

Humic Substances Research



Vol.14 No.1
2018
14号

日本腐植物質学会
Japan Humic Substances Society

土壌有機物の研究に携わって（回想）

筒木 潔

帯広畜産大学名誉教授

私は名古屋大学農学部での卒業論文以来、土壌有機物ないし腐植に関わる研究に携わってきました。そのため、Humus および Humic という言葉にはずっと親しみを持ってきました。英和辞典でHumus という言葉を調べると、その前後に、“Hum” という語幹を持つ言葉がたくさん並んでいます。その中には“Human（人間）”、“Humidity（水分）” というような重要な言葉も含まれています。このことから、“Humus” も人間の生命活動にかかわる重要なものとして意識されてきたのではないかと考えるようになりました。

Humus という言葉は、元々はもっと広い意味で土そのものを意味していたようです。そして、旧約聖書の中では、人は神によって土から造られたと述べられています。ユダヤ教、キリスト教、イスラム教にもこの考えが引き継がれています。

また、“Hum” という語幹は、“Humility（謙虚さ）”、“Humble（質素さ）”、“Humor（ユーモア）” というような、人間の精神状態にかかわる言葉の中にも使われています。このことは、犬養道子さんの著書「人間の大地」（1983、中央公論社）の中でも述べられています。

“Homo ab Humo”（人は土から生まれた）と関連しますが、漢字の「人」という字と「土」という字を眺めていましたところ、この二つの字から「生きる」あるいは「生まれる」という意味の「生」という漢字ができたのではないかと思いつきました。漢和辞典で「生」という字を引いてみますと、植物が生え出る様子を表したものと説明していました。これは、「土」という字の成り立ちと同じです。「土」という字は表土と心土からなる土から植物が生え出る様子を表したものであるという解釈があるからです。すなわち、漢字の意味からは、「生」という字と「土」という字は非常によく似た字であったということになります。

私の研究は、土壌学研究室で「腐植酸の還元による色の変化」という卒論のテーマを頂いたことから始ま

りました。これは、腐植酸の分類の基準となっていた暗褐色の可視部吸収の発色メカニズムを解明するということが目的だったと思います。

私の指導教員は畝塚昭三先生（当時助教授）でした。熊田恭一先生（教授）からは先生ご自身や白谷良輔氏（現株式会社エコアップ代表取締役）が博士課程在学中に調製された腐植酸試料を使用させていただき、たくさんの貴重なアドバイスを頂きました。

土壌有機物中には、様々な物質が様々な形態で存在しています。土壌有機物の中には無機物と結合して存在しているものと遊離状態で存在しているものがあります。また「腐植物質」と表現される複雑な物質群と既知の化学構造を持った非腐植物質があります。また、酸性とアルカリ性の水溶液への溶解性から、フルボ酸、腐植酸、ヒューミンの画分に分けることもできます。私は、卒論および大学院時代にはこの中の腐植酸の研究に取り組み、名古屋大学の助手時代にはヒューミンの研究を手かけ、帯広畜産大学に移ってからはフルボ酸や水溶性有機物の研究にも携わりました。

私の最初の原著論文は腐植酸の元素組成について書いたものでした。腐植酸の原子数比H/C とO/C の関連図を用いて、腐植酸という物質群を、石炭、泥炭、各種植物体成分、フルボ酸などと比較し、それら他の物質群とは関連しつつも異なった元素組成を示す物質群であることを明らかにしました（図1）。海外の論文でもこの図をアレンジしたものが投稿されています。また、腐植化度（RF）を基準とし、酸性官能基、アミノ酸をはじめとする含窒素化合物、加水分解性糖、アルカリ分解フェノール性化合物などが規則的に増減することを明らかにしました。第1報については畝塚先生、私、熊田先生が著者でした。私の出身研究室ではオーサーシップに関する考え方が非常に厳格で、研究室には4名の教員がおられましたが、2報目以降の腐植酸関連の論文は全て畝塚先生と私の2人だけを著者としました。また、ポストドク時代に総説を書いたの

