

沖縄本島南部地域における地下水質形成機構に関する考察

Study of groundwater quality in southern part of Okinawa, Japan

○安元 純*, 砥綿泰弘*, 中屋真司**, 黒島秀信***, 島袋進****, 中野拓治*

Jun YASUMOTO, Yasuhiro TOWATA, Shinji NAKAYA, Hidenobu KUROSHIMA,
Susumu SHIMABUKURO, Takuji NAKANO

1. はじめに

沖縄本島南部地域は、琉球石灰岩を表層地質とするカルスト地形によって特徴づけられる畑地農業地帯で、国営沖縄本島南部水利事業（1992～2005年）の地下ダム築造等によって水資源開発が進められ、1,352haの畑地に地下水が灌漑用水として利用されている。カルスト帯水層の大きな特徴は、鍾乳洞のような空洞や大きな空隙が多数発達しており不均一性が高いことである。そのため、地下水流動やそれに伴う物質輸送は非常に複雑でありその実態を把握するのは難しい。しかし、カルスト帯水層を始めとした不均一性の高い帯水層中における地下水の管理を行うためには、複雑な地質構造や地下の間隙のネットワークを把握し、それに伴う物質輸送特性を十分に把握することが要求される。

そこで本研究では、今後の水質管理を含めた地下水の適正な利用に資する観点から、沖縄本島南部地域の地下ダム流域において、地下水の水質調査を実施すると共に、既存のボーリングデータを利用して3次元的水理地質構造の把握を試みることで、本地域の地下水の水質形成機構について考察した。

2. 研究方法

2.1 現地観測

調査方法は、本地域に分布する湧水や地下水観測井において、2011年9月から2012年1月にかけて、毎月1回の定期採水調査を実施した。現場測定項目は水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位(ORP)、溶存酸素(DO)とし、水質分析項目には、陽イオン(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})、陰イオン(Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , HCO_3^-)、及び地下水の滞留時間を推定する目的として六フッ化硫黄(SF_6)を選定した(SF_6 は9月のみ)。

分析方法は、 HCO_3^- を除く陽・陰イオンはイオンクロマトグラフ法(DIONEX ICS-1600)、 HCO_3^- はアルカリ度適定法を用いた。また、 SF_6 はガスクロマトグラフ法を用いた。

2.2 水理地質構造の整理手法

内閣府沖縄総合事務局が同地域の地下ダム築造の際に行った約600本のボーリングデータを基に、ArcGISのエクステンションツールArc Hydro Groundwater toolsのSubsurface Analystを用いて、3次元的水理地質構造を整理した。

3. 結果及び考察

3.1 地下水の水質形成機構

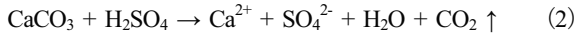
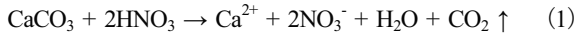
本地域における地下水の水質の特徴(詳細は、「琉球石灰岩分布地域の地下水水質組成について、中野ほか」に記載)は、帯水層が琉球石灰岩で構成されているため Ca^{2+} と HCO_3^- の濃度が高いことに加え、 NO_3^- 及び SO_4^{2-} の濃度が高いことが挙げられる。琉球石灰岩が水中に溶解した場合、 Ca^{2+} と HCO_3^- は当量



図-1 調査地域(沖縄本島南部地域)

*琉球大学農学部地域農業工学科 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, **信州大学工学部, ***沖縄県村づくり計画課, ****沖縄県土地改良事業団体連合会
キーワード: カルスト地形, 琉球石灰岩, 地下水水質形成機構

濃度で1 : 1の関係がみられるが、図2に示すように、本地域の地下水はHCO₃⁻濃度よりCa²⁺濃度の方が高い傾向にある。肥料成分に由来する硝酸や硫酸等の人為的な影響で地下水が酸性化されると、次の2式に従って炭酸ガスが発生すると共にCa²⁺が生成される（浅野，2009）。



本地域の地下水中のCa²⁺濃度とNO₃⁻及びSO₄²⁻の濃度との間には正の相関（相関係数 r ; NO₃⁻ : 0.58, SO₄²⁻ : 0.67）が認められ、Ca²⁺濃度及びNO₃⁻及びSO₄²⁻の濃度が高くなった原因としては、(1)、(2)式の反応により石灰岩の溶解を促進させたことが、原因であると推測される。

