

インベントリーデータを活用したリサイクル資材の 畑土壌における受容量の推定手順とマップ化

独立行政法人 農業環境技術研究所 農業環境インベントリーセンター長 上沢正志
インベントリー研究官 上田義治

I. はじめに：インベントリーとは？

農業環境技術研究所の「概要」の表紙には、研究所の目的が「安全 安心 制御 次世代への環境資源の継承」と要約されている。この標語は5年前に所員が知恵を絞って考えたものである。安全と安心が必ずしも保障されない世の中となってきたためか、最近の日本の社会では、安全と安心が重要なキーワードになっている。

安全か否かを判断するのは、たやすいことではない。まして、安心を提供するのは、極めて難しい。しかし、常日頃からの備えがあれば、安心を提供するための安全の判断は可能である。常日頃からの備えとは、何か？以前から蓄積された標本・試資料・データなどを体系的に保存・記録し、情報化する仕組み（システム）、すなわち、インベントリーの充実である。

具体的な例を紹介する。茨城県東海村で起きた原子力事故は、小規模であったが、衝撃的であった。その際に、農産物の放射能汚染が懸念された。しかし、当所が数十年前から継続して農産物の放射能を測定してきており、平常時の放射能を把握していたのが幸いした。この測定値と比較して、確信を持って農産物の非汚染の宣言、すなわち、安全宣言を出すことができた。何か問題が起きた、あるいは、問題が懸念される時に、そのリスクを判断する根拠は？となったときに、不可欠な基盤がインベントリーである。

「インベントリー」は、もともとは「財産や在庫の目録」を意味する言葉であるが、インベントリーセンターでは「農業環境資源の標本・試資料を保存・整理し、情報化する仕組み」の意味で使っている。最近、インベントリー＝「標本・試資料や情報を収集・整理・記録・保存・利用・公開・発信し、活用いただく仕組み」という説明文もいただいている。

II. 農業環境研究所における土壌インベントリー研究5年間の成果

土壌関係では、インベントリーを構成する要素群を便宜的に、「資料」、「データセット」や「標本・試料」および「システム」に区分している（表1）。

「資料」のお宝は、「フェスカ式土性図」や「連合軍偵察（NRS）土壌図」である。前者は、日本最古の科学的な土壌図である。いずれも、原図の情報を大型のスキャナーで電子化している。土地利用の変化を把握するための基準的な情報として活用されている。

「データセット」は、データベースやそこから重要な項目を選択したサブデータベース

を意味している。たとえば、農耕地土壌の重金属濃度データベースと解析結果である。

「標本・試料」のお宝は、50年前から保存されている土壌モノリス（インベントリー展示館で公開）の各層ごとの試料である。当所では必要性が認められれば、それらの一部を研究用に使用・提供している。

「システム」は、これらの「資料」、「データセット」や「標本・試料」をパソコンなどで一体化して閲覧・検索・発信できるような仕組みである。全国で25年前から展開している行政事業としての「土壌環境基礎調査」の結果を現地で入力・検索できる「土壌情報入出力システム」が、代表的成果である。

土壌試料を対象にして得られたリスク研究に関連した成果を紹介する。

(1)水田・畑や樹園地などの土地利用、土壌の種類、肥料リンの施用来歴ごとに土壌に蓄積したリンの増加傾向がみごとに把握できている。栄養塩類としてのリンが農耕地から水系に流出し、湖沼や近海の水質が悪化する要因の一つとして指摘されているのも、もっともと思わざるを得ない。こうした明瞭な結果をいち早く提供していれば、富栄養化が深刻な問題になる以前に確固とした対策がとれたのにと悔やまれる。(2)また、ダイオキシンの異性体を定量分析して、水田土壌のダイオキシン蓄積の起源がかつての農薬の不純物が大気かが、これまた、明瞭に示されている。さらに、今後は、難分解性の有機化学物質の土壌における蓄積や減少が、明瞭に示されると期待されている。

