J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 147, p.23 ～ 27 (2021)

シンポジウム特集
資　料
Miscellaneous

# 第 62 回土壌物理学会シンポジウム総合討論
# 「生産者ニーズに応えるための耕地の土壌物理・水文学的諸課題」

朝田 景（シンポジウム事務局）

## Discussion at the 62th symposium:
## Soil physical and hydrological issues to meet farmers' needs in croplands

Kei ASADA

本稿では，5 名の講師による講演の後に行われた総合討論【座長：原口暢朗氏（元 農研機構農村工学研究部門），中野恵子氏（農研機構九州沖縄農業研究センター）】の模様を，今後の学会活動の資料として掲載する．なお，討論の概略の記録を目的としたため，事務局の判断により発言の内容の一部を省略または要約させて頂いたことをご了承願いたい．

**原口（座長）：**
総合討論を始める．会場からの質問に対して発表者から応答をお願いする．

**溝口（東京大学）：**
土壌断面全体の構造を変えるためにはマルチングが有効という人がいる．土壌微生物の影響だろうか．

**原口（座長）：**
江口さんいかがでしょうか．

**江口（農研機構農業環境変動研究センター）：**
マルチをすることで土壌が乾かず過湿でもない適度な水分条件・高い地温が維持され，根や土壌動物，微生物など多くの生物活動にとって良好な環境が作られるため，それらの生物活動が物理性を改善するのではないか．

**吉田（東京大学）：**
マルチについては，土壌物理の教科書には記述がほとんどみられないが，農業気象分野の教科書では，その効果が紹介されている．個人的には家庭菜園で頻繁に使っているが，保温や保湿以外の面では，耕した後の土の構造が維持されやすいという印象を持っている．

**石黒（北海道大学）：**
不耕起栽培は世界的に注目されているが，日本で成功している事例はあるだろうか．

**江口（農研機構農業環境変動研究センター）：**
水田では不耕起栽培が成功している事例があると思うが，畑ではあまり聞いたことがない．

**岩田（農研機構農村工学研究部門）：**
不耕起栽培の専門家である辻博之氏（農研機構北海道農業研究センター芽室研究拠点）ならご存知かもしれない．

**石黒（北海道大学）：**
大潟村（八郎湖干拓地）では，重粘土地帯の排水不良水田なので，代掻きを行わない不耕起稲作で，良好な栽培ができている．

**溝口（東京大学）：**
水稲の不耕起栽培については，岩澤信夫氏著の「究極の田んぼ — 耕さず肥料も農薬も使わない農業（日経 BPM）」を紹介したい．

**原口（座長）：**
冒頭で溝口さんからご指摘があったように，当方も降雨後ドローンを飛ばせば圃場の乾湿がわかるのではないかと考える．しかし，作物が覆ってしまうと，土色が直接計測できないので，圃場の乾湿の判別が困難と考えていた．本日のポスター発表にあったように，作物が覆っていても葉温の熱画像（過湿で水分ストレスがかかると葉温が上昇）で，圃場の乾湿がわかるのではないかと思う．丹羽様はそういった取り組みをされているでしょうか．

**丹羽（（株）ズコーシャ）：**
熱画像の取り組みは行っていないが，作物生育の圃場内のばらつきは光学センサを搭載した衛星やドローンで精度良く把握できる．例えば，部分的に作物の葉が黄化しているような箇所は湿害が疑われる．ただし黄化は湿害以外に病気等，他の要因でも発生する．結局，画像は表面の状況を捉えているのに過ぎないので，黄化区域が例えば地形的に窪地で発生しているのか等，総合的な視点で湿害を特定することが必要である．衛星とドローンだが，衛星はスケールメリットもあり，圃場内のばらつきも同時に把握することができるので有効だと思う．一方，ドローンはカメラを直下にして画像撮影を行うと，圃場マップを作成するのに画像を貼り合わせる処理等が発生するので，なかなか実利用はできないかもしれない．

