

屈斜路湖水面の固有振動測定を試み

名和一成

産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門

はじめに

屈斜路カルデラ周辺の地下構造とその動態を知るために、米国イエローストーンで試みられている Luttrell et al. (2013)の方法を導入することを検討している。その方法の原理は、数十分から数時間程度の周期の湖水振動(セイシュ)に伴って生じる地殻の変形を、歪み計、傾斜計などの地殻変動観測装置で測定するものである。我々がその方法を適用しようとしている道東地域においては、既存の広帯域地震計や、新たに観測を始めた超伝導重力計も含めた、多原理の観測装置によるデータの総合的解析を計画している。

屈斜路湖のセイシュ(周期約 30 分, 18 分など), について, およそ 100 年前に東北帝国大学による観測結果(Kusakabe et al., 1918)が報告されており, その後, 北海道大学の研究グループなどによって観測・モデリング研究が実施されている(例えば, 小泊, 1975)。しかし, 利用可能な高サンプリングレートの連続水位データが存在しないこともあって, これまでセイシュを振動源として利用した地下構造解析・モニタリングの例はない。我々は今回, 道東地域の重力観測の機会を捉え, 屈斜路湖仁伏温泉において簡易的なセイシュの観測を試みた。

観測の概要

2019年9月(夏季)と2020年2月(冬季)の2回, 仁伏温泉の屈斜路湖ホテルの湖岸で観測を実施した。水圧測定に使用したセンサーはHOBO U20L ウォーターレベルロガーで, ロガーとバッテリーを内蔵している。計測範囲は-20°Cから50°Cであり, 冬季の測定にも耐えるものである。サンプリング間隔は1秒から18時間の間で設定できる。現場においては, 事前にパソコンと専用インターフェースを用いて記録開始時刻やサンプリング間隔等ロガーの設定を行ってから湖底に投入し, 観測終了時に引き揚げたのち, 設定時と同じ機材を用いて内蔵ロガーからデータを回収する手順となる。図1に屈斜路湖の形状と観測を実施した仁伏温泉の位置を, 写真1と2に観測点周辺の状況を示す。また, 表1に, 夏季, 冬季2回の観測の期間, サンプリング間隔を示す。

