

大阪平野の降水起源の地下水の分布と残存する有機物汚濁

益田 晴恵¹、根本 達也¹、新谷 毅²
 （¹大阪市立大学大学院理学研究科、²北海道立総合研究機構）

はじめに

厚い堆積物からなる大阪平野は、我が国有数の地下水貯存地域です。地下水は優れた水資源ですが、地盤沈下や水質汚濁を避けて適正に利用するためには、水循環過程を正確に理解することが必須です。この報告では、大阪平野の地下水を可視化するために行った一連の研究の中で、地下水の起源を整理した研究の一部を紹介します。再生可能な現在の降水を起源とする地下水の地理的分布をお見せします。また、そのような地下水に見られる過去の汚染の残存状況も示します。これらの結果から、地下の水循環について考察しましょう。

降水を起源とする地下水

図1に大阪平野の表層地形と新生代の堆積物の分布を示しました。大阪平野は、大阪湾とともに周辺を低山地と淡路島に囲まれた大阪盆地を形成しており、その東半部を占めています。この盆地は3.3百万年～3.5百万年前に沈降を開始したとされており、堆積物の最大層厚は、平野部で約1,500 mに及びます。平野と周辺山地の境界は活断層です。また、平野中央部にも上町断層があり、この断層の活動によって形成された上町台地が大阪平野を東の河内平野と西の西大阪平野に分けています。表層堆積物の年代は中央の低地から外側

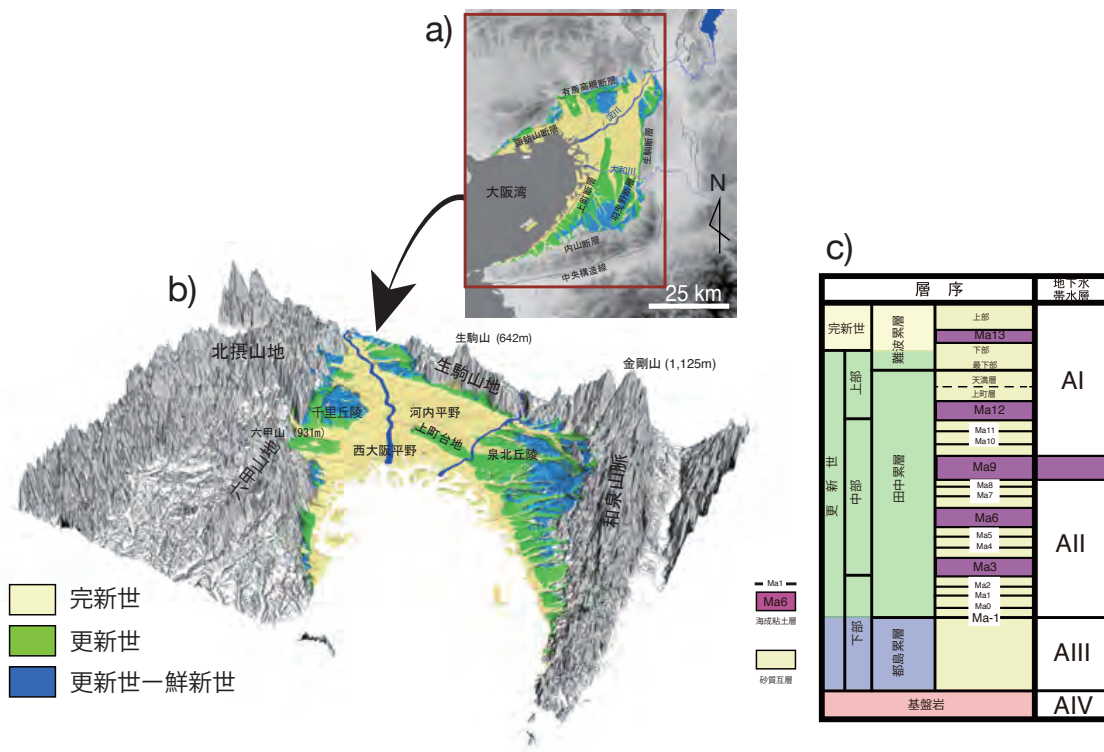


図1. 大阪平野の地質

a) インデックス図と活断層、赤四角で囲った部分（90 km × 60 km）が b) で示す三次元地形図の範囲；
 b) 3次元表層地質図、俯瞰図の原点は 34° 39′ 22.959″ N、135° 21′ 6.675″ E、北から時計回りに 52°、
 俯角は 23°。；c) 平野中央部の地層区分と本報告の帯水層区分（説明は本文を参照のこと）。

