

## 동해 울릉분지 남서부 천부퇴적층의 퇴적학적 특성 및 지화학 연구

김일수<sup>1)</sup>, 류병재<sup>1)</sup>, 박명호<sup>2)</sup>, 정태진<sup>1)</sup>, 이영주<sup>1)</sup>, 유강민<sup>3)</sup>

1) 한국지질자원연구원 석유·해저자원연구부

2) 진보지질주식회사

3) 연세대학교 지구시스템과학과

### 요약

울릉분지 남서부 해역에서 채취한 두 개의 피스톤 코어 (piston core) 시료를 이용하여 퇴적학 및 지화학적 특성을 연구하였다. 코어는 제4기말의 이질 퇴적물로 대부분 구성되어 있고, 테프라 (tephra layer)와 사질 퇴적물이 일부 협재되어 나타난다. 기존 확인된 울릉분지의 테프라를 이용하여 층서 대비를 한 결과, 두 코어는 대양보다는 높은 퇴적률 (10-12 cm/kyr)을 갖는다. 이는 코어가 약 4만 4천년 전의 기록부터 시작하고 있음을 의미한다. 동위원소 층서 2 (마지막 빙기) 중에 형성된 구간에서는 저탁류의 영향을 많이 받은 여러 종류의 퇴적상들이 교호하여 나타난다. 코어의 하부 구간에서는 가스의 방출에 의하여 형성된 것으로 사료되는 수평균열이 다수 관찰된다. 두 코어에서 측정된 유기탄소 (organic carbon) 함량은 평균 1.8% (0.1-4.5%)으로 열린 바다 (open sea) 퇴적물의 유기탄소 함량보다 높다. 이는 Termination I 시기 때 해수면 상승으로 인해 산소가 다소 결핍된 환경으로 전이되면서 유기탄소의 양이 증가하였음을 보여주는 것으로 해석된다.

### 서론

동해안 남단의 대륙붕 지역을 대상으로 한 퇴적학적, 지구물리학적 연구는 6-1광구에서 석유탐사가 이루어지면서 시작되었다. 동해 심해지역에 대한 본격적인 연구는 1990년대에 들어 한국지질자원연구원과 한국해양연구원에 의하여 지구물리 탐사와 함께 퇴적물 시료가 채취되면서 이루어지게 되었다.

울릉분지에서 취득한 코어에서 산출된 유공층을 이용하여 제4기 기후변화를 유추해내는 연구 및 고환경에 관한 연구가 이루어졌다 (김길영 외, 1999; Kim et al., 2000). 또한 탄성파를 이용한 지구물리학적 연구 (박찬홍 외, 1997) 및 가스 하이드레이트 부존 가능성에 관한 연구 (류병재 외, 1999; 이영주 외, 2000; 정부홍 외, 2000) 등이 수행되었다. 엽리구조와 테프라를 이용한 제4기의 퇴적환경 변화에 대한 연구 (Chun et al., 1997)가 이루어지기도 했으나, 울릉분지 남서부 해역에 대한 제4기말의 층서학적, 퇴적학적 연구는 아직 미흡한 편이다.

본 연구에서는 울릉분지 남서부 심해저에서 채취한 코어에 대한 퇴적물의 특성과 층서학적 문제들을 연구하였다. 그리고 시기에 따른 퇴적환경 변화를 유기탄소 및 탄산염 광물의 함량 자료와 비교하여 논의하였다.

