

多摩川流域の土地利用形態が物質循環に与える影響について

—これからの丘陵地域の環境保全—

2001年

安 富 六 郎

東京農業大学環境科学部教授

目 次

1. 調査・研究のあらまし	1
2. 水質の観測における流亡土粒子の富栄養化に与える影響	2
3. 流出水の富栄養化物質のヒステレシス特性	6
4. 土地利用形態の異なりによる排水の水質特性	8
5. これからの丘陵地域の環境保全と今後の展望	13
参考文献	16

多摩川流域の土地利用形態が物質循環に与える影響について

－ これからの丘陵地域の環境保全 －

1. 調査・研究のあらまし

多摩丘陵地では、宅地開発が進み、都市化が著しく、森林や農地が減少しつつある。一方、残された林地、農地は市街化地域に分散し、宅地と複雑な土地利用を形成している。この急速な丘陵地の林地伐開、農地や宅地化などによって生じる侵食土は、雨水とともに小河川に入り、流域水質に著しい影響を与えている。したがって、多摩川流域に広く分布する丘陵谷地から流れる小河川の水質保全対策は本流河川水質浄化のもっとも重要な課題と思われる。以上のような丘陵地域の環境保全問題に一つの解を見いだすことがこの研究の目的である。

調査地域は八王子市長沼の丘陵地に位置する北斜面（A流域－浅川・多摩川流域）、および堀之内野猿峠周辺谷地（東京農工大学内）の多摩丘陵谷地渓流地域南斜面（B流域－大栗川・多摩川流域）である。この地域は関東ローム台地（多田ら1995, 関東ローム研究, 1965）の中で丘陵地を形成し、AおよびB流域からの渓流水はいずれも多摩川に注いでいる（図15）。

平成10～12年度における研究で次のことが明らかになった。①関東ローム表土の懸濁物質は河川水質に大きな影響を与えていること、②土地利用形態が物質循環の様式を大きく変える可能性を有すること、③河川水質浄化には溶解しているほかに流亡土粒子に吸着されて運ばれる富栄養化物質の除去対策が重要である。

調査では年度別に次のような視点を重視した。

平成10年度には主に谷地渓流の水量と水質の基本的流出特性を調べ、浮遊する土粒子が吸着する富栄養化物質は水に溶解している量よりも多いことが観測され、時には10倍を越える物質吸着もあることを明らかにした。

平成11年度には主に季節別に水質調査と侵食量測定を行い、その結果、流量変化と富栄養化物質移動量との関係には特定の履歴現象があることが観測された。雨水による谷地からの物質移動は流出水量によって変化するだけでなく、水量の時間的変化やその時におかれた土層の物理・化学的特性、移動物質および土地利用条件によって影響される。

物質移動については従来の水文的方法では単純に解析できない部分が存在することが分かった。ある条件下では雨水によって流出初期過程で富栄養化物質濃度が高くその後減少するもの、これに対し時間の経過に伴って次第に濃度が増大する流出特性を有する

ものがある。これらの解析には、降雨による谷地からの流出水に含まれる富栄養化物質の移動には流量の増加と減少過程を一つの履歴（ヒステレシス）として考えねばならぬことを明らかにした。

平成12年度には前年度と同じように引き続きA流域とB流域の2地区について多様な土地利用と渓流水質の比較検討を行った。これら調査2地区について沢の流域特性と下流域の土地利用による水質特性はすでに3年間、継続的に行われてきたので、それらの特徴を時期別に総合的に整理し、丘陵から流れる水の富栄養化過程を土地利用の特徴と関連させて考察した。その結果、上流域からの流亡土粒子による富栄養化物質移動量は下流域の水質を大きく支配すること、したがって土粒子流亡を少なくすることが河川の水質浄化にとってきわめて大切であることを明らかにした。

畑地は侵食されやすく流亡土粒子を多量に排出するが、排出水中にはリン成分が少ないこと。これに対し水田を通過してきた流出水中には流亡土粒子が少なく、硝酸態窒素濃度を減少させるので水田土地利用は水質浄化に効果的であることが分かった。

2. 水質の観測における流亡土粒子の富栄養化に与える影響

(1) 丘陵・谷地における土壌層の特徴

丘陵地において侵食土は高地から低地へ移動するので、高地では土壌層の厚さは薄く、低地ほど厚い。調査地域も例外ではなく、丘陵地谷地部にあたるいわゆる沢地形の低地における頭部の表土は薄い、下流部分には肥沃な黒色土が厚く堆積している。沢の兩岸の斜面は大量の雨水によって侵食されやすいので上流からの粘土や砂が下流に流され、沢が平地に開けるところで堆積する。この土砂堆積の場所となったところに現在の水田（A流域）ができたと思われる。大雨の時には関東ロームである丘陵台地から大量の粘土、土砂が流される。台地が開発されると溪流に設けられた砂防ダム（A流域）も1年で機能を失うほどであることから、その量は膨大であると推定される。

崖斜面の断面観察によると、上層の多摩ローム層と下層レキ層の間にある遷移層には不透水層が形成されている。この不透水層の上端から、あるいは下層のレキ層から湧水が見られることが多い。とくに降雨後にはレキ層と、その下層に湧水層ができる。激しい降雨時には、丘陵地内にある斜面畑（B流域）では急速な地下水位上昇が生じ、土壌下層に浅く不透水層があると見なせるところでは表面流水が起り、畑地表土は侵食されやすい。

