



Title	洞爺湖の静振について
Author(s)	小泊, 重能; KODOMARI, Shigeyoshi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 37, 1-8
Issue Date	1978-03-30
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.37.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14072
Type	departmental bulletin paper
File Information	37_p1-8.pdf



洞爺湖の静振について

小 泊 重 能

北海道大学理学部地球物理学教室

(昭和 52 年 7 月 26 日受理)

Study of Seiches in Lake Toya

By Shigeyoshi KODOMARI

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received July 26, 1977)

Lake Toya is situated in southern part of Hokkaido. It has nearly circular basin with a nearly circular island in its center. Several investigators have reported the periods of seiches from observations and calculations.

Water levels were recorded at two points from November 4 to 8 in 1976. Average periods of oscillation are 11.0 and 9.0 minutes. The former is the period having flow direction of E-W and the latter is that of N-S.

Oscillations of lake level have been calculated numerically in using a two-dimensional model. The dominant periods are 11.6 and 9.8 minutes. The periods of the calculation are longer than that of the observation. The calculated period of E-W seiche is longer than that of N-S seiche. In assumption of constant depth in lake, the calculated periods are 11.7(E-W) and 10.9(N-S) minutes. The difference between the period of E-W seiche and the period of N-S seiche is smaller than that of previous results, but the calculated period of E-W seiche is longer than that of N-S seiche. From these results, it can tell that the periods of seiches in Lake Toya are dependent on the external form of lake and the distribution of depth.

I. 序

湖沼の水位を観測すると、しばしば、周期的な変動が見られる。これを静振といい、その周期は湖の形や深度分布等によって決まる。従って、洞爺湖のように外形が円に近く、中心部にほぼ円形の島があるという特殊な形状の湖では、現象自体が興味深く、今までにも様々な研究が行なわれて来た。(NAKAMURA・HONDA, 1911; 森, 1911; 佐野, 1912, 1913a, 1913b; SANO, 1913; 肥沼, 1933; 日高, 1936; 山田・足達, 1936, 1937) しかし、実測値は少なく、特に東西方向の静振については 1 例しかない。また計算値に関しては、周期が実測値よりやや短かいものが多い。

この論文では、新たな水位観測によって周期を求め、さらに数値計算を行なって湖の水位変動を考察し、過去の結果と比較し検討を行なった。

II. 水位観測

洞爺湖は北海道の噴火湾北部、洞爺カルデラの中にあり、湖心部には大きい方から中島、観音島、饅頭島の3島がある。島を含む湖の面積は76.5 km²、湖水面だけでは71.5 km²である。国土地

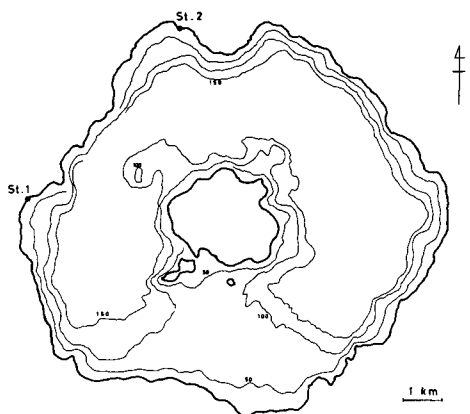


Fig. 1 Site of the observation points in Lake Toya. Numeral shows depth in meters.

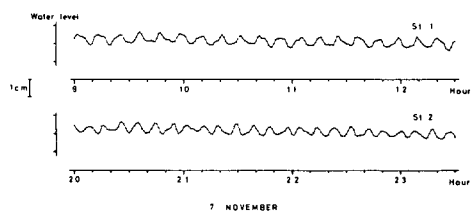


Fig. 2 Water level records in Lake Toya at St. 1 and St. 2 in November 1976.

