

中国内モンゴル自治区の環境試料（湖沼水・土壌）中の元素濃度測定

猶原 順・李 媛媛

岡山理科大学大学院工学研究科生体医工学専攻

2022年12月27日受理

1. はじめに

中国内モンゴル自治区（以下、内モンゴル）は中国東北部に位置し、面積118万 km²、省都は呼和浩特（フフホト）市である。人口は2,500万人をこえ、北に接するモンゴル国の人口300万人をはるかに凌ぐ¹⁾。内モンゴルでは、石炭、石油、天然ガス、鉄などの鉱物の埋蔵が豊富であり、金の採掘も盛んに行われている。モンゴル国では金鉱山²⁾があることより、地域の人たちによるスモールスケールマイニングによるHg汚染も考えられる。スモールスケールマイニングは、発展途上国における貧困層の少数グループあるいは個人によって行われ、環境破壊を伴う生産形態を指す事が多い。産金地帯では、水銀と岩石の粉を混ぜて金アマルガムをつくり、その金アマルガムを熱して水銀を大気中へ散逸させ、残った金粒子を回収する方法が広く行われている。このため環境中に水銀が蓄積しつつあり、生態系や住民の健康への影響が懸念されている³⁾。また、レアアースも採掘されている。レアアースとは31種類あるレアメタルの一種で、17種類の元素（希土類）の総称である。レアアースはハイテク産業に必要な不可欠な鉱物で、レアアース磁石、ハードディスク用ガラス基板や液晶パネルディスプレイ用の研磨材、自動車用や石油精製用の触媒など幅広い製品に使用されている⁴⁾。

中国経済の急成長とともに中国内モンゴル自治区では国策として地下資源開発が進んでおり、同時に環境（土壌、環境水）汚染が深刻化している。近年、各種疾患とミネラル類、特に微量元素との因果関係が注目されるようになってきた⁵⁾。ヒトの健康は必須元素の欠乏や有害微量元素の暴露により、左右されることが知られている。必須元素は、欠乏すれば欠乏症を呈するが、過剰に存在しても生体に悪影響を与える。これに対し生体に必須でないものは非必須元素と呼ばれ、生体における存在量がわずかであれば作用を示さない。このうち、過剰生体に有害な作用を与える元素は有害元素と呼ばれている。ヒトの体の有害元素(As, Pb, Cd, Mn, Znなど)は、そのほとんどが食事及び飲用水由来である。

土壌汚染対策法では、汚染土壌がヒト健康に影響を

及ぼす経路として土壌汚染に由来して汚染した地下水を飲用する経路に加えて、土ほこりを吸い込んでしまう場合や、子供が身についた土を口にしてしまう場合など汚染土壌の摂食および皮膚接触（吸収）などの土壌そのものを直接摂取する経路を取り上げている⁶⁾。土壌の汚染が問題になる重金属は、Cd, Cu, As, Zn, Hg, Sb, Crなどである。このような重金属による農業環境の汚染は図1のようになり、最終的には人間への被害につながる場合もある⁷⁾。

本実験では、ICP-MSを用いて、中国内モンゴル自治区の環境試料（湖沼水・土壌）中の元素濃度を明らかにすることを目的とした。

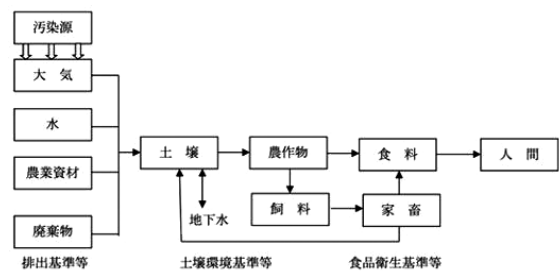


図1 農業環境における重金属汚染の流れ

2. 実験方法

2-1 試料

環境試料（湖沼水・土壌）は2020-2021年に中国内モンゴル自治区呼和浩特（フフホト）市で採取した（図2）。



図2 試料採取地点

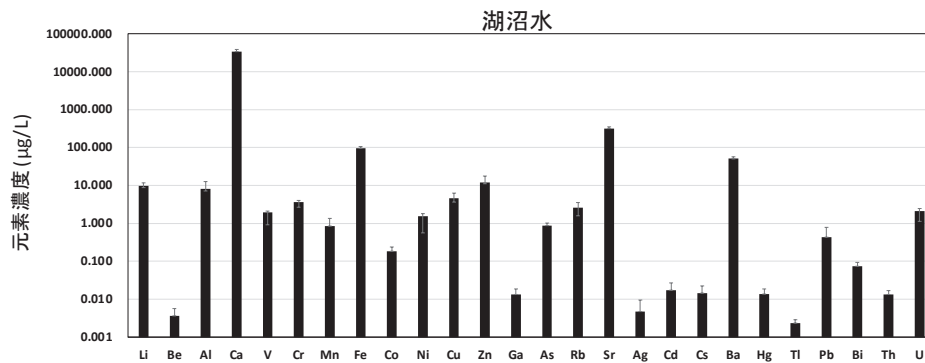


図3 湖沼水中元素濃度 (平均値±標準偏差)

