



TOKIOMARINE
NICHIDO

ロシア隕石落下の衝撃

2013年2月15日午前9時15分頃（現地時間）、ロシア連邦ウラル連邦管区チェリャビンスク州で隕石の落下・分裂が目撃され、後に衝撃波が地上に到達、多くの建物の窓ガラスが割れ、ドアが吹き飛ばす等の被害が発生した。負傷者は1,491人に達し、4,474棟の建物が損壊した。隕石を原因とする災害では、初の大規模な人的被害をもたらした事例とされるが、隕石という自然現象の概要、事例、頻度、予測可能性等について、自然科学研究機構国立天文台副台長 教授 渡部 潤一氏に解説いただいた。

1. ロシア・チェリャビンスク その日に何が起きたのか？

2013年2月16日未明（日本時間）、2012DA14という小惑星が地球に2万キロメートル台にまで接近することが予想されていた。この接近距離は国立天文台が普段利用している気象衛星や放送衛星などの静止衛星が位置する軌道よりも内側である。小惑星のサイズは直径45mほどと推定されていた。ここまで大きな小惑星が、このような距離にまで地球に接近するのは極めて珍しい。

小惑星2012DA14の接近は日本でも観測できると予想されていた。そのため、国立天文台でも、一部の職員は前日の15日には観測準備に忙しく、かくいう筆者も一生に一度あるかないかという天文現象を一目見ようと思っていた。

しかし、その状況は15日の午後になって一変した。国立天文台広報室は、にわかに騒がしくなり、筆者の携帯電話も鳴りっぱなしになった。なんでも「ロシアに隕石が落下し、けが人が出ているらしい」というのである。以前ブラジルに隕石が落下し、ビルが破壊されたというニュースがあり、マスコミに対応したことがあるが、結局はガス爆発事故だったという誤報の経験もあり、当初はかなり懐疑的であった。しかし、世はインターネット時代。動画サイトに次々とアップされていったのは、隕石が落下して光る大火球や、その後に残された隕石雲、そして大音響と共に破壊される窓ガラスなどの映像群であった。隕石落下とそれに伴う衝撃波ということはすぐにわかった。しかも、これまで見たことのない規模と判断できた。世界中の研究者が、画像による軌道解析、世界的な観測網で検出された衝撃波の解析、拾得された破片の解析などを行った。その結果、直径10-20mほどの岩石質の小惑星が秒速15km・20km程度の速度で衝突してきたことがわかってきた。



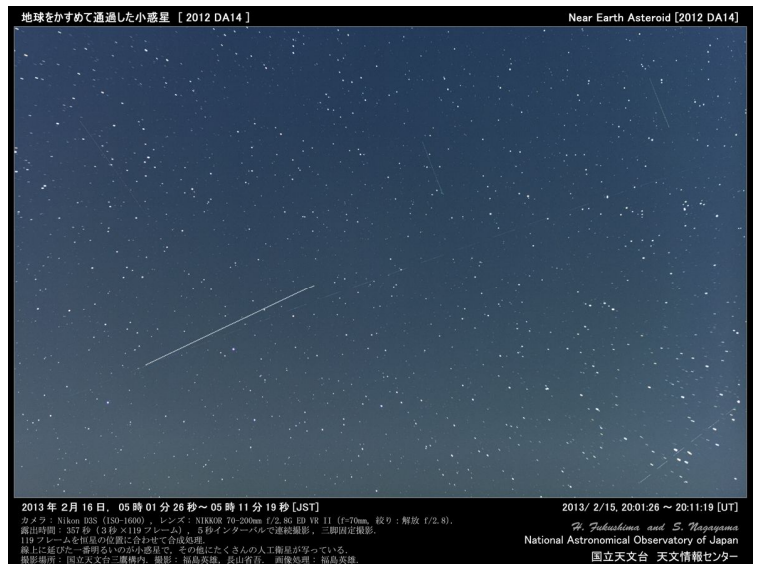
■ 図1：ロシア・チェリャビンスク州で目撃された隕石の航跡に残された隕石雲
（写真提供：ロイター＝共同）

