

中国砂漠地域の表層地質形成過程と堆積環境の研究

—特に風成層の特徴とその起源について—

石井武政*・磯部一洋*・水野清秀*・金井 豊**・松久幸敬**
溝田智俊***・銭亦兵****・寺島 滋**・奥村晃史*

ISHII Takemasa, ISOBE Ichiyo, MIZUNO Kiyohide, KANAI Yutaka, MATSUHISA Yukihiro, MIZOTA Chitoshi, QIAN Yibing, TERASHIMA Shigeru and OKUMURA Koji (1995) Study of the formation processes and sedimentary environment of surface geological features in desertic areas of China, with special reference to the characteristics and origin of eolian sediments. *Bull. Geol. Surv. Japan* vol. 46(12), p.651-685, 21figs., 6tables, 3plates.

Abstract : The objective of this study is to document the formation processes and sedimentary environment of surface geological features in Quaternary desertic areas of China. Field investigations were carried out during 1993 and 1994 in the lower areas of glaciers in the Tianshan and West-Kunlun Mountains, province of Xinjiang, and in the Naiman area of Inner Mongolia.

The samples collected from the study areas were analyzed for grain size, chemical composition, oxygen isotopes and ^{14}C ages. Samples from river terraces, river floors, loess and sand dune deposits were sieved and their major and minor chemical compositions determined by ICP emission spectrometry and other analytical methods. The results of the chemical analyses indicate high concentrations of Al_2O_3 and Na_2O in the 3ϕ fraction size of the Ordos region, central China, and low Fe_2O_3 and CaO concentration in samples from Inner Mongolia.

The results of the stable isotope analyses of fine-grained quartz suggest large scale homogenization occurs in the desertic areas. Glaciers and rivers traversing the east-west trending geologic features of the Tianshan Mountains effectively mix sediments derived from basement rocks of Pre-Cambrian to Tertiary age. Further homogenization results from wind transportation and sorting. The Taklimakan Desert is one of the main source regions of eolian loess being dispersed in areas from China to Japan.

要 旨

この研究は、中国砂漠地域における表層地質の形成過程と堆積環境を、第四紀地質学的視点から明らかにする

ことを目的としている。1993年と1994年には中国新疆の天山山脈と西コンロン山脈の氷河下流域及び内蒙古のナイマン周辺で地質調査を行い、鉱物学的、化学的な分析に使用する地質試料を採取した。

* 環境地質部

** 地殻化学部

*** 岩手大学農学部

**** 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所

Keywords : Taklimakan Desert, Tianshan Mountains, Kunlun Mountains, Inner Mongolia, Geologic samples, Loess, Moraine, Chemical composition, Oxygen isotopes of quartz

研究対象地域 (第1~5図, 第1表) から採取された試料について, 粒度, 化学組成, 石英の安定酸素同位体, ^{14}C 年代などが分析された。河成段丘, 河床, レス, 砂丘堆積物などの試料は粒度分析し(第13図, 第2表), その主要及び微量化学組成が主にICP発光分光分析計で求められた(第15~20図, 第5~6表)。化学分析によれば, 中国中央部オルドス地域の3φの試料は比較的 Al_2O_3 と Na_2O に富み, 内蒙古の試料では Fe_2O_3 と CaO が乏しい。

微細石英粒子の安定酸素同位体分析(第4表)からは, 大規模な「均質化過程」が砂漠地域で起こっていることを推測させる。天山山脈の東西方向に延びる地質構造を横切って流れる氷河や河川は, 先カンブリア紀から第三紀までの基盤岩石に由来する堆積物の混合をもたらしている。河成堆積物の風による運搬と淘汰が微細粒子の均質化を一層押し進めている。タクラマカン砂漠は中国から日本に至る地域に拡散する風成レスの大きな供給源の一つとなっている。

1. はじめに

タクラマカン砂漠のような広大な内陸砂漠が現在どのような地質学的特性をもっているのかを研究することは, 砂漠化の機構を解明し, その防止対策を立案する上で重要である。特に, 砂漠表層部を構成する物質の移動及び変化の過程を, 砂漠は生きているとの認識からとらえることは, 砂漠あるいは砂漠化現象の基礎的理解に欠かせないものである。このような目的意識をもって, 地質調査所は科学技術振興調整費による「砂漠化機構の解明に関する国際共同研究」に参画し, 第I期(1989~1992年度)と第II期(1993~1994年度)の研究期間を通じて「砂漠の地質試料の鉱物学的, 化学的解析」の項目を研究担当してきた。

本研究の第I期分の成果報告書(石井ほか, 1991, 1992など)は科学技術庁により取りまとめられてきたが, 第II期については諸般の事情により未了のままとなっている。そこで, 様々なデータが集積した第II期の内容全体を通覧できる形で研究成果の一端を報告することにした。なお, 本稿の作成に当たり, 現地調査地域の地形・地質に関する部分は磯部・水野・石井・松久・溝田が, 試料の粒度分析については磯部が, 化学分析は金井・寺島が, 更に同位体組成に係わる場所は松久・溝田がそれぞれ分担し, 全体の調整は石井が担当した。中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所と蘭州沙漠研究所及び理化学研究所と日本大学の関係者からは諸種のご協力をいただいた。ここに深謝の意を表する。

2. 研究の目的と方法

本研究の目的は, 砂漠表層の堆積物の運搬・堆積・風化・拡散過程を第四紀地質学的視点から解明することにある。特に風成の砂層とレスの形成機構を明らかにしようとするものである。この目的達成のため, 中国北西部のタクラマカン砂漠一帯を主要な研究対象地域として, 砂漠とその周辺から多数の地質試料を系統的に採取し, 各種手法で鉱物学的・化学的な分析を行った。分析項目は主に堆積物試料についての粒度分析, 花粉分析, 化学分析及び石英の酸素同位体分析である。

ところで, タクラマカン砂漠は中国北西部のタリム盆地にあり, 面積およそ30万 km^2 で, サハラに次ぐ世界第2位の広さを有している。このような広大な砂漠の隅から隅までを調査するのは極めて困難である。本研究においては第I期までの研究から内陸の砂漠を構成する物質の供給や移動に関して, 周囲の山岳氷河の果たす役割が極めて大きいと判断されたので, 第II期には上流に氷河をもつ河川流域と山岳地帯に近接した砂漠周縁部とを重点的に野外調査した。

野外調査は1993年に磯部と松久が新疆ウイグル自治区内のタクラマカン砂漠ほか及び内蒙古自治区ナイマン付近で, また1994年には石井と水野がタクラマカン砂漠ほか及び西コンロン山脈で実施し, いずれの年も現地で合流した共同研究者の溝田・銭らとともに地形・地質調査並びに地質試料の採取を行った(第1図)。

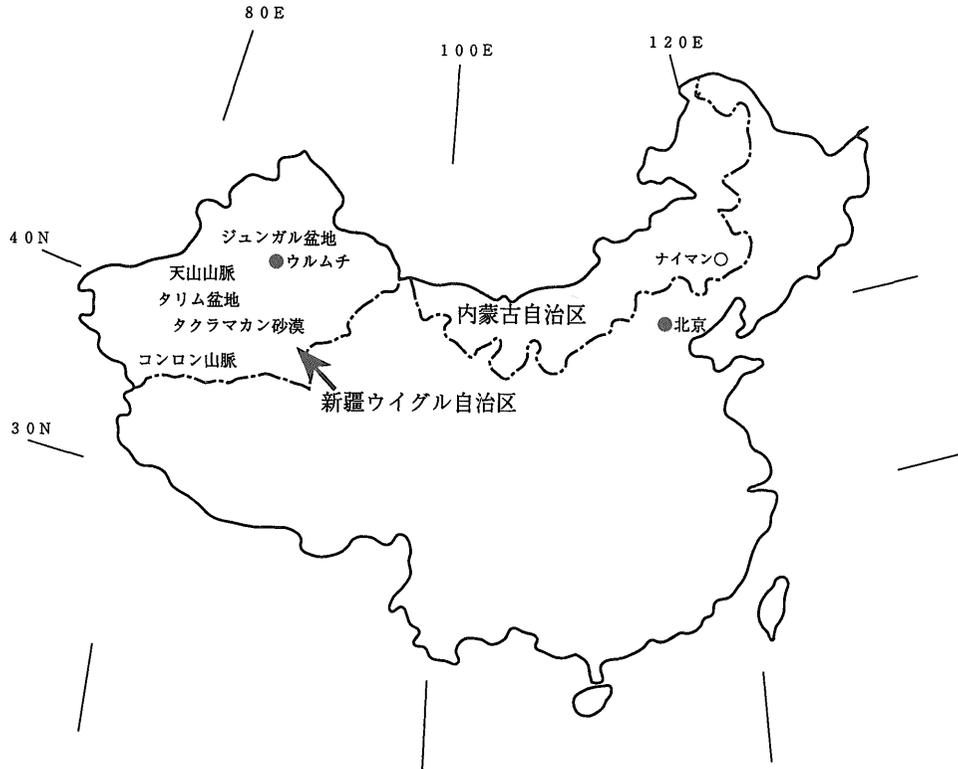
現地では, 基盤岩類の風化・侵食, それに由来する碎屑物の生成・運搬・堆積の実態を把握するとともに, 風成堆積物や河成堆積物の粒度や形状, 構成粒子の種類, 堆積構造を観察し, 各地点を代表する地質試料を採取した。また, タクラマカン砂漠地域の細粒石英に比較して相当低い酸素同位体組成値を示す土壤石英の存在が知られる内蒙古自治区ナイマン付近でも野外調査を実施した(第1図参照)。

3. 地形・地質の概要

3.1 新疆ウイグル自治区内及び内蒙古自治区ナイマン付近調査地域

3.1.1 現地調査と地質試料の採取

この地域の現地調査は1993年10月に約3週間を費やして実施した。新疆ウイグル自治区内では天山山脈北部のウルムチ(Urumqi)河の上流域と天池下流域, タクラマカン砂漠北西部のアクス(Aksu)から北東部のコルラ(Korla)及びトルファン(Turpan)盆地の火焰山周辺, 内蒙古自治区ではナイマン(Naiman)とその北西の林東



第1図 研究対象地域.
Fig. 1 Study area.

(Lindong) 周辺を調査した(第2図, 第3図)。

現地調査では基盤岩石とその細粒碎屑物である泥質・砂質堆積物を主に観察し, 林東周辺では釳化作用に関係した基盤岩石も詳しく観察した。地質試料採取地点を第4図と第5図に示す。Loc.92-121, Loc.201-213の計43地点が1993年度の採取地点であり, 1地点当たり1kg未満の試料を採取した。それら地質試料の一覧を第1表に示す。

1993年度採取の地質試料は以下の7種類に大別される。

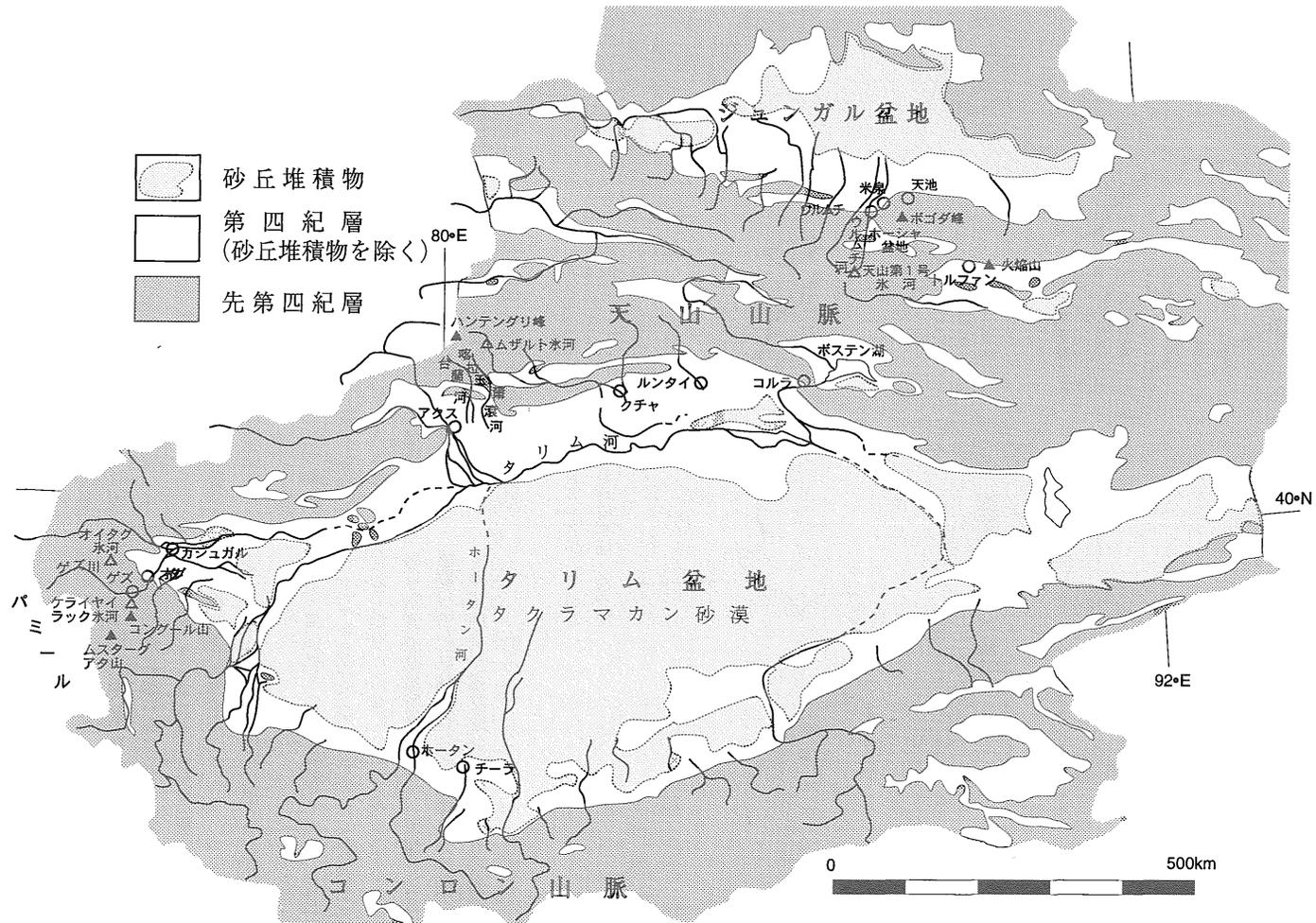
1) 基盤岩石20試料, 2) モレーンや崖錐の細粒部とマトリックス6試料及び同礫2試料, 3) レス7試料, 4) 河成段丘(旧扇状地)堆積物の細粒部10試料及び同礫7試料, 5) 現河床堆積物と扇状地表面層の細粒部6試料及び同礫3試料, 6) 砂丘砂3試料, 7) 石膏・塩などが6試料で, 合計70試料である。

3.1.2 基盤岩石

天山山脈はほぼ東西方向の向斜・背斜軸をもつ大規模な褶曲構造で特徴づけられる(新疆烏維吾爾自治区礦産局, 1985編)。背斜部は山脈中央部に当たり, 先カンブリ

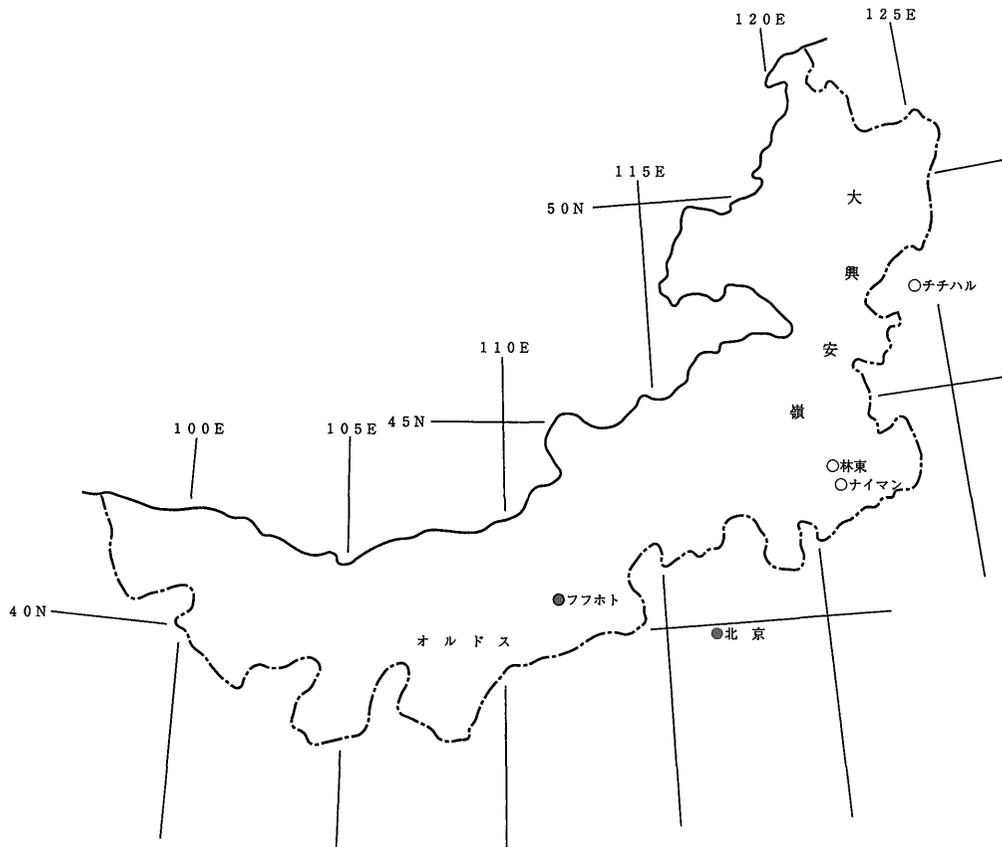
ア紀の変成岩類, 主に古生代・中生代に貫入した深成岩類及び中生代が広く露出する。一方, 山地末端から低い丘陵地にかけては大きく見ると単斜構造をなし, 上位の地層ほど低地(南と北)側に分布する。山地末端付近にはジュラ系が東西方向へ伸び, 黒色の炭層を多く挟み, 石炭の採掘が行われている。丘陵地には赤褐色の陸成層である第三系が分布し, 所々に白色の石膏や塩類が析出している。現地での試料の採取に当たっては, 先カンブリア紀から第三紀に至る各地質時代の岩石をほぼ網羅して収集するように努めた。

ナイマン北西の林東は大興安嶺東側の山麓部に位置する。山地の標高は1800m以下で, 開析が進み従順山地に近い。土壌層の発達が悪く, 基盤岩石が地表付近に露出するペディメント状地形がジュラ系からなる山麓部を中心に発達する。山地中央部には砂岩・石灰岩などの古生界に花崗岩や石英斑岩が燕山期に貫入してできた, 中国東北部最大規模の銅・鉛・亜鉛釳床地帯がある(張徳全ほか, 1991; 張徳全, 1993)。現地では, 1991年以来稼働中のパイノア-鉛・亜鉛釳山(Loc.205)と1993年に採掘



第2図 新疆ウイグル自治区。本文中の主要な地名を示す。

Fig. 2 Map of Xinjiang Uyghur Autonomous Region showing important place names appeared in the text.