ですが、それは熊田先生と私の2人の著者名で投稿しました。著者および順番については、すべて先生がたが決定されたことです。

これらの成果は鎌塚先生が朝倉書店の「新土壌学」(1984)に紹介してくださいました。その後、自分でも土壌学教科書の一章を執筆させて頂く機会を与えられ、腐植物質の構造概念図を提案しました(「土壌サイエンス入門」2005、朝倉書店)。この考えでは、腐植物質とくに腐植酸は疎水性できっちりとした構造部分と、親水性で伸び縮みしやすい構造部分からなり、そしてこのような腐植物質部分に、多糖類、リグニン、脂質、たんぱく質などがからんで存在しているものと提案しました。「土壌学概論」(2001、朝倉書店)では、土壌有機物を構成する腐植物質と非腐植物質の区分と関連について詳しく解説しました。また、「土壌生化学」(1994、朝倉書店)では、陸上における炭素の貯蔵庫の存在量を比較し、土壌圏が炭素の貯蔵庫として最も大きいことをわが国では初めて紹介しました。

名古屋大学で1974年3月に学位を頂いてから、全部で5年8ヶ月にわたるポスドク期間を経験しました。最初の1年7ヶ月は博士課程在学中の成果を論文や総説にまとめ、また腐植酸の分子サイズ分布に関連した研究を開始できたことで貴重な期間でした。その後1980年11月から1983年3月まで、フィリピン国際稲研究所(IRRI)でポスドクとして研究に従事しました。IRRIで私を受け入れてくださったのは、水田土壌の物理化学的プロセスの解明で著名なDr. Felix N. Ponnampernaでした。IRRIでの研究は、水田の肥沃度を高めるために施用される各種の有機物(稲わら、緑肥、コンポストなど)の嫌氣的分解過程を明らかにすることでした。そこで3種類の特徴的な土壌を用い、ガス生成、有機酸生成、窒素の変化、腐植化の過程などを研究しました。その研究の目的は、化学肥料の導入が困難な開発途上国の農民のために稲わらや緑肥の導入を指導するにあたって、有機物の嫌気分解に伴う障害などの問題点を明らかにしてその克服のために活用したいということでした。

IRRIでの私の研究成果のうち低分子有機酸生成に関する結果を紹介しますと、酢酸の生成は石灰分を多く含むアルカリ性の土壌で早く起こり、鉄含量の多い土ではゆっくりと進むことが示されました。また、酢酸の生成に対する温度の影響を調べたところ、高温では早く1週間以内にピークが過ぎ去り、低温では2週間目以降にピークを示し、生成量も多いことが明らかとなりました(図2)。また、稲わらはあらかじめ堆肥化することにより、低分子有機酸およびメタンの生

成量が著しく少なくなることが明らかになりました。

IRRIに引き続いて、Hamburg大学土壌学研究所のProf. H. W. Scharpenseelのもとで研究を続けました。Hamburg大学では、チェルノーゼム土壌(モリソル)では土壌有機物がどのように安定化されているかを解明するために、土壌を粒径によって分画し、その ^{14}C 年代を測定しました。用いた土壌は畑と森林のチェルノーゼム土壌です。C層はレスの堆積物であり、A層とC層の境界付近には生物攪乱(げっ歯類のトンネル)の跡もみられました。また深い層位までミミズの活動跡が認められたことから、異なる深さから採集したミミズの ^{14}C 年代の測定も行いました。研究に用いた2箇所のチェルノーゼム土壌はいずれもシルトと細砂画分を主体とする土壌でしたが、炭素は主として粘土画分に分配されていました。また、各粒径画分の炭素含有率と ^{14}C 年代は似た傾向を示し、中粘土画分(粒径0.25~1.0 μm の粒子)が最も高い炭素含有率と最も古い年代を示しました(図3)。このことから、チェルノーゼム土壌の土壌有機物は粘土鉱物との結合によって安定化され、遊離状態に近い有機物は安定化されず分解されやすいことが明らかとなりました。また、土壌をインキュベーションして生成する二酸化炭素の量を定量したところ、A層最下層の80cmの深さまで、深い層位の土壌に含まれる有機物ほど安定で、二酸化炭素発生量が少ないことが明らかとなりましたが、C層に含まれる有機物は再び高い分解性を示していました。その後、炭素と窒素の安定同位体を用いての研究にも着手しましたが、十分な結果を得る前に帰国することとなり残念でした。

