

오끼나와해곡 남쪽해역의 저탁류 퇴적물의 특성

현 상 민
동경대학 해양연구소

Characteristics of a Turbidite Sediment from the Southern Margin of the Okinawa Trough, Japan

SANGMIN HYUN
Ocean Research Institute, University of Tokyo

오끼나와 해곡의 남쪽 해저 2051 m에서 채취된 저탁류 퇴적물(RN88-PC5)에 대하여 조사하였다. 반원양성 점토질 퇴적물과 천해에서 운반된 사질퇴적물 사이에는 저서성 유공충의 조성, 입도조성 및 화학적 원소의 조성 등에서 현저한 퇴적학적 특성의 차이를 보인다.

저탁류 퇴적물인 사질퇴적물에 있어서는 점토질 퇴적물에는 포함되어 있지 않은 전형적인 산호초 해역의 유공충을 다량으로 함유하고 있는 것으로 보아 천해에서 유입된 퇴적물임이 거의 확실하다. 이들 사질퇴적물은 저탁류와 관련되어 운반 되었으며, 사질퇴적물과 점토질퇴적물 사이에는 다른 퇴적학적인 기작이 작용되었음을 시사한다.

^{14}C 연대측정 결과와 유공충의 안정 산소동위원소값의 변화는 과거 약 1만년으로부터 현재에 이르기까지 표층해수의 점진적인 온난화경향을 보인다. 또한 Termination 1b의 기록을 보일뿐만아니라 약 2천년전과 7천년전의 2회에 걸친 담수유입의 증거도 보여준다.

A turbidite core sediment (RN88-PC5) from 2051 m on the deep-sea floor at the southern margin of Okinawa Trough was examined. Sedimentological characteristics were quite different between sandy sediments and hemipelagic sediments in terms of benthic foraminiferal assemblage, grain-size and chemical composition.

All turbidite sandy sediments were clearly transported from shallow area as they include typical coral reef dwelling benthic foraminifera which were not found in the background hemipelagic sediments. These layers also suggest that the sediments were transported by turbidity-related currents and implies that sedimentological mechanisms were different between sandy sediments and hemipelagic sediments.

The result of the ^{14}C age dating and the stable oxygen isotopic fluctuation of planktonic foraminifera show a gradual warming trend of the surface water from about 10 Ka to present. Also Termination 1b as well as two fresh water input events were recognized at ca.2 and 7 Ka.

서 론

심해 및 연안을 포함하는 해양 퇴적물은 대륙으로부터 바람 및 하도를 통해 운반된 퇴적물, 생물기원 퇴적물 그리고 자생기원 퇴적물 등으로 대별할 수 있다. 특히 연안 및 대륙사면의 퇴적물인 경우는 하천 등의 운반을 통해 대륙으로부터 유입된

퇴적물이 상당량 존재하고 있다. 또한 대륙사면이나 대양저의 퇴적물의 경우도 일차적으로 퇴적된 퇴적물이 저탁류 등을 통해 이차적으로 퇴적된 경우가 많다.

이와같은 해양퇴적물의 연구를 통해 퇴적환경의 복원 및 고해양의 환경변동을 추적하는데는 정확한 퇴적물의 기원을 규명하는 일은 중요하며, 저탁류

퇴적물인 경우는 더욱 그렇다. 그러나, 해양 퇴적물 중에는 저탁류 퇴적물이 상당부분을 차지함에도 불구하고 해양의 해저환경에 영향을 주는 저탁류와 그와 관련된 퇴적물에 대한 연구는 고전적인 수법의 범위에서 그치고 있는것도 또한 사실이다.

1960년 이후 퇴적학적인 면에서 저탁류 퇴적물에 대한 연구가 진행되어 왔는데, Bouma sequence (Bouma, 1962)의 연구를 시초로, 퇴적특성과 구조를 이용한 고지형의 복원에 관한 연구, 유공충의 군집과 재퇴적의 관점 등에 관한 연구, 그리고 광물조성과 입도조성에 관한 연구 등 여러분야에서 연구가 진행되어 왔다(Staney and Bouma, 1964; Ujiie, 1973; Shiki et al., 1982).

