

資材運搬等が困難な山間地域等での 土壌モノリス作成方法の検討

須永薫子*・平山良治*

SUNAGA, Kaoruko* and Ryoji HIRAYAMA*: Method for the Preparation of
Soil Monoliths on Marginal Mountain Areas

土壌はその生成因子である母材, 気候, 人為のみならず動物や植物等の影響を受けることによって様々な形態を示すことが知られている。土壌を理解するためには, 土壌断面を観察することが最も望ましいが, そのつど地面に穴を掘って観察しなければならないため容易ではない。

土壌断面標本は, 写真や擬似的な模型とは異なり, 実際に土壌生成作用を受けた土壌断面をそのまま標本化したものである。観察が困難な地面の下の世界を容易かつ常時観察することができることから, 土壌教育の教材として有効であることが知られており, 文献のみでは理解できない様々な情報を得ることができる。そのため諸外国では古くから大学, 博物館, 農業試験場などで土壌断面標本の製作法の研究や収集が行われており (Jager 1996), わが国でも様々な作成方法が報告されている (永塚 1971, 奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター 1980, 浜崎ら 1983, 井上ら 2004)。

こうした土壌断面標本は一般に, 土壌モノリスと呼ばれている (以下, 土壌断面標本を土壌モノリスと称す)。なお, モノリス (monolith) の語源は, 単一 (mono) の石 (lith) と考えられており, 一塊の岩石を意味していた用語が, 転じて表層から下層までの一続きの土壌の断面標本を土壌モノリスと称するようになったと考えられている (浜崎ら 1983)。

土壌モノリスの特徴は, 本来持ち運べない土壌を標本化するため, 各々離れた地域で生成された様々な土壌を容易に比較検討できることである。このため教育的価値が高く, 土壌学の普及, 研究資料として重要な役割を持っていると考えられてきた。さらに今日では, 開発や改変に伴い消失する可能性のある土壌 (レッドデータ土壌) の保存としても期待されている (平山 2000)。近年の環境問題への関心の高まりから, 環境教育としての土壌教育への期待が高まり, 実物の土壌を観察できる土壌モノリスが評価されている。これまで, (独) 国立科学博物館ではこうしたレッドデータ土壌をはじめ内外の多様な土壌の土壌モノリスを収集・保存してきた。

土壌モノリスの作成方法は, 切り出した土柱を箱に詰めたまま展示する方法からはじまった。その後, 箱に詰めた土壌モノリス (土柱) に樹脂を塗布し, 裏打ちとなる布に土壌を張り付けて剥ぎ取る方法が検討され, 今日では採取をおこなう現地に断面を作成し直接樹脂をかけて固化し裏打ちの布に土壌を貼り付けて剥ぎ取る方法が一般的に用いられている。こうした剥ぎ取り標本は, 箱に詰める標本に比べ, 軽量・弾力性があることから運搬が容易であることが特徴である。

従来の土壌モノリス作成方法では樹脂や裏打ち用の布等の作成機材が大量に必要であった。そのため海外や山間部等必要機材の運搬・調達が困難な地域では, 土壌調査と並行して土壌モノリスを作成することは困難であり, 貴重な土壌モノリスを作成できる数少ない機会が失われてきた。

さらに, 従来の作成方法では土壌モノリスを作成するために必要な樹脂を土壌中に含浸させるために, 樹脂の粘性を低くし, 断面に吸収される以上の量を塗布する必要があった。この過剰な

*国立科学博物館 筑波研究資料センター 筑波実験植物園, Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Tsukuba, 305-0005.

