

河川から沿岸域に対する 栄養塩類等供給特性の把握

THE STUDY ON CHARACTERISTIC OF NUTRIENT SUPPLY FROM THE NARUSE RIVER SYSTEM TO THE COASTAL REGION

稲葉 護¹・高崎みつる²・飯島眞治³
Mamoru INABA, Mitsuru TAKASAKI and Shinji IJIMA

¹国土交通省北上川下流工事事務所調査課 (〒986-0861 宮城県石巻市蛇田字新下沼80)

²正会員 工博 石巻専修大学教授 理工学部生物生産工学科 (〒986-8580 宮城県石巻市南境新水戸一番地)

³三洋テクノマリン株式会社 環境コンサルタント部 (〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-3-17)

It can be widely said that a terrigenous nutrients including silicon (Si) plays a key role of proliferation mechanism of Diatomae that is a main species in coastal region supporting marine ecosystem as a primary producer. To clarify this mechanism or a relationship between marine ecosystem and river water, it is important to promote an environmental preservation measure in a consistency policy “*Rivers that nourishes Seas*” that deal with a river management as well as river basin and coastal water as a system.

Under such background, a Naruse river system was selected as an object of study for this report. A nutrient flux at swollen state especially increasing inflow to the seas was clarified. Moreover, by comparing water level of snow melting season and ordinary water-stage, a characteristic of nutrient supply was studied.

Key Words : river management, nutrients supply, phyto plankton, Diatomae, silicon, swollen state, snow melting season

1. はじめに

近年, 流域から河川, 更に沿岸海域へと至る一貫した視点の重要性への認識が高まっており, 流入先である沿岸域の水質, 生態系に配慮した河川整備, 管理が望まれている。

沿岸生態系の基盤を担う植物プランクトン, 特に沿岸域の普遍種である珪藻類の増殖に対し, 沿岸域への栄養塩等供給源として河川水が重要な役割を果たしていることは認識されてきたが, その機構や河道内における物質変動については未だ十分に解明されていない。流下過程では, 土地利用等の流域環境, 河床材料, 植生等の河道特性等が水質決定要因となり, 河川や季節に応じて海域に対する栄養塩等の供給特性が異なっている。その機構や沿岸生態系との関わりを明らかにしていくことは, 「海の生態系を支える河川」の視点に立ち, 環境の連続性に配慮した河川管理を推進するにあたり, 重要な知見になるものと考えられる。

本検討は, 陸・川・海を一連のシステムとして捉え,

特に河川管理を通じた沿岸生態系の保全に着目し, 河川による栄養塩等供給機構や供給量変動が沿岸生態系に及ぼす影響等の把握を通じ, 長期的には物質循環における陸・川・海の因果関係の解明を目指すものである。

調査対象区域である仙台湾沿岸では, その生育過程において栄養塩等の存在が不可欠であるワカメや低次消費者にあたるカキ等の養殖漁業が盛んに行われており, 栄養塩等供給の観点から, 鳴瀬川や旧北上川をはじめとする流入河川が重要な役割を担っていると考えられる。

このため本報告では, 検討の第一段階として, 鳴瀬川水系を対象とし, 海域への河川水流出量が増大する増水時に水質調査を行い, 増水初期から減衰期にかけての水質, 物質供給量 (flux) 変動と流量との関係を整理した。また, 各時期の平均的な供給量を把握する目的でLQ式 (物質(供給)量-流量関係式) を作成し, 年間の物質供給変動を推定するとともに, 鳴瀬川水系から沿岸海域に対する物質供給特性について検討を行った。

これらの調査結果を基に, 河川から海域に対する物質供給量を推定するための調査手法について考察した。



図-1 調査位置図

表-1 分析項目一覧

分析項目
【一般項目】 浮遊物質(SS), 濁度, 大腸菌群数, 塩分
【栄養塩類等】 総窒素, アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素, 溶溶性総窒素, 総リン, オルトリン酸リン, 溶溶性総リン 珪酸, 溶溶性鉄, フミン酸[e260発現成分], 溶溶性全有機炭素(DOC)

