

## 伊是名島における井戸水の利用とその水質について

渡口輝・普天間朝好\*・池間修宏・宮城俊彦・比嘉尚哉\*\*・外崎由紀子\*\*\*・當間孝子\*\*\*

### Survey on Quality of Well Water on Izena Island

Akira TOGUCHI, Tomoyoshi FUTENMA, Nobuhiro IKEMA, Toshihiko MIYAGI,  
Naoki HIGA, Yukiko TONOSAKI and Takako TOMA

#### 要旨:

伊是名島の個人所有の井戸の水質を調査した。伊是名島の地下水は地質的な違いが大きく表れており、海岸付近の砂丘砂層上にある地区はいずれも硬度が 300 mg/l を越え、チャート層で出来た丘の麓にある井戸水では pH5 付近であるにもかかわらず金属イオンがほとんど検出されなかった。硬度の高い地域はいずれも海岸の近くに位置するが、海水の混入よりも、地質中の CaCO<sub>3</sub> の溶解によって Ca の供給をうけていると推定された。また、農業地域にある井戸水では、NO<sub>3</sub>-N が他の地区よりも高めであった。

Key words: Ground water pollution, Well water, Ca, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub>-N

#### I はじめに

沖縄本島の北に位置する伊是名島は、半径約 5 km、南東に 100 m 程度の丘陵がはしる程度の平坦な島であり<sup>1)</sup>、現在約 2 千人が生活している<sup>2)</sup>。この島では湧水が豊富で、昔から多くの世帯が井戸水を生活用水として利用してきた。現在、水道の普及率が 91.6% に達したが<sup>3)</sup>、今もなお島民は井戸水や天水の使用を続けており、全生活用水の半分にこれらが利用されている。外崎は、島の約 8 割の世帯が井戸を所有し、そのうちの 7 割が井戸水を飲料水として使用していると報告している<sup>4)</sup>。しかしながら、このような個人の所有する井戸については検査義務がないため、これまで水質検査が行われておらず、この島の地下水の水質状況は明らかにされていなかった。そこで、本報では伊是名島における個人所有の井戸水の水質を調査すると共に、地球化学的な観点からもこの島の地下水について検討した。

#### II サンプルング及び分析

伊是名島は 5 つの地区に分かれ、伊是名、仲田、諸見、内花及び勢理客からなる。今回、この 5 つの地区の個人所有の井戸と、伊是名と仲田にある 2 つの共同井戸を含め、全 34 ポイント（うち 2 ポイントが共同井戸）の井戸水を採取した。サンプルングポイントと、それぞれの地区の特徴及び世帯数を図 1 に示す。今回、内花地区からは十分なサンプル数が得られなかったが、これは当

該地区が世帯数の少ない農業地域で、個人所有の井戸そのものが少なかったためである。

サンプルングは 3 回に分けて行い、平成 7 年 3 月 21 日に 20 ポイント、4 月 2 日に 16 ポイント行った。平成 8 年 2 月 8 日に 3 回目のサンプルングを行ったが、これは経時変化をみるためのもので、1 回目と 2 回目に行ったポイントの中から 16 ポイント抽出して行った。なお、共同井戸については、3 回とも採水している。

伊是名島での典型的な井戸を図 2 に示す。この島では深さが 10 m に満たない浅井戸がほとんどであるが、図 2 に示すように、ほぼすべて井戸水をポンプで吸い上げて使用している。また、井戸にはコンクリート等で蓋をしているため、井戸上部からの直接汚染物質が混入する恐れは少ないと考えられる。ただし、そのために井戸の中の様子（水深、藻の繁殖状態等）については調べられなかった。サンプルングではポンプで吸い上げられた水を直接採水した。

サンプルを研究所に持ち帰り、pH、COD、Cl<sup>-</sup>濃度、硝酸-亜硝酸性窒素、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Ca、Mg、K、Na、Fe、Mn、T-Hg、Pb、Cd、農薬類（シマジン、チオベンカルブ）について分析した。なお、分析方法については、Cl<sup>-</sup>濃度、硝酸-亜硝酸性窒素、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Ca、Mg、K 及び Na はイオンクロマト法で、重金属類（Fe、Mn、T-Hg、Pb 及び Cd）は原子吸光法、そして、農薬類はガスクロマトグラフィーを用いた。

