

## クブチ砂漠から採取した砂の堆積学的特徴

# Sedimentary Aspects of Desert Sand Collected from Kubuqi Desert (Inner Mongolia, China)

赤平江莉香\*・鎌田耕太郎\*\*・勝川 健三\*\*\*

Erika AKAHIRA\*, Kotaro KAMADA\*\*, Kenzo KATSUKAWA\*\*\*

### 要 旨

クブチ砂漠から採取してきた砂試料について粒度分析を行った結果、細粒砂画分をピークとする細粒～中粒砂から構成されていることが確認され、砂漠のデューンを構成する一般的な風成砂の特徴を有することがわかった。細粒砂の比率がより高いことは、デューンとその隣接域にみられる、碎屑粒子の風によるふるい分けとエントレインメントに制約された粒子の集積のメカニズムを考えることで解釈可能である。鉱物組成としては石英が優占し、微量の磁鉄鉱、かんらん石、普通輝石が含まれる。円磨度が一般的な砂漠環境の風成砂と比べて比較的低いのは砂漠砂の成熟度がやや低いことを意味し、クブチ砂漠の形成時期が若いことを示唆する。採取試料が示すこのような堆積学的な考察は、オルドス高原が歴史時代以降の人為的な改変により砂漠化が顕在化した歴史的背景と調和的である。

キーワード：クブチ砂漠，インターデューン堆積物，粒度分析，エントレインメント，砂漠砂の成熟度

### はじめに

中国内モンゴル自治区南西部に位置するオルドス高原は、自然地理学的には北西側に接するゴビと南東側に接する黄土の移行帯にあたり、標高1,500m前後の高原をなしている。オルドス（鄂爾多斯）市をはさん

で北側はクブチ（庫布齊）砂漠、南側はムウス（毛烏素）砂地と呼ばれている（図1）。かつてオルドス高原は遊牧の行われる草地であったが、定住による過放牧と過開墾がもたらした裸地化により砂漠化が進行した（増田ほか，1996；立石ほか，2013；など）。

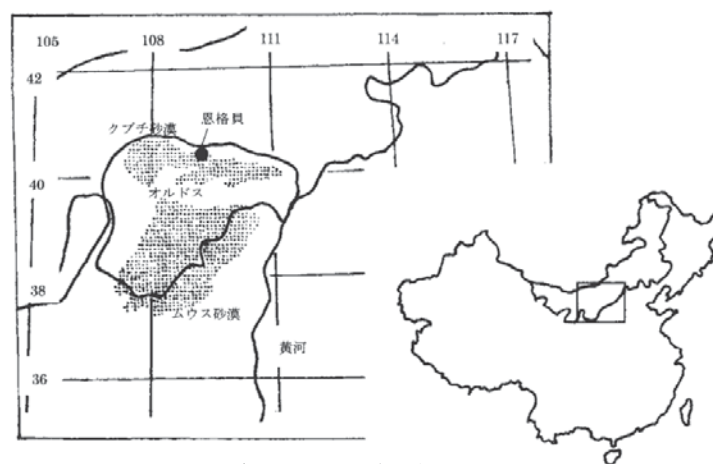


図1 中国内モンゴル自治区クブチ砂漠の位置図

- \* 弘前大学教育学部生涯教育課程  
Department of Lifelong Education, Faculty of Education, Hirosaki University
- \*\* 元弘前大学教育学部理科教育講座  
Department of Geology, Faculty of Education, Hirosaki University
- \*\*\* 弘前大学教育学部学校教育講座  
Department of School Education, Faculty of Education, Hirosaki University

