HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	湖水の周期的流動（IV） ： 横方向の静振と多節の静振について
Author(s)	小泊, 重能
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 41, 17-30
Issue Date	1982-11-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.41.17
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14092
Type	departmental bulletin paper
File Information	41_p17-30.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
Vol. 41. November, 1982, p. 17−30.

湖水の周期的流動（IV）
―― 横方向の静振と多節の静振について ――

小　泊　重　能
北海道大学理学部地球物理学教室
（昭和57年7月28日受理）

On the Studies of the Periodic Motions in a Lake (IV)
—— Transverse and Multinodal Seiches ——

by Shigeyoshi KODOMARI
Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University
(Received July 28, 1982)

Transverse and multinodal seiches are well known in a lake. These seiches are hardly analyzed, because their periods are shorter and their amplitudes are smaller than the longitudinal uninodal one. They were investigated using the empirical formulas which were derived by the author.

Because the transverse seiche moves in the limited area of the lake, it may be considered a uninodal seiche in this region. When a calculated period, which is obtaind using the empirical formulas in a certain limited region, is equal to the observed one, the transverse seiche is dominant in this region. In several lakes, the calculated periods agree with the observed ones.

If a lake is divided into several areas according to the seiche mode, the seiche period will be able to be calculated in each area using the empirical formulas. When their values agree with the observed ones, the flow pattern of the multinodal seiche is considered the total pattern in each area. The calculated periods (lower than mode 5) agree well with the observed ones in some lakes. The position of the nodal line almost agrees with the numerical calculated one.

It is concluded that the empirical formulas are successful to investigate the transverse and the multinodal seiches.

I　序

湖沼に静振が発生した場合，卓越するのは湖の長軸方向が主な流動方向となっている単節のものであることが多い．しかし，同時に，多節の静振が観測されることも多くの論文で指摘されている（たとえば，ENDRÖS, 1905, 1906；DEFANT, 1908；NAKAMURA and HONDA, 1911；MORTIMER and FEE, 1976）．また，時によっては，湖の長軸とは直交する方向に主な流動方向を持つような静振も観測される（たとえば，ENDRÖS, 1908；BERGSTEN, 1926；BRYSON and

KUHN, 1952). これらの静振も当然, 湖盆形態によって影響された特有の周期を持っている. しかし, その周期は単節のものに比べると短く, かつ水位変化の振幅も小さいことが多い. 従って, 観測結果のみからこれらの静振について研究するのは困難が大きい. 幾つかの湖では数値計算の結果を用いて, これらの静振について検討している(たとえば, IMASATO, 1971, 1972 ; RAO and SCHWAB, 1976 ; SCHWAB and RAO, 1977).

筆者は先に(小泊, 1976 ; KODOMARI, 1982), モデル湖沼における数値計算の結果を検討することにより, 長軸方向の単節静振についての周期に関する実験式を提出し, 自然湖沼に応用してよい結果を得た. この論文では, 先の実験式を多節, および横方向の静振に適用してその周期を検討し, それらの静振の流動状態をどのように考えればよいかを考察した.

II 静振周期に関する実験式

実験式については, KODOMARI (1982) に述べてあるので, ここでは略述する.

Fig. 1 に示されたような変数で湖の各長さを表わす. これらを使い, 次のような無次元化した変数を導入する.

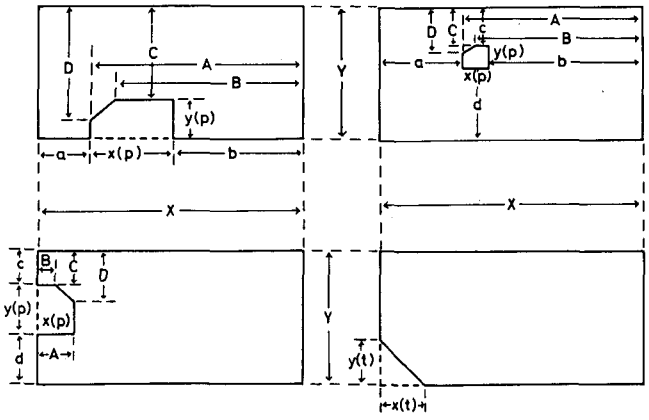

Fig. 1. Schematic models of lakes.

$x_1=x(p)/X$, $x_2=y(p)/Y$, $x_3=Y/X$,

$x_4=(b-a)/X$, $x_5=c/(Y-y(p))$,

$x_6=B/A$, $x_7=(D-C)/Y$, $x_8=(A-B)/X$,

$x_9=x(t)/X$, $x_{10}=y(t)/Y$, $x_{11}=(b-a)/(X-x(p))$.