### 시료 및 연구방법

본 연구에서는 가스 하이드레이트 탐사의 일환으로 한국지질자원연구원의 탐해 2호에 장착된 피스톤 코어를 이용하여 울릉분지 남서부 해역에서 채취한 퇴적물 시료를 이용하였다 (Fig. 1). 코어 00GHP-01은 수심 1,975 m 지점에서 채취하였으며, 총 회수길이는 5.18

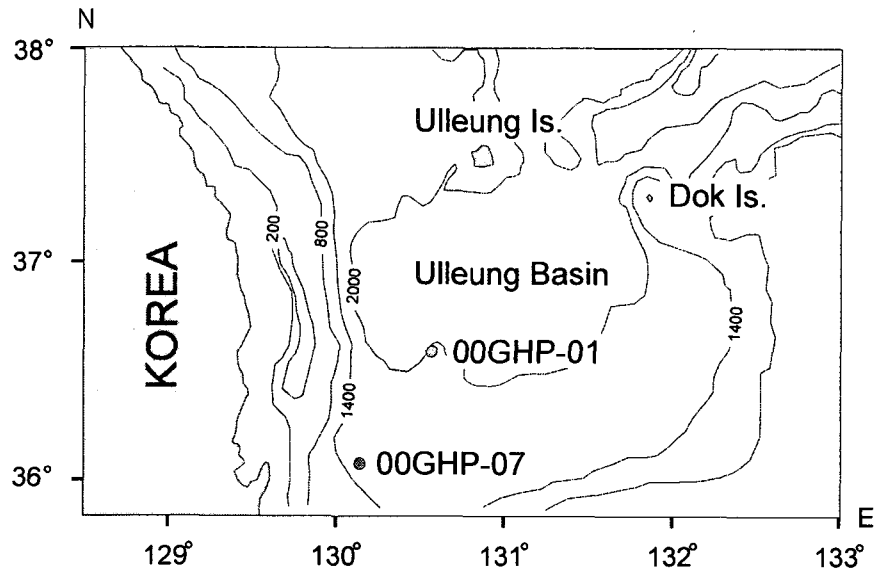


Fig. 1. Location map of two piston cores 00GHP-01 and 00GHP-07, obtained from the southwestern Ulleung Basin, East Sea.

m, 기재길이는 5.06 m이다. 코어 00GHP-07은 수심 1,484 m에서 채취한 코어이며, 총 회수 길이는 8.0 m, 기재길이는 7.82 m이다.

채취한 코어는 실험실에서 수직으로 양분하여 한쪽은 저온창고에 보관하였고, 다른 한쪽은 다양한 분석에 이용하였다. 퇴적상 변화 연구를 위하여 코어를 관찰하고 기재하였다. 또한 각각의 코어에서 2-10 cm 간격으로 시료를 선별하여 입도분석과 지화학 분석을 수행하였다. LECO사의 탄소분석기 (WR-112)와 VINCI사의 Rock-Eval을 사용하여 총탄소와 총유기탄소 함량을 분석하였고, 총유기탄소와 총탄소의 함량 차를 이용하여 탄산염 함량을 계산하였다.

### 심해저 천부퇴적물의 특성

두 개의 코어는 주로 실트질이 우세한 엽리 이토 (laminated mud), 약엽리 이토 (crudely laminated mud), 생물교란 이토 (bioturbated mud), 균질 이토 (homogeneous mud) 등으로 구성되어 있으며, 간혹 실트질 모래 (silty sand)와 테프라가 협재되어 있다 (Fig. 2).

00GHP-01 코어의 상부구간 (심도 18.5-124 cm)에서는 엽리가 00GHP-07 코어에서보다 상대적으로 잘 발달되어 있다. 이 구간에서는 퇴적물의 색이 뚜렷하게 교호하는 특징을 갖고 있으며, 두 개의 테프라가 관찰된다. 반면 00GHP-07의 상부구간 (심도 0-242 cm)에서는 생물교란작용을 강하게 받은 관계로 층리가 뚜렷하지 않으며, 테프라 또한 관찰되지 않는다. 00GHP-07의 심도 242-460 cm 구간에서는 여러 종류의 퇴적상들이 교호하여 나타난다. 이는 해수면이 하강한 빙하기 동안에 일어난 사면사태에 의하여 형성된 저탁류의 영향으로 판단된다. 특히 심도 427-429 cm 구간에 분포된 퇴적물의 상부와 하부는 90% 이상 부유유공충의 각들로 구성되어 있으며, 일반적인 이질 퇴적물로 구성되어 있는 중간 부분에서는 화산재 파편과 유공충 각들도 발견된다. 심도 486 cm 하위 구간에서는 시료회수 시 방출된 가스에 기인한 것으로 사료되는 수평균열이 관찰된다. 이러한 양상은 특히 심도 568-586 cm의 구간에서 잘 나타난다.

