

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟

—測量結果から見た役行者窟の形態の特徴と形成機構—

大橋 健 *Tuyoshi OHASHI* 沢 勲 *Isao SAWA*
籠 正二 *Shoji KAGO* 渡部貴史 *Takashi WATANABE*
門田真二 *Sinji KADOTA* 多田真之 *Masayuki TADA*
押谷梨絵 *Rie OSHITANI* 中西真基 *Masaki NAKANISHI*
中村一臣 *Kazuomi NAKAMURA*

The Lacustrine Cave of Chikubu-shima Island in Lake Biwa

—*A Geomorphologic Analysis on the Figure's Character and
Formative Process*—

ABSTRACT

From the viewpoint of Environmental Speleology, it investigated about "En-no-Gyoujya-Kutu(cave)" of Chikubu-shima Island in the Lake Biwa. Consequently, it checked that this cave was a lacustrine cave. Position of the cave entrance retreats about 5m from present lakeshore line, and is higher than the level of lake about 4m. The cave developed into granite along the shuttered zone, 4m in width witch caused by fault. Strike of the fault gauged 10° E,almost vertical in dip.Faulting is almost perpendicular to shore-line and it was brought straight line shape of the cave.

The length to retreat point from the entrance is 35.88m and height is 5.4m. Corridor-like caves shape just like cross section of Kamaboko (boiled fish paste) with about 2m in height and 1.5-2m in width, inclined and continues to inside about 13m. An air dome with 3.5m in width,7m in length, and 4m in height is in a constriction part with inside water part which is about 14m, and its back. The small air-dome with 4m in height,5m in length is formed also in the gorge part. The difference of inside water level to the altitude of entrance account 4m and the altitude of the water level is almost the same as that of the lake level. Several articles of the dark mark remained on the surface of cave wall. It is pointing to the altitude of old shore level,

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

respectively.

The form of elevated lacustrine shelf and development correspond closely with change of the lake level, and the relation was shown in Fig.10. It sees from stage of development, this cave passes over the maximum stage of growth, and is in a destructive stage.

As a result of crash of the ceiling which consists of shuttered rock activating and carrying out embolism of the entrance of the cave part to the rise term of altitude of lake level, the aspect of the elevated cave is presented as 2nd order-modification.

Key words : *Lake Biwako, Lacustrine Cave, Fault cave, Lake Level Changing, Environment Speleology*

[大阪経済法科大学論集 第91号] [*The Review of Osaka University of Economics and Law Vol. 91 (2006), pp 1-13*]

1. はじめに

湖水の浸食作用によって形成された湖食洞(Lacustrine Cave)は国内はもとより世界の海岸各所に見られる海食洞 (Marine Cave/Sea Cave) のようにポピュラーな洞窟でない。洞窟学用語としても Lacustrine Cave は曖昧模糊としており、2次的に沈水した湖底洞窟や湖岸に位置する洞窟を混同しているケースが見られる¹⁾。そして、具体的事例や調査の報告は皆無である。

筆者の一人（大橋）はすでに20数年前、湖底遺跡調査の延長として琵琶湖の竹生島の2つの洞窟—えんのぎょうしやくつ役行者窟と水中霊窟—に潜入し、それらが湖食洞窟であるという確信を得ていた。但し、その時に作成した実測図が所在不明で今日まで報告を見合わせざるを得なかった。

竹生島にある洞穴の存在は役行者が開いた宗教の行場として奈良時代以前から知られていた²⁾。現在もなおそこが修験道の行場をなし、聖域であるという理由から学術調査の対象とされることもなく、洞窟の規模や形状の実態、成因などが注目されることがなかった。

2005年9月、第31回日本洞窟学会が地元の多賀町で開催されることが決定した。それを契機に竹生島の洞窟の再調査を企画し、立命館大学探検部洞窟班の

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

協力のもと7月9日に測量を実施した。その成果に基づき洞窟の形状や成因などの再検討を試みた。本稿は昨秋の日本洞窟学会発表要旨に加筆した。ここに報告し、先学の御教示を得たい。

