

第 54 回土壤物理学会シンポジウム総合討論

柏木淳一・岩田幸良・中辻敏朗（シンポジウム事務局）

Discussion at the 54th symposium on soil organic matter dynamics and soil fertility improvement in upland field

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：加藤英孝氏、三木直倫氏）の様態を、今後の研究活動の資料として掲載する（Photo 1）。なお、総合討論の概略の記録を目的としたため、著者らの判断により、発言内容の一部を省略、または要約させていただいたことをご了解願いたい。

座長（加藤）：

会場から沢山の質問が寄せられているので、それに対する回答を頂いた後に、有機物動態についての総合討論を進めていく。まず谷先生への質問、有機物に肥料の効果を期待するか有機物（炭素）蓄積効果を期待するかは一般的にC/N比で論じられていることが多いのだが、この効果判別指標に関するお考えをお聞かせ願いたい。

谷（帯畜大）：

C/N比は重要な基準ではあるが、十勝の堆肥は2, 3か月の堆肥化過程でC/N比はおおよそ20以下に落ち着いてくる。ただその状態では木質や草本の成分が残っており、腐熟化していないという状態である。養分補給なのか養分の動態をコントロールする成分の補給かを利用者が判別するには、腐植化というパラメータを取り込むべきなのではないかと考えている。

安西（JA全農）：

その通りだと思う。肥料としてか、あるいは土づくり資材として使うのかの目安としてはC/N比30くらいがある。さらに、窒素含量が1%以下、あるいはECが2mm/S以下では、土づくり資材として継続利用を勧めている。いくつかの指標を用いているが、炭素貯留やバイオマス量を高める場合、腐植化度を指標とすれば、具体的にどのくらいが目安になるのか教えていただきたい。

谷：

腐植化度は、ピロリン酸ナトリウムで抽出した液の色の濃さを見ているだけのパラメータで、腐植酸の量と黒さの両方を反映している。本来の腐植化度において黒色の増加だけで評価を行うことは危険であるが、目安にはなると考える。十勝の現場では、パーク堆肥だと堆肥化過程で5か月を過ぎると急に腐植化度が上がる。腐植化度30あたりを超えてから急激に高くなり80付近まで到達する。実際に使う現場の意見も聞くことも重要であり、十勝農協連の岡崎さんにもデータベース化の提案をして

いる。十勝管内もしくは全国の堆肥について、土壤改良効果を数値化しなければならないと思うが、私の経験では、30～40を過ぎると黒味を増しているなどという感覚を持っている。

座長（加藤）：

道総研中央農試の塚本さんから谷先生へ。有機質資材の本来の特性を把握し、効果を最大限に発揮させるための施用技術の構築に向けた取り組みについてご紹介ください。

谷：

有機資材には色々なものがあるが、施用に当たっては、いつ、どれくらいの量を、どの深さに、どのタイミングで入れればいいのかということを中心に計画を立てないといけない。堆肥からどれくらいの窒素放出があるのか、リンの肥効をどれくらいに見積もるのかといったことを総合的に判断しないと、最終的に環境保全の問題、減肥の可能性についてもつながらない。それから実際の圃場では散布ムラの問題もあり、農業機械などの技術的な向上も必要である。生産者が有効に利用するためには、有機物の価値を評価してどのように施用するかの問題について、大学や試験場などの研究協力が必要である。

塚本（道総研）：

試験場で研究している立場では、生産者に技術を提供することが重要となる。有機物の種類による施用効果の違いのような基礎研究的な成果を、私たちが農家向けに適用するには、有機物の細かい特性よりも、いつどうやって働き込むのかといった利用に即した情報を提供する必



Photo. 1 会場風景

要がある。基礎的研究部門である大学と現場に近い試験研究機関との情報交換の重要性を認識した。

座長 (加藤) :

次に北海道大学の石黒さんからの質問。①カルシウムと腐植の結合メカニズムについて、②堆肥化が進むと堆肥中リン酸の肥効率が高まる理由、③分解反応と溶存有機物 (DOM) の CO_2 発生との関係、について質問が寄せられている。

