

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450210

研究課題名(和文) 土壌インベントリ情報の空間解析による森林土壌機能の広域評価

研究課題名(英文) Spatial analysis of regional scale soil functions using soil inventory data of forest lands in Japan

研究代表者

今矢 明宏 (Imaya, Akihiro)

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・林業領域・主任研究員

研究者番号：60353596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：日本全国の約800地点における森林土壌断面調査試料の土壌pH、塩基交換容量、交換性塩基含量、交換性アルミニウム含量を測定し、地球統計学的手法により地理的空間情報を整備し、基盤図として各測定値について森林域における値域の分布推定図を作成した。これらの基盤図に基づきAl毒性発現可能性等の土壌機能評価図を作成した。また、これらの土壌化学性におよぼす土壌型、火山灰付加程度の影響を明らかにした。造林樹種の生長の差異から火山灰付加程度評価の重要性を明らかにし、火山灰土壌の広域分布推定精度の向上を試みた。

研究成果の概要(英文)：The maps of spatial soil chemical properties of forest lands in Japan were established by the soil pHs, cation exchangeable capacity, exchangeable cations contents and exchangeable aluminum content in soil samples collected in ca. 800 forest plots all over Japan. The regional scale assessment of soil functions such as Al toxicity for plants were derived from these maps of soil chemical properties. The soil types and addition of volcanic ash were related to soil chemical properties. Importance of evaluation for volcanic ash addition was indicated from growth performance of commercial tree stands. The estimation accuracy for probability appearance of Andosols was improved by partition analysis using spatial data.

研究分野：森林土壌

キーワード：土壌機能 広域評価 インベントリ 土壌化学性

1. 研究開始当初の背景

森林の持つ機能については、国土数値情報や気象庁メッシュデータ等の基盤データとの関係解析し、これらの数値情報からモデルやシミュレーションにより推定することで広域評価が可能である。土壌は森林が持つ炭素貯留能や酸緩衝能等の機能の根幹をなしているが、その情報は土壌タイプという不連続なカテゴリカルデータとして整備されている。この土壌情報を連続した数値情報として整備することができたなら、森林機能の評価精度の向上を図り、機能の高度発揮に向けた森林管理技術の開発に寄与することが可能となる。

Imaya et al. 2010a, 2010b は、土壌の化学性情報として遊離アルミニウム (Al) 含有率と石礫率を用いた土壌への火山灰付加程度の簡便な評価手法を提案し、日本では火山灰起源の活性 Al が土壌の有機物保持に寄与し、火山灰付加程度が土壌炭素蓄積の支配要因であることを解明した。今矢ら 2012 は、全国から収集された約 800 地点の土壌試料の遊離 Al 含有率の分析から、日本の森林域における土壌への火山灰付加程度の分布を明らかにしている。

火山灰付加程度が強い土壌には、活性 Al が有機物をより安定的に固定する Al-腐植複合体を形成し、火山灰付加が同程度の土壌より炭素蓄積の大きい非アロフェン質土壌が存在する。しかし最新の研究では、非アロフェン質火山灰土壌は、カルシウム施肥により土壌酸性が矯正されることで、Al 腐植複合体が溶解し、蓄積していた土壌炭素を放出する (Miyazawa et al. 2013)。我が国の主要な造林樹種であるスギは自己施肥系を持ち土壌深部からカルシウムを吸収し、落葉として地表に添加する。このため非アロフェン質火山灰土壌においてスギが何世代も植林された場合、表層へのカルシウム添加が土壌酸性を矯正し炭素蓄積が低下する可能性がある。この非アロフェン質火山灰土壌の分布を明らかにし、また土壌 pH や交換性カルシウム含有率の情報と照合できれば、土壌炭素蓄積量評価の精緻化、およびその変動予測の高度化、森林の炭素蓄積能を最大限に活用するための樹種選定指針の策定に寄与することが可能である。このような森林土壌の機能やリスクを空間スケールで評価するには、基盤となる化学性情報を数量的データとして地理的空間情報に整備する必要がある。

2. 研究の目的

全国の森林域から収集された多点試料の化学性分析を行い、既往研究における遊離 Al 含有率情報と合わせて土壌化学性情報インベントリを構築する。化学性情報の面的拡張を地球統計学的手法による空間補間法により検討し化学特性値の基盤図を整備する。これにより森林土壌機能評価マップを作成し機能発現条件を解明する。

3. 研究の方法

(1) 試料

林野庁「森林吸収源インベントリ情報整備事業」(2006 - 2010 年度)において、日本全国を 4 km × 4 km に区切った格子点約 2500 地点で炭素蓄積量調査が行われ、その 3 分の 1 の地点において代表土壌断面として深さ 1 m の試抗を作成し、層別土壌試料が採取されている。この約 800 地点の代表土壌断面から得られた層別土壌試料約 3200 点を用いた。

