

## 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 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2011

課題番号：21241010

研究課題名（和文）持続可能な土地利用のための農林地土壌の生物多様性指標

研究課題名（英文）Biodiversity index of agriculture and forest soils for sustainable land use.

研究代表者

金子 信博 (KANEKO NOBUHIRO)

横浜国立大学・環境情報研究院・教授

研究者番号：30183271

研究成果の概要（和文）：土壌の劣化を引き起こさない農林業における土地利用について、生物多様性とそれがもたらす機能について解析した。森林施業において多様性と土壌構造の変化は少なく、林齢とともに粒度の細かい土壌粒子とマイクロ団粒が表層に増えた。農地の耕起は、生物多様性と、団粒に大きな負の影響を与え、不耕起・草生栽培では短期間で土壌が変化し、炭素隔離が観測された。生物が作り出す土壌団粒が土壌の機能を評価する重要な指標である。

研究成果の概要（英文）：We analyzed soil biodiversity and functioning in forest and cropland soils to establish a sustainable land use. Forest management did not change soil community and structure, while fine particles and microaggregates increased with forest age. Cultivation of soil in cropland was detrimental to soil biodiversity and aggregates. However, no tillage with weed introduction increased soil sequestration in a short time periods. We conclude that soil aggregates which are formed by biological activities is important index for soil function.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	18,300,000	5,490,000	23,790,000
2010年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2011年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
総計	33,200,000	9,960,000	43,160,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：土地利用，土壌生物多様性，生態系機能，持続可能性，耐水性団粒，不耕起，森林土壌

## 1. 研究開始当初の背景

地球環境問題の中で土地利用は特に大きな位置を占めている。生態系のなかで人類によって改変される割合が増えるに従い、手つかずの生態系が果たす機能だけでなく、改変された生態系に依存する割合が増加する。都市の

完全な人工環境ではなく、農地や人工林などのように一次生産を目的とする土地利用は、生産効率の向上をめざした土地利用がなされてきた。

Millennium Ecosystem Assessment（邦訳「国連ミレニアム・エコシステム評価-生態系

サービスと人類の将来)で示されたように、人類は生態系の機能を無償で利用する生態系サービスに大きく依存している。農地や森林の多面的機能については、日本でも日本学術会議から答申がだされ、貨幣価値に換算した評価が試みられている。

生態系サービスの重要性は認識されてきたが、土地利用の持続可能性や生態系サービスの最大化についての理解は進んでいない。たとえば、水産資源に関しては順応的に漁獲量調整や魚種変更を行う資源管理を、漁民の自治的な行動に基づいて行うことが生態リスクを軽減し、持続的な資源利用に繋がると言われ出したが、このときの判断は海洋の物質循環や大気、陸域との応答についての理解に基づくものではない。

農地ではさまざまな農法の改良により高品位の農産物を生産する技術が追求されてきたが、農地のもつ生態系サービスの理解が進むと同時に、得られる収益だけでなく、生態系サービスの向上が求められるようになってきた。たとえば、「生き物田んぼ」のような水田に生息する昆虫や両生類といった生産と一見無縁の生物が多様であるとき、生産物である米の安全性が高いと見なされ、歓迎される例がある。生物多様性の高い水田では、かつて水田の原風景として多くの人の記憶に残る「赤とんぼ」が舞う水田の文化的サービスが高いことを示している。さらに、このような保全型農業を行うことによって水田本来の治水機能に加え、水域への農薬や肥料の流出が少なく、きれいな水を供給するといった供給サービスの高さが期待されている。

