

連続薄片を使った土壌孔隙の三次元的解析の試み

平山良治*

HIRAYAMA, Ryoji*: An Attempt of the Three-dimensional Analysis of
Soil Voids in Using Consecutive Soil Thin Sections

はじめに

土壌微細構造の中で最も取扱いの困難だが目だつ構造に孔隙がある。孔隙を理解する事が土壌微細構造の理解に最も適している。つまり土壌微細構造とは、一次粒子とともに粒団とそれに付随する孔隙の発達とを重視した構造である(久馬ら 1989)。このことは、土壌中の孔隙を調べることはとりもなおさず土壌生成論を展開する基礎的なデータを提供するからである。土壌孔隙は、土壌孔隙量または三相分布の気相に代表されるような量としてとらえる方法により多くの成果があげられてきた。しかしながら、数字では実体が把握できにくい為、視覚的に三次元的広がりを求める研究がなされ、近年発達してきたCTスキャン(Petrovic *et al.* 1982)ら軟エックス線(徳永ら 1984)などで視覚的なデータが得られるようになってきた。これらは、データを画像処理することにより、孔隙の分布と形状の研究、さらに孔隙量を求めることが可能となった。しかし手法の開発までで実験の手段としては諸についたばかりである。

一方、土壌孔隙の精密な研究には土壌薄片を利用した土壌微細形態学的手法があり、孔隙の形態的分析、分布それに孔隙量を非常に正確さで求めることができる。つまり、土壌微細形態学は、土壌の生成に含まれるあらゆるプロセスを理解するために肉眼で容易に識別し得るレベルを越え顕微鏡レベル下での研究が特色で、非常に初期の生成作用まで同定ができる。この性質故に土壌学の分野を越えた広範な分野まで利用されつつある。例えば、考古学、生態学、地質学、土質力学などである。しかしながら、いくつかの短所もある、第一は、薄片の作製に多大なる時間を費やさなければならないこと、第二は、数十マイクロの厚さという非常に薄い二次元の世界であるということ、第三は、見たものが何であるか理解がし難いことがある。

著者は、巨大土壌薄片(100×150 mm)の微細形態学的手法を利用して関東ローム中の埋没腐植層の生成研究を進めてきた。その結果パッキング孔隙が主体の表層黒色層に対し埋没層ではチャンネル孔隙が主体のチャンネル構造であった。しかし累積性火山灰では、細長い連続したチャンネル孔隙か個別に分かれたガス排出型のバグ孔隙なのかの判断は困難である。また、埋没される以前の根茎の痕跡らしいものが孔隙の壁面に認められた。孔隙の立体的形状や痕跡の追跡に対しては平面上でかつ厚さが数十ミクロンの薄片では多くの事が望めないが、三次元的広がりで研究すれば、多くのことが明らかになる。

前述の三次元を求める方法ではどれが問題の孔隙か特定できない。この問題を解決するために著者は、連続切片方法(平山 1992)による連続した土壌薄片の積み上げによる三次元構築法を試みた。

連続切片用試料の準備

* 国立科学博物館 筑波実験植物園, Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Tsukuba, 305.

100×150 mm の固化試料を、大型の薄片をつくるように切断する(平山 1983, 1991)。切りだし片側の固化物は、そのまま薄片作成に回し、もう一方の固化物を観察し必要な孔隙または観察したいフィーチャーなど部分的トリミングの切断を行う。トリミングした小さな固化物は、平山(1992)が製作した特製のアクリルの円筒容器にいれる。これに不飽和ポリエステル樹脂を減圧浸潤させ、完全浸潤のために加圧し、数カ月間固化を促進させる。

切断法

固化が完全になったら、平山(1992)の方法でスライシングマシン(日興機械製 NR-30 型)を利用して、CBN 砥石で連続して切り出す。切り出しは、最小の厚さは約 150 μm である。この厚さより薄くすると連続して切断できない。その理由は切断中に砥石が左右に振れる為である。また薄片が薄いと、冷却水とブレードの回転により、壊れることもある。この破壊を防ぐために、次のような工夫を施した。薄い切り出しのために、切断面に透明な物体(ポリエステル粘着テープなど)を張り付け破壊を防いだ。また、この作業のためチャックからの着脱が多くなり、着脱による誤差が生じた、よって着脱の誤差を極力少なくする工夫をした。Fig. 1 に示した治具を製作した。この治具は、あらかじめ平面研削盤で精密に両端の平行度を出した。この治具の凸面がチャックに取り付ける面である。凸面側の低部が、チャックの締めネジに 3 点支持される。これにより取付の繰り返し誤差は、数 μm 以下に収まっている。この治具に、試料を低温加熱型のワックスを用いて固定した。これを一回切断する。この面取りが終わった試料に対し、ポリエステル粘着テープなどを張り付ける。これらを再びチャックに丁寧に取り付け、試料の厚さ(150 μm) + ブレードの厚さ + 誤差でセッティングし切断する。約 1 mm 間隔で切断した。

