

琉球大学学術リポジトリ

[研究ノート]

天然記念物「塩川」の水質形成と地下水汚染： 2013年梅雨期の観測に基づく検討

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 沖縄地理学会 公開日: 2018-11-16 キーワード (Ja): 溢水, 石灰岩, 塩川, 本部半島, ジオコンサベーション, spring キーワード (En): limestone, Shiokawa, Motobu Peninsula, geoconservation 作成者: 金城, 鳩一郎, 尾方, 隆幸, 伊藤田, 直史 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002017697



天然記念物「塩川」の水質形成と地下水汚染 —2013年梅雨期の観測に基づく検討—

金城 颯一郎*・尾方 隆幸**・伊藤田 直史***

(*琉球大学教育学部学生(現・琉球銀行)・**琉球大学教育学部・***日本洞穴学研究所)

Water Environment at Shiokawa Spring in Motobu Peninsula, Okinawa, Japan:
Hydrological Observation during the Rainy Season in 2013

Soichiro KINJO*, Takayuki OGATA** and Naofumi ITODA***

(*Student, University of the Ryukyus (Present: Bank of the Ryukyus) ,

Faculty of Education, University of the Ryukyus, *Speleological Research Institute of Japan)

摘要

本部半島に位置する国指定天然記念物「塩川」において、梅雨期の集中的な水文調査を行い、水質形成と地下水汚染について検討した。水位と潮位のデータを重ね合わせたところ、従来の研究で報告されていた相関関係は認められなかった。また、流量観測データからハイドログラフを作成した結果、陸域における降雨流出過程が水質形成において最も重要な役割を果たすことが示唆された。簡易水質分析からは、流域の採石場や農地による地下水汚染の可能性が否定できず、今後のモニタリングが必要であることがわかった。塩川湧水を地球科学的遺産として未来の世代に遺していくためには、地域においてジオコンサベーションの意識を高めることが求められる。

キーワード：湧水、石灰岩、塩川、本部半島、ジオコンサベーション

Keywords: spring, limestone, Shiokawa, Motobu Peninsula, geoconservation

I はじめに

自然遺産を適切に保護・保全し、未来の世代に遺していくことは、地球に生きる人間の義務である。自然遺産には、動植物を主体とする生態学的遺産と、非生物的自然を含めた地球科学的遺産がある。生態学の分野では、動植物の保護・保全のための研究や活動に対して学会レベルの取り組みがなされているが、地球科学において自然保護の問題が取り上げられることは少ない(目代2011)。

自然保護にはさまざまな法的整備があるが、その代表的な制度に天然記念物がある。天然記念物には「動物」「植物」だけではなく「地質鉱物」のカテゴリーもあり、日本にも地球科学的遺産を保

護・保全する枠組みは存在する。しかし、天然記念物が今日の科学的知見に対応していないなかつたり、一度登録された天然記念物の情報更新がほとんど行われていなかつたりという問題もある(目代1999)。

沖縄にも「地質鉱物」の天然記念物があり、そのひとつが本部半島南西部に位置する「塩川」である。塩川は、石灰岩の岩盤から塩分濃度の高い地下水が流出する湧水で、1972年5月15日の日本復帰と同時に国の天然記念物に指定された。しかし、保護されているのは地下水が流出する地点(湧水ポイント)のみで、流域単位での保全はまったく考慮されていない。流域には採石場やセメント工場があり、それらの影響が天然記念物に指定された当時から懸念されている(兼島ほか1975)。

塩川の水質や湧出機構に関する水文調査も1970年代になされている（兼島ほか1975；兼島ほか1976；兼島ほか1977）が、それに基づく保護・保全の提言には至っていない。

湧水の自然保護や環境保全を考えるうえで最も重要なことは地下水の挙動の解明であり、地下水涵養・流出プロセスの解明につながる水文学的データの蓄積と、それに基づく科学的な評価が必要である。そこで本研究では、塩川を適切に保護・保全するための基礎データを得るため、2013年の梅雨期に集中的な水文調査を行った。これらの結果に基づき、塩川の水質形成と地下水汚染について考察したうえで、地球科学的遺産の保護・保全のあり方について議論する。

II 調査地

塩川湧水は、沖縄島北部の本部半島に位置する（図1）。本部半島には、中・古生界の堆積岩が隆起・侵食を受けた山地や丘陵が形成され、海岸には第四紀の隆起サンゴ礁段丘と低地が発達する（尾方2011）。塩川の流域は、古生界ペルム系の石灰岩（本部層）を主体とする付加体堆積物からなり、地表の水系はあまり発達していない。

