

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

島野安雄*・高山茂美・安原正也**・丸井敦尚**

1. はじめに

太平洋のほぼ真ん中に位置するハワイ島は、火の女神“ペレ”によって造られたという火山島で、現在でも噴火を続けている火山があり、地球上で最も活動的な火山地域の一つをなしている。ハワイ諸島の中では南端にあって最も大きく（図1）、面積は約10,450km²とオアフ島の約7倍、日本の四国のほぼ半分の面積に相当する。そのためハワイ島は、通称“ビッグ・アイランド”と呼ばれている。また、位置的にも北緯18° 52'~20° 17'にあるため、アメリカ合衆国の最南端となっている。

ハワイ島内には農園や牧場なども開かれてはいるが、火山地の荒野が広がっているために、東海岸のヒロと西海岸のカイルアコナの2つの町を除くと小集落が点在していて、人口は約13万人ほどであり、オアフ島とは異なる風景をみせている。近年は、西海岸沿いに大型リゾート施設が次々とつくられ、多くの人々が訪れて賑わいをみせている。しかしながら、ハワイ島は単なるリゾート地域ではなく、熱帯雨林や古代遺跡あるいは世界有数の天文観測所などもあるが、何といてもハワイ諸島の他の島々と異なる点は現在も活動中の現役の火山が存在することである。すなわち、ハワイ島は現在も活発に活動中のキラウエア火山をはじめとして、マウナロアやマウナケアなどの5つの大型の楕状火山があり、これらの火山群によっ

て形成された島である。キラウエア火山から流れ出る溶岩によって、海岸線は今も先に延びて、少しずつ島の面積を広げている。溶岩の噴出とそれによって形成された地形的景観は、この島の観光ハイライトの一つでもある。島の中央部に位置するマウナロア山とマウナケア山は、それぞれ富士山よりも高く、標高4,000mを超える雄大な火山体である。周辺の海底の深さがおよそ5,000mほどあることから、太平洋の海洋底からはおよそ1万mにも及ぶ高さとなっている。最高峰のマウナケア山（4,205m）は、ハワイ語で「白い山」という意味があり、文字通り冬場には雪で覆われるが、晴天日数が多いということから、山頂部は世界でも有数の天体観測地となっていて、世界各国の10基を越す天文台がつけられている。この中には最近完成した日本のスバル天文台も含まれている。

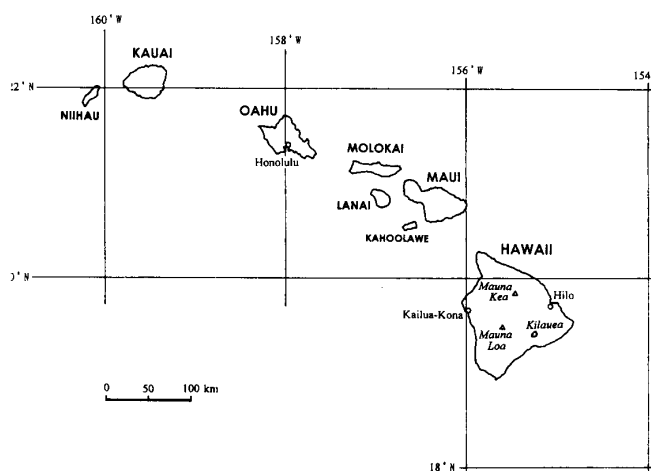


図1 ハワイ諸島の位置図

このハワイ島においては雨水の多くが地下に浸透しているとのことで、地下の溶岩の割れ目などには大量の地下水が貯蔵されているが、その大部分は利用されることなく海に流れ出ている。すなわち、海岸湧水や海底湧水となって流出しており、北海道の利尻島（林ほか，1997；丸井ほか，1999）や韓国の済州島（高村ほか，1986；島野ほか，1996）と同様な状況が示されている。こうした事象はいくつかの火山島に共通する水文現象でもある。そして近年、海底湧出の地下水に関しては新たな水資源としての発掘の可能性も指摘され（丸井，1997；丸井・安原，1999）、研究・調査が行われつつある。

本稿はハワイ島の湧水・井戸水・河川水などの水について、主要溶存成分を中心とした調査を行い、それらの水質特性を考察したものである。

2. 地形・地質・気候等の概況

ハワイ諸島は、ハワイアン・チェーンと呼ばれる火山脈の上に並んでいる。西からカウアイ・オアフ・モロカイ・マウイ・ハワイという5つの主な島から成り、いずれも海底火山が次々に成長して洋上に現れたものである（図1）。ここでの火山活動はマントルからブルームと呼ばれる熱い上昇流がプレートを突き破って出てきたとされるホット・スポット型の火山として知られている。ホットスポット上の太平洋プレートが年間数cmずつ北西方向に移動しているために、島々の形成された年代はそれぞれ異なる。北西側に位置するカウアイ島は560～380万年前に、オアフ島は340～220万年前頃に、マウイ島は130～80万年前に活動し、そしてハワイ島は最近70万年の活動によって造られた新しい島である。なお、キラウエア火山の南約

50kmの海底約1,000m深には、ロイヒ火山と呼ばれる新しい海底火山が活動中であり、数万年後には陸上に現れるといわれている。

ハワイ島はコハラ・マウナケア・ファラライ・マウナロア・キラウエアという5つの楕状火山からできている（図2）。このハワイ島での火山活動や地形・地質等に関しては数多くの文献や論文（中村，1989；Macdonaldほか，1983；Deckerほか，1987など）に取り上げられ、詳細に述べられているので、ここではその概要を述べる。また、ハワイ島の火山見学案内としては早川（1998）が詳しく記述しているので、参照してほしい。

コハラとマウナケアは歴史時代に噴火の記録がなく、ファラライは19世紀初頭に1回のみである。一番北部に位置するコハラ山系では侵食も進み、山の東側は深く・険しくえぐられた溪谷の景観を呈している。マウナケア山はハワイ島の最高峰であり、ハワイ語で「白い山」を意味するように、冬場には雪で覆われる。山頂付近には古い噴火口が風化した噴石丘を見ることができ、近年は天文観測のための好条件に恵まれていることから、多くの天文台が建てられている。このため山頂まで道路が通じ、観光案内ツアーも行われている。ファラライ山の1801年の噴火では北側に流れ出たカウプレフ溶岩流で小さな村が呑み込まれてしまったという記録がある。

現在でも噴火を繰り返しているのはマウナロアとキラウエアである。マウナロア火山は1800年代を通じてたびたび噴火し、特に1859年の噴火では北西部の海岸線まで溶岩流が達し、1900年代にも数回の噴火活動を起こしていて、1984年の噴火ではヒロの町の近くまで溶岩流がきている。また東部に位置するキラウエア火山は、約5万年前にマ

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

ウナロアの東山腹に誕生した火山で極めて活発であり、火山表面の約9割は最近1000年間に噴出した溶岩類で覆われている。最近20年間の活動の中心は、キラウエア・カルデラの東にあるプウオオ火口と呼ばれる頂部に碎屑丘を乗せた小型楕状火山で、現在も溶岩を噴出し続けており、その一端

は海岸沿いを走る道路を埋め尽くし、かつ溶岩トンネルを通じて海まで達している。ここは他の火山とは異なり、噴火の様子を目の前で見学することができる。ムクムクと沸き出すパホイホイ型の溶岩の様子や海に流れ落ちて水蒸気を上げている溶岩流を間近に見られるが、その際の身の危険や

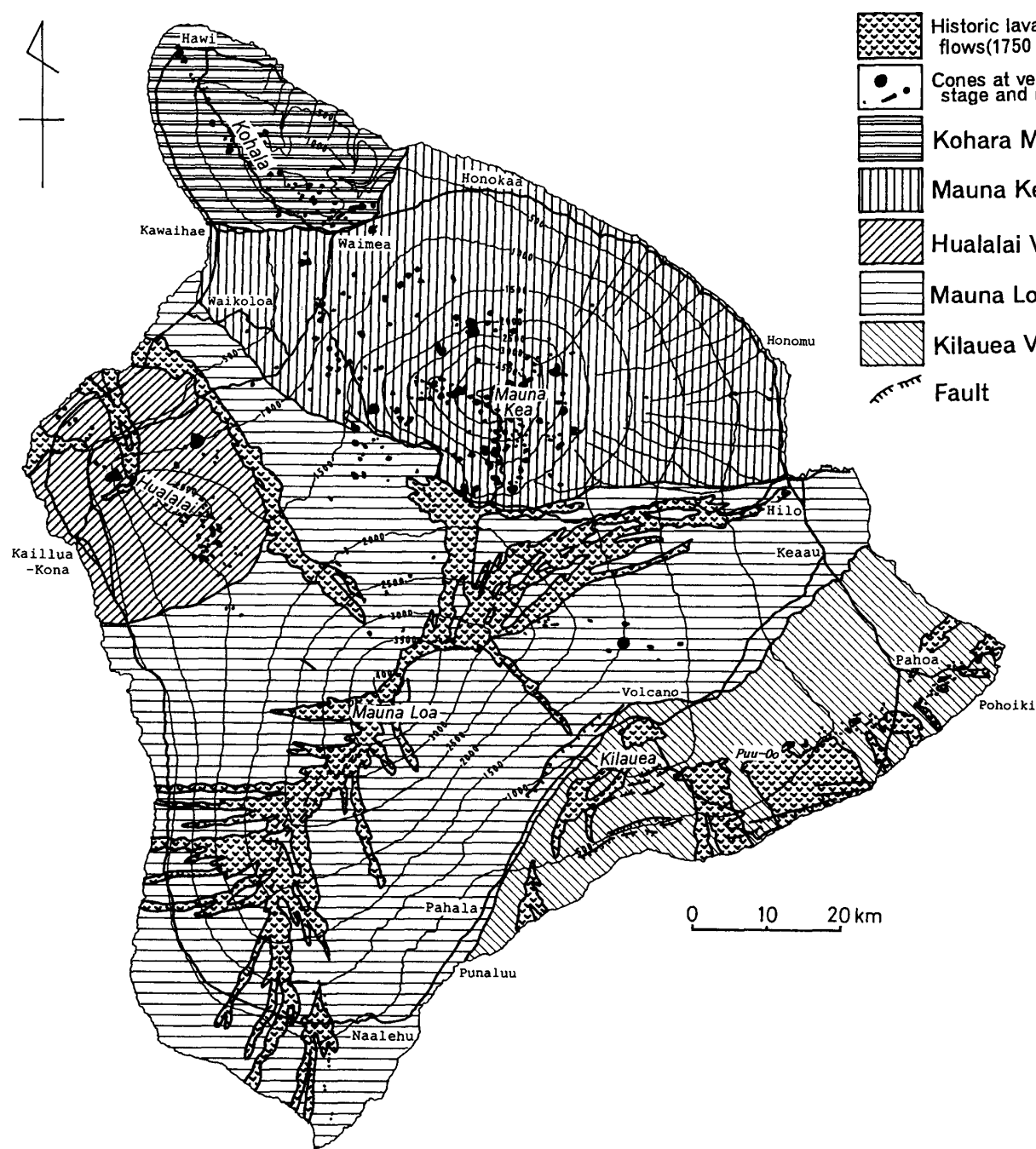


図2 ハワイ島の地質図 (Armstrong, 1983をもとに作成)

保証は各自の責任・判断とされている。

ハワイ島の気候は一年を通じて吹く北東貿易風の影響が大きく、このために降る雨の量は場所によってかなり異なる。山の北東側斜面は降水量が多いが、反対側の南西側斜面では少ない。島の東側に位置するヒロの年降水量は約3,400mmと多く、その北西に位置するマウナケア山の東斜面では極めて多雨であり7,000mmを超える(図3)。これに対して、風下側であるマウナケア山の西麓は年降水量500mm以下の地域が広がり、特にサウスコハラの海岸域では200mmあまりと極端に少ない。そして、海岸地域は亜熱帯性の気候であるが、高山地域は冷涼で、特にマウナケア山やマウナロア山の山頂部は冬期に雪に覆われる。

