

地圏環境インフォマティクスのシステム開発と 全国展開

土屋 範芳¹⁾・駒井 武²⁾・白鳥 寿一³⁾

1. はじめに

近年, 土壤汚染問題における自然汚染(自然由来の汚染)の把握や, 道路, 鉄道の建設時において, 微弱な鉍化作用を被った地域(鉍染帯)を回避する必要から, 地圏環境情報の評価に関する取組みが世界的になされている(たとえばLi *et al.*, 2004). 特に, 土壤汚染に関する調査や研究は個別の機関や民間企業によって全国の様々な場所で実施されているが(たとえば五藤, 2004), それらの調査や研究結果は個別に保管されているため, 全国にわたる詳細な情報が集約され, 体系化された例は少ないのが現状である.

このような状況を踏まえ, 産業技術総合研究所では日本全土における有害元素の濃度分布と元素のバックグラウンド値を明らかにするため, 日本全土から採取された河川堆積物中の有害元素(ヒ素, 水銀, カドミウム, アンチモン, ビスマス, 鉛等)をはじめとする53元素を同一手法で測定し, 日本の地球化学図を作成した(今井ほか, 2004). この地球化学図は, 国内で初めて全国規模で土壤中の有害元素の分布状況を整備した点において画期的であった. しかしながら, 試料の採取密度が10×10kmに1試料であるため, たとえば局所的な異常値が反映されなかったり, 逆に1点のみの極端な高濃度データによって周辺の濃度が強調されてしまう場合がある(今井ほか, 2004)など, より詳細な濃度分布の把握を行うことは困難であった.

土壤中に含まれる重金属をはじめとする汚染物質は, 環境省の環境基準(平成3年環境庁告示第46号, 改正平成13年環告16)によって対象物質と基準値が設定されている. 重金属が物理的あるいは化学的に

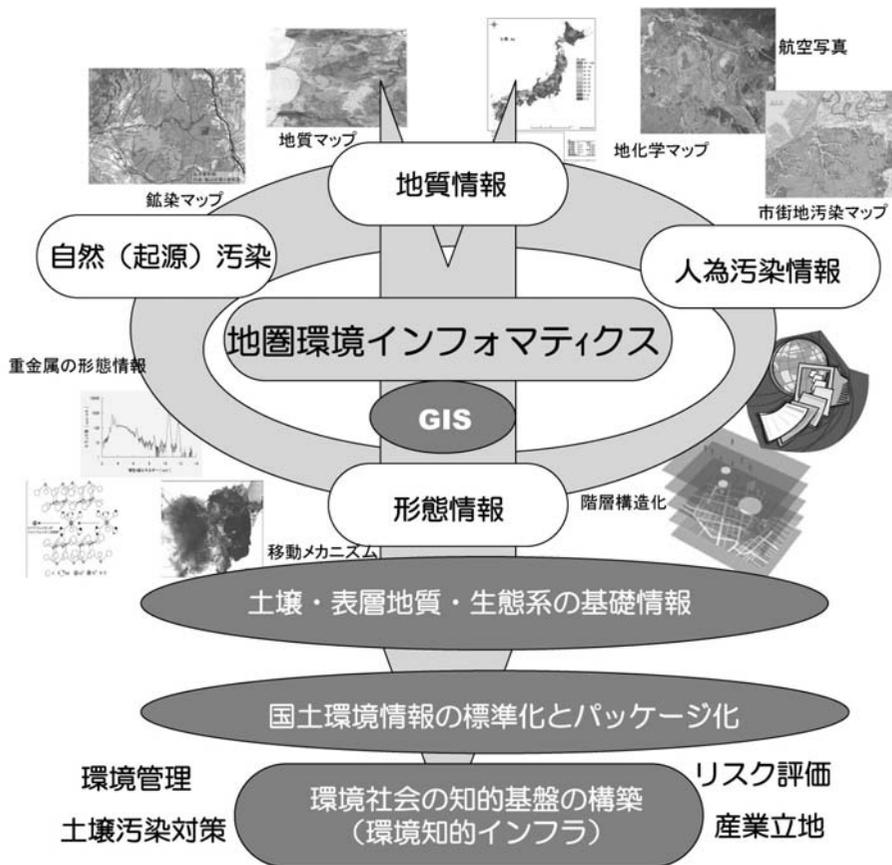
どのような状態で土壤中に存在するかについて, たとえば農用地土壤や市街地土壤等を対象に個別の分析はなされているが, それらの相互的な関係はよくわかっていない. 重金属の形態情報を多角的, 広域的に把握するためには, それぞれの分野における個別の検討事例を比較し, それらをデータベースとして統合する必要がある.