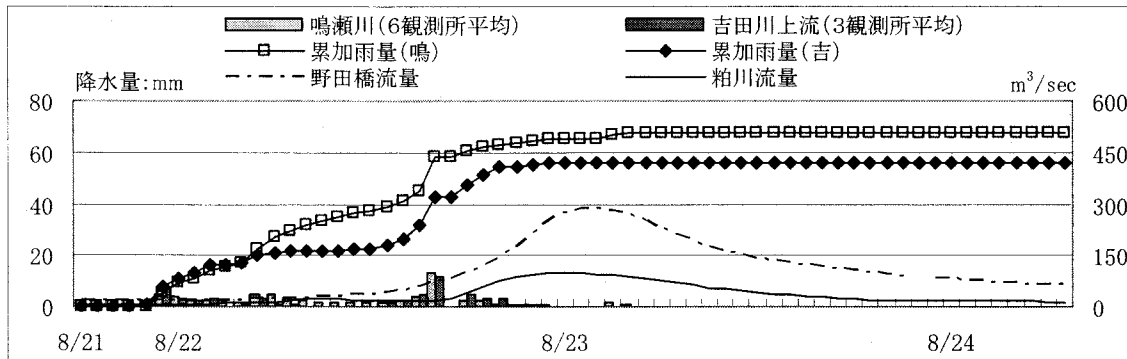


図-2 増水時調査前後の降水量(時間雨量, 累加雨量)

2. 増水時調査概要

(1) 調査位置

鳴瀬川は、宮城・山形県境の船形山に源を発し、奥羽山脈の渓流水を集めて東へと下り大崎平野を貫流する幹川流路延長89km、流域面積1,130km²の一級河川である。数々の支川を有し、鹿島台町付近からは北泉ヶ岳より発する吉田川と併流しながら鳴瀬町で合流し仙台湾に流入している。

増水時調査は、安全性、海水遡上の影響や橋脚付近における河床砂等の巻き上げによる影響を考慮し、鳴瀬川木間塚地点(12.4K)および吉田川三陸道橋梁下地点(5.3K)で実施した(図-1)。

(2) 増水時調査概要

平成13年8月21~22日にかけて東北地方に接近した台風10号の影響により、鳴瀬川流域では時間雨量数mm~10mm程度の弱い降雨が24時間程度連続し、23日未明に鳴瀬川野田橋で約290m³/sec(8月20日12:00約11m³/sec)、吉田川粕川で約100 m³/sec(8月20日9:00約2m³/sec)のピーク流量に達した(図-2)。

22日19:00より採水を開始し、増水初期から減衰期にかけて合計12回の表層採水を実施した。水位監視班、鳴瀬川採水班および吉田川採水班の3班に分かれ、水位監視班が国土交通省ホームページ「川の防災情報(<http://www.river.go.jp>)」等より鳴瀬川野田橋地

点、吉田川粕川地点の水位情報を随時入手し、水位観測地点から採水地点までのピーク到達時間の誤差を考慮しながら、鳴瀬川採水班および吉田川採水班にそれぞれ採水時刻の指示を行った。なお、ピーク到達時間は、平成元年度から9年度までの高水速報(東北地方整備局北上川下流工事事務所)より推定し、推定時刻の前後は概ね1時間ピッチで採水を行った。採水試料は、表-1に示す項目について分析を行った。

3. 水質、物質通過量と河川流量の関係

木間塚地点、三陸道橋梁下地点は水位観測所を有さないため、本検討では、上流近傍に位置する鳴瀬川野田橋地点および吉田川粕川地点の流量を水位観測データとHQ式(平成12年度式を準用)より算出し、さらに流域面積比より採水地点における流量の概算を行った。また、高水速報よりピーク到達の時間差を考慮し、木間塚地点は野田橋地点から3時間後、三陸道橋梁下地点は粕川地点から5時間後にピークを設定した。

(1) 水質経時変化

両河川とも、SSは水位変動とほぼ同期して濃度が増大し、珪酸態珪素(Si-O₂:以下、珪素)は水位の上昇に伴い濃度が減少し、類似した傾向がみられた。また、溶溶性総窒素(DTN)および溶溶性総リン(DTP)

