

## 圃場における土壌溶液の採取法

木 方 展 治\*  
 渡 辺 久 男\*\*  
 結 田 康 一\*

Sampling Methods of Soil Solution in Fields.

Nobuharu KIHOU,\* Hisao WATANABE\*\* and Kouichi YUITA\*

\*National Institute of Agro-environment Sciences

\*\*Tropical Agriculture Research Center

## 1. はじめに

土壌溶液の室内での採取法には遠心法、加圧膜法等がある<sup>1)</sup>が、土壌溶液の野外の採取法ではポーラスカップ法が一般的である<sup>2)</sup>。ポーラスカップ法とは多孔質のポーラスカップを先端に装着した土壌溶液採取管（以下採取管とする）を土中に埋設し、管内を負圧にすることにより生ずる吸引力で土壌溶液を集める方法であり、土壌構造を乱さずに同一地点の土壌溶液を野外で経時的に採取できる。ポーラスカップ法には各種方式が存在する。本報では各種方式の特徴について論じた後に、著者らが農家圃場で3m程度の深さまでの土壌溶液を採取する目的で採用している方式に関する基礎的事項の検討結果について述べることにする。なお本報において特に断わらないかぎり、けい酸およびアンモニア態窒素は吸光光度法により、塩素、硝酸態窒素、硫酸態硫黄、臭素、亜硝酸態窒素およびりん酸はイオンクロマトグラフ法により、ナトリウム、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光光度法による分析を行なった。また本報では溶質を問題にするという立場から土壌溶液の語を用いた<sup>3)</sup>が、一般的意味の土壌水と置き換えても差し支えないと考え、土壌溶液を土壌から採取する行為に採水の語も用いた。

## 2. 土壌溶液採取方式の比較

ポーラスカップ法には土壌溶液をポーラスカップ内に吸引するための減圧方法、採取溶液を保持する場所、採取溶液の取り出し方法、カップ素材、採取管の埋設方法によって多数の方式が考えられる。表-1で、各種方式

の比較を行なった。土壌溶液をポーラスカップ内に吸引するための減圧方法には定圧方式<sup>4)</sup>と降下圧方式<sup>5)</sup>とがある。定圧方式は真空ポンプで採取期間中減圧を続ける方法で、電源があることが望まれる。採取時の条件が一定で種々の問題の解析が行ないやすく、強い吸引力が得られるので短時間採取が可能である。反面、蒸発濃縮、低沸点成分の揮発等の問題が生ずる可能性がある。溶液の取りすぎを回避するための工夫が必要な場合もある。定圧法で高真空を保ち続けた際に溶液の蒸発濃縮が起こった例を表-2に示した。蒸発は水面の表面積に関係するが、1Lフラスコに50ml入れたものと、0.1Lフラスコに50ml入れたものとは吸引時間が2時間と6時間にも係わらず、濃縮度が115と103とかなりの差となって表われている。従って定圧法の場合は、強い真空度での吸引は行なわずかつ採取速度に見合った容量の採取瓶を準備することが必要となる。降下圧法はある初期圧まで真空ポンプで減圧にした後、採取装置を密閉する方法で、試料の採取による減圧ベースの縮小および外界からの空気の流入により、真空度は低下する。従って、採水可能な水の保持力に相当する土壌pFが減少し、結果として同じ採取量を定圧法によって得る場合も集水域は広がる（4節参照）。一方一度減圧にすれば採水時まで放置できるので、手動式ポンプあるいはバッテリー式真空ポンプの使用が可能であるという利点を持つ。

採取した溶液を保持するには、土中に採取装置のスペースを大きくとって貯える方式<sup>6)</sup>と、地上部に減圧スペースを設けて貯える方式とがある。土中に貯える場合は、地上部スペースを小さくできてコンパクトにまとめられるが、土中スペースの大きさを自在に取れない場合

\*農業環境技術研究所  
 \*\*熱帯農業研究センター

表-1 ポーラスカップ法における各種土壤溶液採取方法・装置の比較

方式・装置		長 所	短 所
減圧法	定圧	下法と同じ初期圧なら短時間採取が可能 採取時の条件が一定	蒸発濃縮の可能性あり
	降下圧	装置が簡便（手動ポンプで採取可能）	上法より集水域が大（採取量が同じ場合）
保持場所	土中採取管	場所をとらない おおまかな水分量の推測の可能性	採取液が土壌に戻る可能性あり 採取量が採取管容積に依存する
	地上採取瓶	採取状況がわかる 後の集水作業が容易	凍結して採取できない可能性あり 高温時の採取液の保存性
取出法	減圧	装置の単純化ができる	手動ポンプでは採取が困難
	加圧	深い場所の採取が可能な場合がある 不活性ガスで嫌氣的条件を維持しやすい 採取時以外に土壤溶液の侵入を防げる	加圧時に採取液が土中へ逃げる可能性あり
カップ素材	アルミナ質 ケイ石質	安価	リン酸の吸着がある
	ガラス繊維 ポリエチレン	カップからの成分溶出が少ない イオン交換容量が小さい	高い土壤 pH での採取に不利
埋設法	縦挿入	埋設が比較的容易	農作業を妨げる可能性あり
	横挿入	導管壁に沿う漏水の心配がない	平坦地では適用しにくい

