

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82107

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580489

研究課題名(和文) 農耕地におけるミミズ群集の変動要因の解明

研究課題名(英文) Impacts of arable land management on earthworm communities

研究代表者

金田 哲 (Kaneda, Satoshi)

独立行政法人農業環境技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：00537920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：農耕地におけるミミズ群集の変動要因を解明するため、環境保全型農法および耕起と有機物施用処理がミミズ群集に及ぼす影響を調べた。カバークロープ栽培と草生栽培がミミズの生息密度及び種数を増加させること、不耕起、有機物施用がミミズ群集に正の効果があることを明らかにした。また、土壌温度、水分がミミズの団粒形成量に及ぼす影響を調べた結果、湿潤かつ20～25度でミミズがもっとも多く団粒を形成することを明らかにした。カバークロープ、草生栽培では夏期の高温または乾燥を軽減する効果が認められたことから、こういった栽培体系でミミズの生息密度および団粒形成量を高めることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Effects of environmental friendly farming systems on earthworm communities were investigated for understanding fluctuation factors of earthworm community in arable land. Cover cropping and weed mulch cropping increased earthworm population density and species richness, and no-tillage and organic amendment increased earthworm population density and species richness. Moreover effects of soil temperature and moisture on earthworm induced soil aggregate formation rate were investigated. The soil aggregate formation rate was enhanced at wet condition and moderate temperature, from 20 to 25 °C. Because cover cropping and weed mulch cropping suppressed dry condition and/or high soil temperature in summer, these cropping system would increase earthworm population density and enhance soil aggregate formation rate.

研究分野：土壌生態学

キーワード：ミミズ 環境保全型栽培 畑地 火山灰土 団粒形成 有機栽培 カバークロープ栽培 草生栽培

1. 研究開始当初の背景

近年、農地において環境保全機能の向上や生物多様性の保全等を図る観点から有機栽培、カバークロープ栽培、草生栽培等の環境保全型農業の推進が奨励されている。ミミズは、持続的な農業生産を行う上で重要な養分循環の促進や団粒の形成といった役割を持っているものの、環境保全型栽培がミミズ群集やミミズの団粒形成機能に及ぼす影響は明らかになっていない。ミミズの生息密度や団粒形成機能を高める要因が明らかになれば、ミミズを活かした農地管理が可能となる。

2. 研究の目的

有機栽培は、農薬を用いないことで、地上部の生物多様性を高める効果が認められており、地下部の生物にも生息密度を高める効果が期待される。また化学肥料を用いないため有機たい肥を施用する。有機物はミミズの餌となるため、有機栽培はミミズの生息密度を高める効果が期待される。カバークロープ栽培は、冬期主作物を作付しない時期にライムギやヘアリーベッチを作付することで、冬期の風食抑制や有機物還元による土壌炭素の増加が期待されている。草生栽培は傾斜地の水食防止や有機物還元による土壌炭素増加が期待されている。カバークロープ栽培、草生栽培とも有機物が還元されることからミミズの生息密度が増加すると考えられる。またミミズは土壌の肥沃度を高める団粒を形成することが明らかになっている。団粒は、土壌の透水性、通気性を高めるだけでなく、団粒中の有機物の分解を抑制することが知られている。有機物の増加は微生物の活性を高め、pHの急激な変化を緩衝するなど、土壌の肥沃度に強く関係している。ミミズが団粒を形成することは明らかになっているものの、どういった土壌条件で団粒形成量が増加するかは明らかになっていない。カバークロープや草生栽培により土壌温度、水分が変化すると考えられることから、環境要因と団粒形成量の関係を明らかにすることで、団粒形成を促進させる農法の開発に資する。そこで本課題では、有機栽培、カバークロープ栽培、草生栽培がミミズ群集の多様性及び密度及び団粒形成機能に及ぼす影響を解明し環境保全型農業の推進に資することを目的とした。本目的を遂行するために、以下の3つの研究を行った。

(1)環境保全型農業実践圃場におけるミミズの生息密度や種多様性の調査、(2)人為的要因(耕起回数や有機物施用)がミミズ群集に及ぼす影響を評価する調査、(3)環境要因(土壌温度、水分)とミミズの団粒形成速度の関係のモデル化。