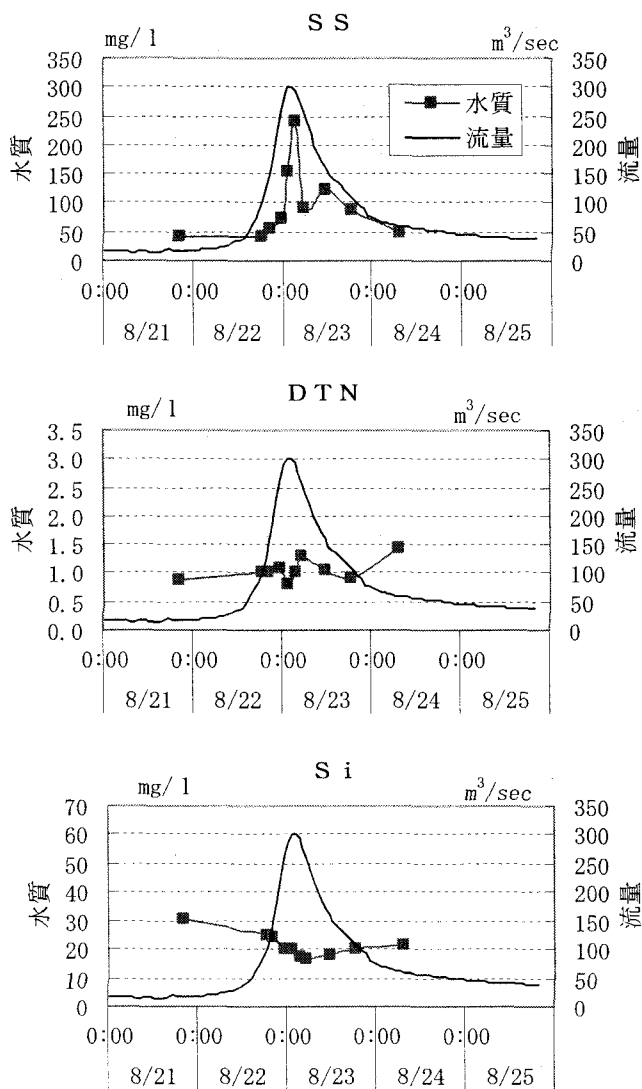


図-3 流量・水質経時変化図（鳴瀬川）

は、一時的に濃度が増えた後、ピーク前後で減少し、再び回復するという段階的な変動を示した（図-3）。溶存態鉄（Fe）は非常に不安定な変動を示した。

(2) 水質、物質供給量と河川流量の関係

水質、物質供給量と河川流量の関係をみると（図-4）、両河川とも全ての項目で流量の増大に伴う物質供給量の増加が確認されたのに対し、濃度は増大型（SS）、平衡型（溶存性総窒素、溶存性総リン）、減少型（珪素）の3つのパターンに分類された。なお、溶存態鉄は不安定な傾向を示し、明確なパターンは見いだすことができなかった。

これは、各物質の存在場所や流出形態の違いによるものと考えられる。増大型を示すSSは、主に土砂や有機物等からなり、降雨等による表層流出や増水に伴う河床物質の巻き上げ等によって増大する。平衡型を示す溶存性総窒素、溶存性総リンは、硝化や有機物分解の結果として土壌の表層から浅層に多く含まれるほか¹⁾、田畑

