

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 7日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22580172

研究課題名（和文） 酸性化に伴う森林土壌の重金属保持機能の変化と溶出リスク予測に関する研究

研究課題名（英文） Influence of forest soil acidification on the retention and leaching of heavy metals in forest ecosystems.

研究代表者

伊藤 優子 (ITO YUKO)

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号：60353588

研究成果の概要（和文）：森林土壌の酸性化による森林生態系における重金属動態の変化を予測するために、2つの異なる森林流域において重金属動態を明らかにした。2つの流域において土壌中の重金属の動態が異なっており、慢性的な酸性化物質の負荷に伴う土壌の酸性化の影響が見られる流域において、亜鉛、カドミウムの土壌中の移動量が多かった。また、流域からの重金属の溶出は少ないが、元素によっては流域の地質、深層土壌や基盤岩石への吸着(固定)の影響が示唆された。

研究成果の概要（英文）：In order to predict the change of heavy metal behaviors with soil acidification, we determined heavy metal fluxes in precipitation, soil water, and stream water in two forest watershed. The heavy metals behaviors were different at two sites. At Tsukuba, the concentrations of metals (Zn, Cd) were significantly higher than those at Katsura. However, surface water acidification and high losses of metals from forest ecosystems have not been detected yet.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林科学

キーワード：重金属、物質循環、森林土壌

1. 研究開始当初の背景

鉛などの重金属は紀元前から人類に使用され、環境中に放出されてきた。産業革命後、その使用量は激増した。大気中に放出された重金属は排出源から離れた地点にも移送される。重金属はそれ自体が生物にとって有害なだけでなく、その影響が長期間、広範囲に及び、「時間と空間を超える問題」と言わ

れている。これまでに申請者は、日本の森林域において、大気中に放出された重金属（鉛、カドミウム）が、排出源の有無に関わらず源流域の森林においても負荷されていることを明らかにした。また、大気から森林に流入した鉛の多くが森林土壌表層部に保持されていることを鉛同位体の比較を行い明らかにした。一方、人間活動の活発な大都市周辺

の森林域では窒素負荷の増加が問題となっている。実際、関東平野周辺の森林から流出する渓流水中の硝酸イオン濃度が年間を通じて高い「窒素飽和現象」が報告されている。また、近年のアジア諸国の経済活動の活発化に伴い、アジア大陸から日本への窒素や重金属を含む越境大気汚染物質の流入負荷の増加が懸念されている。

大気由来の過剰な窒素負荷は、単に森林生態系における窒素収支に変化をもたらすだけでなく、森林土壌中において多量のプロトンを生成し、土壌中からの塩基の溶出により土壌を著しく酸性化させることが指摘されている。多くの日本の森林土壌は火山灰を母材とし、土壌層が比較的厚いため、酸に対する高い緩衝能がある。そのため、欧米で観測された様な森林衰退や生物の住めない「死の湖」などの現象はこれまで報告されていない。しかしながら、慢性的な大気からの窒素の高負荷は、徐々に森林土壌の酸緩衝能力を低下させる。そして、土壌の酸性化により、これまで森林生態系内に保持されていた重金属が、森林土壌中から溶出しやすくなり、地下水および渓流水によって系外へ流出する可能性が考えられる。「酸」に対する緩衝能が高いとされてきた日本の森林において、これまでに、森林土壌中の重金属の移動実態や、それらに影響を及ぼす森林土壌の有する重金属の保持機構の解明に関わる研究はない。

2. 研究の目的

(1) 森林土壌中の重金属の挙動の実態解明

本研究では「窒素飽和現象」がみられる森林流域において、表層から下層にかけて土壌水試料を継続的に採取し、実際の森林土壌中における重金属の移動実態を解明する。

(2) 森林土壌中の重金属の保持に関する要因の解明

重金属は元素ごとに土壌中の挙動が異なると考えられるため、多段階逐次抽出法を行い、森林土壌中に存在する重金属と土壌固相との化学結合形態より、各元素と土壌との保持力を明らかにする。また、土壌試料の理化学特性を測定し、森林土壌の重金属保持に関わる土壌特性との関係を元素ごとに明らかにする。

(3) 森林土壌からの重金属溶出リスクの解明

今後予想される環境の変化（土壌の酸性化、重金属負荷量の増加）による森林土壌からの重金属溶出のリスクを現地観測および室内実験により得られたデータを用いて解析する。

3. 研究の方法

本研究では、重金属のなかでも特に有害性の高い鉛(Pb)、カドミウム(Cd)、高濃度では

有害であるが植物の必須元素でもある銅(Cu)、亜鉛(Zn)、および人為起源の指標となりうるバナジウム(V)、アンチモン(Sb)を対象とする。

森林小流域（大気からの窒素負荷量の異なる流域）において、降水（林外雨、林内雨）、土壌水、渓流水の観測・分析により、上記の重金属の流域における収支、土壌中の移動実態を明らかにする。また、観測地点の森林土壌の理化学性、および各重金属と土壌固相との吸着特性および酸添加による重金属の溶出特性を室内実験により明らかにする。

