

## 緯度系列に沿っての土壌分解系の変化

京都大学農学研究科森林生態学分野

武田博清

### 1. はじめに

森林生態系において樹木は、巨大な有機物の貯蔵庫 (stock) を形成している。消費者系は、植食者、捕食者、寄生者などの動物から構成されており、その生活を植物の生産に依存している。樹木は、セルロースやリグニンなどで幹や枝などの構造を作り出し、さらにタンニンなどの防御物質により、微生物や動物の利用しにくい資源となっている。その結果、地上部において消費者である植食性昆虫など植食動物 (herbivorous animals) に食べられ、生食連鎖 (grazing food chain) に流れる有機物の量は純生産量 (net primary production) の数パーセントときわめて少ない。その結果、有機物は、植物体に維持されていることが陸上生態系の特徴となっている。

地上部で生産された植物体の落葉や落枝などの枯死した部分、動物の死体や糞などは、最終的に土壌分解系に供給される。土壌分解系においてこれら有機物は、腐食連鎖系 (detritus food web) 通じて微生物により分解され、その過程で有機物の無機化 (mineralization) と腐植化 (humification) が生じる。しかし、リグニンやセルロースなどから構成された有機物の分解は遅く、また分解の過程で二次的な分解産物が生産される。

その結果、森林生態系において土壌にも多量の有機物が蓄積している。陸上生態系は、1. 生食連鎖に比べて腐食連鎖が卓越していること、2. 現存量に比べて循環量の少ないこと、3. 土壌における腐植形成作用が特徴となっている。緯度系列に沿っての植物- 分解者系の相互作用を、寒帯や温帯林、熱帯林における植物- 分解者系から紹介していく。森林生態系を題材として、土壌分解系の有機物分解の機構、森林生態系における物質循環の機構を説明する。まず、土壌分解系の構造と機能を、1. 土壌分解系への有機物の供給、2. 土壌分解系における有機物分解過程、3. 分解者群集の働きから説明し、さらに 4. 人為の効果が、土壌分解系に与える影響について紹介する。

## 2. 土壌分解系の特徴

土壌分解系において、微生物と動物の役割は大きく異なっている。有機物の異化作用はおもに菌類、細菌類などの微生物により行われる。微生物は細胞外酵素の働きにより低分子化した有機物を利用する。この過程で有機物は無機化され二酸化炭素や無機養分が放出されたり、化学的に変化して水溶性物質として溶脱したり、難分解性の腐植が形成される。トビムシやミミズといった土壌動物は微生物や有機物を摂食することにより、微生物の異化作用を直接的、間接的に調整する働きを担っている。従って、土壌分解系における腐食連鎖は、このような土壌微生物—有機物系と、それを利用する腐食連鎖系を構成する土壌動物群集から形成されているといえる（武田・大園 2003）。このように考えると、地上部での生食食物連鎖と、土壌における腐食食物連鎖は、ともに消費者の動物から構成されており、その役割や機能を直接に比較することが可能となる。

