

동해 ODP Leg 127 Site 794A에서 채취한 제4기 퇴적물의 유기지화학학적 특성 연구

이상일¹ · 이영주^{2*} · 김지훈² · 오재호² · 윤혜수¹

¹충남대학교 지질학과, ²한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

The Characteristics of Organic Matter in the Quaternary Sediments from ODP Leg 127 Site 794A, East Sea

Sang Il Lee¹, Young-Joo Lee^{2*}, Ji Hoon Kim², Jae Ho Oh² and HyeSu Yun¹

¹Department of Geology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Petroleum and Marine Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Organic geochemical analyses including Rock-Eval pyrolysis, elemental analysis and stable carbon isotope analysis were performed to evaluate the characteristics of organic matter in the ODP Leg 127 Site 794A sediments and to understand paleoceanographic changes. Based on the TOC contents, C/N ratio, HI vs. OI, $\delta^{13}C_{org}$ and C/S ratio, results imply that dark layers containing a large amount of terrigenous organic matter were deposited under the sub-oxic/anoxic conditions, whereas the light layers containing largely marine organic matter were deposited under the oxic conditions. These results indicate that increasing surface-productivity by the input of a large amount of terrigenous organic matter from adjacent continent led to the deposition of dark layers during the interglacial highstands, whereas marine primary production and dilution caused by Kosa from the China desert area led to the deposition of light layers with the decreased terrigenous organic matter during the glacial lowstands.

Key words : East Sea, ODP Leg 127 Site 794A, Organic geochemistry, Quaternary, Paleoceanography

ODP Leg 127 Site 794A에서 채취한 제4기 퇴적물의 유기지화학학적 특성을 규명하고 고해양학적 의의를 이해하기 위하여 Rock-Eval 열분석, 원소 분석 및 유기물의 탄소동위원소 분석 등의 유기지화학학적 분석을 실시하였다. 총유기탄소 함량, 총유기탄소에 대한 총질소 함량비, 총유기탄소에 대한 총황 함량비, 수소지수와 산소지수의 관계 및 유기물의 탄소동위원소 비를 기초로 유기물 특성 및 퇴적 당시의 고해양환경 해석을 시도하였다. 유기지화학학적 분석결과 암색층은 상당량의 육상기원 유기물을 함유하고 빈산소/무산소환경에서 퇴적된 것으로 나타났다. 반면 담색층은 해양기원 유기물이 우세하게 포함되어 있으며 산소환경에서 퇴적된 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 해수면이 상승했던 간빙기동안 주변 대륙으로부터 다량의 육상기원 유기물의 유입으로 동해 표층생산성이 높아짐으로써 암색층이 퇴적된 것으로 해석된다. 반면에 해수면이 하강했던 빙기동안에는 육상기원 유기물 유입이 급감하였으며, 주로 해양의 일차생산과 중국사막지역으로부터 유입된 Kosa에 의한 퇴적물 희석작용에 의해 담색층이 퇴적된 것으로 해석된다.

주요어 : 동해, 해양시추사업, 유기지화학, 제4기, 고해양학

1. 서 론

동해에서 성공적으로 수행된 ODP Leg 127, 128의 연구결과들은 동해의 형성 및 진화에 관한 지구조직,

퇴적학적, 고생물학적인 유용한 자료를 제공하였다 (Grimm, 1992; Jolivet and Tamaki, 1992; Tada, 1994; Tada *et al.*, 1992, 1999; Tamaki *et al.*, 1992). Tada *et al.* (1992)의 ODP 연구결과에 따르면

*Corresponding author: yjl@kigam.re.kr

동해 퇴적물에서 수직적인 암색의 명암 반복이 일어난다고 보고되었다. 이는 동해의 해수면 변동과 해수순환 특성에 기인한 것으로 추정되며, 이들 규칙적인 퇴적물 암색의 명암 반복양상을 밝힘으로서 동해의 고해양환경을 밝히려는 시도가 다각도로 이루어져 왔다 (Grimm, 1992; Tada *et al.*, 1992).

해양퇴적물에 존재하는 유기물의 분포는 매우 복잡한 양상을 보인다. 특히 유기물의 조성, 즉 육상기원 유기물과 해양기원 유기물의 비율 등이 고려되면 더욱 복잡한 양상을 보인다 (Premuzic *et al.*, 1982). 이러한 유기물의 양과 조성은 주로 집적당시의 기후 및 퇴적 환경에 의해 영향을 받는다 (Ganeshram *et al.*, 1999). 그러므로 퇴적물내의 유기물 함량과 조성을 분석함으로써 유기물 기원 및 퇴적환경을 밝혀내는 연구가 활발하게 이루어져왔다 (Bernier, 1984; Emerson and Hedges, 1988; Ginsberg, 1998; Jasper and Gagosian, 1990; Meyers, 1994; Morse and Bernier, 1995; Schubert, 1996; Stein, 1990).

기존 동해 ODP 연구들은 주로 Leg 128에 집중된

경향이 있으며 (Katz, 1992; Stein, 1990; Stein *et al.*, 1992), 또한 대부분의 연구가 후 제4기의 천부 퇴적물을 대상으로 실시되었다 (Föllmi *et al.*, 1992; Tada *et al.*, 1992, 1999). 본 연구에서는 ODP Leg 127 Site 794A에서 채취한 제4기 반원양성 (hemipelagic) 퇴적물의 유기지화학적 특성을 규명하고 고해양학적 의의를 밝히고자 하였다.

