

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 2 5 年 5 月 2 4 日現在

機関番号：17102
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22510014
 研究課題名（和文） 埋没土壌の炭素貯留量と埋没作用が土壌の性状に与える影響の解明
 研究課題名（英文） Estimation of soil carbon stocks in buried soils and the effect of burial on soil properties
 研究代表者
 井上 弦（INOUE YUDZURU）
 九州大学・工学研究院・学術研究員
 研究者番号：30401566

研究成果の概要（和文）：

土壌の炭素貯留量を評価する上で、地表下 1 m 以深における埋没土壌の炭素貯留量は評価されていない。本研究では、埋没土壌の炭素貯留量を評価するとともに、埋没作用が土壌の性状に与える影響を調べた。その結果、都城盆地の黒ボク土分布域には、ほぼ全域にわたって埋没腐植土層が存在する。都城盆地の代表的なテフラー土壌シーケンスにおける地表下 1 m 以深の土壌の炭素貯留量は、地表部の約 1.5 倍あることを試算した。さらに、大隅半島南部錦江町の埋没土壌では、テフラによって埋没した厚さ 10 cm 以下の埋没土壌であっても、ときに最大 40 g kg⁻¹ の炭素を貯留する。黒ボク土あるいはテフラの分布域では、地表下 1 m 以深の埋没土壌に、まだ評価されていない相当量の炭素を貯留する。

研究成果の概要（英文）：

No previous study has estimated the soil carbon stocks at depths greater than 1 m below the surface soil. In this study, we estimate the soil carbon stocks in buried soils in an area in which the distribution of buried humic soil horizons roughly corresponds to that of Andosols in the Miyakonojo Basin in southern Kyushu, Japan. We also examine the effect of burial on soil properties. In a typical tephra–soil sequence in the Miyakonojo Basin, the soil carbon stocks at depths greater than 1 m below the surface soil are 1.5 times higher than in the surface soil. Buried soils on the Osumi Peninsula, southern Kyushu, contain a maximum carbon content of 40 g kg⁻¹ of soil, even for soils with a thickness of <10 cm that are buried by tephra. In the area of Andosols or tephra deposits, the soils at depths greater than 1 m below the surface soil contain substantial amounts of carbon that have yet to be assessed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学，環境動態解析

キーワード：物質循環、土壌学、埋没土壌、テフラ、環境変動、炭素貯留、火山

1. 研究開始当初の背景

近年，世界では，地球温暖化問題に関連して，CO₂排出削減の取り組みが行われるなど，CO₂排出削減についての関心が高い。地球全体から見た陸域全体の炭素循環において，炭素固定量は，森林生態系で多く，植生よりも土壌で多い。また土壌のタイプでは Andosols と呼ばれる黒色の火山灰土（黒ボク土）における炭素固定量が多いことが知られる（Morisada et al., 2004）。黒ボク土はテフラ（火山砕屑物）を母材にして生成し，世界における分布はわずかであるものの，日本では，国土の約 6 分の 1 を占める。この黒ボク土の炭素貯留量は，他の土壌タイプに比べて高含量であり，森林土壌（Morisada et al., 2004）や農耕地（谷山，2008）などでは炭素貯留量の評価も行われている。しかしながら，これら土壌の炭素貯留量は，地表部（深さ 1 m 以内）に限定され，過去にテフラなどの堆積によって埋没した埋没土壌など，地下部における調査，研究はほとんど行われていない。

さらに，土壌炭素の大部分は，時間経過とともに，分解，消失すると一般には考えられている。しかしながら，埋没土壌の中には，数千年間，10 数%もの有機炭素含量が分解せずに残存するケースが多々見受けられる（井上ほか，2000）。

以上のような炭素含量が高い埋没土壌は，諸外国においてほとんど存在せず，したがって，特に国外では，その埋没土壌が持つ炭素固定能評価につながるような研究例はほとんどない。また，国内における埋没土壌に関する研究は，国内の土壌学が作物の生産性向上を主目的にしてきた背景から，その研究は作物の生産の場である表層土壌（表層 1m 以内）に着目したもので，地下部に関する研究例は，ほとんどないのが現状である。

2. 研究の目的

テフラ（火山砕屑物）などの堆積によって埋没した土壌（埋没土壌）は，特に火山周辺地域の地下部に広く分布し，相当量の炭素を貯留しているものの，その研究はほとんど行われていない。そこで，本研究では，現地での露頭調査や地形情報から GIS（地理情報システム）などを駆使して，埋没土壌の炭素貯留量を視覚的，空間的に評価し，併せて，理化学分析，年代測定などによって，埋没作用が土壌の性状に与える影響を解明する。これによって CO₂ 排出削減問題への新たな知見を提供することを目的とする。

