

대한해협 코아 퇴적물의 부유성 유공충 군집 특성과 고해양 환경 변화

강소라^{1,*} · 임동일¹ · 노경찬¹ · 정희수² · 최진용³ · 유해수²

¹한국해양연구원 남해특성연구본부, 656-830 경상남도 거제시 장목면 장목리 391

²한국해양연구원 해양환경연구본부, 425-600 경기도 안산시 우체국 사서함 29호

³군산대학교 해양정보과학과, 573-600 전라북도 군산시 미룡동 산 68

Planktic Foraminiferal Assemblages of Core Sediments from the Korea Strait and Paleoclimatic Changes

Sora Kang^{1,*}, D.I. Lim¹, K.C. Rho¹, H.S. Jung², J.Y. Choi³ and H.S. Yoo²

¹Environmental Science Laboratory, South Sea Institute, Korea Ocean Research and Development Institute, Geoje-Shi 656-830, Korea

²Marine Geoenvironment Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

³Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-600, Korea

Abstract: The paleoclimatology since 14 ka was reconstructed based on the planktic foraminiferal assemblages of core sediments from the outer shelf of the Korea Strait. Planktic foraminifera in the core sediments can be divided into four assemblages: A, B, C, and D. Assemblage A consists mainly of *Globigerinoides ruber* group and *Globigerinoides conglobatus* with low abundance (less than 10%), indicating the tropical-subtropical water mass. Assemblage B is composed of *Pulleniatina obliquiloculata* and *Neogloboquadrina dutertrei*, the indicator of Kuroshio Current, and shows the aspect of the inflow of the Tsushima Current into the Korea Strait. Assemblage C yields polar-subpolar species, mainly *Neogloboquadrina incompta* and *N. pachyderma*. It decreases upward of the core. Assemblage D contains coastal water species such as *Globigerina bulloides* and *G. quinqueloba*. It is abundant in the lower to middle region of the core. From the analysis of distributions of each assemblage and the result of age datings in the core, it is suggested that the Korea Strait played a role of channelling the East China Sea and the East Sea after the LGM (ca. 14 ka). During this time, the coastal water, affected by fresh waters originated from the river systems of China and/ or the Korean Peninsula, flourished around the Korea Strait and these coastal water might entered to the East Sea. Around 8.5 ka, the effect of the Tsushima Current started to strengthen in this region, and the present current system seems to be formed at about 7-6 ka.

Keywords: paleoclimatology, Tsushima current, planktic foraminifera, Korea Strait

요약: 지난 최대 빙하기 이후 대한해협에서의 고해양 환경 변화를 이해하고자 대한해협 외대륙붕에서 채취한 코아 퇴적물에 대한 ¹⁴C 연대 측정과 함께 부유성 유공충의 군집 변화를 분석하였다. 코아 퇴적물은 모래 50%, 실트 30%, 점토 20%의 사니질 퇴적상으로 약하게 생물 교란된 모래/사니질 교호층리들이 발달하고 있다. 코아 퇴적물의 연대는 최하부에서 약 14 ka이며, 최상부 30 cm에서 약 6 ka로 지난 최대 빙하기에서 현재 시기까지 발달한 퇴적층이다. 코아 퇴적물에서 산출되는 부유성 유공충은 크게 4개의 군집으로 구분된다. 군집 A는 열대-아열대종인 *Globigerinoides ruber* group, *Globigerinoides conglobatus*로 대표되며, 코아의 전 깊이에서 약 10% 이내로 산출되며, 상부 약 30 cm에서 증가한다. 군집 B는 쿠로시오 해류의 지류인 대마 난류를 지시하는 *Pulleniatina obliquiloculata*, *Neogloboquadrina dutertrei* 등으로 구성되며, 대한해협에 대마 난류의 유입 양상을 보여준다. 군집 C는 *Neogloboquadrina incompta*, *Neogloboquadrina pachyderma* 등 한대-아한대성 종들로 구성되며, 코아의 하부에서 상부로 갈수록 감소하는 양상을 보인다. 군집 D는 *Globigerina bulloides*, *Globigerina quinqueloba* 등 연안수를 지시하는 종으로 구성되며, 코아의 중·하부에서 가장 우시

*Corresponding author: sora@pusan.ac.kr

Tel: 82-55-639-8581

Fax: 82-55-639-8509

하게 나타난다. 이러한 부유성 유공충 군집분석 특성과 연대 측정 결과에 근거할 때, 최대 빙하기 이후 약 14 ka부터 7 ka까지 대한해협은 중국 대륙 및 한반도에서 기원한 담수의 영향으로 저염수의 특성을 가지는 연안수의 영향을 많이 받았으며, 이 시기에 대한해협을 통하여 많은 양의 담수가 동해로 유입되었을 것으로 사료된다. 대한해협에 대마 난류의 영향력이 강해지기 시작한 것은 약 8.5 ka 이후로 보이며, 이후 난류의 영향은 더욱 강해져 약 7~6 ka를 전후하여 거의 현재와 같은 해양 환경이 형성된 것으로 해석된다.

주요어: 고해양 환경, 대마 난류, 부유성 유공충, 대한해협

서 론

한반도와 일본 열도 사이에 위치한 대한해협(Korea Strait)은 동중국해와 동해를 연결하는 좁은 대륙붕 해역으로 중앙에 위치한 수심 220 m의 해곡(trough)을 제외하면 수심 약 130 m 미만의 평탄한 지형을 갖는다. 수심 80 m 이내의 내대륙붕은 주로 낙동강 기원의 현생 니질 퇴적물이 분포하며, 수심 80~120 m의 중간 대륙붕에는 조립한 잔류 퇴적물(relict or palimpsest sediments)이 발달하고 있다(Park and Yoo, 1988; Yoo et al., 2003). 대한해협은 쿠로시오 해류(Kuroshio Current)의 지류인 대마 난류(Tsushima Current)가 동해로 유입되는 중요한 통로(sea-way)이다. 쿠로시오 해류는 북태평양 적도해류(North Pacific Equatorial Current)로부터 기원되어 대만과 류큐섬(Ryukyu Island) 사이의 해협을 통해 동중국해로 유입되어 일본열도를 따라 북동쪽으로 흐르는 북태평양의 대표적인 해류이다. 쿠로시오 해류로부터 분지된 대마 난류는 대한해협의 서쪽 수로를 통해 동해로 유입되어 한반도 동해연안을 따라 동한 난류를 형성하며, 대한해협의 동쪽 수로를 통해 유입된 해류는 일본열도 연안을 따라 북상하여 쓰가루 해협(Tsugaru Strait)과 소아해협(Soya Strait)을 통해 태평양으로 다시 유출된다. 따라서 대마 난류는 동해에 고온-고염의 북태평양 해수의 물질을 공급하고, 동해의 해수 순환을 조절하는 중요한 해류이다(Moriyasu, 1972).

해수면이 하강한 지난 최대 빙하기(Last Glacial Maximum; LGM)를 전후하여 쿠로시오 해류의 성분과 이동 패턴은 현재와 크게 달랐던 것으로 보고되고 있다. LGM 동안 쿠로시오 해류(paleo-Kuroshio Current)는 동중국해의 오키나와 해곡(Okinawa Trough)으로 유입되지 못하고 류큐섬 동쪽으로 우회하였으며, 이후 약 7 ka에 현재와 같이 동중국해로 유입된 것으로 제시되었다(Ujiié and Ujiié, 1999; Jian et al.,

2000; Ujiié et al., 2003). 그러나 쿠로시오 해류는 지난 42 ka 이후 계속 오키나와 해곡을 통해 동중국해로 직접 유입되었으며, 다만 LGM 동안에는 그 세력이 약화되었을 뿐이라는 상반되는 해석도 제시되고 있다(Xu and Oda, 1999; Ijiri et al., 2005).