2. 연구지역

동해 (East Sea)는 한반도를 포함한 아시아 대륙과 일본열도로 둘러싸이고 동중국해 (East China Sea), 오크츠크해 (Okhotsk Sea) 및 북서 태평양 (North western Pacific Ocean)에 연결된 1,000,000 km² 이상의 면적을 갖는 반폐쇄된 후배호상 (back-arc) 분지이다. 동해의 평균 수심은 1,400 m이며 최대수심은 3,600 m에 달한다 (Fig. 1). 지형학적으로는 3개의 큰 분지 (야마토 분지; 일본 분지; 울릉분지)와 여러 개의 고지대 (topographic high), 그리고 수많은 화산섬 (volcanic island) 및 해산

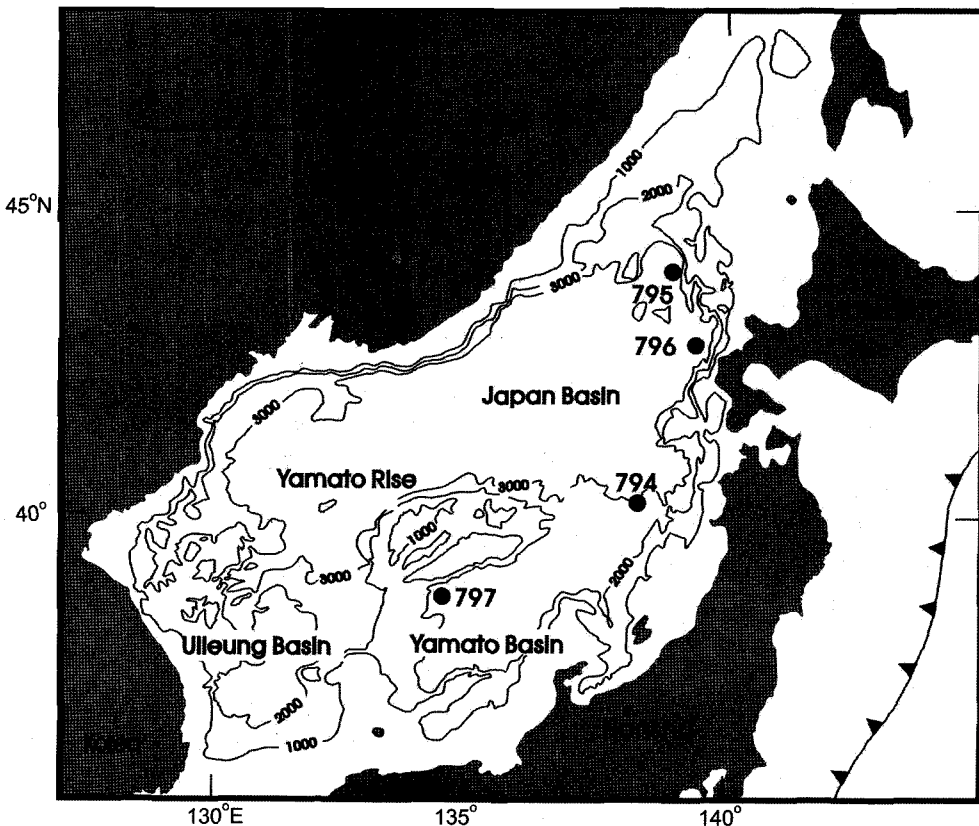


Fig. 1. Map of the East Sea showing the location of ODP Leg 127 Sites 794-797.

(sea mount)들로 이루어져 있는 복잡한 해저지형을 띠고 있다.

ODP Leg 127 Site 794A는 북위 40°11.41' 동경 138°13.86'인 지점으로 Honshu 북부의 Oga Peninsula에서 약 175 km 떨어져 있으며 야마토분지, 야마토융기대 그리고 일본열도의 대륙사면이 교차하는 지점으로 수심은 약 2,811 m이고 야마토분지 최북단의 완만하게 북으로 경사진 사면(north-dipping slope)에 위치한다. Site 794A에서 북쪽으로 약 4.8 km 떨어진 지점에서 획득한 탄성과 자료에 의하면 음향기반암은 해

수면으로부터 왕복주시(two way travel time) 4~5초 깊이에 위치하며, 퇴적층이 약 500~700 m의 두께로 기반암을 피복하고 있다(Honza, 1979).

3. 시료 및 연구방법

본 연구에서는 ODP Leg 127 Site 794A에서 채취한 총 351.3 m의 반원양성 퇴적물 코어의 상부 37.71 m를 이용하였으며(Fig. 2), 이는 염리가 발달한 암색 니질층(laminated dark mud layer)과 균질하거나 생물교란 작용을 받은 담색 니질층(homogenous or bioturbated light mud layer)이 특징적으로 반복되는 양상을 보인다. 명암반복에 의해 대비 가능한 구간에서 육안 관찰과 코어사진관찰 및 기존연구결과를 토대로 암색층에서 62개, 담색층에서 76개, 총 138개의 시료를 선정하였다.

선정된 시료는 동결건조기에서 24시간 완전 건조 후, 미세분말로 분쇄하였다. 총유기탄소(TOC: Total Organic Carbon)함량 및 열분석을 위해 한국지질자원 연구원에서 보유하고 있는 Vinci사의 Rock-Eval 6를 사용하였으며, 총질소(TN: Total Nitrogen)함량 및 총황(TS: Total Sulfur)함량 분석에는 Leco사의 CHN-900과 SC-132를 각각 사용하였다. 한편, 유기물의 탄소동위원소 분석을 위해 별도로 암색층에서 16개, 담색층에서 16개, 총 32개의 시료를 선정하였다. 이 시료들은 10% HCl로 24시간 처리 후, 증류수를 이용해 7~8회 세척하여 무기탄소를 제거하는 전처리를 하였다. 분석은 한국기초과학지원연구원에서 보유하고 있는 VG-Isotech사의 안정동위원소질량분석기(Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer) Prism II를 사용하였다. 검정용 표준시료로서 국제공인 표준시료인 V-PDB를 사용하였으며 재현성은 ±0.1% 이다.

4. 지화학 분석결과

4.1. 총 유기탄소 및 수소지수, 산소지수

퇴적물에 포함된 총유기탄소 함량은 0.1~4.6%(평균 0.9%) 범위로 측정 되었다(Fig. 3). 총유기탄소 함량은 퇴적물의 색깔에 따라 차이를 나타낸다. 암색층 시료는 평균 1.7%의 총유기탄소 함량을 보였으며, 담색층 시료는 평균 0.2%의 낮은 총유기탄소 함량을 보였다.

