

兵庫県豊岡盆地と気比低地における 縄文海進期の古環境資料

佐藤 裕司¹⁾

Paleoenvironmental data during the Jomon transgression in the Toyooka Basin and the Kehi Lowland, Hyogo Prefecture.

Hiroshi SATO¹⁾

要 旨

兵庫県の豊岡盆地と気比低地において採取した完新世堆積物のイオウ含有量と珪藻化石群集の分析および放射性炭素年代(¹⁴C年代)測定の結果を示し、当該地域における縄文海進期の古環境に関するデータを整理した。豊岡盆地では、八条小学校のボーリングコア(TY-1)の分析により約10,000年前の海水準は標高-29 mより下位と推定された。香住荒原貝層の露頭(TY-2)と中谷のボーリングコア(TY-3)で得た分析結果と合わせると、盆地の中央部は縄文海進により約10,000年前以後、約3,000~2,000年前まで内湾であったと考えられる。また、豊岡盆地の中谷貝塚で採取された貝類遺骸と炭化物試料の年代測定を行い、貝塚が形成された年代を明らかにした。気比低地のボーリングコア(KH)の分析から完新世のマリンリミットを+0.40 mと認定した。

キーワード:完新世, 縄文海進, 豊岡盆地, 中谷貝塚, 気比低地, 古環境

(2023年1月11日受付, 2023年9月12日受理, 2024年2月29日発行)

はじめに

兵庫県の日本海側、豊岡盆地を含む円山川下流域の沖積層は、縄文海進時に堆積した厚い海成層を挟む(兵庫県土木地質図編纂委員会(編), 1996; 前田ほか, 1989など)。その海成層の分布から、海進ピーク時の海域は盆地の最奥部に位置する豊岡市出石町にまで広がったと推定されている。谷川(2009)は、沖積層の層序・層相、放射性炭素年代(¹⁴C年代)測定および古環境の解析結果をもとに縄文海進時の古地理変遷について考察し、約6,800年前の海岸線が前田ほか(1989)が推定した出石町にまで達したことを明らかにした。

円山川下流域の河口部には三角州平野が発達せず、海岸部が沈水地形を示すことから、完新世を通してゆるやかな沈降域にあったと考えられている(例えば、前田ほか, 1989)。佐藤

ほか(2002)もまた、豊岡盆地の中谷と香住荒原における完新世後期の海成層の上限高度とハイドロアイソスタシーによる相対的海水準のモデル予測(Nakada et al., 1991)との比較から、盆地の沈降量はわずかであることを指摘した。

このように、豊岡盆地では完新世を通して局地的な地殻変動が軽微であったと考えられるため、相対的な海水準変動の評価に好適な地域である。そこで、Tanigawa et al.(2013)は盆地内で採取したボーリングコアのイオウおよび珪藻の分析にもとづき、11,200~500年前における相対的海水準変動を明らかにした。それによると、10,000年前の海水準は標高-31.05 m、7,900年前は-4.00 mより上位、6,700年前は-0.47 m、6,600年前は+1.51 mより下位、3,300年前は+0.15 mとそれぞれ推定された。

¹⁾ 兵庫県立大学自然・環境科学研究所 〒651-2197 神戸市西区学園西町8-2-1.
Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo, Gakuennishi-machi 8-2-1, Nishi-ku, Kobe,
651-2197 Japan h-satoh@ymail.ne.jp

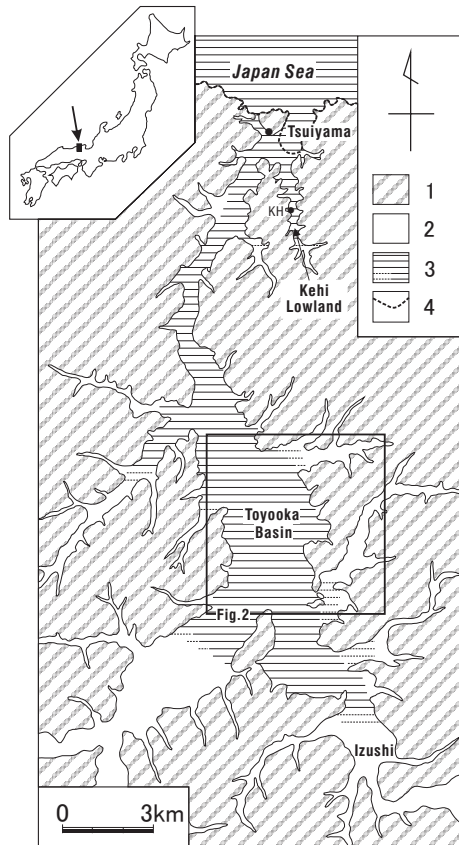


図1 兵庫県の日本海側、豊岡盆地が発達する円山川下流域と気比低地
前田ほか(1989)を参考に加筆。KHは気比低地における調査地点を示す。(凡例:1.山地 2.沖積低地 3.最大海進域 4.現海岸線)

