

퇴적물과 수층간의 용존무기질소 플럭스의 시공간적 변동과 1차생산에 미치는 영향

김도희

히로시마대학 생물권과학연구과

Regional and Seasonal Variations of DIN Fluxes Across the Sediment-water Interface and the Effect of DIN Release on the Primary Production

Do-Hee KIM

Graduate School of Biosphere, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, 739, Japan

The purpose of the present study is to estimate the regional and seasonal variations of dissolved inorganic nitrogen (DIN) flux across the sediment-water interface of the inner and central areas of Hiroshima Bay from August 1994 to May 1995. In addition it compares the measured methods and estimates the effect of DIN released from sediment to the primary production of Hiroshima Bay. One method used in this study is to calculate DIN flux from a concentration gradient between sediment porewaters and the overlying water, and the other method is to measure DIN flux from the sediment-core experiment. The fluxes of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ in the inner area were higher than those in central area, all of which showed seasonal variation. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ flux was maximum in August, while $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ flux was high in January compared with the other seasons. The calculated $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ fluxes from sediments were $18.2 \sim 60.8 \mu\text{g-at/m}^2 \cdot \text{hr}$ and $0.24 \sim 18.2 \mu\text{g-at/m}^2 \cdot \text{hr}$, respectively. The measured $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ fluxes across the sediment-water interface were $2.00 \sim 111 \mu\text{g-at/m}^2 \cdot \text{hr}$ and $-265 \sim 82.9 \mu\text{g-at/m}^2 \cdot \text{hr}$, respectively. The former was lower than the latter. The calculated $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ flux showed closer relation to environmental factors (dissolved oxygen in the overlying water, temperature and redox condition of the sediments) than the measured one did. On the other hand, in the case of $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ flux both the calculated and the measured showed little relation to environmental factors, while they turned out to have stronger relation with their concentration in sediments. DIN released from the sediment is expected to support about 25%~67% of the primary production in Hiroshima Bay.

Key words : dissolved inorganic nitrogen (DIN), Hiroshima Bay, primary production, sediment-water interface

서론

해역의 퇴적물은 해역으로 유입하는 여러 가지 물질이 축적되는 장소로 "저질은 오랜 시간에 걸친 수질의 이력서"라고 일컬어지고 있다 (Kawai, 1993). 해역에 유입된 물질 중 입상물질은 침강, 퇴적하고 용존성물질의 일부는 식물플랑크톤에 의해 섭취, 입자화되어 침강, 퇴적된다. 해역에서 조류증식의 주요

제한 영양염인 질소와 인 중 침강, 퇴적된 인산염은 퇴적물이 환원상태일 경우 대개 수층으로 용출되지만 퇴적물중 유기질소는 분해, 무기화 과정을 통해 암모니성 질소로 변하여 산화적인 조건에서는 질산성 질소로 변하며 환원적인 조건에서는 산화되지 않고 암모니아성 질소 그대로 존재하여 퇴적물과 수층간의 농도구배에 의해 수층으로 용출된다 (Kamiyama et al., 1979). 수심이 얇은 내만의 경우 단위 면적당 수용량이 적기

때문에 퇴적물로부터 용출되는 영양염이 내만의 수질 및 1차생산에 큰 영향을 끼칠 것으로 사료된다. 또한 해역으로 유입된 인산염은 퇴적물 및 해역자체에서 순환되나 질소는 대기로부터도 흡수, 고정되며 탈질 과정을 통해 대기중으로 방출되어진다. 최근 해역으로 인의 유입부하량은 감소됨에도 불구하고 질소의 유입은 감소경향을 보이지 않고 있다 (Okaichi, 1995).

퇴적물로부터 영양염 용출 측정방법으로는 대개 Chamber 현장법 및 퇴적물 코아 실내법에 의한 직접법과 연속적인 농도구배와 확산계수로부터 계산하는 간접적인 방법이 이용되고 있으나 (日本海洋學會, 1986), 여전히 그 측정방법의 어려움으로 인해 정확한 평가가 어려운 실정이다.

따라서 본 연구의 주요 목적은 廣島灣 내부와 만 중앙부에서 농도구배와 확산계수로부터 계산하는 간접적인 방법과 퇴적물 코아 실내법을 이용해서 퇴적물과 수층간의 용존무기질소 (DIN) 플럭스의 지역적, 계절적 변동을 조사하고 관련환경 인자와 측정된 두 방법의 결과에 대해서 비교, 검토를 행하며 1차생산에 미치는 DIN용출량의 영향을 평가하는 것이다.