한편, LGM 동안 대한해협은 육상에 노출되어 쿠로시오 해류(또는 대마 난류)가 차단되었으며, 이로 인하여 동해가 대양으로부터 고립되어 저산소 환경이었을 것으로 해석되었다(Keigwin and Gobarenko, 1992; Kim et al., 2000). 특히 Kim et al.(2000)은 동해에서 저서 및 부유성 유공충의 동위원소 분석결과를 토대로 LGM 이후 B/A와 Younger Dryas의 시기에 염분 증가의 현상은 있었으나 수온 상승의 경향은 나타나지 않으며, 더욱이 한류성 부유 유공충의 풍부한 산출에 근거할 때 이 시기의 해수 유입은 대한해협이 아니라 북쪽의 쓰가루 해협을 통해 이루어진 것으로 해석하였다. 그러나 LGM 시기에도 대한해협은 완전히 노출되지 않고 수로가 형성되어 중국의 황하와 양자강 그리고 한반도의 낙동강과 섬진강으로부터 유출된 담수와 함께 쿠로시오 해류가 동해로 유입되었다는 대조적인 연구결과들도 발표되었다(Morely et al., 1986; Oba et al., 1991; Matsui et al., 1998; Tada and Irino, 1999; Park et al., 2000; Lee and Nam, 2003).

이와 같이 동해에서 쿠로시오 해류(대마 난류)의 역할에 관하여 아직까지 상반된 연구결과들이 발표되고 있으며, 더욱이 대한해협의 지리적 중요성에도 불구하고 대부분의 기존 연구들이 동중국해와 동해에서 얻어진 자료들을 대상으로 이루어져 왔다. 대한해협에서의 고해양학적 연구가 부진한 것은 연구해역이 대부분 매우 조립한 잔류 퇴적물로 구성되어 있어 코아시료의 획득이 어려웠기 때문인 것으로 사료된다. 본 연구에서는 대한해협 외대륙붕의 수심 130 m에서 채취한 코아 퇴적물을 대상으로 산출되는 부유성 유공충 군집분석을 통하여 LGM 이후의 대한해협 주변

해역의 고해양 환경 변화, 특히 쿠로시오 해류의 지류인 대마 난류가 동해로 유입되는 양상과 그 시기를 파악하고자 한다.

연구 방법

본 연구를 위해 대한해협 수심 130 m에서 길이 340 cm의 피스톤 코어 퇴적물(EEZ02-25)이 채취되었으며(Fig. 1), 절개 후 일차적으로 퇴적물 색상, 퇴적 구조, 퇴적상 등의 특징들을 기술하고 X선 사진 등 다양한 분석을 위한 부시료들을 채취하였다. 퇴적물의 입도 분석은 Ingram(1971)의 방법에 따라 유기물과 탄산염을 제거한 후 4Φ(63 μm)체를 사용하여 조립질과 세립질로 분리하였다. 조립질 퇴적물은 건식 체질 방법으로, 그리고 세립질 퇴적물은 피펫방법으로 입도별 중량 백분율을 1Φ 간격으로 구하여 Folk and Ward(1957)가 제시한 도표 계산법에 따라 입도 조직 상수를 계산하였다. 총 탄소와 총 유기 탄소 함량은 분말 시료를 대상으로 자동원소분석기(CHN analyzer, Model EA1112)를 이용하여 분석하였다. 탄산염함량은 총 탄소 및 총 유기탄소 함량을 이용하여 계산하였다.

부유성 유공충 분석을 위해 10~20 cm 간격으로 건조중량 30 g씩의 퇴적물을 채취한 후, 63 μm의 체를 이용하여 체질하였다. 분리된 63 μm 이상의 조립질

퇴적물을 약 80°C에서 건조한 후, 각 시료를 분리기(microsplitter)를 이용하여 적당량으로 분리하여 150 μm 크기 이상의 부유성 유공충을 시료마다 약 200 개체 이상씩 추출하여 분류하였다. 퇴적물의 연대는 4곳의 깊이에서 추출된 저서성 유공충을 미국의 Beta Analytic Inc.사에 의뢰하여 AMS ¹⁴C 방법을 이용하여 측정하였다.

결 과

코아 퇴적물의 암상 및 AMS ¹⁴C 연대 측정

코아 시료 EEZ02-25의 퇴적물은 전반적으로 녹회색(5GY 2/1) 또는 암녹색(N3)의 니질과 모래가 혼합된 니질 모래(muddy sand) 또는 모래질 니(sandy mud) 퇴적물로 구성되며, 패각 또는 패각편들은 거의 관찰되지 않는다. X선 사진 분석결과에 의하면, 코아의 상부 60 cm는 모래와 니질층이 교호하는 평행 엽리가 풍부하게 관찰되며, 이들 엽리들은 부분적으로 생물교란작용에 의해 변형된 특징을 보인다. 깊이 60~230 cm 구간에서는 대부분의 퇴적물이 생물활동에 의해 교란되어 나타나며, 다양한 생물교란구조와 함께 엽리구조들이 파괴되어 변형된 잔류구조들이 부분적으로 관찰된다. 깊이 230 cm 이하 하부는 시료 채취시 교란되어 퇴적구조를 분석할 수 없었다. 퇴적물의 평균입도는 전체적으로 2~5 phi 범위이며, 모래,

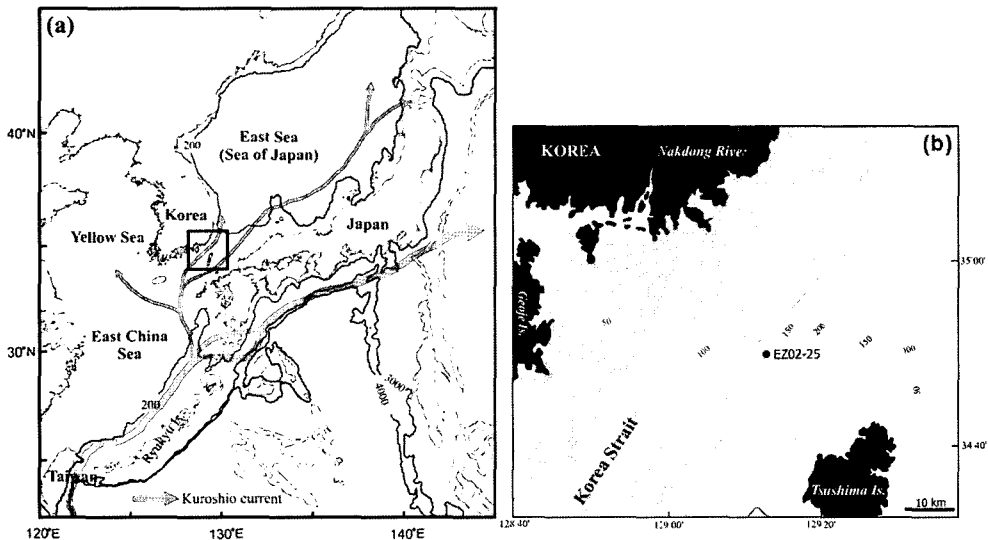


Fig. 1. Map showing (a) the main path of the Kuroshio Current (after Ujiie et al., 2003) and (b) the study area with core sampling site in the Korea Strait. Counters are in meter.

