

# 天体の地球衝突問題とその対応

吉川 真

〈宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 〒252-5210 相模原市中央区由野台 3-1-1〉  
e-mail: yoshikawa.makoto@jaxa.jp



天体の地球衝突。この究極とも言える自然災害に対する関心が、1990年代以来、世界的に急速に高まってきた。天体の地球衝突問題を扱う活動は、スペースガード (Spaceguard) ないしプラネタリー・ディフェンス (Planetary Defense) と呼ばれている。現在、スペースガードに関しては、多くの天文台等での観測に加えて、国連、宇宙機関、民間といろいろなレベルでの活動が行われている。地球に接近する天体も、15,000個以上も発見されている。本報告では、天体の地球衝突問題に対するこれまでの経緯と現在の活動を紹介します、この問題への対応のポイントについて概説する。

## 1. 天体の地球衝突問題

天体の地球衝突問題を扱う活動であるスペースガード (Spaceguard)<sup>1)</sup>。この言葉は、SF作家のアーサー・C・クラーク (Sir Arthur Charles Clarke) が「宇宙のランデヴー」(原題 Rendezvous with Rama) で使ったのが最初と言われている。最近では、プラネタリー・ディフェンス (Planetary Defense) と呼ばれることもある。

天体が地球に衝突すること自体は、46億年にわたる太陽系の歴史を考えれば頻繁に起こっていることであり、特別なことではない。天体衝突というものが注目されだしたきっかけは、約6550万年前の恐竜を含む生物の大量絶滅が隕石によるものだという説が出されたことであろう。この説は、米国のウォルター・アルバレス (Walter Alvarez) とその父であるルイス・アルバレス (Luis Alvarez) らによって、1980年に発表されたものである<sup>2)</sup>。彼らは、中生代と新生代の境界にある地層 (K-Pg境界と呼ばれ、白亜紀 Cretaceous と古第三期 Paleogeneの境界にある) においてイリジウムの濃度が異常に高いことを発見し、これが巨大隕石の衝突によってもたらされたものだとした。そして、

この巨大隕石が恐竜など多くの生物を絶滅させた原因であるという説を唱えたわけである。1990年代にはいと、メキシコのユカタン半島の地下に、対応すると思われるクレーターが確認され<sup>3)</sup>、議論が続くことになる。このクレーターを作った天体の大きさは直径が10 km程度と考えられており、もしアルバレス父子の考えが正しいとすれば、たった10 kmの天体が地球に衝突しただけで、地球上の生物界はとんでもない影響を受けたことになる。

これを受けて1990年代では、天体の地球衝突ということへの関心が急速に高まり、センセーショナルな記事が書かれたり、小惑星や彗星が地球に衝突するというようなニュースが何度も流れたりした。実際、地球に接近する小惑星の発見数も増加したし、1994年7月にはシューメーカー・レビー・第9彗星が木星に衝突するなど、天体の地球衝突というものが現実的なものと認識されるようになった。そして、1996年3月には国際スペースガード財団 (The Spaceguard Foundation)<sup>4)</sup> が設立され、さらに同年10月には故磯部瑋三氏によって日本スペースガード協会<sup>5)</sup> が発足することになる (日本スペースガード協会については、本