表-2 定圧法による溶液の蒸発濃縮

	原 液	1L 三角フラスコ 降下圧法	1L 三角フラスコ 定圧法	0.1L 三角フラスコ 定圧法
放置時間	—	2 hr.	2 hr.	6 hr.
フラスコ内真空度	—	初期圧 60 cmHg	73 cmHg	72 cmHg
開始時溶量	—	50 ml	50 ml	50 ml
終了時液量	—	50 ml	43 ml	48 ml
液量変化からの濃縮度	—	100.0	116.3	104.2
Cl 濃縮度 ( ) 内濃縮度	100.0 (10.00 ppm)	100.1 (10.01 ppm)	114.8 (11.48 ppm)	103.6 (10.36 ppm)
Br 濃度 ( ) 内濃縮度	100.0 (0.100 ppm)	100.0 (0.100 ppm)	114.0 (0.114 ppm)	102.0 (0.102 ppm)
NO <sub>3</sub> -N 濃度 ( ) 内濃縮度	100.0 (100.0 ppm)	100.4 (100.4 ppm)	115.3 (115.3 ppm)	103.4 (103.4 ppm)
SO <sub>4</sub> -S 濃度 ( ) 内濃縮度	100.0 (5.000 ppm)	100.1 (5.005 ppm)	114.3 (5.715 ppm)	103.6 (5.180 ppm)

## 圃場における土壤溶液の採取法

がある。また減圧の破れた場合に一度貯られた土壤溶液が土壤に戻る可能性を有する。採水量から土壤の水分量を推定するには土中に蓄える方式が有利であると考えられる（5節参照）。地上部に保持する場合は溶液の取り出しの手間がなくなるので、省力になる。採水量を採取瓶の大きさでコントロールできる利点もある。地上部は、温度条件の変化が激しいので難点であり、凍結・高温による影響が出やすい。しかし人口的な操作は加えやすいので、ヒーター・冷蔵庫の使用でより有利な条件を作り出すことが可能である。

保持した溶液を地上から取り出すには、減圧による方式と、加圧による方式<sup>7)</sup>とが考えられる。保持場所が地上部の場合はすべて減圧方式による。減圧による場合は、土壤溶液をポーラスカップ内に吸引するための減圧装置をそのまま用いることができるので装置が単純であるが、埋設深さに相当する重力ポテンシャルの差だけ余計に負圧が必要であり、減圧装置が強力でなければならない。加圧による場合は別に加圧装置が必要になるので採取方式としては複雑になる。加圧装置にはポンプあるいはガスボンベが考えられる。原理的には10m以上の深さの土壤溶液が1気圧以上の加圧により採取可能であるが、ポーラスカップから溶液が漏れ出す危険性もあり、実際はカップ周辺土壤の土性とどれだけの漏出による損失を許すかにより、採取できる深さは決まるものと考えられる。窒素等の不活性ガスを用いた場合には、還元状態の土壤の酸化を防ぐことができる。この他設定された日時の下水位以下の溶液を採取しようとする場合に、採取当日まで加圧することにより採取時以前の溶液の浸入を防ぐことができること、および試料採取の際にはほぼ完全に溶液を取り出せるため、残存液が次の試料採取に影響することを考えなくてもよいことが利点としてあげられる。

ポーラスカップの素材はアルミナ質またはけい酸質などのセラミック性のものが、安価であることもあって多く使われているが、イオン交換容量がほとんどないガラス繊維<sup>8)</sup>あるいはポリエチレン<sup>9,10)</sup>を用いた例もある。後2者の場合は高い土壤pFの場合に採取が困難になる。

採取管を埋設するにはポーラスカップを縦に挿入する方式と横に挿入する方式<sup>11)</sup>とがあり、中間として斜めに挿入する方式も考えられる。横に挿入する方式は導管壁に沿って漏水する危険性が無く、農作業の障害にもなりにくい。平坦地で適用しようとする埋設深度以上の穴を掘らねばならず、労力がかかるうえ土壤攪乱の危険性を持つことになる。

これらの多様な方式の中から著者らは、農家圃場での適用性を重視して、電源を得ることが困難な場所でも支障なく、農作業の妨害も比較的少ない採取方式を選択した。すなわち、カップ素材にアルミナ質を用い、ハンドドリルで掘った穴に縦に採取管を挿入して吸引は手動減圧ポンプ等による降下圧方式で行ない、集められた土壤溶液を土壤中採取管内に保持した後、手動加圧ポンプ等による加圧を用いて採取する方式を採用して試験を行った。以下にその検討結果について述べる。

