

別寒辺牛湿原における脱窒の評価—地下水位変動に伴う地下水中硝酸濃度の消長と土壌からのガスフラックス—

北海道大学大学院農学研究科 早川敦・片岡洋子・倉持寛太・Woli Krishna・波多野隆介

【要旨】

湿原生態系は、農地などで負荷された窒素を除去する能力を持ち、脱窒が主要な除去機構であると考えられている。沿岸近くの河川に隣接した湿地では、潮位の影響を受けて河川水が湿地内へ流入するため、河川水中硝酸 ($\text{NO}_3\text{-N}$) を除去する可能性がある。一方、脱窒過程は、その中間生成物として亜酸化窒素 (N_2O) を生成し、湿原生態系はメタン (CH_4) の放出源である。両者は温室効果ガスとして知られる。我々は、北海道東部別寒辺牛川流域における河川に隣接した湿地において、河川から湿地内に向けた 20 m のライントランセクト (3 ライン×3) 上の地下水質とガスフラックス (N_2O , CH_4)、および泥炭土の脱窒活性を測定した。また、水位の日変動に伴う水質とガスフラックスの連続観測を行った。潮位の変動に伴う水位変動によって、河川水の湿地内への流入が認められ、湿地は湛水した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、河川水の方が湿地内の地下水よりも有意に高く、湿地内部に向かうにつれ低下した。溶存有機態炭素 (DOC) 濃度は湿地内で高い傾向にあった。水位上昇時には、河川水の流入により湿地内地下水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は上昇し、水位低下とともに濃度も低下し 0 mg N L^{-1} (検出限界以下) になった。そのため、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の低下は希釈以外の除去作用であることが示唆された。脱窒活性は表層土ほど高い傾向にあり、土壌の炭素含量および可溶性炭素含量と正の相関傾向にあった。したがって、河川より供給された $\text{NO}_3\text{-N}$ が、炭素の豊富な湿地内泥炭土表層における脱窒作用によって除去された可能性がある。

一方、 N_2O フラックスは、調査期間中小さな放出と吸収を示し、明確な季節変動および地点間差は認められなかった。 CH_4 フラックスは湿地内部よりも河川際で高く、既往の報告例と比較して最も高い部類に属し、本調査湿地は、 CH_4 の大きなソースであることが示唆された。

【目的】

湿原生態系は、農地などで負荷された窒素を除去する能力を持ち、脱窒が主要な除去機構であると考えられている。脱窒は、富栄養化の原因物質であるとされる硝酸性窒素を、無害な形である窒素ガスにまで還元する過程であり、中間生成物として温室効果ガスである亜酸化窒素 (N_2O) も放出する。脱窒の主要な制御因子は、炭素と硝酸の供給、嫌気的な環境である。したがって、湿地の水環境、特に潮位に影響された湿地内の地下水位変動に伴う乾湿の繰り返しと豊富な有機物は、河川水中硝酸性窒素の脱窒による除去を促進する可能性がある。ところが、湿地へのアクセスの不便さや脱窒反応の多様なメカニズムによって、その明確な証拠や定量的な報告例はほとんどない。

一方、硝酸除去といった環境負荷抑制機能をもつ他に、湿原生態系は、温室効果ガスであるメタン (CH_4) の放出源でもある。 CH_4 フラックスの経時変動は地下水位の高低で説明されることもあるが、潮位による地下水位の日変動が激しい地点における測定例はなく、実測データの取得が望まれる。

本研究の目的は、河川から湿地内に向けたライントランセクト上において、1) 潮位の影響を受けた地下水位の変動に伴う河川水および地下水硝酸濃度の消長と湿原からのガスフラックス (N_2O および CH_4) の変動を把握すること、および、2) 土壌の脱窒活性を測定し、湿地内での脱窒の可能性を検討することである。

【方法】

調査地：水鳥観察館より約1 km 遡上した大別川下流の湿地（東経144° 51' 27", 北緯N43° 5' 53"）

調査期間：2005年5月から2005年11月までの6ヶ月の間に、5、6、8、9、11月の計5回の調査を行った。このうち8月10日には、水質およびガスフラックスの日変動を把握するために、自動採水器による河川水および地下水の連続採水とガスフラックスの連続測定を行った。

地下水管と水位計の設置：地下水管を河川際A地点、河川から10 m (B地点)、20 m (C地点) 離れた地点の3本、3反復（河川上流側からライン1、2、3）埋設した（図1）。3反復のうちの中央のライン2に河川内と河川から10 m (2-B)、20 m (2-C) 地点に感圧式水位計（STS 1100W）を設置し、水位の連続観測を行った。