さらに, 土壤中に含まれる重金属の分布を調べるためには, 重金属の発生や移動, 堆積といった過程を把握することが重要である. 重金属が発生する要因には, たとえば地質や鉍床, 地熱や温泉などの影響が考えられる. 移動には川の流れや地形の影響が挙げられる. また, 堆積については川の水質や地形の効果が影響すると考えられる. このように, 重金属の挙動を正しく理解するためには, 様々な情報を有機的に結びつける必要性が生じる.

そこで, 東北大学大学院環境科学研究科, 産業技術総合研究所, および同和鉍業(株)は, 「地圏環境インフォマティクスのシステム開発と全国展開」(平成17~19年度実施)と称した産学官連携の共同プロジェクトを立ち上げた(狩野, 2006; 狩野ほか, 2006a, 2006b, 2006c). これは, 土壤中に含まれる重金属の情報と地質や地形, 土壤, 植生, 土地利用形態, 変質帯分布, 地下水データといった様々なデータを地理情報システム(Geographical Information System; 以下, GISと記す.)を用いて統合することにより, 不足している地圏環境情報を新たに取得し, 重金属の濃度分布や形態情報を議論することのできる情報システムを開発することを目指すものである. 本プロジェクトは3カ年計画で実施しており, 現在は2年目を迎えたところである. 本プロジェクトの概要を第1図に示す. 様々な地質情報(地質図, 市街地汚染図, 鉍染

1) 東北大学 大学院 環境科学研究科
2) 産総研 地圏資源環境研究部門
3) 同和エコシステム株式会社

キーワード: 土壤汚染, 地下水汚染, 地圏環境情報, ジオインフォマティクス, リスク管理



第1図 地圏環境インフォマティクスの概要。

図等)および地圏物質(岩石, 土壌, 河川水等)に含まれる重金属の形態情報を解明し, 地質情報と連関させて, GIS上で階層統合化することにより, 国土情報の標準化とパッケージ化を行い, 最終的には環境社会の基盤となる知的インフラの構築を目指している。

本稿ではシステムの特徴と開発に関する現況, および現時点までに完成しているデータベースの解析例について述べる。データベースの解析例では, 宮城県仙台平野における河川堆積物中の重金属濃度に関する地形解析を行ったので, その結果の一部について報告する。

2. システムの概要

(1) GISソフト

システムの開発にはGISソフトとしてArcView 9.1

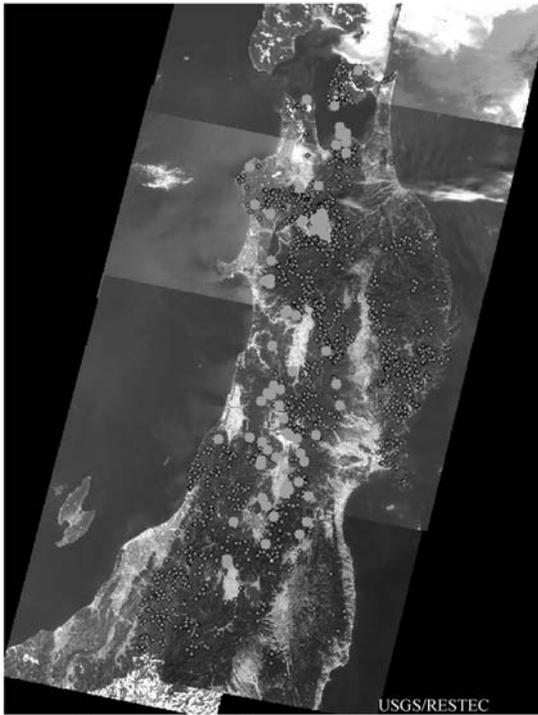
(ESRI社)を使用している。

(2) 対象とする地圏環境情報

本システムで対象とする土壌中の汚染物質は重金属類とし, また, 土壌の環境基準物質のほか要監視項目や一部生態系などでも今後検討が必要と考えられるものも対象に含めている。また, 対象とする地圏環境情報は, 地質, 地形, 土壌分布, 植生, 土地利用形態, 変質帯分布, 鉱床位置, 土壌中の元素濃度分布, 地下水データ等である。地質図, 土壌分布図, および地形図の縮尺は20万分の1を想定している。

