

奇蹟之湖

水月湖 紋泥層

解開歷史謎題之關鍵就藏在湖底條狀紋中

◆ 紋泥層的成因

◆ 形成世界第一紋泥層的可利條件

◆ 從紋泥層中可以知道的事

◆ 世界考古年代測定的標尺
「水月湖紋泥層」

◆ 水月湖 紋泥層研究進程

70000年
SG06
IntCall13
福井縣

奇蹟之湖 水月湖 紋泥層

層層沉積為何？

湖底的條狀紋中，藏有解開歷史謎題的關鍵線索！！



水月湖是三方五湖中最大的湖泊（面積 4.15 平方公里，水深 34 公尺）。經過七萬年歲月沉積，在湖底形成稱為「紋泥層」的條狀紋路。為研究此紋泥層，各於 1993 年、2006 年、2012 年進行了三次學術鑽探。此七萬年不斷的紋泥層與其研究成果，已經受到國內外關注。

紋泥層（右圖）是根據季節變化，堆積不同物質而形成的。一對明暗條紋代表一年，記錄了能了解過去氣候變化，以及自然災害經過的重要線索。

透過紋泥層的分析，可以得到有關當時自然環境（氣溫、水溫、植被等）和自然災害（地震、海嘯、洪水、火山活動等）的高精確度資料，提供國內外各項研究。

此外，紋泥層還可用於校正測量化石及遺址年代的放射性碳定年法。利用水月湖紋泥層資料所建立的校正曲線「InCal13」已於 2013 年 9 月公開發表，據此，考古學及地質學領域中，水月湖紋泥層重要性如同「世界標尺」，使年代測定精準度有了大幅度的提升。