第3図 内蒙古自治区。本文中の主要な地名を示す。

Fig. 3 Map of Inner Mongolia Autonomous Region showing important place names appeared in the text.

を開始したウランバー銅・亜鉛鉱山 (Loc.208) を中心に試料を採取した。

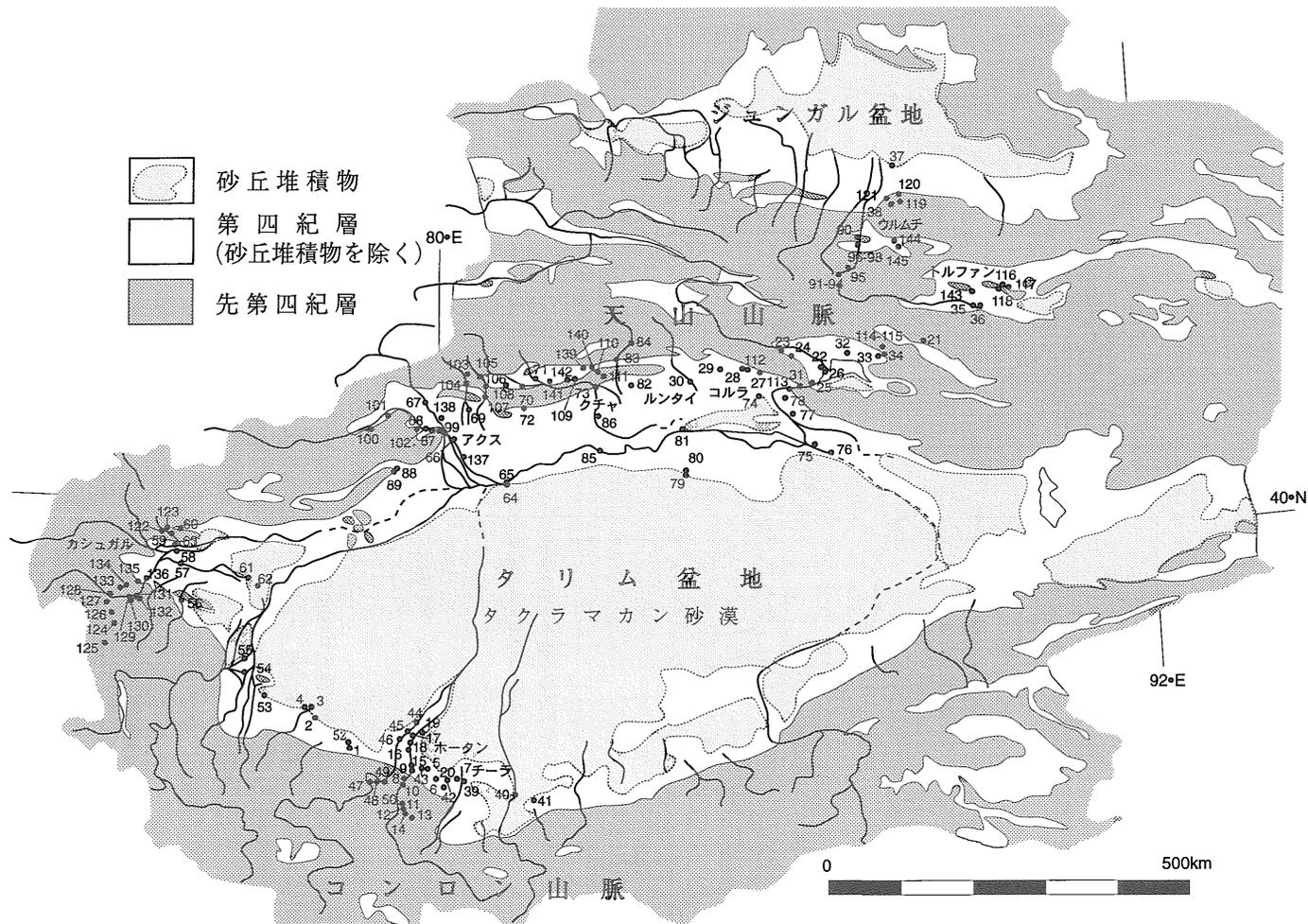
3.1.3 モレーンの細粒物質

ウルムチ河最上流部では、山岳氷河が標高4000m以上の北向き斜面を中心に発達し、氷河の後退によって空谷となったカールは標高3000m付近の低位置まで存在する。この地域では天山第1号氷河末端のモレーンから旧モレーンの分布限界付近間の4個所でモレーンのマトリックスや細礫を採取した。

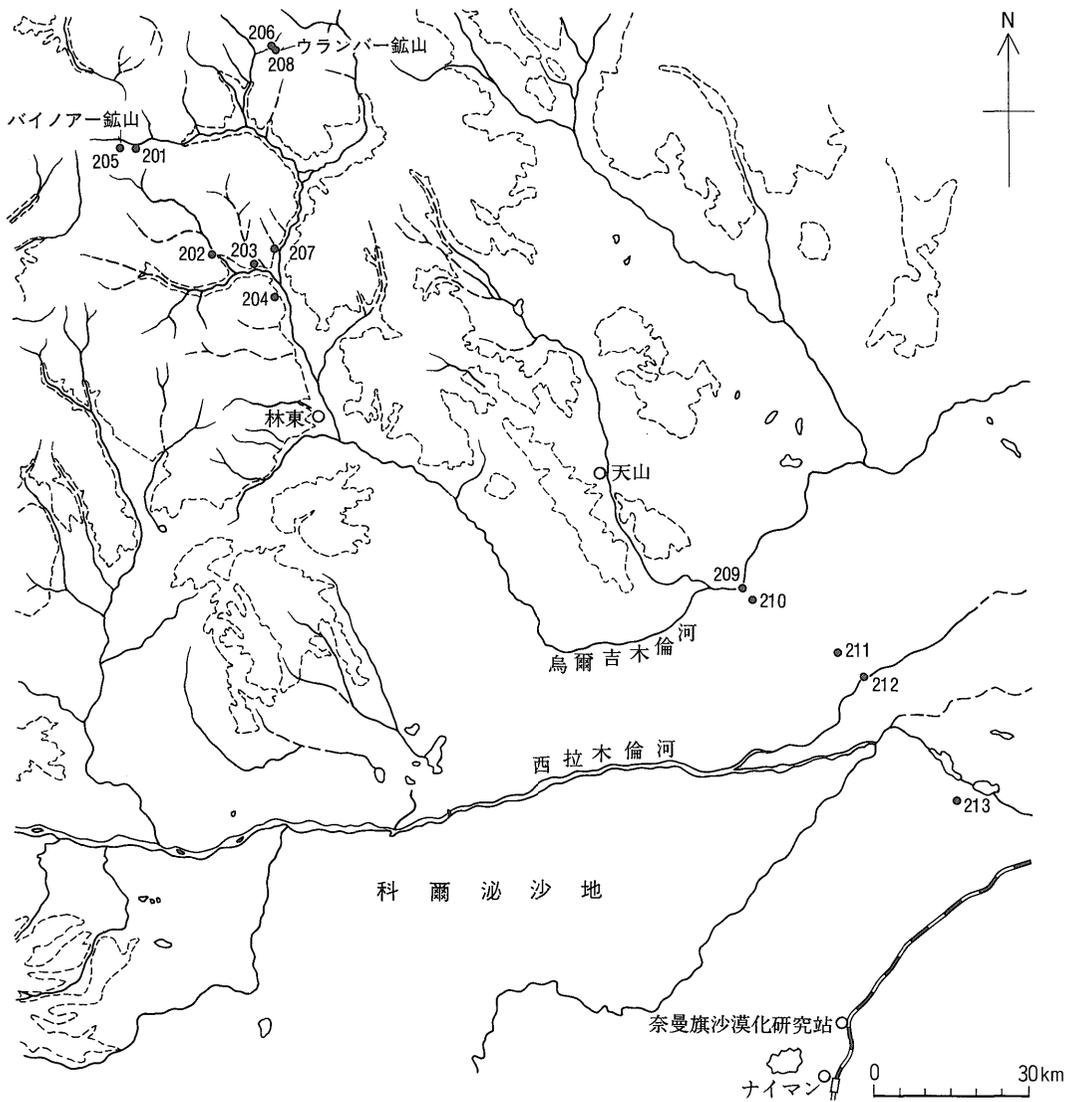
天山山脈最高峰のハンテングリ峰付近から流下する大河川は、その南側山麓部に大量のモレーンを押し出し、大規模な扇状地を形成する。ここではアクス北東の台蘭河と喀拉玉爾滾河流域においてモレーンに関連した堆積物を観察し、地質試料を採取した。台蘭河では山地出口寄りにおいて、河床から300m以上の高さまで角礫層が赤色の第三系を被覆し、またこの出口から下流へ角礫層が

厚く堆積して段丘化している。山地の出口付近では段丘面と河床の比高は約30mあり、段丘面は約15km下流で現河床下に没し、段丘面の方が現河床面より急勾配であることが分かる。段丘を構成する角礫層は最終氷河期のモレーンと考えられ、花崗岩ないし片麻岩からなる長径30m以上の超巨大礫も含まれる。中には基盤岩石の残丘と見間違えるほどの超巨大礫が段丘表面に集まっているところもある(第6図)。

また、喀拉玉爾滾河の山地末端付近でも河床から比高90mの厚い角礫層があり、その中ほどで河床から40mの高さに厚さ0.7mのレスを載せる堆積面が認められる。レスの上部からはカタツムリ化石を産する。カタツムリ化石表面に二次的に沈澱した炭酸カルシウムを塩酸の溶解処理によって除去した後、 ^{14}C 年代測定を実施した結果、 $8,130 \pm 530\text{y. B.P. (GaK-17629)}$ の値が得られた。したがって、本堆積面は後氷期に形成されたものであること



第 4 図 タクラマカン砂漠一帯の概略図及び地質試料採取地点。地点番号は第 1 表のそれに対応する。
Fig. 4 Sketch map of the Taklimakan Desert and its adjacent area showing sampling localities.
Locality numbers in the figure correspond to those of Table 1.



第5図 ナイマン付近の地質試料採取地点。
Fig. 5 Sampling localities around Naiman.

が判明した。

3.1.4 レス

レスは既に述べたとおりモレーンの上に載る一方、崖錐や河成段丘も覆っている。ウルムチ市東方にはボゴダ峰の高地があり、その北側には地滑りで形成されたとされる天池がある(韓, 1983)。天池直下の右岸側には河成段丘堆積物に載る厚さ5m以上の崖錐堆積物が分布する。その崖錐上を厚さ5mのレスが覆い、地表から深さ1mまでカタツリ化石が散在している。深さ0.8mから

採取した化石について¹⁴C年代測定を実施した結果、 $14,380 \pm 1,280$ y.B.P. (GaK-17630)の値が得られた。このことから、天池周辺にはウルム水期極相期直後に形成されたレスの存在することが判明した。ウルムチ市の北東米泉付近にはレスに覆われた礫層からなる丘陵があり、レス中の炭酸塩の¹⁴C年代測定が行われ、2~3万年前の年代値が得られている(高・劉, 1990)。

一方、ウルムチ河上流のホーシャ盆地入口付近には、河床から約50mの比高をもつ河成段丘が発達する。段丘

第1表 地質試料一覧表

Table 1 List of geologic samples.

地点番号 (Loc.)	試料番号 (No.)	試料の簡単な記載 (Sample)	採取地点 (Area)
92	9301	モレーン細粒部	天山第1号水河末端
93	9302	モレーン細粒部	天山第1号水河末端付近
94	9304	モレーンマトリックス	天山第1号水河下流
95	9305	モレーン細粒部	ウルムチ河左岸
96	9306-3	アルコーズ砂岩(ジュラ系)	ホーシャ盆地
97	9307-1	レス	ホーシャ盆地
	9307-2	河成段丘マトリックス	
98	9308	珪質頁岩(石炭系)	ウルムチ河峡谷内
99	9309	緑色片岩石英脈(先カンブリア紀)	アクス西
100	9310	硬質砂岩(オルドビス系)	ウシイ南西
101	9311	頁岩(シルル系)	ウシイ
102	9312	扇状地表層部砂礫	アクス西
103	9313-2	河成段丘表層部シルト	小台蘭炭鉱
	9313-6	河成段丘砂礫	
	9313-8	現河床堆積物	
104	9314-1	赤色泥岩(第三系)	台蘭河右岸
	9314-2	石膏	
105	9315	塩	ボステン公社北
	9315-1	レス	
	9315-2M	モレーンマトリックス	
	9315-G	モレーン礫	
	9315-3	現河床堆積物	
106	9316-2	河成段丘表層部マトリックス	アワタ北
107	9317	河成段丘マトリックス	アワタ北
108	9318	河成段丘(旧扇状地)表層部マトリックス	バイチェン西
	9318-G	河成段丘(旧扇状地)表層礫	
109	9319-1	河成段丘マトリックス	キジル千仏洞北
	9319-G	河成段丘礫	
	9319-2	赤色砂岩(第三系)	
110	9320	河成段丘マトリックス	キジル北西
	9320-G	河成段丘礫	
111	9321	砂岩・泥岩(第三系)	クチャ北峡谷内
112	9322-M	扇状地表層部マトリックス	コルラ西
	9322-G	扇状地表層部礫	
113	9323-M	河成段丘表層部マトリックス	コルラ東
	9323-G	河成段丘礫	
114	9324	花崗岩	ボステン湖北東
115	9325	玄武岩他	峡谷内
116	9326-1M	河成段丘マトリックス	ベゼクリク千仏洞東
	9326-1G	河成段丘礫	
	9326-2	砂岩(第三系)	
	9326-3	砂岩中の石膏	
117	9327	扇状地表層部マトリックス	勝金
	9327-G	扇状地表層部礫	
118	9328-Gy	砂岩中の石膏	火焰山南
119	9329-1	レス	天池北
	9329-2	崖錐マトリックス	
	9329-2G	崖錐礫	
	9329-3	硬質砂岩(石炭系)	
120	9330	頁岩(ジュラ系)	城関炭鉱
121	9331-1	レス	米泉北東
	9331-M	河成段丘マトリックス	

