

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	米倉 佑亮
論文題目	Dynamics of soil carbon after rainforest destruction and subsequent establishment of <i>Imperata</i> grassland in the Asian humid tropics (東南アジア熱帯雨林の消失と <i>Imperata</i> 草原の成立・維持過程における土壌炭素の動態)		
(論文内容の要旨)			
熱帯林の劣化・消失は炭素の吸収・貯留機能の減退をもたらし、地球温暖化を加速する要因の1つと考えられている。しかし、陸域生態系における重要な炭素貯留庫である土壌中の炭素プールが、低地熱帯雨林から荒廃草原へ劣化し、それが維持されていく過程で量的・質的にどのように変化するかについては不明な点が多い。現在インドネシアでは、伐採や焼畑並びに広範・高頻度の森林火災などによって天然林の劣化・消失が進行し、その跡地には耐火性イネ科草本である <i>Imperata cylindrica</i>（以下 <i>Imperata</i>）の草原が広範囲に成立し火災極相として維持されている。 本論文では、1980年代初頭に天然林が消失した後、<i>Imperata</i>草原が大面積に成立し火災極相として維持されているインドネシア共和国の東カリマンタン州において、人為攪乱前の低地フタバガキ科天然林と、森林の劣化・消失後に成立した<i>Imperata</i>草原、並びにその後12年間草原が維持された地点の土壌を比較し、植生変化に伴う土壌炭素蓄積量の変動を明らかにした。更に、C₃植物とC₄植物で異なる同位体分別強度を利用し、土壌炭素の同位体比(δ¹³C)を測定することで、各時点における土壌炭素をC₃植物であるフタバガキ科天然林とC₄植物である<i>Imperata</i>草原に由来する炭素に区分した。また、比重と粒径の組み合わせによって土壌有機物を物理的に分画し、天然林の消失と荒廃草原の成立・維持過程における土壌有機物の存在様式の変動メカニズムを明らかにした。 天然林消失から草原成立に至る約10年の過程で、土壌炭素蓄積量（深さ0–100 cm）は約23%増加し、<i>Imperata</i>草原由来有機物の下層土への蓄積がその主要な原因であった。一方、草原が維持される12年の過程では炭素蓄積量に変化は認められなかったが、森林由来有機物の<i>Imperata</i>草原由来有機物への置き換わりが進行しており、<i>Imperata</i>の地下茎・根の枯死・脱落が主要な炭素供給経路であることを明らかにした。 炭素同位体測定の結果から、表層土は相対的に易分解性の有機物画分を多く含み約6割の有機物が比較的短い期間で回転しているのに対し、深さ20 cm以下の次表層～下層土中では草原維持の過程で草原由来の炭素の蓄積が進行する一方、森林由来の炭素は相対的に安定な土壌炭素プールを形成していることを明らかにした。 更に物理分画の結果から、草原の成立・維持により増加していた<i>Imperata</i>草原由来の炭素は主に粘土粒子と有機無機複合体を形成しており、微生物分解に対して比較的安定に存在することが示唆された。下層土中に安定に存在している森林由来の炭素は、粘土、シルト、砂のいずれの物理画分中에서도安定な炭素プールを形成しており、そのほとんどは粘土と複合体を形成していた。また表層土中では、軽画分を含む全ての物理画分中で<i>Imperata</i>草原由来有機物による森林由来有機物の置き換わりが起こっており、一般には安定な粘土画分やシルト画分中の有機物にも、相当量易分解性有機物が含まれていることが示された。また、表層土から得た軽画分中の炭素同位体比は草原の成立・維持を経ても相対的に低く維持されたことか			