III. インベントリーデータを活用した研究事例の紹介

これまでに蓄積されたインベントリー情報（データや文献を含む）を活用した研究事例「リサイクル資材の畑土壌における受容量の推定手順とマップ化」について説明する。

1. 研究の目的・意義

循環型社会形成推進基本法や食品リサイクル法の制定等により、下水汚泥・食品残さ等の有機性廃棄物を肥料化した再生有機質資材の畑地等での利用促進が期待されている。一方、過剰に集積した窒素やリン酸などの栄養塩類の畑地からの流出が生じている。そこで、窒素・リン酸や亜鉛の濃度が比較的高い資材の畑土壌における利用を促進するため、受容量を100メートルメッシュにインベントリーデータを活用して図示する手順を整理することを目的とした。受容量を図示することにより、都市におけるゴミ問題の緩和や水系を単位とする栄養塩類の管理による水質保全ばかりでなく、持続的な農業生産に必要な亜鉛等微量元素の管理に対して視覚的な理解が深まることが期待される。

2. 研究の内容・成果

本研究では、畑土壌における再生有機質資材の受容量を、30または100年間の継続施用によっても、土壌の全亜鉛濃度が「農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係わる管理基準（農用地土壌管理基準[120 Zn mg/kg 乾土]）」以下に維持され（既に、この基準を越えている土壌では一般に「不適地」として投入しない）、かつ、窒素ならびにリン

酸の過剰な土壌蓄積や水系等への負荷を防止する施用量と定義し、この量の推定とマップ化する手順を以下のように定めた。

1) 受容量推定の前提：以下の2点を前提とした。

(1) 下水汚泥肥料を再生有機質資材のモデルとして想定し、資材に含まれる成分濃度は、「全国下水汚泥製品調査」の結果に基づいた。すなわち、亜鉛濃度：民間推奨基準の上限 1800 Zn mg/kg、窒素濃度（水質環境基準、閉鎖性水域における総量規制に係わる）：2.4 %、リン酸濃度（閉鎖性水域における総量規制、湖沼の富栄養化に係わる）：3.4 %。

(2) 土壌からの重金属溶出に顕著な影響を及ぼす土壌 pH(H₂O)を、土壌診断により適切な範囲（通常 6.0 ~ 6.5）に維持する。

2) マップ化の対象：栃木県壬生図幅とした。この地域の主要な作付体系はカンピョウ + 葉菜で、この作付け体系に準拠して下水汚泥肥料の施用は年2回とした。

3) 推定手順とその概要

手順1：全国農耕地土壌図データベース（メッシュ型）から対象地域切り出し、土壌統を単位として必要なデータセット（以下の斜体）をピックアップ・算出する。

手順2：土性が礫または砂質で陽イオン交換容量(CEC)の小さいメッシュ（一般的に CEC:5me/100g 乾土以下）および傾斜地（一般的に傾斜8度以上）では、成分の下方移動が早いため「要注意」メッシュとして、下水汚泥肥料の投入容量を表示しない。

手順3：下水汚泥肥料由来亜鉛濃度の指数関数減少モデル（川崎 晃ら、1994.4）における「速度定数」を用いて、各土壌類型の亜鉛濃度が30または100年後に農耕地土壌管理基準に到達する下水汚泥肥料の施用量を受容量として算出する。必要なデータセットとして、(1)速度定数：0.03、(2)対象とする土層：30cmに設定し、(3)初期値としてメッシュごとの土壌亜鉛濃度ならびに土壌重量(/ha)。なお、このモデルの活用により、管理基準に到達する施用年数は任意に設定できる。

手順4：「資材による年間窒素投入量」 - 「作物による窒素吸収量」による資材受容量の検討。下水汚泥肥料由来窒素量（最大 168kg/ha）が、カンピョウ + コマツナによる窒素吸収量（150+83=233kg/ha）に比べて小さく、過剰な窒素が集積する恐れが小さく、受容量に問題の無いことを確認。なお、化学肥料等を含めた窒素収支は、0.1 * 年間浸透水量（= 年間降水量 - 年間上発散量）(mm 表示)kg/ha 以下が望ましい。

