

이어도(SocotraRock) 주변해역 니질퇴적물의 광물학적 및 지화학적 연구

The geochemical and mineralogical study of mud deposits around Socotra Rock, Korea

주관연구기관	제주대학교
연구책임자	윤정수
발행년월	2004-10
주관부처	과학기술부
사업관리기관	한국과학재단
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO200800068769
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 15:25:46

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

사업명	
과제번호	

연구과제명(국문):

이어도(Socotra Rock) 주변해역 니질퇴적물의 광물학적 및 지화학적 연구

연구과제명(영문):

The geochemical and mineralogical study of mud deposits around Socotra Rock, Korea

2004. 10. 21.

주관연구책임자	소속: 제주대학교	성명: 윤 정 수
세부연구책임자	소속: 제주대학교	성명: 변 중 철
	소속	성명
	소속	성명

한 국 과 학 재 단

< 목 차 >

I. 연구계획 요약문

1. 국문요약문 -----	1
----------------	---

II. 연구결과 요약문

1. 국문요약문 -----	2
2. 영문요약문 -----	3

III. 연구내용

1. 서론 -----	4
2. 연구방법 및 이론 -----	5
3. 결과 -----	6
4. 토의 -----	9
5. 결론 -----	13
6. 인용문헌 -----	14

〈 연구계획 요약문 〉

중심어	동중국해	추적자
	니질퇴적체, 이어도	황하와 양자강
	지구화학, 스토론튬 동위원소	기원지
연구목표	본 연구는 동중국해 외대륙붕에 분포하는 니질퇴적물의 지구화학적 및 동위원소분석을 하여 이곳 퇴적물의 특징과 추적자를 밝혀내고, 궁극적으로 이토대의 기원지를 이해하고자 하는 것이다.	
연구내용	<p>본 연구지역은 북위 31°00' ~ 32°30', 동경 125°00' ~ 126°30' 인 동중국해 중앙부지역이다. 이어도 주변해역은 우리나라 연근해에 큰 영향을 미치는 북상하는 쿠로시오, 남하하는 황해냉수 및 중국연안의 양자강과 같은 대하천의 육수가 만나는 조경해역으로 이곳에는 현생 니질퇴적체가 분포하고 있다. 또한 중국은 근래에 들어 급속한 경제성장을 보이며 공업화, 도시화가 가속화되면서 양자강 하구지역도 각종 공업지대가 밀집되어 이들로부터 방출되는 각종 생활폐수들이 동중국해역으로 유입량 증가로 황해역과 더불어 동중국해역도 오염이 급격하게 확산되는 추세이다. 따라서 본 연구는 이어도 주변해역에 분포하는 퇴적물시료를 조직적으로 채취하여 이들 퇴적물에 대한 퇴적학적, 지화학적 및 동위원소 연구를 통한 동중국해 외대륙붕에 분포하는 현생 니질퇴적물의 기원과 양자강기원 오염물질의 확산범위를 밝히며 이어도 주변해역의 해양지질학적 환경특성을 이해하고자 한다.</p> <p>이를 위하여 다음과 같은 연구를 수행하고자 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 니토대 분포지역에서 퇴적물시료를 채취하여 퇴적학적 분석을 통한 연구지역 퇴적물의 특성을 밝힌다. ▷ 주성분 및 미량원소, 희토류원소 분석을 통하여 본역 세립질퇴적물의 주 공급지 및 확산범위와 그 분포를 규제하는 요인을 밝힌다. ▷ 스토론튬 동위원소비 연구를 통한 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적체에 대한 기원지를 밝힌다. ▷ 퇴적물내의 대자율연구를 통한 해저퇴적물간의 상호대비와 주변 연안지역의 각종공장에서 배출되는 공장폐수가 배출지로부터 얼마만한 거리까지 이동, 확산되는지의 그 오염실태와 범위를 밝힌다. 	
기대효과 (응용분야 및 활용범위 포함)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 주변육지의 하천들로부터 동중국해역으로 유입되는 부유퇴적물의 지화학적 및 퇴적학적 성질에 대한 기본적인 정보를 제공할 수 있다. ▶ 하천기원 퇴적물의 특징적인 지화학적 신호를 통해 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적체의 기원을 이해할 수 있다. ▶ 동중국해 외대륙붕역에 분포하는 니토대에 내재되어 있는 지화학적 및 동위원소 추적자를 통해 양자기원 오염물질이 거동과 확산 범위를 이해할 수 있다. 	

☞ 작성시 유의사항

- 1) 연구계획서(지원신청서) 제출시의 국문 연구요약문을 그대로 작성함 (당초내용을 복사 사용 가능함)
- 2) 본 요약문의 내용은 외부에 공개할 수 있음 3) 반드시 1페이지 이내로만 기재함

〈 연구결과 요약문 〉

중심어	외대륙붕 니질퇴적체	황하와 양자강
	지화학적 조성	스트론튬 동위원소비
	추적자, 기원지	동중국해
연구목표	본연구는 동중국해 외대륙붕에 분포하는 니질퇴적물의 지화학 및 스트론튬 동위원소비를 분석, 연구를 통해 이곳 니질퇴적체의 특징과 추적자를 밝혀내고, 이곳니질퇴적물의 기원을 밝히고자 하는 것이다.	
연구내용	<p>본 연구지역은 북위 31°00′ ~ 32°30′, 동경 125°30′ ~ 126°30′ 에 위치하는 동중국해 외대륙붕 지역으로서 황해와 양자강을 비롯하여 주변의 크고 작은 강들로부터 다양하게 퇴적물을 공급받는 퇴적분지로서 환경보전과 자원개발에 관심이 집중되는 지역이다. 중국은 근래에 들어 급속한 경제성장을 보이며 공업화, 도시화가 가속화 되면서 양자강하구역에도 각종 공업지대가 밀집되어 이들로부터 방출되는 각종 생활폐수들이 동중국해역으로의 유입량 증가로 황해역과 더불어 동중국해역도 오염이 급격하게 확산되는 추세이며, 특히 여름 홍수철에는 양자강기원 부유퇴적물은 북동진하여 제주도 서쪽까지 이동되는 것으로 알려져 있다. 황해와 동중국해 대륙붕퇴적물의 기원과 확산경로 등 여러 해양학적 연구가 진행되었으나, 동중국해 외대륙붕에 분포하는 니질퇴적체에 대한 기원을 설명할 수 있는 유용한 지화학적 및 광물학적 지시자는 이직까지 제시되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 동중국해 외대륙붕 니질퇴적상 분포 지역에서 채취한 퇴적물시료에 대한 입도분석과 주성분 및 미량원소, 희토류원소를 분석하여 이들 원소들의 공간적 분포특성과 분포에 영향을 미치는 조절요인을 비롯하여 기 연구보고 된 황하와 양자강퇴적물의 지화학적 자료와 비교 고찰하였고, 스트론튬 동위원소비 분석을 수행하여 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적체의 기원지를 해석하였다.</p>	
연구성과	<p>하천기원 퇴적물의 특징적인 지화학 및 스트론튬 동위원소비 신호를 통해 동중국해 외대륙붕역에 분포하는 니질퇴적체의 기원을 해석할 수 있었다.</p> <p>동중해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적물에 대한 미량원소 및 희토류원소, 스트론튬 동위원소비 분석결과에 의하면 연구지역의 니질퇴적물은 기존의 연구결과와는 달리 주로 양자강에서 기원된 물질이고 이외에 황하강으로부터 공급된 물질도 포함되어 있는 것으로 해석된다. 이는 최근 황해와 동중국해에서 보고된 퇴적물 이동패턴과 물리-화학적 특성자료가 이러한 해석을 뒷받침한다.</p>	

☞ 작성시 유의사항

- 1) 중심어는 평가자 선정시 직접 활용되므로 정확하게 최대한 기재함
- 2) 다년과제(2년 이상 지원과제)는 연구기간 전체에 대하여 기재하되 연구내용 보다는 연구성과를 중심으로 작성함
- 3) 본 요약문의 내용은 외부에 공개할 수 있으며, 반드시 1페이지 이내로만 작성함

< EXECUTIVE SUMMARY >

Keywords	outer-shelf mud deposit	Huanghe and Changjiang Rivers
	geochemical composition	Sr isotopic ratio
	tracer, provenance	East China Sea
Purpose	<p>The specific objectives of this study are primarily to identify the geochemical characteristics and Sr isotopic tracers on the fine-grained sediment in the outer-shelf of the East China Sea, and also to understand the sediment origin of this mud deposit.</p>	
Contents	<p>The study area is outer-shelf of the East China Sea located between latitude 31°00' ~ 32°30', and longitude 125°30' ~ 126°30'. The sedimentary process in the study area are strongly affected by the complicated hydrodynamic condition, such as Changjiang and Huanghe rivers, and Korean rivers. The East China Sea shelf are significant for helping marine geologists understand modern sedimentary processes and their natural resources. The East China Sea, the marine pollutant are increasing in recent years because of its significant increase in industrialization around the Changjiang estuary together with Yellow Sea. The Changjiang River fresh water, during the year of high flow flood season, is directed to the northeastward and spread near the southwest of Jeju Island.</p> <p>Many scientists trying to identify the origin of outer-shelf mud, using the clay mineralogy, sedimentology and geochemical characteristics, but the source problems of the mud sediment on the outer shelf are not still completely settled and the most important problem among them is whether the material transported by the Changjiang River has an influence upon the outer continental shelf.</p> <p>For this purpose, we analyzed the twelve sediment samples collected from the outer-shelf muddy sediment in the East China include major, trace and rare earth elements, and Sr isotopic ratios, which compared with previously published Huanghe and Changjiang rivers geochemical data in order to understand the provenance of outer-shelf mud deposit.</p>	
Expected Contribution	<p>Based on analysis results of the trace and rare earth elements, and Sr isotopic ratios in the outer-shelf muddy sediment, the terrigenous materials of the muddy sediment in the outer-shelf of the East China Sea come from Changjiang River, and also have partly been derived from Huanghe River, and it a new teacer to discriminate the provenance of shelf sediment in the study area. The previous works on the dispersal pattern of modern sediments and the physico-chemical properties of sea water in the Yellow and East China Sea support the possibility that the Changjiang sediments can reach to the East China Sea shelf.</p>	

☞ 작성시 유의사항

- 1) 중심어는 평가자 선정시 직접 활용되므로 정확하게 최대한 기재함
- 2) 다년과제(2년 이상 지원과제)는 연구기간 전체에 대하여 기재하되 연구내용 보다는 연구성과를 중심으로 작성함
- 3) 본 요약문의 내용은 외부에 공개할 수 있으며, 반드시 1페이지 이내로만 작성함

〈 연구내용 및 결과〉

이어도(Socotra Rock) 주변해역 니질퇴적물의 광물학적 및 지화학적 연구

윤정수¹, 변종철²

¹제주대학교 해양과학대학 해양학과, ²제주대학교 자연과학대학 화학과

The Geochemical and mineralogical study of mud deposits around Socotra Rock, Korea

Jeung-Su Youn¹, and Jong-Cheol Byun²

¹College of Ocean Science, Cheju National University, Jeju-do 690-765, Korea

²College of Natural Science, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

1. 서론

본 조사지역은 북위 31°00' ~ 32°30', 동경 125°30' ~ 126°30' 에 위치한 동중국해역의 외대륙붕 지역으로서 주변 육상으로부터 다양하게 퇴적물을 공급받고 있는 지역이다. 동중국해는 중국의 양자강과 제주도-일본 구주 및 류구열도-대만을 연결하는 선 안쪽의 광범위한 바다로 대륙붕, 오키나와 곡분, 류구해구등 독특한 해저지형을 이루고 있다(Saito, 1998). 동중국해 북부대륙붕지역은 중국 양자강에서 유입되는 담수의 영향을 직접 받는 해역으로 대량의 퇴적물이 양자강과 (고)황하강을 통해 유입되어 쌓이는데, 조사지역 서쪽에 위치하는 양자강은 길이가 약 6300km, 유역면적 $1.94 \times 10^6 \text{km}^2$ 인 중국대륙에서 가장 큰 강으로서 희말라야 고원지대에서 발원하여 중국에서 인구가 많은 지역을 관류하여 동중국해로 흘러가며, 동중국해 대륙붕 지역 퇴적물은 대부분 양자강에 그 근원을 두고 있다. 연간 담수와 퇴적물 유출량은 $9.24 \times 10^{11} \text{m}^3$, $4.86 \times 10^8 \text{ton}$ 정도이고 이들 담수와 부유퇴적물 유출량은 계절적으로 심한 편차를 보이며 전체 배출량의 약 70% 정도가 주로 홍수기간인 5월에서 10월 사이에 이루어 지고 있다(Schubel et al., 1984, Milliman and Meade, 1983).

연구해역을 포함하는 동중국해역의 표층에는 제 4기말동안의 그에 수반된 해수면 변동에 의한 잔류퇴적물(relict sediment)과 현재의 중국대륙 및 주변 육지로부터 유입되는 현생퇴적물이 혼합되어 분포하고 있다(Emery, 1968; Milliman and Emery, 1968).

