

12. 森林の土



森林とは樹木が密集して生育している地域をさす。単に樹木の群集という意味ではなく、樹木の群集に加えてそこで生育している樹木以外の植物や動物、そして樹木を支える土までも含む概念である。樹木やその他の動植物は森林の上半分、土は下半分とみることが出来る。下半分というのはちょっと言い過ぎではないかと思われるかもしれないが、有機物を構成する主要元素である炭素の量という視点で見ると、多くの森林では、地上部の植物に含まれる炭素量に匹敵する炭素が土壌有機物として貯留されている。

12.1. 森林の成立条件

森林には人工的に造成されたもの（人工林）もあるが、世界の森林の大部分はまだ天然林である。森林の土は、人為が加わらない条件で土がどのようにできるか、土と生物がどのようにかかわっているかを知る上でも重要な対象である。現在の世界の森林面積は約 3.952×10^9 ha であり、これは陸地面積（ 14.889×10^9 ha）の約 26.5% に相当する。陸地の生態系のなかでは大きな面積を占めるが、人為の加わらないところはどこでも森林になっているわけではない。森林が成立するには一定の気候条件が必要である。生物の生育と密接に関係する気候条件は気温と降水量である。生態系と気候条件を関係づけるためには、温度に関しては温量指数、降水量に関しては乾湿係数という指標が用いられる。温量指数（WI）とは

$$WI = \sum_i (t - 5) \quad \text{ただし, } t > 0 \text{ の月のみ加算} \quad (12.1)$$

によって定義される指標値である。ここで t は月平均気温である。つまり温量指数は、月平均気温が 5 °C を超える月について、月平均気温から 5 を減じた数を年間にわたって合計した数値である。一方降水量の指標である乾湿係数（K）は年降水量（mm 単位）と温量指数を用いて次の式で定義される。

$$K = \begin{cases} \frac{P}{(WI + 20)} & (WI < 100) \\ \frac{2P}{(WI + 140)} & (WI > 100) \end{cases} \quad (12.2)$$

ここで P は年降水量を表す。

図 12.1 は、温量指数と乾湿係数を 2 つの指標とするダイヤグラム中に、その条件下で成立する代表的な生態系を示したものである。このダイヤグラムは、森林生態系は乾湿係数が 7 以上で温量指数が 15 以上の、比較的湿潤な気候条件でのみ成立することを示している。

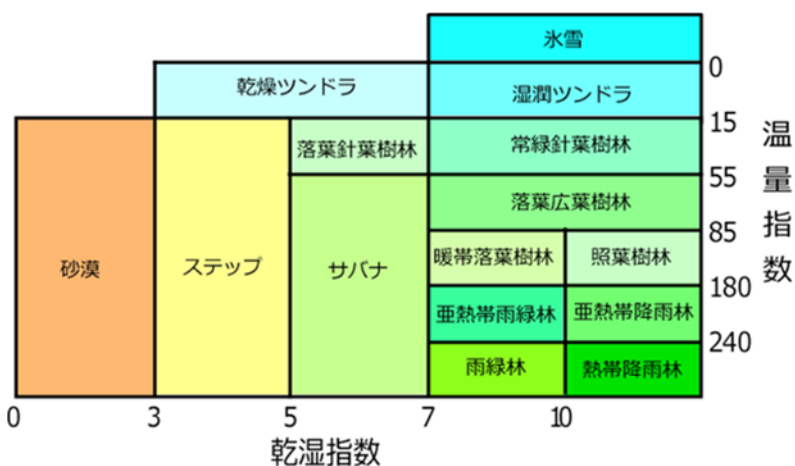


図 12.1 気候条件と植生の関係。

表 12.1 には、日本のいくつかの地域の年平均気温、年降量、温量指数と乾湿係数を示した。この表からわかるように、日本は北から南まで比較的乾湿係数が大きく温量指数も大きい。どの地域も森林が成立しうる条件を満たしている。実際日本では人為的な植生の管理を放棄すると、たちまち森林にもどってしまう。日本各地で耕作放棄地が

問題になっているが、農地で耕作が放棄されると数年で樹木が生えることも稀ではない。大分県の湯布院周辺や、九重高原などでは丘陵地に広大な草原が広がっているところがあるが、これは自然に成立した草原ではなく、毎年春先に火入れすることによって樹木の生長を阻害し、人工的に草原植生を維持している。

