

メタボ化した森林から流出した過剰な窒素成分は、 下流域でどう変化するの？

篠塚 賢一
(福岡工業大学)

1. 福岡市近郊森林域のメタボ化

明治時代の外国人技術者が日本の川の流れの激しさに驚き「これは川ではない。滝だ！」と発した逸話があります。日本は細長い島国で、中央に屋台骨の様に高くそびえる山々があります。一方、下流域では平野が広がり、水田の広がる「瑞穂の国」とも呼ばれています。そのため、日本の川は急傾斜な山の中を流れる川、なだらかな扇状地や平野を流れる川と緩急様々な勾配を流れています。急勾配な地形を流れる川では、水の動きも速く、ザーザーと流れ出すため、あまりその場所に留まりません。そのため、水は河川周囲の環境の影響をあまり受けず、水源の水質を反映します。一方で緩い勾配の地形を流れる川では、水の動きは遅く、ゆったりと流れるため、周囲の環境から受ける影響も大きくなります。一般的な川の山間部は急な勾配を流れ、田園地や都市域になると緩い勾配を流れます。

福岡市は、北は博多湾に面し、その周囲を三郡山地や脊振山地に囲まれています。三郡山地の河川からは、標高 430 m の山間では 7.6° の急勾配で流れ出ていますが、下流に広がる都市域に近づくとも河川周囲の勾配は 0.1° と緩くなります。山間部の斜面にはスギやヒノキが植林されていますが、中流域の河川沿いには水田が広がり、下流域では商業地や住宅地が広がるようになります。

一般的に、上流にある森林では人為的な影響は少なく、河川水に含まれる硝酸イオン (NO_3^-) 濃度は低くなりますが、中・下流域の河川水では農地や畜産、ゴルフ場など人為的な影響が大きくなり、 NO_3^- 濃度が高くなると考えられています。

しかしながら、関東近郊の森林や北陸地方の森林を流れる河川からは、 NO_3^- が高濃度で流出していることが報告されています。このような森林は、窒素飽和した森林、メタボ化した森林と呼ばれており、下流への窒素汚染源となっています。窒素は生物を構成する主要な元素であり、生物の体を構成するアミノ酸やタンパク質の元になっているため、生物にとって大切な栄養元素になっています。大気中には多くの窒素ガス (N_2) が含まれていますが、反応性が低く、そのままでは多くの生物が利用することが出来ません。しかし、肥料から供給されるアンモニア態窒素 (NH_4^+) や硝酸態窒素 (NO_3^-)、そして排気ガスに含まれる窒素酸化物 (NO_x) から生成される NO_3^- は、反応性が高く流域に生息する生物へ様々な影響を与えます。日本には、大陸から長距離輸送されてきた大気汚染物質が到達し、年々増加する傾向がありました。広域の大気の流れを介して運搬されるため、都市から離れた森林にも NO_3^- をはじめとした生物が利用しやすい窒素の沢山溶けた雨が降り注ぎます。これらの窒素は樹木をはじめとした森林の生物に利用され、特に生長速度の速い若い樹木では、活発に窒素を取り込みます。しかし、福岡近郊の植林地では伐採期を迎えた十分に成長した樹木の割合が高くなっており、生長に必要な栄養をあまり必要としていません (Chiwa et al., 2012)。そのため、大気からの窒素がたくさん降ってくる場所の森林の河川からは、高濃度の NO_3^- が年間を通して流出しています。このような流域で、森林から高濃度で流出した NO_3^- は、下流域に流れていくとどうなるのでしょうか？ 実際に、福

岡市を流れる複数の河川で、地形の違いが河川水質へ与える影響を、窒素や酸素の安定同位体比を測定することによって探ることにしました。

2. 福岡市近郊の流域特徴

福岡市を流れる多々良川流域は、猪野川、須恵川、宇美川の3つの支流を持っています。森林から流れ出た河川は、農地や都市域を通過して博多湾に流れ出ます（図1）。上流から下流に下ると様々な土地利用を持つ流域を流れていきます。同時に流域地形も大きく変化します。急勾配地形を持つ山間部から比較的緩い勾配を持つ農地、都市域へと変化していきます。この様な、流域の土地利用、地形の違いは、森林から高濃度の NO_3^- 濃度を持つ河川水質へ様々な影響を与えていました。

