

用浅水湖泊型鱼探仪估算东湖鱼群数量*

立川 賢一

(东京大学附属海洋研究所,日本)

朱 志 荣

(中国科学院水生生物研究所,武汉)

三浦 泰 藏

(京都大学理学部,日本)

提 要

用浅水湖泊型鱼探仪估算了武汉东湖中的鱼类个体数。鱼探仪的探头可以横向或垂直放置,水平探鱼时得到的是从湖面到 1.5 米深的个体鱼探图像;垂直探鱼时得到的是从 1.5 米到水底的个体鱼探图像。按半减半角 3° 计算了鱼探仪探索的水团中鱼的密度。根据每 100 米距离的个体鱼探图像计数值的时间系列变化以及鱼类密度的两向方差分析,发现鱼类的栖息密度随湖区的不同而异。根据各湖区鱼类当时的“现存”尾数,估计东湖郭郑湖区(11 平方公里)1983 年 10 月“现存”的鱼数为 44 万尾,1984 年 3 月为 112 万尾。

前 言

为了估算湖泊的生物量,特别是鱼类种群的现存量,可用下述几个方法: 渔捞资料分析; 标志释放再捕法; 潜水直接计数法等。但这些方法都不能有效地迅速估算鱼类现存量(如取得每周,每月的时间系列值)。而且由于渔具捕鱼方法的不同,还可能导致资料的偏倚和观测值的缺失,此外,需要耗费大量的劳力和时间^[1]。

白石(1972)强调使用鱼探仪估算湖泊中鱼类现存量的方法是有效的^[2]。根据探测对象的生态特征,有两种估算方法。一种是以鱼类种群作为对象,称为鱼群数量计量方法。黑木与中马(1953)用此方法估算了池田湖(日本)的若鹭鱼(*Hypomesus transpacificus nipponensis* McCullister)、鮭鳟鱼类的现存量^[3]。立川等(1984)也用此法估算了霞浦湖(日本)中甲壳类、新米虾的现存量^[4]。另一种方法是鱼的个体计数方法,即用鱼探仪取得鱼的个体图像,然后计数鱼数。白石与古田(1964)首先用此法估算了芦湖(日本)的雅罗鱼、若鹭

* 中国科学院水生生物研究所刘建康所长及研究所的研究人员,东京大学海洋研究所的田中昌一教授及资源解析部门的研究人员对本研究给予了多方面的支持和协助。在改制浅水湖泊型鱼探仪时得到海上电机株式会社的石桥弘三氏、柴田实氏及日本海区水产研究所的田中实博士的帮助。中国科学院水生生物研究所的张春梅女士将本报告译成中文。在此表示衷心的感谢。

本研究一部分经费来自日本国文部省科学研究所(海外学术调查,研究课题号 58043033, 59043033)。

1986 年 3 月 15 日收到。

鱼、鲤鱼等的现存量^[4]。随后田中与白石(1970)和田中(1978)在推测汤湖(日本)的红大麻哈鱼现存量的研究中开始改进鱼探仪和现存量的推测方法^[7,8]。

为了估算武汉东湖的鱼群现存量,立川等(1985a)设计了浅水湖泊型鱼探仪鱼群数量计量系统。此系统包括两个方面,即鱼群数量计量法和鱼个体数计数法。由于用浅水鱼探仪可记录东湖白天的鱼类个体图像,因此立川等(1985b)尝试用鱼个体数计数方法估算鱼类现存量。我们是用平均水深和平均船速求出湖区的单位距离和鱼探仪的探索的水团体积来估算现存量的,所以估算值的精确度不够高^[1,2]。

本文首先根据立川等(1985b)的鱼探记录,对鱼类个体鱼探图像进行了再分析,然后进行更详细的计算并求出了鱼探图像的单位距离和鱼探仪的探索空间,再次估算了东湖鱼类种群的存活尾数²⁾。

调查场所概况

东湖位于湖北省武汉市,面积约32平方公里,最大水深4.5米,是一个富营养化的浅水湖泊(图1)^[1]。目前湖水位比图1所示的1963年10月约高0.5米。此湖可分为几个湖区,最大湖区为郭郑湖,面积约11平方公里。对该湖区不同水深的面积进行计算,得知水深大于2米的区域占该湖表面积的83.5%,水深大于3米的占63%,大于4米的占27.5%。可见郭郑湖是一个浅水的、底部平坦的湖区。

郭郑湖在每年9月下旬和11月下旬都进行大规模的鱼类捕捞。1983年的总渔获量为830吨。其中鲢占51.1%,鳙占41.8%。两种鱼共占92.9%,可反映出湖中鱼类现存量的比例。除此以外湖中还有翘嘴红鲌、蒙古红鲌、青鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼等。从1983年7月到1984年1月东湖放养鲢250万尾,鳙73万尾,连同其他鱼种计340万尾。

观察方法

(一) 浅水湖泊型鱼探仪

调查中用浅水湖泊型鱼探仪作为估算湖中现存鱼类生物量的仪器^[1,2]。浅水鱼探仪由精密小型声响测深机(PS=11E,海上电机株式会社(日本))和可变电阻衰减器(AS-5300,安藤(日本))构成。仪器连接1个200KHz的探头,此探头可分别收发200KHz和50KHz的超声波,调查中只使用200KHz超声波。测深范围为可进行2级转换,探测浅水区域时,以6.5米为单位,可得到31.5米的鱼探记录;对深水区域,则以13米为单位,可得到63米的鱼探记录。鱼探仪记录纸的传送速度为4级变换,本研究使用的送纸速度为每分钟3厘米。浅水鱼探仪(数据采集部)上连接了数据记录器(数据收录部)、AD转换器(数据转换部)、微型计算机(数据处理、解析部),从而构成鱼群数量计

1) 立川賢一、朱志榮、三浦泰藏,1985 a, 浅水湖沼型魚群探知機による魚群量計量システムに関する初步的研究——中国、東湖での研究事例。三浦泰藏編,東湖の水質管理と合理的な魚類生産に関する生態学的研究,昭和58、59年度海外学術調査研究成果報告書。6—20。

2) 立川賢一、朱志榮、三浦泰藏,1985 b, 浅水湖沼型魚群探知機による中国、東湖の魚類現存量推定に関する研究——1983年度の調査報告。同上誌。21—31。

