

## 対馬海峡における懸濁態有機窒素の季節変化

鬼塚, 剛  
水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所

渡邊, 敦  
東京工業大学大学院情報理工学研究科

森本, 昭彦  
名古屋大学地球水循環研究センター

滝川, 哲太郎  
水産大学校海洋生産管理学科

他

<https://doi.org/10.15017/1526126>

---

出版情報 : 九州大学応用力学研究所所報. 145, pp.79-82, 2013-09. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

# 対馬海峡における懸濁態有機窒素の季節変化

鬼塚 剛\*<sup>1</sup>, 渡邊 敦\*<sup>2</sup>, 森本 昭彦\*<sup>3</sup>, 滝川 哲太郎\*<sup>4</sup>, 杵 雅利\*<sup>5</sup>, 柳 哲雄\*<sup>6</sup>

(2013 年 7 月 31 日受理)

## Seasonal variation of particulate organic nitrogen in the Tsushima Straits

Goh ONITSUKA, Atsushi WATANABE, Akihiko MORIMOTO, Tetsutaro TAKIKAWA,  
Masatoshi MOKU and Tetsuo YANAGI

E-mail of corresponding author: [onizuka@affrc.go.jp](mailto:onizuka@affrc.go.jp)

### Abstract

Field observations were conducted to reveal the seasonal variation of particulate organic nitrogen (PON) in the Tsushima Straits. The concentration of PON was roughly equivalent level to that of dissolved inorganic nitrogen (DIN; nitrate+nitrite) from the surface to the subsurface layer throughout the year. The PON in March was the highest concentration among the months. The ratio of POC/PON (6.4) was nearly the same value as the Redfield ratio (6.6), and the PON concentration significantly correlated to the chlorophyll *a* concentration, suggesting that most particulate organic matter was composed of phytoplankton. Horizontal transport of PON through the eastern channel of the Tsushima Straits was compared with that of DIN. The ratio of PON transport to total nitrogen (DIN+PON) transport was 66, 36, 25 and 16% in March, June, September and November, respectively. Since the penetration of organic matter through the Tsushima Straits becomes a consequential nutrient load because of decomposition of inorganic matter in the Japan Sea, oceanographic conditions including organic matter should be monitored in the Tsushima Straits.

**Keywords** : *particulate organic nitrogen, Tsushima Straits, seasonal variation, horizontal transport*

## 1. はじめに

対馬暖流は、東シナ海から日本海へ大量の運動量・熱・物質を輸送し、日本海の海洋循環や水塊構造、物質循環に大きな影響を与えている（例えば、Yoon and Kawamura, 2001<sup>1)</sup>, Onitsuka et al., 2007<sup>2)</sup>). そのため、東シナ海と日本海を繋ぐ対馬海峡では対馬暖流の水塊特性や流動構造に関する調査やそれらに基づいた通過流量、熱・淡水・栄養塩輸送量の推算が精力的に行われてきた（例えば、Isobe et al., 2002<sup>3)</sup>, Takikawa et al., 2005<sup>4)</sup>, Teague et al., 2005<sup>5)</sup>, 千手ら, 2007<sup>6)</sup>, Morimoto et al., 2009<sup>7)</sup>, Morimoto et al., 2012<sup>8)</sup>, Kim et al., 2013<sup>9)</sup>, 森本ら, 2013<sup>10)</sup>).