屈斜路湖(仁伏温泉)における水圧観測

観測期間(日本時間)	サンプリング間隔
2019年9月10日17時から11日8時30分	1分
2020年2月20日20時から21日8時25分	10秒

表1

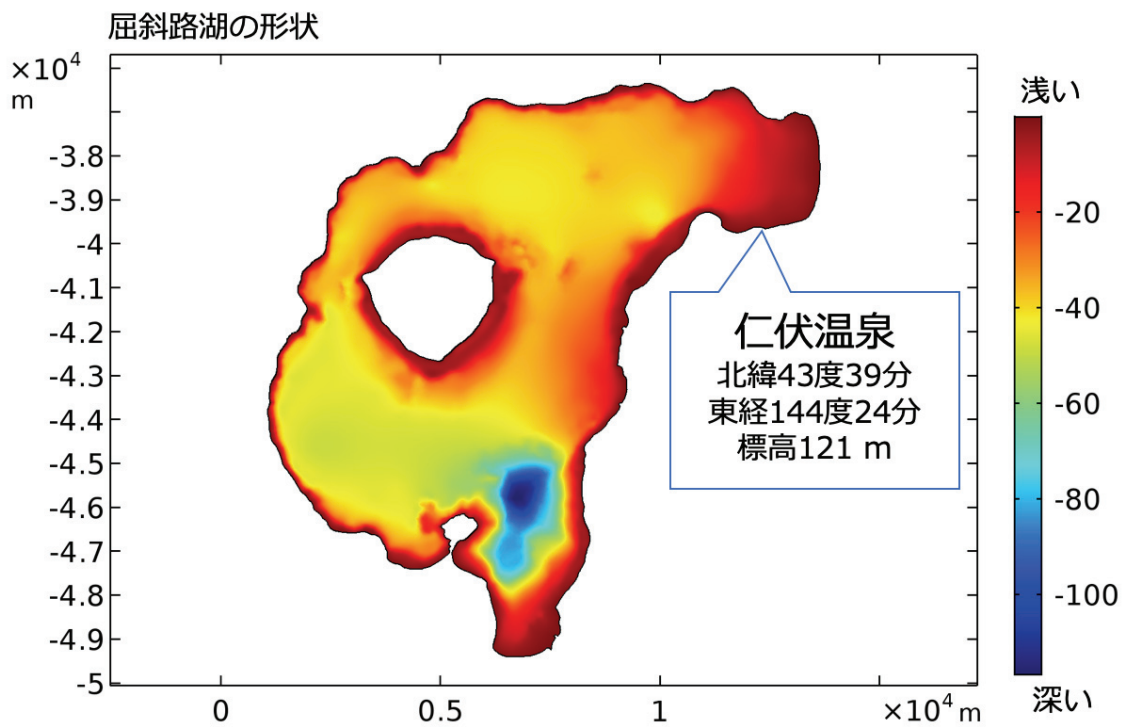


図1 屈斜路湖の形状と観測位置. 形状データは本多亮氏(山梨県富士山科学研究所)に提供していただいたもので, 屈斜路湖セイシュの理論固有周波数(表2)の計算にも使用した.



写真1 (2019年9月10日夕方撮影)

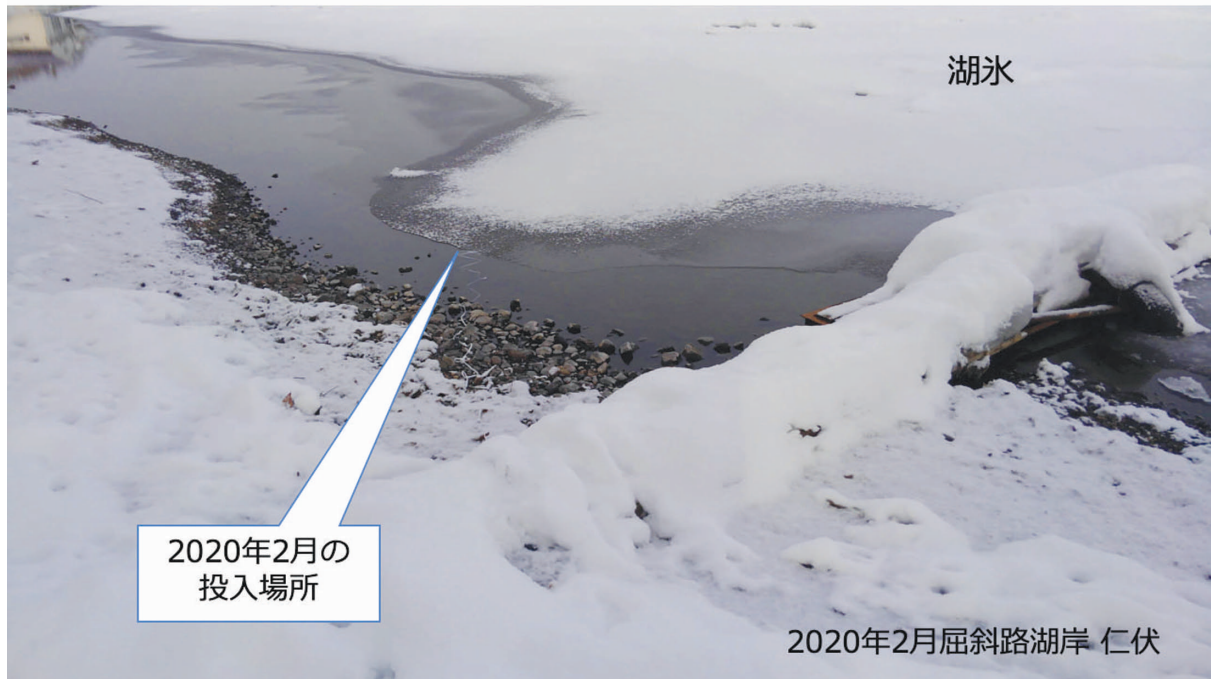


写真2 (2020年2月21日朝撮影)

