

Influence of riverine nutrient fluxes
on primary production dynamics in Ishikari Bay,
subarctic oligotrophic coastal environment of Japan

(貧栄養性亜寒帯沿岸域の石狩湾における基礎生産動態に及ぼす

河川起源栄養塩の影響評価)

学位論文内容の要旨

亜寒帯域に属しながら暖流の影響下にあるために貧栄養である石狩湾における基礎生産過程の解明を行った。石狩湾には流域面積において本邦2位の石狩川が流入することから、河川からの栄養塩流入及び淡水流入によって引き起こされる特徴的な海洋構造が基礎生産動態にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることを目的とした。調査は、2006年および2007年に練習船うしお丸およびおしよろ丸を用いて湾内に26点の観測点を設けて8回の調査航海にて行われた。調査地点の表層における塩分は、2006年において14.7-33.9、また2007年において24.2-33.1の範囲であり、その分布から湾内に石狩川からの淡水流入の影響を受けた海水が湾北東部に偏在することが明らかになった。また、低塩分水の面積は、春季に最大となることから、この時期の雪解けに伴う河川流量の増大と連動していた。2006年春において河川からの栄養塩供給が最大であったにも拘わらず河川ブルーム内の平均クロロフィルa濃度 (2.3 mg m^{-3}) は、河川ブルーム外の値 (2.4 mg m^{-3}) と同程度であった。一方で、河川ブルーム面積は春季に比べ小さい秋季において河川ブルーム内で高いクロロフィルa濃度 (7.4 mg m^{-3}) が観測された。また、サイズ別クロロフィルaについて河川ブルーム内で観測された高濃度のクロロフィルaは、大型画分 ($10 \mu\text{m}$ 以上) によって構成されていた。一方で、河川ブルーム外では小型画分 ($10 \mu\text{m}$ 以下) によって構成されていた。しかし、2007年春季は河川ブルーム内において高濃度のクロロフィルa (9.17 mg m^{-3}) が観測された。これは、温帯、亜寒帯域で特徴的な春季ブルームを捕らえたものと考えられる。基礎生産量の最大値は、河川ブルーム内において2006年は秋季に $66.9 \text{ mgC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ 、2007年においては春季に $123.5 \text{ mgC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ が観測された。一方で河川ブルーム外においては春季に $9.8 \text{ mgC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ (2006)、 $55.0 \text{ mgC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ (2007) が観測された。栄養塩の相対的な存在比より河川ブルーム内では2006年の春季にはリン酸塩がまた秋季には窒素態

栄養塩が制限的に働き、2007 年の春季および秋季にはいずれの栄養塩も制限的でないことが示唆された。しかし、夏季においてはリン、窒素とも制限栄養塩となっていた。河川流量と河口内の塩分の収支計算より河口循環（湧昇）流量を季節的に算出し、河川ブルーム表層水にもたらされる河川起源および河口循環起源の栄養塩供給フラックスを見積もった。その結果いずれの季節においても窒素とケイ素については河川起源フラックスが河口循環起源フラックスを上回った。一方でリンについては河口循環起源フラックスが河川起源フラックスを夏季と秋季において上回り、春季においてはほぼ等しい事が明らかになった。このことは、河川及び河口域において懸濁粒子濃度が高いためリン酸塩が吸着除去されるためブルーム内で低濃度であることが原因である。春季ブルーム内において硝酸塩が高濃度であるのにも係わらず河口付近では光消散係数が高く、また河川ブルーム沖合域ではリン酸塩が枯渇状態であることから河口付近での光制限から沖合域でのリン制限へと制限要因が変化していることが明らかにされた。

また水深の比較的浅い沿岸域における基礎生産動態を明らかにする目的で、2006 年 9 月から 2007 年 12 月にかけて小樽港外に定点を設けて 2 週間から一ヶ月の間隔で周年にわたり観測を行った。塩分、水温鉛直分布より季節を通して鉛直的に良く混合していた。窒素態栄養塩とリンの存在比は、クロロフィル *a* の最大値が観測された秋季に 13 と低くリン制限が示唆された。クロロフィル *a* が 1 mg m^{-3} 以上の高生産期における平均クロロフィル *a* 濃度は 6.9 mg m^{-3} で平均基礎生産量は、 $36.1 \text{ mgC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ で窒素態栄養塩、リン酸塩、ケイ酸濃度は、それぞれ 2.5、0.14、 $5.1 \mu\text{M}$ であった。同化数 (P^B) は、夏季に $47.7 \mu\text{gC } \mu\text{g Chl } a^{-1} \text{ d}^{-1}$ と高く冬季は $9.7 \mu\text{gC } \mu\text{g Chl } a^{-1} \text{ d}^{-1}$ であった。またサイズ分画したクロロフィル *a* および基礎生産量は、いずれも大型区分が卓越 (85%) していることから高生産性は、大型の植物プランクトンによる生産によって保証されている。

