

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2017～2019

課題番号：17KT0074

研究課題名(和文)生態系の多機能性を活用した除染農地の土壌再生

研究課題名(英文) Rehabilitation of decontaminated soil using ecosystem multifunctionality

研究代表者

金子 信博 (Kaneko, Nobuhiro)

福島大学・食農学類・教授

研究者番号：30183271

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性セシウムによって、農地を含む広範囲の土壌が汚染された。その除染には表土を剥ぎ取り、汚染されていない山砂を敷設する方法がとられたため、肥沃度が大幅に低下した。除染農地の肥沃度を向上させ持続可能な農業生産につなげるために、耕起と不耕起・草生栽培の土壌を比較した。耕起・草生栽培では、土壌炭素の増加が生じ、土壌の物理性も向上し、地上部の天敵の増加をもたらした。不耕起・草生化は、土壌の機能を高めることによって一定の生産力の維持に寄与していた。農業の経営コストを下げつつ農地の機能を維持する方法として不耕起・草生栽培が有効であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島第一原子力発電所の事故の影響で農地除染を行った場所は、土壌の肥沃度の低下と、担い手不足という二重のハンデがある。

不耕起・草生による農地管理は、世界的に拡大している保全農業の考え方と一致し、農地管理としては今後の進むべき方向を示している。したがって、本研究は、図らずも利用がされないために草生状態となった農地を、省力的に一定の生産が行える農地に活用できる可能性をデータに基づいて示したものである。

研究成果の概要(英文)：Radiocesium released from Fukushima Dai-ich Nuclear Power Plant contaminated vast area including croplands. Decontamination of cropland soil was conducted by replacing surfaces fertile soil with nutrient poor clean sandy soil. We compared conventional and conservation (no-till with weed-mulching) management soils in order to recover fertility and establish sustainable agriculture. The conservation management enhanced soil carbon contents, physical structure, and abundance of above-ground natural enemies. The conservation management sustained production by enhancing soil functions. The no-tillage with weed mulching management can sustain cropland soil functions at the same time, can reduce management cost because of conservative management.

研究分野：土壌生態学

キーワード：土壌生態系 不耕起栽培 草生栽培 土壌炭素隔離 生態系機能

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性セシウムによって汚染された農地の除染は、表土を剥ぎとり汚染されていない山砂を敷設することで実施された(好野ら、2015)。この方法では放射性セシウムの低減には成功したが、その代わり有機物をほとんど含まない山砂の敷設により土壌肥沃度が大きく低下した。また、「保安全管理」という除草や表土の耕耘のみを行ない、農作物の栽培を行わない作業に補助金が支出されるため、除染を実施した農地における農業再開の動きは鈍いのが現状であった。

農業の復興にはさまざまなアプローチがあるが、担い手が絶対的に不足する中、集約的に資本を投入する農法の導入とは別に、大面積を省力的に利用する農地管理も必要であった。

世界的には不耕起や省耕起、有機物による地表の被覆、そして輪作や混作の3つを合わせて実行する「保全農業」が拡大している(金子、2018)。土壌の攪乱を少なくし、植物の多様性を増すことで土壌の質が向上し、その結果、化学肥料や農薬の使用量を削減できると考えられている。

浜通りで行われた「保安全管理」は、たまたま意図せず「保全農業」の条件を満たしていた。そこで、除前後、農業が再開されていない農地を用いて、従来の耕起による管理と不耕起・草生状態との土壌の生態学的な比較を行い、収穫量以外の多機能性(土壌理化学性の改善、土壌炭素隔離、生物多様性の維持)を評価することとした。

2. 研究の目的

福島の除染農地では「保安全管理」の実施で雑草が繁茂し、農業生産上の障害となる。しかし、土壌生態系にとっては植物の根の量が多くなることで土壌微生物の餌資源が増えたり、土壌孔隙が増加したりするので生物の現存量および多様性が増加する。そのため、土壌生物のはたらきによって土壌の質は向上すると予想できる。しかし、移動性に乏しい土壌生物相の変化は地上生物相に比べて遅く、管理の継続と土壌の変化の関係を明らかにする必要がある。したがって、土壌の質が変化するまで同じ管理を継続し、観測を続ける必要がある。一般の農家にとって効果がすぐに現れない管理を採用することは困難であり、研究圃場での詳細な比較研究が必要である。

