

資料

中浦水道のトンボロ

渡辺正巳^{1*}・平石 充²Tombolo of the Nakaura Channel, Shimane pref.,
Southwest JapanMasami WATANABE^{1*}, Mitsuru HIRAISHI²

Abstract: To verify the description of the Nakaura Channel described in *Izumo no kuni fudoki* (the topography of Izumo Province), I reconstructed the topography of the lake bottom in the waters surrounding Eshima island using hydrographic charts from a survey conducted in 1952.

The result revealed that a tombolo existed in the Nakaura Channel, and the area of this tombolo during the Nara Era was reconstructed.

Furthermore, the lake shallows in the Eshima north water area and the remains of dredging work from the Edo to Meiji Era in the Eshima northeast water area were detected.

Reclamation efforts in Eshima were undertaken on the tombolo in the Edo Era and on the lake shallow in the Showa Era.

Key words: *Izumo no kuni fudoki* (the topography of Izumo Province), tombolo, Eshima Island, Yumigahama Peninsula, Lake Nakaumi

はじめに

「出雲国風土記」は、元明天皇の命によって奈良時代の和銅6(713)年から日本全国で編纂が始まった「風土記」の一つである。また、「出雲国風土記」は奈良時代の天平5(733)年に完成し、ほぼ完本の形^{*1}で伝わる唯一の「風土記」である。ここには

奈良時代の出雲国（島根県東部）について、行政のほか地理・地形、農水産物、神話（伝承）など多岐に亘る事柄が記述されている。

「出雲国風土記」には、中海に浮かぶ江島（蜈蚣島：風土記での名称）と弓ヶ浜半島（夜見島^{*2}：風土記での名称）、中浦水道（図1）についての記述があり、江島について周囲が五里一百卅歩^{*3}、対岸の夜

¹ 島根大学エスチュアリー研究センター、文化財調査コンサルタント株式会社

² 島根県古代文化センター

* Corresponding Author

受付日：2023年3月17日、受理日：2023年6月10日、WEB掲載日：2023年7月30日

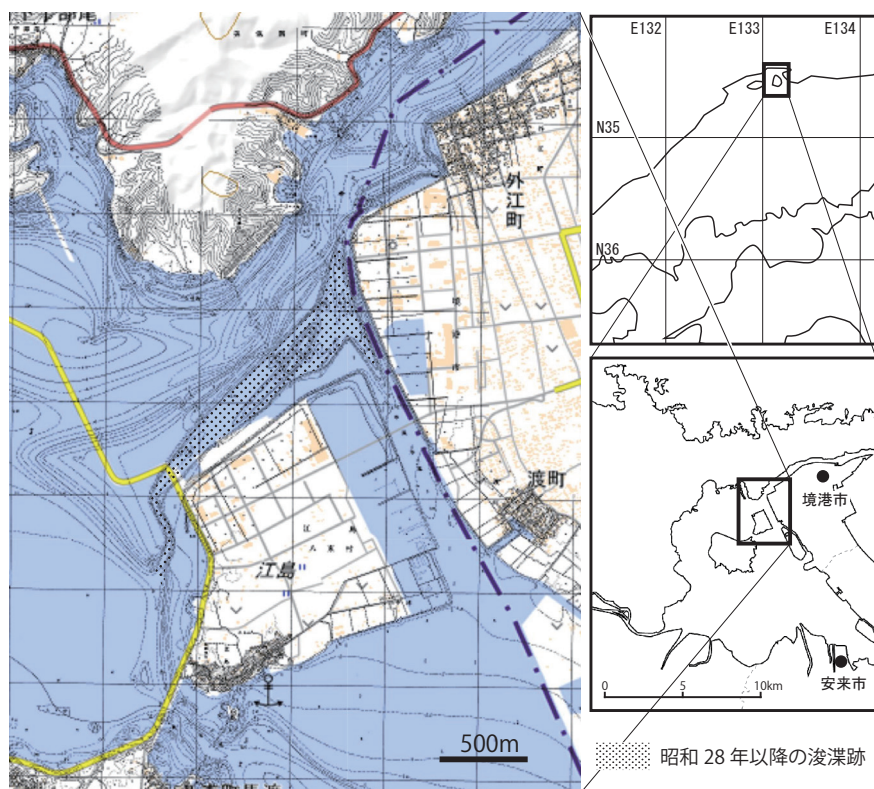


図1 調査位置図.

