



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Integrated Multidimensional Omics Analysis of Soil-Plant-Microbe Interactions in Soybean Agroecosystems
Author(s)	村島, 和基
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16768号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16768
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99613
Type	doctoral thesis
File Information	MURASHIMA_Kazuki_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称： 博士（農学）

氏名 村島 和基

審査担当者	主査	教授	信濃卓郎
	副査	教授	濱本昌一郎
	副査	准教授	渡部敏隼
	副査	助教	丸山隼人

学位論文題名

Integrated Multidimensional Omics Analysis of Soil-Plant-Microbe Interactions in Soybean Agroecosystems
(多次元オミクス統合解析によるダイズ農業生態系における土壌-植物-微生物相互作用の解明)

本論文は英文 170 頁，図 17，表 11，5 章からなり，参考文献 3 編が付されている。

農業生態系は土壌や植物といった異なる階層における複数因子が相加的、相乗的、拮抗的に作用して正味の作物応答を規定しており、その関係性は環境条件によって動的に変化する。そのため、単一要因での評価は不十分であり、生態系全体を捉える研究が必要である。この複雑な相互作用を解明するために、複数オミクスデータを統合的に解析する手法が有効である。さらに、環境条件や作物生育の時空間的変動を考慮し、土壌や植物の階層に時空間的な階層の違いも加えた多次元オミクスの活用が効果的である可能性がある。

本研究では、ダイズを供試作物とし、異なる環境条件の複数圃場から多次元オミクスを取得し、複数要因が同時に作用する圃場での現象の解明を目指した。

ダイズは国内の単収が低く、増収が課題である。一方、農業由来の環境負荷増大の背景から収量増加と環境保全との両立が求められ、堆肥の活用が促進されている。しかし、堆肥施用効果は圃場環境により変動し、一貫した作用機序の解明が求められる。そこで、異なる圃場環境で共通する施用効果を調査し、それらの連動的変動が作物生育に及ぼす影響の解明を目的とした。また、土壌からダイズへの有害元素移行も注目すべき課題である。特に、福島第一原子力発電所事故以降、放射性セシウム移行が課題となっている。セシウム (Cs) 移行は化学的に類似したカリウム (K) で主に制御される一方で、その効果が土壌種や作物種で変動する。そこで K 動態に加え、土壌-植物-微生物相互作用の観点から Cs 移行機構の解明を目指した。

初めに、堆肥施用によるダイズ農業生態系構造の変化を調査するために、日本国内 6 圃場に無施肥区・化成肥料区・牛糞堆肥区を設け、ダイズを 2 年間栽培した。開花期・成熟期に土壌及び植物体を採取し、イオノーム、メタボローム、マイクロバイオーム、土壌物理性データを取得した。堆肥施用は土壌元素及び有機物を主に変動させた。一方で、堆肥連用は開花期の土壌微生物多様性、植物乾物重、間隙率を高めた。さらに、連用が微生物の機能分化を促進することが示された。これは、堆肥施用が継続的に土壌化学性を改善し、連用による土壌物理性改善や微生物機能分化を介して生育を相乗的に向上させる可能性を示唆した。

また、堆肥による Cs 移行低減が示唆されているが、その機構は不明である。本研究では堆肥施用で、土壌交換態 K (ex-K) が増加し、葉の Cs 濃度が低下した。それらは土壌炭素や二価カチオン、間隙率、土壌微生物とも連動的に変動し、堆肥施用が ex-K を高めるだけでなく、Cs 移行低減に資する土壌環境形成に関わる可能性を示した。

Cs 移行に対する K 以外の影響が示唆されたが、次に Cs 移行に関与する多元素間相互作用とその時空間変動を調査した。異なる土壤養分条件を設定するため、窒素、リン、K、硫黄の単独欠乏区、無施肥区、完全施肥区の 6 処理でダイズを栽培した。5 つの生育段階で土壤と植物（器官別）を採取し、元素分析を行った。地上部 Cs は生育期間を通して土壤 K と負の相関を示す一方で、土壤ナトリウムとは正の相関を示した。さらに、生育段階で ex-K と地上部 Cs の負の相関の傾きが変動し、生育前期で土壤二価カチオンと地上部 Cs の関係が強まった。植物体内の Cs 分配は、K に加えてマグネシウムとルビジウムの関与が示唆され、その関係性は器官特異的であった。これらの結果は、Cs 移行が K に加えて複数元素との相互作用および生育段階の影響を受けることを示唆した。

ダイズは、K 施用による Cs 移行抑制効果が他作物より小さく、マメ科特有の移行機構の解明が求められる。前項で Cs 移行に対する土壤微生物の関与が示唆されたことから、マメ科で特徴的な根粒菌との共生下での Cs 移行機構を調査した。根粒菌接種下のダイズ水耕栽培により、 ^{137}Cs が根粒に集積することが示された。さらに、圃場環境で栽培されたダイズでも根粒で有意に Cs 濃度が高まった。また、根粒数の増加が土壤 ex-K に依存せず地上部 Cs を減少させ、根粒に Cs を蓄積して地上部への Cs 移行を抑制することが示唆された。

加えて、異なる Cs 条件及び根粒菌接種条件で栽培されたマメ科モデル植物のミヤコグサでは、接種区で非接種区に比べ地上部 Cs 濃度が低下した。さらに遺伝子発現解析から、Cs 添加濃度に応じて根粒で特異的に発現増加する 3 つの K 輸送体遺伝子を同定した。

以上の研究は、多様な圃場条件で一貫して観察される堆肥施用による農業生態系応答機構を明らかにした。また、ダイズにおける Cs 移行が K 動態に加えて時空間的要素動態および土壤-植物-微生物相互作用による影響を受けることを明らかにした。同時にこの研究は、多次元オミクスを通した生態系応答解析手法の重要性を示唆する。

よって、審査員一同は、村島和基が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。