

差し込みに伴う浦の内湾の環境変動と物質輸送

高知大学農学部 正会員 宗景志浩
(株)ツルイ化学 井関徹也
西海区水産研究所 中川倫寿

1. はじめに

夏季の浦の内湾では、まとまった降雨があると著しい塩分低下が生じ、湾外水との密度差が増大して大潮時には差し込み(密度流)が発達する。差し込みによって底層部の貧酸素化は解消されるが、上層では海面の黒色化や大規模な赤潮、低酸素化などの水質悪化が生じる。そこで、本研究では海象と栄養塩分布を測定し、差し込みが湾内の水質環境に及ぼす影響を明らかにしようとした。

2. 方法

2.1 観測

1993年8月から9月及び1994年6月から9月にかけて、図-1に示す湾内7点、湾外1点で水温、塩分、溶存酸素(DO)、酸化還元電位(ORP)、クロロフィルaの鉛直分布を定期的に計測した。また、湾内6点、湾外1点において水深0m、2m、5m毎及び底泥直上で採水した。試水は直ちにフィルターで濾過した後、濾液については溶存態全窒素DTN、溶存態無機窒素DIN(アンモニア態窒素(NH₄-N)+亜硝酸態窒素(NO₂-N)+硝酸態窒素(NO₃-N))、磷酸態磷(PO₄-P)、珪酸態珪素(SiO₂-Si)を測定した。フィルター上の懸濁物については懸濁態窒素PONを測定した。

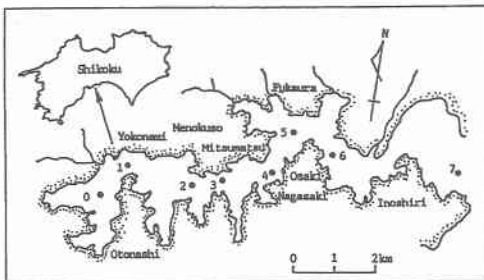


図-1 浦の内湾観測地点

2.2 差し込み時の物質輸送の推算法

差し込みに伴う栄養塩の輸送と循環を明らかにするために6ボックスモデルを作成した。図-2に示

すように湾内を水深11mで上下に分割し、さらにSt. 2(目の糞)とSt. 3(光松)の間で湾口と湾奥側に分割する。各ボックスを①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥とすると、各ボックスの物質収支は以下ようになる。

$$\begin{aligned} QH_2 &= QH + QH_4 \\ V_1 \frac{dC_1}{dt} &= QH_2(C_2 - C_1) + Q_{21}(C_2 - C_1) + r_T q_{1\cdot}(C_3 - C_1) \\ &\quad + R(C_0 - C_1) + P_1 \\ V_2 \frac{dC_2}{dt} &= QH_2(C_4 - C_2) - Q_{21}(C_2 - C_1) + P_2 \\ V_3 \frac{dC_3}{dt} &= Q_{43}(C_4 - C_3) + r_T q_{1\cdot}(C_5 - C_3) - r_T q_{1\cdot}(C_3 - C_1) \\ &\quad - QH_2(C_3 - C_1) + R(C_1 - C_3) + P_3 \\ V_4 \frac{dC_4}{dt} &= QH_2(C_6 - C_4) - QH_4(C_6 - C_3) - Q_{43}(C_4 - C_3) + P_4 \end{aligned}$$

ここに、 t は時間、 C は指標物質平均濃度、 P は負荷量、 V は体積、 QH は差し込み流量、 R は淡水流入量、添え字はボックス番号である。 Q_{21} は湾奥側の、 Q_{43} は湾口側の鉛直混合量、 QH_2 は湾央断面での差し込み流、 QH_4 はボックス③④での移流(差し込みの分流または連行流)を表す。 $q_{1\cdot}$ 及び $q_{1\cdot}$ は湾口及び湾央部断面での潮汐流量、 r_T は潮汐による海水交換率である。

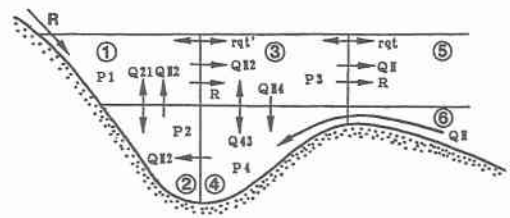


図-2 差し込みモデル

3. 成層期と差し込み時の海洋環境

図-3には成層期と差し込み直後の塩分、ORP、DIN、PO₄-Pの分布を示した。

浦の内湾では、夏季になると水温・塩分・密度等は成層化し、底層部は貧酸素化する。同時に、底泥からNH₄-N、PO₄-P等の栄養塩や硫化水素などの還元物質が溶出し、湾央底層部のORPは著しく低下した。しかし、貧酸素水塊が長期にわたって形成された後

