THE ROCK THAT FELL TO EARTH

小惑星が地球に落ちてきた日

Nature Vol.458(401-403)/26 March 2009

昨年 10 月、地球に衝突する直前の小惑星が発見された。研究者たちは迅速に観測を開始し、初めて、宇宙からやってきた天体が地球に衝突するまでの一部始終をつぶさに記録することに成功した。Roberta Kwok がそのてん末を報告する。

2008 年 10 月 6 日の真夜中近くのことだった。米国アリゾナ州のレモン山頂にある天文台で、Richard Kowalski のコンピュータのスクリーンを白い点が横切った。彼の仕事は、望遠鏡画像を調べて、地球に衝突したり接近したりする可能性のある小惑星を探し出すことである。彼がこの仕事を始めてから 3 年半になるが、その間、同じような点をもう数百個も見つけてきた。Kowalski はこの天体の追跡を開始し、いつものように小惑星センターに座標を送った。同センターはマサチューセッツ州ケンブリッジにあり、小惑星などの小天体を監視している。空が明るくなり始める頃、彼は追跡をやめて望遠鏡を止め、山の麓にある宿舎に戻り、眠りについた。

Kowalski にとって、その夜の観測に特別なことは何もなかった。ただ 1 つ「おや?」と思ったのは、彼の報告に対する小惑星センターの反応だった。小惑星センターのウェブサイトは、彼の最初の報告を直ちにウェブ上に掲示したが、彼がさらにデータを付け加えようとしたときには、システムは沈黙したままだったのである。

コンピュータの沈黙の理由は、翌朝、小惑星センターのセンター長である Tim Spahr により明らかにされた。センターのソフトウェアは軌道を自動的に計算するが、この小惑星は異常に地球に近かったのである。「コンピュータは私に助けを求めたのです」と Spahr は話す。彼は Kowalski のデータを使い、小惑星の軌道をざっと計算してみた。「データを見て軌道を手で計算してみると、小惑星が地球に衝突することは明らかでした」と Spahr は話す。その小惑星は 2008 TC_3 と名づけられた。

2008 TC_3 の明るさは、その直径が数メートルしかないことを示していた。この小惑星が普通の岩石からできているなら、おそらく大気圏に突入した直後にばらばらに砕けてしまうだろう。危険はないように思われたが、Spahr は決められた手続きに従って行動した。彼はブラックベリー(スマートフォンの一種)を取り出し、非常事態用の番号を使って Lindley Johnson に電話をかけた。Johnson はワシントン DC の米航空宇宙局(NASA)地球近傍天体観測計画のトップである。

「やあ、Lindley。Tim だ。どうして電話していると思う?」と Spahr。

「地球に衝突するのかい?」と Johnson。

Spahr は Steve Chesley にも電話をかけた。Chesley はカリフォルニア州パサデナにあるジェット推進研究所(JPL)の天文学者だ。彼はそのとき自宅で子どもたちをせきたてて学校へ行かせようとしているところだったが、電話を受けるとオフィスに急行し、小惑星の軌道を計算するプログラムを走らせた。その結果、「衝突確率 100 %という数字が出て、仰天しま

P. JENNISKENS

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

した。この数字を見たのは初めてでした」。Chesley の計算によると、小惑星はそれから 13 時間弱後、翌日の 2:46UT（世界時）に地球の大気圏に突入するはずだった。場所はスーダン北部で、現地時間では午前 5 時 46 分になる。彼は NASA 本部と小惑星センターに計算結果を送信し、センターは世界中の天文学者のネットワークに電子速報を配信した。イタリアのピサで地球近傍天体データベースを運営している NEODyS というグループも、衝突はほぼ間違いないことを確認した。

2008 TC_3 のような小天体は毎年いくつか地球に衝突しているが、衝突前に発見されたことはこれまでに一度もなかった。Kowalski の発見は、小惑星とその消滅をリアルタイムで研究する初めての機会を提供したのである。その成功は、天文学者たちが世界中の観測装置をどれだけ早く動員できるかにかかっていた!

