

## 第3章 赤土・水・海浜砂に関する調査と試験法

### 3.1 現地調査

本研究で実施した琉球列島での現地調査における赤土・水・海浜砂の調査地域を図3-1に示している。赤土の採取については沖縄本島と西表島，海浜砂の採取については沖縄諸島（沖縄本島，伊平屋島，粟国島，久米島），宮古諸島（宮古島，多良間島），八重山諸島（石垣島，黒島，小浜島，竹富島，波照間島，与那国島）において実施している。各島において行った調査の項目と，時期について図3-2に示している。また調査で採取した赤土と自然水（河川水や湧水）については，次節3.2に記述する一連の各種試験方法に基づいて，分析・測定を実施している。

ただし平成10，14，15年以外の調査で採取した試料は，既に当研究室で入手し保管しているもので，その試料を分析あるいはデータを再整理して利用している。なお平成10年のデータは，筆者が本科の卒業研究時に調査を実施した分析データである。

#### 3.1.1 赤土調査

赤土は本島と西表島で採取を実施している。本島では貯留型沈砂池が設置されている本島中部地域と北部太平洋側地域を対象としている。中部地域では貯留型沈砂池に流出した赤土を採取している。また北部地域では工事等により開削・掘削され，赤土が露頭している場所を利用して採取している。西表島では本島北部地域と同様に，開削・掘削により赤土の露頭している箇所採取している。

#### 3.1.2 自然水調査

##### (1) 沖縄本島

本島では，湧水と河川水について調査を実施している。湧水については「ガー」または「カー」と呼ばれる琉球王朝時代から使用されてきた井泉などの湧水，河川水については中部以北地域の河川水を対象としている（写真3-1）。採水の際には，水素イオン濃度（pH）と電気伝導率（EC）の測定を同時に実施している。

##### (2) 西表島

西表島では，降水，河川水，渓流水についての調査を実施している。降水については島内一円に降水容器を設置し，降雨ごとに採水を実施している。また島内の渓流水および河

川水についてもほぼ島一円で調査を実施し、遡上した海水が直接混入していない地域で採水を行っている（写真 3-2）。これらの調査でも、pH と EC の測定を実施している。

### 3. 1. 3 海浜調査

沖縄諸島、宮古諸島および八重山諸島の島々の一円または一部の海浜において海浜砂を採取している。海浜砂の採取には潮の干満の影響を受けている場所を選定し実施している。

対象とした島は、沖縄諸島では沖縄本島、粟国島、伊平屋島、久米島の 4 島、宮古諸島では宮古島と多良間島の 2 島、八重山諸島では石垣島、黒島、小浜島、竹富島、波照間島、与那国島の 6 島の総計 12 島である。特に本島と石垣島では、ほぼ島一円で海浜砂を採取している。沖縄本島では 105 地点、石垣島では 107 地点で海浜調査を実施し、海浜砂を採取している。

### 3. 2 試験方法

琉球列島の各島より採取した赤土と自然水の試料について各種の試験を実施している。実施した各試験の測定内容を図 3-3 に示している。また赤土試料の水素イオン濃度（pH）、電気伝導率（EC）および水溶性成分を求めるために行った各種試験は、地盤工学会基準（JGS）の化学試験法<sup>17)</sup>に基づき実施している。

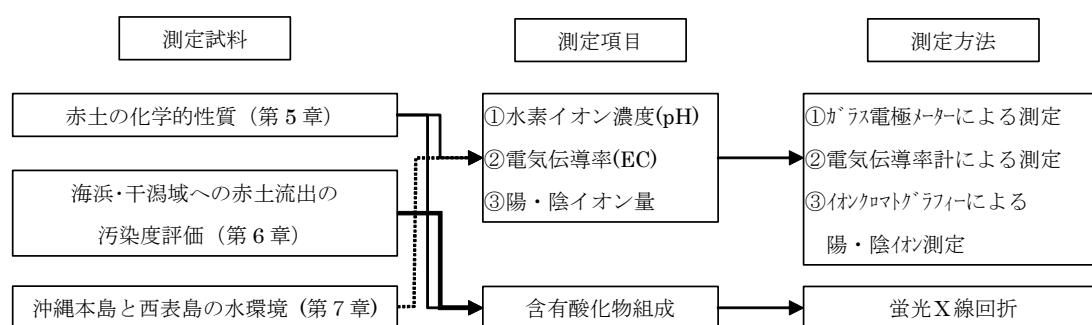


図 3-3 各章の水・土について実施した測定項目と測定方法

#### 3. 2. 1 水の分析に関する試験

##### (1) 水素イオン濃度（pH）

周知のように、水溶液中の水素イオン $[H^+]$ の濃度を示す指標であり、その逆数の対数が pH である。pH=7 が中性であり、pH>7 ならばアルカリ性、pH<7 ならば酸性を示す。pH の式を以下に示す。