	9332	河成段丘礫	
201	9333	レス	バイノアー鉱山入口
202	9334	花崗斑岩	五香営子北
203	9335	花崗岩・流紋岩他	碧流台郷亜鉛鉱山
204	9336	レス	豊水山西
	9336-G	花崗岩	
205	9337	花崗閃緑岩・石炭岩他	バイノアー鉱山
206	9338	レス	ウランバー鉱山入口
207	9339	花崗斑岩	楊家営子旧鉱山
	9339-1	白色粘土	
	9339-2	風化花崗斑岩	
208	9340	石英斑岩・石英他	ウランバー鉱山
209	9341	現河床堆積物	鳥爾吉木倫河右岸
210	9342	砂丘砂	清河子東
211	9343	風成砂	柴達木
212	9344	現河床堆積物	西拉木倫河分流左岸
213	9345-1	砂丘砂	平安地東
	9345-2	塩	
122	9401	新期黒色砂礫層、粒径2mm以下の部分	カシュガル郊外・三仙洞
123	9402-1	新第三系黄色シルト層、数枚の複合試料	カシュガル郊外・三仙洞
	9402-2	9402-1の低位黒色砂礫層数枚のマトリックス複合試料	
	9402-3	9402-1を整合に覆う黒色砂礫層(西域礫層)	
	9402-4-1	新第三系の中心部分の頁岩、複合試料	
	9402-4-2	新第三系の中心部分の砂岩、複合試料	
124	9403-1	モレーン上の巨礫、雲母片岩	カラクリ湖畔
	9403-2	深度0-40cm黄色シルト、黄土?	
	9403-3	深度40-70cm+灰色砂・シルト質モレーン	
125	9404-1	深度0-80cm青灰色モレーンのマトリックス	スバシ峠
	9404-2	深度80-380cmモレーンのマトリックス	
	9404-3	深度80-380cmモレーン中の片麻岩角礫	
126	9405	古期モレーン(深度60m)のマトリックス	カラクリ湖付近
127	9406-1	現成白色砂丘砂	カラクリ湖付近
	9406-2	湖成堆積物、粘土・シルト互層	
128	9407-1	深度0-33cm黄色シルト質レス	カラクリ湖付近
	9407-2	深度33cm+青灰色モレーンのマトリックス	
129	9408-1	深度0-1m黄色シルト、M3モレーンを覆う	ゲズ
	9408-2	深度1m+、M3モレーンのマトリックス、青灰色	
	9408-3	M3モレーンのアウトウオッシュ、砂質シルト	
	9408-4	M3モレーン中の角礫(片麻岩および花崗片麻岩)	
130	9409	M1モレーンのマトリックス	ゲズ
131	9410-1	最終氷期以前の氷成堆積物、灰色シルト	ゲズ
	9410-2	最終氷期以前の灰色モレーンのマトリックス	
132	9411	片麻岩巨礫上に堆積したレス	ゲズ
133	9412-1	現成モレーンのマトリックス(黒色)	オイタグ西方
	9412-2	現成モレーン中の礫(片岩多い)	
134	9413-1~6	レス、深度30cm間隔で採取	オイタグ西方
	9413	カタツムリ化石、上深度80-110cm下深度210-270cm	
135	9414	西域礫層、シルト、砂のレンズ	オイタグ西方
136	9415	新第三系、赤色頁岩、石膏	オイタグ西方
137	9416-1~20	旧河道堆積物、シルト・砂層および柱状試料	アクス南方
138	9417	最終氷期の段丘堆積物?、粘土-シルトの複合試料	ウエンズー
139	9418-G1	黒色西域礫層(20cm+)、礫とマトリックス	クチャ北方
	9418-S1	新第三系シルト(15m+)	
	9418-G2	新第三系砂礫層の挟み(1m+)、礫とマトリックス	

	9418-S2	新第三系シルト (20m+)	
	9418-G3	新第三系砂礫層の挟み (2m)、礫とマトリックス	
	9418-S3	新第三系シルト (10m+)	
	9418-G4	新第三系砂礫層の挟み (3m)、礫とマトリックス	
	9418-S4	新第三系シルト (5m+)	
140	9418-S5	新第三系の最下部層準、シルト-粘土	クチャ北方
141	9419	旧河道堆積物、薄いシルトと泥岩互層、柱状試料	バイチュン
142	9420-1	新期黒色砂礫層を整合に覆う黄色シルト (8m+)	キジル千仏洞
	9420-2	新第三系の上部層準	
143	9421	黄色シルト質段丘堆積物 (深度30-50cm)	トルファン
144	9422-1~15	旧湖成堆積物柱状試料、シルトを5cm間隔で採取	ウルムチ南方
145	9423-1~25	旧湖成堆積物、シルトを約20cm間隔で採取	ウルムチ南方



第6図 台蘭河左岸側のモレーン性段丘堆積物と最上部に載る超巨大礫 (Loc.104の downstream 約3 km)。

Fig. 6 A very big boulder observed on moraine terrace sediments at the left bank side of the Tailan He (3 km downstream from Loc.144).

礫層の厚さは32m以上あり、その上に3mのシルト層と1mの礫混じり細砂層が載り、厚さ3.7mのレスに覆われている。更に下流側の高位の河成段丘上にもレスが認められる。

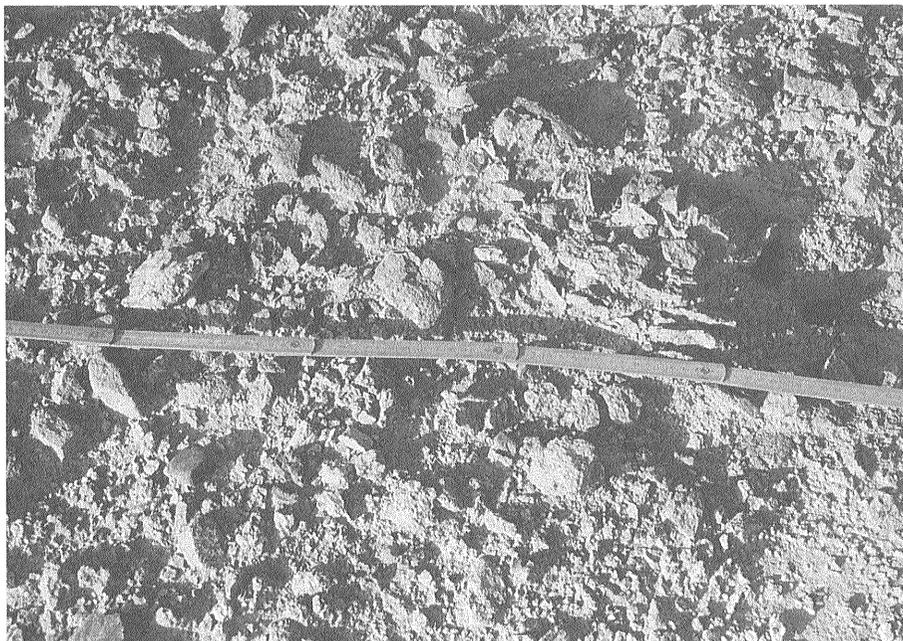
既に述べた台蘭河の支流にある小台蘭炭鉱 (標高2300m) には、右岸側に河床から比高約25mの河成段丘が発達する。段丘は下部の巨大円礫から上部の泥層へと上方細粒化が顕著で、段丘表層部の深さ0.7mに挟むレスに似たシルト層中からカタツムリ化石を極少量ながら産出する。

ナイマン地域の大興安嶺山地には、その山地下部を中

心に厚さ1~2mの薄いレスが分布する。本地域のレスからはカタツムリ等の化石は見つからず、その形成年代は不明である。レス中には、炭酸カルシウムが顕著なもののヤラミナが認められ、一部水中堆積物の可能性もある。

3.1.5 河成段丘と旧扇状地堆積物

タリム盆地の縁辺部や天山山脈の山間盆地には礫砂漠のゴビが発達する。ゴビの礫はモレーンの礫と異なり、円磨され礫径も揃っている。これは山地から供給された岩屑が布状になって流れる河川水によって運搬されたためである。厚さ25m以上に達する礫層もあるが、いずれの厚さもほぼ一定で、大規模に形成されたことが分かる。



第7図 古期河成段丘表面で角礫ないし砂粒化した円礫 (Loc.113) . 段丘面と沖積面の比高は約100m.

Fig. 7 Disintegration of older river gravels (Loc.113) . Relative height between the older river terrace and an alluvial plain is about 100m.



第8図 古期河成段丘堆積物の物理的風化状況。写真中央のスケールは0.5m.

Fig. 8 Physical weathering of older river terrace. Scale is 0.5m long.

礫種は巨大礫・大礫として片麻岩・花崗岩, 中礫・細礫として砂岩・花崗岩・片麻岩・結晶片岩・チャート・頁岩・石灰岩などが目立つ。

河成段丘堆積物の表層部の礫は, より高位で形成年代の古いものほど物理的風化によって細粒化が進み, 小角礫化や鉱物粒にまで分解している(第7図)。そして, 表層部から内部へ風化の程度が急激に低下し, 本来の円礫に移り変わる(第8図)。

3.1.6 現河床と扇状地の堆積物

天山山脈南側の台蘭河などにおけるモレーンやレスの観察に平行して, 巨大礫間にある現河床堆積物を2箇所採取した。現河床堆積物は台蘭河の支流(Loc.103)では供給源の地質を反映して石英・長石に富み, 平均粒径4.11φ(第2表参照)で同量の微細砂とシルトからなり, ポステン公社北(Loc.105)では平均粒径6.35φでほぼシルトからなり極めて細かい。

更に天山山脈の南側に当たるコルラ西方の扇状地やトルファン盆地内の扇状地表層から礫とマトリックスの試料を採取した。前者では山地に近いために礫が角ばり, 前述した河成段丘礫同様の礫種構成を示す。一方後者で

は, ボゴタ峰を構成する塩基性深成岩や火山岩類の地質を反映し, 礫種は閃緑岩, 凝灰岩, 砂岩, 頁岩などからなり, 天山山脈に広く分布する花崗岩・片麻岩の礫は見られない。また後者における礫は酸化マンガンからなる黒い desert varnish (砂漠漆)が発達し, 三稜石も多い。これは, 北風が南側の丘陵の風隙に向かって特に強烈に吹いて形成されたものと考えられる。山下(1989)によって段丘礫層中の黒い礫が目されたが, 礫の色は礫種及び desert varnish によるものである。

ナイマン地域では, 南部大興安嶺から東流する河川の堆積物を2箇所採取した。小規模な烏爾吉木倫河(第5図)の泥質堆積物(Loc.209)は, 平均粒径が8.19φで同量のシルトと粘土からなる。大規模な西拉木倫河(第5図)の河床砂(Loc.212)は, 平均粒径が2.91φで細砂と微細砂からなり, 通常の河川堆積物に近い。いずれにしても, 本地域の河床は細粒物質から構成され, 北寄りの強風によってそれらは河川の南側へ吹送される。

3.1.7 砂丘砂

ナイマン周辺は年間降水量が300mm前後と少なく, 草原に適したステップ気候区に属する地域である。第2次

第2表 粒度分析結果。
Table 2 Analytical results of grain size.

Loc. No.	Sample	Graphic size parameter in φ - scale					Composition in Wt %				
		Md	Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis	Gravel	Sand	Silt	Clay	
109	9319-2	第三系砂岩	1.74	1.72	0.76	0.04	1.13	0.0	97.6	2.4	0.0
116	9326-2	第三系砂岩	3.34	3.55	0.66	0.41	0.85	0.0	74.0	26.0	0.0
94	9304	モレーンマトリックス	6.84	6.90	1.45	0.10	0.90	0.0	0.0	77.2	22.8
105	9315-2	モレーンマトリックス	3.83	3.87	1.72	-0.05	2.32	1.4	60.0	35.5	3.1
97	9307-1	レス	6.45	6.88	2.04	0.44	1.40	0.0	0.0	78.0	22.0
105	9315-1	レス	6.88	6.97	1.53	0.14	1.11	0.0	0.0	78.6	21.4
119	9329-1	レス	4.31	4.45	0.85	0.45	1.78	0.0	26.1	70.5	3.5
121	9331-1	レス	7.52	7.54	2.06	-0.41	1.33	0.0	0.0	77.3	22.7
201	9333	レス	6.79	7.03	1.66	0.22	0.81	0.0	0.0	74.6	25.4
204	9336	レス	6.18	6.63	1.97	0.49	1.32	0.0	0.0	79.5	20.5
206	9338	レス	7.10	7.60	2.38	0.33	0.87	0.0	0.0	64.1	35.9
103	9313-2	河成段丘表層部シルト	5.87	6.07	1.18	0.33	0.95	0.0	0.0	91.3	8.7
103	9313-8	現河床堆積物	4.07	4.11	1.22	0.08	2.84	0.1	47.4	51.0	1.4
105	9315-3	現河床堆積物	6.00	6.35	1.85	0.51	1.49	0.0	0.0	83.7	16.3
209	9341	現河床堆積物	7.87	8.19	2.18	0.23	1.05	0.0	0.0	52.4	47.6
212	9344	現河床堆積物	2.86	2.91	0.49	0.23	1.32	0.0	94.4	5.6	0.0
210	9342	砂丘砂	1.97	2.06	0.77	0.23	1.04	0.0	98.7	1.3	0.0
211	9343	風成砂	2.67	2.65	1.01	-0.01	1.04	0.0	89.4	10.6	0.0
213	9345-1	砂丘砂	1.91	1.92	0.39	0.23	1.21	0.0	94.9	5.1	0.0

大戦後に入植者が肥沃な西拉木倫河沿いや水の得やすい扇頂部を中心に農地化を進めた結果、急激に砂漠化したとされる。蘭州沙漠研究所内蒙古奈曼旗沙漠化研究駅の趙哈林所長によれば、大河川の南に広がる科爾沁 (Horqin) 沙地では、裸地が1950年の23%から、1980年の77%に急増したという。

ナイマン周辺では科爾沁沙地内にある比高8.3mの新月形砂鏈頂部 (Loc.213) と烏爾吉木倫河間のやや固定しなかった砂丘上 (Loc.210) 及び草地下 (Loc.211) で試料を採取した。3地点の砂丘を比較すると、現成の砂丘砂ほど粗粒で淘汰が良い。これらの砂丘砂はよく円磨され、粗粒砂ほどその傾向が強い。一方、タクラマカン砂漠の砂丘砂はいずれも角ばっている。隆起の著しい山地から供給された砂丘砂は角ばり、従順山地から供給された砂丘砂は丸いという傾向がうかがえる。ナイマン地域では現在山地からの砂礫の供給は不活発で、砂粒はより長期間平原内を移動しつつ円磨が進んだものと考えられる。

3.2 タリム盆地北西半部及び西コンロン山脈調査地域

3.2.1 現地調査と地質試料の採取

この地域一帯の現地調査は1994年10月前半に約2週間をかけ、西コンロン山脈地域とカシュガル (Kashi) からアクス (Aksu)、クチャ (Kuqa)、トルファン (Turpan)、ウルムチ (Urumqi) に至る地域で実施した。これはほぼタリム (Tarim) 盆地北西半部に相当する (第2図参照)。

1994年度の調査では、特に、1) 西コンロン山脈における氷河成堆積物及びレスの観察と試料採取、2) 新第三紀から第四紀に至る一連の堆積物中の石英の酸素同位体組成の変化を求めるための系統的な試料採取、3) トレンチ調査による現河川または旧河道・旧湖成堆積物の観察と柱状試料の採取、の三つのテーマに重点を置いた。

氷河周辺の10地点では、モレーンやアウトウオッシュ堆積物を構成する礫とマトリックス、レスなどを、また6地点で新第三系-古期第四系に属する地層の礫、マトリックス (または粘土-シルト層) を、更に旧河道、旧湖沼にあたる3地点では小規模なトレンチ調査を行い、断面を観察するとともに、連続的な柱状試料を採取した。これらの地点を含めて全部で24地点 (Loc.122-145) から地質試料の採取を行った (第4図及び第1表参照)。

3.2.2 西コンロン山脈の地形・地質調査

カシュガルの南西約100-150kmに位置する西コンロン山脈の主峰ムスターグアタ山の西側からコングール山の北方を経てカシュガルの近くへ流れ下るゲズ (Gez) 川に沿って観察を行った (第4図中の Loc.125から136の間)。

両峰の西側ではゲズ川に沿って低地や丘陵状の地形が

広がり、標高は約4000mから3000mへと北に向かって低くなる。河川沿いにはモレーンや段丘が分布している。これらの構成層は、基盤岩を反映した片麻岩や結晶片岩礫を主体とし、最大径は5m以上に及ぶ。またモレーンにはレス状の細粒物質がマトリックスとして礫間を充填して、更に1mから30cm程度の厚さのレスが被覆しているのが観察される。

コングール山北方のゲズ付近やその北方では、氷河が標高3000m近くの低所まで見られ、その前縁には、新旧数列のモレーンが存在する (Loc.129-132, 133-134, 第9図)。ゲズではモレーン表層部を構成する主として片麻岩からなる巨礫は、強風の影響によって風上側が著しく侵食され、またその表層部は極薄いレスに被覆されている (地点129-132)。更に下流域の Loc.136付近では段丘堆積物を覆うレスの厚さは10m以上に達している。また Loc.135ではモレーン堆積物の上に約3mのレスが重なり、この中から多数のカタツムリ化石が得られた。その¹⁴C年代値は最下部で4,850±100y. B.P. (GaK-18308)、中部で3,510±140y. B.P. (GaK-18307) と求められた。

3.2.3 新第三紀-第四紀前期堆積物

タリム盆地西縁部から北縁部にかけての地域と天山山脈内の盆地周縁部には、鮮新世又はそれ以前から更新世前期頃までの期間に及んで堆積したと考えられる厚い地層が分布している。

現地調査で観察を行った地点は西コンロン山脈北部 (Loc.135)、カシュガルの北方 (Loc.123) 及びクチャ北方 (Loc.139, 140, 142) である。Loc.123や139では下部に薄い礫層を挟む砂-シルト主体層が厚く分布し、上部へと厚い礫層に移り変わっている (第10図)。また Loc.135では基盤岩を厚い礫層が直接覆っている。これらの礫層は少なくとも数100m以上の厚さに達する。細粒相から粗粒相への岩相の変化は周辺山地の急激な隆起を示唆し、またそのような地形の変化は砂漠化への環境変化とも対応しているはずである (穆, 1994)。その違いは堆積物中の石英の酸素同位体組成にも現れている可能性があり、下位から上位までの地層の礫、シルト、マトリックスなどの採取を行った。

調査地域では、地層の時代を決定するのに有効な化石や年代測定対象物がないため、予察的に礫層が発達し始める直下の層準においてシルトの古地磁気測定用試料を採取した。測定結果は、磁化強度がやや弱いものの、交流消磁を行っても磁化方位が安定していることが分かり、古地磁気測定が年代決定に有効であろうという見通しが得られた。

3.2.4 旧河道・旧湖成堆積物



第9図 ゲズ近くにみられる新期のモレーン (Loc.128近く).
Fig. 9 Younger moraine near Gez (near Loc.128).