そこで、耕起による農地利用と、不耕起草生の状態で栽培を行う場合を比較し、土壌の理化学性および生物性の変化を2年半にわたって追跡した。このことによって、土壌の生物多様性のもつ生態系機能の回復が、省力的な農地管理にどのように資するかを評価した。

3. 研究の方法

旧避難区域で、農地除染が実施された2箇所の農地に試験区を設けた。

1) 福島県相馬郡飯舘村大平(飯舘サイト)

2) 福島県伊達郡川俣町山木屋(山木屋サイト)

2つの調査地は、いずれも避難指示区域に指定され、2017年3月31日に指示解除となった。飯舘サイトは2016年、山木屋サイトは2015年に農地除染された場所である。

2017年9月に、それぞれの試験区内に3m x 4mの区画を16個設け、4ブロックに分割した。耕起と不耕起・草生、化学肥料の施肥の2つの処理を組みあわせて、4種類の処理を設け、ブロック内にランダムに配置した。試験区は2017年9月に設定し、耕起区は耕耘し、不耕起区は雑草を地際で刈り取り、その場に敷設した。

試験作物として10月から6月はコムギ(一部オオムギ)を、6月から10月はダイズを播種し、収量を比較した。2017年9月の施肥は、すべての区で堆肥と化学肥料を散布し、さらに施肥区のみ、カリウムを散布した。カリウム散布は最初のみ行い、2018年からは施肥区にのみ、化学肥料を散布し、対照区では施肥をしなかった。

収量調査の際に、雑草を刈りとり、種構成を記録すると共に現存量を調べた。

2017年9月に深さ1メートルの土壌断面を作成し、層位ごとに土壌を採取し、化学分析を行った。2018年から、収穫直前に土壌オーガーを用いて深さ30cmまでの土壌を各区画から1点ずつ採取し、0-15cmと15-30cmに分けたのち、化学分析を行った。

土壌からの無機態窒素の溶脱を評価するために、イオン交換樹脂を深さ5cmと30cmの土壌に半年間埋設し、樹脂に吸着された硝酸態とアンモニア態の窒素を定量した。

デジタル硬度計を用いて各区画で3点ずつ、深さ60cmまでの土壌硬度を測定した。

2018年と2019年6月に25 x 25cm深さ20cmの土壌を採取し、現地で大型土壌動物をハンドソーティングで採取した。底辺1 x 1mの羽化トラップを2019年4月と6月に設置し、羽化昆虫を採取した。トラップには合成洗剤を添加した水をいれ、4日間放置した後に回収した。

土壌のアミノ酸組成を調べるために100ccの採土円筒を用いて表層から5cmまでの土壌を非破壊で採取し、実験室で微小透析装置を用い、1μL/分の速度で脱イオン水を流し、48時間後にサンプル水を回収して、土壌から得られたアミノ酸を測定した。

4. 研究成果

ムギ類とダイズの収穫量は、栽培途中で野生のサルによる食害の影響があり、正確な値が得られない調査区(飯舘)があり、さらに2019年の多雨で湿害が発生して発芽率が悪いなど、十分な栽培ができなかった。しかし、不耕起栽培の採用によって8割程度の収穫量が確保できていた(図1)。これは、日本における不耕起草生栽培の従来の報告と同程度であった。不耕起草生処