クブチ砂漠では1998年から植林が行われるようになり（宮崎ほか，2014）、日本の NGO など砂漠緑化活動を実施している。その一環として大学生協主催、(株)日本エコプランニングサービス企画・実施の砂漠緑化ツアー「砂漠緑化ボランティアと大草原の旅」が行われている。このツアーには NGO 日本砂漠緑化実践協会が協力しており、現地で植樹活動の支援と指導をしている。同協会は、日本の乾燥地開発研究の第一人者だった遠山正瑛氏が1991年に設立した NGO で、砂漠に成長の早いポプラの植樹を行っている。筆者らの一人赤平は2015年9月2日～8日にかけてこのツアーに参加し、その際に訪れたオールドス市のクブチ砂漠の一画、ダラト（達拉特）旗恩格貝鎮生態示範区において植樹作業を行い、デューン域を散策した際に砂を採取した。採取した砂漠砂試料について粒度分析や顕微鏡観察を行った結果、この試料はインターデューン域からの1試料であったにもかかわらず、そこには堆積地形と粒度構成に関する風成堆積物特有の傾向が認められ、またクブチ砂漠の成熟度を議論できる有意な特徴を読み取れたのでここに報告するものである。

## 1. クブチ砂漠と試料採取地点について

王ほか（2008）は中国の砂漠化の歴史的背景を論じた中で、タリム盆地は更新世前期から中期にかけて既にかなりの範囲が砂丘に覆われており、ムウス砂地では更新世中期の風成堆積物が見つかっていると述べている。また中国北部にみられる砂漠の大部分は更新世晩期から完新世前期の地球規模での乾燥化、寒冷化の影響を反映して砂漠化したもので、クブチ砂漠もこの時期に砂漠化したものである。ムウス砂地やホルチン砂地では約1,500～3,000年前から急に砂地が拡大したことが<sup>14</sup>C年代測定値から判明し、最近でも砂漠の拡大傾向が続いているとみなされる（王ほか，2008）。なお中国における砂漠化は、1950年代の年に約1,500 km<sup>2</sup>から2000年代初期には3,000 km<sup>2</sup>を超える値で増加していたが、2002年以降は砂漠化拡大の速度が下降傾向にあり、生態環境が改善されつつあるとされる（王ほか，2008）。

大規模な砂漠は主に中緯度高圧帯に位置するが、降水量と蒸発量の比率が0.2以下となる、極地を除く乾燥地域が砂漠とされる（ウェランド，林訳，2011）。クブチ砂漠は砂地と砂丘の発達した、いわゆるサハラ砂漠でエルグと呼ばれる地理学的特徴が認められる。

クブチ砂漠は周りを山で囲まれた盆状地形であり、

隔海度も大きく水蒸気の流入が少ないため、内陸砂漠となっている。また、表層地質による分類では砂漠にあたる。

砂漠において特徴的なのが砂丘の発達である。砂丘のような砂の集積によりできる床形態（bedform）の分類とその名称は、Reineck and Singh（1980）などに示されるように、一般的に Wilson（1972）の研究によるウィンドレジーム（wind regime）の下で形成される床形態についての分類が使われており、本研究でもその区分に従う。ウィンドレジームの下で形成される床形態は、波長と高さに基づき、大きい方からドラー、デューン、エアロダイナミックリップル、インパクトリップルに区分される。クブチ砂漠の恩格貝付近にみられる砂の集積体は比高5m～50mを超えるものからなり、上述の区分によればデューン（dune）に分類される。なお一般的には「砂丘」と「デューン」という言葉は同義で用いられることもあるが、本報告では砂丘一般を指す用語として「砂丘」を、「デューン」を床形態の区分における砂の集積体を指す用語として使い分けることとする。

## 2. 試料と分析方法

砂漠砂や砂丘砂などの風成堆積物については、一般的に粒度分析、鉱物組成、色調測定、pH測定、円磨度測定などが用いられ（諏訪ほか，2003；谷野ほか，2013；など）、砂漠であればその成熟度や形成史、地域性が議論できる。これまでにも砂漠で採取された砂試料についての報告はあるが（諏訪ほか，2003；齊藤，2007；など）、砂漠のどのような地形的区分からの採取なのか、デューンなどの床形態が発達する場合においては、デューンおよびそれに隣接する堆積地形のどの部分からの採取によるものかなどの記載はほとんどなされていない（例えば吉崎ほか，1994；など）。

