

アルミナ質ポーラスカップを用いた土壤水採取装置の適用性*

渡 辺 久 男**・結 田 康 一***・木 方 展 治****

(1987年1月8日受理)

農耕林地において土壤中の水あるいは施肥成分等の動態を追跡するため、ポーラスセラミックカップを用いた降下圧／吸引法による土壤水採取装置を改良し、この装置の性能を室内実験および野外圃場試験において検討し、主として以下のことを明らかにした。

土壤水中のH, K, Na, Ca, Mg (低濃度の場合を除く), Cl, Br, F, 硫酸, クロム酸, セレン酸, の各イオンのアルミナ質のカップ透過性はおおむね良好でこれらイオンの動態追跡に適用できることが分った。しかし, リン酸の透過性は低く供試装置による適用は不可能であった。供試装置を畑圃場に適用したところ, 深さ20~300cm, また飽和からpF2.5の範囲の土壤水を採取できた。土壤水に含まれる7種の無機イオンを測定し, 分析値の変動を調べた。畑における施肥成分の影響が林地との対比から明瞭に判別できた。表面水の採水用導管壁に沿った漏水 (water channeling) は認められず, 継続して2年間使用したがカップの目づまりは認められなかった。また, 採取装置の吸引圧保持時間に関連し真空気密性についても検討した。

上記およびその他の検討結果を総合して, ポーラスセラミックカップを用いた標準的土壤水採取法を提案し, また, 実際に応用する場合の留意点についても言及した。

I. 序 言

農耕林地において, 土壤表層より地中へ浸透した土壤水, また施肥成分等の土壤中での動態を追跡するため, ポーラスカップを用いた土壤水採取装置が考案, 使用されている。このポーラスカップを用いた土壤水採取法(以下, PC法という)は, 初めBriggsら(1904)により提言され, 高濃度の塩類を含む水の灌漑が土壤水の成分組成に及ぼす影響解明の試験(Kapp, 1937)に試用された。Kroneら(1952)は土壤から採水カップへの水動態を調べPC法の有用性を確認した。以後, 雨水の浸透(Wagner, 1962), 塩分の溶脱(Reeveら, 1965), 雨水による花崗岩の風化(Wolff, 1967), 林地土壤溶液中の

成分組成と皆伐による影響(Long, 1978), などの野外圃場試験に用いられてきた。わが国では, PC法の野外圃場使用は, 桑園の土壤養分診断(長谷川ら, 1973; 片瀬, 1979), 土地利用形態別下層土壤水中の無機イオン濃度調査(吉田ら, 1982; 吉田ら, 1982), 汚泥成分の地下浸透量の計測(久保井ら, 1983), などに用いられてきた。

このようにPC法は野外圃場試験に広く適用されるに従い, その使用に当たっての問題点が外国研究者によって幾つか指摘されている。理化学性の面からは, 採水部がポーラスセラミックカップであれば, 素材からの成分溶出による汚染(Wolff, 1967), あるいは, 素材の持つイオン交換能によるイオンの透過性(permeability)への影響(Eatonら, 1960; England, 1974)が問題視されている。一方, 物理性の面からは, 上方の水が埋設導管に沿って導管先端のカップから採水されてしまう現象〔water channeling (Hansenら, 1975; Shafferら, 1979)〕や, 土壤水の吸入速度が採取溶液の成分濃度に変化を及ぼす影響(Hansenら, 1975), そして, 長期使用中のポーラスカップに目づまりが生じ採水能が低下する〔plugging (Hansenら, 1975); clogging (Kroneら,

*本論文の要旨は昭和58年4月に日本土壤肥料学会京都大会〔土壤水の追跡技法の開発(第2, 3報)〕で発表した。

**資材動態部肥料動態科(昭和62年4月より熱帯農業研究センターに所属)

***環境管理部計測情報科

****環境資源部水質管理科

1952)), といった点が指摘されている。

しかし、わが国において、野外圃場でPC法により土壌水を採取するに当たり採取装置の性能試験や使用法の改良を行った報告は殆どない。わずかに、汚泥成分の地下浸透量を把握するため、採取法や留意点をライシメーターで検討した報告に限られている(久保井ら, 1983)。そこで本報では、PC法に基づく供試装置の性能からみた適用性を室内実験および林地・畑の野外圃場試験において確かめその有用性を示すと共に、上述した理化学的および物理的問題点について考察を行った。

II. 試験方法

1. 土壌水採取装置

(1) 装置各部の概要

供試装置を図-1に示した。採水カップ(a)と導管(b)：フィルター管ともよばれる採水カップを導管(塩化ビニル製)に取り付ける(以下、これを採取管という)。採取管内を負圧にして土壌水から浸透させる。採水用キャピラリー管(c)と採水用細管(d)：カップ内に溜った土壌水をここを通じて土層外へ取り出す。内径1mmのステンレス製細管でキャピラリー管より重くかつ直線状のためカップ最低部によく接触する。通気用細管(e)：注射針。先端でゴム栓を通し、反対のメス口に三方コックを接続する。ゴム栓(f)：シリコン製ゴム栓固定キャップ(g)：塩化ビニル製、ゴム栓が導管から外れぬように固定しておくためのキャップ。採水用三方コック(h)と通気用

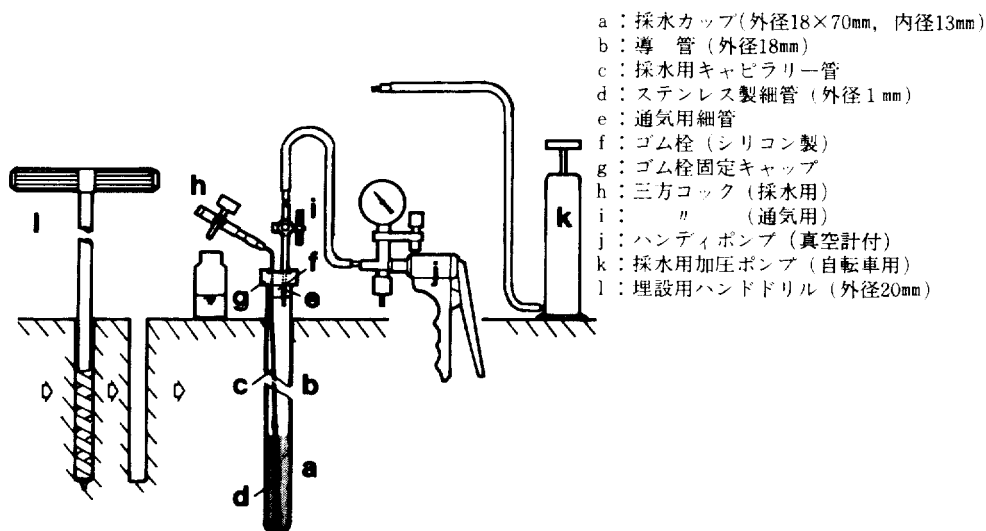
三方コック(i)：樹脂製。採水用ハンディポンプ(j)：ブルドン管真空計付き。採水時にiに接続してaとb内を負圧にする。採水用加圧ポンプ(k)：自転車用空気入れポンプのチューブ先端の金口をjのメス口に合うオスロジョイントを取り付けたもの。aとb管内を加圧して、aに溜った土壌水をhより採取する。これ以外にaとbを土層内に埋設するために付属品としてハンドドリル(l)がある。

この装置は筆者らが大起理化工業㈱の協力のもとに試作した型である。図-1の装置に若干の変更を加え1ℓの集液瓶を付属した一式が土壌溶液採取器DIK-3900として意匠登録(No. 628172)され大起理化工業㈱より1983年から市販されている。

(2) 採水カップ

本装置の採水カップに選んだアルミナ質カップ(以下、ALカップという)はテンシオメータ用の市販品で、素材はアルミナ質の陶土で1個の平均重量16.5g、成分は、 Al_2O_3 90%, SiO_2 5%, CaO と MgO 4%, その他1%からなり、平均孔径は $2\mu\text{m}$ である。

なお、カップの化学性を吟味するため、II, 4., (1)の実験においては、ケイ石質のセラミックカップも供試した。ケイ石質カップ(以下、SIカップという)はポット試験用水分調節管に用いられる市販品である。素材はケイ酸質の陶土で1個の平均重量48g、成分は、 Al_2O_3 9%, SiO_2 78%, CaO 10%, MgO 2%, その他1%からなる。



- a : 採水カップ(外径18×70mm, 内径13mm)
- b : 導管(外径18mm)
- c : 採水用キャピラリー管
- d : ステンレス製細管(外径1mm)
- e : 通気用細管
- f : ゴム栓(シリコン製)
- g : ゴム栓固定キャップ
- h : 三方コック(採水用)
- i : " (通気用)
- j : ハンディポンプ(真空計付)
- k : 採水用加圧ポンプ(自転車用)
- l : 埋設用ハンドドリル(外径20mm)

図-1 土壌水採取装置

2. 供試装置の使用法の概要

供試装置の使用法の概要は以下の通りであった。すなわち、使用前に図—1のa～iの部品を蒸留水で良く洗った。採水カップも後述の方法で洗浄したものを使用した。採取管を埋設するため、ハンドドリル（図—1, l）を用いて目的の深さまで土中に垂直に穴を掘り採取管を挿入し、採取管の地際の土を元の硬さ程度まで足で軽く踏み固めた。ゴム栓に2本の通気用および採水細管を貫通させ、後者の先にステンレス細管を付けたキャピラリー管を取り付け（図—1, c～f）、これを採取管内に入れ、ゴム栓をしてその外側に固定キャップをはめた。採水方法は、通気用キャピラリー管（図—1, f）にハンディポンプを通じて、管内を減圧（通常40cmHg）にし三方コックを閉じた。4～5時間後に、通気用細管に自転車用空気入れポンプ（図—1, k）を用い、管内をポンプで加圧し、採取管内に浸透した土壌水を採水用三方コックより採水した。取り出し始めの数mlは捨てその後の土壌水を25ml容量の硬質ガラス製バイアル瓶に採取した。

3. 分析方法

試験水中のカリウム（K）、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）、鉄（Fe）、マンガン（Mn）は、フレイム原子吸光法により、アルミニウム（Al）、クロム（Cr）、（渡辺, 1986）、セレン（Se）（多田ら, 1980）、はフレイムレス原子吸光法により、ナトリウム（Na）は炎光法により、いずれも日立180-70偏光ゼーマン原子吸光度計により測定した。なお、K, Ca, Mg, Naの分光分析では、干渉抑制剤としてストロンチウム（Sr）を試験水にSrとして1250ppm添加した。塩素（Cl）、臭素（Br）、フッ素（F）、硝酸、硫酸の各イオンはイオンクロマトグラフィ（Dionex社製モデル10）により、リン酸はフローインジェクション法（電気化学計器製液体反応分析装置FICS-10型）（越野, 1983）によりそれぞれ測定した。水素（H）イオン濃度はガラス電極pHメーターにより測定開始後、約10分後の値を読み取った。

