

クロボク土の成因に関する新しい説

山野井 徹*

はじめに

私事で恐縮であるが、私の生家は自給自足程度の半農であった。子供の頃、農作業の手伝いをする中に、ジャガイモの植え付けがあった。買入れた種芋を半分に切り、切り口に木灰をつけ植え込んでいくのであるが、その種芋の表面はここで収穫できる芋と違ってなぜか黒い。その不思議を祖父に問うと、それは火山灰の畑でとれた芋であるから黒く、病気に強く種芋に適するのだと言う。近くの火山といえば、浅間や菅平などがあり、よく遠足などで行った。そうした火山の裾野には高原野菜やジャガイモなどの畑があり、そこには見慣れた畑の土の色とは違った異様に黒い土が確かにあった。そんな土を見てこれが火山灰土であるのかと納得し、以後長い間こうした黒土が「火山灰土」であると思いついてきた。

長じて、地質調査をするようになり地層中の火山灰は特に鍵層として注目して観察してきた。そして種芋に付着していた異様に黒い土はクロボク土と呼ばれるもので、第四系の最上位にあることも知った。また、火山灰のうち、クロボク土は玄武岩質の火山灰に似ていた。しかし、火山灰とクロボク土の決定的な違いは火山灰は鉱物（無機質）の集合体からなるが、クロボク土は多量の有機物を含んでいることも解った。クロボク土が有機物を多量に含むことは花粉分析をした際に気づいたことである。すなわち、花粉分析の薬品処理で、アルカリ溶液をクロボク土に加えるとコービー色のフミン酸が溶解するし、そのあとに残った固体を顕微鏡でみると特有の形をした黒色不透明の植物破片が多数認められた。

さて、「火山灰」とは「テフラ」と同義で、火山の噴出物が直接堆積したものとするならば、クロボク土のように植物遺体の粒子を多量に混入しているものは火山灰とは考えられない。それにもかかわらず、土壌学においては、クロボク土とは相変わらず、私が子供の頃から思いこんでいた「火山灰土」とされている。地質学で火山灰とはいえないものが土壌学ではなぜ火山灰土になるのか。クロボク土の追求の発端はこんなところにもあった。そしてこれまでクロボク土の研究を続けてきたが、それをまとめて、地質学雑誌、第102巻（1996年）、第6号上で公表した。その後、この論文は地質学会からは高く評価していただけたし、多くの地質家からは好評であった。しかし、一部のペドロジストからは不満と不評の声が出た。何がペドロジストの不満・不評であるかは1年後の同学会誌上（第103巻、第7号）の「討論」にあり、その回答も筆者によってなされている。

今回、ここでは、上記地質学雑誌に掲載した論文「黒土の成因に関する地質学的検討」をやや視点を変えて解説するものである。なお、ここでは引用文献等の大部分が省略されているので、必要な場合は上記の原著論文に当たっていただきたい。

*山形大学理学部地球環境学科

土壌学からみたクロボク土

土壌学も地質学と同様に、その体系はヨーロッパから移入されたものである。そのうち、土壌の概念に関しては、近代土壌学の祖と呼ばれるロシアの土壌学者ドクチャイエフのものが現在でも土壌学の多くの教科書に引用されている。それによれば、土壌とは「母材」、「気候」、「生物」、「地形」などの主要な環境因子の影響下に、これらの諸因子の組み合わせによってもたらされる一定の法則性をもって、「時間」の経過に伴って未熟な段階から成熟した段階へと進化しつつある自然物である」とされ、100年ほど前に唱えられたことである。この定義によれば、土壌は地表の諸因子により時間の経過とともに変化する自然物であるとしておられるが、「時間」をどのように考えるかは規定されていない。土壌が未熟から成熟へにかかる時間であるから、地質学的な時間に近づくものかも知れない。そうであるなら地質学的な時間で上記の土壌の概念を吟味してみる必要があり、その場合「堆積」とか「侵食」といった地質学の基本である地表の動的変化への配慮が不可欠になるであろう。しかしながら、ドクチャイエフの上記の土壌の定義の範囲では、土壌の形成過程ですでに存在している「母材」が時間とともに変化するとはあり得ても、「母材」そのものが新たに堆積、もしくは侵食されつつ土壌形成が進行するという地質学的視点は配慮の外に置かれている可能性が強い。

