— 論 文 —

瀬戸内海各灘・湾における全リン・全窒素の 起源と濃度変動機構*

石井 大輔[†]・柳 哲雄[†]

要 旨

環境省により実施されている瀬戸内海広域総合水質調査で観測された全リン (Total Phosphorus : TP) および全窒素 (Total Nitrogen : TN) 濃度データから, 1981 年度~2000 年度の冬季の水域別平均値を使用して, 瀬戸内海各水域における陸域と外洋起源の TP および TN 濃度推定を試み, 水域特性を明らかにした。その結果, 大阪湾では陸起源の TP が 6 割, TN が 7 割も存在し, 陸域からの影響が支配的な水域であることが分かった。これは, 同湾への TP および TN 負荷量が瀬戸内海総負荷量の約 1/3 と非常に多い上, それが内海随一の河川流量を誇る淀川を経由して湾内に流入するためであると推察される。一方, 伊予灘や周防灘などの瀬戸内海西部では外洋からの寄与率が 8 割以上を占めており, 東西で対照的な水域特性を有することが判明した。

また, 各水域における外洋起源の TP および TN 濃度変動が紀伊水道・豊後水道のどちらを通じての影響をより強く受けているかについて検討した結果, 平均的には TP および TN ともに備讃瀬戸近辺を境に西では豊後水道, 東では紀伊水道を通じての影響が優位であることが分かった。その理由の一つとして, 備讃瀬戸を境に形成される東西の密度流の構造が考えられる。

キーワード : TP, TN, 陸起源, 外洋起源, 瀬戸内海

1. はじめに

閉鎖的内湾の一つとして代表的な瀬戸内海は, 浅瀬の消失や高度経済成長, 人口増加に伴う水質汚濁負荷量の増加により水質汚染が急激に進行し, 富栄養化状態に陥ってしまった。これにより, 今でも赤潮や貧酸素水塊といった水質機能障害が引き起こされており, 水産資源の維持や海洋環境等の危惧が叫ばれて久しいの

は周知のことである。こういった状況下から, 富栄養化抑止のため 1979 年度の第 1 次水質総量規制を皮切りに, 現在に至るまで数回にわたる環境汚染物質負荷削減策が実施されてきた。2001 年度開始の第 5 次水質総量規制では, COD (Chemical Oxygen Demand : 化学的酸素要求量) に加えリンおよび窒素負荷量が対象項目として掲げられ, 水質改善対策が行われている。

このように様々な水質規制が実施されている背景には, 瀬戸内海における富栄養化現象に影響を与えているリンおよび窒素の大部分が陸域からの寄与ではないかという予見があり, 陸起源の栄養物質の規制を徹底することで富栄養化抑止に繋がるという発想が根底に

* 2004 年 2 月 17 日 受領 ; 2004 年 3 月 30 日 受理
著作権 : 日本海洋学会, 2004

[†] 九州大学 応用力学研究所 ;
〒 816-8580 福岡県春日市春日公園 6 丁目 1 番
主著者 e-mail address : dishii@iam.kyushu-u.ac.jp

あると思われる。確かに陸域からの起源が他起源より割合が多ければ現状の対策で問題を解決できるのであろうが、もし逆の仮定が成り立つ場合には、想定しているような削減効果が見えず、現状を打開するのは容易ではないことが想像できる。事実、陸域負荷が少ないにもかかわらず環境省の定める環境基準値を満足していない水域が瀬戸内海の中には存在しており(北九州市環境局, 1999), 環境修復にはまだ時間がかかりそうなことが窺える。そのため、水域によっては陸域からの負荷よりむしろ別ルートによる栄養物質の影響の方が大きいのではないかと推察でき、陸域だけの対策では対応できない可能性も考えられなくはないであろう。