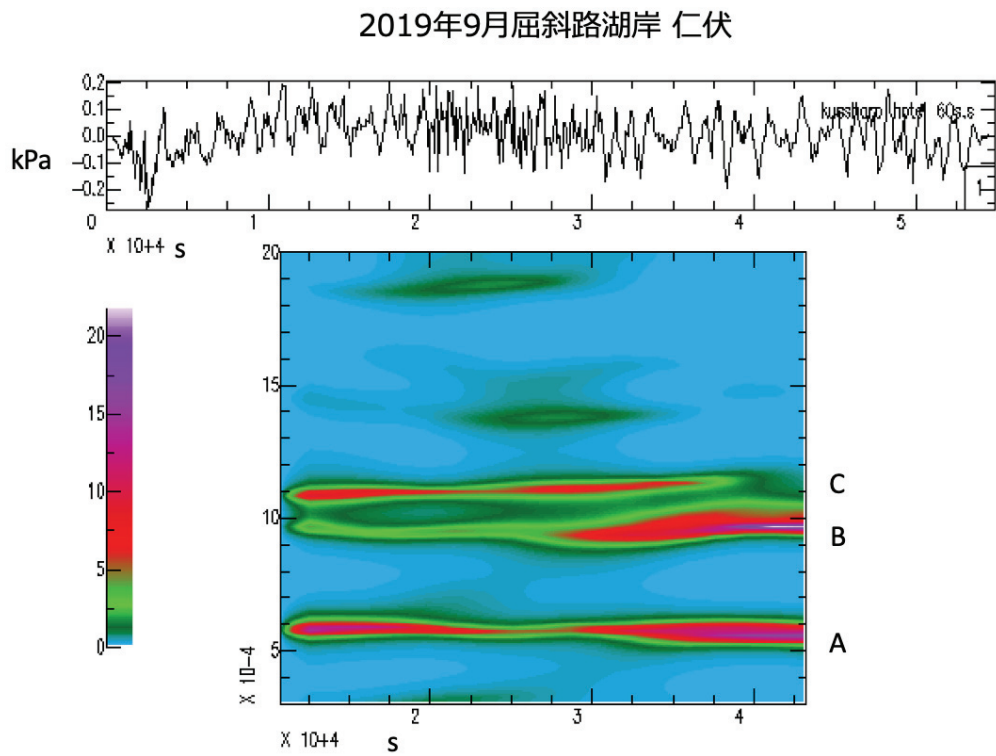
観測結果

表1に示された観測期間に得られた水圧変化とそのスペクトルを図2, 3に示す. 図2に2019年9月(夏季)に取得したデータについて, 図3に2020年2月(冬季)に取得したデータについて, それぞれ(a)波形とスペクトログラム, (b) 全期間のデータから求めたスペクトルを示す. (a)の上段パネルに示した波形は線形トレンドとオフセットを除去して表示している. 下段パネルのスペクトログラムについては, FFT をかける6時間長の時間窓を30分ずつずらして計算した.

図2, 3に示したそれぞれの期間で, 0.5 mHz 付近の A で示したピーク, 1 mHz 前後の B, C で示したピークが顕著である. それぞれの振幅比は観測時期によって異なり, 2020年2月(冬季)は A の振幅が B, C に比べて大きい. 図2(a)を見ると, A のピークに比べて, B, C のピークは時間帯による強度変化が大きい. また, 短波長の波形が卓越する 20000 秒から 30000 秒付近に対応するスペクトログラムを見ると, A, B, C のピークに比べて振幅が小さいが, 1.9 mHz 付近と 1.4 mHz 付近にもピークが確認できる.

表2に, 図1に示した湖の形状を用いて計算した屈斜路湖セイシュの固有周波数(産総研竿本氏提供)を示す. 今回観測した水圧変化に見られるスペクトルピーク A, B, C はそれぞれ, モード1, モード2, モード3の周波数に対応している. ここで振動パターンは図示しないが, 小泊(1975)に30分周期は南北方向の振動モードに, 18分周期は東西方向の振動モードに対応することが示されているように, モード1は南北方向の振動に, モード2, 3は東西方向の振動に対応する振動パターンが得られている. 夏季に微弱ながら見えている 1.4 mHz, 1.9 mHz 付近のピークはそれぞれ, 高次のモード4やモード6に対応するのかもしれない.