流亡土粒子の富栄養化に与える影響調査では主にB流域=多摩丘陵の南斜面谷地（東京農工大学研究施設）の畑地土壌および谷地からの渓流水について圃場実験を行った。

丘陵谷地内の土地利用については、雨水の集まりやすい沢地形に丘陵地上流からの土粒子が堆積した緩やかな斜面に畑と林がある。畑地を上流、中流、下流および最下流に区分すれば（図1）、最上流にある畑は中流部、下流部にある畑とくらべて肥沃性の低い農地となる。谷地地形は水の集まりやすい地形であるために、下流では地下水位は高く、表土が侵食されやすい。1日の降雨量が50~100mmを越すような激しい雨には地下水位が上昇し、下流の畑地では雨水は地表水となって流れることが観測された。このような場合に畑の表土は著しい侵食を受け、排水に多くの土粒子混入が見られる。さらに、最下流部の平坦地は草地湿地帯を形成しているが降雨時には湛水、湿地帯になりやすい。

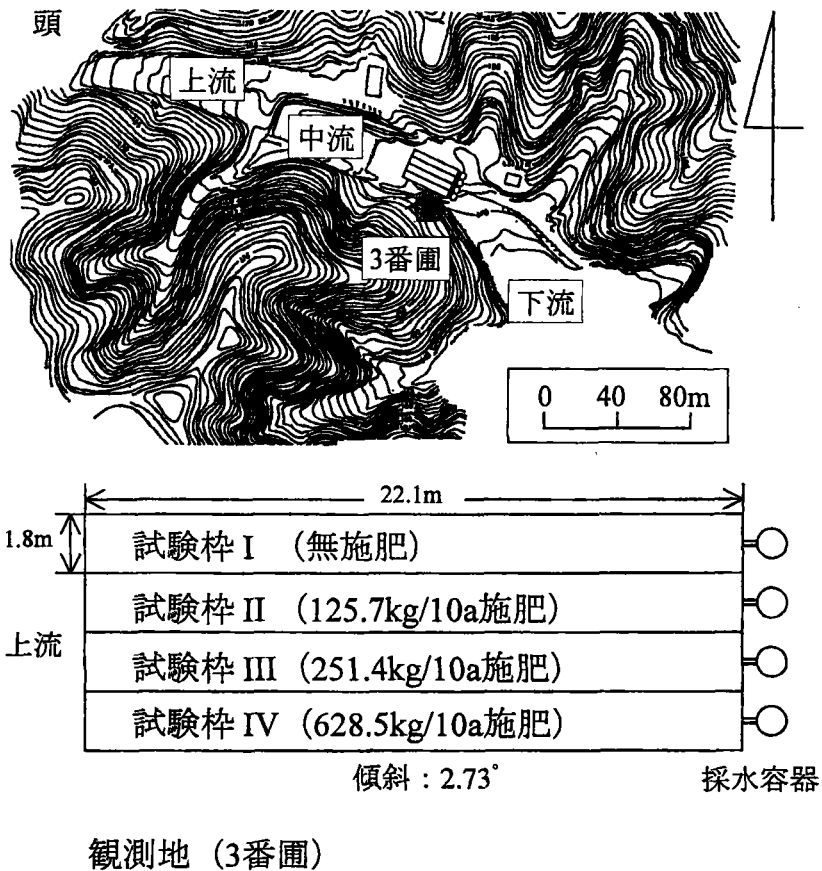


図1 丘陵地谷地平面図と観測地（B流域）（3番圃）

(2) 渓流水による物質移動

丘陵地からの物質移動は降雨時の流去水とその混入土砂流によって生ずる。この土粒子には多くの化学物質が吸着しているから、水および土粒子の移動をみることで水質の保全にとって大きな意味をもつと考えられるので傾斜畑圃場実験で確かめた。実験の概略は次のようである。

B流域の畑地圃場内(3番圃)に標準規格の幅1.8m,長さ22.1mの侵食実験圃場に窒素、リン施肥量の異なる4連の試験枠を設け(図1)、1996年8月から1年間降雨によって表面流の発生するたびに流亡土量と排水の観測を行った(三原ら1999)。

「丘陵地」内の畑地圃場に流入する水源は丘陵地からの渓流水であるが、地下水流となって移動している。降雨によって畑地土壌を通過した雨水には窒素やリンが多く含まれるので、雨水が表面水となって下流に達する時には土壌侵食による懸濁物質とそれに吸着された種々の物質が運ばれる。

土粒子が排水中にどの程度含まれるか、また土粒子がどれくらいの窒素、リンを含んでいるかを観測した。採取した懸濁液の試料を濾過または遠心分離して上澄液と沈殿物に分離し、原液である懸濁液および上澄液に含まれる窒素、リン成分を比較した。その結果、懸濁液に含まれる全窒素(T-N)および全リン(T-P)濃度は上澄液の濃度を大きく上回った(図2,3)。このことから土粒子、ここでは浮遊物質(SS)の吸着成分が上澄液の数倍の窒素、リン成分を含むことが分かった。

