

오끼나와 해곡 주상시료 퇴적물에 대한 저서성 유공충의 군집변화와 지역해 고환경변화

현상민

한국해양연구원 심해해저자원연구부 동북아EEZ자원 연구단, 경기도 안산시 사동 1270

Assemblage changes of benthic foraminifera and regional paleoenvironmental changes in a piston core from the Okinawa Trough, Japan

Hyun, Sangmin

Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI), Deep-Sea Resources Department

요 약 : 오끼나와 해곡 (Okinawa Trough)의 고해양 환경변화를 파악하기 위해 동 해역에서 얻어진 주상시료 (RN88-PC5)를 이용하여 저서성 유공충의 종조성 및 군집구조를 파악하고 그 외 퇴적학적, 지화학적 연구를 수행하였다. 저탁류 퇴적물(turbidite sediment)을 협재한 주상시료는 같은 코아에서 나타나는 퇴적물인 반원양성 퇴적물 (hemipelagic sediment) 특성과는 다른 천해지역 산호초에 서식하는 저서성 유공충 종을 다량으로 함유하고 있다. 이들 천해역 저서성 유공충은 저탁류 퇴적물이 퇴적될 때 동시적으로 재동, 운반되어 퇴적된 것으로 해석되었다. 주상시료 퇴적물에 대한 입도분석 결과는 저탁류퇴적물과 반원양성 퇴적물과의 뚜렷한 입도변화를 보일 뿐만 아니라 두 퇴적물간에는 화학적 조성차이도 잘 보이고 있다.

부유성 유공충에 대한 산소동위원소 기록은 동 연구지역 표층해양이 홀로세에 들어서서 따뜻해지는 범 지구적인 기록을 공유하고 있는 것으로 나타났다. 또한 화학분석 결과와 기존의 연구결과를 종합하여 고찰하면 연구주상시료의 저탁류 퇴적물은 지역해의 고환경 기록인 저탁류 퇴적물의 주기적인 발생을 잠재적으로 지시하고 있는 것으로 해석된다. 연안 산호초지역에 서식하는 천해성 저서 유공충군집이 저탁류 퇴적층에 주기적으로 나타나는 것은 지역해에서 지진과 같은 고해양학적 사건이 주기적으로 일어났음을 지시한다.

주요어: 오끼나와 해곡, 저탁류, 유공충군집, 고해양환경

Abstract : To investigate the paleoceanographic environmental changes around the Okinawa Trough, Japan, a piston core (RN88-PC5) was conducted on benthic foraminiferal species composition, assemblage, sedimentological and geochemical analyses. Turbidite sediment intercalated in studied core contains different benthic foraminiferal species, dwelling in shallow coral reef species, from normal hemipelagic sediment. These different benthic foraminiferal species and its assemblage are interpreted as reworked sediment when turbidite current occurred, synchronically. Grain size analysis clearly showed that mean grain size difference occurred between turbidite and hemipelagic sediments. Geochemical analysis also showed the difference of chemical composition between two sedimentary facies.

Results of the foraminiferal oxygen isotope analysis showing global surface water warming records since the last 10 ka. The geochemical analysis and previous works showed that turbidite sediment of studied core indicating sporadic occurrence of regional paleoceanographic events. Assemblage of shallow coral reef benthic foraminifera especially occurred with turbidite layer clearly support the sporadic occurrence of paleoceanographic events such as regional earthquake.

Key words : Okinawa Trough, turbidite, foraminiferal assemblage, paleoceanographic environment

1. 서론

과거 수 십년 동안 오키나와 해곡에 대한 고해양 환경 변화를 파악하기 위해 많은 연구가 진행되었다(e.g., Ujiie et al., 1991, 1997; Ahagon, 1992; Li et al., 2001). 이들 대부분의 연구는 주상시료 퇴적물(piston core sediment)를 이용하여 수행되었으며 수 십 개에 달하는 주상시료 중에는 저탁류 퇴적층(turbidite sediment)이 협재된 주상시료 자주 나타나고 있음을 보고하였다 (Ono et al., 1989; 1991). 특히 이들 저탁류 퇴적물을 이용한 고해양 환경연구는 Oyakawa (1992)와 Ujiie et al. (1997) 등에 의해 수행되었으며 그 결과 저탁류 퇴적물이 주기적으로 일어나고 있음을 간접적으로 지시하였다. 즉, 이들 저탁류 퇴적층은 특별한 해양학적 사건과 수반되어 일시적으로 퇴적되는 것으로 보고되었다 (Oyakawa, 1992; Ujiie et al., 1997).

