

モハーベ沙漠における花崗岩の剝離と 島状丘の解体消滅過程

池 田 碩 *

The Exfoliation of Granite and the Destruction Process of Inselberg
Topography in the Mojave Desert, Southwestern U.S.A.

Hiroshi IKEDA

1. はじめに

既報（池田1990）で、ケニア北部の乾燥地域において、花崗岩から形成されている山地が、侵食基準面へ向って徐々に解体低下し、Pediplainとなっていく過程を地形発達史的な視点から調査し報告した¹⁾。

この折、Pediplainに近づいた地域で見られた花崗岩の岩塊群からなる島状丘Inselbergも、その下端からは岩塊がまったく無くなる。その全景を少し離れてながめると、あたかもそれらの丘は大海に没しようとしている小島のように見える。そして、そのような丘が解体し消滅した時、まったく周囲同様の平坦な地形、すなわちPediplainと化してしまう地形形成のプロセスにおどろいた。

そこで今回は、池田（1990）と同じく、乾燥気候下でPediplainとなる直前の段階に位置づけられる島状丘（それらの中でも規模の小さくなった「小丘」を以後小丘とのみ記す）を取りあげ、その小丘が最終的にどのようにして解体消滅していくのかを解明するために、いくつかの事例を詳細に観察したので、その結果について報告する。

今回の調査は、アメリカ合衆国西南部のモハーベ沙漠Mojave desertで行なった。なお、desertの和訳については、通常砂漠であるが、石が少ないより水が少ない実状から「沙」とする日比野雅信²⁾・赤木祥彦³⁾と同感であり、本論では「沙漠」を使用することにした。中国では筆者が訪問した研究機関も「中国科学院蘭州沙漠研究所」と名記⁴⁾されている様にこの字をあてている。

2. 調査地域の概観

アメリカ合衆国西部、ネバダ・ユタ・カリフォルニア（南部）・アリゾナ各州の内陸部一帯には、広大な乾燥地域が広がっており、その分布範囲はBasin and Range区とはほぼ一致する。すなわち、北部にはGreat Basin desert、南部にはSonora desertがあり、両者の中央部に最も乾燥したMojave desertが位置している。

この付近の地質は、カリフォルニア州の内陸部に位置し、その北端と西端をガーロック断層

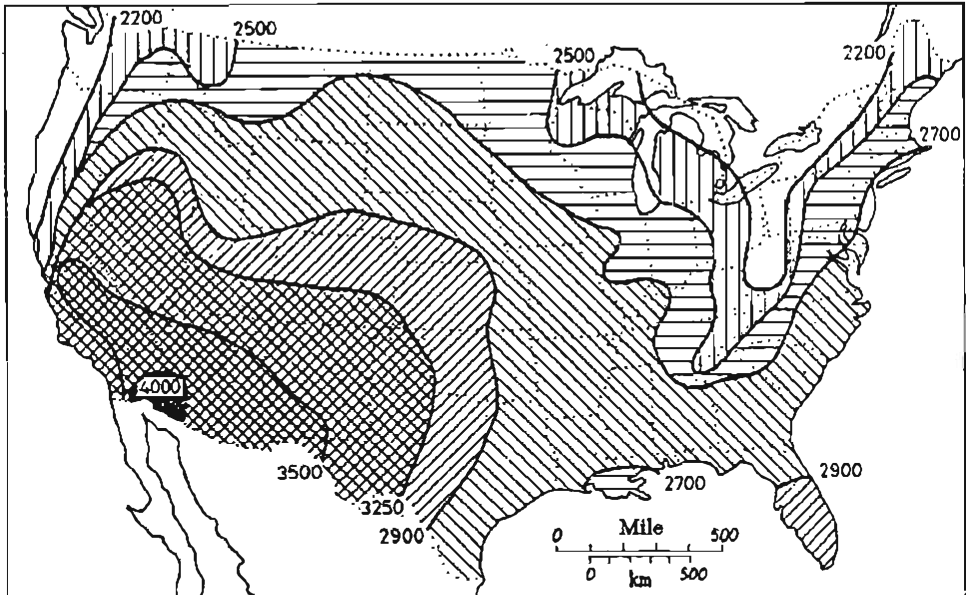


Fig-1. Annual hours of Sunshine in the U.S.A.

