

南西諸島の天然水の起源および水質形成に関する地球化学的研究

A Geochemical Study of the Origin and Water Quality of Natural Water on Nansei Islands, Japan

(提出先：富山大学大学院理工学教育部，2012年9月)

東田盛善 (Seizen Agata)

所属：沖縄県立八重山高等学校

E-mail: agata.s@ictweb.ne.jp

本博士論文は全7章から構成されている。

第1章では、研究の背景と目的について記述した。南西諸島の天然水の水素・酸素同位体比と化学成分を測定し、東シナ海縁海部の島嶼の天然水の起源と水質形成の要因を明らかにすることを目的とした。

第2章では、南西諸島の概要(地質、気候)や降水、地下水、河川水、地表流水および海水の採取と安定同位体比(δD , $\delta^{18}O$)および主要溶存化学成分の分析方法を示した。

南西諸島は、北緯 24° から 30° の範囲に弧状に分布しており、地質構造も東シナ海から太平洋側に基盤岩の特徴によって大まかに旧期火山岩帯と中・新期火山岩帯(内帯)、古期岩帯(中帯)および第三系帯(外帯)が弧状に分布している。暖流の黒潮はこれらの島弧に沿って北上しており、年間を通じて暖かく亜熱帯海洋性気候である。南西諸島は台風常襲地帯として知られている。夏季には太平洋高気圧に覆われ、蒸し暑い晴天の日が多いが、冬季には大陸高気圧の張り出しで北または北西の季節風が強くなる。

南西諸島の13の島(種子島、屋久島、中之島、奄美大島、徳之島、沖永良部島、与論島、沖縄島、久米島、宮古島、石垣島、波照間島および与那国島)の陸水、石垣島の1日毎および1ヵ月毎の降水、石垣島於茂登トンネルおよびフミダ川の湧水の同位体比を測定した。また、中之島(内帯)、屋久島、沖縄島北部および石垣島(中帯)、種子島、沖縄島南部、宮古島、波照間島および与那国島(外帯)の陸水、石垣島の1日毎の降水、石垣島フミダ川湧水および河川水の各種化学成分を分析した。

3章と4章では、それぞれ石垣島の降水の同位体組成と化学組成について記述した。

石垣島の降水の δD および $\delta^{18}O$ の値は、主に夏季に低く冬季に高かった。また、降水のd値($\delta D-8\delta^{18}O$)は夏季に低く冬季に高かった。夏季の降水は湿潤な太平洋気団(小笠原気団)に起源をもつd値の低い水蒸気団によってもたらされ、冬季には大陸からの寒気の吹き出しの影響を受けていることがわかった。同位体組成に及ぼす雨量効果は年間を通して現れたが、夏季には雨量効果が小さい降水と大きい降水の2つのグループが観察された。

降水の化学成分濃度は台風や冬の季節風の時に高く、特に台風の影響は著しかった。主に海水起源と考えられるNaClの降水量(約39 g/年)は全国平均値(約5.6 g/年)の約7倍であった。Cl⁻やnssCa²⁺(非海塩起源のCa²⁺)、NH₄⁺-Nの濃度は降

水量と反比例の関係にあった。NH₄⁺-N降水量の季節変化のピークは農作物の作付けや施肥の時期に符合した。nssSO₄²⁻濃度および降水量は秋から冬に高く、その時のd値も20~30と高かった。また、NO₃⁻/nssSO₄²⁻比は、夏季(1.35)に比べ冬季(0.47)に低かった。このことから、寒気の吹き出しが強くなると大陸から硫酸等が長距離輸送されてくることがわかった。降水のpHは平均5.4であり、降水を中和する物質としてはNH₄⁺に比べてnssCa²⁺の寄与が大きく、石灰岩質土壌の発達した石垣島の環境が反映されている。

5章では、南西諸島の地下水の水素・酸素同位体組成の特徴を述べた。南西諸島の地下水試料の δD および $\delta^{18}O$ 値の平均値は $-31\sim-20\%$ および $-5.8\sim-4.5\%$ の範囲にあり、その値は緯度が高くなるにつれて減少した。その $\delta^{18}O$ の緯度効果は $-0.14\%/N$ (deg.)と推定され、本州よりも小さかった。

第6章では、南西諸島の地下水の化学組成に及ぼす海水・海塩粒子、基盤岩、石灰岩および化学肥料や生活排水の影響について記述した。

南西諸島の陸水は四面を海に囲まれたその島嶼性を反映し、Na⁺とCl⁻の濃度が高かった。屋久島の山地で採取された試料のCl⁻濃度(平均、12.7 mg/L)は種子島や中之島の地下水のそれらの濃度に比べて著しく低かったが、それは降水量が多い屋久島の自然環境の特性を反映している。しかしながら、それらの濃度は日本全体の河川水のCl⁻濃度(平均、5.8 mg/L)に比べて著しく高かった。沖縄島北部訓練場の陸水のCl⁻濃度は分水嶺の北側に位置している奥間川と与那川の上流で最も低かったが、それは、その地点が海岸から最も離れていることとカーチーバー(夏至南風)と呼ばれる南~南東の風の影響を受けていないためである。南西諸島の陸水のCl⁻濃度は、地形や海岸からの距離、風向、季節風や台風などの気象条件の影響を受けており、南西諸島の北部に位置する種子島、屋久島および中之島の地下水よりも南部に位置する沖縄諸島の陸水で高かった。