### 시추 퇴적물의 층서 대비

00GHP-01에서 테프라는 심도 16-18.5 cm, 59.5-61 cm, 215-217.8 cm 및 230-230.6 cm에 협재되어 있고, 00GHP-07에서는 심도 242-244.5 cm 구간에서 발견된다 (Fig. 2). 테프라는 주로 유백색의 부석들과 세립질의 화산재로 구성되어 있으며, 일부 유공충 (foraminifera) 각과 스크리아 (scoria) 파편들이 발견된다. 부석들의 입자크기는 mm 단위의 크기에서부터 1 cm 이상까지 매우 다양하다. 그러나 주로 세립질의 화산재와 이질의 퇴적입자로 구성된 00GHP-01의 하부구간에서 발견된 테프라 (심도 215-217.8 cm 및 230-230.6 cm)에서는 부석의 입자크기와 양이 크게 감소한다.

이미 잘 알려진 테프라의 조성광물과 퇴적구조, 그리고 층의 분포 등을 고려하면 (Furuta et al., 1986; 천중화 외, 1998), 00GHP-01의 심도 215-217.8 cm 구간의 테프라와 00GHP-07의 심도 242-244.5 cm 구간에 있는 테프라는 울릉-II 테프라 (Ulleung-II tephra)로 해석된다. 울릉-II 테프라는 유리질 파편 등의 입자가 울릉도로부터 멀어질수록 작아지기 때문에 그 기원을 울릉도의 나리 칼데라 (Nari Caldera)로 보고 있다 (Furuta et al., 1986). 분출시기는 상하부 퇴적층의  $^{14}\text{C}$ -연대측정을 기초로 약 9,300년 전으로 추정된다. (Machida & Arai, 1992). 00GHP-01의 심도 59.5-61 cm 구간의 테프라는 일반적으로 보고된 울릉분지의 퇴적물을 감안한다면 (천중화 외, 1998) 울릉-I 테프라로 보기는 어렵다. 00GHP-01의 최상부 구간의 테프라는 다른 테프라보다 층후가 두껍고 부석의 크기도 상대적으로 큰 편이다. 이 층이 백두산 테프라 (B-Tm tephra)에 층서적으로 대비될 수 있는지는 더 연구되어야겠

