

課題講演 No. 1

河川の水質と流域の物質循環

1KA01 ～ 1KA08

コンビーナー：楊 宗興（東京農工大学）

日時：9月11日（水）15:00～17:30

会場：A会場（2号館120講義室）

1. はじめに

大阪府に面する金剛・生駒山系および和泉山系北部の溪流水中の平均窒素濃度は $1.23 \sim 1.84 \text{ mg/L}$ と高濃度であり¹⁾、生駒山系南部に位置する高安山（標高 488m）小集水域の窒素流出量は、林外雨による負荷量より大きいこと、および林内雨の濃度は林外雨に比べて数倍高く林内雨を収入とすると収支は逆転することが示された²⁾。そこで、林外雨と林内雨に加えて、0 式パッシブ法（小川商会）による大気中の NO_x と $\text{NH}_3\text{-N}$ の結果とあわせて、溪流水の窒素流出との関係について検討を行った。

2. 高安山小集水域の概要

高安山小集水域から約 4km 離れたアメダス（八尾）の年降水量は、1,341mm（2010 年）、1,348mm（2011 年）、1,371mm（2012 年）であった。地質は領家帯の花崗岩類からなり、主な植生はスギ・ヒノキ・サワラ植林で、山麓には竹林も多い。山頂付近にはケーブルカー駅舎とトイレはあるが、少なくとも 1970 年以降の汚水流出はないとされている。採水地点の直上には砂防堰堤があるが、堰堤の上端まで砂泥が堆積し、洪水後には簡易堰を埋めるほどの土砂流出がある。また、堰堤上にゴミの投棄跡があるが、その上下での溪流水の窒素濃度に違いはなかった。

3. 調査方法

図 1 に示す高安山東斜面の小集水域（22.5ha）の末端に簡易直角三角堰を設置し、2010 年 1 月から 2012 年 12 月に、週 1 回の採水と流量測定を行った。林外雨（1 ヶ所）と林内雨（2 ヶ所）は、簡易型バルク降水採取用具により、1 週間ごとに降水を回収して 1 ヶ月ごとの試料とした。0 式パッシブ法による NO_x と $\text{NH}_3\text{-N}$ は 2 週間に 1 回の回収をした。全窒素（TN）は TN 計（TN-100, 三菱化学アナリティック）で、0 式パッシブ法の NO_x は FIA 法（OG-FI-300S, 小川商会）で、林外雨・林内雨・溪流水の $\text{NO}_3\text{-N}$ はイオンクロマトグラフ法および FIA 法で分析した。

4. 結果と考察

月降水量、および林外雨および林内雨の TN の経

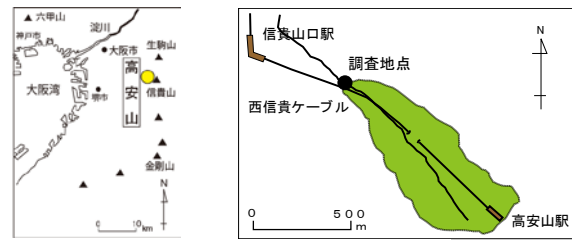


図 1 調査地点図

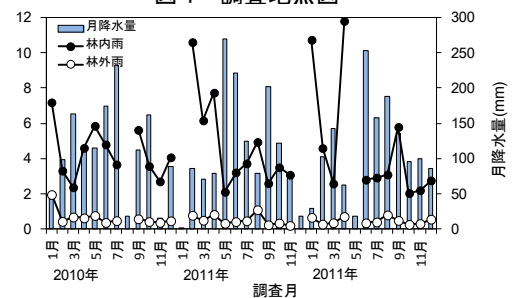


図 2 月降水量および林内雨と林外雨の TN 濃度の経月変化

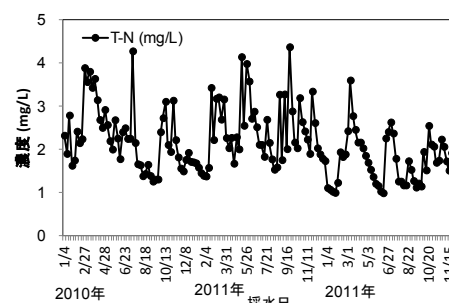


図 3 溪流水の TN 濃度の経月変化

月変化を図 2 に示す。バルク林外雨およびバルク林内雨の月ごとの TN 濃度の変化を図 2 に示す。林外雨は $0.2 \sim 2.0 \text{ mg/L}$ （平均値： 0.6 mg/L ）であり、林内雨は、 $2.1 \sim 10.8 \text{ mg/L}$ （平均値： 4.6 mg/L ）と林外雨の 10 倍近い値であった。溪流水の TN の濃度変化を図 3 に示す。TN は $0.99 \sim 4.28 \text{ mg/L}$ （平均値： 2.15 mg/L ）であり、TN の多くは $\text{NO}_3\text{-N}$ で、 $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ はほとんど検出されなかった。

2010～2011 年において、パッシブ法で見積もった NO_x および NH_3 の乾性沈着量は 10.5 kg/ha/year となり、林外雨による TN 湿性沈着量の 7.2 kg/ha/year よりも多かった。また、2010 年の林内雨による TN 沈着量は 36.3 kg/ha/year であり、エアロゾルと粒子状物質による負荷の大きいことが示唆された。

