

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5月1日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22246115

研究課題名（和文） 土壤環境基準の多様性のための地圏環境インフォマティクスの高度化

研究課題名（英文） Upgrading of Geosphere Environmental Informatics for diversity of soil environmental standard

研究代表者

土屋 範芳 (TSUCHIYA NORIYOSHI)

東北大学・大学院環境科学研究科・教授

研究者番号：40207410

研究成果の概要（和文）：日本の地質は多様で活火山国であるが故に土壤中の重金属類のバックグラウンドは欧米と比べると高くなる傾向がある。本邦の自然環境の特殊性を勘案し、科学的合理性に基づいた環境基準の策定が不可欠である。本研究は、多元的な土壤環境基準の策定のための計測・計量方法の考案と、リスク評価手法の技術開発を行う。

主として秋田県小坂町小坂川流域をモデルフィールドに選定し、流域をポリゴンに分割し、各ポリゴンや支流の水質を定点観測し、あわせてGIS（地理情報システム）を用いて、各ポリゴンの土地の利用状況を解析し、河川水の重金属濃度の変化と各ポリゴンでの土地利用との関係を明らかにした。その結果、小坂川流域では、土地利用（田畑、建設用地、森林等）の状況よりも、休止鉱山や工場からの排水が河川水の重金属濃度に大きく影響していた。さらに、現在鉱山廃水処理が行われていない休廃止鉱山が、河川水の環境に大きく影響していることを定量的に明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：Osaka area (Akita Prefecture) was selected as a model field for this study, where is representative mining are in Japan. Watershed of the Kosaka river was subdivided into polygons for the upstream to downstream, and we have six monitoring points along the Kosaka main stream for sampling and measuring of river water flow.

By using GIS (Geomorphological Information System), we analyze land utility of the area, heavy metal concentration in river water and their relationship between old mines and PRTR factory. We could find undiscovered heavy metal sources by those analytical method, which is closely related untreated of mine drainage of uncertain old mines.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	23,500,000	7,050,000	30,550,000
2011年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2012年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
年度			
年度			
総計	36,600,000	10,980,000	47,580,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：地球・資源システム工学

キーワード：土壤汚染，環境基準，河川水，河川底質，地理情報システム，地圏環境

1. 研究開始当初の背景

本邦の自然由来重金属含有量は、地球科学的にみて諸外国に比べて高く（産業技術総合研究所、日本の地球化学図、2004）、とりわけ、人口密集地を構成する東京湾岸エリア、大阪平野及び札幌や仙台平野などの海岸平野を構成する地層からは、自然状態での重金属溶出量が環境基準を越える例がしばしば報告されている。ここ数年間に発生した東北地方における具体的事例として、福島県阿賀川護岸工事における砒素等の重金属異常（平成18年8月9日 北陸地方整備局発表）、仙台市地下鉄予定路線におけるカドミウム問題（平成19年8月23日 仙台市発表）、秋田県能代市の港湾工業用地の砒素汚染（平成20年4月16日 秋田県港湾空港課）などがあり、事業の中断や遅延あるいは調査費や対策費の増額などを余儀なくされている。

これらの土地は、土壤処理コストと取引価格とのインバランス（不適合）からブラウンフィールドと称され、土地取引や社会基盤整備上の著しい阻害要因となっている。

一方、企業間土地取引において、都道府県の把握した土壤汚染調査件数は、土壤汚染対策法が施行された平成15年以降に急増し、ここ2,3年は、現実に環境基準を超過した事例だけでも年間400～600件に達している（「土壤汚染対策法の施行状況及び土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果」平成17年度、環境省）。平成22年に、改正土壤汚染対策法が施行が予定され、これに伴い、「特例区域」の申請などによる自然由来の重金属への対応件数が更に増加すると見込まれている。

上述のように、土壤汚染問題の解決は社会的にはきわめて重要な意味があり、例えばブラウンフィールドでの土壤汚染の疑いのある土地は11.3万ha、土地資産価格で43兆円、その土壤汚染対策費は17兆円と見積もられている（「土壤汚染をめぐるブラウンフィールド対策手法検討調査委員会WG試算」環境省）一方、これらの土壤汚染の評価やリスクを科学的に評価する試みはきわめて少ない。現在の土壤環境対策技術は、科学的根拠に乏しい環境基準をクリアするための対症療法的な技術・方法であり、技術体系としてはきわめて脆弱である。早急に環境基準そのものに対する科学的基盤と基礎技術を構築する必要がある。

