

# 2011年東北地方太平洋沖地震で発生した 西湖のサイスミック・セイシュ

鈴木 猛康<sup>1</sup>

<sup>1</sup>フェロー 山梨大学大学院医学工学総合研究部 教授  
地域防災・マネジメント研究センター センター長 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)  
E-mail:takeyasu@yamanashi.ac.jp

2011年東北地方太平洋沖地震では、牡鹿半島で水平方向に5.3mの地殻変動が観測されたのをはじめ、地殻変動は東北地方にとどまらず、関東、中部、そして近畿地方まで及んだ。この地震の後、山梨県の西湖では、湖面上のボートがゆっくりと1m程度の振幅で上下に振動し、湖岸では津波のような波が押し寄せ、魚や貝が岸に打ち上げられた。本論文では、西湖の近くで観測された地震動に含まれる1分程度の長周期地震動成分を分析し、その卓越周期と西湖の閉鎖水域の断面形状に基づいて定義されるセイシュの1次固有周期を比較している。さらに、西湖の模型を製作し、模型の閉鎖水域を長周期地震動の卓越方向に加振することにより、模型の矩形の閉鎖水域の長辺方向に大きな水面変動が発生することを確認している。その結果、本論文では、2011年東北地方太平洋沖地震の際に西湖で見られた津波のような現象を、サイスミック・セイシュによって説明するものである。

**Key Words :** *Seismic seiche, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Observed earthquake ground motion, Predominant period, Saiko Lake*

## 1. はじめに

セイシュ (Seiche) は、風や気圧変動によってスイスのレマン湖の水面に発生する定常波に対して、1895年にForelによって命名された<sup>1)</sup>。その後、セイシュは、湖や内湾のような閉鎖水域の形状に依存した共振周期を有するあらゆる定常波を表す用語として拡張されることとなった。一方、サイスミック・セイシュは、1950年8月15日アッサム地震 (Mw8.6) によってノルウェーと英国で観測された湖の水面変動の現象に対して、1955年にKvaleが初めて命名したとされている<sup>1)</sup>。

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震は、M9.0の巨大地震であり、この地震による地殻変動は北米プレート上にとどまらず、ユーラシアプレート上の中部地方、さらには近畿地方に至るまで、太平洋に向かって陸地が水平方向に移動したことが、国土地理院によって報告されている<sup>2)</sup>。このような地殻変動に伴って、震源過程によって発生する長周期地震動や伝搬過程で発生する数秒から10秒程度の表面波よりも、さらに長い周期の表面波が発生した。我が国で発生したサイスミック・セイシュによる湖や内湾の顕著な水面変動は、筆者の知る限り報告されておらず、前述のアッサム地震、1964年のアラスカ地震 (Mw9.2) のような巨大地震では、震源の遠方において湖や内湾でサイスミック・セイシュが観測され

ている。したがって、東北地方太平洋沖地震でも、セイシュが発生しても不思議ではない。

この地震により、富士五湖の一つである西湖において、地震の直後にボート上の釣り客がボートがゆっくりと上下するのを体験し、また湖水が湖岸の溶岩塊を駆け登ったことを報告している<sup>3)</sup>。また、西湖の湖畔の住民が、砂浜で小魚や貝が打ち上げられ、津波のような大波を目撃した。本論文は、この現象がサイスミック・セイシュに起因すると考え、西湖に最も近いK-NETの本栖観測サイトの地震動を用いて、この現象を分析した結果について報告する。

## 2. サイスミック・セイシュ

サイスミック・セイシュに関する最初の記述は、1755年11月1日ポルトガルのリズボンで発生した地震 (Mw8.5~9.0) であり、スコットランドのLomond, Long, Katrine, Nessの各湖、英国の内湾や池で、異常な波に関する現象が雑誌に掲載されていることが報告されている<sup>1)</sup>。さらに、Kvaleは、この地震によるセイシュについて、ノルウェーのフィヨルドや湖で29件、英国のダムで4件報告している<sup>1)</sup>。震源が海底であったため、大津波が発生して約1万人が死亡した他、死者は5~6万人とされている。