수소지수(HI; Hydrogen Index)는 45~807 mgHC/gTOC(평균 159 mgHC/gTOC)로 측정 되었다. 암색층 시료의 평균 수소지수는 115 mgHC/gTOC로, 담색층

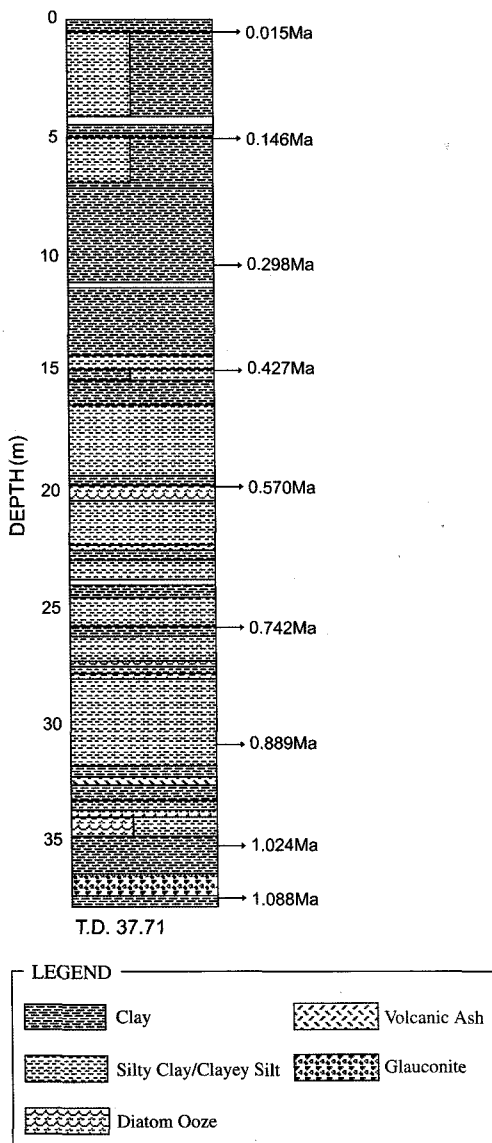


Fig. 2. Lithostratigraphic column of studied core.

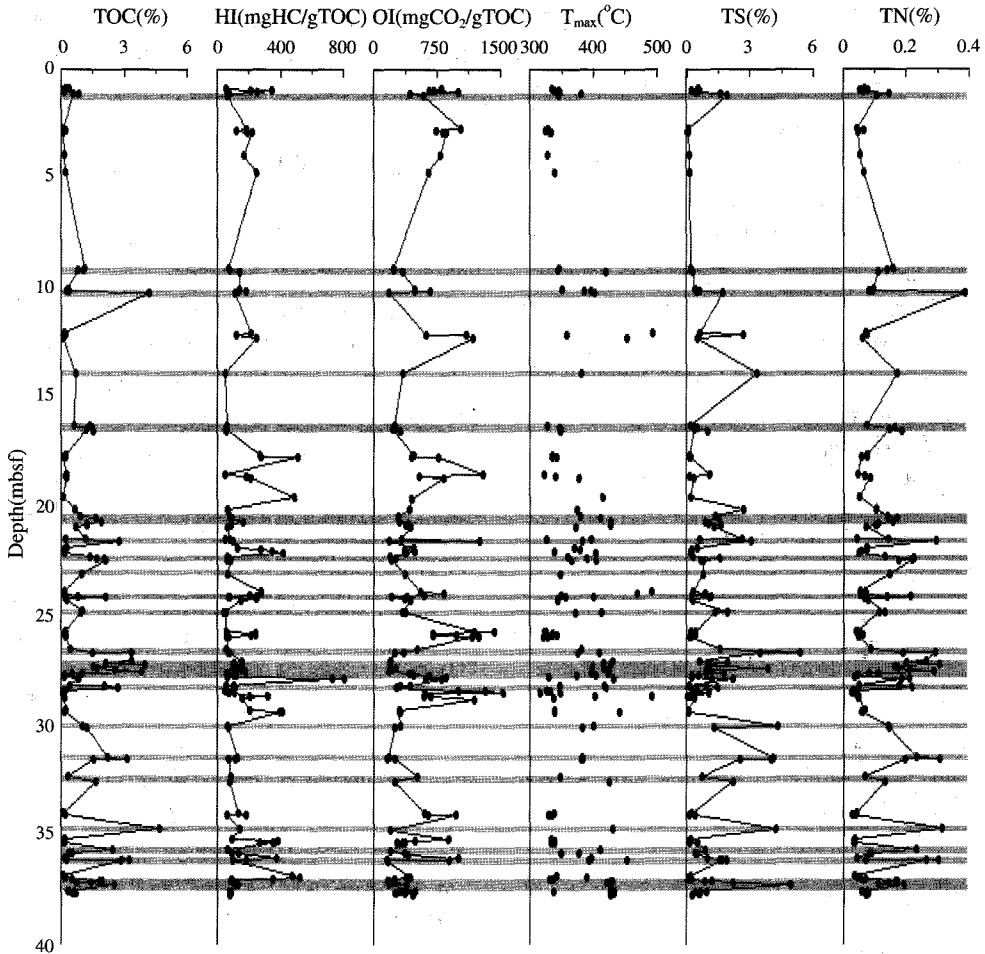


Fig. 3. Results of Rock-Eval and Elemental analysis showing the vertical variations of organic geochemical properties with depth. Gray layers indicate dark layers.

시료의 평균 수소지수는 196 mgHC/gTOC로 암색층 시료에 비해 높게 측정 되었다. 또한 수소지수는 상대적으로 총유기탄소 함량이 낮은 구간에서 높게 나타났다(Fig. 3). 산소지수(OI; Oxygen Index)는 149~1533 mgCO₂/gTOC(평균 507 mgCO₂/gTOC)로 측정 되었다. 암색층 시료에서는 평균 309 mgCO₂/gTOC로, 담색층 시료에서는 평균 669 mgCO₂/gTOC로 담색층 시료에서 상대적으로 높은 것으로 나타났다(Fig. 3).

4.2. T_{max}

S₂ 피크 측정 시 T_{max}는 탄화수소의 생성이 최대에 이르는 온도이다. 이는 분석되는 퇴적물의 열 경력 정도, 즉 유기물의 열적 성숙도(thermal maturity)를 지시한다. 일반적으로 유기물의 열적 성숙단계는 T_{max} 435°C를 기준으로 미성숙 단계(immature)와 과성숙 단

계(post-mature)로 구별한다(Hunt, 1996). 분석된 시료의 T_{max}는 316~494°C의 범위를 나타내며, 평균 377°C로 측정 되었다. 담색층 시료의 평균 T_{max}는 426°C로 암색층 시료의 평균 T_{max} 391°C보다 다소 높게 측정 되었다(Fig. 3).