天体が大気に猛スピードで突入すると、大気密度が濃くなる上空 100km あたりから圧縮加熱によって高温となり、光を発するようになる。砂粒のような小さな天体だと、わずか数秒で蒸発してしまう。これが、いわゆる「流星」である。砂粒のサイズが大きければ大きいほど燃え尽きるのに時間がかかり、低空までやってくる。特に明るい流星を「火球」といって区別することが多い。そして、さらに大きければ、最終的に燃え尽きることなく残された破片が地上に落下する。これが隕石である。

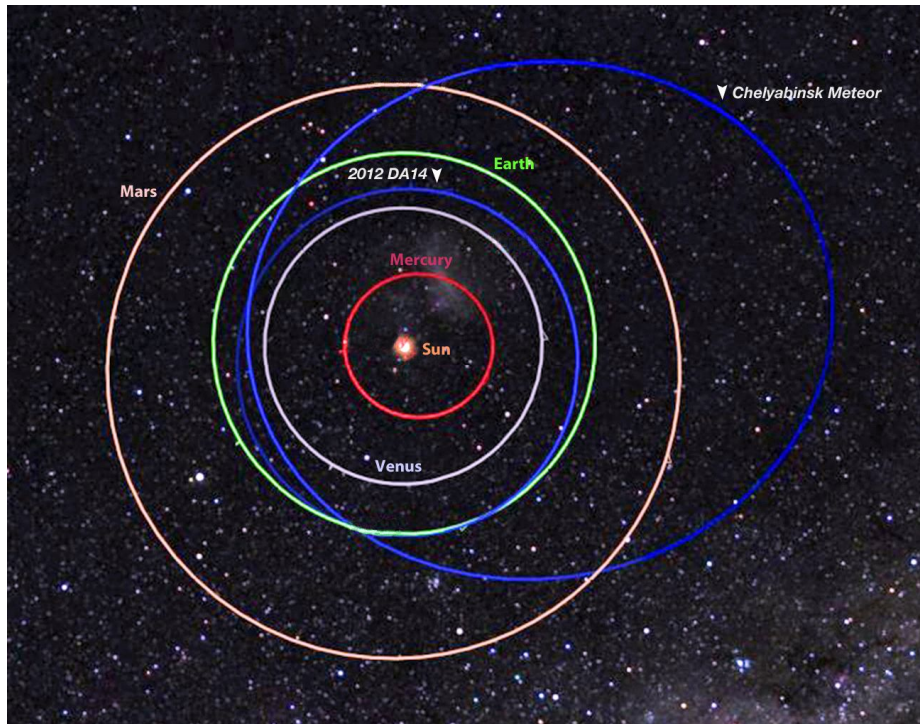
この隕石落下を伴う火球は、様々な現象を引き起こす。音速よりも早いスピードで空中を飛行するために、飛びながら連続的に衝撃波を出す。超音速で飛ぶ戦闘機が出す衝撃波によって、まれにガラスが割れたりする被害が生じることがあるが、隕石の落下は、この衝撃波が付随する。さらに、今回は映像を見る限り、火球が最も明るく光った上空約 20km 付近で大きな破片に分裂したと思われ、その際の衝撃波が威力を持って地上に達して被害を大きくしたとも考えられている。いずれにしろ、衝撃波は数分後に地上に到達し、一部の窓や建物を破壊し、多数の負傷者を出した。隕石落下による現象で、これだけ大規模な人的被害が出たのは確かな記録に残る限りは初めてであった。