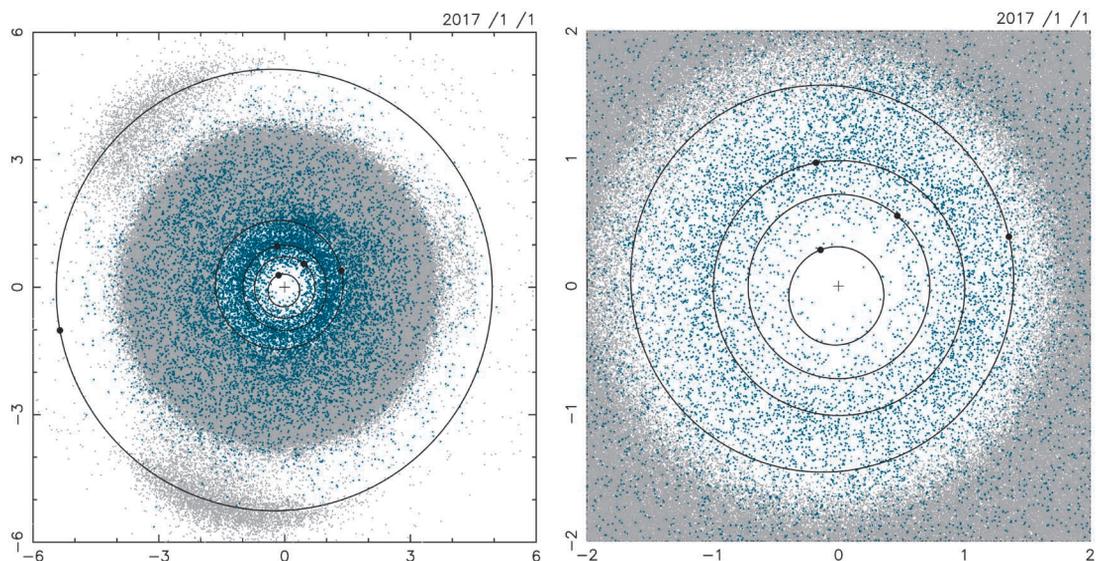


図1 小惑星の分布。2016年10月の時点で軌道が算出されている約72万個の小惑星について、2017年1月1日の位置を黄道面に投影したものである。灰色の点の小惑星で、青色の点が地球接近小惑星である。中心が太陽で、軌道は内側から水星・金星・地球・火星・木星を示す。左の図の中心付近を拡大したものが右の図である。軸の単位は天文単位 (au)。

特集の西山広太氏・奥村真一郎氏の記事を参照。これ以降のスペースガードに関する動きについては、3章で述べることにする。

地球に接近しうる天体を探し、もし地球衝突の可能性があれば対策を立てる、これがスペースガードの活動である。ここで地球に接近しうる天体のことを、NEOと呼ぶ。NEOとは、Near Earth Objectの頭文字を取ったものである。その定義は、近日点距離が1.3天文単位未満である小惑星や彗星である。このような天体については、地球への衝突を気にすべし、という意味で他の小天体と区別しているわけである。日本語では、直訳の「近地球天体」とか「地球近傍天体」と呼ばれることが多いが、ここではNEOのことを「地球接近天体」と呼ぶことにする。ほとんどのNEOは、常に地球の近くに存在するわけではないからである。なお、NEOのうち小惑星のみを考える場合

には、地球接近小惑星と呼ぶことにする。

現時点（2016年10月）で、約72万個の小惑星の軌道が算出されているが、その中の地球接近小惑星は15,000以上になる。図1に、2017年1月1日現在の小惑星と地球接近小惑星の位置を示す。この図で、火星軌道の内側にある天体は、ほとんどすべて地球接近小惑星と考えてよいが、地球接近小惑星は小惑星帯に広く分布していることもわかる。つまり、遠方から地球に接近してくる天体も多いのである。

なお、地球接近小惑星のうち、特に要注意である天体のことをPHA (Potentially Hazardous Asteroid)と呼ぶ。これは、地球軌道と小惑星軌道の間の最短距離が0.05天文単位以下で、かつ絶対等級<sup>\*1</sup>が22等以下（つまり、22等かそれより明るい）の小惑星である。絶対等級が22等以下とすると、小惑星の大きさがざっと100 mかそれ以上

\*1 太陽系天体における絶対等級とは、太陽および地球から1天文単位の距離にあり、位相角（太陽-天体-観測者がなす角）を0度と想定したときの視等級である。小惑星の場合、アルベドを仮定すると絶対等級から大きさが推定できる。

ということになる。厳密には大きさは小惑星の反射率（アルベド）によるが、いずれにしても、地球に衝突したら相当大きな被害を生じる天体で、かつ、現時点で地球軌道にかなり接近する軌道にある天体がPHAである。現在発見されている約15,000個の地球接近小惑星のうち、1,700個余りがPHAである。