この3つの河川で測定された NO_3^- 濃度を図2に示します。森林面積が大半を占めている場所では、3つの河川とも上流には窒素飽和の森林があるため NO_3^- 濃度は高くなります（ $41 \sim 65 \mu\text{mol/L}$, $2.5 \sim 4.0 \text{ mg/L}$ ）。しかし、猪野川都市域の割合が増加すると、 NO_3^- 濃度が大きく低下する傾向が見られました。須恵川、宇美川では都市域の濃度は夏には低下、冬には横這いかやや上昇する傾向が見られます。都市域からの人為的な窒素流出は、有機態窒素の形で流出して来ることが一

般的に知られています。須恵川、宇美川のみならず猪野川でも都市域の面積が増加すると有機態窒素が流出してくる傾向がみられ、都市域からの窒素負荷が生じていることが分かります。次に、同位体比の変化と地形の関係をより詳しくみてみましょう。

3. 下流で NO_3^- 濃度が減少する河川の特徴

硝酸中に含まれる安定同位体比の変化を見えます。脱窒素細菌が硝酸を窒素ガスに変える脱窒が起きる場合、軽い ^{14}N から先に利用されやすいため、河川水中には重い ^{15}N が残留します。図3を見ると、猪野川では脱窒の影響を受けていることが示唆されます。同様に、酸素においても、 ^{16}O が優先的に利用され、河川水中の NO_3^- に含まれる ^{18}O の割合は高くなります。脱窒による反応では、この関係が2:1で起きることが知られています（Kendall et al., 2008）。猪野川では、傾きの比が $-5.8 : -2.2$ となり、およそ2:1の関係を示しています。このことから猪野川では、脱窒による影響により NO_3^- 濃度が低下していると考えられます。猪野川の下流では須恵川や宇美川と異なり、都市域の面積割合が低いことが要因の一つとして考えられます。加えて、都市部が広がっている地形がこの3つの河川でどのように違っているのかを詳しく見ていく必要があります。

