



FAO / IAEA 国際共同研究から始まった原位置試験

井上光弘¹

学会の編集委員長から、今年は国際土壌年で、「なぜ土壌物理の道に足を踏み入れたのか?」というテーマで何か書いてほしいという内容のメールが入った。井の中の蛙というか、蛙の子は蛙で鳥取大学という社会から一歩もはみ出すことがなく過ごしてきて、このテーマに自分史で振り返ることにした。

大学を選んだのも自宅から通えること、将来の道も漠然とした中でどの道でも選択できるという安易さから、九州大学農学部に入學した。理19クラスという教養部時代に、食品関係などいくつかの選択肢があった中で農業土木を選択した。その頃、今世紀の食糧安定生産のために基盤づくりが大切で、「農業土木は地球の外科医だ」と主張された某先生の言葉が印象に残った。東京湾に注いでいた利根川を銚子方面に変えた東遷事業、知多半島まで幹線水路が伸びる愛知用水、乾燥地を潤すフーバーダムやアスワンハイダムなどの用水事業に興味があったので、灌漑利水工学講座を専攻した。

鳥取大学農業水理学講座に就職した直後も、科研(奨励研究)の支援を得て、農業用管路内で計画用水量を送水できない問題「送水管路内の空気の影響」について研究を継続した。特に下降傾斜管路内で発生するエアポケットと跳水による損失水頭の推定法を提案し、ある条件下で多連跳水現象が発生することを明らかにした(井上, 1977)。この頃までは土壌物理学とは無縁で、研究分野は灌漑利水工学、水理学、農業水理学であった。

灌漑用水路の断面を決定するためには、作物の消費水量、つまり蒸発散量を現地圃場で求めることが必要であった。蒸発散量は水収支式から求める。この時、降水量と灌漑水量の測定は簡単であるが、根群域内の水分貯留量変化と根群域からの下方浸透量を評価することは容易ではない。その当時、鳥取大学農学部附属砂丘利用研究施設に滞在していた D. Hillel 博士から内部排水法(Hillel et al., 1972)を学んだ。その後、国際連合食糧農業機関(FAO)と国際原子力機関(IAEA)の両機関に支援された国際共同研究に参加し、IAEAの本部があるウィーンで研究発表(Cho et al., 1976)する機会を得た。

この時が土壌物理に足を踏み入れた最初であろう。

当時の内部排水法による原位置試験では、土壌水分量の中性子水分計で測定し、土壌水分圧力水頭(マトリックポテンシャル)を水銀マンオメータ付テンシオメータで測定した。中性子水分計の線源は 50 mCi の $^{241}\text{Am-Be}$ で厳重な放射線取扱管理下で使用できた。砂地圃場に降雨遮断のためのテントを張り、当時は自動計測ができなかったので何回も徹夜をして 14 日間の集中観測を行った。表面付近の土壌水分測定の精度を向上させるために、挿入型中性子水分計(井上ら, 1981)に加えて表面型中性子水分計(井上ら, 1983)を導入して校正試験を行い、根群域内の水分貯留量の経時変化を挿入型と表面型中性子水分計で測定した。

一方、根群域からの下方浸透速度は、ダルシー則に基づいて、全水頭勾配と不飽和透水係数の積で求まる。全水頭勾配はテンシオメータで測定できるが、不飽和透水係数は土壌水分量あるいは土壌水分圧力水頭の関数であり、容易に求まらない。この不飽和透水係数という水分移動特性値を原位置で測定する研究が始まった。原位置の不飽和透水係数を実験で決定する目的は、砂地圃場の下方への浸透量を推定し、圃場からの蒸発散量(Inoue et al., 1978)を計算することで、砂地圃場の水管理に関する基礎資料を得ることであった。

当時、農業土木の教官が土壌水分に関するセミナーを月1回の割合で開催した。自分が担当した土壌水分移動特性値に関する研究で、土壌水分特性曲線から不飽和透水係数を計算する種々の方法を砂丘砂に対して検討し、「土壌の物理性」にまとめた(井上ら, 1982)。これが学会誌「土壌の物理性」との最初の出会であった。

その後、1995年2月から10ヶ月間、文部省の在外研究員として、California 大学 Davis 校に滞在する機会を得た。当時の研究アドバイザーの D. Nielsen 博士は、1976 年来の友人で、私に何ができるかを聞き、圃場実験を勧めた。そこで、当時 20 年前に実験した中性子水分計とテンシオメータによる内部排水法で、原位置試験を行った。ところが、土壌がロームで、砂のように排水してくれない。まともに不飽和透水係数を測定するには、2~3ヶ月も実験を継続する必要があった。当時、室内実験であ

¹ 鳥取大学乾燥地研究センター

るが、不攪乱土壌を採集して不飽和透水係数を求めるマルチステップ法が脚光を浴びていた。この逆解析を用いたマルチステップ法を原位置試験に応用して、考案したのがマルチステップ吸引抽出法 (Inoue et al., 1998) である。ローム質土壌の原位置試験で、わずか5日間のデータから不飽和透水係数を決定した。当時は、Windows95の時代でパソコンを用いて1日以上もひとつの逆解析計算に時間を要した。実は、この圃場実験で気温の影響を受けにくい埋設型土壌水分感圧センサー (井上, 1994) を米国に持ち込んで、土壌断面の下部境界条件として、土壌水分圧力水頭の自動測定に使用した。そして、米国で普及していたテンシメータよりも温度の影響は少なく、精度も高いことを確認した。この経験を生かして、帰国後、この埋設型土壌水分感圧センサーを施設園芸の自動灌漑装置の土壌水分センサーに応用した (Nishihara et al., 2001)。このセンサーは、後に2連式埋設型感圧センサーとして応用され、埋設深の差の精度を高めるのに貢献し、原位置の不飽和透水係数測定法に採用された (井上ら, 2004)。

