



6 『小惑星によるハザード・ 小惑星衝突から地球を護る方法』

2008年12月6日（日）、神奈川県海老名市中央公民館に於て「スペースガードシンポジウム」が開催されました。各パネラーの基調講演の後に行われたパネルディスカッションの内容を紹介します。

<パネラー>

高橋 典嗣（日本スペースガード協会理事長／千葉大学大学院人文社会科学研究所公共研究専攻）

吉川 真（スペースガード研究センター長／宇宙航空研究開発機構）

多田 隆治（東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻）

中村 昭子（神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻）

古宇田亮一（日本スペースガード協会理事／産業技術総合研究所）

—— 座席順（左から）

■ 高橋（座長）

「地球に小惑星が衝突する」ようなことは、本当に起こるのか。起こるとすれば、どのくらいの確率になるのか、そのときの被害はどのようになるのか、といった疑問が出てきます。「人類がこれまでに経験したことない小惑星によるハザード（危険）」について、いろいろな分野で研究されておられる先生方にお集まりいただきました。

パネルディスカッションを進行させていただく日本スペー

スガード協会の高橋です。先生方を紹介しますと、私の隣から日本スペースガード協会のスペースガードセンター長で、小惑星の軌道進化などを研究されている吉川真先生です。隣は、東京大学の多田隆治先生です。6500万年前の小惑星衝突が起きた場所に最も近いキューバの堆積層から、確実に衝突が起きたことを証明されました。隣が、神戸大学で衝突実験などを行っています中村昭子先生、そして日本スペースガード協会理事で

産業技術総合研究所の古宇田亮一先生です。

小惑星衝突というものとはどのようなものなのかについて先の基調講演でお話があったかと思えます。そこで、小惑星アポフィスと同じサイズ、直径400 m程度の小惑星を想定し、これが地球に衝突するとどのようなことになるかについて、それぞれの先生に聞いてみたいと思います。

吉川先生、アポフィスのようなサイズの小惑星は、地球近傍に軌道の中でどのくらい



高橋典嗣

日本スペースガード協会・理事長
千葉大学大学院人文社会科学研究所

の割合を占めていて、NEOでよいと思いますが、地球にぶつかる確率はイトカワは確か百万年に一度くらいでしたね。それに対してアポフィスは4万5000年に一度とかありますが、いきなり難しい質問で申し訳ないのですが、アポフィスより大きなNEOを総計すると、地球にぶつかる確率はどのくらいになるのでしょうか？

■ 吉川

アポフィスの大きさは300~400mといった値ですが、そのくらいの天体の衝突確率を算出することは、とても難しいですね。その理由は、まだ現在発見が続いている途中だからです。NEO自体は現在5000個くらい発見されています。この内、地球に衝突すると地球規模の大災害になると予想される1kmより大きなものは1000個程度含まれています。しかし、まだ発見が続いていますので、単純に総数を決められていませんので、正確な確率というもので

はないのですが、一般的には、そこから類推すると、小惑星が集団で来たのか1個のものが分裂してきたのかはわかりませんが、なんか関係がありそうです。そのあたりはおそらくこれから解明が進むだろうと期待しています。

■ 高橋

何十万年という値は幅がありますが、10万年から20万年に一度くらいはそのくらいのもので落ちてくると考えて良いようですね。

続きまして古宇田先生、個人的にはふたつお伺いしたいことがあります。まず一つはアポフィスとは関係ないので後回しにさせていただいても結構ですが、地球上のクレーターの分布を大陸移動を復元されて示されましたが、それによって何かわかったことがありますか。また、アポフィクラスの落下と思われるような隕石クレーターが実際に地球に見つかっているのでしょうか。

■ 古宇田

まず最初の方の地球上のクレーターと大陸移動については、いくつか論文が出ております。このため、私が言っている訳ではありませんが、どうも衝突するときはまとまって、あるいはシリーズで衝突しているのではないかという話があります。大陸を当時の状態に復元して、そこにどう当たったかということを見ても、ひとつに並んでいるかはよくわからないのですが、ある一定の時間に並んでくるということはあるようです。