재료 및 방법

1. 조사해역

廣島灣은 瀬戶内海중에서도 가장 폐쇄성이 심하고 만내에는 여러 섬이 존재하여 그 지형이 복잡해서 해수교환이 나쁜 해역으로 알려져 있으며 廣島市를 통과하는 太田川을 비롯해 크고 작은 하천으로부터 담수가 유입해 해역의 저층에는 많은 유기물이 퇴적되고 있다 (廣島市, 1994). 또한 廣島灣은 만 내부와 만 중앙부의 수질 및 저질이 큰 차이를 보이고 있다고 조사, 보고 (橋本 등, 1994) 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 廣島大學의 실습선 “豊潮丸”을 이용해서 廣島灣 내부 (34°19.5'N, 132°23.8'E)와 만 중앙부 (34°08.1'N, 132°22.0'E) 두 지점에서 1994년 8월부터 1995년 5월까지 년4회 계절별 관측과 실험을 행하였다. 수심은 만 내부가 15m, 만 중앙부가 31m으로 저질의 종류는 모두 silt 질이었다.

2. 실험 및 분석방법

각 지점별로 아르릴 코아채니기(내경 5.2cm, 길이 67cm)를 이용해서 퇴적물 8개와 저층수 4개 (비교코아)를 채니, 채수하였다. 채니시 퇴적물이 혼합, 부유되었을 경우에는 버리고 다시 채니했으며 직상수는 퇴적물 상부 1m에서 채수하였다. 퇴적물코아 4개는 최초조건으로 사이폰을 이용해 직상수를 채수해서 일부는 용존산소 (DO)의 측정에 이용하고 나머지는 여과 (Millipore HA, 0.45 μm φ)한 후 냉동 보존해서 실험실로 옮겨 DIN (NH₄⁺-N, NO₂⁻ + NO₃⁻-N) 분석에 사용했다. 용존산소 (DO)는 Winkler법 (Strickland and Parsons, 1972)으로 NH₄⁺-N은 Indophenol법 (Sasaki and Sawada, 1980)으로, NO₂⁻ + NO₃⁻-N은 Cu-Cd환원법 (APHA AWWA WPCF, 1980) 및 NED법 (Bendschneider and Robinson, 1952)으로 분석했다. 직상수 채수후 봉상수는 온도계를 퇴적물에 삽입해서 퇴적물의 온도를 측정후 퇴적층 상부 5cm를 잘라 플라스틱 용기에 옮겼다. 이 퇴적물 20g를 원심분리관 옮겨 2N KCl 20ml를 첨가하고 2000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 채수하여 여과한 후 간극수중의 각 용존무기질소를 분석했다. 또한 5월에는 별도로 퇴적물의 깊이별 (1cm간격) 각 용존무기질소 및 강열감량 (IL)을 측정했다. 퇴적물의 산화환원전위 (Eh)를 포화염화은전극 (동아전과사, PS-112C)으로, 산화발성 황화합물질 (AVS-S)은 검지관법으로 측정하고, 남은 퇴적물은 실험실로 옮겨 小山 (1982)의 방법에 따라 퇴적물의 함수율, 밀도, 체적, 건조량 및 IL을 구했다.

3. 퇴적물과 수층간의 DIN플럭스의 측정법

1) 농도구배와 확산계수로부터 계산한 DIN플럭스 (계산치)

퇴적물과 수층간의 용존물질의 플럭스는 식 (1)로부터 구했다 (日本海洋學會, 1986).

$$J = \phi \cdot D (\Delta C / \Delta Z) \quad (1)$$

여기서 J는 용존무기질소의 플럭스 (μg-at/cm²·sec), φ는 공극률, D는 분자확산계수 (cm²/sec), ΔC는 간극수와 직상수와의 농도차 (μg-at/cm³), ΔZ는 퇴적물의 두께 (cm)이다. 공극률 φ는 식 (2)로부터 계산했다.

$$\phi = \rho / \{ \rho + (1-w)/w \} \quad (2)$$

여기서 ρ 는 건조퇴적물의 밀도 (g/cm^3), w 는 함수율이다. 또한 분자확산계수 D 는 온도에 따라 변화하므로 (Lerman, 1979) 식 (3)으로부터 보정을 행하였다.

$$D_0' = D_0 \cdot (1 + \alpha t) \quad (3)$$

여기서 D_0' 는 $t^\circ C$ 에서의 분자확산계수 (cm^2/sec), D_0 는 $0^\circ C$ 에서의 분자확산계수 (cm^2/sec)이다. 양이온 및 음이온의 계수 α 는 각각 0.048과 0.040을 적용했다 (日本海洋學會, 1986).

