化石燃料の燃焼により生成する硫酸と樹木に立ち枯れの関係

2023.5.1　　大森禎子

樹木は世界中の偏西風の通過道で立ち枯れが起こっています。化石燃料の燃焼により発生する二酸化炭素の量に比例して、化石燃料に含まれる硫黄の燃焼で硫黄酸化物を発生し、偏西風に収集され、酸素により酸化されて硫酸になります。硫酸は、樹木に接触する風の量に比例して付着し、雨水で土壌に落とされ、土壌成分の金属酸化物や砂鉄と化合し、金属硫酸塩と水になります。その結果、土壌の pH は、加わった硫酸の量に半比例して下がりません。しかし、金属硫酸は、雨水に溶解して、金属イオンと硫酸イオンになり、樹木に吸収されて、リン酸と化合して溶解度の低い金属リン酸塩になります。樹木はリン酸不足と同じ現象になり、光合成が不可能になり、衰退して枯れます。

近年の同時多元素分析法は、溶液中の存在物質の量は明らかになりますが、共存物質の関係は不明です。溶液中のアルミニウムイオンや鉄イオンを吸光光度定量する場合は、リン酸イオンは最も隠蔽が困難な物質です(大森 1983,1992)。また、リン酸と金属イオンの化合物の溶解積は $AlPO_4$:Ksp=6.3×10^{-19}、$FePO_4$: Ksp=1×10^{-22}（松田ら 1977）と低く、樹木は金属リン酸塩からリン酸を分離して使用することは不可能で、樹木は光合成が不可能になり、枯れることが確実です。

北半球の汚染大気は、赤道の上昇気流で引き寄せられ、上空に上がり、冷却されて重くなり、北と南に分かれて降下し、硫酸は偏西風に再び収集されます。地球の陸地は、北半球７に対し南半球３で、南半球は硫酸を附着する樹木が少ないために、大気の硫酸の濃度が、北半球より高く、その上、南極の周囲を吹く偏西風は速度が速く、樹木に接触する風の量が多くなり、硫酸の付着量も多くなります。南米大陸最南端のヘゴ島(アルゼンチン)の偏西風の通過道の南極ブナは、1960年より前に枯れ、地上には、幼木も草もなく、ゼリー状の苔のみで被われていました（調査日 2000.12.26－12.30)。

ニュージーランド南島の西側には、南北に延びる山脈があり、山脈の西側はインド洋で、海上を通過した偏西風が衝突します。樹木に寄生して空中で成長するサルオガセの乾燥試料の水による溶出液の硫酸イオンの濃度は(乾燥試料 10g/水 25g)、原生林内は 38μeq/dm^{3}で、林縁では 2480μeq/dm^{3}でした。偏西風は硫酸を含む事が明らかです。ニュージーランド南島の南寄りの地域や山脈の西側の樹木は枯れ、草が出なくなって放置された牧場は、酸性土壌を好むワラビのみが成長し、風で飛来した種から発芽した広葉樹の幼木は5～6年で全滅していました(調査日 2001.12.23-2002.1,2)。北半球でも時間が立てば、同じ現象が起こると考えられます。

土壌に加わった硫酸の量は、グリーンランドの Site－J の氷床コワ中の 1780 年から 1980 迄の非海塩硫酸イオン濃度が報告されています(渡邉ら 2003)。近年の硫酸イオンの増加量を知るために、1847 年に再建された雨の掛からない山川長林寺(栃木県足利市山川町)の床下の土の硫酸イオン濃度を 2005 年に測定しました。西口の表層土の硫酸イオン濃度は 7790μeq/dm^{3}で、東口の深さ 10cm の硫酸イオン濃度は 17μeq/dm^{3}でした（乾燥土 10g/水 25g)。1847 年から 2005 年までに

偏西風で、地上に加わった硫酸の量は、1847年の土壌の458倍量に相当します。赤道の土壌は、上昇気流に引き寄せられた偏西風は、土壌に接触することなく上昇するため、土壌は硫酸の汚染がないと考えられます。北緯0.00、東経110.3度のインドネシア・西カリマンタンの広葉樹林の表層土の硫酸イオン濃度は26μeq/dm^{3}でした（調査日1999.11.13-20)。

日本の雨の掛かる土壌の硫酸イオン濃度は、表層から深さ50cmの間の濃度は、島根県、京都府、石川県、富山県、秋田県の濃度は、山川長林寺の表層の濃度より低く、土の吸着許容濃度以上は、雨水で川から海に移動したと考えられます。海水は大気からの二酸化炭素と硫酸を吸収し、陸の土壌に加わった硫酸を雨で、川から海に運ばれています。珊瑚の減少、海中の石の白化減少、海藻の減少も関係していると考えられます。

15mのマツ材を高さ別に分析すると（試料採取地、群馬県前橋市富士見町石井)、リン酸とアルミニウムイオンは化合した場所に止まり、平衡して存在しました。先端ではアルミニウムイオンの到着が遅い分、リン酸濃度が高いため、その分で光合成が行われ、緑の松林でしたが、7年後に、調査に行った時は、見渡す限り全滅して切り倒され、南の方向は関東平野が一望できました。偏西風で運ばれた硫酸により、アルミニウムイオンが溶出してリン酸と化合して、光合成が不可能になり枯れた事が明らかです（調査日2007.6.7)。