近年、外洋起源の栄養物質の重要性に着目した研究がなされてきた。藤原ら(1997)は夏季太平洋からの窒素流入量が紀伊水道から 170 t d^{-1} 、豊後水道からは 70 t d^{-1} も存在することを明らかにした。また、柳(1997)は外洋隣接水域である紀伊水道を境界条件として瀬戸内海全域を対象とした栄養物質の起源推定を実施しているが、外洋域からの寄与率が比較的高いことを述べている。その他既往の研究においても、外洋からの栄養物質が瀬戸内海の水質に影響を与えていることを指摘しており、各起源の内訳を明確にすることは今後の瀬戸内海における陸域からの負荷量削減方針やそれに関連した水質管理に重要な意味を持つことになると思われる。

2. 研究の目的

先述した柳(1997)の起源推定では、紀伊水道を外洋域として取り扱い、陸域と外洋域からの寄与について論じているが、設定する外洋境界条件によって解が大きく変わってしまう可能性が示唆されている。これは外洋におけるリンおよび窒素濃度を考える場合に、本来定常場のデータとして捉え得るのが、瀬戸内海のような沿岸海域の近傍においては時間的・空間的変動が非常に大きく、定量的な議論を行う場合には慎重な検討が必要であることを意味している。

そこで上記研究例を踏まえ、Yanagi and Ishii (印刷中) は不確定的な外洋境界濃度を直接利用しない新しい起源推定手法を提案し、瀬戸内海全域の平均場にお

ける陸域と外洋域からの全リン(TP)および全窒素(TN)寄与率を求めている。その結果は、先行研究においても指摘されていたように外洋起源の割合が陸域起源のそれに対し大きく、内海の水質環境に大きな影響を与えていることを示している。

しかし、実際に汚濁物質規制を実施して水質管理を行うのは各水域であるため、瀬戸内海の各灘・湾個別の特性を把握する必要があると考えられるが、Yanagi and Ishii (印刷中) の結果からはそこまで言及できない。そのため、各水域に細分化してより詳細な検討を行う必要がある。

本稿は、Yanagi and Ishii (印刷中) の結果をもとに瀬戸内海各灘・湾における TP および TN の陸域と外洋起源の推定を試みるとともに、各水域における TP および TN 濃度の時間変動特性を明らかにすることを目的とする。

3. 各水域における栄養物質の濃度と負荷量の推移

3.1. TP および TN 濃度の経年変動

本研究で使用する瀬戸内海各水域における TP および TN 濃度は、環境省により 1975 年度から実施されている瀬戸内海広域総合水質調査(瀬戸内海環境保全協会, 2003)において、Fig. 1 内の黒丸で示す瀬戸内海全域計 119 点(表層・底層)で年度内に 4 回(5 月, 7 月, 10 月, 1 月)にわたり観測・集計されたものである。以下は、表層の冷却により鉛直混合が盛んとなり栄養物質濃度が水柱でほぼ一様と考えられる冬季(1 月, 水域によっては 2 月に観測された所もある)の表層(海面下 0~1 m)・底層(海底直上 1~5 m もしくは水深 55 m 以深では 50 m)における観測結果を水域別に平均化し、それらを各水域内の TP および TN 濃度として解析を行った。本稿は、1981 年度から 2000 年度までの 20 年分について、響灘を除いた瀬戸内海各水域における評価・考察である。尚、TP および TN の寄与率を求める際は外洋隣接水域である紀伊水道・豊後水道は除外した。

Fig. 2 に、水域別に 20 年分を平均した TP および TN 濃度の空間分布を示す。尚、別府湾に関してはサ

Fig. 1. Observation sites of TP and TN concentrations in the Seto Inland Sea.