## 2. 天体地球衝突の最近の事例

天体の地球衝突として記憶に新しいのは、2013年のチェリャビンスク隕石である。この年の2月15日、ロシアのチェリャビンスク州に隕石が落下し、生じた衝撃波によって、100 km以上にわたる範囲で窓ガラスが壊れるなどの被害を受けた。また、1,500人ほどが負傷したという。隕石の衝突から1カ月半後に高橋典嗣氏と一緒に筆者も現地調査を行ったが、被害の跡がまだ生々しく残っていた<sup>6)</sup>。衝突した隕石の大きさは正確にはわからないが、NASAの推定では直径が17 m、他の推定では直径が20 mという値もある。いずれにしても小惑星としては非常に小さいものであることは確かであり、それでも大きな被害が生じたわけである（チェリャビンスク隕石については、本特集の柳澤正久氏の記事を参照）。

天体の衝突によってこのように広い範囲で被害が生じたのは、ツングースカ大爆発以来のことであろう。このツングースカ大爆発と呼ばれる現象は、1908年6月30日に中央シベリアに衝突した隕石による爆発のことで、約2,000平方キロメートルにわたって樹木がなぎ倒されたという。このときに衝突した天体の大きさは、60 m程度と言われている。チェリャビンスク隕石は、ツングースカ大爆発ほどは威力が大きなものではなかったが、天体衝突による被害の大きさを改めてわれわれに認識させてくれた。

被害は生じなかったが、隕石の地球衝突として重要な最近の事例がさらに二つある。それは、2008 TC<sub>3</sub>と2014 AAという二つの小惑星の地球

衝突である。これらの小惑星の名称は、仮符号と呼ばれる記号で示されている。この記号の詳細な意味は省略するが、発見された年月と順番を示していると言ってよい。つまり、これらは2008年と2014年に発見された小惑星ということになる。

被害が生じなかったのにどうして重要なのかというと、これらは地球に衝突する前に発見され、軌道計算の結果、地球に衝突することが事前にわかった天体であるからだ。隕石は地球に多数落ちてきており、特に最近では隕石落下が目撃されたり写真に撮影されたりしていることが多い。しかし、それらは偶然に目撃されたり撮影されたりしたものなのである。事前に隕石の落下予想を行うことはなかなかできなかった。上記の二つの例は、観測され軌道が計算されれば、隕石の落下を正確に予測することは十分に可能であることを証明したものである。

隕石がいつどこに落下するのが事前にわかれば、仮に落下を阻止できないとしても、被害を最小限に食い止める試みはできる。隕石の落下予想ができていない理由は、地球に落ちてくる隕石が小さいため、宇宙空間で地球に向かってきているときに望遠鏡で観測しても見えない（撮影できない）ためである。実際、上記の二つの小惑星も、推定の大きさは2,3メートルという小さいものであり、発見されたのは地球衝突の20時間くらい前だった。しかし、発見されればすぐに軌道が推定されて地球に衝突することがわかり、衝突場所や時刻が予測できたわけである。

より大きな天体なら、より早く発見できるであろうから、かなり前に衝突がわかることになる。このことは、観測態勢を拡充していくことが重要であることを物語っている。ただし、チェリャビンスク隕石のように昼間の方向から天体が地球に接近する場合には、衝突直前には地上の望遠鏡では観測できない。このような天体については、前もって発見しておくか、あるいは後述するように宇宙からの観測を行う必要がある。

### 3. 国際的な動き

最初に述べたように1990年代から本格的に始まったスペースガードの活動であるが、2000年前後からは国際的な枠組みでの議論が活発化していくことになる。

まず、1999年にウィーンで開催された国連のUNISPACE III (Third United Nations Conference on the Exploration and Peaceful Uses of Outer Space) において、NEOが地球に与える影響を議論すべきであるという提言がなされた。これを受けて、COPUOS (国連宇宙空間平和利用委員会) の科学技術小委員会の中でNEOに関して議論を行うグループが作られ議論が開始されることになった。しばらく議論が続いた後、2013年2月に開催されたCOPUOSでの会合にて、NEOの地球衝突問題については、IAWNとSMPAGという二つのグループを作って具体的な議論をすることを提言することが決められた。そして同年12月、国連総会でこの提言が了承されたのである。2014年からはこれら二つのグループが活動を開始している。ちなみに、2013年2月のCOPUOSの会合には筆者も参加していたのであるが、まさにその会期中に、チェリャビンスク隕石の衝突が起こった。