表 12.1 日本のいくつかの地域の温量指数と乾湿係数（1981-2010年の平均）

地域	年平均気温	年降水量	温量指数	乾湿係数
稚内（北海道）	6.8	1062	55.8	14.0
札幌（北海道）	8.9	1106	73.9	11.8
盛岡	10.2	1266	82.8	12.3
東京	16.3	1528	135.1	9.2
福岡	17.0	1612	143.5	11.4
湯布院（大分県）	13.0	1949	102.4	16.0
那覇	23.1	2040	204.4	11.8

12.2. 森林土壌

12.2.1. 森林土壌の断面

森林では、ほとんど例外なく、落葉や落枝という形で土の表面に有機物が加えられる。常緑樹林では年間を通じて落葉・落枝があり、落葉樹林では落葉は1年の特定の時期に集中している。このため、森林のタイプや1年のどの時期化などによって異なるが、森林土壌の表面にはほとんど例外なく落葉・落枝の層が存在する。この層はリター層とよばれる。リター層の下には、小動物に蚕食されたり、部分的に変質したりした落葉落枝の層があり、その下には、さらに変質した暗色、細粒状の有機物からなる層がある。これらの層はそれぞれL層、F層、H層とよばれる。またこれらの有機質層（有機物が大部分を占める層）は全部まとめてO層とよばれることもある（図12.2）。O層の下には無機質の土壌層がある。最上部（厚さは森林のタイプや地形などによってさまざまであるが）は腐植物質に富む層であり、その下層と比較すると暗褐色味が強い。この層は有機物に富むが、あくまでも構成物質の主体は無機物（鉱物）であり、暗褐色であっても有機物含量が10%を超えることは多くない。この層はA層とよばれる。A層は下の方に行くにしたがって次第に褐色味が弱くなり、黄褐色ないし赤褐色の層に移行する。A層から下層への漸移層はAB層、暗色味の薄い下層はB層とよばれる。

B層の組織を顕微鏡で観察すると、亀裂面に、光学顕微鏡では識別できないくらい小さい粒子が沈着していることが多い。これは上層（A層）から浸透水に懸濁して運ばれてきた粘土粒子である。またB層には鉄やマンガンなどの酸化物や水酸化物が沈積していることもある。これらは上層で溶解してイオンとして、あるいはフルボ酸との錯体として移行してきた鉄やマンガンイオンがそこで水酸化物や酸化物として沈殿したものである。このようにA層は有機物の集積層であると同時に、無機物に関しては溶脱層である。一方B層は様々な物質の集積層となっている。さらに下層に行くと、土状ではあるが、物質の集積作用は認められない層がある。この層はC層としてB層から区別される。

森林では土の表面に絶えず落葉・落枝が加えられるのでO層（特にその中のF層、H層）では多量の腐植物質が生成される。生成された腐植物質の大半は土の表層で土の鉱物に吸着されたり、鉱物から溶出したアルミニウムイオン、鉄イオンなどと錯体を形成したりしてその場にとどまる。しかしフルボ酸が多量に生成されると、その一部は土の鉱物を溶解しながら下方に浸透する。鉱物から溶出したアルミニウムイオンや鉄イオンは腐植酸やフルボ酸のカルボキシ基に結合して錯体を形成するが、下層に浸透していくにつれ錯体を形成するカルボキシ基の割合が多くなり、腐植酸やフル

ポ酸はイオン性を失って沈殿する。



図 12.2 森林土壌の断面の例。褐色森林土に分類される土。左端の目盛は、1 目盛が 10 cm。

このような作用は亜寒帯常緑針葉樹林で顕著である。このような過程が継続すると、O 層直下に灰色ないし灰褐色の特徴的な層が出現する。この層は E 層とよばれる。E 層の外観は継続したフルボ酸による洗浄によって酸化鉄・水酸化鉄鉱物の多くが溶解され、これらの鉱物に特徴的な黄褐色～赤褐色の色が消失したことによる。E 層を持つ森林土壌はポドソルとよばれる（Soil Taxonomy では Spodosols）。E 層の下層部には E 層から溶脱してきた、腐植酸やフルボ酸の鉄，アルミニウム錯体が沈殿した暗褐色の層が存在する。この集積層で沈殿したフルボ酸や腐植酸の鉄，アルミニウム錯体となっているフルボ酸や腐植酸の一部は微生物によってある程度は利用される。その結果鉄イオンやアルミニウムイオンは遊離し、酸化物や水酸化物としてその場で沈殿する。

