

林地における流出水中の養分量について

加 藤 博 之・福 嶋 義 宏

On the amounts of plant nutrients contained in
runoff from the forest floor.

Hiroyuki KATO and Yoshihiro FUKUSHIMA

目	次
要 旨	85
はじめに	85
1. 実験地と実験方法	86
1-1 実験流域について	86
1-2 実験方法について	86
2. 結果と考察	88
2-1 ライシメーターからの流出量	86
2-2 流出水中の養分濃度について	86
2-3 流出水中の養分量	86
引用文献	97
Résumé	98

要 旨

1. 林地土壌層での流出水にともなって移動する養分量を推定するために、林床にうちこんだ $5 \times 10 \text{ m}$ のコの字型のライシメーターをもちいて流出水を測定するとともにその化学成分を分析した。測定をおこなった林地は滋賀県大津市桐生町の風化花崗岩地帯で、植林がすすんでいる。実験は1971年1月から12月までと1972年4月から1973年3月までの二年間おこなった。
2. 得られた流出水量は、地表流で、年間の降水量の1.0~3.3%、地中流で0.01~0.6%と非常に少なかった。流出の大半は、降水と対応し、夏期、梅雨期と台風による流出であった。流出水量と降水量の関係は、バラツキが大きく、一本の線に近似することは困難であった。
3. 流出水中の養分濃度は流出水量の増加とともに減少するという双曲線的関係が明瞭であった。なお、No. 2, No. 3 ライシメーターではこの関係がはっきりしなかった。養分濃度の季節変化は、ほぼ、流出量の多い時期、すなわち夏期に希釈されて減少し、秋期の落葉期に少しピークがみられる程度であった。
4. 流出水量が非常に少なかったため、流出養分量も非常に少なかった。もっとも多く流出した養分はカリウムで、あとカルシウム、マグネシウム、ナトリウム、リンの順であった。土壌の層別では、ほとんどの養分で、表層ほど多くの養分が流亡し、下層ほど、減少した。これらの流出養分量は、流出水量に大きく影響された。

は じ め に

森林生態系の物質循環を考えるうえで、系内を通過する水の影響を無視することはできない。降水は、空气中にふくまれる種々の物質を溶解しているため、降水とともに多量の植物養分が森

林にもたらされる。また、降水は、森林においては、一度、樹冠に保留され、林内雨となって林床に到達するが、降水の少ない場合は、そのまま蒸発してしまい、流出となってあらわれてこない。一般に森林は、樹冠しゃ断量として、年間の降水量の何割かを失っており、古くから森林のもつ効用の一つとして水文研究の分野で研究されてきた。

しかしながら、しゃ断されずに、林内雨として林床に到達した降水は、植物体に吸着された物質、あるいは、植物体自身の養分物質を多量に溶解しており、林床に到達する養分量は、降水として樹冠に到達した養分量にくらべて、はるかに様相を異にしている。これら、林外雨、林内雨のもたらす養分量の研究についてはTamm (1951)¹⁾、Ovington (1954)²⁾、Attiwill (1966)³⁾ など、多くの報告がみられる。これらの報告からも、林内雨は、かなり多量に林床に養分をもたらすことがあきらかである。

一方、林床に到達した降水は、林床の土壤に浸透していくが、降雨が、ある強度を超えた場合、あるいは、土壤が保持しうる水量を超えた場合、降水は、林床を流下しはじめる。

また、地下へ浸透した降水は、透水性の土壤層を通過して、重力方向へ移動し、やがて河道に至る。従来、これらの地下水の移動や地表流に関する研究は、水文学、土木学などの分野で古くからおこなわれており、その量の測定方法などもかなり発達してきた。しかしながら、山地などの一般に森林におおわれた傾斜地などでは、方法に限度があり、直接測定された報告は、現在でも多くはない。それゆえ、これら地表流、地下浸透水とともに移動する養分量も、ほとんど知られていない。

現在まで岩坪(1965)⁴⁾、(1967)⁵⁾、(1968)⁶⁾らが小型のライシメーターをもちいて測定した報告があるのみにすぎない。筆者らは、花崗岩山地の小流域にライシメーターを設置して、流出水の測定をおこなってきた。この測定は、森林に対する水の影響の研究のためにおこなわれてきたものであるが、この流出水の化学成分を分析することにより、山地土壤層からの流出水にふくまれる養分量を推定した。その結果二年間の資料が得られたので報告したい。

本研究を実施するにあたり、共同研究者であった、高知大学農学部林学科造林学研究室の西村武二氏、いろいろな点で援助していただいた京都大学農学部森林生態学研究室、および、砂防工学研究室的の皆様に深く感謝するしだいである。

1 実験地と実験方法

1-1 実験流域について

実験は、琵琶湖東南部、滋賀県大津市、桐生町の国有林内でおこなった。流域は、琵琶湖にそそぐ草津川流域にふくまれ、試験流域の全面積は 5,99 ha である。流域全般は、粗粒花崗岩の風化地帯で、古くから砂防工事の盛んなところである。流域は、全体としてつぎの四つの林分により構成されている。

1. アカマツ・ヒノキ混交林
2. アカマツ林
3. ヒノキ林
4. マツ類幼令林

なお、これら植生状況の細部については、前報(1972)⁷⁾に報告した。

この流域で観察された年平均降水量は約 1800 mm、また流出量は 1300 mm で水収支法により年平均蒸発散量は、降水量の30%前後と推定されている。⁷⁾

1-2 実験方法について

地表面流、および地中流を測定するために、各林分に一個ずつ、No. 1 から No. 4 まで合計四個のライシメーターを設置した。実験をおこなった期間は、1971年1月から12月までと、1972年4月から1973年3月までの二年間であるが、前半は、No. 2, No. 3 ライシメーターが未完成であったため、No. 1, No. 4 ライシメーターのみを用い、後半の一年に四個すべてを使用した。なお、各ライシメーターごとに種々の点で相異なるので、その各々について、触れておきたい。