4. 室内実験

(1) 採水カップ素材からの無機成分の水溶出

未使用未洗浄の採水カップの開口部にシリコンゴム栓（空気開閉口付き）をはめ、ALカップにあっては再蒸留水（以下、水という）約30mlの入った容量50mlの樹脂製管に入れ3時間で約10mlの速さでカップ内浸透液を採取した。SIカップでは、カップを水約300mlの入った容量500mlの樹脂製容器に入れ3時間に約60mlの速さでカップ内浸透液を採取した。また、土壌中に埋設されたカッ

プの孔げきの部分は毛管水で飽和されているが、場合により乾燥することがある。そのとき素材からのイオン溶出に対する影響が考えられたので、ALカップとSIカップについて、浸透液採水の途中それぞれ4回と1回カップを風乾（35℃, 8時間）し、その後のカップ成分のイオンの水溶出変化を調べた。採取後の溶液中の9種成分（K, Na, Ca, Mg, Al, Cl, F, 硝酸, 硫酸）濃度を測定した。

(2) 酸とアルカリ溶液による採水カップ洗浄効果

前項(1)の実験より、採水カップからの無機イオンの溶出は意外に多く、また水のみ洗浄では極めて長時間を要することが判明した。また、供試装置に用いるポーラスカップとしては、ALカップがSIカップより無機成分溶出量が少なく、機能的にも勝っていた。

そこで、以下の実験では、ALカップのみを対象として0.5N水酸化ナトリウム溶液と0.5N塩酸溶液による洗浄効果を調べた。未使用のALカップ2個を供試し、200mlのアルカリ溶液に一昼夜ときどき液を攪拌してカップを浸漬し洗浄した。ついで、200mlの水に浸漬し、12時間時々液を攪拌洗浄した。この水洗浄を3回行ってから酸液に変え、上記同様に酸洗浄と4回の水洗浄を行った。水洗浄液中の7種カチオン（K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Al）について濃度を測定した。

(3) 無機成分のポーラスカップ透過性

圃場条件の土壌溶液に近い無機成分を含む試料液を得るため、II, 5. で述べる畑土壌の20cmと250cm深さから実験に必要な量の土壌水を本採水装置を用いて採取した。深さ20cmの土壌水中の無機成分濃度は、施肥の影響を受け深さ250cmのそれと比較して高かった。また、これらの土壌水中には、リン、セレン、クロムの濃度は検出限界以下であった。これら元素のカップ透過性を知るため、深さ20cmの土壌水にリン酸（試薬： $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ）、セレン酸（試薬： Na_2SeO_4 ）、及びクロム酸（試薬： $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ）を2段階で添加した試料液を調製した。これらイオンの添加濃度は表—6に示したとおりである。

よく洗浄したALカップの上端開口部にシリコンゴム製の乳首をはめ、ビーカー内の水中に10～15分浸し、カップ内を減圧にして、約30mlの水を2回通した。i) 深さ250cmの土壌試料液にカップを移し、減圧下カップ1個当たり約25mlずつ6回に分画して透過試料液を採取した。ii) 前記方法で5回カップを水洗浄した後、深さ20cmの土壌試料液にカップを移し、同様に6画分の透過試料液を採取した。iii) ついで、ii)と同様な手順で3種イオンを

高低2段階で添加した土壤試料液についても、6画分の透過試料液を得た。iv)透過試料液中の13成分(H, K, Na, Ca, Mg, Cl, Br, F, 硝酸, 硫酸, リン酸, セレン酸, クロム酸)の濃度を測定した。

(4) 土壤水採取液中のK濃度におよぼす吸引圧変化の影響

土壤水のカップ内への吸入速度と溶液中成分濃度の関係を調べる目的で、無機成分の代表例としてKを指標とし、吸入速度として初期吸引圧(Po)を変化した際の土壤水中K濃度変化を求める実験を以下に行った。圃場試験区の観音台表土(表層腐植質黒ボク土LiC, 風乾時の水分15.3%)10kgに対して、K49.2ppm(試薬:KBr)の溶液を4ℓ, 6ℓ, 8ℓ添加後、よく混合し、2千分の1アールポットに充填し、ここに本装置を深さ10cm位置に設置して1日放置した。初回の土壤水採取はPoを40cmHgとして2時間後に試験液を採取し、液量、残圧を調べた。2回目以降はPoを10cmHgから60cmHgまで変化させ、計7回土壤水を採取した。採取液中K濃度を蛍光法により測定した。

(5) 採水放置時間が採水量と残圧におよぼす影響

採取管内を負圧にしてから、時間経過に伴う採水量の変化と適切な採水量に達する時間(以下採水放置時間という)を知るため、以下の実験を行った。

4., (4)と同様に観音台表土10kgを2千分の1アールポットに詰め、図一1の導管を透明な塩化ビニル管に変えた採水装置を深さ10cmに設置した。時間経過に伴う採水量は導管に付したメニスカス目盛により計量した。

採水量の時間変化におよぼす主要因としては、初期負圧(Po)、土壤の含水率、土壤の飽和および不飽和透水係数、採取管内容量、カップの孔径および厚みが考えられる。本実験におけるこれら要因の設定値は次のとおりである。

Po=40cmHg

土壤含水率=39% (pF1.8)

飽和透水係数=3.4×10⁻⁵cm/sec (文献19による推定値)

採取管内容量=153cm³ (圃場試験で埋没の深さを100cmとした時の導管とALカップの容積和)

5. 圃場試験

(1) 試験区の概要と採水装置の設置

圃場試験は農業環境技術研究所内のB地区で行った。土壤は4., (4)と同じである。B地区D-1圃場の深さ350cmまでの土壤断面調査では土層は比較的均一で、現在の浅

層地下水位はグライ層の位置から240cmと判定されている(農技研化学部資料, 1984)。B地区圃場は1979年に造成され翌年より大豆-秋小麦作付体系による均一栽培が5年間実施された。施肥来歴は1980年から夏の大豆作と秋小麦作にそれぞれ3-10-10複合肥料を100kg/10aと6-9-6複合肥料を60kg/10aとがそれぞれ基肥のみで施肥された。林地の試験は農用資材や環境汚染による影響の少ないB地区北部の防風林地区で行った。なお、この地区の施肥は1980年以降行われていない。1982年に、林地、畑に採水装置を設置した。6月6日、林地の深さ20, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300cmの位置に採取管をそれぞれ一本ずつ埋設し、6月10日から初期吸引圧40cmHgの条件で土壤水を採取した。7月9日、畑圃場において、20, 40, 60, 80, 200, 300cmの深さにそれぞれ3連、また、50, 100, 150, 250cmの深さにそれぞれ7連で採取管を設置した。また、土壤水分と採水能の関係を調べるため、畑試験区内にテンシオメーターを深さ20, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300cmの位置にそれぞれ1本ずつ設置した。土壤水採取と水分測定は、設置後およそ一週間は連日、2週は隔日、3週は2~3日おき、さらにそれ以降は週に1~2回圃場の水分状態に従って随時採水した。

(2) ボーラスカップ法と遠心分離法による土壤水中成分の濃度比較

従来より一般的に用いられている遠心分離法で採取した土壤溶液中の成分濃度と、本土壌水採取装置で採取した土壤水中の成分濃度を比較するため、以下の実験を行った。

採取管理没後、2年以上を経過した1984年7月、林地に埋没した深さ20, 50, 100cmの採取管を通して土壤水を採取し、直ちに採取管を掘りだし、カップ周辺の土壤を採取した。畑土壤については、同時期に採取管を通じて深さ20, 80, 200, 300cmの土壤水を採取する一方、採取管を設置した近傍圃場土壤に垂直にオーガーを入れ、同じ深さの地点から土壤を採取した。採取した土壤は、直ちにpF3.1または2.7相当の回転数で60分間遠心分離し、土壤溶液を採取した。ついで、土壤水および土壤溶液中の成分濃度を測定した。

(3) 採水放置日数が採水量と残圧におよぼす影響

PC法による土壤水採取法では採取管内の真空度が保持されている間は採水量は増加していくはずである。その真空度の保持時間を知ることは土壤水量を確保するために必要である。実際の畑圃場条件ではこの真空度が必ずしも長時間保持されなかった。そこで、採水放置日数

と採水量の関係を明らかにするため以下の実験を行った。すなわち、1982年9月から12月にかけて、畑圃場の深さ20, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300cmにそれぞれ埋設した採取管のうち最南区No. 1の採取管各1本を用いて、採水放置時間を変えたときの採水量および採水直前の採取管内真空度（以下、残圧という）を採取管ごとに38回測定した。採水条件は、4., (5)と同じである。得られたデータから放置日数と採水量、放置日数と残圧の関係を一次式で表し、相関係数を求めた。

III. 結果および考察

1. 室内実験

(1) カップからの成分溶出

採水カップ素材からの成分の水溶出の結果を、表-1, 2, 3, 4に示した。両カップからのカチオン濃度を、積算採取量400mlのとき(0.61ℓ)に比較すると、SIカップの方がALカップよりNaを除きいずれのイオンにおいても(Ca176倍～K1.3倍)高かった。アニオンでは、ALカップでは検出されなかったFがSIカップから検出され、総計614ml水溶出したときにおいてもFは0.71ppmという充分に検知されうる濃度レベルにあった。つぎに両カップからのアニオン溶出濃度を採取量総計でALカップ487ml, SIカップ614mlのときに比較すると、SIカップの方がALカップよりいずれのイオンにおいても(SO₄ 27倍～Cl 8倍)高かった。

また、風乾処理により素材からの成分溶出の増加が認

表-1 アルミナ質カップ (ALカップ) からのカチオン溶出の変化

採 取 量 (ml)	総 計	K	Na	Ca (ppm)	Mg	Al
15	15	2.85	19.1	0.20	0.05	341.4
15	30	2.30	7.0	0.25	0.08	233.7
15	45	2.45	6.9	0.50	0.18	498.8
16	61	2.48	4.8	0.98	0.35	308.1
15	76	1.23	4.5	0.83	0.28	1.28
14	90	1.45	4.9	0.88	0.25	0.042
16	106	0.98	5.2	0.48	0.14	0.045
16	122	1.00	3.2	1.11	0.23	0.109
32	153	1.74	3.0	0.81	0.24	163
32	185	0.77	2.3	0.70	0.21	2.94
32	217	0.60	0.86	0.58	0.13	0.350
28	245	0.89	1.5	0.09	0.10	0.003
28	273	0.67	1.0	0.08	0.11	0.006
28	301	0.45	0.30	0.05	0.08	0.001
29	330	0.32	0.48	0.02	0.06	0.001
22	352	0.19	0.11	0.00	0.06	nd.
24	376	0.79	3.5	0.71	0.09	nd.
32	408	0.70	3.4	0.60	0.07	nd.
29	437	0.54	2.6	0.60	0.07	nd.
19	456	0.49	2.8	0.60	0.07	nd.
31	487	0.50	1.9	0.70	0.12	nd.
31	518	0.24	1.7	0.06	0.05	0.153
32	550	0.21	1.0	0.15	0.09	0.020
32	582	0.28	1.5	0.23	0.13	0.005
31	613	0.22	0.52	0.11	0.07	0.007

