

令和元年6月18日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05266

研究課題名(和文) モンゴル国の都市化とモータリゼーションに起因する重金属汚染の実態と遊牧業への影響

研究課題名(英文) Heavy metal pollution and its influence on nomadic livestock caused by urbanization and motorization in Mongolia

研究代表者

戸敷 浩介 (TOSHIKI, KOSUKE)

宮崎大学・地域資源創成学部・准教授

研究者番号：00542424

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、モンゴル国ウランバートル市郊外には、地方への幹線道路や様々な工場が建てられており、特に家畜への重金属の曝露量の増加が懸念される。本研究では、鉛バッテリーリサイクル工場周辺土壌中鉛濃度と、その工場周辺を含むウランバートル市郊外の遊牧家畜の血中鉛濃度を、2015年から2018年にかけて調査した。その結果、2018年の工場周辺土壌の鉛汚染は2016年に比べて拡大し、工場周辺の家畜の血中鉛濃度も増加していることが分かった。また、家畜の血中鉛濃度は、土壌中鉛濃度が低い地域においても、時期によっては高まることもあり、工場以外にもいくつかの鉛の汚染源があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、開発途上国の都市化が進む中、都市郊外にも工場や道路などの重金属の汚染源が広がっている。このため、都市部への食品供給を担う郊外の農畜産業が、その影響を受け始めている。開発途上国では、都市部の環境管理が進んできているが、都市郊外における環境管理は十分ではない。本研究では、モンゴル国ウランバートル市郊外の遊牧業を事例として、土壌や家畜への鉛汚染の現状をスクリーニングし、鉛濃度が高い地域における汚染源について考察したものである。本研究によって、汚染の実態が把握しにくい都市郊外の重金属汚染の調査方法や都市郊外の環境管理に関する知見が蓄積された。

研究成果の概要(英文)：In recent years, arterial roads to the rural areas are improved and various facilities have begun to be built in the suburb of Ulaanbaatar (UB), Mongolia. It is concerned that the exposure of heavy metals to nomadic livestock is increasing especially around UB. In this study, lead pollution is focused on. For soil pollution, the change of the lead concentration in soil around a recycling facility for lead acid batteries between 2015 to 2018. For livestock pollution, the change of the lead concentration in blood in the suburb of UB including around the facility. As the result, it is clarified that soil pollution around the facility has expanded and livestock pollution has increased in 2018 compared to in 2016. It is also found that the lead concentration in blood of livestock may be high depending on the time even in the place where the lead concentration in soil is not high. These results suggest multiple lead pollution sources that affect livestock exist in the suburb of UB.

研究分野：環境政策学

キーワード：鉛汚染 モンゴル国 遊牧 自動車リサイクル

1. 研究開始当初の背景

報告者は、アジアにおける都市鉱山と都市廃棄物の適正処理をテーマに研究を進めていた。特に2014年度からは、モンゴル国に輸出される日本の中古ハイブリッド車を介したニッケル水素蓄電池の回収・再活用手法について、調査を進めていた。この調査の過程で、モンゴル国では急激なモータリゼーションにより鉛蓄電池の排出量も急増していることが分かった。また、2014年9月に行った調査では、東アジアにおける鉛需要の拡大の影響もあり、ウランバートル市郊外の草原地帯で、鉛蓄電池の回収・精錬事業が行われていることが分かった。

首都ウランバートル市では、都市化とモータリゼーションが進み、市民の生活が豊かになりつつある反面、大気汚染などが深刻化していた。このため、市民の間では都市部の生活環境に対する意識が高まり、政府も規制や管理の強化と環境改善策を打ち出し始めていた。一方で、ウランバートル市の郊外では工場など汚染源となり得る施設や地方都市への幹線道路などが増加してきていた。郊外の草原地帯では、行政による管理が行き届かないため、こうした施設や道路周辺の環境汚染が懸念された。特に、モンゴル国は伝統的に遊牧による畜産業が盛んである。遊牧では、柵に囲われた牧場ではなく、草原で放牧が行われている。従って、郊外に増加しつつある工場や道路のすぐ傍まで、遊牧家畜はアクセスできる。2013年および2014年の夏季に、報告者らがモンゴル国の廃棄物処理に関する調査を行った際には、ウランバートル市郊外にある都市廃棄物の埋立処分場や道路沿いのごみ捨て場、そして工場の敷地のすぐ傍で草を食んでいる遊牧家畜を確認していた。また、2014年の調査時に鉛蓄電池の精錬事業が行われている施設を確認したところ、近くに水飲み場となっている池があるため、施設周辺の草原に遊牧家畜が集まってくることも確認した。

