



Title	屈斜路湖の水位観測および二次元モデルによる数値計算
Author(s)	小泊, 重能; KODOMARI, Shigeyoshi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 34, 1-14
Issue Date	1975-11-29
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.34.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14051
Type	departmental bulletin paper
File Information	34_p1-14.pdf



屈斜路湖の水位観測および 二次元モデルによる数値計算

小 泊 重 能
北海道大学理学部地球物理学教室
(昭和50年6月20日受理)

Observations of Water Level and Numerical Experiments in Lake Kutcharo

By Shigeyoshi KODOMARI
Department of Geophysics, Faculty of Science,
Hokkaido University
(Received June 20, 1975)

Fluctuations of water level were measured during May and July 1969 and November 1970 in Lake Kutcharo, Hokkaido. Average periods of oscillation are 30 and 18 minutes. The former is the period of the uninodal longitudinal seiche and the latter is that of the uninodal transverse one. The observed period of the uninodal longitudinal seiche (30 minutes) is a little longer than the periods calculated by Merian's formula (25.8 minutes) or Defant's method (26.4 minutes).

Oscillations of lake surface and velocities have been calculated numerically in using a two-dimensional model. From results of Fourier spectrum analysis for the calculated time series of water level, it is found that the dominant periods of seiche are 30 and 18 minutes. The coincidence between the calculation and the observation are exact. Moreover, in assumption of no island in lake the calculated period was 26 minutes. This is very close to the one-dimensional calculations.

From these results, it can tell that the island has effects on the period of seiche.

I. 序

北海道には数多くの湖沼があるが、それらのうち、静振や湖流等の流動に関する基礎的な観測が行なわれているものは、あまり多くない。最近では湖沼の汚染等が社会問題化しているが、このような場合にも、まず基礎的なデータが必要とされる。ところで、屈斜路湖は北海道東部の屈斜路カルデラの中にあり、面積は79.7km²、最大深度は120m(理科年表による)という北海道最大の淡水湖である。湖水のpHや溶存酸素量等の化学的性状については幾つかの調査(例えば、道立水

産孵化場；1968）があるが、静振や内部静振等については日下部ら（KUSAKABE et al.；1918, 田中館；1925）による観測がなされているのみである。筆者が屈斜路湖において、数回の水位観測を行なったところ、静振の周期について日下部らとは異なる結果を得た。この例からみても、基礎的な観測、資料の整備が望まれる。

また静振については、今までこれを湖水の一次元的な定常振動とのみ見てきたきらいがある。そこで、二次元的な流動としてとらえるために数値計算を行なったところ、興味ある結果が得られた。

II. 観測の結果と考察

観測は湖岸の数箇所自記水位計を設置して行なった。Fig. 1 に観測点の位置を示した。各観測点での観測期間と、その間の天候は Table 1 の通りである。また、1969年の5月と7月には水温鉛直分布の測定も行なった。

得られた水位記録は、読み取り間隔5分で0.2mmまで読み、フーリエ解析によって周期を調べた。考察するのは、周期が15分程度より長いものについてだけである。まず、各観測点毎の結果について述べる。

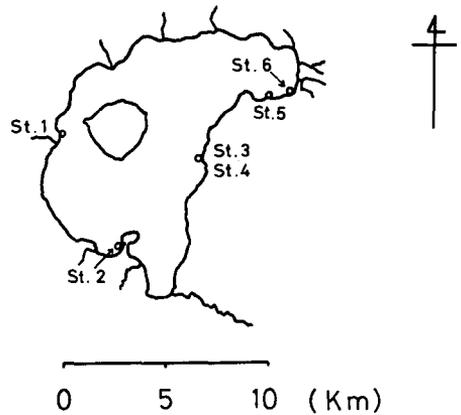


Fig. 1. Location map of Lake Kutcharo showing observation points.

Table 1. Periods of observations and the weather of duration.

観 測 点	観 測 期 間	天 候
St. 1	1969年5月 28日 15:30 ~ 30日 15:50	28日 雨
St. 2	1969年5月 29日 12:20 ~ 31日 9:25	29日 曇, 晴 30日 曇, 雨
St. 3	1969年5月 30日 17:15 ~ 31日 10:45	31日 曇, 雨
St. 4	1969年7月 7日 11:20 ~ 9日 6:50	7日 曇 8日 晴 9日 晴
St. 5	1970年11月 13日 9:00 ~ 14日 8:20 16日 15:50 ~ 20日 9:50	13日 曇, 晴 14日 雨, 曇 15日 曇, 曇 16日 晴, 曇 17日 晴, 曇 18日 晴 19日 晴
St. 6	1970年11月 13日 10:00 ~ 20日 10:05	20日 曇, 雨

1. St. 1

Fig.1に見られるように、この観測点のみが島の西側にある。記録の例は Fig.2 に示してあるが、非常に卓越した振動が見られる。この周期は30分で、振幅は1~2 mm である。また、5月30日の午前8時30分頃から急に水位が上昇し始め、9時30分頃には約15 mm 高くなっている。その後減衰はしているが、観測終了時までには元の状態に戻っていない。この前後、天候は悪かったが (Table 1) 流入量の急激な増大は考えられず、変化が局地的であったところから見て、これは風の吹き寄せによるものと思われる。8時から9時にかけては風の観測値がないが、10時前後に湖東岸のやや陰になった地点でピラム測風計により測定したところでは、南ないし南東の2~3 m/sec. の風があった。