## 3. ポーラスカップを透過した土壤溶液の化学的性質

用いたポーラスカップはテンシオメータに使用されているもの（大起理化製）と同じで、長さ60mm、外径18mmのアルミナ質のものを用いた。素材は天然陶土で $Al_2O_3$  90%、 $SiO_2$  5%、 $CaO+MgO$  4%よりなる。これに内径13mm、外形18mmの塩化ビニル製パイプを接続し、パイプの他端を三方コックを接続した注射針2本が付いたシリコンゴム製キャップで閉じた。1本の注射針先端には、ポーラスカップ底に届く長さの径0.54mmのテフロンチューブを採取液取り出し用として接続した。他方の注射針先端は、カップ内の減圧および加圧用とした。以上が著者らが用いた土壤溶液採取装置の構成で、図-1に概略を示した。

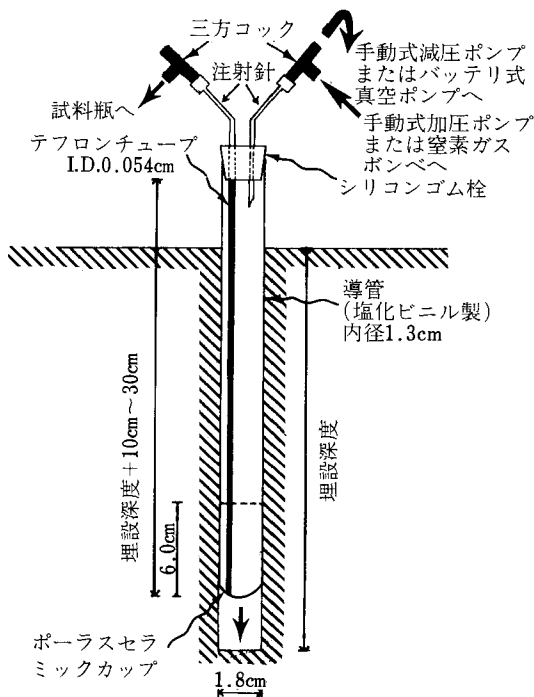


図-1 土壤溶液採取装置主要部分

表—3 に水田の深さ 50 cm の位置に 4 年間埋設して土壌溶液採取を行ってきたポラスカップに対して、試料水中の各種化学成分の透過試験を行なった結果を示す。透過試験は水道水にリン酸アンモニアおよび亜硝酸ナトリウムを添加した試料水中に採取管のポラスカップ部分を浸し、内部を減圧して試料水を透過させることにより行った。左欄の数字は透過率を表わし、ポラスカップ透過後の試料水中成分濃度が透過前の何%になったかを示す。透過試験に使用した採取管をそのまま風乾させ、再蒸留水に浸して、溶出してきた成分濃度を表の右欄に示した。りん酸を除く化学成分のポラスカップによる吸着および溶出は、ppb レベルを測定の対象としない限り、未使用カップの場合<sup>12)</sup>同様に実用上問題の無

いことが分った。

土壌溶液の採取を吸引法と遠心法で行ない分析した結果を表—4 に示す。成分濃度および土壌の含水率が高い実験条件の結果であるが、吸引法と遠心法とでは採取された溶液に大きな濃度差はなかった。

初期吸引圧を変化させた場合の濃度の違いをカリウムについて調べた。相対誤差の最大は9.3%であり、サンプルの不均一性を考慮に入れると、初期吸引圧の影響は余り大きくないことが考えられた<sup>12)</sup>。

以上より筆者らの方法で採取した土壌溶液の化学的性質は、従来の土壌溶液と考えられていたものと大きくは変わらないものであると推察された。

表-3 埋設後4年経過ポラスカップ透過・溶出試験

透 過 液 量								透 過 液 量		
採 取 液 量			0 ml	60 ml	120 ml	160 ml	220 ml	0 ml	65 ml	120 ml
			56.2	59.1	34.9	12.4	58.4	60.8	50.0	34.9
供 試 液 中 成 分 濃 度	成分名	濃 度 (ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
	SiO <sub>2</sub> -Si	8.5	97.9	99.3	100.2	96.6	99.2	—	—	—
	PO <sub>4</sub> -P	0.65	28.4	74.9	90.4	87.1	99.3	0.120	0.066	0.065
	Cl	43	100.3	100.0	99.9	100.0	99.9	2.10	0.23	0.13
	SO <sub>4</sub> -S	7.1	101.1	100.0	100.2	100.1	98.5	0.346	0.045	0.031
	NO <sub>3</sub> -N	0.28	106.2	100.2	100.4	100.7	100.5	0.016	0.001	0.001
	NO <sub>2</sub> -N	0.10	102.1	101.5	100.2	100.2	100.7	0.000	0.000	0.000
	NH <sub>4</sub> -N	0.55	104.1	101.3	100.2	102.2	98.4	—	—	—
	Na	25	99.4	100.0	100.0	100.3	99.2	1.47	0.37	0.20
	K	6.5	98.0	99.8	98.7	100.6	98.6	0.59	0.20	0.13
Ca	17	92.2	95.8	96.7	—	98.4	0.59	0.11	0.11	
Mg	7.0	94.6	98.4	98.6	—	98.8	0.26	0.07	0.07	