(3) 対象とする重金属情報

本システムでは, 表層土壌や露頭の岩石, 河川堆積物に含まれる重金属を分析対象とした。これらの分析は現在実施中であり, 分析手法は誘導結合プラズマ(Inductively Coupled Plasma, ICP)発光分析法,



● 鉱床の位置 ○ 空間検索機能で抽出した
女川層上にある鉱床

属性: DOWA_Mining_data

name	pref	location	keido	ido	koushu
西野	山形県	上市市	140.277096	38.092859	-
千代ヶ沢	山形県	天童市	140.507002	38.319876	Du
万歳	福島県	白石市	140.521746	37.921376	Du
坂上	山形県	東置賜郡高畠町	140.249777	36.073939	Au/Ag/Du
天原	福島県	東白川郡天原町	140.397677	36.865616	-
台山	福島県	福島市	140.437722	37.814746	Au
中丸	福島県	福島市	140.312398	37.780386	Fe
白鷹	山形県	西置賜郡白鷹町	140.163499	38.17972	Du/Pb/Zn/Ba
白山	福島県	郡山市	140.195959	37.38333	Du

鉱床の情報（青い網掛は女川層上にある鉱床の情報）

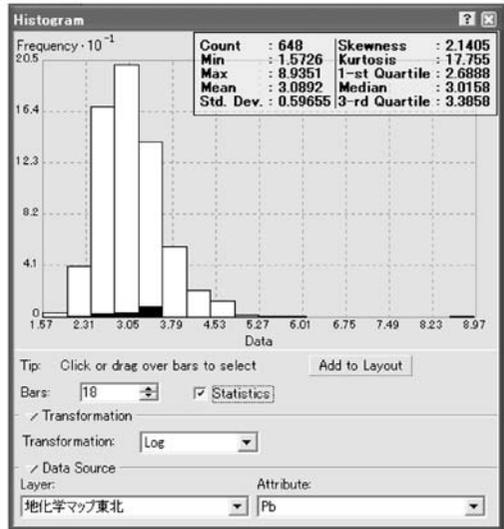
第2図 女川層に位置する鉱床の抽出(狩野ほか, 2006c).
口絵3頁参照.

ICP質量分析法を用いている.

(4) システムの特徴

(a) 地図環境情報の有機的な結合

GISソフトを使用することにより、複数の地図環境マップをレイヤーとして重ね合わせることができる。さらに、個々のマップがもつ固有の属性を比較し、互いの関連性を調べたり関係の深い領域を抽出したりすることができる。このような機能を用いることで、土壤中の重金属分布と地質や土質等との関係を視覚的にとらえることができるようになる。第2図はGISの空



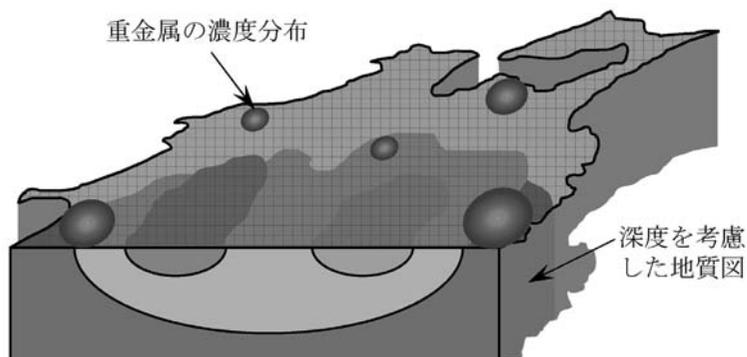
第3図 Pb濃度分布のヒストグラム(狩野ほか, 2006c).

間検索機能により、ある特定の地質(中新世後期の女川階の堆積岩類;ここでは以下、女川層と総称する)上に位置する鉱床を示したものである。図中の表には鉱床の情報(稼行当時の鉱山名称、県名、地名、経緯度、鉱種)が示されている。また、第3図は東北六県および女川層中のPbの濃度分布についてヒストグラム解析を実施した結果の表示画面で、白のグラフが東北六県中の、黒のグラフが女川層中のPbの濃度をそれぞれ示している。ヒストグラムを見ると、女川層に含まれるPbの濃度は東北全体の傾向に比べて高濃度側にシフトしており、女川層中の濃度分布が東北六県全体のデータとは異なる傾向にあることがわかる。

