

農業農村工学が取り組む「問題土壌」

三重大学大学院生物資源学研究所 教授 成岡 市

1. はじめに

弥生時代に端を発し、明治に命名された農業土木は、2007年に農業農村工学と呼び名をかえて、今、ストックマネジメントの意義が語られ、それに取り組む体制が求められている。しかし、農業生産の最前線は、農地（土壌）と農村にあることは事実である。

本稿では、近代農業土木の経緯をバックサイトして、農地土壌のなかでも農業農村工学が立ち向かわなければならなくなった「問題土壌」に焦点をあてる。そして、この問題土壌について、それに対する考え方を整理し、人間活動および自然と人間の共生を成立させるための指針と具体的対策を考えたい。

さて、地球上にはさまざまな土壌があり、ある種の土壌はそれを利用するうえで重大な問題を抱えている。問題土壌は、非常に特異な化学・物理・生物性が存在するために容易に生産のあがらない、あるいは作物生育すら難しい土壌である。これらの自然要因による問題土壌に加え、人為による農業、重金属、放射線物質などによる汚染土を含めることもある。これまで、代表的な問題土壌には泥炭土、塩類およびアルカリ土、酸性硫酸塩土壌、パーティソル、プラノソル、重粘質沖積土、熱帯の強風化土壌などがあり、問題視されていた。これからは、問題土壌の認識と対策について、東日本大震災（H23.3.11）後の復旧・復興策につい

ても連動して考える必要がある。本稿では「不良土壌、問題土壌、塩類土壌、酸性硫酸塩土壌」などについて若干の解説をするが、東日本の現場で対応すべき諸問題については他稿に委ねたい。

2. 不良土壌

不良土壌 poor soil とは、潜在土壌生産力の小さい土壌のことである。潜在土壌生産力とはある土壌が生物生産のための他の要因すなわち排水条件や傾斜などの諸条件とその組み合わせが最適であるときに発揮しうる最大の生産力のことである。土壌生産力の構成要素は通常土壌肥沃度とティルス（易耕性または耕起性；tilth）の2つと考えられていて、土壌肥沃度は一般的には養分元素の豊否あるいは障害物質の存否などの土壌の化学的な良否をさし、ティルスは耕耘の容易さや根の伸長に対する抵抗性といった性質に関する土壌の物理性の全体をさす。したがって、不良土壌とは土壌学の観点から、ある地域において土壌肥沃度あるいはティルスが劣っているために潜在土壌生産力が低く作物の生育、生産の悪い土壌のことである。日本では通常「酸性土、不良火山性土、泥炭土、重粘土、腐植過多土、鉄欠乏土、砂質およびレキ質土、苦土・マンガン・ホウ素・その他欠乏土、有害成分含有土壌」などを不良土壌としている。

3. 問題土壌

問題土壌 problem soils とは、非常に特異な化学・物理・生物性が存在するために容易に生産のあがらない、あるいは作物生育すら難しい土壌のことである。代表的な問題土壌として、泥炭土、塩類およびアルカリ土、酸性硫酸塩土壌があげられる。世界的にはバーティソル、プラノソル、重粘質沖積土さらには熱帯の強風化土壌なども問題視されている。

4. 塩類土壌

人口増加に対処するために、農地の拡大が必要とされる場合がある。しかし、現在未利用地あるいは低収量の農地は、その土壌条件に何らかの障害を抱えている問題土壌である場合が多い。その土壌が本質的に問題土壌である場合も多いが、地球環境問題の一つにあげられる土壌劣化は、人間活動が介在し、土壌を問題土壌として顕在化させるために生ずる土壌悪化である。塩類土壌（塩類集積土壌）はその筆頭に挙げられる。

塩類集積土壌 salt accumulated soil は、作物の根群域に過剰の塩類が集積している土壌をいう。また、土壌の塩類化 salinization とは、様々な要因で塩類が集積して作物生産や土壌環境に障害を与えるまでの過程のことをいい、その成因や立地条件によって「塩類土壌 saline soil、ナトリウム質土壌（ソーダ質土壌 sodic soil）、アルカリ性土壌 alkali soil、酸性硫酸塩土壌 acid sulfate soil」などがあり、農地開発を実施するにはこれらの現状を十分把握した上で対処する姿勢が望まれる。