樹脂は断面の下には溜まり廃棄されている。これらは環境汚染の問題となりつつあり、今日、環境への配慮は不可欠であることから、樹脂の環境への放出量を低減する必要がある。

そこで、本研究では特殊な環境下でも容易にモノリスを作成することができ、かつ環境にやさしい方法として土壌を固定する樹脂の量を最小限に低減する方法を検討した。

方 法

本研究では、携帯が容易であり、必要最低限の樹脂により土壌モノリスを作成する方法として、裏打ち用の布と樹脂をプラスチック製の袋に封入したセットを検討した。以下の5点について検討を行った。

I. 樹脂および袋の材質

樹脂を決定し、袋の密閉性・ガスの浸透・樹脂による変質を検討した。さらに密閉操作や紫外線による樹脂の変質を検討した。

II. 布の樹脂保持量の検討

従来の方法では、樹脂をかけ流しすることによって土壌断面へ樹脂を浸透させる方法であるため、必要最少量を超える量が必要である。そこで、封入する布には土壌モノリスを作成するために必要最少量の樹脂を確保する必要がある。樹脂の保持量は布の材質や加工によって異なることから、数種の布について樹脂の保持量を検討した。

III. 布および布の処理による樹脂の変質・封入後の処理方法の検討

Iによって採用した袋にIIで検討した布および樹脂を封入し、封入後の変化を比較した。

- i. 布の種類：IIで用いた数種の布について検討した。
- ii. 布の処理：水分の影響を検討するため布を乾燥させ検討した。
- iii. 封入後の処理方法：封入後発生したガスを低減する方法を検討した。

IV. 布と土壌の親和性および使用の難易・作成後の土壌モノリスの変形

IIIで用いた布および樹脂をもちいて、実際の土壌モノリスを作成し比較した。樹脂の土壌への移動量および布と土壌の親和性を検討した。布の乾燥および土壌の固定に伴う大きさの変形を検討した。

V. 実用化の検討

一般の標本となる大きさ（1×0.25 m）の土壌モノリスを作成し有用性を検討した。

結果および考察

I. 樹脂および袋の材質

i. 樹脂の検討

剥ぎ取り標本用の樹脂は、2液性のエポキシ樹脂と1液性のウレタン樹脂が一般に用いられている。本研究の目的は、携帯が容易であるとともに土壌断面を形成後速やかに作業できることが重要である。そこで1液性の樹脂であるポリウレタンポリマーを主成分とする樹脂（商品名トマック NS10（三恒商事））を用いた。

ii. 封入する袋の密閉性・ガスの浸透・樹脂による変質の検討

用いた樹脂は、水分と反応し、ガスを発生し固化する。このため、袋の材質は水分やガスを通さないことが必要である。

アルミニウムやガス不透過性のプラスチック等の材質を検討した。実験手順上内部の状況が確認できるように、酸素不透過性プラスチックを主成分とする透明な袋を採用した。このガスバリア製品は、セラミックを蒸着させた三重構造で、商品名はエスカル（三菱ガス化学製）である。

袋の樹脂に対する耐性を確認するため、袋に樹脂のみを入れ密閉した。約1年後の状態を観察したところ、明瞭な溶解や厚さが減少することは確認されなかった。このことから1年程度の期間であれば、袋への薬品による影響は問題ないと考えられた。また、樹脂に影響を与えない程度にこの袋は密閉することが確認できた。

iii. 密閉操作に伴う樹脂の変質の検討

袋は加熱装置によって密閉する。この際、樹脂の一部も加熱されることから加熱による変質の有無を観察した。密閉のための加熱では顕著なガスの発生などは認められなかった。

紫外線等の光線によって一般に有機化合物の多くが変質することが知られている。袋に、樹脂および布を入れ、屋内で約2ヶ月間放置したが顕著な変化は認められなかった。

以上の結果から、本報告での検討をおこなうにあたり袋および密閉作業を起因とする変質は極少ないものと考えられる。以下の実験はこのガスバリア性プラスチックの袋およびポリウレタン樹脂を用いて実験を行った。

II. 布の樹脂保持量の検討

布によって樹脂の保持量が異なることから、数種の布について樹脂の保持量を検討した。布の材質は、樹脂（トマック NS-10）の溶剤や樹脂成分に不溶であるとともに変質が少ないものを用いた。

布には、樹脂を保持するとともに、土壌へ放出することが求められる。そこでそれぞれの布が保持できる樹脂の重量を Table 1 に示した。保持量は、それぞれの布 1 cm² 当たりの樹脂量 (mg) で示した。特に保持量の多かったフランネルとメリヤスおよび保持量が比較的多く、液離れもよい素材であったベータワイプ、ワイプオール、4種について、以下の実験を行った。