2) 퇴적물코아 실내실험에 의한 DIN플럭스 (실험치)

4개 퇴적물 코아중 퇴적층의 두께를 모두 10 cm로 조절한 후 비교코아 4개와 함께 현장의 표면해수가 순환되고 햇빛이 차단된 Chamber (Fig. 1)에 넣어 3시간 배양했다. 퇴적물과 수층간의 용존무기질소 플럭스는 배양후 퇴적물코아 및 비교코아 직상수층의 각 용존무기질소의 농도차를 이용해 식 (4)로부터 계산했다 (Sybil, 1993).

$$\text{Flux } (\mu g-at/m^2 \cdot hr) = \frac{[(E_t - E_i) - (C_t - C_i)] \times \{V\}}{(t \times A)} \quad (4)$$

여기서 E_t 는 배양후 퇴적물코아 직상수층의 농도 ($\mu g-at/l$), E_i 는 최초 퇴적물코아 직상수층의 농도 ($\mu g-at/l$), C_t 는 배양후 비교코아 직상수층의 농도 ($\mu g-at/l$), C_i 는 최초 비교코아 직상수층의 농도 ($\mu g-at/l$), V 는 직상수 용량 (l), t 는 배양시간 (hr), A 는 퇴적물 면적 (m^2)이다.

chamber 현장실험과 퇴적물코아 실내실험의 결과는 비교적 잘 일치하고 있다고 보고되고 있으며 (田中, 1981), chamber 현장실험과 퇴적물코아 실내실험에 의한 용출량은 농도구배와 확산계수로부터 계산되는 용출량에 비해 종종 큰 값을 보이고 있다. 또한 농도구배와 확산계수에 의한 계산법은 chamber 현장 실험 방법에 비해 비교적 간단한 방법이나 퇴적물층의 생물활동에 의한 오차가 있기 때문에 실제 적용시

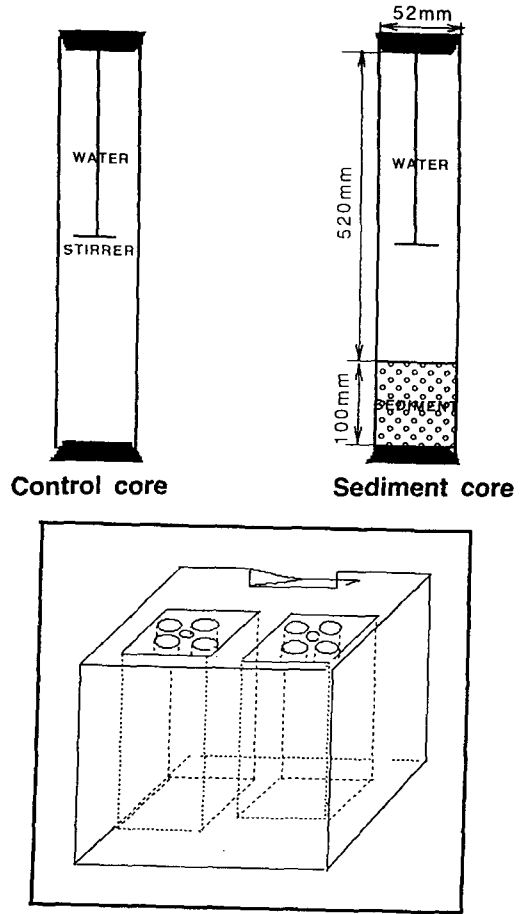


Fig. 1. A schematic diagram of sediment core, control core and incubation chamber used in the present study.

생물활동의 유무에 대해서 신중한 검토가 요구되고 있다 (日本海洋學會, 1986).

결과 및 고찰

1. 저질의 지역적, 계절적 변화

만 내부와 만 중앙부의 퇴적물의 온도는 13.7~25.2 $^\circ C$ 로 1월과 5월에 낮고 8월과 10월에 높았다 (Fig. 2). 각 지점의 직상수층의 DO는 2.60~8.93 ml/l로 지점별 차는 그다지 크지 않았으나 계절에 따른 차이는 크게 나타났으며 2.0 ml/l이하의 저산소는 관측되지 않았