3. 水文環境と採水地点について

3.1 水文環境について

ハワイ島における水文環境は、北東貿易風に影響される関係で、地域的にもかなり異なる。河川

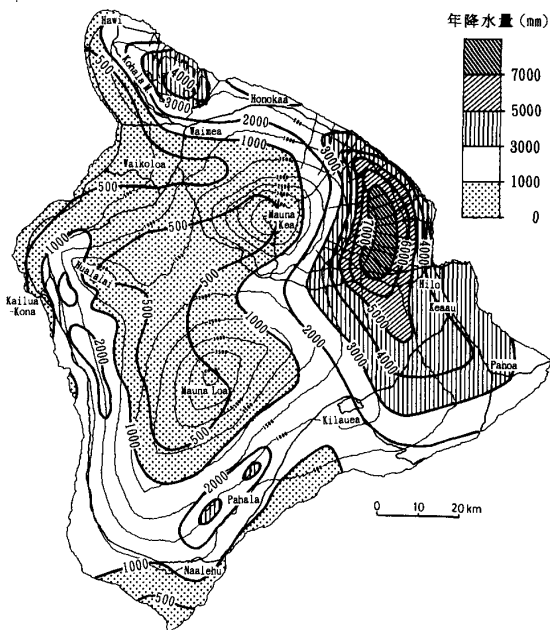


図3 年降水量の分布図
(Armstrong, 1983をもとに作成)

の水が常に流れているのは多雨な北東側の地域で、マウナケア山の東麓とコハラ山系の東麓のみである。この地域には熱帯雨林も広がり、アカカ滝やカフナ滝などからなるアカカ・フォールズ州立公園、奥深い緑の谷間からなるワイピオ溪谷やポロール溪谷などが展開している。これに対して、東海岸のヒロから時計回りに北端部のハヴィまでの地域では、降水量が少なかったり、降水があっても大半が地下に浸透して流水はほとんどみられない。そして、ハワイ島の大部分の地域は、透水性の良い溶岩や火砕物などの岩質で構成されているために、雨水の多くが地下に浸透して地下水となる。したがって、ハワイ島の地下には大量の地下水が貯留されている。

ハワイ島は洋島ということから、淡水である地下水は海水(塩水)に対しては楔形に入った“淡水レンズ”の様相、すなわち“ガイベン・ヘルツベルクの法則”がなりたった状態を呈していると云われている。そして、地下水の賦存状況は場所によっていくぶん異なるが、図4に示したように大きくは4つのタイプに分けられる(Huntほか、1988など)。島の大部分の地域では、塩水の上に浮

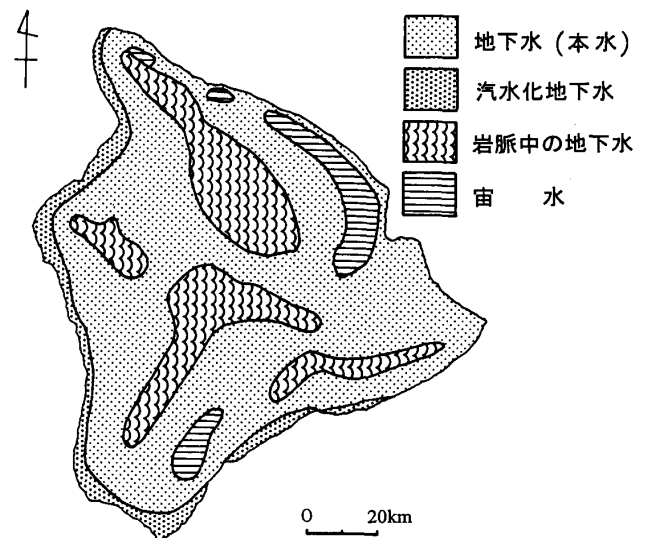


図4 ハワイ島における地下水の賦存状況
(Armstrong, 1983などをもとに作成)

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

いた状態の地下水として存在する。海岸付近の地域では、淡水と塩水とが混ざり合った汽水の状態がみられる。岩脈中の地下水は、それぞれの火山体の主要部を構成している溶岩の岩脈中に蓄えられている地下水で、高い所では標高1,000m近くまで地下水面が達しているとされている。宙水は山麓部の一部に分布するもので、難透水性の火山灰や土壌層などの地層が介在する所に賦存し、その末端部などでは湧水として湧き出ることもある。また、海岸部や浅海底に難透水性の地層が堆積している場合には、その部分が障壁として働き海岸湧水や海底湧水としての地下水の湧出も認められている。実際、マウナケア山の東麓部では本来の地下水の上位に宙水も存在し、一部では湧水もみられる。

こうした点に関して、サウスコハラ海岸にあるワイコロア・ビーチ・リゾート内のキングス・ショップスは人工ラグーンの畔（写真1）につくられているが、このショッピングセンターの一角に写真2のような説明板が掲げられている。これに因れば溶岩の下を大量の地下水が海に流れ出していることを観光客らに提示している。この説明板の部分を図に表したのが図5である。そして、海岸湧水や海底湧水として流出している地下水の多くは、下位にある海水の影響で塩水の混ざった水となっている。

海岸湧水や海底湧水については、ハワイ島の多くの海岸地域で確認されている（図6）。このうち大きな湧出量があるのは、東部のヒロ周辺の海岸部、および南部のプナルウ地区や西部のコナ地区などといわれている。特に、ヒロ市内東部のロコワカ池の付近では大量の湧出水が見られる。ここでの湧出水は海水の影響もあって、後に示すように電

気伝導度の値は約5,000～7,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と高い値であった。プナルウは黒砂海岸として知られる所で、ここでは波打ち際や背後のラグーンの所で湧出し

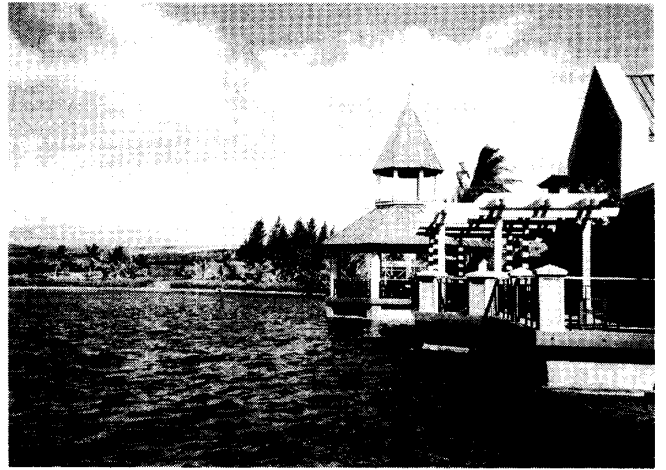


写真1 キングス・ショップス裏の人工池

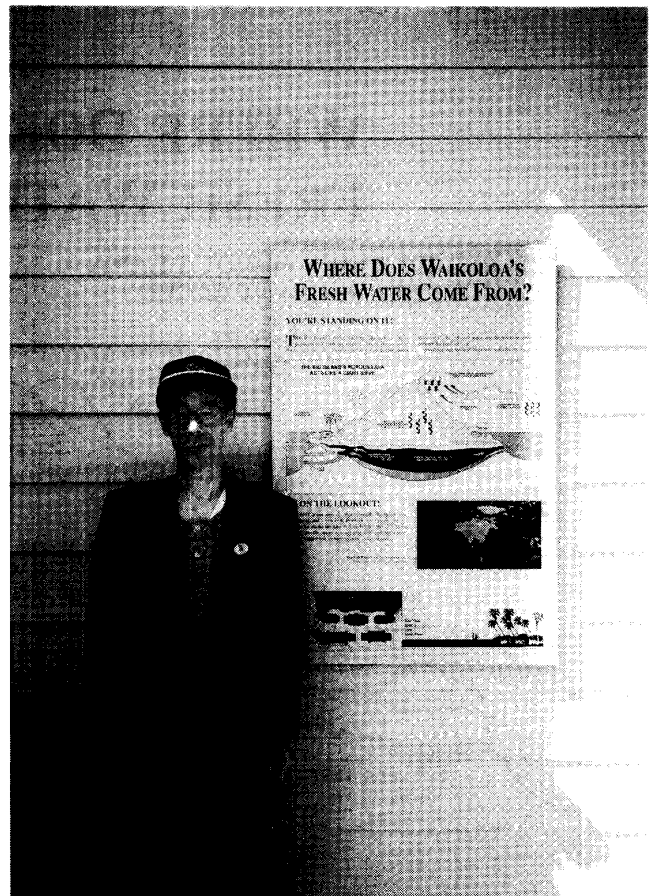


写真2 地下水についての説明板

ているのが見られた。ここでの湧水の電気伝導度は約 $1,500 \mu\text{S}/\text{cm}$ であり、若干の塩水の混入があるものと思える。

陸上の湧水については、マウナロア山の山頂近くや中腹および山麓部、ならびにマウナケア山やコハラ山系の山麓部などに点在して分布している。そして、北東部にある河川の中には湧水を水源としたものもある。また、ハワイ島の南東部には熱水が賦存していて、パホアの東の所に地熱発電所が建てられている。なお、キラウエア地区を中心とした南部～南東部の湧水・井戸水や熱水に関しての一般水質や環境同位体については、近年、Janikほか(1994)やSchollほか(1996)などの調査・研究が行われている。

ところで、ハワイ島における水利用の方法としては、水文環境と地質条件を反映して、もっぱら

深井戸による井戸水の汲み上げが主体となっている。そして、中には被圧化されて自噴井となっている所もある。また、この井戸水に関しては、海岸部などでは塩水の混ざり合った汽水の地下水となっていることもある。さらに、厚い溶岩層や火山活動などのために井戸が掘れない地区では、雨水を屋根で集める天水利用を行っている所もある。特に、キラウエア・カルデラ北側のボルケーノ・ヴィレッジなどでは現在も活動中の火山域に近く、天水利用が主体をなしている。

なお、ハワイ諸島における地名については、「水」に関する現地語も多いと云われている。北海道のアイヌ地名に、小さい川を意味する“ナイ(漢字を当てると「内」。静内や札内など)”と大きな川を意味する“ペツ(同じく「別」。幌別や紋別など)”というものがあるように、ハワイ語の地名には“ワ

WHERE DOES WAIKOLOA'S FRESH WATER COME FROM?

