

月面火口底内の対象物

関 口 直 甫*

1. 火口底対象物の意義

月面上に観察される火口——それは最近、火星やその衛星の上にも類似の地形が発見されて、太陽系内の天体では、かなり普遍的な地形らしいということが想像されるようになったが——は、地球上では非常にまれにしか存在しないものである。その成因については古くから興味ある議論が行なわれて来た。形態学的方法をとった議論のみに限っても、月面火口の大きさと形に関する諸関係の考察、相互の配置や分布に関する考察など多くの観点が論じられて来たが、比較的研究者の関心が薄かったものの中に、火口底内の諸種の対象物がある。火口底上には、しばしば中央丘といわれる突起物が観察されるが、この他にも、月面の他の部分ではほとんど観察されない特異な対象物を多くふくみ、これらが火口の形成過程の中で形成された事は疑う余地がない。中央丘については、たとえば火山説の立場から、火山活動の最後の段階で噴出した火山体であるとか、隕石説の立場から、固体の衝突の際、このような地形が形成される実験的な例があるとか言うような議論が行なわれて来たが、月の火口底にはこれ以外にも多くの対象物をふくみ、それらもあわせて月面火口発展の過程を考察することがのぞましい。

筆者はこのような観点から、月面火口底に観察される多くの対象物を記述するカタログを作製していたが、このほど東京大学出版会の御援助によって、“月面可視半球上の中央丘および火口底対象物カタログ”(くわしいデータはこの稿の末尾に付しておく)を発行することができた。以下に、このカタログの内容をかんとんに紹介するとともに、この作製中に気がついたことで、今までの月面誌にはほとんど記述されていなかった事実を、ここにのべて見よう。

2. カタログ編集の方法

このカタログの編集にあたっては、主に G. P. カイパー編集の“写真月面図(1960)”を利用し、その中から記述できる火口対象物を選び出した。筆者はこれ以外にも、利用できる月面写真は全部利用し、また私自身の堂

平観測所の 91 cm 反射鏡による写真および実視観測を利用したが、正直のところ、カイパーの月面図を上まわるような情報が得られた例はきわめてわずかであった。

すべての対象物は、その直径と高度を測定した。高度はその対象物によって生じた日光の陰影の大きさを測定することにより計算するのであるが、カイパーの月面図では 1 個の対象物は数枚の写真上にあらわれており、そのおのおのから測定した高度は、たがいにいちじるしく異なるのがふつうである。これは一つは個々の写真の分解能の差、周囲の地形のアルベードの分布状況に起因しており、一つは周囲の地形の高低によるものである。私は個々の場合について、これらの状況を考慮に入れながら、もっとも適当な高度の値をきめた。もし東のふもとと西のふもとから測った高度が明瞭に差がある場合は、測定値のあとに“e”または“w”の字を付して 2 個の値を併記した。また確信のもてる高度が得られぬ場合は、その上限を“<”の記号の後に記すか、または“U. L.”(Unmeasurably Low の略)としておいた。

カイパーの月面図による作業が終了後は、その他の資料による補捉と、正確度のチェックを行なったが、宇宙機“レンジャー 7, 8, 9 号”による月面写真がこの目的に役立った。また筆者が英国のマンチェスター大学に滞在中、“ルナー・オービター 4 号”の写真を、同大学のコパール教授の好意で利用させていただき、ことに月の縁辺地域——これは地球上からは観測が難しい地帯なのだが——を精査できたことは、望外のしあわせであった。しかし、このルナー・オービター写真を利用した後の私の感想は、むしろカイパーの写真月面図のみに頼って作った私のカタログに対する正確度について自信を得たということであった。実際、分解能においてカイパーの月面図よりもはるかに良いルナー・オービターの写真を利用しても、私のカタログに付加される新しい対象物や記述は、意外なほど少ないのであった。もっとも、数は少なくとも、重要な記述が付加されたことは、私のカタログを御覧になればわかる。

その一つの例はシッカルトの火口底における堤(dyke)である。私は 1958 年に、三鷹の 20 cm 屈折鏡で月面観測をしていた頃、大分県の中野繁氏に“シッカルトの火口底には、外壁に内接して、もう一つのかすかな火口が見える”という旨の手紙を差上げたことがあり、中野氏からは“一つの課題として今後注意して見よう”という

* 東京天文台
Naosuke Sekiguchi: The Floor Objects of the Lunar Craters.

