

氏 名	はね だ もり お 羽 田 守 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 59 年 7 月 11 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 45 年 3 月 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	雄物川における水質と負荷量の変動特性とその評価 に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 松本順一郎 東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 首藤 伸夫

論 文 内 容 要 旨

河川の水質は、流域の地質などの自然的条件によってその構成が決まり、この上に人為的汚濁源による流出物質がプラスされそして降雨などの水文・気象条件によって水質変動の性格が特徴付けられると考えられる。従って、流域の状況によって河川の水質変動は大きく異なるが、水質や負荷量の中から明らかに人為的と思われるものを除いた時の、河川が本来持っている変動特性にはそれを支配している共通の因子があり、これはその流域の気温、降水量、流量などの水文・気象因子と思われる。

河川水は降水を起源とし、これが地表や地中を流れて河川水となる。また四季を反映した融雪、洪水、渇水等をくり返しながらその時々々の河川流量は形成されている。従って、河川の水質変動特性をは握するためには、元々降水に含まれている成分、土壌を流れる間の成分の変化、様々な汚濁源から流出してくる物質、流下中の生物化学的作用、流域や河床に滞積した物質の出水時の挙動及び流量の変動特性などを総合的には握しなければならない。この中で河川の出水時には、森林や農地からの栄養分や浸食された土壌、河川滞積物等を含む大量の汚濁物質が流出し、これが年間の流出負荷量に占める割合も大きいことが近年認識されてきている。しかるに、これまでの水質汚濁に関する研究は人為的な汚濁源による負荷量の解明が主で、非点源負荷による汚濁については未知の点が数多く残されている。また、河川や湖沼の水質汚濁に取ってこの点を解明しなければ汚濁の進行を防げないことも共通の認識となってきた。このためには、月に数回程度の水質測定では不

十分であり、毎日の測定を出水時を含めてできるだけ長期間続ける必要があると思われる。

このような観点から、秋田県中央部を流れる一級河川雄物川を対象に、季節毎に1ヶ月程度の連続水質調査をくり返し行って水質と負荷量の変動特性をは握することを試み、これに関連して浮遊物質の挙動、水質変動の評価と予測方法、降水の水質と負荷量の季節変化についても検討を行った。

本論文は7章から構成されている。

第1章は総論であり、本研究の目的と概要を述べる。

第2章は水質の変動特性と題し、まず雄物川流域の概要を述べ、次に水質の変動特性について、水質項目毎に主に濃度と流量との関係を基本として季節別に詳細に検討する。雄物川は、流域面積約4,900km²、流路延長約130kmの県中央部を流れ秋田市において日本海に注ぐ一級河川で、平均流量が245.7m³/secと流量が豊富なこと、4月に明りょうな融雪出水が毎年出現することなどが特徴である。流域の人口密度は約140人/km²で、工場などもほとんどが臨海部に位置し、中央部の人口約5万人の三市が比較的大きな汚濁源と言えるだけの農業を主体とした地域である。

水質調査は、一ヶ月間連続の調査を7年間に季節毎に15回（春3回、夏5回、秋6回そして冬1回）行い、総日数は474日であった。水質測定項目は、全期間を通して行ったのがSS、塩素イオン、COD、NO₃-Nなど8項目で、この他に溶解性CODや総リン、クロロフィルaなど計15項目も随時行った。これらのデータを用い、水質の変動特性について濃度と流量との関係を基に季節毎に詳細に検討を行った。その結果、水質の濃度は降雨量や流量などの水文・気象因子と密接な関係を持ち、これらに対応して変動すること、濃度と流量との関係から水質項目は大きく3つのグループに分類できること、濃度と流量との間には $y = a \cdot Q^b$ なるべき曲線の関係が基本的に存在するが、この関係は水質項目と季節によって変化し、また濃度は流量に応じてある範囲内に分布する性質を持つこと、融雪期には降水により持たせられる成分が水質に影響を与えており、また渇水期には気象条件によっては有機物濃度が上昇するなど他の時期とは異なる特性が認められることなどが知られた。

第3章は浮遊物質の挙動と題し、濁度やSSなどの浮遊物質の、特に降雨流出時における挙動について、粒径や組成の変化及びそれらの濃度との関係、クロロフィルaの影響等の面から検討し、最後に濃度や負荷量の挙動を総括的に表わす考え方について考察した。

