

奇跡の湖

水月湖 年縞

湖底の縞模様に秘められていた 歴史の謎を解く鍵

◆ 年縞の作り方

◆ 世界一の年縞が形成された好条件

◆ 年縞からわかること

◆ 年代測定における世界標準のものさし
「水月湖年縞」

◆ 水月湖 年縞研究のあゆみ

福井県

奇跡の湖 水月湖 年縞



水月湖 は、三方五湖の中で最も大きな湖(面積4.15km²、水深34m)です。この湖の底には7万年の歳月をかけて積み重なった「年縞」と呼ばれる縞模様が形成されています。この年縞の調査研究のため、1993年、2006年、2012年の3回、学術ボーリング調査が行われました。7万年もの連続した年縞とその研究成果は、国内外から注目されています。



(画像提供：若狭三方縄文博物館)

三方五湖は、若狭湾国定公園の中にある三方湖、水月湖、菅湖、久々子湖、日向湖からなる5つの湖の総称で、国の名勝に指定されています。

湖の周辺では、縄文時代の遺跡が見つかっており、また、2005年には、国際的に重要な湿地として、ラムサール条約湿地に登録されています。

このシマシマは何？

湖底の縞模様は 歴史の謎を解く鍵が秘められていた!!



年縞 (右写真) は、季節ごとに異なるものが堆積することにより形成されます。明暗1対の縞が1年に相当し、その縞には過去の気候変動や自然災害の履歴を知る重要な手がかりが記録されています。

年縞を解析することで、当時の自然環境(気温、水温、植生など)や自然災害(地震、津波、洪水、火山活動など)に関する精度の高いデータが得られ、国内外で研究が進められています。

この他、年縞は化石や遺物の年代を特定する放射性炭素年代測定こうせいの較正にも使われており、水月湖年縞のデータを用いた較正曲線「IntCal13」が2013年9月に公表されました。これにより、水月湖年縞が、考古学や地質学における「世界標準のものさし」として年代測定の精度を、従来より飛躍的に高めました。



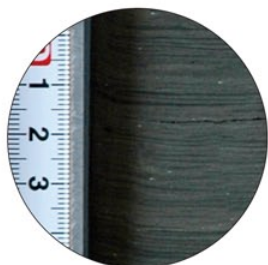
水月湖の年縞

年縞のでき方

年縞の縞模様はなぜできるのか

水月湖の湖底には、春から秋にかけては土やプランクトンの死がいなどの有機物、晩秋から冬にかけては湖水から析出した鉄分や大陸の黄砂などの鉱物質が堆積します。有機物を多く含む層は暗い色に、鉱物質を多く含む層は明るい色となり、色の暗い層と明るい層の1対が1年をかけ縞模様となっていきます。

水月湖の年縞堆積物は、1年で平均0.7mmの薄さで、7万年にわたり堆積してできたものです。



縞模様はいつできたのか

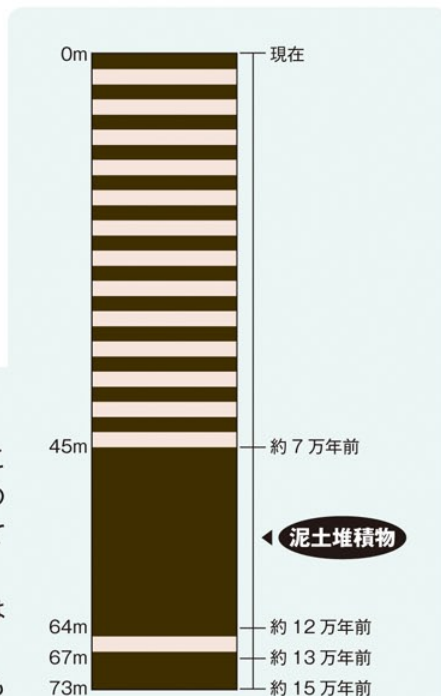
年縞は、木の年輪のように1年で1対できる縞模様を数えることによって、その縞ができた年代を1年単位で特定することができます。たとえば上から1,000枚目の縞は今から1,000年前に、1万枚目の縞は1万年前にできた縞であることが特定できます。