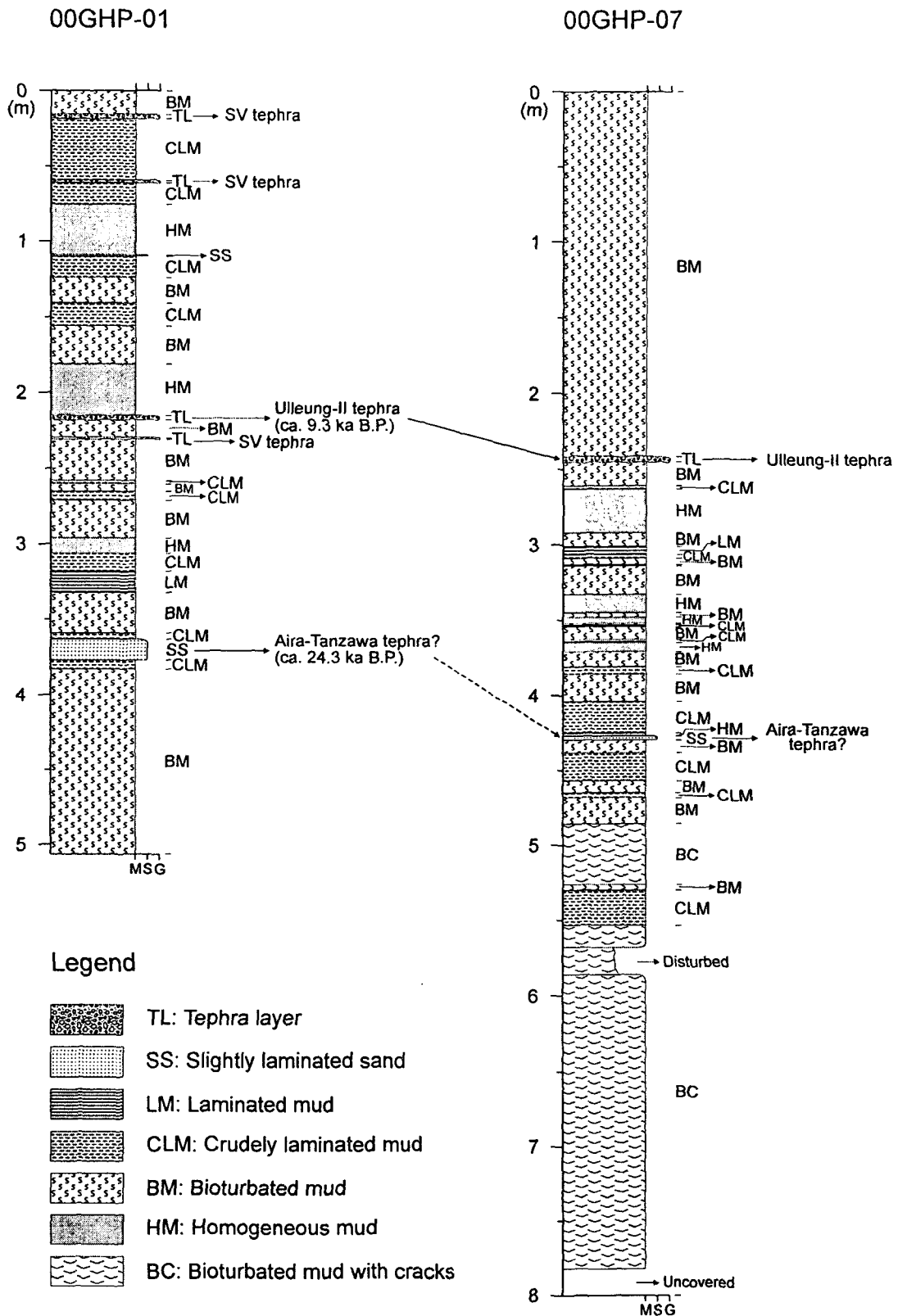


Fig. 2. Columnar sections of two piston cores and inferred tephrochronologic correlation using tephra layers of core sediments. Symbols on the right side of the column represent sedimentary facies. M, S, G, and SV stand for mud, sand, gravel, and submarine volcano, respectively.

지만 입자들이 유문암질 알칼리성이 아닌 점으로 미루어 (Machida & Arai, 1992) 백두산 기원이라기보다는 시료채취 위치 주변의 해저화산 기원일 가능성이 더 높다. 00GHP-01의 심도 363-377 cm 구간에 있는 사질 퇴적상은 이질 퇴적물도 상당량 함유하고 있으며 미약하게나마 층리도 보인다. 이 구간은 부유유공층의 각이 관찰되며 유리질 성분의 파편도 소량 분포되어 있는 점으로 미루어 24,300년 전에 분출된 아이라-탄자와 테프라 (AT tephra) 와 관련이 있는 것으로 사료된다 (Oba et al., 1995). 또한 00GHP-07의 심도 427-429 cm 구간에 대비될 수 있을 것으로 판단된다.