谷 :

カルシウムに関しては、腐植に対する吸着選択性が強く、また吸着エネルギーが極めて高いために水溶性として出てこないという現象が生じる。作物は水溶性のカルシウムをマスフローによって吸収するが、腐植含量によっては、吸収できない形になっている場合があるということを示すデータで示した。これは銅の挙動と非常に似ていて、結合距離が近い等の原理でエネルギーが高く、単なる交換性としては評価できないということである。

石黒 (北大) :

カルシウムと腐植の結合は、単なる静電気力ではないということ、配位子交換とかでしょうか。

谷 :

配位結合ですとイオン交換できないのでそうではない。やはり結合距離の問題や腐植との親和力が非常に強いことである。銅・亜鉛は確かに配位結合の影響が強いと思う。②に関しては、堆肥化するとリン酸の大部分は無機態リン酸になるという最近のデータがあり、牛糞堆肥では85%は無機態リン酸であり、その半分は水溶性、半分はク溶性になっている。化学肥料では水溶性リン酸が土による吸着と作物吸収で競合するが、堆肥の場合は、圧倒的に、土と競合しないためにリン酸の利用率が100を超えるという結果が出てくる。吸収しやすい形態で含まれていることが一つ。更に堆肥化に伴って有機配位子が出てくるため、リン酸の土壌吸着をかなりの割合で抑えてくれる。この二つのメカニズムで堆肥化が進行するとリン酸の肥効率が上がると考えている。

石黒 :

堆肥からまずリン酸が出てくるということか。

谷 :

堆肥からもともと吸収しやすい形態のリン酸が出てくる。生堆肥 (未熟堆肥) と (完熟) 堆肥との決定的な違いとして、生堆肥のリン酸は有機態リン酸 (植物・動物由来) であり、堆肥化の過程でマグネシウムアンモニウムホスフェイトへと変化していくと言われている。その吸収しやすい形態のものが堆肥にあり、土壌と直接接しないことが一つの理由だろうと思われる。

石黒 :

黒ボク土だと接しやすいと思うが、腐植によってカバーされているということか。

谷 :

物理的にカバーされています。化学肥料では水溶性の成分がそのまま土壌に混和されるのに対して、堆肥だと

混合された状態で、土壌中では堆肥の断片も観察される。そこに根が入り込んで、そこから根が吸収するということ。腐植がバリアーとなり、化学的、物理的にブロックしているという風に考えてもいいのではないかと思う。

石黒 :

③の DOM (溶存有機物) の生分解性について、DOM も腐植由来であると思うが、 CO_2 の発生との関係についてはどうか。

谷 :

土壌中の DOM の成分を計測すると、疎水性酸であるフルボ酸が主体となる。これは土壌中での分解反応や代謝合成を受けて生成した腐植の一部が分配平衡によって水中に溶けだしてきたものと考えていいと思う。つまり、分解代謝産物の一部が水に分配されたと考えている。

石黒 :

それと二酸化炭素の発生はどう関係するのか。

谷 :

私は精通していないが、DOM の成分の多くが CO_2 放出の基質になっているというデータもある。

座長 (加藤) :

森林総合研究所の小林さんから谷先生へ。有機物の機能を考える上で一般に用いられている $0.45 \mu\text{m}$ 以下は溶存という定義をどのように考えているのか。サイズによる分画をする場合に、他に意味のある境界があるか教えていただきたい。

谷 :

土壌化学では、 $0.45 \mu\text{m}$ 以下は溶存態、 $0.45 \mu\text{m}$ 以上は非溶存態という分け方がなされている。実際に $0.22 \mu\text{m}$ や $0.025 \mu\text{m}$ の濾紙では、特に土壌溶液を用いるとゲル状物質が補足され、確実に TOC (全有機炭素) が下がる。DOM の多くはメタルとかなり結合した状態で土壌溶液中に存在し、特に鉄との親和力が非常に強い。そうした物質が本当に $0.45 \mu\text{m}$ で溶存態と非溶存態に分画できるかはまだ大きな問題である。現状は、データの比較を行う上で $0.45 \mu\text{m}$ を受け入れざるをえないと考えている。