ただし, $b\geqq a$, $d\geqq c$,

$$x(p)\neq X,\quad y(p)\neq Y,\quad D>C.$$

これらの変数を用いると, 単節静振の周期は次のように表わされる.

$$T_c=T_0\{1.0+P_1(1.0+Q_1)(1.0+Q_3)\}$$

$$(a\neq 0 \quad \text{または} \quad c\neq 0)$$

$$=T_0\{1.0+P_1(1.0+Q_1)(1.0+Q_2)+P_2\}$$
$$(a=0 \quad \text{かつ} \quad c=0)$$
$$=T_0(1.0+P_3)$$
$$(a=0 \quad \text{かつ} \quad c=0, \text{三角形の半島の場合})$$
$$=T_0\{1.0+P_1(1.0+Q_4)(1.0+Q_3)\}$$
$$(a\neq 0 \quad \text{かつ} \quad c\neq 0)$$

ここで，　$T_0=2X/\sqrt{gh^*}$

$P_1=(x_1+x_2x_3)(1.0-x_1)/\{2(1.0-x_2)\}$

$P_2=-x_7x_8$

$P_3=(x_3x_9-0.5)x_9x_{10}-x_9^2(x_9-2x_3/3)$

$Q_1=-x_4^2-x_5$

$Q_2=(x_1/x_3)-4(1.75-x_3)/3$

$Q_3=-(1.0-x_6)x_7$

$Q_4=-x_{11}^2-x_5^2x_3$　　である．

g は重力加速度，h^* は湖の深度で次のように与える．湖の平均水深を h_m，湖中にある平坦な部分の深度を h'，その部分の長さを x'，y'，岸との距離を X 方向には b'，$a'(b'\geqq a')$，Y 方向には d'，$c'(d'\geqq c')$ として

$$y_1=x'/X,\quad y_2=y'/Y,\quad y_3=Y/X,$$
$$y_4=(b'-a')/X,\quad y_5=(d'-c')/Y$$

という無次元化した変数を導入すると，

$$h^*=h_m-(h_m-h')y_1y_2(1.0-y_3y_4)(1.0-y_5)$$

である．また，複数個の半島や島が存在している場合には，各半島や島の影響を加え合わせて検討する．

III　横方向の静振

横方向の静振については，同一の湖でも場所によって観測される周期が異なっていることがあるので，湖中の一部分の水域でのみ流動が起っているものと考えられている（たとえば，ENDRÖS, 1908；BERGSTEN, 1926）．そこで，横方向の静振が観測された地点を含む部分的な水域を考え，その中での単節静振を計算してみた．その結果，適合する水域をとりさえすれば，横方向の静振はその水域での単節静振として説明出来ることがわかった．

以下には，幾つかの例について述べる．

1　モデル湖の場合

Fig. 2 に示したような等深（10 m）の湖のモデルで数値計算を行なった．詳しい計算方法等については，先の論文に述べてある（小泊，1976；KODOMARI, 1982）．使用した運動方程式と連続

の式は次の通りである.

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} = -gH\frac{\partial \eta}{\partial x} + A_x$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} = -gH\frac{\partial \eta}{\partial y} + A_y$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial Q_x}{\partial x} - \frac{\partial Q_y}{\partial y}$$

ここで $Q_x = Hu$

$Q_y = Hv$

$H = h + \eta$ である.

A_x, A_yには, 風の応力の項, 湖底摩擦の項, コリオリ力の項, 慣性項が含まれている. 静止水面に原点をおき, 左回りに x 軸, y 軸をとっている. u, v は各々 x, y 方向の流速, h は平均水面からの深度, η は水位変化量, g は重力加速度である. 初期条件として湖全域にわたる静止状態を与え, 境界条件は岸に垂直な方向の流速を零とする. モデルの格子間隔は 1 km, 計算の時間間隔は 10 秒とした. 横方向の静振を発生させるために, 湖の短軸方向に, この場合は西風を 20 分間与えた.

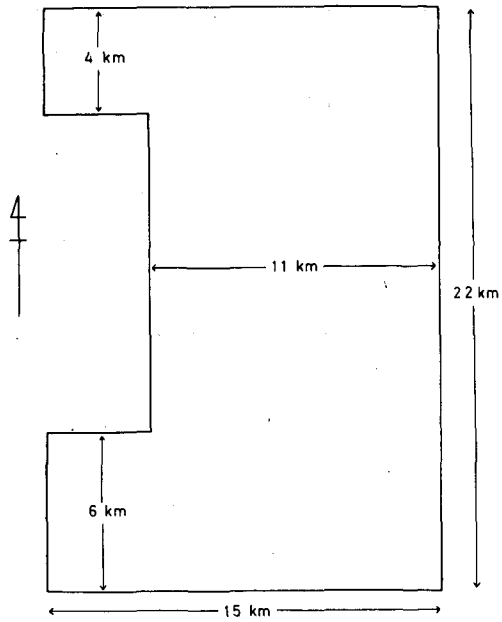

Fig. 2. Model of a lake with the constant depth (10 m).