1,000枚目 = 1,000年前

縞の枚数(1対の縞で1年)を上から1枚ずつ数えることで、今をさかのぼること何年前のものかがわかる。

1万枚目 = 1万年前



水月湖年縞の全長イメージ図

■水月湖年縞

2006年の調査でボーリングコア約73mが採取されました。このうち約45mまでの間には明確な年縞が見られます。この年縞の縞の数を数えると約7万年分にも及び、とぎれのない年縞として世界でも類を見ないものです。

45mから64mまでは泥土堆積物となっています。この時期は水月湖の水深が浅かったためだと考えられます。

64mから再び年縞が現れ、最深部の堆積物は約15万年前のものと考えられています。

世界一の年縞が形成された好条件

水月湖の地形と周辺環境

年縞の形成は、地形や周辺環境が大きく影響します。水月湖では、いくつかの条件が揃い、縞が乱れることなく積み重なり続けたことで、1年に1対の縞が形成されました。その主な条件として、以下の4つが上げられます。年縞が形成される好条件が揃った湖は、世界的にも珍しく、まさに「奇跡」の湖と言えます。

① 流れこむ大きな河川のない地形

直接流れ込む大きな河川がなく、水深も深いため、大雨などによる大量の水や土石の流入で湖底がかき乱されることがありません。

② 山々に囲まれた地形

周囲が山々に囲まれているため、風が遮られ、波が立ちにくく、湖水がかき混ぜられません。



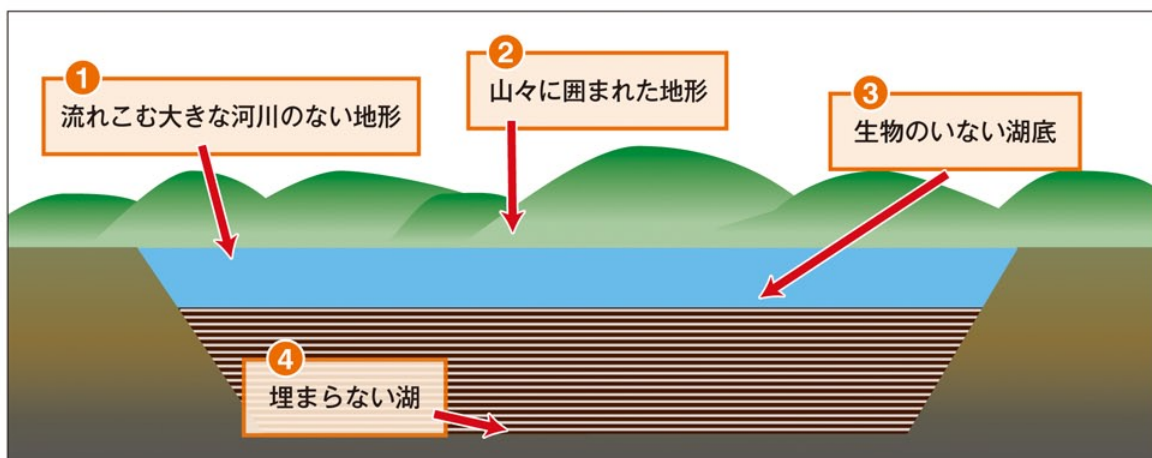
大雨後の航空写真。茶色く見える三方湖で砂や泥が落とされ、その上部に写る水月湖には泥水が流入していない。年縞形成の好条件が見える記録写真。(画像提供：福井新聞社)

③ 生物のいない湖底

湖水がかき混ぜられないことにより、深いところは、酸素のない層になっています。つまり水月湖の湖底には生物が生息できず、年縞が生物にかき乱されることがありません。

④ 埋まらない湖

本来、湖は時がたてば上流からの土砂などの堆積物で埋まってしまいます。しかし、水月湖は、周辺の断層の影響で、長い間、沈降し続けています。そのため、堆積物で湖が埋まることなく、湖底に堆積物が溜まり続けています。



年縞からわかること

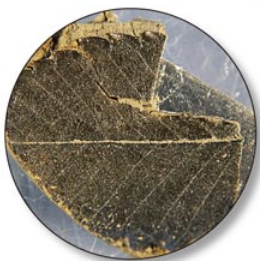
1年単位で年代を特定できる年縞には、木の葉や花粉、火山灰や黄砂などが含まれています。それらを分析することによって、過去の気温や水温、気候などの変化を年単位で復元することが可能です。

