

質問	回答
<p>世界にはどのくらいの数の土壌がありますか？また、日本にはその内どれくらいあるのでしょうか？</p>	<p>分類方法によりますが、米国農務省の分類では12種類です。日本には Inceptisol、Andisol、Entisol、Spodosol、Histosol があります。最初の三つがほとんどです。</p>
<p>国内にウクライナの土壌と似たような地域はありますか</p>	<p>ありません。</p>
<p>アフリカの土壌に鉄分が不足して貧血が多いとのことでした。貧血の原因には複数ありますが、特にアフリカの人種における鎌状赤血球貧血症の患者が多く貧血が多いことが知られていますが、患者でない健常者であっても鉄欠乏性貧血が多いということでしょうか？</p>	<p>貧血の割合の調査について人種の影響は加味されていません。遺伝影響を含め、同じ人種でも GDP によって違うという大まかなトレンドを示すものと思います。</p>
<p>土壌の維持のために農業者や行政でできる取り組みや期待することがあれば教えてください。</p>	<p>農業者は最も土壌の維持に配慮している方々でしょうし、行政の理想（みどり戦略など）とのずれを話し合っていく必要はあるかと思います。</p>
<p>土壌の「収容力」とは具体的にはどのようなことを指すのでしょうか？</p>	<p>どれだけ土壌が酸性化を緩衝できるのか、養分収奪、有機物分解という人為攪乱を許容できる能力があるかということの意味で使ったものです。</p>
<p>土壌は人工では作ることができず非常に貴重なものであるというお話だと思いますが、どういう条件、機能性を満たせば土と呼べますか？</p>	<p>植物を栽培できる有機物（動植物・微生物遺体の分解生成物）・無機物（岩石の崩壊・風化生成物）からなる培地を広く土と呼びますが、私自身は岩石と生物の相互作用によって自律的に生成が続くものを指しています。</p>

<p>アフリカの鉄分供給不足の対応策はどのようなものがありますか？</p>	<p>鉄に富む品種の開発などあるようです。</p>
<p>このところ農水省などが「緑肥」による土壌改良や窒素肥料の代替活用を推奨しています。緑肥の持つポテンシャルについてどうお考えですか？</p>	<p>緑肥にはメリット・デメリットあります。メリットは有機物の増加、物理性の改善です。ただし、マメ科の場合、土が酸性に傾くことは気を付けないといけません。降水量が少ない地域では蒸発散による水のロスが問題になることもあります。</p>
<p>日本って土壌が豊かだと思います。それでも、肥料の力は絶大です。肥料がないと収量が下がります。そのため、肥料なし農薬なし栽培である自然栽培や自然農法の実現性ってどう思いますか？家庭菜園なら良いかもしれませんが、ビジネスとしての成立は難しいと感じています。</p>	<p>さまざまな農法が存在しますが、お話ししたように土や気候、作物、農家の目標次第で農業の戦略は異なると思います。</p>
<p>アンモニア製造が高エネルギー消費だとするとアンモニアを動力利用に振り向けるのは悪手でしょうか？</p>	<p>アンモニアを燃やして発電する技術についてでしょうか。燃料用アンモニアの大量生産技術の開発が進められています。このアンモニアが自然エネルギーでまかないながら生産されるのなら、開発を推進したほうがよいと思います。そのついでに肥料も製造できるでしょうから。課題は、太陽電池のように昼と夜で出力が違うエネルギー源でアンモニアを製造できるのか、という点です。多くの化学反応は、同じ温度や圧力の条件を維持できないと途端に効率が悪化しますから。その問題を解決できる技術を開発できるかが、カギになると思います。</p>

<p>耕作適地がそもそも少ないのに、都市やレジャー施設で不適切利用するのはことに日本では、やはりたいへんにおろかな行為といえるでしょうか？</p>	<p>重要なお指摘だと思います。農業は「平らなところを耕したい」、都市住民は「平らなところで住みたい」、この矛盾をどう解決するかは、日本のように平らな土地が少ない国では、難しい問題です。栃木県の研究者に伺ったところ、非常に広大な農地をつぶして巨大なショッピングモールができ、その周囲に人家がどんどん増えてきたそうです。農業適地と住宅適地は同じだったりするのが厄介です。農地が潰れていくのは、食料安全保障上、望ましくないことですが、そもそも農業をやっている人も儲からないため、農業をやめてしまう人が多いです。農業をやっている人が十分生活していけるシステム作りがまず肝要なのかもしれません。アメリカやフランスのような農業国では、農家が生活していけるように政府から収入の補助があって、アメリカは収入の26.4%、フランスは90.2%に上ります。日本の農家は15.6%で、収入の補助が小さいです。インフラ投資の補助は大きいですが、農家の収入に結び付けていません。こうした問題を改善しないと、農地がショッピングモールに化けるのを止めることは難しいかもしれません。このあたりのことは「そのとき、日本は何人養える？」に詳しく紹介していますので、参考にいただければと存じます。</p>
<p>とても興味深い話をありがとうございました。石油がなければ江戸時代から変わっていないということに本当に驚きました。今考えている中で石油無しでもこうすれば食料を生産できるのではないかという方法がありますか？もしくはそういう研究をしている大学はありますか？</p>	<p>機械を使わない農業は現代では非現実的なので、なんとか自然エネルギーで大型動力を動かせるよう、技術開発を進める必要があります。現時点で可能性があると考えられているのは水素ですが、水素は液化が難しく燃料タンクがかさばり、重くなります。ですので、これも現時点では実用化が難しいです。太陽電池で発電し、リチウム電池で電気を貯めて大型動力を動かせればよいのですが、リチウム電池は石油と比べて18分の1（体積や重量あたり）しかエネルギーが貯められず、機械がすぐに止まってしまいます。もっと大量にエネルギーが貯められて軽量の充電電池が開発されるとよいのですが、まだそのメドは立っていません。石油のように軽量で大量のエネルギーをため込んだ燃料は他になく、現時点では、大型動力を動かせるのは石油だけです。と</p>