1955年アッサム地震 (Mw8.6) では、ノルウェー、

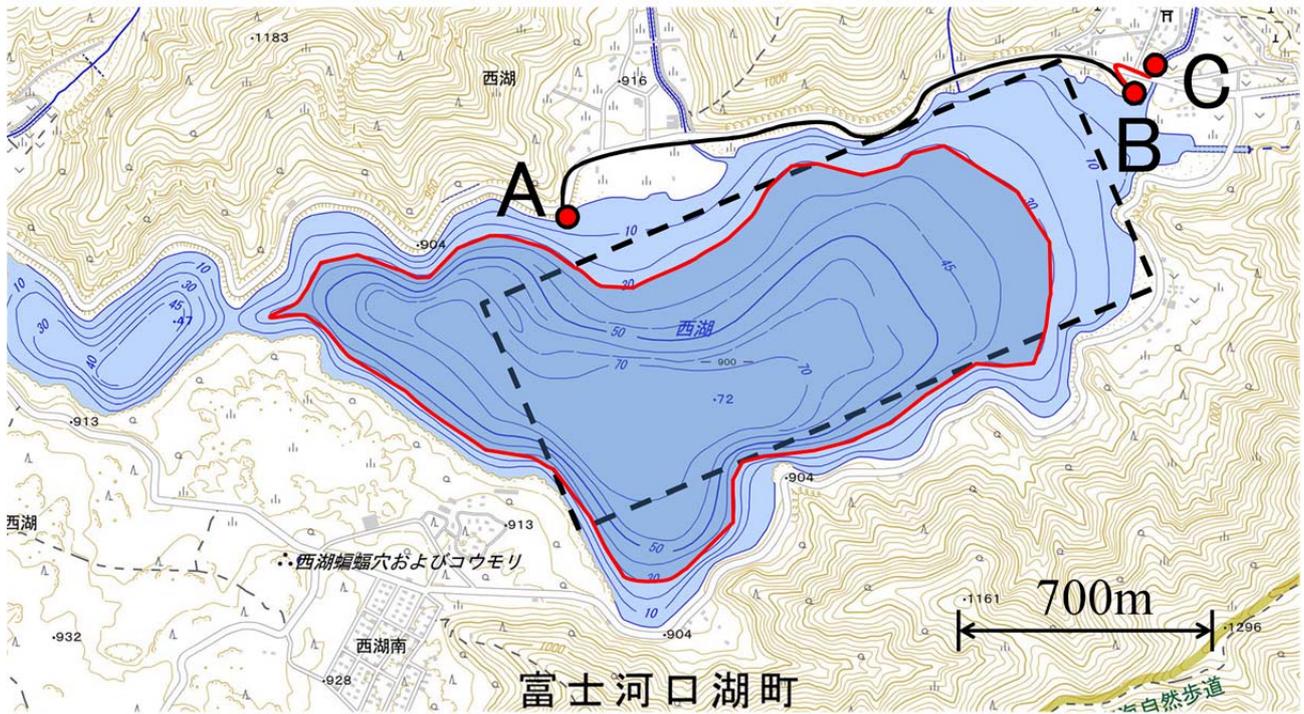


図-1 西湖周辺の地形図と西湖の等水深線図 (電子国土に加筆)

英国でセイシュが観測されている。1964年3月28日に発生したアラスカ地震 (Mw9.2) では、北米の850か所、オーストラリアの4か所で、湖や河川の水面変動が観測された。McGarr and Vorhisは、このサイスミック・セイシュを、この地震によって伝搬した周期5~15秒の表面波によって説明している<sup>1)</sup>。

最近では、2004年スマトラ沖地震の際、インド、バングラディッシュ、ネパール、そしてタイでも、セイシュの発生が報告されている<sup>4)</sup>。以上のように、サイスミック・セイシュは、巨大地震の際に、震源域より遠方、場合によっては数千kmも離れた湖、ダム、貯水池、そして内湾 (フィヨルドを含む) 等の閉鎖水域で発生し、その周期は数秒~10分程度と非常に長いことを特徴としている。

底面と左右の鉛直壁、そして自由水面を有する矩形断面の閉鎖水域に発生する定常波としてのサイスミック・セイシュは、以下のように説明することができる。鉛直壁では波が完全反射され、完全重複波が形成される。鉛直壁の位置は、重複波の腹の位置と一致する。この境界条件を満たすのは、両端が鉛直壁の場合、水域の長さ $l$ が1/2波長の倍数のときである。セイシュは長波であるので、伝搬速度 $C$  (m/sec) は、

$$C = \sqrt{gh} \quad (1)$$

で与えられるので、その周期 $T$ (sec)は、(2)式で与えられる。

$$T = \frac{L}{C} = \frac{L}{\sqrt{gh}} \quad (2)$$

ここで、両端が鉛直壁の場合、

$$L = 2l / N, N = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

一端が鉛直壁で他端が自由な場合、

$$L = 4l / N, N = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

なお、地震に起因するかしないにかかわらず、湾や湖に斜面崩壊等による大量の土砂が短時間で流れ込むと、津波と同様な現象が起こり、その結果、湾や湖でも高波が発生する。古くは島原大変肥後迷惑で知られた眉山の崩壊による1792年に発生した有明海の津波がある。また、1990年フィリピン・ルソン地震では、Baguioの東にあるAmbuklaoダムで、貯水池近くの斜面が崩壊し、大量の土砂が貯水池に流れ込み、貯水池全体で最大約5mの津波が約30分間続いたことが報告されている<sup>5)</sup>。このような、斜面崩壊による津波ではなく、長周期地震動による共振で生成される定常波として、湾あるいは湖の閉鎖水域で水面が周期的に変動する現象のことを、本論文ではサイスミック・セイシュと定義する。同様な閉鎖液域の液面変動の現象としてスロッシングがある。スロッシングは、小規模のスイミングプールや石油やLNGのタンクのように、湖と比較して幅に対する深さの比が比較的大きく、数秒程度の固有周期を有する閉鎖液域において、地震動の長周期成分による

液体の共振によって発生する液面変動である。液面高さが大きくなるほど周期も長くなる非線形性を示し、定常波であるセイシュとは区別する。

### 3. 東北地方太平洋沖地震で観察されたサイスミック・セイシュ

#### (1) 西湖のサイスミック・セイシュ

2011年3月11日14時46分に2011年東北地方太平洋沖地震が発生し、死者15805人、行先不明4040名(2011年9月22日現在)の犠牲者を出した東日本大震災に至った。この地震により、富士五湖の一つである西湖では、波浪とは明らかに異なる周期が長く、底をさらうような高波が目撃された。ボートで釣りをしていた会社員は、「突然、目の前の水位が上がりはじめた。ザザーという音とともに湖水が湖岸の溶岩塊を登った。波というより湖岸の水が1mくらい上がったように見えた。波ならず引くが、このときは水位がゆっくり上がり、ゆっくり下がった。」と語っている<sup>2)</sup>。

