

特集：土壌微生物と農薬〔1〕

土壌の微生物と農薬との関係をめぐる最近の研究動向

—国際シンポジウム（スウェーデン，1992）から—

東北大学遺伝生態研究センター ^さ佐 ^{とう}藤 ^{きょう}匡

I 土壌中の農薬と微生物の関係

農耕地で施用される農薬の大部分は直接的、間接的に土壌に入っていく。土壌中には様々な微生物が生育しており、それらの中には土壌の肥よく度に重要なかわりを持っているものが少なからず存在している。また、直接土壌の肥よく度と関係しない微生物についても、土壌生態系の構成員として系のバランスを保つ上で軽視できないものとされている。そのために、土壌に入った農薬がこれら微生物に対してどの様な影響を及ぼすかは、農薬の使用以来これまで関心事の一つになっている。

一方、土壌に入った農薬がその役割を果たしたあとは、環境中に長く残らず分解・消失することが望まれる。土壌中での農薬は物理的・化学的及び生物的作用により分解・消失するが、生物、特に微生物によるところが大きい。そのために、環境中の残留を避けるべく、農薬の微生物による分解に関する研究の発展が期待されている。

農薬の微生物に対する影響や、微生物による農薬の分解の問題は、実験室レベルでの農薬と微生物とが一对一の関係にある場合には、多くの現象が明確にとらえられる。そして、それらの関係に対して一定の判定を下すことが可能である。ところが、それら関係する場面を土壌に移すと、ことはそれ程容易ではなくなる。例えば、微生物に対する影響に関する側面については、影響を測る方法をどうするか、どんな影響を採用すべきか、といったことがいまだ解決されていない。そして、これらのことが土壌の多様な条件とからみ合って、問題を一層複雑にしている。さらに、農薬の微生物分解に関しても、農薬の種類と土壌の条件の違い、それに多種類の分解微生物の存在がからみ合うために、多くの要因を考慮に入れながら解析したり、現象を解明する必要がある。

このように、土壌中での両者の関係には解明すべき問題がまだまだ多い。特に、微生物に対する影響の問題は農薬の環境中での安全性の評価ともかかわっており、

様々な場面で問題の討議、整理、評価の規準の提案が繰り返行われている現状である。ここでは、それらの一つとして1992年8月にスウェーデンで開催された国際シンポジウム—Environmental Aspects of Pesticide Microbiology—の概略を紹介することにする。

II シンポジウムの背景と構成

すでに触れたように、土壌環境、特に微生物に対する農薬の安全評価の問題は、多くの人の関心事であった。そのために、1973年から1977年にかけてドイツ（当時、西ドイツ）で、このテーマでのシンポジウムが4回にわたって開かれた。これらのシンポジウムを通して、参加者ならびに周辺の関係機関から、さらに組織だった会議の必要性が叫ばれるようになった。これを受けて、第1回の国際ワークショップが1978年にBraunschweigで持たれた。その後、第2回を1979年にJealott's Hillで、第3回を1985年にCambridgeで、第4回を1989年にBaselで開いてきている。これらの会議で討議された問題や、一定の結論に至った事柄の一部は、直接的ないし間接的な形でOECDのガイドラインに反映されていると聞いている（ed. SOMMERVILLE et al., 1987）。

1992年8月のスウェーデンのシンポジウムは、地下での農薬の影響を主要なテーマの一つとして取り上げた。それは、過去4回にわたる会議の中で欠けていた問題であり、また、世界的にもほとんど手が付けられていない分野であること、そして、何よりも地下水の汚染問題を扱う場合不可欠の課題であるからであった。しかし、後で具体例を挙げるように、もちろん、研究の現状を反映して、このトピックでの演題数は全体の中で多くはなかった。

シンポジウムは、StockholmとUppsalaの中間にある入江に添ったスウェーデンで最も古い町の一つであるSigtunaで、8月17日から21日までの5日間開かれた。口頭発表33題、ポスター発表27題をこの会期でこなしたので、論議の時間が比較的十分とれたように思われた。参加者（登録名簿に掲載分のみ）の国別の状況を表-1に示した。未登録の旧知のスウェーデン人の顔もみられたので、現地の参加者を入れると少し多くなろう。開

表-1 国(地域)別参加者

国(地域)
(北欧-49) スウェーデン(31), デンマーク(8), フィンランド(6), ノルウェー(3), アイスランド(1)
(その他の西欧-53) イギリス(16), ドイツ(11), スイス(10), フランス(6), オランダ(5), イタリア(4), ベルギー(1)
(東欧-8) スロバキア(2), チェコ, エストニア, ラトビア, リトアニア, ロシア, ポーランド(各1)
(その他-3) アメリカ, ポルトガル, 日本(各1)