試料

この方法で山梨県柳沢峠の褐色森林土の B 層の堅果状構造のパッキング孔隙の部分の数十枚の薄片が得られた。そのうちの 10 枚を Fig. 2 に示した。

コンピュータによる立体構築法の確立

三次元構築用コンピュータソフトには、一般にミニコンと呼ばれる、容量の大きいコンピュータが使われる。この研究においては、実行速度は落ちるが、画像処理能力は同じ、パーソナルコ

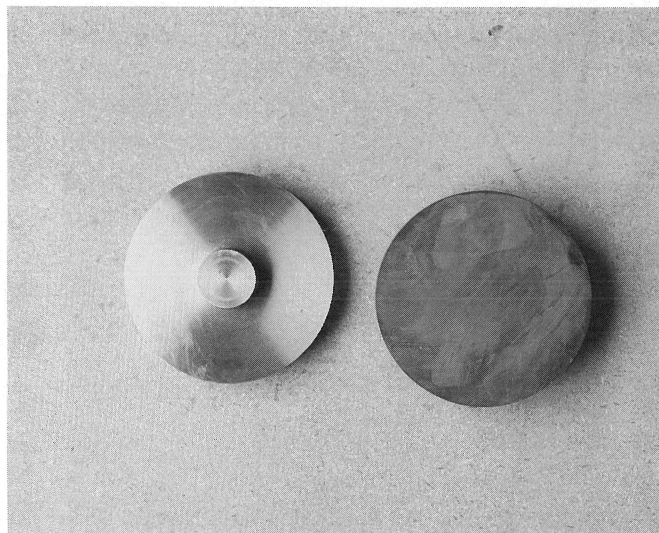


Fig. 1. Jig for slicing-machin.