に向かって古くなります。図では表層地質を3つに分類しました。中央部は、縄文海進（最終氷期後の海進、約7000年前）以降の堆積物（クリーム色）が分布しています。その周辺には、およそ10万年周期で海進と海退を繰り返していた時代の堆積物（緑色）が、さらに外側には大阪盆地の水域が淡水の湖沼であった時代の堆積物（青色）が分布しています。また、平野の地下では、これらの堆積物が深度の増加とともに出現します。平野地下の地層と表層地質図を対比させたものが図1cです（表層地質図と同じ色を地層の年代と累層名に塗ってある部分に対応しています）。図1a)とb)の表層の緑色の地層は、c)の平野地下の層序の更新統上部・中部と下部の最下位の海成粘土層（海底に溜まった粘土の地層、Ma-1（エムエーマイナスワンと読む）より上位の地層に対応します。図1a)とb)の表層の青色の地層は、c)のMa-1より下位の地層に対応します。

ここでは、便宜的に地下水帯水層¹⁾をAI～AIVの4つに分けました（図1c）。AIはMa9（43万年前の海成粘土層）より上位の帯水層です。この帯水層は海岸や河床底と直接接触している場所があり、地表水や海水が直接帯水層を涵養²⁾しています。その下位にあるAIIは、最下位の海成粘土層であるMa-1（124万年前）より上の淡水成の砂礫層が海成粘土層と繰り返して堆積している部分です。AIIIはMa-1より下の内陸の湖や河川に沿って堆積した淡水成の地層です。AIIとAIIIを構成する堆積物層は丘陵部に露出しているので、丘陵での降水が地下に浸透した地下水が見られます。AIVは基盤岩に滞水する地下水です。平野の堆積物の下にある基盤岩は花崗岩が最も多いのですが、南部では、火山岩や堆積岩なども見られます。また、中生代～古生代の堆積岩が多く分布する北摂山地や白亜紀の堆積岩が広く分布する和泉山脈などでは、山地の降水が岩石の割れ目を流れる地下水も見られます。

500点近い地下水の分析結果をもとに、地表か

ら涵養されている地下水（317点）だけを抽出して、酸素と水素の安定同位体比の関係を図2に示しました。酸素・水素の安定同位体比は、地下水の起源を推定するのに有効です。（実際には、安定同位体比とともに他の溶存化学成分も用いて統計学的処理を行っていますが、ここでは説明しません。）ここでは、地表から涵養されている水とは、大阪平野や周辺山地の降水や河川水・淀川や大和川などの大阪盆地外から流入する河川水と海水です。淡水の多くは、大阪府域の河川水の酸素・水素安定同位体比の範囲とほぼ一致しており、同じ起源を持つ水であることがわかります。また、4つの帯水層で、同位体比の分布にはほとんど違いが見られません。また、海水が混入している地下水では、酸素・水素安定同位体比が、海水混合線に沿って大きくなる傾向が見られます。

図3には海水を含む地下水と降水起源の淡水の地下水の地理的分布を3次元で示しました。この図には、表層（平野部は薄い色で表現してある）と堆積物を剥いだ平野地下の基盤岩の分布を示してあります。縦方向の縮尺が横方向の13倍あることに注意してください。