催地を反映して北欧圏からの出席者の多いことがうかがわれる。次いで、イギリス、ドイツ、スイスが多いのはおそらく組織委員会の主要メンバーがこれらの国から出ていること、さらに、このことと関係するが、ICI、バイエル、チバガイギーなどの関連有力企業が在ることによるものと思われる。また、過去4回の会議が行われていることも関係しているのかもしれない。個別的にみると少ない数ではあるが、東欧(ラトビア、エストニアなどを含めて)からの参加者があつたのも注目される。いわゆる西ヨーロッパ圏の国からの参加者は各国1~2名と少ないものの、すべての参加国数は22、登録参加者は113名と広範囲に及んでいることがわかる。

演題の全部を掲示することが、シンポジウムの内容を客観的に示すことになると思われるが、ここでは誌面の関係上それができないので、それぞれのトピックと演題数を示すにとどめる(ed. ANDERSON et al., 1992)。

Topic I : Surface soils

Session 1 : Side-effects of Pesticides on Microflora. oral (O) 9, poster (P) 14,

Session 2 : Microbial Degradation of Pesticides. (O) 9, (P) 8,

Session 3 : Interactions Between Pesticides, Microorganisms and Soil Animals. (O) 4,

Topic II : Sub-surface Soils

Session 4 : Unsaturated Zone. (O) 5, (P) 2,

Session 5 : Saturated Zone. (O) 4, (P) 2,

Special Topic : Environmental Aspect of Microbial Pesticides. (O) 1, (P) 1,

III シンポジウムの内容

それぞれの Session について口頭発表を中心に、代表的な演題をピックアップしてそれぞれの概略について紹介する。

1 Session 1 について

基調講演 "Side-effect testing: Common rules and critical reflection" —K. H. DOMSCH & J. P. E. ANDERSON—では、この面のテストを行う場合に注意すべきこと、すなわち土壌の条件とテストしようとする項目との関係をよく吟味すること、また、項目について得られた結果を評価する場合の留意点などについて、前者についてはいくつかの具体例を挙げながら、後者については概念的ではあるが项目的に整理して提起された。

一般講演は、大別すると微生物作用を示標とした場合、バイオマスや微生物細胞の特定化学成分の変化を示標とした場合の影響の現れ方を示したものであった。

FOURNIERら(フランス)は、aldicarb methiocarb, DNOCの土壌中の微生物に対する影響をバイオマスを示標として検討した。この際、くん蒸一抽出法、基質誘導呼吸法、菌体に¹⁴Cラベルした場合の¹⁴CO₂放出でみた炭素ターンオーバーの三つの方法を比較した。その結果、方法によって影響の現れ方が異なること、また、それは農薬の種類によっても違うことなどを報告した。また、JONESら(イギリス)も、くん蒸一抽出法と微生物数の直接計測法を比較しながら、圃場レベルでの農薬の影響を農薬の混合施用などの試験を入れて追跡した。その結果、両方法の変化の様相は類似しており、短期の試験では影響が観察されたが長期試験ではそれがみられなくなった。さらに、ROSSELら(スイス)は、農薬の影響とは直接関係がないが、土壌中の微生物量や活動の示標として簡便なデヒドロゲナーゼ活性の変化を、ATP量や基質誘導呼吸量の変化と比較した。また、この際、アルファルファを加えたときの微生物数(間接法)とも関連させながら追跡し、デヒドロゲナーゼ活性は、外界の変化に対応して変化する活動性のあるバイオマスの示標として有効であることを示した。

その他、活性に関しては硝化作用についてアセチレンによるブロッキング法(TORSTENSSONら, SVENSSONら、いずれもスウェーデン)を用いると再現性がよいことや、迅速であることなどが報告された。従来、VA菌根菌に対する農薬等の影響は、植物根に侵入した菌糸の形態的变化を顕微鏡で観察する方法によって追跡していたがこの方法は時間と手間がかかる。これに代わる方法として、THINGSTRUPら(デンマーク)はリンゴ酸デヒドロゲナーゼ

活性の変化を採用し、benomyl 施用により、この活性が低下することを見いだしている。

微生物フロラを対象としたものに、重金属による影響を、土壌中に存在する菌体に特有な脂肪酸を抽出し、そのパターンと量の変化からうかがおうとの試みがあった (FROSTEGÅRDら, スウェーデン)。筆者はこのセッションで、PCP の影響を PCP 耐性度の異なる細菌細胞数の変化を示標とすることで追跡できること、この方法を分画採取した土層に適用し、影響が明確にとらえられる層位とそうでない層位のあることを報告した。