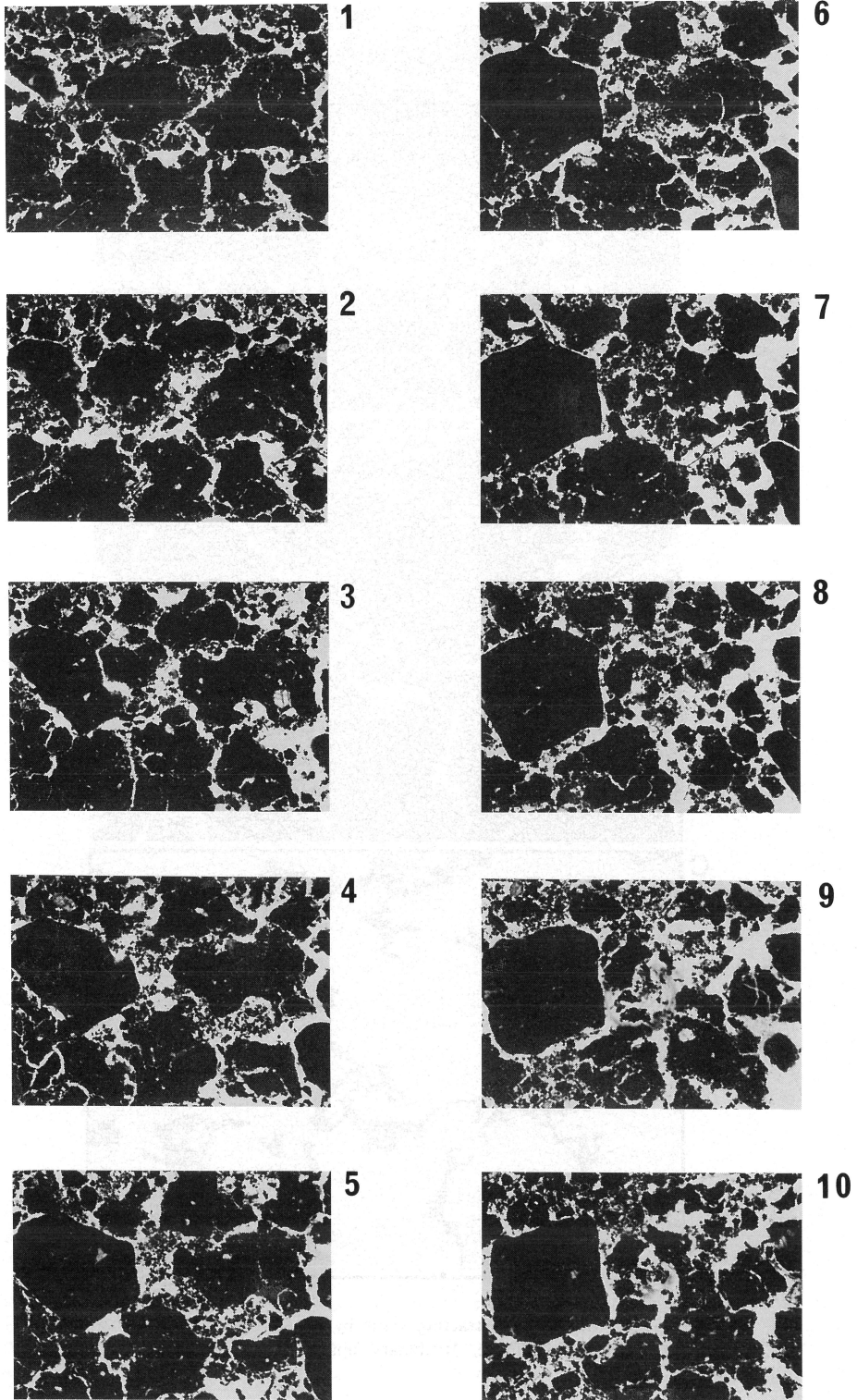


Fig. 2. Consecutive soil thin sections cut out with slicing-machine.
(wide length 35 mm)

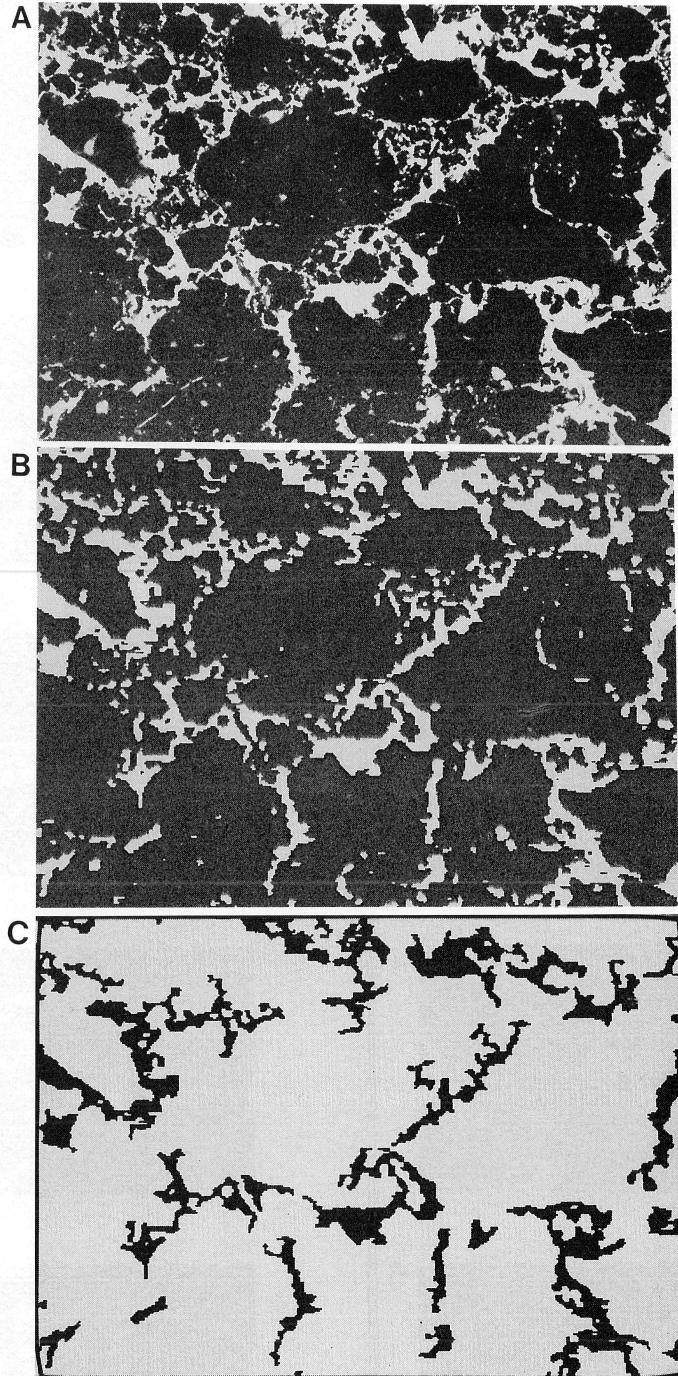


Fig. 3. Method of extracting voids by image analysis.
A: original image, B: binary image, C: reversal binary image.

