

質 疑 応 答

座長 丸山（京大農）

宮崎（四国農試） 桑の根群はどのような分布をしているのでしょうか。

早坂 火山灰土と非火山灰土では多少深さが違います。物理性のよい火山灰土壌では60cmぐらいのところまでにだいたい80%ぐらいの根が分布している。土壌改良や天地返しをすると80cmぐらいまで根は入るが、一般に60~80cmの間で10~15%、それ以下の層で5~10%程度となります。しかし、深い火山灰土壌では2mぐらいまではみることができません。断面でみた限りでは灰土層には桑の根はみられませんでした。それから、気相率がpF 1.5より、粗孔隙が10%以下になると桑の根は入ることができないと考えられている。これは森、鈴木木のデータによって確認されている。

川田（栃木農試） わたくしは北関東の鹿沼土がある栃木におりますが、シラスの性状がわかりません。粘土はこのように light clay としてでておりますが、鹿沼土ですとclayのかたまりがポーラスになっております。シラスでは鹿沼土と同じような構造になっていると推察してよろしいのでしょうか。

早坂 降ってたまったものが軽石層のような形ではなくて、もっと大きな軽石がぼこんぼこんと入っているような状況ですので、ち密な部分が点々と入って、その間にポーラスな部分があるという、かなり不均一な状態である。

川田（栃木農試） 粘土は clay というようなものと考えてよろしいでしょうか。

早坂 かなり風化が進んでおり、ハロイサイトぐらいのところまで風化が進み、アロヘンではなくなっているという段階のものと考えてよい。

中村（愛大農） 開畑というのは改良山成か、それとも現状のままの表面を剥いだだけのものか。

三野 土壌の物理性に関する部分のデータは開発予定地周辺の人力開こんによって開かれた場所で調べたものである。

インタークレートの部分は改良山成土で造成され、大規模に土が動かされたところで調べたものです。いま現在計画されているところは全部改良山成土で計画されており、研究そのもののねらいは改良山成土による造成を前提において考えています。

宮崎（四国農試） 傾斜角度はどのくらいか。

三野 だいたい25度ぐらいの非常に急なところで、そこで柿が栽培されている。

田淵（茨大農） インタークレートの式で Philip の式を使ったと聞きましたが、斜面では成層状態になっていると思われませんが、成層状態を考慮した式ですか。

三野 Philip の式を使ったのは曲線のあてはめだけに使って、パラメータには意味を考えておりません。成層状態でも内そう式としてはよく合うので、一応使ってみたということで、物理的意味を含めておりません。したがって、Philip の式とってよいかどうかは疑問であります。

田淵（茨大農） よくあてはまったということですか。

三野 あてはめに使った。あるいは無理にあてはめたということになります。開発前後の流出特性の変化状況をシミュレートする際の関数化に使ったにすぎません。

福井（大府大農） 柿園と申されましたが、植被状態は柿だけが斜面に植えられているということですか。

三野 一応柿ですが、柿は湿気をきらうということで斜面の下部の湿度の高いところではミュウガが植えられており、谷の方では状況が若干異なります。

福井（大府大農） 柿の場合、どの程度葉がおおっているのですか。

三野 かなり密植に栽培されており、斜面は一様に葉におおわれている状態です。蒸発量は樹高とほぼ同じ高さのところにセットできるように台を設けて測定しております。

座長 手島（大府大農）

宮崎（四国農試） 改良の結果 スライドにあったような水たまりはなくなったのでしょうか。

四方田 その部分は木が植えられておいて、先のようなリッパーがかけられなくて、いまお話したような形では行っていないわけです。全体的には、ところどころに固い土壌ができておいたものがなくなっておりますので、あのような水たまりはできないだろうと考えられます。しかし、木が植えられているところでは、重機が自由に走りまわることにはできないので、別途改良を講じなければならないわけで、問題としては残っているということになります。

総 合 討 論

座長 岩田進午（農技研）

講演者

早坂 猛（蚕糸試）

三野 徹（京大農）

四方田穆（岡大農）

座長 討議にうつりたいと思いますので、ご協力をお願いします。ここでは次の2つの部分に分けて討議したいと思います。一つは早坂氏より提起された深層の水の移動と三野氏から提起された斜面における水の移動です。もう一つは人工的な手が加えられた後の土壌の変化について三野、四方田両氏からそれぞれ提起されている問題です。まず、水分移動の問題から討論に入ります。