\*沖縄県企業局、\*\*宮古保健所、\*\*\*琉球大学

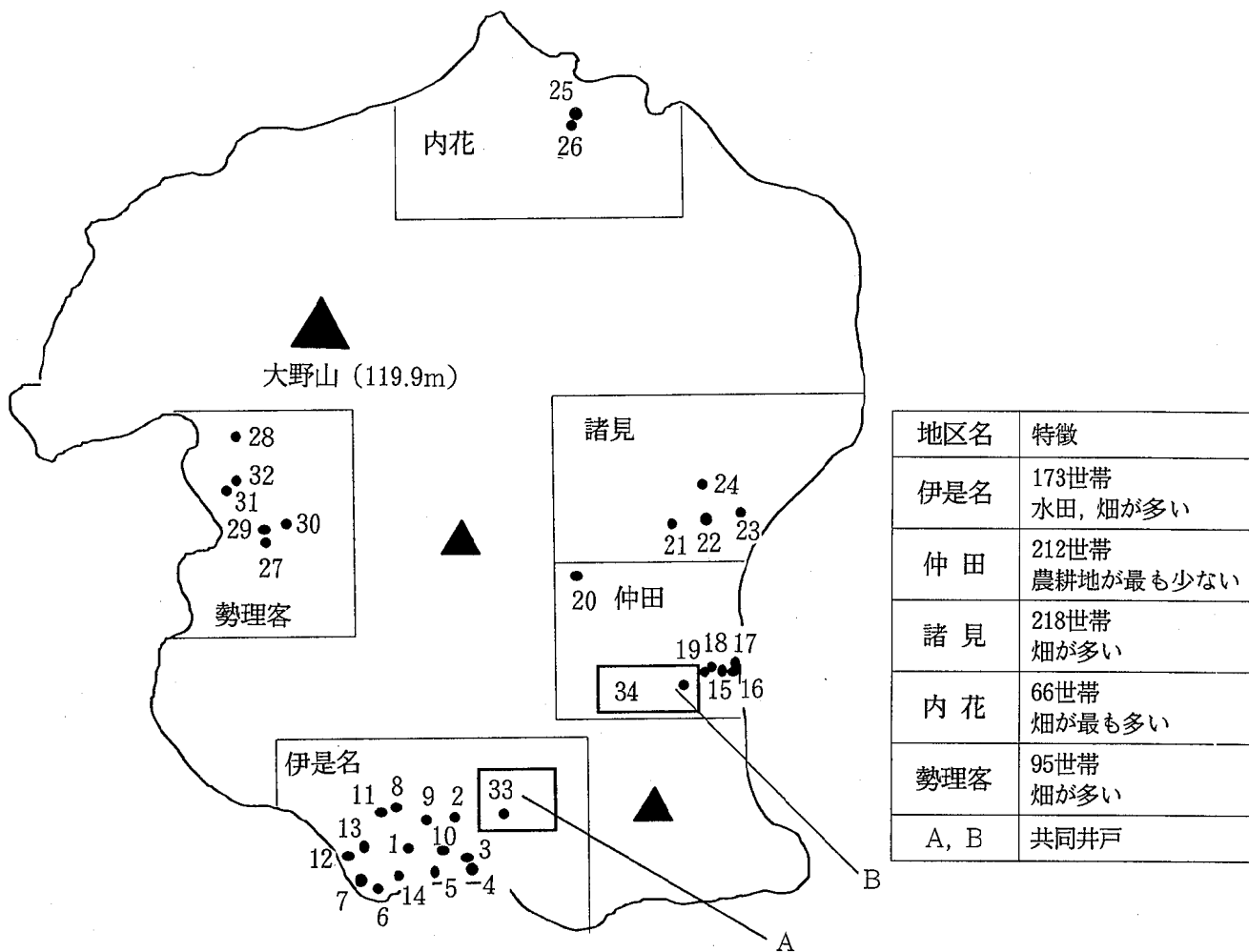


図1. サンプルングポイント及び地区の特徴.



図2. 伊是名島の一般的な井戸とサンプルング風景.

### Ⅲ 結果

#### 1. 個々の分析結果について

各項目の分析結果について以下に述べる。なお、個々の分析値については表1に、各地区の平均値については表2にまとめた。なお、T-Hg及び農薬類については検出事例がなかったので割愛した。

##### (1) pH

最小値が5.0, 最大値8.0であり平均7.1であった。伊是名、仲田及び勢理客地区は7.4に収束し、諸見(平均6.6)よりも高い値を示した。また、共同井戸の2つについては、どちらもpH5付近であり、かなり酸性化している。

##### (2) COD

最小値が0.2 mg/l, 最大値11.6 mg/l であり平均1.5 mg/l であった。最大値がでたのは、共同井戸B(ポイント35)である。地区別では勢理客地区(平均2.2 mg/l)が、他の地区より高めである。

##### (3) Cl<sup>-</sup>濃度

最小値が70 mg/l, 最大値710 mg/l であり平均150 mg/l であった。沖縄本島の南部地区で40 mg/l 程度であるから、伊是名島のCl<sup>-</sup>濃度はかなり高いことがわかる。島が小さくなるほどCl<sup>-</sup>及びNa<sup>+</sup>が高くなる傾向があるが、伊是名島でもそれがよくでている<sup>9)</sup>。なお、地区間に差はみられず、また、Cl<sup>-</sup>濃度と海岸からの距離には相関がみられなかった(例えば、伊是名地区においてポイント6は海岸のすぐ側に位置するが、Cl<sup>-</sup>濃度はポイント2や8の方が高い)。

最大値は、伊是名地区のポイント3の井戸水である。その近くにあるポイント4でも、414 mg/l という高い値を示した。この原因についてだが、この井戸を所有する家屋の裏の空き地に敷き詰められたコーラル(サンゴの残骸)による影響だということがわかった。この空き地は、もともと窪地になっていたのだが、そこに海岸の工事(平成元年)で生じたコーラルを洗浄せずに直接敷き詰め平地にしていたのである。そのため、コーラルにのこった海水成分が地下へ浸透しポイント3及び4の井戸水を汚染したのである(この2つのポイントは海水に近い成分比を示すが、この点については考察2でふれる)。

##### (4) 硝酸-亜硝酸性窒素

内花地区のポイント25で最高値(12.6 mg/l)が得られ、地区別では諸見(平均7.7 mg/l)が全体的に高く、逆に仲田地区(平均1.0 mg/l)が全体的に低い。

共同井戸の2つについては、井戸Bで一度検出されたのみで、それ以降はすべて検出限界以下であった。なお、亜硝酸性窒素についても、単独で測定してみたが、検出されなかった。窒素は、ほとんど硝酸の形で存在していると思われる。

##### (5) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

内花地区のポイント26で最高値(94.8 mg/l)が得られた。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>については、内花と諸見地区が他より高めの値がでている。逆に低いのは共同井戸の2つであった。

##### (6) Na

伊是名地区のポイント3で最高値(370 mg/l)が得られた。Cl<sup>-</sup>濃度と同様に、ポイント8でも、23 mg/l という高い値を示している。平均値は69.8 mg/l であり、地区間に差は見られなかった。