このうち対馬海峡を通じて日本海へ水平輸送される栄養塩の季節・経年変化は、対馬海峡を横断する物理・化学・生物観測を基にした Morimoto et al. (2009)<sup>7)</sup>

や Morimoto et al. (2012)<sup>8)</sup> によって報告されている。彼らの結果によると、対馬海峡東水道を通過し水平輸送される溶存態無機窒素 (DIN) は、年平均 3.59 kmol/s で、夏季に最大 (4.5 kmol/s)、春季に最小 (2.4 kmol/s) であった。また、2007 年 8 月の DIN 輸送量は 2005 年 8 月の 1/3 程度しかなく、極めて大きな経年変化があること、その要因として対馬海峡東水道底層に流入する水塊の起源が異なることが指摘されている。

一方、分解されることで無機栄養塩に回帰するため潜在的な栄養塩としての役割を持つと考えられる有機物の観測は、これまで対馬海峡周辺で実施されておらず、その動態や輸送量はわかっていない。そこで我々は、2007 年 9 月から 2008 年 6 月にかけて対馬海峡で計 4 回実施した調査で採取した試料の懸濁態有機物測定を行った。本稿では、懸濁態有機窒素 (PON) 鉛直分布の季節による違いを示すとともに、クロロフィル *a* 濃度と PON 濃度の関係を基に、Morimoto et al. (2009)<sup>7)</sup> の手法で算出された対馬海峡東水道を通過するクロロフィル *a* 輸送量を PON 輸送量に換算し、DIN 輸送量との比較を行う。

\*1 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所

\*2 東京工業大学大学院情報理工学研究所

\*3 名古屋大学地球水循環研究センター

\*4 水産大学校海洋生産管理学科

\*5 東京大学大気海洋研究所

\*6 九州大学応用力学研究所

## 2. 観測と方法

Fig. 1 に示す CL ライン上の観測点において独立行政法人水産大学校練習船天鷹丸ならびに独立行政法人海洋研究開発機構研究船淡青丸によって、2007年9月12~13日、2007年11月9~10日、2008年3月7~8日、2008年5月31日~6月1日の計4回観測を実施した。

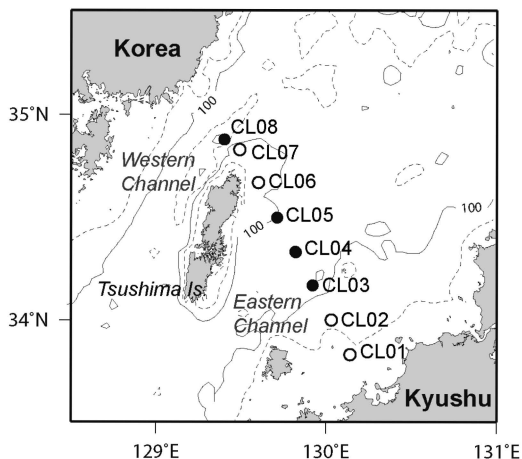


Fig. 1 Observation stations in the Tsushima Straits. Sampling for particulate organic matter was conducted at the stations of closed circles.

各観測点では CTD による水温、塩分、蛍光強度観測、ニスキン採水器による標準層 (10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200 m 深) と海底上 5 m の採水および表層水のバケツ採水を行い、クロロフィル *a*・栄養塩分析のための試料を採取した。ここで蛍光強度については、現場海水試料を GF/F フィルターで濾過後、ジメチルホ

ルムアミド (N,N-dimethylformamide) によって抽出し、蛍光光度計 (10-AU, Turner Designs, Inc.) を用いて測定したクロロフィル *a* 濃度に換算した。栄養塩試料は冷凍し研究室に持ち帰り、オートアナライザー (TRAACS 2000, Bran Luebbe Co., Ltd.) により硝酸、亜硝酸、リン酸、ケイ酸の濃度を測定した。本研究では窒素の動態に注目し、硝酸と亜硝酸濃度の合計を DIN 濃度として用いた。

懸濁態有機物測定のための採水は CL03, CL04, CL05 および CL08 の 4 測点で表層、30、75、150 m 深 (CL08 のみ) で実施した。試水は 450 °C で 5 時間加熱処理した GF/F フィルターによって吸引濾過し、全自動元素分析装置 (CHN Analyzer 2400II, Perkin Elmer, Inc.) を用いて粒子状の有機態炭素 (POC) および有機態窒素 (PON) を測定した。