文献 1) 河瀬ら（2009）第 43 回日本水環境学会年会講演集
2) 駒井ら（2012）第 46 回日本水環境学会年会講演集

*渡邊未来¹⁾, 高松武次郎¹⁾, 相馬久仁花²⁾, 錦織達啓¹⁾, 越川昌美¹⁾, 林誠二¹⁾

(¹⁾ 国環研, (²⁾ 茨城県霞環科セ)

1. はじめに

溪流水質は、森林集水域における生物地球化学的な循環の結果を反映している。そのため、溪流水質の測定は、森林汚染が水源水質に及ぼす影響を調べる方法として有効と考えられる。しかし、溪流水質の形成には、大気汚染物質の負荷や森林施業といった人為的作用のみならず、地質、地形、気候、植生などの自然条件も影響していることに注意が必要である。本研究では、窒素飽和と酸性雨による森林汚染が、平水時の溪流水質に及ぼす影響を調べるため、 NO_3^- と SO_4^{2-} に着目し、関東平野の周縁北部に位置する茨城県の森林を網羅的に調査した。

2. 方法

茨城県の森林源流域 611 地点で各 1 回、2007 年 6 月～2010 年 8 月の間に、無降雨日が 2 日以上続いた後、平水時の溪流水を採取した。試水はろ過した後、 NO_3^- と SO_4^{2-} の濃度をイオンクロマトグラフィーで測定した。また、地理解析ソフト ArcGIS を用いて、各集水域の地形因子と表層地質を、それぞれ国土地理院の 10 m メッシュの DEM と国交省国土情報課の 20 万分の 1 土地分類基本調査 GIS データから求めた。

3. 結果と考察

茨城県における溪流水中 NO_3^- 濃度の平均値±標準偏差は $0.8 \pm 0.8 \text{ mgN L}^{-1}$ ($n=611$) であり、全国平均値 ($0.4 \pm 0.4 \text{ mgN L}^{-1}$)¹⁾ の約 2 倍であった。また、窒素飽和の目安の 1 つとされる溪流水中 NO_3^- 濃度が 1.0 mgN L^{-1} を超えた地点は²⁾、全体の 24% にのぼり、茨城県では広範囲の森林で窒素飽和が起きている可能性が示唆された。溪流水の NO_3^- 濃度は、県北部に位置する久慈川水系 ($0.7 \pm 1.1 \text{ mgN L}^{-1}$, $n=231$) や、県央部の那珂川水系 ($0.6 \pm 0.4 \text{ mgN L}^{-1}$, $n=139$) に比べ、県南部の利根川水系 ($1.4 \pm 0.7 \text{ mgN L}^{-1}$, $n=110$) で高く、なかでも筑波山周辺で高かった (図 1a)。 NO_3^- 濃度と地形因子 (集水域面積、標高、傾斜角、Topographic Wetness Index) や表層地質と間に明瞭な関係が見られなかったことから、県南部の溪流水中 NO_3^- 濃度を高くしている原因の 1 つとして、首都圏や周辺地域で発生した窒素汚染物質が、大気経路で多量に負荷されていることが考えられた。

茨城県の溪流水中 SO_4^{2-} 濃度は $2.4 \pm 3.1 \text{ mgS L}^{-1}$ であり、全国平均値 ($1.9 \pm 1.7 \text{ mgS L}^{-1}$)¹⁾ に近い値であった。県北部の久慈川水系の SO_4^{2-} 濃度 (3.4 ± 3.0

mgS L^{-1}) は、那珂川水系 ($2.0 \pm 4.1 \text{ mgS L}^{-1}$) や利根川水系 ($1.3 \pm 0.6 \text{ mgS L}^{-1}$) に比べ高濃度であった (図 1b)。この原因として、日立鉾山操業時に大気中に排出されて土壌に蓄積した SO_2 由来のイオウの影響や、地質由来のイオウ、つまりイオウに富む苦鉄質火山岩由来のイオウや金鉾床由来のイオウの影響が考えられた。

【引用文献】¹⁾ 木平ら, 日本水文学会誌, 36, 145-149 (2006). ²⁾ Gundersen et al. (2006): *Environ. Rev.*, 14: 1-57.