2. 調査の目的と方法

今回の調査は最も基礎的な実測作業を中心に、洞口周辺や洞内の地形・地質の観察と写真記録などを行った。それらの成果をもとに洞窟形態の特徴、洞窟形成プロセスや形成速度等について検討した。さらに、環境洞窟学の視点から完新世後期の琵琶湖の水位変動と洞窟形成プロセスとの関係を考察した。泥や砂浜湖岸と比較して、本地区のような岩石湖岸は過去の湖水位の位置を反映した微地形—湖食洞・ノッチや湖食棚など—の保存条件が格段に優れていると期待される。

これまで、琵琶湖の水位変動について陸水学、考古学、地形学、地質学、地理学および歴史学などさまざまな分野から研究が行われてきている^{3),4),5)}。だが、地盤運動の地域の変化が大きく、それぞれの規定要因の識別はきわめて困難であり、絶対的な旧汀線高度の復元は必ずしも成功していない。そこで、湖食洞窟の発生、成長、破壊のプロセスを既往の研究成果として復元されている湖水位変動曲線との整合性、島を廻る湖岸の浸食地形、北湖の気象や波浪特性等との関連などから検討した。

3. 竹生島と洞窟の概要

竹生島は北湖に浮かぶ周囲約2キロ、面積約1.4平方キロを有し沖ノ島に次ぐ琵琶湖中で2番目に大きい島である（図1）。最高地点は北縁部の標高197.4メートルである。島の長軸は北東から南西方向を示し、北湖の湖盆を規定する南東—北西の活構造線群と交差関係にある。

竹生島が水深85mの湖底平原から岩の柱のように突出している様相はまさに要石伝承を具現化しており、島の周囲は切り立った花崗岩の急崖をなしている

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

(図2)。沈水した湖食崖の基部と湖底が交わる部分には岩壁に衝突した湖水の逆潜流によってもたらされた浸食地形と見なされる多数の kettle hole が形成されている。泥、砂浜からなる不安定な琵琶湖岸と比較して岩石からなる本島の湖岸は旧汀線・古水位の位置の痕跡を良好に保存するという優れた条件をもっている。こうした点から湖中に位置する竹生島は絶好の調査地点と見なされる。

今回の現地調査では水質汚濁が凄まじい南端湖岸の「水中霊窟」の調査を断念し、北岸の「役行者窟」(図3)に集中した。

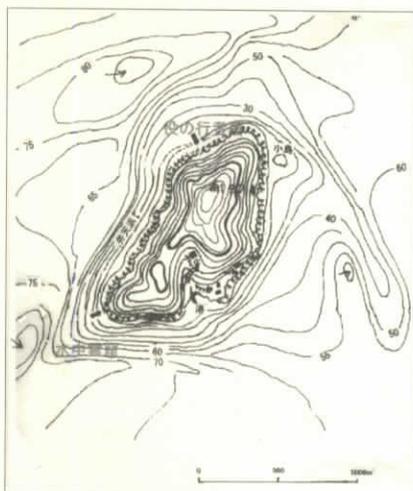


図1 竹生島と洞窟の位置

Fig. 1 The Locality Map of Chikubushima Island and Caves



図2 竹生島の湖食崖

Fig. 2 Lacustrine Cliff developed around Chikubushima Island



図3 破碎帯と役行者窟の洞口

Fig. 3 Shattered Zone and the Entrance of En-no-Gyoudjya-Kutu (Cave)

4. 調査の結果

4.1 平面図と縦断面図

スイス・ライカ社製の携帯用レーザー測距計とストコンパスを使用して実測した（図4 A・4 B）。縮尺は100分の1、グレードCである。なお、縦断面図の作成に際して浸食基準面である琵琶湖の水位を0メートルとした。

洞口位置は湖岸線から約5m後退しており、湖面からの比高は約4m（図4 B）、そこから高さ2m、最大幅約3m、平底をなしカマボコ型の断面をもつ傾斜洞窟（図5）が奥へむかって14m続いている。その奥は狭窄部（図6）となり下部が約1.2mほどにわたり湛水している。水面と入口からの高低差は