ンプル数が2点しかなかったため、公共用水域調査のデータも含めた平均値を使用した。同図(a)より、TP濃度は瀬戸内海西部で低く東部へ行くに従い高くなる傾向が見られ、特に大阪湾は顕著な特徴を有する。同湾は他の水域に比べ1.5~2.5倍程度TP濃度が高い。同図(b)よりTN濃度に関してもTPと同様に西部で低く東部で高い傾向が見られ、最高濃度となっている大阪湾は他の水域に比べて約2~4倍濃度が高い。隣接する播磨灘・紀伊水道も大阪湾ほどではないにしろそれに続く高さであり、大阪湾内における高濃度物質の流入による影響が要因の一つとして考えられる。これらの傾向は、柳・原島(2003)で示されている瀬戸内海フェリー観測(表層)で得られた冬季の溶存態無機リン(Dissolved Inorganic Phosphorus: DIP)、溶存態無機窒素(Dissolved Inorganic Nitrogen: DIN)の濃度分布とよく対応している。本研究と柳・原島(2003)で示した大阪湾の他水域に対するDIPおよびDIN濃度比を解析すると、リンに関してはほぼ同程度の比率である一方、窒素においては後者(4~9倍)が前者(2~4倍)の約2倍の比率となっている。これは、同湾への陸域

負荷量が他水域に比べ突出している(後述する)上、後者の観測値が表層付近の栄養塩分布を表していること、同湾内基礎生産のリン律速傾向(例えば、城, 1991; 林・柳, 2000)によるDIN過多などが要因ではないかと推察される。

次に、瀬戸内海東西の代表水域として大阪湾と伊予灘を例に挙げて、その時間変動から特徴をみてる(Fig.3)。同図(a)の経年変動より、伊予灘のTP濃度は1980年代において殆ど横ばいであるものの、1990年代初頭から減少傾向にあり、近年では若干増加していることが見て取れる。一方、高濃度水域である大阪湾は20年スケールの長期トレンドに関しては減少している。これについては後述するが、陸域からの負荷量の推移と関係があるように思われる。また、Fig. 3(b)より伊予灘のTN濃度は1998年度以降増加しているが、ここ20年間の平均値はほぼ横ばいと見て良いだろう。大阪湾のそれは近年減少傾向にあるものの、年変動が激しく、1998年度を除いて5年前後の周期でTN濃度の極大ピークが見られる。

Fig. 2. Spatial distributions of average concentrations with standard deviations of TP (a) and TN (b) in bays and basins of the Seto Inland Sea from 1981 to 2000.

3.2. TP および TN 負荷量の経年変動

瀬戸内海集水域において5年毎(1979年度～1999年度)に原単位法をもとに算定されたTPおよびTN負荷量(瀬戸内海環境保全協会, 2003)の推移を、濃度と同じく大阪湾と伊予灘を例に見てみる。Fig. 4にそれらの時系列を示すが、1994年度における負荷量は水域別に算定されていないため、前後値より補間して算出した。

TP負荷量に関しては、同図(a)より大阪湾は近年まで減少の一途を辿っており、1979年度に対し1999年度ではほぼ半分までにまで削減されていることが分かる(1999年度: $4.4 \times 10^3 \text{ t y}^{-1}$)。前節で述べた長期的なTP濃度の減少傾向はこのような陸域からのTP負荷量削減効果が要因の一つではないかと考えられる。尚、本稿には図を掲載していないが、隣接する播磨灘でも同程度の削減率であった(1979年度: $2.6 \times 10^3 \text{ t y}^{-1} \rightarrow 1999$

(a)

(b)

Fig. 3. Year-to-year variations of average concentrations of TP (a) and TN (b) in Osaka Bay and Iyo-Nada.

年度: $1.3 \times 10^3 \text{ t y}^{-1}$)。それに比べて、西部の伊予灘は大阪湾のように単調な減少傾向は見られず、1989年度までは一旦減少、それ以降は増加に転じている。

一方、TN 負荷量においては大阪湾および伊予灘ともに 1989 年度まで増加する傾向が見られ、近年において前者は 2 割程度減少するものの、後者はほぼ横ば

いである。ちなみに、TP と同様に 1979 年度に対する 1999 年度の負荷量が半減した水域は燧灘 (1979 年度: $1.3 \times 10^4 \text{ t y}^{-1} \rightarrow 1999 \text{ 年度: } 6.2 \times 10^3 \text{ t y}^{-1}$) 以外にはない上、近年は伊予灘と同じく 1979 年度値を上回っている水域すら存在している状況である (瀬戸内海環境保全協会, 2003)。

Fig. 4. Transitions of TP load from land in Osaka Bay (a) and Iyo-Nada (b), and those of TN load from land in Osaka Bay (c) and Iyo-Nada (d).

