

令和 6 年 5 月 21 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21338

研究課題名(和文)シカはナトリウムをどこから得ているのか？

研究課題名(英文)Where do deer get their sodium from?

研究代表者

智和 正明 (Chiwa, Masaaki)

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：30380554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、ニホンジカの個体数が急増している。本研究はシカを含む植食動物はナトリウム不足になりやすいことに着目し、家畜ふん堆肥中の水(以下、堆肥水)や凍結防止剤が散布されている道路上の雪(以下、道路水)にナトリウムが高濃度で含まれ、シカにとってナトリウム源となっているのではないかと考えた。堆肥水中のナトリウム濃度は、5 mMであり、近隣の森林土壌水と比較して100倍程度高かった。さらに、道路水中のナトリウム濃度も100 mM程度あり、塩場の水中のナトリウム濃度の報告例と同オーダーだった。これらのことから、堆肥水や道路水は、シカにとってナトリウム源となりうるほど高濃度であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シカ個体数の管理は農林業被害対策として緊急の課題である。本研究は、これまでシカ増加の原因としてほとんど研究されてこなかったナトリウムに着目した。その理由は、シカを含む植食動物はナトリウム不足になりやすいためである。通常、植物にとってナトリウムは必須元素ではなく、植物中のナトリウム含有量は少ない。本研究では、家畜ふん堆肥中の水や凍結防止剤が散布されている道路上の雪(以下、道路水)中のナトリウム濃度を計測し、シカにとってナトリウム源となりうるほど高濃度であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the population of Japanese sika deer (*Cervus nippon*) has been increasing rapidly. This study focused on the fact that herbivore, including deer, are prone to sodium deficiency, and hypothesized that water in livestock manure (hereafter referred to as "manure water") and snow on roads sprayed with road salt (hereafter referred to as "road water") may contain high concentrations of sodium and serve as a source of sodium for deer. The sodium concentration in the manure water was 5 mM, about 100 times higher than that in nearby forest soil water. In addition, the sodium concentration in the road water was about 100 mM, which is on the same order of magnitude as the reported sodium concentrations in the water at natural mineral-licks. These results indicate that manure water and road water have high enough concentrations to be a source of sodium for deer.

研究分野：生物地球化学

キーワード：シカ ナトリウム 草食動物

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、日本ではニホンジカの個体数が急増している。2015年の本州以南のニホンジカの個体数は約300万頭と推定されている。北海道では50万頭以上と推定され(北海道自然環境課)、特に道東部では爆発的な増加が報告されている(梶, 1995)。このようなシカ個体数の増加は森林生態系や農林業に多大な影響を与えている。シカの増加によって、下層植生が消滅し、更新が阻害されている。林業被害では、植栽木の食害、樹皮剥ぎが報告されている。農作物の被害ではシカによる被害が約3割を占め、その被害金額は全国で約56億円に及ぶ。このため、シカの管理は農林業被害対策として緊急の課題であるが、解決の見通しが立っていないのが現状である。

これまでシカ増加の原因として、天敵であるオオカミの絶滅、野犬の減少、温暖化による積雪期間の減少、狩猟者数の減少といったシカを減らす効果の減少が考えられてきた。しかし近年は、シカが生息しやすい環境、すなわち農地(牧場・牧草地)の増加や山林(里山)の森林利用の減少といったシカにとっての資源量の増加が原因として指摘されている(揚妻, 2013)。このことは、高い狩猟圧をかけても資源量が十分にあるとシカ個体数はすぐに回復してしまう(揚妻, 2013)ことを意味する。

本研究は、シカにとっての資源としてナトリウムに着目する。これまでシカにとっての資源は主にエネルギーに着目されており、ミネラルについてはほとんど着目されてこなかった。しかし、シカを含む植食動物はナトリウム不足になりやすい(Rothman et al. 2006)。これは植物にとってナトリウムは必須元素ではなく、通常は植物中のナトリウム含有量は少ないためである。シカは北海道東部でも爆発的に増加しているが(梶, 1995)、その理由としてナトリウムが多く含まれるとされる凍結防止剤や堆肥がナトリウム源となっているためである可能性がある。しかし、環境中のナトリウム量に関する情報は図1のような知見にとどまっておらず、凍結防止剤や堆肥に関するナトリウムの情報はほとんどない。

2. 研究の目的

本研究では資源量の知見に基づいたシカの管理指針を提供するために、シカはナトリウムをどこから得ているのか?という問いに答えるために、シカの動態を調査し、河川水、凍結防止剤や堆肥に含まれるナトリウムを計測することを目的とした。これらの研究により、最終的にはシカの効果的な削減法を提案することを目指した。

3. 研究の方法

本研究は北海道東部の内陸部に位置する北海道足寄郡の山林(九州大学北海道演習林)やその周辺で行った。シカの動態解析を行うために、森林内にトレイルカメラを設置し、その付近に食塩を撒くことで、塩分の誘引効果の検証を試みた。また、河川水中のナトリウム濃度を演習林内の多地点(29地点)と十勝川流域の複数の河川間(利別川、足寄川、茂足寄川、螺湾川)で解析した。多地点観測では、森林域内(3,711ha)の29地点の渓流水を同時採水した。河川間比較では河川水を1-3カ月の間隔で採水した。家畜ふん堆肥から採取した水(以下堆肥水)については、家畜ふん堆肥が野積みとなっている状態の農地で採水した。対照地として、九州大学北海道演習林において森林土壌水を採取した。繰り返し数は各サイト3サンプルである。採水は、土壌水採取装置(ミズツール(ポット用)、大起理化学)を用いて表層土壌にポーラスカップ(長さ5cm)を垂直に挿入して採取した。夏(2021年7-8月)、秋(2021年9月下旬)、春(2022年5月)に合計5回採水した。凍結防止剤の撒かれた雪(以下道路水)については、凍結防止剤が定期的に散布されている足寄町内の国道2箇所から採取した。繰り返し数は各サイトで1サンプルである。雪をポリピンに直接採取し、冷凍保存した。2022年2-3月に合計3回採取した。得られたサンプルについて、道路水については室温で解凍後、シリンジフィルター(エキクロディスク、孔径0.45 μm)でろ過し、イオンクロマトグラフでNa濃度をはじめその他主要イオン(Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})を測定した。

4. 研究成果

4.1 カメラセンサスによるシカの動態解析

北海道東部の森林域(九州大学北海道演習林)において、トレイルカメラを設置し、その付近に食塩を撒くことで、塩分の誘引効果の検証を試みた。トレイルカメラを設置したものの、シカの撮影頻度が極度に低く、塩分の誘引効果を得るために必要な撮影数に至らなかった。このた

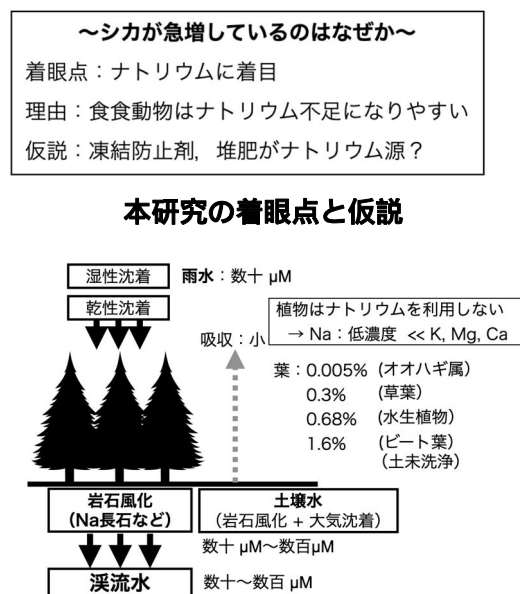


図1 森林域におけるNa循環

め、過去に演習林内で設置されたトレイルカメラを用いてシカの動態を解析した。このデータは演習林（約 3700 ha）に 8 地点、5 年間（2011 - 2015 年）のモニタリングデータであり、シカの動態を解析する上で貴重な基盤データである。解析の結果、年間の撮影回数に地点間の変動が大きかったことが分かった。さらに、早朝や夕方撮影頻度が多いことが確認された。

4.2 河川水中のナトリウム濃度の空間変動と河川間変動

ナトリウム濃度はどの河川でも季節によってほとんど変動しなかったが、空間的には大きな変動がみられ、南向斜面の渓流水中のナトリウム濃度が高かった。これは海塩粒子などの乾性沈着量が南向斜面で高いことを反映している可能性が考えられた。これらの化学種は渓流水質濃度の空間変動が小さいためにそのような斜面間で生じるわずかな違いを検出した可能性がある。また、ナトリウムが南向斜面で高いその他の理由として、南向斜面では植生による蒸発散量が多いため、流量が北向斜面と比べて少なくなり、渓流水中に含まれる化学種濃度が高まった可能性も考えられる。さらに、河川間比較を行うと、利別川や足寄川では一般的に観測されるナトリウム濃度が観測されたが、螺湾川、茂足寄川ではナトリウム濃度が高く、4 mM 程度を示す地点の河川水も観測された（図 2）。一般的に、森林上流の河川水中のナトリウム濃度は数十～数百 μM 程度である（図 1）。河川水中のナトリウムの起源として、一般的に大気沈着や岩石風化が考えられる。螺湾川や茂足寄川のナトリウム濃度が高い地点は上流域であり、螺湾川では上流～中流域で濃度が急激に上昇していた。螺湾川と茂足寄川の地質は、利別川や足寄川とは大きく異なっており、この地質が螺湾川の水質を特徴づけている可能性が考えられた。

4.3. 堆肥水

堆肥水中のナトリウム濃度は季節を問わず高い値を示した（表 1、図 3）。堆肥水中のナトリウム濃度は平均 5.7 mmol L^{-1} （132 ppm）で、対象区（ 0.07 mmol L^{-1} ）と比べて 100 倍程度高かった（表 1）。本研究で観測された堆肥水のナトリウム濃度は、シカの個体数が多く観測される又夕場よりも高く、塩場に匹敵していた（表 1）。このことから、堆肥はシカのナトリウム源になりうるということが分かった。また、堆肥水中のナトリウム濃度はカリウム濃度と強い相関がみられた（ $r = 0.97$ 、図 4）。カリウムは動物の尿に多く含まれることから、堆肥水ナトリウムの起源として家畜の尿が考えられた。

4.5. 凍結防止剤の撒かれた道路雪

道路雪中の Na の平均濃度は 102 mM で、塩場の Na 濃度に匹敵していた（表 1）。このことから、凍結防止剤の散布は人工的な塩場を作っていると考えられた。道路雪の Na 濃度は塩化物イオンと 1:1 の相関がみられた（図 5）。北海道では凍結防止剤として NaCl（57%）や NaCl の混合物（23%）が使用されていることから Na の起源として塩化ナトリウム（NaCl）が考えられた。

4.6 まとめ

通常、河川水中のナトリウム濃度は低いですが、河川水によってはシカのナトリウムの供給源になりうるほど高濃度であることが分かった。また、堆肥や凍結防止剤はシカのナトリウム供給源となりうるということが分かった。

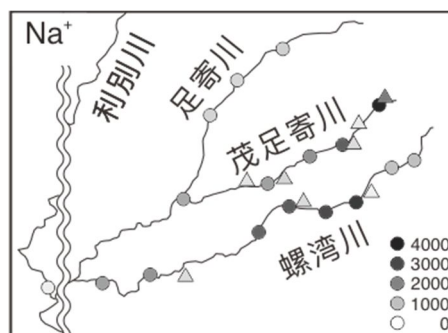


図 2 河川水中 Na 濃度 (μM)

表 1 堆肥水、道路水中の Na 濃度 (mM) と塩場、又夕場との比較

| 種類 | 場所 | Na (mM) |
|-------------------|------|-----------------|
| 堆肥水 | 足寄 | 5.7 ± 0.8 |
| 森林土壌水 | 足寄 | 0.07 ± 0.01 |
| 道路水 | 足寄 | 102 ± 40 |
| 塩場 ¹⁾ | ボルネオ | 1.6~117 |
| 又夕場 ²⁾ | 丹沢 | 0.4~1.8 |

1) Matsubayashi et al (2007), 2) 佐野ら (2019)

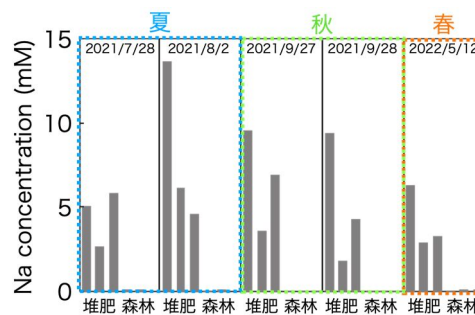


図 3 堆肥水(家畜ふん堆肥)と森林土壌水中のナトリウム濃度

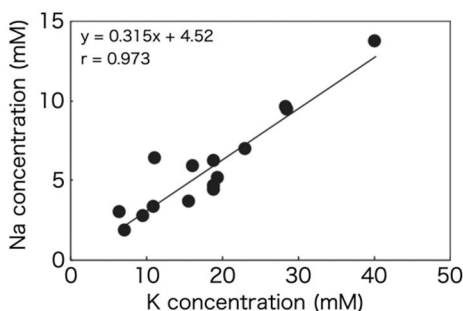


図 4 堆肥水(家畜ふん堆肥)中のカリウムとナトリウム濃度との関係

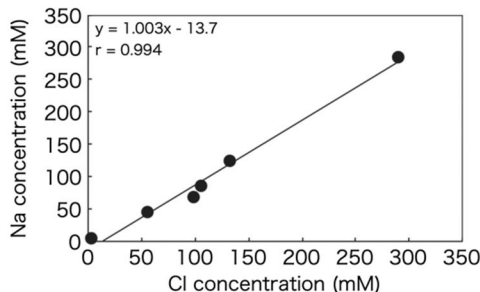


図 5 道路水(凍結防止剤の撒かれた雪)中の塩化物イオンとナトリウム濃度との関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 Chiwa Masaaki, Utsumi Yasuhiro, Tashiro Naoaki, Yasuda Yuko, Shinozuka Ken'ichi, Ru Yang, Nagano Nao, Murata Shusuke, Nakamura Takuma, Yamauchi Kohei, Kabemura Yuji, Ando Tatsuro, Sawamura Hiroshi | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Nutrients exported from upland stream water enlarge perennial biomass crops | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 2200 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-81191-x | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 智和正明, 内海泰弘 |
| 2. 発表標題 シカはナトリウムをどこから得ているのか? -堆肥と凍結防止剤中の計測- |
| 3. 学会等名 第135回日本森林学会 |
| 4. 発表年 2024年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|-------------------------------|----|
| 研究分担者 | 内海 泰弘 (Utsumi Yasuhiro) (50346839) | 九州大学・農学研究院・准教授 (17102) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| | |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|