두 코어에서 발견된 테프라의 알려진 절대연령을 기초로 퇴적율을 계산해 보면, 울릉-II 테프라 이전의 퇴적율은 00GHP-01에서는 10.24 cm/kyr이고, 00GHP-07에서는 12.32 cm/kyr이다. 00GHP-07이 회수된 지역의 퇴적율이 약간 더 높은 것은 Chough et al. (1997)에 의해 보고된 지형적인 퇴적유형과 관련이 있는 것으로 사료된다. 계산된 퇴적율을 기초로 나머지 구간의 퇴적율을 선형외삽법 (linear extrapolation)으로 계산하면 00GHP-01은 약 28,300년 전의 기록부터 시작하고 있다. 00GHP-07은 이보다 더 오래 전인 약 43,700년 전부터 시작한다. 이는 동위원소층서 3 (MIS 3)부터 마지막 빙기를 거쳐 홀로세 (Holocene)의 최근까지 기록을 담고 있음을 의미한다.

### 총유기탄소와 탄산염광물의 함량변화

00GHP-01과 00GHP-07 퇴적물에 포함된 유기탄소의 평균함량은 각각 1.827% (범위: 0.1-4.5%), 1.786% (범위: 0.26-3.95%)로 일반적인 해양에서 측정되는 값 (예: Suess, 1980)에 비해 상당히 높은 것으로 측정되었다 (Fig. 3). Stein (1990)의 퇴적율과 유기탄소의 관계를 이용하여 분석한 결과 이들 퇴적물들은 상대적으로 산소가 결핍되고 다소 높은 생산성을 갖는 환경에서 퇴적되어진 것으로 해석된다.

00GHP-01의 심도 1 m 부근에서는 유기탄소의 함량이 낮은 반면에 탄산염 광물의 함량과 수소지수 (Hydrogen Index)가 상대적으로 높다. 이는 간빙기 동안의 해수면 상승과 관련하여 해양성 유기물의 유입이 증가했음을 의미하는 것으로 해석된다 (Schubert, 1995). 또한 이 구간이 상대적으로 높은 탄산염 광물의 함량을 보이는 것은 탄산염 광물을 포함하는 해양성 유기물의 유입이 상대적으로 증가하였음을 지시할 수도 있다. 00GHP-01의 심도 2-2.5 m 구간과 00GHP-07의 2.5-3 m 구간에서는 유기탄소의 양이 증가하는 양상이 나타나는데, 이는 빙기에서 간빙기로 변화하는 시기 (Termination I)로 해수면의 상승과 함께 산소결핍 환경이 형성된 결과로 해석된다 (Haq, 1998). 00GHP-07에서는 00GHP-01에 비해 유기탄소와 탄산염광물의 함량 변화의 상관관계가 뚜렷하지 않다.

### 결론

1. 연구된 코어는 주로 이질 퇴적물로 구성되며, 테프라와 사질 퇴적물이 협재되어 있다. 이질 퇴적물은 엽리 이토, 약엽리 이토, 생물교란 이토, 균질 이토 등이다.
2. 마지막 빙기 중에 형성된 퇴적물은 여러 종류의 퇴적상들이 교호하여 나타나는 특성을 보인다. 이는 해수면이 하강한 빙하기 동안에 일어난 저탁류의 영향으로 판단된다.
3. 00GHP-07의 하부구간 (심도 486-782 cm)에서는 수평균열 구조가 관찰되는데, 이것은 시료회수 시의 가스 방출과 관련된 것으로 사료된다.
4. 기존에 확인된 울릉분지의 테프라 중에 울릉-II 테프라와 아이라-탄자와 테프라로 사료되는 층을 연구코어에서 확인하였다. 이를 이용하여 퇴적율 (10-12 cm/kyr)을 계산한 결과, 두 코어는 약 43,700년 전 (MIS 3)부터 홀로세까지의 기록을 포함하는 것으로 해석된다.
5. 두 코어는 일반적인 개방형 해양에서 측정되는 유기탄소의 값보다는 높은 범위의 함량을