12.2.2. 森林土壌の分類

日本では森林土壌は、土壌断面の特徴によって、ポドソル、褐色森林土、赤・黄色土、黒色土、暗赤色土、グライ土、泥炭土、未熟土に分類されている（土じょう部，1975）。森林土壌に限らず、土の分類は土壌断面の特徴によるが、日本における森林土壌の分類は表 12.2 に示すとおりである。土壌調査の結果によれば、日本の森林土壌の 76%（面積）は褐色森林土であり、次いで黒色土（12%），ポドソル（3.5%）となっている。褐色森林土は沖縄県を除く全国に分布している。黒色土は、北海道、東北、関東、九州の、火山灰の影響を受けた地域に多く分布する。

表 12.2 日本における森林土壌の分類（土じょう部, 1975）

土壌群	断面の特徴
ポドソル	O 層が発達し、溶脱層（E 層）と腐植物質や酸化物鉱物の集積層を持つ。
褐色森林土	O 層-A 層-B 層-C 層からなり、E 層は認められない。B 層は褐色を呈する。
赤・黄色土	O 層は薄く、B 層は明赤褐色ないし明赤黄色であり C 層に続く。
黒色土	黒色で厚い A 層を持つ。A 層と B 層の境界は明瞭である。一般に乾燥密度が小さく、保水力は大きい。火山灰から発達したものが多く。
暗赤色土	A 層は淡色であるか薄い。B 層は赤褐色ないし暗赤色である。
グライ土	比較的浅いところに、地下水の影響をうけて生成された灰白色の層を持つ。
泥炭土	土層上部に厚さ 30 cm 以上の泥炭層が存在する。
未熟土	土壌生成の過程を経過した時間が短いか、土壌浸食をうけて土壌上部が剝離されたため、A 層、B 層などが認められない。

分類基準は農耕地土壌分類とは異なる。

12.3. 森林における物質循環

12.3.1. 炭素循環

森林における有機物と二酸化炭素の流れを図 12.3 に示した。森林は光合成によって有機物を生産するが、そのための二酸化炭素は大気から吸収する。地上部で合成された有機物の一部は地下部に送られ、根の成長や更新に利用される。樹木の葉や枝は、更新にともなって落葉・落枝となり地表に落下する。また、根も新しい根の伸長にともなって古い根の一部は枯死する。落葉・落枝や枯死した植物根は、土壌動物や微生物によって利用されるが、その過程で一部は腐植物質となり、一部はそれらの生物の呼吸の基質として利用され二酸化炭素が発生する。土の表面から発生する二酸化炭素は、土壌生物の呼吸によるものと植物根の呼吸によるものからなる。これらを個別に定量することは難しいので、併せて土壌呼吸とよばれる。

光合成による炭素の固定量から植物自体の呼吸による炭素放出量を差し引いたものを純一次生産量という。純一次生産量は一般的に、十分な水の供給がある場合には気温が高くなると高くなる。純一次生産量が多い場合には土への落葉・落枝としての有機物供給量も増加する。一方、土壌呼吸のうち、落葉・落枝や枯死した植物根を利用する土壌生物の活性も気温が高いと高くなる。このため、熱帯の森林では地上部バイオマス量が大きく、リター層や土壌有機物として土壌に蓄積される炭素量が少なくなる。反対に冷温帯林では地上部バイオマス炭素量は比較的少なく、リター層や土壌有機物として蓄積される炭素量は多くなる（図 12.4）。日本の成熟した森林では、地上部バイオマス炭素量が 150 t/ha 程度、リター層中の炭素量が 5～20 t/ha であり、土壌有機物として 50～150 t/ha が土に蓄積されている。