重金属による環境汚染に関する先行研究は、主に都市部の大気や土壌、植物または農地の重金属含有量や周辺住民の血中鉛濃度など、ヒトへの曝露を前提とした調査が行われてきた。そこで本研究では、モンゴル国ウランバートル市周辺における遊牧家畜への曝露を前提とした調査を行うことにした。

2. 研究の目的

本研究は、モンゴル国ウランバートル市周辺の遊牧家畜への重金属曝露の現状について明らかにすることを目的とした。

具体的な目的の一つ目は、遊牧民の自衛手段としての重金属汚染の実態解明であった。本研究では主に鉛に着目し、ウランバートル市郊外の鉛精錬施設周辺における汚染の範囲などの情報を調査し明らかにすることを目的とした。

具体的な目的の二つ目は、遊牧家畜の将来の安全を確保するため、適切な環境管理手法を政策提言することであった。ウランバートル市郊外の草原に点在する施設や幹線道路など、重金属汚染の可能性があったとしても、把握することが困難である。そこで本研究では、草原の遊牧家畜に曝露する可能性がある鉛の排出源について検討することにした。

3. 研究の方法

本研究では、草原における鉛汚染の有無やその広がりを調べるため、土壌試料と遊牧家畜の血液を採取して鉛の含有量を調査した。主な調査対象は、ウランバートル市郊外の鉛精錬施設周辺の畜産農家と遊牧民、更にウランバートル市から東西南北に30~70km程度離れた草原の遊牧民とした。

採取した土壌試料は風乾して2mmのふるいで小石や植物体等を除去し、可搬型のエネルギー

一分散型蛍光エックス線分析装置 (Genius XRF; Skyray Instruments, Co. Ltd., China) を用いて鉛の濃度を測定した。なお、土壌試料は植物防疫所の許可を得て日本に持ち帰り保管している。

遊牧家畜の血液試料は、モンゴル国立農業大学獣医学研究所の協力の下で採取し、可搬型血中鉛濃度測定器 (LeadCare® system; Magellan Diagnostic, USA) を用いて鉛の濃度を測定した。

4. 研究成果

主な研究成果について、以下のように整理した。

1) 鉛精錬施設周辺の土壌中鉛含有量および遊牧家畜の血中鉛濃度

まず、本研究で着目したウランバートル市郊外の鉛精錬施設周辺の土壌については、施設の敷地の北東角を原点として 50 メートルごとのメッシュに区切って土壌試料を採取し、鉛含有量を測定した。図 1 に、2016 年 8 月と 2018 年 8 月に採取した土壌試料中の鉛含有量から推定される施設周辺の鉛濃度の分布を示した。なお、後述するようにこの施設周辺以外の草原では、土壌中鉛含有量が 50 [mg/kg] を超えることはなく、この施設周辺は極めて鉛濃度が高い。また 2016 年に比べて 2018 年は鉛汚染の範囲が広がっていると考えられる。特に施設から北東 300m 付近に水場があるため、原点から東側に広がる草原には遊牧家畜が集まってきている。

一方、図 2 にはこの施設に隣接する畜産農家の家畜の血中鉛濃度の推移を示した。2016 年と 2017 年は有意差がないが、2017 年と 2018 年については血中鉛濃度が上昇していた。