表-4 吸引法と遠心法との土壌溶液中主要成分の比較

成 分 名	水分含量 41.9%		水分含量 50.1% (湛水状態)	
	吸 引 法	遠 心 法	吸 引 法	遠 心 法
Cl	30.6 ppm	32.4 ppm	33.6 ppm	36.1 ppm
NO <sub>3</sub> -N	68.4	75.2	52.7	54.0
SO <sub>4</sub> -S	5.23	4.99	6.11	6.80
Na	29.2	32.1	27.6	29.1
K	43.2	47.1	38.4	41.2
Ca	40.5	43.3	32.2	32.8
Mg	14.1	15.0	11.5	11.4

供試土壌：観音台表土（表層腐植質黒ボク土）

吸引条件：初期真空度 40 cmHg (pF 2.74 相当)

遠心条件：遠心管内の試料に最大 pF 2.74 の力がかかるように設定して60分回転

## 4. 採水の物理的特性

図一に示す装置での集水域範囲について大まかな考察を行って見る。ここで採取管の初期吸引圧（当初の採取管の吸引力）で採水可能な水の保持力に相当する土壌 pF の最大値を  $\max d$ 、採水時の土壌 pF を  $d$ 、採水の間段階での吸引力（ $P'$  gf/cm<sup>2</sup> とする）により採水可能な水の保持力に相当する土壌 pF の最大値を  $x$  ( $\max d \geq x \geq d$ ) とする。各々の pF に対応する土壌の水分率を  $\theta_{\max d}$ ,  $\theta_d$ ,  $\theta_x$  とする ( $\theta_{\max d} \leq \theta_x \leq \theta_d$ )。  $v$  [cm<sup>3</sup>] を採水量（変数）、 $v_L$  [cm<sup>3</sup>] を最終的採水量、 $A$  [cm<sup>3</sup>] を集水域の体積とする。採取管の吸引力  $P'$  と採水時の土壌のマトリクス・ポテンシャル  $10^d$  との差に相当する土壌中の水分を採取管が近傍より順に集めるという仮定をすると、定圧法 ( $\theta_x \equiv \theta_{\max d} = \text{const.}$ ) では、

$$A = \frac{100 v_L}{\theta_d - \theta_{\max d}} \quad (1)$$

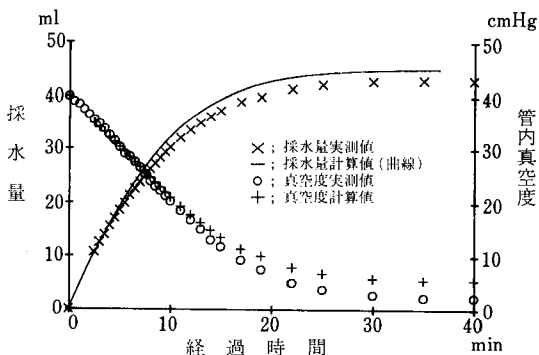
が成り立つ<sup>13)</sup>。降下圧法では採取管の吸引力  $P'$  は採水量の関数として次第に減少する。最終的採水量  $v_L$  の 99% を採水する時の集水域の体積  $A_{99}$  [cm<sup>3</sup>] は次式で表せる。

$$A_{99} = \int_0^{0.99 v_L} \frac{100}{\theta_d - \theta_x} dv \quad (2)$$

積分の上限を  $0.99 v_L$  で止めたのは  $v = v_L$  で、積分内の項が無限大になってしまうため、実用上 99% の土壌溶液の集水域の推定で十分であると考えたからである。

採取管の吸引力  $P'$  は大気圧 ( $P_a$  gf/cm<sup>2</sup> とする) から採取管内の圧力 ( $P$  gf/cm<sup>2</sup> とする) と採取された土壌溶液による水柱圧 ( $\gamma h$  gf/cm<sup>2</sup>; ここで  $\gamma$  gf/cm<sup>3</sup> は土壌溶液の密度、 $h$  cm は水柱高さとする) を引いたものである。 $\gamma$  を 1 で近似すると、

$$P' = P_a - P - h \quad (3)$$



図一 水道水の採水量経時変化

$P'$  が土壌のマトリクス・ポテンシャル  $10^d$  に等しくなった時に採取管内は物理的平衡状態に達し、採水は停止する。 $P$  は採水時に外界からの空気の流入あるいは気体の発生が無い場合には、 $v$  の関数として(4)式（ボイルの法則）で表されるので、最終的水柱高さ  $h_L$  [cm] は(3)式と(5)式で結びつく。

$$P = \frac{V}{V-v} P_0 \quad (4)$$

$$P_a - \frac{V}{V-v} P_0 - h_L - 10^d = 0 \quad (5)$$

ここで  $V$  [cm<sup>3</sup>] は採取管の容積、 $P_0$  [gf/cm<sup>2</sup>] は採水開始時の採取管内の圧力である。採取管を半径  $r$  の円柱とすると