3. 研究の方法

研究方法は，まず九州南部，宮崎県都城盆地を研究対象地域にして，既に埋没土壌の分布を調査した地域を含め，新たに再調査を加え，炭素含量などの測定結果から，GIS によって，埋没土壌の分布図を作成し，埋没土壌の炭素貯留量を評価する。併せて，土壌が生成し埋没した場合の変化を解析するために，理化学分析や放射性炭素年代測定などを行い，埋没作用が土壌に与える影響の一面を明らかにする。試料は宮崎県都城盆地の約 4 m のテフラ土壌シークエンスでは，約 5 cm ずつ連続して採取した 69 点の試料を用い，大隅半島南部，鹿児島県錦江町では，2 地点で上下 2 つのテフラ間に挟在する埋没腐植層から，約 5 cm ずつ連続して採取した試料を用いた。理化学分析は，炭素・窒素含量，pH（H₂O）のほか，酸性シュウ酸塩可溶およびピロリン酸塩可溶ケイ素，アルミニウム，鉄含量，および植物珪酸体組成などを調べた。

4. 研究成果

(1) 「都城」における埋没土壌

九州南部，宮崎県都城盆地（国土地理院発行5万分の1地形図「都城」）において，過去

の調査データと既存データを用い、埋没土壌の分布を調べた結果、黒ボク土の分布範囲、特にテフラが厚く堆積する地域では、低地や山地の一部を除き1 m以深の地下部に炭素含量の高い埋没腐植層が面的に分布していた(図1)。特に、約4,600年前に霧島火山群御池から噴火した御池テフラ(Kr-M)直下と、約7,300年前に鬼界カルデラ(現薩摩硫黄島付近)から噴火した鬼界アカホヤテフラ(K-Ah)直下で、高含量の炭素貯留層(埋没腐植層)の分布を改めて確認した。これらの埋没腐植層は主にシラス台地上にあって、地表下1 m以深に分布する。

「都城」における代表断面では、地表下1 m以深の埋没腐植層で、炭素含量が最大133 g kg⁻¹、褐色ローム層でも20 g kg⁻¹前後あり、地表下1 m以深における土壌の炭素貯留量が地表部の約1.5倍であった。このことは、都城盆地に分布する黒ボク土の地表下1 m以深における土壌炭素が、土壌の炭素貯留量評価において、看過し得ない量で存在することを示唆した。

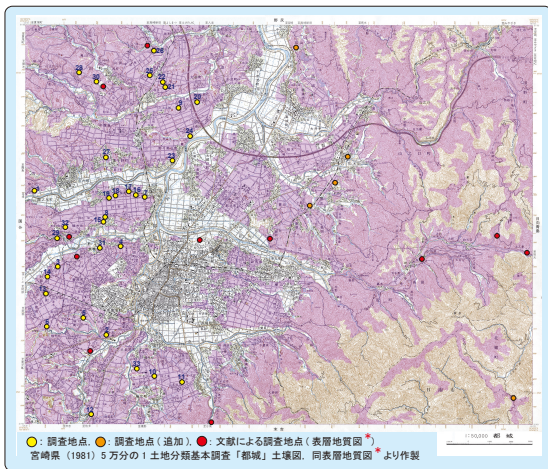


図1 5万分の1土地分類基本調査「都城」土壌図による黒ボク土(紫色部分)の分布範囲(約270 km²)。現地表の黒ボク土の分布は、ほぼ埋没腐植層の分布と一致する。

酸性シュウ酸塩可溶アルミニウム(Al_{ox})、ケイ素(Si_{ox})、鉄(Fe_{ox})含量およびピロリン酸塩可溶アルミニウム(Al_{py})、ケイ素(Si_{py})、鉄(Fe_{py})含量は、Al_{py}が最も有機炭素含量との相関が高く、テフラの堆積などによる埋没後も数千年あるいは数万年間にわたって、土壌炭素の多くをAl-腐植複合体として、土壌中に貯留することが示唆された。さらに、

主としてSi_{ox}含量から算出されるアロフェン含量は、必ずしも炭素貯留量が高い層で高いわけではなく、このことから埋没後の炭素貯留が、主にAlとの複合体(Al-腐植複合体)の形成によって維持されることを示唆した。

