

熱帯・亜熱帯域の河川水中の溶存態・懸濁態生物由来ケイ素の動態

2007年3月 自然環境学専攻 海洋物質循環学分野 56717 坪井良恵

指導教員 教授 小池勲夫

キーワード：溶存態ケイ素、懸濁態生物由来ケイ素、流水、河川内プロセス

1. はじめに

ケイ素は多くの高等植物や藻類にとって必須な栄養元素である。河川水中のケイ素は鉱物の化学風化により供給され、主に溶存態ケイ素 (DSi) として存在する。河川水中で DSi の一部は生物によって取り込まれ、懸濁態生物由来ケイ素 (BSi) として沈殿除去され、残りが海に供給される。現在世界の河川でダムなどの停滞水域が造られることにより河川の富栄養化とあいまって、DSi が BSi として沈殿除去される量が増加したため、海への DSi 供給量が減少していることが報告されている。一方、停滞水域以外でも付着ケイ藻などによる DSi の取り込みと BSi 固定は起きていると考えられるが、河川全体でのケイ素動態に関する知見はダム等の停滞水域に比べてはるかに不足している。

本研究は、河川水における溶存態の DSi と懸濁粒子中の BSi の変動が、河川中の栄養塩、生物活動などによってどのように支配されているかを明らかにすることを目的とした。このうち、DSi 濃度の変動は、河川中での生物過程のみならず、河川水を涵養する流域の土壌などでの生物過程も反映する特性を持っている。一方、BSi の変動は、主に河川水中および底質と水中との相互作用の支配を受けると考えられる。さらに、これまでケイ素の動態に関して情報が不足している熱帯・亜熱帯アジア域での河川を研究水域に選ぶことによって、本研究は発展がめざましいこれらの地域における沿岸域生態系の富栄養化リスクの検証にも貢献する。

2. 調査地および調査項目

本研究の調査は、沖縄県石垣島 (2005年6、7月、2006年8月) とタイ (2006年3月、12月) で夏季または乾季の時期に行われた。炭酸塩地質河川として石垣島の轟川、ケイ酸塩地質として石垣島の名蔵川、タイの Khura 川、そして上流がケイ酸塩、下流が炭酸塩地質の石垣島の宮良川とタイの Trang 川、計5本の河川を対象河川とし、それぞれの河川において流程に沿ったシノプティック調査を行った。また、5本の河川の内、轟川と宮良川は富栄養化が進行している。

測定項目は次の通りである。(1) DSi濃度、(2) BSi濃度、(3) 栄養塩濃度 (硝酸・亜硝酸・アンモニア・リン酸)、(4) 陽イオン濃度 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+})、(5) 全炭酸 (DIC) 濃度、DICの炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$)、(6) 懸濁態有機炭素 (POC)、POCの炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$)、(7) 懸濁態窒素 (PN)、PNの窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{PN}}$)、(8) クロロフィル a 濃度、(9) その他水質項目 (水温、pH、塩分)

3. 結果および考察

図1にタイ Khura 川の淡水域における DSi、BSi 濃度などの上流部からの変動を示した。ケイ酸塩地質である Khura 川の DSi 濃度は最上流部の約 $160 \mu\text{M}$ から流程に沿って減少する傾向を示した。炭酸塩地質の轟川の DSi 濃度はほぼ同程度 (最上流約 $200 \mu\text{M}$) であったが、ケイ酸塩地質の名蔵川 (約 $550 \mu\text{M}$)、宮良川 (約 $600 \mu\text{M}$) では明らかに濃度が高かった。懸濁粒子中の BSi 濃度は下流に向かって増加し、河川での生物活動による DSi の消費を示している。

図2は POC/PN 比と POC に占める BSi の割合を調査した全河川で見た図であるが、POC/PN 比は流程に沿って低下しつつ、微細藻類に典型的な比に近づいた。同様にクロロフィル a 濃度も流下するにつれ上昇しており、河川内で微細藻類による生物生産が起きていることが示唆された。BSi/POC 比は上流で低いが、中～下流において大きな変動を示すようになり、河川内生物生産と BSi との関連が示唆された。

河川水の BSi 濃度の平均値には地質による大きな違いはみられなかった。一方、栄養塩濃度でみると、轟川（最大硝酸濃度 260 μM ）、宮良川（270 μM ）が最も富栄養化しており、Trang 川（30 μM ）と名蔵川（20 μM ）も中程度の富栄養化が見られた。Khura 川（5 μM ）が調査河川の中ではもっとも貧栄養だった。BSi 濃度は Trang 川・宮良川・名蔵川が同程度に高く、中程度以上の富栄養化が BSi の生成を促進すると考えられた。逆に Khura 川では栄養塩濃度が低く BSi 濃度も低かった。