**溝口（東京大学）：**
衛星画像は雲に遮られて対象が映らないデメリットがある．一方，ドローンは風が強い日は飛ばせない．様々な技術との組み合わせも必要ではないか．

**原口（座長）：**
丹羽さんがお使いの衛星は雲の影響は受けないのか．

丹羽（(株）ズコーシャ）：
十勝では小麦の収穫計画に衛星画像を利用しているが，溝口先生のおっしゃる通り，収穫時期は天候不順のため年によっては衛星画像が撮れないこともある．その欠点を補完する情報としてドローン等を有効活用したい．ただ，先ほども述べたように，現在の直下撮りの方法で得られた情報から圃場マップを作製することにはまだ課題があるので，そこを解決するとともに他技術との併用が望ましいと考えている．

高橋（農研機構東北農業研究センター）：
天候により望ましい衛星画像が得られないというお話があったが，もう 1 つ考えられることは作物生育モデルを使って情報を補完する方法である．現在，農業気象データは 1 km メッシュとかなり整備されているので，対象時期の前後の衛星情報があれば補完するということが可能である．

原口（座長）：
関連してご意見は．

中野（農研機構九州沖縄農業研究センター）：
センシングのお話があったが，丹羽さんがご紹介されていたのは 1 枚の圃場の中のばらつきであった．現在，九州の生産現場ではドローンによって広域の圃場間のばらつきをみて，どの圃場に作業（施肥等）するかという情報を得るようなセンシング活用の方向も出てきている．

原口（座長）：
丹羽さんの衛星画像も使い分けると一度に数百 ha ほどの図面も作成できるでしょうか．

丹羽（(株）ズコーシャ）：
そうですね．解像度が高いので，圃場内 · 圃場間の評価を同時にできるというメリットはある．しかしながら，先ほど述べたように，光学センサを使用するので天候等の影響により撮影できない場合がある．そのため，高橋さんがおっしゃられたような試験研究も推進すべきだと考えている．

原口（座長）：
鋤き床の話題に移りたい．高橋さんのご発表で時間の関係上省略された箇所について何か補足はございますか．または，江波戸さんはいかかでしょうか．

江波戸（農研機構中央農業研究センター）：
現在は，圃場内のばらつきから作物生育をどうするかの情報としている．今後は，圃場内と圃場間の比較を進展させていくこと，サンプリングの手間を省くためにデータを自動取得できるような仕組みを組み込むことを実施していく．

原口（座長）：
初めに貫入抵抗に注目されたのはなぜでしょうか．どのような視点からでしょうか．

江波戸（農研機構中央農業研究センター）：
農研機構では土壌の物理性を簡単に図る手法の開発に取り組んでいる．土壌の物理性の測定で問題となるのは時間がかかることである．貫入抵抗では定性的なデータは入手できるが定量的なところはきちんとできていなかった．そこを押さえるためには面的に把握することが重要であるという視点から貫入抵抗に関する研究を始めた．

原口（座長）：
簡易な方法だからでしょうか．この方法では作物に特長的なことを見ることができるからでしょうか．そのようなところが気になった．

江波戸（農研機構中央農業研究センター）：
これから農業の大規模化に伴い踏圧が問題化すると考えた．上層から下層までどこで踏圧を受けているのかを面的に押さえたかったというのがそもそもの始まりである．

高橋（農研機構東北農業研究センター）：
吉田さんのご発表を聞くと，排水性はかなり暗渠に依存しているという印象だった．おそらく吉田さんの圃場はとても重粘質で下層土の流れを無視して良いほどだと思うが，もちろんそうではない圃場もたくさんあり，下層土のマトリックスとしての排水性はやはり重要な要素であると私は考えている．そこをどのように評価するのかということが 1 つのポイントである．もう 1 つは，江口さんがおっしゃったように，単純に排水するだけでは十分でなく，ガスが通るようにしなければならない．これは排水性とはまた別の問題である．しかし，今の土壌物理ではそこがつながっておらずうまく整理できていないという印象である．そこを問題提起したかった．