Table 1. Material of cloth and retention of polyurethane resin

sample name	material		retention of polyurethane resin (mg/cm ²)
Batawibe	nonwoven fabric	chemical fiber	140
Wipeall	nonwoven fabric	chemical fiber	90
TS-100	nonwoven fabric	chemical fiber	69
Jcloth	nonwoven fabric	chemical fiber	75
SE-1	nonwoven fabric	chemical fiber	70
Tfcotto	nonwoven fabric	chemical fiber	78
Windix 50	nonwoven fabric	chemical fiber	105
Toresy ME waiper	nonwoven fabric	chemical fiber	71
Toresy ME cloth	nonwoven fabric	chemical fiber	66
packing material	nonwoven fabric	chemical fiber	107
flannel	cloth	cotton 100%	175
stockinet	cloth	cotton 100%	119

retention of polyurethane resin (mg/cm²) = resin (mg)/cloth or nonwoven fabric (cm²)

III. 布および布の処理による樹脂の変質・封入後の処理方法の検討

Iによって採用した袋に布および樹脂を封入し、封入後の変化を比較した。

i. 布の種類：IIで用いた布について封入し検討した。

それぞれの布を樹脂とともに封入し密閉したところ、ガスが発生し、樹脂の粘性が上がった (Table 2)。とくに、封入前に布に樹脂を加え攪拌するとこの傾向は強まり、その後密閉しても約2日ではほぼ完全に固化し、ガスが大量に発生した。こうした傾向は材質にはよらないことから、封入前に反応を抑えること、樹脂と反応しやすい空気・水分の除去が必要であることがわかった。

ii. 布の処理：各布を乾燥させ、封入後の変化を検討した。

樹脂と反応する水分を除去するため布を乾燥させた。50°Cと90°Cで1日乾燥し、未乾燥の布とガスの発生量を比較した。不織布では、50°Cにおいてもガス発生量が比較的抑えられたが、フランネルでは不十分であった。90°Cで乾燥することによって、ガスの発生量は極少ない量に低減することができた。

iii. 封入後の処理方法：封入後ガスが発生した。活性炭によるガスの吸収を検討した。

乾燥だけでは、完全にはガスの発生は抑制できないことから、発生したガスを除去する方法を検討した。

ガスの吸着材として粒状活性炭・活性炭シート・ガス除去材 (主成分活性炭) を袋の中に封入した。しかしながら、明瞭なガス発生量の低減は確認できなかった。

ガスの発生の特徴を観察したところ、初期に発生するガスが最も量が多く、その後ゆっくりと少量ずつガスを発生することがわかった。そこで、封入前に時間を置き、ある程度発生したガス

Table. 2. Quantity of generating gas

sample name	non-drying	drying 50°C	drying 90°C
Batawibe	++	+	+ -
Wipeall	+++	++	+
flannel	+++	++	+
stockinet	+++	++	+ -

Table. 3. Quantity of generating gas and soil monolith condition

sample name		A (cm)	B (cm)	condition	thickness	stretch
Batawibe	non-drying	8.7	4.8	bad	thick	
	drying 50°C	8.4	5.0	good	thick	
	drying 90°C	8.8	5.0	good	thin	
Wipeall	non-drying	8.5	4.8	bad	thin	
	drying 50°C	8.6	4.8	good	thin	
	drying 90°C	8.5	4.8	bad	thin	
flannel	non-drying	8.6	5.0	good	thick	
	drying 50°C	8.5	5.0	good	thick	
	drying 90°C	8.8	5.0	good	thin	droop down
stockinet	non-drying	8.3	5.0	bad	thin	
	drying 50°C	8.5	4.8	bad	thin	
	drying 90°C	8.8	4.8	bad	thin	droop down

A (before 9.0 cm)

B (before 5.0 cm)

SAMPLE

を除去した後に密閉したところ、ガス発生量が抑制できた。

IV. 布と土壌の親和性および使用の難易・作成後の変形

IIIにより封入した布および樹脂をもちいて、実際の土壌モノリスを作成し比較した。Fig. 1は、筑波実験植物園圃場にて断面を作成し、それぞれの布を貼り付けた状態を示している。同量の樹脂と同じ大きさ(9×5 cm)の布を用いた。