Fig. 2 のような外形の湖では, 一次元的に考えるならば, 湖の北部と南部でほぼ同じ周期の横方向の静振, 中央部分ではそれより短い周期のものが予想される. メリアンの式を用いて東西方向の静振の周期を計算してみると, 南部と北部では 50 分, 中央部では 37 分となる. そこで, 湖中の各格子点における水位変化の計算結果をフーリエ解析し, 周期と位相差について検討した. その結果, 横方向の静振の卓越周期としては, メリアンの式で計算したと同じく 50 分と 37 分とが得られた. Fig. 3 には位相についての計算結果を示した. 図中の実線は 45 度毎の位相差を表わしており, 黒丸はその流動方向が反時計回り, 白丸は時計回りであることを示す. 図からわかるように, 周期 50 分の静振の場合は最初の予想通り, 湖の南部と北部でほぼ東西方向に流動している. ところが, 周期 37 分の静振の場合には, 湖西岸の中央部分で卓越しているものの, その流動方向は東西というより, 南東—北西, 北東—南西方向の二つに分かれている. 従って, 湖東岸の中央部分ではこの周期のものはあまり卓越していない. 中央部分の東西方向の距離を使ってメリアンの式で計算した結果は数値計算の結果と同じ周期であったから, もし全体的な流動パターンを検討しなければ, この周期の静振は主に東西方向に流動していると結論づけるおそれもある. 実際に自然湖沼で観測する場合にも, 測点が少ないと流動方向について誤まる可能性がある. ただし, これは等深な湖について計算した結果であり, 何らかの深度分布が与えられた湖の場合には, 静振の流動状態はそれによっても規定されるので結果が異なってくる. ちなみに, Fig. 2 と同じ外形の湖モデルで中央部分を南北部分より深くして計算した場合には, 中央部での横方向の静

振は主たる流動方向が東西方向となり，Fig. 3 のように位相差の分布が二つに分かれるようなことはなかった．従って，自然湖沼で横方向の静振を考えるのに，湖底が比較的平坦な場合は特に流動方向に注意をはらうことが必要となる．

いずれにしろ，Fig. 3 を見てわかるように，湖岸線に凹凸がある場合には数値計算の結果でも，横方向の静振は場所により卓越する周期が異なっている．

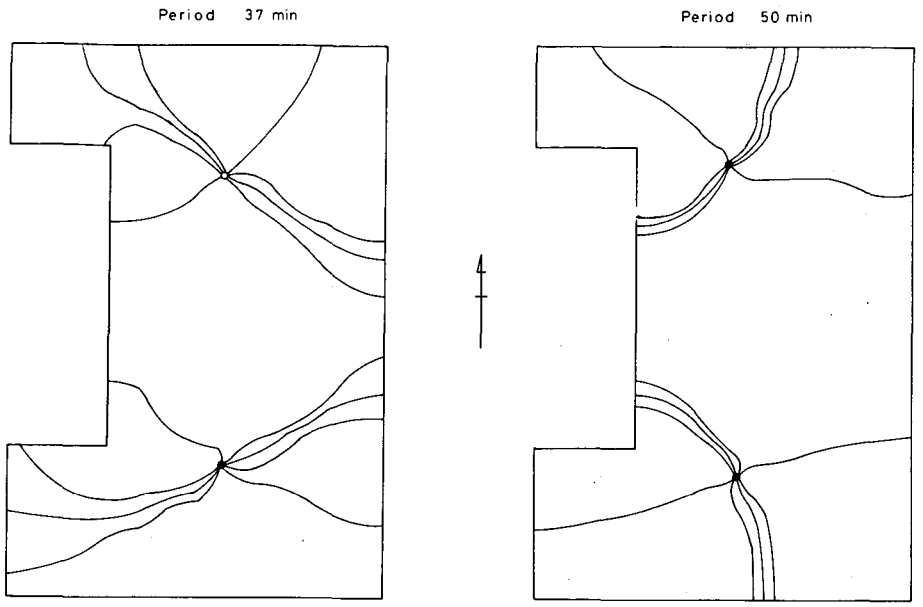

Fig. 3. Calculated structures of the transverse seiches.
Phase progression is shown by solid lines (45° intervals). Solid circle indicates the counterclockwise progression, and open circle indicates the clockwise one.

2 Lake Vetter の場合

Lake Vetterは長径が120 km以上の，スウェーデン南部にある大湖で，静振についてはBERGSTEN(1926)によって観測と解析が行なわれている．そのうち，横方向の静振についての例をFig. 4 に示す．この水位変動の図を見ると，場所によって周期の異なっているのがよくわかる．それぞれの観測時期は異なっているが，Hästholmen（図のA）では 30.8 分，そこと約 35 km 離れている Motala（図のB）では約 60 分の周期が卓越していた．

この二つの静振について，IIで述べた実験式を用いて周期を計算してみる．Fig. 5 に示したように，各々の観測点を含んだ水域を考える．各水域には斜線で示したような半島があるものとして計算を行なう．その結果，Hästholmen を含む水域では 30.4 分，Motala を含む水域では 59.1 分の周期が得られた．これらの値は観測値とほぼ一致しているので，これらの周期の流動は，Fig. 5 に示されたようなそれぞれの水域で卓越しているものと考えられる．

