

21世紀の土壌有機物研究

帯広畜産大学 筒木 潔

1. 土壌有機物研究の意義

恵庭火山灰や十勝火山灰が十勝平野を覆った頃、十勝平野は一面の沙漠のような景観を呈していたらうといわれる（「十勝の自然を歩く」¹⁾）。しかしその沙漠は豊かな森と土を生み出す栄養分をはらんだ沙漠であった。他方収奪農業の結果や土壌侵食・風食により再び我々の前にあらわれる沙漠はまさに死の沙漠であろう。まさかこの肥沃な十勝平野が沙漠化することはないだろうとは思いますが、ひょっとしてそれに近い状態が将来出現しないとも言い切れない。

「土と日本人」²⁾、「土のはなし」³⁾、「土の化学」⁴⁾、「土の危機」⁵⁾、「土は求めている」⁶⁾、「土と日本古代文化」⁷⁾など、土を主題とした優れた著書の刊行が続いている。これらは、土の研究者以外の一般の読者に土の重要性を認識してもらおうとて好適な著書であるが、これらの著書が生まれだた背景には、高度に工業化された現代社会における人間生活や合理化され集約化された農業活動の中でないがしろにされてきた土の叫びがあると思う。人間の生存にとって土は本当はないがしろにされていいものであろうか。地球環境の危機や農業の危機が叫ばれるなかで、土の危機も見過ごせない段階に入っていることの警鐘としてこれらの著書はあらわれたのではないだろうか。

現代の農業では土を単なる作物の生育培地としてのみ認識し、作物の栽培にとって有害なものや、無用に見えるものを容赦なく排除し、農業や化学肥料の多投により極端に単純化された農耕地生態系を作り出してきた。極端な例を挙

げれば、最近のバイオテクノロジーにより開発された各種の新品種や新栽培技術においては、土は作物生産にとって、不要物であるばかりでなく、邪魔者でさえある。また、あらゆる作物は収量を増大させる方向で育種される一方で、商品とならない茎葉部の割合は小さくなり、それにともない土に返される有機物の量は減少してきた。農耕地への堆肥の施用も労働力不足、資材不足、農業合理化等の理由からはとんど行なわれなくなっている。これらの結果、農耕地の土壌有機物の質と量は確実に減少・劣悪化し、土の微生物組成は単純化しつつあるが、このような傾向が続いていることの背景としては、人間の技術力で土壌有機物や土壌微生物の機能などは肩代わりできるとの過信がある。

このような時代にあって土壌有機物を研究することは、現代の科学の盲点をつき、忘れ去られていた人間生活と農業生産の存立基盤を再認識させるという重要な使命を負っている。

2. 土壌有機物とは

有機物研究の将来を考える前に、主に化学的側面から土壌有機物の特徴について述べておきたい。

1) 腐植酸の化学

腐植酸とは土壌からアルカリによって抽出され、酸によって沈殿する赤褐色ないし暗褐色の有機物の画分であり、カルボキシル基やフェノール性水酸基によって酸としての性質を示す。土壌以外にも、石炭、堆積岩、湖底・海底堆積物、水質中等から同様の操作によって抽出される有機物も腐植酸あるいはフミン

酸と称する。腐植酸とフミン酸は同一の概念を示すものである。

土壌中で腐植酸は粘土鉱物の表面に吸着したり、各種の陽イオン、アルミニウム、鉄、カルシウム等と難溶性の塩を形成して存在している。従って石灰質土壌などでは、NaOH抽出のみでは腐植酸はあまり抽出されず、これらの陽イオンと錯体を形成する試薬 (NaF, NH_4F , $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 等) によってはじめて抽出される。このような腐植酸を結合形腐植酸、一方 NaOH のみで抽出される腐植酸を遊離形腐植酸と称する。ただし遊離形とは称してもアルカリ性で無機イオンと分離しやすいただけで、土壌中で完全に遊離の形で存在しているわけではない。

