

〈土壌物理研究会30周年記念シンポジウム〉

「現代の土壌物理とその展開」

総 合 討 論

座長 石井 和夫（農研センター），安富 六郎（茨城大農）

【座 長】

まず、5人の方々からの御講演に対してそれぞれに討論を致したいと思います。次に、30周年記念シンポジウム「現代の土壌物理とその展開」という課題を踏まえて、今後の土壌物理の展開方向について、会場の皆さん方から忌憚のない御意見を拝聴したいと思います。吉田さんは大変形に関する力学の問題について。物体のいろいろな変形、それに伴う破壊または破断に関する一般的なお話。次に、等方性と異方性の問題。最後に実際の問題としての耕盤の力学的な取り扱いをどういうふうにするか。特に、その硬さをどういうふうに測定したらいいか。その事例としてペネトロメーターと山中式硬度計との力学上の差を述べられた。そして、力学をもう少しいろいろな面に、シロカキの力学、分散、凝集などの問題にまで実用的に応用していきたいということが全体的な視点になっていったと思います。

加藤さんは、現在の力学的土壌構造論の重要性について。圧縮の感受性の概念、この値が大きいほど骨格構造の寄与が小さい。つまり外力を土壌構造が支えるという意味でそれが全体的な内圧にどのように寄与しているか。その係数をここで説明されたと思います。また、骨格構造を如何にして形成させるかということが土壌保全、土壌の管理などにとって今後非常に重要である。そういう意味で、土壌物理的な視点が非常に重要だということを強調された。

そして、そのことは、圃場の適切な土壌管理法の確立と土壌の資源的価値の維持のために重要である。

古賀さんは、土の長期浸透について。非火山灰土または火山灰土の透水係数の低下を緻密に観測して、これらの透水係数の低下について、膨潤、土粒子の分散移動、浸透による圧密現象、そのほか微生物の影響などから精密な考察をされた。特に、古賀さんは、応力歪を透水係数と関係づけられた。これは、非常にユニークなもので

はないかと思います。

谷山さんは、赤外線の利用した土壌水分の定量的な測定について。これはハイテク技術といえ我々が通常容易に観測できなかった問題に対する1つのアプローチであると思います。とくに、これは非破壊での測定ということですので、今後こういう測定方法がもっと実用化されるならば、今まで不可能であった観測が可能になるのではないかと思います。

井上さんは、亀裂が発達した粘土質圃場での水分移動のモデル化について。大孔隙の役割を定量的に評価して、モデルを確立された。また、オリフィス流とダルシー流とに分けて、粘土質圃場におけるそれぞれの流れの性質を分析された。以上、5課題についての質問をお願いします。

【宮内（愛媛大農）】

加藤さんに。農耕地土壌の圧縮特性ということになると、現地での外力としてはコンバイン、田植え機などの作業機械による振動を伴った繰り返し載荷状態があると思います。これと、加藤さんの述べられたつき固め、衝撃的な外力による結果あるいは圧密による結果というような純静的荷重による圧縮特性との関係はどのように考えるのでしょうか。また、平均接地圧が同じであれば、載荷重が大きいほど深くまで応力が伝わるという表現をされましたが、これは、載荷面積が広いということでしょうか。

農耕地土壌ですから、ある土層の深さ方向の圧縮特性という場合には、その外力による応力そのものよりも、応力に起因するエネルギーの蓄積と散逸という面からのほうが理解しやすいのではないかと考えますけれども。

【加 藤】

振動と繰り返しの載荷の問題は、御指摘のとおりです。これに関しては実験をしておりません。ただし、実験室内での結果というの、現場の実際の圧縮と関係はありますので、実際の現象と合わない点があった場合、その点がどういうふうに影響しているのかというのを詰めて

いくのも一つの方法であるとは思いますが。応力に起因するエネルギーの蓄積と散逸という観点からは、まだ考えた事はありません。

【宮内】

圧縮の感受性が土壌の構造と関連するという場合の土の構造というのはどのようなものでしょうか。

【加藤】

この場合の土壌の構造とは土壌粒子の配列状態ということですか。

【山路(東大農)】

谷山さんに。測定している土壌の深さはどのくらいまでのものと理解してよいのでしょうか。また、風蝕の問題をきっかけにして、水分測定装置の開発を始められたということですが、どのような問題があったのでしょうか。

