

ISSN 0429-8403

林業試験場時報

第38号

平成3年3月

The Bulletin of Fukuoka-ken Forest
Experiment Station

No.38

March 1991

福岡県林業試験場

福岡県八女郡黒木町

Fukuoka-ken Forest Experiment Station
Ima, Kurogi, Yame, Fukuoka, 834 - 12 Japan

降水と溪流水の成分に関する研究

佐々木 重行・高木 潤治・西尾 敏

Studies on some chemical components
in precipitation and stream water

Shigeyuki SASAKI, Junji TAKAKI
and Satoshi NISHIO

— 目 次 —

| | |
|-------------------------------------------|----|
| はじめに | 1 |
| 1. 降水と溪流水中の pH、EC、及び各成分濃度の季節変化と経年変化 | 2 |
| 1) はじめに | |
| 2) 採水地点及び分析方法 | |
| 3) 結果 | |
| 4) 考察 | |
| 2. 溪流水の流出量と成分濃度 | 25 |
| 1) はじめに | |
| 2) 方 法 | |
| 3) 結果 | |
| 4) 考察 | |
| 3. 微小流域での溪流水の濃度と流域特性 | 31 |
| 1) はじめに | |
| 2) 方 法 | |
| 3) 結果及び考察 | |
| 4. 摘要 | 40 |
| 5. 引用文献 | 41 |
| SUMMARY | 43 |
| A | |

はじめに

森林、林地のもつ様々な機能の中で、近年その公益的機能が重要視されるようになってきた。我が県でも1978年の大渴水を契機として、水源の森基金等をもうけ森林のもつ水源涵養機能や水質浄化機能について関心もたれ、複層林の造成や間伐、枝打ちの促進等、森林林地の取扱い等に配慮が払われるようになって来た。その考えを継続して1984年より水土保持機能強化総合モデル事業を行い、当场でもその効果調査を継続的に行ってきた。現在実施している調査項目は設定された流域の降水量、流量、ライシメータ流出量、土砂流出量、複層林の林況と成長量、及びその流域内の降水、渓流水の成分濃度である。

近年、化石燃料の燃焼によってエネルギーを得ている先進諸国や発展途上国で雨水の酸性化、即ち酸性雨の問題が大きく取上げられるようになってきた。また、林地の開発による水質汚濁の問題も取りざたされている。これらのことから、森林のもつ水質浄化機能に期待がもたれるようになったが、その機能の内容や実態についてはまだ不明な点が多い。

定期的に降水や、渓流水の成分濃度等を測定しモニターする事は、森林のもつ水質浄化機能の解明に直接繋がるものではないかも知れないが、現状を把握する意味で重要である。また、流域の林況や施業の違いが、そこから流出する水の成分の濃度にどのような影響をおよぼすかを知る事は、渓流水の現状を知る上だけでなく、今後の施業や、林内の工事を進める上でも重要である。

本報告では1985年から1990年の6年間に定期的に採水して測定した降水と渓流水の成分の変動、流量と成分濃度の関係、流域間の違い、及び小流域間の林況と流出成分濃度の違いについて取扱った。測定期間が6年間と短く、必ずしも定常状態にあるものではないかもしれないが、中間報告的な意味で報告する。

本研究を進めるに当たり、福岡県水産林務部治山課治山係には予算面でご配慮をいただいた。流量測定の計測装置の維持については、飯塚農林事務所森林土木課のご支援を受けた。また、調査流域の林況の調査では飯塚農林事務所林務課主任技師東義彦氏のご協力を得た。本研究を進めるにあたり、当场の運転手月足 初見、技師田形 正義、山本 雅敏、甲斐田 哲雄、主任技師野田 亮、廣田 篤彦の各氏には水の採取にご協力をいただいた。また、田中粧子、坂本由紀、宮原(旧姓石橋)真理子、境(旧姓堤)るり、久間(旧姓末崎)裕子、大隈明美、堤明美、馬場るい子の各氏には分析の補助、器具の洗浄、計算、作図について大きな協力をして頂いた。本報告書の作成に当たり当场庶務課の方々には多大なご支援をうけた。ここに厚くお礼申し上げる。

1. 降水と溪流水中のpH、EC、及び各成分濃度の季節変化と経年変化

1) はじめに

林地に降る雨水の成分、そして降った後、林地をへて溪流へと流れてくる水の成分をモニターする事は、林地のもつ水質浄化機能の解明に直接つながるものではないが、現状を把握するという意味において大変重要である。ここでは1985年から1990年にかけて6年間、毎月1回降水と溪流水を定期的に採取し測定分析した、pH、電気伝導度（EC）、窒素、リン、カリウム（K）、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）の7項目の季節変化、経年変化について報告する。

2) 採水地点及び分析方法

1. 調査地の概要

調査は福岡県田川郡添田町大藪（図-1）の県営林内で行った。採水は図-2に示す降水4地点（No. 1~4）、溪流水6流域（No. 5~10）の計10点で行った。調査地の基岩は結晶片岩で、スギ、ヒノキの人工林を主体とする流域である。採水は1984年11月から、ほぼ毎月1回月末に採水し、その月の降水、溪流水の測定値とした。月末に採水できない場合には翌月のできるだけ早い時期に行った。採水した地点の位置、標高、流域面積等の諸元を表-1に示す。溪流水の採水地点の特徴はNo. 5：伐跡、新植地、及び浸透促進工がおこなわれた流域、No. 6：複層林の流域、No. 7：伐跡と複層林の混合流域、No. 8：林齢27~28年の流域、No. 9：伐跡、幼齢林の流域、No. 10：これらの流域が集った地点である。



図-1 調査位置図

Fig.1 Location of study site

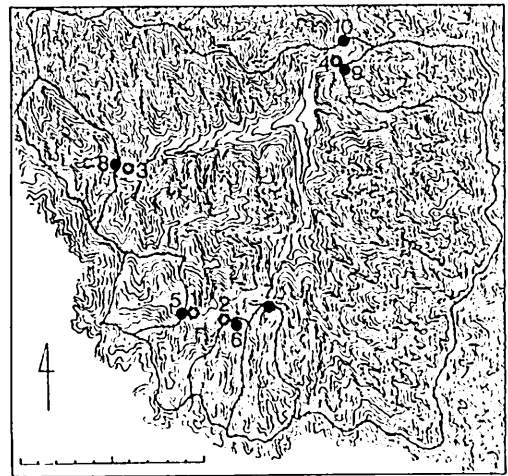


図-2 採水地点と集水流域(★降水、●溪流水)

Fig.2 Sampling points and watersheds

(★precipitation ●stream water)

表 - 1 採水地点の概要

Table-1 Area and altitude of sampling points

| 採水地点 sampling point | 流域面積 (h a) area fo discharge basin | 標 高 (m) altitude |
|------------------------|------------------------------------------|---------------------|
| 1 , 5 | 30.7 | 500 |
| 2 , 6 | 10.3 | 450 |
| 7 | 15.3 | 370 |
| 3 , 8 | 23.3 | 450 |
| 4 , 9 | 21.8 | 330 |
| 10 | 435.7 | 310 |

2. 採水方法

渓流水の採水は2ℓのポリビンと、500ppmの硫酸銅5mℓをあらかじめ入れた1ℓのポリビンの2つに採水した。窒素とリンの分析は1ℓのポリビンの水を使い、pH、EC、K、Ca Mgの分析は、2ℓのポリビンの水を使った。降水はプラスチックのロートを取り付けた20ℓのポリタンクに、採水から次の採水時までほぼ1ヶ月の間に生まったものを使用した。ロートとポリタンクは採水する時に新しいものと常に交換した。その際、予めタンク中に500ppmの硫酸銅を50mℓ入れておいた。ロートの底にはカンレイシャをつめ出来るだけ異物が混入することを防いだ。しかし、周りの樹木の花や葉、虫等が入った事が数回あった。採取した水は、水を入れたアイスボックスに入れて当场まで運んだ。採取した水はできるだけ早く分析、測定するようにしたが、出来ない場合は冷蔵庫に保管した。

3. 分析方法

ア) 窒素 (N)

蒸留水500mℓに水酸化ナトリウム20gを溶かした後、ペルオキシ二硫酸カリウム15gを溶かした溶液を作る。試料50mℓを100mℓの耐圧ビン(デュランビン)に採り、ペルオキシ二硫酸カリウム溶液10mℓを加え、ただちに密栓した後、混合する。この耐圧ビンを高圧蒸気滅菌器に入れて加熱し、約120℃に達してから30分間加熱分解を行ない放冷する。分解後の上澄み液25mℓをビーカーに分取する。このビーカーにpH調整液として塩酸(1+16)5mℓを加え溶液のpHを2~3に調整する。この溶液を光路長10mmの石英吸収セルに移し、波長220nmにおける吸光度を分光光度計(日立228A型)で測定する。窒素標準原液として、あらかじめ105~110℃で約3時間乾燥し、デシケーター中で放冷した硝酸カリウム0.722gを1ℓの蒸留水に溶かしたものをういた。この溶液は窒素100ppmの濃度である。この標準原液を段階的に薄めて標準液を作る。この標準液25mℓをビーカーに採り塩酸(1+500)5mℓを加え、220nmの吸光度を測定し検量線を作成する。

イ) リン (P)

ペルオキシ二硫酸カリウム4gを水100mℓに溶かす。試料50mℓを耐圧ビンに採りペルオキシ二硫酸カリウム溶液10mℓを加え密栓し混合した後、高圧蒸気滅菌器に入れて加熱し、約120℃に達してから30分間加熱分解を行なう。放冷後、上澄み液25mℓを共栓付試験管

に分取する。この共栓付試験管にモリブデン酸アンモニウム溶液とL-アスコルビン酸溶液を容積比5：1で混合した発色試薬2mlを加え振り混ぜ、20～40℃で15分間放置する。この中の溶液の一部を吸収セルに移し、波長880nmの吸光度を分光光度計で測定する。モリブデン酸アンモニウム溶液は蒸留水300mlにモリブデン酸アンモニウム四水和物4gとタルトローラトアンチモン(III)酸カリウム0.24gを溶かし、更に硫酸(2+1)120mlを加えた後、水を加えて500mlとしたものである。L-アスコルビン酸溶液はL-アスコルビン酸7.2gを水に溶かして100mlとしたものである。リン酸標準原液は、あらかじめ105～110℃で約3時間乾燥し、デシケーター中で放冷したリン酸二水素カリウム0.2197gを蒸留水1ℓに溶かしたものをを用いた。この溶液はリン50ppmの濃度をもつ。この標準原液を適当に薄め標準液を作り分光光度計にかけ検量線を作成する

ウ) カリウム(K)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)

Ca、Mg、は原子吸光法、Kは炎光法を使って、原子吸光・炎光分光光度計(島津 A670型)を用い測定した。

エ) pH及び電気伝導度(EC)

pHはガラス電極法(TOA HM-10K型)、電気伝導度は電導度計(TOA CM-2A型)を用いて測定した。

3) 結果

1985から1990年までの降水のpH、EC、窒素、リン、K、Ca、Mgの4地点の平均値の月変化を図-3～9に示す。

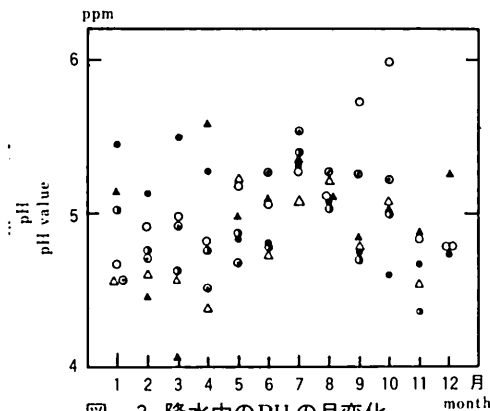


図-3 降水中のPHの月変化

(●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig-3 Change of pH value in precipitation

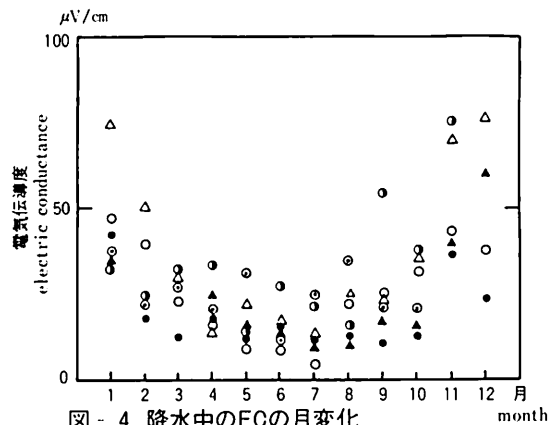


図-4 降水中のECの月変化

(●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig-4 Change of electric conductance in precipitation

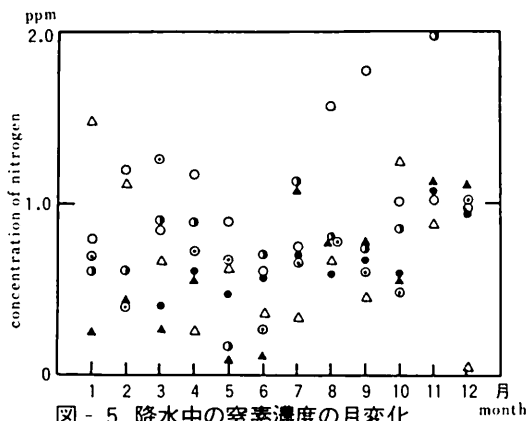


図 - 5 降水中の窒素濃度の月変化
(●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig.5 Change of concentration of nitrogen in precipitation

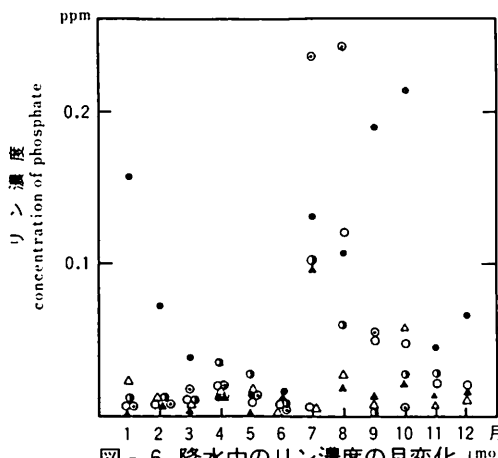


図 - 6 降水中のリン濃度の月変化
(●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig.6 Change of concentration of phosphate in precipitation

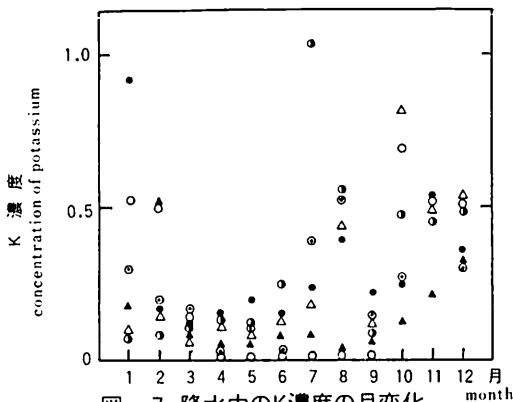


図 - 7 降水中のK濃度の月変化
(●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig.7 Change of concentration of potassium in precipitation

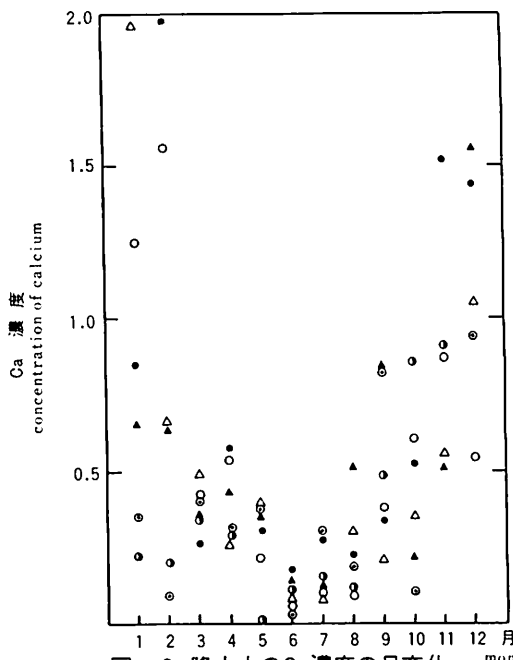


図 - 8 降水中のCa濃度の月変化
(●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig.8 Change of concentration of calcium in precipitation

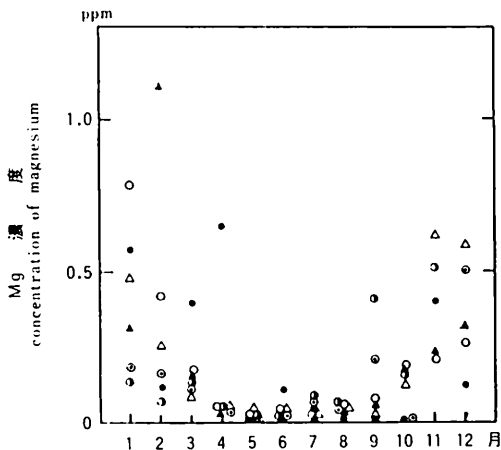


図 - 9 降水中のMg濃度の月変化

(●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig.9 Change of concentration of magnesium in precipitation

降水のpHの4地点の平均値はpH6以上を示したことはなかった。また、1986年の9、10月を除いて酸性雨といわれるpH5.6以下であり、常時酸性雨が降っていることが伺われた。pHの最低値は1988年の3月に、pH4.07（4地点それぞれ4.14、4.07、4.06、4.00）を示した。年変化を見ると、年度が進むにつれてpHが低くなっているというような特徴的な傾向はなかった。

降水のECは1月は各年とも30 μ V/cm以上であった。2月、3月となるにつれて低くなった。5月は1988年と1990年を除いて、6月は1989年を除いていずれも20 μ V/cm以下であった。その後7月も若干低いが、8月、9月とだんだん高くなり11、12月は殆どの年で30 μ V/cm以上となった。特に1987年12月、1988年11、12月、1989年12月は75 μ V/cm以上と高い値を示した。一般的に降水中のECの値は冬に高く、春になると低下し始め、5、6、7月頃に低く、その後、秋から冬へとなるにつれて高くなっていく傾向を示した。特に1986、1987、1988年はこの傾向が顕著であった。また1990年は、余り季節変化がはっきりしなかった。

降水中の窒素濃度の変化を見ると、5、6月は0.104~0.892ppmと低く、11、12月は1988年を除いて0.892~1.990ppmと高い傾向を示した。全般的に見てバラツキはあるが窒素濃度は冬に高く、春から梅雨の季節に低く、秋になるとまた高くなっていく傾向が見られた。また、年度による違いは見られなかった。

降水中のリンは測定開始の1985年の値が他の年に比べてかなり高い値を示した。1985年のデータを除いて見ると、1月から6月までは殆どが0.02ppm以下であった。7、8月には0.1ppm以上の高い濃度を示した年が半数以上あった。9月から12月には再び低い濃度となった。しかしリンは他の成分に比べて季節変化は余り無い様に見られた。

降水中のKは3、4、5月はいずれの年も0.2ppm以下、6月も0.25ppm以下であった。11月は1987年を除いて0.45ppm以上、12月も0.3ppm以上となった。Kも幾分冬に濃度が高く、春から梅雨にかけて低くなり、そして秋から冬になるにつれてまた、高くなっていく傾向が見られた。

降水中のCaは1、2月は0.098~2.358ppmと大きな幅が見られた。3、4、5月は1989年を除きほぼ0.25~0.55ppmの範囲にあった。6、7月になるといずれの年も0.3ppm以下とCaの濃度は低くなった。その後8月以降になると、年度間で違いはあるが、濃度は高くなっていた。そして、11、12月になると測定した全ての年度で0.5ppm以上となり、濃度は高くなった。特に1985、1986、1988年は冬に高く3、4、5月となるにつれて低くなり、6月に最低値を示し、その後秋から冬へとかけて高くなるという顕著な季節変化が見られた。

降水中のMgは1、2月は0.065~1.11ppmと幅はあるものの高い値を示した。4月には1985年の値を除いて、いずれの年も0.1ppm以下となり、8月まで低いままで推移し9月も1990、1991年を除いて0.1ppm以下であった。10月になると2ヶ年を除いて0.1ppm以上となり、11月にはいずれの年も0.2ppm以上となった。12月もほぼ同じ様な値を示し、1985~1990年の測定期間中Mgの濃度は冬に高く夏に低いという傾向を示した。