(1) No. 1 ライシメーター (アカマツ林内)

傾斜36° 方位 E

アカマツの生育があまり良くはなく、林床の発達も未熟である。多少の灌木が存在するが他のライシメーターにくらべ、林床の被覆状態はもっとも悪い。A₀ 層もうすく、1 m 内外で母岩に到達する。上層の林冠の閉鎖は不完全で、クローネは連続していない。

(2) No. 2 ライシメーター (アカマツ・ヒノキ混交林内)

傾斜34° 方位 W

流域中、もっとも古い林分中に存在し、クローネの高さは20 m に達する。ライシメーター内にも数本のヒノキ・アカマツが入っている。林床は、A₀ 層が数 cm ほどに堆積し、土壌の発達は良い。風化花崗岩の砂レキがかなり深部にまでおよんでいる。

(3) No. 3 ライシメーター (マツ類幼令林内)

傾斜27° 方位 E

マツ類の幼令木が植栽された中に設置されており、樹高は7~8 m で樹冠は不完全ながら閉鎖している。林床は、ススキ・イチゴ類などの草本・広葉樹が繁茂している。地表はそれら植生により完全に被覆されている。落葉などの堆積物も多いが、土壌は、非常に浅く、50 cm 内外で母岩に達し、下方の断面は母岩の露出している個所がある。

(4) No. 4 ライシメーター (ヒノキ林内)

傾斜15° 方位 S

他のライシメーターにくらべ、A₀ 層の発達はもっとも良好で、また土壌化の程度もかなり進んでいる。2 m のボーリングの際にも、母岩に到達せず、砂質の土壌であったことから降水の浸透はかなりの深部にまでおよぶ可能性をもっていると考えられる。樹冠は、ほぼ、うっ閉を完成した状態にあり、植栽木のほか、タカノツメ、コシアブラ、スルデ、イヌツゲ、ソヨゴ、コバノミツバツツジ等の広葉樹、イタドリなどの草本類が下層を構成している。

なお、すべてのライシメーターは、5×10 m の大ききで林床をコの字型に区切り、塩化ビニルのフィルムでおおった厚さ5 cm の木板を、上方・側方の三方向に母岩に達するまでうちこみ、下方に高さ1.5 m の土壌断面を設けた。さらにこの断面の表層、50 cm, 1 m の高さに、塩化ビニルのフィルムを断面に垂直に5 cm ほどさしこみ、各フィルム下部に合成樹脂製角桶を連結させて断面の表層、表層より50 cm 下部までと、50 cm から1 m 下部までの部分からの浸出水を受けられるようにした。なお、このように三層に分けたのはNo. 1, No. 4 ライシメーターの二個のみで、No. 2, No. 3 ライシメーターは表層のみにとりつけた。これらの断面からの浸出水は、角桶を経て、下方に設置した転倒ます型の流量測定器によって流量および時間を自動記録した。浸出水のサンプルは、流量測定器下方に接続された浸出水受けのポリボトルに受けて得た。

分析をおこなったのは、マグネシウム、カルシウム、カリウム、ナトリウム、リンの5種の養分元素である。マグネシウム、カルシウムは、原子吸光分析法、カリウム・ナトリウムは炎光分析法、リンはモリブデン青法により、分析をおこなった。

2 結果と考察

2-1 ライシメーターからの流出量

岩坪らによって使用されたライシメーターは、比較的小型であったが、本実験に使用したライシメーターは、それよりかなり大型化したものである。また構造も非常に違うため、直接、比較はできないであろう。一般に水文学では表面流出量と地下水流量とは、ハイドログラフの解析によって得られるもので、直接流出、間接流出ともよばれているが、本実験においては、ライシメーターの各断面から得られた浸出水を、地表流、地中流とよんで林床での移動水量とした。

二年間の試験期間中に得られた流出水量と、それに併行して観測された降水量を示すと Table. 1 のようになる。地表流量は最大を示した No. 3 ライシメーターでも、年降水量の3%であり、他のライシメータでは、すべて1%前後であった。一年を通じて降水に対する流出は夏期に高く、冬期に低い現象がすべてのライシメーターでみられたが、これは夏期、とくに、七月の梅雨後期の集中豪雨と九月の台風時の出水によるものである。ライシメーターの土壌断面は降水が林床に達せず直接、角樋に入るということ为了避免のために、合成樹脂の波板を帖ってある。それゆえ、地表流として林床を流れたものだけが測定できるようにしたが、一般に降水が林床を流れ

Table 1.

	Surface run off (mm)				Subsurface run off				Precipitation (mm)
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1 (50 cm)	No. 4 (50 cm)	No. 1 (1 m)	No. 4 (1 m)	
'71.1~'72	29.7 (1.36)	—	—	24.3 (1.07)	11.5 (0.45)	6.0 (0.21)	4.5 (0.18)	1.1 (0.05)	1891.5
'72.4~'73.3	33.8 (1.47)	27.8 (1.21)	75.4 (3.28)	22.0 (0.96)	8.6 (0.37)	3.3 (0.14)	14.0 (0.61)	0.3 (0.01)	1778.5

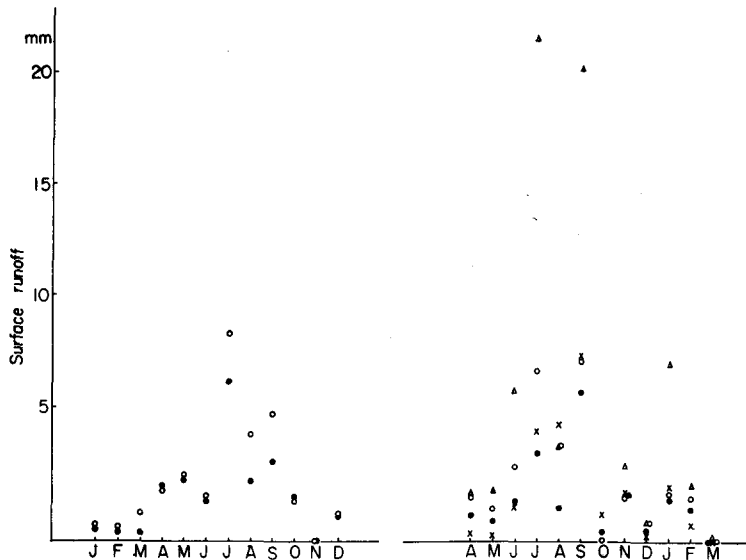


Fig. 1. Seasonal distribution of surface run off.