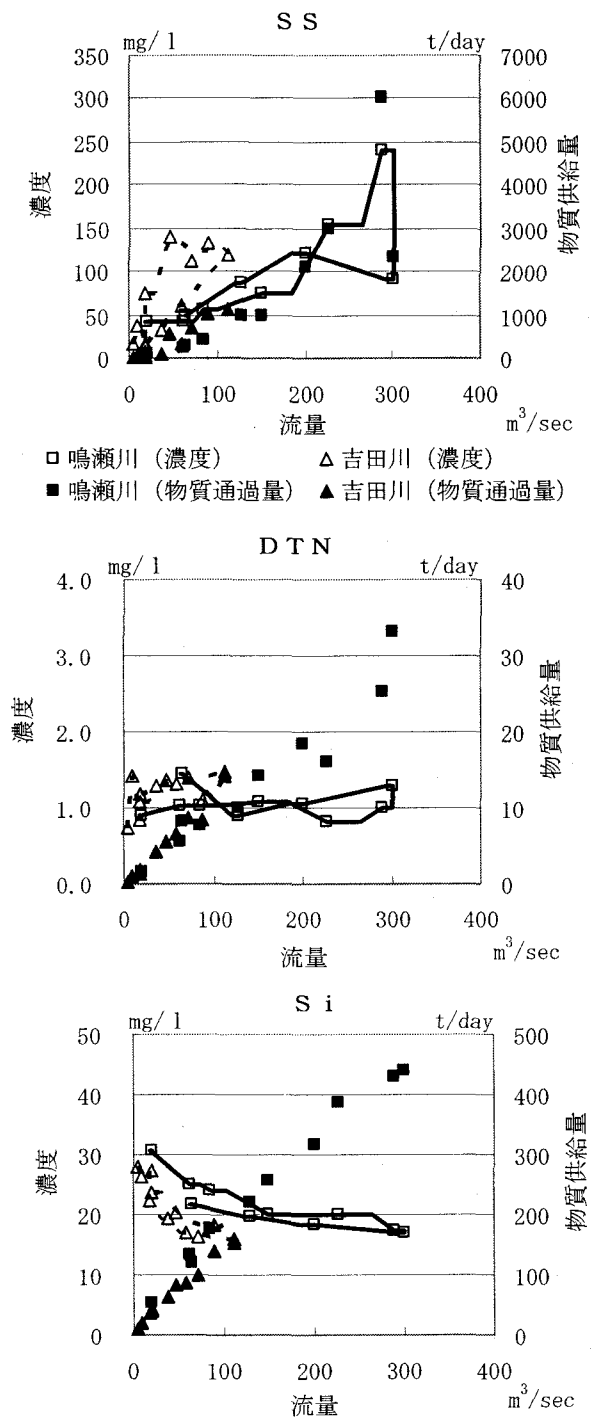


図-4 流量-水質・物質供給量関係図

の施肥や畜産系排水などの人為的負荷²⁾等、様々な起源を有する。このため、降雨初期の表層流出により土壌表層に含まれる物質が速やかに流出した後、一時的に濃度が減少し、土壌に浸透した雨水または飽和により土壌層に達した地下水が土壌浅層中の物質を溶解しながら徐々に流出するなど、段階的な変動を示すことが考えられる。またこれらの濃度は、土壌への浸透を決定づける降雨強度や継続時間によっても変化する可能性がある。一方、減少型を示す珪素は、主に岩石や鉱物に起源を有し³⁾、その風化作用により、土壌深層に多く分布する¹⁾。通常、

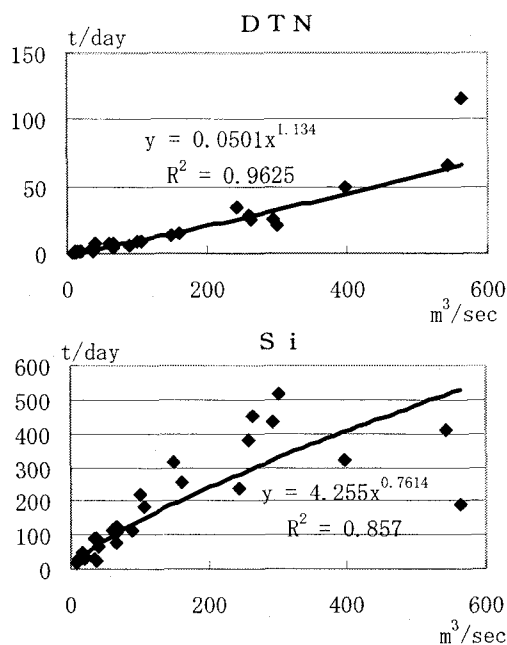


図-5 流量-物質供給量相関図 ($L=aQ^{n+1}$: 鳴瀬川)