年度毎の渓流水のpHを、採水地点別に図-10～15に示す。まず、採水地点について見るとNo. 5が70回の測定中59回の最低値を示し、6測定地点で最も低いpHを示す流域と思われた。次にNo. 6が低く、1986年は殆どNo. 5と同じ様な低い値を示した。続いて、No. 7が低いように思われた。そして、No. 8, 9はほぼ同じ様な値を示し、No. 5, 6, 7の3地点よりも高い値を示していた。No. 10が6地点の中で最も高いpHを示す流域の様に思われた。そして、No. 5, 6, 7, 8, 9, 10の順に高くなるという傾向は測定期間中ほぼ変わらなかった。年度の変化を見ると、測定を始めた1985年のpHは7を中心、6.59から7.50の範囲にあった。1986年もほぼpH7を中心、この範囲で推移した。特に、No. 10は1985, 1986年の測定中2回を除いてpH7以上であった。1987年も3月までは前2年と同じ様であった。4月になると6地点平均pH7.74 (No. 7のpH8.24を最高とし、No. 10のpH7.47を最低)と測定期間中で最も高い値を示した。5月には6地点平均pH7.42と若干4月に比べて低下した。その後、測定を重ねるごとにpHは低下していった。10月以降は6地点全てでpH7未満の酸性を示し、渓流水のpHが1987年の3月以前に比べて若干低下していく様子が伺われた。1988年になると6地点全てでpH7以下を示す月が7回と増え、1987年に引続いてpHが低下していく傾向が見られた。

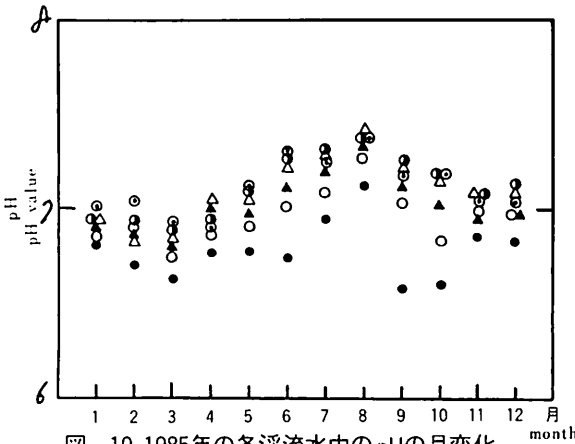


図 - 10 1985年の各渓流水中のpHの月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-10 Change of pH value of stream water in 1985

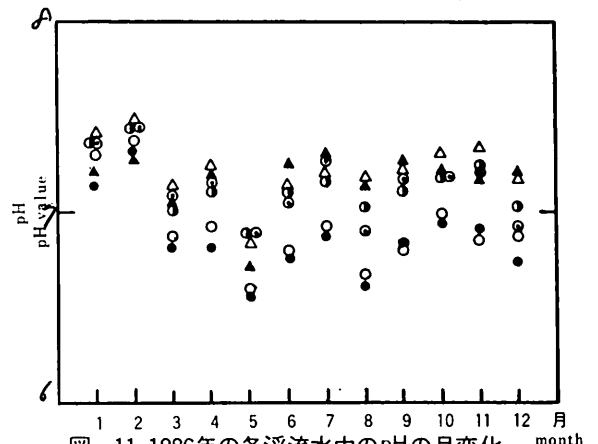


図 - 11 1986年の各渓流水中のpHの月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-11 Change of pH value of stream water in 1986

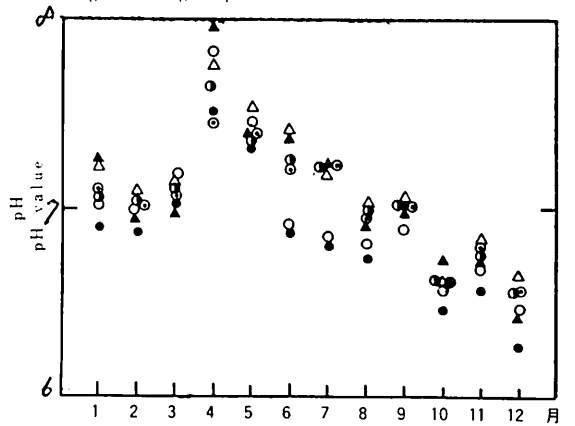


図 - 12 1987年の各渓流水中のpHの月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-12 Change of pH value of stream water in 1987

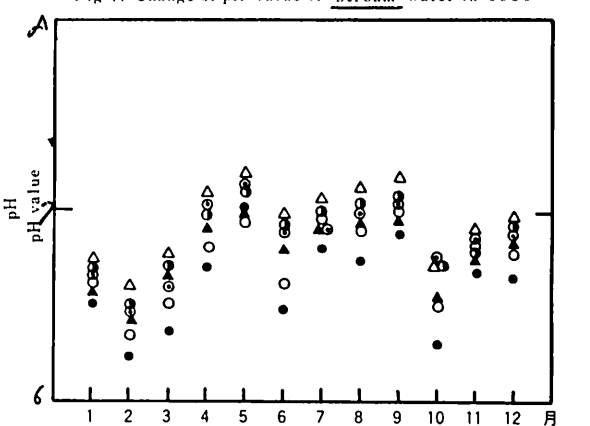


図 - 13 1988年の各渓流水中のpHの月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-13 Change of pH value of stream water in 1988

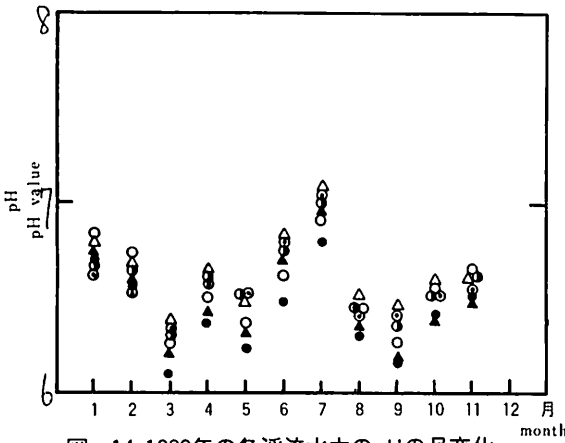


図-14 1989年の各渓流水中のpHの月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ○:No.9, ◎:No.10)

Fig.14 Change of pH value of stream water in 1989

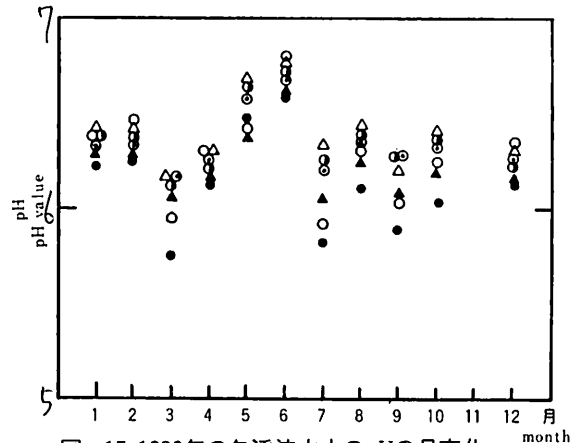


図-15 1990年の各渓流水中のpHの月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ○:No.9, ◎:No.10)

Fig.15 Change of pH value of stream water in 1990

そして、1989年になるとpH7以上を示したのは7月のNo.8とNo.10だけで、他の測定値は全てpH7.00以下であった。1990年になると全ての測定値がpH7.00以下となった。特にpH6.00以下が2地点でのべ5回も測定された。採水地点で一番高いpHを示すと考えられたNo.10では1985、1986年にはpH7.1前後で推移していたものが、1990年にはpH6.70を上限としてpH6.4前後で推移するようになった。又、最も低いpHを示していたNo.5でも1985、1986年はpH6.9前後で推移していたものが、1990年にはpH6.2前後で推移するようになった。これらのことから全ての流域で1985年から1990年の6年間でpHが低下している事が分かった。その低下の程度はpHで0.5前後であると思われた。渓流水のpHは目立った季節変化は見られないようであった。

渓流水のECの測定値を流域別に測定年ごとに図-16～21に示す。採水地点別に見ると測定地点No.6が測定期間中を通して6地点で最も低い値をとることが多かった。次に低いのはNo.8の採水地点であった。No.9、10が中間の値を示した。No.5、7は1985年はNo.9、10とさほど変らないか、あるいは若干高いといった程度であった。しかし、1986年になるとNo.9、10よりも明らかに高い傾向を示すようになった。この傾向は1990年まで続いた。そしてNo.7は1986年1月に $99.55 \mu\text{V}/\text{cm}$ と高い値を示して以来、1989年の7月までほぼ $100 \mu\text{V}/\text{cm}$ 以上の値を示した。その中でも1986年8月には $168 \mu\text{V}/\text{cm}$ と最大の値を示した。次に、経年変化を見ると、測定を開始した1985年は8月を除いてほぼ $50 \mu\text{V}/\text{cm}$ 前後で推移し余り変化は見られない。しかし、1986年1月に採水地点の特徴のところでも述べたようにNo.7で $100 \mu\text{V}/\text{cm}$ 前後に上昇した。他の採水地点も3月になると上昇する傾向を見せ、8月には全ての採水地点で明らかな上昇が見られた。1987～1988年は採水地点間のバラツキは大きくなったが、いずれの地点でもそれ以前に比べてECの値は増加した。1989年になるとこんどは段々低下していくように見えたが、6、7月に又高い値を示した。しかし、9月にはいずれの地点でも $80 \mu\text{V}/\text{cm}$ 以下となり、それまでと比べて低い値を示すようになった。そして、1990年も、測定開始の1985年ほどではないが、ほぼ 100 から $50 \mu\text{V}/\text{cm}$ の間と1986年の程度にまで低下した。

このように測定開始から渓流水のECは増大し始め1988年をピークにその後低下していく傾向が見られた。ECについては、特別な季節変化はないようであった。

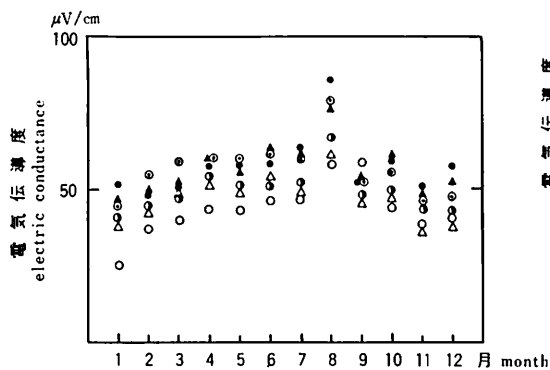


図 - 16 1985年の各渓流水中の電気伝導度の月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-16 Change of electric conductance in stream water in 1985

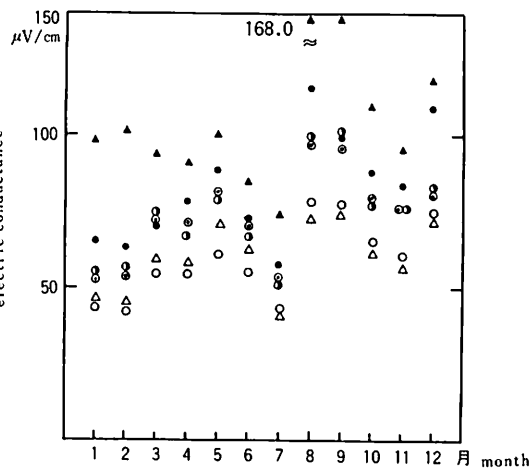


図 - 17 1986年の各渓流水中の電気伝導度の月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-17 Change of electric conductance in stream water in 1986

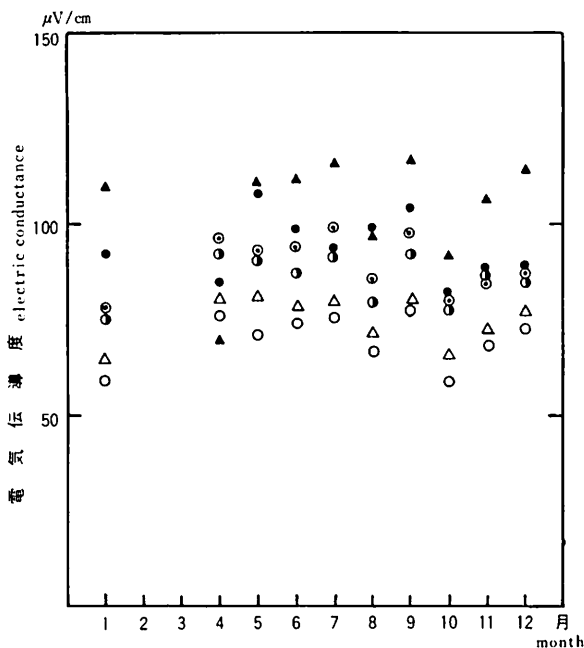


図 - 18 1987年の各渓流水中の電気伝導度の月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-18 Change of electric conductance in stream water in 1987

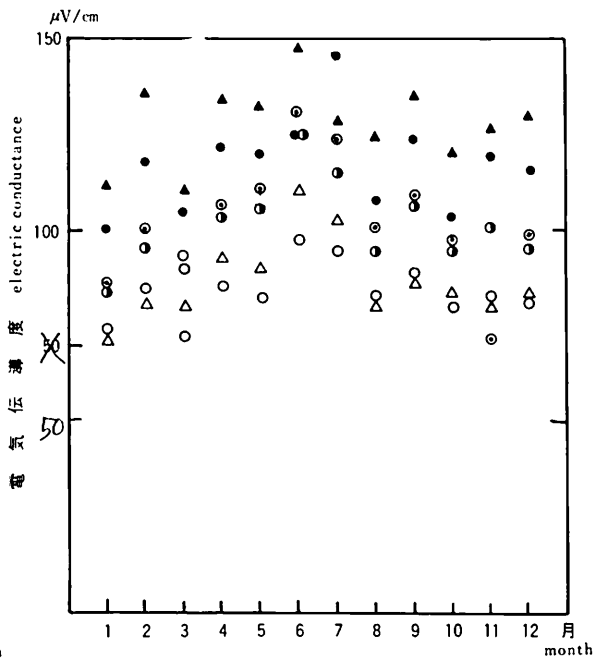


図 - 19 1988年の各渓流水中の電気伝導度の月変化

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-19 Change of electric conductance in stream water in 1988

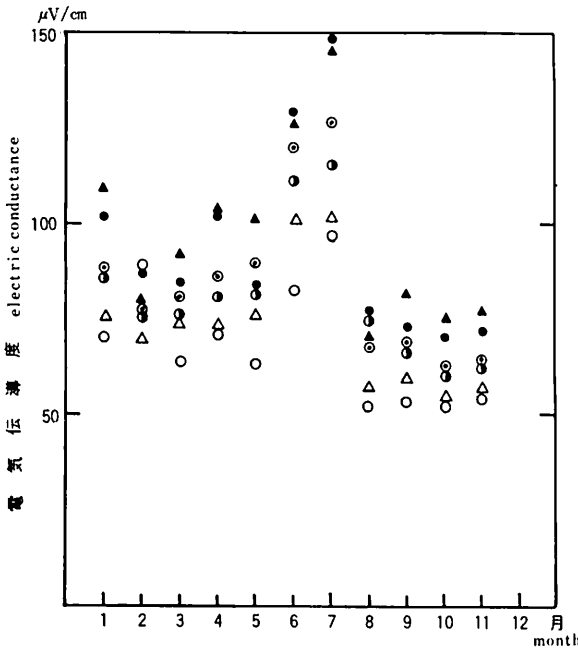


図 - 20 1989年の各渓流水中の電気伝導度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)
 Fig-20 Change of electric conductance in stream water
 in 1989

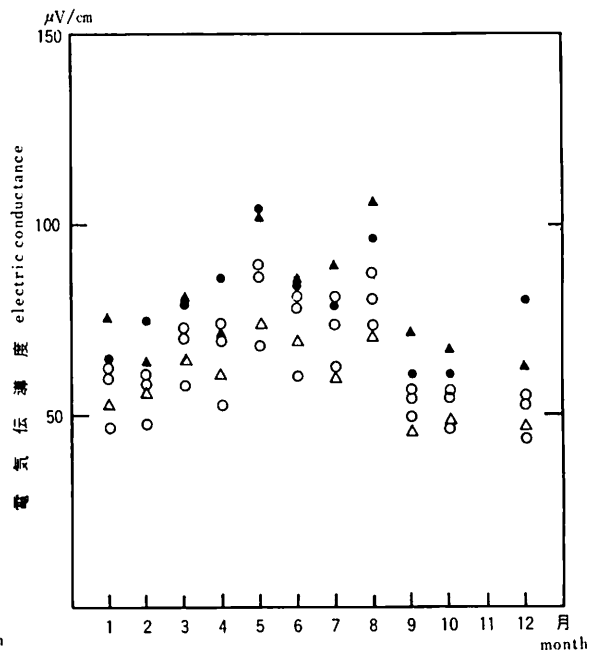


図 - 21 1990年の各渓流水中の電気伝導度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)
 Fig-21 Change of electric conductance in stream water
 in 1990

渓流水中窒素濃度の測定地点別の年変化を測定年毎に図-22～27に示す。採水地点別に見ると、No. 7が測定期間を通じていちばん低い値を示す事が多かった。続いてNo. 5、6が低い傾向にあった。No. 8、9、10は順番は一定ではないが他の3地点よりも高い値を示す事が多かった。経年変化を見ると1986年の3、4、8、9月を除いてほぼ1ppm以下の値で推移し測定年の経過につれての特別な変化は見られないようであった。また、一定の季節変化も見られなかった。

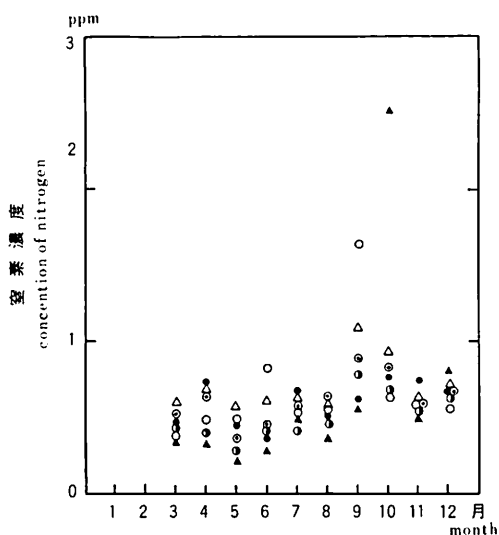


図 - 22 1985年の各渓流水中の窒素濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ⊙:No.9, ⊚:No.10)
 Fig-22 Change of concentration of nitrogen in stream water in 1985

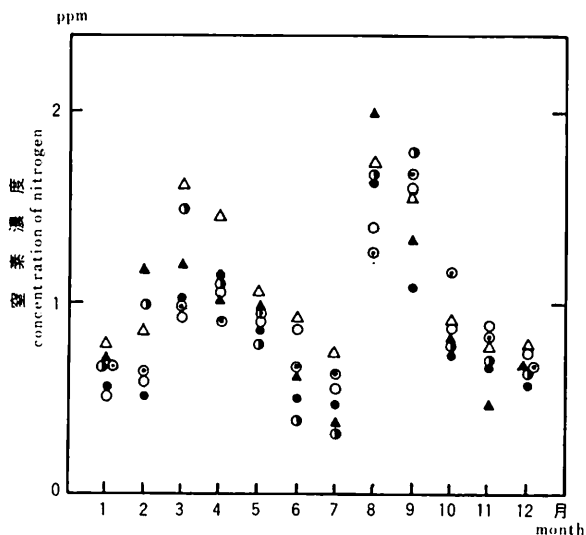


図 - 23 1986年の各渓流水中の窒素濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ⊙:No.9, ⊚:No.10)
 Fig-23 Change of concentration of nitrogen in stream water in 1986

