

科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)研究成果報告書

平成25年 5月28日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23657021

研究課題名(和文) デトリタス由来の資源が陸域食物網動態へ及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) Estimation of detritus subsidy on terrestrial food webs

研究代表者 陀安 一郎 (TAYASU ICHIRO)

京都大学・生態学研究センター・准教授

研究者番号：80353449

研究成果の概要(和文)：

森林生態系においては、デトリタスを起源とする食物連鎖が存在する。デトリタス起源の炭素は、土壌動物によって消費され、その動物の移動によって地上生態系に運ばれる。消費者は、餌を食べることにより生食連鎖起源と腐食連鎖起源の物質を混合する。消費者の放射性炭素14濃度($\Delta^{14}\text{C}$ 値)は「餌年齢 diet age (炭素年齢)」を示す。消費者の $\Delta^{14}\text{C}$ 値によって、生食連鎖起源と腐食連鎖起源の相対的な割合を推定することができることがわかった。

研究成果の概要(英文)：

In a forest ecosystem, there is a food chain originated from detritus. The carbon originated from detritus is consumed by soil organisms and transferred to the aboveground ecosystem. Predators mix the materials originated from grazing and detritus food chains by predation. Carbon-14 concentration ($\Delta^{14}\text{C}$ value) of predator indicates the “diet age” (carbon age) of the predator. It was concluded that relative contribution of the both pathways can be estimated by the $\Delta^{14}\text{C}$ value of the predator.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：同位体生態学

科研費の分科・細目：基礎生物学、生態・環境

キーワード：放射性炭素14、土壌生態系、腐食食物網、デトリタス

1. 研究開始当初の背景

水域生態系と比較した時に強調される陸上生態系の特徴は、植物体と土壌という大きな構造炭素プールの存在である。一般に、土壌には植物体の約4倍の炭素が蓄積されているといわれる。この土壌炭素は陸域生態系の遷移過程において蓄積していく。それに伴い、陸上生態系の食物網は生食連鎖系から腐食連鎖系へと移行するといわれている。しかし、この腐食連鎖系有機物動態(Detritus Subsidy)の森林生態系における寄与を定量的に評価する方法はなかった。そこで、本研究では放射性炭素14濃度を用いて、デトリ

タス起源の炭素が生態系の中でどのように運ばれるかを研究することとした。

2. 研究の目的

土壌は陸上生態系の炭素プールの8割近くを占め、炭素循環の重要な要素である。しかし、それとともに注目すべきは陸域の生物多様性を支えている側面である。土壌分解系を起点として生じるデトリタス起源の腐食連鎖は Detritus Subsidy として食物網に入る。今まで、デトリタスから土壌分解系(菌類・細菌類など)を経て森林食物網へとつながるルートは複雑で捉えにくかった。そこで、本

研究は炭素 14 手法およびアミノ酸同位体手法を駆使し、陸域生態系に存在する **Detritus Subsidy** のルートとその寄与に関して解明することを目的とした。

陸上動物の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、餌源となる植物の光合成によって固定された当時の大気中二酸化炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を示すため、光合成されてからの年代（餌年齢：diet age）を示す（図 1）。この事実を用いて、植生の二次遷移過程における植物から高次消費者に至る炭素のフラックスを時系列的な調査地設定によって明らかにした。中心となる研究においては、優占する捕食者の一つとして樹上性クモ類を材料とし、複数栄養段階間での炭素の転送が遷移過程でどのように変化するのかに着目した。

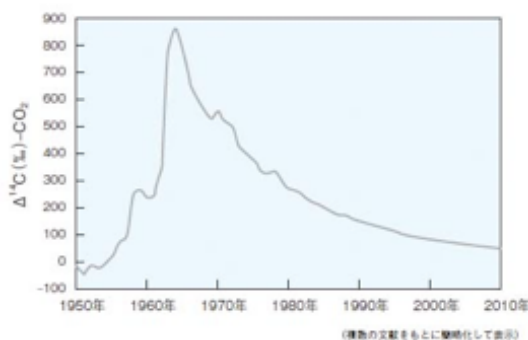


図 1 大気中 CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ 値。

3. 研究の方法

(1) 主たる調査は、茨城県小川群落保護林および周辺の森林において行った。生態系の変化は腐食連鎖由来の餌を増大させ、地上部食物網の構造を変化させると考えられる。低木層に生息する捕食者であるクモは植物体上の生食連鎖由来、および林床から羽化した腐食連鎖由来の餌を共に捕食することが知られている。そこで本研究は、低木層のクモと餌間の捕食被食関係の、植生遷移に伴う生態系変化に対する応答を研究した。まず、餌からクモへの栄養転送は、優占する餌 4 群