	<p>もかく技術開発を急ぎ、石油の代わりにするエネルギー源を開発する必要があります。このあたりのことは「そのとき、日本は何人養える？」に詳しく紹介していますので、参考にしていただければと存じます。</p>
<p>農水省は、「みどりの食料システム戦略」において 2050 年までに有機農業の圃場を 25%まで増やすとしています。食料安全保障の観点から見て、有機農業では生産性が落ちて食料自給率が更に低下する恐れがあると思いますが如何でしょうか？</p>	<p>化学肥料もほとんど輸入していますので、農業が有機かそうでないかに関わらず、食料安全保障は危機的だと思います。「みどり戦略」がなぜ急に策定されたのか、その理由は、もしかすると「化石燃料（石油など）を燃やして化学肥料を製造する」というこれまでのスタイルを続けることができない、という未来予想に基づいているのではないかと感じています。だとしたら、なるべく有機肥料を活用して、化学肥料の使用量を減らしていくことが求められるでしょう。ですので、有機肥料を使うように推奨することは、方向としては間違っていないと思います。ただ、日本の国土だけで全国民を養うのは幻想と言えますので、海外から食料や肥料、エネルギーを輸入し続ける必要があります。そのためには、日本は海外に商品売って外貨を稼ぐ必要があります。ということは、非農業が元気でなければなりません。非農業が稼いでくれないと食料や肥料が輸入できないからです。しかし農業が頑張らなければ、非農業の負担が大きくなります。農業も非農業も頑張って、補完し合うことが今後は大切でしょう。日本は当面、食料安全保障がきわめて脆弱な状態が続きます。諸外国となるべく友好関係を結び、戦争状態を作らないことが肝要になります。このあたりのことは「そのとき、日本は何人養える？」に詳しく紹介していますので、参考にしていただければと存じます。</p>
<p>省エネが必要とおっしゃっていましたが、優先度が最も高い分野はどこで、どの程度までできそうだと、先生はお考えですか？</p>	<p>いかにエネルギーを消費せずに済む技術を開発するかが重要かと存じます。日本は残念ながら日本の国土単独で全国民を養うことはできず、海外から食料や肥料、エネルギーを輸入しなければ国民を養えません。それらを輸入するには、海外に何かしら</p>

	<p>の商品を輸出して稼がなければなりません。その商品の製造にエネルギーを使わずに済む技術開発が必要ですし、そういった商品とはそもそも何だろう、といった視点の開発が重要になるかと存じます。一つの目安は、「世界平均」だと思います。石油の消費量は世界平均で1人当たり0.5トンになりますが、日本人は一人で1.5トンの石油を消費しています。世界平均の3倍です。天然ガスは2倍です。これら化石燃料の消費量を世界平均まで落としつつ、けれども世界に人気の商品・製品を作り続ける技術開発が必要です。エネルギーはただ節約すればよいというものではなく、私たちが生きていくためにどうやって稼ぐのか、という視点が重要です。エネルギーの消費を抑えつつ、いかに稼ぐのか。その視点が重要かと存じます。このあたりのことは、拙著「そのとき、日本は何人養える？」に詳しく紹介していますので、参考にいただければと存じます。</p>
<p>作物にもよりますが土壌の分析頻度は、どの位が適切でしょうか。</p>	<p>作物の種類、また分析の目的にもよりますが、一般的な作物の栄養診断との対応では、作物の植え付け前、または収穫後になります。作物の栄養障害や土壌病害などが疑われる場合は、障害・病害の出る前後あるいは障害・病害が出ているところと、近傍で病害の出ていないところでの土壌を分析されると良いでしょう。</p>
<p>小麦は、赤カビ対策が欠かせませんが、自然栽培などの食へのリスクはどの様になっていますでしょうか。</p>	<p>赤カビ対策の農薬散布との関係では、収穫物での薬剤残留性などを調べるなどリスク評価が必要です。一方で、化学農薬散布の有無に関わらず、全てのコムギに関して、赤かび病被害粒の選別等によってかび毒汚染を防ぐ手立てが必要になります。詳しくは農水省 HP をご参照ください。 https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/</p>

