

チュニジア北東沿岸部の貯水ダム下流域における浅層地下水の水質形成特性 Characteristics on groundwater salinization in a downstream area of dam reservoir, a coastal region of NorthEast Tunisia

内田 千智^{1*}; 河内 敦²; 辻村 真貴²; 柴山 直之¹; Ziadi Amira³; Tarhouni Jamira³
UCHIDA, Chisato^{1*}; KAWACHI, Atsushi²; TSUJIMURA, Maki²; SHIBAYAMA, Naoyuki¹; ZIADI, Amira³; TARHOUNI, Jamira³

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ² 筑波大学生命環境系, ³ National Institute of Agronomy in Tunisia
¹ Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ² Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ³ National Institute of Agronomy in Tunisia

主に乾燥・半乾燥地域の沿岸域で生じている地下水位低下に伴う浅層地下水の塩水化に対して、ダム貯水池が周辺地域の地下水環境に与える影響を空間的に把握することを目的として、現地調査と水質分析結果を基に対象地域の水質形成プロセスを検討し、その形成特性を地域別に記述することを試みた。対象地域は、北アフリカのチュニジア北東部 Korba 帯水層上に位置し、ダム貯水池 (Lebna ダム) が存在する Lebna 下流域とそれに隣接する Chiba 下流域からなる地域で、2013 年 6 月に計 72 地点で調査し、66 地点で水試料を得た。

まず、各調査地点で計測した地下水位データを基に対象地域の地下断面図を作成し、地下水流動方向を調べた。次に、無機溶存イオン濃度と酸素・水素安定同位体比を分析し、水質組成の空間分布を明示するとともに、Cl⁻ を海水起源と仮定して物質収支式より求めた各地点の海水の混合割合を基に、上流端地下水と海水が単純混合したと仮定した場合の地下水の溶存イオン濃度と酸素安定同位体比を推定し、それと分析値の偏差を求め、その空間特性を調べた。加えて、地下水と鉱物間の溶存イオンの化学平衡理論を基に飽和指数を求め、考えられる水質形成過程を抽出した。さらに、溶存イオン濃度と酸素・水素安定同位体比を用いてクラスター分析と主成分分析を行い、地下水質組成の空間特性とそれを決める水質パラメータを調べた。

その結果、現地調査より Lebna ダム下流域の地下水位は海水面よりも高く、Chiba 流域の地下水位は海水面よりも最大 10 m も低いことが分かった。物質収支式によって求めた海水割合、及び酸素・水素安定同位体比結果より、各調査地点は (i) 海水割合の高い地点、(ii) 海水割合と同位体比が低い地点、(iii) 海水割合は低いが高同位体比が高い地点の 3 グループに分類できた。一方、クラスター分析より各調査地点を 5 つのクラスターに大別することができ、その要因として主成分分析より、(a) 海水の混合率、(b) 海水と粘土鉱物の接触による逆イオン交換反応の有無、(c) Lebna ダム貯水池からの涵養の有無の 3 つの事象が関与しているものと考えられた。また、その 3 つの事象 a, b, c と、上述の海水割合と酸素・水素安定同位体比から分類された 3 グループ i, ii, iii, 及び地下水位から、対象地域を水質形成特性の異なる 3 つの地域 A, B, C に分類することができた。

地下水位が海水面よりも高い Lebna ダム下流域の酸素・水素安定同位体比が高く、海水割合の低い地域 A では、Lebna ダム水の直接浸透、もしくはダム水を用いた地表水灌漑農業による地表水浸透によって、地下水位が高く維持され、地下水の塩水化が抑制されていると考えられた。また、地下水位が 0 m ~ 4 m 程度で海水割合が高く、各溶存イオン濃度の高い海岸近くの地域 B では、塩水侵入の影響で Na⁺, Cl⁻ 濃度が高いことに加えて、粘土鉱物との逆イオン交換反応によって生じる高い Ca²⁺ 濃度によってその地下水が特徴づけられている可能性が示唆された。最後に、地下水位が 4 m 以下で Chiba 流域の内陸側に位置する地域 C では、地域 A からの地下水と、Chiba 流域のさらに上流側からの降水起源の地下水、及び Ca²⁺ 濃度の高い地域 B の地下水が流入していると考えられ、それらが混合してその地下水質を形成しているものと考えられた。

キーワード: 塩水侵入, ダム水の涵養効果, 無機溶存イオン濃度, 酸素・水素安定同位体比, 物質収支式, 多変量解析
Keywords: seawater intrusion, dam reservoir, dissolved inorganic ions, stable hydrogen and oxygen isotopic compositions, mass balance, multivariable analyses

