

地中熱利用促進事業の紹介—大阪の地盤と地下水—

Introduction of geothermal utilization project : The case study of geology and groundwater in Osaka area

伊藤浩子*

1. ごあいさつ

皆様はじめまして。この度は、日本太陽エネルギー学会主催「再生可能エネルギー分野で活躍する女性たち（2022年8月2日開催）」において話題提供の機会をいただき、誠にありがとうございました。お声がけいただいた産業技術総合研究所の大竹秀明様、事務局の皆様をはじめ、セミナー当日にお世話になりました講演者や参加者の皆様に、まずは改めて御礼申し上げます。今回のセミナーは、私自身にとっても、これまでのキャリアパスや仕事とプライベートの両立などについて改めて考え直すことができる、大変良い機会となりました。

私は現在、再生可能エネルギー分野のうち、地中熱に関する研究・技術開発に携わっています。皆様ご承知の通り、脱炭素社会の実現が急務とされる社会情勢において、再生可能エネルギーの普及拡大が以前にも増して加速しています。自然エネルギー電力が国内総発電量に占める割合は、2020年には20.8%¹⁾に達しました。再生可能エネルギーのうち、発電ではなく熱をそのまま利用する「再生可能エネルギー熱」の一つである地中熱は ①日本中どこでも、いつでも利用できる ②節電、省エネとCO₂排出量抑制ができる ③通常のエアコン（空気熱源ヒートポンプ）が利用できない外気温-15℃以下の環境でも利用できる ④地中熱交換器は密閉式なので、環境汚染の心配がない ⑤冷暖房に熱を屋外に放出しないため、ヒートアイランド現象の緩和に寄与する といったメリットがあります²⁾。多様なシステムとの組み合わせることでZEBやZEHの実現にも寄与できるため³⁾、今後さらなる利用促進が期待されます。

深さ約10mより深部の地温は、季節によらず年間を通じてほぼ一定です。つまり冬は外気温よりも

温かく、夏は外気温よりも冷たいため、この温度差を利用するのが地中熱利用です。ただし、地下の状況は普段見ることができないため身近に感じにくく、さらに安全で適切な利用のためには地域ごとの地下水・地盤に関する情報が必要です。つまり、地中熱利用を促進する上では、地道に地下水・地盤の調査研究を行い、地域それぞれの地下の特徴を明らかにすることが大変重要です。地中熱の研究は地下水・地盤の研究である、といっても過言ではありません。

今回のセミナーの主旨をふまえて、本紙面では、まずは私自身のキャリアパスについて詳しくご紹介します。女性だからこそ苦勞してきたことや心の葛藤、仕事とプライベートの両立などについて率直な思いをお伝えすることで、何か少しでも皆様にとって今後のご参考になれば幸いです。そして最後に、私がこれまで関わってきた地中熱利用促進事業（大阪での事例）について、簡単にご紹介したいと思います。

2. 私の学生時代

私は大阪市立大学（現：大阪公立大学）大学院理学研究科で前期博士課程を修了しました。学生時代は「大阪北摂地域における地下水のヒ素含有量変動とその要因の解明」というテーマで、地球化学分野でご活躍の益田晴恵先生にご指導いただき、修士までの3年間研究を行っていました。本学会員の方には、あまり馴染みがない分野かもしれません。

大阪府箕面市の里山にある溪流の湧水には環境基準値（0.01mg/L）を超えるヒ素が含まれていたのですが、これは人為的な汚染ではなく、周辺の岩石・土壌から自然に地下水に溶け出したものでした。そ

*一般財団法人 地域地盤環境研究所 地質地盤グループグループリーダー

のメカニズムを明らかにするために、現地の里山に毎月のように出かけて、湧水や岩石・土壌試料を採取して化学分析を行っていました。地球科学は自然を研究対象とした学問なので、私の場合も実際に現地に出かけ、調査道具を担ぎながら沢筋まで崖を下りたり、時には沢沿いに上流側に岩をよじ登ったりして、サンプリングを行いました。ヒ素の濃度がやや高いとはいえ、それ以外の点では極めて清冽な湧水で、大変心地よく、楽しいフィールド調査でした。また、修士1年のときには、中国四川省での地下水調査に同行させていただきました(図1)。海外調査の難しさと英語力の大切さを、学生の私なりに感じられた調査で、貴重な経験をさせていただきました。実はこの調査には現在の上司も共同研究者として同行していたので、10日間ほどの調査の間に、仕事の話もたくさん聞かせていただきました。