（圖片來源：若狹三方繩文博物館）

三方五湖是位於若狹灣國家公園的三方湖、水月湖、菅湖、久久子湖、日向湖，共五個湖的總稱，已獲指定為國家名勝。

在三方五湖的周圍地區，可以見到繩文時代的遺跡，並且於 2005 年，列入拉姆薩爾公約國際重要濕地名單中。



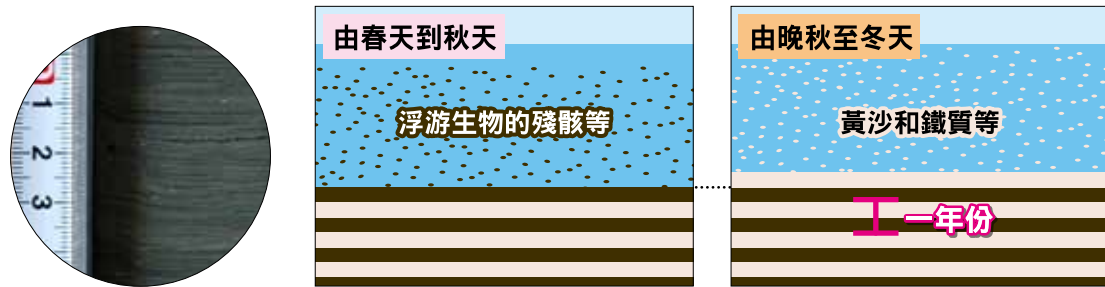
水月湖的紋泥層

紋泥層的成因

為何會形成紋泥層的條狀紋路

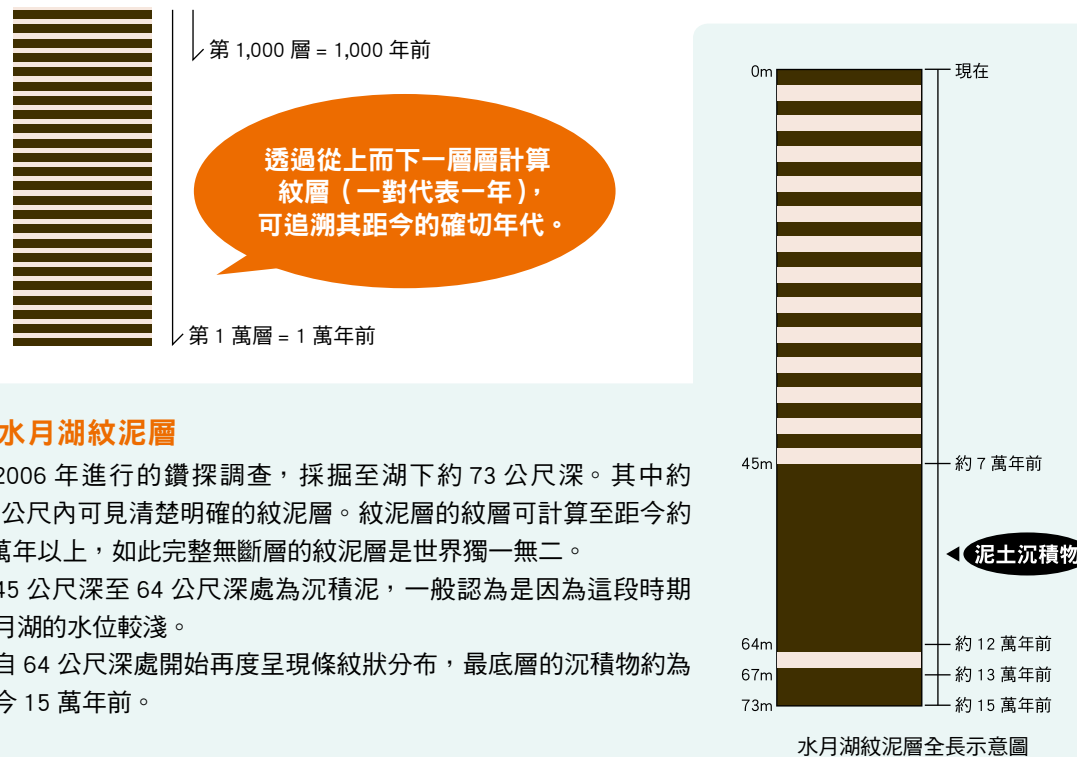
在春天至秋天，會有泥土與浮游生物殘骸等有機物沉積；而晚秋至冬天，自湖水中析出的鐵質與大陸黃沙等礦物質會沉積在水月湖的湖底。有機物含量多的紋層顏色較暗，礦物質含量較多的紋層顏色較亮，一暗一亮的一對條狀紋路代表一年所沉積的紋層。

水月湖的沉積物平均一年僅形成 0.7 毫米，經過七萬年歲月才沉積而成現在的紋泥層。



條狀紋路是什麼時候形成的

紋泥層如同樹木年輪一樣，一年形成一對條狀紋，因此透過紋層計算，便可以年為單位知道該紋層形成的年代。如從上往下數，第 1,000 層的紋層便是距今 1,000 年前，第 1 萬層紋層即為 1 萬年前所形成的紋層。



■ 水月湖紋泥層

2006 年進行的鑽探調查，採掘至湖下約 73 公尺深。其中約 45 公尺內可見清楚明確的紋泥層。紋泥層的紋層可計算至距今約 7 萬年以上，如此完整無斷層的紋泥層是世界獨一無二。

45 公尺深至 64 公尺深處為沉積泥，一般認為是因為這段時期水月湖的水位較淺。

自 64 公尺深處開始再度呈現條紋狀分布，最底層的沉積物約為距今 15 萬年前。

形成世界第一紋泥層的有利條件

水月湖的地形與周圍環境

紋泥層的形成受到地形與周圍環境影響極大。水月湖擁有得天獨厚的幾項條件，因而能不受干擾層層沉積，形成一年一對的完整紋層。其主要條件有以下 4 點。集各項形成紋泥層之有利條件於一身的水月湖，為世界罕有，堪稱「奇蹟」的湖泊。

