氏　　名	尾　坂　兼　一（おさか　けんいち）
学位(専攻分野)	博　士（農　学）
学位記番号	農　博　第　1648　号
学位授与の日付	平成19年5月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	農学研究科地域環境科学専攻
学位論文題目	Hydro-Biogeochemical Study on Denitrification in a Temperate Forested Catchment （温帯森林流域における脱窒に関する水文・生物地球化学的研究）
論文調査委員	（主査）教授　谷　　誠　　教授　武田博清　　教授　小崎　隆

論　文　内　容　の　要　旨

森林において窒素は植物にとっての必須元素であり土壌-植物間で循環している一方，陸水富栄養化の原因物質の一つであるNO_3^-，温室効果ガスであるN_2Oなどの形態で森林外へ流出する。脱窒は微生物によりNO_3^-がN_2Oを経てN_2に還元される反応であり，森林からのN_2O，NO_3^-流出量を規定する重要な要因である。しかし脱窒反応の最終生成物が大気の主成分であるN_2であることからその測定が非常に困難であり，森林流域スケールでの脱窒量に関しての知見は極めて乏しい。そこで本研究では森林流域スケールでの脱窒プロセスと，脱窒によるガス態窒素生成量に関する定量的な考察を行った。

まず2章では，脱窒の中間生成物であるN_2Oの時空間分布を森林小流域において詳細に測定し，その生成・消費・放出過程を考察した。その結果，本流域においてN_2Oは主に地下水帯における脱窒で生成していることが明らかになった。また，地下水帯での脱窒によるN_2O生成過程は流域スケールでの水移動過程に伴う，DOC, NO_3^-, O_2（脱窒菌の電子受容体，電子供与体）の移動過程に大きく影響を受けていることが明らかになった。さらに地下水帯で脱窒により生成されたN_2Oの一部は地下水に溶存したまま湧水点まで輸送され，湧水点から大気中へ放出されている可能性があることが示唆された。

3章ではこれらの知見に基づいて，本流域からのN_2O放出量を算出した。本流域からの年間N_2O放出量は，2002年10月～2005年9月の観測期間に含まれるそれぞれの年（10～9月）において，0.018，0.017，0.012kgN/ha/yであり，そのうち50.0，64.4，74.5%が流域の大部分を占める不飽和土壌層の表層部からの放出，50.0，35.6，25.5%が地下水帯で生成したものが，湧水点から放出されたものであると考えられた。

4章では流域スケールでNO_3^-の窒素・酸素安定同位体比の時空間分布を測定し，流域スケールでの脱窒に関して考察した。その結果，本流域において脱窒は主に地下水帯で起こっていることが明らかになった。さらに地下水帯における脱窒量は地下水の滞留時間に密接に関係することが明らかになり，地下水帯における地下水の移動速度や地下水体の大きさなどが流域スケールの脱窒のパラメーターとして非常に重要であることが明らかになった。

5章では4章で測定した窒素・酸素安定同位体比の時空間分布にレイリープロセスに基づいたモデルを適用することにより流域スケールでの脱窒量を推定した。さらに流域に流入する無機態窒素量，渓流水に溶存して流出する無機態窒素量の測定も同時に行い，森林流域における窒素の外部循環過程に与える脱窒の影響を評価した。その結果，2004年10月～2005年9月の期間で0.74～1.53kgN/ha/yのガス態窒素（N_2O+N_2）が脱窒により生成していると推定された。また，これらの値はこの期間，大気降下物として本流域にもたらされた無機態窒素の7～14%，流出する無機態窒素量の24～40%に相当することが明らかになった。

本研究から求められた森林小流域からのN_2OとN_2の放出量比は0.008～0.017であり，脱窒の生成物はほとんどN_2であることが明らかになった。またN_2の放出量の合計は大気降下物として流域にもたらされる無機態窒素の7～14%，流域から流出する無機態窒素の24～40%を占めている。つまり本流域においてN_2の放出量は窒素の外部循環に大きな影響を与えていると考えられる。N_2はNO_3^-もしくはN_2Oが還元されて生成することを考慮すると，本流域において脱窒によるN_2生成

は下流域の富栄養化物質であるNO_3^-，温室効果ガスであるN_2Oの流出量を減少させる働きを十分果たしていると言える。しかし，本流域における2002～2005年における年平均無機態窒素降下量は9.7kgN/ha/yであり，窒素飽和が起こっていると考えられる森林と比較すれば少ないことに注意しなければならない。生態系への窒素化合物降下量が増大してゆくことが予想される現在，森林と外部環境との窒素化合物の交換過程に与える脱窒の影響を，本流域よりも窒素化合物降下量が多いような森林においても評価する必要が大きいと考えられる。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

森林生態系における窒素循環は系内の内部循環と系外との相互作用から構成されている。系外への輸送は，主にNO_3^-の渓流への流出のほかに脱窒による大気への放出があるが，これらの量は生態系の内部循環によって制御され，また大気からの窒素化合物降下量によっても影響を受ける。したがって，植物にとっての必須元素である窒素の循環には系外との相互作用が深くかかわっている。さらに，NO_3^-は陸水富栄養化の原因となり，脱窒により生成されるN_2Oは温室効果ガスであるため，環境への影響評価の観点からも，森林生態系における窒素循環全体を把握してこれらの流出・放出量を定量的に評価することが重要である。本論文は，窒素循環において重要でありながらこれまでのところ評価が遅れている脱窒に焦点をあて，森林小流域においてNO_3^-がN_2Oを経てN_2に還元される脱窒プロセスを詳細に把握し，ガス態窒素生成量の定量評価を試みたものである。評価できる点は以下の５点にまとめられる。

１．森林小流域内において脱窒の中間生成物であるN_2Oの時空間分布を測定し，これに基づいて，N_2Oの生成が主として地下水帯で行われていること，生成されたN_2Oの一部が地下水によって湧水点まで輸送されて後大気中へ放出されることが明らかにされた。

２．森林小流域におけるN_2Oの放出量について，不飽和土壌表層から放出されるものと，地下水帯で生成されて湧水点から放出されるものに分けて推定し，後者の放出量が面積的には観測小流域の大部分を占める前者の放出量に匹敵することが示された。

３．流域スケールでの脱窒に関して，NO_3^-の窒素・酸素安定同位体比の時空間分布測定を基に検討し，脱窒が主に地下水帯で起こっていること，脱窒量が地下水の滞留時間の影響を強く受けていることがわかり，地下水帯の規模や移動速度などの水文条件が流域スケールの脱窒において重要な役割を持つことが明確になった。

４．N_2Oを経てN_2に至る脱窒全体のプロセスは，大気の主成分であるN_2放出量測定が困難であるため評価がむずかしい。そこで，窒素安定同位体比の時空間分布にレイリープロセスに基づくモデルを適用し，森林流域での脱窒量の評価を試みた。その結果，N_2OとN_2の放出量比が0.008～0.017であって，脱窒生成物のほんどがN_2であることが明らかになった。

５．森林の窒素循環における系外との輸送に関して，脱窒量の定量的な位置づけを試み，流域からの脱窒によるガス態窒素の放出量は，大気降下物としてもたらされる無機態窒素の７～14%に，渓流へ流出する無機態窒素量の24～40%に相当すると評価された。

以上のように，本論文は，森林小流域における脱窒にかかわる水文・生物地球化学過程の影響を把握したうえで，N_2O及びN_2として大気へ放出される窒素量を定量的に評価したものであり，森林水文学，森林生態学，生物地球化学の発展に寄与するところが大きい。

よって，本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお，平成19年３月16日，論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果，博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。