

도미분지 도미-1, 소라-1공의 층서와 고환경

윤혜수^{1*} · 변현숙² · 오진용³ · 박명호⁴ · 이민우¹

¹충남대학교 지질환경과학과, ²(주)자연사연구소,

³충남대학교 자연과학연구소, ⁴한국석유공사 석유개발연구원 CCS 전담반

Stratigraphy and Paleoenvironment of Domi-1 and Sora-1 Wells, Domi Basin

Hyesu Yun^{1*}, Hyun-suk Byun², Jinyong Oh³, Myong-Ho Park⁴ and Minwoo Lee¹

¹Department of Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Natural History Research Institute, Daejeon 305-701, Korea

³Research Institute of Natural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

⁴Korea National Oil Corporation, Anyang 431-711, Korea

There has been much debates on the geologic age of the sediments of the Domi Basin, since age results varied after research methods and fossil groups. This study carried out palynological analysis and seismic interpretation to establish a stratigraphy and environmental reconstruction mainly based on fossil dinoflagellates and Seismic data from the Domi-1 and Sora-1 wells. The dinocyst assemblages found enabled zonation of the well sediment sequence resulting in 4 ecozones. Index fossils among dinocysts and palynomorphic substances indicate geologic age of the well ranges from Eocene to Pleistocene, and paleoenvironment varies from freshwater to inner-neritic marine. The fossil association also suggests strong relationship to Japanese Tertiary basins in Kyushu area in terms of stratigraphy and basin developmental history.

Key words : Domi basin, Microfossils, seismic, biostratigraphy, paleoenvironment

도미분지에 위치한 도미-1공과 소라-1공을 대상으로 와편모조류 미화석, 유기물상 분석 및 탄성파자료 해석을 통한 지층대비의 방법으로 연구지역의 층서와 고환경을 해석하고, 그 결과를 일본 북서 큐슈지역의 기존 연구결과와 비교하였다. 생물상변화를 토대로 상부에서부터 Ecozone A, Ecozone B(Barren zone), Ecozone C, Ecozone D(Barren zone)로 각각 4개의 생태층서대로 나누었다. 표준화석에 의한 지질시대는 2개 시추공 모두 하부로부터 에오세 - 올리고세, 마이오세, 플라이오세 - 플라이스토세 시기로 나타났다. 유기물상에 의한 고환경은 상부에서 시작하여 다음과 같이 5개로 나누었다; Association I(Inner neritic), Association II(Freshwater), Association III(Inner neritic), Association IV(Freshwater), Association V(Swamp). 두 개의 시추공 자료를 토대로 일본 측 생층서 자료와 비교 한 결과, *Heteralvacacysta campanula*, *Tubiosphaera galatea* 등의 에오세 - 올리고세 표준화석이 양측 연구 모두 동일하게 나타나고, 두 지역의 군집조성이 유사함을 확인하였다. 이는 도미분지와 일본의 북서 큐슈 지역의 고제3기층 발달사에 서로 연관성이 있음을 시사한다.

주요어 : 도미분지, 미화석, 탄성파, 층서, 고환경

1. 서 론

도미분지는 동중국해 분지의 북동부 말단 부분에 위치(Fig. 1)하며, 퇴적 중심지를 포함한 전체 분지 절반

이상이 분포하는 동쪽 연장은 일본 후쿠에 분지(Fukue Basin: Frazier *et al.*, 1976)로 알려져 있다. 한국석유공사는 대륙붕 6-2광구에 해당하는 도미소분지에 대해 2차원 탄성파 및 중자력 탐사를 수행하여, 기반암 용기

*Corresponding author: hsyun@cnu.ac.kr

부의 발달로 3개의 작은 소분지로 나뉘는 결과를 얻었다(PEDCO, 1998; KNOC, 2005). 1980년대에는 도미-1(Td: 3,212 m)과 소라-1(Td: 3,167 m) 탐사정을 시추하여 소량의 탄화수소와 석탄을 확인하였다. 남동쪽 연장부인 일본 후쿠에 분지의 시추공에서 역시 원유와 가스가 발견되어 석유부존 유망성이 높은 분지로 간주되었다. 인근 제주분지 생층서 연구 결과 올리고세에 남중국해와 한국 동해를 잇는 ocean pathway나 corridor가 있었을 가능성을 시사하고 있다(Yun *et al*, 1999). 연구지역의 시추공은 일본과 중국지역에서 발견된 산유정 분지와 분지 발달사적으로 밀접한 관계를 가지고 있어 석유탐사에 중요하다.

또한 연구 지역은 동중국해와 동해의 울릉분지사이에 위치하고 있어 한반도 신제3기 분지들을 포함한 한반도 인근지역의 분지형성 및 발달사 이해를 위한 중요한 지역이다.

유공층, 석회질 초미화석, 화분, 포자 화석들의 분석을 통해 도미분지의 최하부 지층 연령에 대해 올리고세 또는 전기 마이오세로 해석하였다(HADSON, 1989; KIGAM, 1993, 1997; PEDCO, 1997, 1998). 그러나 일본측 제3기 분지에서는 도미분지와 대비되는 하부 지층의 연대를 생층서 및 탄성과 탐사자료 대비를 통

하여 전기 에오세 또는 팔레오세로 해석(Itoh and Nagasaki, 1995; Itoh, 2000)하고 있어 시대적 불일치를 보인다. 이에 Kim 외 4인(2008)은 일본 측 후쿠에-1공의 생층서를 바탕으로 탄성과탐사 자료를 해석 후 제주분지, 일본 북서 큐슈지역의 제3기 분지들과 대비를 통하여 최하부층이 에오세 또는 팔레오세의 새로운 해석을 시도하였다.

이러한 논란은 도미소분지를 포함한 제주분지에서 범지역적(regional) 층서 검토나 학문주제간 연구결과 비교, 시추공들과의 비교 및 인접분지 간의 비교연구가 그동안 부족하였다는데 기인한다. 결과적으로 범지역적 층서대비, 탄성과 해석, 구조 및 분지발달사 해석에 많은 혼란이 일어나고 있는 현 시점에서 분지 층서의 재정립이 절실하다. 따라서 본 연구는 도미소분지의 시추공(Domi-1, Sora-1) 등의 미화석 분석과 탄성과 자료 해석을 통해 층서 및 고환경을 재정립하고, 일본 측 층서 자료와 비교하여 명확한 퇴적시대를 규명하고자 한다.

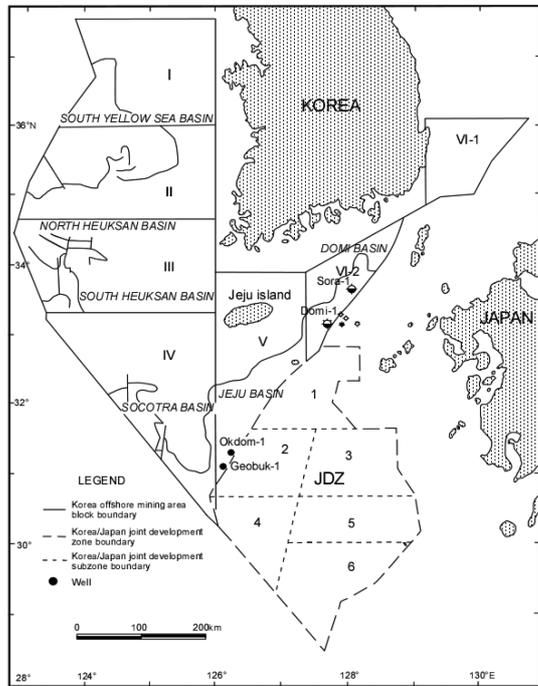


Fig. 1. Location of the wells Domi-1 and Sora-1.

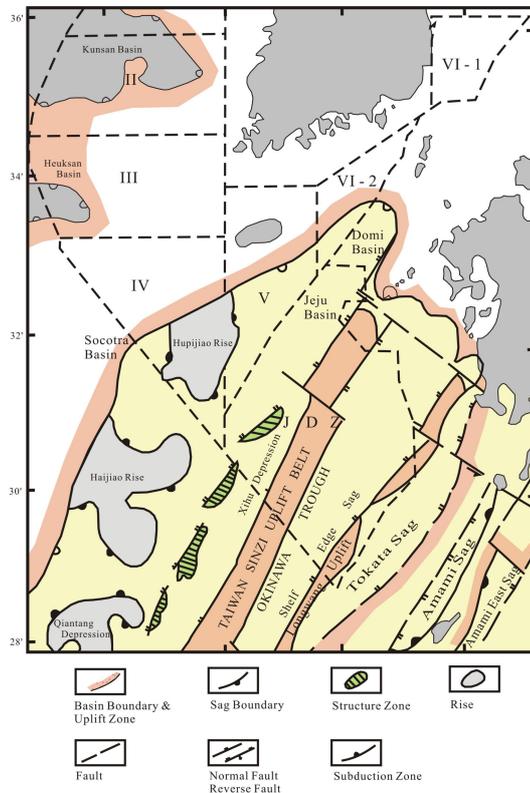


Fig. 2. Map of I-VI block and JDZ block of western, eastern and southern continental shelf in Korea.

2. 광역지질

2.1. 제주분지/도미소분지

제주분지는 한반도 남쪽 대륙붕내 류큐 호상열도 잠물과 관련하여 백악기-팔레오세 시기의 열개작용에 의해 형성된 남서-북동주향의 열개분지이며(Fig. 2; Meng and Chou, 1976; Li, 1984; Waston *et al.*, 1987), 동중국해 분지의 북쪽 부분분지로 알려져 있다(Fig. 1). 주로 동중국해분지의 시후 트러프(Xihu Trough)의 지역적인 구조운동의 영향을 받았으며(Yin and Liu, 1990) 에오세 말의 압축운동으로 대규모 융기작용이 일어났다(Jolivet *et al.*, 1989). 올리고세에 태평양관의 잠몰(subduction)이 지속되면서 발생한 신장력에 의해 새로운 확장기에 이르렀으며(Jolivet *et al.*, 1989), 후기 마이오세에는 융정운동으로 발생한 횡압력에 의해 제주분지 북동쪽 쓰시마 지역이 융기되었다(Yin and Liu, 1990). 기반암은 시대미상의 압쇄편마암과 중생대말의 화강암이며, 에오세-올리고세 해성 퇴적층이 부정합으로 피복하고 있다. 간헐적 해성층을 포함하는 마이오세 육성층이 부정합으로 퇴적되며, 최상

부에는 플라이오세-현세의 친해 해성퇴적층이 부정합으로 덮고 있다.

도미소분지는 3개의 작은 분지와 그들 사이에 발달한 아치(arch)로 구성되며, 북동-남서 방향으로 평행하게 발달하는 정단층 성격의 점완단층에 의해 형성되었다(Fig. 1; KIGAM, 1993). 올리고세 말까지 분지가 확장되고, 마이오세 이후 광역적 침강 단계에 접어들어 북서-남동방향의 신장에 의해 북동-남서 주향의 일련의 정단층계가 발달하였다(Kim *et al.*, 2008). 플라이오세에는 광역적 해침작용으로 내대륙봉 환경으로 변이되었다(PEDCO, 1998). 중자력 자료에서 기반암까지 깊이는 4 km 이하로 추정되며(Baag and Baag, 1993), 분지 기반암은 원생대 변성암으로 해석하고 있다(KIGAM, 1993; Sturt and Quinton, 1993).