この図が示す重要なことは、現在の降水を起源とする地下水の多くが浅い深度に分布しているこ

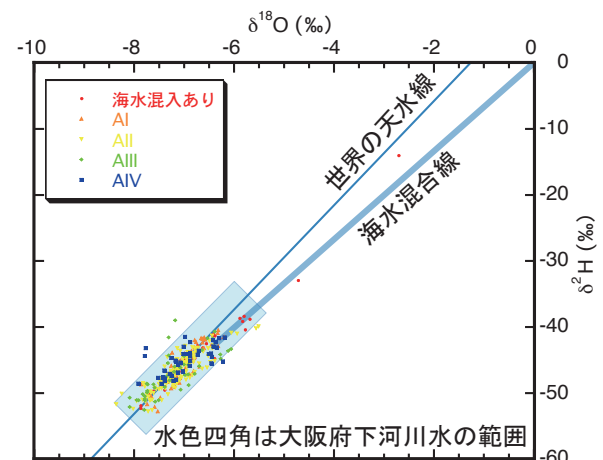


図2. 現在の降水と海水を起源とする地下水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の関係

海水が混入した地下水と、帯水層区分ごとの淡水 ($\text{Cl}^- < 100\text{mg/L}$) の地下水に分けて表示。

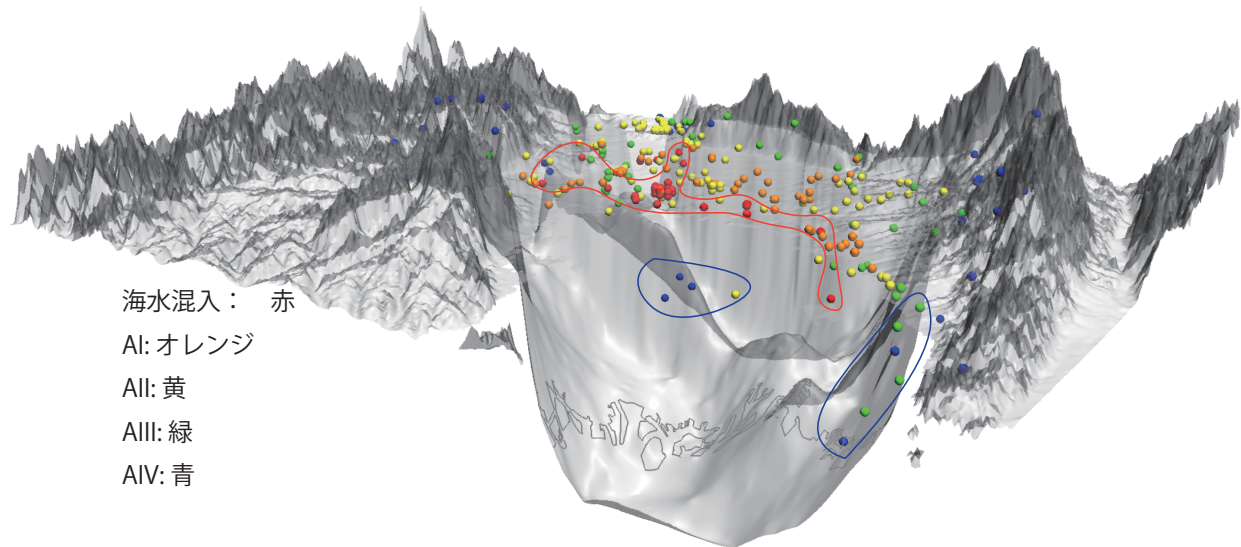


図 3. 現在の降水と海水を起源とする地下水の 3 次元分布図

俯瞰図の原点は $34^{\circ} 39' 22.959'' \text{ N}$ 、 $135^{\circ} 21' 6.675'' \text{ E}$ 、北から時計回りに 53° 、俯角は 8° 。標高の縮尺は水平方向の 13 倍。赤線と青線で囲ってある試料についての説明は本文を参照のこと。