2. St. 2

この観測点は湖の南部、和琴半島の西側にある (Fig.1)。記録の例を Fig.2 に示してあるが、St. 1 と比べるとかなり変動の様子は異なる。しかし、卓越周期はやはり30分であり、18分の周期も見られる。30分周期のものは、St. 1 より振幅の差が大きく0.2~2 mm である。

また、St. 1 での水位上昇に対応するような明らかな変化は見られない。これはこの観測点が風上側にあり、かつ和琴半島の陰になるからであろう。

3. St. 3

湖の南北方向の軸のほぼ中央にあるこの観測点では (Fig.1)、St. 1 や St. 2 で見られた30分周期の変動は存在せず、その他の卓越振動もない (Fig.2)。短周期 (目測では10分程度) で振幅

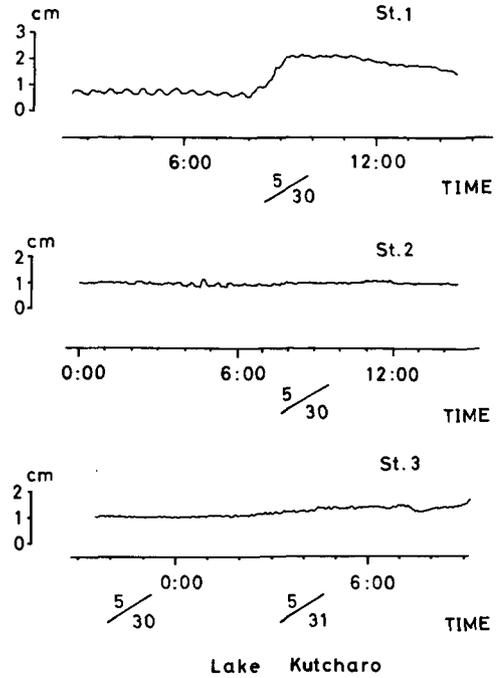


Fig. 2. Water level records in Lake Kutcharo at St.1, St.2 and St.3 in May 1969.

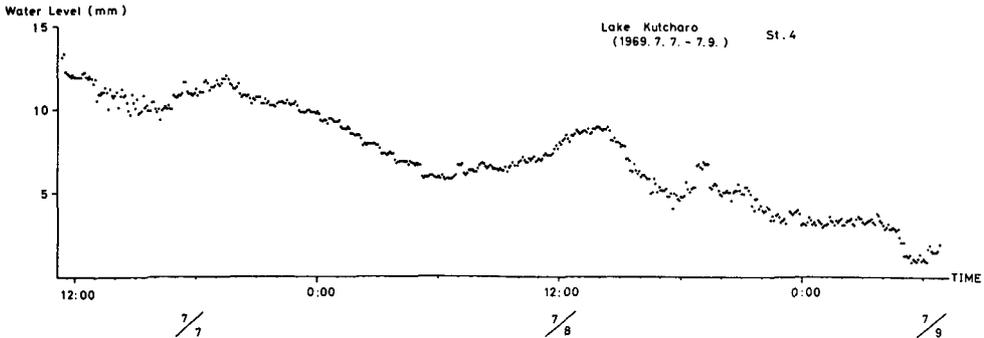


Fig. 3. Water level record in Lake Kutcharo at St.4 in July 1969, plotted at intervals of 5 minutes.

の小さい振動が見られるだけである。

4. St. 4

観測時期は異なるが、この観測点は St. 3 より約 100 m 南にあり、ほぼ同一地点と考えてもよい。5 分間隔で読み取った記録を図にしたのが Fig.3 であるが、St. 3 と同じく卓越した振動は見られない。やや長い周期のものに関しては、観測期間が短かいためにはっきりしたことは言えない。図のように、この期間では水位の低下傾向が見られるが、低下量は 1 日あたり約 8 mm である。なお、5 月の観測時に比べると水位は 15 cm 位上昇していた。

5. St. 5

この観測点は、湖の北部 (Fig.1) 仁伏温泉の湖岸に設けたものである。5 分間隔で読み取った記録の例を Fig.4 に示す。

この観測点でも卓越周期は 30 分で、その振幅は 3 ~ 10 mm である。さらにまた、18 分周期の変動も存在している。

ところで、同じ時期に湖岸近くの泉源では静止水頭の測定を行なっている (浦上他; 1971)。その水頭の変化を調べてみると、やはり 30 分と 18 分の周期の振動が卓越していることがわかる。

6. St. 6

St. 5 と同じく湖北部に設けた観測点であるが、St. 5 とは約 1 km 離れている (Fig.1)。5 分毎の記録の例は Fig.4 に示した。

図でわかるように、全体としての変動の傾向は St. 5 とほとんど同じである。卓越周期はやはり 30 分で、振幅は St. 5 より大きくて 5 ~ 15 mm になる。一方、18 分周期の変動は St. 5 における程顕著ではなかった。またこの観測期間中、はっきりした水位の上昇あるいは低下傾向は見ら