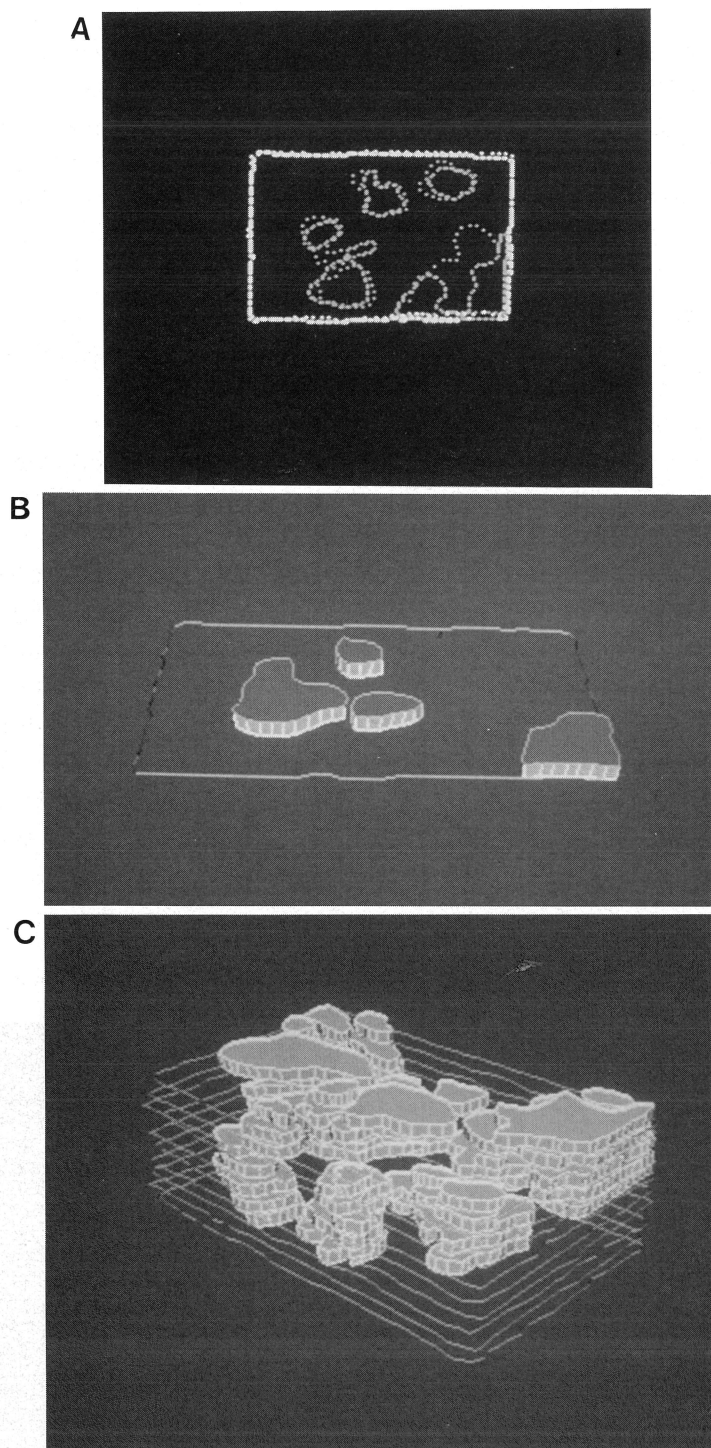


Fig. 4. Voids of soils restructured in three-dimensions by using the three-dimensional construction software with a personal computer.

A: input the outline of the voids, B: one plate of three-dimensional construction, C: voids of soils restructured in three-dimensions.