南西諸島の陸水の水質は、火山岩や花崗岩、砂岩や千枚岩、片岩、泥岩に含まれる斜長石の岩石風化の影響を受けている。中之島(新期火山岩帯)の地下水では、斜長石の他に正長石や輝石の岩石風化が水質形成に寄与している。中之島地下水ではnssSO₄²⁻および溶存SiO₂の平均濃度が高かった。また、nssSO₄²⁻とHCO₃⁻の平均濃度がほぼ等しく、中之島地下水の水質形成におよぼす硫酸と炭酸の岩石風化への寄与はほぼ等しかった。屋久島や石垣島(古期岩帯)の陸水の化学組成は花崗

岩に含まれる正長石や黒雲母の岩石風化が寄与している。古期岩帯では、屋久島の花崗岩地域、沖縄島北部の砂岩・千枚岩地域、石垣島の花崗岩地域、石垣島の片岩地域の順序で片岩の方に岩石風化が起こりやすかった。第三系帯の種子島、沖縄島南部、宮古島および波照間島の基盤岩には、凝灰岩層が含まれる。沖縄島南部の地下水では凝灰岩層に含まれる黄鉄鉱の酸化が水質形成に寄与し、種子島、宮古島および波照間島の地下水では Ca^{2+} と粘土鉱物の交換性 Na^+ のイオン交換による水質の変化がみられた。

沖縄諸島における琉球石灰岩地域の地下水の P_{CO_2} は、波照間島、沖縄島、宮古島および与那国島の順序で大きかった。 Ca^{2+} および HCO_3^- の濃度も、それらの P_{CO_2} の値に符合して、同じ順で高かった。また、カルサイト (CaCO_3) に対する飽和指数 (SIc) 計算値はそれらの地域の多くの地下水で過飽和 ($SIc > 0$) であった。

石垣島フミダ川湧水の P_{CO_2} は夏季には冬季よりも高かった。湧水の Ca^{2+} および HCO_3^- は、高い P_{CO_2} のもとで温帯地域のトゥファ堆積場の湧水に比べて高濃度であった。河川水から CO_2 が放出されて CaCO_3 が沈殿するため、電導度、 Ca^{2+} および HCO_3^- 濃度が下流にいくにつれて減少した。また、下流にいくにつれて P_{CO_2} が減少するため pH が上昇した。ほとんどの湧水試料がカルサイトに対して未飽和 ($SIc < 0$) であったが、河川水では年間を通して過飽和 ($SIc > 0$) であった。

宮古島や波照間島、与那国島の地下水の水質形成には化学肥料が寄与しており、その程度は農耕地で使われる化学肥料の使用量に符合している。宮古島の市街地、農村集落、農耕地および森林地内の地下水において NO_3^- -N 濃度が明らかに異なった。宮古島や与那国島の地下水では化学肥料の影響を受けて $\text{Ca-SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ 型の水質がみられた。

7章では、3章から6章までの内容を要約した。

南西諸島の天然水の起源には地理および気候特性が大きく寄与し、水質形成にはそれらのほかに地質や人間活動の影響が反映している。夏季の降水は湿潤な太平洋気団（小笠原気団）に

起源をもつ d 値の低い水蒸気団によってもたらされ、冬季には大陸からの寒気の吹き出しの影響を受けている。寒気の吹き出しが強くなると大陸から硫酸等が長距離輸送されてくることがわかった。地下水の $\delta^{18}\text{O}$ の緯度効果が小さいのは南西諸島に降水をもたらす気団に亜熱帯海域に起源をもつ水蒸気が持続的に補給されているためである。

陸水の Cl^- 濃度は屋久島や石垣島の降水にみられるような化学成分濃度の違いを反映しており、地形や海岸からの距離、風向、季節風や台風などの気象条件の影響を受け、南西諸島の北部に位置する種子島、屋久島および中之島の地下水よりも南部に位置する沖縄諸島の陸水で高かった。

陸水の水質は、主に基盤岩に含まれる斜長石の岩石風化の影響を受けている。中之島（新期火山岩帯）の地下水では、水質形成におよぼす硫酸と炭酸の岩石風化への寄与はほぼ等しかった。古期岩帯では、屋久島の花崗岩地域、沖縄島北部の砂岩・千枚岩地域、石垣島の花崗岩地域、石垣島の片岩地域の順序で片岩の方に岩石風化が起こりやすかった。第三系帯の沖縄島南部の地下水では凝灰岩層に含まれる黄鉄鉱の酸化が水質形成に寄与し、種子島、宮古島および波照間島の地下水では Ca^{2+} と粘土鉱物の交換性 Na^+ のイオン交換による水質の変化がみられた。琉球石灰岩地域の地下水の Ca^{2+} および HCO_3^- の濃度は、それらの P_{CO_2} の値に符合しており、多くの地下水がカルサイト (CaCO_3) に対して過飽和 ($SIc > 0$) であった。透水性が高い琉球石灰岩地域では土地利用による影響を受けて地下水汚染が起こりやすいことが分かった。石垣島フミダ川湧水の Ca^{2+} および HCO_3^- は、高い P_{CO_2} のもとで温帯地域のトゥファ堆積場の湧水に比べて高濃度であった。フミダ川のトゥファの堆積作用には、湧水の高い P_{CO_2} 、トゥファが堆積している河川の地形、降水量の影響を受けた湧水および河川の水量変動や湧水の流下に伴う河川水の P_{CO_2} の変動が反映している。

これらの結果は、南西諸島における同位体水文学や同位体地球化学、地下水の水質保全に貢献できるものと考えられる。