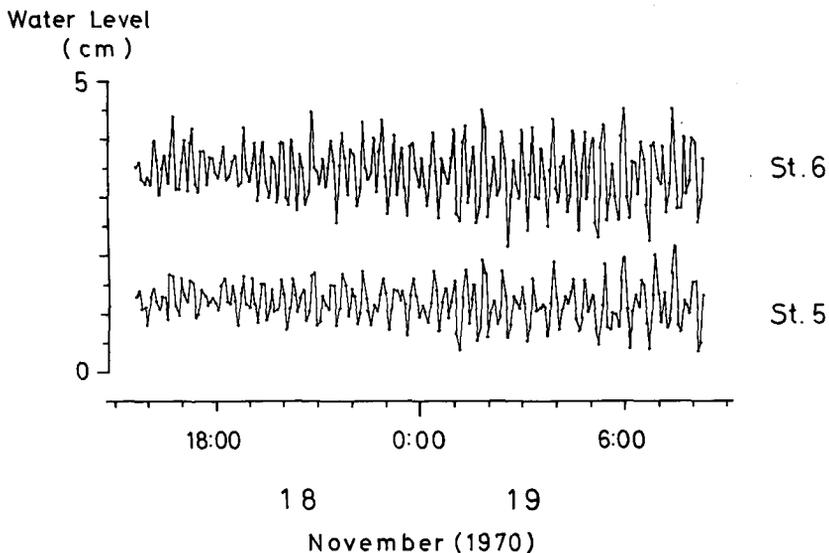


Fig. 4. Water level records in Lake Kutcharo at St.5 and St.6 in November 1970, plotted at intervals of 5 minutes.

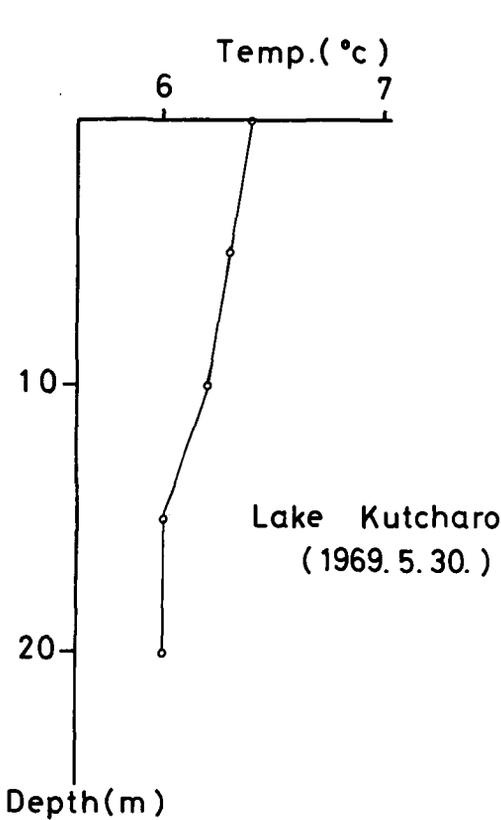


Fig. 5. Vertical distribution of water temperature on 30 May 1969.

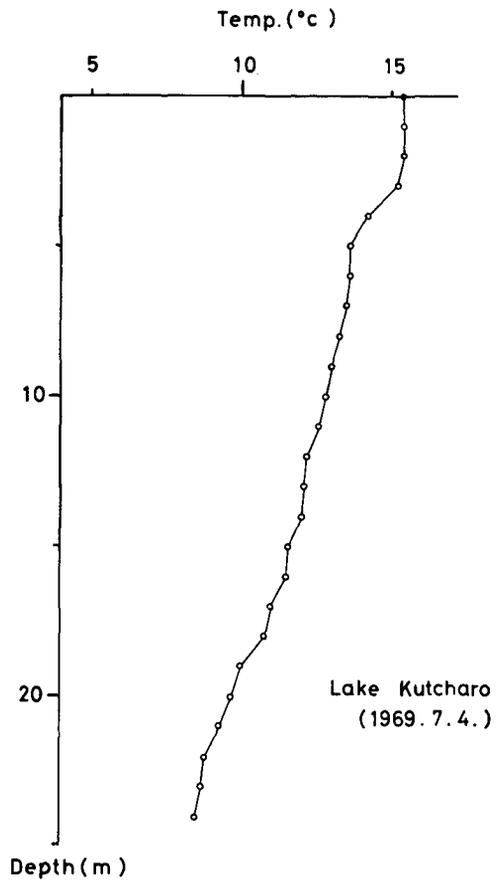


Fig. 6. Vertical distribution of water temperature on 4 July 1969.

れなかった。

7. 水温鉛直分布

1969年5月30日に St. 5 の沖約 1 km の地点で水温の鉛直分布を測定した (Fig. 5)。表面から 20m 位まではほぼ一様に 6°C 位であるが、湖岸の数個所で表面水温を測定したところでは、12.5°C 前後で中央部より高かった。しかし全体的には、いまだ春の循環期にあると思われる。

1969年7月4日には St. 3 の沖約 1 km の地点で測定を行なった。表層部の 0 ~ 2 m は 15.4°C の一定水温で、3 ~ 5 m に水温躍層が見られる (Fig. 6)。しかし、まだあまり顕著なものではなく、発達初期の段階であろう。また深部になるに従って水温は低下しているが、20m 以深でも 9°C 前後で 5 月よりはかなり暖かい。なお、観測当日の気温は 18.2°C であった。

8. 周期的な変動についてのまとめ

5 月 (St. 1, 2) と 11 月 (St. 5, 6) の例で明らかなように、屈斜路湖の静振の卓越周期は 30 分であり、場所によっては 18 分周期のものも見られる。ただし、St. 3, 4 では 30 分周期のものが観測されなかったが、これは観測点がいわゆる nodal line の付近にあるためと思われる。この点から見て、30 分周期の静振は湖の南北方向の流動によるものと考えられる。一方、18 分周期のものは、