農地や林地における一次生産の持続可能性はどのように達成されるのだろうか？自然の生態系をモデルと考えるとき、生物多様性がひとつの指標となるだろう。一般に陸上の生態遷移を考えると、一次遷移の初期には土壤が形成されておらず、生物多様性が低いが、時間の経過に連れて土壤が形成され、多様性も増加する。また、極相に比べると極相に至る以前の状態のほうが多様性が高い場合も多い。さらに、中程度の攪乱を受ける系のほうが、環境状態が安定している系よりも多様性が高いことが知られている(中程度攪乱説)。一方、一次生産は遷移とともに増大するが、かならずしも極相で最大となるわけではない。人による土地利用を前提とする場合、農産物や林産物の収穫は避けられない。したがって、極相ではなく、人工的な攪乱が定期的に与えられる系を考えることになる。このように考えると、単純に多様性の高い生態系が、一次生産の高さや安定性を示すものではないことがわかる。

申請者は、土壤動物が作り出す土壤構造、とくに粗大な団粒に着目して研究を進めてきた。ミミズや土壤食のヤスデなどが作り出す

糞団粒では、有機物や微生物の混合が生じ、団粒内外の環境条件も摂食前の土壤より多様になる。その結果、細菌を初めとする微生物群集に大きな変化が生じ、微生物によって担われている機能、たとえば有機物の分解や窒素の無機化が促進されることを確認してきた。それだけではなく、メタン酸化や亜酸化窒素の生成も大きく動物の影響をうけることが明らかとなりつつある。この団粒は生物によって形成されるので、たとえば、森林からミミズを除去すると、直後には団粒はなくなりますが、数年後にはミミズのいる土壤より有意に減少する。したがって、土壤構造を維持するための多様性の維持が必要である。

## 2. 研究の目的

陸域生態系では一次生産者である植物と、分解者である土壤微生物とが対になって物質循環を駆動している。しかし、人間活動は開発や施肥などによって大きく物質循環を攪乱してきた。特に農地では、耕耘や化学肥料の大量投入により土壤有機物が減少し、生産力が維持できなくなる土壤劣化を引き起こしている。また、森林では伐採にともなう土壤侵食や、樹種の変更による土壤の変化を引き起こしている。

陸域の土地利用において、農地や森林の持続可能な利用は愁眉的である。これらの土地利用においては、得られる生態系サービスを正しく評価し、生態系のもつ機能をうまく利用することが必要である。陸上生態系の物質循環の要である土壤分解系を構成する土壤生物相を把握するとともに、生物の作り出す土壤構造、すなわち土壤団粒の機能を評価することが必要である。そこで、植物も含めた土壤生物が土壤構造を変えることで、分解に関わる微生物の活動が変化すると考え、生産力の持続可能性を指標とする生物群集の状態を明らかにした。これらのことから、一次生産の安定性に関わる生物指標を発見し、森林や低投入の農地における一次生産を高める指針を得ることを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は、土壤の機能を化学性および物理性、そして生産力とその安定性で評価するチームと、土壤生物の多様性を評価するチームに大きく分かれ、代表者がそのデータの統合を担当した。

### (1) 島根大学

島根県中山間地の焼き畑造林土壤の理化学性の分析、解析、茨城北部のスギ人工林と島根の土壤の耐水性団粒解析を湿式篩別法で行った。さらに、本課題で購入したレーザー粒度計による土壤粒子の測定法を開発し、茨城の人工林における樹齢と土壤粒子組成の関係を調べた。

(2) 茨城大学

農地への不耕起栽培の導入が、土壌生物の多様性と土壌構造に与える影響を茨城大学の実験圃場を用いて解析し、不耕起・草生栽培を長期継続している民間農地と比較した。

(3) 森林総合研究所

森林土壌で得られた土壌調査のデータベースを整備し、農地土壌と生産力の点から比較した。茨城北部のスギ人工林と天然林における林齢と土壌構造の変化を現地調査し、土壌生物群集、特に土壌ダニ類と林齢の関係を整理した。

(4) 横浜国立大学

ミミズの糞団粒の理化学性を調べるとともに、大学内に不耕起・草生の試験地を設定して、土壌構造と土壌生物群集の関係を調べた。茨城北部のスギ人工林、島根の焼き畑造林地のミミズ群集を明らかにした。