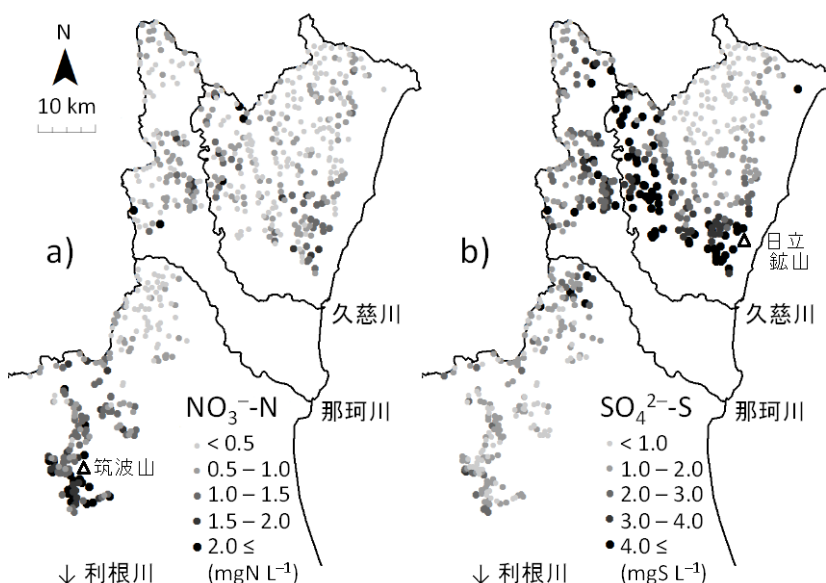


図 1. 茨城県における平水時の溪流水中 NO_3^- 濃度 (a) と SO_4^{2-} 濃度 (b) の分布

*荻原香大¹⁾, 渡邊未来²⁾, 柏矢倉大介¹⁾³⁾, 菅沼好一⁴⁾⁵⁾, 三浦真吾²⁾, 大森牧子¹⁾, 林誠二²⁾ 1) 栃木県保健環境センター, 2) 国立環境研究所, 3) (現 栃木県県土整備部都市整備課) 4) 栃木県林業センター, 5) (現 栃木県県東環境森林事務所)

1. はじめに

栃木県は、総面積の 55%を森林が占めており、その 45%が人工林である。近年、関東地域の森林では、生態系が窒素過剰状態に陥る窒素飽和現象が顕在化しており、渓流水の硝酸イオン (NO_3^-) 濃度が高いことが報告されている¹⁾。その原因の 1 つとして窒素化合物を含む都市大気の移流が指摘される一方¹⁾、適切な森林施業が窒素飽和を緩和する可能性も指摘されている²⁾³⁾。しかし栃木県では窒素飽和に関する研究例が少なく、その実態は分かっていない。

本研究では、栃木県鹿沼地域の森林における窒素飽和の現状を評価するため、まず、32 集水域で夏季と冬季に渓流水質調査を行った。次に、窒素飽和の現状評価に加え、森林施業の違いが窒素飽和に及ぼす影響を検討するため、間伐履歴が異なる隣接した 2 集水域で、渓流水と林内雨の調査を 1 年間行った。

2. 調査方法

栃木県中西部に位置する鹿沼地域の約 5600 ha の森林域から、源流域に位置し、集水域面積が 3~90 ha の 32 集水域を選定した。各集水域の出口で、夏季（平成 23 年 8 月）と冬季（平成 24 年 1 月）に、無降雨期間が 2 日以上続いた後、平水時の渓流水を採取した。試水は、孔径 0.45 μm のフィルターを通してろ過した後、イオンクロマトグラフィーで Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ 濃度を測定した。

32 集水域の森林施業状況を鹿沼森林組合から聞き取り調査し、スギとヒノキの人工針葉樹林から成り、間伐履歴が異なる隣接した集水域 H (27.9 ha) と集水域 L (40.3 ha) を選定した。両集水域において、平成 23 年 11 月から 1 年間、平水時の渓流水質を月 1 回測定した。また、スギ林とヒノキ林にバルク採雨器を平成 23 年 10 月に設置し、翌月から 1 年間、林内雨を毎月回収して NO_3^- と NH_4^+ の濃度および雨量を測定した。さらに、ヒノキ林とスギ林における無機態窒素の流入量を求め、これに森林簿から求めた各樹種の森林面積を乗じて、集水域単位の無機態窒素の流入量を算出した。

3. 結果

鹿沼地域の 32 集水域における渓流水中 NO_3^- 濃度（夏と冬の平均値）は、0.4~1.5 mgN L^{-1} の範囲で変動しており、平均値±標準偏差は $0.8 \pm 0.2 \text{ mgN L}^{-1}$ であつ

た。鹿沼地域の渓流水中イオン濃度を全国値⁴⁾と比較した結果、 NO_3^- だけが全国値 (0.4 mgN L^{-1}) より高い結果となった。

集水域 H と集水域 L における平水時の渓流水中 NO_3^- 濃度は、常に H が L より高く、平均値±標準偏差は、H が $1.5 \pm 0.2 \text{ mgN L}^{-1}$, L が $0.8 \pm 0.1 \text{ mgN L}^{-1}$ であつた（図）。一方、集水域単位の無機態窒素の流入量は、H が $17 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, L が $19 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であり、集水域間で大きな差は見られなかった。

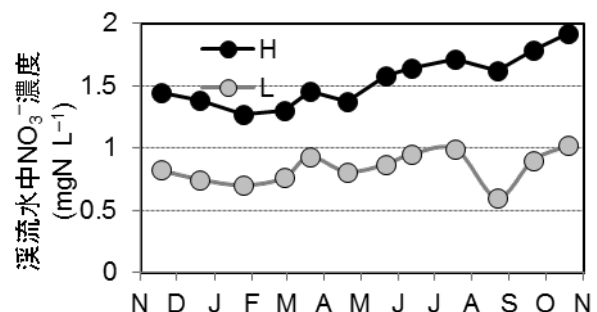


図 2 集水域の渓流水中 NO_3^- 濃度の経月変化

4. 考察

欧州では、平水時の渓流水中 NO_3^- 濃度が 1 mgN L^{-1} を超えている森林は窒素飽和状態にあるとされ、この状態は林内雨による無機態窒素の流入量が $10 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ を超えると起きやすいとされている³⁾。鹿沼地域の 32 集水域では、10 集水域で渓流水中 NO_3^- 濃度が 1 mgN L^{-1} を超え、H 及び L の 2 集水域でも林内雨による無機態窒素の流入量が $10 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ を超えていた。これらの結果から、栃木県鹿沼地域の森林でも窒素飽和現象が起きていることが考えられた。

