

平成25年度県立大学地域貢献研究の研究成果について（完了報告・中間報告）

研究テーマ	越境大気汚染による酸性沈着が土壌pH緩衝力の余剰程度と生物相の将来変化に及ぼす影響の解析
研究期間	平成25～25年度
主たる研究者	【学部・学科】生物資源学部 【職・氏名】教授・吉岡俊人
<p>○研究目的</p> <p>冬季に中国東部で放出された大量の硫黄酸化物や窒素酸化物は、強い酸性の雪や雨となって福井に降下し、土壌に沈着する。この越境大気汚染による酸性沈着が福井県の土壌 pH 緩衝力や生物相の将来変化に及ぼす影響を把握することを本研究の目的とした。</p> <p>具体的には、降雨や降雪をもたらす気流軌跡の一日ごとの解析方法および多検体土壌における酸限界負荷量推定方法を確立した上で、福井県の土壌 pH 緩衝力の実態を、秋田県の土壌と比較することによって、マクロな視点から把握した。さらに、福井県内において酸性沈着の影響が懸念される地点を抽出し、その要因を地理的および植生の観点から考察した。</p> <p>○研究成果</p> <p>(1) 越境大気汚染による酸性降下</p> <p>秋田（南秋田郡大瀧村；秋田県立大学）では中国由来の気流がもたらす降雨降雪の pH が 4.86、ロシア極東部由来の気流による降雨降雪の pH が 4.89 であったが、福井（吉田郡永平寺町；福井県立大学）ではそれぞれ、4.25、4.52 と低い値であった。また、過去6年間の冬季の降雨降雪気流は、秋田では中国由来が 28.9%、ロシア極東部由来が 67.9%であったのに対し、福井ではそれぞれ、63.2%、36.8%であり、中国からの気流割合が高かった。県が観測した 2006～2008 年の降水 pH の年平均値は、秋田（秋田市八橋）では 4.79 であるが、福井（福井市原目町）ではこれより約 0.5 低く、4.48 である。これは、上記の 2 要因が複合的にはたらいた結果であると推定された。</p> <p>(2) 土壌の水素イオン限界負荷量</p> <p>土壌の水素イオン限界負荷量を求めるには、通常、土壌を詰めたカラムに酸を繰り返し滴下し、流出液の pH 変化を測定することによる滴定法が用いられている。しかし、この方法では同時に多検体を処理することができない。そこで、土壌に数濃度の酸を添加して振盪し、pH 上昇がプラトーに達した値を測定することで限界負荷量を求める酸添加法を確立した。</p> <p>本法を用いて、土壌タイプ、植生、積雪深、降水量、平均気温が様々である秋田 27 地点、福井 37 地点の土壌について、pH 4.0 に達するまでに要する塩酸モル数（$\times 10^5$）を水素イオン限界負荷量として求めた。</p> <p>その結果、土壌 pH と水素イオン限界負荷量（pH 4.0 に達するまでに要する塩酸モル数）は線形回帰され、福井と秋田における回帰直線には有意な違いがなかった。したがって、限界負荷量は、土壌 pH を第一要因として決定され、両地域とも同一の一次関数式（$y = 6.03x - 17.93$；$R^2 = 0.64$）によって推定できることが示された。</p>	

(3) 土壌の pH 緩衝力余剰

年間降水量と年平均 pH から土壌を採取した地点の年間水素イオン負荷量を算出した (別紙資料: 土壌採取地点別データベース参照)。前項で求めた限界負荷量をこの値で除して、土壌の pH 緩衝力の余剰 (現在の土壌 pH が 4.0 に低下するまでに残された年数) を計算した。

その結果、福井の土壌は、秋田の土壌に比べて、総体的に pH 緩衝力の余剰が小さいことが明らかになった。具体的には、特殊な環境である沿岸部と湿地を除くと、福井市、大野市、坂井市、あわら市、勝山市のいずれの地域でも自然緑地の土壌 pH は十数年から百数十年のうちに 4.0 に達すると予想される。また、大野市猪島の夏緑樹林、大野市刈込池付近のブナ林では、すでに pH が 4.0 以下となっており、pH 低下による土壌微生物影響を調査する必要がある。

また、水田、畑地、樹園地、畦畔などの農村緑地は、自然緑地に比べて pH 緩衝力余剰が大きかった。

(4) 考察

一般に土壌は、 K^+ 、 Ca^{2+} や Mg^{2+} などの塩基イオンを水素イオンと交換することで pH を安定に保っている。しかし、土壌が保持している K^+ 、 Ca^{2+} や Mg^{2+} などが少なくなり、pH が 5.0~4.7 程度に低下すると、アルミニウムが溶出され始める (前川・新井、1990)。溶出されたアルミニウムは水酸化アルミニウムや単量体アルミニウムの混合体として存在するが、pH 4.5 を下回ると単量体アルミニウム Al^{3+} の存在比が急速に高まる。 Al^{3+} は生物に対して強い毒性を示すため、 Al^{3+} が蓄積すると土壌微生物や植物根系の成長が著しく阻害され、生態系が崩壊する危険が生じる。したがって、生物機能が維持される限界の土壌水素イオン濃度は pH 4.5~4.0 (ここでは 4.0 を限界 pH とする) であると想定できる。