に、差し込み（密度流）が発達すると、湾外から高密度水が湾内底層に侵入し、塩分やDOはいずれも急上昇した。また、湾中央底層部にあった還元水塊は目ノ糞以奥の湾奥部表層に押し上げられ、海面の栄養塩濃度は通常の5～10倍に増加した。そして、海面付近のORPも低下し水質が著しく悪化した。

4. 差し込みに伴う物質輸送

差し込みの発達した1993年8月17日～23日の期間のDIN, POPの輸送量と負荷量の推算結果をそれぞれ図-4に示した。

差し込み発達期には、湾内下層から湾奥上層に $2.6 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ の海水の輸送があった。この輸送量は移流(差し込み)によるもので、潮汐による交流量の2～3割、成層期の鉛直混合量の4倍程度に相当する。

これにより底層から湾奥上層に運ばれる栄養塩は、DINで 1.72 kg-at/h ($\text{NH}_4\text{-N}$ で 1.26 kg-at/h , $\text{PO}_4\text{-P}$ で 0.34 kg-at/h) となり、差し込みのない場合に比較して著しく増大した。このように、成層期に底層部に蓄積した無機栄養塩は、差し込みにより湾奥上層に

効率よく運ばれる。

湾内から湾外へ輸送される栄養塩は、DINが 0.45 kg-at/h , PONが 1.57 kg-at/h となった。湾内のPONはクロロフィルaと明瞭な相関が見られることから、大部分は植物プランクトンに由来するもので、湾内から湾外へ排出される窒素の形態は、溶存態よりも懸濁態(植物プランクトン)の割合が大きい。

差し込みによって湾口側の成層が弱まって鉛直混合量が大きくなるため、湾外へ排出される量とほぼ等しいPON(1.66 kg-at/h)が、湾口側の上層から下層に輸送された。

負荷量をみると、上層ではDINは消失し、PONが増加した。一方、下層ではDINが増加し、PONは消失した。これは上層部では、下層から輸送された栄養塩を利用して植物プランクトンが増殖し、湾口側で沈降した後底層部で分解されることを意味している。

5. 結論

夏季の浦の内湾では、差し込みが発達すると、貧酸素化に伴って底層部に蓄積されていた栄養塩や還元物質が湾奥表層に大量に輸送され、水質が急激に悪化する。湾奥から湾中央にかけて表層ではこれらの栄養塩を利用して植物プランクトンが増殖し、移流に乗って湾口側へ運ばれた後、多くは下層に輸送され、底層で再び分解されることになる。浦の内湾では、窒素は形態を変えながら差し込みに駆動された閉鎖的な物質循環系を形成していると考えられる。

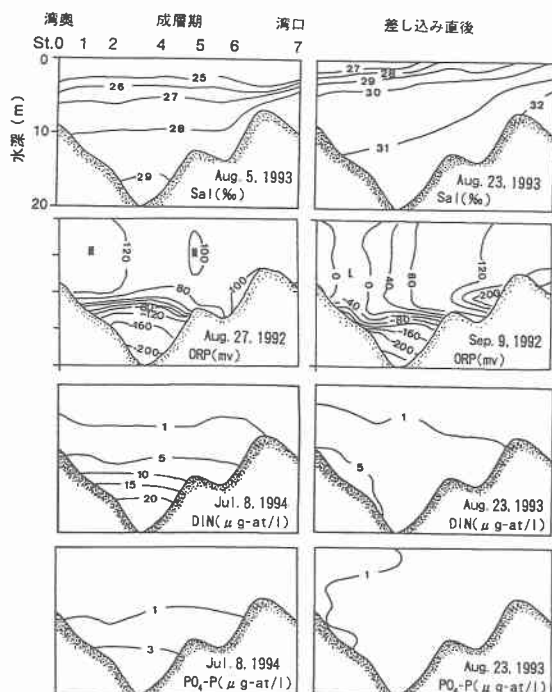


図-3 成層期及び差し込み直後における塩分、ORP、DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の分布

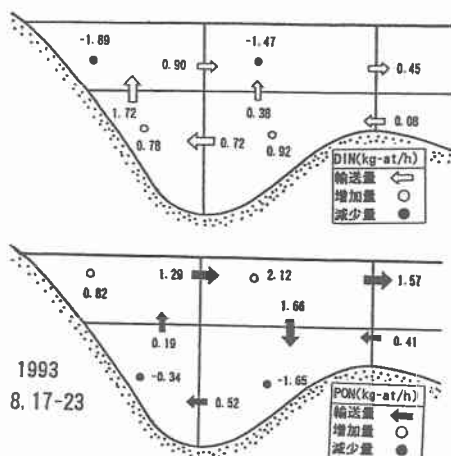


図-4 差し込みに伴うDIN(上)及びPON(下)の輸送量と負荷量(○, ●)