(2) 分析

土壌 pH はガラス電極法にて、交換性塩基含量は酢酸アンモニウム抽出液を誘導結合型プラズマ発光分析装置にて、塩基交換容量は交換性塩基含量測定後の土壌試料について置換後のアンモニア容量をフローインジェクションにて、交換性 Al 含量は塩化カリウム溶液抽出液を誘導結合型プラズマ発光分析装置にて定量した。

4. 研究成果

(1) 火山灰付加程度による林分材積量の差異

土壌母材は斜面スケールでの植え分けにおいては重要な要因ではなく、そのため森林土壌の分類体系では火山灰土壌を特に区別して扱ってこなかった。しかし、地域や国といった広域での評価が求められるようになり、土壌母材の違いがどのように影響を及ぼすのかを明らかにする必要がある。これまでに、土壌への火山灰付加程度に応じて森林土壌の炭素蓄積量が異なることが明らかになっており、環境面からは森林においても火山灰土壌を区別することが必要であることが示されている。ここでは、森林土壌でも火山灰土壌を識別することが必要である根拠を林業的側面から提示することを目的として、日本の主要造林樹種であるスギを対象に、その林分材積量が土壌への火山灰付加程度によって異なるかどうかを明らかにした。

林分材積量等の地上部データとして、本研究では、森林生態系多様性基礎調査データ解析プログラム (林野庁 2013) により出力した「森林タイプ」「ha あたり蓄積」「林齢」データを用いた。森林生態系多様性基礎調査では国土全域に 4 km 間隔の格子点を想定し、交点が森林である箇所 (約 15000 点) において、格子点を中心とした 0.1ha のプロットを設定し、5 年を 1 巡として地上部バイオマスデータ、林分情報を収集している。ここでは平成 11 年～平成 15 年の第 1 期調査、平成 16 年～平成 20 年の第 2 期調査のデータを使用した。スギは、太平洋側に主に分布する表系と日本海側に分布する裏系に大きく分けられる。表系は初期成長が早く、裏系は初期成長が遅く晩成型である。後者は積雪に適応している。このように品種特性が異なることから林業種苗法では地域間の種苗の移動を制限して

いる。すなわち各種苗配布区域においては類似の成長特性を持った品種・系統が植栽されている可能性が高い。裏系が主とみられる第1区、第2区、第4区は、表系が主とみられる第3区、第5区、第6区に比べ若齢での材積が小さい。本研究では、前者を Group A、後者を Group B として、グループ毎に林齢と材積量の関係におよぼす火山灰付加程度の影響を解析した。

火山灰付加程度を6段階とした場合、各段階における地点数が少なく傾向が明瞭ではなかったため、火山灰付加程度を大小の2区分として比較した。Group A、Group B ともに林齢60年生までの範囲において火山灰付加程度の大きい土壌区分の方が林齢に対して林分材積量が小さい傾向がみられた。ただし、Group B では火山灰付加程度の大きい地点が多く、火山灰付加程度による材積量の違いが明瞭であるが、Group A は火山灰付加程度の大きい地点が少ないため、材積量の違いがやや不明瞭であった。

代表土壌断面における火山灰土壌は、pH、塩基交換容量、炭素含量、遊離酸化物含量が高く、塩基飽和度、交換性アルミニウム含量が低い。立地条件では標高がやや高く、年平均気温が低く、斜面傾斜が小さいといった特徴をもつ。これらの火山灰土壌の特徴を表す因子（遊離酸化物含量を除く）と林分材積量の関係を解析した。点数が多く材積量の差異が大きい第1期35-45年生データを用い、Group A、Bの地域別にステップワイズ法により因子選択を行った後、最小二乗法によるあてはめを実施した。Group A ではpHと交換性Al含量が選択され、それぞれの値が高いほど材積量が小さくなる傾向がみられた。一方、Group B では交換性Al含量と塩基飽和度が選択され、それぞれの値が低いほど材積量が小さくなる傾向がみられた。このように異なる要因や相反する関係性を持つことから立地条件、土壌化学性では火山灰付加程度によって林分材積量が異なる理由を十分に説明することは困難であった。しかしながら、林業的な側面からみても火山灰土壌を他の土壌と区分する必要性は示された。

(2) 土壌型による化学性の差異

日本の森林は複雑な斜面地形に分布しており、そこに分布する土壌の性状は斜面系列に沿った水分環境の違いを反映している。これらの違いは林野土壌の分類において土壌型として区分されている。土壌型は、造林木の成長、森林植生の組成、生育、更新など実用面において高い指標性をもつ。また、土壌型が理化学性との関連性を示すことも認められている。しかしながら、林野土壌分類で用いられる土壌型区分が、森林利用以外の目的において土壌を区分するに際して有用な区分手法になり得るのか、土壌化学性の面から検証されてはいない。全国データにおいても乾性から湿性への斜面系列に沿った変化