そこから類推すると、小惑星が集団で来たのか1個のものが分裂してきたのかはわかりませんが、なんか関係がありそうです。そのあたりはおそらくこれから解明が進むだろうと期待しています。

それから2番目の質問ですが、アポフィスクラスは小さく、衝突により形成されるクレーターの直径は、6km以下と考えられます。この程度の大きさの地形は、地質時代の中では割と簡単にどこかに消えてなくなってしまうくらいのものであります。そのため、現在見つかっている小さなクレーターは、ごく最近の新しいものに限られてしまいます。

■ 高橋

最近というと、何年くらい前のことになりますか。また小惑星衝突により形成されたクレーターから鉱物資源が見つかるのは、どうしてなのでしょう。



古宇田 亮一

日本スペースガード協会・理事
産業技術総合研究所

■ 古宇田

最近といっても地質学では、1千万年間とか100万年間という時間を言います。地球誕生から現在は46億年たっていますので、この数字はごく最近と言うことになるのです。

ごく最近に形成されたクレーターは、資源的な価値はほとんどありません。もしクレーターから資源を探そうとすると、アリゾナの隕石孔から鉄を採掘するため私財を投げ打って尽力し、破産したバリンジャーさんのようになってしまうと困りますのでやめた方が良いでしょう。まず、釘をさしておくことにします。

しかし、何億年前に衝突したような古く大きなクレーターだと可能性がないわけではありません。カナダのオンタリオ州にあるサドベリーの非常に巨大なクレーターがその例です。

これは、18億5000万年前に形成された地球上で2番目に大きなクレーターです。サドベリーはカナダの富を生み



中村 昭子
神戸大学大学院理学研究科

出した一番大きな原動力となった場所です。直径200kmにもおよぶクレーター内からは、現在もニッケル等が生産されています。今ニッケルの価格は急に下がってしまったのですが、半年よりも前までは今の価格のほしい4~5倍ありました。サドベリーに行くと、みんなすごい豪邸を作っていますので、めちゃくちゃ儲かっていることがわかります。

資源的な価値で考えると、非常に巨大なクレーターでなければなりません。ですからアポフィスクラスというのはまったく相手にならない、イトカワでも相手にならないと考えていただければと思います。

■ 高橋

吉川先生の推定によれば、アポフィスクラスの小惑星衝突確率は、数十万年に一度ということなので、地質時代という第四紀、最後の氷期以降の地層に、衝突確率を示唆するようなクレーター群は見つかっていないのですか。

■ 古宇田

姉妹の隕石だというのはいくつか見つかっていますが、繰り返して周期的に起きていくようなものは見つかりません。まあ見つければ面白いと思います。地球上では確認できなくても、月と火星とかの天体で探すと良いかもしれませんね。

■ 高橋

月あるいは火星ですか。それでは中村先生、月や火星のクレーターをお調べになっているかと思いますが、いわゆる6kmくらいのサイズのクレーターが十万年程度で形成されているということを示す証拠は見つかっているのでしょうか。

■ 中村

6kmくらいの大きさのクレーターというものは、月にも火星にもたくさんあります。月のクレーターのサイズ頻度分布と小惑星のサイズ頻度分布を比べて、似ているとか似ていないとかという話があります。記憶が定かではないのですが、月では吉川先生のオーダーはそう間違えではなさそうです。

■ 高橋

多田先生は、6500万年前の恐竜絶滅という一番センセーショナルな部分を科学的に興味深く説明していただきました。今度はアポフィスという小さな小惑星衝突による地球への影響について簡単に教えていただければと思います。

■ 多田

アポフィスというと直径はおおよそ400mですね。

まず、直径10kmの白亜紀末の隕石衝突ですらそれを証明するのに相当の時間がかか



多田 隆治
 東京大学大学院理学系研究科

りました。あれはたぶん顕生代では最大で、地球の歴史の中でもたぶん残っているもので3番目です。まだ見つからないものがあるとしても、ベスト5とか、そのくらいの大きな衝突だと思います。それですらそれを実証することは難しいわけで、たかだか400 mのものが衝突した痕跡を見つけて、それを証明するということは、ほとんど不可能だと思います。