(1) 塩類土壌の生成

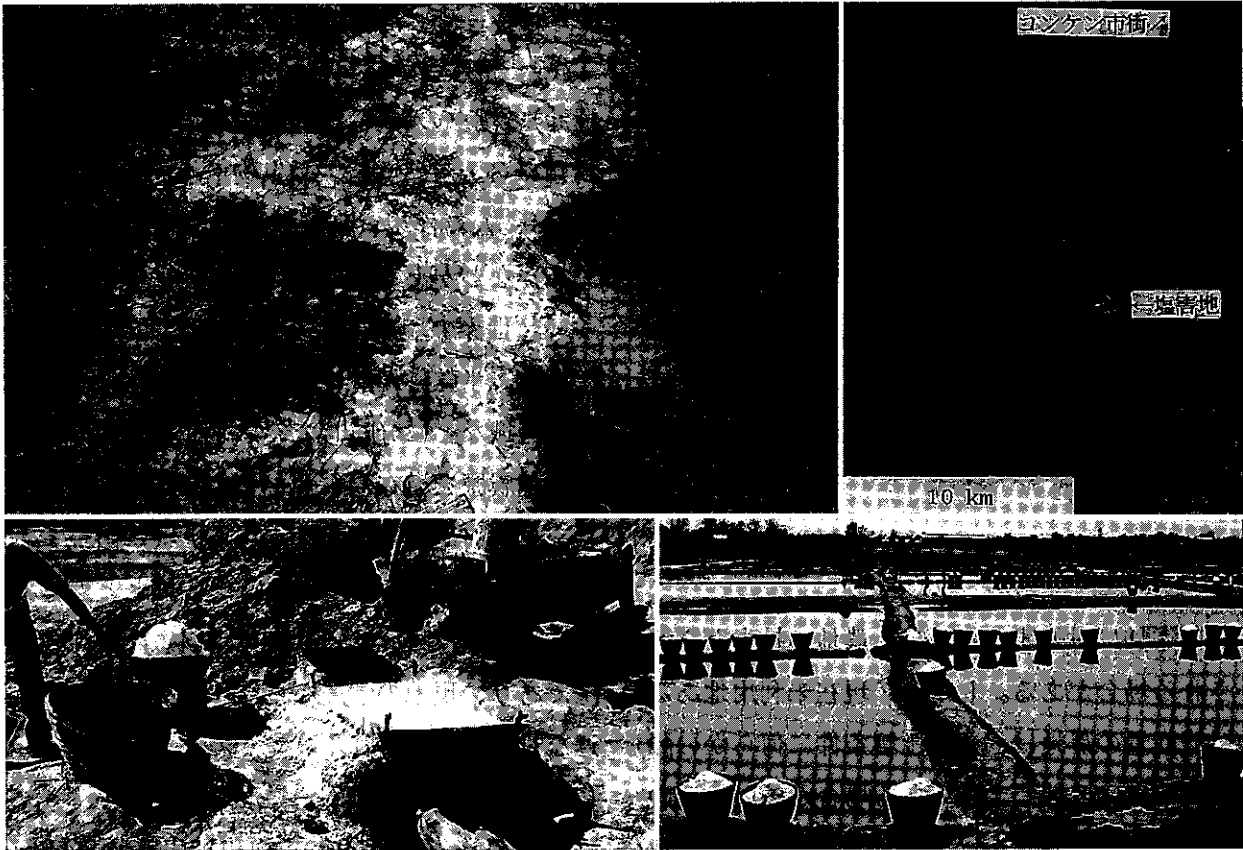
土壌が塩類化する原因には、鉱物の理化学的風化作用（塩類の溶出）、岩塩の存在（塩類の給源）、塩分を含む地下水である地下汽水の毛管上昇（塩類の移動・集積）、降水量と蒸発散量の不均衡（土

壌溶液の濃縮）、塩類を含む灌漑水（塩類の添加・集積）、排水不良（塩類の溶脱不全、土層の酸化・還元）、潮夕の影響（酸性硫酸塩土壌に強く関係、塩類や SO_4^{2-} の供給、微生物活性、土層の酸化・還元）、人為作用（土壌環境の秩序破壊、塩類の添加）などがあり、それらは複合している場合が多い。世界の塩類土壌の分布は、1億ヘクタールを越え、半乾燥地域、乾燥地域、沿岸地域、排水不良地域などに分布している。地質年代を経る長期間の履歴を潜在的に含むこともあり、現在は内陸、丘陵、山地であっても塩類土壌が出現することがある。また海水が他の有害成分とともに大量に農地土壌に入り込んだ場合は、短期間の問題発生であり、現地の営農ならびに生活者にとって迅速な対策が求められる。