동중국해 퇴적물에 대한 지화학적 및 고환경변화의 연구로서는 양자강과 그 주변 대륙붕 해역에 대해 해양학의 제 분야에 대한 종합조사(1980~1981)가 중국-미국합동연구를 선두로 하여, Milliman et al.,(1985)은 해역퇴적물에서 황하와 양자강 기원 퇴적물의 구별에는 점토광물 조성, 광물 형상 및 화학 조성의 특징에 의해 동중국해에 분포하는 퇴적물을 황하기원형과 양자기원형으로 구분하는 연구를 하였

고, 동중국해 대륙붕 퇴적물에 대한 지화학적 연구는 주로 양자강 하구 연안역(Wang et al., 1983; Chen et al., 1983; Buckley et al., 1985)에서 수행되었다. DeMaster et al.,(1985)는 동중국해 대륙붕지역에 분포하는 니토대에서 동위원소를 이용한 퇴적률 및 퇴적물 수지(budget)를 평가하는 연구를 하였고, 윤과 고(1987)는 제주도 남방 표층퇴적물의 금속원소 분포 특성 연구에서 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니토 퇴적상은 황하기원퇴적물과 유사함을 보고하였다. 남승일 외(2003)는 황해 남부해역과 동중국해 북부해역에서 채취된 코아퇴적물 시료에 대한 유기지화학 및 안정동위원소 값을 이용한 고환경변화에 관한 연구를 하였고, Zhao and Yan(1992)는 황하, 양자강 및 동중국해 대륙붕지역에서 채취된 퇴적물에 대한 60여종의 화학분석치로부터 근원지별 배경농도와 이들을 식별할 수 있는 지화학적 연구를 하였다. Nohara 등(1995)은 황해와 동중국해역 퇴적물에 대한 Sr동위체비와 화학조성 연구에서 양자강기원 부유 퇴적물이 황해 중앙부로의 공급될 가능성을 지적하였고, 윤정수와 김여상(2002), Lim(2003)도 남황해 중앙부해역과 제주도 연안 퇴적물의 지화학적 연구를 통해 양자기원퇴적물이 황해 남동해역까지 운반되는 것으로 해석하였다. 이처럼 동중국해 외대륙붕의 니질퇴적상 분포지역은 중국 및 주변의 육지에서 강과 대기를 통해 유입되는 물질과 해류에 의해서 운반된 물질로 혼합되어 이지역의 복잡한 해황조건을 반영하므로 유입된 물질들의 근원지별로 지화학적 특성이 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다. 따라서 본 연구에서는 동중국해 외대륙붕 니질퇴적상 분포지역에서 채취된 표층퇴적물 시료에 대한 입도분석과 주성분 및 미량원소, 희토류원소를 분석하여 이들 원소들의 공간적 분포특성과 분포에 영향을 미치는 조절 요인을 비롯하여 이미 연구 보고된 황하, 양자강 퇴적물 등의 값과 비교 고찰하고, 스트론튬 동위원소비 분석연구를 수행하여 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적상의 근원지 파악에 접근하고자 한다.

2. 연구방법 및 이론

본 연구를 위한 시료채취는 제주대학교 실습선 아라호를 이용하여 2000년 9월에 동경 동경 125°30' ~ 126°30', 북위 31°00' ~ 32°30' 사이에 위치한 동중국해 외대륙붕지역에서 실시하였다. 해저퇴적물은 Van Veen Grab Sampler을 사용하여 총 12개 정점에서 채취하였으며(Fig. 1), 화학분석용은 각 지점마다 약 1kg정도 채취된 시료는 오염방지를 위해 비닐백으로 밀봉하여 냉동보관하였다.

퇴적물 입도 분석은 Ingram(1971) 과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 시료 40-50g를 취하여 희석법에 의하여 용해성 염분을 제거하여 시료를 6% H₂O₂로 유기물을 제거하였다. 유기물이 제거된 시료에 10% HCl로 패각편을 제거한 후에 0.0625mm(230mech)의 체를 사용하여 습식체질한 후 조립부와 세립부로 나누어 조립부는 1φ 간격으로 Ro-tap sieve shaker를 사용하여 건식 체질한 후 입도별 중량백분율을 구하였다. 세립부는 확산제 calgon(sodium hexametaphosphate) 2g를 첨가하여 시료를 확산시킨 후 피펫방법에 의해 1φ간격으로 분석한 후 입도별 중량 백분율을 구하였다. 이 결과를 Folk and Ward(1957)의 공식에 의해 평균치, 분급도, 왜도, 첨도 등의 조직 표준치를 계산하였고 Folk(1968)의 삼각도표에 의해 퇴적물 유형을 분류하였다.

퇴적물내의 원소총량 분석을 위한 시료는 먼저 100℃로 건조시킨 후 agate mortar를 이용하여 분마하였다. 이렇게 분마된 시료 2g을 teflon bomb내에서 HF, HClO₄, HNO₃ 혼합용액으로 반응시켜 규산염 광물격자를 파괴시킨 후 1M HNO₃ 용액으로 추출하여 20ml로 만들어 100배 희석하였다(Kitano and Hujiyoshi, 1980). 이 용액을 한국 기초과학연구원(XRF와 ICP-MS)에 의뢰하여 41종 원소성분의 함량을 측정하였다. 동일시료에 대한 총탄소 및 유기탄소함량은 CHN분석기(Leco CHN-100)을 이용하여 분석하였고, 탄산염 함량은 총탄소와 총유기탄소의 함량 차이를 이용하여 계산하였다(Byers et al., 1978). 스트론튬 동위원소 분석을 위해 채취된 시료는 동중국해 외대륙붕 니토대지역에서 7개 황해 중앙부 해역 및 양자강하구 연안역에서 각각 5개의 시료를 채취하였다(Fig. 1) 채취된 시료에 대해 해수기원의 Sr을 제거하기 위해 1N-HCl로 처리하였다(Snoeckx et al., 1999). 또한 입도의 영향을 최소화하기 위해 염산처리된 17개의 시료에 대해 230mesh체를 사용하여 습식체질한 후 세립부시료를 건조시켜 10g 정도를 분말화하여(Tuken et al., 2002), 이 시료를 한국 기초과학연구원에 의뢰하여 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr비와 화학조성을 분석하였다. 분석기간 중 반복측정된 표준시료 NBS978의 동위원소비는 0.710244±19이었다.

3. 결 과

3.1 표층퇴적상의 분포

연구지역 표층퇴적상의 유형은 실트질모래(silty sand), 사질니토(sandy mud), 니토(mud)로 3개 유형의 분포를 보인다(Fig.23). 실트질 모래와 같은 쾌각편을 많이 함유한 사질형 퇴적물은 연구지역 북서쪽 끝(st.1)에 분포하며 평균 조성은 모래 50.4%, 실트 32.9%, 점토 16.7% 이고, 평균입도는 4.13φ로 조립실트에 해당하며 분급도는 3.56φ로 매우 불량한 편이다. 사질 니토 퇴적상은 중앙부 지역을 제외한 연구지역 전지역에 걸쳐 넓은 분포를 보이며, 평균조성은 모래 28.0%, 실트 29.9%, 점토 42.1%이며, 평균입도는 5.68φ로 중립실트에 해당하며 분급도는 3.3φ로 역시 불량한 편이다. 니토 퇴적상은 연구지역 중앙부에 분포하며 평균조성은 모래 3.2%, 실트 39.1%, 점토 57.7%이고, 평균입도는 7.19φ로 세립실트에 해당하며 분급도는 2.4φ로 다소 불량하나 주변 퇴적물보다 좋은 편이다(Table 1). 이 니토대(mud patch) 퇴적층의 중앙부 두께는 2m 정도이고, 잔류사(relict sand) 위를 덮고 있으며 점토광물 중 스멕타이트가 높고 방해석도 많이 함유하며 spora-pollen-algea 조성에 근거하여 황하게 퇴적물로 보고되었으나(Su et al., 1983; Yang and Milliman, 1983) 아직까지 근원지가 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다.

3.2 퇴적물내 탄산염과 주성분원소 함량분포

퇴적물 내의 탄산염(CaCO₃)함량은 3.9~11.5%(평균 7.6%)의 값을 나타내며 수심의 증가함에 따라 함량치도 증가하는 경향을 보인다(Fig. 3-A).

수심이 80m 이상이며 평균입도가 6φ 이상인 니토질 퇴적상이 분포하는 남동쪽 지역은 10%이상의 최대

함량치를 보이고 수심이 80m미만이고 평균입도가 6 ϕ 이하인 북서쪽 지역은 탄산염 함량이 6%미만을 보인다. 이처럼 탄산염함량이 연안에서 멀어질수록 증가하는 경향은 조립질 연체동물 패각편들이 외해역에 사질퇴적물과 혼재된 까닭으로 이해된다. 퇴적상에 따른 탄산염함량은 실트질 모래 내의 3.9%로 최소값을 보이고, 니토 퇴적상에서 평균 함량은 9.7%로 최대값을 보이며 사질니토 퇴적상에는 평균 함량이 7.3%로 실트질모래 보다 1.9배 이상 높다. 이처럼 본 역 퇴적물 중 탄산염 함량은 일반적인 경향과는 상반되게 실트질모래나 사질니토 퇴적상이 분포하는 지역보다 니토 퇴적상(mud patch)이 분포하는 중앙부 지역에서 높은 함유량을 보인다(Fig. 3-A). 퇴적물 내 탄산염 함량을 조절하는 요인으로는 수괴 내에서 생물생산력에 의한 공급, 패각편 등이 퇴적된 후 파쇄·용해작용 및 육상으로부터의 강을 통한 유입 등으로 알려져 있다(Zhu and Wang1988). 따라서 동중국해 외대륙붕 지역의 퇴적물에서 탄산염 함량이 세립질 퇴적물이 조립질보다 높은 함량을 나타내는 현상에 대하여는 Niino and Emery(1961)는 황해와 동중국해 세립질 퇴적물에서 유공충각이 탄산염 물질의 중요한 구성성분임을 보고하였다. 그러나 중국 북부지역 황토층에서 기원한 황하기원 퇴적물에는 다량의 탄산염광물을 함유하고 있음을 고려할 때 (Yang and Milliman, 1983; Milliman et al., 1985), 연구지역 니토대에서 나타나는 높은 탄산염 함량은 황하게 물질의 영향도 배제할 수 없다.

강을 통해 해양으로 유입되는 금속원소의 90% 정도는 입자태로 유입되고 있으며, 산성화 정도, 염분의 변화, 산화-환원 과정 등의 영향으로 작은 입자에 흡착되거나, 철-망간 산화물 및 탄산염과 결합하여 공침되고, 유기물과 결합하여 해저의 퇴적물로 제거되고 있다(Gibbs, 1977; Santschi et al., 1990; Negrel, 1997; Rozan and Benoit, 1999). 또한, 여러 요인중 입자의 크기는 중금속 원소의 퇴적물내 함유 정도를 결정하는 가장 중요한 요인중의 하나이다(Horowitz and Elrick, 1987).

동중국해 외대륙붕의 니질퇴적물 분포지역에서 얻어진 12시료에 대하여 41종의 지화학적 원소성분의 함량은 Table 2에 제시하였다. 따라서 본역 퇴적물중의 원소성분들의 함량치를 상부대륙지각세일의 평균치(Taylor and McLennan, 1985)와 비교할 때 Ca, Mg, Zn, Pb, Cs 및 Li원소를 제외한 나머지 원소들은 본 연구지역이 낮은 값을 보였다. 퇴적물내에 포함된 Al원소 함량변화에 따른 주성분원소의 변화경향을 Fig. 4에 도시하였다. Fig.4에서 보면 K, Mg, Fe 및 Mn 원소들은 Al과 매우 밀접한 정(+)의 직선관계($r=0.74\sim0.96$)를 나타내며, Ba, Ti 및 Na 원소도 상관계수 $r=0.44\sim0.53$ 으로 Al과 비교적 양호한 관련성을 보여 퇴적물내 점토광물 함량이 이들 원소의 농도를 조절하는 주요요인 중 하나로 작용하고 있음을 의미한다.

이는 퇴적물내 주성분원소의 함량은 환경변화에 민감한 미량원소와는 달리 퇴적물의 광물조성에 따라 큰 영향을 받으며, 광물조성 또한 퇴적물의 입도에 따라 크게 변화한다는 기존의 연구결과와도 일치하고 있다(Calvert et al., 1976). 또한 Cr, Co, Cu, V, Th, Cs, Li, Sc 및 REE등 미량 및 희토류원소들도 Al과 높은 상관관계($r=0.79\sim0.98$)를 보이며, V($r=0.98$)과 Cr($r=0.94$)은 매우 높은 상관성을 보여 이들 원소들의 함량도 퇴적물의 입도와 점토광물에 의해 조절되고 있음을 시사한다. 한편 Sr, Ca의 함량은 Al과 부(-)의 상관관계($r=-0.33\sim-0.49$)를 보여 이는 퇴적물 내 점토광물보다는 다른 요인이 작용했음을 시사한다. 즉 퇴적물 내 Ca과 Sr 농도는 유공충각이나 코코리스와 같은 탄산염 물질이 주 구성 성분임

이 보고되어(Turekian and Wedepohl, 1961), 본 연구지역 퇴적물 내 Sr, Ca농도는 해양생물의 영향을 받고 있음을 의미한다.

