



## 「なぜ土壌物理の道に足を踏み入れたのか？」

波多野隆介<sup>1</sup>

私は私なりに土壌物理学は、土壌現象を定量化するための現地調査、モニタリング、数値モデルを研究する学問と認識しています。土壌現象は単純に言えば物理、化学、生物的現象ですが、その現象を通して、土そのものが作られたり、消耗したりするとともに、土が極めて不均一な無機物、有機物からできていることから、個々の土の理解には、現地での調査、モニタリングが不可欠です。ただし、その知見は別の土の理解に応用できるものであり、知見の集積場所として数値モデルがあります。したがって、数値モデルの開発と利用につなげることを念頭に調査、モニタリングを行っていくことが大事です。そのように言うに至る過程を、私が学生のころ何をやってきたのかを見ていただくことで、理解していただければ有りがたく思います。なお、土と言ったり、土壌と言ったり、人と言ったり、人間といったりしますが、お許し下さい。

私は、三重県立四日市高校から、1974年に当時は理類という一括募集で北大に入りました。ちょうどレイチェル・カーソンの「沈黙の春」が出版されたころです。当時は土壌学という学問があることも知らずに、農芸化学科に移行し、そこで当時北大土壌を担当されていた岡島秀夫先生、佐久間敏雄先生に出会いました。岡島先生のお話は、土の植物への養分供給の能力を土の肥沃度として、土壌の三相から始まり、施肥、固液平衡、土壌溶液へと展開したと記憶しています。佐久間先生は土壌生成に関わる土壌現象、特に物質の移動と集積現象とその影響因子についてお話しされました。しかし、人の活動は公害を起こすと信じてやまない私は、農業は水を汚す、大気を汚す、生き物を殺してしまうととても心配していました。私は、そのことをどうしても研究したいと思っていました。

1977年に土壌学研究室に入れていただいたころは、化学分析のテクニックを覚えるのに一生懸命でした。卒業論文はハウス土壌における施肥成分の分布というものでした。当時、道内でもハウス栽培が盛んになり、濃度障

害が出るほどに化学肥料が施与されていました。株間から畝間にかけて幅10 cmごとに50 cmから100 cm、深さ5 cmから10 cmごとに深さ50 cmまでの土壌を採取しました。ただし、大きな穴を掘ることが出来ないで、底面10 cm × 10 cm高さ60 cmの角柱の採土器をかけたで打ち込んで土を取りました。採土器は側面の1つが取り外せるようになっており、また上部に穴が開いていて、そこに鉄棒を差し込んで引き抜くというものでした。白く塩を吹いた表層1 cmは別に採取しました。根の分布と、土壌水分、pH、交換酸度、1:5水抽出液溶存イオン、交換性塩基、交換性アンモニウム、有効態リン、CECを測定しました。1箇所50点近いサンプルを分析するのに明け暮れました。表層の1 cmでは、硝酸イオンのみならずすべての栄養塩類が高濃度に集積していました。水が下層から栄養塩類を運び表層に集積させることが良く見て取れました。そればかりでなく、表層1 cmの土壌水分は常に萎凋点水分以下となっていて、植物が養分吸収できないことが表層に塩類を多量に集積させる原因になっています。もったいないと思ったり、これらが除塩で流されると汚染源になるのじゃないかと心配していました。

1978年からの修士課程では畑土壌を対象に研究しました。十勝農試に出かけて行って、芽室周辺の乾性火山性土、湿性火山性土、沖積土のトウモロコシ畑で、ハウス土壌と同様の方法で土を採取しました。ただし、今度は時期別に播種直後から収穫期までサンプルを取りました。播種直後、筋蒔きされた化学肥料から、硝化に伴い硝酸イオンが拡散し、トウモロコシの生育とともに濃度低下が起こることが良く分かりました。塩類は表層に集積すること無く、植物の養分吸収が土壌中の栄養塩類の消長を最も規定しているのだということが良く分かりました。根の分布が深く、密度が大きいほど、養分濃度の低下の程度が大きいように思いました。しかし、収量は沖積土が一番良く、湿性火山性土が次で、乾性火山性土はあまり良くありませんでした。なぜだろうかと思っていました。土壌物理研究会が刊行した、「土壌の物理性と作物生育」を何度も何度も読みました。土壌調査の際の根の密度を規定する土の硬さや、地下水位の位置が有

<sup>1</sup> 北海道大学大学院農学研究院  
2015年7月15日受稿 2015年7月15日受理

効土層を規定していることを実感していました。乾性火山性土は根の張りはとてもよく、湿性火山性土は下層が湿っており根張りが止まっていた。沖積土は作土直下がやや硬くて、下層の根は極端に少なくなっているように見受けられました。しかし、収量は沖積土が一番良い。どうしてなのかなと思っていました。

