

## 論文の内容の要旨

論文題目 わが国の森林土壌における炭素蓄積に関する研究

氏名 森 貞 和 仁

京都議定書以降、森林による二酸化炭素吸収機能が気候変動緩和策の一つとして注目され、森林生態系の炭素循環は、森林の生産力や物質循環の視点より、二酸化炭素吸収源としての森林の機能評価の視点から論議されるようになった。京都議定書での森林吸収源評価でも、第一約束期間内における土壌炭素貯留量の変化を評価することが求められている。森林が成立し十分な時間を経過して定常状態にある森林土壌の炭素蓄積の時間変動は小さいとされるが、温暖化や伐採等の施業が土壌の炭素蓄積にどのような影響を与えるかについては明らかになっていない。土壌中での有機物分解過程をモデル化して蓄積量変化を評価するプロセスモデルは数多く提案されているが、土壌中での炭素動態に関わるパラメーター等の決定のためのデータは不十分な状態にある。

本研究では、わが国の森林土壌における炭素蓄積の実態を明らかにするとともに、土壌炭素蓄積量に影響を与えている要因を検討し、全国規模での炭素蓄積量の算定と温暖化や施業等の影響予測の精度を向上させるためのわが国の土壌炭素モニタリングの在り方について議論することを目的として、林野土壌分類に基づいたわが国の森林土壌の炭素蓄積量の試算と現地での土壌生成と炭素蓄積に関する測定および同じ土壌区分に分類される土壌での炭素蓄積量にばらつきを生じる要因に関する検討等を行った。

第1章では、森林土壌の炭素蓄積機能に関する既往の文献に基づいて、土壌

生成時間や植生、気候、母材、人為影響（施業等）が土壤炭素蓄積に及ぼす影響についてレビューし、わが国の土壤における炭素蓄積を規定する要因の特徴として、土壤生成時間の短さと土壤母材としての火山灰の影響を指摘した。

第2章では、既往の土壤調査結果を用いてわが国の土壤炭素蓄積量を試算した。林野土壤分類を集約して15の土壤区分を設定し、1950年代から1970年代に行われた全国規模の土壤調査データを集計して土壤区分別単位面積あたり土壤炭素蓄積量を算出し、国土数値情報から算出した土壤区分別面積に土壤区分毎に単位面積あたり土壤炭素蓄積量を乗じて土壤区分別炭素蓄積量を算出し、集計した。その結果、わが国の森林土壤が蓄積している炭素量は表層から深さ0.3mまでに2,180 Tg（1Tg =  $10^{12}$  g）、深さ1mまでに4,570 Tgと推定された。深さ1mまでの土壤に蓄積されている炭素量のうち、褐色森林土群に分類される土壤の炭素蓄積量が3,086 Tgと最も大きく、次に黒色土群に分類される土壤の炭素蓄積量が949 Tgを占めた。単位面積あたり平均炭素蓄積量は深さ0.3mまでで $9.0 \text{ kg m}^{-2}$ 、深さ1mまでで $18.8 \text{ kg m}^{-2}$ となった。単位面積あたり炭素蓄積量は土壤区分によって違っていたが、多くの土壤区分で炭素蓄積量の変動係数が40%程度あり、土壤炭素蓄積量のばらつきが大きかった。わが国の森林土壤の単位面積あたり土壤炭素蓄積量は世界平均より大きく、わが国と同じ温帯域にある近隣アジア諸国や米国大陸部、欧州各国に比べても大きかった。わが国の森林土壤の70%以上を占める褐色森林土は国際的な土壤分類のWRB分類で対応するCambisolsに比べて炭素蓄積量が明らかに大きかった。単位面積あたり土壤炭素蓄積量が大い理由には、わが国は温帯モンスーン域に位置してバイオマスの生産力が高く土壤への有機物供給が多いうえ、風化の過程で非晶質遊離酸化アルミニウムや鉄等結晶化度の低い二次鉱物を多く生成する火山灰や火山噴出物が各地に分布しているため、黒色土に分類されていなくてもWRB分類のAndosolsに該当する土壤炭素蓄積特性を有する土壤が多く分布するためと考えられた。

第3章では、火山の噴火や地震等に伴う山体崩壊によって発生した新規の非固結岩屑堆積物における植生発達と土壤生成に伴う炭素蓄積過程の長期モニタリングと経過年数の異なる岩屑堆積物上に発達した森林土壤の炭素蓄積量調査、材料の化学性と炭素蓄積量との関係を調べるための火山灰や火成岩、堆積岩由来の材料の長期埋設試験の結果を示し、土壤の炭素蓄積に関わる土壤特性について検討した。岩屑堆積物における炭素蓄積の調査地は、いずれも冷温帯に位置し、山体はわが国の代表的な地質である安山岩質である。

新規の非固結岩屑堆積物における炭素蓄積については、1984年御嶽山岩屑なだれ堆積地で植生回復に伴う土壤生成過程を堆積直後から20年間モニタリン

グした。土壤炭素量と酸性シュウ酸塩抽出のアルミニウム( $Al_0$ )と鉄( $Fe_0$ )で示される土壤の非晶質遊離酸化物( $Al_{0+1/2}Fe_0$ )含量に相関があることを明らかにし、土壤の炭素蓄積の進み方はバイオマスからの有機物供給よりも非晶質遊離酸化物の生成によって規定されていることを示唆した。