(2) 塩類土壌の認識

米国農務省によると「飽和抽出液の電気伝導度 (ECsat) が 4mS/cm 以上、陽イオン交換容量 (CEC) に占める交換性ナトリウム率 (ESP) が 15% 未満、pH は 8.5 未満を目安とする土壌」をいう。含まれる塩類の多くは、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウムなどの塩化物、硫酸塩、炭酸塩などであり、主として電気伝導度の高い中性塩で構成される。年間降水量が 500mm 以下の乾燥地域に分布することが多いが、乾期・雨期が極端に分かれる半乾燥地域でも生じる。いずれにせよ塩類の濃縮が土壌中で発生しており、高い浸透圧のため植物の生育が阻害され、また同時に植物に必要な微量元素も吸収されにくくなっている。

ナトリウムイオンの割合が多いと土壌の物理性にも影響を与える。土壌粘土が分散しやすくなり、浸透水の移動にともなって土壌孔隙を閉塞し、その結果土壌の透水性・排水性が低下し植物生育に影響を及ぼす。強い降雨や洪水を受けて大量の土壌流亡が発生する。また高い浸透圧の影響で土壌



〔写真 タイ国東北部（コンケン県）でみられる地表面の塩類集積の状況。白い部分が塩（NaCl）の集積。植生群落部分には地表面の集積が見られない。〕

表面の水の蒸発量が低下するとともに、表層では高濃度の塩類集積が進行する（〔写真〕）。塩類濃度が高くなると、地表面に塩のクラストが形成されて水の蒸発が抑制され、植物の生育阻害を起こす。耐塩性の低い植物では、土壌を水で飽和させて抽出したEC値（EC_{sat}）が1mS/cmで生育阻害が起こる。4mS/cmを越えると一部の植物が生き残り、15mS/cm以上はどの植物も生育できない。耐塩性の高い作物・飼料作物・野菜の代表として、大麦、小麦、ライ麦、綿、テンサイ、パミューダグラス、アスパラガスなどがあげられ、適性作物の探索や品種改良の努力がなされている。

（3）塩類土壌の利用と改良

塩類土壌地域で農地開発を進める必要が生じた場合、当然考慮しなければならないのは、その地域の「①自然立地環境の現状、②当該地域の歴史的・社会的・経済的背景、③塩類化の進行過程」

などである。塩類土壌を改良する基本目的は、植物の生理機構に対する直接的障害の除去、土壌物理性の悪化の防止、健全な土壌微生物に対する悪影響の除去などであり、農地工学的対策は繊細かつ注意深く立てるべきである。具体的対策（例）には「①灌漑水の確保と除塩、②地下排水の制御、③盛土や高畝などによる土壌水の毛管上昇の抑制、④毛管連絡制御層の設置、⑤有機物の作土層への混入や根群域の耕起、⑥土壌マルチング、⑦耐塩性作物と適切な栽培方式の探索、⑧強い降雨や洪水流から農地を守る」などがある。

以上の対策例には農法的、工法的方法が混在しているが、各々程度の差こそあれ問題点も存在する。農法的改善に対しては開発地域の農家の積極的姿勢が必要であり、工法的改善に対しては経費が要求される。また地域経済が発展する一方で、塩類土壌が引き続き大規模に発生している現実も

ある。塩類土壌地域は、土壌、経済あるいは他の全ての点において取り残される可能性があり、極めて脆弱で自立が難しいところと認識しておくべきである。塩類土壌地域で農地開発を検討する場合に与えられる選択肢には、「①開発地区（開発する）、②観察地区（保留する）、④保全地区（開発しない）」などがあり、保全すべきか開発すべきか、その折衷案にするか、いずれも熟考して選択する必要がある。

5. 酸性硫酸塩土壌

(1) 問題の認識

酸性硫酸塩土壌は、アフリカ、東南アジア、南アジアの低湿地や沿岸浅海域に多く分布する。世界の酸性硫酸塩土壌の分布は、約1,200万ヘクタールに及ぶが、その大部分がアフリカや東南アジアの熱帯マングローブ mangrove（熱帯～亜熱帯の海岸、入り江、河口に生育する常緑の低木～高木の群落やそれを構成する植物の総称）地域に存在する。東南アジアに分布する酸性硫酸塩土壌地帯は潜在的農地とされるが、強酸性であるために放置されていることが多い。日本では、海面干拓地においてのみ問題視されていたが、近年、農地造成や宅地造成に加えて道路工事など大型機械化が進むにつれ、火山成由来の丘陵地土壌が酸性硫酸塩土壌となる例がみられている。