2.2. 북서 류슈 제3기 분지/후쿠에 분지

도미소분지와 인접하고 있는 일본 류슈 북서부 지역에는 탄층을 함유한 에오세와 올리고세 층들이 넓게 분포하고 있으며(Karakida *et al.*, 1992), 후기 마이오세 필리핀해판의 북쪽 잠몰에 의한 대규모 융기작용으

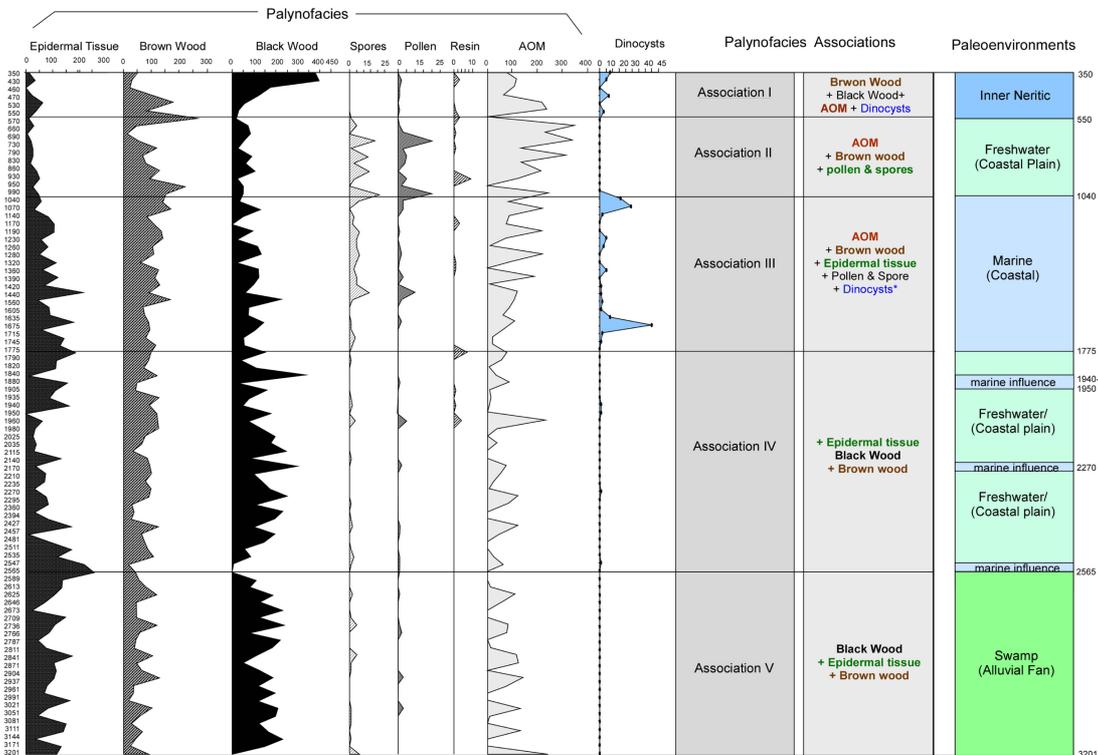


Fig. 3. Palynofacies associations and paleoenvironmental interpretation from Domi-1 well.

로 마이오세 층이 결층으로 나타난다(Itoh *et al.*, 1999). 이 지역에 발달한 제3기 퇴적분지 중 고토-나다 분지(Goto-nada)와 아마쿠사-나다분지(Amakusa-nada)에서의 생층서 분석결과 최하부층은 후기 에오세-전기 올리고세로 해석하였다(Itoh *et al.*, 1999; Itawa and Kameo, 2001). 또한, 소라-1공 기반암 상부에 상향조립질의 두꺼운 퇴적 지층이(KIER, 1982) 일본 북서큐슈 지역에 나타나는 에오세 아가사키층군(Akasaki Group; Karakida *et al.*, 1992)과 대비되는 것으로 해석하였다(Itoh and Nagasaki, 1995).

후쿠에 분지는 초기 마이오세에 동해 열림영향에 의해(Itoh, 2001) 신장성의 우수향 변형을 받은 지역으로 조립질 퇴적물로 구성되며, 간헐적으로 휘록암이 관입한다(Itoh *et al.*, 1995).

3. 시료 및 방법

도미-1공에서 총 87개, 소라-1공에서 총 86개의 시료를 약 30 g 정도 채취하여 유기질 미화석 처리방법(palynological method)으로 시료를 처리하였다. 퇴적물은 이암질에서 사암질로 깊이에 따라서 암상변이(variation)를 보였다. 지질연대, 지층대비와 고환경해석

을 위하여 탄성과 자료와 미화석자료를 비교분석하였는데 미고생물학적으로는 주로 외편모조류 미화석을 추출, 분석하였고 수반되어 산출하는 상당양의 화분포자 화석과 식물과편은 주로 환경해석에 참고자료로 활용하였다(Fig. 3, 4).

4. 생층서

동중국해 도미분지 퇴적층에 대한 생층서 검토연구를 위하여 해성 유기질 외편모조류 화석을 분석하였다. 그 결과 도미-1공과 소라-1공의 최상부 및 중부구간에서 비교적 다양한 외편모조류 화석이 발견되었다(Table 1, 2). 이들은 층서적 위치에 따라 독특한 군집상을 나타내었으며, 이 군집 특성에 근거하여 생층서 분대를 실시하였다(Table 3). 또한 일부 지층들에 대한 기존의 지질시대 및 고환경 연구결과를 새롭게 정립하였다.

4.1. Domi-1공

Domi-1공 90개의 시료로부터 총 8속 18종의 외편모조류 화석을 발견하였다(Table. 1). 이들의 시추 깊이에 따른 산출유무, 군집특성과 인근 지역과의 대비를 통해 2개의 산출대와 2개의 무화석대를 발견하고 이를

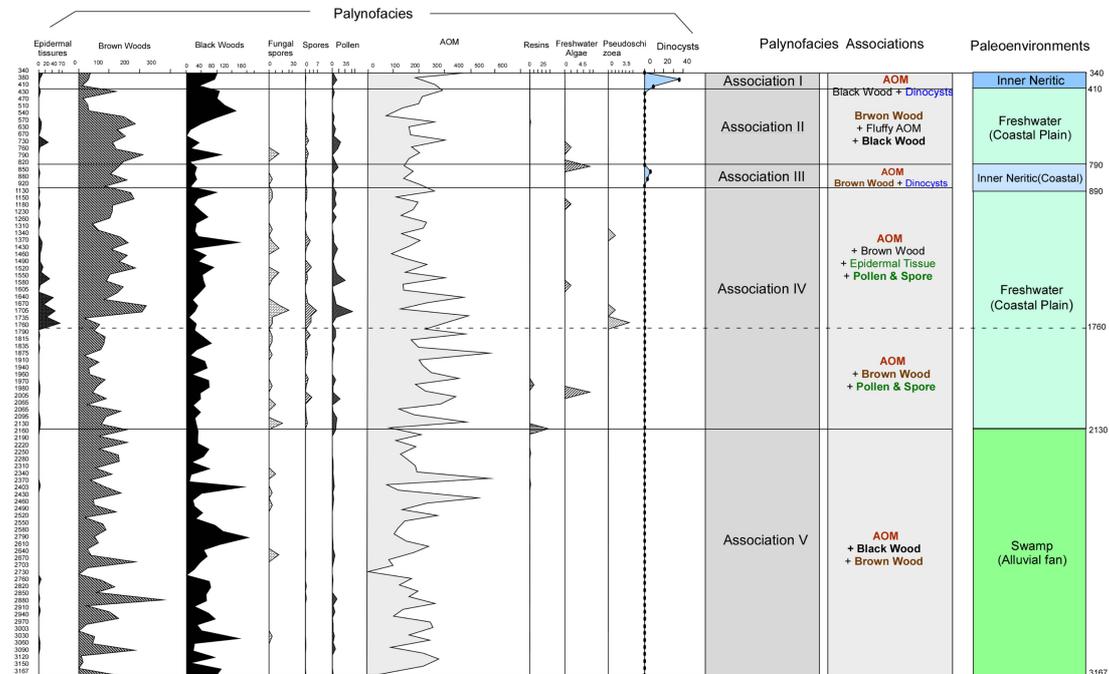


Fig. 4. Palynofacies association and paleoenvironmental interpretation from Sora-1 well.

Table 2. Occurrence chart of dinoflagellate cysts from Sora-1 well

DEPTH(m) / SPECIES	<i>Cordosphaeridium</i> sp. cf. <i>C. cantharellum</i>	<i>Cordosphaeridium</i> sp. cf. <i>C. incisae</i>	<i>Cordosphaeridium</i> sp.	<i>Glaphyrocysta exuberans</i>	<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	<i>L. machaerophorum</i>	<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Selenopemphix</i> sp. A	<i>Operculodinium israelianum</i>	<i>Polysphaeridium congregatum</i>	<i>Spiniferites baletius</i>	<i>Spiniferites bulloideus</i>	<i>Spiniferites</i> sp. cf. <i>S. hypocaustus</i>	<i>Spiniferites salicatus</i>	<i>Spiniferites membranaceus</i>	<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Spiniferites</i> spp.	<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	TOTAL	
940					7	1	2	1	1		5	1		2		3	3	10	0	
980																			38	0
410					4				1			2	1			1			9	0
430																			0	0
470																			0	0
510																			0	0
540																			0	0
570																			0	0
590																			0	0
670																			0	0
730																			0	0
760																			0	0
790																			0	0
820																			0	0
850	1	1	2	1					1										6	0
880		1	1											1					3	0
920																			0	0
1180																			0	0
1190																			0	0
1230																			0	0
1250																			0	0
1310																			0	0
1340																			0	0
1370																			0	0
1430																			0	0
1450																			0	0
1480																			0	0
1520																			0	0
1550																			0	0
1590																			0	0
1605																			0	0
1640																			0	0
1670																			0	0
1705																			0	0
1735																			0	0
1780																			0	0
1790																			0	0
1815																			0	0
1835																			0	0
1875																			0	0
1910																			0	0
1940																			0	0
1980																			0	0
1970																			0	0
1980																			0	0
2005																			0	0
2085																			0	0
2085																			0	0
2095																			0	0
2130																			0	0
2160																			0	0
2190																			0	0
2220																			0	0
2250																			0	0
2280																			0	0
2310																			0	0
2340																			0	0
2370																			0	0
2403																			0	0
2430																			0	0
2460																			0	0
2490																			0	0
2520																			0	0
2550																			0	0
2580																			0	0
2790																			0	0
2810																			0	0
2840																			0	0
2870																			0	0
2703																			0	0
2730																			0	0
2760																			0	0
2820																			0	0
2850																			0	0
2880																			0	0
2910																			0	0
2940																			0	0
2970																			0	0
3003																			0	0
3030																			0	0
3060																			0	0
3090																			0	0
3120																			0	0
3150																			0	0
3167	1	2	3	1	11	1	1	2	1	2	1	5	3	1	3	1	3	3	10	64

Table 3. Dinocyst stratigraphic range known previously from Northern hemisphere(Williams *et al.*, 1993)

Index species	FAD	LAD
<i>Spiniferites elongatus</i>	8 Ma	0 Ma
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	27 Ma	0 Ma
<i>Spiniferites mirabilis</i>	27 Ma	0 Ma
<i>Selenopemphix</i> spp.	43 Ma	0 Ma
<i>Hystriocholpoma rigaudiae</i>	51 Ma	1 Ma
<i>Spiniferites ellipsoideus</i>	19 Ma	4 Ma
<i>Spiniferites pseudofurcatus</i>	in Cret.	10 Ma
<i>Pentadinium laticinctum</i>	50 Ma	12 Ma
<i>Deflandrea phosphoritica 'complex'</i>	54 Ma	23 Ma
<i>Polysphaeridium congregatum</i>	40 Ma	28 Ma
<i>Phthanoperidinium</i> spp.	51 Ma	28 Ma
<i>Cordosphaeridium gracilis</i>	in Cret.	30 Ma
<i>Cordosphaeridium fibrospinusum</i>	in Cret.	33 Ma
<i>Kisseovia coleothrypta 'complex'</i>	51 Ma	35 Ma
<i>Homotryblum tenuispinosum</i>	52 Ma	36 Ma
<i>Glaphyrocysta exuberans</i>	54 Ma	38 Ma

생태층서와 관련지었다(Fig. 5).

4.1.1. 3201 - 2565 m(2613 m) : Eocene or older (ECOZONE D)

본 구간은 역암 및 역질 사암의 함량이 높은 구간이며, 외편모조류 화석이 발견되지 않는 무화석 구간으로 지질시대 결정은 어렵다. 따라서 상위 생태층서대인 ECOZONE C의 지질시대가 올리고세-에오세인 점을 감안할 때, 이 구간의 지질시대는 에오세 또는 그보다 오래되었을 것으로 판단한다.

4.1.2. 2547 - 1040 m : Eocene to Oligocene(ECOZONE C)

본 구간은 하부구간(2547 - 1775 m)과 상부구간(1745 - 1040 m)으로 나뉜다(Table. 1).

