

釜房ダム流域における栄養塩の流出

NUTRIENT RUNOFF IN THE KAMAFUSA CATCHMENT

片山 精一郎¹・風間 聡²・蘇 保林³・沢本 正樹⁴

Seiichiro KATAYAMA, So KAZAMA, Baolin SU, Masaki SAWAMOTO

¹学生員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

²正会員 工博 東北大学大学院助教授 工学研究科 (同上)

³学生員 工修 東北大学大学院 工学研究科 (同上)

⁴フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科 (同上)

In the Kamafusa Lake catchment, we measured water discharge and water samples once a month at twelve points and once an hour at one point. The samples were analyzed for total-phosphorus, soluble-P, total-N, nitrate-nitrogen, and ammonium-nitrogen. In a flood, the increasing of total-N is similar to water discharge, and the increasing of total-P is earlier than the increasing of water discharge. Inorganic nitrogen is almost covered with nitrate-nitrogen in this catchment. The upper-course in forest, nitrogen runoff is larger but middle-course is smaller, and downstream is large. The reason is why upper-course covered with forest land, in middle-course has smaller forest is decreasing, and downstream has urban field usually. Nitrogen flow out from urban area in this area. On the other hand, Nitrogen flow out from urban area, barren land and paddy field in flood period.

Key words : Land use, Total-Nitrogen, Inorganic nitrogen

1. はじめに

ダム湖や貯水池では、河川や地下水から濁質や、リンや窒素などの栄養塩類の流入に伴って、水質悪化などの影響を受けている。この問題を解決するためには、ダムや貯水池の集水域における汚濁物質の流出、送流特性を把握することが重要である。湖、貯水池の水質は、水域内の水循環と上流域からの流入量やその水質に依存している。河川は、取水源となるので健康に對することが最も重要である。その定量化は、環境衛生法においてこのシステムを扱う我々の力にとって、重大なことである。

栄養塩の流出は、よく研究されている(Schreiber and Neumaier, 1987; Fleischer and Hamrin, 1988)。これまでの田園流域からの栄養塩の流出への人間活動の影響を調べたものは次のものです；土地利用の変化(Cameron and Wild, 1984)、肥沃化(Miller, 1979)、植林(Likens and Bormann, 1995)、流路の整備(Krug, 1993) など、多くのものがある。しかし、洪水などのイベント時の栄養塩の時空間の変化などを調べた物は希少である。時空間の変化がわかることによって、今までよりさらに詳しく栄養塩の挙動をつかむことができる。そうすると、土地利用ごとの栄養塩の流出形態をつかむことができるであろう。

本研究の目的は、釜房ダム流域中の河川での栄養塩類

の挙動が土地利用の変化などによってどのように変化するかを調べることによって、今後の水質汚濁の予測や環境保全に役立てることである。今回はダム上流域支流の14ヶ所において採水と01年8月22日の台風時の集中観測による水質分析を行った。水中のリンと窒素には、浮遊体の物と溶解性のものがある。ここでは、T-P、PO₄-P、T-N、NO₂-N、NO₃-N、NH₄-Nについて調べた。

2. 流域の概要と採水地点

(1) 流域の概要

釜房ダムは宮城県仙台市の西方約25km、名取川の支流・基石川にある。ダムに流れてくる水は、上流の太郎川、北川、前川からのものである。釜房ダムは多目的ダムで、かんがい用水、水道用水、工業用水、発電などに利用されているため、その水質は大変重要である。釜房ダム流域は、流域面積が195.25km²で、この流域は主に、森林で覆われている。また、田や畑などの農地も下流に存在している。

(2) 採水地点

釜房ダム流域中の土地利用の変化を図-1に示し、北川、前川に土地利用の変化などを考慮して決めた14ヶ所の採水地点を図-2に示した。#00から#10までは前川で、#11と#12は北川にある。また前川は、多くの支流