本課題で得られたデータを統合し、攪乱にともなう土壌生物相の変化と土壌構造との関係を明らかにした。

4. 研究成果

(1) スギ林の更新と土壌団粒の関係

造林後 40 年以上の変化は、林齢の進行に伴い表層性のミミズが増加したが、団粒組成の大きな変化は見られなかった。しかし、団粒組成の変動率は林齢とともに減少した。粒度は林齢の進行とともに、微細な粒子が増加した。したがって、伐採とその後の植栽は土壌に大きな影響は与えない。また、長期にわたるミミズの活動が、表層の粒度組成を変えるものの、耐水性団粒は崩壊することなく、動的に維持されていた。

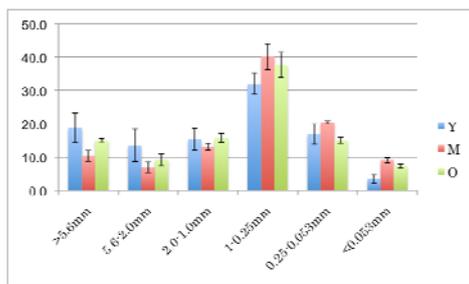


図1 林齢の違いによる団粒組成の変化 (Y:1-10年, M:10-30年, O:30年以上のスギ人工林)

(2) 焼き畑造林地の土壌変化

火入れは明瞭な土壌劣化を引き起こさず、森林が更新していた。林齢とともに0.053-0.250mmの団粒画分が表層土壌で2倍程度増加した。ミミズ群集は4年程度で回復しており、団粒の形成にミミズやババヤスデが寄与している可能性を指摘できた。

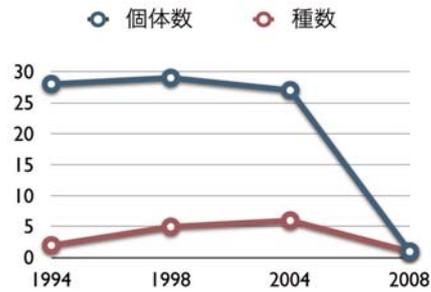


図2 焼き畑造林の実施年と大型ミミズ類の個体数密度、および種数の関係。

(3) 林齢と土壌ダニ類の関係

茨城北部のスギ人工林と落葉広葉樹天然生林の林齢による土壌ダニ類の変化を比較したところ、スギ林では下層植生の影響を受けるが、広葉樹林では林齢とともに変化する樹冠木の組成や、落葉層量などの影響を受けていた。また、ダニの分類群ごとにその反応が異なるため、生物指標を求めるにはすべての分類群を網羅する必要性が指摘できる。

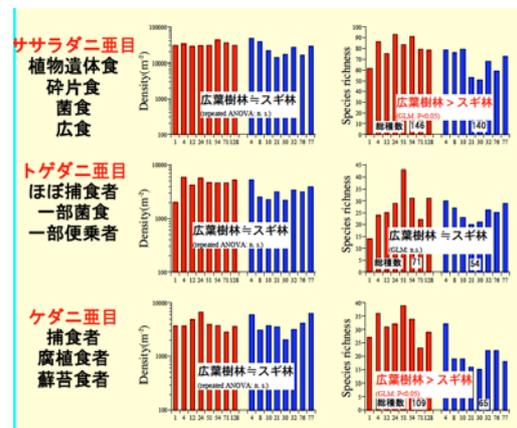


図3 広葉樹林 (青) とスギ人工林 (赤) における3つの土壌ダニ分類群の個体数密度 (左) と種数 (右) の林齢にともなう変化。

(4) 農地基準から見た森林土壌の理化学性

日本の森林で分布面積の広い適潤性褐色森林土と適潤性黒色土について堆積有機物層と表層土壌の化学性の特徴をとりまとめるとともに、その結果を農林水産省が示す農耕地土壌の地力増進基本指針と比較した。同基準の普通畑の指針にくらべ森林土壌は炭素濃度や可給態窒素が2-3倍多かった。しかし土壌pHは低く強酸性で、交換性陽イオン濃度も低かった。これらの特徴について、団粒形成と炭素隔離、農地の堆肥投入と森林