一方、気比低地は円山川下流域と高さ300 m級の低い山地を挟んで、円山川の東側をほぼ並行して流下する延長10 kmに満たない気比川に沿って発達する。豊岡盆地に比べて流入河川の集水域が小さく、完新世を通してイベント性の陸源供給物が少ない堆積環境であったと考えられる。また、この低地奥部の山麓先端の露頭において上部更新統とされる海成層の存在が知られている(坂本・上村, 1972; 兵庫県土木地質図編纂委員会(編), 1996)。

本資料は兵庫県の日本海沿岸低地における環境史研究のさらなる発展のために、筆者がこれまでに報告した内容に新たなデータを加えて整理したものである。本稿では、豊岡市立八条小学校で採取されたボーリングコア(TY-1)(Sato, 1991)について、珪藻分析の詳細なデータを示すとともに、海進開始期の ^{14}C 年代値を新たに提示した。また、中谷のボーリングコア(佐藤ほか, 1994)と香住荒原貝層の露頭(佐藤ほか, 2002)については新たに年代値を追加し、分析結果の概要を整理した。さらに、豊岡盆地の中谷貝塚で採取された貝類遺骸および炭化物の ^{14}C 年代を明らかにした。気比低地については、前田ほか(1989)および佐藤(1995)におけるイオウおよび珪藻化石群集の分析結果の詳細を提示した。

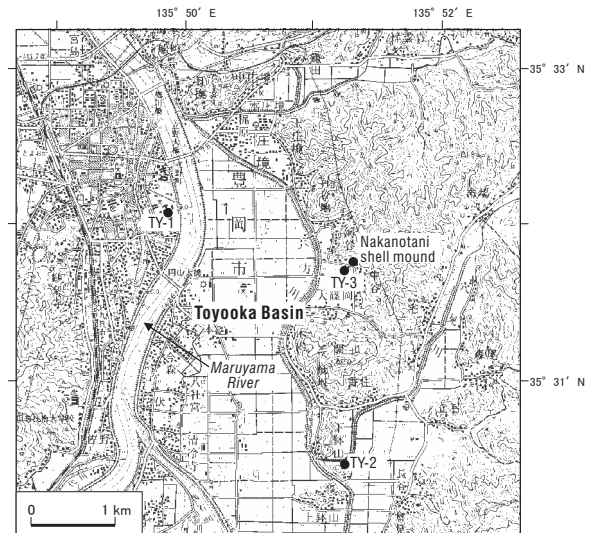


図2 豊岡盆地中央部の調査地点(TY-1~3)と中谷貝塚の位置
国土地理院発行5万分の1地形図「城崎」を使用。

方法

1. ^{14}C 年代測定

^{14}C 年代測定は加速器質量分析(AMS)法により、その測定は(株)地球科学研究所(Beta)と(株)加速器分析研究所(IAA)に依頼した。 ^{14}C 年代値は安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)補正を行い、炭素の半減期を5,568年として算出した。本資料では、得られた ^{14}C 年代値を較正データIntCal04(Reimer et al., 2004)を用いた年代補正プログラム(CALIB 5.0.2)(Stuiver et al., 2005)により暦年代値に較正した(表1)。

2. 堆積物中のイオウと珪藻化石群集の分析

堆積物中のイオウと珪藻化石の分析方法は佐藤(1995)にしたがった。すなわち、試料1 gを1 N塩酸で処理し、遠心分離(3,000 rpm, 5分間)により上澄液を回収した。沈殿物をさらに30%過酸化水素水で処理し、遠心分離により上澄液を回収した。これらの操作によって得た上澄液をそれぞれ塩酸可溶画分と過酸化水素可溶画分とした。そして主に珪酸塩鉱物から成る沈殿物を珪藻分析に用いた。

イオウ含有量は、両画分中に溶出した硫酸イオンをそれぞれ比濁法(佐藤, 1989)で測定した。そして塩酸可溶画分と過酸化水素可溶画分中のイオウ含有量の合計を堆積物中の総イオウとし(佐藤, 1995)、その含有量を百分率(S%)で表した。堆積環境の推定に際しては、総イオウ含有量0.3%を海成(または汽水成)堆積物と淡水成(または陸成)堆積物を区別するための基準とした(狛, 1992; 佐藤, 1995)。上記の珪藻分析用の試料を用い、光学顕微鏡観察用のプレパレートを作製した。その作製方法は、田中ほか(2015)に記載の酸処理後の工程と同じである。観察は主に倍率400倍、必要に応じて

