

電気伝導率と微化石による番の州古環境の考察

森 紘隆 河野 敦 眞鍋 秀 西岡 智哉

A. 緒言

介形虫や有孔虫を始めとした微生物の化石（微化石）は生息した時代の環境を反映する。地層堆積物中に含まれる微化石を拾い出し、同定をすることでその地層が堆積した当時の環境を推定できる。

本研究ではそのことを利用し、ボーリング試料から採取した微化石を調査することにより、香川県番の州付近(図1, 図2)の古環境の変化を推察した。

ボーリング試料から拾い出した有孔虫の同定を行った結果、深さ 30.75~30.80m と 31.05~31.10m の地層は *Ammonia beccarii* や *Elphidium* 属が多く見られ、海中・汽水域で堆積した可能性が高いことが分かった。また、深さ 49.85~49.90m の地層は *Ammonia beccarii* が見られ、汽水域で堆積した可能性が高いことが分かった。

後に試料の電気伝導率を調べ、堆積場所の正確な裏付けをした。その実験では、深度 6.65~15.95m と 26.6~29.15m, 40.0~44.0m の地層は海中で堆積、15.95~21.95m の地層は汽水域で堆積した可能性が高いとの結果が得られた。

なお、未報告ではあるものの、番の州近くにある沙弥島の地下 20m 付近から約 9 万 5 千年前の噴火による鬼界葛原火山灰が川村教授により確認されている(図3)。このことと番の州のボーリング調査を比較して、掘削地の深さ 30 m 付近の地層は約 9 万 5 千年前に堆積したものであると考えている。

以上のことから、9.5 万年以前に一度、9.5 万年以降に二度、計 3 回の海水面の上昇があったと推測された。

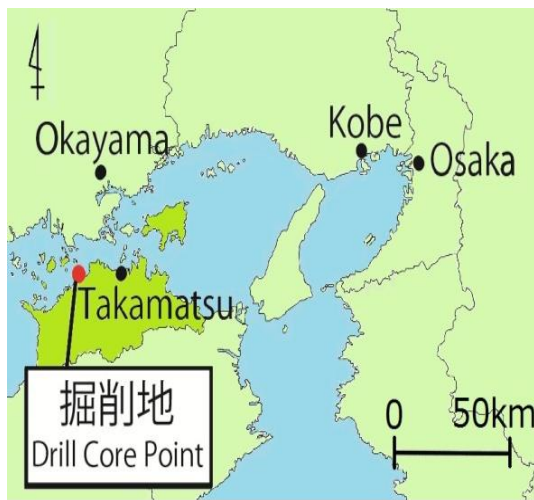


図1 掘削地 香川周辺



図2 掘削地 番の州

瀬戸内海付近の古代の環境やその変化について未だに分かっていることは少ない。

過去の研究では、坂東、高橋、斉藤(1978)によって音波調査や微化石を用いた古環境の調査がなされており、温暖な時期や寒冷な時期があったことが報告されている。また、気候の温暖化が海水面の上昇に深く関連していると記している(図4)。しかし、この調査の気候の記述は他の地域の調査をもとに推測したもので、実際に瀬戸内海で調査されたものではない。

また、昨年度先輩方が行った「香川県坂出市のボーリングコアから産出した完新世介形虫化石を指標とする番の州の古環境の変化」(2012)という研究では、私たちと同じ番の州ボーリングコアから拾い出した介形虫の調査をし、古環境の推定を行った。

その結果、前述の論文と比べ、更新世後期の気候は現在と同じと考えられていたところが現在より温暖であり、完新世で現在より温暖と考えられていたところは現在とほぼ同じであると示している(図5)。しかし介形虫が産出しなかった地層も多く、その範囲では考察ができていない。そこで、私たちは、これらの調査結果も踏まえながら、調査するサンプルの範囲を広げて、有孔虫の拾い出しと電気伝導率の測定を行うことにした。

有孔虫は原生生物界に属する体長 1mm 程の微生物である。広く世界中の海に生息することに加え、水中塩分濃度や海水温、深度によって細かく棲み分けを行う。このことから殻の化石は示相化石として用いられる。また、有孔虫はほとんどの種が海水に生息するため、有孔虫が見つかった地層は海中で堆積した可能性が高い。有孔虫を使った研究は、先に示した研究の裏付けに大きな立証効果を発揮することを期待し導入した。