これらの観測および実験から得られた結果から、森林土壌の酸性化による重金属の動態の変化が森林生態系内および系外へ及ぼす影響を予測する。

(1) 森林土壌中における土壌水にとまらぬ重金属の移動実態の解明

重金属吸着性の低い土壌水採取装置（PTFE製のポーラスカップ、テンションフリーライシメータ）を森林流域試験地に表層から下層にかけて（0～130センチ）で埋設する。2週間に一回の頻度で土壌水の採取を行う。

・土壌水中の重金属の鉛直方向の濃度変化を明らかにする（ICP-AES, ICP-MS 分析）。

・土壌水の化学性および他の溶存成分濃度の分析（pH, EC, DOC, 主要イオン濃度）も行う。

(2) 森林土壌の物理化学性の解明

森林土壌中の重金属動態に影響を及ぼす土壌特性要因を解明するために、一般化学分析（pH, EC, CEC, C 含量等）、粒径組成分析（水篩法）等を行う。

(3) 森林土壌中の重金属保持形態の解明

層位ごと採取した土壌試料を用い、BCR法により深度別に土壌固相と重金属の結合形態、および、その存在割合を明らかにする。
*BCR法：3段階の逐次抽出により、同一の森林土壌試料中の重金属元素を①交換態、炭酸塩結合態（高移動性）、②鉄・マンガン酸化物結合態、③有機物結合態、④鉱物結合態（低移動性）に分画することができ、土壌固相と重金属の結合形態から、土壌中の各元素の保持、移動性に関する情報が得られる。

(4) 森林生態系からの重金属の溶出リスクの予測

森林流域での物質収支観測による実態解明および、森林土壌の重金属保持特性や土壌の理化学性との関係より、森林土壌からの重金属の溶出リスクについて解析する。

4. 研究成果

森林小流域（筑波共同試験地、桂試験地）において、降水（林外雨、林内雨）、土壌水

(0~100 センチ)、渓流水の観測観測 (2 週間に一回の頻度) を期間中継続して行った。

(1) 森林生態系における重金属の動態

大気から森林への重金属の流入量は筑波共同試験地>桂試験地であった。特に、亜鉛、バナジウム、アンチモンで差が大きかった。

筑波共同試験地における降水 (林外雨) 中の重金属濃度の平均値はそれぞれ、Pb:1.44 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、Cd:0.05 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、Cu:5.05 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、Zn:7.27 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、V:0.41 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、Sb:0.09 $\mu\text{g L}^{-1}$ であった。これらの重金属の濃度は林内雨中で 1.3~1.8 倍程度高くなった。一方、流域から流出する渓流水中の濃度は両流域で差は小さかった。流入量の多かった筑波共同試験地においても、バナジウムを除き、林外雨の 0.14~0.26 倍と低下した。しかしながら、バナジウムは林外雨より渓流水中の濃度が 3.6 倍程度高くなった。これは、筑波共同試験地の主な地質が斑禰岩であり、バナジウムを多く含む基岩から溶出し、渓流水中の濃度が高くなったと考えられる。一方、土壌水中の重金属濃度は筑波共同試験地のカドミウムを除いては表層以外では低濃度であった。筑波共同試験地においてカドミウムは下層ほど高い値を示したが、渓流水中の濃度は土壌水中の濃度の 1/100 程度に低下していた。