可能であるとするとは比較的近い時代、数万年から数10万年の範囲で調べれば可能かもしれません。しかし、今のところこれが出れば決定的だという決定打がなかなか見つかっていませんので、そういう意味ではご質問に答える証拠はなかなか出せないということになります。

ちなみに今から1万年前に北米の氷床の上に隕石が落ち、それが大きな気候変動を引き起こしたという説が2年くら

い前に出て結構話題になったのですが、結局それは追試すると証拠はひとつひとつが全部怪しくなっていました。そういう意味では、いわゆる小さな小惑星衝突を鑑定しても、お墨付きを出すグループからは駄目だと言われてしまいます。それからもう一つは、たぶんツングースカのようにクレーターを残さないタイプだと思うのですが、歴史時代、数千年前にシリア付近でそういったものがあつたのではないかという話です。それはガラスでそれらしいものが見つかっていて、そういう話は学界で話題にはなっています。しかしそれも証明されるに至っていません。もしそれがうまく証明されるとすると、比較小さい小惑星衝突が人間社会にどの程度の影響を与えるのかということの最初の事例になるかもしれません。

■ 高橋

白亜紀末の小惑星衝突による地球規模の気候変動によって壊された生態系が戻るのには、数100万年もかかることでした。環境の生態系の復元にかかる時間としては長いように思えるのですが、どうしてこんなに長時間を要するのですか。

■ 多田

おそらく白亜紀末の衝突があれだけの大きな影響を及ぼしたのは、被害が全世界規模

であつたからです。地域規模であれば必ず他のところから侵入し、その生態系を回復するというか乗っ取るということをして、すぐ修正されてしまいます。要するに重要なのは、全地球規模で生態系を壊してしまうと、それを取って代わるものがいなくなってしまうがために、復活するのに相当の時間が必要になるということの意味しているのです。

■ 高橋

科学的な方法、研究の進め方についてまで、大変わかりやすく説明していただき、ありがとうございます。次に、各先生方で、さらに付け加えておきたいことがありましたらお願いします。

■ 吉川

先程の私の話の中でお話ししましたように、今かなり本



吉川 真
 スペースガード研究センター長
 宇宙航空研究開発機構



パネルディスカッション

格的に衝突確率を計算したり、軌道進化を計算するシステムをJAXAの方で作っています。まもなく出来て、本格的な運用に入って行きたいと思っています。それが出来たら公開しますので、皆さんに見ていただければと思います。

もう一つに、「はやぶさ」のミッションがあります。はやぶさは2010年にぜひ戻ってきてほしいと思っていますが、それに加えてはやぶさの次の「はやぶさ2」とか、さらにその次の「マルコポーロ」という名前が付いている、やはり小惑星に行って戻ってくるミッションを考えています。ただ残念ながら予算がつかないので、まだGOにならないのですが。イトカワはS型という小惑星のタイプでしたが、小惑星にはいくつかのタイプがあります。ぜひ別のタイプの小惑星にも行ってみたいと思っています。それはスペースガードにも重要なことで、どういうタイプの小惑星がぶ

つやってくる時は、どういった対処をしたらよいかということを考えるために必要なことなのです。是非、はやぶさの後継機のミッションについても皆さんにご支援をいただければと思います。

■ 高橋

はやぶさの後継機については、実はスペースガード協会では声明文を各省庁に送っています。なんとか実現が早くなればいいなと思っています。

■ 古宇田

吉川先生に先に言われてしまったので、落ち穂拾いみたいなってしまいますけど、タイプというのは非常に重要です。小惑星が衝突したときに、穴を掘るのか蒸発するのかということは、タイプや形態、物理的に集合しているのかなど、いろいろな要素で決まります。やはりタイプというのは非常に大きな要素になりますので、アポフィスについて