이 연구가 수행된 오키나와 해곡지역은 동북아시아의 기후에 큰 영향을 미치는 Kuroshio Current가 진입하는 길목에 해당하는 지역으로 고해양학적 연구의 관점에서 매우 큰 중요성을 가진다 (Fig. 1). 이와 같은 이유로 인해 동 연구지역과 인근해역에 대한 고해양학적 연구가 다수 존재하며 현재에도 활발한 연구가진 행중에 있다 (Jian et al., 2000; Le et al., 2001; Ijiri et al., 2005).

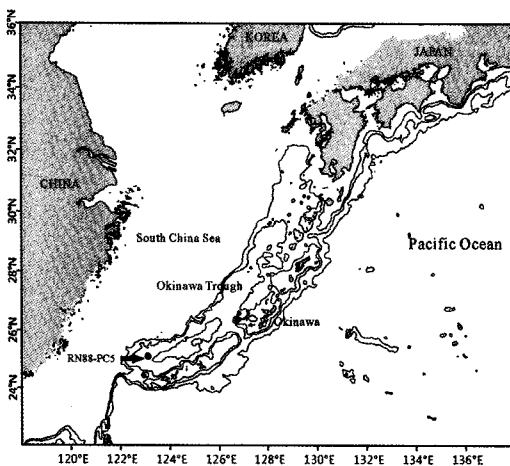


Fig. 1. Geological map of study and surrounding area. Core collection point was illustrated as an black circle.

저서성 유공충 (benthic foraminifera)은 부유성 유공충과는 달리 수심에 따라 서식하는 종이 달라질 뿐만 아니라 이동성이 적기 때문에 특정 지역의 저서환경을 파악하는데 유용하게 사용할 수 있다. 최근에는 이러한 이유로 인해 특정 지역의 고해양 환경이나 퇴적물중 중금속 원소와 결부시켜 퇴적물의 오염 정도를 파악하는데도 사용되고 있다 (우한준 외, 1996; 2003). 따라서 주상시료에 나타난 저서성 유공충의 군집변화는 직접적으로 시간 변화에 따른 동 지역의 환경변화를 상세하게 기록할 것으로 예상되며 이와 같은 목적으로 많은 연구가 이루어졌다. 이 연구는 저탁류 퇴적물을 함유한 주상시료를 이용하여 저서성 유공충의 군집변화 및 타 유공충의 동위원소 기록과 퇴적학적 분석을 통해 지역해의 고해양 환경변화를 파악할 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료채취 및 마시료, 입도분석

오키나와 해곡 수심 2051 m 얻어진 주상시료는 사전에 육안관찰에 의해 상세한 기술이 이루어졌다 (Fig. 2; Ono et al., 1991). 이 주상시료에 대해 10cm 간격으로 미시료를 채취하고 이에 대한 입도분석이 이루어졌다. 모든 시료는 250mm sieve로 사질과 mud fraction을 분리한 후 사질 fraction에 대해서는 침전관 방법 (settling method), 4 Φ 이하의 니질 퇴적물에 대해서는 pipette 방법으로 입도분석이 수행되었다 (현상민, 1992). 침전관 및 피펫방법에 의한 결과는 Folk and Ward(1957)에 의해 평균입도, 분급도, 왜도, 침도가 계산되었다.

2.2 부유성 유공충에 대한 산소 동위원소 분석

부유성 유공충에 대한 산소동위원소 분석을 위해 열대 및 아열대해역, 중위도 지역에 많이 산출하며 표층해수와 평행인 상태에서 각질을 형성하는 종으로 알려진 *Globigerinoides saculifer* (Brady)를 200mesh에서 선별하여 분석에 이용하였다.