原口（座長）：
後半の問題提起は，現在のところ，排水性とは亀裂からの排水であるとして組み合わせ暗渠を行っており，マトリックスからの排水は考慮していないという視点からでしょうか．

高橋（農研機構東北農業研究センター）：
具体的にはわからない．どのくらいケースバイケースなのか．

原口（座長）：
そうですね．では前半のお話は，下層土もある程度透水性の高い圃場だと制限土層としての鋤き床をどうするかという視点からだということは間違っていないでしょうか．

高橋（農研機構東北農業研究センター）：
その通りです．

原口（座長）：
点から面に広げるツールとして貫入抵抗の測定値を使うことに対して，江口さんからは貫入抵抗だけでは限界があり，例えば，非制限水分域（Non-limiting water range, NLWR または Least limiting water range, LLWR）等，他要素と併用してはどうかということであった．それについてコメントがあれば．

高橋（農研機構東北農業研究センター）：
まずたくさんデータがあることが重要である．簡単に入手できない指標は精度が高くてもあまり使えない．そういう点からいうと，貫入抵抗は非常に有用な道具で面的な評価が可能となる今のところ唯一のツールだと考えている．しかし，これで事足りるかというと当然難しいというのは江口さんのご講演の通りである．技術者は研究者と異なり具体的にどのくらいまで使用できるかということが知りたい．貫入抵抗がどのくらいの精度で使えるか，そのためにはどのような前提条件が必要か，について研究して整理していく必要がある．

原口（座長）：
江波戸さんはじめ会場から何かあればどうぞ．

江波戸（農研機構中央農業研究センター）：
貫入抵抗の何が良いかというと，測定時間が短いことである．1 ha を調査するのに 1 時間もあれば測れてしまう．何かあったときにすぐ現場に行って対応できる効果

的なツールである．

**足立（筑波大学）：**

何かあったときとは，具体的には．

**江波戸（農研機構中央農業研究センター）：**

例えば，降雨後にトラクターを圃場に入れても大丈夫かどうか，または，どの圃場から作業できるかという判断を現場で下すことができる．

**原口（座長）：**

江口さんは貫入抵抗と何を組み合わせればよいか具体的なお考えをお持ちでしょうか．

**江口（農研機構農業環境変動研究センター）：**

目的によると思うが，江波戸さんが今お答えになったのは地耐力である．地耐力を考えるときと作物の生育を考えるときとでは，方法や注目すべきことが変わる．作物の生育を考えるときはやはり貫入抵抗だけでは不十分である．砂礫土壌では貫入抵抗に大きな値が出る一方，湿っている粘土質土壌では小さな値が出る．しかし，実際には粘土質土壌のほうが気相率や透水性は悪く，砂礫土壌のほうが排水性，通気性ともに良くなりやすい．貫入抵抗だけから判断してしまうと，硬いところは透水性が悪いと逆の判断をする可能性がある．そのため，極端に貫入抵抗の高い値が得られた地点では，ボーリングや土壌断面調査等によってその原因が土壌の堅密化によるものかどうかを確認することが重要である．それは現場で対策を実施するときには必ず行われることだが，適切な範囲を限定して，圃場 · 地域ごとにキャリブレーションすることが重要だと考える．

**原口（座長）：**

関連して他には．

**石黒（北海道大学）：**

貫入抵抗ではすごく硬くなるところがあるというお話だが，畝立てをしたところは柔らかくなると思う．対象とされているのは畝立てをしていない圃場ということか．

**江波戸（農研機構中央農業研究センター）：**

水田なので基本的には畝立てをしていない圃場を対象としている．ダイズでも畝立てをするがそれほど高い畝は作らない．

**石黒（北海道大学）：**

一般に農家さんでは乾燥地域原産の作物では畝を高くして，湿潤地域原産の作物では畝を低くしている．高い畝では土壌が柔らかくなると思ったので．

**江波戸（農研機構中央農業研究センター）：**

貫入抵抗の値を面で捉えるのでゼロ地点がある程度揃っていないと比較ができないということと，やはり貫入抵抗で見たいのは上層よりも耕盤層から下層であるため，その辺りのデータを重点的に取っている．