も非常に詳しいタイプというのがわかってきて、さらにその内部的な密度とかもわかってくれば、ツングースカのように空中で消えてしまうか、穴を掘り、クレーターを形成するのかということが次第にわかってきます。そうすると対処の仕方についても多少はわかるかもしれませんが。それをもっともときちんと観測できるような、そういうシステムが欲しいなということで、吉川先生に期待しています。

■ 中村

今のお話しにつながる話なのですが、イトカワというのは初めて確認された、1個の石でない石の集合体による天体だったのです。そのようなものが衝突する場合は、石の塊が衝突する場合と全然違う現象が起こると、古宇田先生が今おっしゃったように予想されます。イトカワくらいの300~500mの天体が石の集合体で出来ているということは、非常に驚きだったわけですね。表面の重力加速度がすごく小さく、脱出速度も10~20cm/sの天体なのですけれども、そういう小さな天体でもあのような形状をしているというのは驚きでした。アポフィスについて言えば石の塊なのか石の集合体なのかということが非常に興味深いので、2029年に地球に接近した時に、それがわかればいいなと思います。

■ 多田

地球外の原因が地球の環境に影響を及ぼすということは確かにあります。小天体衝突が一番良い例だと思うのですが、最近では宇宙線が地球の雲の量を通して気候に影響を及ぼしているという話もあります。私は今日お話しして皆さんにぜひ感じていただきたいのは、そういった面白いことが、話としては面白いのでいろいろな話が出てくると思うのですが、話が独り歩きして嘘か本当かわからなくなってきて結局全体が如何わしくなっておしまいになってしまう。そういったことがあると、重要な真実を見逃してしまうことになるので、是非何か話があったら、根拠がどうでそれがどうやって証明されているのか、その部分をよく見ていただきたい。そうすると、証明されていない如何わしい話と、そうでないちゃんとした話の区別がつくはずですよ。是非、ただ面白いからといっただけでそういった話を扱うのではなくて、何を証拠として、どういうふうになんかそれが言われているのかということについて、見るように心がけてください。

■ 高橋

それでは、お集まりの会場の皆さんから、パネラーの先生方に、ご質問がありましたらお願い致します。

■ 質問

中村先生にふたつお尋ね致します。一つ目は、大きなクレーターにそばに小さなクレーターが出来た場合は、その大きなクレーターの噴出物がこしらえた2次クレーターだということをお話を伺いました。しかし、もし落ちてきた隕石が衛星を持っていて、2つ一緒に落ちてきたとか、あるいは途中で分裂したとかなどで小さなクレーターが出来たとかという場合と、どのように区別なさるのでしょうか。二つ目は、ディープインパクトの時にぶつけたものは、どのような物質をどのくらいの分量ぶつけたかについてお伺いしたいと思います。

■ 中村

一つ目のご質問は、衝突速度が全然違います。外からやってきた場合は10数km/sで、2次クレーターの場合は、例えば月ですと脱出速度は2 km/sくらいですので、それ以下の

速度でぶつかっています。そうすると、できたクレーターの形状は多少違ってくるはずです。速い速度だときれいなクレーターが出来きますが、2次クレーターですとぐじゃぐじゃした形になります。それが一番区別するポイントかと思えます。実際にはきれいに分かれるかということそうでもなくて、本当に小さなクレーターは1次クレーターか2次クレーターか厳密な区別は実はあまりできません。1次クレーターの近くにあっても鮮明なクレーターは、やはり別の1次クレーターでしょう、というような区別しかできないです。二つ目のディープインパクトの話は、ぶつけたものは金属です。銅が主体だったと思います。質量は300kgくらいでした。