<p>栄養成分を吸収する効率は土壌の状態どのように変わりますか？吸収効率を高める土壌の条件は？また、栄養成分の吸収効率を高める研究例があれば教えてください。</p>	<p>作物が栄養を吸収する効率は土壌の乾湿や硬さなどに左右されます。水田では作土表層の酸化的な部位とその下の還元的な部位で、イネへの窒素供給に差があります。還元的な部位への窒素施肥は硝酸態ではなく、アンモニア態窒素で行います。アンモニア態窒素をイネの生育に対応させて分けて施用する施肥法は、イネの窒素吸収に関する古典的な研究にもとづいています。</p> <p>緩効性肥料からは土壌の水分や温度に対応して成分が徐々に溶出するので、追肥の労力を削減できるとともに、効率的に作物が吸収することができ、流出によるロスと環境負荷を低減できるので、広く利用されています。</p>
<p>本日お話しくださった、植物生理に興味がありました。『植物栄養学』に、本日の講演内容は掲載されていますか？また、植物生理学の参考書としてオススメの本は他にありますか？</p>	<p>栽培・施肥技術の実践に関しては、「品質アップの野菜施肥」（農文協）、「イネつくりの基礎」（農文協）、などがあります。</p> <p>植物生理学については、「テイツ・ザイガー植物生理学・発生学」（講談社）が、全ての分野をカバーし、かつ、程よい分量です。「植物の生化学・分子生物学」（学会出版センター）も全ての分野について詳しく書かれていて良いのですが、改訂版の日本語版が出ておらず、また分量はかなり多いです。</p>
<p>目視やリモートセンシング技術が挙げられていましたが、この他に非破壊分析で判定できる植物の栄養診断の方法はありますか？</p>	<p>目視やリモートセンシング（カメラ）以外の非破壊分析、となると、植物体にセンサーを密着させる、ということになるかと思いますが、植物体内の元素の過不足を非破壊で調べられる、植物体に取り付けられるセンサーは聞いたことがありません。</p> <p>2023年4月に、トマトの葉の裏に多機能センサーを貼り付け、症状が出る前に水欠乏や病原菌感染を感知できる、という論文が出ています。DOI: 10.1126/sciadv.ade2232</p>
<p>リモートセンシングによって得られた土壌肥沃度のマップを見たことがありますが、このマップの本質が分からなく、これ</p>	<p>青森県の水田を衛星画像で解析した例では、土壌有機物など地力の圃場間差がリモートセンシングで把握できるようになっています。秋田県や北海道十勝地方でも畑地で同様な解析が進んでいます。</p>

<p>は植物に必要な元素がある程度一様に存在しているということなのでしょうか？</p>	
<p>これから 100 年、人類は食料生産と環境保全を両立する肥料の適切な利用が可能でしょうか。そのための道筋は？</p>	<p>SDGs の目標には 21 世紀の世界が抱える課題が包括的に示され、一つの課題が複数の課題に連動しています。食料問題は人口問題、環境問題、南北問題でもあり、「目標 2：飢餓をゼロに」、「目標 12：つくる責任 つかう責任」、「目標 13：気候変動に具体的な対策を」や目標 1、3、10、14、15、16、17 等にも関係します。</p> <p>こうしたことを念頭にして食料生産と環境保全を両立する肥料のより適切な利用に取り組むことが課題解決への道筋であり、肥料の利用効率の高い栽培技術や、作物や家畜の食用にならなかつた残渣の肥料としての循環利用などが益々大切になります。これまで未利用であった資源の肥料利用に際しては、肥料的な効果とともに安全性の確保などが重要です。そして、これらを進める技術開発と社会政策が必要です。</p> <p>また、限られた国々に偏在する化学肥料原料が戦略物資にされたり、紛争・戦争による価格高騰や流通逼迫となったりすることに対して、安定確保のための外交や国際協力も必要です。</p>
<p>被覆肥料に使われるマイクロプラスチックが環境や人体に対する影響が指摘されていますが、その中で化学物質の吸着、生物濃縮につながるということも耳に入ってきます。一方で化学物質を吸着しやすいということは放出もまたしにくいように感じます。マイクロプラスチックと化学物質の吸着性、親和性を踏まえるとリスクについてどのような認識を持てば良いのでしょうか？</p>	<p>ご質問への直接的な回答をお示しできる状況にありませんが、下記資料 1 が参考になるかと考えます。資料 1 には以下の記載があります (数ページの資料なので、下記 URL から全文参照をお勧めします)。</p> <p>・「現状においてマイクロプラスチックの生態リスクは懸念レベル以下であるものの、これ以上継続的に排出し続けるべきではないとまとめられる。ただし、「(実際の環境中濃度よりもはるかに高い濃度で) マイクロプラスチックを生物に曝露させると有害な影響が見られた」、「環境中もしくは生物体内から検出された (が無影響濃度よりもはるかに低い)」、という情報自体は事実であるものの、これが () 内を省いた形で広がってしまうとイメージが大きく変わってしまう。」</p>

・「現状の生態リスクは懸念レベル以下であること、被覆肥料はマイクロプラスチックの排出源としてマイナーなものであること、を考慮すると、マイクロプラスチックのリスク低減策としての被覆肥料の使用中止は非常に効率が悪いと考えられる。もしも被覆肥料の使用を中止して追肥を繰り返すことを考えると、肥料効率が悪くなり肥料の投下量が増えてしまうことや、追肥のために何度も圃場を移動すると自動車使用による別のリスクも高まること（タイヤの摩耗はマイクロプラスチックの排出源としてトップ）も考える必要がある。肥料の投下量が増加することで、水系が富栄養化したり、脱窒による温室効果ガスが発生したりするなど、他の環境問題を引き起こす可能性もある。このように、プラスチックの使用中止だけでは問題解決にならない。」

