

砂漠化域における土壤養分貯留機能の解析に基づく

森林復元・土壤生態系再生に関する研究

学位論文内容の要旨

地球環境問題の一つである砂漠化は、かつて砂漠の前進・拡大現象と信じられていたために、誤った環境認識に基づく樹木植栽運動が世界各地で推進された。現在では「乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における、気候変動および人間活動など様々な要因に起因する‘土地劣化’」と砂漠化の定義が修正され、干ばつへの備え・教育・地域住民参加の必要性などが強調されているが、砂漠化は依然進行し続けている。土地劣化現象は、植生・作物収量減少、表土流出、下流河川氾濫、水質・大気汚染など、様々な影響によって地域人類生存圏消失をもたらすが、その発生・影響機構は未解明であり、その防止策も未構築である。本研究は、土地劣化を陸域生物圏基盤である土壤生態系の劣化と位置づけ、砂漠化域土壤の実態解析により、生物生育・生産基盤としての土壤生態系保全再生の原理構築を目的とした。

I. 研究方法

自然環境（生物圏）と社会環境（人間活動）との複合的学際領域研究として位置づけられる本研究では、土壤劣化の実態例として、過少土壤容量分布域における地形・地質特性に由来する土壤生成過程、貧栄養土壤域における土地利用に伴う養分の減少・貯留過程、土壤高頻度移動域における土壤生態再生過程を抽出した。また土壤養分の指標として土壤炭素・窒素を、土壤生態系再生の指標として土壤動物相に着眼した。そして土壤養分貯留機能の視点から、アジア・アフリカ砂漠化域における土壤劣化・再生実態の比較解析を行うとともに、森林復元による土壤生態系再生原理を考究することとした。

II. 土壤過少分布域における地形・土層特性と土地利用実態の解析

石漠化域とも呼ばれる中国石灰岩地域を研究対象地として、長期的浸食過程、地形特性に規制された劣化土壤の実態ならびにそれに対する急斜面農地の土壤容量保全技術について検討した。地形と土壤深分布に関しては現地踏査と地形図から作成した GIS データを、土壤深については検土杖による現地計測結果を、土壤流亡・浸食については現地モニタリング判別と降雨データなどを比較解析した。また地域社会環境と自然環境の変遷に関しては、人口変遷（増加）史、森林伐採史、土地利用様式についての既存資料解析を行った。その結果、カルスト・ドリーネ特有の急峻斜面地形および過少土壤の分布実態が明らかとなった。すなわち土壤層が分布しない岩山区（傾斜 35° <）がドリーネ全面積の 65%を、角礫のみの崖錐区が 5%を占めており、土壤層の分布域はドリーネ底部土壤区の 8%と谷筋岩礫土壤区の 20%にのみ確認された。岩礫土壤区はテラス化技術により、土壤厚 20~60cm の土壤容量を保持しながら耕地化されていた。ドリーネ面積の 70%に及ぶ過少土壤容量分

布域は、土壤生成速度が極めて遅い石灰岩の特質（土壤材料としてのケイ酸塩鉱物が著しく少ない）に起因していることから、急崖斜面（岩山区）が森林伐採にともなう土壤流亡のために石漠化した場合、養分貯留に必要な土壤容量の確保と生態系修復は不可能と考えられた。

III. 熱帯貧栄養土壤域の養分の消失・貯留実態の解析

熱帯砂漠化域のニジェールサヘル地域を対象として、養分消失実態を土地利用様式との関連から解析するとともに、劣化土壤の再生現象については、シロアリ塚の養分蓄積実態の把握を試みた。土壤養分の指標として土壤中およびシロアリ塚の炭素・窒素量を選択し、土地利用様式としては、森林、ブッシュ、草地、耕地、裸地の5種類を設定した。分析の結果、炭素・窒素ともに草地、耕地、裸地では森林・ブッシュに比べて炭素で1オーダー、窒素で2〜3オーダー低くなっており、この養分減少は遊牧民族定着化による過度な土地利用によるものと推察された。一方、シロアリ塚土壤には裸地より1オーダー高い炭素・窒素が固定されていること、そしてその近傍土壤は養分流出拡散域となっていることなどが明らかとなった。すなわち貧栄養土壤域において土壤生物が土壤養分貯留に重要な役割を担っていることが明らかとなった。