CL ライン上を航行中、船底の超音波多層流速計により流速の鉛直分布を計測し、Takikawa et al. (2003)<sup>11)</sup> の潮流調和定数により流速データに含まれる潮流成分を除去した。その後、Morimoto et al. (2009)<sup>7)</sup> の方法で対馬海峡東水道を通過する DIN およびクロロフィル *a* の輸送量を算出した。さらに、クロロフィル *a* と PON の関係を基に、クロロフィル *a* の輸送量から PON の輸送量を見積もった。

## 3. 結果と考察

DIN と PON は対照的な鉛直分布であった (Fig. 2)。DIN 濃度は各月とも 30 m 以浅で低く、3月を除いて 50 m 以深で濃度が高くなっていった。一方、PON 濃度は表層から亜表層で高く、各月で DIN 濃度と同程度であっ

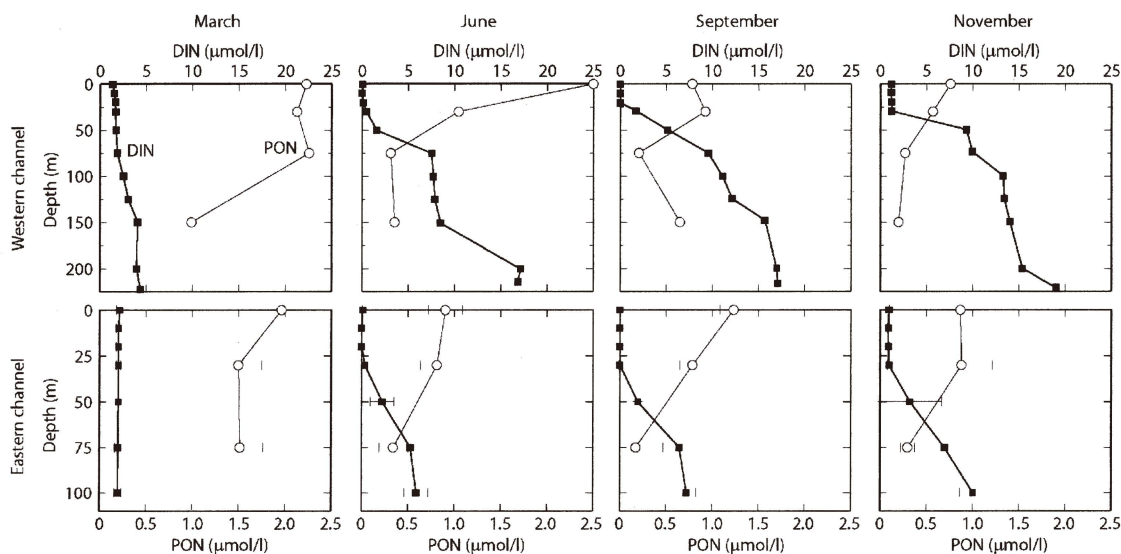


Fig. 2 Vertical profiles of DIN (closed squares) and PON (open circles) concentrations at the western (CL08) and eastern (Mean  $\pm$  S.D. for the stations of CL03, CL04 and CL05) channels of the Tsushima Straits in March, June, September and November.