- ... No. 1 lysimeter △ ... No. 3 lysimeter
× ... No. 2 lysimeter ● ... No. 4 lysimeter

だすまでには樹冠で保留される時間と土壌表面を十分に濡らす時間と水量が必要である。そのために、地表流がはじまる時間は、降雨開始より、遅れる。今回の報告では時間の問題に触れず、量だけの報告にとどめたい。

Fig. 1 に、各ライシメーターの月別の流出量の変化を示した。それぞれのライシメーターでは流出量かなり違うが、おおむね、7月と9月には、非常に大きな流出を示している。Fig. 2 に二年間の降水量の月変化を示した。流出量にもっとも大きな影響を与えるのは、第一に降水量で

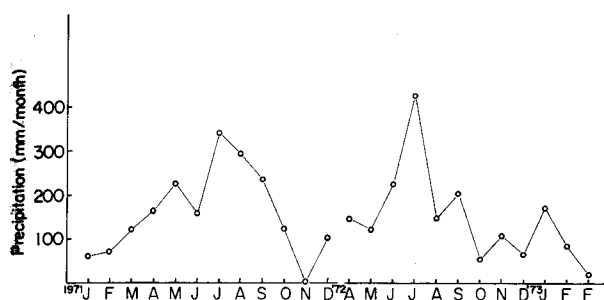


Fig. 2. Seasonal distribution of precipitation

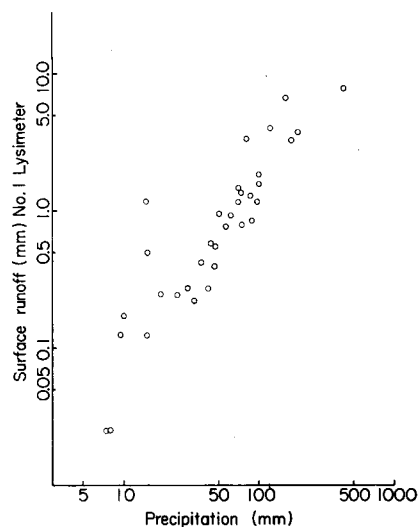


Fig. 3. The relationship between surface run off and precipitation

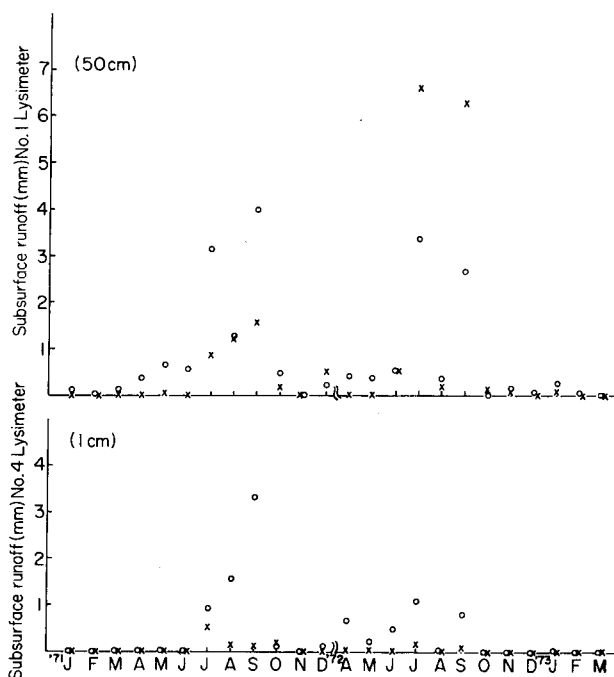


Fig. 4. Seasonal distribution of subsurface run off

あるが、この他にも、土壌の水分条件、植生の状態などにより、大きく変化する。今回の結果では、一回の採水時の流出量と降水量との間に、高い相関はあったものの直接、直線で近似できるほどではなかった。すなわち、同じ降水量で10倍近い差のある流出がみられることがあった。(Fig. 3)

次に地中流として測定された結果をみると地表流量が、降水の1%前後であるのに対して、地中流量はその半分以下であり、林床下1mで測定では、0.1%にならないことがあった。すなわち、No. 1, No. 4 ライシメーターを用いて得られた流出量は、地中流、地表流ともでも、降水量の3%を超えることはなかった。西村の推定によると、本流域での樹冠しゃ断量は、月降水量の19~33%、年平均降水量の20%である。あと10%が加えられて年平均の蒸発散量とされるが、残りの流出となるのは70%のうちの数パーセントしか観測されなかったことになる。このことは、流域における流出の機構の解明を促すことになるだろう。地中流の月変化を Fig. 4 に示した。地表流と共通して、いずれの年も7月と9月にピークがみられるが、とくにそれ以外の渇水期には、雨量がある程度あってもほとんど流出がみられないことがある。ちょうどこの時期は土壌の水分貯留量が負になる時期とも一致している。