本研究で分析を行った砂は、クブチ砂漠恩格貝生態示範区で採取した。この付近には比高10mほどの傾斜の緩いデューンと比較的平らなインターデューンからなる地形学的特徴が認められ、試料の採取地点はインターデューンに位置する凹地に相当する。インターデューンには沙米（*Agriophyllum squarrosum* Moq.）や沙蒿（*Artemisia ordosica* Krasch.）などの刺のある植物が点在する。分析には、このインターデューンから採取した未固結の表層砂23.7gを用いた。ここでは粒度分析と顕微鏡による粒子の観察を行い、鉱物組成や円磨度を検討した。

## 2-1. 粒度分析

Bagnold (1954) の先駆的研究以来明らかなように、風成砂においては基本的に風による粒子のふるい分けが働いている。この作用は水よりも風を媒体とする場合において効果的である。そのため、砂漠の砂は一般的に淘汰が良い。したがって、砂漠の砂には、粒度分布を表したグラフのピークや淘汰度にその特徴が著しく現れる。クブチ砂漠の砂でもこのような風成砂の特徴を有しているかを確かめるために粒度分析を行った。

使用したフルイは孔径 $500\mu\text{m}$ 、 $250\mu\text{m}$ 、 $125\mu\text{m}$ 、 $63\mu\text{m}$ 、 $32\mu\text{m}$ の標準篩 (JIS 規格) であり、それらは順に粗粒砂、中粒砂、細粒砂、極細粒砂、粗粒シルトの5段階からなる。各画分に残った試料について感量 $0.001\text{g}$ の電子天秤で重量を測定し、測定値をもとにヒストグラムを作成した (図2)。

## 2-2. 砂粒の構成鉱物とその円磨度

砂粒を光学顕微鏡で観察することで、構成鉱物の同定や円磨度の測定、粒子の表面構造の観察などを行った。

諏訪ほか (2003) は砂漠砂の円磨度と砂漠砂の成熟度を関連づけ、一般に円磨度が高いほど砂漠砂として成熟しているとみなしている。そのため、今回採取した砂においても砂漠砂としての成熟度を判断する指標として、円磨度を測定した。円磨度は Powers (1953) の提案による6分類に基づいて印象図を作成した Pettijohn et al. (1973) に従った。6段階の数値が大きいほど、高い円磨度を示す。

本研究では、粒度画分に従って石英粒子を選別し、石英粒100粒を1反復とし中粒砂5反復、細粒砂3反復、極細粒砂3反復、粗粒シルト3反復の円磨度を求めた。そして、粒度画分ごとに石英粒子1反復の円磨度を平均値 a とし、総計の平均値を平均値 b とした (表2)。平均値 b は、平均値 a を合計し、反復数で割った値である。このようにして求めた円磨度の平均値 b を、粒度画分の円磨度とした。表2の平均値 b をもとに円磨度と粒径の関連性を示したのが図4である。

## 3. 分析結果

### 3-1. 粒度分布

粒度分析の結果得られた粒度分布をヒストグラムで示した (図2)。X軸が粒度階級区分 ( $\phi$ )、Y軸が頻

度 (%) を示している。なお、 $\phi$  は  $d$  を実径 (mm) として、 $\phi = -\log_2 d$  という式で表されるため、 $\phi$  の値が大きいくほど粒度は小さくなる。

試料を分析した結果、細粒砂が88.57%、次いで中粒砂が8.59%、極細粒砂が2.79%を占め、粗粒砂は含まれていなかった。シルト画分粒子はヒストグラムに反映されない程度であるが0.05% 存在している (図2)。