浮遊物質の増加に伴い懸濁液の全窒素および全リン濃度は上昇した。これらの結果

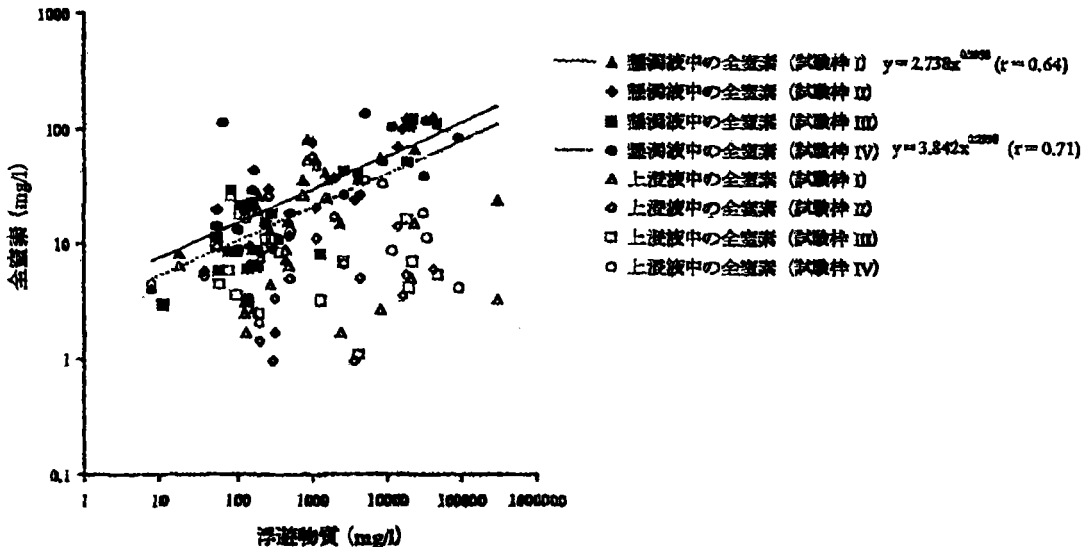


図2 上澄液中および懸濁液中の窒素濃度

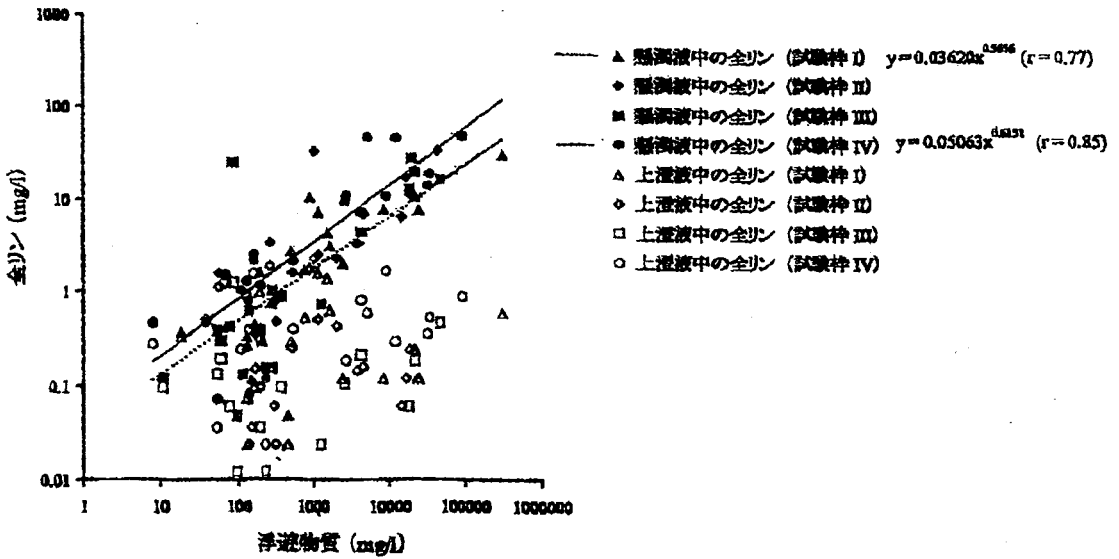


図3 上澄液中および懸濁液中のリン濃度

から上澄液の成分に加え、土粒子や有機物からも窒素、リンが流出したと考えられる。表面流去に伴う流亡土量と窒素、リンの各成分の流出負荷との関係については、流亡土量の増加に伴い流出負荷が増大するが、施肥量の多い試験枠からの流出負荷が多かった(図4, 5)。これらの結果から土壌の侵食過程で流亡土量の増加に伴って窒素およびリン成分の流出負荷も増大したと判断された。