이러한 관점에서 본 연구는 종래의 퇴적학적, 고생물학적(부유성 유공충 및 저서성 유공충)인 방법에 지구화학적(부유성 유공충의 안정 산소동위원소 및 점토질 퇴적물에 대한 화학분석) 방법을 추가하여 저탁류 퇴적물의 특성을 고찰함으로써 반원양성 퇴적물과의 차이점을 이해하는데에 있다. 또한, 각각의 퇴적물특성으로부터 과거의 퇴적환경 및 고해양학적 환경변화를 살펴보는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 저탁류 퇴적물(RN88-PC5)은 1988년 오키나와 해곡의 남쪽부분($25^{\circ}15'.5N$, $125^{\circ}9'.5E$)의 수심 2051 m에서 나가사키대학 소속 나가사키호에 의해 채취되었다(Fig. 1). 육안관찰에 의하면 이 저탁류 퇴적물은 여러층으로 분리된 사질퇴적물을 포함하고 있으며, 사질퇴적물의 입도는 기저의 점토질 퇴적물보다 다소 조립질의 퇴적물로 되어있다(Fig. 2; Ono and Takagi, 1991).

2 cm 간격으로 분할된 시추퇴적물 중에서 사질 퇴적물의 시료와 10 cm 간격으로 선택한 점토질 퇴적물시료에 대하여 Folk and Ward(1957)의 방법에 의해 입도분석을 하였으며, 200개체 이상의 유공충을 무작위로 선별하여 부유성 유공충에 대한 저서성 유공충의 비를 계산한 다음 저서성 유공충에 대한 군집해석을 시도하였다. 본 연구에서는 부유성 유공충에 대한 저서성 유공충의 비와 저서성 유공충에 대한 산호초지역의 특징적인 유공충만을 고찰하기로 한다.

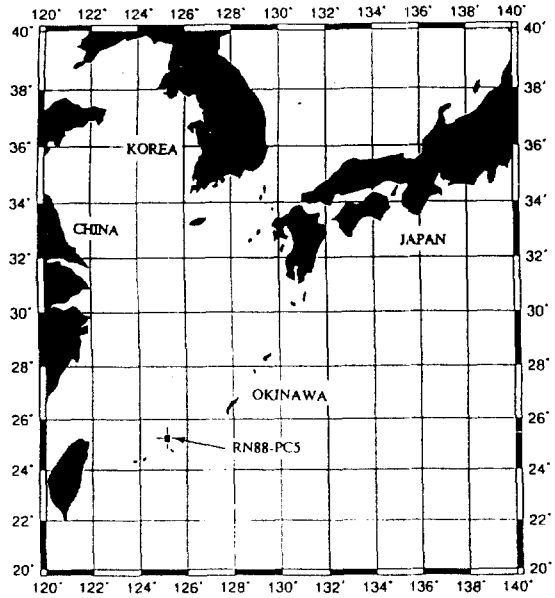


Fig. 1. Location map showing the sampling site.

전체 해양퇴적물 속에는 화학적인 원소의 구성성분상 간극수와 이온수 중의 금속물질, 탄산염과 같이 존재하기 쉬운 성분(Carbonate-bound elements; Sr, Ca, Mn, Mg, Fe 등), Fe, Mn 등과 같은 산화수산화물성분(Oxyhydroxide) 그리고 그외의 대류로부터 공급된 silicate광물과 Al 등의 난용성 잔류물질(Residual materials) 등으로 구별가능하다. 퇴적물의 화학분석에 있어서는 4개의 사질퇴적물을 포함하는 16지점에서 Folk and Ward(1957)의 퍼펫방법에 따라 점토질 크기의 퇴적물만을 추출한 다음 그에 대해 화학분석을 하였다(Dean, 1974; Yamamoto, 1992). Li-Cs에 의한 간극수 및 이온수 중에 포함된 원소의 용해, Ammonium acetate에 의한 Carbonate-bound 물질용해, Hydroxylamine hydrochloride에 의한 산화수 산화물을 용해하면서 각 단계마다 원자흡수분광기를 사용하여 분석하였다(Table. 1). Carbonate-bound 물질의 계산은 Ammonium acetate에 의한 용해결과와 Li-Cs에 의한 용해결과와 농도차를 이용하여 계산하였다. Residual물질 중 Fe, Mn에 대한 계산은 전체농도와 HHC에 의한 농도차로, 그외 다른 물질은 전체농도에서 AA에 의한 농도차를 감산하는 방법으로 계산하였다.