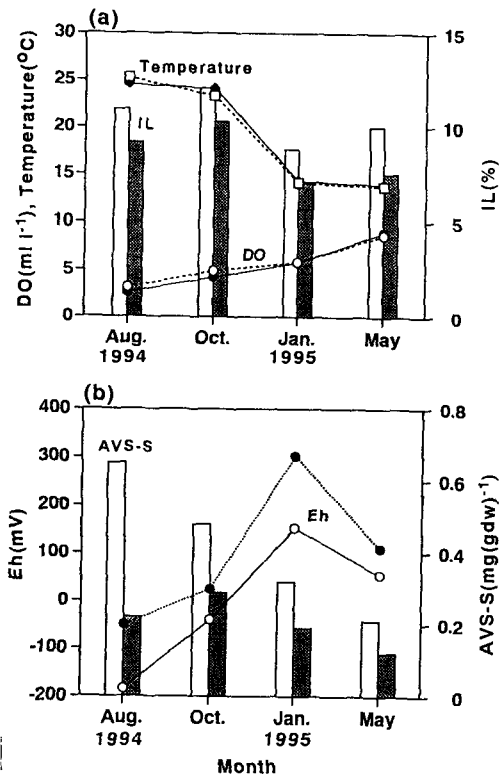


Fig. 2. Variation of various parameters in sediment and the overlying water of Hiroshima Bay. (a) Temperature and ignition loss (IL) of sediment and dissolved oxygen (DO) in the overlying water, and (b) acid volatile sulfide (AVS-S) and Eh of the sediment. Open bars and circles indicate the values obtained in the inner area, and shaded bars and circles indicate those in the central area of Hiroshima Bay.

다. 계절별로는 수온이 높았던 8월에 만 내부에서 3.12 ml/l, 만 중앙부에서 2.60 ml/l인 반면에 수온이 가장 낮았던 5월에 만 내부에서 8.63 ml/l, 만 중앙부에서 8.93 ml/l로 가장 높았다. 계절적인 온도변동과 DO변동과는 밀접한 정(+)의 상관관계가 보였다 ($r=0.86$).

두 지점의 IL는 7.04~12.0%로 전 조사기간동안 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높았으나 계절적인 차이는 그다지 크지 않았다. 두 지점의 Eh는 -185~302 mV로 만 중앙부에 비해 만 내부에서 낮았다. 계절별로는 8월에 만 내부에서 -185 mV, 만 중앙부에서 -51 mV로 환원상태를 보였고 10월에는 각각 -40 mV와 25 mV, 1월과 5월에는 두지점 모두 산화상태

(54.8~302 mV)를 보였다. 퇴적물층의 계절적인 Eh변동과 직상수층의 DO변동과는 약간의 정(+)의 상관관계가 보였다 ($r=0.50$).

두 지점의 퇴적물층 AVS-S는 0.08~0.65 mg/g(dw)로 언제나 만 내부에서 높았고 계절적으로는 환원상태를 보였던 8월에 가장 높았고(두 지점 평균 0.44 mg/g(dw)) 산화상태였던 5월에 가장 낮았다(두 지점 평균 0.17 mg/g(dw)). 계절적인 AVS-S변동은 DO 및 Eh변동과 각각 부(-)의 상관관계를 보여(각각 $r=-0.57$, $r=-0.77$) 직상수층의 용존산소가 감소됨에 따라 퇴적물층의 Eh가 감소하고 AVS-S는 증가되는 것으로 나타났다.

퇴적물층 NH_4^+-N , $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ 및 IL의 깊이별 농도 분포를 조사한 결과 만 내부 및 만 중앙부의 NH_4^+-N 및 IL는 퇴적물 상부 1~2 cm에서 높았으나 $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ 은 0~3 cm에서 높은 농도를 보였다. 이는 유기물의 축적 및 NH_4^+-N , $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ 의 생성이 퇴적물 상부 1~3 cm에서 주로 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 퇴적물 상부 5 cm를 기준으로 해서 저질 및 각 용존무기질소의 용출실험을 행하였다.

직상수 및 퇴적물 상부 5 cm중 NH_4^+-N 농도는 각각 1.06~6.12 $\mu\text{g-at/l}$ 및 159~658 $\mu\text{g-at/l}$ 로 전 관측기간에 걸쳐 직상수에 비해 간극수에서 높았고 지점별로는 5월의 직상수를 제외하고 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높았다(Kim et al., 1995; Fig. 3). 계절적으로는 8월에 가장 높았다. 직상수 및 간극수중 $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ 농도는 각각 0.60~5.29 $\mu\text{g-at/l}$ 및 6.45~224 $\mu\text{g-at/l}$ 로 직상수에서는 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높았으나 간극수에서는 뚜렷한 차이가 보이지 않았다. 계절적인 $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ 농도는 10월에 직상수에서는 높았으나 간극수에서는 낮았고 퇴적물이 산화상태를 보였던 1월에 높은 농도를 보였다.