・「それでは、被覆肥料は今後も何も問題なく使い続けて良いのか？この問いに対しては、リスクの問題とは切り離して考える必要がある。（中略）リスクがないからごみはその辺に捨てても良い、というわけではないため、水管理を徹底して圃場系外への流出を防止したり、排水口でなるべく回収の努力をしたりするなど、使う側の責任をきちんと負うことにまず取り組むべきである。つまりはリスクの問題というよりもプラスチックごみ問題として考える必要がある。」

・「関係者間での情報共有や、対話や意見交換を通じた相互理解・信頼関係の構築を行うリスクコミュニケーションが求められるだろう。これは一方的な情報提供ではなく、双方向的コミュニケーションが重要であり、説得のための技法という認識を持たないよう注意が必要である。」

また、資料2は、2020年における日本学術会議の提言であり、「農業の肥料をコーティングしている殻状のプラスチックも雨天時に水域へ供給されるが、その負荷や動態はほとんど明らかになっていない。ネックは、雨天時の汚濁負荷自体の実態把握が遅れていることにある。」となっていますが、念のため挙げておきます。

	<p>資料1. 永井孝志「被覆肥料に由来するマイクロプラスチックの生態リスクと排出量」(農業と科学。2022)</p> <p>https://www.jcam-agri.co.jp/book/data/2022%E5%B9%B4%E5%BA%A6/%E8%BE%B2%E6%A5%AD%E3%81%A8%E7%A7%91%E5%AD%A6%202022%E5%B9%B410%E6%9C%88_1.pdf</p> <p>資料2. 日本学術会議 提言「マイクロプラスチックによる水環境汚染の生態・健康影響研究の必要性和プラスチックのガバナンス」(令和2年(2020年)4月7日日本学術会議健康・生活科学委員会・環境学委員会合同環境リスク分科会)</p> <p>https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t288-1.pdf</p>
<p>新潟蒲原平野の最も低いふにゃふにゃの微高地の起源なんですか 自然堤防?</p>	<p>潟湖の汀線に形成された、非常に低い微高地です。</p>
<p>下水を肥料に結びつけるにはどんな工夫が必要でしょうか?</p>	<p>既にヨーロッパ諸国では丁寧なガイドラインを作成したうえで、下水汚泥の肥料化が進められているようです。ガイドラインの作成は非常に重要だと思います。それと合わせて、市民科学として「下水」処理の結果生じる「汚泥」と「土」のつながりの重要性について議論を重ねていく必要があるでしょう。</p>
<p>下水汚泥はカドミウムなどの重金属が多いと聞きます。この問題はどうか克服すればよいのでしょうか?</p>	<p>実際に下水汚泥を発酵させ、肥料化している事例が国内にいくつもあります。成分の継続的な計測と安全基準の明確化がなされています。その点を広く社会で共有することで不安や忌避感が緩和されると考えます。</p>
<p>大変面白いお話を拝聴いたしました。本日は主に愛知県の事例をお話を取り上げられましたが、同じような資料が全国各地に存在しているのでしょうか。それとも愛知</p>	<p>今から100年前は日本各地で都市化が進みました。とりわけ6大都市(東京、横浜、愛知、京都、大阪、神戸)では愛知県と同様にし尿処理の問題が生じています。そのため、各都市で都市問題としての研究や協議も進み、史料も残されています。都市比較も可能かと思います。</p>

<p>県が特に多く残っているということでしょうか。</p>	
<p>学際的で大変興味深かったです。肥料渡帳は近代日本も、人間が循環の内側にあることを感じられる大変興味深い資料でした。「うんこ」は大変キャッチーですが、興味を感じられている社会と自然の接点（注目点）は他にもありますか？たとえば薪、炭などの燃料、繊維、堆肥以外の畜産残渣など、そういった物事です。</p>	<p>社会と自然との接点として、「うんこ」と同様、「胃袋」というキーワードで研究しています。「屑」の世界にも興味を持っています。織物の産業史研究にも取り組んでいるのですが、市場に対応していない「屑繭」を使って手紬糸が生まれ、「紬」生産へとつながっていく歴史を研究したこともあります。昨今のアップサイクルの仕組みは、世の中にある様々な「屑」に付加価値をつける試みといえると思います。</p>
<p>下水汚泥の活用に関して、現在、東京都でも問題になっている PFAS 汚染の問題があると思いますが、如何でしょうか？</p>	<p>近世、近代と現代が異なるのは、①様々な合成物質が登場したこと、②下水道の整備によって、純粋な尿尿だけを収集することが困難になっていることです。PFAS 汚染の問題は、下水道に生活雑排水と共に様々な合成物質が流れ込むことによって懸念材料になっていると思います。そのため、下水汚泥の活用に関しては、そうした物質の含有量の計測を必須とするなどのガイドラインの整備が必要だと考えています。</p>
<p>市民科学プロジェクト『地球冷却微生物を探せ』はとても面白い取り組みだと思いました。私たちの地域は果樹栽培が盛んな地域ですので、果樹担当の先生と相談をして参加をさせていただきたいと思います。</p>	<p>ぜひ、ご参加をお待ちしております。シンポジウムでもお話ししましたが、果樹園のサンプルがまだまだ少ない状況ですので、非常に楽しみです。高校生の授業や部活の一環で参加されるのであれば、オンラインでの説明会や講義を行うことも可能ですのでご相談ください。</p>