2. 小惑星の接近と隕石の落下

翌朝、小惑星 2012DA14 は、地上の騒動をよそに静かに地球をかすめて飛んでいった（図 2）。小惑星の接近とロシアの隕石落下騒動が、時間的に非常に近かったために、なにか関係があるのではないか、と思うのは自然かもしれない。しかし、私たちはロシアの火球の映像を見ただけで、両者は無関係であることを直感した。小惑星 2012DA14 は地球を南から北へ、ロシアの隕石は大まかに言えば東から西へという方向だったからである。その意味で両者は一切関係が無い。本当に偶然に両者の現象が重なったのである。映像の解析から、ロシア隕石の太陽系内での軌道が示されている（図 3）。ロシア隕石の元となった小惑星の軌道（右側に大きく膨らんだ青色の楕円、図中の「Chelyabinsk Meteor」）と地球に接近した小惑星 2012DA14 の軌道（地球の軌道（緑）よりも内側にある青色の楕円）とを比較すると、両者が全く異なる事がわかる。ロシア隕石は火星の軌道の外側、小惑星帯と呼ばれる小さな天体が多数存在する領域と金星の軌道の間を動いていたことがわかる。一方、小惑星 2012DA14 は、地球軌道のすぐ内側だけを巡っている。



■ 図 2：地球をかすめて動いていく小惑星 2012DA14 の軌跡（撮影・提供：国立天文台）



■ 図 3 : ロシア隕石の元となった小惑星と小惑星 2012DA14 の軌道
(出典 : NASA / MSFC / Meteoroid Environment Office より)

3. 天体衝突

実は、太陽系には惑星以外にも多くの小天体（小惑星、彗星、太陽系空間塵）があり、それぞれが太陽を巡る軌道を動いている。そして、それらの小天体はサイズが小さければ小さいほど数が多くなる。地球は、その中をかいくぐりながら秒速 30km というスピードで太陽を巡っており、当然、ニアミスや天体衝突が起こる。小惑星 2012DA14 のような地球へのニアミスも、実はかなり起こっているのだが、最近まではそれに気がつかなかったといえる。望遠鏡や観測技術が発達し、これまでよりも小さな天体、すなわち非常に暗い天体が発見できるようになって、天体のニアミスが実際に起こることがわかってきたのである。衝突に関していえば、流星になるような砂粒クラスだと、地球には一日あたり数千万個はぶつかってきているが、隕石になるようなメートルクラスのもの、平均すれば一日一個程度、そして今回のようなロシアの例のサイズでは、ざっと 100 年に一度とされている。

(1)これまでの例

日本は国土が狭く、隕石落下が起こることは少ない。しかし、人口密度が高いため隕石落下に伴う火球の目撃や隕石そのものの回収率は高い。落下が目撃され、隕石そのものが現存している世界最古の例は、861 年に福岡県直方市に落下した直方隕石で、長く落下地点の神社に保存されてきた。最近では 1996 年に茨城県つくば市に落下したつくば隕石がある。いずれも火球の目撃、何分か遅れて聞

こえるドーンという爆発音のような衝撃波、破碎された隕石破片などが共通している。ただ、悪天候の深夜だと火球や衝撃波に気づかれないケースもある。1992年12月に当時の島根県八束郡美保関町（現：松江市美保関町）の民家に落下した美保関隕石は、2階建て民家を直撃し、屋根から2階・1階の床を突き破り、床下にまで達した。幸いなことに負傷者は出なかったが、当時は雷雨だったため、隕石落下も雷の直撃と思われたという。

海外に目を向けると、隕石落下で人間が怪我をした例として1954年のアメリカ・アラバマ州の例がある。屋根を突き破り家具に当たった隕石が、ベッドで眠っていた女性に当たったというものだが、直撃しなくてもすぐそばに落下した例は20世紀だけでも約60例が知られている。ただ、いずれにしても、今回のロシアの隕石のように大規模かつ広範囲に被害を及ぼした例はない。