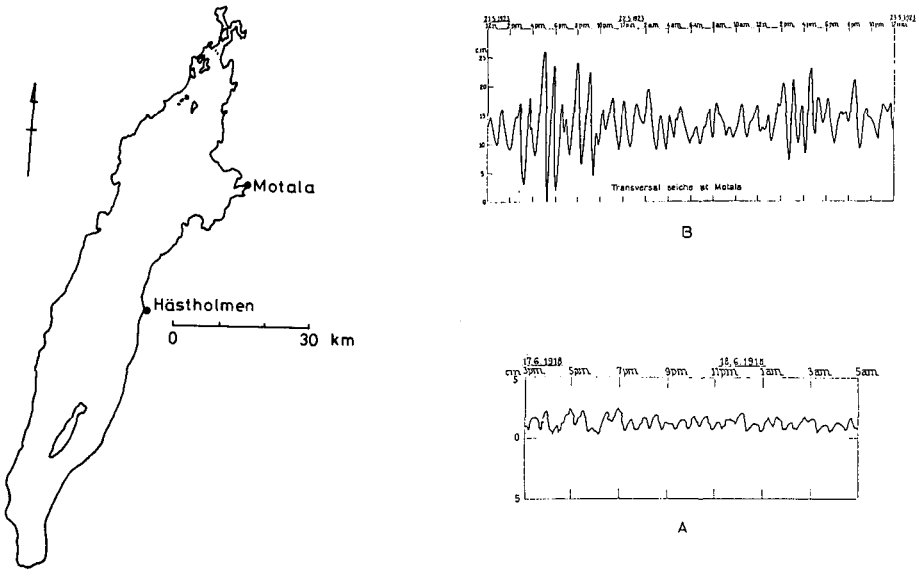

Fig. 4. Lake Vetter.
A ; Transverse seiche at Hästholmen. B ; Transverse seiche at Motala. (after BERGSTEN, 1926)

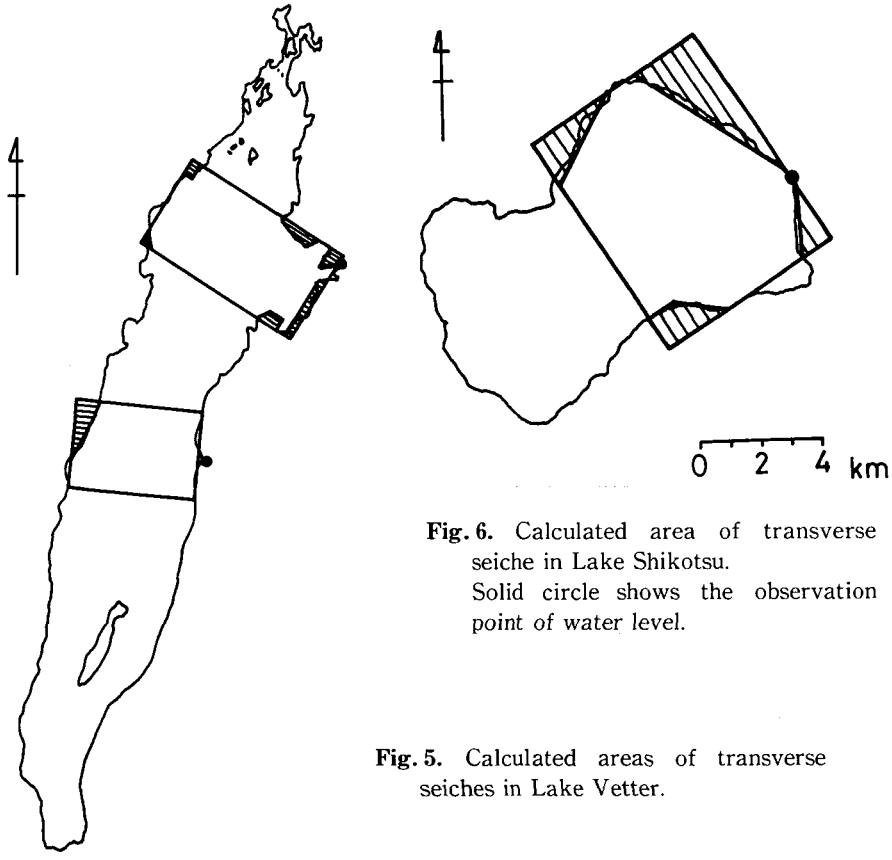

Fig. 6. Calculated area of transverse seiche in Lake Shikotsu.
Solid circle shows the observation point of water level.

Fig. 5. Calculated areas of transverse seiches in Lake Vetter.

3　支笏湖の場合

支笏湖は Fig. 6 に見られるように中央部分でやや狭くなっている．従って，湖のほぼ中央で二つの湖盆に分けると，その各々で湖の長軸とは直交する流動方向を持つような静振が存在するものと思われる（KUSAKABE *et al.*, 1917）．先に（KODOMARI, 1982），湖中央部に大きな半島が存在するため湖が二分されているような場合には，各湖盆それぞれでの流動が卓越するという数値計算の結果を示した．支笏湖の場合には最も卓越しているのは全湖にわたる単節静振であり，それほどはっきりと二分割されているわけではない．しかし，各湖盆における横方向の静振も存在しているものと考えられる．Fig. 6 の黒丸の地点で観測した結果，横方向の静振の周期としては 272 秒が得られた（KUSAKABE *et al.*, 1917）．

Fig. 6 に実線で示したような部分において，実験式を用いて静振の周期を計算すると272秒という観測値と全く同じ値が求められた．このことから見て，KUSAKABE *et al.*（1917）が述べているように，この 272 秒の周期は湖の東部側における横方向の静振によるものと考えることが出来る．しかし，この周期はこの湖の 2 節静振のものである可能性も残されている．IVで述べる方法を使って支笏湖の 2 節静振の周期を計算すると，やはり 270 秒程度の値になった．従って，今後何点かでの観測を行ない，この周期がどのような流動に対応しているかの検討が必要である．