**石黒（北海道大学）：**

水田ならそうかもしれないが，畑地では畝を高くしてその効果で排水を促すため，下層だけ見ていてもよくないのではないか．

**江波戸（農研機構中央農業研究センター）：**

おっしゃる通りだが，畝立てをしている圃場にも使えるということとはまた別の話だとは思う．

**原口（座長）：**

よろしいでしょうか．畝立てについては石黒先生のおっしゃる通りだと思うが，これから対象や状況ごとにその適用性を考えていく研究段階だと思う．江波戸さんそのようなことでよろしいでしょうか．

**江波戸（農研機構中央農業研究センター）：**

はい．圃場がどうかというよりもその土地がどうかということがまず前段階としてあるため，畝を立てるかどうかについてはまた別に検討したいと思う．

**溝口（東京大学）：**

江波戸さんに対するコメントとして．Decision support system (DSS) という用語が世界中で使われている．農家さんの判断をサポートするのが我々研究者や技術者なのだから，最終的には農家さんにサービスできるようなことを考えるべきである．DSS という用語は本日のシンポジウムの重要なキーワードである．江波戸さんが先ほどおっしゃったが，農家さんが圃場にトラクターが入れるかどうかを知りたいとき，貫入抵抗を測定して現場で判断できるということは素晴らしいと思う．

**原口（座長）：**

本日のシンポジウムのテーマ「生産者のニーズに応える土壌診断」ということはすぐには結論が出ないと思うので，事務局でどのような議論をしていくのか今後考えたい．

**岩田（農研機構農村工学研究部門）：**

畝立ては結局機械に依存すると思う．平畝か畝を立てるかの選択はあるが，排水を良くするためにものすごく畝を高くするというのはなかなか難しい．

**高橋（農研機構東北農業研究センター）：**

少し補足するが，ダイズは畝立てをかなり行っている．問題なのは作業に時間がかかり大面積で畝を立てられないことである．ここにも選択と集中の問題が生じている．

**原口（座長）：**

農家さんが畝立てをする理由は，土壌の排水性なのか硬さなのかどちらでしょうか．

**高橋（農研機構東北農業研究センター）：**

私の知っている範囲では収量である．土壌の状態についてはあまり考えておらず，低いから畝立てしてみようという程度の判断である．

**原口（座長）：**

そうすると何か客観的な指標があったほうが良いのですね．

**高橋（農研機構東北農業研究センター）：**

そう思う．

**原口（座長）：**

広域での収量や土壌特性を見ていくなかで，古い地図の活用があると思いますが，その辺りでご経験をお持ちの方いらっしゃいますか．

**渕山（農研機構九州沖縄農業研究センター）：**

高橋さんのご講演にあったように，様々な情報の重ね合わせのなかに「古い地図」は入ると考える．土壌の硬さ 1 つ取り上げても土壌によって解釈の仕方は変わると思うので，古い地形図は事前情報として役立つと考える．例えば，高橋さんのご講演で紹介された対象地域はおそらく氾濫原なので，かつて畑地であったなら下層から礫層が出て硬いのかもしれないし，水田で黒泥が分布するような所は耕盤があり，その下は柔らかい土層が出てくるかもしれない．そういった推察をするための情報として，現在は圃場整備後に大きく改変されている可能性があるとしても，古い地図情報をあらかじめ整備し圃場情報のレイヤーの 1 つとすることは有効だと思う．