BSi 濃度からは、DSi 除去量を定量的に評価することができない。そこで最後に、溶存態成分から淡水域の DSi の除去量を推定することを試みた。風化のインデックスとして陽イオン当量を使用し、主要陽イオンの構成比が安定している区間内の DSi の除去量の推定を行った。その結果、宮良川では -29 ± 7 $\mu\text{M}/\text{km}$ と見積もられた（表1）。推定値から栄養塩濃度の高い河川で DSi 除去量が高い傾向が示され、これは調査した河川における BSi 濃度の変動とも整合的であった。

ただしこの見積りでは河川内プロセス以外の除去過程の影響を受けている可能性も排除できない。今後は、できるだけ河川内プロセスの取り込み量を正確に見積もるために、保存成分のインデックスについて検討を行う必要がある。

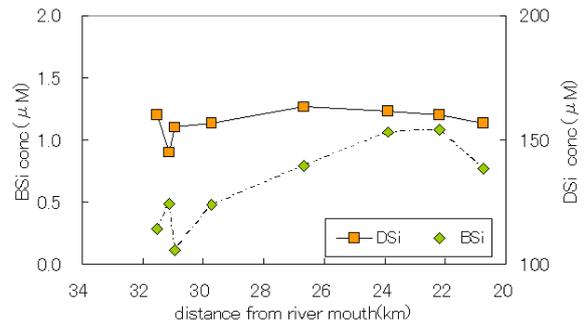


図1 タイ Khura 川の BSi、DSi 濃度の流程変化（淡水域）

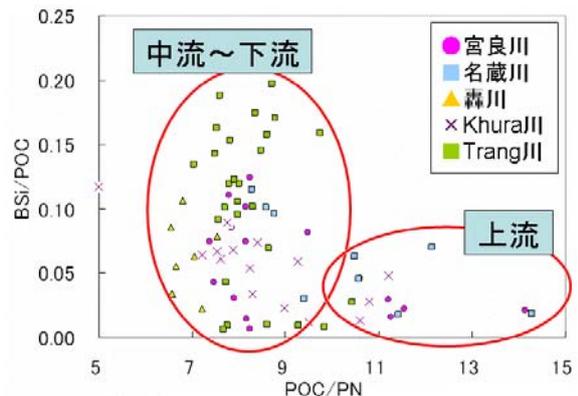


図2 POC / PN 比と BSi / POC の割合（河川全体）

	推定区間のDSi除去量 (推定値±標準誤差) ($\mu\text{M}/\text{km}$)	硝酸平均濃度 (μM)
宮良川 (2006/8/9)	-29 ± 7	52
宮良川 (2006/8/15)	-34 ± 34	47
轟川(支流) (2006/8/14)	-35 ± 11	160
轟川(本流) (2006/8/14)	-50 ± 16	210
Khura川 (2006/12/13)	-5 ± 0.81	5
Trang川 (2006/12/18)	-0.63 ± 0.09	19

参考値(ダム): 宮良川 $-100 \sim -300$ μM
名蔵川 $-150 \sim -190$ μM (雨天時: 53 μM)

表1 各河川の設定区間の 1km あたりの DSi 除去量の推定値一覧

Dynamics of dissolved silicate and biogenic silica in tropical and subtropical river water

2007. March Institute of Environmental Studies
Course of Marine Environmental Studies 56717 TSUBOI, Yoshie
Supervisor, Professor KOIKE, Isao

Keywords: dissolved silicate, biogenic silica, stream water, in-river process

1. Introduction

Silicon (Si) is one of the essential bio-elements for some terrestrial higher plants and aquatic microalgae. Silicon is supplied to rivers principally as dissolved silicate (DSi) as a result of chemical weathering of silicate minerals. DSi is transported through the rivers down to the sea, while some fraction of DSi is incorporated by riverine organisms such as diatoms and transformed to biogenic silica (BSi). DSi removal from river water as BSi is known to be enhanced by the construction of reservoirs (e.g. dams), which reduces DSi supply to coastal waters. Removal of DSi and production of BSi occurs not only in reservoirs but in the flowing parts of rivers. However, there is much less knowledge about the dynamics of Si under flowing conditions.

The aim of this study is to reveal the effects of nutrients and biological activity on the dynamics of DSi and BSi in whole river systems. DSi in rivers can be affected by watershed processes such as chemical weathering and retention of Si by plants, as well as by in-river processes such as consumption by diatoms. In contrast, the variation of BSi is mainly controlled by biological production and the balance between sedimentation and resuspension. In this study tropical and subtropical Asian rivers were chosen as study areas, since the information regarding the dynamics of Si in low-latitude regions is relatively poor. In rapidly developing tropical and subtropical Asian regions, this information is crucial for the management of the watershed and coastal waters especially in relation to coastal eutrophication.