（樹上トビムシ・半翅目・鱗翅目幼虫・双翅目）と、低木層クモ類の主要な 4 摂食機能群（ambushers, foliage runners, orb weavers, stalkers）について調べた。遷移に伴う変化は、互いに近接し、伐採後の林齢が異なる温帯落葉性林間を比較した。 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた混合モデルに基づいて主な餌のクモへの寄与率を求め、得られた寄与率を解析した。

(2) 茨城県小川群落保護林および周辺の森林においては、森林伐採後 1 年から 100 年以上までの時系列（二次遷移系列）がとれることが特徴であり、森林の遷移に伴った森林土壌の形成と土壌有機物の蓄積過程について

も $\Delta^{14}\text{C}$ 分析で明らかにすることができる。餌群集の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を用いて生食連鎖由来と腐食連鎖由来の生物を分けることにより、捕食者群集・土壌動物群集を含めた食物網構造解析を行った。

(3) 土壌に存在する炭素は、生物活動によって「土壌団粒」として存在する。特に、ミミズは土壌団粒構造の生成過程に大きな影響を持っていると考えられており、土壌炭素動態および土壌動物の利用可能性に重要である。そこで、本研究では茨城県のミミズの存在する不耕起農地(NF)およびミミズのない不耕起農地(NC)において、団粒サイズの大きな分画(L:>1mm)と小さな分画(S:<1mm)の $\Delta^{14}\text{C}$ 値を測定した。また、この農地に存在するミミズの $\Delta^{14}\text{C}$ 値も測定した。これらを用いて、ミミズによる団粒形成が土壌炭素動態に与える影響を検証した。

(4) アミノ酸窒素同位体比は、近年急速に食物網研究に取り入れられている。特にグルタミン酸(Glu)とフェニルアラニン(Phe)の窒素同位体比の差を用いて、栄養段階(TL)は以下のように計算される。すなわち、 $TL_{\text{Glu/Phe}} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} + \beta) / 7.6 + 1$ と表現される（ここで β は水域生産者で -3.4% 、陸上 C3 植物で $+8.4\%$ と見積もられている：

Chikaraishi et al. 2009）。しかし、現在までに土壌に生息する動物、特にデトリタス起源の有機物を利用していると考えられる動物についての分析例がない。そこで、研究代表者が古くから研究してきた土壌動物であるシロアリとミミズについて、摂食機能群別に分析を行なった。また、デトリタスや土壌有機物の中に存在する菌類は分解系の中で重要な役割を果たすと考えられるため、菌類は非常に重要である。キノコシロアリはシロアリによる菌の純粋培養系と考えられるために、事例研究として重要な情報を提供すると考えられる。

4. 研究成果

(1) 双翅目の可給性は植生遷移と共に増大し、これに伴って寄与率が増大した。加えて、遷移初期種は後期種より双翅目寄与率が低かったことから、遷移によるクモの種交替の結果、双翅目選好種が優占したことが示された。クモ群集および餌 4 群（樹上トビムシ・半翅目・鱗翅目幼虫・双翅目）の $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた混合モデルにより、以下の傾向が分かった（図 2）。

植食者（半翅目と鱗翅目幼虫）寄与率は orb weavers 以外では遷移後期種の方が低く、これら機能群で主な餌が遷移初期・遷移後期間で植食者から双翅目へ推移した。orb weavers は遷移初期・遷移後期種に関わらず

餌の多くが双翅目で、植食者寄与率は低かった。特に orb weavers を除く機能群では、遷移に伴うクモの種交替によってその場の餌可給性に応じた餌源の切替えが起きることが示された。その結果、低木層において地下部腐食連鎖系と地上部生食連鎖系がクモによる捕食を介して連結していることが明らかとなった。これは、樹上の捕食者にも地下部腐食連鎖系で滞留を経たデトリタス起源の有機態炭素が、土壌起源の双翅目を介して供給されていることを示す。

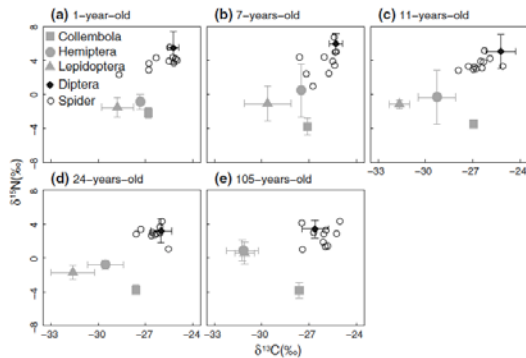


図2 Haraguchi et al. (2013)より引用。餌4群（樹上トビムシ・半翅目・鱗翅目幼虫・双翅目）およびクモ（Spider）の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を記載。

