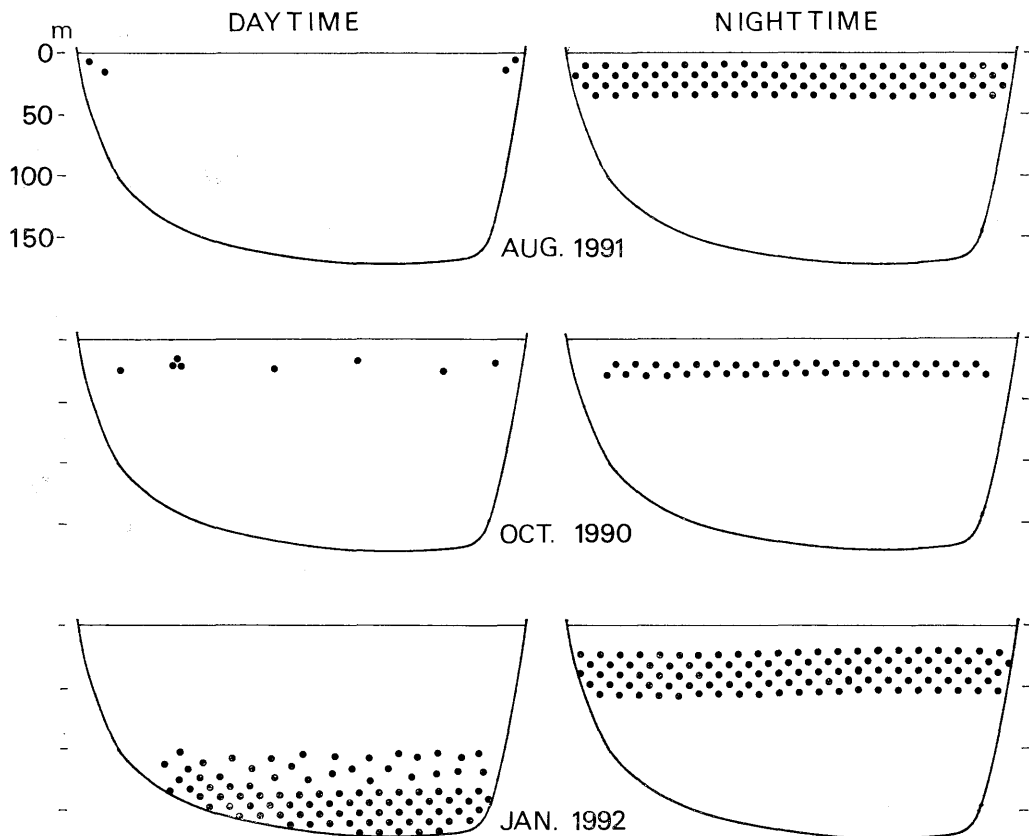


Fig. 8. Schematic diagram of diel vertical migration of Salmonidae mainly consisting of Hime salmon *Oncorhynchus nerka* in Chuzenji Lake.

に躍層を含む 40 m 以浅の表層に分布していた。また冬季の循環期には、昼間と夜間で底層と表層間の日周鉛直移動を行っていた。ただし夏季と秋季については、夜間の魚影に匹敵するほどの数が昼間には探知されていない。

また秋季の夜間、岸寄りで 2 段階の大きさの魚類が異なる深度に分布していたが (Fig. 4, (A), (B)), これらと沖に分散していたサケ科魚類との関係はなお不明である。冬季の夜間、岸寄り浅所にいた濃密小型魚影についても、魚種を特定できる資料はまだない。

ベニザケの日周行動 ベニザケの稚魚は、湖では昼間は深層、夜間は表層という日周鉛直移動を行うことがよく知られている。⁵⁻⁹⁾ Narver⁵⁾ は、カナダの Babine lake の当歳魚が、昼間は深い層、夜間は浅い層で分散すること、そして、昼間の分布層は水温躍層よりも下で、夜間は躍層とはほぼ一致していること等を報告している。昼間の分布層の深さの記録では、カナダの Quesnel lake では、8 月に約 100 m 層まで達し、⁹⁾ カナダの Okanagan lake では、秋季、小型魚が躍層のはるか下の 50~80 m 層に分布していた。⁹⁾

海洋を回遊中のベニザケについても日周鉛直移動が報告されている。^{10,11)} Manzer¹⁰⁾ のアラスカ湾北西域での 5~6 月の調査によれば、ベニザケは年級に関わりなく昼間は深い層に、夜間は浅い層に分布し、昼間の下降深度は最大 200 ft に達するが、水温躍層で制限を受けているとしている。しかし分布層は 10 m くらいまでの浅い範囲との報告もある。¹¹⁾

中禅寺湖のヒメマスは、冬季の日周鉛直移動範囲は極めて大きい、ベニザケにおける従来の知見と同様、昼間に深く夜間に浅い。しかし、夏季・秋季には昼に浅く夜に深いという逆の傾向がある。

ヒメマスの日周行動 日本のヒメマスの日周行動についての知見は少なく、最大水深 15 m の湯の湖^{12,18)}と最大水深 148 m の倶多楽湖¹⁴⁾以外にはほとんど調べられていない。倶多楽湖では、¹⁴⁾ 昼間は群れをなし、夜間は分散浮上すること、また昼間の出現深度は季節によって異なり、10 月に最も深く 80 m に達することが報告されている。