乾燥処理を行わなかった布を用いた場合、樹脂の粘性が強くなり、断面への吸着力も落ちていた。一方90°Cで乾燥した布を用いた場合、樹脂の粘性は低く、フランネルやメリヤスでは、保持量も多いことから流れ下ったものと考えられる。その後の作業を容易にするためには、ある程度断面に布が吸着することが求められる。樹脂の量とともに、貼り付けたときの樹脂の状態が良

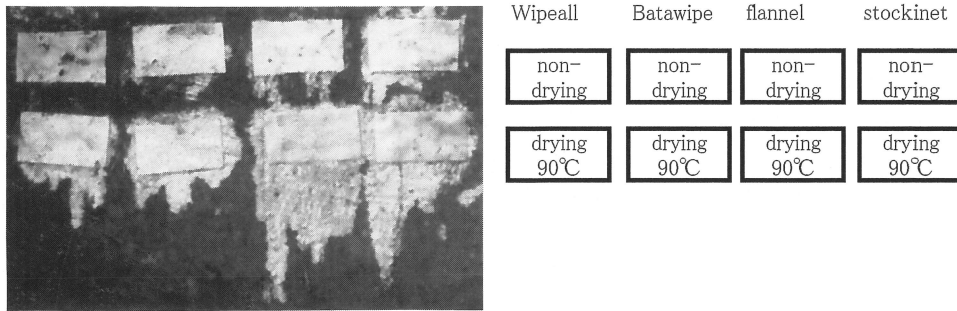


Fig. 1. Putting some cloths (non-drying, drying 90°C-1day) over smoothed profile.

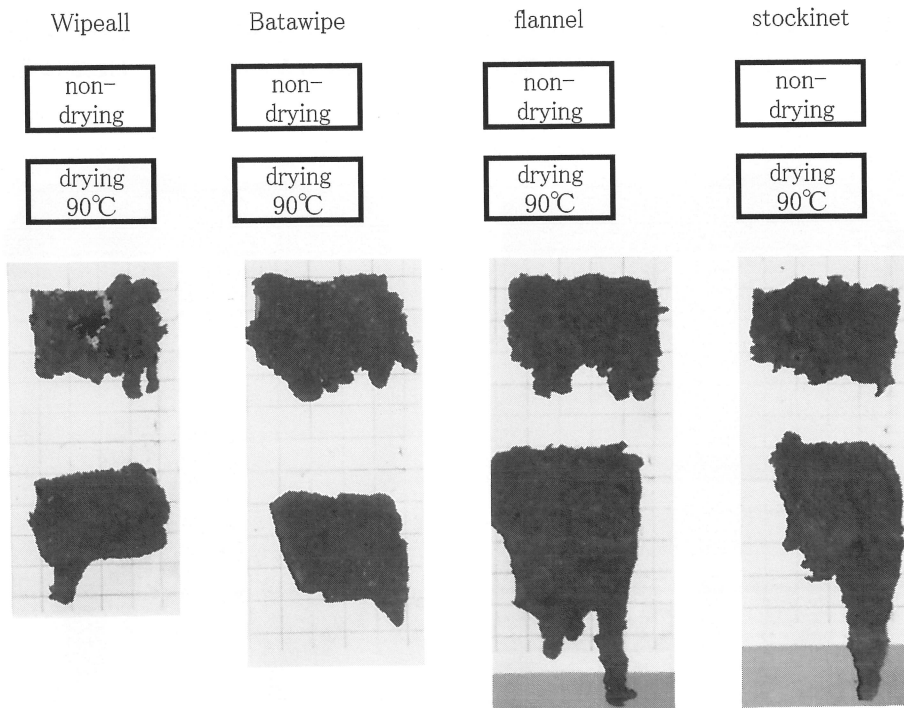


Fig. 2. Soil monoliths by some cloths (non-drying, drying 90°C-1day).