(2) 本研究においては、古い炭素起源を示す餌が腐食連鎖起源であることを利用し、炭素の滞留時間尺度として $\Delta^{14}\text{C}$ 値から餌年齢 (diet age) を算出した (図3)。その結果、主として双翅目からなる空中起源の餌 (aerial prey) の $\Delta^{14}\text{C}$ 値が高いのに比べ、樹上性の餌 (arboreal prey) の $\Delta^{14}\text{C}$ 値が低いことが分かった。この事実より、クモの餌年齢を決定する上で腐食連鎖からの流入資源として双翅目が寄与している事を示した。orb weavers と ambushers で他機能群より高い餌年齢を示す傾向は、(1) で求めた双翅目の寄与率の大小と一致していた。

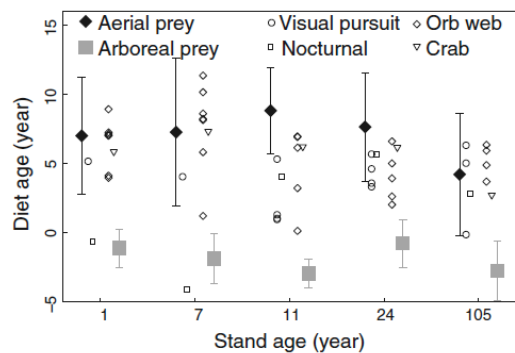


図3 Haraguchi et al. (2013)より引用。主として双翅目からなる空中起源の餌 (aerial prey) と樹上性の餌 (arboreal prey) に挟まれて、クモ群集がプロットされる。

一方、森林の二次遷移系列に従って餌年齢 (diet age) の変化はなかった。またクモの摂食機能群別の生食連鎖由来/腐食連鎖由来の比率も変化はなかった。

また、クモの双翅目寄与率と餌年齢が正相関することからも、双翅目を介した腐生性資源流入が支持された (図4)。 $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値についても餌年齢と相関し、(1) の結果と矛盾しなかった。一方、双翅目寄与率は遷移に伴って増大したが、クモの餌年齢は増加しなかったことから、双翅目の餌年齢が遷移初期において高い値を示したと考えられた。

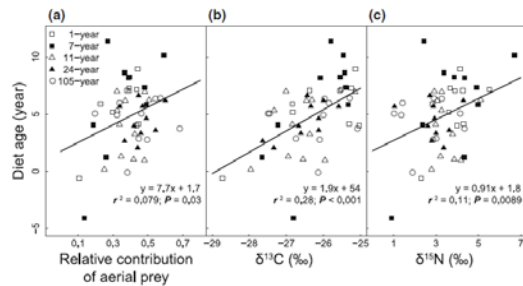


図4 Haraguchi et al. (2013)より引用。空中起源の餌 (aerial prey)、 $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値すべてについて餌年齢と相関し、双翅目を經由して土壌起源の古い炭素がクモへと流れていることを示す。

(3) ミミズのいない不耕起農地(NC)、ミミズの存在する不耕起農地(NF)の粒径間の値は、NCでは $<1\text{mm}$ 、NFでは $>1\text{mm}$ が高くなる傾向が見られ、両者で異なる傾向を示した (図5)。

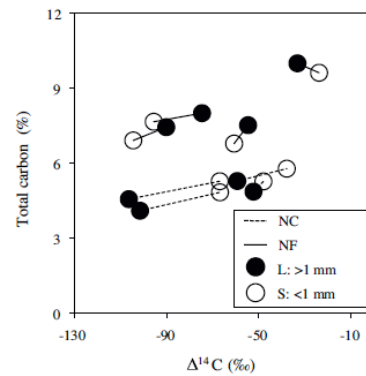


図5 Arai et al. (2013)より引用。凡例：団粒サイズの大 (L) と小 (S)、ミミズのいない不耕起農地(NC) ミミズの存在する不耕起農地(NF)。

ミミズの $\Delta^{14}\text{C}$ 値は大気 CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ 値のほぼ同じであり、主として植物残さを利用していることが分かった。粒径 $<1\text{mm}$ 土壌と植物残さの炭素の一部はミミズに摂食され、排糞された粒径 $>1\text{mm}$ の耐水性団粒へと炭