このように、本システムでは異なる情報を有機的に結合し、そこから新たな知見を取得することが可能である。

(b) 深度情報の考慮

地質図に関して、本システムでは深度の情報を考慮した検討を目指している。GISに地質図を入力する際に地質層序を考慮することにより、土壌層の下位や後背地域にどのような地層が存在するかを把握し、別の箇所で見られた地層同士を関連づけることが可能となる。深度情報を考慮することは、地質の成り立ち、すなわち時間発展を考慮して重金属元素等の堆積循環過程や逸散プロセスを解明することができる基礎情報を与えると考えられる。



第4図
深度情報を考慮した地質図と重金属の濃度分布図の重ね合わせ(イメージ図)(狩野ほか, 2006c).

たとえば、ボーリングコアの分析結果から深さ方向の重金属分布を把握し、地質との関連性を明確にすることにより、サンプリングされていない領域の重金属分布を類推することが可能となる(第4図)。

このような評価手法は、たとえばトンネル掘削時において土壌の汚染状況を考慮した適切なルートを設定するための基礎情報になることが考えられる。また、地質に関連する自然的原因による汚染分布とそれ以外の人為的原因による汚染分布とを区分する際の判断材料となり得る。

(c) 新・旧情報の受容のための共通プラットフォーム

本システムで使用するGISソフトで取り扱えるデータは、GIS用データとして普及しているシェープファイル形式やExcelで編集した数値データである。そのため、このようなファイル形式で存在する既往の文献や分析データを本システムは取り込むことができる。また、新たに公表されたデータを継続的に取り込むことで情報の蓄積および継続的な更新が可能となる。

(5) システムの開発状況

本システムの開発は3カ年計画で進行しており、昨年度は既存の文献を基に北海道の一部と東北六県の地質と土壌、鉱床位置に関するGISマップをそれぞれ作成した。その他、植生情報については環境省生物多様性センターHPの「自然環境情報GIS」から、また、河川堆積物中の重金属の濃度分布については産業技術総合研究所地質調査総合センターHPの「日本の地球化学図」から、それぞれGISマップおよびデータを入手した。そして本年度は、関東甲信越および中部地方の一都十三県について、地質および土壌のGISマップを作成している。さらに、東北六県において、位置や変質タイプ、変質鉱物、重金属の種類、重

金属異常の原因等に関する情報をもつ変質帯および重金属異常帯マップを、既存文献を基に作成している。最終年度となる19年度は、近畿、中国、四国、九州、沖縄についての地質図および土壌図等を作成するほか、土壌中の重金属の形態情報に関する分析を行い、また、既存のGISソフトに新たな空間検索機能や重金属分布に関する統計解析機能を独自に開発し、全国を対象に自然由来の重金属分布を多角的に評価することのできるシステムを開発する予定である。

3. 地形解析による重金属濃度分布の検討

土壌に含まれる重金属の分布を調べる場合、周辺の地形の影響や様々な地圏情報を考慮することが重要である。流水や地形情報の処理手法に関しては多くの研究事例が流域単位で行われている。そこで著者らは、日本の地球化学図(今井ほか, 2004)で示される重金属濃度データを用いて、重金属の濃度分布と地形やその他地圏情報との関連性について検討を試みた。解析対象範囲は宮城県仙台平野とし、地形の効果として流路網および流域情報を、また地圏情報として土壌分布を考慮した。

今井ほか(2004)によると、産業技術総合研究所が日本の地球化学図を作成した際の試料として採取された河川堆積物は、採取した地点より上流域にある岩石や堆積物、土壌等を河川が流下するに際して削剥、混合してできたものと位置づけ、河川堆積物の組成はその河川の上流域の地質を代表するものと考えた。そこで、本研究においても河川堆積物試料はその採取地点上流域に分布する岩石や堆積物、土壌等の情報を有するという前提のもとに解析を行った。

第1表 解析に使用したデータソース.