ンピュータを使用したソフトを使用する。

三次元構築ソフトは、大きく分けてふたつに分けられる(南郷 1988)。断面モデルと壁面モデルである。三次元構築用ソフトの流れとしては、断面モデルのワイヤーフレーム方式が主体である。ワイヤーフレーム方式ではメモリーも少なく高速度で回転等の操作ができる。しかし著者が希望するような相互間の関係を知りたい場合は、それをうまく表現できないために適当とはいえない。現実の使われ方を見てみると、ワイヤーフレーム方式は工業関係などの立体模型の再現に使われ、壁面モデルは、医学などの病理部の再現に多く使用されている。ここでも壁面モデルを使用する。

作成した土壌薄片は、必要な情報分の偏光顕微鏡観察した後、画像解析装置(ピアス製 LA-555 型)で必要な部分の画像処理し最終的に 2 値化した画像を求めた。孔隙は直径 1.5mm 以上の大きな孔隙を取り出した (Fig. 3)。この 2 値化画像の平面図を連続的に作製する。三次元立体構築用ソフト(ライズ製 OZ)にこの平面図を入力するために、平面図の一枚ずつ、デジタイザー上で孔隙の輪郭を入力する (Fig. 4-A)。輪郭画像に前後の薄片の距離を入力し輪郭画像に厚みをもたせる、つまり壁面を構築させる。三次元の画像が得られる (Fig. 4-B)。この画像を希望する枚数作成し積み重ねると立体的画像が得られる (Fig. 4-C)。得られた画像を回転させたり任意の線で切断したりして、必要なデータを視覚的に得られる。また、その面積や体積を求めることができる (Fig. 5)。壁面の処理をいろいろ替えて、透明感を高くして、立体部の隠れた部分の視覚映像を得られるようにしたり、一つ一つの構築物の色を替えて、相互間の関係がどの様になっているか視覚映像で見られるようにできる。ここでの問題は、一枚の壁面を構成した物体と次の画像の物体との関係が連続しているかどうかである。切断距離よりはるかに大きい物体の場合は問題なく連続したものと認識できる。切断距離と同じ大きさなら、不連続の可能性が高い、切断距離より多少大きい程度であるならば、中心が半径以内の移動なら連続している物体と見なせる。よって精密な立体図をつくるには、なるべく切断距離を少なくしなければならない。しかしながら、確実に連続して切断できるのは、約 500 μ m から 1mm の間隔である。

三次元再構築の結果および考察

この実験では、1 mm 間隔で行った。Fig. 2 に示した土壌薄片を、Fig. 3 に示したように孔隙部

体積計算結果	
タイプ 1	9302.0917
タイプ 2	3389.2294

表面積計算結果	
タイプ 1	5768.6911
タイプ 2	5234.6624

Fig. 5. Data of surface area and volume obtained from three-dimensional construction.

分だけ抽出し、Fig. 4 に示した方法で三次元の孔隙を再構築した。この実験では 1 cm の厚さを構成できた。この実験では、2 cm 四方の孔隙をすべて取り出し、三次元を構成させたために三次元の構成としては観察し難い。この結果から、この孔隙は、独立の単一物である。チャンネル孔隙ならば同じ大きさの孔隙が続くが、この孔隙は、他の粒団により区分されている。二次元の薄片の形態的观察とも一致した。パッキング孔隙の様相である。表面積と体積の値を Fig. 5 に示した。これらの数字は今のところ精度的に低く、またこれらの数字が既存の物理的要因とどのように関係しているか、不明である。多くの土壤物理の測定値とこれら三次元で得られるデータとの相互関係を調べるには、多くの実験データの集積が必要である。

土壤孔隙または土壤間隙を研究する方法として軟エックス線を利用し立体三次元的広がり把握する方法がある。非常に有効な方法であるが上部から造影剤を注入するために上部からの連続孔隙には適している。今までの経験から、埋没古土壤などの孔隙は連続した存在ではなく独立孔隙として存在している可能性が高く、一つ一つの孔隙を特定して調べる必要がある。また、褐色森林土での研究では、動物、植物それに土壤構造の境界での孔隙には孔隙壁面等に違いがある。この場合も分けて考える必要がある。よって、著者の場合軟エックス線の方法では有効な結果が期待できない。土壤微細形態学的精度とさらに立体三次元的広がりを持ったこの方法は、土壤微細形態学的精度を持ち不連続ではあるが、10 cm 以上の立体の孔隙について解析できた。また、孔隙の研究だけではなく土壤中のあらゆる土壤構造にたいして適用できる。さらに二次元という平面性で陥り易い誤認をなくするために土壤微細形態の記載法に広がりをもたせられる。