4　Lake Mendota の場合

Lake Mendota はアメリカのウイスコンシン州にあり，世界中で最もよく調べられた湖のひとつ（津田，1974）である．この湖の場合には，横方向の静振の流動状態はこれまでの例とは異なっている．即ち，この湖の南北方向の軸長は約 7 km，東西方向の軸長は約 9 km と差があるにもかかわらず，主たる流動方向が南北になっている静振の周期は 25.6 分，東西になっているものは 25.8 分とほとんど同じである（BRYSON and KUHN, 1952）．もし，流動が一次元的に起っているものとすると，このような結果は考え難い．これは今までの例と異なり，横方向の静振も，この湖の一部の水域ではなく全水域にわたって流動しているためと考えられる．BRYSON and KUHN（1952）は，このような流動は湖全域を時計回りに動いていると述べている．

実験式を用いてこの湖の静振を計算してみる．湖全域について考えると，主たる流動方向が東西の場合には 25.9 分（KODOMARI, 1982），南北の場合には 25.2 分という周期が得られた．これらは観測値とほぼ一致し，かつ，お互いの値もほぼ等しい．従ってこの湖の場合には，横方向の静振も限られた一部の水域ではなく，湖全域にわたって流動していることがわかる．ただし，モデル湖における数値計算によれば，静振の回転性の流動は反時計回りの方向を持つことが多かった（KODOMARI, 1982）．この湖ではその方向は時計回りであると述べられているので，この点については今後一層の検討が必要となろう．

5　洞爺湖の場合

洞爺湖の横方向の静振については先の論文（KODOMARI, 1982）でも触れたが，ここでも述べ

ておく．

この湖の場合，東西方向の軸長は約 11 km，南北方向の軸長は約 10 km である．もし横方向の静振（南北方向が主たる流動方向のもの）が Lake Mendota のように湖全域にわたって流動しているならば，周期としては縦方向とほとんど同じものが予想される．しかし，実測から得られた周期は東西方向のものが 11.0 分，南北方向のものが 9.0 分であった（小泊，1978）．そこで，東西方向の静振に関しては湖全域について，南北方向の静振に関しては湖を二分して各湖盆について周期を計算したところ，前者は 11.2 分，後者は 9.1 分と 9.2 分となった（KODOMARI, 1982）．このことから見て，9.0 分の周期を持つ静振は，洞爺湖を二分した場合の各湖盆においてそれぞれ卓越しているものと思われる．

南北方向の静振について，湖全域にわたって流動しているものとして実験式を用いて計算した周期は 11.3 分（KODOMARI, 1982）で，東西方向のものとほとんど一致している．湖北岸で観測した水位をフーリエ解析した結果には，10.8～10.9 分の個所にピークが見られ，これは東西方向の 11.0 分に対応するものであろうと述べた（小泊，1978）が，南北方向に流動の主軸を持つ静振の可能性もある．周期がほとんど同じために困難ではあろうが，この静振については今後検討する必要がある．

以上に述べて来た横方向の静振について，簡単にまとめると次のようになる．横方向の静振は湖の一部の水域に卓越して存在することが多い．その水域については，湖盆形態に何らかの特色がない場合には決定が困難である．特に湖底が平坦な場合にその傾向が強い．しかし，湖を適当な水域に区切り，その中での静振の周期を実験式を用いて計算し，結果を観測値と比較することによって求める水域を決定出来る．即ち，計算値が観測値と一致するならば，その計算に用いられた水域内で流動が卓越しているものと考えられる．野尻湖の例では，計算結果から考えられた流動状態は，模型実験によって得られたものとよく一致した（KODOMARI, 1982）．

IV 多節の静振

以前の研究で，琵琶湖と Lake Erie を例として多節の静振について触れた（小泊，1976）が，その段階では実験式をどのように適用すればよいのかがわからなかった．今回は，湖を node 数によって適当に分割し，その各水域において周期を計算することによって考察を進めた．計算を行なう場合，湖を水域に分割するには，計算するモードの一つ低次モードで得られた node の位置を第一近似の分割線とする．そして，分割した各水域での周期が等しくなるまで，分割線を動かしながら試行錯誤的に計算を進めて行く．理想的には各水域での周期が一致することが望ましいが，数%程度の差は無視して平均する．なお，各モードにおける node の位置は以前に述べた方法（KODOMARI, 1982）によって計算する．近似的には，各水域の中心線をとってもよい．このようにして計算した幾つかの例について述べる．

1　Lake Huron の場合

Lake Huron を二分割してその各々の水域で周期を計算すると，北半部では 5.09 時間，南半部では5.31時間，平均して5.20時間となった．この湖の 2 節静振の周期は実測によると，5.00 (SCHWAB and RAO, 1977) ～5.26 時間 (MORTIMER and FEE, 1976) であるから，計算値はよく一致している．

次には 3 節静振について，実験式による計算で得られた node の位置を数値計算の結果と比較してみる．Fig. 7 の右側の図が実験式を使って求めた node の位置，左側が SCHWAB and RAO (1977)による数値計算から得られた結果である．両者を比較すると，中央部の node の位置がやや異なってはいるものの，大体においてよく一致していることがわかる．このように，多節の静振の周期だけではなく，node の位置などのような流動状態も，実験式を用いた方法で検討することが出来る．なお，計算した 3 節静振の周期は北部水域が 2.99 時間，中央部が 3.25 時間，南部が 3.09 時間で，平均すると 3.11 時間であった．これは観測値の 3.15 時間 (SCHWAB and RAO, 1977) あるいは 3.19 時間 (MORTIMER and FEE, 1976) に比べて 2 ～ 5 分だけ短い．

