

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05058

研究課題名(和文)環境保全型農法がミミズの土壌肥沃度改善機能に及ぼす効果

研究課題名(英文)Effects of environmental farming system on soil function of earthworm

研究代表者

金田 哲(KANEDA, Satoshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・西日本農業研究センター・上級研究員

研究者番号：00537920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、草生栽培や有機栽培等の環境保全型農法により、ミミズの生息密度やミミズによる団粒形成量の変化を推定することを目的とした。具体的には、農地のミミズの生活型を決定し、有機栽培と草生栽培を行っている果樹園においてミミズを調査した。さらに団粒形成量と土壌要因の関係を評価した。本研究で17種の生活型を決定し、草生栽培が表層生息性ミミズの生息密度を高める効果があることを示した。土壌要因とミミズの団粒形成速度との間に関係が見いだせなかったため、既存研究の温度、水分、ミミズ重量と団粒形成量の関係を野外に適用した。その結果有機栽培はミミズの生息密度を増加させ、団粒形成量を増加させる結果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農業活動も農薬散布、化学肥料施肥、温室効果ガス排出など、環境に負荷をかけている。現在は、環境負荷を出来るだけ軽減しつつ生産活動を行うことが求められている。ミミズは土壌肥沃度を改善する効果が期待されているものの、農業に取り入れる試みはなされていない。本研究はミミズの土壌肥沃度改善効果を農業に取り入れられるように、ミミズの生息密度を高める農法を探索しつつ、土壌肥沃度と関係のある団粒形成量を推定できるようにするものである。本課題は、ミミズの生息密度を高め、土壌肥沃度改善効果を高める環境保全型農法を探索することで、より環境に低負荷な作付け技術の開発に資する。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study are estimation of variation of earthworm soil aggregate formation and earthworm density by environmental farming system like weed cover mulching and organic farming. In this study, life-forms of earthworm were classified, and earthworm community were investigated in orchard of weed cover mulching and organic farming. Relationship between soil parameters and soil aggregate formation rate by earthworm were studied. Seventeen species life-forms could be classified. Weed cover mulching enhanced density of epigeic species. There was no relationship between soil properties and soil aggregation formation rate. Therefore, previous studies results, relationship between soil aggregate formation rate and soil moisture, temperature and worm weight applied to field survey. According to the estimation, organic farming enhanced soil aggregate formation rate.

研究分野：土壌生態学

キーワード：ミミズ 環境保全型農業 土壌肥沃度 団粒形成 草生栽培 有機栽培

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の人口が急激に増加している一方農地面積の拡大があまり見込めない現状から、現在の農地の土壌劣化を防止し、生産性を維持向上させる農地管理技術の確立が急務となっている。しかし、一部における化学肥料の過剰な施用、農薬の不適切な使用等により環境へ悪影響を及ぼす事例が報告されている。また地力保全基本調査によると畑や果樹園の60%以上が何らかの生産阻害要因のある不良土壌とされている。わが国では『農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業』を環境保全型農業と位置づけ、有機農業推進法や地力増進法を施行し環境保全型農業を推進している。この農業体系では、農薬や化学肥料の投入に代わり、既存の生物機能を発揮させることが重要となる。

土壌生物の中で特にミミズは、農地で土壌肥沃度を改善させる役割を担っている重要な動物である。例えば、ミミズは団粒を形成することで土の通気性、透水性を改善し根の張りを良くし、有機物分解を通して養分循環を促進する。こういった効果で作物の生産性が向上することが過去の実験結果をまとめた研究から示されている。このようにミミズを活用することは肥沃度改善に有効であり、環境保全型農業によりミミズの生息密度や種多様性がどのように変化するか、またその結果ミミズの土壌肥沃度改善機能にどのような影響を及ぼすのかを解明することは、環境保全型農業を推進する農業政策上極めて重要な課題である。

しかし、ミミズの土壌肥沃度改善機能は十分には解明されておらず、その機能の有効活用までには至っていない。ミミズが土壌肥沃度に及ぼす影響として、窒素無機化の促進、団粒形成による土壌物理性改善が明らかになっている。さらには、土壌の水分保持能や養分保持能にも影響を及ぼすと考えられるが、これらへのミミズの影響は明らかになっていない。窒素無機化促進や団粒形成機能については、定性的に調べられてきたものの定量的には調べられていなかった。このため、どういった農法でこれらの機能がさらに発揮されるのか？さらには、土壌とミミズの機能の関係も明らかになっていないため、土壌や農法の違いにより、ミミズの機能がどのように変化するのが明らかになっていない。

