HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	広葉樹林下の土壌中における無機元素の動態(第1報)
Author(s)	佐久間, 敏雄; 佐藤, 冬樹
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 44(2), 537-552
Issue Date	1987-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21215
Type	departmental bulletin paper
File Information	44(2)_P537-552.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

広葉樹林下の土壌中における無機元素の動態
(第1報)

佐久間敏雄*　佐藤冬樹**

Dynamics of Inorganic Elements in Soils under Deciduous Forests
(Part 1)

By

Toshio SAKUMA* and Fuyuki SATO**

要　旨

森林土壌中における無機イオンの動態を把握するため，ミズナラを主構成樹種とする苫小牧地方演習林内の広葉樹林2箇所において無機元素の挙動を追跡した。有機質層位直下，A層直下およびC層中にテンションライシメータを設置して土壌溶液を採取するとともに，雨水，林内雨，地下水，河川水を採集し，pH, ECおよび主要無機元素の濃度を測定した。

雨水はpH 4.1～6.4，EC＜90 μmho/cmの性質を示し，pH＜4.5の酸性雨の頻度は20%程度であり，酸性の原因物質は主としてSO_4^{2-}であった。雨水の組成は風送塩の影響を反映して変動した。林内雨の組成は雨水のそれとともに，樹冠から放出される塩類の量と組成の影響を受けて決まる。新鮮落葉が多量に供給される時期には有機質層位・A層土壌溶液のK^+, NO_3^-濃度増加が顕著であったが，盛夏期には低下した。土壌溶液pHは6内外の比較的安定した値を示した。下層土土壌溶液はSiO_2, Ca^{2+}に富み，雨水と地下水・河川水の中間の性質を示した。C層土壌溶液，地下水，河川水の組成はいずれもカオリナイトが安定なイオン環境を示していたが，河川水や地下水のあるものはCaO-SiO_2-Al_2O_3-H_2O系の安定度図上でCa-モンモリロナイトとカオリナイトの境界線上に位置した。

キーワード：酸性雨，森林土壌溶液，イオンバランス，物質循環。

1. はじめに

道路造成による森林の伐採と空閑地の形成が森林土壌にいかなる影響を及ぼすかについ

1987年2月7日受理　Received February 7, 1987.

* 北海道大学農学部土壌学講座
Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

** 北海道大学農学部天塩地方演習林
Teshio Experiment Forest, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

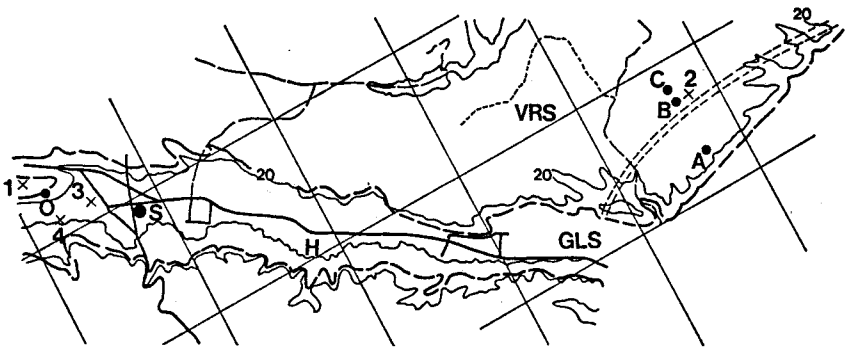
て，1) 有機質層位 (L, F, H 層) の変化[1]，2) 養分環境の動態とその変化の2つの面から検討を加えている。本報では，1979年から開始した 2) の調査についての概要を述べる。

森林土壌は立地条件（放射，温度，水分状態，表層地質，地形および土壌等）とその構成植物によって，独自の自己施肥系を構成し，稀薄な土壌溶液から栄養塩を吸収して群落を維持するとともに，年々大きな乾物生産を営んでいる。森林の自己施肥系は，土層のかなり深い部分から栄養塩を吸収し，これを地表に還元・濃縮する機能を果しており，これによって地球化学的な物質循環を調節するとともに，林床植物や地表面付近に棲息する土壌生物に無機養分を供給している。一般に森林土壌溶液の栄養塩濃度は低く，落葉量の増減，分解速度，大気からの供給塩類，林木・林床植物の吸収などによって大幅に変動する[2]。とくに，苫小牧地方演習林は粗粒質火山放出物未熟土（主として，樽前 a, b 火山灰）の地帯に立地するため，鉱物の風化による無機養分の供給速度が小さく，土壌溶液の栄養塩濃度を維持するに必要な緩衝能が低いために，外的条件の変化に対してきわめて敏感な養分環境にあると考えられ，伐採による変化も大きいと推察される。

以上の点に関して基礎資料を得るため，土壌溶液の栄養塩濃度の変動を詳細に追跡することを企図し，森林観測塔北側の林内と B 鉄塔[3] 付近の林縁部に土壌溶液，林内雨および露地雨水の採取装置を設け，1979 (B 点林縁は 1980) 年から継続調査した。

2. 調 査 地 点

調査地点の配置を図-1に示す。森林観測塔 (O)，B 鉄塔 (B) 点ともミズナラを主構成樹種とする広葉樹林で，土壌はいずれも自然排水の良好な火山放出物未熟土である。鉱質層位の表層部は樽前山系 a, b 火山灰層を母材とする粗粒で透水性の高い土壌である。



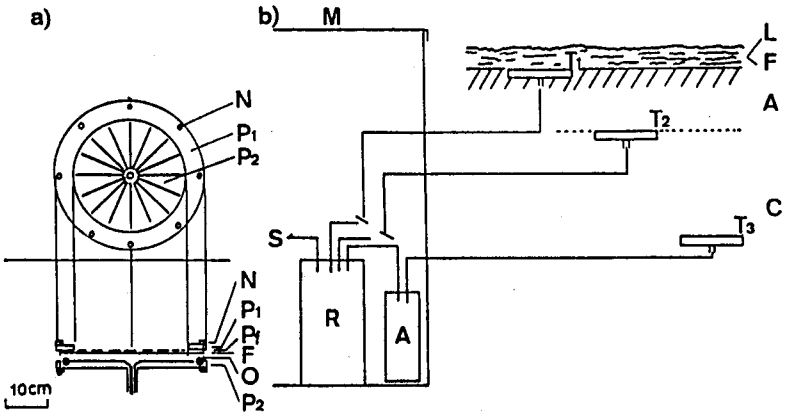
図—1　調査地点位置図

S：演習林事務所，O：森林観測塔，A, B, C：観測用鉄塔，H：幌内川
×印試料採集点，1：O 点（林内雨，土壌溶液），2：B 点（林内雨，土壌溶液），3：雨水，4：河川水
VRS：火山放出物未熟土，GLS：灰色低地土，太破線：VRS と GLS の境界線，太実線，細破線：道路