**望月（農研機構西日本農業研究センター）：**

共同研究者の研究について情報提供したい．圃場整備

前後の地図やドローンによる空撮写真を合わせて情報を分析すると，切土工を施されたところは小麦の生育が良く，盛土工を施されたところは生育が悪いということ，さらに，生育ムラの境界線とかつて川だったところがちょうど合致するという研究成果を出している．現在は，圃場の生育ムラをなくすため，小麦の生育を阻害する要因である過剰な水を少ないところに回す排水技術について検討している．

**原口（座長）：**

そろそろ終了予定時間が近づいてきましたが，言い残したことがある方いらっしゃいますか．

**吉田（東京大学）：**

高橋さんのご講演のなかで，土壌の化学性はあまり影響が出ないが土壌の物理性は影響が出るとおっしゃっていた．例えば，化学肥料を施用するということは土壌の化学性を変えているといってもよい．つまり，化学性は人為的に変えやすい．しかし，土壌の物理性は排水 1 つ取っても変えることは難しい．「どこまでできるか」と「○○性」ということが密接に関わっているように思うが，我々が議論する上での化学性や物理性に対し，簡単に変えられる部分は○○性とは言わないのではないか．用語の整理をしたほうが良いと考えている．

**高橋（農研機構東北農業研究センター）：**

私も同感で，そこが非常に難しいところである．例えば，窒素 4 kg を施用したら 4 kg の窒素が土壌に入る，といったように化学的因子はどれくらい変えられるかの見通しがつく．物理的因子で同じことがいえるかと言ったらどうだろうか．例えば，暗渠を掘ったときにどのくらい排水性が改善されるかについては答えられない．土壌の物理性はどこまでが限界なのかよくわからないところがある．この辺りに，化学性や物理性を分ける難しさがあると思う．

**吉田（東京大学）：**

そういう意味で，本日のシンポジウムを聞いて「土壌の○○性」という言葉の使い方は難しいと感じた．土壌水分は変動するが土壌水分そのものを土壌の物理性と呼ぶかというとおそらく違う．それは物理性ではなく変動する変数として扱う．本来は肥料を入れて土壌の溶液濃度が高くなるということと同じようなことである．

**原口（座長）：**

「変えられるもの」と「変えても効果の見えにくいもの」ということかもしれません．

**石黒（北海道大学）：**

しかし，農家さんから見ると排水性を良くするということは変えられないものではなく変えないといけないものと考えるが．

**高橋（農研機構東北農業研究センター）：**

土壌の排水性や保水性がどこまで変えられるかわからないということは農家さんもよく理解している．

**石黒（北海道大学）：**

排水性の悪いところにはまず明渠を施し，農業土木事業の圃場整備により暗渠も入れる．これによって排水性は改善できてしまう．効果の見えないものでは全くないと考えるがいかがでしょうか．

**吉田（東京大学）：**

私の問題提起によって少し混乱させたかもしれない．排水性は土壌の物理性とはまた別の軸だと思う．土壌の話とは限らない．排水性を変えて土壌の物理性を変えるにはさらに時間がかかる．我々はよく「土壌の○○性」と使うが，これまでよく定義せずに使用してきたのではないかという問題提起をしたということである．

**江口（農研機構農業環境変動研究センター）：**

土壌の排水性は当然重要だが，排水性を改善してコントロールできるのは重力排水が終わった後の pF 1.8 辺りまでである．一方，pF 1.8 の気相率は，特に重粘土質の作土層や緻密な耕盤層ではとても低く，作物の根呼吸にとって適切な土壌環境ではない．そのため，今度は土壌の物理性（水分含量を含む）を改善しなければならない．pF 1.8 より吸引圧の高い水を無くすためには植物を利用するしかない（もちろん土壌面蒸発もあるが）．さらに，直根性・深根性の植物を利用すれば，耕盤層を貫通する粗大間隙（亀裂や根穴を含めて）が発達して物理性（土壌構造そのもの）・排水性が変わると思うが，そういうことは干拓地を作るときに実施されているかもしれない．