St. 5 において最も顕著に見られ、他の観測点でも30分周期のものに比べると小さいものの、やはり存在していることがわかる。これは湖の東西方向の流動によるものであろう。

ところで日下部ら (1918) は、観測の結果として、表面静振の周期には見掛け上16.6分と282分のものであり、これは17.6分と15.6分の周期の2波が干渉している結果であると述べている。これが今回の18分周期に対応するものかもしれないが、282分の周期というのは観測されなかった。

長い周期の変動を見るために、St. 6 での観測結果を30分おきに描いた (Fig.7)。これで見ると、減衰しながらもかなりはっきりとした振動が認められる。この周期は740分である。一方、St. 5 においては、観測期間が Fig.7 の後半部分にあたるためか、740分の周期は見られなかった。また他の観測点では観測期間が短かいため、確実なことは言えない。この周期の振動が何を意味しているのかは今のところ不明であるが、観測事実として述べておく。

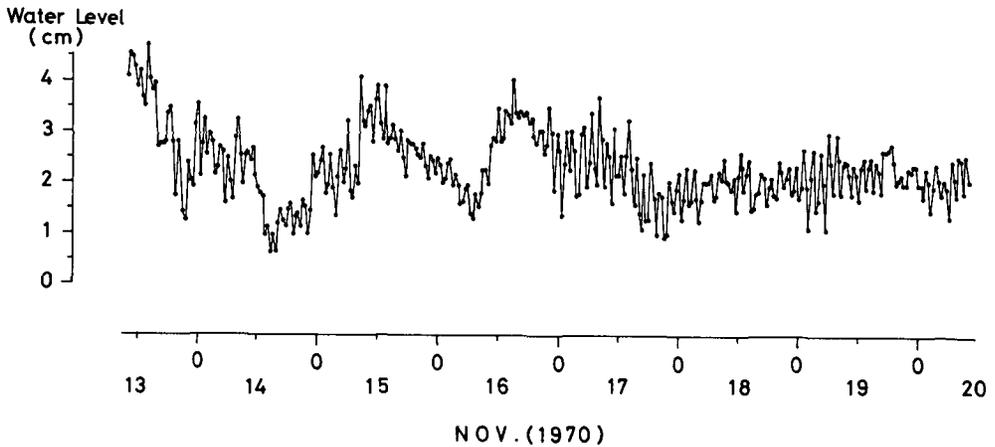


Fig. 7. Water level record in Lake Kutcharo at St.6 in November 1970, plotted at intervals of 30 minutes.

また、1969年7月には弱いながらも水温躍層が存在するので、内部静振の周期に対応するような水位変動が見られるのではないかと思われたが、観測期間が短かいためにはっきりとはわからなかった。

III. 一次元モデルによる静振の計算

1. Merian の式による周期計算

直方体の容器中では、水の振動は次のいわゆる Merian の式で表わされる周期 (T_n) を持つ (例えば HUTCHINSON; 1957)。

$$T_n = 2L / n \sqrt{gh} \quad (1)$$

ただし、 L は容器の軸の長さ

n は節の数

g は重力加速度

h は深度

いま、屈斜路湖を長方形、等深と近似して次の値を与える。

$$L = 13 \text{ km}$$

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$h = 29 \text{ m}$$

単節の場合、得られる周期は 25.8 分である。

2. Defant の方法による周期計算

Defant の方法 (DEFANT; 1961) では、静振の周期 (T) を次の式を逐次計算することによって求める。水体を振動方向に等間隔 (dx) に分割し、その垂直断面積を S とすれば;

$$\eta_2 = \eta_1 + \alpha \frac{\xi_1 + \xi_2}{2} \quad (2)$$

$$\xi_2 = - \frac{1}{S_2 \left(1 + \frac{\alpha V_2}{4S_2}\right)} \left[q_1 + \left(\eta_1 + \alpha \frac{\xi_1}{4}\right) V_2 \right] \quad (3)$$

$$q_2 = q_1 + \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} V_2 \quad (4)$$

$$\alpha = (4 \pi^2 / g T^2) dx \quad (5)$$

ここで、添字の 1, 2 は隣り合う垂直断面積を表わし、 V_2 は 1 と 2 の間の表面積、 η_2 , ξ_2 は各々 2 での振幅と水平変位、 g は重力加速度である。

T に適当な値を与え、(5)式で α を求める。境界条件は $\xi_1 = 0$ であるから、 $q_1 = 0$ として η_1 に任意の値を与えて(2), (3), (4)式を計算する。他の境界で ξ が零になれば、その時の T が求めるものである。

屈斜路湖のモデルとして、次の 7 つの場合を検討した。

i) M-1; 振動の軸を湖の長軸 (Fig. 8 の直線 1) と考え、 dx は 1 km とした。 S や V を考えるとき、島のある部分では単に島の両側の値を加え合わせた。

ii) M-2; 最遠端を結ぶ軸 (Fig. 8 の 2) を考え、 dx は 1 km とした。 S と V については M-1 と同じである。

iii) M-3; 分割の方法は M-2 と同じであるが、島の影響を見るために、 S や V は湖の東側だけを考える。 Fig. 8 の 3 の線で湖を分け、東の部分だけで計算を行う。