IAWNであるが、これはInternational Asteroid Warning Network<sup>7)</sup> のことであり、地球に接近・衝突する天体を発見して軌道を確定し、さらに地球に衝突する場合には衝突位置・時刻を正確に予測することを主目的とする。国際天文学連合の小惑星センター (Minor Planet Center) を中心として、天文台など観測を行うことができる機関が主なメンバーとなって活動をしている。一方、SMPAGのほうであるが、Space Mission Planning Advisory Group<sup>8)</sup> のことであり、地球に衝突する天体が発見された場合にどのように衝突を回避するか、あるいは被害を最小にするかを検討することが主目的である。こちらは、各国の宇宙機関がメンバーとなっており、日本はJAXA (宇宙航空研究開発

機構) がメンバーとなっている。ちなみに、IAWNのほうは“アイワーン”、SMPAGのほうは“セムページ”のように発音されている。

このような国連をベースにした活動に加えて、Planetary Defense Conference (PDC) という国際会議<sup>9)</sup> も行われている。これは、天体の地球衝突問題について議論をする国際会議で、米国カリフォルニア州アナハイム (2004年) で最初の会合が行われ、その後、ワシントンDC (2007年)、スペイン・グラナダ (2009年)、ルーマニア・ブカレスト (2011年)、米国アリゾナ州フラッグスタッフ (2013年)、そしてイタリア・フラスカティ (2015年) と過去6回行われてきた。そして、2017年には東京で開催される予定である。地球に衝突しうる天体についての発見・物理観測に加えて、衝突回避、災害としての対応、社会的・政治的対応など、幅広い分野で議論がなされる。さらに特徴的なことは、架空の天体衝突を設定したうえでそれに対して参加者がどのように対応するのかを議論する“エクソサイズ”を会合の場で行うことである。このようなことを通して、実際の天体衝突に対する準備を行っているわけである。

以上は主に専門家を対象にしたものであるが、一般の人向けの動きも始まった。アステロイド・デイ (Asteroid Day) という試みである<sup>10)</sup>。これは、2015年から始まったものであるが、毎年6月30日を中心にして天体衝突に関連するイベントを世界中で行おうというものである。6月30日というのは、ツングースカ大爆発が起こった日にちに因んだものである。この活動は、ロックバンドQUEEN (クイーン) のギタリストであるブライアン・メイ (Brian May) 氏と映画監督であるグリゴリー・リヒター (Grigoriy Richters) 氏の二人が中心となって始めた異色のものであるが、一気に広がりを見せて、2016年では60カ国以上で200を超えるイベントが行われた。このようなイベントを行うことで、天体の地球衝突問題に対して正しい認識が広く伝わることを期待しているわ

けである。2016年6月と7月には、日本でも相模原市と倉敷市にてイベントが行われた。

このほか、アステロイド・デイの動きよりもかなり前になるが、2002年にB612財団（B612 Foundation）というものも設立されている<sup>11)</sup>。これは、天体衝突から地球を守るという目的で設立された民間の財団である。

このような国際的な動きと並行して、各国の宇宙機関等の動きもある。NASA（アメリカ航空宇宙局）は、スペースガードが広く認識される以前からNEOに関して取り組んでおり、Planetary Defense Coordination Officeを立ち上げるなど、かなりの予算を組んで対応している<sup>12)</sup>。また、同じく米国のJPL（ジェット推進研究所）は、Near Earth Object Program<sup>13)</sup>を立ち上げて活動している。欧州では、ESA（欧州宇宙機関）がNEOに関するCoordination Center<sup>14)</sup>を2013年に設置しており、欧州のNEOの中央拠点となっている。また、ピサ大学が中心となって、NEOの軌道情報を発信するWebサイトであるNEODyS-2<sup>15)</sup>を運営している。

日本では、日本スペースガード協会が活動を行っているほか、JAXA（宇宙航空研究開発機構）でNEOに関する国際対応を行っている。また、これらの機関に国立天文台などが加わって、アジア地域でのNEO観測を推進していくためにAPAON（Asia-Pacific Asteroid Observation Network）<sup>16)</sup>という組織を立ち上げている。APAONはまだ本格的な活動までは至っていないが、主にアジア地域の10以上の国や地域にある天文台や研究機関などの参加があり、ネットワークを組んでNEOの観測を行うことを目的に活動を行っている。