時代	地層		層厚 (m)
	備讃瀬戸層群	番ノ州層	
完新世		上部層	25
		下部層	30
更新世	榎ノ戸瀬戸層		70
鮮新世	三豊層群		80
先第三紀	基盤岩		

←
沙弥島より
鬼界葛原火山灰
(9万5千年前の噴火による)
の産出

図3 番の州の層序

電気伝導率の測定は試料中に含まれる硫酸イオン濃度を計測する方法で、私たちは特定の地層が海水・汽水・淡水域のどこで堆積したかを調べるために用いた。この方法は幅広く利用されていて、信憑性の高い結果が得られると考えた。

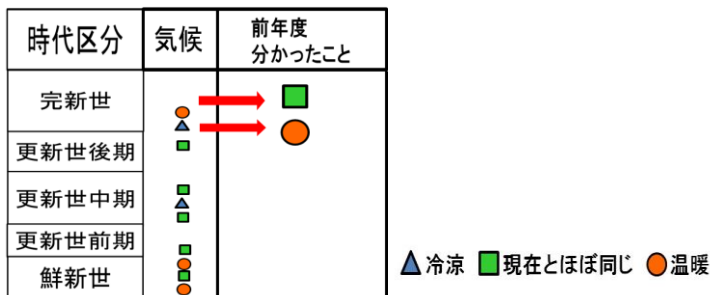
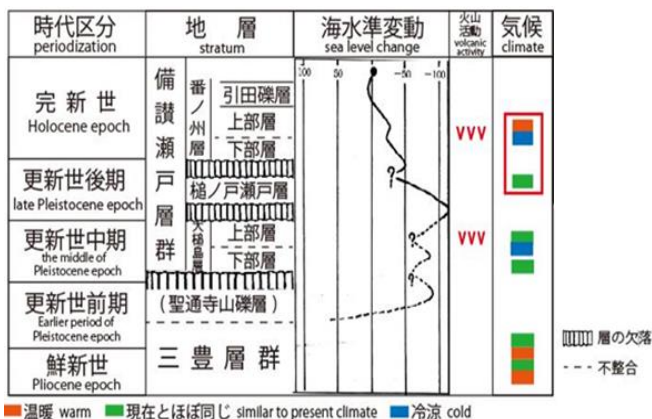


図4 坂東 祐司, 高橋 幸蔵, 斉藤 実 (1978) 備讃瀬戸海底の地質学的研究-2-備讃瀬戸海域の海底地質.香川大学教育学部研究報告.

図5 坂東らの研究と「香川県坂出市のボーリングコアから産出した完新世介形虫化石を指標とする番の州の古環境の変化」(2012)の研究結果との比較

B. 研究方法

(1) 有孔虫の調査方法

試料は香川県坂出市番の州のボーリング調査によって得られたもので、2011年5月に田村ボーリング株式会社により、東邦地下工機製 D1-C 型を用いて掘削したものである。ボーリングコアの掘進長は 60m で直径は 6cm である。同年7月にそれらからサンプルを採取した。深さ 6.65m は埋め立てられた土として除き、それより深いところから約 5cm ずつ、堆積物が変わるごとに計 32 個のサンプルを区分して採取した。サンプルは浅い部分から順に番号をふって管理し、それらを 200 メッシュのふるいで水洗いした後、乾燥させた。なお、これらのサンプル作りは昨年度先輩が行ったものである。今回は No.17 と No.18 を除く No.15~No.32 の各サンプルを分割し、完全な殻と欠殻、成体と幼体の区別なく、1 試料につき 200 個体を目安として対象微化石を抽出した。抽出中に 200 個体に達しても 1 分割試料中に含まれる対象の微化石は全て拾い出した。次頁にサンプル毎の結果を示している (図 6)。

(2) 電気伝導率を用いた調査方法

昨年度の結果から、No.6~No.13 のサンプルからは、「介形虫や有孔虫が見つからず、木片類が多く見つかった」おり、これらの地層は陸上の淡水中で堆積した地層だと推測していた。しかし、この理論は正確さに欠ける。そこで、地層がどこで堆積したか明らかにするために、私たちは地層サンプルにおいて電気伝導率を測定した。