2. 研究の目的

農法とミミズ群集の関係については、特にわが国では研究が遅れているが、欧米では農薬散布や耕起処理によりミミズの生息密度が低下すること、有機物施用により生息密度が増加することが明らかになっている。我が国においても耕起処理によりミミズの生息密度が大幅に低下することが示されている一方で、果樹園などの耕起処理をあまり行わない農地において、ミミズの生息密度がどういった管理で増加するかは明らかになっていない。また、農法の変化がミミズに及ぼす影響は各生活型で異なると考えられるが、日本に生息している多くの種の生活型が明らかになっておらず、優占種の生活型を明らかにする必要がある。そこで本提案課題では耕起かく乱の少ない果樹園において、ミミズの土壌肥沃度改善機能の活用に向け、環境保全型農法がミミズ群集とその土壌肥沃度改善効果に及ぼす影響を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

本課題では、以下の4つのテーマで進めた。1) ミミズ的生活型区分の解明、2) 農法がミミズ群集に及ぼす影響の解明、3) ミミズの機能の解明及び土壌要因と団粒形成量との関係、4) 環境保全型農法によるミミズの土壌肥沃度改善効果の推定。

(1) ミミズ的生活型区分の解明では、果樹園、防風林、農地周辺草地、森林などで植物の葉、リター、土壌、ミミズサンプルを採取し、安定同位体を調べることで、どの有機物を利用しているかを推定するとともに、既存の研究から各ミミズ種の生息場所の情報を調査した。2つの情報からミミズ的生活型を3つに分けた。

(2) 農法がミミズ群集に及ぼす影響の解明では、環境保全型農法の代表として、有機栽培と草生栽培がミミズ群集に及ぼす影響を評価した。有機栽培と減農薬栽培をカンキツ園で比較し、草生栽培と慣行栽培をリンゴ園と柿園で評価した。草生栽培では、草による遮光と餌となる有機物還元が付随している。遮光と有機物還元の効果を検証するため要因実験も行った。全ての調査地とも調査は夏と秋の年2回を2年連続で行った。土壌温度、水分をモニタリングするとともに、表層土壌のECとpHを測定した。

(3) ミミズの機能の解明及び土壌要因と団粒形成量との関係では、ミミズによる土壌肥沃度改善効果として窒素無機化促進、養分溶脱軽減効果と団粒形成を土壌要因から定量的に評価することとした。窒素無機化促進と養分溶脱軽減効果については、ポットで実験を行い土壌生息性ミミズによる有機物分解の促進による窒素無機化へ及ぼす影響を調べた。またミミズによる団粒形成は土壌の物理性を改善するのみならず団粒中に養分を貯留すると考え、団粒形成による養分溶脱軽減効果を評価した。土壌要因と団粒形成量の関係を調べる研究では、日本各地から採取していた16種類の土壌を用い、土壌のpH、EC、無機態窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウム、腐植、土性を調べるとともに、それぞれの土壌でのミミズによる団粒形成量と各要因の関係を調べた。

(4) 環境保全型農法によるミミズの土壌肥沃度改善効果の推定に関する研究では、土壌要因と団粒形成量との間に明瞭な関係が見られなかった。このため、土壌要因が団粒形成量に影響を及ぼさないとし、既存の研究から土壌温度、水分、ミミズ重量から団粒形成量を推定するモデル式

を野外調査の結果に当てはめた。当てはめた調査地は、カンキツ園で土壌温度、水分、ミミズ重量から有機栽培と減農薬栽培とでミミズによる団粒形成量がどの程度異なるかを推定した。