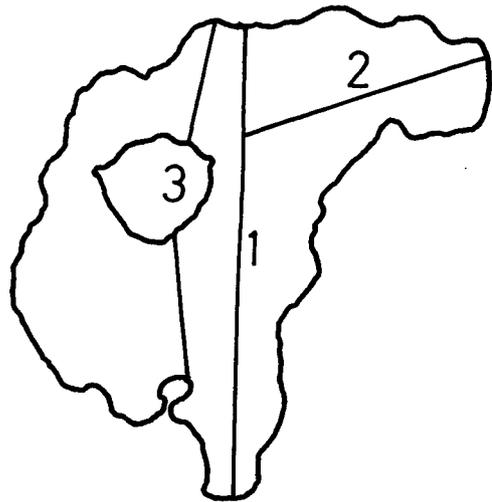


Fig. 8. Computational lines in Lake Kutcharo used for Defant's method.

iv) M-4 ; 分割の軸はM-2と同じである。この軸に沿った深度は Fig.9 のようになる。局部的な深所の影響を見るため、Fig.9 の点線より下の部分は無視する。VはM-2と同じとした。

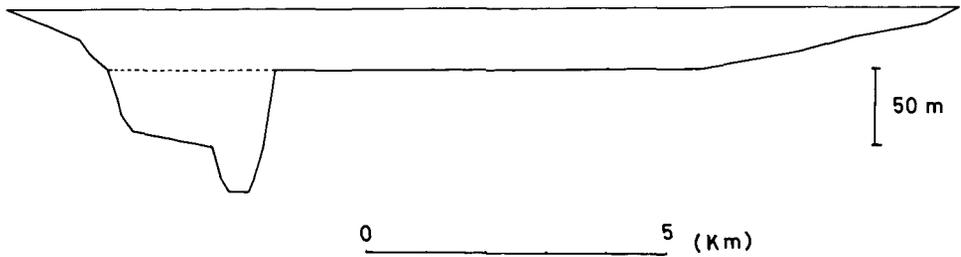


Fig. 9. Longitudinal cross-section of Lake Kutcharo, along the line -2 in Fig. 8. Parts below the dotted line are disregarded in a calculation of the case of M-4.

v) M-5 ; これも分割の軸はM-2と同じである。島のある部分では、SやVとして島の東側の部分だけを考える。島かげの部分を見捨てたわけで、半島として考えたモデルになっている。

vi) M-6 ; 島の影響をもっとよく見るために、島の部分を深度40mの湖水としてSやVを与える。分割の軸はM-1と同じである。

vii) M-7 ; M-6と同じく、島の部分では深度40mとしたが、分割の軸はM-2と同じである。

以上7つのモデルに従って計算した結果、静振の最長周期は Table 2 のようになった。M-2, M-3, M-4 のモデルで得られた周期はほとんど同じであり、かつ Merian の式で求めた周期ともほぼ一致する。観測値の30分にもっとも近いのはM-5のモデルである。また、M-6, M-7のモデルはM-1, M-2のモデルに比べると、両者とも3.5分周期が短かった。一方、M-4の結果に見られるように、湖中に局部的な深所があったとしても、全体としての静振の周期にはあまり関係がない。このことから見ると、局部的な深所では水がほぼ停滞していて、湖全体としての静振には大きな影響がないのではないかとと思われる。

ところで、Merianの式にしろ、Defantの方法にしろ、計算で求めた周期は実測値から求めたものよりやや短い。これには、Defantの方法で検討したように、島の存在が影響しているのではないかと考えられる。しかし、M-5のように島の西側を考えないで実測に近い値を得て

Table 2. Calculated periods for surface seiche, in minutes, using Defant's method.

モデル	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
周期 (分)	24.4	26.4	26.1	26.0	29.2	20.9	22.9

も、実測では島の西側の St. 1 に変動が現われている。さらに、M-1 と M-2 のように軸のとり方を変えると全体の静振の周期が変わるというのも不合理である。これらのことは結局、静振を一次元的に見たためと思われる。そこで、二次元モデルで数値実験を行ない、全体としての流動の状態や島の影響を調べることにした。

IV. 二次元モデルによる数値計算

1. 計算の方法

湖沼の静振の数値計算については琵琶湖の例 (IMASATO; 1971, 1972, KANARI; 1974) があるが、湾等の流動についてはさらに多数の計算例がある (例えば HANSEN; 1956, TROSON; 1974)。これらを参考にして運動方程式と連続方程式を計算して行く。

静止している水面に原点をおき、右まわりに直角座標の x 軸 と y 軸をとる。t を時間、u, v を各々 x, y 方向の流速、 ρ_w を湖水の密度、 τ_s を風の応力、 τ_b を底部の摩擦、f をコリオリ係数、g を重力加速度、 η を静止面からの水位変化 (上方を正) とすれば次の式が成立する。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(Hu^2) - \frac{\partial}{\partial y}(Huv) + \frac{1}{\rho_w}(\tau_{sx} - \tau_{bx}) + f \cdot Q_y - gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(Huv) - \frac{\partial}{\partial y}(Hv^2) + \frac{1}{\rho_w}(\tau_{sy} - \tau_{by}) - f \cdot Q_x - gH \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y}\right) \quad (8)$$