안정 산소동위원소의 측정에서는 비교적 표층수에

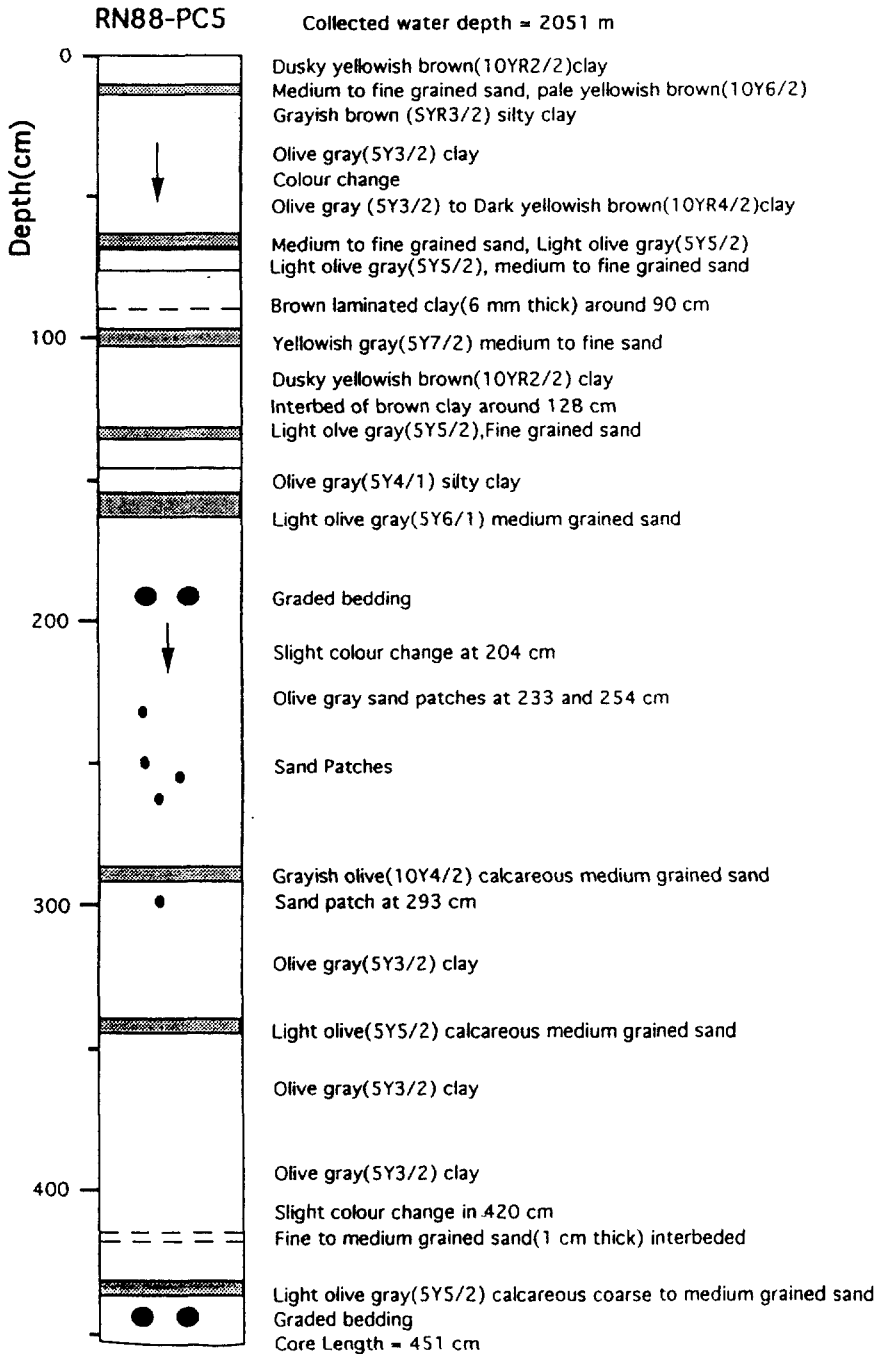


Fig. 2. Lithology of the studied core RN88-PC5(after Ono et al., 1991).

서식하며 해수와의 평형상태에서 각(test)을 형성하는 종으로 알려진 *Globigerinoides sacculifer*를 30~50개체 정도 선별하여 Finnigani MAT delta E-mass

spectrometer에 의해 측정하였다. 측정치는 PDB (Peedee belemnite)에 대하여 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 을 천분률 편차로 표기하였다.