地形図	国土地理院, 数値地図50mメッシュ (標高)
土壌図	国土交通省土地・水資源局国土調査課HP (http://tochi.mlit.go.jp/tockok/frame/tochimizu_f.html)
鉱床位置図	5万分の1地質図幅と説明書 (石井, 1982; 鎌田, 1993; 北村, 1981; 北村ら, 1983; 北村ら, 1986; 松野, 1967; 西尾, 2000; 高橋・松野, 1969; 滝沢, 1974; 滝沢, 1984; 滝沢, 1990), 日本金山誌第三編東北 (日本金山誌編纂委員会, 1992), 日本の鉱床総覧 (日本鉱業協会探査部会, 1968)
Pb濃度分布図	産業技術総合研究所地質調査総合センター, 日本の地球化学図HP (http://www.aist.go.jp/RIODB/geochemmap/index.htm)

(1) 解析方法

(a) 解析対象物質

本解析では, 重金属としてPbを対象とした. 解析に用いたPbの濃度データは産業技術総合研究所がHPで公開している「有害元素を含む全国元素分布 (地球化学図) データベース」から引用した.

(b) 解析用図面

解析の基本図面には国土地理院発行の数値地図50mメッシュ (標高) を用いた. また, 地形図と重ね合わせて比較検討する図面として, 本解析では土壌図および鉱床位置図を使用した. 土壌図の縮尺は20万分の1である. 解析に使用したデータのデータソースを第1表に示す.

(c) 流路網および流域の抽出方法

流路網の抽出にはESRI社のArcView 9.1に標準装備されている「Hydrology Modeling」ツールを用いた. 解析の概略を以下に示す. まず, 対象セルの隣接8セルの中から下り勾配の最大傾斜を示す方向を求め, 対象セルの流向とする. 次に流量は決定した流向にすべて流れると仮定する. この方法について, 全セルをスタートとして海域または計算領域外に達するまで行うことにより累積流量は河道として認識される.

流路網を抽出後, 同じ解析ツールを用いて地球化学図 (今井ほか, 2004) における河川堆積物試料の採取地点に対する固有の流域をポリゴンとして抽出した.

(2) 解析結果

(a) 流路網および流域の抽出結果

仙台平野を対象に流路網および流域を抽出した結果を第5図に示す. 図中の☆印は試料採取点を, 青線は流路網を, そして黒線は試料採取点の上流域を

それぞれ示す. その結果, 流路網はほぼすべての河川堆積物試料採取点を通ることがわかった. ただし例外もあり, 平野部では水路等の人工的な改変のため, 必ずしも試料採取点と流路網とは一致しない場合もあった. なお, 図中の色分けは口絵のカラー印刷を参照されたい.

(b) 各流域のPbの濃度の検討

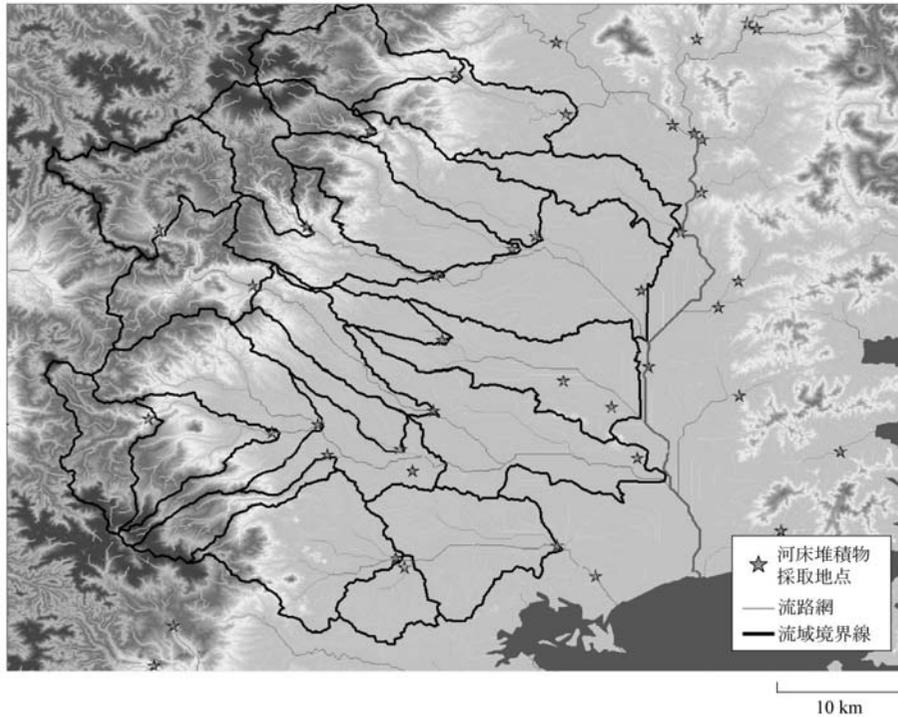
河川堆積物中のPbの濃度データと抽出した流域データとをGIS上で統合し, 流域中に含まれるPbの濃度分布を表示した結果を第6図に示す. 色分けはPb濃度を示し, 青ほど濃度が低く, 赤くなるほど濃度が高いことを表している. また, 流域内に表示された数字はPbの濃度である. Pbの濃度は流域ごとに異なり, 最も低濃度の流域で6.61ppm, 最も高濃度の流域で52.21ppmであった.