私が在学中、ちょうど先生のお子さんが保育園に通っておられました。大学での先生の一日は、朝一番にお子さんを保育園に送った後、大学前にある老舗の喫茶店に立ち寄り、ほっと一息つくところから始まります。きっと、お子さんから離れて研究モードに切替えるために、大切なひとときだったのだらうと思います。夕方は、保育園にお子さんを迎えに行かれた後、一緒に研究室に戻って来られることも多かったです。イルカやクジラが好きなお子さんで、よく私たちに図鑑を見せてくれました。

学生時代に、家事育児をこなしながら、研究者として活躍しておられる先生の姿を近くで見せていただき、自分の将来像を考える大きなきっかけとなりました。「ママ」ではない自分、一人の社会人としての自分が、社会との繋がり持ち続けることが、私の人生においては重要ではないかと考えるようになりました。一方で、仕事と家事・育児の両立の現実を目の当たりにし、理想論だけでは解決できないこ



図1 中国四川省での調査の様子
農村の民家にて井戸水(地下水)を分析する筆者と、調査に同行していた現在の上司

ともあることが分かりました。先生が日々考えておられる様々な気持ちを、リアルにお話してくださることで、しんどい時の対処法や工夫を教えていただいた気がします。

何気ない日常会話で先生がおっしゃっていた言葉のうち、後日、育児でくじけそうになった私を助けてくれた言葉がありますので、ご紹介します。

「何事も『継続』することが大切。続けてさえいれば、少しずつでも前に進んでいく。家事・育児との両立で思うように仕事が進まない時期があってもいい。そのうち、また必ず、自分の時間ができる時が来る。焦らずあきらめず、続けていれば、必ず将来の自分の力になる」

いま、この時の先生の言葉の重みを、改めて実感しています。

3. 就職活動

修士2年生になり、いよいよ就職活動の時期となりました。当時は就職氷河期、私の前後はいわゆる「ロスジェネ世代」で、私が専門とする地質関連の分野においても、ほとんど新卒採用がありませんでした。そのうえ、女子というだけで、エントリーシートの段階で落とされ、採用試験すら受けさせてもらえないことも頻繁にある時代でした。先生には後期博士課程への進学も勧められましたが、当時は【博士+女子=さらなる就職難】というイメージしかなく、進学の選択肢は全くありませんでした。

さらに、私は指導教官の先生の影響もあり、結婚して子供がうまれても仕事を続けたいという思いが強く、できれば両親が住む大阪から遠く離れたたくありませんでした。そのため、大阪周辺を離れることになる可能性が高い会社は、就職活動の段階ですでに避けていました。ただでさえ就職難なのに！です。まわりの男子学生でも、転職したくないからと地方公務員を希望する友達もいましたが、多くの男友達は将来の家事・育児のことなど全く何も心配していませんでした。ただ、社会人としての自分の理想を描いて前に進めば良く、私は羨ましい気持ちとともに、何だかモヤモヤしていた記憶があります。

残念ながら地質業界の会社ではありませんでしたが、それでも2社から内定をいただいて修士2年の秋を迎えたころ、大学の先輩でもある今の上司に「もし地質業界を希望しているなら、うちの研究所の採用試験を受けてみない？」と声をかけていただきま

した。それが、現在の所属機関である一般財団法人地域地盤環境研究所とのご縁です。悔しい思いもしてきたけれど、これまでの人と人との繋がりの中で新しい道が開けたと思いました。学生である私の研究姿勢を評価し、声をかけてくださった現在の上司には、心から感謝しています。一緒に中国の調査に出かけて、他愛もない会話もたくさんして、親しくなったことが今につながっています。

このような経験を通じて、私が学生の皆さんへのアドバイスとして申し上げられることは、学生の頃から他大学の先生・学生・社会人の方との繋がりをもっておくことが、色々な意味で大変有意義であるということです。ぜひ、学会活動などを通じて、様々な立場や考え方の人達とコミュニケーションをとって、物事を広い視野で捉える習慣を身につけて下さい。そして様々な立場の人達の考えに耳を傾けて下さい。そのことが、学術の面で役立つことはもちろんですが、私のように将来の自分の進路につながることもあると思います。

