

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07659

研究課題名(和文) 島嶼域における淡水レンズ地下水の塩水化とその回復に関する研究

研究課題名(英文) Study on Saltification and Recovery of Freshwater Lens in Island Areas

研究代表者

石田 聡 (Ishida, Satoshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・ユニット長

研究者番号：30414444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：淡水レンズが帯水層内に発達している沖縄県多良間島において、複数のEC計による淡水レンズ厚の自動観測を行った。また、揚水時の地下水および周辺観測孔内の電気伝導度の変化を測定し、揚水によるアップコーニングの状況を把握した。得られた結果を基に作成された地下水流動モデルから、100m³/dayの取水を2ヶ月間続けた場合、淡水レンズ中心部では揚水した地下水のECは200mS/mを下回るが、井戸が中心部から離れるにつれてECは上昇する傾向にあることが推定され、井戸掘削にあたっては周辺地盤の透水性と、淡水レンズの3次元的な分布状況を勘案する必要があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Continuous observation of freshwater lens thickness by multiple EC meters was conducted in Taranaruma Island, Okinawa Prefecture, where freshwater lenses were developed in aquifers. In addition, we measured the fluctuation of electric conductivity in the groundwater and the surrounding observation hole during pumping and clarified the situation of upconing by pumping. From the groundwater flow model created based on the obtained results, the following was presumed. When intake of 100 m³ / day is continued for 2 months, the EC of the groundwater pumped up in the center of the freshwater lens is less than 200 mS / m, but in the well far from the center the EC further rises. In well excavation, it is necessary to consider the permeability of the surrounding aquifer and the three-dimensional distribution of the freshwater lens.

研究分野：地下水

キーワード：地下水 淡水レンズ 塩水化 回復 揚水 取水 アップコーニング

1. 研究開始当初の背景

島嶼域の地下水は、降雨が地表から涵養された淡水と、海から侵入する塩水の密度差と圧力バランスによって、淡水レンズと呼ばれる形で存在することが多い。このような地域において淡水地下水を利用するため、帯水層上部の淡水域に設置した井戸より揚水を行うと、揚水によって井戸周辺の圧力が低下し、帯水層下部から井戸に向かって塩水が遡上するアップコーニングと呼ばれる現象が発生し(図1)、井戸周辺の地下水が徐々に塩水化する。この場合でも、揚水を停止すればアップコーニングは徐々に回復するが、その回復過程は明らかにされていない。

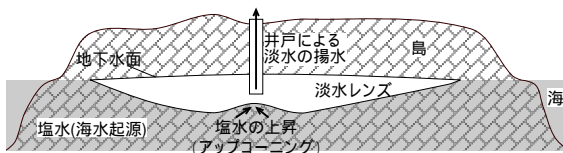


図1 淡水レンズとアップコーニング模式図

一方で、我が国の島嶼域の地下水は主に農業用途で開発が進められ、沖縄県および鹿児島県では用水の安定供給のため地下ダムが建設されているが、地下ダムが建設可能な地質条件は限られている。このため淡水レンズ地下水についても今後は水源として開発・保全することとされており(内閣府, 2004) 地下水利用可能性に対する関心は極めて高い。

2. 研究の目的

本研究の目的は、淡水レンズ地下水について、揚水による塩水化とその後回復状況を明らかにし、持続的に利用可能な地下水揚水量を算定する手法を確立することであり、これを実施することで、島嶼域の水資源施策の推進に資することが期待される。

3. 研究の方法

モデル調査地を、淡水レンズ地下水を実際に利用している沖縄県多良間島に設定した。

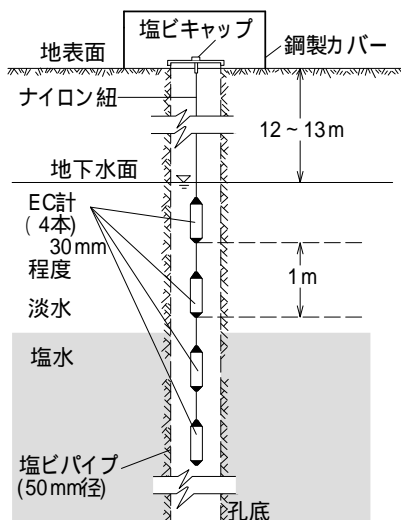


図2 深度別 EC 自動記録手法

調査地内の揚水井戸近傍に位置する観測孔内の地下水の深度別 EC を、一定時間間隔で測定し、揚水時のアップコーニングの発生や、回復状況を明らかにする。

測定には深度別 EC 自動記録手法を用いた。具体的には観測孔内の塩淡水境界を挟む形で深度方向に4段階に自記 EC 計を設置する(図2)。観測孔の口径は50mmで地下水面(標高0.3m)以深はVP50の有孔塩ビ管仕上げである。使用する観測機器は直径約30mmのデータロガー内蔵型とした。これと平行して、島内の地下水観測孔内のECの鉛直分布を携帯用測定器によって測定した。