2. 퇴적물과 수층간의 DIN플럭스의 지역적, 계절적 변동

NH_4^+-N 플럭스의 계산치는 18.2~60.8 (평균 32.5) $\mu\text{g-at/m}^2 \cdot \text{hr}$, 실험치는 2.00~111 (평균 83.4) $\mu\text{g-at/m}^2 \cdot \text{hr}$ 로 8월을 제외하고 계산치와 실험치가 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높고, 계절적으로는 8월에 가장 높았으며 5월과 1월에 낮은 경향을 보였다(Fig.

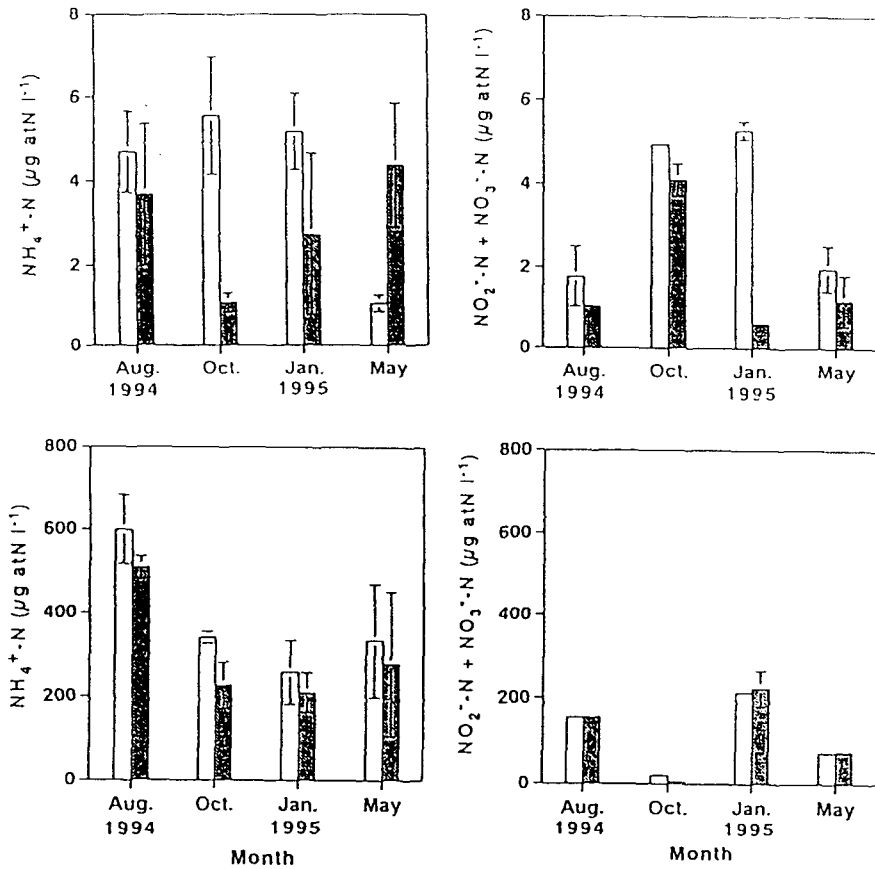


Fig. 3. Variation of ammonium and nitrite+nitrate concentrations in (upper) the overlying water and (lower) the sediment porewater. Open bars and shaded bars indicate the values obtained from the inner and the central areas of Hiroshima Bay (Kim et al., 1995).

4). 만 중앙부에 비해 만 내부에서 NH_4^+-N 의 용출이 높게 나타난 것은 지점별 IL 및 NH_4^+-N 의 농도 분포에서 알 수 있듯이 만 중앙부에 비해 만 내부로 많은 유기물이 유입, 퇴적되어 간극수중에 NH_4^+-N 의 농도가 높게 분포하여 수층으로 그 용출을 증가시켰을 것으로 사료된다. 실제 만 중앙부에서 IL이 7.04~10.2%인 것에 비해 만 내부에서는 8.82~12.0%로 높게 나타났으며 (Fig. 2) 간극수중 NH_4^+-N 의 농도도 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높게 분포하고 있었다 (Fig. 3). 1월과 5월보다 8월에 NH_4^+-N 의 용출플럭스가 높게 나타난 것은 온도의 상승에 따라 퇴적물중 유기물의 분해가 증가해 용존산소가 고갈되고 퇴적물이 환원상태로 변화고 간극수중 NH_4^+-N 농도

가 증가하여 그 용출속도를 증가시켰을 것으로 생각된다. 실제 8월에 퇴적물에서 이와 같은 일련의 변화가 잘 관측되었다 (Fig. 2).