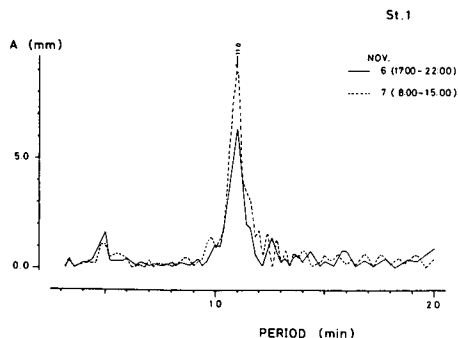


Fig. 3 Amplitude spectra at St. 1.

理院発行の湖沼図により、水深を0~50 m, 50~100 m, 100~150 m, 150~175 m, 175~179.7 mの部分に分けて平均深度を算出すると122 mとなった。Fig. 1に湖の外形と、湖沼図による50 mおきの等深線、ならびに観測点の位置を示した。

観測は1976年11月4日から8日までの5日間、図中の2点に自記水位計を設置して、水位の測定を行なった。洞爺湖の場合、東西方向と南北方向の流動が考えられ、かつその周期が異なると思われるので(たとえば、日高, 1936), その両者の流動が観測されるように測点を選んだ。水位計の調子が悪くて観測が中断し、全期間にわたっては記録が取れなかったが、静振の考察には差しつかえなかった。

得られた記録は1分毎に読取りを行ない、フーリエ解析によって周期を求めた。記録の例をFig. 2に示す。両観測点とも11月7日の例であるが、時間帯は異なる。図からも分かるように、両観測点とも、水位には周期的な変動が見られる。記録をフーリエ解析した例をFig. 3とFig. 4に示す。縦軸は振幅、横軸は周期である。Fig. 3がSt. 1の例で、実線は11月6日の17時から22時までの5時間、破線は11月7日の8時から15時までの7時間の記録をフーリエ解析したものである。いずれの場合にも周期11.0分のところに顕著なピークが見られる。Fig. 4はSt. 2の例で、実線は11月6日21時30分より7日3時までの5時間半、破線は11月7日20時より8日4時まで8時間の記録をフーリエ解析したものである。どちらの場合

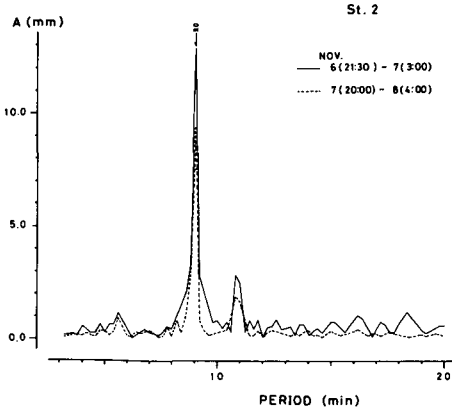


Fig. 4 Amplitude spectra at St. 2.

にも周期 9.0 分のところに顕著なピークが見られる。また、10.8~10.9 分のところにもピークがあり、これは St. 1 の 11.0 分に対応するものではないかと思われる。

以上のように、St. 1 での卓越周期は 11.0 分、St. 2 での卓越周期は 9.0 分であった。この差は、観測点の位置関係等から見て、St. 1 では東西方向の流動が卓越し、St. 2 では南北方向の流動が卓越していることによるものと考えられる。

III. 二次元モデルによる湖水位の計算

基本となる式は次の通りである。

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial Q_x}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x} \{ (h + \eta) u^2 \} - \frac{\partial}{\partial y} \{ (h + \eta) u v \} \\
 &\quad + \frac{1}{\rho_w} \left\{ (1 + \beta) \rho_a \gamma^2 W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} - \rho_w \gamma^2 u \sqrt{u^2 + v^2} \right\} \\
 &\quad + f Q_y - g (h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} \\
 \frac{\partial Q_y}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x} \{ (h + \eta) u v \} - \frac{\partial}{\partial y} \{ (h + \eta) v^2 \} \\
 &\quad + \frac{1}{\rho_w} \left\{ (1 + \beta) \rho_a \gamma^2 W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} - \rho_w \gamma^2 v \sqrt{u^2 + v^2} \right\} \\
 &\quad - f Q_x - g (h + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} \\
 \frac{\partial \eta}{\partial t} &= - \left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \right)
 \end{aligned}$$