하부구간에서는 2547 m, 2270 m, 1950 m, 1940 m 의 4개 층준에서 *Polysphaeridium congregatum*, *Spiniferites pseudofurcatus*, *Spiniferites* sp., *Cordosphaeridium* sp. 등이 상부 구간까지 지속적으로 산출한다. 이와 같은 간헐적 산출은 이 기간 동안 육성 퇴적환경이 조성되었고, 간헐적인 해침활동의 시작을 시사한다.

상부구간에서는 *Chiropteridium* sp. *Cleistosphaeridium* sp., *Cordosphaeridium* spp. *Glaphyrocysta exuberans*, *Heteraulacysta campanula*, *Homotryblum tenuispinosum*, *Hystriocholpoma regaudiae*, *Kisselovia tenuivirgula*, *Polysphaeridium congregatum*,

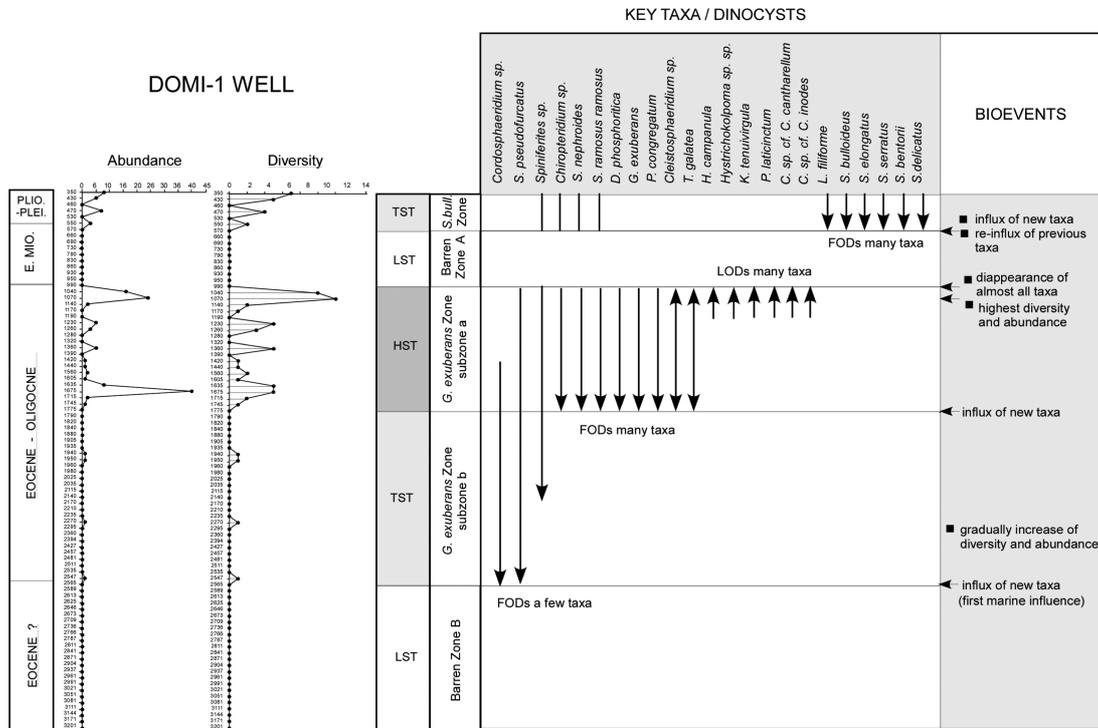


Fig. 5. Dinocyst Sequence biostratigraphy and bioevents from Domi-1 well.

Schematophora speciosa, *Tubiosphaera galatea* 등이 산출한다. 동중국해 대륙붕 분지의 Zhejiang depression과 Taipei depression의 시추자료에서 *Kisselovia*, *Chiropteridium*, *Schematophora*, *Tubiosphaera* 등의 종들이 에오세 Quijiang층에서 보고된 바 있다(Yu Jingxian, 1989). 또한 본 구간의 외편모조류 군집은 일본 북서 큐슈지역의 에오세-올리고세 지층의 군집과 높은 유사성을 보인다. 특히, 본 시추공 상부 경계부 근처(1070m)에서 *Heteralucacysta campanula*와 *Hystriocholpoma rigaudiae*가 첫 출현(FOD)하기 시작하는데, 북서 큐슈지역의 Sasebo층군의 Kase층 하부(올리고세 말)에서도 동일한 산출특성을 보인다. 따라서 일본 북서 큐슈의 군집과 도미분지의 전체적 종조성 및 층준별 산출양상을 고려해 보았을 때 ECOZONE C의 퇴적층은 에오세-올리고세 때 형성된 것으로 판단된다.

기존의 화분포자 및 유공충 연구에 의하면 상부구간의 퇴적시기를 마이오세 초기 및 중기 (Hadson, 1988)와 마이오세 중기(KIER, 1982)로, 하부구간에 대해서는 올리고세 중기 내지 말기(Hadson, 1988)와 마이오세 초기(KIER, 1982)로 각각 해석하였으나 급변 연구에서 ECOZONE B 하부구간으로부터 올리고세-에

오세의 해성 외편모조류 화석을 다수 발견함으로써, 본 구간은 에오세-올리고세에 퇴적되었음이 확인되었다.

4.1.3. 990 m - 570 m : Miocene (ECOZONE B; BARREN ZONE)

본 구간은 해성 외편모조류가 산출되지 않는 무화석 구간이다. 따라서 이 구간은 ECOZONE B의 하부경계와 ECOZONE A의 상부경계 사이의 기간에 형성된 것으로 보인다. 하지만 만약 이 BARREN ZONE A의 퇴적층이 삭박 또는 무퇴적 기간이 있었다면, 이 시기는 마이오세보다 더 짧은 기간동안 형성되었을 가능성도 있다.

4.1.4. 550 m - 350 m : Pliocene - Pleistocene (ECOZONE A)

본 구간에서는 주로 *L. machaerophorum filiforme*, *L. machaerophorum machaerophorum*, *Selenopemphix nephroides*, *S. quanta*, *Spiniferites bentorii truncatus*, *S. elongatus*, *S. serratus* 등의 종들이 발견된다. 본 생층서대의 군집은 동해 울릉분지의 Pliocene - Pleistocene 퇴적층으로부터 산출되는 외편모조류 군집

조성과 매우 유사하다 (Byun, 1995). 하지만 4 Ma의 LAD를 갖는 *Spiniferites ellipsoideus* 가 본 시추공의 1230m에서 발견됨에 따라, 본 구간의 퇴적층은 적어도 4 Ma보다 이전에 퇴적된 것으로 판단된다.

4.2. Sora-1 공

Sora-1공 90개의 시료로부터 총 8속 18종의 외편모조류 화석이 산출되었다(Table 2). 해성 외편모조류 화석의 층서적 산출특성에 따라 총 2개의 생층서대와 2개의 무화석 구간이 설정되었다.

4.2.1. 3167 m - 920 m : Eocene or older(ECO-ZONE D)

본 구간은 해성 외편모조류의 산출이 없는 무화석 구간이다. Domi-1 공의 BARREN ZONE B 구간과 마찬가지로 사암, 역질 사암 및 역암이 상대적으로 높은 구성비를 나타내며 화분포자의 산출량도 매우 적다.

지질시대는 상부 층준인 ECOZONE B의 하부 경계부의 시대를 고려하여 결정되었다.

4.2.2. 890 m - 850 m : Oligocene(ECOZONE C)

본 구간에서는 4속 6종의 외편모조류 화석이 산출한다. *Cordosphaeridium* Spp. 이 우점종으로 산출하며, *Glaphyrocyst exuberans*, *Polysphaeridium congregatum* 등이 산출한다. 위의 종들은 에오세-올리고세 종들로 본 구간은 Domi-1 공의 ECOZONE B의 최상부 구간과 대비된다. 따라서, 본 구간은 올리고세에 퇴적된 것으로 판단된다.

4.2.3. 820 m - 430 m : Miocene(ECOZONE B)

본 구간은 해성 외편모조류가 산출되지 않는 외편모조류 무화석구간이다. 따라서, 상위 ECOZONE A와 하위 ECOZONE B 사이의 시기인 마이오세에 형성된 것으로 보인다.

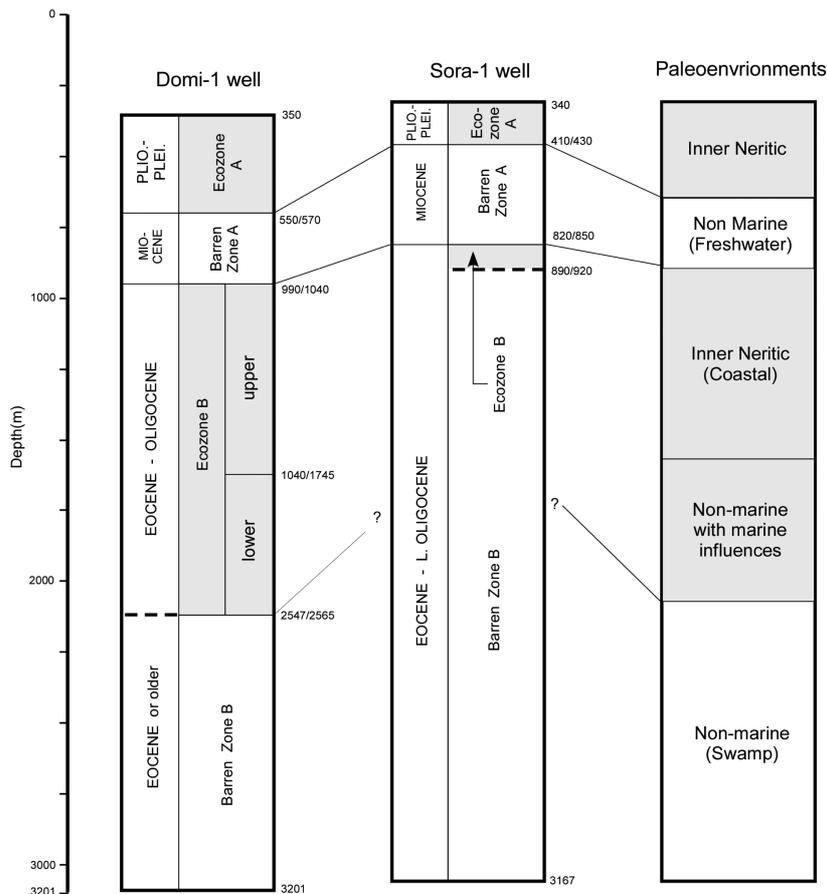


Fig. 6. Biostratigraphic correlation between Domi-1 and Sora-1 wells based on dinocysts.

4.2.4. 410 m - 340 m : Pliocene - Pleistocene(ECO-ZONE A)

본 구간의 외편모조류 군집은 Domi-1공 동일 층준의 군집보다 상대적으로 종 다양도와 풍도가 높은 것이 특징이다. *L. machaerophorum filiforme*, *Operculodinium israelianum*, *Selenopemphix quanta*, *Tuberculodinium vancampoe* 등이 산출하며, 이와 같은 군집은 전형적인 온대 해역의 플라이오세-플라이스토세 군집특성을 나타낸다(Marret, F and Zonneveld, K. A. E, 2003). 아열대의 쿠로시오 해류의 지류인 쓰시마 해류를 타고 유입되는 *T. vancampoe* 와 *O. israelianum* 등은 Sora-1 공에서만 산출되는 특징을 보인다 (Matsuoka, 1985).

4.3. 생층서 대비

Domi-1공과 Sora-1공에서 설정된 2개의 외편모조류 생층서대(*Spiniferites bulloideus* Zone 과 *Glaphyrocysta exuberans* Zone)와 2개의 무화석대(Barren Zone A 와 Barren Zone B) 의 특성에 따라 두 시추공간의 대비를 시도하였다(Fig. 6).

4.3.1. Ecozone D(Eocene or older)

본 구간은 외편모조류가 산출되지 않는 비해성층으로 Domi-1공의 3201 m - 2565 m, Sora-1공의 3167 m - 920 m 깊이에서 나타난다. 하지만 이 구간의 상부 경계부의 정확한 대비는 어렵다.