また腐植酸はその疎水性によってジメチルスルフォキシド、ジメチルフォルムアミド等の有機溶媒によっても、その一部が可溶化される。腐植酸中でエタノールに可溶の画分はヒマトメラニン酸 (himatomelanic acid) と称され、脂肪族構造に富んだ画分である。

また、腐植酸のアルカリ溶液に 1M の KCl または NaCl を添加した時、沈殿する画分を灰色腐植酸、溶液中に残る画分を褐色腐植酸と称する。灰色腐植酸は腐植化度が高く解離基を多く含むため、高濃度の電解質によって凝集したものである。ただし腐植酸画分のこのような細区分は現在ではあまり行われていない。

土壌の腐植酸は、植物遺体が腐朽していく過程で分解・変質を受けながらも残留しているリグニン、タンパク質、多糖類などの高分子や、それらの成分から微生物によって生産された 2 次的有機物が、相互に反応したり無機成分と結合し安定化して生成した腐植物質によって構成されている。

腐植酸の可視部および紫外部吸光度は、可視部から紫外部にかけて指数関数的に増大し、

キノン系土壌色素等を除外すれば、特定の発色団に起因する顕著な吸収帯を持たない。腐植酸の腐植化度は単位濃度当りの腐植酸の 600nm の吸光度 (RF) および吸収スペクトルの傾き ($\Delta \log K : \log K_{600} - \log K_{400}$ 、ただし K_{600} および K_{400} は 600nm および 400nm における腐植酸の吸光度) によって定義され、この 2 つの指標によって腐植酸は A, B, R_p, P の 4 型に分類される。⁹⁾

A 型腐植酸は最も腐植化の進行した腐植酸であり、腐植質火山灰土の A 層や石灰質土壌等から主に得られる。これらの土壌では活性アルミニウムやカルシウムとの結合によって腐植酸が分解から保護されている。B 型腐植酸は主に成熟した褐色森林土から得られ、A 型と R_p 型腐植酸の中間的性質を示す。R_p 型腐植酸は沖積水田土壌や畑土壌などの未熟な土壌や、森林土壌の A₀ 層等から得られる腐植化度の低い腐植酸である。ただし著者はさらに R_p 型腐植酸を土壌の鉱質層位から得られた腐植酸群 R_p (1) 型と植物遺体や堆積腐植層から得られた腐植酸群 R_p (2) 型に区分した方が、両者の有機物の分解の程度が異なり、加水分解性窒素化合物やフェノール性化合物の含量が異なるため、腐植酸の化学的性質の変化過程を説明する上で都合が良いことを明らかにした⁹⁾。P 型腐植酸は、腐植化度 (RF) は B 型腐植酸と同じ程度であるが、吸収スペクトルの傾き $\Delta \log K$ の値が小さい腐植酸である。これは P 型腐植酸に緑色の特殊な吸収を持つ土壌色素が含まれることが多いからである。この緑色土壌色素 (Pg) は熊田・佐藤¹⁰⁾ により発見され、4,9-ジヒドロキシペリレン-3,10-キノンを母核とすることが明らかにされている。P 型腐植酸のうち Pg の吸収が認められないものは P₀ 型、Pg の吸収を持つものは吸収の程度に応じて P_± から P₊₊₊ 型と表わされる。

このような腐植酸の腐植化度や型は、腐植酸・フルボ酸の抽出量および比率、遊離形腐植と結合形腐植の割合等の情報と組み合わせると、土壌の種類や層位の違いを非常によく反映する。

各種土壌から得られた約40点の試料についての結果では、腐植酸は1mgあたり2-6me(ミリ当量)のカルボキシル基、2-10meのカルボニル基、1-3meのフェノール性水酸基、0.5-3.5meのアルコール性水酸基、0.2-1.5meのメトキシル基を含む¹¹⁾。また、加水分解によってアミノ酸を生成する構造部分は腐植酸の全炭素の7-20%、多糖類態の炭素は全炭素の1-3%を占める¹²⁾。