ただし、H, Q_x , Q_y は

$$H = h + \eta \quad (h \text{ は深度})$$

$$Q_x = \int_{-\eta}^h u \, dz = Hu$$

$$Q_y = \int_{-\eta}^h v \, dz = Hv \quad \text{とする。}$$

また、 W_x , W_y を風速の x, y 成分、 ρ_a を空気の密度とすれば

$$\tau_{sx} - \tau_{bx} = (1 + \beta) \rho_a \gamma^2 W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} - \rho_w \gamma^2 u \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$\tau_{sy} - \tau_{by} = (1 + \beta) \rho_a \gamma^2 W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} - \rho_w \gamma^2 v \sqrt{u^2 + v^2}$$

ここで $\beta = 0.25$

$$\gamma^2 = 2.6 \times 10^{-3}$$

$$\rho_a = 0.0012 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_w = 1.0 \text{ g/cm}^3$$

(常数については、神戸海洋気象台 (1971) を参照)

初期条件としては湖全域で $\eta = u = v = 0$ とする。そこに W_x , W_y を与えて、一定時間経過後にこれを零とする。その後、水位と流速を交互に計算することによって流動の状態を調べる。

ここで外力としては風を与えたが、これは風である必要はない。静振の原因としては風や気圧変化や地震等が考えられる (HUTCHINSON; 1957)。つまりある擾乱を与えて、その結果の湖水の流動を調べるのが目的であるから、外力は適当に与えても構わない。従って、 γ^2 や β の大きさ、風速等の τ_s に関する値はあまり問題にしないこととする。

一方、境界条件としては、境界に垂直な方向には流れがないものとした。

屈斜路湖を 1 km 間隔で分割したモデルを考え、 f としては 10.1×10^{-5} /sec. を与える。7 m/sec. の風に対応するような値で外力を与え、(6), (7), (8) の偏微分方程式を差分方程式にし、時間間隔を 10 秒として計算を行なう。

2. 数値計算による屈斜路湖の流動

計算の結果として、湖の数個所で 5 分毎に水位変化の値を求め、100 分毎に湖全体の水位変化と流速を求めた。

Fig. 10 には風速を零としてから 9 時間後の流速図を示した。図の上部の矢印は風向を表わす。流動のパターンは与えた風の方向により、かなり強制された方向性を持っている。しかしながら、島をまわる流れが存在するのは両者に共通している。また、図中の点線は水位変化の零線、いわゆる nodal line に相当する線を表わしている。湖水の流動が単純な振動でないことは、この零線

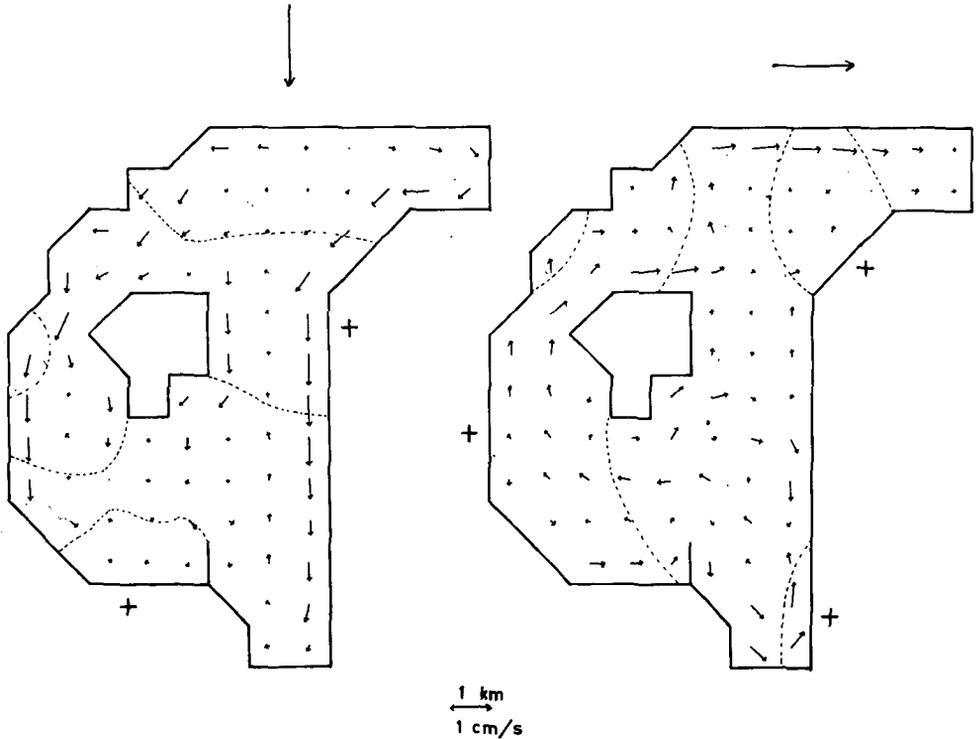


Fig. 10. Distributions of velocities at 9 hours after the wind was stopped. Dotted lines show that surface elevations are zero at this time, + indicate parts of positive elevation. Upper arrows indicate the wind direction.