##### (7) K

全体の平均値は9.9 mg/l であり、勢理客地区でのポイント31で最高値(28.7 mg/l)が得られた。2つの共同井戸の濃度が低いという他は、地区間の差は特にみられなかった。

##### (8) Ca

伊是名地区のポイント3で最高値(284 mg/l)が得られた。Ca濃度に関してはかなり地区間の差が見られ、2つの共同井戸では5 mg/l 程度であるが、伊是名、仲田及び勢理客地区では150 mg/l 以上の濃度が検出されている。特に勢理客地区では平均値が192 mg/l とかなり高い値を示している。全体の平均値は122 mg/l である。

##### (9) Mg

内花地区のポイント26で最高値(93 mg/l)が、共同井戸のポイント34で最低値(2 mg/l)が得られた。地区間の傾向についてはCaほどははっきりみられず、共同井戸が他の地区より低いぐらいである。

##### (10) Fe及びMn

共同井戸で検出されたのみで、他の地区ではほとんど検出されなかった。

##### (11) T-Hg, Pb, Cd 及び農薬

T-Hg 及び農薬については、今回のサンプリングではいずれも検出限界以下であった。Cdについては、唯一仲田地区のポイント18で検出されたのみである。また、Pbについては、検出はされたが特に際だった数値はなく、地区間の特徴もみられなかった。これらの項目については、いずれも環境基準値あるいは水道法の基準値に

表1. 表ポイントの分析結果.