4. 社会人生活のはじまり

このような経緯で、現在の所属機関である一般財団法人 地域地盤環境研究所に入所しました。弊所は、大阪を拠点として地質学・地盤工学・地震学を専門とする調査研究機関です。転職経験がありませんので、もうかれこれ約20年間もお世話になっています。所員数は28名(2022年10月現在)と小規模な組織ではありますが、小規模であるからこそそのメリットも大きいと思っています。

私が新入社員として配属されたグループは、上司・先輩(3名)・同期(1名)と私の合計6名のメンバー構成で、なんと全員が女性でした。しかも20~30代の若手の女性が6名です。そのため、他社の技術者の方には大変驚かれました。当時の業務の内容は、建設工事に伴う活断層調査、活断層の活動性評価に関する研究業務、地震防災や被害予測に関する検討業務 など学生の頃に学んできた分野とは全く異なる仕事ばかりだったため、最初の数年間は業務を通じて必死に勉強しました。そしてしばらく経って落ち着いたころ結婚して、その後、2回の産前産後休暇、育児休暇を取得させて頂きました。

5. 出産育児のリアル

私は夫と子供2人(現在：中3男子・小6女子)の4人家族です。とはいえ、夫は単身赴任(今年で9年目)で、月に1~2回ほど週末に帰ってくる程

度です。そのため、平日は完全なるワンオペ育児を長年ずっと続けています。以下に述べる私の経験は、おそらく「大変悪い例」ですので、育児中の方が、必ずしも私のような経験をしているわけではないことを先に申し添えます。色々な苦勞もありますが、基本的に育児は幸せな経験です。

子供がまだ保育園に通う幼児だった頃は、フルタイムで仕事を続けることが本当に大変でした。基本的に18時まで(延長保育でも19時まで)にお迎えに行かないといけなかったのが、定時に退社しなければ間に合いません。突然の発熱で保育園から会社に電話がかかってきたら、仕事の手を止めてまわりに頭を下げ、お迎えに行かざるを得ません。両親は大阪に住んでいますが、さすがに急なお迎えには対応してもらえませんでしたし、体調不良であり頼れない時期もありました。そんな状況なので、やり残した仕事は家に持ち帰り、子供達が寝ついた後に片づけて、どうにかやりくりしてきました。

我が家の子供達は、母親である私以外の大人では対応できないことがいくつかあり、特に、夜は私がいなくて眠ることができませんでした。今から思えば小さいうちから慣れさせておけば良かったのかもしれないですが、その機会もほとんどなく、いつも私が読み聞かせや添い寝をしていたせいかもしれません。

そのため、宿泊を伴う出張に長年行くことができませんでした。業務においては役割分担を配慮していただき、学会などでどうしても現地参加しなければいけない場合には、日帰りで何とか乗り切ってきました。それでも、毎回のように慌ただしく帰ってくるのは正直なところ残念な気持ちでいっぱい、私も懇親会に出たいなあとか、最後のセッションまで聴きたかったなあとか、家のことを全く気にせず自分時間を過ごせる他の人達を羨ましく思いました。会議や学会が終わった後の時間に、他の研究者・技術者と忌憚なく話をする中で、様々な情報を得たりアイデアが浮かんだりすることも多々あると思います。その機会が数年間ほとんど無かったことは、私にとっては大きなデメリットでした。

6. キャリアアップのチャンス

宿泊を伴う出張は難しいとはいえ、下の娘が3歳になった頃から、学会活動などを通じて社外の方と関わる機会が増えました。自分と同世代でバリバリ仕事をしている多くの人と出会い、自分の目標が「仕事を続ける」から「技術や知識の向上と社会貢献」

に変化していきました。弊所は少人数でアットホームな雰囲気の仕事ができる良い環境ではありますが、あえて狭いコミュニティーに閉じこもらず、積極的に外に目を向けることで、視野が広がりモチベーションも上がります。ごく稀に夜の食事に誘っていただいた時は、すぐに断るのではなく、家族に子供達の保育をお願いしたり、自治体のファミリーサポート事業（ご近所に住む協力者さんが保育園のお迎えに行ってください、最長21時まで自宅で保育してくれる事業）などを利用しました。