<p>農業由来の N₂O は、日本、世界で年間どのくらいの量と想定されているのでしょうか？</p>	<p>農業由来の N₂O は日本でおよそ 2.5 万トン、世界ではおよそ 730 万トンとされています (2017 年の推計、NEDO 2021 年)。このうち、日本ではおよそ 3 分の 2、世界ではおよそ半分以上が「農耕地」由来、残りが「牧畜」由来です。</p> <p>(参考：温室効果ガス N₂O の抑制分野の技術戦略策定に向けて (NEDO) https://www.nedo.go.jp/content/100934250.pdf)</p>
<p>N₂O を吸収する土の特徴に、地域は関係ありますか？</p>	<p>現在のところ、N₂O を吸収する土と地域との関係は見えていません。北海道から沖縄まで広い範囲で N₂O 吸収土壌が見つかっており、どの地域でも一定の割合で見つかるようです。今後、もっとサンプルの数が増えれば、地域との関係も見えてくるかもしれません。</p>
<p>微生物は N₂O を何に利用しているのですか？</p>	<p>N₂O を利用する微生物は、N₂O を呼吸に利用しています。人間を含む酸素呼吸をする生物は酸素 (O₂) に電子を渡して水 (H₂O) に変換しますが、N₂O 消去微生物は N₂O に電子を渡して窒素 (N₂) に変換します。N₂O を利用する微生物の多くは酸素 (O₂) や硝酸 (NO₃⁻) など、N₂O 以外の物質も呼吸に利用できることが多いのですが、酸素が無い条件、N₂O が豊富にある条件では N₂O を呼吸に利用します。</p>
<p>N₂O 吸収微生物と地域や栽培作物との関係性、相関はありますか？</p>	<p>今のところ、地域との明確な関係性は見えていません。栽培作物に関しては、イネを栽培する水田の土で N₂O 吸収土壌が多く見つかる傾向があります。イネと直接関係があるかはわかりませんが、一部の N₂O 吸収微生物は水田土壌という環境で繁殖できるようです。</p>
<p>N₂O 消去微生物候補の探索についてのお話がありましたが、全国規模での調査は国内での取り組みとしては初めてかと思いますが、すでに論文化されているものはありますか？</p>	<p>このような規模で N₂O 消去微生物を探すことは、国内外を合わせても初めての取り組みです。国内の科学雑誌でプロジェクトの取り組みを紹介したものはありますが (下記 URL 参照)、査読付きの国際誌への論文は現在進めているところです。</p> <p>https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssm/77/1/77_34/_article/-char/ja https://katosei.jsbba.or.jp/index.php?aid=1696</p>

<p>N₂O 消去微生物は N₂ へと変化させるとのことですが、窒素は農作物の過繁茂の原因にはなりませんか？また、この微生物はどのような活用しようと考えてますか？</p>	<p>現在知られている N₂O 消去微生物は N₂O を還元して N₂ に変化させますが、N₂ は大気中に主に存在する気体なので、農作物の過繁茂の原因になるということは無いと考えられます。一方、もし N₂O を酸化して NO₃⁻ (硝酸イオン) や NO₂⁻ (亜硝酸イオン) に変化させる微生物が存在した場合、植物の栄養素として N₂O を再利用することができる可能性もあります。ただし、ここで使われる N₂O は、多くが農地に投入された堆肥や化学肥料に由来するため、施肥をコントロールすることで適切な栽培ができると思います。</p> <p>N₂O 消去微生物の活用方法としては、培養して細胞を増やした後、微生物資材という形に加工して農地に散布し、農地から出る N₂O の削減に活用しようと考えています。</p>
<p>果樹園で N₂O ガス分解微生物がない理由を知りたいです。また、施設栽培の果樹園で N₂O ガスを分解する微生物がいる可能性はありますか？</p>	<p>現在のところ果樹園では「N₂O を吸収する土」は見つかっていませんが、「N₂O を消去する微生物」は存在する可能性があります。果樹園で「N₂O を吸収する土」は見つかっていない理由として「肥料が多く投入されている」可能性が考えられますが、サンプル数が少ないためまだ明らかな理由はわかりません。また、施設栽培の果樹園にも「N₂O を消去する微生物」がいる可能性はあります。施設栽培と露地栽培で N₂O 発生や微生物叢にどのような違いがあるのか、非常に興味深いです。</p>
<p>微生物そのものより、易分解性物質を投入したほうが、分解力は高まるのでしょうか。また、プライミング効果はどれくらい持続するのでしょうか。</p>	<p>プライミング効果を発現させる微生物群は、従属栄養微生物[有機物を基質(エサ)として増殖する微生物]が主体です。そのため、易分解性の有機物量が少ない土では、従属栄養微生物はたくさん増殖することが難しくなります。したがって、微生物細胞そのものを接種するのではなく、基質(エサ)となる易分解性有機物を添加するとプライミング効果が発現し、腐植の分解が促進されるようになります。接種した微生物細胞も死んだ菌体になってしまえば、他の従属栄養微生物のエサになりますので、その点では微生物細胞を添加する効果もあるかもしれません。</p> <p>プライミング効果の持続時間は、土に添加する易分解性有機物の種類・性質・量によって変化します。グルコース(ブドウ糖)のような低分子の糖類の場合は2週間~1ヶ月</p>