2-2 流出水の養分濃度について

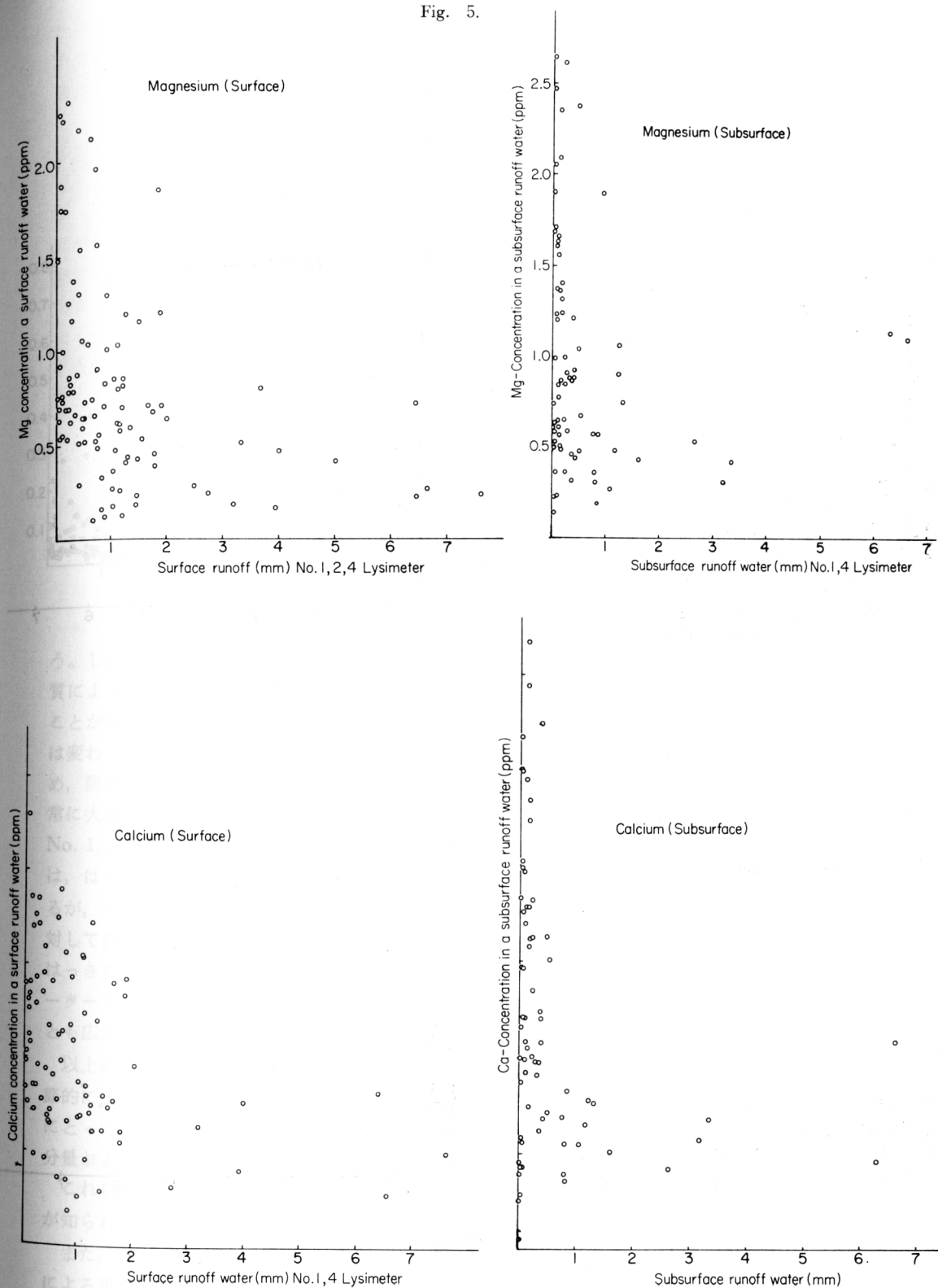
土壌層を通過する間に、降水は林床にある落葉、落枝など各種生物の遺体、あるいは、土壌^{8,9)}のものから物質を溶解し、あるいは吸着されたりすることはよく知られている。一方、林床は、落葉など、季節によりその様相を変えるため、その養分移動の様子も変わることと考えられる。各養分濃度の平均値を Table. 2 に示した。各養分とも、ライシメーターごとに差こそあれ、地表流、地中流で濃度がとびはなれて変化するというのではなく、両者とも、ほぼ、同じ濃度か、いくらか高い程度にとどまった。ただし、ナトリウムおよびリンでは、わずかに地中流の濃度は、地表流のそれを上まわるようであった。流出水の養分濃度は、当然、流出量とも密接な関係があるので Fig. 5 に各元素別に地表流、地中流に分けて両者の関係を示した。

流出量・養分量の関係をみると、ある物質の供給源が一定量しかないとする、その物質を溶解して出てくる流出水の物質の濃度は、流出量の増加とともに双曲線を描いて減少するである

Table 2. Averaged concentration of run off from lysimeters.

(ppm)	Surface run off (mm)				Subsurface run off			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1 (50 cm)	No. 4 (50 cm)	No. 1 (1 m)	No. 4 (1 m)
'71.1~'12 '72.4~'73.3	Mg 0.659	—	—	0.683	0.782	0.529	1.295	0.601
	0.986	0.979	0.629	0.999	1.062	1.044	2.280	3.231
'71.1~'12 '72.4~'73.3	Ca 2.174	—	—	1.410	2.189	1.121	1.926	1.183
	2.584	3.977	1.777	2.047	3.373	2.885	2.610	7.800
'71.1~'12 '72.4~'73.3	K 2.94	—	—	1.83	2.81	3.63	3.56	2.53
	3.75	2.57	1.34	3.28	3.98	3.28	3.23	6.82
'71.1~'12 '72.4~'73.3	Na 0.87	—	—	1.04	0.90	1.20	2.12	1.45
	0.49	1.86	0.96	0.79	1.19	1.02	1.52	2.79
'71.1~'12 '72.4~'73.3	P 0.013	—	—	0.046	0.104	0.159	0.044	0.079
	0.050	0.185	0.047	0.127	0.356	0.471	0.168	0.942

Fig. 5.