注1. -----: カップを35℃で8時間風乾した。

2. nd. : <0.001ppm

められたが、その割合はSIカップの方がALカップより大きく (特にMg)、しかも濃度が高いという特徴が認められた。このように、ALカップの方がSIカップより洗浄しやすく、採水用カップとして適していると結論される。

ALカップの風乾処理を行うと、MgとClを除くK、Na、Ca、Al、硝酸、硫酸の成分で、溶出量が増えることが認められた (表-1, 2)。しかし、水溶出回数とともにいずれの成分濃度は著しく減少し、風乾処理の影響は小さくなることが確かめられた。さらにALカップの場合、2回目以降の風乾処理が成分溶出におよぼす影響は小さいと言える。

カップ素材からの溶出イオン濃度の上限は、土壤溶液中の平均的濃度によって支配されると考えられる。土壤溶液中の元素の平均濃度についてKobga (1959) は、Ca, 50ppm ; K=Na=S, $n \times 10$ ppm ; Mg, 10ppm ; Fe=Al, n ppm ; Mn=Br, 1ppm ; Cl, $n \times 10^{-1}$ ppm ; F, 0.1ppm, と報告している。ALカップからの成分溶出の影響を除くため、カップを0.6ℓの水で浸透洗浄すれば、少なくともK, Na, Ca, Mg, Al, 硫酸については、土壤溶液中の元素の平均存在率の10分の1以下となるので、ALカップを用いた本装置を一般の土壤水採取用に適用できると考えられた。

(2) カップの酸、アルカリ洗浄効果

アルカリ溶液と酸溶液でALカップを洗浄した後、素材から水で溶出される7種カチオンの濃度の分析結果を表

表-2 アルミナ質カップ (ALカップ) からのアニオン溶出の変化

採取量 (ml)	総計	Cl	NO ₃	SO ₄	F
15	15	386	0.41	3.7	nd.
15	30	195	0.22	0.63	〃
15	45	152	0.53	0.53	〃
16	61	182	0.53	0.52	〃
15	76	90	0.18	0.29	〃
14	90	133	2.2	0.46	〃
16	106	↓	↓	↓	↓
16	122	↓	↓	↓	↓
32	153	11	1.1	0.75	nd.
32	185	6.3	2.4	0.29	〃
32	217	4.0	1.1	0.22	〃
28	245	3.9	1.7	0.36	〃
28	273	3.3	0.17	0.1	〃
28	301	↓	↓	↓	↓
22	352	↓	↓	↓	↓
32	408	↓	↓	↓	↓
29	437	1.8	0.034	0.16	nd.
50	487	↓	↓	↓	↓
31	518	1.6	0.043	0.11	nd.

注1. ----- : カップを35°Cで8時間風乾した。

2. ↓ : 分析を省略。

3. nd. : <0.01ppm

表-3 ケイ石質カップ (SIカップ) からのカチオン成分の溶出

採取量 (ml)	総計	K	Na	Ca (ppm)	Mg	Al
36	36	12.0	7.5	554	93.8	27.8
25	61	4.28	1.6	408	18.8	11.8
80	141	1.32	0.36	174	2.30	0.857
34	175	0.84	0.22	50.2	1.90	0.275
38	213	0.72	0.24	25.3	4.14	0.289
24	237	0.58	0.16	18.5	3.56	0.329
84	321	0.68	0.20	15.7	2.92	0.352
18	339	0.76	0.22	14.8	6.16	0.327
38	377	0.68	0.22	11.2	5.20	0.475
72	449	0.90	0.28	12.1	3.14	0.600
45	494	3.49	1.25	21.3	181	↓
69	563	3.53	1.07	11.9	1.44	↓
51	614	2.58	0.67	19.4	1.17	↓

注1. ----- : カップを35°Cで8時間風乾した。

2. ↓ : 分析を省略。

—5に示した。アルカリ洗浄後、3回目の水洗浄液中のK, Na, Ca, Mg, Al濃度を水0.6ℓで浸透洗浄したときの成分濃度（表—1）と比較すると、Kを除けば前者の方が濃度が高かった。酸洗浄液の3回目水洗浄液ではMg濃度は前者の方が低くなり、4回目水洗浄液ではKとCa濃度も前者の方が低くなった。酸洗浄後、Alの濃度が当初高くなったのは素材が酸により溶解したためと考えられた。しかし、水洗浄回数が多くなるに従い急速に

濃度が低下しており、使用上大きな支障を来さないと考えられる。

Wolff (1967) は、カップを希塩酸洗浄後に水洗いし、蒸留水を試料としてブランク値を求めた結果、K, Fe, Cl, 硫酸は検出限界(0.1ppm)以下であったが、Na 0.6 ppm, Ca 3.6ppm, Mg 2.2ppm, Al 0.2ppmとなった。後の4成分の値はWolffの実地試験の地中浸透水濃度に近い(CaとAl)あるいは10分の1以上(NaとMg)の値を示したため、これらの成分についての量的考察を避けている。なお、Wolffの用いたカップはここで供試した2種カップのうち、そのブランク値がNaの値に対しCaとMgの濃度が特に高く、表—3の結果に類似した傾向を示したことから、SIカップに近い素材であったと推察される。

以上の結果から、ALカップの洗浄にはアルカリおよび酸溶液による洗浄、特に後者の洗浄が水に比べて極めて効果的であると言える。また、洗浄効果をより確実にするため、ALカップを塩酸溶液に浸漬した後、さらに減圧下塩酸溶液を浸透させることが推奨される。

(3) 無機成分のポーラスカップ透過性

イオンのALカップ透過性を調べるため、土壌水にカップを浸し、1回24～26mlずつ、4～6回透過液を吸引採取し、イオン濃度を測定した。得られた結果を表—6に示した。イオンのカップ透過率（採取透過液画分中のイオン濃度を供試土壌水中のイオン濃度で除した百分率）を求め、カップ透過によるイオン濃度の増減を比較した。

表—6の結果から、次に示すi)～v)のことが明らかになった。

i) 採取回数を増すに従い、リン酸を除く測定したすべ

表—4 ケイ石質カップ (SIカップ)
からのアニオン成分の溶出

採取量 総 計 (ml)	Cl	F	NO ₃ (ppm)	SO ₄
36 36	464	15.6	nd.	1,608
25 61	↓	↓	↓	↓
80 141	21	4.4	nd.	368
34 175	18	4.1	nd.	98
38 213	25	3.2	0.47	44
24 237	21	2.2	0.70	24
84 321	20	0.98	0.25	11
18 339	↓	↓	↓	↓
38 377	23	0.43	0.39	4.3
72 449	26	0.71	0.55	3.0
45 494	74	1.83	0.60	↓
69 563	10	1.10	0.28	3.9
51 614	13	0.71	0.55	3.0

注1. -----: カップを35°Cで8時間風乾した。

2. nd. : 硫酸のブロードピークにより定量できなかった。

3. ↓ : 分析を省略。

表—5 カップ洗浄の効果

	K	Na	Ca	Mg (ppm)*	Fe	Mn	Al
0.5N水酸化ナトリウム液で洗浄後							
水浸漬洗浄 1回目	1.18	248	0.30	0.02	0.00	0.00	0.26
2回目	0.14	10	0.94	0.04	0.00	0.00	0.20
3回目	0.10	0.94	1.00	0.10	0.00	0.00	0.10
0.5N水塩液で洗浄後							
水浸漬洗浄 1回目	0.30	0.79	9.29	0.13	0.26	0.01	1,394
2回目	0.07	0.04	1.17	0.03	0.00	0.00	618
3回目	0.19	0.06	0.29	0.02	0.00	0.00	1.62
4回目	0.06	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.25

* : カップ2個を200mlの再蒸留水に12時間ときどき液を攪拌し浸漬した後、カップ内へ浸透した溶液中の濃度。

表-6 イオンのポーラスカップ透過性の比較

試	料	採 取 回 数*					
		1	2	3	4	5	6
pH	250cm水	6.97 (107)	6.57 (101)	6.52 (100)	6.48 (99)	6.49 (99)	6.55 (100)
	20cm水	6.45 (87)	6.75 (91)	7.04 (94)	7.56 (101)	7.49 (101)	7.39 (99)
K ⁺	250cm水	0.45 (205)	0.29 (132)	0.23 (105)	0.25 (114)	0.20 (91)	0.22 (100)
	20cm水	4.27 (80)	5.24 (98)	5.22 (98)	5.51 (103)	5.23 (98)	5.22 (98)
Na ⁺	250cm水	2.5 (63)	3.7 (93)	3.8 (95)	3.9 (98)	4.0 (100)	4.0 (100)
	20cm水	6.0 (83)	6.8 (94)	6.8 (94)	7.7 (107)	7.1 (99)	
Ca ²⁺	250cm水	2.3 (134)	1.9 (108)	1.6 (92)	1.7 (97)	1.7 (96)	1.7 (99)
	20cm水	27.3 (72)	35.7 (94)	35.7 (94)	36.3 (96)	36.4 (96)	37.8 (100)
Mg ²⁺	250cm水	0.99 (60)	1.2 (71)	1.3 (81)	1.5 (88)	1.5 (91)	1.6 (96)
	20cm水	15.7 (76)	19.7 (95)	19.8 (96)	20.3 (98)	20.7 (100)	20.7 (100)
NO ₃ ⁻	250cm水	0.85 (88)	0.99 (103)	1.02 (107)	1.03 (107)		
Cl ⁻	"	30.3 (87)	36.3 (104)	36.1 (103)	35.7 (102)		
Br ⁻	"	71 (71)	97 (97)	100 (100)	102 (102)		
F ⁻	"	0.27 (87)	0.30 (97)	0.29 (94)	0.32 (103)		
SO ₄ ²⁻	"	0.14 (89)	0.16 (107)	0.15 (100)	0.16 (107)		
PO ₄ ³⁻ +PO ₄	250cm水	0.0 (0)	0.0 (0)	0.0 (0)	0.02 (2)	0.21 (28)	0.52 (52)
	20cm水	0.54 (4)	6.8 (52)	10.1 (79)	11.5 (89)	12.0 (93)	12.0 (93)
CrO ₄ ²⁻ +Cr	20cm水	78 (78)	101 (101)	101 (101)	101 (101)	101 (101)	
	20cm水	0.86 (86)	1.00 (100)	1.00 (100)	1.00 (100)		
SeO ₄ ²⁻ +Se	20cm水	91 (91)	105 (105)	99 (99)	103 (103)	96 (96)	
	20cm水	1.00 (100)	0.99 (99)	1.00 (100)	1.01 (101)		