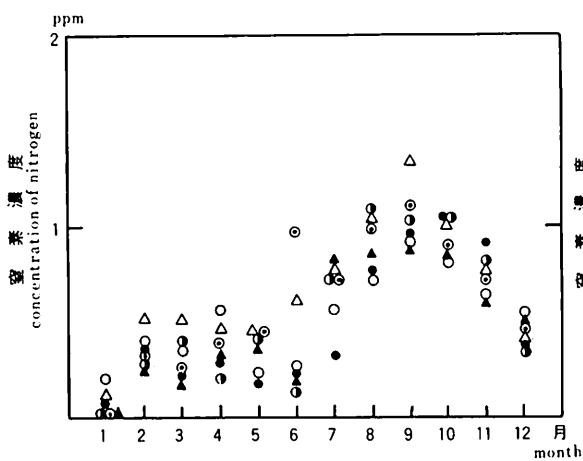


図 - 24 1987年の各渓流水中の窒素濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ⊙:No.9, ⊚:No.10)
 Fig-24 Change of concentration of nitrogen in stream water in 1987

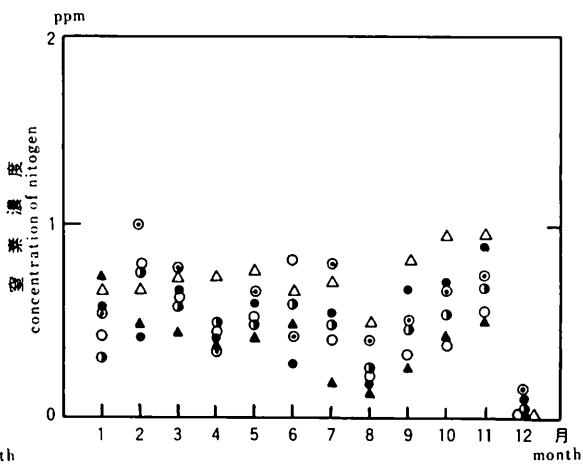


図 - 25 1988年の各渓流水中の窒素濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ⊙:No.9, ⊚:No.10)
 Fig-25 Change of concentration of nitrogen in stream water in 1988

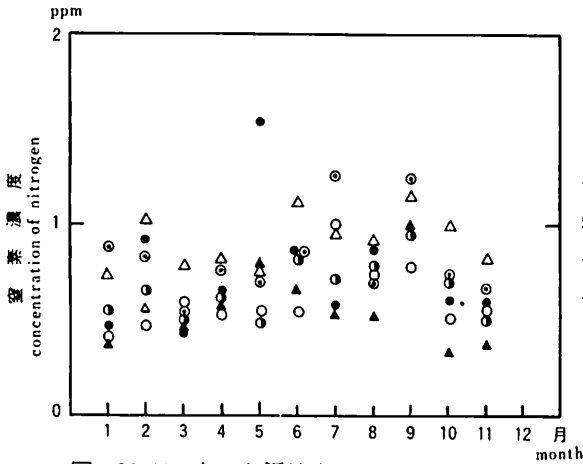


図 - 26 1989年の各渓流水中の窒素濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ⊙:No.9, ⊚:No.10)
 Fig-26 Change of concentration of nitrogen in stream water in 1989

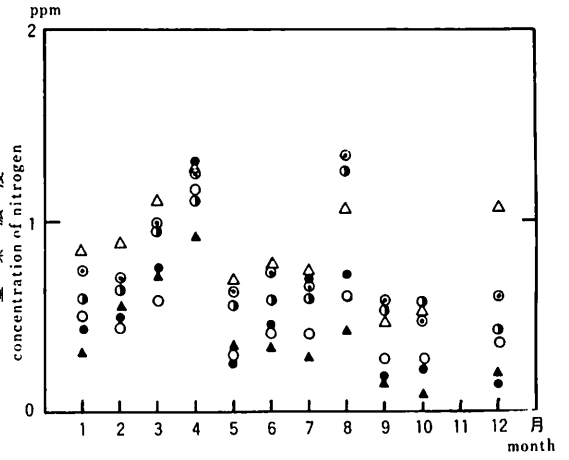


図 - 27 1990年の各渓流水中の窒素濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ⊙:No.9, ⊚:No.10)
 Fig-27 Change of concentration of nitrogen in stream water in 1990

測定年毎の渓流水中のリンの濃度の測定地点別の年変化を図-28～33に示す。採水地点の違いを見るとNo. 5が測定地点で最も低い値を示す事が多かった。No. 8のリンの濃度が最も高い値を示す事が多かった。No. 6、7、9、10はNo. 5と8の間の濃度で出現する事が多かった。経年変化を見ると、測定を始めた1985年は0.1ppm以上の濃度が出現する事が多かった。1986年以降は0.05ppm以下の濃度が殆どで、1ppm以上の濃度を示すのは1990年の7月と8月の2回であった。1985年の測定値が高かった以外に特別な経年変化は見られなかった。また季節変化も目立ったものはなかった。

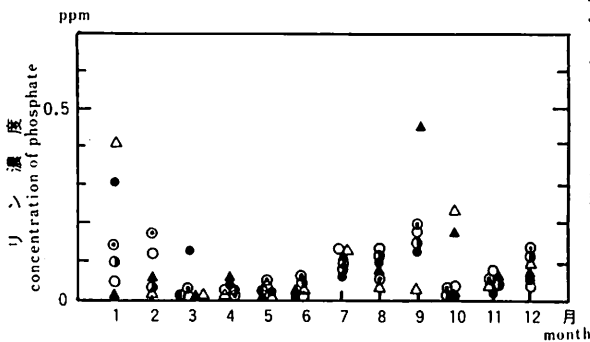


図 - 28 1985年の各渓流水中のリン濃度の月変化
 (●:1985, ○:1986, ▲:1987, △:1988, ⊙:1989, ⊚:1990)
 Fig-28 Change of concentration of phosphate in stream water in 1985

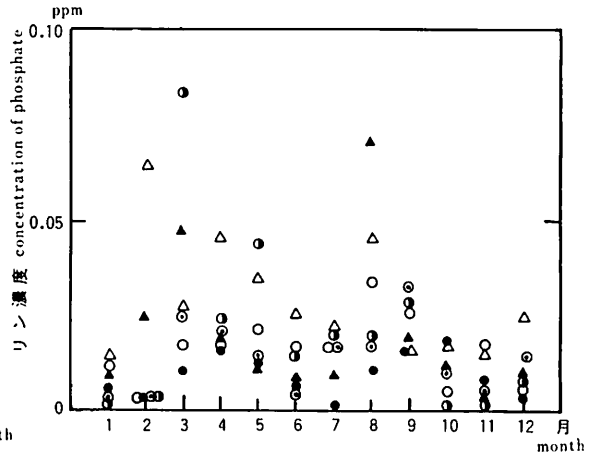


図 - 29 1986年の各渓流水中のリン濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ⊙:No.9, ⊚:No.10)
 Fig-29 Change of concentration of phosphate in stream water in 1986

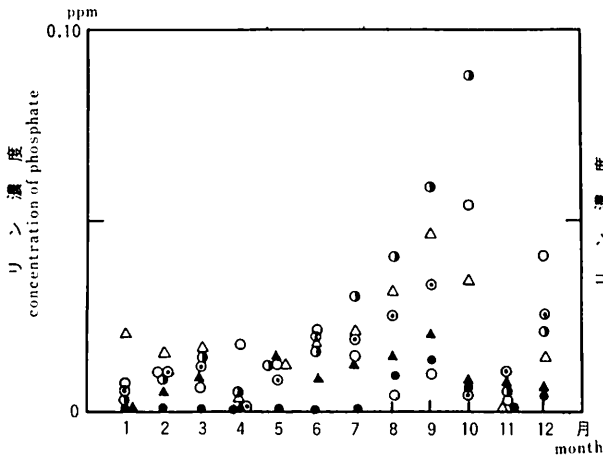


図 - 30 1987年の各渓流水中のリン濃度の月変化
(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-30 Change of concentration of phosphate in stream water in 1987

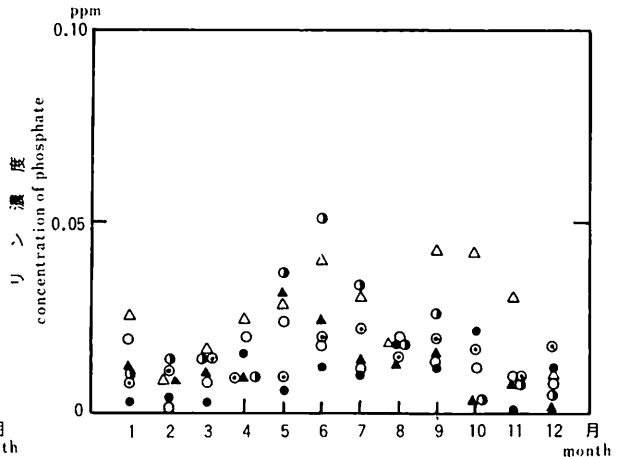


図 - 31 1988年の各渓流水中のリン濃度の月変化
(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-31 Change of concentration of phosphate in stream water in 1988

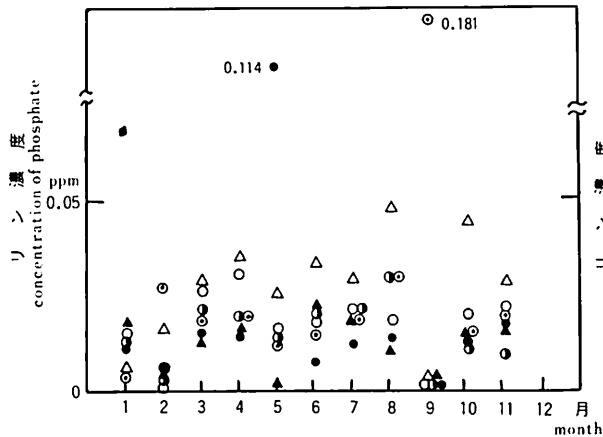


図 - 32 1989年の各渓流水中のリン濃度の月変化
(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-32 Change of concentration of phosphate in stream water in 1989

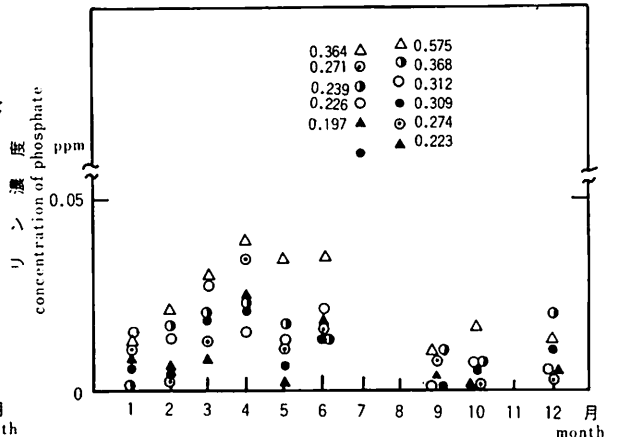


図 - 33 1990年の各渓流水中のリン濃度の月変化
(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)

Fig-33 Change of concentration of phosphate in stream water in 1990

各採水地点の渓流水のKの濃度の年変化を測定年別に図-34~39に示す。採水地点で見ると、No. 5が期間中を通じて低い値を示す事が多かった。続いてNo. 6, 7, 9が低いように見えたが、その中でNo. 6が若干この3者の中では低いように見えた。No. 8, 10が測定地点間で高い値を示す事が多かった。しかし、1986年について見るとNo. 5が低い値を示す事を除いて、この傾向は当てはまらなかった。次に、経年変化を見ると、測定開始の1985年は1ppm前後を示し、月毎の変動や採水地点間の濃度のバラツキも大きかった。1987年一杯はこの状態で推移した。1989年の6、7月、1990年の9、10月に1ppm付近の値を示した外は、ほぼ、0.4から0.6ppmの範囲で推移した。このように、Kの濃度は、測定を始めた頃は変動が大きかったが、後半になると、月毎の変動、採水地間の濃度のバラツキも少なくなった。測定期間中の季節変化は、はっきりとしたものは見られなかった。

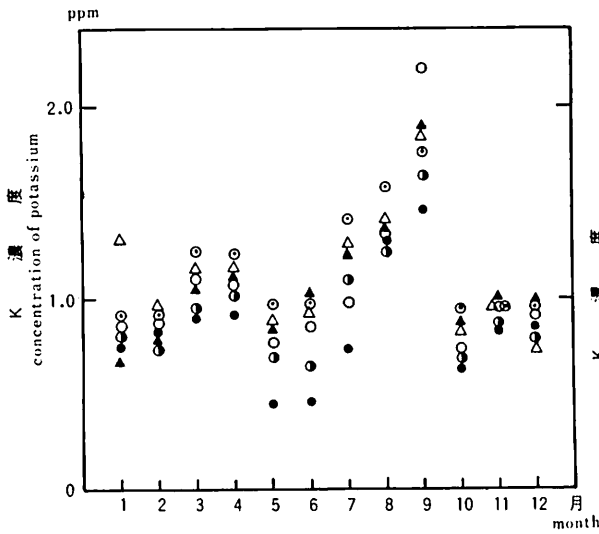


図 - 34 1985年の各渓流水中のK 濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ⊙:No.10)

Fig-34 Change of concentration of potassium in stream water in 1985

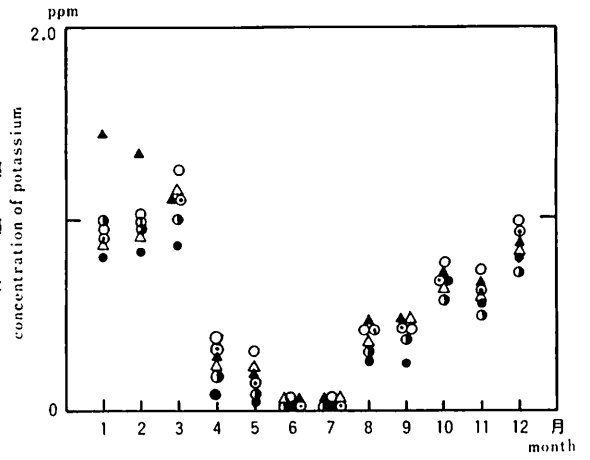


図 - 35 1986年の各渓流水中のK 濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ⊙:No.10)

Fig-35 Change of concentration of potassium in stream water in 1986

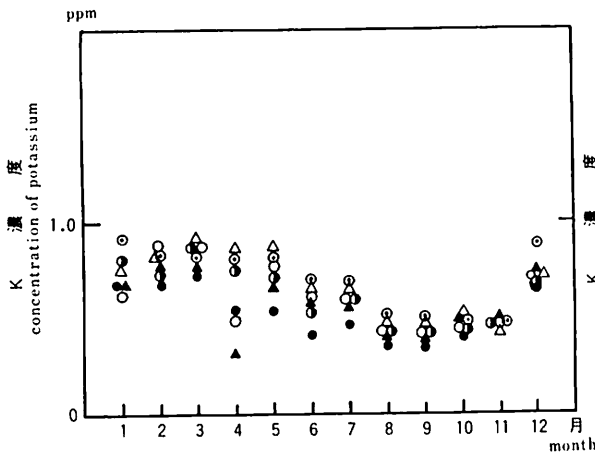


図 - 36 1987年の各渓流水中のK 濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ⊙:No.10)

Fig-36 Change of concentration of potassium in stream water in 1987

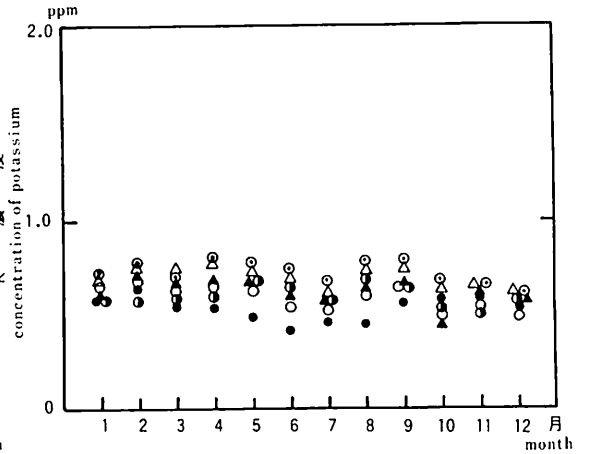


図 - 37 1988年の各渓流水中のK 濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ⊙:No.10)

Fig-37 Change of concentration of potassium in stream water in 1988

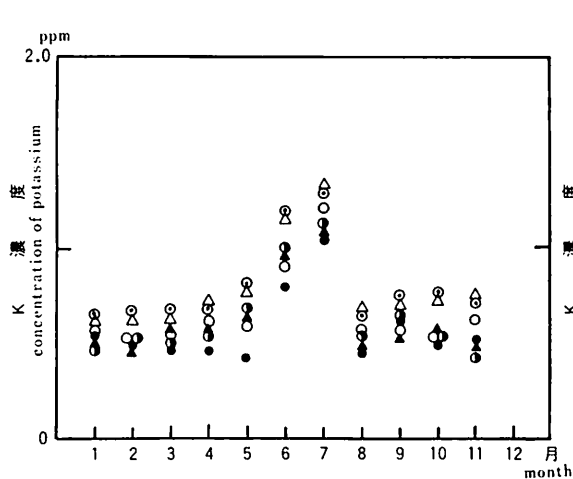


図 - 38 1989年の各渓流水中のK 濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)
 Fig-38 Change of concentration of potassium in stream water in 1989

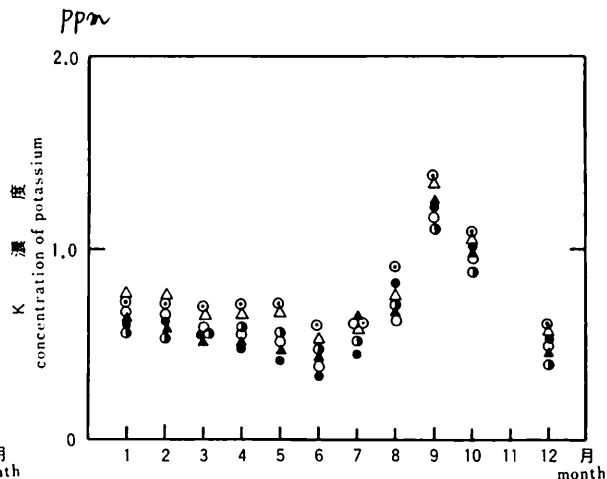


図 - 39 1990年の各渓流水中のK 濃度の月変化
 (●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ●:No.9, ⊙:No.10)
 Fig-39 Change of concentration of potassium in stream water in 1990

渓流水のCa濃度の変化を測定年別に図-40~45に示す。測定期間中全般に渡って、低い濃度を示した採水地点はNo. 8であり、その濃度が4 ppm以上となったのは測定期間中、9回であった。次に低い値を示したのはNo. 6であった。また、No. 8と6の差は極めて小さかった。そして、No. 9、10の順でCa濃度が高かった。No. 5、7は他の4地点と比べて明かに高い濃度を示した。No. 5と7ではNo. 7が高い濃度を示す事が多かった。経年変化を見ると、測定開始の1985年から1987年の9月まで、何回かの濃度の上下変動が見られ、Ca濃度はほぼ2 ppmから10 ppmとかなり高い濃度範囲で推移した。1987年10月に全ての採水地点の濃度が2 ppm以下となった。この低い濃度は1988年5月まで続いた。これ以降は採水地点No. 6、8、9、10の濃度は、ほぼ1~3 ppmと以前に比べ低い濃度で大きな変動をせずに推移した。No. 5と7は4~8 ppmの範囲で推移し、他の4地点に比べて、高い濃度であるが、1987年以前と比較するとやはり低い値で推移した。測定期間での季節変動は、はっきりしなかった。

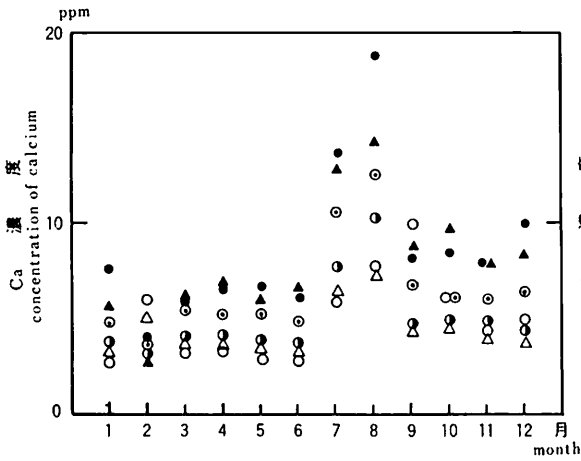


図 - 40 1985年の各溪流水中のCa濃度の月変化
 (●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig-4 0 Change of concentration of calcium in stream water in 1985