【谷山】

私の測定は、実際の土層内に挿入してというものではなくて、2mmふるいを通した均一な土壌に光ファイバーを差し込んでというものです。したがって、実際の圃場では土壌構造がもっと不均一でしょうから、それが測定データに大きく影響することは考えられます。

また、水分測定装置の開発の動機についてですが、風蝕の解析をする時に、極表層からの水分分布の把握が必要になったということがそれです。ほとんど風乾に近い水分状態から、1cmあるいは2cm下のかなり湿った水分状態までの分布を知りたい。何か適当な測定方法はないか。そういうことで、広い範囲の水分が測定できて、しかも、非常に微小な部分のものでも測定が可能だという測定法を開発してみたいということになったわけです。

【取出(東大農)】

古賀さんに。透水係数と歪との関係が一価関係が決まるということについてもう少し詳しい御説明をお願いします。

【古賀】

透水係数と歪との函数関係を求めるのに、一番しっかりした方法は、標準圧密試験により各荷重の圧密が終了した後でそれぞれに透水試験を行うというものです。この場合、間隙比と透水係数との函数関係でもよいわけです。実は、私が講演で紹介した例は農土試の足立一日さんのデータを使わしていただいたものです。シロカキ実験に関するデータですが、沈定した状態での密度の分布と水圧の分布が示されたものです。

水圧の分布と密度の分布がわかりますと、有効応力の分布が計算できます。応力と歪の関係がその結果から得られる。一方、間隙率と透水係数の関係も示されていた。

それから透水係数と歪の関係式を求めました。

きっちりやろうということになると、圧密試験によらなければなりません、シロカキ土のようなゆるい土壌の場合は、こういった方法でも求めることができます。

【座長】

イオン添加した土壌では、ある時間が経過すると透水係数 k が増加しますね。 k が高くなるというのは、イオン添加された土壌粒子が再配列することで、間隙が増大するという理解でよろしいですか。

【古賀】

恐らく土壌粒子が水の流れているうちは、攪乱流中でモワモワした落ちつかない状態で透水を疎外していたのではないかと。粘性抵抗が表面積で利いているということです。ところが、それを静置すると、土壌粒子が凝集し、コンパクトになって表面積が小さくなり、透水係数は回復したのだらうと思います。

【西村(東大農)】

谷山さんに。土壌の水分飽和度と反射率比との関係。変動係数を求めるときに、黒い板と白い板の反射を使っておられた。黒と白の間の場合、いわゆる明度のようなものを考えると、そこでは、反射率が違ってくる。例えば、同じ茶色にしても、明るい茶色とこげ茶色とでは反射率が違うと思うのですが、そういうことは、土壌の水分飽和度と反射率比との関係に影響がないのでしょうか。

【谷山】

色の違いというのは、可視光域での反射率の違い、つまりスペクトルのそれぞれの組み合わせの違いということになります。その反射率の違いが関係するのではないかと。真っ白い土が一番反射率が高くて、次に赤色土、褐色森林土という順序の解釈が成り立つのではないかと初めは思ったわけです。しかし白い土の次に腐食質黒ボク土、その次に淡色黒ボク土でした。したがって、必ずしも色との関係は明確ではありません。

もちろん赤外領域の反射ですから、基本的には色と直接の関係はありません。ただし、微細構造のようなものは関係するかもしれません。色が明るいものほど、構造がなめらかで、赤外領域における反射率は若干高いのではないかなど。例えば、淡色黒ボク土は有機物が少ないといっても、構造的にはかなり複雑で表面積も大きいので、そのようなものではないかなどと思っています。いろいろ調べてはいるのですが、明確な答えは今のところ出ていません。

【長谷川(農工研)】

古賀さんに。

長期の透水をしたときに、透水中には k が下がって、放置しておくとき k が上がるということ、その理由としての土壌粒子の分散、凝集について。動水勾配によってそれらのことが変化するのではないかと思うのですが。そうすると、孔隙内の水の流れの速さが非常に影響することになります。また、水を流している間は k がどんどん下がってきて、その場合には土壌粒子は分散している。次に、水の流れをとめたときに、その分散している土壌粒子は孔隙内にとどまって、そこで凝集するのでしょうか。それともどんどん下へ流れて行ってしまったのでしょうか。