そうして少し頑張っ自分時間をつくり、様々な方と会話することで、社会人としての「遅れ」を取り戻さなければいけない、という思いが強くなりました。「遅れ」とは自分自身が主観的にそう感じていただけかもしれませんが、分かりやすく言えば、技術士や博士号など客観的に技術者として一人前と認められる資格の取得です。

そこで少し考えて、出身大学の後期博士課程（社会人特別選抜学生）にチャレンジすることに決め、再び出身大学でご指導いただくこととなりました。研究内容についてここでは詳述しませんが、自然由来の重金属等（砒素や鉛など）を含む建設発生土の有効活用を促進するための基礎情報として、地質学的な観点からそれらの元素の地下水中への溶出特性を明らかにするというテーマで、2016年から2020年までの4年間にわたって研究を行いました。当然のことながら、仕事・家事・育児・研究の4つのタスクを同時並行に全てこなすことは大変でした。さらに、論文を英語で書くことが研究室の暗黙のルールでしたので、語学力の問題が大きいのしかかり、日本語で書く以上に何倍も大変でした。でも、英語で論文を書く練習をすることで、日本語の文章も少し上達したかなと思います。子供達が寝た後、家事を済ませて、パソコンに向かうのは早くても23時頃になります。とにかく一文でもいいから、一歩ずつ前に進むぞ…と気力で頑張っ、その結果として博士の学位を取得できたことは、色々な意味で大きな自信につながりました。

次に、エンジニアとしての自分を確立するために、技術士にチャレンジすることにしました。実は第一次試験は10年以上前に合格していたのですが、その後、育児に忙殺されて中途半端に放り出したままだったので、必ず第二次試験に合格して技術士になると決めました。そして、幸いにも1回の受験で合格することができました。

技術士試験は一般的に難易度が高いといわれてい

ますが、きちんと対策をすれば合格できる試験です。ただし2019年度から全て記述式になりましたので、やはり日本語を書く力が大変重要です。もし、皆さんの中で技術士にチャレンジしようと考えておられる方がいらっしゃいましたら、ぜひ日本語力を鍛えるトレーニングをしていただきたいと思います。決められた文字数と試験時間の中で、いかに簡潔明瞭かつ的確に説得力をもって採点者に自分の考えを伝えられるか、という点が合格のポイントではないでしょうか。

7. 大阪での地中熱利用促進事業の紹介

このようなキャリアを経て、現在、私は地下水・地盤に関する多岐にわたる業務に関わっています。そのうちの 하나가、地中熱利用促進を目的とした技術開発です。

一例として、2014～2018年度に実施したNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）のプロジェクトの経験をご紹介します。私たちは「再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発」という研究開発項目のうち「都市域における、オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発」というテーマ名で、大阪平野における地中熱利用のための技術開発事業に取組んでまいりました⁴⁾。

ここで少し専門的な話になりますが、2020年3月までの地中熱利用設備の設置件数は8,347件で、そのうち、ヒートポンプシステムと呼ばれる方法は2,993件で全体の35.9%を占めます⁵⁾。このヒートポンプシステムは、クローズドループシステムとオープンループシステムに大別されます（図2）。クローズドループシステムは、地中熱交換器を埋設して地中の熱を利用する方法で、周辺環境への負荷が比較的小さいため比較的導入しやすく、地中熱ヒートポンプシステム設置件数全体の83.9%を占め