気象庁名護特別地域気象観測所（北緯 $26^{\circ}35'36''$ 、東経 $127^{\circ}57'54''$ 、標高6.1 m）における1981～2010年の30年平均の気象データをみると、年平均気温 22.6°C 、年降水量2,018.9 mmであった。降雨の多くは、梅雨期の5月（222.4 mm）と6月（244.1 mm）、台風期の8月（248.2 mm）と9月（220.9 mm）に集中する傾向があり、これら4ヶ月の降水量は年降水量の46%を占める。

塩川は1970年に琉球政府の天然記念物に指定され、沖縄が日本に復帰した1972年に国指定天然記念物となった。湧水付近には、海産・汽水産・淡水産の植物、甲殻類や魚類などの動物がみられる（香村・久場1976）。古生代から生息しているとされるムカシエビなどの原始的な動物や、チカヌマエビなど新種の動物も確認されている（諸喜田・西島1976）。また、流域の開発が地下水流动系や生態系に悪影響を与える可能性が懸念されているが（兼島ほか1975），水文学的データに基づく保護対策はとられていない。

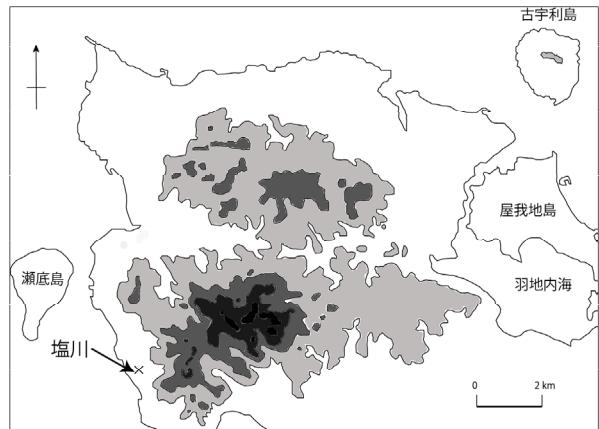


図1 本部半島の地形と塩川の位置
等高線と段彩の間隔は100 m

なお、本部町教育委員会が作成した現地の解説板には「塩水の流れる川は世界でもここ「塩川」とペルトリコの2ヶ所しかなく貴重な川である」とあるが、塩水が湧出するカルスト泉は、旧ユーゴスラビアやギリシャのアドリア海沿岸地域にも存在する（たとえば、Bögli 1980）。

III 調査方法

塩川には、隣接する2ヶ所の流出部があり、これらの流出部が天然記念物に指定されている。本研究では、南側の流出部を地点A、北側の流出部を地点Bとする（図2）。これら2地点で、2013年5月13日月曜日から6月9日日曜日までの4週間を調査期間として水文調査を行った。4週間を1週間ごと（月曜日から日曜日まで）に区分し、それぞれ、第1週（2013年5月13日～5月19日）、第2週（2013年5月20日～5月26日）、第3週（2013年5月27日～6月2日）、第4週（2013年6月3日～6月9日）とした。それぞれの週の週末に24時間の観測（以下、集中観測とする）を実施した。

調査項目は、流量、水温、電気伝導度、塩化ナトリウム濃度で、期間中の土曜日9時から日曜日9時までの間に3時間間隔で測定し、合計36回のデータを得た。あわせて、パックテスト（共立化学）による簡易水質分析を実施した。

なお、観測期間中の降水量データは名護特別地域気象観測所の観測値、潮位データは那覇の潮位表を用いた。降水量・潮位データいずれも気象庁ウェブサイトにて取得した。



図2 塩川の地下水流出部（上：地点A，下：地点B）
スケールの測量ポールは、着色部・白色部それぞれ20cm

1. 流量観測

流量は、河道断面積の測量と表面流速の観測により求めた。表面流速は、流出地点から一定距離(260 cm)を浮子が通過する時間を各地点につき3回測定し、平均値を算出することによって求めた。流量(m^3/s)は、断面積(m^2)と表面流速(m/s)の積に係数0.8(たとえば、新井1994)を乗じて求めた。

2. 水温・電気伝導度・塩化ナトリウムの測定

電気伝導度計(東亜DKK製CM-21P)を用いて、流出部の水温、電気伝導度、塩化ナトリウム濃度(電気伝導度からの換算値)を測定し、集中観測中に合計36回のデータを得た。測定の精度は、水温が $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、電気伝導度と塩化ナトリウム濃度は<0.5%である。