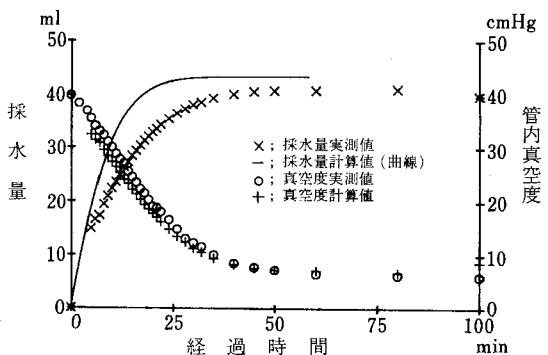
$$v_L = \pi r^2 h_L \quad (6)$$

であるから(4)式は  $v_L$  の 2 次方程式と成り、

$$v_L = \frac{V + \pi r^2 (P_a - 10^d)}{2} - \frac{\pi r^2 \sqrt{\left(\frac{V}{\pi r^2} + P_a - 10^d\right)^2 - 4 \frac{P_a - P_0 - 10^d}{\pi r^2} V}}{2} \quad (7)$$

が解となる。

pF—水分曲線より  $\theta_{\max d}$  および  $\theta_d$  を読み取った後に  $\theta_x$  を  $10^x$  すなわち  $P'$  の近似関数として表わすことができる。ここで pF—水分曲線が 1 次式に近似できると計算は容易である。計算例をあげる。5 節 図—4 の結果より、 $\max d = 2.5$  として与え、 $d = 0.5$  とする。 $\theta_{\max d} = 20\%$ 、 $\theta_d = 40\%$  を pF—水分曲線より得たとする。採取管の内径  $r = 0.65$  cm、容積  $V = 136.7$  cm<sup>3</sup>（管長 103 cm に相当）とし、初期吸引圧 40cmHg ( $P_0 = 489$  gf/cm<sup>2</sup>) での降下圧法による 99% 集水域  $A_{99}$  は 361 cm<sup>3</sup>（球を仮定した場合の半径 4.42 cm）、最終的採水量  $v_L$



図二 土壌溶液の採水量経時変化

は  $68.4 \text{ cm}^3$  と計算される。同じ  $v_L$  での定圧法の集水域 A は  $342 \text{ cm}^3$  (球を仮定した場合の半径  $4.34 \text{ cm}$ ) で若干狭くなる。

次に採水速度について考察を行う。ポーラスカップ法の場合、ポーラスカップの通過が採水の律速段階になると考えられる。細かい計算は省略するが、水道水中に採取管を挿入した場合に、ポーラスカップにハーゲン・ポアズイユの式をあてはめ、採水量の経時変化の近似式(図-2の曲線)を作ることができた。この時ポーラスカップを毛細管とした時の換算半径をポーラスカップの耐圧性と毛管上昇の式とから計算し ( $8.98 \times 10^{-5} \text{ cm}$ )、毛細管の数を  $1.2 \times 10^7$  とおいて実測値(図-2の×印)に合せた。採水量の実測値には採取管の導管部分に透明な塩化ビニルを用いて、時間毎の水柱高さを測定し、それを体積換算した値を用いた。図-2の水道水の替りに含水率44%の観音台表土に採取管を入れた場合を図-3に示した。図-3の曲線は土壤のマトリクス・ポテンシャルを考慮して他の条件は同じで計算したものである。この場合土壤 pF に 1.0 の値を用いた。採水量の実測値は図-3の×印で示されるが、採水速度は計算値よりも小さくなった。この土壤を用いた場合の採水速度の遅れは、ポーラスカップ周辺の土壤水の動きが飽和

および不飽和透水係数の支配を受けること、粘土粒子がポーラスカップの表面に付着して、孔の換算半径を狭めていること等に起因すると考えられる(5節参照)。図-2および図-3の○印は採取管の真空度の実測値、+印は採水量の実測値と(4)式より算出した採取管の真空度の計算値であり、水道水、土壤溶液とも良い一致を見せた。

5. 畑圃場での検討

農環研構内麦畑(観音台土壤、0~240 cm ローム層、240 cm 以下常総粘土層、地下水位は深さ 240 cm が常態<sup>14)</sup>)に土壤溶液採取装置を、径 20 mm のハンドドリルで地面に垂直に開けた穴に塩化ビニル製パイプ部分が地上に 10~30 cm 突出する様に採取管を挿入して設置した(図-1参照)。アクチバブルトレーサ法による土壤水の浸透追跡実験を行う目的もあり<sup>15)</sup>、採取管の埋設深さは 20, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300 cm に設定した。各深度 3~7 連試験とし、4 か月間 38 回の採水量および採水時の真空度の測定を行なった。各連内では 70 cm 間隔の直線上に配列して埋設し、各連間の間隔はその直線に直角に 300 cm ~ 500 cm ずつ順次離して埋設した。減圧は手動式ポンプより真空度 40 cmHg (pF 2.74) で行ない、0.5 日~15 日放置した後、加圧を自転車用空気入れにより行ない、採取土壤溶液をメスシリンダで受けた。真空度の測定は手動ポンプに付属しているブルドン管式真空計によった。また各深さに対応させて 1 連のテンシオメータを設置し、pF を 3 か月間 32 回測定した。