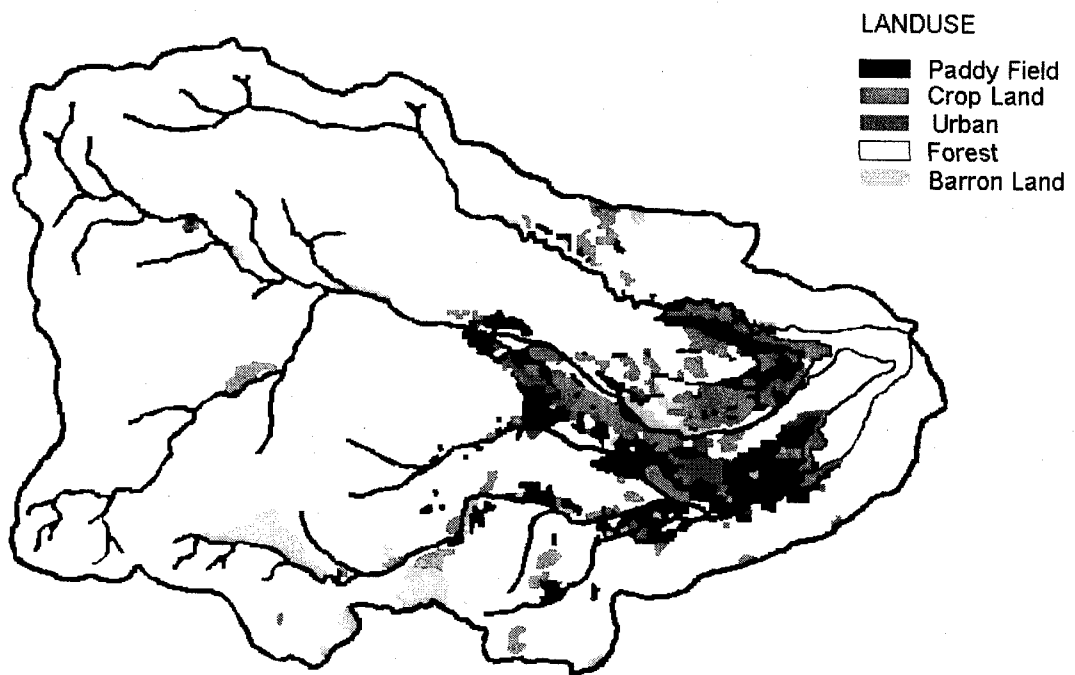


図-1 釜房ダム流域の土地利用の変化

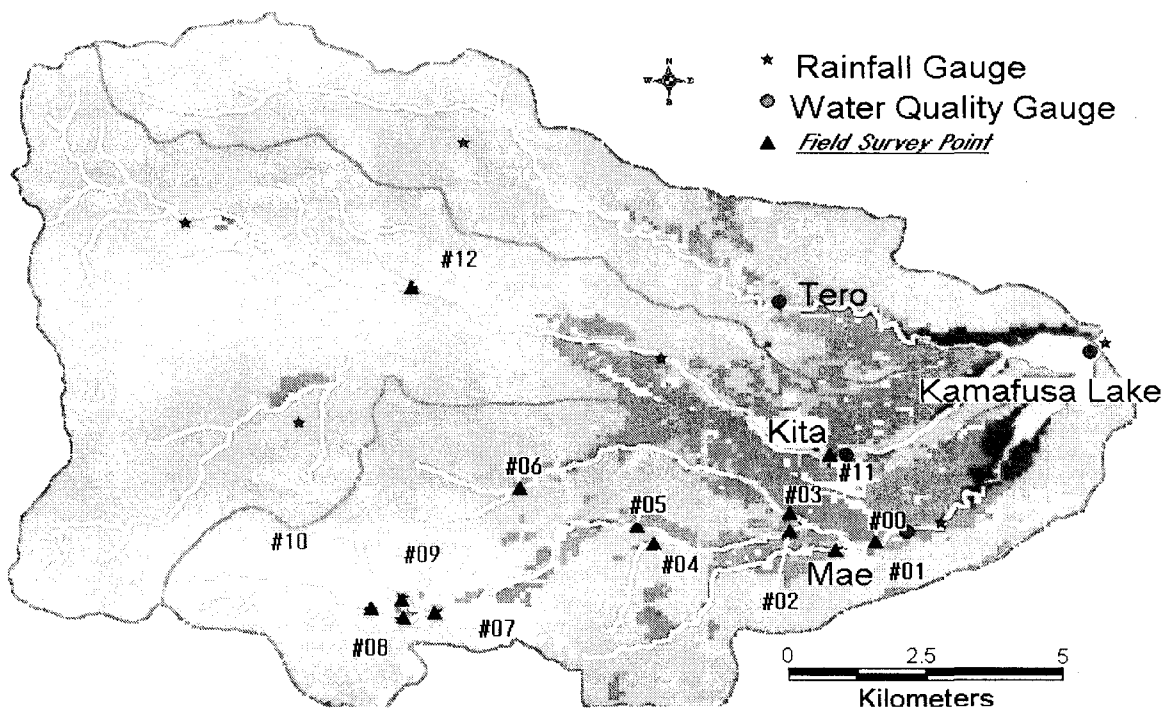


図-2 採水地点

に分かれているため#00、#02、#05、#07、#08、#10を通るものを本流とした。以下に、採水地点の特徴を述べる。

#00. 釜房ダム湖に最も近くダム湖より約2.5Kmにありすべての支流のながれが集まっている点。

#01. 最も下流にある支流にあり採水地点のすぐ上流では水田が、さらに上流では森林が卓越している。

#02. #03、#06のある支流と分岐する地点のすぐ上流のダム湖より約3.8Kmにあり#05までの間の川沿いには水田や畑がある。

表-1 ダムからの距離と土地利用の変化

point	ダムからの距離(km)	主となる土地利用
#0	2.5	水田
#1	2.75	森林、水田
#2	3.8	水田、畑
#3	3.8	水田
#4	5.6	森林、牧草地
#5	5.7	水田、畑、荒地
#6	11.3	森林
#7	10	森林
#8	11	森林
#8'	11	森林、荒地
#9	11	森林、荒地
#10	12.5	森林、荒地
#11	2.5	水田、森林
#12	12.5	森林

- #03. ダム湖から見て2番目の支流の最も下流にあり主に水田が卓越しているが採水地点ちかくには畑もある