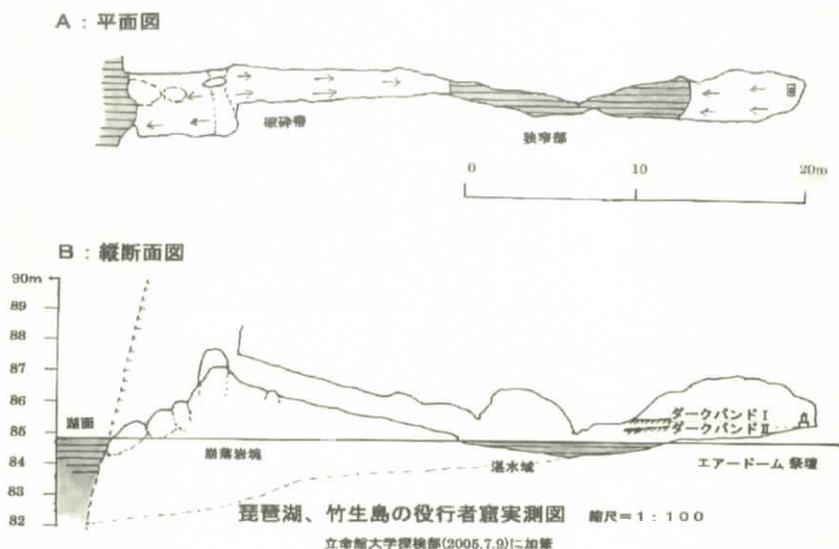


図4 役行者窟の実測図（A：平面図、B：縦断面図）

Fig. 4 Surveying Chart of En-no-Gyoujya-Kutu (Cave). A is plane, B is Longitudinal Section



図5 役行者窟の洞口から続く傾斜部分
Fig. 5 Declined Tunnel Part of En-no-Gyoujya-Kutu (Cave)

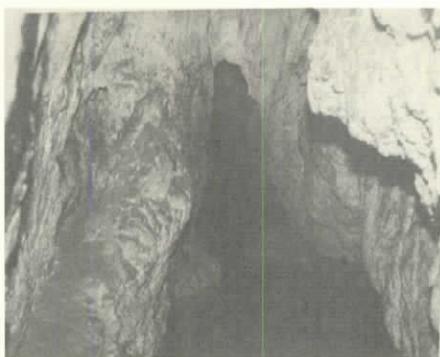


図6 役行者窟の中央の挟さく部
Fig. 6 Garge Part in Central Part of En-no-Gyoujya-Kutu (Cave)

4 mで、ほぼ洞外の湖面高度と同一である。最も狭くなった箇所は大人が体を横にしてやっと通過できる幅であり、その最大水深は1.3mを測る。

狭窄部の天井は高さ3.5m、長さ5 mの丸天井／アーチ状をなしている（エアードームⅠ）。さらにその奥は洞床が徐々に高まり湛水面より高い。そこは長さ7 m、幅4 m、高さ3 mのエアードームⅡを形成している。洞口からエアードームⅡの突き当たりの岩壁（図7）までの距離は34.58mに達し、洞奥には祭壇が設置されている。



図7 洞窟の最奥部と祭壇
Fig. 7 The Retreat Point and an Altar of the Cave

縦断面図上で見る洞床は中央部が低く、両側に高くなる皿状の形をなす。その最大高度差は5.4mである。ただし、前半部の洞床は岩盤ではなく崩落層から構成されており、直径数10cm～数m大の岩塊が散在している。base slopeは確認できないが、層厚は数mと推定される。したがって洞窟の高低差は最大10m前後と見積られる。（洞内湛水面の高度は外の湖水面とほぼ同一である。

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

その水深は最大1.3m。洞内の最大高低差は5.4m、洞口から Retreatpoint までの奥行き長さ34.58m、roof slope から2つのエアードームが認められ、水底部分は凹型を成している。横幅2m前後で中央部に最も狭く50cm足らずのゴルジとなっている。洞底地質を見ると入口から奥へ20m 付近までは崩落層の堆積面から構成されており base slope の正確な高度や勾配は不明である。

4.2 地質

造洞層は花崗岩の垂直に近い湖食崖であり、その中に湖岸線に直角方向の断層（N10° E、幅4m）破碎帯が形成されている。この弱線部に沿って選択（差別）浸食が進行した結果洞窟が形成された。すなわち、役行者窟は断層洞窟である。島の南端に位置する水中霊窟もやはり類似の地質構造をもつ。島の南岸沿いの湖食崖中にも多数の断層破碎帯が見られるが、そこに選択浸食による窪みが形成されている。比較的大きな窪みが5箇所ほど観察できたがいずれも洞窟を形成するまでに後退してはいない。被浸食体となる岩盤条件よりも南岸と北岸との波浪の強さの違いに規定されているためであろうか。