250 cm までは下層にいくに従って採水量は増加し(全平均 20 cm 4 ml, 250 cm 103 ml)、同一深さの装置間における採水量の変動は減少する(CV 値平均 20 cm 101

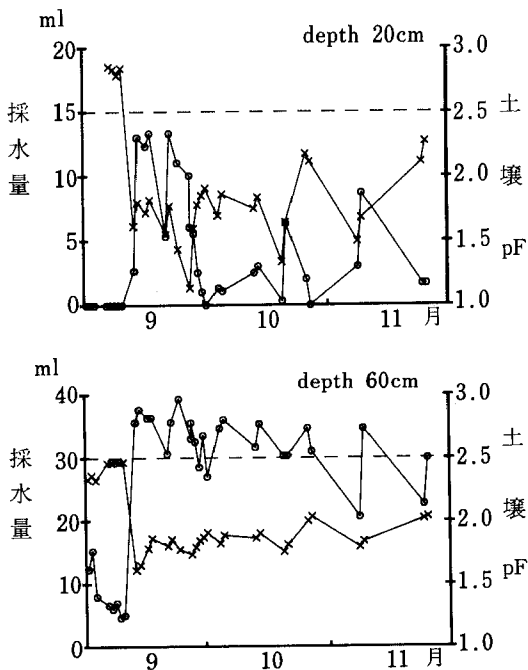


図-4 畑土壤における採水量と pF の経時変化  
○: 採水量 ×: pF

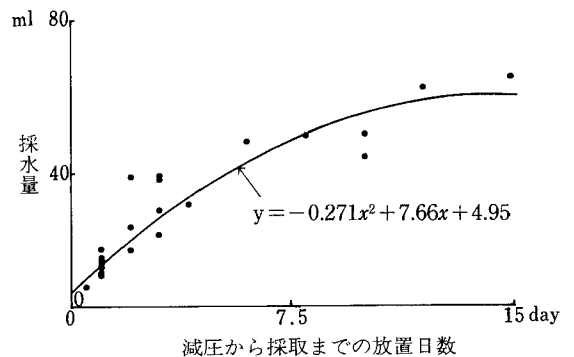


図-5 粘土層(埋設深さ 300 cm)での放置日数と採水量の関係

## 圃場における土壌溶液の採取法

%, 250 cm 18%) 傾向があった。

表一5に示すように採水量と土壌 pF とは負の相関関係にある。図一4に深さ 20 cm と深さ 60 cm の採水量の平均とテンシオメータで測定した土壌 pF の関係を示した。pF が高くなると採取不能になることがあるが、深さ 60 cm では pF は 2.5 以下であり、土壌溶液を調査期間中常に採取できた。

図一5に埋設深さ 300 cm の減圧から採水までに放置した日数と採水量との関係を示した。採水量が飽和に達するのに要する日数は14日程度と図から読み取れ、図一3の表土に関する曲線と類似した形の曲線が得られたが、採水速度は2桁小さかった。300 cm の深さには、難透水性の水分飽和状態の粘土層が存在し、その飽和透水係数が  $10^{-7}$  cm/sec のオーダーで、表土より2桁も小さい<sup>14)</sup>ことが、この違いの大きな要因と推測される。300 cm を除いては、短時間(多くの場合1日以内と思われる)で採水量が飽和に達すると考えられた。表一5で放置日数と採水量の1次の相関係数が300 cm を除いて何れも負の値を示すことは、1度採取管内に保持された土壌溶液が、徐々に起こる外界からの空気の流れによる真空度低下により土壌に戻ったためと推察された。

理論的には土壌中に保持された水が物理的平衡状態に達した場合、(3)式の  $P'$  は土壌のマトリクス・ポテンシャル  $10^d$  に等しくなるので、その時の土壌 pF,  $d$  は

$$d = \log_{10}(P_a - P - h_L) \quad (8)$$

により推定できる。表一5に示すように、実測 pF と計算 pF とはすべて 5% 水準で有意となり、相関係数は 0.50~0.81 であった。気密性に優れた装置の開発および真空度の精密測定等により相関係数が 1 に近づいた場合には、土壌溶液採取装置を土壌の水分状態の指標として利用できる可能性が考えられる。

## 6. 水田圃場での検討

水田圃場試験においては、農環研構内の沖積土水田に畑圃場の場合とほぼ同じ深さに採取管を2~6連、計36本埋設した。減圧はバッテリー式真空ポンプにより真空度 60 cmHg (pF 2.91) で行ない、0.5日~15日放置した後、酸化を避ける目的で加圧は窒素ボンベガスにより行なった。埋設後3年経過した時点でもポーラスカップの目詰まりが原因で採取不能となっているものはなかった。