$NO_2^- + NO_3^-$ -N플럭스의 계산치는 0.24~18.2 (평균 10.1) $\mu g-at/m^2 \cdot hr$, 실험치는 -265~82.9 (평균 29.1) $\mu g-at/m^2 \cdot hr$ 로 계산치의 경우 변동폭이 적고 (SD=±0.1~±1.1) 용출플럭스를 보였으나 실험치는 변동폭이 크고 (SD=±0.2~±43) 때때로 침강플럭스가 관측되었다 (Fig. 4). 지점별 경향은 NH_4^+-N 와 마찬가지로 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높았으나 계절적 변동은 NH_4^+-N 와 반대로 계산치와 실험치가 1월에 높고 10월에 낮은 결과를 보였다. 1월에 $NO_2^- + NO_3^-$ -N용출이 높게 나타난 것은 해표면의 냉각

퇴적물과 수층간의 용존무기질소 플럭스의 시공간적 변동과 1차생산에 미치는 영향

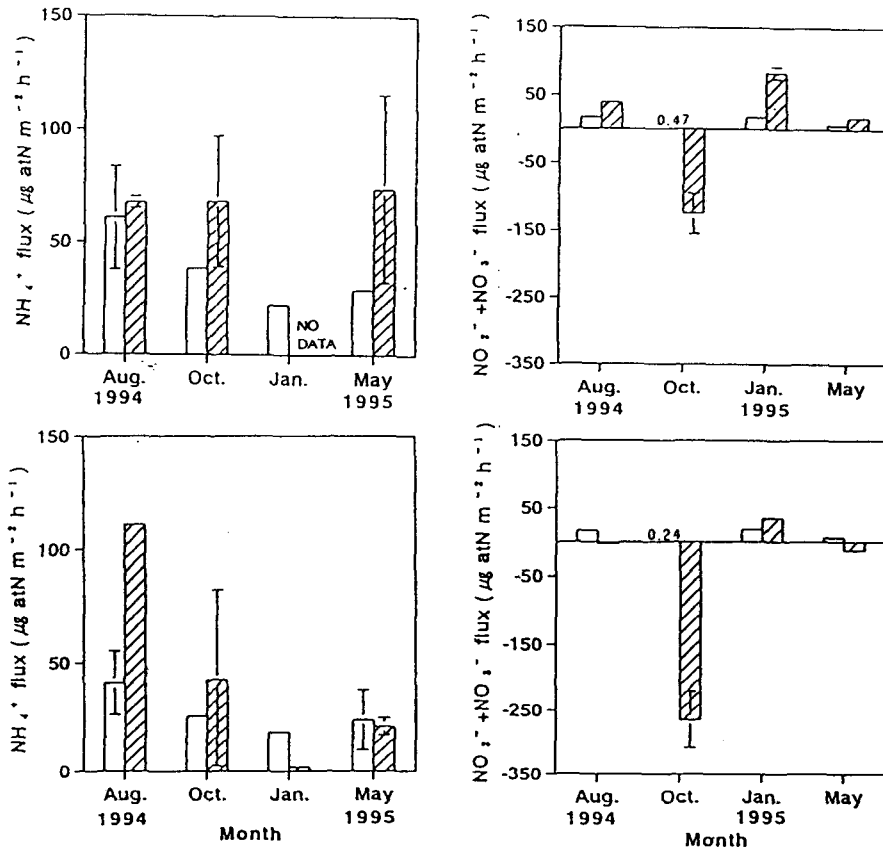


Fig. 4. Variation of ammonium and nitrite+nitrate fluxes across the sediment-water interface in (upper) the inner area and (lower) the central area of Hiroshima Bay. Open bars and shaded bars indicate the calculated and measured values, respectively.

과 강한 계절풍에 의해 수층이 연직적으로 잘 혼합되어서 퇴적물로부터 산소가 충분히 공급되어 질산화 박테리아에 의한 NH₄⁺-N의 산화가 활발히 이루어져 간극수층 NO₂⁻ + NO₃⁻-N의 농도가 증가하여 수층으로 그 용출속도를 증가시켰을 것으로 판단된다. 이는 관측된 1월의 간극수층의 NO₂⁻ + NO₃⁻-N의 농도가 높게 분포하고 있는 것과 잘 일치했다 (Fig. 3).