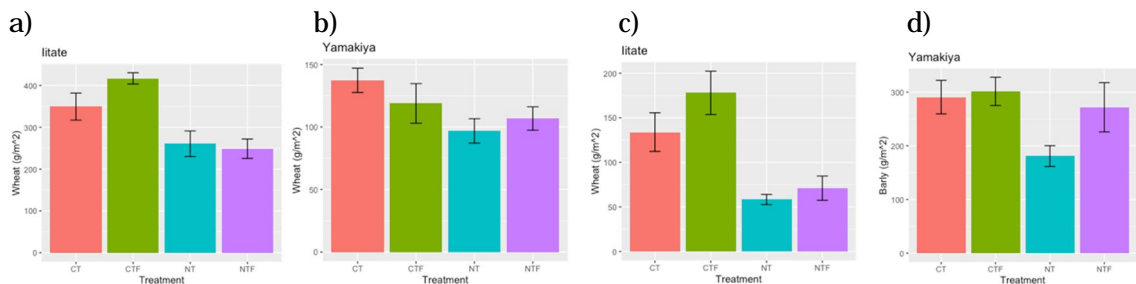


図1 試験地におけるコムギとオオムギの収量。a) 飯館 2018 年収穫、b) 山木屋 2018 年収穫、c) 飯館 2019 年収穫、d) 山木屋 2019 年収穫 (オオムギ)。バーは左から耕起無施肥 (赤)、耕起施肥 (緑)、不耕起無施肥 (青)、不耕起施肥 (紫)。

理で収穫量が低下した理由としては、雑草管理が十分でなく、作物の生長が抑制されたことが挙げられる。機械も用いた効果的な除草については、季節や頻度を含めて技術開発を行う必要がある。

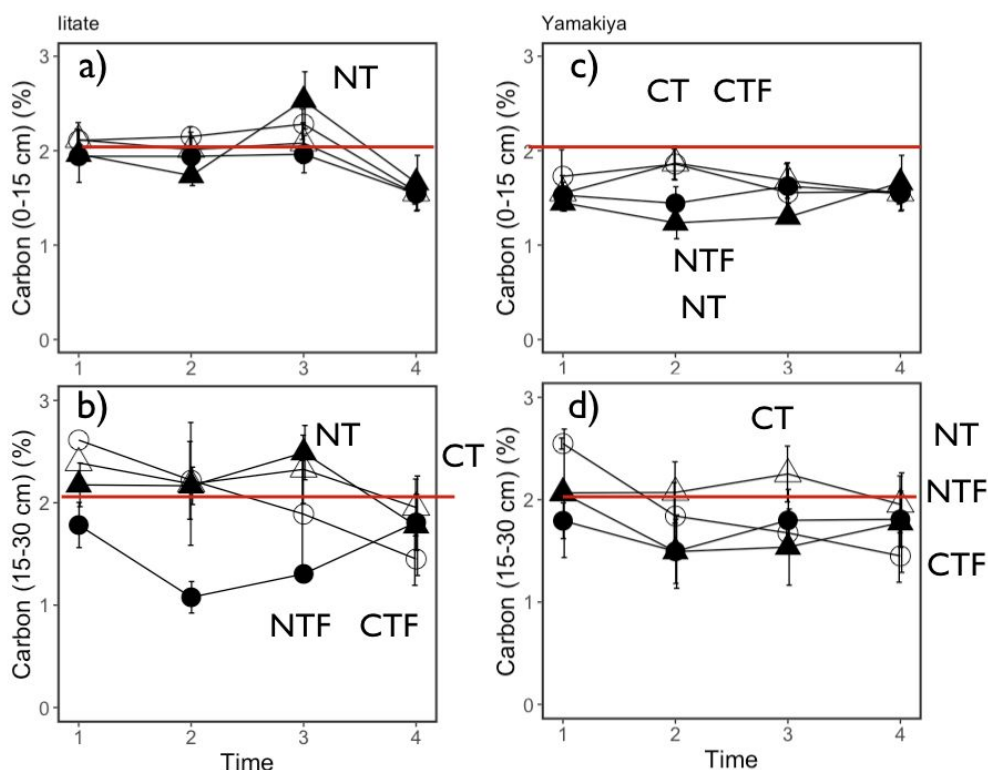


図2 土壌炭素濃度の経時変化。CT：耕起無施肥、CTF：耕起施肥、NT：不耕起無施肥、NTF：不耕起施肥。X軸は観測を行った時期、1：2018年6月、2：2018年10月、3：2019年6月、4：2019年10月。

土壌炭素の濃度は、表層 (0-15cm) では耕起区の方がやや高かったが、最後はほぼ同じ濃度となった (図2)。下層 (15-30cm) でも試験開始直後は耕起区の濃度が高かったが、耕起区では時間と共に低下する傾向があった一方で、不耕起区、特に不耕起施肥区では、2018年9月に低下したのち、増加を続けた。土壌炭素濃度に比重をかけた土壌炭素量も濃度と同様、初期に耕起区で高い傾向があったが、4回目の測定ではプロット間の違いがなかった。

