

## 「農業生産現場におけるPOPsのリスク低減方法の開発」

独立行政法人農業環境技術研究所  
化学環境部ダイオキシンチーム長  
大谷 卓



農業環境技術研究所の大谷です。

「農業生産現場におけるPOPsのリスク低減方法の開発」と題しまして、イニシャティブ登録課題「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」のうち、有機化学物質チームが扱っております、有機化学物質のリスク低減方法の開発について説明します。(資料:1)

まず、ここまでに至る経緯を若干説明させていただきます。所沢ダイオキシン問題をきっかけとして、農業関係の研究では、ミレニアムプロジェクトの一環として「環境ホルモン研究」を立ち上げ、この中で平成11年～14年までいろいろな知見を集めてきました。今回のイニシャティブは、これを受けた形で5年間、分解除去技術の開発に取り組んでおります。(資料:2)

今までミレニアムプロジェクトで得られた知見ですが、まずここで大きなテーマだったのが、農作物中のダイオキシン類の汚染経路の解明でした。そこで、ダイオキシン組成の全然違う土で作物を栽培し、その植物体のダイオキシン組成を比較したところ、栽培土壌が異なってもダイオキシン類の組成は変わらないことを明らかにしました。

部位別に見ますと、外側に出ている部分、葉っぱ、あるいはもみ殻の方が内側にくるまれている玄米、あるいは茎に比べてダイオキシン類の濃度が高いこと、さらに、維管束液中のダイオキシン類は検出限界以下であるということから、植物はダイオキシン類を土から吸っているのではなくて、その汚染源は大部分が大気だろうということがわかりました。(資料:3)

これは、農耕地土壌のダイオキシンを1960年からずっと経年的に分析したデータなんですけど、このようにダイオキシン類は、半減期が15年～20年と非常に長い。そのほか、過去に投入されたPOPs系の農薬も数年～十数年残留し、農耕地には難分解性の有機化合物が蓄積されていることがわかりました。(資料:4)

ここまでの流れをまとめますと、ミレニアムプロジェクトでは、まず実態の解明が中心でした。作物に関しては主要な汚染源は大気であるということを確認しましたが、日本では現在特措法によってダイオキシン類の排出規制がかかりまして、環境省のデータでも大気濃度は年々減少しております。このことから、農作物の汚染は今後減少すると予測されます。

もう一つの成果として、農耕地土壌に関しましては、ダイオキシン類の汚染源というの

は大部分が過去に投入された除草剤で説明が付くこと、その半減期は15年～20年と非常に長いことを明らかにしました。作物に関しましては、先ほど言いましたように土から吸わないので、農耕地土壌にダイオキシン類が残っていても問題はないんですけれども、特に水田では代かき時に土壌粒子とともにダイオキシン類が水系に流出することがわかりました。

そこで、このイニシャティブ研究では、これまでの取り組みで問題点が整理されましたので、対策技術に特化しようと考え、さらに、対象をダイオキシンからPOPsに拡張しました。大きく分けると、農耕地から系外に流出するところの拡散防止を化学的手法で、現地での分解除去技術を生物的な手法で行おうというのが作戦となります。(資料:5)

これがプロジェクト全体の組み立てですが、農業生態系にある難分解性の有機化学物質、対象としては、ダイオキシン、PCB等のPOPs、あるいは農薬、これを「出さない」「拡げない」「残さない」技術を開発していきます。

まず、技術シーズとしましては、植物あるいは微生物を利用したものがあります。

エンジニアリング・技術実証としましては、土壌中での分解、あるいは水田からの拡散防止などを行います。

それから、ここ2年ほど問題になっております、POPs系の農薬で過去に投入されたドリ剤を吸収したキュウリが残留基準値を超えて、出荷停止になるなどの対応が迫られていますので、これも緊急に取り組みました。

また、開発された技術というのは、常に経済評価を対でやっとうと考えています。

全体としましては、まず、技術シーズでは、組換え体も使っていますので、将来に向けた素材開発という位置づけで、一部、今使える技術については、エンジニアリング系にどんどん組み込んでいこうと考えています。

それから、経済評価については、開発された技術をコスト計算して、更に改良することによって、現場で利用できる技術の提供をかなり強く意識したプロジェクトにしています。

(資料:6)

まず、その中で、この2年間で成果ができました水田からの拡散防止技術について説明します。(資料:7)

背景としましては、ダイオキシン類は水溶解性は極めて低いので、縦浸透によって地下水にリーチングすることは考えなくてよいのですが、代かきの時に泥とともにオーバーフローして結局水系に出ていってしまいます。これが最終的には、先ほど中村さんがお話になりましたように、海洋の底質にまで行ってしまって、日本人のダイオキシン摂取の8割を魚が占めるというような現実もありますので、これは非常に問題であると考えます。

そこで、土に吸着したダイオキシン類がそのまま水系に出ていくのを、凝集剤を施用することによって土壌粒子の沈降を促進させる。そうすると土壌粒子に吸着していたダイオキシン類も一緒に沈みますので、ダイオキシン類の流出防止ができるのではないかと考えました。

