

琉球石灰岩分布地域地下水の水質組成特性と影響要因について

Characteristics and Influential Factors of Groundwater Quality in Ryukyu Limestone Region

中野 拓治, 安元 純, 砥綿 泰弘

NAKANO Takuji, YASUMOTO Jun, TOWATA Yasuhiro

1. はじめに

沖縄本島南部地域(糸満市・八重瀬町)は、琉球石灰岩を表層地質とする段丘地形によって特徴づけられる畑地農業地帯(基幹作物:サトウキビ)であるが、国営沖縄本島南部水利事業(1992~2005年)の地下ダム築造(米須・慶座)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(Fig.1)。このような状況を踏まえ、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、沖縄本島南部地域地下水の水質組成特性と影響要因について考察したので、その概要を報告する。

2. 調査方法

本研究では、沖縄本島南部地域(以下、調査地域という)の湧水・井戸(17地点)と地下ダム築造に伴って設けられたボーリング観測孔(28ヶ所)で調査した水質データ等を用いて検討を行った。水質測定項目は、主要4陽イオン成分(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})、主要4陰イオン成分(Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)及び、電気伝導度、ORP等である。また、調査地域地表水の水質組成を把握するため、農業排水路(4地点)から採水して、主要8溶存イオン成分を測定した。

3. 調査結果と考察

3.1 地下水の水質組成の分布とその特性

調査地域地下水の主要8溶存イオン成分は、いずれも広い範囲に分布していることから、代表的な確率分布である正規確率と対数正規確率を用いて分布特性を検討したところ、 Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- は正規分布に適合する一方で、 Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- については対数正規分布によく一致していることが確認された(Table1)。そこで、 Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- の4成分は正規分布、 Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- の4成分に関しては対数正規分布に従っているものとして、75%非超過確率値(公共用水域の水質評価)に相当する各イオン成分の溶存量を求めたところ、Table1に示すような値が得られ、調査地域の地下水には多量のイオン成分が溶存していることが確認された。また、主要溶存イオン成分の分布範囲は、無次元化された濃度範囲と標準偏差値(各イオン成分の平均値で除して算定)を踏まえると、 Cl^- が最も大きく Na^+ , NO_3^- , K^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- の順に小さくなっており、各イオン成分のバラツキもこの順で少なくなっている。

さらに、調査地域は、6つの地下水エリア(名城、山城、真壁、米須、仲座、慶座)に区分されることから、各エリアの地下水についてヘキサダイグラム(溶存成分濃度の平均値)を用いて検討したところ、Fig.2に示すように各エリアと

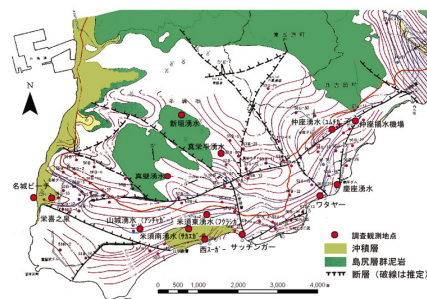


Fig.1 調査地域の概要

Table1 調査地域地下水の主要8溶存イオン成分の分布特性

イオン成分	分布範囲 (mgL ⁻¹)	平均値 (mgL ⁻¹)	標準偏差 (mgL ⁻¹)	正規確率プロット相関係数	対数正規確率プロット相関係数	非超過確率75%値(mgL ⁻¹)
Na ⁺	8.3~530.0	50.7	60.1	0.598	0.855	60.1
K ⁺	0.9~31.0	6.4	4.7	0.879	0.992	8.1
Ca ²⁺	17.8~170.0	105.6	24.0	0.992	0.927	122.1
Mg ²⁺	2.2~64.0	13.2	9.1	0.805	0.967	16.2
Cl ⁻	5.3~880.0	75.9	108.9	0.590	0.869	90.8
HCO ₃ ⁻	79.3~450.0	267.0	50.6	0.987	0.957	301.1
SO ₄ ²⁻	3.4~290.0	93.0	45.3	0.961	0.952	124.8
NO ₃ ⁻	6.4~22.9	8.4	3.8	0.983	0.910	11.0

も Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、及び Mg^{2+} イオンが卓越しているとともに、名城エリア以外の地下水は陽イオンの主成分が Ca^{2+} 、陰イオンは HCO_3^- であり、炭酸水素カルシウム (Ca-HCO_3) 型の特徴を有している。一方、名城エリアにおいては、 Ca^{2+} と HCO_3^- は他のエリアと同程度の濃度水準を示しているものの、 Na^+ と Cl^- が地下水に多く含まれていることから、塩化ナトリウム (Na-Cl) 型を呈しており、このエリアの地下水水質には海水（海塩）による影響が強く反映しているものと考えられる。このように、調査地域の地下水には、 Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、及び Mg^{2+} といったイオン成分を多く含んでおり、炭酸水素カルシウム (Ca-HCO_3) 型、又は、塩化ナトリウム (Na-Cl) 型の水質特性を呈していることが確認された。

3.2 地下水の水質組成への影響要因

調査地域の地下水について溶存成分の起源を検証するため、 Na^+ に Cl^- を加えたイオン濃度と主要溶存物質量の関係を求めたところ、両者の間には正の相関（相関係数：0.907）が存在しており、(1) 式の直線回帰式が導かれ、地下水の溶存物質量は Na^+ ・ Cl^- 濃度（海水由来のイオン成分）の増加に伴って高い値を示すとともに、海水起源以外の溶存物質量は 460mgL^{-1} 程度であることが確認された。

$$\text{Ion} = 1.24\text{NC} + 464.5 \quad (1) \quad \text{ここで、Ion: 主要溶存物質量 (mgL}^{-1}\text{), NC: Na}^+\text{・Cl}^- \text{濃度 (mgL}^{-1}\text{).}$$

一方、地下水中の Ca^{2+} と HCO_3^- は地表水に比較して顕著に高くなっており、これは石灰岩溶解作用に伴うものであると推察される。また、地表水に比べて地下水の SO_4^{2-} も高い値を示していることから、地下水中の SO_4^{2-} に対する Mg^{2+} と NO_3^- の関係を検討したところ、両者とも正の相関（ SO_4^{2-} と Mg^{2+} の相関係数：0.803、 SO_4^{2-} と NO_3^- の相関係数：0.618）が認められ、農地への施肥（硫酸、苦土等）が地下水の SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- に関与していることが示唆された。地下水中の NO_3^- は、ORP値の低下（250mV程度以下の領域）に対応して NO_3^- 濃度も低くなる傾向を示しており、地下水中の酸化還元条件も NO_3^- 濃度に影響を与えているものと推察される。

このように、調査地域地下水の溶存成分には海水・海塩（ Na^+ 、 Cl^- ）や地盤・地質条件（ Ca^{2+} 、 HCO_3^- ）に起因するものに加え、人間活動起源（ SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- ）のものも影響を与えており、水質組成に反映されているものと考えられる。さらに、主要溶存物質量と電気伝導度の間にはFig.3に示すように正の相関（相関係数：0.920）が存在しており、(2) 式の直線回帰式が得られ、実測された電気伝導度から一定の精度で溶存物質量を推定できることが示唆された。また、電気伝導度の値が $1.0\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 程度以下になると、 Cl^- 以外の溶存成分の増加に伴って、電気伝導度から Cl^- 濃度を推定することは難しくなるといえる。

$$\text{Ion} = 604.1\text{Ec} + 101.5 \quad (2)$$

ここで、Ion：主要溶存物質量 (mgL^{-1})、Ec：電気伝導度 ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)。

4. まとめ

琉球石灰岩分布地域の地下水水質組成とその特性に係る今回の検討結果が、今後、水質管理を含めた適切な地下水利用に活用されることが期待される。

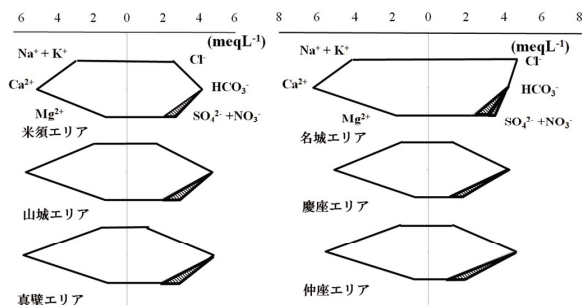


Fig.2 調査地域のヘキサダイアグラム

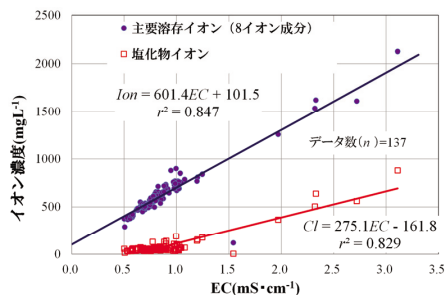


Fig.3 電気伝導度に対する主要溶存物質量と Cl^- 濃度の関係