

平成22年6月20日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560505

研究課題名（和文） 土壌地下水汚染評価支援システムの構築

研究課題名（英文） Development of Geo-database system aiming at reduction of Soil and Groundwater pollution problems

研究代表者

八戸 昭一（HACHINOHE SHOICHI）

埼玉県環境科学国際センター・地質地盤・騒音担当・専門研究員

研究者番号：704125397

研究成果の概要（和文）：本研究では、地下水位や層相など基本的地質地盤情報に加えて、地層中に含まれる自然由来重金属類も対象とした総合的な地盤情報データベースの実現可能性を検討した。地層中重金属類の分析対象として標準貫入試験時に採取されるペネ試料を使用した結果、同試料は有害重金属類の含有量評価に適用可能であり、自然由来／人為汚染の判別にも利用可能であることが判明した。収集したボーリングデータや理化学試験結果は地盤情報システム内にデータベース化し、その一部はウェブ GIS を通じて情報提供を実施した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed Geo-database systems to store geological/geotechnical and geochemical information and to evaluate distribution of naturally contaminated soils and sediments by heavy metals over a wide area. The availabilities of soil and sediment samples which were taken through the standard penetration test were performed in the perspectives of applications in environmental science. Results revealed that the total content of arsenic is applicable adequately even for the old and oxidized samples such as the SPT samples. As an application of database, a method for differentiating naturally polluted soil and anthropogenically one were proposed. Portions of data stored in databases were released over the Internet.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：ヒ素、鉛、ボーリングデータ、自然由来、重金属類、土壌汚染、地下水汚染、地理情報システム

1. 研究開始当初の背景

我が国の大都市の多くが立地する平野部では、しばしば環境基準を超えた量のヒ素が自然的原因により溶出する。建設工事の際、このような地盤を掘削し、土砂を運搬した場合には不本意ながら汚染を拡散させてしまう結果となる。また、工場跡地等において実施される土壌・地下水汚染調査では検出された重金属が人為的汚染なのか、それとも自然的原因によるものか、を判別する必要があるが、そのための判断材料となるバックグラウンド情報はほとんどない。一方、都市域ではこれまで膨大な数にわたる地質地盤情報が集積されてきており、近年地質地盤情報のデータベース化が進められてきた。これら既存の地盤情報データベースはボーリング柱状図や各種土質試験結果など力学的・工学的側面からの利用を目的としたものであり、土壌・地下水汚染など環境科学的側面を対象としたものはほとんどない。

2. 研究の目的

本研究では標準貫入試験時に採取されるコア試料（以下ペネ試料と呼ぶ）を使用して、試料中に含まれるヒ素や鉛等の有害重金属類を分析し、ペネ試料の環境調査への利用可能性やデータベースの実現可能性を検討する。ペネ試料はプラスチック製の標本ビンで保管されているが、掘削後数年を経過するとほとんどの試料は乾燥した状態となる。そこで、年数の経過に伴って有害重金属類の含有量、溶出特性、化学組成等がどのように変化しているのか把握する。また、地下水位や層相など基本的な地質地盤情報に加えて、ペネ試料等の分析により得られた理化学試験結果をデータベース化し、土壌地下水汚染の評価を支援するためのシステムを開発する。

3. 研究の方法

本研究ではまずペネ試料を対象とした分析スキームを確立すると共に、重金属類が検出される地域を特定し、実掘削を実施する地点を決定する。また、データベースの基本情報となる乾式分析については波長分散型蛍光X線分析による全量試験を採用し、分析条件を最適化する。次に、ペネ試料を採取した地点とほぼ同一の地点においてボーリングコアを掘削し、試料採取後十分に時間が経過した試料と掘削直後の試料を対象として乾式・湿式分析を実施し、双方の分析結果を比較する。収集したボーリングデータや各種の分析結果はデータベース化し、GIS上で稼動するデータベースとして取りまとめる。

4. 研究成果

(1) ボーリングデータ及びペネ試料の収集
ボーリングデータ及びペネ試料は埼玉県の所轄機関等を通じて道路、橋梁、下水道、公営住宅、公共施設等を中心に収集し、合計60地点200試料を収集することができた(図1)。

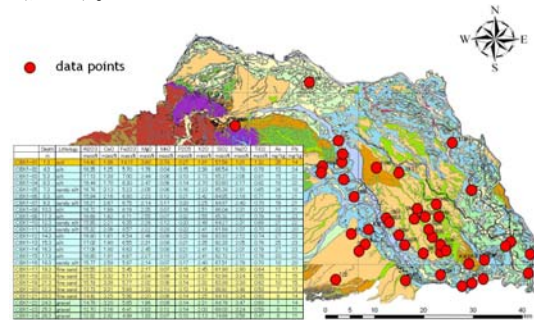


図1 ペネ試料収集地点の分布

(2) 分析スキームの確立

ペネ試料の様々な地球化学特性を評価するため湿式法と乾式法による分析手順を検討した。その結果、図2で示すように通常分析ではヒ素や鉛などの微量重金属類と鉄、シリカ、アルミナなど10種類の主要成分を分析し、またオールコア試料が存在する地点など特別に詳細な分析が必要な試料については粒度組成、強熱減量、鉱物同定なども実施することとした。