| 地区名 | 年月日 | 気温 (°C)    | 水温 (°C) | 深さ (m) | pH  | COD (mg/l) | Cl (mg/l) | NO <sub>2</sub> NO <sub>3</sub> (mg/l) | SO <sub>4</sub> (mg/l) | Na (mg/l) | K (mg/l) | Mg (mg/l) | Ca (mg/l) | HCO <sub>3</sub> (mg/l) | Fe (mg/l) | Mn (mg/l) | Pb (mg/l) | Cd (mg/l) |
|-----|-----|------------|---------|--------|-----|------------|-----------|--|------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1   | 伊是名 | H 7. 3. 21 | 19      | 4.0    | 7.7 | 1.2        | 148       | 5.5                                    | 30.7                   | 31.4      | 14.9     | 19.4      | 119       | 0.08                    | <0.01     | 0.003     | <0.001    |           |
| 2   |     | H 7. 3. 21 | 20      | 2.5    | 7.4 | 0.6        | 183       | 4.2                                    | 21.8                   | 31.7      | 12.1     | 2.1       | 165       | 0.13                    | <0.01     | 0.004     | <0.001    |           |
| 3   |     | H 7. 3. 21 | 20      | 3.0    | 7.2 | 1.4        | 710       | 0.1                                    | 87.6                   | 370.0     | 12.2     | 79.6      | 284       | 0.63                    | 0.19      | 0.003     | <0.001    |           |
| 4   |     | H 8. 2. 8  | 18      | 3.0    | 7.1 | 1.2        | 197       | 2.5                                    | 36.0                   | 118.7     | 8.3      | 27.1      | 141       | 230                     | 0.11      | <0.01     | <0.002    | <0.001    |
| 5   |     | H 7. 3. 21 | 18      | 4.5    | 7.3 | 0.6        | 249       | 2.5                                    | 59.4                   | 159.9     | 10.4     | 35.0      | 105       | 196                     | 0.11      | <0.01     | 0.002     | <0.001    |
| 6   |     | H 7. 3. 21 | 18      | 3.0    | 7.9 | 0.6        | 141       | 4.0                                    | 34.3                   | 26.5      | 7.0      | 25.0      | 115       | 0.17                    | 0.04      | 0.003     | <0.001    |           |
| 7   |     | H 7. 3. 21 | 18      | 3.0    | 6.9 | 0.8        | 127       | 4.1                                    | 29.2                   | 36.0      | 9.2      | 29.0      | 112       | 0.20                    | <0.01     | 0.004     | <0.001    |           |
| 8   |     | H 7. 3. 21 | 18      | 8.0    | 7.4 | 3.2        | 169       | 2.3                                    | 23.4                   | 42.6      | 4.6      | 28.8      | 183       | 0.11                    | 0.01      | 0.003     | <0.001    |           |
| 9   |     | H 8. 2. 8  | 17      | ?      | 7.1 | <0.5       | 150       | 2.0                                    | 70.4                   | 57.5      | 4.6      | 18.6      | 126       | 215                     | 0.07      | 0.01      | 0.003     | <0.001    |
| 10  |     | H 7. 4. 2  | 17      | 5.0    | 7.4 | 1.0        | 77        | 2.2                                    | 33.4                   | 39.0      | 10.1     | 26.4      | 181       | 0.16                    | 0.01      | 0.002     | <0.001    |           |
| 11  |     | H 7. 4. 2  | 17      | 4.2    | 7.3 | <0.5       | 84        | 5.3                                    | 18.3                   | 25.0      | 6.4      | 20.6      | 132       | 0.04                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 12  |     | H 7. 4. 2  | 19      | 3.0    | 7.6 | 1.0        | 84        | 4.1                                    | 27.2                   | 34.6      | 9.7      | 36.3      | 132       | 0.11                    | 0.01      | 0.002     | <0.001    |           |
| 13  |     | H 8. 2. 8  | 20      | ?      | 7.6 | 0.6        | 79        | 5.8                                    | 36.3                   | 64.3      | 9.2      | 25.1      | 77        | 151                     | 0.05      | <0.01     | 0.004     | <0.001    |
| 14  |     | H 7. 4. 2  | 14      | 3.5    | 7.8 | 0.6        | 105       | 1.1                                    | 26.2                   | 32.7      | 6.4      | 33.3      | 119       | 0.09                    | <0.01     | 0.006     | <0.001    |           |
| 15  | 仲田  | H 7. 4. 2  | 14      | 7.3    | 7.6 | 0.6        | 91        | 3.4                                    | 33.8                   | 42.2      | 16.1     | 36.1      | 184       | 0.22                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 16  |     | H 7. 3. 21 | 21      | 15.0   | 7.7 | 1.6        | 116       | 1.6                                    | 33.1                   | 42.4      | 8.7      | 31.5      | 107       | 0.20                    | <0.01     | 0.003     | <0.001    |           |
| 17  |     | H 8. 2. 8  | 20      | 4.0    | 7.9 | 1.8        | 95        | 4.8                                    | 44.6                   | 69.7      | 7.0      | 27.9      | 89        | 158                     | 0.20      | 0.02      | 0.003     | <0.001    |
| 18  |     | H 7. 3. 21 | 20      | ?      | 7.4 | 1.8        | 165       | <0.1                                   | 41.1                   | 56.6      | 7.7      | 35.7      | 171       | 193                     | 0.11      | 0.03      | 0.006     | <0.001    |
| 19  |     | H 8. 2. 8  | 20      | 7.3    | 7.5 | 1.8        | 172       | 0.9                                    | 37.1                   | 61.1      | 14.0     | 55.6      | 105       | 0.12                    | <0.01     | 0.008     | 0.002     |           |
| 20  |     | H 7. 4. 2  | 16      | 8.0    | 8   | 1.4        | 112       | 3.1                                    | 48.4                   | 52.3      | 11.1     | 37.3      | 220       | 0.09                    | <0.01     | 0.003     | <0.001    |           |
| 21  |     | H 7. 4. 2  | 16      | 8.0    | 7.5 | 1.4        | 169       | 0.3                                    | 31.1                   | 67.7      | 9.6      | 59.7      | 225       | 198                     | 0.09      | 0.02      | 0.003     | <0.001    |
| 22  |     | H 8. 2. 8  | 14      | 9.0    | 7.7 | <0.5       | 77        | <0.1                                   | 22.6                   | 76.1      | 6.2      | 28.7      | 100       | 0.08                    | 0.03      | 0.003     | <0.001    |           |
| 23  |     | H 7. 4. 2  | 14      | ?      | 6.1 | <0.5       | 90        | 0.3                                    | 56.6                   | 58.3      | 7.9      | 21.7      | 79        | 151                     | 0.05      | <0.01     | <0.002    | <0.001    |
| 24  |     | H 8. 2. 8  | 19      | 12.7   | 7.7 | 0.8        | 141       | 9.3                                    | 81.5                   | 40.1      | 3.4      | 27.0      | 29        | 52                      | 0.08      | <0.01     | 0.002     | <0.001    |
| 25  | 諸見  | H 8. 2. 8  | 19      | 12.7   | 6.1 | 0.8        | 96        | 8.4                                    | 95.3                   | 92.7      | 5.3      | 26.7      | 29        | 0.08                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 26  |     | H 7. 3. 21 | 20      | 12.5   | 6.2 | 1.0        | 95        | 8.0                                    | 27.1                   | 27.9      | 9.2      | 19.4      | 76        | 0.01                    | <0.01     | <0.002    | <0.001    |           |
| 27  |     | H 7. 3. 21 | 20      | 18.2   | 6.9 | 0.6        | 126       | 7.8                                    | 70.7                   | 36.7      | 4.06     | 54.5      | 54        | 0.08                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 28  |     | H 7. 3. 21 | 21      | ?      | 6.7 | 0.8        | 144       | 7.4                                    | 75.2                   | 56.8      | 24.3     | 29.8      | 71        | 0.08                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 29  |     | H 8. 2. 8  | 21      | 18     | 6.7 | 0.8        | 105       | 5.1                                    | 86.8                   | 117.0     | 46.8     | 24.5      | 43        | 153                     | 0.11      | <0.01     | 0.006     | <0.001    |
| 30  | 内花  | H 7. 3. 21 | 21      | 15.0   | 6.1 | <0.5       | 137       | 12.6                                   | 70.1                   | 61.2      | 7.7      | 33.3      | 53        | 0.03                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 31  |     | H 8. 2. 8  | 14      | 7.0    | 7.7 | 0.8        | 150       | 1.2                                    | 60.1                   | 66.7      | 5.8      | 21.8      | 118       | 0.07                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 32  |     | H 7. 4. 2  | 21      | 3.0    | 7.6 | 0.8        | 141       | 5.0                                    | 94.8                   | 110.5     | 7.1      | 93.3      | 185       | 0.03                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 33  | 勢理客 | H 7. 3. 21 | 21      | 5.0    | 7.3 | 2.8        | 91        | 4.2                                    | 17.6                   | 24.7      | 8.7      | 23.2      | 167       | 0.07                    | <0.01     | 0.002     | <0.001    |           |
| 34  |     | H 7. 3. 21 | 21      | 5.0    | 7.3 | 1.0        | 127       | 1.3                                    | 22.4                   | 45.9      | 4.5      | 31.4      | 167       | 0.06                    | <0.01     | <0.002    | <0.001    |           |



照らし合わせても、問題となる数値は検出されなかった。

2. 水道法の基準値との比較

伊是名島における井戸水利用については、8割が飲用となっている。この点をふまえ、分析結果を水道法の基準値と照らし合わせてみたのが図3である。この図では、基準値を1としたときの相対値をレーダーチャートで示した。ここでは、値がチャートの中央の1のエリアに収まっていれば、基準値内、つまり飲用可能であることを表している。なお、硬度については、CaとMgのデータを用い下記の式より算出した<sup>9)</sup>。

$$\text{総硬度 (mg/l)} = \text{Mg (mg/l)} \times 4.118 + \text{Ca (mg/l)} \times 2.497$$