もう少し大規模な天体衝突としては、1908年のロシア・ツングースカの例がある。これはちょうど小惑星2012DA14と同じようなサイズの天体衝突による大爆発と考えられている。人跡未踏の地だったため、人的被害はなかったが、数年後に調査に入った調査隊は、落下地点から放射状に木々がなぎ倒され、その範囲が20km四方にわたっているのを確認した。同じ規模の衝突が都心で起これば、東京23区が壊滅する規模である。サイズが大きくなればなるほど、大気下層にまで侵入し、そこで爆発するので、その衝撃波の威力は莫大になるのである。

これよりも大きいと、途中で爆発せずに直接地面にまで到達し、そこでクレーターを作ることになる。こうなると地震動や津波、大規模な火災など、地球規模での環境の激変をもたらす。約6,500万年前の恐竜絶滅のきっかけとなった天体衝突がその代表例であり、天体のサイズは直径10kmで、現在のメキシコ・ユカタン半島のチクシュループ・クレーターに衝突痕跡が残っている。

(2)頻度と確率

では、いったいどの程度の頻度で、こういった天体衝突が起こり、被害を及ぼすのだろうか。正確な数値を算出するのは、小天体の空間的な密度がまだわかっていないので、なかなか難しいのだが、一般には大きな被害を及ぼす天体衝突ほど、その頻度が少ないとされている。恐竜の絶滅を引き起こした直径10kmサイズの天体衝突は数千万年に一度、直径1kmだと10万年に一度、直径100mになると数千年に一度、そして今回のように直径10-20m程度の小惑星であれば100年に一度程度とされている。すなわち、今回のロシアの例のように、広範囲に一定の被害を及ぼす天体衝突は、頻繁ではないことはいえる。ただ、これは隕石落下の破片が直撃することは考慮していない。そうでなくても隕石落下そのものは1日に1個程度あるので、落下場所が悪ければ、1954年のアラバマ州の例のように人を直撃することもありうる。ニアミスを含めれば、約100年に数十例起きているといえるだろう。

ちなみに、日本は国土面積が全地球の表面積の約1/1,350であり、日本への隕石の落下の確率は1,350日に1回程度、つまり3-4年に1回である。

(3)衝突した場合の影響

天体衝突のエネルギーを表1に示す。直径10mのサイズの小惑星でも、その威力は広島型原爆約4個分に匹敵する。もちろん、この規模の衝突は毎年のように起きてはいるが、厚い大気中で破碎してしまい、エネルギーのほとんどが上空で拡散する。サイズが今回の直径10-20mを超えるあたりから、大気下層にまで進入し、そこで爆発するために影響が大きくなる。ツングースカの大爆発は広島型原爆の500倍を超える。有史以前には、直径100mを超えるサイズの天体衝突の痕跡が残されている。アメリカ・アリゾナ州にあるクレーターを作った隕石は、もし海に落下していれば高さ100mを超える津波が襲っただろう。陸地であれば大気中にばらまかれた大量の塵が太陽光を遮り、気象や海洋の変動によって地球全体の熱収支のバランスが崩れ、農作物が育たなくなり、さらに海産物も打撃を受けるに違いない。

■表1 天体衝突のエネルギー

直径 (m)	エネルギー TNT爆弾換算 (メガトン)	対応する小惑星/事件など
10	0.09	
50	11.5	1908年ツングースカの大爆発
100	92	
1,000	92,000	
10,000	9,200,000	チクシュループ・クレーター
(広島型原爆)	0.02	

対地速度20km/s、密度を小惑星は3.5g/ccと仮定。
エネルギー換算は1メガトン=4×10¹⁵ジュールを仮定。

4. 予想・回避はできるのか

今回のように人的被害を及ぼすような天体衝突をあらかじめ予測できないのか、という声を聞く。天文学者も手をこまねているわけではない。地球に衝突する可能性のある危険な小惑星を世界中で捜索し、既に1万個近く発見してきた。幸いなことに、このリストの中には、将来数百年間に、地球に衝突する可能性があるものはない。直径1kmを超えるような小惑星は、ほぼ90%は発見されていると考えてよい。