3. 研究の方法

(1)農法とミミズ群集の関係

カバークロープ栽培実践圃場、草生栽培実践圃場、有機栽培実践圃場においてミミズ群

集を調査した。有機栽培実践圃場での調査は、自然農法国際研究開発センター内に設置してある圃場で行った。この圃場では、化学肥料農薬処理、化学肥料無農薬処理、無化学肥料無農薬処理(有機栽培)を3年間継続して行っている圃場で調査を行った。有機栽培区ではキャベツ、ライムギの二毛作を行い、他の2区ではキャベツのみを栽培した。カバークロープ栽培実践圃場での調査は、茨城大学農学部を設置してある圃場で行った。この圃場では、カバークロープ(ライムギ)とロータリー耕の処理を評価する4処理区で調査を行った。カバークロープとして冬にライムギを植え、主作物として大豆を栽培した。全ての処理区とも無農薬、無化学肥料で栽培を行い、調査開始4年前から同じ方法で栽培管理を行っている。草生栽培実践圃場での調査は茨城大学農学部を設置してある圃場で行い、この圃場では有機栽培(耕起および除草)区と草生栽培区(有機栽培かつ不耕起、草生)の2か所で調査を行った。調査開始3年前から同じ方法で栽培管理を行っている。調査は全ての試験圃場で初夏と秋の2回、2年連続で行った。

(2)人為的要因(耕起回数や有機物施用)がミミズ群集に及ぼす影響

上記3つの圃場試験では、試験圃場間および同一試験圃場内でも耕起回数や有機物施用量が異なっている。そこで、耕起回数と有機物施用がミミズ群集に及ぼす影響を評価するため、要因実験を行った。農業環境技術研究所内に年間の耕起回数(3水準)と有機物施用処理を行う合計6処理区を設けた。実験圃場設置4年目から2年連続して初夏と秋に調査を行った。

(3)ミミズの団粒形成機能の定量化

本テーマでは、ミミズがどの程度団粒を形成するのか、また土壌温度、水分条件でどのように変化するのかを評価することを目的とした。モデル生物は、全国に広く分布している土壌生息性のサクラミミズとし、実験土は沖積土を使用した。実験は、ミミズの重量が団粒形成速度に及ぼす影響、土壌温度が団粒形成速度に及ぼす影響、土壌水分が団粒形成速度に及ぼす影響の3つの実験を行った。培養土を1mm以下にし、その土でミミズを1週間培養し、培養後1.6mm以上の土の塊をミミズ形成団粒とした。ミミズ重量が団粒形成速度に及ぼす影響は、0.057~0.423gの範囲のミミズ1個体を培養土に投入し、1週間後に団粒形成量を測定した。本実験では37個体のミミズを用い、ミミズを投入しないコントロールを3繰り返しで設けた。培養は、土壌水分を最大容水量(WHC)の60%に調整し、土壌温度を15で行った。土壌温度が団粒形成速度に及ぼす影響は、土壌水分をWHC60%に調整し、7段階の温度(5、10、15、20、25、30、35)で団

粒形成速度を測定した。 土壤水分が団粒形成速度に及ぼす影響は、土壤温度を 15 とし、6 段階の土壤水分（WHC30%、35%、40%、50%、60%、70%）で団粒形成速度を測定した。土壤温度、水分が団粒形成速度に及ぼす影響を評価する試験では、繰り返しを 8 回で行い、ミミズを投入しない対照区を 3 繰り返しで設けた。