土壤環境と汚染リスク評価は、地質学—土壤学—生態学の境界領域に属することから、必ずしも系統的な研究がなされてこなかった。特に、地質と土壤の関係は、土壤そのものが多様な自然環境の結果の産物であることから、元となる地層（岩石）との因果関係の追求が困難であった。本研究では、重金属類（ヒ素を含む）に焦点を絞ることにより、具体的に元素の移動と集積メカニズムを明らかにする。すなわち、自然由来の重金属類

の移動と集積プロセスを室内実験とフィールド観察の両面から明らかにして、地層（岩石）—（雨、河川）—土壤間の重金属元素の形態別移動メカニズムを解明する。重金属類の移動・濃集のダイナミズムと、土壤が持つリスクの評価をカップリングさせて、今日的な土壤汚染問題への明確なソリューションを与える学術的基盤研究を試みる。

2. 研究の目的

平成15年に施行された土壤汚染対策法に基づき、全国の人為的土壤汚染問題に法規制の網がかぶせられた。この法律により、水、大気、土壤の自然環境にかかわる環境基準が整備されたが、土壤環境基準は、自然由来の重金属類だけで既に環境基準を大きく逸脱する地層や地域がある。この現象の根本原因は、土壤環境基準が、土壤を食した時の人の健康被害という観点から整備されている点にある。

水や大気と異なり、土壤を経口摂取するリスクはきわめて低い。一方で、日本の地質は多様で活火山国であるが故に土壤中の重金属類のバックグラウンドは欧米と比べると高くなる傾向がある。本邦の自然環境の特殊性を勘案し、科学的合理性に基づいた環境基準の策定が不可欠である。本研究は、多元的な土壤環境基準の策定のための計測・計量方法の考案と、リスク評価手法の技術開発を行う。

3. 研究の方法

研究対象地域は秋田県北部に位置する米代川水系小坂川およびその周辺河川である。

本地域は1984年以降に鉱量の枯渇や市況悪化等であいついで閉山していき1994年には全ての鉱山が閉山した。また黒鉱床地域の周りには帯状の変質帯が見られるが、小坂川における河床堆積物について、流域面積に占められる変質帯の割合と河床堆積物に含まれるCu, Zn, Cd, Asとの間に相関があることから、これら土壤・岩石由来の堆積物の移動媒体である河川の水質についても変質帯から何らかの形で影響を受けている事が考えられる。

本研究では小坂町及び鹿角市を流れる小坂川の上流から下流にかけて設定した6つの定点観測点において河川中の重金属量の推定を行った。

小坂川流域は北麓地域のなかでも多くの鉱山が存在した地域であり、かつて銅・亜鉛・鉛・銀等が採掘されていた10以上の休廃止鉱山が存在する。なかでも古遠部鉱山及び相内鉱山では現在も抗廃水の管理が行われており、適切な濃度に処理された後に小坂川に放流される。また現在操業されている小坂製錬所からの排水も小坂川に排出されており、河川中にはこれら人為由来の重金属と

自然由来の重金属が存在していると考えられる。年間を通じた水質調査では Zn に関して、これらの重金属が排出された下流において季節によっては環境指針値である 30 $\mu\text{g/L}$ を大きく超える場合もあることが明らかになっている。このように小坂川を調査することで自然由来および人為由来の重金属が河川に与える複合的な影響をとらえることが可能である。

また小坂川流域に隣接する米代川水系の河川を調査する事により、流域を構成する地質の特徴が河川水質に与える影響についてのより詳細な調査を行った。

本研究において小坂川流域における鉱山の位置情報について、本研究室で自然由来の地質汚染を評価するための環境基礎情報として開発した地圏環境インフォマティクス (GENIUS) の情報を基に調べた。GENIUS では土壤中の重金属類を対象とし、また地形、地質、土壌、植生などの基本地図情報の上に、変質帯分布、重金属異常帯分布、鉱山位置などを付加し、さらに衛星画像から得られた土地利用情報などを加えて「地圏環境情報」とし、これに土壌中および河川堆積物中の元素濃度、地下水中の化学物質の種類と濃度、および農業用土壌の分析結果などを加えている。各情報は、GIS 上にレイヤー化されており、本情報を用いて管理されていない廃鉱山とポリゴンとの位置関係を把握した。

