

令和元年7月5日現在

機関番号：82505

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16351

研究課題名(和文) 石英粒子の表面形態を利用した後背地推定手法の構築

研究課題名(英文) Research on provenance study using quartz grain surface microtextures

研究代表者

板宮 裕実 (Itamiya, Hiromi)

科学警察研究所・法科学第三部・研究員

研究者番号：40645488

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：石英粒子の表面には粒子の運搬過程や堆積環境を反映した微細形態が残されている。本研究ではこの特徴を利用し、石英粒子の表面形態の解析を日本の土の後背地推定に利用するための研究を行った。海岸堆積物および河床堆積物について土試料を収集し、走査型電子顕微鏡で観察を行った。日本においても土の堆積環境や供給源の違いにより、石英の表面形態に多様性が確認され、後背地の推定に有用であることが示された。また、本研究では表面形態の1つであるV字衝突痕の三次元形状測定法を新たに開発した。海岸や河川の堆積物について、水中での堆積環境の解明に寄与できる手法と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の土における石英粒子の形態的特徴の多様性を確認し、後背地の推定に有用であることを示した。一方、先行する欧米諸国の研究とは必ずしも同様の傾向を示さないことも明らかとなり、日本の地質や地形的特徴を踏まえた考察を行う必要があると示唆された。土砂の後背地を推定し、「いつ、どこで、どのような地形変化が起こったのか」を明らかにする研究は、自然地理学における地域的多様性や地形変遷の解明、防災学における将来の自然災害の予測や土地の危険度の評価などに貢献できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The microtexture of a quartz surface reflects the sedimentary history of the grain, including its parent rock, transportation process, and depositional environment. In this study, we examined the relationship between quartz morphological features and sedimentary history to apply surface textural analysis to provenance study in Japan.

Fluvial sediments and coastal sands were collected in Japan, and quartz grains after chemical treatment were observed by scanning electron microscope. It is revealed that quartz surface analysis has the potential to show the morphological variation and provide useful information on the provenance study. Furthermore, 3D measurement of v-shaped percussion cracks, one of the surface microtextures, was developed. This analysis can contribute to reveal the subaqueous environment of fluvial and marine sediments.

研究分野：法科学

キーワード：石英粒子 表面形態 円磨度 フラクタル次元 主成分分析 共焦点レーザー顕微鏡 表面粗さ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

自然地理学において、後背地や古環境を推定することは地域的多様性や地形変遷を説明する上で重要な研究課題である。陸域の堆積物から後背地や古環境の推定を行う研究では、放射性同位体  $^{14}\text{C}$  を利用した年代推定、花粉や珪藻などの微化石分析による環境推定、電子スピン共鳴 (ESR) 法など、様々な分析手法が利用されている。本研究では土壌に含まれる石英粒子に着目する。石英は風化に強く保存性が高いため、粒子表面には粒子の運搬過程及び堆積環境を反映した微細な孔や断口等が見られる (図1)。石英粒子の表面観察は1970年代頃から走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて行われており、近年では世界各国で後背地推定の一手法として盛んに活用されている<sup>(1)</sup>。日本では、1980年代に断層粘土中の石英粒子の風化度合から断層の活動時期を推定する研究が行われているが、微細な表面形態の種類や出現頻度から石英粒子の後背地を推定する研究報告はあまり見られない。

研究代表者はこれまでに、日本国内の海岸・河岸・湖岸低地や砂丘などの土砂試料を用いて石英表面の観察を行った。その結果、日本においても土砂の堆積環境により表面形態に多様性が見られ、後背地の推定に有用であることが示唆された。しかし海外の報告例とは異なり、日本の石英は、表面に出現する形態的特徴に偏りがあり、単純な形態的特徴の有無だけでは試料間の差異を表すのは難しいことが判明した。これは、山地が多く急勾配の河川を有する国土の特徴や、地震や洪水等の災害を伴うような急激な地形変化が多いことから、表面形態を形成する時間が短いためと考えられた。先行している欧米諸国とは異なった地理的条件を有する日本において、石英粒子の表面形態の解析を後背地推定に応用するためには、我が国の自然環境の理解に基づいた試料収集による知見の蓄積と、統計的手法や画像解析を利用したより詳細な評価法の構築が必要と考えた。