7万年にわたり堆積した水月湖の年縞は、過去の自然環境を知る貴重な情報源であるといえます。

年縞からわかる過去の気候変動

年縞に含まれる落葉や花粉からは…

年縞に含まれる葉や花粉の化石からは、湖周辺に生育していた植物の種類や、その当時の気候、環境がわかります。植物の種類の変り変わりを調べることで、気候や環境の変動を知ることができ、年縞によって当時の様子を年単位でくわしく知ることができます。



水月湖の年縞に含まれていた葉の化石(写真提供:水月湖プロジェクト)



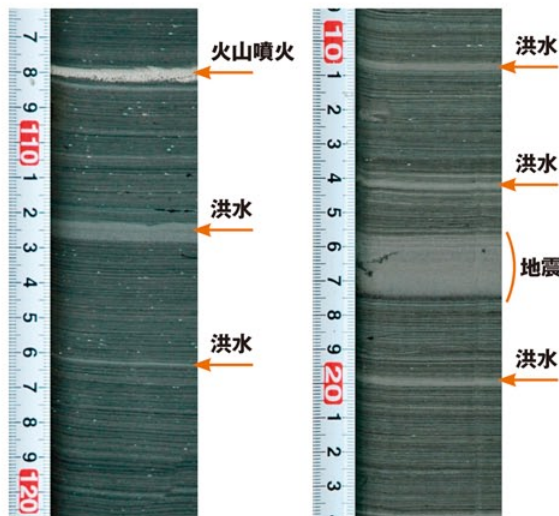
年縞に含まれる火山灰・黄砂からは…

年縞には、火山灰や大陸から偏西風に乗って飛んでくる黄砂も含まれています。火山灰からは火山が噴火した年代、黄砂からは偏西風の風向きの変化などを知ることができます。

堆積状況の変化からは…

非常に薄く堆積していく年縞ですが、よく見ると、厚く積もったところや、色が違うところがあります。これらは地震や洪水の跡です。地震が起きると、湖の周りから大量の土砂が流入し、厚い層が形成されます。洪水が起こった時も堆積状況に変化が見られます。

水月湖の年縞を調べると、地震によってできた厚い層が、過去3万年の間に12か所見つけられました。地震や洪水の履歴は、将来の災害予測への活用が期待されています。



水月湖の年縞(部分)

三方五湖周辺の環境の変化と人々の暮らし

3万年前の湖周辺は、寒冷で乾燥した気候で、トウヒなどの針葉樹がまばらにはえる草原でした。その後、氷河期が終わると、湖周辺の植生は、次第にブナなどの温帯の落葉広葉樹林に変わっていきました。

1万2000年前になると、暖かくなったり、急に寒くなったりする不安定な時期を経て、次第に暖かい気候へと変わっていきました。植物はブナやコナラ、オニグルミなどの林が広がっていました。このころ、縄文時代の人々が湖周辺に暮らし始めたと考えられます。

5700年前ごろには、ツバキなどの常緑広葉樹(照葉樹)林とスギ林が広がっていました。

湖周辺では鳥浜貝塚をはじめ、縄文時代草創期(1万2000年前)から前期(5500年前)の縄文人の暮らしを物語る遺物が、たくさん発掘されています。木の実などが豊かな里山とたくさんの魚がとれる湖のおかげで、食べ物の豊富な住みやすい場所だったのでしょう。



3万年前

針葉樹がまばらに生える湖周辺



1万2000年前

針葉樹から落葉広葉樹に変わる湖周辺



5700年前

縄文時代の湖周辺



若狭三方縄文博物館に展示されている、スギ材の丸木舟。水月湖の南にある三方湖周辺の遺跡から発掘されている。

年代測定における世界標準のものさし「水月湖年縞」

放射性炭素年代測定と世界の標準

化石や遺物の年代を調べるための放射性炭素年代測定は、動植物などに含まれる放射性炭素（炭素14）という物質を利用した年代測定方法です。

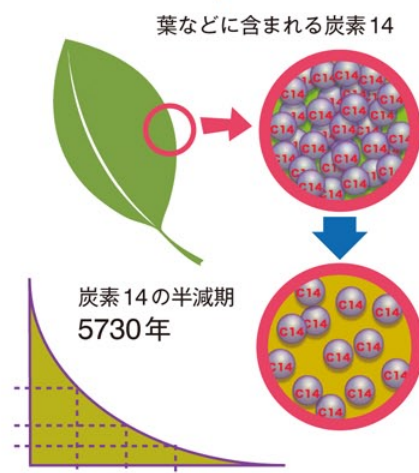
炭素14の量は、動植物の死後、5730年ごとに半分に減っていきます。したがって遺骸などに炭素14がどの位残っているかを調べることで、その動植物が死んでから何年たったのかが分かるというものです。

