

学 位 論 文 題 名

石狩川から流出する懸濁物質の石狩湾における
栄養塩供給・移動特性及び土砂収支に関する研究

学位論文内容の要旨

沿岸海域の環境を保全・維持していくためには、河川との関わりを明らかにする必要がある。河川から海域に流出する栄養塩類のうち、溶存態成分は海域において拡散し、一次生産に利用されるが、懸濁態の一部も海域では無機態成分の溶出、有機物の分解によって溶存態となる。また、懸濁物質は海底面に堆積し底質環境にも影響を与える。このようなことから、懸濁物質に着目し河川及び海域で連動した調査を行い、懸濁物質の持つ性質・役割について知見を得ることを目的に研究を行った。論文の2章から4章では、懸濁物質を中心に調査して得られた結果を整理し、第5章では石狩川から流出する土砂全体の収支について検討した。

第2章では、北海道を代表する石狩川、尻別川、鶴川から流出する懸濁物質の性質、及び石狩川下流の水質について整理を行った。3河川で洪水時に懸濁物質を採取し、懸濁物質に含まれる栄養塩類の分析、凝集・沈降特性を整理した。懸濁物質は流域の土壌、土地利用などの影響を受けていると考えられる結果となった。尻別川で採取した懸濁物質は、流域にリン酸を吸着しやすいクロボク土が分布し、かつ畑作が盛んなことからリン酸の含有量が高い値を示した。鶴川流域はリン酸を吸着しづらい褐色森林土で覆われているため、懸濁物質中のリン酸の含有量は少なかった。石狩川で採取した懸濁物質は他の2河川の間隔的な値を示した。懸濁物質の海域における凝集・沈降特性について、室内試験により整理した。凝集比は、攪拌強度、濁質濃度との関係で整理でき、凝集した懸濁物質の沈降速度は凝集径の0.6~0.82乗に比例する結果となった。次に石狩川の河口から14.5km上流の札幌大橋地点の年間を通した水質変動について整理を行った。全リンは懸濁態の割合が高く、逆に全窒素は溶存態の割合が高かった。懸濁態のリン、窒素は共に流量が低下すると計算上含有量が上昇し、含有量に違いのある懸濁物質が存在することが推定される結果となった。溶存態のリン酸は冬期に上昇し融雪期には低下するが夏期には明確な傾向は見られない。アンモニア態窒素は水温の低い冬期に濃度が上昇し、硝酸態窒素は融雪期に一時的に濃度が上昇しており、硝化による影響と考えられる。

第3章では、石狩湾の水質・底質調査結果を示した。論文では石狩川河口から4.5km沖の地点の水質を整理した。溶存態リン酸、硝酸態窒素は10月から3月にかけて全層で濃度が上昇しており、外洋から栄養塩が供給されていると考えられる。リン酸は、それ以外の期間では海水面付近、海底面付近で濃度が上昇しており、河川水、底質から供給されていると考えられる。融雪出水時の調査から、河口周辺海域の海水面付近の溶存態リン酸の濃度が河川水に比べ上昇しており、海域において懸濁物質からリン酸が海水中に溶出していると考えられる結果が得られた。この現象について室内試験によって検証を行った。水中の懸濁物質に吸着するリン酸の量は、水質によって変化することから、Langmuirの吸着等温式を用い、塩分、pHと吸着平衡の関係を整理し、実測で得られた河口周辺海