また腐植酸の腐植化度および腐植酸型は、腐植酸のこれらの化学的性質の規則的遷移と対応している。すなわち腐植酸のカルボキシル基、カルボニル基、芳香族炭素等は腐植化度の増大とともに増加し、水素含量、窒素含量、糖に由来するアルコール性水酸基、リグニンに由来するメトキシル基等は腐植化度の増大とともに減少する¹³⁾。すなわち腐植化過程の初期に腐植酸の化学構造の形成に貢献したリグニン、タンパク質、多糖類等は腐植化の進行とともに減少し、不飽和度および芳香族性の高い土壌固有の腐植物質が生成する。

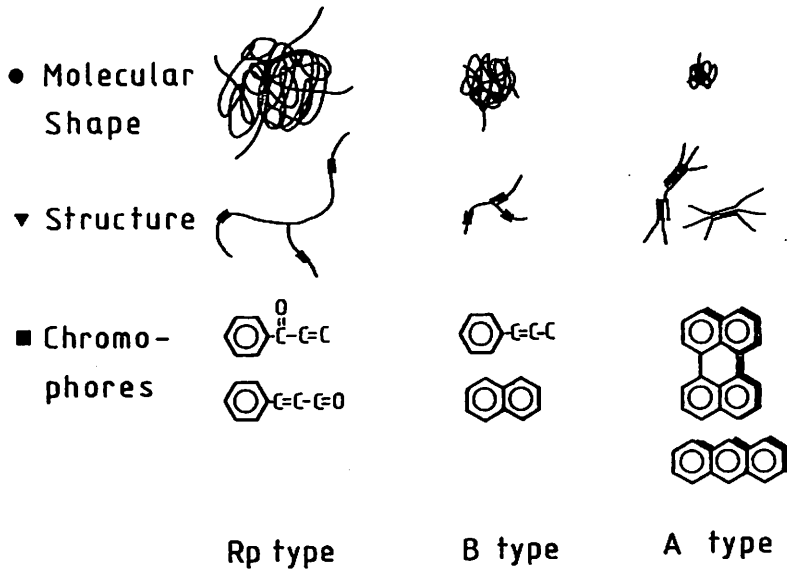
腐植酸の化学的性質は土壌の生成条件をもよく反映し、腐植酸の可視部吸光特性、元素組成、官能基組成、¹H-NMR等の結果を統計的に処理すれば、各々の腐植酸が由来する土壌の種類が判別できることも示されている¹³⁾。

腐植酸の分子は重量平均分子量が数万から数十万の多分散性の高分子で、腐植化度の増大とともに分子量は減少する^{14,15)}。分子の形状は楕円状ないし球状と考えられるが、多数の解離基の影響で高分子電解質として挙動するため、分子の大きさは溶媒のpHやイオン

強度に著しく依存し、高pH・低イオン強度の下では著しく拡がり、低pH・高イオン強度では収縮する¹⁶⁾。腐植酸を分子量によって分画しそれぞれの性質を調べると、最も腐植化度の高い画分は全体の中程度の分子量画分にあり腐植化度のピークは腐植化度の高い腐植酸ほど高分子量側へ移動する¹⁵⁾。他方、最も高分子量の画分にはかなり腐植化度(RF)の低い物質が含まれる。これらのことは、腐植酸の生成過程は出発物質としての生体高分子の分解過程と、土壌に固有な暗色高分子の合成過程との二面性を持つことを示している。すなわち腐植化の初期にはタンパク質・多糖類・リグニン・それらが相互に反応して生成したメラノイジン様物質等が腐植酸の骨格を形成しているが、腐植化の進行とともにそれらは分解される。他方、腐植酸の本質とも言うべき指数関数的可視部吸収の原因となる発色団の構造はその不飽和度を高め共役二重結合系を長くするとともに分子量を増大させる。しかし発色団の大きさは腐植酸分子全体の分子量を越える程巨大化することはないため、腐植酸の分子量は全体として腐植化の進行とともに減少する。このことの模式図を図1に示した。

