

総 合 討 論

座 長：寺沢四郎（農技研）・中野政詩（東大農）

座長 松田さんの茎キャパシタンスのお話には植物の水分生理の問題が、また西出さんのお話にも土壌水のポテンシャルの問題がはいってきますので、まずこれらの二つを関連させて討論にはいりたいと思います。次に、小川さんの土壌団粒の安定性と天野さんの soil survey の問題、これらは構造の問題として討論を進めたいと考えます。

三野（京大農） 松田さんにおききたいのですが、土壌物理に関する測定法には、ひとつは測定によって土壌の中味を知る情報のための問題と、他は土壌を何らかの目的に応用するための index としてはかるという二つの立場があると考えます。使われた周波数はいくらでしょうか。それによってキャパシタンスの取扱いが違ってくるように考えられるものですから。

岩尾（中部電力総研） 周波数は 1 KHz です。土壌というよりも、植物側で、水を受取る側の水の動きをみようとしてきました。生体のキャパシタンスをはかる周波数には α 分散、 β 分散、 γ 分散なる現象がありますが、1 KHz 近辺ですと、生体工学の方では細胞間の流動する水の周波数が測れるとされています。 β 分散では、100KHz 程度になりますと細胞内の水の動きが反応します。1 MHz といった γ 分散では細胞膜単体のキャパシタンスが測るといった報告が認められています。

三野 それは高分子についての一種の低周波の異常分散領域で、水のキャパシタンス直接というよりも、C-R系で出てくる見かけのキャパシタンスですね。先ほどの雨宮さんのお話とも関連しますが、水そのものの行動よりも、RとCを介した何か見かけのものですから、逆にRの変化か、あるいはCの変化かも知れないことになりませんか。そうしますと、生体反応の一種の index としての利用であって、中の水そのものの質や量の範囲ではないと考えてよいのでしょうか。

岩尾 そのとおりだと思います。C-R系についていいますと、生体は非線形で、CとRが周波数依存性を持ち、これを分けること自体がほとんど無意味でしょう。

寺沢 土壌水分の日変化では、夜も減少するケースがよくあります。夜間でも植物は生長しており、水の取りこみがあると考えてよいのでしょうか。

松田（三重農技センター） そのとおりだと思いますが、土壌水分が少なくなってくるとそれが制限要因となって吸おうとしても吸えないところで伸長が止まるところがあります。実際に農家でも午後の水を控えることを

しているのは、夜は伸びることを知っているからだと思っています。その点試験で裏づけがとれたようにも考えています。

五島（野菜試） その話は水分ストレスの問題だと思っています。測定によると 2 時頃がもっとも下がる時です。あとは同じような土壌水分でも徐々に回復します。今の問題は蒸散に無関係な能動的吸水の方が積極的に働いて減ってゆくものと考えます。

夜間に土壌水分が減る問題で、西出さんのデータで夜間にカーブが下がっていたのは、温度変化のためではなくてメニスカスのために吸引圧が高くなっているようにみえるのではないかと考えていますが如何でしょうか。

西出（岐大農） ビニールチューブは厚目のものを使っていますが、動ひずみ記録計に現われた負圧の変化から、体積変化しないチューブを使用することが大切のようです。

また、夜間の土壌水分測定でわかったことですが、テンシオメータは土壌水分の多い状態を測っているのに、夜間地温が低下し、土壌空間の湿度が露点近くなると、土粒子表面に小さい水滴がつき、そのような変化もとらえているように思います。従って温度（地温）が低くなれば負圧が大きくなるという通説と逆の現象もみられるようです。これらの現象については今後も検討が必要であると思っています。

五島 私どもは、気温と地温の影響を調べており、気温と吸引圧がパラレルに動いているので、気温の影響が大きいと考えていたわけです。土壌孔隙中の湿度の問題も考える必要があるわけですね。今後の実験の結果もまた教えていただきたいと思います。

寺沢 テンションの問題は重要だと思いますが、最近実験をやっておられるとききましたが、宮崎さん如何でしょうか。

宮崎（四国農試） ビニールチューブの弾性がかかることの影響がいまだに分りません。中はつねに負圧ですから温度が上がることでビニールそのものの体積が変化し、反発する力が強くなって吸引圧が上がるのではないかと仮説を立ててやっていますがまだ進展がありません。さきほど西出さんがいわれたように、硬質肉厚のビニールチューブといえども使用をさけなければならないのではないかと考えています。温度変化の小さい材質で、ナイロンチューブのようなものを実用化する方向を考える必要があるのではないのでしょうか。