その後、室内で開発したモデルが、野外で適用出来るかを検証するために野外で実験を行った。実験では、通気、通水の可能な飼育容器に土をつめ、飼育容器を野外に埋設し、温度水分を継続的に測定しつつ、1 週間でのミミズの団粒形成量を評価した。飼育容器には、直径 11.5 cm の塩化ビニルの円筒を用い、透水性、通気性を確保すると同時にミミズの移出入を防止するため、上方と下方を布で覆った。飼育容器内部は、土壤温度、水分を計測する部分とミミズ飼育部分を分けるために、長さ 11 cm の塩化ビニルの板を取り付け、広い方をミミズ飼育部とした。塩化ビニルの板に 1 辺 5.5 cm の正方形の穴を開け、両空間の水分張力を同等にするために素焼き板を取り付けた。実験に用いる土は、室内実験と同じ沖積土を用いた。実験には 1 mm のメッシュを通過させた土を実験に用いた。両部分に同じ密度になるように土を充填した。水分センサーと温度センサーは計測部側の中心に埋設した。水分張力と温度は 1 時間毎に計測した。飼育容器を野外土壤に埋設後、蒸留水で土を十分に湿らせた。その後重量を測定したミミズを各飼育容器に 1 個体ずつ投入した。1 週間後、ミミズ投入部の土を水中で 1.6mm の篩いでふるい、篩いに残った団粒をミミズ形成団粒とした。実験は 7 月から 12 月にかけて行い、1 回の培養期間でミミズを投入しないコントロール 1 つとミミズを投入する 3 つの合計 4 つの飼育容器を野外に埋設した。室内実験で用いた土と本試験で用いた土とでは、EC や炭素濃度が異なったため、野外試験で用いた土でミミズサイズと団粒形成量の関係を再度評価した。

4. 研究成果

(1) 農法とミミズ群集の関係

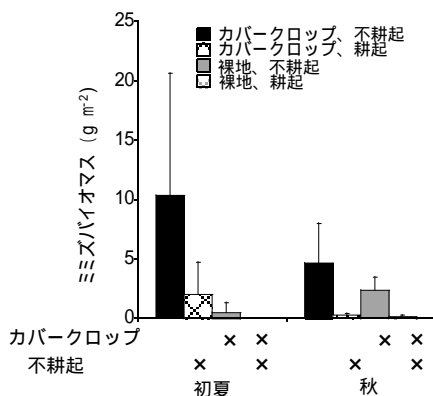


図1 カバークロップと耕起がミミズの生息密度に及ぼす影響

各図では、2 年の平均をプロットしている。調査の結果、有機栽培実践圃場ではミミズは全ての処理区において定着出来ていなかった。カバークロップ栽培実践圃場では、不耕起処理とカバークロップ処理がミミズの生

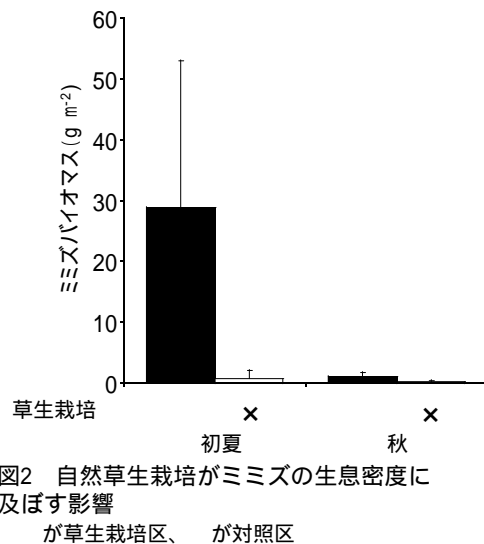


図2 自然草生栽培がミミズの生息密度に及ぼす影響

息密度と生息種数を統計的に有意に増加させることが明らかとなった(図1)。草生栽培実践圃場では草生栽培がミミズの生息密度と生息種数を統計的に有意に増加させることが明らかとなった(図2)。また、ミミズの生息密度が初夏と秋で統計的に有意に異なった。

(2) 人為的要因(耕起回数や有機物施用)がミミズ群集に及ぼす影響

要因実験から耕起がミミズバイオマスと生息種数に統計的に有意に負の効果を持つこと、有機物施用が統計的に有意に正の効果を持つことが明らかになった(図3)。また採取時期でミミズの生息密度が異なる傾向があった。