量系统。

浅水鱼探仪有两种使用方法,一种是在水深0.3米处将探头面朝下放置,使超声波垂直发射,此时记录纸上可记录水深自0.3米至湖底的鱼探图像。另一种方法是在水深0.8米处将探头水平放置,使超声波向水平方向发射,鱼探仪记录纸上可得到从船侧到13米处声压的半减半角3°的鱼探图像(表1)。

表1 浅水湖泊型鱼探仪的性能和操作方法

Tab. 1 The ability and the handling method on the echo sounder for shallow lakes

	横向探鱼 Horizontal echo sounding	垂直探鱼 Vertical echo sounding
1.发射频率(KHz) 1 Transmitting frequency	200	200
2.发射次数(次数/分) 2 Trausmiting times (time/min)	750	1500.
3.半减半角 3 Halving half-angle	3°	3°
4.分辨率(毫米·秒) 4 Resolving pocter (mm sec)	13	6.5
5.发射距离(米) 5 Transmiting distence (m)	3	3
6.记录纸传递速度(厘米/分) 6 Speed of chartpaper (cm/min)	0.8	0.3
7.探头设置深度(米) 7 Depth of echo souder (m)	0.067—0.085	0.067—0.085
8.接收灵敏度(s) 8 Receiving sensitivity (s)	10	10
9.可变电阻衰减器(ATT, -dB) 9 Variable resistance attenuator	30	30

鱼探仪在现场应用之前,先在实验池对已知大小的鲢鳙进行鱼探观察,辨认记录纸上出现的鱼类个体图像。了解图像的大小、形状、色调等与实验鱼体大小的关系。以此为标准,从东湖实际取得的鱼探记录读出鱼的个体图像,并进行计数。

(二) 鱼探仪观测

垂直和水平鱼探调查时,都将探头的支柱固定在考察船的左侧,鱼探仪的操作标准见表1。

为了观测整个郭郑湖区,先在湖岸设立7个固定点,分别为A、I、H、Q、P、R、S。从A点到S点走“之”字形路线。垂直和水平鱼探调查都按照这条固定的路线进行,上午由A点向S点航行,下午由S点返回A点(图1)。

在探鱼过程中,航行路线上或附近区域中的环境状况,存在的反射物体,以及到达固定点的时间等,记录纸上都有记录。考察船的时速为5.25公里。从1983年9月5日到1984年3月26日,以中国科学院水生生物研究所为基地,在东湖共做了13次鱼探调查。

(三) 鱼类个体数的估算

用浅水鱼探仪记录东湖鱼类的个体鱼探图像,由此可算出鱼的个体数。

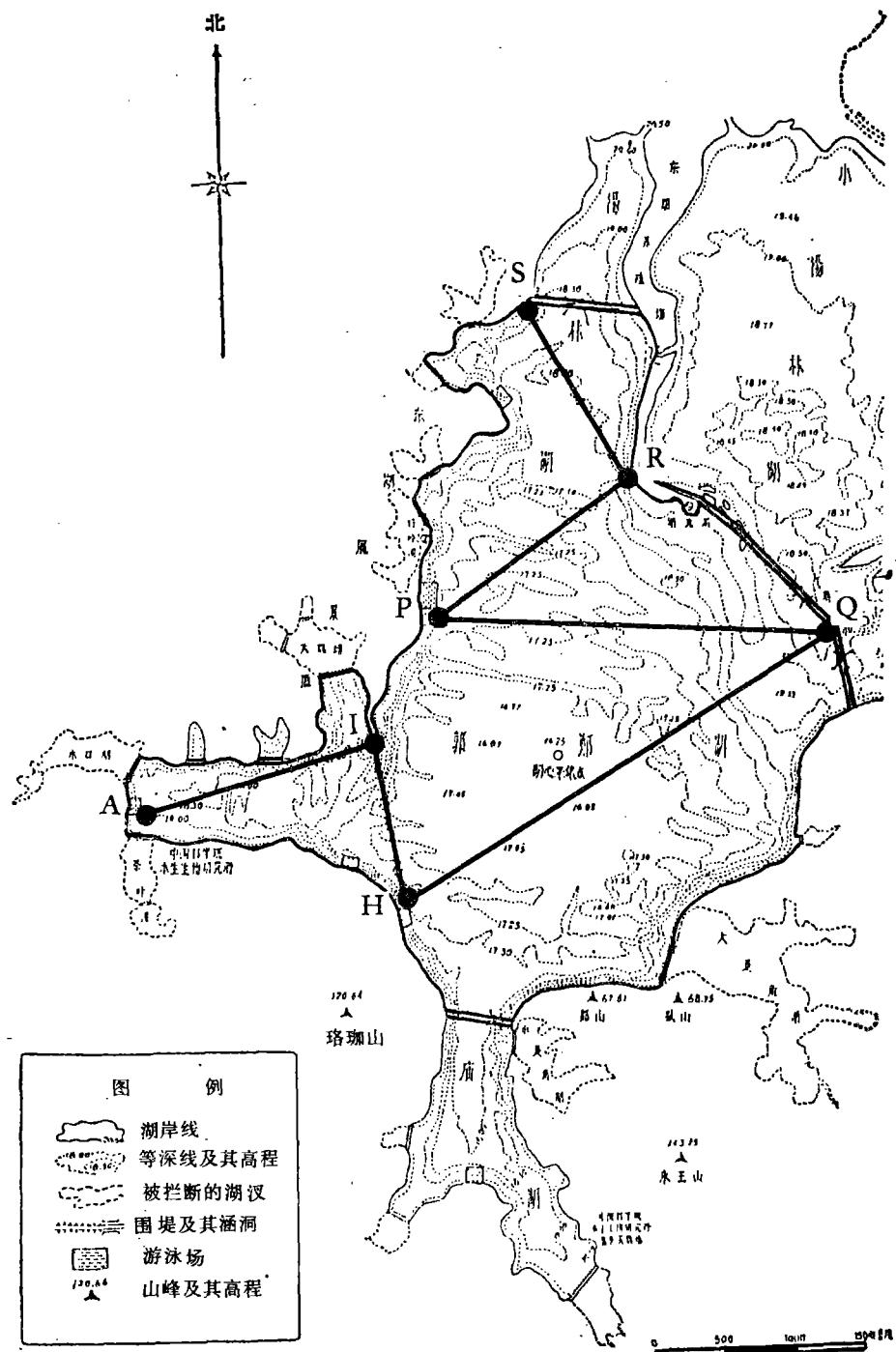


图 1 东湖地形图和鱼探仪观测的固定路线。

(对水生生物研究所第四室地理组 1963 年绘制的东湖地形图进行了一些更改。)