図-1に西湖周辺の地形図を示す。いつも西湖で釣りを楽しんでいる高齢の男性は、地震発生の際には図中の西湖の北岸A地点の駐車場にいたが、大きな揺れを感じたため、湖に浮かべておいたボートが気になって東岸B地点の浜に戻ったところ、大きな波が引いていくところで、砂浜に多くの小魚や貝が打ち上げられ、男性のボートが浜へと移動しているのを発見した(写真-1)。男性はすぐに湖畔のC地点でレストランを経営する甥を車で呼びに行き、浜に戻ったところ、二人は大きな波がゆっくり浜を駆け登り、戻っていくのを目撃した。この現象を目撃したこの二人にインタビューしたところ、①湖が沖合50m程度まで濁っていた、②通常の波とは違い、ゆっくりと水面が盛り上がるように高波が移動した、③引き波を見た後は、大波は確認していない、等の証言が得られた。

写真-1と写真-2は、そのレストランを経営する男性が撮影した浜の写真である。通常は砂の中に生息しているはずの大きな貝が打ち上げられ、岸辺に漂っているはずの枯れ草が砂浜上で帯を形成しており、波の先端がこの位置に達したことがわかる。二人は砂浜で跳ねる魚や大きな貝を、急いで湖に戻したと語っている。二人にお願いして、3月11日と同様に現地を移動してもらった。その結果、地震の後、高齢の男性が駐車場から軽ワゴン車で東岸の砂浜に約2km移動するのに、地震の揺れが終息してから少なくとも5分間程度要したことが確認できた。また、この男性が砂浜から70~80m離れたレストランへ軽ワゴン車で行って甥に事情を説明し、甥をその車に乗せて砂浜に引き返すのに、2分間は要することもわかった。

以上より、高齢の男性は高波を2度目撃しており、1度目は地震動の終息から5分程度経ってから、2度



写真-1 岸に打ち上げられたボート



写真-2 西湖東岸の浜に打ち上げられた魚と貝

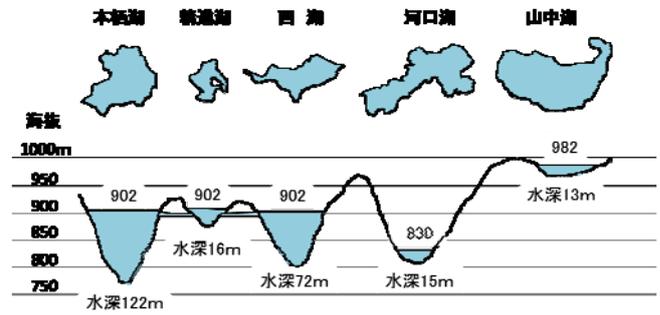


図-2 富士五湖の形状と湖面の高さの比較

目はその2分以上後と推定される。1度目に見た波が、セイシュの第1波であったかわからないが、まだ跳ねている魚を湖に戻したという証言より、魚が打ち上げられてからさほど時間は経過しておらず、この男性が目撃した第1波は、セイシュの第1波あるいは第2波ではないかと思われる。また、セイシュの周期は、2分程度であろうと推測された。なお、西湖の北岸ならびに南岸の東側には、土石流と急傾斜地の特別警戒区域が多く分布するが、地すべりや崖崩れは発生しておらず、湖岸の道路でも何ら異常は報告されていなかった。西湖は富士五湖の一つである。しかし、その他の4つの湖では、このような高波は観察されていない。図-2は平面形状と水深に関する富士五湖の比較について、国土交通省が模式的に整理した図<sup>6)</sup>を加筆修正したものである。図の

ように、西湖と本栖湖の水深が、それぞれ約70m、120mであるのに対して、残りの3つの湖の水深は10~20mと浅いことがわかる。水深の浅い3つの湖では、セイシュが発生したとしても、湖面変動は小さいと考えられる。西湖と本栖湖の平面形状には大きな相違があり、西湖が東西方向に長く、比較的南北方向には一定の幅を有しているのに対して、本栖湖は湖岸が入り組んだ形状を呈している。

図-1には等高線とともに西湖の等水深線が示されている。東端の比較的浅い水域が分布する部分を除けば、西湖には水深10m以下の浅い水域は少なく、岸から急傾斜で水深50mまで達するような湖底形状を呈している。例えば、水深30mよりも深い水域を薄青色に塗ると、図のように湖の面積の70%程度に至っており、北岸中央部と東端以外は水域の境界は急傾斜な壁であることがわかる。西湖の平面形状は、北西に突出した部分が存在するが、この部分を除けば図-1の点線で囲んだ矩形と見なすことができ、その長辺方向の東北東-西南西方向、短辺方向の北北東-南南東方向で、閉鎖水域が存在している。したがって、西湖ではこれら両方向で湖底の断面形状に依存した固有の水面変動であるサイスミック・セイシュが発生すると考えた。

一方、図-3は本栖湖の等水深線図を示している。本栖湖の最大水深は122mであり、西湖よりも一段と深い。西湖について行ったと同様に、約110mよりも深い水深の領域を緑色で塗ってみた。110m~最大水深までの水域は、面積は西湖よりも広いが、湖岸の入り組んだ形状を反映させて、水域の形状も複雑で、西湖のように長方形の閉鎖水域は存在しないように思われる。したがって、西湖では、図-1に示す矩形断面の閉鎖水域に起因する固有振動であるサイスミック・セイシュが発生しやすいが、本栖湖では共振が発生しにくい水域の形状であったと推測した。

## (2) 芦ノ湖のサイスミック・セイシュ

神奈川県芦ノ湖でも、2011年東北地方太平洋沖地震の際にセイシュが観測され、その動画が3種類YouTubeに投稿されて公開されている<sup>7)9)</sup>。ただし、投稿された3つの動画の投稿者は同一人物である。動画には、波が岸をゆっくり遡上する様子が、短時間であるが記録されている。また、水は砂浜に仮置きした貸ボートを通り越し、貸ボートの看板を倒して通路まで達した形跡があることから、波の高さは50cm~1mであったと推測された。砂浜上に残された痕跡が、動画の撮影される前に、既に2度は高波が襲来したことを示していた。

