

1986年伊豆大島火山の噴火により形成された 小清水温泉(大島温泉浜の湯)

工業技術院地質調査所

高橋正明・阿倍喜久男・野田徹郎・風早康平・安藤直行・曾屋龍典

(平成11年8月19日受付、平成11年11月22日受理)

Koshimizu thermal spring formed in the 1986 eruption of Izu Oshima Volcano

Geological Survey of Japan

Masaaki TAKAHASHI, Kikuo ABE, Tetsuro NODA,
Kohei KAZAHAYA, Naoyuki ANDO and Tatsunori SOYA

Abstract

Periodic temperature and geochemical observations were carried out on the Ghyben-Herzberg's lens type and perched water type groundwater at 52 sites in Izu Oshima Volcano since November immediately before the 1986 eruption. Enormously rising of groundwater temperature and chemical concentrations was observed at five wells, which are in about 1 km of the Koshimizu well in northern part of Motomachi area, northwestern part of the island. The rising of water temperature and dissolved chloride concentration was observed since about half a year after the 1986 eruption, whereas the rising of dissolved carbonate and carbon dioxide concentrations was since just after the eruption.

The results lend us to conclude the followings;

- (1) Volcanic gases, which have temperature variations, were spread in 1986 eruption of Izu Oshima Volcano. The rising of dissolved carbonate and carbon dioxide concentrations is caused by the intrusion of carbon dioxide gases to the surface of groundwater layer, where relatively low temperature volcanic gases about 40°C spread.
- (2) The rising of water temperature and dissolved chloride concentrations is caused by the development of the thermohaline convection in the Ghyben-Herzberg's lens type groundwater layer, where relatively high temperature volcanic gases about 60°C intruded.

キーワード：伊豆大島、1986年噴火、小清水、Ghyben-Herzberg's型地下水層、熱塩対流、大島温泉浜の湯

1. 緒言

火山性温泉とは火山作用(volcanism: 荒牧, 1975)により形成する温泉系の総称である。火山作用には、いわゆる火山活動・噴火現象(volcanic activity・eruptive phenomena)の他、火成作用(magmatism)、火成活動(igneous activity)等の概念も含まれるので、火山性温泉の形成機構は極めて複雑多岐である。しかし、火山活動・噴火現象が直接火山性温泉を形成した例、すなわち火山の噴火後の地下水温泉化

の観測例は1910年有珠火山噴火後に出現した洞爺湖温泉(山口ほか,1980)、1977年同山噴火により、数十℃もの水温上昇が観測された壮瞥温泉(安孫子,1984; 洞爺湖温泉東隣)および1986年伊豆大島火山の噴火後に出現した小清水温泉(高橋ほか,1988; 1991)の3例が知られているに過ぎない。

本報では、小清水温泉の化学組成・同位体組成の変化過程を報告するとともに、火山島の地下水系が温泉化していく機構について考察したい。なお本温泉の正式名称は大島温泉浜の湯である(所在地は元町北部、長根浜公園)。しかし伊豆大島のカルデラ内にある大島温泉ホテル、対岸である伊豆半島の熱川温泉浜の湯、などと名称が混乱しやすいこと、温泉井は元町北部、小清水地区にある小清水揚水井であること(揚水後長根浜公園まで自然流下)、これまでも「小清水」の名称を用いて報告していることなどから、ここでは小清水温泉と呼ぶことにする。また、1986年伊豆大島火山噴火の経過については日本火山学会(1988)などに詳細に述べられている。

2. 火山島の地下水

火山島など海洋島では、大別してGhyben-Herzberg's lens 型地下水層とperched water (宙水)という2種類の地下水系がある。Ghyben-Herzberg's lens 型地下水層は島中央部に向かって分厚くなる凸レンズ状型をした天水起源の淡水層で、海水起源の塩水層上に密度成層している。水面の高さは海水準付近にある(Macdonald and Abbott, 1970)。Ghyben-Herzberg's lens型地下水層は透水性の高い例えば石

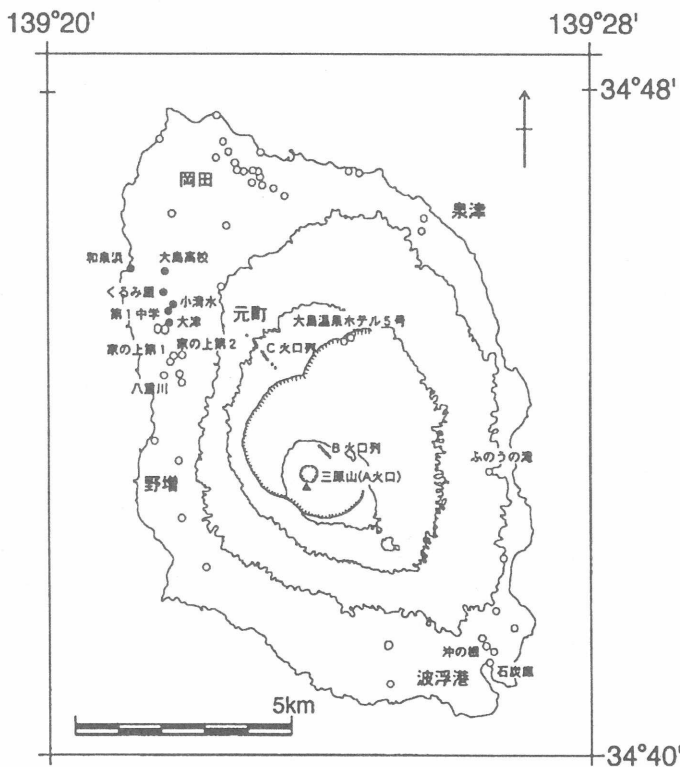


Fig.1 Locality map of sampling points.