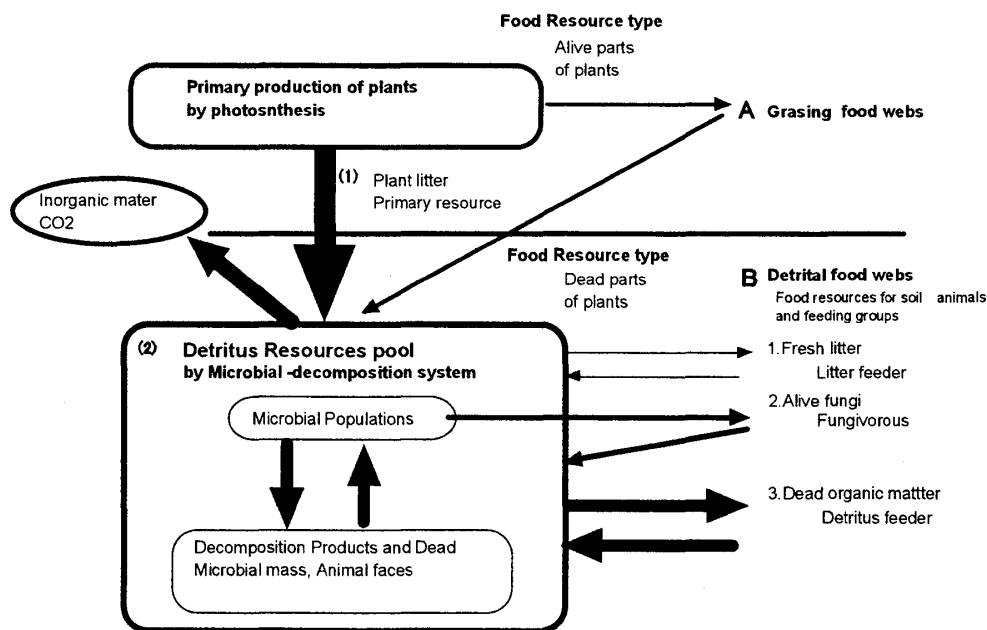


図1. 土壌分解系の構造についての新しい考え方

土壌における分解系は、土壌微生物—土壌の有機物系（2）において有機物の無機化が行われている。土壌の動物は、土壌微生物—土壌有機物系を利用して腐食

食物連鎖を形成している。地上部では、光合成の有機物生産を利用した生食連鎖系が成立している。

### 3. 土壌分解系への有機物の供給

土壌分解系の機能を知るために、まず土壌分解系への有機物の供給を考察しよう。土壌の分解系に供給される落葉、落枝、枯死根、動物遺体、動物の糞などの有機物を総称してリター (litter) と呼ぶ。各種のリターは幹、枝、葉など器官の形態を反映し、有機物の割合や炭素/養分 (窒素、リンなど) の比率 (carbon-to-nutrient ratio) の異なる資源を分解者に提供している。リターとして供給される有機物は、分解系において土壌微生物や動物の分解者に資源として利用される。資源 (resources) としてのリターは、葉、枝、幹など形態的、化学的に大きく異なっており、分解者に質的に多様な資源を提供している。森林生態系において供給されるリターの大部分は、植物遺体から成り立っている。さらに、リター量の70%近くは植物の落葉や枝などのリターにより占められている。森林におけるリター生産量は、北方の針葉樹林 (boreal forest) から熱帯多雨林 (tropical rain forest) にむけて増加している。このように落葉量の変動の52%は、緯度の関数として表すことが出来るが、残りの同じ緯度帯における落葉量の変動は、降水量や土壌の条件を反映した変動を示している。緯度系列に沿って、土壌に供給される有機物は、北から熱帯に向かって増加することがわかる。次に、土壌分解系に供給された有機物の分解速度を考察していく。

### 4. 土壌分解系における有機物の分解速度

土壌における有機物分解過程は、土壌分解系の微生物、土壌動物の有機物資源利用により進行している。土壌動物は、通常において有機物の微生物による無機化を促進する働きを持っている。

土壌分解系は、地理的には気候条件、地域的に土壌や立地環境、さらに地域内での土壌分解者群集により特徴づけられる。土壌における有機物の分解過程は、分解基質の質、土壌微生物、土壌動物の相互作用により進行していく。最終的には、有機物は無機化され一部分は難分解性の腐植物質 (humus) として土壌に長い期間滞在し土壌の養分を維持している。

分解過程は、土壤に供給された有機物を食物や住み場所資源として利用する土壤生物の働きによって進行していく。したがって、分解の過程は、1) 無機的な環境条件：土壤の生物の生活に関わる無機的な温度や湿度条件、2) 分解基質：土壤生物のエネルギー・養分資源の供給量を決めている落葉の炭素や養分の割合などの資源質、3) 分解阻害物質：落葉に含まれる分解者の活動を阻害するタンニンやリグニンなど物質の割合によって異なる。3つの要因は、相互に関係しており、ここの要因の分解への寄与率を推定する試みがなされているが、3つの要因は非線形であり個々の寄与率推定をすることが困難であるが、3者の相互関係の程度から、資源として供給される有機物や土壤の分解者が、気候条件を変えるほど大きな影響を持たないと考えることができる。その場合、分解は、気候などの無機環境下において分解基質と分解者の相互関係のもとに生じている。