電気伝導率とは前述した通り、サンプルに含まれる硫酸イオンや塩化物イオンの量を計測する方法であり、今回のように使うとそのサンプルをとった地層がどのような水質中で堆積したかを推定できる。他の方法に対して電気伝導率測定の優位性は、測定方法が簡単であり誤差が小さいこと、外界の条件からの影響が小さいこと、地質調査によく使われ立証性が高いことが挙げられる。ただし、電気伝導率は泥質のサンプルからしか測れないという欠点もある。

まず、電気伝導率の測定のために、2012年6月、ボーリング試料の深さ 15.8~44.0m から再度サンプルを採取した。サンプルは浅いほうから順に No.101~No.120 を振り、管理することとした。これらのサンプルからそれぞれ約 20g とり、110℃で 48 時間乾燥させた。乾燥処理したサンプルから 10.0 g 取り粉碎し蒸留水を 120ml 加えて、その後静置し、30 分後、1 時間後、3 時間後、3 日後、5 日後それぞれにおいて測定した。大きな数値の変化がなければ 5 日後の測定結果を採用した。測定には DKK-TOA のポータブル電気伝導率・pH 計を使用した。

C. 結果

(1) 有孔虫の調査結果

サンプル No.15 (深さ 30.75~30.80m) からは 53 個体, No.16 (深さ 31.05~31.10m) からは 118 個体, No.25 (49.85 m 付近) からは 1 個体の有孔虫の同定をした。自分たちの同定結果を確認するため、島根大学教育学部 辻本彰助教授に依頼した。結果は次に示す通りである (図 7) (写真 1, 2)。なお No.17、No.18 から多数の有孔虫が産出されているが、昨年度拾い出したもので、同定は行っていない。

図 7 の示す通り, No.15 (深さ 30.75~30.80m) からは海水域を好む種 (*Elphidium* 属) と汽水域 (*Ammonia beccarii*) を好む種が共に多く, No.16 (深さ 31.05~31.10m) からは汽水域を好む種 (*Ammonia beccarii*) が多い。No.25 (49.85 m 付近) からも同じく汽水域を好む種 (*Ammonia beccarii*) が見つかっている。

微化石は比較的海流の影響を受けやすいが、今回見つかった微化石は総じて状態が良く海流の影響は少ない状態で堆積したと考えられる。したがって、No.15 の地層は汽水から海水域で堆積し、No.16 と No.25 の地層は汽水域で堆積した可能性が高いと推測した。