手順5：「資材による年間リン酸投入量」 - 「作物によるリン酸吸収量」による資材受容量の検討。リン酸の年間収支が、最大 16.7kg/ha と施肥量と同等の水準で、かつ10年間における蓄積リン酸量は土壌のリン酸吸収可能量（土壌のリン酸吸収係数から算出）の5%未満であり、定期的な土壌診断を前提として、受容量に問題の無いことを確認。なお、土壌環境基礎調査を解析した結果、蓄積リン酸量はリン酸吸収可能量の10%以下が望ましい。これ以上が、毎年土壌に蓄積すると活性の高いリン酸が可給態として土壌に蓄積し、懸濁態粒子に吸着されて水系へ流出し、水系の富栄養化の原因となる。

手順6：手順3～5により、下水汚泥肥料の亜鉛・窒素・リン酸濃度に基づく資材の受容量を推定。

手順7：受容量を階層化して、マッピングする（図1を参照：100年間の施用を想定）。

3. 考察

「土壌インベントリー」、「土壌化学」および「環境管理・情報」の研究領域を異にする者の共同によりなされた研究であり、今後更に流域ごとに展開することにより、緊急に解決を要する都市ゴミ問題の緩和等、都市を含む流域全体における有機性資源管理のあり方の提言等につながる研究成果である。

100年間の施用を想定した推奨基準案は他に無く、長期的な推定値が初めて得られた。30年間を想定した他の推奨基準案と比較すると、今回の推定値は土壌類型を反映したより詳細な受容量情報の提供となっている。なお、カリウムなどの他成分が土壌環境基準等で定められている資材に多量に含まれている際には、当該成分に基づいた検討手順を加える必要がある。

指数関数減少速度に関しては、データが少ない。今後の土壌類型ごとのデータを集積する必要がある。受容量はあくまで推定値であり、再生有機物資材の連続的利用には、定期的な土壌診断による土壌亜鉛や可給態リン酸の増加傾向を確認する必要となる。

応用問題として、二酸化炭素に起因する地球環境の温暖化に対応するために、土壌炭素の集積を指向した新たな土壌管理が求められている。海洋では、メタンハイドレートとして海底にメタンを注入する技術も研究されている。紹介した手法により、水田も含めて、二酸化炭素やメタンの発生を最小限にしつつ、農産物の生産と調和の取れた農耕地土壌の炭素含量を高める技術の開発とその結果として、炭素含量をどこまで向上できるか、炭素の固定に農耕地がどの程度寄与できるのかなどを推定できるかも知れない。

IV. 農業環境インベントリー研究の今後の展望

農業環境の総合的な評価や修復技術の開発などの基盤を提供する総合的なインベントリーを構築し、これを農業環境におけるさまざまなリスクの評価から意見交換のために活用する手法を開発する必要がある。

このために、環境負荷物質の動態に関わる大気・水等の非生物資源ならびに生物資源のそれぞれのデータベースを拡充するとともに、内外の新たな標本や情報の登録・収集手法や地理情報システムなどを活用した個別データベースの連携手法を開発しなければならない。また、上流から平地農業地帯までの水系全体における環境負荷物質などの動態評価や制御技術の開発などの基盤を提供するため、深層土壌の機能評価を含む耕地・非耕地の包括的土壌分類試案を公開するとともに、試案に基づく土壌図やデータベースを構築して、広く関係者に提供する必要がある。さらに、インベントリーデータなどを効率的に活用するため、リスクを確率として評価する基盤的な数理的解析手法や生物多様性の定量的評価

法、および、生産者・消費者・行政・研究などの関係者の間でリスクに対する理解を深めるため、リスク評価結果の視覚化手法などを開発する必要がある。

表 1 . 土壌インベントリーの構成要素 (2005.10 現在)