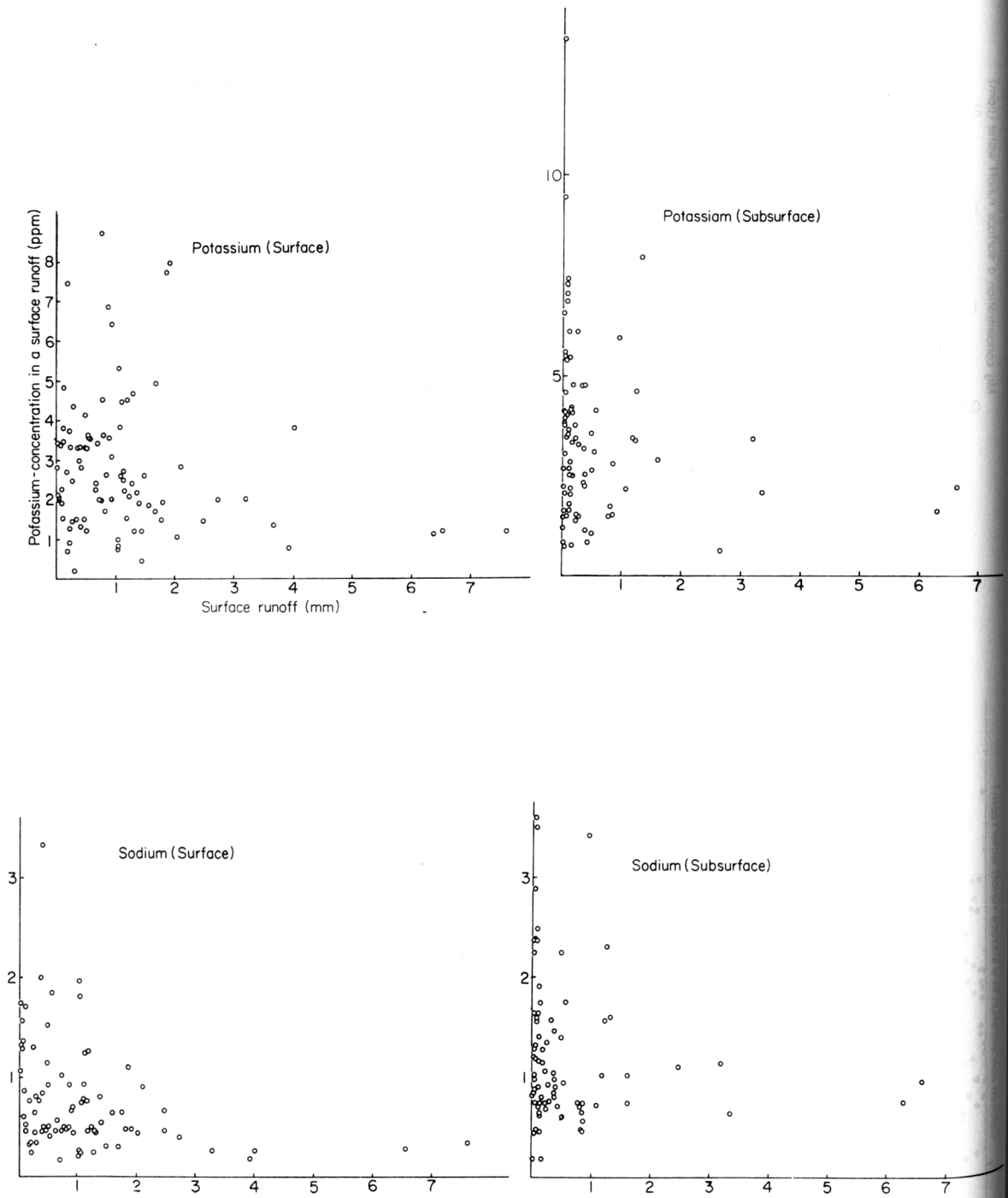


Fig. 5.