深層土壌水や地下水に溶解して流出するため、表層流出を伴う増水時には一時的に濃度が低下したと考えられる。

4. 物質供給量の算定

(1) LQ式の算定

流量と水質との間には、物質により異なるが、以下の式(1)によって示される一定の関係が存在する³⁾。

$$C = a Q^n \quad (1)$$

ここで、 C : 水質、 Q : 流量、 a , n : 係数であり、 n が正の場合には、3 (2) で示した増大型、負の場合には減少型となる。式(1)の成立により、河川から海域に対する物質供給量 (物質流出量) L は以下の式(2)によって示される。

$$L = Q \times C = a Q^{n+1} \quad (2)$$

これらの式では、物質の存在場所や流出形態の違いによる水質、供給量の変動特性が、係数 a , n の変化により表される。本検討では、限られた現地調査結果より河川から海域に対する物質供給特性の推定を行うため、各時期の平均的な供給状況を把握する必要があることから、増水時調査結果および平成11年8月から平成13年3月まで計12回に渡り実施した順流部最下端における水質調査結果を用い、各項目について、流量と物質供給量との関係式 (LQ式) を算定した (図-5)。

(2) 物質供給量の年変動傾向

流量年表 (日本河川協会) に記録された野田橋地点、幡谷橋地点の日平均流量値を基に流域面積比より採水地点の流量を求め、平成5年から11年の7カ年を対象とし、LQ式より日間物質供給量を算定した (図-6)。

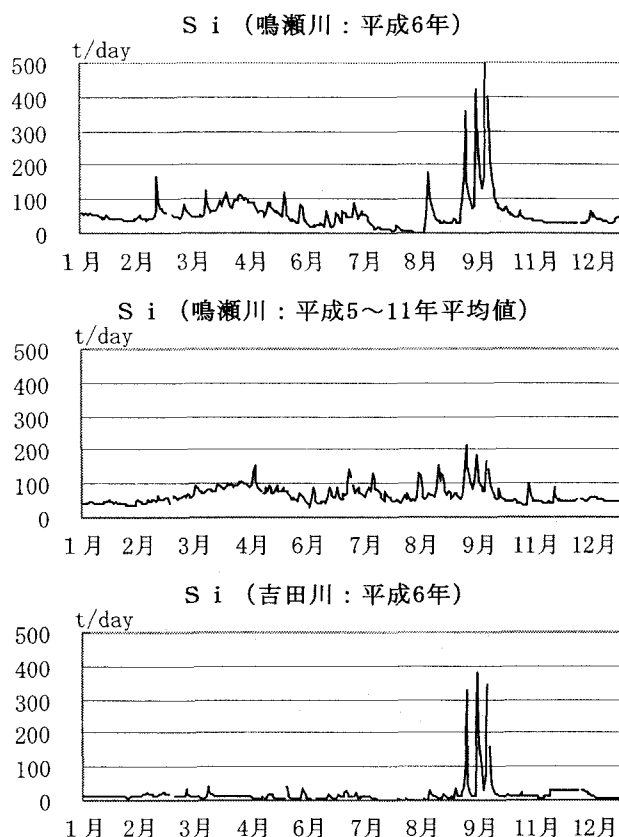


図-6 日間物質供給量算定結果

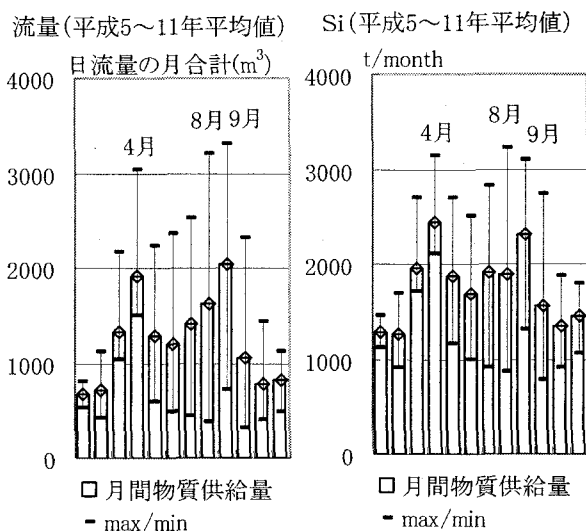


図-7 月間物質供給量算定結果

いずれの物質も、鳴瀬川では春季と秋季、吉田川では秋季にピークがみられた。年別では、秋季のピークに著しく高い値を示す年がみられたが、7カ年平均をみると、春季には日変動が小さく、安定したピークが確認された。月間供給量として集計すると (図-7)、流量とほぼ同期し秋季に年間を通じたピークがみられたが、鳴瀬川の珪素は、春季 (4月) に高い値を示した。年変動をみると、冬季から春季にかけて小さく、夏季から秋季にかけて非常に大きくなっており、特に鳴瀬川では、春季に安定した珪素の供給が行われている可能性が示された。