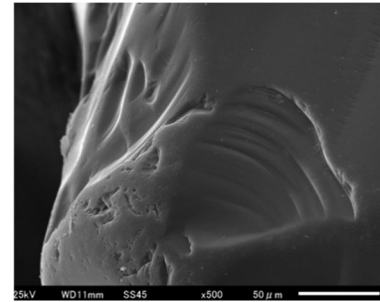


図1 石英粒子の表面の電子顕微鏡写真

### 2. 研究の目的

#### (1) 石英粒子の表面形態と地理的・地質的要素に関する知見の蓄積

本研究では、山地が多く急勾配の河川を有し、津波や洪水などの災害による地形変化が大きい日本の国土の特徴を踏まえ、諸外国と運搬プロセスや堆積環境が異なると考えられる河川及び海岸堆積物に着目して研究を行う。河川の上流域から河口・海岸線に至る複数地点でサンプリングを行い、石英表面の形態的特徴と、河床勾配や海岸地形といった地理的要素や母岩などの地質的要素との関係を明らかにする。

#### (2) 石英粒子の観察結果の評価 - 客観的な評価法の構築

顕微鏡で粒子表面を観察した結果について、より客観的に試料の特徴を表すために、統計的手法を用いた評価法を検証する。日本の石英粒子の表面によく現れる形態的特徴について、その形態の有無だけでなく、密度や大きさといった定量的な指標を用いる客観的な評価法を構築する。また、表面形態に加え、石英粒子の形状について画像解析を用いた評価を行う。これらの方法で、顕微鏡観察の結果を客観的に評価することを目標とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 走査型電子顕微鏡による表面形態の観察

日本国内より採取した河床堆積物 (3河川 19試料) および海岸堆積物 (5地域 19試料) を研究に用いた。河川は北上川、利根川、姫川を対象とし、海岸は青森県 新潟県および富山県 茨城県および千葉県 静岡県 徳島県 の5地域を対象とした。採取した土試料は脱炭酸、脱鉄および有機物分解を行った後、石英粒子を選別した。走査型電子顕微鏡 JSM-6610LV (日本電子社製) を用いて、倍率を約 100 ~ 10,000 倍とし、先行研究 (Vos et al. 2014) の形態分類表に基づき 15 種類の微細形態に着目して、石英粒子の観察を行った。各微細形態を有する粒子の割合を「形態の出現頻度」として算出した。

#### (2) 電子顕微鏡画像を利用した粒子の凹凸解析

石英粒子の形状評価には、粒子全体を写した 1280 × 960 ピクセルの SEM 画像と ImageJ を用い、粒子の丸さ R (Roundness) と、粒子の凹凸を表す指標としてフラクタル次元 FD (Fractal dimension) を算出した (Takashimizu et al. 2016, 鈴木, 2013)。

#### (3) 統計的手法による観察結果の解析

統計解析ソフトを用い、電子顕微鏡で観察した 15 種類の微細形態の出現頻度を変数として主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) を行った。

#### (4) 共焦点レーザー顕微鏡による衝突痕の測定および解析

前処理を行った土試料から石英粒子を選別し、共焦点レーザー顕微鏡 VK-9700 (キーエンス社製) を使用して、1試料につき 20 粒、1粒あたり約 140 × 105 µm の視野で粒子表面の 3D 形

状の測定を行った。データの解析には、解析ソフトウェア Mountains Map ver. 7.4.8476( Digital Surf 社製)を使用した。傾きを補正した後、ノイズおよびうねり成分の除去を行い、ISO25178-2 に準拠した表面の粗さを表すパラメータを算出した。また、衝突痕の個数密度や開口部の面積を算出した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 走査型電子顕微鏡による表面形態の観察