4.3. 총황 함량 및 총질소 함량

총황 함량은 0.04~5.38%(평균 0.98%)로 측정 되었다. 암색층 시료의 평균 총황 함량은 1.66%, 담색층 시료는 평균 0.43%로 암색층 시료보다 낮게 측정 되었다(Fig. 3). 퇴적물의 색깔에 따라 차이를 보이며, 그 변화 양상은 총유기탄소 함량의 변화 양상과 거의 유사하다. 총질소 함량은 0.02~0.35%(평균 0.11%)로 측정 되었으며, 암색층 시료는 평균 0.17%, 담색층 시료는 평균 0.05%로 측정 되었다(Fig. 3).

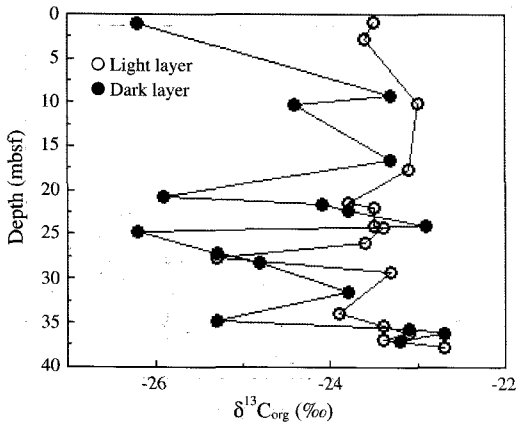


Fig. 4. Result of Carbon Isotope analysis. Open circles indicate light layers. Filled circles indicate dark layers.

4.4. 유기물의 탄소동위원소 비

$\delta^{13}C_{org}$ 값은 $-26.22 \sim -22.65$ ‰ (평균 -23.9 ‰)로 측정되었다. 암색층 시료는 $-26.2 \sim -22.7$ ‰로, 담색층 시료는 $-25.3 \sim -22.7$ ‰로 측정되었다(Fig. 4). 담색층 시료의 $\delta^{13}C_{org}$ 값이 암색층 시료의 $\delta^{13}C_{org}$ 값에 비해 약간 높은 경향을 보인다.

5. 토 의

5.1. 유기물 함량 및 퇴적환경

해양퇴적물에 보존되는 유기물 함량은 표층에서의 생물생산정도와 육지로부터의 유입정도 및 퇴적환경에 따라 달라진다(Muller and Suess, 1979; Stein, 1990). 해양퇴적환경을 유추하는 유용한 지시자로 총유기탄소에 대한 총황 함량비(C/S ratio)를 이용할 수 있으며(Berner, 1984; Morse and Berner, 1995), 이를 기준으로 퇴적환경을 산소가 풍부한 산소환경(oxic conditions)과 산소가 결핍된 무산소환경(anoxic conditions)으로 구분 할 수 있다(Berner, 1984; Leventhal, 1983). Berner(1984)와 Goldhaber and Kaplan(1974)의 연구 결과에 의하면 제4기 일반적인 해양 세립질 퇴적물(normal marine, fine-grained sediment)의 평균 C/S 비는 약 2.8이다. 유기물은 집적 후 생물분해과정을 거치게 되며 생물분해가 일어나기 위해서는 산소의 소비가 필요하다. 산소환경에서는 생물분해에 소모되는 산소가 풍부하므로 미생물의 활동이 활발해져서 유기물의 분해가 가속되고 상대적으로 유기물의 집적은 적어져서 담색층이 퇴적된다. 반면 무산소환경에서는 생물분해에 소모되는 산소의 양이 산소환경에서보다 적으

므로 미생물의 활동이 제한되어 유기물 분해가 활발하게 일어나지 못하고 유기물이 풍부한 암색층이 퇴적된다. Site 794A 퇴적물을 분석한 결과, 유기물(총유기탄소)의 함량은 평균 약 0.89%로 퇴적물 색깔에 따라 뚜렷한 차이를 보인다. 유기물 함량은 암색층 구간이 담색층 구간에 비해 높게 나타난다. 총유기탄소와 총황 함량의 상관관계에 도시해 보면(Fig. 5a), 담색층은 산소환경에서 퇴적되었고, 유기물 함량이 많은 암색층은 산소가 다소 부족하거나 무산소환경에서 퇴적되었음을 보여준다. 이는 다량의 유기물을 함유하고 있는 암색층이 무산소환경에서 퇴적되면서 유기물 보존이 유리했으며, 반대로 담색층은 산소환경에서 퇴적되면서 유기물이 생물에 의해 분해되었던 것으로 판단된다.

5.2. 유기물 기원

동해와 같은 연해에는 개방형 해양(open marine)에 비해 상대적으로 많은 양의 육성퇴적물이 유입되며, 이들 퇴적물 내에 포함되어있는 유기물을 연구함으로써 퇴적물의 기원 및 근원지를 추정할 수 있다. 유기물의 기원을 규명하는 연구에는 총유기탄소에 대한 총질소 함량비(C/N ratio), 수소지수와 산소지수의 관계(HI vs OI), 유기물의 탄소동위원소 비($\delta^{13}C_{org}$) 등을 이용한다. 그러나 한 가지 방법만으로 유기물의 기원을 결정할 경우 잘못된 해석을 할 수가 있으므로(Stein, 1990), 본 연구에서는 위에 제시한 다양한 방법을 이용하여 유기물의 기원을 추정하였다.

5.2.1. 총유기탄소에 대한 총질소 함량비

C/N비는 퇴적물에 보존된 유기물의 특성과 그 기원을 규명할 수 있는 유용한 지시자로 사용되어왔다(Muller and Suess, 1979; Stein, 1990). 기존의 연구결과(Emerson and Hedges, 1988; Meyer, 1994)에 의하면 C/N비는 유기물의 특성이나 그 기원에 따라 다르며 일반적으로 해양기원 유기물은 그 비가 10 이하의 값을 보이는 반면, 육상기원 유기물은 보통 10 이상의 값을 보인다(Stein, 1990). 그러나 C/N비를 이용할 때 이들이 유기탄소와 유기질소임을 고려해야한다. 분석 편의상 C/N비는 총유기탄소와 유기질소와 무기질소를 모두 포함하는 총질소를 이용하여 계산한다. 보통의 경우 무기질소는 유기질소에 비해 그 함량이 매우 소량이므로 C/N비의 적용에 큰 문제가 없다(Stein and MacDonald, 2003).