土壌学におけるクロボク土の形成については、母材があってその中の鉱物が腐植を集積することが最も一般的な解釈であった。この際、母材は主に火山灰で（一部非火山性のものもある）その中の各種粘土鉱物、アロフェン、アルミニウム、鉄などが腐植の集積に関与するらしいことがいわれてはいたが、その生成過程は明らかにされていない。

上記ドクチャイエフが述べるように、「気候」も土壌の形成には重要な因子と考えておく必要がある。世界の土壌の種類分布はこの「気候」因子と密接に関連している。ツンドラ、ポドソル、ラテライトあるいは褐色森林土といった土壌は地球上の気候因子を強く受けて形成され、広域に分布している土壌である。こうした広域に分布する土壌は「成帯性土壌」という概念が与えられており、本州の大部分の地域の成帯性土壌は「褐色森林土」とされている。他方、広域な気候よりも局地的な環境因子を反映して形成される土壌は「間帯性土壌」と呼ばれている。日本のクロボク土は、褐色森林土の分布域内に局部的に分布する間帯性土壌であるので、褐色森林土が形成される一般的条件に、より特殊な条件が加わって形成されたものに違いない。その特殊な条件を明らかにすることがクロボク土の成因を解く鍵になるであろう。

土（土壌）の地質学

我々は地質調査の際、表土の下の新鮮な岩質の部分を観察の対象としていた。すなわち、表土は土でこれは地質調査の対象ではなかった。本来、これはおかしなことで、表層にある土は立派な地質学の対象のはずである。なぜなら、海底面は海成層の現在の堆積（侵食）の場であると同様に地表面は陸成層の堆積（侵食）の現場であり、陸成層の堆積現象を理解するためにはぜひ観察すべき所であるからである。かつて井尻（1966）は土器がどうして土の中に埋まるのかを土壌学者に問うた。これは土の本質にせまる疑問であるが、土器が自ら土にもぐり込むことを前提としない限りこの問題は土壌学では

なく地質学（堆積学）の問題であろう。なぜなら、前記のように、土壌学には母材そのものが「堆積」したり「侵食」されるという視点は弱く、こうした視点はむしろ地質学的な検討になじむからである。

さて、日本のように、地表が起伏に富み、かつ地殻変動の大きい地域では、地表はある時間内（1000年以上の長さを想定）では侵食されるか堆積するかのいずれかが卓越し、侵食も堆積もない（侵食量と堆積量が等しいような）場所は極めてまれであろう。表土を観察するとき、その土が下の岩石の風化によってできたものか、あるいは他から運ばれた堆積物であるかを見分けることは地質学的にはそう難しいことではない。少なくともその表土が下の岩石の風化によってできたか否かは、岩石と表土が連続露頭として観察できるならば、比較的容易に判定できるはずである。