① 沒有大型河川流入的地形

沒有直接注入湖裡的大型河川，且水深極深，因此不會有大雨沖刷造成的大量水及土石流入湖中，影響湖底沉積。

② 群山環繞的地形

由於周圍被群山環繞，擋住因風而起的浪，所以湖水不會受風吹影響而被攪動。

③ 湖底沒有生物存在

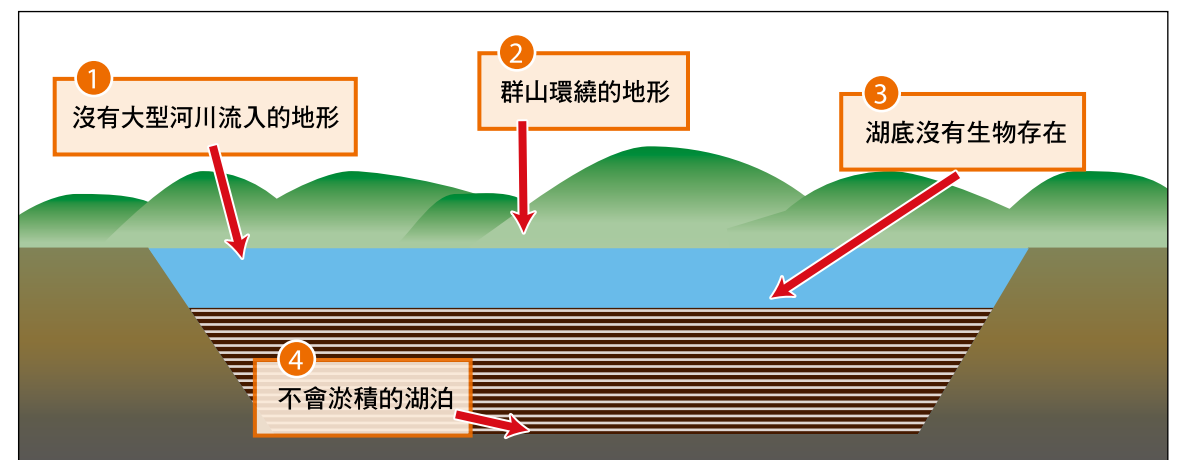
湖水未經攪動，因此水深之處沒有氧氣。亦即生物無法於水月湖中生存，紋泥層也就不會被生物活動擾亂。

④ 不會淤積的湖泊

一般情況下，湖泊會隨時間被上游沖刷下的土石等沉積物掩埋。然而水月湖受周圍斷層影響，長久以來不斷沉積。因此沉積物並未將湖掩埋，而持續堆積於湖底。



大雨後的空照圖。泥沙被沖刷流入變為褐色的三方湖，而照片上半部的水月湖則沒有泥沙流入。可以看到形成紋泥層各有利條件的紀錄照片。(圖片來源：福井新聞社)



從紋泥層中可以知道的事

以年為單位精確區分年代的紋泥層中，含有樹葉及花粉、火山灰及黃沙等物質。分析這些物質，可以復原過去的氣溫及水溫、氣候等變化，建立各年資料。

水月湖中經過七萬年沉積而成的紋泥層，是了解過去自然環境的重要資訊來源。

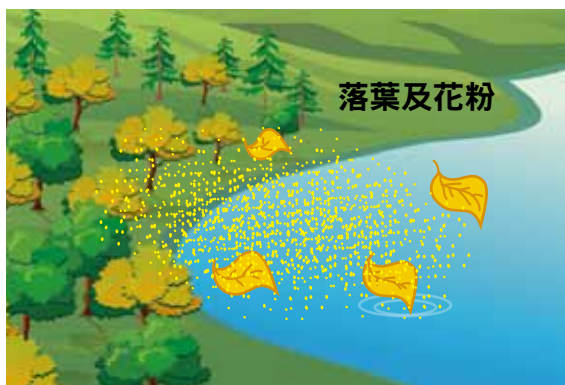
從紋泥層可知過去的氣候變化

從紋泥層中所含落葉及花粉可知

從紋泥層中所含落葉及花粉化石，可以知道當時湖周圍所生長的植物種類，以及當時的氣候和環境。經由研究植物種類的變遷，可以知道氣候及環境的變化，並根據紋泥層可以年為單位，更加詳細了解當時環境情況。

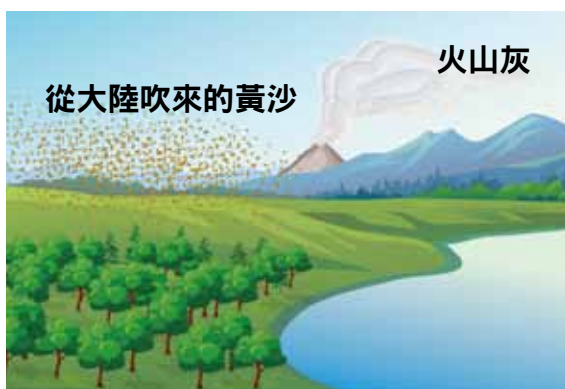


水月湖紋泥層中的樹葉化石
(圖片來源: 水月湖研究計畫)