注1. (): 透過率, 数値は土壌水中の濃度を100としたときのカップ透過液中濃度の割合を百分率で示した。

2. * : 1回の透過液量24~26ml, 吸引初期圧14cmHg

3. 土壌水試料は農業環境技術研究所B地区畑圃場の深さ20cmと250cmから土壌水採取装置(DIK-3900型)で多量に採取した。

てのイオンが透過率100%に近づいた。

ii) リン酸の透過率は他イオンに比べ低く, 特に0.76 ppmの場合, 第4回採水までリン酸は検出されなかった。

iii) 透過率はアニオンよりカチオンが, また1価イオンより2価イオンが小さい傾向が認められた。

iv) セレン酸およびクロム酸イオンの透過性は低濃度で低いと言えた。

v) KとCaの透過率は、250cmの低濃度の場合、1～2回採水で100%以上を示した。

以上のように、透過性は透過液のpHが中性付近にある限り、カチオンよりアニオンの方が、また、イオン価数は二価より一価の方が高い傾向にあった。これは陶土を素材としたポーラスカップがイオン交換容量を持っているためと考えられた。供試ALカップのイオン交換容量は測定しなかったが、Eatonら(1960)は22gのカップのイオン交換容量は0.2meと報告している。すなわち、i)～v)の現象は、カップ材が粘土鉱物としてのイオン交換作用によるイオンの吸着・放出を行なった結果の現れと推定される。しかし、特記すべきことは、リン酸の透過率が極端に低かったことである。その原因としては、カップがアルミナ質であるため、一部のリン酸はアルミニウムと結合し、不溶化したと考えられる。

リン酸を除く外の成分のカップ透過性はおおむね良好であったので、ALカップを用いた供試装置の土壌水採取への適用ができると考えられた。しかし、ここでの結果が示すように、透過率は成分濃度が高い方が高く、また、採取回数が増すに従い、透過率100%に近づいた。したがって、ALカップを用いて土壌水を採取するにあたっては、予備的に土壌水を採取し、成分分析を行い、その濃度に応じた採取条件の設定や、採取管連数の増加による解析精度の向上等の工夫が必要である。

なお、透過性の優れたカップとしては、ガラス(Long, 1978)や樹脂(Hossnerら, 1972; 鈴木, 1983)製があるが、これらは低水分状態での採水能が劣り、畑条件では適用しにくい。

(4) 吸引速度が土壌水中K濃度に及ぼす影響

ポットに充填した観音台表土に49.2ppmのK溶液を4, 6, 8ℓを加え(8ℓ添加時の土壌水分は飽和)、初期吸引圧Poを6段階に変えて土壌水を採取し、そのK濃度を

測定した。その結果(表一7)によれば、同一土壌水分条件ではPoが高いほど採取土壌水中のKは僅かずつ高まり、また土壌水分条件間では、低水分処理の低いPo区でK濃度がやや低い傾向が認められる。測定土壌水中のK濃度(A)を添加Kが土壌中の水で均一に希釈されたと仮定した時のK濃度(B)で除し、A/B値を求めた。このA/Bを同一土壌水分条件で比較すると、Poが高くなるほどA/B値は僅かずつ大きくなっている。もしK添加後1日間の放置で土壌と十分に平衡に達していなかったと仮定すれば、Poが高いほど採水速度が速く、平衡に達していない部分を多く採水したと推察された。

Hansenら(1975)は圃場試験で採水速度が採水液中の硝酸濃度におよぼす影響を調べ、主なサンプリング誤差は採水速度によるとし、これを回避するためには低圧・定圧条件での採水がよいとしている。ここで得られた結果も類似の傾向を示すが、採水速度Poの影響は大きくない。ポットを用いたモデル実験で、しかも相対的に高土壌水分での採水であったためと解釈される。

供試装置は降下圧方式であって、Poを20cmHg以下にすると、低水分条件下では、分析に必要な水量(筆者らの場合は約15ml)を採取できなかった。従って、低圧採水が好ましいといっても限度があり、供試装置の場合におけるPoは30～40cmHgが適当と結論された。

(5) 採水放置時間が採水量に及ぼす影響

ポット試験で得られた採水放置時間と採水量の関係を図一2に示した。採水量は採水初期直線的に増加するが、時間経過とともにその増加率は低下し、5時間以降の増加は極めて僅かとなり、最大採水量48mlに達した。このように、採水の大部分は吸引後短時間採水される。従って、本実験結果によると、採水放置時間は5～6時間が適当と考えられた。

2. 圃場試験

表一7 吸引圧が土壌水中K濃度におよぼす影響

土壌添加K濃度：B 添加液量<ℓ>	吸引初期圧 (Po)											
	10cmHg		20cmHg		30cmHg		40cmHg		50cmHg		60cmHg	
	K ppm(A)	A/B	K ppm(A)	A/B	K ppm(A)	A/B	K ppm(A)	A/B	K ppm(A)	A/B	K ppm(A)	A/B
I B=35.6ppm 含水率39%<4>	—	—	14.4	0.41	14.8	0.42	15.8	0.42	15.7	0.44	15.7	0.44
	<u><3</u>		<u>6</u>		<u>9</u>		<u>8</u>		<u>12</u>		<u>6</u>	
II B=47.0ppm 含水率47%<6>	15.5	0.40	16.0	0.41	16.1	0.41	16.2	0.41	16.6	0.42	16.8	0.43
	<u>16</u>		<u>28</u>		<u>41</u>		<u>56</u>		<u>68</u>		<u>84</u>	
III B=52.9ppm 含水率53%<8>	19.4	0.47	20.0	0.48	20.4	0.49	20.2	0.49	20.8	0.50	20.8	0.50
	<u>16</u>		<u>29</u>		<u>40</u>		<u>57</u>		<u>65</u>		<u>80</u>	

注 アンダーライン：2時間の土壌水採取量 (ml)

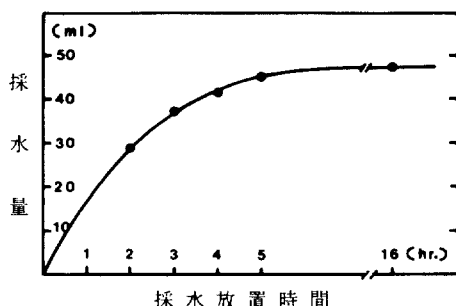


図-2 採取量と採水放置時間の関係
 土壌：観音台表土
 含水率：39% (pF1.8)
 飽和透水係数： 3.4×10^{-5} cm/sec
 初期吸引圧：40 cmHg
 採取管：110 cm 導管
 (内容量：153 cm³)

(1) 採水能について

1) 採水能の物理的要因についての考察

畑圃場の深さ別に埋設した供試装置とテンシオメータを用い、採水量とpFの関係よりカップの採水能を試験した。その結果を降水量グラフ(農環研気象管理科, 1982)とともに図-3に示した。pFは採水量と相反した関係にありpFが大きいと採水量は少なくなった。この関係は表層ほど明らかであったが、下層の60cmではpF変化も少なくなり(pF0.5~2.5)、試験期間中に採水できない日はなかった。さらに下層の250cmより下層では地下水位に達していると想定される(農技研化学部試料, 1984)。そのため、正の水圧を示すと考えられ、常時80~120ml/日の採水量が得られた。これらの実験結果を総合すると、本供試装置の採水限界は土壌水分pF2.5であり、これ以上の低水分状態での採水は難しいと結論された。

PC法におけるカップ内への集水力は、土壌中の重力ポテンシャルとマトリックポテンシャル、およびカップ内の負圧によって作られるポテンシャル勾配によると考えられる。ところで、土壌が水不飽和の条件では重力ポテンシャルは0と考えられるからこの場合にはカップの毛管現象と吸引圧の2つの作用により決定される。前者については、空気と水の界面(メニスカス)に発生する表面エネルギーに関係する。大気圧下では、メニスカス上面に働く大気圧、下端の水受けの表面にかかる大気圧は等しいと考えられるから、この圧力差の相当分だけメニスカスは押し上げられる。このときに発生する毛管上昇高 h は、毛管半径 R と(1)式の関係が成立する(土壤物理

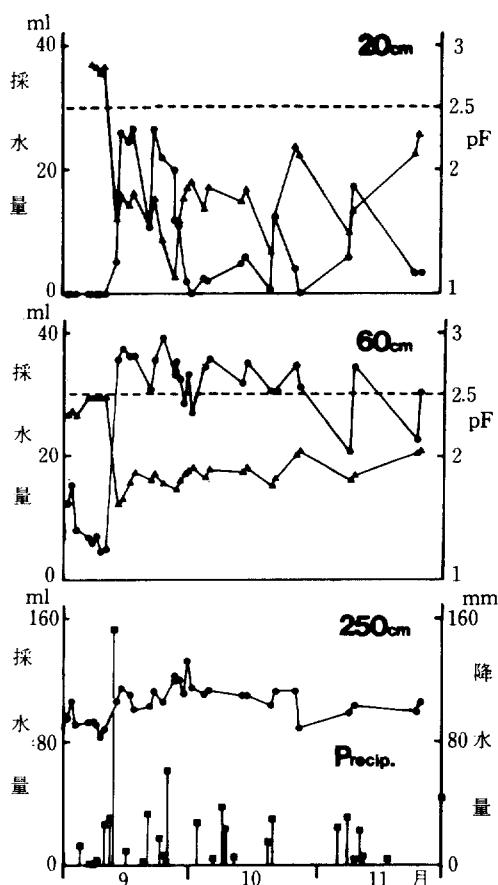


図-3 土壌水採水量, pF, 降水量関係図

上図 ● 20cm 採水量 ▲ 20cm pF値
 中図 ● 60cm 採水量 ▲ 60cm pF値
 下図 ● 250cm 採水量 ■ 降水量

研究会, 1979)。

$$h = 2 \sigma \cos \alpha / (\rho g R) \quad (1)$$

ここで σ は水と空気の界面に生ずる表面張力で、75dyn/cm(20°C)、 α は接触角と呼ばれ、物性によって決まる定数で、親水性の場合、 $\cos \alpha$ はほぼ1である。水の比重 ρ は1 g/cm³、大気圧 g は980cm/sec²である。(1)式にこれらの数値を代入、計算すると、(2)式が得られる。

$$h = 0.153 / R \quad (2)$$

毛管孔径 d とすれば、 h は次の(3)式として表わされる。

$$h = 0.306 / d \quad (3)$$

すなわち、供試したカップの平均孔径 d は2.0 μ mであるから、pFは計算上では3.18となる。従って、供試カップは孔径の点からみると、十分な集水能を保持していることになる。圃場試験において供試装置により具体的に採