好であれば吸着も用意であることから、布の乾燥は必要であることがわかった。

土壌モノリスが完成した後の状態を観察し、比較した (Table 3 および Fig. 2)。

樹脂の伸縮によって作成前の布の大きさから変化する。布の大きさは 9×5 cm であったが、多少の違いはあるものの大きさは変化していた。全ての布で 90°C 乾燥したものが未乾燥のものに比べ変化が少なかった。これは、未乾燥の状態では布中の水分と反応し樹脂が変質したためと考えられる。ガス発生量の少ない 90°C 乾燥の布のなかで、フランネル・Batawipe・メリヤスでは変形は少なかったが、Wipeall では大きかった。

さらに、完成したモノリスの外観、厚み、樹脂の垂れ具合などを比較した (Table 3)。未乾燥の Wipeall では土壌が抜け落ちるなど不良な状態であった。 90°C で乾燥した布を用いた場合では、フランネルでは剥離してくる土壌の層も十分な厚みがあったが、Batawipe、Wipeall やメリヤスでは薄かった。

良好な土壌モノリス作成にはある程度の厚みが必要であること、変形が少ないことが必要である。ガスの発生量が少ない 90°C 1 日乾燥を行った布の中でも Batawipe とフランネルのこの条件を満たすことがわかった。

フランネルの樹脂保持量は非常に多く、Batawipe は少ない。一方、布が保持した樹脂を土壌へ移動させる必要があるが、Batawipe は保持量が少ないため移動が容易である。そこで、フランネルと Batawipe の 2 種の布をともに封入し、フランネルを土壌に、さらに Batawipe を裏打ちとして、ローラーを用いて土壌へ樹脂を移動させる方法を検討した (Fig. 3)。この結果、大きさの変形が少なく、ある程度の厚みをもった土壌モノリスを作成することができた。

V. 実用化の検討

一般の標本となる大きさ (1×0.25 m) の土壌モノリスを作成し有用性を検討した。

25×25 cm の Batawipe とフランネルを封入したセットを作成し、実際の大きさの土壌モノリスを作成しペドモテープ (PEDOMOTAPE) として作成した (Fig. 4)。この布を縦に 4 枚接触するように並べることによって、1 m の土壌モノリスを作成することができた。Fig. 5 は実際にペ

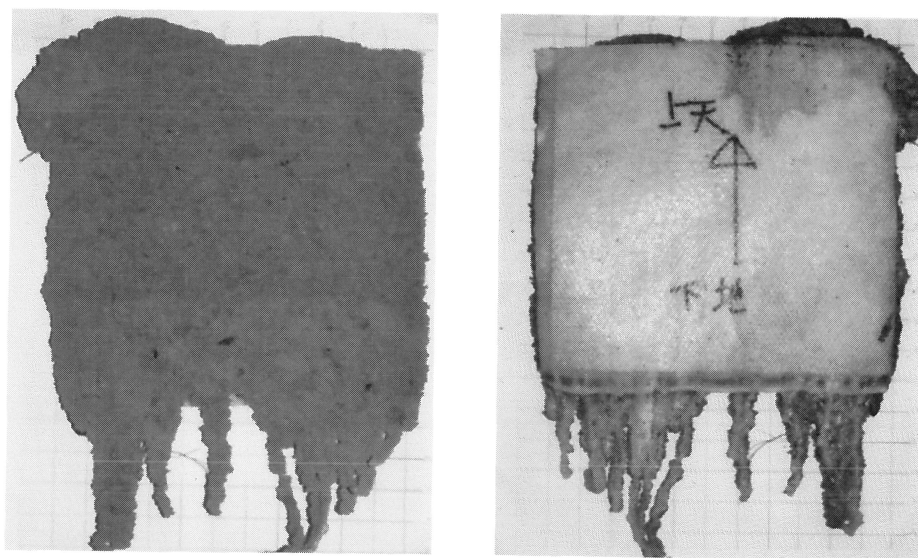


Fig.3. Soil monolith by flannel and Batawipe (drying 90°C -1day).



Fig.4. PEDOMOTAPE.



Fig.5. Making soil monolith in Malaysia by PEDOMOTAPE.