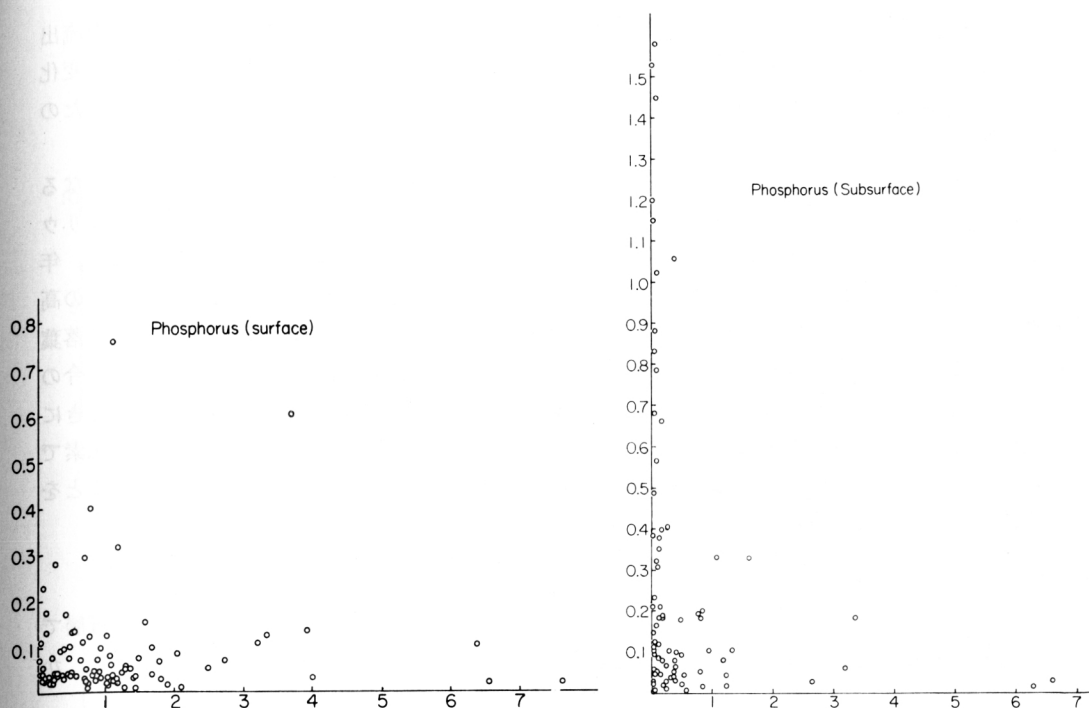


Fig. 5. The relationship between the nutrient concentration and run off

う。しかしながら、溶解成分の源である林床は、前記のように、季節によって変動する。また物質によっては、溶解速度が異なり、ナトリウム・カリウムで速く、窒素・リンなどは比較的遅いことが知られている。このため林床の状況によって、また養分物質の種類によってこれらの関係は変わってくることが予想される。結果をみると、地中流で、流出が非常に少なかったため、関係がはっきりしなかったが、全体として、双曲線的な関係があることと、低流出量では非常に大きな濃度範囲をもつことなどが得られた。物質別にみると、マグネシウムなどでは、No. 1, No. 2, No. 4 ライシメーターではほぼ双曲線的な関係がみられるが No. 3 ライシメーターでは、はっきりした関係はみられなかった。カルシウムでもマグネシウム同様の傾向がみとめられるが、やはり No. 2, No. 3 ライシメーターで地表流の関係が明瞭でなく、カルシウムの濃度に対して流出量のみが一義的でないことを示している。地中流では、この関係はマグネシウムよりはっきりしており、流出量と関係の深いことがわかった。カリウムでは No. 2, No. 3 ライシメーターでもこの同様の傾向が強かったが、リンでは、地中流において低流出時の濃度範囲がもっとも広がった。

以上のように、大半の物質では流出量自体が、その濃度を決定するようであるが、林床が、季節的に変化する以上、濃度の季節変化も調べておく必要がある。一般に森林生態系において林床にとって養分物質の主な移入経路は、斜面上部からの平行移動を除けば、林内雨にふくまれる養分量およびリターフォールとして林地に加えられる養分量の二つである。

これらは、樹木が土壌から吸収した養分を土壌にかえす環元量として、現在まで数多くの報告が知られている。¹⁰⁾

また、林床の土壌層にまで範囲をひろめると上記二つの移入経路に更に下方からの母岩の風化による可溶性養分物質の補給経路が考えられる。このように林床とその下の土壌層ではめまぐる

しい養分量変化がみられ、多くの報告がなされてきた。¹¹⁾このようなことから土壤層からの流出水の化学性も、このことを反映するはずである。Fig. 6 に各養分物質の濃度の二年間の季節変化を示した。なお、地中流は流出が少なかったため、毎月、分析に供することができなかったで、地表流についてのみ図示した。

今まで考察をおこなってきた結果から考えると一般に低水期は濃度が高く、高水期に低くなること、及び、落葉期後に濃度が高まることが期待されるが、この予想に適合した元素は、カリウムとマグネシウムなどの溶脱速度のはやい元素で、ナトリウムなどは、溶脱は容易であるが、年中を通じて大きな変化はなく、明瞭なピークはみられなかった。カルシウムでは、7～8月の高水期にやや濃度がダウンする以外は、各ライシメーターごとでまちまちの変化を示し、秋の落葉期にも、それほど大きな変化はなかった。カルシウムに季節変動がはっきりしない原因は、今のところ不明である。リンは他の元素とは、はっきり異なる動きを示し、7月の降水量の多いときにも高い濃度を示す場合があった。リンは土壤中では吸着性が強く、移動速度のおそい養分元素であるが、今回のような傾向がみられるのは、養分元素が一方的に溶解されるだけではないことを端的に示しているといえる。

2-3 流出水中の養分量

前に記したように、降水はそれ自体、かなりの養分とともに、林地に入ってくるが樹冠層でも、葉・幹・枝などから養分が洗い落とされる。また Nihlgård¹³⁾によれば、樹冠層などで、か

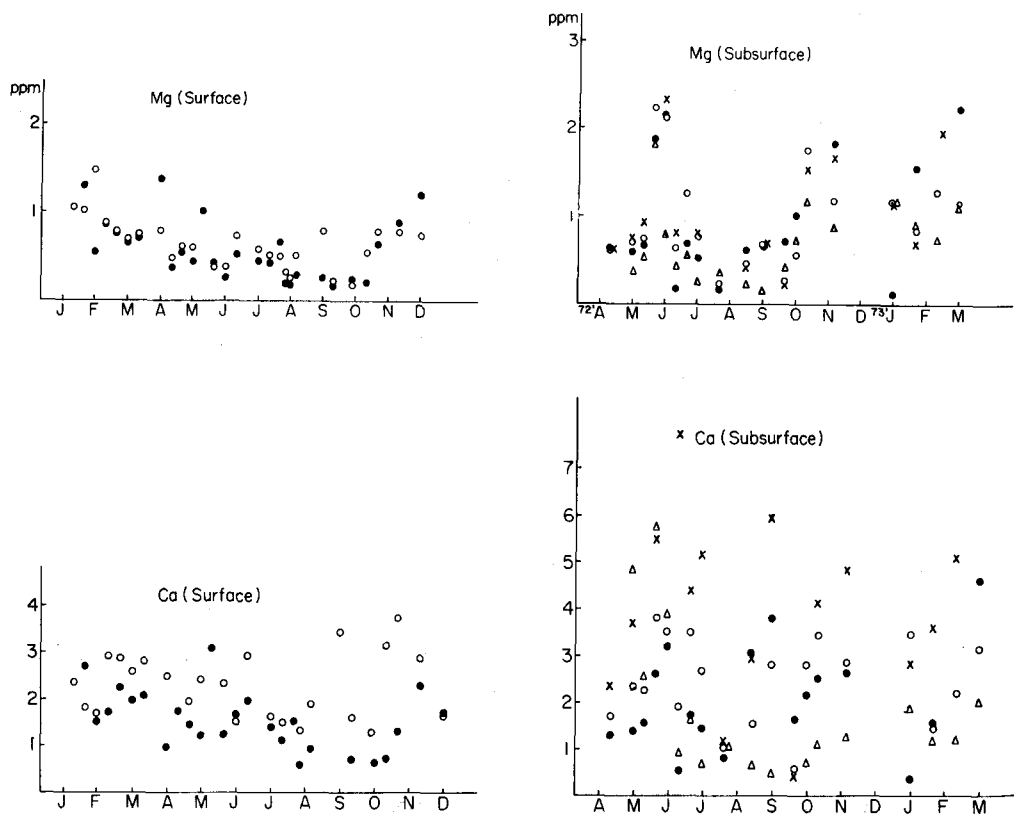


Fig. 6.