この畜産農家へのインタビュー調査では、2016 年頃まではこの施設は不定期で短期間に集中して操業していた。しかし、2017 年頃からは操業の間隔が短くな

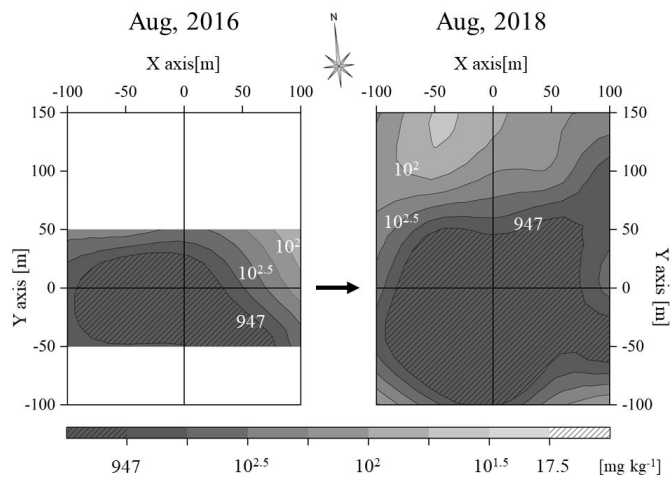


図 1 2016 年 8 月と 2018 年 8 月の鉛精錬施設周辺土壌における鉛濃度分布の推移

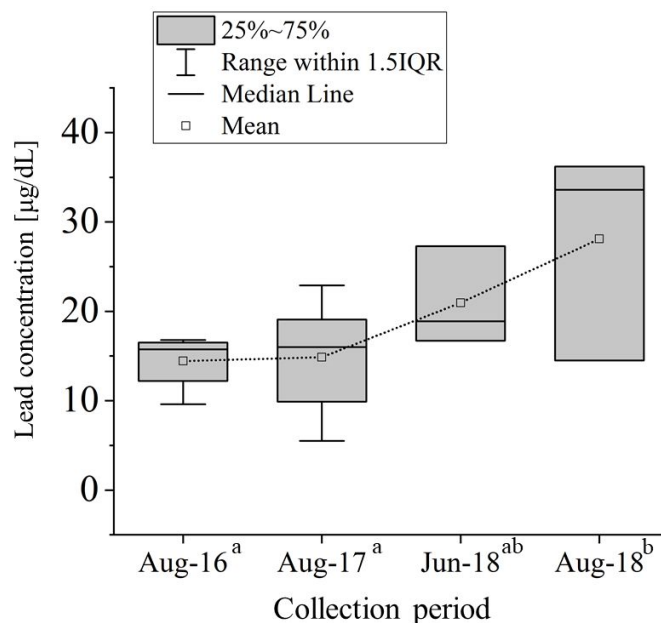


図 2 2016 年から 2018 年までの鉛精錬施設に隣接する畜産農家の家畜の血中鉛濃度の推移 (測定年月に付したアルファベットが異なる場合は有意差があることを示す)

り、少なくとも 2018 年 8 月の時点ではほぼ毎日操業するようになっていた。また、この鉛精錬施設からの排ガスは、煙突からではなく建屋北東の上階の隙間から排出されていた。これらのことから、畜産農家の家畜に対する鉛精錬施設から排出される鉛の曝露量も、2018 年頃から増加していると考えられた。

2) ウランバートル市から 30～70km 離れた草原の土壌および遊牧家畜の血中鉛濃度

ウランバートル市から東西南北に離れた草原の遊牧民の協力の下、遊牧家畜の血液を採取し、血中鉛濃度を測定した。また、合わせてこれらの遊牧民が拠点としている地域の土壌を採取して鉛含有量を測定したほか、遊牧民への聞き取りで、周辺に工場などがあるかを確認した。

まず、土壌試料については、全て 50 [mg/kg] を超えるような場所はなかった。地方への幹線道路の周辺についても、遊牧家畜が頻繁に横切るような場所を採取したが、同様に鉛濃度は低かった。

一方、遊牧家畜の血中鉛濃度については、2015 年から 2018 年にかけて夏季に調査を行ってきたが、ほとんどが血中鉛濃度測定器の検出下限値以下であった。ただし、2016 年に採取した東の草原の遊牧家畜と、2017 年に採取した南の草原の遊牧家畜において、検出上限値 65 [μ g/dL] を超える高い値を示す個体が非常に多かった。そして、いずれも翌年の調査では血液を採取した全ての個体が検出範囲内または検出下限値以下の血中鉛濃度を示していた。遊牧民へのインタビュー調査では、鉛精錬施設のような排出源が周辺の草原にはなく、また数カ月以内にそのような施設の周辺に拠点を置いたこともないとのことだった。これらの血中鉛濃度が高かった遊牧家畜への鉛の曝露源は不明であるが、鉛精錬施設のような固定排出源ではなく、何らかの移動排出源か、もしくは鉛を含有する物品の不法投棄など、他の汚染源があることが考えられた。この点については、鉛の安定同位体比による発生源の検討等を行っているが、現時点では不明であり、今後の課題として残っている。

