

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24710007

研究課題名(和文) 森林流域における水銀の動態に関する研究

研究課題名(英文) Dynamics of mercury in forest watershed

研究代表者

横田 久里子(yokota, kuriko)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60383486

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：屋久島(鹿児島県)西部地域の森林域を調査地点とし、大気中水銀動態観測を行った。調査地点は森林内にあるため、ソーラーパネルで発電した電気をカーバッテリーに接続し、別途接続した直流電源用吸引ポンプを稼働させることで無電源地帯での連続観測が可能となった。また、宇連(愛知県)において、降水、土壌水、渓流水等を定期的に採取し、環境水中の水銀濃度をモニタリングし、降雨による水銀の年間沈着量及び河川からの年間流出量を算出した。

研究成果の概要(英文)：The continuous observation system of atmospheric mercury was constructed by connecting the solar panels, car battery and pump. The vertical distributions survey of atmospheric mercury of Yakushima Island, Kagoshima prefecture, became possible by this system. The investigations of water quality at forest watershed located the upstream of the Ure river, Aichi prefecture, were conducted to evaluate the annual runoff load of mercury.

研究分野：環境動態解析

科研費の分科・細目：物質循環

キーワード：水銀 ノンポイント汚染 森林 沈着量 観測システム

1. 研究開始当初の背景

水銀は、2013年10月に熊本・水俣にて水銀に関する水俣条約が締結され、世界的に注目されている物質である。地球上を移動している水銀の50%はアジア起源であるといわれており、その大部分が中国大陸で放出されている。北半球の中緯度地域の卓越風は西風であり、その結果、大陸で放出された水銀が我が国に輸送されてくるのが危惧されている。欧米では、自然環境中の水銀の分布や動態に関する研究は1980年代後半から環境科学研究の主要な課題となっている。一方、我が国では1960～1970年代の水銀汚染による公害問題以降、毒性に関する社会的関心はあるものの、大気降下物を主な起源とする自然環境中の水銀動態に関する基礎的な情報は十分に蓄積されていないのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 連続観測システムの構築

大気中の水銀は、気団によりその存在する水銀濃度が異なることが示唆されており、連続観測システムが有効である。しかし、本研究の対象地点は森林域で電源がない。そこで、人的汚染源の無い森林域で大気中の水銀動態を連続モニタリングするために、ソーラーパネルを用いた観測システムを構築する。

(2) 森林域における水銀の動態

大気中の水銀の挙動とは別に、森林域における降雨による水銀沈着量を算出する。また、土壌水や渓流水中の水銀動態をモニタリングすることで沈着した水銀の挙動を明らかにする。さらに、渓流水からの水銀流出量を算出することで森林域からどれくらいの水銀が河川を通じて環境中に放出されているのか明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は図1に示す屋久島(鹿児島県)と宇連(愛知県)にて調査研究を行った。

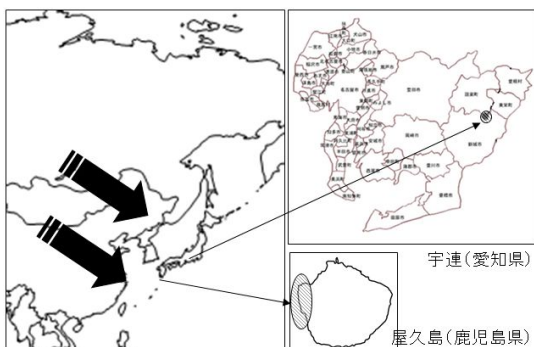


図1 調査地点

(1) 連続観測システムの構築

ソーラーパネルで発電した電気をカーバッテリーに接続し、別途接続した直流電源用吸引ポンプを稼働させる。観測項目は 大気中ガス状・粒子状水銀、大気中粒子状物質、大気中ガス状物質であり、この電源を

用いて 気象観測(温度,湿度,風向,風速,雨量)も行った。設置したのは図1の屋久島(鹿児島県)の西部地域で、標高200m,400m,800m地点に観測点を設け、高度別の大気中水銀の観測を行った。