ドモテープをマレーシアで利用した例である。しかしながら、日本の黒ボク土 A 層では作成が困難であった。これは、ローラーによって樹脂を土壤に移動させるため、土壌断面がふかふかの状態であること、樹脂は水によって硬化する性質があるが、黒ボク土 A 層へ十分な水分を与えてなかったことなどが問題であった可能性が高い。今後はこうしたことへの改良が必要である。

樹脂は従来に比べ、約 1/2 の量で作成することができた。また、本研究の目的である環境への

影響を考慮する上で、過剰の樹脂を必要としないため、断面下方に溜まることなく有効に樹脂を利用できた。

まとめ

土壌モノリス作成には樹脂や裏打ち用の布等の作成機材が大量に必要であるため、海外や山間部等必要機材の運搬・調達が困難な地域では、作成が困難であり、貴重な土壌モノリス作成の希少な機会が失われてきた。また、従来の方法では現地で廃棄される樹脂が多く、環境にとって問題であった。

本報告では、樹脂と裏打ち用の布をガスバリア性透明プラスチックの袋に封入するセット（ペドモテープ）を作成し土壌モノリスを作成する方法を検討した。作業の簡易性から1液で反応するポリウレタンポリマーを主成分とする樹脂であること、酸素などのガス不透過の材質による袋を用いること、封入する布は乾燥させること、布は樹脂を保持し、樹脂を土壌へ放出することが容易なこと、完成後の形状の変化が少ないことが必要である。以上の点を総合的に考察すると、樹脂の保持量の多いフランネルと土壌への放出が容易な不織布（Batawipe）を2枚袋に封入することでよい結果を得られた。

このセット（布25×25 cm）を4枚縦に用いることによって1×25 cmの従来の方法と同等のモノリスを作成することができた。またその際樹脂の廃棄量は非常に少なく、従来の方法で使用する樹脂の1/2程度の量で完成することができ、環境にやさしい資材とすることができた。

容易にかつ、無駄なく土壌モノリスを作成できることから、土壌環境教育のための学校教材としても利用可能と考えている。

謝 辞

本研究にあたり、農業環境技術研究所の中井信先生に貴重な助言をいただいた。また、資材や薬剤を提供していただいた三恒商事株式会社に謝意を表します。

Summary

The traditional methods of soil monolith preparation are not useful in marginal mountains and overseas area due to lacking of reagents and inconvenience of transportation. In addition, the traditional methods require much quantity of chemical resin, which cause environmental pollution. This study aims at developing a new method of soil monolith preparation to improve labor efficiency and environmental soundness.

A newly developed 'soil monolith kit' package contains four (4) sheets of cloth (25 cm × 25 cm) soaked in polyurethane resin (Tomack NS-10) in a sealed plastic bag. We named this kit as 'PEDOMO-TAPE'. The resin soaked cloth is directly put on smoothed soil profile and the covered area of cloth is 100 cm length, 25 cm width. At least, one hour is required for hardening the resin. After checking the status of resin hardness, the resin-treated soil peel is carefully detached and transferred onto mounting board.

The required characteristics of cloth are various, holding resin as much as possible or discharging resin, because of different soil physical property. We selected two different kinds of cloth, one is flannel of the 100% cotton to hold resin, and another is non-woven fabric to discharge resin. These are chosen when packing a kit. We also selected oxygen impermeable plastic to pack a kit.

引用文献

- 浜崎忠雄・三土正則・小原 洋・中井 信, 1983. 土壌モノリスの作成法. 農業環境技術研究所資料 B. **18**: 1-27.
- 平山良治・小原 洋・田村憲司・丹下 健・金子文宜, 2000. わが国の失われつつある土壌の保全をめざしてーレッドデータ土壌の保全ー. ペドロジスト **44**: 40-48.
- 井上 弦・松元 順・餅田利之・長友由隆, 2004. 笹野原台地に発達する累積性黒ボク土断面の土壌モノリス. 鹿児島県農業試験場報告 **32**: 63-72.
- Jager, A. and W.J.M. van der Voort, 1966. Collection and preservation of soil monoliths. Soil Survey Inst. Wageningen **2**
- 奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター, 1980. 層位・遺跡断面等の剥ぎ取り転写法. 埋蔵文化財ニュース **28**: 1-8.
- 永塚鎮男, 1971. ラックフィルム (薄層土壌断面標本) の作製法. ペドロジスト **15**: 103-107.