国土地理院発行 1/1 万湖沼図「中海」(国土地理院, 2023a) を利用.

Fig. 1 Location map of the study area.

Base map is the 1:10,000 scale Nakaumi lake chart by the Geographical Survey Institute of Japan.

(collection of the Matsue History Museum).

見島までの距離二里とされている。また、中浦水道について、満潮時の深さ二尺五寸、干潮時には干上がるとされ、干上がった際の陸繋部の幅（著者の解釈）が六十歩とも記されている。この様な記述から、中浦水道（江島と弓ヶ浜半島間）に、長さ 1 km 以上、幅 100 m 以上のトンボロ（陸繋砂州）の存在が示唆されていた。

現在の江島は、宝暦 4 (1754) 年以降明治時代にかけて行われた小規模な埋め立て事業と、昭和 37 (1962) 年以降続いている「江島代行干拓事業」、

「国営中海土地改良事業」と「重要港湾：境港 関連の整備事業」による大規模な埋め立てと中浦水道の拡幅などによって形作られている（渡辺・平石, 2023）。更に昭和以降の干拓事業と港湾整備によって、周辺水域の浚渫も進んだと考えられる（渡辺・平石, 2023）。このため、「出雲国風土記」の記述から示唆されるトンボロの大部分は埋め立てられたか、削られたと考えられる。

中海・宍道湖周辺地域を対象とした地質学的研究は、1980 年代から盛んに行われるようになった（徳

*1 幾つかの写本が現代に伝わっているが、それぞれに書き損じや欠落が存在するとされる(沖森ほか編, 2016)。

*2 「出雲国風土記」では江島の対岸を「夜見島」と記しており、奈良時代には弓ヶ浜半島が島であったことが読み取れる。山田ほか(2015)は中海の X コアから得られた貝形虫群集の変化と砂丘の発達時期などから、奈良時代には弓ヶ浜半島中部(大崎付近)に水路があり、弓ヶ浜半島を南北に分けていたと考えた。

*3 「距離を示す尺度に関して、「出雲国風土記」では律令制下の天平尺に基づく「尺」(1尺=約 29.6cm)、「寸」(1寸= 0.1尺)、「歩」(1歩= 6 尺)と「杖」(1杖= 10尺)、「里」(1里= 300歩)などが用いられたと考えられる。五里一百卅歩(江島の周囲)は約 2.9 km、二里(中浦水道の幅)は約 1.065 km、二尺五寸(満潮時の深さ)は約 0.74 m、60歩(陸繋部の幅)は約 106 m となる。

岡ほか, 1990). 中海東部地域を対象とした研究の一つとして大西・高安(1982)は、弓ヶ浜半島基部の横断面図を作製し、弓ヶ浜半島が古弓ヶ浜半島をベースとして水中砂州、内浜砂州、中浜砂州、外浜砂州が順次重なることによって形成されたことを示した。三梨ほか(1986)は音波探査から、中海東部湖底下での砂州の広がりをも明らかにし、弓ヶ浜半島基部から江島に向かい砂州が成長していったと考えた。その後、徳岡ほか(2006)は中海東部での従来の音波探査結果を再検討し、彦名干拓地から江島方面への砂州の発達(延長)を明らかにした。また、1/1万湖沼図「中海」:昭和37, 38(1962, 63)年測量(国土地理院, 2023a)を基に江島南方までの-3~-6m等深線付近を、6000年前の弓ヶ浜半島から続く水中砂州(大西・高安, 1982)と考えた。更に水中砂州は北に延び、弥生時代には江島を取り込む弓ヶ浜砂州が形成されたとした。また、高安(2019)は幾つかの時期の古地形図を示し、6000年前の古地形図には江島南部の水域から江島、大根島を一体とした古砂丘を描き、「水中砂州に相当する地形が6000年前頃には江島・大根島に伸びるトンボロ状の砂州として成長しつつあり、・・・」と記している。4000年前の古地形図には、弓ヶ浜半島北西端から江島、さらに大根島に伸びる細長いトンボロを描いた。2000年前(弥生時代)の古地形図には、当時の弓ヶ浜半島から江島、さらに大根島に伸びる細長いトンボロを描いた。更に風土記時代(奈良時代)の古地形図には、江島、大根島を個々の島として描き、江島の東側に砂州を描いた。