(The study areas has the maximum number of annual hours of Sunshine)

図-1. アメリカ合衆国の年平均日照時間数

Garlock faultおよびサンアンドレアス断層San andreas faultによって限られている。ここは Basin and Range区南部にあたり、北西-南東方向の山地と盆地の列がくり返してあらわれる特異な地形を示している。ここでは、中新世に大規模なドーム状隆起を受け、それに引きつづく火山活動に伴ない、並走する無数の正断層が発生した。この断層運動によって地塁・地溝の地形群が形成されたと考えられている⁹⁾。

このうち、今回調査した地域は、北緯35度、西経117度付近に当るモハーベ沙漠のうちでもさらに中央部に当て、海拔1000～1500m位の高原で平坦面が広がっている。この間に200～300m程の、植生をほとんどたない地塁状の山地が連なる。一方、平坦地の中でも低い部分はプラヤPlayaとなっており、その底は白い塩の原Salt flatとなっておりが多い。調査地の北部の地溝には、海面より-86mも低く、沙漠と塩原の発達するデスパレーDeath Valleyが位置している⁷⁾。

気候の特徴を知るために、図-1にアメリカ合衆国内の年平均日照時間数を掲載した⁹⁾。これによると日照時間数の低い五大湖地方や、太平洋岸のシアトル、サンフランシスコに対し、この地方は2倍に達していることから、いかに厳しい乾燥条件下の地域であるか理解できよう。調査地は、まさにこの図中最大で真黒にぬられている地域である。

この付近の気温と降水量は、調査地の東方80kmに位置する沙漠の中に造られた都市ラスベガスでの観測データを図-2で示した。年間雨量は100mm位で、しかも夏と冬の温度差が大きいことは、裸岩からなるInselbergにとって、きわめて厳しい物理的(日射Insolation)風化作用受容環境下にあることが推測される。

現地での調査は、冬期と夏期の対照シーズンで行なったが、夏期の場合には岩石の表面が素手ではさわれないほど熱される。筆者が計測した1991年8月21日の午後1時には、すでに62℃

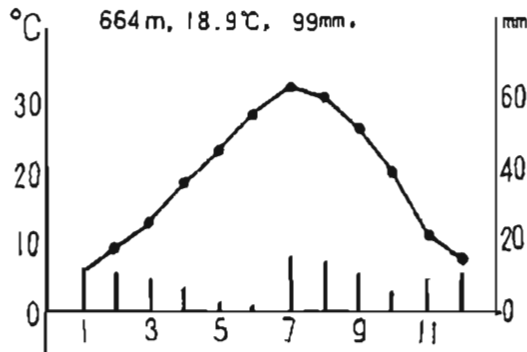


Fig-2; A Climate Graph of the Study Region
 図-2. 調査地域付近の気温と雨量 (ラスベガス)

に達していたが、1日の変化は75℃以上という観測例もある。

3. 島状丘の解体過程

今回調査したのは、モハーベ沙漠の周辺を示す図-3の中でもやや西方に位置するLenwoodとやや東方に位置するKelso周辺の2地域で、共にPediplainが広がる地域である。しかも両地域とも解体消滅寸前の島状丘すなわちInselberg⁹⁾¹⁰⁾を残している。そこで、まず本地域にみられる島状丘の解体過程について調べてみた。