以上の結果から、亜寒帯域に属しながら対馬暖流の影響を強く受ける石狩湾は、貧栄養性と考えられてきたが、石狩川の影響を受ける北東海域において栄養塩濃度が高く基礎生産量が他の地点より 2 から 6 倍大きい値を示した。このことは、本邦第二位の大河川である石狩川からの栄養塩は、石狩湾の基礎生産量に強く影響を及ぼしていることが明らかになった。また、他の内湾で観測される河口循環流による栄養塩供給は、石狩湾においてはリンを除き重要ではないことが明らかとなった。これは、基礎生産量が他の海域と比較して高くないため、有機物の鉛直輸送量が小さく下層において栄養塩の蓄積が少ないことが起因している。これまで大河川が流れ込む内湾においては河口循環流の重要性が指摘されてきたが、石狩湾においてはこれらの知見とは異なる事が明らかになった。

本研究で得られた知見と他の海域と比較することにより沿岸海域における基礎生産過程に与える大河川の役割をさらに発展させることが出来ると期待される。

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	工 藤	勲
副 査	教 授	門 谷	茂
副 査	教 授	岸	道 郎
副 査	教 授	久 万	健 志

学 位 論 文 題 名

Influence of riverine nutrient fluxes on primary production dynamics in Ishikari Bay, subarctic oligotrophic coastal environment of Japan

(貧栄養性亜寒帯沿岸域の石狩湾における基礎生産動態に及ぼす
河川起源栄養塩の影響評価)

本論文は、亜寒帯域に属しながら暖流の影響下にあるために貧栄養性内湾である石狩湾における基礎生産過程の解明を行ったものである。石狩湾には流域面積において本邦2位の石狩川が流入することから、河川からの栄養塩流入及び淡水流入によって引き起こされる特徴的な海洋構造が基礎生産動態にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることを目的とした。調査は、2006年および2007年に練習船うしお丸およびおしよる丸を用いて湾内に26点のグリッド状観測点を設けて8回の調査航海にて行われた。調査地点の表層における塩分は、2006年において14.7-33.9、また2007年において24.2-33.1の範囲であり、その分布から湾内に石狩川からの淡水流入の影響を受けた海水が湾北東部に偏在することが明らかになった。また、低塩分水の面積は、春季に最大となることから、この時期の雪解けに伴う河川流量の増大と連動していた。2006年春において河川からの栄養塩供給が最大であったにも拘わらず河川プルーム内の平均クロロフィルa濃度は、河川プルーム外の値と同程度であった。一方で、河川プルーム面積は春季に比べ小さい秋季において河川プルーム内で高いクロロフィルa濃度が観測された。また、サイズ別クロロフィルaについて河川プルーム内で観測された高濃度のクロロフィルaは、大型のサイズ(10 μ m以上)区分によって構成されていた。一方で河川プルーム外では小型のサイズ(10 μ m以下)区分によって構成されていた。一方で2007年春季は、河川プルーム内において高濃度のクロロフィルaが観測された。これは、温帯、亜寒帯域で特徴的な春季プルームを捕らえたものと考えられる。栄養塩の相対的な存在比より河川プルーム内では2006年の春季にはリン酸塩がまた秋季には窒素態栄養塩が制限的に働き、2007年の春季および秋季にはいずれの栄養塩も制限的でないことが示唆された。しかし、夏季においてはリン、窒素とも制限栄養塩となっていた。河川

流量と河口内の塩分の収支計算より河口循環(湧昇)流量を季節的に算出し、河川ブルーム表層水にもたらされる河川起源および河口循環起源の栄養塩供給フラックスを見積もった。その結果いずれの季節においても窒素とケイ素については河川起源フラックスが河口循環起源フラックスを上回った。一方でリンについては河口循環起源フラックスが河川起源フラックスを夏季と秋季において上回り、春季においてはほぼ等しい事が明らかになった。このことは、春季においてリン酸塩の河川濃度が低いことと懸濁粒子濃度が高いことが原因であると推察した。春季ブルーム内において硝酸塩が高濃度であるのにも関わらず河口付近では光消散係数が高く、また河川ブルーム沖合域ではリン酸塩が枯渇状態であることから河口付近での光制限から沖合域でのリン制限へと制限要因が変化していることが明らかにされた。

以上のとおり、申請者は亜寒帯域でありながら貧栄養性海域である石狩湾の基礎生産に与える河川起源栄養塩の影響についてその季節性と空間的規模の両面について評価を与え、沿岸域における基礎生産動態に関する新知見を得たものであり、今後の海洋生物地球化学研究の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって、申請者は博士(環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。