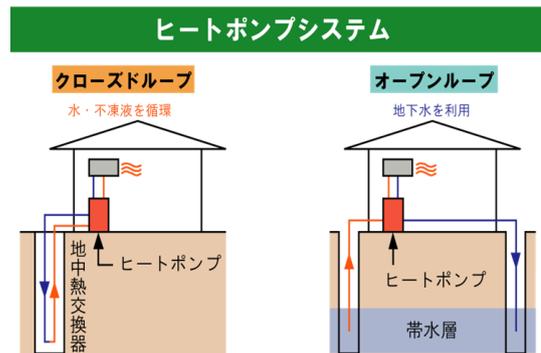


図2 地中熱ヒートポンプシステムの方法⁵⁾

ます⁵⁾。一方、地下水を直接くみ上げて熱を利用するオープンループシステムは、揚水に伴う不確定要素が多いことから、適地評価や環境影響評価が難しく、事前に様々な調査が必要となる場合があります。そのため、なかなか導入件数が増えづらいのが現状です。地下水を過剰に揚水して地下水位が低下すると、地盤沈下のリスクが高まるなどの影響が生じるため、揚水した地下水を地盤中に還水することも多いです。このようなオープンループ方式の技術の一つとして、帯水層蓄熱利用システム（ATES）と呼ばれる方法があります。これは地下水の流れが少ない平野部などの地盤に適した方法で、井戸を少なくとも2本構築し、夏と冬で交互に地下水を揚水・還水します。地盤中に周辺より暖かいまたは冷たい地下水を蓄えて、半年後にそれを熱利用することで、より効率的なシステム運転ができます（図3）。

大阪市では、地盤沈下のリスクを回避しつつ地下水を有効利用する方法の一つとして、この帯水層蓄熱利用システムの普及促進に向けた取り組みが進められています。既に大阪市を中心に、いくつかの実証試験が行われ、具体的な検証データが蓄積されつつあります⁶⁻⁸⁾。

地中熱利用を推進するためには、地域の地下水・地盤の特徴を明らかにするとともに、システム運用開始後も継続的な観測や管理が必要となります。そこで私たちは、地下水を低コスト・高効率に観測するシステムを構築するとともに^{9,10)}、大阪地域における地下水の性状（地下水位・水質・水温など）や地盤（地層分布や土の粒度組成など）を詳細に調査しました¹¹⁾。また、普及拡大のためには、環境負荷が小さく、かつ費用対効果が高いことが大変重要です。大阪平野は平坦で、地下水の流れが非常に遅いという特徴があり、ATESに適した地盤であるといえます。そこで、まずは多くの方々にそのことを知ってもらうために「帯水層蓄熱ポテンシャル」のマップを作成しました^{12,13)}。さらに事業者がATESシステムの導入を検討する際に、一次的に事業性を

予測評価するためのシステムを構築しました。これらは「帯水層蓄熱ポテンシャル」および「帯水層蓄熱導入コスト」マップとして、大阪市のホームページで公表されています¹⁴⁾。

一方、地下水をめぐる国の施策の方向性も変化してきています。2022年6月には、水循環基本法に基づく「水循環基本計画」が一部見直され、「地下水の適正な保全及び利用」が重点的に取り組む内容と位置づけられました¹⁵⁾。その中では地中熱に対しても述べられており、「地中熱の設備等に対する支援や普及啓発や広報に努め、地下水障害の防止に留意しつつ、脱炭素に資する地中熱利用（地下水熱利用）の普及促進を図る」と明記されています。適切な管理・保全を前提として、地下水をもっと積極的に利活用していきましょう、地中熱利用も推進していきましょう、という主旨です。

8. おわりに

本稿では、私の学生時代の経験、育児奮闘記、キャリアアップの動機づけなど、これまでの経験をふまえて若い皆様にぜひ伝えたいことを紹介させていただきました。そして最後に、再生可能エネルギーの分野では依然としてマイナーな存在である地中熱について、大阪における普及促進事業の一例を簡単に紹介しました。私の経験が、少しでも皆様のご参考になれば幸いです。

地下水を日常生活の一部として身近に利用している地域もあれば、大阪のように、普段の生活ではなかなか地下水に触れる機会がなく、身近に感じる地域が少ない地域もあります。しかし、地下水は私たちの身近にある貴重な資源です。この地下水をもっとよく知り、安全・安心を大前提として、様々な私たちで有効利用できるというのと考えています。そして、これまで私なりに頑張ってきた経験が、より良い社会の実現に少しでも貢献できたら、大変嬉しく思います。

参考文献

- 1) 環境エネルギー政策研究所, 2020年の自然エネルギー電力の割合(暦年速報)(2021年4月12日掲載記事), <https://www.isep.or.jp/archives/library/13188> (2022年10月2日閲覧)
- 2) 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会, 地中熱利用システムの長所 <http://www.geohpaj.org/introduction/index1/advantag> (2022年10