電子国土から芦ノ湖の等水深線図を抽出して、図-4に示した。芦ノ湖については、水深約40mの水域を青線で囲んでみると、北北東-南南西方向を軸として、幅700m~1000mの等水深の水域が広く分布していることがわかる。したがって、芦ノ湖でも西湖と同様に、北北東-南南西ならびに東北東-西南西

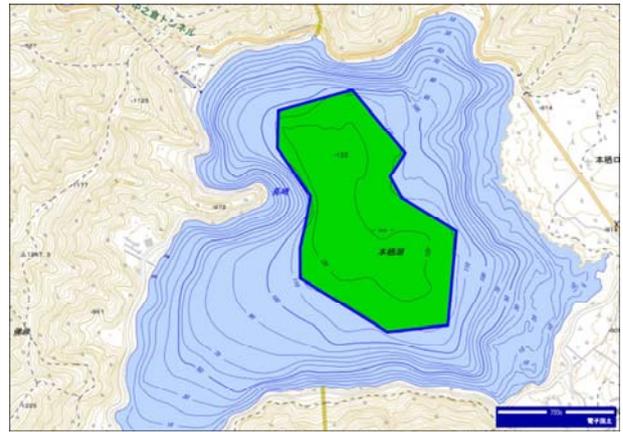


図-3 本栖湖の等水深線図（電子国土より）

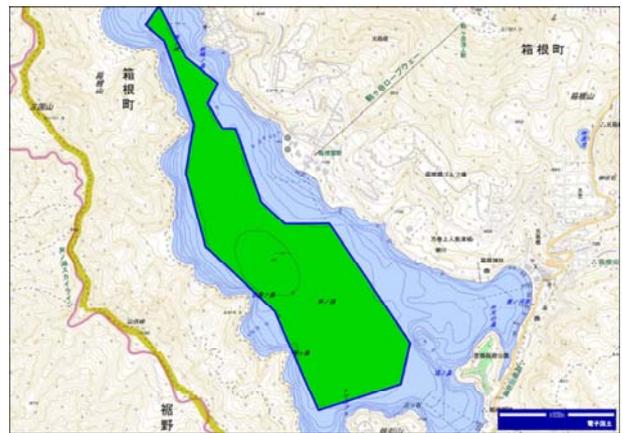


図-4 芦ノ湖の等水深線図（電子国土より）

方向に閉鎖水域が形成されている。このことは、地震動の長周期成分の卓越方向によって、西湖と芦ノ湖のサイスミック・セイシュを説明できる点で、本論文にとって重要な事実を提示している。

## 4. 本栖観測サイトの地震動

### (1) 観測波形

本栖湖の北東約1kmの地点にK-NET本栖観測サイトがある。この観測サイトから西湖までの水平距離は約6kmである。したがって、本栖観測サイトで観測された地震動は、長周期成分については西湖の湖底における入力地震動と同等と見なすことができる。そこで、2011年東北地方太平洋沖地震における本栖観測サイトの観測地震動を分析することにより、西湖のサイスミック・セイシュについて説明を試みることにした。図-5は、K-NET本栖観測サイトで観測された3方向成分の加速度波形である。図のように、NS（南北）、EW（東西）方向とも最大加速度は30cm/sec<sup>2</sup>程度、UD（上下）成分は10cm/sec<sup>2</sup>程度であった。これらの加速度波形の主要動は2分間程度