また、隣接した 2 集水域の無機態窒素の流入量に大きな差はないものの、渓流水中 NO_3^- 濃度は 2 倍となっていた。2 集水域の間伐履歴を比較すると、過去 20 年間に、集水域 H では面積の 64%が 1 回間伐されていたのに対し、集水域 L では面積の 79%が間伐され、うち約 30%は 2 回繰り返されていた。これらのことから、間伐の施業状況の違いが森林生態系内へ流入した窒素の動態や貯留に変化を生じさせ、系外への NO_3^- 流出に影響を与える可能性が示唆された。

引用文献：¹⁾伊藤ら (2004, 日林誌), ²⁾徳地ら (2011, 水利科学), ³⁾Gundersen et al. (2006, Environ. Rev.), ⁴⁾木平ら (2006, 日本水文学会誌)

*神谷 宏・宮廻隆洋・小山維尊・中島結衣（島根県保健環境科学研究所）・
田林 雄（茨城大学地球変動適応科学研究機関）

1. はじめに

中国の NO_x 放出量は 1995 年の 13.9Mt から 2030 年には 21.1Mt まで増加するといわれている (Klimont et al., 2008)。特に最近の中国の大気汚染はテレビ等で報道されるように非常に深刻な状況である。そのため近年、西日本を中心に中国大陸を起源とする PM_{2.5} やオキシダント注意報が頻発するようになった。Kamiya et al. (2008) では 2001 年 9 月から 2002 年 8 月までの 1 年間、島根県東部を流れる斐伊川において毎日採水を行い、冬季において全窒素濃度、特に硝酸態窒素濃度が上昇していることを明らかにし、その濃度上昇は中国大陸からの越境汚染が原因であるとした。Kamiya et al. (2008) の調査後、中国大陸の大気汚染がさらに進行していると考えられることから今回、同様に 1 年間毎日採水を行い、過去の調査に比較して斐伊川の栄養塩濃度がどのように変化しているのか確認を行った。また、L-Q 式についても考察を行った。

2. 方法

斐伊川河口部より 12 km 上流にある神立橋において、2010 年 7 月 1 日～2011 年 6 月 30 日まで毎日採水を行った。1 日 1 回、朝 8 時頃にバケツで表層水をくみ上げ、水温を測定した後、ただちに凍結保存し、1 週間に 1 回実験室に搬入した。分析は 1 週間に 1 回ずつ行い、解凍した後 pH と電気伝導度 (EC) の測定を行い、サンプルはワットマン GF/C でろ過した。分析は常法を用いた。

3. 結果および考察

期間内の総流量は $1.51 \times 10^9 \text{ m}^3$ であった。TN, NO₃-N, TP の平均値はそれぞれ 0.60 mg L^{-1} , 0.50 mg L^{-1} , 0.034 mg L^{-1} であった。我々は 2002 年 4 月から当研究所において月ごとの湿性降下物を採取している。年間窒素湿性降下物量の近似直線は増加傾向を示しているが、調査期間が短いため統計的には有意ではなかった。欧米では窒素降下物量が $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 以上で森林の窒素飽和が始まるといわれている (Dise and Wright, 1995)。わが国においては窒素飽和の閾値についてはまだ議論があるが、欧米と同じく $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (Mitchell et al., 1997) との考えがある。2003 から 2012 年にかけての松江で採取した湿性窒素降下物量の年平均値は $14.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であり、か

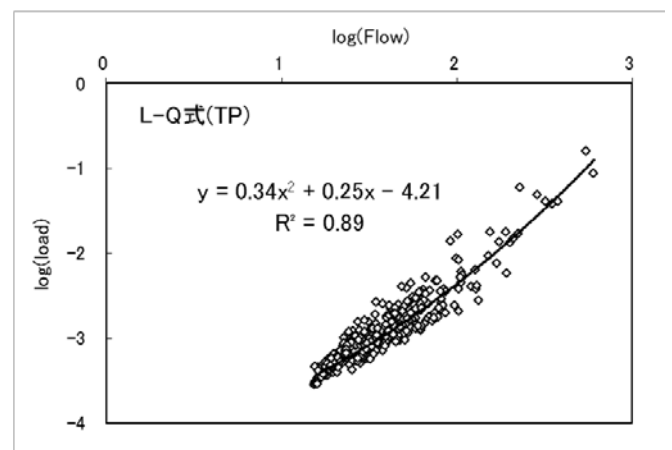
なり高めであった。しかし Michell et al. (1997) が窒素飽和の閾値とした数値はすべて関東地方で得られたもので、より湿性降下物量の多い日本海側 (堀江ら, 2012) の森林の調査は行われていない。2002-2012 年にかけて観測した月ごとの TN 降水濃度は統計では有意はなかったが $0.019 \text{ mg L}^{-1} \text{ y}^{-1}$ で増加している。また 1993-2012 年にかけて斐伊川の硝酸濃度は $0.005 \text{ mg L}^{-1} \text{ y}^{-1}$ で増加している。斐伊川の硝酸態窒素濃度は確実に上昇傾向にあり、このままでは斐伊川は近々窒素飽和を迎える可能性があり、今後も大気降下物量と斐伊川の窒素濃度を注意深く観測して行く必要がある。