IV. 崩壊斜面の土壤動物相回復過程の解析

斜面土壤の崩壊・流亡頻度の高い日本列島・活火山恵山地域を対象として、斜面崩壊による土壤消失・劣化とその後の斜面保全工（土留工・植栽工）による土壤再生・養分貯留過程について、土壤動物相を指標として検討した。回復過程を時系列解析するために、崩壊発生年代の異なる4カ所の崩壊跡地を選定し、その土壤動物相を比較検討した。その結果、中型土壤動物密度（総個体数/1000cm³）は時間経過に伴って増加（施工後4年：10²オーダー、施工後20年：10³オーダー）していることが確認された。種構成分析ならびにササラダニMGP分析より、施工直後は環境圧耐性の高い種（トビムシ、ダニなど）の生息が認められたが、時間経過に伴って環境圧耐性の低い種（ムカデ、ヤスデなど）が漸次入れ替わり出現してくることが判明した。また緑化工による植生回復と土壤動物相回復は時系列的には並列的とみられたが、植生遷移初期においては土壤生物の働きによる植物成長促進が強く期待されることから、土壤生物による養分固定が土壤の保全・再生における重要作用と位置づけられた。

V. 砂漠化域における養分貯留機能から見た土壤の劣化

以上の知見をもとに、砂漠化と土壤劣化の実態について養分貯留機能の視点から総合考察を行った。砂漠化とは、極めて遅い土壤生成や貧栄養土壤のように長時間スケールで形成された自然特性を背景として、20世紀以降の人口急増に伴う過度な土地利用により、環境扶養力が飽和に達する現象であり、そして土壤劣化とは土壤養分貯蔵庫の崩壊と認識された。すなわち自然生態系には、土壤動物の体や巣という貯蔵庫が備わっているため土壤養分は系外に流出しにくい仕組みになっているが、浸食、過度な土地利用、斜面崩壊などによってそれら貯蔵庫が崩壊すると、養分の系外流出、生物生産量（作物収量）の減少、周辺環境の汚染などの土壤劣化が生じるものと考察した。

VI. 砂漠化域の森林再生による土壤生態系構築

劣化土壤再生手法の原理は、土壤（地盤）の安定化・流出移動防止が第一義であり、ついで土壤容量の増大（客土）・土壤養分蓄積が基本条件と考えられた。そして土壤劣化域での貯蔵庫の回復と土壤養分再備には、森林再生による長期間の土壤回復が最も現実的な選択肢と考えられた。森林の回復に伴う貯蔵庫の回復現象は本研究の結果によって判明したが、回復時間の短縮に、人間技術が介在する余地がある。再生された森林は、土壤の回復

にあわせて再び農地などへの転換利用が可能となる。本研究から、土壤生態系とは、従来の腐食連鎖だけではなく、植物相や人間活動までもを含めた土壤空間系であり、森林再生とは、動植物を含めた土壤生態系の再構築（土壤養分貯蔵庫の回復）手法と認識された。

学位論文審査の要旨

主査	教授	新谷	融
副査	教授	波多野	隆介
副査	教授	齋藤	裕
副査	教授	中村	太士
副査	助教授	山田	孝

学位論文題名

砂漠化域における土壌養分貯留機能の解析に基づく

森林復元・土壌生態系再生に関する研究

本論文は、図42、表7を含む総頁数124の和文論文であり、他に参考論文2編が添えられている。

世界各地で推進された森林植栽や干ばつ予防策にもかかわらず、‘砂漠化’と呼ばれる土地劣化現象は依然進行している。植生・作物収量減少、表土流出・河川氾濫、水質・大気汚染などによって生物圏消失をもたらす土地劣化現象の発生機構は未解明であり、その防止策も未構築である。本研究は、土地劣化を土壌生態系劣化と位置づけ、砂漠化域土壌実態解析により、生物生育基盤としての土壌生態系の保全再生原理の構築を目的としている。

I. 研究方法

土壌生態系劣化の実態解析例として、過少土壌容量分布域における地形・地質特性に由来する土壌生成・消失、貧栄養土壌域における土地利用に伴う養分の減少・貯留、土壌高頻度移動域における土壌生態系の再生を検討している。とくに土壌養分指標として土壌炭素・窒素を、土壌生態系再生指標として土壌動物相に着眼し、アジア・アフリカ砂漠化域における土壌劣化・再生実態について、土壌養分貯留機能の視点から比較解析を行うとともに、森林復元による土壌生態系再生原理を解明することとしている。