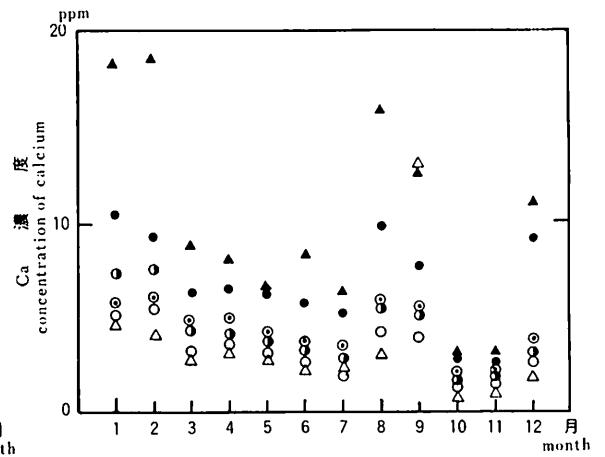


図 - 41 1986年の各溪流水中のCa濃度の月変化
 (●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig-4 1 Change of concentration of calcium in stream water in 1986

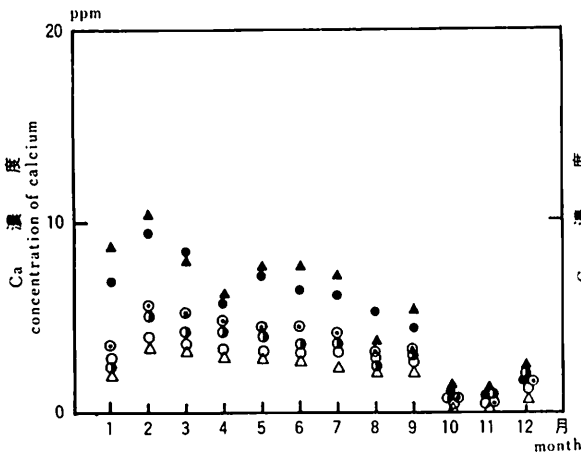


図 - 42 1987年の各溪流水中のCa濃度の月変化
 (●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig-4 2 Change of concentration of calcium in stream water in 1987

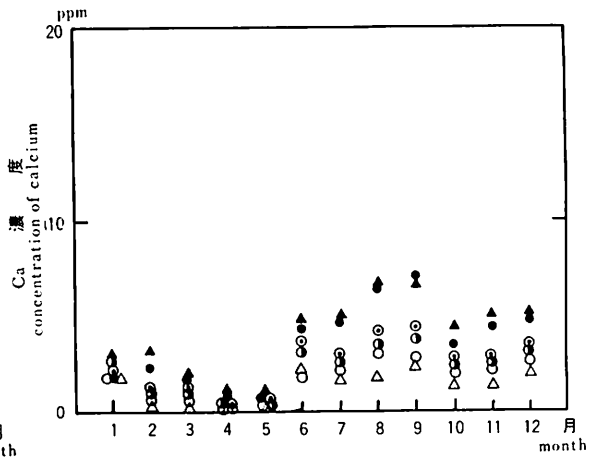


図 - 43 1988年の各溪流水中のCa濃度の月変化
 (●:1985,○:1986,▲:1987,△:1988,●:1989,◎:1990)

Fig-4 3 Change of concentration of calcium in stream water in 1988

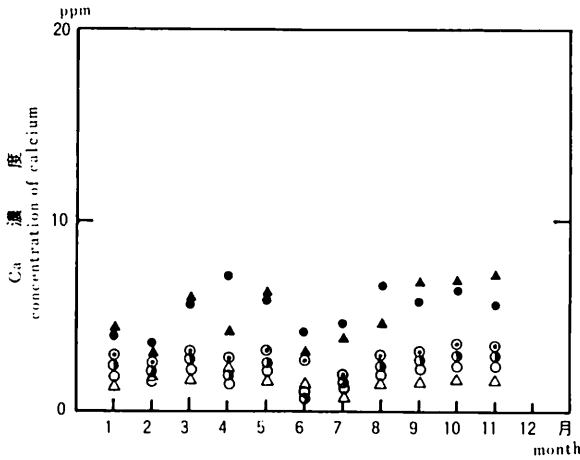


図 - 44 1989年の各渓流水中のCa濃度の月変化
(●:1985, ○:1986, ▲:1987, △:1988, ◆:1989, ◎:1990)

Fig-44 Change of concentration of calcium in stream water in 1989

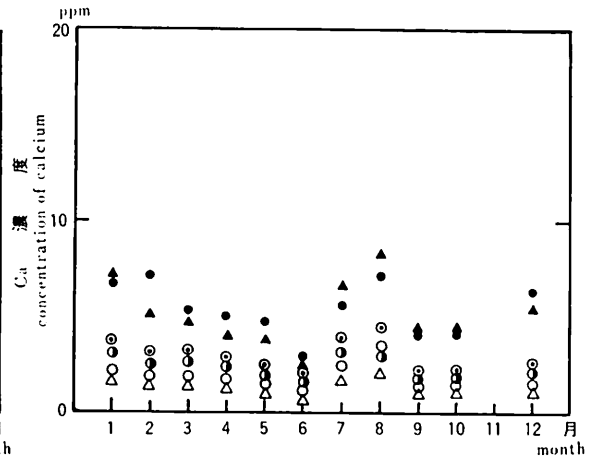


図 - 45 1990年の各渓流水中のCa濃度の月変化
(●:1985, ○:1986, ▲:1987, △:1988, ◆:1989, ◎:1990)

Fig-45 Change of concentration of calcium in stream water in 1990

Mgの測定濃度を図-46～51に示す。採水地点別に見ると測定期間中を通じてNo. 6と9が他の4地点に比べて低い値を示していた。これらに続いてNo. 8が低い値を示した。測定期間中No. 5が最も高い濃度を示す事が多かった。特に、1988年は他の測定地点に比べてMg濃度が高い事がはっきりしていた。No. 10は、低い濃度を示すNo. 6、9、8と、高い濃度を示すNo. 5、7の中間的な濃度で推移した。経年変化を見ると1985年から1986年にかけて測定濃度は1ppmから2ppmの範囲を示す事が多かった。1987年6月頃から下がり始め1988年9月まで1ppm以下を示す事が多かった。1988年10月からはまた濃度が上昇し1ppm以上で推移することが多くなった。又特別な経年変化は見られなかった。測定した値の季節変動を見ると、測定した年ごとにそれぞれ変動は見られるが、測定期間を通じて一般的と見られる季節変動ははっきりとしなかった。

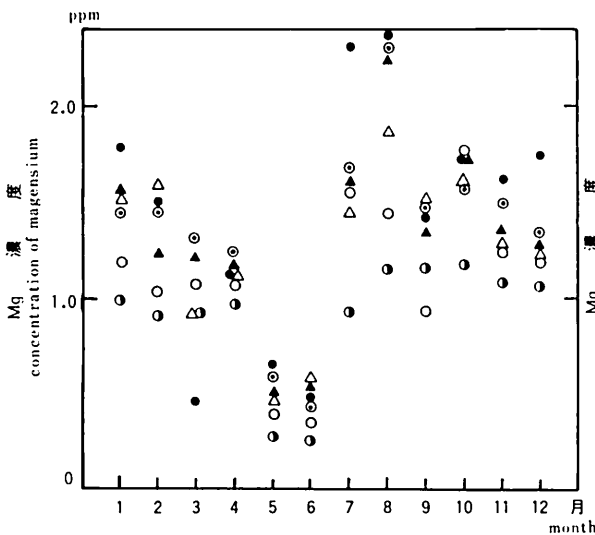


図 - 46 1985年の各渓流水中のMg濃度の月変化
(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◆:No.9, ◎:No.10)

Fig-46 Change of concentration of magnesium in water in 1985

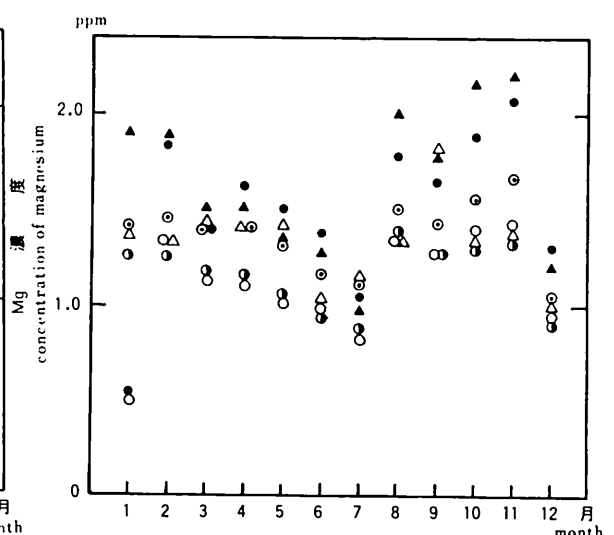


図 - 47 1986年の各渓流水中のMg濃度の月変化
(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◆:No.9, ◎:No.10)

Fig-47 Change of concentration of magnesium in stream water in 1986

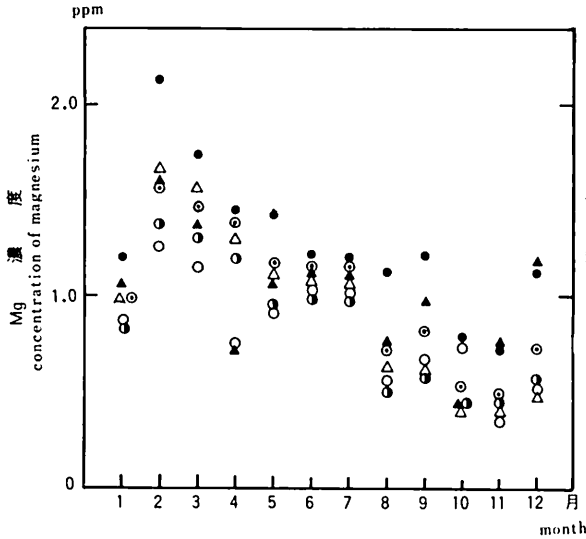


図 - 48 1987年の各溪流水中のMg濃度の月変化
 (●:No.5,○:No.6,▲:No.7,△:No.8,■:No.9,□:No.10)

Fig-48 Change of concentration of magnesium in stream water in 1987

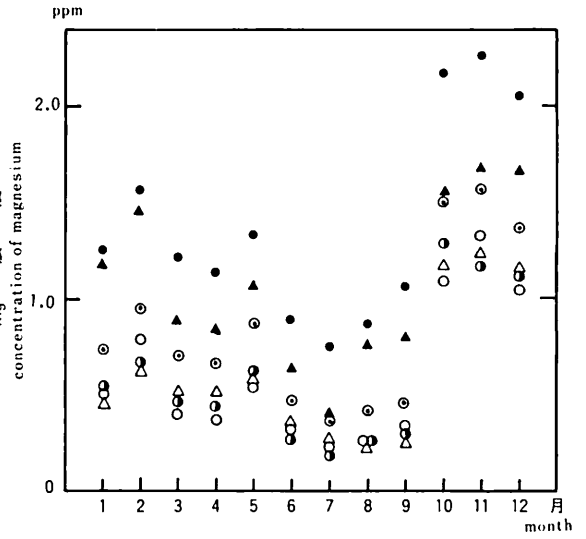


図 - 49 1988年の各溪流水中のMg濃度の月変化

(●:No.5,○:No.6,▲:No.7,△:No.8,■:No.9,□:No.10)

Fig-49 Change of concentration of magnesium in stream water in 1988

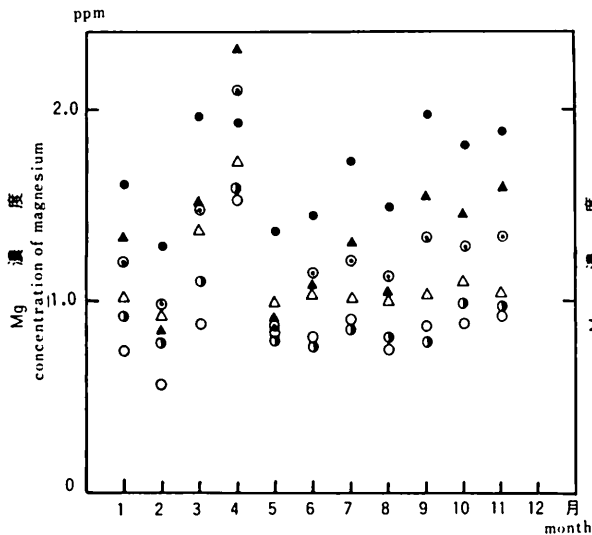


図 - 50 1989年の各溪流水中のMg濃度の月変化

(●:No.5,○:No.6,▲:No.7,△:No.8,■:No.9,□:No.10)

Fig-50 Change of concentration of magnesium in stream water in 1989

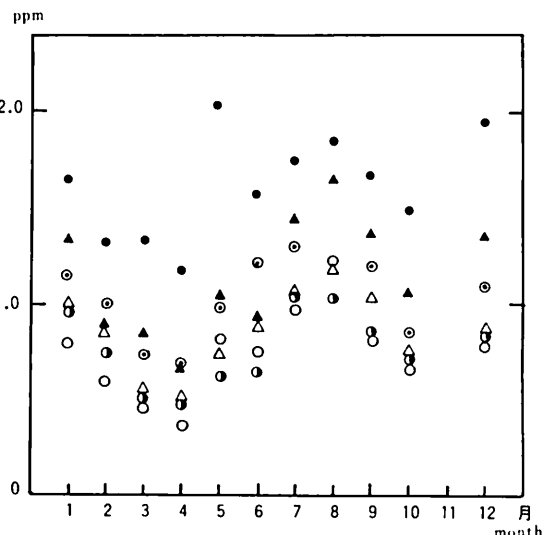


図 - 51 1990年の各溪流水中のMg濃度の月変化

(●:No.5,○:No.6,▲:No.7,△:No.8,■:No.9,□:No.10)

Fig-51 Change of concentration of magnesium in stream water in 1990

4) 考察

今回測定した降水のpHは4.00~6.84の範囲にあり、その平均は4.95であった。これまでに、山間部の森林地帯で測定された例では、IWATSUBOら(1982)が1976年から1978年にかけて測定した例ではpHは3.8~5.0を示し、NAKANEら(1983)は4.00~5.20のpH値を測定し、遠藤ら(1984)が1981年に測定した値は5.8であった。また、佐藤ら(1989)が北海道の札幌近郊の演習林で測定した例では、4.02~6.77、平均値で5.84のpHを測定した。

最近では勝ら（1990）が乗鞍岳で1降雨毎に測定した例では3.98～5.50の範囲でありその平均は4.69であり、降雨は全て酸性雨であった。降水の採水方法はそれぞれ異なるが、今回測定したpHもこれらの値とほぼ同じような結果であった。そして、その大部分がpH5.6以下のいわゆる酸性雨とされるもので、福岡県の山間部でも酸性雨が降っていることが分った。図-3を見ると、pHは冬に低く、夏に高いように思われた。これは降水量が冬に少なく夏に多い事と関係が有るのではないかと考えた。1985年から1989年の降水を貯留した期間の降水量を採水地点ごとに表-2に示す。この降水量を基にして、図-52に1987年の降水4地点の平均の降水量とそれぞれのpHを示す。この図を見ると11、12月の降水量の少なかった時はpHが低く、7、8月の降水量が多かった時はpHが高かった。しかし、降水量が少なかった1、2月のpHは、これらの月より降水量が多かった3、4月よりも高いpHを示していて、この図からは降水量とpHの関係を明確に捉えることは出来なかった。そこで、降水の貯留期間の降水量とpHの関係を直接対比した図-53を示す。これを見ると降水量との間に一定の傾向は見られず、降水量と雨水のpHは余り関係が無いようであった。また、勝ら（1990）も無降雨期間の直後や、降雨量の少ない時の雨水は必ずしもpHが低いとはいえず、降雨条件とpHとの間に特定の傾向は認められなかったとしており、これまでの測定では、降水のpHの季節変化を明確に出来なかった。

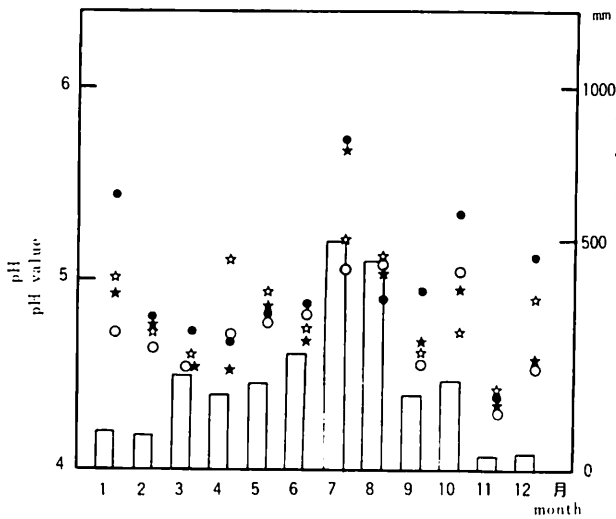


図 - 52 1987年の降水4地点のpHと降水量の月変化

Fig.52 Change of pH value in four rain sampling points and amount of precipitation(white bar)