このようにして計算した 5 節までの静振について，その周期の計算値と観測値を表にしたのが

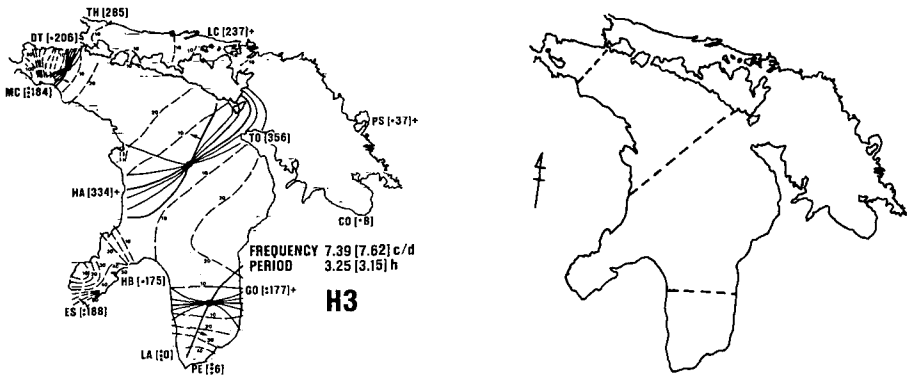

Fig. 7. Position of the nodal lines in Lake Huron.
Left ; The third Lake Huron mode obtaind by the numerical calculation (after SCHWAB and RAO, 1977). Right ; Three nodal lines estimated using the empirical formulas.

Table 1. Lake Huron:Comparisons between the observed periods of first five modes and the periods calculated by the empirical formulas.

Mode	Observation (hr.)		Calculation (hr.)
	MORTIMER and FEE	SCHWAB and RAO	
H1	6.67	6.67	6.65
H2	5.26	5.00	5.20
H3	3.19	3.15	3.11
H4	2.75	2.68	2.73
H5	2.34	2.33	2.27

Table 1 である．各モードとも，両者はかなりよく一致している．

2 St. Wolfgangsee の場合

St. Wolfgangseeはオーストリアにある長径約 11 km の湖で，その形態に大きな特徴がある．即ち，Fig. 8 に見られるように，この湖は二つの比較的深い湖盆(最大水深は西側が 114 m，東側が 69.6 m)が狭くて浅くなっている水路でつながっている．この湖盆形態の影響で，2 節静振の周期は非常に短くなっている．即ち，単節静振の周期が 32.0 分であるのに対し，2 節の場合は 6.24 分である(ENDRÖS, 1906)．2 節静振の周期は単節静振のものの 50～60%程度の長さになることが多い (ENDRÖS, 1908) が，この湖の場合は 19%と極端に短くなっている．この点について ENDRÖS (1908) は，二つの湖盆各々における単節静振の周期がほぼ等しいので，それらが湖全体の 2 節静振になっているとした．そして各湖盆での単節静振の周期を計算し，6.17 分と 6.10 分の値を得た．これは観測値とほぼ等しい値である．

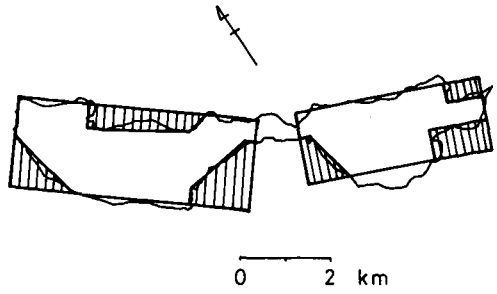

Fig. 8. Calculated areas of binodal seiche in St. Wolfgangsee.

ここでも ENDRÖS が行なったと同様に，湖の各湖盆での周期を実験式を用いて計算してみる．Fig. 8 に示した二つの矩形中に図のような半島を考えて計算を行なった．その結果，西側の水域では6.44分，東側の水域では6.17分の周期が得られ，平均すると6.31分となった．これらは ENDRÖS の計算値よりは僅かに長いが，実測値の 6.24 分とほぼ等しい値である．従って，ENDRÖS が述べたように，この湖では各湖盆での単節静振の周期がほぼ等しいため，それらが湖全体の 2 節静振になっているものと考えられるが，周期としては非常に短い．ただし，この周期以外には，湖盆全体としての 2 節静振が観測されないかどうかを検討する必要がある．

3 モデル湖の場合

St. Wolfgangsee のように，中央部分が狭くなっている湖について考えるため，三種類のモデル湖を使って数値計算を行なってみた．そのモデルを Fig. 9 に示す．各モデルの深度は 10 m と一様であり，格子間隔はそれぞれ 1 km である．外力は湖のX軸方向と同じ向きに西風を 20 分間与えた．各々のモデルで半島と対岸との距離は 1 km であるが，湖と半島それぞれのY軸の長さの比をとると，M－Aは 0.75，M－Bは 0.90，M－Cは 0.93 となる．水位変化の計算結果の例を Fig. 10 に示す．M－Cでは，M－A，M－Bに比べて，短い周期の変動がかなり卓越しているのがよくわかる．水位変化をフーリエ解析すると，M－Aでは 79 分，M－Bでは 134 分，M－Cでは 162 分の長軸方向の単節静振の周期が求められた．その他に，M－Aでは 23 分，M－Bでは 23 分と 32 分，M－Cでは 23 分と 43 分の周期も得られた．これらの周期の静振は，Fig. 10 を見てもわかるように，M－AよりはM－B，M－BよりはM－Cにおいて卓越している．これらのうち，