農業土木分野で直面する斜面の降雨浸透予測、根群域の水分移動ならびに毛管補給水量を考慮した作物の水分消費機構などを解明するためには、フィールドにおける土壌の保水性、透水性に関する物理特性を明らかにする必要がある。実務的な方法で、簡易で市販品を使用した原位置試験法について、フィールド計測技術の講座で、土壌の水理特性計測技術を紹介する機会があった (井上, 2004)。この講座においても内部排水法を紹介した。加えて、乾燥地研究センターの客員教授であった D. E. Elrick 博士から学んだプレッシャーインフィルトローメータ法についても、具体的な方法を紹介した。この方法の我が国土壌への適用と問題点の解決についても、科学研究費補助金の支援を受けて共同研究の成果を得た (森井ら, 1999)。

1995年以來、2~3年に1回は、欧州地球科学連合 (EGU) や米国土壌科学学会 (SSSA) の国際年次大会に参加し研究成果を発表してきた。それらの会議の中で多くの著名な研究者と交流した。その成果として、例えば、van Genuchten 博士から 1999年度乾燥地研究センター客員教授候補者として紹介してもらった C. Dirksen 博士は、土壌物理学実験の本 (Dirksen, 1999) を著したオランダの研究者で、彼から原位置の下方浸透流を測定する技術を学んだ。そのアイデアは後に、下方浸透水採取装置の開発へと繋がった (東ら, 2005)。また、米国土壌科学学会の展示会で見た新しい水分センサーを購入して、塩分依存性などの水分計の評価に関する研究 (Inoue et al., 2008) を行った。

「土壌物理の道へ」を考えてみると、FAO/IAEA 国際共同研究から始まったと思う。そして、塩分の影響、温度の影響など土壌水分量を正確に測定する技術の発展は

現在も続いている。また、数値シミュレーションの入力値となる水分移動特性値や溶質移動特性値の原位置試験法の開発も重要である。

問題解決のために、土壌物理学を基礎とした様々な現象に対して、海外の研究者との交流を継続し、社会に貢献したいと心がけている。最後に、若い研究者のさらなる研究の発展を祈願して筆を置く。

引用文献

- Cho, T., Nomura, Y., Yano, T. Shikasho, S. and Inoue, M. (1976): The use of neutron moisture meter in studies of soil water regimes, — Water management in a sand dune area —. Report for Co-ordinated Res. Programme. p. 48, FAO/IAEA, Vienna.
- Dirksen, C. (1999): Soil physics measurements. p.154. GeoEcology paperback, CATENA, Germany.
- 東 直子, 森也寸志, 井上光弘 (2005): 自動サクシオン制御による不飽和砂質土壌中の下方浸透水採取装置の開発. 土壌の物理性, 101: 27-35.
- Hillel, D., Krentos, V.D. and Stylianou, Y. (1972): Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in-situ. Soil. Sci., 114: 395-400.
- 井上光弘 (1977): 下降傾斜管路内に発生する多連跳水現象について. 農土論集, 69: 42-48.
- Inoue, M., Yano, T., Nomura, Y. and Cho, T. (1978): Application of Neutron moisture meter for evaluation of evapotranspiration in a sand dune field. Report for Co-ordinated Res. Programme. p. 77, FAO/IAEA, Gent.
- 井上光弘, 野村安治, 矢野友久, 長 智男 (1981): 砂地圃場における挿入型中性子水分計の校正曲線. 農土論集, 95: 11-18.
- 井上光弘, 矢野友久, 吉田 勲, 山本太平, 筑紫二郎 (1982): 土壌水分特性曲線に基づく不飽和透水係数の計算. 土壌の物理性, 46: 21-29.
- 井上光弘, 野村安治, 長 智男 (1983): 砂地圃場における表面型中性子水分計の特性と校正曲線. 農土論集, 105: 19-26.
- Inoue, M., Šimůnek, J., Hopmans, J.W. and Clausnitzer, V. (1998): In situ estimation of soil hydraulic functions using a multistep soil – water extraction technique. Water Resour. Res., 34(5): 1035-1050.
- 井上光弘 (1994): 埋設型土壌感圧水分センサー. 日本砂丘学会誌, 41(2): 74-79.
- 井上光弘 (2004): 講座・農業土木分野におけるフィールド計測技術 (その7) —土壌の水理特性計測技術—. 農土誌, 72(2): 127-132.
- 井上光弘, 森井俊広, 西村 拓, 藤巻晴行 (2004): プロファイル水分計を用いた不飽和透水係数の原位置試験法. 農土論集, 231: 39-45.
- Inoue, M., Ould Ahmed, B.A., Saito, T. and Irshad, M. (2008): Comparison of twelve dielectric moisture probes for soil water management under saline conditions. Am. J. Environ. Sci., 4(4): 367-372.
- Nishihara, E., Inoue, M., Kondo, K., Takahashi K. and Nakata, N. (2001): Spinach yield and nutritional quality affected by controlled soil water matric head. Agric. Water Manage., 51: 217-229.
- 森井俊広, 井上光弘, 竹下祐二 (1999): プレッシャーインフィルトローメータ法を用いた土の原位置透水試験法. 農土論集, 204: 149-158.