【古 賀】

透水中に、透水係数が下がる度合いには、当然流速が影響していると思います。

また、分散した土壌粒子がどうなるかということですが、シャインバーグによる実験ですと、粘土含量の少ない砂質土の場合には、最終的には下部に懸濁して流れきているということです。私の今までの測定範囲では、下部に土壌粒子が出てくるということはありませんでした。ですから、比較的短距離の移動ではないかと思えます。一番狭まっているところ、あるいは逆に広がって流速の遅くなったようなところでひっかかっているのではないのでしょうか。

【岩田（農工研）】

講師の皆さんに質問いたします。

吉田さんに。自然の土壌には異方性の問題がかなりあるということ述べられました。確かに透水係数をはかってみると、かなり異方性のみられるものがあります。力学的な挙動の異方性の問題について、もしフィールドでの特徴的な事例を御存じでしたら教えていただきたい。

加藤さんに。サンプルの大きさの問題があると思うのですが、亀裂があったり、虫の穴があったり、いろいろな問題がある。その辺を踏まえて、実験室と圃場とを結びつけるのに、今後、どういう角度から考えていかれるのかということをお尋ねしたい。

古賀さんに。例えば、地下水が自然に常時滞水しているようなところは、恐らく水が年中下へ重力で少しずつ落ちていくと思われれます。それを長期的に見た場合、結局極限的にはどんな状態になっているのか。現在の状況が極限で、一定になっているのか、なっていないのか。実際には水は少しずつ深層地下水になっていくわけです。この点についてはどのような考え方をされるか。

谷山さんに。谷山さんの測定法で、もっと平均的にかなり広域なものをうまく把握することができるのかどうかということをお尋ねしたい。

井上さんに。実際に亀裂の測定を行ってみて、トレンチの長さが3mぐらいでないといふだというお話でした。なかなかこれは困難なことですし、大変な労力があるわけで、この点をどのように解決していこうとされているのか。

【吉 田】

圃場の力学性に関して、実際に異方性を把握したのではないと思います。室内試験による強度などについては、堆積方向と堆積に直角な方向とで強度常数がどう違うかということかなりやられているようです。現場で、そういう異方性を考慮してというものは少ないと思います。

【加 藤】

サンプルサイズに関する御質問ですけれども。これは非常に難しい問題です。

今のところこのような問題は断面形態の観察とか、微細形態の観察とかに頼るしかないのではと思います。

【古 賀】

今までに直接経験した範囲の中で考えてみたいと思います。

まず、スタートが、どういう状態であるかということによって変わると思えます。基本的には土の場合、水を流せば流すほど最終的には難透水性に移っていくのではないかと思います。

ただし、透水係数が上がる場合として、まず一つはスタートの時点で飽和度が低く、だんだんそれが高まっていくというものが考えられます。

もう一つは、ケミカルの面からで、例えば、スタートがナトリウム土壌であったとして、それにカルシウムを添加したという場合には、透水係数が上がることが考えられます。

究極のことはわかりませんが、今までの結果から想像しますと、基本的には透水係数は下がる方向に向かうと思われれます。

【谷 山】

測定上のスケールの問題ですけれども。光というのは非常に面白い性質がありまして、反射する、屈折する、および散乱するという性質があって、しかも直進するという性質も持っている。しかし、光ファイバーを使うことによって光を曲げることが可能になった。それらを組み合わせることで、スケールは幾らでも拡大できるはずですが。実際にはまだ行っておりませんが、それは理論的には可能なわけですね。

【井 上】

御質問は非常に難しい問題です。圃場を常に扱っている者は、あるデータを取ったときに、この規模における

データが一体その圃場全体に対してどれだけの意味を持つのか、何を意味するのかということに常に考えていかなければならないと思います。例えば、同じ大孔隙を伝わる水の流れ方にしても、弾丸暗渠などを伝わる水の流れ方というのは、どこに目詰まりがあるかわからない。それをどのぐらい小さい物で代表させるかということになると、非常に不可能に近くなるわけです。

亀裂の場合などは、トレンチの長さを短くして測定してみても、1 m 50 cmあるいは1 m ぐらいの長さでも、5 mのときと余り変わらないような特性になってきたということです。したがって1 m ぐらいでもということになるわけです。しかしながらそうした規模という問題への近道はなかなかない。一々しつこく確かめていくしかないのではと思います。