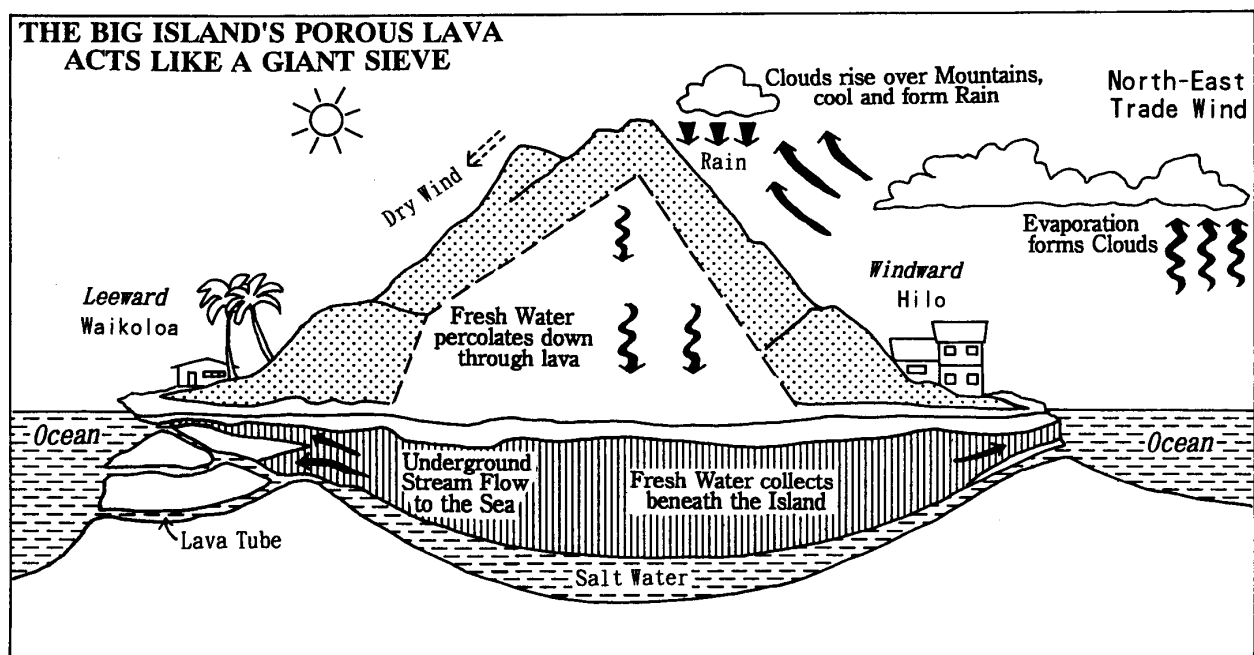


図5 ハワイ島の地下水流動系についての説明

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

イ(Wai)”という「水」が語頭につくものも多いという(池澤、2000)。いくつか実例を並べてみると、ワイキキ(噴き出す水という意味)、ワイコロア(アヒルの水)、ワイレア(女神レアの水)、ワイルア(二つの水)、ワイルク(殺戮の水)、ワイメア(赤みを帯びた水)やワイピオ(曲がった水)などがあり、実際に採水した所もある。

3.2 採水地点の状況

採水調査したのは、1996年5月、1997年9月、および1999年2月で、図6に示したようにハワイ島の29地点とオアフ島ホノルルの水道水の計30カ所である。それら採水地点や周辺域の状況などについて次に概要を述べる。

ハワイ島北端部のノース・コハラに関して、コハラ山系の北東側では多雨であり、河川も水が流れている。ここの中心はハヴィの町であるが、北東端部にあるマカパラのネウエ川の渓流水(採水地点番号、No.1、以下同様)とハヴィの東隣のカパアウ集落の水道水(No.2)を採水した。ネウエ川はポロル溪谷展望台の手前にある小さな溪流河川であり(写真3)、カパアウはカメハメハ大王の生誕地として知られる所で、裁判所の正面には大王の銅像が建てられている。

サウス・コハラの内陸部に位置するハワイ島第3の町であるワイメアは、個人所有の牧場としては世界最大規模のパーカー・ランチとともに発展してきた所として知られる。ここではワイメア・センター内の水道水(No.3)を採水した。ここの水道水はコハラ山系の北東側に降った雨水や流水を集め、山を越えてパイプラインで引いてきたものであるとされ、写真4はその配水施設である。この点については後述するように水質組成に反映

されている。

北西海岸のサウス・コハラ地区は、近年、一大リゾートエリアとして知られるようになった所である。ここではやや内陸部にあるワイコロア・ヴィレッジ(No.4)と海岸部にあるマウララニ・リゾート(No.5)の2つのリゾート地の水道水を採水した。この地区では水道水はともに深井戸の地下水を利用している。サウス・コハラ地区を走る国道19号線のクイーン・カアフマヌ・ハイウェイからワイコロア・ヴィレッジへ向かうワイコロア・ロードの沿線には揚水井の施設も点在している。なお、ハプナ湾のハプナ・ビーチでは海水(No.30)を採水した。

西海岸のコナ地区は、東海岸のヒロとともにハワイ島観光の基地の一つとなっている所で、その中央にあるカイルアコナは最もにぎやかな町であり、ホテル・コンドミニアムや商店などが軒を並べている。ここでは4カ所、北に位置するコナ国際空港(No.6)、カイルアコナの町中にあるショッピングセンター(No.7)、町の南にあるロイヤルシークリフ・リゾート(No.8)、およびカハルウ・ビーチの海水浴場(No.9)のそれぞれの水道水を採水した。カハルウ・ビーチの海水浴場(写真5)では、黒い色をした溶岩の割れ目などから海岸湧水がでていられるされている。ところで、これらの4地点の水道水源としての深井戸の位置はこの地点ではなく異なる。しかしながら、それほど遠くではないので、便宜上、図6では採水地点としてプロットしておいた。

南部はカウ・デザートと呼ばれる火山の風下地帯となっている所で、砂糖キビやマカデミアナッツの畑などが広がっているが、集落の少ない地域である。しかし、マウナロア山の南麓では年降水

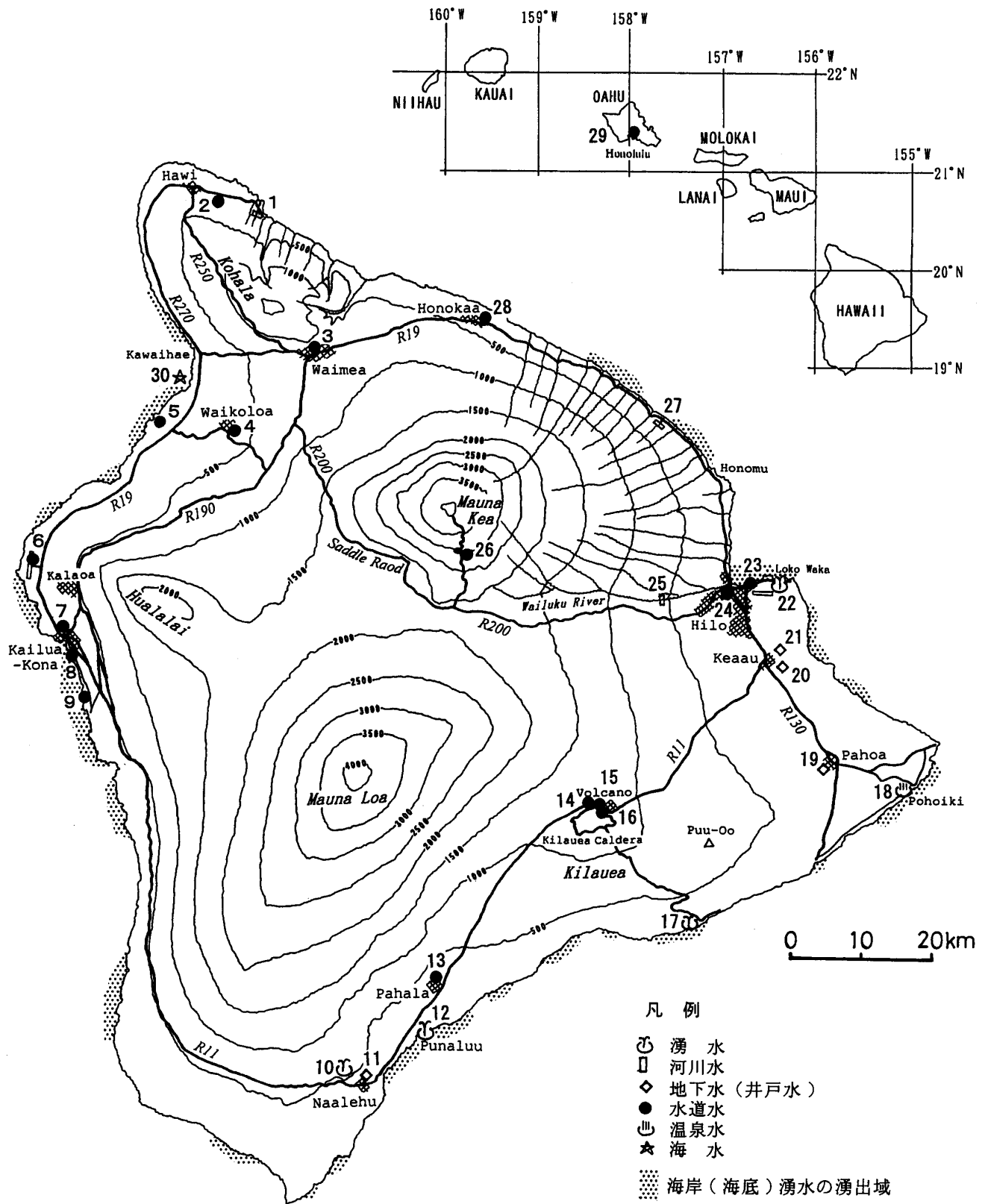


図6 ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の採水地点

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

量が3,000mmを超える所があって、降雨時には水流も発生し、湧水も存在する。ここではハアオ湧水 (No.10)、ナアレフ集落の地下水 (No.11)、ニノレのプナルウ海岸の海岸湧水 (No.12)、パハラ集落の水道水 (No.13) の4カ所を取り上げる。ハアオ湧水とナアレフ集落の地下水は現地調査の際に採水できなかったもので、Janikほか(1994)のデータを使用した。プナルウ海岸は黒砂海岸として、また海岸湧水がでている場所として知られる。ここでは波打ち際の溶岩の割れ目から湧出し、小さな水溜まりを形成している部分もある。写真6はその一つで、左側の所で水が盛り上がって湧き出ているのが見え、ここではこの湧出水を採水した。そして、この海岸では海浜部のほか、写真6の右手奥にはラグーンもあり、そこでも湧いている。なお、南端部のカ・ラエ岬 (サウス・ポイント) は合衆国の最南端の地でもある。

南東部のキラウエア地区については、先に述べたように現世のキラウエア火山のある所で、溶岩で覆われ、地熱温度が高く、クレーターリム・ロード沿いには蒸気の噴気孔もあって、流水や地下水は存しないようである。ここではボルケーノ・ゴルフコース (No.14) とキラウエア・ビジターセンター (No.15)、およびボルケーノハウス・ホテル (No.16) の3カ所の水道水を採水したが、いずれも電気伝導度の値が極めて低い。特に、ビジターセンターとボルケーノハウス・ホテルでは低く、雨水を溜めておいて利用しているものと思える。この地域では2,000mmほどの年降水量があり、屋根に降った降雨を集めておく貯水タンク(写真7・8)が備えられているのが見られる。また、キラウエア・カルデラからチェーン・オブ・クレーターズ・ロードを東に下って行くと、一面溶岩に埋め

尽くされた海岸部にでる。この海岸部で極めて珍しい湧水が見られた。カエナポイント近くの溶岩の荒野に割れ目(長さは数m、幅は20~50cmほど)が無数あり(写真9)、その中の一つに地表から約3mほどの深さの所に水が溜まっていた。これが湧水とのことであり、それを採水 (No.17) した。

南東端のプナ地区では、パホア集落の東に地熱発電所が建てられていて、蒸気で発電し電力を供給している。そして、海岸部のポホイキやアハラヌイ公園では温泉もある。しかしながら、温泉といっても何がしかの設備が整っているわけではなく、単に温かい湯が湧いているだけである。写真10はポホイキの温泉で、自然にできた直径が約5mほどの溶岩に囲まれた池であり、温度は35℃位であった。また、アハラヌイ公園の方はマウナケア池という天然プール(写真11)で、一部では海水と温泉とが混ざり合っていて、どちらかといえば海水浴の様相である。ここではポホイキの湧水 (No.18) を採水した。その他、この地区の水に関しては採水できなかったもので、パホア集落とケアアウ集落の水道水について先のJanikほか(1994)のデータを使用した。なお、ケアアウ近郊で採水された深井戸の水については「Hawaiian Springs Water」というペットボトル入りの水が販売されている(写真12・13)。このボトルドウォーターはハワイ島では広く売られており、われわれも飲料水として利用したものであり、これも調査対象サンプルとして採水 (No.21) した。