つづいて、本地域の地下水の滞留時間に関して考察する。SF₆を年代トレーサとした場合、本地域の地下水の滞留時間は15年～30年の範囲を示し、推定された地下水の滞留時間と本地域の地下水の主要成分であるCa²⁺、HCO₃⁻濃度には正の相関（図3参照）がみられた。滞留時間の平面分布に関しては、滞留時間の短い地点と長い地点とが混在しているエリアがみられた。滞留時間が短く推定されたエリアには大きな空洞が分布していることが分かっている。石灰岩中を流れる地下水は、非ダルシー流に分類されるような石灰岩中の空洞を流れる速い流れや、石灰岩の岩中を流れるような遅い流れとが混在している。つまり、今回、SF₆により推定された地下水の滞留時間は、石灰岩の不均一性を反映したものと考えられる。

一方、NO₃-N濃度の空間分布特性は、米須地下ダム流域においては、一部の湧水を除き内陸上流側から海岸下流側に向かって高くなる傾向がみられる。しかし、9月の調査時のみ、地下ダム堤体付近で2.2～4.1 mgL⁻¹と比較的低い濃度を示した地点が存在した。同地点は、DO濃度も0.12～0.29 mgL⁻¹と低い値を示しており、脱窒の可能性が考えられる。

3. 2 Arc Hydro Groundwater tools を用いた水理地質構造の整理

本地域の地下水の水質形成機構をより詳細に把握するためには、地下水が流れている帯水層の3次元的構造を把握する必要がある。そこで、図4に示すように、Arc Hydro Groundwater tools のSubsurface Analyst を使用し、約600本のボーリングデータを基に3次元的水理地質構造を整理した。その結果、地質構造を石灰岩を71種類、空洞を4種類、基盤岩を知念砂岩と島尻層群泥岩に分類し、総数114種類に分類して3次元的に整理した。

4. 今後の予定

今後は、3次元的な地下水の水質形成機構と水理地質構造との関係性を比較検討していくと共に、作成した3次元水理地質構造を内挿補完して3次元グリッドを作成し、石灰岩の種類や空洞の空間分布を考慮した地下水流動の数値シミュレーションを行う予定である。

参考文献

浅野耕太 編著（2009）：自然資本の保全と評価、第6章 島嶼地域における地下水資源の保全と管理、ネルヴァ書房、119-120。

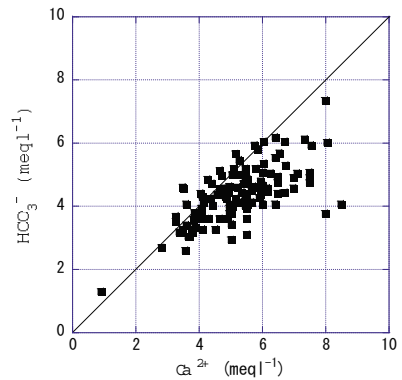


図2 Ca²⁺とHCO₃⁻の関係

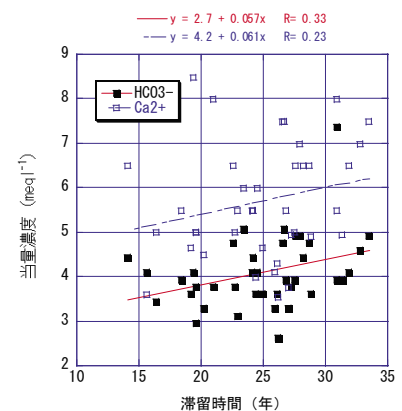


図3 地下水の滞留時間（年）とCa²⁺及びHCO₃⁻の関係

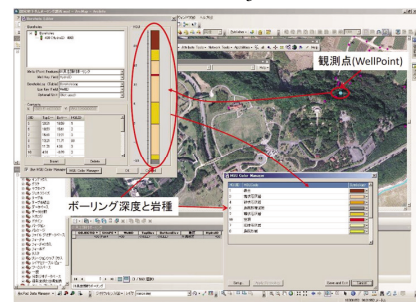


図4 Arc Hydro Groundwater tools を用いた水理地質構造の整理