表-5 土壌溶液採取にともなう諸データ間の相関

埋設深さ cm (飽和透水係数の オーダー <sup>14)</sup> )	実測 pF—採取量	採取時真空度—採取量	放置日数—採取量	実測 pF—計算 pF
20 (-5)	$r = -0.441$ n = 27	$r = -0.033$ n = 38	$r = -0.134$ n = 38	$r = 0.497$ n = 20
40 (-5)	$r = -0.575$ n = 27	$r = -0.321$ n = 38	$r = -0.382$ n = 38	$r = 0.774$ n = 19
50 (-4)	$r = -0.914$ n = 30	$r = -0.837$ n = 38	$r = -0.159$ n = 38	$r = 0.499$ n = 23
60 (-3)	$r = -0.923$ n = 31	$r = -0.821$ n = 38	$r = -0.102$ n = 38	$r = 0.812$ n = 31
80 (-4)	$r = -0.125$ n = 30	$r = -0.392$ n = 38	$r = -0.434$ n = 38	$r = 0.496$ n = 30
100 (-4)	$r = -0.346$ n = 28	$r = -0.090$ n = 38	$r = -0.649$ n = 38	$r = 0.806$ n = 31
150* (-4)	—	$r = -0.469$ n = 38	$r = -0.421$ n = 38	—
200* (-4~-6)	—	$r = -0.118$ n = 38	$r = -0.439$ n = 38	—
250* (-6)	—	$r = -0.512$ n = 38	$r = -0.216$ n = 38	—
300* (-7)	—	$r = -0.738$ n = 38	$r = 0.924$ n = 38	—

r ; 一次相関係数 (下線を付したものは 5% 水準で有意)

n ; 測定点数

\* ; 150 cm 以下ではテンシオメータに正圧がかかり pF は意味を持たない

図一6に水田の深さ100 cmにおける塩素イオン濃度の採取装置毎の経時変化を実線で示した。破線で示したのは田面水の塩素イオン濃度であり、施肥に伴う高濃度の塩素イオンが100 cmまで達していないことを示し、導管壁に沿った漏水はないと考えられた<sup>16)</sup>。しかし埋設時が湛水状態の場合には、導管壁に沿った漏水が認められることを他の例で経験しており、注意は必要である。

塩素イオンの6連の値の変動は比較的小さいが、図一7のように硝酸態窒素は同じ深さの6連の値の変動は大きく、元素によりバラツキの程度が異なった。

表一6に同一深さに埋設した採取管数が4以上の場合の各深さの採取液濃度の平均値の期間平均および変動係数の期間平均を示した。期間中の採取機会は水田土壌においては8~11回、畑土壌においては2~9回であっ

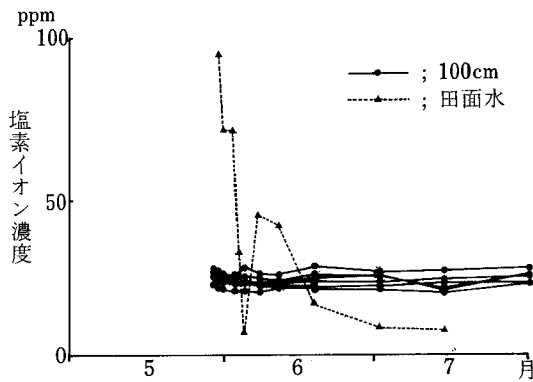
た。変動係数が塩素イオンとカチオンで小さく、硝酸イオンおよび硫酸イオンで大きかった。

7. 茶園での検討

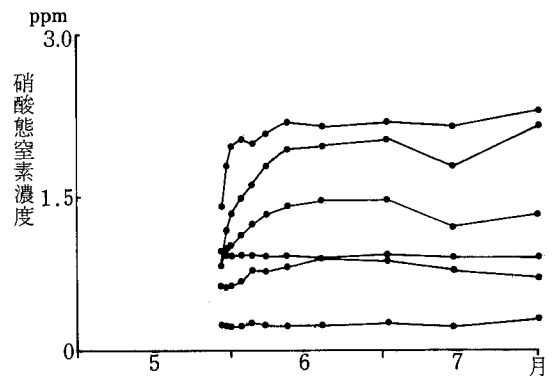
神奈川県箱根山麓の茶園(谷峨および三竹、礫質淡色黒ボク土および壤質単色黒ボク土、両者とも埋設深さの200および300 cmまでは火山性堆積物が母材)に土壤溶液採取装置を設置して2年にわたり土壤溶液を採取したところ、礫含量が50%以上のスコリア質土壌においても採水が可能であることがわかった<sup>17)</sup>。

8. おわりに

圃場における土壤溶液の採取に吸引法を用いることは試料成分のバラツキ、圧力変化による成分変化の可能性等の問題点が存在する。しかしながら少なくとも同一地



図一6 水田土壤溶液(深さ100 cm)の塩素イオンの経時変化



図一7 水田土壤溶液(深さ100 cm)の硝酸態窒素の経時変化

表-6 土壤溶液分析値のバラツキ

埋 設 深 度	沖 積 水 田 土 壌							火 山 灰 畑 土 壌			
	NO <sub>3</sub> -N	Cl	SO <sub>4</sub> -S	Na	K	Ca	Mg	NO <sub>3</sub> -N	Cl	SO <sub>4</sub> -S	
50 cm	平均	0.15	25.8	11.8	18.4	0.49	14.4	6.6	3.20	10.0	35.8
	CV	99.7	11.5	37.6	7.7	20.3	33.1	18.6	50.1	51.6	59.7
100 cm	平均	1.15	24.2	4.2	11.2	0.63	5.9	6.5	0.56	25.4	0.28
	CV	56.6	8.5	102.5	34.0	21.8	23.3	23.0	66.3	19.1	48.7
150 cm	平均	0.34	23.5	0.60	8.6	0.51	5.0	4.0	0.70	21.2	0.14
	CV	63.5	12.2	125.6	26.4	15.5	20.8	18.8	30.2	9.8	46.7
250 cm	平均	0.15	2.5	0.70	4.8	0.40	1.8	1.0	0.92	9.2	0.17
	CV	54.3	18.3	33.7	16.5	30.6	26.0	14.2	36.7	26.7	21.1