連続した土壤薄片から三次元的立体構築した報告は皆無である。しかし精度的にはまだまだというところである。これらの研究を押し進めて行くための問題点としては、2つある。1つは薄片を如何に精度良く連続して取れるかという事である。著者のスライシングマシンは外周刃の為に大きな試料直径が 90 mm 程度まで 300 μm の厚さを 1.2 mm 間隔で得られる、切断した極薄い試料の保持に問題がある。これに対して内周刃の切断機がある。これは 10 mm 角程度の小さい試料しか切断できないが 200 μm の間隔で 100 μm の厚さが求められる、さらに切断した後の試料も比較的安全に保持できる。研究の問題点により使い分ける必要がある。さらに間隔を小さくするためには、機器類の発達に依存している。第2点は、三次元を構築するためのコンピュータシステムである。著者は、いわゆるパーソナルコンピュータを使用しているが、ミニコンピュータクラスでは、さらに良いソフトがある。しかしながら使用した結果は、パーソナルコンピュータとの差は、処理スピードの速さが違っている事と、三次元を表す表示法が多彩である事で、結果としてはほぼ等しい精度の三次元が得られた。しかしながら、コンピュータのハード・ソフト両面の発達に期待をしたい。

おわりに

土壤微細形態学の研究は、Kubiens (1938) の“Micropedology”に始まって、Brewer (1964) の“Fabric and Mineral Analysis of Soils”の出版で土壤学の1分野を占めるようになった。その後種々の記載等に関する研究と整理が進み 1985 年の国際土壤学会の後援による‘Bullock *et al.* (1985) の“Handbook for Soil Thin Section Description”の記載統一で現在にいたっている。この本の中では、三次元構造を考慮にいれて二次元平面を考える必要があるとしているが、三次元空間の構造はほとんど研究されていないので、むずかしい要求である。実際見たことがないものを想像することは、至難のわざである。よって三次元構造把握のための研究を進め、薄片記載のいろいろな事象と立体空間の配置とを比較する段階にきている。

また、コンピュータのソフトは日進月歩で研究を始めたときと現在ではまったく違って、数年

前のミニコンピュータの処理が現在の32ビットパーソナルコンピュータで遜色なく稼働できるようになっている。このためにこの研究ももっと広く土壌学の研究の1手法として利用できるようになるだろう。

謝 辞

本研究の実施にあたって、国立科学博物館筑波実験植物園手塚映男園長、矢野義治育成主幹に貴重な助言をいただいた。記して謝意を表する。

Summary

I attempted restructuring the three-dimensional structure of void of soils by using a consecutive soil thin section. Using of soil sample is B horizon of brown forest soil. As for voids of this horizon, packing voids of soil micromorphological description is main.

Consecutive soil thin sections were made by using slicing-machine. A interval of soil thin section is about 1 mm thick. Soil voids has been extracted by the image analysis. I obtained the image made binary. This binary image was used. I obtained a three-dimensional image with a personal computer.

As the result from three-dimensional structure, discontinuity was clarified to voids. Therefore, voids of this horizon is mainly packing voids.

This three-dimensional restructuring method is very effective as for the research method on soil structure.

文 献

- Brewer, R., 1964. Fabric and Mineral Analysis of Soils. Jhon Wiley & Sons, New York.
- Bullock, P., N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops and T. Tursina, 1985. Handbook for Soil Thin Section Description. Waine Research, UK.
- 平山良治, 1983. 巨大サイズの土壌薄片の作成法について. 筑波実験植物園研究報告 **2**: 47-54.
- , 1991. 土壌薄片作成のための脱水法. 森林立地 **33**: 19-24.
- , 1992. 土壌薄片による土壌の三相分布の測定の試み. 土壌の物理性 **64**: 21-26.
- Kubiena, W. L., 1938. Micropedology. Ames. Iowa, USA.
- 久馬一剛・八木久義・平山良治・田村憲司・三浦憲蔵・中井信・山本真也・三浦覚, 1989. 土壌薄片記載ハンドブック (Bullock *et al.*, 1985. Handbook for soil thin section description の翻訳). 博友社, 東京.
- 南郷脩史, 1988. 三次元モデル構築システム「TRI」. 細胞 **20**: 314-317.
- Petrovic, A. M., J. E. Siebert and P. E. Rieke, 1982. Soil bulk density analysis in three dimensions by computed tomographic scanning. Soil Sci. Soc. Am. J. **46**: 445-450.
- 徳永光一・成岡市・深谷高俊, 1984. 重液浸入法の開発とそれによる土壌間隙の軟エックス線透写像についての考察—X線透写像による土壌と間隙に関する研究 (I). 農土論集 **114**: 61-68.