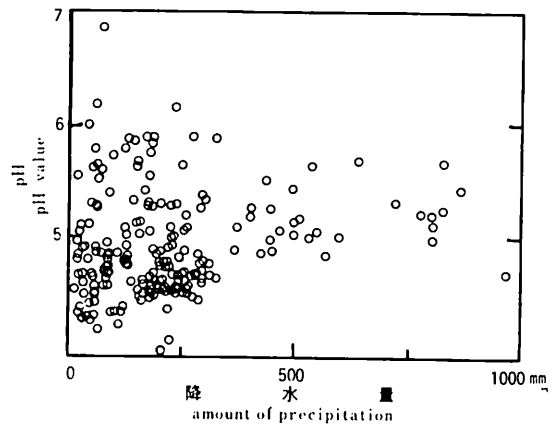


図 - 53 降水量と降水中のpHの関係

Fig.53 Relationship between pH value in rain water and amount of precipitation

表 - 2 雨水貯溜期間の降水量

Table-2 Amount of precipitation in sampling points

| 年 | 場所 | 月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|------|---------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------|-------|------|
| YEAR | POINT | MONTH | JAN. | FEB. | MAR. | APR. | MAY | JUN. | JUL. | AUG. | SEP. | OCT. | NOV. | DEC. |
| 1985 | 1,5 | 68.0 | 158.0 | 192.0 | 237.0 | 296.5 | 236.0 | 826.5 | 128.5 | 329.0 | 222.0 | 47.5 | 93.0 | |
| | 2,6 | 67.5 | 157.0 | 170.5 | 227.0 | 285.5 | 236.0 | 826.5 | 126.0 | 306.0 | 209.0 | 51.0 | 93.0 | |
| | 7 | 77.0 | 179.5 | 194.5 | 277.0 | 322.5 | 281.0 | 880.5 | 128.5 | 351.0 | 228.5 | 49.0 | 101.5 | |
| | 3,8 | 60.5 | 147.5 | 177.5 | 229.5 | 259.0 | 238.5 | 800.0 | 98.0 | 295.5 | 209.0 | 38.5 | 84.5 | |
| | 4,9 | 64.5 | 133.0 | 189.0 | 217.0 | 268.0 | 238.5 | 803.5 | 97.5 | 311.5 | 211.0 | 38.5 | 92.0 | |
| | average | 67.5 | 155.0 | 184.7 | 237.5 | 286.3 | 241.6 | 827.4 | 115.7 | 318.6 | 215.9 | 44.9 | 91.0 | |
| 1986 | 1,5 | 91.5 | 63.5 | 137.5 | 204.0 | 277.0 | 496.0 | 865.0 | 70.5 | 188.0 | 75.0 | 28.5 | 128.0 | |
| | 2,6 | 81.5 | 66.5 | 135.0 | 192.0 | 257.0 | 427.0 | 724.0 | 72.0 | 180.5 | 74.5 | 28.5 | 132.5 | |
| | 7 | 81.5 | 74.5 | 153.5 | 227.0 | 257.5 | 506.5 | 861.5 | 72.5 | 181.0 | 76.0 | 30.0 | 148.5 | |
| | 3,8 | 81.5 | 61.5 | 128.0 | 183.0 | 240.0 | 453.0 | 778.0 | 62.0 | 148.5 | 55.0 | 27.0 | 124.5 | |
| | 4,9 | 96.5 | 61.5 | 131.0 | 186.0 | 245.5 | 447.5 | 807.0 | 61.5 | 157.0 | 58.0 | 28.0 | 140.5 | |
| | average | 86.5 | 65.5 | 137.0 | 198.4 | 255.4 | 466.5 | 807.1 | 67.7 | 171.0 | 67.7 | 28.4 | 134.8 | |
| 1987 | 1,5 | 90.0 | 83.0 | 248.5 | 200.5 | 239.0 | 299.0 | 639.0 | 568.35 | 187.5 | 237.0 | 31.5 | 38.0 | |
| | 2,6 | 90.0 | 83.0 | 238.5 | 182.0 | 203.5 | 289.5 | 597.0 | 500.0 | 187.5 | 229.5 | 31.5 | 38.0 | |
| | 7 | 107.5 | 91.5 | 284.0 | 217.0 | 265.0 | 340.5 | 677.0 | 597.0 | 223.0 | 261.0 | 36.0 | 47.5 | |
| | 3,8 | 86.5 | 84.5 | 216.0 | 179.5 | 185.5 | 276.5 | 512.0 | 389.5* | 149.0* | 149.0* | 23.5 | 26.5 | |
| | 4,9 | 106.5 | 83.5 | 244.5 | 192.0 | 225.0 | 296.0 | 537.5 | 529.0 | 192.0 | 217.0 | 37.5 | 46.5 | |
| | average | 96.1 | 85.1 | 246.3 | 194.2 | 223.6 | 300.3 | 592.5 | 548.6 | 197.0 | 236.1 | 33.1 | 40.7 | |
| 1988 | 1,5 | 30.5 | 43.0 | 222.5 | 133.0 | 120.0* | 23.0* | 0.0* | 13.0* | 0.0* | 19.0 | 88.5 | 42.5 | |
| | 2,6 | 43.0 | 67.5 | 210.0 | 147.0 | 260.5 | 498.0 | 448.5 | 167.0 | 210.0 | 19.0 | 86.5 | 42.0 | |
| | 7 | 49.0 | 67.0 | 260.5 | 164.5 | 301.0 | 574.5 | 495.0 | 188.5 | 244.5 | 22.0 | 94.0 | 45.5 | |
| | 3,8 | 28.5 | 47.5 | 207.5 | 130.5 | 222.5 | 469.0 | 404.5 | 171.0 | 98.0* | 20.0 | 77.5 | 37.0 | |
| | 4,9 | 47.5 | 58.0 | 225.0 | 145.0 | 258.0 | 324.0* | 404.0 | 194.5 | 219.5 | 15.0 | 84.0 | 59.0 | |
| | average | 39.7 | 56.6 | 225.1 | 144.0 | 260.5 | 373.1 | 438.0 | 180.3 | 224.7 | 19.0 | 86.1 | 45.2 | |
| 1989 | 1,5 | 189.0 | 266.5 | 168.5 | 119.0 | 251.0 | 289.0 | 201.5 | 325.5 | 303.5 | 96.0 | 61.0 | 56.0 | |
| | 2,6 | 184.5 | 263.0 | 166.0 | 123.5 | 262.5 | 276.5 | 201.5 | 315.0 | 299.0 | 93.0 | 62.0 | 57.0 | |
| | 7 | 204.0 | 290.0 | 177.5 | 113.5 | 288.0 | 292.5 | 220.0 | 339.0 | 332.0 | 102.0 | 68.5 | 60.5 | |
| | 3,8 | 154.5 | 222.0 | 156.5 | 101.5 | 225.5 | 240.0 | 176.0 | 300.5 | 270.0 | 89.0 | 48.5 | 44.0 | |
| | 4,9 | 111.0* | 0.0* | 0.0* | 32.5* | 249.0 | 255.0 | 214.0 | 279.0 | 289.5 | 93.5 | 64.0 | 56.0 | |
| | average | 183.0 | 260.3 | 167.1 | 114.3 | 255.1 | 270.6 | 202.6 | 311.8 | 298.8 | 74.5 | 60.8 | 54.7 | |

* : データ欠測

not enough measured data

降水中のEC、窒素、リン、K、Ca、Mgについて見ると、それぞれ平均で $28.3 \mu\text{V}/\text{cm}$ 、 0.717 ppm 、 0.039 ppm 、 0.266 ppm 、 0.524 ppm 、 0.181 ppm であった。これまで測定されたものと比較すると、伊藤ら(1964)が静岡大学構内で1年間測定した例ではリン、K、Caそれぞれ $0.001 \sim 0.009 \text{ ppm}$ 、 $0.18 \sim 1.02 \text{ ppm}$ 、 $0.20 \sim 2.08 \text{ ppm}$ であった。丸山ら(1965)がほぼ2年間測定した例ではリン、K、Ca、Mgはそれぞれ $0.001 \sim 1.3 \text{ ppm}$ 、 $0.06 \sim 2.30 \text{ ppm}$ 、 $0.32 \sim 10.39 \text{ ppm}$ 、 $0.01 \sim 2.52 \text{ ppm}$ の範囲にあったとしている。岩坪ら(1967)や西村(1972)の測定した結果も、ほぼこの範囲にある。また、堤(1987)がまとめた、上記2人を含む数人のデータも、窒素が $0.41 \sim 0.89 \text{ ppm}$ の範囲にあり、他の4成分もほぼ同様な範囲にあった。この様に、今回6年間に渡って測定した値は、これまでに測定された値の範囲の中にあった。測定した値は、ほぼこれまでのデータと違いはなかったものの、これら5成分の内リンを除いてEC、窒素、K、Ca、Mgは濃度が冬に高く、夏に低いという傾向が見られた。これまでに、降水中の成分に季節変化が見られるとした例はあまりない。先に述べた、降水中の成分濃度が冬に高く、夏に低いという傾向は、一般的に降水量は冬期に少なく、夏期(梅雨)に多いという事となんらかの関係がありそうである。そこで、降水を貯水した期間の降水量とその降水中のKの濃度の関係を図-54に示す。降水量が少ない時は、K濃度は高い値から低い値まで、かなりのバラツキを示す。降水量が 250 mm 前後から、K濃度はバラツキの幅が狭くなり、低い濃度しか示さなくなる。このように、降水に対するK濃度の最大値は降水量によって規制される。即ち、降水量が多くなればその降水量に対するK濃度が示し得る最大値は低くなる。そして、その降水量に対するK濃度の最大値は双曲線で近似されるようである。この傾向はEC、リン、Ca、Mgでも強く見られた。窒素でも同じ傾向であったが、前5者に比べて降水量が増加しても窒素濃度の上限はあまり低くならない。窒素濃度の上限は緩やかで、双曲線よりも2次曲線で近似されるようであった。岩坪ら(1967)の測定でもアンモニア態窒素、リンでこの傾向が強く見られ、硝酸態窒素では緩やかな関係しか見られない。そして、K、Ca、Mgはこの中間の傾向を示したとしている。これらのことから、降水中の成分濃度は最大値をとって見ると降水量の影響をうけていると思われる。

測定期間中の渓流水のpHは $8.24 \sim 5.75$ の範囲にあった。KUSAKAら(1983)が火災にあった林分と、そうでない林分で1年間測定した例では、平均でそれぞれ 6.86 、 5.74 であった。佐藤ら(1990)が北海道の三紀シルトを流れる2流域で測定したpHは 6.41 、 6.82 で蛇紋岩地帯の流域で測定したpHは 8.07 、 7.98 であった。今回測定した結果も、これらの例と余り大きな隔たりは無かった。渓流水のpHは1988年を境に低下しているのが認められた。これは酸性の雨が降ったことによるとは考えにくい。これまで山地の渓流水のpHを長期間に渡って定期的に測定した例はあまり無い。近年、酸性雨の影響が取りざたされているが、今回の測定の様子に酸性雨の影響で、渓流水のpHが1、2年の間に 0.5 も低下するという様なことは考えにくく、渓流水のpHの低下の原因は他にありと考へた方がよいと思う。一番考えやすいのは林地になんらかの手を加えた場合である。そこで表-3に水土保持事業でおこなわれた工事量と実施年度を示す。この表を見ると事業は1987年で終了しており、pHが1988年から低下していったことと関係がありそうである。この事から考へて、林道や

治山ダムを設置する為には林地の攪乱や盛り土、捨て土等の工事を行えばそこを通ってくる渓流水のpHは上昇する。そして、工事を止めて林地が安定してくるとpHは工事（事業）を始める前の値に戻る。この事が結果として、渓流水のpHの低下として現れたと思われる。しかし、測定は事業開始と同時に始めており、事業前のバックグラウンド・データがないので1989、1990年に測定した渓流水のpHが工事以前のpH値に戻ったとは簡単に結論づけられないので、今後も測定を続けていく必要がある。

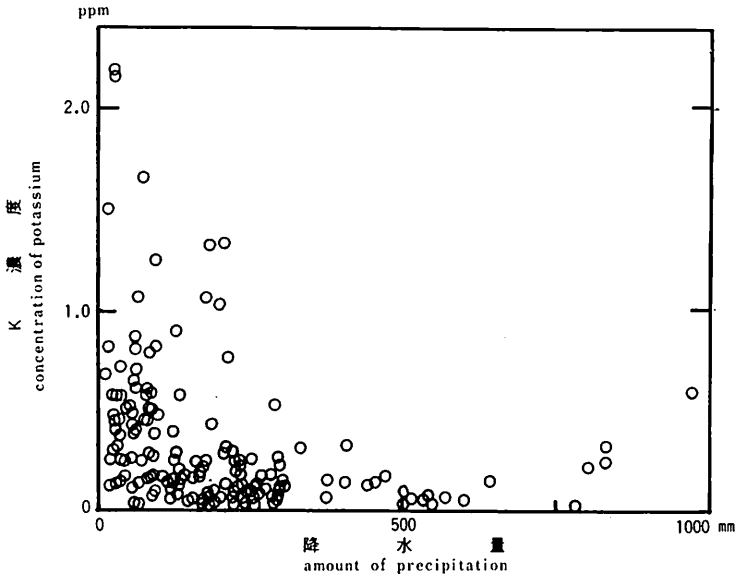


図-54 降水量と降水中のK濃度の関係

Fig-54 Relationship between concentration of potassium in rain water and amount of precipitation

表-3 年度別事業実施状況

Table-3 Amount of some forest roads and check dam construction from 1983 to 1987

| 年度 year | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 林道 (m) forest road | 281.0 | 1128.0 | 1092.0 | 1450.0 | 861.0 |
| 作業車道 (m) spur road | 1816.0 | 2234.7 | 2543.2 | 2294.1 | 2368.8 |
| 林内作業道 (m) footpath | 672.0 | 2256.2 | 1474.0 | 1264.2 | 1105.6 |
| 治山ダム check dam | 6 | 8 | 11 | 5 | 0 |

渓流水中のEC、窒素、リン、K、Ca、Mgの濃度は、6年間の平均でそれぞれ76.0 μ V/cm、0.654 ppm、0.035 ppm、0.683 ppm、3.959 ppm、1.153 ppmであった。これまでに測定された渓流水の無機塩類濃度は、KUSAKAら(1983)が1979年から1年間測定した例があり、K、Ca、Mgそれぞれ0.5~0.13 ppm、1.3~3.9 ppm、0.5~0.8 ppmの濃度であった。西村(1973)が1968年から1年間測定した成分の平均値は窒素は0.22 ppm、リン0.04 ppm、Kは0.

64 ppm、Caは1.8 ppm、Mgは0.75 ppmであった。これらの他に、岩坪ら（1967）、小林ら（1987）や佐藤ら（1990）の例があり、測定結果もほぼこの範囲にあった。今回の測定も、これまでに測定された例とほぼ似たような範囲内であった。そして、いずれの成分にも季節変化は見られなかった。続いて、これら5成分の1985年から1990年の6年間の経年変化を見ると、Mgを除いた窒素、リン、K、Caの4成分は1987年までは濃度の変動が各月で大きい。そして、1988年になるとこの変動は小さくなり安定した濃度に落ち着くようであった。特にCaは濃度の変動が小さくなるだけでなく1988年以降その濃度自体も低下した。EC、Mgでは年度による変動ははっきりしなかった。これらの流出成分の濃度に影響を与えるものの一つに降水中の成分が考えられるが、降水中のこれらの成分濃度の変動はあまり見られなかった。そこで考えられるのは、渓流水のpHのところでも述べたように水上保全事業でおこなわれた工事との関係である。事業を始める前のデータは無いが、林内でなんらかの施業や工事を行えば、林地が攪乱され渓流水中に含まれるこれらの成分濃度は変動するものと考えられた。

測定した7項目の相互関係について検討する。pHとCaにおいて（図-55）、Ca濃度が低い時はpHは大きくバラツキを見せるが、Ca濃度が高くなるにつれてバラツキは段々小さくなり、しかもpHは高い値しか出現しなくなる。この事は、なんらかの形でCaがpHに影響を与えるものと思われる。続いてCaとMgの関係を見ると（図-56）、両者には正の相関が見られた。この他の項目では特別な関係は見られなかった。水溶液のECは水中に溶けているイオンの量と各イオンの電気を運ぶ早さによって支配される（半谷高久ら、1985）。このことからECはK、Ca、Mgとなんらかの相関がある筈である。今回行った測定ではECとK、Ca、Mgとの単相関係数はそれぞれ、0.36、0.45、0.57で余り高くなかった。広瀬ら（1989）が全国各地から集めた河川水では、ECとCa、Mgとの間に正の相関が見られ、それぞれの相関係数は0.84、0.86であったが、Kの相関係数は0.26と低かった。KはECとの相関は低いと見られる。Ca、Mgで相関が低かった理由についてはよく分らなかった。

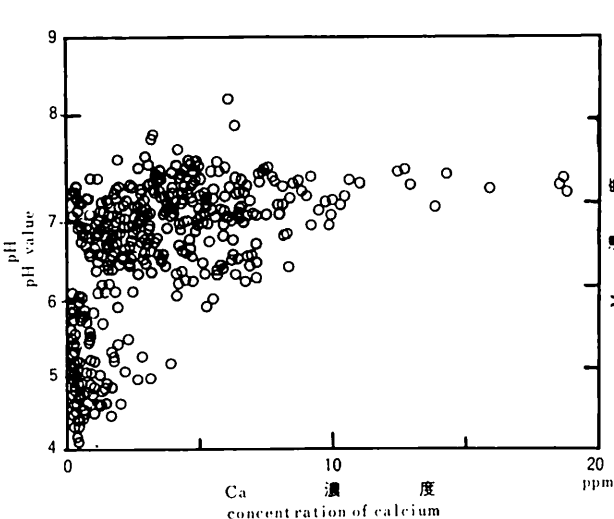


図-55 Ca濃度とpHの関係
Fig-55 Relationship between concentration of calcium and pH value

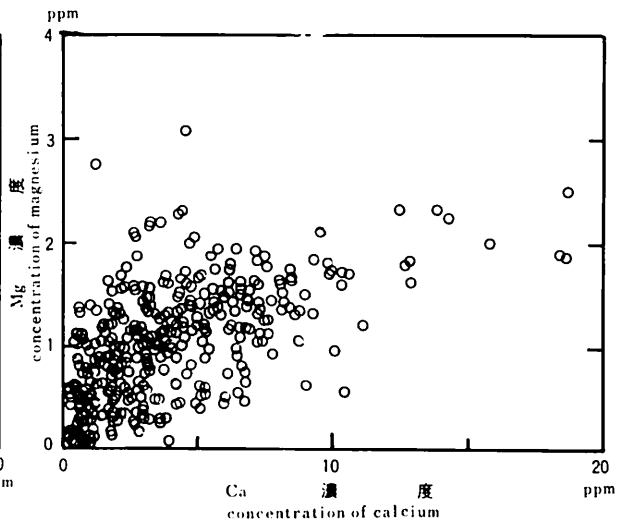


図-56 Ca濃度とMg濃度の関係
Fig-56 Relationship between concentration of calcium and concentration of magnesium

各成分の流域間の違いを見ると窒素、リン、KはNo. 5、6、7の流域で低くNo. 8、10の流域で高い濃度を示した。そして、EC、Ca、Mgはこれら3成分とは逆にNo. 6、8、9で低く、No. 10は中間的でNo. 5、7が高い傾向を示した。この傾向は測定期間中を通じて見られ、流域間の違いが明確であった。窒素、リンは地上部の影響をうけると思われるが、Ca、Mgは岩石起源の元素で流出水中の濃度は地質の影響が大きいと考えられている（小林1961）。この流域の表層地質は全て結晶片岩であり、流域によって地質母材に違いはない。そこで、成分濃度が年度で違いが見られることと併せて考えると、地上部や林地の土壌の状態の違いが流域間差となって現れたと考えた方がよいと思われた。この成分濃度の流域間差を考える場合、流量の影響も併せて考えた方がよい。この流域間の成分濃度の違いについては、次の項で溪流水の流量と併せて検討する。

2. 溪流水の流出量と成分濃度

1) はじめに

溪流水を採取した6地点の内、5地点(No. 5、6、7、8、9)では付近に量水ダムがあり水の流出量と降水量を測定している。そこで前章で見られた溪流水中の成分濃度の季節変化や流域間の違いが流量と関係があるのではないかと考え、採水時の流量との関係を調べた。また、降水時は定常状態とは違う対応をするのではないかと考え、No. 6、7、8、9の4地点で降水時に採取し測定を行ない、併せて検討した。なお、本項の一部は第44回日本林学会九州支部大会(佐々木ら、1990A)と第101回日本林学会大会(佐々木ら、1990B)で発表した。

2) 方法

量水ダムは水位計を設置しており、流量は採水時の水位から計算して求めた。そして、流域間の比較が出来るように、流量を流域面積で除した値、即ち比流量($l/秒 \cdot ha$)として表した。採水時間が不明な場合の流量は、これまでの経験でほぼ1時から13時にかけて採水しているので、その日の12時の流量を使うことにした。ここでは流量が安定していると思われる時の違いを検討するため、採水前日から降水が無い時(以下安定時)のデータのみを用いた。

降水時の流量は、採水する時に水位計のチャートに印を付けておき、後で流量に換算した。採水した日は、1989年6月13日、6月16日、7月28日、9月19日である。採水は1日につきほぼ1時間ごとに5~7回行った。降水時の溪流水の分析はpH、ECを除いた窒素、リン、K、Ca、Mgの5項目について行った。採水した日の日降水量は、6月13日8mm、同16日57mm、7月28日21mm、9月19日75mmであった。

3) 結果

各成分の濃度と対比した安定時の比流量はNo. 5、6、7、8、9で、それぞれ0.150~0.51 $l/秒 \cdot ha$ 、0.009~0.518 $l/秒 \cdot ha$ 、0.098~0.591 $l/秒 \cdot ha$ 、0.090~0.622 $l/秒 \cdot ha$ 、0.121~0.491 $l/秒 \cdot ha$ であった。

比流量とpHの関係を図-56に示す。pHは比流量が増大してもpH7前後でばらつくだけで、両者の間になら関係は認められなかった。又流域別に見るとバラツキはあるがNo. 5で低く、No. 8、9で高いようであった。

比流量とECの関係を図-57に示す。ECはNo. 5、7では比流量が増大すると、低下する傾向が見られた。他の流域はバラツキが大ききはっきりしなかった。流域別では同じ比流量でもNo. 5、7が高い値を示し、No. 6が低い値を示した。No. 8、9はこれらのものであった。

比流量と窒素濃度の関係を図-59に示す。全体的に見ると、比流量が増加すれば窒素濃度は減少する傾向にあるように見えるが、バラツキが余りはっきりしなかった。流域ではNo. 8が他の流域に比べて同じ比流量でも窒素濃度は高い値を示すようであった。

比流量とリン濃度の関係を図-60に示す。リンは比流量が増えても濃度が増加、あるいは減少といった傾向は示さず、比流量に対して無関係であった。又流域間ではNo. 5が低く、No. 8が高いようであった。No. 6、7、9はこれらのものであった。

比流量とK濃度の関係を図-61に示す。K濃度は比流量との関係ははっきりしなかった。又流域間の違いを見るとNo. 5でK濃度は低く、No. 8で高い傾向があった。No. 6、7、9はこれらの中間であった。

比流量とCa濃度の関係を図-62に示す。比流量の増加に対してCa濃度は全般的に低下していく傾向が見られた。特に、No. 5、7でこの傾向が強かった。No. 8ではこの傾向はあまり見られなかった。流域別に見てもNo. 5、7は同じ比流量でも、他の流域に比べて高い濃度を示した。No. 6、8は低く、No. 9は中間的な濃度を示した。