4.3 湖岸地形／湖食棚

北東湖岸にのみ卓越している（図8）。湖面からの比高は+0.9mを示している。明治初期の排水口である瀬田川の浚渫工事により0.9m±湖水位が低下した事実が記録されている（秋田弘毅1997）。ただし、そのことが湖食棚形成が単純に対応しているとすれば水位変動は全湖的なものとなるはずであり、竹生島の北西から南西岸にかけて湖食棚がまったく認められないという事実を説明できない。

島の南端の水中霊窟の洞口はほとんど

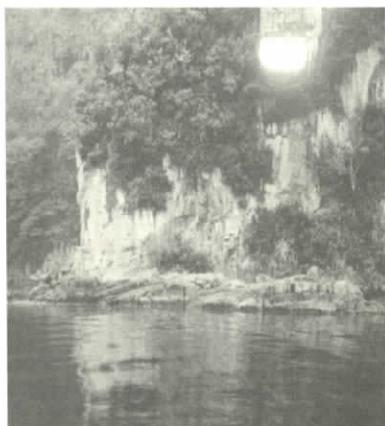


図8 竹生島にある湖食崖
Fig. 8 Wave Cut Platform at Chikubushima Island

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

湖水面に覆われている。こうした事実から沈水現象の可能性も無視できない。湖食棚分布の局地的差異と併せて北東から南西方向への島の傾動の変位についても今後の検討課題となろう。すなわち、柳ヶ瀬断層系に平行する姉川地先の湖底活断層群の影響を十分考慮する必要がある。活断層に沿って姉川地震（明治42年1909、M6.9）をはじめ歴史地震の記録が多い。汀線付近で堅牢な花崗岩の中に湖食棚が形成されるためには最小限でも数10年から100年を超える長期間にわたり同一湖水位が維持しているという条件が必要であろう。



図9 洞壁に残るダークマーク
Fig. 9 Dark Marks on the Insidewall of the Cave

4.4 古水位の復元／ダークゾーンⅠ・Ⅱの高度測定

洞窟の最奥部の洞壁（花崗岩）に2層の黒褐色の帯状の筋（ダークゾーン）が認められる。

ダークゾーンの正体は岩肌に付着した湖面の浮遊物（木片や藻屑など）である。それは旧汀線を指示する痕跡と見なされる（図9）。上位のもの（Ⅰ）は湛水面より+1.4m、下位のもの（Ⅱ）は+0.9m高い。Ⅱの方が明瞭であり、時期が若いものと判定される。

5. 考 察

5.1 洞窟の発達位置と条件

①島の北側湖岸にのみ湖食洞が発達することより、そこが季節風の風向最大頻度および風力の集中する場所で、洞窟形成営力としての強い波浪が発生する

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

こととの緊密な対応が予想される。さらに、②堅牢な花崗岩の急崖とその中に発達した断層破碎帯の存在という地形・地質学的条件が選択浸食の促進に繋がった。

5.2 洞窟の形状特性

狭長で直線な洞窟形状の規定要因として基本的には地質条件、湖岸線に直角方向で発達する断層とそれに派生した破碎帯の存在が最も重要視される。

洞口の大きさに対して奥行きが10倍以上も大きいのは断層洞窟の特徴である。すなわち、破碎帯という弱線部に沿い湖食作用の差別（選択）浸食が進行したため40mにも達する deepning が生じた。

5.3 擬似離水洞窟

洞口が湖岸から5mも後退し、4mも高位にあるのは洞口付近の天蓋部からの崩落層による2次的変形の結果であり、本洞は擬似離水洞窟といえる。すなわち崩落層の基底面が真の洞底面 base slope ということになる。おそらく、崩落層の厚さ（5m）プラス数mの深度に達するであろう。変化しつつある旧汀線高度が浸食基準面となり多段洞窟化が進んだ。