4. 研究成果

解析は、単位時間あたりに河川中を移動する重金属量 (以下累積重金属量, 単位 g/min) 用いて、計算値と実測値を比較する事で行った。

単位時間あたりに移動する重金属量として、実測値 (分析値) は推計対象日に分析した元素濃度とその場所の実測流量をかけて求め、計算上では最上流からその場所までにいたるまでに、ポリゴンから小坂川主流に加算された Zn 値の総和として表す。(Fig.1)

ある区間において加算された重金属量の計算値と実測値の差はその区間におけるグラフの増加量の差によって表される (Fig. 2)。

図の上側の折れ線グラフは、上流から下流に至るまでの累積重金属量の推移を表しており、棒グラフは各区間で計算上加算された重金属量と、測定値より求めた実際に増加した重金属量である。この棒グラフで示した値が計算値と実測値で近ければその区間における推計は正しく行われたものであると言える。

下側に示したグラフは観測手間の累積重金属量の計算値と実測値に加え、観測点間に存在する各ポリゴンからどれくらい重金属が加算されたのかを示している。

増水期、渇水期共に推定対象の全ての重金属で計算値は実測値を上手く表しているが、一部の元素・区間では乖離が生じた。以後その原因について考察する。

増水期の As に関して K5-6 間の増加について推計値が実測値を上回った (Fig. 3)。

Fig.4 では As に関して P_701+702 からの高い排出が支配的な影響を及ぼしていることからこのポリゴンからの供給量の見積もりを誤った事が計算値と実測値とに生じた乖離の原因であると考えられる。実測値が計算値よりも低くなる原因としては、測点間で行われた未知の取水による流域集水量の見積もりの誤差や、主流と混ざり合う事で pH の急激な増加が生じ沈殿が起こったことなどが考えられるが、As と同様に P_701+702 からの多量の供給を受ける Zn 及び Cd に関してこの区間でも推計値は実測値の増加を良く表していることから、流量の見積もりが誤っているとは考えられない。

As に関しては、K3-4 間においても乖離が生じ分析値が推計値を上回った。本区間で As に与える影響が大きい要素は P_601 及び公表データからその量を求めた小坂製錬所の排水であるが、P_701+702 からの影響を強く受ける Cd や Cu 等では乖離が生じていない事から P_701+702 における流量は正しく見積もれていると考えられる。よって本区間における As の乖離要因は年間排出量から平均して求めた小坂製錬所からの排水中の As の見積もりの誤差によるものと考えられる。

渇水期についても大体の区間・元素で良く一致したが、一部乖離が生じた区間・元素が存在した。

図には示していないが、Pb について K3-4 間で計算上は大きく増加するが、実測値は減少する。この区間では大規模な用水への取水が行われているが、他の元素ではこの区間を正しく見積もれていることから用水路への取水量は正しく見積もれているといえる。よって本区間に支配的な影響を及ぼしている廃鉱山が存在する P_302 の流量について多く見積もっていることが要因であると考えられる。また Pb と同様に P_302 から多量の供給を受ける Zn も K3-4 間において推計値が実測値を大きく上回る事も Pb の乖離要因が P_302 の流量過剰な評価によるものである事を裏付けている。

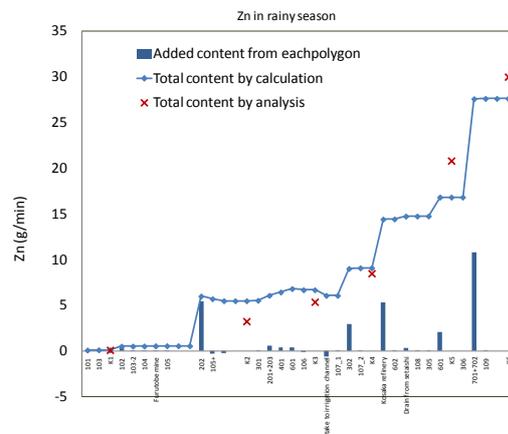


Fig. 1 Zn の定点観測点での変化 (雨季)