返事をいただいた。ところがルナー・オービター写真によると、これは偏心環ではなくて、そこには長さ 35 km、幅 3 km ほどの堤があり、その南側が北側より低くなっていることがわかった。私の昔時の観察の実態はこれだったのか、という感を深くしたことであった。

3. カタログの記載例

私のカタログでは、すべての対象物をふくむ火口を、ウイルキンス、モーアの月面誌等で採用されている 25 区劃にわけ、そのおのおのの区劃で火口名のアルファベット順に配列した。もっとも、月面には無名火口が多いので、その時には“オルベルスの南の無名地形 (Unnamed Formation to the South of Olbers)” というような名をつける。その次にその火口の中心位置の座標 (ξ, η 座標) とその直径を付する。これで、どの火口が指定されているか誤りなく同定される。その次に、その火口底の対象物を (1), (2)…… という番号を付して記述する。番号はだいたいにおいて顕著な順に、場合によっては配列順に付しておいた。火口丘には、 α, β …… 等の文字が命名されているものは、もちろんそれも付記しておく、そして、登録された対象物の直径 (円よりいちじるしく外れた形の場合は長直径と短直径、または長さや幅) および高度を記す。そして各対象物には必ず記述を付した。一つの火口で 2 個以上の対象物をふくむ場合は必ず図を付記し、対象物の同定に便ならしめた。

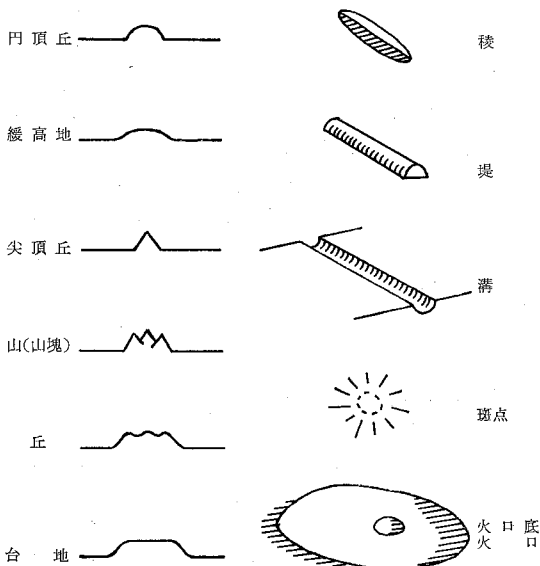
私は、対象物を、ほとんどすべての場合、次の 13 の種類に分類した。このような分類が適当であるか、または英語の用法として適切であるか、私は 2~3 の外国のこの方面の権威に面会した際質問して見たが、どうも明快な

返事をしてくれる人はなかった。恐らく月面対象物についての用語が、まだ世界的に確立されていないのではないだろうか。その 13 の分類は、次のようなものである。第 1 図にその特徴を図示した。

- (1) 円頂丘 (mound, dome): 半球状の突起物。
- (2) 緩高地 (elevation): 縁がはっきりしない、ゆるやかな高地。
- (3) 尖頂丘 (peak): 頂上がとがった山。
- (4) 山または山塊 (mountain or mountain block): 不規則な形をした高地。
- (5) 丘 (hill): 頂上がとがってもないし、平らでもない高地。
- (6) 堤 (dyke または bank): 長く細い高地。
- (7) 溝 (scarp, cliff または crack): 長く細い谷。月面上では、火口以外の場所に多く scarp, cliff, crack などの地形があり、それはそれぞれちがう特色をもっているが、このカタログでは、線状の低地をみなこの中に入れてしまった。
- (8) 稜 (ridge): 背中がとがった線状突起。
- (9) 線状体 (lineament): かすかな線状突起。
- (10) 台地 (platform または plateau): 上面が平らな高地。
- (11) 火口底火口 (floor crater): 火口底内にある火口。
- (12) 孔 (pit): 縁が周囲の地面に比べて高さをもたぬくぼ地。
- (13) 斑点 (patch): 周囲にくらべ高さの差がない小さな地域。白い斑点と黒い斑点がある。