Table 1. Extraction methods for powdered clay sediments(modified from Yamamoto, 1992)

| Extractant | Abbrev. | Resultant fraction |
|--|---------|--|
| 1. 0.75 M LiCl-0.25M CsCl ethyl alcohol solution | (Li-Cs) | Interstitial water and exchangeable cation |
| 2. Ammonium acetate (1N)-Acetic acid buffer pH 5.2 | (AA) | Carbonate-bound material(excluding dolomite) |
| 3. Hydroxylamine hydrochloride(1N), tri-sodium citrate buffer, pH 5.0 NH ₂ OH-Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·2H ₂ O | (HHC) | Oxyhydroxide (Fe and Mn only) |
| 4. Hydrochloric, hydrofluoric acid (Bulk concentration) | (BULK) | Residual(silicate and insoluble fractions) |

¹⁴C 연대측정은 부유성 유공충인 *G. sacculifer*만을 선별하여(약 1000개체~20 mg 이상), 산소동위원소를 측정 한 후 CO₂ 가스를 Pyrex tube에 회수하여 Nagoya대학의 연대측정센터에서 accelerator mass-spectrometry(AMS)를 이용하여 분석되었다.

결과 및 토의

1. 입도분석

입도분석의 결과는 Folk and Ward(1957)의 평균 입도(mean), 분급도(sorting coefficient), 외도(skewness), 첨도(kurtosis)에 따라 T그룹과 H그룹으로 나눌 수 있다(Fig. 3). T그룹은 평균입도가 약 3~5 Φ 의 부분으로서 very fine sand-coarse silt 정도로 이루어졌으며, 2.5~0.5 정도의 첨도를 보인다. H그룹은 평균입도(Mz)가 5~9 Φ 의 fine silt 부분으로서 T그룹보다 세립질이며, H그룹과 T그룹 전체의 분급도는 3~1.5 정도로 poorly sorted에서 very poorly sorted하여 일반적인 저탁류 퇴적물의 특성을 보인다.

T그룹은 뚜렷하게 양의 외도를 보여 보다 조립질의 입자가 포함되어 있음을 나타내는 반면, B그룹은 대부분이 음의 외도로 세립질의 입자가 더욱 많이 포함되어 있음을 보인다. 그의 평균입도 및 분급도도 Folk and Ward(1957)의 특성에 기준한다면 T그룹과 B그룹 사이에 현저한 차이를 보여 사질퇴적물과 반원양성 퇴적물 사이의 퇴적환경이 다

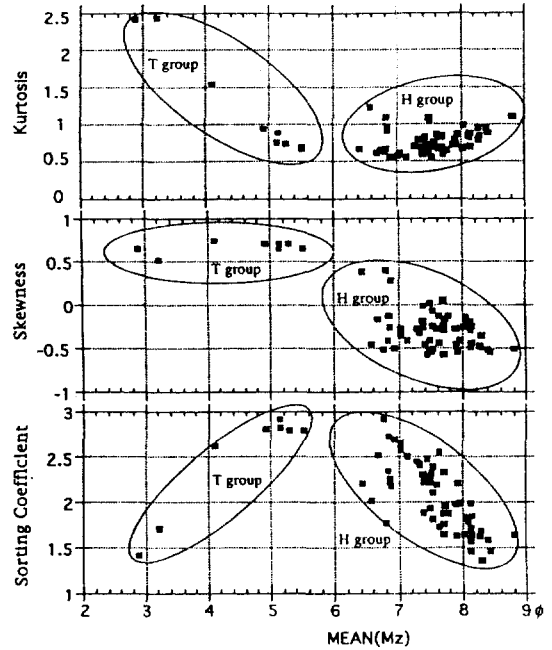


Fig. 3. Relationship between mean diameter (Mz) vs. sorting coefficient (σ), skewness (Sk) and kurtosis (Kg). The T group indicates turbidite sandy sediments and the H group indicates background hemipelagic sediments.

름을 보여준다(Fig. 3).

특히 T그룹은 사질을 다량으로 함유하는 퇴적물임을 고려할 때 일시적으로 운반되어 퇴적된 것으로 생각되며, 후술하는 바와 같이 사질퇴적물에는 산호초 해역에서의 특징적인 저서성 유공충이 다산하는 것으로 보아 천해로부터의 유입을 시사하는 요인이라 할 수 있다.