○: Wells and springs in northern part of Motomachi area, where noticeable temperature rising were observed after the 1986 eruption of Izu Oshima Volcano. Contour intervals are 200m.

図1 試料採取地点図

○: 1986年の噴火後に地下水温が高温化した元町北部にある揚水井、湧水。等高線間隔は200m。

灰岩層からなる島々では典型的な発達が見られる(古川,1981)。しかし火山島においては、地下水の透水性・胚胎層となる溶岩中の開口した節理や自破碎部分、火砕流堆積物の強溶結部分あるいはこれらの岩石の二次的な堆積物である砂礫層などの地層と、不透水層となる泥流堆積物、集塊岩、凝灰岩、古土壌、岩脈などの地層の分布が非常に複雑であるため、Ghyben-Herzberg's lens 型地下水層の分布状況にかんする情報は一般には希薄である(農業用地下水研究グループ「日本の地下水」編集委員会、1986)。伊豆大島では主に北西部元町地区と南東部波浮港地区にGhyben-Herzberg's lens 型地下水層の発達が見られる(高橋ほか,1987; 1991)。また高橋ほか(1991)は伊豆大島のGhyben-Herzberg's lens 型地下水層には局所的に微高温(最高31.5℃)である場所が存在していること、このような局所的な地下水微高温域の形成には溶岩噴出、側火山の形成など

過去の火山活動が関連している可能性があることを示した。高橋ほか(1991)はこのような局所的な地下水微高温域にある熱水を「温塩水」と呼んだ。

一方、perched waterは上述した様々な種類の不透水層に沿って流下している天水起源の地下水(宙水)である。火山島では岩脈に仕切られ孤立した地下水系である場合も多く、dike water (Macdonald and Abbott, 1970)、isolated groundwater compartment (Ecker, 1976)などと呼ばれている。地下水面は不透水層の高さに関連しており、一般に海面より高標高である。伊豆大島東崖部にある「ふのうの滝」はこの例である(Fig.1参照)。

3. 地下水温・水質の定期観測

1986年11月15日に伊豆大島三原山の山頂A火口から噴火が発生した。その後21~23日には三原山山腹~カルデラ床B火口列及び外輪山山腹C火口列からの噴火も発生した(Fig.1; 例えば、川辺(1998)を参照)。著者らはその直前、11月6日~14日に火山島における熱水系の存在状態を調査する目的で伊豆大島全域で温泉・地下水の試料採取を行っていたので、温泉・地下水系への火山活動・噴火現象による火山ガスの付与など地球化学的影響に関する調査を行うことを目的とし、島内の温泉・水道用揚水井および自然湧出泉の水温、水質について1カ月ごとに定期観測を行うこととした(高橋ほか, 1987)。当初観測点数は13であったが、翌1987年9月に元町北部にある小清水揚水井において、それまで19.1~19.6℃であった水温が27.5℃まで上昇していることが観測され(高橋ほか, 1991)、また水温高温化域が周辺の揚水井にも拡大してきたので観測点を適宜増やした。そのため最終的な観測点数は定期観測・臨時観測を含め52となった。Fig.1に地下水温・水質の観測地点を示した。地下水の採取方法、地下水温・水質の測定・分析方法については高橋ほか(1987; 1991)に述べた。

4. 結果と考察

4. 1 水温の変化

Fig.2に、伊豆大島のGhyben-Herzberg's lens型地下水層から揚水している地点における地下水温の変化を示した。高橋ほか(1991)は、①伊豆大島のGhyben-Herzberg's lens地下水層の平均水温は17~21℃程度である(最頻値は18~19℃)が、同時に地下水温には年周変動が観測されること(元町北部の天津揚水井、元町南部の八重川揚水井および波浮港地区の沖の根と石炭庫揚水井、Fig.3)、②元町中・南部の地下水層では「温塩水」層上昇の影響を受け最大1年に1℃程度の温度上昇が観測されたこと、および③元町北部の地下水層では小清水揚水井付近を中心として、周辺にある揚水井に

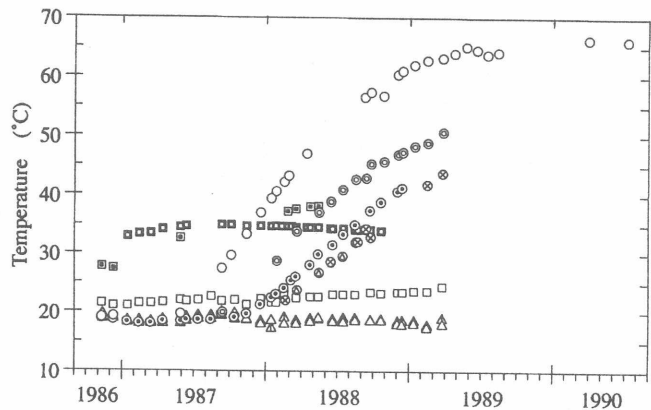


Fig.2 Monthly changes of subsurface water temperature at observation wells penetrating fresh water bodies of the Ghyben-Herzberg's lens.