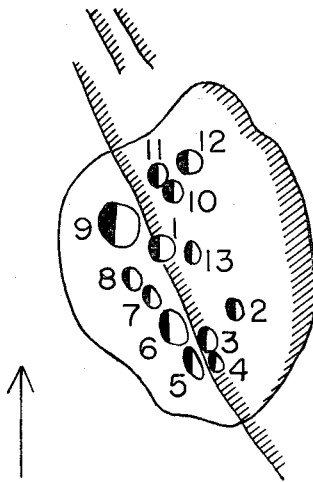
なお、このカタログの巻末には、索引がついていて、特定の火口や対象物をえらび出すのに便利になっている。

このカタログにおさめられている火口数は 744 個、登録された火口底対象物は 1,945 個である。なお、先年刊行された“アリゾナ・カタログ”(くわしくは、The System of Lunar Craters, Quadrant I~IV, D.W.G. Arthur et al. *Communications of the Lunar and Planetary Laboratory*, 2, 71, 1963; 3, 1, 1964; 3, 61, 1965; 5, 1, 1966) には、Central Peak Information の記載欄があるが、これと比較してみると、両者にかなりの相違がある。第 1 区劃のみに限っても、私のカタログに記載のある火口は 35 個、アリゾナ・カタログでは 26 個である。アリゾナ・カタログでは、確認できないものには ? がつけてあるが精査してみると大抵は何か対象物があり、私のカタログに記載されている。アリゾナ・カタログにあって私のにないものは 3 個、私はこのカタログを作る時、アリゾナ・カタログに記載されているものは全部自分の眼で再調査したが、この 3 個は私の判断では記載に不適当なものであった。アリゾナ・カタログ



第 1 図

Goclenius



第2図 ゴクレニウス

ゴクレニウス峡谷Ⅱがこの火口を貫通している。

1. 溝の上にある小さい円錐形の中央丘、火口底の東半分は比較的平坦である。
2. 孤立した尖頂丘。
- 3, 4. 互に連結している二つの堤。溝の東の土堤を作っている。
5. (3)と(4)の反対側の土堤。
6. 広いかすかな緩高地。
- 7, 8. 白い斑点。
9. 広い緩高地。
- 10, 11, 12. 北壁の崩壊した部分。
13. 非常にかすかな尖頂丘。

に記載なくて私のカタログに採用されたもの12個、私は“火口底対象物”の定義を広くとったせいもあるが、アリゾナ・カタログで、ボーデヤウケルトの火口底対象物を落してしまったのは少しひどい。

私のカタログの記載例の一つを第2図に示す。これはゴクレニウス火口についての私のカタログの記事を示してある。ただし、各対象物の直径と高度は省略してある。この火口のルナー・オービターによる拡大写真が *Sky and Telescope*, 37, 145, 1969 に出ているので、比較をして私のカタログの信頼度を検証されたい。私のカタログの図は、この写真発表前にえがかれたものである。

4. 中央丘

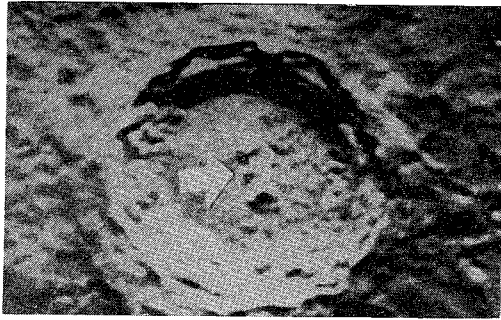
では、このカタログ編集に気がついたことで、今まであまり月面誌に記述されていないことをいくつか述べて見よう。まず、このカタログの主要目標であった中央丘に関することから始める。

月面火口の中央丘というと、円錐形をしたコニーデ式

の富士山のような形を想像する人が多い。近年になってウィルキンスやモーアによってその頂上に、地球上の火山と同様な小孔が発見される例が多く、その大きさも地球上の火山とだいたい同程度の大きさであることから、中央丘こそ月面上の火山という考えが広く行なわれている。ところが、実際に富士山のような整った形をしている中央丘はわずかであって、ことに形の大きい中央丘では、大抵の場合、非常に不規則な形をしている。富士山はその整った形とともに、山体が巨大であるために秀景とされているが、月面でこれに匹敵する秀景は危機の海の北にあるハーン（中央丘直径 20 km, 高度 3.8 km）くらいのものである。アルペトラギウスなどは、月面中央部に近くてよく見えるから、巨大な中央丘のように見えるが、火口が小さいから目立つので、絶対的な大きさは直径 12.3 km, 高度 2.0 km と、一まわり小さくなっている。そして、形は不恰好でいいから、大きさが巨大なもの、ということになると、これはかなり例が多い。たとえばドローネー、ヘラクリトス、マウロリクスなどはいずれも長さが 20 km を越す巨大山体であり、20 km 程度のものであれば、ピタゴラス、ピッコロミニ、ドライガルスキー、サウンダーの東の無名火口、ホンメルなどがこれに次ぐ。中央丘が火山体なら、こんな不恰好なものがどうして出来るのか？ なお、形は比較的円錐形だが、上から見ると少し細長い形をしているものがあり、たとえばアルパテグニウス、アルフォンズスの中央丘がそれで、これはそれらの火口の周囲の格子構造の一つの方向に細長くなって見える。

なお、アルフォンズスの頂上には、レンジャー 9 号の写真によって長径 0.44 km, 短径 0.18 km の小孔が発見されており、これが山体が細長くなっていく方向に長くなっていることが注目される。中央丘の頂上に直径が、4~5 km くらいの小孔がみつめられる例は、私のカタログでは十指にあまる程度であるが、それが山腹に巨大な孔をもつもの（たとえばウォルターの火口底には、2個の山体が南側の山腹に孔をもつ）、山のふもとに巨大な孔が出来たため、山体がUの字の形になってしまったもの（アルザッヘル）、もっと孔が大きくなったため、山体が2個の稜に分解してしまつたもの（ヒッパルコス）などのいろいろな段階につながっている。中央丘は完全な円錐形を基準にして、それからの変形の各段階例が月面上に見られるように思う。

大部分の中央丘は、その山腹の傾斜が地球上の火山に比較していちじるしく小さい。アルフォンズスやラングレンスの中央丘の傾斜角は月面上では最大の部に属するだろうが、これとて 35° くらいのものであり、だいたいは 10° くらいの傾斜である。形の良い円錐形であるアルペトラギウスの中央丘の傾斜角は 18°, 侵食のない月



第3図 コペルニクスの真中央丘(矢印)

面では、富士山のように、ふもとに行くほど傾斜がゆるやかになって裾野をつくることは少ない。月の中央丘はよほどサラサラした、粘着性の少ない砂でできているのではないか。アポロ15号の写真でわかるように、月の地形はまるで砂丘のように見えるのも、もっともなことである。

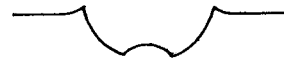
カタログ作製中に気のついたことだが、中央丘がいくつかの山体や丘体の群でできている場合、火口のちょうど中央の位置に、大きさは必ずしも大きくないが、形のよい尖頂丘があることが多い。その好例はコペルニクスに見られるが、私はこれを“真中央丘 (true central peak)”と命名し、私のカタログでは31個が記録されている。恐らく、火口の形成の最後の段階で噴出した火山と見ることができないだろうか。

なお、火口底中央の中央丘の位置すべき場所に、白い小さい斑点をみとめるのみのものである。たとえば、アプルフエダ、グローブなど、中央丘が消失したなごりと見るべきだろうか。