2. 저서성 유공충의 군집조성

부유성 유공충에 대한 저서성 유공충의 비는 퇴적환경을 나타내는 판단기준이 된다. 즉, 연안의 높은 비율과 외양의 낮은 비율은 퇴적환경(연안환경 혹은 외양환경 그리고 중간적 환경) 및 해수의 특성에 따라 저서성 유공충의 조성이 달라진다(Ujii and Kusakawa, 1969). 본 연구의 시료에 대한 분석에서도 이들의 비를 조사한 결과 부유성에 대한 저서성 유공충의 비율이 사질층에서 급격히 증가하는 경향을 보이는데(Fig. 4), 이는 사질층에 포함되어 있는 천해의 저서성 유공충이 저탁류에 의해 반심해로

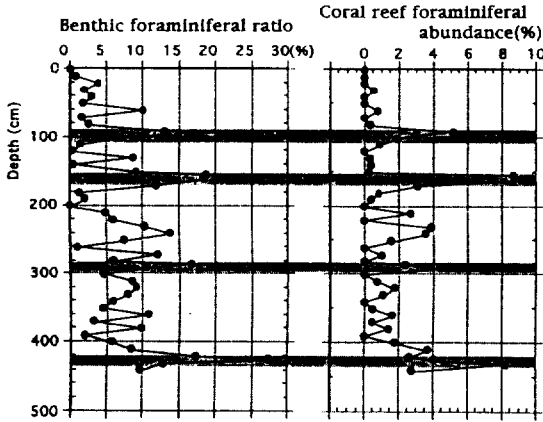


Fig. 4. Benthic foraminiferal ratio to total foraminifera (Benthic/total: left) and coral reef foraminiferal abundance to benthic foraminiferal abundance (coral reef foram./benthic foram.: right).

운반되었음을 시사하는 요인이라 할 수 있다. 특히 사질퇴적물에는 *Rugobolobinella dlegance*, *Calcarina spengleri* 등과 같은 열대 및 아열대의 산호초해역에서 특징적인 저서성 유공충이 상대적으로 풍부하게 산출되어(Fig. 4), 천해의 산호초 해역으로부터 퇴적물이 운반되었음을 나타낸다. 그러므로 이들 사질퇴적물은 천해의 산호초가 풍부한 지역에서 운반되었음이 거의 확실하다. 전체 퇴적물에 출현하는 유공충중 아목 *Milliolina* spp.의 산출빈도는 특히 사질퇴적물에서 증가하는 경향을 보이는데, 이와 같은 현상은 비슷한 해역의 다른 저탁류 퇴적물(RN86-PC 2) 에서도 관찰되었다(Ujiiie et al., 1994).

3. 퇴적물의 화학분석

4개의 사질퇴적물을 포함하는 총 16개의 시료로부터 추출된 탄산염을 포함하는 점토질 크기의 퇴적물에 대한 화학분석의 결과 Carbonate-bound fractions의 경우 사질퇴적물 혹은 반원양성 퇴적물에 관계없이 Ca와 Sr 함량에서는 높은 상관($r=0.9$)을 보인다(Fig. 5a). 육원성으로 생각되는 residual material에 대한 결과의 경우, 사질퇴적물에서는 비교적 높은 Mg함량(6.5~4.5%)을 보이나, 반원양성 퇴적물에 대해서는 Mg함량이 3~5.2% 정도로 사질퇴적물의 Mg함량(6.5~4.5%)보다 다소 낮은 값을 보인다(Fig. 5b). 이와같이 사질퇴적물중의 원소성분과

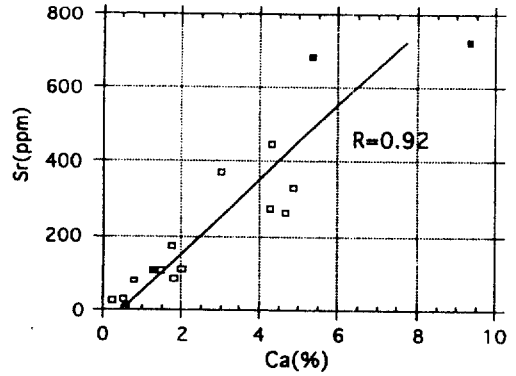


Fig. 5a. Relationship between carbonate-bound Ca and Sr content. Open squares indicate hemipelagic and black squares indicate turbidite sandy sediments. Turbidite sand layers and background hemipelagic sediments have a high correlation coefficient.