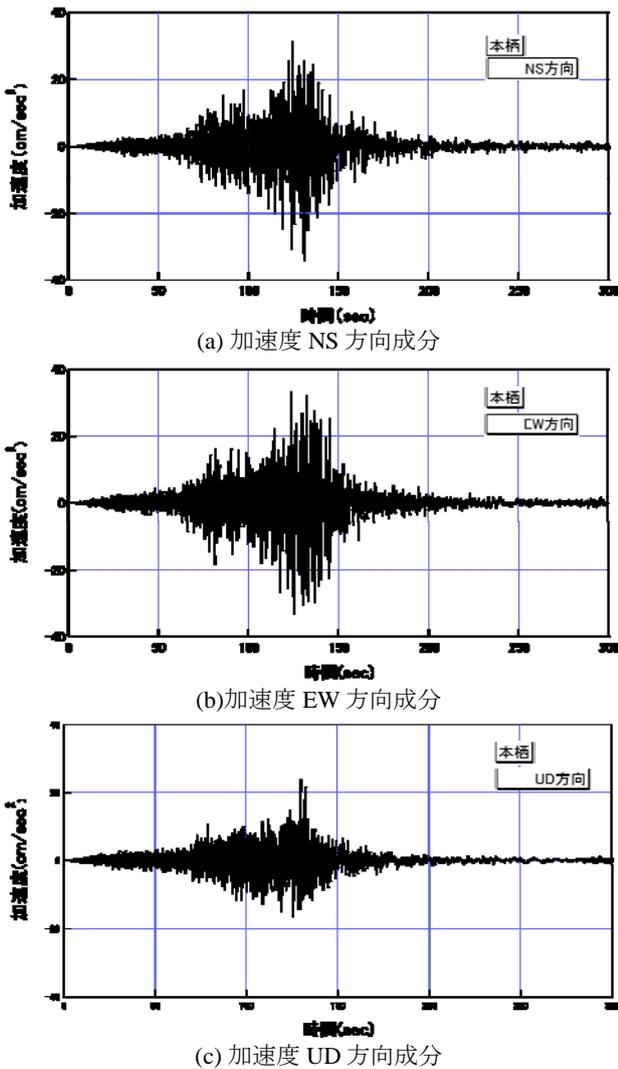


図-5 K-NET 本栖観測サイトの観測地震動

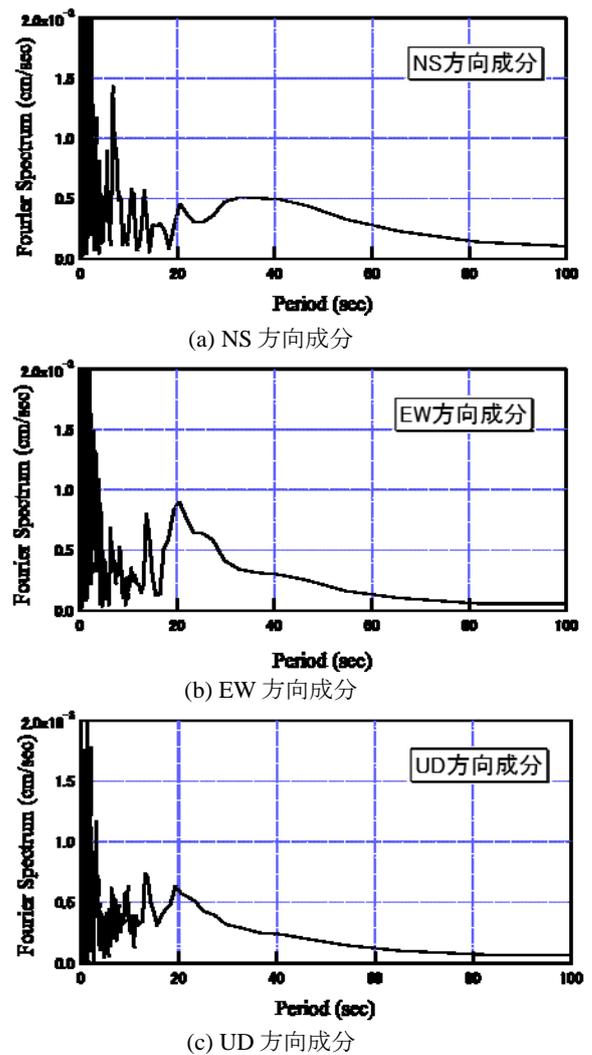


図-6 観測波のフーリエスペクトル

と長いことがわかる。

## (2) フーリエスペクトル

図-6は本栖観測サイトの観測地震動の3方向成分のフーリエスペクトルを、横軸を周期 (Period) として示したものである。NS方向成分のフーリエスペクトルには、5~20秒の間に3つの明瞭なピークがあり、さらに20秒、そして約40秒をピークとする広い周期帯で、長周期成分が存在することがわかる。これに対して、EW方向成分ならびにUD方向成分のフーリエスペクトルの長周期成分には、NS方向と同様の20秒のピークが認められるが、このピークは周期とともにだらかに低減し、NS方向成分に見られる40秒以上のピークは存在しないことがわかった。

## 5. 長周期地震動とセイシュ

### (1) 長周期地震動の性質

西湖で発生したサイスミック・セイシュを説明す

るため、K-NET本栖観測サイトで観測された地震動の長周期成分について考察する。図-7は周期50秒以上の長周期成分の加速度時刻歴波形を、NS方向、EW方向、そしてUD方向に分けてプロットしたものである。加速度の絶対値としてはNS方向で最大 $0.2\text{cm/sec}^2$ 、EW方向、UD方向で最大 $0.1\text{cm/sec}^2$ と小さいが、60秒程度の単一の周期を有する波形を呈していることがわかる。

図-8に、K-NET本栖観測サイトの加速度記録をフーリエ積分して求めた変位に、周期50秒以上のフィルター処理を行ったNS方向成分とUD方向成分の変位波形を重ね描きした。長周期地震動の最大加速度は $0.2\text{cm/sec}^2$ にも達しなかったが、最大変位はNS方向では両振幅で45cmに達している。国土地理院によるGPS観測によれば<sup>2)</sup>、山梨県でも3月11日の本震の後、約10cmの地殻変動が観測されており、地殻変動と長周期地震動の変位のオーダーが一致している。UD方向でも、最大変位は両振幅で25cmを超えている。また、NS方向成分はUD方向成分に対してやや位相が遅れているが、位相差はほぼ一定であり、NS方向とUD方向の変位波形はほぼ相似形である。