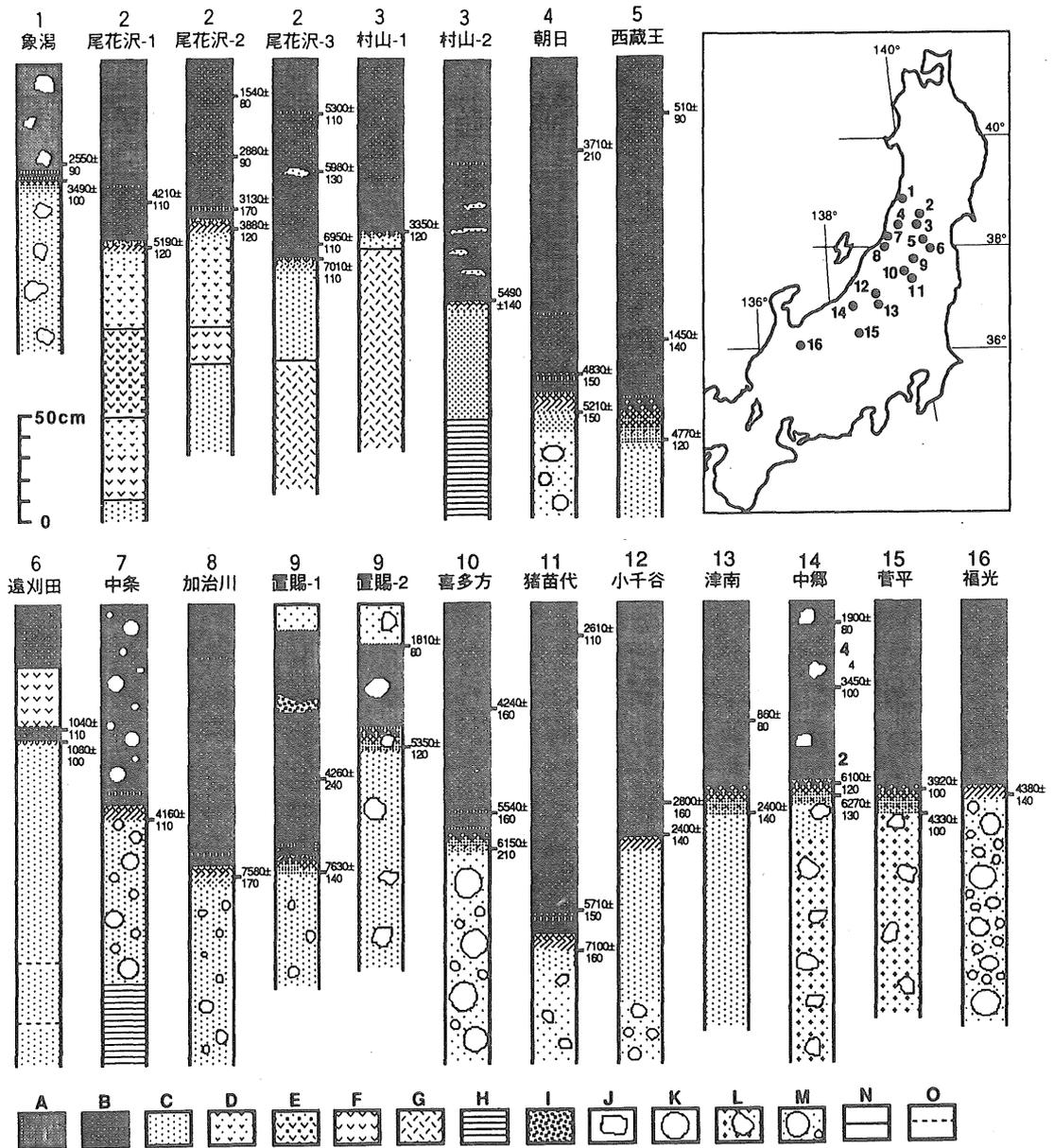
このような観点で表土（多くの場合褐色森林土）が発達する場所で、その下の岩石との関係を見てきた。その結果、下の岩石が徐々に風化度を強めながら上の表土に漸移しているような例は国内では見あたらなかった。このことは表土は下の岩石がその位置で風化して形成されたものではないことを意味する。すなわち、表土は距離の長短はあるものの、他所から運ばれてきた堆積物であると考えられる。こうしてみると表土は堆積作用の産物であるので、土器が土の中に埋もれているのは、表土の堆積作用が進行した結果であると理解できる。表土としての褐色森林土の厚さは様々であるが、厚く発達する場合これをローム層（以後「ローム質層」という）と呼んできた。ローム質層は岩質的に褐色森林土の成熟したものと同質であるので、両者の関係は褐色森林土が現役の土壌とするならば、ローム質層は褐色森林土の堆積層（化石土壌）と位置づけておきたい。