4. 研究成果

(1) ミミズの生活型区分の解明

8ヶ所からサンプリングを行い、安定同位体比と生息場所から生息型を、表層生息性ミミズ、地中生息性ミミズ、地中生息表層採餌性ミミズの3タイプに分けた。表層生息性ミミズは、キクチミミズ、ハタケミミズ、ヒトツモンミミズ、フトスジミミズ、フキソクミミズ、アオキミミズ、ツリミミズの1種。地中生息性ミミズはサクラミミズ、フクロナシツリミミズ。表層採餌地中生息性ミミズは、カッシュクツリミミズ、メキシコミミズ、イロジロミミズ、セグロミミズ、ノラクラミミズ、ヘンセイミミズ、ヤマトジュズイミミズ、ヨコハラトガリミミズ。ヒナミミズは、今回の結果では地中生息性ミミズが表層採餌地中生息性ミミズかは判断できなかった。日本に生息するミミズの多くは生活型区分はあいまいだったが、今回安定同位体比と生息場所から区分できた。

(2) 農法がミミズ群集に及ぼす影響の解明

カンキツ園で有機栽培区と減農薬区でミミズの調査を夏と秋に行った。その結果、個体数では両区で差が無いものの、バイオマスにおいては夏に有機栽培区で高くなる結果が得られた(図1)。表層生息性ミミズの個体数は夏に有機栽培区で高かった。秋には有機栽培区においても表層生息性ミミズは殆ど見られず、夏の高温乾燥で死滅したと考えられた。

リンゴ園では草生栽培と定期的除草する慣行栽培とでミミズ群集を比較した。その結果リンゴ園において、草生栽培はミミズの個体数、バイオマスとも影響は見られなかった。一方で、低pH土壌の酸性土壌でミミズの生息密度が低下する結果が何回かの調査で認められた(図2)。土壌pHとサクラミミズ(土壌生息性ミミズ)の成長比の関係を調べたところ、低pHの酸性土壌で成長が低下する結果が得られた(図3)。この結果から今回調査を行ったリンゴ園で、低pH土壌ではミミズの生息密度が制限されていると考えられた。

カキ園では、草生栽培と定期的除草する慣行栽培においてミミズ群集を比較した。個体数は両区で差は認められなかったが、バイオマスにおいては夏に草生栽培区で多くなった(図4)。カンキツ園同様秋には両区の差は無くなった。

遮光と有機物施用がミミズ群集に及ぼす影響を調べた結果、有機物施用によりミミズの個体数、バイオマスが増加した。遮光は秋のバイオマスにのみ効果が認められた(図5)。有機物施用+遮光区では秋にも表層生息性ミミズの生息が認められたが、有機物施用のみでは夏を越えて生息できなかった。

カンキツ園の有機栽培では、除草剤が使えないため草生栽培と同様に草が生えており、有機物還元と遮光の効果がある。カンキツ園とカキ園では夏においてミミズの

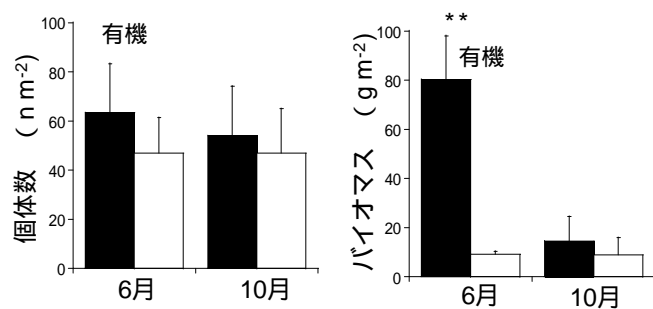


図1: カンキツ園で各栽培方法がミミズの個体数とバイオマスに及ぼす影響

サンプリングは6月と10月に行い、2年平均の結果を記す。バイオマスはホルマリンサンプル重を示す。

が有機栽培区、が減農薬区

**は危険率1%以下で有意な差があることを示す。

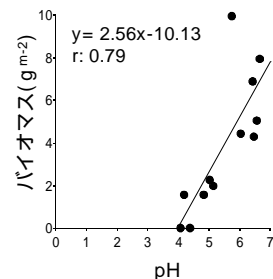


図2: 土壌pHと生息密度との関係
2017年夏の慣行栽培での例

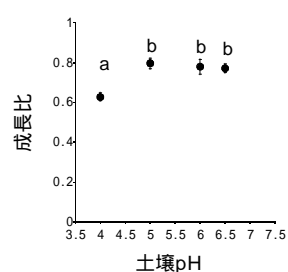


図3: 土壌pHとサクラミミズの成長比の関係
実験開始時から4週間後の成長比異なる添字は危険率5%で統計的(Teuky)に有意な差があることを示す。成長比1で実験開始時と同じ重量を意味する。