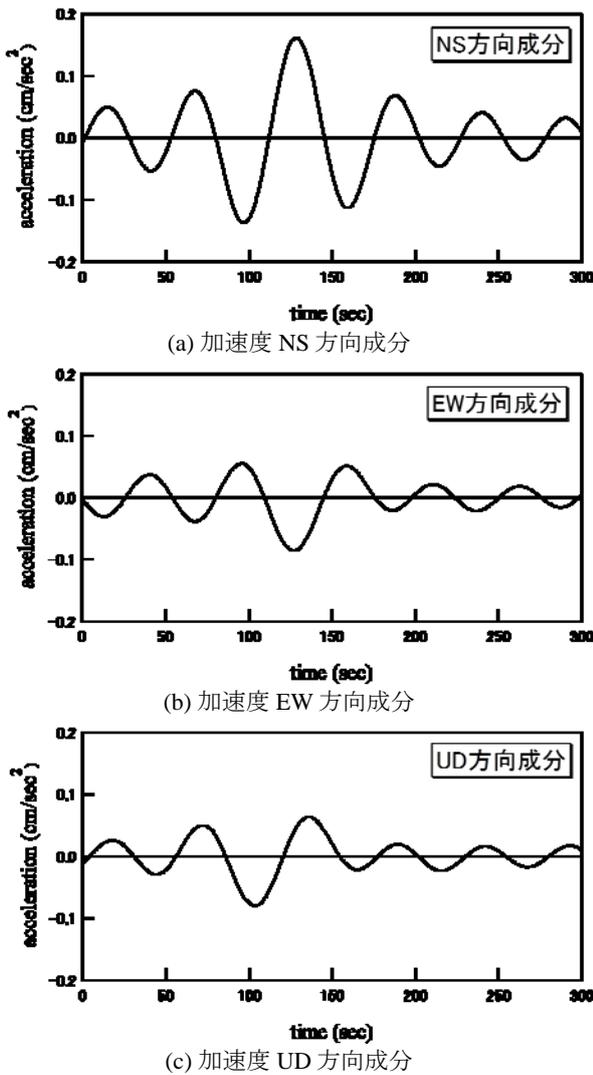


図-7 周期 50 秒以上の長周期成分

NS方向, UD方向ともに, 約60秒の長周期振動は, 観測終了後も継続しているように見える. ただし, フーリエ変換を用いているため, リンク効果によって, 時刻0でも変位が数cmとなっている.

図-9に, 周期50秒以上のNS方向成分とUD方向成分の時刻歴波形を重ね描きした. 図のように, 加速度波形にすると NS方向成分とUD方向成分の変位波形はさらに相似形となり, 両波形の位相差は, 全時刻にわたってほぼ一定であることがわかる.

そこで, 図-7に示した加速度の周期50秒以上の長周期成分について, 粒子軌跡を図-10のように描いてみた. 図-10のNS方向成分~UD方向成分ならびにEW方向成分~UD方向成分の粒子軌跡は, 回転方向が一定の楕円軌道を描いている. 一方, NS方向成分~EW方向成分の粒子軌跡は, 楕円を描くことなく, 北北西~南南東方向のほぼ直線で近似できるプロットとなった. したがって, 60秒程度の加速度の長周期成分は, Rayleigh波の性質を有していると言える.

国土地理院は, GPS連続観測記録によって得られ

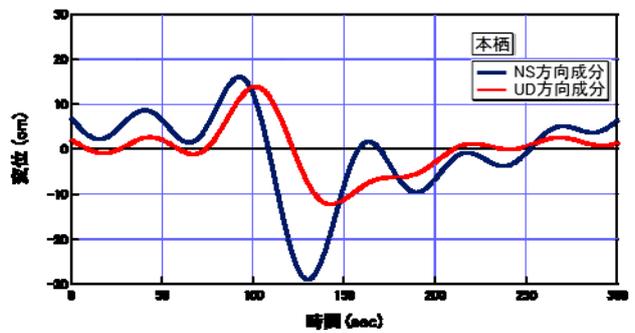


図-8 周期 50 秒以上の変位波形

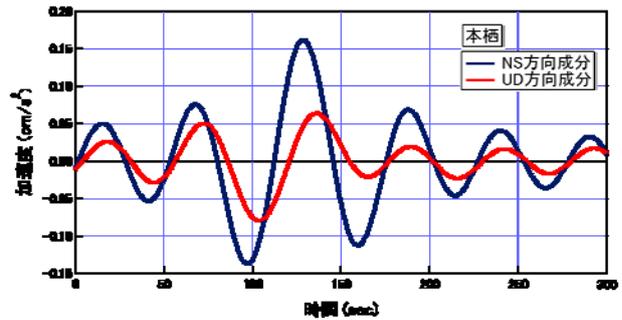


図-9 加速度の NS 方向, UD 方向成分の重ね描き

た電子基準点 1 秒データを用いて, 東北地方太平洋沖地震の地殻変動の時間発展の動画を作成してインターネット上に公開している<sup>10)</sup>. この動画によれば, 断層破壊が三陸沖から南下するにしたがって, 東北地方に太平洋に向かった東西方向の地殻変動が発生している. さらに断層破壊が福島県沖, 茨城県沖へと移動すると, 地殻変動の波は関東, 甲信越地方へと伝播し, 甲信越地方では地殻変動の方向が東西方向から南東方向へと大きく変化して, 3月11日14時49分30秒前後で最大変位約30cmを迎えている. 山梨県ではその後, 地殻変動はほぼ東南東方向へ10cm移動した状態で停止した. K-NETの関東, 甲信越の観測地震動について水平面内の変位の粒子軌跡図を描いたが, ほとんどの地点の粒子軌跡は北西-南東方向に卓越していることを確認している.

## (2) 模型

2011年東北地方太平洋沖地震の際に, 西湖周辺では北北西-南南東方向に卓越する60秒程度の長周期地震動が存在したため, この地震動によって西湖の閉鎖水域でサイスミック・セイシュが発生したと推定した. この推定の妥当性を, 模型実験によって検証することを試みた. 西湖の北北西~南南東断面の閉鎖水域の湖底断面形状を矩形と仮定すると, (2)式で与えられるセイシュの1次固有周期 $T$ (秒)は, 幅650m, 平均深さ45mとしたとき, (5)式の通り約62秒となる.