Fig. 1 A morphological map of lake Dong-hu and a standard cruising course for an echo survey. (modified partially from the map ed. by Geological group, No. 4 section, Hydrobiological Institute of Hubei province; 1963)

1. 湖区内的距离和湖区内的面积

根据地图测量了 A 到 S 7 个固定点之间的距离(表 2)，按每 100 米将各点之间的距离分段，作为个体鱼探图像计数单位。A—I 点的 100 米单位距离数(l_i)为 16, I—H 为 10, H—Q 为 33, Q—P 为 27, P—R 为 16, R—S 为 12。故收集鱼探图像的实际距离(L_i)为 $L_i = l_i \times 100(m)$ 。且各区域的面积与固定点之间的距离的平方成比例。用求积仪求出郭郑湖区的面积按比例划分为 6 个区域，得各区域的面积(S_i)(表 2)。

2. 浅水鱼探仪的探索体积

(1) 横向探鱼

横向探鱼时探头放在水深 0.8 米处，在此沿水平方向发射超声波。超声波的主轴与水平距离方向为半角 3° 的圆锥形¹⁾。可按水平方向数出 7—13 米间的鱼探图像。离船舷 7 米和 13 米的超声波主轴的直径分别为 0.74 米和 1.36 米。在离船舷 7 米处可得到水深 0.43 米、0.43 米到 1.17 米范围内的鱼探图像；13 米处可得到水深 0.12 米到 1.48 米范围内的鱼探图像。7 到 13 米这 6 米之间超声波主轴的断面是梯形，其面积为 6.3 米^2 。用各湖区的 L_i 乘以此面积值，求出 i 区域中的探索体积(V_{hi})。

$$V_{hi} = 6.3 \times L_i \quad (1)$$

(2) 垂直探鱼

将探头置于水深 0.3 米处，所发射的超声波主轴与横向鱼探一样也是半角 3° 的圆锥形。垂直鱼探可得到水深 1.5 米到湖底的鱼探记录。将 i 湖区的平均水深(\bar{H}_i)作为以 100 米为单位距离在鱼探记录纸上测得的水深平均值。水深 1.5 米中的超声波主轴的直径为 0.157 米，湖底为 $0.1048\bar{H}_i$ (米)，用下式可求出此梯形面积(S_{vi})

$$S_{vi} = 0.0524\bar{H}_i^2 - 0.1179 \quad (2)$$

再乘上 L_i ，便可求出鱼探探索体积(V_{vi})。

$$V_{vi} = S_{vi} \times L_i \quad (3)$$

3. 个体鱼探图像的计数

横向探鱼时，计数鱼探记录纸上每 100 米单位距离，从 7 米到 13 米之间的鱼的个体鱼探图像。将此值作为 n_{ho} 。同样，垂直鱼探也是在鱼探记录纸上每 100 米单位距离中，数出水深 1.5 米到湖底的鱼类个体图像。以此值作为 n_{vo} 。为防止重复计数，计数个体鱼探图像时，以鱼探图像上部为主。

4. 估算每单位面积的尾数(鱼群密度)

根据横向鱼探记录估算了湖表面到水深 1.5 米的鱼群密度。即 i 区域中的鱼群密度(D_{hi})为

1) 同 p.312 页脚注 2)。

表 2 东湖鱼类个体数的估算值 (a. 1983年10月; b. 1984年3月)

Tab. 2 Estimation of Fish Population in Lake Dong-Hu (a. Oct., 1983; b. Mar., 1984)

a
Morning Research

	Distance (Km)	Depth (m)	Area (Km ²)	Density (Dh/Km ²)	Density (Dv/Km ²)	Density (D/Km ²)	No. Fish
A—I	1.66	2.963	1.136	11474	103037	114512	130085
I—H	1.07	3.695	0.472	1780	78964	80744	38111
H—Q	3.37	4.158	4.686	1201	32028	33229	155710
Q—P	2.68	3.787	2.963	1333	14816	16148	47847
P—R	1.60	4.066	1.056	1637	38573	40209	42461
R—S	1.29	3.546	0.686	4430	38113	42543	29184
Total	11.67		11.000				443399

Afternoon Research

	Distance (Km)	Depth (m)	Area (Km ²)	Density (Dh/Km ²)	Density (Dv/Km ²)	Density (D/Km ²)	No. Fish
A—I	1.66	3.022	1.136	16638	66100	82738	93991
I—H	1.07	3.875	0.472	3783	33182	36965	17448
H—Q	3.37	4.080	4.686	3321	27401	30722	143962
Q—P	2.68	3.906	2.963	2488	17124	19611	58109
P—R	1.60	3.875	1.056	2679	39943	42622	45009
R—S	1.29	3.533	0.686	3507	79363	82869	56848
Total	11.67		11.000				415366

b
Morning Research

	Distance (Km)	Depth (m)	Area (Km ²)	Density (Dh/Km ²)	Density (Dv/Km ²)	Density (D/Km ²)	No. Fish
A—I	1.66	2.431	1.136	14630	119906	134536	152833
I—H	1.07	3.130	0.472	39163	188756	227919	107578
H—Q	3.37	3.556	4.686	23739	57122	80861	378913
Q—P	2.68	3.135	2.963	2843	49163	52005	154092
P—R	1.60	3.303	1.056	13690	126650	140341	148200
R—S	1.29	3.042	0.686	6460	22800	29260	20072
Total	11.67		11.000				961688