しかしながら、さすがに直径10-20mクラスの天体は小さい。たとえ月の距離にまで近づいたとしても、その大きさは富士山頂にあるたった数mmの砂粒を東京から眺めるのに匹敵する。これだけ小さいと、地球にたまたま近づいた時、それも深夜の空であれば、なんとか見つけることができるのだが、そうでないとわからない。今回のロシアの隕石となった小惑星も、地球から見て太陽側、すなわち昼の側からやってきた。昼の明るい空に星が見えないように、天体望遠鏡がいかに優秀でも、事前に発見することは難しかったのである。したがって、まだまだサイズの小さな小惑星は未発見のものが多く、今回のように突然、地球に衝突してくる可能性は今後もあるはずである。

では、もし事前に発見され小惑星が地球に衝突することが予測されたら、回避の方法はあるのら

うか。小惑星 2008TC3 は、発見されて事前に衝突が予測され、実際にスーダン上空に衝突してきた最初の例だったが、発見から衝突まではわずか 20 時間ほどであった。天体としては直径が数mほどのものだったため、被害は出なかったが、これだけ短時間だと対策はなかなか困難だろう。もっと大型の小惑星の場合、地球に近づく以前から見つかる可能性が高いので、衝突までの時間は数年から数十年という時間を稼げる可能性が大きい。この間に探査機を飛ばして、小惑星の表面にロケットエンジンを設置・噴射したり、あるいは太陽光を集中して表面物質を蒸発させたりして、その反動で小惑星の軌道をわずかずつ変える方法が検討されている。いずれにしろ、小惑星衝突への対策は人類の英知が試されることになるだろう。

(自然科学研究機構国立天文台 副台長 教授 渡部 潤一)

【筆者紹介】

渡部 潤一 (わたなべ じゅんいち)

1960 年、福島県生まれ。

1987 年、東京大学大学院、東京大学東京天文台を経て、現在、自然科学研究機構国立天文台副台長、教授、総合研究大学院大学教授。理学博士。流星、彗星など太陽系天体の研究の傍ら、最新の天文学の成果を講演、執筆などを通して易しく伝えるなど、幅広く活躍している。

1991 年にはハワイ大学客員研究員として滞在、すばる望遠鏡建設推進の一翼を担った。国際天文学連合では、惑星定義委員として準惑星という新しいカテゴリーを誕生させ、冥王星をその座に据えた。

主な著書に「面白いほど宇宙がわかる 15 の言の葉」(小学館 101 新書)、「新しい太陽系」(新潮新書)、「ガリレオがひらいた宇宙のとびら」(旬報社)、「星空からはじまる天文学入門」(化学同人)、「天体写真でひもとく宇宙のふしぎ」(ソフトバンククリエイティブ・サイエンスアイ新書)、「太陽系の果てを探る」(東大出版)、「星の地図館」(小学館、共著)、「しし座流星雨がやってくる」(誠文堂新光社)。

5. 最後に

解説によると予測される隕石の発生頻度は、今回のロシアと同様の直径 10-20m 程度の小惑星であれば 100 年に 1 回程度、より小さいものを含めて日本国内へ隕石が落下する頻度は平均して 3-4 年に 1 回程度、とのことである。ただ解説にもあるとおり、発生頻度について不明な点も多く、被害・影響がどのように生じるかも予測しづらい。企業のリスクマネジメントの観点では、対策の必要性の判断が困難であると言える。しかしひとたび、企業の拠点付近で今回のような隕石落下やそれに伴う衝撃波が発生すれば、従業員や関係者の負傷や、建物・設備の損壊等の被害が生じ、操業停止・事業中断を余儀なくされる事態も想定される。企業としては今後、リスクマネジメント推進、または事業継続計画（BCP）の検討の中で、想定リスクのひとつとして考慮することが求められる。

[2013 年 4 月 3 日発行]