私が大学生時代からポスドク時代までにお世話になった熊田先生、Dr. Ponnamperna、Prof. Scharpenseelはほとんど同じ年齢で、私自身の父親とも同じ年齢でした。不思議な縁を感じています。

1984年の12月から母校の名古屋大学土壌学研究室に助手として採用されました。この時代にはヒューミンの研究を開始しました。ヒューミンは、腐植物質の3画分、腐植酸、フルボ酸、ヒューミンの中でも最も研究が遅れていたからです。ヒューミンが各種の溶媒によって抽出され難いことから、溶解を阻害している要因を除去することを考えました。難溶性の原因のひとつとして3価鉄イオンとの結合がありうると考え、水素化ホウ素ナトリウムによって3価鉄を還元した後ピロリン酸ナトリウム溶液で抽出する方法や、キレート樹脂で土壌を処理した後にアルカリ溶液で抽出する方法を考案しました。また、泥炭などでは疎水性が難溶性の原因であることから、試料を酸性にして解離を抑

えてからDMSOで抽出する方法を考案しました。

泥炭の研究にも着手しました。それは、愛知県作手村（現新城市）で始良火山灰をはさんだ泥炭層が地元の高校の先生によって発見され、共同研究としてその泥炭地の研究を行うことになったためです。作手村の泥炭地は2万4千年前の火山灰の堆積に示されるように非常に古い年代から形成され続けてきた泥炭地であり、他にも大山系テフラ、鬱陵・隠岐テフラ、鬼界アカホヤテフラなどの堆積が検出されました。鬼界アカホヤテフラが堆積した頃から泥炭中に黒ボク土由来の暗色度の高い有機物が混入するようになりました。これらのことから、泥炭、黒ボク土、広域火山灰などに対する興味が深まりました。高校、大学、地元の試験研究機関および民間の教員と研究者が自発的に集まり、大野原湿原研究会という研究会を立ち上げ、共同研究と研究成果の共有を行いました。その成果は、「大野原湿原研究会報告集I, II, III, IV」（1989、1991、1993、1995、作手村教育委員会）として残されました。

1991年4月に帯広畜産大学に転任しました。同大学の近藤錬三教授からその1年前にお誘いがあり、私も泥炭地、火山灰土、農畜産業などの現場への関心が高まっていたことから、名古屋大学での仕事を終えた後に転任させて頂くことにしました。1990年は8月に名古屋で第5回国際腐植物質学会国際会議が開催され（鎌塚先生が大会委員長）、続いて8月中旬に京都で第14回国際土壤科学会議が開催されました。1991年4月初旬には日本土壤肥料学会名古屋大会が開催され（鎌塚先生が大会委員長）、私は会計などの事務を整理してから帯広畜産大学に赴任しました。

帯広に来て最初に研究したのは、美唄湿原、サロベツ湿原と十勝のオイカマナイ湿原の泥炭地でした。美唄湿原はミズゴケ植生が残る高位泥炭地ですが、周辺の耕地化に伴いササなどの植生が侵入しています。また、断面では低位泥炭、中位泥炭、高位泥炭への変化を観察することができます。本研究では、乾燥化にともなう湿原植生の変化と年代経過に伴う泥炭の有機物組成の関連を研究しました。本来の高位泥炭が残る湿原中央部と乾燥化によって笹が侵入した縁辺部では泥炭中のフェノール性化合物組成や脂質組成が異なることが明らかとなりました。

帯広畜産大学に来た後も、出身研究室である名古屋大学土壌学研究室の木村真人先生および渡邊 彰先生からのお誘いでいくつかの熱帯土壌や熱帯泥炭に関わる研究に従事させていただきました。タイ・コンケン塩類集積土壌、インドネシア・スマトラ島の赤色酸性土壌、マレーシア・サラワク州の泥炭湿地河川水溶