また、T-Hg、Pb、Cd及び農薬については特に問題のなかったため、チャートの項目から割愛した。

この図で示すように、伊是名島では硬度の高い井戸水が多い。水道法の基準では硬度は300 mg/l以下となっ

ているが、伊是名、仲田及び勢理客地区では、ほぼすべてが基準値を越えている。伊是名地区で基準値の3倍を越える値が検出されているが、これは前述(「(3)Cl濃度」を参証)のとおり、コーラルによる汚染されたポイント3である。なお、これら3つの地区で基準値を越えなかったのは、仲田地区のポイント20のみであった。

硝酸一亜硝酸性窒素については、内花地区のポイント25で基準値10 mg/lを越えるものが検出された。しかし、後の調査では、1.2 mg/lにまで減少しており、かなりの変動がみられる。地区別では、基準値内ではあるが諸見地区が高い。

共同井戸の2つについては、この図からわかるように、実によく似た傾向を示している。pHが基準値(5.8~8.6)より低く、また、Fe及びMnも基準値を越えている。しかしながら、他の項目については、CODが一度基準値を越えたのみあり、硬度もこの島では珍しいほど低かっ

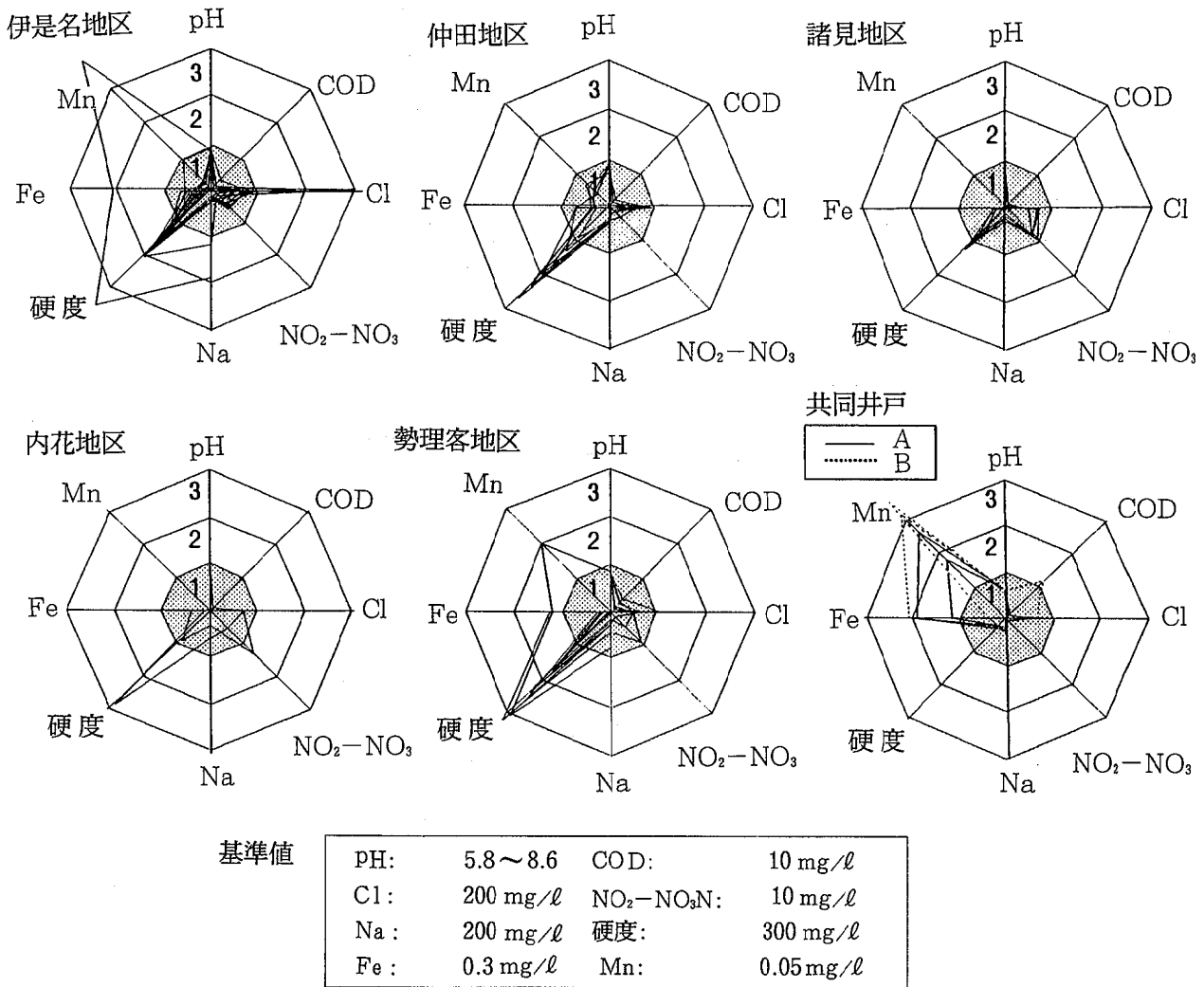


図3. 水道法の基準値を1としたときのレーダーチャート。

た。

以上の結果から、伊是名島の井戸水は、直接飲用に用いるには支障がある。仮に飲用に用いる場合は硬度除去の必要があろう。特に、硬度の高い伊是名、仲田及び勢理客地区は必須である。今回分析した全ての項目で、比較的良かったのは諸見地区の井戸水であるが、この地区は硝酸-亜硝酸性窒素が高く、直接飲用するには「安全」とはいえない。

#### IV 考察

##### 1. 硬度の地域性

伊是名島の井戸水は硬度が高いということは、先に述べた通りである。特に、伊是名、仲田、勢理客地区では、ほぼすべての井戸水が水道法の基準値を越えている。しかしながら、その一方で2つの共同井戸では、CaやMgは非常に少ない。このような地域性がた点については、地質的な違いが強く影響していると思われる。