2) ヒューミンの化学

ヒューミンは土壌からアルカリによっても酸によっても抽出されない土壌有機物の一画分である。この難溶性のためその化学的性質はほとんど解明されていないが、腐植酸同様非常に複雑なものである。第一にヒューミンの一部は、ピロリン酸ナトリウムのようなキレート形成剤によっても抽出されないため、土壌中の多価陽イオンと非常に安定度の高いキレートを形成したり、粘土鉱物の表面に強固に吸着している可能性がある。またアルカリに溶けないためその紫外・可視吸収スペクトルは記録することはできないが、腐植酸同様暗色



The Change of Humic Acid Structure

図1 各型腐植酸の構造モデル試案

上段は腐植酸の分子形および分子サイズ、中段は発色団と側鎖部分の関係、下段は発色団の構造モデルを示す。

を呈するため、高度に縮合した共役二重結合系をその構造中に持つものと考えられる。また脂質・樹脂・スベリン・クチン等の疎水性高分子や、植物根や植物遺体由来のセルロースは、もとより水に溶けにくいので、ヒューミンの構成成分の一部となりうるが、IR スペクトルや元素組成からもこのことは確認されている。すなわちヒューミンは非常に腐植化の進んだ有機物と、腐植化過程の初期にある植物遺体成分の両者の混合物であると言える。

ヒューミンの研究法としては従来フッ化水素 (HF) によって土壌の鉱物質を溶かした残渣が試料として用いられてきた。しかしこの方法はヒューミンの構造の一部を加水分解したり縮合したりする恐れがある。著者らは酸性にしたジメチルスルフォキシド (DMSO) でヒューミンの一部を抽出する方法を試

みたところ、かなりの収量が得られた。これはヒューミンの疎水性に依存した抽出法である。この DMSO 抽出性ヒューミンと HF 分解ヒューミンの性質を比較したところ前者は鉄とのキレートとして存在し、後者は主としてアルミニウムとのキレートとして存在していた¹⁶⁾。すなわちヒューミンの精製分離法としては両者は別々の成分を獲得しえたことになる。近年また¹³C-NMR スペクトルのように土壌から分離することなしに有機物の構造を解析できる方法も試みられるようになり、ヒューミンの構造の解明に関しては長足の進歩が期待される。

3) フルボ酸の化学

フルボ酸は土壌有機物や堆積物からアルカリによって抽出される有機物ないし水質中に溶存する有機物のうち、酸性 (pH 1) にしても沈澱しない画分である。溶液の色は黄色

から褐色を呈し、単位濃度当りの可視部吸光度は腐植酸と比べて著しく低い。

土壤中でフルボ酸もまた鉄やアルミニウムの酸化物、粘土鉱物、およびより高分子な有機物に吸着して存在しており、またその多量の解離基によって各種の交換性イオンを保持している。従ってこれらの元素の可給性や、移動・集積、土壌環境の変化に対する緩衝作用等に深く関わっている。

土壌有機物中のフルボ酸の比率は、ポドソル土壌、褐色森林土壌で高く、また一般に層位が深くなるほど高くなる。また泥炭土壌では低い。このような特徴はフルボ酸が水に溶けやすく移動しやすいことを反映している。

フルボ酸はカルボキシル基に富んだ腐植物質や、分子量の大きな多糖類、配糖体、フェノール性物質など多様な物質の混合物であるが、特に多糖類に富んだ画分は全体の40~80%近くを占める。

疎水性化合物にたいして親和性を持つアンバーライト XAD 系樹脂、フェノール性化合物にたいして親和性を持つ Polyclar AT (ポリビニルピロリドンの架橋重合体) 等の樹脂、および弱塩基性陰イオン交換樹脂等によって、フルボ酸中の腐植物質に富んだ画分は吸着され、多糖類に富んだ画分は通過する。活性炭へ吸着させたフルボ酸を希塩酸・水・アセトン・エタノール・アルカリなどで逐次溶出しても、各種の異なった画分が得られている。エタノールへの溶解度によっても腐植物質に富んだ画分(可溶性)と多糖類に富んだ画分(不溶性)は区別される。