また、淡水レンズ地下水から管井によって淡水地下水を取水した際の、取水した地下水および周辺の地下水観測孔における電気伝導度(EC)の径時変化から、取水時のアップコーニングの発生状況および取水終了後の回復状況について考察した。

さらに、多良間島における既往調査結果(帯水層の透水係数、有効間隙率、ボーリング柱状図等)をデータ化して反映させた地下水流動モデルを用いた取水予測計算結果より、アップコーニングの発生とその回復状況について考察した。

4. 研究成果

多良間島における水道水源揚水井近傍の地下水観測孔の地下水位は、揚水によっても殆ど低下しなかった。このことは揚水井周辺の帯水層の透水係数が大きいことを示している。揚水中の観測孔内のEC鉛直分布は、標高5.5~9mのECの遷移域(200~3,000mS/m)において、揚水井近傍の地下水観測孔のECが、同一標高の50m離れた地下水観測孔におけるECより高い傾向にあった(図3)。

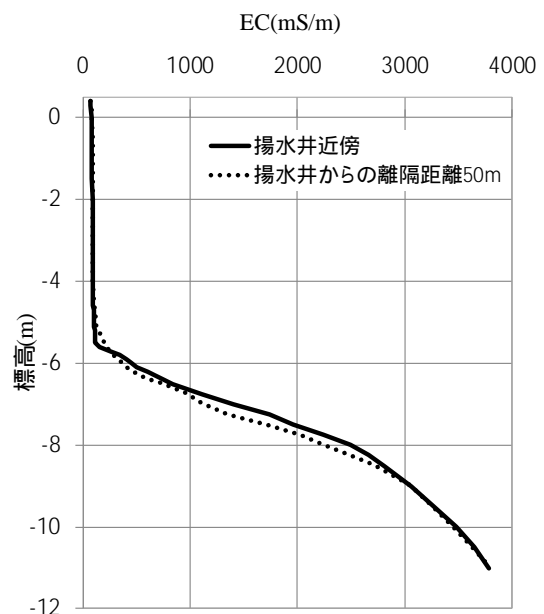


図3 水道水源井付近の観測孔 EC 鉛直分布

このことは揚水によるアップコーニング

が発生していることを示している。しかし EC が 200mS/m を示す深度については両者に大きな相違は無く、アップコーニングによって水質が悪化しない程度に、揚水量がコントロールされていることが伺えた。

淡水レンズ地下水から管井によって淡水地下水を取水した際（図 4）の、取水した地下水および周辺の地下水観測孔における電気伝導度（EC）の径時変化については以下のとおりである。



図 4 揚水時の状況（取水強度 100m³/day）

今回検討した井戸（地下水面下深度約 2m）周辺の透水性は比較的高く（透水係数 $k=1 \times 10^{-1} \text{m/sec}$ オーダー）、100m³/day の取水を 11 日間続けても、揚水した地下水の EC の上昇は殆ど見られなかった。一方、直近（距離約 1m）の地下水観測孔（地下水面下深度約 6m）では揚水中、EC200mS/m に相当する深度が徐々に上昇し、揚水終了時には約 1m 高くなった。揚水を停止すると同時に観測孔内の EC は低下し、4 日後にはほぼ元のレベルに戻った。また、帯水層の透水性がより小さいと考えられる地点に設置された他の井戸でも、同様に地下水観測孔内の EC が上昇する傾向が見られ、EC の上昇幅はより大きかった。これらの観測結果より、井戸の揚水の影響を受け、観測孔内の EC のみが一時的に上昇する現象が発生することが明らかになった。