小林 (森林総研) :

鉄とかの輸送に関して $0.45 \mu\text{m}$ で分けた場合と $0.025 \mu\text{m}$ で分けた場合とで違いの例はあるのか。

谷 :

鉄と結合した有機錯体は $0.45 \mu\text{m}$ の場合に比べ $0.025 \mu\text{m}$ では濾液の濃度が確実に下がる。供給源として土壌から抽出された形態と、河川や湖沼に含まれている形態が類似しており、土壌系から河川・湖沼への鉄移送があると考えている。しかし、分析上では $0.45 \mu\text{m}$ の基準に課題があると考えている。

座長 (加藤) :

東京大学の西村先生から谷先生への質問。1点目は、発酵が進んでいない生堆肥をかなり使っているという話だが、堆肥が未熟のための生育不良や病害のようなものが生じていないか。2点目は、腐植物質の多少が、例えばリン酸保持に影響すると思うが、銅や亜鉛の土壌中の

動態を考えた場合、腐植物質は土への吸着促進に効くのか。それとも移動を促進する方向に効くのか。

谷：

家畜糞尿を発酵させるには莫大な副資材が必要となるため、現状では、飼養頭数の多頭化に伴って排出される多量の糞尿をすべて堆肥化させるのは無理な状況にある。生堆肥を秋まき小麦の収穫後に散布して鋤き込むと、酸素がある状態でなければ、異常還元が生じてしまう。また生産者から必ず出てくる問題は堆肥に混入した種子による雑草の発生である。この問題に関しては、発酵させた方が雑草の発生は低下するのは明白であるが、現状においては、(堆肥散布後に)土の上で発酵させるという方法しかなく、雑草の問題、病害虫の問題(O157を含む)等に対しては、好気条件で速やかに発酵させるのが適切であると考え、堆肥と銅・亜鉛の実験も行ったが、銅を堆肥の中に入れて溶存有機配位子の影響を分析した結果、銅の移行性が高まるという結果が得られた。

竹内(道総研)：

生堆肥(未熟堆肥)の影響について、十勝管内では生堆肥が多いため、現場で使わなければならない状況となっている。十勝農試で堆肥の腐熟度の違いによって、どういう影響が出るのか試験を行っていたと思うが、公表できる情報はあるだろうか。

谷藤(道総研)：

十勝農試では飼料用トウモロコシを対象として、生堆肥と腐熟が進んだ堆肥を施用し、肥効を検討しているが、まだ整理中であり公表できる段階にはなっていない。しかし、これまでの経過から見れば、雑草については明確な差はまだ見られていない。病害についても今のところ特に悪い結果は出ていない。ただ、未熟堆肥の施用は推奨できる方法ではないので、デメリットに関しては随時情報を提起していく。

座長(加藤)：

北海道農業研究センターの岩田さんから竹内さんへの質問です。堆肥といっても生に近いものから完熟堆肥まで様々なものがあるが、北のクリーン農産物表示制度(YES!clean表示制度)で堆肥の品質についてはどのように扱っているのか。

竹内：

YES!cleanで想定しているのは、腐熟が進んでいる牛糞麦稈堆肥である。北海道としては、堆肥はきちんと腐熟したものを施用してくださいという立場をとっている。堆肥の種類(畜種の違い)に関しては、乾物重もしくは窒素換算量でお互いに換算し対応している。

岩田(北農研)：

完熟堆肥を使わなかった場合、YES!clean表示制度は受けられないか。

竹内：

調査票にどんなレベルの堆肥を使ったかについての項目はないので、堆肥を使用したと書いてあれば適正な完熟堆肥を使ったと考えざるを得ない。

座長(加藤)：

ズコーシャの丹羽さんから竹内さんへ。北海道の普通畑土壌での腐植含有率の減少を報告されたが、深耕による下層土の作土への混入の影響もあると思う。これを踏まえた場合、腐植(面積当たりの量)はどの程度減るのか。

