

## 하구갯벌에 있어서 퇴적유기물의 기원 해석 The Origin of Sediment Organic Matters at Tidal Flat in Estuary

신우석<sup>†</sup> · 이용두\* · Megumu FUJIBAYASHI · Yumi NAGAHAMA  
Munehiro NOMURA · Osamu NISHIMURA  
Woo-Seok SHIN<sup>†</sup> · Yong-Doo LEE\* · Megumu FUJIBAYASHI · Yumi NAGAHAMA  
Munehiro NOMURA · Osamu NISHIMURA

일본 동북대학 대학원 공학 연구과 생태공학 연구실 · \*제주대학교 환경공학과  
Graduate school of Engineering Department of Ecological Engineering, Tohoku University, Japan  
\*Department of Civil & Environmental Engineering, Cheju University

(2009년 5월 7일 접수, 2009년 12월 3일 채택)

**ABSTRACT** : The purpose of this study is to clarify the origin of organic matters on sediment and the characteristics of seasonal variation at an estuarine tidal flat. Silt-clay content (<63  $\mu\text{m}$ ), chlorophyll a, TOC, C/N ratio and the stable isotope ratio of carbon and nitrogen were measured at tidal flat around the estuary of the Nanakita River. As a result, organic matters originating from marine organic matter and benthic microalgae greatly contributed to sedimentation of organic matters at Stn.A, sandy tidal flat, though terrigenous organic matters did at Stn.C, muddy tidal flat. Furthermore, it was revealed that the volume and origin of organic matters in the sediments depended on seasonal variation, and the factors were different from the Stns, i.e. benthic microalgae and event for Stn.A, and the eventual sedimentation of organic matters originating from terrestrial plants, respectively.

**Key words** : Origin, Stable isotope, Seasonal variation, Sediment organic matter, Estuary ecosystem

**요약** : 하구 간석 퇴적 유기물의 기원과 계절적 변동 특성을 해명하는 것을 목적으로, 나나키타강 하구 갯벌의 세립토 함유율 (<63  $\mu\text{m}$ ), Chl.a, TOC, C/N비 및 탄소·질소 안정동위원소 비( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ )를 측정했다. 그 결과, 모래질 갯벌에서는 해양성 기원 유기물과 부착 조류의 영향이 큰 것으로 밝혀졌다. 반면, 진흙질 갯벌에서는 육지 기원 유기물의 영향이 컸다. 게다가 퇴적물층의 유기물량과 유기물의 기원은 계절에 따라 변동 하는 것이 분명하고, 그 요인으로서, 모래질 갯벌에서는 부착 조류와 고조(高潮) 및 월파(越波)에 의한 퇴적이 주요인이었으며, 진흙질 갯벌에서는 육상에서의 유기물의 유출에 의한 퇴적이 특징적이었다.

**주제어** : 기원, 안정동위원소, 계절적 변동, 퇴적유기물, 하구 생태계

### 1. 서론

하구역은, 육지와 바다의 접점에 위치해, 담수와 해수가 혼합하고, 더불어 주기적으로 발생하는 조석과 파랑 등의 작용을 받는 특이한 환경을 가지고 있다. 이런 이유로, 하구역에는 해양생물과 담수생물이 공존하고 있으며, 기수환경에 적응한 특유 생물이 존재하는 특이한 공간으로, 다양한 기능이 성립하는 생태학적으로 매우 중요한 장소이다. 이와 같이, 물리·화학적 환경과 생물이 상호적으로 작용해, 하구역 생태계를 형성하는 가운데, 특히 저질의 유기물 함유량의 시간적·공간적 변화는, 저생 동물에게 영향을 주는 중요한 지표가 되고 있다.<sup>1)</sup> 또한, 퇴적 유기물의 양뿐만 아니라 질에 대한 이해는 저생 생태계를 안정적으로 유지하는데 있어 매우 중요

한 정보가 될 수 있으므로 하구역에 있어 퇴적 유기물에 대한 기원조사와 연구가 많이 행해지고 있다. 특히 조사·연구방법 중 유기물 구성원소(탄소, 질소 등)의 안정동위원소는 여러 가지 생물지구화학적 과정에 의해서 변동하기 때문에 그것을 측정하는 것으로 물질의 기원과 그 생성경로의 해석이 가능한 장점을 가지고 있어 하구, 연안 해역에 있어서 유기물의 기원이나 수송 과정 및 먹이연쇄에 대한 많은 연구예가 보고되고 있다.<sup>2)</sup> 그러나 이러한 연구들은 육지에서 바다로 천이하는 현상이 명확하게 나타나고 있는 한편, 어떤 지점에 있어 퇴적 유기물의 기원이 시간에 따라 어떻게 변화할까를 파악한 연구는 적다. 계절에 따른 하구역 유기물 기원 변화에 대한 연구 중 Liu<sup>3)</sup>은, 양자강 하구의 조간대 퇴적물의 탄소, 질소 안정동위원소 비는 크게 달라, 퇴적 유기물은 육지 기원의 기

