



洪水影響下の尾瀬ヶ原の窒素、リンの動態と生態系

坂本 充 (名古屋大学名誉教授)

犬伏 和之 (千葉大学名誉教授・東京農業大学教授)

1. 貧栄養的な尾瀬ヶ原生態系

群馬・福島・新潟3県境の海拔1,400mの尾瀬盆地に位置する尾瀬ヶ原は、盆地を取り巻く山岳域からの流下河川の後背湿地に形成された泥炭湿原です。豪雪地特有の低温過湿環境のもと、植物遺体が未分解のまま堆積した泥炭層の上に、湿生植物が生育しています。植物遺体の微生物分解が限られることに加え、養分の少ない雨水が主な栄養供給源であるので、尾瀬ヶ原生態系は植物生育に必要な窒素(N)、リン(P)、ミネラルが少ない貧栄養状態にあります。

このように貧栄養的な生態系である尾瀬ヶ原では、1990年代後半から、地球温暖化原因の集中豪雨による洪水が頻発化するようになり、豪雨発生時は山地からの濁水流入により、尾瀬ヶ原の過半近くが水没状態となるなど、生態系は大きな影響を受けています^{1,2)}。しかし、洪水の尾瀬湿原生態系へ与える影響の調査知見は、これまで殆どありませんでした。このような外力影響下の尾瀬ヶ原生態系の現状把握に焦点を置いた第4次尾瀬総合学術調査(以下「第4次調査」という)の一環として、土壌学の犬伏和之(調査時は千葉大学教授)と大学院生

の重田遥、中山絹子のグループ調査に、水圏植物生態学の坂本充が加わり、尾瀬ヶ原の湿原土壌特性と、洪水が湿原生態系のN、P動態に与える影響の共同調査を行いました^{3,4,5)}。本稿では、この調査結果概要を述べるとともに、洪水影響下の尾瀬ヶ原生態系の今後の保全課題について説明します。

2. 尾瀬ヶ原湿原土壌の性状と湿原水位変動

尾瀬ヶ原では、湿原表面に水の流れなどで形成された凹凸に富んだ複数の縞状微地形が発達しています。落葉後の晩秋には、この縞状微地形を肉眼で容易に認識できます。この縞状微地形の土壌特性を把握するため、上田代湿原の凹凸微地形を1m間隔で横切る線状調査を行いました³⁾。この調査により、湿原凹地は湿原水位が高く、酸素と硝酸イオンの量が少なく、微生物による脱窒活性(硝酸の窒素を系外に排出する微生物代謝活性)が小さいことが明らかになりました。他方、湿原凸地土壌は、酸化的(酸素が多い)で、硝酸イオン量が多く、脱窒活性が高いなど、湿原の凹凸微地形が土壌窒素代謝に大きく影響しているとともに、可給態P(pH3で抽出される植物可利用P)の量は、凹地湿原で多いこと

が明らかになりました。

このように湿原水位は、湿原土壌のN、P量とその存在状態に影響することから、湿原水位の変化をさらに調べるため、上ノ大堀川のヨッピー川流れ込み点に近い上田代湿原の2地点において、水位変動を8か月にわたり調べました。その結果、湿原水位は3か月で10~20cm、3時間内で5cmも上下変動する変動が見いだされました。このように尾瀬ヶ原では、湿原水位が短い周期で上下に変動し土壌環境に影響していることが明らかになりました。

3. ヤチヤナギの密度と窒素固定活性

尾瀬ヶ原山ノ鼻から上田代の西に広がるヨシ原を越え草原域に入ると、木道右側の草原に高さ0.2~1m前後の多くの低木分布が見られます。この低木はヤマモモ科のヤチヤナギで、日本、沿海州、サハリンの寒冷湿地に分布する落葉樹です。ヤチヤナギの根の根粒には、窒素固定能力を有する放線菌が共生し、窒素固定作用により生成した窒素化合物と、葉の光合成で作られる有機物を用いて植物体を作り成長します。このメカニズムにより、ヤチヤナギは窒素が少ない貧栄養的土壌においても増殖が可

能になります。貧栄養的火山起源土壌における窒素固定能を有するヤチヤナギ属植物の増殖と、その窒素固定活動に原因する優占植物の交代は、貧栄養的土壌における植生変遷例として広く知られています⁶⁾。

尾瀬ヶ原湿原のヤチヤナギ分布域は、第1次尾瀬総合学術調査時（1950～1952年）は、非常に限られておりましたが、第2次調査時（1977～1979年）に、上田代から中田代まで分布の拡がりが見いだされ⁷⁾、第3次調査時（1994～1996年）に、更なる分布域拡大が確認されました⁸⁾。これら過去の調査情報を踏まえ、第4次調査では、尾瀬のヤチヤナギ増加原因を明らかにするため、ヤチヤナギ根粒の窒素固定活性を実測し、ヤチヤナギ樹高との関係を調べました。両者間に有意な相関関係が見出され、ヤチヤナギ根粒の窒素固定活性がその樹木成長を支えていることが確認されました³⁾。