Al원소는 지각물질 중에 가장 폭넓게 분포하는 원소들 가운데 하나로 이동 중에 풍화나 함량의 변화가 거의 없고 육지의 하천으로부터 이동 시 90% 이상이 입자태로 이루어지며, 액상의 이동량이 매우 적은 전형적인 대륙기원 원소에 속한다(Martin and Meybeck, 1979). Al원소의 공간적인 분포는 Fig. 3-B에서 보는 바와 같이 그 분포 범위가 5.3~8.9%의 분포를 보이나, 니토대가 분포하는 중앙부 지역에서 8% 이상으로 최대치를 보이고 북쪽으로 향함에 따라 7%이하로 감소하는 경향을 보이고 있어 퇴적물 내 점토 광물함량과 일치하나 석영과 탄산염 물질에 의한 희석작용이 미미함을 의미한다. 퇴적물 유형에 따른 Al원소의 함량은 평균입도가 7 ϕ 이상인 니토대퇴적상(mud patch)에서 8.5%, 사질니토 퇴적상에서 7.0%, 실트질모래 퇴적상에서 5.3% 함량을 보여 퇴적물의 평균입도와 양호한 관련성이 있음을 보여주고 있다. Fe는 전이원소 중 가장 함량이 높은 원소로서 풍화에 대한 안정도가 크며, 주로 강을 통해 운반시 90% 이상 입자태로 이동되게 된다(Martin and Meybeck, 1979). Fe원소의 공간적 분포는 Fig. 3-C에서 보는 바와 같이 중앙부 해역에서 4% 이상의 높은 함량치를 보이며, 북쪽으로 향함에 따라 3%이하로 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 퇴적물 유형에 따른 Fe의 함량은 니토 퇴적상에서 4.1%, 사질니토 퇴적상에서 3.4%, 실트질모래에서 2.1%로 Fe원소 역시 Al원소와 마찬가지로 퇴적물의 세립성분 특히 점토 광물에 의해 조절되고 있음을 시사한다. 그러나 양자강하구역과 가까워지는 본 역의 서쪽 중앙부지역(St. 6, 7)에서 4.0% 이상의 높은 함량을 보이며 북동쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는 데 이는 양자강 하구역이 근래 도시 및 공업지대의 확대, 토지이용증가 등으로 철을 많이 함유한 양자기원 부유물질이 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 이동되고 있음을 의미한다. Mn는 해수와 담수가 만나는 연안역에서 망간산화물이 자생적으로 형성되는 비율이 큰 원소이며(Francois, 1988; Presley et al., 1992), 수괴 내에서 흡착 및 침전 등에 의해 효과적으로 제거되는 것으로 알려져 있다(Chester and Hughes, 1969). Mn원소의 지역적분포는 Fig. 3-D에서 보는 바와 같이 Fe농도 분포와 유사하게 본 역 서쪽 중앙부에서 600ppm 이상의 고농도 분포대가 동서방향으로 대상분포를 보이는데, 이 또한 양자기원 부유퇴적물이 본 역 중앙부지역까지 이동되고 있는 것으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 Mn원소의 함량은 니토 퇴적상에서 697ppm, 사질니토 퇴적상에서 560ppm의 분포를 보여 세립질 퇴적물에서 높은 Mn함량치를 보이고 있다. 해역퇴적물에서 Ba, Sr원소는 연안형과 원양형으로 구분할 수 있음이 제시되었다(Chen et al., 1983). 즉 연체동물의 패각편은 aragonite구조를 보이며 BaCO₃의 Ba²⁺ 이온반경은 CaCO₃의 Ca²⁺ 이온반경보다 크므로 치환이 어려워 연체동물 패각편을 많이 함유하는 연안성 퇴적물에는 Sr에 비해 Ba함량이 높은 농도를 보이나, 반면에 유공충각은 calcite 구조를 보여 SrCO₃의 Sr²⁺ 이온반경은 CaCO₃의 Ca²⁺ 이온반경과 유사하여 쉽게 치환되므로 유공충각을 많이 함유하는 원양성 퇴적물에는 Sr원소가 높은 것으로 보고되었다. Ba원소의 지역적분포는 Fig. 3-E에서 보는 바와 같이 남 황해 지역과 가까운 연구지역 북서쪽에서 중앙부지역이 400ppm 이상의 높은 함량치를 보이고 남동쪽 및 북동쪽으로 향함에 따라 감소하는 경향을 보여 북서쪽으로부터 분명한 퇴적물 공급이 있음을 의미한다. 퇴적물 유형에 따른 Ba원소의 함량은 니토 퇴적상에서 418ppm, 사질니토 퇴적상에서 393ppm, 실트

질모래에서 430ppm으로 퇴적물 입도 변화에 따른 함량 변화폭은 미미한 편이다. Ti원소는 대표적인 대륙기원 원소이며 보존성 원소로서 모래나 실트질 퇴적물에서 함량이 높은 티탄철석이나 예추광(anatase) 등의 영향을 많이 받는 원소로 알려져 있다(Bowen, 1979). Ti원소의 지역적 분포는 Fig. 3-F에서 보는 바와 같이 양자강 하구역과 가까운 서쪽과 중앙부지역이 0.4%이상의 높은 함량치를 보이고 북동쪽으로 향함에 따라 0.3% 이하로 감소하는 경향을 보이는데, 이 또한 양자기원 물질이 연구지역까지 유입되고 있음을 추론케 한다. 퇴적물 유형에 따른 Ti원소의 함량은 니토 퇴적상에서 0.39%, 사질니토 퇴적상에서 0.33%, 실트질모래에서 0.37%의 함량 분포를 보이고 있다. Na원소는 불안정한 알카리 원소에 속하며 주로 강을 통해 전체 이동량의 50~90%가 액상으로 이루어지며(Martin and Meybeck, 1979), 입자태로 이동하는 Na원소 함량은 쇄설성 광물인 장석, 각섬석, 휘석 등의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Bowen, 1979). Na원소의 지역적 분포는 Fig. 3-G에서 보는 바와 같이 연구지역 남동쪽(St. 9)에서 2% 이상의 최대 함량을 보이고 북서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여 근원지 외에 해양생물 기원의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 즉 패각편과 유공충각과 같은 해양 생물과편을 많이 함유하는 남지나해와 동중국해 퇴적물이 제주도 주변까지 확장하는 대만난류나 황해난류수 같은 해양환경요인에 의해 본 역으로 수송이 이루어지고 있음을 의미한다(윤정수 와 김여상, 2002). 퇴적물 유형에 따른 Na원소의 함량은 니토 퇴적상에서 2.0%, 사질니토 퇴적상에서 1.9%, 실트질모래에서 1.6%의 함량으로 입도와 비교적 양호한 관련성을 보이고 있다. Ca함량은 육상기원 쇄설성 퇴적물(석회암, 백운암)의 공급 외에 유공충, 산호, 연체동물과 같은 해양생물체와 깊은 연관성을 갖으며(Turekian and Wedepohl, 1961), 점토광물에는 그 함량이 매우 낮은 것으로 알려져 있다(Goldberg and Arrhenius, 1958). Ca원소의 지역적 분포는 Fig. 3-H에서 보는 바와 같이 수심이 깊은 본 역 북동쪽 끝 지역(St. 3)에서 9% 이상의 최대 함량치를 보이고 남서쪽으로 향함에 따라 점차 감소하는 경향을 보이는데, 이는 근원지 외에 대만난류수의 영향으로 패각편과 같은 석회질 물질이 높게 재생산되기 때문으로 해석된다. 황하기원 퇴적물이 분포하는 것으로 보고된 본 역 중앙부의 니토퇴적상 분포 지역(Milliman et al., 1985)이 북동쪽보다 낮은 Ca함량을 보이는데 이는 주로 육상기원 세립질 물질이 활발한 집적에 따른 희석작용(dilution)때문으로 사료된다. 퇴적물 유형에 따른 Ca원소의 함량은 니토 퇴적상에서 5.7%, 사질니토 퇴적상에서 6.2%, 실트질모래에서 3.9%로 세립질 퇴적물이 조립질 퇴적물보다 높은 함량치를 보인다.

4. 토 의

4.1 퇴적물내 지화학적 특성에 의한 기원지 추정

동중국해 외대륙붕 지역의 니질퇴적물에서 채취된 12개의 시료에서 분석된 화학조성과 기존의 황하, 양자강퇴적물의 지화학적 자료를 비교하여 연구지역 퇴적물의 기원지를 파악하였다. 황하와 양자강퇴적물 및 연구지역 퇴적물 내 원소함량을 상부대륙각세일(Upper Continental Crust : UCC)의 평균 함량으로 표준화할 때(Taylor and McLennan, 1985; Zhao and Yan, 1992) Fig. 5에서 보는 바와 같이 황하

퇴적물은 Ca, Ti를 제외한 대부분의 원소는 상부대륙지각 세일의 평균치 보다 고갈되었으나, 양자강퇴적물은 Fe, Mn, Ti, Mg원소는 UCC값보다 높은 값을 보였으며, 연구지역의 퇴적물은 Ti, Mg, Ca를 제외한 나머지 원소는 고갈되어 양자강 퇴적물보다는 황하의 특성치와 유사한 경향을 보였다. 한편 해역 퇴적물에서 황하와 양자강기원 퇴적물을 구별할 수 있는 지화학적 특징으로는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 황하 퇴적물에는 양자강에 비해 Ca, Na, Sr 및 Ba원소 높은 함량 특성을 보이나, 양자강 퇴적물에는 Al, Fe, Mg, Ti 및 Mn원소 함량이 풍부한 것으로 보고되어(Zhao and Yan, 1992), 황해와 동중국해 퇴적물의 기원지를 밝히는데 지시자로 이용되고 있기도 하다. 따라서 동중국해 외대륙붕지역 니질퇴적물 내 주성분원소 조성을 이들 자료와 비교해 보면 Table 3에서 보는 바와 같이 Al, Fe, Mg 및 Mn원소는 황하퇴적물보다는 높고 양자강퇴적물보다는 낮으나 비슷한 함량 경향을 보이나, Ti, Sr원소와 Sr/Ca비는 양자강보다는 높고 황하퇴적물과 유사한 함량치를 보이고, Ca, K, Na원소 및 Ca/Ti, Ca/K비는 황하나 양자강 퇴적물보다 높은 함량을 보여 이들 두 강 이외의 타기원 물질이 유입되고 있음을 시사한다.

Lee and Na(2003)의 연구에 의하면 양자강퇴적물은 황하나 한국의 강 퇴적물보다 Mg, Ti, Fe 및 Mn 함량이 높고, 황하퇴적물은 Ca, Na 및 Sr원소가 풍부하며, 한국의 강 퇴적물은 Al, K 및 Ba함량이 높다고 보고하였다. 이를 바탕으로 지화학적으로 근원강 퇴적물을 구분하기 위하여 이들 각 강들에서 상대적으로 풍부한 원소들을 근거로 3개의 구분지수를 유도하였다. 첫째 지수는 $(Al+Fe)/(Mg+Ca+K)$ 로써 이는 3강 퇴적물의 모든 조성적 특징을 반영하는 환경적으로 고정된 원소 대 비고정된 원소의 비이다. 둘째 지수는 $(Ca-Fe)/Al$ 로 이는 각 강에서 정량적으로 풍부한 원소로부터 유도된 것이며, 마지막 지수는 $(Ca-Mg)/K$ 로 이는 각 근원강 퇴적물을 반영하고 있는 상징적인 알카리와 알카리지각 원소로부터 유도된 것이다. 본 연구에서도 이들 구분지수들을 적용해 본 결과 연구지역 퇴적물은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 몇 개의 시료(st. 3,4)를 제외하고는 양자강보다 황하퇴적물에 가까이에 밀집 분포하는 것을 볼 수 있어 동중국해 외대륙붕역의 니토퇴적상 분포지역은 양자기원보다는 황하기원 물질의 영향을 더 받고 있음을 의미한다. 이는 전술한 Ba원소의 공간분포에서 남황해지역 퇴적물의 본 연구지역으로의 공급될 가능성을 시사한 연구 결과와도 잘 일치하고 있다(Fig.34-E).