4.3.2. Ecozone C(Eocene - Oligocene) : *Glaphyrocysta exuberans* Zone

Domi-1공의 2547 m - 1040 m 구간에서는 동중국해 대륙붕분지에서 나타나는 에오세 종들과 일본 북서 큐슈지역의 에오세-올리고세 지층에서 발견되는 외편모조류 종들이 산출한다. Sora-1 공 역시 890 m - 850 m 구간에서 올리고세 종들이 산출한다.

본 생층서대는 Domi-1 공에서 뚜렷하게 나타나지만, Sora-1공에서는 약 70 m 구간에서만 나타난다. 따라서, Sora-1공의 외편모조류 산출량이 적고 산출 층준이 제한적이어서 *Glaphyrocysta exuberans* Zone 의 생층서 대비는 상부 경계부에서만 가능하고, 하부 경계는 정확하게 대비하기 어렵다.

4.3.3. Ecozone B(Miocene to Early Pliocene)

Domi-1 공의 990 m - 570 m 와 Sora-1공의 820 m - 430 m 는 해성 외편모조류가 산출되지 않는 무화석

대이다.

4.3.4. Ecozone A(Late Pliocene - Early Pleistocene) : *Spiniferites Bulloideus* Zone

본 생층서대는 Domi-1공의 550 m - 350 m 구간 및 Sora-1 공의 340 m - 410 m 구간에서 대비된다. 이들 생층서대는 플라이오세-플라이스토세의 천해성 외편모조류 군집을 이룬다.

4.4. 도미분지와 일본 큐슈지역의 외편모조류 군집 비교

일본 큐슈 북서부 지역에는 탄층을 함유한 에오세와 올리고세 층들이 넓게 분포하고 있다(Karakida *et al*, 1992). 이들은 남쪽으로부터 Amakusa-Shimoshima, Takashima, Sakito-Matsushima, Sasebo, Karatsu, Ashiaya, Yuyawan 지역에 주로 분포되어 있다(Fig. 7). Matsubara(2002)에 의한 시간층서대비에 의하면, 주로 큐슈 서쪽에 위치한 Amakusa-Shimoshima, Takashima, Sakito-Oshima 지역의 대부분의 퇴적물들은 에오세 중기내지 말기에, Sasebo, Karatsu, Ashiaya, Yuyawan 지역에는 올리고세 초기 및 말기에 형성된 것으로 알

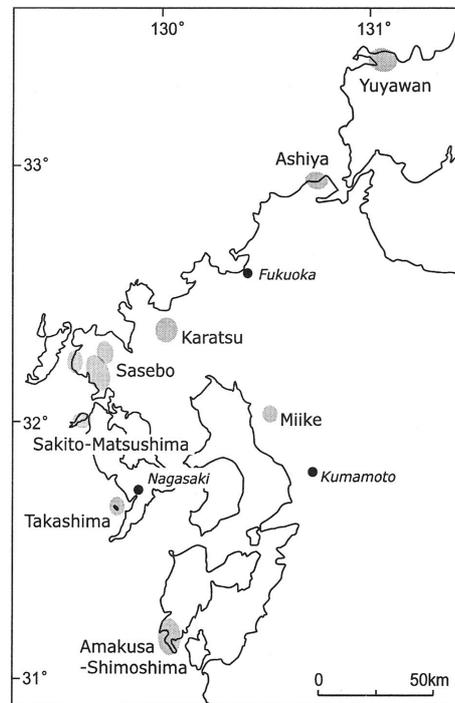


Fig. 7. Paleogene Basins of NW Kyushu area, SW Japan (After Kurita 2004).

려져 있다(Fig. 8, Kurita 2004). Kurita(2002)는 북서 큐슈 지역의 시간층서 단위가 공식적인 공표된 표식층에 대하여 야외조사와 암상으로 추론된 퇴적환경조사를 실시하고, 외편모류 연구를 위하여 총 70개의 시료를 채취하였다. 그는 상기 5개 지역 (Amakusa-Shimoshima를 제외)으로부터 총 33속 47종의 고제 3기 외편모조류 화석을 보고하였다(Kurita 2004; Fig. 9).

일본 북서 큐슈지역과 도미분지에서 산출되는 고제 3기 외편모조류 군집을 비교하였다. 도미분지의 도미-1공과 소라-1공의 퇴적층이 생성된 지질시대 및 교환경 복원을 위하여 북서 큐슈지역 고제3기층으로부터 산출된 외편모조류 군집특성을 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

4.4.1. Sakito-Oshima 지역 : Maze층과 Tokuman층/ Nishisonogi층(early Early Oligocene)

Sakito-Oshima 지역의 Nishisonogi 층군에서는 주로 *Glaphyrocysta* spp., *Homotryblium* sp., *S. pseudo-*

furcatus, *Systematophora* spp., *Polysphaeridium* sp., *C. sp. cf. C. fibrospinosum*, *Deflandrea phosphoritica* 등 총 8종의 외편모조류 화석이 발견되며, 하부층인 Maze 층에서는 *C. sp. cf. C. fibrospinosum*과 *Deflandrea phosphoritica*가 우점적으로 산출한다. 반면 상부층인 Tokuman층에서는 *Spiniferites pseudofurcatus*와 *Cordosphaeridium inodes*가 우점적으로 산출한다. Nishisonogi 층군에서는 하부 Iojima층군에 비해 외편모조류의 종 다양도가 떨어진다.

4.4.2. Karatsu지역 : Ouchi층, Kishima층, Hatatsu Shale층/Kishima층군(latest Eocene-Early Oligocene)

Kishima층군에서는 *Homotryblium* sp., *Brigantedinium* sp., *Spiniferites* spp., *Batiacasphaera* sp., *Sumatradinium?* sp., *Trinovantedinium boreale*, *Areosphaeridium dictyoplokus*, *Achomosphaera* sp. cf. *A. antleriformis*, *Selenepemphix nephroides*, *Cordo-*

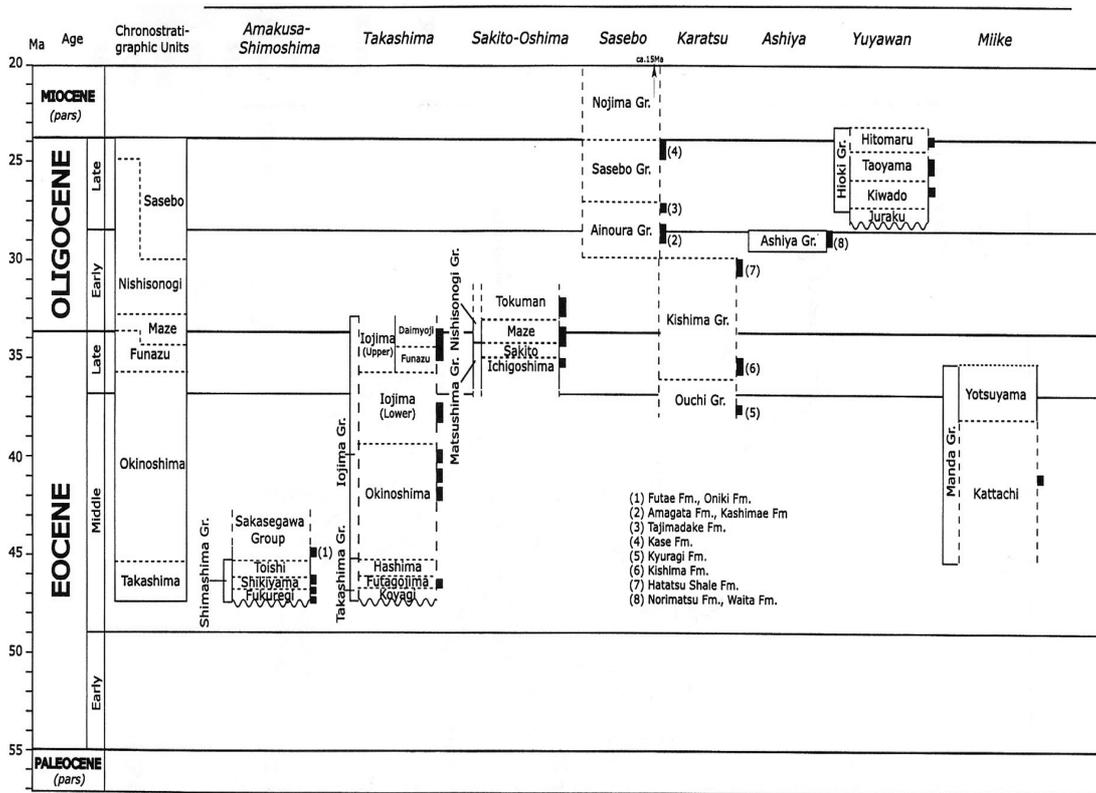


Fig. 8. Chronostratigraphic correlation Compiled after Matsubara(2002). Black boxes right to each column indicate intervals sampled by Kurita for dinocyst study(After Kurita 2004).

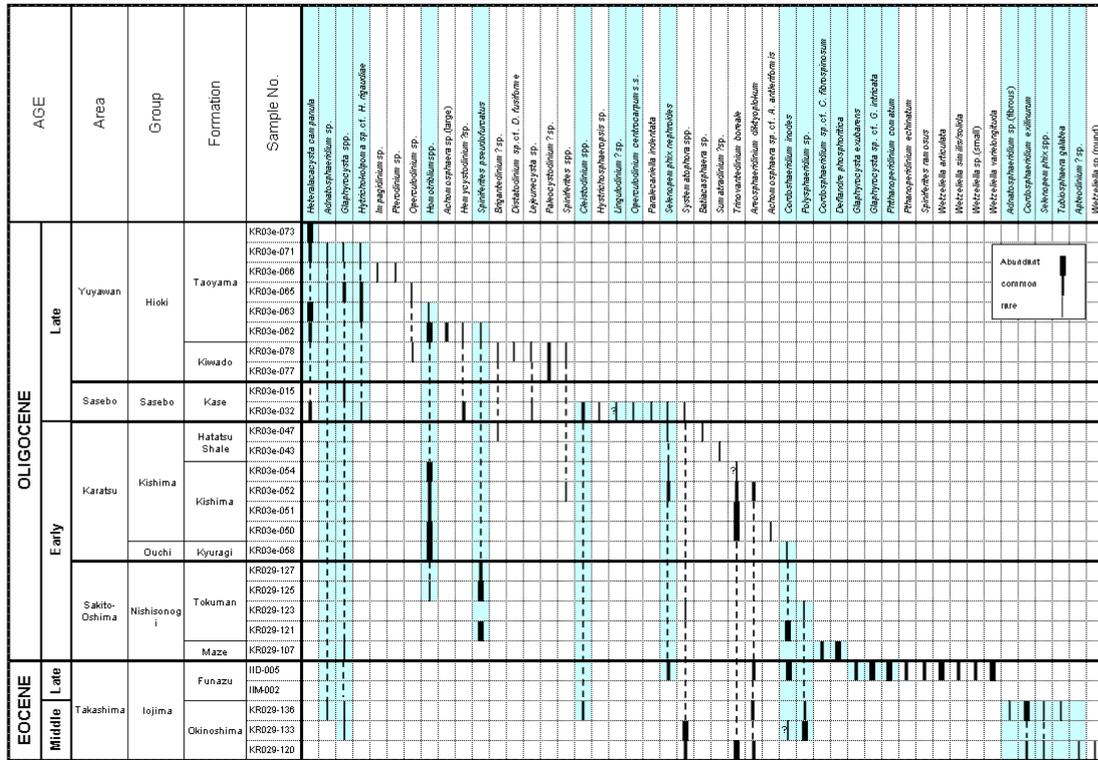


Fig. 9. Dinoflagellate cysts from the Paleogene sections in northwestern Kyushu and westernmost Honsu (Modified from Kurita 2004). Shadow zones indicate dinocyst species occurring in both of Domi Basin and Kyushu Area.

sphaeridium inodes 등의 군집을 이룬다. Ouchi층에서는 *Homotryblum* sp.이 우점적으로 산출하며, 상부층인 Kishima층까지 지속적으로 풍부하게 산출하다가 Hatatsu Shale층이 쌓이기 직전에 일시적으로 사라진다. Hatatsu Shale층에서는 4종의 상대적으로 빈약한 산출을 보인다.