古田（岐大農） 早坂さんにおたずね致しますが、1971年から現在まで観測されている土壌水分の変動から、水文学で一般的にいわれている Water year（水年）の変動、つまり乾燥期から湿潤期へ、あるいは冬期から夏期までの水分変動の変化点が各年とも時期は同じなのか。またその時期において水分に大きな変動はみられるのか。この点観測記録から指摘できるかどうかおたずねしたい。

早坂 5年間観測を続けてきましたが、現在は測定を一時中止しております。そのなかでみられることは、年によって水分率に変動がみられるということです。これはおもにその年の降雨状況によってかわってくるものです。ただ、飽和に達する時期はほぼ同じで6月ごろ、急速に乾燥するのは7月後半から8月にかけて、2mから上のポテンシャルが高まるという形で乾燥期に入ります。雨の多い夏ですとポテンシャルが高まらずに秋に入ってしまう。

西日本気候が東日本と違うことは、とくに九州の西部ですと、台風が九州の西側に雨をもたらすことはあまりみられません。東日本では梅雨時より秋雨の方が総雨量が多くなるのが一般的なパターンになると思われませんが、西日本では梅雨時に集中し、秋雨では少なくなります。したがって、9月以降、12～1月にかけて下層の乾燥が進行します。これにはかなりの時間がかかって、徐々に乾燥が進むわけですが、7、8月は急速に表層が乾いて、9月は徐々に下層に乾燥が進み、12月ごろまでは表層も同期に乾燥が進んでいきます。1月ごろになると霜柱が立つようになり、下層の乾燥は進みますが、表層はむしろ湿潤になってきます。このようなパターンが毎年くり返されることとなります。そして下層の乾燥は6月

にならないと解消しません。表層土では変動がみられませんが、下層土は大雨が降る6月ごろまでは比較的乾いた状態が続きます。下層土と申すのは灰土の層で、これが6月まで乾燥した状態で経過するのが一般的なパターンであると思われます。

田淵（茨大農） 資料の中で、152mmとあらわされている降水量は6月2日から8日までに降った雨の総量ということですか。

早坂 そうです。

田淵（茨大農） 6月8日は下の方まで影響がでておりますが、これは152mmの雨が500cmのところまで影響していることをあらわしているのか。

早坂 そうとは限りません。上から徐々にしみ込んでくる分もあります。つまり、その152mmがそのまま落ちてくるのではなくて、順送りになって落ちてくるものです。

中村（愛大農） この浸透の経過をみると、ほとんどが正圧浸透で負圧浸透は乾燥期にシラスのところ、それも負圧一定浸透は一部だけのようにみられます。また上昇浸透はみられなかったのでしょうか。

早坂 わたくしの印象では上昇するような動水勾配は一つもみられなかった。負圧にはなりますが、300～400cmにあるシラス層の比較的コンパクトに詰ったところがそのよう形となります。ご指摘のように1m以下のところで、部分的に上昇傾向がありますが、全体としてとらえてみると、下降していると考えざるを得ないということで、下層土の水分を利用するという事はむしろかしいのではないかと考えられます。

座長 一般には下層からの水の供給があるという実際のデータもあり、このような結果が一般性をもつものか、あるいは特殊性によるものか、討議をお願いします。

中村（愛大農） シラスで行なった結果では、あまり上昇の傾向はみられなかった。

中野（東大農） わたくしたちは宮崎県のシラス（よく似た地質だと思います）で7.5m下まで、10cm間隔で水分量を測定した結果では、これはわたくしの直感的な仮説ですが、水分変動における上昇下降の変化が著しいのは表層部分のみで、下層では完全に下向きの動水勾配ができており、このような状態が定常的に認められます。1年間を Water year として考えてみますと、上昇期間が短期間あるかもわかりませんが、上向きというよりも下向きの速度の大小が Water year レベルでかわっ

ているという仮説をもつて解析しようと考えているところであります。その区切りのようなものが、5~6月ごろ最も水分量が減った時期と解釈させていただくと、このときは下の方に水分がさがって、平衡水分分布のようなところで落ちついている。その後、梅雨あるいは台風などを経過して下層の水分が増加して、これはそのまま下の方に流れるという感触をもっている。