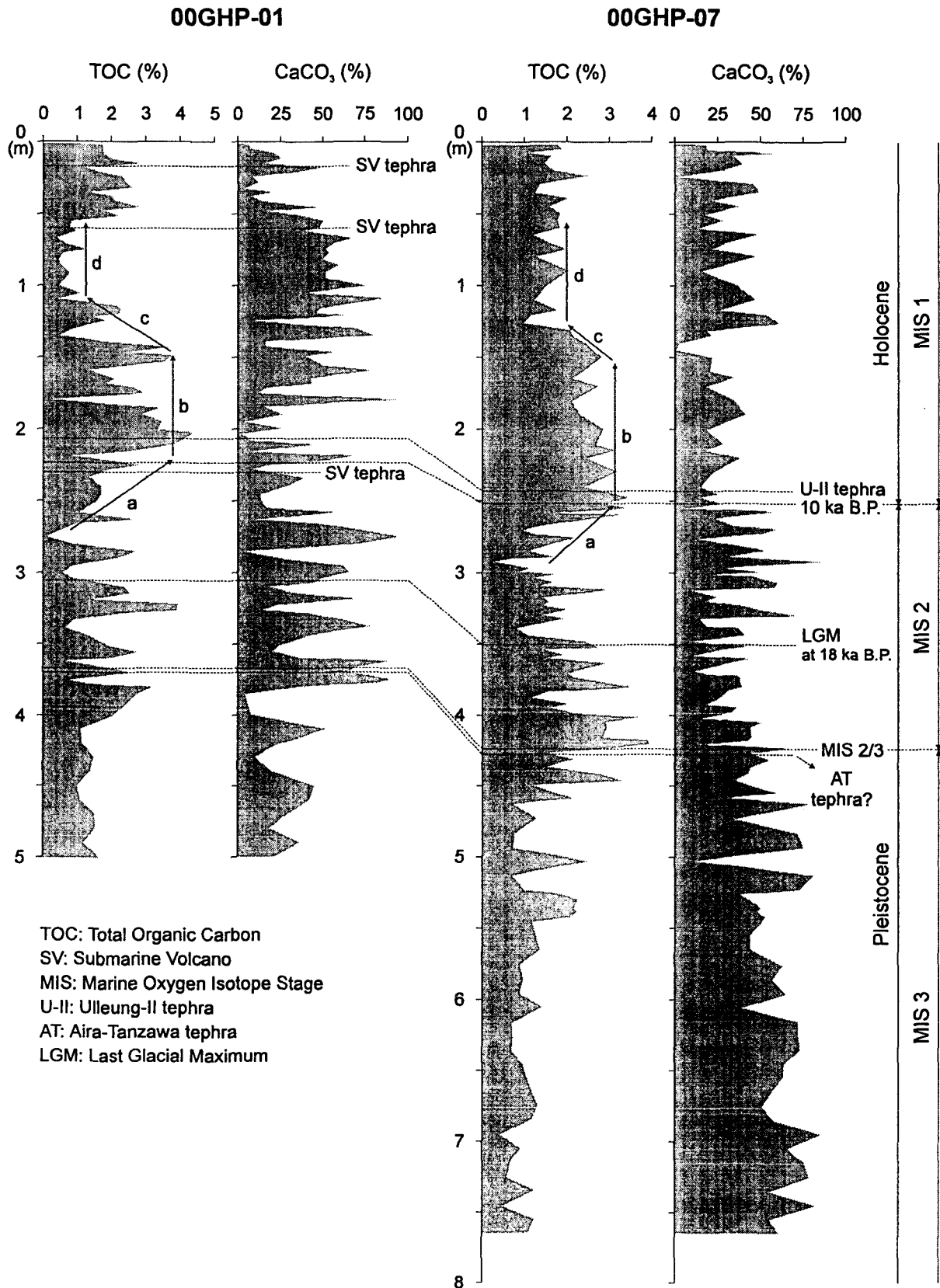


Fig. 3. Variations of total organic carbon and calcium carbonate contents during the past 43,700 yr. The interval a corresponds to Termination I. Age boundaries of MIS based on Martinson et al. (1987).