4.4.3. Sasebo 지역 : Kase층/ Sasebo층군(early Late Oligocene)

Sasebo층군에서는 약 12종의 외편모조류를 보고하였다. *Heteraulacacysta campanula*, *Glaphyrocysta* sp., *Hemicystodinium?* sp., *Lejeunecysta* sp., *Cleistosphaeridium* sp., *Hystrichosphaeropsis* sp., *Lingulodinium machaerophorum?*, *Operculodinium centrocarpum* s.s., *Parallecaniella indentata*, *Selenopemphix nephroides*, *Systematophora* sp. 등의 외편모조류가 산출한다. 이 중 *Hemicystodinium?* sp.과 *Cleistosphaeridium* sp.가 우점적으로 산출한다. 이들은 대부분 Kase층의 하부 층군에서 발견되며, 상부층군에서는

Glaphyrocysta sp. 단 한 종만이 발견된다.

4.4.4. Yuyawan 지역 : Kiwado층과 Taoyama층/Hioki층군(Late Oligocene)

북 큐슈에 위치한 Yuyawan지역의 Hioki층군에서는 총 16종의 외편모조류 화석이 보고되었는데, 하부층인 Kiwado층에서는 6종이 Taoyama층에서는 11종이 보고되었다. Kiwado층에서는 *Operculodinium* sp., *Brigantedinium* sp., *Distatodinium* sp. *D. cf. fusiforme*, *Lejeunecysta* sp., *Paleocystodinium?* sp., *Spiniferites* sp.이 군집을 이루며, 상부층인 Taoyama층에서는 *Heteraulacacysta campanula*, *Adnatosphaeridium* sp., *Glaphyrocysta* spp., *Hystrichokolpoma* sp. cf. *H. rigaudiae*, *Impagidinium* sp., *Pterodinium* sp., *Operculodinium* sp., *Homotryblum* spp. 등이 산출한다. 이 중 *Heteraulacacysta campanula*는 Taoyama층의 최하부 및 최상부층군에서 우점적으로 산출하며, *Glaphyrocysta* spp., *Hystrichokolpoma* sp. cf. *H. rigaudiae*는 중부층군에서 상대적으로 풍부하게 산출한다.

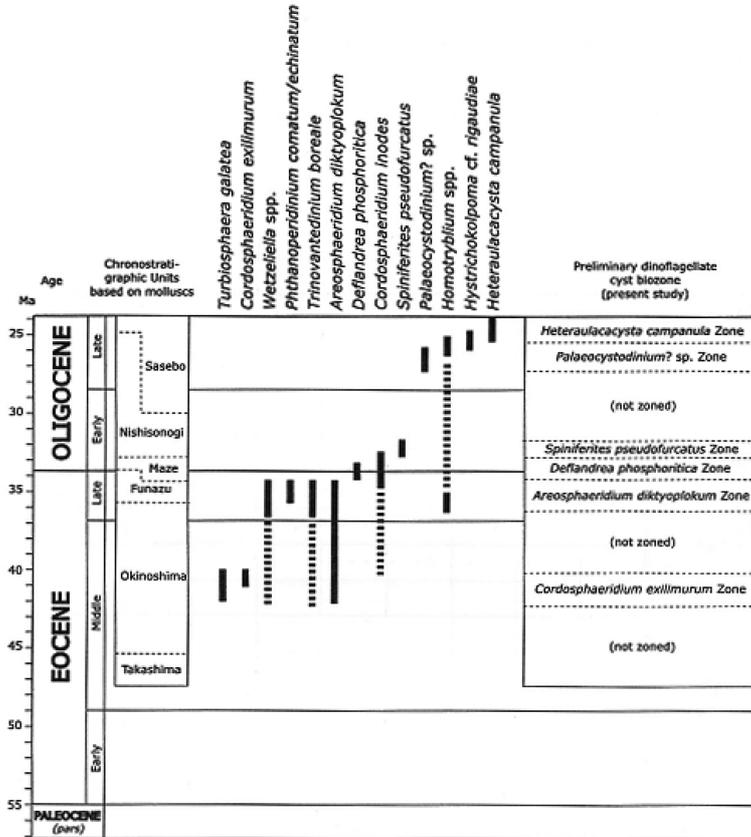


Fig. 10. Preliminary dinocyst biozonations from NW Kyushu, Japan (Kurita, 2004).

Kurita는 이들 5개 지역으로부터 산출된 외편모조류의 층서적 산출특성에 따라 잠정적으로 6개의 외편모조류 생층서대(*Cordosphaeridium exilimurum* Zone, *Areosphaeridium diktyoplokum* Zone, *Deflandrea phosphoritica* Zone, *Spiniferites pseudofurcatus* Zone, *Paleocystodinium?* sp. Zone, *Heteraulacacysta campanula* Zone)를 설정하였다(Fig. 10).

도미분지에서 산출된 올리고세-에오세 외편모조류 (*Glaphyrocysta exuberans* Zone)의 군집을 일본 북서 큐슈 지역의 군집과 비교해 본 결과 군집특성이 매우 유사한 것으로 나타났다(Fig. 11, 12). *Glaphyrocysta exuberans* Zone의 2547 m - 1230m까지는 북서 큐슈지역의 에오세-초기 올리고세 지층의 군집특성과 매우 유사하다. 도미분지의 1070 m와 1040 m에서 *Hystrichokolpoma rigaudiae*, *H. poculum*, *H. sp. cf. H. poculum* 갑자기 나타난다(Fig. 11). 이는 북서 큐슈지역의 올리고세 후기 지층에서 나타는 외편모조류의 산출상태와 매우 유사하다(Table 4). 따라서 이

구간은 올리고세 후기에 해당된다.

일본 북서 큐슈에서 산출하는 고제 3기 화석들도 동중국해의 도미분지 경우와 마찬가지로 다양도는 높으나 보존상태가 불량하다. 하지만 Kurita(2004)의 보고서에서 기재된 외편모조류가 산출량을 정량적으로 표시되어있지 않아 양적비교는 어렵다.

이들 북서 큐슈의 고제 3기층에서 산출하는 외편모조류 화석과 도미분지에서 동일하게 산출하는 외편모조류 화석을 Table 5에 나타내었다. 그 결과 두 지역에서 약 22종의 외편모조류 화석이 공통적으로 산출하며 두 지역의 군집조성이 매우 유사함이 밝혀졌다. Itoh(1996)에 의하면, 북큐슈의 Amakusa분지에서 시추된 Amakusa-oki-1X공의 하부 퇴적층에서도 공저자인 Matsuoka에 의해 에오세 초-중기의 외편모조류 화석이 발견되었으며, 이는 Nishisonogi 분지의 남측 연변부에서 발견된 군집과 유사하다고 보고하고 있다.

이와 같이 도미분지의 고제3기 외편모조류 군집과 일본의 북서 큐슈의 외편모조류 군집의 유사성은 도미

Table 4. Temporary result on stratigraphically important dinocysts processed and found from the Tertiary basins of Kyushu area, Japan

	Area	Group	Formation	Dinocyst
Late Oligocene	Yuyawan	Hioki	Taoyama	Cleistosphaeridium spp. Glaphyrocysta spp. Heteraulacacysta campanula Homotribulium spp.
			Kiwado	Hystrichokolpoma sp. cf. H. rigaudiae Lingulodinium? sp.
	Sasebo	Sasebo	kase	Operculodinium centrocarpum s.s. Selenopemphix nephroides Spiniferites pseudofurcatus
Early Oligocene	Karatsu	Kishima	Hatatsu Shale	Cordosphaeridium sp. cf. C. fibrospinusum
			Kishima	Phthanoperidinium comatum
	Sakito-oshima	Nishisonogi	Ouchi	Polysphaeridium sp.
			Kyuragi	Spiniferites pseudofurcatus
			Tokuman	Cordosphaeridium inodes
			Maze	
Late Eocene			Funazu	Cordosphaeridium inodes Glaphyrocysta exuberans Glaphyrocysta sp. cf. G. intricata Phthanoperidinium comatum Selenopemphix nephoides
Middle Eocene	Takashima	Iojima	Okinoshima	Adnatosphaeridium sp.(fibrous) Apteodinium? sp. Cleistosphaeridium sp. Cordosphaeridium exilimurum Cordosphaeridium inodes Glaphyrocysta spp. Polysphaeridium sp. Selenopemphix spp. Tubiosphaera galatea Adnatosphaeridium sp.

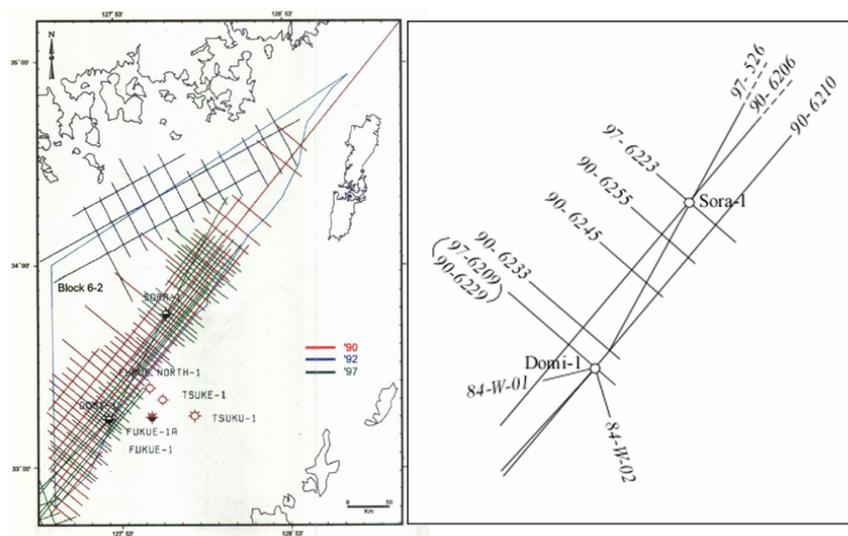


Fig. 13. Seismic lines and wells in the Block 6-2(left; PEDCO, 1998) and selected lines for this study(right).

Table 5. Comparison of selected Paleogene dinocyst assemblages between NW Kyushu, Japan and Domi Basin, the East China Sea Shelf

NW Kyushu (Kurita 2004)		Domu Basin (This Study)
O L I G O C	Late	(Upper Part) <i>Cordosphaeridium</i> sp. cf. <i>S. inoides</i> <i>Glaphyrocysta exuberans</i> <i>Heteraulacacysta campanula</i> * <i>Hystrichokolpoma rigaudiae</i> * <i>Hystrichokolpoma</i> sp. <i>Kisselovia tenuivirgula</i> <i>Operculodinium israelianum</i> <i>Pentadinium laticinctum</i> <i>Spiniferites mirabilis</i> <i>Spiniferites pseudofurcatus</i> <i>Spiniferites ramosus ramosus</i> <i>Hystrichokolpoma</i> sp. cf. <i>H. poculum</i>
E O C E N E	Early	(Lower Part) <i>Adnatosphaeridium multispinosum</i> <i>Chiropteridinium?</i> sp. <i>Cleistosphaeridium</i> sp. <i>Cordosphaeridium</i> spp. <i>Deflandrea phosphoritica</i> <i>Glaphyrocysta exuberans</i> <i>Homotryblium</i> sp. cf. <i>H. tenuispinosum</i> <i>Lingulodinium machaerophorum</i> <i>Operculodinium centrocarpum</i> <i>Polysphaeridium congregatum</i> <i>Selenopemphix nephroides</i> <i>Spiniferites pseudofurcatus</i> <i>Spiniferites ramosus ramosus</i> <i>Spiniferites</i> spp. <i>Tubiosphaera galatea</i> <i>Phthanoperidinium</i> sp. <i>Spiniferites pseudofurcatus</i> <i>Spiniferites ramosus ramosus</i> <i>Spiniferites</i> spp. <i>Tubiosphaera galatea</i> <i>Phthanoperidinium</i> sp.
E O C E N E	Late	<i>Adnatosphaeridium</i> sp. cf. <i>C. fibrospinosum</i> <i>Phthanoperidinium comatum</i> <i>Polysphaeridium</i> sp. <i>Spiniferites pseudofurcatus</i> <i>Cordosphaeridium inodes</i>
E O C E N E	Middle	<i>Cordosphaeridium inodes</i> <i>Glaphyrocysta exuberans</i> <i>Glaphyrocysta</i> sp. cf. <i>G. intricata</i> <i>Phthanoperidinium comatum</i> <i>Selenopemphix nephroides</i> <i>Adnatosphaeridium</i> sp.(fibrous) <i>Apteodinium?</i> sp. <i>Cleistosphaeridium</i> sp. <i>Cordosphaeridium exilimurum</i> <i>Cordosphaeridium inodes</i> <i>Glaphyrocysta</i> spp. <i>Polysphaeridium</i> sp. <i>Selenopemphix</i> spp. <i>Tubiosphaera galatea</i> <i>Adnatosphaeridium</i> sp.