近年古い時期の海図・原図のデータベース化が進み(海上保管庁, 2023)、利用が容易になった。本報では、江島・中浦水道周辺水域の海図(測量原図)を入手し、昭和初期以前の江島・中浦水道周辺水域の海底地形を調べた。このことによって、弓ヶ浜半島から江島に至るトンボロ状地形が浮かび上がり、「出雲国風土記」の記述から示唆されるトンボロの存在が確認できた。

トンボロとその成因について

参考資料として、「トンボロ」に関する幾つかの文献を以下にまとめた。

国土地理院(2023b)では「離れ島を本土に繋いだ州をトンボロ(陸繋砂州)といい、繋がれた島を陸繋島という。」とされ、他の文献でもほぼ同様の記述が成されている。また、国土地理院(2023b)

には「北海道函館市の函館山と函館平野」、「神奈川県藤沢市の江の島」、「福岡県福岡市の海の中道」など国内47の具体例が示されている。このほか人工構造物である離岸堤の背後にもトンボロは形成され、砂浜保全の目的で離岸堤が建造されることもある。この例として、鳥取県皆生海岸が挙げられる(豊島・定道, 1974)。

トンボロの成因について、国土地理院(2023b)では「トンボロは砂嘴の成長によるものと、尖角州(海岸から三角形の平面形をもって形成されたもの)によるものがある。」としている。一方、豊島(1995)は「相反する方向からの沿岸流の働きによって突出した砂嘴は、三角形の砂浜を形成することがあり、これを尖角岬(せんかくみさき)または尖角州という。」と記し、「尖角州」を「砂嘴」の一形態としている。また、これとは別の砂嘴の形態として「鉤状砂嘴」、「複合鉤状砂嘴(分岐砂嘴)」を示している。一方、国土地理院(2023b)掲載の「砂嘴」の具体例を見ると「鉤状砂嘴」を「砂嘴」としていることが理解できる。また、これら「砂嘴」の形成モデルを、Uda et al.(2018)がまとめている。

復元に使用した海図について

中浦水道の埋め立ては、宝暦4(1754)年に始まってからおよそ200年間連綿として進み、同時に(埋立てのための)採砂や船を通すための浚渫も進んだ。昭和38(1963)年に始まった「国営中海土地改良事業」では、埋立てによって拡大が続いていた江島の東側が削られ、中浦水道の拡幅と浚渫が行われた。「国営中海土地改良事業」と直前に行われた「江島代行干拓事業」は機械化された大規模な土木工事であったが、それ以前の埋立ては人力によるもの(桜木, 1963)で、江島周辺水域(中浦水道を含む)での(採砂のための)浚渫による湖底地形の改変は僅かであったと考えられる。このことから、昭和27(1952)年(「江島代行干拓事業」着工年度)以前の、江島周辺水域での等水深線図の作製を試みた。当該地域を記した入手可能な海図を、表1にまとめた。これらのうち江島周辺水域の水深測量結果が密に記されている図面は、1/1.5万測量原図「境港」:昭和10(1935)年測量、1/1.5万測量原図「中海江島水道」:昭和28(1953)年測量である。ただし、測量原図「境港」は江島の東部E131°11'50"を西端とした図面である。測量原図「中海江島水道」は弓ヶ浜半島西部から大根島にかけての図面であるが、「江島代行干

表1 中浦水道が描かれた測量原図及び海図。

Table 1 The smooth sheet and hydrographic chart on which the Nakaura Channel was drawn.

海図アーカイブ番号	種類	名称	縮尺	測量年月等	刊行年月(日)	印刷出版年月(日)	小改正年月(日)
JLCX00152	測量原図	本州北西岸 美保湾	1/25,000	大正9年8月至10月	—	—	—
JLCX00153	測量原図	本州北西岸 境港	1/15,000	大正9年9月	—	—	—
JLCX00203	測量原図	本州北西岸 境港	1/15,000	昭和10年4月至6月	—	—	—
—	測量原図	本州北西岸 中海 江島水道	1/15,000	昭和28年6月測量	—	—	—
JLAA00278	海図	日本 本州北西岸 伯耆 境港及附近	1/18,192	明治24年測量・明治36年改補	明治25年6月17日	明治37年6月21日	明治28年11月
JLAA00279	海図	美保湾	1/15,000	—	大正15年8月	—	—
JLAA00280	海図	美保湾	1/25,000	—	昭和12年2月	—	—
JLAA00463	海図	日本 本州北西岸 伯耆 境港	—	—	明治25年6月17日	明治25年9月16日	明治28年11月
JLAA00332	海図	日本 本州北西岸 出雲海岸	—	—	明治28年1月21日	明治28年2月13日	明治28年11月
JLAA00920	海図	日本 本州北西岸 出雲海岸	—	—	明治37年11月	—	—
JLAA00333	海図	日本 本州北西岸 出雲海岸	1/100,000	—	明治40年12月	—	—
JLAA00334	海図	日本 本州北西岸 出雲海岸	1/100,000	—	昭和2年10月	—	—
JLAA00335	海図	日本 本州北西岸 出雲海岸	1/100,000	—	昭和12年2月	—	—
JLAA00674	海図	日本 本州北西岸 大社港至賀露港	1/200,000	—	昭和7年5月	—	—
JLAA00675	海図	日本 本州北西岸 大社港至賀露港	1/200,000	—	昭和11年10月	—	—