表1 豊岡盆地の調査地点における¹⁴C年代測定の結果

Site name (Sample No.)	Laboratory No.	Altitude ^a (m TP)	Material dated	¹⁴ C age ^b (BP)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Calibrated age (cal BP) median ($\pm 2\sigma$)	Depositional environment
TY-1	IAAA-62279	-29.06	wood fragment	8880 \pm 50	-27.34 \pm 0.66	10014 (10182 - 9777)	Freshwater / Marine
TY-2 (Awara-1)	Beta-150957	-1.50	shell (Cg)	4250 \pm 50	-1.6	4355 (4507 - 4208)	Marine
TY-2 (Awara-2)	IAAA-62281	-1.50	charred material	4200 \pm 40	-25.13 \pm 0.69	4731 (4766 - 4613)	Marine
TY-2 (Awara-3)	IAAA-62280	+0.08	charred material	3850 \pm 40	-24.25 \pm 0.73	4273 (4410 - 4154)	Brackish?
TY-2 (Awara-4)	Beta-150956	+0.42	organic sediment	2180 \pm 50	-28.7	2205 (2332 - 2052)	Marine limit
TY-3 (Nakanotani-1)	IAAA-62277	+0.25	shell (Cg)	3530 \pm 30	3.65 \pm 0.61	3413 (3506 - 3334)	Marine
TY-3 (Nakanotani-2)	IAAA-62278	+0.55	charred material	2880 \pm 30	-30.22 \pm 0.73	3009 (3018 - 2922)	Brackish
Nakanotani shell mound	IAAA-62275		shell (Cj)	4650 \pm 40	-3.85 \pm 0.71	4873 (4988 - 4793)	—
Nakanotani shell mound	IAAA-62276		charred material	4370 \pm 40	-25.43 \pm 0.63	4935 (5042 - 4852)	—
Nakanotani shell mound	IAAA-62274		shell (Cj)	3140 \pm 30	-7.70 \pm 0.72	2921 (3038 - 2823)	—

^aIn meters above mean sea level (TP).

^bAll dates are calculated using the Libby half-life 5568 years, and 1950 AD reference. The error is one standard deviation of counting.

Cg: *Crassostrea gigas*, Cj: *Corbicula japonica*

Awara-1 & 3 (Sato et al., 2002)

1,000倍で行った。珪藻化石は全体的に含有量が少ないため、その計数はカバーガラス二枚を全視野観察することにより、30個以上が観察された場合に群集の種組成を示した(図3, 4, 6)。出現した珪藻の種の同定および生態に関する情報は、主にHartley et al.(1996), Krammer and Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991)およびRound et al.(1990)より得た。Hartley et al.(1996)にもとづき、出現したすべての珪藻を海水生、汽水生、淡水生の三つの生態区分に分類した。種の同定に際しては、*Cyclotella striata*, *C. stylorum*およびこれらの類似種は光学顕微鏡観察で明確に識別することが困難なため、*Cyclotella striata* complex とした。また、Round et al.(1990)において属レベルで淡水生に区分が可能と判断した分類群については、たとえば*Aulacoseira* spp. など一括した。図3と6では、いずれかの試料で5%以上出現した珪藻の分類群を示した。なお、学名の表記はHartley et al.(1996)を基本とした。

調査地点と試料の分析結果

円山川流域の下流域に発達する豊岡盆地の3地点(TY-1, 2, 3)(図1, 2)と、円山川下流域の東側に発達する気比低地(KH)(図1)で得た完新世堆積物の分析結果、および中谷貝塚の年代測定結果を以下に報告する。

1. 豊岡盆地

1-1. 八条小学校ボーリングコア(TY-1)

分析試料は、1988年に豊岡市立八条小学校(TY-1)において地盤調査の目的で採取されたボーリングコア(全長約42m)である(図2)。このコアより、標高-2.00 mと-30.00 m、-4.00 mから-28.00 mの間は1m間隔で採取された計27試料のイオウおよび珪藻分析を行った。コア堆積物中のイオウ含有量および珪藻化石群集の分析結果を図3に示した。標高-37.85~

-30.36 mは砂礫、-30.36~-29.61 mは暗灰色シルト、-29.61~-28.81 mは暗灰色砂で植物片が混じる。-29.06 mの木片の年代測定結果は10,182-9,777 cal BP(中央値は10,014 cal BP)であった。標高-28.81~-8.36 mは暗灰色シルトで貝化石や植物片を含有し、-16.21~-16.91 mの間にアカホヤ火山灰(7,300 cal BP)が挟在する。-8.36~-4.51 mは砂混じりシルト、-6.36~-5.96 mに砂を挟む。-4.51~-2.56 mは砂礫、-2.56~+1.54 mは茶灰色砂+1.54~+3.54 mは暗黄灰色粘土から成る。

標高-30.36~-29.61 mの試料(-30.00 m)では、イオウ含有量は0.21%で、珪藻化石群集は汽水生の*Diploneis* cf. *pseudovalis*もわずかに出現したが、*Cocconeis placentura*, *Cymbella* spp.(*Encyonema minutum*を含む)、*Gomphonema* spp., *Pinnularia* spp.などの淡水生珪藻が優占し、堆積環境は淡水と推定される。