比流量とMg濃度の関係を図-63に示す。MgはNo. 5と7では、比流量の増加に対して濃度が低下していく傾向が見られた。しかし、他の流域ではそのような傾向は見られなかった。流域別に見ると、バラツキが多く流域間での差ははっきりしなかった。

降水時に採水した時の比流量と4地点の窒素濃度の関係を図-64に示す。No. 8、9は降雨が激しくなり比流量が増大すると、急激に渓流水中の窒素濃度が高くなる傾向を示した。No. 7でも比流量が増大すると窒素濃度は高くなったが、No. 8、9に比べて緩やかであった。No. 6は比流量が増えても渓流水中の窒素濃度は変化せず、ほぼ一定であった。流域間の違いを見ると、同じ比流量でNo. 8が最も濃度が高く、続いてNo. 9が高かった。No. 6と7は比流量が小さい時は差が見られなかったが、比流量が増大するとNo. 7がNo. 6よりも窒素濃度は高くなった。

降水時における比流量とリン濃度の関係を図-65に示す。4流域とも比流量が $3 \text{ l} / \text{秒} \cdot \text{ha}$ 以下では比流量の増加に対して、一定かあるいは幾分低下する傾向を示した。比流量が $3 \text{ l} / \text{秒} \cdot \text{ha}$ 以上になるとNo. 8、9では急激にリン濃度が高くなる。No. 6と7ではわずかに高くなる程度であった。流域別に見ると比流量が $3 \text{ l} / \text{秒} \cdot \text{ha}$ 以上、以下に係わらずNo. 8が最も高く、続いてNo. 9が高かった。No. 6、7は互に差がなく、他の2地点より低い濃度であった。

降水時の比流量とK濃度の関係を図-66に示す。比流量が $1 \text{ l} / \text{秒} \cdot \text{ha}$ 以下では4流域ともK濃度は高いが、 $1 \text{ l} / \text{秒} \cdot \text{ha}$ 以上になるといったんK濃度は低下した後高くなる傾向が見られた。

流域別ではNo. 8が最も高く、続いてNo. 9が高かった。No. 6、7は共に低く差がなかった。

降水時の比流量とCa濃度の関係を図-67に示す。全体的に見て比流量の増大に対してCa濃度は低下していった。特にNo. 7で顕著であった。他の3流域は緩やかに低下していった。流域別では、同じ比流量の時にNo. 7が最も高く、No. 8が最も低かった。No. 6、9はNo. 7、の中間であった。

降水時の比流量と4地点のMg濃度の関係を図-68に示す。比流量が $1 \text{ l} / \text{秒} \cdot \text{ha}$ 以下では各流域とも 1 ppm 以上の濃度を示しバラツキが見られた。比流量が $1 \text{ l} / \text{秒} \cdot \text{ha}$ 以上になると比流量が増加しても $0.9 \sim 1 \text{ ppm}$ の範囲に収まり、Mg濃度は一定の値をとった。流域間であまり違いは見られなかった。

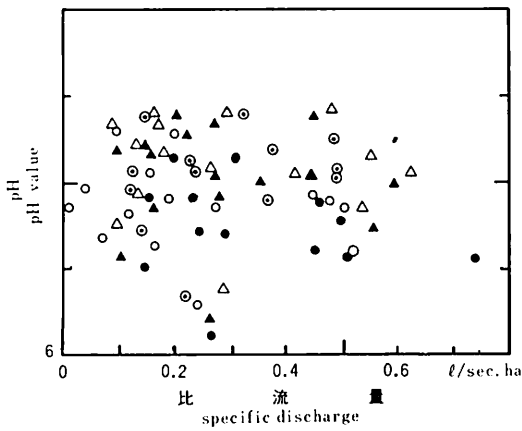


図 - 57 安定時の比流量とpHの関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.57 Relationship between specific discharge and pH value in steady flow state

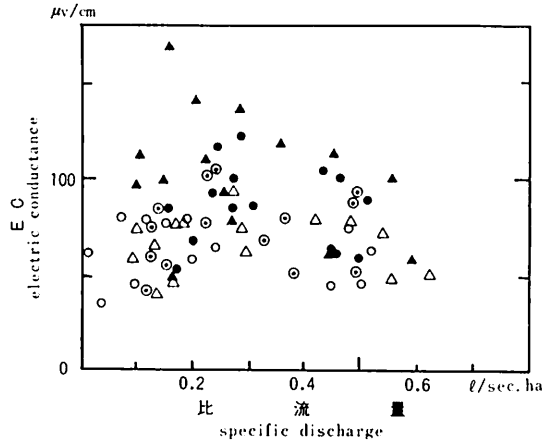


図 - 58 安定時の比流量とECの関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.58 Relationship between specific discharge and electric conductance in steady flow state

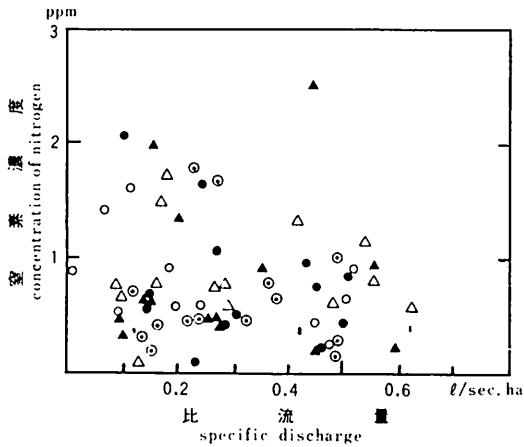


図 - 59 安定時の比流量と窒素濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.59 Relationship between specific discharge and concentration of nitrogen in steady flow state

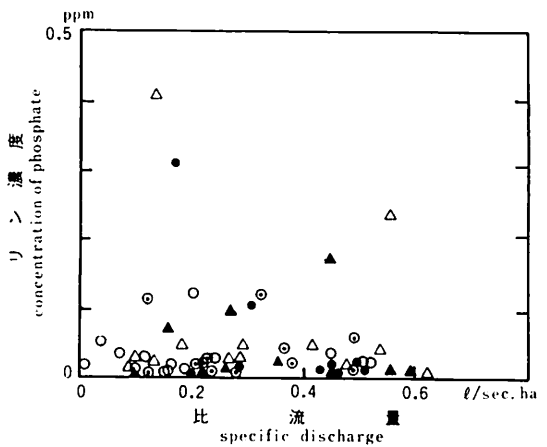


図 - 60 安定時の比流量とリン濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.60 Relationship between specific discharge and concentration of phosphate in steady flow state

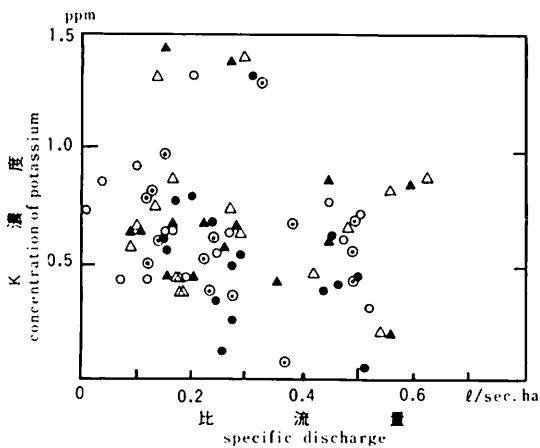


図 - 61 安定時の比流量とK濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.61 Relationship between specific discharge and concentration of potassium in steady flow state

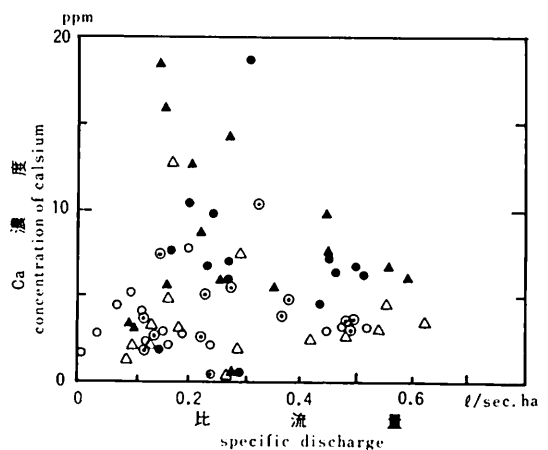


図 - 62 安定時の比流量とCa濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.62 Relationship between specific discharge and concentration of calcium in steady flow state

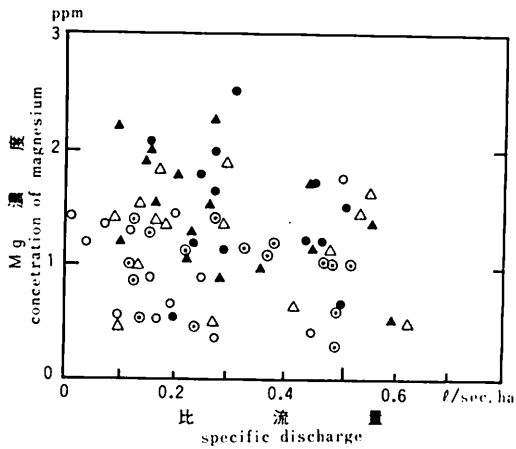


図 - 63 安定時の比流量とMg濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.63 Relationship between specific discharge and concentration of magnesium in steady flowstate

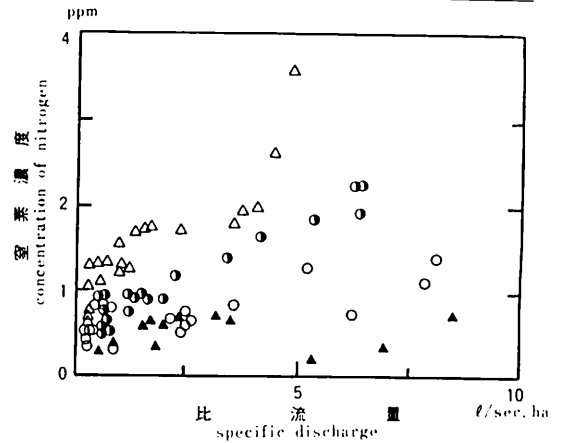


図 - 64 降水時の比流量と窒素濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.64 Relationship between specific discharge and concentration of nitrogen in rainy day

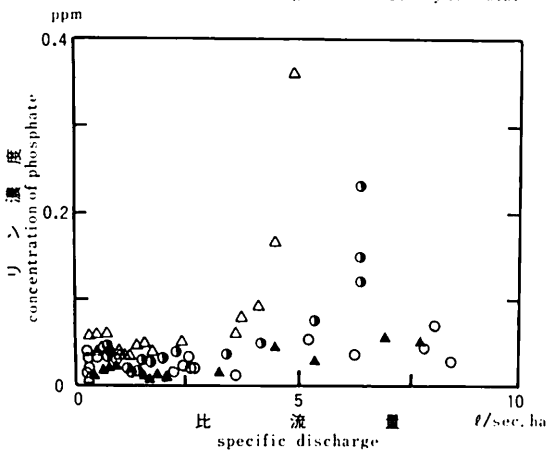


図 - 65 降水時の比流量とリン濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.65 Relationship between specific discharge and concentration of phosphate in rainy day

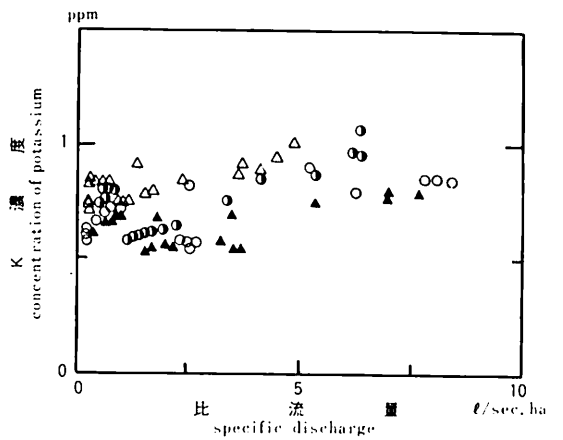


図 - 66 降水時の比流量とK濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.66 Relationship between specific discharge and concentration of potassium in rainy day

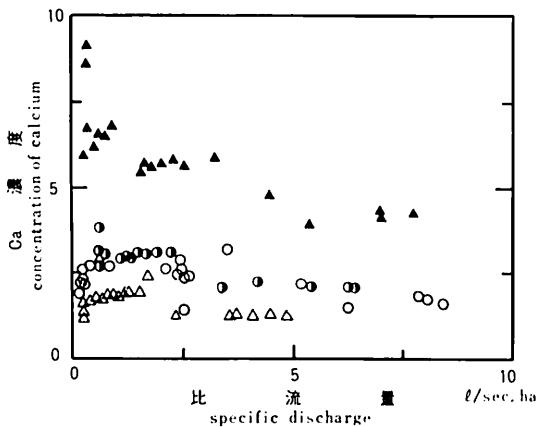


図 - 67 降水時の比流量とCa濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.67 Relationship between specific discharge and concentration of calcium in rainy day

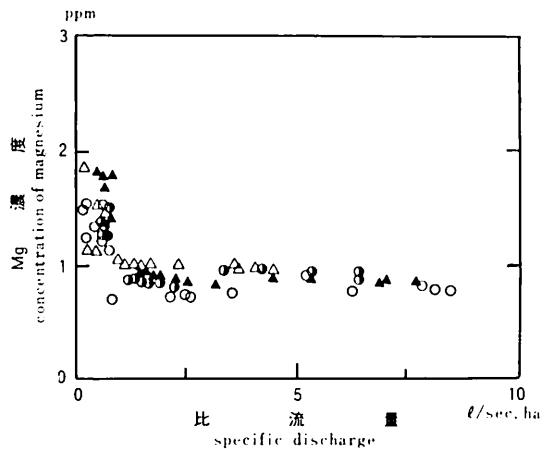


図 - 68 降水時の比流量とMg濃度の関係

(●:No.5, ○:No.6, ▲:No.7, △:No.8, ◐:No.9, ◎:No.10)

Fig.68 Relationship between specific discharge and concentration of magnesium in rainy day

4) 考察

流量と濃度の関係を見ると、安定状態にある時にはバラツキがあるもののEC、窒素、Ca、Mgでは、比流量が増大すると濃度が低下する傾向が見られた。pH、リン、Kでは比流量との関係は見られなかった。降水時では、窒素、リン、Kでは比流量の増加と共に濃度も増大する傾向が見られた。Caでは比流量の増加と共に濃度は低下する傾向を見せた。Mgは比流量が低い時はバラツキを見せたが、比流量が高くなると一定の濃度を示した。これまでに流量と成分濃度を検討した例を見ると、岩坪ら(1968)の場合は1日30mmを超えるような降水の場合には渓流水中の成分濃度はピークを示すが、年間を通じて見ると日流量とは無関係に一定幅の濃度の範囲内に表れるとしている。加藤ら(1974)は増水直後にMg濃度が上昇するとしている。相場ら(1981)が幼齢林と壮齢林で測定した例では、降水量の少ない11~4月は流出量と養分濃度との関係は明らかでないが、降水量の多い5~10月は硝酸態窒素は流出量と高い正の相関が見られた。他の成分については幼例林では正の相関が、壮例林では負の相関がみられたが、その関係はKを除いてはあまり明確でなかったとしている。

蒲谷ら(1982)は無降水期間が長かった後の降水時では、降水初期には渓流水の成分濃度は増大するが、その後流量の増大と共に成分濃度は低下していったと報告している。また、NAKANANEら(1983)は無機成分のK、Ca、Mgは比流量が増大すると濃度が増加する傾向があったとしている。今回の測定ではCaは、安定時、降水時共に比流量が増大すると、濃度が低下する傾向を見せ、NAKANANEら(1983)の例と反対の結果であった。その他の成分では、安定時と降水時で比流量に対する成分濃度の対応が異なる場合が多かった。この様に、流量と成分濃度の関係は、これまでに測定された例と矛盾したり、一定の傾向を見せなかったりしてはっきりとした関係を見出すには至らなかった。これはいずれの測定も10日から1ヶ月に1回と、流量の変化に対して点のデータであったり、連続して測定した場合も数時間であったりと流量の連続的变化に対して十分に対応していないからと思われる。この問題を解決しなければ森林からの養分の流出量も決定できない。流量と養分濃度の関係は養分循環を考える上でも重要であるので、今後は、採水時の降水前歴の検討や、降水時のデータの積み重ね、降水時だけでなく降水後も時間を追って測定を続けるなど、渓流水の様々な状態のデータを集め流量との関係を明らかにするつもりである。

流域間の違いは、比流量を同じにして見た結果と(図-56~67)と前項の毎月の測定結果(図-22~51)とほぼ同じ傾向を示した。窒素濃度はいずれもNo. 8、9で高く、No. 5、6、7で低かった。リンもNo. 8で高くNo. 5で低い傾向を示した。渓流水中の窒素、リンの濃度は流域の林分状況の影響を受けていると考えられる。そこで、現地での林分調査、航空写真、森林基本図、森林簿および農林事務所の事業の実績図等から求めた林分状況を表-4に示す。No. 8で窒素、リンの濃度が高いのはha当たりの材積や25年生以上の林分の割合が高いためと考えられる。しかし、No. 9は窒素濃度は高いが、ha当たりの材積は少なく、25年生以上の林分面積の割合も4%と少ない。渓流水中の窒素やリンの濃度はこの様に材積や林齢を中心とした林分状況からだけでは説明が出来ない。渓流水中の窒素、リンの濃度は材積等の林木だけでなく、下層植生やA0層等地表の状態の影響も受けているのではないかと考えられる。

KはNo. 5で低く、No. 8で高い傾向が見られた。CaはNo. 6、8、9で低くNo.