위 부유성 유공충에 대해 200~74 mesh사이

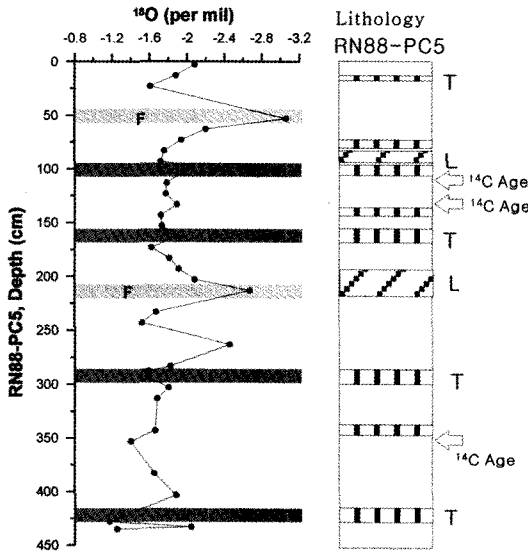


Fig. 2. Core lithology and oxygen isotope variation of planktonic foraminifera, *Globigerinodes sacculifer*. Turbidite layers and freshwater event are illustrated as shaded areas (T and F), respectively. L is lamination in lithology column.

들어오는 종만을 선별한 다음 3%의 과산화수소로 20여분간 부착 유기물 등을 제거한 후 사용했으며, 다시 건조 후 초음파 세척기 (ultrasonic bath)를 이용하여 수 십 초동안 세척한 후 각 시료를 분취하고 100%의 인산염 (phosphoric acid)에 약 60°C 조건에서 용해시킨 후 분석을 실시하였다. 분석은 류큐대학 (Ryukyu University)에 설치되어있는 Finnigan MAT delta E-mass spectrometer를 이용하여 수행되었으며 표준시료 물질로 NBS-19를 사용했으며 측정된 값은 PDB (Peedee belemnite)에 대하여 $\delta^{18}O/^{16}O$ 을 천분률 편차로 다음과 같이 표기하였다.

$$\delta^{18}O = [(\delta^{18}O/^{16}O_{\text{sample}}) - (\delta^{18}O/^{16}O_{\text{standard}})] / (\delta^{18}O/^{16}O_{\text{standard}}) \times 10^3 (\text{per mil})$$

2.3 저서성 유공충 동정 및 군집분석

주상시료에서 수 십 그램의 bulk 시료를 채취한 후 3%의 과산화 수소 (hydrogen peroxide)에 약 20분 동안 용해시켜 부착물질을 제거한 후 0.063mm 체질을 수행한 후 남아있는 시료를 건조시키고 무게를 측정하고 다시 0.075mm로 걸러낸

후 건조조건으로 만들었다. 이렇게 만들어진 시료는 micro splitter로 분취한 후 200 개체수 이상의 유공충을 선별할 만큼의 시료를 확보한 후 fauna slide를 이용하여 시료를 현미경 하에서 동정하였다. 전체유공충 개체수에서 천해성 유공충의 유입정도를 개괄적으로 파악하기 위해 부유성과 저서성 유공충의 산출비율을 병행 조사하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 암상 및 입도변화의 의의

기존 연구에 나타난 바와 같이 이 연구에 사용된 주상시료는 육안관찰에 의한 입도의 변화가 관찰되었다 (Ono et al., 1991). 이에 대해 퇴적학적인 관점에서 저탁류퇴적층에서의 입도변화를 알아보기 위해 입도분석과 지화학분석이 수행되었다. 입도분석결과 퇴적물 평균입도는 주상퇴적물에 협재된 저탁류 층에서는 조립해지고 반원양성 퇴적물 층에서는 세립해지는 경향을 보이고 있다. 평균입도는 저탁류 층에서 3~5 phi로 사질 및 조립질 실트의 특성을 보이고 반원양성 퇴적층에서는 5~9 phi로 니질 및 실트질 특성을 보이고 있어 저탁류층에서의 평균입도보다 뚜렷하게 세립화되는 경향을 보인다 (현상민, 1995). 이와 더불어 Folk and Ward(1957)에 따라 계산된 분급도 (sorting coefficient)와 외도 (skewness)도 현저한 차이를 보이고 있어 저탁류 퇴적층인 사질퇴적물과 반원양성 퇴적물사이의 퇴적환경이 다르거나 퇴적기작이 다른 환경에서 퇴적되었음을 보여주고 있다 (현상민, 1995).