23分は半島で分割された各湖盆内での単節静振，32分と43分は各湖盆内での横方向の静振の周期と考えられる．ただし，23分の周期については，St. Wolfgangseeの場合と同じように湖全体の2節静振とも考えられる．その場合，2節静振の周期を単節静振の周期と比べると，M－Aでは29%，M－Bでは17%，M－Cでは15%程度になっており，M－BとM－CとはSt. Wolfgangseeの19%という値に近い．

このように，中央部に大きな半島が存在する場合には，各湖盆内での単節静振や横方向の静振が卓越して来る．数値計算では湖と半島のY軸の長さの比が0.9程度より大きくなるとその傾向が大きくなるが，実際の湖では，岸や湖底の摩擦等の影響があるためその境界値はもっと小さいものと思われる．ちなみに，St. WolfgangseeではY軸の長さの比は0.8程度であり，IIIの3で

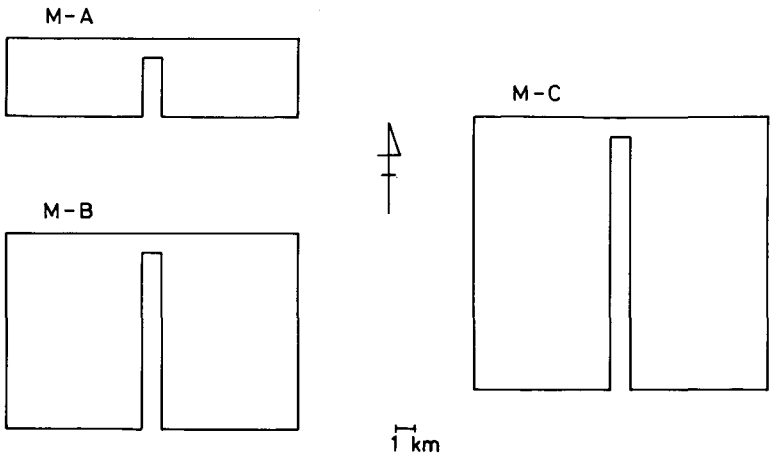

Fig. 9. Models of lake having a large peninsula. Each lake has constant depth of 10 m.

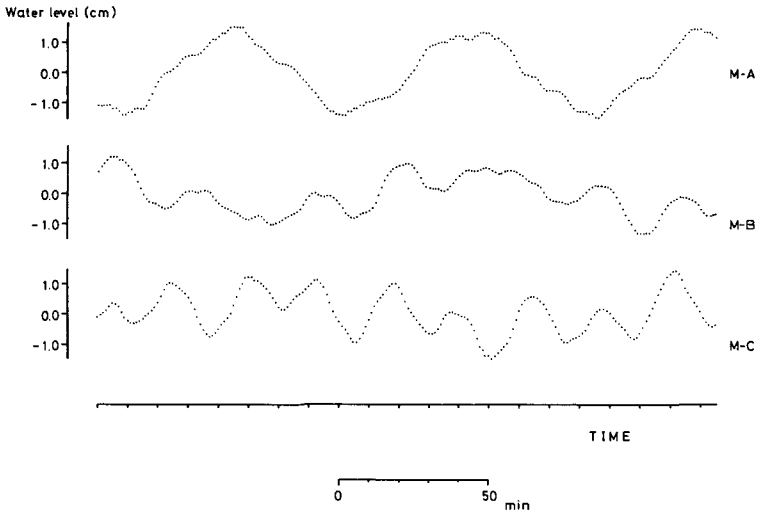

Fig. 10. Vertical displacement of water level. Lake models are shown in Fig. 9.

述べた支笏湖では0.4程度である.

4 その他の湖について

幾つかの湖において多節の静振の計算を行なったが，周期についての結果を観測値とともにTable 2に示した.ここでは最高でモード5までのものしか計算を行なっていない.もちろんさらに高次のモードについても計算は可能ではあるが，その場合には計算する水域が狭くなる.従って，湖盆形態の影響を見るには精密な湖沼図が必要となり，計算に使用する深度の違いや分割線の少しの違いなどによって，得られる周期にかなりの相違が出て来る.このため計算の誤差も大きくなって来るので，今回はモード5までの計算しか行なわなかった.Table 2を見ると，各湖において，各モードとも計算値と観測値とはよく一致していることがわかる.従って，これらの計算に用いた分割水域それぞれの流動状態を湖全体として見れば，各モードの静振の流動状態が考察出来る.

Table 2. The calculated and the observed seiche periods (in minutes) in natural lakes.