3. 調査・分析法

3-1. 土壌溶液の採取

土壌溶液は図-2に示すような低張力テンションライシメータによって連続採取した。テンションライシメータ単体は，有効直径270 mmの平板型ろ過装置で，40～50 mmHgの低圧で運転される。材料は硬質塩化ビニール，ろ過膜には，直径290 mm，最大孔径0.66ミクロンのミリポアフィルタを使用した。これを落葉層（L, F層）直下，A-C層の境界面およびC層内（深さ40～50 cm）に埋設し，真空ラインに接続して，土壌溶液を吸引・分離する。分離した溶液はマンホール内の集水瓶に集められる。溶液は原則として，降雨毎に分画・サンプリングし，実験室に持ち帰って必要な分析をおこなう。



図—2　テンションライシーメタ (a) および同配図 (b)

a) N＝ナット，Pl＝おさえ板，Pf＝プレフィルタ，F＝フィルタ，O＝O－リング，P_2：濾過板

b) M＝マンホール，S＝真空系，R＝リザーバ，A：採水容器，T_1, T_2, T_3＝テンションライシメータ，LF＝落葉堆，A＝A層，C＝C層

なお，テンションライシメータは各深さとも2反覆し，溶液は深さ別にまとめて採取した。また，大きな降雨の後数日間は毎日サンプリングして，雨後の経日変化を把握できるようにした。

3-2. 露地雨水，林内雨の採取

露地雨水は，演習林内気象観測露場で採取した。すなわち，径約20 cmのポリエチレンろ斗を，地面から約1 mの高さに固定して雨水を集め，直接大型ポリエチレン瓶に採集する。林内雨は，地点による雨量，化学性の変化を平均化するために，3600×120 mmの塩化ビニール製雨樋をもちいて採集した。すなわち，林内の高さ1.2～1.5 mの位置に雨樋を固定して集水し，大型ポリエチレン容器に採集する。

3-3. 河川水の採取

森林観測塔南側の幌内川で採水した。原則として，1降雨毎に採水するように計画したが，

一部休止した期間がある。

3-4. 分析項目と分析法

採集した各試料について，pH，電気伝導度 (EC), Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, NH_4^{+}, NO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, HCO_3^{-} (4.3 BX), SiO_2 を定量した。

分析法はそれぞれ次のとおりである。

pH：　無処理試料についてガラス電極 pH メータによって直接測定，

EC：　同上について電気伝導度計によって直接測定，

HCO_3^{-}：　1/50 規定硫酸により電位差滴定 (終点：pH 4.3) して求めたアルカリ度から算出，

Ca^{2+}, Mg^{2+}：　酸処理 (pH 2) 試料について原子吸光分光光度法によって定量，

K^{+}, Na^{+}：　同上試料について焔光分光光度法によって定量，

NO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-} その他の無機アニオン：0.22 ミクロンのミリポアフィルタを用いてろ過した後，イオンクロマトグラフィーによって定量，

SiO_2：　同上試料についてモリブデンブルー法によって比色定量。

なお，一部の試料について PO_4^{3-}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}，低分子脂肪酸類の分析もおこなったが，これらについては今回はふれない。

4. 結果および考察

4-1. O (森林観測塔) 地点

O 地点で採集した土壌溶液，林内雨，露地雨および幌内川河川水の分析結果の一部を表-1に示す。

表-1，カラム-1 の数値は採集年月日およびサンプル番号を示す。すなわち，

79　09　06　・　00

年次　月　日　サンプル番号

である。なお，サンプル番号は次のように付されている。

00　林内雨

01　L, F 層直下の土壌水

02　A 層直下の土壌水

表—1　雨水および土壌溶液の化学組成

DATE LAYER	PPT (mℓ)	pH	EC (μmho)	Ca	Mg	K	Na	NH_4	NO_3	SO_4	Cl	HCO_3	SiO_2
				(mmol/ℓ)									
790906.00	0.0	5.43	16.70	0.02	0.01	0.03	0.05	0.0	0.01	0.0	0.0	0.05	0.0
790906.01	0.0	6.02	51.60	0.12	0.04	0.02	0.13	0.0	0.02	0.16	0.15	0.15	0.18
790906.02	0.0	6.00	50.60	0.11	0.04	0.02	0.13	0.0	0.02	0.16	0.13	0.15	0.18
790906.03	0.0	5.88	57.50	0.11	0.03	0.03	0.19	0.0	0.03	0.16	0.16	0.08	0.22
790906.05	0.0	6.93	83.10	0.14	0.06	0.06	0.31	0.0	0.10	0.11	0.17	0.52	0.82

03　C層内の土壌水

04　露場（林外）の雨水

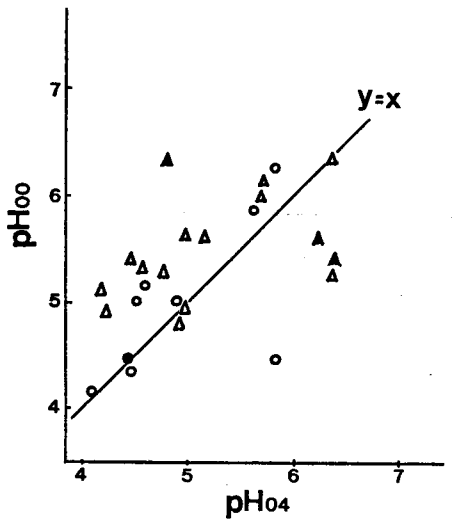
05　幌内川河川水

また，同カラム-2 (PPT) は採集された土壌溶液の液量 (mℓ) を示す。この値の 0.0 は欠測または溢流などによって測定結果が信頼できないものである。降水量との相関を求めて補正する必要があり，現段階では参考値である。

1)　露場雨水および林内雨水

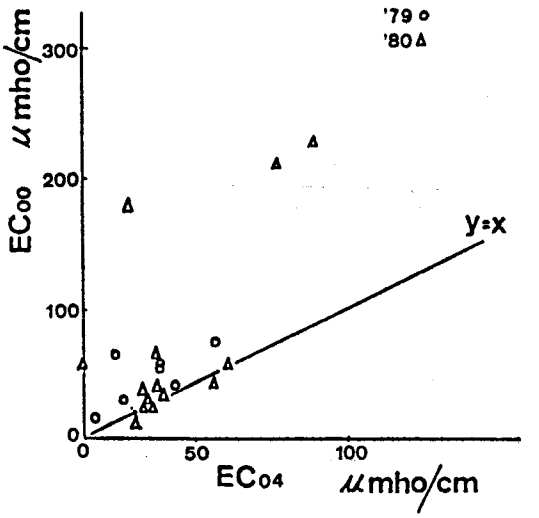
pH 04（添字はサンプル番号を示す，以下同様）は試料間の変動が大きく，4.1～6.4 の範囲にあり，pH 4.5 以下の強酸性雨の頻度も 20% 程度とかなり高い。EC 04 は 90 μmho/cm 程度以下のものが大部分で，各要素濃度とも低い例が多い。EC 04 が 70～90 μmho/cm の高い値を示すものでは，例外なく Na^+, Cl^- の濃度が高くなっており，海岸からの風送塩が溶存物質の主体になっていることを示している。これに対し，pH 00 は pH 04 とほぼ等しいか，これより若干高い水準にある。ΔpH (=|pH 00－pH 04|) は 1 pH を超えることはないが，0.7～0.9 とかなり大きくなる例も認められる。このように，ΔpH が大きい例では EC 00 または EC 04 が著しく大きな値になっている（図-3, 4 参照）。また，明らかに EC 00＞EC 04 である。これは，林内雨が樹冠を通過するさいに，付着した風送塩や，葉から溶出する無機成分を多量に溶かしこんでいることによるもので，EC 00 増大の主要因はやはり風送塩に由来する Na^+, Cl^- である。