3. 簡易水質分析

現地において、パックテストを用いて簡易水質

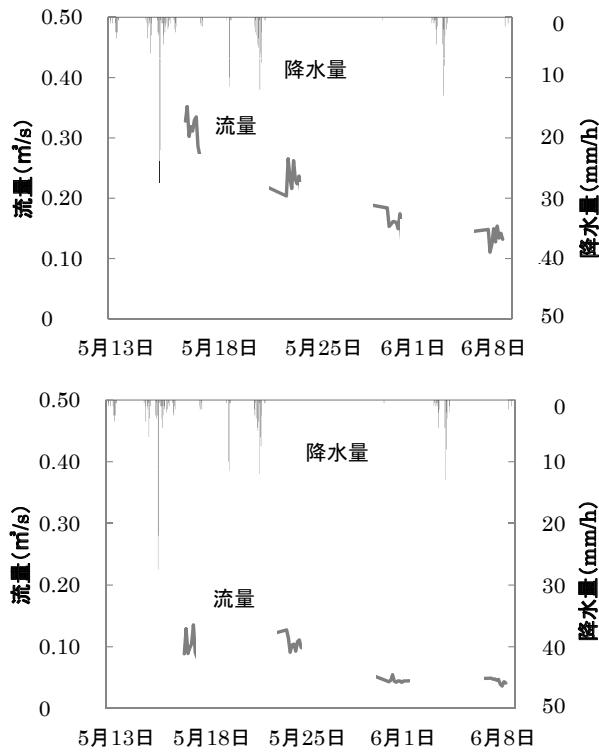


図3 梅雨期のハイドログラフ
(2013年5月13日～6月9日)
上：地点A 下：地点B

を測定した。流出部において、水面下10cmの深さからポリエチレン容器で採水した試料を現場で測定し、集中観測中に合計36回のデータを得た。測定項目は、 pH (水素イオン濃度)、 Ca^{2+} (カルシウムイオン)、 NO_3^- (硝酸イオン)、COD(化学的酸素要求量)、全硬度、金属総量である¹⁾。

IV 調査結果

図3は、地点A、Bの2013年5月13日から6月9日のハイドログラフである。調査期間中の名護の降水量は246.5mmで、うち79%が2013年5月13日から5月26日に集中していた。流量は、観測期間を通じて徐々に減少する傾向にあった。

1. 調査期間中の降水量

第1週(2013年5月13日～5月19日)の降水量は124.5mmで、調査期間の51%の降雨が集中した。特に、集中観測を始める2日前の5月16日には、日降水量74.0mmのまとまった降雨があった。第2週(2013年5月20日～5月26日)の降水量は73.0mmで、調査期間の30%の降雨があつ

た。第3週（2013年5月27日～6月2日）の降水量は0.5 mmで、調査期間で最も降雨の少ない週であり、降雨が観測されたのは6月1日の0～1時の間のみであった。第4週（2013年6月3日～6月9日）の降水量は48.5 mmで、この週の70%の降雨が6月5日に集中した。なお、4回の集中観測中、3回目には降雨が観測されず、ほかの3回は降雨が観測されているが、1時間雨量データは0.0 mm、すなわち時間雨量0.5 mm未満であった。

また、Mosley (1979) をもとに集中観測時の先行降雨指数（前日金曜日から30日前までの降雨を重みづけして積算した値）を求めるとき、第1回が73.32 mm、第2回が50.94 mm、第3回が19.24 mm、第4回が27.06 mmであった。

2. 集中観測時の流量

第1回集中観測（5月18日9時～5月19日9時）の平均流量は、地点Aで0.315 m³/s、地点Bで0.101 m³/sであり、観測期間で最も高い値を示した。地点Aの流量は、5月18日12時に0.352 m³/sと最も高く、5月19日9時に0.271 m³/sと最も低かった。地点Bの流量は、5月19日0時に0.124 m³/sと最も高い値を示し、5月19日6時に0.082 m³/sと最も低かった。

第2回集中観測（5月25日9時～5月26日9時）の平均流量は、地点Aで0.231 m³/s、地点Bで0.106 m³/sであった。地点Aの流量は、5月25日12時に0.265 m³/sと最も高く、5月25日9時に0.204 m³/sと最も低かった。地点Bの流量は、5月25日9時に0.127 m³/sと最も高く、5月25日15時に0.091 m³/sと最も低かった。