とです。海水を含む地下水は、大阪湾の沿岸部の海拔 0 m 地帯に多く見られます（図 3 の赤で囲んだ地域）。また、淀川に沿った内陸部にも海水を含む地下水が見られます。淀川河口に近い大堰ができる以前は、京都府と大阪府の境に近い枚方大橋付近まで海水が遡上していたことが知られています。現在では、大堰に堰き止められて、淀川を海水が遡上することはありません。しかし、河床底地下の伏流水の水路を通じて、海水が遡上していることはあり得る話です。また、降水起源の AI ~ AIV の淡水地下水は、大雑把には平野の中央部から外側に向かって分布する傾向があります。AI（オレンジ色）の帯水層には平野での降水や平野を流れる河川水などが直接涵養しています。AII（黄色）は低地部との境界近い場所に分布する丘陵部や上町台地が涵養源です。AIII は山麓に広がる丘陵地に分布し、AIV は山地に分布しています。つまり、これらの地下水は、井戸のある地点から比較的近い場所で涵養されていると言えます。

降水を起源として流動する地下水は、平野の比較的浅い帯水層（最大でおよそ 100 m 以浅）にしか存在しません。AIII や AIV の地層は平野の低地部の地下にも分布しているのですが、丘陵部

や山地で涵養された地下水は、連続しているはずの平野深部にまでは流動していかないと言えます。例外的に、上町断層と内畑断層に沿って AIII と AIV の地下水が高深度で見られます（青で囲った部分）。これらは、わずかですが、断層を通じて降水が、ほぼ鉛直方向に地下の深部にまで浸透していることを示すものです。ここに示した地下水は再生可能な地下水資源ですが、そのような地下水が分布する深度は限定的です。

本報告の話題ではないので取り上げませんが、AIII や AIV には、縄文海進以前に涵養された淡水、化石塩水や有馬温泉の塩水と似た性質の塩水が多く見られます。そのような古い時代の水は、使えば無くなってしまいます。温泉水として使われていることが多くありますが、大切に利用して欲しいものです。

地下水に残存する汚染物質

日本は環境政策における先進国です。大気汚染対策が功を奏して遠方の風景が美しく見えるようになりました。河川水も目に見えてきれいになっています。しかし、循環速度の遅い地下環境では、高度成長期から 1980 年代にかけて自然界に放出した汚染物質が残存していることが観察されま

す。その例を示しましょう。

揮発性有機炭素（Volatile Organic Compounds: VOC）は大気中で気体となる有機化合物の総称です。VOC の多くは、発がん性などの健康影響があり、光化学スモッグやオゾン層破壊の原因物質でもあります。これらは、1988 年のモントリオール議定書により、自然界への放出が禁止され、日本でも翌年から排出規制が開始されました。ここでは、四塩化炭素（テトラクロロエチレン、PCE）とトリクロロエチレン（TCE）に注目してみましょう。これらの物質は、洗浄剤として工場やドライクリーニングなどで便利に用いられていました。また、これらの物質の地下での分解は、主として微生物によるものです。PCE は TCE に、TCE はジクロロエチレン（DCE）を経由して塩化ビニルモノマー（VC）へと変化します。地下水環境によりますが、PCE・TCE が DCE に変化するまで 20 ～ 30 年、VC に変化するまでは 30 ～ 40 年かかります。これらの物質の中で最も毒性の高い VC は無害なエタンと二酸化炭素に変化しますが、さらに 30 年以上が必要だと言われています。これらの物質は容易に光分解するため、揚水して日光に晒すことができれば、簡単に分解します。それなので、地表に取り出して処理すればいいのですが、地下に残存した状態で処理するのは簡単ではありません。

図 4 に、大阪府下の地下水中に VOC が検出される地点と、VOC の成分として VC も含む地点を示しました（2017 年）。これらの汚染が見られる地下水は、前述した降水を起源とする地下水です。地表から涵養されるということは、汚染物質も共に流入することがあるということなのです。検出地点は泉南の海岸部を除いては、内陸に多く分布していることがわかります。DCE から VC へ変化している地点は、大阪平野東側の河内平野と丘陵の谷部が多く、丘陵の開けた場所で採取された地下水では DCE で止まっていることがわかりました。DCE は、少し還元的な環境での微生物活動でより活発に分解が進んで VC になること