経過年数の異なる岩屑堆積物上に発達した森林土壤の炭素蓄積量調査は、1888年磐梯山岩屑なだれ堆積地、1783年浅間山鎌原岩屑流堆積地、1108年浅間山追分火砕流堆積地、888年八ヶ岳大月川岩屑流堆積地、および鳥海山象潟岩屑なだれ堆積地で行った。90年経過の磐梯山土壤の炭素蓄積は表層に限られ、蓄積された有機物の腐植化は進んでいなかった。200年経過の浅間山鎌原土壤は腐植化の進んだ有機物を蓄積していたが、炭素蓄積は表層に限られていた。浅間山追分土壤の炭素蓄積は900年近く経過しても表層に限られていた。1110年経過の八ヶ岳土壤で深さ0.3mまでの炭素蓄積量がわが国の森林土壤の平均レベルに達し、腐植化の進んだ有機物を蓄積していたが、下層での炭素蓄積、腐植化は進んでいなかった。約2600年経過の鳥海山土壤で深さ1mまでの炭素蓄積量がわが国森林土壤の平均レベルに達していた。八ヶ岳土壤の平均炭素蓄積速度は $11 \text{ g m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ で、世界的には高かった。炭素蓄積速度が高いのは土壤が非晶質遊離酸化物に富むためと考えられた。鳥海山土壤の平均炭素蓄積速度( $7 \text{ g m}^{-2} \text{ 年}^{-1}$ )は長期モニタリングから推定された欧州の森林土壤における現在の炭素蓄積速度と変わらず、鳥海山土壤の炭素蓄積は定常状態に達していると考えられた。比較した土壤の炭素含量は経過年数、非晶質遊離酸化物含量と相関が高く、風化による非晶質遊離酸化物生成の違いが土壤の炭素蓄積の違いをもたらしていることを示唆した。

十分に時間経過した土壤における非晶質遊離酸化物( $Al_{0+1/2}Fe_0$ )含量と炭素含量、炭素蓄積量の関係を調べた。 $Al_{0+1/2}Fe_0$ が多い土壤ほど炭素蓄積量が大きい傾向が認められたが、 $Al_{0+1/2}Fe_0$ が同じ時、土壤炭素蓄積量は火山灰を母材とする土壤の方が火山灰以外を母材とする土壤より大きい傾向が認められた。このことから酸性シュウ酸塩抽出のアルミニウムと鉄で示される非晶質遊離酸化物量の分析値と土壤炭素の安定化に関わる非晶質遊離酸化物量との対応関係が火山灰を母材とする土壤と火山灰以外を母材とする土壤では異なる可能性を指摘した。

亜熱帯に位置する沖縄県の森林の堆積有機物層直下に化学性の異なる材料を30年間埋設して、植生リターから十分な炭素供給のある条件で材料別炭素蓄積速度を比較し、火山灰由来のアカホヤで炭素蓄積量が著しく大きく、最も小さい安山岩由来の材料の8倍であること、アカホヤと火山灰では経過年数に伴って炭素蓄積量が増加するが、火山灰以外に由来する材料では炭素蓄積が頭打ちとなることを示した。材料の炭素蓄積量は材料の非晶質遊離酸化物

( $\text{Al}_{0+1/2}\text{Fe}_0$ ) 含量と相関関係があることを示し、気温が高く有機物分解が急速に進む条件下で、易分解性土壌炭素が少なく、土壌炭素の大半を遅分解性炭素と難分解性炭素が占めると想定される条件では、土壌炭素蓄積量は非晶質遊離酸化物含量によって規定されることを示した。

第4章では、土壌炭素蓄積量の全国集計でみられた土壌区分内での土壌炭素蓄積量のばらつきの原因を検討するため、既報のデータを用いて、土壌群毎に細土の非晶質遊離酸化物 ( $\text{Al}_{0+1/2}\text{Fe}_0$ ) 含量と炭素含量の関係を検討した。遊離酸化物の量と質で特徴づけられる土壌生成作用や母材が分類基準となっているポドゾル群土壌や赤・黄色土群土壌については、温度条件等に加えて  $\text{Al}_{0+1/2}\text{Fe}_0$  含量を評価することによって炭素蓄積量のばらつきを説明できる可能性が示唆された。一方、遊離酸化物の量や質に関わる土壌生成作用が分類の基準となっていない褐色森林土群土壌については、火山灰に由来する土壌と火山灰以外に由来する土壌を分けて温度環境や  $\text{Al}_{0+1/2}\text{Fe}_0$  と炭素含量との関係をみることによって、ばらつきを説明できる可能性を示した。

わが国の森林土壌における炭素蓄積量変化を評価するために Century モデルを改変して開発された Century-jfos モデルでは温度環境に基づく土壌炭素の分解率から土壌炭素動態を予測しており、土壌の炭素蓄積機能や蓄積されている土壌炭素の安定化に関する指標は組み込まれていない。温暖化の進行や長伐期化や間伐など施業に伴って土壌炭素蓄積量がどの様に変化するかを予測するには、易分解性土壌炭素の動態に強く影響を与える温度環境に関わる指標だけでなく、遅分解性・難分解性土壌炭素量に関わる土壌特性の指標をモデルに組み込む必要があること、遅分解性・難分解性土壌炭素量に関わる土壌特性として、土壌炭素の安定化に関わる非晶質遊離酸化物を指標する分析値である  $\text{Al}_{0+1/2}\text{Fe}_0$  と土壌母材としての火山灰の影響度を指標する分析値である P retention を全国土壌炭素モニタリングの測定項目に加える必要があることを指摘した。