■ 質問

アポフィスが発見されたのは地球からどのくらいの距離だったのか、その時の光度は



会場からの質疑

どのくらいだったのでしょうか。と言いますのは、これまでNEOのサーベイをされているのは、だいたい18等級くらいまでと聞いて、そこから（発見可能な小惑星は）直径1 km くらいの大きさのものが限界と言われてきたからです。今回の発見は300~400 m くらいの大きさということで、ずいぶん小さいため、なかなか発見しにくい部類ではないかと思われそうですが、いかがでしたでしょうか？

■ 高橋

アポフィスの軌道は、地球軌道とほぼ同じところを約323日で公転するアテン群の地球近傍小惑星です。最初に発見された2004年6月19日は、地球から見て最大離角で、最大光輝の位置関係でした。再発見された2004年12月は地球の内側から近づいてきて、地球軌道の公転を通過する最接近時の発見でした。発見時の等級は、覚えていません。

どちらも発見には都合の良い位置関係にありました。

■ 質問

すごく素人な質問になってしまいますが、現実に私たちが生きている時代の中で、実際にぶつかるかわかってしまった場合は、映画みたいな様子で世界が協力し合って何とかすることになるのでしょうか。それとも当たるまで放置しておくことになるのでしょうか。

■ 吉川

その問題は非常に重要で、ぶつかる天体が見つかったときにどう対処するかという問題ですね。これは実際に、国際天文学連合のワーキンググループや国連で、すでに議論されています。結論を言ってしまうと、まだ完璧な衝突回避の方法はまだありません。例えば、時間が充分にある場合、今から30年後ないし40年後にぶつかる場合は、充分に時間があるのでその天体の軌道をちょっとだけそらすというやり方を考えます。そのそらし方はいろいろあり、ひとつは天体を破壊せずに天体に何か体当たりをさせる、先程のデープインパクトのように重いものを体当たりさせて微妙に進行方向を変える方法です。進行方向が変わると、30年間経てばずれが大きくなっていくというやり方です。さらに最近グラビティトラクターと言いまして、割と重い探査機、重い宇宙船、スペースクラフトを小惑星のすぐそばにイオンエンジンなどを使いながらずっと滞在させておく方法が真剣に検討されています。そうすると万有引力で、微妙な小さい力ですが、それをずっと積み重ねることで軌道がそれてゆきます。人が作った宇宙船と小惑星の間で、それは本当に弱い力なのですが万有引力が働き、小惑星の軌道が微妙に変わっていく。ということで軌道をそらすとい

う方法を考えています。もっと荒く核爆弾を使ったらどうかという議論もされていますが、まだこれだというやり方はないですね。まだ今後の議論だと思います。

■ 質問

少し今回の主題とそれるかもしれませんが。人工衛星とか宇宙飛行士が宇宙にいますが、宇宙の隕石とか宇宙ごみに当たる確率はどのくらいのものなのでしょうか？

■ 高橋

ここにいる方々は有人宇宙活動については専門外なのですが、日本スペースガード協会はスペースデブリの光学観測を行っています。スペースデブリは、宇宙開発に伴って打ち上げられたごみで、有人宇宙活動を行う300~400 kmの軌道周辺にたくさんあります。こうしたスペースデブリに関しては、例えばアメリカ・ロシアはレーダー観測により10cmの大きさのものまで軌道を大体把握しています。もし、活動する領域に接触する軌道をもつスペースデブリがある場合は、退避行動を取ることになります。それから宇宙船自体も1 cm くらい的高速物質がぶつかっても基本的には壊れないような防護壁を組み込んだ設計になっています。完全に防護壁を貫通してしまう恐れのあるデブリについては、衝突回避する以外

方法はありません。今後有人宇宙活動が盛んになると、真剣に対策を考えなければならぬ課題の一つがスペースデブリ問題です。

■ 質問

先程のお話の中で、スウェーデンの電力会社が一生懸命石油探索でクレーターを探し回ったというお話がありました。それは当たらなかったということですが、しかしクレーターの周囲で石油が取れるということは、ある程度世界で定説のようになっているようですし、事実テレビでも報道されていることを見たことがあります。このクレーターと石油が取れるということの因果関係はどういう所にあるのでしょうか。

