

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：82405

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2019

課題番号：26281065

研究課題名(和文)地質地下水統合型地下環境情報システムの構築とそれを活用した地下水の最適管理

研究課題名(英文)Study on groundwater management using hydrogeological database.

研究代表者

八戸 昭一 (Hachinohe, Shoichi)

埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・担当部長

研究者番号：70415397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、埼玉県における地質や地下水情報をとりまとめ、約6000件のボーリングデータと約600地点の地下水質データを公表した。また、埼玉県内において沈下傾向を示す地盤変動が大きな地域を対象として、当該地域における地下地質構造や間隙水中の重金属濃度や移動性、地下水の取水レベルや揚水量の変化、そして地盤変動の変化傾向など様々な情報を基に、環境負荷の小さい地下水管理を進める上でのポイントを示した。例えば、埼玉県北部地域においては、標高 -20mから -30mに分布する地層の間隙水中に砒素が大きく含有されており、このような地層が圧密圧縮しないような地下水管理が重要であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南アジアをはじめ多くの国々において、現在も高濃度の砒素を含む水が飲用されている。従来のその原因の多くは、自然地層と地下水との酸化還元反応等の化学的相互作用で説明されることが多かった。これに対して、本研究では過剰な地下水の汲上げによる地層からの絞り出し等の物理的作用も影響することを指摘した。我が国の多くの都市は砒素を含有する地層上に立地しているが、一部の地域では地下水を規制から有効利用への転換が検討され始めている。しかしながら、不用意に揚水規制を緩和して揚水量を増大させれば砒素による汚染を拡大する可能性もある。本研究ではこれに対して取水対象層の性情を踏まえた地下水管理の必要性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we compiled and disclosed around 6,000 geological column data and around 600 groundwater quality data. Based on the geological structure, heavy metal concentration in pore water and its mobility, changes in groundwater intake depth and pumping volume, and trends in groundwater displacement, we also proposed key points of groundwater management which minimize environmental load. For example, in the northern area of Saitama prefecture, arsenic is contained in the pore water of the layer distributed at an altitude of -20m to -30m. We have made it clear that groundwater management is important to prevent such layers from being consolidated.

研究分野：環境科学

キーワード：環境地理情報 砒素 地下水 地盤データベース 地盤沈下 ボーリングデータ 土壌地下水汚染 リモートセンシング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 1. 研究開始当初の背景

南アジアをはじめ多くの国々において、現在も高濃度の砒素が地下水中に溶出し、それを含んだ水が飲用されている。これまでその原因の多くは、自然地層と地下水との酸化還元反応などの化学的相互作用で説明されることが多かった。一方、我が国の人口と経済が集中する首都圏は、過去半世紀にわたる地下水の揚水規制等により地下水位は回復してきた。しかしながら、IPCC第5次評価報告では地球温暖化に伴う極端気象の発生が予見されており、首都圏においても今後は無降水日の増加や積雪量の減少に起因する渇水リスクが高まることが指摘されている。渇水時には河川水の取水制限が実施されることから地下水揚水量は増大し、その結果地盤沈下が進行することが懸念される。我が国の多くの都市は砒素を含有する自然地層上に立地しているが、一部の地域では地下水を規制から有効利用への転換が検討され始めている。不用意に揚水規制を緩和して揚水量を増大させれば砒素による汚染を拡大する可能性もあるものの具体的な対応策は提案されていない。

## 2. 研究の目的

これまであまり利用されずにいた地質や地下水などの情報を収集・解析することにより、砒素などの自然地層に由来する地下水汚染や地盤沈下が問題となっている地域における効果的な地下水管理手法を検討する。具体的には、地盤の沈下傾向が確認される三地域を対象に、当該地域における地質構造や地層の性情を明らかにし、その上で地下水の取水レベルや揚水量の中長期的な増減、そして地盤変動の変化傾向などの様々な情報を基に、環境負荷の小さい地下水管理を進める上でのポイントを明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究では埼玉県平野部の地下約300mまでの領域を研究対象とし、様々な地質や地下水情報等をデータベース化する。また、研究を進めるにあたり収集・解析したデータのうち、支障のない情報については書籍やインターネットを通じて情報公開する。砒素汚染が確認され、なおかつ地盤沈下が集中的に進行している地域におけるボーリングコアを対象として、掘削直後の間隙水を採取・分析し、砒素の賦存状態を把握する。さらに、採取した地質試料については形態別分析を実施し、周囲に分布する井戸からの地下水揚水によってどの地層から砒素が溶出し易いのかを解明する。

## 4. 研究成果

### (1) 地質地下水情報の整備と情報発信

研究成果の社会還元を目的として、ボーリングデータを簡易柱状図形式に変換し、書籍「埼玉県地質地盤資料集(八戸ほか、2019)」に取りまとめるとともにウェブGIS「地図で見る埼玉の環境 Atlas Eco Saitama」により情報を公開した(日本経済新聞、2019)。また、荒川低地周辺のボーリングデータを使用して、荒川低地地下立体模型を作成した。本資料集では埼玉県内約6,000カ所のボーリング柱状図、さらに県内各地620地点のpH(水素イオン濃度指数)・電気伝導度・酸化還元電位・鉄濃度・マンガン濃度などの基本的な地下水質データをとりまとめた。ボーリング柱状図は、深度毎の土質(地層)の状態や硬さの情報などが記述されており、帯水層となり得る地層の位置が分かり易く表示されている。資料集は、大学を始めとする研究機関や公立図書館など約300カ所の施設へ無償配布した。また、資料集にとりまとめた約6,000カ所のボーリング柱状図は、より更に詳しい情報が記述されている標準様式の柱状図に加工し、埼玉県環境科学国際センターで運用するウェブGIS「地図で見る埼玉の環境 Atlas Eco Saitama (<https://cessgis.maps.arcgis.com/home/index.html>)」でダウンロード可能とした。各公共機関が個別に保管していたボーリングデータを一括管理することで、地下構造を三次元的に推定するなど、より高度な解析が可能となった。また、専門知識を持たない一般の方への成果還元として、荒川低地の地下立体模型を作成した。模型では、荒川低地の地下には氷河期に作られた谷が埋まっており、模型では東京湾へ向かって連続的に深くなっていく様子や、埋められ

ている谷は一様でなく、溝状に連なる深い部分やテーブル状の浅い部分があることなどが表現されている。また、谷底に堆積している砂礫質の地層は、地下水を豊富に含むことから、専門家による地下水汚染調査にも役立つ情報となる。

## (2) 環境負荷の少ない地下水利用の検討

### (a) 加須低地の例

加須低地の自然地層中に含まれる砒素の賦存状態を把握するため、掘削直後のボーリング試料から間隙水を採取し、試料中の砒素、鉄、硫黄などの無機成分や硫酸イオン、カルシウムイオン、そしてナトリウムイオンなどの主要溶存イオンを計測した。研究対象としたボーリング試料は、河床から地下44mの深度まで採取したもので、間隙水は試料の掘削直後に地表から深度1m毎に採取した。測定の結果、間隙水中の砒素濃度は、海成シルト層では陸成層(約8mg/L)の約5倍となる40mg/Lに及んでいた。砒素の最高濃度(74mg/L)は第一帯水層直上に位置する埋没ローム層(深度13m)で検出された。これは浅層地下水の水位が低下し、酸化環境下で同地層に含まれる酸化鉄に吸着された砒素が検出されたものと推察された。自然堆積物中に含まれる砒素、鉛そしてカドミウムの化学形態を把握するため、当該地質試料を対象として4段階の逐次抽出を行うことにより、水溶出態、イオン交換態、酸可溶性態、そして鉄酸化物態に分類した。その結果、4種の化学形態とも砒素>鉛>カドミウムの順に移動性が高いことが判明した。また、カドミウムは主に酸可溶性態で存在するが、砒素や鉛は主に鉄酸化物態として存在することが確認された。河床堆積物については特に砒素とカドミウムが高い移動性を示したが、第一帯水層と第二帯水層に挟まれる海成シルト層(深度20~30m)と陸成シルト層(深度30~37m)では、砒素、鉛そしてカドミウムのいずれも第二帯水層の直上に位置する陸成シルト層において高い移動性を示した(Hachinohe et al., 2014)。当該地域では昭和40~60年代に農業用水を中心に第一及び第二帯水層を対象とした地下水利用が盛んにおこなわれていたが現在の揚水量は非常に少ない(埼玉県, 2019)。しかしながら、地下水位の回復とともに今後これらの帯水層からの揚水が再び活発化した場合、砒素等の重金属類が溶出する可能性が高い。