取できた水ポテンシャルがpF2.5までであったのは、カップ孔径の他にカップ表面と土粒子との接触性および装置の気密性など別の要因が働いていると考えられた。本試験の吸引圧は、Poを40cmHgとしたので、圧力計算からはpF2.74 (Po=30cmHgではpF2.61) までの水が採取されることになるが、実際にはpF2.5が採水の上限であった。この原因として供試装置の吸引法が降下圧方式のためPo値が40cmHgであったとしても、その後、採取管内への水の浸透により採水管内圧が低下する。つぎに、カップ素材の孔けき性の不均一による真空度の低下がおき、このため採水能が理論値に達しなかったと考えられた。後者の原因については次の2)で考察する。

なお、図-3において60cm深さの10月後半から11月後半の採水量が一定したpF値にもかかわらず、大きく変動し、かつ少量であった。この実験では、採水量を確保するため、減圧後、10日以上放置して採水した。また採水時の残圧は0cmHgまで低下していた。これらの採水条件を考えると、一旦カップ内に入った土壤水はカップ内減圧の低下とともに再び土壤中へ戻ったと考えられる。減圧後から採水までの放置時間は、前述のポットモデル実験の結果も併せ考えると、本供試装置の場合5～6時間が適切と言えよう。低水分土壤で十分な採水量を確保できない条件では、減圧保持時間を長くするため毎日減圧操作を行うか、あるいは大型の減圧タンクを用いた定圧・吸引法が優れている (Reeve, 1965)。このような場合、1箇所から多量の土壤水を採取しすぎ、成分濃度の変動や土壤の水分状態に悪影響を与えることが考えられる。これを防止するには、採水量が一定になると、自動的に採水を停止する装置を付けることが望ましい。

2) 採水放置日数が採水量と残圧におよぼす影響

PC法による土壤水採取法では、採取管内の真空度が保持されているかぎり採水量が増加していく。降下圧/吸引法では採取管内への土壤水の浸透量の増加に伴い真空度が低下していき一定の低真空度となって土壤水の浸透が止まると考えられる。そこで、畑圃場試験の結果 (表-8) をみると、採水量 (Y) と放置日数 (X) の関係は、深さ300cmを除き、他はすべて負の相関係数にあった。残圧 (Y) と放置日数 (X) の関係はいずれも負の相関にあったが、高い相関関係は深さ300cmのみであった。放置1日後の深さ20, 100, 300cmの平均採水量はそれぞれ3.3, 58.3, 13.6mlであり、また1日後の残圧3.4, 4.6, 32.7cmHgであった。深さ20cmと100cmでは、採水量に関係なく残圧は極端に低下していた。一方、深さ300cmではかなりよく減圧が保持されていた。これは採取管が地下水位以下に埋設され、カップの周囲が水で飽和されていたためと考えられた。また、1日当たりの採水量は十数mlと少ないが、減圧が保持されていたため、3日目まで採水量はほぼ比例的に増加した。深さ300cmの土壤は重粘土からなり、飽和透水係数は 5.9×10^{-7} と透水性が極めて悪い。そのため、単位時間当たりの採水量が他の土層に比較して小さかったと考えられた。

水分不飽和の畑条件では、供試装置の採取管内の真空気密性は良いものではなかった。その原因はカップにあると考えられる。元来、供試カップは水分測定用のものでpF3までの水分測定ができるはずである。しかし、実際には、接続部の気密性やカップ壁の孔けき性が不均一であったり、装置内の水中溶存ガスが気化するなどのために、通常信頼できる値を示すのは、水分張力2.8以下とさ

表-8 採水放置日数が採水量と残圧におよぼす影響

埋設深さ (cm)	Y [採水量 (ml)] / X [放置日数] n = 38	Y [残圧 (cmHg)] / X [放置日数] n = 38	飽和透水係数 ¹⁹⁾ (cm/sec)
20	$Y = -0.167X + 4.48$ $r = -0.134$	$Y = -0.289X + 4.64$ $r = -0.258$	$3.4 \times 10^{-5} \sim 9.9 \times 10^{-5}$
40	$Y = -1.04X + 15.2$ $r = -0.382$	$Y = -0.379X + 6.50$ $r = -0.288$	4.1×10^{-4}
50	$Y = -0.585X + 23.3$ $r = -0.159$	$Y = -0.749X + 11.6$ $r = -0.298$	$4.1 \times 10^{-4} \sim 1.7 \times 10^{-3}$
60	$Y = -0.315X + 27.3$ $r = -0.102$	$Y = -0.569X + 10.9$ $r = -0.262$	1.7×10^{-3}
80	$Y = -1.27X + 32.9$ $r = -0.434$	$Y = -0.569X + 9.39$ $r = -0.287$	7.1×10^{-4}
100	$Y = -1.73X + 60.0$ $r = -0.649$	$Y = -0.376X + 8.40$ $r = -0.315$	7.1×10^{-4}
150	$Y = -1.38X + 63.2$ $r = -0.421$	$Y = -0.252X + 7.75$ $r = -0.218$	1.5×10^{-4}
200	$Y = -2.62X + 98.7$ $r = -0.439$	$Y = -0.369X + 7.18$ $r = -0.326$	$1.5 \times 10^{-4} \sim 4.5 \times 10^{-6}$
250	$Y = -0.742X + 105$ $r = -0.216$	$Y = -0.050X + 3.24$ $r = -0.086$	4.5×10^{-6}
300	$Y = 4.15X + 9.40$ $r = -0.924$	$Y = -1.64X + 34.3$ $r = -0.737$	5.9×10^{-7}

注 r : 一次相関係数, アンダーラインを付けた数値は5%水準で有意。

れている(湯村, 1972)。

(2) 林地と畑圃場の土壌水中イオン濃度の比較

林地と畑圃場で土壌の深さ別に採取した土壌水中のカチオン(K, Na, Ca, Mg)とアニオン(Cl, Br, 硝酸, 硫酸)濃度の測定結果を図-4に示した。この図から次の事実または傾向が認められる。

i) 施肥が行われている畑土壌中の8種測定イオンの濃度は、Brを例外として、施肥が行われていない林地に比較してすべて高い。Brの場合、表層では明らかに林地で低い濃度を示すが、下層では畑と大差ない濃度に下がっている。

ii) 深さ別イオン濃度を達観的にみると、林地では一部表層位でやや高い濃度を示すイオンもあるが、概して深さ別の濃度差は顕著ではない(Brは例外)。これに対し、畑ではいずれのイオンも表層で高く、下層にいくに従い低下すると言える。しかもその程度は施肥の影響を受けるイオン、すなわちK, Ca, Mg, Cl, 硝酸において大きく、その影響を受けないと思われるNa, Br

で小さい。なお、硫酸については表層位のデータがなく、深さ別の傾向は明らかにしえなかった。

観音台土壌の畑と林地における深さ別土壌水中のイオン濃度とその分布パターンから、施肥の影響は明らかに土壌水中のイオン濃度に反映していることが実証された。このことは、とりもおさず供試採水装置がこの種の研究に条件つきながら使用できることを物語っている。

(3) 畑圃場で土壌水中イオン濃度測定値の変動

土壌水中イオン濃度の深さ別、水平位置別差異を圃場で実地に調べ、その結果を表-9に示した。

カチオンの変動係数(CV)を深さでみると、深さ250cmで小さく、深さ100cmで大きい(Caは例外)傾向が認められる。水平位置別のカチオン濃度のCVは、深さ250cmのMgが14%と最低で、深さ150cmのKが78%と最高であり、平均では33%であった。深さ100cmにおけるアニオン濃度のCVは硝酸と硫酸がBrに比べてやや大きいと言える。

以上の結果から、施肥の影響を受け、また土壌中で移

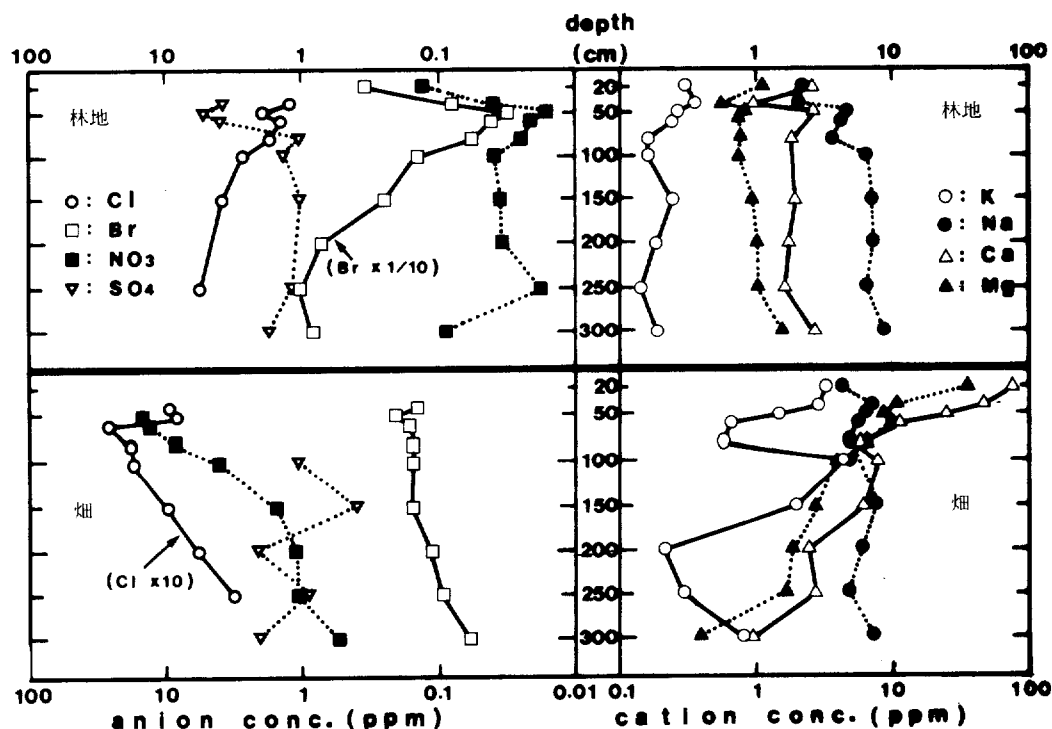


図-4 林地と畑の土壌水中成分濃度

土壌水採取日：林地は8月24日、ただしClとBrの40～150cm深さの試料は8月5日。畑は、カチオンは8月4日、アニオンは8月24日、ただしClとBrの40～150cm深さの試料は8月5日。