Afternoon Research

	Distance (Km)	Depth (m)	Area (Km ²)	Density (Dh/Km ²)	Density (Dv/Km ²)	Density (D/Km ²)	No. Fish
A—I	1.66	2.456	1.136	5450	37779	43229	49108
I—H	1.07	3.415	0.472	5785	134265	140051	66104
H—Q	3.37	3.439	4.686	3745	107777	111522	522592
Q—P	2.68	3.090	2.963	1333	113252	114584	339513
P—R	1.60	3.316	1.056	2381	185748	188129	198664
R—S	1.29	3.008	0.686	4061	78760	82821	56815
Total	11.67		11.000				1232800

$$D_{hi} = (n_{ni}/V_{ni}) \times 1.5 \quad (4)$$

从 1.5 米到湖底的 i 湖区的鱼群密度 (D_{vi}) 为

$$D_{vi} = (n_{vi}/V_{vi}) \times (\bar{H}_i - 1.5) \quad (5)$$

整个 i 区域每单位面积的鱼群密度 (D_i) 为(4)式和(5)式之和。

$$D_i = D_{ni} + D_{vi} \quad (6)$$

5. 东湖(郭郑湖区)鱼类个体数的估算

用鱼类密度乘以湖区面积便可算出 i 湖区中的鱼类个体数。

$$N_i = D_i \times S_i \quad (7)$$

将所估算的东湖鱼类现存尾数 (N) 作为 6 个区域的 N_i 合计值。用 N 值乘以调查中鱼的平均体重, 就可以知道鱼的现存重量。

观 察 结 果

(一) 个体鱼探图像

1983 年 9 月 27 日垂直鱼探所得到的东湖(水果湖区)鱼类个体鱼探图像如图 2 所示。这天因正将进行捕捞, 鱼都被鱼网拦到此湖内, 因此记录纸上有很多大鱼个体图像。根据这个记录可以数出水深 0.7 米以下的个体数。用横向鱼探所得到的鱼探记录(1983 年 10 月 12 日, 水果湖)如图 3 所示。根据记录可看出从船舷 0.4 米到 13 米的鱼类个体图像。这样, 浅水鱼探仪可记录到东湖白天鲢鳙的个体鱼探图像, 数出鱼的个体数 [图 2、3]。

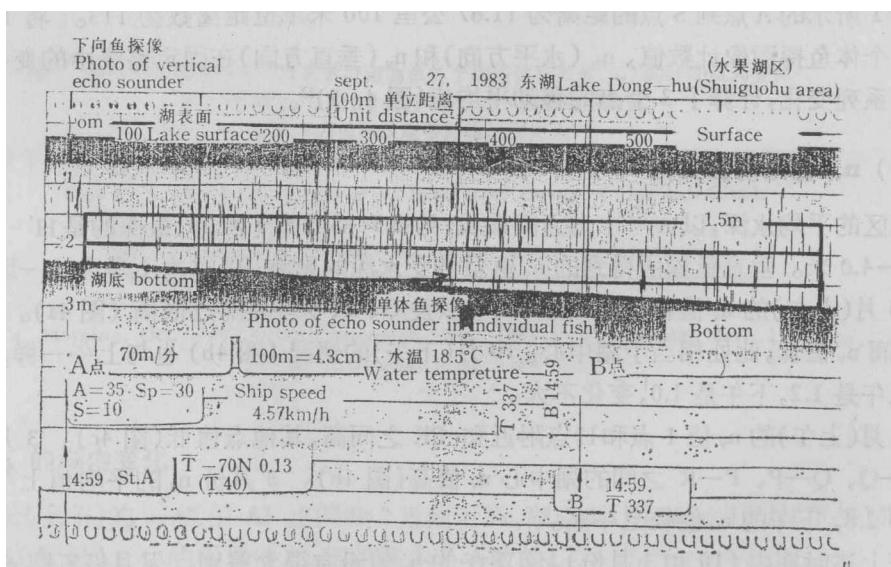


图 2 浅水湖泊型鱼探仪(垂直鱼探)的鱼类个体图像记录

(1983 年 9 月 27 日下午, 东湖(水果湖区), 水温 18.5℃)

Fig. 2 Echo traces of fish individuals by the vertical echo sounder for shallow lakes
(Sept., 27, 1983, Afternoon, Water temperature 18.5°C, Dong-hu Lake)

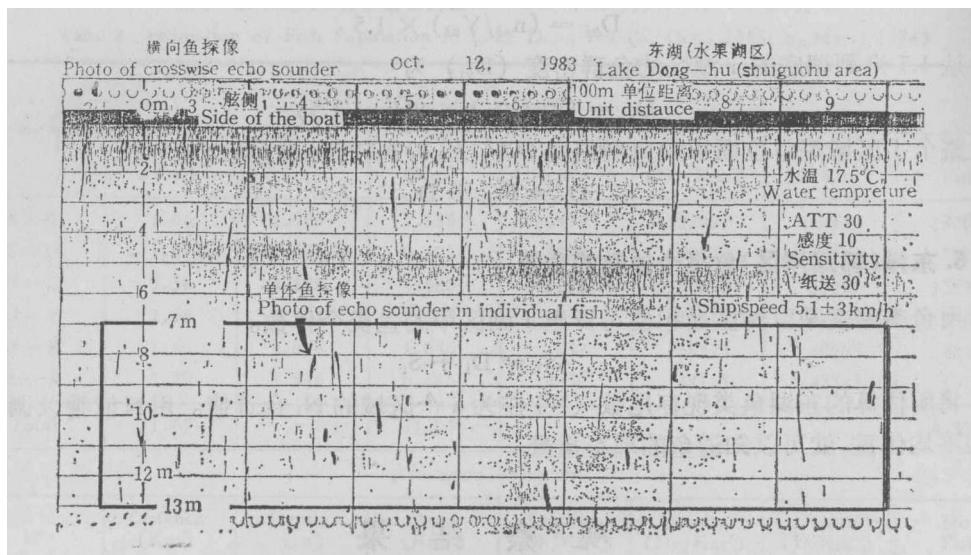


图 3 浅水湖泊型鱼探仪(横向鱼探)的鱼类个体图像记录
(1983年10月12日上午,东湖(水果湖区),水温17.5℃)

Fig. 3 Echo traces of fish individuals by the horizontal echo sounder for shallow lakes
(Oct., 12, 1983, Morning, Water temperature 17.5°C, Dong-hu Lake)

(二) 个体鱼探图像数值在湖内的分布

1. 湖内分布

图1所示的A点到S点的距离为11.67公里，100米单位距离数为113。将100米单位距离个体鱼探图像计数值、 n_h （水平方向）和 n_v （垂直方向）在固定路线中的变化，看作是时间系列变化，计算了3个点的移动平均值（图4, 5）^①。

(1) n_v 在湖内的变化

湖区的平均水深，以A—I点之间最浅，为2.5—3.0米（表2），最深的是H—Q之间，为3.5—4.0米。垂直鱼探所得到的 n_v 值虽然受水深的影响，但这次不考虑这一因素。

10月（上午）的 n_v 值在AI和IH，以及Q、R、S各点附近很高（图4a）。HQ和QP之间 n_v 值低，此处相当于湖中心。10月（下午）的情况（图4b）也与上午一样， n_v 的平均值上午是1.2，下午是1.0，变化不大。