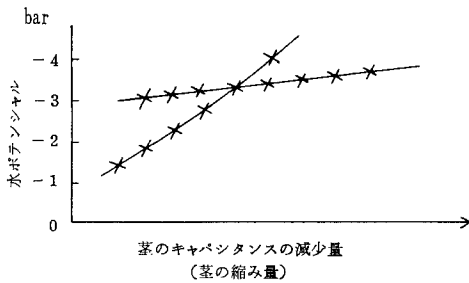
座長 われわれは水の運動なり、状態なりを正確に把握する研究をしなければならぬが、外的環境をチェッ

クすることは今後の研究課題でありましょう。他に水分ポテンシャルに関して意見などありませんか。

五島 植物体内の水分ポテンシャルの勾配が土壌水分を吸収してゆくときの問題になると思いますが、第1点として葉のキャパシタンスがはかれるのでしょうかということ、第2点として、大気—作物—土壌の系の中でそのようなものをどう結びつけて考えていけばよいのかといった点は如何でしょうか。

松田 私どもは現場の試験場で、もっとも簡単にかつ現場的・非破壊的にはかれることをとりあえず模索してやっているわけです。

岩尾 図で示しますと、茎の縮み量(Shrinkage)あるいはキャパシタンスと水ポテンシャルの関係は定性的に比例関係のカーブになります。

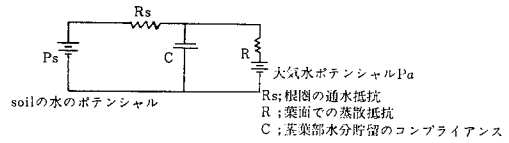


バラツキが大きいのですが、ある点から急に下がる傾向がある。葉で測るためには測定精度を上げるため電極をかぶせられる程度の葉面積が必要です。そこには光が当たらなくなるので、いまは茎の部分に集約してやっています。もっとも縮んでいるときは -10 bar 程度になります。測定データを比較しますと、茎の縮み量測定はきれいなカーブが得られるが、ポテンシャルの測定値はバラツキが大きくカーブが作りにくい現実があり、自分としては茎径膨縮の方が情報としてははるかに有用だと考えています。

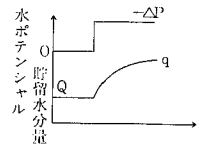
雨宮 (東大農) さきほどの質問も同じことをおききしていたわけですが、キャパシタンスといっているのは、電気的なキャパシタンスではなくて、植物体内の水分貯留の話だと誤解していたものですから。このような電気的情報で植物体内の情報を取り出そうという面白い方法だと思います。そこで、土から植物が水を吸収して蒸散するという系の中で、根の吸水と蒸散の間には時間的おくれが出てきます。そのようなシステムの中でマクロな水の出入りの系を考えると、ポテンシャルとか、水分の容量とか、抵抗とかいくつかのものをこの方法で測ることができるのでしょうか。その可能性についておききます。

岩尾 御指摘のとおり、ハイドロリックなキャパシタンス(コンプライアンス)を求めるのが最終的な目標

です。根の吸水や気孔などをそれぞれ集約して水の流れを図式化しますと図のようになります。



Cに出入する水はハイドロリック・コンプライアンス $C = \frac{\Delta V(\text{cc})}{\Delta P(\text{bar})}$ で表わすことができます。かん水すると茎に貯留する水量 q は



図のように、 $q = q_0(1 - e^{-\frac{t}{CR_s}})$, 但し $R_s \ll R$, t = 時間(hr) で表わされます。そこで、このようなモデルを使って土—植物—大気の系について C , P_a , R およびそれらの値を求め、植物個体の活力度を知ろうとするのが目的です。

座長 では次に、土壌構造の問題に移りたいと思います。

桜井 (愛媛大農) 土壌侵蝕性の指標に Middleton の分散率を使っています。小川さんの報告の中に、団粒径によって分散率が異なるということがありましたが、団粒径分布が異なる場合に小川さんの分散率で代表されるのでしょうか。次に、電頭(電頭)の試料作成法を教えてください。