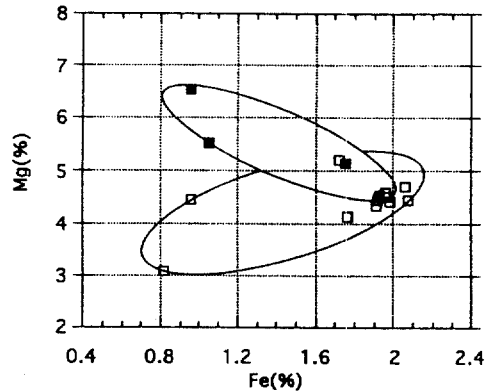


Fig. 5b. Interrelationship between Fe and Mg for the residual fraction. Open squares indicate background hemipelagic and black squares indicate turbidite sandy sediments.

반원양성 퇴적물속에 포함되어 있는 원소성분이 차이를 보이는 것은 이들 퇴적물의 공급원이 서로 다른 이유로 사료된다. 이러한 반원양성 퇴적물과 천해성 퇴적물과의 비선형적인 관계는 Yamamoto(1992)와 Yamamoto et al.(1988)에 의해서도 Palau trench floor의 저탁류 퇴적물에 대한 연구에서 밝혀진 바 있다.

이상에서 언급한 것과 같이 점토질 퇴적물인 반원양성 퇴적물과 사질퇴적물 사이에는 화학조성의 차이를 보여주는데, 특히 사질퇴적물은 반원양성

Table 2. Oxygen isotope values (per mil) of the planktonic foraminifera, *G. sacculifer*, from the core RN 88-PC5.

| Depth(cm) | $\delta^{18}O$ | Depth(cm) | $\delta^{18}O$ |
|-----------|----------------|-----------|----------------|
| 3 | -2.08 | 233 | -1.67 |
| 13 | -1.88 | 243 | -1.52 |
| 23 | -1.61 | 253 | |
| 33 | | 263 | -2.45 |
| 43 | | 273 | |
| 53 | -3.06 | 283 | -1.82 |
| 63 | -2.20 | *288 | -1.59 |
| 73 | -1.94 | 293 | -1.58 |
| 83 | -1.76 | 303 | -1.80 |
| 93 | -1.72 | 313 | -1.68 |
| *98 | -2.05 | 323 | |
| *103 | -1.96 | 333 | |
| 113 | -1.78 | 343 | -1.66 |
| 123 | -1.77 | 353 | -1.40 |
| 133 | -1.89 | 363 | |
| 143 | -1.72 | 373 | |
| 153 | -1.73 | 383 | -1.65 |
| *158 | -1.77 | 393 | |
| 163 | -1.89 | 403 | -1.88 |
| 173 | -1.62 | 413 | |
| 183 | -1.81 | 423 | |
| 193 | -1.91 | *428 | -1.17 |
| 203 | -2.08 | *433 | -2.04 |
| 213 | -1.67 | 435 | -1.25 |

*Turbidite sandy sediments.

퇴적물의 퇴적환경과는 다른 퇴적환경에서 퇴적된 퇴적물로 생각된다. 또한 residual materials 중의 Fe와 Mn함량이 다르게 나타나는데 이는 두 퇴적물의 공급원이 다른 이유로 해석될 수 있을 것 같다. 이러한 사실은 탄산염과 Mg을 다량 함유하는 천해성 퇴적물중의 일부분이 저탁류에 의해 반심해로 운반되었음을 시사하는 요인이라 할 수 있다.

4. 부유성 유공충의 안정 산소동위원소 변화

천해에서 운반된 사질퇴적물에 대한 $\delta^{18}O$ 와 2회에 걸친 spike를 제외시킨다면 전체적인 $\delta^{18}O$ 의 경향은 시추퇴적물의 하부에서 상부쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다(Table. 2). 산소동위원소 값은 수온 및 염분 등과 같은 요소 즉, 해수의 화학적 성질에 의해 결정되나 본 연구 퇴적물의 경우는 후빙기의 안정기 중에서 약 1만년 이후에 서서히 진행된 소규모의 표층해수 온난화현상에 의해 안정 산소동위원소값($\delta^{18}O$)의 점진적인 감소가 생겼다고 생각된다.