- #04. 3番目の支流の最も下流にあり森林が卓越している。
- #05. #04.のある支流と分岐する地点のすぐ上流のダム湖より約5.7Kmにあり#07までの間の川沿いには水田や畑さらに荒地も存在する。
- #06. #03.のある支流にありほとんど森林しか存在しない。
- #07. #09.のある支流との分岐のすぐ下流のダム湖より約10Kmの地点にある。
- #08. #09.のある支流との分岐のすぐ上流のダム湖より約11Kmの地点にあり#10との間には田、畑、荒地などのさまざまな土地利用が見られる。
- #08'. #08.の採水地点から出ている支流の最も下流で採水している。
- #09. ダム湖から見て4番目の支流の最も下流にあり森林と荒地がある。
- #10. 前川の採水地点の中で最も上流のダム湖より約12.5Kmの地点にあり森林と荒地がある。
- #11. 北川のダム湖より約2.5Km上流にあり#12の間には畑、森林が卓越している。
- #12. 北川の採水地点の中で最も上流にありほとんど森林しかない。以上の14ヶ所で採水による水質分析を行った。採水地点のダムからの距離と主となる土地利用を表-1に表した。

3. 実測方法

図-6 TNの月ごとの変化 流量観測の最も一般的な方法は、河川の断面水深と流速を組み合わせる方法である。河川の流速観測では垂直方向には1点あるいは2点の測定で代表させて流速を計測する。1点観測では、水深の