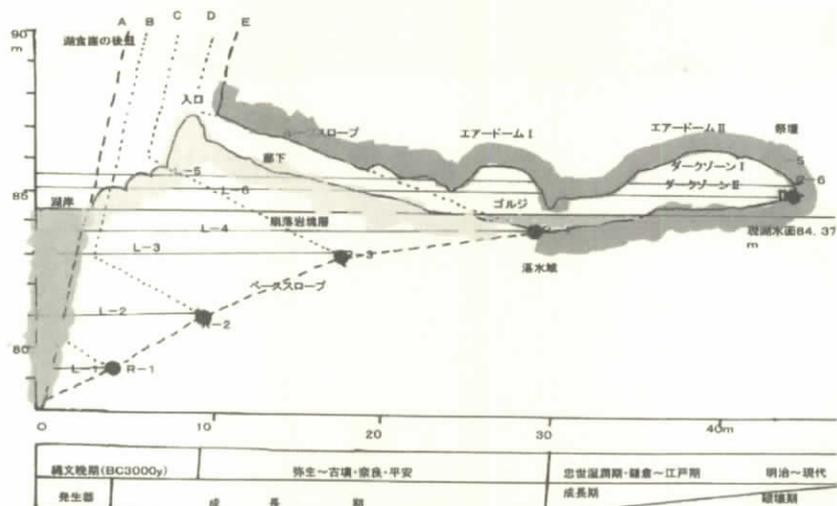
5.4 エアードーム

洞内にある2つのエアードームは旧汀線高度と湖食作用という視点から地質学的に検討してみると、高水位期の洞窟の後退点 retreat point に合致するもので、洞内に侵入した波浪のエネルギーの最大となる箇所であり、破碎部の崩落が最も活発となるため球形に近いエアードームが形成された。

5.5 湖水位復元と洞窟の発達ステージ

すべて洞窟は発生・成長・破壊・消滅プロセスの時階をもつ。本洞の場合、5m前後の低水位期（縄文晩期、BC3000y）に発生期、汀線高度の上昇期に対

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）



「役の行者窟」形成過程模式図(大橋健原図2005)

図10 役行者窟の形成過程模式図

Fig. 10 Schematic Process of En-no-Gyoujya-Kutu (Cave) Development

応して成長期、最高水位期に roof slope の崩落が急速に進み、その結果として入口部の塞栓が起り、以降は波浪の直撃による成長が停止し破壊期を迎え現在に至っている。洞窟形成過程のシュミュレーションを図10にまとめた。

5.6 形成時代・速度

既往の琵琶湖の湖面変動曲線を参照としながら、役行者窟の形成過程を検討してみよう。初生期は BC3000 y の縄文晩期の低水準期 (-5m) 以降に推定される。そのように仮定したなら役の行者が3000年間に40mの長さで成長したことになり、成長の単純平均速度は $40\text{m} \div 3000\text{年} = 13\text{mm}/\text{年}$ となる。エアードームの地形分析、旧汀線高度の復元結果などからエアードームより奥の部分(エアードームIIのR-5までの約10m)はAD700年以降の中世湿潤期の高水位期³⁾に急速に成長した可能性があり、成長速度が間歇的であったと見るべき



図11 竹生島にある湖岸の崩壊
Fig. 11 Collapsed Shore of Chikubu-shima Island

島の東部が隆起、西部が沈降した地殻変動の影響を反映したものである公算も無視できまい。すなわち、明治44年（1909）姉川地震の影響が予想される。なお、20数年前には認められなかった湖食崖の岩塊崩壊箇所（図11）は1995年1月17日の兵庫県南部地震の時に発生したものであろうか。

であろう。

5.7 湖食棚と地震

旧湖（波）食面／典型的な wave cut platform は現湖水面より+0.9m 前後の位置で、島の北東部の岩石湖岸湖岸にのみ分布している。明治初期の瀬田川浚渫期前の高水位期の存在を示すものであろう。南西部湖岸に認められないという分布の偏在性から地震にともない、

6. むすびに

- ①水中霊窟の比較調査および南岸と北岸の湖食地形の比較
- ②大深度・沈水洞窟の調査：水中ロボットカメラを利用した破碎帯に沿う-85m までの湖底の岩盤に残された古水位の記録の追跡。さらに長期の第四紀後期の琵琶湖の古水位復元と環境変遷史が明らかにできることが期待される。
- ③波浪の実態の把握：北湖の風向頻度分布、風力と波浪／最大波高
- ④高水位期と湖食棚・ダークマーク I・II の絶対年代の測定
- ⑤洞窟の保存・管理問題：学術的に貴重な洞窟であり、本邦で唯一、初めての報告事例となるであろう。海外の事例に関する確認作業が必要である。ちなみに、Lacustrine cave（湖食洞窟）という Term は洞窟用語辞典等でも曖昧なままである。一方、自然史遺産という視点からの保全問題が浮上する。すで