科学者たちは慌しく小惑星の観測を準備に取りかかった。無数の電子メールと電話が地球上を飛び交った。「今夜衝突 !!!」。ニューメキシコ州アルバカーキのサンディア国立研究所の物理学者 Mark Boslough は、米国政府の衛星データをモニターしているエンジニアも含めて、その同僚にメールを送った。

衝突へのカウントダウン

ジェット推進研究所から知らせを聞いたカナダのウエスタンオンタリオ大学の天文学者 Peter Brown は、地元の天文台に駆け込んで望遠鏡を起動させ、小惑星の追跡を始めた。「それはとても小さく、かすかな、高速で動く線でした」と彼は話す。北アイルランドのベルファストにあるクイーンズ大学の Alan Fitzsimmons は、アフリカ北西岸沖のカナリア諸島のラ・パルマにあるウィリアム・ハーシェル望遠鏡に到着したばかりの同僚 2 人に電話をかけた。あいにく、2 人に割り当てられていた観測時間は翌日からだった。

Fitzsimmons は 2 人を説得した。「いいかい。これは今起きていることなんだ。今夜なんだ」。2 人は別の天文学者に頼み込み、その夜の観測時間を 1 時間借りることができた。

小惑星センターにはひっきりなしに観測結果が寄せられ、新しいデータと軌道計算結果を 1 時間に数回ずつ発表した。NASA は国務省と国防総省などに通知したほか、午後には報道機関に向けて発表を行い、「すばらしい自然の花火が見られるかもしれない」という声明を出した。小惑星は衝突の約 1 時間前に地球の影に入り、光学望遠鏡では見えなくなった。それまでに世界の 26 か所の天文台の天文学者たちが約 570 の観測を行って結果を報告し、ジェット推進研究所が改めて計算した衝突予測時刻は 2:45:28 ± 15 秒 UT になった。

衝突予想時刻が近づくにつれ、オランダのデビルトにある王立オランダ気象研究所の航空気象学者 Jacob Kuiper の苛立ちは募っていった。夜間勤務についていた彼は、小惑星が地球に接近していることを電子メールで知らされたが、人がほとんど住んでいないヌビア砂漠に落下するのでは爆発の目撃者が誰もいないのではないかと気を揉んでいたのである。

残り時間は 45 分を切ったとき、Kuiper は、彼がいつも気象レポートを送っているエールフランス -KLM に知らせることを思いついた。同社にはおそらく、アフリカ上空を飛ぶ航空便があるはずだ。約 10 分後、ヨハネスバーグからアムステルダムに向けて北上中の KLM592 便のコックピットで、操縦士の Ron de Poorter がプリントアウトされたメッセージを受け取った。メッセージには小惑星の衝突予想地点の緯度と経度が書かれていた。de Poorter は、飛行機から衝突予想地点までは 1400 キロメートルも離れているとは思ったが、指定された時刻に計器の明かりを薄暗くして、副操縦士とともに北東の方向に目を凝らした。

そのとき、飛行機のはるか上空で、小惑星 2008 TC_3 が秒速 1 万 2400 メートルの猛スピードで大気圏の最上層に衝突した。小惑星の外側は熱せられて気化し、表面の物質がはぎ取られた。小惑星の原子が空気の分子と衝突して閃光を発し、下に広がる砂漠を明るく照らした。計算によると、2008 TC_3 が大気圏に突入して 20 秒もしないうちに圧力により一連の爆発が起こり、小惑星は粉々に砕け散って高温のダストの尾を残したとみられている。

de Poorter は、地平線の向こうで砲火のような黄色がかった赤い光が明滅するのを見た。スーダンの辺境にある鉄道の駅の駅長は、この閃光で目が覚めた。研究者が後で集めた目撃談によると、エジプトとの国境の近くの村では、朝の礼拝から戻る人々が明るく輝く火球を見たという。

電子の目も見ていた。米国政府の衛星は、小惑星が地上 65 キロメートルの高さを通過しているところを捕らえた。そのすぐ後には欧州の気象衛星も小惑星を発見し、ダストの雲を 2 つと火球からの光を捕らえた。ケニアでは、通常は核爆発の監視に使われている微気圧計が、爆発による低周波の音波を検出した。Brown は後に、この爆発は約 1 ～ 2 キロトンの TNT 火薬の爆発に相当し、広島型原爆の約 10 分の 1 にあたると計算した。

米国の衛星が火球の軌道を追跡した結果から、ジェット推進研究所が天体の位置を距離にして数キロメートル、時間にして数秒の誤差で正確に予測したことがわかった。「衝突予測のすべてのシステムがきちんと機能することが、これまでにないほど具体的に立証されたのです」と Chesley は振り返る。