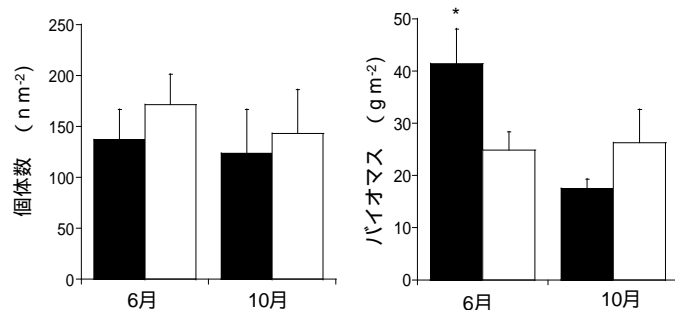


図4: カキ園で各栽培方法がミミズの個体数とバイオマスに及ぼす影響
サンプリングは6月と10月に行い、2年の平均の結果を記す。バイオマスはホルマリンサンプル重を示す。

が草生栽培区、が慣行栽培区

*は危険率5%以下で有意な差があることを示す。

バイオマスが高くなった。リンゴ園では表層生息性ミミズが生息していなかったこと、試験圃場間で土壌 pH が大きくことなり酸性土壌で生息密度が低い圃場が含まれていたことなどから慣行区と比較しバイオマスに差が出なかったと考えられる。

(3) ミミズの機能の解明及び土壌要因と団粒形成量との関係

ミミズの役割を効率的に研究していくには、実験に用いる個体を飼育し維持することが必要となる。しかし、日本に優占しているミミズは欧米と種が異なり、飼育法は十分に確立できていなかった。そこで飼育法の確立を行った。その結果、まだ十分に効率的ではないものの継代飼育が出来る方法の開発できた。

土壌生息性ミミズのサクラムミミズを飼育する土壌条件は、沖積土を用い、最大容水量の60%に含水率を調整する。餌として土の重量に対し2%の糞粉末を添加する。飼育開始3週目に糞を土重量に対し1.3%追加し、稲わらに吸水される程度の水も添加する。5週に1度土を全て入れ替える。飼育密度は土40gに2個体(成体で0.4g程度になる個体群)で飼育する。この方法を行うことで、産卵、孵化することを確認した。表層生息性ミミズのヒトツモンミミズは、土壌条件として生息していた場所の土を用い、体積1lのプラスチック容器に150gの土を投入し有機物を3g表層に置く。容器上部は通気が良いように不織布で覆い、週に3回霧吹きで乾燥を防ぐ。土と有機物は1週間毎に入れ替える。この方法で産卵までは確認できた。

ミミズの機能の解明では、窒素無機化促進と養分溶脱軽減効果について、ポット実験を行った。実験は120gの土をポットに入れ、サクラムミミズ1個体を15、4週間培養した。ミミズは重量が大きくなると単位時間当たりの団粒形成量が増加する。実験ポットでも同様の現象が起こるかどうかを確認したところ、図6のように重量が増加するほど団粒形成量が増加した。

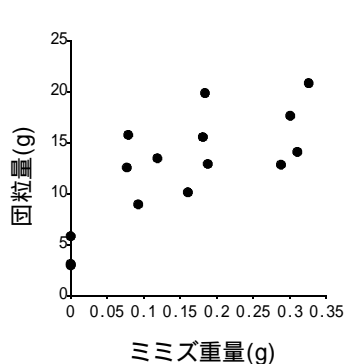


図6：ミミズ重量と団粒形成量の関係

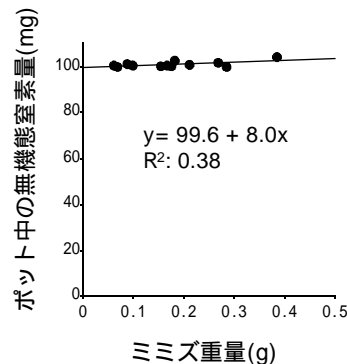


図7：ミミズ重量とポット中の無機態窒素量

4週間で形成された団粒は土全体の1割程度だった。培養後に無機態窒素の量を測定した結果、ミミズ重量が増加するとともに無機態窒素が増加した(図7)。形成された団粒量とポットに灌水した時の土からの溶脱率を調べた結果、団粒量と溶脱率の間に関係が認められなかった。土全体の10%の団粒量では溶脱率に及ぼす効果が見えにくかったと考えられた。