■ 古宇田

これは多田先生のご専門なのですが、石油の堆積層になぜ石油が入っているかというところ、石油を貯留するような地質構造ができるためです。小惑星が衝突することによって、そのような構造が出来ると、そこに有機物が動いてきて貯まるのです。実際に比較的多く探査されていて、結構よく見つかっています。しかし、スウェーデンの場合は駄目だったのです。それは、1980年代にボールドさんという方が石油というものは生物起源ではなく、地球深部のガスが出てきてそれが石油になるんだと

いう一連の論文を多く発表していました。この説に洗脳されてしまった、かわいそうな哀れな羊たちは、堆積層のないようなところばかりを探索していたのです。クレーターをいくつか見つけ、タールやアスファルトのようなものをほんのわずかだけ見つけたが、商業的採算が取れるようなものは見つかりませんでした。

石油形成の仮説が本当に正しいのかどうかということは、多田先生の言われている通りで、ちゃんと証拠を見つけなさい、証拠を見つけてからプロセスとして論理展開しなさい、とやるべきなのに、いきなり頭から仮説を信じ込んでしまった。その結果、ボーリング調査に何億円も投じてしまったのです。現在は、ノルウェーとロシアが協力して北極海で油田の開発を行っていますが、そちらの方は慎重で、やはり証拠を見つけなさいと、証拠をちゃんと見せなければお金も出さないよ、という姿勢でやっています。

■ 高橋

最後に日本スペースガード協会として、地球を護るためにどうしたらよいかということを考えていかなければいけません。そのために観測を行い、情報収集、それからリスクの分析と評価、そしてその結果を受けて、科学的に対策を立てなければならぬと思

うのですが、パネラーの方々に今我々は何をやったらよいかということを一言だけお聞きしたいと思います。

■ 吉川

やはり私は観測と、このよくなきちんとした知識を皆さん広く持って頂くことだと思います。

■ 古宇田

生きている間にもし衝突があればという話ですが、アポフィスクラスの場合には、あまり慌てふためかないで良いかと思います。もし吉川先生が東京のど真ん中に落ちるといった軌道計算をされたのであれば、私もパニック状態になって荷物をまとめて北海道に行こうかと思いますが。しかし本当に当たった場合でも、当たった場所の人たちは本当にお気の毒としか言いようがないのですが、それでも人類文明が減るとか、生物が絶滅するということは決してありません。今までにもチクシュルブのような巨大な小惑星衝突ではなくても、クレーターの直径が30kmクラスとか比較的大きなものがぶつかったという例はたくさんあります。けれども、それによって生物が完全に死に絶えたということはありません。多少の危険性はありますけれど、あまりパニックにはならず冷静に対処してゆけば良いかと思います。

同じく観測ですけれど、私の専門から言えば特に小惑星のスペクトル観測により、どのような物質であるかということを見積もることです。できるだけ確かなデータを公開し、小惑星のことを広く知っていただくことが必要と思います。

■ 中村

これまでに塊がぶつかったらどうなるかという経験則は作られてきましたが、ボソボソのものがぶつかったらどうなるかについては、よくわかっていません。こうしたケースの経験則を作りたいと思

います。

■ 多田

どう答えようか困ったのですが、強いて言うならば衝突があった場合どういったことが起こるかということを中心把握して、その対応をあらかじめ考えておくということなのかなと思います。

■ 高橋

小惑星衝突とは、地球にとって最大級のハザードとなりえる問題です。軌道計算、衝突実験、地球科学のそれぞれの分野で研究されている方々にお集まりいただき、小惑星衝

突について得られた知見を紹介していただきました。さらに、アポフィスをケーススタディーとして、直面したときの、地球環境への影響、どう地球を護っていったらよいかについての方向性を示していただきました。

スペースガードシンポジウムは、これで終了しますが、小惑星衝突によるハザードから地球を護るための活動は、これから始まります。皆様には、この活動に積極的に参加していただければと願っています。

本日は、どうもありがとうございました。



スペースガードシンポジウム