○: Koshimizu, ⊙: Dai-ichi Jounior High School, ⊗: Otsu, ⊗: Hotel Kurumi-ya, ⊕: Oshima High School (northern part of Motomachi area), ■: Ienoue No.1, □: Ienoue No.2, □: Yaegawa (central and southern part of Motomachi area) △: Sekitanko, △: Okinone (Habuminato area)

図2 Ghyben-Herzberg's lens型地下水層から採取している観測点における地下水温の経時変化

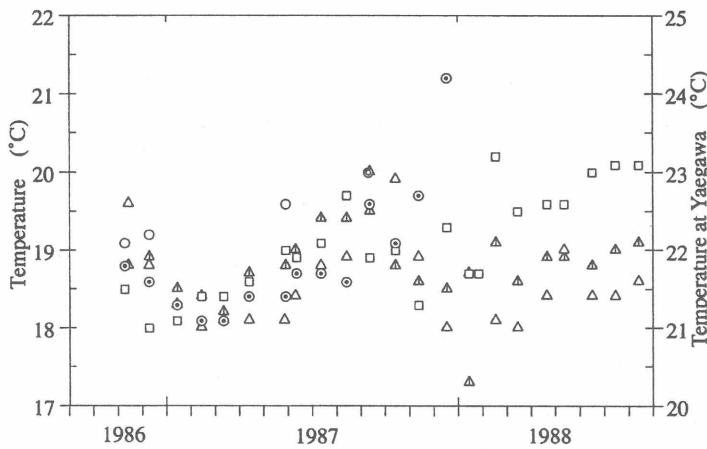


Fig.3 Monthly changes of subsurface water temperature at Koshimizu, Dai-ichi Jounior High School, Otsu, Yaegawa, Sekitanko and Okinone observation wells.

Legends are shown in Fig.2. Temperature change at Yaegawa obseration well is shown by the right-side Y axis.

図3 小清水、第1中学、大津、八重川、石炭庫および沖の根各揚水井における地下水水温の経時変化
記号は図2と同じ。八重川の水温変化を3℃ずらして表示してある。

において数十℃もの著しい温度上昇が観測されたことを示した。

③に示した著しい温度上昇が観測されたのは、小清水揚水井(水道用水源)を中心として半径1km以内に分布している第1中学(プール)、大津(水道)、くるみ屋(ホテル; 現在湯の宿くるみ屋)および大島高校(プール)の5揚水井である。Fig.3に示した地下水水温の年周変動を考慮して、各揚水井の温度上昇時期、温度上昇率、小清水揚水井との距離を推定すると以下の通りである。

①小清水揚水井では、1987年5月の段階ですでに他の揚水井より、0.5~1℃高温になっ

ている(Fig.3)ことから、水温上昇開始時期は1987年5月以前であると推定できる。大津揚水井における水温変化を参考にすると、水温上昇開始時期は5月上旬、伊豆大島火山の噴火から約165~180日後となる。水温上昇率は0.1℃/day=3.0℃/month程度である。

②第1中学揚水井では、1987年9月の段階では水温上昇が始まっているのか判定できない(Fig.3)が、水温上昇線の外挿から9月下旬と推定できる。小清水揚水井における温度上昇の開始から135日程度後である。水温上昇率は0.075℃/day = 2.25℃/month程度である。

③大津揚水井では、1987年11月の段階では確実に水温上昇が始まっている(Fig.3)。水温上昇線の外挿から11月上旬と推定できる。小清水揚水井における温度上昇の開始から180日程度後である。水温上昇率は0.065℃/day = 1.95℃/month程度である。

④くるみ屋および大島高校両揚水井では、水温上昇線の外挿から1987年12月上旬と推定できる。両揚水井の間には温度上昇時期の違いが認められない。小清水揚水井における温度上昇の開始から220日程度後である。水温上昇率は0.06℃/day = 1.8℃/month程度である。

⑤各揚水井とも、温度上昇率が一定で継続する期間は温度上昇開始から約1年間であり、その後ほぼ一定となった。(Takahashi et al.,1991)。

加藤ほか(1990)は、小清水揚水井とその上流100m以内では土壌中の炭酸ガス濃度が2%以上含まれ明らかに周辺部より高濃度であることを示した。高橋ほか(1991)は、小清水揚水井における坑井空気中の水銀濃度は40ng/m³と通常の8倍もの濃度であることを示した。これらのことから小清水揚水井付近に高温化地下水上昇域があることが推定できる。小清水揚水井付近に上昇域があり、地下水の流れに乗って周辺部に熱水が広がったと仮定すると以下の通りとなる。

①小清水揚水井と第1中学揚水井、大津揚水井との距離と到達日数はそれぞれ200m、300mと135日、180日である。ここから計算される地下水流動速度は1.5m/dayおよび1.7m/dayとなる。