のリターフォール、可給態窒素量、堆積有機物層の養分量などを中心に農耕地と比較し、森林土壌の養分環境の特徴と維持機構を検討した。

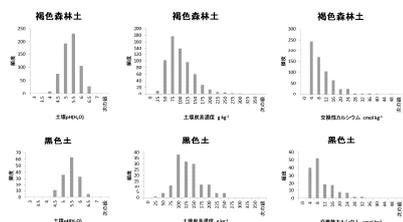


図4 適潤性褐色森林土と適潤性黒色土の土壌pH、土壌炭素、交換性カルシウムの度数分布

(5) レーザー粒度計による土壌粒度測定

粒度計は土壌の粒度が測定可能と表示されていたが、実際には測定例がなく、測定法の検討から始めた。投入量、測定時間、分散剤の使用などを検討し、安定して測定ができる条件を確定した。その後、茨城北部と島根の調査土壌を測定し、伐採や火入れ後の森林の回復過程で、表層土壌に粒度の細かい画分が増加することを明らかに出来た。

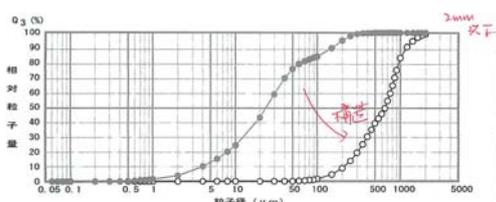


図5 分散剤による団粒をもつ土壌の粒度組成の変化。

(6) 大型土壌動物による耐水性団粒形成

ミミズを用いて摂食が土壌に及ぼす影響を調べたところ、これらは土壌のアンモニア態窒素を増加させていた(Kawaguchi et al., 2011)。ヤスデの場合、純窒素無機化はまわりの土壌よりも低下させていた(岩島ら, 2011)。このことは、糞団粒中では、微生物による無機態の有機化が優越することを示している。

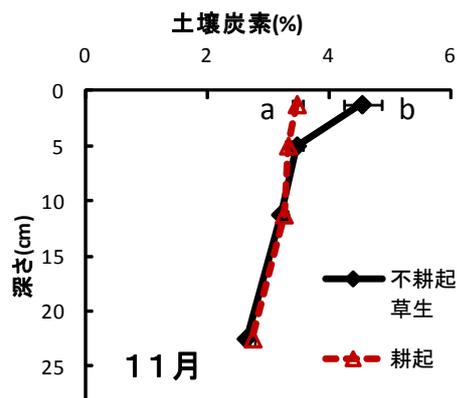


図6 不耕起・草生栽培の導入1年後の土壌炭素濃度の変化

(7) 保全型農地の造成と土壌、土壌生物の変化

草地を耕起すると、ミミズがいなくなり、土壌の物理性が悪化した。一方、慣行の農地を不耕起・草生に転換したところ、土壌炭素量の増加や、土壌の物理性の改善がみられた(小松崎ら, 2012)。

(8) 水田における不耕起化と水生ミミズの機能

有機水田では多様(7種)な水生ミミズが生息していた(Yachi et al., 2012)。水田土壌においても不耕起化により水生ミミズが増加し、ミミズの増加につれて土壌からのメタンガスの放出量が減少した。

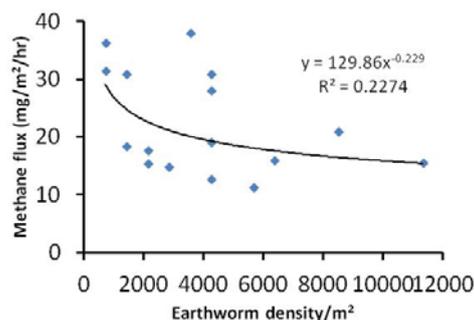


図7 水生ミミズとメタン発生量の関係

(9) 土壌の攪乱と土壌構造、土壌生物相の関係

本研究により、日本の森林と保全型農地における攪乱と土壌構造、土壌生物相の関係を明らかにした。森林の伐採、その後の再造林の過程において土壌の攪乱が生じるが、その影響は小さく、ミミズ相やダニ群集の変化