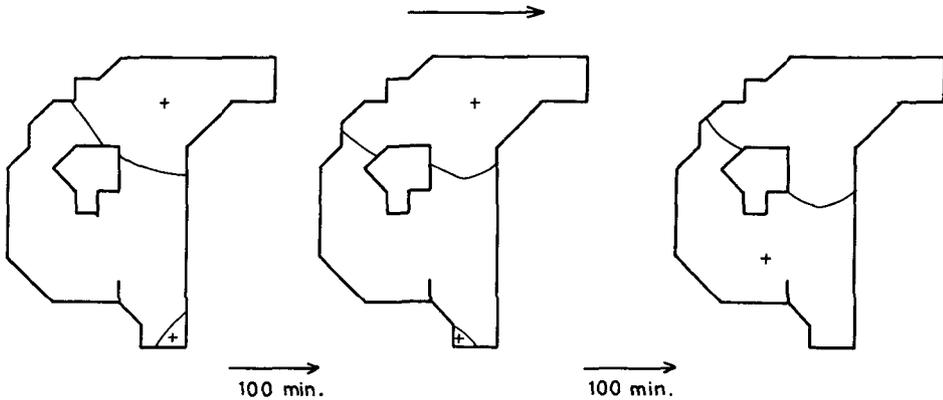


Fig. 11. Change of lines, surface elevations are zero, on every 100 minutes.

が数本、しかも曲線として現われている点にうかがえる。この図からだけでは零線が風向に直交するように見えるが、必ずしもそうではない。Fig. 10の右側の図と同じ風向の風を与えた場合、その100分毎の水位の零線をFig. 11に示す。これらの零線の方向はむしろFig. 10の左側の図と同じである。つまりFig. 11の零線は南北方向の変動によるものであり、Fig. 10の場合は短周期の変動、特に東西方向のものの影響が強く現われたと考えられる。またFig. 11からわかるように、零線の位置はかなり大きく変化する。これには当然短周期の変動の影響があるとはいうものの、現象として見る場合には、nodal lineというよりはnodal zoneとしてとらえた方が適当であると思われる。

Fig. 12は5分毎の水位変化の計算例であり、図中の観測点番号は、計算した点に対応するような一番近い実測点の番号である。これらのものをフーリエ解析すると、いずれの場合も卓越周期として30分が得られる。計算結果をその地点に対応する実測値と比較してみる。ただし、水位変動の振幅はその地点の地形に大きく左右されるので、周期についてのみ比較する。最大の相違はSt. 3, St. 4に対応する地点で、実測では見られなかった30分の周期変動が存在することである。振幅は他の地点に比べてずっと小さいので、あるいは実測困難なのかもしれない。しかしこれについてもう一つ考えられるのはモデル自体の問題である。領域の分割間隔を半分の500mとし、対応する測点の代表性をよくして計算

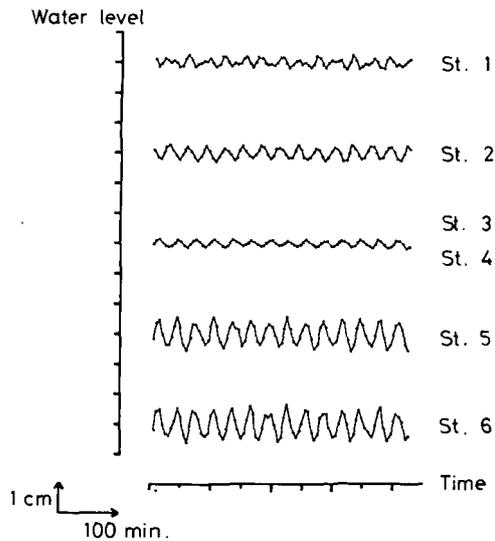


Fig. 12. Computed variations of vertical displacement of water surface. The using model has mesh intervals of 1 km, and the wind direction is west. The numbers of station correspond to the nearest point of the observation.

してみた。その結果 (Fig. 13), St. 3, St. 4の地点には30分の周期変動が見られなかった。

また18分周期のものは対応する地点の計算結果に見られるものの、振動は相対的に小さかった。

以上に見られるように、湖水全域の周期の点では、この計算結果はかなりよく屈斜路湖の静振を表わしていると言える。

ここで風向の違いによる流動の違いについて述べる。風向として、北、東、西、北西の場合を考えてみた。Fig. 10に例を示したように流速分布のパターンには差があるものの、島を回る流れと湖岸に沿うような流れのあることは共通している。また周期についても、卓越しているのはどの場合でも30分で風向の違いによる差はないことがわかる。風向による周期の差が認められないのは琵琶湖の計算例でも同様である (IMASATO; 1971, KANARI; 1974)。

ところで、一次元モデルの計算では静振の周期に島の影響が考えられ、二次元モデルでは島の周囲に流れが見られた。そこで島の影響を見るために、島のない屈斜路湖のモデルで計算を行なってみた。結果は Fig. 14, Fig. 15の通りである。Fig. 14は風速(風向は上部の矢印で表わす)を零としてから9時間後の流速図で、図中の点線は水位変化の零線である。これを島のある場合 (Fig. 10)と比較してみると、風向が同じであれば流動のパターンは島の部分を除けば大体同じである。そこで水位変動 (Fig. 15)をフーリエ解析すると、得られる卓越周期は26分となった。これは一次元のモデルで得られた周期とほぼ等しい。このことから見て、一次元のモデルから得られた静振の周期(約26分)と実測値(30分)との差には、島の存在が大きく影響していることが言える。また18分程度の周期は島がない場合にも現われており、この振動

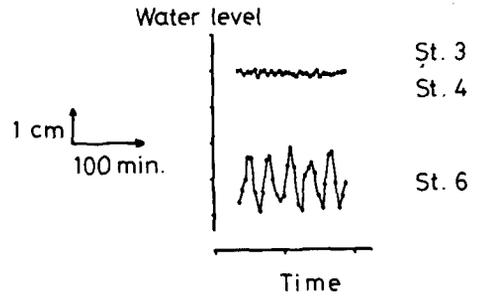


Fig. 13. Computed variations of vertical displacement of water surface. The using model has mesh intervals of 500 m and north wind. The numbers of station correspond to the nearest point of the observation.