조성변화지수(Index of Compositional Variability; ICV)에 사용되는 중요 원소들은 풍화가 진행되는 동안 상대적으로 쉽게 이동하는 원소를 의미하며 CaO, Na₂O, K₂O 등이 이에 속한다. ICV값의 증가는 풍화정도의 증가를 의미하며 퇴적물에서 서로 다른 풍화지수 값의 변화는 공급원 퇴적물의 겪은 풍화정도의 차이와 공급된 퇴적물의 근원지를 평가하는데 이용되고 있다(Harnois, 1988). 조성변화지수(ICV)는 암석이나 광물에서 상대적으로 다른 주요 양이온과 알루미늄 함량의 비로써 다음과 같이 나타낸다(Cox et al., 1995).

$$ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3$$

따라서, 연구지역의 ICV값과 기존의 황하와 양자강 퇴적물의 ICV값을 비교해 본 결과 황하퇴적물의 ICV값은 1.5~1.7(평균 1.5)의 범위를 가지며, 양자강퇴적물의 ICV값은 1.1~1.4(평균 1.2)의 범위를 보인다. 이는 황하퇴적물이 양자강보다 큰 풍화작용을 받았음을 의미하며 양자퇴적물은 황하보다 조성적으로 안정되어 있음을 의미한다. 본 연구지역의 니질 퇴적물에 대한 ICV값을 계산하여 본 결과 1.3~2.2

(평균 1.6)의 범위를 보이는데, 이는 양자강 퇴적물보다는 높고 황하퇴적물과 비슷한 값을 보여, 이 또한 황하기원 퇴적물이 동중국해 외대륙붕지역까지 운반되어 퇴적되고 있음을 추론케 한다. 황하기원 퇴적물이 동중국해로 이동이 가능한 기작으로는 황하의 유로가 1855년 산둥반동 북쪽의 발해역으로 이동한 후 장수(Jiangsu)연안지역은 급격한 해안침식이 일어나 1,400km²의 연안 육지 지역이 소실되었고, 연평균 2.8×10⁸ ton 정도의 퇴적물이 생산되는 것으로 보고되었다(Satio, 1998). (고)황하기원 삼각주 퇴적물은 장수연안류 등에 의해 황해중앙부해역과 동중국해 외대륙붕의 니토대 분포지역까지 운반되고 있는 것으로 알려져 있다(Milliman et al., 1985).

해양퇴적물은 일반적으로 주변암석의 풍화에 의해 형성된 토양으로부터 다양한 운반, 퇴적작용을 거친 후 쌓인 것이다. 따라서 해양쇄설성 퇴적물의 기원지를 판단하기 위해서는 다양한 지질현상을 이해하여야 하나 우선 해양퇴적물과 주변 강 퇴적물의 광물조성과 화학조성을 서로 비교하면 일차적인 정보를 얻을 수 있을 것이다. 특히 퇴적물 내 화학조성 중 Th, Sc, Zr, Hf, Y, Nb, Cr, Co 및 REE와 같은 육성기원(terrigenous material)의 미량 및 희토류원소 성분은 퇴적물의 풍화나 운반과정에 따른 분급과 속성작용 등에 크게 변화하지 않으므로 퇴적물의 기원지 및 지구조 환경(tectonic setting)을 밝히는데 유용한 도구로 이용되고 있다(Culler et al., 1986,1987; Bhatia and Taylor, 1981; Bhatia and Crook, 1986; McLennan et al., 1980,1993). 따라서 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적물, 황하 및 양자강퇴적물, 후기 시생대 호주퇴적암(Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock: PAAS) 및 대륙상부지각 세일(Upper Continental Crust: UCC)의 지화학적 원소성분의 평균함량을 Table 2에 제시하였다.

연구지역 퇴적물 내 화학조성을 PAAS와 UCC의 평균값(McLennan, 1989; Taylor and McLennan, 1981)과 비교할 때 Ca, Mg, Zn, Pb, Cs 및 Li 원소를 제외한 나머지 대부분의 원소는 본 연구지역에서 고갈되었다. 풍화작용을 받은 대륙지각 화성암의 Th/U비는 3.5~4.0 값보다 높아 평균 UCC값 보다 상부에 적재하는 경향을 보인다(McLennan et al., 1993). 따라서 연구지역 퇴적물의 Th/U에 대한 Th의 상관관계에서는 Fig. 8에서 보는바와 같이 UCC의 평균치보다 높은 값을 보여 기원지에서 강한 화학적 풍화작용을 받았음을 의미하며, 또한 본역의 퇴적물 시료들은 황화와 양자강퇴적물 사이에 분산된 분포를 보인다. 또한 Th/U비가 4.97~5.80(평균 5.25)로 양자강 퇴적물보다(4.77)는 높고, 황하 퇴적물보다는 낮으나 비슷한 값을 보여 황하기원퇴적물이 동중국해 외대륙붕 지역으로 운반되고 있음을 의미한다 하겠다.

토양이나 퇴적물의 화학조성에서 Zr과 Ti는 비교적 유동성이 낮은 안정한 원소들로서 토양의 Zr/Ti의 비를 모암의 Zr/Ti와 비교하여 토양을 구성하는 물질들간의 모암의 균질성 여부를 파악할 수 있다(Birkeland, 1984; 이용일과 이선복, 2002). 황화, 양자강퇴적물의 Zr/Ti비는 각각 762.9와 334.4로 나타났다. 동중국해 외대륙붕 니질 퇴적물의 Zr/Ti비가 177.4에서 355.3(평균 390)으로 황하퇴적물 보다는 낮고 양자강 퇴적물보다는 다소 높으나 유사한 값을 보였다(Table 2). 유사한 행동을 하는 원소로 알려진 La와 Th 원소(McLennan et al., 1980)는 상관계수 r=0.91로 높은 상관성을 보였으며, La와 Th의 관계에서는 Fig. 9와 같이 퇴적물 입도가 감소함에 따라 La와 Th 함량이 증가하는 경향을 보여 기원지 외에 입

도의 영향을 강하게 받고 있음을 의미한다. 그러나 본 역 퇴적물 시료는 황하보다는 양자강퇴적물 주위에 밀집분포하며, La/Th비 값도 2.88로 황하퇴적물보다(2.20)는 높고 양자강퇴적물과 유사한 값을 보여 본 역에 분포하는 퇴적물은 단일기원지에서 유래된 퇴적물이 아님을 의미한다. 이는 Fe, Mn 및 Ti원소의 지역적 분포에서 양자기원 물질이 본 연구지역으로 수송되고 있음을 지적인 결과와도 잘 일치하고 있다. 양자기원 퇴적물이 연구지역으로 이동이 가능한 기작으로는 양자강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 주로 하구역의 동쪽과 남동쪽의 동경 122°~123°지역에 분포하는 수중삼각주 지역에 퇴적되고 소량만이 동중국해로 확산된다. 그러나 대만해류가 중국 동쪽해안을 따라 북동방향으로 흐르는 계절에는 남풍계에 편승하여 양자강기원 부유퇴적물은 표층프름(plume)으로 북동진하여 제주도 서쪽까지 이동되는 것으로 알려져 있다(Beardsley et al., 1983; Milliman et al., 1985). 또한 Lie(1986)는 양자강희석수는 홍수철에 북동진하여 제주도 서쪽해역을 지나 황해로 북상하는 것으로 보고하는 등 양자강 기원 물질이 동중국해 외대륙붕해역까지 이동이 가능하다는 것이다.

희토류원소는 퇴적물의 입도, 광물조성에 따라 함량에 영향을 주지만 운석으로 규격화한 분포도에는 큰 영향을 주지 않기 때문에 이를 이용하면 퇴적물의 기원지를 추적하는데 유용하게 이용된다(Piper, 1985; Holser, 1997; Shokovitz and Szmekzak, 2000; Culler et al., 1987, 1988; 이승구의 4인, 2003). Fig. 10는 연구지역 퇴적물 시료에서 희토류원소 조성을 Nakamura(1974)가 제시한 운석값으로 규격화한 희토류원소의 분포도이다. 희토류원소의 분포 패턴은 Eu의 부(-)의 이상을 보이고, $(La/Sm)_N > 4$ 으로 경희토류원소(light rare earth element:LREE)가 매우 부화되어 있고 중희토류원소(heavy rare earth element:HREE)는 거의 편평한 양상을 보여 주어 대륙지각(PAAS, UCC)의 분포경향과 매우 유사하다. 동중국해 외대륙붕 퇴적물과 황하, 양자강퇴적물의 희토류원소의 분포 패턴을 비교하여 보면(Fig. 10), 전체적인 희토류원소 분포에서는 유사한 양상을 보이나 경희토류원소의 농도가 양자강 및 외대륙붕의 니질퇴적물에서가 황하퇴적물에 비해 높은 값을 나타내고, $(La/Yb)_N$ 비율은 8.11~12.53(평균 9.49)로 황하퇴적물보다(8.67)는 높고 양자강퇴적물의 특성치(10.56)와 유사한 값을 보여(Table 2), 본 연구지역은 양자기원 물질에 의한 영향도 있음을 암시하고 있다. 하지만 Eu/Eu^* 비가 0.637에서 0.788(평균 0.715)로 황하(0.641)나 양자강퇴적물(0.670)의 비보다 높은 값을 보여 이들 두 강 이외의 다른 기원 물질도 섞여 있을 가능성을 시사해준다.

4.2 스트론튬 동위원소비 조성

퇴적암 광물내에 기록된 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 동위원소비는 고해양해수의 변화, 지층의 연대측정 및 근원암 추적 등 다양한 분야에 이용되어 왔다(Burke et al., 1982; Koepnik et al., 1985; Capo and Depaodo, 1990). 스트론튬 동위원소비를 이용한 해양퇴적물의 기원지 추적은 Boger and Faure(1974)와 Shaffer and Faure(1976)가 홍해지역 퇴적물 연구에서 추적자로서 유효함이 밝혀진 이래 많은 연구가 수행되었다(Snoeckx et al., 1999; Nohara et al., 1995; Innocent et al., 2000; Tutken et al., 2002).

본 연구에서도 동중국해 외대륙붕의 니질퇴적물 시료에서 측정된 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 비 값과 황하의 영향이 있을

것으로 예상되는 산동반도 동쪽과 황해중앙부 해역의 퇴적물 시료, 또한 양자강의 영향을 받고 있는 양자강 하구역의 수중삼각주퇴적물 시료에서 얻은 스트론튬 동위원소비값을 이용하여 동중국해 외대륙붕 지역에 분포하는 니질퇴적물의 기원지를 추정해 보았다. Dasch(1969)는 탄산염 물질이 제거된 퇴적물 시료에서 퇴적물 입도가 감소함에 따라 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비 값은 증가하는 것으로 보고하였는데, 본 연구에서도 입도에 따른 차이를 최소화하기 위하여 230mesh 이하의 세립질퇴적물(silt + clay)시료에서 측정된 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비 값을 이용하였다. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위원소비의 측정결과는 Table 3과 같다. 표에서 보는바와 같이 산동반도 동쪽 지역과 황해중앙부해역의 퇴적물 시료에서는 Ti, Sr 농도가 낮고, Rb 농도는 높다. 그리고 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위원소비는 0.721258~0.724979의 범위로 대단히 높은 값을 보인다. 양자강 하구역의 수중삼각주퇴적물 시료에서는 Ca농도는 낮고 Ti농도는 높으며, Sr 동위원소비는 0.711966~0.717200으로 좁은 범위와 황해 중앙부해역에 비해 상당히 작은 값을 보였다. 동중국해 외대륙붕지역의 니질퇴적물은 Rb의 농도가 낮고, Ca, Sr의 농도가 높다. 그리고 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위원소비는 0.714451~0.721842로 대단히 넓은 범위와 황해 중앙부해역과 양자강 하구역의 퇴적물 시료에서의 비값과 중간 정도의 값을 보였다. 따라서 산동반도동쪽 퇴적물 시료(st. Y1)에서 측정된 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위원소비 값 0.724979를 황하기원 퇴적물의 단성분(end-member)으로 가정하고, 양자강하구역의 수중삼각주퇴적물 시료(st. E 5,6)에서 측정된 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비값 0.716720을 양자기원 퇴적물의 단성분으로 가정한다면, 동중국해 외대륙붕 니질퇴적물 시료에서 얻은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 평균 0.717465로 황해 중앙부해역보다는 낮으나 양자강하구역 보다는 높은 값을 보였다. 이는 황하기원 퇴적물이 동중국해 외대륙붕지역까지 운반되고 있음을 의미한다 하겠다. 이는 Milliman et al.,(1985)이 동중국해 퇴적물 내 점토광물들 중 스멕타이트의 함량이 높고, 방해석의 피크정도에 근거해 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적물은 황하계퇴적물로 해석한 결과와도 일치하였다. 그러나 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 과 [Sr]의 관계에서는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 기원지로서 어느 특정한 지역을 명백히 보여주지 않았으며 황하계 기원 퇴적물로 사료되는 몇몇 시료(st. 7,9)를 제외하면 대부분 양자강 하구역의 퇴적물시료 주위에 밀집분포하는 경향을 보이는데, 이는 양자기원 부유퇴적물이 동중국해 외대륙붕지역으로 공급되고 있음을 의미한다. 이는 Nohara 등(1995)이 언급한 황해 중앙부 해역 니토대에서 Sr 동위원소비 값이 황하보다는 양자강과 더 유사하여 양자강기원 부유퇴적물의 북서동중국해를 지나 황해 중앙부해역까지 공급될 가능성을 지적한 연구결과와도 잘 일치하고 있다. 또한 퇴적물 내 지화학적 원소성분 중 Ca, Sr 함량과 Ca/Ti 및 Sr/Rb 비가 본 연구지역이 황해 중앙부해역이나 양자강 하구역의 퇴적물에서 보다 높은 값을 보이는데, 이는 황하와 양자강 이외의 타 기원 물질의 유입되고 있음을 시사한다(Table 3). 이는 아마도 본 연구지역은 해양생물기원의 영향도 강하게 받는 것으로 보여진다. 따라서, 동중국해 외대륙붕지역에 분포하는 니질퇴적물의 공급지는 주로 양자강으로부터 운반된 물질이고, 이외에 황하와 (고)황하강 하구역의 침식된 물질도 포함된 기원의 다양성을 보여주고 있으며, 이에 대한 추가적인 시료분석과 해석이 필요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

동중국해 외대륙붕 니질퇴적상 분포지역에서 채취된 표층퇴적물의 입도분석, 탄산염 함량, 주성분원소, 미량 및 희토류원소, 스트론튬 동위원소비를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

연구지역 표층퇴적물의 유형은 사질니토, 니토, 실트질모래로 총 3개의 유형분포를 보이거나 크게 보아 니토퇴적상이 분포하는 중앙부 지역과 사질니토퇴적상이 전역에 넓은 분포를 보인다. 퇴적물 내 탄산염 함량은 3.9~11.5%로 다양한 값을 보이며 퇴적물의 평균입도와 수심이 증가하는 남동쪽 끝 지역에서 10%이상의 높은 함유량을 보여 근원지 외에 해양생물의 영향을 강하게 받고 있음을 의미한다.