存有機物に関する研究などです。

熱帯泥炭湿地における河川水の採取場所は、サラワク州ムカの自然に近い森林とオイルパーム園内を流れる河川でした。また、冷温帯にあたる北海道東地方各地の湿原でのサンプリングも行いました。分析項目は腐植物質や泥炭で行った手法を引き継いだもので、元素分析、吸収スペクトル分析、糖組成分析、アミノ酸分析、ゲル透過クロマトグラフィーなどを行いました。三次元蛍光スペクトル分析も行い、溶存有機物中の異なる成分をPARAFAC法という手法で別々に検出することができました。その結果、フルボ酸は溶存有機物全体よりも小さな分子量を持つことが明らかとなりました。

熱帯と温帯における溶存有機物組成の違いを要約しますと、熱帯泥炭地（マレーシア・サラワク州ムカ）の溶存有機物は、泥炭由来の腐植物質に富んでいて、分子サイズが大きいことと、北海道東泥炭地では、湿原植生分解初期の有機成分に富んでいて、分子サイズが小さいことなどの特徴が明らかとなりました。さらに、熱帯ではオイルパーム園内を流れる河川の方が、また温帯では夏季に採取した試料の方が微生物由来の有機成分に富んでいる傾向が認められました。

時期的には前後しますが、タイおよびインドネシアで行った研究は、土地利用変化と土壤有機物組成の関連をテーマとしたものでした。また、フィリピンからの留学生 Dr. Ian A. Navarette（現在 Ateneo de Manila 大学准教授）とともに、レイテ島において森林伐採、耕地化、再植林が熱帯土壌に及ぼす影響を研究しました。これらの研究を通じて、土地利用の違いがさまざまな土壤有機成分の組成に反映されることが明らかになりました。

また、メタン発酵消化液に関する研究も行いました。前半は、保井聖一氏の学位論文の研究として、また後半も保井聖一氏が勤められた（株）ズコーシャとの共同研究として行いました。保井氏の学位論文では、乳牛糞尿の嫌気発酵消化液の施用によって土壌の団粒形成が著しく促進されることが明らかとなりました。後半の研究では、高温乾式メタン発酵がメタン発酵の方法として優れていることを明らかにし、高温と中温、湿式と乾式を組み合わせた4種類の様式において乳牛糞尿の分解過程を追跡し比較しました。この研究は定年前の数年間に行いました。

卒論を始めた年から数えれば45年間土壤有機物に関連した研究に関わってきましたが、貢献できたことは少なく、また発表に至らず残ってしまったことも多く、反省してもしきれない気持ちです。

しかし、土壌有機物というものが地球上の生物と人類の生存と存続にとって不可欠で重要なものであることは、自信をもって主張することができます。

土壌中には、比重を1と仮定すると1辺が1kmの立方体1500個分の炭素が蓄えられており、陸域で最大の炭素の貯蔵庫です(表1)。ちなみに植物に蓄えられた炭素は550個、大気中の二酸化炭素に蓄えられた炭素は770個です。しかし、地球全体における土壌中の炭素の量と植物バイオマス炭素の量は、森林伐採や焼却と農耕地化、工業地・宅地化、道路・鉄道建設等によって減少し、反対に大気中の二酸化炭素の量は著しく増大してきました。その結果、土地の肥沃度は衰退し、文明の盛衰と移行がくり返されてきました。それでも現代人はこの事実にあまりにも無関心なような気がします。

ネイティブアメリカンのホピ族には、以下のような

表1 地球上の炭素の貯蔵庫

貯蔵庫	存在量 (10^{12} kg)
陸地	
植物バイオマス	550
土壌有機炭素	1,500
大気	
1850年 (CO_2 285 ppm)	602
1900年 (CO_2 297 ppm)	626
1950年 (CO_2 312 ppm)	658
1999年 (CO_2 367 ppm)	772
海洋	
溶存炭酸塩	38,000
溶存有機物	600
固形浮遊物および堆積物中の有機物	3,000
地殻(化石燃料)	4,000

筒木潔(2001) 土壌有機物。犬伏和之, 安西徹郎編 土壌学概論, 朝倉書店, p.51.