東部のヒロは人口が約4万人ほどの町で、ハワイ諸島の中ではホノルルに次ぐ第2の都市とのことで、ヒロ国際空港もありハワイ島のもう一つの玄関となっている。ヒロの町は東海岸にあるために年間を通じて天気があまり良くなく、年降水量

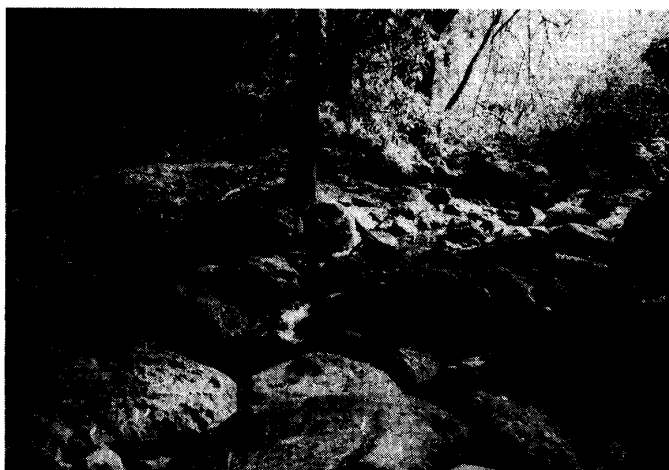


写真3 ネウエ川の採水地点

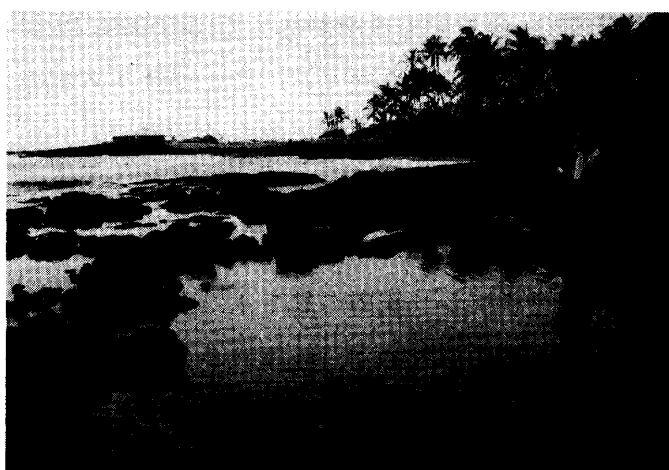


写真6 プナルウ・ビーチの湧水

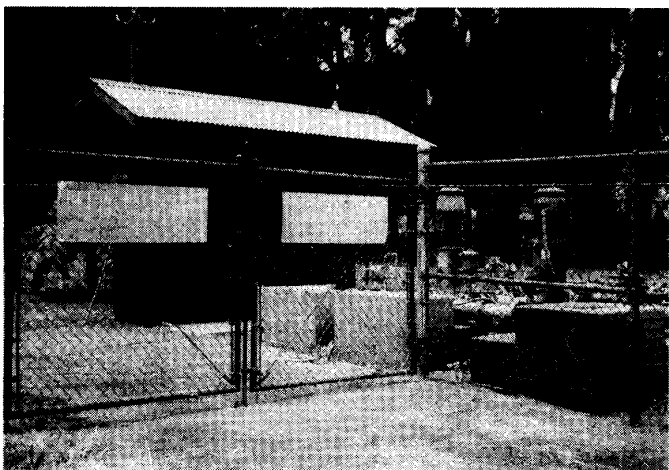


写真4 ワイメアの配水施設



写真7 ボルケーノ・ゴルフコースの天水貯水タンク

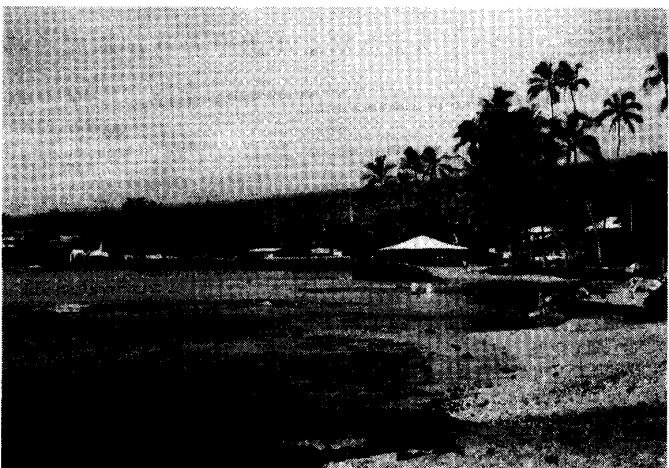


写真5 コナのカハルウ・ビーチ



写真8 ボルケーノ集落の天水貯水桶と殺菌タンク

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性



写真9 カエナポイントの溶岩の割れ目

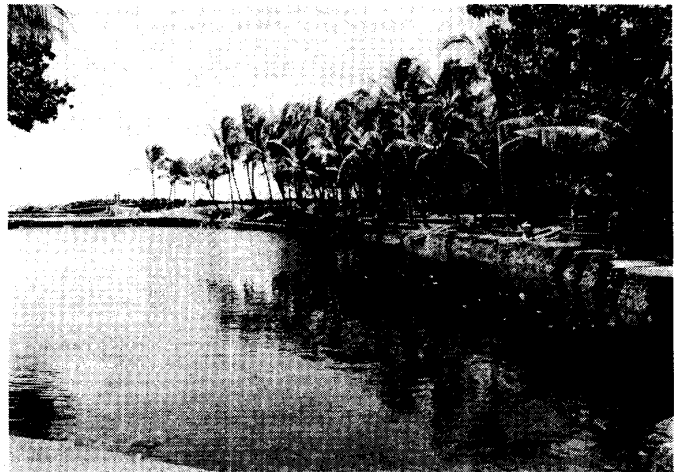


写真11 アハラヌイ公園の天然プール



写真10 ポホイキの温泉

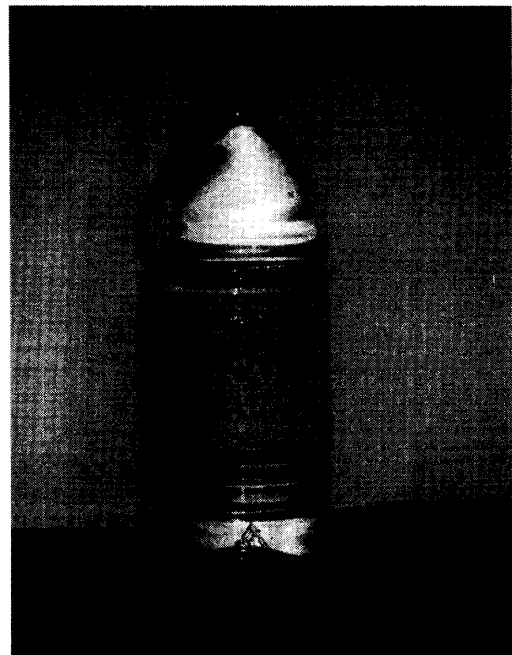


写真12 「Hawaiian Springs Water」のペットボトル

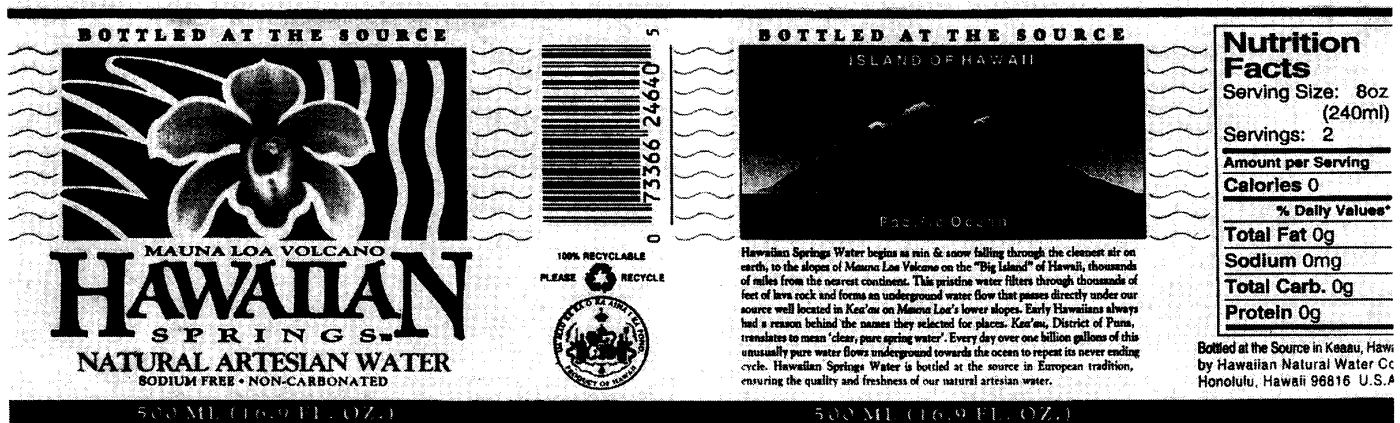


写真13 ペットボトルのラベル

も3,400mmと多い。このヒロ地区では、町の東に位置するロコワカの湧水池 (No.22)、ワイアケア半島にあるナニロア・ホテル (No.23) と旧市街であるダウタウン (No.24) の2カ所の水道水、ならびにマウナケア山の東麓に発してヒロ湾に注いでいるワイルク川の河川水 (No.25) の計4カ所で採水した。ロコワカの湧水池 (写真14・15) では大量の地下水が湧き出し、海に注いでいる。場所によってはビーチの海底部でも湧いており、この付近一帯は海岸湧水・海底湧水の湧出箇所として

知られている。ヒロの町の水道水はこの土地の地下に大量に賦存する地下水である。また、ワイルク川の流域内には湧水があり、湧水によって涵養されている支流もあって、澄んだ溪流水となっているものもある。このワイルク川は下流域ではレインボー滝やボイリングポットなどという滝や急流も多くて観光スポットとなっているが、採水はそれよりも上流の中流部で行った (写真16)。この地点では河川水を汲み上げる揚水施設も備えられている (写真17)。



写真14 ロコワカの湧水 (1)

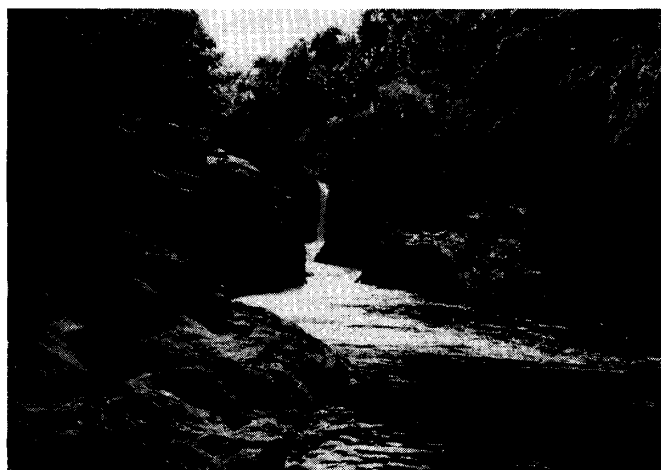


写真16 ワイルク川の採水地点 (上流側)