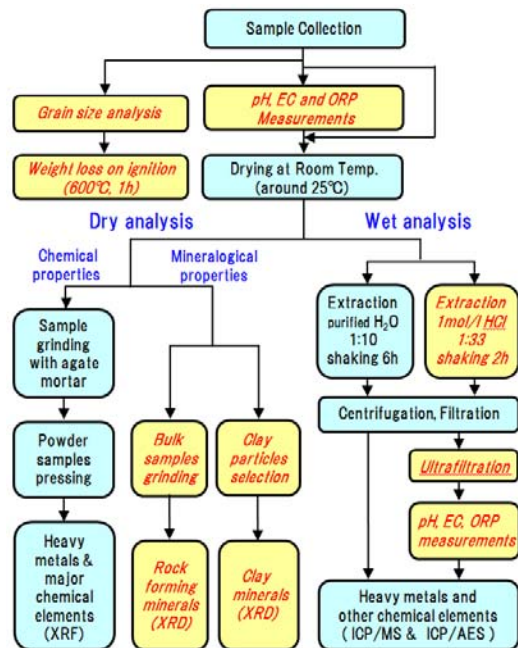


図2 本研究での分析手順の流れ
(黒字：通常分析時の手順、赤字：詳細分析時の手順)

(3) 分析条件の最適化

①分析方法と項目

システムに搭載する基礎情報である乾式分析は波長分散型蛍光 X 線分析 (WDXRF) による全量試験を採用した。そこで、WDXRF による分析条件の最適化を検討した。分析試料は風乾後メノウ乳鉢により粉末状に十分粉碎し、試料 3g に対してセルロースバインダを 0.3g の割合で混合し、30mm φ の塩ビリングに充填した後、1 分間 20t の加重をかけて成型した。WDXRF は Rigaku 社製 ZSX100e を使用し、定量分析には(社)日本分析化学会、(独)産業技術総合研究所、China National Analysis Center for Iron and Steel の土壌・堆積物標準試料(計 16 種)を使用して絶対検量線法を採用した。

②測定スペクトルの決定と検量線の作成

本研究で対象とする地質試料中では酸化鉄やシリカを高濃度に含有することが想定される。特に鉄を分析対象とする場合、本装置ではシンチレーション計数管を使用しているため X 線光量子の数え落としが発生する懸念がある。そこで、鉄の測定スペクトルは X 線強度が最大となる K α 線ではなく K β 線を採用し、鉄以外の主成分元素は K α 線を採用した。その結果、10 種の主成分元素についてそれぞれ確度の高い検量線が作成された。一方、ヒ素や鉛については各々の最大スペクトル (As-K α と Pb-L α) が重なってしまうという問題がある。そこで、鉛の測定スペクトルを Pb-L α 1 とし、さらにヒ素の測定スペクトルは As-K α としたまま鉛の X 線強度に応じた回帰計算によりスペクトルの重なり補正を施した (図 3)。その結果、両元素とも良好な検量線が作成された。

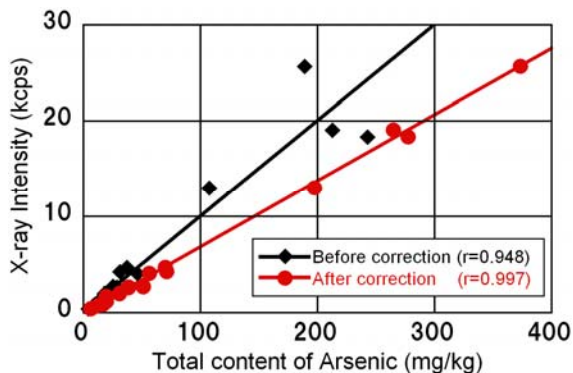


図 3 妨害 X 線を考慮した検量線 (As-K α) の補正 (◆: 補正前、●: 補正後)

硫黄の分析については既存の標準試料が少ないため、硫酸ナトリウムを各元素の含有量が既知の粉末試料 (以下、初期試料と呼ぶ) に添加して複数の標準試料を作成した。また

初期試料は埼玉県内における沖積低地の試料と組成が類似する 2 試料 (産総研 JSI-1 及び JSI-2) を対象とした。作成した硫黄の検量線は相関係数 ($r=0.999965$)、定量下限 (60~75mg/kg)、検出下限 (18~22mg/kg) ともに良好な値となった。また、共存元素の影響を考慮し、組成の異なる 2 種類の初期試料を使用して検量線を作成したが、その影響は見られなかった。