我々は $\log L = a + \log F$ を用いて負荷量を計算した。通常 L-Q 式は負荷量と流量との分布をもとに一次回帰式を作成するものであるが、前提条件として各項目の濃度は流量に関係なく一定である必要がある。TP は懸濁物質起源と考えられるが、TP と懸濁物質の指標である SS とには 1 次の関係 ($R^2=0.76$) にあり、SS は流量と一次の関係 ($R^2=0.62$) がある。そのため、TP と流量とも一次の関係 ($R^2=0.55$) がみられることとなる。二次式を適応したところ、

$$\log L = 0.3375F^2 + 0.2501F - 4.2118$$

($R^2=0.89$)

が得られ、この式を用いて年間負荷量を計算すると実測負荷との比率が 0.76 から 0.91 にまで改善された。よって、TP や TOC など、流量に対して濃度増加が大きい項目については上記のように二次式を適応するのが適切であると考えられる。



* 大久保卓也・東善広（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）

1. はじめに

流域から流出する物質量を求めるためには降雨時を含めた連続調査が必要であるが、調査に手間がかかるため調査事例は少ない。本研究では、滋賀県内の4河川で降雨時を含めた詳細な調査を行い、流出物質量と土地利用等の流域環境との関係を解析した。

2. 方法

調査対象河川は、①農地河川の代表として白鳥川②流域面積が琵琶湖流入河川で一番大きな川として野洲川、③流域面積が琵琶湖流入河川で4番目で野洲川に比べて農地が多い日野川、④森林河川の代表として安曇川の中流地点（村井地点）を選んだ。

4河川の流域環境条件を表1に示す。水田の面積比率は、白鳥川>日野川>野洲川>安曇川の順で、山林面積比率は、逆に安曇川>野洲川>日野川>白鳥川となっている。また、下水道未整備人口密度は、白鳥川>日野川>野洲川>安曇川の順となっている。

水質測定のための河川水の採水は、自動採水器（ISCO社製6700型）を用い12時間間隔で年間を通して行った。また、降雨時は、一時的に、3～6時間間隔で採水した。自動採水器で採水したサンプルは毎週1回の頻度で回収に行き、水質分析のため当センターに持ち帰った。河川流量は、自記水位計（STS社製MC-1100W）を河岸に設置し、10分間隔で水位を測定しHQ曲線から流量を求めた。HQ曲線は、この地点で流量の実測を行って求めた。

3. 結果

降雨時を含めた流域からのリン、窒素等の物質の流出量（流出負荷量）を2～3年の期間で求め、その平均値と流域環境条件との関係を解析した結果、全リン（T-P）の流出負荷量は農地面積比率と比例する関係がみられた。一方、全窒素（T-N）については、野洲川、日野川では安曇川に比べ農地面積比率が増

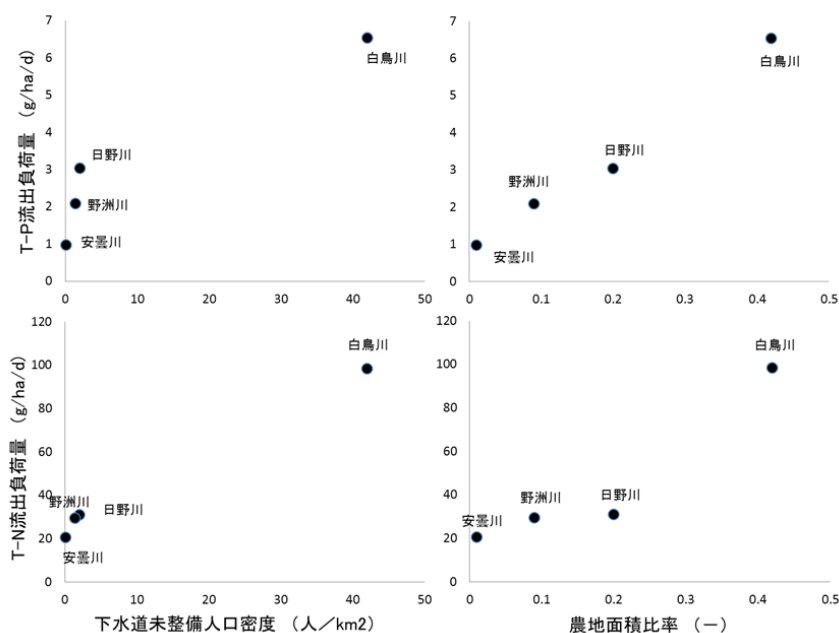


図1 リン・窒素の流出量と流域環境との関係

加しているにもかかわらず、T-N負荷量の増加はわずかであった（図1）。T-N負荷量については、生活排水の寄与が大きい可能性がある。また、流下過程での硝化・脱窒の可能性もある。降雨時負荷量は年間負荷量の5割以上を占める物質が多く、特に懸濁態の物質では、その割合が高かった。リンについては、溶解態リンも降雨時に流出してくるものが多いことがわかった。農地河川の白鳥川では、水田での代掻き・田植え時に流出してくる栄養塩が多く、大雨があった月を除くと5月の窒素・リン負荷量が年間で最も大きかった。また、野洲川、日野川に比べて年間負荷量に対する無降雨時の負荷量（基底負荷量）の割合が大きかった。森林河川の安曇川では、ダムや頭首工がなく流量が安定しているため野洲川や日野川に比べて年間負荷量に占める基底負荷量の比率が高かった。しかし、月別負荷量としては、降雨の多い月が高くなっていた。秋季は降雨時に窒素が流出しやすい傾向がみられた。