第3回集中観測（6月1日9時～6月2日9時）の平均流量は、地点Aで0.159 m³/s、地点Bで0.045 m³/sであった。この週以後、両地点とも流量は大きく減少した。地点Aの流量は、6月1日9時に0.184 m³/sと最も高く、6月2日9時に0.130 m³/sと最も低かった。地点Bの流量は、6月1日9時に0.055 m³/sと最も高い値を示し、6月2日6時に0.091 m³/sと最も低かった。

第4回集中観測（6月8日9時～6月9日9時）の平均流量は、地点Aで0.136 m³/s、地点Bで0.044 m³/sと、両地点とも流量が最も少ない週となった。

地点Aの流量は、6月9日0時に0.154 m³/sと最も高く、6月8日12時に0.130 m³/sと最も低かった。地点Bの流量は、6月8日9時に0.049 m³/sと最も高い値を示し、6月9日3時に0.036 m³/sと最も低かった。

3. 水位と潮位との関係

図4に、塩川の水位と那覇港の潮位との関係を示す。潮位は、気象庁による大潮の平均的な干潮面を基準にした。また、塩川の水位は、河床から水面までの垂直距離とした。兼島ほか（1975）は「那覇港の潮位と塩川の水位は比例する」としているが、図4からはそのような傾向は認められない。第1回集中観測時の地点Bにおいて、両者が連動しているような傾向がかろうじて認められるが、そのほかでは水位と潮位の関係性は認められない。以下、集中観測を行った時間帯の詳細な水位と潮位の関係を述べる。

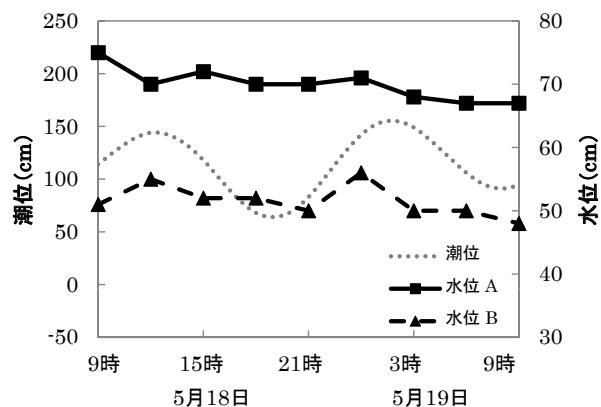
第1回集中観測（図4a：5月18日9時～5月19日9時）の潮位変動は64～155 cm、水位変動は地点Aで67～75 cm、地点Bで48～55 cmであった。両地点とも最も高い水位を示すとともに、水位の変動幅も最も大きかった。第2回集中観測（図4b：5月25日9時～5月26日9時）における潮位変動は、-11～217 cm、水位変動は地点Aで66～71 cm、地点Bで49～53 cmであった。

第3回集中観測（図4c：6月1日9時～6月2日9時）では、潮位変動が67～171 cm、水位変動は地点Aで59～62 cm、地点Bで37～40 cmであった。この週から両地点とも水位が低下した。地点Aでは水位変動の幅が3 cmであり、4回の集中観測で最も小さかった。第4回集中観測（図4d：6月8日9時～6月9日9時）では、20～197 cmで潮位が変動した。水位変動は地点Aで59～62 cm、地点Bで36～38 cmであった。地点Aの水位変動は前週と同様に最も小さく、また地点Bの水位変動の幅も2 cmであり、4回の集中観測で最も小さかった。

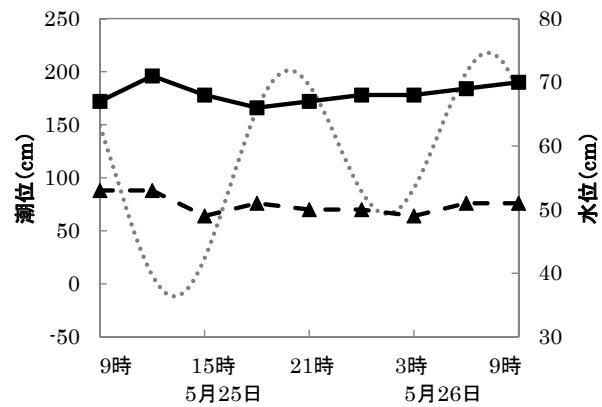
4. 湧水の塩分濃度

湧水の水温は、地点Aが20.9～21.4°C（平均21.2°C）で、地点Bが21.3～21.6°C（平均21.3°C）であった。塩化ナトリウム濃度は、地点Aで0.06