### (b) 中川低地の例

中川低地では、古くから地盤沈下が問題となっており、その中央部に位置する越谷市弥栄町では昭和36年からの累積の沈下量は1m85cmとなり埼玉県内における最大値となっている(八戸・林・和田・長田, 2015; 八戸・森下, 2015)。そこで、平成18年から23年まで日本の宇宙航空研究開発機構JAXAと経済産業省が運用する「だいち1号」の合成開口レーダにより得られたデータを使用して差分干渉処理を実施し、当該期間における地盤変位を解析した(Hachinohe and Morishita, 2016)。その結果、春日部市から越谷市にかけての地域では、平均地盤変動速度が10mm/yearを超える沈下集中域が存在し、その分布は最終氷期極相期において開析された埋没谷の分布と概ね一致することが判明した。この沈下傾向を示す領域は帯状に蛇行した平面的な分布範囲を示しており、標高-30~-50mの深度に位置する地層が当該地域における地盤沈下に影響していることが示唆された。なお、これらの沈下傾向を示す地域は、平成27年9月に発生した関東・東北豪雨や平成25年10月に発生した26号台風により冠水被害を発生した地点と一致していた。中川低地の地下には東京湾へ続く深い谷の両側に少し高い埋没段丘というテーブル状の地盤が存在し、これら埋没段丘が発達する地域では地盤変位が比較的小さいことが判明した。これらの事実を総合的に解釈すると、当該地域における地盤変位は、標高-30mから-50mの地層が大きく影響しており、これらの地層が圧密沈下しないような地下水管理が重要であることを指摘した。

### (c) 大宮台地の例

大宮台地南部地域における計61箇所の地下水を対象として取水対象とする帯水層レベルや地下水揚水と地盤変動との関係を考察した(八戸ほか, 2018)。当該地域における基本的な地質層序の概要は、上位より後期更新世に堆積した新規ローム層・大宮層・木下層、中期更新世に堆積した清川層・上泉層・藪層・地蔵堂層、そして前期更新世に堆積した上総層群

相当層に分けられた。調査地域内に位置する埼玉県が管理する地盤沈下地下水位観測所における地盤変位のモニタリング結果から当該地域の地層を地層 A(深度 0 ~ -150m)と地層 B(深度-150 ~ -250m)に二分して地盤収縮量を算出したところ、両地層とも収縮しているものの、地層 B よりも地層 A の方が、概ね2倍程度収縮量が多いことが判明した。また、地盤が沈下傾向を示す地域では揚水量を増加しており、比較的浅い帯水層から揚水していることが判明した。合成開口レーダの解析により検出された地盤沈下の主要部分は、標高-50 ~ -150m 前後に分布する比較的浅い帯水層(上泉層 ~ 地蔵堂層)からの地下水の揚水量を増加させることにより、各帯水層間やその上位に位置する粘土層やシルト層が収縮することにより発生したものと推定された。一方、大宮台地南部地域では台地内部に海洋酸素同位体ステージ(MIS) 6に相当する海成層が広く発達している(中澤・野々垣・八戸、2019)。そこで、当該地域において掘削されたボーリングコアを対象に、間隙水を採取したのち、形態別分析を実施した。その結果、深度 20m 以深に分布する海成層は上位の陸成層と比べて溶出能が高いことが判明した(Hossain, Ishiyama, Hachinohe and Oguchi, 2019)。幸い当該地層付近を帯水層とする井戸は必ずしも多くはない。しかしながら、さらに深部に位置する同様な性質をもつ海成層からは砒素等の重金属類が容易に溶出する可能性がある。したがって、当該地域において圧密圧縮する可能性が高い標高-50 ~ -150m 前後に分布する比較的浅い帯水層(上泉層 ~ 藪層 ~ 地蔵堂層)に隣接する海成のシルト ~ 粘土層からは同様に砒素が滲出する懸念がある。このため、特に、上泉層 ~ 藪層に含まれる帯水層からの地下水利用は注意が必要である。ところで調査地域の北部に位置する井戸では比較的深部(標高-150 ~ -250m)から採水しており圧密量も小さいことが判明した(八戸ほか、2018)。よって、渇水時において地盤沈下の恐れが迫っている場合や地下水中の砒素濃度が顕著に増加した場合などは、このような問題となる地層が少ない帯水層からの地下水利用が望まれる。