從紋泥層中所含火山灰、黃沙可知

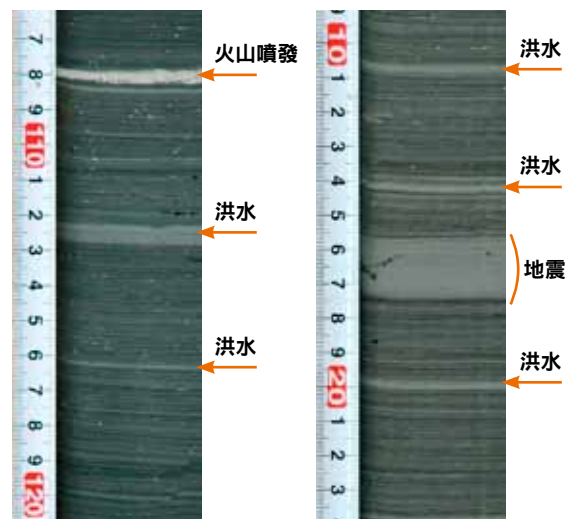
紋泥層中含有火山灰，以及從大陸西風帶吹來的黃沙。從含有火山灰的紋泥層可得知火山噴發的年代，而從黃沙可知道西風帶的風向變化等。



從沉積情形的變化可知

雖然紋泥層的沉積物厚度非常薄，但仔細觀察還是可以發現有沉積較厚、顏色不同的情況，這些即是地震及洪水的痕跡。發生地震時，會有大量泥沙自周圍沖刷流入湖中，形成較厚的沉積層。洪水氾濫時也可以看到沉積情形有所變化。

分析水月湖的紋泥層，可知在過去 3 萬年間，有 12 處因地震造成的較厚沉積層。可望利用地震及洪水的紀錄，預測未來災害發生。



水月湖的紋泥層 (部分)

三方五湖周圍環境變化與人們的生活

3 萬年前 湖周圍區域因為氣候寒冷而乾燥，是一片稀疏生長著雲杉等針葉林的草原。之後冰河期結束，湖周圍的植被逐漸變化為山毛櫸等溫帶落葉闊葉林。



稀疏分布針葉林的水月湖周圍

到了 **1 萬 2000 年前**，氣候經歷逐漸回暖又急遽變冷的不穩定時期，才漸漸變為溫暖的氣候。植物如山毛櫸、櫟木、胡桃等樹木分布開始擴展。一般認為這個時期，為繩文時代的人們於湖邊生活之始。



由針葉林變為落葉闊葉林的水月湖周圍

距今大約 **5700 年前**，山茶等常綠闊葉林（照葉林）以及杉林分布開始擴展。

在湖周圍以鳥濱貝塚為始，發掘出許多繩文時代草創期（1 萬 2000 年前）至前期（5500 年前），紀錄繩文人生活的遺址。因為有盛產樹木果實的山嶺，還有豐富漁獲的湖泊，這裡應該曾是一片食物充沛適宜居住的地方。