表1 調査河川の流域環境条件（2005年）

河川名	流域面積 (km ²)	流域人口 (人)	下水道未整備 人口(人)	下水道未整備 人口密度 (人/ha)	下水道 普及率 (%)	土地利用面積比率(%)					畜産頭数		
						水田	畑	宅地・ 道路	ゴルフ 場	山林・ 他	牛(頭)	豚(頭)	鶏(羽)
白鳥川	34.1	22,200	14,329	4.20	35	42	1	27	0	30	473	943	8,782
日野川	224.6	77,589	43,820	1.95	44	20	1	18	4	57	6,757	6,489	195,435
野洲川	398.2	133,645	55,219	1.39	59	9	1	17	4	68	1,068	0	222,395
安曇川 (村井地点)	169.2	761	761	0.04	0	1	0	1	0	98	39	0	2,725

(注) 2005年現在。琵琶湖水質保全計画資料による。

*丸山 豊（広島大・院），小野寺真一（広島大・総合），北岡豪一（岡山理大・理）

1. はじめに

透水性の良い媒体からなる扇状地では，河川水や気温と異なる温度変動を示すような湧水が存在し，地下の水・物質輸送が選択的に行われ，結果として独特な生態系の形成にも関与している可能性がある。徳島県吉野川扇状地にみられる江川湧水では，水温が吉野川の水温変動に対して2～4ヶ月遅れ，15℃以上の大きな年較差を有することが新井・横畠（1990）などによって報告され“異常水温”と定義されてきた。このような事例は，他の地域でも報告されてきた（足柄平野；横山ほか，1985，旭川氾濫原；北岡・大窪，2007，敦賀平野被圧地下水；塚野ほか，1965，火力発電所の冷却湖周辺；Andrews and Anderson, 1979）。

これまで，肥沼（1939）や新井・横畠（1990）などにより“異常水温”の形成に関する解析がなされてきたものの，その出現機構については十分明らかにされてきたとは言えない。本研究ではこのような，選択的な水・物質輸送場における“異常水温”湧水の出現機構を明らかにすることを目的とし，岡山県旭川近傍の湧水で調査を行うとともに，情報の多い江川湧水のデータも含めて解析的な手法で検討を行った。

2. 研究方法

データについては岡山県旭川近傍の湧水において1～2週間間隔の定期観測を実施し収集した。また，江川湧水のデータについては新井・横畠（1990）を引用した。

解析手法については水みち状の伏流水の流動を1次元移流拡散モデル(1)式で仮定し，水みち上部からの熱交換を1次元モデルで仮定し解析した。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - bU \frac{\partial \theta}{\partial x} - v(\theta - \theta_g) \quad (1)$$

ここで， κ は水みちの熱拡散係数(m²/s)， U はダルシー流速(m/s)， ρ_w と c_w は水の密度(kg/m³)と比熱(J/kg・K)， ρ と c は水みちの密度(kg/m³)と比熱

(J/kg・K)， k_* と D が水みちと地層の熱伝達率(W/m²・K)と水みち厚さ(m)である。また， $b \equiv \rho_w c_w / (\rho c)$ ， $v \equiv 2k_*/(\rho cr)$ とそれぞれ定義した。(1)式を解いて解析解を求め，江川湧水と岡山の湧水の場合でパラメータを求め，モデルの検討を行った。

3. 結果と考察

解析の結果，伏流水の流束は江川湧水では1.7 m/d，岡山の湧水では1.3 m/d程度であると見積もられた。動水勾配を1/1000として透水係数を求めると江川湧水は1.8 cm/sとなりこれは村下ほか（1963）によって求められている値に極めて近いものとなった

（表.1）。図.1に旭川近傍湧水のデータから推定された温度分布を8分の1周期毎に示した。温度の変動幅は距離と共に減衰するだけでなく増幅される位置も存在し，このような場所で“異常水温”が現れる可能性があると考えられる。

表.1 流束の解析結果と透水係数の推定値

データ	観測年	流束 (m/d)	透水係数 (cm/s)	備考
江川湧水	1975～1976	1.56	1.80	新井・横畠(1990)より
	1984～1985	1.58	1.83	新井・横畠(1991)より
	-	-	1.5～3.3	村下ほか(1963)より
旭川近傍湧水	2000	1.34	1.55	-
	2001	1.30	1.51	-
	2002	1.33	1.54	-
	2003	1.30	1.50	-
	2004	1.30	1.50	-
	2005	1.31	1.52	-
	2006	1.28	1.48	-
	2007	1.28	1.48	-
	2008	1.31	1.51	-
	2009	1.29	1.49	-
	2010	1.32	1.52	-
	2011	1.34	1.56	-
	2012	1.35	1.56	-