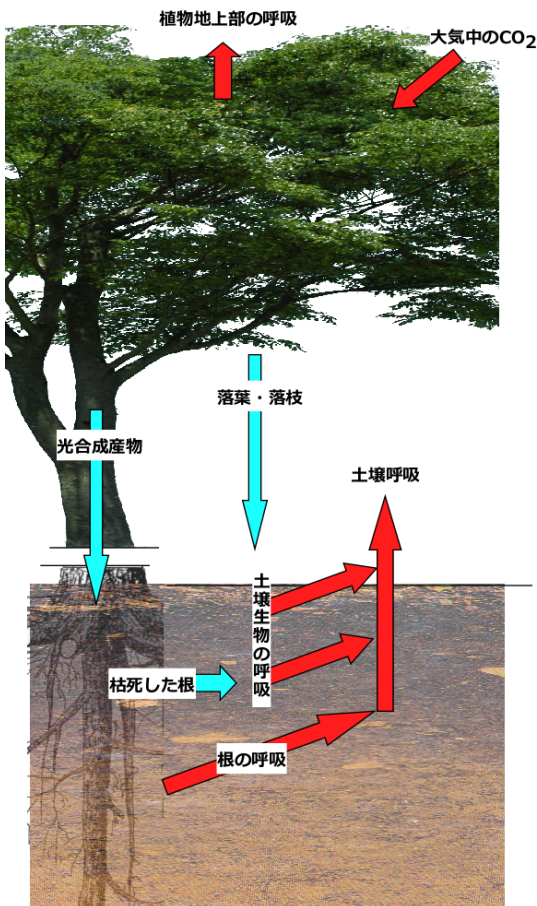


図 12.3 森林における炭素循環。青い矢印は有機物の流れ，赤い矢印は二酸化炭素の流れを示す。樹木の図形は http://sozaiya.com/product_info.php?cPath=17_18&products_id=6924 のデータを加工して用いた。

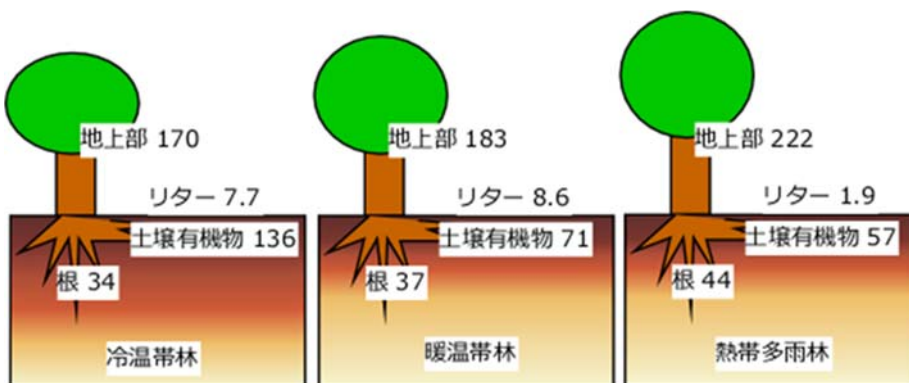


図 12.4 森林における炭素の分布 (吉良, 1976)。図中の数値は 1 ha あたりの炭素量 (単位はトン)

12.3.2. 窒素の循環

森林には窒素化合物が人為的に肥料として与えられることはごくまれである。森林生態系に外から入ってくる窒素化合物は、降水に溶解した硝酸イオンやアンモニウムイオン、硝酸アンモニウム、塩化アンモニウム、硫酸アンモニウムなどの微粒子などがある。降水とともに入ってくるものを湿性沈着、アンモニウム塩の微粒子として入ってくるものを乾性沈着

とよぶ。乾性沈着するアンモニウム塩微粒子は、化石燃料の燃焼などで生成した窒素酸化物由来の硝酸、農地を含む生態系から揮散したアンモニアなどが、化石燃料の燃焼で放出されたイオウ酸化物由来の硫酸などと反応して生成する。晴天時に遠くの山がかすんで見える、いわゆる煙霧とよばれる現象は、大気中で生成したアンモニウム塩微粒子によることが多い。このほか、窒素固定能を有する微生物が空中窒素を固定して生産した窒素化合物のみである。アカシア類、ハギ類、ネムノキなどのマメ科植物は根に共生する窒素固定菌による窒素の獲得量が多い。

落葉・落枝や枯死した植物根として土に供給された有機物は土壌生物によって利用される。土壌生物は、窒素化合物の主体である蛋白質をアミノ酸に加水分解し、その一部はそのまま利用する。またアミノ酸は有機酸とアンモニウムイオンに分解されるが、アンモニウムイオンは亜硝酸化成菌や硝酸化成菌の呼吸における電子受容体として利用され、最終的には硝酸イオンに酸化される。アンモニウムイオンや硝酸イオンの一部は樹木によって吸収されるが一部（特に層状ケイ酸塩鉱物に吸着されない硝酸イオン）は下層に溶脱し、地下水や渓流水にいたる。