田中(1981)은 7~8월 호소에서 chamber를 이용한 수괴격리실험을 이용해 DIN용출속도를 구한 결과 119~208 μg-at/m²·hr라고 보고했고 Kamiyama et al., (1979)은 三河灣의 퇴적물로부터 용출되는 NH₄⁺-N 용출속도를 구한 결과 하계에 192 μg-at/m²·hr, 동계에 58.3 μg-at/m²·hr의 결과를 각각 얻었다. 또한 Hosomi (1993)은 霞ヶ浦 및 湯の湖의 퇴적물로부터 용출되는 NH₄⁺-N량을 측정된 결과 chamber현장 실험으로는 28.6

μg-at/m²·hr, 코아현장법으로는 44.6 μg-at/m²·hr, fick법칙을 근거한 수리모델법으로는 39.3 μg-at/m²·hr의 결과를 각각 얻었다. 본 연구에서 구한 연평균 DIN용출량의 계산치는 42.6 μg-at/m²·hr, 코아 실내실험치는 113 μg-at/m²·hr으로 대체로 높은 결과를 보였으며 계산치는 하계의 三河灣과 비슷하고 실험치는 위의 기 보고된 호소의 퇴적물에서 구한 값과 비슷한 결과를 보였다.

3. 퇴적물과 수층간의 DIN플럭스의 계산치와 실험치의 비교

NO₂⁻ + NO₃⁻-N플럭스의 경우 침강플럭스를 제외하고 대부분의 경우 각 용존무기질소 플럭스의 실험치가 계산치보다 2~3배 정도 높고, 그 결과의 변동 폭도 실험치가 계산치보다 심했다(계산치; SD=

$\pm 0.1 \sim \pm 15$, 실험치; $SD = \pm 0.2 \sim \pm 43$). 그 이유는 계산치의 경우 퇴적물과 수층간의 농도차, 분자확산계수 및 공극률로부터 계산되기 때문에 비교적 안정적인 반면에 실험치는 조석 등에 의한 저층수의 유동 및 퇴적물중의 생물활동등 현장의 조건이 항상 변하기 때문으로 사료된다. 또한 $NH_4^+ - N$ 플럭스의 경우 계산치가 실험치에 비해 관련환경 인자(직상수중의 용존산소, 퇴적물의 온도 및 산화환원전위)와 밀접한 관계를 보였으나(계산치; $r = 0.75 \sim 0.98$, 실험치; $r = 0.74 \sim 0.86$), $NO_2^- + NO_3^- - N$ 플럭스의 계산치 및 실험치는 관련 환경인자와는 상관관계가 낮았으나(상관계수가 각각 0.40 이하) 간극수중의 그들의 농도와는 아주 밀접한 관계를 보여(상관계수가 각각 0.97 및 0.85), $NO_2^- + NO_3^- - N$ 플럭스는 전적으로 간극수중의 농도에 따라 좌우되는 것으로 사료되었다.

이상의 결과로부터 DIN 플럭스는 직상수와 간극수중의 농도차, 분자확산계수 및 퇴적물의 공극률에 따라서도 달라질 수 있겠지만 계산치는 주로 오랜 기간 동안 퇴적된 간극수중의 농도에 따라 좌우되는 것으로 볼 때 안정적인 방법으로 판단되나 퇴적물 코아실내 실험에 의한 실험치는 그 결과치의 변동폭이 심한 것으로 보아 현장의 조건과 실험방법에 따라 크게 변동될 수 있는 방법으로 생각되어 측정시 현장조건에 대한 세심한 고찰과 실험방법상의 깊은 주위가 요구되는 것으로 판단되었다.

4. 1차생산량에 미치는 DIN 용출량의 평가

橋本 등(1995)은 1993년 10월부터 1994년 6월에 걸쳐 廣島灣의 두지점에서 ^{13}C 법을 이용해 년4회 계절별 1차생산량을 측정 한 결과, 廣島灣의 연평균 1차생산량을 $0.972 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{day}$ 라고 보고했다. 본 연구에서 구한 퇴적물로부터 용출되는 용존무기질소가 식물플랑크톤에 모두 이용된다고 가정하고 식물플랑크톤에 의한 C/N 섭취량의 원자비 20 (MacIsaac and Dugdale, 1972)를 기준해서 측정된 두 지점의 계산치 및 실험치의 용존무기질소 용출량을 단위면적당의 탄소량으로 환산한 결과, 각각 연평균 $0.246 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{day}$ 및 $0.648 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{day}$ 였다. 이는 시간적인 차이는 있으나 앞서 보고된 廣島灣의 연평균 1차생산량과 비교하면 각각 약 25%와 67%에 상당하므로 본 연구에서 구한 廣島灣 전체 퇴적물로부터 용출되는 용존무기질소가 廣

島灣 전체 1차생산량의 약 25%~67% 정도를 기여할 것으로 추정되었다.

요 약

1994년 8월부터 1995년 5월까지 년4회 廣島灣 내부와 만 중앙부에서 퇴적물과 수층간의 용존무기질소 플럭스의 지역적, 계절적 변화와 그 측정방법 및 1차생산과의 관계를 조사한 결과는 다음과 같다.

