



農業生産の現場から考える土壌物理研究

竹内晴信¹

大それたことを仰せつかってしまった

一昨年、学会事務局が北海道に移管された際、新学会長に就かれることとなった石黒先生より副会長の打診を戴いた。従前より、「学会は真理の探求を極め、またそれを活かした技術を実現し、それらのエッセンスを後世に伝える場である」と認識していたのであるが、いざその場に入って舵取り役の補佐を仰せつかるとは思ってもみなかった。

本学会は、「土壌の物理的現象に関連する科学と技術の研究領域を対象にする」ことを謳い、様々な専門分野の研究者、技術者達が学際領域の発展を夢見て設立されたもので、60年に及ぶ歴史を持っている。日々、眼前の技術的サポートに振り回されてるくに論文も書いていない自分がいったい何をやって貢献すれば良いのやら、誠に困った事態になってしまった。

さて、学際領域ではあるけれども、土壌の物理的な性質や現象に関わる科学的知見を活用する場面として真っ先に考えられるのは、土木工学と農学・環境学の分野であろう。本学会を盛り立てておられる会員諸氏も多くが後者を軸足においておられる。なので、筆者の少ない経験の中から、農業生産の視点から見た土壌物理性に関わる技術を展望してみることにしたい。

作物生産上の問題

古いデータで恐縮だが、1960～70年代に国主導で行われた地力保全基本調査事業により、国内の農耕地土壌288.7万haの生産力阻害要因の抽出、集計が行われた。これによると、相当大きな阻害要因を持つ不良土壌（第III、IV等級）の面積は水田の38.9%、畑地では69.2%に達している。この等級区分は、以下に示す要因項目、すなわち、表土の厚さ、有効土層の深さ、表土の礫含量、耕耘の難易、※湛水透水性、※酸化還元性、#土地の乾湿、自然肥沃度、養分の豊否、障害性、災害性、#傾斜、#侵蝕の各項目毎にI～IVの評価を行い、最も低いカテゴリをもって当該土壌の生産力分級としたものである（※水田のみ、#畑のみ）。

北海道の畑地についてみると、第III、IV等級となる要因項目として、自然肥沃度、養分の豊否といった化学的要因で不良を示しているものが30%を超えて最も多かったことから、物理性不良が突出していたわけではない。しかし、近年の資材多投型農業生産体系の下では、こうした養分含量の不足は大幅に改善され、むしろ過剰蓄積の弊害が顕在化している。

一方、1979年から続く耕地土壌の実態を北海道内の広域モニタリング調査によりとりまとめた成果によると、水田、普通畑、草地とも近年（2010年頃）の作土深はその20～30年前と比較として差が認められない。心土のち密度、仮比重とも横ばいで推移しており、巷で言われる「近年土壌が薄く硬くなってきた」はデータの裏付けがない。逆に、この30年間の作土の全炭素含量は、水田で横這い、普通畑で漸減（-1.7%）、草地で大幅増（+2.6%）となっている。また、有効態リン、交換性カリウムなどの養分は調査した時代毎に大きな変化を示す例が見られ、基本的に増加傾向にある。易分解性の窒素は全炭素と同様に減少傾向であった。これらのことから、土壌が本来持つ物理的特性は長年維持されたままである一方で、炭素やNPK等の養分量は営農活動の影響を大きく受けていると考えられる。したがって、養分供給能の改善が図られた段階では、もともと不良な物理的要因の改善要望が表面化していくことが理解される。

土壌物理性の診断

それでは、土壌物理性の何をどの程度まで（どうやって）改善すれば良いのだろうか。

地力増進法（昭和59年法律第34号）では土壌の性質の改善目標が定められている。すなわち、普通畑では、作土の厚さ25cm以上、主要根群域の最大ち密度が山中式硬度計で22mm以下、粗孔隙量10vol.%以上、0～40cmの易有効水分保持能20mm以上、腐植含有量3%以上、であり、これらの達成に向け基本的な改善方策も示されている。

これを受け、各都道府県においては地域の実情を加味して各々独自の土壌診断基準値を設定し、改善を図っている。例えば北海道では、（水田で）すき床層の貫入抵抗値0.5～1.5MPa、収穫期地耐力0.25MPa以上、（畑地で）作土の

¹ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 十勝農業試験場

砕土率 70 %, 飽和透水係数 (cm s^{-1}) $-3 \sim -4$ オーダ, 耕盤層の判定指針 1.5 MPa 以上, などが独自の基準となっている。