フルボ酸中の腐植物質に富んだ画分の重量平均分子量は、腐植酸と比べてかなり小さく数千から1万の程度であるが、多糖類に富んだ画分の平均分子量は2~3万に達する。

^{13}C -NMR や官能基分析によれば、フルボ酸中の腐植物質に富んだ画分はカルボキシル

基、カルボニル基、芳香族性炭素に富み、腐植酸よりも多いほどである¹⁷⁾。ただし可視部吸光度が著しく低いことから、縮合芳香環は非常に少ないと考えられる。他方、多糖類に富んだ画分は、炭水化物性の炭素に著しく富む他、飽和脂肪族炭素やカルボキシル炭素にも富んでいる。これらのことからフルボ酸には腐植化過程の出発物質と、腐植酸やヒューミンからの分解生成物が含まれるものと考えられる。

4) 土壌有機物の安定化機構

土壌有機物は腐食食物連鎖 (detritus food chain) を構成する様々な成分、すなわち植物遺体、土壌動物・微生物菌体およびその代謝産物、およびそれらから生成した腐植物質等からなる混合物である。土壌有機物は土壌中での物質変化の過程の中で大部分は土壌生物のエネルギー源として利用され CO_2 へと変化する一方で、その一部は土壌鉱物質と結合して安定化し、土壌固有の有機物へと変換される。これらの諸成分は土壌中に均一に分布しているわけではない。上で述べたような腐植物質の腐植酸・フルボ酸・ヒューミンへの分画は、研究対象を単純化する上で有効ではあるが、それぞれの画分自身もまた様々な成分の混合物である。土壌有機物は有機物断片として存在していたり土壌粒子に吸着して存在しているから、粒径による物理的分画は土壌有機物の由来を明らかにしたり、土壌中での有機物の変化の道筋を明らかにする上で非常に有効な手段となる。

モリソル、黒ボク土、熱帯水田におけるイナワラの長期連用圃場、厩肥連用畑等を試料として各粒径画分に含まれる有機物の特徴を調べたところ、ほとんどの土壌で高度に腐植化した腐植物質は中粗粘土画分ないしシルトサイズ画分に含まれることが明らかとなった^{18,19)}。他方砂サイズ画分には主として腐朽植

物遺体が含まれた。モリソルに関しては各粒径画分の¹⁴C年代決定を行なったが最も古い年代を示したのは中粗粘土画分であり、砂サイズ画分の年代は現代に近かった²⁰⁾。これらのことは土壤有機物が粘土鉱物やセスキオキサイド類と結合して安定化していることを示した。既肥、イナワラ、イナワラ堆肥等の10年程の連用では温帯条件においても熱帯条件下においても粘土腐植複合体の形成を促進しなかった。埋没火山灰土では土壤鉱物と結合して安定化された有機無機複合体がさらに砂サイズの会合体を作り、数万年もの年月有機物を分解から保護していることが明らかにされた²¹⁾。

5) 土壤有機物組成による古環境の推定

泥炭が生成するような嫌気的条件下では土壤有機物はほとんど分解を受けず、たとえ数万年もの年月残留する。特にもともと嫌気条件下における分解抵抗性が大きなリグニン成分や脂質成分は堆積当時の構造を残し、その構造や組成から当時の植生や環境が復元できる可能性がある。著者らは愛知県南設楽郡作手村で採取された現代から3万年以前までさかのぼることのできる泥炭断面を試料とし、リグニン成分および脂質成分の分析を行なった²²⁾。リグニン成分の構造上の特徴を示すCuOアルカリ分解生成物は、その芳香族アルデヒド類と芳香族酸類の比率、収量、p-ヒドロキシ化合物、バニル化合物、シリンジル化合物の相対割合等が、湿原の乾湿の変化、植生の種類の変遷などと良く対応することが示唆された。またC14からC30までの脂肪酸組成も湿原の環境変化と対応して変化した。このように特殊な条件下では土壤有機物の分析は古環境の復元手段として有効であることが示された。

3. 世界の腐植物質研究の到達段階

1990年8月国際土壤科学会議の直前に名古屋で国際腐植物質学会の国際会議が行なわれた。諸外国から57名の腐植物質の研究者が結集し、日本人の発表も含めて115題の研究発表が行なわれた。