第10図 新第三紀細粒相主体の堆積物(右)とそれに整合で重なる厚い礫層 (Loc.123).
Fig. 10 Thick gravels conformably overlying the Neogene sand-silt dominant sediments (Loc.123).

現河川または湖の近くで、かつては河床あるいは湖底であったとみられる低地4地点で小規模なトレンチを掘り、あるいは既存の溝を利用して、堆積物を鉛直方向に連続的に採取した。試料は長さ25cm、幅5cm、厚さ1cmのプラスチックケースにはめ込んで採取した未攪乱試料と、5cmから20cmの間隔で深度方向に採取した試料の2種類とした。前者に対しては堆積構造などを把握する目的で軟X線写真の撮影も行った。

アクスの南 Loc.137では、洪水時の堆積物と思われる、クロスミナの発達した細粒砂と砂質シルトないし赤褐色を呈するシルトが5-10cm程度の厚さで繰り返されている様子が観察された(第11図及び第12図左)。この1サイクルが1回の洪水に対応するのか、あるいは季節変化に対応するのかは、今後更に諸分析を試みて検討する予定である。クチャの北西 Loc.141は、洪水時に水つきとなる背の低い草の生えた低地である。ここでも表層部30cmくらいには、厚さ1-数cmの砂混じりのシルトと厚さ1cm程度の泥炭質層の繰り返し認められた(第12図中)。またその下位では地層は大きく波打ち、冬期における土壌凍結などによって形成されるハンモック状構造であると考えられた。

ウルムチの南東、チャイウオブ(Chaiwopu)湖の周辺

(Loc.144, 145)では、深度5m程度までほとんどシルトからなる試料が得られた。表層部では粒状に風化が進んで、明瞭な堆積構造は認められなかった(第12図右)。

4. タクラマカン砂漠ほかから得た地質試料の粒度分析

粒度分析は以下の方法により実施した。採取した堆積物試料0.2-0.3kgを乾燥させ、4.0φより粗粒な部分は篩分法で重量百分率を求め、4.0φより細粒な部分はレーザー光透過沈降式自動粒度測定装置を用いて0.5φ相当の間隔で吸光度百分率として求めた。積算重量百分率を正規確立分布紙にプロットして、スプライン補間で求めた任意百分率の粒径値から中央粒径(median diameter)、平均粒径(graphic mean)、淘汰度(sorting)、歪度(graphic skewness)、尖度(inclusive graphic kurtosis)及び礫・砂・シルト・粘土の含有率を計算した。

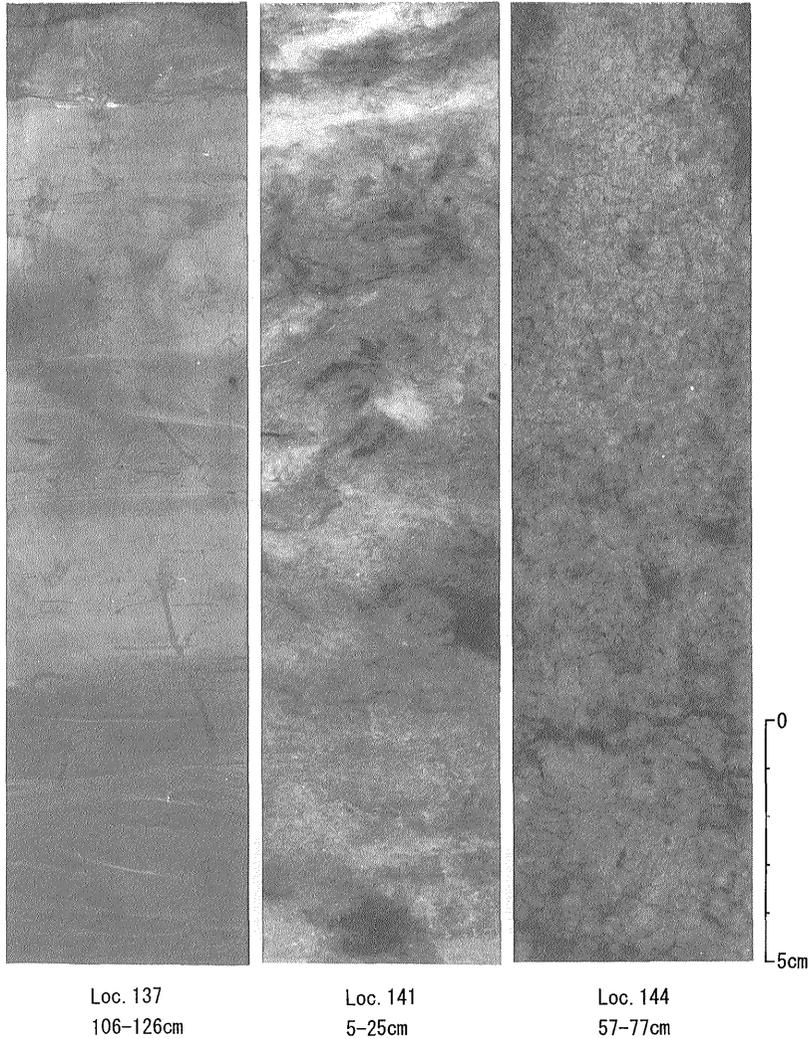
堆積物試料の粒度分析結果を第2表に示す。また、1993年に採取した地質試料19個と1992年に採取したレス試料(Loc.90)の粒度分析結果を種類別に分け、平均粒径と淘汰度をプロットしたものを第13図に示す。

ナイマン地域のレスは平均粒径が6.5φより細かく、淘汰度が1.5φより悪い。一方、天山山脈周辺のレスはナイマン地域のレスと粒度特性が同じものと、より粗く淘汰



第11図 砂とシルトの互層からなる旧河道堆積物(Loc.137)。スケールは1m。

Fig. 11 Older fluvial sediments composed of alternating beds of sand and silt (Loc.137). Scale is 1 m long.



第12図 旧河道・旧湖成堆積物の軟X線写真。明るい部分は高密度，暗い部分は低密度を示す。
 Fig. 12 Soft X-ray photos of older fluvial and lake sediments. Bright part indicates denser and dark part is looser.

の良いものがある。粗いレスは供給源が近くにあることを示している。天山山脈南部のモレーン発達域から採取された現河床堆積物と段丘表層部のシルト層は、レスの粒度特性にやや近似する。なお、ナイマン地域の烏爾吉木倫河の試料 (Loc.209) はレスより細かく特異な河床堆積物である。

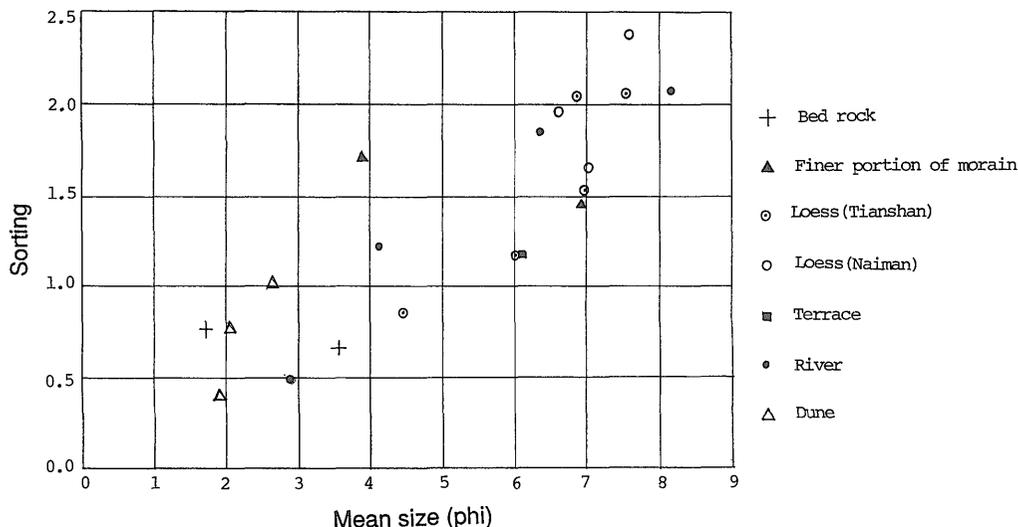
タクラマカン砂漠における多数の砂丘砂試料の粒度分析結果は、本研究の第 I 期までの成果によれば、砂丘砂試料の平均粒径は $2-4\phi$ 、淘汰度は $0.3-1.4\phi$ の範囲に含まれる。ナイマン地域で採取した砂丘砂もその粗粒な範

囲に入る。また、第三系の砂岩の粒度特性も砂丘砂と一致することは興味深い。

5. 花粉分析

5.1 試料と分析方法

花粉分析においては通常、周辺植生の検討のほかに、分析試料の季節性などについての検討が行われている。例えば辻・小杉 (1991) は始良 Tn 火山灰層から花粉化石を抽出して降灰時の季節について論じ、辻 (1984) は井戸内堆積物の花粉分析から堆積物の季節性を述べている。



第13図 種類別に区分した地質試料の平均粒径と淘汰度との関係。

Fig. 13 Relationship between mean grain size and sorting of samples classified by several categories.

このように、抽出される花粉化石の特徴から季節的なものが示される場合がある。したがって、ここで述べる花粉分析は、試料採取地点にみられる泥炭やシルト層薄層の互層が季節的なものに対応するのか、あるいは周期性が読みとれるかなどを検討する目的で行ったものである。なお、花粉分析は㈱パレオ・ラボに外注し、同社の鈴木茂氏によって分析されたことを付記する。

花粉分析は、タクラマカン砂漠北縁の Loc.141 (試料 No.9419, 採取位置北緯41°44'15", 東経82°02'51.2", 標高1160m)において採取された試料を用いて行った。本地点周辺は河川下流部で、水量の多い時期には湿地になるような場所で、また、冬季の凍結の影響でハンモック構造とよばれる高まりがみられる。地層は泥炭、泥炭質シルト、砂質シルトが不連続ではあるが、互層をなしている。こうした地層より、地表下およそ11~22cmより採取された8試料(第14図中のP1~P8)について、以下のような手順にしたがって花粉分析を行った。

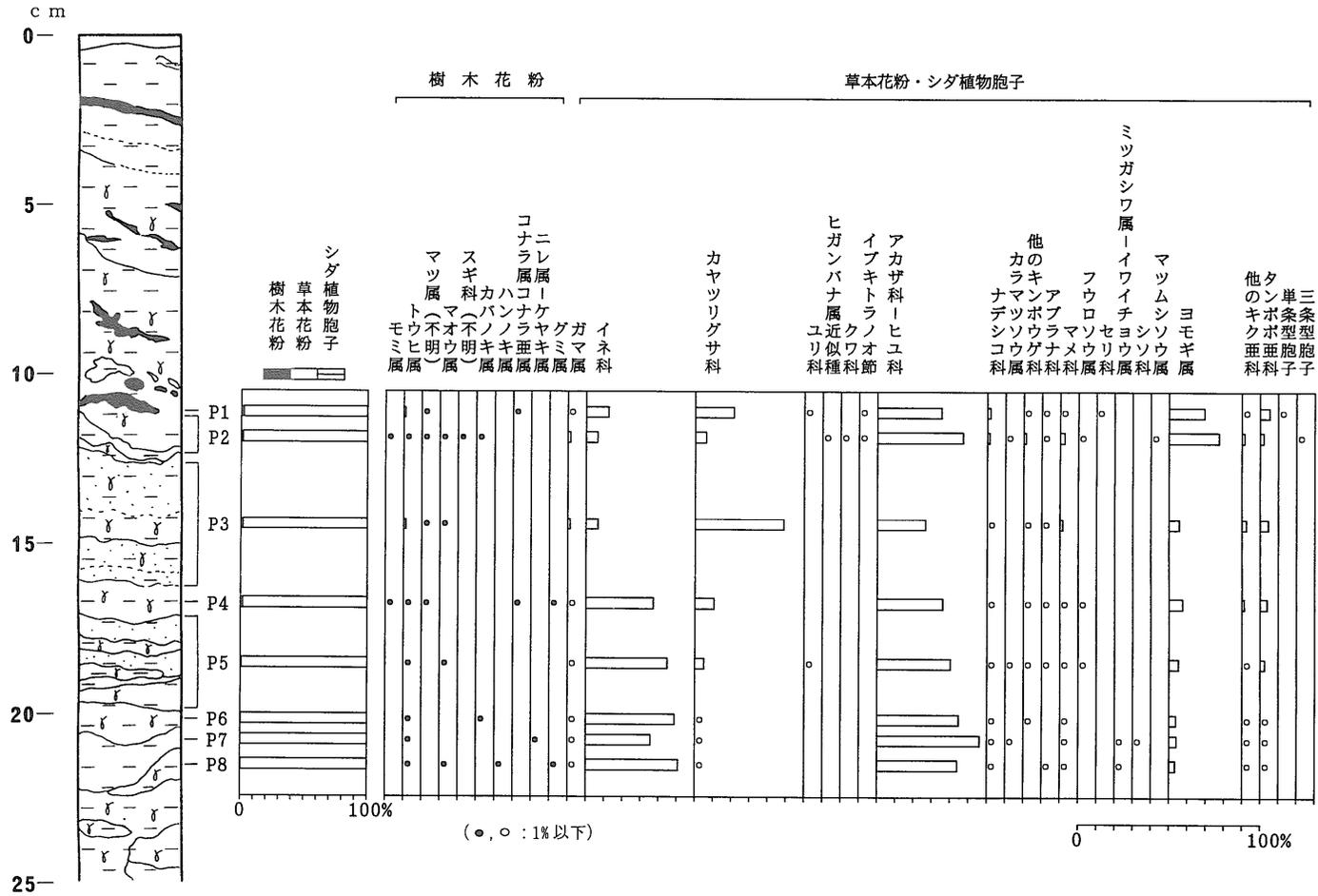
試料(湿重約1~3g)を遠沈管にとり、10%水酸カリウム溶液を加え、20分間湯煎する。水洗後、0.5mm目の篩にて植物遺体などを取り除き、傾斜法を用いて粗粒砂分を除去する。次に46%フッ化水素酸溶液を加え20分間放置する。再び水洗後、重液分離(比重2.1に調整した臭化亜鉛溶液を加え遠心分離)を行い、浮遊物を回収し、水洗する。その後、酢酸処理を行い、続けてアセトリシス処理(無水酢酸9:1濃硫酸の割合の混酸を加え3分

間湯煎)を行う。更に水洗後、残渣にグリセリンを加え保存用とする。検鏡はこの残渣より適宜プレパラートを作成して行い、その際サフランにて染色を施す。

5.2 花粉分析結果

検出された花粉・胞子の分類群数は、樹木花粉10、草本花粉21、形態分類で示したシダ植物胞子2の計33である。これら花粉・シダ植物胞子の一覧を第3表に、主要な花粉・シダ植物胞子の分布を第14図に示した。なお、分布図は全花粉・胞子総数を基数として百分率で示してある。第3表及び第14図においてハイフンで結んだ分類群はそれら分類群間の区別が困難なものである。また、クワ科・マメ科の花粉は樹木起源のものと草本起源のものがあるが、それぞれに分けることが困難なため便宜的に草本花粉に一括して入れてある。分析においては花粉化石の単体標本(花粉化石を一個体抽出したプレパラート)を作成し、各々に、PLC,SS番号を付し、形態観察用および保存用とした。

検鏡の結果、Loc.141の試料は草本花粉が圧倒的に多く、樹木花粉の占める割合は2%以下である。樹木花粉のうちではトウヒ属が全試料から得られており、その他、マツ属(不明)、マオウ属、グミ属などが数試料から検出された。なお、マツ属には単維管束亜属(ゴヨウマツ類)と複維管束亜属(ニヨウマツ類)があるが、分けることができなかったためここではマツ属(不明)とした。



第14図 花粉化石分布図。出現率は総花粉・孢子数を基数として百分率で算出した。図中の小さな白丸と黒丸は出現率1%以下を示す。

Fig. 14 Distribution of pollen fossils. Appearance ratio was calculated in percentage with a cardinal number of total pollen and spore. Small open and solid circles in the figure indicate that the appearance ratio is less than 1%.