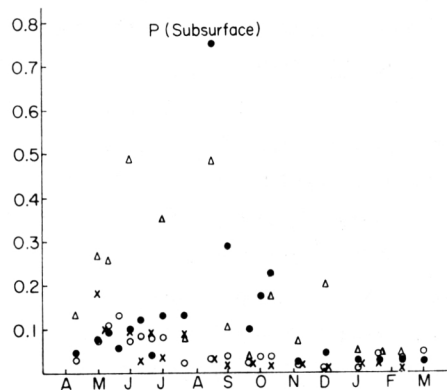
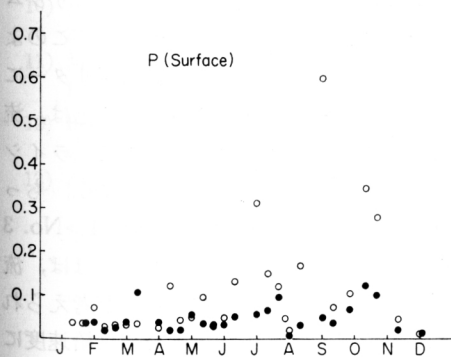
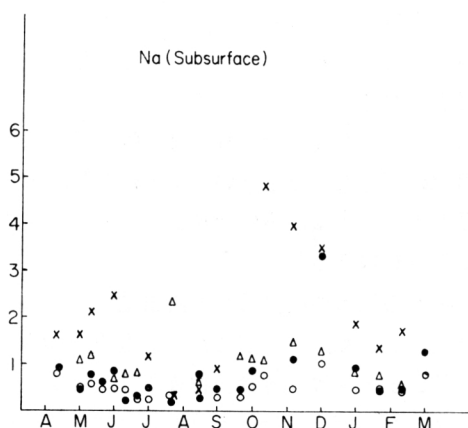
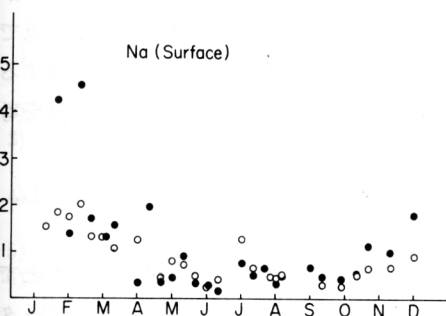
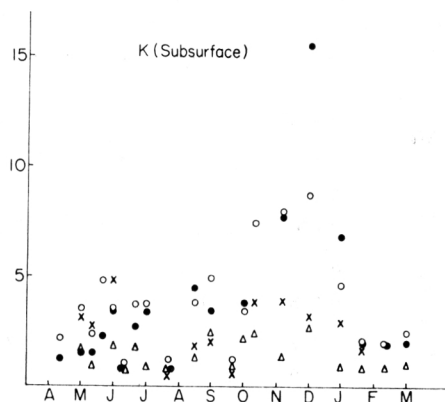
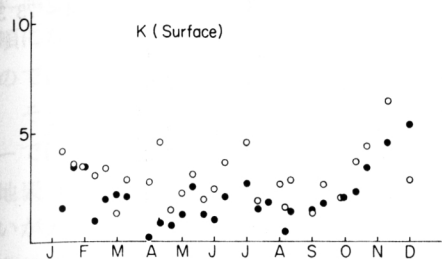


Fig. 6. Seasonal changes of the nutrient concentration

Table 3. Total annual amounts of nutrients in runoff from lysimeters. kg/ha/year.

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 1	No. 4	No. 1	No. 4	
Mg	0.168	—	—	0.119	0.070	0.021	0.051	0.009	'71 1~12
	0.203	0.178	0.351	0.163	0.050	0.017	0.169	0.006	'72 4~'73 3
Ca	0.577	—	—	0.304	0.189	0.056	0.076	0.014	
	0.676	0.739	0.806	0.416	0.141	0.075	0.239	0.015	
K	0.746	—	—	0.444	0.372	0.137	0.202	0.036	
	0.948	0.507	0.748	0.629	0.180	0.084	0.278	0.015	
Na	0.177	—	—	0.135	0.108	0.040	0.065	0.024	
	0.130	0.315	1.011	0.125	0.055	0.022	0.131	0.007	
P	0.066	—	—	0.012	0.010	0.016	0.002	0.001	
	0.012	0.045	0.036	0.029	0.018	0.009	0.017	0.003	

なり多量の、ナトリウム、カルシウム、マグネシウムなどがエアロゾルとして洗い落とされるようである。それゆえ、かなり多くの養分をふくんだ林内雨が地中に浸透し、林床を流れるということになる。ライシメーターをもちいてその流出水の化学性を調べた報告を Mindermann が報告しているが今回おこなった実験で得られた流出養分量は、これらの降水の移動過程の一点での降水が運んだ養分量ということになり、それ自体は、土壌からの溶脱量でないことに注意する必要がある。土壌からの溶脱量を求めるためには林内雨によって林床にもたらされた養分量を考慮しなければならない。