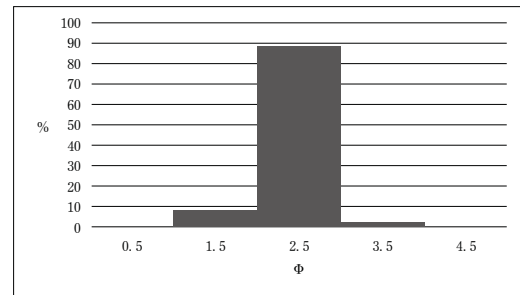


図2 粒度分布

図2に示されているように、この試料は大部分が細粒砂からなる単峰性の特徴を有する。中粒砂は極細粒砂よりも多く含まれるが、試料のばらつきはほぼ対称で正規分布に近似しているといえる。

これらをもとに正規確率紙に確率累積曲線として表すと (図3)、粒度分布の解析を行うことができる。確率累積曲線は、正規分布に近いほど直線的になるという特性を持つ。図3から求められる粒度指標値を表

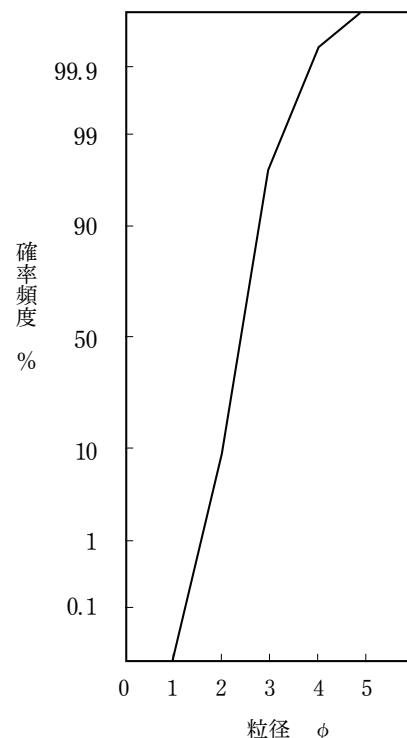


図3 粒度分析をした砂の確率累積曲線

1に示した。粒度指標値の評価はFolk and Ward(1957)に基づく。表1からは、採取した砂の淘汰(SI)が非常に良く、歪度(SKI)からはほぼ正規分布に従っているということが数値でも確かめられる。

表1 クブチ砂漠の砂試料の粒度指標

	中央 粒径値 Md $\phi$	平均 粒径値 Me $\phi$	淘汰度 SI	歪度 SKI	尖度 KG
数値	2.40	2.41	0.30	0.04	1.01
評価	細粒砂	細粒砂	非常に 良い	ほぼ 対称	中間的

なお、粒度指標値の算出方法は以下の通りである。

$$Md \phi = \phi 50$$

$$Me \phi = (\phi 16 + \phi 50 + \phi 84) / 3$$

$$SI = (\phi 84 - \phi 16) / 4 + (\phi 95 - \phi 5) / 6.6$$

$$SKI = (\phi 16 + \phi 84 - 2\phi 50) / 2(\phi 84 - \phi 16)$$

$$+ (\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50) / 2(\phi 95 - \phi 5)$$

$$KG = (\phi 95 - \phi 5) / 2.44(\phi 75 - \phi 25)$$

### 3-2. 鉱物組成と円磨度

採取した砂粒子を光学顕微鏡で観察した結果、無色鉱物では石英、有色鉱物では磁鉄鉱、かんらん石、普通輝石が含まれていた。約95%が石英であり、粒度としてはほとんどが細粒砂画分に入る。石英に比べると有色鉱物の含量はかなり少ないが、極細粒砂画分や粗粒シルト画分においては約10%と含有率が高かった。一方、中粒砂画分には酸化鉄に被覆され赤く着色した石英粒子が約1%含まれる。仮に細粒砂の色を基準にすると、極細粒砂は全体的として黒っぽく、中粒砂は赤みをおびて見える。