퇴적물 내 금속원소 함량은 전반적으로 Al원소와 밀접한 정의 상관관계를 보여 퇴적물 내 점토광물 함량에 영향을 받으나, Ca, Sr 및 Na원소는 Al과 관련성이 미약하였다. 금속원소들의 공간분포에서 Ba원소는 연구지역 북서쪽에서 높은 함유량을 보여 (고)황하나 황하강의 영향이 있음을 의미하며, Fe, Mn 및 Ti원소는 중앙부 서쪽지역에서 높은 함유량을 보이는데 이는 양자기원 물질이 유입되고 있음을 의미한다. Na, Ca 및 Sr원소는 연구지역의 동쪽과 북동쪽에서 높은 함량치를 보이는데 이는 주 근원지 외에 해양생물의 영향을 강하게 받는 것으로 사료된다. 동중국해 외대륙붕지역 니질퇴적물 내의 주성분원소 중 Al, Fe, Mg 및 Mn원소들은 황하보다는 양자강퇴적물과 유사한 함량특성을 보였고, Ti, Sr원소 및 Sr/Ca비는 양자강보다는 황하퇴적물과 유사한 함량치를 보이거나, Ca, K, Na원소 및 Ca/Ti, Ca/K비는 황하나 양자강 퇴적물보다 높은 함량치를 보여 이들 두 강 이외의 생물기원 물질의 영향도 있는 것으로 보여 본 연구지역은 복합기원 퇴적물의 집적되고 있음을 의미한다.

니질 퇴적물의 화학조성 중 $(Al+Fe)/(Mg+Ca+K)$, $(Ca-Fe)/Al$ 및 $(Ca-Mg)/K$ 3개의 지화학적 구분지수에서 외대륙붕의 니질퇴적물은 양자강보다는 황하퇴적물에 밀접 분포하는 경향을 보이며, 조성변화지수(ICV)는 1.6으로 양자강(1.2)보다는 높고 황하 퇴적물과 유사한 값을 보였다.

외대륙붕지역의 니질퇴적물은 경희토류원소가 부화되어 있고 중희토류원소가 편평한 양상을 갖으며 Eu의 부(-) 이상을 보이는 전형적인 세일의 희토류원소의 패턴을 나타내며, $(La/Yb)_N$ 의 값은 9.49로 황하보다는 양자강퇴적물의 특성치와 유사한 값을 보였다. 황하기원 퇴적물의 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 동위원소비는 0.7228이었고, 양자기원 퇴적물의 Sr동위원소비는 0.7147으로 황하계 퇴적물보다 낮았다. 동중국해 외대륙붕지역 니질퇴적물의 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 동위원소비는 0.7145~0.7218(평균 0.7175)의 넓은 범위를 보이거나 황하보다는 양자강퇴적물의 특성치와 유사한 값을 보여 연구지역의 니질퇴적물은 대부분 양자강기원 퇴적물이 우세한 것으로 해석된다. 이는 기존의 연구결과와 상반되는 새로운 결과로, 향후 좀더 많은 연구가 필요하다.

6. 참고문헌

남승일, 김성필, 장정해, Mackensen, A · 2003. 마지막 빙하기 해침이후 동중국해 북부 해역과 황해의 고환경변화. 지질학회지, 39, 149-160.

이용일, 이선복, 2002, 용인시 평창리 구석기유적발굴지 고토양 특성과 이의 고고지질학적 적용. 지질학회지, 38, 471-489.

- 이승구, 양동윤, 홍세선, 박재호, 오근창, 2003, 회토류원소를 이용한 순창지역 섬진강 수계 내 하상퇴적물의 기원지연구. 지질학회지, 39, 81-97.
- 윤정수, 김여상, 2002. 황해 중앙부해역 니질퇴적물의 지화학적 특성 및 퇴적률, 한국 제4기학회지 16, 1-16.
- Beardsley, R C., Limeburner, R., Hu, D., Le, K., Cannon, G. A. and Pashinski, D. J. 1983. Structure of the Changjiang plume in the East China Sea. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Vol.2, China Ocean Press, 265-284.
- Bhatia, M. R. and Crook, K. A. W., 1986, Trace element characteristics of graywacks and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contribution of Mineralogy and Petrology, 92, 181-193.
- Bhatia, M. R. and Taylor, S. R., 1981. Trace-element geochemistry and sedimentary province: a study from the Tasman Geosyncline, Australia. Chemical Geology, 33, 115-125.
- Birkeland, P. W., 1984, Soils and geomorphology. Oxford University Press, New York, 372p.
- Boger, P. D. and Faure, G., 1974, Strontium-isotope stratigraphy of a Red sea core. Geology, 2, 181-183.
- Bowen, H. J. M., 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London, 333p.
- Buckly, D. E., Yu, G., Chen, W., Lin, Y., Huang, P., Zhu, F. and Zhu, J. 1983. Initial investigation of the geochemistry of surficial sediments on the Changjiang River submerged delta. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. Vol. 2, China Ocean Press, 746-753.
- Burke, W. H., Denison, R. E., Hetherington, E. A., Koepnick, R. B., Nelson, H. F. and Otto, J. B., 1982, Variation of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. Geology, 10, 516-519.
- Calvert, S. E., 1976. The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In: Chemical Oceanography edited by Riley, J. P. and R. Chester, Academic Press, London, 6, 187-280.
- Capo, R. C. and Depaolo, D. J., 1990, Seawater strontium isotopic variation from 2.5 million years ago to the present. Science, 249, 51-55.
- Chester, R. and Hughes, M. J. 1969. The trace element geochemistry of a North Pacific pelagic clay core, Deep Sea Research, 16, 619-654.
- Chen, Y., Wang, X. and Wu, M. 1983. Geochemistry and material source of sediments in the East China Sea. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea, Vol.2, China Ocean Press, 763-772.
- Cox, R., Lowe, D. R. and Cullers, R. L. 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. Geochimica et Cosmochimica. Acta, 59, 2919-2940.

- Cullers, R. L., Barrett, T., Carlson, R. and Robinson, B., 1987, REE mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment, *Chemical Geology*, 63, 275-297.
- Cullers, R. L., Basu, A. and Suttner, L. J., 1988, Geochemical signature of provenance in sand-material in soils and stream sediments near the Tobacco Root Batholith, Montana, U.S.A. *Chemical Geology*, 70, 335-348.
- Dasch, E. J., 1969, Sr isotope in weathering profiles, deep-sea sediments and sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33, 1521-1552.
- DeMaster, D. J., Mckee, B. A., Nittrouer, C. A., Qian, J. and Cheng, G., 1985. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurement from continental shelf deposit in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4, 143-158.
- Emery, K. O., 1968. Relict sediments on continental shelves of world. *American Association of Petroleum Geologist*, 52, 445-464.
- Folk, R. L. and Ward, W. C. 1957. Brazor river bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27.
- Folk, R. L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Hamphill, Austin, Texas. 182p.
- Francois, R., 1998. A study on the regulation of the concentration of some trace metals(Rb, Sr, Zn, Pb, Cu, V, Cr, Ni, Mn, and Mo) in Saanich Inlet sediments, Brithsh Columbia, Canada. *Marine Geology*, 83, 285-308.
- Galehouse, J. S. 1971. Sedimentation analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology* edited by Carver, R. E., Wiley-Interscience, 69-94p.
- Gibbs, R. J., 1977. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon Rivers. *Geological Society of America Bulletin*, 88, 829-843.
- Goldberg, E. D. and Arrhenius, G. O. S. 1958. Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochimica et Cosmochimca Acta*, 13, 153-143.
- Harnois, L., 1988. The CIW index; new chemical index of weathering. *Sedimentary Geology*, 55, 319-322.
- Holser, W. T., 1997, Evaluation of the application of rare earth elements to paleoceanography. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 132, 309-323.
- Horowitz, A. J. and Elrick, K., 1987, The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2, 437-451.
- Ingram, R. L., 1971. Sieve analysis. In; *Procedure in Sedimentary Petrology*: edited by Carrer, R. E., Wiley Interscience, 49-68p.
- Kitano, Y. and Hujiyoshi, R. 1980. Selective chemical leaching of cadmium, copprr, and manganese and iron in marine sediments. *Geochemical Journal*, 14, 113-122.

- Koepnick, R. B., Burke, W. H., Denison, R. E., Hetherington, E. A., Nelson, H. F., Otto, J. B. and Waite, L. E., 1985, Construction of the seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve for the Cenozoic and Cretaceous: supporting data. *Chemical Geology (Isotope Geoscience section)*, 58, 55-81.
- Lee, C.B. and Na, T.K. 2003. Geochemical discrimination of fine-grained sediments entering the Yellow and East China Seas from the Yangtze Huanghe and Korean rivers. *Proceeding of the International Symposium on Oceanographic Environmental Change after Completion of the Changjiang Three Gorges Dam*. *Journal of Korean Society Oceanography*. 99-122.p.
- Lim, D. I. 2003, Geochemical compositions of coastal sediments around Jeju Island, South Sea of Korea: potential provenance of sediment. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 24, 337-345.
- Liu, Z. X., Beme, S., Saito, Y., Lericolasis, G. and Marsset, T., 2000, Quaternary seismic stratigraphy and paleoenvironments on the continental shelf of the East China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, 441-452.
- Martin, J. M. and Meybeck, M. 1979. Elemental mass balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, 7. 173-206.
- McLennan, S. M., 1989, Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *Review Mineralogy*, 21, 170-199.
- McLennan, S. M., Nance, W. B. and Taylor, W. B., 1980, Rare-Earth Element-thorium correlation in sedimentary rocks, and the composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1833-1839.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993, Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics, In: Johnsson, M. J., Basu, A.(eds), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. *Geological Society America Special Paper*, 284, 21-40.
- Milliman, J. D., and Emery, K. O. 1968. Sea levels during the past 35,000years *Sciences*, 162, 1121-1123.
- Milliman, J. D., and Meade, R. H. 1983. World-wind delivery of river sediment to the ocean. *Journal of Geology*, 91, 1-21.
- Milliman, J. D., Beardslay, R. C., Yang, Z. S. and Limebruner, R., 1985. Modern Huanghe deived mud on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms. *Continental Shelf Research*, 4, 175-188.
- Nakamura, N., 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 757-775.
- Negrel, P., 1997, Multi-element chemistry of Loire Estuary sediments: anthropogenic vs. natural sources. *Estuary Coastal shelf Sciences*, 44, 395-410.

- Niino, H. and Emery, K. O., 1961. Sediments of shallow portion of East China Sea and South China Sea. Geological Society of America Bulletin, 72, 731-762.
- Nohara, M., Kodama, Y., Dokiya, Y. and Ohyma, J. 1995. Origin of sediments from the Yellow Sea and East China Sea: evidence from Sr isotope ratios. The Journal of the Geological Society of Japan. 101, 739-742.
- Piper, D. Z., 1985, Rare earth elements in the sedimentary cycle: a summary. Chemical Geology, 14, 285-304.
- Rozan, T. F. and Benoit, G., 1999, Heavy metal removal efficiencies in a river-marsh system estimated from patterns of metal accumulation in sediments. Marine Environmental Research, 48, 335-351.
- Saito, Y, 1998. Sedimentary environment and budget in the East China Sea, Bulletin on Coastal Oceanography, Japan. 36, 43-58.
- Santschi, P., Hohener, P., Benoit, G. and Brink, M. B., 1990, Chemical Processes at the sediment-water interface. Marine Chemistry, 30, 269-315.
- Schubel, J. R., Shen, H. T. and Park, M. J. 1984. A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering the Yellow Sea. Proceedings of Korea-U.S. Seminar and Workshop, Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea, 286-308p.
- Shaffer, N. R. and Faure, G., 1976, Regional variation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios and mineral composition in sediment in the Red Sea, Geological Society of America Bulletin, 87, 1491-1500.
- Sholkovitz, E. R. and Szymezak, R., 2000, The estuarine chemistry of rare earth elements: comparison of the Amazon, Fly, Sepik and the Gulf of Papua system. Earth and Planetary Science Letters, 179, 299-309.
- Snoeckx, H., Grousset, F., Rerel, M. and Boelaert, A., 1999, European contribution of ice-rafted sand to Heinrich layers H3 and H4. Marine Geology, 158, 197-208.
- Su, X., Zoh, H. and Zeng, W., 1983, The recent sedimentation rates and process in the Changjiang estuary and its adjacent continental shelf area. Sedimentation on the Continental shelf with special Reference to the East China Sea Vol. 2, China Ocean Press, 562-571.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1981, The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. Philos. Transaction Royal Society, A301, 381-399.
- Taylor S. R. and McLennan, S. K. 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312p.
- Tutken, T., Eisenhauer, A., Wiegand, B. and Hansen. B. T., 2002, Glacial-interglacial cycles in Sr

and Nd isotope composition of Arctic marine sediments triggered by the Svalbard/Barents Sea ice sheet. *Marine Geology*, 182-351-372.

Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72, 175-192.

Wang, Z., Lou, M. and Li, W. 1983. On submarine sediments and depositonal process of west of south Huanghe Sea. *Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*, Vol. 2 China Ocean Press, 686-695.

Yang Z. S. and Milliman. J. D. 1983. Fine-grained sediments of Changjiang and Huangho Rivers and sdiment sources of the East China Sea. *Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*, Vol. 2 China Ocean Press, 436-446.

Zhao Y. Y., Qing, Z.Y. and Li, F. 1990. On the source and genesis of the mud in the central area of the south Yellow Sea. *Chinese Journal of Oceanography and Limnology*. 8, 66-73.

Zhao, Y. Y. and Yan, M. C. 1992. Abundance of chemical elements in sediments from the Huanghe River, the Changjiang River and the continental shelf of China. *Chinese Science Bulletin*, 37, 1991-1994.

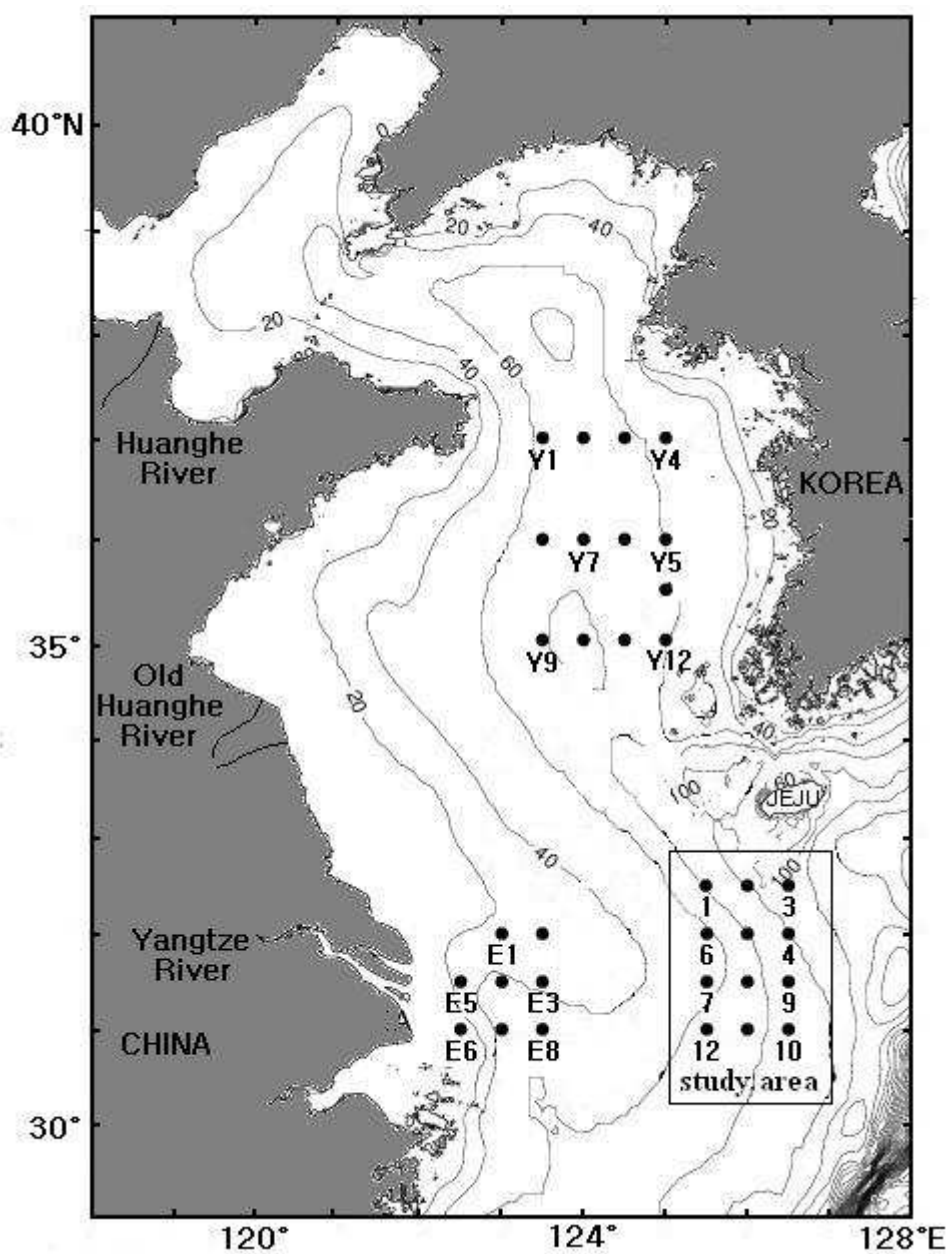


Fig. 1 Sampling stations in the Yellow and East China Seas. Open circles represent stations at which the surface sediment strontium isotopic composition was measured. Depth contours are in meters.

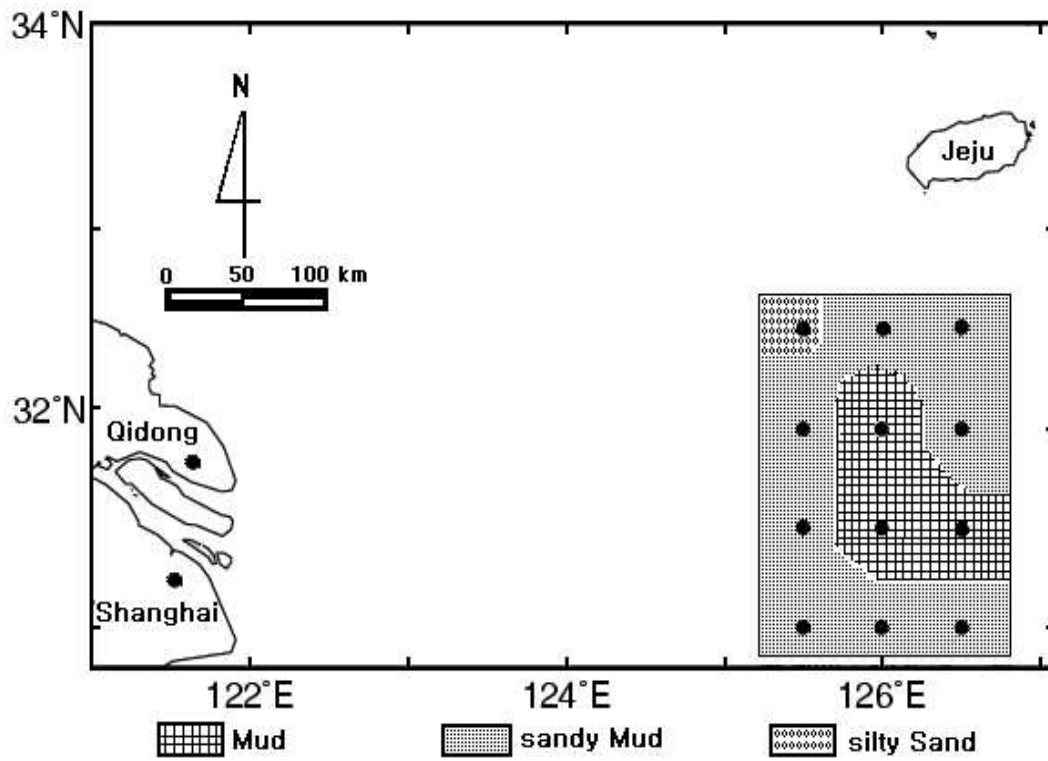


Fig. 2 Map showing surface sediment distribution in the outer shelf of the East China Sea.

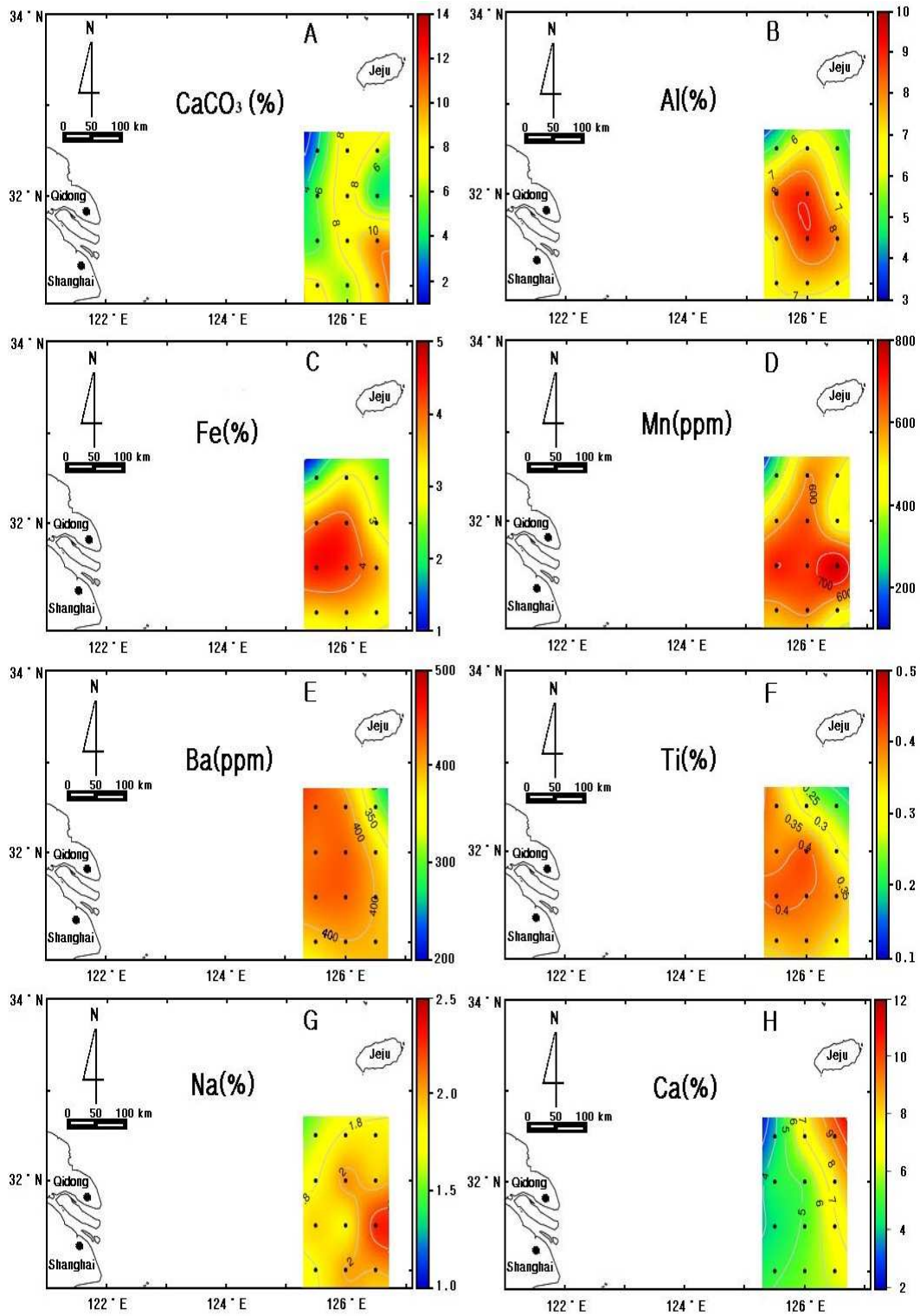


Fig. 3. Areal distribution of Al, Fe, Mn, Ba, Ti, Na, Ca, CaCO₃ on the outer-shelf muddy sediments of the East China Sea.