②小清水揚水井とくるみ屋、大島高校との距離と到達日数はそれぞれ500m、900mと220日である。ここから計算される地下水流動速度は2.3m/dayおよび4.1m/dayとなる。

③地形的に見てくるみ屋、大島高校の下流域にあたる和泉浜では、小清水揚水井における温度上昇開

始から600~650日程度後の1989年2月~3月に28.8℃の地下水湧出が観測された高橋ほか(1991)を参照。これは地下水の流れに乗った高温化地下水が海岸に達したことを示すと推定できる。小清水揚水井と和泉浜の距離は1300mであるので、計算される地下水流動速度は2.0~2.2m/dayとなる。

推定される地下水流動速度は大島高校での4.3m/dayを除くと、1.5~2.3m/dayと極めて均一な値を示す。この値は、高橋ほか(1991)が計算した伊豆大島波浮港地区における地下水流動速度、 $5 \times 10^0 \sim 6 \times 10^2 \text{m/day}$ 程度の範囲内に包含される。

高温化地下水上昇域の正確な位置は不明であるが、以下のような推測が可能である。

- ①小清水揚水井における水温および塩化物イオン濃度の変化は噴火から165~180日経過後に観測され始めている。地下水流動速度を1.5~2.3m/day程度と仮定すると高温化地下水上昇域と小清水揚水井の距離は250~400m程度となる。上昇域は第1中学、大津両揚水井とは逆方向、北~北東方向である。
- ②大島高校における推定地下水流動速度は他の揚水井・地下水湧出地点における推定速度の約2倍という異常な値を示す。地下水流動速度が1.5~2.3m/day程度で、大島高校、くるみ屋、和泉浜に流下した高温化地下水は同一起源であると仮定すると、高温化地下水上昇域は大島高校とくるみ屋を結ぶ線の垂直2等分線の延長上、小清水揚水井北東方500m付近(藤倉学園奥手)付近と推定できる。
- ③小清水揚水井における温度変化から推測される上昇域と大島高校、くるみ屋揚水井などから推測される上昇域は100~250m程度の距離がある。この範囲の複数箇所でも高温化地下水上昇域が生じたのか、この範囲全体が高温化地下水上昇域で複数の方向に地下水が流下したのかは明らかではない。

4・2 塩化物イオン濃度の変化

Fig.4に、元町地区のGhyben-Herzberg's lens 型地下水層から揚水している地点における塩化物イオン濃度の変化を示した。元町北部にある5揚水井の塩化物イオン濃度の変化は水温の変化に類似していることがわかる。なお詳細に図を見ると、①温度上昇開始時期には塩化物イオン濃度の降下が見られること(Fig.5)、②水温は上昇しているのに塩化物イオン濃度の上昇が停滞し、水温上昇が停滞し始めた時期には塩化物イオン濃度の降下が見られる、という特徴があることがわかる。

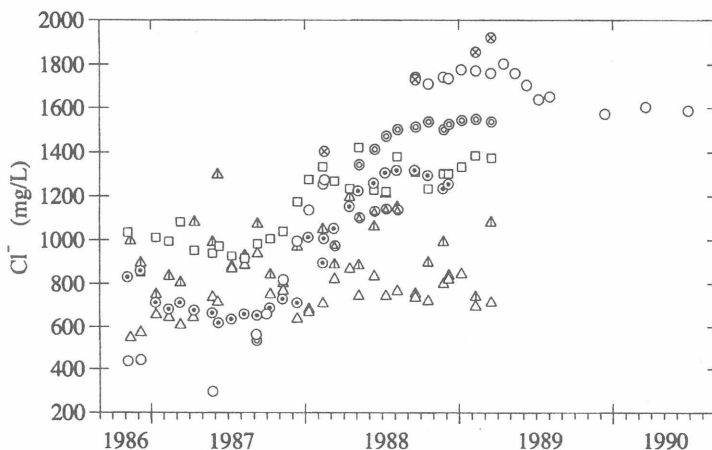


Fig.4 Monthly changes of chloride ion concentration at observation wells penetrating fresh water bodies of the Ghyben-Herzberg's lens.
 ○: Koshimizu, ⊙: Dai-ichi Junior High School, ⊗: Otsu, ⊗: Hotel Kurumi-ya, ⊙: Oshima High School (northern part of Motomachi area)
 □: Ienoue No.1, □: Ienoue No.2, □: Yaegawa (central and southern part of Motomachi area)
 △: Sekitanko, △: Okinone (Habuminato area)

図4 Ghyben-Herzberg's lens 型地下水層から採取している観測点における塩化物イオン濃度の経時変化

Fig.6に、伊豆大島のGhyben-Herzberg's lens 型地下水層から揚水している地点における塩化物イオン濃度と水の酸素同位体組成の関係を示した(高橋ほか,1991)。Fig.6から、①水温上昇開始時期に見られる塩化物イオン濃度の低下時には、酸素同位体組成が天水の値(Fig.6中で、Local Meteoricと記した付近の値)に類似していること、②水温上昇停滞期に見られる塩化物イオン濃度の低下時にも酸素同位体組成が天水の値の方向に若干シフトしていることがわかる。また、③水温上昇期の塩化物イオン濃度、酸素同位体組成の変化方向は、伊豆大島の他のGhyben-Herzberg's lens 型地下水層で見られ