繩文時代的水月湖周圍



於若狹三方繩文博物館展示的杉木製獨木舟。水月湖南方的三方湖附近遺跡出土。

世界考古年代測定的標尺「水月湖紋泥層」

放射性碳定年法及世界標準

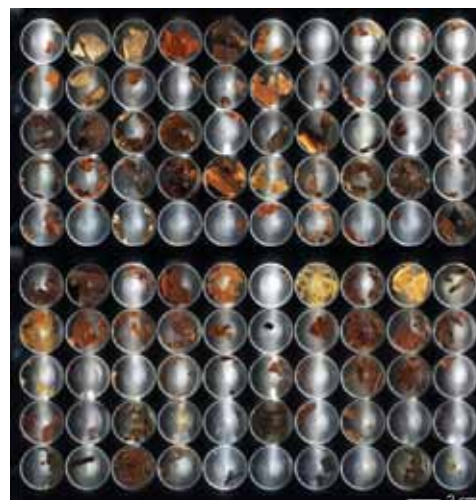
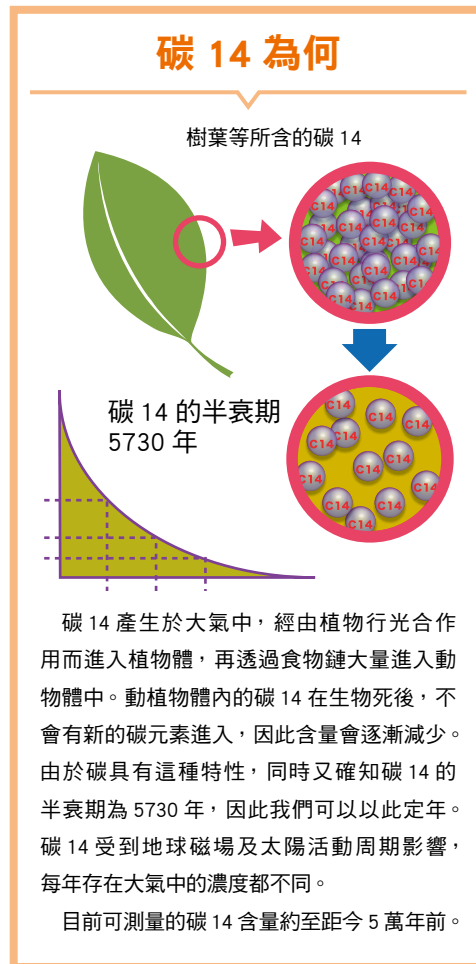
用以測量化石、遺址年代的放射性碳定年法，是利用動植物中所含的放射性碳（碳 14）測定年代的方法。

碳 14 的含量會在動植物死亡後 5730 年降為原有的一半。利用這一點測量遺骸中所剩餘碳 14 的量，可以了解該動植物死亡距今的年份。

然而動植物所含的碳 14 量，依照生成年代不同而有所變化。因此僅由碳 14 的量所測得的年代並非完全正確，仍必須校正誤差。為校正誤差，必須正確掌握該年代的碳 14 含量。

若要掌握距今 1 萬 3000 年內碳 14 含量，樹木的年輪是最有效的樣本。透過計算樹木年輪的數量確定生成年代，以及年輪中碳 14 含量，都可用於比對正確的年代。然而因為找到 1 萬 3000 年以前的古老木材非常困難，一旦年代早於 1 萬 3000 年前，便須利用海底盆地的紋泥層或是淺海珊瑚湖測定年代。這些海洋材料會受到海水所含二氧化碳影響，有許多無法確定的因素。

而水月湖的紋泥層，在過去七萬年都沒有間斷地持續不斷沉積，和年輪一樣，只要計算紋層的數量，就可以得知生成的年代。同時，測量紋泥層中落葉化石的碳 14 含量，便可測量出落葉年代的正確碳 14 含量。據此，比對在世界各地測得的放射性碳定年結果與水月湖中的資料，相當於水月湖中第幾紋層的落葉化石碳 14 含量，便可以知道正確生成年代。現今世界上測定年代，都是使用最精準的「世界標尺」水月湖紋泥層。



水月湖的落葉化石（圖片來源：水月湖研究計畫）

■ 校正曲線（IntCal13）概述與水月湖的角色、價值

立命館大学 中川 毅 教授



我們人類天生就對於自己從哪兒來、自己的存在又是什麼，有著濃厚的興趣。人類的遠祖是在什麼時候，因為什麼理由而離開非洲大陸，經歷什麼樣的險境，又是如何存活下來，繁衍至今呢？這不僅是人類學及考古學的謎題，更是哲學及價值觀的大哉問。例如尼安德塔人「確切滅亡於什麼時候，為什麼會被智人所取代」、「繩文人是什麼時候開始製作陶器」？為了找出這些問題的答案，我們才需要能計算長達幾千、幾萬年時間單位的「時鐘」。但是在那個時代，自然不存在機械鐘及原子鐘。這時，就要仰賴地質學領域中所謂特殊的「時鐘」，或稱計量時間的「標尺」，而地質學家也致力於提高它的精準度。福井縣水月湖對此發揮了重要作用，使得這個「時鐘」或「標尺」的功能大幅度提升，幾近完備。