Lake		mode 1	mode 2	mode 3	mode 4	mode 5	Authors
Biwa	obs.	229.8	72.7	65.1	40.1	30.5	IMASATO *et al.* (1973)
	cal.	246	73.1	63.3	40.2	31.4	
Erie	obs.	863	548	356	249		PLATZMAN and RAO (1964)
	cal.	852	549	357	253		
Michigan	obs.	538	302	218	188	149	MORTIMER and FEE (1976)
	cal.	530	301	214	182	145	
Ontario	obs.	300	187	138			RAO and SCHWAB (1976)
	cal.	300	183	136			
Superior	obs.	474	290	228	202	181	MORTIMER and FEE (1976)
	cal.	473	286	226	199	180	
Vetter	obs.	179	97.5	80.7	57.9	48.1	BERGSTEN (1926)
	cal.	180	97.5	80.5	55.9	46.3	

以上のように多節の静振の場合には，湖をモードによって分割し，適当な水域を考えて実験式を適用すれば流動状態を検討出来ることがわかった.例としてはLake Huronの場合のみをFig. 7に挙げたが，その他の湖沼においても計算結果を数値計算の結果等と比較すると，nodeの位置や主な流動方向等はよく合っていた.また，周期に関してはTable 2に見られるように，計算値は観測値とよく一致した.

V 結　　語

横方向の静振と多節の静振について，先に提出した実験式をどのように適用し，その結果を用いて流動をどのように捕えるかを検討した.その結果，これらの静振は，湖沼内の適当な水域を

考えて検討して行けばよいことがわかった.

横方向の静振の場合，その周期が観測された地点を含む水域を考える．湖盆形態に特色がない場合には困難もあるが，観測値と計算値が等しくなるように水域を決定する．そのような水域が得られたならば，横方向の静振はその水域内で卓越して流動しているものと考える．幾つかの湖沼で，実験式を用いて計算した結果と観測結果を比較したが，周期に関してはよく一致した.

多節の静振の場合，そのモードにより湖を分割して各水域での単節静振を計算することにより，流動状態を検討することが出来る．Table 2 に示したように，各モードに対する周期の計算値は観測値とほぼ一致した．また，Fig. 7 の例に示したように，node の位置も数値計算の結果とよい一致を示した.

なお，計算には北海道大学大型計算機センターの HITAC M−200H を使用した.

文　献

BERGSTEN, F., 1926. The seiches of Lake Vetter. *Geogr. Ann.*, 8, 1−73.

BRYSON, R. A. and KUHN, P. M., 1952. On certain oscillatory motions of lakes. *Report to the Univ. Wisconsin Lake Invest. Comm.*, No. 5, 9 pp.

DEFANT, A., 1908. Über die stehenden Seespiegelschwankungen (Seiches) in Riva am Gardasee. *S. B. Akad. Wiss. Wien, Math. -Nat. Kl.*, **117**, *Abt* IIa, 697−780.

ENDRÖS, A., 1905. Die Seiches des Waginger-Tachingersees. *S. B. bayer. Akad. Wiss., Math. -Phys. Kl.*, **35**, 447−476.

ENDRÖS, A., 1906. Seichesbeobachtungen an den größeren Seen des Salzkammergutes. *Petermanns Mitt.*, **52**, 252−258.

ENDRÖS, A., 1908. Vergleichende Zusammenstellung der Hauptseichesperioden der bis jetzt untersuchten Seen mit auf verwandte Probleme. *Petermanns Mitt.*, **54**, 39−47, 60−68, 86−88.

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.

IMASATO, N., TANAKA, K. and KUNISHI, H., 1973. Study of seiche in Lake Biwa-ko (IV) —— Observation with a new portable long period water level gauge ——. *Contr. Geophys. Inst. Kyoto Univ.*, **13**, 65−72.

小泊重能，1976. 湖水の周期的流動（I）—— 湖水の島の存在が静振周期に及ぼす影響 ——. 陸水学雑誌，**37**, 123−130.

小泊重能，1978. 洞爺湖の静振について．北海道大学地球物理学研究報告，**37**, 1−8.

KODOMARI, S., 1982. On the studies of the periodic motions in a lake (II) —— Effect of the lake basin shape on the periodic motion ——. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics)*, **7**, 185−226.

KUSAKABE, S., SAEGUSA, H., MATSUSHITA, T., SAITO, S., JOYA, R., NOTSUKI, Y. and IWOKIBE, H., 1917. Internal seiches and undulation of the discontinuous layers in Lake Shikotsu. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., Ser. 1*, **6**, 31−40.

MORTIMER, C. H. and FEE, E. J., 1976. Free surface oscillations and tides of Lakes Michigan and Superior. *Phil. Trans. R. Soc. Lond., Ser. A*, **281**, 1−61.

NAKAMURA, S. and HONDA, K., 1911. Seiches in some lakes of Japan. *Jour. College Sci., Imp. Univ. Tokyo,*

28(5), 95 pp.

PLATZMAN, G. W. and RAO, D. B., 1964. The free oscillations of Lake Erie. in *Studies on Oceanography* (K. YOSHIDA edited), Univ. Tokyo Press, 359−382.

RAO, D. B. and SCHWAB, D. J., 1976. Two dimensional normal modes in arbitrary enclosed basins on a rotating earth : Application to Lakes Ontario and Superior. *Phil. Trans. R. Soc. Lond., Ser. A*, **281**, 63−96.

SCHWAB, D. J. and RAO, D. B., 1977. Gravitational oscillations of Lake Huron, Saginaw Bay, Georgian Bay, and the North Channel. *J. Geophys. Res.*, **82**, 2105−2116.

津田松苗，1974．陸水生態学．共立出版，180 pp.