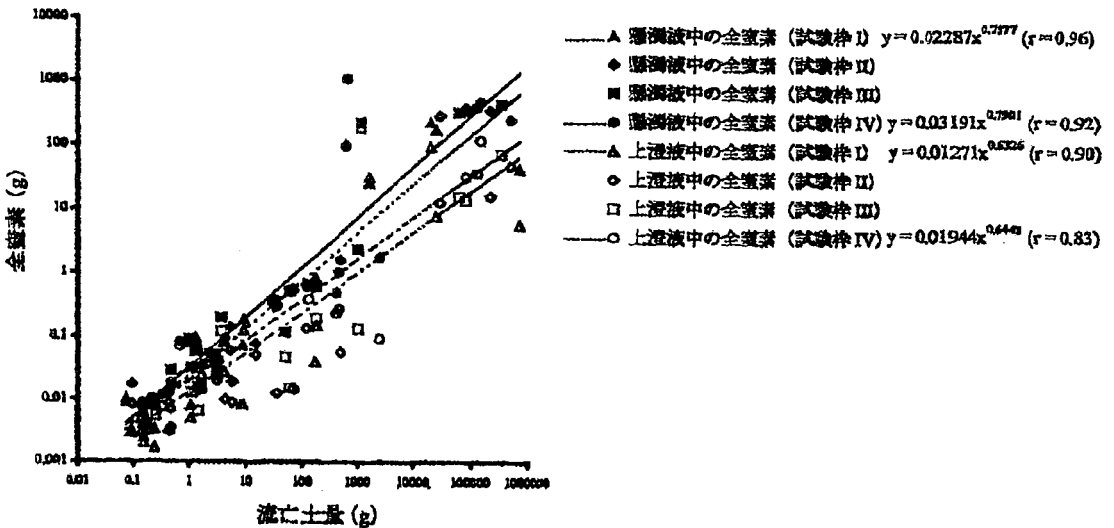


図4 表面流去水に伴う流亡土量と窒素負荷

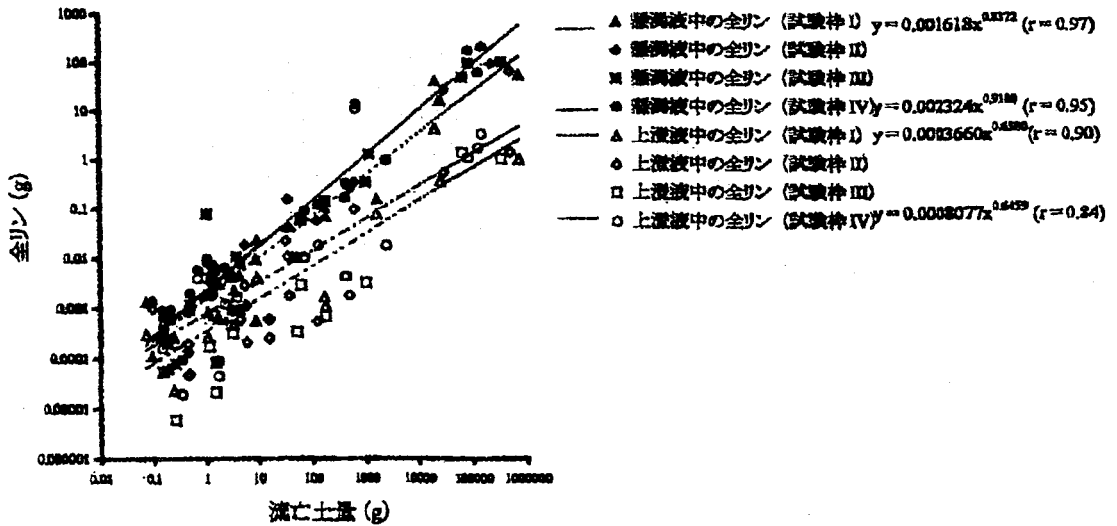


図5 表面流去水に伴う流亡土量とリン負荷

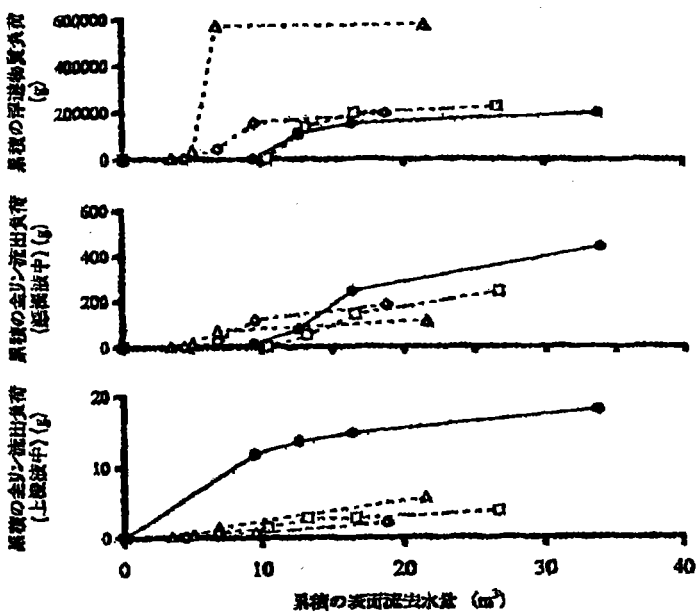
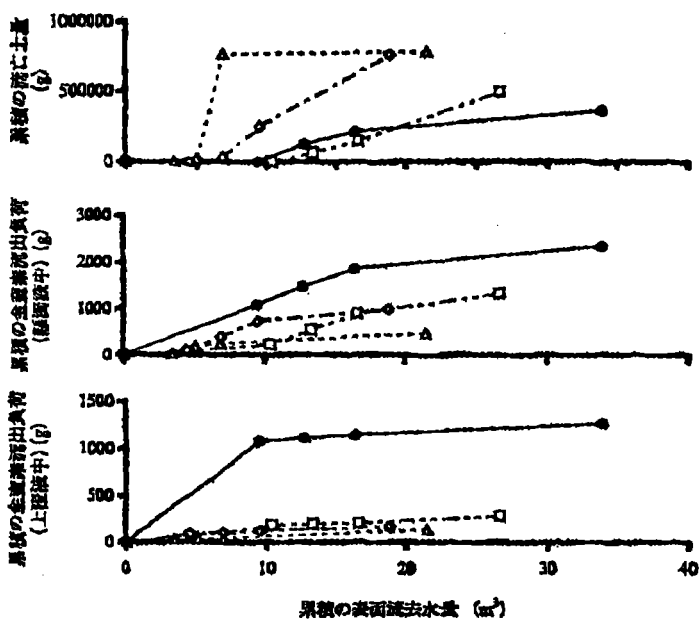
施肥量の多少が流亡土量や窒素およびリン成分の表面流出に与える影響を検討するため、試験枠別に積算流量に対する積算負荷を調べた。最も多量の施肥を行った試験枠での流亡土量と浮遊物質は最も低かったが、窒素およびリン成分は最も多かった(図6)。したがって施肥量の違いが窒素およびリン成分の表面流出に大きく影響していることが明らかになった。

以上から関東ローム、ここでは多摩ローム層の流亡土およびその他の土粒子と混在して生成されたと考えられる土壌からの流亡微細粒子でも窒素やリン成分を多量に吸着、移動する性質をもつことが明らかになった。水質の保全には畑地からの窒素、リンの流出を押さえることが重要であるが、同時に土壌の流亡をなくすことが大切である。

このような水循環に伴う土粒子は窒素、リンの下流の環境に与える影響が大きい。この影響を少なくするには、丘陵地下流域の河川に入る水に土粒子混入を少なくすることが水質浄化に必要と思われる。この目的から富栄養化水質や流亡土壌の再利用の場としての畑地-水田を組み合わせた土地利用が、丘陵地域の環境保持に有効と考えられる。