$$T = \frac{2 \times 650}{\sqrt{9.8 \times 45}} = 61.9 \quad (5)$$

写真-3に作成した西湖の模型の写真を示す。湖底模型を水平方向1/1780、深さ方向1/1000の縮尺で作成した。1800mm×900mm×5mmのスタイロフォームから西湖の各等水深線に沿った切り抜きを行い、切り抜き後のスタイロフォームを貼り合わせた。その後、階段状の湖底表面にシリコンコーキング剤を塗布することにより、湖底面形状の円滑化と湖底面の防水加工を行って、西湖の湖底を模擬した。さらに、貼り合わせたスタイロフォームは、持ち運び可能な合板製の箱の中に固定した。模型の最大水深は7cmであり、上記の縮尺を考慮すると、北北西-南南東断面のセイシュの固有周期は、(6)式に示す通り1.1秒となる。

$$T = \frac{2 \times 650}{\sqrt{\frac{1780}{9.8 \times 45}}} = 1.1 \quad (6)$$

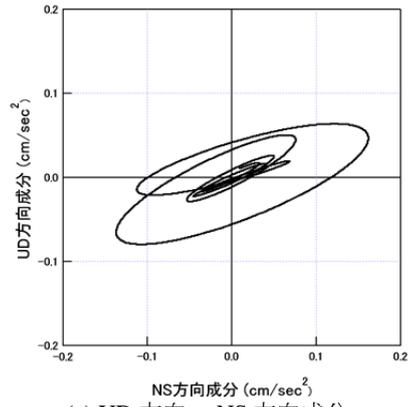
(3) 模型実験の結果と考察

西湖模型に水性絵具で青に着色した水を入れ、模型をキャスター付きのテーブル上に固定した。写真-4は西湖模型を東岸方向から撮影したものである。魚や貝、そしてボートが打ち上げられた東岸の浜は、写真の右にBと記述された地点である。テーブルを約1秒の周期で一度だけ西湖模型の北北西-南南東方向に加振し、発生する波を観察した。

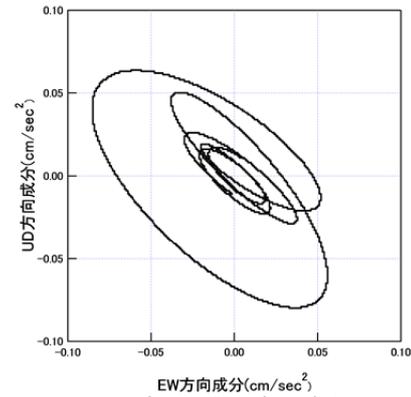
模型実験の結果、北北西-南南東方向の水面変動が1.2秒の周期で2度明瞭に現れた後、湖の長辺方向、すなわち東北東-西南西方向に周期3.6秒のさらに顕著な水面変動が3回発生した。写真-4を用いてそのメカニズムを説明する。まず周期1秒程度の加振によって、①のサイスミック・セイシュが北北西-南南東方向に発生した。この現象により、②に示すように、東岸南の水が東端の浅い水域へと回り込むように移動した。浅水域の水がさらに③のように西南西方向へと移動する過程で、④に示す閉鎖水域の長辺方向に新たな水面変動が発生した。

上記3.6秒の模型実験で確認された東北東-西南西方向のサイスミック・セイシュは、実際の湖では3分程度となる。模型実験では湖の長辺方向にもゆっくりと3秒程度の周期で1度加振し、周期3.6秒のセイシュ現象が明瞭に現れることを確認した。

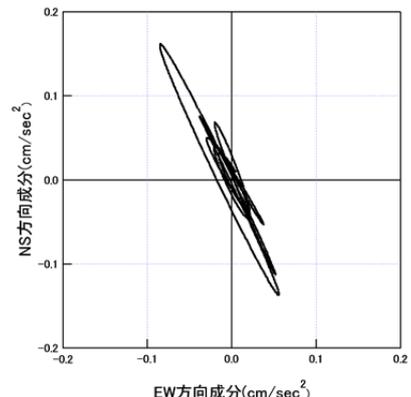
来る東海地震、そして東海・東南海・南海地震連動型の超巨大地震でも、西湖でサイスミック・セイシュが発生することが予想される。とくに、この地震で東西方向の長周期地震動が3分程度の周期で発生した場合には、今回よりも水面変動が大きくなるのが容易に推測される。その際には、水深が浅い東岸ではとくに波高が大きく、津波と同様に砂浜に激しい波が打ち寄せることになる。したがって、東海地震の際には、湖に近づかないこと、浜にいる観光客や釣り客に湖から遠ざかるよう呼びかけることを、地元の自治体や宿泊施設、そして住民に徹底させることが肝要と考える。



(a) UD 方向～NS 方向成分



(b) UD 方向～EW 方向成分



(c) NS 方向～EW 方向成分

図-10 周期 50 秒以上の加速度長周期成分の粒子奇跡



写真-3 西湖の実験模型

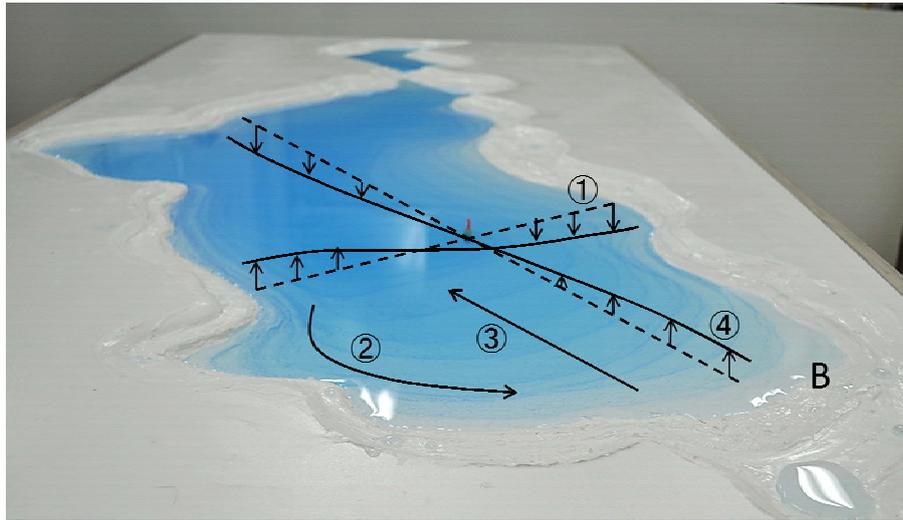


写真-4 模型実験から推定された西湖サイスミック・セイシュの発生過程

## 6. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震の際、山梨県の富士五湖の一つである西湖で、津波のような現象が発生し、魚や貝が浜に打ち上げられた。本論文では、この現象をサイスミック・セイシュと考え、この現象の目撃者に対するインタビューを行うとともに、西湖近くのK-NET本栖観測サイトの観測地震動に含まれる長周期地震動成分を分析した。また、模型実験を実施して、サイスミック・セイシュのメカニズムを確認した。以下に、本論文で得られた結果をまとめる。