NO_3^- 04 は大気から供給される栄養塩の主成分として重要なものであるが，1980 年 6 月 3 日の 1 例を除いて 0.0～0.03 mmol/ℓ のきわめて低い濃度範囲にある。このため，1980 年 5 月



図—3　pH_{00} と pH_{04} の関係

*　黒ぬりつぶしは $EC_{00} \geqq 75$ μmho/cm

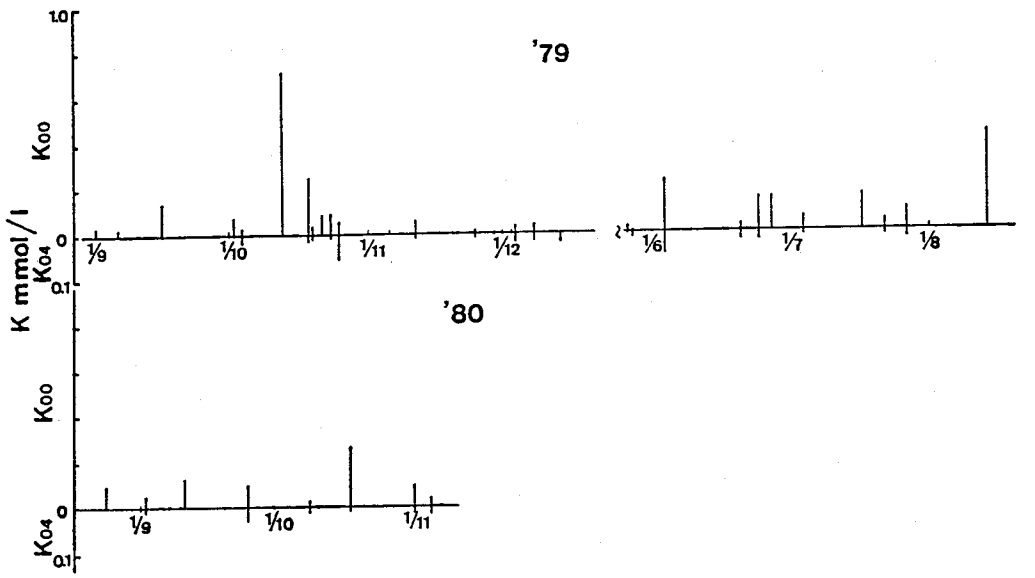


図—4　EC_{00} と EC_{04} の関係

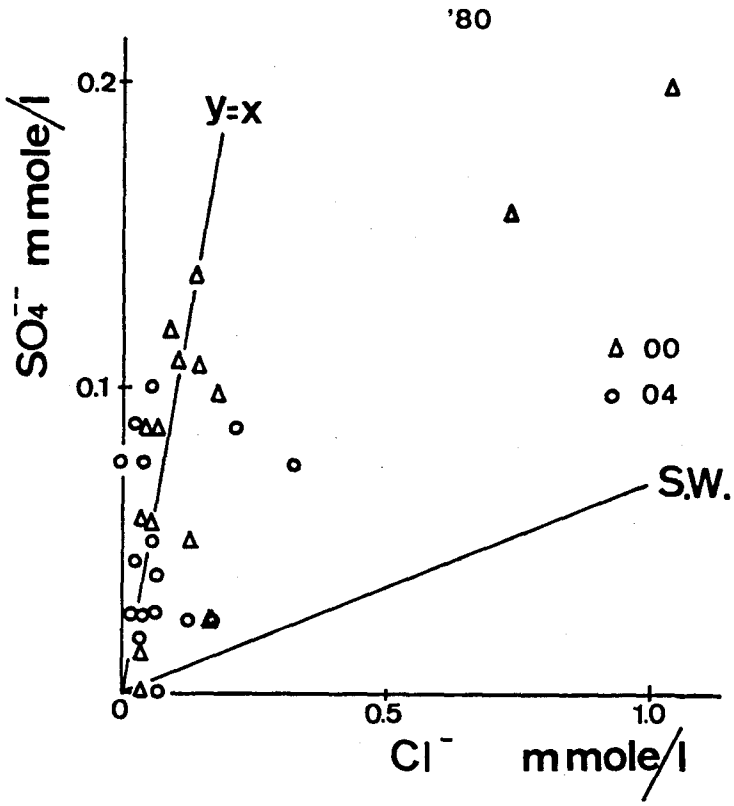
から11月の総量をとっても1.71 mmol/m² (24 mgN/m²) の NO_3-Nが供給されたにすぎないことになる。同様にして NO_3^- 00から計算した林内雨による NO_3^- 供給量は16.2 mmol/m² (227 mgN/m²) であるから，森林のN環境に対する大気圏から供給される NO_3-Nの寄与はあまり大きくないことがわかる。しかし，1980年6月3日の0.16 mmol/ℓのような高い値が，どのような原因で，またどれくらいの頻度で発生するかについては，今後とも注意して観測を続ける必要がある。

栄養塩の環境を考えるうえでもう一つ重要な要素に K^+ がある。NO_3^- の場合と同様に1980年について計算した結果は，露地については14 mmol/m²，林内については74 mmol/m² の K^+ が供給されたことになる。この K^+ 供給量は落葉・落枝などの形で供給される K^+ 量に比べて無視できない量である。露場および林内雨の K^+ 濃度は図-5のように推移しており，樹冠が密閉した期間はK 00>K 04であるが，落葉後は両者とも低濃度になり，K 00=K 04といってよい状態になる。図-4中1979年10月13日林内雨は，pH=7.3，EC=362 μmho/cm，Na^+=1.1 mmol/ℓ，Cl^-=1.72 mmol/ℓといずれも異常に高い値を示しており，樹冠部に蓄積された風送塩由来の可溶成分が一時に溶出したことによると推察される。ちなみに，この年の10月は1日と3日に温帯低気圧の接近による豪雨 (114 mm, 155 mm) があり，その後晴天が続いたのち，13日に0.5 mmの降雨があった。13日の降雨は11:00～12:00の間に降っており，量は少なかったが強度は大きかったと推定される。また，10月3日の降雨に際しては露場においてもやや高い K^+ 濃度が観測されている。

図-6に Cl^- : SO_4^{2-} の散布図を示す。明らかに，Cl^- 濃度が高いものほど SO_4^{2-} 濃度も高い傾向にあるが，Cl^- の低濃度域 (Cl^-<0.2 mmol/ℓ) では，SO_4^{2-}/Cl^- モル比がほぼ1 (図中の破線)