뚜렷하게 다른 두 개의 퇴적상을 보이는 퇴적물에 대한 지화학 분석결과도 입도분석에 의한 평균입도의 차이와 마찬가지로 화학원소의 함량비에 대해 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 탄산염을 포함하는 니질 크기의 퇴적물에 대한 화학분석결과 반원양성 퇴적물과 저탁류 퇴적물에서는 Mg 함량에서 뚜렷한 차이를 보이고 있었다. 천해역 육원성으로 생각되는 저탁류 층에서는 Mg 함량이 6.5~4.5%를 보인 반면, 반원양성 퇴적물에서는 3~5.2%로 다소 낮게 나타나고 있다 (현

상민, 1995). 이와 같이 사질퇴적물과 니질퇴적물에서 서로 다른 Mg 함량을 보이는 것은 퇴적물이 공급원이 서로 다른 것이기 때문으로 해석되었다. 따라서 저탁류퇴적물은 현장에서 퇴적된 반원양성 퇴적물과는 다른 외적요인에 의해 공급된 퇴적물임을 지시한다고 할 수 있다. 이와 같은 천해성 퇴적물과 반원양성 퇴적물에 대한 비선형적 관계는 Palau trench에서 탄산염을 함유하는 저탁류 퇴적물에서 밝혀진 바 있다 (Yamamoto et al., 1998).

3.2 부유성 유공충의 동위원소 변화

부유성 유공충의 산소동위원소 기록은 과거의 해양표층환경 뿐만 아니라 범 지구적인 빙상의 성쇠 등 많은 정보를 제공한다 (Emiliani, 1966; Shackleton and Opdyke, 1976). 특히 1970년대와 80년대에 잘 알려진 태평양 퇴적물에 대한 유공충의 동위원소 기록은 최근 빙상코아에서 얻어진 동위원소 기록과 잘 대비되고 있으며 위도에 따라 다소 차이는 있으나 범 지구적 현상으로 인식되고 있다 (Dansgaard et al., 1993). 이번 연구에서 나타난 부유성 유공충에 대한 산소동위원소 값은 저탁류퇴적물이 존재하는 구간을 제외하면 코아 하부에서 상부쪽으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 최고값과 최소값은 각각 -1.25‰, -3.06‰에 해당하여 이 지역과 비슷한 위도에서 얻어지는 동위원소 기록과 유사한 값과 경향성을 보이고 있다 (Ahagon, 1992; Martinson et al., 1987). 이번 연구결과는 일반적인 중위도 지역 대양에서 부유성 유공충을 이용한 산소 동위원소 기록과 유사한 변화 형태를 보이고 있는데 이와 같은 결과는 후빙기가 시작되어 현재까지 연구지역 표층해수면 온도가 점진적으로 온난화되는 현상을 지시하는 것으로 해석할 수 있다.

최근 연구결과 남중국해에서는 부유성 유공충에 의한 산소동위원소 기록을 검토한 결과 약 1만년 전에 급격히 냉각화되는 Younger Dryas event가 보고되었으며 (Ijiri et al., 2005), 이 연구지역과 비슷한 해역인 Okinawa Trough에서 산소동위원소와 부유성 유공충을 이용한 연구에서도 Younger Dryas 이벤트와 Heinrich 이벤트가 잘 나