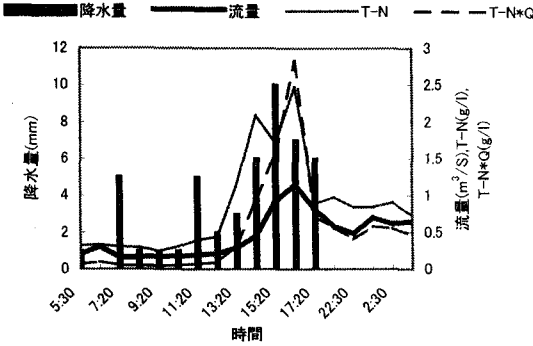


図-3 8月22日の降水量とT-N

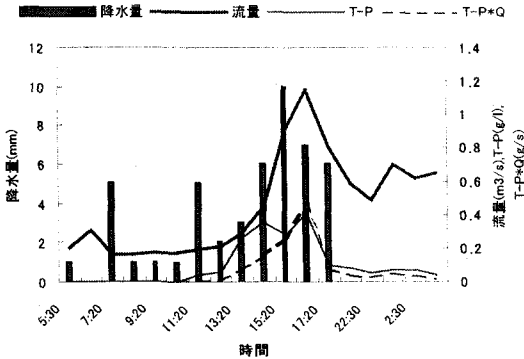


図-4 8月22日の降水量とT-P

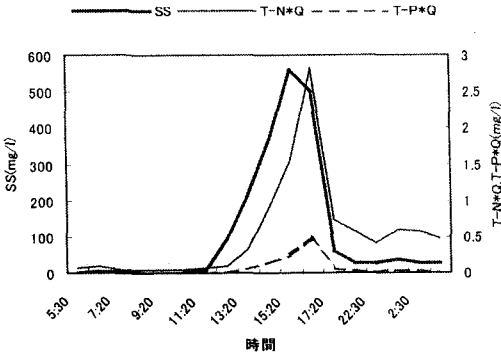


図-5 8月22日のT-N、T-P、SS

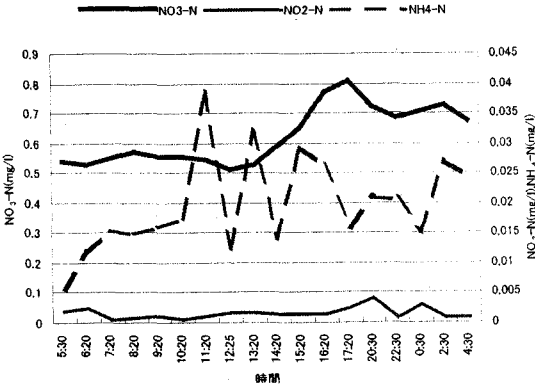


図-6 8月22日の無機窒素

60%の位置で流速を測定し、2点観測の場合には2割水深と8割水深の2点で測定する。JISでは、水深40cm以下では6割の1点法でよいが、それ以上の水深では2点法を用いることとしている。ここでは、水深が40cm以下の地点がほとんどなので1点法を用いた。河川の横断面形状を計測するための水深・流速観測点の数は、JISでは1断面で水平方向に15点以上としているが、幅が1、2m程度の小さい河川では、4、5点以下でもよい。さらに狭い水路では、中心だけということもある。このような見当で、1mとか50cmのような区切りのよい数字で水深を測る間隔を決め、できる限り等間隔で水深を測る。このようにして求めた横断面と流速をかけて流量を求める。

水質の計測は、採水した物を実験によって求めた。T-N、T-Pはテクニコンを用いNO₂-N、NO₃-N、PO₄-Pはトラックス(プラン・ルーベ株式会社製)を用いて計測した。両方に装置とも、それぞれ発色試薬で、色をつけて光によって濃度の違いを計測することで濃度を調べている。

実測は、月一回行い24時間観測は#9で8月22日に行った。また、降水量のデータは国土交通省釜房ダム管理所で計測されているものを用いた。土地利用のデータは国土数値情報を用いた。

4. 結果と考察

(1) 時間の変化

8月22日から23日にかけて#9で、1時間ごとに24時間計測したものと、降水量を比較してみる。降水量と流量、T-N、T-P、T-N*Q(窒素流出量)、T-P*Q(リン流出量)、SSの24時間の変化を比較してみる(図-3、図-4、図-5)。流量は降水量より少し遅れて徐々に大きくなり、減少は非常に急だがその後も降水以前には戻らず、大きい値で推移している。T-Nの濃度は、11時の時点で一旦減少しているがこれは、T-Nの流出はあまり変わっていないが、流量が急に大きくなったために少し減少したもののと思われる。T-N*Qを見てみるとピークまで増えつづけておりこれは流量と同期している。また、T-N*Qの減少はSSと同期していることがわかる。また、T-Pは濃度が早く大きくなりその後T-P*Qが大きくなる。このことは、流量が大きくなるよりも早くPの流出が大きくなっていることがわかる。また、T-Pは、T-Nと違って減少も流量と同期していることがわかる。

NO₂-N、NO₃-N、NH₄-Nの変化を見る(図-6)。この流域では無機窒素のほとんどがNO₃-Nであることがわかる。また、NO₃-Nの濃度が、流量が減っても大きな値を示していることは、降水の後にも多くNO₃-Nが流出していることを示している。また、NH₄-Nは増加と減少を繰り返しながら徐々に増加していることがわかる。これは、流量との関係があまりないことを示している。NO