標高-28.81~-8.36 mの暗灰色シルトと-8.36~-4.51 mは砂混じりシルトでは、イオウは含有量0.3%以上を示した。とくに-28.00 mと-7.00 mでは、それぞれ2.1%と1.9%の高含有量であった。珪藻分析では、-20.00 mと-15.00 mで珪藻化石がほとんど認められなかったが、-26.00 mと-8.00 mを除いて、海水生と汽水生の珪藻が50%以上を占めた。群集では、海水生の*Cyclotella striata* complex, *Diploneis suborbicularis*, *Tryblionella granulata*, *Tryblionella lanceola*, 汽水生の*Cyclotella choctawhatcheana*, *Thalassiosira lacustris*, *Diploneis* cf. *pseudovalis*, 淡水生の*Achnanthisidium* spp., *Cocconeis placentura*, *Cymbella* spp., *Eunotia* spp., *Gomphonema* spp., *Pinnularia* spp.などが出現した。暗灰色シルトでは海水生種と汽水生種が卓越し、堆積環境は内湾と推定される。その一方で、標高-24.00 mのように淡水生種が優占する層準もあり、一時的には淡水の影響を相対的に強く受けることがあった。標高-4.00 mと-2.00 mでは珪藻化石は検出されなかったが、イオウ含有量はそれぞれ0.26%と0.02%であった。

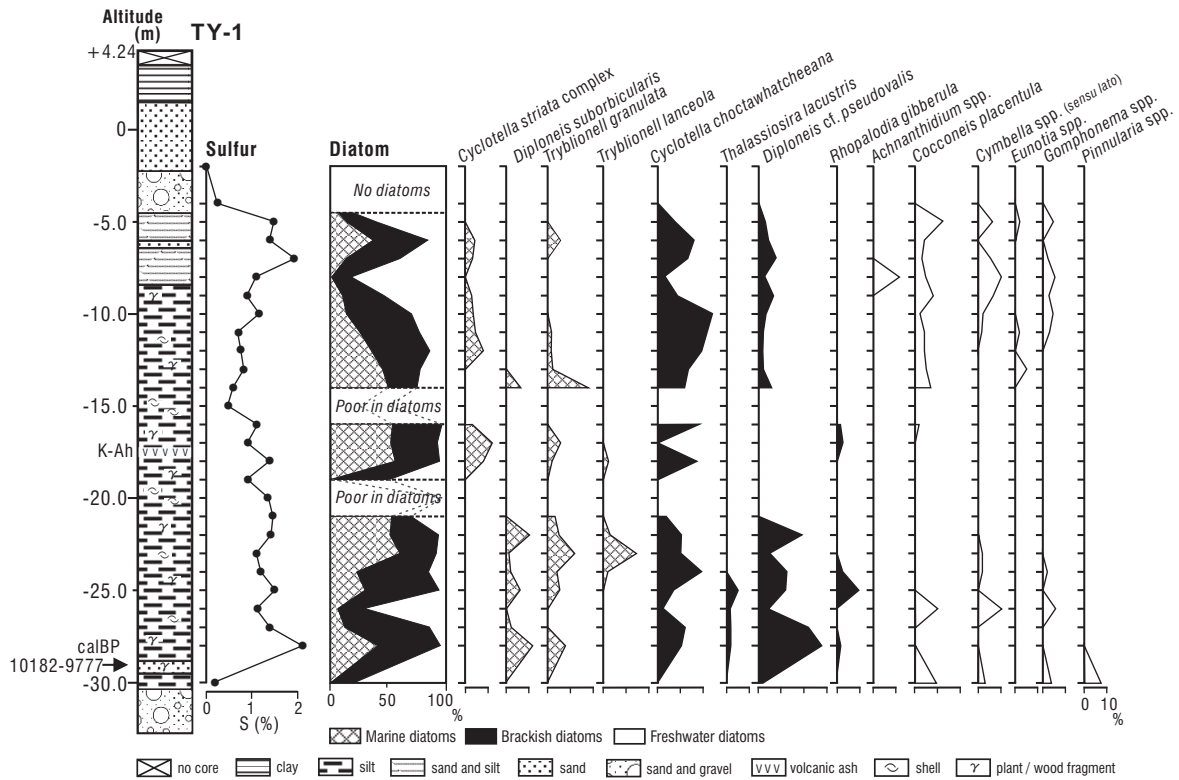


図3 八条小学校コア(TY-1)の分析結果

地質柱状図に層相と¹⁴C年代測定の結果を示し、各試料のイオウ含有量、出現した珪藻の生態区分(海水生・汽水生・淡水生)の比率および主な分類群の出現状況を示す。

約10,000年前の年代値を得た標高-29.06 mの層準は、その下位から上位に向けてイオウ含有量が急増し、珪藻化石群集では淡水生種の優占から汽水および海水生種が増加する移行期に相当する(図3)。すなわち、完新世前期の海水準の急上昇により堆積環境が淡水域から内湾へ変化し、盆地中央部における縄文海進の開始を示す。当時の海水準はこの層準より若干下位にあったと考えられるが、このことはTanigawa et al.(2013)によって約10,000年前における豊岡盆地の海水準が-31.05 mと推定されたことと整合する。

