



第 58 回土壌物理学会シンポジウム総合討論

福島放射性物質汚染の現在

徳本家康 (シンポジウム事務局)

Discussion at the 58th symposium
on sharing information of current situation of radioactive contaminant in Fukushima

Ieyasu TOKUMOTO

本稿では、4名の講師による講演 (Photo 1) の後に行われた総合討論 (座長: 溝口勝氏) の模様を、今後の学会活動の資料として掲載する。なお、討論の概略の記録を目的としたため、事務局の判断により、発言内容の一部を省略または要約させて頂いたことをご了承願いたい。

溝口 (座長):

総合討論を始める。個別質問から総合討論という形で進めたい。まずは、江口さんに対する質問から始めたい。

濱本 (東京大学):

放射性セシウムの土への吸収抑制対策としてカリウム施肥が行われているが、慣行施肥に戻した場合の移行係数に関する調査をやられているか?

江口 (農環研):

私自身は行っておらず、他にそのような調査が実施されているかどうか、現時点で情報を持たない。基本的な考え方として、移行係数は除染前後の濃度変化に関わらず利用できる。重要なのは土の特性である。濃度が高くてセシウムが移行しにくい土壌があり、濃度が低くても移行しやすい土壌もある。それを表現できるモデルを現在作成中である。実測データと突き合わせることでセシウム移行を予測し、カリウム施肥継続の必要性等を判断できるようにしたい。

濱本 (東京大学):

モデルの検証もやっておられるのか?

江口 (農環研):

現在、モデル作成中であり、実測文献データ数を増やすことでモデルの検証を進めている。

石黒 (北海道大学):

江口さんと西村さんにお尋ねしたい。セシウムはバークミキュライトのような粘土に化学結合していると推測されているが、その場合、今までのフレイドエッジサイト (FES) と考え方が異なる。今後の固液分配係数 (K_d) を含めた土壌吸着の考え方をどのように整理すれば良いか?

江口 (農環研):

FES にセシウムが強く吸着される考え方は変わらないが、それ以外にも強く吸着できるサイトは多くあるようだ。放射性セシウム捕捉ポテンシャル (RIP) は、ある特定の実験条件下でカリウムとセシウムの選択係数を実測して決定するが、セシウムが具体的にどこに吸着してい

るかは分かっていない。FES 及びそれと同様の性質を持つサイトに吸着していると考えられる。最近の研究では、FES 以外のところにも万遍なく吸着されるとの報告がある。また、吸着後に閉じた層間に固定されたセシウムも含めて環境中の K_d は決定されるため、RIP から予測される K_d と実測した K_d が一致しないこともある。

西村 (東京大学):

セシウムの化学結合が何を根拠とする話かわからないが、たとえば、広域 X 線吸収微細構造解析 (EXAFS) の結果から得られる、短い原子間距離や対象原子の配位数のことであるとすると、個人的には、FES に執着しすぎることによって誤解が生じるのかもしれないと考えている。過去に報告されている EXAFS の結果からわかるのは、六員環へのセシウム吸着で、それが粘土表面の六員環か、粘土の層間にある六員環への吸着なのかは明らかではない。表面にある六員環の数から考えると、短時間で層間の六員環だけ吸着するのは考えにくい。また、EXAFS の結果の範囲では、化学結合の話と FES の話は、必ずしも別の話ではないと理解している。

石黒 (北海道大学):

私の理解が違うのかもしれないが、セシウムの粘土吸着は距離の関係により化学結合と結論付けられているはず。その場合、セシウム吸着現象に関して、これまでの研究が十分に整理されていない印象を受けた。選択係数の理論についても、もっと整理が必要に思われた。

溝口 (座長):

ありがとうございました。それでは農研機構の岩田さんの質問をお願いします。

岩田 (農工研):

日本の土壌ではセシウムの輸送が 1 cm yr^{-1} もあるようだが、海外の土壌ではもっと移動が遅いような報告もある。これらの違いは、降水量の違いで説明できるか?

江口 (農環研):

今回は水田で取得したデータだけを紹介した。森林土壌、果樹園や牧草地のデータではセシウムの移動はもっ



Photo 1 講演の様子。

と遅く、水田土壌におけるセシウムの移動だけが速い印象を持っている。水田土壌はバクテリア主体の土壌だが、森林土壌や他の農地は糸状菌主体の土壌であり、糸状菌が選択的にセシウムを吸収することは知られているため、そのことが移動速度に関係すると想像している。そのため、降水量だけの要因ではなく、微生物も含めた土壌特性の影響が大きいと思う。