竹内：

深耕によって薄まっていくという影響はかなりあると思われる。報告例では炭素濃度を測定しているため、炭素の量がどの程度減っているのかは把握できていない。関谷さんの発表の中で、その点で少し触れられていたので、減ってはいると思うが定量的に断言できない。

丹羽(ズコーシャ)：

難しいところもありますが、谷先生はどう思われるか。

谷：

深さ5cm毎のデータをみると下がっていると思う。しかし、多点でデータを集積するのは困難であり、少しずつ蓄積するのが望ましい。減っていることは間違いないので、どうやって増加させるかが大事である。

座長(加藤)：

東北農業研究センターの土屋さんからの質問。窒素肥沃度の測定について、北海道の水田では湛水培養窒素のみで評価しているが、熱水抽出性窒素で評価できないのか。

竹内：

水田の場合は、湛水培養で窒素肥沃度を評価し、畑地の場合は、畑地条件で培養する方法もある。しかし、畑地の場合は培養窒素と熱水抽出窒素を比較検討した結果、簡便な熱水抽出窒素の再現性が良いために、畑地では熱水抽出窒素を採用した。水田の場合は両者の関係性が良好ではないために、熱水抽出窒素は用いていない。

土屋(東北農研)：

私の場合は両方用いているが、湛水培養の方がいい場合もあり、また熱水抽出の方があっている場合もある。

座長(加藤)：

北海道大学の波多野先生から竹内さんへ。①有機物の投入に伴ってカリウムの過剰投与が生じることについてどのような対策を取っているか、②堆肥の質に配慮した施用量の策定は可能か(堆肥診断のような仕組み)、③堆肥施用を地球温暖化の緩和技術として登録するためには不確実性評価が不可欠だがどうすればいいと考えているか。

竹内：

カリウムの過剰については、牛糞堆肥のカリウム含有率は高いため、指摘の通り連用に連れて蓄積され易い。草地では大きな問題となっており、定期的に土壤診断を行った結果、施与量を抑えていくという対処を取っている。畑地では、カリウム施肥そのものを行わないということでも対処するしかないと思われる。堆肥の質について、まだ道の指導の中では質をきちんと評価してはいない。谷先生と同様に、堆肥の質に応じて、どれだけの量をどの部位に施用するのかといったマニュアル化が必要と思っている。地球温暖化の緩和技術については、まだ

そういうレベルまで現場が追い付いていない。堆肥を施与すれば良いという事は、だいぶ認識してきている。昨年度まで帯広市が音頭を取って、堆肥を施与し地球温暖化緩和に役立てようという取り組みもあったが、現場に理解してもらうのが大変であった。個々の現場の技術ではなく政策の面で誘導することが必要であると思う。

座長 (加藤) :

赤坂先生の講演に対して、全農の安西さんからの質問です。基盤整備事業における客土後土壌の腐植含量5%という目標自体を見直した方がいいのではないかと。客土後の土壌の腐植含量が3%近くあったとしても5%にするには、10a当たり20トン近くの有機物資材を投入しなければならぬ計算になる。客土資材が黒ボク土であれば腐植含量は一般的に5%以上であり問題ないが、客土後の有機物施用量は締め固めた土壌の理化学性改善を目標に提案されている10a当たり4トンを基本として、原土の理化学性に応じて加減するのが良いのではないかと。

赤坂 (北海道農政部) :

現状では、目標腐植含有率5%を土壌改良資材の投入で達成しようと考えてきたが、5%の基準についても試験場などと相談して検討しても良いと思われる。

安西 :

腐植含量5%以上の土壌というと、一般的に、黒ボク土(火山性土)または泥炭等の有機質土しかない。普通の低地土は2~3%くらいであり、客土したものを何でもかんでも5%までに持って行く基準はかなりきつと思われ、そうしなくても生産性という面ではダメだということにはならないと考えられる。