	<p>月くらい、セルロース（植物の細胞壁の主成分）のような高分子の糖類の場合は添加量が多ければ半年以上持続することもあります。</p>
<p>易分解性有機物としてタンパク質を与えたらどうなるのでしょうか？</p>	<p>プライミング効果は、(1)易分解性の炭素源を得て増殖した微生物が、窒素やリンなど増殖に必要な他の元素を求めて腐植の分解が促進される場合（窒素採掘、リン採掘など）や、(2)添加された易分解性有機物を分解するために多量の酵素を細胞外に分泌することによってその他の有機物も同時に分解が促進される場合（共代謝）などがあると考えられています。タンパク質は炭素に加えて窒素もリンも含んでいる、従属栄養微生物にとっては魅力的な基質（エサ）ですので、(2)の共代謝によってプライミング効果が起こる可能性があるかもしれません。</p>
<p>今までの試験では、有機物（堆肥）は何を施用していますか。</p>	<p>プライミング効果の発現を誘導する易分解性有機物として私が使用している物質は、グルコース（ブドウ糖）とセルロース（植物の細胞壁の主成分）です。他にも、植物残渣そのものやバイオ炭、フェノール類など色々な化合物がプライミング効果の研究に用いられており、それら易分解性有機物の種類・性質・添加量と土の種類によって、様々な結果が報告されています。</p>
<p>適度な堆肥の施肥は、埋没腐食の分解を促進して窒素等の養分を出してくれるという事は理解できたのですが、それは長期的に見て、貯められていたものを消費してしまう（やがて失ってしまう）ことなのでしょうか。</p>	<p>ご指摘にありますように、それはプライミング効果が発現した際の炭素貯留における問題点の1つです。一般的に、腐植化した土壌有機物は暗色不定形の高分子有機物で、微生物の分解作用に対する抵抗性が高く、長期的に安定して土に蓄積（貯留）されていると考えられます。作物残渣などを土に投入してプライミング効果が起こると、その安定な腐植の分解が促進されて減少してしまいます。一方、新しく投入された作物残渣由来の比較的分解されやすい有機物が一部土に残ります。そうすると、炭素収支はプラス（炭素ロスよりも炭素投入量の方が多い）になっても、その中身は、長期的に安定な腐植から短期的に変動（分解）されやすい有機物に置き換わっているということになります。もちろん、作物残渣由来の易分解性有機物も時間とともに腐植化が進行して難分解</p>

	<p>化していきますが、その腐植化の進行速度よりもプライミング効果で失われる腐植量の方が多い場合、土壌有機物は次第に分解されやすいものの割合が多くなり、長期的な炭素貯留の効果は薄くなってしまう可能性があります。</p>
<p>土壌分析は重要かと思いますが、何成分を活用するのが良いのでしょうか。</p>	<p>作物生育のための土壌分析ということでしたら、一般的な土壌診断で用いられている項目（チッソ、リン、カリの濃度や陽イオン交換容量、土壌 pH など）や根張りの目安となる土壌硬度などがやはり重要と考えられます。土壌の炭素貯留量や有機物の分解量の推定のための土壌分析でしたら、土の全炭素・全窒素濃度、粘土の量、微生物量などが目安の項目になります。上記のように知りたい内容によって測定項目は変わりますので、農林水産省や全農で紹介されている土壌診断の HP、農研機構で紹介されている日本土壌インベントリーの土壌データベースや各種アプリの HP などをご参考になるかもしれません。</p>
<p>鉄バクテリアは湛水の進行した条件下で働くものだと思いますが、湛水初期の Eh がせいぜい+200mV 程度で起こると報告されている脱窒に対しての鉄粉の効果、鉄資材の種類の影響をお教えてください。</p>	<p>Masuda et al., 2019 において、水田土壌における脱窒反応はさまざまな細菌群によって協奏的に行われることを示しました。脱窒反応の後半のステップすなわち $\text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O}$、$\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ は鉄還元菌が大きく関わっていることがわかっています。これらは鉄還元と同じく電子受容体として NO および N_2O を利用している反応ですので、鉄資材の施用により影響を受ける可能性が考えられます。また、脱窒反応の前半のステップである硝酸→亜硝酸は DNRA 反応と共通したものになり、鉄還元菌が関わっていることが分かっています。こちらでも電子受容体として硝酸が利用されますので、鉄資材の施用により影響を受ける可能性が考えられます。しかし影響の詳細や、鉄資材の種類の影響については分かっていません。</p>