地下水および河川水採取：各調査日に地下水管（9本）の手動による水位測定と地下水採取、河川水採取を行った。

ガスフラックスの測定：調査日に各地点において、透明チャンバー（幅60 cm×高さ100 cm×奥行き30 cm）を用いて植生を含んだガス（ N_2O および CH_4 ）フラックスを測定した。チャンバー内空気をチャンバー密閉後、0、10、20分後にバイアル瓶（10 ml 容）に採取し分析に供した。

日変動の観測：自動採水器により河川水（2-A 脇）と2-B地点の地下水の連続採水を行った。8月9日の19時から8月10日の18時まで1時間毎に採水した。ガスフラックスの測定は、8月10日の8時から19時の間にA-2、B-2、C-2において、90分おきに8回行った。

土壌採取と脱窒活性の測定：脱窒活性の測定のために、土壌採取を5月と8月に行った。A地点からC地点において、それぞれ深度別（0-15、15-30、30-60、60-90 cm）に3反復（ライン1から3）で土壌を採取し、分析に供した。脱窒活性は、アセチレン阻害法（Tiedje, 1994）により測定した。本研究では、脱窒菌が利用可能な炭素供給量の地点間差をみるため、 NO_3-N 添加処理で行った。100 ml 容三角フラスコに新鮮土15 g をとり、処理液15 ml (KNO_3 200 $mgN L^{-1}$) を加え、容器内の気相を N_2 ガスに置換後、アセチレンガスを10% (10 kPa) になるよう添加し25°C振とう培養した。2、4時間後に気相中のガスをバイアルビンに採取し、 N_2O の分析に供した。直線回帰により脱窒速度を求め、単位時間乾物あたりの N_2O 放出量 ($mg N kg^{-1} d^{-1}$) を本研究における脱窒活性とした。

分析項目：河川水および地下水の水質について、溶存全窒素(TDN)をペルオキシ二硫酸カリウム分解法により、硝酸態窒素(NO_3-N)をイオンクロマトグラフ(DIONEX QIC analyzer, DIONEX 社製)により、アンモニウム態窒素(NH_4-N)をインドフェノール青法で分析した。溶存有機態窒素濃度(DON)は、TDN濃度と無機態窒素濃度(NO_3-N , NH_4-N)の差分とした。溶存全炭素濃度(TDC)、無機態炭素濃度(IC)を有機体炭素計(SHIMADZU TOC-5000A, 島津社製)により測定し、TDCとICの差分からDOC(溶存有機態炭素)を求めた。亜酸化窒素(N_2O)、メタン(CH_4)の分析は、それぞれECDガスクロマトグラフ(SHIMADZU GC-14B, 島津社製)およびFIDガスクロマトグラフ(SHIMADZU GC-8A, 島津社製)を用いて行った。

【結果と考察】

- 1) 河川および地下水位は、潮位の影響を受け、周期的な日変動を示した。8月10日のA-2の地表面を基準とした水位をみると（図2）、水位ピーク時には河川水位が地下水位を約10から20 cm 上回っており、湿地内への河川水の流入が認められた。一方、水位低下時には、河川水位は地下水位を10から25 cm ほど下回り、湿地から河川への水の動きがあったと推察された。
- 2) NO_3-N 濃度は調査期間中を通して河川水の方が地下水よりも高い値を示し、その平均値は、河川

水で 0.59 ± 0.12 , 湿地内地下水 A 地点, B 地点, C 地点でそれぞれ 0.19 ± 0.16 , 0.06 ± 0.09 , 0.04 ± 0.06 mg NL^{-1} であった (図 3, 4). 一方, DOC 濃度は, 統計的な有意差は認められなかったものの, 湿地内地下水の濃度 ($8.7\text{--}12.0$ mg CL^{-1}) が河川水のそれ (7.0 mg CL^{-1}) よりも高い傾向にあった (図 3, 4).

3) 図 5 に 8 月 10 日の連続サンプリング時の水位と $\text{NO}_3\text{-N}$ および DOC 濃度の推移を示す. 水位上昇時には, 河川水の流入により湿地内地下水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 0.4 から 0.5 mg NL^{-1} まで上昇し, 水位低下とともに濃度も低下し 0 mg NL^{-1} (検出限界以下) になった. そのため, 希釈以外の除去効果であることが示唆された. 一方, DOC 濃度は, 河川水の流入による希釈の傾向が認められ, 水位のピークにかけて濃度が 12 mg CL^{-1} から 8 mg CL^{-1} まで低下した.