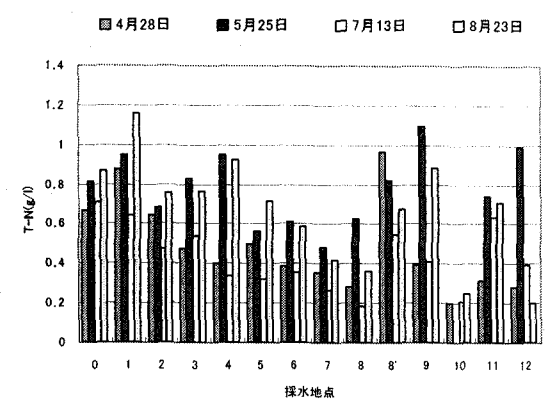


図-7 T-Nの月ごとの変化

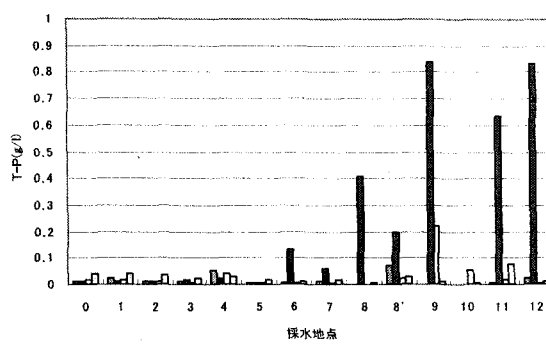


図-8 T-Pの月ごとの変化

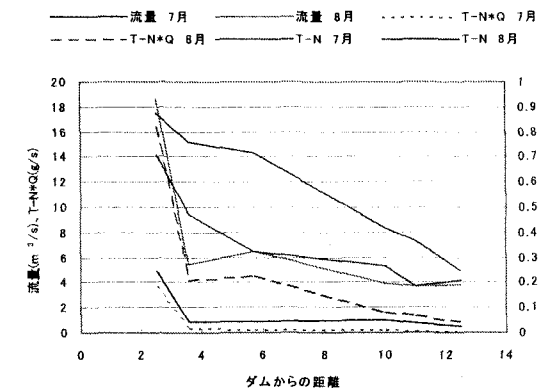


図-9 前川本流でのT-N

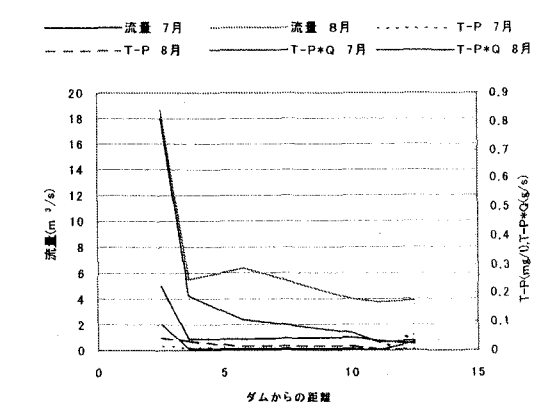


図-10 前川本流でのT-P

$_{2-N}$ は、流量よりかなり遅れて(約2時間)少しだけ増加していることがわかる。

一方、季節の変化(図-7、図-8)では、どの点でも5月にT・N、T・Pの濃度が大きくなっていることがわかる。4月で比較してみると下流では5月とほぼ同じ値を取っているのに対して、上流ではかなり低くなっている。このことは、アシッドショック後の融雪による希釈が上流では顕著であるためと考えられる。

(2) 空間的变化

7月の観測した物と8月のもので流量と、栄養塩の濃度と量を距離で比較したものを図-9、図-10、図-11、図-12に示す。それによると、前川の本流では窒素では濃度が下流に向かうにつれてなだらかに増加している。しかし、流量が#2から#0にかけて急速に増加しているため量も急速に増加している。このことは、その間で、#1の支流や#3の支流が合流していることによっていると考えられる。それだけでなく、この間には市街地が存在していることも関係しているだろう。ここでのリンの濃度は上流から下流までほとんど変化がない。そのため、リンの量は流量に伴って増加している。

前川の支流の#3と#6を持つもので、分岐点から距離と比較してみる。それによると、7月では下流に向かうにつれて流量が少し減っていて濃度が増加している。そのために、量の変化はない。また、リンでは7月の濃度はほとんど変化がなく流量が少し減っているため量は、ほんのわずかが減少している。8月では、流量も濃度も増加している。