羽化トラップで捕獲された昆虫はほとんどがハエ目であり、同時にクモ類も多数捕獲された (図3)。ハエ目は幼虫を土壌で過ごし、羽化して地上に飛び出す。一方、クモ類は地上の植物上にいたものが、捕えられたものである。羽化ハエ数は、6月に不耕起区で耕起区より多かったが、10月には6月よりいずれの処理区も減少し、処理間の違いがなかった。一方、クモ類は6月より10月に多く、6月には処理間の違いがなかったが、10月には不耕起区で多くなっていた。10月のクモ類の増加が、不耕起区で土壌由来の餌が多かった可能性がある。これは腐植流入 (Detritus infusion) と呼ばれる現象と同じと考えられ、土壌からの羽化昆虫の移動が地上部の天敵の密度を高く維持している可能性がある。

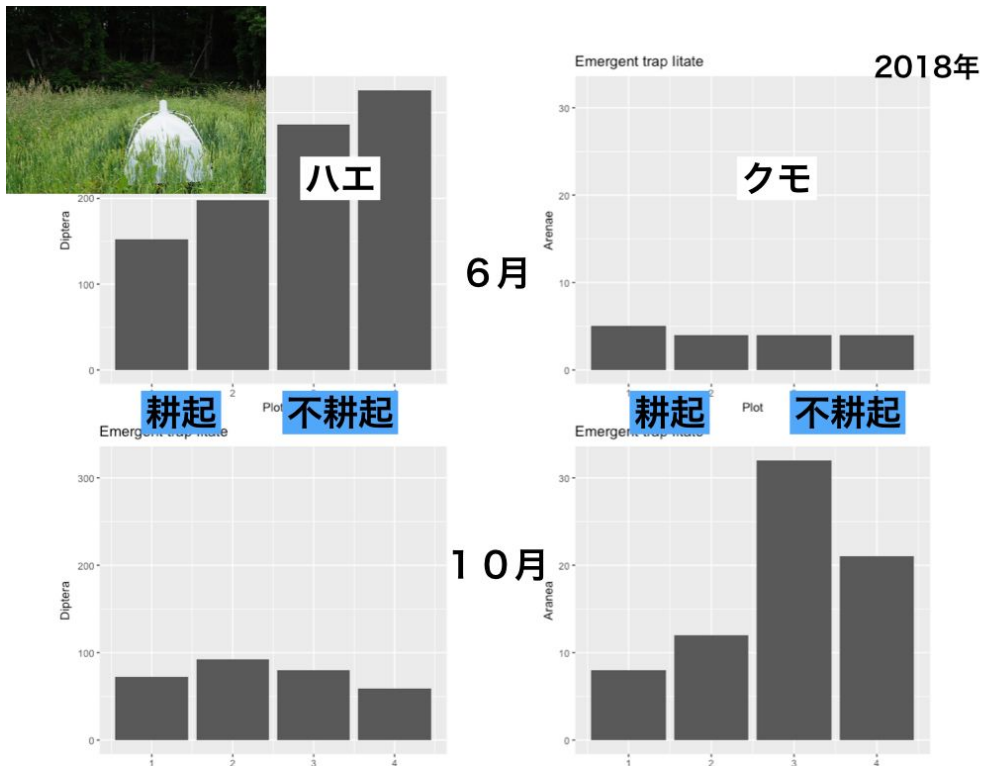


図3 羽化トラップによるハエ目成虫とクモの捕獲数(飯舘サイト)。バーは左から耕起無施肥、耕起施肥、不耕起無施肥、不耕起施肥。

ハンドソーティングで得られた土壌動物の組成を主成分分析し2次元グラフに展開した(図4)。2つの調査地で処理による明瞭な違いは見られなかった。

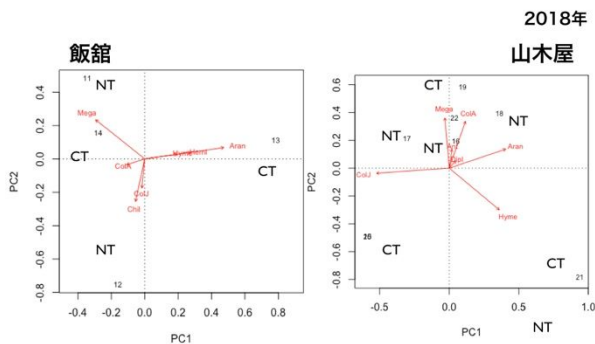


図4 大型土壌動物の種構成の比較

これらの結果から、不耕起区で土壌炭素濃度の上昇がみられたが、大型土壌動物の変化は明瞭ではなかった。一方、ハンドソーティングでは観測できないハエ目昆虫が不耕起区で増加し、地上部のクモ類個体数を増加させる可能性が示唆された。不耕起草生栽培では耕起を行う慣行的な栽培より収穫量が低下する。