域での現象を再現することができた。次に石狩湾で採取した底質の分析結果を整理した。河口の東岸沿いには石狩川の懸濁物質が堆積したシルト・粘土を主とした粒径の細かな底質が分布している。この領域の底質の間隙水中のリン酸濃度は、海底面付近で急激に低下しており、直上水が嫌気的条件下でなければリン酸の底質からの溶出量は低いものと考えられる。間隙水中のリン酸濃度が低下するのは pH の低下が原因と考えられる。底質の CDB-P(海域において循環可能なリン酸) は海底面付近で高く、嫌気状態の下層で溶出したリン酸を吸着し、また河川から供給された値の高い懸濁物質が堆積したためと考えられる。河川の懸濁物質・底質と海域の底質の CDB-P を比較した結果、海域の底質で含有量の低下が見られ、リン酸が海域で溶出したためと考えられる。海域の底質は波浪時には巻き上げられリン酸が海水中に溶出していると考えられることから、自動採水装置を用いて現地で波浪時の採水を行い、水質変動を測定した。一方で、なるべく攪乱がない状態で柱状に採取した底質を用い、実験室で巻き上げ試験を行い現象の確認を行った。その結果、底質が巻き上げられるとリン酸及びアンモニア態窒素が溶出するが、その後巻き上げられた底質が再堆積すると溶存態のリン酸濃度は低下し再び底質に吸着すること、アンモニア態窒素は硝化され硝酸態窒素に変化することが確認された。巻き上げ時のリン酸の溶出現象については、Langmuir の吸着等温式により現象を説明することができた。

第 4 章では、懸濁物質の海域における移動特性について数値シミュレーションにより検討を行った。まず、海域の底質の巻き上げ調査をもとに巻き上げ量とせん断力との関係を明らかにした。海底面付近には頻繁に巻き上げられる浮泥と、一定のせん断力以上で巻き上げられる底質が存在しており、巻き上げ特性はその状況を反映する結果となった。また、2002 年の石狩湾の流速データを用い湾内の流動パターンの推定を行い、7 月～8 月にかけて小樽から石狩川河口方向に向かう流れが生じていること、9 月頃に湾奥部が停滞していること、10 月以降冬期にかけて河口から小樽に向かう流れのパターンが存在すること等が推定される結果となった。懸濁物質の凝集沈降特性及び上記の結果等を再現できる数値シミュレーションモデルを構築し、冬期には河口から小樽方向に向かう流れによって多くの底質が輸送されていること、5 月～8 月頃はあまり多くの土砂が輸送されていないこと、懸濁物質の湾内の収支等を整理することができた。

第 5 章では、懸濁物質の他に浮遊砂、掃流砂に相当する粒径の土砂も含めた石狩川から流出する粒径別の土砂量について検討を行った。まず 1 次元河床変動計算をもとに石狩川から流出する粒径別の土砂量を推定した。その結果、80 μ m 以上の粒径の土砂量は流出量全体の約 18 % に相当し、1997 年～2005 年の平均で 370 万 t に達する土砂が海域に流出していると推定される結果となった。また、海域に堆積した土砂等から逆に過去からの石狩川からの流出土砂量を推定した。14C による年代測定、亜鉛の含有量の変動から得た底質の堆積速度、文献から得た海岸線の前進速度を用い、年あたりの石狩川からの流出土砂量の推定を行った。その結果、近年 90 か年の流出土砂量は、流出土砂の粒度分布が現在とほぼ同様であると仮定すると 600 万 t に達すること、それ以前の時代には流出土砂量が近年に比べ 1/3 程度であったことが推定される結果となった。河床変動計算、海域の堆積土砂量から逆算した石狩川からの流出土砂量はほぼ同様の値を示し、流出土砂量の推定は妥当であると考えられる。

以上のように、河川から流出する懸濁物質の性質、海域における性質・挙動について現地調査結果から明らかにした。また、石狩川からの流出土砂量について、流域の開発が進められた近年及びそれ以前の時代について推定することができた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	山下俊彦
副査	教授	高橋正宏
副査	教授	泉典洋
副査	准教授	渡部靖憲

学位論文題名

石狩川から流出する懸濁物質の石狩湾における 栄養塩供給・移動特性及び土砂収支に関する研究

河口周辺海域の環境は、河川から流出する河川水・土砂（懸濁物質）により大きな影響を受ける。例えば、内湾域の水質の悪化（伊勢湾・東京湾等）、出水後の沿岸海域での漁業被害（鶴川・常呂川・黒部川等）、海岸侵食の進行（安倍川・天竜川等全国で）等の諸課題が生じている。このような課題を解決していくためには、河川域と河口沿岸域での一体の研究が必要であるがほとんど行われていない。