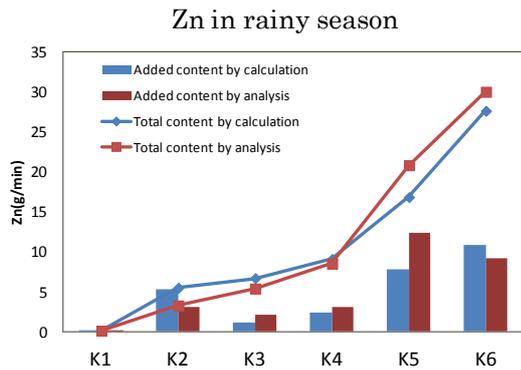


Fig. 2 各ポリゴンからの排出量の解析結果 (Zn, 雨季)

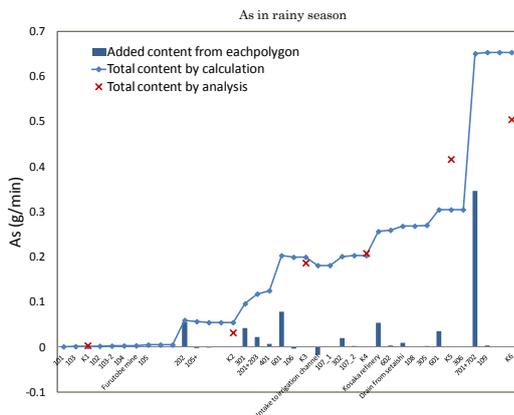


Fig. 3 As の定点観測点での変化 (雨季)

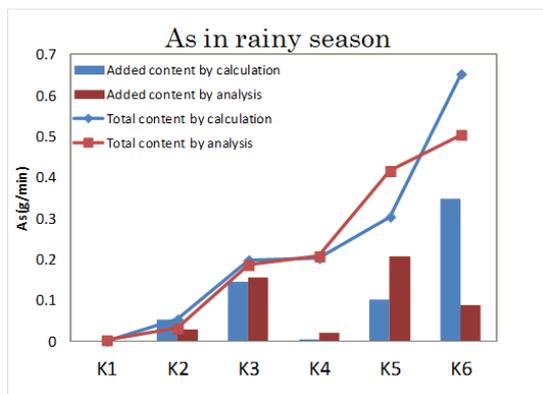


Fig. 4 各ポリゴンからの排出量の解析結果 (As, 雨季)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

1. Yasumasa Ogawa, Daizo Ishiyama, Naotatsu Shikazono, Kenta Iwane, Masahiro Kajiwara and Noriyoshi Tsuchiya, The role of hydrous ferric oxide precipitation in the fractionation of arsenic, gallium, and indium during the neutralization of acidic hot spring water by river water in the Tama River watershed, Japan. [Geochimica Cosmochimica Acta, 86, (2012), 367-383]
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2012.03.009>
査読 有
 2. TAKAHIRO WATANABE, NORIYOSHI TSUCHIYA, YASUJI OURA, MITSURU EBIHARA, CHIHIRO INOUE, NOBUO HIRANO, RYOICHI YAMADA, SHIN-ICHI YAMASAKI, ATSUSHI OKAMOTO, FUMIKO WATANABE NARA and KEISHI NUNOHARA, Distribution of artificial radionuclides (^{110m}Ag, ^{129m}Te, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs) in surface soils from Miyagi Prefecture, northeast Japan, following the 2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. [Geochemical Journal, 46, (2012), 279-285]
<http://www.terrapub.co.jp/journals/GJ/pdf/4604/46040279.pdf> 査読 有
 3. 土屋範芳, 井上千弘, 山田亮一, 山崎慎一, 平野伸夫, 岡本 敦, 小川泰正, 渡邊隆広, 奈良郁子, 渡邊則昭, 東北地方津波堆積物研究グループ, 東北地方太平洋沖地震による岩手, 宮城, 福島県沿岸域の津波堆積物のヒ素に関するリスク評価. [地質学雑誌, 118 (7), (2012), 419-430]
DOI: 10.5575/geosoc.2012.0043 査読 有
 4. Hyoe Takata, Jian Zheng, Keiko Tagami, Tatsuo Aono, Kazuhiro Fujita, Shin-ichi Yamasaki, Noriyoshi Tsuchiya, Shigeo Uchida, Distribution coefficients (K_d) of stable iodine in estuarine and coastal regions, Japan, and their relationship to salinity and organic carbon in sediments. [Environmental Monitoring and Assessment, 185, 3645-3658 (2012)] DOI 10.1007/s10661-012-2816-5 査読 有
 5. Akira Takeda, Shin-ichi Yamasaki, Hirofumi Tsukada, Yuichi Takaku, Shun'ichi Hisamatsu, and Noriyoshi Tsuchiya, Determination of total contents of bromine, iodine and several trace elements in soil by polarizing energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry. [Soil Science and Plant Nutrition, 57 (1), (2011), 19-28]
DOI: 10.1080/00380768.2010.548313
査読 有
 6. 山崎慎一, 松波寿弥, 武田晃, 木村和彦, 山路功, 小川泰正, 土屋範芳, 偏光式エネルギー分散型蛍光X線分析法による土壌および底質中の微量元素の同時分析. [分析化学, 69 (4), (2011), 315-323]
<http://www.jsac.jp/node/47> 査読 有
- 梶原雅博, 小川泰正, 土屋範芳, 酸性河川中のレアメタル(In, Ga) および有害元素