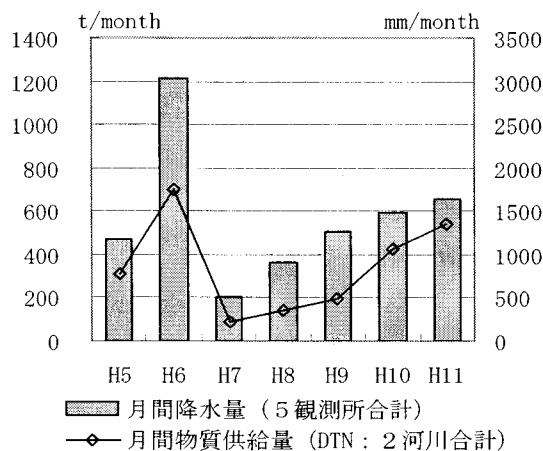


図-8 月間降水量-月間物質供給量経年変化(9月)

9月の溶存性総窒素を例に、鳴瀬川水系上流域に位置する5雨量観測所の合計月間降水量と物質供給量を比較すると(図-8)、その年変動傾向は概ね一致しており、最も降水量の多い平成6年の物質供給量は、最も少ない平成7年の約8倍の値を示している。秋季の降水量は、台風の来襲回数や規模等の影響により年変動が非常に大きく、それに伴う流量変動により、秋季の物質供給量は年変動の大きい不安定な傾向を示すと考えられる。また、珪素は、流量増加に伴う濃度の減少傾向がみられる物質であり、台風等による秋季の大規模な出水時には、濃度希釈が流量の増加を上回り、単位流量あたりの物質供給量が減少する可能性がある。一方、春季は、融雪に伴う緩やかで安定した出水により、珪素をはじめ安定した物質供給が行われていると考えられる。

(3) 平水時、融雪期、増水時の物質供給量比較

年間の物質供給量に占める増水時の割合を求め、融雪期、平水時との比較を行った。ここで、増水時とは本調査と同規模の出水日(野田橋:日平均 $150\text{m}^3/\text{sec}$ 以上、幡谷橋:日平均 $50\text{m}^3/\text{sec}$ 以上)を、融雪期とは増水時を除く3~5月として定義した。

図-9より、鳴瀬川河口部における1日あたりの物質供給量をみると、両河川とも、流量が豊富な増水時の物質供給量が多い。珪素は他の項目に比べ、平水時、融雪期に対する増水時の供給量がやや少ない傾向を示した。これは前述の、出水に伴う濃度希釈による影響と考えられる。年間総供給量に占める増水時、融雪期、平水時の割合をみると(図-10)、鳴瀬川ではSSを除きいずれも平水時が最も高く、次いで融雪期となっており、特に珪素では増水時の占める割合が少ない。一方、吉田川でいずれの項目も増水時が融雪期を上回っている。この結果は年間流量の占める割合と同期しており、物質供給は各時期の流量の影響を強く受けていることが示唆された。

5. 鳴瀬川水系による物質供給特性

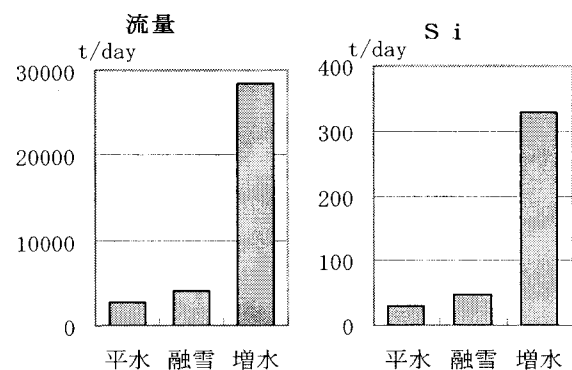


図-9 平均日間供給量(鳴瀬川)