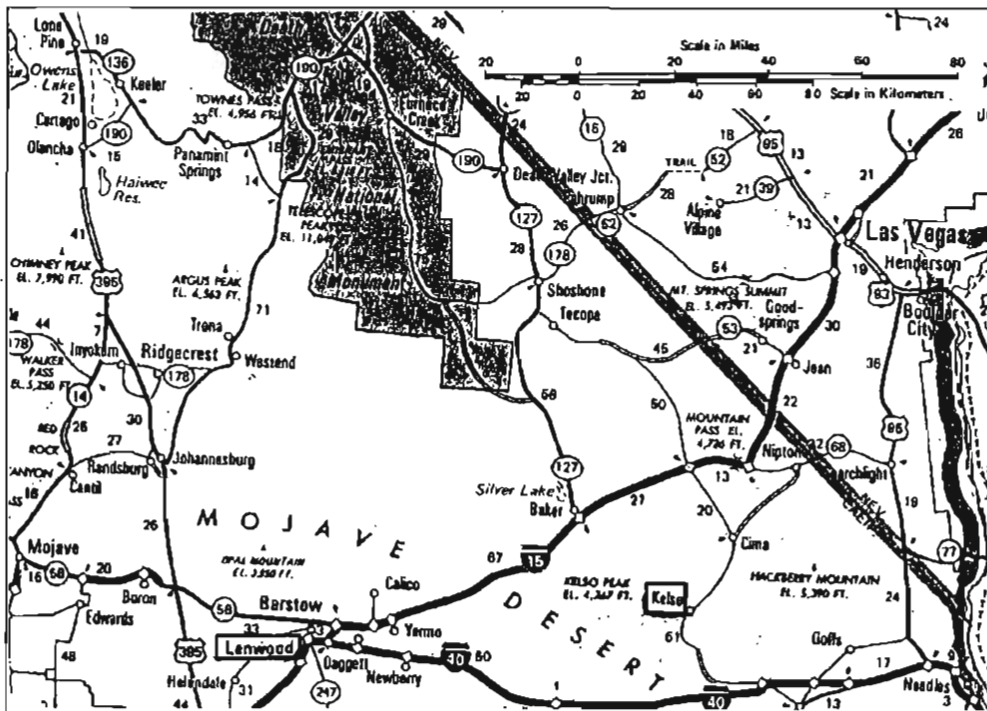


Fig-3. Map of the Survey Area and Its Vicinity
 図-3. 調査地域モハーベ沙漠とその周辺

Kelsoは、ハイウェイ15でLas VegasとBarstowのほぼ中間部の地方道から40km程南下したところに位置しており、その周辺は写真A・Bページで示すごとく、まったく荒涼とした地域である。しかし、今調査の目的には好適なフィールドで、Pediplainに至る寸前で、しかも消滅の過程をたどれる種々の解体段階を示す小丘が点在している。写真A-I群でそれらの過程をたどってみよう。

I-①は、高さ10m程の小丘で、その全景を遠望すると垂直割れの節理が卓越し、それを中心に分解している。しかも、この小丘下端には転落したような岩塊や岩片がほとんど見られず、周囲の平坦面とシャープに境しているのが特徴である。写真手前の方には小岩片すらないため、広大な平原の中でも小丘とはいえその景観は大変目立つ存在である。

I-②は、I-①とはほぼ同様規模の小丘であるが、幾分解体が進んでおり、小丘を構成する岩塊群もかなりルーズになっている。このためか、小丘の末端にも若干転落した岩塊が散在している様子がわかる。しかしながら、写真の手前の方には岩片すら無く、基本的にはI-①と同じ状況である。

I-③とI-④は、小丘がほぼ分解してしまいかっての岩塊の中心部の位置を示すかのようになり、小さくなった岩塊をわずかに点在させている状況で、まさに消滅寸前の様子を示している。しかも、このようになった段階でも周辺に分解落下したはずの細粒の砂や土は無い。細粒化直前の段階で、風によって運び去られてしまうのである。このため、小丘消滅時には周囲同様の平坦なPediplainと化してしまうのである。すでにこの写真の段階でも、海面上に出たわずかな岩礁が海水に洗われているかのごとく、わずかに残った小岩塊群の間に平坦な部分が入りこんできている様子がよくわかる。つまり小丘解体の完成段階時の状況をよく示しており、広大なPediplainもこのようにして形成されていくものと推測した。