これは作物と雑草の競争によるものと考えられるが、管理強度を落としても収穫が得られないわけではない。一方、天敵となりうるクモ類の増加が不耕起区で見られた。これらのことから、不耕起草生栽培では、土壌炭素の隔離が徐々に起こり、同時に天敵個体数の増加が期待できる。本研究では管理コストを比較していないが、省力的な管理であっても一定の効果が期待できる。

最後に、土壌生態系の多機能性の評価を行った。2019年6月のムギ類収穫量、2019年6月の土壌仮比重、炭素、窒素濃度、表層5cmの無機態窒素(アンモニア態+硝酸態)生成量、および炭素、窒素蓄積量の変化をパラメータとして採用した。それぞれのパラメータの平均からの偏差の平均を処理ごとに求め(z変換)。最後にその値の平均と標準誤差をそれぞれの処理のスコアとした。なお、仮比重は大きいほど機能が落ちると考え、偏差を算出後、値にマイナス1を掛けた。また、炭素、窒素蓄積量の変化は、2017年10月と2019年10月の蓄積量の差を求めて用いた。

その結果(図5)、飯舘(左)では、不耕起施肥区>耕起施肥区>耕起無施肥区>不耕起無施肥区の順となった。一方、山木屋(右)では、耕起施肥区>不耕起無施肥区、不耕起施肥区>耕

起無施肥区、の順となった。したがって、耕起をして施肥をしない場合、収量も含めた土壌生態系の機能が大きく落ちることが分かった。また、場所によっては不耕起施肥区が耕起をする管理よりも機能が高まっていた。多機能性の評価に使うパラメータの種類、重み付け（今回は収獲量も土壌の変化も同じ重みとしている）によって結果が変わるが、重み付けは土地利用のユーザーによって選択する必要があるだろう。