나타난 반사면의 우수한 연결을 확인하였다(Fig. 21, 22). 세 번째 방법으로 Itoh(2001)에 의해 발표된 후쿠에 분지의 여러 시추공을 통과하는 2개의 탄성과 축선에 대한 탄성과 해석과 이들 축선들의 서쪽 연장선에 놓인 도미분지의 탄성과 축선(90-6245, 90-6255)과의 해석을 비교하였으며, 탄성과 층서해석에서 서로 부합하는 것을 확인하였다(Fig. 23, 24).

6. 고환경

연구지역의 고환경은 외편모조류 군집특성과 종 다양성 분석 및 유기물상 분석을 추가적으로 실행하여 자료를 해석하였다.

6.1. Domu-1공

91개의 시료로부터 18 Types/8 Groups의 유기물 종류가 확인되었다(Table 1). 하부로부터 늪지환경(swamp), 담수환경(freshwater), 반염수환경(brackish), 담수환경(freshwater), 연안환경(inner neritic)으로의 해수면 변화와 2번의 해침기간이 있었던 것으로 보인다(Table 7).

6.1.1. 3201 - 2565 m (Eocene or older) : Association V (Non-marine)

본 구간에서는 해양성 외편모조류 화석이 산출하지 않고, 고등식물 기원의 육성기원 유기물인 흑색과 갈색 나무조직, 식물조직, 무정형 유기물이 풍부하게 산

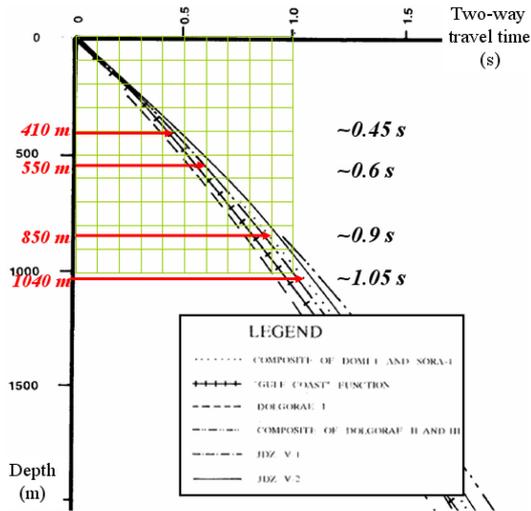


Fig. 14. Relationship between depth(unit: m) and two-way travelttime(unit: sec) for various offshore boreholes (modified from PEDCO, 1990). Dotted line represents the composite velocity function of Domi-1 and Sora-1 wells. According to this velocity curve, depths of 410 m, 550 m, 850 m and 1040 m which are determined from biostratigraphic analysis correspond to 0.45 s, 0.6 s, 0.9 s and 1.05 s in the seismic sections across the wells.

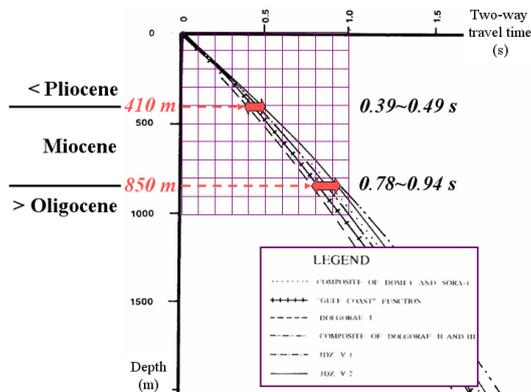


Fig. 15. Relationship between depth(unit: m) and two-way travelttime(unit: sec) for various offshore boreholes(modified from PEDCO, 1990). The boundary of nonmarine Miocene sediment is revealed by two, 410-m & 850-m, biostratigraphic horizons in the Sora-1 well. They correspond to 0.39-0.49 s and 0.78-0.94 s in the seismic stack section of the Sora-1 well according to the various velocity function of domestic offshore drill wells.

출된다(Fig. 3). 주로 육성환경 중 늪지환경을 지시하며, 사암, 역질 사암 및 역암층이 발달한 것으로 미루어 충적선상지의 특징을 나타낸다.

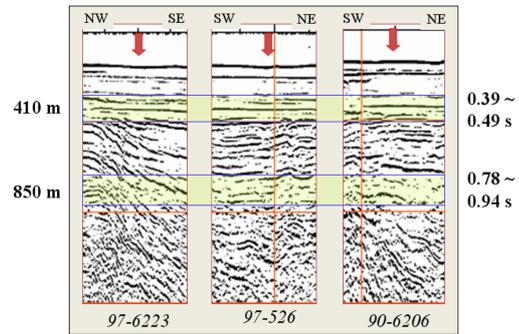


Fig. 16. Three stack sections around the Sora-1 well(red arrow). Two biostratigraphic boundaries with the depth of 410 m and 850 m can correspond to seismic horizons of 0.39-0.49 s and 0.78-0.94 s, respectively. See Fig. 13. for line locations.

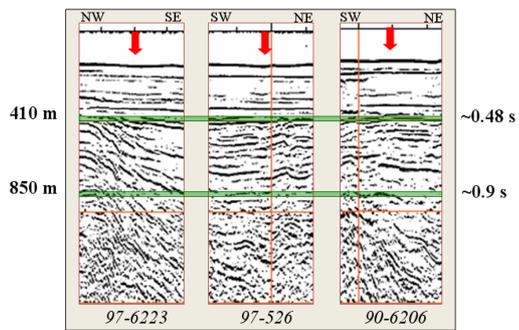


Fig. 17. In the Sora-1 well(red arrow), two(410 m and 850 m) biostratigraphic boundaries are correlated with seismic horizons of ~0.48 s and ~0.9 s respectively.

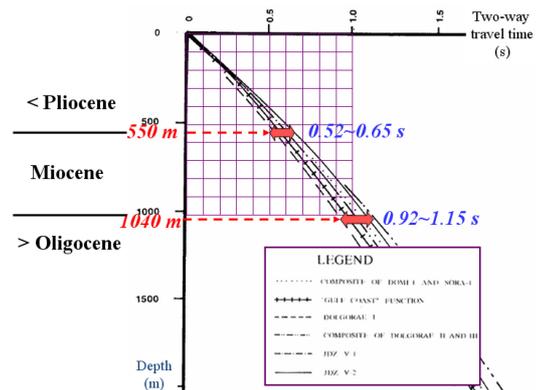


Fig. 18. Relationship between depth(unit: m) and two-way travelttime(unit: sec) for various offshore boreholes(modified from PEDCO, 1990). Interval between 550 m and 1040 m interpreted to nonmarine Miocene deposits is defined by the biostratigraphic analysis of Domi-1 Well. These depths correspond to 0.52-0.65 s and 0.92-1.15 s in the seismic profiles across the Domi-1 Well.

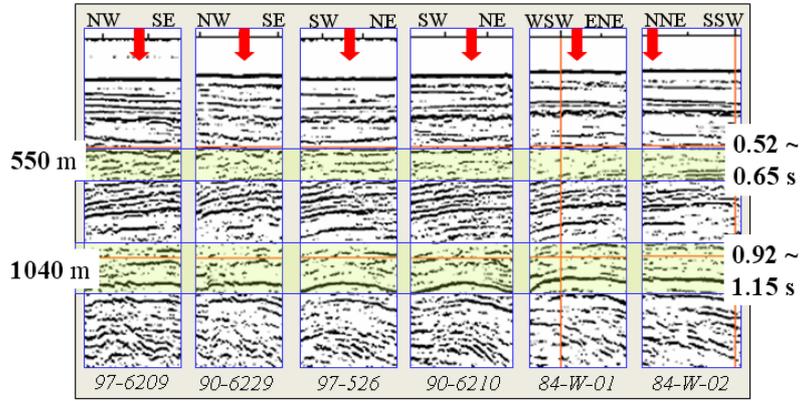


Fig. 19. Six stack sections around the Domi-1 well (red arrow). Two biostratigraphic boundaries with the depth of 550 m and 1040 m can correspond to seismic horizons of 0.52-0.65 s and 0.92-1.15 s, respectively. See Fig. 13 for line locations.

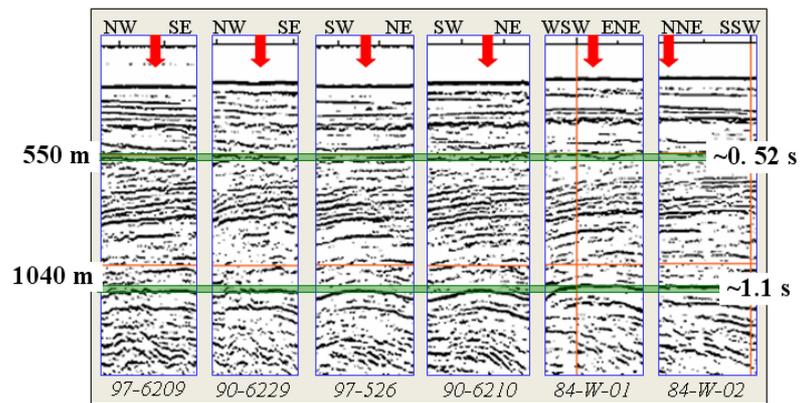


Fig. 20. In the Domi-1 well (red arrow), two (550 m and 1040 m) biostratigraphic boundaries are correlated with seismic horizons of ~0.52 s and ~1.1 s respectively.

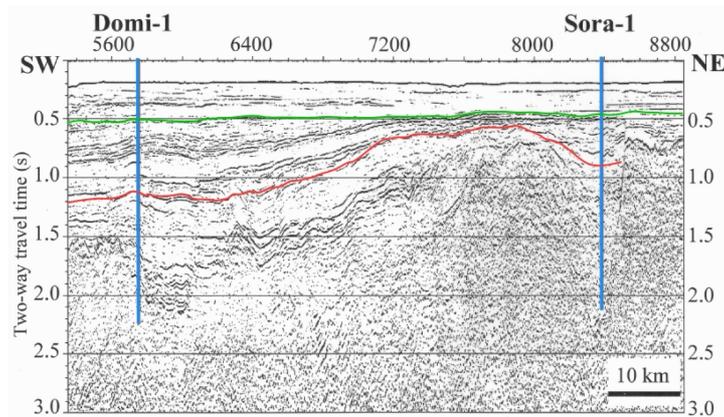


Fig. 21. Both green and red horizons are interpreted based on the analysis of the microfossils of Domi-1 and Sora-1 wells. The upper horizon represents the boundary between Plio-Pleistocene and Miocene and the lower horizon marks the boundary between Miocene and Paleogene.

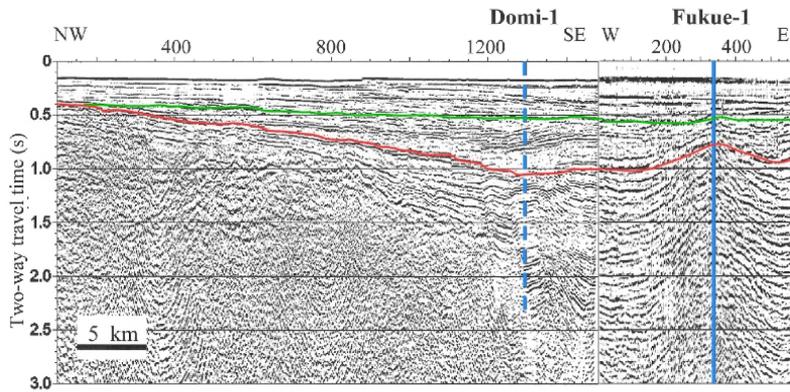


Fig. 22. Composite seismic profile: (left)90-6223 near the Domi-1 well and (right)82-100 across the Fukue-1 well. See Fig. 13 for locations. Two horizons(green and red) are interpreted based on the biostratigraphic studies.