しかし、動植物に含まれる炭素14の量は年代によって、変動していて一定ではありません。このため、炭素14の量だけで求めた年代は正確ではなく、誤差を校正する必要があります。誤差を校正するにはその年代の炭素14の量を正確に把握する必要があります。

1万3000年ほど前までの炭素14の量の把握には、樹木の年輪がもっとも有効な試料です。年輪の数を数えることによって正確な年代を決定し、年輪の炭素14の量と、年代を照らし合わせる方法を用いることができます。しかし、1万3000年以前の古い木材は入手が困難なため、それを超える年代については、これまで海盆の年縞や浅海のサンゴが用いられていました。これら海の材料は、海水に含まれる炭酸ガスなどの影響により、不確かな部分がありました。

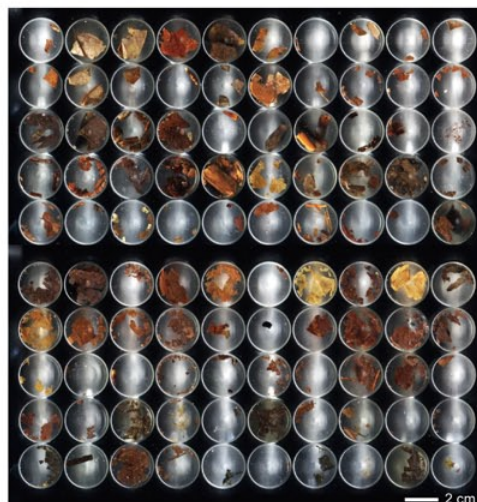
水月湖の年縞は、過去7万年にわたって途切れなく堆積しているため、年輪と同じように縞の数を数えることで、いつの年代のものかわかります。また、年縞に含まれる葉の化石の炭素14の量を測定することで、その葉が落ちた年代の炭素14の量を正確に測定することができました。これにより、世界中で測られた放射性炭素年代は水月湖のデータと対比することで、水月湖の何枚目の縞に含まれた葉の化石に相当し、いつの年代のものかわかるようになりました。水月湖の年縞は世界で最も正確な「世界の標準のものさし」として年代の測定に用いられています。

炭素14とは



炭素14は大気中で生成され、光合成によって植物に取り込まれ、食物連鎖で動物にも広まっていく。動植物の内部における炭素14の量は、死後、新しい炭素が補給されなくなるため、その量が減り続ける。この性質と炭素14の半減期が5730年であることから年代測定が可能となる。炭素14は、地球磁場や太陽活動の変動の影響を受けるため、大気中の濃度は年毎に変化している。

現在、炭素14の量の測定は約5万年前までが限界である。



水月湖の葉化石 (画像提供: 水月湖プロジェクト)

■ 較正曲線 (IntCal13) の概要と水月湖の役割・意義

立命館大学 中川 毅 教授



私たち人類は、自分たちがどこからやってきた何者であるかということに、本能的に興味を持っています。私たちの祖先はいつ、なぜアフリカを離れ、どういいう危険をどうやって生き延びて今に至っているのでしょうか。それは人類学や考古学の質問である以上に、哲学や価値観の問題として重要です。たとえば、ネアンデルタール人は「正確にはいつ滅びて、なぜホモサピエンスに道を譲ったのか」「縄文人は、いつ土器をはじめ手にしたのか」これらの問いに答えるためには、何千年、何万年という長い時間を計る「時計」が必要です。しかし、その時代に機械式の時計や原子時計はもちろん存在しません。地質学には地質学独自の「時計」、あるいは時間を計る「ものさし」があり、その精度を上げるひたむきな努力が続けられています。その「時計」あるいは「ものさし」が、ほぼ決定版と呼べるクオリティに飛躍するために、福井県にある水月湖が重要な役割を果たしたのです。

今からおよそ5万年前までの

時間を計る手段として、世界でもっとも広く用いられているのが「放射性炭素(14C)年代測定」です。しかし、残存する炭素14の量だけから求めた年代は、必ずしも正確であるとは限らず、正確な年代を得るには、測定値を真の値に変換する較正モデルと呼ばれる換算表が必要です。