타나고 있는 것으로 보고되었다 (Li et al., 2001). 이 연구에서 나타난 부유성 유공충의 산소동위원소 기록이 주상시료 하부에서 상부쪽으로 완만하게 가벼워지는 경향을 고려할 때 북반구에서 급격히 냉각화되는 현상인 Younger Dryas와 같은 이벤트는 보이지 않는다. 연구 주상시료의 최대 연대가 약 1만년 전인 점을 고려한다면 이 주상시료는 전구간이 홀로세에 해당하며 이 기간동안에 산소동위원소 기록을 고분해 (high resolution)로 보여주는 것이라 할 수 있다. 이는 연구지역이 반 폐쇄적인 비교적 저위도 지방에 위치했기 때문이며 저탁류 퇴적층을 함유하는 등 퇴적속도가 비교적 빠르기 때문인 것으로 해석되며 이러한 이유로 범 지구적인 해양학적 이벤트를 보유하고 있지 않은 것으로 판단된다.

유공충의 산소동위원소 기록은 해수의 특성을 잘 반영한다. 특히 담수와 같은 동위원소적으로 가벼운 값을 가진 물질의 유입은 직접적으로 유공충의 동위원소값에 반영됨으로 동위원소의 상대적 변화 및 가벼운 값 (lighter peak)은 주변 환경을 잘 반영하는 것으로 인식된다. 이 연구에서는 코아 하부에서 상부로 점진적으로 가벼워지는 경향을 보이고 있다. 인근 주상시료에서 얻어진 자료를 참고로 한다면 유공충의 산소 동위원소 값이 급격히 가벼워지는 현상은 동 지역에서 소규모로 진행된 담수의 유입으로 해석되었다 (Wang et al., 1985). 따라서 이 연구에서 나타난 동위원소 값의 급격히 가벼워지는 현상은 인근해역에서 보고된 담수의 유입에 의한 일시적인 표층수의 담수화를 지시한다고 할 수 있다 (Fig. 2). 최근 연구결과에 의하면 일시적으로 가벼워지는 유공충의 산소동위원소 기록은 동북아 해역에서 기후변화나 몬순 등과 같은 기후변화를 지시하는 것으로 해석되었다 (Thompson and Shackleton, 1980; Ijiri et al., 2005). 따라서 이 연구에서 나타난 두 번에 걸친 산소동위원소 값이 급격히 가벼워지는 현상은 아마도 지역해에서 일시적, 소규모적으로 일어난 담수의 유입으로 해석할 수 있다. 기존 연구에 의하면 동중국해의 주상시료를 분석한 결과 홀로세 기간동안 국지적으로 산소동위원소 기록이 가벼워지는 기록이 많이 나

타나고 있으며 이러한 현상은 담수의 유입으로 해석한 바 있다 (Ijiri et al., 2005).

저탁류 퇴적물에 대한 산소동위원소 값을 배제한다면, 산소동위원소 값의 급격한 감소가 주상시료 하부에서 관찰되었다 (Fig. 2). 이렇게 감소된 동위원소 기록은 이 시기에 범지구적으로 급격하게 변화하는 기후변화 기록 중 소위 termination Ib에 해당하는 시기와 일치한다. 주상시료에서 얻어진 두 곳에 대한 유공충을 이용한 ^{14}C 절대연대는 심도 350-354cm에서 8400 yr이 얻어졌고, 이 연대를 기준으로 주상시료 최하부의 연대를 추측하면 약 1만년이 됨으로 이 시기는 급격하는 변화하는 기간으로 해석되었다. 그러나 코아 최하부가 1만년 정도임으로 전형적으로 나타나는 termination Ia는 나타나고 있지 않고 있다. 이와 같이 산소동위원소에 근거한 termination Ib에 대한 기록은 인근해역에서 연구된 연구결과와 잘 일치하고 있다 (Oyakawa, 1992).