写真B-II群は、小丘が解体していく過程にみられる特徴的現象を2例あげてみた。

左側II-①②の2枚は、しばしば花崗岩からなるInslbergの場合、その中心部に巨大な岩塊が位置し、それを中心に岩塊群で1つの丘を構成している例が多い。では、そのような大岩塊はどのようにして分解していくのだろうか。その過程を示す例として、取りあげたのがこの写真である。すなわち、小丘はほとんど解体してしまい、大岩塊のみがポツンと取り残された状況である。この岩塊もやがて分解され小岩片となって消滅していくのである。上の写真は、そのようなかっての大岩塊が丁度2分されるように割れたところで、さらにその部分を拡大したのが下の写真である。

右側のII-③④は、小丘の上方の部分が（上方に丘の中心部を構成する大岩塊があったとしても、左側写真で示すような過程を経て）ほぼ解体してしまい、下部のみが板状に平滑になって残った状況である。これは、水平の節理が卓越している場合によく生じる例であるが、この板状の表面はまさに板を並べたようになっており、その表面に現われている節理の配列や間隔から垂直な節理の発達状況も知ることができる。

Barstowの西約10kmに位置するLenwood地域については次項で詳細に記すが、小丘の解体過程とその周囲の状況を比較するために、写真C-Iについて見ておこう。ここでも、見事に周囲の平坦地とその上に突出する島状丘の景観が展開している。そして丘の下端はまさに小島が海水面と接する部分の様にシャープに境している状況がわかる。これがPediplain地域に発達する島状丘の地形の特徴なのである。

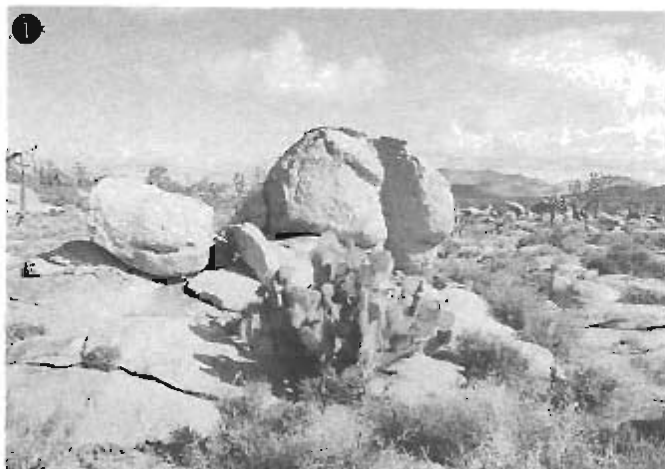
A : Kelso Area - I - Low relief topography breakdown and disappearance process.