총유기탄소 함량과 총질소의 함량을 도시해 보면(Fig. 5b), 담색층 내의 유기물은 대부분 해양기원 유기

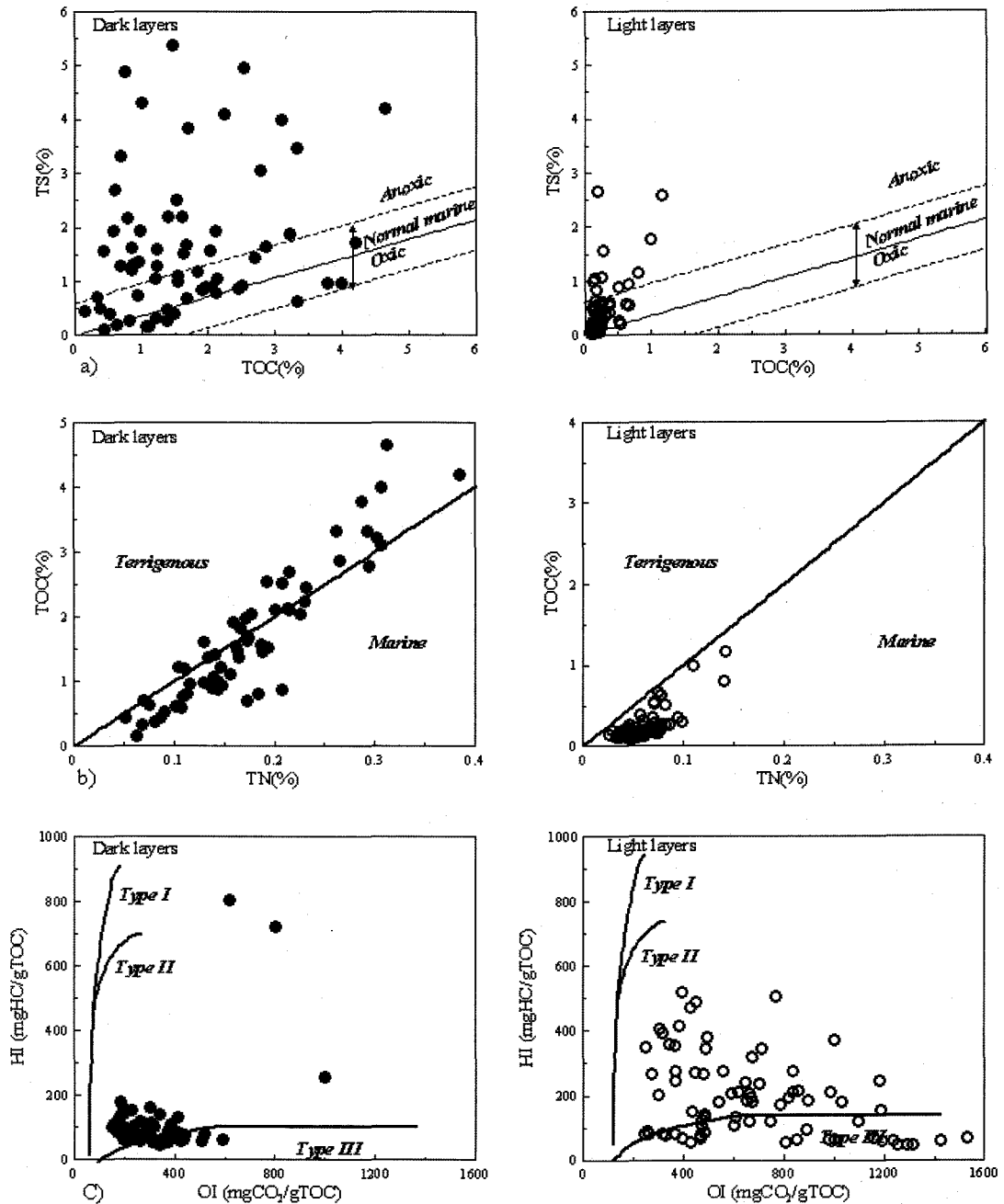


Fig. 5. Cross-Plots of C/S ratio(a), HI vs. OI(b) and C/N ratio(c). (a) is used for the proxy to distinguish sedimentary environments, (b) and (C) indicate the origin of OM. Left hands and right hands indicate dark and light layers.

물이 우세하며, 암색층 내의 유기물은 해양 및 육상기 원 유기물이 혼합되어있음을 보여준다.

5.2.2. 수소지수와 산소지수(유기물 타입)

수소지수(HI)는 단위 유기탄소가 생성할 수 있는 탄화수소 함량을 나타내며, 산소지수(OI)는 열분해 동안 생성된 이산화탄소의 양을 나타낸다(Waples, 1985). 수소지수와 산소지수는 유기물의 타입을 결정하는데 유

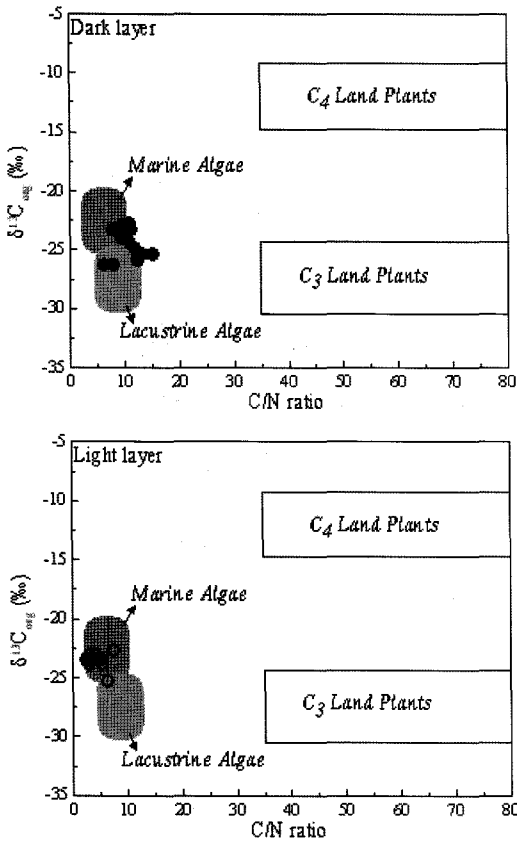


Fig. 6. A cross-plot of C/N ratio and $\delta^{13}C_{org}$ values from sediments ODP Leg 127 Site 794A.