言い伝えがあります。

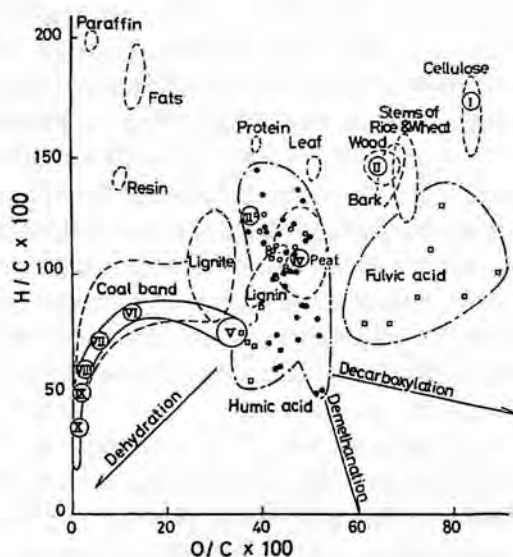
「私たちのこの土地は、先祖から受け継いだものではあるけれど、私たちの子孫から借りているものでもある。だから、そのまま子孫に返すのだ。」

自然と土壌に対する謙虚な気持ちが、現代の私たちにも求められているのではないのでしょうか?

私に関わった論文や帯広畜産大学で行った講義・実習などの内容の一部は、私が作成したホームページにアップロードしました。大野原湿原研究会報告集もI~IV号全巻をpdfとして掲載しました。関心のある方はご覧いただければ幸いです。URLは下記のとおりです。

<http://timetraveler.html.xdomain.jp/>

本稿は報文ではないことから、引用文献については、以下の図表に関するもの以外は省略させて頂きました。



I, Cellulose; II, Wood; III, Lignine; IV, Peat; V, Brown coal (Lignite); VI, Low rank bituminous coal; VII, Medium rank bituminous coal; VIII, High rank bituminous coal; IX, Semi-anthracite; X, Anthracite (by VAN KREVELEN (4)).

Areas enclosed by broken line were quoted from the diagram of MURATA (11). ●, humic acids used in this study; ○, humic acids by SUZUKI and KUMADA (15); □, humic and fulvic acids by KONONOVA (4).

図1 腐植物質と関連物質のO/CとH/C原子数比相関図
Kuwatsuma, S., Tsutsuki, K., and Kumada, K. (1978) Chemical studies on soil humic acids I. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 24, 337-347.