動水勾配: 1/1000

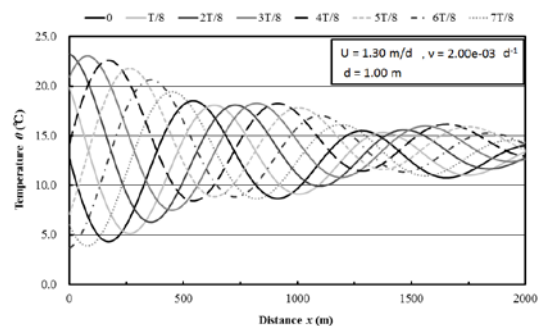


図.1 推定される温度分布（旭川近傍湧水）

*飯泉佳子¹⁾, 泉太郎¹⁾, Nguyen Cong Thuan²⁾, 松原英治¹⁾

1) 国際農林水産業研究センター, 2) Can Tho Univ., Vietn

1. はじめに

メコン河の下流域に位置するベトナム・カントー市内では、限られた農地や資源を有効に活用するため、果樹栽培（以下、ベトナム語で V : Vuon）、養魚（A : Ao）、養豚（C : Chuong）を組み合わせた VAC システムと呼ばれる複合的な農業経営が盛んである。発表者らのグループは、VAC 農家にバイオガスダイジェスター（BD : Biogas Digester）を導入し、豚舎汚水を嫌気発酵させて調理用の燃料となるバイオガス（B : Biogas、主成分はメタン）を回収する VACB システムの普及に取り組んでいる。

一般に、カントー市をはじめとするメコンデルタの農村部では下水道の普及率は低く、各家庭から排出されるし尿排水や豚舎汚水などは敷地内の池に導入され、水の交換を通じて徐々に外部の水路へと放出される。このように、池は魚の生産と汚水の処理という二つの機能を担っている。

本研究では、VAC および VACB システムの農家を対象に、養魚池の水質特性の違いを明らかにし、窒素循環について検討する。

2. 試料および方法

メコン河は流路長約 4,880 km の東南アジア最大の河川であり、チベット高原から中国、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジアを経て、ベトナムにて南シナ海に注ぐ。流域面積は約 795,000 km² で、下流域に形成されたデルタの面積は、ベトナム国内だけで約 40,000 km² におよぶ。

メコンデルタの中央部に位置するカントー市において、VAC 農家 30 戸と VACB 農家 30 戸を対象に、池の水質調査を実施した。VAC 農家の池には豚舎などからの汚水が直接流入しているのに対し、VACB 農家の池には汚水の直接流入は無いが少量程度で、主に BD 廃液が流入している。2012 年 12 月から 2013 年 3 月にかけて、農家に対する簡易なヒアリング調査と池の水質調査を行った。現場においては、pH、EC、水温、クロロフィル濃度（笠原理化工業、CHL-30）を測定するとともに、簡易水質測定器（MERCK 社、RQ フレックス 10）を用いて NH₄⁺、NO₃⁻、NO₂⁻の濃度を測定し、試水をポリエチレン製瓶に採取してカントー大学に持ち帰った。大学内の実験室では、分光光度計を用いて水中の有機物含量の指標となる紫

外吸光度（波長：254 nm）と可視吸光度（波長：546 nm）を測定した。

3. 結果および考察

紫外吸光度の平均値は、VACB 農家の池で 0.359 であったのに対し、VAC 農家の池では 0.737 と有意に高かった（ $p < 0.05$ ）（図 1）。BD 内ではメタン発酵により汚水に含まれる有機物の分解が進むため、廃液中の有機物濃度は低くなる。廃液に含まれる有機物濃度の差が流入先である池の有機物濃度に違いを生じていると考えられる。

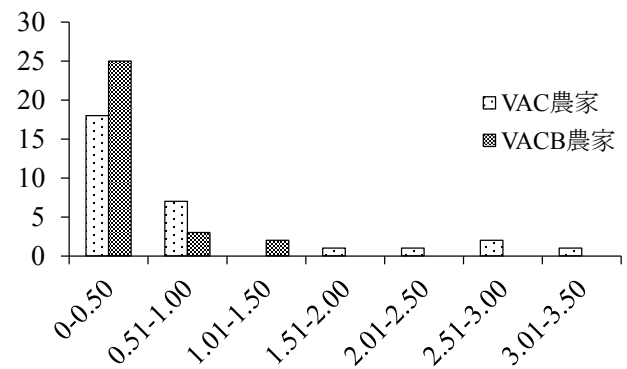


図 1 養魚池の水質（紫外吸光度の度数分布）

池水に含まれる NO₃⁻と NO₂⁻の濃度は、VAC および VACB 農家の 2/3 以上で機器の測定下限値（NO₃⁻ : 3 mg L⁻¹、NO₂⁻ : 0.5 mg L⁻¹）を下回った。一方、NH₄⁺の濃度は高く、全地点の平均は 14.9 mg L⁻¹で BD 廃液の流入する VACB 農家の池よりも、豚舎汚水の直接流入する VAC 農家の池の方が平均値は 5.2 mg L⁻¹ほど高かった。池ごとに環境要因や営農状況に違いはあるが、豚舎汚水が直接流入する池では有機物の分解により多くの酸素を消費するため、NH₄⁺の硝化速度が遅い可能性が指摘できる。

水質調査と同時にを行ったヒアリング調査では、BD を導入して VAC から VACB システムに移行した農家の多くが、豚舎の汚水を直接池に入れるよりも BD の廃液として池に投入した方が水の交換回数を減らせ、養魚の生育がよいと回答している。BD は、魚にとって有害な水域のアンモニア濃度を低減させる効果のあることが示唆される。