【座長】

さて、今までのお話を要約させていただき、次の将来の展望に移りたいと思います。

今回の話は、力学的な特性、透水的な特性及び測定技術の問題についてのものがメインであったと思います。

力学的な特性は、大変形の扱いの問題、硬さの定量化の問題、およびそれらと土壌構造論との結びつけについてのものでした。

また、圧縮の感受性の定量化と土壌構造論との関係もありました。

次に、透水性については、現代的な視点から、つまり分散凝集という問題を含めた考察がなされた。また、暗渠排水における亀裂の役割がより明確にされた。これは透水的土壌構造論になると思います。

以上2つの、いずれも土壌構造論というものを1つの軸にした議論が展開されました。

さらに、測定技術については、非破壊の試験ということでした。いろいろ実験する場合に、いつもぶつかる問題はなかなか実態を的確につかめる測定方法がないということ。実際、理論上は非常に進んでいても、それを押さえる手段はおくれているということです。

さて、それでは、土壌物理研究の今後の展開方向ということで御意見をお伺いしたいと思います。

最近の農業情勢は、御存じのように非常に厳しいもので、農業研究の方向も新たな展開が求められています。農業土木試験場が農業工学研究所になり、組織機構がいろいろ新しいものになる。また、10月には地域農試のほとんどが、機構改革されて、新しい研究室もできるなど。これらの機構改革についてはいろいろ異論はあるとは思いますが、とにかく食料を増産するのだという従来の研究とは違った、飽食の時代のこれからの研究。土壌物

理でもここで新たに、今後どういう研究が要望されるのかあるいは重要であるかということになる。これらの点については御意見があることと思います。また本研究会の雑誌は、英文名では“Soil physical condition & plant growth”となっております。しかしどうも最近プラント・グロースのほうに弱化が見られる。ひところの地力増進法のときには、それに関するもので、後で基準化に用いられたというようにデータが出されたものですけれども。最近、土壌肥料関係の土壌物理屋も少なくなってきた。これはどういうことでしょうか。何か行き詰まりがきているのではないかという気がします。特に、試験場関係で仕事をなさっている方にその辺の悩みをお聞かせ願えば、これは今後の展開を考える上で役立つと思われます。

【駒村(果樹試)】

永年性の作物の分野ではもっとも研究者が少ない。しかし昭和40年前後の果樹増産時代には、新規開園や造成が盛んになり、そういうことを背景にして、特にミカンを中心に土壌の物理的な問題が非常に強調され、研究にも大きな進展が見られたわけです。最近の情勢からしますと、品質あるいは新品種についてというような生産者あるいは消費者サイドの意向が研究にも反映されてしまって、じっくりと土壌の物理性などの基礎的なところを攻めるということが非常に取りあげにくくなっています。しかしながら、土壌の物理性の研究が行われていないわけではありません。今までは事細かく一通りの物理的特性をみるという試験研究のやり方が多かったわけです。しかし、少し項目をカットしていこうということで、土壌の評価という場合には、根が70%以上分布しているところまでを根域として、普通の果樹作物ですと大体深さ60 cm ぐらいまでですが、それについて緻密度、透水係数および粗孔隙の3項目だけをはかり、それ以外の細かい項目はカットして評価を行おうというような整理が一年の研究ではなされました。最近、いい物をつくるという意味から限られた領域に、省資源的な手の加え方でコントロールしやすいような地下部環境をいかにつくかというような研究がかなり進められています。

【岩田】

今日のシンポジウムを聞かせていただいて、少なくとも10年ぐらいのスケールでものを見ると、かなり内容は前進しているなあという感じがしました。土壌の物理性第59号のときの座談会では、大きく問題になったのが、圃場の科学をどうするかということでした。さきほど私が質問しましたように、何しろスケールの小さなもの、例えば直径5 cm 高さ5 cm ぐらいの円筒で取ってきたも

ので求めた値をすぐに圃場に移せないということが、ものすごく大きな問題としてあるのではないか。ここら辺のところをどうしようかということが、その座談会での大きな柱だったと思います。