小川 Middleton の原本に書かれている分散率の測定法についてよく知りませんが、おそらく土壌の塊を団粒に分けないでそのまま風乾して分散率を求めていると思います。私の場合は団粒の安定性を求めることをねらっていますから、粒径をある範囲にそろえて安定性を測定し、それをその土壌の安定性として代表させることを考えています。御指摘のことを目的とすれば、団粒径分布も要素に入れて考えなければならないと思います。

第2点につきましては、試料作成法が問題であることはよく承知していますが、ここでは風乾したものをそのまま金蒸着して観察したものです。

須藤 (茨城大農) 2点ほど小川さんにおききたい。第1点は、崩落率測定時の粒径ですが、こういう崩壊の分かれ目、すなわちどこで団粒が大きい方から小さい方に行くかという点です。かつて喜田さんが干拓土で、北岸さんが火山灰土で、私もちょっとやりましたが、たしか 0.25 mm 位でひとつのけじめがついていたように記憶し

ています。0.25mmのふるいを通るかどうかの技術的な問題はありますが、その通りやすさの問題です。小川さんは1mmふるいを使っておられますが、むしろ0.25mmのものを使った方がよいのではないかという点です。

第2点として、I, II, IIIと分けられたグループはどのような土壌特性と対応しているかということです。とくに、腐植や遊離鉄など cementing material との関連についても教えてほしいのです。

小川 団粒分析によると喜田さんのデータでも、たしか川村さんたちの水蝕実験のときのデータでも、耐水性集合体が多くの場合0.5ないし0.25mmのところでも相互に転移することがいわれています。私も1mm目を崩落して通過した粒子の団粒分析をやってみました。その結果では多くの場合、1mm目を通った崩落率の大きいものは0.25あるいは0.1mm以下の小さな粒径に分かれているものが多いし、反対に崩落率の小さい、比較的安定なものは0.5mmあるいはそれ以上のものの割合が多い傾向を示しています。したがって、1mm以下のもので安定性を表現しても大体よいのではないかと考えられます。しかし、赤色土系の団粒では、1mm目を通過した粒子でも、0.25mm以上の粒径に分布する割合が多いのです。

第2の cementing material の問題ですが、その方面の実験はやっていません。ただ、A層の団粒は腐植以外にもアルミニウム、鉄、マンガン、ケイ酸などの加水酸化物の結合剤としての役割もあるのでそれらを全部入れなければいけないわけですが、現象的にはA層の団粒のように腐植のあるようなものはIのグループにはいることを経験的につかんでいるということです。また、IIの赤色土壌系の団粒で遊離鉄を挙げたのは、これらの団粒の遊離鉄含量が多く、それが結合剤として大きく働いているのではなからうかということです。腐植がほとんどないということで、腐植はこの中に入れてもよくだらうということです。

須藤 土壌分類の見知から、何か共通な cementing material を挙げられるかどうかについて意見をきかせて下さい。

天野 お答えになるかどうか分かりませんが、私どもはこのデータに非常に興味もっています。といいますのは、他の国でスレーキングの測定を非常に大きい段階の土壌分類に使っています。そこでは盤層の区別に使っており、下層に盤層が出る土壌は区分のとき大事なわけで、そのときにフラジパンとか、ジェリパンとかをもっている土壌は Great Group で分けなければならないわけです。ジェリパンは水に漬けてもスレーキングしない、固くくっついたもので cementing material は鉄もありましようが、シリカのようなものであるといわれています。私どももそのような土壌を区別して土壌分類に

反映したいわけですが、今のところうまいのがないわけです。そういう極端な場合ももちろんですが、疑似グライ土と、普通の低地にある疑似グライ土に似た土も同じとはいえないわけです。農業上では全然違う土と考えられているのでそのようなものを区別できる目安が欲しかったところです。ですからそういうもので区別できれば user としてありがたいと思っています。

堤 (東大農) 小川さんにおききたい。団粒の安定性の問題で、ここでの分類や考え方に使われた力は、多少乾燥のこともあるかも知れませんが、沸化作用が主なものと考えられます。土を材料としてみますと、単に水に漬けただけで評価するとかかなり大きなところで団粒を見てしまう場合があるようです。いろいろな力を加えてみますと小さな、微細団粒というか、かなり小さな粒径のところ安定した粒子をもつように、腐植を中心とした土でみてきたわけですね。たとえば耕うんとか、シロカキのような実際の圃場での作業などの関連からみて、安定性の評価をするための力の加え方として、ある程度何らかの力を加えてゆく方向は如何なものでしょうか。