一回の採水時に得られた流出量にそのときの養分濃度を乗じて、それを各月ごとに合計し、一年間の流出養分量を求めた。結果を Table. 3 に示す。

流出養分量は、各養分物質ごと、各ライシメーターごと、あるいは、土壌断面の各層ごとで差があった。流出養分量を分析した物質別にみると、地表流は No. 1, No. 4 ライシメーターで、 $K > Ca > Mg > Na > P$ の順になったが、マグネシウムとナトリウムでは、年により、関係が逆転した。No. 2, No. 3 ライシメーターでは、カルシウム・ナトリウム・カリウムの関係が少し変化した⁹⁾が、もっとも少なかったものがリンであることには変化がなかった。片桐によれば、リターからの溶脱されやすさは、 $Na > Mg > Ca$ の順になり、アカマツの葉では、カリウムがもっとも溶脱されやすいことを報告した。またリンが溶脱されにくいことも一致した。このように、ライシメーターによって、流出養分の量的順序に変動があるのは、その林床がリターに覆われているか、裸地化しているかによって起ってくるものであろう。またそれらのことは、流出水量に大きく影響すること、養分量で差を生じる原因があると考えられる。そこで、ライシメーターの地表流量の多かったものから並べると $No. 3 > No. 1 > No. 2 > No. 4$ となる。もっとも流出の多かったカリウムについて考えると、カリウムは、ライシメーターで $No. 1 > No. 3 > No. 4 > No. 2$ の順序で流出量が多い。この順序から考えると、カリウムの流出は、ほぼ、流出水量に依存して増減すると考えられ、水量が増せば、流出カリウムも多くなることが考えられる。しかしながら、実験期間が短かったり、流出量がある程度多くなると流出養分の供給速度に頭打ちを生じて減少することも考えうる。マグネシウムなどもこの傾向をもっているようであった。カルシウム・ナトリウムなどにも同様の傾向をみとめることができるが、リンに関しての流出量は、ライシメーターで $No. 2 > No. 3 > No. 4 > No. 1$ の順序になり流出水の少ない No. 2

ライシメーターで流出量が多く、流出水の多い No. 1 ライシメーターで少なくなった。

つぎに、地中流についてみると、各養分の量的順序は、地表下 50 cm と、1 m の深さともあまり変化はなく、ほぼ、 $K > Ca > Na > Mg > P$ の順であると考えられる。ナトリウムは、表層よりも、地中のほうが流出が多いようである。西村¹³⁾によれば、この流域において、溪流水とともに流亡する養分は、上記5つの物質ではナトリウムがもっとも多く、 $Na > Ca > K > Mg > P$ の順になった。このことから、ナトリウムは、地下水化するにつれて、流水量が比例的に増加するのではないと思われる。

そこで、地表流、地中流と、深さでナトリウム流出量をくらべてみると No. 4 ライシメーターでは、地表のほうが大きく、地中は小さかったが、No. 1 ライシメーターでは、流出の少ない地表 1 m のところからの流出がもっとも多くなった。No. 1 ライシメーターは、流出水量の違いが大きく、きいていると思われる。断面位置での流出養分量の差は、ナトリウム、リンで年によって逆転することを出いては、No. 1 ライシメーター、No. 4 ライシメーターで、ほとんど、深くなるにつれて養分量が減少した。ここで考察をおこなった養分量の量的関係のうち、ライシメーターどうしの比較は、各ライシメーターの流出量に影響されるが、養分物質の種類の差ほど大きくはなかった。

引用文献

- 1) Tamm, C. O. : Removal of plant nutrients from tree crowns by rain. *Physiol. Planta.* **4**, 180-188 (1951)
- 2) Ovington, G. D. : A Comparison of Rainfall in different woodlands. *Forestry*, **27**, 41-53, (1954)
- 3) Attiwill, P. M. : The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in nature *Eucalyptus* forest, *Plant and Soil*, **24**, 390-406, (1966)
- 4) 丸山明雄・岩坪五郎・大堤利夫：森林内外の降水中の養分量について(第一報)：京大演報，**36**，25～39 (1965)
- 5) 岩坪五郎・堤利夫：森林内外の降水中の養分量について(第二報)：京大演報，**39**，110～124 (1967)
- 6) 岩坪五郎・堤利夫：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)
- 7) 福嶋義宏，加藤博之，松本潔，西村武二，：花崗岩山地の2つの小流域について(地形・植生，水収支・流出減衰曲線からみた特性)：京大演報，**43**，193～226 (1972)
- 8) Nykvist, N. : Leaching and decomposition of litter (I). Experiments on leaf litter of *Fraxinus excelsior*, (II). Experiments on needle litter of *Pinus sylvestris*. *Oikos*, **10**, 190-211, 212-224, (1959)
- 9) 片桐成夫・千葉喬三：落葉落枝の分解にともなう養分量の変化：京大演報，**41**，106～115 (1970)
- 10) 河原輝彦：Litter fall による養分環元量について(Ⅱ)，有機物量および養分環元量，日林誌 Vol53-8 231～238 (1971)
- 11) 河原輝彦，岩坪五郎，西村武二，堤利夫：カンレンボク模型林分における物質の動き：日林誌 Vol50 125～134 (1968)
- 12) Bengt Nihlgård : Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. *Oikos*, **21**, 208-217, (1970)
- 13) 西村武二：山地小流域における物質収支について：81回日林講要旨集，142～143 (1970)

Résumé

(1) For the purpose of estimating the amounts of plant nutrients in the surface and subsurface runoff from the forest floor, four lysimeters were set up at the national forest in Kiryu district, Shiga prefecture.

(2) We continued to make meteorological observations (precipitation, air temperature, humidity), to analyze the plant nutrients, Mg, Ca, K, Na, P in runoff from the lysimeters, and loss of nutrients from the forest floor were calculated.

The results were as follows:

(3) The amounts of total annual surface runoff from the lysimeters were 1~3% of annual precipitation and those of subsurface runoff were 0.01~0.6%.

(4) The relationship between the concentration of each chemical element and the amount of runoff proved to be a hyporbolical curve for each lysimeter.

(5) The concentration of each element was lower in summer and increased in autumn. Some nutrients did not show clear seasonal variation.

(6) The amount of plant nutrient losses from the forest floor was estimated in the following order: $K > Ca > Na > Mg > P$, in surface runoff and subsurface runoff.