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log[\text{H}^+]$$

$[\text{H}^+]$  : 水溶液中の水素イオンのモル濃度 ( $\text{mol/l}$ )

pH の測定法には、指示薬の変色を利用する比色法とガラス電極 pH メーターによる方法があり、本研究ではガラス電極 pH メーターを使用して測定を行っている。ガラス電極メーターは、内部に pH=7.0 の溶液を入れたガラス電極と塩化カリウム溶液を入れた比較電極からなり、pH 値の異なった溶液の間にガラス薄膜を置いた際の pH の差により生じる二層間の電位差を利用して水素イオン濃度を測定する装置である。測定に関しては試料にガラス電極メーターの電極を浸漬させて行う。

## (2) 電気伝導率 (EC)

電気伝導率は、伝導度 (Electric Conductivity) とも表記され、水中に溶存しているイオン量と各イオンの電気を運ぶ速さによって支配される値で、単位は ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) などが用いられる。この値は水温によって変動するため、標準温度に補正・換算して表される。通常 18°C、20°C または 25°C が使用される。ある任意の温度  $t$  で測定された値 ( $\lambda_t$ ) を 25°C の標準温度の値に換算する場合の式は以下のように表示される。

$$\lambda_{25^\circ\text{C}} = \lambda_t / \{1 + \alpha(t - 25)\}$$

$\alpha$  : 温度係数 (範囲 0.020~0.025, 通常 0.022)

本測定では電気伝導率の測定にコンパクト伝導率計を使用している。一般に電気伝導率計は、同一形状の 2 個の平板白金電極を試料水に浸漬させたときに測定される電極平板間の電気抵抗値により電気伝導率を求め、標準温度 25°C の値に補正・換算して表示される。使用した計測器における測定では、試料を直接電気伝導率の計測部であるセル内に滴下して伝導率を測定している。

## (3) 主要溶存化学成分

一般的に水の解析・解釈には、主要溶存化学成分であるナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ )、カリウムイオン ( $\text{K}^+$ )、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ )、マグネシウムイオン ( $\text{Mg}^{2+}$ )、重炭酸イオン ( $\text{HCO}_3^-$ )、塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )、シリカ ( $\text{SiO}_2$ ) の基本的な化学成分の分析が行われる。化学成分量の表示に関しては、濃度として質量単

位 ( $mg/l$ ) を使用している。また必要に応じ当量単位 ( $me/l$ ) に変換して表示している。

本研究では液体イオンクロマトグラフィーを使用し、イオン成分を測定している。液体イオンクロマトグラフィーとは液体の固定相と液体の移動相の2相間における物質の分配係数の差を利用して溶液中の混合物を分離し同定する装置である。この装置による試料中の成分の定量は、クロマトグラムを検出部で測定された各成分のピーク高さや面積を測定し、各成分の標準液を使用して作成した検量線により算出される。検出した溶存化学成分の特性について下記に要約している。

#### (a) ナトリウムイオン

主として塩化ナトリウムイオン ( $NaCl$ ) に由来し、我が国は四方を海に囲まれているためこの濃度が高い。また人間活動によって排出されたり、雨水、岩石、土壌などからも供給される。

#### (b) カリウムイオン

一般的に濃度は低いが、植物体に多く含まれている成分であり、植物を燃焼させたときの粒子状物質や木の葉などにより供給される。また岩石や土壌の風化にともなって溶出するものもある。

#### (c) カルシウムイオン

淡水においてもっとも重要な成分であるが、わが国での含有量は一般的に少量である。主として地質が起源であり、沖縄などの石灰岩を多く含む地域や鍾乳洞などが形成されている地域では溶存量が大きい。またそれに対し火成岩地域における溶存量は少量である。