3月（上午）的 n_v 值I点和H点附近和PR之间高，其他点值低（图4c）。3月（下午）则H—Q、Q—P、P—R之间的湖中心 n_v 值高（图4b）。3月份 n_v 的平均值上午为2.0，下午为2.8，下午的 n_v 值较上午高。

在上述时期中（10和3月份）上、下午的 n_v 值没有很大差别，但月份不同 n_v 值的湖内分布则不同。10月份湖岸地区的 n_v 值高，而3月份则湖心高。

①) 计算移动平均值时使用了下述文献中的计算程序(SMOOTH): 協本和昌、垂水共元、田中豊, 1984。パソコン統計解析ハンドブック, 1, 基礎統計編。308。共立出版, 东京。

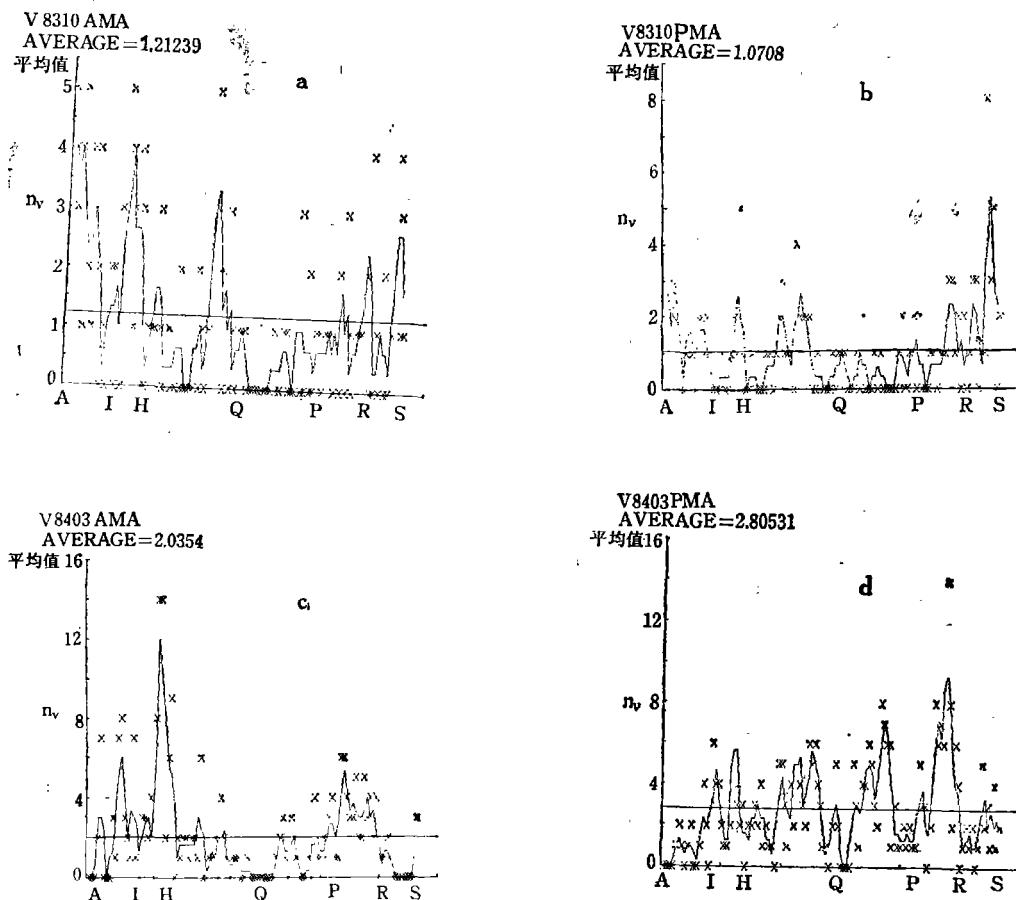


图4 垂直鱼探观察中每100米单位距离鱼类个体图像计数值(n_v)的时间系列变化

× 记号表示 n_v 值; 曲线表示 n_v 的3点移动平均值;

A至S为鱼探仪观察路线的固定点

a 1983年10月上午; b 1983年10月下午; c 1984年3月上午; d 1984年3月下旬

Fig. 4 A time Series graph of n_v Echo trace counts of fish individuals per 100m unit distance, by the vertical echo sounder

Symbol × means n_v value; a broken line graph represents three points-moving averages of n_v . Alphabets; A to S represent station points on a standard cruising course for an echo survey

a Morning, Oct., 1983 b Afternoon, Oct., 1983 c Morning, Mar., 1984
 d Afternoon, Mar., 1984

(2) n_h 的湖内变化

10月份(上午)的 n_h 值在 AI 之间和 S 点附近高, 湖心低(图 5a)。10月(下午)的 n_h 值也如上述(图 5b), n_h 的平均值上、下午基本是一致的。

3月份(上午)I 点和 Q 点, HQ 之间 n_h 值高(图 5c)。下午 n_h 的平均值要比上午的高 4.5 倍, 而 IH 之间和 HQ 之间的 H 点附近的 n_h 值特别高(图 5d)。