ここで、Fig. 3 で示した TP および TN 濃度変動と Fig. 4 で示す負荷量変動とを対比してみると、上述したように長期的な傾向が一致するところはあるものの両者あまり顕著な相関は見られない。これは、原単位法によって算定される負荷量が発生量を意味しており、実際にはこの発生量全てが河川経由で瀬戸内海に流入しているわけではないからである。一部は陸上の土壌や植物などにトラップされ実際流入する流達負荷量はずっと少ないことから、原単位法によって算定された負荷量自体は過大評価気味であることが考えられる。また、Yanagi and Ishii (印刷中) は瀬戸内海全域の平均場における 5 年ごとの TP および TN 濃度と河川流量の増減傾向が一致していることを示している。このことは、瀬戸内海の TP および TN 濃度が瀬戸内海に流入する河川流量に依存していることを示唆している(この関係を基に、次章で示す栄養物質の起源推定式が提案されている)。

最後に、1999 年度における水域別 TP および TN 負荷量の空間分布図を Fig. 5 に示す。尚、別府湾は単独水域として算定されておらず伊予灘に含まれている。同図を見ても分かるように TP および TN の水域別負荷量分布は類似しており、以下の 3 つのエリアに大きく分類される。まず、瀬戸内海総負荷量の約 1/3 を占める大阪湾を筆頭に備讃瀬戸までの東部域と広島湾から西の西部域、そしてその間の中部域(備後灘・燧灘・安芸灘)である。TP 負荷量が多い東部の平均値は $2.2 \times 10^3 \text{ t y}^{-1}$ もあり、西部のその 3 倍弱、中部の 5.5 倍も存在する。また、TN 平均負荷量に関しても同様に東部で多く ($3.3 \times 10^4 \text{ t y}^{-1}$)、それは西部の約 3 倍、中部の 6.5 倍に相当する。

4. 各水域における起源推定

ここにおいて、実際に瀬戸内海各灘・湾における TP および TN はどこから、どの程度の割合で寄与されて

Fig. 5. Spatial distributions of TP loads (a) and TN loads (b) in 1999.

いるのだろうか。Yanagi and Ishii (印刷中) で提案された栄養物質の起源推定式は、(1) 式のように表現されている。「 a 」は河川経由で流入する発生負荷量の流達率、「 R_i 」は i 年の瀬戸内海に流入する 1 級河川総流量、「 R_m 」は研究対象年の総河川流量平均値、「 L_i 」は i 年の陸域負荷量、「 τ 」は平均滞留時間、「 V 」は瀬戸内海の容積を示しており、陸からの寄与を表す第 1 項目は前章でも述べたように陸域負荷量と河川流量に依存する

形となっている。同式に示すように、瀬戸内海全域の平均的な濃度 (C_i) は陸起源 (C_L) と外洋起源 (C_o) の栄養物質濃度の重ね合わせで表現されており、今回のように各水域に細分化して考える場合においても同様の概念が適用できる。そして、これに第 3 項目として海底からの溶出や海面を通じての脱窒等による効果が加算されるであろうが、本稿ではこれらネットの収支はゼロと仮定して取り扱った。Yanagi and Ishii (印刷中)

Fig. 6. Ratios of land- and open ocean-originated TP (a) and TN (b) in each region of the Seto Inland Sea.