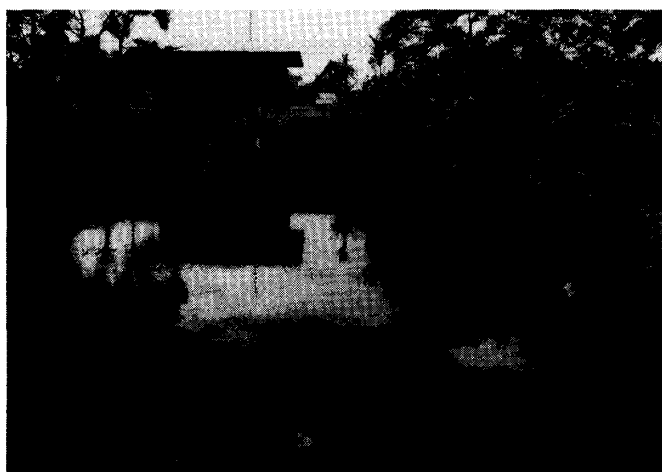


写真15 ロコワカの湧水 (2)

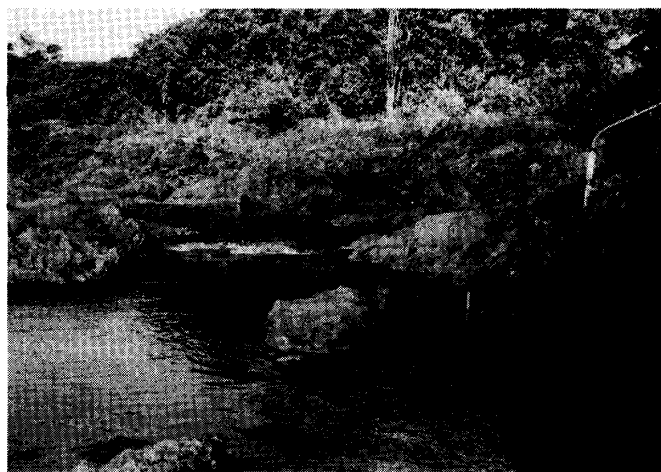


写真17 ワイルク川の採水地点 (下流側)

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

マウナケア山は山頂部に天文台施設があり、車で登れるが、中腹の標高2,800m地点にはオニズカ・ビジターセンターや天文台スタッフの宿舎などがある。このビジターセンターの由来は、1986年に起きたスペースシャトルの事故で亡くなった日系人のオニズカ大佐にちなむものである。この地点は山頂への途中で高山病予防のために休憩する所で、施設内の水道水 (No.26) を採水した。ここの水道水はマウナケア山の山麓部の地下水をポンプアップしてきたものと思える。

北東部のノース・ヒロ地区では常に雨雲がかかり降水量が非常に多く、このために河川も濁流のところが多い。ここではニノレ近くを流れるマナロア川の河川水 (No.27) を採水した。そして、さらに北のハマクワ地区のホノカア町ではドライブインの水道水 (No.28) を採水した。ホノカアは降水量の多い北東部では雨の少ない地域で、このために雨の多いワイピオ溪谷から灌漑水路を造り、

マカデミアナッツの農園の灌漑水として引いてきている。

なお、比較のためオアフ島のホノルルでは空港内の水道水 (No.29) も採水した。

4. 水質の特徴

採水調査に関して、水温・電気伝導度・pHについては現地で採水時に計測した。採水したサンプルはポリビンに入れて持ち帰り、主要溶存成分である重炭酸 (HCO_3^-)、塩素 (Cl^-)、硫酸 (SO_4^{2-})、硝酸 (NO_3^-)、ナトリウム (Na^+)、カリウム (K^+)、カルシウム (Ca^{2+})、マグネシウム (Mg^{2+})、ケイ酸 (SiO_2) イオンなどについて、滴定法・イオンクロマトアナライザー・プラズマ発光分光分析装置等を用いて分析を行った。これらの水質分析の結果を示したのが表1である。なお、電気伝導度については、25℃に換算した値に

表1 水質分析表

番号	名 称	所 在 地	水源	採 水 年月日	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	pH	HCO_3^- (mg/L)	Cl^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	SiO_2 (mg/L)	計 (mg/L)
1	Neue River	Makapala	R	970906	104.1	25.7	6.8	30.1	14.5	3.0	0.2	10.0	0.7	3.5	2.8	16.1	80.9
2	Kapaau	Kapaau	CW	970906	162.1	(25)	6.8	56.8	17.5	4.8	0.7	14.6	1.0	8.0	5.2	28.5	137.1
3	Waimea	Waimea	CW	970905	57.5	23.6	6.8	15.1	9.7	0.5	0.2	5.5	0.0	1.2	1.2	5.0	38.4
4	Waikoloa	Kohara	CW	960527	390.0		7.6	97.6	59.1	20.5	3.3	57.1	6.6	8.7	13.1	61.3	327.3
5	Maura Lani Point	Kohara	CW	960527	453.0		7.2	109.0	87.6	19.6	2.0	65.0	7.4	10.6	14.3	60.0	375.5
6	Kona Airport	Kona	CW	960529	1220.0		7.0	54.7	368.1	62.8	0.0	201.7	16.0	27.1	26.2	47.3	803.9
7	Kailua Kona	Kona	CW	960527	1278.0		6.8	50.7	402.1	53.8	0.0	214.9	16.9	27.3	27.5	47.0	840.2
8	Royal Sea Cliff R.	Kona	CW	970901	1142.0	26.7	7.2	52.2	332.1	48.7	3.6	195.1	13.3	23.2	23.3	39.7	731.2
9	Kahaluu Beach	Kona	CW	970905	1016.0	(25)	7.2	47.5	326.6	44.6	3.5	177.8	12.1	20.6	21.5	40.1	694.3
10	Haao Spring	Haao	Sp	920121	(157)	19.7	6.6	37.3	12.3	18.7	4.4	9.0	0.9	7.8	7.9	26.3	124.6
11	Naalehu	Naalehu	Gw	920914	(188)	18.6	7.0	55.3	7.9	12.0	0.2	12.7	1.7	7.2	5.5	47.1	149.6
12	Punaluu Beach	Punaluu	MSP	970903	1515.0	18.1	7.3	41.7	494.1	67.0	1.5	281.4	20.0	16.6	29.2	34.6	986.1
13	Pahala	Pahala	CW	960526	87.5		6.8	35.9	3.0	3.9	0.0	3.2	0.4	6.1	3.2	31.8	87.5
14	Volcano Golf Course	Kilauea	CW	970903	51.0	(20)	6.5	22.0	2.5	2.1	0.0	2.2	0.5	3.1	1.5	14.4	48.3
15	Visiter Center	Kilauea	CW	960526	28.8		6.4	7.8	0.9	0.8	0.0	1.9	0.0	0.7	0.4	0.3	12.8
16	Volcano House Hotel	Kilauea	CW	970902	23.0	21.3	6.4	3.6	2.2	1.9	0.0	1.0	0.0	0.3	0.4	0.2	9.6
17	Lava Crack Water	Kaena Pt.	MSP	970903	5350.0	25.5	7.4	78.8	1910.2	188.8	5.9	971.1	143.0	51.0	107.9	37.7	3494.4
18	Hohoiki Warm Spring	Hohoiki	Hp	970904	11060.0	35.0	7.4	62.5	4335.2	460.9	7.8	2260.0	422.0	96.4	220.6	76.5	7941.9
19	Pahoa	Pahoa	Gw	920916	(182)	23.0	7.3	41.9	15.5	4.8	0.2	17.5	2.6	3.4	2.7	55.8	144.4
20	Keaau	Keaau	Gw	920917	(91)	18.6	7.0	28.7	1.6	5.4	0.0	5.5	1.6	4.2	1.8	31.7	80.5
21	Hawaiian Springs W.	Keaau	BW	960500	94.5		6.8	41.9	4.6	3.2	0.0	5.2	1.7	6.1	3.3	37.9	103.9
22	Loko Waka Spring	Hilo	MSP	970905	6470.0	21.7	7.0	53.3	2370.0	244.2	4.3	1210.2	162.9	48.8	138.2	28.7	4260.6
23	Hilo Nanioloa Hotel	Hilo	CW	970904	85.1	23.8	7.0	39.4	4.1	1.6	0.9	4.0	1.0	6.5	2.7	30.8	91.0
24	Hilo Old Town	Hilo	CW	960526	96.4		7.0	30.0	5.8	8.0	0.0	6.3	1.3	5.1	3.5	38.4	98.4
25	Wailuku River	Hilo	R	970904	48.3	22.5	6.8	18.5	3.3	1.3	0.2	2.3	0.1	2.9	1.4	10.8	40.8
26	Mauna Kea (2800m)	Mauna Kea	CW	960527	85.8		7.0	37.5	4.0	1.8	0.0	3.8	1.1	6.9	2.5	36.9	94.5
27	Manaloa River	Ninole	R	970905	137.7	23.3	7.0	64.9	7.5	2.2	0.5	6.0	0.4	10.8	5.6	24.0	121.9
28	Honokaa	Honokaa	CW	970905	304.0	(25)	7.4	96.2	44.0	6.3	2.4	36.5	2.6	12.8	9.2	36.6	246.6
29	Honolulu Airport	Honolulu	CW	960529	400.0		7.0	96.5	38.4	29.0	0.2	40.0	2.5	17.5	13.1	46.1	283.3
30	Sea Water	Hapuna Bay	SW	990220	50100.0	25.6	8.3	146.4	19810.2	2551.5	0.0	11346.9	478.9	519.9	1298.3		36152.1

(水源) : Sp= 湧水, MSP= 海岸湧水, R= 河川水, Gw= 地下水 (井戸水), Hp= 温泉水, CW= 水道水, BW= ボトル入りの水, SW= 海水。

1992年採水のデータはJanikほか(1994)からの引用。

して表してある。

4.1 採水調査時の特徴

採水したサンプルの電気伝導度は23~50,100 μ S/cmと幅広い値を示している。最も高い値はハプナ湾での海水であり、ポホイキの温泉水も11,060 μ S/cmと当然ながら高く、また海岸湧水も1,515~6,470 μ S/cmとかなり高いものであった。水道水については、西海岸のコナ地区のものは1,000~1,300 μ S/cmと高いが、東海岸のヒロ地区および内陸側にあるキラウエア地区やワイメアなどの地域の水道水では100 μ S/cm以下と低い。そして、サウスコハラ地区のリゾート地やホノカアあるいはホノルルの水道水は、それらの中間の300~450 μ S/cmの値であった。これに対して、河川水や陸上の湧水は48~138 μ S/cmと、日本で通常測定されている値に近いものであった。

水温に関しては、湧水・河川水・海水などについて取り上げ、水道水は蛇口での間接的な温度であるため除外しておく。測定された温度は18~35℃であり、35℃のポホイキの温泉水を除くと、18~26℃の範囲となり、その場所の平均気温に近い温度である。しかし、中にはプナルウの海岸湧水のように、海岸部にあるにも係わらず、水温がおおよそ18℃と低いものもある。これは本体としての地下水がより標高の高い所で涵養されたということ物語っているものと考えられる。

次にpHに関しては、海水の8.3を除くと、6.6~7.6と微酸性から微アルカリ性であり、中性に近いものが多い。

4.2 水質組成について

分析した主要溶存成分をもとに、ヘキサダイア

グラム表示とトリリニアダイアグラム表示で水質組成を示したのが図7である。溶存成分量にかなりの違いがあるために、ヘキサダイアグラム表示では5つ(x 1、x 5、x 20、x 40、x 200)の濃度スケールで表してある。まずは通常の濃度スケール群の21カ所について述べ、残り9カ所についても濃度スケール群毎に順次述べることにする。

ネウエ川の河川水(No.1)は溶存成分量が少ない水で、成分的にはNaとHCO₃成分の割合がやや高く、水質型としてはNa-Cl型・Mg-HCO₃型・Ca-HCO₃型などの複合したタイプといえよう。カパアウ集落の水道水(No.2)はネウエ川よりは溶存成分量が多いが、水質組成はやや類似していてMg(Ca)-HCO₃型とNa-Cl型と中間タイプといえる。ワイメアの町の水道水(No.3)はかなり溶存成分量が少ない水で、成分的にはNaとCl・HCO₃成分の割合がやや高く、水質型としてはNa-Cl型とNa-HCO₃型との中間タイプといえよう。