表2 粒度画分ごとの石英粒子の円磨度

	中粒砂 (n=5)	細粒砂 (n=3)	極細粒砂 (n=3)	粗粒シルト (n=3)
平均値 a	3.32	3.03	2.06	1.83
	3.25	2.94	2.13	2.01
	3.25	2.56	2.28	2.12
	3.31			
	3.54			
平均値 b	3.33	2.84	2.16	1.99

砂漠砂の成熟度の指標を得るために、粒度画分ごと

の石英粒子の円磨度を測定し(表2)、さらに粒径と円磨度平均値(平均値b)の相関性を図4に示した。図4をみると、極細粒砂画分と粗粒シルト画分石英粒子の円磨度にはあまり差がないが、中粒砂画分から極細粒砂画分の石英粒子は、粒径が大きいほど円磨度は高い値を示す傾向にある。特に、中粒砂画分や細粒砂画分には酸化鉄に被覆された赤色の石英が含まれており、それらの円磨度は4や5といった高い値を示す。一方、極細粒砂や粗粒シルト画分には平滑、あるいは貝殻状の断口を持つ石英も含まれる。

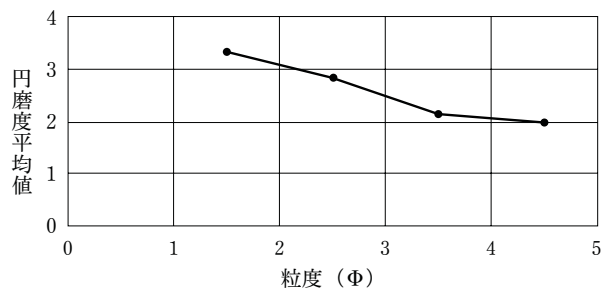


図4 石英粒子の粒径ごとの円磨度

## 4. 考察

### 粒度

一般的な風成砂は細粒砂画分から中粒砂画分の範囲に含まれ(フリッツ・ムーア, 原田訳, 1999)、ここで検討したクブチ砂漠の砂試料もその特徴を有している。しかし、より細かくみると、この試料はカラハリ砂漠やナミブ砂漠の砂(諏訪ほか, 2003)と比べて細粒砂の比率が高い。諏訪ほか(2003)は、淘汰の良さや砂漠砂としての成熟度を関連づけ、粒度に明瞭なピークを持つものは砂漠砂として成熟していると解釈しているが、砂漠砂の成熟度の指標になるのは粒度のみではなく、鉱物安定性や円磨度の検討も必要であることを指摘している。したがって、細粒砂の比率の高さだけで、クブチ砂漠から採取した砂が成熟した砂であると判断することはできない。どの粒度画分にピークを示すのかを規定するのは、砂漠間の差異というよりは、砂漠を構成する堆積地形の、場所ごとの粒径の違いではないだろうか。Glennie(1970)の研究は、デューンにおける位置によって砂の粒径、淘汰度に差が出ることを指摘している。その内容は、デューンの頂上に向かって細粒化し、同時に淘汰も良くなるというものである(Reineck and Singh, 1980)。さらに、Reineck and Singh(1980)は、Bagnold(1954)の研究成果を踏まえてデューンの風上側と風下側での砂の挙

動の違いについて議論している。すなわち、砂丘の風上側斜面の砂は躍動する粒子の衝突により密詰めとなり、風下側斜面の砂は砂丘の頂上からの粒子流による堆積のため緩詰めとなる。