#### (d) マグネシウムイオン

主に岩石、土壌の風化に起因する。しかしながら海塩飛沫粒子の影響が大きいところでは、海塩に起因する場合は主となる場合がある。

#### (e) アンモニウムイオン

タンパク質窒素の腐敗過程に由来し、人間活動による部分と肥料または家畜等の排泄物による部分がある。そのほかにも泥炭地質に由来するものや深層地下水における硝酸性窒素の還元由来する場合もあり多様の起源を持つといえる。

#### (d) 塩素イオン

塩素イオンは岩石の風化や降水により供給されるがこれらの寄与は小さく、人間活動の影響や海水または温鉱泉の混入により濃度が増加する。 $Cl^-$ は安定で、土粒子に吸着

されることもなく地下水や河川水に溶解・循環し、しかも測定が容易であるため人間活動に起因する効果を示すよい指標となる。

#### (f) 硫酸イオン

硫酸イオンは  $\text{Cl}^-$  と同様に岩石の風化により供給されるが、海水、温鉱泉水の混入によりその濃度は増加する。また石油・石炭などの化石燃料の燃焼から生じる二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) から生成されるため、人間活動に基づく汚染物質の指標とされる。また  $\text{SO}_2$  の増加により降水が酸性化する「酸性雨」は世界的にも大きな問題となっている。

#### (g) 硝酸イオン

水中で不安定な亜硝酸イオンが酸化されて生じる。窒素化合物の最終生成物が硝酸性窒素とされているが、湖沼、貯水池などの低層や深井戸などの溶存酸素が少なく還元的な環境では硝酸性窒素は還元され、亜硝酸性窒素となる場合がある。

ただしこのイオンは天然水中にはあまり見られず、化石燃料の燃焼により生じる  $\text{NO}_2$  の光化学反応により生成されるものが多いとされる。このため人為的な汚染が生じている場合には大きな値を示すことから、無機汚染因子の1つの指標にもなっている。

### 3. 2. 2 赤土の分析に関する試験

#### (1) 水素イオン濃度 (pH)

土の水素イオン濃度は、土粒子、間隙水および空気からなる集合体としての土の界面化学的な性質を評価するのに役立つ指標の1つであり、土の工学的特性を理解する上で必要な項目である。pH測定は地盤工学会の土質試験法 (JGS0211-2000) 「土懸濁液の pH 試験」<sup>17)</sup>に基づき実施している。

#### (2) 電気伝導率 (EC)

土の電気伝導率は、土中の電解質を浸出させた溶液の電気抵抗を測定する方法であり、土の化学的性質の概要を知る上で重要な因子である。ECの測定は地盤工学会の土質試験法 (JGS0212-2000) 「土懸濁液の電気伝導率試験」<sup>17)</sup>に基づき実施している。

#### (3) 水溶性成分

この試験では、土の間隙水中に溶解している成分と水で比較的簡単に溶解する土粒子中の成分を一括して評価することを目的としている。ここでの測定成分はナトリウムイオン

(Na<sup>+</sup>), カリウムイオン (K<sup>+</sup>), カルシウムイオン (Ca<sup>2+</sup>), マグネシウムイオン (Mg<sup>2+</sup>), アンモニウムイオン (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>), 硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 亜硝酸イオン (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) の 9 成分である. 測定方法を以下に要約する. ①10 mm 未満の土粒子を使用し, 乾燥質量約 50 g に相当する湿潤質量 m(g) を量り, 振とう瓶に入れる. ②その瓶に水 500 ml を加え振とう機により常圧で 6 時間連続振とうする. 振とう後 20~30 分静置し, 遠心分離した後にろ過する. ③このろ液を溶出液とし, 溶解している成分の測定を実施する.

ろ液の化学成分分析には液体イオンクロマトグラフィーを使用している.

#### (4) 含有酸化物組成

土の含有元素組成の評価は, 蛍光 X 線回折方法を使用している. 物質を構成する原子は固有の殻電子順位を持っているため, 物質の原子に X 線を照射すると, 内殻電子が励起され, 殻外に飛び出し, 空位が生じる. その空位に外殻からの電子が落ち込む. このとき外殻電子の持つエネルギーと内殻電子の持つエネルギーの差が電磁波として照射される. すなわち, その物質中の原子からそれぞれ固有の波長と強度を持つ X 線 (蛍光 X 線) が発生する. 蛍光 X 線回折ではこの蛍光 X 線の波長と強度を測定し, 物質中に存在する原子の種類や含有量を分析することができる.

本測定では, 土の含有元素組成と酸化物組成を求め, 質量百分率で表示している.