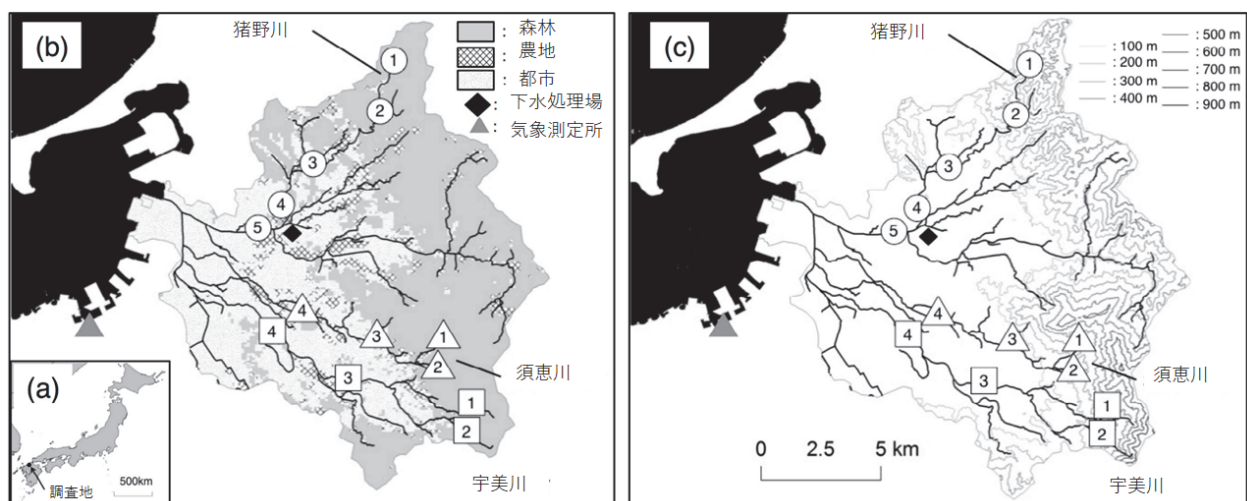


図1. 猪野川、須恵川、宇美川の流域における土地利用と地形の地図

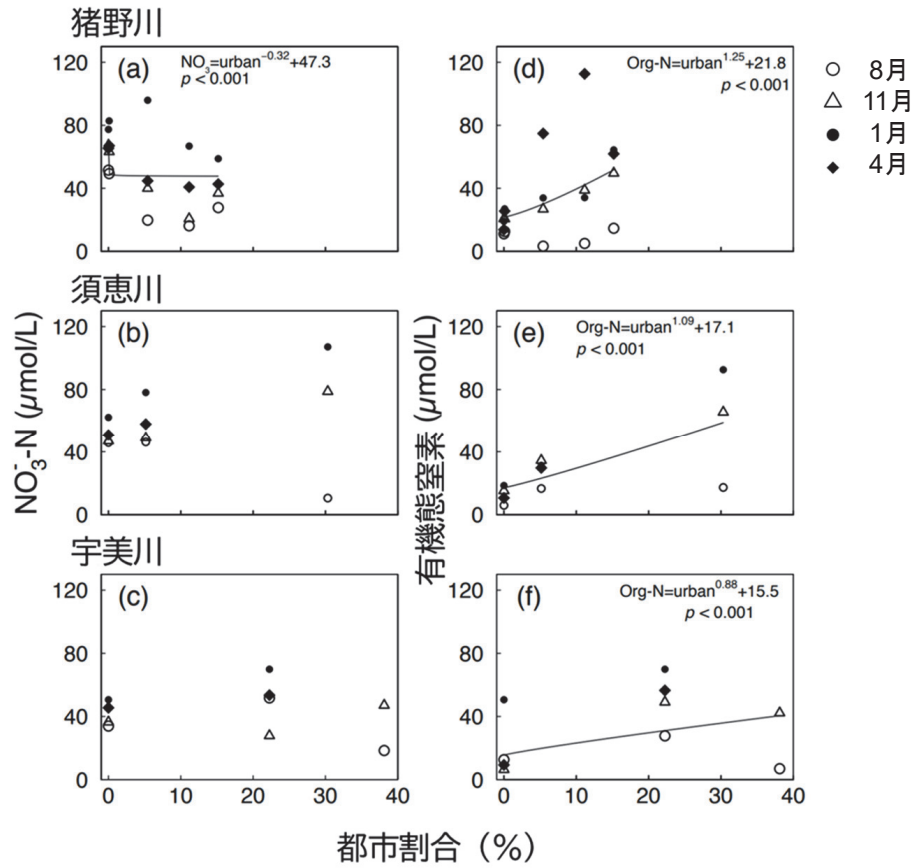


図 2. 猪野川、須恵川、宇美川の市街地の割合と硝酸イオン、有機態窒素濃度の関係

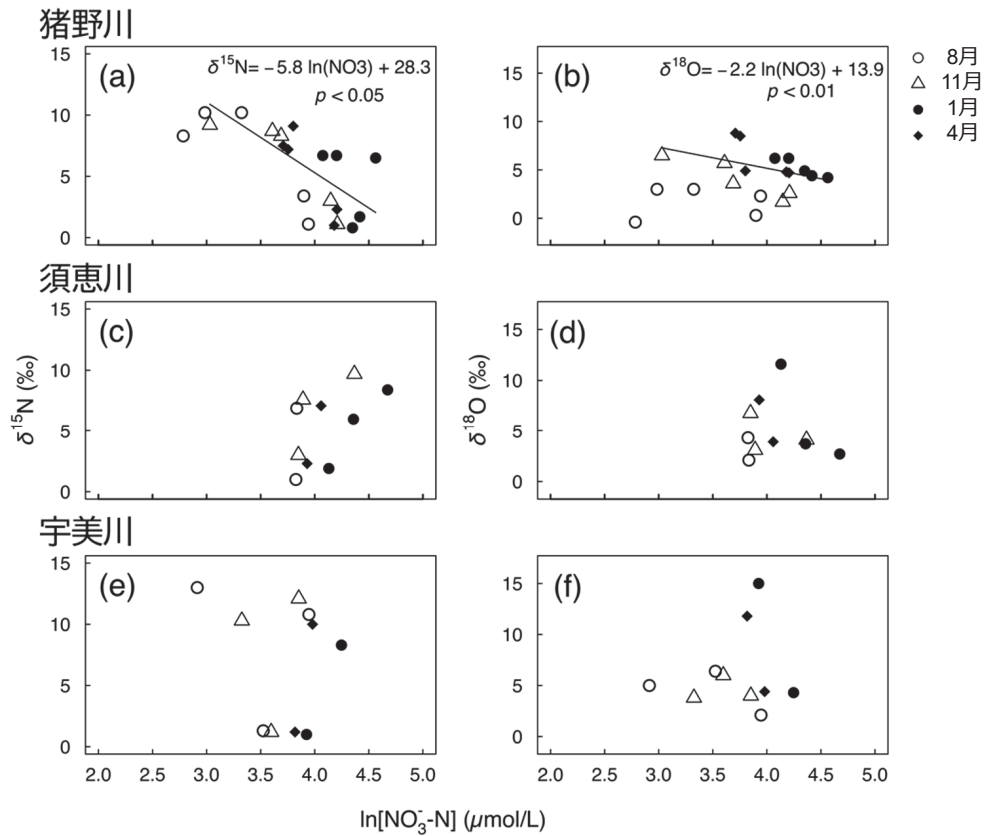


図 3. 猪野川、須恵川、宇美川の硝酸イオン濃度と窒素安定同位体比、酸素安定同位体比の関係

猪野川の流域で脱窒や同化が行われやすい環境を探すために、それぞれの河川が流れる地形の特徴を解析しました。 NO_3^- を減少させる脱窒や同化といった現象は、生物によって引き起こされます。そのため、河川周囲の地形が緩やかな水が溜まりやすい場所では、水の流れが緩やかになるため、これらの生物の活動が盛んになります。一方の急な勾配の場所では、水が流れやすくなりこれらの影響は受けにくくなります。そこで、水文流出モデルを利用し、水の集まりやすい指標を比較しました。その結果、須恵川や宇美川と比べて猪野川では、都市域が増える下流域で水が集まりやすい傾向を示しました。都市域の割合が増える下流域や勾配の緩い流域を流れる場所では、上流の森林から供給された NO_3^- が脱窒や同化されていることがわかりました。

今回の研究では、下流の都市域であっても、水が停滞しやすい地形指標の河川下流部では、上流の森林から供給された NO_3^- が脱窒等の影響を受けて河川水中で存在形態を変化させていることが分かりました。河川水中の NO_3^- の上昇は、止水域の富栄養化などの問題の引き金となります。日本は4方を海に囲まれていますので、沿岸域で生じる赤潮の影響がよく知られています。森林域から高濃度の NO_3^- 流出がみられる河川では、流域規模での窒素循環（「雨からきた窒素を同位体比で追跡する」を参考）を考えていく必要があります。そのため、森林域からの高濃度の NO_3^- 流出がみられても、上流から下流までのモニタリングと、集水域の地形を詳細に見て流域管理を行って行くことが重要であることが分かりました。

文献

- Chiwa M, Onikura N, Ide J, Kume A. (2012) Impact of N-saturated upland forests on downstream N pollution in the Tatara River Basin, Japan. *Ecosystems* 15: 230-241
<https://doi.org/10.1007/s10021-011-9505-z>
- Shinozuka K, Chiwa M, Tayasu I, Yoshimizu C, Otsuki K, Kume A. (2017) Difference in Stream Water Nitrate Concentrations between a Nitrogen-Saturated Upland Forest and a Downstream Mixed Land Use River Basin 4: 43
<https://doi.org/10.3390/hydrology4030043>
- Kendall, C.; Elliott, E. M.; Wankel, S.D. Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems. In *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*; Michener, R. H., Lajtha, K., Eds.; Blackwell Publishing Ltd.: Oxford, UK, 2008; pp. 375-449.

謝辞

本研究は九州大学農学部の関係者のサポートによって実施されました。同位体比分析については地球環境科学研究所の陀安教授の指導の下で行われました。記して感謝いたします。

著者情報



篠塚賢一（福岡工業大学情報システム工学部研究員）2017年九州大学大学院農学物環境農学専攻修了、博士（農学）。2017年から九州大学学術研究員、福岡工業大学研究員（永淵研）、2019年より福岡工業大学（徳安研）にて医療AIの研究開発研究員。

（2022年3月31日掲載）