しかし、カリフォルニア州マウンテンビューの地球外文明探索計画（SETI）研究所の天文学者 Peter Jenniskens は、壮麗な光のショーが目撃されたというだけでは満足できなかった。流星雨を研究している彼は、それから数週間、落ちてきた隕石を誰かが見つけたという知らせが聞こえてくるのを待っていた。しかし、そのような知らせはいつまでたっても入ってこ

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved

なかった。「だれかが行動に出る必要がありました」と彼は話す。

Jenniskens は 12 月の初めにスーダンに飛び、ハルツーム大学の天文学者 Muawia Hamid Shaddad に会った。Shaddad は、すでに地元の人から火球の通った跡の写真を入手していた。2 人はハルツームから車で北へ向かい、国境の村ワディハルファで人々に声をかけに、火球が爆発したのは空のどのへんであったのかを尋ねてまわった。目撃者の話から、小惑星は大気圏の高いところでばらばらになったと考えられ（これは米国の衛星データともよく一致した）、破片が見つかる可能性が高いのはヌビア砂漠の鉄道の第 6 駅という小さな駅の南西であろうと Jenniskens は確信した。

砂漠の捜索

2008 年 12 月 6 日、Jenniskens と Shaddad は、ハルツーム大学の学生と職員ら 45 人とともに小惑星の破片探しに出発した。目的の地域に来ると、捜索チームのメンバーは約 20 メートルずつ間隔をあけ、全体で 1 キロメートルの長さに整列した。彼らの目の前には砂と小石の海が広がっていた。ところどころに丘や岩が露出した部分があり、干上がった川床がうねうねと伸びていた。チームの側面には車が 2 台ずつつき、テレビニュースネットワークのアルジャジーラの撮影チームがあとを追った。捜索チームは、砂漠をすく巨大な櫛の歯のように東に向かってゆっくりと進み始めた。

その日の捜索が終わりに近づいた頃、1 台の車が Jenniskens のもとに来て、1 人の学生が隕石を見つけたかもしれないと伝えた。「そのとき自分が『またか、勘弁してくれ』と思ったことを覚えています」と Jenniskens は話す。彼は、すでに何度かぬか喜びをさせられていたからである。それでも彼は車に飛び乗り、石を見つけた学生のところに向かった。学生が彼に見せたのは、差し渡し 1.5 センチメートル程度の小さな四角形の黒い石で、外層は薄いガラス質だった。石の表面は、隕石が溶融し、再び凝固するときに形成される溶融殻によく似ていた。また、石の色の深さは、それが地球に落ちてきたばかりであることを示していた。これが、捜索チームが見つけた最初の隕石となった。この石はまた、宇宙で発見された小惑星に由来し、その衝突地点で科学者が回収した最初の隕石でもあった（*Nature* 2009 年 3 月 26 日号 485 ページ参照）。

翌日、チームは 8 キロメートルの捜索により 5 個の隕石を発見した。いずれも非常に暗い色で、丸みがあった。3 日目は 18 キロメートルの行軍で、これまでよりも大きい、差し渡し約 10 センチメートル近い隕石を見つけることができた。数週間後、学生と職員 72 人からなるチームが、さらに 32 個の隕石を発見した。3 月末の時点で、一連の捜索で見つかった破片の個数は約 280 個、重さは数キログラムに達している。

Jenniskens は、テキサス州ヒューストンにある NASA のジョンソン宇宙センターの宇宙鉱物学者 Mike Zolensky のもとにサンプルを送った。Zolensky は隕石を調べ、炭素の大きな固まりと、砂糖の結晶に似たガラス質の鉱物の粒が含まれていることを発見した。ほかの研究室での検査から、そのサンプルはユレイライトという種類の隕石であることが確かめられた。ユレイライトは、宇宙空間で溶融したことのある小惑星に由来する隕石だと考えられている。ユレイライトの破片を生じるのは、地球に衝突する天体の 0.5％だけである。しかし、2008 TC_3 の破片はユレイライトとしても奇妙なものだった。Zolensky によると、異常に多くの穴が開いているのだという。「これだけ多くの穴が開いているものが、ひとかたまりの物体として存在していたことは驚きです」と話す。