甲府盆地西方の糸魚川—静岡構造線周辺に賦存する地下水の地球化学的特徴 Geochemical features of groundwaters around the southern Itoigawa-Shizuoka tectonic line, western Kofu Basin

谷口 無我^{1*}; 村松 容一²; 千葉 仁³; 奥村 文章⁴; 山室 真澄¹
YAGUCHI, Muga^{1*}; MURAMATSU, Yoichi²; CHIBA, Hitoshi³; OKUMURA, Fumiaki⁴; YAMAMURO, Masumi¹

¹ 東大新領域, ² 東理大理工, ³ 岡山大理, ⁴ 石油資源開発(株)技術研究所
¹Gra.Shc.,The Univ.Tokyo, ²Fac.Sci. and Tech.,Tokyo Univ.Sci., ³Fac.Sci.,Okayama Univ., ⁴Japex R.C.

1. 目的

日本列島の非火山地域では掘削による温泉開発が盛んに行われているが、これらの非火山性の温泉は成因が不明のものが多い。太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界付近に位置する甲府盆地周辺には、深度 1000m を超えるような深部掘削による温泉井が多数存在する。これらの中には海水と同程度かそれ以上の塩分を持つ流体が存在するが、その水や溶存成分の起源は明らかにされていない。本研究は、甲府盆地西方の糸魚川—静岡構造線および中央構造線周辺に賦存する高塩分流体の水質および安定同位体の特徴に基づき、地質鉱物学的視点に立って、当該流体の起源および水質形成メカニズムを考察することを目的とした。

2. 方法

温泉水(掘削深度 0~1500m)を中心に、地下水を全 25 か所から採水した。採水現場ではカスタニー ACT pH メータ(HORIBA D-24)を使用して水温、電気伝導度、pH を測定するとともに聞き取り調査を実施し、掘削井戸構造図などのデータを得た。主要陽陰イオンの分析にはイオンクロマトグラフ法(SHIMADZU LC-VP)、SiO₂ はモリブデン黄法(SHIMADZU UV-1650PC)、Fe は原子吸光法(SHIMADZU AA-6200)、HCO₃⁻ 濃度は容量法による pH4.8 アルカリ度から算出した(HACH AL-DT)。水素、酸素、硫黄の安定同位体比(δ D, δ ¹⁸O, δ ³⁴S)分析には、安定同位体比質量分析計(GV Instruments Isoprime-EA)を使用した。

3. 結果と考察

試料水の温度は最大 48.8 °C、pH は 6.4~9.7 の範囲であり、泉質は Ca-HCO₃ 型、Ca-Mg-HCO₃ 型、Na-Ca-HCO₃ 型、Na-HCO₃ 型、Ca-SO₄ 型、Na-Cl-HCO₃ 型、Na-Cl 型と多様な水質を示した。これらの中で最も支配的な水質は Na-Cl 型であり、Cl 濃度は最大約 23000 mg/L だった。

試料水の Na と Cl 濃度の関係は降水-海水混合線に沿って分布したことから、当該地域の地下水は大局的に降水端成分および海水端成分との混合によって形成されたと考えられる。低塩分の試料水の δ D と δ ¹⁸O の関係は天水線に沿って分布しており降水起源が支持される一方、海水と同程度あるいはそれ以上の塩分濃度の試料水の δ D と δ ¹⁸O はいずれも現海水に比較して低い。このような高塩分の試料水は、Mg/Cl および SO₄/Cl 当量比が現海水の当量比に比べて著しく小さく、一方で Ca/Cl 等量比は現海水の当量比よりも高いことから、当該海水端成分は海底玄武岩の変質および海底堆積物中の火山性物質の Mg-ス멕タイト化の影響を受けて変質した海水であると推察される。当該地域に卓越する Na-Cl 型の地下水は、このような高塩分の流体が糸魚川—静岡構造線などの深部に達する断層に沿って流動する過程で、降水起源の低塩分の地下水と混合して形成されたと推定される。

キーワード: 糸魚川—静岡構造線, 深部流体, 水質, 成因

Keywords: Itoigawa-Shizuoka tectonic line, deep fluid, water quality, formation mechanism

鳥取砂丘内湧水(オアシス)の起源に関する研究 A Study on the Origin of a Spring in Tottori Sand Dunes using various geophysical and hydrological methods

塩崎 一郎^{1*}; 河合 隆行²; 野口 竜也¹; 齊藤 忠臣³
SHIOZAKI, Ichiro^{1*}; KAWAI, Takayuki²; NOGUCHI, Tatsuya¹; SAITO, Tadaomi³