研究発表は6つのセッションに分けて行なわれた。腐植物質の化学のセッションでは最も多数の研究発表が行なわれたが、固体状態の¹³CNMRが腐植物質の構造研究の手段として幅広く用いられるようになってきた。また熱分解GCマス、熱分解ソフトイオン化マススペクトル、レーザー蛍光分光法など新しい技術の紹介も行なわれた。これらの技術の発展の結果、腐植物質の構造をその土壤中での存在状態のままに解明したり、超微量の試料で研究ができるようになってきた。また従来腐植物質の構造に対しては、芳香族縮合環の貢献が強調されてきたが、最近の知見では脂肪族構造のほうが腐植物質の主要部分を占めることが明らかにされてきた。ただし腐植化の程度が様々に異なる腐植物質を用いて脂肪族構造と芳香族構造の移り変わりについて解明した研究はないので興味のある点である。

腐植物質の生化学・生物学のセッションでは様々な場における腐植化過程が主要なテーマとなった。耕地土壌における有機物のダイナミクスも多くの研究で扱われていた。地球科学における腐植物質のセッションでは海底・湖底堆積物、泥炭土、埋没火山灰土などにおける腐植物質の続成変化がテーマとなった。腐植物質と環境の相互作用のセッションでは腐植物質と農業や重金属との相互作用が扱われ、腐植物質による環境浄化機能が強調された。水質中の腐植物質のセッションでは飲料水の塩素殺菌、オゾン殺菌の際腐植物質から生成する変異原性物質の研究および飲料水からの腐植物質の除去法がテ

マとなった。最後に腐植物質の利用のセッションでは作物の栄養生理に対する腐植物質の効果、腐植物質による酸性改良や土壌養分の補給、窯業における腐植物質の利用、医療における腐植物質の利用などが話題となった。

これらの研究発表について研究の分野、目的、取扱った腐植物質の種類と形態、腐植物質の起源、研究の手法について表にまとめてみた。研究の目的としては化学組成・化学構造、腐植物質の起源、腐植化過程等の基礎的な研究目的に加えて、腐植物質と農薬・重金属・粘土等との相互作用や環境と腐植物質の相互作用について研究したものが非常に多かった。

腐植物質の種類と形態に関しては腐植物質を

細分画せず土壌有機物・腐植物質全体として取扱ったものが一番多かった。腐植酸・フルボ酸・ヒューミンに関しては腐植酸を扱ったものが最も多く、フルボ酸はその3分の1以下、ヒューミンの研究はわずか2件であった。

腐植物質の起源としては土壌が約半数を占めたが、その他各種堆積物、石炭、泥炭、コンポストなどが研究対象となっていた。

腐植物質の研究手法としては物理化学、有機化学、天然物化学で用いられるすべての手法が適用されているが、上にも述べたように、近年非破壊的分析、超微量分析が脚光を浴びるようになってきた。

表1 IHSS5発表論文の傾向 1. 研究の目的

目的	件数	目的	件数
化学構造	18	腐植化過程・ダイナミックス	10
化学組成	22	植物生理・農業生産	7
起源	10	生理学(変異原性)	4
金属-腐植物質相互作用	17	産業(窯業等)への応用	4
粘土-腐植物質相互作用	5	土壌改良効果	2
農薬-腐植物質相互作用	8	医療への応用	1
非金属イオン-腐植物質	2	環境汚染(保全)	10
物理化学的特性(酸性・解離・酸化還元)	8	環境変動の追跡・解明	4
		腐植物質の除去	2

表2 IHSS5発表論文の傾向 2. 腐植物質の種類と形態

種類・形態	件数	種類・形態	件数
腐植酸	27	土壌有機物(SOM)	10
フルボ酸	8	溶存有機炭素(DOM)	3
腐植物質(腐植酸+フルボ酸)	59	合成腐植物質	3
ヒューミン	2	非腐植物質	4