数値の単位 平均 ; ppm  
CV ; %



点の土壤水の変化を経時的かつ長期的（埋設より3～4年経過後も大部分は採取可能）に追跡するには優れた方法と考えられ、水質浄化および汚染の研究あるいは水涵養機能の研究には貢献している。また土壤の栄養診断に利用しようとする動きも近年盛んである。目的に応じた合理的採取法の案出とともに、採取法の標準化が将来必要になってくるように思われる。

### 引用文献

- 1) 山崎慎一, 1970, : 土壤溶液の採取法およびその化学組成, 土肥誌, 41, 424-432
- 2) Briggs, L. J. and A. G. McCall, 1904, : An artificial root for inducing capillary movement of soil moisture, Science, 20, 566-569
- 3) 土壤物理研究会, 1984, : 土壤物理用語事典, 27および50
- 4) 久保井徹・藤井國弘, 1983, : 吸引法による土壤溶液採取の問題点, 国公研報, 47, 229-241
- 5) 長谷川功・早坂猛, 1972, : ポーラスカップ法による桑園土壤溶液の採取, 九州蚕糸, 3, 44
- 6) Richard, R. P. and E. L. Lane, 1970, : Soil-water sampling using pan and deep pressure-vacuum lysimeters, J. of Hydrology, 11, 1-21
- 7) Wood, W. W, 1973, : A technique using porous cups for water sampling at any depth in the unsaturated zone, Water Resources Res., 9, 486-488
- 8) Long, F. L., 1978, : A glass filter soil solution sampler, Soil Sci. Soc. of Amer. J., 42, 834-835
- 9) Hossner, L. R. and D. P. Phillips, 1973, : Extraction of soil solution from flooded soil using a porous plastic filter, Soil Science, 115, 87-88
- 10) 鈴木大助, 1983, : 土壤中の水および空気採取用フィルター管の開発, 土肥誌, 54, 253-254
- 11) Krone, R. B., H. F. Ludwig and J. F. Thomas, 1951, : Porous tube device for sampling soil solutions during water-spreading operations, soil Sci., 73, 211-219
- 12) 渡辺久男, 木方展治, 結田康一: アルミナ質ポーラスカップを用いた土壤水採取装置の性能と問題点, 農業環境技術研究所報告, 4, 掲載予定
- 13) Alberts, E. E., R. E. Burwell and G. E. Schuman, 1977, : Soil nitrate-nitrogen determined by coring and solution extraction techniques, Soil Sci. Soc. Am. J., 41, 90-92
- 14) 農業環境技術研究所, 1984, : 農業技術研究所圃場の土壤および三要素試験の概要, 農技研化学部資料, 3
- 15) 結田康一, 渡辺久男, 木方展治, 1985, : アクチバブルトレーサー法による土壤水の追跡技法, 農林水産技術会議国土資源資料, 13, 63-75
- 16) 渡辺久男, 宮原克祐, 結田康一, 木方展治, 1984, : 土壤水の追跡技法の開発—第4報 土壤水採取装置とその性能(その2) 水田への適用結果, 土肥学会講要, 30, 6
- 17) 木方展治, 結田康一, 1985, : 土壤水の追跡技法の開発—第6報 茶園における土壤中硝酸態窒素の挙動, 土肥学会講要, 31, 128

### Summary

Various types of suction methods using porous cups which are widely used to extract the soil solution in fields were compared. The authors adopted the following type which can be used where electricity is not available and which is associated with minimum disturbance of agricultural practices, such as cultivation or fertilization. Alumina ceramic cups attached to pipes made of polyvinyl chloride — sampling tubes — were vertically inserted into holes previously drilled in using a manually-operation. The soil solution was collected into the sampling tubes underground by a system in which the vacuum established initially in using a hand vacuum pump was gradually released at the same time as soil solution was drawn in. After then the soil solution was lifted up to the ground surface with a hand pressure pump or a nitrogen tank.

In the case of the method used by the authors, the chemical and physical characteristics of the soil solution upon extraction were studied in the laboratories, in upland fields, and in paddy fields. The changes of the chemical properties of the sample solution during the passage through porous cups and the variability of the composition of the sample solution in the same series were examined. In addition the porous cup method was compared with a centrifugation method. The sampling environment of the soil solution in soil, the sampling rate, and the relationship between the amounts of the solution obtained and the soil-water tension were analyzed.