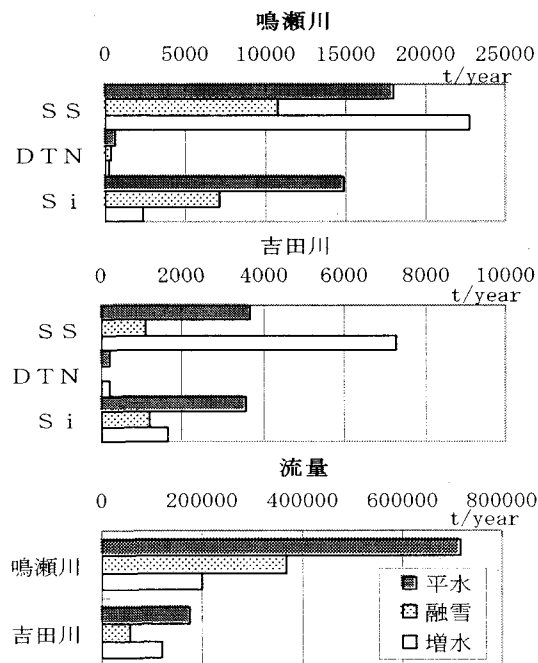


図-10 季節別物質供給量

ここまでの結果より、鳴瀬川水系による物質供給特性は以下のように整理される。

- 鳴瀬川では春季と秋季、吉田川では秋季に物質供給のピークがみられる。この傾向は、それぞれの流量変動とほぼ同期しており、流出特性の違い等に起因することが考えられる。
- 春季のピークは融雪に伴う緩やかな出水であり、1日あたりの物質供給量は増水時に比べて少ないが、日変動、年変動が小さく安定した供給特性を示す。
- 一方、秋季のピークは台風等の襲来に伴う大規模な出水により、1日当たりの物質供給量は大きい、日変動、年変動が大きく不安定な供給特性を示す。
- 秋季の大規模な出水時には、地下水等に多く含まれる珪素濃度が表層流出の増大により希釈され、物質供給量が減少するため、鳴瀬川では、他の物質と異なり、春季に珪素供給のピークがみられる。

ここで、鳴瀬川水系の物質供給量と、沿岸域の水質、

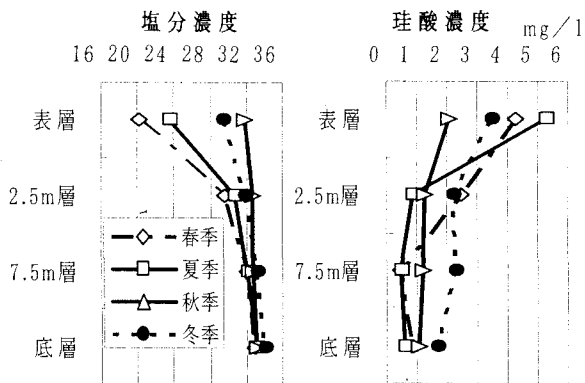


図-11 水質鉛直分布図 (鳴瀬沖)

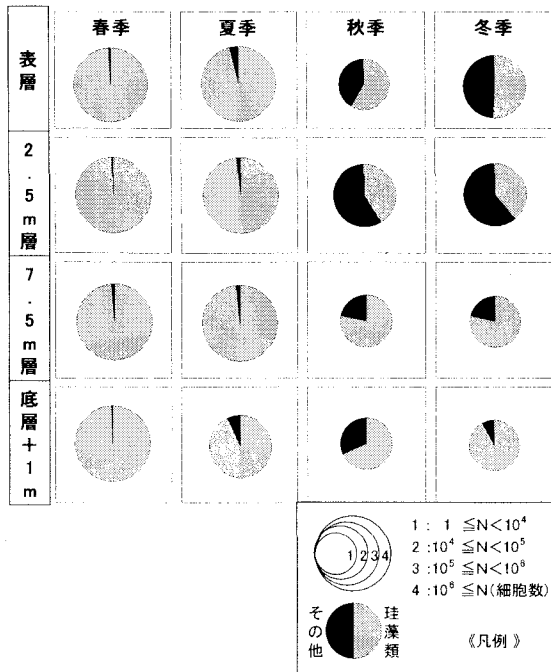


図-12 水質鉛直分布図 (鳴瀬沖)