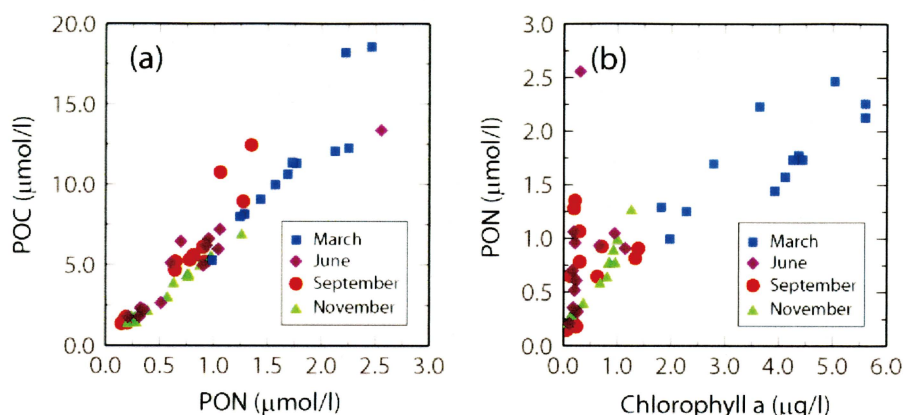


Fig. 3 (a) The relationship between POC and PON concentrations, and (b) the relationship between PON and chlorophyll *a* concentrations.

た。東西水道を比較すると両者で大きな違いは認められず、両水道とも3月にPON濃度が最も高かった。

懸濁態有機物のPOCとPONの比は6.4とRedfield比6.6 (Redfield et al., 1963<sup>12</sup>) に近く、季節による違いは小さかった (Fig. 3a)。また、PONとクロロフィル *a* 濃度にも強い相関関係が認められたことから (Fig. 3b)、対馬海峡における懸濁態有機物は植物プランクトンの寄与が大きいと推察された。ただし、6月と9月の表層ではクロロフィル *a* 濃度が低いにも関わらず、PON濃度が高くなっており、夏季には植物プランクトンではない粒子状有機物が多く存在することが示唆された。対馬海峡周辺では毎年3月から4月に植物プランクトンの春季ブルームが発生するため (Yamada et al., 2004<sup>13</sup>)、PONが3月に高い値を示したのは植物プランクトンの春季ブルームの影響と考えられた。

Fig. 4 に対馬海峡東水道におけるDINおよびPONの水平輸送量を示す。ここでPONの輸送量は、クロロフィル *a* の輸送量を基に、Fig. 3b で得られたPONとクロロフィル *a* 濃度の関係式 ( $PON=0.31*Chl+0.56$ ,  $r=0.78$ ) を用いて算出した。各月のDINとPONを合計した窒素輸送量全体に占めるPONの割合は、それぞれ66、36、25、16%となり、3月にはDIN輸送量よりもPON輸送量のほうが大きかった。また、4観測分の平均ではPON輸送量の占める割合は31%とDIN輸送量の半分近くに達した。PONはDINと比較し、特に下層で圧倒的に濃度が低いが、流速の大きい表層から亜表層でDINと同程度であったため、輸送量に換算すると相対的にその割合が高くなったと考えられる。

対馬海峡を通過する対馬暖流の流量は東西水道を比較すると、西水道のほうが大きい (Takikawa et al., 2005<sup>4</sup>)。森本ら (2013)<sup>10</sup> は水温とDIN濃度の関係から6、8、10月のDIN輸送量を算出し、西水道でのDIN輸送量は東水道に比べて3倍以上大きいと報告している。

本研究の結果から、西水道でもDINとPONの関係が同様だと仮定すると、かなりの量の有機態窒素が対馬海峡を通じて日本海へ流入していることになる。これらの有機態窒素は分解されれば無機栄養塩となるため、潜在的な栄養塩として日本海の低次生産に影響を与えているものと推察される。また、今回検討できなかったが、海水中の窒素は溶存態有機物の形態でも一定量存在することが知られている (例えば、Berman and Bronk, 2003<sup>14</sup>)。今後は、無機態および有機態として流入する窒素の定量化を行うとともに、日本海の物質循環にどのような影響を与えているか検討する必要がある。

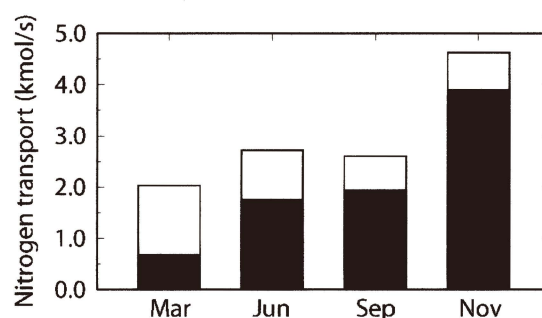


Fig. 4 Seasonal variation in nitrogen transports through the eastern channel of the Tsushima Straits. Black and white bars indicate DIN and PON transports, respectively.