は (1) 式の未知数 τ と C_o を 5 つのデータセット (C_i , R_i , L_i) から最小二乗法で求めている。

$$C_i = \left(a \frac{R_i}{R_m} L_i \right) \left(\frac{\tau}{V} \right) + C_o = C_L + C_o \quad (1)$$

以下, Yanagi and Ishii (印刷中) で算出された C_o と

各水域における平均濃度 C_i ' を使用して陸起源分となる C_L ' の値を求め, 各灘・湾におけるそれぞれの起源の割合を見積もった。その結果を Fig. 6 に示す。

同図 (a) より TP に関しては, 大阪湾の陸起源が 6 割強と最も大きく陸域からの汚染物質負荷の影響が非常に強い水域だということが窺える。阪神工業地帯の中

心的エリアに属している同湾は、年々TP 負荷量は減少傾向にあるものの、それでも瀬戸内海全域の総負荷量の約1/3を占めているため、他の水域と比べると圧倒的に陸起源の絶対量が多い。次に播磨灘・備讃瀬戸が4割前後と続くが、西へ行くに従い陸からの寄与率が低下していく傾向が見られ、特に瀬戸内海西部の伊予灘や周防灘では外洋からの寄与率が8割以上を占めており、大阪湾とは対照的な水域であることが判明した。

また、TN に関しても TP と同様に大阪湾では陸域からの比重が約7割と非常に大きく、他の水域と比べて突出している反面、TP の陸域からの寄与率が比較的高い播磨灘は3割、備讃瀬戸では1割強と TP に比べて低く、外洋起源の割合が8割以上を占める水域が大半であることが分かる。これは瀬戸内海におけるリンと窒素の挙動の違いを示唆しているものと考えられ、詳細については今後の研究課題である。上記結果からも分かるように、瀬戸内海の平均的な TP および TN の起源としてはともに外洋域からの寄与が大きいことが窺える。

5. 外洋隣接水域における栄養物質の経年変動とその特徴

次に、外洋隣接水域である紀伊水道・豊後水道における TP および TN 濃度の経年変動を見てみる (Fig. 7)。

5.1. TP および TN の経年変動

Fig. 7(a) より、1981 年度～1983 年度までは豊後水道の TP 濃度が紀伊水道のそれを上回っているが、1984 年度以降は逆転し紀伊水道の方が常に豊後水道に比べて高濃度であることが分かる。豊後水道における TP 濃度は、平均的には全年を通して横ばいもしくは若干減少傾向が見受けられ、この傾向は隣接する伊予灘の TP 濃度変動と類似している (Fig. 3a)。これは、前章でも述べたように伊予灘の TP は8割以上が外洋起源であり陸域からの影響による効果が小さいため、外洋と隣接する豊後水道の TP 濃度変動が伊予灘のそれに波及していることが考えられる (次節に詳細を述べる)。一方、紀伊水道においては近年に至るまで増加傾向にあることが分かる。紀伊水道は栄養物質高濃度水域で

ある大阪湾と隣接しているため同湾の影響が予想されるが、Fig. 3(a) に示す大阪湾における TP 濃度の経年変動を見る限り、長期的なトレンドは減少しており紀伊水道のそれと相反する。高志ら (2003) は黒潮離接岸の影響により陸棚下層水が同水道へ進入することで栄養塩濃度が上昇する時期があることを示しており、黒潮離接岸の経年変動が紀伊水道における TP 濃度の経年変動に影響している可能性がある。

Fig. 7(b) より、紀伊水道の TN 濃度は豊後水道のそれを常に上回っており、前者は1986 年度をピークに近年まで減少傾向が見られるものの、後者においてはほぼ横ばいと見て取れる。また、両者には特徴的な変動パターンが見られ、1987 年度～1994 年度までは両水道の増減傾向は一致しているが、1995 年度以降突如変動傾向が逆転している。そして、紀伊水道の経年変動には4 年前後の規則的な周期性があるように窺える。3 章で隣接する大阪湾における TN 濃度の経年変動から5 年前後の周期性が見られることを述べたが、両者の極大極小ピークは同年度で一致しておらず、1 年前後のタイムラグがある (Fig. 3b 参照)。こういった周期性や相互関係についての詳細は、現在のところよく分からない。