ら、森林消失時に生成したC₃植物由来の炭化物が、草原下にあっても安定的に表層土中に保存されている可能性が示された。

土壌炭素の指数関数的変化を仮定した数学モデルを用いたシミュレーションにより、天然林が *Imperata* 草原に置き換わり維持された場合、0–100cm 深における土壌炭素蓄積量は、草原成立後 30–50 年で天然林よりも約 32%多い量で平衡に達し安定すると推定され、その増加分は主に粘土粒子と複合体を形成して安定な炭素プールを形成している可能性を指摘した。更に、草原維持下の土壌にあっても、全土壌炭素量の約 6 割が主に下層土中に粘土と複合体を形成して保存された森林由来の炭素であり、炭素プールの安定的維持に大きく貢献していた。このことから、天然林土壌では、主に表層から落葉落枝の形で土壌中へ供給された有機物は徐々に易分解性画分の選択的分解を被りつつ下層土中へ移行し、更にその多くが粘土と複合体を形成することで難分解性を獲得しつつ長期間かかって安定な土壌炭素プールを形成したと推定された。一方、地下部生産の旺盛な草原下の土壌では、主に根と根茎から直接土壌中に供給された多量の有機物は土壌中での分解を経つつ粘土粒子他の無機画分と複合体を形成し、より速やかに安定な土壌炭素プールを形成すると考えられた。加えて、森林消失時や繰り返される草原火災によって生成した炭化物もまた土壌中に供給され、安定な炭素プールの一部を構成していることを示した。

(論文審査の結果の要旨)

近年東南アジアでは人為影響による熱帯雨林の消失が進行し *Imperata* 草原が広範囲に出現しているが、それに伴う陸域生態系の炭素循環の変動には未知な部分が多く、特に土壤炭素の動態に関する情報はほとんど存在しない。本論文はインドネシアの東カリマンタンにおいて、熱帯雨林の消失と草原への変化過程並びに草原が火災極相として 12 年間にわたって維持される過程における、土壤炭素の動態について詳細に論じたものである。評価できる点として以下の 4 点をあげることができる。

1) 土壤炭素蓄積量の時系列に沿った変化を 0-100 cm 深の土壤について明らかにし、天然林消失と草原成立の過程で土壤炭素蓄積量 (0-100cm) は約 23% 増加する一方、草原が維持される過程では炭素蓄積量は変化しないことを明らかにした。得られた情報は、熱帯林消失と引き続く劣化草原生態系の成立に伴う生態系炭素収支の変動を高精度で評価するための情報として価値が高い。

2) C_4 植物である *Imperata* と天然林を構成する C_3 植物で異なる安定炭素同位体比を用いて天然林土壤並びに草原土壤に含まれる有機物を森林起源と草原起源に分割すると共に、*Imperata* による有機物投入量を計測することで、天然林消失と草原成立の過程における土壤炭素蓄積量の増加は *Imperata* 由来の有機物が主に下層土に蓄積することによること、また、炭素蓄積量に変化が見られなかった草原維持過程にあっても森林由来有機物の *Imperata* 由来有機物への置き換わりが進行していることを明らかにした。本知見によって熱帯雨林地域における植生変化に伴う土壤有機物の変化過程を先駆的に明らかにした。

3) 土壤有機物を比重と粒径に従って物理的に分画し、加えてその炭素同位体を測定することによって起源別に土壤有機物の安定化様式を解析し、草原の表層土は相対的に易分解性の有機物画分を多く含み比較的短期間で回転しているのに対し、深さ 20 cm 以下の次表層～下層土中の土壤有機物は主に粘土粒子と結合して安定な土壤炭素プールを形成していることを明らかにした。また草原植生下の下層土中に安定的に存在する炭素の多くは前植生である森林下で長期間にわたって粘土と結合して蓄積・安定化したものであることを示し、粘土粒子の安定な炭素プールの維持拡大に於ける決定的な重要性を指摘した。

4) 数学的シミュレーションによって、土壤炭素蓄積量 (0-100 cm) は天然林の消失と草原の成立過程で約 32% 増加し、草原成立後 30-50 年で平衡に達することを示した。本成果は森林消失と荒廃草原化に伴う炭素収支を定量的に評価したもので、荒廃草原を対象に吸収源 CDM 等の温暖化緩和活動が実施される際の炭素収支の予測に具体的な数値情報を提供するものであり、地球温暖化防止策の進展に貢献する。

以上のように本論文は、東南アジア熱帯雨林の消失と *Imperata* 草原の成立・維持過程における土壤炭素の量的・質的動態を、土壤炭素の蓄積量を測定し併せて炭素同位体比の測定と物理分画を組み合わせることで詳細に解明したもので、森林立地環境学、土壌学、森林生態学、森林管理学の発展並びに、熱帯雨林消失地での環境サービス機能の評価・増進に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成 24

年 2 月 10 日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。