カバークロップ栽培、草生栽培実践圃場においても季節によりミミズの生息密度が異なった。要因実験も含め、ミミズ群集の季節

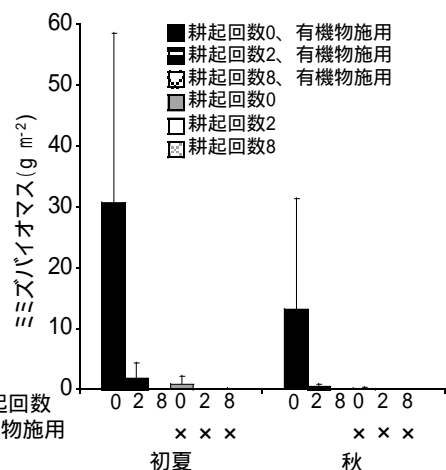


図3 年間耕起回数と有機物施用がミミズの生息密度に及ぼす影響

変動を調べた結果、初夏では表層生息性と地中生息性のミミズが生息していたものの、秋では地中生息性の種が主に生息していた。各圃場の土壌温度と水分を調べた結果、カバー作物栽培、草生栽培において対照区よりも夏期の高湿、乾燥を軽減する効果が認められたものの、なお土が高温、乾燥になることが明らかとなった。ミミズは高温乾燥に弱いいため、大型の地表生息性のミミズが夏期に殆ど死滅したと考えられた。

欧米では農法とミミズ群集の関係は良く研究されていたが、日本においては、十分解明されていなかった。欧米では年間 1、2 回の耕起でもミミズは生息しているが、日本の火山灰土においてはほとんど定着出来ない結果となり、本研究の結果から欧米の研究結果を日本に当てはめることが出来ないことが明らかとなった。また、これまでの日本の研究においても年間 2 回調査されることが殆ど無く、本研究により初夏と秋で畑地に生息している種組成が生活型のレベルで異なることを明らかにした。ミミズの農地での役割は生活型によって異なると考えられるため、年間を通して、ミミズの役割を把握する上で重要な知見が得られた。

(3)ミミズの団粒形成機能の定量評価 室内実験

ミミズサイズが団粒形成速度に及ぼす影響を調べた結果、ミミズのサイズが増加すると共に団粒形成速度が増加した(図4)。両者の関係は、 $K(W) = 7.07W^{0.806}$ ($r=0.77$) で表現できた。ここで $K(W)$ は団粒形成速度(1週間当たりの団粒形成量 g)で、 W はミミズ重量(g)を示す。

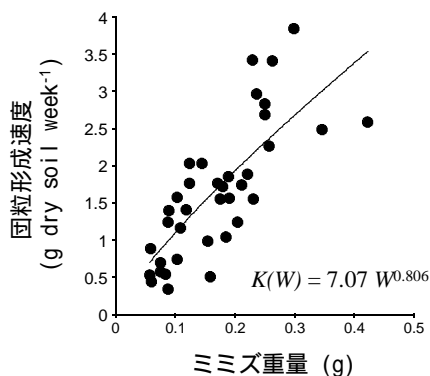


図4 ミミズ重量が団粒形成速度に及ぼす影響

土壌水分:WHC60%、土壌温度:15°C

土壌温度と団粒形成速度の関係は、5 から 25 まで温度と共に増加し、その後 30 で急激に低下し、35 ではミミズが死滅した(図5)。土壌温度と団粒形成速度の関係は、 $F_1(T) = 0.022(35-T)^{3.32} \exp(-0.273(35-T))$ ($r=0.88$) で表現できた。ここで $F_1(T)$ は、温度 T の時に形成される団粒形成速度(1