ところで、ローム質層は火山灰の風化した地層と考えられてきた。しかしながら、ローム質層は本質的には風成層で、火山活動は必要条件ではないことが明らかにされた（山野井、1996）。ローム質層が成因的に火山灰と強く結びついて考えられてきたのは、ローム質層の分布域が、火山の山麓や関東地方など諸火山の東側（風下）に多かったためと考えられる。ローム質層は上記のように褐色森林土の堆積層であると考えたので、褐色森林土は日本の代表的な成帯性土壌であるから、我が国では特殊条件がない限り土壌としては褐色森林土ができ、時の経過とともにそれがローム質土に移化するのが普通であろう。他方、クロボク土は間帯性土壌と考えるなら、褐色森林土ができる条件に特殊条件が加わって形成されたもののはずである。その特殊条件こそがクロボク土の成因を解き明かす鍵であろうから次にそれを探してみたい。

クロボク土の観察

第1図は日本海側の地域に見られるクロボク土の露頭を観察した柱状図である。その結果、クロボク土は基盤（新第三系や更新統）の上に直接のらず、その下には必ずローム質土があり、そのローム質土がクロボク土に漸移するという層序関係が認められる。さらに、クロボク土への漸移は、第1図の観察範囲では約8000年から1000年前の間に、場所によって異なる時期に起こっていることも判った。このような事実はこれらの時期の間に、それぞれの地点で異なった時期に褐色森林土が堆積するような普通の条件からクロボク土が堆積する特殊条件に変化したことを意味するものである。また、この変化

が起こった時期が一律でないことから、広域に普遍的に生じた堆積環境の変化ではなく、局所的な特殊な環境がそれぞれの地点で時期を異にして加わったものと考えられる。



第1図. 日本海側各地のクロボク土を主体とした地層の柱状図. 柱状図の右側には、¹⁴C年代が記入されている. A:黒色クロボク土, B:暗褐色クロボク土, C:ローム質土, D:火山灰交じりローム質土, E:浮石交じりローム質土, F:火山灰, G:凝灰岩, H:泥岩, I:花崗岩質の砂, J:角礫, K:円礫, L:岩屑なだれ堆積物, M:段丘礫, N:明瞭な境界, O:漸移的な境界.

さて、筆者は花粉分析を通して古環境の解析をしてきたが、分析の対象として何回かクロボク土を扱ったことがある。薬品処理の際、アルカリ溶液をクロボク土に加えると多量のコーヒー色のフミン酸が溶解するし、そのあとには特有の形をした黒色不透明の植物破片の微粒子が多量に残る。花粉化石はほとんど含まないか、含んでいても溶蝕が進むなど保存が悪い。花粉などの保存が悪いのになぜ、黒色不透明の植物破片（以後、「黒色破片」という）が多量に含まれるのか、このあたりにクロボク土の特殊性を解く糸口があろう。

褐色森林土が教えるローム質土の堆積環境

現役の土壌である褐色森林土の堆積物（化石土壌）がローム質土であることはすでに述べた。褐色森林土は現在の表層（A層）のように、かつては地表にあり植生に覆われていたはずである。そこでは多くの植物遺体が堆積し、分解されていった。同時に無機質（鉱物質）の堆積もあり、土壌として機能しながら累積していった。有機物に富む黒褐色のA層はその累積の進行と同時に植物遺体や腐植の分解が進み、同時にその深度を深めて褐色森林土へと移化していったに違いない。褐色森林土はさらに深度を深め、やがては有機物をほとんど含まないローム質土となっていったと考えられる。すなわち、有機物に富む表土から褐色森林土やローム質土が形成される過程では、植物遺体や腐植が分解されることが本質的で普遍的な作用であるといえよう。