図—5　K^+_{00}, K^+_{04} の季節変化

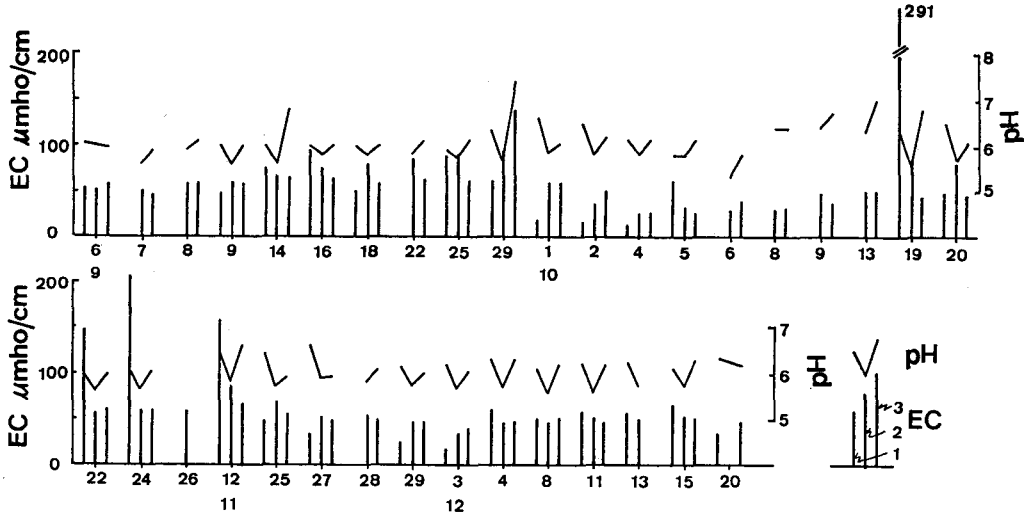


図—6　雨水の Cl^- と SO_4^{--} の関係
S.W.：海水の SO_4^{--}/Cl^- モル比に相当する直線

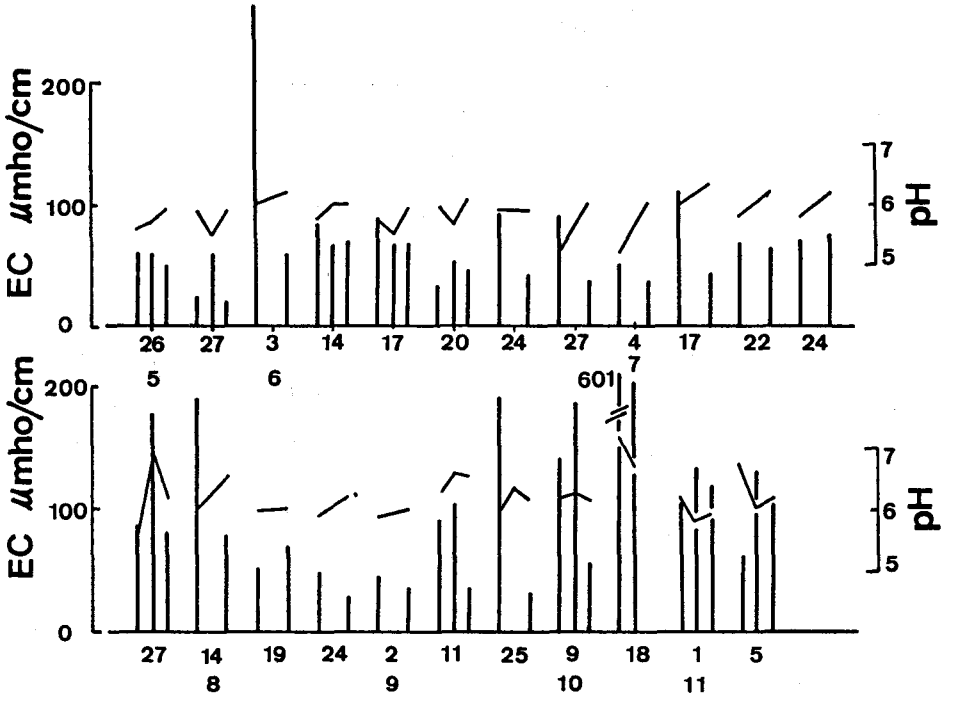
になる例が多い。海水の SO_4^{2-}/Cl^- モル比は約 0.069 であるから，これがそのまま稀釈されれば図中の実線 S.W. のような関係になるはずである。したがって，図-6 の結果は雨水が海水以外の汚染源から多量の SO_4^{2-} を付加されていることを示している。$Cl^- < 0.2$ mmol/ℓ の範囲では，露場雨水と林内雨水は全く区別できないので，その SO_4^{2-} 濃度増加は主として大気中の S 化合物によってもたらされたものであり，樹冠に付着した SO_4^{2-} が溶出することによる SO_4^{2-} 濃度の増加はあまり大きくないと推定される。

2) 土 壌 溶 液

土壌溶液 01，02，03 の pH および EC の推移を図-7，8 に示す。土壌溶液の pH は雨水の pH に比べてはるかに安定しており，大部分の測点が pH＝6.0±0.5 の範囲に分布している。pH 01 がほとんど上述の範囲に納まっていることからみて，酸性雨の影響は土壌表面の落葉層の部分で吸収され，土壌内の pH は比較的安定した状態（＝微酸性）に保たれると考えられる。また，pH 01，02，03 の比較では，pH 02 が最も低い V 字型の関係が多くみられる。これは，L，F 層を浸透するさいに浸透水が受け取った塩基性物質が，A 層で交換あるいは消費されて，そのかわりに H^+ が増加したことを示している。C 層では，構成鉱物の溶解等に H^+ が消費さ



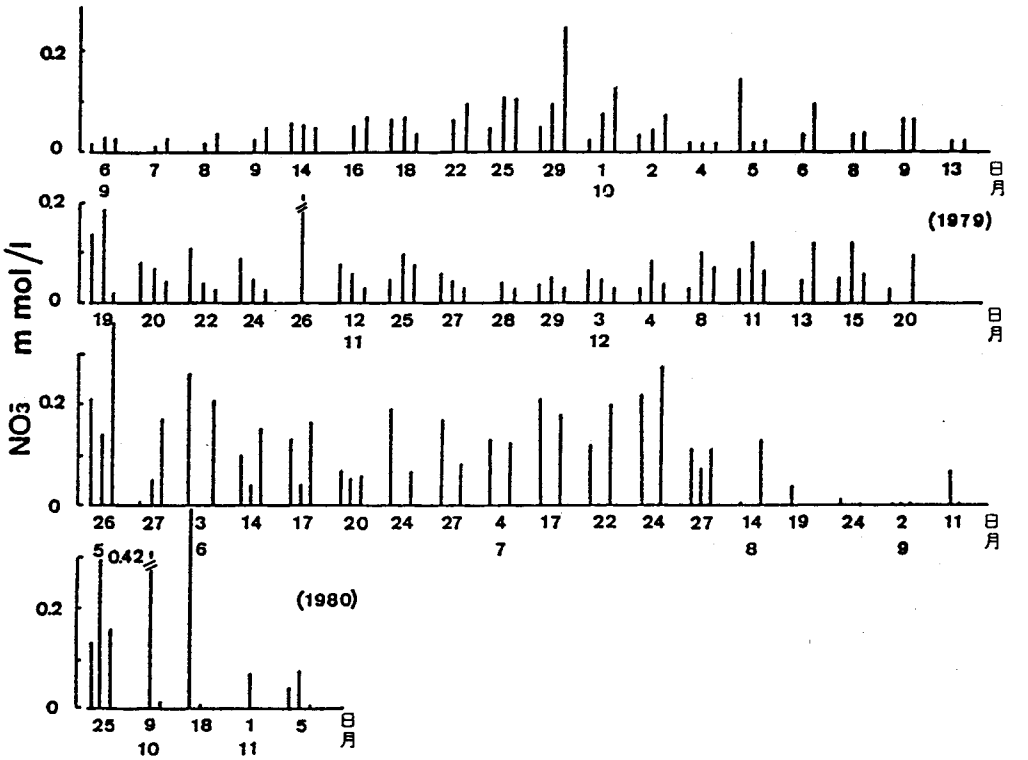
図—7 土壌溶液の pH および EC の変動 (1979)