1-2. 香住荒原遺跡(TY-2)

香住荒原地区では、昭和30年代の排水ポンプ場建設工事の際に貝殻片や若干の土器片が発見され、貝塚の可能性が指摘されたが、その存在を積極的に支持する証拠は得られていない。同地区において、2000年3月に湛水防除事業に伴う排水ポンプの改良新設工事で地下約10 mまでが掘削され、貝殻密集層を挟在する露頭が現れた。同月17日にその露頭で地層の剥ぎ取りを実施し、同時に古環境解析用の試料を採取した(図2)。

この香住荒原遺跡におけるイオウ含有量および珪藻化石群集の分析結果は、佐藤ほか(2002)において報告されたが、本資料において¹⁴C年代値を2点(表1; Awara-2, 3)追加し、佐藤ほか(2002)の年代値も改めて年代校正した(表1;

Awara-1, 4)。それらの結果を図4のTY-2に示した。標高+0.08 m(Awara-3)の炭化物から得られた年代値(4,410-4,154 cal BP)は、その上位と下位の試料から得られた他の年代値から想定される堆積年代に対して古い値であった。この炭化物試料を再堆積したものとして除外した場合、当地点においてイオウおよび珪藻分析結果から認定される完新世のマリンリミット(最高位の海面記録)は標高+0.48 mであり(佐藤ほか, 2002)、その年代は約2,200年前と推定される。

1-3. 中谷ボーリングコア(TY-3)

堆積物コアは1987年9月に中谷貝塚の南に位置する水田でピートサンプラーを用いて採取された(図2)。このコア試料のイオウおよび珪藻分析の結果は佐藤ほか(1994)で報告され、堆積環境が内湾から干潟、そして塩水性湿地を経て陸化したことが明らかになっている。また、その後の分析で古海水準の珪藻指標種である*Pseudopodosira kosugii*の出現も*Melosira* sp.1として確認されている(Sato et al.,1996)。

佐藤ほか(1994)において標高+0.30 m付近のカキ(*Crassostrea gigas*)の¹⁴C年代値(3,110±150 yrs BP)が報告されたが、新たに+0.25 mのカキ(Nakanotani-1)と+0.55 mの炭化物(Nakanotani-2)について¹⁴C年代測定を行い、それぞれ3,506-3,334 cal BP(中央値は3,413 cal BP)と3,018-2,922 cal BP(中央値は3,009 cal BP)の年代値を得た(表1)。その結果をイオウおよび珪藻分析結果と合わ

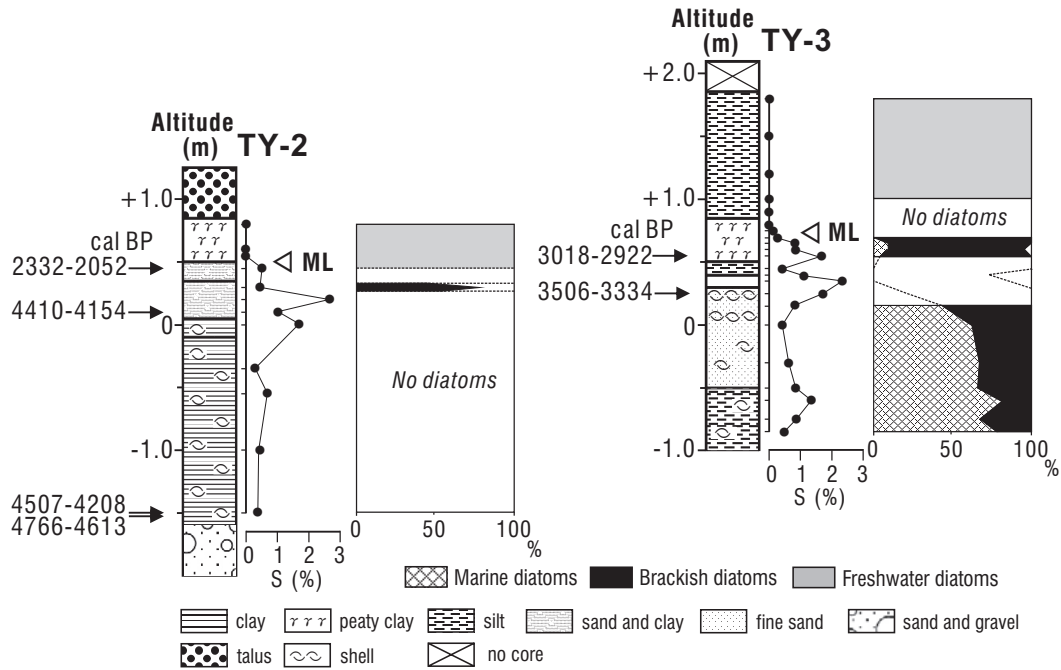


図4 香住荒原遺跡の露頭(TY-2)と中谷コア(TY-3)の分析結果

地質柱状図に層相と¹⁴C年代測定の結果を示し、各試料のイオウ含有量と出現した珪藻の生態区分(海水生・汽水生・淡水生)の比率を示す。MLは完新世マリンリミットの位置を示す。イオウと珪藻分析の結果は佐藤ほか(2002)と佐藤ほか(1994)による。