## 4. 天体の地球衝突への対応

この章では、天体の地球衝突という問題にどのように対応しているのか、つまりスペースガードという活動でどのようなことを行っているのかについて、その概要を紹介する。

### 4.1 まずは発見、そして軌道を精密推定

スペースガードの基本は、地球に衝突しうる天体を発見し、その軌道を精密に推定することである。天体の地球衝突という問題の場合、地球に衝突する天体の軌道を正確に推定することができれば、その天体がいつどこに衝突するのかが計算すればわかってしまう。厳密に言うと、軌道のカオス的な性質によりある程度先の未来になってしまうと誤差が増大して最終的には予測不可能になってしまうのであるが、例えば数十年ないし100年くらい先の衝突ならば、きちんと予測できるのである。つまり、現在のわれわれが災害回避の検討するにあたっては、現実的な期間での予測ができるわけである。天気予報や地震予測などでは、数日先でも予測が難しいわけであるが、これは対象となるシステムがどれだけ複雑なのかによる。幸いなことに天体衝突の場合には長期にわたる予測が可能なのである。

天体の衝突予測を行うためには、まずは地球に衝突する天体を発見する必要がある。NEOの観測は1990年代に入ると積極的に行われるようになり、NEOの発見個数が増大した。特に1998年頃からはNEO発見に特化した観測も始まり、その後さらにいくつかの観測プロジェクトが立ち上がったこともあって<sup>17)</sup>、NEOの発見個数が一気に増大していくことになる。1990年代初めには発見されていたNEOの数は200個にも達していなかったのであるが、2000年代初めには1,000個を超え、現在（2016年10月）では、15,000個を超えている（図2）。

天体が発見されたら、その天体の軌道を正確に推定する必要がある。正確に軌道を推定するためには、なるべく多くの観測が必要である。ということで、発見されたNEOについては、繰り返し観測が行われるが、この追跡観測も発見観測と同様に重要である。追跡観測によってデータが蓄積されていくと、その天体の軌道がより正確に推定されることになる。同時に、未来に向けての軌道

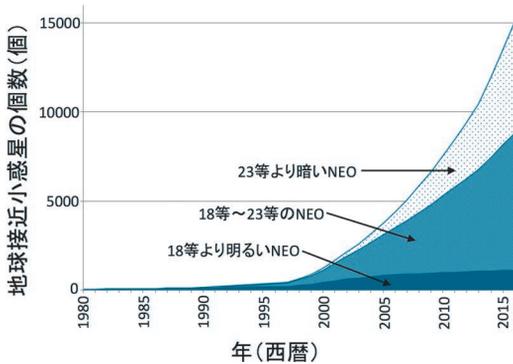


図2 地球接近小惑星の発見累積個数の推移。等級は絶対等級であり、小惑星の大きさに対応する。小惑星の大きさは小惑星表面のアルベド（反射率）によるが、アルベドを小さく0.05と仮定した場合、絶対等級18等は直径1,500 m、23等は150 mに相当する（マイナー・プラネット・センターが公開しているデータより筆者が作図）。

計算もなされて、地球に衝突する可能性があるかどうかチェックされるのである。

実際、多数のNEOが発見されてくると、地球に衝突しそうなものも結構でてくる。1990年代から2000年代にかけては、天体が数十年後といった近い未来に地球に衝突する可能性を報じたニュースが何度も流された。ただし、そのようなニュースは、軌道推定精度が悪い段階で流れることが多く、正確に軌道が推定されてみると地球には衝突しないということになることが常であった。いずれにしても、まずは発見し軌道を正確に推定すること、これがスペースガードの基本であり、現在、いくつかのプロジェクトがこの作業を行っているのである。

ただし、地上の望遠鏡での観測には一つ問題がある。それは、昼間は観測ができないことである。チェリャビンスク隕石のように、昼間の方向から接近するNEOについては、衝突の直前に発見することはできない。そこで、宇宙からの観測についての検討も行われている（宇宙望遠鏡による観測については、本特集の池永敏憲氏の記事を参照）。

#### 4.2 次に、物理的性質を把握

仮に、地球に衝突する天体が見つかったとしよう。その場合には、いかにしたら衝突を避けることができるかを検討することになる。もちろん、衝突までの時間に余裕があればであるが、その検討のためには、その小惑星の物理的性質が重要である。物理的性質とは、質量、サイズ、形、自転周期、自転軸の向き、構成物質、構造などである。これらの物理情報は、惑星科学としてNEOを研究するうえでも重要なものであり、これまでに多くの研究がある（NEOの物理特性については、本特集の浦川聖太郎氏の記事を参照）。