今回分析した砂はインターデューンで採取したものであるため、上記のような説明のほかにエントレインメントの視点からの解釈も必要である。

淘汰の仕組みについて Bagnold (1954) は、風的作用による浮遊と粒子衝突による粒子のふり分けを指摘している。つまり、シルトのような細粒の粒子は自由落下速度が小さいため、いったん巻き上がると風で遠くまで運搬されて集積する。砂は躍動と衝突を繰り返しながら移動し、堆積により砂丘を形成する。礫は砂やシルトが飛ばされた跡に残留することにより集積する。このようにして、砂画分の粒子が選択的に集まることにより砂丘が発達する砂砂漠が形成される。また、砂画分においても、さらに極粗粒砂、粗粒砂、中粒砂、細粒砂、極細粒砂と区分されており、ストークスの沈降法則にみられるように、ある風速における粒子の沈降速度、あるいは風に巻き上げられるときのエントレインメント速度が異なる。

砂画分において最小の風速で飛び始めるのは極細粒砂である。そのため、インターデューンを風が吹き抜けるとき、極細粒砂は舞い上がり、風速が大きければシルトのように浮遊によって運搬される。より粒径の小さなシルトは、表面が空気力学的に滑らかで乱流から守られるため、動き出すには粗粒砂が動き出すのと同じ風速が必要となる (フリッツ・ムーア, 原田訳, 1999)。その結果、最初に動き出しやすい極細粒砂が遠方へ移動を続けるためにデューンは細粒砂や中粒砂で構成される。デューンの頂上には風のエネルギーを受け取って躍動した、粗い砂がたまる (Folk, 1971; ウェランド, 林訳, 2011)。したがって、風の影響を受けにくいインターデューンには細粒砂画分の砂が選択的に集積したと解釈できる。

#### 鉱物組成

分析した試料を構成する鉱物の中では石英が95%を占め最も多い。これは砂漠砂の普遍的な特徴である (齊藤, 2007; 須藤, 2014など)。石英が風化プロセスの中で主たる鉱物となる要因として、 $\text{SiO}_4$ 四面体が強固な網目構造をつくっていること、劈開が発達していないこと、固溶体でないこと、といった物理的・化学的要因が知られている。そのため、他の鉱物のように粘土化せずに、地質学的に長期間にわたって残ること

になる。

極細粒砂画分や粗粒シルト画分中には有色鉱物、特に磁鉄鉱が多く含まれる。磁鉄鉱の比重は5.18で、石英の比重2.65の約2倍にあたる。粒子が風で運搬されるときの様式は一般に粒径に依存するが、比重が異なれば、沈降速度も異なる。そこでストークスの沈降法則に基づいて、石英の沈降速度を求め、磁鉄鉱において同等の沈降速度を示すときの粒径を求めてみた。ストークスの沈降法則は以下の式で表される。

$$w = d^2 (\rho_s - \rho) g / 18\mu$$

(w: 沈降速度, d: 粒子の直径,  $\rho_s$ : 堆積物の密度,  $\rho$ : 流体の密度, g: 重力加速度,  $\mu$ : 流体の粘性)

温度が20°Cで流体が風である系では、 $\rho = 0.00129$  (g/cm<sup>3</sup>)、 $\mu = 0.181$  (10<sup>-3</sup> poise) となることから、石英の沈降速度は7967.268d<sup>2</sup>cm/sとなる。本研究で分析した砂においては細粒砂が88.57%を占めているため、細粒砂の粒径を用いて計算した。d=0.125mmとすると、w=124.489cm/sという値が得られる。つまり、大気中において直径0.125mmの石英粒子は124.5cm/sで沈降するということになる。磁鉄鉱も同等の速度で沈降するとしたときのdを求めると、 $\rho_s = 5.18$ なので、d=0.089となる。粒径が0.089mmの粒子は極細粒砂にあたる。つまり、細粒砂画分を構成する石英粒子と極細粒砂画分を構成する磁鉄鉱粒子は、大気中を浮遊して移動している状態から停止して堆積するまでの挙動が同等であるとみなせることでこれらの粒径分布の違いを説明できる。

今回分析したクブチ砂漠の砂粒の中で、極細粒砂画分や粗粒シルト画分に磁鉄鉱が高い割合で含まれていたことは、このような石英との比重の違いを反映したものと判断することに矛盾はない。