*楊 宗興（東京農工大・農）

1. はじめに

陸域の生物生産は窒素に制限されており(Vitousek and Howarth, 1991)、河川水中にも無機窒素は本来ほとんど含まれない(Schlesinger, 1991; Perakis and Hedin, 2002)。近年の人間活動は、人間生活圏の河川だけでなく、森林から流れ出る渓流河川の NO₃ 濃度も大きく上昇させつつある。後者は1980年代の後半から知られるようになった森林の窒素飽和という現象で、大気沈着窒素の継続的な負荷によって窒素が過剰化する森林の環境変化によるものである(Aber et al., 1989)。本講演では、セッション総括として、主にこの窒素飽和現象に関して研究の現状と課題を取りまとめ、今後の展開について議論したい。

2. 河川 NO₃ 濃度によって示される窒素飽和の分布とその利用限界

森林の土壌では多くの場合硝化は制限されており、NO₃⁻はほとんど含まれない(Vitousek et al., 1982; Aber et al., 1989)。大気沈着によって土壌における無機態窒素の可給性が増加し植物や微生物の要求を上回るまになると、硝化による正味の NO₃⁻生成が行われる。植物や微生物の要求を越えて存在する NO₃⁻は根の到達深度でも吸収され切らず、土壌の深部、さらには渓流水へと流亡することになる。実際、渓流水に含まれる NO₃ 濃度と土壌の NO₃ の深度分布の間にはこうした対応関係が見出される(楊ら, 2004)。したがって、土壌深部あるいは渓流水にどれほどの濃度の NO₃⁻が含まれるかという事実だけでも、理論上、その森林流域が「窒素飽和」に至っているかどうかを判定できると言える。

わが国では1990年代終わり頃から森林の窒素飽和が議論されはじめた(Ohrui and Mitchell, 1997; Baba et al., 1998)。これらの森林はそれぞれ、北関東と東京多摩地域に位置する(いずれも東京農工大付属)。森林渓流水の広域的な調査から、NO₃ 濃度に大きな地域の変動が存在することが示されている(Yoh et al., 2001; 伊藤ら, 2004; 木平ら, 2006)。Yoh et al. (2001) は多摩川中～上流域の森林渓流水に東高西低型の顕著な NO₃ 濃度の地理的勾配を見出した。最少の濃度は 2 μmol/L であるのに最高濃度は 100 μmol/L を越え、変動は 2 桁に及ぶ。東京近郊の多摩地域で最も高い。また、関東および周辺域の広域調査で、東京の汚染大気が移送される関東西部～北西部に高濃度域が分布し、海に囲まれる伊豆半島では比較的低濃度であった。木平ら(2006)は全国規模の詳細な渓流水 NO₃ 濃度分布を発表している。それによれば、東京をはじめとする大都市圏近郊にやはり高濃度域が存在している。

ただし、渓流水の NO₃ 濃度と森林集水域の窒素飽和の程度の関係性は万全ではなく、それを乱す要因があることに注意をする必要がある(楊ら, 2004)。一つは脱窒であ

る。東京多摩地域の丘陵地は窒素飽和の程度が著しいが、その集水域中で脱窒が生ずるという特徴も併せ持つ(木平ら, 1997a, b; 楊ら, 2004)。このため、流域の窒素過剰の程度の割に、平水時の渓流水 NO₃ 濃度は低い(その影響を受けない大流量時には NO₃ 濃度が 1000 μmol/L にも上昇する)。欧米等を含め、類似の地形的特徴を持つ集水域では同様に脱窒による NO₃ 消費が生じていると推測されるが、その条件や脱窒の程度等の定量的解明はまだである。もう一つの要因としては地質起源の窒素の寄与がある。ある特定の地質はかなりの N 源となることが知られている(Dahlgren, 1994; Holloway et al., 1998)。しかしこれについても、その範囲や量的寄与についての情報はまだ乏しい。

3. 今後の課題

生物の要求量を越える程にまで無機態窒素の可給性が増大する、という表現で定義される窒素飽和という現象の発現は、容量的因子によって決まっている(つまりある水準を越えることで“飽和”する)と想定することができる。しかし、あるレベル以上の窒素沈着物フラックスのもとで窒素飽和が開始する(たとえば Dise and Wright (1995)の 10 kgN/ha/yr) という形でしばしば提示される閾値的判定基準には、時間の概念が含まれていない。また、たとえば N₂O や NO 等の気体が窒素沈着物当たりどれほど放出されるかを判定するために採用される放出係数 emission factor という研究アプローチにも、生態系のもつ容量の概念が捨象されている(負荷量に無条件に比例するとの仮定)。森林集水域のさまざまな特性によって、窒素沈着と窒素過剰化との関係は著しく変わりうるということが推定される。それには、たとえば、林齢、窒素可給性を左右する土壌のリン制限の程度(Hall and Matson, 1999)、土壌 C/N 比に影響を与える気候要因(Yoh, 2001)、施肥履歴(Ohrui and Mitchell, 2008)等がありうる。つまり、森林集水域によって、感受性はまったく異なる可能性が高いにもかかわらず、それについての考慮はまだほとんどなされていない。窒素飽和に関わる要因解析は、現状としてはまだ大まかな暫定的なアプローチで整理された段階に過ぎないと言えるだろう。

窒素飽和は窒素沈着物の累積の効果によって発現すると推定される。このことから、現在はまだ顕在化していない地域でもいずれ最終的には窒素飽和の段階に至る、という未来を想定しておかなければならない。その空間的広がりや時期、窒素飽和による様々な環境影響(植物影響、温室効果ガス発生、酸性化、生物多様性への影響)といった将来への予測のためには、容量的因子(集水域ごとのキャパシティ)を考慮した解析モデルが必要と考えられる。