<sup>†</sup> Corresponding author : E-mail : s-woosuk@hotmail.com Tel : 81-022-795-7473 Fax : 81-022-795-7471

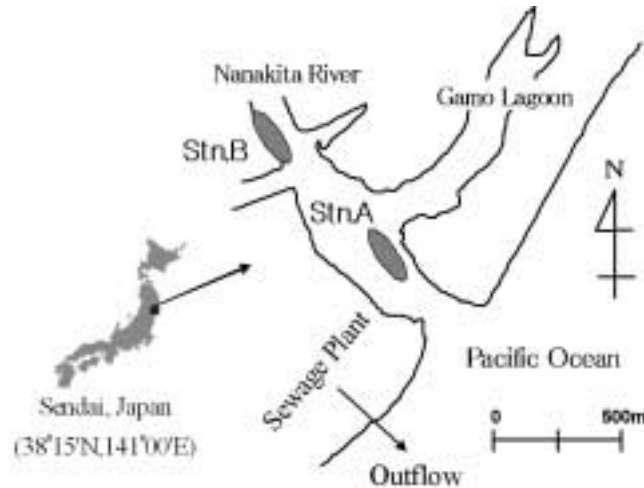


Fig. 1. The study site and sampling points in tidal flats of the Nanakita River estuary.

여가 7월에 높고 2월에 낮은 지점과 거의 같은 지점이 존재하는 등 복잡한 결과를 나타내고 있다. 한편, 본 연구 대상인 나나키타강 하구는 약 500 m 정도에 걸쳐 진흙질 갯벌과 모래질 갯벌이 존재한다. 이와 같이 진흙질 갯벌과 모래질 갯벌이 접하고 있기 때문에 갯벌 퇴적물의 유래는 같다고 생각할 수 있지만, 뚜렷이 상태와 성질이 다른 저질을 나타내고 있으나 그 원인의 기원 해석은 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는, 나나키타 하구 갯벌 퇴적 유기물의 기원과 계절적 변동 특징에 대해서 조사함과 동시에 계절적으로 변동하는 원인의 분석을 목적으로, 1년간 갯벌에 대한 조사를 실시해 비교 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상 하구역의 특징

나나키타강은 일본 미야기현 센다이시 북부를 걸쳐 태평양에 흘러 들어가는 도시 하천으로 하구에서 상류 약 20 km 부근에 처리 수량 약 1만 m<sup>3</sup>/day의 하수처리장뿐만 아니라 하구 남쪽 해안에도 처리 수량 약 50만 m<sup>3</sup>/day의 하수처리장이 있어, 하구의 남쪽 지점, 약 500 m의 위치에서 해양으로 하수처리수를 방류하고 있다. 이와 같이, 본 조사를 실시한 하구역은, 특성의 부하원을 가지는 특색을 가지고 있으며, 더불어 나나키타강의 감조역은 하구에서 상류로 약 4 km까지 존재하고 있다.

### 2.2. 유량 및 강우량 관측

나나키타강의 유량 데이터는 미야기현 하천과에서 하구에서

상류 약 30 km의 지점(이와키리)에서 매 시간마다 측정하는 데이터(기간 : 2007년 1월 1일부터 12월 31일까지)를 이용하였으며, 강우량은 기상청의 AMeDAS 데이터를 이용하였다.<sup>4)</sup>

### 2.3. 조사 방법 및 안정동위원소 분석

하구 갯벌의 2지점(Fig. 1, Stns. A, B)을 2007년 1월부터 12월까지(4월을 제외한 11회) 직경 12 cm×높이 20 cm의 아크릴재질 코어샘플러를 이용해 갯벌 표층 퇴적유기물 0.5 cm를 채취했다. 시료채취시 저질의 공간적 불균일성으로 인한 오차를 줄이기 위해, 1지점에 대해 3회의 샘플링을 실시하였으며, 분석시 각각의 샘플들을 혼합해 사용했다. 클로로필 a(Chl.a)량은 Lorenzen법에 근거해 1 g의 시료를 90% 아세톤(10ml)으로 추출하여 분석하는 추출-흡광 광도법에 의해 측정했다.<sup>5)</sup> 세립토 함유율(입경 63 μm 미만의 중량(%))은 냉동 건조 후에 체를 이용해 측정하였으며 염분은 간조시에 각 지점 주변에 대해서 전기전도도계(DKK-TOA사, CM-21P)를 이용하여 측정했다.<sup>6)</sup> 퇴적물의 TOC 함유량, C/N비(무기성 질소 포함) 및 탄소·질소 안정동위원소 비( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) 측정에서는 염산으로 전처리 후 각각의 원소 분석장치(Elementar사, vario EL III)와 안정동위원소 비 질량 분석장치(Finnigan MAT사, Delta plus)를 이용해 측정했다. 탄소·질소 안정동위원소 비의 값을 다음 식(1)에 의해 결정했다.