日本海を通過した偏西風は、日本海沿岸の松林に恒常的に衝突し、島根県(調査2007年)、京都府(2008年)、石川県加賀市(2010年)、石川県輪島市(2003年)、富山県(2007年)、秋田県(2003年)のマツは全滅していました。更に、編成風は北海道北見市～網走市まで、偏西風の通過したところは、国道の両側の針葉樹が、大半枯れていました(調査日2005.5.16)。

アメリカのアデロンダックのニューヨーク州立自然公園の(240万ha)、針葉樹の森は縞枯れし、所により全滅していました。公園に点在する池や沼は酸性化して魚が絶滅し、池は透明で、沈没した倒木は、水が酸性の為、水が透明で、腐敗することなく原型を止めているのが見られます（調査日1999.8.2-11)。

ドイツもミュヘンからカッセルまで、車で移動した所の針葉樹の森は、偏西風の通過道と思われる地域の針葉樹が全滅していました（調査日2002.4.27-5.6)。

縞枯れは、“針葉樹固有の世代交代である”とされました（宮脇　1999)、縞枯れした八ヶ岳のシラビソは（調査日2000.7.30)、枯れた親木の間で成長していた幼木が、2013.7.13には全滅していました。幼木は生長して大きくなると表面積が広くなり、硫酸の捕集量が多くなります。その結果、幼木は7年後に全滅していました。

樹木の表面積に比例して硫酸を捕集し、常緑針葉樹が先に、落葉広葉樹が後から枯れます。福島県（福島県大沼群金山町）のナラ林(1ha、標高460～490m）を6区画にわけて調査をしました。北側は（標高490m）国道252号や只見川に面し、偏西風により運ばれる硫酸イオン濃度が1220μeq/dm^3, pH4.5$_2$ でした。南側の国道237号に接した地区で（標高460m)、硫酸イオン濃度は843μeq/dm^3、更に、乾燥した融雪剤（$CaCl_2$）が南風で加わって塩化物イオン濃度が、1090μeq/dm^{3}でした。融雪剤に硫酸が加わると、硫酸カルシウムと塩酸になり、塩酸は硫酸よりシリカとの反

応速度が速く（岩崎 1986）ゼリー状のケイ酸になり、金属酸化物を被い、残った塩酸がケイ酸の上に残るため、土壌の pH は 3.8_4 になりました。結果、硝酸化成菌の活動が制御されて、大気から加わったアンモニアが硝酸に変換できなくなり、硝酸イオンの濃度は 17 μ eq/dm^3、他の地区より非常に低くなっていました。周囲の状況で土壌成分は変わります。

樹木はカリウムを含み、炭化すると炭酸カリウムとして炭の中の残り、酸性化した土壌に撒布すると、雨水により、水酸化物イオンを溶出して、硫酸を中和し、金属イオンの溶出を止め、樹木の立ち枯れを止めます。秋田県男鹿半島の海岸の 1993 年植林のクロマツ林では、2003 年から炭を撒いて pH5 前後に保った結果、現在も 1 本も枯れず成長を続けています（211 本/2455m^2）。

衰退樹木は含水量が減少し、火災が起きると延焼を起こして大火災に成ります。オーストラリアの西のパースではインド洋を通過した風が当たり（調査日 2001.10.12-15）林縁のユーカリが殆ど枯れていました。樹木の衰退は、含水量の低下になり、大火の原因になったと考えられます。樹木は二酸化炭素を吸収して成長し、立ち枯れや焼失による樹木の減少は温暖化を加速させます。

参考文献

岩崎岩次（1999）ケイ素　無機化学全書　XII-2 丸善　p.286

松田好晴、小倉興太郎共訳、Allen J.Bard 著　溶液内イオン平衡(理論と計算)　化学同人 p.194

宮脇　昭(1999)緑環境と植生学　NTT 出版　p.168

大森禎子(1983)アルカリ溶液中スチルバゾとゼフイラミンを用いるアルミニウムの吸光光度定量、分析化学　**32**　483-487

大森禎子(1992) 酸性溶液とアルカリ性溶液中でスチルバゾとゼフラミンによる微量アルミニウム（III）の吸光光度定量　工業用水　第 409 号　58-69

Omori Teiko(2018)Withering of the trees by sulfuric acid of an air pollutant and acidification of soil by thaw material -Prevention from withering of trees and reduction of carbon dioxide by charcoal-. Academia Journal of Scientific Research. 6(11). ISSN:2315-7712

Omori Teiko(2020)The sulfuric acid generated by combustion of a fossil fuel and the relation in which trees wither -Prevention from Withering and Carbondioxide reduction of trees by charcoal- Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST) 7(9), ISSN:2458-9403

Omori Teiko(2021)The relation in which sulfuric acid of an air pollutant and trees wither-Recovery of the acid soil by charcoal-. LAMBERT Academic Publishing, p.1-58. ISBN: 978-620-3-84016-2

渡邉興和・山本秀明・牛尾収輝・森本真司(2003)極域におけるモニタリングと氷床変動、遺伝別冊 17 号, p.64