座長 ありがとうございます。異なった見解をお持ちの方はございませんか。

寺沢（農技研） データを詳しく検討しないと明らかではないのですが、水の上昇下降については water budget を正確につかまないとはいけない。もちろん、動水勾配の方向や測定精度の問題もあります。わたくしがこれまで、関東ロームで行なってきた試験の範囲で、有効土層をしゃ断したり、深さをかえたり、あるいは根系層の範囲をかえた場合、水収支については根系層だけをみては不十分であるという結果がでていいる。同様の結果が山崎さんたちの関東ローム総合研究や吉良さんたちの土層のしゃ断試験でもみられ、サククションがしゃ断した場合と、しない場合とでは明らかに異なるし、ライシメータにおける排水量などをみても植物の消費量と排水される量との水収支からみて、やはり根系層が浅ければ浅い程、下からの水の補給がなければ収支が合わなくなる。早坂さんのデータでも上昇がないということではなくて、上昇量が少ないものと受け取ったのですが、いなかでしょうか。

早坂 土層の深さをどれだけにするかということかわってくると思われまます。1 m ぐらいの深さでは確かに上昇があるといえます。しかし、それ以下にある貯留量の多いところからの上昇を期待したのですが、その傾向はみられませんでした。2 m ぐらいの土壌水を吸引してとり、硝酸態窒素イオンを測定してもほとんどあらわれませんが、ポリマルチをかけて同様の測定をすると硝酸態窒素イオンがあらわれることから、何らかの条件を与えることによって、下降を止めることができそうな印象をもっている。シラス層の上の方で有効水分量を計算してみると 400 mm を越す程度みられる。したがって、蒸発散量を 8 mm/day とすると 50 日分あると見積ることができるが、実際は 1 カ月ぐらいで生長が止る。これは下に逃げていることによるものという印象を支える。

手島（大府大農） 巾の広い、あるいは hydrological な発想になるかも知れませんが、soil physics の水の問題として考えたときも、1 つの圃場を平面とみて、2 次元的な水分変動で解決していこうとする考え方で測定を行なったとすると、広い地域の中で一枚一枚の圃場に対して、どのような条件で測定が行なわれたかが問題にな

る。わたくしたちの経験から申しまして、圃場を造成したとするとそこには勾配ができるし、土壌構造に粗密部分が生じ、また浅いところ深いところで water valley ができる。そのため根群が水を吸っているのか、出しているのかわからない層ができてくる。当然水分は上下においてそれぞれ変動している。つまり、1 つのロットをとって考える場合、全体の地形の中で水の収支を考え、自分の測定している部分がどの位置であり、その中でどのように変動しているのかを考えなければいけないのではないのでしょうか。いま考えられることでは横移流の問題、栽植密度、葉面積指数、土壌面に生じるクラックなどの問題が関連してくると思います。早坂さんが測定されたデータの位置づけはいかがでしょうか。

早坂 データのはじめにあるように、井戸を掘りさげて直線的に測定し、点を打って線をつないだという形になっております。それを平面化し、立体的にするにはどうしたらよいかをいま検討しているところです。おっしゃるとおり、横の流れをつかんで平面的なものから立体的なものにすることが重要であると考えます。

座長 この問題は興味ある重要な問題ですが、時間の関係で次に移りたいと思います。そこでこの問題については編集委員会などでその取扱いについて検討していただきたい。

次は水の横の流れや造成とも関連した問題にポイントを移します。

中野（東大農） 三野さんは流出率を計算するシミュレーションを行なっておりますが、そこで 2 つの式を使って計算されております。その結果、流出率が急に立上る場合と緩やかに立上る場合とを雨の量で区別されておりました。このとき流出率をだすのに地表流の計算に用いる表面粗度と tortuosity を計算されておりますが、その数値的な大きさおよびそれが流出率の計算にどの程度きいているのかをご紹介いただきたい。

三野 観測プロットでの降雨流出状況の解析によって、等価粗度を算出して見ますと、降雨強度によってかなり大きく変化しますが、造成前の状態では、中小降雨ではほぼ 0.08~0.17 程度の値が得られました。そこでシミュレーションでは、等価粗度にして 0.1 の値を採用しています。

等価粗度はあくまでも一様水深のシートフローが斜面に生じているとした時の粗度であります。現実の斜面流のイメージとはかなりかけ離れているといわざるをえません。そこで、私共は、それは数値計算上のパラメータに過ぎないと考え、もう少し物理的意味を掘り下げるために、表面流面積率とトートシティとミズミチの水理学的粗度を用いて、斜面の等価粗度を表わそうと考えまし

た。当然、トートシティは表面流発生面積率が増すと減少してゆくような特性を持ち、このために等価粗度は一定ではなくなると考えています。トートシティも流れの状態と表面の凹凸特性に支配され、一定数ではありません。最も流路が乱れた状態では、一応 $\sqrt{2}$ になると考えています。