$$\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N}(\%) = \left\{ \frac{R_{\text{시료}}}{R_{\text{표준시료}}} - 1 \right\} \times 10^3 \quad (1)$$

여기서, R<sub>시료</sub>는 측정 대상 시료의  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  및  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  비율, R<sub>표준시료</sub>는 국제 표준 시료(PDB: Pee Dee Belemnite)의

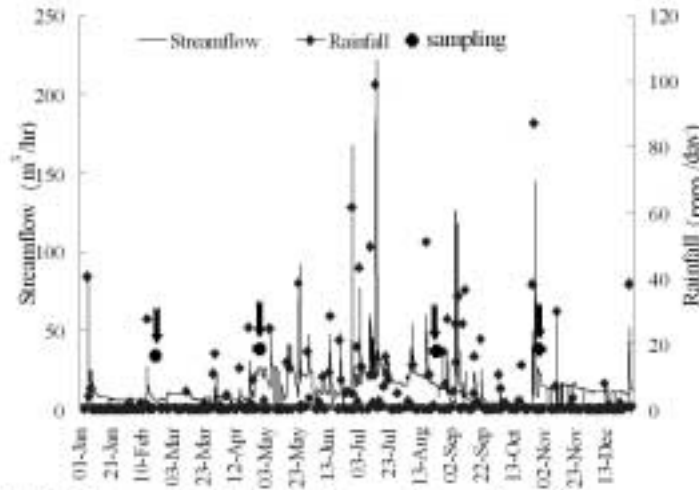


Fig. 2. Temporal variations of streamflow and rainfall on the study area.

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  및 공기의  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  비를 나타내고 있다. 또한, 측정정밀도와 재현성은 탄소와 질소 각각  $\pm 0.2\%$ 이다.

#### 2.4. 잠재적인 유입 유기물의 채집 및 기원 해석방법

퇴적 유기물의 기원으로서 육상식물, 해수 부유성 입자물질(해수POM, Marine particulate organic matter), 하수처리 부유성 입자물질(하수처리POM, Sewage particulate organic matter), 하천 부유성 입자물질(하천POM, Riverine particulate organic matter) 및 저생 부착 미소 조류를 선택했다. 우선, 육상식물은 조사 지점 주변의 식물 조릿대(*Sasa borealis*)와 갈대(*Phragmites australis*)를 측정할 결과, 조릿대의  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 는  $-28.3\%$ ,  $-1.8\%$ , 갈대는  $-26.6\%$ ,  $3.6\%$ 을 얻었다. 이 결과, 조릿대와 갈대의 평균 안정 동위 원소비를 토대로 육상 식물의  $\delta^{13}\text{C}$ 와  $\delta^{15}\text{N}$ 의 값으로 각각  $-27.5\%$ ,  $0.9\%$ 을 선정했다. 또한, 해수POM 측정에 있어서는 하천의 영향을 받지 않는 센다이항의 표층수를 약 2 L 채취하였으며, 채취한 해수는 필터(GF/F)로 여과한 후,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 를 측정하였으며, 각각의 값은  $-19.5\%$ ,  $9.0\%$ 이었다. 하구 갯벌에 있어서 저생 부착 미소 조류의  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 는 모래질 퇴적물의 표층 0.5 cm의 부착 조류를 Richard방법에 따라 배양해 측정했다.<sup>7)</sup> 그 결과,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 는 각각  $-16.3\%$ ,  $6.2\%$ 를 얻었다. 또한, 하천수 POM 측정은 염분이 0을 나타내는 지점의 하천수를 대상으로 하였으며, 각각의  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 는  $-25.5\%$ ,  $8.9\%$ 값을 나타냈다. 하수처리POM 측정은 센다이시 남카모(南蒲生) 하수처리장의 처리공정 중 염소 소독전 처리수에 대해서 GF/F여과지로 여과한 것을 분석하였으며,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 의 값은 각각  $-24.5\%$ ,  $-0.5\%$ 를 나타냈다. 하수처리POM의  $\delta^{15}\text{N}$ 의 값은,

Waldron<sup>8)</sup>(용존 유기물도 포함한 하수처리 유기물의  $\delta^{15}\text{N}: 10.7 \pm 0.7$ )과 비교해 낮은 값을 나타냈지만, Gaston<sup>9)</sup>의 결과(하수처리POM의  $\delta^{15}\text{N}: 0.4 \pm 0.4$ )와 같은 경향을 나타냈다. 또한, 하수처리DOM,<sup>9)</sup> 해수DOM,<sup>10)</sup> 하천DOM<sup>11)</sup>의  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  값은 참고문헌을 인용하였다.<sup>9~11)</sup> 이상의 데이터를 이용해, 육상 식물 유래 유기물과 해수POM, 하천POM 및 저생 부착 미소 조류 유래 유기물 4개의 기여율을 IsoSource 프로그램을 이용해 산출했다.<sup>12)</sup> 여기서, 하수처리POM는 염분을 함유 할뿐만 아니라 해양으로 방류하고 있기 때문에 해수POM만을 이용했다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 각 지점간의 수리 및 저질 비교