(2) 埋没腐植層の理化学分析および年代測定からみた埋没作用が土壌へ与える影響

九州南部の大隅半島、鹿児島県錦江町において、約7,300年前に鬼界カルデラから噴火した鬼界アカホヤテフラ(K-Ah)と、約6,400年前に開聞火山群池田湖から噴火した池田湖テフラ(Ik)に挟在する約900年間で生成した埋没土壌について、炭素・窒素含量の測定、植物珪酸体分析を行った。その結果、約900年間で発達した埋没腐植層は、その炭素含量が最大42.1 g kg⁻¹、窒素含量が最大1.6 g kg⁻¹を示した。さらに植物珪酸体分析では、土壌有機物の主な給源としてススキ属が優勢であることが示唆された。これらの成果は、テフラなどによる埋没作用によって、ススキなどの草本植生を主な給源にする土壌有機物が、約900年を経過しても厚さ10cm程度で、40 g kg⁻¹以上の炭素を地中に貯留し続けることを示唆した。すなわち、土壌の炭素貯留を考える上での基礎的知見となる成果が得られた。

(3) 九州中部の埋没土壌

九州中部、雲仙火山の南麓および北麓のテフラ-土壌シークエンスにおける各埋没腐植層の炭素含量は、最高値が南麓で51 g kg⁻¹、北麓で120 g kg⁻¹であった。また、北麓の現地地表下3 mにある約29,000年前に始良カルデラ(現錦江湾)から噴火した始良Tnテフラ(AT)を含む層準では、炭素含量が最高値60 g kg⁻¹を示した。島原半島における黒ボク土の分布から判断すると、地表下数m、約29,000年前前後の層準でも相当量の炭素が面的に貯留されていることが推定された。植物珪酸体組成は、北麓、南麓ともにATの堆積層準を含み少なくともK-Ahまで、草本植生のタケ亜科ミヤコザサ節型が主体であった。雲仙火山の北麓および南麓では、林床植生としてのミヤコザサ節由来の植物(ウンゼンザサ?)などを主体として、多量の有機物が絶えず供給されることで、気候変動に関係なく

，一貫して腐植層が生成したことが推定された。一方，阿蘇火山周辺では，主にススキ属を炭素の給源にする埋没腐植層も多く存在しており（宮縁・杉山，2006など），一見，同じように黒く見える埋没腐植層でも，炭素の給源植生の主体は地域や時代によって異なっていた。また，阿蘇火山周辺においても，少なくとも始良Tnテフラ直下まで，炭素含量の高い埋没腐植層が存在する。九州中部の埋没腐植層は，九州南部と同様に，メダケ・ネザサのようなタケ亜科を主体とする埋没腐植層とススキ属などを主体とする埋没腐植層の，いずれも草本植生のイネ科を主体とする2つのタイプに区分された。

(4) 今後の展望

九州地方には，火山とともに多くの黒ボク土が分布する。特に，黒ボク土の分布が密集する地域では，多くの地域で地表下1 m以深に埋没腐植層が存在する。その埋没腐植層の分布深度は地域毎，地形毎に異なるものの，約29,000年前に堆積した広域テフラの始良Tnテフラ（AT）直下まで，炭素含量の高い埋没土壌が存在するケースも多い。したがって，埋没土壌は，現在，評価される土壌の炭素貯留量に比較しても，看過できない量の炭素を貯留する。今後，さらに埋没土壌の炭素貯留分布についての調査地域を拡げるとともに，始良Tnテフラを指標として，調査を進めることによって，まずは九州地方において，より精度の高い土壌（埋没土壌を含む）の炭素貯留量の評価が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計7件）

- ① 井上 弦、活火山データベースへの土壌学からの貢献、月刊地球、34、305-309、査読無、2012
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019326295>
- ② Inoue Y., Nagaoka S., Sugiyama S., Late Pleistocene buried humic soils within a tephra-soil sequence near Unzen volcano, Kyushu, Japan、Quaternary International、246、233-238、査読有、2011