(2) 森林域における水銀の動態

2007年より断続的に大気中水銀の試料採取を行ってきただが、テーマ(1)で構築した連続観測システムにより、大気中ガス状・粒子状水銀の連続観測が可能となったため、季節風の影響を特に受けやすい冬季から春季にかけて集中観測を実施した。集中観測期間は2013年1月～5月である。また、降雨により水銀の沈着量を算出するため、林外雨、林内雨を採取するとともに、沈着した水銀の動態を明らかにするために、土壌水や渓流水を合わせて採取した。調査地点は図1の屋久島である。

森林域の渓流河川からの水銀流出量を算出するために、図2に示す宇連(愛知県)の宇連川流域において調査を行った。原則、1週間に一度の現地調査において、試料の採水、計測した水位(mm)と流速(m/s)から調査時の流量(m³/s)を算出した。また、降雨からの水銀沈着量を算出するために、林外雨及び林内雨を採取した。また、調査時に大気中のガス状及び粒子状水銀を採取した。調査期間は、2012年4月からである。

4. 研究成果

(1) 連続観測システムの構築

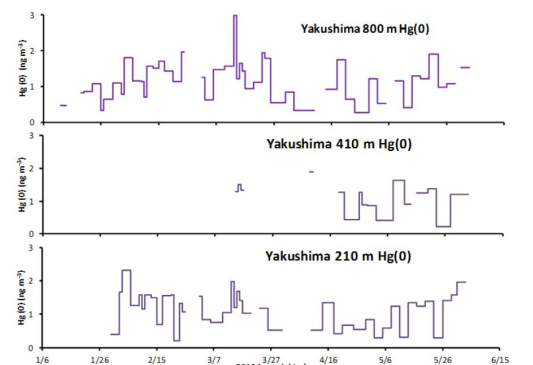


図2 構築したシステムによる連続観測結果

図2に構築したシステムを用いた連続観測結果を示す。天候不順によるデータ欠損が見られるものの、おおむね連続観測が可能であることが分かった。410m地点はアクセスが困難なため、断片的なデータとなっている。現在、各地点に設置している気象計の風向風速データとバックトラジェクトリー解析等にて解析作業中である。

(2) 森林域における水銀の動態

図3に屋久島観測地点で採取した、林外雨及び林内雨の水銀濃度を示す。試料中の水銀濃度は採取毎に濃度がばらつき、一様でないことが分かった。また、林外雨よりも林内雨

中の水銀濃度が高く、谷地点に比べて、尾根地点の水銀濃度が高く、大気の滞留や雲の発生状況、雨の降り方など地形の影響を受けていることが示唆された。また、溶存態水銀に比べて、粒子状水銀濃度は、ばらつきは大きいものの、平均では溶存態水銀濃度の方が高いことが分かった。

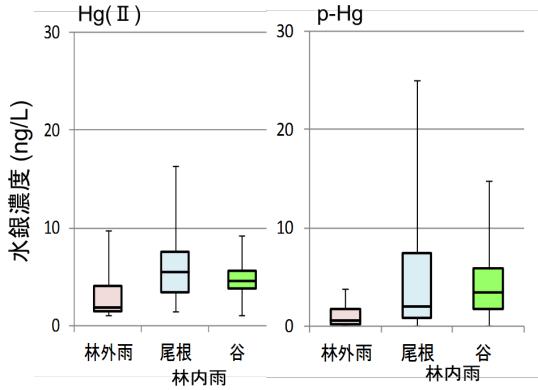


図3 降水中の水銀濃度

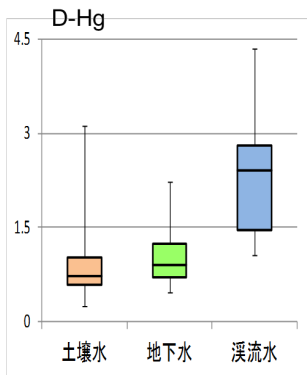


図4 土壌水，地下水，渓流水中の水銀濃度

図4に屋久島観測地点で採取した土壌水，地下水，渓流水の水銀濃度を示す。降水に比べて10分の1程度の濃度であり，降雨により沈着した水銀は，大部分が土壌中に蓄積されていることが分かった。このことは，土壌表面からの水銀の再放出や，降雨に伴う土壌表面流出による水銀流出などが懸念される。そこで，頻繁な調査が可能な大学（豊橋）近郊で，人的汚染の影響がないと思われる宇連川源流域を調査地点として，1週間に1度の現地調査を行った。