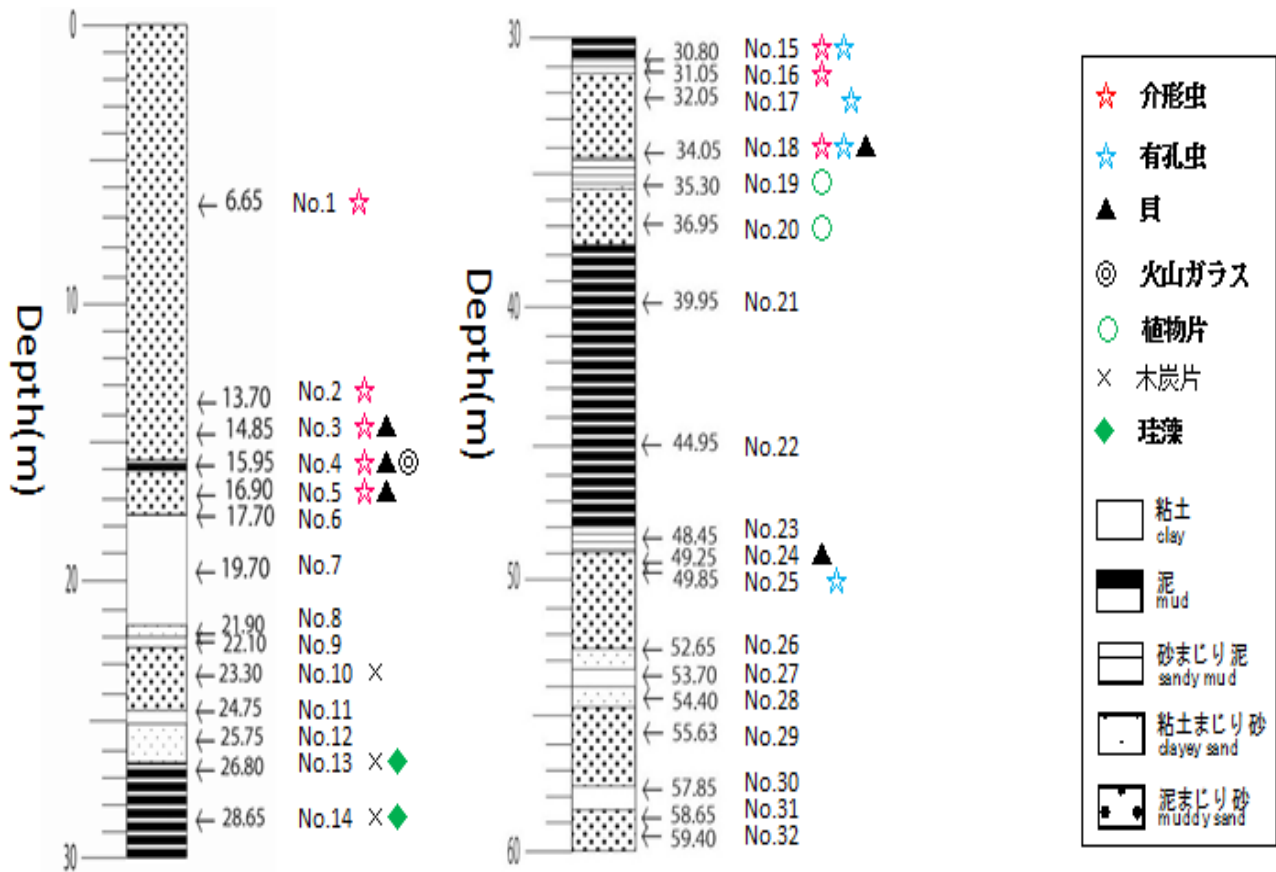


図6 サンプルごとの拾い出し結果

種名	個体数
<i>Ammonia beccarii</i>	38
<i>Elphidium advenum</i>	6
<i>Elphidium jenseni</i>	3
<i>Elphidium excavatum</i>	1
<i>Buccella frigida</i>	2
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	1

【No.15 の同定結果】

種名	個体数
<i>Ammonia beccarii</i>	79
<i>Ammonia tepida</i>	2
<i>Elphidium advenum</i>	20
<i>Elphidium excavatum</i>	1
<i>Elphidium jenseni</i>	1
<i>Buccella frigida</i>	12

【No.16 の同定結果】

図7 サンプルごとの有孔虫種の拾い出し結果

*Ammonia beccarii*は淡水の影響を受ける内湾奥の特徴種として知られ、一方で *Elphidium* 属は溶存酸素量・塩分濃度が高い海水を好む。また、*Buccella frigida* は海水中の泥底の場所を好み、*Quinqueloculina seminulum* は砂底を好む。



Ammonia beccarii



Ammonia tepida



Elphidium advenum



Elphidium jensei



Elphidium excavatum

写真 1



Quinqueloculina seminulum



Buccella frigida

写真 2

(2) 電気伝導率の調査結果

先に述べたように、電気伝導率測定の特徴として泥質の試料以外は計測できないということがあり、今回採取したサンプルでも No109, No113~No115, No.119 は計測不可能であった (図 8)。

No.	深さ (m)	測定値 (s/m)
101	15.8~15.9	2.226
102	15.9~15.95	1.73
103	16.25~16.3	1.06
104	17.75~17.8	0.69
105	18.5~18.6	1.073
106	19.6~19.7	1.105
107	20.25~20.35	0.668
108	21.6~21.7	0.447
110	26.6~26.7	2.99
111	27.9~28.0	1.54
112	29.05~29.15	1.379
116	40.0~40.1	1.838
117	40.85~41.0	1.501
118	41.95~42.0	1.204
120	43.9~44.0	1.872

図 8 サンプルごとの電気伝導率測定結果

電気伝導率は、測定結果を 0~0.6[s/m] (淡水を示す), 0.6~1.3[s/m] (汽水を示す), 1.3~[s/m] (海水を示す) の 3 グループに分けられる。淡水域の範囲には、No.108 が含まれた。汽水域の範囲には、No.103, No.104, No.105, No.106, No.118 が含まれ、海水域の範囲には No.101, No.102, No.110, No.111, No.112, No.116, No.117, No.120 が含まれていた (図 9)。

このことから、深さ 40.0~45.0m の地層の堆積環境は海水から汽水域へ変化し、その後海水へ変化したと考えられた。深さ 15.0~30.0m の地層の堆積環境は海水から淡水へ変化し、その後汽水域を経て海水へ変化したと考えた。