— : 図面に記載の無い項目

拓事業」用地内の水深が抜けている。一方、「江島地区干拓事業概要」附属の平面図（島根県江島干拓事務所，1962）には「干拓地」内の等水深線が描かれており，この等水深線図を埋め立て直前の水深と考え，海図，測量原図の空白地を埋める資料として用いた。また，1/1万湖沼図「中海」（国土地理院，2023a）に描かれた「中浦水道」は，その測量年度（昭和37，38年：1962，1963年）と，作製した等水深線図との比較から，「江島代行干拓事業」，「国営中海土地改良事業」に伴う大規模な浚渫が行われた後の状態を示すと考えられる。

海図からの湖底地形の復元

前述した海図を使用して作製した等水深線図を，図2に示す。

江島南側水域では，-1.0 m～-3.0 m 等水深線（補助線）は弓ヶ浜半島の湖岸線とほぼ並行し，-2.0 m，-3.0 m 等水深線は江島近辺で江島方向に弓なりに曲がる。このような湖底地形は，1/1万湖沼図「中海」（国土地理院，2023a）にも描かれており，大西・高安（1982），徳岡ほか（2006）の水中砂州の一部に相当すると考えられる。

江島北側水域では，-1.5 m，-1.25 m 等水深線（補助線）は，境水道側から江島沖までは弓ヶ浜半島の湖岸線とほぼ並行し，江島沖で江島北岸に並行するように弓なりに曲がる。一方 -2.0 m 等深線は，弓ヶ浜半島と江島北岸とは無関係で，-2.0～-1.5 m の等水深線の間隔は広く，この間に緩斜面（湖棚）が認

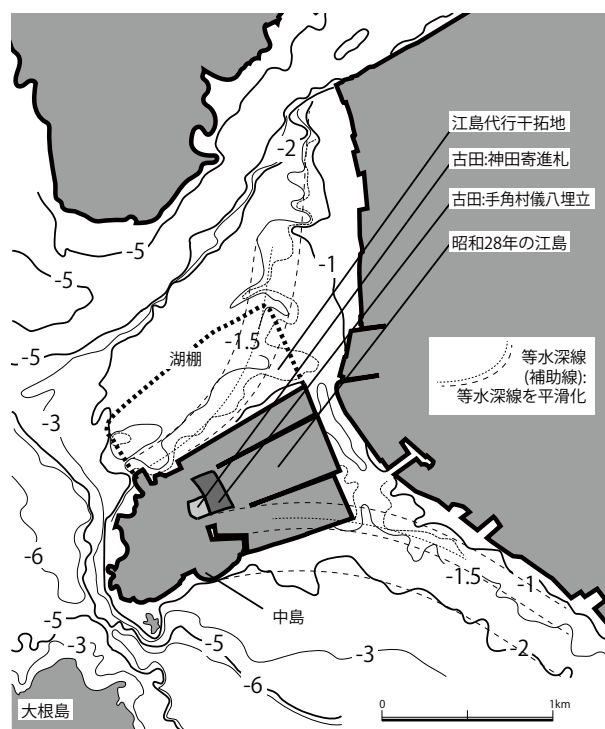


図2 江島周辺水域の等深線図。

Fig. 2 Depth sounding lines including the waters surrounding Eshima.