3. 流出水の富栄養化物質のヒステレシス特性

降雨による流出特性は渓流水集水域の規模によると考えられる。規模の小さい水域や、植生が少ない土地利用条件では、たとえば都市化などによって排水が速やかに行われるであろう。しかしこれに対し、林地や農地の場合では排水の遅延が考えられる。測定は



—△— 試験枠 I (無施肥) —□— 試験枠 III (251.4kg/10a施肥)
 —◇— 試験枠 II (125.7kg/10a施肥) —●— 試験枠 IV (628.5kg/10a施肥)

図6 施肥量の違いによる流出土量、浮遊物質、窒素、リンの積算負荷量

B流域で行われてきたが、激しい降雨の回数も少なく、測定も困難であるのでデータも多くないので、さらに観測を継続している。現段階ではおおよそ次のことがいえる。

表層から直接侵食で流れ出すSS成分は流出の初期から流亡して次第にその量は減少する。主に畑地土壤に吸着されたと考えられるリン成分はこのSSと同じ履歴曲線を描く。降雨時に地下水が上昇する畑地では、地下水位が上昇し表面近くに達すると下層土にあった窒素成分は溶け出して表層流に合流すると考えられる（楊ら2001）。これが履歴現象の生ずる主な理由であろう（図7, 8, 9）。

4. 土地利用形態の異なりによる排水の水質特性

(1) 調査領域

主たる調査流域は前述の八王子市野猿峠谷地のA、B流域の溪流、小河川、および下流に分布する耕作地としての水田地域、宅地内の小河川の流域である。A流域の溪流は北斜面を流れ、浅川に合流して多摩川に至る。B流域の水は南斜面に広がり、大栗川に至り、多摩川に合流する。両調査地域は野猿峠を境として南北に分かれる分水地形を形成している。

(2) 調査項目および時期

降雨、水利用の特徴から観測月を定め、かつ豪雨時の流亡土量の実測をおこなった。水質については土地利用型に対して、SS、T-N、T-Pなどを観測した。前年度と同じように観測作業は主に長沼公園地域周辺および堀之内東京農工大学試験地内の溪流および小河川で行った。

(3) 水量・水質調査方法

試験圃場にある谷地内の林地からの湧水の降雨による変化状況を観測する。

(4) 調査・試験研究の実施状況

調査谷地から発生した小河川は多摩川に合流する。この流水の源である谷地からの支川流域の自然環境の状態を水質測定から評価した。流域には最近森林伐開されて造成された市街地域などの住宅団地があるので、この流域の土地利用が河川に与える影響について調査した。