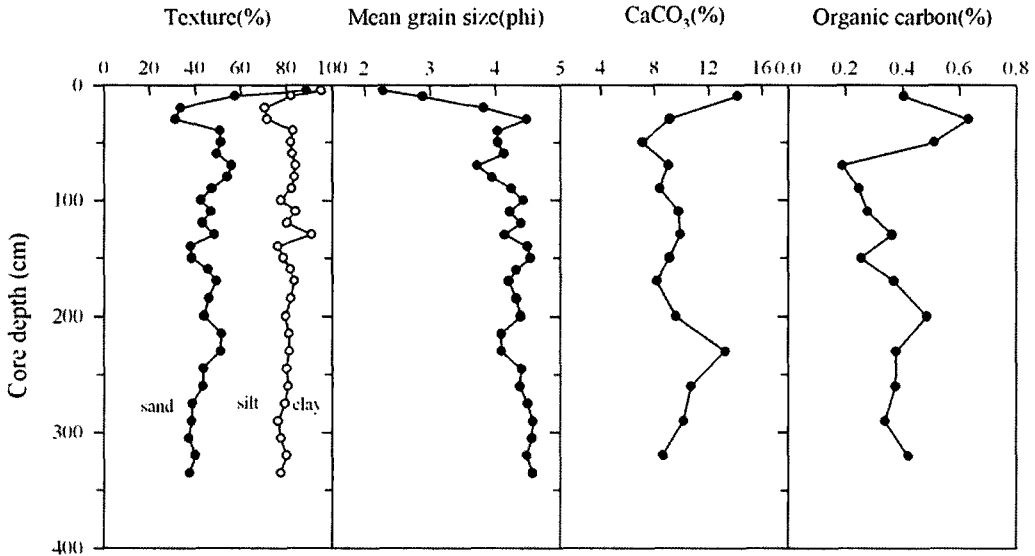


Fig. 2. Vertical variation of texture, mean grain size, and contents of calcium carbonate and organic carbon in core sediments.

실트, 점토의 함량은 각각 37~89%, 6~43%, 5~29% 범위이다(Fig. 2). 그러나 2Φ 내외로 조립한 최상부 30 cm 구간을 제외하면 모든 깊이에서 수직적으로 큰 변화 없이 평균 4.2Φ(범위 4~4.5Φ)의 균질한 평균입도를 나타낸다. 이러한 세립질의 풍부한 엽층리 구조를 갖는 코아 시료는 일반적으로 대한해협 대륙붕에 분포하는 풍부한 패각(shell)과 패각편(shell fragment)을 함유한 조립질의 잔류 퇴적물과는 매우 대조적이고 특징적인 퇴적물로 제시된다. 총 유기탄소 함량은 0.2~0.7% 범위이며, 탄산염 함량은 6~14% 범위로 최상부에서 30 cm 구간에서 최대값을 갖는다(Fig. 2).

저서성 유공충의 탄소동위원소를 이용한 퇴적물 연대 측정 결과, 최하부 320 cm 깊이에서 측정된 연대는 14,240±50 yrBP이며, 160, 80, 30 cm 깊이에서 측정된 각각의 연대는 9,700±40 yrBP, 8,660±40 yrBP 그리고 5,960±40 yrBP이다. 이러한 연대측정 결과를 고려할 때 30 cm 이하의 대부분의 코아 퇴적물이 플라이스토세 말기(약 14 ka)에서 현재 초기(약 6 ka)까지 해수면이 상승하는 동안 퇴적되었으며, 퇴적율은 0.11~0.79 mm/yr 범위이다. 한편 상부 약 30 cm 두께만이 해수면이 현재의 위치에 도달한 약 6 ka 이후에 퇴적된 것으로 퇴적율은 0.05 mm/yr로 낮다. 따라서 연구해역에서의 퇴적작용은 현재 초기에 거의 끝난 것으로 해석된다.

부유성 유공충의 종조성 분포

코아의 모든 깊이에서 부유성 유공충이 풍부하게 산출되며(Table 1), *Neogloboquadrina dutertrei*와 *Globigerina bulloides*가 우점종으로 나타난다. *N. incompta*, *N. pachyderma*와 *G. quinqueloba* 등도 일부 시료에서 풍부하게 산출되며, *G. angustumbilicata*, *G. falconensis*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides ruber*, *Globorotalia inflata*, *Pulleniatina obliquiloculata* 등은 소량이지만 코아의 거의 모든 깊이에서 산출된다. 수직적 함량변화를 보면 대부분의 종들이 상부 40~60 cm 깊이를 기준으로 뚜렷한 함량 변화를 보인다. 전반적으로 코아의 상부에서는 *N. dutertrei*가 우점종으로 그리고 하부에서는 *G. bulloides*가 우점종으로 산출된다. *N. dutertrei*는 코아의 하부에서 상부로 갈수록 뚜렷이 증가하며, 하부 180~320 cm 구간에서는 8%, 60~180 cm에서는 평균 12%, 그리고 상부 60 cm 구간에서는 크게 증가하여 평균 34%에 이른다. *G. bulloides*는 코아의 하부에서는 전반적으로 평균 31%로 높은 산출량을 보이는 반면, 상부 30 cm 구간에서 평균 10%이하로 뚜렷이 감소한다. *N. incompta*는 코아의 하부에서 상부로 갈수록 점진적으로 감소하여, 하부 180~320 cm 구간에서는 평균 17%로 높고, 40~180 cm 구간에서는 평균 12% 그리고 상부 30 cm 구간에서는 6% 미만으로 크게 감소한다. *N. pachyderma*는 대부분이 오른쪽으로 말린