草本類についてみると、全試料を通してアカザ科-ヒユ科が高率(26~56%)で出現しており、下部より上位に向かって減少し、上部では再び増加するという傾向がある。イネ科は下部の試料P4からP8では30~50%と高い出現率を示しているが、P3において10%以下に急減している。カヤツリグサ科は上位に向かい増加する傾向を示し、イネ科が急減したP3においては突出した高い出現率49%を示し、P2では6%に減少、P1では21%に増加という不安定な出現傾向を示している。ヨモギ属は平均10%以下の出現率であるが、上部2試料では多く検出され、20%前後の出現率を示している。その他、ガマ属、ナデシコ科、マメ科、ヨモギ属を除く他のキク亜科、タンポポ亜科が全試料から検出されており、キンボウゲ科やアブラナ科もほぼ全試料から得られている。

6. 地質試料の化学分析

6.1 分析試料と試料の調製

1993年度に化学分析に供した試料は、第4図と第5図に示したLoc.94, 97, 103(2試料), 105(3試料), 109, 116, 119, 121, 201, 204, 206, 209, 210, 211, 212, 213の砂質試料19試料の他に、中国側から提供された砂漠内部の試料12試料及び理化学研究所と日本大学から提供された24試料である。また、タクラマカン砂漠の試料と比較するため、中国中北部の乾燥地域オールドス(第1図参照)から得た試料(試料番号中国1-6)6試料を加え、化学分析を実施した。1994年度には地層の鉛直方向の元素濃度分布を調べるために、Loc.144(試料番号9422)と145(試料番号9423)の2箇所の旧湖底堆積物柱状試料を分析した。

Loc.94-119までがタクラマカン砂漠地域、Loc.201-213が中国東部ナイマン付近の乾燥地域の試料である。これらの試料は、前述した粒度分析によって0.5φ毎に分画し、得られたフラクションの中で0.0φから4.5φの範囲のもの、及び4.5φよりも細かい試料は4.5φ<と一括して分析用に選び、0.0φよりも大きな粒度のフラクションは分析対象から外した。試料が少量しかないものは粒度分けせずにそのままバルク試料として前処理を行った。粒度分けができた1993年度の試料は15試料であった。得られた各フラクション試料は風乾後、めのう乳鉢でそれぞれ微粉砕して化学分析に供した。

一方、Loc.144と145から得たNo.9422と9423が旧湖底堆積物柱状試料である。No.9422は表層の2cmを除き全長75cmであり、5cm間隔で分割して風乾後ふるい分けして粒径1/16mm以下(4.0φ<)のシルト成分を集めた。また、No.9423は表層の50cm程を除き全長490cmで、20

cm間隔で分割した。90-100cm周辺は幾分砂質であったため、そこは10cm間隔とした。分割試料は同様に風乾後ふるい分けした。何れも粒径1/16mm以下(4.0φ<)のシルト成分を化学分析用に使用した。

6.2 分析方法

化学分析の方法は次のとおりである。すなわち、粉末試料0.2gをテフロンピーカーに精秤して蒸留水で湿らせた後、硝酸1ml・過塩素酸3ml・フッ化水素酸5mlを加えてホットプレート上で分解、蒸発乾固を行った。冷却後、塩酸(1+1)5mlを加えて温めて溶かし、100mlのメスフラスコに移し定容として測定溶液とした。測定は、セイコー電子工業株式会社製ICP発光分光分析装置SPS1200を用いて、チタン・アルミニウム・鉄・マンガン・マグネシウム・カルシウム・リン等の主成分、並びにバリウム・ストロンチウム・クロム・亜鉛・バナジウム・銅・コバルト等の微量成分の分析を行った。また測定溶液の一部を分取し、干渉抑制剤としてストロンチウム溶液を4000ppmとなるように添加して、原子吸光法によってナトリウムとカリウムの定量を行った。

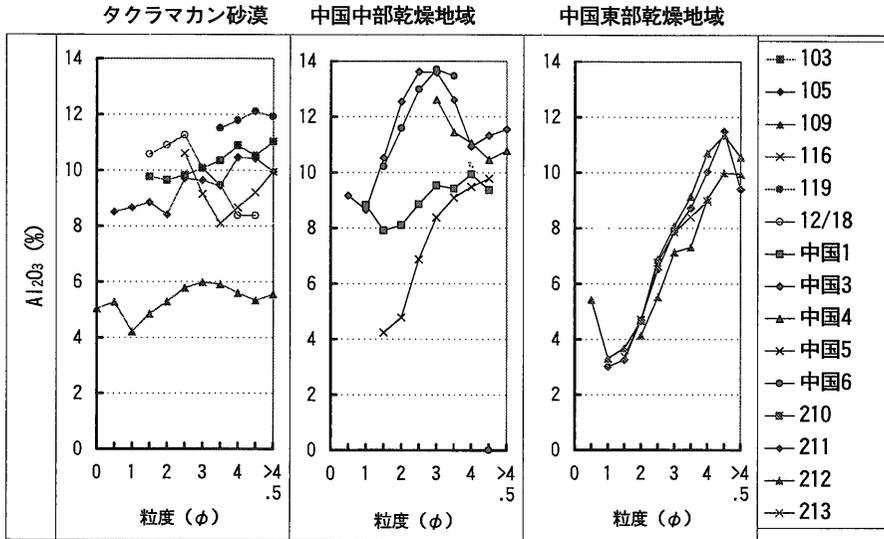
6.3 化学分析結果

タクラマカン砂漠ほかから採取された試料を粒度別フラクションに分けるなどして調製した合計159試料について、主成分及び微量成分の分析を行い、総計2500個を越えるデータを得た。これに基づき、化学組成や粒度と各成分の含有量との関係を検討した。更に、タクラマカン砂漠北部の試料群と中国中部のオールドスの試料群、東部のナイマンの試料群とに分類して地域的な化学組成上の差異や、第I期までに得られた化学分析結果と比較検討した。

化学組成と粒度との関係では、これまでに明らかとなったように(石井ほか, 1991; 1992)、粗粒堆積物に多く含有される成分として Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , Baが、細粒堆積物に多く含有される成分として CaO , MgO , Fe_2O_3 , MnO , P_2O_5 , TiO_2 , Cr, Sr, Vが挙げられる。

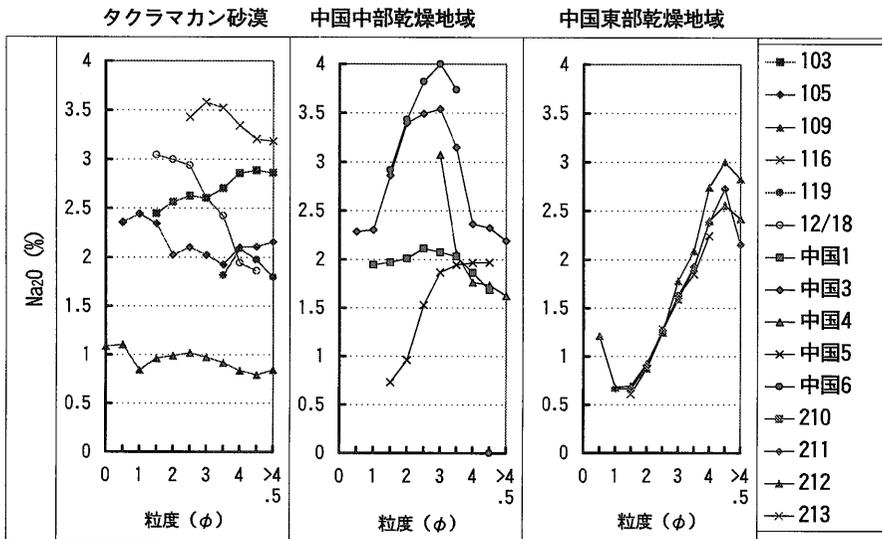
中国中部のオールドスや東部のナイマンの試料と比較すると、試料数が少ないものの幾つかの傾向が認められる。例えば、 Al_2O_3 , Na_2O は中国中部のオールドスの試料では3φ付近に極大濃度となる傾向があり、 Fe_2O_3 , CaO は東部のナイマンの試料で低濃度となっている。それらの様子を第15, 16, 17図に示した。

No.9422(Loc.144)の分割15試料及びNo.9423(Loc.145)の分割25試料については、主成分及び微量成分の分析を行った結果を第18図と第19図に示し



第15図 タクラマカン砂漠, 中国中部地域 (オルドス), 東部地域 (内モンゴ) における Al_2O_3 の粒度別化学組成.

Fig. 15 Relationship between Al_2O_3 content and grain size of samples collected from the Taklimakan Desert, central China (Ordos) and eastern China (Inner Mongolia).

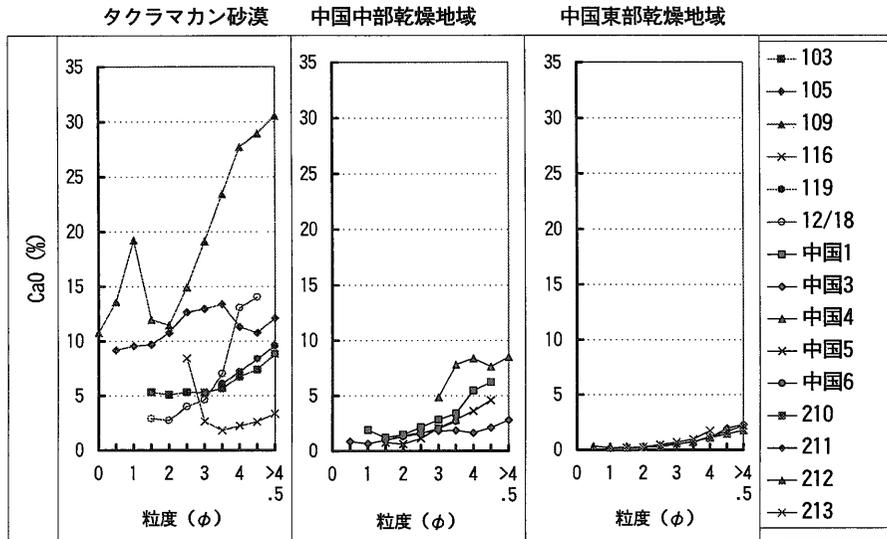


第16図 タクラマカン砂漠, 中国中部地域 (オルドス), 東部地域 (内モンゴ) における Na_2O の粒度別化学組成.

Fig. 16 Relationship between Na_2O content and grain size of samples collected from the Taklimakan Desert, central China (Ordos) and eastern China (Inner Mongolia).

た. No.9422はカルシウム含有量が多いのが特徴で, 平均でも CaO として14%含有していた. 試料に酸を加えると激しく発泡することから, この多くは炭酸カルシウムと

考えられる. カルシウム含有量は深度10cmを越えた層準から CaO として10%から12%程度に増大し, 50cmを越えた層準から更に増大し19%までに達するが, 75cmでは



第17図 タクラマカン砂漠, 中国中部地域 (オルドス), 東部地域 (内モンゴ) における CaO の粒度別化学組成.

Fig. 17 Relationship between CaO content and grain size of samples collected from the Taklimakan Desert, central China (Ordos) and eastern China (Inner Mongolia).

低下した。

他の元素では, アルミニウム, 全鉄, ナトリウム, チタン等の含有量が50cm 周辺で一時的に幾分増加する傾向がみられたが, カルシウムほどの顕著な変化は示さなかった。マグネシウム含有量は下位に向かって減少する傾向にある。微量元素では, ストロンチウム含有量が表層から下位に向かって50cm 当たりまで減少傾向を示し, その後60-70cm 当たりで一時的に増加した。また, バナジウム含有量は50cm 周辺で一時的増加傾向を示した。

No.9423は, No.9422ほど顕著な化学組成の変化は認められず, 全堆積期間を通じて環境変化が小さかったことを示唆している。カルシウム含有量は幾らか変動を有するが, 深部を除いてCaOとして6-8%の範囲内であった。深度4.8mを越えたあたりからカルシウム含有量は半減した。酸を加えると発泡が認められるため, No.9422と同様に炭酸塩の存在が確認される。No.9422でも下位に向かって減少傾向がみられたマグネシウム含有量は, No.9423の厚さ5m程の範囲でも全体的に下位に向かって減少傾向にある。微量元素ではストロンチウム含有量が下位に向かってわずかながら減少している。

7. 微細石英粒子の酸素同位体分析

7.1 石英粒子の酸素同位体分析の目的と試料の採取

中国内陸砂漠を構成する山麓扇状地堆積物及びレス中

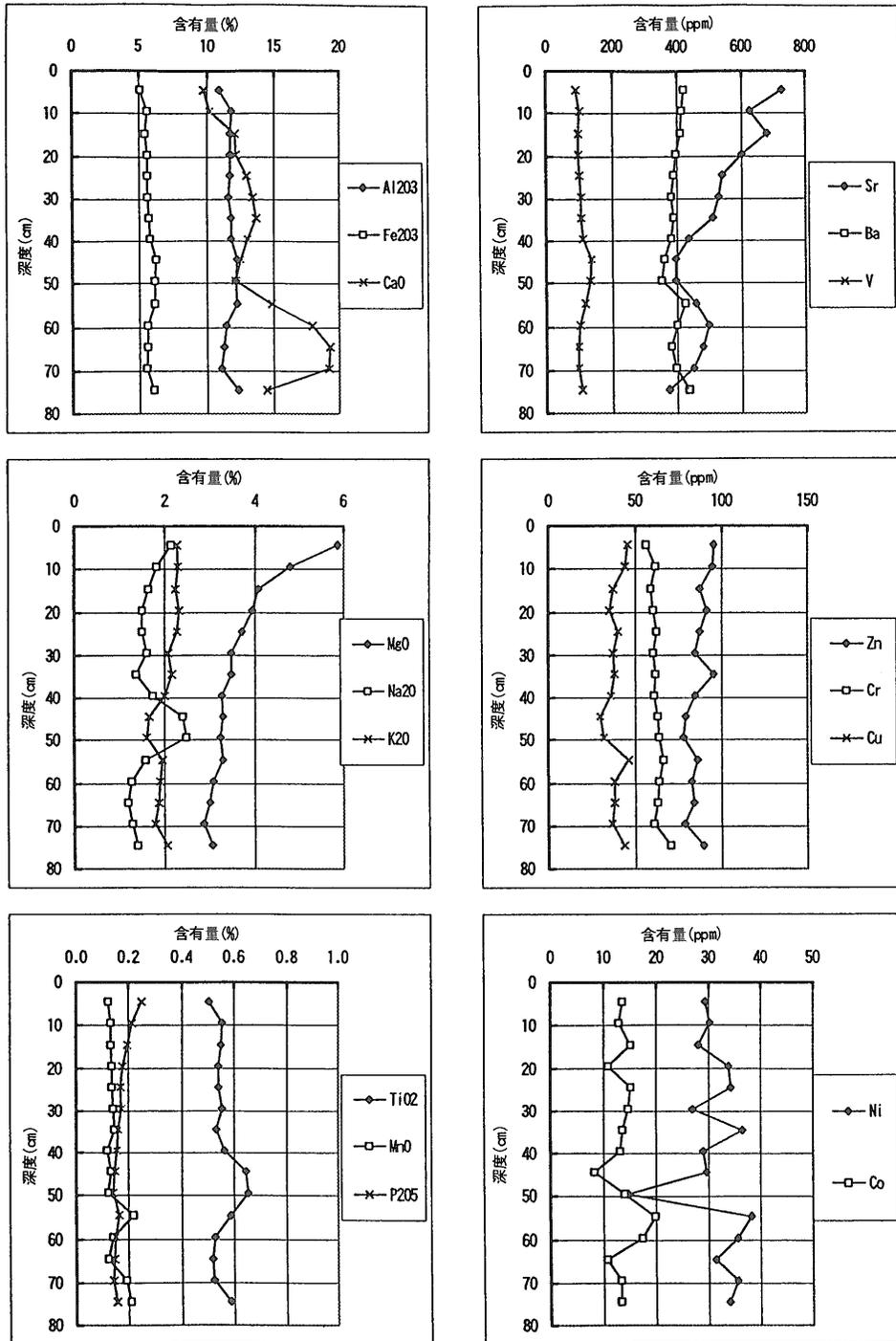
の細粒石英は, 広範な地域にわたって著しく均一な酸素同位体組成 (SMOW に対する $\delta^{18}O$ 値 = +16‰) を示す (Matsuhisa and Mizota, 1986)。この値は地殻を構成する種々の岩石に含まれる石英の平均値に近く, したがって, 大規模な地殻物質の均質化が砂漠の形成過程において生じているといえる。この均質化過程を石英粒子の酸素同位体組成を通じて系統的に明らかにすることが目的であり, 以下のような方針で研究を進めた。

1) 氷河の侵食と後退に伴って, 高山域において多量の細粒物質が形成され, モレーンとして堆積する。このようなモレーンが砂漠を構成する表層堆積物の究極の始原物質であると予測される。

2) 氷河が発達した地域においては, このモレーンを覆って風成のレスが発達するが, 従来の研究ではモレーンとレスの成因関係がほとんど明らかにされていない。モレーンの基質とレス中の細粒石英の酸素同位体組成の比較から, 両者の関係を解明することが重要である。

3) インド亜大陸のユーラシア大陸への衝突によって第三紀の終わりまで存在していたテチス海が消滅し, 第四紀以降, コンロン山脈及び天山山脈が急速に隆起し, 現在見られるような摺鉢状の大地形 (タリム盆地やジュンガル盆地) の基本が形成されたと考えられる。その結果, タリム盆地などはインド洋からの湿った気流の進入が阻害されて, ユーラシア大陸最大の砂漠となったとみ