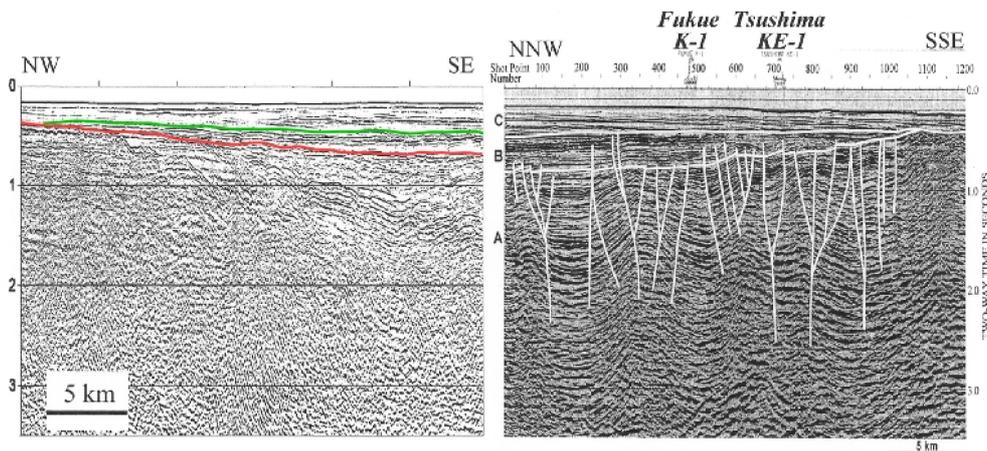


Fig. 23. Composite seismic profile: (left)90-6245 and (right)T95-BB across the Fukue KU-1 and Tsushima KE-1 wells from Itoh(2001). Seismic unit B in T95-BB is Miocene sediments. See Fig. 13 for locations.

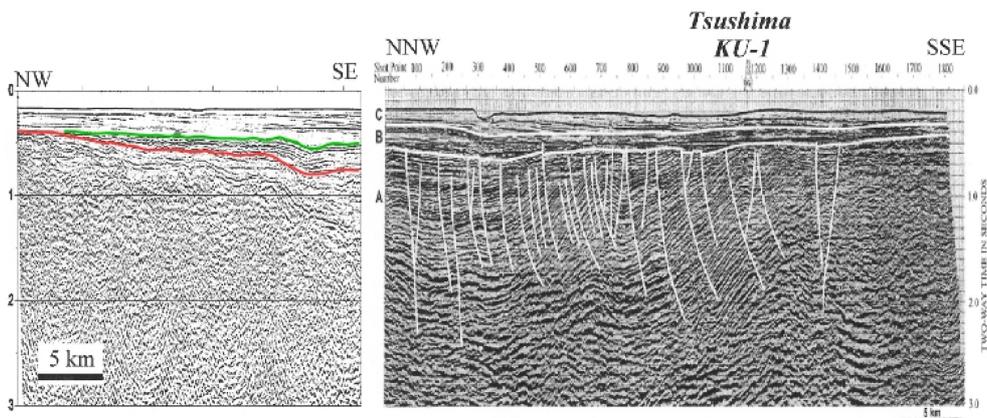


Fig. 24. Composite seismic profile: (left)90-6255 and (right)T95-44 across the Tsushima KU-1 well from Itoh(2001). Seismic unit B in T95-44 is Miocene sediments. See Fig. 13 for locations.

Table 6. Dinoflagellate characteristics and paleoenvironment of Domi-1 well

Interval (m)	Geologic age	Biozones	Critical taxa	Paleo-environments
350-550	Pliocene - Pleistocene	ECOZONE A	<i>Lingulodinium machaerophorum filiforme</i> , <i>L. machaerophorum machaerophorum</i> , <i>Selenopemphix nephroides</i> , <i>S. quanta</i> , <i>Spiniferites bentorii truncatus</i> , <i>S. elongatus</i> , <i>S. cf. serratus</i> , <i>S. delicatus</i> , <i>S. ramosus ramosus</i> , <i>Spiniferites</i> spp.	Inner Neritic
570-990	Miocene	ECOZONE B	barren (no dnoecysts)	Non-Marine
1040-2547	1040-1745 Oligocene - Eocene	ECOZONE C	upper <i>Cordosphaeridium</i> spp., <i>Glaphyrocyst exuburance</i> , <i>Adnatosphaeridium multispinosum</i> , <i>Chiropteridium</i> sp. <i>Cleistosphaeridium</i> sp., <i>Cordosphaeridium</i> spp. <i>Deflandrea phosphoritica</i> , <i>Glaphyrocysta exuberans</i> , <i>Heteraulacacysta campanula</i> , <i>Hystrichosphaeridium</i> sp., <i>Hystrichokolpoma riagudae</i> , <i>Kisseovia tenuivirgula</i> , <i>Muratodinium fimbriatum</i> , <i>Polysphaeridium congregatum</i> , <i>Pthanoperidinium</i> spp. <i>Schematophora speciosa</i> , <i>Tubiosphaera galatea</i>	Inner Neritic
			lower <i>Cordosphaeridium</i> sp., <i>Polysphaeridium congregatum</i> , <i>Spiniferites pseudofurcatus</i> , <i>Spiniferites</i> sp.	Non-marine with marine influence
2565-3201	Eocene or older	ECOZONE D	barren (no dnoecysts)	Non-Marine

Table 7. Dinoflagellate characteristics and paleoenvironment of Sora-1 well

Interval (m)	Geologic age	Biozones	Critical taxa	Paleo-environments
340-410	Plio.- Pleistocene	ECOZONE A	<i>L. machaerophorum filiforme</i> , <i>Lingulodinium machaerophorum machaerophorum</i> , <i>Operculodinium israelianum</i> , <i>O. centrocarpum</i> , <i>Selenopemphix quanta</i> , <i>Selenopemphix</i> sp. A, <i>Spiniferites beherius</i> , <i>S. bullideus</i> , <i>S. cf. hyperacantha</i> , <i>S. delicatus</i> , <i>S. membranaceous</i> , <i>S. mirabilis</i> , <i>Spiniferites</i> spp. <i>T. vancampoae</i> .	Inner Neritic
430-820	Miocene	ECOZONE B	barren (no dnoecysts)	Non-Marine
850-890	Oligocene - Eocene	ECOZONE C	<i>Cordosphaeridium</i> sp., <i>Cordosphaeridium</i> sp. cf. <i>C. cantharellum</i> <i>Cordosphaeridium</i> sp. cf. <i>C. inodes</i> <i>Glaphyrocyst exuburance</i> , <i>Polysphaeridium congregatum</i> <i>S. membranaceous</i>	Inner Neritic
920-3167	Eocene or older	ECOZONE D	barren (no dnoecysts)	Non-Marine

6.1.2. 2547 - 1040 m (Oligocene - Eocene) : Association IV, III (Inner Neritic)
Association IV는 하부구간(2547 - 1775 m)으로 간헐

적으로 해성 외편모조류가 발견된다. 처음 외편모조류 화석이 나타나는 2547 m 는 최초의 해침기록이며, 상위 약 80 - 100 m interval로 해침구간이 나타난다. 유

기물상은 나무조식, 표피조식, 화분, 포자(Fig. 3)가 조합을 이루어 담수환경을 반영한다. Association III 은 상부구간(1745 - 1040 m)으로 *Glaphyrocysta exuburante* (inner neritic), *Cleistosphaeridium* sp., *S. membranaceous*(inner to outer neritic), *Homotryblium*(restricted marine lagoonal, inner neritic) 등이 산출되는 것으로 보아 내대륙붕 환경이 조성되었던 것으로 보인다. 하지만 이 구간에서 산출되는 외편모조류의 종 다양도 및 산출량, 보존상태를 고려해 볼 때, 양상은 해안환경(coastal)이며, 파도, 조류 등과 같은 고에너지의 불안정한 해안과 아주 인접한 해안평야와 같은 얕은 바다에서 퇴적되었을 것으로 보인다. 무정형 유기물이 높은 비율로 나타나며, 간헐적 강물 유입을 통한 나무조식과 표피조식, 화분과 포자 등이 산출한다(Fig. 3).

6.1.3. 990 - 570 m (Miocene): Association II (Non-marine)

본 구간은 해성 외편모조류가 산출되지 않는 무화석 구간으로 미화석에 의한 고환경 해석은 어렵다. 유기물상 특성은 육성기원 퇴적물에서 유래된 무정형 유기물이 우점적으로 산출되며(Fig. 3), 균류 포자(Fungal debris spores) 등이 발견됨에 따라 육상 담수환경임을 시사한다.

6.1.4. 550 - 350 m (Pliocene - Pleistocene): Association I (Inner Neritic)

본 구간에서는 전형적인 온대 지역의 Inner neritic 환경에 서식하는 군집특성을 나타내는 외편모조류들이 산출한다. 특히 *L. machartophorum machartophorum* 이 상대적으로 낮은 염도의 영향을 받았을 때 나타나는 ecophenetic species인 *L. machartophorum filiforme* 종이 발견되어 이 시기에 담수 영향을 받았음을 시사한다. 유기물상 분석에선 갈색 내지 흑색 나무조식이 상대적으로 많이 나타난다(Fig. 3). 따라서 외편모조류의 산출로 미루어 연안환경(inner shelf)이었음을 알 수 있다.

6.2. Sora-1공

97개의 시료 분석 결과 10 Groups/26 Types 의 유기물 종류가 확인되었다(Table 2). 하부로부터 늪지 환경, 담수환경, 연안/반담수환경, 담수환경, 연안환경으로의 해수면 변화와 2번의 해침시기가 있었던 것으로 보인다(Table 7).

6.2.1. 3167 - 920 m (Eocene or older): Association V, IV (Non-marine)

본 구간은 해성 외편모조류 산출이 없는 무화석 구간이다. 유기물상은 Association V(2160 - 3167 m)과 Association IV(920 - 2130 m)로 나뉘며, Association IV에서 화분, 포자와 식물조식이 우세하게 산출한다(Fig. 4). 유기물 상분석에 따르면 무정형유기물과 고등 식물 기원의 흑색 및 갈색 나무조식 등의 유기물들이 조합을 이루는 늪지의 저산소-무산소의 육성퇴적환경이었던 것으로 보인다.

6.2.2. 890 - 850 m (Oligocene): Association III (Inner Neritic)

무정형 유기물과 갈색 나무조식이 우세하게 산출하며(Fig. 4), 4종의 외편모조류가 산출한다. 에오세-올리고세 시대에 살았던 *Cordosphaeridium* spp., *Glaphyrocysta exuberans*, *Polysphaeridium congregatum* 종들이 산출됨으로써 퇴적되는 동안 해침활동이 있었고 상대적으로 얕은 연안환경이 조성되었던 것으로 보인다.

6.2.3. 820 - 430 m (Miocene): Association II (Non-marine)

본 구간은 해성 외편모조류 산출이 없는 무화석 구간으로 무정형유기물, 갈색 나무조식, 화분포자 및 담수성 조류가 지속적으로 산출된다(Fig. 4). 이와 같은 유기물상 조합은 담수환경을 지시하며, 850-670 m 구간에서 소나무과, 낙우송과, 중국굴피나무속, 참나무속 등의 화분포자가 산출하여 담수환경을 지시한다.

6.2.4. 410 - 340 m (Pliocene - Pleistocene): Association I (Inner Neritic)

Domi-1공의 동일 층준의 군집보다 종 다양도와 풍도가 높은 것이 특징이며, 전형적인 온대 해역의 내대륙붕(Inner Neritic)의 천해성 군집특성을 나타낸다. 아열대 쿠로시오 해류의 지류인 쓰시마 해류를 타고 유입되는 *T. vancampoae*와 *O. israelianum* 이 본 시추공에서만 산출되며, 이는 이 시기동안 본 해역으로 난류의 유입이 있었음을 시사한다. 무정형 유기물과 흑색 나무조식이 산출한다(Fig. 4).