## 5. 緯度系列に沿っての土壤分解系の特徴：熱帯と温帯の比較

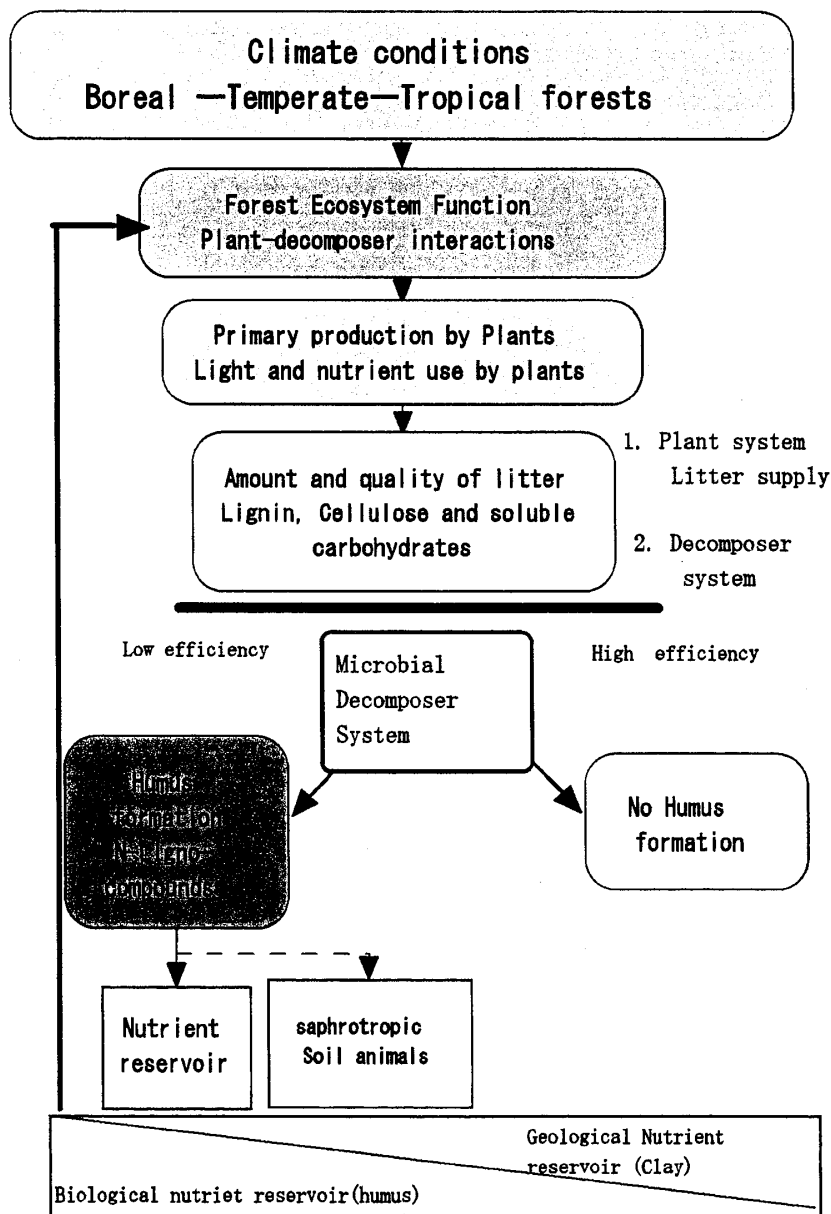
世界的な規模での、気候条件と分解についての関係が、野外におい測定された分解速度をもとにして研究されてきている。さらに、最近では広域な地域に規格化された共通種類の落葉を実験的に設置し分解の地域性を検討するプロジェクトが、北米、カナダ、ヨーロッパにおいて実行されてきている。しかし、気候条件と分解速度についての回帰解析からの結果から、分解機能がどのように緯度系列に沿って変化するのか、その機構を明らかにすることはできない。

Takeda (1998)は、熱帯と温帯の落葉分解速度を検討し、熱帯での分解が温帯の2倍近いことを示している。これらの比較研究から、気候条件が明らかに、分解速度の主要な要因となっていることを示している。Aerts (1997)は、熱帯での高い分解率が、熱帯での落葉の養分と関係していることを明らかにし、気候条件が植物の栄養状態に影響し、それが間接的に分解速度に影響していることを示している。この解析では、気候と植物の落葉の質の間に、相互関係が見いだされている。Takeda (1998)は、気候条件と微生物群集の特徴に相互関係があることを示している(図2)。寒帯から、温帯までは、落葉分解過程においてセルロースの選択的な分解が先行しリグニンが窒素と結合し残渣として残る結果、分解が遅れることを示している。一方、熱帯では、同じ質の落葉においても、リグニンとセルロースが同時に微生物により分解されることで、リグニン起源の残渣が少ない。気候帯による微生物の分解効率の違いを指摘している。Aerts (1997)の

指摘は、気候帯による植物の資源利用の相違を指摘している。一方、Takeda (1998) は、緯度系列に沿っての微生物の有機物利用効率の変化を指摘している。

## 6. 緯度系列に沿っての植物- 分解系のまとめ

緯度系列に沿っての植物- 分解者系の相互関係についてのまとめを図に示す。



## 文献

武田博清・大園享司 2003: 「有機物の分解をめぐる微生物と土壌動物の関係, 掘越孝雄・二井一禎編:『土壌微生物生態学』(朝倉書店, 2003)

Takeda, H. 1998: Decomposition processes of litter along a latitudinal gradient, In: K. Sassa ed. *Environmental Forest Science* (Kluwer Academic, 1998) p. 197.

Aerts, R. 1997: Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship, OIKOS 79, 439-449.

## 参考図書

1. 武田博清、占部城太郎 編集:『地球環境と生態系』(共立出版, 2006)
2. 安部琢也、東正彦編:『地球共生系とは何か』(平凡社, 1992)