素の移動が生じる。粒径>1mm をミミズの糞由来の耐水性団粒とすると、団粒内に存在する炭素の分解が抑制され、土壌炭素を団粒内に保存した団粒が増加し、土壌炭素量が増加すると考えられる。

(4) 森林土壌食物網にアミノ酸同位体指標を適用し、リターの初期分解過程と腐食食者の餌の分解程度に伴う食性の違いに伴うアミノ酸窒素同位体比の推移から、分解過程におけるリターのアミノ酸窒素同位体比の推移を推測した。具体的には、アフリカ及びアジア熱帯の C3 植物からなる森林及び C4 植物からなる草原で採取された、食性の異なるシロアリとミミズを測定した。その結果、バルク窒素同位体比の大きく異なる分解初期利用種と分解後期利用種でアミノ酸間の窒素同位体比の差はほとんどなかった。これは、腐食食性の土壌動物に特有のパターンかもしれない。

また、キノコと共生するキノコシロアリについて測定したところ、餌となる植物リターからキノコへの変換パターンは、グルタミン酸の窒素同位体比の上昇を伴わないものであった。本研究は、アミノ酸同位体指標を陸域生態系の食物網研究に展開する上で重要な示唆を与え、今後の研究の萌芽を示すものであった。

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 4 件)

- (1) Ichie, T., Igarashi, S., Yoshida, S., Kenzo, T., Masaki, T. and Tayasu, I. Are stored carbohydrates necessary for seed production in temperate deciduous trees? *Journal of Ecology*, 101: 525-531 (2013)[査読有]
DOI: 10.1111/1365-2745.12038
- (2) Haraguchi, T.F., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu, I. Contributions of detrital subsidies to aboveground spiders during secondary succession, revealed by radiocarbon and stable isotope signatures. *Oecologia*, 171: 935-944 (2013)[査読有]
DOI: 10.1007/s00442-012-2446-1
- (3) Arai, M., Tayasu, I., Komatsuzaki, M., Uchida, M., Shibata, Y. and Kaneko, N. Changes in soil aggregate carbon dynamics under no-tillage with respect to earthworm biomass revealed by radiocarbon analysis. *Soil & Tillage Research*, 126: 42-49 (2013) [査読有]
DOI: 10.1016/j.still.2012.07.003
- (4) Hyodo, F., Uchida, T., Kaneko, N. and Tayasu, I. Use of radiocarbon to estimate diet ages of earthworms at different climate regions.

Applied Soil Ecology, 62: 178-183 (2012) [査読有]

DOI: 10.1016/j.apsoil.2012.09.014

[学会発表] (計 8 件)

- (1) 陀安一郎・長谷川尚志・由水千景・力石嘉人・小川奈々子・大河内直彦「アミノ酸窒素同位体比を用いた、陸域分解系における土壌動物の資源利用解析」日本生態学会第 60 回大会 グランシップ静岡 2013.3.7
- (2) 原口 岳・陀安一郎「植生二次遷移過程における、クモ群集及びエサ供給量の変化と同位体食物網の関係」日本生態学会第 60 回大会 グランシップ静岡 2013.3.7
- (3) 原口 岳・陀安一郎「植生二次遷移過程におけるクモ群集変化の特徴」日本蜘蛛学会第 44 回大会 山形市保健センター 2012.8.25
- (4) 原口 岳・陀安一郎「森林伐採からの回復過程における低木層クモ群集の変化」第 123 回日本森林学会大会 宇都宮大学 2012.3.27
- (5) 長谷川尚志・力石嘉人・小川奈々子・大河内直彦・陀安一郎「アミノ酸窒素同位体比による陸域腐食食物網解析の試み」日本生態学会第 59 回大会 龍谷大学 2013.3.20
- (6) Haraguchi, T.F., Tayasu, I. 「Food web analyses using C and N stable isotopes: spiders shift their prey from aboveground to belowground origin through secondary succession」Joint Meeting of The 59th Annual Meeting of ESJ & The 5th EAFES International Congress 龍谷大学 2012.3.19
- (7) 荒井見和・陀安一郎・小松崎将一・金子信博「ミミズの土壌変化が土壌の炭素貯留に及ぼす影響」有機農業公開シンポジウム 茨城大学 2012.2.13
- (8) 西村祐・前藤薫・陀安一郎「安定同位体比分析によるヒメボタル *Luciola parvula* 生息地における食物網構造の解明」日本生態学会近畿地区会 神戸大学 2011.12.10

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陀安 一郎 (TAYASU ICHIRO)

京都大学・生態学研究センター・准教授
研究者番号：80353449