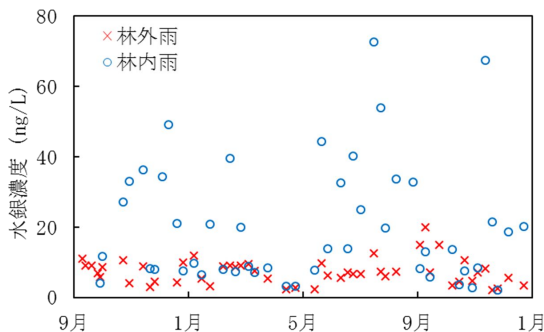


図5 宇連川流域における降水中の水銀動態

図5に2012年9月から2014年1月までの林内雨及び林外雨の水銀濃度を示す。酸性沈着と同じように，林外雨よりも林内雨の方が濃度が高いことが分かった。これは，葉の表面に水銀が沈着しており，降雨により葉の表面を洗い流しているものと考えられる。また，バルク試料として採取した林外雨及び林内雨の水銀濃度（ng/L）に採取溶液の体積（L）を乗じて算出した沈着量（ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ）は，林外雨よりも林内雨の方が高く，森林土壌中に水銀が蓄積されやすいことを示している。

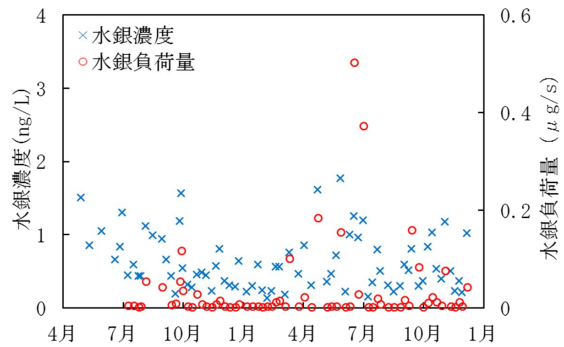
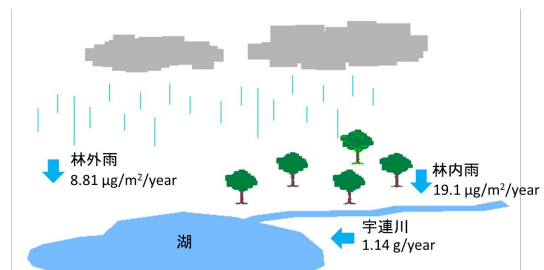


図6 宇連川試料中の水銀濃度後負荷量

図6に宇連川河川水中の水銀濃度と水銀負荷量を示す。水銀負荷量（ $\mu\text{g}/\text{s}$ ）は調査時に採取した試料中の水銀濃度（ng/L）に算出した実測流量（ m^3/s ）を乗じて算出した。河川中の水銀濃度は，大部分が1ng/L以下であり，通常の河川水中の水銀濃度程度であった。負荷量の値が大きくなっているポイントは，調査時に降雨が観測されたりするなど，降雨に伴う水位の上昇が観測されている。水銀濃度も晴天時の試料に比べるとわずかに高く，流量も増加しているため，水銀流出負荷量が増大することが分かった。このことは，降雨に伴い水銀を保持している土壌表面の流出に伴い水銀濃度が上昇することを示唆している。



$$\text{水銀年間負荷量 (g/year)} = \sum (\text{水銀濃度 (ng/L)} \times \text{流量 (m}^3/\text{s)} \times 1(\text{週間}) \times 10^9)$$

$$\text{水銀年間沈着量 (}\mu\text{g/m}^2\text{/year)} = \sum (\text{水銀濃度 (ng/L)} \times \text{降水量 (mm)} \times 10^{-3})$$

図7 年間負荷量及び年鑑沈着量（2013年）

図7に宇連川流域における2013年の年間水銀沈着量及び流出量を示す。水銀の沈着量は，調査時に回収したバルク試料にて算出した沈着量を式を用いて算出した。

$$\text{水銀年間沈着量 (}\mu\text{g/m}^2\text{/year)} = (\text{水銀濃度 (ng/L)} \times \text{降水量 (mm)} \times 10^{-3}) \cdot \dots \text{式}$$