B : Kelso Area - II -

Left: Rock block broken by large joints

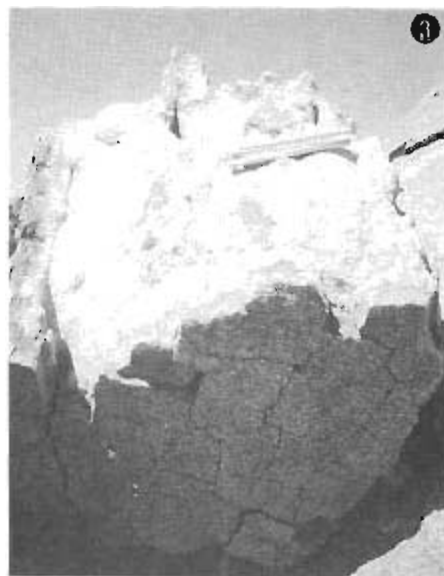
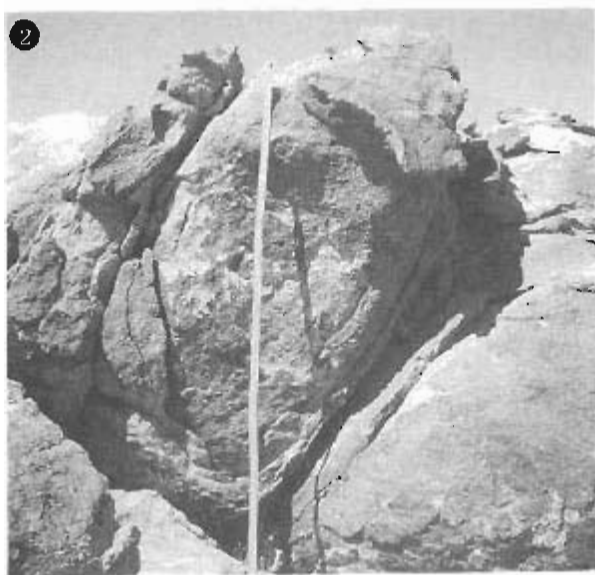
Right: Bedrock denuded to a flat surface



C : Lenwood Area - I - Severe denudation of low relief topography and rock surface



D : Lenwood Area -II- Pattern of denudation



4. 乾燥気候下における花崗岩の剝離低下

前章で、島状丘が解体消滅しPediplainと化していく過程を追った、岩塊群からなる小丘の解体作用には、基本的には節理Jointが重要な役割をはたしていた。しかし、岩塊の表面では節理とはかかわりなくバリバリとめくれ取れるごとく岩の表面が激しくはがれ落ち、岩塊自体が剝離exfoliation低下していることがわかった。

つまり、乾燥地域ではこのような激しい剝離の進行、すなわち機械的風化が地形の解体過程では重要な役割を果たしているのである。そこで、次は乾燥気候下での岩石の剝離の実態をつかむことにつとめた。

このため、まず岩塊解体の最も初期的な状態、すなわち地表面に出、風化が進みながらも節理面がまだ残っている部分をさがし、数ヶ所で詳細に観察をおこなった。そのうちから典型的な例を紹介しておく。すなわち写真D-③で示す岩塊を例に、その表面で写真中央下部の状態を観察し平面のスケッチ(図-4)と断面のスケッチ(図-5)を作成した。

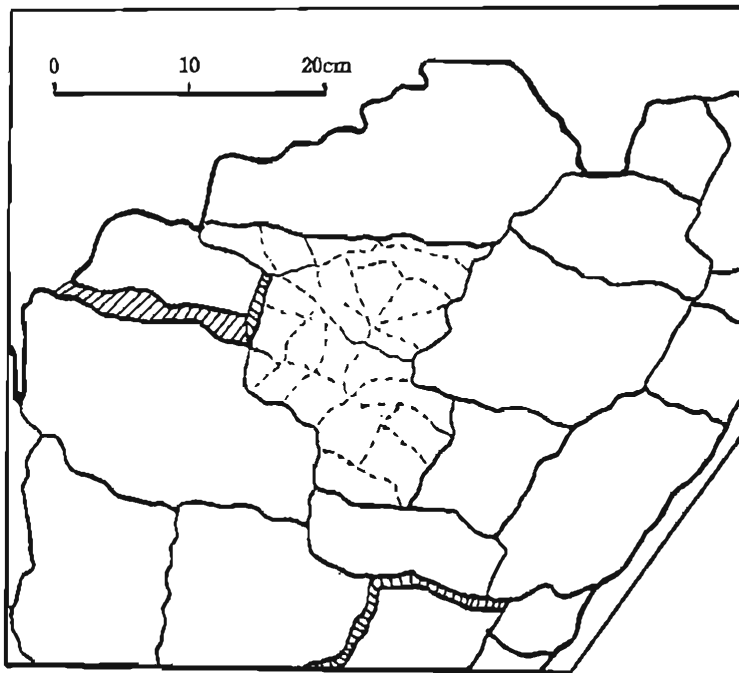


Fig-4. Sketch of the Polygon Cracks Formed on the Joint Surface
(Surface of Rock Shown in photo D-3)

The surface of the Rock in the Center is Divided into Numerous Small polygon portions

図-4. 節理面にできたポリゴン状の割れ目(写真D-3の正面部)
中央部のポリゴンには、さらに細いヒビ割れを示す。

それによると、直線的に割れ平滑な岩肌を有している節理面では、沙漠気候のもとで熱膨縮を受けて、節理とはまったく関係なくポリゴン状に³⁾、1~2mmのさけ目の幅をとりながら割れていることがわかった。さらにこのポリゴン状の面の中にも、さけ目として開いてはいなくてもひび割れ程度の小さな割れ目が観察される。そこで、中央部のポリゴン面についてのみ、このオーダのひび割れをスケッチした。このひび割れも節理とは全く関係なく不規則に走っている。そして、このようにポリゴン状の割れ目の規模には2種類があり、かつ明瞭な差を持っていることがわかった。

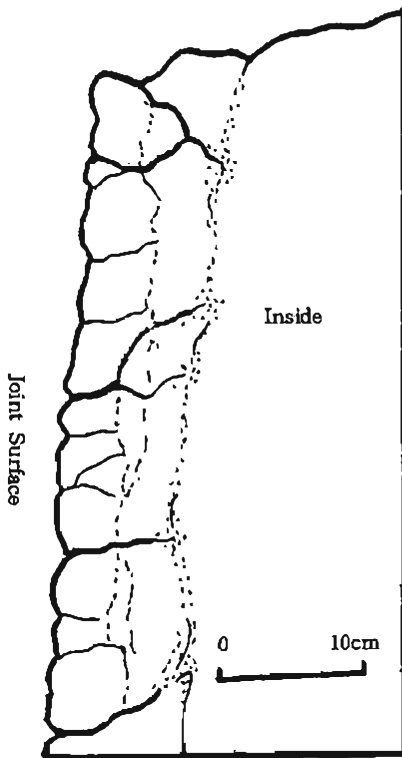


Fig-5. Sketch of the Depth of Cracks and the Weathered zone (Section through Rock shown in left side Photo D-3)

図-5. 節理面から岩石内部へ向う割れ目の深さと風化殻・層 (写真D-3の左側面部)

そこで、次に割れ目の進行状況と岩塊の表面から内部にかけての風化の様子を知るために、節理面から岩塊内部に至る垂直な断面が見られる部分をさがし、割れ目の深さと風化状況を観察した。事例としたのは写真D-③の左側の垂直節理面で、その折のスケッチが図-5である。節理の表面から見たポリゴン状の割れ目のうち、大きな割れ目は7~10cmの深さに達しており、小さい方の割れ目は3~5cmに達していることもわかった。また各々の深さのところ、節理面と平行な風化皮殻(層)を形成していることがわかった。この風化皮殻層の奥までが、岩塊表面からの水や大気の進入域であり、熱膨縮の範囲をなしているものと考えた。

このことをふまえて、改めて岩塊周辺をやや広く観察してみた。そこで、ポリゴン状の割れ目をもつ節理面と、ポリゴン状の割れ目の進入先端部を境に節理面が剝離した部分とを比較しつつ観察してみた。

その結果、剝離された部分には浅いところと深いところがあるが、これは前記した割れ目の進入深のそろり部分とほぼ一致することがわかった。そのうち7~10cmの厚さで深くはぎ取られた部分の方が当然新鮮な岩肌面を露出させているが、3~5cmの厚さではぎ取られた部分は風化皮殻層の一部を残しているわけで、早い段階に残りの部分もはぎ取られることになろう。しかし、新しい露出面は共に平滑な節理面とはちがいかなり凹凸を有する面となっている点が共通的である。つまり、岩塊表面部からの強裂な剝離作用は、節理とはまったく関係なく進んでいることがわかった。そして、節理とは関係ない新しい凹凸面にも、時間の経過とともにポリゴン状の割れ目が入り、前記のように風化皮殻層が作られ、やがてはその部分が剝離されていくのである。

このような状況は、写真D-II群の①②と④でもわかる。

写真D-①は、C-①および②の頂上部をさらに拡大したものである。岩塊の表面部が数10cmの大きさと、5~10cmの厚さで、不規則に剝離し、次々とめくり取られていっている様子と岩塊表面部の剝離過程の新旧関係がよくわかる。写真のメジャーは20cm。

写真D-②は、タマネギ状風化部の剝離の状態を示す。ここでは、潜在的な内部へのタマネギ状の風化に対しその皮を1枚ずつめくるというより剝離しやすい表面より内部へ向って荒々しく割り込みながら破壊しつつある状況がよくわかる。メジャーは1m。

写真D-④は、小規模になった岩塊群の頭部の風化状況を示す、概形は節理に規制されつつ分解しているが、表面では激しく剝離作用が進行している様子がよくわかる。

以上、いくつかの例を取りあげ見てきたように、沙漠の厳しい乾燥気候下で、岩塊はその表面に、5~10cmの厚さの風化皮殻層、熱差による強裂な膨縮部を連続的に形成しながら剝離させており、それをくり返していくことによって岩塊、さらには小丘全体が剝離、分解、低下、消滅していくのである。

剝離された岩片は、小礫状から荒砂状にまで分解し（砂や土の段階まで細分される前に）、やがて季節風や沙漠特有の卓越風によって吹き飛ばされてしまう。すなわち、小丘の解体によってその過程でできてくる岩屑はその地にとどまらないのである。このような作用が岩塊丘の消滅後、この地を周辺同様の平坦地と化すことになるのであると考えた。

すなわち、乾燥地域の平坦面中には孤立した島状丘が残り、特異な景観を見せているのが特徴だが、その形成と解体消滅には岩塊表面からの強裂な剝離と分解物の風による運搬・除去が、最も重要な役割を果たしていることがわかった。

5. さいごに

今回は乾燥気候の下で、Pediplain形成の最終の段階にみられる島状丘すなわちInselbergの点在する地域を取りあげ、その丘がどのようにして分解し消滅していくかを、モハーベ沙漠をフィールドとして、詳細に観察した。

以下調査の結果を要約する。

まず、調査地付近の島状丘は、ほとんど植生の無い裸岩地であるため節理Jointに沿った岩塊を中心に形成されている。しかし、岩塊の表面は沙漠気候下での強裂な熱膨縮のため、平滑な節理とはまったく関係なく、不規則に割れている。そして、その後この部分がはがれ落ちるように剝離exfoliationされていくことがわかった。

そこで、次に岩石の風化と剝離の実態について調査した。岩塊の表面は、熱膨縮によって節理とは関係なく、ポリゴン状にほぼ垂直に割れ目が入る。その深さは、小さな割れ目群では3~5cm、大きい割れ目群では7~10cmとなっているため、岩石内部は割れ目の達する深さの達

いから水平に2層に分かれている。この部分は表面から水や大気が入り、さらに熱膨縮が強裂に働く部分であり、ここは岩石表面の風化皮殻(層)となっていることがわかった。

風化皮殻層の剝離、すなわちはがれ落ち方はまず表面の1層(3~5cm)のみがはがれたり、2層(7~10cm)共一緒にはがれ落ちることもある。そして新たに露出した岩塊表面では、その時点から前記同様な風化現象が時間の経過とともに開始されていく。こうして、岩塊の表面より5~10cm位づつが、次々とくり返し剝離されていくのである。