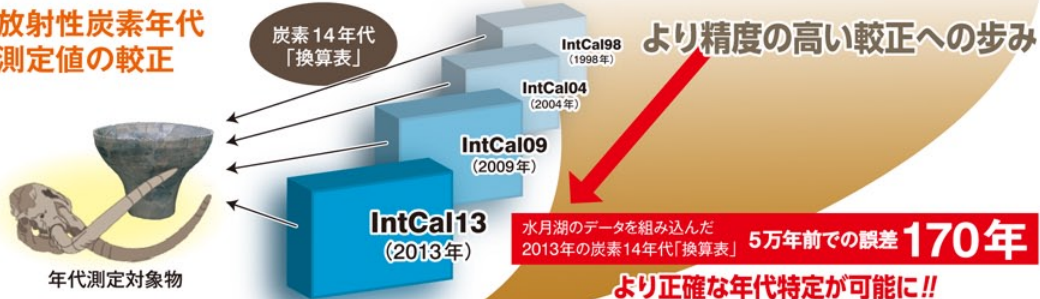
「換算表」は、研究者によってまちまちであってはならず、国際的な合意に基づいて統一されている必要があります。現在、世界でもっとも広く用いられる較正モデルは、IntCalと呼ばれ、1998年に最初に提案されて以来、2004年と2009年に更新を繰り返してきました。

IntCalは例えるなら、メートル原器やグリニッジ天文台と同様に、地質学的な時間に定義を与える国際標準の「ものさし」と言えます。そのIntCalが、再度の更新を受け、2013年9月にIntCal13として公表されました。水月湖のデータは、前回のIntCal09までは採用されていませんでしたが、その突き抜けた品質が評価され、IntCal13では

全面的に採用されました。IntCalには一地点のみのデータに過度に依存することを避けるという原則があるため、IntCal13には、水月湖以外のデータも組み合わせられています。しかし、使用されているデータの数、較正による年代の「決定力」、さらに深海の水や石灰岩などに由来する古い炭素を考慮しなくていいというデータの「純粋さ」のいずれの点でも、IntCal13を構成する要素の中で、水月の存在感が圧倒的であることは明白です。

IntCal13は、多くの研究者の膨大な努力によって作られた歴史の標準「ものさし」であり、水月湖がその屋台骨を支えています。歴史学や考古学にとっての水月湖は、現代の我々にとってのグリニッジ天文台と同じものになったのです。IntCal13を使うことで、過去の出来事が詳細に明らかになり、私たち自身のルーツの理解とそれを踏まえた将来の洞察が、飛躍的に進歩すると期待されています。

放射性炭素年代測定値の較正



水月湖 年縞研究のあゆみ

【1993年 第一次調査】

水月湖で湖底堆積物の採取が初めて行われたのは、1991年のことでした。安田喜憲名誉教授[国際日本文化研究センター]をリーダーとした研究チームの試掘により、年縞堆積物の存在がアジアで初めて確認されました。その後、同チームは1993年に約75mの堆積物を採取。その年縞から、花粉化石を基にした縄文時代開始前後の古気候の変動についての研究成果が発表されました。

【2006年 第二次調査】

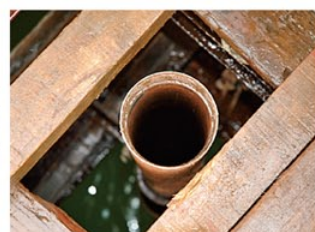
2006年には、中川毅教授[英国ニューカッスル大学]率いる研究チームが、4本のボーリングを行い、約73mに及ぶ完全な堆積物の採取に成功しました。採取された標本「SG06」は、何年もの年月をかけて縞が数えられ、また、縞に含まれる葉化石の放射性炭素年代が測定されました。その研究成果は、2012年に米科学誌「サイエンス」に掲載され、翌年には、水月湖の年縞が、約5万年前までの年代を特定する「世界標準のものさし」となりました。

【2012年 第三次調査】

2012年の調査は、多田隆治教授[東京大学大学院]の研究チームによって行われました。年縞に含まれる黄砂などから偏西風の時代変化を調べる研究や、河川から流入する粘土の堆積速度をもとに降水量を推定する研究が進められています。