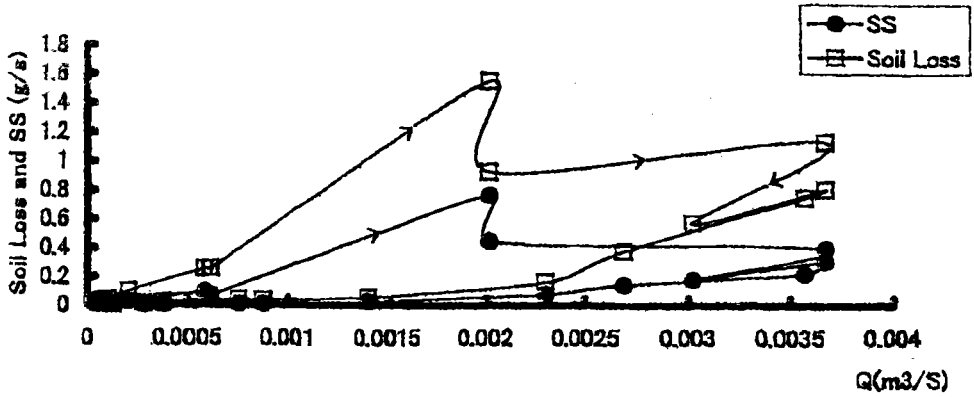


図7 流亡土+SS負荷量と流量の履歴曲線（ヒステレシス）

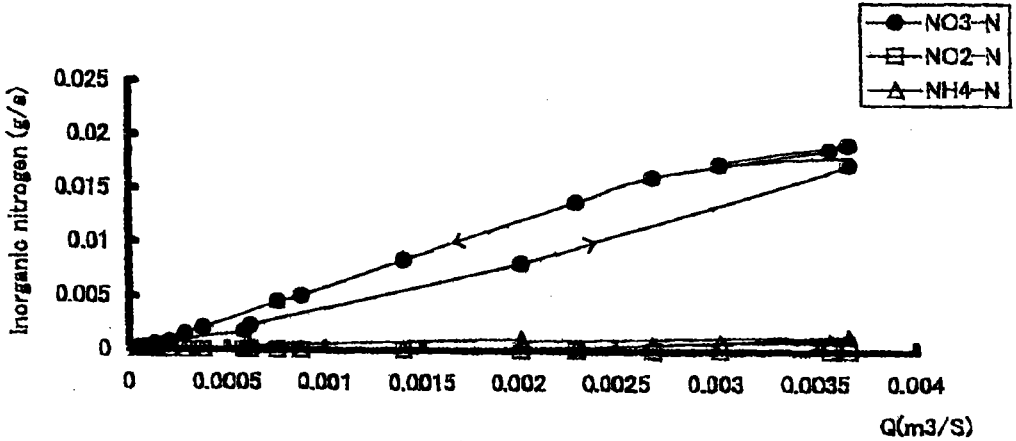


図8 窒素負荷量と流量の履歴曲線（ヒステレシス）

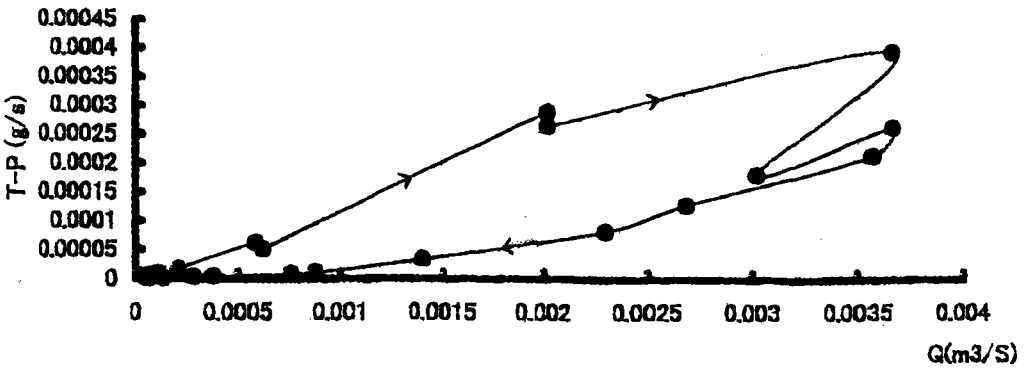


図9 リン負荷量と流量の履歴曲線（ヒステレシス）

(5) 結果

平成11年、12年度調査では季節別に行う水質調査と侵食量測定を行い、解析した結果、流量と富栄養物質に移動には次のような特徴のあることが明らかになった。季節や降雨前降雨ごによってその移動状況は変化する。しかしここでは土地利用の組み合わせで変化を観察した(図10, 11, 12, 13, 14)。