Fig. 2에 나타나기타 강의 유량과 강우량의 시간적 변화를 나타내었다. 먼저, 강우량은 여름철(August)과 가을철(October)에 많았지만, 겨울(February)과 봄(May)에는 비교적 적은 경향을 보였다. 또한, 하천유량은 강우량의 영향을 받아, 강우량의 변화와 같은 경향을 나타내었다.

Table 1은 나타나기타강 하구역의 모래질 갯벌(Stn.A)과 진흙질 갯벌(Stn.B)의 퇴적유기물중의 TOC 함유량, 함유율, 염분, Chl.a, C/N비,  $\delta^{13}\text{C}$  및  $\delta^{15}\text{N}$ 에 대해서 1년동안 측정할 결과를 나타내었다. TOC함유량의 평균은 각각 Stn.A(0.08%), Stn.B(2.18%)였다. 평균함유율( $< 63 \mu\text{m}$ )은 Stn.A(0.1%), Stn.B(34.9%)였다. 또한, Stn.A, B에서 평균 Chl.a는 각각  $2.3 \pm 1.7(\mu\text{g/g-dry})$ ,  $13.5 \pm 8.2(\mu\text{g/g-dry})$ 였으며, 위의 값들에 대해서 종합적으로 살펴보면 Stn.A는 모래질로 유기물

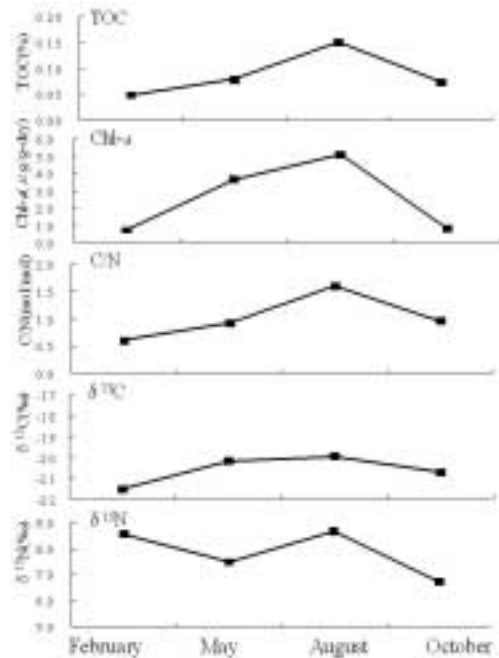
이 적고, 부착 조류도 적은 갯벌이며, 반대로 Stn.B는 진흙질로 유기물이 풍부하고, 부착 조류도 많은 갯벌의 특징을 나타내었다. 표층 퇴적유기물의 C/N비는, Stn.A에서는 0.83이며, Stn.B에서는 Stn.A보다 높은 12.3을 나타낸 반면, 표층 퇴적유기물의  $\delta^{13}C$ 와  $\delta^{15}N$ 는 Stn.A, B에서 각각 -20.7%, 7.9%, -25.9%, 4.3%을 나타내, Stn.A는 Stn.B보다 높은 안정 동위 원소 값을 나타내었다. 이상의 결과로부터 나나키타강 하구 갯벌에서는, 나나키타강으로부터 공급되는 육지 기원의 입상 유기물이 Stn.B에 많이 부하·퇴적해 유기물량의 증가, 진흙 분화(分化)라고 하는 저질 환경의 변화를 일으키고 있다고 사료된다.

C/N비는 유기물 기원의 지표로서 자주 사용되고 있다. 예를 들면, 해양 식물플랑크톤은 6.6 전후, 육상 유래 유기물에서는 12 이상으로 알려져 있다.<sup>13)</sup> 여기서, C/N비 분석에 있어서 C/N비를 높일 수 있는 탄산칼슘의 영향은 염산을 이용하여 제거할 수 있지만 반대로 C/N비를 낮게 할 수 있는 점토 광물 등에 흡착하는 암모늄 이온 등에 대한 인자를 제거할 수 없기 때문에, C/N비가 낮은 값을 나타낼 가능성을 고려할 수 있다.<sup>14)</sup>

Stn.A는 평균 C/N비가 1 이하로 해양 식물플랑크톤 유래 유기물의 영향이 크지만, Stn.B에서는 평균 C/N비가 약 12를 나타내고 있어 육상 유래 유기물의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었다. 또, 하구역의 표층 퇴적물중의 주요한 유기탄소의 기원으로서 식물플랑크톤 등의 해양기원 유기물과 하천으로부터 부하되는 육지 기원(일반적으로 육상 식물 유래)의 유기물뿐만 아니라 갯벌 표면에서 생산량의 높은 비율을 차지하고 있는 저생 미소 조류 유래 유기물을 들 수 있다.<sup>15)</sup> Stn.A의  $\delta^{15}N$ 는 타 조사 지역의 연구에 비해 다소 높은 경향