クロボク土の正体

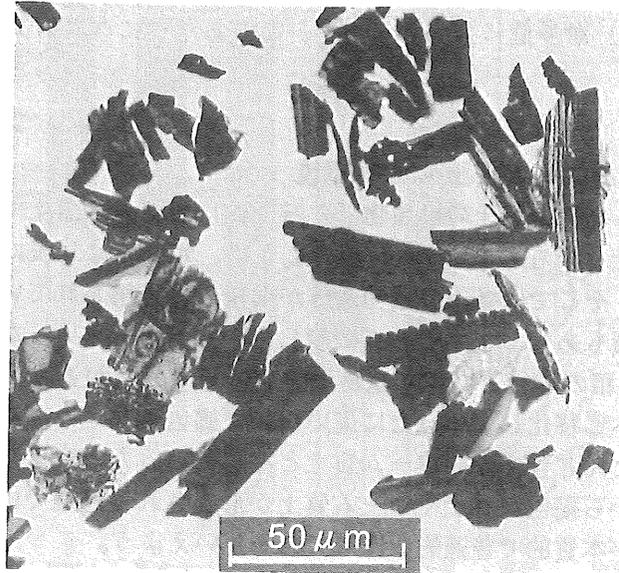
さて、クロボク土はローム質土と比べて植物遺体（黒色破片）や腐植を多量に含む点で異なる。すなわち、クロボク土は植物遺体や腐植が分解されずに残っているという特性をもっている。クロボク土の特質が植物遺体が分解されないことであるならば、その条件こそがクロボク土の形成要件であろう。

植物が分解されずに地層中に残る条件は2つある。1つは植物遺体が酸化的な環境におかれないうことであり、もう1つは分解される前に燃焼によって炭化することである。クロボク土の生成環境は乾陸の地表であるから、そこは酸化的な環境であり植物遺体は分解されてしまう。したがって前者の条件は消えるから、後者の炭化条件が残る。そこで、前述のクロボク土層中の黒色破片は炭化した後に堆積した植物破片ではなかろうかという見通しが得られる。

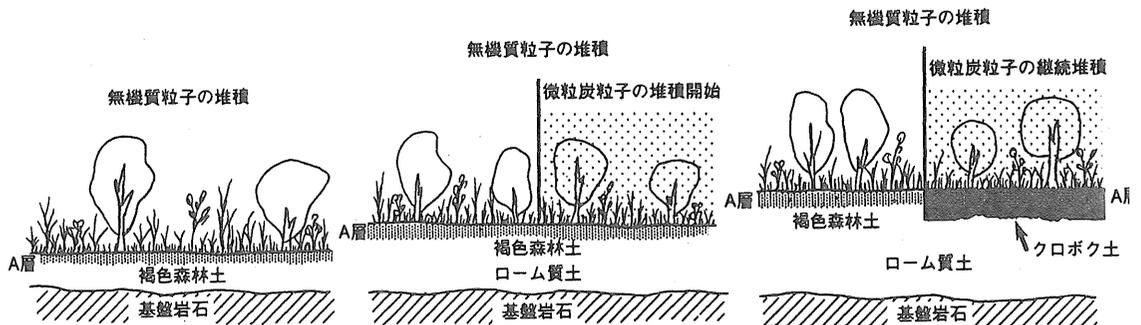
阪口（1987）は千葉県の縄文期の海成層から湿地の堆積物中に植物の焼けた微粒子の産出を報告した。この微粒子と黒色破片の特徴とは共通であるが、阪口（1987）はこの微粒子がなぜ植物の焼けたものであるかの根拠は示していない。そこで筆者は植物遺体を燃焼させ、その細片を顕微鏡で観察した。その結果、クロボク土中の黒色破片の形態はスキの燃焼炭粒子と共通していることを見出すことができた。よって、クロボク土中の黒色破片は燃焼炭の微粒子（以後「微粒炭」という）と考えるのが最も妥当である。

以上のように、クロボク土の中には微粒炭（第2図参照）が含まれていることが明らかになったが、ローム質土の中には微粒炭は皆無かほとんど含まれていない。微粒炭は

固体の粒子であるから表層から地下にもぐり込んだものとは考えられない。すなわち褐色森林土の形成過程で、無機質粒子の堆積に微粒炭が加わった土壌がクロボク土であると考えられる（第3図参照）。



第2図. 微粒炭の光学顕微鏡写真. 短冊形の黒色不透明な形状を呈することが多く、植物組織を残すものもある. 非燃烧炭質物と比べて粒子の周囲がシャープであることも特徴. 山形県朝日村産（地点番号4）.