Table 1. Relative frequency (%) of planktic foraminifers from the core EEZ 02-25

Species	Depth (cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	
<i>Globogerrina angustumbilicata</i>		0.8	0.4	1.0	0.4	2.6	1.4	3.5	3.6	4.5	5.5	0.9	2.0	1.5	3.3	3.1	2.6	5.5	6.4	6.0	5.3	1.6	2.6	
<i>Globigerina bulloides</i>		11.8	7.5	10.2	10.5	34.5	23.6	38.4	32.9	29.5	28.3	30.3	34.2	34.0	31.1	32.3	30.7	30.6	26.2	32.5	31.4	29.8	36.8	
<i>Globigerina calida</i>					0.9			0.4			0.8	1.0	0.5	0.4	0.4	0.4			0.5	0.4	1.2	1.3		
<i>Globigerina falconensis</i>		0.8		0.5	0.4	4.4	3.8	2.6	0.4	2.7	2.1	1.4	2.5	1.9	1.2		3.0	2.7	2.0	5.0	2.7	3.7	5.7	
<i>Globogerrina quinqueloba</i>					3.0	10.9	5.3	7.9	10.2	8.9	15.6	14.7	13.9	14.1	7.9	11.4	11.3	12.8	11.4	9.5	11.1	6.5	9.6	
<i>Globigerina rubescens</i>		0.4		1.0	1.3	4.4		4.4	4.4	0.4	3.0				1.5	3.4	1.2	3.9	4.8	2.7	2.0	3.0	1.6	
<i>Globigerinella aequilateralis</i>		0.8	0.9			0.4	1.0																	
<i>Globigerinita glutinata</i>		1.2	0.9	0.5	2.5	6.1	2.9	3.9	8.4	5.8	4.2	6.2	6.4	7.8	5.4	7.4	6.9	4.1	7.4	6.0	5.3	3.7	6.6	
<i>Globigerinita parkerae</i>			0.4											0.5	1.7		0.4							
<i>Globogerrinoides conglobatus</i>		2.0	2.2	1.0	3.4		1.4		0.9			0.9	0.5	0.5	0.8				1.4	1.0			0.8	
<i>Globigerinoides immaturus</i>		0.8	0.4	1.5	0.8				0.4				1.5		1.7	0.9				0.5		0.9		
<i>Globigerinoides quadrilobatus</i>		2.0	0.9	1.0	0.8								0.9						0.4	0.9				
<i>Globigerinoides ruber</i>		7.3	5.3	7.3	5.9	3.5	4.8	7.0	2.7	3.6	5.1	5.2	5.4	6.3	4.6	4.8	6.5	1.4	5.4	5.0	4.4	6.9	4.4	
<i>Globigerinoides pyramidalis</i>		0.4	0.9	1.5	0.4				0.4			0.5												
<i>Globigerinoides sacculifer</i>		1.2	0.9	1.0	0.4		0.5									0.4				0.5				
<i>Globigerinoides cf. sacculifer</i>		0.8	0.9	0.5			0.5			0.4	0.8													
<i>Globigerinoides tenellus</i>						0.5		0.4								0.4		1.3						
<i>Globigerinoides sp. A</i>		2.0	0.9	0.5	0.4			0.4	0.9															
<i>Globorotalia menardii</i>				1.5	2.1				1.3							0.4			0.5					
<i>Globorotalia obesa</i>					0.4			2.2	0.4	0.9	0.4	0.9					0.9	0.4				0.8	0.4	
<i>Globorotalia truncatulinoides</i>						0.4														0.5				
<i>Globorotalia unguata</i>		2.4	0.9			0.4		0.4					0.5	1.5	1.7	0.4	0.4	0.5	1.0		0.9		0.4	
<i>Globorotalia sp.</i>				0.5																				
<i>Globorotaloides hexagona</i>				0.5						0.4					0.5			0.4	0.5				0.4	
<i>Haasgerina niedeli</i>																0.4		0.4	0.5		0.5	1.3	2.0	
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>		42.9	52.9	44.4	37.6	5.2	25.0	12.7	9.8	17.0	10.1	12.3	9.9	6.3	13.7	9.6	5.2	10.0	8.9	3.0	9.3	13.9	6.1	
<i>Neogloboquadrina incompta</i>		3.3	1.3	6.3	4.2	15.3	11.1	8.8	12.0	8.9	12.7	13.3	9.4	14.6	10.4	17.0	18.2	15.1	15.8	19.0	14.6	19.6	15.8	
<i>Neogloboquadrina pachyderma (s)</i>						0.9					1.3	0.9		0.5	1.2	0.4	0.9	1.4	1.0	1.0	0.4	0.8	0.4	
<i>Neogloboquadrina pachyderma (d)</i>		2.4	1.3	3.9	3.0	6.6	3.8	3.5	5.8	4.9	5.1	2.8	4.5	3.9	2.9	5.7	3.9	4.1	4.5	5.0	6.6	2.9	2.6	
<i>Orbulina suturalis</i>												0.5	0.5											
<i>Orbulina universa</i>		0.8	0.9		0.8											0.4								
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>		10.2	12.8	13.2	8.9	0.4	7.7	0.9	2.2	7.1	1.7	3.8	2.0	0.5	2.9				2.7		1.0	0.9	1.2	3.1
<i>Turborotalia crassaformis</i>						0.4	0.4			0.4		1.4		0.5	0.8	0.4	0.4					0.4	0.4	0.4
<i>Turborotalia inflata</i>		5.3	7.5	2.4	12.2	2.6	6.7	3.9	2.7	4.5	3.0	2.8	4.0	1.9	5.0	0.9	1.7	1.8	5.9	3.5	2.2	2.0	3.5	
Miscellaneous					0.4			0.4															0.4	
Total number of planktic foraminifers		245	227	205	237	229	208	228	225	224	237	211	202	206	241	229	231	219	202	200	226	239	213	

N. pachyderma(dextral)로 구성되며, 상부 0~60 cm 구간에서는 40 cm를 제외하면 평균 산출량이 3%로 낮은 반면 60 cm 이하의 전 깊이에서는 5%로 다소 높다. 한편 *N. pachyderma*(sinistral)는 0~80 cm까지는 거의 산출되지 않다가 90 cm 이하에서는 매우 적은 양이 산출된다. *P. obliquiloculata*는 90 cm 이하의 전 구간에서는 부분적으로 산출되지 않거나 평균 2%로 낮은 반면, 상부 50 cm 구간에서는 40 cm 깊이를 제외하고 평균 11%의 높은 산출량을 보인다. *G. quinqueloba*는 상부 20 cm에서는 전혀 산출되지 않으며, 30 cm에서는 3% 미만으로 매우 낮게 산출된다. 그러나 40~80 cm 구간에서는 평균 산출량이 9%, 90~140 cm에서는 15%, 160~320 cm 구간에서는 10%로 코아의 중하부 깊이에서 상대적으로 풍부하게 산출된다. *G. inflata*는 적은 양이지만 전 시료에 걸쳐 꾸준히 산출된다. 0~50 cm까지의 평균 산출량이 6%이며, 60~320 cm 구간에서는 3%로 하부로 갈수록 감소하는 양상을 보인다. *G. glutinata*는 상부 50 cm 구간에서는 일시적으로 증가하는 40 cm 깊이를 제외하고는 3% 이하로 낮고, 60 cm 이하의 하부에서는 5% 이상으로 상부에

서보다 높은 산출량을 보인다. 그 외 *G. ruber*, *G. falconensis*, *G. angustumbilicata* 등이 평균 2~5% 정도로 거의 모든 깊이에서 산출된다(Table 1, Fig. 3).

전반적으로 *G. bulloides*, *G. quinqueloba*, *G. glutinata* 그리고 *N. incompta* 등은 30~50 cm를 기준으로 코아의 상부에서 급격히 감소하며, 대조적으로 *N. dutertrei*와 *P. obliquiloculata*는 코아의 상부에서 뚜렷이 증가한다. 즉, 코아의 30~50 cm 상부에서는 *N. dutertrei*, *P. obliquiloculata*가 우세하게 산출되며, *G. bulloides*와 *G. inflata*가 수반된다. 코아의 60 cm 하부에서는 *G. bulloides*, *G. quinqueloba*, *N. incompta*가 우세하며, *G. glutinata*, *N. dutertrei*, *N. pachyderma* 등이 수반된다.

토의 및 결론

부유성 유공충의 군집 분석

Thompson(1981)은 북서태평양 해역에서의 현생 부유성 유공충의 분포 특성을 (아)한대 군집(polar-subpolar assemblage), 현대와 열대의 전이지역 군집

Table 2. Species and water mass representing each assemblage

Assemblage	Species	Water mass
A	<i>Globigerinoides ruber</i> group (<i>G. ruber</i> + <i>G. pyramidalis</i>) <i>Globigerinoides conglobatus</i> <i>Globigerinoides sacculifer</i> <i>Globigerinoides cf. sacculifer</i> <i>Globigerinoides tenellus</i> <i>Globigerinella aequilateralis</i>	Tropical - Subtropical (Thompson, 1981; Takemoto and Oda, 1997; Watkins et al., 1998; Ujiie et al., 2003; Ijiri et al., 2005)
B	<i>Globorotalia menardii</i> <i>Neogloboquadrina dutertrei</i> <i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	Kuroshio Current (Thompson, 1981; Wang et al., 1985; Oda and Takemoto, 1992; Li et al., 1997; Takemoto and Oda, 1997; Xu and Oda, 1999; Ujiie et al., 2003; Ijiri et al., 2005)
C	<i>Globorotalia truncatulinoides</i> <i>Neogloboquadrina incompta</i> <i>Neogloboquadrina pachyderma</i> (s) <i>Neogloboquadrina pachyderma</i> (d) <i>Turborotalia inflata</i> group (<i>T. inflata</i> + <i>T. crassaformis</i>)	Polar-Subpolar (Bé, 1977; Thompson, 1981; Oda and Takemoto, 1992; Takemoto and Oda, 1997; Ujiie and Ujiie, 1999; Ujiie et al., 2003; Ijiri et al., 2005)
D	<i>Globigerina bulloides</i> <i>Globigerina calida</i> <i>Globigerina quinqueloba</i> <i>Globigerinita glutinata</i>	Coastal (low salinity and/or low temperature) (Bé, 1977; Takemoto and Oda, 1997; Watkins et al., 1998; Xu and Oda, 1999; Ujiie et al., 2003; Ijiri et al., 2005)