せて図4のTY-3に示した。本資料において、イオウおよび珪藻分析結果から認定される完新世のマリンリミットは標高+0.70 mであり(佐藤ほか, 1994), それは約3,000年前の高潮位面を示す。

2. 中谷貝塚の年代

中谷貝塚は兵庫県下で最初に見つかった縄文時代の貝塚で(瀬戸谷, 2002), 豊岡市中谷の南に面した山裾の斜面部に立地する。それは1913年に民家の敷地内で発見され, 所有者の深い理解のもとで現在まで大切に保存されてきた(潮崎・瀬戸谷, 1993)。1986年に貝塚の積極的な保護および活用を

進めるために豊岡市教育委員会による調査が行われた。その調査時の図面をもとに貝塚の土層断面の概略を図5に示した。

潮崎・瀬戸谷(1993)では貝層は大きく3層に区分できるとされているが, この断面では炭質物密集層を挟んで下部と上部に分かれる。同様に, 潮崎・瀬戸谷(1993)では貝層は標高7~8 mに位置すると記されているが, 図5では1986年調査時の図面に記載の高度を示した。貝層はヤマトシジミ(*Corbicula japonica*)を主体に, マガキ(*Crassostrea gigas*), ハマグリ(*Meretrix lusoria*)など15種類の貝類遺骸が確認されている(潮崎・瀬戸谷, 1993)。