4. 湿原土壌のN、P量と優占植生種

尾瀬ヶ原湿原土壌におけるNとPによる植物生産制限状態を明らかにするため、上田代、中田代、下田代湿原土壌のN、P量の調査結果^{3), 4)}から、尾瀬ヶ原土壌の可利用N量（硝酸態Nとアンモニア態Nの合計量）、可給態P量と優占植生種との対応関係を表1にまとめました。植生種分布と、土壌の可利用N及び可給態P量との間には密接な関係があり、ヤチヤナギ優占土壌の可利用N、P量は、他植生種優占土壌より多いことが明らかです。ヤチヤナギ優占地土壌の高いN含量には、窒素固定能力を持

つヤチヤナギ樹木からの落葉による土壌への窒素供給が原因していると判断されます^{4), 5)}。他方、土壌への窒素供給過程として重要な土壌微生物の窒素固定活動は、ホロムイスゲとササ、ヨシの生育地では高いので^{3), 4)}、これら3植生種の分布域では、土壌細菌窒素固定活動の植物生産への関与の量的検討が、今後必要と判断されます。

他方、今回の調査で見いだされた土壌のP量の多かったヤチヤナギ生育地は、水が溜り易い湿原凹地が湿原溝でした。調査湿原域内に、他のP供給源がないことから、洪水発生時に山地から湿原への流入濁水に懸濁状態で含まれた粒子状Pが、湿原の凹地に沈積したことが原因と判断されました^{3), 4)}。他方、ヤマドリゼンマイ、ホロムイスゲ、ヌマガヤなど他植生種が優占する湿原域では、洪水濁水で運ばれた粒子状Pの土壌沈積が起これないためか可利用P量は少なく、植生分布への影響はないと判断されました。窒素については、他植生種が生育する土壌の窒素量は低く、調査された地域に関する限りでは、ヤチヤナギの落葉によるこれら土壌への窒素供給は少なかつたと判断されました。なお、ヌマガヤ、ホロムイスゲ、ヨシ等の植種の分布支配には、土壌水に含まれるカルシウム、マグネシウム、珪酸などミネラル濃度が優占植物種決定に重要な役割を果たしていることが、第4次調査における村上・楊（2022）の調査により明らかにされました。⁹⁾

5. 洪水影響下の尾瀬生態系保全にむけて

尾瀬生態系のN、P動態に及ぼす洪水影響の土壌学的、植物生態学的調査により、1980年以降進み始めた尾瀬ヶ原におけるヤチヤナギ分布域拡大と

表1. 尾瀬ヶ原優占植生種分布土壌（0-20cm層）の可利用N濃度と可給態P濃度（mg/湿泥kg）。坂本ほか⁴⁾より作成。括弧内は平均値。

優占植生種	可利用N	可給態P
ヤチヤナギ	11.5-100.7 (29.5)	3.3-110.3 (18.6)
ヤマドリゼンマイ	13.2-32.0 (20.7)	0.8-5.9 (4.0)
ヌマガヤ	9.2-14.5 (11.9)	1.4-1.5 (1.45)
ホロムイスゲ、ササ、ヨシ	6.5-20.0 (13.2)	0.3-8.9 (2.3)

樹木密度増加には、洪水に伴う湿原凹地へのリンの流入沈積に原因するヤチヤナギの生産活動活発化が主因と判断されました。温暖化原因の洪水は今後とも頻発化が予測されることから¹⁰⁾、洪水原因のヤチヤナギ増殖とその増殖による土壌の窒素量増加管理には、洪水時のリン負荷量とヤチヤナギ増殖量、落葉による土壌の窒素負荷量の量的因果関係を明らかにすることが不可欠です。第4次調査では、洪水にて供給されるリンの粒子性状や負荷量の科学的情報取得ができませんでした。山地から湿原への洪水濁水流入による尾瀬ヶ原生態系へのインパクト管理と生態系保全策構築には、今後、河川工学と土壌学、生態学の研究者の協力によるヤチヤナギの増殖と土壌生態系の窒素動態の安定化を図る湿原生態系管理策の構築に向けての学際的検討が必要であるように判断されます。

引用文献

- 1) 阪口豊ほか (1998) 尾瀬の総合研究 85-106
- 2) 吉井広始ほか (2014) 尾瀬の自然保護 36: 1-14
- 3) 重田遙ほか (2021) 陸水学雑誌 82:239-256
- 4) 坂本充ほか (2022) 低温科学 80: 577-590
- 5) 坂本充ほか、論文執筆中。
- 6) Vitousek, P. M. et al. (1988) Science, 23:802-809
- 7) Hogetsu, K. et al. (1982) Ozeahara 263-276
- 8) Ohmori, T. et al. (2009) Vegetation Science 26:1-8



中田代湿原における植生調査

- 9) 村上大樹・楊宗興 (2022) 低温科学 80:269-284
 - 10) 岩熊敏夫 (2022) 低温科学 80:571-575
- 本文の詳しい内容は、低温科学第80巻577、590にも掲載しています。



ヌマガヤ群集を覆うように枝苗上部に葉を展開するヤチヤナギ群集。上田代。



上の大堀川のヨッピー川流入点に近い上田代西北部湿原凹地のヤチヤナギ群集 (右) と、隣接する湿原高まりのヤマドリゼンマイ群集 (左)