1980年からの博士課程では、重粘土をやりました。当時は水田転作が本格化した頃です。土別の水田転換ダイズ畑で調査していました。乾いた重粘土は硬くて掘るのにとっても苦労しますが、砕土器を打ち込むことにはあまりにも硬すぎました。そこで、農家をお願いして穴を掘らせて頂いていました。しかし、水分が多いとべたべたで、乾燥するとかちかちで、どうにも調査適期ありませんでした。はじめは均一に見えた畑だったのですが、雨が降ると畑の一部に水たまりができました。そしてそのような場所では、ダイズはほとんど育ちませんでした。そのため、生育は不揃いで、その違いをどう表現するのか、ともかくあちこちを掘らねばならないような気分になって、困ったなと思っていました。それでも、出来の悪いところを掘りますと、雨の後だとすぐに水が湧いてくる。水がつくために根が伸びず、その後乾燥してかちかちになり、また根が伸びないという具合でした。一方、雨がふると、一斉に暗渠から水が流れたすことを何度もみました。畑のなかでもダイズがとても良く生育している場所では、降雨時でも水がつかず、暗渠が効いていると言言葉を実感しました。そのようなところを調査しますと、根は下層では5 cm から10 cmほどの大きな粒団と粒団の間の割れ目状の粗孔隙を伸びておりました。そこには空気もよく通っていることが、土の斑紋の状態からも見て取れました。粒団の内部には鉄が還元した灰白色の斑紋があり、割れ目状粗孔隙には赤い鉄の斑紋があり、粒団内部に水が保持され還元的になっていること、外側には酸素が供給されて酸化的であることがわかりました。この割れ目状粗孔隙が重粘土には大事なんだ！と直感しました。まあ今になって思えば、修土のときの沖積土も粗孔隙に根がよく伸びていたから収量は良かったのだと思います。採土器などで最初にやるから根の観察が疎かになったということなのだと思います（しかし、畑ではなかなか大きな穴は掘れません）。

さて、この割れ目状の粗孔隙の効果をどう定量的に評価するかが問題になりました。いずれにしても、水の動きは大事ではないかということで、灌水実験を行いました。しかし、テンシオメータのポーラスカップは直径が2 cm、高さが5 cm程度あるので、こんなものを埋めてみても割れ目状粗孔隙の効果を見ることはできないだろうと思っていました。それでも沢山埋めればなにか傾向があるかもしれないということで、テンシオメータを断面内に10 cmグリッドでセットしました。そして、集中豪雨なみの時間30 mmの灌水し、マトリックポテンシャル

を経時的に測定しました。教科書で見るとような浸潤前線が現れることを期待していましたが、灌水直後に表層が湿り、ついでむしろ深い層が湿り、下層土上部が湿らないという不均一なマトリックポテンシャルが観測され、定量的にするつもりがかえって、難しいことになったと感じました。

それでも気を取り直して断面内のマトリックポテンシャルの等値線を書くと、一部の下層土が浸潤から取り残されている分布となり、粗孔隙を通して水が先に下層に輸送されるために深い層が先に湿ることになるのだろうと思いました。このような水分動態は現在は選択流と呼ばれますが、当時はどのような用語を使えばよいかよくわかりませんでした。とりあえず、水が確かに割れ目状粗孔隙を流れていることを示しておく事が大事だろうと考え、メチレンブルーで染色することにしました。この染色剤をどうするかということで、文献を調査しました。インターネットなど無いので、文献調査はともかく動くしかありません。なかなか見つからずペンキかなと思っていたときに、当時の土質改善学講座が購読していたGeoderma誌に、「Bouma, J., Dekker, L.W., 1978. A case study on infiltration into dry clay soil: 1. Morphological observations. Geoderma 20, 27–40」を見つけました。メチレンブルーが染色した面積を水が土塊に接触した面積として定量化していました。文献を読んでとても感心しました。その後、Bouma先生は、粗孔隙のBypass効果、Internal Catchmentなどの機能をまとめていかれませんが、その最初の論文だと思っています。私は、この論文により、メチレンブルーを用いて粗孔隙を染色し、接触面積を求めました。そして、下層の粗孔隙への選択流を作土からの流速と下層のマトリックス流の差とし、接触面積から土塊内部へ水が吸収されると仮定した数値モデルをたてて、計算したところ、実測した水分動態を再現することができました。あの論文がなかったら多分なにも無かったと思います。根はりの話は長谷川先生が亀裂に侵入した根の水吸収モデルを発表され、粗孔隙が根の通り道として重要であることが明らかにされたと思っております。

学位を取ってからは、粗孔隙と土壌粒団中の細孔隙の2相系モデルでの物質動態を解釈しようとしていましたが、現場でのデータがうまくとれずにいました。しかし、メチレンブルーでの染色域がフラクタル構造になっていることから、粗孔隙の物質移動への効果は拡散分散現象に入れておいてもいいのかなと思うようになりました。土壌学研究室を担当してからは、流域における栄養元素の河川流出や温室効果ガス排出、永久凍土の融解によるメタン排出、熱帯泥炭の分解によるCO<sub>2</sub>やN<sub>2</sub>O排出の仕事に従事してきました。時に調査が不十分でモニタリングも思うようにまかせないような少し駆け足だなど思う場合もありますが、現在の問題を可及的速やかに実

態把握することの重要性も学びました。最近、汎用性の高いモデルも出されており、これをどう使うかは現地調査、モニタリングとの両立が必要ですが、昨今の学生さんたちの能力の高さには驚かされるものがありますので、近々に面白いことが発見されると思います。

さて、いろいろ述べてまいりましたが、私が土壌現象

を定量化するために、調査、モニタリングとその結果に基づくモデルによるアプローチが有効であると思ったこと、それを土壌物理学だと思っていることを少しでもご理解いただけたら有りがたく思います。そして、皆様のご研究の益々の発展に、この寄稿が少しでもヒントになれば嬉しく思います。