さらに、注目されているのが探査機による直接探査である。最初のNEO探査は、ニア・シューメーカー探査機による小惑星エロスの探査であった。ただし、エロスは差し渡し38 kmほどもある天体で、近い未来に地球に衝突する可能性はない。また、エロスに限らず、このように大きな天体が近い未来に地球に衝突する可能性はほとんどない。スペースガード的には、より小さいNEOが重要なのである。そのようなNEOを初めて詳細に探査したのが日本の「はやぶさ」なのである。「はやぶさ」が探査した小惑星イトカワは大きさが500 mほどの天体であるが、まさにこのような天体の地球衝突が心配なのである。「はやぶさ」の探査によって、イトカワが“がれき”の寄せ集め（ラブルパイル）の構造をしているということがわかったが、これはスペースガードにとっては非常に重要な情報となった。現在、「はやぶさ2」が小惑星リュウグウに、また米国のオサイリス・レックス（OSIRIS-REx）が小惑星ベンヌに向かっていくが、両方ともサイズが1 kmに満たないNEOである。これらの探査結果もスペースガードでは注目されている。

#### 4.3 そして、地球衝突回避へ

NEOの観測（発見観測・追跡観測・物理観測）と並んでスペースガードとして重要なことは、天体の地球衝突を避けることである。実は、これが

非常に難しい。映画などでよくあるように、地球に衝突してくる天体を爆弾やミサイルで破壊することは、あまり意味がない。天体を破壊できたとしても、その破片が地球に降ってくることになり、結局、大災害となってしまうのである。地球に衝突してくる天体は、破壊せずに軌道を変えればよい。そのためには、単純には探査機をその天体に衝突させて軌道を変えればよいのであるが、人類が打ち上げることができる探査機は小さい（軽い）ものであるため、相手の小惑星が大きかったり、衝突までの時間の猶予が少なかったりすると無理なのである。たとえば、地球に衝突してくる天体が100 mくらいの大きさで、衝突までに20年くらいの時間があれば、この方法で衝突回避はできるのであるが。

そこで、このような探査機を体当たりさせる方法だけでなく、いろいろな可能性が検討されている。例えば、なるべく重い宇宙船を天体にすぐそばに併走させて、万有引力によって天体の軌道をじわじわ変えていく方法とか、レーザー光線や太陽光でその天体の表面を溶かして吹き出たジェットの手で軌道を変えるとか。さらには核爆発を使うとか。しかし、衝突する天体が大きい場合や衝突までの時間が短い場合には、まだ決定的な衝突回避方法がないというのが実情である（地球衝突回避法については、本特集の山口皓平氏の記事を参照）。

#### 4.4 あるいは、被害を最小に

天体の地球衝突が回避できない場合、かつ、事前にいつどこに天体が衝突するかが予測できている場合には、被害を最小限に抑えることに専念することになる。これは、もちろん、恐竜絶滅のときのように地球上のどこに逃げてもダメな場合には意味がないのであるが。

このようなケースは、大きな天体の衝突ではなくて、むしろ小さな天体が地球衝突直前に発見された場合に対応することになる。2章で述べた2008 TC<sub>3</sub>や2014 AAというようなケースで、天

体のサイズがこれらよりもずっと大きくて被害が生じるような場合である。このような場合には、衝突までの時間的猶予が非常に短いことが想定される。したがって、いかに迅速に情報を伝えるかということと、いかに人々を避難させるかが課題である。また、天体の衝突情報によって該当地域の人たちがいかに混乱しないようにするかも大きな課題である。そのためには、天体衝突という問題について、正しい知識を広めておくことが重要である。

同時に、天体衝突によって何が起こるのかについてもよりの確に把握しておく必要がある。天体衝突を受ければ、建物などが破壊されるだけではなく、大量の物質が四方八方に飛び散る。また、大きな地震や巨大な津波<sup>18)</sup>も起こる可能性がある。どのようなことが起こるのかによって、避難の指示も異なることになる（天体衝突による物質放出については、本特集の黒澤耕介氏の記事を参照）。