#### [引用文献]

- 八戸昭一ほか(2019)埼玉県環境科学国際センター編、埼玉県地質地盤資料集(2018年度版)、1072.
- 日本経済新聞(2019)日本経済新聞「埼玉県環境科学国際センター 地盤データ集ネットで公開」平成 31 年 3 月 9 日朝刊.
- Shoichi Hachinohe**, Hideki Hamamoto, Takashi Ishiyama, Sushmita Hossain, and Chiaki T. Oguchi (2014) Occurrence of arsenic in sediment pore waters in the central Kanto Plain, Japan, European Geosciences Union, General Assembly 2014.
- 埼玉県(2019)埼玉県地盤沈下調査報告書(平成 29 年度観測成果)147p.
- 八戸昭一・林 武司・和田里絵・長田昌彦(2015)埼玉県の地盤、新・関東の地盤 ~ 増補地盤情報データベースと地盤モデル付(2014 版) ~、地盤工学会編、丸善出版、pp.81-86.
- 八戸昭一・森下遊(2015)埼玉県の地盤沈下と最新の地盤変動計測技術、環境ニュース、148, 2-7.
- Shoichi Hachinohe** and Yu Morishita(2016) Land subsidence detected by persistent scatterer interferometry using ALOS/PALSAR data from the Nakagawa lowland in the central Kanto Plain, Japan, International Association of Geodesy Symposia, 10.1007/1345\_2016\_242.
- 八戸昭一・森下 遊・濱元 栄起・林 武司・宮越 昭暢(2018) ALOS/PALSAR によって検出された埼玉県中央部における地下水揚水に伴う地盤変動、日本地球惑星科学連合 2018 年大会.
- 中澤努・野々垣進・八戸昭一(2019)さいたま市の地質と大地の生い立ち、さいたま市史自然編 ~ 気象・地形・地質 ~ .
- Hossain Sushmita, Ishiyama Takashi, **Hachinohe Shoichi**, Oguchi Chiaki T.(2019) Leaching Behavior of As, Pb, Ni, Fe, and Mn from Subsurface Marine and Nonmarine Depositional, Geosciences, 10.3390/geosciences9100435.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hossain Sushmita, Ishiyama Takashi, Hachinohe Shoichi, Oguchi Chiaki T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Leaching Behavior of As, Pb, Ni, Fe, and Mn from Subsurface Marine and Nonmarine Depositional	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geosciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/geosciences9100435	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Shoichi Hachinohe and Yu Morishita	4. 巻 -
2. 論文標題 Land subsidence detected by persistent scatterer interferometry using ALOS/PALSAR data from the Nakagawa lowland in the central Kanto Plain, Japan	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Association of Geodesy Symposia	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/1345_2016_242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 八戸昭一、森下 遊	4. 巻 148
2. 論文標題 埼玉県の地盤沈下と最新の地盤変動計測技術	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 環境ニュース	6. 最初と最後の頁 2-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 八戸 昭一、森下 遊、濱元 栄起、林 武司、宮越 昭暢
2. 発表標題 ALOS/PALSARによって検出された埼玉県中央部における地下水揚水に伴う地盤変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Hachinohe, Y. Morishita and H. Shiraishi
2 . 発表標題 Land subsidence detected by persistent scatterer InSAR at Nakagawa lowland in the central part of the Kanto Plain, Japan
3 . 学会等名 International Union of Geodesy and Geophysics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 S. Hachinohe, S. Hossain, T. Ishiyama, H. Hamamoto and C.T. Oguchi
2 . 発表標題 Arsenic in pore waters contained of natural sediment at the northern part of the Nakagawa Lowland, Japan
3 . 学会等名 日本地球惑星科学連合2015年大会
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 Shoichi Hachinohe, Hideki Hamamoto, Takashi Ishiyama, Sushmita Hossain, and Chiaki T. Oguchi
2 . 発表標題 Occurrence of arsenic in sediment pore waters in the central Kanto Plain, Japan
3 . 学会等名 European Geosciences Union, General Assembly 2014 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2014年