為測量距今 5 萬年前的年代，一般在世界上最普遍使用的定年法為「放射性碳（ ^{14}C ）定年法」。但是僅從物質殘餘的碳 14 含量

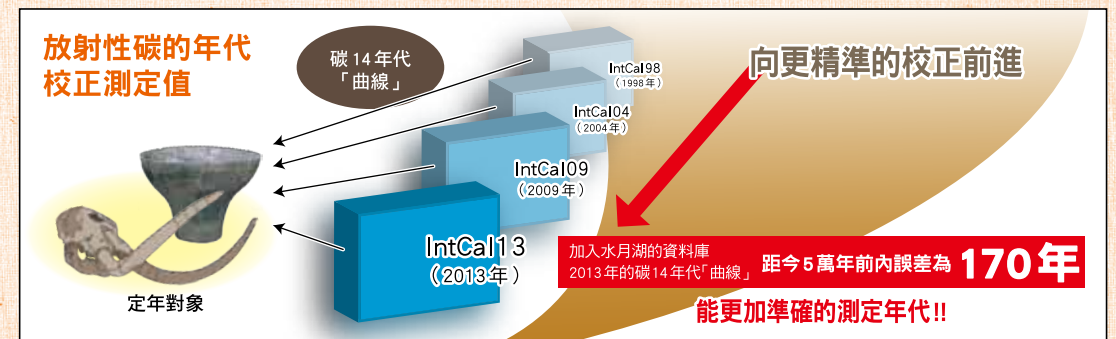
所測得的年代並不完全正確，為得知正確生成年代，還得利用稱為校正模型的曲線，將測定年代轉換為實際生成年代。

對研究員而言，這個「曲線」不能有多重標準，而必須經過國際間協定，制訂統一標準。目前世界上運用最廣泛的校正模型稱為 IntCal，自 1998 年首次發表以來，於 2004 年及 2009 年皆多次更新。

IntCal 就好比像是國際公尺原器和格林威治天文臺一樣，都可說是定義地質時間的國際標準「標尺」。而這個標尺 IntCal 也於 2013 年 9 月再度更新，由學界發表了 IntCal13 標準。在 IntCal09 之前，雖然未曾採用過水月湖的資料，但由於其良好的品質狀態受到肯定，在新的 IntCal13 標準中已開始全面採用。由於 IntCal 標準的原則須避免過度依賴單一地點的資料，因此 IntCal13 也整合水月湖以外的資料。但是，由於所使用的資料數量、用以校正的年代「重要性」，

以及未受深海水和石灰岩的古老碳元素干擾，這種相對「單純」的資料庫特性，使得組成 IntCal13 的原始資料中，水月資料佔了極為重要的部分。

IntCal13 是經由許多研究員付出巨大努力，而製作出的歷史標準「標尺」，其中水月湖便是這個架構的棟樑。水月湖對歷史學家與考古學家而言，就像是格林威治天文臺之於現代人的意義。利用 IntCal13，不但可以明察過去所發生的事，在明白人類的根源，以此為基石洞悉未來方面，也有飛躍性的進展。



水月湖 紋泥層研究進程

【1993年 第一次調查】

1991年首次進行挖掘水月湖底沉積物的工作。安田喜憲名譽教授（國際日本文化研究中心）所帶領的研究團隊進行勘探後，確認了亞洲首次發現的紋泥層沉積物。其後該研究團隊於1993年開挖約75公尺的沉積物，並發表以紋泥層中花粉化石為基礎，有關繩文時代開始前後時期古代氣候變化的研究。



於湖上進行鑽探的樣貌

【2006年 第二次調查】

在2006年，中川毅教授（英國新堡大學）所帶領的研究團隊進行了4次鑽探，成功挖掘厚度約73公尺的完整沉積物。研究團隊計算湖中取得的標本「SG06」紋層數量，了解其累積的年份，並測定紋層中落葉化石的放射性碳年代。此研究成果刊載於2012年美國科學雜誌《Science》，翌年水月湖紋泥層即成為可為5萬年內年代定年的「世界標尺」。

通入湖底的鑽探井，這裡就是7萬年時光隧道的入口

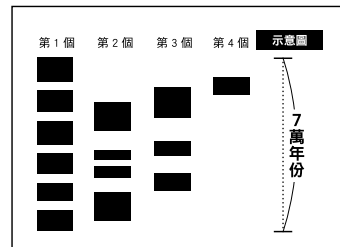


2006年調查當時，成為研究員宿舍的小木屋。被研究員戲稱為「水月希爾頓飯店」

【2012年 第三次調查】

2012年調查活動，為多田隆志教授（東京大學研究所）帶領的研究團隊所進行。由紋泥層中所含黃沙可以研究西風帶的時代變化，根據河川流入的黏土堆積速度還原降雨量的研究也有大幅進展。

