

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06499・19K21561

研究課題名(和文)北西太平洋の海霧頻発地域における海霧水成分の起源の解明

研究課題名(英文)Source of chemical contents of sea-fog in foggy area at the North-West Pacific margin

研究代表者

鎌内 宏光(Kamauchi, Hiromitsu)

名古屋大学・環境学研究科・研究員

研究者番号：00398942

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、北海道東部太平洋側において、海霧の酸性成分の由来をイオウの安定同位体比分析によって解明することを目的とした。

3地域で採取した地衣類で測定した結果、内陸ではいずれの地域でも5‰前後で平衡に至ったことから、沈着するイオウの起源は内陸では天水と考えられた。一方、海岸線では7-13‰であり、またいずれの採取地周辺でも大規模な人為負荷源が存在しないことから、海由来の寄与が相対的に高いと考えられた。また、海岸線におけるイオウ安定同位体比には地域差が大きく、海霧の年間発生日数とは異なる傾向を示したことから、海霧の発生頻度に加えて、沈着を支配する卓越風の風向などの微気象によると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの研究では、時折観測される北西太平洋の酸性海霧は、東アジアの人為負荷源から輸送されたSO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>に由来するとされてきた。しかし北海道の内陸部では天水がイオウの起源であり、長距離輸送された人為由来のイオウが北西太平洋に広範囲に沈着しているという従来の説を覆すものである。東アジアがSO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>の大規模な排出源であることは疑いないが、その輸送過程や沈着範囲を明らかにする上で、本研究は海洋、つまり自然由来のイオウの循環の過程の一端を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The object of this research was to determine the source of chemical contents in sea-fog at the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan, through the analysis of stable isotope of sulfur.

Results on lichens that were collected at three sites commonly indicated decline with exponential function along transect from coastline to inland. Values were converged into around 5 permil at all inland sites, and it indicates the major source of the deposited sulfur would be rainwater. On the other hand, values at coastline were commonly higher than its in inland. Fog is mainly occupied by advection sea-fog in this region, and additionally there are no large city nor large factory around each transect. Then the major source of deposited sulfur would be ocean along the Pacific coast of eastern Hokkaido, although its degree were different among area. Order among its value in coastline was partly disagree with the inclination of frequency of fog day from east to west along the Pacific coast in Hokkaido.

研究分野：生態系間相互作用

キーワード：海霧 沈着 イオウ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球環境における人為的影響は、現代の科学において重要な課題の一つである。アジア域は近年の人口増加率および経済成長率が最も高い地域であることを背景として、化石燃料の使用に由来する大気汚染への懸念が高く、産業革命以降の欧米を中心とした環境汚染の再現が懸念されている。欧州では1970年代以降に各地で酸性雨とそれに伴う植生破壊が観測され、その原因として化石燃料由来の窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )や硫黄酸化物( $\text{SO}_x$ )が雨のpHを低下させる機構が明らかになった。東アジアでは中国からモンゴルの内陸部の高気圧帯によって上昇したエアロゾルが偏西風によって北西太平洋に運ばれる機構があり、朝鮮半島や日本では偏西風によって運ばれたダストが沈積する現象が黄砂として知られている。この黄砂とともに人為汚染物質が輸送されており、1980年代から日本の各地で酸性雨がモニタリングされている。

雨水中の人為汚染由来の $\text{SO}_x$ および $\text{NO}_x$ を定量する方法としては、非海塩性(nss)イオウおよび窒素が用いられてきた。これは、大気中の主要なエアロゾル供給源である海塩に含まれるイオウおよび窒素が、海水中と同じく塩素量と比例関係にあることを利用し、雨水中の塩素量から海塩由来のイオウおよび窒素量を推定し、その差分を非海塩性とするものである。

雨は水蒸気が凝結して成長した水滴のうち、粒径が大きなものである。一方、霧は気象学的に、微細な水滴の浮遊した大気が地表に接する状態と定義される。大気中のエアロゾルおよび気体のイオウと窒素は、これらの水滴に溶け込み、特に水への溶解度が高い硫酸は雨水や霧水によく溶け込むが、大気での滞留時間が長い霧水で特によく溶け込むと考えられている。霧が発生すると、冷涼で多湿、低視程となり、自然生態系以外にも農業や交通など人間活動への影響も大きい。世界では霧が広範囲に高頻度で発生する地域が二つあり、低緯度多雨地域の高標高地では独特な植生と動物群集が形成され、雲霧林と呼ばれる。第二は高緯度域の寒流沿岸で、春～秋に熱帯性高気圧によって低緯度域から供給された暖かい水蒸気が寒流で冷やされて露点を下回って海霧となり、一部は風に乗って沿岸の陸上を長期にわたって覆う。移流霧としての海霧は大気と海面の接触で生じることから、最高高度は海面から200～300mである。