表一 9 畑圃場における土壌水中イオン濃度の深さ別、水平位置別差異

採水位置 (深さ)		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	$\bar{X} \pm SD$	CV(%)
		(ppm)								
50cm	A-1からの水平距離 <u>cm</u>	<u>0</u>	<u>574</u>	<u>881</u>	<u>973</u>	<u>1030</u>	<u>1140</u>	<u>1200</u>		
	K ⁺	1.6	3.2	2.0	4.7	3.5	4.1	3.0	3.2± 1.1	34
	Na ⁺	4.3	4.3	4.2	3.6	3.9	4.9	6.6	4.5± 1.0	22
	Ca ²⁺	30.2	18.3	20.0	29.4	31.2	39.7	51.4	31.5±11.4	36
100cm	Mg ²⁺	9.2	9.4	9.7	8.9	11.5	4.5	15.5	9.8± 3.3	34
	A-1からの水平距離 <u>cm</u>	<u>0</u>	<u>519</u>	<u>827</u>	<u>911</u>	<u>960</u>	<u>1077</u>	<u>1100</u>		
	K ⁺	1.3	1.0	0.7	1.1	0.6	1.1	1.2	1.0±0.26	26
	Na ⁺	3.0	5.5	3.7	5.8	3.7	5.6	4.1	4.5± 1.1	25
150cm	Ca ²⁺	8.5	4.0	4.7	6.3	10.3	6.5	6.6	6.7± 2.2	32
	Mg ²⁺	4.5	3.7	8.4	4.9	8.4	4.5	8.1	6.0± 2.1	34
	Br ⁻	0.18	0.11	0.29	0.20	0.30	0.16	0.20	0.21±0.068	33
	NO ₃ ⁻	0.91	0.97	2.7	3.2	2.4	0.83	1.6	1.80±0.97	54
250cm	SO ₄ ²⁻	1.2	0.73	0.34	0.47	2.4	1.2	0.91	1.04±0.69	66
	A-1からの水平距離 <u>cm</u>	<u>0</u>	<u>519</u>	<u>803</u>	<u>911</u>	<u>953</u>	<u>1049</u>	<u>1100</u>		
	K ⁺	0.8	0.8	1.1	0.5	3.2	—	1.1	1.3±0.98	78
	Na ⁺	11.0	8.7	4.9	3.4	3.3	—	5.0	6.1± 3.1	52
	Ca ²⁺	3.5	2.7	5.0	3.6	3.5	—	3.9	3.7±0.75	20
	Mg ²⁺	1.8	1.4	6.1	6.4	8.4	—	7.3	5.2± 2.9	56
	A-1からの水平距離 <u>cm</u>	<u>0</u>	<u>505</u>	<u>812</u>	<u>903</u>	<u>960</u>	<u>1049</u>	<u>1100</u>		
	K ⁺	1.1	0.4	1.5	—	—	1.0	0.8	0.96±0.40	42
	Na ⁺	7.6	5.3	8.6	—	—	5.5	6.0	6.6± 1.4	22
	Ca ²⁺	2.3	1.9	1.9	—	—	2.7	3.4	2.4±0.63	26
	Mg ²⁺	2.0	1.7	1.8	—	—	2.2	2.4	2.0±0.29	14

注 分析試料：カチオンは1982年9月24日、アニオンは同年8月24日にそれぞれ採取した土壌水。

— : 試料なし

動しやすいイオンほど採取位置による変動が大きくなると考えられる。また変動係数が比較的大きいことから、1処理ごとの採取管の埋設本数を多くすることが望まれるが、その本数は目的成分の解析精度、経費、労力等から総合的に決定されるべきである。しかし、上記の変動係数の大きさからみて、1処理最低3本の設置は必要と結論される。

(4) 導管壁に沿った漏水現象 (water channeling)

土壌水採取管の全体を土層内に埋設せずに採取管を表層から採取位置に埋設して土壌水を採取する方法では漏水に注意が必要である。特に土壌構造が発達し土壌水分含量の高い場合にはこの方法は適さないといわれる (Shafferら, 1979)。漏水が起きると、表層のイオンまたは水が短時に下層に移行し、また下層土壌水中のイオン濃度を乱す恐れがある。表一9の深さ別カチオン濃度

は前述のように施肥の影響をよく反映しており、しかもその濃度差は合理的に説明できるものであった。従って、今回の試験では、結果を乱すほどの漏水は起こらなかったと考えられる。なお、筆者らは上記内容を伴った漏水を水田状態で確認している (渡辺ら, 1984)。

(5) PC法と遠心分離法による土壌水中の成分濃度比較

畑と林地の圃場で深さ別に、PC法と遠心分離法 (以下、遠心法とよぶ) により土壌水を採り、その液中の8種イオン濃度を測定した。結果を表一10に示した。畑において、PC法と遠心法のイオン濃度を比較すると、K, Ca, Mg, 硫酸の両方法間の値は一致ないし近い値を示した。しかし、深さ20cmのCl, Br, 硝酸のイオン濃度はPC法より遠心法で著しく高い値を示した。林地では、硝酸を除き他の成分はいずれも同程度か、または遠心法の値

表-10 吸引(PC)法と遠心分離(CE)法による土壌採取液のイオン濃度の比較

試料名 吸引法 (上段) 遠心分離法 (下段)	深 さ (cm)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺ (ppm)	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
PCU-20	20	1.7	10.2	31.0	13.5	1.50	0.016	tr.	75.77
* CEU-20	15~30	2.4	7.0	34.3	13.8	13.03	0.080	16.92	79.00
PCU-80	80	2.1	21.9	9.0	3.2	13.82	tr.	2.63	2.45
* CEU-80	73~85	1.2	1.7	11.5	3.9	15.43	tr.	2.67	1.43
PCU-200	200	0.2	4.9	1.6	2.3	12.11	0.092	1.92	0.39
* CEU-200	193~215	0.3	4.4	1.3	1.1	8.52	0.089	2.37	0.51
PCU-300	300	0.7	6.6	1.6	1.5	9.30	0.091	2.74	1.22
* CEU-300	267~293	1.3	4.6	2.7	1.5	9.92	0.066	4.23	1.34
PCF-20	20	0.2	1.0	1.9	0.61	1.99	tr.	1.47	4.44
* * CEF-20	20	0.2	2.9	1.9	0.72	2.44	tr.	tr.	8.08
PCF-50	50	0.1	1.3	1.1	0.39	1.71	tr.	2.22	2.51
* * CEF-50	50	0.6	17.6	1.5	0.49	3.24	tr.	0.18	6.02
PCF-100	100	0.1	2.2	0.4	0.12	2.74	0.012	0.57	0.66
* * CEF-100	100	0.2	9.1	0.8	0.31	5.91	tr.	0.43	1.55

注 tr.:検出下限以下, *:遠心分離張力 pF2.7, **:遠心分離張力 pF3.3

の方が大きく、50cmと100cm深さでは2~3倍以上にまで大きくなる場合もあった。イオン濃度がPC法より遠心法で、また、畑より林地で高くなった原因として、PC法では水分張力pF2.5以下の土壌水を、遠心法の畑ではpF2.7以下、そして林地ではpF3.3以下の土壌水を、それぞれ採水したためと考えられた。特に、畑の80cm以下での水分含量は高かったため、こうした場合には両法による測定値の差は殆ど認められなかった。さらに、II, 4., (4)と同じポットモデル試験で、土壌水分条件を変え、PC法と遠心法で土壌水を採取し、その成分濃度を比較したが、両法間に大きな差異は認められなかった(表-11)。

土壌中の水は、重力ポテンシャルで移動しやすい自由水と比較的異動しにくい毛管水から構成され、一般に毛管水中のイオン濃度は高いと想定されている。従って、高いpFで土壌水を採取すると、イオン濃度は高くなると考えられる。しかし、同じpFで採水すれば、理論的にはPC法と遠心法間に濃度差は生じないはずである。ここで得られた結果でも、この結論は比較的高土壌水分条件下でPC法で採水する場合には当てはまると言える。

また、PC法で採水時間を長くすると、結合ポテンシャルの大きい毛管水を採水するようになり、イオン濃度が高くなることが想定されるが、本供試装置で採水されるpF2.5以下の土壌水分条件では、移動しやすい水が採水とともに移行し、より優先的採水されると考えられ、通常の採水条件では採水速度、時間の影響は小さいと思われる。この点については今後の研究が必要である。

さらに、本実験の場合、PC法と遠心法で採水した土壌

表-11 吸引法と遠心法との土壌水中主要成分の比較

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
	(ppm)			
Cl ⁻	30.6	32.4	33.6	36.1
NO ₃ ⁻	68.4	75.2	52.7	54.0
SO ₄ ²⁻	5.23	4.99	6.11	6.8
Na ⁺	29.2	32.1	27.6	29.1
K ⁺	43.2	47.1	38.4	41.2
Ca ²⁺	40.5	43.3	32.2	32.8
Mg ²⁺	14.1	15.0	11.5	11.4

注1. 供試土壌:観音台表土

2. 吸引条件:初期真空度40cmHg (pF2.74相当)

3. 遠心条件:遠心管内の試料に最大pF2.74の力がかかるように設定して60分回転

水中のイオン濃度が極端に異なることが見出せる(例:畑深さ20cmでのCl, 硝酸, 深さ80cmでのNa; 林地20cmの硝酸, 深さ100cmのNa)。これらの原因としては、カップ周辺の大孔げきの水みち等が考えられるが、確証はない。いずれにしても、採取管の設置本数を複数とし、異常値の検出に意を注ぐべきである。

(6) 採取管のめづまり

林地から掘り出した3本の採取管のALカップの表面には特別な斑紋あるいは植物根の付着は観察されなかった。また、これらを未使用の採取管と共に水に入れて、吸水速度を比較したが両者間に殆ど差はなかった。従っ

て、林地での2年間の使用では、いわゆるcloggingやpluggingは認められないと言える。筆者らと同じ土壌型でPC法(定圧/吸引法)による3年間の野外試験を行った久保井ら(1983)の結果によると、カップのめずまりは3年間32個当たり2個、および、2年間144個当たり3個であった。この場合の真空度はライシメータと圃場でそれぞれ74.5cmHgと60~70cmHgと比較的高い真空度で多量の土壌水を採取していたことから、めずまりしやすい条件であったと考えられた。それにもかかわらず、この程度の頻度でめずまりが発生しなかったことから考えて、本供試装置においても2~3年間は充分使用可能と考えられた。

IV. ま と め

ポーラスセラミックカップを用いた降下圧/吸引法による土壌水採取装置は、土壌肥沃度診断(N, K, Ca, Mg, など)、土壌環境調査(N, Na, SO₄, など)、また、元素トレーサによる水追跡(Br, Cl, 重水など)などの目的に広く利用でき、農業環境の調査試験の技法と