4) 脱窒活性は表層で高い傾向を示し, 8 月よりも 5 月で高く, C 地点で高い傾向があった (図 6). また, 脱窒活性は, 土壌の可溶性炭素含量および炭素含量と正の相関傾向にあった (図 7).

5) CH_4 フラックスは, 河川際の A 地点で B 地点および C 地点よりも有意に高かった (図 9). A 地点の調査期間中における平均フラックス (23 $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$) は, 既往の報告例と比べても極めて高い部類に属し, 大きな CH_4 の放出源である可能性が示された (図 10). 8 月 10 日の連続測定結果は, A 地点における CH_4 フラックスと水位 (河川) の間に負の相関関係を認め, 水位低下時に大きなフラックスの上昇を示した. 河川際の A 地点では, 水位変動がフラックスの経時変動の制御要因である可能性がある. N_2O フラックスは, 調査期間中を通して小さな吸収および放出の双方が認められ, 明確な季節変動および地点間差は認められなかった.

【まとめ】

潮位の変動に伴う水位変動によって, 河川水の湿地内への流入が認められ, 湿地内は湛水した. 河川より供給された $\text{NO}_3\text{-N}$ は, 湿地内表層の豊富な C 含量に起因する脱窒反応によって除去された可能性がある. 一方, CH_4 放出量は河川際で最も高く, 本調査湿地は CH_4 の大きなソースであることが示唆された.

【今後の課題】

潮位の変動に伴う水位変動によって, 湿地内地下水質もガスフラックスも大きな変動をみせることがわかった. 季節による違い, 潮位の周期による違い等, 不明点が多い. このような水位の日変動に伴う水質とガスフラックスのモニタリングを複数回行う必要がある.