図4は、木崎らが作成した伊是名島の地質図にサンプリングポイントを重ねたものである<sup>7)</sup>。この図から判るように、硬度の高かった伊是名、仲田及び勢理客地区はいずれも新期砂丘砂層上に位置し、地質的に酷似している。この地区でのCa及びMgの供給は、同様のメカニズムではないかと推定される。この3地区で唯一硬度が基準値以下であった仲田地区のポイント20であるが、ここは砂岩・頁岩互層に属し地質が他の仲田地区のポイントと異なっている。そのため、ポイント20の成分は、仲田地区のそれよりも同じく砂岩・頁岩互層上に位置している諸見地区に近い。ポイント20の南側には予備水源があるが、こちらも砂岩・頁岩互層に属し、その硬度が125 mg/l である<sup>8)</sup>。一方、硬度の低い2の共同井戸であるが、こちらはチャート層（不透水層）からなる丘の周辺に位置しているため、CaやMg等の金属イオン含む地質からそれらの供給をうける前に湧出していると推定される（ただし、pHがなぜ低いのか、またFeやMnのみが湧出しているのかについては、まだ明らかになっていない）。

##### 2. Caの供給源について

陸水でのCaの供給源としては、石灰岩等の地質に含まれるCaCO<sub>3</sub>の溶解がある。しかしながら、硬度の高い伊是名、仲田及び勢理客地区は、地質が共に砂丘砂層であり、また、海岸の近くであるため、海水の混入による影響も考えられる。たしかに、伊是名島の水は多く塩分を含んでいるのである。ここでは、Caの供給源として、どちらが大きく寄与しているか考えたい。

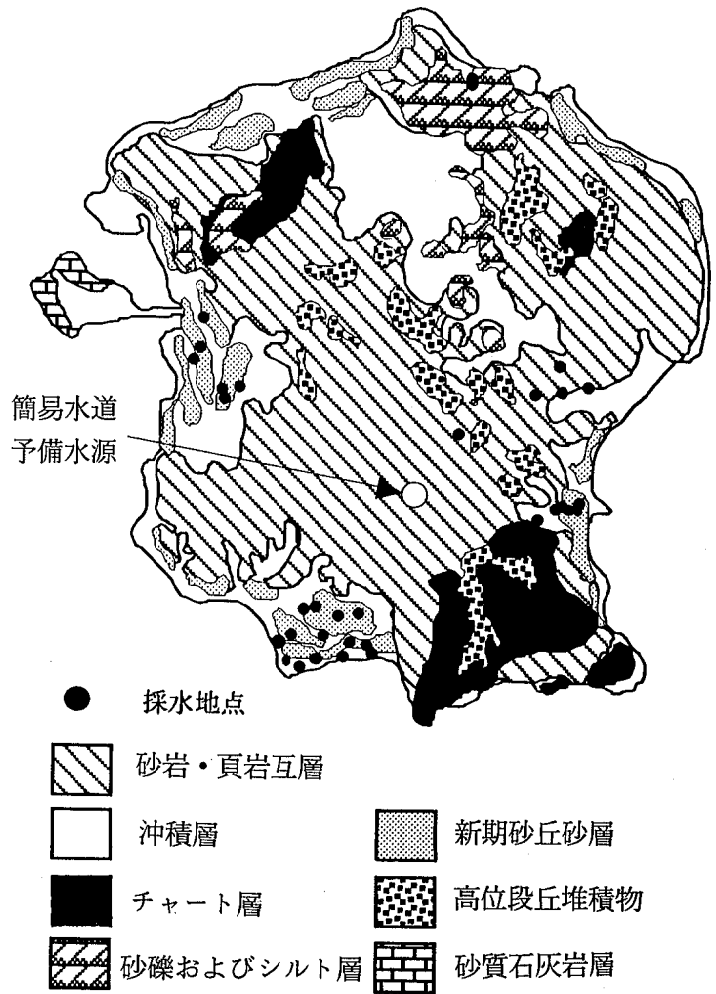


図4. 伊是名島の地質とサンプリングポイント。

海水の混入した湧水に関しては本島内でもいくつか例があり、兼島らの行った本部町の塩川湧水や今帰仁村の湧川湧水について報告がある<sup>9)</sup>。この二つの湧水のCa濃度は150 mg/l であり、伊是名島のそれと同レベルである。この報告で彼らは、これらの海水の混入した地下水についてはSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>やMgなどの海水中に多く含まれる物質と塩分との成分比は海水の比と同じであることを明らかにしている。その例に倣い、伊是名の井戸水のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na、Mg及びCaの各成分と塩分との関係をプロットしたのが、図5である。図中の直線は海水での塩分と各成分との比、つまり、供給源が海水であった場合のCl<sup>-</sup>濃度から推定されるその成分の濃度を示す。なお、ここでは比較のため、明らかに海水が混入している那覇市の埋立地にある井戸水についてもプロットした（図中では、海水混入井戸と表記）。もし、海水の混入が大きく影響しているならば、各成分のプロットした点はラインに近づくはずである。

これらの図で、海水中に多く含まれるNa、Mg及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の成分については、コーラルの汚染のあったポイ