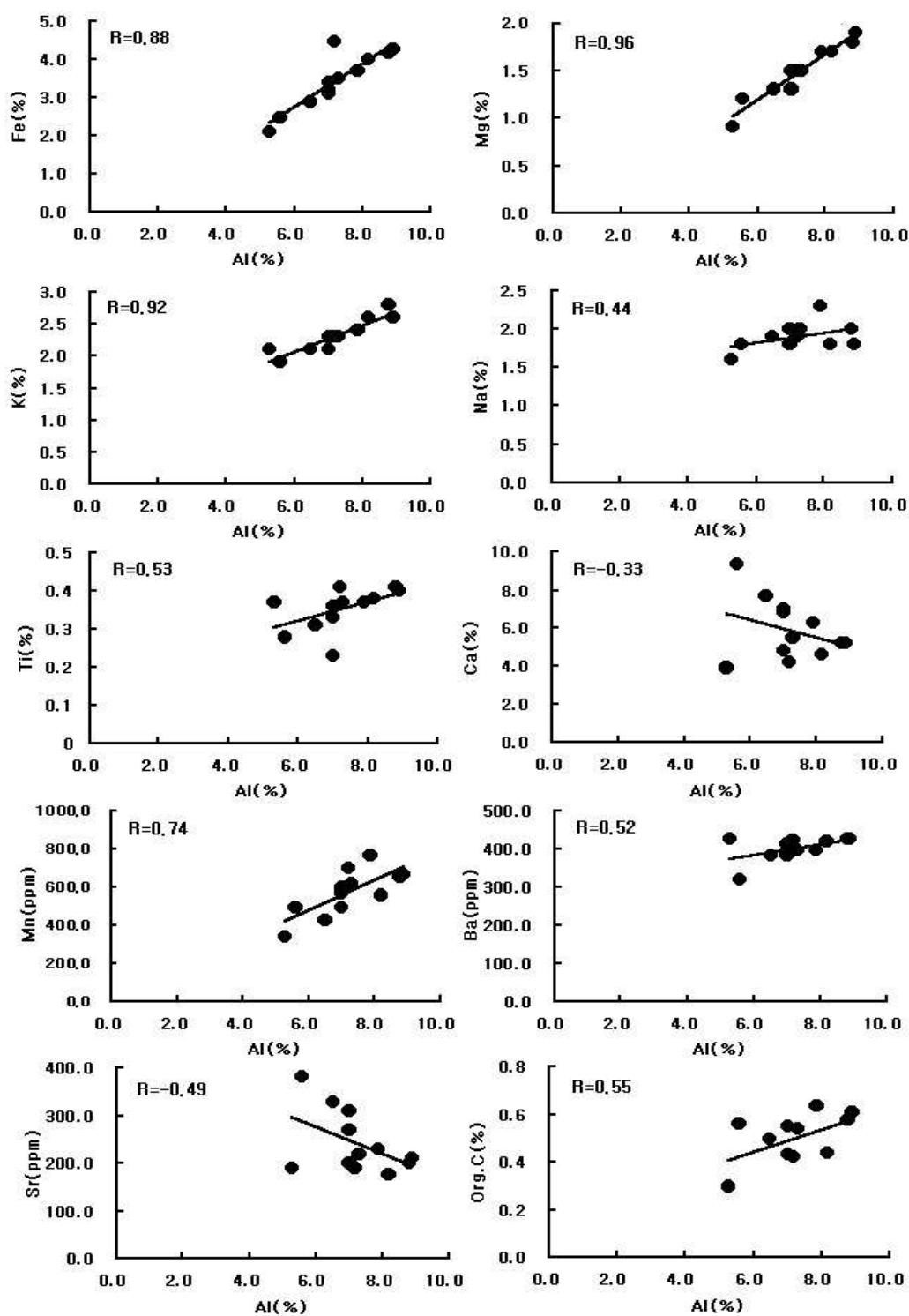


Fig. 4 Relationships between the elements plotted against Al of the outer-shelf muddy sediment.

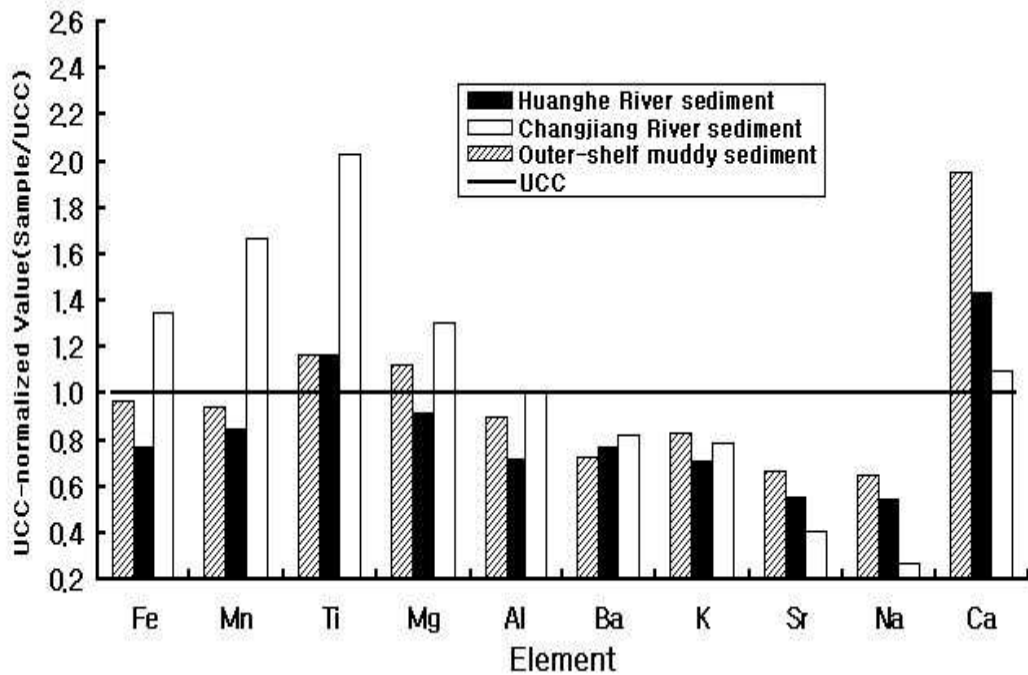


Fig. 5 Element concentration normalized value to the average Upper Continental Crust (UCC; Taylor and McLennan, 1985), together with the data of Zhao and Yan(1992).

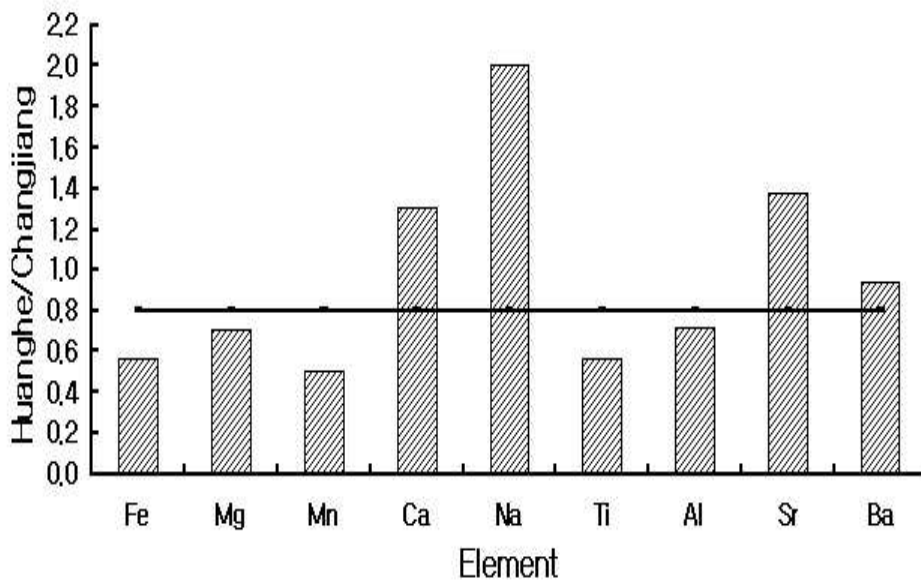


Fig. 6 Huanghe/Changjiang River sediments concentration ratios of major chemical elements(Zhao and Yan, 1992)

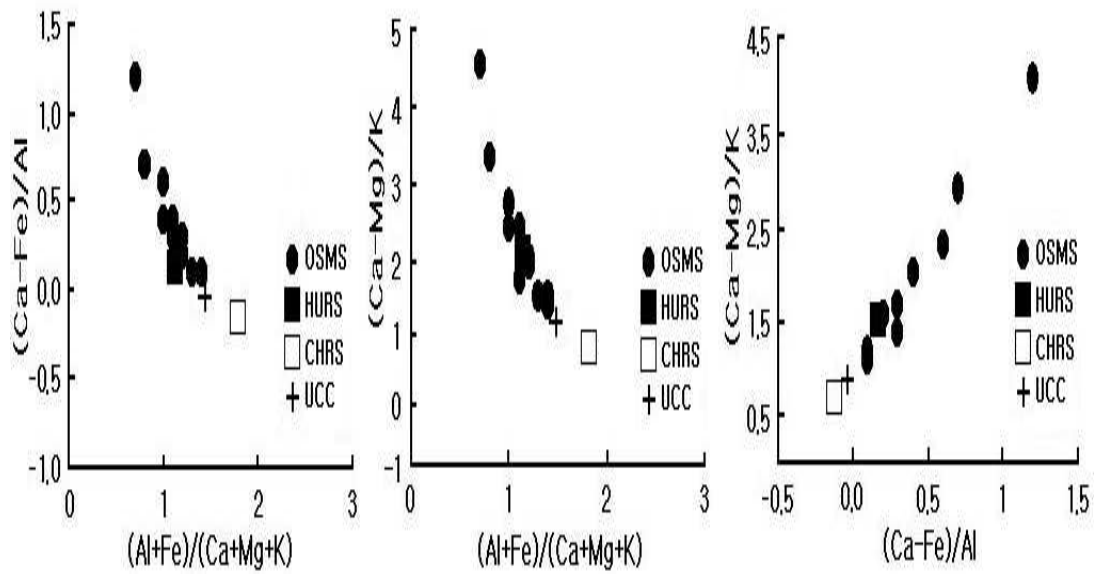


Fig. 7 Comparison of the geochemical indices of $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$, and $(Ca-Mg)/K$. The value of the UCC (by Taylor and McLennan, 1985), Huanghe (HURS) and Changjiang (CHRS) rivers sediment (Zhao and Yan, 1992), and outer-shelf muddy sediment (present study) were plotted together for comparison.

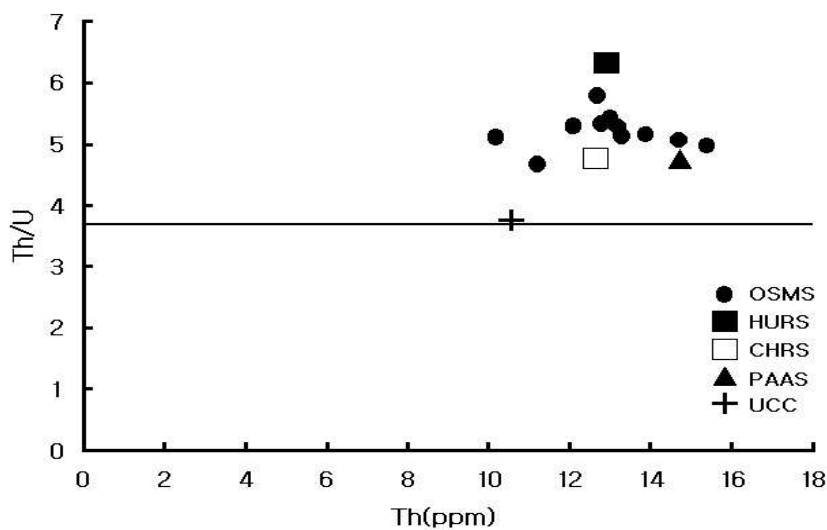


Fig. 8 Th/U versus Th diagram.

Note; OSMS: Outer-Shelf Muddy Sediment, HURS, CHRS: Huanghe and Changjiang River Sediment(Zhao and Yan, 1992). PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary rock(McLennan, 1989), UCC: Average Upper Continental Crust(Taylor and McLennan, 1981).

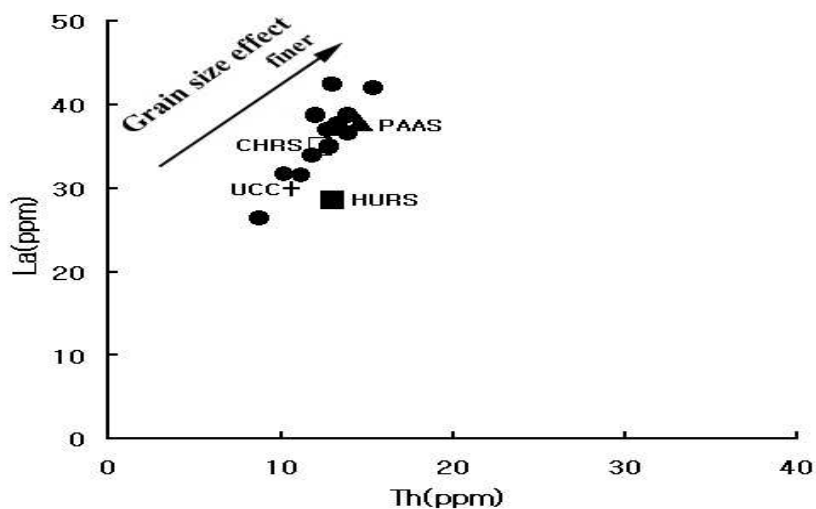


Fig. 9 The relationship between La and Th content diagram..