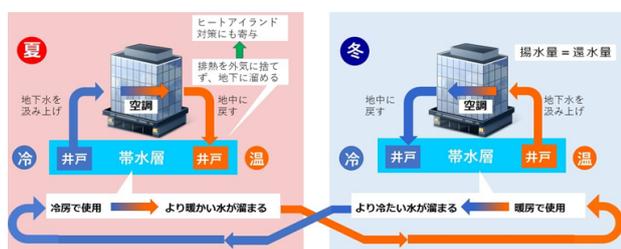


図3 帯水層蓄熱利用システム（ATES）の概念図⁶⁾

- 月1日閲覧)
- 3) 笹田政克, 地中熱利用とZEB, 建設工業調査会ベース設計資料寄稿文, 23-27 (2019). https://www.kenkocho.co.jp/html/publication/sa_kikoubun.html (2022年10月14日閲覧)
 - 4) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: 再生可能エネルギー熱利用技術開発/再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/都市域における, オープンループシステムによる地下水の大規模熱源利用のための技術開発, 2018.
 - 5) 環境省, 令和2年度地中熱利用状況調査の結果について, <https://www.env.go.jp/press/109367.html> (2022年10月18日閲覧)
 - 6) 大阪市, 帯水層蓄熱利用の普及に向けた取り組み, <https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000476996.html> (2022年10月18日閲覧)
 - 7) 大阪府域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討会議, 大阪府域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討報告書, 61p. (2019).
 - 8) 原弘典, 前田直也, 王寺秀介, 永長大典, 西垣誠, 大阪府域における帯水層蓄熱利用システムの普及に向けた取組, 地盤工学会誌, **69** (9) (2021).
 - 9) 西垣誠, 柴田卓詞, 加藤裕将, 平田洋一, 孔内流速検層装置(フローメータ検層)による多層帯水層の透水性評価, 地盤と建設, **36** (1), 65-70 (2018).
 - 10) 中村朋弘, 皆瀬慎, 柴田卓詞, 加藤裕将, 西山哲, 西垣誠, 各種電解質水溶液で膨潤するベントナイトペレットの開発とその性能評価, 地盤と建設, **36** (1), 105-110 (2018).
 - 11) 伊藤浩子, 北田奈緒子, 越後智雄, 藤原照幸, モニタリング調査結果からみた西大阪地域の被圧地下水の特徴-地下水の熱利用を見据えた検討-, Kansai Geo-Symposium2018 論文集, 13-18, 大阪府 吹田市
 - 12) 藤原照幸, 春日井麻里, 濱田晃之, 伊藤浩子, 北田奈緒子, 三田村宗樹, 和田祐宏, 地下水流

動検討のための地盤モデルの構築と帯水層蓄熱(ATES)利用ポテンシャルマップの作成, Kansai Geo-Symposium2019 論文集, 13-18, 大阪府 吹田市

- 13) 春日井麻里, 西垣誠, 今井紀和, 藤原照幸, 濱田晃之, 伊藤浩子, 北田奈緒子, 帯水層蓄熱(ATES)利用を想定した地下水流動シミュレーション, Kansai Geo-Symposium2019 論文集, 19-24, 大阪府 吹田市
- 14) 大阪市: マップナビおおさか, 環境・自然 <https://www.mapnavi.city.osaka.lg.jp/osakacity/Portal?mid=23> (2022年10月10日閲覧)
- 15) 内閣官房水循環政策本部事務局: 水循環基本計画(一部見直し)(令和4年6月21日閣議決定), https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/mizujunkan/about/basic_plan.html (2022年10月12日閲覧)

著者略歴



伊藤 浩子 (いとう ひろこ)

平成13年3月大阪市立大学大学院理学研究科生物地球系専攻前期博士課程修了。平成13年4月財団法人地域地盤環境研究所入所。平成26年4月一般財団法人地域地盤環境 研究所地形地質グループ主任研究員。令和2年3月大阪市立大学大学院理学研究科生物地球系専攻後期博士課程修了。令和4年8月より同研究所地質地盤グループグループリーダー。

兼職 (令和4年10月現在)

- ・大阪府環境審議会温泉部会 専門委員
- ・大阪府廃棄物処理施設等の設置に係る生活環境影響評価審議会 委員
- ・堺市廃棄物処理施設及び汚染土壌処理施設に係る専門委員
- ・鳥取県淀江産業廃棄物処理施設計画地地下水等調査会 委員
- ・日本地下水学会 理事