も小さい。ミミズの影響で表層を構成する土壌の粒度は小さくなるとともに、耐水性団粒の細かい画分が増える。したがって、日本では森林施業による土壌の劣化は生じない程度の攪乱であり、土壌生物群集は十分な回復力を持っている。

一方、耕起はミミズを排除するが、不耕起化によりミミズ相は急速に回復し、他の土壌動物も5年程度で多様性が増加する。森林土壌は農地に比べると酸性化しているが、耕起や施肥を行わなくても、農地より他のパラメーターは良好であり、土壌生物相によって土壌が動的に維持されていることがわかった。

ミミズとババヤスデ類をモデルとして土壌動物の機能を評価したところ、炭素隔離、窒素無機化、さらにはメタン動態に影響していることが明らかとなり、土壌におけるこれらの動物の生息密度、バイオマスを機能との関係で評価することの重要性が明らかとなった。

#### 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5件)

1) 小松崎将一・山下幸祐・竹崎善政・嶺田拓也・金子信博・中島紀一・太田寛行.”自然草生利用・不耕起による有機栽培体系に関する研究—茨城県での栽培事例分析—”有機農業学会 (2012)掲載確定

2) Toyota, A. and Kaneko, N. “Faunal stage-dependent altering of nitrogen availability in a temperate forest”, *Pedobiologia* (2012) 55:129-135. 10.1016/j.pedobi.2011.10.007

3) 岩島範子・金子信博・佐藤邦明・若月利之・増永二之.”密度と餌の違いを考慮したババヤスデ科2種(キシヤヤスデ、ミドリババヤスデ)の糞の化学性の比較”, *Edaphologia* (2011) 88: 43-53.

[学会発表] (計22件)

1) Kaneko, N., Nakamori T., Miura, T., Arai, M. Yagioka A., and Komatsuzaki, M. “Natural Farming: biodiversity agriculture by Japanese farmers”, 4<sup>th</sup> World Congress on Ecological Restoration. Merida (Mexico), 29 July 2011.

[図書] (計3件)

1) 金子信博「生物多様性」森林立地学会編「森のバランス」東海大学出版会, (2012) pp 21-27.

2) M. Takahashi, D. Marod, S. Panuthai and K. Hirai "Carbon Cycling in Teak Plantations in Comparison with Seasonally Dry Tropical Forests in Thailand" *Forest Ecosystems - More than Just Trees*, InTech, ISBN: 978-953-51-0202-1

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

金子 信博 (KANEKO NOBUHIRO)  
横浜国立大学・環境情報研究院・教授  
研究者番号：30183271

##### (2) 研究分担者

増永 二之 (MASUNAGA TSUGIYUKI)  
島根大学・生物資源科学部・教授  
研究者番号：10325045  
森 也寸志 (MORI YASUSHI)  
岡山大学・環境工学部・准教授  
研究者番号：80252899  
(H23：連携研究者)

山下 多聞 (YAMASHITA TAMON)  
島根大学・生物資源科学部・准教授  
研究者番号：30263510

小松崎 将一 (KOMATSUZAKI MASAKAZU)  
茨城大学・農学部・准教授  
研究者番号：10205510

高橋 正通 (TAKAHASHI MASAMICHI)  
森林総合研究所・研究企画科長  
長谷川元洋 (HASEGAWA MOTOHIRO)  
森林総合研究所・主任研究員

##### (3) 連携研究者

太田 寛行 (OHTA HIROYUKI)  
茨城大学・農学部・教授  
研究者番号：80168947