表3 IHSS5 発表論文の傾向 3. 研究対象とされた腐植物質の起源

起源	件数	起源	件数
土壌	52	海成堆積物	7
泥炭	8	海水	2
コンポスト	5	淡水堆積物	6
陸成堆積物	3	淡水	12
粘土	2	人工腐植物質	3
石炭	12		

表4 IHSS5 発表論文の傾向 4. 研究に用いられた手法

手法	件数	手法	件数
IR(FTIRを含む)	14	¹⁴ C-labeling	2
UV	13	¹⁴ C-dating	2
H-NMR	2	Stable isotope ratio	4
¹³ C-NMR	4	Potentiometric analysis	9
¹³ C-CP/MAS NMR	10	Functional group analysis	4
¹⁵ N-NMR	2	Surface area measurement	1
ESR	3	Surface tension	2
Fluorescence spectrum	4	X-ray diffraction	2
Atomic absorption (and other metal analysis)	6	Elementary composition	5
GC (GC/MS)	5	Oxidative degradation	7
HPLC	2	Acid hydrolysis	3
Adsorption Chromatography	6	Humus carbon distribution	3
Gel Permeation Chromato.	6	AMES test for mutagenicity	2
TLC	1	Biological toxicology	1
		Amino acid composition	2
		Saccharide composition	2

4. 今後の土壤有機物研究の課題

腐植物質は多種多様な物質が混合し結合して成り立っているものであるから、その化学的実体を正確に把握するためには、腐植物質を抽出すべき試料のより細密なサンプリングと分画が必要となるであろう。また土壤有機物の性質を土壤中に存在するそのままの状態では分析できる非破壊的・非抽出的方法が必要となる。他方腐植物質はヘテロな存在であるとは言っても、全く無規則な混合物ではなく、腐植化という一定のベクトルの方向に向かって変化しつつある物質群である。我々はこのようにして生成される土壤固有の有機物としての腐植物質の本質についてもっと研究する必要があると思われる。すなわち腐植物質の暗色のもととなる構造や、腐植物質の脂肪族性と芳香族性の関わりについてもまだ未解明の点が多い。また腐植化というベクトルの方向も各種の土壤条件によって微妙に異なっている。腐植化のダイナミクスと土壤生成のダイナミクスの関連付けも古くて新しい問題である。

各種の腐植画分の中ではヒューミンおよびフルボ酸の化学構造と組成の解明が遅れている。また腐植物質中の窒素・リン・イオウの存在形態と腐植化に伴うそれらの変動についても現在まだほとんど解明されていない。土壤有機物中には有機化学的・生化学的に構造決定可能な成分（多糖類・タンパク質・フェノール性化合物・脂質等）がかなり含まれているが、これらの組成と土壤中での安定性についても解明する必要がある。これらいわゆる非腐植物質は土壤中で土壤鉱物や腐植物質と結合した状態ではかなり安定に存在しうる事が推察される。

深刻化する自然環境・人間生活環境の悪化の中で、腐植物質による環境浄化作用、すなわち農業や重金属との結合によるその毒性の緩和作用についても着目する必要がある。他方、土壤

汚染や自然生態系の変化に伴って土壤有機物自体もその量や性質に重大な変化を受けているので、その実態について科学的に解明する必要がある。土壤有機物はどこにでも存在するので、環境指標として機能するはずである。土壤有機物のどのような性質がもっとも環境の変化を反映しやすいかも興味ある課題であると思う。また古環境解明の手段としての土壤有機物研究も有望である。

農業における土壤有機物の役割についてもさらに研究する必要がある。農耕地への収穫残渣や堆肥の還元が少なくなった現在、耕地土壤の有機物の消耗は深刻である。モリソル（チェルノーゼム土壤）では数千年の年代を経過した有機物が腐植質A層内に蓄積しているが、これらの年代から腐植質A層の形成速度を推定すると10cmのA層が形成されるのに必要な時間が約1000年に及ぶことは普通である²⁰。これは日本の火山性黒ボク土でも同様であり、有機物の保持力に乏しい土壤ではさらに長大な時間がA層の形成に必要とされる。この土壤の形成に必要とされた時間と比較すると、開墾された農耕地が有機物を消耗する速度は10倍は速いであろう。農耕地を10cm耕す者は過去1000年の自然の恵みを受用するわけである。しかしその恩恵を100年たらずで使い果たしてしまっても良いのだろうか。地力を消耗させない農業形態において有機物の農耕地への還元は不可欠である。土壤有機物の研究者は、施用有機物と土壤固有の有機物の農耕地におけるダイナミクスや農耕地の形態における土壤有機物の変動を明らかにする中で、かけがえのない土壤資源の保全に貢献していかななくてはならない。