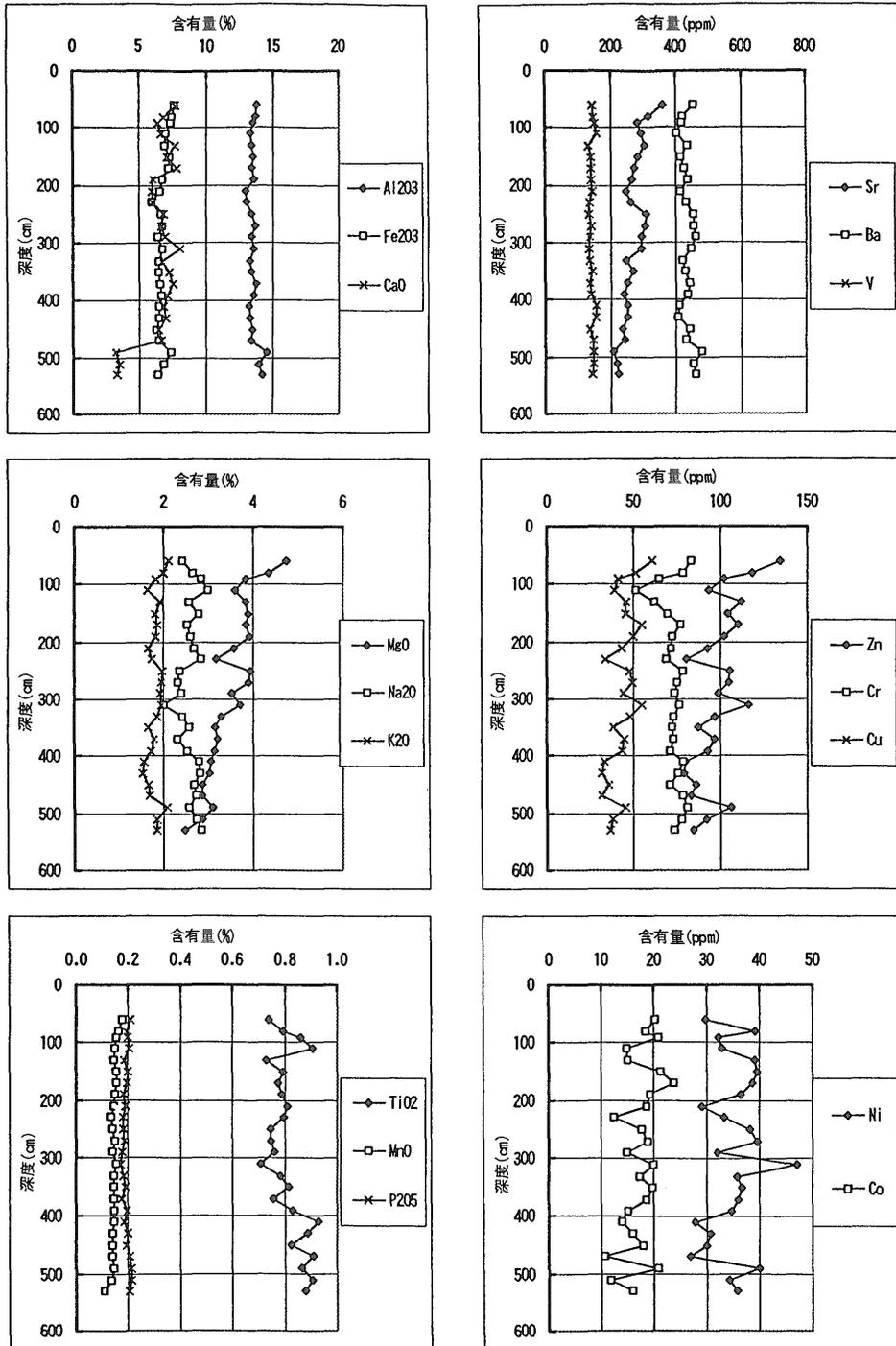
No. 9422



第18図 旧湖底堆積物の化学組成変化 (Loc.144, 試料No.9422).

Fig. 18 Variation of chemical composition of older lake sediments (Loc.144, Sample No.9422).

No. 9423



第19図 旧湖底堆積物の化学組成変化 (Loc.145, 試料 No.9423).

Fig. 19 Variation of chemical composition of older lake sediments (Loc.145, Sample No.9423).

られる。細粒石英の酸素同位体組成の均質化が、この地質学的イベントのどの時期に生じたかを明らかにするために、第三紀から第四紀にかけての地層が連続して分布する露頭について、年代別試料の採取を行うことも欠かせない。

調査地域として、天山山脈北面の第1号氷河（中国科学院天山冰川観測試験站，1991）及び南面のムザルト氷河域（中国科学院登山科学考察隊，1985主編），更に西コンロン山脈のケライヤイラック氷河域（Pan, 1992ed.）などを、氷河の地理的広がりや既往の研究成果及び道路事情を勘案して選定した。

一方、大興安嶺東部の黒龍江省チチハル付近の土壤表層に含まれる細粒石英（1～10 μ m）の酸素同位体組成は、タリム盆地及びジュンガル盆地周辺地域のものに比べて酸素18に乏しく、10 μ m から2000 μ m までの粗粒部分に含まれる石英について松久・溝田らが測定した酸素同位体組成は、天水に富む熱水から沈澱した石英の存在を推定させる。そこで、この酸素18に乏しい同位体組成を持つ土壤石英の供給源をつきとめることも目的とした。なお、中国の研究者による既往の研究（張敏・袁，1988；Li *et al.*, 1991；張徳全，1993）によれば、大興安嶺東部地域には、著しく酸素18に涸渇した火成岩の存在が報じられている。

7.2 試料の調製と試料中の石英の含有量

レス、モレーン、段丘堆積物、河川堆積物、砂礫層及び砂丘砂についてサイズ・フラクションに分けたのち、各フラクション中の石英を分離し、石英含有量を測定した。基盤岩類は全岩試料を粉碎し、石英を分離した。石英の分離にあたっては、ピロ硫酸ソーダによる溶融とケイフッ化水素酸を用いて石英以外の成分を溶解除去した。試料の調製及び酸素同位体分析の詳細は溝田・井上（1988）を参照されたい。石英を分離した試料について、試料中の各フラクションの含有量と石英の含有量を第4表に示す。

7.3 酸素同位体組成の分析結果

第4表に1993年及び1994年の現地調査で収集した中国新疆及び内モンゴ地域での堆積物や土壤中の石英の酸素同位体組成を示す。酸素同位体組成は、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比の標準平均海水（SMOW）に対する千分率偏差（ $\delta^{18}\text{O}$ 値）で示してある。以下に、各地域の試料について得られた測定結果を要約して述べる。

7.3.1 内モンゴ自治区周辺

チチハル付近の土壤試料には、53 μ m より粗大な粒径の

石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値が+4 から+5% を示すものがある。これら著しく酸素18に乏しい石英は、天水起源の熱水と反応した岩石に由来することが予想された。1993年の現地調査により、大興安嶺地域には熱水変質岩が広く分布していることが確認された。また、この折に採取した石英斑岩の基質の石英は、著しく酸素18に乏しいことが分かった（+5.5%）。

中国側によるこの地域の調査（張敏・袁，1988，Li *et al.*, 1991）では、ジュラ紀から白亜紀にかけての流紋岩や石英斑岩マグマの活動に伴う母岩の熱水変質とベースメタルの鉍化作用が広い地域にわたって認められている。全岩及び石英（斑晶かマトリックスかの識別が原著に記載されていない）の酸素同位体組成の分析結果は、著しく酸素18に乏しいものが存在することを示している。

今回分析した土壤-堆積物試料については、石英の粒径が増大するに従って、 $\delta^{18}\text{O}$ 値は系統的に低下している。微細石英（直径1～10 μ m）の $\delta^{18}\text{O}$ 値は中国-日本の中緯度帯の広域風成塵の値（+16ないし+17%）より1%程低い。堆積物試料の53 μ m より粗大な画分の $\delta^{18}\text{O}$ 値は+9 から+10% であって、火成源石英が主要な供給源であることと調和的である。本地域レスの $\delta^{18}\text{O}$ 値の粒径別変動パターンは、偏西風によって遠距離から供給された細粒広域風成塵（+16%）と、ローカルな火成岩源物質の混合で説明することができる。

7.3.2 天山山脈周辺地域

天山山脈を構成する基盤岩中の石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、花崗岩の+10.1%から石炭紀頁岩の+18.8%まで著しく変動する。一般的な傾向として、堆積岩が高い $\delta^{18}\text{O}$ 値を示す。

天山北面に位置する天山第1号氷河の現成モレーン、氷河拡大期の古いモレーン及びこれらと同流域に位置するホーシャ盆地のレスに含まれる細粒石英（直径1～10 μ m）の $\delta^{18}\text{O}$ 値は+16.8から+17.1%までの非常に狭い範囲にある。

アクス及びボステン付近については、モレーンやレス中の1から10 μ m 大の石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値は+16から+18%であり、粒径の増大に伴って+15%程度まで系統的に減少する。氷河が発達する高標高域のモレーンは、河川によって運ばれ、山麓に扇状地を形成する。山麓扇状地堆積物の分析値から、砂漠方向への物質移動過程で $\delta^{18}\text{O}$ 値が低下する傾向がみられる。レス及びその下位のモレーン中の1から10 μ m 大の石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、前者で+16.7%、後者で+17.7%であり、モレーンの主要な構成礫である頁岩中の石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値（+13.5%）や花崗岩中のそれ（+10.1%）とは著しく異なり、これらレスやモレーンの基質を構成する物質が別の後背地から運ばれてきたもので

第3表 産出花粉化石一覧表.

Table 3 List of pollen fossils.

和名	学名	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
樹木									
モミ属	<i>Abies</i>	-	1	-	1	-	-	-	-
トウヒ属	<i>Picea</i>	8	11	11	5	6	7	2	2
マツ属(不明)	<i>Pinus</i> (Unknown)	4	3	2	1	-	-	-	-
マオウ属	<i>Ephedra</i>	-	5	3	-	1	-	-	2
スギ科(不明)	Taxodiaceae(Unknown)	-	2	-	-	-	-	-	-
カバノキ属	<i>Betula</i>	-	1	-	-	-	2	-	-
ハンノキ属	<i>Alnus</i>	-	-	-	-	-	-	-	1
コナラ属コナラ亜属	<i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i>	1	-	-	1	-	-	-	-
ニレ属ケヤキ属	<i>Ulmus - Zelkova</i>	-	-	-	-	-	-	1	-
グミ属	<i>Elaeagnus</i>	-	-	-	1	-	-	-	1
草本									
ガマ属	<i>Typha</i>	3	29	11	5	2	1	3	
イネ科	Gramineae	79	109	55	188	532	961	331	919
カヤツリグサ科	Cyperaceae	137	102	413	53	59	10	6	12
ユリ科	Liliaceae	1	-	-	-	1	-	-	-
ヒガンバナ属近似種	cf. <i>Lycoris</i>	-	1	-	-	-	-	-	-
クワ科	Moraceae	-	2	-	-	-	-	-	-
イブキトラノオ節	<i>Polygonum</i> sect. <i>Bistorta</i>	1	4	-	-	-	-	-	-
イカサ科-ヒユ科	Chenopodiaceae - Amaranthaceae	227	808	225	182	477	882	522	793
ナデシコ科	Caryophyllaceae	12	22	3	2	2	5	2	5
カラマツソウ属	<i>Thalictrum</i>	-	5	-	-	2	-	3	-
他のキンポウゲ科	other Ranunculaceae	2	24	2	3	1	1	-	-
アブラナ科	Cruciferae	4	15	1	1	1	-	-	1
マメ科	Leguminosae	1	45	14	1	3	9	7	6
フウロソウ属	<i>Geranium</i>	-	2	-	1	1	-	-	-
セリ科	Umbelliferae	1	-	-	-	-	-	-	-
ミツガシワ属-イワイチヨウ属	<i>Menyanthes-Fauria</i>	-	-	-	-	-	-	1	1
シソ科	Labiatae	-	-	-	-	-	-	1	-
マツムシソウ属	<i>Scabiosa</i>	-	1	-	-	-	-	-	-
ヨモギ属	<i>Artemisia</i>	127	473	50	38	63	72	38	59
他のキク亜科	other Tubuliflorae	3	25	22	6	7	18	8	4
タンポポ亜科	Liguliflorae	34	33	37	19	29	5	7	3
シダ植物									
単条型胞子	Monolete spore	3	-	-	-	-	-	-	-
三条型胞子	Trilete spore	-	1	-	-	-	-	-	-
樹木花粉									
樹木花粉	Arboreal pollen	13	23	16	9	7	9	3	6
草本花粉	Nonarboreal pollen	632	1700	833	499	1182	1965	927	1806
シダ植物胞子	Spores	3	1	0	0	0	0	0	0
花粉・胞子総数	Total Pollen & Spores	648	1724	849	508	1189	1974	930	1812
不明花粉	Unknown pollen	18	45	11	6	22	16	11	17

あることを示唆する。

カシュガル北方の三仙洞付近については、新第三紀N2最上位シルト層(新疆維吾爾自治区産産局, 1985編)の石英の $\delta^{18}O$ 値は+18.0%及び+18.3%であり、N2中の礫層の狭み(+19.7%)から、これらを不整合に被う西域礫岩のマトリックス(+19~+20%)に向かって $\delta^{18}O$ 値が増大する傾向が認められる。

また、クチャ北方の露頭試料のN2シルト層についてはその石英の $\delta^{18}O$ 値は最下部層準で+18.3%、最上位層準で+17.7%であり、両者の間に大きな相違は見られない。しかし、上述のカシュガル三仙洞付近の場合と同様に、これらの上位に重なる西域礫岩層の $\delta^{18}O$ 値は+20.4%と明らかに高い値を示す。このように天山山脈南面の試料

に含まれる1から10 μ m大の石英の $\delta^{18}O$ 値は、北面のホーシャ盆地のレス(+16.8%)や天山第1号氷河付近のモレーン試料(+17%)に比較して、酸素18に富む傾向が窺われる。

7.3.3 コンロン山脈チーラ、ゲズ及びオイタグ地域

タクラマカン砂漠南縁のチーラ付近のレス試料中の石英は、他の砂漠物質と同様に、粒径の増大に伴って $\delta^{18}O$ 値が+17%から+15%へと低下する。

本地域のレスに含まれる1から10 μ m大の石英の $\delta^{18}O$ 値は+17から+18%の比較的まとまった範囲にある。一方、モレーンのマトリックスから分離した同じ粒径の石英試料は+9.1%から+19.4%まで大きく変動する。パミール高原カラクリ湖畔付近の表層を約50cmの厚さで均一

第4表 石英分離試料のサイズ・フラクションと石英含有量及び酸素同位体組成.
Table 4 Size fraction, quartz content and oxygen isotope ratio of samples.

試料番号 (地点番号)	試料記載	石英分離番号	粒 径 (μ m)	含有量 (%)	石英含有量 (%)	δ^{18} OSMOW (‰)
タクラマカン砂漠地域						
9301 (92)	天山No. 1 氷河 モレーン	CM-955 CM-932 CM-933 —	1-10 10-20 20-53 >53	23.5 7.8 9.1 28.2	24.1 37.4 40.1 —	16.9 16.9 14.8 —
9304 (94)	天山No. 1 氷河 古いモレーン	CM-956 CM-934 CM-935 —	1-10 10-20 20-53 >53	12.9 5.3 6.4 57.3	25.6 39.6 43.2 —	17.1 16.4 15.6 —
9305 (95)	天山北面 古いモレーン	CM-957	1-10	9.9	16.8	—
9307-1 (97)	ウルムチ川上流 (ホーシャ盆地)レス	CM-958 CM-952 CM-953 CM-954	1-10 10-20 20-53 53-105	14.7 8.9 33.6 4.8	25.5 37.1 39.2 38.0	16.8 — — —
9313-2 (103)	小台蘭鉱山 レス	CM-936	1-10	19.1	28.1	—
9315-1 (105)	ポステン レス	CM-959 CM-937 CM-938 CM-939	1-10 10-20 20-53 53-101	19.3 10.8 19.4 4.3	24.7 37.1 44.3 41.2	17.7 16.8 16.1 15.1
9315-2M (105)	ポステン モレーンの基質	CM-960	1-10	6.8	27.3	16.7
9316-2 (106)	ムザルト氷河 砂礫層の基質	CM-961	1-10	11.3	24.6	—
9317 (107)	ムザルト氷河 砂礫層の基質	CM-962	1-10	3.0	15.0	16.0
9326-1M (116)	火焰山 礫層の基質	CM-940	1-10	16.8	16.2	17.4
9327 (117)	火焰山東方 ゴビタン、礫層基質	CM-941	1-10	23.4	20.5	—
9329-1 (119)	天池入口 レス	CM-942	1-10	13.8	23.3	—
9401 (122)	カシュガル三仙洞 黒色砂礫層	CM-972	1-10	4.8	21.6	19.2
9402-1 (123)	カシュガル三仙洞 N2, 黄色シルト層	CM-973	1-10	30.3	30.0	18.3
9402-2 (123)	カシュガル N2, 9402-1の下位 砂礫層	CM-974	1-10	4.1	32.5	19.7

中国砂漠地域の表層地質形成過程と堆積環境の研究(石井 ほか)

9402-3 (123)	カシュガル 西域礫層	CM-975	1-10	3.2	29.0	19.5
9402-4 (123)	カシュガル N2, 頁岩	CM-976	1-10	27.5	24.1	18.0
9403-2 (124)	カラクリ湖畔 モレーン(黄色シルト)	CM-977	1-10	11.3	18.1	16.6
9403-3 (124)	カラクリ湖畔 モレーン(砂・シルト)	CM-978	1-10	8.3	19.2	9.1
9408-2 (129)	ゲズ モレーン	CM-979	1-10	7.6	15.1	10.4
9411 (132)	ゲズ レス	CM-980	1-10	17.9	26.1	17.3
9412-1 (133)	オイタグ西 現世モレーン	CM-981	1-10	9.5	14.5	19.4
9413-1 (134)	オイタグ西 レス	CM-982	1-10	16.1	23.3	17.8
9414 (135)	オイタグ西 西域礫層	CM-983	1-10	15.7	21.6	18.0
9415 (136)	オイタグ西 N1, 赤色頁岩	CM-984	1-10	9.4	7.3	21.2
9418-G1 (139)	クチャ北 西域礫層	CM-985	1-10	3.8	14.4	20.4
9418-S1 (139)	クチャ北 N2, シルト	CM-986	1-10	14.7	20.4	17.7
9418-S4 (139)	クチャ北 N2, シルト	CM-987	1-10	15.8	20.2	18.2
9418-S5 (139)	クチャ北 N2, 最下部シルト	CM-988	1-10	36.4	20.5	17.9
9420-1 (142)	キジル千仏洞 黄色シルト	CM-989	1-10	10.6	22.0	18.0
9302 (93)	天山No. 1 氷河 モレーン、結晶片岩礫	CM-945			40.5	11.7
9308 (98)	ウルムチ川 頁岩(石炭紀)	CM-946			11.2	18.0
9314-1 (104)	ムザルト氷河 泥岩	CM-947			17.6	18.0
9315-G (105)	ムザルト氷河 礫層中の礫、頁岩	CM-948			20.5	13.5
9315-G (105)	ムザルト氷河 礫層中の礫、花崗岩	CM-949			5.2	10.0