<p>水田での結果ですが、NO₃ 溶脱や NH₃ 揮散の値が大きすぎるような気がします、それは Urea 施肥のせいではないでしょうか？</p>	<p>今回の発表では硝酸溶脱およびアンモニア揮散の値を示していないのですが、中国で行った圃場試験の論文をご覧になったのでしょうか。中国では私たちが日本で試験を行っております新潟県圃場（コシヒカリ栽培）と比較して多くの窒素施肥を行い、水管理も異なっているため、NO₃ 溶脱および NH₃ 揮散が大きいのだと思われま</p>
<p>鉄還元細菌はバルク土壌のどの位置に生息していますか？又、彼等が固定した窒素はどのようにして植物に吸収されるのでしょうか？</p>	<p>鉄還元細菌は耕土層において幅広く分布しています。酸化層と還元層といった区分ですと、還元層により多く分布しています。鉄還元菌等の窒素固定菌は、固定した窒素を菌体の合成に利用します。固定された窒素養分は、菌体が死滅した後に分解してアンモニアとして土壌中に放出され、稲に吸収されると考えられます。</p>
<p>鉄還元菌の活性を高めるため、肥料用の鉄資材を投入するというのは有効な方法でしょうか？どのような資材であれば効果がありますか？</p>	<p>鉄の含有量が多いものでしたら効果が考えられます。施用の際に鉄資材を酸化させた後に漉き込むということを行っていただけたら効果が得られると考えられます。前作の稲わらを土壌に戻しておくことも重要です。</p>
<p>水田ならば、窒素以外の成分のバランスだけ整えれば窒素肥料はいらないということでしょうか？</p>	<p>どの程度の収量を期待するのか、どの品種の稲を栽培するのか、また、これまでの施肥の実績について考慮する必要があります。特に、これまでに多くの施肥を行っている土壌では鉄還元窒素固定菌の存在量が低下していると考えられます。そのため、窒素以外の成分のバランスだけ整えれば窒素施肥は不要であるとは全ての土壌において言い切れるものではありません。</p>
<p>鉄は散布後水田に溜まる（外界に抜けない）と思いますが、毎年鉄を施用する必要があるのでしょうか。</p>	<p>鉄が溶脱するのか、また、鉄施用の効果の持続性については現在調査中になりますが、外界に抜けることはほとんどないと考えられます。これまでの結果では、施用後少なくとも5年間は鉄施用の効果が持続しています。</p>

<p>水田を対象とした実験の紹介が主でしたが、そのほかの条件（畑など）でも鉄粉の効果は期待できるのでしょうか？</p>	<p>鉄還元菌は嫌気性菌ですので、水田のように嫌気的な環境が構築されうる条件でしたら効果が期待できると考えられます。</p>
<p>玄武岩などには、高濃度の鉄が含まれていると思いますが、この粉末を湿り気がやや多く、また、有機物の多い土壌に混ぜてしばらく経つと、CO₂吸収ではなく、逆に、CO₂放出が起こる、という現象は起こらないのでしょうか？</p>	<p>玄武岩中の鉄は主に輝石（FeSO₃）として存在しており、CO₂との反応では通常重炭酸イオンを生成します。土壌 pH が低下するもしくは大気の CO₂ 分圧が下がれば、生成した重炭酸イオンが CO₂ に戻る反応が進むことも考えられますが、質問で想定されているのは全く別の反応のように見受けられます。Fe と有機物を介した CO₂ の生成反応としてどのようなものを想定されているのか、逆に教えていただければ幸いです。</p>
<p>新鮮な破碎岩石と違って、畑土壌は風化し過ぎということなんでしょうか？</p>	<p>破碎の程度にもよりますが、基本その通りです。現在我々が実験に用いている 100 μm あるいはそれ以下の粒径の場合、比較的若い（風化していない）とされる日本の土壌でも、かんらん石や輝石、Ca 長石などの易風化性鉱物が残留していることはほとんどありません。残っているのは風化抵抗性の高い石英、K 長石、もしくは土壌生成の過程で沈殿したカオリナイトなどの粘土鉱物です。</p>
<p>趣味で熱帯魚の飼育をしており、魚種により塩基性の鉱物や酸性の鉱物を使用しています。ERW には、どこか水性生物の飼育に通じる場所があると感じたのですが、ERW の水田の水性生物、土壌生物への影響（良い影響、悪い影響）などの研究はありますか？</p>	<p>面白い発想からの質問ありがとうございます。水田を対象とした ERW の研究例が無く、今日本で急ぎ調査しているところです。水圏への良い影響として期待しているのは、強酸性の鉱山廃水が流れ込む河川への玄武岩散布による水質改善（pH 矯正）です。北海道大学工学部のチームが中心となって研究を進めています。</p>

<p>玄武岩は手に入りやすい岩石なのでしょうか？</p>	<p>日本各地の点在する表層地質であり、建材として採掘する企業も各地にあるため、比較的入手しやすい岩石と言えます。これに対して超塩基性のかんらん岩などは商業採掘可能な場所が北海道日高地方にしか存在しないため、入手に長距離輸送が必要になります。</p>
<p>土壌の母材ともなる岩石。この土壌への吸収スピードが気になりました。やはり、他の肥料よりも遅いのでしょうか？</p>	<p>化学肥料は溶解速度の大きさを追求してできたものです。玄武岩がいくら易風化性といっても肥料と比較すれば溶解は遅いです。それを「肥効の遅さ」と捉えればデメリットですが、植物が吸いきれない養分の溶脱が起きにくい（損失しにくい）と捉えればメリットです。最適な使い道を模索していきたいと考えています。</p>
<p>近年、施設栽培で炭酸ガス作用による増収技術が普及しています。炭酸ガス作用をした作物は、乾物重や収量は増えますが、養分含有率は下がります。もちろん、肥料は作物の収量に応じた量を施用しています。お米と比べると園芸作物の一人当たりの消費量は少ないと思いますが、野菜から摂れる栄養素が少なくなってくるかもしれません。岩石を破碎してできた資材の施用は魅力的です。農家の扱いやすい資材になれば、現場での試験をしてみたいと思いました。</p>	<p>励みになるコメントありがとうございました。炭酸ガスを利用して増収した作物の養分含有率が下がるというのは、重要な視点ですね。玄武岩の併用に価値があるように見受けました。近い将来現場試験に耐えうる資材として公表できるよう頑張ります。</p>

