

クレータの形を見直してみよう

出村 裕英¹⁾

¹⁾ 会津大学

A Review Story for Crater Shape

Hirohide DEMURA¹⁾

Abstract

This is a review story for crater shape.

Key Words: Impact, Crater, Shape

1 衝突クレータの形を見直してみると？

クレータというカタカナ語は、もちろん英語のcraterの訳語だが、旧文部省の学術用語集によると『凹孔』という訳語が当てられている。戦前は地形学用語でも非英語が幅を利かせていたようで、古い書籍だとクレーターなどと色々な発音で書かれていることもあるが、いずれにせよ、もうこのカタカナ語は一般名詞の地位を得たと思っていいだろう。最後の長音を表記するか否かは流儀によるが、筆者がコンピュータ業界にいるので省かせて頂く。用語の意味としては漢字の通りで、本来は凹んでいる閉じた地形という以外の意味は持たない。自然地形でなくとも、たとえば艦砲射撃で地面にあいたような大穴であっても、英語圏ではクレータと総称されることは知っておいていいだろう。

このクレータに形容詞を付けることで、成因別の呼び名となる。単にクレータと省略された時は、最も有名なものを指すことになり、昨今は隕石が落ちてきて穿った衝突クレータ (Impact Crater) を指すのが普通だ。それ以外に噴火口もしくはカルデラ (Volcanic Crater)、偽火口 (Pseudo Crater) というものがある。地球上で見られるクレータは噴火口もしくはカルデラが圧倒的に多く、月や地球外天体では衝突クレータが圧倒的に多い。カルデラにも、爆発カルデラと陥没カルデラがあるが、いずれも火山性であることに変わりはない。九州の阿蘇山や火星のオリンポス山頂カルデラなどは有名である。最後の偽火口とは、熔岩と水が接触して起きたマグマ水蒸気爆発で生じた凹地地形を指し、噴火口の位置とは無関係に生じたマグマ水蒸気爆発による爆裂口を指し、地球や火星で見つっている。三宅島噴火 (1983年) で生じたものは比較的記憶に新しい。ここで大事なことは、円いクレータにも実は色々な成因があるということだ。

米国アポロ計画以前は、月クレータの起源が火山であると考えていた研究者が多かった。隕石は地表に対して斜め45度で衝突する確率が大きいのだが、砂場に石を投げて容易に確かめられるように、斜め衝突ではなかなか円いクレータが作れない。月クレータの大半は、地上観測で見る限り極めて真円に近く、これらが全て隕石衝突起源だとはなかなか想像できなかったのだ。しかし、アポロ計画前後に超高速衝突実験設備が登場し、衝突地表での音速を超える現象が再現できるようになると、多少斜めに衝突しても一点で生じる爆発現象と近似できる規模であることが分かってきて、いまでは地球外天体のクレータは大半が衝突クレータであると理解されるようになった。

前段は、クレータという地形そのものとその呼称は変わらないまま、成因の理解が人間の側で大きく変わってしまった好例である。特に月惑星地形用語では、形で定義されるものと、成因を加味して定義されるものと2段階に分けてあることが多い。後者は科学の進歩で解釈が代わって捨てられてしまう可能性があることを忘れてはいけない。

2 クレータの形と形成メカニズム

クレータは、円い形をしていて中央が凹んでいる。陥没性の地形を除けば、何らかの衝撃波を伴う爆発的現象が地表を穿って残した爆裂地形である。衝突クレータに絞って、その地形を構成する要素を整理すると、周囲に飛散した放出物を指すイジェクタ (Ejecta)、クレータの形を特徴づける凹地の輪郭の盛り上がった部分をリム (Rim)、そして凹地そのものとその内部に見られる地形に三分される。

イジェクタは、クレータリムから遠くなるに従って様相が漸移してゆき、表面の起伏による肌理の特徴に基づいて区分されている。地球の層序学ではファシス

クレータの形を見直してみよう

(相: facies) と呼ばれるその違いは、連続した1枚と数えられる堆積物 (Continuous Ejecta)、放出物が低角入射して群れをなして特徴的な構造 (例えば棘の骨のようなherring-bone structureや、cluster impacts) を示す2次クレータ領域、そして光条がある。

クレータリムは、クレータが開いていく時に周囲を押しつけて盛り上げたものであるが、ある程度以上大きなクレータでは周囲が内側に崩壊して隆起が綺麗に見えない場合も珍しくない。いずれにせよ、凹地の輪郭であるリム(rim)は鋭い地形的变化を示すので最もはっきりした地形特徴である。