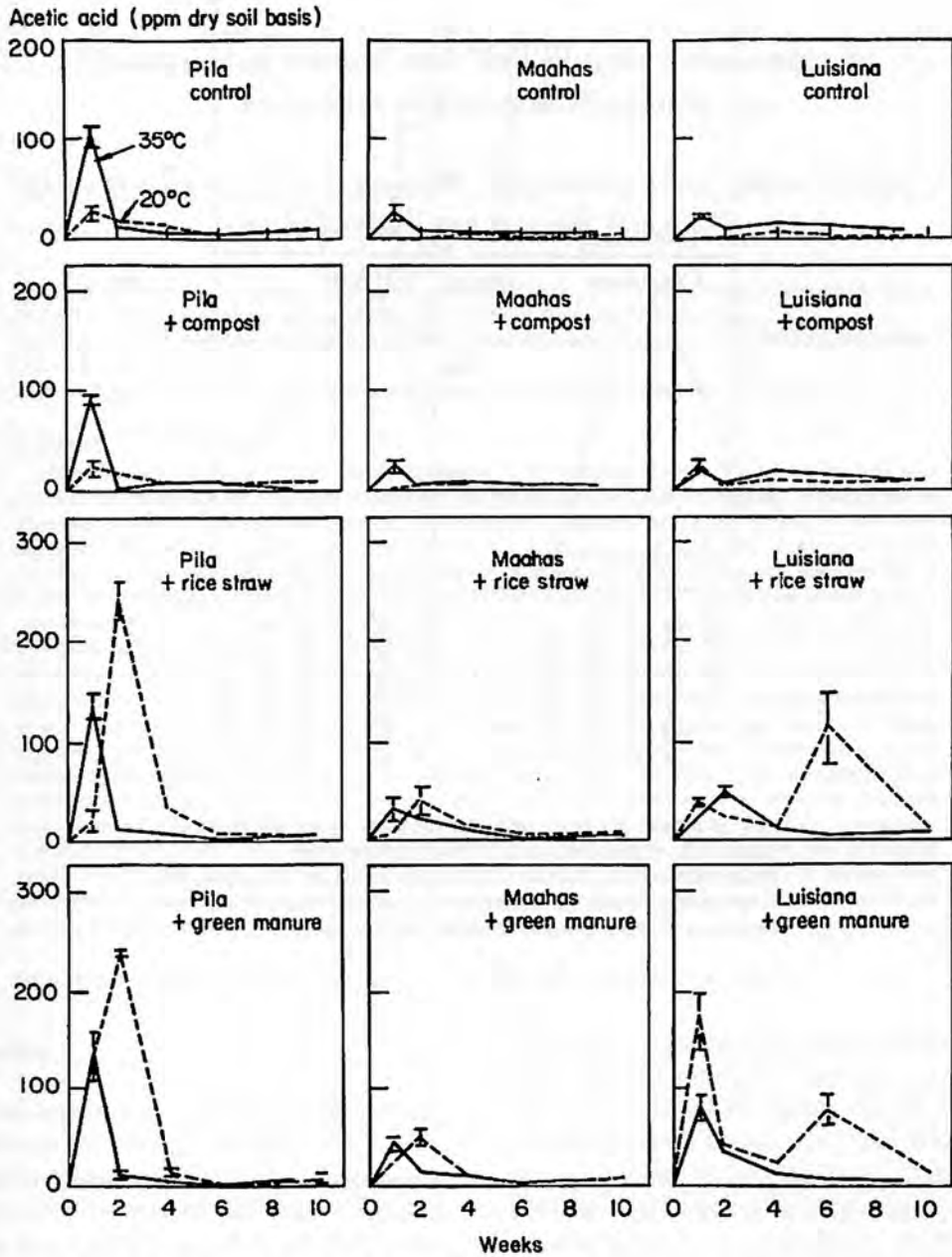


図2. 湛水土壤中での酢酸の生成に対する温度と添加有機物の影響

Tsutsuki, K. and Ponnampereuma, F. N. (1987) Behavior of anaerobic decomposition products in submerged soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33, 13-33.

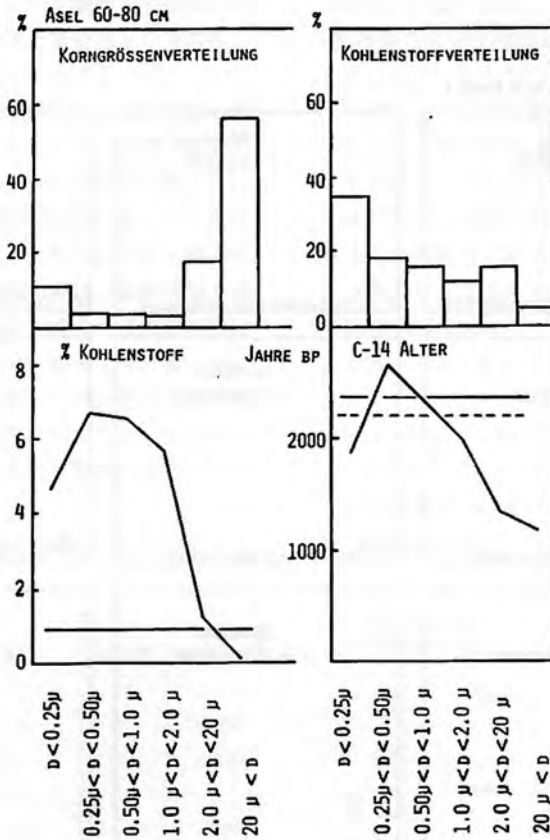


図3. Asel 森林チェルノーゼム土壌 (65-85cm) における粒径分布、炭素存在量、炭素含有率、および¹⁴C年代と粒径の関係
Scharpenseel, H.W., Tsutsuki, K., Becker-Heidmann P., Freytag, J. (1986) Untersuchung zur Kohlenstoffdynamik und Bioturbation von Mollisolen., *Z. Pflanzenernaeh. Bodenk.*, 149, 582-597.