5. 円頂丘

円頂丘は大型のものは月の海の中に多く発見されて、近年月面観測者の注目を引いているが、小型のもの(直径2~4km)は火口内に非常に多く見られる。これは地球から見ると半球状のドームに見えるが、ルナー・オービターの写真で見ると、その実体は浅間山の鬼押出しを見るような、ササクレ立った熔岩の集塊である。特に私が注目したいのは、火口壁の内側の斜面上に円頂丘が見られる場合がしばしばあり、ランデ、メースチング、トリスネッカー、ケブラー、フォンタナ、ウィルヘルムDなどにその例を見る。火口壁は色が白いため、酸性岩で構成されており、したがって活発な火山活動が生ずるわけではないと考えられている場所に、円頂丘が噴出するのはこれいかに。地質学者の常識を破ることになるだろうか。

月面には、ウィルキンス、モーアの分類で crater と言われている火口がある。一応爆裂火口と訳しておこう。



第4図 爆裂火口内の円頂丘

これは真円形の鋭いふちをもつ火口で、メースチングAなどはその典型的な例であるが、その分布が全く不規則であることから見ても、アリゾナ隕石孔と同じく外部から物体が衝突して生じた地形であることは、ほぼ間違いない。ところが、この爆裂火口の中央部は、第4図の如く円頂丘状にもり上っているのが、むしろ普通である。これは熔岩の溢出したものであることは、ルナー・オービターの写真でわかるが、地球上の隕石孔で熔岩の噴出した例はないのに、月ではこれが普通に見られるのはなぜか。

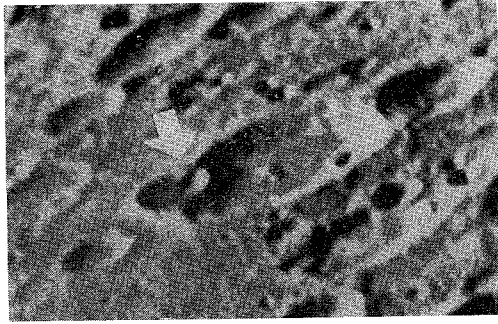
ワーゲンチンという火口は、火口底が高くなって、あたかも火口全体が円盤のように見える、非常に珍しいものだが、これに近いものは他にもある。たとえば、アプルフエダBAの東にある無名火口は、厚みのある円盤が傾いて月面に没するかの観を呈している。また火口底の周辺が陥没して、火口底が台地ようになってしまったものとしてカタリナCがあり、またポンドニウスの火口底の山環の内側は高くなって、ごく背の低いワーゲンチンの形をしている。これは火口が一度形成された後に、なお火口の形を変えるような活動があったことを物語るのではないだろうか。

6. 複合火口

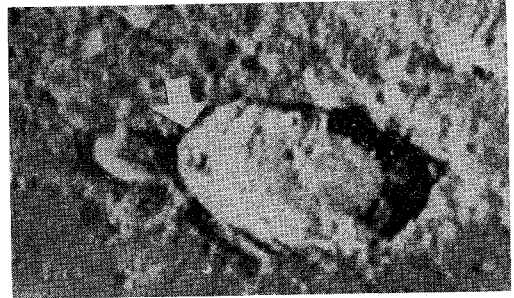
月面の雲の海の岸にあるヘシオドスAという火口は、きれいな二重の環を形成して有名であるが、これに類する形をもった火口は、アーキタスG、ジェラルドQ、トビアス・マイヤーCなど、かなりの数あり、私のカタログには15個記載されている。もしこれらの地形が、外部からの固体天体の衝突によって生じたとすると、固体天体が月面に到着する以前に潮汐力で破碎される可能性があり、二重環が生じやすいことを私は示したことがある(*The Moon*, 1, 429, 1970)。これは破碎された2物体が同じ場所に落下した際生ずるものだろうが、ごくわずかな異なる場所に落下した場合には、二つの crater が重なって生ずる。これを私は複合火口 (compound crater) と名付けた。爆裂火口の中には、この複合火口はかなりの数があり、少し円形より外れて形がいびつになっているものは、その火口底の様子を調べると大抵は複合火口であることがわかる。つまり、ある火口底に稜のような中央丘が見えるが、それは2個の近接した火口の境界線とみなすべき場合が多い。例としてはカッシニA、ジオファンタス、ハゲシウスCなど、