9329-3 (119)	天池入口 頁岩	C M-950			32.6	18.8
9330 (120)	城関鉱山 頁岩	C M-951			23.0	16.6
内蒙古地域						
9334 (202)	林東地域 斑岩	C M-971			31.4	7.1
9333 (201)	白音諾鉱山 レス	C M-911	1-10	11.0	23.2	15.2
		C M-912	10-20	6.2	33.1	14.1
		C M-913	20-53	29.9	38.9	12.0
		C M-918	53-105	19.8	43.8	9.7
9336 (204)	林東地域 レス	C M-915	1-10	8.6	23.7	
		C M-916	10-20	3.2	36.5	
		C M-917	20-53	22.8	41.1	
		C M-914	53-105	24.1	43.1	
9338 (206)	浩布高鉱山 レス	C M-919	1-10	10.5	26.4	15.1
		C M-920	10-20	4.8	36.3	13.9
		C M-921	20-53	26.8	39.7	12.1
		C M-922	53-105	33.7	48.4	9.5
9341 (209)	清河子 河川堆積物	C M-923	1-10	28.5	26.0	14.5
		C M-924	10-20	6.7	39.3	13.8
		C M-925	20-53	6.6	42.3	12.3
9342 (210)	清河子 砂丘砂	C M-926	105-210	11.7	58.5	9.8
		C M-927	210-500	41.5	71.4	9.4
		C M-928	500-2000	46.8	65.1	9.4
9339-2 (207)	精錬所 風化石英斑岩	C M-943 (石英斑晶)			71.9	7.3
		C M-944 (基質石英)			18.0	5.4

に覆うレスの $\delta^{18}\text{O}$ 値 (+16.6‰) は、この下位にある花崗岩質片麻岩由来のモレーンの $\delta^{18}\text{O}$ 値 (+9.1‰) とは著しく異なり、両者が異なった起源を有することを示す。同流域の下流に位置するゲズの古いモレーンの $\delta^{18}\text{O}$ 値 (+10.4‰) と現成のレスの $\delta^{18}\text{O}$ 値 (+17.3‰) もこれと類似の関係にある。これらの結果は、モレーンは現地性であるが、上位に位置するレスは、モレーンとは異なる起源物質から由来していることを示す。

オイダグの現成モレーン (泥岩起源の黒色片岩が卓越する) の 1 から $10\mu\text{m}$ 大の石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値は +19.4‰ であり、一方これの極近傍に分布するレス試料の $\delta^{18}\text{O}$ 値はこれとはかなり異なる +17.8‰ で、チーラ、カラクリ湖畔及びゲズのレスの $\delta^{18}\text{O}$ 値と類似する。

8. 考 察

8.1 花粉分析に関する考察

8.1.1 季節性・周期性について

カヤツリグサ科については、上部の試料 P3 で急増し、P2 では減少、P1 で再び増加するといった繰り返しのような傾向がみられる。また、高い出現率を示した P1 及び P3 試料は泥炭あるいは泥炭質の強い試料で、P2 はシルト質の強い試料となっており、泥炭とカヤツリグサ科の出現率が対応しているようにもみえる。しかしながら、その下位試料についてはそうした傾向は全くみられず、他の分類群についても、堆積物の層相と産出傾向にはっきりとした対応関係はみられない。以上のことから、今回の花粉分析結果からは明瞭な季節性、周期性などを言及できない。

8.1.2 植生について

中国科学院中国自然地理編集委員会 (1988) によれば、試料採取地点付近は荒漠、裸露荒漠帯の矮半灌木砂漠が分布するあたりであるが、先にも記したとおり、本地点は河川下流部で水量の多い時期が存在し、湿地や草地的景観を示す。花粉分析結果も草本花粉がほとんどであり、

草地の広がりを示している。そうしたなか、P4より下部試料においてはイネ科やアカザ科-ヒユ科が優勢であり、これらを主体とした湿地や草地が広がっていたと推測される。こうした植生からP3においてはカヤツリグサ科やアカザ科-ヒユ科を主体とした湿地・草地が一時的に広がり、その後、アカザ科-ヒユ科やヨモギ属を主体とした草地的植生が広がったようである。この優占種の交代要因については現時点では不明であるが、試料P3付近を境に水分量が変わったり、また、それにもなう塩分濃度の変化などが一因であるかもしれない。すなわち、アカザ科-ヒユ科やヨモギ属には好塩種があり、P1やP2堆積期においてはそうした分類群が目立つようになったことも考えられる。しかし、これについては今後の課題としたい。

樹木類は全試料について検出数が少なく、試料P8堆積期においても試料採取地点付近はすでに樹木類の少ない湿地・草地的な植生であったと推測される。そのなかでトウヒ属は全試料より検出されるなど、マツ属、マオウ属などを含め針葉樹類が比較的目立って検出されている。これらの花粉は風媒花であり、風などによって広範囲に運ばれやすく、散布される範囲は虫媒花であるグミ属などに比べかなり広い。したがって、広葉樹花粉より針葉樹花粉が多く検出されていると考えられ、今回の花粉分析結果から直ちに樹木類について針葉樹類の方がそのままだいと推測することはできないと考えられる。

8.2 化学組成に関する考察

第I期までの研究結果から、化学組成と粒度との関係は Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、Baが粗粒堆積物に多く含有され、CaO、MgO、 Fe_2O_3 、MnO、 P_2O_5 、 TiO_2 、Cr、Sr、Vが細粒堆積物に多く含有される傾向にあることが分かった。また、タクラマカン砂漠の砂質堆積物の平均化学組成は、シリカを除くいずれの元素も平均的砂岩よりも含有量が

多く、CaO、C、S、Baを除けば、平均的砂岩と地殻の中間的なところに位置することが判明した。すなわち、CaO、C、S、Baの含有量は地殻の平均組成よりも多く、このことがタクラマカン砂漠の砂質堆積物の平均化学組成の特徴の一つとなっている。これは、今回比較検討した中国東部のナイマン地域の砂質試料がCaOに乏しいことで確認される。

地域による化学組成の相違については一部に認められた。これは砂漠に運搬・堆積される砂の後背地の地質と大きな相関があり、しかも砂漠化過程、堆積後の風化過程等の相違の可能性もあるため、原因を確定するまでには至っていない。しかし、中国大陸のほぼ類似する緯度に位置する乾燥地域ということで気候的な要因が同一であったと仮定すれば、化学組成の相違は基盤岩の化学組成の相違に起因すると推定される。

第5表には、2箇所の旧湖底堆積物柱状試料の成分濃度範囲と砂漠砂の濃度範囲並びに大陸地殻等の平均組成濃度(Turekian and Wedepohl, 1961)とを示した。第5表から旧湖底堆積物柱状試料の TiO_2 、 Fe_2O_3 、MnO、MgO、 P_2O_5 、Cr、V、Sr等の含有量が砂漠砂の平均値よりも大きく、また、 K_2O 、Baは小さくなっていることが読み取れる。CaO、Srの含有量は、No.9422ではNo.9423に比べて2倍程度に高くなっており、これら両成分が濃集しやすい環境にあることを示している。

2箇所の旧湖底堆積物柱状試料では、深度方向に濃度変化の見られた成分もあるが、仮に化学組成は柱状試料の中では平均的な組成を持つものと仮定してみる。第6表にはそれぞれの柱状試料の平均値の相違を危険率1%でt-検定した結果を示した。多くの成分元素について2箇所の試料が相違することが判明している。試料の長さが異なるので、70cm程の深度までの試料を対象としてt-検定した場合でもいくつかの元素に相違がみられる。特に、 TiO_2 、 Al_2O_3 、CaO、V等はNo.9423で顕著に高く、

第5表 旧湖底堆積物の濃度範囲、砂漠砂の濃度範囲及び大陸地殻の平均組成濃度。

Table 5 Concentration ranges of older lake sediments and desert sand, and average content of the earth's crust.

	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Zn	Co	Cr	V	Cu	Sr	Ba
	(%)									(ppm)						
No.9422平均	0.56	11.75	5.69	0.15	3.63	13.86	1.66	2.02	0.17	86	14	62	106	38	514	396
No.9423平均	0.81	13.56	6.78	0.14	3.48	6.51	2.60	1.81	0.19	98	17	73	143	44	271	436
砂漠砂 (n=62)	0.41	10.28	3.11	0.07	1.93	8.66	2.11	2.18	0.12	52	5	37	50	18	240	491
砂岩*	0.25	4.72	1.40	<0.01	1.16	5.47	0.44	1.29	0.04	16	<1	35	20	x.	20	x0.
大陸地殻**	0.95	15.55	8.05	0.12	3.86	5.81	3.18	2.52	0.24	70	25	100	135	55	375	425

*:Turekian & Wedepohl(1961)

** :Taylor(1964)

第6表 旧湖底堆積物の平均化学組成のt-検定.

Table 6 Results of t-test for average chemical compositions of older lake sediments.

	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Zn	Co	Cr	V	Cu	Sr	Ba
	(%)									(ppm)						
*9422 min.	0.51	10.92	5.03	0.12	2.87	9.79	1.18	1.60	0.14	78	8	56	89	30	376	354
max.	0.65	12.34	6.18	0.22	5.87	19.32	2.48	2.31	0.25	95	20	70	135	46	727	435
ave.	0.56	11.75	5.69	0.15	3.63	13.86	1.66	2.02	0.17	86	14	62	106	38	514	396
*9423 min.	0.71	12.98	5.92	0.11	2.47	3.23	1.99	1.52	0.17	79	11	51	132	32	209	402
max.	0.93	14.56	7.67	0.17	4.73	8.06	2.99	2.10	0.21	134	24	83	159	61	361	480
ave.	0.81	13.56	6.78	0.14	3.48	6.51	2.60	1.81	0.19	98	17	73	143	44	271	436
有意の差 (乗率%)	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Zn	Co	Cr	V	Cu	Sr	Ba
全試料	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		○	○
上位70cmの試料	○	○	○			○	○		○				○		○	

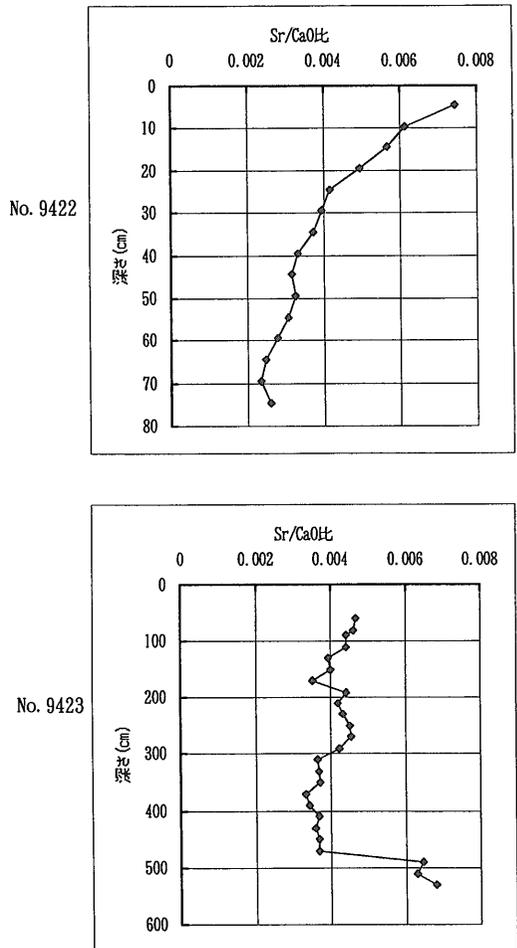
SrがNo.9422で高くなっている。

化学組成のみでは湖成堆積環境の変遷状況を詳細に推測することは困難であるが、No.9422では深度50cm付近から組成の変化があるため、この層準での環境の変化が推定される。ところで、CaとSrは同じアルカリ土類金属に属する元素で、挙動を同じくすると期待されている。そこで、Sr/CaO比を深度に対してプロットした図を示した(第20図)。No.9422では上位から下位に向かって減少傾向にあり、SrとCaOの起源または挙動が異なっている可能性を示唆している。一方、No.9423では含有量の顕著な変化は深度4.8mの層準にCaOで認められるのみで、その層準での堆積環境の変化並びに上位での比較的安定した堆積環境が推定される。Sr/CaO比は4.8mの層準までほぼ一定で、それより下位で大きく変化しており、Sr/CaO比からもその層準で環境変化があったと考えられる。

今回タクラマカン砂漠の砂質試料や旧湖底堆積物試料の化学組成を検討してみて、タクラマカン砂漠の砂質堆積物の化学組成を特徴づける要因としては、地域的な因子が大きく関与していることが判明した。また、旧湖底堆積物試料の深度方向の化学組成の相違から堆積環境が変化していることも認められた。今後、砂漠化の程度の相違する地域の試料の化学組成を詳しく検討し、鉱物組成や年代測定などのデータを総合していくことで、砂漠化のメカニズムをより詳細に解明することができるであろうと期待される。

8.3 細粒石英の均質化過程の考察

乾燥地では植生被覆を欠き、寒暖の差が激しいために、岩石の物理的風化作用が早く進行する。更に、天山山脈及びゴコンロン山脈の隆起速度が著しく大きいために、山麓域には多量の砂礫が供給され続ける。砂漠物質の生成



第20図 旧湖底堆積物のSr/CaO比の変化。
Fig. 20 Variation of Sr/CaO ratio of older lake sediments.

は基盤岩石類の物理的風化作用, 引き続き堆積盆地への運搬と再堆積過程を通しての種々の岩石の細粒化と混合の結果であると考えられる。

この過程の中で, 氷河の果たす役割は極めて大きい。すなわち, 重力によって斜面下方へ氷河が移動する時, 摩擦面での岩石の細粒化が進行する。中国内陸部の山岳氷河は氷期には現在よりもっと広範囲に分布し, この氷河の侵食による岩石の細粒化過程で生産されたものが, 砂漠を構成する細粒物質の始原物質であると考えられる。

天山山脈地域ではモレーンのマトリックスとその上位に堆積するレスの石英がともに+17%付近の均一な $\delta^{18}O$ 値を持つことから, 氷河の侵食で形成される細粒物質が, 広い地域にわたって均質な酸素同位体組成を示す砂漠物質の究極の起源であると考えた。しかしながら, コンロン山脈地域のモレーンに含まれる1から10 μm 大の石英の酸素同位体組成は, 天山地域のものとは著しく異なり, 低い $\delta^{18}O$ 値によって特徴づけられる。

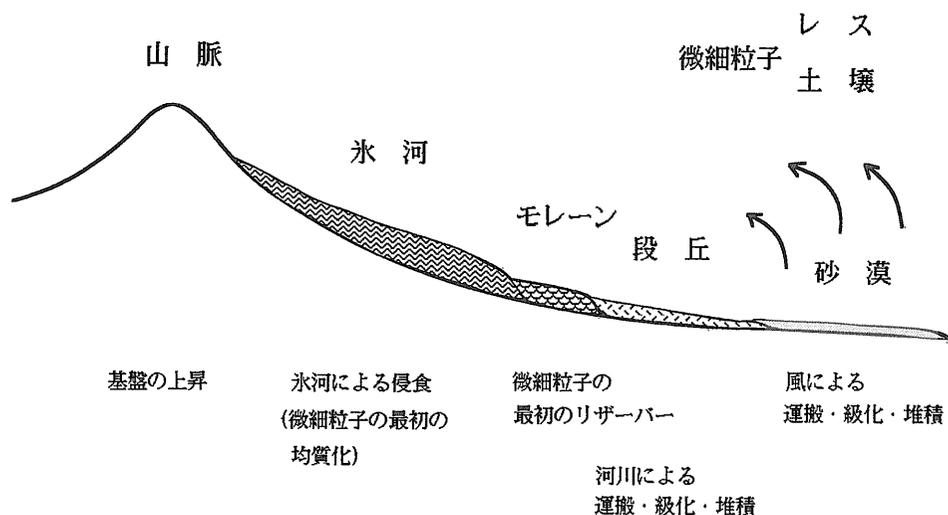
一方, 同じ地域のレスの石英の $\delta^{18}O$ 値は, 天山山脈や他の地域と同じく+17%付近の均一な値を示す。すなわち, モレーンのマトリックスは給源の基盤岩の特徴をある程度反映するのに対し, レスはタリム盆地やジュンガル盆地全域にわたって均一である。氷河による岩石の細粒化過程は砂漠物質生成の第一段階で, 引き続き起こる河川による侵食・運搬作用及び乾燥環境へ搬入されたあとの風成作用による混合を通して均質化が進行したと考えるのが適切であるように思われる(第21図)。