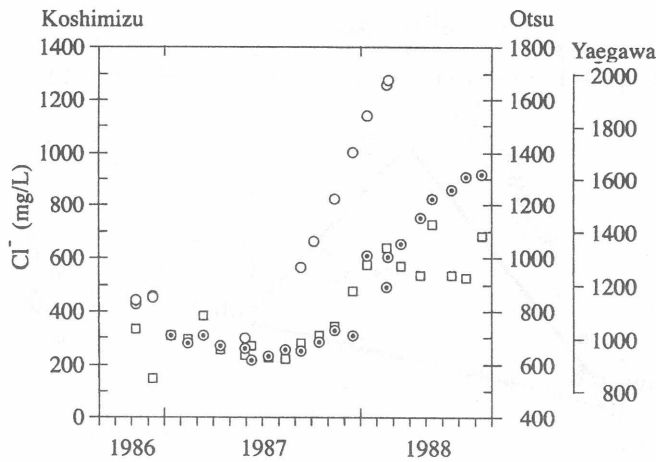


Fig.5 Monthly changes of chloride ion concentration at Koshimizu, Otsu and Yaegawa observation wells.

Legends are shown in Fig.4. Change of chloride ion concentration at Otsu observation well is shown by the right-side Y axis labeled "Otsu", and change at Yaegawa observation well is also shown by the right-side Y axis labeled "Yaegawa".

図5 小清水、大津および八重川揚水井における塩化物イオン濃度の変化記号は図4と同じ。大津における塩化物イオン濃度変化は200ppm、八重川における濃度変化は700ppmそれぞれずらして表示してある。

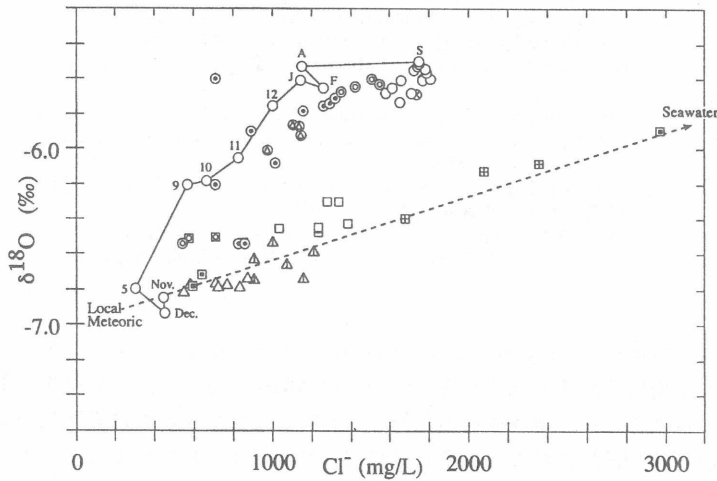


Fig.6 The relation between chloride ion concentrations and oxygen isotopic ratios of waters obtained from observation wells penetrating fresh water bodies of the Ghyben-Herzberg's lens.

○: Koshimizu, ⊙: Dai-ichi Junior High School, ⊗: Otsu, ⊗: Hotel Kurumi-ya, ⊙: Oshima High School (northern part of Motomachi area) ⊠: Ienoue No.1, ⊠: Ienoue No.2, ⊠: Yaegawa, ⊠: Kandachi (central and southern part of Motomachi area) △: Sekitanko, △: Okinone (Habuminato area), ⊠: wells and springs derived from fresh water bodies of the Ghyben-Herzberg's lens in Izu

Oshima Island (see Takahashi et al. (1991)) Local Meteoric: deduced value of local meteoric water pouring into fresh water bodies of the Ghyben-Herzberg's lens in Izu Oshima Island.

Seawater: The point shown seawater is on the extension of the broken line, where chloride ion concentration is 18900ppm and oxygen isotopic ratio is 0 permil. Chemical and isotopic compositions of subsurface waters derived from the Ghyben-Herzberg's lens are distributed near the mixing line between Local Meteoric and Seawater on the Cl - δ¹⁸O diagram (Takahashi et al, 1991). Values for Koshimizu well are connected by real line to show monthly change.

Nov, Dec: 1986, 5~12: 1987, J~S: 1988

図6 Ghyben-Herzberg's lens 型地下水層から採取している観測点における塩化物イオン濃度と水の酸素同位体組成の関係

Local Meteoric: 伊豆大島島内のGhyben-Herzberg's lens型地下水層に供給されている天水の推定値

Seawater: 破線延長上の塩化物イオン濃度18900ppm、酸素同位体組成0%の場所に海水の組成がある。伊豆大島島内のGhyben-Herzberg's lens型地下水の化学・同位体組成は、Local MeteoricとSeawaterの混合線上に分布している(高橋ほか, 1991)小清水揚水井のデータは経時変化を示すため実線で結んである。