7. 토 의

도미분지의 동쪽 연장부인 후쿠에 분지와 의 생층서

비교는 자료가 없어 이뤄지지 못하여서 동일한 퇴적발달을 겪었다고 생각되는 일본 큐슈지역의 자료와 비교 분석하였다. 일본 북서 큐슈 지역에서 산출하는 고제3기 화석들도 도미분지 경우와 마찬가지로 다양도는 높으나 보존상태가 불량하다. 또한, Kurita(2004)의 보고서에 기재된 외편모조류의 산출량이 정량적으로 표시되어 있지 않아 양적비교는 어렵다.

일본 큐슈 북서부 지역에는 탄층을 함유한 에오세와 올리고세 층들이 넓게 분포하고 있고(Karakida *et al.*, 1992), Sakito-Oshima 지역의 대부분 퇴적물들은 에오세 중기에서 말기에 퇴적되고, Sasebo, Karatsu, Yuyawan 지역에는 올리고세 초기 및 말기에 퇴적된 것으로 알려져 있다(Matsubara 2002; Kurita, 2004). Kurita는 북서 큐슈 지역의 표식층에 대하여 퇴적환경 조사를 실시하고(Kurita, 2003), 총 70개 시료를 채취하여 외편모조류 연구를 실시한 결과, 상기 5개 지역으로부터 총 33속 47종의 고제3기 외편모조류 화석을 보고하였다(Kurita, 2004). Kurita는 이들 5개 지역으로부터 산출된 외편모조류의 층서적 산출특성에 따라 잠정적으로 6개의 외편모조류 생층서대를 설정하였다.

Itoh에 의하면, 북큐슈의 Amakusa 분지에서 시추된 Amakusa-oki-1x 공의 하부 퇴적층에서도 공지자인 Matsuoka에 의해 에오세 초-중기의 외편모조류 화석이 발견되었으며, 이는 Nishisonogi 분지 남측 연변부에서 나타나는 군집과 유사하다고 보고하였다(Itoh, 1999).

도미분지에서 산출된 올리고세-에오세 외편모조류 (*Glaphyrocysta exuberans* Zone) 군집은 일본 북서 큐슈 지역의 군집특성과 매우 유사한 것으로 나타났다. *Glaphyrocysta exuberans* Zone 의 2547-1230 m까지는 북서 큐슈지역의 에오세-초기 올리고세 지층의 군집특성과 매우 유사하다. 또한 도미분지 1070 m와 1040 m에서 *Hystriocholpoma regaudiae*, *H. poculum* 종의 갑작스런 산출은 북서 큐슈지역의 올리고세 후기 지층에서 나타나는 외편모조류의 산출상태와 매우 유사하다(Table. 3).

이들 북서 큐슈의 고제3기층에서 산출하는 외편모조류 화석과 도미분지에서 동일하게 산출하는 외편모조류 화석을 Fig. 9에 나타내었다. 그 결과 두 지역에서 약 22종의 외편모조류 화석이 공통적으로 산출하며 두 지역의 군집조성이 매우 유사함이 밝혀졌다. 이와 같이 도미분지와 일본의 북서 큐슈 지역의 고제3기 외편모조류 군집은 유사성을 갖으며, 두 지역의 고제3기층의 생성 메카니즘이 서로 연관성이 있음을 시사한다.

8. 결 론

도미 분지의 도미-1공과 소라-1공에서 각각 138속 37종, 54속 18종의 외편모조류를 분류, 감정하였다. 도미-1공에서 외편모조류의 다양도와 풍도는 양호하나 소라-1공의 것은 낮았다. 외편모조류이외에 다량의 식물 파편이 발견되었는데 당시의 고환경변화에 따라 심한 양적변화를 보였다. 도미분지에서 91개의 시료로부터 18 Types/8 Groups의 유기물 종류가 확인되었으며 고환경 해석결과, Association I-V로 분류하였고 하부로부터 늪지환경, 담수환경, 반염수환경, 담수환경, 연안환경으로의 해수면 변화와 2번의 해침기간이 있었던 것으로 보인다. 소라분지에서도 97개의 시료 분석 결과 10 Groups/26 Types 의 유기물 종류가 확인되었다. 고환경 해석결과, Association I-V로 분류하였고 하부로부터 늪지환경, 담수환경, 연안/반담수환경, 담수환경, 연안환경으로의 해수면 변화와 2번의 해침시기가 있었던 것으로 보인다. 또한, 외편모조류와 유기물 상을 토대로 생태층서 분대를 실시하여 두개 공에서 상부로부터 Ecozone A, B, C, D, 4개의 zone으로 구분하였다. 산출된 지시화석과 일본분지의 자료와 검토한 결과 논란중인 하부 지질연대는 에오세-올리고세로 판명되었다. 외편모조류 산출상을 토대로 해석하면 도미-공이 분지 쪽에 소라-1공이 분지의 가장자리(육지 쪽)에 위치하며 두 번의 융기, 침강운동을 거쳐 오늘날에 이르렀다.

지질시대는 2개 시추공 모두 하부로부터 에오세, 올리고세, 마이오세, 플라이오세, 플라이스토세를 지시하며 시대에 따른 환경변화가 심하여 최하부의 육성층은 초기 에오세나 그 보다 더 오래되었으며, 해성층은 중기 에오세-올리고세, 그리고 대부분 육성층은 마이오세, 그 상부는 해성층인 플라이오-플라이스토세(대부분 플라이스토세)로 해석하였다. 특히 논란의 대상이었던 하부 구간은 에오세, 올리고세의 특징적인 지시종 외편모조류가 다량 발견되므로 의심의 여지가 없이 에오세-올리고세 시대인 것으로 밝혀졌으며 이는 인근 후쿠에 분지의 층서 결과와 일치하였다.

또한, 탄성과 층서 해석결과에서도 층서 대비 및 주변 후쿠에-1공을 지나는 탄성과 단면도 해석을 통해 일치하는 것을 확인하였다.

사 사

본 연구는 2010년도 충남대학교 학술연구비에 의해

지원되었다. 시료를 제공해준 한국석유공사 측에도 감사드린다.

참고문헌

- Baag, C. and Baag, C.-E. (1993) Gravity and magnetic model study of Block VI-2, offshore Korea, Korean Journal of Petroleum Geology, 1, 37-46.
- Byun, H.S. (1995) Cenozoic dinoflagellate cysts from the Pohang Basin and the southern margin of the Ulleung Basin, Korea. Chungnam Nat. Univ. Ph.D Thesis, 283p.
- Frazier, S.B., Choi, S.O., Kim, B.K. and Schwart, D. (1976) Marine petroleum exploration of Huksan Platform, Korea. American Association of Petroleum Geologists memoir, 25, 268-275.
- Hadson Petroleum International Ltd. (1988) Well : Domi-1, Offshore Korea Stratigraphy and Maturity of the Interval 314m-3,201m. 1-17.
- HADSON (1989) Well Domi-1 Offshore Korea Stratigraphy and Maturity of the interval 314-3,201m, 17p.
- Itoh, Y. and Nagasaki, Y. (1995) Post-Cretaceous structural evolution of offshore basins to the west of Kyushu. In: chang, K.H., Park, S.O.(Eds), Environmental and Tectonic History of East and South Asia. Kyungpook National university, Taegu, 203-217.
- Itoh, Y., Matsuoka, K. and Takemura, K. (1999) Paleogene and Plio-Pleistocene basin formation around northwestern Kyushu, Japan, The Island Arc 8, 56-65.
- Itoh, Y. (2000) Late Cenozoic tectonics around the southern part of the Japan Sea and Kyushu, Journal of the Japanese Association form Petroleum Technology, v.65, p.48-57.
- Itoh, Y. (2001) A Miocene pull-apart deformation zone at the western margin of the Japan Sea back-arc basin: implications for the back-arc opening model, *Tectonophysics*, v.334, p.235-244.
- Iwata, T. and Kameo, K. (2001) Sequence stratigraphy and sedimentary processed of coal-bearing sedimentary basins in northwest Kyushu, Journal of the Japanese Association form Petroleum Technology, v.66, p.278-291.
- Jolivet, L., Huchon, L. and Claude, R. (1989) Tectonic setting of Western Pacific marginal basins. *Tectonophysics*, v.160, p.23-47.
- Karakida Y., Hayasaka S. and Hase Y. (1992) Regional Geology of Japan: Part 9 Kyushu, 371, Kyoritsu Shuppan Co., Tokyo.
- KIER (Korea Institute of Energy and Resources), 1982, Petroleum Resources Potential in Continental Shelf of Korea, 342p.
- Kim, E. J., Oh, J. Y., Chang, T. W., Yun H. S. and Yu I. C. (2008) Seismic Stratigraphy and Structural Evolution in Domi Basin, South Sea of Korea. Korean Jour. of Petrol. Geol., v.14, p.53-62.
- KIGAM (1993) Assessments of Petroleum Potential, Domi Basin. KR-92-3A-1, 197p.
- KIGAM (1993) Assessments of Petroleum Potential, Socotra Basin. Kigam Report, KR-95(C)-24, 1-182.
- KIGAM (1997) Synthesis Technology Assessment in Continental Shelf of Korea. KNOC Report, 420p.
- KNOC (2005) Tectonic evolution and Hydrocarbon Potential in Korea. 36p.
- Kurita, H. and Tateishi, M. eds., Niigata University (2002) Development of Tertiary sedimentary basins around Japan Sea (East Sea). Niigata Univeristy, p.1-190
- Kurita, H., Tateishi, M. and Matsubara, T. (2003) Field logs of Paleogene sediments in Sakito-Oshima and Amakusa-Shimoshima area, northwestern Kyushu, Southwest Japan. Sci. Rep. Niigata Univ., Ser. E(Geol.), n.18, 53-97.
- Kurita, H. (2004) Preliminary study of Paleogene dinoflagellate stratigraphy from the southwest Japan. Sci. Rep. Niigata Univ., Ser. E(Geol.), 133p.
- Li, D. (1984) Geologic evolution of petroliferous basins on continental shelf of China. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.68, p.993-1003.
- Marret, F. and Zonneveld, K. A. F. (2003) Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. Review of Paleobotany and Palynology, v.125, n.1-2, p.1-200.
- Matsubara, T. (2002) Molluscan fauna of the "Miocene" Maejima Formation in Maejima Island, Okayama Prefecture, southwest Japan. Paleont. Res., v.6, p.127-145.
- Matsuoka, K. (1985) Distribution of the dinoflagellate cyst in surface sediments of the Tsushima Warm Current. The Quaternary Research, v.24, n.1, p.1-12, pl.1.
- Meng, W.J. and Chou, J.T. (1976) Petroliferous Tiwan basins in framework of Western Pacific Ocean. American Association of Petroleum Geologists Memoir, v.25, p.256-260.
- PEDCO (1990) Assessments of Petroleum Potential, Block 6-2.
- PEDCO (1997) Synthesis Technology Assessment in Continental Shelf of Korea(East China Sea Basin D).
- PEDCO (1998) Assessments of Petroleum Potential, Domi Basin. 124p.
- Watson, M.P., Hayward, A.B., Parkinson, D.N. and Zhang, Zh.M. (1987) Plate tectonic history basin development and petroleum source rock deposition onshore China. Marine and Petroleum Geology, v.4, p.205-225.
- Williams, G.L., Stover, L.E. and Kidson, E.J. (1993) Morphology and stratigraphic ranges of selected Mesozoic-Cenozoic dinoflagellate taxa in the Northern Hemisphere. Geological Survey of Canada, Paper, n.92-10, 137p.
- Yu Jingxian (1989) Dinoflagellates. Cenozoic Paleobiota of the Continental Shelf of the East China Sea(Donghai), Micropaleobotanical Volume, p.112-160, 260-262, 298-307, pl.38-59; Geological Publishing House, Beijing, China.
- Yun, H.S., Yi, S.S., Yi, S.H., Kim, J.H., Byun, H.S., Kim, K.H. and Park, D.B. (1999) Biostratigraphy and Paleoenvironment of the Cheju Sedimentary Basin. J. Paleont. Soc. Korea. v.15, n.1, p.43-94.
- Yin, P.L. and Liu, S.S. (1990) Characteristics and Hydrocarbon Exploration of the East China Sea, Proceeding of International Symposium on Tectonic Evolution and Petroleum Potential of the East China Sea, Stanford University, 80-100.