この凝集剤は、無機系、有機系、鉱物系いろいろ試しましたが、効果、コスト、ハンドリングを考えますと、塩化カルシウムあるいは塩化カリウムといった無機塩類がいいということがスクリーニングの結果、わかりました。(資料：8)

そこで、現地実証試験を昨年度、今年度と実施しました。このようにここから塩化カルシウムが出ていますが、塩化カルシウムをまきながら代かきを行う。代かきをすると、泥水が用水に出ていきます。塩化カルシウムを施用しますと、みるみる水が澄んでいきまして、見た目でも効果があるというのがわかります。

あとは処理後、経時的に出てきた田面水を取って、ダイオキシン類濃度を測定するわけですが、この時点の泥水の色を見ただけでかなり効果があるというのが予想されました。(資料：9)

実際のデータでは、凝集剤、すなわち塩化カルシウムあるいは塩化カリウムをまきますと、田面水中の土壌粒子の径が明らかに大きい方にシフトする。つまり、凝集剤は田面水中の土壌粒子がフロックを形成させて凝集させる効果がある。これによって土壌粒子が沈降しますから、それに吸着していたダイオキシン類も沈降するだろう。実際、ダイオキシン類の濃度を田面水で測ってみますと、施用3時間後でポリ塩素化ジオキシンとジベンゾフランの合計、あるいはTEQ値の両方どちらを見ても、無施用に比べて10%以下に低下していることが実証されました。つまり凝集剤の施用によって、田面水中のダイオキシン類濃度が顕著に減少しまして、水系へのダイオキシン類の流出を防止することができるだろうということが言えると思います。(資料：10)

実用化の評価ですが、凝集剤として塩化カルシウムあるいは塩化カリウムを1ヘクタール当たり300kg施用しますと、水稻の生育・収量・品質あるいは土壌にも影響はありませんでした。作業量は1ヘクタール当たり1時間弱。コストも労賃込みで1ヘクタール当たり2万円。これはお米の粗収入の約2%に当たりますが、これは現地実証でやった農家の方が、この程度だったらやってもいいというような評価をいただきまして、実用技術としても有望なのではないかと考えております。(資料：11)

今後の課題ですが、まず凝集剤による沈降促進、これによる流出・拡散防止は達成されました。ただ、もうちょっと積極的に、土に残っているダイオキシン類を何とか除去する技術を開発したいということで、今考えているのが、土壌表面に疎水的にかなり固く結合しているダイオキシン類を脱着させて、より疎水性の高い資材に吸着させる方法です。これを回収することによって、農耕地土壌からダイオキシンを除去する技術を現在開発中です。(資料：12)

次に土壌中での分解技術について、簡単に説明します。(資料：13)

このテーマは「低コストな原位置バイオレメディエーションによる、POPs・ダイオキシン類の分解・無毒化技術の開発」です。

素材としましては、担子菌類のキノコがダイオキシンを分解するというのはかなり有名なので、この分解条件を向上させる。また、こちらはバクテリアを使った方の系なんです

けれども、木質炭化素材、炭ですね、これをハビタットとして環流させますと、土壌中の分解菌がここに集積していくというような技術を持っています。これを使いまして、このような難分解性の農薬を分解させる技術を開発しています。

担子菌類の場合は、外から菌を導入することになるので、往々にして問題になるのが土着菌との競合に負けてしまうという点です。これにつきましては、えさと一緒に菌体をペレット化しまして、土壌中で定着・増殖させるという技術を開発しています。

それから、菌のモニタリングもPCRを使ってチェックしながら分解効率をコントロールしていこうと考えています。全体としましては、室内実験から現場に移していきまして、分解菌のモニタリングをしながら増殖あるいは溶出促進剤を添加して分解速度をコントロールしつつ、土壌中のPOPsあるいはダイオキシン類を分解しようというような組み立てで現在進行中です。(資料:14)

次は技術シーズなんですけれども、まず植物の利用、ファイトレメディエーションの方から簡単に説明します。(資料:15)

目的としましては、植物の機能を利用して、農業環境中の難分解性有機化合物を分解・浄化します。ターゲットとして考えているのは、土壌中のダイオキシン類、PCB、ドリリン類、シマジン、ノニルフェノールなどです。

まず、分解植物の作出としましては、チトクロムP450のモノオキシゲナーゼという薬物代謝酵素を哺乳動物から取り、植物に導入して植物自体に有機化合物の分解活性を持たせることを考えています。

あるいは、根圏微生物と植物に役割分担をさせ、微生物が途中まで分解して、極性がある程度上がって吸収できるところで植物に吸わせて、ここに環開裂酵素を入れて全体として分解系を構築しようと考えています。

このような有機化合物のファイトレメディエーションのネックになるのが、疎水性が非常に高いのでそもそも吸いにくいという点でして、ドリリン剤の研究で今やっているところなんですけど、どうもウリ科の植物が比較的塩素化合物を吸いやすいということがわかっています。ここではクリーニング・クロップの探索というテーマで行っているんですけど、将来的には吸収できる植物に分解酵素を入れてあげれば、吸って分解するという持ち出しの必要のないファイトレメディエーション植物ができると考えております。