石英粒子に観察された表面形態は、その種類によって出現頻度に差がみられた。機械的な作用で形成される形態の平均出現頻度は、河床堆積物、海岸堆積物共に約 40%と多くの石英に観察され、特に Conchoidal fractures や Steps はどの試料にも観察された。一方、化学的な作用で形成される形態の平均出現頻度は、河床堆積物、海岸堆積物共に約 10%であり、機械的な作用で形成される形態より出現頻度が低い傾向にあった。試料間で形態の出現頻度に大きな差が見られたのは、Silica precipitation (0~65%)、Small holes(0~95%)、V-shaped percussion cracks(5~100%)、Small conchoidal fractures(5~80%)、Large conchoidal fractures(0~60%)であった。

河床堆積物で上流域と下流域の試料に出現頻度の差が認められた形態は、姫川における Small holes と、利根川における V-shaped percussion cracks (図2)であった。その他の表面形態の出現頻度には、一定の傾向は認められなかった。本研究では3つの河川を対象としたが、流路延長が約 60kmの姫川でも、流路延長が約 322kmと長い利根川でも、上流域と下流域に大きな石英の形状の違いは確認されなかった。河川の長さや勾配、土砂流出量などは河川により様々であるため、一概に「上流」「下流」という場所で区別するのではなく、日本の河川の特性を考慮して結果を解釈する必要があると考えられた。

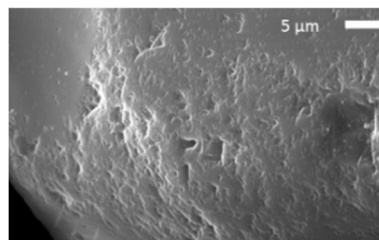


図2 石英粒子表面の V-shaped percussion cracks

海岸堆積物の石英の形態的特徴は、運搬過程の違いによるところが大きく、V-shaped percussion cracks の出現頻度に運搬および堆積環境の違いが現れた。北陸地方や徳島の海岸堆積物は、角張った石英粒子で表面には V-shaped percussion cracks が少なく、河床堆積物と類似した特徴であった。北陸地方や徳島の海岸は、近くに大きな河川の河口があるため、これらの海岸堆積物は河川から供給された土砂の影響を受けていると考えられた。一方、青森や千葉の試料は、丸みを帯びた石英粒子を有し、表面には多数の V-shaped percussion cracks が観察された。青森や千葉の海岸堆積物は、河川からの土砂供給の影響が小さいため、北陸地方や徳島の海岸と異なる特徴の石英が観察されたと示唆された。

##### (2) 電子顕微鏡画像を利用した粒子の凹凸解析

R の平均値は 0.69~0.83、標準偏差は 0.03~0.09 となり、同じエリアの海岸堆積物や、同じ河川の試料では類似した値となった。河川間で比較すると、姫川の河床堆積物が 0.7 前後と低い値を示し、利根川は約 0.75~0.80 と高い値を示した。いずれの河川も、河川上流から下流にかけて R が大きくなり丸みを帯びる様子は認められず、河川間での差異のみ確認された。FD の平均値は 1.004~1.018、標準偏差は 0.002~0.006 であった。全体的に河床堆積物で値が高く、海岸堆積物で低い傾向にあった。また、R と FD の関係性を調べたところ、負の相関を有しており(図3)河床および海岸堆積物共に、R が高くなると FD が低くなる傾向が認められた。河床堆積物は、海岸堆積物と比較して凹凸のある石英を多く有していた。FD は R より地域間の差が生じていた。