を示すのか、土壌型間の差異<土壌群・亜群間の差異となるのかを明らかにした。

ここでは代表土壌断面調査の土壌試料のうち、約80%を占める褐色森林土群において、その約90%を占める典型亜群を対象として土壌型間の比較を行った。土壌化学性として0-30cm深における全炭素濃度、塩基交換容量、交換性Ca, Mg, K, Na, Al濃度、塩基飽和度、有効塩基交換容量、pH(H₂O)、pH(KCl)、酸性シウ酸塩可溶Al, Fe, Si濃度を用いた。

土壌断面の形態的特徴は、適潤性から乾性への推移においてA層が薄く、土色が淡くなっており、概ね林野土壌の分類における分類基準を反映したものとなっていた。

土壌型間における化学性の相違においては、褐色森林土亜群では、pHや交換性塩基、酸性シウ酸塩可溶成分は斜面系列に沿って乾性から湿性へと高くなる傾向を示した。また、適潤性（偏乾亜型）は、近縁型である適潤性とは多くの化学性において差異が認められ、項目によってはむしろ乾性（粒状構造型）に近い傾向を示していた。土壌亜群間の差異については、典型亜群以外の亜群試料数が多い適潤性（偏乾亜型）で比較した。亜群間の化学性の差異は有意ではないものの、土壌型より上位カテゴリーの区分であることを反映して、平均値でみた差では土壌型間のもより大きかった。また、同じ土壌型であっても地域間で化学性に差異が認められた。土壌型の分布にも地域性があるため、土壌型間でみられた化学性の差異は、地域間差を含んだものである可能性が高い。

このように、褐色森林土の土壌化学性は、全国規模においても斜面系列での乾性～湿性に沿った変異を示した。しかし、地域内ではその変異が小さいこと、同じ土壌型であっても地域間で差異を示すこと、土壌型の地理的分布に偏りがみられることから、その変異は地域間での化学性の差異を含んでいると考えられた。そのため、斜面スケールでの変異に基づいた解析の必要がある。

(3) アンドソルの広域分布推定精度の向上

日本全土の森林域を対象とした土壌調査・分析データの整備により、広域におけるアンドソルの分布条件が導出可能と考えられ、逆距離加重法やクリギング法によるアンドソルの森林域での広域分布推定が試みられた。しかし、大まかな分布域は推定できるものの詳細な分布を推定するには至っていない。本研究では、観察によって得られたアンドソルと地形要因との関係を明らかにし、それに基づき、メッシュデータとして広域に整備されている標高や傾斜等の地形情報を用いて、3次メッシュ毎のアンディック層厚、アンディック層上端出現深度およびアンドソルの分布域の推定を試みた。

各調査地点の土壌を分析値に基づきアンドソルとそれ以外に区分した。各調査地点の土壌がアンドソルとそれ以外を分かれる要

因について、調査地点の緯度、経度、標高、傾斜、斜面方位および調査地点を含む3次メッシュにおける年平均値(気候)メッシュデータ(年降水量、年平均気温、年最深積雪、年平均全天日射量)をパラメータとして、パーティション分析を行った。パーティション分析により得られたアンドソル分布確率の推定式により国土数値情報における広域情報(平均標高、平均傾斜角度、最大傾斜方向)を代入し各メッシュにおけるアンドソルの出現確率を推定した。

各調査地点におけるアンディック層厚、アンディック層上端出現深度はともに0および調査深度である100cmが頻出するデータ分布を示していた。そのためこれらのデータと地形情報等との関係からは未計測値のアンディック層厚およびアンディック層上端深度を推定はできなかった。そのため、アンドソルの地点およびアンドソルでない地点がもつ場の特徴を抽出することにより、アンドソルの分布を推定することとした。

各調査地点がアンドソルであるか否かということと、その地点がもつ地形や気象の各条件との間には明確な関係性は見られなかった。そこで、調査土壌の分析により判別した各地点でのアンドソルの出現に対して、地形および気象データを用いてパーティション分析によりアンドソル出現確率の決定木を作成し、これらの広域的な地形情報とアンドソル出現との関係について探索した。得られた決定木における各パラメータの寄与率から、アンドソルの分布には標高、緯度、傾斜、経度の寄与が大きく、気象・気候要因の寄与が小さいことが明らかとなった。パーティション分析によるアンドソル出現推定式を用いて地形情報に基づく3次メッシュレベルでのアンドソルの分布推定を行った(図1)。