보인다. 유기탄소와 수소지수의 상관관계로 볼 때, 두 코어의 상부구간 (홀로세)에서 해양성 유기물의 유입이 증가하였을 것으로 추정되며, 마지막 빙기에서 간빙기로 변화하는 시기의 해수면 상승으로 인해 산소가 결핍된 환경으로 전이되면서 유기탄소의 양이 증가하였다.

## 참고문헌

- 김길영, 김대철, 신임철, 박수철, 1998, 동해 후제4기 고환경. 고생물학회지, 8, 200-216.
- 류병재, 선우돈, 장성형, 오진용, 1999, 동해 울릉분지 남서부 해역에서의 가스 하이드레이트 안정영역. 한국석유지질학회, 7, 1-6.
- 박찬홍, 허식, 김한준, 한상준, 김성렬, 이용국, 유해수, 최동립, 박병권, 1997, 동해 울릉분지 북동부(울릉도와 독도 주변) 해역의 분지 구조. 지질학회지, 7, 127-138.
- 이영주, 유동근, 류병재, 정태진, 2000, 울릉분지 심해저 퇴적층에 분포하는 탄화가스의 특성: 가스 하이드레이트의 생성 조건과 관련하여. 한국석유지질학회 제7차 학술발표회 논문집, pp. 39-46.
- 정부홍, 서상용, 장성형, 류병재, 선우돈, 2000, 가스 하이드레이트 탐사를 위한 특성화 탐사 자료처리 기법 연구, 춘계 공동 학술발표회 논문집, pp. 160-162.
- 천중화, 한상준, 정대교, 허식, 박장준, 최동립, 1998, 울릉분지 북동부 해저수로 주변 퇴적층의 화산재층서. 지질학회지, 34, 192-210.
- Chough, S.K., Lee, S.H., Kim, J.W., Park, S.C., Yoo, D.G., Han, H.S., Yoon, S.H., Oh, S.B., Kim, Y.B. and Back, G.G., 1997, Chirp (2-7 kHz) echo characters in the Ulleung Basin. *Geoscience Journal*, 1, 143-153.
- Chun, J.H., Han, S.J. and Cheong, D.K., 1997, Tephrostratigraphy in the Ulleung Basin, East Sea: Late Pleistocene to Holocene. *Geoscience Journal*, 1, 154-166.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F., 1986, Widespread submarine tephra around Japan: Petrographic and chemical properties. *Marine Geology*, 72, 125-142.
- Haq, B.U., 1998, Natural gas hydrates: Searching for the long-term climatic and slope-stability records. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 137, 303-318.
- Kim, J.-M., Kennett, J.P., Park, B.-K., Kim, D.C., Kim, G.Y and Roark, E.B., 2000, Paleooceanographic change during the last deglaciation, East Sea of Korea. *Paleoceanography*, 15, 254-266.
- Machida, H. and Arai, F., 1992, Atlas of Tephra in and around Japan. *Univ. Tokyo Press*, Tokyo, 276 pp.
- Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C., Jr. and 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.
- Oba, T., Murayama, M., Matsumoto, E. and Nakamura, T., 1995, AMS-<sup>14</sup>C ages of Japan Sea Cores the Oki Ridge. *Quaternary Research*, 34, 289-296.
- Schubert, C.J., 1995, Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität. *Reports on Polar Research*, v. 177, 178 pp.
- Stein, R., 1990, Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Marine Letters*, 10, 37-44.
- Suess, E., 1980, Particulate organic carbon flux in the oceans: Surface productivity and oxygen utilization. *Nature*, 288, 260-263.