③分析結果の検証

作成した検量線に基づく分析精度を検証するため、ヒ素と鉛の双方を含有する試料を対象として WDXRF を実施した (図 4)。その結果、ヒ素と鉛双方ともフッ酸分解による湿式法分析値とほぼ 1 対 1 の相関となり、さらに定量下限 (5~10mg/kg)、検出下限 (1~3mg/kg) とも良好な結果が得られることを確認した。

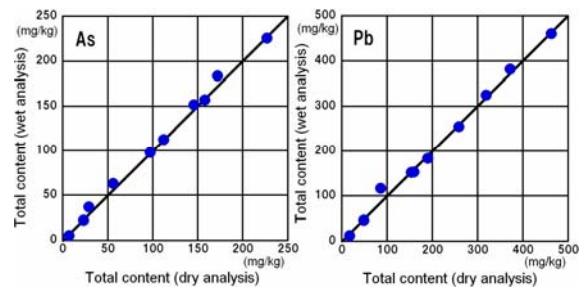


図 4 乾式法 (WDXRF 法) と湿式法 (底質調査法) による全含有量分析値の比較

(4) ペネ試料の環境調査における利用可能性の評価

長期保存されているペネ試料の環境調査での利用可能性を評価するため、同一地点で採取した掘削直後の試料と掘削後約 10 年が経過したペネ試料の全含有量及び溶出量を比較した。全てのペネ試料はプラスチックケースに保存されていたが、ほぼ乾燥状態であった。

図 5 (A) は両試料を対象に乾式分析によって得られたヒ素の全含有量値を示す。図から明らかなように両試料について明瞭な違いは見られなかった。したがって、ヒ素の全含有量値は時間の経過によって変化しないことが判明した。図 5 (B) は両試料を対象に湿式分析によって得られたヒ素の溶出試験結果を示す。図から明らかなように、掘削直後の試料からは、我が国におけるヒ素の環境基準 (0.01mg/L) を越える濃度のヒ素が溶出していることが判明した。しかしながら、ペネ試料ではヒ素はほとんど検出されなかった。ペネ試料と掘削直後の試料で見られたヒ素溶出量の違いは試料の保存状態の影響を大きく受けたものと推測された。すなわち、

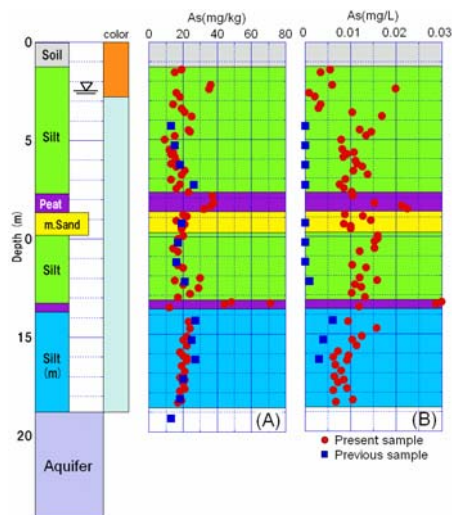


図5 掘削直後の試料とペネ試料によるヒ素分析値の比較 (A: 乾式法による含有量試験結果、B: 湿式法による溶出試験結果、●: 掘削直後の試料、■: ペネ試料)

ペネ試料中に含まれる鉄は長期の保存によりそのほとんどが2価から3価の酸化鉄へと化学形態が変化していたと考えられる。ヒ素は特に酸化鉄に強く吸着される性質をもつ。掘削直後の試料のうち特に地下水位(図5の約2.5mより深部の試料)より以深の試料については、還元的な環境下で鉄は2価の鉄として存在することが想定される。溶出試験の間、鉄は還元的な形態で存在し続け、すなわち、ヒ素は溶出液中に検出される。一方、ペネ試料はほとんどの試料が酸化的な環境下にあることから、溶出試験中に生成されたヒ素は酸化鉄に吸着されるものと推測された。以上のことから、全含有量値は長期に保存されているペネ試料であっても環境調査に利用可能であることが判明した。

(5) データベースの構築とウェブ公開

本研究では収集した約60地点のペネ試料のうち保存状態が良好な約40地点について各種分析を実施し、データベース化した。これらのデータは各地域の地層中に含まれる各種化学成分のバックグラウンドデータとして適宜参照することができる。また、本研究ではペネ試料と併せて土壌・地下水汚染の評価に有用な地下水位や層相などを含む基礎的地質地盤情報が記載されているボーリング柱状図を収集・整理した。これらのうち、約4300本の公共工事に伴って入手したボーリングデータについてはインターネットを通じた情報公開を実施した。データ公開にはウェブGISを使用し、システムのベースマップ上で示される任意の地点のデータポイントをヒットすることによりボーリングデー