(transitional assemblage), 아열대 군집(subtropical assemblage), 열대 군집(tropical assemblage) 등 5개 군집으로 구분하였다. Takemoto and Oda(1997)는 일본 근해의 오야시오-쿠로시오 해류 지역에서, 그리고 Ujiie et al.(2003)은 류큐 호상열대 해역(Ryukyu Arc region)에서 부유성 유공충의 분포 특성을 4개 군집으로 나누어 이 해역의 해류 특성과 환경을 해석하였다. Ijiri et al.(2005)는 동중국해의 코아에서 산출되는 부유성 유공충의 군집분석을 통하여 용승류 또는 담수의 유입에 의해 영양염류가 풍부한 혼합수 환경, 저온-저염분의 연안환경, 쿠로시오 해류와 같은 난류 환경 지역들로 구분·해석하였다. 본 연구에서는 위와 같은 북서태평양, 적도 태평양 및 동중국해의 표층퇴적물에 분포하는 현생 부유성 유공충의 분포양상을 근거로 하여 대한해협 코아 퇴적물에서 산출하는 부유성 유공충을 네 개의 군집(Assemblage A, B, C, D)으로 구분하였다(Table 2).

군집 A(Assemblage A)는 주로 적도지역의 열대-아열대 지역(tropical-subtropical region)에 우세하게 분포하는 *Globigerinoides ruber* group과 *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinoides aequilateralis*, *Globigerinoides tenellus*로 구성된다.

군집 B(Assemblage B)는 북서태평양 및 동중국해의 쿠로시오 해류에서 특징적인 *Pulleniatina obliquiloculata*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *Globorotalia menardii* 등의 종들로 구성된다. 이들은 주로 열대 혹은 아열대

지역에 분포하는 종들 중에서도 쿠로시오의 영향을 받는 지역에 특히 많이 분포한다. 특히 *P. obliquiloculata*는 동중국해 및 남중국해의 쿠로시오 난류 해역의 표층 퇴적물에서 우세하게 산출되며, 쿠로시오 해류의 지시종으로 사용된다(Wang et al., 1985; Thompson, 1981; Oda and Takemoto, 1992; Li et al., 1997). *N. dutertrei*(*N. eggeri* by Thompson, 1981)는 동중국해의 쿠로시오 해류를 따라 산출되는 대표적인 종이며, 쿠로시오 해류의 범위를 약간 벗어난 주변해역에서도 풍부하게 산출된다(Xu and Oda, 1999; Ujiie and Ujiie, 1999; Ujiie et al., 2003).

군집 C(Assemblage C)는 한대-아한대 지역(polar-subpolar region)에 주로 분포하는 *Neogloboquadrina pachyderma*, *Neogloboquadrina incompta*, *Turborotalia inflata* group과 *Globorotalia truncatulinoides*으로 구성된다. *N. pachyderma*는 아한대 지역에서 풍부하게 산출되는 종이며(Bé, 1977; Thompson, 1981; Oda and Takemoto, 1992), *N. incompta* 또한 태평양의 한류(cold water)의 영향을 받는 일본 해역에서 풍부하게 산출된다(Oda and Takemoto, 1992; Takemoto and Oda, 1997). *T. inflata*와 *Turborotalia crassaformis*를 포함하는 *T. inflata* group과 *G. truncatulinoides*는 쿠로시오의 주 경로인 오키나와 해곡의 표층 퇴적물에서는 거의 산출되지 않으며, 쿠로시오 해류보다 수온이 낮은 서태평양 중앙수(Western Pacific Central water, Ujiie et al., 2003)의 영향을 받는 류큐 해곡의

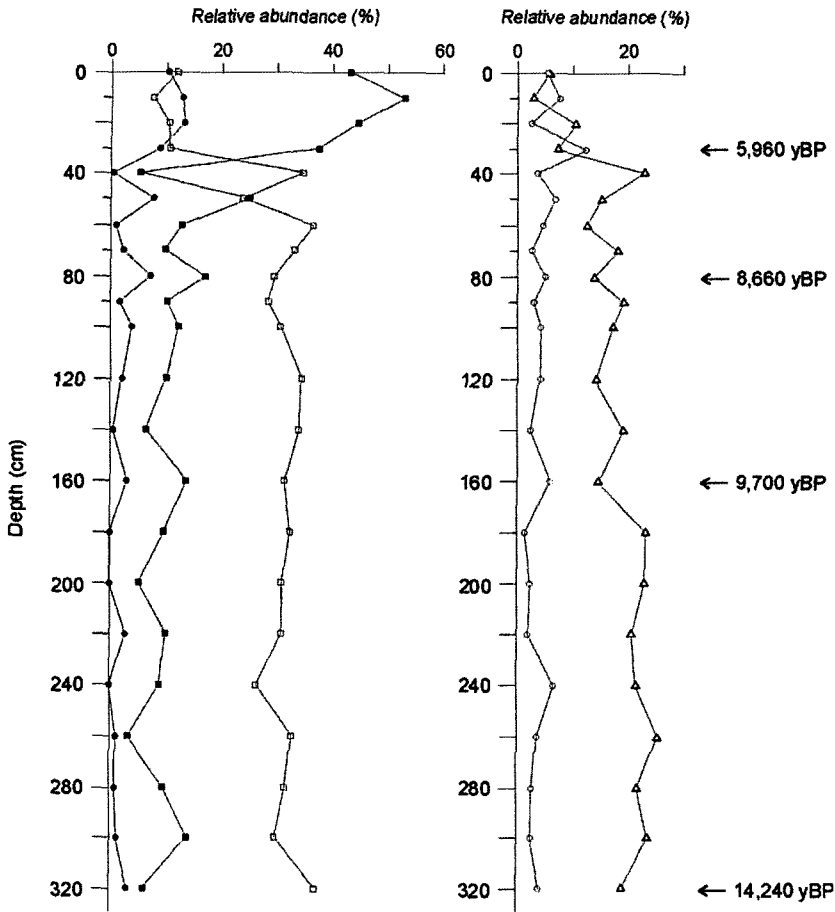


Fig. 3. The down-core variation in frequency of some main species in the core EEZ 02-25. closed circle, *Pullenia obliquiloculata*; closed square, *Neogloboquadrina dutertrei*; open square, *Globigerina bulloides*; open circle, *Turborotalia inflata*; open triangle, *N. incompta* + *N. pachyderma*.

사면 퇴적물에 많이 분포한다(Ujiié and Ujiié, 1999; Ujiié et al., 2003).