4個鑽探井取出約73公尺深，無缺損的完整紋泥層。



正進行保存作業的中川毅教授

未來應用發展前景

鳴門教育大學 自然與生活教育系 米延 仁志 副教授



所謂理解過去是什麼意思呢？18世紀英國地質學家詹姆斯·赫登曾說「現在是通往過去的一把鑰匙」，為近代地質學奠定了基礎。基於「現在是通往過去的一把鑰匙」這個概念，現代世界各地的地質學積極致力於研究氣候變化的詳細變遷情形。2013年9月27日報導的「政府間氣候變遷委員會」第6次報告書中，便是基於這樣的觀念而加以總整地質學研究。如此不僅能回應國際上迫切須解決的課題，更對探索過去的科學起了重要作用。

動)的IntCal曲線進行多方比對，由於準確率極高，不但推定馬雅文化的延續時間，也由於這座城市有其文化中最為古老的公共祭祀建築，更推翻長久以來所認為的，馬雅文化起源受到鄰近奧爾梅克文化單方面影響的說法。大部分的碳14年代都適用IntCal13曲線，日後日本也將發展以正確時間軸為準的考古研究。同時，有鑑於目前所做的努力，提高舊石器時代後期、繩文時代至歷史時代的編年體系精準度目標指日可待。

在研究沿時間變化之各種現象的領域（歷史科學）中，為正確掌握事物因果關係，必須確知事物的發生順序、不同地區發生的時間點以及偏移。為此，學界需要精準的年代刻度。近年來日本研究團隊(文部科學省新學術領域「環太平洋區域環境文明史」，領域代表 青山和夫 茨城大學教授)中的考古學家，於馬雅文化代表性的賽巴魯遺跡(中美洲瓜地馬拉)進行遺跡自開始到滅亡時期的全面挖掘時，共同研究的自然科學家利用碳14為大部分樣本定年。將定年結果利用貝氏定理，將稱為擺盪(小幅度的振



賽巴魯遺跡 (圖片來源:茨城大學 青山和夫教授)

世界各地的紋泥層與水月湖紋泥層

紋泥層也分布於德國艾菲爾山脈地區與委內瑞拉卡里亞科海盆、義大利蒙地丘、中國龍灣等地。並且在日本除了水月湖之外，一之目瀉(秋田縣)、東鄉池(鳥取縣)、深見池(長野縣)也發現了紋泥層。

這幾處紋泥層與水月湖相同，都使針對過去自然環境及地震、洪水等自然災害，人類生活及歷史的關係等研究有顯著進展，在說明地球暖化等天災機制，以及人類史的研究方面，更讓人期待今後的研究成果。



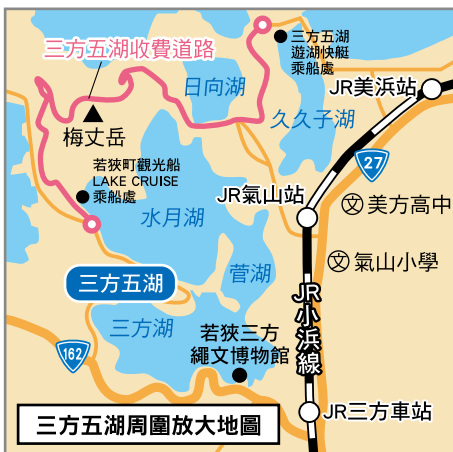


初冬日落之前，水月湖上闔羽休息的水鳥。
 含水月湖在內，三方五湖於 2005 年 11 月列入拉姆薩爾公約國際重要濕地名單中。



若狹三方繩文博物館

常設展出水月湖紋泥層實物與影像資料等



三方五湖詳細觀光資訊請按此

福井縣觀光資訊網站

福井「越前・若狹」の旅情報

http://www.fuku-e.com/lang/chinese_t/index.html

現正於福井縣官網頁播放水月湖紋泥層的解說影片

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