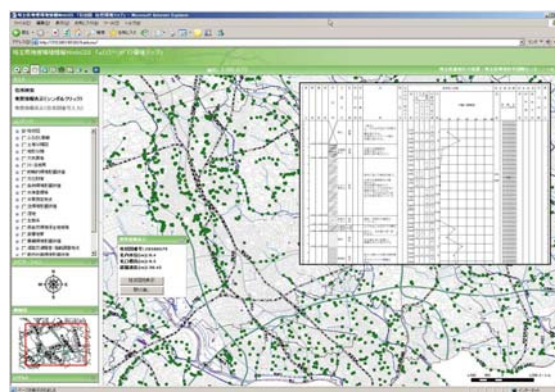


図6 埼玉県におけるボーリングデータのウェブ公開のスクリーンイメージの一例

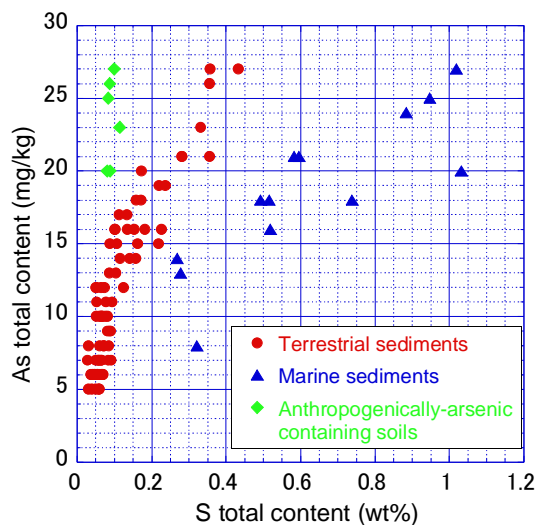


図7 ヒ素と硫黄の全含有量値を利用した自然由来/人為汚染の判別例 (●: 陸成層、▲: 海成層、◆: 人為的汚染土壌)

タを自由に閲覧することができる(図6)。ウェブGISによるデータ提供を実現することにより、一般ユーザが自宅や研究室・職場などにおいて自由にデータを閲覧できることとなった。

(6) データベースの土壌地下水汚染評価への応用例

本研究において作成したデータベースの土壌地下水汚染評価に対する応用例として、ヒ素含有土壌の自然由来/人為汚染の判別法について検討した。調査対象地域は地下水中から自然由来のヒ素が検出されている埼玉県中西部地域を対象とした。図7は調査地域に位置する8箇所のペネ試料を対象としたWDXRF法によるヒ素と硫黄の全含有量値を示す。図に示されるとおり、ヒ素と硫黄の全含有量比を利用することによって、陸成層と海成層を明瞭に区別することができた。さらに、低濃度に汚染された土壌

についても未汚染土壌と区別することができた。このことから、自然起源の土壌汚染の目安値（39mg/kg）以下の低濃度に汚染された土壌の自然由来と人為汚染の判別についても役立つものと思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① Hachinohe, S.; Ishiyama, T.; Sasaka, K.;
（以下5名）Development of Geo-database system with the perspective of Environmental Scientific use and its application, Proc. Inter. Sympo. Geo-informatics and Zoning for Hazard Mapping, 査読有, 2009, pp.152-157.
- ② 八戸昭一、佐坂公規、白石英孝、濱元栄起、
最近における地盤情報の整備と活用（4）
—埼玉県における地盤情報とその公開について—、応用地質、査読無、第50巻、第2号、2009、pp.248-249.

〔学会発表〕（計10件）

- ① 八戸昭一（代表、以下3名）、埼玉県における地質地盤情報の整備と利用について、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、2008 年5月26日、幕張メッセ.
- ② 八戸昭一、自治体における地盤情報の公開・活用と展望、2008 年度日本情報地質学会シンポジウム、2008 年11月21日、國學院大學.
- ③ 八戸昭一（代表、以下4名）、荒川低地流域における地下水および沖積層の特徴と環境科学的課題、日本地球惑星科学連合 2009 年大会、2009 年5月20日、幕張メッセ.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kankyou.pref.saitama.lg.jp/kankyou/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八戸 昭一 (HACHINOHE SHOICHI)
埼玉県環境科学国際センター・地質地盤・
騒音担当・専門研究員
研究者番号：70415397

(2) 研究分担者

石山 高 (ISHIYAMA TAKASHI)
埼玉県環境科学国際センター・水環境担
当・専門研究員
研究者番号：80297621

(3) 連携研究者

佐坂 公規 (SASAKA KOUKI)
埼玉県環境科学国際センター・地質地盤・