このように考えることによって、Kinematic Wave Model で表わし切れない強い非線形流出特性を表わそうと考えたわけです。そしてその非線形性は、表面での流路発生確率と密接な関係を持ち、この非線形性が農地造成により一層助長されることを示したかったのです。

農地開発は、この運動方程式の非線形性に、インテークの変化が作用して、流出特性の非線形性を一層助長します。雨水の滞留時間は極端に減少し、流出率は極端に増大します。

この非線形性のゆえに、トートシティの効果だけを取り出して見ることはできません。また、そこにトートシティを導入したねらいがあるともいえます。

どうも適確な答えにはなりません、まだ私共自身も適確にとらえていないのが正直なところです。現在、この辺のところを現地プロットの観測で明らかにしたいと思ひ調査中であります。

なお、トートシティ導入の意図の一つに、地表の管理状態、例えばウネタテの状況を定量的に表現することが入っています。タテウネでは1、ヨコウネではウネ長によりトートシティは大きくなります。

中野（東大農） 造成地は果樹を植える前か、後か。

三野 植える前です。

手島（大府大農） 現時点ではシミュレーションモデルとして考えておられ、将来においてカンガイやその他の物理的要因を含めた物理モデルにしたいと考えておられるようですが、タンクモデルからこれを定性的な要因を経て、直にそれを物理モデルとして提案し、そのまま先へ走ってしまうことを非常に恐れています。水文においても同様に数理モデルは重要であるが、物理的特性を考慮したいいわゆる物理モデルが必要であり、またこの方向に進みつつある。Soil physics は Hydrogy の基礎であって、水文における水は上下、あるいは横方向とつながったものであり、その zoning が重要になる。タンクモデルにおいてもどこに出口をつけるか、あるいはどのような出口とするかなど、考え方はいくとおりもあるので、もう少し考え方を広げていただきたい。

三野 私のような門外漢が、タンクモデルだの Kinematic Wave Model だのといいましたのは、新しい降雨流出モデルを作り上げようというような大それたことを考えているわけではありません。農地造成という人工的な

インパクトが加えられた後の、自然システム、あるいは土壌物理性のダイナミクスが、降雨の流出特性を介して最もうまくとらえることができるのではないかという期待があるからであります。したがって、このシミュレーションも、流出モデルの正確な表現というよりはむしろ、傾斜地に形成される自然システムの自己運動機構を考えてゆくための、一つのプロセスと見ていただきたく思います。

座長 ありがとうございます。あと5分程で終りにしたいと思いますが、四方田さんにご質問はありませんか。または四方田さんからコメントすることがありましたらどうぞ。

四方田 人工的な緑地造成があちこちで行なわれているが、宅地造成ではなくて、樹林地造成であるという認識が欠けている。施工する側は宅地を造成すると同じように丈夫なものを造るということになって、結果的には固い地盤ができあがってしまうことになっているようだ。樹林地を造成するための工程表や仕様書が用意されるべきであろう。

座長 時間がございませんが、他に何かご意見がありましたらどうぞ。

中野（東大農） 三野さんのお話、貴重なものとして伺いました。傾斜開畑地における熱、水配分構造の分析をしていただいたということで興味をもちました。わたくしとしては傾斜開畑地に関する一般的構造として明らかにするには、三野さんはストックということの問題を考えているようですが、直接、地下水流、地下水脈という言葉で構造に入れていただきたいと思います。しかし、地下水流、地下水面、地下水流だけ入れたのでは具合がわるく、地下水面上にある土壌水分、貯留量などが重要になり、これを同時に考えることが構造を考えていく上で重要である。わたくしは地下水と深層土壌水分という言葉をつかっているわけですが、これが一般的に考えて水配分構造の点で傾斜開畑地では重要になる。技術的にも、開畑地で地下水の予測やその処理ができなくて困ったとか、造成してからその問題で困ったとか聞きますが、その意味でも構造を考えることは重要であると思います。

田淵（茨大農） 開畑が傾斜地の熱水配分構造に与える影響につけ加えて、土壌侵蝕、土壌養分の溶脱などの問題があり、それ自体の問題と同時にそれがまた水分構造に戻ってくる。したがって、配分構造を考える場合、熱、水、物質について傾斜地ではそれを3次元的に考えることが必要であると思います。

座長 ありがとうございます。これで総合討論を終ります。