#### 4. 謝辞

調査の実施にあたりご協力を頂いた独立行政法人水産大学校練習船天鷹丸ならびに独立行政法人海洋研究開発機構研究船淡青丸の乗組員各位、懸濁態有機物濃度測定にあたりご協力頂いた独立行政法人水産大学校生物生産学科早川康博教授と学生諸氏に心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Yoon, J.-H. and H. Kawamura (2002): The formation and circulation of the intermediate water in the Japan Sea. *J. Oceanogr.*, 58, 197-211.
- 2) Onitsuka, G., T. Yanagi, J.-H. Yoon (2007): A numerical study on nutrient sources in the surface layer of the Japan Sea using a coupled physical-ecosystem model. *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JC003981 C05042.
- 3) Isobe, A., M. Ando, T. Watanabe, T. Senju, S. Sugihara and A. Manda (2002): Freshwater and temperature transports through the Tsushima-Korea Straits. *J. Geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2000JC000702.
- 4) Takikawa, T., J.-H. Yoon and K.-D. Cho (2005): The Tsushima Warm Current through Tsushima Straits estimated from ferryboat ADCP data. *J. Phys. Oceanogr.*, 35, 1154-1168.
- 5) Teague, W. T., P. A. Hwang, G. A. Jacobs, J. W. Book and H. T. Perkins (2005): Transport variability across the Korea/Tsushima Strait and the Tsushima Island wake. *Deep-Sea Res. II*, 52, 1784-1801.
- 6) 千手智晴, 松井繁明, 韓仁盛, 滝川哲太郎 (2007): 東シナ海から日本海への熱・淡水輸送. *海と空*, 83, 7-14.
- 7) Morimoto, A., T. Takikawa, G. Onitsuka, A. Watanabe, M. Moku and T. Yanagi (2009): Seasonal variation of horizontal material transport through the eastern channel of the Tsushima Straits. *J. Oceanogr.*, 65, 61-71.
- 8) Morimoto, A., A. Watanabe, G. Onitsuka, T. Takikawa, M. Moku and T. Yanagi (2012): Interannual variations in material transports through the eastern channel of the Tsushima/Korea Straits. *Prog. Oceanogr.*, 105, 38-46.
- 9) Kim, S.-K., K.-I. Chang, B. Kim and Y.-K. Cho (2013): Contribution of ocean current to the increase in N abundance in the Northwestern Pacific marginal seas. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 143-148.
- 10) 森本昭彦, 後藤暁, 滝川哲太郎, 千手智晴, 伊藤雅, 鬼塚剛, 渡邊敦, 李雅利 (2013): 対馬海峡を通過する溶存態無機窒素の水平輸送量. *海と空*, 89, 69-77.
- 11) Takikawa, T., J.-H. Yoon and K.-D. Cho (2003): Tidal current in the Tsushima Straits estimated from ADCP data by ferryboat. *J. Oceanogr.*, 59, 37-47.
- 12) Redfield, A. C., B. H. Ketchum, and F. A. Richards (1963): The influence of organisms on the composition of seawater. in *The Sea*, vol.2, edited by M. N. Hill, pp.26-77, Wiley-Interscience, Hoboken, N. J.
- 13) Yamada, K., J. Ishizaka, S. Yoo, H.-C. Kim and S. Chiba (2004): Interannual variability of phytoplankton bloom in the Japan Sea from 1996 to 2000 observed by satellite remote sensing. *Prog. Oceanogr.*, 61, 193-211.
- 14) Berman, T. and D. A. Bronk (2003): Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems. *Aquat. Microb. Ecol.*, 31, 279-305.