天体の衝突というと、規模が大きいただけに、なかなか想像できないかもしれない。衝突の規模が変わると被害がどのくらい変わるのか、天体大きさや衝突地点からの距離などを入力すると、衝突物理の知見に基づいてその場所の被害を計算してくれる“Impact: Earth!”というWebサイト<sup>19)</sup>がある。関心のある方は、参考にしてみるとよい。

## 5. 人類としての危機管理

天体の地球衝突は、被害が生じないような小さな天体なら流れ星や小さな隕石として頻繁に起こっていることであるが、甚大な被害を被る大きな天体衝突は滅多に起こらない。このような低頻度巨大災害に対して、われわれがどのように向き合っていくのがよいか、なかなか難しい問題である。しかし、本文でも述べたように、天体の地球衝突は、予測可能な自然災害である。あらかじめ地球接近天体であるNEOをすべて把握できれば、地球衝突が起こるかどうかが、起こるとした

らいつどこに衝突するかは計算でわかるのである。天体衝突がひとたび起これば大災害になることを考えれば、対策可能なことについては今のうちに手を打っておくべきであろう。

NEOを把握しておくことは、スペースガードだけでなく、惑星科学や宇宙資源、そして人類の宇宙進出にも役に立つ可能性がある。現在のわれわれがNEOを把握しておくことは、未来の人類のためになる。まさにいろいろな意味での人類としての危機管理とすることができる。

## 謝 辞

“Impact: Earth!”というWebサイトにつきましては、黒澤耕介氏から紹介していただきました。また、本特集に寄稿いただきました著者の皆さまに感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 吉川真, 山口智宏, 2013, 「スペースガード」とは何か, 日本惑星科学会誌「遊星人」, Vol. 22, No. 4, p. 214
- 2) Alvarez L. W., Alvarez W., Asaro F., Michel H. V., 1980, *Science* 208, 1095
- 3) Hildebrand A. R., Penfield G. T., Kring D. A., Pilkington M., Camargo Z. A., Jacobsen S. B., Boynton W. V., 1991, *Geology* 19, 867
- 4) <http://spaceguard.rm.iasf.cnr.it>
- 5) <http://www.spaceguard.or.jp>
- 6) 高橋典嗣, 吉川真, 2013, チェリャビンスク隕石の現地調査報告, 日本惑星科学会誌「遊星人」, Vol. 22, No. 4, p. 228
- 7) <http://iawn.net>
- 8) <http://www.cosmos.esa.int/web/smpag>
- 9) <http://pdc.iaaweb.org>
- 10) <http://asteroidday.org>
- 11) <https://b612foundation.org>
- 12) <http://www.nasa.gov/planetarydefense>
- 13) <http://neo.jpl.nasa.gov>
- 14) <http://neo.ssa.esa.int>
- 15) <http://newton.dm.unipi.it/neodys>
- 16) <http://www.spaceguard.or.jp/apao/>
- 17) 浦川聖太郎, 高橋典嗣, 浅見敦夫, 西山広太, 奥村真一郎, 坂本強, 橋本就安, 三輪田真, 布施哲治, 吉川真, 2013, スペースガード観測の現状, 日本惑星科学会誌「遊星人」, Vol. 22, No. 4, p. 222
- 18) 後藤和久, 飯嶋耕崇, 和田浩二, 今村文彦, 常昱, 2013, 海洋への隕石落下に伴う津波リスク評価, 日本惑星科学会誌「遊星人」, Vol. 22, No. 4, p. 207
- 19) <https://www.purdue.edu/impactearth>

## Collisions to the Earth by Celestial Bodies and How to Cope with This Issue Makoto YOSHIKAWA

*Institute of Space and Astronautical Science,  
Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1  
Yoshinodai, Chuo-ku, Sagami-hara 252-5210,  
Japan*

Abstract: Since collisions to the Earth by celestial bodies can be the largest natural disaster, this issue has attracted the peoples interest since 1990's. The activities to protect the Earth and human from the collisions of celestial bodies are called spaceguard or planetary defense. At present, there are a lot of activities in various levels such as the United Nations, space agencies, private organizations, and etc. The number of the discovered NEOs (Near Earth Objects) has reached more than 15,000 now. In this report, we summarize the progress up to now and the current situation related to the spaceguard, and show what we should do for this issue.