参考文献

- 1) 十勝の自然史研究会：十勝の自然を歩く，p.269，北海道大学図書刊行会，札幌（1983）

- 2) 山下惣一：土と日本人 農のゆくえを問う，p.227，日本放送出版協会，東京（1986）
- 3) 岩田進午：土のはなし，p.200，大月書店，東京（1985）
- 4) 日本化学会編：季刊化学総説No. 4 土の化学，p.198，学会出版センター，東京（1988）
- 5) 小山雄生：土の危機，p.228，読売新聞社，東京（1990）
- 6) 北海道農業フロンティア研究会：土は求めている，p.320，北海道大学図書刊行会，札幌（1991）
- 7) 藤原彰夫：土と日本古代文化 p.445，博友社，東京（1991）
- 8) 熊田恭一：土壤有機物の化学 第2版，p.304，学会出版センター，東京（1981）
- 9) Kuwatsuka, S., Tsutsuki, K. and Kumada, K. : Chemical studies on soil humic acids. I. Elementary composition of humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 24, 337-347 (1978)
- 10) Kumada, K. and Sato, O. : Chromatographic separation of green humic acid from podzol humus. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 8, 31-33 (1962)
- 11) Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : Chemical studies on soil humic acids. II. Composition of oxygen containing functional groups of humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 24, 547-560 (1978)
- 12) Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : Chemical studies on soil humic acids. IV. Aminoacid, phenol, and sugar composition in the acid hydrolysable fraction of humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25, 29-38 (1979)
- 13) Yonebayashi, K. and Hattori, T. : Numerical classification and structural features of soil humic acids. *Transactions, the 14th International Congress of Soil Science, volume V*, 242-247 (1990) .
- 14) Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : Chemical studies on soil humic acids. VII. pH dependent nature of the ultraviolet and visible absorption spectra of humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25, 373-384 (1979)
- 15) Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : Determination of molecular weights of humic acids with osmotic pressure measurement and by permeation chromatography on controlled pore glass. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 35, 393-404 (1989)
- 16) Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : Characterization of humin-metal complexes in a buried volcanic ash soil and a peat soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* (投稿中)
- 17) Watanabe, A., Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : ¹³C-NMR investigation of humic and fulvic acids obtained from some typical Japanese soils. *The Science of the Total Environment*, 81/82, 195-200 (1989)
- 18) Tsutsuki, K., Suzuki, C., Kuwatsuka, S. Becker-Heidmann, P. and Scharpenseel H.W. : Investigation on the stabilization of humus in mollisols. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 151, 87-90 (1988)
- 19) Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : Characterization of soil organic matter

- er in particle size fractions obtained from different types of soils., Transactions, the 14th International Congress of Soil Science, volume V, 242-247 (1990) .
- 20) Scharpenseel, H.W., Tsutsuki, K., Becker-Heidmann, P. and Freytag, J. : Untersuchung zur Kohlenstoffdynamik und Bioturbation von Mollisolen. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149, 582-597 (1986)
- 21) Tsutsuki, K. and Kuwatsuka, S. : Degradation and stabilization of humus in buried volcanic ash soils. II. Humus composition in fractions with different particle sizes. Soil Sci. Plant Nutr., 36, 195-202 (1990)
- 22) 筒木 潔・白石祐彰・楯塚昭三：埋没泥炭土の¹⁴C年代と有機物組成，大野原湿原研究グループ編集係編 大野原湿原報告集 II, 24-33, 愛知県南設楽郡作手村教育委員会 (1991)