められる^{*4}。江島南側水域では埋立てが行われておらず，中浦水道の埋立ても明治3（1870）年までに終了している。これに対し，江島北部では明治時代以降も埋立てが続き（渡辺・平石，2023），「江島代行干拓事業」も江島北側水域で行われていた。これ

*4 この湖棚を形作る -6.0～-3.0 m の湖棚崖と，徳岡ほか（2006）の弥生時代に江島を取り込んだ砂州の境界が，一致する。

らの埋立ては、今回明らかになった湖棚を利用したものと考えられる。

江島周辺の浚渫跡

図2に示した等水深線図では、江島南側水域の-1.5 m、-2.0 m等水深線、江島北側水域の-1.5 m、-1.25 m等水深線に不規則な乱れ（凸凹）が認められる。また-1.0 m等水深線は、中浦水道の南北でその他の等水深線や弓ヶ浜半島の湖岸線と非調和である。江戸時代から明治時代に掛けての江島の埋立ては人力で行われていたと考えられている（桜木、1963）ことから、埋立て用採砂に因り、等水深線の不規則な乱れが生じた可能性が高い（図3）。

また、中浦水道のほとんどの部分が-1.0 mより深いこと、前述の様に中浦水道の南北で-1.0 m等水深線がその他の等水深線および弓ヶ浜半島の湖岸線と非調和なことから、中浦水道でも採砂が行われていたと考えられる。更に中浦水道での-1.5 m等水深線が細長く両岸に並行して伸びることから、船舶航行のために浚渫された可能性も指摘できる。

等水深線図と1/1万湖沼図「中海」（国土地理院、2023a）を比較すると、湖沼図には境水道から江島代行干拓地北岸に向かう、5 mを越す水深の凹地が認められる。この凹地が江島北岸と並行することから、大型船舶接岸のために湖棚を浚渫したものと考えられる。江島代行干拓事業と浚渫との結果、等水深線図で認められていた湖棚は、北西部を残すのみとなった（図1）。

江島のトンボロの成因

トンボロは相反する2方向からの流れが島の背後でぶつかることによって、流れとともに移動してきた碎屑物が逃げ場を無くし、島の背後でトラップされることで形成される。また水深の浅い海岸であることも、トンボロ形成の条件である。奈良時代の中浦水道は、境水道からの流れと夜見島南部からの流れがぶつかる位置にあるうえ、湖棚（水中砂州）も

存在し、トンボロ形成のための諸条件が満たされていたことが明らかになった。これらの状況証拠から、今回復元できたトンボロ状の湖底地形が「出雲国風土記」で示唆されたトンボロの痕跡であったと考えられる。

また、トンボロ北側のカーブが急で南側が緩やかになっていることと、トンボロの軸が江島の中心部からやや北寄りになっている原因として、境水道からの水流（砂の供給量）と夜見島南部からの水流（砂の供給量）に違いがあったことや、北側に陸棚が存在したことが挙げられる。

江戸時代の埋立てとトンボロ

文久元（1861）年刊行の「伯耆志」（佐伯編、1972）によれば「50年前頃の中浦水道の幅は1.09 km^{*5}で、歩いて渡ることができた。この頃に小舟を通すための開削が行われた。その後新田開発が行われ、現在は中浦水道の幅は216 mに狭まった。埋立てのために砂泥を洲渚から採取したために、大小の舟が往来できるようになった。」^{*6}とされる。このことから、1800年頃の中浦水道にトンボロ状湖底地形（あるいはトンボロ）が存在したことが明らかで、江島の埋立てがトンボロ状湖底地形の上で行われていたことが分かる。

図2に示した江島南側の-1.0 m等水深線（補助線）は最初の埋立て地である「古田：宝暦4（1754）年神田寄進札」（桜木、1963）付近に突き当たる。「古田：宝暦4（1754）年神田寄進札」は西側の丘陵を崩して埋め立てられており、その後の埋立てには海底砂が用いられたとされる（桜木、1963）。埋立て土砂の供給地を考えると「古田：宝暦4（1754）年神田寄進札」がトンボロ状湖底地形の中心軸を意図して埋め立てられた能性は低い。トンボロ状湖底地形の中心軸は江島南側の-1.0 m等水深線の延長より北に位置したと考えられ、埋立ての効率を考えると「寄進田」の次に埋め立てられた古田：手角村儀八埋立」（桜木、1963）内に中心軸が位置していた可能性が高い。また、弓ヶ浜半島北西部（図2の範

^{*5} 1間=6尺=1歩。前述の様に天平尺では1尺=約29.6 cm、曲尺では30.3 cm。「伯耆志」では50年ほど前の中浦水道の幅が600間（1.09 km）としている。