湿性および乾性沈着したアンモニウム塩の一部は葉面吸収されるが、大部分は土に入って植物に利用される。落葉・落枝の窒素化合物の無機化によって生成したアンモニウムイオンや硝酸イオンの大部分もまた植物に利用される。生態系外部からの窒素供給がない場合には、落葉・落枝に含まれる窒素の大部分は再利用され、浸透水や表流水に溶存して系外に溶出する量はごく少ない。日本における窒素の沈着量は平均すると年間窒素として 8.0 kg/ha である。窒素沈着量が 5 kg/ha 程度であれば、森林生態系外への窒素の流出は少ない、しかしこれを大きく超える場合には、森林生態系外から供給された窒素の大半、場合によってはそれ以上の窒素が系外に流出する。関東地方の杉林においては、窒素沈着量が年間 30 kg/ha に達するという観測例もある。この杉林においては年間 55 kg/ha の窒素が系外に流出していた例もある (Wakamatsu et al., 2001)。

12.3.3. カルシウム, マグネシウム, カリウムなどの循環

窒素と異なりカルシウム, マグネシウム, カリウム, リン等は森林生態系外から供給されることは非常に少ない。これらの元素の大半は、落葉・落枝として土に供給される有機物の分解にともなって土に還元され、それらの大部分が植物によって再利用される。樹木の根系の大部分は土の表層 15 cm 程度の部分に分布しているが、それは落葉・落枝として還元される必須元素を効率よく再利用するためである。森林土壌の交換性カルシウム, マグネシウムなどは表層 15 cm の含量がそれ以深の層よりもはるかに高いことが多い。これは、これらの養分が土壌表層-樹木を効率よく循環しているためである。

表 12.3 には、リン, カリウム, カルシウム, マグネシウムについて、1 ha の森林の樹木が 1 年間に吸収する量から落葉・落枝によって土に還元される量を差し引いた量を示している。これは森林土壌の年間の正味新規供給量を示す。カリウムの場合それは 18~31 kg/ha の範囲にある。これは主として土の造岩鉱物の風化 (= 不調和溶解) によって供給されと考えられる。

表 12.3 森林土壌からの主要養分の供給量 (河原, 1971) .

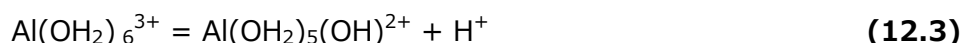
	年間の正味供給量/kg ha ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg
40 年生ヒノキ人工林(滋賀県)	23.4	1.8	17.7	13.0	3.7
20 年生アカマツ人工林(京都府)	41.0	4.0	30.9	4.3	0.1
ブナ天然林(京都府)	38.9	1.6	23.3	20.5	5.4

量的には少ないが、森林生態系外からの供給源としては風成塵が考えられる。風成塵とは風食によって舞い上がり長距離輸送される微細土粒子であり、日本では黄砂が代表的なものである。黄砂は中国内陸の乾燥地域の土の微粒子成分が風食によって巻き上げられ偏西風によって輸送され日本に降下するものである。日本における黄砂の降下量は年間 10~60 kg/ha 程度と推定されている。黄砂の主成分は石英、長石、雲母鉱物や炭酸カルシウムなどであるので、カルシウムやカリウム（雲母鉱物から供給される）の供給源としては風成塵も無視することはできない。

12.4. 森林土壌の酸性

12.4.1. 酸性土壌

土の酸性は土に純水、または塩化カリウム、塩化カルシウムなどの塩溶液を添加して作成した懸濁液の pH である。酸性土壌とは懸濁液の pH が 7 以下の土のことである。土の水懸濁液の pH を土壌 pH, pH (H₂O) などとよぶ。酸性土壌には、硝酸、硫酸などの酸が含まれていることもある。しかし天然の大部分の酸性土壌には遊離の酸はほとんど含まれない。天然の酸性土壌の酸性の原因は、層状ケイ酸塩鉱物に吸着保持されている交換性アルミニウムイオンである。交換性アルミニウムイオンの量が多ければ土壌溶液中に存在するアルミニウムイオン量も多くなる。水溶液中のアルミニウムイオンは Al(OH₂)₆³⁺ という 6 水和イオンとして存在している（通常は、水和水を省略して Al³⁺ と書くのが習慣である）。水溶液中の水和アルミニウムイオンは