こゝで、 Q は流量、 t は時間、 h は水深、 η は水位変化、 u 、 v は流速、 ρ_w は湖水の密度 (1.0 g/cm^3)、 β は定数 (1.0)、 ρ_a は空気密度 (0.0012 g/cm^3)、 γ^2 は定数 (2.6×10^{-3})、 W は風速、 f はコリオリ係数 ($9.8 \times 10^{-5} / \text{sec}$)、 g は重力の加速度 (980 cm/sec^2) である。

初期条件は湖全域にわたって流動がないとし、そこに適当な風を与える。境界条件は岸に直角な方向の流動を零とする。

洞爺の農業気象観測所で得られた記録によると (札幌管区气象台, 1977), 11 月 1 日から 10 日までの 9 時の風向は、8 方位分類で SW が 5 日、N が 2 日、NW, S, W が各々 1 日あり、平均風速は 2 m/sec であった。この計算では、与える風速は 8 m/sec とし、これを 20 分間だけ与えた場合と、計算終了まで与え続けた場合について、風向を変化させて計算を行なった。時間間隔は 5 秒、格子間隔は 1 km である。Fig. 5 に計算に使用した洞爺湖のモデルを示す。図中の St. A, St. B において水位変化を 1 分毎に求めた。その例が Fig. 6 である。この場合には最後まで南西の風

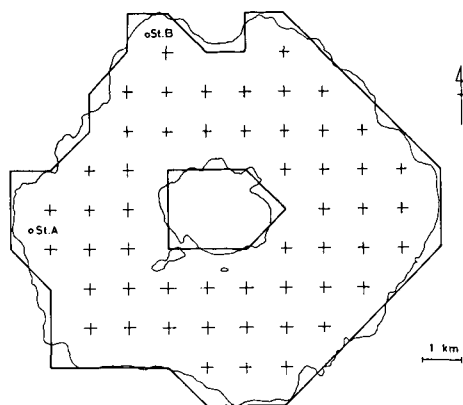


Fig. 5 Computed area of Lake Toya and arrangement of depth points(+). St. A and St. B are elevation points where the vertical displacement of water level are computed.

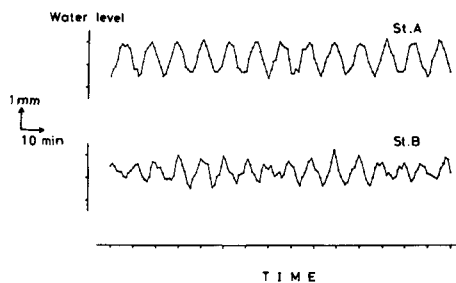


Fig. 6 Computed variations of vertical displacement of water level at St. A and St. B.

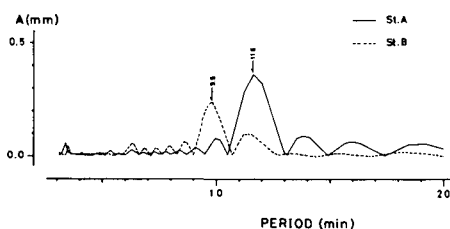


Fig. 7 Amplitude spectra at St. A and St. B.

を与え続けている。これをフーリエ解析したのが Fig. 7 である。実線が St. A、破線が St. B のもので、St. A では 11.6 分、St. B では 9.8 分のところにピークが見られる。また、St. B では 11.4 分のあたりに小さいピークが見られる。

風を変化させた時の卓越周期についてまとめたのが Table 1 である。これを見ると、風を与えた時間、あるいは風向による周期の差はほとんどない。西風を 20 分間与えた時にだけ St. B での卓越周期が 11.6 分となり、この時には St. B においても、南北方向より東西方向の流動が大きいことを思わせる。

表から分かるように、St. A における卓越周期は 11.6 分、St. B では 9.8 分であった。これは実測と比べると 10% 近く長くなっているが、湖の西岸の方が北岸より周期が長くなる傾向は一致している。ちなみに、北岸と西岸の周期比は実測では 1.22、数値計算では 1.18 である。

実測値と計算値の差の原因には、計算方法や湖モデルの適合性の問題等が考えられるが、現在のところ、判然としたことは分からない。

Table 1. Change of the period of seiches with the wind direction.