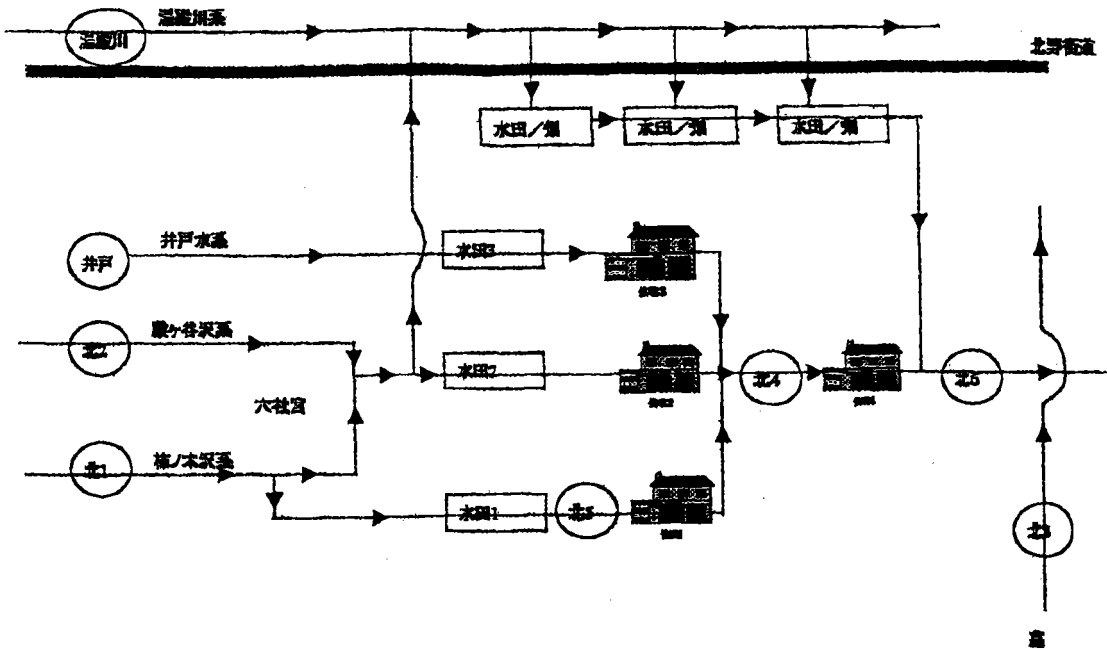


図10 A流域の土地利用と水系図

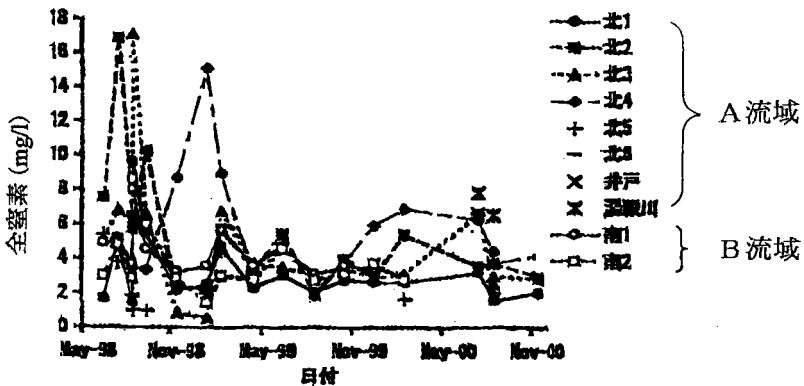


図11 採水ポイント別表面流去水中全窒素濃度変化

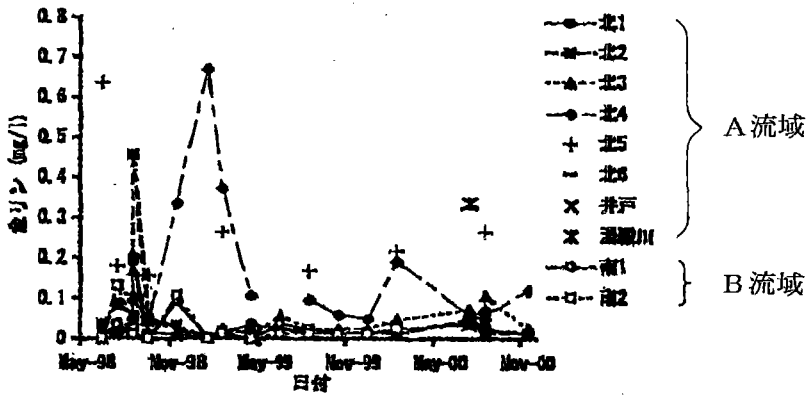


図12 採水ポイント別表面流去水中全リン濃度変化

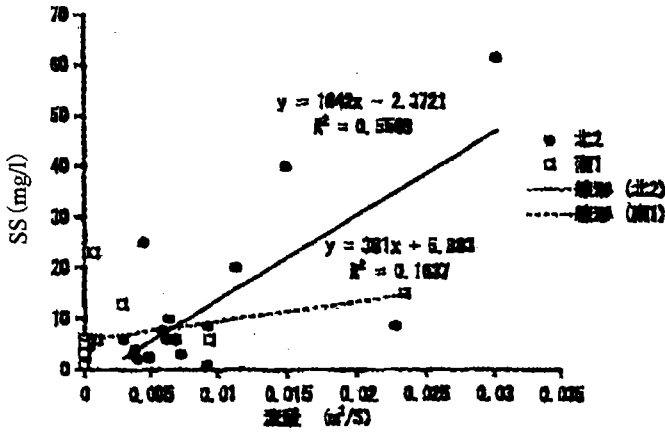


図13 異なる土地利用型の流量と浮遊物質の関係

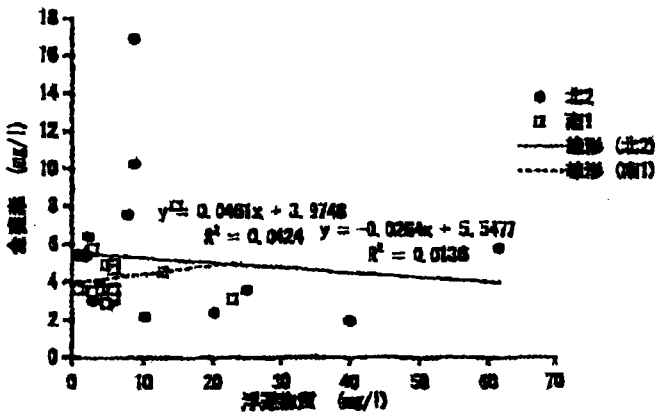


図14 異なる土地利用型の流量と浮遊物質の関係

(a) 溪流・河川と周辺の土地利用状況

調査地区A、Bの両流域溪流・河川と土地利用の状況を次のような4つの形式(型)に分類した。

- ① 林地 → 溪流 → 地区外
- ② 林地 → 溪流 → 水田 → 地区外
- ③ 林地・畑 → 溪流 → 地区外
- ④ 溪流 → 水田 → 宅地 → 地区外

①：A、B両流域 ②：A地区 ③：B流域 ④：A流域

以上のような型から流出する水質について観測を行った(表1)。

表1 各流域における土地利用系

(○：有 ×：無)

	A流域	B流域	土地利用の型
林地・溪流	○	○	①
林地・溪流・水田	○	×	②
林地・畑・溪流	×	○	③
溪流・水田・宅地	○	×	④

(b) 土地利用の異なりによる水質変化

A流域の溪流には上流台地に住宅団地があるが、谷斜面および谷底部の大部分が林地で覆われている。これに対しB流域では上流台地、斜面に林地、谷低地には畑地がある。このため、B流域③型の溪流水はA流域①型と比べて窒素、リンの量が平均的に多い。畑地は溪流水質に大きな影響を与えていると考えられる(図11)。

(c) 降雨による水量・水質変化

降雨によって溪流水量が多くなるが、①型では水量増加は顕著であるが、水田・宅地型の④では大きな変化はみられなかった。溪流水中の窒素、リン及び流亡土量も流量増大にともない増加した。全窒素、全リン濃度も増すが、しかし下流の水田領域を通過する④型からの水には流量および窒素、リン濃度の降雨による大きな変化はなくむしろ低い濃度が観測された。③型では降雨による水流増大は顕著ではないが、窒素の流出は顕著に現れる。これに対しリンの流出はほとんど見られなかった。

(d) 季節による水量・水質変化

限定された観測回数からは流量に季節的特徴を明確には見いだすことができないが、夏季に大雨があり、灌漑水が流れるので各測点の流量は幾分は増大する傾向がある。水質に関しては①型には夏に窒素やリンが多いが、④型の水路では季節による大きな差は見いだせなかった。