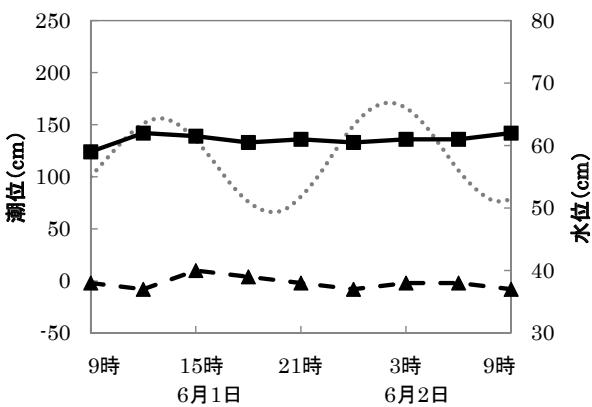
a 第1回集中観測時



b 第2回集中観測時



c 第3回集中観測時



d 第4回集中観測時

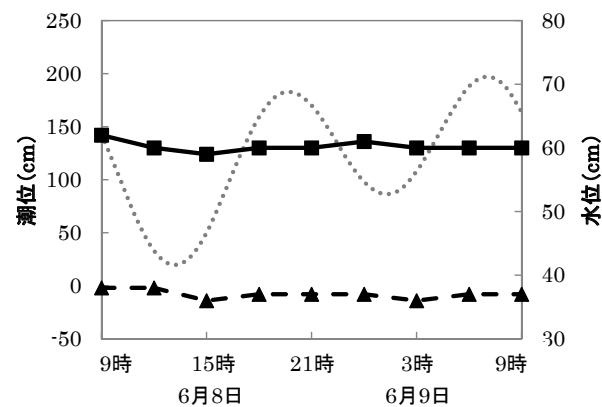


図4 塩川の水位と那覇港の潮位との関係

~0.25%，地点Bで0.11~0.23%であった。両地点とも、濃度の最高値は第4回集中観測で、最低値は第1回集中観測で観測された。地点A・Bいずれも、第3回集中観測時から急激に塩化ナトリウム濃度が上昇した。

図5に、塩化ナトリウム濃度と流量との関係を示す。流量の減少に伴い塩化ナトリウム濃度が増加する傾向がみられ、その相関は高い。

5. 簡易水質分析

水質の傾向として、パックテストが示した値の回数（合計36回）を項目ごとに述べる。水素イオン濃度pHは、地点A・Bそれぞれ、7.6を12回および16回、7.8を24回および20回示した。カルシウムイオン濃度は、地点A・Bいずれも、20ppmを6回、50ppmを30回示した。やや低めの値(20ppm)を示したのは、両地点あわせた12回中11回が調査期間の後半（第3・4週）であった。

硝酸イオン濃度は、地点Aで8回、地点Bで5回が2ppmであったが、それ以外は毎回1ppmであった。やや高めの値(2ppm)を示したのは、すべて調査期間の前半（第1・2週）であった。

化学的酸素要求量CODは、両地点とも第1週初回の測定で0ppmであったが、それ以後はすべて2ppmであった。金属総量は、地点Aで6回、地点Bで5回は0.2ppmを示したが、それ以外はすべて0ppmであった。やや高めの値(0.2ppm)を示したのは、すべて調査期間の前半（第1・2週）であった。全硬度は、地点A・Bそれぞれ、100ppmを15回および14回、200ppmを21回および22回示した。

V 考察

1. 水質形成プロセス

ハイドログラフのデータは、塩川の流量に及ぼす降雨の影響が強いことを明瞭に示している。調

査期間（2013年5月13日～6月9日）の降水量のうち、約80%は前半（2013年5月13日～5月26日）に集中し、その後は減少した。それに対応するように、流量も第3週（2013年5月27日～6月2日）を境に減少した（図3参照）。さらに、塩化ナトリウムやカルシウムイオン濃度の変動も、降水量の変動と良く対応していた。すなわち、降水量が少なく流量が減少すると、塩化ナトリウム濃度が高くなり、カルシウムイオン濃度が低下する傾向がみられた。