赤坂 :

検討段階では、指摘の視点で議論をしていないと思われる。5%の意味をもう少し勉強すべきであると考え。

座長 (加藤) :

東京大学の塩沢先生から赤坂先生に対しての質問です。北海道の畑地における暗渠排水施工率ほどの程度か。

赤坂 :

暗渠排水施工については、過去に基盤整備を行っていない圃場での暗渠施工と、施工後10年~15年経過しての再施工が並行して実施されている段階である。詳しい数値は覚えていないので後日お伝えしたい。

塩沢 (東京大) :

畑地の暗渠排水は北海道の農地整備の特徴だと感じていた。また、排水改良が有機物を減少させる一因ではないかと考えられるため、こういった質問をした。

座長 (三木) :

全農の安西さんから関谷さんに対しての質問です。現地試験に用いた多湿黒ボク土と黒ボク土の腐植含量はどのくらいか。多湿黒ボク土の方が高いとすれば、乾燥したことによって腐植分解が進んでCO₂フラックスが増加したのではないかと。

関谷 (酪農大) :

CO₂フラックス測定に用いた黒ボク土の表層(0~

22cm)の炭素含量は32.2g/kg、多湿黒ボク土の表層(0~30cm)は67.8g/kg、黒ボク土の次層(22~34cm)は9.99g/kg、多湿黒ボク土の次層(30~50cm)は71.6g/kgとなっており、多湿黒ボク土では次層の方が高いという結果となった。

座長 (三木) :

東大の西村先生からの質問です。畜産廃棄物が少なからず使用されていると思うが、飼料中の化学物質(銅・亜鉛・抗生物質)の堆肥への移行や堆肥施与に伴う農地への投入については問題になっていないのか。

竹内 :

明快な解答はできないが、一つの例として、豚の餌に含まれている亜鉛がかなり高く、豚糞堆肥中の亜鉛の濃度が高いというデータがある。その他に、餌の中にはホルモン物質も存在しているようだが、人によってはそういうものを使うと発酵がうまくいかないという農家もいる。しかし、データとしてまだ見たことはない。

座長 (三木) :

岡山大学の森先生から皆さんに対しての質問です。土にフレッシュな有機物を混ぜるとかえって全炭素が減るため、畑地に有機物を投与してもなかなか土壌有機物量は増えないということが自分の理解であった。有機物投与によって増えると思われて良いのか。

関谷 :

プライミング効果といって分解しやすい有機物を鋤き込むと、本来あった土壌中の有機物の分解が促進されるという現象がある。しかし、地球温暖化緩和のために土壌中へ炭素を貯めようとする場合は、そのことが考えられてこなかったと思われる。どういう状態の有機物を投入するかによってプラスマイナスは変化してくるが、マイナス分を見越した量の炭素を投入しなければプラス効果は無いと考える。

谷 :

先ほど、スペクトルでも見せたが、何でもかんでも入れれば良いということではない。植物遺体をそのまま畑作土壌に入れるとセルロースの供給過剰であったり、C/Nのバランスが崩れたり、必ずしも良い事だけではない。日本古来の堆肥化によって、土壌固有の腐植物質に近いものを供給していくことで、機能と共に量を確保できるという考え方が大事であると思われる。質の問題が重要である。海外の調査において、不耕起栽培を実施しているチェルノーゼムを分析したところ、土壌の有機物量は確かに増えているが、質についてはセルロースやリグニン構造ばかり残っており、スペクトル等を見ると全く元のチェルノーゼムとは違った物質になっていた。量をキープしたのはいいが、構造が破壊されており、肥沃度を高めるという目的に合致していない一例である。土壌のクオリティをきちんと維持するためには、質的な評価が重要になってくると考える。

座長 (三木) :

