

湿原生態系における嫌氣的窒素固定の存在ならびにメタン生成との関係

Anaerobic nitrogen fixation and an association with methanogenesis in wetland ecosystems

楊 宗興[1]

Muneoki Yoh[1]

[1] 東京農工大・農・環境資源

[1] Fac. Agri., Tokyo Univ. Agri. Tech.

あらゆる生態系の中でもっとも過湿な水文条件をもつ故に、湿原はそこでの元素の生物地球化学的循環にもきわだった特徴を生じさせている。たとえば良く知られているのは、泥炭としてこの生態系で多量に蓄えられている炭素である。他の生元素についても炭素サイクルに連動した非常にユニークな物質循環が生じている。ここでは、著者のこれまでの研究から明らかになった湿原の窒素サイクルの特徴を紹介する。

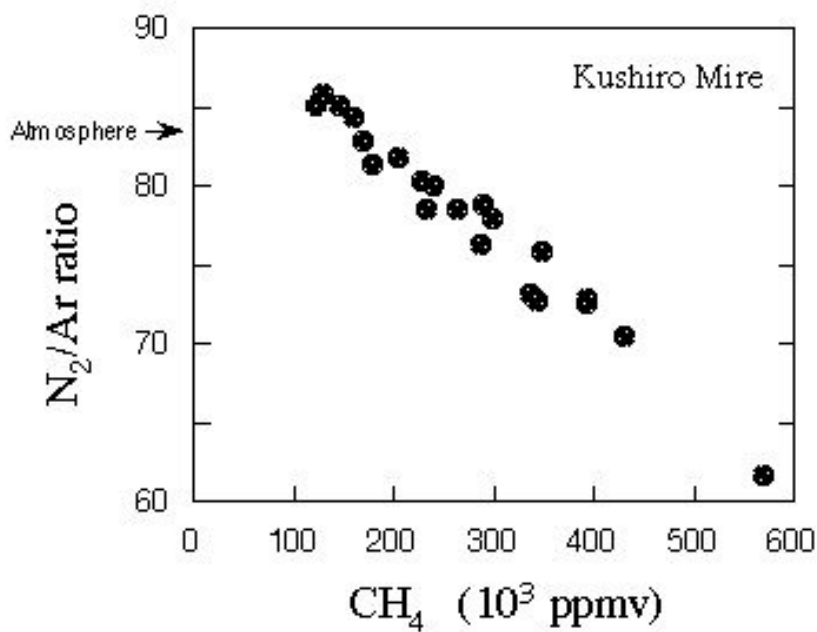
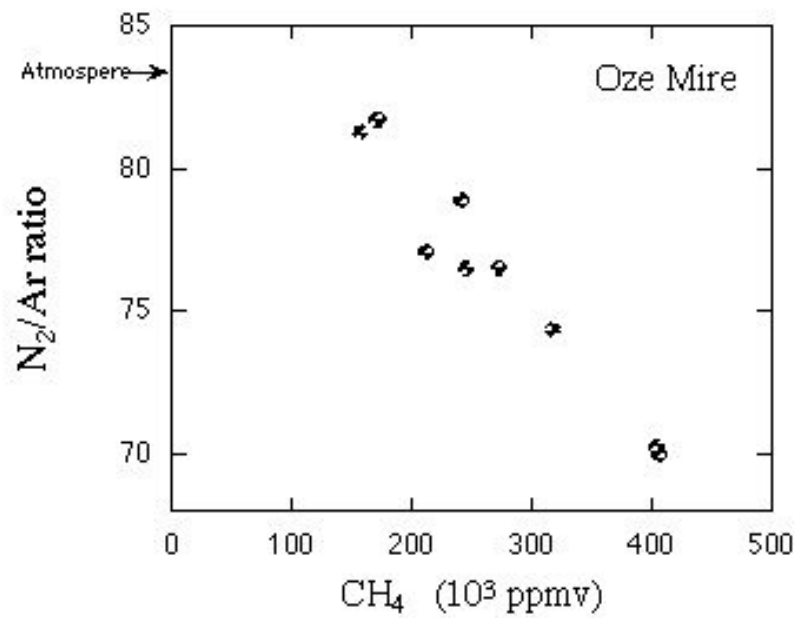
調査を行ったのはいずれも泥炭堆積が見られる釧路湿原および尾瀬湿原である。低層湿原(前者) 高層湿原(後者)の違いにかかわらず、これまで知られていなかった嫌氣的窒素固定がどちらも広範に生じていることが以下の事実により判明した。