1) $NO_4^+ - N$ 플럭스의 계산치 및 실험치는 용출플럭스를 보였고, 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높았다. 계절적으로는 8월에 가장 높고 1월과 5월에 가장 낮았다.

2) $NO_2^- + NO_3^- - N$ 플럭스의 계산치는 두 지점에서 용출플럭스를 보였으나 실험치는 때때로 침강플럭스가 나타났다. 지역적인 차는 $NO_4^+ - N$ 와 마찬가지로 만 중앙부에 비해 만 내부에서 높았으나 계절적으로는 10월에 가장 낮고 1월에 가장 높았다.

3) $NO_4^+ - N$ 및 $NO_2^- + NO_3^- - N$ 플럭스의 계산치와 실험치의 지역적, 계절적 변동은 대체로 잘 일치하였으나 실험치가 계산치보다 2~3배 높았다. 또한 $NO_4^+ - N$ 플럭스는 관련환경 인자와 밀접한 관계를 보였으나 $NO_2^- + NO_3^- - N$ 플럭스는 간극수중의 그 농도와 아주 밀접한 관계를 보였다.

4) 퇴적물로부터 수층으로 용출되는 용존무기질소와 해역의 1차생산량과의 관계를 검토한 결과, 廣島灣 전체 퇴적물로부터 용출되는 용존무기질소가 廣島灣 전 해역의 1차생산의 약 25%~67% 정도를 기여할 것으로 추정되었다.

감사의 글

본 연구의 정리에 있어서 많은 조언과 지도를 해주신 廣島大學 수권환경학연구실의 松田 治교수 및 山本民次교수님께 감사드리며 관측과 실험에 있어서 많은 협조와 도움을 주신 동대학의 실습선 “豊潮丸”의 郷秋雄선장 및 승무원을 비롯해 수권환경학 연구실의 실험실원들에게도 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- APHA · AWWA WPCF, 1980. Standard Method for the Examination of Water and Waste Water, 15 th ed., Amer. Public Health Ass., Washington D. C., pp. 370~373.
- Bendschneider, K. and R. J. Robinson, 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11, 87~96.
- Hosimi, M., 1993. Nitrogen and phosphorus release from bottom sediments and its control. *J. Jap. Soc. Wat. Env.* 16, 23~28 (in Japanese).
- Kamiyama, K., Okuda, S. and Kawai, A., 1979. Release and distribution of ammonium in sediment. *Water and Wast*, 21(3), 29~22 (in Japanese).
- Kawai, A., 1993. Bottom sediment in aquatic environments. *J. Jap. Soc. Wat. Env.*, 16, 1 pp. (in Japanese).
- Kim, D. H., T. Yamamoto and O. Matsuda, 1995. Estimation of inorganic nitrogen flux from the sediment of Hiroshima Bay, Japan. *J. Fac. Appl. Biol. Sci. Hiroshima Univ.*, 34, 185~190(in Japanese).
- Lerman, A., 1979. *Geochemical processes water and sediment environments.* John Wiley and Sons. 481pp. New York.
- Maclisacc, J. J. and R. C. Dugdale, 1972. Interaction of light and inorganic nitrogen in controlling nitrogen uptake in the sea. *Deep-Sea Res.*, 19, 209~232.
- Okaichi, T. 1995. Reduce of nitrogen load into Seto Inland. *Setouchi Kagaku*, 2(3), 9 pp. (in Japanese).
- Sasaki, K. and Y. Sawada, 1980. Determination of ammonia in estuary. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46, 319~321.
- Strickland, T. D. H. and T. R. Parsons, 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis.* Bull. Fish. Res. Bd, Canada, 169 (2nd Ed.), 311pp.
- Sybil, P. S. 1993. *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology.* pp. 633~642. Lewis Publisher, Boca Raton, Florida, 33431.
- 日本海洋學會, 1986. 沿岸環境調査 マニュアル(底質, 生物偏), pp. 80~84.
- 廣島市, 1994. 廣島市環境白書. pp. 71~72.
- 橋本俊也・松田・治 山本民次・米井好美, 1994. 廣島灣海況特性. 廣島大學生物生産學部紀要 33, 9~21.
- 小山忠四郎, 1982. 水質・底質化學分析法. 成文堂, 東京. pp. 197~198.
- 田中哲治郎, 1981. 溶出機構解明のため一連の實驗とその結果について. 國立公害研究所調査報告, 16, 105~109.
- 橋本俊也・松田・治 山本民次・多田邦尚, 1995. 瀬戸内海の一次生産の定量的把握. 1995年度日本海洋學會春季大會講演要旨集, 361 pp.

1996년 5월 9일 접수

1996년 7월 5일 수리