1 . 発表者名 Sushmita Hossain, Chiaki T. Oguchi , Shoichi Hachinohe, Takashi Ishiyama, and Hideki Hamamoto
2 . 発表標題 Geochemical Fractionations and Mobility of Arsenic, Lead and Cadmium in Sediments of the Kanto Plain, Japan
3 . 学会等名 European Geosciences Union, General Assembly 2014 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2014年

1. 発表者名 Sushmita Hossain, Shoichi Hachinohe, Takashi Ishiyama, Hideki Hamamoto, and Chiaki T. Oguchi
2. 発表標題 Vertical variation of potential mobility of heavy metal in sediment to groundwater of the Kanto plain, Japan
3. 学会等名 Ameriacn Geophysical Union, Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 T. KAKIMOTO, S. Hachinohe, T. ISHIYAMA, H. HAMAMOTO
2. 発表標題 Evaluation of substances coexisting with volatile organic compounds in contaminated groundwater as a tracer for identifying the pollutant source
3. 学会等名 International Union of Geodesy and Geophysics (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 M. Hara, H. Takahashi, M. Fujita, S. Hachinohe
2. 発表標題 Diurnal cycle of convective activity in the Tropics observed by Rain Radar mounted on the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite
3. 学会等名 International Union of Geodesy and Geophysics (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 八戸昭一ほか	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (有)幸文堂	5. 総ページ数 1072
3. 書名 埼玉県地質地盤資料集(2018年度版)	

1. 著者名 八戸昭一・林 武司・和田里絵・長田昌彦	4. 発行年 2015年
2. 出版社 丸善出版(株)	5. 総ページ数 pp.81～96
3. 書名 新・関東の地盤～増補地盤情報データベースと地盤モデル付(2014版)～	

〔産業財産権〕

〔その他〕

(1)日本経済新聞「地盤データ集ネットで公開」平成31年3月9日朝刊
(2)埼玉県報道発表資料「見えない地下を科学で解明～埼玉県地質地盤資料集(2018年度版)を発行～」 <a href="https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2018/0308-01.html">https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2018/0308-01.html</a>
(3)環境科学国際センターニュースレター「埼玉県地質地盤資料集(2018年度版)を発行」
(4)ウェブ発信「地図で見る埼玉の環境 Atlas Eco Saitama」「埼玉県ボーリング柱状図」 <a href="http://cessgis.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=48e32fbb517e48b1848caa45f5872bba">http://cessgis.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=48e32fbb517e48b1848caa45f5872bba</a>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柿本 貴志 (Kakimoto Akashi) (00462747)	埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・専門研究員  (82405)	
研究分担者	濱元 栄起 (Hamamoto Hidaka) (40511978)	埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・専門研究員  (82405)	
研究分担者	白石 英孝 (Shiraishi Hidetada) (60415396)	埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・専門研究員  (82405)	



## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石山 高  (Ishiyama Takashi)  (80297621)	埼玉県環境科学国際センター・土壌・地下水・地盤担当・担当部長    (82405)	
研究分担者	原 政之  (Hara Masuku)  (90399569)	埼玉県環境科学国際センター・温暖化対策担当・主任    (82405)	