このことから Zolensky は、2008 TC_3 はより大きな小惑星の表面から割れてできたのだろうとみている。中心付近にあったなら、穴は押しつぶされていたと考えられるからである。彼は、この隕石の化学的性質に関する今後の研究から、その「親」の小惑星の歴史が解明されるかもしれないと指摘する。さらに、そこでの新しい発見は、惑星が形成される過程を解明する手がかりになるかもしれないという。この小惑星は過去に溶融したことがわかっているが、それは若い惑星が経験する過程であるからだ。

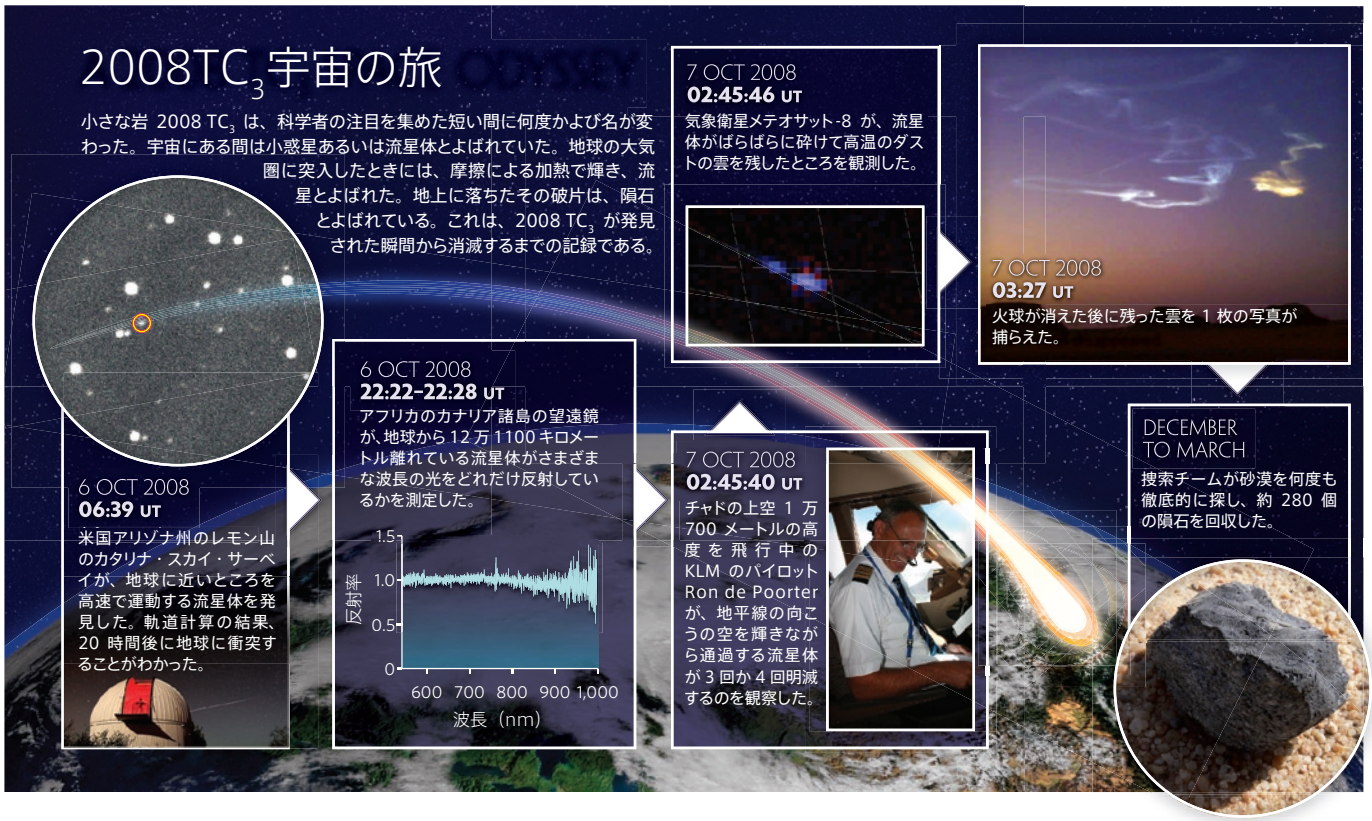
2008 TC_3 は天文学者に、夜空に輝く小さな点を手の中の小さな石と結びつけるという稀有な機会を与えてくれた。ジェット推進研究所内にある NASA 地球近傍天体計画部の部長である Don Yeomans は、「地上には多数の隕石があり、宇宙には無数の小惑星があります。しかし、両者を結びつけることは容易ではないのです」と話す。