II. 土壌過少分布域における地形・土層特性と土地利用実態の解析

石漠化域・中国石灰岩地域において、土壌容量の分布実態と農地土壌保全技術について検討している。現地調査から作成した土壌・地形GISデータ、土壌深計測結果、土壌流亡・浸食モニタリング結果と降雨データなどの比較解析ならびに、地域社会・自然環境変遷の既存資料解析の結果から、カルスト・ドリネ特有の急峻斜面地形・過少土壌分布実態を明らかにしている。すなわち土壌層非分布域(岩山区・角礫崖錐区)が70%を占めており、

ドリーネ底部・平地土壤区(8%)以外の土壤層分布域である谷筋凹部斜面岩礫土壤区(20%)はテラス化技術によって土壤保持されていることを確認している。そしてこの過少土壤容量は、土壤生成速度が極めて遅い基岩特質と長期的な地形・土壤流亡に起因していることから、養分貯留に必須な土壤容量の確保が生態系修復の基本課題であることを示唆している。

Ⅲ. 熱帯貧栄養土壤域の養分の消失・貯留実態の解析

熱帯砂漠化域・ニジェールサヘル地域において、養分消失と土地利用様式との関連実態を解析するとともに、劣化土壤再生に関わるシロアリ塚の養分蓄積実態を解析している。土壤養分指標としては土壤中およびシロアリ塚の炭素・窒素量を、土地利用様式としては森林・ブッシュ・草地・耕地・裸地の5種類を設定している。分析の結果、草地・耕地・裸地は森林・ブッシュに比べて炭素で1オーダー、窒素で2~3オーダー低いことを明らかにし、この養分減少は過度な土地利用によるものと推察している。一方、シロアリ塚土壤には裸地より1オーダー高い炭素・窒素が固定されていること、そしてその近傍土壤は養分流出拡散域となっていることを明らかにし、貧栄養土壤域においては土壤生物が土壤養分貯留に重要な役割を担っていることを指摘している。

Ⅳ. 崩壊斜面の土壤動物相回復過程の解析

斜面崩壊の高頻度域(日本列島活火山)において、土壤消失後の斜面保全工(土留工・植栽工)による土壤再生・養分貯留過程について、土壤動物相を指標として検討している。発生年代の異なる4カ所の崩壊跡地を選定し、土壤動物相回復時系列解析を行った結果、中型土壤動物密度(総個体数/1000cm³)は時間経過に伴って増加(施工後4年:10²オーダー、施工後20年:10³オーダー)していること、種構成分析ならびにササラダニMGP分析より、施工直後は環境圧耐性の高い種(トビムシ、ダニなど)の生息とともに時間経過に伴って環境圧耐性の低い種(ムカデ、ヤスデなど)が漸次入れ替わり出現してくることなどを明らかにしている。そして植生回復と土壤動物相回復は時系列的には並列的現象であり、遷移初期は土壤生物による養分固定が土壤生態系保全・再生における重要な作用であると論じている。

Ⅴ. 養分貯留機能から見た土壤劣化と森林復元・土壤生態系再生

以上の結果をもとに、自然生態系には土壤動物の体や巣という貯蔵庫が備わっているため土壤養分は系外に流出しにくい、浸食、過度な土地利用、斜面崩壊などによってそれら貯蔵庫が崩壊すると、養分系外流出、生物生産量(作物収量)減少、周辺環境汚染などの土壤劣化が生じるものと考察している。そして劣化土壤再生手法の基本原理は、まず土壤安定化、ついで土壤容量増大そして土壤養分蓄積であるとし、土壤劣化域では、森林復元・再生による動植物を含めた長期間の土壤生態系再生(土壤養分貯蔵庫の回復)が必須であると論じている。

以上のように本研究は、砂漠化域における土壤生成・流亡、土壤養分消失・貯留、土壤生態系再生の実態解析により、土壤生態系劣化機構と土壤生物養分貯留機能を解明したも

のであり、その成果は学術・応用両面から高く評価される。よって、審査員一同は、竹下正哲が博士（農学）の学位を受ける十分な資格があるものと認定した。