しかも、下部に植生が無いためにそれらが分解した岩屑は、細粒の砂や土に至る前に小礫や荒砂段階で沙漠特有の強風時に吹き飛ばされてしまい、この地を離れてしまう。この様な一連の作用は、島状丘が解体、消滅しPediplainとなるまで続いていくことが、周囲の地形の状況を今回観察、調査することから推測することができた。

なお、風化皮殻層が2層となっていることについては、この地域の気候変化等による地史に起因するのか、熱膨縮の差にもとづく物理的なものか追求できなかったが、今後各気候帯での状況と比較しつつ検討を加えていきたい。

注

- 1) 池田碩(1990):ケニア北部のInselberg、奈良大学紀要第19号。
- 2) A. グーディ、J・ウィルキンソン著・日比野雅俊訳(1987):沙漠の環境科学。
- 3) 赤木祥彦(1990):沙漠の自然と生活、地人書房。
- 4) 池田碩(1987):中国の黄土と黄土地帯、国土問題第35号。
- 5) J.H.Stewart(1978):Basin-range Structure in Western North America, A.review,Geol. Soc,America,Memoir No152.
- 6) Robert.Norris(1990):Geology of California. John Wiley & Sons. Inc.
- 7) Bennie.W.Troxel(1976):Geologic Features of Death Valley, California. California division of Mines and Geology, Special Report No106.
- 8) Visher.S.S(1945):Climatic Map of Geological Interest, Bull.Geol,Soc,America No56.
- 9) C.R.Twidale(1968):The Encyclopedia of Geomorphology,p556. John Wiley & Sons Inc.
- 10) 赤木祥彦(1981):地形学辞典所収P22、二宮書店。
- 11) C.R.Twidale(1982):Granite Landforms P306-317, Elsevier Scientific Publishing Co.

The Exfoliation of Granite and the Destruction Process of Inselberg Topography in the Mojave Desert, South western U.S.A.

In 1990, the author reported on a survey of the process of pediplain development in granite due to base level erosion in the northern dry region of Kenya, Africa. This year, 1991, the author studied the final phase of pediplain development in : Inselberg(small hills) topography in a similar dry climate in order to determine the process by which this kind of flat terrain develops, in this case in the Mojave desert in the Southwestern United States.

Since there is no vegetation in the bare rock area, joints develop in the rock block. However, on the surface of the rock block joints, random polygonal cracks form unrelated to the joint due to severe shrink-swell by the extremes of the desert's temperature. After these cracks form, the surface peels off in the process of exfoliation. In other words, in order to

better understand the breakdown process operating in Inselderg topography in dry places, it was considered important to study the process of exfoliation in detail.

To do this, the author observed in detail the exfoliation of the surface of granite rocks. It was found that. First, a polygon pattern of cracks formed on the surface, unrelated to the joints, penetrating perpendicular into the rock surface(Fig.4). These cracks were found to penetrate to two different depths. The small cracks penetrated 3-5cm while the large cracks penetrated 7-10cm into the rock surface. A profile of the rock reveals two depths of rock cracks(Fig.5). Air and moisture enter the surface through these cracks making the surface highly vulnerable to the action of severe shrink-swell from the extremes of desert temperature. A zone of weathering forms near the surface of the rock. When the shallow crack surface peels off, the rock of the deeper rock weathered surface also peels off. This exposes a new unweathered surface which experiences the same kind of weathering and surface zone peeling over time. This process repeats itself in roughly 10cm layers until there is no rock left.

The weathered rock that has fallen onto the ground does so in a rough gravelly form. Rather than weathering in place to fine sand, the gravelly weathered rock blows away so soil doesn't form. All that is left is a hard, flat, bedrock, pediplain surface, the hard bare desert floor(photo A-C).