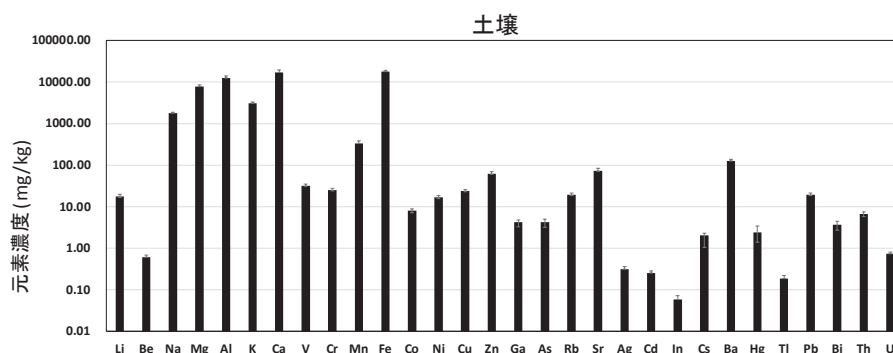


図4 土壤中元素濃度(平均値±標準偏差)

湖沼水は、0.45 µmポアサイズのディスミック(DISMICA, DVANTEC以下DISMIC)を用いてろ過し、試料とした。試料は猶原らの方法⁸⁾で分解し、元素分析を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 内モンゴル自治区の環境試料 (湖沼水・土壌) 中元素濃度

図3に湖沼水中元素濃度を示した。湖沼水元素のうち、Ca、Srはそれぞれ約33,778 µg/Lと316 µg/Lと高い値であった。Fe、Zn、Baは100~10 µg/Lの範囲であった。Li、Al、V、Cr、Ni、Cu、Rb、Uは10~1.0 µg/Lの範囲であった。Mn、Co、As、Pbは1.0~0.1 µg/Lの範囲であった。Be、Ga、Ag、Cd、Cs、Hg、Tl、Bi、Thは0.1~0.0 µg/Lの範囲であった。

必須元素Caは平均値が33,778 µg/Lであり、Fe、Znは100~10 µg/Lの範囲であった。有害元素Cd、Hgは0.1~0.01 µg/Lの範囲であった、As、Pbは1.0~0.1 µg/Lの範囲であった。

図4に土壌中元素濃度を示した。土壌元素のうち、Al、Ca、Feは100,000~10,000 mg/kgの範囲であった。Na、Mg、Kは10,000~1,000 mg/kgの範囲であった。Mn、Baは1,000~100 mg/kgの範囲であった。Li、V、Cr、Ni、Cu、Zn、Rb、Sr、Pbは100~10 mg/kgの範囲であった。Co、Ga、As、Cs、Hg、Bi、Thは10~1.0 mg/kg

の範囲であった。In、Be、Ag、Cd、Tl、Uは1.0~0.01 mg/kgの範囲であった。

必須元素Znは平均値が61 mg/kg、Na、Mg、Kは10,000~1,000 mg/kgの範囲であった。Ca、Feは100,000~10,000 mg/kgの範囲であった。有害元素Cdは平均値が0.255 mg/kg、Pbは19.5 mg/kg、As、Hgは10~1.0 mg/kgの範囲であった。

3-2 環境試料 (湖沼水・土壌) 中の有害元素の比較 (内モンゴル、日本、モンゴル国)

湖沼水・土壌中の有害金属元素であるAs、Cd、Pb、Hgの4元素を図5と図6に示した。モンゴル国で採取した湖沼水ではAs濃度が高く、内モンゴルと日本のAs濃度は1.0 µg/Lの以下であった。日本のPbは0.93 µg/Lと高い値であった。湖沼水中のCd濃度は3国とも0.02 µg/L以下、湖沼水中のHg濃度は3国とも0.1 µg/L以下であった。

Pbは日本で採取した土壌で約27 mg/kgと高い値であった。内モンゴルのPbは約20 mg/kg、モンゴル国のPbは約24 mg/kgであった。As、Cd、Pbが3国の土壌濃度は大差はなかった。Hgは内モンゴルで採取した土壌で約2.5 mg/kgと他の地域より高い値であった。