年間流出量は、調査時の負荷量が1週間継続するとして、式 を用いて算出した。

水銀年間負荷量 (g/year) = (水銀濃度 (ng/L) × 流量 (m³/s) × 1 (週間) × 10⁻⁹)
・・・式

林外雨及び林外雨による年間湿性沈着量は 8.81µg/m²/year, 19.1µg/m²/year であり、広域に広がる森林土壌中には水銀が蓄積されていることが明らかとなった。また、河川からの水銀流出量は 1.14g/year となった。この値は原則1週間に1度の調査に基づいて算出した値であり、降雨時の影響を考慮していないため過小に評価されている可能性がある。現在、調査地点に水位計が設置されているため、今後降雨時調査等を実施することでよりもっともらしい水銀流出負荷量を算出することが期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 13 件)

- (1) 永淵修, 横田久里子, 過去 20 年間における樹水中 N/S 比の変動, 山岳大気研究部門成果報告会, 2014 年 3 月 25 日, 東京
- (2) 横田久里子, 永淵修, 菱田尚子, 手塚賢至, 森林流域における水銀の動態, 第 48 回日本水環境学会年会, 2014 年 3 月 17 日, 仙台
- (3) 東野翔, 井上隆信, 横田久里子, 菱田尚子, 宇連川流域における水銀の降下, 流出濃度の評価, 第 48 回日本水環境学会年会, 2014 年 3 月 17 日, 仙台
- (4) 矢野貴一, 井上隆信, 横田久里子, 都市域における水銀の湿性沈着量に関する研究, 第 48 回日本水環境学会年会, 2014 年 3 月 17 日, 仙台
- (5) YOONG WEI LING, 横田久里子, 井上隆信, 宇連ダムにおける水銀分布に関する研究, 第 48 回日本水環境学会年会, 2014 年 3 月 17 日, 仙台
- (6) 菱田尚子, 永淵修, 横田久里子, 手塚賢至, 屋久島における水銀濃度の変動と沈着量, 第 48 回日本水環境学会年会, 2014 年 3 月 17 日, 仙台
- (7) 伊東克浩, 井上隆信, 横田久里子, 豊川流域における水銀流出量の評価, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会, 2014 年 3 月 7 日, 岐阜
- (8) 永淵修, 横田久里子, 加藤俊吾, 中澤暦, 西田友規, 菱田尚子, 富士山頂における大気中水銀の連続観測と同期する大気汚染物質の観測及び湿性降下物中の水銀濃度の把握, 富士山測候所を活用する会 第 7 回成果報告会, 2014 年 1 月 26 日,

東京

- (9) 東野翔, 井上隆信, 横田久里子, 駒井幸雄, 宇連川流域における水銀の降下, 流出濃度の評価, 第 13 回環境技術学会研究発表会, 2013 年 9 月 13 日, 岐阜
- (10) 菱田尚子, 永淵修, 木下弾, 西田友規, 横田久里子, 丸本幸治, 大気境界層における大気中水銀の長距離輸送の解明, 第 54 回大気環境学会年会, 2013 年 9 月 18 日, 新潟
- (11) 池田佳祐, 永淵修, 横田久里子, 尾坂兼一, 中澤暦, 北淵浩之, 手塚賢至, 屋久島における粒子状物質の動態及びアジア大陸からの長距離輸送の影響評価, 第 54 回大気環境学会年会, 2013 年 9 月 18 日, 新潟
- (12) Osamu Nagafuchi, Kuriko Yokota, Shungo Kato, Hazumu Kinoshita, Naoki Hashimoto, Origin of atmospheric gaseous mercury using the Hg/CO ratio in pollution plume observed at Mt. Fuji Weather Station, The 11th International Conference on Mercury as a global Pollutant 28th July -2nd August 2013.
- (13) 永淵修, 木下弾, 橋本直己, 尾坂兼一, 三宅隆之, 西田友規, 横田久里子, 中澤暦, 富士山測候所で大気中水銀濃度を測ることの難しさ, 富士山測候所を活用する会, 第 6 回成果報告会, 2013 年 1 月 27 日, 東京

総件数 19 件

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
横田 久里子 (YOKOTA Kuriko)
豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 准教授
研究者番号: 60383486
- (2) 連携研究者
永淵 修 (NAGAFUCHI Osamu)
滋賀県立大学 環境科学部 教授
研究者番号: 30383483

井上 隆信 (INOUE Takanobu)
豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 教授
研究者番号: 00184755
- (3) 研究者協力者
手塚 賢至 (TEDUKA Kenshi)
屋久島生物多様性保全協議会 会長