蛇足ながら, ユニークな技術開発事例として, 「有機農業を行うための診断基準値」を紹介しておきたい。道立農試(現・北海道立総合研究機構)では, 有機物重点利用で露地野菜を栽培する際のほ場適性を, 窒素肥沃度水準と土壌物理性の両面から評価し, 土壌の粘土含量, 心土のち密度, 腐植含量によって 5 段階に区分した。これによると, 特別栽培でキャベツを栽培した場合に水準 I のほ場では, 慣行栽培比で 90 以上の収量が期待され, 水準 V のほ場では同比 30 の収量しか見込めない, というものである。水準 V に相当するのは, 例えば腐植 3 % 以下では土性 CL より細粒質でち密度 24 以上の条件である。

土壌物理性の改善に向けた取り組み

このように改善目標はある程度定量的に示されているのだが, 化学性と違ってこれらの基準値を簡単に達成することは困難なことが多い。大規模な土木的工事を行わない限り, あるいは土壌の構成要素そのものを変えない限り, その抜本的な改良が行えないという問題もある。そうではあるが, 政策的に公共事業が続けられてきたことにより, ほ場の地下水位は低下し, 作土厚が確保されるなど, 劣悪な条件の改善は進んだ。

営農対策としては, 近年は大型トラクタの利用が一般化してきている中で, ほ場管理作業の中に心土破碎が組み込まれるようになった。またレーザーレベラーの普及で, ほ場均平化も進んでいる。さらに, 適切な輪作体系や有機物の投入が行われていれば, 土壌炭素の消耗や踏圧による土壌の圧密固化への影響は小さいものと考えている。

このように, 外的, 内的努力により, 耕地土壌の物理性も改善が進んでいると理解されるが, 広域的に見るとそれはまだ十分な水準ではない。また, 不適条件(水分)でのトラクタ走行や耕起砕土によって土壌を練り返すことが微細孔隙の閉塞を招き透水性低下をもたらすなど, 引き続き解決を要する問題点も未だ多く残されている。改めてそれらを集約するなら, ①根域土層深の確保(拡大), ②硬さ(堅さ, 固さを含む)の改善, ③透排水性の向上, ④侵食対策, といったところになるろう。

私たちはこれから何をすべきか(自問自答)

農地の大規模化, 粗放化(=低コスト管理)が推奨され, 土木的工事だけが突出して進められるのなら, 決して「良い土」の創出にはならないであろう。化学性や生物性とのバランスが必要なことは言うまでも無いが, 環境への影響や土壌劣化に対して足を引っ張らないような改善対策を行わなければいけない。

今後の土壌改良の視点として, 例えば一度行った改良のアクションがどの程度の持続性を持つものなのか検証した例は少ない。心土破碎で形成した破碎孔の変化や, 練り返した土壌の物理的特性の時間的変化などを知りたい。もともと団粒化や亀裂の形成が見られない土壌で, 粗大孔隙を低コストで短期間に形成する画期的技術はできないのか。

リモートセンシングにより土壌物理性を広域的に把握する取り組みは, これまでも行われてきたが, 近年の急速に進歩した ICT の活用で, その精度や簡便性は大幅に高まっている。しかし, 何が作物の生育を規制しているのか, 単純ではないその関係を面的にひもとくことが重要と思っている。

近年勢いを増す気象災害による土壌侵食への対応も頭に浮かぶが, 土壌の改善だけでは対処できることではないであろう。

ところで, 現場においては, 決して生産性向上のみを追い求めているわけではない。環境保全の見地からは, 硝酸性窒素をはじめとした栄養塩類の土壌からの溶脱・水系への流出の定量評価が一通り行われた。生産管理技術としての硝酸性窒素流亡抑制は, 主に窒素施用の適正化と堆肥等有機物の施用上限量の設定で対処され, 降水量と土壌の保水性よりカテゴライズした土地の窒素環境容量も設定されている。地域の土地利用と水系の水質との関連性は多く検討されているが, それをどのように社会や生産技術に還元するかの提案が少ないように感じる。

近年は温室効果ガスフラックスの評価と排出抑制対策に関する研究も多く, 土壌への炭素隔離の研究も進みつつある。この部分では, そもそも農地への有機物投入量の絶対的不足があって, 農業生産の系内だけ見ても炭素の循環がうまくいっていないことの証左であり, 今後は研究面というよりも環境保全型の生産技術の実践に対するインセンティブを高めていく等の対策が必要であろう。

例えば透排水性の向上と栄養塩類の流亡, 土壌微生物の活性化と蓄積炭素の分解消耗に代表されるように, 生産性と環境保全機能にトレードオフが生じた場合, 何を優先するかの判断をサポートするような評価指標が必要になっているのかもしれない。

以上, 思いつくままに並べて何やら総説みたいな文章になってしまったが, 農業生産を念頭に置いた土壌物理の分野で, 会員諸兄の研究ネタ探しのきっかけとなってくれればもっけの幸いである。