

## (論文内容の要旨)

沿岸海域における栄養塩（窒素・リン）濃度分布は、水平的な流れの影響を受けて大きく変化する。そのため沿岸海域においては栄養塩濃度の変動傾向を捉えるのが難しく、このことが水質管理や漁業生産予測を困難にしている。本研究では、日本沿岸の主要漁場の一つである瀬戸内海を対象海域として、栄養塩濃度の変動に関わる物理過程と生物化学過程の両方を同時に調査し、その結果に基づいた三次元流動・生態系モデルを開発することにより、栄養塩濃度の季節変動および長期変動機構を明らかにした。

おもな研究内容を以下に示す。

1. 瀬戸内海全域規模の密度流の季節変動の実態を明らかにした。瀬戸内海は幅が広く流れの穏やかな灘部と幅が狭く流れの速い海峡部によって構成されている。乱流モデルを用いて灘・海峡系を特徴付ける潮汐混合エネルギーの分布を定量化した。瀬戸内海の潮汐混合エネルギーは海峡部に集中しており、実測した海峡部の鉛直拡散係数は灘部のその100倍から10000倍の大きさに上った。このような強い混合によって海峡部の海水密度は鉛直一様となっている。この海峡部混合水の灘部への流入深度に明瞭な季節変動があることを、過去30年間の密度データを用いて示した。混合水の灘部への進入深度の季節変動は、海面加熱に対する海峡部と灘部の応答の違いによって起こされる。以上の結果により瀬戸内海全域における密度流の二次元構造（鉛直循環流）の季節変動が示された。

2. 水路幅がロスビーの内部変形半径よりも広い水路においては地球自転効果によって流れが三次元的になり、密度流に伴う体積輸送量は一般に二次元の場合と比べて小さくなる。瀬戸内海はこのような条件下にある。そこで、瀬戸内海中央部において流動観測を行なうとともに、このデータによって検証した診断モデルを用いて密度流の三次元構造、および体積輸送量を調べた。瀬戸内海中央部において夏季に鉛直循環流に伴う体積輸送が生じることを実測結果により確認した。5年分の現地調査結果から得られた体積輸送量と河川からの淡水流入量との間には有意な相関があった。河川水の流入と混合強度の場所的な差によって海峡部の混合水と周囲の海水との間には密度差が生じる。密度差の増加に応じ、混合水が岸を右に見て灘部内部に流入する形の密度流が発達する。この流入により、灘部に鉛直・水平循環流が発生する。これらの循環流が灘・海峡系における物質輸送を起こす。

3. 瀬戸内海の栄養塩の鉛直断面分布を明らかにするため、瀬戸内海全域において四季にわたる栄養塩鉛直分布調査を行なった。春季から夏季には、灘部上層では、植物プランクトンが増殖して栄養塩を消費し栄養塩濃度は低くなる。一方、灘部下層では、沈降してきた有機物の分解による栄養塩に、外海から流入する栄養塩が加わり、栄養塩濃度は高くなる。晩秋から初冬に日射量が低下すると、植物プランクトンによる栄養塩消費量が減少し、海域全体の栄養塩濃度が上昇する。冬から初春には植物プランクトンによる消費が増大し栄養塩濃度が徐々に低下する。瀬戸内海における栄養塩濃度の季節変動を起こす主要因は、日射量の季節変動と、それに伴う植物プランクトン量の季節変動であった。また、鉛直循環流および吹送流が海域間の栄養塩輸送を起こすことを定性的に示した。

4. 東部瀬戸内海における栄養塩濃度の季節変動を再現する数値モデルを作成した。このモデルを用いて、窒素の現存量と海域間の輸送量の季節変動を定量化した。外海からの栄養塩流入における密度流の寄与は春季から夏季に大きい。一方、冬季には、吹送流による外海への栄養塩流出が強い。海域間の栄養塩輸送においても、密度流の影響は成層期に大きい。また密度流による栄養塩輸送量は、海峡部混合水が灘部の底層に流入する場合に特に大きく、灘部の上層や中層に流入する場合には、植物プランクトンによる消費の影響を受けるため比較的小さくなる。このモデルを用いて過去30年間ににおける外海からの栄養塩流入量を定量化し、流入量の変動が各海域の栄養塩濃度の変動に及ぼす影響を調べた。その結果、外海の海況変動が紀伊水道および大阪湾西部の栄養塩濃度の変動に大きな影響を及ぼすのに対し、それより内側の播磨灘では影響が小さい(寄与率：～10%)ことが明らかになった。

以上により、瀬戸内海における全域規模の栄養塩分布の季節変動機構が明らかとなり、これに関わる物理過程および生物化学過程が定量的に示された。また黒潮流路変動に伴う東部瀬戸内海における密度流の長期変動が再現され、これにより外海の海況変動に伴う栄養塩輸送量の変動を推定できるようになった。本研究で開発したモデルは、ノリ養殖海域における栄養塩濃度予測、陸棚海域における物質循環の解析、および外海の変動が沿岸海域に及ぼす影響の解析などに適用することができる。

氏 名

小林 志保

(論文審査の結果の要旨)

沿岸海域における栄養塩（窒素・リン）濃度分布は、水平的な流れの影響を受けて大きく変化する。そのため沿岸海域においては栄養塩濃度の変動傾向を捉えるのが難しく、このことが水質管理や漁業生産予測を困難にしている。本論文では、日本沿岸の主要漁場の一つである瀬戸内海を対象海域として、栄養塩濃度の変動に関わる物理過程と生物化学過程の両方を同時に調査し、その結果に基づいた三次元流動・生態系モデルを開発することにより、栄養塩濃度の季節変動および長期変動機構を解明した。評価すべき点は以下の通りである。

(1) 過去30年間の密度データを解析して海峡部混合水の灘部への流入深度に明瞭な季節変動があることを示した。その結果を用いて瀬戸内海全域における密度流の二次元構造（鉛直循環流）の季節変動を示した。また瀬戸内海中央部において流動観測を行ない、密度流の三次元構造を明らかにするとともに体積輸送量を定量化した。

(2) 瀬戸内海全域において四季にわたる栄養塩鉛直分布調査を行い、先に示した物理過程を考慮して解析した。これにより瀬戸内海における栄養塩濃度の季節変動を起こす主要因は、日射量の季節変動と、それに伴う植物プランクトン量の季節変動であることを明らかにした。また、鉛直循環流および吹送流が海域間の栄養塩輸送を起こすことを、栄養塩分布の季節変化に基づいて示した。

(3) 東部瀬戸内海における栄養塩濃度の季節変動を再現する数値モデルを作成した。このモデルを用いて過去30年間における外海からの栄養塩流入量を定量化し、流入量の変動が各海域の栄養塩濃度の変動に及ぼす影響を調べた。その結果、外海の変動が紀伊水道および大阪湾西部の栄養塩濃度の変動に大きな影響を及ぼすのに対し、それより内側の播磨灘では影響が小さい(寄与率：～10%)ことを明らかにした。

以上のように本論文は、沿岸海域の生物生産を支配する栄養塩について、瀬戸内海を対象として生物化学過程と物理過程の双方を実測と数値モデルによって明らかにしたものであり、また過去30年間の栄養塩濃度の再現計算を行い、瀬戸内海の栄養塩水準に及ぼす長期的な気象・海象変動の影響を明らかにしたものであり、海洋生物環境学、水産海洋学、沿岸海洋学および環境管理学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成20年6月25日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。