3.3 저서성 유공충의 종 출현 및 군집분석

현생 부유성 유공충의 종수에 비해 저서성 유공충은 다양성이 풍부하고 이동성이 비교적 적기 때문에 지역해의 특이한 환경을 해석하는데 유용하게 사용되어왔다 (Ujue et al., 1991; 우 등, 1996). 이 연구에서 확인된 저서성 유공충은 총 33 종이 확인되었다 (Table 1). 표 1에서 볼 수 있듯이 저서성 유공충을 동정하면서 수행된 전체 유공충에 대한 부유성 유공충의 비율은 57.7 ~ 92.3%로 변화하고 있어 저탁류 퇴적층에서 현저하게 감소하고 있다. 이는 동 지역의 시대에 따른 외양환경을 간접적으로 지시하는 것으로 판단할 수 있는데, 저서성 유공충의 급격히 증가하는 구간은 저탁류 퇴적물이 협재된 구간과 일치하고 있다. 또한 산호초지역에 산출하는 종에 대한 비율도 저탁류 퇴적물이 나타나는 구간에서 급격히 증가하는 현상을 보이고 있어 급격히 증가한 저서성 유공충의 많은 부분은 산호초 지

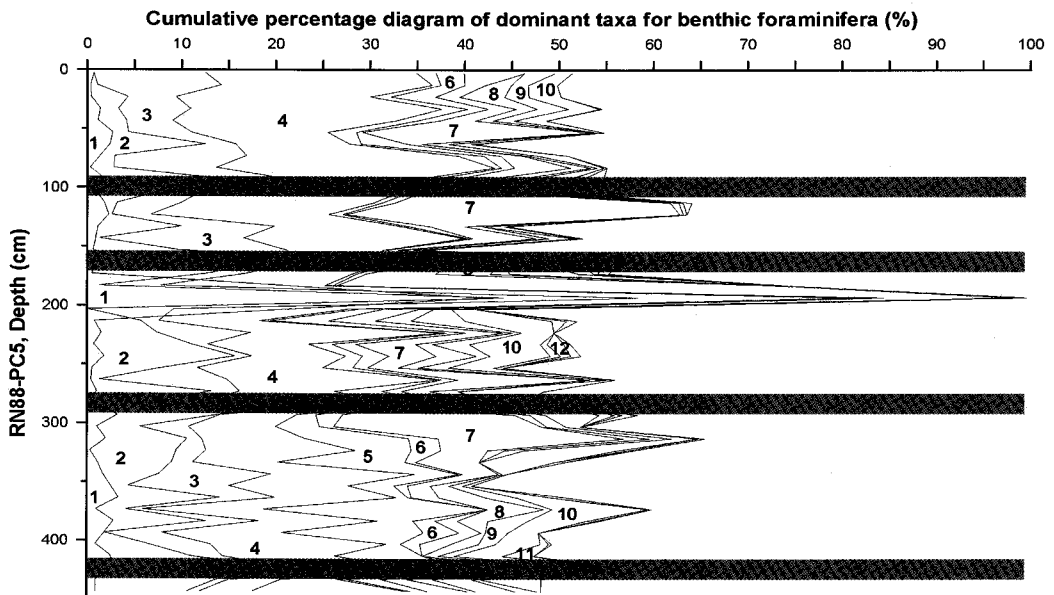


Fig. 3. Cumulative percentage diagram for dominant taxa of benthic foraminifera (%). Numbers in figure indicate: 1. *Textulariina* sp., 2. *Milioliina* sp., 3. *Bolivina decussata*, 4. *Cassidulina* sp., 5. *Neovigenerina amplullacea*, 6. *Reussella aculeata*, 7. *Epistominella exiue*, 8. *Cibicoides* sp. A, 9. *Cibicides refulgens*, 10. *Amphistegina lessonii*, 11. *Asanonella tubulifera*, 12. *Calcarina hispida*, 13. *Calcarina spengleri*. Some of minor dominant taxa of benthic foraminifera are omitted from percentage diagram. Shade areas are turbidite layers.

역으로부터 저탁류 퇴적물이 퇴적될 때 동시적으로 재동되어 (reworking) 퇴적된 것으로 해석할 수 있다(현상민, 1995).