ポスター発表では、イオン電極により無機態窒素の形態変化を追跡する方法、森林土壌への長期的影響をカルボキシメチルセルラーゼ活性の変化を通して観察するなどが報告された。ここの発表で興味深かったのは、微粒状あるいは結晶状の農薬 atrazine, tetrachlorvinphos, aphthia などスライドガラス上に載せ、それを土中に挿入し、粒状農薬の周囲のマイクロフロラを経時的に顕微鏡観察するという KRUGLOV (ロシア) の報告があった。ここでは、さらにそれら微生物を分離しそれらの微生物学的性格と農薬分解能のちがいなどから、農薬とマイクロフロラの生態的關係を解明しようとした。

2 Session 2 について

農薬を処理した土壌の農薬分解能と、そこから分離した微生物の農薬分解能とそれにかかわる種々の条件の解析や、モデル土壌での農薬分解のパターンから農薬分解微生物の内容や性格を扱った報告、さらに、数学モデルを仮定的に提唱しいくつかの農薬分解の実測値を当てはめて分解を考察するといった報告が主要なものであった。

J. P. E. ANDERSON (ドイツ) による基調報告的発表は、まず、土壌中での農薬分解の速さを支配するいくつかの要因を指摘した。すなわち、農薬自身の性質、農薬の微生物による利用性、土壌中の分解酵素や微生物の存在などである。そして、農薬自身の性質を除いたその他の要因は、さらに土壌の条件 (水分、酸素など) によってその活性が支配されることが挙げられ、これら諸関係について解説的報告がなされた。

活性汚泥を用いて、あらかじめ 2-ニトロ安息香酸で馴致した混合培養系 (分離していない) は、acifluorfen を co-metabolic に代謝したが、acifluorfen や酢酸ソーダを唯一の炭素源にして培養したときには代謝できなかった (GENNARIら, イタリア)。acifluorfen は混合培養系には有毒で生育が不可能で、他の物質によって農薬分解微生物が集積されるという例である。

metamitron, linuron, carbofuran を圃場に繰り返し

施用するとこれら農薬の分解能が高まった。一方、実験室条件で精査すると分解能の持続は農薬のタイプによって異なり、carbofuran 分解能の持続が最もよかった。さらに、これら農薬分解微生物を分離してその性格付けをするとそれぞれ種がことなっていた。また、種によって農薬分解能の安定性も違うことなども見いだされた (PAREKH, イギリス)。

KUNC (チェコ) は、連続培養系を農薬分解に応用し、種々の分解条件での分解パターンの変化とそれらの動力学的解析から、分解微生物の集積、それら微生物の性格、土壌での分解微生物の分布、分解にかかわる遺伝子の転移の問題など様々なことが解明できることを示した。その他、農薬分解の際の微生物側のパラメータとして、微生物の増殖速度と分解能を組み込んだ分解数式モデルを作り、種々の農薬の分解の実測値からどちらのパラメータがそれぞれの分解にかかわるか (JOHN, スウェーデン)、土壌のマトリックス中での農薬の存在状態 (吸着、結合など) と分解の難易の關係 (SIMS, アメリカ) などの報告があった。

また、現在の分子生物学の流れを反映して、*Alcaligenes* のある種から 2,4-D 分解遺伝子を分離し、それを土壌中の 2,4-D 分解微生物の検出や挙動の追跡のプロープとする試みも示された (VALLAËYS, フランス)。

ポスター発表の中で興味を引かれたものの一つに、2,4-D 分解微生物を土壌から分離し、それを土壌に再接種して 2,4-D を分解させる試みがあった。その過程で接種菌のポピュレーションと分解能の維持の関連、それらにかかわる栄養物の影響についての検討がなされた (GUNALANら, フランス)。

3 Session 3 について

土壌動物と農薬の關係を扱った研究はきわめて少ないというのが、この Session の司会者の第一声であった (VAN WENSEM, オランダ)。そのような状況の中で生態系での土壌動物の役割としては、物質循環のあるステップの重要な担い手として位置付けられるであろうこと、そして、それには落葉の分解と腐植生成、動物自身の排泄物中の窒素の無機化への寄与といったことが、農薬の影響を考える場合の差し当たりの検討対象となろうといったことであった。

土壌動物は微生物と密接な関連を持ちながら生存しているので、農薬の影響をみる場合は biocenosis, つまりファウナーマイクロフロラの共同生活体としてとらえる必要がある (MALKOMES, ドイツ)。例えば、殺菌剤の投与で微生物数が低下すると、微生物を捕食する土壌動物も減

少するだろう。また、ネマトーグを溶解する糸状菌が殺菌剤で殺されれば、ネマトーグのポピュレーションに影響する。

具体的な研究例として、森林土壌で2,4,5-Tを2年間にわたって投与(5g/m², 2か月おき)すると、リターバッグの中のミミズが消失し、微生物バイオマスも40%減少した。しかし、投与を停止すると両者共に回復し、もとの数量より多くなった(FÖRSTER, ドイツ)。