図—8 土壌溶液の pH および EC の変動 (1980)

れ, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} 等が増加してくるために pH はふたたび上昇する。

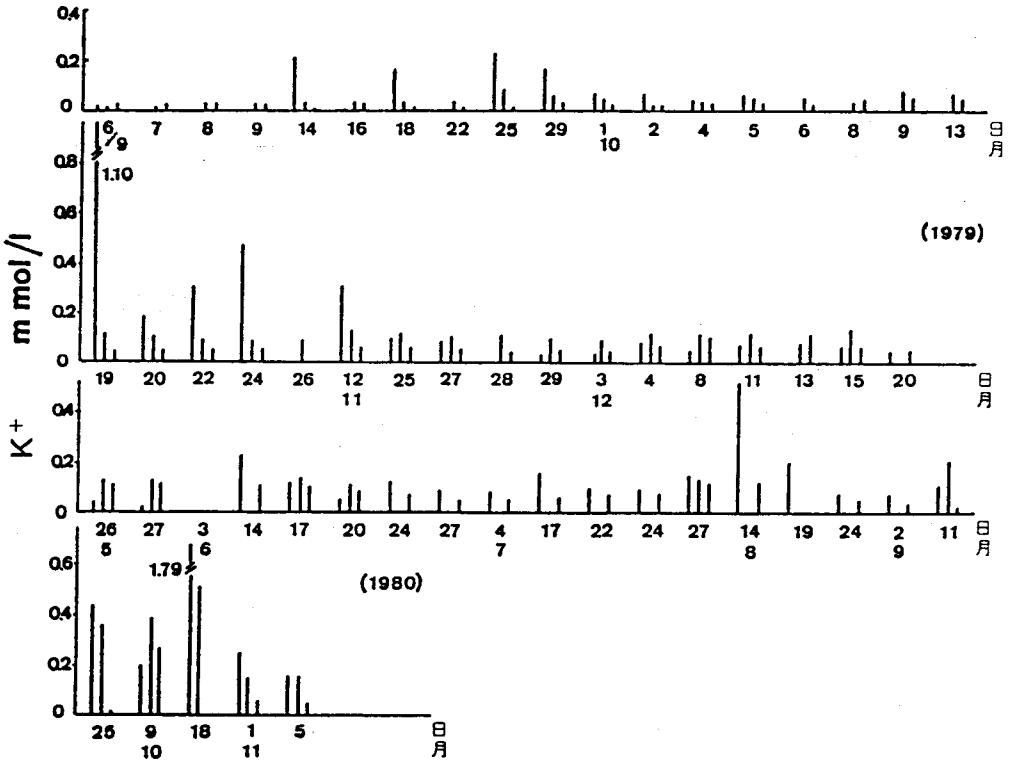
EC 01, 02, 03 は pH に比較するとやや大きな変動を示す。EC 値の出現頻度が最も高いのは, EC=50±20 μmho/cm の範囲であるが, EC 01 には 100～300 μmho/cm あるいはそれ以上の値もしばしば認められる。EC 01 には雨水の EC の寄与が大きいが, 9 月末から 11 月上旬に



図—9　硝酸態窒素の濃度変化

かけて大きい値の出現頻度が高いことからみて，紅葉あるいは新しく堆積した落葉層の影響も無視できないと思われる。この時期には，枯死あるいは活性の弱まった葉から多量の水溶性物質が溶脱されることが知られており，今後の調査によって，大気から供給される塩類と樹木あるいは落葉・落枝から供給されるそれの影響を分別して評価できるようにしたい。

次に，栄養塩として重要な NO_3^- と K^+ の推移を検討する。図-9 に NO_3^- 01, 02, 03 の推移を，図-10 に K^+ のそれを示す。NO_3^- 濃度は 5～7 月の期間 0.1～0.2 mmol/ℓ の比較的高い値を示し，8 月～9 月には低下するが，新鮮落葉が供給される 10 月から 11 月にかけて一時的に著しく高い値が観測されるようになる。11 月末から 12 月にかけての資料はわずかであるが，落葉最盛期のそれのような激しい変動はなく，気温（地温）の低下にともなって漸減する傾向にある。すなわち，土壌中の遊離 NO_3^- 濃度は 8 月中・下旬から 9 月中旬にかけての期間と 12 月から 3 月（?）にかけての期間に極小値をもつバイモーダルな季節変化をしている。二つの極小値のうち，前者は落葉として蓄積された有機物の分解によって供給される NO_3^- と林木，林床植物の吸収によって失われる NO_3^- のバランスによって生ずるものとみられ，この間約 50 日は窒素について「肥切れ」の状態になっていると見ることができる。後者は，低温による生物活性の低下によるものであろうが，得られた試料の範囲では前者ほどの濃度低下は起っておらず，養分収支の面からみると，この時期（恐らく融雪期においても）の NO_3^- の溶脱が大きな



図—10 土壌溶液 K^+ 濃度の推移

問題である。

図-10 の K^+ 濃度にも類似の傾向が認められるが，8～9 月の極小値はあまり明瞭でなく，雨水によって供給される K^+ の影響とみられる変動がやや顕著である。しかし，1979～1980 年とも落葉最盛期に K^+ 01 の著しく高い例が認められ，これにともなって K^+ 02 が増加している例も散見される。したがって，K^+ は主として落葉期に地表に還元され，A 層に保持されたのち，林木によって徐々に吸収されていくものと推察される。

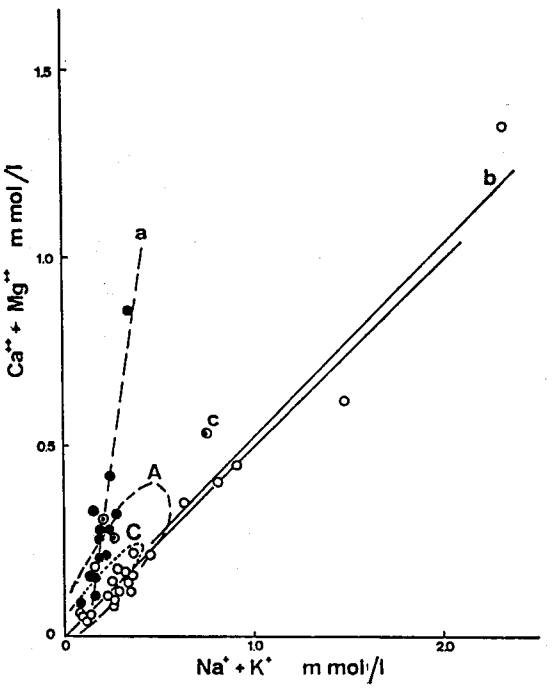
栄養塩としてもう一つ重要なものに P 塩がある。これまでの調査では，遊離の無機態りん酸 ($H_2PO_4^-$) について調べてきたが，二・三の例外を除いて，いずれも痕跡程度しか検出されなかった。溶液 P あるいは易動性 P としては，このほかに有機態 P を考慮する必要があると思われる。