군집 D(Assemblage D)는 *Globigerina bulloides*, *Globigerina calida*, *Globigerina. quinqueloba*, *Globigerinita glutinata*로 구성된다. 일반적으로 *G. bulloides*는 아한대 지역과 대륙주변의 용승류 현상이 활발한 해역에서 많이 산출되는 종으로(Bé, 1977; Thompson, 1981; Ujiié et al., 2003), 동중국해 해역에서는 표층의 수온이 낮고 강에 의해 영양염류의 공급이 많은 연안 해역에서 풍부하게 나타나지만, 쿠로시오 해류의 영향을 받는 해역에서는 적게 산출된다(Xu and Oda, 1999; Ijiri et al., 2005). *G. quinqueloba* 또한 동중국해에서 겨울에 표층수의 수온과 염도가 낮은 강 하구(river mouth) 부근에서 많이 산출되어 *G. bulloides*와 마찬가지로 담수의 영향

을 받는 저온-저염의 환경을 지시한다(Xu and Oda, 1999; Ujiié et al., 2003; Ijiri et al., 2005). *G. glutinata*는 열대지역에서 풍부하게 산출되는 종이지만, 아한대 지역에서도 보고되며, *G. bulloides*와 마찬가지로 용승류가 형성되는 지역이나 식물성 플랑크톤의 생산이 높은 지역에서 많이 산출된다(Takemoto and Oda, 1997). 따라서 군집 D는 육지로부터 영양염류의 공급이 많고 저온-저염수 특성의 연안수를 지시하는 것으로 해석된다.

이와 같이 분류된 각 군집의 수직적 변화 양상을 퇴적물의 ¹⁴C 연대와 비교 도시하였다(Fig. 4). *G. ruber*와 *Globigerinoides pyramidalis*를 포함하는 *G. ruber* group 등 주로 열대 및 아열대 지역에서 나타나는 종으로 구성된 군집 A는 수직적 변화 없이 코아 전체에 걸쳐 약 10% 이내로 산출된다. 대한해협

에서 산출되는 군집 A는 역시 열대-아열대 지역에서 기원하는 쿠로시오 해류가 동중국해를 거쳐 분지된 대마 난류의 영향을 지시하는 것으로 해석된다. 이는 코아 퇴적물의 연대를 고려할 때 LGM 이후 해수면이 상승하면서 열대 및 아열대에서 기원된 해류가 계속적으로 대한해협 부근까지 유입되고 있음을 의미한다. 특히 상부 30 cm 구간에서 상대적으로 높은 10% 이상 산출되는 것으로 보아 약 6 ka 전후에 난류의 영향이 확연히 증가한 것으로 해석된다.

대한해협에서 산출되는 군집 B는 쿠로시오 해류의 지류인 대마 난류의 영향을 지시하는 *P. obliquiloculata*와 *N. dutertrei* 등으로 구성되며, 코아의 하부에서 상부로 갈수록 증가한다. 최하부에서 10~15%, 이후 80~50 cm 구간에서는 20% 이상 산출된다. 특히 이 군집은 40 cm 깊이를 제외하면, 50 cm의 상부 구간에서는 뚜렷이 증가하여 50% 이상으로 가장 우세한 군집을 형성한다. 이러한 군집 B의 수직적 분포와 퇴적물의 연대자료와 비교할 때, LGM 이후 약 14 ka 부터 쿠로시오 해류가 동중국해에 유입되면서 분지된 대마 난류가 대한해협으로 유입되었으며, 이 해류의 영향은 점점 증가하여 약 8.5 ka 전후의 현재 초기에 본격적으로 이 지역에 영향을 준 것으로 보인다. 대한해협을 통하여 현재의 대마 난류와 같은 물리적 특성을 가지는 외양성(open ocean) 해류가 동해로 유입되기 시작한 시기(10~8 ka)와 일치한다(Oba et al., 1991). 그러나 현재 초기까지는 군집 B의 산출량이 기록을 보이는 것으로 볼 때, 대마 난류의 유입량이나 유입정도가 간헐적 또는 주기적으로 변화하였던 것으로 해석된다. 이러한 대마 난류가 현재와 같은 시스템을 완성한 시기는 약 7~6 ka인 것으로 보인다.

군집 C는 군집 B와 대조적으로 코아의 하부에서 비교적 많이 산출되며, 상부로 갈수록 점점 감소하는 양상을 보이다가 40 cm를 기점으로 급격히 감소한다. 그러나 군집 C 내에서도 종들 간에 다소 다른 양상이 나타난다. *N. incompta*와 *N. pachyderma*는 코아의 상부로 갈수록 감소하고 있으나, *T. inflata* group은 오히려 약간 증가하고 있으며, 전체적인 산출양상 또한 다소 반대의 양상을 보인다(Fig. 3). *T. inflata* group은 쿠로시오 해류와 비교하여 수온이 낮은 북태평양에서 유입되는 서태평양 중앙수괴의 특징을 지시하며(Ujiié et al., 2003), *N. incompta*와 *N. pachyderma*는 북서태평양에서 오아시오 해류의 영역에 속하는 아한대 경계의 북쪽에 주로 분포한다(Thompson,

1981; Oda and Takemoto, 1992). 따라서 *N. incompta*와 *N. pachyderma*의 출현은 LGM 시기의 냉수괴(cooler water mass)의 영향을 지시하며, *T. inflata* group은 쿠로시오 해류보다 상대적으로 차가운 서태평양 중앙수의 영향을 지시한다. 결과적으로 코아 상부로 갈수록 *N. incompta*와 *N. pachyderma*가 감소하고 *T. inflata* group은 증가하는 것은, LGM 이후 대한해협에 존재하던 냉수괴는 대마 난류의 유입이 증가하게 되자 점차 그 세력이 약화되었으나, 서태평양 중앙수는 쿠로시오 해류와 함께 유입량이 다소 증가한 것으로 해석된다. 그러나 두 그룹 모두 약 6 ka 이후에는 산출량이 10% 미만으로 크게 감소한다.

군집 D는 60 cm 이하의 하부 구간에서 출현량이 50% 내외로 가장 우세한 군집으로 나타나지만, 50 cm부터 상부로 갈수록 10% 미만으로 뚜렷이 감소한다. *G. bulloides*와 *G. quinqueloba*가 주를 이루는 이 군집은 수온이 낮고 염도가 낮은 연안수를 지시한다(Xu and Oda, 1999; Ujiié et al., 2003; Ijiri et al., 2005). 따라서 대한해협에 대마 난류가 본격적으로 유입되기 전에는 주변 대륙에서 유입된 담수의 영향으로 인해 형성된 저온-저염의 연안수가 이 지역의 주요한 수괴였던 것으로 해석된다.

한편, 코아의 40 cm 깊이에서 각 군집들의 분포는 특징적이다(Fig. 4). 즉, 깊이 50 cm를 기점으로 급격히 증가하는 군집 B는 40 cm 깊이에서 일시적으로 급감하며, 반대로 50 cm에서부터 급감하는 군집 D는 40 cm에서 급증했다가 30 cm에서 다시 감소한다. 군집 C 역시 점차로 감소하는 양상을 보이는 가운데 40 cm에서 증가하고 있다. 특히 군집 C에서는 40 cm 깊이에서 *N. incompta*와 *N. pachyderma*는 증가하는 반면, *T. inflata* group은 감소한다. 군집 A 역시 점차 증가하던 가운데 40 cm에서 일시적으로 감소한다. 이러한 현상은 이 코아 깊이의 시기(약 6.5 ka)에 태평양 및 동중국해를 통해 대한해협으로 유입되던 쿠로시오와 서태평양 중앙수 등의 해류가 일시적으로 약화된 반면, 상대적으로 연안수 및 냉수괴가 전진한 것으로 해석된다. 그러나 이 시기에 동중국해에서 쿠로시오 해류의 일시적인 후퇴에 관한 뚜렷한 증거는 아직까지 보고되지 않고 있다. 따라서 약 6.5 ka에 나타나는 이러한 특징적인 현상은 대한해협에서의 국지적인 현상으로서, 한반도의 낙동강 또는 섬진강 등으로부터 일시적으로 담수의 유입이 증가하여 상대적으로 대마 난류가 약화된 결과로 해석된다.