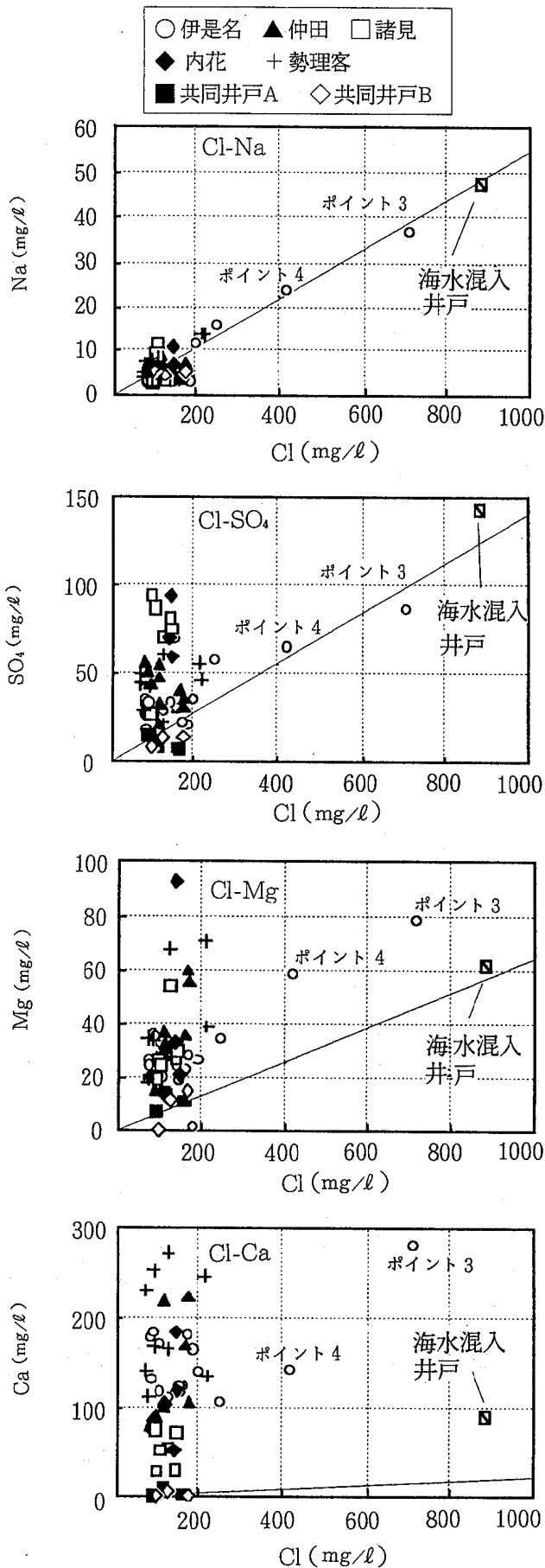
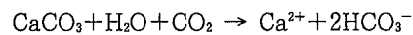


図5. Clとの関係.

ント3及び4は、那覇市の井戸と同じように海水のラインに近い。しかし、それ以外のポイントは、どの成分も塩分との間に相関性がみられない。Naを除くと、ほとんどの成分は海水の比を示すラインから外れている。CaとClとの関係を示した図ではそれが顕著で、硬度の高い地区のポイントはラインより遙か上にプロットされる(なお、海水混入井戸についてもラインからずれているが、これは地質からも多少のCa供給があるためである。同様の現象は今帰仁村の湧川湧水でもみられる<sup>9)</sup>)。つまり、各成分とも海水の混入でもたらされるよりも過剰に存在しているのである。例えば、伊是名地区においてはCl濃度が平均182 mg/l であるが、これが全て海水由来だとしても、それに伴い供給されるCaは3.6 mg/l 程度である(塩分とCaの比を0.02として算出)。しかし、伊是名地区のCa濃度の平均は145 mg/l であり、100 mg/l 以上も過剰に存在しているのである。また、同様の計算をMgでおこなっても、海水由来のMgは実測値の10%にしか達しない。現在のところ、井戸水に何%海水が混入しているかは明らかにできないが、このことから少なくとも海水の混入は硬度を高める原因にはなりえないことがわかる。

一方、石灰岩等に含まれるCaCO<sub>3</sub>の溶解についてだが、地質中のCaCO<sub>3</sub>の溶解は、地下水中に溶存するCO<sub>2</sub>が接触することによってなされる。その反応は以下の通りであり、



この場合、水質はCa-HCO<sub>3</sub>型になる。しかし、地質や岩石との接触時間が長くなると、CaやMgは粘土鉱物中のNaと交換されるため、水質はNa-HCO<sub>3</sub>型に遷移していく<sup>9)</sup>。同一地点であれば、深い帯水層ほどNa-HCO<sub>3</sub>型となる。伊是名島井戸水におけるCaとHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の関係を示したのが図6である。この図からもわかるように、伊是名島の井戸水のCaはHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>と強い相関がある。全体の相関係数は、0.94であった。また、Na-HCO<sub>3</sub>間には相関が見られない(相関係数 0.38)ことから、伊是名島の井戸水はCa-HCO<sub>3</sub>型といえよう。この結果は島の井戸のほとんどが10mにもみない浅井戸であり、帯水層が浅いということとも矛盾しない。硬度の高い3地区については、この地区だけでも相関係数0.84という高い値が出ており、ほぼ直線上にプロットできる。前述の通り、この3地区は同一の地質であり、この結果からもこれらの地区は同じように地質からCaを供給されているといえよう。

以上の結果から、伊是名島の井戸水のCaの供給源は



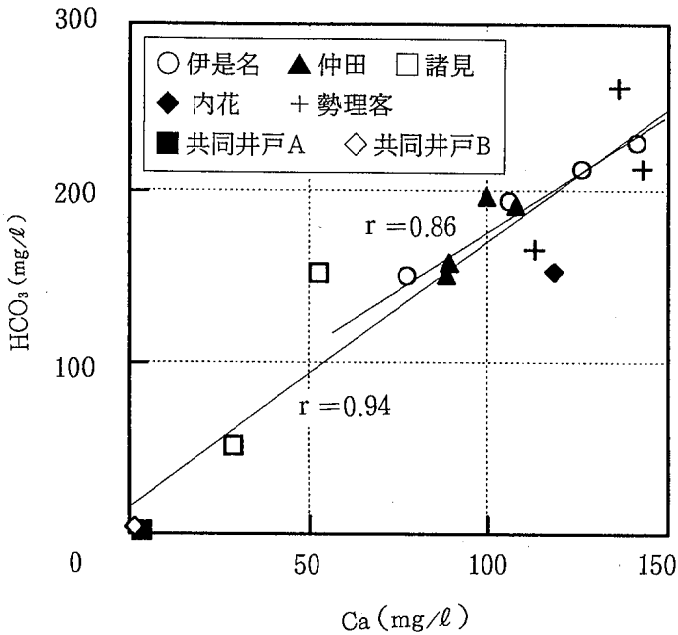


図6. CaとHCO<sub>3</sub>の関係.