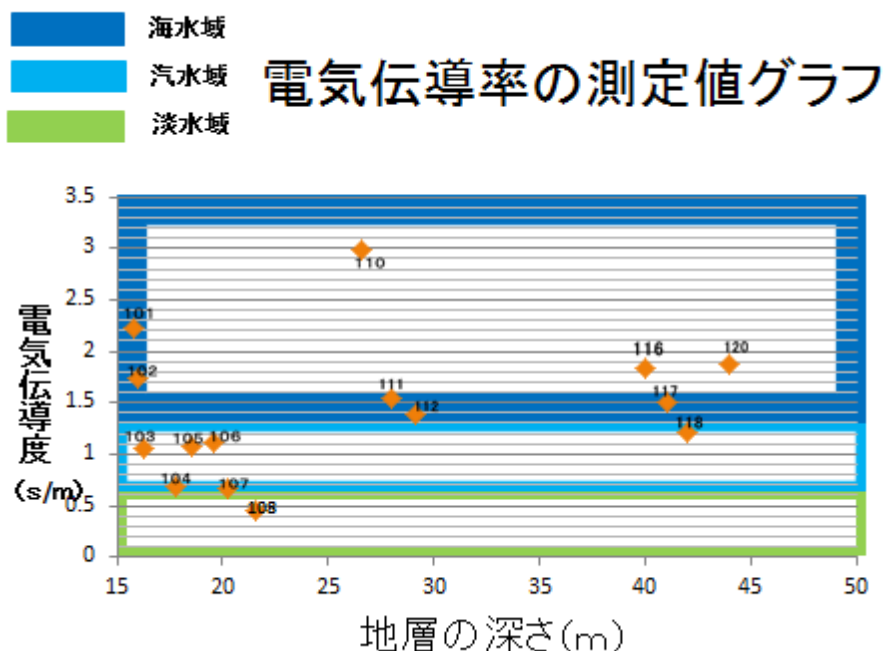


図 9 各地層サンプルの深さと電気伝導率測定の結果

サンプルとその地層の深さごとに、堆積物の様子、介形虫、有孔虫、電気伝導率の項目に分け一覧にまとめた (図 10)。

1~6.65m の範囲は埋め立てた土の層であったため考察していない。また、53~60m の範囲は、微化石、電気伝導率ともに測定できなかったため考察を行っていない。

結果より、それぞれ特徴のある範囲ごとに地層を 3 つに分けた。13.7~25m の範囲を①、25~37m の範囲を②、37~53m の範囲を③として考察を行った。

深さ(m)	サンプルの深さ(m)	H23採取		堆積物の様子	H23の調査方法		H24の調査方法		
		サンプルNo.	サンプルNo.		介形虫	考察	有孔虫	電気伝導度	
6	6.65~6.7	1		堆積物は細かい砂が多い	潮間帯藻場の種、低潮線以深の泥、砂に生息する種	潮流の影響あり(2よりは少ない)			
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13	13.7~13.75	2		れき混じりの粗い砂	潮間帯藻場の種、低潮線以深の泥、砂に生息する種	潮流強い			
14	14.85~14.9	3		泥まじりの粗い砂					
15	15.8~15.9		101	泥、細かい砂、貝殻、火山ガラス				2.226	
	15.9~15.95		102	泥、細かい砂、貝殻、火山ガラス				1.73	
	15.95~16.0	4							
	16.25~16.3		103					1.06	
16	16.9~16.95	5		泥混じりの粗い砂	潮間帯藻場の種、低潮線以深の泥、砂に生息する種	潮流の影響が少ない			
17	17.7~17.75	6							
	17.75~17.8		104	泥、生物片ほぼなし				0.69	
18	18.5~18.6		105	泥				1.073	
	19.6~19.7		106	泥				1.105	
19	19.7~19.75	7		泥					
20	20.25~20.35		107					0.668	
	21.6~21.7		108					0.447	
21	21.9~21.95	8		細かい砂混じり泥	珪藻・木片のみ				
22	22.1~22.15	9		泥					
23	23.3~23.35	10	109	砂					
24	24.75~24.8	11		泥、細かい砂混じり					
25	25.75~25.8	12		細かい砂					
	26.6~26.7		110						2.99
26	26.8~26.85	13		泥、粘土					
27	27.9~28		111						1.54
28	28.65~28.7	14		泥、粘土					
29	29.05~29.15		112						1.3
30	30.7~30.75(予備)								
	30.75~30.8	15		泥、粗い砂混じり			有孔虫(汽水域・海水域両方あり、しかし汽水域の方が多い)		
31	31.05~31.1	16					有孔虫(汽水域・海水域両方あり、しかし汽水域の方が多い)		
32	32.05~32.1	17	113	泥混じりの粗い砂					
33									
34	34.05~34.1	18		粗い砂混じりの泥	低潮線以深の泥、砂に生息する種、熱帯種	温暖、20M以浅で湾の中央部			
35	35.3~35.35	19	114	泥、粘土					
36	36.95~37	20	115	砂、泥混じり					
37									
38									
39	39.95~40	21		泥、粘土	有孔虫・介形虫なし				
40	40.0~40.1		116					1.838	
	40.85~41		117					1.501	
41	41.95~42		118					1.204	
42	42.5~42.6		119						
43	43.9~44		120					1.872	
44	44.95~45	22		泥、粘土	有孔虫・介形虫なし				
45									
46									
47									
48	48.45~48.5	23		砂混じり泥					
49	49.2~49.25	24		泥混じり砂					
	49.85~49.9	25		砂			有孔虫(汽水域)		
50									
51									
52	52.65~52.7	26		少し泥混じり粗い砂					
53	53.7~53.75	27							
54	54.4~54.45	28							
55	55.65~55.7	29							
56									
57	57.85~57.9	30							
58	58.65~58.7	31							
59	59.4~59.45	32							
60									

