

京都大学大学院人間・環境学研究科 岩木真穂  
滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 熊谷道夫  
元・生物流体力学研究所 西 勝也  
滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 焦 春萌

## 1. はじめに

地球表層には、さまざまな形態の水が存在する。その中で、地下水の割合は約 0.6(%)、そして、湖沼や河川は、わずか 0.02(%)である。このごくわずかな湖水が、どのようなふるまいをしているのかということ物理的に把握することが、生物環境や化学物質の分布や熱などの移動や拡散の理解へとつながる。そのため、湖における観測や、コンピュータによる数値実験、理論による解析などが行われてきた。

湖の水位変動は様々な要因によって引き起こされ、例えば、静振、風波、降水、河川流出入、地下水流入、蒸発などがあげられる。これまでに、静振の発生要因として、主に風や気圧の変化、降水および流出入量の急変などが考えられている。Forel<sup>[1]</sup>はレマン湖での静振の発生要因として、気圧の急激な変化を第一に挙げている。また、地震による静振も報告されている<sup>[2]</sup>。さらに、びわ湖の場合は、120本ほどの河川流入に対して、自然の流出は瀬田川のみである。さらに、瀬田川洗堰にて流量を調節しているため、人為的操作も無視できない。

本発表では、従来の湖の物理に関する研究のレビューを示すとともに、それらをふまえて、びわ湖での水位観測と計算から得られた結果から、びわ湖の静振モードに関する解釈を試みる。

## 2. レビュー

### 2.1 静振

湖の静振は、Forel<sup>[1]</sup>が1869年からレマン湖で行っていた観測によって示した。ここで、Forel<sup>[1]</sup>はDu BoysがMerian(1828)の式、 $T = \frac{2l}{n\sqrt{gh}}$  (1)において

(ここで、T:周期(s)、l:長さ(m)、n:節数、g:重力加速度(m/s<sup>2</sup>)、h:水深(m)、平均水深を用いない場合の方法を、 $T = 2\int_0^l \frac{dx}{\sqrt{gh}}$  (2)とした。

(ただし、全ての場合を満たすわけではない)。

様々な湖の静振の周期を求めるために、Merianの(1)式をもとに様々な方法が示されてきた。

Defant<sup>[3]</sup>は、世界のさまざまな湖での現象について示しており、特に、日本の湖の静振としてはHONDA<sup>[4]</sup>を紹介している。ここでHONDAは湖の静振の計算方法を

$T_n = \frac{2l}{n\sqrt{gh_0}} \left[ 1 + \frac{1}{2} \int_0^l \left( \frac{\Delta S}{V} + \frac{\Delta b}{O} \right) \cos \frac{2n\pi}{l} x dx \right]$  と示し、さらに、文献[5]に

おいて、 $T = 2\pi \sqrt{\frac{Sl}{gbh} \left\{ 1 + \frac{2b}{\pi} \left( 0.923 + \log \frac{4L}{\pi b} \right) \right\}}$  と示している。

(ここで、V:体積(m<sup>3</sup>)、S:平均面積(m<sup>2</sup>)、O:湖の表面積(m<sup>2</sup>)、b:平均幅(m) )

### 2.2 びわ湖の静振

びわ湖の静振に関しては、IMASATO<sup>[6]</sup>によってまとめられており、数値実験<sup>[7][8][9][11]</sup>では、255.5, 79.8, 69.1, 38.7, 31.9(min)、観測<sup>[10]</sup>では、249.6, 74.1, 65.7, 39.7, 32.1(min)の5つのモードを示し、また、静振の第1モードに関して、

南湖の湾振動の可能性を示している。一方、関<sup>[12]</sup>らには有限要素法により、周期が30分以上の静振の7つのモードを示し、水位の実測値周波数分析と比較している。一方、HONDA<sup>[5]</sup>の方法で静振の第1モードを計算すると約220(min)、また、村本ら<sup>[13]</sup>は、

$T = \frac{4L}{(2n+1)\sqrt{gh}} \sqrt{1 + \frac{2b}{\pi L} \left( 0.9228 - \ln \frac{\pi b}{4L} \right)}$  として、221(min)を得てい

る。また、Okamoto<sup>[14]</sup>らは、びわ湖北部の塩津湾の静振を観測によって示している。

## 3. 水位観測

2010年5月より滋賀県大津市柳ヶ崎の湖岸にて水位観測を行っており、現在も観測を継続中である(図1)。測定間隔は2分である。水位は、2本の線(テフロン線とステンレス線)を並行して張り、水深とCR発振回路のパルス幅が線形関係にあることを用いて計測している(図2)。

その他に、国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所の水位データ(片山、大溝、彦根、堅田、三保ヶ崎)と瀬田川洗堰の放流量データを使用した。また、気象情報については、気象庁の気象観測データ(アメダス:大津、彦根)を使用した。



図1. 観測点



図2. 水位計概要

## 4. 課題

Merian式を基本として、周期を計算し、水位の観測値のスペクトル解析結果と比較する。また、湖の静振についてのレビューをふまえて、主にびわ湖の静振のモードの解釈を示す。

### 引用文献

- [1]Forel(1895): LE LEMAN, FROUGE, EDITEUR. [2]ARTHUR MCGARR, OBERT C. VORHIS(1964): Seismic Seiches From the March 1964 Alaska Earthquake, GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER, pp544-E. [3]Defant(1961): PHYSICAL OCEANOGRAPHY, PERGAMON PRESS [4]Honda, Isitani, Terada and Ioshida(1908): Secondary undulations of oceanic tides. J. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, Vol. 24, 1. [5]Nakamura, S. and K. Honda(1902): Seiches in Some Lakes of Japan, J. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, Vol. 28, pp.1-95. [6]Imasato,N (1984): Seiche, LAKE BIWA, In S. Horie(ed.), Dr. W. Junk Publishers, pp238-256. [7]Imasato,N (1970): STUDY OF SEICH IN BIWA-KO[ ]- ON THE NUMERICAL CALCULATION BY DEFANT'S METHOD, Contributions, Geophysical Institute, Kyoto University, No.10, pp93-103. [8]Imasato,N (1971): STUDY OF SEICH IN BIWA-KO[ ]- ON A NUMERICAL EXPERIMENT BY NONLINEAR TWO-DIMENSIONAL MODEL, Contributions, Geophysical Institute, Kyoto university, No.11, pp77-90. [9]Imasato,N(1972): STUDY OF SEICH IN BIWA-KO[ ]- SOME RESULTS OF NUMERICAL EXPERIMENTS BY NONLINEAR TWO- DIMENSIONAL MODEL, Contributions, Geophysical Institute, Kyoto University, No.12, pp63-75. [10]Imasato,N et.al(1973): STUDY OF SEICH IN BIWA-KO[ ]- OBSERVATION WITH A NEW PORTABLE LONG PERIOD WATER LEVEL GAUGE, Contributions, Geophysical Institute, Kyoto University, No.13, pp65-72. [11]今里哲久・金成誠一・國司秀明(1971):びわ湖の水の流動に関する数値実験的研究. 京都大学防災研究所年報第14号B, pp 451-464. [12]関鉄兵, 谷口真人(1994): 琵琶湖における湖面振動の特徴, Jpn. J. Limnol., 55, 4, pp267-277. [13]村本嘉雄・道上正規(1978): 琵琶湖南・北の交流特性, 京都大学防災研究所年報第21号B-2, pp 263-276. [14]Okamoto, Endoh, Water Mass Exchange Between the Main Basin and Shiozu Bay, Coastal and Estuarine Studies, AGU, Washington D.C., USA, 1995.