これらは組換え体を使っていますので、模擬的環境による実証を行った上でファイトレメディエーション植物の作出あるいは選定を行っていこうと思っています。(資料:16)

最後に、技術シーズのうちのバイオレメディエーションの取り組みを説明します。(資料:17)

まず、酵素の改変などによって、PCB、ダイオキシン類あるいはDDTなどを分解する菌を育種しようとする試みです。このような場合、分解反応が中間体で止まってしまうようなケースがよくありますので、これはプロモーター領域を改変して完全分解系を構築しようと考えています。

また、メタゲノム的な手法を使いまして、土壌DNAライブラリーを構築し、培養できない菌からも分解遺伝子を取ってあげて、分解菌の育種に使おうとしています。

微生物がプラスミドあるいはトランスポゾンによって遺伝子を飛ばして、ほかの菌に入ってしまうという現象が知られているんですが、この段階をコントロールして、もし、これが不安定な分解菌でしたら、より安定な土着菌などに分解酵素を伝播させるということによって、安定な分解菌をつくろうというような試みも行っています。

培養が難しく、研究がなかなか進んでいない嫌気性菌につきましても、PCBを分解するような菌が今取れていますので、この解析を行っているところです。(資料:18)

全体としましては、技術シーズ、エンジニアリング、経済評価というのをセットにしまして、先ほども言いましたように、現場で利用できるということをかなり意識した技術開発を現在行っているところです。(資料:6)

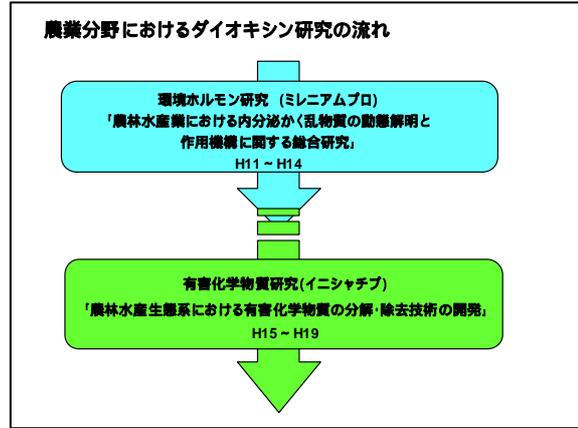
資料：1

**農業生産現場におけるPOP<sub>s</sub>のリスク低減方法の開発**

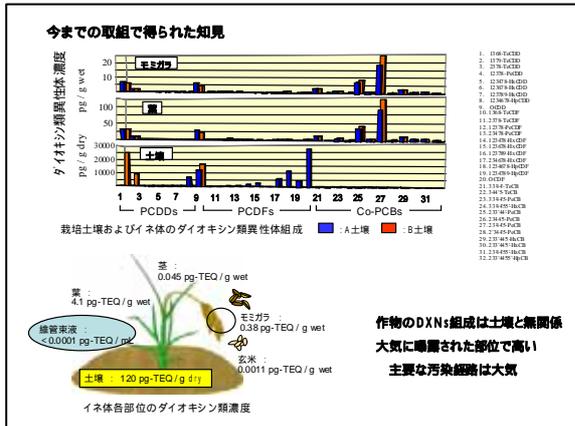
- 農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発 -  
有機化学物質T リスク低減化ST

農環環境技術研究所  
化学環境部ダイオキシンT 大谷 卓

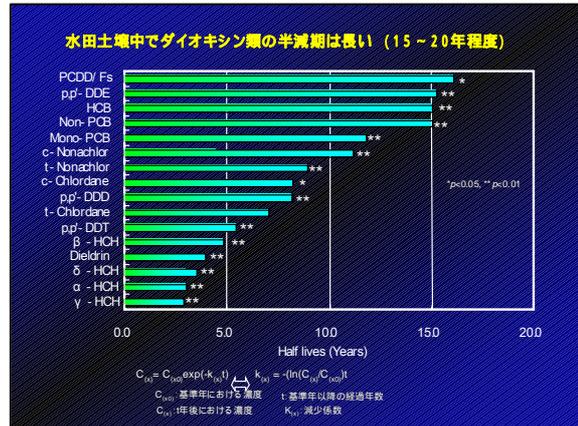
資料：2



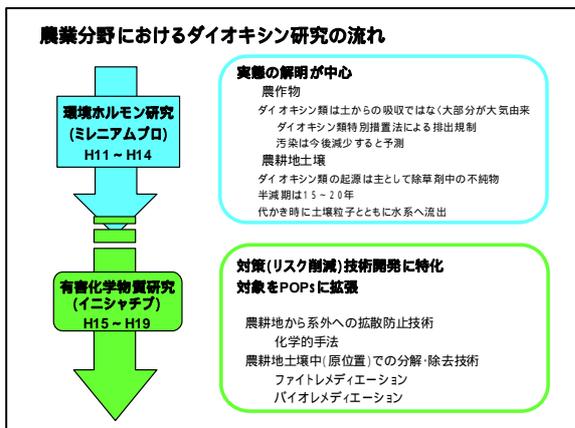
資料：3



資料：4



資料：5



資料：6