凹地形内部は色々バリエーションに富み、どんぶりのようなものから平皿のようなもの、中央が盛り上がっていたり (中央丘)、その隆起が円環状なもの (ピーキング) まである。

これら地形特徴と、クレータが穿たれてゆく過程とを対応づけてみよう。まず衝突体が地表に接触して、落下してきた自身の勢いを地面に伝え始めるところから始まる。衝突体自身が接触・圧縮される過程、続いて地表にそのエネルギーが受け渡され、衝突点から周囲に衝撃波が伝播し、地表近くのものから周囲に吹き飛ばし始める。この掘削過程では、衝突点直下の物質を大きく下方に圧縮し、大規模衝突では地表物質が融解して熔岩となったものがイジェクタに混ざって放出されることになる。この際、イジェクタは最初に放出されるものほど高温かつ浅い部分の物質であり、高速で遠くまで飛散する。後になるほど低速でより深い部分が掘り返されることになる。上空から見ると、クレータリムから外側に向かって深い物質から浅い物質に並ぶことになり、初心者の想像とは逆になるのは面白い点である。また、初期に飛散するイジェクタほど斜め衝突の影響を受けやすいため、クレータリム自体の形よりもイジェクタの分布から斜め入射方向やその低角度が推定できる例も多い。

クレータは次第に直径と深度を増すが、周囲に物質を押しつけて進んでいた衝撃波は急速に減速してゆきいつかは音速を下回って消滅する。イジェクタもクレータリムを乗り越えられない放出速度まで小さくなると、もうそれ以上掘削できない。クレータの成長が停止した段階で、クレータ直径の1/5まで大穴があいており、深度にしてクレータ直径の1/10までがイジェクタとして飛散し、残り1/10-2/10 (1/5) までは地下深くに押し込められるか、飛散できなかったイジェクタとして凹部に溜まることになる。この時点ではクレータリムは衝突点から十分遠く、斜め衝突などの非対称性が埋もれてほぼ真円を示すことになる。

最後に、重力を復元力として凹地形が揺り戻しを受

けたり、不安定なクレータリムが内側に崩壊してゆく変形過程に入る。凹部が盛り上がったものが中央丘、更にそれが振動して環状のピーキングを造る、という津波モデルが広く信じられているが、本当にそのようなメカニズムで生じるかどうかは、はっきりしていない。この段階は衝突実験や計算機実験で扱うにはまだ現実の制約条件、クレータの知見が乏しいため、地球クレータの物理探査・地質調査ならびにかぐやによる月クレータ研究による進捗が待たれている。また、リムの崩壊、地滑りにより、見かけのクレータ直径が拡大し、真円から多角形状の輪郭を示すようになる。

3 それでもやっぱり円くないクレータ

多少の斜め衝突ではクレータリムは円形であることは既に述べた。しかし、衝突点が1点とはとても近似できないほど低角の斜め衝突では、圧縮・掘削過程の衝撃波源が線状に引き延ばされてしまう。あまり例はないが、そうしたクレータと考えられる楕円状に引き延ばされたクレータも幾つか発見されており、そのイジェクタの分布形状からも、高速衝突実験の知見に基づいて、それが斜め衝突の極端な場合であると理解されている。

しかし、円くないクレータは、それだけではない。北米バリンジャー隕石孔は、最も有名な衝突クレータ地形のひとつで、日本スペースガード協会でもフィールドツアーが組まれたなど、御存知の方も多いだろう。このクレータの写真で目にするものは、何故か非常に斜めから空撮されたものや、クレータの縁に立って撮られたパノラマ写真ばかりである。しかし、Google Earthなどで真上から見ると、このクレータは四角いのだ。世界で最も有名なクレータが円くないのでは様にならないためか、こうした四角さが分かりにくい写真が幅を利かせているのかもしれない。このクレータが四角形であるのは、ごく表層の強度の分布のためである。この地域は交差する断層 (節理系) が多数存在し、クレータが開いていく時にその影響を受けて最終形状が決まってしまうのだ。喩えていえば、木版である線まで削る際、切り出し刀で最初にその境界を深く切っておいて、それをめがけて削り出すと綺麗にできるのと同じである。

地球に限らず、天体表面には円い地形が沢山ある。それらクレータの成因を考えながら色々遊んでもらえれば、あなたも立派なクレータマニアの仲間入りだ。

参考文献

・ Melosh H.J. (1988) Oxford Univ. Press "Impact Cratering: A Geologic Process (Oxford Monographs on Geology and Geophysics, No 11)"

・ 杉田精司 惑星科学夏の学校2000年資料

<http://www-sys.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~ss2000/pdf/sugita.pdf>