- (1) この現象の目撃者に対するインタビューより、高波の周期は2分程度であることが分かった。
- (2) K-NET本栖観測サイトの観測地震動に含まれる周期50～60秒の長周期成分の最大変位は、水平成分では両振幅で45cm、上下成分では両振幅で25cmに達していた。
- (3) この観測地震動の長周期成分は、北北西～南南東の明瞭な卓越方向を有し、Rayleigh波の性質をもつ表面波であった。
- (4) 西湖は東北東～西南西方向を長辺、北北西～南南東方向を短辺とする矩形の閉鎖水域を有しており、長周期表面波により両方向でセイシュが発生しやすい。
- (5) 2011年東北地方太平洋沖地震の際に神奈川県芦ノ湖でもセイシュの発生が報告された。芦ノ湖の長軸方向も北北西～南南東で、長周期表面波の卓越方向と一致しており、このことは西湖におけるサイスミック・セイシュの発生を裏づけている。
- (6) 西湖の模型を用いた加振実験では、北北西～南南東方向の水面変動が1.2秒の周期で2度明瞭に現れた後、湖の長辺方向、すなわち東北東～西南西方向に周期3.6秒のさらに顕著な水面変動が3回程度発生した。
- (7) 模型実験の結果に基づいて、2011年東日本太平

洋沖地震の際、西湖で目撃されたサイスミック・セイシュの発生メカニズムを、以下のように説明することができた。

- ①北北西～南南東方向の周期約60秒の長周期表面波によって、この方向にセイシュが発生した。
- ②北北西～南南東方向のセイシュにより湖の南岸で上昇した湖水が東端の浅水域へと回り込むように移動した。
- ③この浅水域の水がさらに西南西方向へと移動する過程で、閉鎖水域の長辺方向に新たな水面変動を励起し、西湖の東端の砂浜に魚や貝を打ち上げ、ボートを移動させるセイシュを発生させた。

東海・東南海・南海地震連動型の超巨大地震が発生した際にも、西湖ではサイスミック・セイシュの発生が予想される。観光客の多い富士五湖では、浜で野外キャンプを行ったり、水遊び、釣りをするなど、とくに夏季には多くの観光客が浜辺で過ごす。したがって、東海地震の際には、湖に近づかないこと、浜辺にいる観光客や釣り客に湖から遠ざかるよう呼びかけることを、地元の自治体や宿泊施設、そして住民に徹底させることが肝要である。そこで、筆者は、地元のメディアを通して、サイスミック・セイシュに関する警鐘を鳴らしているところである。

なお、本研究では、防災科学技術研究所K-NET本栖観測サイトにおいて、2011年東北地方太平洋沖地震の際に観測された地震動を用いた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) McGarr, A. and Vorhis, R. C.: Seismic Seiches, U. S. Geological Survey Professional Paper, 544-E, pp.196-236, 1965.
- 2) 国土地理院：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動について <http://www.gsi.go.jp/common/000059672.pdf> (2011.9.23閲覧)
- 3) <http://sankei.jp.msn.com/affairs/news/110419/dst110419142>

- 10030-n1.htm (2011.9.23閲覧)
- 4) Wikipedia:Seiche, <http://en.wikipedia.org/wiki/Seiche> (2011.9.23閲覧)
- 5) 土木学会：1990年フィリピン・ルソン地震被害調査報告, pp.73-75, 1993.
- 6) 国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所：富士山噴火を物語る個性豊かな湧水湖, [http://www.cbr.milt.go.jp/fujisabo/fuji\\_info/mamechisiki/b04/index.htm](http://www.cbr.milt.go.jp/fujisabo/fuji_info/mamechisiki/b04/index.htm) (2011.9.23閲覧)
- 7) <http://www.youtube.com/watch?v=9FwmOhLrW-8> (2011.9.23閲覧)
- 8) <http://www.youtube.com/watch?v=vOLEpiTVpAo> (2011.9.23閲覧)
- 9) <http://www.youtube.com/watch?v=-gziFI5zeQs> (2011.9.23閲覧)
- 10) 国土地理院：電子基準点1秒データによる平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の地殻変動 <http://www.gsi.go.jp/cais/chikakuhendo40010.html> (2011.9.23閲覧)
- (2011.12.12 受付, 2012.2.25 修正, 2012.3.6 受理)

## SEISMIC SEICHE OCCURRED AT SAIKO LAKE DUE TO THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Takeyasu SUZUKI

A phenomenon similar to a tsunami was observed by anglers and inhabitants at Saiko Lake, which is one of the five lakes located on the foot of Mt. Fuji, during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. In order to clarify the mechanism of this phenomenon, the author interviewed with the witnesses. The author also examined earthquake ground motions observed near the lake. As a result, surface wave exhibiting the nature of Rayleigh wave with the predominant period around 60 seconds in the observed motion which is coincident with a resonant period of the closed water body of Saiko Lake. A shaking experiment was conducted using a Saiko Lake model. It clearly explained the mechanism of a seismic seiche of Saiko Lake, which means that a resonant oscillation in the short side of the rectangular shape of the lake makes the shift to that in the long side. Then, the author concluded that the phenomenon was caused by a seismic seiche.