

|         |   |         |       |
|---------|---|---------|-------|
| 氏名      | 島田 紘明   |         |       |
| 学位の種類   | 博 士 ( 農 学 )   |         |       |
| 学位記番号   | 博 乙 第 3050 号  |         |       |
| 学位授与年月日 | 令和 4 年 9 月 22 日   |         |       |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当  |         |       |
| 審査研究科   | 生命環境科学研究科   |         |       |
| 学位論文題目  | Elucidation of the mechanism underlying long-term soil organic carbon storage in buried A horizons of an Andisol<br>(黒ボク土の埋没A層における炭素の長期貯留機構の解明) |         |       |
| 主査      | 筑波大学助教  | 博士 (農学) | 浅野 眞希 |
| 副査      | 筑波大学教授  | 農学博士    | 田村 憲司 |
| 副査      | 筑波大学教授  | 博士 (農学) | 上條 隆志 |
| 副査      | 筑波大学教授  | 博士 (農学) | 廣田 充  |
| 副査      | 農研機構上級研究員   | Ph.D.   | 和穎 朗太 |

## 論 文 の 要 旨

審査対象論文において著者は、火山灰から生成した土壌である黒ボク土 (Andisol) における、長期的な土壌炭素貯留メカニズム解明を目指し、土壌有機無機複合体の物理的・化学的な違いを明らかにしている。黒ボク土は、土壌有機炭素を大量に貯留することができる土壌タイプであり、既存研究において、1) 土壌有機物の分子構造的難分解性、2) 土壌有機物と無機物の相互作用、3) 土壌鉱物による物理的隔離、という3つのメカニズムが提唱されている。しかしながら、これらの土壌炭素蓄積メカニズムにおいて、長期的な陸域の炭素動態を予測するうえで解明が必要とされる数千年単位の経時的な変化に対する研究事例はほとんどない。著者は、黒ボク土の埋没期間の異なる埋没A層を供試試料としたことで、新鮮土壌有機物の影響を除外し、土壌有機無機複合体の経時的な変化を示すことに成功した。さらに、物理分画と固体分析手法を用いて、既存研究ではそれぞれ別のメカニズムとして考察されてきた、土壌構造の発達と土壌有機物と無機物の相互作用が長期的な土壌炭素貯留において果たす役割について考察している。

著者が用いた供試試料は宮崎県都城市の遺跡発掘現場で掘り出された埋没A層であり、テフラ年代測定の結果約4100年の埋没時期の違いがある。各層位から採取された土壌試料は、超音波処理を用いた最大分散後、粒径サイズごとに分画された。分画前 (バルク) 試料と各サイズ画分について土壌pH, 有機炭素, 全窒素, 選択抽出金属 (Al, Fe, Si), 炭素官能基を測定した結果、有機炭素含量とピロリン酸塩溶液可溶アルミニウムと鉄の含量との間に化学量論的關係がすべてのバルク試料と粒径サイズ画分試料で認められた。一方、炭素官能基組成と粒径画分、有機炭素含量の間に関係性は認められず、土壌有機物の難分解性による炭素蓄積作用は明確でなかった。また、年代の古い層位ほど、細粘土画分 (0.2 μm以下) の含量が高くなり、酸性シュウ酸塩可溶アルミニウムと鉄含量は、年代に関わらず細粘土画分で最も高い値を示した。

著者はさらに、放射光施設を利用したX線吸収端微細構造 (NEXAFS) スペクトル分析と、軟X線顕微鏡 (STXM) 観察を用いて、最も炭素を保持していた粘土画分に含まれる有機無機複合体のアルミニウム・鉄・ケイ素と炭素官能基組成の化学状態と空間分布の測定結果を示した。著者は、NEXAFSスペクトルで認められるピークの帰属を明らかにするため、アルミニウム、鉄、ケイ素それぞれについて、粘土鉱物や金属腐植錯体などの標準物質を測定し、供試試料で示されたピークの同定を行った。さらに、表層土壌との比較対象として、2つの代表的な黒ボク土の表層試料を供試試料に加え、粘土画分をSTXMで取得した画像を用い、元素間、炭素官能基組成

について空間分布の相関分布を行った。その結果、標準物質のアルミニウムのNEXAFSスペクトルでは、結晶性粘土鉱物、低結晶性鉱物、アルミニウム-腐植錯体を分離することができたが、STXM画像では、低結晶性鉱物、アルミニウム-腐植錯体を識別することができず、筆者は低結晶性鉱物、アルミニウム-腐植錯体がサブミクロスケールの凝集体を形成していると考えた。また、炭素とアルミニウム、鉄、ケイ素の分布にはサブミクロスケールにおいても高い相関関係が示され、炭素官能基組成としては芳香族C、フェノール・ケトン系C、カルボキシル・アミド系Cのピークが支配的であることを示した。特に埋没層に特有な炭素官能基として、フェノール性Cとケトン性Cのピークが特徴的であり、表層土壌とは異なる傾向を明らかにした。

## 審 査 の 要 旨

著者は、土壌炭素蓄積メカニズムにおいて不明であった土壌有機無機複合体の数千年単位の経時的な変化を、黒ボク土の埋没層を用いて世界で初めて明らかにした。著者は、4100年の経過によっても、土壌炭素含量はピロリン酸塩溶液可溶アルミニウム、鉄、ケイ素の各元素含量との間には一定の化学量論的關係が成立していたこと、炭素の官能基組成から、土壌有機物の難分解性が増加していないことから、数千年単位の炭素の長期的な安定性には土壌中の有機無機相互作用が重要であることを明らかにした。また、粒径分画、放射光分析による有機無機複合体の有機炭素とアルミニウム・鉄・ケイ素の空間分布を可視化して比較したことは世界で初めての試みであり、時間の経過によって土壌構造を形成する有機無機複合体の物理的な安定性の低下と理化学的特徴の変化を明らかにした。以上の著者の研究は、土壌炭素蓄積メカニズムに新たな知見をもたらした。さらに、著者の研究は、土壌生成分類学のみならず、物質循環、古環境復元、地球温暖化予測など、多くの研究分野の発展に寄与する研究であると判断された。

令和4年7月20日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。