本研究から、福井県嶺北の自然緑地の土壌は、特殊な環境である沿岸部と湿地を除くと、現在の酸性程度の降雨降雪が続ければ、数十年から百数十年で pH が 4.0 に達すると予想される。福井は中国東部の大気汚染影響を受けやすい地域であり、とくに冬季には、北京市や河北省などで放出された大量の硫黄酸化物や窒素酸化物が、雨や雪に溶け込んで降下し、土壌に酸性沈着する。今後、この越境大気汚染による酸性沈着量が増加するならば、福井の土壌 pH が 4.0 に達するまでの年数はさらに短くなる可能性がある。

本研究で抽出された、とくに pH 緩衝力余剰が小さい地点には、福井を代表する自然植生が含まれる。とりわけ山間部の多雪地では年間水素イオン負荷量が大きいため、余剰年数が非常に小さいかすでに限界 pH を越えていることが懸念される。

したがって、これらの地点の土壌について、これまでに行われた県の調査 (前川・久島、1994) に加えて、さらに生物分析や化学分析を実施し、生物相が崩壊するまでに残された年数を確定する必要がある。さらに、本研究において確立された限界負荷量の解析方法を用いて、県全体を対象とした網羅的な土壌 pH 緩衝力の把握が望まれる。

<参考文献>

前川勉・新井彦左エ門; 酸性雨の土壌に及ぼす影響の評価方法について、福井県環境科学センター一年報 20 巻、102-106、1990

前川勉・久島鉄郎; 福井県における酸性雨と生態系の実態について 第 6 報 - 山間地域の酸性雨と大気汚染 -、福井県環境科学センター一年報 24 巻、46-57、1994

行政課題関係課との連携状況

下記の行政課題3における県立大学に期待する研究テーマに関して、以下の点が明らかになり、土壌 pH 緩衝力の残存年数が見える化された。

これらの内容については、安全環境部自然環境課担当者と随時打ち合わせを行っている。

1. 県内の降雨、降雪の PH 分析

- ・福井において、ロシア極東部由来の気流がもたらす降雨降雪の pH が 4.89 であったのに対して、中国由来の気流による降雨降雪の pH が 4.25 と、0.3 以上低かった。秋田では中国由来の気流による降雨降雪 pH が 4.86 であったことから、ロシア極東部や中国東北部に比べて、中国東部からの気流がもたらす降雨降雪の pH が低いことが推察される。
- ・冬季の中国由来の気流割合は、秋田が 28.9%であるのに対して、福井では 63.2%であったことから、福井は中国で発生する硫黄酸化物や窒素酸化物による越境大気汚染影響を受けやすい地域であることが実証された。

2. 県内の自然緑地、農村緑地、都市緑地の土壌 PH の分析

- ・自然緑地は農村緑地や都市緑地に比べて土壌 pH が低かった。
- ・自然緑地のうち、特殊な環境である沿岸部と湿地を除くと、土壌 pH 緩衝力余剰年数（pH が 4.0 に低下するまでに残された年数）は十数年から百数十年であり、大野市猪島の夏緑樹林、大野市刈込池付近のブナ林では、すでに pH が 4.0 以下となっている。
- ・福井市足羽山の樹林（夏緑樹林、照葉樹林、スギ林）土壌では、余剰年数が 30 年前後であった。

3. 県内各地における土壌微生物と植物相の解析

- ・各調査地点の植物種数を調査した。
- ・今後、各調査地点土壌の微生物相を PCR-DGGE により解析する。
- ・上記から、微生物相が劣化する限界土壌 pH が明確になると考えられる。

【行政課題3】大陸からの越境大気汚染（酸性雨等）が、本県の生物相に及ぼす影響（提案：安全環境部自然環境課）

〔概要〕

環境省が平成 12 年度に実施した第 3 次酸性雨全国調査によれば、本県の降水（雨、雪等）は全国で最も酸性度が高いという結果が出ている。日本で観測される硫黄酸化物（酸性の元）の由来は中国大陸が 49% とされることから、越境大気汚染が主な原因と考えられる。

酸性雨は、土壌を酸性化して土壌微生物のいない環境を作り出す恐れがあり、これが進行すれば地域の植物相や動物相にまで影響を与える可能性がある。

将来の自然環境の変化が見える化するために、酸性雨の現状について早急に調査研究を進める必要がある。

〔県立大学に期待する研究テーマ〕

- ・県内の降雨、降雪の PH 分析
- ・県内の自然緑地、農村緑地、都市緑地の土壌 PH の分析
- ・県内各地における土壌微生物と植物相の解析