**Table 1.** Sediment properties of the studied tidal flat stations

	Stn. A	Stn. C
TOC (%)	0.09 (0.05~0.15)	2.01 (1.14~3.35)
Silt-clay content(%)	0.10 (0.02~0.16)	34.9 (32.4~36.8)
Salinity (PSU)	12.0 (9.5~14)	7.9 (5.0~10.3)
Chl-a ( $\mu g/g$ -dry)	2.6 (0.7~5.1)	16.0 (10.0~33.5)
C/N (mol/mol)	1.02 (0.61~1.59)	12.0 (7.7~19.0)
$\delta^{13}C$ (%)	-20.6 (-21.53~-19.94)	-26.0 (-26.2~-25.7)
$\delta^{15}N$ (%)	7.9 (6.7~8.7)	4.2 (3.2~5.0)



**Fig. 3.** Seasonal variation of sediment properties in station A.

을 보이고 있다. 이러한 이유로는 해양으로 방류되는 하수처리장 방류수의 높은  $\delta^{15}N$  (DOM)에 의해 영향을 받은 식물플랑크톤 및 부착 조류의 퇴적에 의한 영향이라고 시사된다.<sup>16,17)</sup> 염분의 결과도 Stn.A에서 해수의 영향이 큰 것으로 나타내었다. 그러나 Stn.B의  $\delta^{15}N$ 는 3.2~5.0%을 나타내고 있어 해양 및 하수처리 영향보다 육상의 영향을 보다 많이 받고 있음을 알 수 있다.

### 3.2. 갯벌 퇴적유기물의 계절적 변화 특성

#### 3.2.1. Stn.A 퇴적물의 계절적 변화 특성

Fig. 3에는, Stn.A 퇴적유기물의 계절적 변화를 나타내었다. TOC 함유량, Chl.a 및  $\delta^{13}C$ 는 봄, 여름에 높고, 가을과 겨울에는 낮은 값을 나타내었다. 그러나 C/N비에서는 여름에 가장 높은 값을 나타내었고, 봄보다 가을이 다소 높은 값을

**Table 2.** Correlation coefficient between sediment properties indicators (r)

		Chl-a	C/N	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
TOC	(Stn.A)	0.87	0.99*	0.83	0.35**
	(Stn.B)	0.92	0.97*	-0.89	0.65*
Chl-a	(Stn.A)		0.82	0.88	0.39**
	(Stn.B)		0.93	-0.69**	0.73
C/N	(Stn.A)			0.84	0.25
	(Stn.B)			-0.76**	0.52*
$\delta^{13}C$	(Stn.A)				0.07
	(Stn.B)				0.70

\*:P<0.05, \*\*:P<0.01

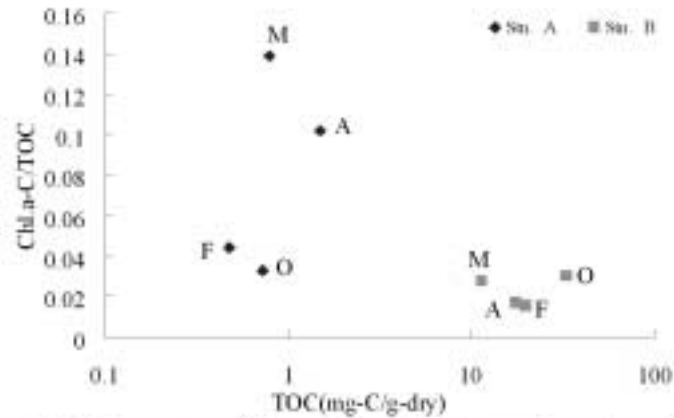


Fig. 4. Proportion of algae origin carbon in total organic carbon.(F: february, M: may, A: august, O: october)

나타내었다. 또한,  $\delta^{15}\text{N}$ 은 여름과 겨울에는 높은 값을 나타냈지만 가을에 최소값을 나타내었다.