土壌パラメータとミミズによる団粒形成量の関係をポット試験で調べた結果、土壌要因と団粒形成量の間に関係性を見出すことが出来なかった。

(4) 環境保全型農法によるミミズの土壌肥沃度改善効果の推定

果樹園での調査では表層5cmの土壌温度と水分を毎年通してモニタリングしていた。ミミズ重量、土壌温度、水分量からミミズの団粒形成量を推定するモデル式がある。今回の研究では土壌要因と団粒形成量との間に

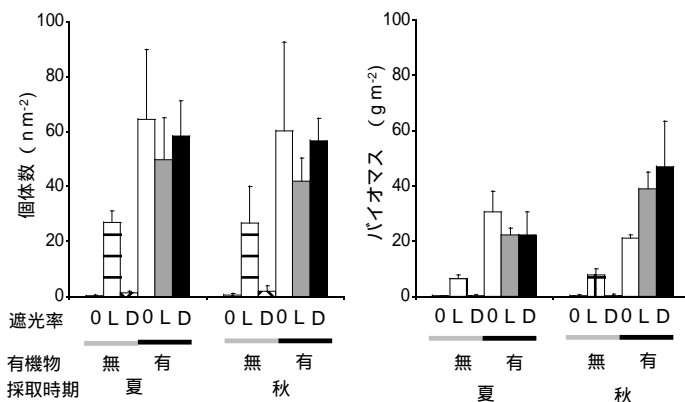


図5：遮光と有機物施用がミミズの個体数とバイオマスに及ぼす影響
夏のサンプリングは6月に行い、秋は2018年は10月に2019年は11月に行った。データは2年の平均の結果を記す。バイオマスはホルマリンサンプル重を示す。遮光率で0は0%、Lは45%、Dは88%の遮光を示す。有機物施用は個体数、バイオマスともに夏、秋とも危険率0.1%で効果あり。遮光は秋のバイオマスについて危険率5%で効果あり。

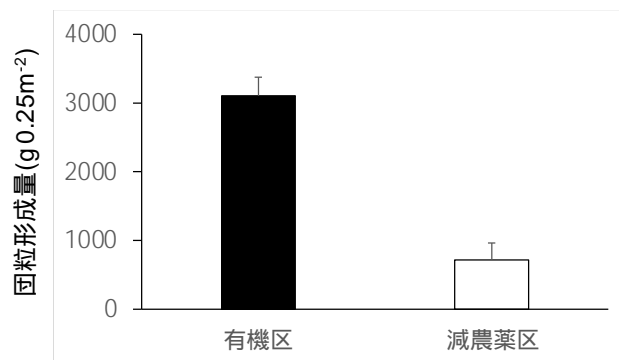


図8：環境保全型農法によるミミズの土壌肥沃度改善効果の推定

2016年度4月1日から12月31日の期間の団粒形成量

係性が認められなかったため、モデル式を今回の研究にそのまま当てはめた。4月～8月と9月～12月のミミズの生息密度を6月と10月に行った調査結果を用い、有機栽培区、減農薬栽培区でミミズが形成した団粒量を推定した。ミミズは有機栽培区で減農薬栽培の3倍多くの団粒を形成する結果となった(図8)。

(5) 総合考察

これまで日本のミミズは、十分に生活型を区分されていなかった。今回安定同位体と生息場所から17種のミミズ的生活型を3タイプに区分することが出来た。今回の研究では、農地に優占しているミミズの多くを採取出来たことから、今後農地でのミミズを研究する際に本研究の生活型区分が活用され、こういった農法でどのタイプの生活型のミミズに影響を受けるかを把握できるようになった。

海外のミミズや堆肥に生息するミミズについては飼育法が確立されている種が複数いるものの、日本の農地で優占するミミズについては、飼育方法が確立されていなかった。ミミズの飼育は、生態研究には欠かせない技術のため、本研究で卵胞を採取するまでの飼育法が確立された意義は大きい。さらなる効率的な飼育法の確立は必要なものの、実験室で継代飼育が可能になったため、ミミズの生態研究の進展が期待される。