4 Session 4 について

まず、ここでの問題提起は飲料水での農薬の規制値の設定の過程で、開発された(使用されている)農薬の種類数と検出されたそれとの間に国によって大きなばらつきがある。もちろん、それらには検出法とか実際に使用されている種類に違いがあることが原因になっているが、分解に差があることも大きく効いている。その中には、作土層に比べて下層土で分解が弱くなる例、その逆の場合と土壌の層位によって分解にふれが出てくる。これまでの多くの研究は上層の土壌でのものであったが、地下水汚染を考えると下層土での研究が重要である(J. P. E. ANDERSON)。イギリス、ドイツ、フランスの3チームによるかなりの深さ(例えばドイツチームの8m)までのいくつかの地点での土壌学的、微生物学的、及び農薬分解に関する問題の調査的報告がなされた。

5 Session 5 について

湛水土壤での農薬と微生物の問題について、技法をどうするか一嫌気的条件下の操作を含めて一といったことを中心に報告が行われた。PCPの微生物に対する影響を、pHによる解離度の違いを考慮に入れ水系での問題を扱った報告(VAN BEELLENら, オランダ)、aldicarbなどの好氣的、及び嫌氣的分解の相互関係と微生物の関与を扱った(VONKら, オランダ)ものなどがあつた。

6 Special Topic について

このトピックでは、欧米における微生物農薬の開発の現状と問題点がいくつかの具体例を示しながら報告された。また、環境保護グループ、アメリカ、ヨーロッパ、及び企業のこれら微生物農薬の使用規制に対する考え方がそれぞれ紹介された。ここでの主要な問題は遺伝子改変微生物開発の有用性と、それが自然界に放出された場合のbiological hazardとの対立ないしは協調とうけられた(POWELL, イギリス)。

IV 今後の問題に関連して

誌面の都合で後半のトピックスの紹介がだいぶ粗になってしまった。ここでも、シンポジウムでの論議の中心になった二、三の問題を箇条書き的に記すことにする。

(1) 非標的微生物に対する農薬の影響に関する問題について：微生物の生態それ自身の研究が不足している。したがってこの面の方法論的なことが十分に吟味される必要がまだまだある。

(2) 農薬の微生物分解に関する問題について：系統的な取り扱いが不足している。農薬の種類(性質、構造など)と土壌条件、そして、そこで働く微生物の内容との相互関係を整理する必要がある。

(3) 地下部での問題について：微生物の生態が地上部と同じなのかどうか。取り扱いの方法を考慮しながら検討する必要がある。

引用文献

- 1) Anderson, J. P. E. et al. (ed.) (1992): Proceedings of International Symposium on Environmental Aspects of Pesticide Microbiology. Swed. Univ. Agric. Sci., pp. 7~12.
- 2) Sommerville, L. and M. P. Greaves (ed.) (1987): Pesticide Effects on Soil Microflora. Taylor & Francis, London, pp. 1~4.

人事消息

(3月31日付)

仲盛広明氏(農環研環境生物部昆虫管理科昆虫行動研主研)は退職(沖縄農試病虫部サトウキビ害虫研究室長)
 守屋成一氏(果樹試保護部虫害研主研)は退職(沖縄農試病虫部ミバエ研究室長)
 安藤幸夫氏(中国農試生産環境部虫害研主研)は退職(鹿児島農試大隅支場畑作病虫研究室長)
 河又仁氏(農生研分子育種部遺伝子構造研)は退職(茨城県生物工学研生物防除研主任)
 加藤昭輔氏(農研センター病害虫防除部マイコプラズマ病防除研主研)は退職
 久保村安衛氏(農生研企画調整部業務科長)は退職
 奥俊夫氏(果樹試盛岡支場虫害研究室長)は退職
 本間健平氏(野菜・茶試茶栽培部虫害研究室長)は退職

佐藤倫造氏(北農試飼料資源部耐病性研主研)は退職
 里見紳生氏(北陸農試水田利用部虫害研究室長)は退職
 川北弘氏(蚕糸・昆虫研生体情報部媒介機能研主研)は退職

(3月20日付)

鬼木正臣氏(派遣復帰・野菜・茶試茶栽培部病害研主研)
 ○農林水産技術会議事務局(4月1日付)
 牛谷勝則氏(大臣官房調査課調査専門官)は連絡調整課課長補佐(育種・遺伝資源班担当)に
 宇井勝昭氏(バイオテクノロジー課長)は構造改善局計画部資源課長に
 大倉登美夫氏(国際研究課国際研究推進班技術協力係長)は農薬検査所検査第一部企画調整課取締企画係長に
 山本真也氏(連絡調整課総務班連絡係長)は科技厅科学技術振興局研究振興課基礎研究係長に