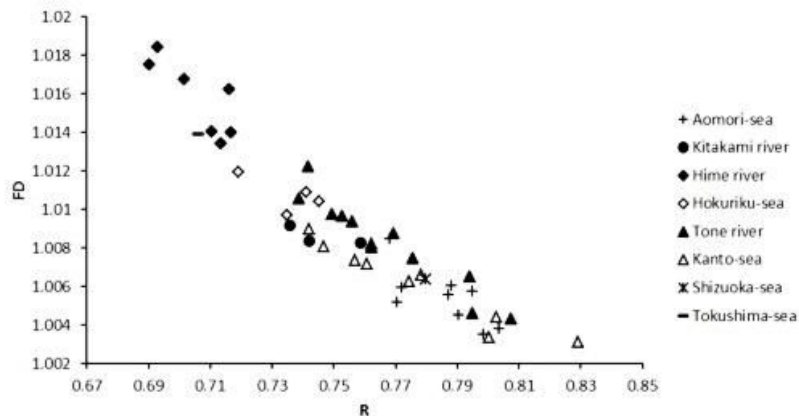


図3 FD と R の関係

### (3) 統計的手法による観察結果の解析

第一および第二主成分のスコアプロットを図4に示す。北上川3地点、姫川の7地点のうち上流側の5地点、青森の海岸9地点、茨城の海岸3地点などで互いに近い位置にプロットされ、グルーピングが可能であった。PCAの寄与率は、第一主成分が25%、第二主成分が13%、第三主成分が12%であった。第一主成分にはSmall holesやV-shaped percussion cracksが、第二主成分にはConchoidal fracturesやUpturned platesが主に寄与していた。全体の傾向として、丸みを帯びた石英を多く含む試料が第二主成分の負の部分に、角張った石英を多く含む試料が正の部分に位置した。

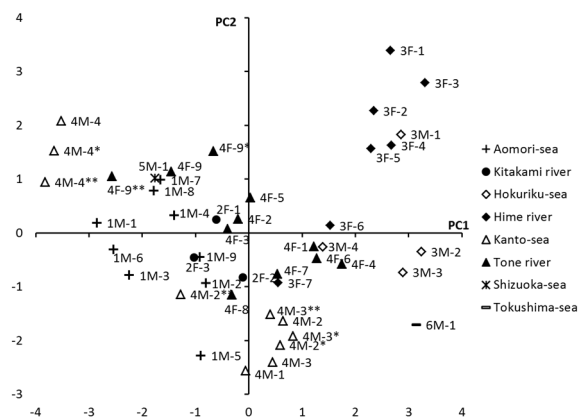


図4 主成分分析のスコアプロット

### (4) 共焦点レーザー顕微鏡による衝突痕の測定および解析

水中で粒子と粒子が衝突して形成される形態であるV-shaped percussion cracksの密度や深さを測定する方法について、共焦点レーザー顕微鏡を用いた手法を新たに開発した。7試料の海岸堆積物について測定した結果、いずれもV-shaped percussion cracksの出現頻度が80%以上と高い試料であったが、それらの試料の中でも、穴の密度が小さく浅い穴を有する試料と、高密度に深い穴を有する試料があることが明らかとなった。

穴の密度や深さに差を生じる要因について、本研究の結果のみで断定することは出来ないが、穴の形成メカニズムを考慮すると、海岸の波の高さ、粒子の大きさ、海岸に堆積する時間などが影響すると考えられた。穴の密度や深さに影響を与える環境要因については、試料数を増やしたさらなる研究が必要と考えられたため、今後も研究を継続し、学会発表や論文発表を行う予定である(2019年度に学会発表1件予定)。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

- (1) Itamiya, H., Sugita, R. and Sugai, T. Analysis of the surface microtextures and morphologies of beach quartz grains in Japan and implications for provenance research. Progress in Earth and Planetary Science, 査読有, 6:43, 2019.  
DOI:10.1186/s40645-019-0287-9

[学会発表](計5件)

- (1) 板宮 裕実, 杉田 律子, 須貝 俊彦. 石英の表面形態を利用した土砂の異同識別法の検討. 日本法科学技術学会第21回学術集会, 2015.
- (2) 板宮 裕実, 須貝 俊彦. 姫川河床堆積物における石英の形態変化. 日本地球惑星科学連合2016年大会. 2016.
- (3) Itamiya, H., Sugita, T. and Sugai, T. Diversity of Quartz shapes and microtextures of beach sands by scanning electron microscope(SEM) observation in Japan. ANZFSS 23rd International Symposium on the Forensic Sciences, 2016.
- (4) 板宮 裕実, 杉田 律子, 須貝 俊彦. 石英粒子の形態観察に基づく海岸砂の識別. 日本法科学技術学会第22回学術集会, 2016.
- (5) 板宮 裕実, 杉田 律子, 須貝 俊彦. 石英の形状と表面構造を利用した後背地推定のための検討, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 2019.

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。