Note; OSMS: Outer-Shelf Muddy Sediment, HURS, CHRS: Huanghe and Changjiang River Sediment(Zhao and Yan, 1992). PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary rock(McLennan, 1989), UCC: Average Upper Continental Crust(Taylor and McLennan, 1981).

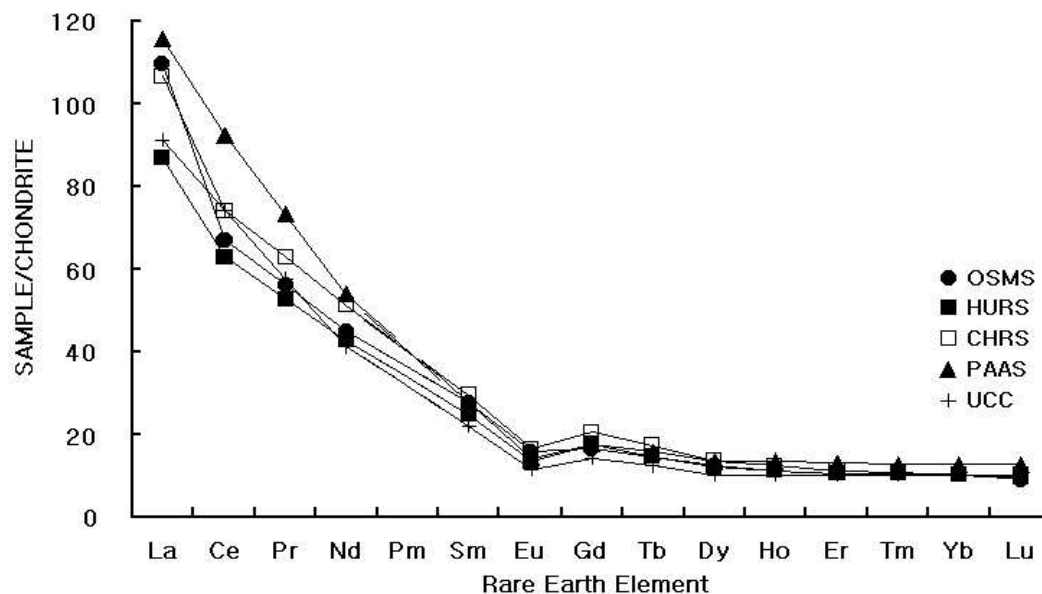


Fig. 10 Chondrite-normalized REE diagram.

Note; OSMS: Outer-Shelf Muddy Sediment, HURS, CHRS: Huanghe and Changjiang River Sediment(Zhao and Yan, 1992).PAAS: Post-Archaean average Australian Sedimentary Rock(McLennan, 1989), UCC: Average Upper Continental Crust(Taylor and McLennan, 1981).

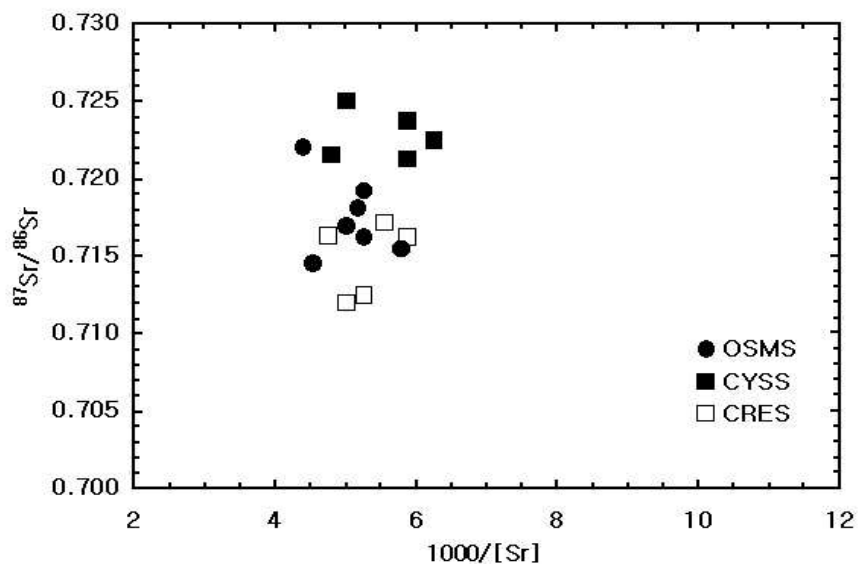


Fig. 11 Isotopic composition of the carbonate-free marine sediment, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios are plotted against $1000/[\text{Sr}]$ for the samples.

Note; OSMS : Outer-Shelf Muddy Sediment, CYSS : Central Yellow Sea Sediment, CRES: Changjiang Rivers Submerged Delta

Table 1 Sediment type, textural parameters and organic material content.

Region	St.	Sediment composition			Classi- fication	Textural parameters				Organic matter	
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)		Mean (ϕ)	Sorting (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Org. C (%)	CaCO ₃ (%)
Outer-Shelf Muddy Sediments (OSMS)	1	50.4	32.9	16.7	zS	4.13	3.56	0.56	0.56	0.30	3.9
	2	22.8	37.1	40.1	sM	5.50	3.30	-0.02	0.65	0.43	9.1
	3	35.8	26.2	38.0	sM	5.35	3.17	0.07	0.52	0.56	7.3
	4	23.1	31.1	45.8	sM	6.00	3.22	-0.24	0.61	0.50	4.5
	5	2.7	39.3	58.0	M	6.99	2.64	-0.36	0.48	0.58	8.7
	6	17.9	29.2	52.9	sM	6.32	3.18	-0.36	0.62	0.44	6.0
	7	34.7	25.3	40.0	sM	5.63	3.24	-0.10	0.48	0.42	5.6
	8	1.8	38.5	59.7	M	7.57	2.07	-0.12	0.73	0.61	9.0
	9	5.0	39.5	55.5	M	7.00	2.46	-0.29	0.63	0.64	11.5
	10	28.4	29.4	42.3	sM	5.80	3.37	-0.12	0.53	0.55	10.7
	11	34.3	28.2	37.5	sM	5.55	3.28	0.02	0.51	0.54	6.7
	12	27.1	32.6	40.2	sM	5.85	3.25	-0.11	0.52	0.43	8.3
Average		23.7	31.1	45.2		5.93	3.06	-0.10	0.57	0.50	7.61

NOTE. Mz : mean grain size, σ : sorting, Sk : skewness, K_G : kurtosis
zS : silty sand, sM : sandy mud, M : mud, Org.C : organic carbon

Table 2 Major, trace and REE composition of the outer-shelf muddy sediment from the East China Sea in comparison to HURS, CHRS, PAAS, and UCC.

Region Element	OSMS ¹	HURS ²	CHRS ²	PAAS ³	UCC ⁴
Al	7.2	5.8	8.1	10.0	8.1
Fe	3.5	2.7	4.7	5.1	3.5
Ca	5.9	4.3	3.3	0.9	3.0
Mg	1.5	1.2	1.7	1.3	1.3
K	2.3	2.0	2.2	3.1	2.8
Na	1.9	1.6	0.8	0.9	2.9
Ti	0.35	0.35	0.61	0.60	0.30
Mn	570	508	1005	853	620
Sr	246	286	128	200	350
Y	22.8	21.7	23.9	27.0	22.0
Zr	136.5	267.0	204.0	210.0	190.0
V	88.8	108.0	168.0	150.0	60.0
Cr	69.5	66.9	99.5	110.0	35.0
Ni	23.4	25.8	40.0	55.0	20.0
Co	10.3	11.4	15.8	–	10.0
Cu	15.2	17.1	40.3	50.0	25.0
Zn	99.6	59.2	108.0	85.0	71.0
Rb	87.8	70.0	100.0	160.0	112.0
Nb	10.5	16.2	22.1	19.0	25.0
Pb	33.1	29.2	49.9	20.0	20.0
Th	12.6	13.0	12.4	14.6	10.7
Cs	9.2	4.0	7.3	–	3.7
U	2.4	2.1	2.6	3.1	2.8
Ba	402	678	691	650	550
Li	73.9	30.8	48.6	–	20.0
Sc	11.0	8.4	11.5	–	11.0
Ta	0.9	1.0	1.2	–	2.2
La	36.1	28.6	35.0	38.0	30.0
Ce	57.9	54.4	64.1	80.0	64.0
Pr	8.31	7.13	8.32	8.83	7.10
Nd	28.2	26.9	32.3	33.9	26.0
Sm	5.6	5.03	6.00	5.6	4.5
Eu	1.20	1.04	1.28	1.10	0.90
Gd	4.40	4.68	5.50	4.7	3.8
Tb	0.77	0.75	0.85	0.77	0.64

Table 2. continued

Region Element	OSMS ¹	HURS ²	CHRS ²	PAAS ³	UCC ⁴
Dy	4.20	4.03	4.66	4.68	3.50
Ho	0.80	0.87	0.97	1.00	0.80
Er	2.32	2.35	2.55	2.90	2.30
Tm	0.30	0.37	0.38	0.405	0.33
Yb	2.34	2.23	2.24	2.82	2.20
Lu	0.31	0.34	0.33	0.43	0.32
ΣREE	152.7	138.8	164.7	183.07	146.39
LREE	136.1	122.1	145.7	164.5	131.6
HREE	15.4	15.7	17.7	17.47	13.87
LREE/HREE	8.66	7.78	8.23	9.41	9.49
(Eu/Eu*)	0.715	0.645	0.670	0.638	0.649
(La/Yb) _N	9.49	8.67	10.56	9.17	9.21
(La/Sm) _N	4.05	3.58	3.67	4.26	4.20
(Gd/Yb) _N	1.70	1.73	1.99	1.40	1.40

1Outer-shelf muddy sediment, 2Huanghe and Changjiang rivers sediment(Zhao and Yan,1992:Yang,1998), 3Post-Archaeanshale average Australian sedimentary rock(McLennan, 1989), 4Average upper continental crust(Taylor and McLennan, 1981).

Table 3 Sampling location, element concentration and Sr isotopic ratios of the surface sediments from the study area, CYSS and CRESS.

Station No	Latitude (N)	Longitude (E)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$	Ca(%)	Ti(%)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	1000/[Sr]	Sr/Rb	Ca/Ti	Sediment type
Outer-Shelf Muddy Sediment(OSMS)											
1	32°30′	125°30′	0.716214±11	3.9	0.37	76.7	190	5.26	2.48	10.54	zS
5	32°00′	126°00′	0.718056±10	5.2	0.41	103.8	200	5.00	1.93	12.68	M
6	32°00′	125° 30′	0.715498±10	4.6	0.38	95.9	175	5.71	1.83	12.10	sM
7	31°30′	125°30′	0.719238±11	4.2	0.41	78.5	190	5.26	2.42	10.24	sM
9	31°30′	126°30′	0.721842±11	6.8	0.37	85.6	230	4.35	2.69	18.38	M
11	31°00′	126°00′	0.714451±12	5.5	0.37	97.2	220	4.55	2.26	14.87	sM
12	31°00′	125°30′	0.716957±11	4.8	0.36	89.9	200	5.00	2.23	13.33	sM
Average			0.717465±11	5.00	0.38	89.7	200.7	5.02	2.24	13.16	
Central Yellow Sea Sediment(CYSS)											
Y1	37°0′	123°30′	0.724979±11	3.9	0.34	103.2	200	5.00	1.94	11.47	sM
Y2	37°00′	124°00′	0.721631±	5.5	0.23	95.6	209	4.79	2.19	23.91	mS
Y6	36°00′	124°30′	0.723710±13	2.8	0.38	109.1	170	5.88	1.56	7.37	sM
Y7	36°00′	124°00′	0.722522±9	2.8	0.47	112.1	160	6.25	1.43	5.96	M
Y9	35°00′	123°30′	0.721258±11	3.5	0.40	109.4	170	5.88	1.55	8.75	C
Average			0.722822±10	3.7	0.36	105.8	181.8	5.56	1.73	11.49	
Changjiang River's Submerged Delta Sediment(CRSDS)											
E1	32°00′	123°00′	0.711966±10	3.1	0.43	76.2	200	5.00	2.63	7.21	zS
E4	31°30′	123°00′	0.712518±10	3.5	0.38	92.5	190	5.26	2.05	9.21	mS
E5	31°30′	122°30′	0.717200±10	3.9	0.39	103.5	180	5.56	1.74	10.00	M
E6	31°00′	122°30′	0.716240±10	4.4	0.47	106.3	170	5.88	1.06	9.36	M
E7	31°00′	123°00′	0.716309±13	4.9	0.45	90.6	210	4.76	2.32	10.89	Z
Average			0.714847±10	4.0	0.42	93.8	190.0	5.29	2.07	9.33	

Note ; mS : muddy sand, zS : silty sand, cS : clayey sand, sM : sandy mud, Z : silt, M : mud, C : clay.