上記の特徴は、外洋近傍域でこれ程の濃度変動があるならば、大阪湾のような陸起源の寄与が支配的な水域においては敏感には効かないであろうが、伊予灘のように外洋起源の貢献が高い水域においては、陸域負荷削減量に対する湾内の濃度低下分は外洋域の濃度変動による効果でかき消されてしまう可能性を示唆している。

5.2. 紀伊水道・豊後水道との水域別相関関係

では、外洋起源の栄養物質は瀬戸内海のどこを通じて流入してきたものなのだろうか。瀬戸内海に流入する外洋水は紀伊水道・豊後水道といった2つのメインルートを通じて進入してくる。関門海峡を通じての TP および TN は、平均的には流出しているのでその影響は無視できる (柳ら, 2004)。前章で水域別の各起源寄与率を見積もり、平均的には外洋域を起源とする栄養物質の影響が大きいことを明らかにしたが、この外洋起源物質がどちらの水道を通じて流入したものなのか

(a)

(b)

Fig. 7. Year-to-year variations of TP (a) and TN (b) concentrations in the Kii and Bungo Channels.

は定かではない。

そこで、各水域の TP および TN 濃度変動と両水道の TP および TN 濃度変動の相関を調べ、どちらのルートの影響による外洋起源なのかということを検討した。Fig. 8 に、各水域における濃度変動と紀伊水道・豊後水道のそれぞれの相関係数をプロットし、それらから得られる回帰直線を加えた空間分布図を示す。尚、紀伊水道～豊後水道間を同図横軸で一次的に表現するため、

備後灘・燧灘と伊予灘・周防灘・別府湾のグループは各々一括し、それらの平均値をプロットした。以下は、水域別相関係数より得られた回帰直線を平均的な指標として考察する。

TP に関しては、備讃瀬戸近辺で両水道との相関直線が交差している。これは、平均的には備後灘を含めた西部で豊後水道から流入してくる外洋起源物質の影響が、また備讃瀬戸以東は逆に紀伊水道を通じての影

(a)

(b)

Fig. 8. Correlation coefficients of TP (a) and TN (b) variations to those in the Kii and Bungo Channels.

響が大きいことを意味している (Fig. 8a)。TN に関しても同様に、備後灘・燧灘を含めた西の水域では豊後水道を通じての影響が、以東では紀伊水道からの影響

が大きいという特徴を有する (Fig. 8b)。このような特徴は、備讃瀬戸を境に形成される東西の密度流の水利構造 (Murakami *et al.*, 1985) と類似している。また、

同図において負の相関を示している所があるが、これは対象としている湾内の濃度変動が各水道の濃度変動に相反していることを意味するものであり、紀伊水道・豊後水道の濃度が上(下)がればその当該水域の濃度は下(上)がるといったシーソーのような関係にあることを示している。

以上をまとめると、この結果は太平洋の重い海水が瀬戸内海の軽い海水の下を西は豊後水道から、東は紀伊水道から備讃瀬戸まで進入し、そこで湧昇され表層を伝って両水道に向かって流出していくことを示唆している。

6. おわりに

以上、瀬戸内海各水域における TP および TN の陸域と外洋起源の割合を見積もり、栄養物質である TP および TN 濃度変動の水域別特性を明らかにした。また、各水域における外洋起源の TP および TN 濃度変動が外洋隣接水域である紀伊水道・豊後水道のどちらを通じての影響をより強く受けているかについて検討した結果、平均的には TP および TN とともに備讃瀬戸近辺を境に西では豊後水道、東では紀伊水道を通じての影響が優位であることが判明した。こういった各水域での特徴を把握した上で最適な水質改善手法を適用しなければ、外洋起源による影響が大きい水域においては湾奥部など局所的なエリアの水質改善は期待される反面、水域全体の環境保全といった意味では期待に反して陸域からの削減効果が現れないケースが予想される。よって、今後は各水域の特徴に応じた負荷量削減方針の立案やそれに関連した水質管理を実施していく必要がある。