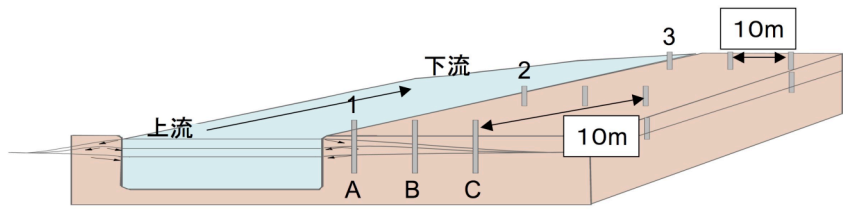


図1. 調査地概要

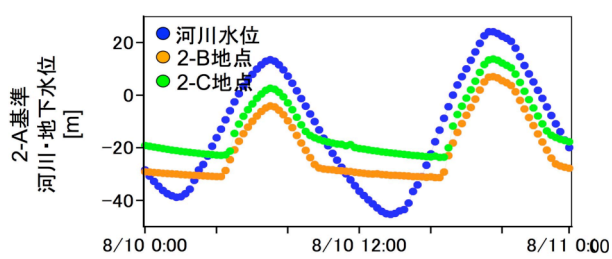


図2. 8月10日における河川水位と地下水位の変動

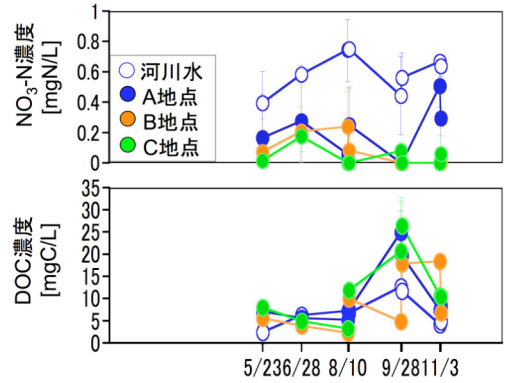


図3. 調査期間における各地点の水質変動
エラーバーは反復間の最大値最小値を表す。

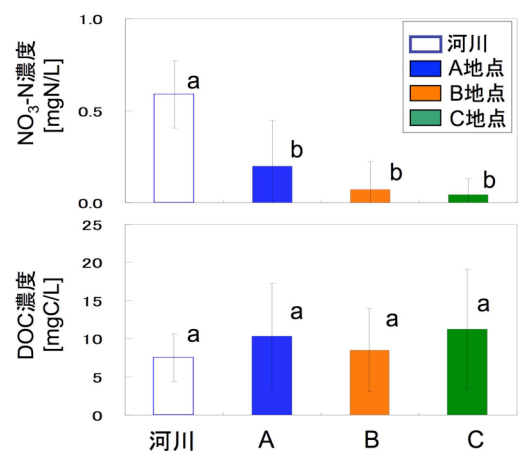


図4. 全調査期間における河川および地下水中 NO₃-N、DOC平均濃度。異なる添え字は1%水準の有意差を表す。エラーバーは標準偏差を表す。

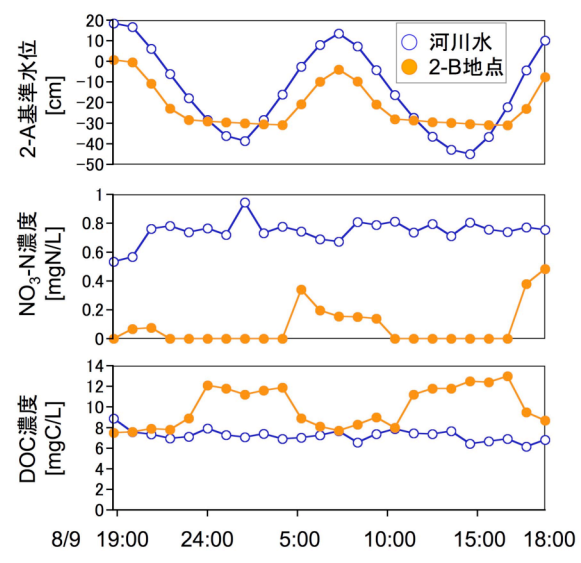


図5. 8月10日における河川水および地下水の水位、水質変動

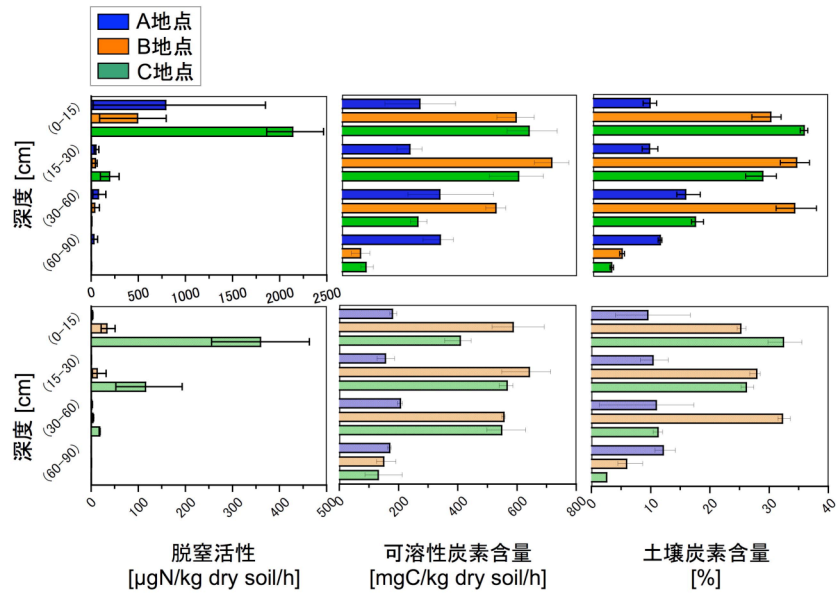


図6. 5月8月における深度別土壌の脱窒活性、可溶性炭素含量、土壌炭素含量
上段は5月、下段は8月を表す。エラーバーは、最大最小値を表す。