Station	Wind Direction (Duration)			
	SW (conti.)	N (conti.)	S (20mi.)	W (20mi.)
St. A	11.6	11.6	11.6	11.6
St. B	9.8	9.8	9.8	11.6

Table 2. List of studies concerning seiches in Lake Toya.
E-W and N-S express flow direction.

PERIOD (min)							Authors	Stations
Observation			Calculation		Model experiment			
E-W	N-S		E-W	N-S	E-W	N-S		
	9.29		11.2	10.3	11.8	10.3	NAKAMURA & HONDA (1911)	3
		4.5					MORI (1911)	6
			10.25				SANO (1913)	
10.93	9.14		9.88	8.73			KOENUMA (1933)	5
	8.89		9.48	8.70			HIDAKA (1936)	3, 4, 5
			9.87 (9.25)	8.68 (8.67)			YAMADA & ADACHI (1936)	
			9.10	8.58			YAMADA & ADACHI (1937)	
			10.9				KODOMARI (1976)	
11.0	9.0						KODOMARI (1977)	1, 2
			11.6	9.8				A, B

IV. 考 察

今回の結果と比較するため、これまでに発表された洞爺湖の静振の研究のうち、周期についてまとめたのが Table 2 である。論文によってはこの他の周期についても報告されているが、こゝでは、今回の観測結果に対応すると思われる周期について考察を行なう。表中の周期が得られた観測点を Fig. 8 に示す。表には St. 3 というのが 2 例あるが、これは完全に同一地点であるかどうかは分からない。両者とも観測点が“向洞爺”であるということなので、図では同一の St. 3 としておいた。また、表中の E-W, N-S は卓越していると思われる流動方向を表わしたものである。表の下方には今回の結果をまとめておいた。

先ず実測値について見ると、今までに E-W 方向の周期が求められたのは 1 例だけである（肥沼, 1933）。（ただし、肥沼はこの周期を持つ流動の方向については述べていない。そこで他との類推から、表のように E-W, N-S 方

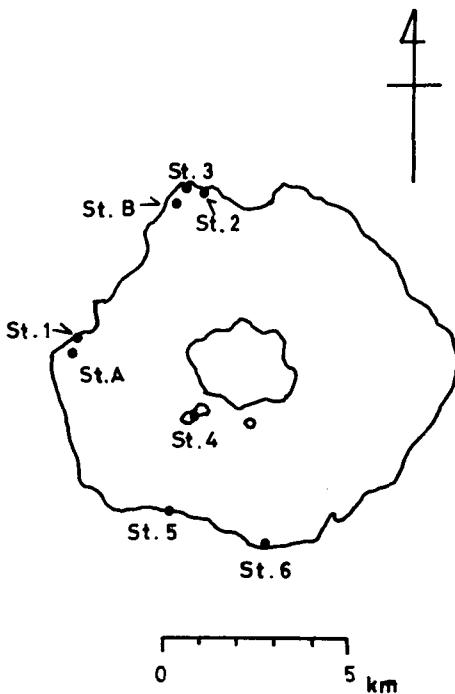


Fig. 8 Site of the observation points.
The number of stations correspond with Table 2.