¹ 鳥取大学大学院工学研究科, ² 新潟大学 災害・復興科学研究所, ³ 鳥取大学農学部

¹Graduate School of Engineering, Tottori University, ²Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, ³Faculty of Agriculture, Tottori University

鳥取砂丘の起伏の象徴である馬の背, その南側の凹地に季節によりその姿を変化させるオアシスがある. このオアシスはいつもみられるわけではなく, 夏季には消滅する. また, オアシス凹地へは絶え間なく地表を流れて注がれる流入水が存在しているが, オアシスが存在していないときには, 流入水は尻無川となっている. はたして, このオアシスが如何なるメカニズムで発生・消滅しているのだろうか. すなわち, この流入水はどこからきて, どこへ流出するのだろうか. このオアシス湧水に関する問いかけは, 古くからの学術的関心であり, 例えば, 砂丘に降った雨水が地下水となり, 一部が泉となって地表に再び表れるという考え方(赤木, 1991), 保水性の良くない砂丘砂に浸透した雨水が, 水を通さない基盤岩の不透水層や透水性の悪い火山灰層の付近に地下水として貯留し, これが湧水となるという考え方(財団法人自然美化管理財団, 1995), 近年では, オアシスの形成と砂丘南側に位置する多鯨ヶ池の水位変化の関連性を調べた研究(星見, 2009)などの知見が既に提出されている.

一方で, 学術的に高い価値を有している鳥取砂丘の自然環境は, その自然状態を保全・維持しつつ後世に継承されることが強く望まれているため, 砂丘内の自然環境に人為的な影響が生じないように厳しく管理されており, 井戸などの人工物の設置や大型測器による地下水位探査が事実上不可能である. このような理由から, 現在に至るまで十分な調査が成されておらず, オアシスの発生・消滅メカニズムを定量的に解明する目的で行われた研究はなく, まだ結論は出ていない.

本研究はこの問いに答える目的のために, すなわち, 砂丘内湧水(オアシス)の起源を探るために鳥取砂丘の地下構造と地下水大循環に関する研究を実施した. すなわち, 様々な非破壊的な物理探査法を用いて砂丘の地下構造を推定し, 地下水の存在形態や流動様式, 砂丘の基盤構造などに関する基礎データを得ると共に, 水文的手法も用いてオアシス湧水の起源ならびに定量的な消長メカニズムの解明を試みた. ここで用いた具体的な方法論は後節に譲るが, 概略として, 前者の地下構造推定のためには, 電気比抵抗映像法, 1m 深地温探査法, 自然電位法, 微動探査法, 重力探査法を適用し, 後者のために, オアシス水に関する水位連続観測ならびに蒸発量解析, オアシス域およびその周辺域の地下水位調査, 降水ならびにオアシス湧水と多鯨ヶ池の採水データの安定同位体比解析を導入した. なお, 前者の用途においては観測地点の位置や砂丘域全体の地形を把握するためにデファレンシャル法を用いた GPS 測量を行い, 後者の用途ではオアシス水域およびその周辺の微地形把握のためのトータルステーションを用いた測量を実施した.

その結果, 鳥取砂丘の地下構造と砂丘内湧水(オアシス)の起源に関して, 次に示すようなひとつの結論を得た. 「雨水が砂丘砂に浸透し, 地下水となる. その一部は火山灰層を主体とする帯水層に導かれ(宙水として)オアシス湧水へ注がれる. オアシス湧水は馬の背の地下を超えて海へ注がれる. オアシス湧水と多鯨ヶ池の水には同時刻的・直接的関連はみられない. また, 鳥取砂丘(観光砂丘)全域の大局的な地下水分布は地下構造解析から推定された基盤形状の起伏と関連がみられる.」本研究によりこれらのことが砂丘の地下構造や水位変化, 同位体変化などの定量的な観測値から検証されたことに意義があると考えられる. ここではこのような研究の基礎となる学術的背景と調査の概要, 複数の調査結果とその解釈, そして, 全体を統括したまとめを報告する.

なお, 本稿で報告されるデータは主に平成 21 年度・平成 23 年度に交付を受けた鳥取県環境学術研究振興事業「鳥取砂丘の地下構造と地下水大循環に関する研究—砂丘内湧水(オアシス)の起源を探る—」の一環として取り組まれた種々の研究により取得されたものであることを明記する.

キーワード: 鳥取砂丘, 地下水, 物理探査法

Keywords: Tottori sand dunes, underground water, geophysical exploration methods