小川 その辺の検討はやっていませんので何ともいえませんが、私どもでは団粒の安定性を、易耕性、風蝕、水蝕などを対象とする場合に利用できないかと考えているわけですね。力を加えるか加えないか、たとえばトラクターによる反転、圧縮などの要素も考えに入れなければならないわけですが、まだそこまで至っていません。いちおうのように団粒の安定性を分類しておけば力を加えるような場合にも使えるのではないかという気はしますが。

寺沢 Aggregate stability の評価法はいろいろあり、目的によって変わってくると思います。小川さんのように static な水に漬けて耐水性条件から崩落率を判断するとか、湿式の Yorder 法のような耐水性もあるが、むしろ団粒組成を主眼にしたやり方もあるように思えます。ミクロ団粒ならば超音波による方法もあるかと思えます。Emerson の方法では単なるスレーキング・テストだけでなく、ものによっては分散率も測っています。そのようにねらいによって方法が選ばれると思いますが、今後の研究課題でありましよう。

座長 では残された問題に移りたいと思います。

雨宮 結局、土塊のこわし方についてはきまっていないというのが私の素朴な疑問です。小川さんのこわし方はこわすところに注意を払って一定になるように常に心がけておられるところが大変重要だと思えます。もっとも一般的な水中浸漬法もスレーキングの起こる原因が力学的に捉えられていないためスレーキング法を弱くしていると考えます。水に漬けるまでの条件をずいぶん整理しなければならぬでしょう。その整理の仕方としては

もっとも力を加える状態からもっとも力を加えない状態まで整理できればいろいろな土壌の粒度分布が得られるはずです。そこで、こわし方のエネルギーとしてある領域で安定した団粒が得られればそれはひとつの団粒領域ではないかと考えるわけです。0.25mmとか、1mmとかの前に、土塊の安定する領域が粒径ではなくてエネルギーとして整理される必要がありはしないか。たとえば超音波を0~300W程度まで出る装置で火山灰表土にかけてみますと、200Wで300Wのときと同じような分布が得られます。200Wから0Wまでではきわめて緩慢な変化を示します。すると200Wはひとつの安定した分布が得られた状態ではないだろうかと考えられます。また電顕でみると、それを裏づけるようにきわめて小さな、たとえば0.1 μ 程度の粒子がうまい具合に分かれているのが見られるわけです。したがって何か力の基準みたいなものを考えてそれで整理することが団粒を研究する上で一番重要ではないかと考えられます。

座長 もともとこの話は「土性」の使い方はどうかというところから出ているように思います。「粒径組成」を意味することになるかどうか土壌物理研究会全体が引きうけることとなりますが、何か御意見はありませんか。

須藤 土質工学分野の人たちとも話し合ってみたらよいと思います。ちょっとした用語でも理解しにくい点もありますし、用語だけでなく、もっと力学的な表現をし

なければならぬ面もあるかも知れないので、土壌物理研究会あたりで話し合う機会をもつたらよいと思います。

座長 実は今日ここにお集まりの方全員に1年あるいは数年間考えていただくように思っていたのですが、土質工学会と話し合うこととなりますと執行部の責任みたいなものになりますが、その辺も十分考慮してお土産ということにさせていただきたいと思います。

最後に、天野さんの方から攪乱土の扱い方のパンフに連してひとつ御質問がありましたので簡単にお話したいただいて終りにしたいと思います。

天野 攪乱土の考え方ですが、これはいろいろありまして、非常に攪乱して遠い所から運んできた土壌とか、その土壌がある程度ひっくり返された程度のものとか、その程度によって分類してみたらどうかというのが考え方の基本になっているようです。攪乱の度合いが非常に違うもので、とりあえず攪乱の度合いの低いものにわれわれの分類のどれかをつけて単純化して間に合わせているわけです。

座長 その辺のところは後から発行される特集号にぜひお願いします。

植物についての測定法、土と水の問題、土の構造とそれに続いて自然の土の調査法といったところを今日討論していただいたと思います。これで本日の総合討論を閉じさせていただきます。