第3図. 褐色森林土（成帯性土壌）とクロボク土（間帯性土壌）の形成過程の模式図. 右方向へ時間の経過を示す. 地表部は植物遺体に富む土壌（A層）に覆われるが、この堆積が進む過程で植物遺体は分解され、やがて植物遺体や腐植をわずかしか含まない無機物を主体とした褐色森林土となる. 褐色森林土の堆積が進むと腐植をほとんど含まないローム質土層となって累加していく. 他方、地表部で、無機質粒子の堆積に微粒炭粒子が加わると土壌中の腐植は活性炭としての微粒炭に吸着・保持され、クロボク土が形成される.

ところで、クロボク土はアルカリに可溶の腐植を多量に含み、特有の黒い土壌となっていることが特徴であるが、その理由を明らかにしておく必要がある。クロボク土がなぜ多量の腐植を含むのかについては諸説があった。土壌学では、クロボク土の形成には母材があってその中の鉱物が腐植を集積するという説が最も一般的であった。この際、母材は主に火山灰（非火山性のものもある）で、その中の各種粘土鉱物、アロフェン、アルミニウム、鉄などが腐植の集積に関与するらしいことがいわれていたが、その集積過程は明らかにされていない。仮にこうした諸説が成り立つとしても、クロボク土の生成がほぼ後氷期に限られることの理由は、後氷期の母材の特殊性に求めることができないから、腐植の生成の多さに求められている。間氷期のうち後氷期に限り腐植の生産量の多さを説明するためには人為、すなわち古代人の火入れによる草原、とりわけススキ野の成立が腐植多産の特殊条件として考えられた。しかし、この解釈の決定的な欠陥は現在のススキ野などの草原でクロボク土が形成されている事実があげられていないばかりか、現にススキ野の下の土壌は褐色森林土であるという観察事実があるからである。また、古代人がいくら火入れをしてススキ野が成立したにせよそのススキ野が現在のススキ野よりはるかに多量の腐植を生産していたなどとする解釈は科学的根拠に乏しい。

クロボク土の形成機構（新説）とその検証

クロボク土中には微粒炭が必ず含まれていることと、多量の可溶腐植が含まれていることの2つの特徴を上で述べた。筆者はこの2つの特徴を因果関係でとらえ、微粒炭を含むことが腐植を含む原因ではないかと考えた。すなわち、腐植の集積は表層土に含まれる無機物（粘土鉱物、アロフェン、アルミニウム、あるいは鉄など）ではなく微粒炭が主役となっているのであろうという仮説である。この説は微粒炭が活性炭となって、植物が分解する過程でできる高分子の腐植を吸着・保持するとい解釈によるものである。

工業的にフェノール類を吸着した後の活性炭は、水酸化ナトリウム水溶液による溶剤抽出によって再生されるという（真田ほか、1992）。クロボク土の可溶腐植の多くがアルカリ溶液によって抽出されることはこの再生処理と同様の化学反応であろう。