^{*6} この記述に関して、文化2（1805）年から来見屋定四郎らによって本格的な埋立てが始まった史実（桜木、1963）、「古田」東端から現在の渡港岸壁までの距離（約1.1 km）、江島村埋立絵図の推定域東端（渡辺・平石、投稿中）から現在の弓ヶ浜半島西端までの距離（約210 m）と、ほぼ一致する。

^{*7} 徳岡ほか（2006）に記された昭和10（1935）年以前の埋立て地（弓ヶ浜半島側）は、佐々木（1952）を引用したものと考えられる。佐々木（1952）にはその調査方法が記されておらず、真偽が不明である。

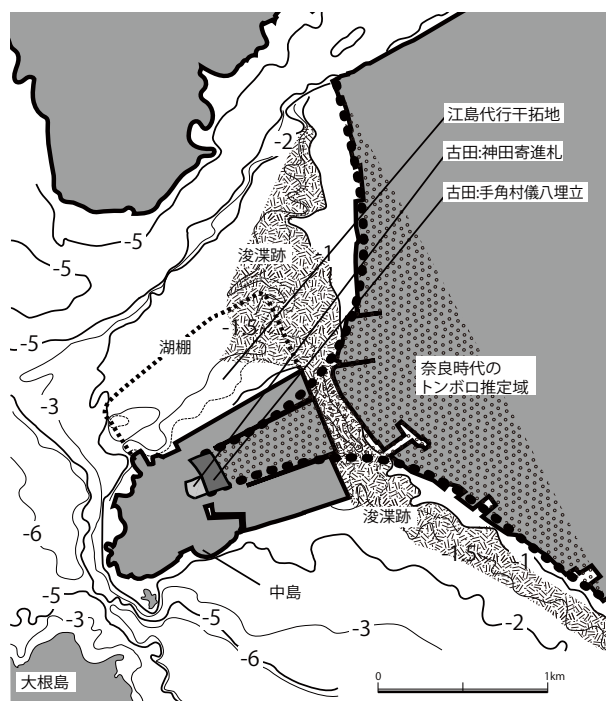


図3 奈良時代における、江島 - 夜見島（弓ヶ浜半島）間のトンボロ。

Fig. 3 Tombolo between Eshima and Yomishima (Yumigahama Peninsula) in the Nara Era.

図)では湖岸線が等水深線とほぼ並行し、弓なりの形状を示す。弓ヶ浜半島側の埋立てについて詳細に記録した古文書は現存していないが^{*7}、弓ヶ浜半島でも江島同様にトンボロ状湖底地形を埋め立てていた可能性は十分にあり、現在の弓ヶ浜半島北西岸がトンボロ状湖底地形の浅部を埋め立てて造成された可能性も高い。以上の事柄から、江島の「古田：手角村儀八埋立」中央部に陸繋島の中心軸があったとして、現在の弓ヶ浜半島西岸に至る範囲を奈良時代の干潮時のトンボロとして復元した(図3)。

一方、「伯耆志」では「風土記の時代には(弓ヶ浜半島：渡村と)江島町字中島との距離が、およそ二里あった。^{*8}」とされている。現在の地形図では、江島町字中島(田中, 1992)から現在の弓ヶ浜半島護岸まではおよそ1.2 km, 奥まった渡港の護岸までは、およそ1.5 kmの距離がある。起点の「中島」が正しいとすれば、中浦水道の幅が奈良時代には100～400 m短かったことになる。この原因の

一つに奈良時代の測量精度が挙げられる。一方、奈良時代の東アジアは寒冷傾向にある(Zhang et al., 2008)ことから、潮位が現在より低かった可能性があり、復元したトンボロの一部が常時陸化していた可能性も指摘できる。

まとめ

入手可能な海図、測量原図等を基に、昭和27(1952)年以前の江島周辺水域の等水深線図を作製した。この結果、トンボロ状湖底地形が中浦水道に存在したことが明らかになった。トンボロ形成の条件が奈良時代には揃っていたことから、復元できたトンボロ状湖底地形が「出雲国風土記」で示唆されたトンボロの痕跡であったと考え、奈良時代のトンボロの範囲を復元した。