2. Study area and Method

The Todoroki, Nagura and Miyara Rivers in Ishigaki Is. Okinawa (Jun. and Jul. 2005, Aug. 2006), and the Khura and Trang Rivers in southern Thailand (Mar. and Dec. 2006, dry season) are selected as study sites. The watershed geology is carbonate rock in the Todoroki R., silicate rock in Nagura and Khura Rivers and silicate rock at upstream and carbonate rock at downstream area in Miyara and Trang Rivers, respectively. Synoptic observations were conducted along the rivers. Measured components in river water are (1) DSi, (2) BSi in particles, (3) dissolved inorganic nutrients (nitrate, reactive phosphate, etc) (4) cation conc. (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) (5) dissolved inorganic carbon and its stable isotope ratio, (6) particulate organic carbon (POC), particulate nitrogen (PN) and their stable isotope ratio, (7) chlorophyll a (Chla), (8) other water parameters (water temperature, pH, and salinity).

3. Results and Discussion

Figure 1 shows longitudinal changes in DSi & BSi in the freshwater part of Khura R. (silicate bedrock). DSi was 160 μM at the most upper site, and tended to decrease toward downstream. DSi at the Todoroki river (carbonate bedrock) was the same range around 200 μM . However, DSi was very high in the of Nagura and Miyara Rivers (silicate rock, 550 and 600 μM). The BSi in the Khura R. increased downstream clearly, indicating biological production of BSi. Figure 2 shows relationship between POC/PN and BSi/POC ratio obtained from all the rivers observed. POC/PN exhibited higher values typical to terrestrial POM in the upper reaches, and lower values typical to microalgal POM in the middle and lower reaches. In contrast, BSi/POC as well as Chl a took higher values in downstream regions. These indicates close correlation between microalgal abundance and accumulation of BSi.

Geological differences between observed rivers gave no clear trend to the difference of average of BSi conc. in the river water. Among the rivers studied, the Todoroki and Miyara Rivers (NO_3^- : max. 260 and 270 μM , respectively) were the most eutrophic. The Trang and Nagura Rivers (30 and 20 μM) were moderately eutrophic, while the Khura R. (5 μM) was the most oligotrophic. Average BSi conc. was at a similar level among Trang, Miyara and Nagura Rivers. Therefore, moderate and high eutrophication is expected to promote the BSi production. BSi conc. was low at the oligotrophic Khura river.

Quantitative evaluation of DSi removal from BSi accumulation in river would be problematic. Therefore, DSi removal rates due to in-river biological processes were estimated based on spatial changes in the ratio of DSi to the major cation equivalent that was used as a conservative proxy of chemical weathering products. In the case of the Miyara R., removal rate of DSi along the river was calculated to be $-29 \pm 7 \mu\text{M km}^{-1}$ (Table 1). Estimated amount of DSi removal for five rivers was roughly proportional to averaged nitrate and BSi of these river. However, this approach contains several assumptions and thus the estimates may have significant uncertainties. Further elaboration of the estimation model is still needed to evaluate correctly the effects of the in-river processes on the riverine Si dynamics.

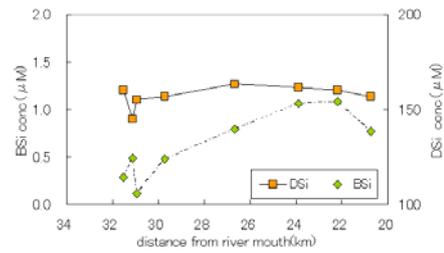


Fig.1 the fluctuation of DSi & BSi conc at Khura River in Thai (fresh water)

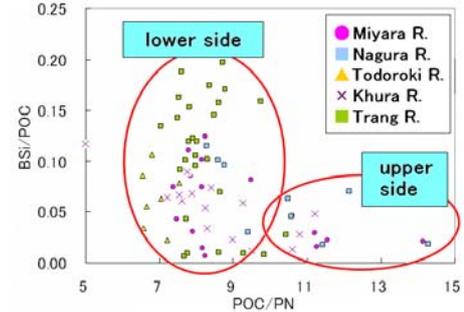


Fig.2 POC/PN ratio and BSi / POC ratio (whole of the rivers)

	Estimated amount of DSi removal ($\mu\text{M}/\text{km}$)	Average of nitrate conc. (μM)
Miyara R. (2006/8/9)	-29 ± 7	52
Miyara R. (2006/8/15)	-34 ± 34	47
Todoroki R. (2006/8/14)	-35 ± 11	160
Todoroki R. (2006/8/14)	-50 ± 16	210
Khura R. (2006/12/13)	-5 ± 0.81	5
Trang R. (2006/12/18)	-0.63 ± 0.09	19

Reference (dam) Miyara R. - 100 ~ - 300 μM
Nagura R. - 150 ~ - 190 μM (Rainy day: 53 μM)

Table 1. Estimated amount of DSi removal obtained from five rivers