第5図 複合火口



第6図 ビエラ(中央)とビエラC(左)との重なり、矢印の部に注意



第7図 アリストテレス(右)とミッチェル(左)との重なり、矢印の部分に注意

私のカタログでは12個が複合火口として登録されている。火口底対象物がなかったため、私のカタログでは記載していないが、直線の壁のそばのバートも複合火口の例である。

7. 貫通構造

火口の内部というのは、その周囲の部分とはまったく異なる過程によって形成されたものにちがいないが、しかし火口壁を貫通して種々の構造が発達したり、また周囲の地域にあらわれている線状構造や格子構造の延長が、火口の中まであらわれている例ははなはだ多い。

火口壁を貫通する構造のうち、もっとも驚くべきは、2個の火口が互いに重なって、あたかもオリンピックのマークの如き様相を呈しているものである。そのもっとも美事な例はビエラとビエラCとの重なりであろう。ビエラCはビエラの火口の上に重なっているが、ビエラの火口壁はビエラCを貫通している。もう一つの例はアリストテレスとミッチェルとの重なりで、ミッチェルの火口壁はアリストテレスの内部まで貫通している。また、あまり明瞭ではない例だが、サビンとシュミットとの間、ヒパチャ峡谷の尽きるあたりに、丘が半円形に並んでいて、いわゆる山環 (mountain ring) という地形を形作っているが、その一端はサビンの壁を貫いて内部に入りこんでいる。

私がロンドンでP. モーア氏に会った際、このことを話したら、同様な例はクラヴィウスの火口壁上の火口にも見えると言われた。帰国してこの部分を調べたら、たしかにポーター (もとのクラヴィウスA)、クラヴィウスK、同じくLに貫通構造をみとめたので、私のカタログの中で記述を追加しておいた。

このような貫通構造は、火口が隕石の衝突などの原因で瞬間的に生じたとする考えでは、説明できぬものである。やはり火口は長年月の間に形成されたものであり、相隣る二個の火口がほぼ同時代に形成されれば、オリンピック・マークのような構造も出来る可能性があるのでは

はないか。

この他、種々の構造が火口壁を貫いている例は実に多い。巨大な堤が火口壁を貫いているもの (シュテフラーL、マニリウスなど)、中央丘が周囲の線状構造の方向に細長いもの (アブルフェダ、リッチェイ、クラインなど)、火口底に数多くある丘陵の配列が周囲の線状構造に平行なもの (バーナム、ロンゴモンタス、ポーモンなど)、ひびわれが火口全体を貫通しているもの (ゴクレニウス、グーテンベルヒなど)、枚挙にいとまないほどである。私のカタログでは40例が記載されているが、いわゆる老朽化した火口は例外なく周囲の格子構造の方向にそって崩れて行くといつてよい。火口が単純に隕石の衝撃で作られたものではないとする最大の論拠はここにあるようである。

8. むすび

以上で私のカタログの紹介と、その編集の過程で気がついた点を述べて見た。出来上がったものを見ても、いろいろな不十分な点が目につくが、これは各方面からの御叱正をいただいて、他日もっと完全なものを作る足がかりとしたい。

この書の編集に当っては、マンチェスター大学のZ. コパール教授と、英国の月面観測家P. モーア氏に多大の援助をいただいたことは前に述べたが、火口対象物の第1次選定と大きさ高度の測定に当たられたのは東京天文台の宮本文子氏、本書中の見やすい火口の図を画いて下さったのは宮本文子氏と堂平観測所の山口京子氏であった。両氏の御協力にも深く感謝する次第である。

なお、本書の完全なデータは次の通りである。

Catalogue of Central Peaks and Floor Objects of the Lunar Craters on the Visible Hemisphere. Compiled by Naosuke Sekiguchi. Published jointly by University of Tokyo Press (東京大学出版会), University Park Press. (1972) 27 cm × 20 cm, 121頁, 国内売価 3,000円。