週間当たりの団粒形成量 g)で、 T は温度($^{\circ}\text{C}$)を示す。

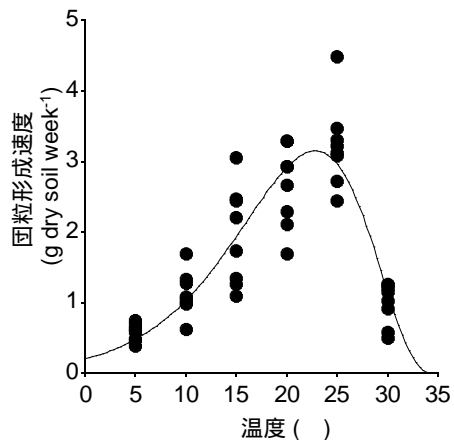


図5 土壌温度がミミズの団粒形成速度に及ぼす影響

土壌水分:WHC60%、ミミズの重量:0.14g

土壌水分と団粒形成量の関係は、容水量の値を、水分張力に変換して図化している。WHC30%、35%、40%、50%、60%、70%はそれぞれ水分張力の-90.6kPa、-45kPa、-26.1kPa、-5.3kPa、-4.5kPa、-2kPaに相当する。-90.6kPaでは、殆ど団粒が形成されなかったが、-5.3kPaまで湿潤になるにつれて団粒形成速度が増加した。その後-2kPaまでは、緩やかな増加となった(図6)。土壌水分と団粒形成量の関係は、 $F_2(P) = 1.27 \exp(-\exp(-(P+44.5)/11.5))$ ($r=0.79$) で表現できた。ここで $F_2(P)$ は、水分張力 P の時に形成される団粒形成速度(1週間当たりの団粒形成量 g)で、 P は水分張力(kPa)を示す。

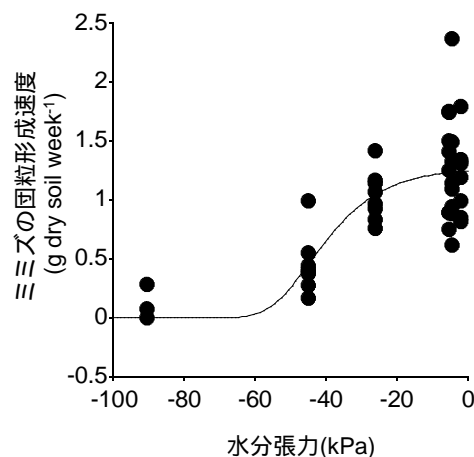


図6 土壌水分がミミズの団粒形成速度に及ぼす影響

土壌温度:15°C、ミミズの重量:0.14g

野外での検証

ミミズサイズと団粒形成速度の関係を評価した結果、室内実験で用いた土よりも同サイズでは低い団粒形成速度の土であった。本実験に用いた土でのミミズサイズと団粒形

成速度の関係式と室内実験で得られた水分張力及び温度と団粒形成量の関係式を用い、野外の団粒形成量を推定した。野外の団粒形成量の推定には、培養期間中の温度、水分の平均を用いる推定方法と、1時間ごとのそれぞれの推定値を培養期間で積算する方法で行った。実験期間中の温度は、2.5~31.6で、水分張力は0~-52.9kPaであった。野外試験の実測値とモデルによる推定値を比較した結果、両者に強い直線関係が認められた(図7)($P<0.001$)。しかし、実測値が推定値よりも若干高い推定となった(培養期間の平均値で1.07、1時間ごとの推定値の積算で1.11)。以上の結果から、補正を行うことで室内で開発したモデルが野外においても十分適用出来ると考えた。

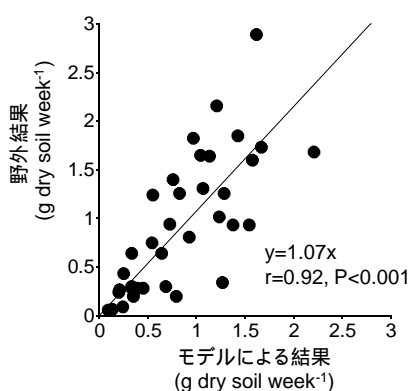


図7 野外の結果とモデルによる結果の関係

モデルの計算で温度、水分張力は培養期間中の平均値を用いた

近年注目されている地球温暖化は、気温の上昇だけでなく降雨パターンも変化する。温度、降雨パターンの変化は、土壌の温度、水分条件に影響を及ぼすことから、今回の実験により、地球温暖化によってもたらされる土壌温度、水分の変化がミミズの団粒形成量に及ぼす影響を推定できることになる。モデル式と野外観察とでは若干のずれがあるものの、世界的にも類を見ないモデル式の開発が出来た。

まとめ

カバークロープ栽培や草生栽培では、ミミズの生息密度を高め、夏期において土壌の高温、乾燥を軽減する効果が認められた。このことからこういった栽培方式では、ミミズの生息密度を高めるとともにミミズの団粒形成量を増加させる効果があることが期待される。これまで、農法がミミズ群集に及ぼす影響は、欧米では良く研究が進められてきた。本テーマでは、ミミズ群集に及ぼす影響を評価するだけでなく、さらに、土壌形成という点で持続的農業生産に重要と考えられるミミズの団粒形成機能が農法によりどの程度