サウス・コハラ地区のワイコロア・ヴィレッジ(No.4)とマウララニ・リゾート(No.5)の水道水は、ともに溶存成分量がこの群の中では飛び抜けて多い。成分的にはNa・ClおよびMg・HCO₃成分が多く、組成としてはNa-Cl型とMg-HCO₃型との中間タイプといえる。

島南部のハアオ湧水(No.10)はそれぞれの成分が適度に含まれているもので、水質型としてはMg-SO₄型とCa-HCO₃型の中間タイプといえる。ナアレフ集落の地下水(No.11)は、ClとSO₄成分を除くとカパアウ集落の水道水(No.2)に類似しているが、水質型はMg(Ca)-HCO₃型とNa-HCO₃型と中間タイプといえる。パハラ集落の水道水(No.13)は溶存成分量が少なく、組成としてはCa-HCO₃型を示す。

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

キラウエア地区のボルケーノ・ゴルフコース(No.14)とビジターセンター(No.15)、およびボルケーノハウス・ホテル(No.16)の3カ所の水道水は、ともに溶存成分合計量が50mg/l以下と極めて少ない水である。特に、ビジターセンターとボルケーノハウス・ホテルの水は溶存成分合計量が10mg/l前後と雨水に近い水のようにあり、雨水を集めた天水利用の水であるといえる。こうした水は溶存成分量が極めて少ないために、ほんのわずかの量的な違いでも、水質組成は異なる。水質型としてはそれぞれ異なり、ボルケーノ・ゴルフコースの水はCa-HCO₃型、ビジターセンターの水は、Na-HCO₃型とCa-HCO₃型の間タイプ、ボルケーノハウス・ホテルの水はNa-Cl型とCa-HCO₃型の間タイプといえよう。

南東部のパホアの地下水(No.19)は適度な溶存

成分量があるが、成分的にはNa・HCO₃・Clの割合が高く、組成としてはNa-HCO₃型を示す。そして、ケアアウの地下水(No.20)についてはやや少ない溶存成分量であり、成分的にはNaとHCO₃成分の割合が高いが、水質型はCa-HCO₃型とNa-HCO₃型との中間タイプといえる。また、このケアアウで生産されているボトルドウォーターのハワイアン・スプリングス・ウォーター(No.21)もやや少ない溶存成分量で、組成的にはCa-HCO₃型を示し、実際に飲んでみても飲みやすい水であった。

東部のヒロ地区のナニロア・ホテルでの水道水(No.23)はやや少ない溶存成分量であって、水質型もCa-HCO₃型を示し、ケアアウのハワイアン・スプリングス・ウォーターに近い組成をしている。ダウントウンの水道水(No.24)もやや少ない溶存成分量であるが、組成的にはNaやMg成分の割合が

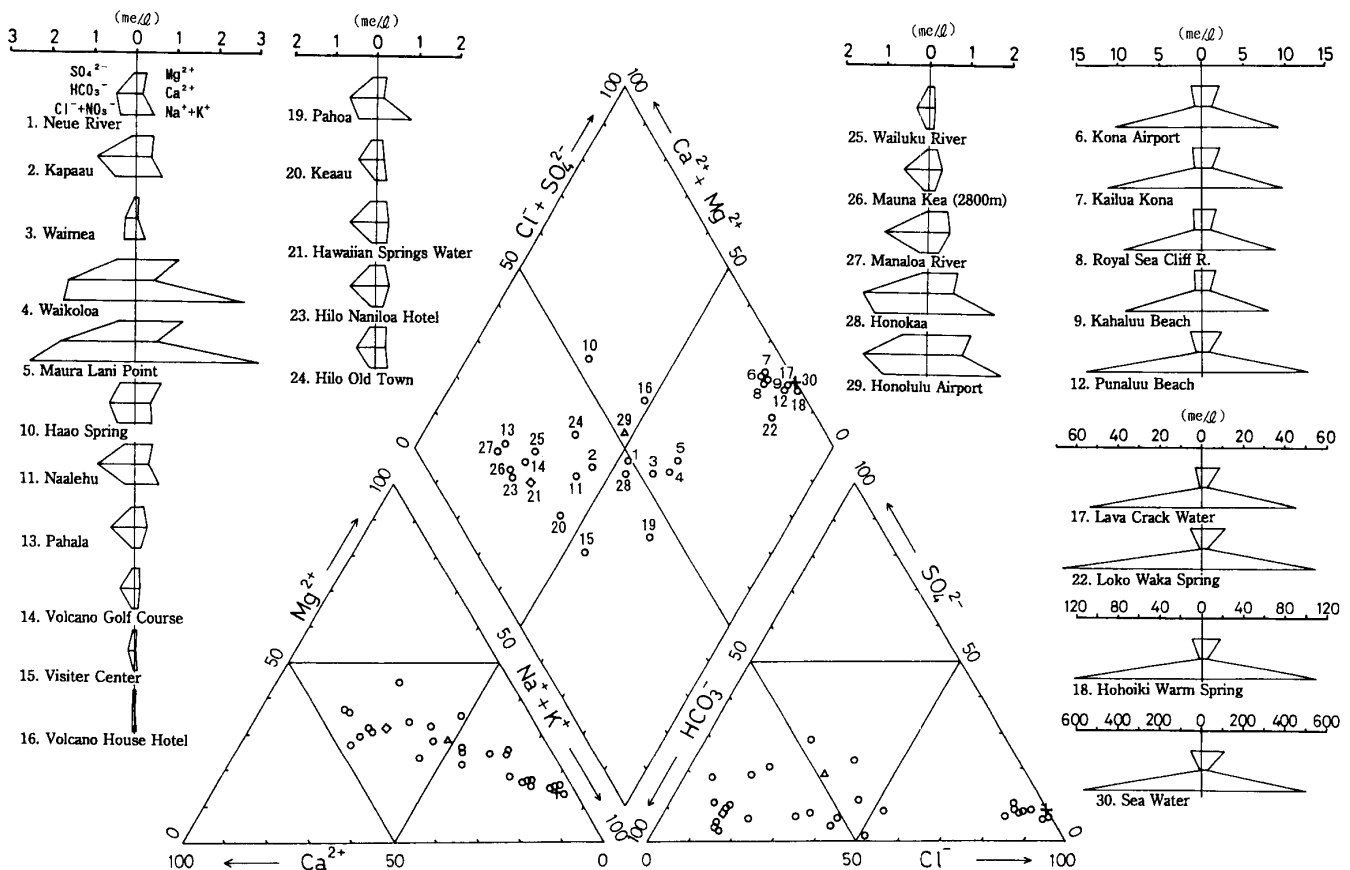


図7 水質組成図

やや高く、ナニロア・ホテルとは若干異なり、 Mg-HCO_3 型と Na-HCO_3 型との中間タイプといえる。ワイルク川の河川水 (No.25) については溶存成分量がかなり少なく、水質型は Ca-HCO_3 型を示す。また、マウナケア山中腹のオニズカ・ビジターセンター施設内の水道水 (No.26) についてはやや少ない溶存成分量であって、水質型は Ca-HCO_3 型を示す。この水はヒロのナニロア・ホテルの水道水に類似している。

北東部のニノレ近くを流れるマナロア川の河川水 (No.27) は適度な溶存成分量を含み、成分的には $\text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{HCO}_3$ の割合が高く、 Ca-HCO_3 型を呈している。そして、ホノカア町の水道水 (No.28) についてはやや多い溶存成分量を含み、 $\text{Na} \cdot \text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}$ 成分の量が多くて、水質型としては Na-Cl 型と Na-HCO_3 型の中間タイプを示す。また、オアフ島のホノルルの水道水 (No.29) もやや多い溶存成分量を含みホノカア町の水道水に似ているが、 SO_4 成分の量がやや多く、水質型は Na-Cl 型・ Na-HCO_3 型・ Ca-HCO_3 型・ Mg-SO_4 型などの複合したタイプといえよう。そのために菱形のキーダイヤグラムでは、図のほぼ中央にプロットされている。

濃度スケールが大きい群に関しては、溶存成分量に違いがあるものの、水質型についてはすべて Na-Cl 型であり類似している。濃度スケールが5倍の群に入っているのが、コナ地区のコナ国際空港 (No.6)、カイルアコナのショッピングセンター (No.7)、ロイヤルシークリフ・リゾート (No.8)、カハルウ・ビーチの海水浴場 (No.9) の4カ所の水道水とニノレのプナルウ海岸の海岸湧水 (No.12) である。濃度スケールが20倍の群に入っているのは、カエナポイントの溶岩割れ目の湧水 (No.17) とヒロのロコワカの湧水池 (No.22) である。この倍の濃度

スケールが40倍の群に入っているのがポホイキの温泉水 (No.18) である。最後に、濃度スケールを200倍で表したのがハプナ湾の海水 (No.30) である。すなわち、コナ地区の水道水、プナルウやロコワカの海岸湧水、およびカエナポイントの溶岩割れ目の湧水などは溶存成分量が少ないだけで海水の水質型と類似している。このことは本来の淡水である地下水に、海水が何らかの原因で混入したものと考えられる。もちろん、ポホイキの温泉水も海岸の近くに位置しており、かなりの程度で海水の混入があるものと考えられる。そこで、これら海水の混入の点に関しては後ほど考察する。

4.3 水質組成の地域的な分布

各採水地点毎にヘキサダイアグラム表示で水質組成を図示したのが図8である。普通の濃度スケールで表した21カ所の他に、5倍・20倍・40倍・200倍のスケールのもの9カ所については模様を付けて表してある。

北端部のネウエ川 (No.1) やカパアウ集落の水道水 (No.2)、およびワイメアの水道水 (No.3) については、溶存成分量に違いがあるものの、水質型は似通っている。これは降水量の多寡によって薄められる度合いが異なったものと考えられ、元々の水質成分は同質のものであるといえよう。そして、ハワイ島は洋島ということから、風送塩の影響もあって、全般的に Na と Cl 成分の量がいくぶん多いようである。

サウスコハラ地区の2つの水道水 (No.4・5) と北東部のホノカアの水道水 (No.28) についても、同様に互いが似たような水質型と成分量を呈している。そして、オアフ島のホノルルの水道水 (No.30) も、これらと良く似た水質型と成分量を示してい

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

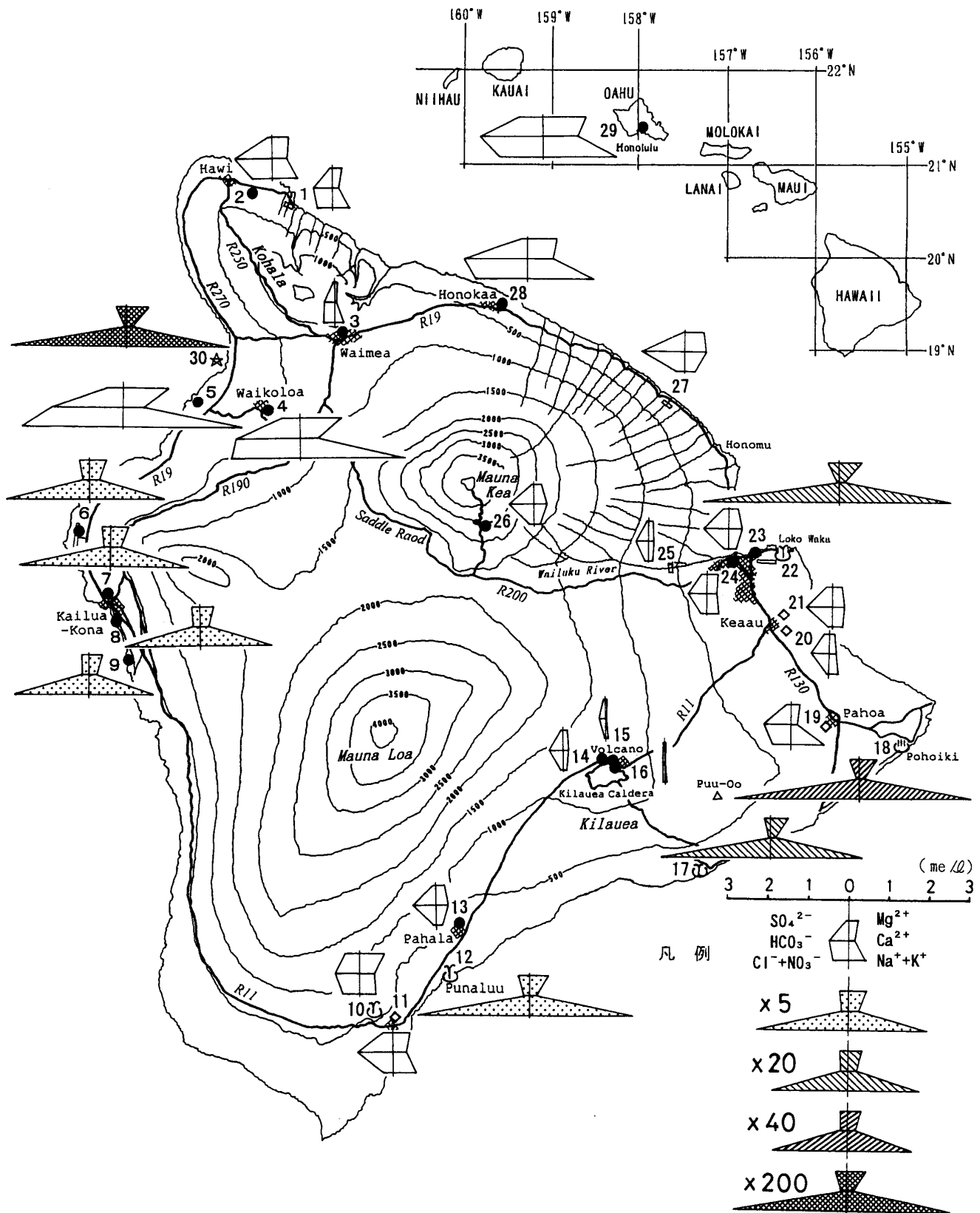


図8 採水地点でのヘキサダイアグラム表示による水質

る。さらに、これら4つは先程のNo.1・2・3の3地点とも、成分量では2～10倍ほどの違いがあるものの、水質型はかなり類似している。また、サウスコハラ地区の2つの水道水(No.4・5)についてみると、海岸寄りの方(No.5)ほど溶存成分量がより多く、中でも $\text{Na} \cdot \text{Cl} \cdot \text{HCO}_3$ 成分が多いという傾向がみられる。両者とも水道水源は深井戸の地下水であり、流動系からすればNo.5の方が下流側である。ところで、このサウスコハラ地区はハワイ島の中では最も降水量の少ない地域で、年降水量は500mm以下となっており、地下水流動系の下流側で溶存成分量が多いということはこの点の影響も考えられる。

西海岸のコナ地区の4つの水道水(No.6・7・8・9)については、水質型がいずれも海水(No.30)の水質組成とほぼ同じであり、塩水の混入した水(深井戸の地下水)となっている。南部のプナルウ海岸の海岸湧水(No.12)も、それらと同様に塩水の混入した水である。しかし、陸上の湧水であるハアオ湧水(No.10)やナアレフ集落の地下水(No.11)、およびパハラ集落の水道水(No.13)については、それぞれ水質型は違いがみられるが、適度な溶存成分を含む水であり、明らかに海岸部の湧水とは異なる。

キラウエア地区の水(No.14・15・16)は、それぞれ水質型は異なるが、いずれも溶存成分量が明らかに少ない。このうちの2つ(No.15・16)は雨水に近い成分量であり、雨水を集めた天水利用の水道水である。残りの1つ(No.14)は溶存成分量もある程度含まれ、ヒロの町を流れるワイルク川の河川水に類似した水質組成と水質型を呈しており、雨水というよりも地下水、それも滞留時間の極めて短いものか溶岩の岩脈中の地下水かもしれ

ない。

カエナポイントの溶岩中の湧水(No.17)は、水質型から塩水の混入した水である。そして、ポホイキの温泉水(No.18)も水質型から、温泉の成分を大量に含んだ水というよりも、海岸近くにあるために海水が混入したものであると云った方が正しいかもしれない。また、ヒロ東部のロコワカの海岸湧水(No.22)も同様に塩水が混入している。

パホア集落の地下水(No.19)については、島の北端部の水と似たような性状を示す。ケアアウの地下水(No.20)とボトルドウォーター(No.21)については、その北に位置するヒロの町の水道水(No.23・24)と似たような水質型を示す。これらはいずれも被圧性の深井戸の地下水である。そして、ワイルク川の河川水(No.25)は、これら地下水と水質型は類似しているが、成分量は流水であるためにより少ない水となっている。また、マアウナケア山中腹にあるビジターセンターの水(No.26)は、水質型と成分量とも、ヒロの町の水道水に類似した水であり、同じ系統の地下水であろう。さらに、北東部のニノレ近くを流れるマナロア川(No.27)は、降水量の最も多い地域を流れる河川である。この河川水は成分量はやや多めであるが、水質型としてはヒロの町の水道水などとよく類似している。これらの点からすると、マウナケア山東麓部を流れる流水やその地下に賦存する地下水については、ほぼ同質の水質型を呈しているといえよう。

4.4 特定溶存成分による特徴

ヘキサダイアグラム表示やトリリニアダイアグラム表示という水質組成の中では、ノニオンということで取り上げてなかったケイ酸 (SiO_2) 成分と、近年地下水の汚染指標として重要視されている硝酸 (NO_3^-) イオンについて言及する。これら2つの成分は海水の混入等による影響を受けないために、すべてのサンプル地点についての比較・考察が可能である。

ケイ酸の濃度については表1に掲載してあるように、0~76mg/lと幅広いが、大部分は30~50mg/lの範囲内にあるといえよう。そして、ケイ酸濃度を階級区分して分布図に示したのが図9である。最も高い76.5mg/lの濃度を示したのはポホイキ温

泉水 (No.18) であり、サウスコハラ地区の2つの水道水 (No.5・6) も60mg/l前後と高濃度である。次いで高いのが55mg/lのパホアの地下水 (No.19) であり、その他は50mg/l以下である。逆に、低濃度のもはキラウエア地区の天水利用と思われる2つの水道水 (No.15・16) で、ケイ酸は0.2ないしは0.3mg/lとほんのわずかの含有でしかない。ワイメアの水道水 (No.3) も水源はコハラ山系の東を流れる流水や雨水であることから5mg/lと低く、キラウエア地区のもう一つの水道水 (No.14) も14mg/lと低い。そして、ワイルク川 (No.25)・ネウエ川 (No.1)・マナロア川 (No.28) という河川水も10~24mg/lとおしなべて低い値であった。また、カパアウ集落の水道水 (No.1)・ハアオ湧水 (No.10) やロコワカの海岸湧水 (No.22) も26~29mg/lとやや低い値であった。これらケイ酸濃度の低い値の地点に共通することは、北東部や南部などの降水量の多い地域に位置しているものが大部分である。すなわち、雨水や流水であるとか、地層中に入ったとしても滞留時間の短い水であるために、ケイ酸の添加が少なかったものと考えられる。逆に、ケイ酸濃度が高いものは深井戸の地下水に多く、これらは地層中での滞留時間が長いものである。このハワイ島はほぼ同質の岩質で構成されており、ケイ酸濃度によって滞留時間の長短がおよそ見当づけられるのではないだろうか。そうであれば、ケイ酸は比較的 analysis が単純でかつ迅速に行えるので、滞留時間に関しての有効な指標の一つとなるかもしれない。これらの点については安定同位体などを利用した調査などとの検証の余地があるものと考えられる。

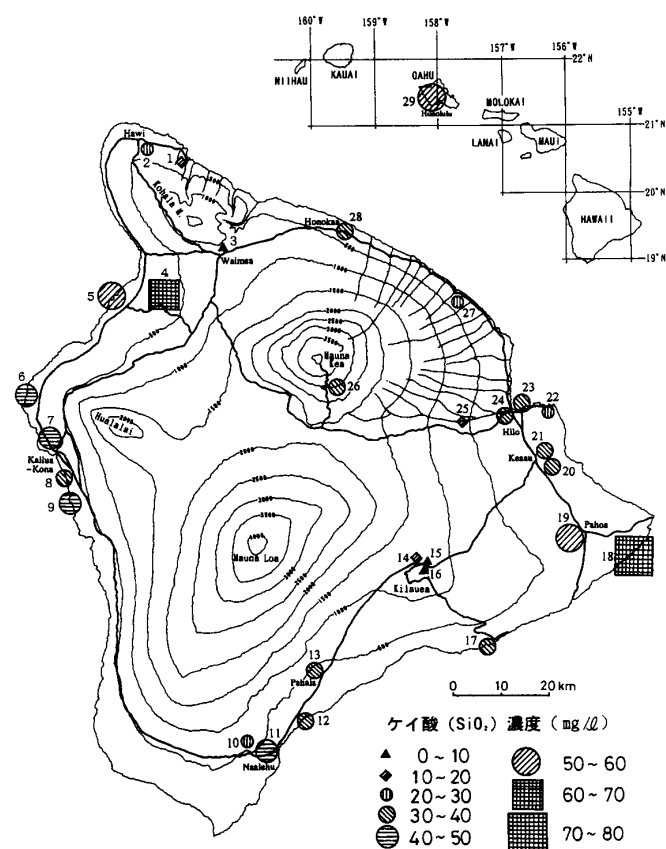


図9 ケイ酸 (SiO_2) 濃度の分布

硝酸イオンについては、最高濃度でもポホイキ温泉水 (No.18) の7.8mg/lであり、次いでカエナ

ポントの溶岩中の湧水(No.17)の5.9mg/lである。これら以外の半数の地点では0～5 mg/lであり、残りの地点では硝酸イオンが検出されなかった。したがって、ハワイ島の水の硝酸イオンは極めて低く、汚染に関してはまだほとんど認められないといえよう。

5. 淡水と塩水との混合について

ハワイ島は洋島であり、淡水(Fresh water)である地下水はガイベン・ヘルツベルクの法則により、海水すなわち塩水(Salt water)に対して楔形に入った“淡水レンズ”の様相を呈している。そして、淡水と塩水との境界については、完全に分かれるのではなく、両者が混ざり合った遷移帯としての“汽水(Brackish water)”の状態が存在するものと考えられる。

図10は地下水のあり方について、ハワイ島東部のヒロの町とマウナケア山を結ぶほぼ東西の断面について模式的に表したものである。マウナケア山の火山体の岩脈の隙間にしみ込んだ大量の雨水は、地中で地下水となり、流動系に従って東へ流れ、多くは湧水、それも海岸湧水や海底湧水となって海に流出している。特に、海岸部から海底にかけて難透水性の地層であるCaprock(帽子岩)に覆われている場合には、その難透水層が障壁となって、地下水は湧水となって海岸部や海水中に湧き出す。標高の高い火山体の岩脈中の地下水や火砕物や溶岩の割れ目などを流動している地下水は淡水であるが、標高の低い海岸部に近づくと海水の侵入によって、塩水の混ざり合った汽水の状態になる。このため、もし海岸線に近い所で深く掘られた井戸があるとすると、そこから汲み上げられ