<p>ERWのようなカーボンキャプチャー技術を日本国内で普及させるには、J-クレジット等を活用した農業者へのインセンティブが必要と思いますが、このような取り組みは行われているのでしょうか？</p>	<p>まず岩石散布の炭素貯留効果および養分供給力について実効性や応用可能性を十分検討する必要がありますが、ご指摘の通り J-クレジット等の活用についてはチーム内で議論が進んでおります。今は取り組みを始めるために各省庁や関連機関からの情報収集を進めている段階ですので、今後も我々の活動にご注目いただければ幸いです。</p>
<p>アラニンやプロリンを人為的に足すことと、微生物生態系がそれらを増やすことは多分効果も全然違うと思いますが、後者を実現するインプットとはどうすればいいでしょうか？</p>	<p>私たちの研究では有機農法の太陽熱処理によってアラニン等の有機態窒素がどのように生じたか、詳細なメカニズムまでは解明できておりません。もし有機態窒素が微生物（群）の働きによって生じたのであれば、それらの微生物（群）をインプットすることで、土壌での有機態窒素の蓄積の増加を実現できる可能性はあります。もしくは該当する微生物（群）が入っている堆肥等の有機物の投入も営農の観点では現実味があると考えられます。</p>
<p>江戸野菜の一つ、コマツナの解析について説明されていましたが、このマルチオミクス解析は他の野菜、草花、果樹などの園芸作物または作物のどれに成功していますか？または、解析に向いている農作物などがあるのでしょうか？</p>	<p>これまでに私たちがマルチオミクス解析を実施している植物種は、コマツナに加えて、ダイズ、イネ、ニンジン、温州みかん、お茶になります。マルチオミクス解析をどのような目的で実施するか、どのような測定項目を加えるか等によって、解析に向いている農作物を考える必要がありますが、葉物のような土壌の影響を受けやすい作物は比較的シンプルなので解析ならびに結果の解釈がしやすいと感じております。また遺伝子発現などの観点で解析したい場合はゲノムが解読されている植物種を選定の方が解析しやすくなります。加えて、私たちのこれまでの経験上、サンプリング部分が最も煩雑で労力がかかるため、サンプリングしやすさも植物の選定で考慮に入れられると良いかと思います。</p>

<p>明らかにされた篤農家の匠の技の取り扱いの権限は、国が持つのが良いと考えますが、現状はどのような方向性にあるのでしょうか？民間企業が欲しがらる情報・技術であり、社会実装の段階で民間企業主体になりそうです。</p>	<p>今回の研究において、篤農家の匠の技自体の権限は篤農家にあります。一方で今回研究で明らかにした部分（太陽熱処理によって有機態窒素が増加することで収量増加など）は公的に発表しており、人類の叡智となっております。現在同様な研究を複数進めておりますが、まずは関係者内で共同研究契約等で秘密保持を維持した上で研究を進めており、研究の結果から特許出願等の知財化を検討した上で、公的な発表をすることで進めております。今回ご紹介させてもらった研究のみならず、将来的にデータ解析が農業分野で普及していく際に、オープンサイエンスと知財の権限について十分に議論される必要があると感じております。私たちも関係者へのフィードバックが担保される仕組みづくりを議論しており、そのキーとなるのはやはりインフォームド・コンセント型で進めることがトラブルが少ない方法だと現時点では考えております。</p>
<p>気候変動や化石燃料、水資源、肥料等の農業に関する懸念の中で、個別的で単純な土壌改良対策ではなく、生態学的原則の理解を通して、自然界の本来の力を利用した健全な土壌作りを農業者の実践的な取り組みとして指導する書籍がありましたら教えてください。</p>	<p>例えば、以下のような書籍は如何でしょうか。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 土のひみつ、食料・環境・生命、日本土壌肥料学会土のひみつ編集グループ編、朝倉書店 ISBN978-4-254-40023-6 2) トコトンやさしい土壌の本、藤原・安西・小川・加藤著、日刊工業新聞社、ISBN978-4-526-07714-2 3) まんがでわかる土と肥料、根っこから見た土の世界、村上敏文、農文協、ISBN978-4-540-15103-3 <p>他にも多数あると思いますが、以上、ご参考になれば幸いです。</p>
<p>DCD や LP の添加による、一酸化二窒素の削減については、全てとは言わないまでも、ある程度理解出来たと思います。一酸化二窒素として代謝されなかった窒素源は土壌に貯留されるのか、水系に流出して環</p>	<p>硝化抑制や緩効性肥料で一酸化二窒素として代謝されなかった窒素は、アンモニア態窒素として土壌中に残り作物に効率的に利用されています。アンモニア態窒素は硝酸態窒素と違い土壌粒子に吸着されるので、硝酸態窒素のような水系への流出も少ないことが知られています。</p>

<p>境汚染の要因となってしまうのか、気になったので教えていただけたらありがたいです。</p>	
<p>メタンガス排出削減において水管理が効果的と伺いましたが、水稲から陸稲への変換は検討されていないのでしょうか。</p>	<p>確かに陸稲ではほとんどメタンが発生しませんが、施肥によって一酸化二窒素は発生します。また一般的に陸稲は水稲より収量が低く降雨の影響を受けやすいです。一方、陸稲を干ばつの影響を受けにくく改良し普及させる方法も JICA がアフリカで進めています。</p>