1. 尾瀬湿原のさまざまな地域で泥炭を採取して炭素、窒素含量を測定したところ、泥炭のC/N比の変動は、通常の土壌とは異なり炭素ではなく窒素含量の変化にもとづくものであった。有機物(灼熱減量)当たりの窒素量が増加しており、泥炭が堆積中に窒素を増加させている可能性が示された。
2. 環境中の主要気体成分の全て(N₂、O₂、Ar、CO₂、CH₄、H₂、CO)を正確に測定できるガス分析システムを、2台のガスクロマトグラフと3種類の分離カラムを組み合わせることにより開発、これを用い、泥炭中の間隙気体のガス組成を測定した。その結果、間隙ガスのN₂/Ar比は全ての深度で大気より低下しており、N₂の除去が生じていることが判明した。
3. 好氣的条件と嫌氣的条件の両方で、窒素固定活性を泥炭深部まで測定した。好氣的窒素固定は表層付近だけに存在し、嫌氣的窒素固定活性がそれをはるかに上回るレベルで深部に存在することが示された。嫌氣的活性は深度50cmでも消失せず、全層を積算すると好氣的窒素固定の10倍も高かった。この嫌氣的窒素固定による堆積期間中の窒素供給量を概算したところ、泥炭の窒素含量を増大させるだけの定量的重要性をもちうるものであった。
4. 泥炭中のN₂の窒素安定同位体比(¹⁵N)を測定したところ、見かけ上のN₂消費量の増大につれ¹⁵Nが0‰から大きく上昇し、窒素固定による同位体分別を示唆した。
5. 泥炭間隙水や池澮のNO₃⁻、NH₄⁺濃度をできる限り精密に測定したところ、降水涵養性のほとんどの地点で検出限界以下かそれをわずかに上回る程度でしかなかった。全窒素に対する無機態窒素の比率は通常の土壌より2桁以上低い1/100000のオーダーでしかなかった。泥炭の高いC/N比が窒素の有機態・無機態間の存在形態を制御して、窒素の著しい貧栄養が生じていることが判明した。
6. 泥炭内に閉じこめられた気体(バブル)は、調査を行ったほとんど全ての地点で大気の下回っていた。これより、窒素固定は特定の測定地点以外も両湿原で広域的に行われていると判断できた。

以上は、これまで見逃されてきた泥炭深部の嫌氣的窒素固定の存在を明らかにしたものであるが、さらに湿原の典型的プロセスであるメタン生成とこのプロセスとの関連も次の事実から明らかになった。

両湿原とも、バブルにおけるN₂/Ar比の低下は、CH₄含量に対し明瞭な逆相関関係を示した。また、泥炭の培養により測定した嫌氣的窒素固定活性とメタン生成活性はほぼ一致した深度分布を描き、好適環境の共通性が示された。空気のわずかな侵入をも防ぐ培養系を用いた泥炭培養でCH₄生成とN₂/Ar比の低下が同時に起こることを実証、またこのことから窒素固定は単性の嫌氣性従属栄養微生物によることを証明した。これらから少なくとも泥炭中で嫌氣的窒素固定とメタン生成が共存していることは確実である。

しかし、窒素固定では通常、H₂が副産物として生成される(還元力とATPの30%がプロトン還元に使われる)、N₂の存在しない気相、あるいはCO₂を添加した気相で培養すると泥炭のH₂生成が増加し、窒素固定がH₂供給源となりうることが実証された。バブルのCO₂とCH₄の炭素同位体分析を行ってその分別係数を算定した結果、窒素固定が行われるにつれCO₂還元が重要なCH₄生成経路となっていることが明らかとなった。以上より、窒素固定菌から放出されるH₂がCH₄生成に基質として利用される、これまで知られていない共生的関係を両代謝過程は形成している可能性がある。



Relationship between N₂/Ar ratio and CH₄ content in wetland bubble from Oze Mire (upper) and Kushiro Mire (lower)