(a)



(b)

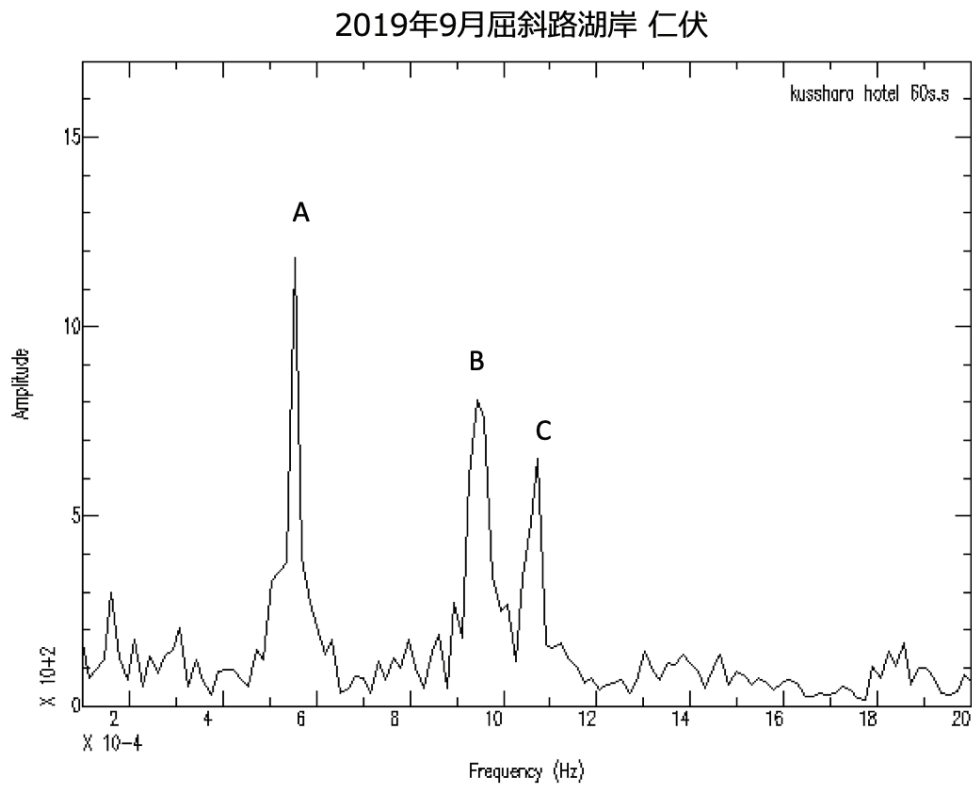
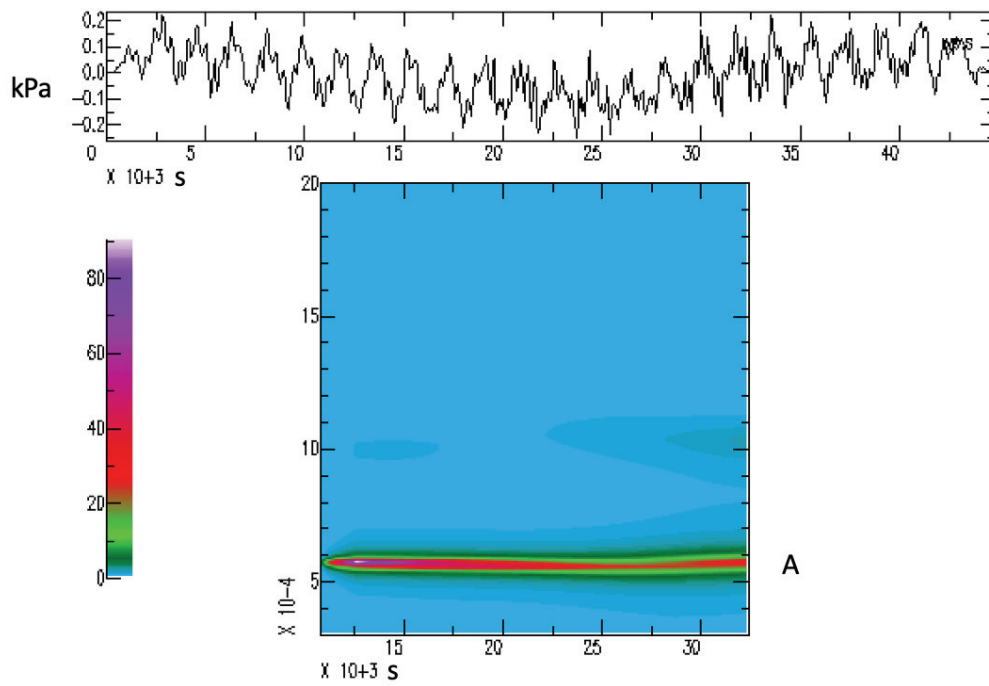


図2 2019年9月10日17時から11日8時30分まで. サンプル間隔は60秒.