Nov, Dec: 1986年、5~12: 1987年、J~S: 1988年

る関係、すなわち海水と天水の混合関係ではない方向にシフトしていることがわかる。またFig.7に、小清水揚水井における水の水素同位体組成と酸素同位体組成の関係を示した。Fig.7には伊豆大島三原山で得られる火山ガスの値(Kazahaya et al.,1993)も同時に示した。Fig.7から、小清水揚水井の変化の方向は伊豆大島において観測される火山ガスの方向に一致することがわかる。このような値は伊豆大島の南に位置する八丈島の熱水系においても観測されており(Fig.7)、火山島の熱水系に特有な値である可能性が考えられる。これらのことから、塩化物イオン濃度の低下には天水起源地下水の寄与が、塩化物イオン濃度の上昇には火山島特有の海水と高温火山ガスが混合したような火山ガスの寄与がそれぞれ推定できる。

石戸・高橋(1992)および石戸(1994)は、Ghyben-Herzberg's lens 型地下水層のように塩水層の上に淡水層が密度成層しているような場所で起きる熱塩対流について数値解析を行った。その結果、①熱水および80℃程度以上のガスが付加されると密度成層の有無とは無関係に付加後直ちに表層部分に異常が現れること、②60℃程度のガスが付加されると密度成層が破れ熱塩対流が発生すること、また温度変化を示す熱フロントと化学成分の濃度変化を示す化学フロントが同時に進行すること、③40℃程度のガスが付加されても熱塩対流は発生しない、すなわち密度成層が破れないことが解明された。②の数値解析結果は水温変化と塩化物イオン濃度の変化が同時に進行している各揚水井の状況をよく再現している(石戸,1994)。

4・3 重炭酸イオン濃度の変化

Fig.8に、元町地区のGhyben-Herzberg's lens 型地下水層から揚水している地点における重炭酸イオン濃度の変化を示した。重炭酸イオン濃度の変化は水温や塩化物イオン濃度の変化とは相当異なっている。①水温上昇や塩化物イオン濃度の変化が一番早い小清水揚水井においてもその出現は噴火後165~180日である。しかし重炭酸イオン濃度の上昇は大津揚水井においても1987年3月にはその変化が見られる。②水温や塩化物イオン濃度の上昇が各坑井で観測されていた1987年末には、重炭酸イオン濃度の変化はすでに各坑井とも減少に転じている。③高温化地下水の湧出源に一番近いと推定される小清水揚水井では1ヵ月ごとの定期観測を行っていなかったため重炭酸イオン濃度の変化が不明である。Fig.9には、小清水、大津両揚水井と大島温泉ホテル5号井における重炭酸イオン濃度の変化を示した。この図から小清水揚水井における重炭酸イオンの変化は、1986年12月にはすでに濃度変化の

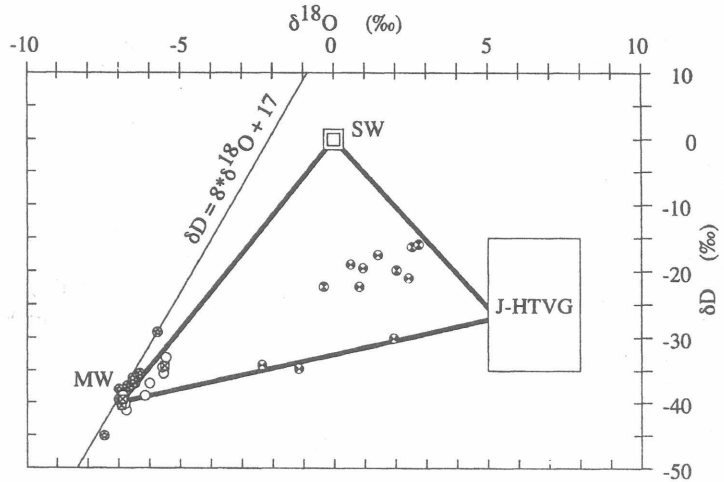


Fig.7 The relation of hydrogen and oxygen isotopic ratios among thermal waters from Koshimizu and Oshima Onsen, volcanic gases from Mt.Mihara and geothermal fluids from Hachijo Island.

○: Koshimizu, ⊕: wells and springs derived from perched waters in Izu Oshima Island, ⊠: Oshima Onsen Hotel, ⊗: Condensed water from the Summit A Crater of Mt. Mihara, ⊙: geothermal fluids from Hachijo Island, SW: Seawater, MW: Local meteoric water, J-HTVG: Volcanic gases from high temperature fumaroles of island-arc volcanoes (see Kusakabe and Matsubaya (1986))

図7 小清水温泉と大島温泉、三原山火山ガスおよび八丈島地熱流体の水素・酸素同位体組成の関係

SW: 海水、MW: 天水、J-HTVG: 島弧火山の高温噴気孔から得られる火山ガス(例えば、日下部・松葉谷(1986)を参照)