**原口（座長）：**

実際に行われている．

**江口（農研機構農業環境変動研究センター）：**

そういうことが農地土壌でも広がればとても良いと思ったが，実際の水田や転換畑で実施されているかをご存じの方，教えて頂きたい．

**原口（座長）：**

おそらく 1 作捨て作りすることについて農家さんは抵抗があるから事例は少ないという印象だが ‥

**吉田（東京大学）：**

歴史的に見れば研究として脈々とそのようなことを提案してきてはいる．私もそのような試験の一端を行ったことがあり，冬作に 1 作入れると土壌構造が発達するという報文も書いている．ただ，農家さんに冬に 1 作入れてはいかがでしょうかという話をするが，現実的にはなかなか難しいという印象である．よほど地域全体で取り組むことにならない限り励行することにはならないと思う．

**江口（農研機構農業環境変動研究センター）：**

情報をありがとうございます．私の背景にある Photo 1 だが，真ん中の畝直下に暗渠が 1 本敷設されており，暗渠管直上の畝のブロッコリーだけはそこそこの生育であるが，暗渠から少しでも離れると生育が非常に良くないという圃場である．暗渠を入れたので排水性に関しては対策を取ったといえるが，畝幅 1 つ離れただけでほとんど効果がない．横方向の補助暗渠を入れる方法もあるが，入れたところでどのくらい効くだろうか．これは恐らく土壌の物理性（土壌構造そのもの）を変えなければ効果がないと感じた．このような圃場では，たとえ 1 作無駄にしてもそのあと 2，3 作は確実に収量が上がるというようなことがもし言えるならば，農家さんもご理解いただけるのかなと勝手に想像している．

**原口（座長）：**

予定時間を過ぎているので，そろそろまとめたいと思う．皆さんよろしいでしょうか．あらかじめ溝口先生にシンポジウムを閉めて頂こうと考えていた．溝口先生お願いします．

**溝口（東京大学）：**

はい．足立会長のあいさつのなかで，今回のシンポジウムのテーマは 23 年ぶりに現場の話とおっしゃっていたが，過去に例を見ないほど盛り上がった大会だったという印象がある．それはひとえに事務局の皆さんがそのようなテーマを選んでくださったこと，現場に近い講演者の方々を選んでくださったことによるものだろうと思う．それと同時に，新型コロナウイルス感染症のおかげ



**Photo 1** 暗渠排水管が敷設された水田転換畑（秋田県農業試験場 中川進平氏の試験圃場）.

でもある．通常開催であればおそらくここまで突っ込んだ議論はできなかった可能性がある．ポスターセッションにおいても，タイムラインですべてのポスターの質疑応答が閲覧でき，チャット機能を活用した議論がとても活発に行われていた．そのようなことから，今回の学会大会は，歴史的な転換期になったという印象を持っている．私はチャット文化に慣れているため，言いたいことをチャットに挙げていたらすべて取り上げられてしまった www．言いたいことを言えるこの学会の良いところとオンライン開催という新しい波をうまくミックスさせて，土壌物理学会が来年度以降ももっと面白い大会になっていくことを期待したい．

**原口（座長）：**

溝口先生，ありがとうございました．

後日，溝口氏からシンポジウム参加者へ下記情報の共有を依頼された．総合討論の後日談としてここに掲載させて頂く．

**溝口（東京大学）：**

改めて「土壌の物理性」の創刊号を読んでみた（https://js-soilphysics.com/downloads/pdf000/001000.pdf）．巻頭言はあの山中式硬度計の山中先生が書いていて，最後の結論 3 行には「このように私達は土壌を一つのテスト用の Material として取り扱う基礎的なものと，現地の Active な状態とを生産的に関連させて研究することを使命とすべきであり，また新しく発足したこの研究会の発展のための使命でもあると考える.」という記述がある．今回の学会大会のテーマ設定は，設立から 60 年を経て土壌物理学会が所期の目的に応えられたのかを反省するという意味で重要なイベントだったと思う．

（敬称略）