まず出水時の浮遊物質の粒径は数ミクロンから数百ミクロンの範囲にあり、この中で10ミクロン以下の微細な粒子が70～80%を占めること、増水時には微細な粒子は変化しないが数十ミクロン位の中程度の粒子の増加する割合が大きいこと、減水時には大粒径の粒子の減衰が大きいこと及び粒子の均等比が流量やSSの濃度との相関が高く、粒径分布を表わす指標として適していることなどが知られた。また、浮遊物に含まれる有機成分は数%～十数%の範囲で比較的小さく、増水時には小さく減水時には比較的大きくなる傾向を持つこと、この時浮遊物中には比較的高めのクロロフィルa濃度が含まれていることなども認められた。

次に降雨流出時の浮遊物質は、流量に対して時計回りのループを描くことが多く、滞積物質の影響が大きい程円に近いループとなる。このプロセスは、まず河床等の滞積物質が表面流出に乗って流出してピーク濃度に達した後、中間流出に希釈されて減衰し、最後に地下流出に伴って元のレベ

ルに戻ると考えられる。減水時のSSの挙動はこのような考え方で整理することができ、出水毎の減衰こう配の違いも説明することが可能である。またSSの流出負荷量は、全体としてみると流量の2乗にほぼ比例することが認められた。

第4章は水質変動の評価と予測と題し、統計的に評価及び予測する方法について比較検討を行い、またその精度についても考察した。まず水質の評価方法については、第2章での濃度と流量との関係についての考察を基に、これらの回帰式をベースとしてこれに降雨による水質の増分を考慮する方法及び同じく重回帰式やGMDHを用いる方法などを用いて比較検討した。その結果、溶解性無機物質の水質評価は主に流量との関係のみから行うことが可能であるが、この際季節や降雨流出毎の濃度の違いを考慮する必要のあること、浮遊性物質については降水による増分を考慮すればかなり精度が向上すること、水文・気象因子の類似したデータで水質の構造式を決定し、水質評価を行う方法はかなり有効な方法であることなどが知られた。

次に水質予測については、GMDH、カルマンフィルター及びARIMAモデルの三つの手法を用いて比較検討した。その結果、変動係数の平均値は、溶解性無機物、有機物及び浮遊物質についてそれぞれ6～18%、30～70%及び70～100%で予測することができた。水質の予測は、溶解性物質は濃度データのみを変数とするのが良く、浮遊性物質は流量等の水文因子も変数として取入れる方が良いこと、分散の大きい水質程測定ひん度を多くする必要があることなどが認められた。予測手法については、それぞれの長所があるが、安全性からみればARIMAモデルが優れていると結論された。

第5章は降水の水質と負荷量と題して、日本海側に位置する雄物川の水質に対する降水の水質と負荷量の季節変化、降水量や風向との関係、降水成分の主成分分析などを検討し、降下する負荷量の大きさとその季節変化を把握することを試みた。その結果、降水の水質は濃度の大きさ、酸性の度合及び季節や気象に関係する成分等で表わすことができ、水質を汚濁源としての海水、大気及び土ほこり等にそれぞれ関係するグループに分類することができること、一雨毎の濃度変化が大きいこと、濃度の大きさは降水量と季節に依存し、特に冬にはDS、塩素イオン、COD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ などの濃度が高くなる傾向が見られることなどが認められた。降水による負荷量は、DSや塩素イオンなどの明りょうな季節変化を示すものと、T-INなどの年間を通して比較的一定なものに分けられる。前者は風送塩の影響で、冬期の負荷量は他の時期の3～11倍もの大きさに達した。これは雪と雨の濃度の違いにも関係し、雪の濃度と負荷量は雨に比べ大きく、日本海側に位置する河川の融雪期の水質変化に影響を与えている可能性のあることが認められた。NやPの負荷量については、単位面積当りの推定負荷量に、我国の他の地域と比べて顕著な差は見られず、一部の工業都市を除けば同じ程度の汚染の状態にあることが推定できる。