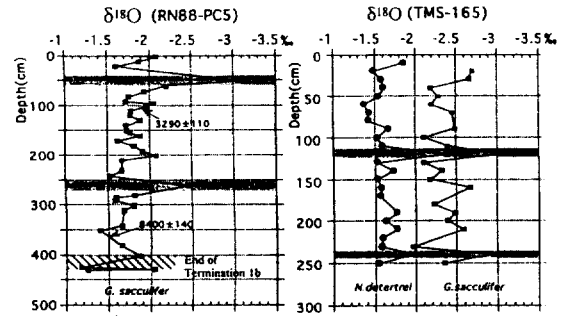


Fig. 6. Oxygen isotopic variations of planktonic foraminifera, *G. sacculifer*. (left), are compared with that of TMS-165 (After Wang et al., 1985). Dashed area indicates freshwater input effect. The age of the bottom of core RN88-PC5 is thought to be around 10,000 years.

산소동위원소의 결과에 의하면 빙기에서 간빙기로 변하는 시기와 과정은 2단계의 과정을 보인다는 결과가 나타나 있다(Ruddiman and Duplessy, 1985; Berger et al., 1985). 이러한 갑자기 변하는 $\delta^{18}O$ 의 값을 Termination으로 정의할 수 있는데, 그 시기에 있어서 Berger et al.(1985)은 Termination 1b의 중심이 10,000년 전이라는 의견을 보였으며, Ruddiman and Duplessy(1985)은 10,000~7,000년 경으로 규정지은 바 있다. 본 연구의 저탁류 퇴적물 하부에서의 갑작스런 $\delta^{18}O$ 의 감소(0.7%)는 아마도 전술한 것과 같은 빙기에서 간빙기로 변하는 시기의 마지막 단계인 Termination 1b로 생각된다. ^{14}C 에 의한 350~354 cm에서의 연대측정 결과는 8400 ± 140 yrs으로 나타났는데(Fig. 6), 이러한 사실은 아마도 본 연구에 사용된 저탁류 퇴적물의 Termination은 Termination 1b의 마지막 부분임을 시사한다고 할 수 있다. 이 절대연대를 고려한다면 저탁류 퇴적물의 최하부의 연대는 약 1만년으로 추정할 수 있으며, 이는 Duplessy et al.(1981)가 정의한 Termination 1b의 연대와 비슷하며, 인접한 지역인 South China Sea에서 보고된 갑작스런 Termination의 시기와도 비슷하다(Broecker et al., 1988). 본 저탁류 퇴적물이 채취된 지점이 외양은 아닐지라도 이러한 Termination 1b의 기록을 고려한다면 본 연구에 사용된 저탁류 퇴적물도 외양의 성질을 반영한다고 할 수 있다.

또한 심도 30~60 cm와 250~270 cm의 갑작스런

고 큰 폭의 동위원소 값의 변동은 2회에 걸친 담수유입의 증거로 사료된다. 이와같은 2회에 걸친 담수유입의 사실은 대만의 북쪽에서 채취된 시추퇴적물(TMS-165)에서도 보고된 바 있다(Wang et al., 1985). 비록 시추퇴적물 TMS-165의 경우 절대연대는 결여되어 있지만 본 연구에 사용된 저탁류 퇴적물의 $\delta^{18}O$ 결과와 좋은 대비가 가능하다(Fig. 6).

본 연구 저탁류 퇴적물의 ^{14}C 절대연대는 110~114 cm에서 3920 ± 110 yrs, 350~354 cm에서 8400 ± 140 yrs 정도인 것으로 나타났다. 이에 따라 퇴적속도가 일정하다는 가정하에서의 퇴적률은 약 36 cm/ky 정도로 계산되었으며, 저탁류 퇴적물의 최하부를 1만년으로 가정한다면 완전한 현세의 퇴적물임을 나타내는 것이라 할 수 있다. 이러한 퇴적속도는 인근해역에서 채취한 다른 저탁류 퇴적물(RN 86-PC2)의 퇴적률 보다 약간 빠른 것으로 나타났다(Ujii et al., 1994).

결 론

저서성 유공충의 군집해석 및 입도분석 결과는 퇴적물의 기원을 지시한다. 즉, 입도분석의 결과 나타난 전형적인 산호초의 유공충 군집을 함유하는 사질층의 퇴적물은 본래 천해에서 퇴적된 퇴적물로서 저탁류를 통해 반심해로 운반되었음을 시사한다. 이 퇴적물은 Mg와 Fe의 함량에서도 뚜렷한 차이를 보여 천해로부터의 유입에 대한 또다른 증거이다.