특히, 저탁류 퇴적물이 협재하는 지역에서는 *Miliolina* 목이 다량으로 산출하고 있음을 알 수 있다. 이들 *Miliolina* 종은 전형적으로 산호초 지역에서 산출하는 종으로 알려졌다. 반면, 저탁류 퇴적층이 아닌 일반적 반원양성 퇴적층에서는 같은 *Miliolina* 종이 산출하지만 저서성 종이 아닌 다른 종이 산출하고 있다. 이들 산호초지역에 특징적으로 나타나는 종인 *Amphistegina lessonii* 및 *Rotaliina* 아목 종은 전 구간을 통해 나타나고 있는데 이는 코아퇴적물에 나타나는 대부분의 종이 천해성 종임을 감안한다면 퇴적환경이 천해에서 퇴적되었고 일부 저탁류 퇴적층에서는 산호초지역에서 서식하는 유공충이 재동작용에 의해 운반, 퇴적되었음을 지시하고 있다.

일부 종은 층서적으로 특징적인 분포특성을 보이고 있다. 예를 들어 *Hopkinsinella glabrata* 와 *Noioninella* sp. A는 주상퇴적물 하부의 몇몇 구간에서 특징적으로 풍부하게 산출하고 있는 반면, *Bolivina deccusata* 와 일부 *Cassiduline* 종은 주상시료 하부보다는 상부쪽에서 더 풍부하게 산출하고 있다 (Fig. 3). 인근 다른 지역의 주상시료에서는 이러한 경향성을 보이지 않기 때문에 이와 같이 상부와 하부에서 우점종이 다르게 나타나는 것은 아마도 이 지역의 특징으로 해석 가능하다.

4. 결론

오끼나와 해곡에서 얻어진 주상시료에 대한 미고생물학적, 퇴적학적, 지화학적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 연대측정 결과 연구에 이용된 주상시료는 연대적으로 과거 약 1만년 이후의 고해양 환경 기록을 잘 보존하고 있으며 주기적인 저탁류 퇴적물이 협재되어 있어 저서성 유공충의 연안에서 대량으로 저탁류 층과 동시적으로 유입되었음을 지시하고 있다.
2. 이 연구 주상시료에 나타난 저서성 유공충은

총 33종이 출현하고 있으며 군집변화는 퇴적상의 변화와 밀접히 관계되는 것으로 나타났다. 특히 저탁류 층에서는 전형적으로 산호초 지역에 서식하는 유공충이 다량으로 산출하고 있어 저탁류 퇴적물은 천해의 얕은 해역에서 재동되어 이동, 퇴적된 것으로 판단된다.

3. 부유성 유공충에 대한 산소동위원소 기록은 과거 약 만년전 부터 현재까지 점진적으로 온난화되는 경향을 보이고 있다. 지화학분석과 입도분석 결과는 저탁류 퇴적물과 반원양성 퇴적물간의 현격한 차이를 보이고 있으며 저탁류 퇴적층은 지역해에서 발생한 지진과 같은 해양학적 이벤트와 관련된 고해양환경 변화에 의해 야기된 것으로 해석되었다.

감사의 글

이 연구는 저자가 학위과정중에 수행한 연구 결과의 일부이다. 시료채취 및 실험에 많은 도움을 준 Ahagon Naogaze 박사 (JAMSTEC)과 Xu, S 박사에게 감사드린다. 그림제작에 도움을 준 해양연구원 김동춘 연구원에게 감사드린다.

참고문헌

- 우한준, 박병권, 장현도, 장순근, 윤호일, 1996, 저서성 유공충에 의한 서남극 킹 조지 섬의 현세 후기 고해양환경. 대한지질학회지, 32, 393-406.
- 우한준, 조진형, 정갑식, 정창수, 권수재, 박성민, 2003, 중금속 원소와 유공충을 이용한 마산만 퇴적물의 오염 역사에 관한 연구. 한국지구과학회지, 24, 635-649.
- 현상민, 1995, 오끼나와해곡 남쪽해역의 저탁류 퇴적물의 특성. 한국해양학회지, 30(2), 69-76.
- Ahagon, N., 1992, Late Quaternary oxygen and carbon isotope stratigraphy in the Ryukyu Island Arc region: based on piston cores. MS thesis, Univ. Ryukyu.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gunderstrup, N.S., Hammer, C.U.,

- Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjomsdottir, A.E., Jouzel, J., Bond, G., 1993, Evidence for general instability of past climate from a 250 kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- Emiliani, C., 1966, Paleotemperature analysis of Caribbean cores P6304-8 and P6304-9 and a generalized temperature curve for the past 425,000 years. *J. Geology*, 74, 109-124.
- Folk, R.L., Ward, W., 1957, Barzoz river bar: a study in the significance of grain size parameter. *J. Sed. Petrol.*, 27, 2-27.
- Hiroshi Ujiie, Toshio Nakamura, Yoshio Miyamoto, Jin-Oh Park, Sangmin Hyun and Tsutomu Oyakawa, 1997, Holocene turbidite cores from the southern Ryukyu Trench slope :Suggestions of periodic earthquakes, *Jour. Geol. Soc. Japan*, 103(6), 590-603.
- Hyun, S., 1992, Paleoceanographic records in a turbidite core from the eastern margin of Okinawa Trough, northwest of Miyako Island, Japan. MS thesis, Univ. Ryukyu, 52 pp.
- Ijiri, A., Wang, L., Oba, T., Kawahata, H., Huang, Chen-Yue., Huang, Chi-Yue., 2005, Paleoenvironmental changes in the northern area of the East China Sea during the past 42,000 years. *Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology*, 219, 239-261.
- Jian, Z., Wang, P., Saito, Y., Wang, J., Pflaumann, U., Oba, T., Cheng, X., 2000, Holocene variability of the Kuroshio current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 184, 305-319.
- Li, T., Liu, Z., Hall, M.A., Berne, S., Saito, Y., Cang, S., Cheng, Z., 2001, Heinrich event imprints in the Okinawa Trough: evidence from oxygen isotope and planktonic foraminifera. *Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology*, 176, 133-146.
- Martinson, D., Pisias, N.G., Hays, J., Imbris, J., Moore, Jr. T., Shackleton, N.J., 1987, Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- Ono, T., Midorikawa, Y., Yamamoto, S., Ujiie, H., 1989, Sediment taken from the sea-bottom around the southern Ryukyu Island Arc during the RN-84, -86, and -87 cruises. *Bull. Coll. Sci. Univ. Ryukyus*, 47, 115-151 (in Japanese with english abstract).
- Ono, T., Takagi, Y., 1991, Cruise reports on RN-88, -90 cruises around the southern Ryukyu Island Arc and north of the Okinawa Island, with special reference to the sediment samples. *Bull. Coll. Sci. Univ. Ryukyus*, 50, 57-85 (in Japanese with english abstract).
- Oyakawa, T., 1992, Oxygen isotope stratigraphy of a turbidite core from south of Ishigaki Island; with special reference in cyclicity of turbidite currents. Graduation thesis, Univ. Rukyuu.
- Shackleton, N.J., Opdyke, N.D., 1976, Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239 late Pliocene to latest Pleistocene. *Geol. Soci. America, Mem.* 145, 449-464.
- Tompson, P.R., Shackleton, N.J., 1980, North Pacific paleoceanography: late Quaternary coiling variations of planktonic foraminifera *Neoglobobulimina pachyderma*. *Nature*, 287, 829-833.
- Ujiie, H and Kusukawa, T., 1969, Analysis of foraminiferal assemblages from Miyako and Yamada Bays, Northeastern Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus.*, 12, 59-66.
- Ujiie, H., Tanaka, Y., Ono, T., 1991, Late Quaternary paleoceanographic record from the middle Ryukyu Trench slope, northwest Pacific. *Marine Micropaleontology*, 18, 115-128.
- Wang, C.H., Chen, J.C., Liu, K.K., 1985, Stable isotope record from Holocene deep sea sediments off northeastern Taiwan. *Bull. Inst. Sci. Academic Sinica*, 5, 59-66.
- Yamamoto, S., Tokuyama, H., Fugioka, K., Takeguchi, A., Ujiie, H., 1988, Carbonate turbidites deposited on the floor of the Palau Trench. *Marine Geology*, 82, 217-233.