(a)

2020年2月屈斜路湖岸 仁伏



(b)

2020年2月屈斜路湖岸 仁伏

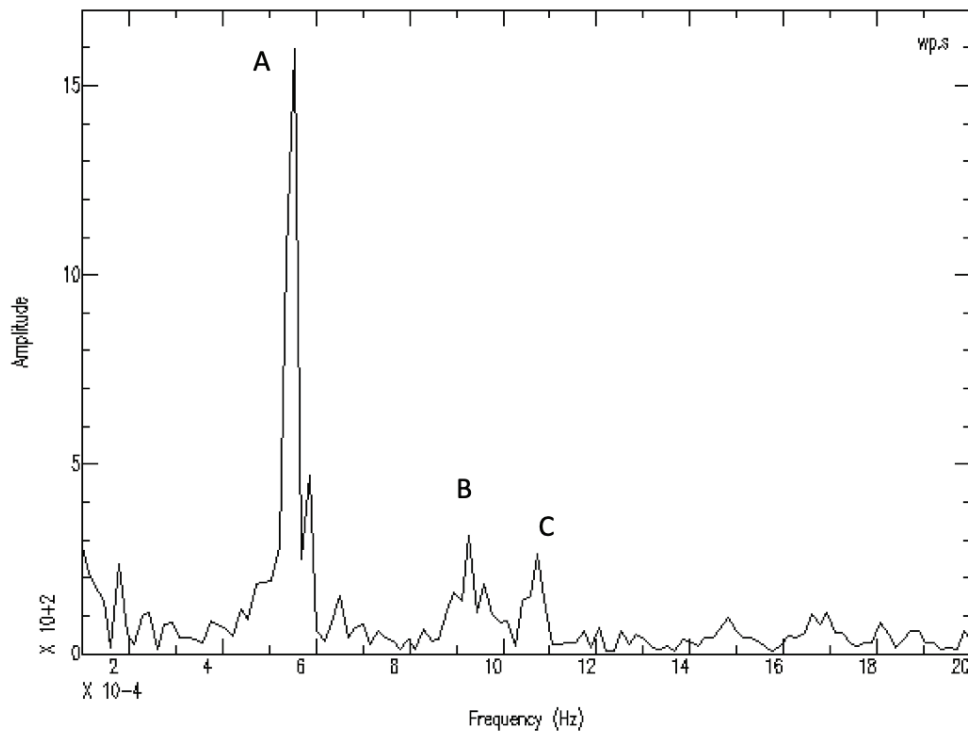


図3 2020年2月20日20時から21日8時25分まで. サンプルング間隔は10秒.

屈斜路湖セイシュの理論固有周波数

振動モード	周波数 (mHz)	周期 (分)
モード1	0.557	29.9
モード2	0.960	17.4
モード3	1.074	15.5
モード4	1.342	12.4
モード5	1.548	10.8
モード6	1.824	9.1

表2 有限要素法による固有値解析の結果(産総研竿本による)

おわりに

今回、それぞれの時期に一晩だけの機会ではあったものの、12 時間以上連続して屈斜路湖の水位変化を測定することができた。今シーズンはいつもの冬に比べて暖かく湖が完全には凍結していなかったものの、冬季もセイシュを観測できることがわかった。また、日によってセイシュの振動パターン／卓越周波数が大きく変化していることもわかった。時期によって、それらの振幅／強度が大きく変動していることも予想されるので、今後セイシュによる地殻の変形応答から地下物性を探るためには、屈斜路湖水面変動の同時多点での通年観測が必要である。

謝辞 屈斜路湖ホテルには観測に際し便宜を図っていただいた。山梨県富士山科学研究所の本多亮氏には、屈斜路湖底地形の数値データを提供していただくとともに、現地観測にも協力していただいた。産総研の竿本英貴氏には屈斜路湖セイシュの固有周波数の導出に協力していただいた。関係各位に感謝します。

参考文献

- 小泊重能, 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, 北海道大学地球物理学研究報告, 34, 1-14, 1975
- Kusakabe et al. (a party of summer tourists, 1917), On the Seiches of Lake Kutcharo, Hokkaido, Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Ser. 1, vol. 7, 197-204, 1918
- Luttrell, K., D. Mencin, O. Francis, S. Hurwitz, Constraints on the upper crustal magma reservoir beneath Yellowstone Caldera inferred from lake-seiche induced strain observations, Geophys. Res. Lett., 40, 501-506, doi:10.1002/grl.50155, 2013