부유성 유공충의 각(test)에 대한 안정 산소동위원소의 $\delta^{18}O$ 은 과거 약 1만년 전부터 전체적인 표층해수의 온난화현상을 지시할 뿐만아니라 약 2천년전 및 7천년전의 2회에 걸친 담수유입의 기록도 보여준다.

이러한 천해의 퇴적물을 반심해로 운반케한 저탁류 퇴적물의 주요한 mechanism으로서 동 연구지역의 심해지진이 고려의 대상이지만 이 부분에 대해서는 보다 상세한 연구가 보충되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 Ryukyu 대학에서 석사과정 동안 수행된 연구의 일부분이다. 연구가 진행되는 동안 많은 격려를 주신 Ujii. H 교수님께 감사드립니다. 특히 본 논문에

대한 유익한 제언을 주신 한국해양연구소 석봉출 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- Berger, W. H., Killingley, J. S., Metzler, C. V. and Vincent, E., 1985. Two-step deglaciation: ^{14}C -dated high-resolution $\delta^{18}O$ records from the tropical Atlantic Ocean. *Quat. Res.*, 23: 258-271.
- Bouma, A. M., 1962. Sedimentology of some flysch deposits. A graphic approach to facies interpretation. Elsevier, Amsterdam. 168pp.
- Broecker, W. S., Andree, M., Klas, M., Bonani, G., Wolfli, W. and Oeschger, W., 1988. New evidence from the South China Sea for an abrupt termination of the last glacial period. *Nature*, 333: 156-158.
- Dean, W. E., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss of ignition: comparison with other methods. *J. Sed. Petrol.*, 44: 242-248.
- Duplessy, J. C., Arnild, M., Maurice, P., Berd, E. and Duprat, J., 1981. Deglacial warming of the northeastern Atlantic Ocean: correlation with the paleoclimate evolution of the European continent. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleocol.*, 35: 121-144.
- Folk, R. L. and Ward, W., 1957. Barzos river bar: a study in the significance of grain size parameter. *J. Sed. Petrol.*, 27: 3-27.
- Ono, T. and Takagi, Y., 1991. Cruise report of RN-88-90 cruise around the Southern Ryukyu Island Arc and north of the Okinawa Island, with the special reference to the sediment sample. *Bull. Coll. Sci. Univ. Ryukyu*, 5: 57-85(in Japanese and English abstract).
- Ruddiman, W. F. and Dupelssy, J. C., 1985. Conference on the last deglaciation: Timing and mechanism. *Quat. Res.*, 23: 1-17.
- Shiki, T., Yamazaki, T. and Hisatomi, K., 1982. Features of grain-size distribution and mineral composition of turbiditic sediments from the middle America Trench off Guatemmla. In: Aubouin, J and Von Huene et al., Initial Rept. D.S.D.P., LXVII, 537-548.
- Stanley, D. J. and Bouma, A. H., 1964. Methodology and paleogeographic interpretation of flysch formation: a summary of studied in the maritime Alps. Developments in sedimentology 3, edited by Bouma, A. H and Brouwer, A. Elsevier, 34-64.
- Ujii, H., 1973. Displaced foraminiferal assemblages and Turbidites. *Marine Sci. montly.*, 6: 14-18.(in Japanese with English abstract).
- Ujii, H., Nakamura, T. and Oyakawa, T., 1994. Holocene turbiditic cores suggesting periodical spreading of the southern Okinawa Trough, a back-arc basin at the northwestern margin of the Pacific. *Mar. Geol.*(in press)
- Ujii, H. and Kusukawa, T., 1969. Analysis of foraminiferal assemblages from Miyako and Yamada Bays, Northeastern Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus.*, 12: 59-66.

- Wang, C. H., Chen, J. C. and Liu, K. K., 1985. Stable isotopic record from Holocene deep-sea sediments off northeastern Taiwan. *Bull. Inst. Earth Sci. Academic Sinica*, **5**: 59-66.
- Yamamoto, S., 1992. Diagenetic environment of manganese and other heavy metals in hemipelagic brown clay of the Palau Trench floor. *J. Sed. Petrol.*, **62**: 706-717.
- Yamamoto, S., Tokuyama, H., Fugioka, K., Takeguchi, A. and Ujiie, H., 1988. Carbonate turbidites deposited on the floor of the Palau Trench. *Mar. Geol.*, **82**: 217-233.

Accepted February 16, 1995