综上所述, 3月份与10月份相比, 其上、下午的 n_h 值差别很大。 n_h 的湖内分布型, 10

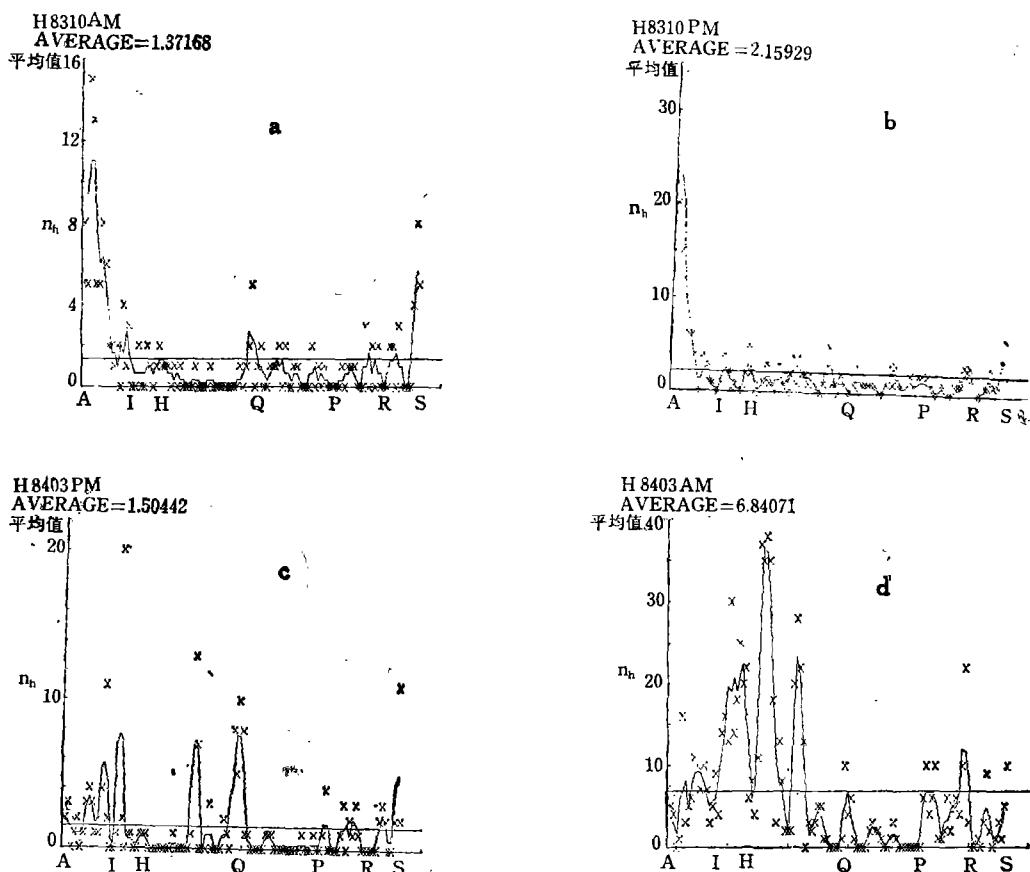


图5 横向鱼探观察中每100米单位距离鱼类个体图像计数值(n_h)的时间系列变化。

×记号表示 n_h 值;曲线表示 n_h 的3点移动平均值;

A至S为鱼探仪观察路线的固定点

a 1983年10月上午; b 1983年10月下午; c 1984年3月上午; d 1984年3月下旬

Fig. 5 A time series graph of n_h ; Echo trace counts of fish individuals per 100m unit distance, by the horizontal echo sounder.

Symbol × means n_h value.

a broken line graph represents three points-moving average of n_h .

Alphabets A to S represent station points on a standard cruising course for an echo survey.

a. Morning, Oct., 1983; b. Afternoon, Oct., 1983;

c. Morning, Mar., 1984; d. Morning, Mar., 1984

月份湖岸部,特别是AI之间高;而3月份则是湖心部、特别是HQ之间的H点附近高。

2. 两向方差分析

将各区域的 n_v 和 n_h 的数据分别求出其平均值(\bar{n}_v 和 \bar{n}_h) (表3)。根据上、下午的不同(因素A)和区域的不同(因素B)所引起的 \bar{n}_v 和 \bar{n}_h 的差别进行了两向方差分析¹⁾。

1) 两向方差分析计算时用的是下述文献中的计算程序:若林克己,1984。实验数据整理。ライフサイエンス・ペソコソシソーズ5。201。培风馆,东京。

表3 垂直鱼探 \bar{n}_v 值的二元方差分析表 (a 1983年10月; b. 1984年3月)

Tab. 3 A two way analysis of variance for \bar{n}_v values by vertical echo Sounder.
 Factor A means a time (morning and after noon), and factor B a lake-division.
 a; Oct., 1983, b; Mar., 1984.

a

Factor B	AI	IH	HQ	QP	PR	RS
Factor A						
Morning	2.500	2.300	0.970	0.432	1.125	1.083
Afternoon	1.625	1.000	0.818	0.500	1.125	2.250

Analysis of variance

Factors	DF	SS	MS	F	P
Factor A	1	0.10	0.10	0.2725	>0.05, NS
Factor B	5	3.46	0.69	1.8961	>0.05, NS
Error	5	1.82	0.36		
Total	11	5.38			

b

Factor B	AI	IH	HQ	QP	PR	RS
Factor A						
Morning	2.563	4.900	1.545	1.231	3.188	0.583
Afternoon	0.875	3.700	2.848	2.808	4.688	2.000

Analysis of variance

Factors	DF	SS	MS	F	P
Factor A	1	0.71	0.71	0.6229	>0.05, NS
Factor B	5	15.33	3.07	2.7082	>0.05, NS
Error	5	5.66	1.13		
Total	11	21.70			

(1) \bar{n}_v 的方差分析

10月的 \bar{n}_v 的变化范围为 0.43 到 2.50 (表 3a)，其中上午由 0.43 到 2.50，下午由 0.50 到 2.25。AI 的 \bar{n}_v 值高，QP 最低。方差分析结果的差异显著性的概率为 5%，从时间和湖区来讲， \bar{n}_v 都没有显著的差别。3月份的 \bar{n}_v 的变化范围为 0.58 到 4.69 (表 3b)。上午从 0.58 到 4.90，下午由 0.88 到 4.69。湖区中，IH 之间的 \bar{n}_v 值最大，RS 之间的值最小。和 10 月份的结果一样，不同时间和湖区的数据也没有显著差别。

表 4 横向鱼探 \bar{n}_h 值的二元方差分析表 (a 1983 年 10 月; b 1984 年 3 月)Tab. 4 A two way analysis of variance for \bar{n}_h values by horizontal echo sounder.