してその重要性は高い。筆者らは、この視点から従来の降下圧/吸引法による土壌水採取装置に改良を加え、この装置の性能と、特に畑圃場への適用性を検討した。また、筆者らは茶園土壌における土壌水中硝酸態窒素の挙動(木方ら, 1985)およびアクチバブルトレーサ法を利用した土壌水の追跡(結田ら, 1985)などの試験研究に本装置を用い、その有効性を実証しつつある。これらの試験研究における使用経験も併せて、本装置の標準的使用法とその留意点は次のように取り纏められる。

1. システムの概要と特徴

装置は長期間に大規模な野外試験も行えるように、構造は単純にして安価であり、維持管理が容易で、地形に左右されることなく使用できる。その装置一式はII, 1. (図-1)に示したとおりである。本装置の構造、使用場の特徴を他装置と比較した結果を表-12に示した。なお、この表は既往の文献、本報告での検討結果および上記野外実験における経験を総合して作成したものである。

2. 装置の標準的使用法

(1) カップの洗浄：カップ素材からの成分溶出(コン

表-12 供試土壌水採取システムと他法との比較

方式・装置		長 所	短 所
カ ッ プ 素 材	セラミック	加工が容易。安価。 親水性で集水能がよい。	成分透過性に問題がある(リン酸など)。 使用前にカップの洗浄が必要。
	ガラス合成樹脂	カップからの成分溶出が殆どない。 成分の透過性に優れている。	高い土壌pF時の集水能が劣る。
減 圧 法	降下圧	装置が簡便(手動ポンプで採水できる)。	採水能が劣る。
	定圧	上法と同じ初期圧なら短時間で採水量が確保できる。採取条件が一定。	蒸発濃縮の恐れがある。
保 持 場 所	土壌中採取管	場所をとらない。 おおよその土壌水分を測定できる。	採取液が土壌へ戻る可能性あり。 採水量が採取管の容積で限定される。
	地上採取瓶	採水状況を観察できる。 採水作業が容易になる。	冬期、凍結のため採水できない可能性あり。 高温時の採取液の保存性。
取 出 法	加圧法	採水時以外の時間に土壌水が採取管内に入らぬようにできる。	加圧時に一部の採取液が土壌中へ戻る。
	減圧法	装置の単純化ができる。	手動ポンプでは採水が困難。
埋 設 法	縦挿入	地形にかかわらず埋設できる。 埋設作業が比較的容易。	water channelingの恐れあり。 農作業を妨げる可能性あり。
	横挿入	water channelingの恐れなし。	平坦地での適用は困難

注 本報で用いたシステムは上欄に示す。

タミネーション)を防ぐため、使用前にカップを洗浄する。未使用のカップを水に浸すと始めに水が黄色になる。水に浸し黄色が見えるなくなるまでカップ開口部から流水を通す。ついで、カップを0.5N塩酸液に浸した後、この酸液10~20mlをカップ内へ浸透させる。この操作を3回以上繰り返す。酸洗浄後、カップに蒸留水を通して酸液を除去する。カップ浸透水のpHをpH試験紙を用いて確かめ、その値が約6.5以上であれば酸液は除去されたとしてよい。

- (2) 採水管の埋設：ハンドドリル(外径20mm)で所定の深さより約5cm浅く縦穴を穿つ。直ちに採取管(外径18mm)を手および木槌で所定位置まで押し込み地表に導管が10~20cm出るようにする。地表面水が導管に添って漏水(water channeling)しないように、導管の地際を数cm盛り上げて踏み固めておく。埋設本数は1処理区1層位について3連制以上で行う。採取管の埋設本数は多いほうが良いが、試験の目的、土壌環境、水分条件、目的成分の分析精度、経費、労力、などの面から総合して判断すべきである。野外試験では予想以上に土層内の水の動きが不均一なことが多いので、通常の埋設本数は最も細分化された処理区毎に統計処理できるよう3本以上が望ましい。
- (3) 採水の予備チェック：採水用キャピラリー管の下端に長さ約8cmのステンレス製細管を付けこれをカップ底部に届け、チューブ上端をゴム栓に通した2本の注射針のうちの一方(採水用三方コック側)に接続する。採水管口から蒸留水20~30mlを入れてから、ゴム栓をはめその上にゴム栓固定キャップをする。次の(4)の採水方法により導管内の蒸留水を地上部に取り出し、装置内の土壌水通導部の洗浄を兼ねて装置の機能チェックを行う。
- (4) 採水方法：三方コックの採水用管口を閉じ通気用管口を開け、ハンディポンプを後者に接続、吸引し、30~40cmHgの負圧とし、管口を閉じる。5~6時間経過後、採水用および通気用管口を開き、後者よりハンディポンプ(自転車用が良い)で加圧して採水する。この条件で採水量に過不足を生ずる場合は、負圧保持時間をそれぞれ短縮あるいは延長する。負圧保持時間を延長するとき、vacuum tankあるいはこれに類似した機能をもつ大形吸引土壌水採取瓶(容量1ℓ以上)を用いると便利である。
- (5) 分析用土壌水の事前チェック：(3)の操作を行った後、実際に土壌水を採取する。採水装置毎に、採水

量、採水時の残圧を記録し、初期における装置の作動不良をチェックする。始めの1週間に3回採水し、この試料液は捨て、4回目から後の3回以上の試料について目的イオン等を分析し、カップからのコンタミネーション、イオン濃度の変動、対照区と試験区の差異などについてチェックし、目的とする試験に十分なデータが得られるように条件設定する。

- (6) 試験の開始以降：土壌構造が発達し、水分含量の高い場合には漏水(water channeling)が生じやすい。降水量の多い時に採水回数を増やして土壌水中成分を分析し、漏水のないことを確かめる。また、土壌水分が低下しpF2.5以上となれば、採水はできなくなる。土壌水分が低レベルで推移すると、カップ自体が乾燥することが考えられる。この場合、その後の土壌水中の成分濃度、特にNaは一時的に高まる恐れがあるので注意が必要である。
- (7) 採水土壌水分、水量、時間等：本装置は低土壌水分条件では採水できず、その限界はpF2.5である。この場合、分析に必要な20~50mlの土壌水が5~6時間で採水できる。またpF2.5以下の水分条件では、土壌水中の成分濃度は遠心法によって採取した土壌水中の成分濃度とほぼ一致し、また採水時間の成分濃度におよぼす影響は小さいと考えられる。
- (8) 使用期間：通常、3年間はめづまりの恐れはなく使用に耐えられる。

V. 摘 要

アルミナ質ポーセラミックカップを用いた吸引法による土壌水採取装置を改良、供試し、本装置の性能を室内実験および野外圃場試験において確かめ、その適用性を検討した。その結果は以下1~10のとうりである。

1. アルミナ質(AL)カップとケイ石質(Si)カップを供試して、カップからの水溶出イオン濃度を比較したところ、後者が前者よりK, Ca, Mg, F, Cl, 硝酸、および、硫酸の溶出濃度が高かった。そこで装置のカップとしては、農業環境上重要なK, Ca, Mg, 硝酸などのイオン溶出の少ない前者が適していると判定した。
2. ALカップからの成分溶出の影響を防ぐため、カップに0.6ℓの水で浸漬浸透洗浄すればK, Na, Ca, Mg, Al, F, 硫酸について、また、アニオンにたいしだけであれば0.5ℓの水で浸透洗浄すれば、土壌溶液中の元素の平均存在率の10分の1以下の溶出濃度まで除洗できた。ただし、この除洗には約30日を要

した。

3. 短時間に効率よくALカップを洗浄するため、0.5規定水酸化ナトリウム溶液と0.5規定塩酸溶液によるカップ除洗効果を、除洗後の水洗浄液中カチオン(K, Na, Ca, Mg, Fe, MnおよびAl)の濃度について調べたところ、両液によるカップ除洗効果は水洗浄の場合に比べると明らかに高かった。0.5規定塩酸溶液の洗浄効果は0.5規定水酸化ナトリウム溶液のそれより高く、特にCaとMgにおいて明瞭な差異があった。
4. 土壌水中のH, K, Na, Ca, Mg (低濃度の場合を除く)、Cl, Br, F, 硫酸、クロム酸、セレン酸、のカップの透過率(カップ透過前後の濃度比%)は採水回数(1回約25ml)が増すに従い100%に近づき、イオンの透過性はおおむね良好で、これら成分の土壌動態追跡に適用できることが分った。しかし、リン酸の透過性は低くALカップを用いた供試装置の適用は不可能であった。
5. 吸引速度の採取液中成分濃度におよぼす影響を、土壌ポット試験において、Po(降下圧/吸引法の初期吸引圧)と採取液中K濃度の関係より調べた。その結果、Poの変化(10~60cmHg)によってK濃度に大きな影響はなかった。Poが高いほど、また、pFが低いほど採水中のK濃度は僅かずつ高まったに過ぎなかったが、採水量はPoが低く、低水分条件では極めて少量となった。従って、分析に必要な量を採水するにはPoを30~40cmHgに設定するのが適当と考えられた。
6. 畑圃場でカップの採水限界について調査した結果、pF2.5までの土壌水分条件では、常に分析に必要な水量が確保できた。またカップの平均孔径と採水時の減圧から理論的な考察を加えた。
7. 畑圃場と林地で深さ別に採水装置を設置し、土壌水を採取し、K, Na, Ca, Mg, Cl, Br, 硝酸、硫酸のイオン濃度を測定した。これらの成分濃度はいずれも林地よりも畑で高いか、高い傾向を示し、この差異は土壌の表層位でより明瞭であった。このように、施肥の影響が土壌水の成分組成や層位別分布に認められ、本装置のこの種の試験研究への適応性が確認された。
8. 土壌水中イオン濃度の変動を同一圃場内で調べた。深さ別の変動係数(CV)は深さ150cmで大きく、250cmで小さい傾向があった。水平位置別のCV値は成分により異なり、14~78%の範囲に分布し、平均値は

33%であった。土壌中で移動しやすい一価(Fを除く)や肥料に多量含まれる成分のCVは大きい傾向があった。また、これらの実験結果から、漏水(water channeling)は起こっていないと考えられた。

9. 土壌水中のK, Na, Ca, Mg, Cl, Br, 硝酸、硫酸濃度をPC法と遠心分離法により測定した。その結果、畑では両法間の値は一致ないしは近似した値を得た。林地では、硝酸を除く他の成分はいずれも、両法間の値はほぼ同じか、あるいは、遠心法の方が大きかった。遠心法で値が大きかった原因として、遠心分離張力が大きかったことによると考えられた。
10. 上記1~9の検討結果および引き続き本装置を用いて実施した試験研究での経験を総合して、本装置の標準的使用法を提案し、また使用上の留意点を述べた。