北農研センターの永田さんから皆さんへの質問です。どのような有機物管理が土づくりのために有効・必要だ

と考えているのか。これまでの取り組みや現場を見て感じていることがあればお聞かせ願いたい。

岡崎（十勝農協連）：

本会では土壌分析をしており、十勝における過去からの膨大な土壌分析データが蓄積されている。その結果から、化学性に関してはリン酸やカリウムが蓄積する傾向にあるが、化学性で問題がある畑地はそれほど見られない。現在の土づくりの問題は、有機物の減少や、耕盤層の形成といった土壌物理性に関することが増加してきている。耕盤層を破壊するためにどのような手法があるのか、排水性を良くするためにはどのような方法がいいのか、今後、検討を進めていかななくてはならない課題であると思われる。

永田（北農研）：

空知や石狩の水田を中心に見る機会が多かったが、有機物投入による土づくりに対する意識が低いような感じがした。今回は畑地を中心とした話題であり、実際に現場でどのようなことを主眼とした土づくりが行われているのか、具体的に知りたいので質問した。

赤坂：

北海道農政部では地球温暖化対策を検討しており、その中に農地総合排水対策検討ワーキングというのがある。そこでは農地の排水対策を総合的に考えている。降雨により供給された水は、その70%ほどが表面水として排除され、25%は暗渠排水施設を通じて流れていくだろうと思われる。残りの5%は地下浸透となると思われるが、農地の排水性を高めるための土壌有機物の利用について検討している。工事において有機質資材を投入することで、土壌構造の変化による耐食性の増強、団粒構造の発達による排水性の向上ということも期待している。有機質管理は難しいが、それをうまく利用することで、北海道が抱えている湿害とか土壌流亡の問題に対処すべく検討している段階である。

竹内：

北海道では施肥技術はかなり細かく、化学肥料を前提とした場合はkgレベルで設定できるような技術レベルとなっている。一方で有機物に関しては、完熟堆肥を施用することを推奨しているが、定性的であいまいな部分が残っている。有機物の評価とそれに応じた適切なやり方を定量的に体系化するべきであると思っている。

座長（三木）：

北海道大学の石黒先生からの質問です。今後の有機物

による土づくりの展望はどうなっているか。先ほど竹内さんの話から、いろいろな場面に応じて有機物の質と施用法を今後追及していくことによって展望が拓けるのではないかと考えられますが、谷先生、総括をお願いします。

谷：

単純に有機物を投入すればいいという話ではない。質的な評価をし、どの程度の質のものをどの時期にということが大事ということが一つ。例えば、生堆肥（未熟堆肥）を10aあたり5、6トン散布する場合でも、ただ単に均一に散布するだけではだめである。たとえば、小麦収穫後にサブソイラーを入れて、そのあとに生堆肥を散布し軽く混和した後にえん麦を栽培する。えん麦の根がサブソイラーの亀裂に入っていく、更にえん麦が吸収した窒素分は翌春の（えん麦）鋤き込み後に発現するといったように、堆肥を入れればいいということから、機械作業であるとか土層改良であるとか、場合によっては防除などにどういう影響を及ぼすのかといったことを、総合的に見極めないと、生産者にとってメリットのある土づくりになっていかないと思われる。生産者は有機物を使いたい、あるいは、それを理解した消費者が買いたいと思うような、経営につながる土づくりを目指すということが最終的な答えであると考えます。

座長（三木）：

東大の溝口先生からこの学会に対しての質問です。土壌有機物センサーを開発できないか。東南アジアでも化学肥料から有機物肥料への転換が進んでいる。有機化は世界の潮流である。そこで土壌物理学会の力を結集して土壌有機物センサーを開発できないのか。

溝口（東京大）：

現場の話とセンサーの開発を行っている業者が繋がっているというところが土壌物理学会の特徴で、いいところである。世界を見ても土壌有機物センサーは存在しない。日本のテクノロジーを結集すれば開発も可能であり、活気が高まると思います。みんなで頑張って作りましょう。

座長（三木）：

5名の講師の方々、ありがとうございます。そして会場の皆さん熱心な論議ありがとうございます。今日のシンポジウム「畑地の土壌有機物動態と土づくり」を閉めたいと思います。