Factor A means a time (morning and afternoon), and factor B a lake-division.

a; Oct., 1983, b; Mar., 1984.

a

Factor B	AI	IH	HQ	QP	PR	RS
Factor A						
Morning	5.000	0.800	0.520	0.580	0.690	2.000
Afternoon	7.250	1.700	1.420	1.080	1.130	1.580

Analysis of variance

Factors	DF	SS	MS	F	P
Factor A	1	1.74	1.74	4.5541	>0.05, NS
Factor B	5	42.48	8.50	22.2287	<0.01
Error	5	1.91	0.38		
Total	11	46.13			

b

Factor B	AI	IH	HQ	QP	PR	RS
Factor A						
Morning	6.380	7.680	10.180	1.230	5.750	2.080
Afternoon	2.380	5.830	1.610	0.580	1.000	1.830

Analysis of variance

Factors	DF	SS	MS	F	P
Factor A	1	33.57	33.57	6.8812	<0.05
Factor B	5	50.77	10.15	2.0817	>0.05, NS
Error	5	24.39	4.88		
Total	11	108.73			

(2) \bar{n}_h 的方差分析

10 月份的 \bar{n}_h 从 0.52 到 7.25 范围内变化(表 4a)。上午的 \bar{n}_h 从 0.52 到 500, 下午由 1.08 到 7.25。区域 AI 之间的 \bar{n}_h 最高, 其他地区都低。从方差分析的结果可知, 上下午的 \bar{n}_h 值无显著差别, 而不同区域之间的概率只有 1%, 差异非常显著。可知 10 月份鱼类在表层的分布差别很大。

3 月份的 \bar{n}_h 值变化很大, 从 0.58 到 10.18 (表 4b)。上午的 \bar{n}_h 从 1.23 到 10.18, 下午由 0.58 到 5.83。湖区之间 A 点到 Q 点的 \bar{n}_h 值高, QP 之间值最小。方差分析的结果是,

湖区之间 \bar{n}_h 值无显著差别, 而上下午仅 5% 的概率, 达差别显著界限。特别是 HQ 区域上午和下午相差竟有 6.32 倍, 对方差分析的结果影响很大。

(三) 估算鱼类个体数

以 100 米单位距离所得到的个体鱼探图像数值为基础, 估算了 1983 年 10 月和 1984 年 3 月东湖(郭郑湖区)中鱼类个体数。在上、下午的探测中, 不同区域, 不同月份的鱼类个体数如表 2 所示。

从 1983 年 10 月的结果来看, 从湖表面到水深 1.5 米的鱼类密度 (D_h), 上午 AI 之间最大, 其次是 RS 之间, 其他部分基本一致(表 2a), 下午同上午类似, AI 之间最大, 其他点之间大致相同。

从水深 1.5 米到湖底的鱼类密度 (D_v) 情况来看, 上午是 IH 之间最高, 其次是 PR, RS 之间最小(表 2b)。下午是 PR 之间最高, 其次是 IH, 而 AI 之间最小。

比较 D_h 和 D_v , 可知 D_v 的值要比 D_h 大 1 位数。且 D_v 越大, D_h 的值也越大, 但不能说此种关系是恒定的。

用(6)式求出了湖表面到湖底的鱼类密度(D)。密度(D), 在 10 月份(上午)是 AI 之间高, QP 之间低。下午密度最低的是 QP, RS 之间高。

3 月份上午 IH 之间的密度高, RS 之间低。下午 H 点到 R 点的湖心部密度最高, AI 之间的 D 值最低。

将用上述的 6 个不同区域的密度乘以湖区面积所得到的鱼类尾数累加起来, 便可求出以郭郑湖为主的 11 平方公里湖区内鱼类现存尾数。如表 2 所示, 测得 1983 年 10 月份上午的鱼类现存尾数为 45.6 万尾, 下午为 42.7 万尾。平均为 44.15 ± 2.05 万尾。1984 年 3 月份上午的鱼类现存尾数为 98.3 万尾, 下午为 125.2 万尾, 平均为 111.75 ± 19.02 万尾。

讨 论

(一) 个体鱼探图像的计数

为了估算东湖的鱼类现存尾数, 使用了浅水湖泊型的鱼探仪。与在池中的鱼探仪观察结果一样, 用浅水鱼探仪可记录到东湖中鱼类个体图像。东湖在整个湖区是用驱集渔法来进行捕捞的, 湖中水草和竹棒之类超声波反射物体少。因此, 根据观察对象鲢鳙的反射声压(目标强度), 调节浅水鱼探仪的可变电阻衰减器, 可明显记录到鱼的个体图像, 且易于识别。

一些作者认为, 记录鱼的个体图像时, 最好在鱼群分散, 相对静止的晚上进行^[4,5]。但本次进行鱼探仪观察时是从上午 8 点到下午 3 点。即得到的是白天的鱼类个体图像。至今尚不清楚东湖中的鲢鳙在白天是否分散活动。不过因为浅水鱼探仪的分辨率高, 所以白天能记录到鱼类个体图像。

本次究研的鱼探记录, 垂直鱼探是由水深 0.8 米到湖底; 横向鱼探是由水深 0.12 到 1.48 米。此外, 本来进行横向鱼探时, 通过鱼探仪的距离转换和探头设置水深的变化可得

到东湖湖表面到湖底的鱼探记录。由于本次研究进行的鱼探观察是在固定路线上进行的,因此未用这个方法。

有人曾经指出在浅水湖泊中使用鱼探仪时存在两个弱点。一是得不到湖表面到水深4米的鱼探记录。二是当考察船接近时鱼将立即逃避。这次未专门观测鱼的逃逸率,不过我们认为横向使用浅水鱼探仪的探头时,是从船舷水平方向7米到13米进行鱼探记录的,所以不存在上面指出的问题。

黑木与中马(1953)^[9]试用了将垂直鱼探和横向鱼探配合估算鱼类现存量的方法。为了求出鱼群的体积,他们使用了两种操作方法,这和本研究的使用目的不同。此外佐野(1968)^[8]指出,在测定鲑鱼之类的表层游泳鱼类的资源量时用横向鱼探记录较有效。用鱼探仪探索浅水湖泊的整个水层来估算鱼类个体数时,将横向和垂直两个方向配合使用的鱼探仪观测方法,尽管从音响学来讲还存在很多问题,但实际应用时还是有效的。

浅水鱼探仪上没有装个体鱼探图像自动计数装置,本文所报告的个体鱼探图像是我们用目视计数法数出不同深度中的鱼的个体数。目视计数法,根据观察记录,可将鱼类以外的已知的超声波反射体排除,方法简单。而且还可根据鱼探图像的大小估计鱼的大小^[9]。但是在计数不同大小的鱼时完全是根据计数者自己的判断而进行的,因此精确度不高。鉴于上述原因,在池里做了预备实验。将已知体长15厘米的鲢放入池中,用鱼探仪记录其个体鱼探图像,每0.5米水深计数。要指出的是用目视计数法读出鱼探图像时速度慢,同时对鱼类个体图像的判断缺乏可靠性。所以希望今后能研制出个体鱼探图像自动计数装置。