土壌要因とミミズによる団粒形成速度との関係では、両者に関係が見いだせなかった。今回はミミズの生育や団粒形成に関係が深いと思われる、無機態窒素、カリウム、マグネシウム、カルシウム、腐植、粒径組成との関係を調べた。今後はさらに団粒形成に関係する土壌要因も含めてミミズによる団粒形成速度を推定するモデル式の開発を検討する必要がある。また、ミミズによる団粒形成量を増加させる要因が明らかになれば、資材を投入することでミミズによる団粒形成量を増加させる技術につながる。

環境保全型農法によるミミズの土壌肥沃度改善効果の推定では、既存のモデル式を用い、有機栽培区、減農薬区でのミミズの団粒形成量を推定した。今回は推定したものの、検証までは出来ていない。本研究課題は実験室でミミズの効果調べた。実験室レベルでミミズの効果調べる内容はまだまだ多いが、野外においてミミズがどの程度土壌肥沃度改善効果を発揮するかを検証していく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kaneda, S., Yonemura, S., Sakurai, G.	4. 巻 100
2. 論文標題 Earthworm population is a significant regulator of rate of formation of soil aggregates: a case study in <i>Eisenia japonica</i> (Michaelsen, 1892)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Edaphologia	6. 最初と最後の頁 31-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.20695/edaphologia.100.0_31	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 鈴木理希也・池田紘士・杉山修一・金田哲	4. 巻 106
2. 論文標題 自然栽培と慣行栽培のリンゴ園の落葉の違いがヒトツモンミズ（ <i>Metaphire hilgendorfi</i> ）の生存と繁殖に与える影響-飼育実験による検証-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Edaphologia	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.20695/edaphologia.106.0_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 金田 哲
2. 発表標題 サクラムミズ(<i>Eisenia Japonica</i>)の飼育法の検討
3. 学会等名 日本土壌動物学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 satoshi kaneda, Hideto Ueno, Shin Eitaki, Hiroshi Ikeda
2. 発表標題 The effect of organic management on earthworm community structure in orchard field.
3. 学会等名 East Asian Federation of Ecological Societies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永瀧 泰、上野 秀人、金田 哲、当真 要
2. 発表標題 ミミズの生息がコマツナ生育に与える影響と15Nトレーサー法による窒素動態解析
3. 学会等名 土壤肥料学会関西支部会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金田 哲、池田 紘士、上野 秀人、永瀧 泰
2. 発表標題 カンキツ園において農法の変化がミミズ群集に及ぼす影響
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金田 哲
2. 発表標題 ミミズの高湿乾燥耐性に関する研究
3. 学会等名 第40回日本土壤動物学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永瀧泰・上野秀人・金田哲・当真要
2. 発表標題 ミミズの生息がコマツナ生育と窒素養分動態に与える影響
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金田 哲、米村 正一郎、櫻井 玄
2. 発表標題 地域個体群がミミズ団粒形成速度に及ぼす影響
3. 学会等名 第39回日本土壌動物学会大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kaneda S., Yagasaki Y., Sakurai G., Yonemura S., Ohkubo S., Wagai R.
2. 発表標題 Effects of abiotic factors, soil temperature and moisture, and biotic factor, regional population, on soil aggregate formation rate by the earthworm <i>Eisenia japonica</i> (Michaelsen, 1892)
3. 学会等名 XVII International Colloquium on Soil Zoology (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金田 哲、池田 紘士、舟山 健
2. 発表標題 リンゴ園における草生栽培がミミズ群集に及ぼす影響
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金田 哲
2. 発表標題 土壌生息性ミミズの飼育法の改良：低温処理効果と培養土再利用について
3. 学会等名 日本土壌動物学会第42回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	池田 紘士 (IKEDA Hiroshi) (00508880)	弘前大学・農学生命科学部・准教授 (11101)	
研究分担者	小松崎 将一 (KOMATSUZAKI Masakazu) (10205510)	茨城大学・農学部・教授 (12101)	
研究分担者	兵藤 不二夫 (HYODO Fujio) (70435535)	岡山大学・環境生命科学研究所・准教授 (15301)	
研究分担者	舟山 健 (FUNAYAMA Ken) (70502376)	秋田県農林水産部(農業試験場、果樹試験場、畜産試験場、水産振興センター及び林業研究研修センター)・果樹試験場・主任研究員 (81401)	
研究分担者	上野 秀人 (UENO Hideto) (90301324)	愛媛大学・農学研究科・教授 (16301)	