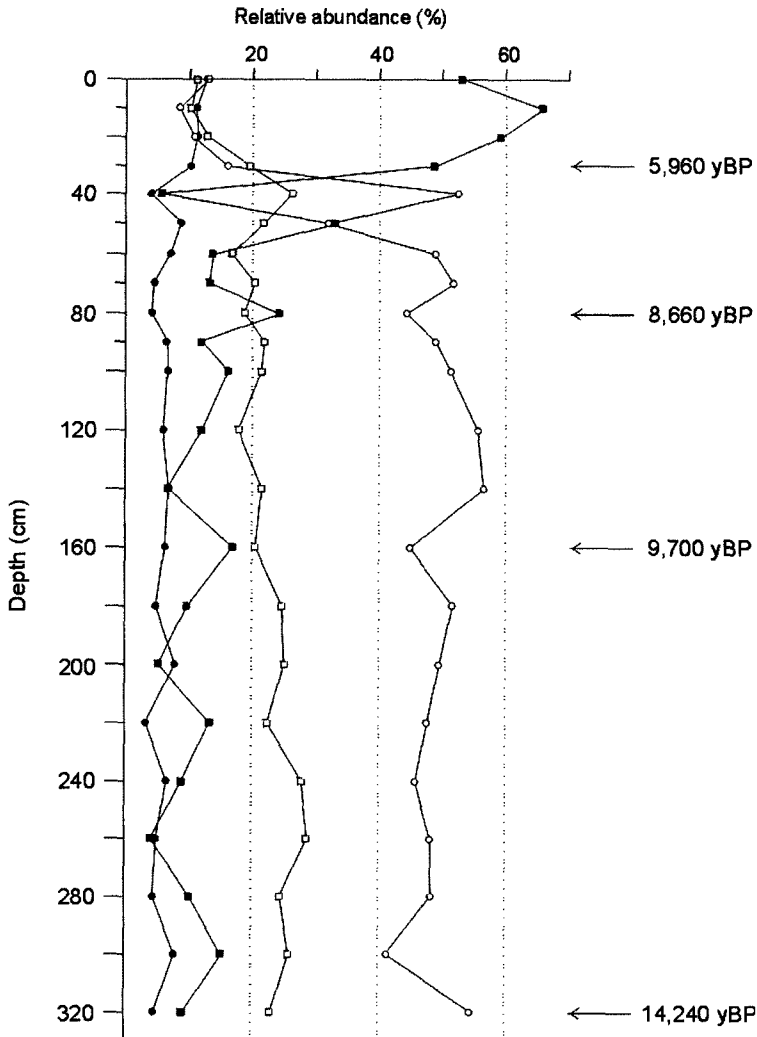


Fig. 4. The down-core variation of each assemblages in the core EEZ 02-25. closed circle, Assemblage A; closed square, Assemblage B; open square, Assemblage C; open circle, Assemblage D.

후기 제4기 대한해협 고해양 환경 변화

본 연구에서 제시된 코어 퇴적물의 부유성 유공충 연구 결과에 의하면, LGM 이후 현재 초기에 이르는 약 14~7 ka 동안 대한해협은 담수의 영향이 우세한 환경이었던 것으로 해석된다. LGM 동안 해수면은 지금의 동중국해 외대륙붕까지 하강하였으며, 이로 인하여 동중국해는 주변 대륙에서 유입되는 담수의 영향이 지배적이었을 것으로 사료된다. 특히 대한해협 주변에 발달한 한반도의 낙동강과 섬진강은 주요 담수 공급지로 제시된다(Lee and Nam, 2003). 동중국해의 북동쪽에 위치한 Danjo Basin에서는 ~8.5 ka (Ujiié et al., 2003) 또는 ~8 ka(Ijiri et al. 2005)까지

연안수(담수)의 영향을 받은 것으로 보고되었다. 군집 D의 산출양상을 볼 때, 대한해협에서는 ~7 ka까지 담수의 영향을 받은 것으로 해석된다.

Kim et al.(2000)은 대한해협은 LGM 동안 해수면 하강으로 노출되어 대마 난류가 동해로 유입될 수 없었으며, 동중국해 해수의 유입은 약 6.6 ka 이후에야 이루어졌다고 주장했다. 즉, 저서성 및 부유성 유공충 각의 동위원소 분석 결과, LGM 이후에 염분의 증가는 인지되나 온도 상승의 영향은 없으며, 한류성 부유 유공충이 여전히 많이 산출되므로, 이 시기의 해수는 북쪽의 쓰가루 해협을 통해 유입된 것이며, 남쪽의 대한해협은 여전히 막혀있었던 것으로 해석하

였다. 그러나 본 연구에서 제시된 코아에서의 연대측정 결과와 부유성 유공충의 산출양상을 고려할 때, 대한해협은 LGM 이후(약 14 ka)부터 홀로세 초기(약 7 ka)까지 동중국해로부터 해류의 영향을 받고 있었음을 알 수 있다. 따라서 이 시기에도 대한해협을 통하여 동중국해로부터 기원된 쿠로시오(대마) 해류와 중국 및 한반도에서 기원한 담수가 동해로 유입되었을 것이다.

Ujiié and Ujiié(1999)와 Ujiié et al.(2003)은 동중국해에서 쿠로시오 해류의 지시종인 *P. obliquiloculata*가 거의 산출되지 않는다는 사실에 근거하여, LGM 시기에 대만과 류큐섬 사이에 육교(land bridge)가 형성되어 쿠로시오 해류가 현재와 같은 경로로 동중국해로 유입되지 못하고, 오키나와 대륙사면 쪽으로 우회하였다고 주장하였다. 쿠로시오 해류는 ~7 ka 경에 오키나와 해구로 재유입되었다(Ujiié and Ujiié, 1999; Jian et al., 2000). 그러나 본 연구에서는 대한해협이 약 14 ka 이전부터 동중국해로부터 쿠로시오 해류의 영향을 받고 있었던 것으로 해석된다. 외양성의 열대-아열대 해류를 지시하는 부유성 유공충과 쿠로시오 해류의 지시종인 *P. obliquiloculata*가 적은 양이지만 꾸준히 산출되고 있으며, 역시 쿠로시오 해류 지역에서 많이 산출되는 *N. dutertrei*가 비교적 높은 비율로 지속적으로 산출되고 있기 때문이다. 다만 이 두 종의 산출양상이 다른 것은 현재 초기에 이르는 동안 수온이 *N. dutertrei*가 서식하기에는 적합하였으나, *P. obliquiloculata*가 서식하기에는 낮았기 때문으로 추론된다(Xu and Oda, 1999; Ijiri et al., 2005). *N. dutertrei*는 수온이 10~30°C일 때 가장 번성하는 열대-아열대 종이며, *P. obliquiloculata*는 열대종으로 수온이 18~30°C일 때 풍부하게 서식하는 것으로 알려져 있다(Bé, 1977). 본 연구에서 LGM 이후부터 현재 초기에 이르는 동안 *P. obliquiloculata*는 매우 적게 산출되나, *N. dutertrei*는 상대적으로 높은 산출율을 보이며, 이 두 종은 대체로 비슷한 양상을 보이며 상부로 갈수록 증가하고 있다(Fig. 3). 만약, 이 시기에 두 종의 기원이 다르다면 이러한 유사한 산출양상을 보이지 않을 것으로 생각된다. 따라서 LGM 직후부터 현재 초기에도 쿠로시오 해류가 동중국해에 유입되어 그 지류인 대마 난류가 대한해협에 영향을 주었으며, 다만 수온 등의 특성이 현재와는 달랐을 것(예, 낮은 겨울 표층수온, Li et al., 1997)으로 해석된다.