フホト市は元々内モンゴル自治区の行政、文化、軽工業の中心なので、化学産業や鉱業による土壌汚染

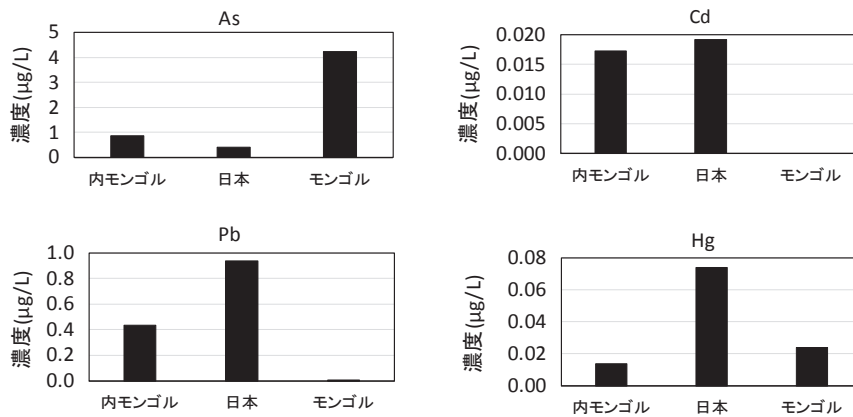


図5 湖沼水中有害元素濃度

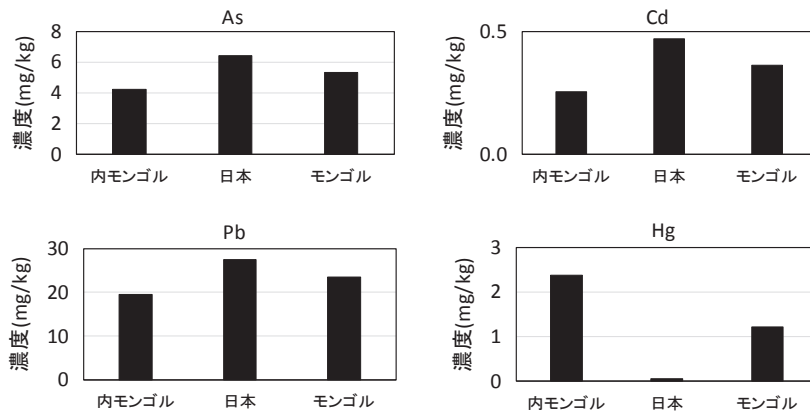


図6 土壌中有害元素濃度

は考えがたいが、1985年以来都市人口の増加、産業の多元化、そして地区エネルギー産業の促進や処理施設のような都市インフラ事業の建設遅れ等の原因で地区環境状態が悪化していると考えられる。

4. まとめ

内モンゴル自治区内の環境試料（湖沼水・土壌）を採取し、その元素濃度をICP-MSで測定し、日本の試料と比較した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 測定した元素のうち、湖沼水中Ca濃度が33,778 μg/Lと最も高く、次いでSrが316 μg/Lであった。土壌中Al, Ca, Feは100,000~10,000 mg/kgの範囲であった。Na, Mg, Kは10,000~1,000 mg/kgの範囲であった。
- 有害元素のうち、モンゴルで採取した湖沼水中ではAsの濃度が4.22 μg/Lであり、Cd, Pb, Hgは日本の濃度が高かった。土壌中As, Cd, Pb濃度は3国間で大差はなかった。Hgは内モンゴルで約2.5 mg/kgと他の地域より高い値であった。

参考文献

- 北良行, 小嶋吉広, 浅野友紀瑛, 中国内モンゴル自治区の鉱業と烏努格吐山(ウヌゲツシヤン)銅・モリブデン鉱山, 17-33, 2017.
- 納篤, モンゴルの金鉱山, 資源地質, 65(3), 153-62, 2015.
- National Institute for Minamata Disease, Proceedings of the Fifth International Workshop on "the Fate of Mercury in Gold Mining and Measures to Control the Environmental Pollution in Various Countries". National Institute for Minamata Disease, Minamata, Japan., 1996.
- Jane Korinek and Jeonghoi Kim. "Export Restriction on Strategic Raw Materials and Their Impact on Trade". OECD Policy Working Papers, 95, 19, 2010.
- 木村 美恵子, 微量元素と健康, 生活衛生 (Seikatsu Eisei) 43, 1, 7-14, 1999.
- 前島勇治, 川崎晁, 鉛土壌および農産物汚染に関する最近の研究動向, 日本土壌肥科学雑誌, 77, 1, p.119-124, 2006.
- 増島博, 土壌汚染, 図説環境科学, (社)環境情報科学センター編, 朝倉書店, 1994.
- 猶原順, Khadbaatar Sandag, ケイ添煦, 李媛媛, モンゴル国の環境水及び土壌中元素濃度の測定, フロンティア理工学研究所研究報告, 1, 23, 2019.

Measurement of Element Concentrations in Environmental Samples (Lake Water and Soil) in Inner Mongolia Autonomous Region, China

Jun NAOHARA and Yuan Yuan LI

*Graduate School of Engineering, Okayama University of Science,
0-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan*

Environmental samples (lake water and soil) in Inner Mongolia were collected and their elemental concentrations were measured by ICP-MS and compared with those of Japanese samples. As a result, the following were found.

1. Among the elements measured, Ca concentration in lake water was the highest at 33,778 $\mu\text{g/L}$, followed by Sr at 316 $\mu\text{g/L}$. Al, Ca, and Fe in soil ranged from 100,000 to 10,000 mg/kg; Na, Mg, and K ranged from 10,000 to 1,000 mg/kg.
2. Among the toxic elements, the concentration of As in lake water collected in Mongolia was 4.22 $\mu\text{g/L}$, while the concentrations of Cd, Pb, and Hg were higher than those in Japan. Concentrations of As, Cd, and Pb in soil were not significantly different among the three countries, while Hg was higher in Inner Mongolia (about 2.5 mg/kg) than in other regions.

Keywords: ICP-MS; element concentration; lake water; soil