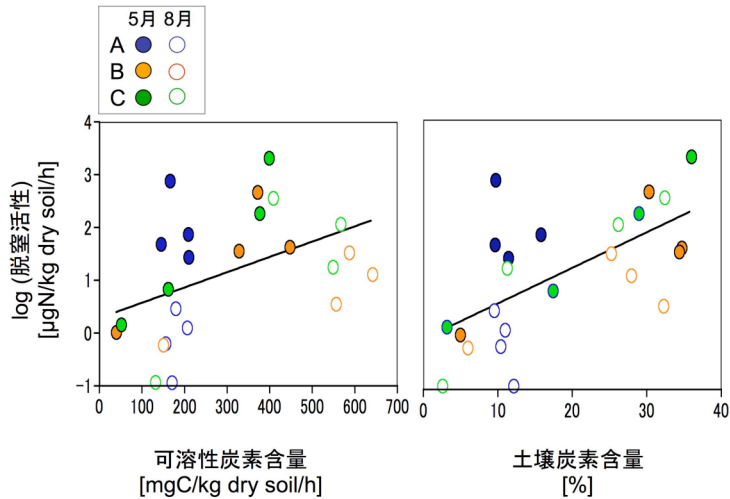


図7. 可溶性炭素含量および土壌炭素含量と脱窒活性の関係

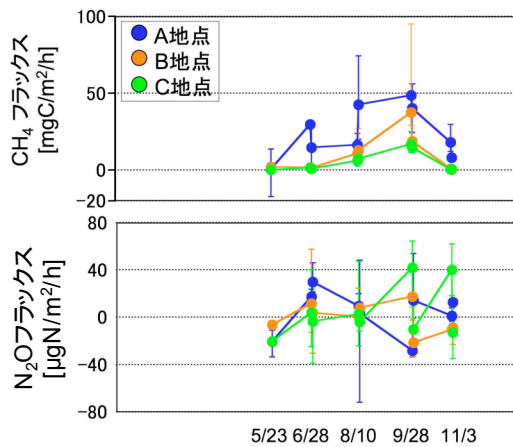


図8. 調査期間における各地点のガスフラックス変動
エラーバーは反復間の最大値最小値を表す。

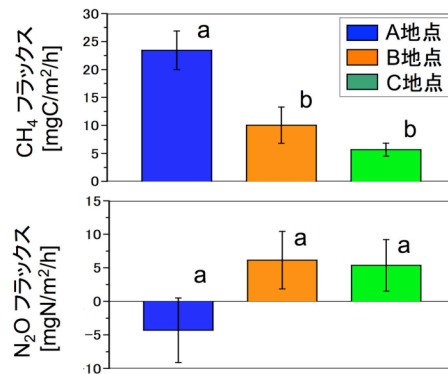


図9. 全調査期間における各地点のCH₄および
N₂Oフラックスの平均値。異なる添え字は1%水準
の有意差を表す。エラーバーは標準誤差を表す。

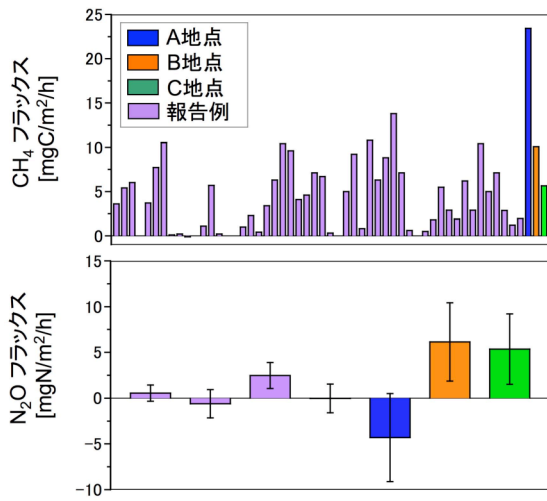


図10. 本調査地におけるCH₄およびN₂Oフラックスの既往の文献値との比較

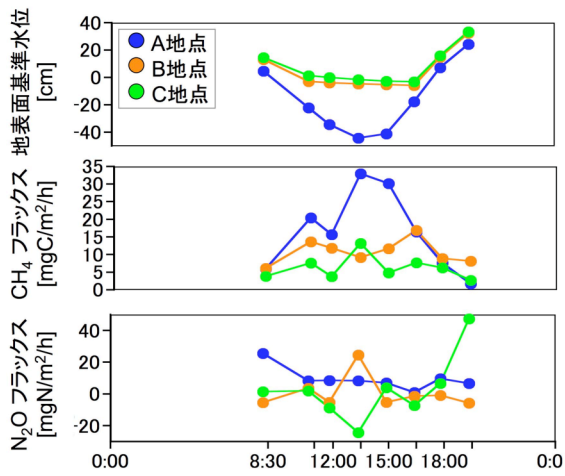


図11. 8月10日における河川水および地下水の水位、ガスフラックス変動

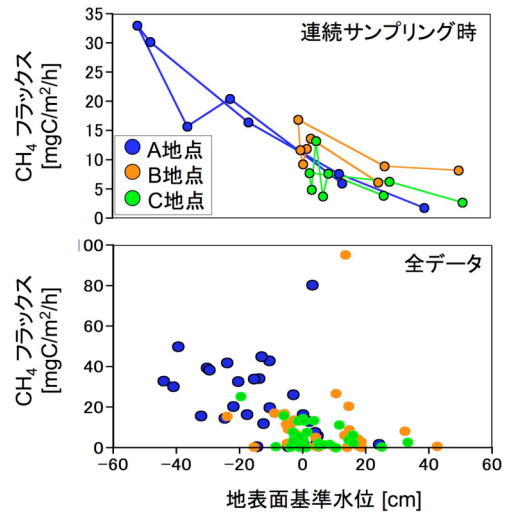


図12. 水位とCH₄フラックスの関係