Jenniskens らの研究チームは、この小惑星は F 型小惑星とよばれるグループに属していると結論づけた。このグループの小惑星はほとんど光を反射せず、その組成は長らく不明であった。ワシントン DC にあるスミソニアン研究所の隕石担当学芸員の Glenn MacPherson は、2008 TC_3 の研究にはかかわっていないが、「今回の新しい証拠は巨大な窓を開くものです」と期待を寄せている。「すべての F 型小惑星が同じというわけではないかもしれません。けれども今回、少なくともその一部はユレイライトと同じ炭素や鉄などを含んでいることが示されたのです」。

コロラド州ボールダーにあるサウスウエスト研究所の惑星科学者 Clark Chapman は、「実のところ、F 型小惑星とユレイライトとの関連は意外なものではありません。けれども、今回のように関連が証明されることはめったにないことなのです」と話す。

科学者たちはこれまで、小惑星が光のさまざまな波長をどのように反射するかを調べ、その特徴が合う研究室の隕石サンプルを見つけるという方法で、小惑星の組

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved



NASA/UNIV. ARIZONA; FULL MOON PHOTOGRAPHY; A. FITZSIMMONS, QUEEN'S UNIV. BELFAST

R. DE POORTER; EUMETSAT & CHMI (Z. CHARVAT); COURTESY OF M. E. ABDELATIF MAHIR/M. H. SHADDAD/P. JENNISKENS; P. JENNISKENS

成を知ろうとしてきた。しかし、反射の特徴がかなり独特なものでないかぎり、そうして求めた関連は微妙なものになることが多い。もっとも確実な例は小惑星ベスタで、火成隕石の 1 グループと関連づけられている。小惑星の破片を地球にもち帰った宇宙探査計画はまだないが、NASA の宇宙機は小惑星エロスの周りを 1 年間回り、2001 年に着陸した。また、日本の探査機「はやぶさ」は、小惑星イトカワのサンプルの採取を試みた。この探査機は来年地球に戻る予定で、そのとき、採取計画が成功したかどうかがわかるだろう。

「いつの日か、小惑星の軌道をそらす必要が生じたときに、小惑星の組成を知ることが極めて重要になるでしょう」と Yeomans は話す。NASA は、人類を危機に陥れるおそれのある小惑星が地球に向かってくるのが発見された場合には、衝突の回避に向けた対策を講じられるよう、衝突予想日の数十年前から警報を出すことをめざしている。具体的な回避方法は小惑星の種類によって違ってくるだろう。Yeomans によれば、小惑星には「彗星のなれの果てのもろく崩れやすい玉」から、固い岩石や、ニッケルと鉄の厚板まで、さまざまなものがあるからである。

新しい観測計画が始動すれば、地球に衝突しようとする天体がもっと頻繁に発見されるようになるかもしれない。Yeomans によると、従来の観測でも直径 1 キロメートル以上の地球近傍天体のほぼ 90％が発見されているが、小さな小惑星は気づかれないままになりやすいという。Kowalski は、「2008 TC3 の発見は、地球から月までの距離の 1.5 倍のところにいる、ダークグレーの背広を着た人を見つけるようなものだったのです」と話す。彼が所属しているカタリナ・スカイ・サーベイは、毎年発見される地球近傍天体の 70％を発見している。カリフォルニア州ラカニャダで研究に従事している宇宙科学研究所の惑星天文学者 Alan Harris は、「次世代の観測計画が始まれば、発見のペースはもっと上がるでしょう。地球に衝突する小惑星を毎年数個ずつ見つけられるようになるかもしれません」と話す。ハワイでの全天観測計画 Pan-STARRS は今年、その原型となるシステムでの観測を公式に開始する。チリの大型シノプティックサーベイ望遠鏡は、2016 年に完全運用を開始する予定だ。

その間も Kowalski らの仕事は続く。Kowalski は、小惑星 2008 TC3 を発見した次の夜もレモン山頂に戻り、夕食を温め、望遠鏡の制御室で作業を始めた。彼が発見した小惑星が地球の反対側の砂漠に突っ込んだとき、Kowalski は次の白い点が現れるのを待って夜空の別の部分を調べていた。■

Roberta Kwok は、*Nature* ワシントン DC オフィスの記者実習生。

© 2009 NPG Nature Asia-Pacific. All rights reserved