中禅寺湖では従来、夜間や冬季に魚群探知機での計測が行われたことはなく、昼間と夜間の行動変化や分布層

の変化は知られていなかった。今回、ヒメマスを主体にしたサケ科魚類の行動について、夏季と秋季の水温停滞期には、夜間は湖全域の表層から躍層にわたって分散すること、また冬の循環期には、最大水深 172 m までの全層にわたって、昼間は深い水域の底層、夜間は全域の表層という大きな日周鉛直移動を行うことを明らかにした。

中禅寺湖では冬季のヒメマスは餌生物が少ないため成長が鈍いといわれている。¹⁾ この時期は水温躍層が無いために移動し易いと推定できるが、餌生物の鉛直移動に伴う積極的移動か、または光の変化により不活発で漂うように移動するのか興味深い。また昼間の分布から、水深がより深い場合、さらに深く降下する傾向が感じられる。こうした大きな日周鉛直移動が、ヒメマスの成長のうえでどのような意義をもつのか、生理学的な面からも検討する必要がある。

夏季と秋季については、昼間の分布域の全容が不明なため明確な結果は得られていないが、鉛直日周移動が従来のベニザケ⁵⁻¹¹⁾ やヒメマス¹²⁻¹⁴⁾ の報告とは逆方向の可能性が高い。また分布の下限は躍層によって決定されているようであるが、ベニザケ幼魚は躍層よりはるか下層に分布する⁹⁾ ことも知られている。中禅寺湖でも躍層下に 2 例の魚影がみられたが、溶存酸素等の環境条件も含めて詳細な調査を行う必要があろう。

本稿では魚の大きさや成長段階について議論していないが、スプリットビーム型魚探機を使用することで一部大きさのデータも得られている。今後、こうした日周行動を行う魚類の魚種の特定や成長段階の把握を行い、行動生態の解明や大きな日周鉛直移動の意義について検討したい。

謝 辞

本調査に際し種々のご協力・ご指導を賜った中禅寺湖漁業協同組合神山公行組合長、室井克己、養殖研究所日光支所鹿間俊夫、織田三郎、海洋科学技術センター海域開発研究部小黒 至の諸氏にお礼申し上げる。本報文作成にあたり、水産工学研究所田中 實博士には中禅寺湖の魚類の行動について多大なご意見、ご指導を賜った。

なお本調査は海洋科学技術センターと養殖研究所日光支所との共同研究として、1990 年度から 4 年計画で開始されたものであり、その実現にあたって尽力された丸山為蔵前日光支所長に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 水産庁養殖研究所：中禅寺湖資源調査研究会 中間報告書。養殖研資料，6，1-65，(1989)。
- 2) K. Yoshihara, N. Okumoto, T. Shikama, S. Oda, H. Ishijima, T. Shibuya, K. Kamiyama, and H. Soeda: Body length composition and recruitment time of Hime salmon *Oncorhynchus nerka* in Lake Chuzeiji judged by experimental fishing. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1427-1435 (1991)。
- 3) 徳井利信：中禅寺湖のヒメマスについて訂正すべき既往事項。養殖研ニュース，24，34-35 (1992)。
- 4) 水産庁養殖研究所：中禅寺湯及び湯の湖の観測結果報告 (1972-1981 年)。養殖研資料，1，1-40 (1983)。
- 5) D. W. Narver: Diel vertical movements and feeding of underyearling sockeye salmon and the limnetic zooplankton in Babine lake, British Columbia. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 27, 281-316 (1970)。
- 6) C. W. Clark and D. A. Levy: Diel vertical migrations by juvenile sockeye salmon and the antipredation window. *Amer. Natur.*, 131, 271-290 (1988)。
- 7) A. S. Nikolayev: Vertical distribution of pelagic juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in Kuril'skoye lake during the summer-fall period. *Voprosy Ikhtologii*, 30, 392-403 (1990)。
- 8) D. A. Levy: Sensory mechanism and selective advantage for diel vertical migration in juvenile sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1796-1802 (1990)。
- 9) D. A. Levy: Acoustic analysis of diel vertical migration behavior of *Mysis relicta* and kokanee (*Oncorhynchus nerka*) within Okanagan lake, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48, 67-72 (1991)。
- 10) J. I. Manzer: Preliminary observation on the vertical distribution of Pacific salmon (genus *Oncorhynchus*) in the Gulf of Alaska. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 21, 891-903 (1964)。
- 11) R. French, H. Bilton, 大迫正尚, A. Hartt: 北太平洋の沖合水域におけるベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) の分布及び起源。北太平洋漁業国際委員会研究報告，34，1-102 (1979)。
- 12) 田中 実，白石芳一，島田 武：マス類の放流効果に関する研究-V，ヒメマスの成長と分布層の季節変化。淡水研報，25，63-72 (1975)。
- 13) 田中 実：魚群探知機による資源量推定法に関する基礎研究。淡水研報，28，77-139 (1978)。
- 14) 飯田浩二，鈴木恒由：魚群探知機を用いた北海道倶多楽湖におけるヒメマスの資源および生態に関する研究。北大水産集報，32，272-280，(1981)。