向として考えた。) これは St. 5 における水位変動の「唸り」*を分解することによって得られたものであるが、今回 St. 1 で得られた周期とほぼ一致する。

N-S 方向のものは 3 例とも 9 分前後で、これらは大体今回の結果と等しいと見てもよいであろう。ただ、NAKAMURA・HONDA (1911) による 9.29 分というのは少し長いとも考えられるが、それ程大きい差ではない。

森 (1911) によって得られた 4.5 分の周期については、SANO (1913), 佐野 (1913a, 1913b), 山田・足達 (1936, 1937) 等によって検討が行なわれているが、どのような流動に対応するものかは判然としておらず、今回の観測においては対応する周期が得られなかった。あるいは Fig. 3 における 5 分附近のピークが対応するものかも知れないが、はっきりしたことは言えない。

次に計算値について述べる。

NAKAMURA・HONDA (1911) は MERIAN の式 ($T = 2L / \sqrt{gh}$; L は湖の径, g は重力の加速度, h は水深, T は周期) を使って計算しているが、今回の観測値に比べるとや・長くなっている。特に N-S 方向のものにその傾向が大きい。SANO (1913) は等深の円形湖中に円形の島を考慮して計算しており、結果は流動方向に関係のない周期として得られている。この値は今回の 2 観測値の中間の値になっている。ところで、洞爺湖には Fig. 1 で示したように南部に浅い部分がある。このことを考慮に入れると、円形湖のモデルでも 2 種類の周期が出てくる。このようにして計算を行なったのが肥沼 (1933), 日高 (1936), 山田・足達 (1936, 1937) の論文である。ただし、日高、山田・足達等は流動の方向についても述べているが、肥沼は両周期の節線は同じであるとしている。山田・足達 (1936) には 2 つの値が出ているが、これは与える定数を変えたためである。この 3 者の計算値は今回の観測値よりも短くなっていて、特に E-W 方向のものにその傾向が強い。小泊 (1976) の値は、等深な円形湖の式から求めた値に島の存在による修正を加えたもので、これを E-W 方向のものと考えれば今回の観測値とほぼ等しくなっている。

また、NAKAMURA・HONDA (1911) によって模型実験も行なわれているが、これで得られた値は今回の観測値よりも長く、かつどの計算値よりも長くなっている。

ところで、洞爺湖を円形湖として考えた場合、等深であるとすれば単節線の周期は 1 種類しか求められない。しかし実際には円形ではないので、等深としても外形の影響で異なる周期の出る可能性がある。そこで、Fig. 5 と同じ外形のモデルを使用し、各点で与える深度を一定の 120 m とし、計算を行ってみた。その結果の水位変動の例を Fig. 9 に示した。これは南西の風を 20 分間だけ与えた場合の例である。これをフーリエ解析したのが Fig. 10 で、縦軸に振幅、横軸に周期をとった。実線が Fig. 5 における St. A、破線が St. B のものである。卓越周期は St. A で 11.7 分、St. B では 10.9 分となった。St. A の方は深度分布を与えた場合とほとんど同じであるが、St. B の

* 肥沼は「其の記録を見ると何れも十分程度の振動が現れて居るが、南岸 (注・Fig. 8 の St. 5) のものと観音島 (注・Fig. 8 の St. 4) のものには更に一時間足らずの周期の「唸り」式の振動が重って居る」として、その周期が 9.96 分と 55.96 分であるところから、10.93 分と 9.14 分の 2 振動が重ったものとして洞爺湖の静振を説明している。

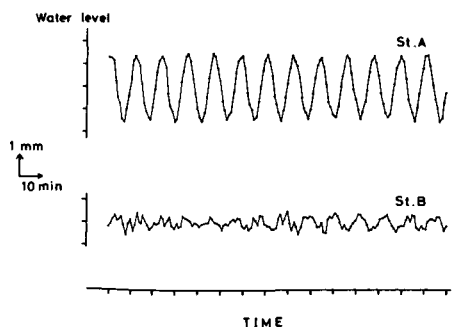


Fig. 9 Computed variations of vertical displacement of water level at St. A and St. B. The lake model has constant depth (120m).

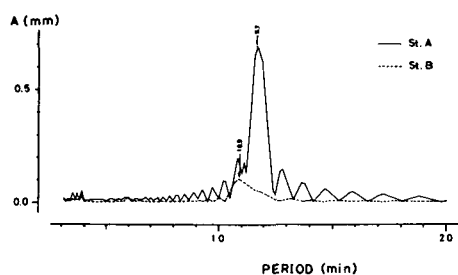


Fig. 10 Amplitude spectra at St. A and St. B. The lake model has constant depth (120m).