퇴적유기물 지표간의 상관관계를 Table 2에 나타내었다. Stn.A에서 TOC 함유량은 Chl.a와 C/N비 및  $\delta^{13}\text{C}$ 에 높은 상관( $r=0.83$  이상)을 나타내었다. 그러나 TOC 함유량과  $\delta^{15}\text{N}$ 에는 비교적 낮은 상관관계를 나타내었다. TOC 함유량과 상관성이 높은 Chl.a을 조류 유래 TOC에 대해서,  $C/\text{Chl.a}=30^{18}$ 로써 계산한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이 결과에 따르면, Stn.A에서는 전 유기탄소 중에 약 3~14%의 조류 유래 탄소를 나타내었다. 여기서 14%로 최대의 기여를 나타낸 계절은 봄이며, 여름은 10.1%였다. 따라서 여름이 타 계절보다 TOC가 높은 이유를 Chl.a만으로 설명하는 것은 곤란하다. TOC 함유량이 높은 여름인 경우는, C/N비,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 가 높은 결과로부터 해양 기원(일반적으로 해양성 플랑크톤의 탄소·질소 안정 동위 원소비는 각각  $-20\%$ ,  $9\%$ )으로 비교적 분해를 받지 않은 입상 유기물이 퇴적됐다고 판단된다. 이 이유로서 월파(越波)나 고조(高潮)등의 비일상적인 이벤트에 의해서 해역으로부터 물질이 유입, 퇴적하고 있음을 알 수 있다. 반면, TOC함유량이 낮았던 겨울에서  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 의 결과를 보면  $\delta^{13}\text{C}$ 는 낮고  $\delta^{15}\text{N}$ 은 높은 특징을 나타내, 육상과 해양유래 유기물의 특성과 다른 특징을 갖는 하수처리 유래 유기물의 영향을 받고 있음을 알 수 있다.<sup>19)</sup> 또한, 하수처리 유래 유기물은 미생물에 의해서 분해된 유기물이므로, 다른 기간에 비해 C/N비는 낮은 특징을 보였다고 판단된다.<sup>3)</sup>

### 3.2.2. Stn. B 퇴적유기물의 계절적 변화 특성

Fig. 5 에는 Stn.B 퇴적유기물의 계절적 변동을 나타내었다. TOC함유량이 높은 가을인 경우, 퇴적유기물을 채취하기 이틀전에 태풍과 함께 폭우(87 mm/day)에 의한 하천유량(일

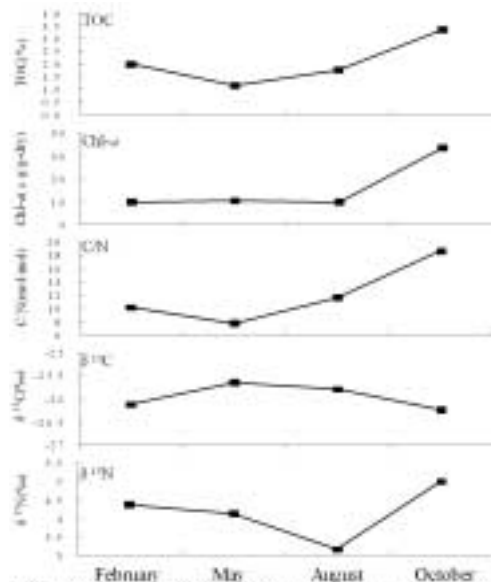


Fig. 5. Seasonal variation of sediment properties in station B.

평균유량 41.3 m<sup>3</sup>/day)의 증가를 나타내었다. 이 영향으로 퇴적유기물 채취당시의 퇴적 유기물의 TOC함유량의 증가를 초래했다고 사료된다. 또한, TOC함유량과 더불어 Chl.a와 C/N비도 다른 기간에 비해 가을(October)에 높았고, TOC함유량과 높은 상관관계( $r=0.92$  이상)를 나타내었다. 그러나  $\delta^{13}\text{C}$ 인 경우, 가을이 다른 계절에 비해 가장 낮은 값을 나타내 TOC함유량과 C/N비 변동과는 반대의 경향을 나타내었다. 단, TOC함유량과  $\delta^{13}\text{C}$ 의 상관관계는  $-0.89$ 로 높고, 반비례하는 경향을 보였다. 마지막으로,  $\delta^{15}\text{N}$ 에서는 가을에 높고 여름에 가장 낮은 값을 나타내었다. TOC함유량과 상관관계가 높은 C/N비와  $\delta^{13}\text{C}$ 의 결과로부터 종합하면, 진흙질 갯벌인 Stn.B에 있어서 TOC함유량 증가에는, 육지 기원 유기물의 퇴적의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었다.

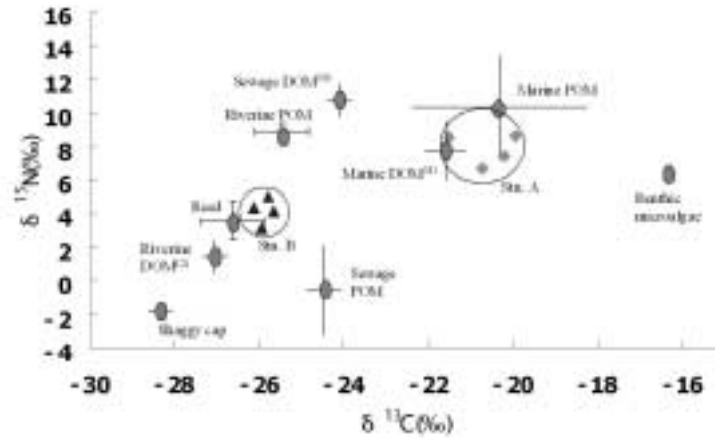


Fig. 6.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  plot of sediment organic matters and their potential inflow sources.