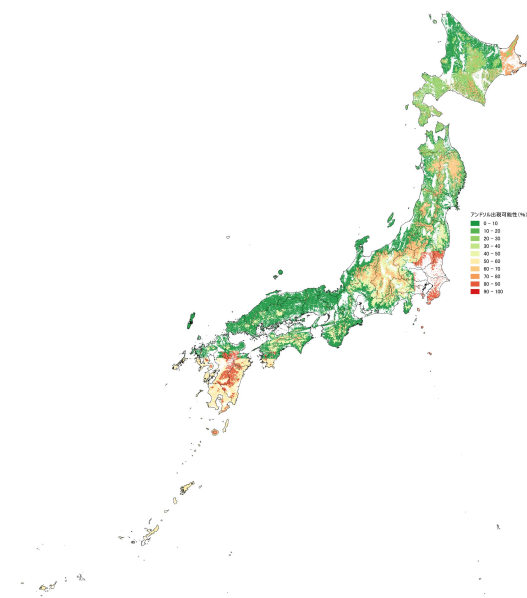


図1 森林域におけるアンドソル出現確率

その結果、森林域の27%がアンドソル出現確

率50%以上となり、既往の火山性土壌の分布割合と近似した値が得られた。このように地形情報により森林域におけるアンドソルの分布を概ね推定可能であることが明らかとなった。また、位置情報も重要な決定要因となっていたことから、推定精度の向上には実測地点の数および密度を増す必要があることも示された。

(4) 土壌化学性の広域推定と機能評価

土壌化学性について逆距離加重法により空間補間を行い森林域での3次メッシュ単位での各値について推定した。広域推定されたそれぞれの土壌化学性の組み合わせにより、土壌機能の評価を行った。

交換性Al含量が3.0cmol/kgより高く、かつpHが5.0未満においてはAl毒性が発現するとされることから、交換性Al含量とpHの広域分布推定図から、各3次メッシュ単位でのAl毒性発現可能性地図を作成した(図2)。この地図では北海道北東部や東北地方の日本海側等においてAl毒性の発現可能性が比較的高い地域が広がっていた。その値は毒性の発現に至るレベルではないものの、土壌酸性化が起きるような状況に至った場合には注意を要すると考えられた。

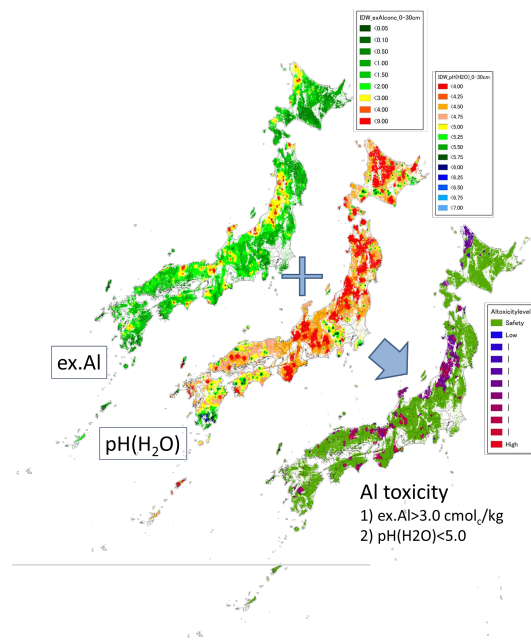


図2 逆距離加重法による交換性Al含量とpHの空間補間とAl毒性発現可能性地図

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)

〔学会発表〕(計 5件)

今矢明宏、金子真司、地形情報からみた日本の森林域におけるアンドソルの分布要因、日本土壌肥料学会、2016年9月20日、佐賀大学(佐賀県佐賀市)

今矢明宏、日本の森林域における火山灰土壌の分布推定、日本森林学会、2016年3月29日、日本大学（神奈川県藤沢市）

今矢明宏、小野賢二、篠宮佳樹、海岸林造成を目的とした人工盛土の土壌分類、日本ペドロロジー学会、2016年3月4日、琉球大学（沖縄県那覇市）

今矢明宏、吉永秀一郎、田中永晴、池田重人、三浦覚、高橋正道、金子真司、全国データによる林野土壌の分類の土壌型における化学性の範囲、日本土壌肥料学会、2015年9月9日、京都大学（京都府京都市）

今矢明宏、吉永秀一郎、金子真司、高橋正通、土壌への火山灰付加程度に応じたスギ林分材積量の差異、日本土壌肥料学会、2014年9月9日、東京農工大学（東京都府中市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今矢 明宏 (IMAYA, Akihiro)

国際農林水産業研究センター・林業領域・

主任研究員

研究者番号：60353596