北西太平洋で酸性霧が観測され、そのなかに大量のnss- $\text{SO}_4$ が含まれていることが知られている。これまでの研究では、nss- $\text{SO}_4$ 割合が高いと偏西風から、このイオウの起源は東アジアの人為汚染由来とされている。しかし、北西太平洋全域で海霧のpHを大幅に低下させるほどのnss- $\text{SO}_4$ が沈着しているとするれば、日本や朝鮮半島でも海霧だけでなく山霧や雨水でもpHの大幅な低下が見られると予想される。しかし酸性雨はほとんど観測されず、酸性霧も北海道の太平洋岸と東京近郊を除けばほとんど観測されていない。このことから、北西太平洋における酸性霧の原因として人為汚染を考えることは難しい。また、北西太平洋の海霧発生地域の南端に位置する北海道東部の太平洋沿岸では、霧のpHは3から7までと霧イベントごとに変異が大きいことが知られている。この地域の主産業である酪農から放出されるガス態アンモニアはアルカリ性なので、日々レベルでの風向によってはこのアンモニアが霧水のpHを中和している可能性がある。

一方、分析器および技術の発展により、自然界に存在する様々な同位体比を分析することで、その起源や過程を明らかにすることが可能になっている。イオウでは安定同位体のうち $^{34}\text{S}$ と $^{32}\text{S}$ の比を、最も広く使われている標準物質であるVienna-Canyon Diablo Troilite (VCDT)で補正した $^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ において、自然界で様々な変異が知られている。例えば海水中の硫酸イオンでは20.3‰、化石燃料に含まれるイオウでは-3.3～5.4‰と明瞭に異なっている。従って、 $^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ の測定によって、イオウの起源を推定することができる。

### 2. 研究の目的

本研究では、北西太平洋の海霧中のイオウについて、イオウの安定同位体比( $^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ )の測定によってその起源を明らかにする。北西太平洋の海霧発生地域の南端に位置する北海道東部の太平洋沿岸を調査地とし、日々レベルでの風向変化によるイオウ供給源とpHの変化を考慮して、気象条件に応じた採取を連続して行うため、気象センサーと制御回路を組み込んだ自動連続霧水採取装置を開発する。後方流跡線解析と併せて、各々の霧イベント毎に気象条件と霧水中のイオウの起源との関連を明らかにし、道東の太平洋沿岸においてnss- $\text{SO}_4$ の起源としての海洋由来起源の重要性を定量的に評価することを目指す。

次いで、沈着したイオウの起源と規模を明らかにするため、調査地域の陸域における沈着を評価する。同じように $^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ を測定して、その起源を推定する。

### 3. 研究の方法

北海道太平洋側の3地域(厚岸、十勝、日高)に、海岸からの内陸方向へのトランセクトを設定した。各地域あたり5～8地点で地衣類を採取した。また、厚岸トランセクトでは樹木(ミズナラ)葉、および表層の森林土壌も採取した。採取した試料は乾燥後、生物についてはParr bomb法で、土壌については抽出法により、硫酸バリウムとしてイオウを回収し、

$^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ を測定した。

#### 4. 研究成果

厚岸トランセクトでは、地衣類、樹木葉、表層土壌とも海岸から内陸に向かって  $^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$  が指数的に減少した。いずれも内陸部ではおよそ5%に収束した。これは、天水の世界標準値とほぼ同じであり、内陸部ではイオウの主な起源は天水であることを強く示唆している。しかし、指数関数から推定された海岸線での  $^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$  は表層土壌、樹木葉、地衣類の順に高かった。表層土壌には硫酸塩を含む風化した母材が含まれており、一方で地衣類は維管束を持たず天水や露など地衣類に付着した水および沈着のみを利用している。従って、維管束植物の葉がこの2者の中間に位置することはリーズナブルと考えられる。

次に、地衣類における  $^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$  では、3地域とも内陸部では5%に収束したことから、天水が主な起源と考えられた。一方海岸線では7~13%と内陸より高く、また採取地周辺ではいずれも大都市や大型工場などが存在しないことから、海由来の寄与が高いと考えられた。海岸線におけるイオウ安定同位体比は3地点のうち最も東の厚岸で最も高かったが、次いで最も西の日高が高く、3地点のうちで中央に位置する日高で最も低かった。海霧の年間発生日数は東から西に向かって次第に減少するが、イオウ安定同位体比では異なった傾向を示した。これは、沈着を支配する卓越風の風向などの微気象によると考えられた。

自動連続霧水採取装置を開発したが、海霧の発生期内に完成しなかったため、試料は得られなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kamauchi, H., Ohta, T., Ishida, T., Haraguchi, F. T., Tayasu, I.
2. 発表標題 Contribution of oceanic sulfur to coastal ecosystem using isotope ratio in lichens: formulating distance-decay and applying model selection approach
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kamauchi, H.
2. 発表標題 Decomposition of plant litter in sea-fog area along pacific coast of Hokkaido, Japan
3. 学会等名 8th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew (国際学会)
4. 発表年 2019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