酸性硫酸塩土壌は、土壌中の硫黄化合物が干陸等により酸素が供給される環境下に置かれることで酸化し、硫酸が生成され、結果的に pH3 以下にまで土壌が強酸性化する。酸性硫酸塩土壌にはその生成過程により海成と火山成に分けることができる。

沿岸域や湖沼域で問題化する酸性硫酸塩土壌は海成由来であり、この土壌が強酸性化する原因物質は、沿岸浅海域等に堆積した土壌が強い還元的环境下で、有機物と海水中の硫酸イオンが大量に

存在することにより生成した硫黄化合物、主としてパイライト pyrite (FeS_2) である。これが酸化され硫酸が生成する過程、とくに初期的酸化過程では化学的酸化と微生物的酸化がともに関与し、微生物（鉄酸化細菌 iron oxidize bacteria や硫黄酸化細菌 sulfur oxidize bacteria）の働きが触媒として極めて大きな役割を果たしている。

一方、火山成由来の酸性硫酸塩土壌は、内陸部の造成工事が大型重機で大規模に行われることにより、火山活動で生じたパイライト等の硫黄化合物を大量に含んだ地下の第三紀地層を地表に露出することになり、海成由来の場合と同様に土壌が強酸性化し、法面管理の面で近年問題が顕在化している。

(2) 酸性硫酸塩土壌の生成過程

酸性硫酸塩土壌が生成される地形は、主にマングローブの生息する浅海海岸などがある。この水性堆積物中において、海水あるいは汽水による SO_4^{2-} および有機物の供給により硫化物の生成・蓄積が生じる。海水中には SO_4^{2-} が約 2,650ppm 存在し、この SO_4^{2-} は湛水下での嫌気的条件下で反応する。硫酸還元反応は、pH5～9の無酸素条件下では絶対的嫌気性細菌である硫酸還元菌により促進される。酸化還元電位では、 SO_4^{2-} が不安定化する Eh (-120～-180mV) の付近であるとされている。この酸化過程には、化学的反応による酸化（化学的酸化）と、微生物反応による酸化（微生物的酸化）があり、微生物的酸化は化学的酸化の触媒として働いている。そして、反応の遅い還元作用により、土壌の pH は徐々に上昇する。この段階になると、土中の硫酸は雨水により洗浄され、鉄は水酸化鉄として土中に沈積する。また、土中の貝殻などが風化分解されると Ca が土中に放出され、pH が 5 程度にまで上昇する。pH5 以上になると硫酸還元細菌が働くようになり、より還元方向へ押し上げる。この段階まで達

すると土壤改良材の使用も有効となり、農地として利用することが可能となる。

(3) 酸性硫酸塩土壤対策に関する展望

酸性硫酸塩土壤対策の今後の方向性は、現場における排水性の向上等の工学的な分野、土壤中の化学成分収支や移動性に関する化学的な分野、さらに植物を土地利用の指標として利用する微生物学的な分野が主流となる。酸性硫酸塩土壤を利用する場合は基礎的研究がいっそう必要となる。とくに土壤微生物に関する研究は多くの課題が残されており、酸性硫酸塩土壤の抱える問題点を解決する新しい方向性を生み出す鍵となる。

6. おわりに

本稿の冒頭、「農業生産の最前線は、農地（土壤）と農村にある」と述べた。この命題に対して、対処の難しい「問題土壤」を引き出した。読者にはどのように写っただろうか。

ところで、明治 33（1900）年に耕地整理法が施行され、そのとき上野英三郎（うへのひでさぶろう）は、近代農業土木の祖として、政府の耕地

整理事業（現 土地改良事業）を担う農業土木技術者の養成・研究開発・技術開発・高等教育機関の新設に尽力した。このときの耕地整理法は、「交換・分合による分散農地の集団化、圃場区画の標準化、用排水路や農道等の直線化による既耕地の利活用」が主要課題であり、また明治の近代的学制の施行によって「農業土木学」が水田農業体系を踏まえて成長し、欧米の科学技術を輸入しつつ教育研究が展開してきた。その時代、独自の水田農業体系が組み立てられたが、そのなかでも水利技術は行政組織の中で公共的な仕組みをもつ必要があった。

現在、農業農村工学会に設置されている研究部会には「応用水理、土壤物理、畑地整備、材料施工、農村計画、農業水利、農地保全、水文・水環境、農村道路、水土文化、資源循環、農村生態工学、農業農村情報」の 13 部会があり、明治の研究・教育・技術の水準を遙かに超えている。

この頭脳・技術集団は、必ずや東日本の復興に取り組むに違いない。