石狩湾においても次のような課題がある。石狩湾が開放性水域であり、また貧栄養状態にある日本海に位置しており、河川からの栄養塩の供給量を明らかにすることは、湾内の自然環境・漁業資源を支える一次生産を考える上で重要である。底質は沿岸海域の環境にとっても重要な要素であるが、石狩川は日本でも第2位の流域面積を誇る河川であり流出する土砂量も多く、その収支、移動特性を明らかにすることは重要である。石狩湾では沿岸域の海岸線の後退や前進も進んでおり、海域の土砂管理を考える上では、河川からの粒径別の流出土砂量、その内海岸線形成に寄与する流出土砂量を明らかにする必要がある。

本研究では、石狩川とその河口域を対象として、河川・海域で連動した、特に出水時の詳細な現地観測と室内実験・数値解析等を実施し、以下の研究を行った。

- ・石狩川の水質特性（年間の変動・流量との関係）の把握
- ・懸濁物質特性と懸濁物質からの海域でのリンの溶出特性の把握
- ・河口沿岸海域の水質変動と河川水の関係の把握
- ・河口周辺海域、海底付近の水質に懸濁物質が及ぼす影響の評価
- ・底質の巻き上げが海域の水質に及ぼす影響の検討
- ・懸濁物質の凝集・沈降特性の把握
- ・底質の巻き上げ特性の把握
- ・海域の流動特性の把握
- ・数値シミュレーションを用いた石狩湾内の細粒土砂輸送特性の検討
- ・河床変動計算による石狩川から流出する土砂量の検討
- ・海域での河川流出土砂の堆積特性、海岸線の変化速度から石狩川の長期の流出土砂量の

変動、及び海岸線形成に寄与する流出土砂量の検討

これらの研究の結果、以下の結論を得た。

日本海沿岸域は夏季には貧栄養となり、日本でも代表的な石狩川は一次生産に重要な栄養塩を石狩湾に供給している。石狩川の河川水の溶存態成分は窒素が相対的に豊富であり、石狩湾においてはリン酸の供給量が湾内の一次生産には重要である。リン酸は懸濁物質に吸着しており、出水時に大量に流出する懸濁物質と共に海域に流出するが、その一部は懸濁物質から溶出しその量は溶存態として河川から流出する量に匹敵する。懸濁物質に吸着したリン酸は海域に流出すると吸着特性が変化し海域に溶出し、河口沿岸海域でのリン酸の溶出現象は Langmuir の吸着等温式で説明することが出来る。また、海底に堆積し長く滞留する懸濁物質は、海底付近が貧酸素ならない石狩湾ではリン酸を貯蔵する役割を果たし、底質の巻き上げと共に海域にリン酸を供給している。

現地調査、室内実験等により海域における懸濁物質の凝集沈降特性、底質の巻き上げ特性等を把握し、これらの結果を用いて石狩湾内の流動・懸濁物質の平均的な堆積・流出特性を再現する数値シミュレーションモデルを構築し、石狩湾内の懸濁物質の堆積域を説明することが可能となった。石狩川で既往第3位のピーク流量を記録した2001年9月洪水の流出土砂量を一次元河床変動計算により検証し、この結果を用いて近年(1997~2005年)の流出土砂量を推定した。これと共に、海底の土砂の堆積特性、海岸線の長期変動を検討し細砂以上の粒径の流出土砂量、及び沿岸域の土砂管理において重要な海岸線形成に寄与する流出土砂量を明らかにした。さらに、過去90年以前に比べ、流域の開発、治水事業が進展した近代では流出土砂量がそれ以前の約3倍に増加したこと、河道断面が拡大した近年(1997~2005年)ではやや減少していることが明らかになった。

これを要するに、著者は石狩川の年間の流出物質特性を把握するとともに、その物質の河口沿岸域での挙動・収支と影響を明らかにしたもので、海岸工学、河川工学に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。