References

- 藤原 建紀・宇野 奈津子・多田 光男・中辻 啓二・笠井 亮秀・坂本 亘 (1997): 外洋から瀬戸内海に流入する窒素・リンの負荷量. 海岸工学論文集, **44**, 1,061-1,065.
- 藤原 建紀・小林 志保・高志 利宣 (2003): 瀬戸内海の窒素・リンの輸送と起源の現地観測. 沿岸海洋研究ノート, **50**, 951-955.
- 林 美鶴・柳 哲雄 (2000): 伊予灘南部・大阪湾における DIN・DIP 濃度と N/P 比の変遷. 海の研究, **9**, 125-132.
- 城 久 (1991): 大阪湾の開発と海域環境の変遷. 沿岸海洋研究ノート, **29**, 3-12.
- 北九州市環境局 (1999): 平成 11 年度版北九州市の環境 (資料編). 171 pp.
- Murakami, M., Y. Oonishi, and H. Kunishi (1985): A numerical simulation of the distribution of water temperature and salinity in the Seto Inland Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 213-224.
- 瀬戸内海環境保全協会 (2003): 瀬戸内海水域の地域特性を踏まえた有機汚濁機構の解明に関する研究, 44-50.
- 高志 利宣・藤原 建紀・住友 寿明・堀 豊 (2003): 紀伊水道における栄養塩の分布および濃度の季節変動. 2003 年秋季海洋学会要旨集, 211.
- 柳 哲雄 (1997): 瀬戸内海の淡水・窒素・リン収支. 海の研究, **6**, 157-161.
- 柳 哲雄・原島 省 (2003): 瀬戸内海における溶存態無機リン・窒素・珪素分布の特徴とその要因. 海の研究, **12**, 565-572.
- 柳 哲雄・白木 喜章・山田 真知子 (2004): 関門海峡の通過流量とリン・窒素フラックス. 沿岸海洋研究, **41**, 153-160.
- Yanagi, T. and D. Ishii (2004): Open ocean originated phosphorus and nitrogen in the Seto Inland Sea. *J. Oceanogr.* (in press)

Origins and Variable Mechanisms of Total Phosphorus and Total Nitrogen Concentrations in the Seto Inland Sea

Daisuke Ishii [†] and Tetsuo Yanagi [†]

Abstract

Averaged data were used to contrast the observed TP (total phosphorus) and TN (total nitrogen) concentrations in the surface and bottom layers of the Seto Inland Sea. These data were collected during the winter from 1981 to 2000, as part of a monitoring program of the Ministry of Environment, Japan. By estimating the origins of TP and TN to clarify the characteristics of bays and basins, it was found that the ratios of land originated TP and TN were over the six-tenths and seven-tenths in Osaka Bay, respectively. We suggest that this was due to additions from land, because there was one third of the total load from land in the Seto Inland Sea. On the other hand, the ratios of open ocean originated TP and TN were over eight-tenths in the western part of the Seto Inland Sea (e.g., Iyo-Nada and Suo-Nada). There were therefore contrasting characteristics between the east and the west of the Seto Inland Sea.

We have discussed how Kii or Bungo Channels affected the variations of open ocean originated TP and TN concentrations in each region of the Seto Inland Sea. Consequently, it was shown that the TP and TN in the western side of Bisan-Seto were affected mainly by the open ocean via the Bungo Channel, whereas those in the eastern side of Bisan-Seto were affected mainly via the Kii Channel. This is partly due to the structure of the density driven current in the Seto Inland Sea.

Key words: TP, TN, land originated, open ocean originated, the Seto Inland Sea

(Corresponding author's e-mail address: dishii@riam.kyushu-u.ac.jp)

(Received February 17, 2004; accepted March 30, 2004)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2004)

[†] Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6-1, Kasuga-Kouen, Kasuga, Fukuoka 816-8580, Japan