(As, Pb) の吸着 分別挙動に関する実験的研究. [資源地質, 61 (3), (2011), 167-180]
http://www.kt.rim.or.jp/~srg/page_publication.html 査読 有

8. Yasumasa OGAWA, Shin-ichi YAMASAKI and Noriyoshi TSUCHIYA, Application of a Dynamic Reaction Cell (DRC) ICP-MS in Chromium and Iron Determinations in Rock, Soil and Terrestrial Water Samples. [ANALYTICAL SCIENCES, 26, (2010), 867-872]
https://www.jstage.jst.go.jp/article/analyticalsci/26/8/26_8_867/pdf 査読 有

9. J. Abe, N. Tsuchiya, S. Furukawa and N. Hirano, Properties of H2O and CO2 fluids in contact with quartz under supercritical conditions revealed by IR spectroscopy. [Water-Rock Interaction, 13, (2010), 625-628]
<http://wri13.cicese.mx/> 査読 有

10. N. Hirano, K. Yamamoto, A. Okamoto and N. Tsuchiya, Observation of quartz fracturing under the hydrothermal condition using visible type autoclave. [Water-Rock Interaction, 13, (2010), 653-656]
<http://wri13.cicese.mx/> 査読 有

11. N. Tsuchiya, Y. Ogawa, R. Yamada, S. Yamasaki, C. Inoue, T. Komai, J. Hara, Y. Kawabe, T. Shiratori and S. Kano, Geosphere environmental informatic universal system for evaluation of geological pollution on heavy metals. [Water Rock Interaction, 13, (2010), 673-676] <http://wri13.cicese.mx/> 査読 有

12. Keiko Tagami, Shigeo Uchida, Akira Takeda, Shin-ichi Yamasaki and Noriyoshi Tsuchiya, Estimation of Plant-Unavailable Iodine Concentrations in Agricultural Fields. [Soil Chemistry, 74 (5), (2010), 1562-1567] doi:10.2136/sssaj2009.0423 査読 有

13. 須藤孝一, 米田剛, 小川泰正, 山田亮一, 井上千弘, 土屋範芳, 竜の口層の堆積岩における重金属類の溶出挙動および形態変化に及ぼす風化の影響. [応用地質, 51 (4), (2010), 181-190]
<http://www.jseg.or.jp/03-publication/magazine.html> 査読 有

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :

出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

<http://geoserv.kankyo.tohoku.ac.jp/genius>

右側が, 2011 に新たにリリースした地圏環境インフォマティクス ver. 1.02 (DVD 2 枚組).



ArcGIS ver. 10.0 以降に対応している.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土屋 範芳 (TSUCHIYA NORIYOSHI)
東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号 : 40207410

(2) 研究分担者

岡本 敦 (OKAMOTO ATSUSHI)
東北大学・大学院環境科学研究科・准教授
研究者番号 : 40422092

小川 泰正 (OGAWA YASUMASA)
東北大学・大学院環境科学研究科・助教
研究者番号 : 50422093

平野 伸夫 (HIRANO NOBUO)
東北大学・大学院環境科学研究科・准教授
研究者番号 : 80344688

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :