

学位論文題名

Influences of Land Use and Water Management on Water Balance and Quality in the Shinotsu Canal Watershed

(篠津運河流域における土地利用と水管理が運河の水収支と水質に及ぼす影響)

学位論文内容の要旨

本研究は、(1) 石狩川下流左岸にひろがる篠津運河流域の土地利用と運河の水質特性、(2) 水利システムの再編(農業用水路のパイプライン化)に伴う灌漑期間における運河上下流ブロックの水収支と水質および負荷収支の関係、(3) 運河上下流域の排水が運河の水質に及ぼす影響、(4) 農業用水の反復利用による運河水質への影響、などを検討し、畑地転換が進んだ水田農業地域の水質環境問題を明らかにすることを目的としたものである。

篠津運河流域は、面積が 10,864 ヘクタールであり、地目が水田、畑地、森林、その他からなる農業地帯である。流域全体を 10 に区分し、それぞれの面積や土地利用を把握して分析に供した。運河の上流から下流にかけて水質測定点を 11 カ所(P1~P11) 設定し、2006 年 5 月から 2009 年 4 月にかけてサンプルを採取した。ここで P1 は、運河への流入水、すなわち石狩川(石狩川頭首工地点)の河川水質を表すものとみなせる。また P2 から P11 は、それぞれの集水域(積算流域面積)からの流出水の影響を受けた水質を表す地点である。得られたサンプルを 5 つの期間に区分し、季節的特徴を検証した。すなわち、5 月の代掻き・移植期(PP)、6 月~8 月中旬の普通灌漑期(NIP)、8 月中旬~11 月中旬の無灌漑期(PIP)、11 月中旬~3 月の積雪期(SCP)、そして 4 月の融雪期(SMP)である。各期間におけるサンプリング回数は、PP で 10 回、NIP と PIP で各 11 回、SCP で 9 回、SMP で 8 回である。分析した水質項目は N と P、SS である。

10 区分面積が最少の P9 を除くと、水質濃度は下流観測点ほど高い傾向を示した。また、篠津運河の水質の季節的特性は、SS・TN・TP 濃度のいずれもが PP で最も高い値を示し、NIP において最も低い(ただし SCP の SS 以外)。PP においては、代掻きのため水使用量が灌漑期間中最大で、かつ移植に際して化学肥料が施用される。その結果、水田水は高い水質濃度を呈し、表面および地下を経由して汚濁物質が運河に排出されることになる。NO₃-N 濃度は SMP で最も高く、NIP において最も低い結果となった。これは、この期間以前に施用された肥料の余剰成分が融雪水とともに浸透して地下排水することによると考えられる。また NH₄-N 濃度は SCP において最も高い結果を示したが、これは積雪による農地被覆により還元状態におかれ、積雪下層の融雪水の流出によって NH₄-N が排出する影響と考えられる。

各観測点の集水域に関する積算水田面積(APA)と積算畑地面積(AUA)は、PP と NIP の 2 期間において SS 濃度と有意な相関性が認められた。他の期間では相関性が低いことから、これらの期間における活発な栽培管理によるものであると判断される。TP 濃度は SS と同様な傾向を示す

一方、TN濃度はSMP、PIPにおいてAUAと高い相関性を示し、APAとも相関することが示された。また、PP、SCPにおけるTN濃度とAPAの関係にも有意な関係が認められたが、NIPにおいてはこうした関係は認められなかった。NIPのTN濃度が他の期間に比べて低いのは、イネの生長時期にあっては肥料成分の吸収が旺盛なためと考えられる。見方を変えると、TN濃度は水田に対する施肥と代掻きに左右されることを示している。他の期間よりSMPにおいてTN濃度が高いのは、融雪水の浸入・浸透が余剰N成分を随伴するからである。