植物プランクトン出現状況との比較を行った。植物プランクトンは、海域の主要な基礎生産者であり、中でも珪藻類は、沿岸域における普遍種として食物連鎖の基盤を支える重要な存在である。海中に溶存する栄養塩類等を吸収し、光合成により増殖するため、栄養塩類等の分布状況が増殖程度の決定要因のひとつとなる。特に珪藻類では珪素の供給が不可欠であり、その欠乏により増殖が制限されるとの報告もある。

平成11年から12年に鳴瀬川河口より約3km沖に位置する鳴瀬沖地点(北緯38°21'24", 東経141°11'38")/宮城県公共用水域水質調査点を対象として実施した水質調査結果をみると(図-11), 塩分は表層で低く, その傾向は特に春季(融雪期)および夏季で顕著に現れており, この時期に河川水の影響を強く受けていると考えられる。一方, 珪藻類増殖の必須物質である珪素は, 表層の濃度が高く, その傾向は塩分と同様に春季と夏季に顕著である。このことは, 鳴瀬沖地点付近に分布する珪素が, 主に鳴瀬川などの河川水により供給されている可能性を示している。図6より, 秋季にも物質供給のピークがみら

れるが, 台風等による一過性のものであり継続しないこと, 成層形成がみられる春季~夏季と異なり海水の上下混合が生じることなどから, 河川水が表層付近に止まりにくいと考えられる。鳴瀬沖における同時期の植物プランクトン分布状況をみると(図-12), 春季および夏季は植物プランクトンの細胞数, 珪藻類の比率ともに大きく, この時期に河川水による安定的な物質供給が行われることは, 沿岸域生態系を維持する上で重要であると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本論では, 河口域における増水時調査等の現地調査結果を基に, LQ式を用いて, 河川水による海域への物質供給特性を推定した。その結果, 鳴瀬川では, 植物プランクトン, 特に珪藻類の増殖期に当たる春季から夏季にかけて安定した物質供給を行っていること, 物質供給特性は河川毎に異なり, 流出特性等の違いに起因する可能性があること等が明らかにされた。今後, 河川と流入先である海域生態系の特性に配慮した河川管理の検討, 推進に向け, 河川から海域に対する物質供給量を推定する上で, 以下の課題が考えられる。

- (a) より大規模な出水時における物質供給特性の把握など, データの蓄積によりLQ式の精度向上を図る。
- (b) 本論では, 物質供給量の算定に用いる流量データを, HQ式および流域面積比により求めたが, 採水時に流量観測を実施することでより正確な物質供給量の把握が可能になる。ただし, 増水時の流量調査については, 安全性, 断面流速把握等の面から, 今後の検討課題として挙げられる。
- (c) 流域特性や河川特性と物質供給量の関係について, 地形や地質, 気象条件, 土地利用のほか, 河川勾配・河積・河床構造等を踏まえた検討を行い, 物質供給特性の決定要因を推定する。
- (d) 単位時間あたりの供給量が多い増水時の海域に対する寄与を推定するため, 増水時の河川水に含まれる栄養塩類バランスや一過性の供給量と海域生態系における利用能力との関係等の検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 関 陽児: 土壌・風化帯の形成と水質変化, 地質調査所月報, 第49巻/第12号, pp. 639-667, 1998.
- 2) 小倉健雄: 水・物質循環と河川の流域環境, 日本水文学会誌, 第27巻/第4号, pp. 179-184, 1997.
- 3) 平田健正・村岡浩爾: 森林域における物質循環特性の渓流水質に及ぼす影響, 土木学会論文集, 第399号/II-10, 1988.
- 4) 松本順一郎編: 水環境工学, 朝倉書店, 1994.

(2002. 4. 15 受付)