LGM 동안 매우 약화되었던 쿠로시오 해류가 점차 강해지고, 동중국해가 쿠로시오 해류와 관련된 외양성 해수의 영향을 받기 시작한 것은 10.5-8.5 cal. ka B.P. 이후이며(Xu and Oda, 1999), 이에 따라 현재와 같은 물리적 특성을 가지는 대마 난류가 10-8 ka 경에 동해로 유입되기 시작하였다(Oba et al., 1991). 그러나 이 시기에는 대마 난류의 유입량 또는 유입 정도가 간헐적으로 변화가 있었으며(Oba et al., 1995), 이는 본 연구에서 군집 A와 B의 산출양상에서도 관찰된다. 이러한 대마 난류가 현재와 같은 시스템을 완성한 시기가 약 7-6 ka로 추정된다. Kim et al.(2000) 등이 제시한 약 6.6 ka는 동중국해와 동해가 LGM 이후 처음으로 연결된 시기가 아니라, 동해로 유입되던 수괴가 동중국해와 한반도 남부로부터 기인된 연안수에서 현재와 같은 시스템을 가지는 대마 난류로 전환된 시기인 것으로 해석된다.

결론적으로 대한해협에서 채취된 코아 퇴적물의 연대측정과 부유성 유공충의 군집분석에 의하면, LGM 이후 현재 초기에 이르는 동안 대한해협은 담수의 유입으로 인해 연안수의 영향을 크게 받았으며, 쿠로시오의 지류인 대마 난류는 미약하나마 존재하였던 것으로 해석된다. 즉, 약 14 ka부터 대한해협을 통하여 동중국해로부터 기원된 대마 난류가 중국 및 한반도에서 기원한 많은 양의 담수와 함께 동해로 유입되었을 것으로 사료된다. 해수면이 점차 상승하여 담수를 공급하던 강들이 육지 쪽으로 후퇴하면서 대한해협에서 연안수의 영향이 감소하고 상대적으로 대마 난류의 영향력이 강해지기 시작한 것은 약 8.5 ka 이후로 보이며, 이후 난류의 영향은 더욱 강해져 7-6 ka를 전후하여 거의 현재와 같은 해양환경이 형성된 것으로 해석된다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원 “창의연구실사업(PE97007)”과 해양수산부 “배타적 경제수역 해양자원조사(PM37502)” 사업에 의해 지원되었습니다. 세심한 지적과 조언을 아끼지 않으신 심사위원께 심심한 사의를 표합니다. 또한 시료채취와 분석을 도와주신 군산대학교 해양학과 지질해양학 연구실 학생들에게 감사드립니다.

참고문헌

- Bé, A.W.H., 1977, An ecological, zoo-geographical and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera. In Ramsay, A.T.S. (ed.), *Ocean Micropaleontology*, 1, Academic Press, London, 1-100.
- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957, Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameter. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27.
- Ijiri, A., Wang, L., Oba, T., Kawahata, H., Huang, C-Y., and Huang, C-Y., 2005, Paleoenvironmental changes in the northern area of the East China Sea during the past 42,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 219, 239-261.
- Ingram, R.L., 1971, Sieve analysis. In Carver, R.E. (ed.), *Procedures in Sedimentary Petrology*, Wiley-Interscience, New York, 49-67.
- Jian, Z., Wang, P., Saito, Y., Wang, J., Pflaumann, U., Oba, T., and Cheng, X., 2000, Holocene variability of the Kuroshio Current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 184, 305-319.
- Keigwin, L.D. and Gobarenko, S.A., 1992, Sea level, surface salinity of the Japan Sea, and the Younger Dryas Event in the northwestern Pacific Ocean. *Quaternary Research*, 37, 346-360.
- Kim J-M., Kennett, J.P., Park, B-K., Kim D.C., Kim, G.Y., and Roark, E.B., 2000, Paleooceanographic change during the last deglaciation, East Sea of Korea. *Paleoceanography*, 15 (2), 254-266.
- Lee, E. and Nam, S., 2003, Freshwater supply by Korean rivers to the East Sea during the last glacial maximum: a review and new evidence from the Korea Strait region. *Geo-Marine Letters*, 23, 1-6.
- Li, B., Jian, Z., and Wang, P., 1997, *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleooceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20,000 years. *Marine Micropaleontology*, 32, 59-69.
- Matsui, H., Tada, R., and Oba, T., 1998, Low-salinity isolation event in the Japan Sea in response to eustatic sea-level drop during LGM: Reconstruction based on salinity-balance model. *The Quaternary Research*, 37 (3), 221-233.
- Moorely, J.J., Heuser, L.E., and Sarro, T., 1986, Latest Pleistocene and Holocene paleoenvironment of Japan and its marginal sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 53, 349-358.
- Moriyasu, S., 1972, Hydrography of the Japan Sea. *Marine Science*, 4, 27-33.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T., and Takayama, T., 1991, Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, 6 (4), 499-518.
- Oba, T., Murayama, M., Matsumoto, E., and Nakamura, T., 1995, AMS-14C ages of Japan Sea cores from the Oki Ridge. *The Quaternary Research*, 34 (4), 289-296.
- Oda, M. and Takemoto, A., 1992, Planktonic foraminifera and paleoceanography in the domain of the Kuroshio Current around Japan during the Last 20,000 years. *The Quaternary Research*, 31 (5), 341-357.
- Park, S.C. and Yoo, D.G., 1988, Depositional history of Quaternary sediments on the continental shelf off the southeastern coast of Korea (Korea Strait). *Marine Geology*, 79, 65-75.
- Park, S.C., Yoo, D.G., Lee, C.W., and Lee, E.I., 2000, Last glacial sea-level changes and paleogeography of the Korea (Tsushima) Strait. *Geo-Marine Letters*, 20, 64-71.
- Tada, R. and Irino, T., 1999, Land-ocean linkages over orbital and millennial timescales recorded in late Quaternary sediments of the Japan Sea. *Paleoceanography*, 14 (2), 236-247.
- Takemoto, A. and Oda, M., 1997, New planktonic foraminiferal transfer functions for the Kuroshio-Oyashio Current region off Japan. *Paleontological Research*, 1 (4), 291-310.
- Thompson, P.R., 1981, Planktonic foraminifera in the western north Pacific during the past 150,000 years: comparison of modern and fossil assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 35, 241-279.
- Ujiié, H. and Ujiié, Y., 1999, Late Quaternary course changes of the Kuroshio Current in the Ryukyu Arc region, northwestern Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 37, 23-40.
- Ujiié, Y., Ujiié, H., Taira, A., Nakamura, T., and Oguri, K., 2003, Spatial and temporal variability of surface water in the Kuroshio source region, Pacific Ocean, over the past 21,000 years: evidence from planktonic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 49, 335-364.
- Wang, P., Zhang, J., and Min, Q., 1985, Distribution of foraminifera in surface sediments of the East China Sea. In Wang, P. (ed.), *Marine Micropaleontology of China*, China Ocean Press, Beijing, 34-69.
- Watkins, J.M., Mix, A.C., and Wilson, J., 1998, Living planktic foraminifera in the central tropical Pacific Ocean: articulating the equatorial 'cold tongue' during La Niña, 1992. *Marine Micropaleontology*, 33, 157-174.
- Xu, X. and Oda, M., 1999, Surface-water evolution of the eastern East China Sea during the last 36,000 years. *Marine Geology*, 156, 285-304.
- Yoo, D-G., Park, S-C., Sunwoo, D., and Oh, J-H., 2003, Evolution and chronology of late Pleistocene shelf-perched lowstand wedges in the Korea Strait. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22, 29-39.

2006년 1월 25일 접수

2006년 7월 28일 수정원고 접수

2006년 7월 28일 채택