(c) Pbの濃度と鉱床位置との関連性の検討

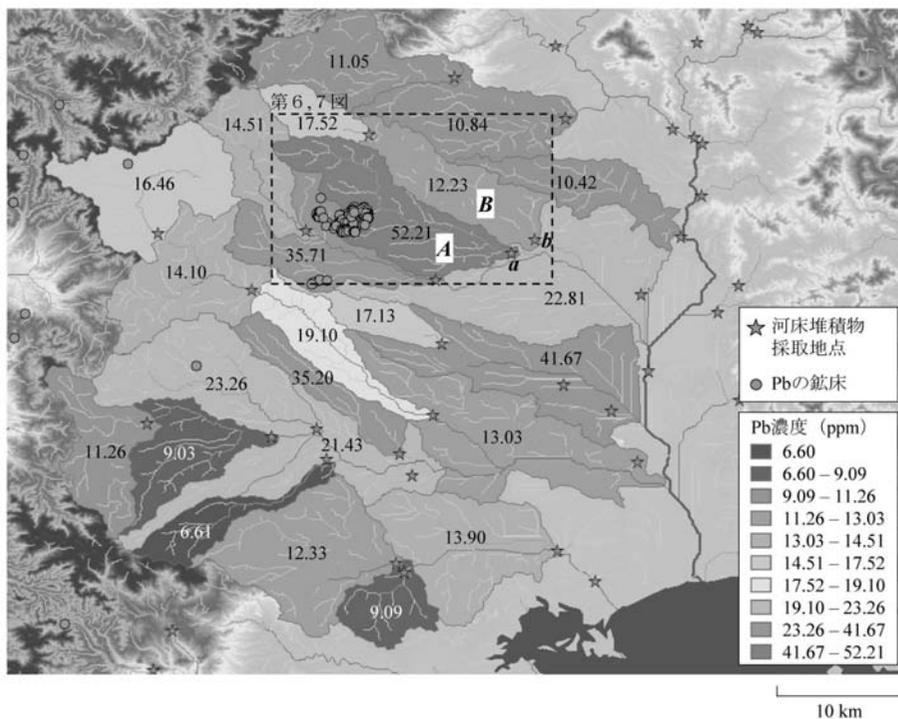
第6図において, 図中の黄緑色の○印は鉱種にPbが含まれる鉱床を示している. Pbの濃度分布と鉱床の位置との関係を見ると, 鉱床がある流域のPb濃度は他の流域に比べて相対的に高く, また, 鉱床の数が多いほど流域のPb濃度は高い傾向が見られた.

(d) Pbの濃度と土壌分布との関連性の検討

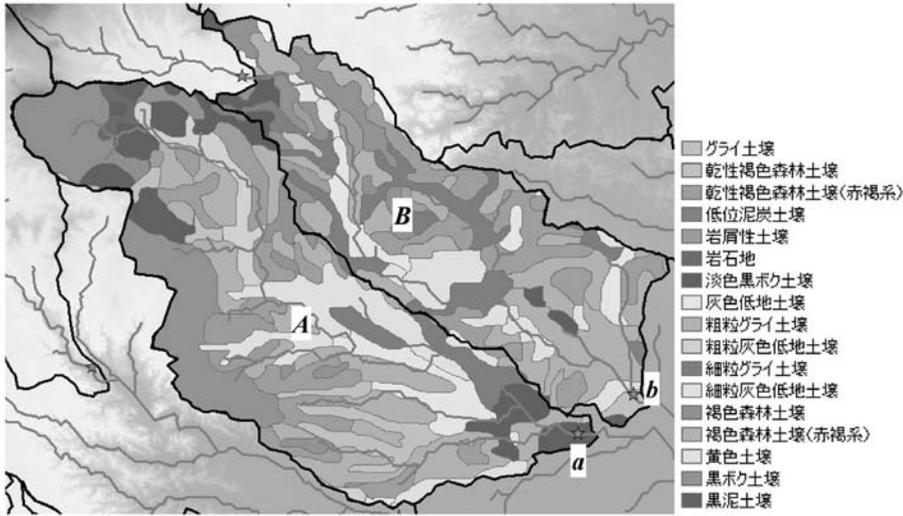
Pbの濃度が大きく異なった試料採取点aおよびb (第6図参照) の上流域に含まれる土壌とPbの濃度についての関係を調べるため, 宮城県全域の土壌図から試料採取点aおよびbの上流域に含まれる土壌分布のみを抽出し, 両流域に含まれる土壌の種類と占有面積について検討した結果をそれぞれ第7図, 第8図に示す. 図中の円グラフは流域面積に対する各種土壌の占有面積の割合を表している. なお, 土壌の分類は国土交通省が実施した土地分類基本調査結果に基づいている. その結果, 流域Aにおいて最も広く分布する土壌は褐色森林土壌 (赤褐系) の



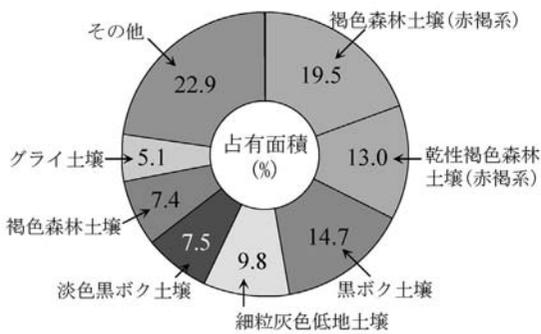
第5図 仙台平野における流路網(青色)と流域(黒色)の抽出(狩野ほか, 2006c).
(口絵3頁参照)



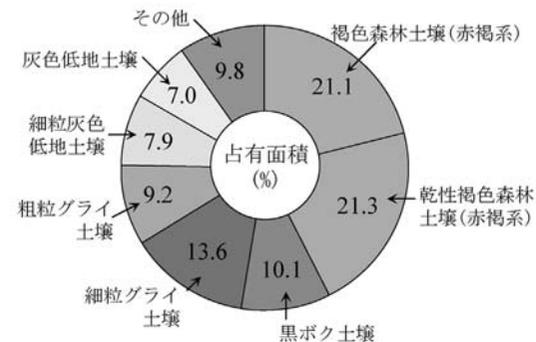
第6図 流域のPb濃度分布と鉱床位置(狩野ほか, 2006c).
(口絵4頁参照)



第7図
流域と土壌分布との
重ね合わせ(狩野ほ
か, 2006c).
(口絵4頁参照)



(a) 流域A



(b) 流域B

第8図 流域A, B中の各種土壌の占有面積(狩野ほ
か, 2006c).

19.5%, 流域Bでは乾性褐色森林土壌(赤褐色系)が21.3%で最も占有面積が大きいことがわかった. この結果より, 褐色森林土壌系が約40%と最も広く分布し, 残りの40~50%は黒ボク土壌, グライ土壌, 灰色低地土壌が占めるという傾向はどちらの流域も同様であることがわかった.

(3) 考察

抽出した流域情報と河川堆積物中のPbの濃度情報とをGIS上で統合した結果, 流域ごとのPbの濃度分布図を作成することができた. さらに, 流域ごとのPbの濃度分布図と鉱床の位置情報をGIS上で統合した結果, 鉱床が存在する流域のPb濃度は相対的に高い場所が多いことがわかった. また, 土壌図を検討した結果, Pb濃度の差異は土壌の種類によらないことがわかった.

本解析は現在開発を行っている地圏環境インフォマティクスシステムでのデータベース構築の一例として行ったものであるが, このように河川堆積物中の重金属の濃度分布情報に対し, 流域や鉱床, 土壌といった様々な情報を多角的, 有機的に関連づけることにより, 重金属濃度分布の新たな特徴付けが可能となることが本データベース構築の利点といえる.