図-13は、採水地点ごとの流域面積で流出量を割った物である。これによると、7月、8月共に#0で突出していることがわかる。このことは#0では市街地からの排水などが加わってかなり大きくなっている。さらに、図-13の縦軸のスケールを変えてみた物が図-14である。この図では、#2と#7で負の値をとっているが、これは観測地点の値からその上流の観測地点の値を引いた値をその地点の流域の排出量としているからである。8月の値は、台風のために流量が非常に多かったため7月よりもかなり大きな値をとっている物が多い。しかし、#8ではほとんど変わらない値をとっている。

#8は、周りが流出しやすい土の土壌となっており#8でのSSは非常に大きな値を常に示している。そのため、このようになったのだと思われる。全体を通してみると#0を除いては下流に行くほど値が小さくなっている。このことを、詳しく見るために前川の本流と支流の#2,3,5,6,9,10を取り上げて比較してみる。

流域面積中の森林域の割合で比較した物が、図-15、図-16である。この図によると上流で森林が多くなっているところでは窒素の流出が大きくなっており、そこから下流に行くにしたがって減っているが、また市街地が増えてくると増加している。また、#9と#10を比較して

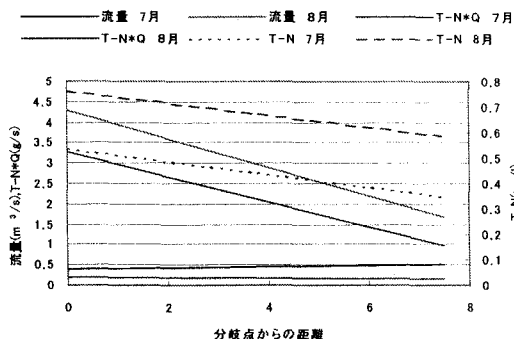


図-11 前川支流でのT-N

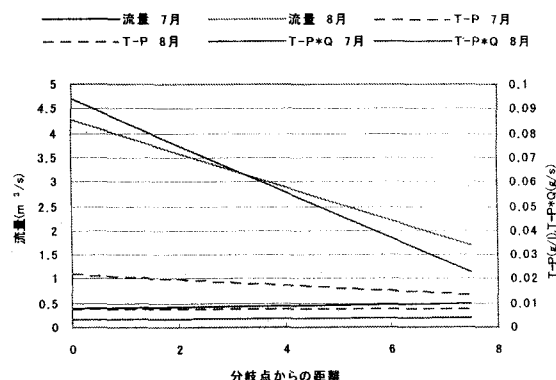


図-12 前川支流でのT-P

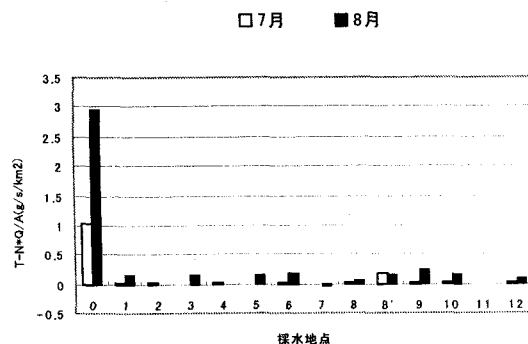


図-13 窒素の流出量と流域面積 1

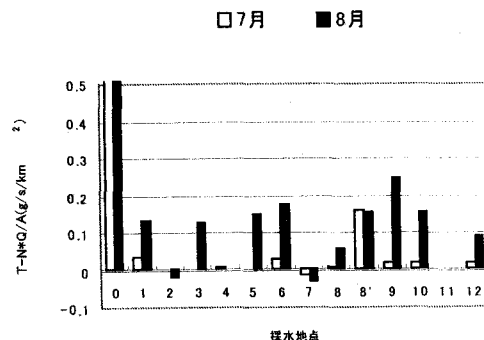


図-14 窒素の流出量と流域面積 2

表-2 土地利用ごとの窒素排出量

	森林	畑	水田	市街地	荒地
7月	0.03	-0.56	-0.25	28	0.15
8月	0.1	-2.46	0.92	4.35	0.88

みると森林の割合が#10の方が多いのに流出は#9の方が多し. このことは #10 の上流にはダムが存在しておりその影響を受けていると思われる.