용한 자료를 제공한다. 수소지수와 산소지수의 관계에 따라 세 가지의 유기물 타입(type I, II, III)으로 분류하는데, 일반적으로 열적으로 미성숙한 퇴적물인 경우 수소지수가 100 mgHC/gTOC 보다 높은 값을 보이는 경우는 전형적인 해양기원 유기물로 추정할 수 있는 반면, 그 이하일 경우는 육상 환경의 영향이 점차 커지는 것으로 해석할 수 있다(Tissot and Welte, 1984).

분석된 수소지수와 산소지수를 van Krevelen-type 도표에 도시하면(Fig. 5c), 담색층 시료의 대부분은 type II범위에 표시되며, 암색층 시료는 type II와 type III의 경계에 집중된다. 이는 담색층 내의 유기물은 해양기원임을 지시하고, 암색층 내의 유기물은 해양기원과 육상기원이 혼합되어 있음을 보여준다. 한편, 전기한 바와 같이 담색층의 경우 산소의 공급이 원활한 산소환경에서 퇴적되면서 강한 산화작용(oxidizing)을 받아 높은 산소지수 값을 나타내는 것으로 판단된다.

5.2.3. 유기물의 탄소동위원소 비

유기물의 탄소동위원소 비($\delta^{13}C_{org}$)는 퇴적물에 포함된 유기물을 해양 및 육상기원으로 구분하는데 유용하게 이용되어왔다(Hedges and Mann, 1979; Jasper and Gagosian, 1989; Sackett and Tomson, 1963). 온대기후지역(temperate region)의 해양기원 플랑크톤의 $\delta^{13}C_{org}$ 값은 동·식물성 플랑크톤의 명확한 구분 없이 대략 -20 ‰ 정도를 보인다(Fontugne and Duplessy, 1981; Waples, 1981). 반면 교목(tree) 및 관목(shrub) 같은 일반적인 육상식물(C_3 plants)의 $\delta^{13}C_{org}$ 값은 -25~ -30 ‰ 을 보인다. C/N비와 $\delta^{13}C_{org}$ 값을 도시하면(Fig. 6), 담색층에서 채취한 대부분의 시료는 해양성조류를 지시하는 구역에 표시되며, 암색층에서 채취한 시료는 해양성조류와 호성조류를 지시하는 구역에 함께 표시된다. 이런 결과는 C/N 비나 수소지수와 산소지수에 의한 유기물 기원과 일치한다. 즉, 담색층 퇴적물내의 유기물은 대부분 해양기원이고, 암색층 퇴적물내의 유기물은 육상기원과 해양기원 유기물이 혼합되어 있음을 보여준다.

5.3. 고해양학적 의의

본 연구에서 수행한 유기지화학적 분석결과, 암색층에서 채취한 시료의 C/S비에 의한 퇴적환경은 무산소 환경으로 나타났으며, C/N비, 수소지수와 산소지수의 관계, 탄소동위원소 분석에 의한 유기물의 기원은 이들에 상당부분 육상기원 유기물을 함유되어 있는 것으로 나타났다. 한편 담색층에서 채취한 시료의 퇴적환경은 산소환경으로 나타났으며, 유기물의 기원은 해양기원으로 나타났다. 이러한 암색에 따른 상반된 결과는 아마도 북반구(northern hemisphere) 기후변동에 따른 동해의 해양환경 변화양상을 기록하고 있는 것으로 추정된다. 북반구 기후변동에 따른 동해의 해양환경 변화양상을 이해하고자 ODP Leg 127 Site 794A 퇴적물의 유기지화학적 분석결과와 DSDP Site 607 시추코어의 산소동위원소 분석 자료를 비교해 보았다(Fig. 7). 북반구의 빙하작용이 강화되어 대규모의 대륙빙상이 형성되기 시작한 것은 2.75~2.50 Ma 경으로 밝혀졌으며(Jansen and Sjöholm, 1991; Raymo, 1994) 그 후, 대륙빙하는 서서히 성장하여 약 1Ma 이후에는 약 10만년주기의 빙기-간빙기의 주기가 발달하게 된다. 이러한 주기성은 DSDP Site 607 시추코어의 산소동위원소 분석결과에 뚜렷이 기록되어 있다(Ruddiman *et al.*, 1989). 대비결과 약 10만년의 주기로 총유기탄소 함량 및 C/N비, C/S비가 급격히 변화하는 양상을 보