変化するかを推定するモデル式の開発を試みた。本研究は茨城県と長野県の結果のため、今後日本各地で同様の効果があるかどうかを評価するとともに、果樹園や牧草地などで農法とミミズ群集の関係を明らかにしていきたい。さらに土壌pH、有機物含量、粘土含量といった土壌要因と団粒形成量の関係を調べ、全国規模で地目別(畑地、果樹、牧草地)での農法とミミズ群集の関係を明らかに出来れば、全国レベルでミミズの役割を活用するにはどうすれば良いかを地目毎に提案することが可能となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

金田哲, 南谷幸雄 (2013) 日本の農地環境におけるからし溶液を用いたミミズ採取法の適用可能性, *EDAPHOLOGIA*, **92**, 25-31 査読有

http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AN00334874/ISS0000491387_ja.html

[学会発表](計 9件)

1. 金田哲, 小松崎将一, 大久保慎二, 環境保全型農法実践圃場におけるミミズ群集の季節変動, 第38回日本土壌動物学会大会 2015年5月24日 「香川大学(香川県木田郡)」

2. 金田哲, 小松崎将一, 大久保慎二, 畑地において環境保全型農法がミミズ群集に及ぼす影響, 日本生態学会第62回全国大会 2015年3月21日 「鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)」

3. 小松崎将一, 村松大輔, Rahmatullah Hashimi, 金田哲, 嶺田拓也, 刈敷の有無が耕起および不耕起・草生栽培ナスの生産性に及ぼす影響, 第15回日本有機農業学会大会 2014年12月8日 「島根大学(島根県松江市)」

4. 金田哲, 和穎朗太, 大久保慎二, 野外におけるサクラミミズ(*Eisenia japonica*(Michaelsen, 1891))の団粒形成機能の評価, 第37回日本土壌動物学会大会 2014年5月25日 「駿河台大学(埼玉県飯能市)」

5. 金田哲, 藤井一至, 米村正一郎, 和穎朗太, 大久保慎二, 児玉直美, 火山灰土においてミミズが炭素動態に及ぼす影響, 日本生態学会第61回全国大会 2014年3月17日 「広島国際会議場(広島県広島市)」

6. 金田哲, 和穎朗太, 大久保慎二, サクラミミズ(*Eisenia japonica*(Michaelsen,

1891)) が団粒形成に及ぼす影響, 第 36 回日本土壌動物学会大会 2013 年 5 月 26 日 「福岡教育大学 (福岡県宗像市)」

7. 金田哲, 米村正一郎, 児玉直美, 和穎朗太, 大久保慎二, 地中生息性ミミズが土壌炭素動態に及ぼす影響, 第 60 回日本生態学会大会 2013 年 3 月 8 日 「静岡県コンベンションアーツセンター (静岡県静岡市)」

8. 八木岡敦, 若生梨紗, 小松崎将一, 金子信博, 金田哲, 丹羽慈, 不耕起・草生圃場における土壌動物の季節的推移, 第 35 回日本土壌動物学会大会 2012 年 5 月 27 日 「昭和大学富士吉田教育部 (山梨県富士吉田市)」

9. 金田哲, 南谷幸雄, からし抽出法によるミミズ採取法の日本の農耕地での適用可能性の検討, 第 35 回日本土壌動物学会大会 2012 年 5 月 27 日 「昭和大学富士吉田教育部 (山梨県富士吉田市)」

〔その他〕(計 1 件)

研究会での発表

1. 村松大輔, Rahmatullah Hashimi, 小松崎将一, 金田哲,刈敷を活用した不耕起・草生栽培ナスの生産性改善効果, 有機農業研究者会議 2014 つくば

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金田 哲 (KANEDA, Satoshi)

独立行政法人 農業環境技術研究所 主任研究員

研究者番号: 537920

(2) 研究分担者

小松崎将一 (KOMATSUZAKI, Masakazu)

茨城大学農学部 教授

研究者番号: 10205510