#### 円磨度

クブチ砂漠で採取した砂において中粒砂画分の円磨度平均値はsub-rounded、細粒砂・極細粒砂画分はsub-angular、粗粒シルト画分ではangularに区分される。このように、分析した石英粒子の円磨度の平均値はangularからsub-roundedの範囲に収まるが(表2)、一般的な風成砂がroundedからsub-roundedの範囲にある (Reineck and Singh, 1980) ことから、円磨が進んでいるとはいえない。このことは今回扱った試料は砂漠砂としての成熟度がそれほど高くないことを判断する指標の一つである。

円磨度と粒径との関係については、粒径が大きい粒子ほど円磨度が高い傾向が認められた。また、円磨度

は粒径とともに一様に低下せず、粗粒シルト画分においてその低下率が鈍化していることがわかる(図4)。これは円磨に伴って微細な粒子が形成されるわけではないということを示唆している。細かい粒子で円磨度が著しく低いものは、平滑な断口や貝殻状の断口を示すことがあり、これらは粒子同士の衝突により生じた破断面であるとみられることがその傍証となろう。

風成堆積物の砂の円磨と粒径との関係について、Reineck and Singh (1980) が Glennie (1970) の研究を紹介している。そこでは、粒径が大きいほど円磨が進んでいる傾向にあることを指摘し、次のように説明している。円磨は主として粒子同士の衝突によって形成されるが、粒径が小さくなると、衝突頻度が低下すると同時に衝突のエネルギーも低下する。クブチ砂漠の砂粒の円磨度からも、Glennie (1970) の主張が確かめられる結果となった。

中粒砂画分や細粒砂画分においては、前述したように rounded, well-rounded に該当する赤色の石英粒子も含まれる。砂漠の砂の特徴として、酸化鉄による被覆で赤く着色されていることがある。この赤色の砂漠砂に着目すると、『世界の砂図鑑』(須藤, 2014) の中で紹介されているサウジアラビアの砂漠砂、エルビード郊外のサハラ砂漠の砂、ウルルの砂漠砂は、いずれも円磨度が高いとされる。また、古い砂漠環境における石英粒子は酸化鉄に被覆され堆積物が赤く着色されている(Reineck and Singh, 1980)。既述のように、諏訪ほか(2003)は円磨度と砂漠砂の成熟度を関連づけているが、酸化鉄により被覆された石英粒子が古いということは、酸化鉄による被覆の度合いと、円磨度ならびに砂漠砂の成熟度との間にも相関がある可能性がある。サウジアラビアの砂漠砂やウルルの砂漠砂の砂粒子には著しい酸化鉄の被覆がみられ砂全体が赤くみえるが(須藤, 2014)、クブチ砂漠の砂粒の中で酸化鉄による被覆を受けた石英粒子はわずかである。

これまで述べてきたように、石英粒子の円磨度が比較的低いこと、酸化鉄による被覆が弱いことから、第四紀以降の自然条件と人為的影響のもとに砂漠化が進んだとされるクブチ砂漠においては、砂漠砂としての成熟度が低く、石英の円磨に十分な時間が経過していないということを反映していると考えられる。

## おわりに

クブチ砂漠から採取してきた砂試料について粒度分析を行った結果、細粒砂画分をピークとする細粒～

中粒砂から構成されていることが確認され、砂漠のデューンを構成する一般的な風成砂の特徴を有することがわかった。細粒砂の比率がより高いことは、分析試料の採取位置がインターデューン域であり、デューンとその隣接部における碎屑粒子の風によるふるい分けとエントレインメントに制約された粒子の集積のメカニズムを考えることで解釈可能である。鉱物組成としては石英が優占し、微量の磁鉄鉱、かんらん石、普通輝石が含まれる。円磨度が一般的な砂漠環境の風成砂と比べて比較的低いのは砂漠砂の成熟度がやや低いことを意味し、クブチ砂漠の形成時期が若いことによると考えられる。このような採取試料が示す堆積学的な考察は、オールドス高原が歴史時代以降の人為的な改変により砂漠化が顕在化したことと調和的である。