区分	タイトル	公開などの状況
資料	農耕地土壌分類第3次改訂版	農環研資17号(1995)に掲載、 土壌分類研Web公開。
	土壌モノリス作製法	土壌分類研Web公開。
	水環境保全のための農業環境モニタリング マニュアル	インベントリーセンターWeb公開。
	土壌資源(定点調査)の変動解析結果	使用制限あり。
	フェスカ式土性図	作成済み。
	連合軍偵察(NRS)土壌図	作成済み。
	土壌重金属元素濃度の分布図	作成済み。制約情報。
	カドミウム汚染リスク評価図	作成済み。制約情報。
データ セット	土壌モノリスデータベース	農環研資に投稿。CD-Rあり。
	土壌環境基礎調査(定点調査)データベース	データファイル。使用制限あり。
	土壌モニタリングデータベース	作成中、毎年追加。使用制限あり。
	重金属データベース	データベース作成中。制約情報。
	農耕地土壌分類のための土壌断面データ集	農環研資12号(1991)に掲載。
	基本土壌断面データベース	データファイル。
	土壌統設定のための土壌断面調査データ	本年度作成予定。
	熱帯林の耕地化に伴う土壌理化学性の変化データ ベース	データファイルとして作成済み。
システム	農耕地土壌分類第3次改訂版検索プログラム	土壌分類研Web公開。
	土壌情報入出力システム	作成済み。Webサーバー整い次第、公開。使 用制限あり。
	農耕地土壌分類第3次改訂版 分類サブシステム	作成済み。Webサーバー整い次第、公開。
	農耕地土壌図表示サブシステム	作成済み。Webサーバー整い次第、公開。
	定点調査結果の統計表示サブシステム	作成済み。Webサーバー整い次第、公開。
	標本・ 試料	土壌モノリス
土壌モノリス層位ごとの試料		研究のために、制限付きで試料を提供。

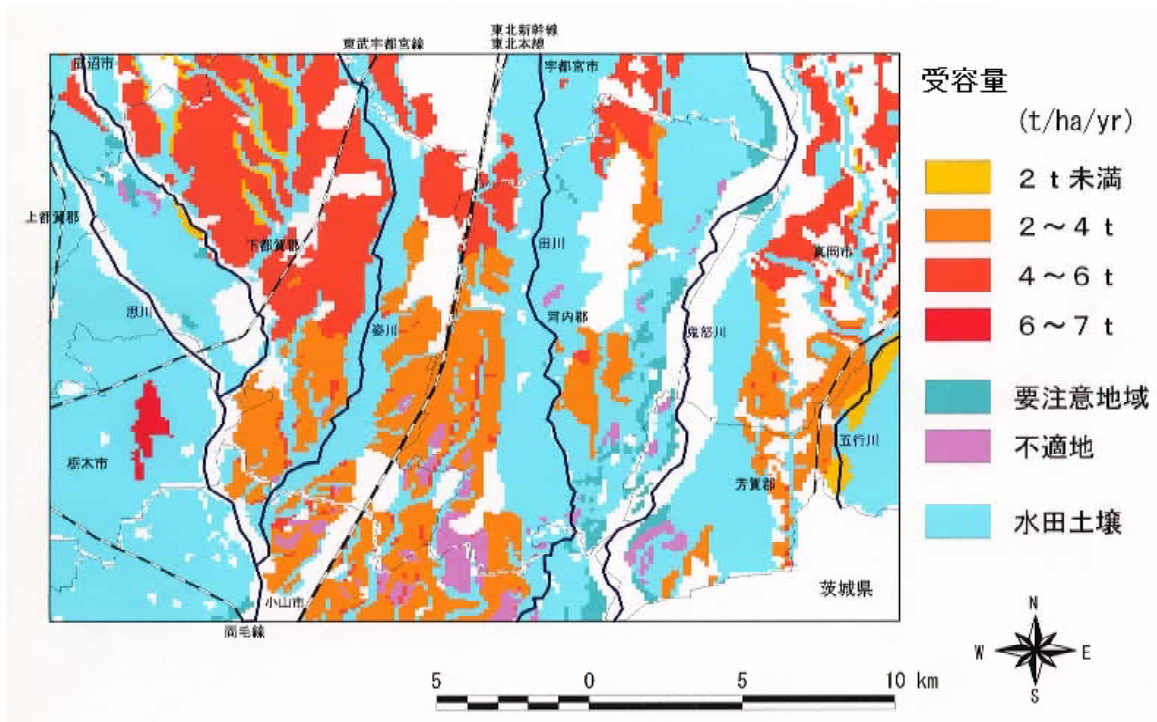


図1．リサイクル資材の畑土壌における受容量のマップ化

参考文献：川崎 晃ら(1994.4)下水汚泥施用に伴う土壌中重金属濃度の予測法、土肥誌、67(2), 168-173