という反応でプロトンを放出する傾向がある。この反応の平衡定数は約 10⁻⁵ である。つまり水和アルミニウムイオンは酢酸と同程度の酸である。このため、交換性アルミニウムイオン含量の多い土では土壌 pH が低くなる。交換性陽イオンに占めるアルミニウムイオンの割合（電荷割合）が 80% ないしそれ以上では土壌 pH は 4 近くになる。

土の pH を測定するとき水の代わりに塩化カリウム、塩化カルシウムなどの塩溶液を加えると、カリウムイオンやカルシウムイオンと交換性アルミニウムイオンとの陽イオン交換反応が起こり、懸濁液中のアルミニウムイオン濃度が高くなる。このため、交換性アルミニウムイオンを保持している土では pH (KCl) < pH (H₂O) の関係がある。塩溶液の添加によって発現する酸性は交換酸性とよばれる。

一般に酸性の土は植物の生育には適していない。土壌 pH が 5 を下回ると大部分の作物の生育は収穫が期待できないほどに低下する。酸性土壌の研究の初期には、土壌溶液が酸性であること、つまり土壌溶液中の水素イオン（プロトン）濃度が高いことが、植物生育阻害の直接の原因であると考えられていた。しかし、土壌学および植物栄養学の研究の進展に伴い、酸性度以上の酸性物質の主体はアルミニウムイオンであること、そして植物生育を阻害するのもアルミニウムイオンであることが明らかにされた。作物の中で、コムギは特に酸性に弱いことが知られている。しかし、養液栽培においては、すべての養分濃度が十分であれば養液の pH が 4 であってもコムギは生育することが実験によって確かめられている。一方土耕栽培では、土の pH が 5 を下回る場合には、コムギはほとんど生育しないことが多い。

酸性土壌におけるアルミニウムイオンによる生育障害の機構の全体像はまだわかっていないが、根の伸長および機能がアルミニウムイオンによって著しく阻害されることがわかっており、その機構として根の細胞あるいは細胞間の多糖類の構造形成に関与しているカルシウムイオンがアルミニウムイオンと置換されることによって生ずる構造及び機能の変化が関係していると推定されている。

植物の中にはアルミニウムイオンに対する耐性を持っているものもある。これはアルミニウムイオンによる刺激によって、細胞内でのクエン酸やリンゴ酸などの有機酸の生成が誘起されて細胞外へ放出され、放出された有機酸がアルミニウム

イオンと錯体を作ることによって、多糖類への結合能力を喪失することによって考えられている。

12.4.2. 森林土壌の pH 低下機構

森林生態系は乾湿指数が 7 以上の地域で成立する。この条件下では、年間の蒸発散量よりも土の断面内を下方に浸透する水の量が多い。降水は清浄であっても 10^{-5} mol/L の炭酸を含む。土のリター層および A 層を通過するとき、二酸化炭素濃度の高い土壌空気と接触して溶存炭酸濃度はさらに上昇する。このような酸性の降水が浸透し、系外からのカルシウム、マグネシウムなどの供給や土の鉱物の溶解による供給は限られているため、浸透水中のプロトンと吸着カルシウム、マグネシウムイオンが陽イオン交換し、下方に溶脱される。降水が硝酸、硫酸等を含む酸性雨の場合にはその陽イオン交換-溶脱はさらに促進される。

こうして土の層状ケイ酸塩鉱物の交換性陽イオンに占めるプロトンの割合が上昇すると、反応性の高いプロトンは吸着体である鉱物を溶解し、骨格内部からアルミニウムイオンが溶出してプロトンの代わりに吸着保持される。このような過程が継続すると、土の交換性陽イオンに占めるアルミニウムイオンの割合が高くなる。

落葉・落枝に含まれるたんぱく質の無機化によって生成したアンモニウムイオンの亜硝酸化成、硝酸化成の過程ではアンモニウムイオン 1 mol あたり 2 mol のプロトンが生成する。湿性または乾性沈着するアンモニウム塩の量が多いとそれだけプロトン生成量も多くなる。

土の pH が低下すると、造岩鉱物の溶解は促進され、カルシウム、マグネシウム、カリウムなどの放出量は多くなる。このため、風化する鉱物が存在する場合には森林土壌は際限なく酸性化するわけではなく、あるところで定常状態になる。