中嶋（東北農研）：

西村さんと西脇さんの発表において、有機物の添加量でFESにおけるセシウムの吸着量に影響を及ぼすようだが、圃場に有機物を施用した場合の影響について伺いたい。

西村（東京大学）：

今回の発表データやバーミキュライトの実験結果では、固液分の変化から吸着量は変わるようである。ただし、それが植物への移行係数や吸着形態に影響を及ぼす効果について、よく分かっていない。仮に考えられる可能性として、土壌に有機物を多量に投入した場合、バーミキュライトや雲母の存在によるFESがあったとしても、有機物に吸着することは考えられる。その点について、興味はあるが実験を実施できていない。

西脇（茨城大学）：

有機物施肥によるセシウム吸着の影響について、圃場レベルで施肥しても流通基準に影響することはないと予想される。夏場の落ち葉が分解して、落ち葉に吸着されたセシウムが水中に溶け込み植物へ移行する報告がある。しかし、分解する時期による違いも考えられ、そのような移行に関して不明な点も多い状況であり、影響の有無について正確に回答できない状況である。

溝口（座長）：

西村さんと小林さんに対して、岩田さんの質問をお願いしたい。

岩田（農工研）：

西村さんの発表では、地温 20°C で10%ぐらいの吸着量に差が出るようだが、福島では表層土壌の凍結も考えられ、 30°C ぐらいの地温変化が考えられる。その温度による影響は無視できるか？

西村（東京大学）：

温度差 20°C による吸着量の違いは、温度によって異なる。たとえば、理論上では、 15°C から 35°C までの温度変化に対して、 5°C から 25°C における吸着の影響は異なる。初期温度が低い方が吸着量の差は小さいの

で、 15°C から 35°C における吸着量よりも 5°C から 25°C におけるセシウムの放出量は少ない。実験をやらないと分からないこともあるが、理論上ではそのように期待される。

岩田（農工研）：

小林さんに質問したい。懸濁態が夏に増える原因として、降水量が多いことは考えられるか？

小林（森林総研）：

懸濁態とは、雨やリター層通過水などの全般について考えられる。雨やリター層通過水に関して確認はできていないが、夏には虫が樹幹上で葉を食べるなどの生物活動の活発化により、懸濁体の増加が考えられる。

岩田（農工研）：

土壌中では、溶存態として存在が考えられるか？

小林（森林総研）：

今日紹介したデータは、ライシメータを用いて、 0.45mm で濾過した水である。懸濁体が土壌中にどの程度あるか気になるが、テンションフリーで採取した水を保管しているが、ライシメータの設置による攪乱の影響も考えられ、まだ分析に至っていない。予想として、土壌の浅いところでは懸濁体で輸送していることが考えられる。しかし、土壌への浸潤に伴い、濾過効果で土壌に捕捉される。

溝口（座長）：

石黒さんの質問をお願いしたい。

石黒（北海道大学）：

有機物施用後の客土した水田では、過度の有機物投入はないようであるが、有機物施用の目標値はどのように設定されているか？

西脇（茨城大学）：

有機物分解による影響として、急激な分解で硫化水素の発生が生じる。しかし、それ以外に影響が考えられるか？

石黒（北海道大学）：

窒素過多になると、食味は悪くなると考えられる。

西脇（茨城大学）：

食味までは考えてないが、土壌の改良基準を用いて、東北農試で推奨された「ひとめぼれの生育目標」の施肥量を利用した。

溝口（座長）：

少し補足します。肥沃度の一般論として、有機物の投入の議論が行われているが、農業用水の確保問題も大きな課題である。しかし、排水路や用水路は土で埋まって機能していないことが多い。除染後に、稲作を再開する際に水路網が整備されておらず、総合的に農業を再開するには、農業の用水と排水を整備する必要がある。

江口（農環研）：

水田については、表土剥ぎと客土による除染後、土壌肥沃度が低下した圃場でも妥当な収量が確保できたとの報告がある。従来の基準でのカリウム施肥対策等により、玄米へのセシウム移行も低減できたという。一方、水田よりも畑の方が、表土剥ぎによる土壌肥沃度低下が栽培に与える影響が大きく、セシウム移行抑制のためのカリウムも水田より多く施用しなければならない。畑での営農再開の方が、より大きな課題となっている。

溝口（座長）：

補足すると畑に加えて牧草地も課題となっている。その他に、長谷川さんから発表者の皆さん全員に対する質問にも回答いただきたい。

長谷川：

発表者の皆さんに質問したい。セシウム移動に関して理解が深まっていると思っていたが、久々に学会に出てきたら、セシウムの輸送に関して未知なることも多いようである。今、一番に何をやるべきか検討課題を伺いたい。

西村（東京大学）：

すでに、石黒さんからの質問にあったように、何が、どこに、どのように吸着しているか分かっていない点がある。技術として、塩化カリウムを散布してFESに吸着した量を評価することは重要であるが、それによる吸着位置の特定解明には至らない。一方で、原子間の力と距離を分光的に求めることで、化学的なセシウム吸着を計算する方法がある。しかし、その方法ではFESにある六員環とFESの外にある六員環における吸着の区別が明確ではない。現時点では、電子顕微鏡を用いても、その区別はできていない。