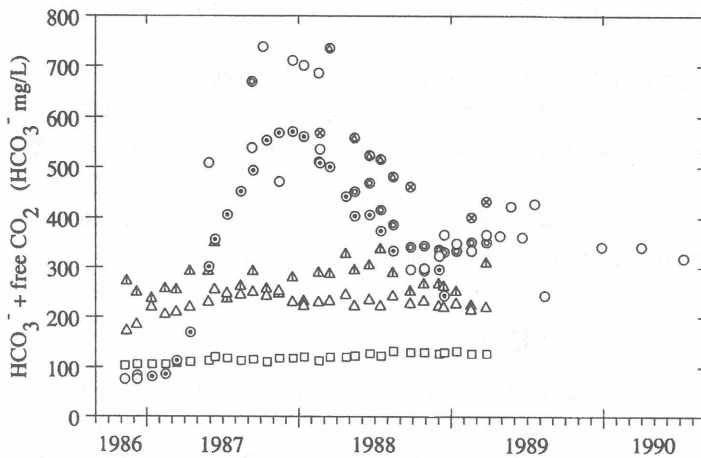


Fig.8 Monthly changes of bicarbonate ion + free carbon dioxide concentration at observation wells penetrating fresh water bodies of the Ghyben-Herzberg's lens.

○: Koshimizu, ⊙: Dai-ichi Jounior High School, ⊗: Otsu, ⊗: Hotel Kurumi-ya, ⊙: Oshima High School (northern part of Motomachi area)
 ⊙: Ienoue No.1, ⊙: Ienoue No.2, ⊙: Yaegawa (central and southern part of Motomachi area) △: Sekitanko, △: Okinone (Habuminato area)

図8 Ghyben-Herzberg's lens 型地下水層から採取している観測点における重炭酸イオン濃度+遊離炭酸濃度の経時変化

～90日程度で、1/3～半分程度の時間間隔で変化が生じている。またB・C火口列からは直線距離で1500～2000mも離れている大島温泉ホテル5号井においても1987年1月には重炭酸イオン濃度の変化が観測され始めている。これらのことは水温や塩化物イオン濃度に変化をもたらした機構と重炭酸イ

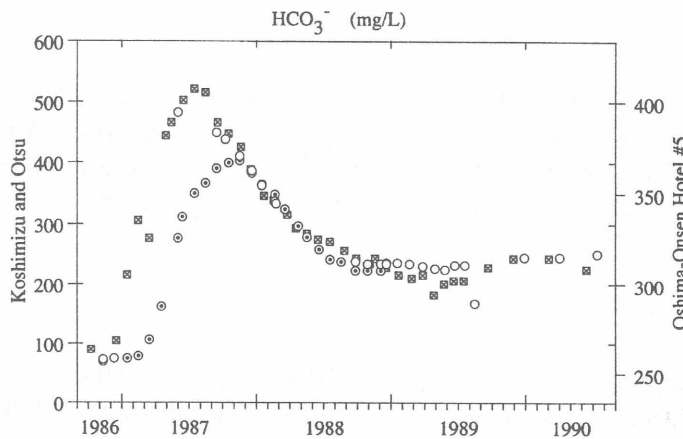


Fig.9 Monthly changes of bicarbonate ion concentration at Koshimizu, Otsu and Oshima Onsen Hotel #5 observation wells.

○: Koshimizu, ⊙: Otsu, ⊙: Oshima Onsen Hotel
 Monthly change at Oshima Onsen Hotel #5 observation well is shown by the right-side Y axis labeled "Oshima Onsen Hotel #5". Time scale (X axis) for this well is shown by +30days.

図9 小清水、大津および大島温泉ホテル5号各揚水井における重炭酸イオン濃度の経時変化
 大島温泉ホテルについては濃度スケールを3倍に拡大し、時間スケールを30日前に移動して表示してある。

徴候が見え始め、1987年7～8月に最高濃度に至り、その後減少に転じるものであったことが類推できる。濃度変化は噴火後30日以内程度(噴火直後の可能性もある)であり、大津揚水井において濃度変化が観測される60～90日以前である。

水温の変化から高温化地下水上昇域は小清水揚水井から250～400m離れた位置にあると推定された。この距離を30日以内程度で到達するには10m/day程度で地下水が流動する必要がある。小清水揚水井と大津揚水井の間も水温や塩化物イオン濃度の変化の間隔は180日(半年)程度であるのに、重炭酸イオンの場合は60

～90日程度で、1/3～半分程度の時間間隔で変化が生じている。またB・C火口列からは直線距離で1500～2000mも離れている大島温泉ホテル5号井においても1987年1月には重炭酸イオン濃度の変化が観測され始めている。これらのことは水温や塩化物イオン濃度に変化をもたらした機構と重炭酸イオン濃度に変化をもたらした機構が異なっていることを示唆している。重炭酸イオン濃度の変化も水温や塩化物イオン濃度の変化と同様に地下水流動によりもたらされると考えられると、重炭酸イオン濃度異常の地下水上昇域、すなわち炭酸ガス上昇域は高温化地下水上昇域に比べ各揚水井に非常に近い場所に存在していることになる。これは炭酸ガス上昇域が高温化地下水上昇域より広範囲であるか、上昇域の数が多いことを意味すると推定できる。