3) モンゴル国における中古自動車輸入と使用済み自動車の現状について

草原における鉛精錬事業の背景として、モンゴル国のモータリゼーションが挙げられる。モンゴル国における登録自動車数は、1990 年の 40,000 台から 2015 年には 450,000 台まで増加している。2007 年頃から日本の中古車の輸入量が増加し始めており、2015 年には自動車輸入量の約 75% を占めている。モンゴル国におけるモータリゼーションの特徴の一つは、図 3 に示すように車齢 10 年以上の古い車が多いことである。多くの国が、輸入自動車に対して車齢やハンドルの位置で規制をかけているのに対して、モンゴル国では厳しい規制がないため、古い中古自動車が輸入された。これらが短い

年月の後に都市部では使用されなくなり、地方都市や遊牧民向けに販売されることになる。その後は行政の管理が行き届かなくなり、不法投棄や放置がされやすい。

自動車に搭載されている鉛蓄電池については、使用済みのものの輸出入はバーゼル条約により厳しく規制されている。しかし、輸出入されている中古車に搭載

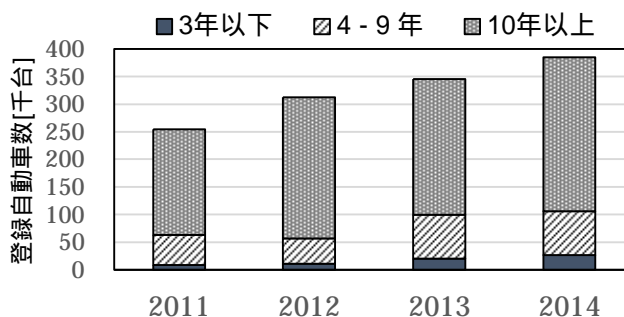


図 3 2011 年から 2014 年までのモンゴル国の車齢別登録自動車数の推移（モンゴル国税関資料より作成）

されているものは、たとえ古くてもバーゼル条約の規制対象にはなっていない。モンゴル国に輸入されている中古車に搭載されている鉛蓄電池は、寒冷な気候によって劣化が早い。本研究グループの調査によれば、モンゴル国における自動車用鉛蓄電池は、約2年で交換時期を迎えている（日本では約4年）。

本研究グループが行った鉛蓄電池販売業者や自動車ユーザー、遊牧民、鉛蓄電池回収業者らに対して行ったインタビュー調査から、現在のモンゴル国における使用済みとなった鉛蓄電池の廃棄ルートは大きく分けて三つある。一つ目は、使用済み鉛蓄電池の回収事業者を通して、草原で稼働している鉛精錬事業者に運ばれ、鉛のインゴットとして陸路で中国に輸出されるルートである。本研究グループが調査した郊外の鉛精錬施設もその一つである。二つ目は、国境付近で閉山した鉱山などの跡地が不法投棄場となっており、電解液を廃棄した後に中国に輸送されるルートである。三つ目は、劣化した鉛蓄電池を遊牧民らが家庭用蓄電池として使用し、更に劣化して使用不可能となった際に草原に放置されるルートである。いずれのルートも、遊牧家畜に対する鉛の汚染源である可能性が高いと考えられる。

本研究では、結果として使用済みとなった自動車用鉛蓄電池の廃棄に関連する汚染源について検討してきた。鉛精錬施設は高濃度の汚染源として実際に草原環境に被害を及ぼしており、遊牧家畜や畜産食品への影響が懸念される。そして国境付近での希硫酸の不法投棄や遊牧民による使用済み鉛蓄電池の放置は、広い草原では位置の把握が難しい汚染源として存在している可能性がある。使用済み鉛蓄電池の廃棄ルートに関するトレーサビリティの確保は、今後の遊牧業のために必要であり、本研究グループでも今後の課題として取り組んでいく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