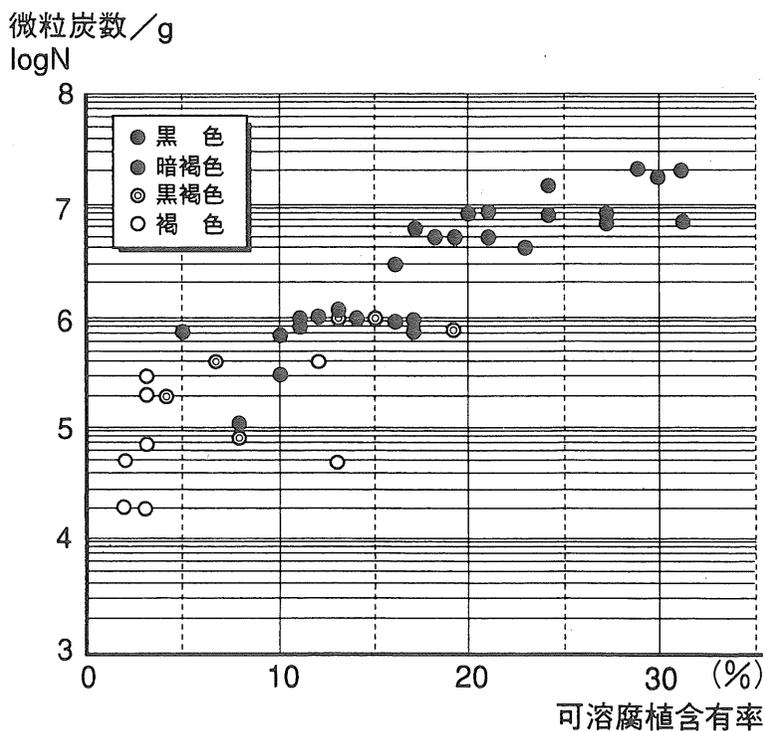
また、微粒炭が可溶腐植を吸着するのであれば、可溶腐植の形成年代は微粒炭よりも若いはずである。このことを確かめるためにクロボク土とその微粒炭の¹⁴C年代を測定してみた。その結果は第1表のとおりである。すなわち、クロボク土では、同一層の全炭素と微粒炭とで別々に求めた年代が全炭素より微粒炭のほうが古いことが、どの層準についてもいえる。このことは微粒炭の堆積後、可溶腐植の炭素が加わったことによる効果であると解釈される。さらに、微粒炭が可溶腐植を吸着するのであれば、地層中の微粒炭が多いほどそこに吸着される可溶腐植の量が多いはずである。このことは第4図に示すようにここにこの関係が確かめられた。すなわち、地層中に微粒炭が少ない堆積物が「褐色ローム質土」であり、微粒炭が多くなるにつれて岩質が「黒褐色ローム質土」、「暗褐色クロボク土」となり、最も多い「黒色クロボク土」に至ることが判明し、さらにこの順で可溶腐植の含有量も高まる関係が明らかになった（山野井、1996）。

以上のように微粒炭が活性炭となって可溶腐植を吸着・保持しているのがクロボク土

であるという説は、吸着の工業、 ^{14}C 年代、微粒炭数と可溶腐植量との相関といったそれぞれ別個の事象からも支持されることである。

第1表. 西藏王地点のクロボク土の3つの層準における全炭素とヒューミンの ^{14}C 年代.

試料の地表深度	全炭素の年代	ヒューミンの年代
80cm	510 \pm 90年前	640 \pm 80年前
130	1450 \pm 140	2630 \pm 120
180	4770 \pm 120	5420 \pm 110



第4図. クロボク土とローム質土における可溶腐植の含有量と1g当たりの微粒炭数. 両者には相関が認められ, 微粒炭の密度が増えれば, それに比例的に可溶腐植の量も増えるという関係が明瞭である.

古代人と「火の文化」

多量の腐植を集積しているクロボク土の成因については、旧説では火山灰に異常に大量生産された腐植が吸着したものとされ、その異常腐植の生産は草原（ススキ野）の出現に求められ、そうした特殊な草原（ススキ野）の成立は縄文人の野焼きによるものと考えられてきた。この解釈は、先述のように現在のススキ野の表土にクロボク土が形成されているという証拠が見つからないという致命的な欠陥がある。これに対し、筆者の新説ではクロボク土の中には必ず微粒炭が含まれていることから、この微粒炭の生産を、古代人の生活と関連させて考えた。古代人が火を使い、草木の燃焼炭が粉塵となって堆積し、そこに腐植が吸着したものがクロボク土であると考えた。すなわち、クロボク土の形成にとっての必要条件は、これまでの説では大量腐植の生産であるのに対し、新説では燃焼炭（微粒炭）の生産にある。つまり新説ではクロボク土の形成には微粒炭を生産したような火の使用が必要不可欠の条件となる。

さて、微粒炭を生産するような火の使用とは一体、どんなものであろうか。これに関する詳しい検討は今後にあるが、広大な範囲に微粒炭を堆積させるような火の使い方は、炊事や土器焼きのような居住地周辺での小規模なものではなく、野焼き、山焼きのような規模の大きなものであったと想定される。このことも今後確認を要するが、こうした野焼き・山焼が彼らの生活とどうかかわっていたかに触れておきたい。