さらに、それぞれのポイントごとの森林、畑、水田、市街地、荒地からの窒素の排出量を7月、8月のデータを用いて連立1次方程式の最小2乗解で求めた(表-2). この計算では、直接値を用いているため、負の結果も表している. 排出量はこの流域ではこの季節に非常に少ないことと凝集や沈殿等の作用によって負の値になったと考えられる. 7月の通常期では畑や水田から排出される窒素は少なく、市街地からのものが非常に多い. また、8月の台風時には、畑を除いてすべてで値が大きくなっているが、特に荒地や水田からの排出量が増える. 荒地は、地表がさらされており強い雨が降ると土の流出が大きくなる. それに伴って窒素の流出も大きくなったと思われる. 一方、森林からの負荷量は他と比べてそれほど大きな変化は見られない.

5. 結論

本研究では、釜房ダム流域においてリンや窒素などの栄養塩類の流入に伴う、水質悪化などの影響を調べるために採水による水質分析を行った. それによって次のような結論を得た.

- ・ 洪水時には、TN の流出量の増加は、流量と同期し減少は SS と同期している. また、TP では、流量が大きくなるよりも早く流出し減少は流量と同期している.
- ・ この流域から流出している無機窒素のほとんどは $\text{NO}_3\text{-N}$ で、降水の終わった後にも多く流出している.
- ・ 上流の森林域では、堆肥などの影響で窒素の流出が大きくなっていて、森林が減るにしたがって減少していくが、また市街地に入ると都市からの排水によって窒素の流出が増えている.
- ・ 通常の時、市街地からの窒素の流出が最も多いが、台風などの洪水時には、荒地や水田からの流出も多くなる.

今後は、落葉後のデータ収集と分布流出モデルを合わせた栄養塩流出予測モデルの開発が、流域環境の把握する上で必要である.

謝意: 本研究を遂行するに際しては、国土交通省東北地方整備局釜房ダム管理所に降水量のデータを利用させていただいたことを付記し謝意を表す.

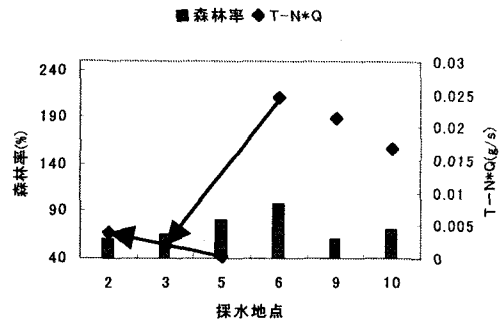


図-15 森林率と7月の窒素の流出量

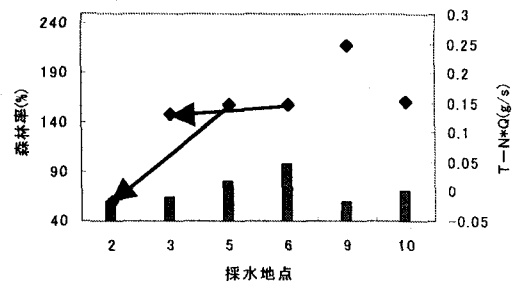


図-16 森林率と8月の窒素の流出量

参考文献

- 1) Cameron, K.C., Wild, A., 1984. Potential aquifer pollution from nitrate leaching following the plowing of temporary grassland. J. Environ. Qual. 13,274-278
- 2) Fleisher, S., Hamrin, S.F., 1988. land use and nitrogen losses - a study within the Laholm Bay drainage area of south-western Sweden. Verh. Internat. Verein. Limnol. 23, 181-192.
- 3) Krug, A., 1993. Drainage history and land use pattern of a Swedish river system-their importance for understanding nitrogen and phosphorus load. Hydrobiologia 251, 285-296.
- 4) Likens, G.E., Bormann, F.H., 1995. Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. Springer, New York.
- 5) Miller, M.H., 1979. Contribution of nitrogen and phosphorus to subsurface drainage water from intensively cropped mineral and organic soils in Ontario. J. Environ. Qual. 8, 42-48.
- 6) Schreiber, J.D., Neumaier, E.E., 1987. Biochemical oxygen demand of agricultural runoff. J. environ. Qual. 16, 6-10.
- 7) Ulo Mander, Ain Kull, Valdo Kuusemets, Toomas Tamm., 2000 Nutrient runoff dynamics in arural catchment: Influence of land-use changes, climatic fluctuations and ecotechnological measures. Ecological Engineering. 14 405-417

(2001. 10. 1受付)