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

に破壊過程にある本洞窟の危険度が大きい点を十分考慮した維持および管理が望まれる。

謝 辞

湖北町尾上のレークダイビング（有）大村仁氏には20年前と同様に配船等現地でご支援をいただいた。畏友でカメラマンの寿福滋氏には20年前、役行者窟と水中霊窟と一緒に潜入した時に撮影した貴重な写真を借用させていただいた。記して深謝の意を表します。竹生島の宝厳寺には現地調査の経緯に関わり多大なご迷惑を懸け、とりわけ峰覚雄管主にはご心労とご足労を賜った。記して深甚の謝意を表します。なお「役の行者窟」は修験道の聖域で、現在も宝厳寺の所有、管理下にあり「無断立ち入り禁止」となっている。

< 註記および参考文献 >

- 1) 湖食洞 (Lacustrine Cave) : 湖水面を浸食基準面として、湖岸の岩壁基部において湖水の浸食作用により形成された洞窟 (成因的定義)。陸上で形成された洞窟がなんらかの原因で湖底に沈水したものならびに湖岸に位置している洞窟とは区別する必要がある。近年発行され洞窟百科事典 (John Gunn Edited (2004): Encyclopedia of Caves and Karst Science pp.902) には Lacustrine Cave の用語は掲載されていない。
- 2 a) 木村至行 (2001) 『琵琶湖—その呼称と由来—』 サンライズ社、淡海文庫 21 「島の北側には役行者窟と呼ばれる神秘的な洞穴がある。島の中でも特別な場所を示すかのように入口にしめ縄が張られ、洞穴の奥へ約十五メートル進むと行場があるといわれている。船で近くに寄った時ポコポコという音が洞穴から聞こえてきたことをいまもはっきりと記憶・・・」 p 95
- 2 b) 『拾芥(略要)抄』 鎌倉中期に成立した有職書。一種の百科事典。平安中期の有識を知るのに便利。

琵琶湖、竹生島の湖食洞窟（大橋、沢、籠、渡部、門田、多田、押谷、中西、中村）

- 2 c) 浪華書林塩屋忠兵衛・河内屋喜兵衛・河内屋太助（文化十一年1814）『近江名所図絵』柳原書店（復刻版1974）「東の岩下岸に、東西へ通ずる穴あり。水通うて流る。穴のなかに熱気あり・・・」
- 2 d) 『近江輿地誌略』巻之八十七、歴史図書社「島の半腹に孔あり、孔左右に通ず。窮臘の夜、社僧島外を廻り、大繩を引き燭を採て孔に入り、左より入りて右に出て本島にこの大繩をかくる也。所謂之を島繋ぎの神事という。」
- 2 e) 宝巖寺寺務所（1975）『竹生島誌』
- 2 f) 『竹生島縁起』室町時代の応永二十一年（1414）、『溪嵐拾葉集』応長元年（1311）から貞和三年（1347）の間に比叡山延暦寺の天台僧光宗によって編述された。その中で、岩窟は陰月と記載され、竹生島明神は弁の岩屋と呼ばれる「龍穴」から出現し、「鷲の岩屋」へと影向(出現)した・・・] p519
- 3) 池田碩・大橋健・植村善博（1991）「滋賀県・近江盆地の地形」、『滋賀県自然誌』所収、106-29
- 濱 修（1994）「湖底の遺跡と集落分布」、『琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告』2号、所収、97-110
- 秋田裕毅（1997）『びわ湖湖底遺跡の謎』創元社
- 丸山竜平（1984）「多影島発掘調査」、水資源開発公団琵琶湖開発事業建設部『琵琶湖と埋蔵文化財』所収、185-198
- 黒田日出男（2003）『龍の棲む日本』岩波新書
- 4) 松井章（1998）「粟津湖底遺跡の成果」滋賀文化財教室シリーズ第73号、滋賀県文化財保護協会
- 5) 蔦田敏行・柏谷健二・兵頭政幸・増沢敏行（2002）「余呉湖・湖沼堆積物解析から推定される後期完新世の湖沼一流域水文環境変動」地形、第23巻第3号、415-431

100

100

100

100