12.4.3. 土の酸性化の本質——酸中和容量の低下

酸性土壌とは定義によって、土壌 pH が 7 より低い土のことである。したがって土壌 pH の低下は、土の酸性化の第一の尺度である。しかし、酸性雨の土の酸性化への影響や酸性土壌の改良などについて考察するときにはそれだけでは十分ではない。たとえば、pH 5 の希塩酸水溶液と、pH 5 の希酢酸水溶液は、いまでもなく同じ pH を持っている。pH は溶液中の水素イオンの活量の負対数であるので、pH が同じ水溶液中の水素イオン活量（≒濃度）は同じである。しかしこれらの溶液を pH 7 まで中和するために必要なアルカリの量は、pH 5 の塩酸よりも、同じ pH の酢酸の方がはるかに多い。このように、水素イオンの濃度という強度因子と、それを変化させるために必要な酸やアルカリの量というような容量因子の両面をとらえることが有用である。

土の酸性化に関する研究の過程で、容量因子として酸中和容量（Acid Neutralization Capacity ; ANC）という概念が用いられているようになった（Ulrich and Sumner, 1991）。一般に ANC とは、一定量の土の pH をある値まで低下させるために加えなければならない酸の量であり、酸を緩衝する能力の尺度である。基準となる pH の取り方によって ANC の値は異なってくるが、酸性雨の土壌への影響などの研究においては pH 3.5, 4, 5 などが採用されている。土壌溶液の pH が 5 を下回ると、土の、アルミニウムを含む鉱物（水酸化アルミニウム鉱物、層状ケイ酸塩鉱物、アロフェン等）からのアルミニウムイオンの溶出濃度が急に高くなる。このため、酸性化による植物生育への影響を考察するときには pH 5 を基準 pH とするのは合理的な選択である。

土の ANC は土壌溶液によって担われる部分と土の固相によって担われる部分がある。いま基準 pH を 5 とすると土壌溶液の ANC（1 L あたり）は

$$ANC(aq,pH5)=[HCO_3^-]+2[CO_3^{2-}]+[OH^-]-[H^+] \quad (12.4)$$

である。一方固相の ANC (1 kgあたり) は

$$ANC(s, pH5) = 2q_{Ca,ex} + 2q_{Mg,ex} + q_{K,ex} + q_{Na,ex} + 2n_{carbonate} \quad (12.5)$$

によって与えられる。ここで $q_{Ca,ex}$ は交換性カルシウムイオンの量 (mol/kg) , n は炭酸塩含量である。炭酸塩の主体は炭酸カルシウム (カルサイトやマグネジアンカルサイト) , 農耕地ではこれに加えてドロマイトなどである。

(12.4)式からわかるように, 土に強酸が入ってくると土壤溶液の ANC は低下する。土に入ってくる強酸としては, 酸性雨に含まれる硫酸や硝酸がある。また, 生物遺体 (落葉落枝, 土壤生物等) 由来のタンパク質の無機化過程で生成したアンモニウムイオンの硝酸化成の結果として生成する硝酸などがある。生物の呼吸の結果生成する炭酸も酸であるが, 炭酸が土壤溶液に溶解し, その一部が電離するときには, 生成した水素イオンの量と (電氣的に) 当量の炭酸水素イオンや炭酸イオンが生成するので ANC の低下にはつながらない。

土に強酸が入ってきても, その大部分は陽イオン交換反応によって土の固相に吸着されるので, 土壤溶液の ANC の低下量は, 添加された酸の量よりもはるかに少ない。そして水素イオンとの陽イオン交換の結果としてカルシウム, マグネシウムなどのイオンが土壤溶液中に出て, 交換性陽イオンがその分だけ減少する。この反応の結果, (12.5)式に示されるように, 土の固相の ANC は低下する。このように, 土に強酸が入ってきた場合, 固相の ANC が十分である場合には, 土壤溶液の ANC はほとんど低下せず, 固相の ANC が低下する。

土に炭酸塩が含まれる場合には, 強酸由来の水素イオンはほぼ定量的に炭酸塩と反応する。その結果炭酸塩が溶解するので, その分だけ固相の ANC は低下する。しかし, 溶解の結果, 土壤溶液にはそれに見合う量の炭酸イオンや炭酸水素イオンが供給されるので, 土壤溶液の ANC は増加する。したがって, 土壤全体の ANC はほとんど変化しない。しかしこの場合でも, 土壤溶液が下層に移動してしまう場合にはその分だけ土壤溶液の ANC が低下する。