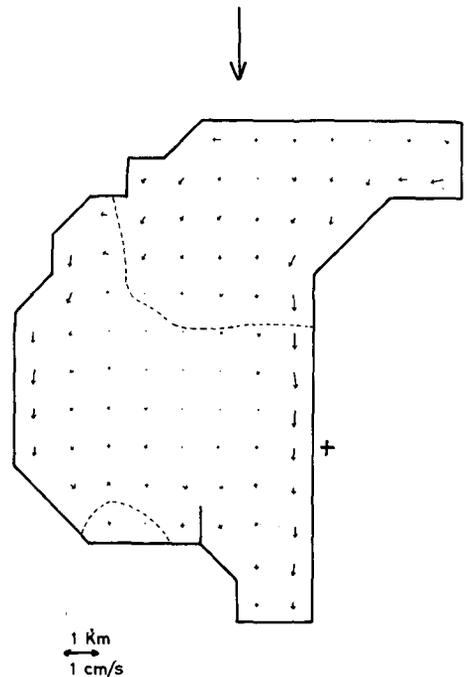


Fig. 14. Distribution of velocities, the using model has no island, at 9 hours after the wind was stopped. See Fig. 10 for key and its explanation.

が東西方向のものであり、島の影響も少ないことを思わせる。

V. 結 語

以上のように実測値と計算値を比較した結果、次のようなことが言える。

1. 観測の結果、屈斜路湖には30分と18分の静振が存在する。このうち30分のは南北方向の流動、18分のは東西方向の流動であると思われる。

2. 一次元の計算からは静振の最長周期として26分が得られ、二次元の数値計算では30分となった。二次元の計算結果より、この差には島の存在による影響が大きいものと考えられる。

3. 一次元的に振動としてだけ静振を見た場合の欠点が現われ、二次元的な流動としてとらえる必要があることがわかった。

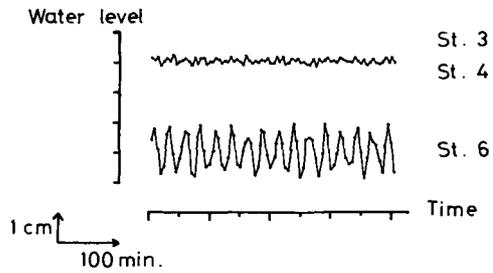


Fig. 15. Computed variations of vertical displacement of water surface. The using model has no island and north wind. The numbers of station correspond to the nearest point of the observation.

謝辞: 本研究を行なうにあたり議論していただいた当教室の藤木忠美助教授、御指導を賜った中尾欣四郎助教授、観測の機会を与えられ数値計算については有益な御助言をいただいた工学部の浦上晃一講師に厚く感謝いたします。

また1969年5月と7月の観測には当時当教室の学生であった広田知保、有松啓治の両氏に従事していただき、1970年11月の観測では弟子屈町役場の安倍良博氏にお世話していただいた。記して感謝する次第である。

なお、計算には北大大型計算機センターのFACOM 230-75を使用した。

文 献

- DEFANT, A., 1961. *Physical Oceanography, vol. 2*. Pergamon, 598 pp.
- HANSEN, W., 1956. Theorie zur Errechnung des Wasserstandes und der Strömungen in Randmeren nebst Anwendungen. *Tellus*, 8, 287-300.
- 北海道立水産孵化場, 1968. 北海道に於ける湖沼人工湖の陸水学的性状調査資料. 154 pp.
- HUTCHINSON, G. E., 1957. *A Treaties on Limnology, vol. 1*. Wiley, 1015 pp.
- IMASATO, N., 1971. Study of seiche in Lake Biwa-ko (II)-On a numerical experiment by nonlinear two-dimensional model. *Contr. Geophys. Inst. Kyoto Univ.*, 11, 77-90.
- IMASATO, N., 1972. Study of seiche in Lake Biwa-ko (III)-Some results of numerical experiments by nonlinear two-dimensional model. *Contr. Geophys. Inst. Kyoto Univ.*, 12, 63-75.
- KANARI, S., 1974. On the study of numerical experiments of two layer Lake Biwa. *Jap. J. Limnol.*, 35, 1-17.
- 神戸海洋气象台, 1971. 数値計算による大阪湾周辺の潮汐・潮流および高潮の研究. 神戸海洋気象台彙報, 187.
- KUSAKABE, S. et al., 1918. On the seiches of Lake Kutcharo, Hokkaido. *Sci. Rep. Tohoku Imp.*

Univ., ser 1, 7, 197-204.

田中館秀三, 1925. 北海道火山湖研究概報. 北海道庁. 155 pp.

東京天文台編, 1973. 理科年表. 昭和48年度版, 丸善.

TROSON, K., 1974. The hydraulics of the South Australian gulf system. I. Circulation. *Aust. J. mar.*

Freshwat. Res., **25**, 413-426.

浦上晃一 他, 1971. 川湯温泉・仁伏温泉の調査. 北海道大学地球物理学研究報告, **26**, 33-60.