江戸時代にはトンボロ上に埋め立て地が造成され、昭和時代には江島北側水域に広がる湖棚を利用した大規模な埋立てが行われた。また、江島北東水域および南東水域(弓ヶ浜半島沖、中浦水道南側と北側)に、江戸時代から明治時代に掛けての埋立て用採砂跡が認められた。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、島根大学名誉教授 徳岡隆夫博士には終始、ご助言、ご指導を頂いた。島根大学名誉教授 高安克己博士、島根大学エスチュアリー研究センター 瀬戸浩二博士には有意義なご助言を頂いた。測量原図入手に際して、海上保安庁海洋情報部 寄高氏には丁寧な対応をして頂き、便宜を図って頂いた。文化財調査コンサルタント株式会社平佐直子氏には、図面作製等でご協力頂いた。また、英文については editage(カクタス・コミュニケーション(株))に校正頂いた。以上の方々、機関に対し、御礼申し上げます。

引用文献

- 海上保安庁(2023) 海図アーカイブ 所蔵目録, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KIKAKU/kokai/kaizuArchive/possess/index.html> (2023年3月閲覧).
 国土地理院(2023a) 調査実施湖沼一覧 「1/1 万湖沼

^{*8}「二里」という記述から、「出雲国風土記」を引用していると思われる。ただし、起点を「中島」とする理由は不明。更に「天平尺」の概念を用いていたかも不明。

- 図」で刊行「中海」, <https://maps.gsi.go.jp/#13/35.478845/133.198242/&base=std&ls=std%7Clake1&blend=1&disp=11&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0&d=m> (2023年3月閲覧).
- 国土地理院 (2023b) 海的作用による地形, https://www.gsi.go.jp/kikaku/tenkei_umi.html#top (2023年3月閲覧).
- 三梨 昂・後藤慎二・鈴木徳行・大西郁夫・高安克己・武田伸二・徳岡隆夫・山内靖喜・安間恵・浅野広・金井豊・井内美郎・水野篤行 (1986) 中海の湖底地形と堆積層 (概報), 山陰地域研究 自然環境, 3:167-174.
- 沖森卓也・佐藤 信・矢嶋 泉編著 (2016) 出雲国風土記. 山川出版社, 141p.
- 大西郁夫・高安克己 (1982) 中海の生いたち. 島根大学地域分析研究会編「飢字の入海」. pp.1-26. たたら書房.
- 佐伯元吉編 (1972) 伯耆志. 因伯叢書, 4, 740p.
- 桜木 保 (1963) 中海江島新田の開発. 八束町役場, 100p.
- 佐々木 謙 (1952) 弓浜変遷の研究. 伯耆文化, 10:2-5.
- 島根県江島干拓事務所 (1962) 江島代行干拓事業概要. 島根県, 6p.
- 高安克己 (2019) 穴道湖・中海地域の完新世海水準変動と古地理変遷. 松江市史編集委員会編「松江市史 史料編1 自然環境」. 附録. 松江市.
- 田中邦男 (1992) 江島地名調査図. 「八束町誌」. pp.46-47. 八束町教育委員会.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・三梨 昂 (1990) 中海・穴道湖の地史と環境変化. 地質学論集, 35:15-34.
- 徳岡隆夫・吹田歩・中村唯史・安間恵・西村清和 (2006) 中海北東部の湖底地形・地質の再検討 - 湖底環境修復への課題 -. LAGUNA(汽水域研究), 13:29-42.
- 豊島吉則 (1995) 砂嘴. 日本大百科全書, 10:p.128, 小学館.
- 豊島吉則・定道成美 (1974) 皆生海岸におけるトンボロと海底地形. 第21回海岸工学講演会論文集, 167-172.
- Uda, T., Serizawa, M., and Miyahara, S. (2018) Morphodynamic model for predicting beach changes based on Bagnold's concept and its applications. INTEC, London, UK, 193p.
- 渡辺正巳・平石 充 (2023) 江戸時代以降の江島埋め立て史. LAGUNA(汽水域研究), 30:1-10.
- 山田 桂・増馬鉄朗・瀬戸浩二 (2015) 貝形虫群集を用いた中海における過去1,700年間の古環境変遷. 第四紀研究, 54(2):53-68.
- Zhang, P., Cheng, H., Edwards, R.L., Chen, F., Wang, Y., Yang, X., Liu, J., Tan, M., Wang, X., Liu, J., An, C., Dai, Z., Zhou, J., Zhang, D., Jia, J., Jin, L. and Johnson, R.K. (2008) A test of climate, sun, and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record. Science, 322: 940-942.