縄文時代の特徴は「狩猟・採取」生活にあり、次の弥生時代は「水田農耕」生活が特徴であるとされている。縄文人は、トチやクリを選択的に残していたことが、花粉化石の産出状況から知られている。選択的に残したと控えめに表現したが、我々と同程度の知能があったであろう彼らはもっと積極的に植物を利用した可能性が高い。すなわち、彼らは植物の種を土に埋めれば、芽が出て、生長して実をつけることを十分に知っていたはずであるから有用植物の管理や増殖（＝栽培）ができたに違いない。ただ、縄文時代に農具の発達が多様化した証拠が認められないことから、原始的な農耕の域は出なかったかも知れない。

原始的な農耕といえば、焼畑農法があげられ、これは野焼き・山焼を伴うから、当時の微粒炭の生産はこの焼畑によるものと考えたい。弥生時代に大陸から人の渡来があって、水田稲作が伝えられ、開始されたとされているが、その前からすでに原始的な畑作農業が行われていたと考えるほうが自然であろう。何を栽培していたかの特定はかなり難しいが、すでに、ソバの花粉の産出が認められているし、イネ、ヒエ、エゴマ、ヒョウタンなどの栽培植物と考えられる実が見つかっている。こうした穀物などの栽培が焼畑で行われていたものか否かの証拠探しは今後の課題となろう。ただ、こうした焼畑農業に至らないまでも、野や山に火を放つとワラビやゼンマイの野にすることは現在でも行われているように容易である。これらの植物は保存食としても利用価値が高いため、ワラビ野が作られていたかも知れない。また、クロボク土の形成年代は弥生時代のものも多い。これは焼畑農業が、引き続き行われていたものと解釈される。また焼畑は近年まで各地に残っていたことも実事である。したがって、クロボク土の上限の年代は弥生時代に終わらず、山間地においては近年に至る可能性もある。

以上のように微粒炭の生産は古代人の生業と密接に関連するであろうし、それが何で

あったかの具体化の課題は今後に残すにしても、クロボク土は古代人の「火の文化」の象徴であるに違いない。

おわりに

子供の頃ジャガイモの種芋に着いていた黒土が火山灰土であると教えられていたことを今ここに火山灰土ではないと自ら否定してみても、一度物と結びついた名称のもつ概念はなかなか頑固であることに気づく。すなわち、私の頭の記憶にある「A」は「A」でなく「B」であると解かれても、その記憶が古いものであれば一層、にわかには信じがたいし、仮にそうであるとしても概念の入れ替えは容易ではない。子供の頃の記憶は、解釈の産物であってもそれが事実であるかのごとき概念となっているからである。したがって、一般に「クロボク土は火山灰土」とか「ロームは火山灰の風化物」といった地質学や土壌学の教科書的な事項の修正は難しいに違いない。しかし、そうであるからこそ、自ら提示した新説が今後市民権が得られるように努めることも必要なことであろう。

この報告での結論は次のようにまとめられる。

- 1.これまで観察した限りの日本の土壌は、岩石の現位置風化の産物ではなく、堆積物である。
- 2.日本の成帯性土壌は褐色森林土とされているが、これが現役の土壌とするならば、この化石土壌がローム質土である。
- 3.ローム質土の形成は、火山活動による降灰が必要条件ではなく、風成を主体とする堆積作用によることが本質である。
- 4.ローム質土は日本の成帯性土壌（褐色森林土）の堆積物であるが、クロボク土はその間帯性土壌の堆積物と考えられる。
- 5.クロボク土の成因は、風成堆積を主体とする無機質とともに堆積した燃焼炭粒子（微粒炭）が活性炭として働き、地表から供給される腐植分子をを吸着・保持したものである。
- 6.微粒炭の生産は古代人（主に縄文人）の野焼き・山焼きのよるもので、それは原始農耕の焼畑による可能性がある。

引用文献

井尻正二, 1966, 拝啓, 土壌学者様. ペドロジスト, 10, 56-57.

阪口 豊, 1987, 黒ボク土文化. 科学, 57, 352-361.

真田雄三・鈴木基之・藤元 薫編, 1992, 新版 活性炭基礎と応用. 講談社. 東京, 284p.

山野井 徹, 1996, 黒土の成因に関する地質学的検討, 地質雑, 102, 526-544.