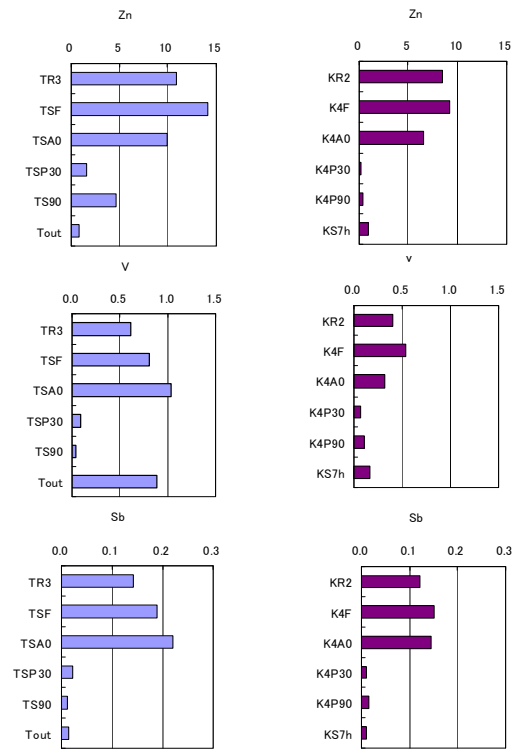


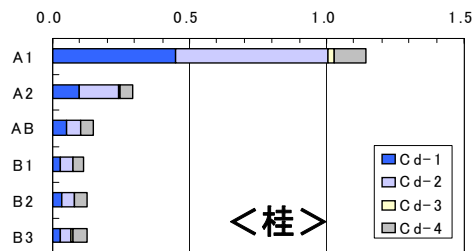
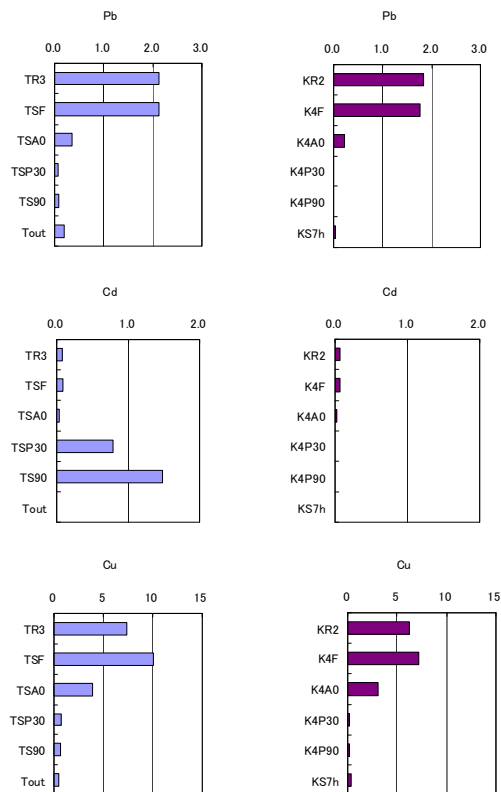
図 1 2つの森林流域における重金属元素の年間フラックス (左: 筑波共同試験地、右: 桂試験地)

*上から、林外雨、林内雨、A0層通過水、土壌水 (30cm, 90cm)、渓流水に伴うフラックスを示す (単位: $\text{mg m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)。

(2) 森林土壌の物理化学性の解明

土壌水を採取している地点の土壌の pH を測定したところ、筑波共同試験地では表層から下層 (0~100 センチ) にかけて 4.5 前後であった。通常下層土壌では pH の値が表層に比べ高くなるが、この流域の土壌中ではそのような変化は見られず、土壌の酸性化が示唆された。

観測地点の土壌特性として BCR 法による各重金属元素の土壌中の形態別存在量を明らかにした (図 2)。各重金属元素と土壌固相との結合形態においては、筑波共同試験地において、Cd は全層位において易移動性画分の割合が他の元素と比較して高く (30~40%)、この観測地点において土壌水中の Cd 濃度が下層においても高い結果と一致した。



$\mu\text{g/L}$

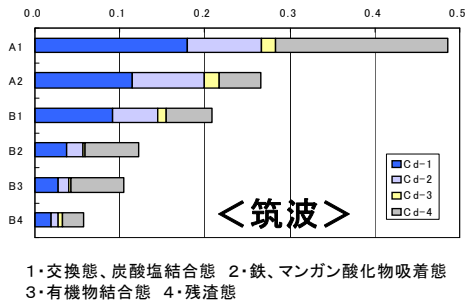


図2 BCR 逐次抽出法による土壤中 Cd の形態

(3) 森林生態系からの重金属の溶出リスクの予測

2つの異なる森林流域における重金属動態の観測結果より、筑波共同試験地において土壤中の重金属移動量が多かった。特に、亜鉛とカドミウムは土壤中の移動量も多く、土壤酸性化による保持機能の低下が現れやすい元素であると考えられる。大気から森林への慢性的な酸性化物質の負荷に伴う土壤の酸性化の影響が要因の一つとして考えられるが、筑波共同試験地の土壤水採水地点の土壤特性が火山灰の混入程度が比較的少なく、土壤の酸性化をより進行させやすい条件であったことも大きく影響していると考えられる。しかしながら、2つの流域において森林流域からの重金属の溶出量は流入量にくらべて少なく、酸性化の進行している地点においてもより深層の土壤や基盤岩石域での重金属の保持機能が示唆され、現時点では流域からの重金属溶出リスクは低いと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ①伊藤優子、大気由来物質と森林、山林、1532:54-60、2012年1月(査読無し)

〔学会発表〕(計4件)

- ①伊藤優子、小林政広、吉永秀一郎、2つの異なる森林流域における重金属動態、日本土壤肥料学会2012年大会、58:19、2012年9月、鳥取市

- ②伊藤優子、小林政広、吉永秀一郎、大都市圏およびその周辺域の森林への大気からの窒素流入の実態、日本陸水学会2011年大会、76:44、2012年9月、松江市

- ③伊藤優子、小林政広、吉永秀一郎、関東地方の森林流域における主要および微量成分の動態、日本地球惑科学連合2012年大会、

- ④小林政広、吉永秀一郎、伊藤優子、坪山良夫、玉井幸治、壁谷直記、清水貴範、日本地球惑科学連合2011年大会、AHW026-12、2011年5月、千葉市

〔図書〕(計1件)

- ①Takashi Yamanaka, Keizo Hirai, Yuko Itoh, Tomoaki Morishita, Kyotaro Noguchi, Shuichiro Yoshinaga (eds. Kuhn, GL, and Emery JR), Nova Science Publishers, Watersheds: Processes, Management and Impact, pp.1-44, Effects of thinning on material transformation in Cryptomeria japonica stand in a watershed in eastern Japan, 2012年4月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 優子 (ITOH YUKO)

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・土壤特性研究室・主任研究員

研究者番号: 60353588