謝 辞

本研究は農林水産省の“農林水産業のもつ国土資源と環境保全機能及びその維持増進に関する総合研究”の一環として行われたものである。このときのチームリーダーであった鬼藪豊博士(現、鹿児島建設株式会社)また農業技術研究所土壌化学第三研究室長の渋谷政夫博士(現、ダイヤケミカル株式会社)からは励ましと御指導をいただいた。土壌水採取装置の試作にあつては大起理化学工業株式会社藤本威氏の御協力をいただいた。また、研究の遂行にあたり装置の埋設および土壌水の採取について農業環境技術研究所業務科の森屋金重、根本功(現、農業生物資源研究所)、鈴木文夫、内山兵一の各氏の御援助をいただいた。

これらの方々に厚く感謝します。

引用文献

- 1) Briggs, L.J. and A.G. McCall (1904) : An artificial root for inducing capillary movement of soil moisture. *Science*, **20**, 566-569
- 2) Brooks, R.H., J.O. Goertzen and C.A. Bower (1958) : Prediction of changes in the composition of the dissolved and exchangeable cations in soil upon irrigation with high-sodium waters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **22**, 122-124
- 3) 土壌物理研究会編 (1979) : 土の物理学, 8章 土の保水, pp. 219
- 4) Eaton, F.M., R.B. Harding and T.J. Ganje (1960) : Soil solution extractions at tenth-bar moisture

- percentages. *Soil Sci.*, **90**, 253—258
- 5) England, C.B. (1974) : Comments on "A technique using porous cups for water sampling at any depth in the unsaturated zone" by Warren W. Wood., *Water Resour. Res.*, **10**, 1049
 - 6) Hansen, E.A. and A.R. Harris (1975) : Validity of soil water samples collected with porous ceramic cups. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **39**, 528—536
 - 7) 長谷川功・早坂猛 (1972) : ポーラスカップによる桑園土壌溶液の採取, 九州蚕糸, **3**, 44
 - 8) 長谷川功・早坂猛 (1973) : 桑園のポリマルチ効果に関する土壌肥料的検討, (2)土壌溶液中の肥料成分の消長について, 九州蚕糸, **4**, 11
 - 9) Hossner, L.R. and D.P. Phillips (1972): Extraction of soil solution from flooded soil using a porous plastic filter. *Soil Sci.*, **115**, 87—88
 - 10) Kapp, L.C. (1937) : Extracting a submerged soil solution.: *Ark. Agr. Expt. Sta. Bull.*, **351**, 28
 - 11) 片瀬海司 (1979) : 桑園における施肥量が土壌溶液中の養分量および桑葉成分におよぼす影響, 第1報 土壌溶液中の養分量におよぼす影響, 蚕糸研究, **112**, 82—93
 - 12) 木方展治・結田康一 (1985) : 土壌水の追跡技法の開発, 第6報—茶園における土壌水中硝酸態窒素の挙動, 土肥講要旨集, **31**, 128
 - 13) Kobga, B.A. (1959) : ソ連土壌の微量元素, モスクワ大学出版所
 - 14) 越野正義 (1983) : 水資源計測の高精度化・自動化, 第1報, フローインジェクション法によるリンの測定, 農技研肥料化学科資料, 第246号, 1—17
 - 15) Krone, R.B., H.F. Ludwig and F.T. Jerome (1952): Porous tube device for sampling soil solutions during water-spreading operations. *Soil Sci.*, **73**, 211—219
 - 16) 久保井徹・藤井国博 (1983) : 吸引法による土壌溶液採取の問題点, 汚泥成分の地下浸透量を把握するために, 国立公害研報, 第47号 (R-47-'83)
 - 17) Long, F.L. (1978): A glass filter soil solution sampler. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **42**, 834—835
 - 18) McColl, J.G. (1978): Ionic composition of forest soil solutions and effects of clearcutting. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **42**, 358—363
 - 19) 農業技術研究所化学部編 (1984) : 農業技術研究所圃場の土壌および三要素試験の概要, I. 概況, pp. 4—12 農業技術研究所化学部資料, 第3号
 - 20) 農業環境技術研究所気象管理科 (1982) : 1982年農環研気象月報 (Sept-Nov)
 - 21) Reeve, R.C. and E.J. Doering (1965): Sampling the soil solution for salinity appraisal. *Soil Sci.*, **99**, 339—344
 - 22) Shaffer, K.A., D.D. Fritton and D.E. Baker (1979): Drainage water sampling in a wet, dual-pore soil system. *J. Environ. Qual.*, **8**, 241—246
 - 23) 鈴木大助 (1983) : 土壌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
 - 24) 多田嘉春・米本理・岩佐鶴子・中川清 (1980) : ロジウム添加効果を利用した血液中セレンの炭素炉原子吸光分析, 分析化学, **29**, 248—253
 - 25) Wagner, G.H. (1962): Use of porous ceramic cups to sample soil water within the profile. *Soil Sci.*, **94**, 379—386
 - 26) 渡辺久男 (1986) : 土壌標準分析・測定法委員会編, 土壌標準分析・測定法, クロム, 無炎原子吸光法, pp. 233—238, 博友社
 - 27) 渡辺久男・宮原克祐・結田康一・木方展治 (1984) : 土壌水の追跡技法の開発, 第4報, 土壌水採取装置とその性能 (その2) 水田への適用結果, 土肥講要旨集, **30**, 6
 - 28) Wolff, R.G. (1967): Weathering woodstock granite, near Baltimore, Maryland. *Am. J. Sci.*, **265**, 106—117
 - 29) 結田康一・渡辺久男・木方展治 (1985) : 農林水産技術会議事務局, 農業環境技術研究所: アクチバブルトレーサ法による土壌水の追跡技法, 農林水産業のもつ国土資源及び環境保全機能の要因解明と先進的計測技術の開発, 国土資源資料 No13, pp. 63—75
 - 30) 湯村義男 (1972) : 5.6圃場の土壌水分変化の追跡, 土壌物理性測定法, pp. 203—221 養賢堂
 - 31) 吉田富男・永塚鎮男 (1982) : 筑波台地下層土壌水中の無機陰イオン濃度, 土肥誌, **53**, 486—492
 - 32) 吉田富男・大羽裕 (1982) : 下層土壌水中の無機陰イオン濃度と酸化還元電位 (Eh), 土肥誌, **53**, 493—496

Applicability of Soil-water Sampler with Alumina Porous-cup

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

Summary

The "Studies on the effects of agricultural activities on the land resources and environmental protection ability with sound maintenance" were undertaken as part of a research program sponsored by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery of Japan. In this project, a soil-water sampling method is required to examine the behavior of fertilizer components and rain water in a soil layer. The suction method with a porous cup is a very useful tool for extracting soil-water at low soil-water tensions, but it has some shortcomings. In this study, therefore, the applicability of a porous-cup suction soil-water sampler to field conditions was studied using chemical and physical measurements. The results obtained can be summarized as follows:

- 1 . Comparisons were made of the ion concentrations in the water that permeated through the wall of alumina and siliceous ceramic cups. The concentrations of K, Ca, Mg, F, nitrate and sulfate ions extracted were higher when the siliceous ceramic cup was used. Therefore, the alumina cup was selected as the soil-water sampler as it was deemed more sensitive for the extraction of the main ions, i.e. K, Ca, Mg, etc. which are comparatively low in soil concentration under field conditions.
- 2 . The effects of water permeation through the cup wall on the decontamination of the cup were studied to extract high concentrations of the constituents from the permeated water. The concentrations of K, Na, Ca, Mg, Al, F, and sulfate ions in the soil solution decreased to low levels in terms of decontamination through the permeation of 0.6 ℓ of water for a period of one month.
- 3 . The effects of the addition of 0.5 N NaOH and 0.5 N HCl solution on the decontamination of the cations from the cup were examined to reduce the cleaning time. The concentrations of K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, and Al in the water decreased markedly after treatment with alkali and acid for cleaning. The latter treatment was more effective than the former in the decontamination of these elements.
- 4 . The permeability (percent of ion concentrations in soil-water before and after permeation

*National Institute of Agro-Environmental Sciences. Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan (presently: Tropical Agriculture Research Center. Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan)

**National Institute of Agro-Environmental Sciences. Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

through the wall) approached to 100% with the increase in the elution frequency. In the case of 3 elutions, the ratios ranging from 92 to 107% were optimal to obtain good results for H, K, Na, Ca, Mg (except at lower concentrations), Cl, Br, F, sulfate, chromate and selenate. While phosphate is an important nutritional constituent, its low permeability through the ceramic cup made the determination of phosphate impracticable.

5. The effects of the intake rate on the concentration of the ions sampled by the cup were investigated in relation to Po (initial suction pressure) and K concentration using the pot test technique. The effect of the Po (10~60 cmHg) change on the potassium concentration was negligible. The higher the Po and/or soil moisture, the higher the K concentrations. The value of Po suitable for application to the sampler was estimated to be 30~40cmHg in order to obtain the sufficient volume for soil-water analysis.
6. In the upland fields, soil-water under low soil moisture conditions was not taken with the sampler. It was observed that the sampler could extract soil-water up to the pF level of 2.5. The results were also discussed in relation with the cup pore size and the suction pressure.
7. To examine the impact of fertilizer application, the ion concentrations in the soil-water were determined at depths of 40~300 cm in forest land and upland fields. The concentrations of K, Na, Ca, Mg, Cl, Br, and nitrate were higher in the upland fields than in forest land, and this tendency was particularly conspicuous in the surface layers. This was especially true in the case of K, Ca, and Br. From these results, it is concluded that the porous cup sampler is a suitable device for use in agricultural fields.
8. The values of CV (percent of coefficient of variation) of the ion concentrations in the soil-water from the upland field varied between the constituents, showing a range from the smallest value of 14% for Mg to the largest one of 78% for K with an average of 33%. The easily mobile univalent and the fertilization-derived ions in the soil except for F showed a higher CV values than the others.
Water channeling was not observed so far as the vertical distribution of the constituents in soil-water was concerned.
9. The suction method was compared with the centrifugal separation method in relation to the concentrations of K, Na, Ca, Mg, Cl, Br, nitrate, and sulfate in the soil-water obtained at the depths of 20~300 cm. In the upland field, there were no significant differences between the two methods in the concentrations of K, Ca, Mg, and sulfate at depths of 80 cm, 200 cm, and 300 cm, while there were marked differences in the concentrations of K, Cl, Br, and nitrate at the depth of 20 cm. In forest land, the differences in the concentrations of K, Ca, Mg, and sulfate between the two methods were not appreciable at the depth of 20 cm. On the other hand, the centrifugal separation method gave higher values than the

suction method at the depths of 50 cm and 100 cm. These differences were ascribed to the higher tension required for the extraction of soil-water by the centrifugal separation method ($pF < 3.3$) than by the suction method ($pF < 2.5$) and also to the possible existence of large channels in the soil layer.

10. Based on the above-mentioned results, a standard procedure for using the soil-water sampler with the alumina porous ceramic cup in the field was proposed.