兼島ほか（1975）には「塩川の水位は那覇港の潮位に比例する」とあるが、本研究では両地点とも水位と潮位との連動した変化を確認できなかった（図4参照）。兼島ほか（1975）では、塩川の水位と那覇港の潮位のデータを、1974年8月12日16時から13日18時までの26時間しか取得していない。この短時間の観測のみでは、塩川の水位変動と那覇港の潮位変動との関係を議論するにはデータが不十分といえる。より多くの観測データを踏まえた本研究からは、那覇港の潮位と塩川の水位に明瞭な関係があるとは考えにくい。また、兼島ほか（1975）の観測時の先行降雨指数を求める1.28 mmであり、本研究の観測時に比べてかなり小さい。したがって、兼島ほか（1975）が「塩川の水位は那覇港の潮位に比例する」と結論づけた状況は、降雨の影響の小さい、つまり陸水の割合が小さい環境のものであったと考えられる。

湧水の水温は、平均値で、地点Aが21.2°C、地点Bが21.3°Cであった。調査期間中（2013年5月13日～6月9日）の名護特別地域気象観測所の平均気温は24.8°Cであり、塩川の水温はこれより低く、この地域の年平均気温22.6°C（同観測所による1981～2010年までの30年平均）に近い。これは、陸域起源の地下水が水温をコントロールしていることを示唆する。その一方で、塩化ナトリウム濃度は非常に高く、海水起源の水が塩川の主要溶存イオンであることは間違いない。

観測データは、湧水の流量の減少に伴って、塩化ナトリウム濃度が上昇する結果を示している（図5参照）。塩川湧水は、陸域からの地下水と海水が地中で混合して流出していると考えられるが、海から供給される水（塩化ナトリウム濃度が高い海

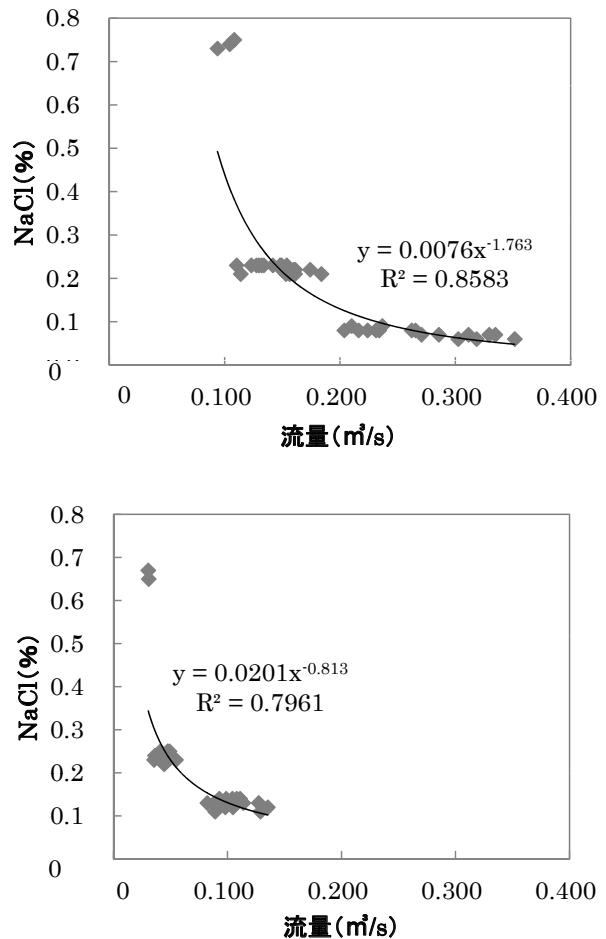


図5 流量と塩化ナトリウム濃度との関係
(上：地点A, 下：地点B)

水)に対する、降雨によって陸から供給される水（塩化ナトリウム濃度が低い地下水）の混合の割合が水質をコントロールしていると推察される。

2. 地下水汚染

簡易水質分析によるCOD値は、環境省の定める環境基準5 ppmより低く、有機物による地下水汚染はほぼないといえるであろう。一方で、値は小さいながらも、硝酸イオンは観測期間を通じて常に検出されていた。

第四系の石灰岩が広がる沖縄島中南部の9つの湧水（北中城村のタチブー・チブガー・イーヌーガー、宜野湾市の喜友名泉、南城市的垣花桶川・仲村渠桶川・受水走水・玉泉洞）の水質を調べた川満ほか（2011）は、これらの湧水の硝酸イオン濃度の平均を19.1 ppmと報告している。沖縄島中南部の地下水涵養域は、塩川の流域に比べて農業