4. おわりに

本研究では, 著者らが現在開発中の地圏環境イン

フォーマティクスのシステムを構成する様々なデータベースを用いて、宮城県仙台平野を対象に河川堆積物中のPbの濃度分布に関する地形解析を行った。

今後は、河川堆積物や土壌、岩石中の重金属量と地質、土質、植生、地下水情報との関連性を具体的に検討し、さらに試料の形態分析を行い、重金属の地圏環境中での物理的、化学的挙動を明らかにしていく予定である。さらに、GISソフトに重金属濃度分布に関する独自の空間検索機能や統計解析ツールを開発し、地圏環境インフォーマティクスのシステムを完成させる予定である。具体的なシステムの使用イメージとしては、①各自治体等で自然の金属汚染を判定・指導する際の根拠となる基本図面、②広域の道路計画におけるルート決定および工事に伴う処理・措置の概算設計用資料、③各自治体や全国における様々な環境管理の基礎図面、および今後の地圏環境の変化を判断する際の初期図面、④水系（表流水・地下水）、生態系、港湾堆積環境を今後考える際の基礎図面、⑤環境を念頭にいた上での新たなテーマ等の考慮材料、⑥リモートセンシングのような俯瞰技術の環境面での参考資料、等が考えられる。

本稿では、特にGIS上での地質情報の統合化と、特に河川の流域解析を通じた重金属元素の逸散状態の解析例を示したが、このほかに、土壌や岩石からの重金属、希土類元素の形態評価、溶出メカニズムと土壌・水質環境による遅延効果、重金属元素および希土類元素の移動プロセスなどの研究を多角的に行っている。これらの研究を踏まえ、環境の自然浄化能力の評価や環境修復技術への展開を進めている。

謝辞：本プロジェクトには、以下の方々が研究者として参加している。東北大学（井上千弘教授、田路和幸教授、高橋英志講師、篠田弘造講師、平野伸夫博士、岡本 敦博士、須藤孝一博士、須藤祐子博士、山田亮一博士、狩野真吾博士、小川泰正博士、山崎慎一元東北大教授）、産総研（丸茂克美博士、川辺能成博士、原 淳子博士、杉田 創博士）、(株)ジオテクノス（神宮 宏氏）。また、東北大学大学院理学研究科の吉田武義教授には、多くのご助言をいただいた。(独)科学技術振興機構の西村 伸プログラムオフィサー、小川茂樹氏には本プロジェクトの遂行に大変ご尽力いただいた。ここに感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 五藤久貴(2004)：東京都の土壌汚染の実態と対策、産業と環境、Vol.33, No.9, pp.31-34.
- 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃(2004)：日本の地球化学図。地質調査総合センター、209p.
- 石井武政(1982)：松島地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、121p.
- 狩野真吾(2006)：地圏環境インフォーマティクスのシステム紹介、土壌汚染と地圏環境インフォーマティクス2006、pp.21-25.
- 狩野真吾・土屋範芳・井上千弘・駒井 武・白鳥寿一・神宮 宏(2006a)：地圏環境インフォーマティクスのシステム開発、第12回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、pp.499-503.
- 狩野真吾・土屋範芳・井上千弘・駒井 武・丸茂克美・白鳥寿一(2006b)：GISを用いた地圏環境インフォーマティクスのシステム、資源・素材2006(福岡)講演資料、資源と環境、pp.75-78.
- 狩野真吾・土屋範芳・井上千弘・原 淳子・駒井 武・白鳥寿一・神宮 宏(2006c)：地圏環境インフォーマティクスのデータベース構築とその応用例、情報地質(投稿中)。
- 鎌田耕太郎(1993)：津谷地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、70p.
- 北村 信(1981)：古川地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、32p.
- 北村 信・大沢あつし・中川久夫(1983)：吉岡地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、50p.
- 北村 信・石井武政・寒川 旭・中川久夫(1986)：仙台地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、134p.
- Xiangdong Li, Siu-lan Lee, Sze-chung Wong, Wenzhong Shi and Iain Thornton(2004)：The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach, Environmental Pollution, Vol.129, pp.113-124.
- 松野久也(1967)：若柳地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、24p.
- 日本金山誌編集委員会(1992)：日本金山誌第三編東北。(社)資源・素材学会、222p.
- 日本鉱業協会探査部会(1968)：日本の鉱床総覧(下巻)、日本鉱業協会、941p.
- 西尾 健(2000)：土壌環境保全の現状と今後の課題。環境技術、vol.29, no.1, pp.32-36.
- 高橋兵一・松野久也(1969)：涌谷地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、26p.
- 滝沢文教(1974)：金華山地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、62p.
- 滝沢文教(1984)：石巻地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、103p.
- 滝沢文教(1990)：登米地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、126p.

TSUCHIYA Noriyoshi, KOMAI Takeshi and SHIRATORI Toshiichi (2006)：Development of Geo-environment Informatics System and Natinal-scale application.

< 受付：2006年10月13日 >