5、7で高い濃度を示した。Mgは毎月の測定では流域間で違いが見られたが、比流量でならしめると流域間で違いは見られなかった。Ca、Mgは岩石起源の元素で、地質の影響が大きいと考えられている（小林 1961）。また広瀬ら（1988）によるとK濃度も地質に影響されるかもしれないとしている。測定した流域は、全て結晶片岩からなっており、地質母材は同じである。Mgは比流量が同じであれば、流域間で差が見られなかったのは地質母材が同じためと考えられる。KUSAKAら（1983）が森林が火災にあった流域とそうでない流域で測定した例では、Mgは比流量が同じであれば、流域間で違いが見られないが、KとCaでは火災にあった流域とそうでない流域で違いが見られた。このことと、今回行った測定結果から溪流水中のMg濃度は地表部の影響よりも、地質母材の影響が強いと思われる。また、KとCaはなんらかの形で植生以外の地表部の影響を受けると思われる。

それは工事による地表の攪乱、工作物の構築等が考えられる。林分状況（表-4）からNo. 7でCa濃度が高いのは治山ダムが5基と他の流域と比べて多いからと考えられる。しかし、No. 5はNo. 6、9と同じ数の治山ダムしかなく、これらの影響かどうか不明である。また、Kについてはこれらの地表の状況との関係を見出せなかった。

また、林分状況と各成分濃度の関係をはっきり出来ないのは、対象とした流域の面積が10～20haと広く、林分の状況が入混じり流域を特徴付ける事が出来ないのではないかと思われる。

表-4 流域の状況

Table-4 Characteristics of studied area

| 採水地点 sampling point | 流域面積(ha) area of discharge basin | 材積(m ³ /ha) stand volume | 複層林面積(ha) area of multiple layered forest | 林道(m) length of forest road | 治山ダム number of soil saving dam |
|------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 5 | 30.7 | 46 | 8.87 | 1721 | 1 |
| 6 | 10.3 | 344 | 9.52 | 1421 | 1 |
| 7 | 15.3 | 181 | 7.23 | 1591 | 5 |
| 8 | 23.3 | 257 | 11.92 | 1595 | 1 |
| 9 | 21.8 | 127 | 0 | 1650 | 4 |

3. 微小流域での渓流水の濃度と流域特性

1) はじめに

前項で流域間で流出する成分で濃度に違いが見られたが、その原因についてはあまりよくわからなかった。これは前項の考察のところでも述べたように流域面積が10～20haと大きかったからではないかと考えた。そこで前項で使った流域を細分したり、新たな小流域を設けたりして、流域の特性と流出成分濃度について関係を見る事を試みた。なお、本項の一部は第45回日本林学会九州支部大会で発表した。

2) 方法

図-69に示すように細分した流域、及びそれらが合流する地点45地点を設け採水した。各流域の流域特性を表-5に示す。採水は晴天が数日続き、流出量がある程度安定していると思われる1990年9月21、27日にそれぞれ1回づつ計2回おこなった。分析方法は1で述べた方法と同じである。

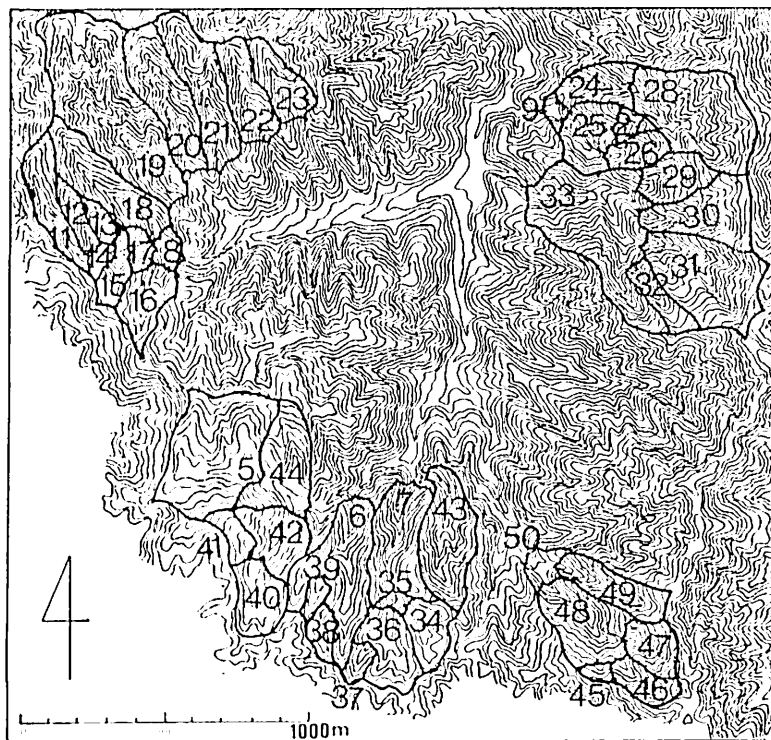


図 - 69 細分した流域
Fig.6-9 Outline of watersheds

表 - 5 小流域の流域特性

Table-5 Characteristics of studied watershed

| 採水地点 sampling point | 面積 area of watershed ha | 流域周囲長 circumferential length of watershed m | 主流長 length of main stream m | 標高差 relative height m | 材積 volume of forest stand m ³ /ha |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| 5 | 11.70 | 1,490 | 515 | 85 | 46 |
| 6 | 10.50 | 1,490 | 605 | 130 | 344 |
| 7 | 15.31 | 1,995 | 805 | 155 | 181 |
| 8 | 21.79 | 2,210 | 885 | 185 | 257 |
| 9 | 23.26 | 2,190 | 950 | 280 | 126 |
| 11 | 3.91 | 1,040 | 495 | 110 | 219 |
| 12 | 1.51 | 600 | 260 | 105 | 267 |
| 13 | 1.29 | 510 | 240 | 90 | 415 |
| 14 | 6.23 | 1,250 | 565 | 135 | 313 |
| 15 | 9.45 | 1,950 | 655 | 150 | 265 |
| 16 | 3.80 | 900 | 370 | 110 | 442 |
| 17 | 11.00 | 1,760 | 800 | 170 | 255 |
| 18 | 6.31 | 1,230 | 615 | 175 | 157 |
| 19 | 16.36 | 1,950 | 850 | 230 | 257 |
| 20 | 7.04 | 1,300 | 555 | 215 | 195 |
| 21 | 5.89 | 1,260 | 510 | 185 | 38 |
| 22 | 3.67 | 815 | 345 | 145 | 285 |
| 23 | 2.09 | 595 | 245 | 110 | 104 |
| 24 | 13.98 | 1,900 | 950 | 145 | 134 |
| 25 | 7.35 | 1,110 | 490 | 130 | 124 |
| 26 | 1.57 | 500 | 180 | 105 | 127 |
| 27 | 0.66 | 350 | 75 | 70 | 96 |
| 28 | 10.53 | 1,410 | 550 | 180 | 136 |
| 29 | 3.60 | 850 | 345 | 165 | 430 |
| 30 | 5.61 | 1,140 | 395 | 195 | 390 |
| 31 | 9.14 | 1,400 | 495 | 230 | 344 |
| 32 | 2.67 | 900 | 285 | 160 | 271 |
| 33 | 31.76 | 2,650 | 895 | 315 | 365 |
| 34 | 2.96 | 750 | 255 | 45 | 292 |
| 35 | 9.00 | 1,285 | 350 | 70 | 273 |
| 36 | 5.39 | 955 | 300 | 60 | 264 |
| 37 | 1.07 | 450 | 165 | 50 | 268 |
| 38 | 1.36 | 500 | 190 | 45 | 290 |
| 39 | 0.64 | 335 | 95 | 40 | 290 |
| 40 | 3.51 | 750 | 250 | 50 | 214 |
| 41 | 1.81 | 605 | 210 | 65 | 283 |
| 42 | 9.20 | 1,365 | 500 | 90 | 256 |
| 43 | 7.21 | 1,250 | 550 | 145 | 244 |
| 44 | 29.07 | 2,515 | 880 | 135 | 99 |
| 45 | 0.72 | 350 | 95 | 70 | 196 |
| 46 | 2.23 | 690 | 310 | 100 | 275 |
| 47 | 2.02 | 580 | 190 | 105 | 256 |
| 48 | 11.70 | 1,590 | 695 | 215 | 300 |
| 49 | 4.23 | 1,075 | 455 | 180 | 333 |
| 50 | 16.98 | 1,860 | 845 | 245 | 304 |

3) 結果及び考察

2回分の採水した地点と各成分の濃度を表-6, 7に示す。1回目の測定では窒素は0.1733~1.9140 ppm、リンは0~0.0560 ppm、Kは0.349~1.174 ppm、Caは0.525~9.831、Mgは0.376~1.638 ppmであった。2回目は窒素0.2230~1.6212 ppm、リン0~0.0515 ppm、K0.396~1.295 ppm、Ca0.367~14.370 ppm、Mg0.388~1.816 ppmであった。1回目と2回目の測定値の関係を見ると、相関係数が窒素で $r=0.8860$ 、リンで $r=0.7478$ 、Kで $r=0.9188$ 、Caで $r=0.9481$ 、Mgで $r=0.8817$ 、とかなりの直線関係が見られた。これは、2回の測定値がそれぞれの流域で、かなりの確率で同じような傾向を示していると思われた。そして、2回目の測定値が幾分高い濃度を示す傾向があった。まず、窒素、リンは地上部の植生の影響が大きいと考えられる。そこで窒素について、45地点の2回分を込みにしてha当たりの材積と窒素濃度の関係を図-70に示す。これを見るとha当たり材積と窒素濃度と関係が見られない。そして、単層林と複層林に区分して見ても、単層林ではバラツキが多く林分材積と窒素濃度の関係は明確でなかった。複層林でも林分材積の幅が200~350 m³/haと狭いせいもあるが、林分材積と窒素濃度の関係は認められなかった。複層林では窒素濃度は1 ppm以下と単層林に比べて低かった。この図では流域面積が0.64~31.76 haと幅が広い。流域面積が広ければ、様々な林分が混じり単一状態の林分としては考えにくい。そこでこの流域ではほぼ単一状態とみなせる4 ha以下の流域の窒素濃度と林分材積の関係を見た(図-71)。この様に流域面積を小さくしても単層林、複層林とも林分材積と窒素濃度で関係は見られなかった。しかし、複層林の流域から出る渓流水の窒素濃度は、単層林の流域から出る渓流水の窒素濃度に比べて低い事がはっきりした。

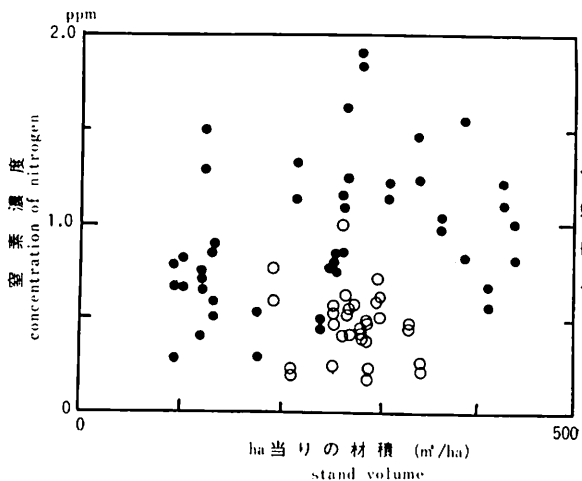


図-70 ha当たりの材積と窒素の関係

●単層林 ○複層林

Fig-70 Relationship between stand volume and concentration of nitrogen

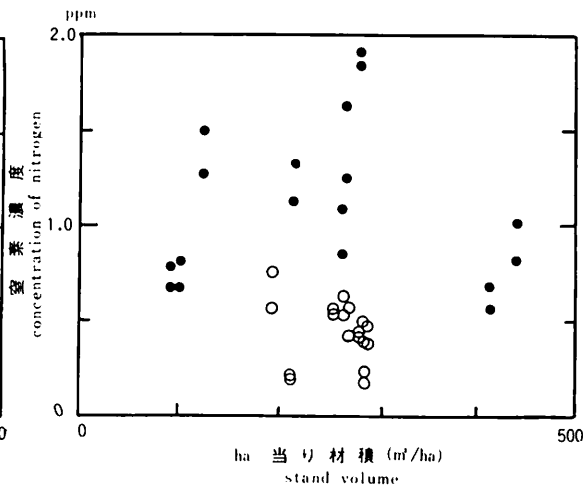


図-71 4 ha以下の流域でのha当たり材積と窒素濃度の関係

●単層林 ○複層林

Fig-71 Relationship between stand volume and concentration of nitrogen in watershed below 4 ha

表 - 6 各採水地点の成分濃度 (1 回目)

Table-6 Concentration of chemical components in each sampling point
(first time)

| 採水地点 sampling point | 窒素 nitrogen ppm | リン phosphate ppm | K potassium ppm | Ca calcium ppm | Mg magnesium ppm |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| 5 | 0.3340 | 0.0126 | 0.571 | 7.373 | 1.745 |
| 6 | 0.2194 | 0.0095 | 0.570 | 2.523 | 0.902 |
| 7 | 0.5335 | 0.0021 | 0.604 | 5.828 | 1.425 |
| 8 | 0.7223 | 0.0320 | 0.812 | 1.956 | 1.112 |
| 9 | 0.7560 | 0.0159 | 0.698 | 2.968 | 1.017 |
| 11 | 1.3348 | 0.0395 | 1.174 | 1.948 | 1.051 |
| 12 | 0.8549 | 0.0399 | 1.142 | 1.517 | 0.974 |
| 13 | 0.5655 | 0.0362 | 0.905 | 2.033 | 1.038 |
| 14 | 1.2167 | 0.0524 | 0.920 | 1.813 | 0.976 |
| 15 | 1.1631 | 0.0491 | 0.885 | 1.948 | 1.001 |
| 16 | 0.8158 | 0.0147 | 0.753 | 2.374 | 1.015 |
| 17 | 0.8643 | 0.0220 | 0.838 | 2.092 | 1.114 |
| 18 | 0.7051 | 0.0396 | 0.783 | 1.852 | 1.078 |
| 19 | 0.8522 | 0.0188 | 0.811 | 2.742 | 1.190 |
| 20 | 1.4959 | 0.0265 | 0.835 | 2.650 | 1.321 |
| 21 | 1.2616 | 0.0266 | 1.106 | 1.752 | 1.040 |
| 22 | 1.9140 | 0.0437 | 0.806 | 1.848 | 0.955 |
| 23 | 0.6652 | 0.0207 | 0.679 | 1.931 | 0.870 |
| 24 | 0.8432 | 0.0188 | 0.669 | 2.148 | 0.762 |
| 25 | 0.7047 | 0.0122 | 0.794 | 4.854 | 1.587 |
| 26 | 1.4998 | 0.0401 | 0.671 | 1.569 | 0.688 |
| 27 | 0.7857 | 0.0244 | 0.517 | 1.802 | 0.814 |
| 28 | 0.5894 | 0.0114 | 0.561 | 1.451 | 0.566 |
| 29 | 1.1099 | 0.0303 | 0.845 | 2.783 | 0.935 |
| 30 | 0.8416 | 0.0264 | 0.741 | 2.644 | 1.027 |
| 31 | 1.2460 | 0.0208 | 0.821 | 3.783 | 1.638 |
| 32 | 1.2527 | 0.0282 | 0.790 | 3.072 | 1.244 |
| 33 | 1.0321 | 0.0141 | 0.807 | 4.140 | 1.575 |
| 34 | 0.3852 | 0.0017 | 0.551 | 1.111 | 0.557 |
| 35 | 0.4196 | 0.0000 | 0.733 | 7.615 | 1.493 |
| 35 | 0.4126 | 0.0000 | 0.654 | 4.692 | 1.313 |
| 37 | 0.6285 | 0.0084 | 0.557 | 1.905 | 0.777 |
| 38 | 0.3888 | 0.0073 | 0.551 | 1.111 | 0.557 |
| 39 | 0.1733 | 0.0000 | 0.473 | 0.848 | 0.491 |
| 40 | 0.1940 | 0.0148 | 0.403 | 0.731 | 0.435 |
| 41 | 0.4365 | 0.0262 | 0.349 | 1.486 | 1.430 |
| 42 | 0.2558 | 0.0026 | 0.529 | 2.231 | 0.923 |
| 43 | 0.4490 | 0.0000 | 0.458 | 1.891 | 0.892 |
| 44 | 0.2863 | 0.0150 | 0.533 | 4.560 | 1.372 |
| 45 | 0.5745 | 0.0560 | 0.511 | 0.578 | 0.376 |
| 46 | 0.4239 | 0.0165 | 0.474 | 0.526 | 0.417 |
| 47 | 0.5331 | 0.0172 | 0.537 | 0.700 | 0.544 |
| 48 | 0.5780 | 0.0232 | 0.697 | 2.463 | 1.028 |
| 49 | 0.4685 | 0.0278 | 0.787 | 1.857 | 0.829 |
| 50 | 0.5096 | 0.0182 | 0.743 | 2.655 | 1.033 |

表-7 2回目の各成分濃度

Table-7 Concentration of chemical components in each sampling point (second time)

| 採水地点 sampling point | 窒素 (ppm) nitrogen | リン(ppm) phosphate | K (ppm) potassium | Ca (ppm) calcium | Mg (ppm) magnesium |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| 5 | 0.4614 | 0.0114 | 0.703 | 7.834 | 1.816 |
| 6 | 0.2708 | 0.0142 | 0.737 | 2.737 | 1.012 |
| 7 | 0.2960 | 0.0124 | 0.772 | 7.274 | 1.519 |
| 8 | 0.8044 | 0.0203 | 0.855 | 2.050 | 1.111 |
| 9 | 0.6479 | 0.0162 | 0.814 | 3.162 | 1.021 |
| 11 | 1.1291 | 0.0259 | 0.990 | 1.782 | 0.980 |
| 12 | 1.0885 | 0.0515 | 1.295 | 1.528 | 0.965 |
| 13 | 0.6788 | 0.0236 | 0.974 | 2.076 | 1.118 |
| 14 | 1.1457 | 0.0213 | 0.995 | 1.787 | 0.978 |
| 15 | 0.9757 | 0.0351 | 0.961 | 1.938 | 1.036 |
| 16 | 1.0154 | 0.0136 | 0.903 | 2.106 | 0.940 |
| 17 | 0.7685 | 0.0269 | 0.893 | 2.129 | 1.152 |
| 18 | 0.7942 | 0.0331 | 0.860 | 1.939 | 1.172 |
| 19 | 0.7497 | 0.0141 | 0.960 | 3.338 | 1.254 |
| 20 | 1.4563 | 0.0290 | 0.889 | 2.687 | 1.382 |
| 21 | 1.5084 | 0.0261 | 1.293 | 1.911 | 1.070 |
| 22 | 1.8446 | 0.0429 | 0.788 | 2.024 | 0.898 |
| 23 | 0.8151 | 0.0326 | 0.709 | 2.224 | 0.897 |
| 24 | 0.8890 | 0.0216 | 0.730 | 2.261 | 0.707 |
| 25 | 0.4016 | 0.0123 | 0.844 | 4.642 | 1.509 |
| 26 | 1.2794 | 0.0454 | 0.742 | 1.904 | 0.571 |
| 27 | 0.6733 | 0.0401 | 0.585 | 21.279 | 0.764 |
| 28 | 0.4917 | 0.0219 | 0.665 | 2.733 | 0.515 |
| 29 | 1.2231 | 0.0361 | 0.896 | 4.052 | 1.000 |
| 30 | 1.5524 | 0.0402 | 0.869 | 2.981 | 1.060 |
| 31 | 1.4687 | 0.0062 | 1.923 | 3.156 | 1.655 |
| 32 | 1.6212 | 0.0298 | 0.903 | 2.914 | 1.353 |
| 33 | 0.9727 | 0.0228 | 0.936 | 3.590 | 1.599 |
| 34 | 0.4759 | 0.0102 | 1.011 | 14.370 | 1.422 |
| 35 | 0.5575 | 0.0067 | 0.960 | 10.530 | 1.576 |
| 36 | 0.9945 | 0.0018 | 0.827 | 9.415 | 1.714 |
| 37 | 0.5148 | 0.0080 | 0.648 | 2.072 | 0.871 |
| 38 | 0.4981 | 0.0108 | 0.650 | 1.420 | 0.629 |
| 39 | 0.2328 | 0.0000 | 0.636 | 1.169 | 0.557 |
| 40 | 0.2230 | 0.0193 | 0.452 | 0.496 | 0.388 |
| 41 | 0.4178 | 0.0114 | 0.396 | 1.616 | 1.597 |
| 42 | 0.4558 | 0.0156 | 0.662 | 2.330 | 1.015 |
| 43 | 0.5032 | 0.0142 | 0.592 | 2.018 | 0.951 |
| 44 | 0.2879 | 1.0120 | 0.684 | 3.829 | 1.532 |
| 45 | 0.7587 | 0.0595 | 0.650 | 0.424 | 0.340 |
| 46 | 0.5673 | 0.0315 | 0.774 | 0.367 | 0.360 |
| 47 | 0.5626 | 0.0315 | 0.705 | 0.506 | 0.519 |
| 48 | 0.7181 | 0.0251 | 0.903 | 2.374 | 0.968 |
| 49 | 0.4498 | 0.0282 | 0.911 | 1.839 | 0.752 |
| 50 | 0.6122 | 0.0206 | 0.975 | 2.645 | 0.999 |

溪流水中の窒素濃度は分解対象物、即ちリター供給量と分解能によって決ると思われる。複層林は林内が明るく有機物の分解は単層林に比べて早いのではないかと思われる。しかし、今回の測定では複層林から出てくる溪流水中の窒素濃度は単層林のそれに比べて低かった。この事について、どのような原因によるものかはっきりしなかった。今後は単層林、複層林と分けてリターの供給量の違いや分解能の違いを測定する予定である。また、リンは林分材積や単層林複層林の林分構造で違いは見られなかった。

次に、無機成分であるK、Ca、Mgの濃度について、表-5に示した流域面積、流域周囲長、主流長、標高差、と前項で幾分関係があると思われた治山ダムの有・無(図-72)で、それぞれ相関を見た。Ca濃度と治山ダムの有・無で相関係数が0.674であった以外、他の項目と3種の成分濃度の相関は低かった。そこで図-73、74に採水地点の流路に従ってCa濃度を並べた。No. 26、27の流域には治山ダムがなく、治山ダムを通過した溪流水の採水点No. 25ではCa濃度はNo. 26、27のより濃度より高い。別の流域で、No. 37の上流には治山ダムはない。その下流のNo. 36は治山ダムを通過して来た溪流水であり、このCa濃度は上流のNo. 37のCa濃度よりはるかに高い値を示す。No. 38、39とNo. 40、41は流域内に治山ダムをもたない。そして、下流に行って治山ダムを通過しそれぞれNo. 6、42の採水地点になるとCa濃度は高くなる。このように、流量を測定していないので比流量を同じにして検討出来ないが、それを考慮に入れても、明らかに治山ダムが出現するとCa濃度が高くなっているのが分る。溪流水中のCa濃度は地質母材が同じであれば治山ダムの影響を大きく受けると考えられる。ここで治山ダムとしたのはコンクリート製のダムだけでなく、鋼製枠で作られた土捨場も含まれている。このことから、治山ダムのある流域からでてくる溪流水のCa濃度が高いのはダムのコンクリートが溶出したのではなく、治山ダムの中に貯まった土砂を通過して来た為と思われた。これは溪流水中のCa濃度は、広域的には地質母材の影響を受けるが(広瀬ら、1988)、同一地質内であれば地表の土壌あるいは土砂の攪乱、集積に影響を受け易いのではないかと考えられた。今回の測定ではCa濃度の流域間の違いについては明らかになったが、K、Mgについては不明であった。今後は、K、Mgの濃度について関係があると思われる要因を捜し、流域間の濃度の違いについて明らかにして行くつもりである。

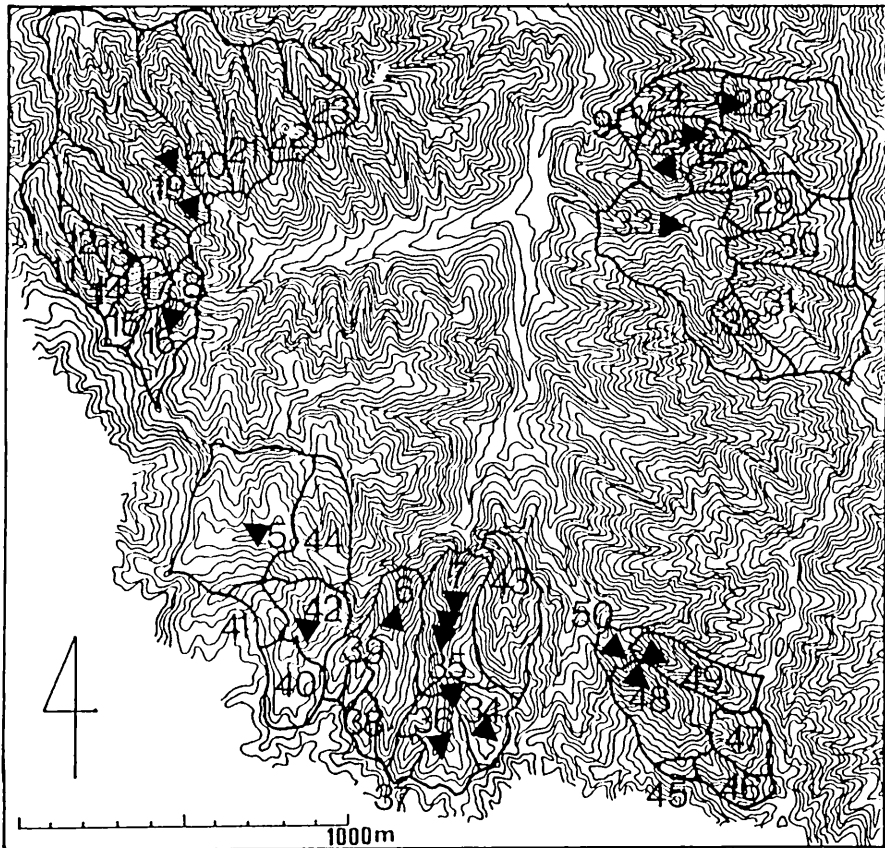


図-72 治山ダムの位置
Fig-72 Location of check dam

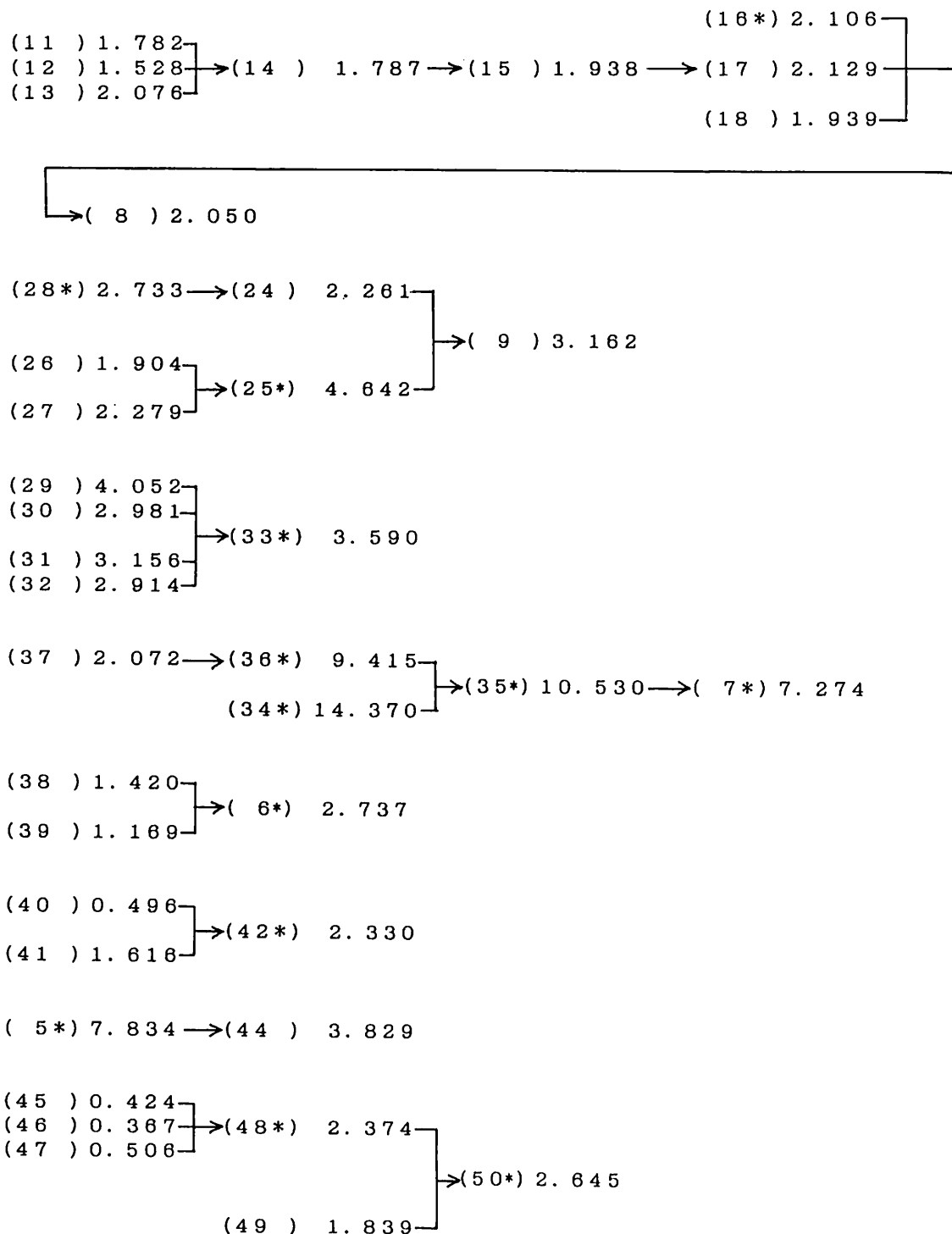


図 - 73 各採水地点のCa濃度 (1回目)
 * 治山ダムのある流域 () は流域番号

Fig-73 Stream flow route and concentration of calcium (first time sampling)
 Figures in parenthesis mean sampling point
 * means the watershed which have check dam

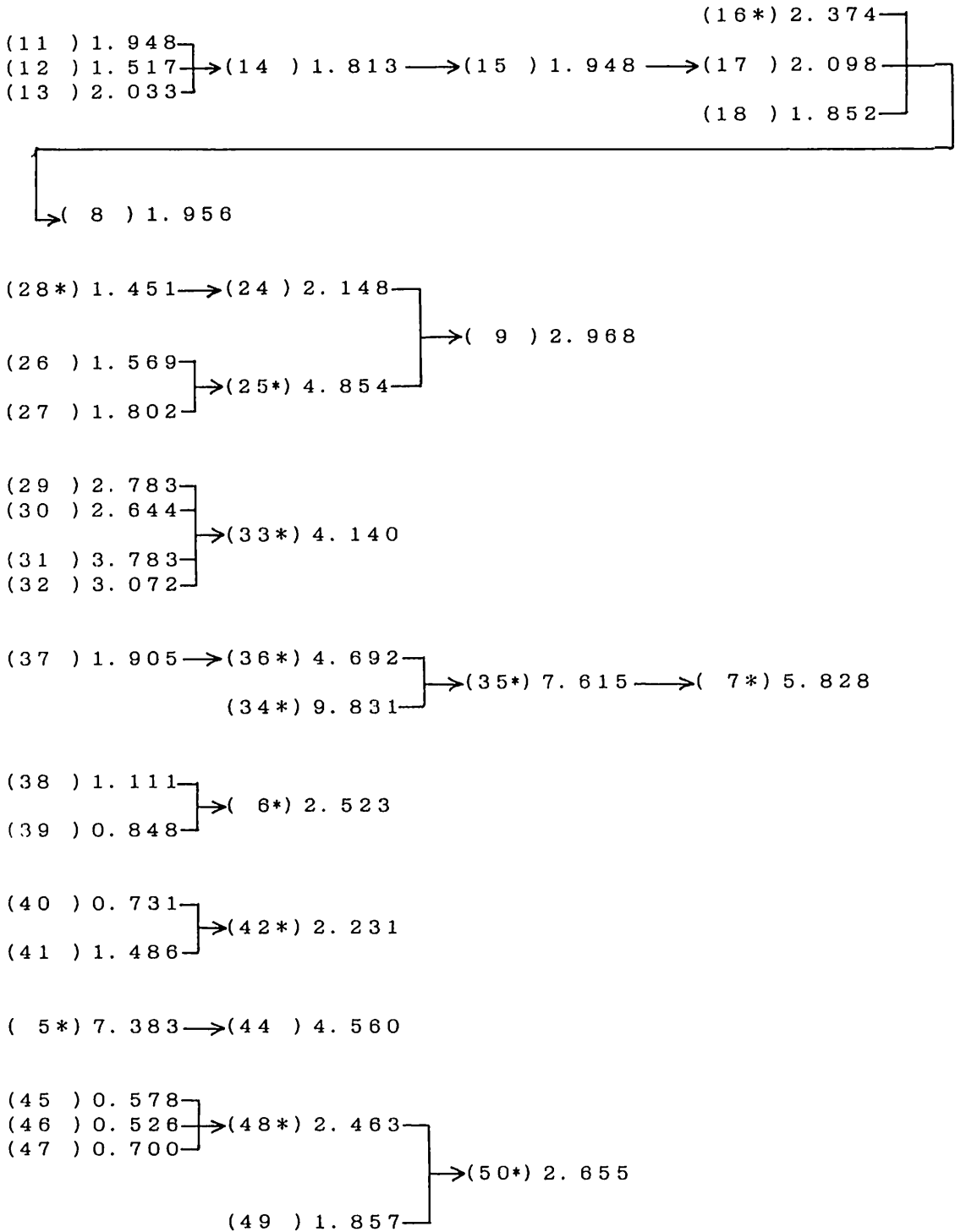


図 - 74 各採水地点のCa濃度 (2回目)
 * 治山ダムのある流域 () は流域番号

Fig. 74 Stream flow route and concentration of calcium (second time sampling)
 Figures in parenthesis mean sampling point
 * means watershed which have check dam

4. 摘要

1. 福岡県添田町大岐県営林内で、1985年から1990年の6年間に降水4カ所、渓流水6カ所で月1回採水し分析した。降水の分析には、採水から次ぎの採水まで貯留したものを用了。この定期的な採水の他に、降水時及び降水直後や、これらの流域を細分した45地点からも渓流水を採水し分析した。
2. 分析した項目はpH、電気伝導度(EC)、窒素、リン、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)の7項目である。
3. 測定期間中の降水のpHの平均値は4.95であった。そして、降水の殆どがpH5.6以下で、いわゆる酸性雨が常時降っている事が伺われた。
4. 渓流水のpHは8.24~5.75の範囲にあった。1988年以降はそれ以前に比べてpHで0.5近く低下した。これは、酸性雨の影響と言うよりも、流域内で測定開始以前から行われてきた工事が1987年をもって終了したからではないかと思われた。
5. 降水中の各成分濃度の降水量に対する最大値は降水量によって規制され、降水量が多くなればその降水量に対して取り得る最大値は低くなる。
6. 渓流水の窒素、リン、K、Caの4成分も、1988年を境にそれまで大きかった濃度の変動が小さくなり、安定した濃度を示すようになって来た。これも流域内の工事となんらかの関係があるものと思われた。
7. 定期的に採水した渓流水は各成分の濃度や値に流域間で違いが見られた。窒素、リン、Kの濃度が高い流域はEC、Ca、Mgの濃度は低かった。また逆に窒素、リン、Kの濃度が低い流域ではEC、Ca、Mgの濃度は高かった。
8. 流量が安定している時はバラツキはあるものの、EC、窒素、Ca、Mgでは比流量が増大すると、濃度は低下する傾向を示した。降水時及び降水直後は比流量が増大すると、窒素、リン、Kの濃度は高くなり、Ca濃度は低下する傾向を見せた。また、Mgでは比流量が増大すると一定の濃度を示す様であった。この比流量に対する各成分の対応が違う原因について、その原因は不明であった。降水時及び降水直後に採水した渓流水もMgを除いて、流域間で濃度の違いが見られた。
安定時には多少のバラツキは見られるが、渓流水のMg濃度は比流量が一定であれば、流域間で違いが見られなかった。
9. 45に細分した流域のそれぞれのha当たりの材積と窒素及びリンの濃度には関係がなかった。単層林から採水した渓流水の窒素濃度は、複層林から採水した渓流水の窒素濃度より高い傾向を示した。
10. 45に細分した流域で、治山ダムのある流域の渓流水のCa濃度は、治山ダムのない流域の渓流水のCa濃度より高い値を示し、治山ダムの存在が渓流水のCa濃度に大きく関与している事が示唆された。
11. 渓流水の窒素、リン、Kの濃度が流域で違いがある事についての原因はよく分らなかった。

5. 引用文献

- 相場 芳憲・生原 喜久雄・木下 喜博：地力に及ぼす集約的保育作業の影響（Ⅰ）遊齡林と対比した幼齡林での養分状態と流出。日林誌，63，12：425-434，1981
- 遠藤 治郎・三沢 真一・山本 仁志：低木広葉樹及び牧草地の流出と水質。新大演報，17：89-97，1984
- 広瀬 顕・岩坪 五郎・堤 利夫：森林流出水の水質についての広域的考察（Ⅰ）。京大演報，60：162-173，1988
- 伊藤 悦夫・稲川 悟一・佐敷 修：林内雨の養分循環に果す役割。静大農研報，14：182-202，1964
- 岩坪 五郎・堤 利夫：森林内外の降水中の養分量について（第2報）。京大演報，39：110-124，1967
- ：森林内外の降水中の養分量について（Ⅲ）流亡水中の養分量について，京大演報，40：140-156，1968
- IWATSUBO,G.and TSUTSUMI,T.:On the spraying of sewage water in a forest(Ⅰ)Preliminary research on steam-water chemicals.J.Jap.For.Soc.,64(5):187-192,1982
- 蒲谷 肇・福島 進：渓流水の養分濃度の時間変化。第93回日林論：173-174
- 加藤 博之・福島 義宏：二つの花崗岩山地小流域におけるミネラルの収支についての報告。京大演報，46：115-123，1974
- 小林 純：日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究。農学研究，48，2：63-106，1961
- 小林 吉人・弓場 謙：天然生林及び人工林からの流出水中の無機成分。第35回日林中支論：121-122，1987
- KUSAKA,S.,NAKANE,K.,MITSUDERA,M.and TSUBOTA,H..Effect of fire on water and major nutrient budgets in forest ecosystems II.Nutrient balances,input(precipitation) and output (discharge).Jap.J.Eco.,33:323-332,1983
- 丸山 明雄・岩坪 五郎・堤 利夫：森林内外の降水中の養分量について（第1報）。京大演報，36：25-36，1965
- 西村 武二：山地小流域における物質の動き。日林誌，55，11：323-333，1973
- 西尾 敏・佐々木 重行・高木 潤治：降水及び渓流水の成分に関する研究（Ⅰ）-pHとEC（電気伝導率）について-。日林九支研論，41：169-170。 ，1988
- ：降水及び渓流水の成分に関する研究（Ⅲ）-Ca、Mg、Kについて-。日林九支研論，43：175-176，1990

- 佐々木 重行・高木 潤治・西尾 敏：降水及び溪流水の成分に関する研究（Ⅳ）－流出量と成分濃度について－. 日林九支研論, 43:177-178, 1990A
-----・-----・-----:降水及び溪流水の成分に関する研究（Ⅴ）－降水時及び降水直後の流量と成分濃度について－. 第101回日林論:259-260, 1990B
- 佐久間 敏雄・佐藤 冬樹：広葉樹下の土壤中における無機元素の動態（第1報）. 北大演報, 44, 2:537-552, 1987
- 佐藤 冬樹・藤原 況一郎・駒崎 里美：森林内における降水成分の動態－簾舞試験地における調査例－. 北大演報, 46, 4:829-846, 1989
- 佐藤 冬樹・篠賀 一郎・藤原 況一郎：北海道北部天然林内を流れる小河川の水質. 第101回日林論:255-256, 1990
- 堤 利夫：森林の物質循環. 東大出版会. PP124, 1987
- 勝 孝介・車戸 憲二・松橋 達也：山地地域における雨水の酸性化の実態について. 第101回日林論:253-254, 1990

A
SUMMARY

Water of rain and stream was analyzed.

Since 1985 in Soeda Town, Fukuoka Prefecture, precipitation and stream water were sampled from four and six points respectively. Samplings were made once a month.

Measurements were made in pH, electric conductance(EC) and concentration of nitrogen, phosphate, potassium, calcium and magnesium.

The average value of pH of rain water was 4.95. Almost values of pH of rain water were below 5.6 which means the acid rain.

The pH values of stream water were between 8.24 to 5.75. Since 1988 the pH value of stream water was decreased 0.5 compared with the value which measured before 1987. The decline of pH value of stream water seemed to be concerned with the construction of forest road and check dams but not concerned with the affection of acid rain.

The concentration of chemical components showed a variance to the amount of rain. But the maximum concentration related to the amount of rain was restricted by the amount of rain. The maximum concentrations of chemical components decreased with increasing of amount of rain.

Since 1985 to 1987 the concentration of chemical components in stream water showed fluctuation. But since 1988, the fluctuation of concentration of

nitrogen, phosphate, potassium and calcium seemed to decline. This phenomenon seemed to be concerned with the completion of construction of forest road and check dams.

The values and concentration of chemical components in the stream water showed the difference among the watersheds. In some watersheds, the stream water showed high concentrations of nitrogen, phosphate and potassium, and low value of EC and low concentrations of calcium and magnesium. In others, the stream water showed low concentration of nitrogen, phosphate and potassium, and high value of EC and high concentration of calcium and magnesium.

The values and concentrations of EC, nitrogen, calcium and magnesium of stream water showed fluctuation in steady states and low specific discharge, and they showed a little tendency to decrease with increasing of specific discharge. In rainy time and just after rain the concentration of nitrogen, phosphate and potassium showed a tendency to increase with the increasing of the specific discharge, but the concentration of calcium showed the decrease with increasing specific discharge. Magnesium showed a constant concentration to increasing of specific discharge and showed the same concentration in every watershed. Except magnesium, the value of EC and concentrations of chemical components showed the difference among the watershed.

Concentration of nitrogen and phosphate in stream water sampled from 45 watersheds include former watersheds showed no relation to the stand volume per

hectare of own watersheds. Concentrations of nitrogen sampled from the watersheds that have multiple layered forest stands were higher than them that have singlelayer forest stands.

In 45 watersheds, the concentrations of calcium sampled from watersheds that have check dams in own area were higher than them that have no check dam. It seems that the check dam concern with the concentration of calcium in stream water.

林業試験場時報
第38号

平成3年3月25日 印刷

平成3年3月30日 発行

発行所 福岡県林業試験場
〒834-12 福岡県八女郡黒木町今1314-1
電話 0943(42)0078

印刷 麻生園印刷部
福岡県八女郡星野村麻生
電話 0943(52)3162

福岡県行政資料

| | |
|------------|------------------|
| 分類記号 PF | 所属コード 0803104 |
| 登録年度 3 | 登録番号 0002 |