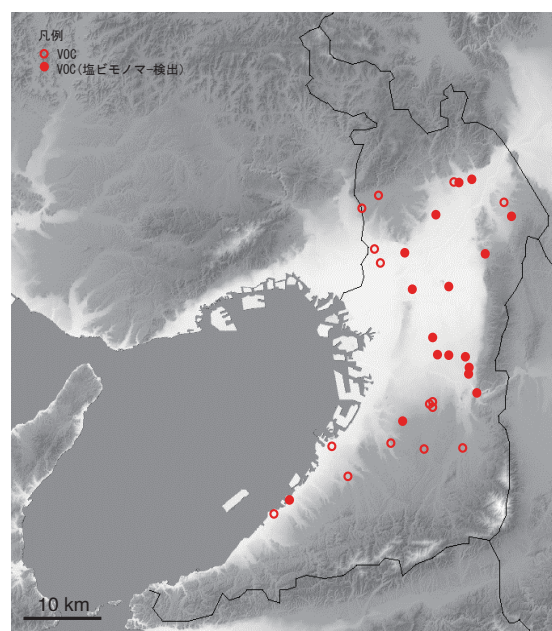


図 4. 大阪府下で地下水中に揮発性有機炭素が検出された地点

が知られています。上町台地より西側の大阪市内で VOC 汚染が見られないのは、海水を含む塩水が出入りすることで汚染された地下水が流出したのだろうと考えています。それなので、DCE が保存されている地下水の方が、VC にまで分解が進んでいる停滞的環境下にある地下水よりも短時間で汚染浄化される可能性があります。

VOC 汚染された地下水は再生可能な地下水です。汚染物質ごと揚水して処理できれば、地下環境を早く回復できます。

まとめ

地下水は、適切な管理のもとに利用すれば、良質の水資源です。日本全体が汚染の少ない自然環境になっている今日では、醸造や瓶詰めの水の製造など、良質の水を大量に利用する地方で、良好な水循環を保全する活動を官民協同で行っている自治体が多くあります。過去の汚染が残っている大都市圏では、きれいな地表水を地下に流して、残存している汚染物質を流失させることも可能でしょう。そのためには、降水起源の地下水をうまく利用したほうがいいと、私たちは考えています。

目に見えることの少ない地下水ですが、水質を

可視化し、マッピングすることで、地下水の置かれている状況を知ることができます。これを読んでいる皆さんには、地表だけでなく、地下の水循環にも興味を持っていただけると嬉しいです。

Southwest Japan. *Geochemical Journal*, 53: 235–247.

<https://www.terrapub.co.jp/journals/GJ/pdf/2019e/53040235.pdf>

注釈

- 1) 帯水層：取水できる地下水を含む地層のことで、砂や礫などの粗粒の堆積物や、割れ目の多い岩石などからなっています。
- 2) 涵養：地表の水が地下浸透して帯水層に供給されること。

文献

井川怜欧・益田晴恵・新谷毅・三田村宗樹（2019）水文環境図 No. 11「大阪平野」．産業技術総合研究所地質調査総合センター．

<https://gbank.gsj.jp/WaterEnvironmentMap/contents/osaka/osaka.htm>

益田晴恵（2018）第7章 大都市の水環境 — 健全な利用を進める —．公益財団法人日本生命財団編、「人と自然の環境学」、129–145．東京大学出版会：ISBN 978-4-13-063371-0.

Shintani T, Masuda H, Okazaki K, Even E, Ono M, Marui A (2019) Characterization of groundwater based on $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and Cl^- concentration beneath the Osaka Plain,

著者情報



益田晴恵 大阪市立大学大学院理学研究科・教授。専門は環境地球化学、水圏地球化学。水循環に伴う水質汚濁、海洋地殻内の続成作用に伴う水–岩石反応などに関する研究を行ってきた。



根本達也 大阪市立大学大学院理学研究科・准教授。専門は情報地質学。地理情報、地質情報などのデータベースを用いた3次元可視化の手法開発などを研究してきた。



新谷 毅 北海道立総合研究機構・研究員。専門は環境地球化学、地下水学。環境同位体と水質を用いた地下水流動系の評価を研究対象としてきた。

（2022 年 3 月 31 日掲載）