図 10 結果の一覧

D. 考察

今回は特に地層の粒の大きさ、微化石、電気伝導率の3項目に重点を置いて地層堆積時の環境、気候、海面の高さについて考えた。

地層は積み上がっていくため深度の浅い地層ほど新しいものとなる。

粒の大きさは細くなるほど、沖合いで堆積したものと考えられる。これは粒の大きさが小さいものほど、潮流など水の流れにより遠くまで運搬されるからである。具体的には泥・粘土が堆積していれば海水域、礫・砂が堆積していれば汽水域・海水域であったとする。

微化石からは当時生息していた水域と気候、また電気伝導率からは堆積当時の水域を推測する。

古い年代から考察を行うため③～①の順番で説明する。

③の範囲 (37～53m)

深さ 50m 付近の地層の堆積物は、泥が混じった粗い砂や砂など比較的大きい粒子が堆積していた。この深さの地層からは汽水域に生息する有孔虫 *Ammonia beccari* が産出した。また上の層になるにつれ細かい粒子で構成されていた。深さ 40m 地点では泥・粘土が堆積していた。そのため深さ 40m 周辺では電気伝導率の測定を行い、結果は海水域を示した。

このことより③の範囲の堆積当時、陸に近い汽水域から、陸から離れた海水域へと移り変わっていったと考えた。

私たちはこのような変化が海面上昇によるものだと推測した。粒子の大きさが段階を踏んで細かくなっていることより、急激な土地の沈降によりこのような変化が生じたとは考えにくいという結論に至った。

②の範囲 (25～37m)

深さ 30～37m の地層では粗い砂混じりの泥など主に粗い粒子の堆積物で構成されていた。そして深さ 30m 付近では有孔虫がとて多く産出した。その割合は汽水種が高く、それ自体の保存状態が良いことから、潮流の影響を受けず、当時の生息場所である汽水域でそのまま堆積したものだと考えた。一方、深さ 26m～29m の地層では粒子の大きさが細くなり泥・粘土で構成されていた。この地点で介形虫・有孔虫は確認できなかった。また、電気伝導率の結果は海水域を示した。このことより③の範囲と同様に、陸に近い汽水域から、陸から離れた海水域に変わっていったと考えた。

また、先輩方の研究では、深さ 34m 地点の地層から熱帯性の介形虫が産出した。よってこの頃の気候は温暖であったと推測した。

①の範囲 (25～13m)

この範囲では、泥の層、砂の層が不規則に混在しており、粒子の大きさによる考察はしていない。介形虫は砂底種・泥底種がいくつかの層で産出した。有孔虫は多数産出したが、同定は行っていない。また全体的に珪藻が多く堆積していた。