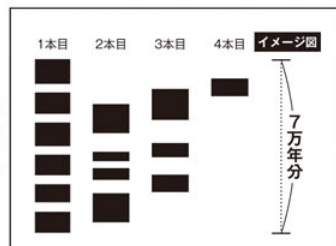
湖上でのボーリングの様子



湖底に通じるボーリングの筒。ここが7万年のタイムトンネルの入り口



2006年の調査時、研究者たちの宿舎となっていた小屋。通称「水月ヒルトン」と呼ばれた



4本のボーリングで約73mに及ぶ欠損部分のない、とぎれののない年縞を採取



保存作業を行う中川毅教授

■ 今後の応用的発展に関する展望

鳴門教育大学 自然・生活系教育部 米延 仁志 准教授

過去を知るということは、どういうことだろうか？ 18世紀英国の地質学者、ジェームス・ハットンが「現在は過去を知る鍵である」と述べ、近代的な地質学の礎を築きました。さらに現代では「過去は未来を解く鍵である」という考えのもと、気候変動の変遷を詳細に調べる研究が世界中で精力的になされています。2013年9月27日に報道された「気候変動に関する政府間パネル」の第6次報告書は、そうした研究が吟味されまとめられたものです。このような国際的に解決すべき切実な課題に応えることは当然、過去を探る科学の重要な役割であるのです。

時間に沿って変化する現象を扱う研究（歴史科学）では、事柄の因果関係を正確に考えるために、物事が起こる順序関係や、異なる地域でのタイミングおよびズレを正確に知る必要があります。そのためには、精度の高い年代の目盛りが必要です。近年、我々の研究グループ（文部科学省新学術領域研究「環太平洋の環境文明史」、領域代表 青山和夫 茨城大学教授）では、考古学者がマヤ文明の代表的な遺跡であるセイバル（中米グアテマラ）で、遺構の開始期

から終末期までを徹底的に発掘し、共同研究者である自然科学者が多数の試料の炭素14年代測定を実施しました。年代測定の結果をベイズ統計という手法でウイグル（小刻みのクネクネした動き）ともよばれるIntCalの曲線にあてはめていくことで、非常に精度よく、文明の継続期間を推定し、この古代都市がマヤ文明最古の公共祭祀建築であり、近隣のオルメカ文明の一時的な影響にマヤ文明が起こったとする従来からの有力説と異なる結果が実証されました。

多数の炭素14年代にIntCal13を適用することで、正確な年代軸に基づいた考古学研究が、今後、日本でも進展します。また、それに向けた努力は既になされつつあり、旧石器時代・後期や縄文時代から歴史時代に至るまでの編年体系の高精度化が期待できます。



セイバル遺跡
（画像提供：茨城大学 青山 和夫教授）

世界の年縞と水月湖の年縞

年縞は、世界ではドイツのアイフェル地方やベネズエラのカリアコ海盆、イタリアのモンティッキオ、中国の龍湾などで発見されています。また、日本でも、水月湖の他に一ノ目淵（秋田県）、東郷池（鳥取県）、深見池（長野県）で確認されています。

これらの年縞は水月湖と同じように、過去の自然環境や地震、洪水などの自然災害、人類の生活と歴史との関係など様々な研究が進められ、地球温暖化の解明や自然災害のメカニズム、人類史の解明など、今後の研究成果に期待が寄せられています。



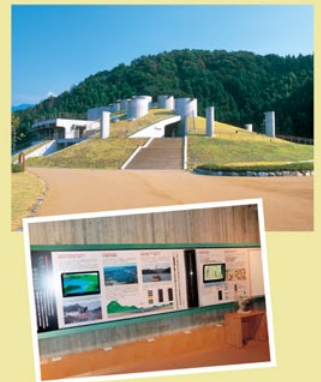


初冬の日暮れ前、水鳥たちが羽を休める水月湖
水月湖を含む三方五湖は、2005年11月、ラムサール条約湿地に登録



若狭三方縄文博物館

水月湖の年縞の実物資料や映像などを常設展示



三方五湖の詳しい観光情報はコチラ

福井県の観光情報サイト



福井県のHPで水月湖年縞の解説映像を放映中

<http://www.pref.fukui.jp/doc/shizen/nenkou.html>

福井県 自然環境 年縞 検索 OK

作成日 平成26年6月