図-11 は土壌溶液の陽イオンバランスをまとめたものである。02, 03 サンプルは狭い範囲に集中して，重複が多くなったために主な分布域を示すにとどめた。図から明らかなように，鉱質層位 (A, C 層) の陽イオン濃度は概して低く，かつ変動幅が著しく狭い。C 層はその測点の大部分が $Na^+ + K^+ \leqq 0.4$ mmol/ℓ, $Ca^{2+} + Mg^{2+} \leqq 0.2$ mmol/ℓ の領域に分布し，かつ $y = 0.5 \cdot x$ ($y = Ca^{2+} + Mg^{2+}$, $x = Na^+ + K^+$) の直線の上側に沿って分布する。これに対して，A 層の測点は C 層の測点群とかなり重複するものの，これよりわずかに 2 価陽イオンの多い側にズレて分

布している。A層，C層とも季節による変化は不明瞭である。

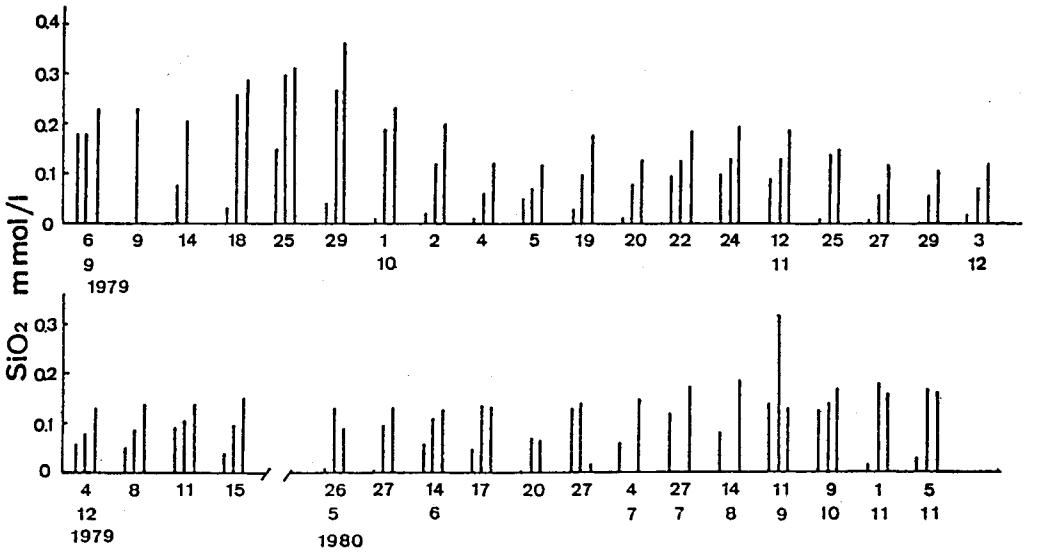
A・C層が安定したた陽イオン組成を示すのに対して，L・F層 (01) のそれは，季節によって大きく変動しており，濃度変化の幅も広い。すなわち，9月～12月のサンプルは，図中の直線bに沿って分布し，1価陽イオンと2価陽イオンをほぼ当量に含んでいる。これに対し，5～7月のサンプルによる測点は，図中の直線aに沿って分布し，1価陽イオンに比べて2価陽イオンのほうが圧倒的に多い。8月サンプリングの試料は両者の中間の性質を示し，陽イオンバランスの面からも8～9月が移行期に当たっていることを示唆している。

けい酸 SiO_2 は土壌あるいは地層中における鉱物の風化を考えるうえで重要な物質である。図-12に示すように，SiO_2 01，02，03はおおむね 0.35 mmol/ℓ



図—11　土壌溶液中の陽イオンバランスとその季節変化

a：01，5～7月，b：01，9～12月，c：01，8月，A：02，主分布域，C：03，主分布域



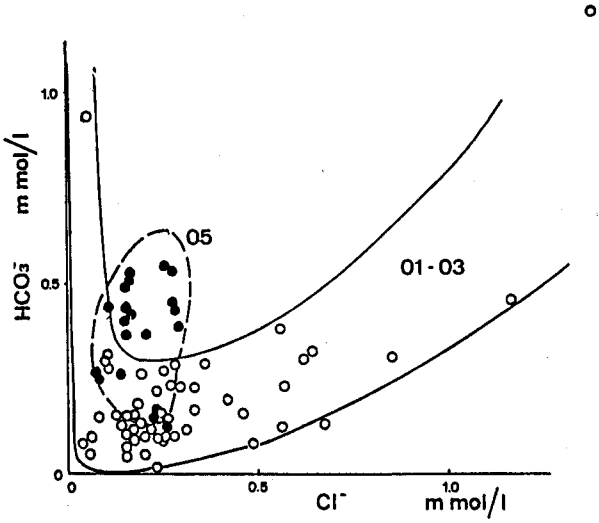
図—12　土壌溶液中の SiO_2 濃度の推移

以下の濃度を示し，01から03に向かって増大する傾向にある。後述するように，このSiO_2濃度は河川水05のそれの20%程度であり，火山灰地の陸水一般と比べてもかなり稀薄である。SiO_2濃度と他のイオン濃度の関係は，河川水と比較しながら次項で検討する。

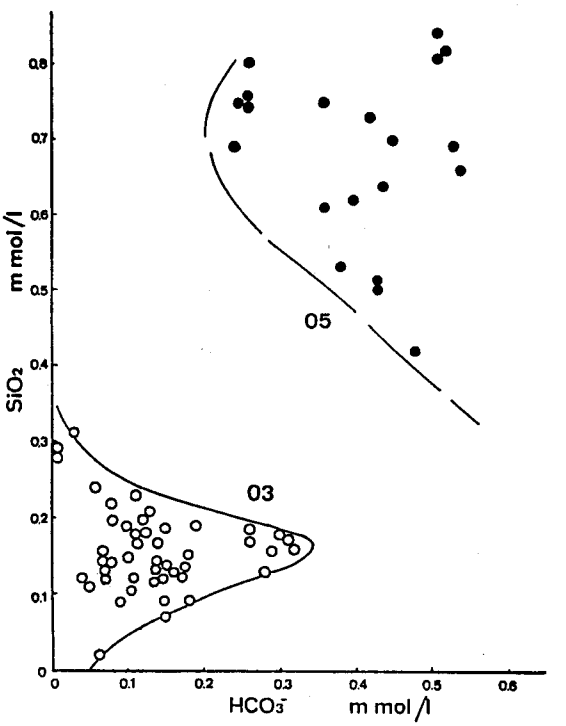
3) 河　川　水

幌内川河川水05については，観測期間を通じて21回サンプリングした。サンプリング回数が十分でないために，季節変化や降雨の影響を検出しにくいので，成分間のバランスに注目して，以下簡単に調査結果を整理してみる。