現場技術として、土壌物理学的な観点からセシウムの空間分布の把握は重要である。そのための技術の確立は、今後の課題である。

西脇（茨城大学）：

西村さんの吸着理論に対して、私はセシウムの動態に着目したい。例えば、セシウムが有機物から作物へ移行する形態変化などの解明が必要である。植物根への移行を知るには、放射線レベルが低い場合、セシウムの検出方法としてゲルマニウム半導体検出器がある。その検出器以外を用いた放射性セシウムの検出方法では、セシウムの代替物として、セシウムの安定同位体の利用が考えられる。しかし、安定同位体の濃度が低い場合には、検出問題が生じるため、何らかの技術的な改善が求められ、セシウムの移行に関する知見の蓄積が大事だと思う。

小林（森林総研）：

森林分野において、樹皮や葉から吸収されたセシウムと根から吸収されたセシウムの区別はつかないが、それぞれの影響を明らかにする必要がある。根からの吸収に関して、新しく苗植えた木を用いた影響評価が考えられ、土壌から木々へのセシウムの移行に関するデータの蓄積が重要である。また、葉に吸着したセシウムの吸着形態が不明であり、それが原因でセシウムが葉から放出されるメカニズムが分っていない。今後の検討課題である。

江口（農環研）：

重要な課題を一つだけ選別するのは大変難しいが、自分の専門性や持ち場を考えて選定するならば、セシウムの移動や吸脱着を考える上では、選択係数や K_d のような巨視的パラメータの整備とその中身の理解が一つの鍵と思う。セシウムが粘土鉱物のどこに吸着しているかという問題も非常に重要であり、常に最先端の知識を採り入れながら、選択係数や K_d などの巨視的パラメータの中身を理解することが必要である。水田におけるセシウムの研究や対策技術は進展したが、福島県内でのカリウム施肥対策のために、年間10~15億円の予算を費やしている。これだけの予算はいつまでも確保できないため、どの土壌にカリウム施肥の継続が必要であるかを、科学的な根拠に基づいて提案するための研究を進めたい。畑では、大豆、ソバ、牧草に関して、安心・安全な栽培ができていない現状もある。これについても、科学的データを用いて解決策を提示できるようにしたい。

溝口（座長）：

引き続き、総合討論を続ける。2013年に研究戦略とし

て、福島でのセシウムの把握に関する提案を行った。それには、現場見学、現場におけるセシウムのモニタリング、コロイドや粘土によるセシウム吸着の検討、それらに基づく数値計算の項目が挙げられた。これまでに多くの知見が蓄積された一方で、それらの知見の風化が心配である。研究面について、農地のセシウム除染後の肥沃度回復について、3年前から着実に進歩している。手法について、数値計算が挙げられるが、こちらは吸着モデルなどの確立が出来ていない現状がある。今後は、土壌物理学学会の強みとして、数値計算によるセシウムの移動予測の検討が考えられる。2011年の原発問題以降、科学者の信頼を失ったことが大きな痛手だったように思える。しかし研究戦略を実施した3年間において、現場の研究活動などを通じて、地域住民の方から科学者の信頼を回復したと考えられる。ただし、現場技術者間でのコミュニケーションは足りておらず、地方行政、県や国レベルで、どのような事業が実施されているか、その把握も重要である。予算に関して、科研費で復興農学が新設されて研究が進歩したが、残念ながら復興農学の予算は打ち切りになった。そのため、新たな予算の発掘が必要になる。土壌物理研究の過去を振り返れば、山中式硬度計を開発した山中金次郎先生が、1959年に土壌の物理性第1号「土壌の物理性の第一号の発刊に際して」の中で、「土壌物理研究会は農業生産の向上のための研究会である」と述べられている。これを福島での放射性物質の問題と併せて考えると、土壌の物理性と農業の生産性を検討するような原点回帰に思われる。そういった観点では、福島で現場でモニタリングし、総合的見地から見落としている課題を抽出して、具体的問題解決策の提案を検討する手法は以前と変わらず重要である。その上で、戦略的研究推進がやはり今後の課題となる。

取出（三重大学）：

研究の知見を風化させない努力は重要である。研究自体は地道な継続以外にないと思うが、継続すべき研究、新たに注目すべき研究をどのようにすみ分けながら取り組むべきかコメントを頂きたい。

溝口（座長）：

取出さんの質問に対して、それに回答するような形で議論をしたいと思う。

登尾（明治大学）：

予算の関連において、科研費の復興農学は存続できなかったが、それに代わる科研費として今年から特設分野が設けられた。その中で、我々が申請できそうな特設分野のテーマに、次世代の農資源利用がある。農業生産のための土壌物理の観点から、このような分野に多く申請することで、研究の裾の尾を広げることを提案したい。