篠津運河流域に土地利用の異なる2つの排水ブロック（TDBとMDB）を設定し、2003～2008年の5月と6月を対象とした水質環境調査を実施した。2ブロックのうち、上流側のTDBは水田優勢の土地利用、下流側のMDBは畑地優勢の土地利用状況にある。また、この期間において農業水利システムは開水路から管水路に改編が進められた。水田取水と排水の差分で表す水収支は、TDBよりMDBのほうが大きいことが分かった。これは、MDBは域内の多くが畑地で、かつ水田と畑地が分散状態にあるため、水田用水の浸透や浸潤によって損失することが原因と考えられる。排水のTN、TP濃度がTDBよりMDBで高いのは、畑地より水田からの負荷流出が小さいためである。また、5月の水質濃度が普通灌漑期の6月より高いのは、代掻き・移植作業の影響によるものである。TN、TPの差し引き負荷は、MDBよりTDBで小さい値となった。この結果は、水田主体のブロックのほうが汚濁成分の流出を抑制することを示している。

TDBとMDBの比較検討結果をさらに検証するため、運河上下流域における小規模な排水路を対象とし、2009年と2010年の灌漑期間中に小排水路（上流域で5カ所、下流域で7カ所および排水路合流点の運河7カ所）で水質調査を実施した。その結果、水質濃度は6月が相対的に低く、5月は別にして7月、8月に上昇することが分かった。7月中旬には追肥が行われること、8月上旬には中干しにともなって水田からSSや栄養塩が流出することが影響したものと考えられる。また、6月に相対的に低濃度となるのは、イネの生長による養分吸収が影響していると推測される。上下流のいずれにおいても、排水路の水質濃度は合流点の運河水質濃度より高く、また変動も大きかった。排水支配面積が大きな下流域にあっては、水質濃度および変動が上流より大きかった。すなわち、下流域は農地面積および転作畑地面積、農業用水量、施肥量が大きいため、水質への影響も相応に大きなものとなると考えられる。

P1の水質は石狩川（石狩川頭首工地点）の水質を表し、P11の水質は反復灌漑の結果としての篠津運河水質を表している。そして、P11の水質は石狩川下流に影響を与えるものである。上流から下流にかけての運河水質を検討したところ、NIPを除く全期間において下流ほど水質濃度は高く、NIPではN成分濃度が最も低いことを確かめた。とくにPPでは、代掻きのため篠津運河のSS濃度が高く、また反復灌漑のため運河下流ほど濃度は高い。この地域の下流部は畑地割合が高く、また排水受益面積も大きいため栄養塩類の流出も大きなものとなる。最下流点であるP11の水質濃度がほとんどの期間を通じて高い値を示したことは、運河流域内の土地利用と水管理が反映していると判断される。したがって、農業にかかわる水土利用、季節的条件、施肥、そして水管理が篠津運河の水環境、ひいては石狩川下流域の水環境に影響を及ぼしていることが明らかになった。

本研究を通じて、篠津運河流域における灌漑用水の反復利用と農地利用状況は運河の水環境に影響を及ぼし、水質を劣化させることが明らかになった。水田用水の反復利用は水質を浄化するとされるが、調査対象地域では下流ほど栄養塩濃度が増大した。しかし、かりに農業用水の反復利用がなければ濃度はもっと高くなるものと考えられる。いずれにしろ、水田はNとP負荷発生の面源となりうるものであり、水系の水質環境に寄与する存在であることから、水管理を通じて排水に含まれる栄養成分を削減することを検討する必要がある。たとえば、灌漑用水量の合理的

最小化、降雨の有効利用強化、水田落ち口の構造改良、表面排水の抑制、などによって表面排水量を減少させることは、下流域の水質環境を改善することにつながるものと期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長 澤 徹 明

副 査 教 授 波 多 野 隆 介

副 査 助 教 山 本 忠 男

学 位 論 文 題 名

Influences of Land Use and Water Management on Water Balance and Quality in the Shinotsu Canal Watershed

(篠津運河流域における土地利用と水管理が運河の
水収支と水質に及ぼす影響)

本研究は、(1) 石狩川下流左岸にひろがる篠津運河流域の土地利用と運河の水質特性、(2) 水利システムの再編に伴う灌漑期間における運河上下流ブロックの水収支と水質および負荷収支の関係、(3) 農地排水が運河の水質に及ぼす影響、(4) 農業用水の反復利用による運河水質への影響、などを検討し、畑地転換が進んだ水田農業地域の水質環境問題を明らかにすることを目的としたものである。