上記調査結果より、地下水流動モデルの調整に使う観測値は井戸から揚水した地下水の EC とし、調整したモデルを用いた多良間島における取水予測計算結果より考察したアップコーニングの発生とその回復状況は以下のとおりである。井戸 1 箇所あたり淡水レンズから 100m³/day の取水を 2 ヶ月間続けた場合、淡水レンズ中心部では揚水した地下水の EC は 200mS/m を下回るが、井戸が中心部から離れるにつれて EC は上昇する傾向にあった。取水終了後の回復については、淡水レンズ中心部の井戸の周辺領域では、取水終了後速やかに EC が低下するが、中心部から離れた井戸では取水終了後もアップコーニングの影響が残る傾向にあった。

以上より、井戸掘削地点の選定にあたって

は、周辺地盤の透水性と、淡水レンズの 3 次元的な分布状況を勘案する必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 3 件）

石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉本周平、帯水層内の水質混合を抑止する単孔式二重揚水装置の作成と取水試験、農研機構研究報告：農村工学研究部門、査読有、1 巻、2017、11 - 20

石田 聡、有田智也、曹英傑、唐常源、白旗克志、土原健雄、吉本周平、模擬帯水層内に淡水レンズを再現する室内実験、農村工学研究所技報、査読有、218 巻、2016、89 - 97

石田 聡、吉本周平、白旗克志、土原健雄、沖縄県宮古島砂川地下ダムにおける地下水中の硝酸性窒素濃度分布と地下水流動に関する一考察、地下水学会誌、査読有、57(4)巻、2015、515 - 532

〔学会発表〕（計 7 件）

石田 聡、農業生産基盤課題の概要と南西諸島の淡水レンズ、地球温暖化時代の日本の農業・水産業 - その変化と適応策 -、2018

Ishida satoshi、Shirahata katsushi、Tsuchihara takeo、Yoshimoto shuhei、Estimate of the amount of freshwater lens and fluctuation of thickness of freshwater in Tarama Island, Japan, 44th IAH Congress Groundwater Heritage and Sustainability, 2017

石田 聡、地下ダムにおける地下水質モニタリングと水質保管理、農業農村工学学会農業用ダム研究会シンポジウム、2017

Ishida satoshi、Shirahata katsushi、Tsuchihara takeo、Yoshimoto shuhei、A technique of pumping simultaneously from two depths to prevent saltwater upconing, Abstract Book of 43rd IAH Congress, 2016

Ishida satoshi、Shirahata katsushi、Tsuchihara takeo、Yoshimoto shuhei、A study on distribution of NO₃-N in groundwater and groundwater flow in the reservoir area of Sunagawa underground dam, Miyako Island, Okinawa Prefecture, Japan, Abstract book of International Association of

Hydrogeologists 42nd Congress, 2015

石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉本周平、
地下水の塩水化を抑止する二重揚水技術、
平成 27 年度農業農村工学会大会講演会
講演要旨集、2015

吉本周平、土原健雄、白旗克志、石田 聡、
多良間島の琉球石灰岩帯水層における淡
水レンズ地下水中のラドン濃度の分布、
第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会
講演要旨集、2015

〔産業財産権〕

出願状況（計 2 件）

名称：地下水揚水システムおよびそのシステ
ムを用いた揚水方法

発明者：石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉
本周平

権利者：国立研究開発法人農業・食品産業技
術総合研究機構

種類：特許

番号：特願 2018-037384

出願年月日：2018 年 3 月 2 日

国内外の別：国内

名称：地下水の淡水利用判定方法、判定装置、
及び地下水の淡水利用揚水装置

発明者：石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉
本周平

権利者：国立研究開発法人農業・食品産業技
術総合研究機構

種類：特許

番号：特願 2017-148757

出願年月日：2017 年 8 月 1 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

石田 聡 (ISHIDA, Satoshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合
研究機構・農村工学研究部門・地域資源工
学研究領域・地下水資源ユニット・ユニッ
ト長

研究者番号：30414444

(2)連携研究者

白旗 克志 (SHIRAHATA, Katsushi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合
研究機構・農村工学研究部門・地域資源工
学研究領域・地下水資源ユニット・主任研
究員

研究者番号：10648281

(平成 28・29 年度連携研究者)

土原 健雄 (TSUCHIHARA, Takeo)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合

研究機構・農村工学研究部門・地域資源工
学研究領域・地下水資源ユニット・上級研
究員

研究者番号：30399365

(平成 28・29 年度連携研究者)

吉本 周平 (YOSHIMOTO, Shuhei)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合
研究機構・農村工学研究部門・地域資源工
学研究領域・主任研究員

研究者番号：10435935

(平成 27 年度連携研究者)