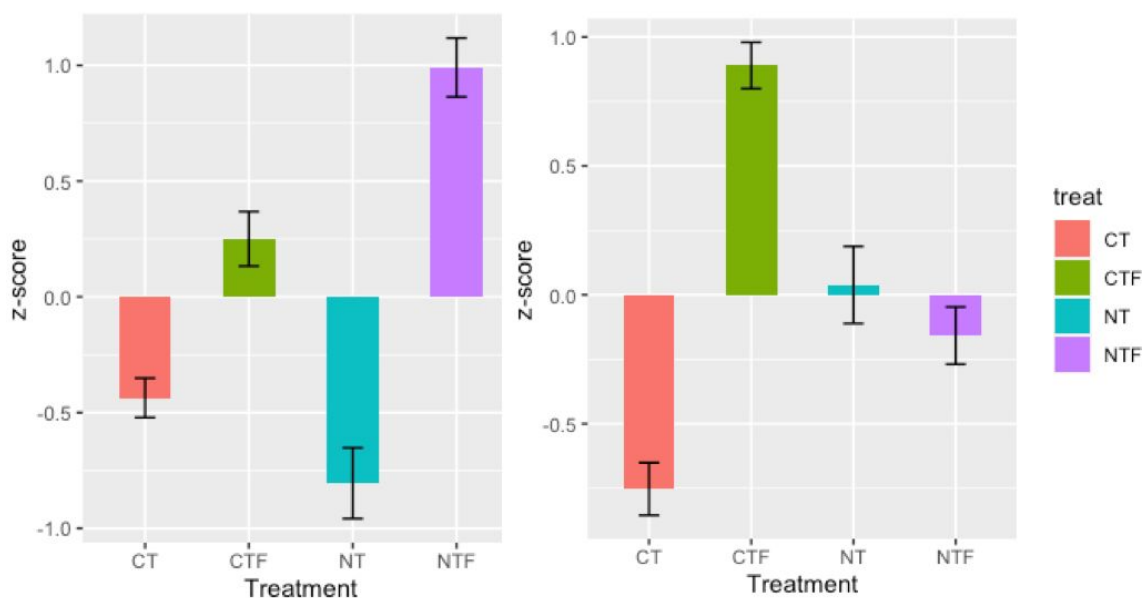


図5 土壌生態系の多機能性に基づく、4つの異なる農地管理の比較（左：飯館サイト、右：山木屋サイト）

本研究では、現地調査と併せて、教科書や農業書に「保全農業」の解説を執筆した。これらは、世界的に拡大している「保全農業」の解説としては、日本で初めてのものである。

<引用文献>

好野奈美子、小林浩幸、高橋義彦（2015）剥ぎ取り除染を行った農地において表土剥ぎ取りおよび客土が地力に与える影響．環境放射能除染学会誌 3: 145-152
 金子信博（編著）（2018）土壌生態学（実践土壌学シリーズ2） 朝倉書店

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Arai Miwa, Miura Toshiko, Tsuzura Hiroshi, Minamiya Yukio, Kaneko Nobuhiro	4. 巻 332
2. 論文標題 Two-year responses of earthworm abundance, soil aggregates, and soil carbon to no-tillage and fertilization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geoderma	6. 最初と最後の頁 135 ~ 141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geoderma.2017.10.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hashimi Rahmatullah, Komatsuzaki Masakazu, Mineta Takuya, Kaneda Satoshi, Kaneko Nobuhiro	4. 巻 35
2. 論文標題 Potential for no-tillage and clipped-weed mulching to improve soil quality and yield in organic eggplant production	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biological Agriculture & Horticulture	6. 最初と最後の頁 158 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01448765.2019.1577757	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Phillips Helen R. P. , N, Kaneko (60/140)	4. 巻 366
2. 論文標題 Global distribution of earthworm diversity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 480 ~ 485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aax4851	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Sangat Binay, Kaneko Nobuhiro, Akio Sakura, Jun-ichiro Suzuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Use of weeds as a nitrogen resource with slashing and mulching management in no-tillage with soybean crop	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本有機農業学会誌	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kaneko Nobuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Contamination and transfer of radiocesium in soil ecosystem	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiocesium Dynamics in a Japanese Forest Ecosystem	6. 最初と最後の頁 167-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-8606-0_10	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 金子信博・井上浩輔
2. 発表標題 農地の保全的な管理による土壌生物の生態系機能の向上
3. 学会等名 第41回日本土壌動物学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 金子 信博、島野智之、岡田浩明、唐澤重考、南谷幸雄、中森泰三、長谷川元洋、角田智詞、兵藤不二夫、菱拓雄	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 216
3. 書名 土壌生態学	

1. 著者名 金子信博 (澤登 早苗、小松崎 将一 編著)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 コムズ	5. 総ページ数 332
3. 書名 有機農業大全	

1. 著者名 金子 信博、金田 哲、豊田 鮎、占部 城太郎、日浦 勉、辻 和希	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 140
3. 書名 土壌動物の多様性と機能解析	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中森 泰三 (Nakamori Taizo) (50443081)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授 (12701)	
研究分担者	浅井 元朗 (Asai Motoaki) (40355524)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・連携調整・専門役等 (82111)	
研究分担者	好野 奈美子 (Yoshino Namiko) (20568547)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター・主任研究員 (82111)	
研究分担者	大瀬 健嗣 (Ohse Kenji) (90396606)	福島大学・農学群食農学類・教授 (11601)	
研究分担者	石井 秀樹 (Ishii Hideki) (70613230)	福島大学・農学群食農学類・准教授 (11601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	渡邊 芳倫 (Watanabe Yoshinori) (30548855)	福島大学・農学群食農学類・准教授 (11601)	