篠津運河流域は、面積が 10,864 ヘクタールの農業地帯である。流域全体を 10 に区分し、それぞれの面積や土地利用を把握して分析に供した。運河の上流から下流にかけて水質測定点を 11 カ所 (P1～P11) 設定し、2006 年 5 月から 2009 年 4 月にかけてサンプルを採取した。得られたサンプルを 5 月の代掻き・移植期 (PP)、6 月～8 月中旬の普通灌漑期 (NIP)、8 月中旬～11 月中旬の無灌漑期 (PIP)、11 月中旬～3 月の積雪期 (SCP)、そして 4 月の融雪期 (SMP) の 5 期間に区分し、季節的特徴を検証した。分析した水質項目 N、P、SS 濃度は、下流観測点ほど高い傾向を示した。また、篠津運河の水質の季節的特性は、概ね PP で最も高い値を示し、NIP において最も低かった (ただし SCP の SS 以外)。PP においては、代掻きのため水使用量が灌漑期間中最大で、かつ移植に際して化学肥料が施用される結果、水田水は高い水質濃度を呈し、表面および地下を經由して汚濁物質が運河に排出される。一方 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は SMP で最も高く、NIP において最も低い結果となった。これは、この期間以前に施用された肥料の余剰成分が融雪水とともに浸透して地下排水することによると考えられる。また $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は SCP において最も高い結果を示し、積雪下層の融雪水の流出によって $\text{NH}_4\text{-N}$ が排出する影響と考えられた。

各観測点の集水域に関する積算水田面積 (APA) と積算畑地面積 (AUA) は、PP と NIP の 2 期間において SS 濃度と有意な相関性が認められた。他の期間では相関性が低いことから、これらの期間における活発な栽培管理によるものであると判断された。また、PP、SCP における TN 濃度と APA の関係にも有意な関係が認められたが、NIP においてはこうした関係は認められなかった。NIP の TN 濃度が他の期間に比べて低いのは、イネの生長時期にあつては肥料成分の吸収が旺盛なためと考えられる。

篠津運河流域に土地利用の異なる2つの排水ブロックを設定し、5月（PP）と6月（NIP）を対象とした水質環境調査を実施した。2ブロックのうち、上流側のTDBは水田優勢の土地利用、下流側のMDBは畑地優勢の土地利用状況にある。また、この期間において農業水利システムは開水路から管水路に改編が進められた。用水と排水の差分で表す水収支は、TDBよりMDBのほうが大きいことが明らかになった。これは、MDBは域内の多くが畑地で、かつ水田と畑地が分散状態にあるため、水田用水が浸透や浸潤によって損失することに起因すると考えられる。排水のTN、TP濃度がTDBよりMDBで高いのは、畑地より水田からの負荷流出が小さいためである。また、5月（PP）の水質濃度が普通灌漑期（NIP）の6月より高いのは、代掻き・移植作業の影響によるものである。TN、TPの差し引き負荷は、MDBよりTDBで小さい値となった。この結果は、水田主体のブロックのほうが汚濁成分の流出を抑制することを示している。

P1の水質は石狩川（石狩川頭首工地点）の、またP11は反復灌漑の結果としての篠津運河末端の水質を表している。上流から下流にかけての運河水質を検討したところ、NIPを除く全期間において下流ほど水質濃度は高く、NIPではN成分濃度が最も低いことを確かめた。とくにPPでは、代掻きのため篠津運河のSS濃度が高く、また運河下流ほど濃度は高い。この地域の下流部は畑地割合が高く、また排水受益面積も大きいため栄養塩類の流出も大きなものとなる。最下流点であるP11の水質濃度がほとんどの期間を通じて高い値を示したことは、運河流域内の土地利用と水管理を反映している。したがって、篠津運河の水環境、ひいては石狩川下流域の水環境保全には、篠津運河流域内の農業的水土資源利用・管理に十分配慮すべきことを明らかにした。

よって、審査員一同は、モハメド・カムラル・ハッサンが博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。