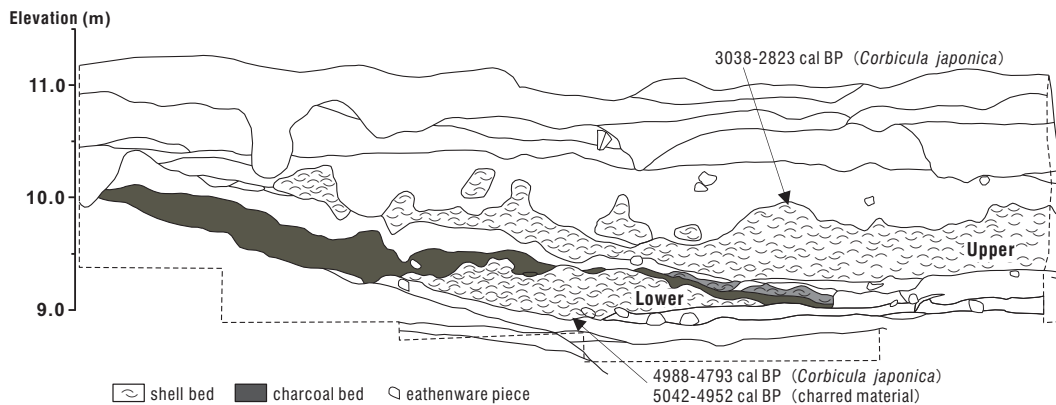


図5 中谷貝塚の土層断面と¹⁴C年代測定の結果

1986年の調査時の図面をもとに作図。年代測定した試料は貝層の最上部と最下部から採取されたが, 矢印は試料の正確な採取位置を示すものではない。

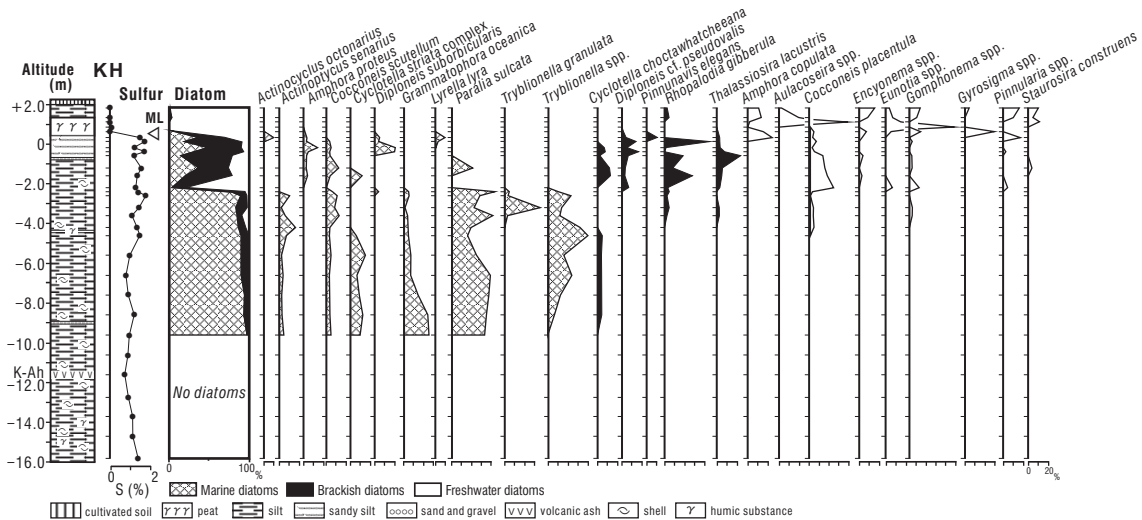


図6 気比低地コア (KH) の分析結果

地質柱状図に層相と¹⁴C年代測定の結果を示し、各試料のイオウ含有量、出現した珪藻の生態区分(海水生・汽水生・淡水生)の比率および主な分類群の出現状況を示す。MLは完新世マリンリミットの位置を示す。

1986年の調査時に、下部の貝層最下部から採取された貝類遺骸(ヤマトシジミ)と炭化物、上部の貝層最上部から採取された貝類遺骸(ヤマトシジミ)について¹⁴C年代測定を行った。その結果、下部貝層のヤマトシジミと炭化物はそれぞれ4,988-4,793 cal BP(中央値は4,873 cal BP)と5,042-4,852 cal BP(中央値は4,935 cal BP)、上部貝層のヤマトシジミは3,038-2,823 cal BP(中央値は2,921 cal BP)を示した(表1, 図5)。下部と上部の貝層で約2,000年の年代差が認められたことや、貝層の間に挟在する炭質物密集層の成因の解明は今後の研究課題である。

3. 気比低地ボーリングコア (KH)

1988年5月に、気比川河口から2 km上流の標高+2.30 mの水田で、ピートサンプラーにより深度18.25 mまでのボーリングコアが採取された(前田ほか, 1989)。そのコアについてはさまざまな手法による古環境解析が行われた(前田ほか, 1989)。イオウおよび珪藻分析結果の概要は佐藤(1995)においても示されたが、珪藻の各分類群の出現状況は示されていない。したがって本資料において、珪藻化石群集の分類群の出現状況を含めて分析結果を提示し、マリンリミットを認定する(図6)。

コアの層相は標高-0.80 mより下位はシルトからなり、-11.70 mにアカホヤ火山灰、-9.00 mと-4.40 mに砂の薄層を挟在する。この層相からは多くの貝化石が産出する(前田ほか, 1989)。標高-0.80~-0.70 mに砂礫の薄層があり、-0.70~+0.40 mは砂質シルト、+0.40~+1.30 mは泥炭、+1.30~+2.00 mはシルトからなる。標高+2.00~+2.30 mは耕作土である。

イオウ含有量は標高+0.40 mより下位の層相において高含有量を示し、堆積環境に海水の影響があったと推定される(前

田ほか, 1989; 佐藤, 1995)。

珪藻分析では、標高-9.70 mより下位の層相において珪藻化石はほとんど含有されなかった(前田ほか, 1989; 佐藤, 1995)。標高-9.70~-2.70 mでは海水生種が90%以上と優占し、*Paralia sulcata*を主体に、*Actinocyclus senarius*、*Amphora proteus*、*Cocconeis scutellum*、*Grammatophora* spp.、*Diploneis suborbicularis*、*Tryblionella* spp.などが出現した。標高-2.70~+0.30 mでは海水生種が減少し、*Cyclotella choctawhatcheeana*、*Diploneis cf. pseudovalis*、*Rhopalodia gibberula*、*Thalassiosira lacustris*などの汽水生種が多く出現した。標高+0.30~+0.55 mの間で群集の組成は大きく変化し、標高+0.40 mより上位の泥炭層やシルト層では、淡水生種が一部を除きほぼ100%を占めた。淡水生の分類群として*Amphora copulata*、*Aulacoseira* spp.、*Gyrosigma* spp.、*Pinnularia* spp.、*Staurosira construens*などが出現した。

以上のイオウおよび珪藻分析の結果から、本地点における完新世のマリンリミットを標高+0.40 mと認定する。

まとめ

豊岡盆地と気比低地において採取した完新世堆積物の珪藻化石群集とイオウ含有量の分析および放射性炭素年代(¹⁴C年代)測定を提示し、当該地域における縄文海進期の古環境に関するデータを整理した。

八条小学校(TY-1)におけるボーリングコアの分析から、盆地中央部に縄文海進が及んだのは約10,000年前以降と推定され、香住荒原貝層の露頭(TY-2)と中谷のボーリングコア(TY-3)で得たデータから約3,000~2,000年前まで内湾であ