石戸・高橋(1992)が示したように、火山ガスがGhyben-Herzberg's lens型地下水層に付加されても、火山ガスの温度

により熱塩対流が発生したりしなかったりする場合のあることを考えると以下のような状況が推定できる。

①1986年の噴火後伊豆大島の広い範囲に火山ガスが供給された。火山ガスの温度は場所によりばらつきがあった。火山ガスのうち水蒸気成分は直ちに凝縮したが、炭酸ガス成分の一部はGhyben-Herzberg's lens型地下水層の密度成層の状況に関係なく地下水層表層部分まで上昇し、各地に炭酸ガス上昇域を形成した。

②火山ガスのうち、小清水付近に上昇したものは相対的に高温であった。そのためGhyben-Herzberg's lens型地下水層の密度成層を破り熱塩対流(高温化地下水上昇域)を形成した。

5・結論

1986年伊豆大島の火山の噴火に関連して、島内52箇所の観測点から水試料を採取し、その水温、化学組成および水同位体組成の測定・分析を行った。その結果、元町北部にある小清水揚水井を中心として半径1 Km以内にある5本の揚水井において水温、化学組成および水同位体組成が著しく変化していることが判明した。一番変化量が大きい小清水揚水井では水温、塩化物イオン濃度および水同位体組成の変化は噴火から半年程度経過後に、重炭酸イオン濃度の変化は噴火直後から始まった。

変動の原因を以下のように推定した。

①1986年の噴火後伊豆大島の広い範囲に火山ガスが供給された。火山ガスの温度は場所によりばらつきがあった。火山ガスのうち水蒸気成分は直ちに凝縮したが、炭酸ガス成分の一部はGhyben-Herzberg's lens型地下水層の密度成層の状況に関係なく地下水層表層部分まで上昇し、各地に炭酸ガス上昇域を形成した。

②火山ガスのうち小清水付近に上昇したものは相対的に高温であった。そのためGhyben-Herzberg's lens型地下水層の密度成層を破り熱塩対流(高温化地下水上昇域)を形成した。

謝辞

本編集：火山と温泉は小坂丈予、西村進両先生が編集された。本稿執筆を勧めて下さった小坂丈予先生に謝辞を表します。水試料の採取では東汽観光(株)大島温泉ホテルの方々、東京都大島町役場水道課の方々、東京都立大島高校の市石博、稲田宏之両先生、木村電気商会の木村和昭氏に大変お世話になった。気象庁大島測候所の安藤邦彦氏(当時)には和泉浜の地下水高温化について教えていただいた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 安孫子勤(1984)：1977-1978年有珠山噴火後における洞爺湖、壮瞥両温泉の化学成分の経時変化。文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果(No. A-59-4)火山ガス測定による噴火予知に関する基礎研究、56-70。
- 荒牧重雄(1975)：噴火現象の分類とメカニズム。火山、20、205-221。
- Ecker, A. (1976)：Groundwater behavior in Tenerife, volcanic island (Canary island, Spain). Jour. Hydrol. 28, 73-86。
- 古川博恭(1981)：九州・沖縄の地下水。九大出版会、福岡、393P。
- 石戸経士(1994)：マグマ熱水系の数値モデリング。地質学論集、no. 43、133-140。
- 石戸経士・高橋正明(1992)：熱水対流系発達過程の数値シミュレーション-伊豆大島小清水の場合-。日本火山学会秋季大会講演予稿集、52。

- Macdonald, G.A. and Abbott, A.T.(1970) : Volcanoes in the sea.Univ.Hawaii Press,Honolulu,441p.
- 加藤 完・高橋 誠・安藤直行(1990) : 伊豆大島元町地区の深部熱水混入域の探査. 火山, 35, 351-358.
- 川辺禎久(1998) : 伊豆大島火山地質図. 火山地質図10、地質調査所、8 p.
- Kazahaya,K.,Takahashi,M. and Ueda,A.(1993) : Discharge model of fumarolic gases during post-eruptive degassing of Izu-Oshima volcano, Japan.Geochem.J., 27, 261-270.
- 日下部実・松葉谷治(1986) : マグマ性揮発物質・火山ガス・地熱水. 火山、30、S267-S283.
- 日本火山学会(1998) : 伊豆大島1986年噴火. 火山第2集第33巻特集号、335p.
- 農業用地下水研究グループ「日本の地下水」編集委員会(1986) : 日本の地下水. 地球社、東京、1043p.
- 高橋正明・阿部喜久男・野田徹郎・安藤直行(1987) : 伊豆大島地域の地下水の地球化学的研究・地調月報、38、719-730.
- 高橋正明・阿部喜久男・野田徹郎・安藤直行(1988) : 伊豆大島の地下水水質の地球化学的観測. 火山、33、S290-S296.
- 高橋正明・阿部喜久男・野田徹郎・風早康平・安藤直行・遠藤秀典・曾屋龍典(1991) : 伊豆大島における地下水温の高温化. 火山、36、403-417.
- Takahashi,M.,Abe,K.,Noda,T.,Kazahaya,K., and Ando,N.(1991) : Three end-members of hydrothermal fluid related to the Izu Oshima volcanic eruption;magmatic,seawater and meteoric,Rept.,Geol.Surv.Japan,no.277, 105-110.
- 山口久之助・堀津多三郎・沼尾秀章(1980) : 洞爺湖温泉源に及ぼした1977年有珠山噴火の影響. 日本地下水学会誌、22、105-118.