第6章は流出負荷量の推定とその特性と題し、雄物川の年間流出負荷量を溶解性水質と浮遊性水質とに分けて季節別に推定する方法について検討し、これを基に過去20年間の流出負荷量の推定を行ってその特性について考察した。その結果、第2章でも触れたが流出負荷量と流量との間には $L=a \cdot Q^{n+1}$ の関係が存在し、この係数a、nの値は季節や流量の範囲によって異なること、一般に溶解性水質の負荷量は流量に支配される傾向が強く、この回帰式で十分に推定することができるが、浮遊性

水質の負荷量はこの他に増水率や流量範囲によっても大きく変動する性質を持つので、更に増水時、減水時等に分けて負荷量を推定する必要があることなどが認められた。流出負荷量のシミュレーションの結果、この方法による推定値はやや小さめに出る傾向があり、月間負荷量の誤差の平均として約8～21%の値が得られた。また年間負荷量の推定は、月間負荷量よりもまず日負荷量の推定を基にする方が良いことも知られた。

過去20年間の推定月間負荷量から、本流域では融雪期の4月一ヶ月間に、年間流出負荷量の15～66%が流出し、特に浮遊性水質の負荷量が大きいくこと、この時系列には12、6、4、及び3ヶ月の4つの周期成分が含まれ、この中で4ヶ月周期のウェイトが一番大きいこと及びこれらの四周期成分で全体の分散の40～60%を説明することができることなどが知られた。

第7章は総括と結論である。

以上本研究は、日本海側に位置する雄物川の水質変動特性について、降水の影響も含めて長期間に渡る調査を行い、河川の水質が流域の気温、降水量や流量などの水文・気象因子に大きく依存すること、その結果水質変動には季節変化が存在すること、渇水時や融雪時には、降水により持たられる成分が影響を与えるなど他の時期とは異なる現象が見られること、洪水などの出水時の流出負荷量は大きく、非点源負荷の影響を重視する必要のあることなど、河川の水質変動に与える水文・気象因子の影響の大きさを明らかにすることができた。我国で、一河川を対象に長期間総合的に水質変動特性を検討した例は少なく、他地域も含めて今後の河川や湖沼の水質汚濁を考えて行く上で一つの基礎を与えるものと考えられる。

審査結果の要旨

河川の水質変動については、これまで事業場などの点源からの人為的汚濁負荷の把握と流下に伴うその変化が主として研究されているが、近年山林や田畑などの非点源からの自然汚濁負荷の解明が水質汚濁の予測上ますます重要になってきている。しかしながら、この種の研究は未だ系統的に行われていない。本論文は、人為的汚濁源が比較的少ない雄物川について研究したもので、全編7章よりなる。

第1章は総論である。

第2章では水質の変動特性について検討している。人為的汚濁が比較的少ない河川では水質は流量、降雨量などの水文・気象因子と密接な関係を持ち、明瞭な季節変化が認められること、水質と流量の関係は流量増加に伴って濃度が増大する掃流型、逆に減少する希釈型、および流量に無関係な一定型の3つに分類できることなどを明らかにしている。これらは興味ある知見である。

第3章では浮遊物質の挙動について検討している。降雨流出時に浮遊物質濃度はまず河床の貯留物質が表面流出に乗って流出して最大値に達し、ついで中間流出に希釈されて減衰し、最後に地下水流出に伴って一定レベルに戻るというサイクルを持つことを明らかにしている。

第4章では水質変動の評価と予測について検討している。溶解性水質の予測は水質のみを変数として行うのがよく、カルマンフィルターやARIMAモデルが適していること、浮遊性水質の予測は水質の他に水文因子も取り入れて行うのがよく、GMDHやカルマンフィルターが適していることなどを明らかにしている。これらは有用な知見である。

第5章では降水の水質と負荷量について検討している。秋田市においては冬期に雪の塩素イオン、COD、アンモニア性窒素などの濃度と負荷量が増大し、これが秋田市における融雪期の雄物川の水質変動に大きく影響することを明らかにしている。

第6章では流出負荷量の推定とその特性について検討している。流量と流出負荷量の関係から日、月、および年負荷量の推定を試み、更に年負荷量の確率分布特性から5年、10年、および20年確率の年負荷量を求める方法を提案している。これらは重要な知見である。

第7章は総括である。

以上要するに本論文は、雄物川の水質と負荷量の変動特性について研究し、その予測方法に関する提案を行ったもので、衛生工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。