主に地質であり、海水がどれほど混入しているかは定かではないが、Caの供給源としての寄与は無視できるといえる。

### 3. 硝酸-亜硝酸性窒素について

先に実験結果で述べたように、諸見及び内花地区は硝酸-亜硝酸性窒素が高い傾向がある。内花地区で、最高値12.6 mg/lが検出され、また、内花地区では10 mg/lを越えないものの平均値が7.7 mg/lである。一般的に地下水の硝酸-亜硝酸性窒素の汚染原因としてあげられるのは、以下の三つである。

- a) 生活排水およびし尿
- b) 農業
- c) 肥料成分の溶脱

その原因についてだが、諸見地区の場合、a)とb)については、その原因からはずしてよいと思われる。その理由についてだが、まず、a)については、伊是名島では島内に処理施設を設け、普及率が90%におよんでおり<sup>2)</sup>、生活排水及びし尿の地下浸透は、ほとんど行われていない。し尿あるいは生活排水の地下浸透の場合、大腸菌が容易に検出される<sup>3)</sup>が、これらの地区では大腸菌は検出されなかった。また、し尿を地下浸透させれば、その中に含まれる尿素はNH<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub> → NO<sub>3</sub>へと変化するのだが、NH<sub>3</sub>及びNO<sub>2</sub>のどちらも検出限界以下であった。次にb)の農業についてだが、水道法で定められた規制物質以外のチッ素系農業も調べてみたが、検出されなかった。

これらのことから、諸見-内花地区の硝酸性窒素の汚染源としては、これらの地区に広がるサトウキビ畑で使用される肥料からの溶脱が原因と推定される。肥料に溶脱による汚染の場合、NO<sub>3</sub>とCaあるいはMgの間に相関関係がみられる場合があるが、諸見-内花地区ではNO<sub>3</sub>-Caの相関係数が-0.59、NO<sub>3</sub>-Mgが-0.11であり、どちらも相関関係はみられない。Caに関しては地質中の炭酸塩からの供給が主であるからであろう。硝酸性窒素の汚染については、現在、肥料の種類やその使用量などについてのデータがないため、その因果関係についてはまだ検討を要する。

## V まとめ

伊是名島の個人所有の井戸水についての水質を調べたところ、半径5kmほどの島であるにもかかわらず、地区間の差が顕著に見られた。

1. 伊是名、仲田及び勢理客地区は硬度が高く、これらの地区ではほぼすべての井戸水が飲料基準を越える。これらの地区はいずれも新規砂丘砂層上に位置し地質的に類似しているため、同一のメカニズムでCaの供給をうけていると思われる。CaとMgの供給源としては、海水の混入による寄与は無視でき、多くは地質中の炭酸塩の溶解によるものである。

2. 2つの共同井戸は、直線距離で1 kmは離れているにもかかわらず実に酷似した水質であった。CaとMgは低いものの、Fe、Mn及びpHで基準値(Fe 0.3 mg/l, Mn 0.05 mg/l, pH 5.8~8.6)を満たしていない。この井戸は、チャート層(不透水層)からなる山の周辺に位置するため、CaやMgの供給を受けなかったと思われる。

3. 諸見地区の水質は、全ての項目でほぼ基準値内に収まってはいるが、全体的にNO<sub>2</sub>-NO<sub>3</sub>N濃度が高い。この原因については、諸見地区の井戸の周囲には畑が広がっており、そこで使用される肥料等の影響であろう。内花地区で最高値(12.6 mg/l)が検出されたが、これも同様の理由と思われる。

4. 伊是名地区で異常にCl<sup>-</sup>濃度の高い井戸があったが、これは家屋の裏に敷き詰めたコーラルによる汚染であり、平成7年のサンプリングでは、かなり海水に近い成分比を示した。

## VI 参考文献

- 1) 木崎甲子郎編(1985)琉球弧の地質史。沖縄タイムス社, pp.89-90.
- 2) 沖縄県企画開発部(1995)離島関係資料(平成8年)

- 版). pp .10.
- 3) 沖縄県環境保健部生活衛生課 (平成 5 年度) 沖縄県の水道概要.
  - 4) 外崎由紀子 (1995) 沖縄県 1 離島における井戸水の利用とその水質について, 沖縄県公衆衛生学会発表抄録集 : pp.51-52.
  - 5) 西平孝編 (1988) 沖縄の珊瑚礁, 財団法人 沖縄環境科学検査センター, pp.51-55.
  - 6) 厚生省生活衛生局水道環境部監修 (1993年版) 上水試験法, 日本水道協会, pp.102.
  - 7) 生活衛生課 (1995) 平成7年度簡易水道水質測定データ.
  - 8) 沖縄県教育委員会 (1977) 塩川動態調査報告 III, pp.13-20.
  - 9) 石塚伸一 (1994) 黒石扇状地における地下水質の地球化学的検討, 青森県環境保健センター研究報告 5 : pp.41.
  - 10) 環境庁水質保全局水質管理課監修 (1993) 硝酸性窒素による地下水汚染対策ハンドブック, 公害研究センター, pp.128.