### 3.3. 갯벌 퇴적물의 기원해석

Fig. 6에는 갯벌에 있어서 잠재적인 유입 가능한 유기물 공급원의 안정 동위 원소비를 나타내었다. Stn.A는 해수POM의 영향을 보다 많이 받고 있다. 한편, Stn.B는 Stn.A와 분명하게 다른 육지식물의 영향을 강하게 받고 있음을 나타내었다. 이러한 데이터를 기초로, 육상식물, 해수POM, 하천POM 및 저생 미소 조류 4개의 기원 기여율을 Fig. 7에 나타내었다.

하구 갯벌 퇴적유기물에 대한 기여율은, Stn.A에서 육상식물은 3~16%, 해수POM은 21~57%, 하천POM은 10~23%, 부착 조류는 15~43%를 나타내었다. 이중 비교적 해수POM과 부착 미소조류 기여율이 높았다. 한편, Stn.B에서 각 유기물의 기여율을 보면, 육상식물은 48~71%, 해수POM은 3~12%, 하천POM은 10~48% 및 부착 해초류는 1~6%로 육상 식물과 하천POM의 기여율이 높게 나타났음을 알 수 있었다.

각 지점에서 특징적인 계절 변동을 보였던 시기의 기원을 해석하면, TOC함유량이 높았던 Stn.A의 여름에서는 C/N비가 높았고, 이때 해수POM(57.3%)과 부착 미소조류(29.1%)의 기여가 컸다. 이러한 결과는, 여름철 퇴적 유기물에 있어서 해수POM과 부착 미소조류가 중요한 기원을 차지하고 있음을 시사하고 있다. 반면, TOC함유량이 낮았던 겨울인 경우 해수POM(52.9%)과 하천POM(22.9%)의 기여가 높았던 것으로부터 겨울철 퇴적유기물은 해수POM과 하천POM이 큰 기여를 하고 있음을 알 수 있다. 이 결과로부터, Stn.A에서는 계절에 따라 퇴적하는 유기물의 기원이 큰 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

한편, Stn.B에서 TOC함유량이 높았던 가을(October)에서는 육상식물(48.7%)과 하천POM(47.6%)의 기여율이 96% 이상을 차지했으며, 퇴적유기물은 육지 기원에 의해 단속적(斷續的)으로 공급되어 퇴적되고 있다고 판단된다. Sakamaki<sup>20)</sup>

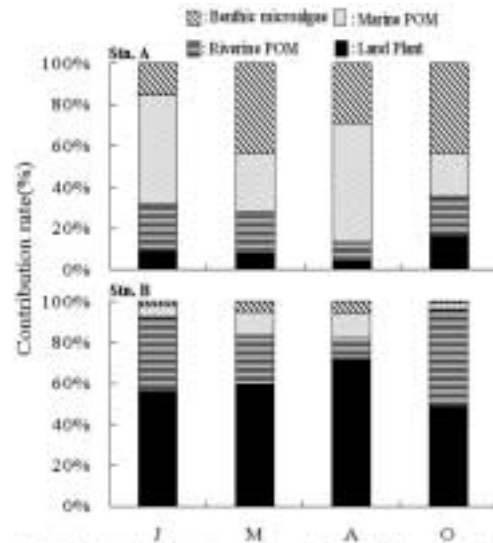


Fig. 7. Contribution rate of each organic matter in investigation spot.

은, 나카타강 하구 갯벌에서 퇴적 유기물의 물리적인 제어 메카니즘에 대해서, 모래질 및 진흙질 갯벌에 대한 특징적인 동적 평형 메카니즘을 분명히 하고 있다. 반면, 본 연구에서는 진흙질 갯벌에 있어서 유출에 의한 것으로 판단되는 주요인으로 육상식물 유래 유기물의 퇴적, 모래질 갯벌에 있어서는 부착 미소조류와 고조(高潮)등 비일상적인 이벤트에 의한 해수 POM 퇴적변동 현상의 한 부분을 기원 해석으로부터 이해할 수 있었다.