方では周期が長くなっている。しかし、St. A と St. B の間ではまだ周期に差がある。このことから次のようなことが言える。

1). たとえ等深であっても、モデルのような外形を与えると、E-W方向とN-S方向の流動周期には差がある。

2). E-W方向の流動には湖の外形の影響が大きく、深度分布による影響は小さい。

3). N-S方向の流動の周期には深度分布の影響が大きく、周期を短くするように効いている。

以上のように、円形湖のモデルで近似するには外形の影響が大き過ぎるのではないかとと思われる。さらに、円形湖で近似する場合には、その直径の値をどうとるかという問題もある。ちなみに、肥沼 (1933) は湖の半径を 4770 m として計算を行っているが (日高 (1936), 山田・足達 (1936, 1937) も同じ値を使っている), E-W方向の径は約 11 km あるので、これでは短か過ぎる。それが、

E-W方向の周期の計算値が実測値より小さくなっているところに現われているものと考えられる。これに対して、N-S方向の径は 9~10 km なので、4770 m の半径で考えても大きな差は出て来ないものと思われる。また、SANO (1913) は半径を 5 km として与えているので、2 実測値の中間の値が得られたものと思われる。小泊 (1976) の場合は半径を 5.4 km としているので、E-W方向のものに近い周期が得られたものと考えられる。

V. 結 語

洞爺湖における観測と、二次元モデルによる数値計算から次のようなことが分かった。

洞爺湖の静振には、卓越周期として 11.0 分と 9.0 分とがあり、前者は東西方向、後者は南北方向の流動にそれぞれ対応する。この 2 種類の流動は、従来なされていたように円形湖中に浅深部を考えるだけで説明するよりも、湖の外形と深度分布とが作用しあっている結果であるとして説明する必要がある。この外形と深度分布による流動の変化については、現在検討中である。

謝辞：観測の機会を与えられ、種々議論していただいた当教室の中尾欣四郎教授、観測を手伝っていただいた当教室の木村善臣、数越達也の両氏、ならびに観測の便宜をはかっていただいた北海道大学水産学部附属洞爺湖臨湖実験所の黒萩尚所長、春名寛幸技官に厚く感謝いたします。

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

- 日高孝次, 1936. 洞爺湖の静振の理論的研究. 海と空, **16** (12), 379-406.
- 小泊重能, 1976. 湖水の周期的流動 (1). 陸水学雑誌, **37** (4), 123-130.
- 肥沼寛一, 1933. 洞爺湖の静振について. 海と空, **13** (7), 133-146.
- 森直藏, 1911. 洞爺湖の定常振動に就て. 気象集誌, **30** (8), 73-78. ; 地学雑誌, **23** (274), 712-717.
- NAKAMURA, S. and HONDA, K., 1911. *Seiches in some lakes of Japan*. Jour. College Sci., Imp. Univ. Tokyo, **28** (5), 85-87.
- 佐野慶造, 1912. 洞爺湖の定常振動に就て. 気象集誌, **31** (12), 466-467.
- 佐野慶造, 1913a. 洞爺湖の「セイシュ」に就て. 気象集誌, **32** (1), 37.
- 佐野慶造, 1913b. 更に洞爺湖の「セイシュ」に就て. 気象集誌, **32** (2), 77-78.
- SANO, K., 1913. On the seiches of Lake Toya. Jour. Meteor. Soc. Jap., **32** (1), 1-9.
- 札幌管区気象台, 1977. 北海道気象月報. 昭和51年11月号
- 山田彦兎・足達左京, 1936. 洞爺湖の静振に就て. 海と空, **16** (12), 407-416.
- 山田彦兎・足達左京, 1937. 洞爺湖の静振に就て (続報). 海と空, **17** (1), 37-44.