土壤生物の呼吸による二酸化炭素の溶解で生成される炭酸以外に酸の供給がない土では, もし土壤溶液の下方への浸透移動がなければ土壤の酸性化は起こらない。しかし, 降水量がある程度多く, 年間を通じて正味の下方向浸透があるような場合, 炭酸以外の酸の供給がない場合でも土の ANC は次第に低下する。つまり, 湿潤気候化では土の酸性化は不可避の現象である。

12.4.4. 森林衰退と土の酸性化

化石燃料の燃焼によって大気に放出された窒素酸化物や硫黄酸化物は大気中で反応して硝酸や硫酸となる。これらを溶解して pH が 5.6 以下になった雨は酸性雨とよばれる。世界的に雨は酸性雨であることが多く, 日本における降雨は, 平均 pH 4.8 の酸性雨である。

世界各地で認められる森林の衰退と, 酸性雨が結び付けられ, 酸性雨による土の酸性化が森林衰退の主要な原因であると考えられたことがあった。しかし, 植物体と土, 両面からの精力的な研究の結果, 森林衰退の原因は単純なものではないと考えられるようになっていく。世界中の多くの森林土壌はもともと酸性であり, 雨水の酸性化が始まってから急に酸性化したわけではないことから, 土の酸性化が森林衰退の第一の原因であるとは考えられないのである。特に土壌 pH と森林衰退の間には全く相関がみられないほどである。

森林衰退の原因としては, 酸性雨の他, 硫酸ミストやそれを溶解した酸性霧 (pH が 2 になることもある) による直植物体地上部への酸ストレス, ディーゼルの排ガス由来の煤の超微粒子による機構の閉塞, 光化学反応によって生成する過酸化水素, 過酸化アセチル窒素やオゾンなどによる地上部のストレス, アンモニウム塩の沈着による窒素過剰などすべてが候補としてあげられている。

12.5. 問題

- 1) 西表島の月平均気温は1月から12月まで、それぞれ18.3, 18.9, 19.9, 22.5, 25.2, 27.4, 28.9, 28.3, 27.3, 25.1, 22.7, 19.5 °Cであり、年降水量は2305 mmである。温量指数と乾湿係数を計算しなさい。またそれに対応する植生はどのようなものかを判断しなさい。
- 2) ポドソル土とよばれる土の断面の特徴を述べ、その断面がどのような機構により生成するかを説明しなさい。
- 3) 図12.4の3つの森林における土壌有機物として存在する炭素が表層15 cmに存在すると仮定して、土1 kgあたりの有機体炭素量を計算しなさい。ただし、土の乾燥密度は 1.1 g/cm^3 としなさい。
- 4) 森林土壌は酸性であることが多い。酸性化の機構を説明しなさい。また酸性の森林土壌の交換性陽イオン組成の特徴を説明しなさい。
- 5) pH 4の酸性雨が年間2000 mm降り、その50%が土に浸透した場合、1 haあたりのプロトンの負荷量を計算しなさい。ただし、水素イオン濃度は $10^{-\text{pH}}$ で計算できるものとする。
- 6) 5)で計算したプロトンがすべて土の表層10 cmで陽イオン交換により層状ケイ酸塩鉱物に吸着されたとする。このとき交換により減少するカルシウム、マグネシウム、カリウムなどの量を cmol_c/kg 単位で計算しなさい。土の乾燥密度は 1.0 kg L^{-1} としなさい。

12.6. 引用文献

河原輝彦 (1971) 日本林学会誌 53, 231-238.

吉良竜夫(1976)陸上生態系, 共立出版.

酸性雨研究センター (1999) 環境庁第3次酸性雨対策データ集. 環境省.

土じょう部 (1975) 林野土壌の分類(1975). 林試研技報 280, 1-28.

Ulrich, U. and Sumner, M. E.(eds.) (1991) Soil Acidity. Springer-Verlag, Berlin.

Wakamatsu, T., Sato, K., Takahashi, A. and Shibata, H. (2001) Proton budget for a Japanese cedar forest ecosystems. Water Air Soil Pollution 130, 685-690.