河川水はpH=6.5±0.5，EC=45～85 μmho/cmの範囲にあり，雨水・土壌水に比べるとその変動幅は小さく，他のイオン濃度も安定している。土壌水と比べて大きく相異する点は，(1) 陽イオンではNa^+, Ca^{2+}濃度が高水準に維持されている，(2) 陰イオンではNO_3^-，HCO_3^-濃度が高い，(3) けい酸濃度が高いという3点である。図-13はCl^-とHCO_3^-の関係を比較したものである。05はCl^-濃度 0.1～0.3 mmol/ℓ，HCO_3^-濃度 0.1～0.6 mmol/ℓの範囲にあり，変動幅は明らかに$Cl^- < HCO_3^-$である。これに対し，01～03はとび離れた位置にある2点を除くと，Cl^-=0.05～1.4 mmol/ℓ，HCO_3^-=0～0.5 mmol/ℓの範囲に分布しており，変



図—13　河川水 (05) と土壌溶液 (01, 02, 03) のCl^--HCO_3^-散図

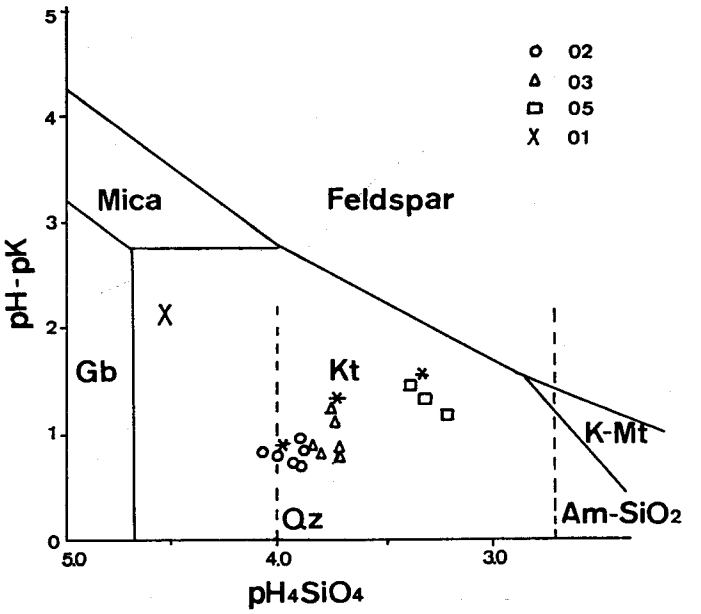


図—14　河川水とC層土壌溶液のHCO_3^--SiO_2散図

動幅は明らかに $Cl^- > HCO_3^-$ である。また，1980年5月～7月の期間には最高 0.7 mmol/ℓ におよぶ NO_3^- 05 が観測されており，この期間については HCO_3^- と NO_3^- が主要陰イオンになっている。

陽イオンについては図示しなかったが，Ca^{2+} 05，Mg^{2+} 05 は Ca^{2+} 03，Mg^{2+} 03 よりわずかに高く Na^+ 05 は Na^+ 03 よりかなり高い濃度水準にあった。すなわち，レゴリスの表層部では Cl^-，SO_4^{2-} など外来塩に由来する陰イオンに対して，Na^+，Ca^{2+}，K^+ などが溶出して電荷均衡を保っているのに対し，深層部では HCO_3^- 平衡下に主として Na-けい酸塩の溶出が起こり，これに季節的に供給される NO_3^- が加わって電荷均衡が保たれていると考えることができる。深層のイオン平衡に対して，Ca^{2+} はやや大きな寄与を示すが，Mg^{2+} の寄与は小さい。これは，この地域の地層を構成する火山灰がけい長質で苦鉄質鉱物が少ないことを反映するものであろう。

河川水のけい酸濃度が土壌水に比べて高いことは前に指摘したが，03 と 05 のけい酸濃度を比較すると図-14 のようになる。図から明らかなように，SiO_2 03 は 0.15 mmol/ℓ 付近にモードをもち，HCO_3^--SiO_2 散布図上の分布域は図中実線の範囲になっている。これに対して，SiO_2 05 は明らかに高濃度であり，測点はいずれも図の右上部に偏寄った分布をなしている。HCO_3^--SiO_2 散布図上におけるこのような違いや 05 サンプルのバラツキの原因は現在のところ，よくわからない。降雨と流出の関係，土壌水と地下水の滞溜時間の相違，中間層の地質と



図—15　K_2O-SiO_2-Al_2O_3-H_2O 系の安定度図（1979. 10. 19～11. 25）

*：10月19日（落葉期），MiCa：雲母，Gb：ギブサイト，Feldspar：K長石，Kt：カオリナイト，Qz：石英，K-Mt：K-モンモリナイト，Am-SiO_2：非晶質シリカゲル

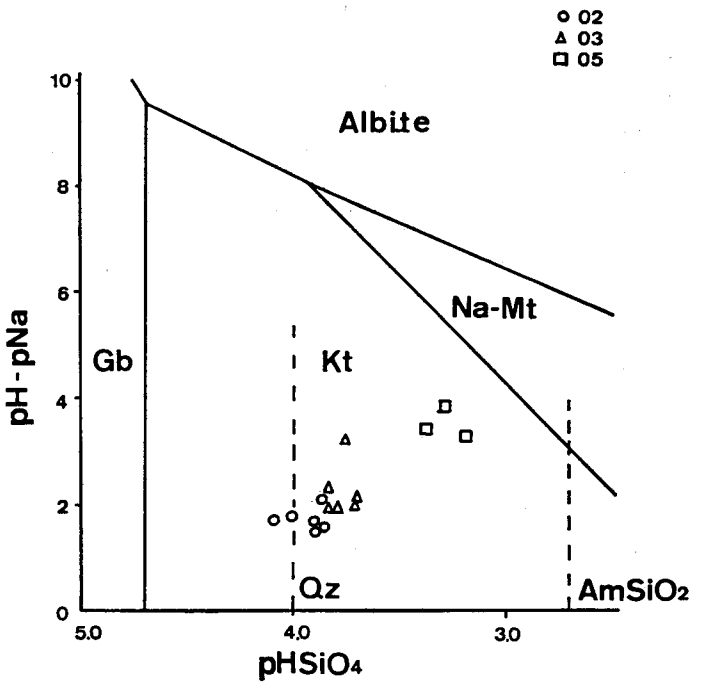
地下水の性質および地下水と河川水水質の関係などを調査したうえで再検討したい。

図-15, 16, 17は数種のサンプルについて $Me^{n+}O$-SiO_2-Al_2O_3-H_2O 系の安定度図を作成した結果である[4,6,6]。図-15は土壌溶液の大部分が石英 (Qz) 飽和に近いカオリナイト (Kt) の安定領域に分布する。河川水はQzと非晶質シリカ (Am-SiO_2) 飽和溶液の中間の SiO_2 濃度を示し，やはりKtが安定なイオン・SiO_2 濃度環境にあることを示している。図-15, 16, 17から，(1) K-長石，Na-長石，Ca-長石，雲母類などの一次鉱物はいずれも不安定で，K^+, Na^+, Ca^{2+} と SiO_2 を放出して，分解する条件にある，(2) Ca-Mtを除いて，安定な粘土鉱物はKtのみである，(3) CaO-SiO_2-Al_2O_3-H_2O 系の河川水は，KtとCa-Mtの境界線上にあり，カオリナイトとCa-モンモリロナイトが共生しうる条件にあるなどのことがわかる。深層の土壌水又は地下水は，もう少しpH-pMeが大きく，pH_4SiO_4 が小さくなると推定されるので，K-長石，Na-長石あるいは (K, Na)- モンモリロナイトの安定領域に入る可能性もある。