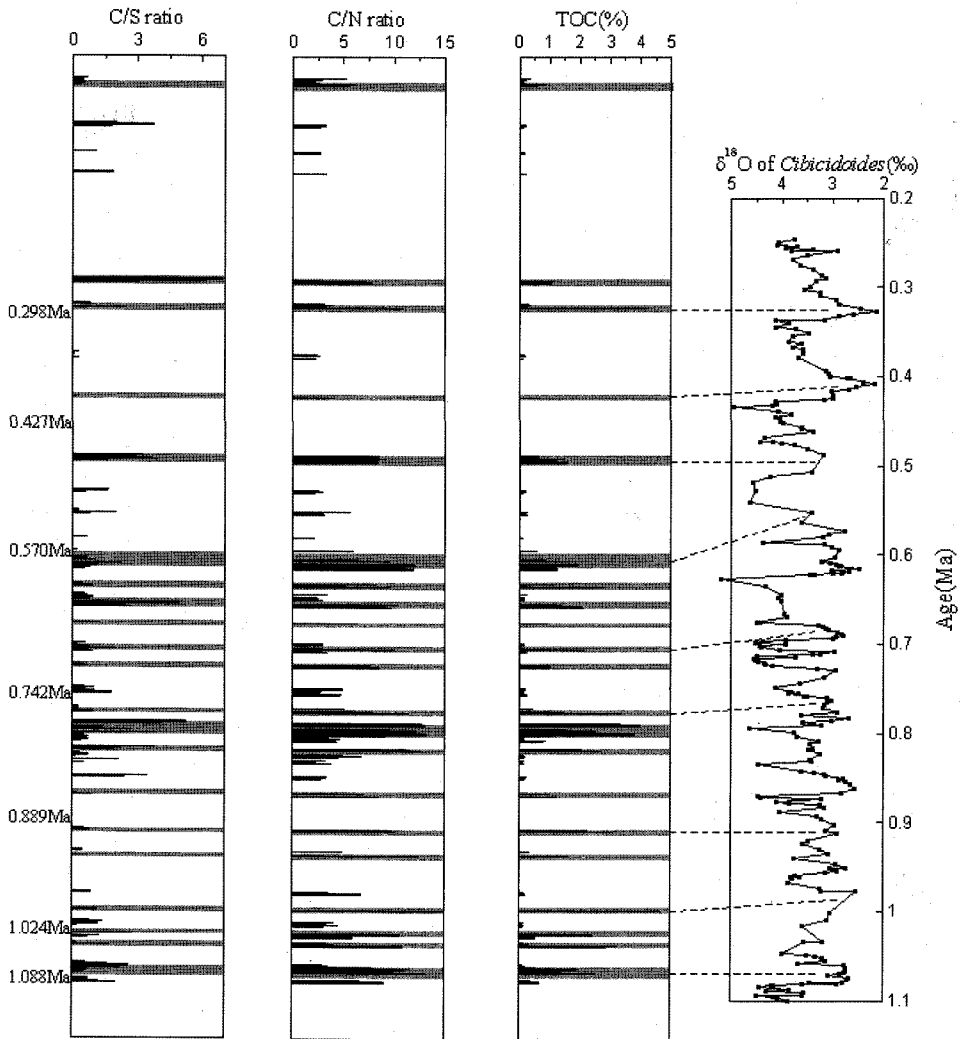


Fig. 7. Comparison of organic geochemical parameters of ODP Leg 127 Site 794A with oxygen isotope record from DSDP Site 607 (Ruddiman *et al.*, 1989).

이며 DSDP Site 607 시추코어의 산소동위원소 자료와 대비가 가능하였다. 이는 북반구 기후변동에 수반되어 해수면 변동에 따른 동해의 해양환경이 상당한 변화를 겪어왔음을 의미한다. 즉, 간빙기동안 해수면이 상승함에 따라 상당량의 육상기원 퇴적물이 유입되어 동해의 표층생산력을 증가시키며 다량의 유기물을 함유하고 있는 암색층이 퇴적되었다. 한편, Tada *et al.* (1999)의 결과에 의하면 이 시기는 동아시아 대륙에 발달했던 습윤기후의 영향으로 황하와 양자강의 유출량이 증가하였다. 이런 저염도 및 영양분이 풍부한 물이 동해까지 영향을 주면서 해수순환이 불량해짐으로써 산소가 결핍된 환경을 형성했던 것으로 추정된다.

반면 빙기동안 해수면이 하강하였을 때 육상기원 퇴적물 유입의 감소로 인해 주로 해양의 일차생산에 의한 해양기원 유기물이 우세한 암색층이 퇴적된 것으로 판단되며 상대적으로 해수순환이 활발해짐으로써 산소환경을 유지했던 것으로 추정된다. 한편, 상대적으로 긴 기인 이시기에는 중국 사막지역으로부터 다량의 Kosa가 유입되어 퇴적물 회석작용이 일어나 유기물 함량이 적은 것으로 판단된다(Irino and Tada, 2002). 이처럼 동해 ODP Leg 127 Site 794A에서 채취한 제4기 퇴적물의 유기지화학적 특성은 약 10만년 주기의 북반구 기후변동에 따른 동해의 해수면 및 해수순환의 변화상을 기록하고 있는 것으로 추정된다.

6. 결 론

1. ODP Leg 127 Site 794A 퇴적물중 암색층은 담색층에 비해 상대적으로 많은 양의 유기물을 포함하고 있으며, C/S비를 근거로 볼 때 빈산소/무산소환경에서 퇴적되었다. 한편 C/N비, 수소지수와 산소지수의 관계, 탄소동위원소 비를 근거로 판단하면 다량의 육상기원 유기물이 함유되어 있다. 이러한 유기지화학적 특성은 간빙기동안 해수면 상승과 함께 다량의 육상기원 유기물이 유입되어 동해의 표층생산력이 높아졌기 때문으로 추정된다.

2. ODP Leg 127 Site 794A 퇴적물중 담색층은 암색층에 비해 유기물 함량이 적으며, C/S비를 근거로 볼 때 산소환경에서 퇴적되었다. C/N비, 수소지수와 산소지수, 유기물의 탄소동위원소 비를 근거로 판단하면 유기물의 기원은 대부분 해양기원이다. 이러한 유기지화학적인 특성은 빙기동안 해수면 하강으로 인해 육상기원 유기물 유입이 급감하여 주로 해양의 일차 생산에 의한 해양기원 유기물이 우세했기 때문이다. 한편 상대적으로 건기인 이 시기에는 중국 사막지역으로부터 다량으로 유입된 Kosa에 의해 유기물 집적이 회색되었기 때문에 유기물 함량이 적은 담색층이 퇴적된 것으로 추정된다.

3. 동해 ODP Leg 127 Site 794A 제4기 퇴적물 명암의 반복은 북반구 기후변동에 따른 동해의 해양환경 변화를 기록하고 있다. 연구에 이용한 퇴적물의 유기지화학적 특성과 DSDP Site 607 시추코어의 산소동위원소 자료의 비교 결과, 약 10만년 주기로 유기지화학적 특성이 변화하였음을 인지하였다. 이는 동해 해양환경이 북반구 전반에 일어난 기후변동에 상당한 영향을 받았음을 의미한다.

사 사

본 연구를 수행할 수 있도록 시료를 채취하여 나누어 주신 한국지질자원연구원의 이운수 박사님, 김복철 박사님께 진심으로 감사드립니다. 본 연구는 해양수산부의 후원으로 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 국제공동해양시추사업(ODP;05-9102)과 제4기 퇴적층 기록을 이용한 지구환경변화 연구(05-3115)의 결과이다. 본 논문을 세밀하게 검토하고 건설적인 조언을 해주신 두 분의 익명의 심사위원에게도 심심한 사의를 표한다.