電気伝導率は広い範囲で測定できた。16m～21m の広い範囲で電気伝導率は汽水域の値を示し、15m 地点の電気伝導率は海水域を示した。

以上のことから①の範囲では、長い期間汽水域・淡水域の状態が続き、その後海面上昇が起こり、海水域へと変わっていったと推測した。

①②③の範囲の堆積環境を考察した結果、「汽水域・淡水域→海水域→汽水域・淡水域→」という流れが繰り返されていた可能性が考えられた。どの範囲でも海面上昇があり、それぞれの範囲の間の期間で海面は低下したと考えた。結果より次の海面変動のグラフを作成した (図 11)。

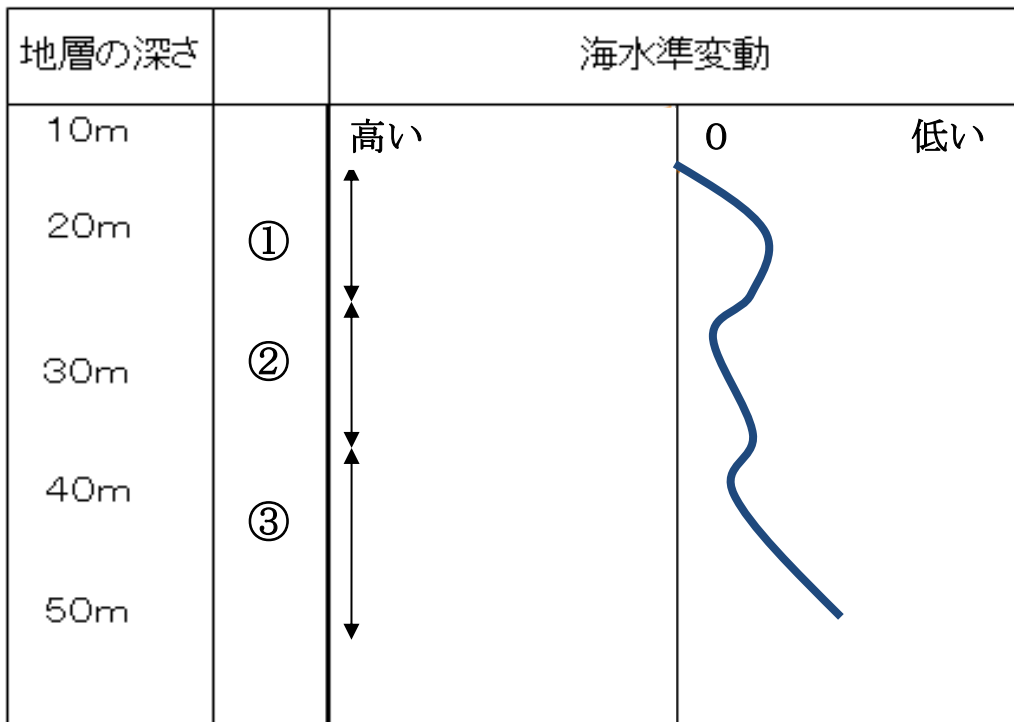


図 11 海面変動のグラフ

調査場所では、このような海面の上昇・低下が過去に3回起こり、現在に至ったと考えた。図4で示したとおり、瀬戸内海では現在に至るまで全体的に海面が上昇していったことが漠然と分かっている。これを比較して、私たちの調査範囲でも海面は全体しては上昇していったと考えた。

E. 謝辞

本研究を行うに当たり、ご指導いただいた島根大学の辻本彰先生には多大な感謝を申し上げます。また、田村ボーリング株式会社専務・田村彰三氏、秋田大学の川村教一先生には貴重なボーリングコアサンプルを提供いただきました。香川大学工学部石塚正秀先生には、快くポータブル電気伝導率・pH計をお貸しいただきました。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

F. 引用文献

- 神戸沖ボーリングコアにおける完新世貝形虫群集の垂直変化 (2001 *Irizuki et al.*)
金子稔ら (2005) 大宮台地に分布する中―上部更新統下総層群木下層の有孔虫化石群集と堆積環境
瀬戸内海燧灘における現生介形虫群集 (1998 山根勝枝)
坂東 祐司, 高橋 幸蔵, 斉藤 実 (1978) 備讃瀬戸海底の地質学的研究-2-備讃瀬戸海域の海底地質
(香川大学教育学部研究報告)