### 4. 결론

하구 갯벌에 있어서 퇴적 유기물을 안정 동위 원소 분석을

통하여 서로 다른 갯벌간의 퇴적물의 형성요인을 해석해, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모래질 갯벌에서의 퇴적유기물은 TOC함유량이 낮고, 그 기원으로서 부착 미소조류인 내부 생산 유기물과 해수 POM의 기여가 높았다. 반면, TOC함유량이 높은 진흙질 갯벌에서는 하천POM과 육지식물유래 유기물의 영향을 강하게 받고 있는 것으로 나타났다.
- 2) 또한, 각 갯벌 모두, 비일상적인 이벤트 현상에 의하여 퇴적 유기물의 농도 변화와 더불어 평시와 다른 기원의 유기물이 퇴적되고 있음을 알 수 있었다.
- 3) 결론적으로 근접해 있음에도 불구하고 서로 다른 저질 환경을 나타내고 있는 것은 퇴적유기물의 기원 차이와 더불어 이벤트적인 현상이 큰 영향을 주고 있기 때문이라고 판단된다.

#### KSEE

## 사 사

이 논문은 일본 동북대학 GCOE지원에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

1. Hyland, J., Balthis, L., Karakassis, I., Magni, P., Petrov, A., Shine, J., Vestergaard, O., and Warwick, R., "Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos," *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **295**, 91~103(2005).
2. Y. Mishima, A. Hoshika, and T. Tanimoto., "Deposition rate of terrestrial and marine organic carbon in the Osaka Bay, Seto Inland Sea, Japan, determined using carbon and nitrogen stable isotope ratios in the sediment," *J. Oceanogr.*, **55**, 1~11(1999).
3. M. Liu., L. J. Hou., S. Y. Xu., D. N. Ou., Y. Yang., J. Yu., and Q. Wang., "Organic carbon and nitrogen stable isotopes in the intertidal sediments from the Yangtze Estuary, China," *Mar. Pollut. Bull.*, **52**, 1625~1633(2006).
4. www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php, Japan Meteorological Agency.
5. Lorenzen, C. J., "A note on the estimation of chlorophyll a in freshwater algal communities," *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 340~346(1967).
6. Flemming BW., "A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams," *Cont Shelf Res.*, **20**, 1125~1137(2000).
7. P. Riera., and P. Richard., "Isotopic Determination of Food Sources of *Crassostrea gigas* Along a Trophic Gradient in the Estuarine Bay of Marennes-Oleron," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **42**, 347~360(1996).
8. S. Waldron., P. Tatner., I. Jack., and C. Arnott., "The Impact of Sewage Discharge in a Marine Embayment: A Stable Isotope Reconnaissance," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **52**, 111~115(2001).
9. Troy F. Gaston., and Iain M. Suthers., "Spatial variation in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of liver, muscle and bone in a rocky reef planktivorous fish: the relative contribution of sewage," *Journal of Experimental Mar. Biology and Ecology*, **304**, 17~33(2004).
10. J. I. HEDGES., R. G. KEIL., and R. BENNER., "What happens to terrestrial organic matter in the ocean?," *Org. Geochem.*, **27**, 195~212(1997).
11. Roger I. Jones., Jonathan Grey., Darren Sleep., and Christopher Quarmby., "An assessment, using stable isotopes, of the importance of allochthonous organic carbon sources to the pelagic food web in Loch Ness," *Proc. R. Soc. London, Ser. B*, **265**, 105~111(1998).
12. Donald L. Phillips., and Paul L. Koch., "Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models," *Oecologia*, **130**, 114~125(2002).
13. Nathalie Malet., Pierre-Guy S., Mireille R., Pascale M., and Gael G., "Dynamics and sources of suspended particulate organic matter in the Marennes-Oleron oyster farming bay: Insights from stable isotopes and microalgae ecology," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1-11(2007).
14. 日本海洋學會編, "沿岸環境調査マニュアル," 恒星社厚生閣, 31~34(1986).
15. N. GOTO., "Primary production and relationships between micro-algae and bacteria in pelagic and benthic systems of tidal-flats," *Jpn. J. Limnol.*, **63**, 233~239(2002).
16. H. Yokoyama., A. Tamaki., K. Koyama., Y. Ishihi., K. Shimoda., and K. Harada., "Isotopic evidence for phytoplankton as a major food source for macrobenthos on an intertidal sandflat in Ariake Sound, Japan," *Mar. Ecol. prog. Ser.*, **304**, 101~116(2005).
17. S. D. COSTANZO., M. J. O'DONOHUE., W. C. DENNISON., N. R. LONERAGAN., and M. THOMAS., "A New Approach for Detecting and Mapping Sewage Impacts," *Mar. Pollut. Bull.*,

- 
- 42, 149~156(2001).
18. K. Nakata., and K. Hata., "Evaluation of Nutrient Cysle in Tidal flat," *Jpn. Soc. Wat. Environ.*, **17**(3), 158~166(1994).
19. Van Dover, C. L., J. F. G., Frey, B., Garrit, R. H., and Straczak, V. R., "Stable isotope evidence for entry of sewage-derived organic material into a deep-sea food web," *Nature*, **360**, 153~155(1992).
20. T. Sakamaki., and O. Nishimura., "Physical control of sediment carbon content in an estuarine tidal flat system(Nanakita River, Japan): A mechanistic case study," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **73**, 781~791(2006).