9. ま と め

タクラマカン砂漠あるいは西コンロン山脈などの野外調査研究を通じて多数の地質試料を採取し, 堆積物の粒度分析と化学分析, 石英粒子の酸素同位体分析, 柱状試料の花粉分析, 化石試料の ^{14}C 年代測定を実施した。これらの結果, 堆積物の粒度と元素の存在度との間に一定の相関がみられること, 石英の酸素同位体組成はタクラマカン砂漠の砂漠堆積物について場所によらず特定の範囲の値を示すことなどの成果を得た。また, 天山山脈内を南北方向に流れる氷河をもつ河川の河成堆積物の礫種を検討してみると, どの河川においても礫種の組成が同じであった。これは天山山脈の地質構成が東西に連続するためであり, 氷河による岩石の細粒化過程が砂漠物質生成の第1段階であるとみなされる。次いで, 河川の侵食作用と砂漠乾燥環境へ運ばれたあとの風成作用による混合を通して砂漠堆積物の<均質化>が進行していると考えられる。更に第四紀にタリム盆地に供給された膨大な量の礫層のマトリックス, 天山山脈やコンロン山脈の山岳地帯に分布するレスなどの分析から, 広域レスの大きな給源の一つはタクラマカン砂漠にあることを見出した。

文 献

- 高存海・劉嘉麒(1990) 烏魯木齊河流域的黄土研究. 第四紀研究, 1990年3期, p.251-260.
韓淑媿(1983) 対天池成因の初歩認識. 中国地質学会新

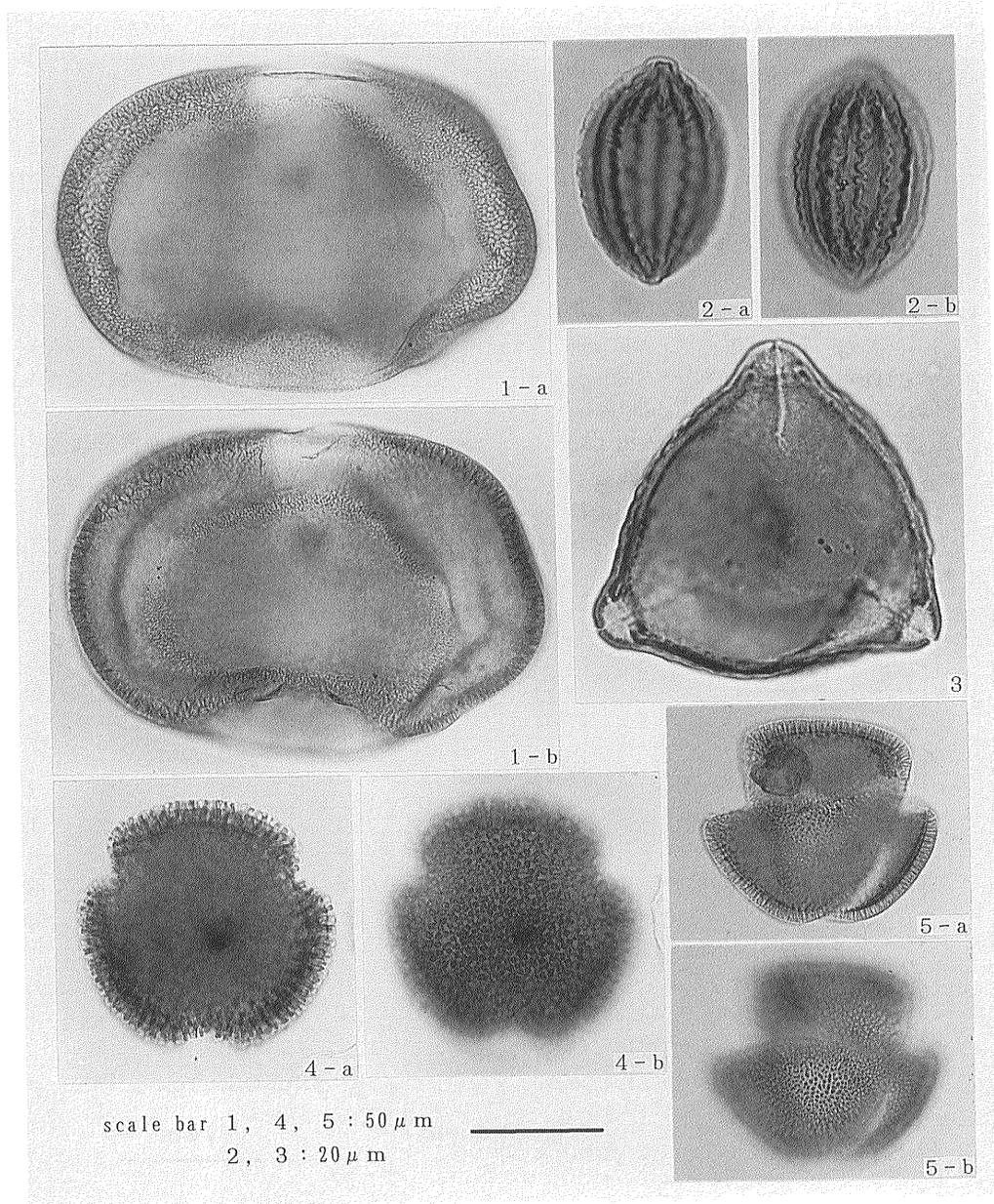


第21図 氷河・河川・風の作用による微細粒子の形成過程。

Fig.21 Formation process of fine particles by act of glacier, river and wind.

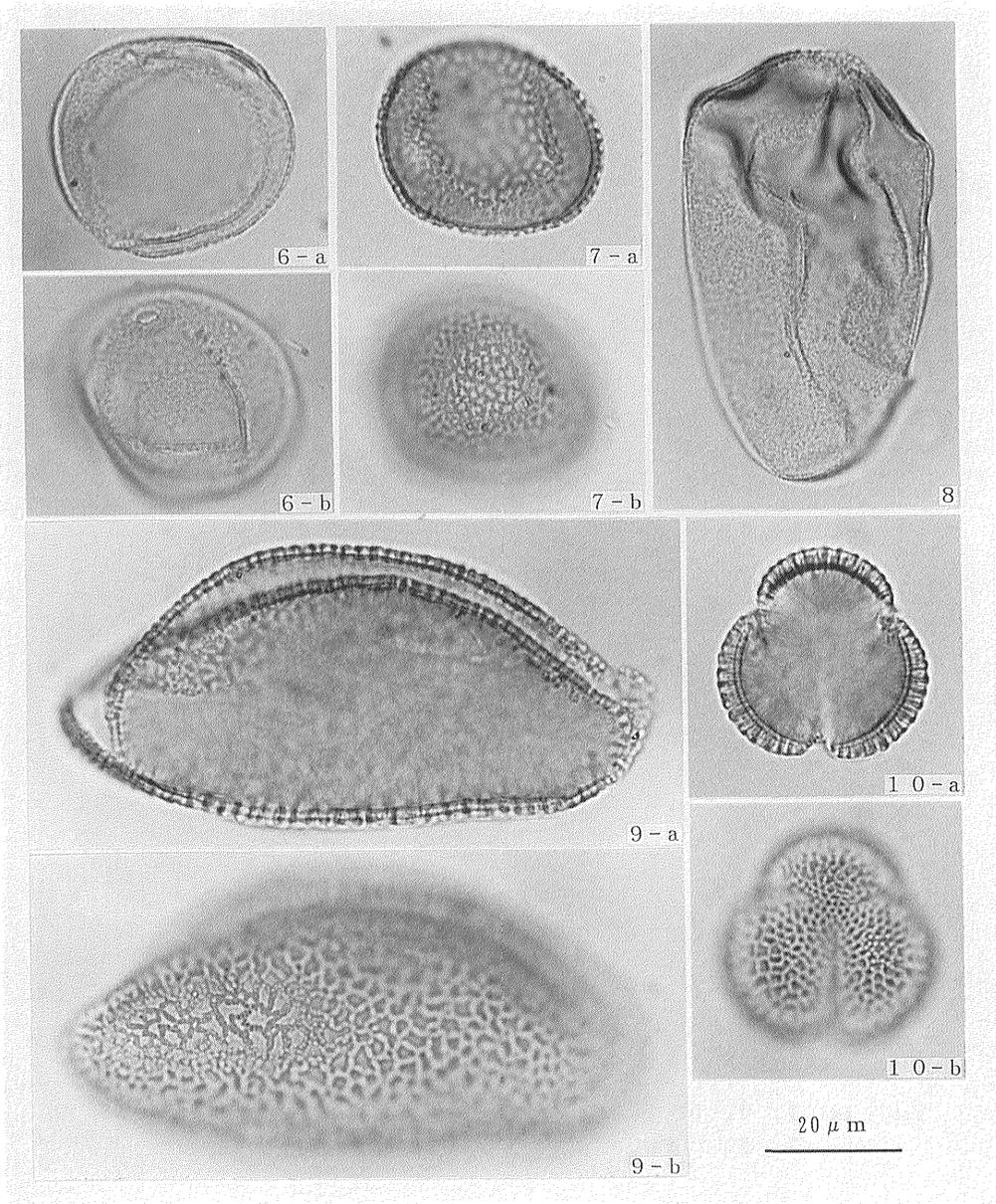
- 疆地質学会編, 新疆第四紀地質及冰川地質論文選集, p.143-147.
- 石井武政・磯部一洋・宮田雄一郎・水野清秀・寺島 滋・金井 豊・田中 剛・奥村晃史 (1991) 砂漠の地質試料の鋳物学的, 化学的解析. 砂漠化機構の解明に関する国際共同研究平成2年度成果報告書, 科学技術庁研究開発局, p.102-113.
- 石井武政・磯部一洋・宮田雄一郎・奥村晃史・水野清秀・寺島 滋・金井 豊・松久幸敬・錢亦兵 (1992) 砂漠の地質試料の鋳物学的, 化学的解析. 砂漠化機構の解明に関する国際共同研究平成3年度成果報告書, 科学技術庁研究開発局, p.134-155.
- Li, P. Z., Shen, Y. L., Li, C. L. and Yu, J. S. (1991) $\delta^{18}\text{O}$ contours and ancient fossil hydrothermal system of miarolitic alkaline granite, Nianzishan, Heilongjiang. *Science in China (Series B)*, vol.34, p.732-740.
- Matsuhisa, Y. and Mizota, C. (1986) Oxygen isotopes as a tracer of eolian components in soils and sediments of East Asia. *Terra Cognita*, vol.6, p.207.
- 溝田智俊・井上克弘 (1988) 風成石英粒子の酸素同位体組成—そのトレーサーとして意義—. *粘土科学*, vol.28, p.38-54.
- 穆桂金 (1994) 塔克拉玛干沙漠的形成時代及發展過程. *干旱区地理*, vol.17, no.3, p.1-9.
- Pan, Yusheng (1992ed.) *Introduction to integrated scientific investigation on Karakorum and Kunlun Mountains. Integrated Scientific Expedition to Qinghai-Xizang Plateau*, Chinese Academy of Sciences, 92p.
- Taylor, S. R. (1964) Abundance of chemical elements in the continental crust, a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol.28, p.1273-1285.
- 辻誠一郎 (1984) 井戸内堆積物の季節性. 古文化財の自然科学的研究, 同朋社出版, p.492-493.
- ・小杉正人 (1991) 始良 Tn 火山灰 (AT) 噴火が生態系に及ぼした影響. *第四紀研究*, vol.30, p.419-426.
- Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol.72, p.175-192.
- 新疆維吾爾自治區礦產局 (1985編) 200万分の1 中国新疆維吾爾自治區地質圖. 地質出版社.
- 山下 昇 (1989) タリム盆地と天山山脈の2週間地質見学. *地球科学*, vol.43, p.242-255.
- 張徳全 (1993) 敖羅巴斑岩型錫多金屬礦床地質特征. *礦床地質*, vol.12, p.10-19.
- (1993) 大興安嶺南段不同構造環境中的兩類花崗岩. *岩石礦物學雜誌*, vol.12, p.1-11.
- ・雷蘊芬・羅太陽・鮑修坡・王勝利 (1991) 內蒙古白音諾鉛鋅鉛床地質特征及成礦作用. *礦床地質*, vol.10, p.204-216.
- 張 敏・袁忠信 (1988) 內蒙“八〇一”稀有元素鹼性花崗岩氧同位素地球化學. *中国地質科學院礦床地質研究所*, 1988年第1号, p.139-145.
- 中国科学院天山冰川觀測試驗站 (1991) 烏魯木齊河源空冰斗地貌圖. 1/5000.
- 中国科学院登山科學考察隊 (1985主編) 天山托木爾峰地區冰川与氣象. 新疆人民出版社, 224p.
- 中国科学院中国自然地理編集委員會 (1988) 中国自然地理植物地理 (下冊). 318p.

(受付: 1995年10月2日; 受理: 1995年11月29日)



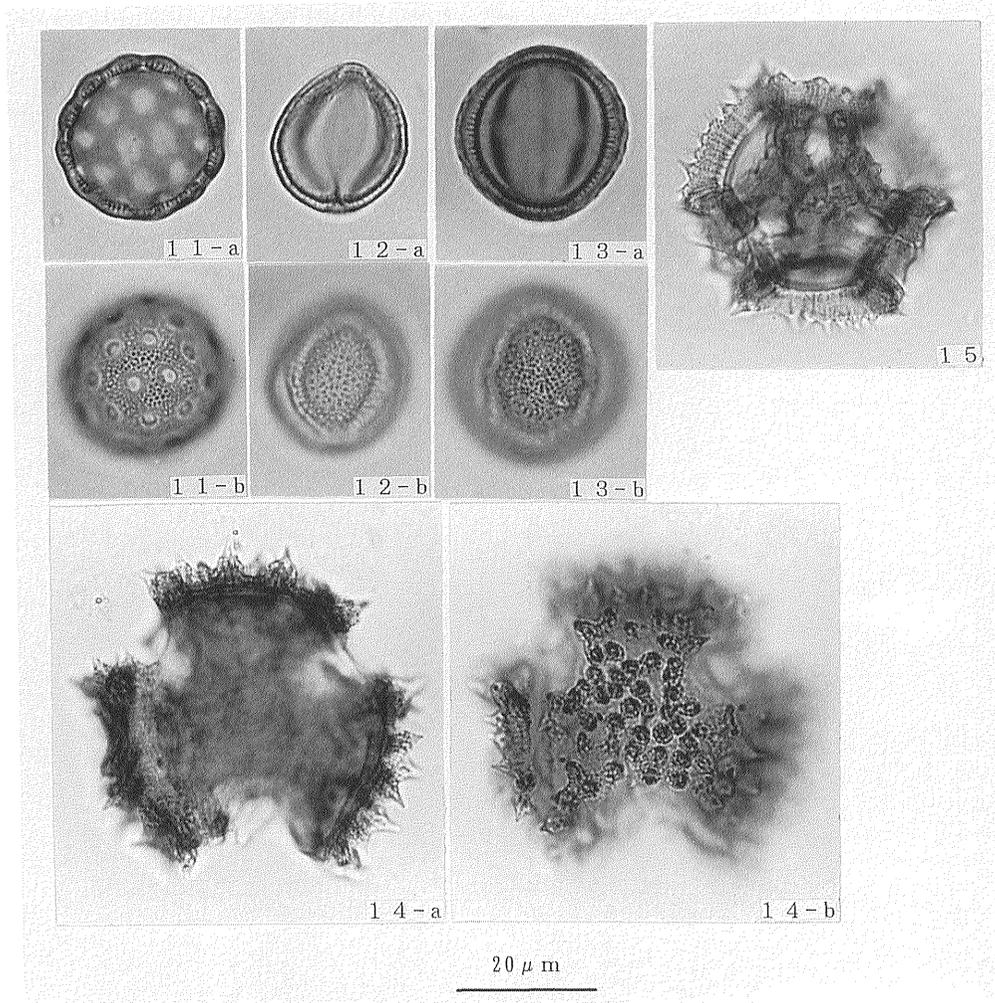
- 1 : トウヒ属 (*Picea*) PLC. SS 1649 No. 2
- 2 : マオウ属 (*Ephedra*) PLC. SS 1654 No. 1
- 3 : グミ属 (*Elaeagnus*) PLC. SS 1648 No. 2
- 4 : フウロソウ属 (*Geranium*) PLC. SS 1651 No. 2
- 5 : マツムシソウ属 (*Scabiosa*) PLC. SS 1650 No. 2

図版 1 タクラマカン砂漠の花粉化石 (その 1)
Plate 1 Pollen fossils from the Taklimakan Desert (part 1).



- 6 : イネ科(Gramineae) PLC. SS 1655 No. 8
- 7 : ガマ属(*Typha*) PLC. SS 1647 No. 2
- 8 : カヤツリグサ科(Cyperaceae) PLC. SS 1638 No. 3
- 9 : ヒガンバナ属近似種(cf. *Lycoris*) PLC. SS 1653 No. 2
- 10 : アブラナ科(Cruciferae) PLC. SS 1640 No. 3

図版 2 タクラマカン砂漠の花粉化石 (その 2)
Plate 2 Pollen fossils from the Taklimakan Desert (part 2).



- 11: アカザ科—ヒユ科 (Coenopodiaceae—Amaranthaceae) PLC. SS 1636 No. 7
- 12: キンボウゲ科 (Ranunculaceae) PLC. SS 1641 No. 2
- 13: ヨモギ属 (*Aetemisia*) PLC. SS 1642 No. 2
- 14: キク亜科 (Tubuliflorae) PLC. SS 1656 No. 2
- 15: タンポポ亜科 (Liguliflorae) PLC. SS 1646 No. 2

図版 3 タクラマカン砂漠の花粉化石 (その 3)
Plate 3 Pollen fossils from the Taklimakan Desert (part 3).