森（岡山大学）：

私は、前日のTy Ferré氏のDarcy lectureにおける政策決定(Decision making)に関連した内容で意見を述べたい。溝口さんが福島で地元の方に努力して説明されたにも関わらず、地元の方は研究の話はさて置き、身の回りのリスクが気になり、コミュニケーションが上手くいかないような事情がある。これは、Ty氏が話された政策決定に必要なリスクと利益のバランスの考え方が大事のように思え、これまで受けた教育に依存するところが大きい。私のアメリカ在外研究期間中に、我が子が受けたアメリカの教育ではリスクと利益の考え方が基礎になっていると感じた。欧米の文化ではリスクと利益の考え方で物事の判断を重視するのに対して、アジアの農耕民族文化では物事の理屈によらず心配事が先に立ち、リスク

と利益の線引きが難しいように思える。そのような環境の中で、我々は葛藤を常に感じつつも、継続したコミュニケーションが大事であると考えられる。

溝口 (座長) :

政策決定には、科学的データを理解してくれる人々がいる一方で、それを信頼できない人々に対して、如何に科学技術コミュニケーションを行うか検討することが大事である。科学技術コミュニケーションを通じて、小学生向けに対話することも貴重である。

取出 (三重大大学) :

議論は色々あるものの、福島事故から時間が経過するに当たって、データ収集・解析に膨大な時間や労力を費やしながらか、それらの風化が懸念される。一方で、新しい発見や知見は研究継続の重要なモチベーションになることは間違いない。時間の経過により、放射性セシウムは半減期に近づくが、その時間的スケールは長く、学会としてこの問題にどう対処するか議論は必要である。

溝口 (座長) :

農地や森林における現場技術として、土壌物理学の知識が必要とされている。具体的な例を挙げれば、土壌物理学の観点から現場の問題を理解するのに、HYDRUSによるセシウムの移動予測が考えられる。このような取り組みは、学会を挙げて行う必要がある。そのような学会における方針案を長さんから話して頂きたい。

長 (佐賀大学) :

近年、土壌物理学学会は節約努力の成果で予算的に余裕がでてきている。学会をあげた取り組みとしては、例えば奨励金公募を検討するような提案がある。これは、まだ評議員会で検討すべき事項であり、未定であるが、福島における研究に加えて、その他の研究も対象になる。学会の活性化に繋がってほしいと考える。また、土壌物理用語集の改定についても検討しており、会員以外の皆さまにも見える形で情報の提供を行っていきたい。

取出 (三重大大学) :

情報提供に関連して言えば、福島に関連性の高い論文を継続して学会誌に掲載していくことも必要である。土壌の物理性を見れば、福島に関連した最新の情報を取得できるような情報提供は土壌の物理性をより広めていく

戦略として考えられる。

溝口 (座長) :

その点に関して、例えば福島関連の研究論文について、誰もが無料で閲覧可能などの対応はできるか？

取出 (三重大大学) :

それはまさに現在試みている期間限定のフリーアクセスに相当し、今後はオープンアクセスと併せて考えるなどの対応はできると思う。

溝口 (座長) :

いずれにせよ、学会として予算的な余裕を利用して、福島の研究推進を促すことが大事である。

江口 (農環研) :

土壌物理学学会は小さな学会であり、福島のセシウム問題という広く大きなテーマに単独で取り組むのは困難であろう。同様のテーマを取り扱う他の大きな学会との連携が必要と思う。土壌物理学学会の特色を活かした情報の発信や、他の学会との情報交換等が考えられる。

西村 (東京大学) :

学会との連携に関して、来年度にJpGUとの共同セッションが提案されている。これは、研究だけでなく、科学リテラシーに関する取り組みも対象である。発表できる方には是非、参加頂き、他分野の方々と交流を深める機会にして頂きたい。研究の話について、私の意見を述べたい。新しい研究の発見はあるが、三重大大学の取出さんや長崎大学の中川さんが取り組んでおられる、多成分の物質移動や速度論について検討することも必要である。ここにいる皆さんで少しずつ頑張る、新しい研究の窓口を広げる取り組みに期待したい。

小林 (森林総研) :

土壌物理学学会で研究奨励を公募するならば、若手の研究者育成に利用してほしい。土壌物理学学会に参加する学生は多く、若手が活発である印象を受けるので、是非、若手育成のための投資をお願いしたい。

溝口 (座長) :

そろそろシンポジウム終了時間となりました。若手育成の推進を勧める検討事項を次年度の申し送り事項として確認した上で、総合討論を終わりにしたい。ご協力ありがとうございました。