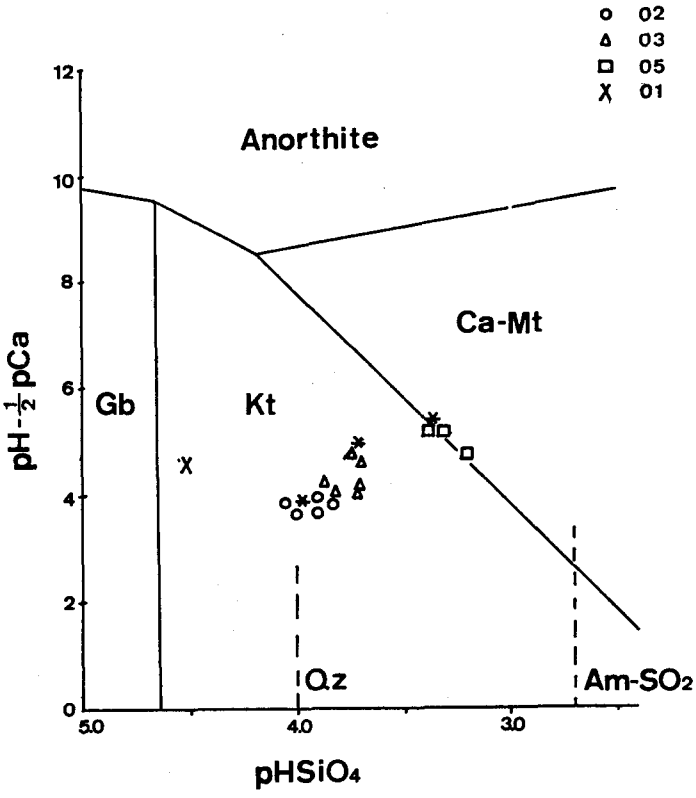
4-2. B (高速道路わき林縁) 地点

B地点については，1980年 (5月～12月) 単年度の結果しか得られていないので，簡単な説明を加えるにとどめる。

pHは4.49から6.53の範囲にあって，O-地点より変動幅が若干狭い。ECおよび各イオン濃度は，最低値はO-地点と変わらないが，最高値はO-地点より高いものが多く，試料間の変動が激しい。とくに，01, 02サンプルの Ca^{2+}, NO_3^- の高い例が目立つ。Cl^-, SO_4^{2-} につ



図—16　NaO-SiO_2-Al_2O_3-H_2O 系の安定度図 (1979. 10. 19～11. 25)
Ca-Mt: Caモンモリロナイト，Albite: Na長石



図—17　CaO-SiO_2-Al_2O-H_2O 系の安定度図 (1979. 10. 19～11. 25)
Ca-Mt：Ca モンモリロナイト，Anorthite：Ca 長石

いても高濃度のサンプルが多いことが目につき，全体として，林外から供給される汚染物質の性質と量に敏感なイオン環境にあると判断される。

NO_3^-，K^+ など栄養塩の季節変化は，大勢としては O- 地点に類似すると思われるが，例えば NO_3^- については，7月下旬には明瞭な濃度低下が認められ，盛夏期から初夏にかけてのその欠乏がより著しい。これには，林縁部における乾燥・高温と有機物の急激な分解が関係しているものと考えられ，土壌水分や土壌温度の変動とあわせて，慎重に観察していく必要がある。

なお，調査にあたって，試水の採集および計量を苫小牧地方演習林の前田　豊，田中夕美子両氏に分担していただいた。記して感謝の意を表する。

引 用 文 献

1) 佐久間敏雄：苫小牧演習林の土壌—特に堆積腐植の性質とそれに対する伐採の影響—．北大演研報，44 (2), 749-759, 1987.
2) RIEKOV, H.: The mobility of phosporus, potassium and calcium in a forest soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 35, 350-356, 1971.
3) 佐久間敏雄，小林信也：広葉樹林の水及び熱エネルギー収支と林内環境．北大演研報，44 (2), 507-535,

1987.

4) HANDA, B. K.: Occurrence and distribution of potassium ions in natural water. J. Hydrology, **26**, 267-296, 1975.

5) STUMM, W. and MORGAN, J. J.: Aquatic chemistry, An introduction emphasizing chemical equilibria in natural water, 402-417, Willey Interscience, New York, 1970.

6) 岡島秀夫, 佐久間敏雄ほか: 有珠1977噴出物の土壌母材としての理化学的特性, 有珠山噴火と環境変動, 335-347, 北海道大学, 1978.

Summary

Cycling of inorganic elements at two sites in Tomakomai Experiment Forest was studied to clarify the dynamics of these elements and to discuss the variation of nutrient regime. Study sites were selected in a deciduous forest which consisted mainly of Quercus mongolica var. grosseserata. Samples of rainfall, through-fall, soil solution extracted by tension lysimeters, which were set beneath the O and A horizons and in the C horizon, and ground and river waters were collected and analyzed periodically.

The value of pH and EC (electric conductivity) of rainfall were in the range from 4.1 to 6.4 and from 40 to 90 μmho/cm, respectively. The frequency of acid rainfall (pH$<$4.5) was about 20%. High sulfuric acid content due to air pollution was the main reason of these low pH rainfalls. The ionic composition of rain water varied with that of dry fallouts originating from sea water and man-made pollutants.

Chemical composition of through-fall varied with the varying composition of rainfall and ions released from leaves or dissolved from dry fallouts accumulated in the crown.

The variation in chemical composition of soil solution taken from the organic horizons reflected clearly the variation of biological and chemical state of litter. High concentrations of K^+ and NO_3^- were often observed in late autumn (late October-November), during which much fresh fall was supplied. But these levels decreased in late summer. The lowest concentration of these nutrient ions was observed in the period just before the beginning of litter fall. Soil solution pHs in the O-horizon was around 6 and was relatively stable. This indicates the influence of acid rainfalls brought down during percolation through the O-horizon.

The soil solution extracted from the mineral soil horizons was characterized by high SiO_2 and Ca^{2+} concentration. Chemical composition of the soil solution extracted from the C horizon, ground water and river water suggested that kaoline minerals were the most stale ones. However, some of river and ground waters were plotted along the border between the stable area of Ca-montmolillonite and that of kaolinite on a stability diagram of CaO-SiO_2-Al_2O_3-H_2O ystem. It was concluded that the most stable minerals under the present chemical state of the soil solution were kaolimite and Ca-montmolillonite.