DOI: 10.1016/j.quaint.2011.06.039

- ③ Inoue Y., Hiradate S., Sase T., Hosono M., Morita S., Matsuzaki H., Using ¹⁴C dating of stable humin fractions to assess upbuilding pedogenesis of a buried Holocene humic soil horizon, Towada volcano, Japan、Geoderma、167-168、85-90、査読有、2011
DOI: 10.1016/j.geoderma.2011.08.011
- ④ 井上 弦、日本のテフラ由来土壌による古環境復元、地球環境、16、129-138、査読有、2011
http://www.airies.or.jp/attach.php/6a6f75726e616c5f31362d326a706e/save/0/16_2-05.pdf
- ⑤ 西山賢一、木村隆行、磯野陽子、井上 弦、岩石・堆積物の色彩測定法、応用地質、52、62-71、査読有、2011
<http://ci.nii.ac.jp/naid/10029128631>
- ⑥ 長岡信治、西山賢一、井上 弦、過去200万年間における宮崎平野の地層形成と陸化プロセス—海面変化とテクトニクスに関連して—、地学雑誌、119、632-667、査読有、2010
<http://dx.doi.org/10.5026/jgeography.119.632>
- ⑦ 宮崎圭介、井上 弦、西村周作、進藤晴夫、累積性黒ボク土断面における植物炭化物の垂直分布と土壌の年代あるいは炭素貯留との関係、日本土壌肥料学雑誌、81、112-117、査読有、2010
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008144163>

〔学会発表〕（計9件）

- ① 井上 弦、杉山真二、大隅半島南部における完新世埋没腐植層の生成環境、日本土壌肥料料学会、2012年9月4日 鳥取大学
- ② 井上 弦、九州南部大隅半島に分布する約900年間で生成した埋没腐植層、日本ペドロロジー学会、2011年9月2日 とちぎプラザ（北海道十勝市）
- ③ 井上 弦、九州地方における約3万年前後の埋没腐植土壌について、日本第四紀学会、2011年8月26日 鳴門教育大学（徳島県）

- ④ 井上 弦、都城盆地における埋没腐植層の炭素貯留量、日本土壤肥料料学会、2011年8月8日 つくば国際会議場(茨城県)
- ⑤ 井上 弦、長岡信治、杉山真二、雲仙火山北麓および南麓の埋没腐植土壌、日本土壤肥料料学会、2010年9月7日 北海道大学
- ⑥ 井上 淳、井上 弦、黒ボク土中の微粒炭と森林火災・火入れ跡から採取した炭の反射率の比較 —黒ボク土中の微粒炭の起源とタフオノミーについて—。日本第四紀学会、2010年8月20日 東京学芸大学
- ⑦ Nishimura S., Miyazaki K., Inoue Y., Shindo H., Relationships between the vertical distribution of biochars and the soil Age, humus composition or carbon storage in the profile of a cumulative volcanic ash soil、15th Meeting of the International Humic Substances Society, Humic Substances and the Maintenance of Ecosystem Services, 2010年6月27日 Puerto De la Cruz, Tenerife, Spain
- ⑧ Hiradate S., Inoue Y., Morita S., Soil profile analysis of an Andosol from Miyakonojo basin using solid-state NMR、International Field Conference and Workshop on Tephrochronology, Volcanism and Human Activity “Active Tephra in Kyushu, 2010”、2010年5月9日 国分シビックセンター(鹿児島県)
- ⑨ Inoue Y., Nagaoka S., Sugiyama S., Koike H., Genesis of a tephra-derived humic soil buried beneath the ~30 ka Aira-Tn tephra in a sequence near Unzen volcano, Kyushu, Japan., Volcanism and Human Activity “Active Tephra in Kyushu, 2010”、2010年5月9日 国分シビックセンター(鹿児島県)

〔図書〕(計3件)

- ① 井上 弦、朝倉書店、“アカホヤ、ウジマ、カニク、国頭マーヅ、栗色土、コラ、残積土、島尻マーヅ、ジャーガル、集積

作用、成熟土、成帯性土壌、成帯内性土壌、土壌の成帯性、パラ褐色土、半乾燥地土壌、フェイチシャ、マングローブ土、未熟土”、「地形の辞典」項目分担執筆、2013、印刷中

- ② 平舘俊太郎、井上 弦、博友社、土壌中における炭化物の存在：これまでの議論とこれからの展望、「土と炭化物 —炭素の隔離と貯留—」項目分担執筆、2013、9-26
- ③ Inoue Y., Sugiyama S., Yoshida, M., Yoneyama T., Kyoto University Press. “Phytolith and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis in a tephra-soil sequence in southern Kyushu, Japan”, “Earth, life, and isotopes”2010, 139-159, Kyoto University Press, Kyoto

〔その他〕

- ① 井上 弦、「International Field Conference and Workshop on Tephrochronology, Volcanism and Human Activity: “Active Tephra in Kyushu, 2010”’, Kirishima City, Kyushu, Japan」参加報告. 第四紀通信, 17 (4), 19-21. 2010

6. 研究組織

(1)研究代表者

井上 弦 (INOUE YUDZURU)

九州大学・大学院工学研究院・地球資源システム工学部門

研究者番号：30401566