的土地利用が盛んであり、特に養豚場や畑が多くある。また、付加体の石灰岩である山口県の秋芳洞では 8.1 ppm（開発ほか 1999），岩手県の龍泉洞では 1.5 ppm（島野 1998）という調査結果がある。塩川でのパックテスト結果は、少なくとも龍泉洞よりは高い硝酸イオン濃度を示すことがあり、流域の畑や畜産場からの糞尿や肥料の混入に注意が必要である。

さらに、わずかではあるが金属が検出されており、流域の採石場からの排水が混入している可能性がある。実際に、赤色土が浮遊した地下水や、石灰の混入によると思われる白濁水が流出していることを筆者らは確認しており（尾方 2013a），特に 2011 年 5 月および 2013 年 5 月には濃い白濁を確認した。水文環境の保全のためには、濁度などのモニタリングを行い、採石場からの影響を正しく評価する必要があろう。

3. 地球科学的遺産としての塩川

塩川では、前節で述べたように、有機物による地下水汚染はほとんどと考えられるが、流域の人為的な開発による地下水汚染はないとはいえない。塩川の水文環境を保全するためには、湧水そのものと、その生態系、さらには流域レベルで水循環システムを考える必要がある。現在の天然記念物指定は、地下水が流れる地点のみであり、これだけで塩川の水文環境を保全することはできない。

石灰洞やカルスト湧泉の涵養域は、地表河川の流域とは異なり、地形的な分水嶺を越えることもある（清水 1965；伊藤田・佐々木 1984）。地下水涵養域や地下水流动系が汚染されれば、流出域にも影響が及ぶ。塩川湧水を適切に保全・管理していくためには、地下水涵養域、地下水流动系、地下水流出域を統一的に考え、水循環システムそのものを保全しなければならない。

沖縄県（2007）によると、採石場による騒音や粉塵の被害が住民から報告されている。また、塩川湧水の涵養域と考えられる名護市安和地区および本部町崎本部地区は、廃油、動物の糞尿や汚泥などが埋め立てされる「管理型最終処分場」の候補地になっている。沖縄県（2007）は、産業廃棄物処理に際して周辺の水環境に影響を及ぼす可能

性があることを指摘しており、水文学的なアセスメントを行わずに処分場を建設すれば、天然記念物である塩川湧水に悪影響が及ぶことも危惧される。

塩川のある本部半島は、2012 年に日本ジオパークネットワーク準会員に登録した（尾方 2013b）。ジオパークは、保護・保全（conservation），教育（education），ジオツーリズム（geotourism）を 3 本柱に掲げる、ユネスコの支援するプログラムであり（Eder and Patzak 2004），水循環システムもジオツーリズムの対象になる（尾方 2009；尾方 2011）。実際に、本部半島ジオパーク構想でも塩川は水文学的ジオサイトと位置づけられており、この活動は塩川の水循環や地球科学的価値を認識してもらう絶好の機会でもある。今後、塩川の水文環境を保護・保全していくためには、水文学的研究の蓄積に加え、自治体や地域住民に対する具体的な方策の提言、ジオパーク活動を通じた地球科学の教育といったさまざまな努力を通じて、ジオコンサベーションに対する意識を高めることが重要である。

VI まとめ

塩川湧水において、2013 年の梅雨期に集中的な観測を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 地下水の流出量は降水量と対応しており、流量の減少に伴って湧水の塩化ナトリウム濃度が上昇することがわかった。このことは、海水の流入量よりも、陸域における降雨流出過程が水質形成において重要な役割を果たすことを示唆する。
- (2) 本研究では、湧水の水位と潮位との明瞭な関係は認められなかった。これは、先行研究とは異なる結論である。その理由として、兼島ほか（1975）の観測期間が短くデータが限られていたこと、本研究では陸域からの地下水の影響がより大きい梅雨期に観測を行ったことなどが考えられる。
- (3) 湧水からは硝酸イオンや金属が検出されており、流域の人為的開発による地下水汚染の可能性がある。塩川湧水の保護・保全を考えるうえでは、天然記念物に指定されている地下水の流出域だけではなく、涵養域も含めて流域単位で対策を考える必要がある。

今後は、本研究のような水文観測の継続とともに、トレーサー試験などによって地下水流动系を解明することが求められる。さらに、地元住民や自治体に地球科学的遺産の価値を伝え、ジオコンサベーションの意識を高めていかなければならぬ。