る地下水は塩水混じりの水となる。また、湧水として海岸線近くの陸上部に湧出しても、塩水混じりの海岸湧水となる。そして、より海に近い所ほどその地下水に含まれる塩水の濃度も高くなる。

そこで、塩水の混入が認められる海水と同じNa-Cl型の水質型を示す8カ所の水について、塩水の混入率を計算してみることにする。その算出基準となるのは、一つは海水の濃度であり、もう一つはヒロ周辺の地下水の濃度であるが、海水があまりに高濃度であるために、もう一つの濃度は雨水のようにほとんどゼロの濃度でも差ほど変わらないであろう。また、用いる指標としては電気伝導度の値、あるいは溶存成分のNaイオンかClイオンでもよいであろう。

塩水の混ざった(汽水化した)地下水の濃度と水量をCbとQb、本来の淡水である地下水の濃度と水量をCfとQf、そして海水の濃度と水量をCsとQsとすると、次の2式が成り立つ。

$$C_b \cdot Q_b = C_f \cdot Q_f + C_s \cdot Q_s \quad \dots (1)$$

$$Q_b = Q_f + Q_s \quad \dots (2)$$

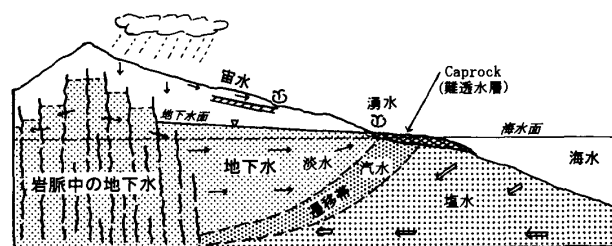


図10 地下水のあり方についての模式図
(Huntほか, 1988などを参照して作成)

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

水量については未知であり、塩水の混入率を α とする、

$$\alpha = Q_s / Q_f \quad \dots (3)$$

であり、これらを解くと、

$$\alpha = (C_b - C_f) / (C_s - C_b) \quad \dots (4)$$

が得られ、濃度に関する式となる。

西海岸のコナ地区の水道水、つまり深井戸の井戸水に関して求めてみると、塩水の混入率は1.6～2.0%となる。プナルウ・ビーチの海岸湧水では2.5%の混入率である。そして、カエナポイントの溶岩中の湧水については9.6%、ヒロ東部のロコワカの海岸湧水では12%である。また、ポホイキの温泉水が温泉成分の溶出ではなく、塩水の混入であるとする、その混入率は22%となり、およそ1/5ほどの量が塩水である。

6. おわりに

ハワイ島の水文環境に関連して、湧水・井戸水・河川水などの水の水質について主要溶存成分の特性についてみてきたが、それらは次のように纏められる。

ハワイ島は火山島から成り、北東貿易風によって島内の降水量分布は著しい地域差が生じており、これが水文環境にも多大の影響を及ぼしている。降水量が多いにも係わらず、河川の流水はマウナケア山やコハラ山系の北東側斜面の地域、および降雨時にマウナロア山の南斜面の一部にみられるのみであり、透水性の良い火山地質を反映して雨

水が地下へ浸透する度合いが大きい。このため水利用も井戸水としての汲み上げが主体をなす。火山島の地下に貯留された大量の地下水は流動系に従って流れ、その大部分は利用されることなく海岸湧水や海底湧水として海に流出している。洋島であるハワイ島では、地下水は淡水レンズとして賦存し、塩水との境界部では汽水化した地下水も存在する。この汽水化した地下水は、海岸近くに掘られた深井戸により汲み上げられたり、海岸や海底で湧水として自然湧出している。

採水調査した河川水や陸上の湧水、および本来の地下水、すなわち東部のヒロの地下水や河川水および北端部の水などは、適度な～やや少ない溶存分量を含んだ水であり、水質組成としてはCa-HCO₃型が大半であるが、風送塩の影響などもあってNa-HCO₃型やNa-Cl型とMg-HCO₃型の中間型などもみられる。降水量の極めて少ないサウスコハラ地区の地下水は、水質型が北端部の水と同じNa-Cl型とMg-HCO₃型の中間型を示すが、溶存成分は2～3倍の量を含んでいてかなり高濃度である。これに対して、キラウエア地区の水道水は溶存分量が極めて少なく、雨水に近い組成をしており、天水利用である。

西海岸のコナ地区の水道水、南部のプナルウ海岸やヒロ東部のロコワカ池の湧水などは非常に溶存分量が多く、水質組成も海水と同じNa-Cl型を呈しており、汽水化した地下水となっている。南東部のポホイキの温泉水も温泉成分の溶出というよりも塩水が混入した状況となっていて、水質組成はそれを反映して海水と同じNa-Cl型で溶存分量が極めて多い水となっている。これらの汽水化した地下水の塩水混入率については、コナ地区の地下水がおよそ2%ほど、プナルウ海岸の海岸湧

水が2.5%、カエナポイントの溶岩中の湧水が9.6%、ヒロ東部のロコワカ池の海岸湧水が12%、そしてポホイキの温泉水が22%と計算される。

ケイ酸については地域的な濃度分布に傾向がみられ、降水量の多い所の水は低濃度であるが、降水量の少ない所の水はより高濃度となっている。また、汚染の指標ともなっている硝酸 (NO_3^-) イオンについては、大半の水で検出されず、検出しても10mg/l以下となっており、汚染の兆候はまだ認められないといえよう。

参考文献

- 池澤夏樹(2000)：ハワイ紀行。新潮文庫、558p.
- 島野安雄・河野忠・高村弘毅(1996)：名水を訪ねて (34) 韓国・済州島の名水。地下水学会誌、38 (3)、pp.211-221.
- 高村弘毅・梶原茂喜・河野忠・田中信太郎(1988)：済州島における水文環境について (1) ー特に地下水・湧水の水質と利水ー。立正大学日韓合同済州島学術調査団編著「韓国済州島の地域研究」。pp.31-55.
- 中村一明 (1989)：火山とプレートテクトニクス。東京大学出版会、323p.
- 早川由起夫 (1998)：ハワイ島の火山見学案内。地学雑誌、107 (3)、pp.444-457.
- 林武司・丸井敦尚・安原正也(1999)：利尻島における陸水および海底湧出地下水の水質特性。日本水文科学会誌、29 (3)、pp.123-138.
- 丸井敦尚(1997)：海底湧出地下水ー新たな水資源としての可能性ー。日本水文科学会誌、27(2)、pp.84-94.
- 丸井敦尚・安原正也(1999)：塩水ー淡水境界に関わる地下水流動研究。日本水文科学会誌、29(1)、pp.1-12.
- 丸井敦尚・安原正也・林武司(1999)：名水を訪ねて (46) 北海道利尻島の名水ー甘露泉水と海底湧水ー。地下水学会誌、41 (3)、pp.213-220.
- Armstrong, R. W. ed. (1983): Atlas of Hawaii. University of Hawaii Press. 238p.
- Decker, R. W., Wright, T.L. and Stauffer, P. H. eds. (1987) : Volcanism in Hawaii. U. S. Geol. Serv. Prof. Paper, 1350, 1667p.
- Janik, C. J., Nathenson, M. and Scholl, M. A. (1994) : Chemistry of spring and well waters on Kilauea Volcano, Hawaii, and vicinity. U. S. Department of Energy, Open-File Report 94-586, 166p.
- Hunt, C. D. Jr., Ewart, C. J. and Voss, C. I. (1988) : Region 27, Hawaiian Island. in Back, W., Rosenshein, J. S. and Seaber, P. R., eds., Hydrogeology: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v.O-2. pp.255-262.
- Macdonald, G. A., Abbott, A. T. and Peterso, F. L. (1983) : Volcanoes in the sea: The geology of Hawaii (2nd ed.) . University of Hawaii Press, 518p.
- Scholl, M. A., Ingebritsen, S. E., Janik, C. J. and Kauahikaua, J. P. (1996) : Use of precipitation and groundwater isotopes to interpret regional hydrology on a tropical volcanic island: Kilauea volcano area, Hawaii. Water Resources Research, 32(12),

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

pp.3525-3537.

U.S. Geological Survey (1987) : Eruptions of
Hawaiian volcanoes. 54p.

* 本研究所客員研究員

** 経済産業省産業技術総合研究所

ABSTRACT

Characteristics of Water Quality of the Spring, Well and River Waters in the Big Island of Hawaii

Yasuo SHIMANO, Shigemi TAKAYAMA, Masaya YASUHARA
and Atsunao MARUI

The characteristics of major dissolved components about the water quality of the spring, well and river waters in relation to the hydrological environment of the Hawaii Island were considered and concluded in the following. As for the Hawaii Island consists of a volcanic island and the rainfall distribution is resulting a remarkable regional difference by the north-east trade wind, those factors have a great influence on the hydrological environment. The running water of the river only existed in the area of the north-east side of the Mt. Mauna Kea and the Kohara mountain range, and a part of the south slope of the Mt. Mauna Loa at the time of a rainfall, in spite of large quantity of the precipitation. The degree of infiltration of rain water to the underground in the Hawaii Island is large reflecting of the porosity and high permeability of volcanic rocks, therefore the water use is mainly composed of the well water pumping up in this island. A lot of groundwater stored in the underground of the volcanic island are flowing out to the sea as a coastal spring water and submarine spring water in accordance with the groundwater flow system, without being used. In the Hawaii Island which is an ocean island, the groundwater is existed as a large lens-shaped bodies, that is commonly known as the Ghyben-Herzberg lens. The groundwater in the boundary with sea water is turned a salty groundwater which called a brackish groundwater.

The brackish groundwater is pumped up by the deep well that was dug in a coastal area and also is naturally discharged out as a spring water in the beach and the sea bottom.

The inland waters as river, spring and basal groundwater sampled in Hilo area and the north end area are including a little bit to an appropriate volume of the dissolved component. Most of the water belong to the Ca-HCO_3 composition type, a part of water belong to the Na-HCO_3 type and the intermediate type between the Na-Cl type and the Mg-HCO_3 type, because the influence of sea salt particles transported by wind. The water composition of groundwater in South Kohara area which located in the extremely scarce precipitation shows the intermediate type between the Na-Cl type and the Mg-HCO_3 type as same as the water of north end area of the island. However, the dissolved component of the groundwater in South Kohara area is fairly high density and is

ハワイ島における湧水・井戸水・河川水等の水質特性

included the quantity of two or three times to that of the north end area. The tap water of Kilauea area is extremely little contained the dissolved component and be doing close to the rain water composition.

Waters with the tap water in Kona area at the west coast of the island, the spring water of the Punaluu beach and the Lokowaka spring water are included a lot of minerals. The water composition of these waters shows the Na-Cl type as same as sea water and is turned a brackish groundwater. As for the Pohoiki hot spring located in the south-east area is mixed with the salt water, the water composition is contained extremely much volume with the same Na-Cl type as the sea water. Submarine discharged groundwater as a submarine spring and/or a coastal spring is considered to be mixed with sea water and turned a brackish water. The mixing rate of the salt water to the groundwater about the groundwater of the Kona area is calculated with about 2%. Similarly, the mixing rate is calculated with 2.5% at the coastal spring water of the Punaluu beach, with 9.6% the spring water in the lava crack of the Kaena point, with 12% the spring water of the Lokowaka pond of the Hilo and with 22% the Pohoiki hot spring, respectively.

The silica acid (SiO_2) concentration is observed with tendency to regional distribution, its concentration is low density in the much rainfall area and is higher density in the small rainfall area. Also, the nitric acid ion (NO_3) that is the guideline of contamination was not detected in the most place of the island. As for granted that the nitric acid ion was detected being becoming 10 or less mg/l, the indication of the contamination in this island is not yet admitted.