(e) 多摩川の水質と溪流の水質

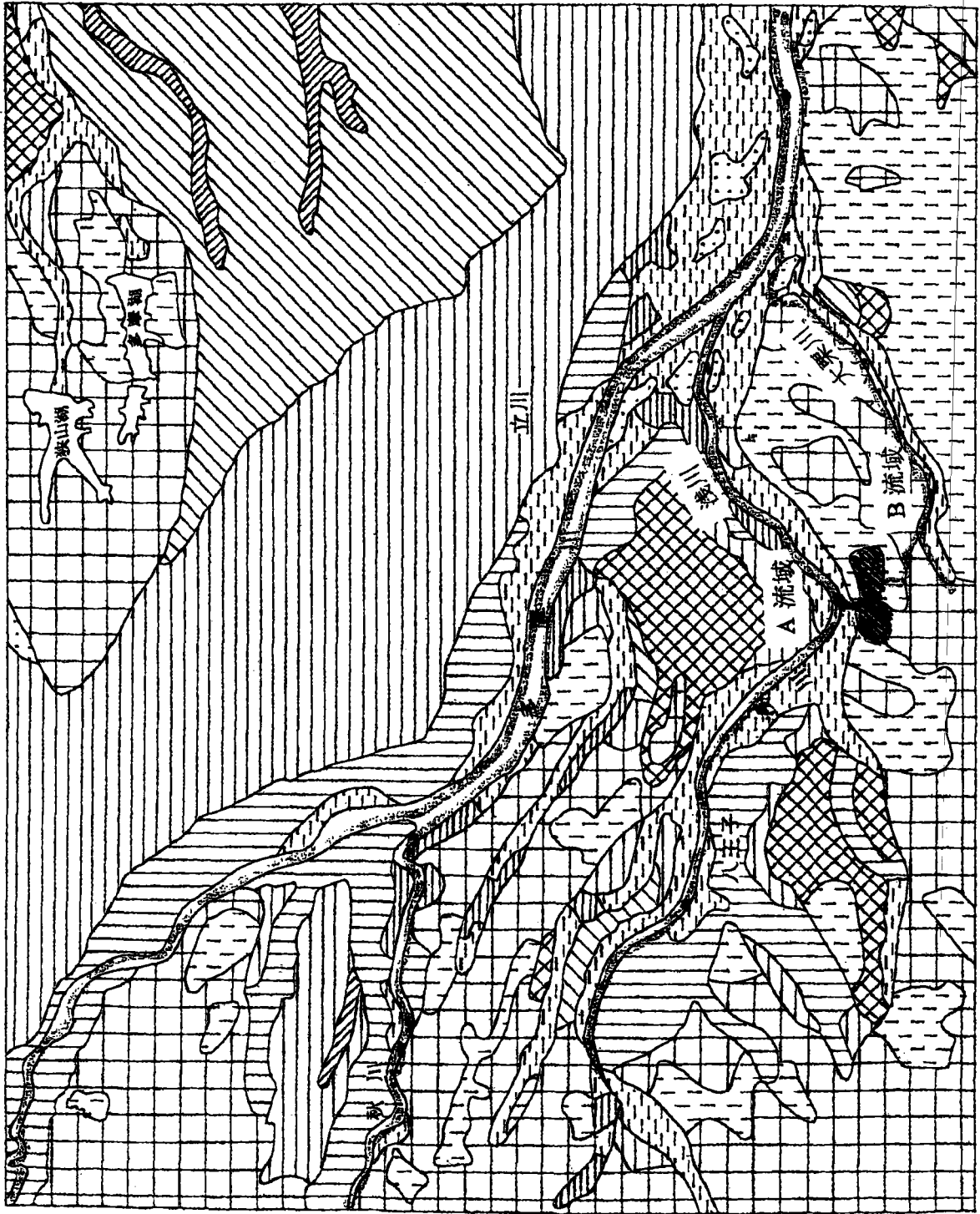
A流域の水は小河川を通して浅川に合流する。さらに浅川は約5 km先で多摩川に合流する。その行程での水質変化を窒素について見ると、2000年12月12日における溪流水の値が NO_3^- で1.3 ~ 2.3ppmであるが、長沼地区の末端排水路（浅川合流直前）では2.6ppm、浅川の水質は5ppmに上昇する。浅川下流5 km先の多摩川合流直前の濃度は6.8ppmとなる。多摩川本流の水質は7.6ppmであった。水系からみると源流になる溪流水の濃度は多摩川河川水の1/3程度で、水質としてよい環境が保持されている。

5. これからの丘陵地域の環境保全と今後の展望

上流域からの流亡土粒子を含む富栄養化物質の移動量は下流域の水質を大きく支配している。したがって、上流での土粒子流亡の減少が河川の水質保全に大きな意味をもつ。水田を通過してきた流水には流亡土壌が少なく、硝酸態窒素も少ないことが観測された。これに対し、畑地は侵食流亡の問題があるが、土壌流亡がなければ、リンの流出を抑えることができるのでその除去効果が期待される。このような土地利用の特性を利用して連鎖させた土地利用を行えば排水の水質浄化に役立つと思われる。

市街化の波による水質低下を避けることは難しいが、農地の保全管理を行えば、水質浄化に役立つと考えられる。畑地は侵食土差土砂を防ぐことができれば、リンの流亡を少なくすることができる。水田では窒素の流出を抑えることができるならば、このような土地利用連鎖によって水質浄化にも役立たせることが可能であろう。

土地利用は個々に独立評価されるのではなく、周辺土地利用と共生した一つのシステムとなって生態系を作っている。それらをつなぐのは流域河川であり、それらを通して運ばれる物質循環は土地利用条件を決めることになる。多摩川水質浄化には周辺丘陵流域の適切な土地利用の組み合わせが重要なカギを握っているといえる。



0 5km











-  山地・丘陵
-  高・上位面
-  中位面
-  下位面
-  低位面
-  浅い谷
-  自然堤防・扇状地
-  盛土地
-  谷底・氾濫平野
-  人工平坦化地

図15 調査流域

参考文献

- 関東ローム研究グループ (1986)：関東ロームーその起源と性状ー，築地書館
- 三原真智人 上野貴司 (1999)：畑地における土壌流亡と窒素およびリン成分の表面流出，農業土木学会論文集，200，pp.7-14
- 多田 敦，山崎不二夫，竹中 肇，安富六郎，田淵公子 (1965)：関東ロームにおける新規ロームと古期ロームの物理的性質の比較，農業土木論文集，14，pp.67-70
- 陳媽、三原真智人、安富六郎(2001)：土地利用が水質環境にあたえる影響，2001年度農業土木学会大会講演要旨
- 楊宗興、木平英一、碓氷敏宏、武重裕史、西尾友宏、西岡三雄(2001)：渓流水の富栄養化と N_2O 発生、多摩丘陵の自然と研究、けやき出版