(二) 鱼类在湖内的分布

根据捕捞的结果以及人们长期得出的经验来看,东湖的鱼类分布情况是A、I、H三点所包围的湖区(水果湖)比湖中心的鱼多。东湖每年9月下旬进行大捕捞,未捕捞起来的鱼10月份仍留在湖里。从横向鱼探个体鱼探图像计数值的方差分析结果来看,10月份的概率为1%,说明鱼在湖内的分布有显著的差别。从图4、图5所示鱼探图像计数值的时间系列图可知水果湖的计数值最高。所以水果湖汊的鱼类密度最大。

在3月份,湖中放养的鱼类个体尚小,方差分析表明,个体鱼探图像在湖内的分布无显著差别。不过从时间系列图解来看,湖心部的个体比水果湖多(图4,5)。

由上述结果可推测,东湖中的鱼类在湖中并不是均匀的或随机分布的,而是根据季节的不同集聚在湖内特定的地区。

关于上午和下午的鱼探图像计数值,用横向鱼探时3月份观察的结果有显著差别(5%)。假如所放养的小型鱼类的群体,具有上午在湖心地区活动,下午则集中在近岸一带这种特定的昼夜活动方式,那么鱼的分布量就可能产生如上所述的上、下午的差别。但目前尚不知道东湖放养的小型鱼是否具有这样的昼夜活动方式。仅根据这次的观测结果来说明东湖的鱼类上、下午分布量不同,理由是不充分的。

(三) 估算鱼群数量

1983年9月下旬,东湖整个湖区进行了大规模的捕捞,捕捞量为525吨。如本报告

所述，估算 10 月份湖中还有 44 万尾鱼。从 1983 年 10 月到 1984 年 2 月东湖中共放养了鲢鳙幼鱼 340 万尾，估算 3 月份东湖中存活的鱼为 112 万尾。

比较上述估算值和立川(1985b)的调查结果，1983 年 10 月份的估算值是调查结果的 3 倍，1984 年 3 月份的估算值是调查结果的 1.5 倍。上述估算值比立川等 (1985b) 的调查结果高，主要理由有 3 个。第一，这次计数的个体鱼探图像是作为全长 15 厘米以上的鱼，即计数值里包括大量的小型个体。第二，在鱼探仪记录纸上以 100 米为单位划分距离时，不是用平均船速求出的距离，而是用的实际固定点之间的距离，计算时不包括固定点附近的水域。因上述两个原因，鱼类密度的估算值 1984 年的比 1983 年的高。第三，计算鱼探仪的探索体积时，只用了表示超声波主轴概略的半减半角 (3°)。求出现实的有效鱼探仪探索体积是很困难的，但在浅水域中可通过副级来扩大探索体积^[2]。如果此体积为超声波主轴的计算体积的 $1/2$ ，那么大体上 10 月份约是 30 万尾，3 月份约是 75 万尾，与立川等(1985b)的计算方法所得出的结果相近。

最后从捕捞量和放养量的关系研究了鱼类个体数的估算值，10 月份残留的鱼基本上都是 1^+ 龄的鲢(平均体重 0.5 公斤)和 1^+ 龄的鳙(平均体重 1.0 公斤)。假设这些平均体重的平均值是残鱼的平均体重，则 10 月份鱼类的现存量为 330 吨，加上 9 月份的捕捞量，共 855 吨。由此可知回捕率为 60%。这些计算值同渔工们根据自己的判断得出的数值相近。3 月份的鱼类个体数约是放养量的 $1/3$ 。减少的原因为：放养后因事故、疾病引起的死亡；因水温及湖的水质环境引起的死亡；逸散到东湖外以及凶猛鱼类、水鸟的捕食。目前上述原因导致的死亡率的大小尚不清楚。从 1984 年 3 至 7 月的捕捞量(86 吨)和 9 月上旬的现存量，以及鱼类的生长量来看，3 月份湖中至少残留 100 万尾鱼。

综上所述，本报告中的估算值可能会出现偏高现象，但可以说是现实中较为恰当的值。

从利用鱼探仪可迅速估算水深 5 米和浅水湖泊中鱼类的现存量来看，本研究的意义是很大的。

参 考 文 献

- [1] 湖北省水生生物研究所第四室、武汉市国营东湖养殖场, 1976。武昌东湖渔业增产试验及增产原理的分析。水生生物学集刊, 6(1): 5—15。
- [2] 大川浩、三栖宽, 1978。魚群探知機により魚群量を推定する一つの試み。西水研研报, 51: 141—157。
- [3] 白石芳一, 1972。魚群探知機による湖沼調査法。海外技術協力事業団。129。
- [4] 白石芳一、古田能久, 1964。魚群探知機による神奈川県芦ノ湖の魚族分布と資源尾数の推定に関する研究。淡水研报, 13(1): 57—76。
- [5] 田中実, 1978。魚群探知機による資源量推定法に関する基礎研究。淡水研报, 28(2): 77—139。
- [6] 田中実、白石芳一, 1970。湯ノ湖における魚類の現存量推定。JIBP-PF 湯ノ湖研究グループ昭和 44 年度報告。117—126。
- [7] 立川賢一等, 1984。魚群探知機による霞ヶ浦のイサザアミ資源量の推定に関する研究。国立公害研究所研究報告。第 53 号 ($R^*53'84$)。29—60。
- [8] 佐野典達, 1968。サケ、マス魚探技術の若干の問題点について——II、サケ、マス用横方向魚探の試用。日本水誌, 34(8): 670—680。
- [9] 黒木敏郎、中馬三千雄, 1953。水平魚群探知に関する研究(第 1 報)。池田湖に於ける魚群量の推定。鹿大水產紀要, 3: 56—64。

STUDIES ON ACOUSTIC ESTIMATION OF FISH POPULATIONS IN LAKE DONG-HU

Tatsukawa Ken-ichi

(*Ocean Research Institute, Univ. Tokyo, Japan*)

Zhu Zhirong

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, P. R. China*)

Miura Taizo

(*Otsu Hydrobiological Station, Kyoto Univ. Japan*)

Abstract

Fish populations in Lake Dong-hu, Wuhan, China, were estimated by using the echo sounder for shallow lakes.

The transducer was set vertically or horizontally to receive the fish echoes from all water layers.

It was recognized that there were differences between fish densities in lake-divisions according to the results of time series analysis and two-way analysis of variance for the number of echo traces on 100 m unit distances, fish densities in the searching volumes calculated with the main beam angle of an echo.

Fish populations estimated were discussed in connection with catch, numbers of fish stocked and fish distribution in the lake.

Key words Fish population estimation, Echo sounder, Shallow lake