참고문헌

Berner, R.A. (1984) Sedimentary pyrite formation: An update. *Geochimica et Cosmochimica. Acta*, v. 48, p. 605-615.

Emerson, S and Hedges, J.I. (1988) Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography*, v. 3, p. 621-634.

Föllmi K.B., Cramp, A., Alexandrovich, J.M., Brunner, C., Burckle, L.H., Casey, M. *et al.* (1992) Dark-Light Rhythms in the sediments of the Japan Sea; In pisciotto., K.A., Ingle, J.C., Jr., von Breyman, M.T., Barron, J., *et al.*, (editors), *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results, 127/128(part 1)*, p. 559-576.

Fontugne, M.R., and Duplessy, J.C. (1981) Organic carbon isotopic fractionation by marine plankton in the temperature range -1 to 31°C. *Oceanologica. Acta*, v. 4, p. 85-89.

Ganeshram, R.S., Calvert, S.E., Pederson. T.F and Cowie, G.L. (1999) Factors controlling in the burial of organic carbon in laminated and bioturbated sediments of NW Mexico: Implications for hydrocarbon preservation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 63, p. 1723-1734.

Ginsberg, G.D. (1998) Gas Hydrate accumulation in the deep sea marine sediments. *Geological Society London, special publication*, v. 137, p. 51-62.

Goldhaber, M.B. and Kaplan, I.R. (1974) The sulfur cycle. *The Sea Vol.5, Wiley & Sons, New York*, p. 569-655.

Grimm, K.A. (1992) High-Resolution Imaging of Laminated Bio-siliceous Sediments and Their Paleoclimatographic Significance(Quaternary, Site 798, Oki Ridge, Japan Sea); In pisciotto., K.A., Ingle, J.C., Jr., von Breyman, M.T., Barron, J., *et al.*, (editors), *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results, 127/128 (part 2)*, p.547-557.

Hedges, J. I. and Mann, D. C. (1979) The lignin geochemistry of marine sediments from the southern Washington coast. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 43, p. 1809-1818.

Honza, E. (1979) Geological investigation of the Japan Sea. April-June 1978(GH78-2 Cruise). *Cruise Rep., Geol. Surv. Japan*, v. 13, p. 1-99.

Hunt.(1996) *Petroleum geochemistry and geology*. Freeman. New York, 743.

Iriino and Tada. (2002) High-resolution reconstruction of variation in aeolian dust(Kosa) deposition at ODP site 797, the Japan sea, during the last 200 ka. *Global and Planetary Change*, v. 35, p. 143-156.

Jansen, E. and Sjolholm, J. (1991) Reconstruction of glaciation over the past 6 Myr from ice-bore deposits in the Norwegian Sea. *Nature*, v. 349, p. 600-603.

Jasper, J.P and Gagosian, R.(1989) Glacial-interglacial climatically forced $\delta^{13}C$ variations in sedimentary organic matter. *Nature*, v. 342, p. 60-62.

Jasper, J.P and Gagosian, R. (1990) The sources and deposition of organic matter in the Late Quaternary Pygmy Basin, Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 54, p. 1117-1132.

Joanne, M. (1992) Radiolarians from sites 794, 795, 796

- and 797(Japan Sea). Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 127/128(part 1), p. 291-307.
- Jolivet, L. and Tamaki, K. (1992) Neogenen kinematics in the Japan Sea region and volcanic activity of the northeast Japan arc. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 127/128(part 2), v. 1311-1331.
- Leventhal, J.S. (1983) An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 47, p. 133-137.
- Meyers, P.A. (1994) Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, v. 114, p. 289-302.
- Morse, J.W. and Berner, R.A. (1995) What determines sedimentary C/S ratios. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 59, p. 1073-1077.
- Muller, P.J. and E. Suess.(1979) Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic carbon in the ocean 1. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Res.*, v. 26, p. 1347-1362.
- Premuzic, E.T., Benkovitz, C.M., Gaffney, J.S. and Walsh, J.J. (1982) The nature and distribution of organic matter in the surface sediments of world oceans and seas. *Organic Geochemistry*, v. 4, p. 63-77.
- Raymo, M.E. (1994) The initiation of Northern Hemisphere glaciation. *Earth Planet., Sci.*, v. 22, p. 353-383.
- Ruddiman, W.F., Raymo, M.E., Martinson, D.G., Clement, B.M. and Backman, J. (1989) Pleistocene evolution: Northern Hemisphere ice sheets and North Atlantic Ocean. *Paleoceanography*, v. 4, p. 353-412.
- Sackett, W.M. and Thompson, P.R. (1963) *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 47, p. 525.
- Schubert, C. J. (1996) Deposition of organic carbon in the arctic ocean sediments: terrigenous supply vs marine productivity. *Organic Geochemistry*, v. 24, p. 421-436.
- Stein, R. (1990) Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Marine Letters*, v. 10, p. 37-44.
- Stein, R. and Macdonald, R. W. (2003) *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean*. Springer, Berlin, 363p.
- Tada, R., Koizumi, I., Cramp, A. and Rahman, A. (1992) Correlation of Dark and Light Layers, and the Origin of Their Cyclicity in the Quaternary sediments from the Japan Sea. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 127/128(part 1), p. 557-601.
- Tada, R. (1994) Paleoenvironmental evolution of the Japan Sea. *Paleo. Paleo. Paleo.*, v. 108, p. 487-508.
- Tada, R. and Irino, T. (1999) Land-Ocean linkages over orbital and millennial timescales recorded in late Quaternary sediments of the Japan Sea. *Paleoceanography*, v. 14, p. 236-247.
- Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, J.C., Jr. and Pisciotto, K. (1992) Tectonic synthesis and implications of Japan Sea. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 127/128(part 2), p. 1333-1348.
- Tissot, B.P. and Welte, D.H. (1984) *Petroleum Formation and Occurrence 2nd ed*: Springer-Verlag, 538p.
- Waples, D. (1981) *Organic Geochemistry for Exploration Geologists*. Burgess Publ. Comp., Minnesota: 151p.
- Waples, D. (1985) *Geochemistry in Petroleum Exploration*: D. Reudel Publishing Co., 232p.