本研究を進めるにあたり、文化庁、沖縄県教育庁および本部町教育委員会から現地調査の許可をいただきました。現地調査においては、本部半島ジオパーク推進協議会の方々や、宮城貴洋氏をはじめとする琉球大学教育学部生涯教育課程の学生諸氏に協力をいただきました。また、琉球大学准教授の廣瀬孝先生のご意見のおかげで投稿原稿が改善されました。これらの皆様に対して、心より感謝の意を記します。

(受付 2014年4月30日)
(受理 2014年6月19日)

注

1) パックテストは、簡易比色法により現場でおおよその濃度が測定できるもので、付属の比色表に記載されている値が、測定範囲と測定精度の目安になる。比色表の値は、pHが5.8から8.0以上までの0.2間隔12段階、 Ca^{2+} は、0, 2, 5, 10, 20, 50以上（単位はmg/l）、以下、 NO_3^- (1, 2, 5, 10, 20, 45)、COD (0, 5, 10, 13, 20, 50, 100)、全硬度 (0, 10, 20, 50, 100, 200)、金属総量 (0, 0.2, 0.5, 1, 2, 5以上) となっている（pH以外の単位はmg/l）。

文 献

- 新井正 (1994):『水環境調査の基礎』.古今書院。
- 伊藤田直史・佐々木清文 (1984):龍泉洞の集水域について(予報).日本洞穴学研究所報告, 2, 39-47.
- 尾方隆幸 (2009):ジオツーリズムと学校教育・生涯教育——自然地理学の役割.琉球大学教育学部紀要, 75, 207-212.
- 尾方隆幸 (2011):琉球諸島のジオダイバーシティとジオツーリズム.地学雑誌, 120, 846-852.
- 尾方隆幸 (2013a):ジオコンサベーションのための視聴覚教材——本部半島カルスト地域の事例.プロ・ナトゥーラ・ファンド助成成果発表会発表要旨集, 19, 26-27.
- 尾方隆幸 (2013b):琉球列島におけるジオパーク活動(第4報)——日本ジオパークネットワーク準会員としての本部半島.沖縄地理, 13, 69-74.

- 沖縄県 (2007):『公共関与による産業廃棄物最終処分場に関する立候補地検討報告書』.沖縄県。
- 開發一郎・小野寺真一・中山勤 (1999):山口県秋吉台の名水——別府弁天地と秋吉台の湧水.地下水学会誌, 41, 97-100.
- 兼島清・平良初男・渡久山章・大森保 (1975):塩川湧水の化学組成と湧出機構.『沖縄県天然記念物調査シリーズ第2集 塩川動態調査報告 予報I』沖縄県教育委員会, 1-25.
- 兼島清・平良初男・渡久山章・大森保 (1976):塩川湧水の化学組成と湧出機構II.『沖縄県天然記念物調査シリーズ第6集 塩川動態調査報告 II』沖縄県教育委員会, 8-22.
- 兼島清・平良初男・渡久山章・大森保 (1977):塩川湧水の化学組成と湧出機構III.『沖縄県天然記念物調査シリーズ第9集 塩川動態調査報告 III』沖縄県教育委員会, 1-23.
- 川満一史・島野安雄・蔚崎志穂 (2011):沖縄本島中部の名水.地下水学会誌, 53, 309-316.
- 香村真徳・久場安次 (1976):天然記念物「塩川」の植物.『沖縄県天然記念物調査シリーズ第6集 塩川動態調査報告 II』沖縄県教育委員会, 38-67.
- 島野安雄 (1998):地下水科学の基礎 10.名水の水質.地下水学会誌, 40, 329-345.
- 清水欽一 (1965):湧泉の見掛け単位面積排水量に関する考察——主としてカルスト泉の水理地質について.応用地質, 6, 145-158.
- 諸喜田茂充・西島信 (1976):塩川の水生動物と湧出機構.『沖縄県天然記念物調査シリーズ第6集 塩川動態調査報告 II』沖縄県教育委員会, 68-91.
- 目代邦康 (1999):「史跡名勝天然記念物」と昭和初期の日本の自然保護運動.学芸地理, 54: 34-42.
- 目代邦康 (2011):地学的自然遺産の保護(ジオコンサベーション)ためのジオパーク.地学雑誌, 120, 803-818.
- Bögli, A. (1980): Karst Hydrology and Physical Speleology. Springer-Verlag.
- Eder, F. W. and Patzak, M. (2004): Geoparks: geolocal attractions: A tool for public education, recreation and sustainable economic development. Episodes, 27, 162-164.
- Mosley, M. P. (1979): Streamflow generation in a forested watershed, New Zealand. Water Resour. Res. 15, 795-806.