実は、私、今年8月にオランダで行われたLand Evaluationのシンポジウムに出席しました。そこでは、電子計算機の発達を利用して、浸食度がどうかということで土壌のマップをつくるとか、肥沃性の観点から土壌のマップをつくるかということに当たって、分けて置いてある多数の測定項目と鑑定値を電算機にほうり込みさえすれば簡単にマップができるようになるという課題が出されました。しかも、世界的にそのネットワークは張られている。そういう意味では大したものだなと思いました。しかし、そこでも問題はあって、その場合の確かな測定値はどうやって求めるのかということになると、かなり意気消沈してしまうという状況があるわけです。上のものはかなりできているのだけれども、まだまだ下のものができていないという感じがしみじみしました。やはり50号のときと同じで、実験室の測定値と圃場の実際の物性値とをどうやって結びつけていくかということとは、今でも1つの大きな基本的問題であると思います。

【座長】

確かにこれまでの研究というのは、圃場試験をやって、圃場の物理的な問題をよく観察し、あるいは室内実験をやり、それらを総合して技術化するというものでした。今求められているのは、資源の評価とか、水資源の評価とか、土壌の果たす環境保全の評価というようなもので、しかもそれらのマップを描く。どうも圃場試験レベルのものではなくて、もう少し予測する技術、そういった手法というものが求められている。そういうものをどんどん開発していかなければいけないということのようです。また、データベースといっても、近ごろはなかなか圃場で穴が掘れません。農家が反対するんです。穴を掘るんだったら、小さいものにしてくれと。そういう時代で、一々穴を掘らなくても、谷山さんの述べられたような非破壊測定などの手法をどんどん開発していけないととてもデータ把握が追いつかない。

【中野（東大農）】

土壌物理の展開ということで、最近次のようなことを感じております。当然、従来のような自然土地利用型の農業、つまり生物生産あるいは食料生産というように言ってもいいかと思いますが、これについては土壌物理の成果をずっと集めていってこれらを役立たせていくということが恐らくこれからも相当の時間をかけて行われなければならないと考えます。5年前あるいは10年前と比べ

て今どういうふうに動きつつあるかということ、2つの方向が出ているのではないかという感じがしております。

その1つの方向は、施設的な側面から見た土壌物理学というものではないかと思います。それは施設の中で使われているような人工培地の管理および制御で、これらを精密に、精緻にやっていくための土壌物理学の展開です。そこでは多分我々が今まで培ってきたものがうまくつかえるのではないかと思います。これには、ハウスの中で例えば細かいグラスファイバーを使ったようなものが含まれますし、また70cm四方ぐらいの土層に一本桃を植えて一山梨県の果樹試でやられている一立派な桃をとるものなども含まれます。この桃の培養は言ってみれば、小さなライシメーターの中に果樹のような大きな永年性の植物を入れて、土壌環境をみごとにコントロールし、水、肥料を省資源的にやりながら管理して生産を上げていくということだろうと思うのです。これはまさに実験室規模の成果の適用そのものであって、これをさらに省エネ、省資源でやっていく方向というのは、従来の土壌物理の精緻な展開を目指してということのもう1つ先の課題として今後あるだろうというように考えられます。もう1つの方向は、環境問題との関係です。農地および林地までも含めて、そういうものを緑地というように見ることにすると、その緑地を我々がどのようにして地域の中につくっていくか。およびその周辺のいろいろな山林あるいは、原野も含めて、そのような緑地を維持するための土壌の創造にとってということです。緑地を管理していくための土壌の物理、あるいは土地の物理かもしれません。それがそれにおける土壌物理学の展開の方向というのがもう1つあるのではないかという気がしています。

【座長】

最後に、美園さん、突然で申しわけありませんが何か我々に御意見があらましようか。

【美園】

結局、そこに日本の土壌があるから、その土壌を研究しているわけです。そして、研究者一人一人の努力が大切ではあります。しかし私たちが30年前に土壌物理研究会をつくったのは、当時、土壌肥料学会、農業土木学会および作物学会、の中で、今という土壌物理に関係していることを一生懸命やっている研究者たちが、分野を超えて話し合いたい、話題を連結させてみたいということがその始まりだったんです。

だから、そういう意味では30年たっても、皆があつまって討論することでよいと思われれます。そこには作物の関係の人もいる。園芸の関係の人もいる。農業機械の関係の人もいる。そういう人達が集まって、討議をして、し

かもその討議が大衆のために反映されればさらにいいなあと思われまふ。また、地域的なところで行われた専門分野を超えた人たちの討議が会誌に反映されてもいいのではないかと思ひます。つまり、熱心に研究しようとし

ている人たちが協力して討議をする、その成果がなるべく会誌に反映されるようにということです。

【座長】

これにて今日の総合討論会を終わりにいたします。