この研究を行う過程では Bagnold (1954) が砂漠における風成砂の観察により得られた粒子のふるい分けと、エントレインメントの挙動に関する先駆的な知見を様々な形で確認できた。マクロスケールで俯瞰すると風成堆積物の挙動がゴビから砂漠や砂地を経て黄土に至る地理的な風土の違いを生み出し、そこに住む人々の生活と歴史を形作ってきた。またミクロスケールな砂粒の挙動がデューンを形成し移動させ、デューンとインターデューンにおける粒度組成の違いをもたらしている。砂漠砂に関する研究では、床形態に関する観察が大事であり、粒子のふるい分けのみならずエントレインメントの働きを改めて実感させられた。

## 文献

- Bagnold, R. A. (1954) The physics of blown sand and desert dunes. London, Methuen, 265pp.
- ウイリアム J. フリッツ・ジョニー N. ムーア, 原田憲一訳 (1999) 層序学と堆積学の基礎. 愛智出版, 386pp.
- Folk, R. L. (1971) Longitudinal dunes of the northwestern edge of the Simpson desert, Northern Territory, Australia, 1. Geomorphology and grain size relationships. *Sedimentology* 16, 5-54.
- Folk, R. L. and Ward, W. (1957) Brazos river bar : a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3-26.
- 増田拓郎・徳岡正三・前中久之・西田顕郎・田中安代 (1996) オールドス高原東部地域における沙漠化防止(その1) — オールドス沙地草原生態研究ステーションおよびその周辺地域の概況 —. *日本緑化工学会誌* 21 (4). 229-236.
- マイケル・ウェランド, 林 裕美子訳 (2011) 砂 文明と自然. 築地書館, 419pp.
- 宮崎寛大・岡田憲和・立石麻紀子・山本福壽・毛 恵平・谷口武士・山中典和 (2014) 中国内モンゴルクブチ砂漠に

- 植栽後、埋砂された小葉楊 (*Populus simonii* Carr.) の成長と浸透調節能. 日本緑化工学会誌 40(1), 31-36.
- 王 林和・三木直子・李 玉靈・楊 靈麗・吉川 賢 (2008) 中国の砂漠化防止に関する歴史および現在. 日本緑化工学会誌 33(4), 554-560.
- Pettijohn, F. J. Potter, P. E., and Siever, Raymond (1973) Sand and Sandstone. Springer-Verlag, New York, Heidelberg and Berlin, 618pp.
- Reineck, H. E. and Singh, I. B. (1980) Depositional Sedimentary Environments, 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin and New York, 549pp.
- 齊藤 隆 (2007) 私の砂漠砂コレクションから. 地質ニュース 636, 52-61.
- 須藤定久 (2014) 世界の砂図鑑. 成文堂親光社, 223pp.
- 諏訪兼位・星野光雄・大崎雅一 (2003) 砂漠砂の多様性. アフリカ研究 63, 17-26.
- 谷野喜久子・細野 衛・渡邊真紀子 (2013) 下北半島尻屋崎砂丘の理化学特性と形成史. 地理学評論 86-3, 229-247.
- 立石麻紀子・宮崎寛大・山本福壽・毛 惠平・岡田憲和・山中典和 (2013) 中国内モンゴルクブチ砂漠に植栽された小葉楊 (*Populus simonii* Carr.) の水利用と成長に及ぼす埋砂の影響. 日本緑化工学会誌 39(1), 68-73.
- 吉崎真司・村井 宏・湖 東朗 (1994) アラブ首長国連邦内陸砂漠における飛砂の特性と砂丘地形の変化. 新砂防 47-3, 18-25.

(2017. 1.12 受理)