内藤 博敬, 戸敷 浩介, 劉 庭秀, Erdenedalai Baatar, Buyantogtokh Chojijilsuren, Javzandolgor Tserendorj, Bolorchuluun Shukhee, 谷 幸則. モンゴル国 Ulan Bator 市周辺の遊牧家畜に対する鉛汚染調査. 環境科学会誌, 査読有, 30 巻, 4 号, 274-281. DOI: 10.11353/sesj.30.274

〔学会発表〕(計 9 件)

戸敷 浩介. モータリゼーションと鉛汚染 モンゴル国の事例 . 環境科学会, 2018 年 9 月 10 日, 東洋大学 (東京都北区)

戸敷 浩介, 内藤 博敬, 劉 庭秀, Enkhdul Tuuguu, Javzandolgor Tserendorj, Buyantogtokh Chojijilsuren Erdenedalai Baatar. モンゴル国ウランバートル市周辺の土壌及び遊牧家畜における鉛汚染調査. 2018 年 5 月 22 日, 沖縄県市町村自治会館 (沖縄県沖縄市)

劉 庭秀, Baatar Erdenedaai. モンゴル国における都市環境問題の特徴と課題 環境汚染防止と資源リサイクルのジレンマ . 環境科学会, 2016 年 9 月 9 日, 横浜市立大学 (神奈川県横浜市)

戸敷 浩介, 内藤 博敬, 劉 庭秀, Erdenedalai Baatar, Buyantogtokh Chojijilsuren, Javzandolgor Tserendorj, Bolorchuluun Shukhee. モンゴル国ウランバートル市周辺土壌における鉛汚染調査. 環境化学会, 2017 年 6 月 7 日, 静岡県コンベンションアーツセンター「グランシップ」 (静岡県静岡市)

戸敷 浩介, 内藤 博敬. ウランバートル市周辺の鉛バッテリーリサイクルと鉛汚染の現状. 環境科学会, 2016 年 9 月 9 日, 横浜市立大学 (神奈川県横浜市)

内藤 博敬, 戸敷 浩介. ウランバートル市周辺の遊牧家畜に対する鉛汚染. 環境科学会, 2016年9月9日, 横浜市立大学(神奈川県横浜市)

Kosuke Toshiki, Hiroataka Naitou, Jeong-Soo Yu, Erdenedalai Baatar, Yuko Saito, Tserendorj Javzandolgor, Chojilsuren Buyantogtokh. The Current Status of Lead Pollution in Soils in Ulaanbaatar, Mongolia. Asian Automotive Environmental Forum, 2015年10月1日. 秋田キャッスルホテル(秋田県秋田市)

Hiroataka Naitou, Jeong-Soo Yu, Erdenedalai Baatar, Yuko Saito, Chojilsuren Buyantogtokh, Tserendorj Javzandolgor, Yukinori Tani, Kosuke Toshiki. Effects on Livestock Caused by Heavy Metal Pollution on the Motorization in Mongolia. Asian Automotive Environmental Forum, 2015年10月1日. 秋田キャッスルホテル(秋田県秋田市)

戸敷 浩介, 内藤 博敬, 劉 庭秀, Buyantogtokh Chojilsuren, Erdenedalai Baatar, 齋藤優子. モンゴル国のモータリゼーションに起因する重金属汚染の現状と遊牧業への影響. 環境科学会, 2015年9月7日, 大阪大学(大阪府吹田市)

〔図書〕(計 1件)

Jeongsoo Yu, Shuoyao Wang, Kosuke Toshiki, Kevin Roy B Serrona, Gengyao Fan, Baatar Erdenedalai. Royal Society of Chemistry. Latest Trends and New Challenges in End-of-Life Vehicle Recycling, in: Environmenta Impact of Road Vehicles: Past, Present and Future. 2017. 40. DOI: 10.1039/9781788010221-00174

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 内藤 博敬

ローマ字氏名: NAITOU, Hiroataka

所属研究機関名: 静岡県立大学

部局名: 食品栄養科学部

職名: 助教

研究者番号(8桁): 30254262

研究分担者氏名: 劉 庭秀

ローマ字氏名: YU, Jeongsoo

所属研究機関名: 東北大学

部局名: 大学院国際文化研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 70323087

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。