ったと考えられる。気比低地のポーリングコア (KH) の分析から完新世のマリンリミットを+0.40 mと認定した。

また、豊岡盆地中谷貝塚の貝類遺骸と炭化物の年代測定結果から、下部と上部の貝層で約2,000年の年代差が認められた。貝層の間に挟在する炭質物密集層の成因と合わせて、今後の調査に期待したい。

謝 辞

本資料に係るデータ収集において、以下の方々にお世話になりました。

前田保夫氏(山形大学教育学部)、潮崎 誠氏・瀬戸谷皓氏(豊岡市立出土文化財管理センター、現在は豊岡市立博物館・科学館出土文化財管理センター)、加藤茂弘氏・松原尚志氏(兵庫県立人と自然の博物館)。

所属はいずれも調査当時のものです。皆様方に厚く御礼申し上げます。

文 献

- Hartley, B., Barber, H.G. and Carter, J.R. (1996) Sims, P.A. (ed.) An atlas of British diatoms. Biopress Ltd., Bristol, 601 p.
- 兵庫県土木地質図編纂委員会(編)(1996)兵庫の地質-兵庫県地質図解説書・土木地質編-。兵庫県, 236 p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H.(1986) Bacillariophyceae 2/1. Naviculaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauser, D. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* G. Fischer, Stuttgart, 876 p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H.(1988) Bacillariophyceae 2/2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauser, D. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* G. Fischer, Stuttgart, 876 p.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H.(1991) Bacillariophyceae 2/3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauser, D. (eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* G. Fischer, Stuttgart, 576 p.
- 粕 武(1992)堆積岩の化学組成による堆積環境の研究 -特に硫黄含有量による 識別-。地質調査所月報, **43**, 473-548.
- 田中俊雄・佐藤裕司・加藤茂弘・半田久美子 (2015) 兵庫県西宮市仁川における大阪層群の珪藻分析。人と自然, **26**, 47-59.
- 前田保夫・中井信之・松本英二・中村俊夫・楠 聡・松島義章・佐藤裕司・松原 彰子・熊野 茂・黒見充宏・額田雅裕・青木哲哉・古田 昇・小橋拓司・松井 順太郎・河原典史・山下博樹(1989)完新世における山陰海岸東部気比低地(兵庫県豊岡市)の古環境。立命館地理学, **no. 1**, 1-19.

- Nakada, M., Yonekura, N. and Lambeck, K. (1991) Late Pleistocene and Holocene sea-level changes in Japan: implication for tectonic histories and mantle rheology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **85**, 107-122.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, Ch.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, Th.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, St., Ramsey, Chr.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029-1058.
- Round, F.E., Crawford, R.M. and Mann, D.G. (1990) The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, 747 p.
- 坂本 亨・上村不二雄(1972)兵庫県北部、城崎東方の海成更新統。地質学雑誌, **78**, 415-416.
- 佐藤裕司(1989)過酸化水素水処理-比濁法による硫黄分析と堆積環境。第四紀研究, **28**, 35-40.
- Sato, H. (1991) Paleoenvironmental analysis of a core sediment from the Toyooka Basin, Hyogo Prefecture, Japan. -A study using diatom analysis combined with selective chemical extraction -. *Japanese Journal of Limnology*, **52**, 189-198.
- 佐藤裕司(1995)イオウの分別抽出と珪藻分析による古環境解析-兵庫県気比低地のコア堆積物を例に-。第四紀研究, **34**, 101-106.
- 佐藤裕司・加藤茂弘・半田久美子・松原尚志(2002)兵庫県豊岡盆地・香住荒原遺跡における完新世後期の堆積環境と相対海水準高度。人と自然, no.13, 1-6.
- 佐藤裕司・前田保夫・松本英二・松島義章(1994)兵庫県豊岡盆地中谷における完新世後期の堆積環境と海成層の上限。人と自然 no. 3, 29-36.
- Sato, H., Tanimura, Y. and Yokoyama, Y. (1996) A characteristic form of diatom *Melosira* as an indicator of marine limit during the Holocene in Japan. *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)* **35**, 99-107.
- 潮崎 誠・瀬戸谷皓(1993)考古資料編。豊岡市教育委員会編：豊岡市史史料編下巻, 豊岡市教育委員会, 305 p.
- 瀬戸谷皓(2002)シリーズ但馬I 但馬の古代-旧石器から古墳の成立まで-。但馬文化協会, 245 p.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. and Reimer, R. (2005) CALIB 5.02 html. <http://www.calib.org>
- 谷川晃一郎(2009)兵庫県円山川下流域における沖積層の層序・堆積環境と完新世の相対的海水準変動。第四紀研究, **48**,

255-270.

Tanigawa, K., Hyodo, M. and Sato, H. (2013) Holocene relative sea-level change and rate of sea-level rise

from coastal deposits in the Toyooka Basin, western Japan. *The Holocene*, **23**, 1039-1051.