

第16回自然科学研究機構 シンポジウム

天体衝突と生命進化



A. Gerashev

©池下章裕

2014年3月8日土

10:30~17:00(開場 10:00)

会場 名古屋市科学館サイエンスホール

NINS
National Institutes of Natural Sciences

プログラム

PROGRAM

イントロダクション

10:30~11:00

10:30~10:40 機構長挨拶

自然科学研究機構 機構長 佐藤 勝彦

10:40~11:00 チェリヤビンスク隕石:何が起きたのか?

国立天文台 教授 渡部 潤一

講 演

11:00~16:00

11:00~11:50 地球接近天体とスペースガード

JAXA/ISAS 准教授・日本スペースガード協会 吉川 真

昼休み(70分)

13:00~13:50 天体衝突で何が起こるのか 一衝突の物理と地球への影響一

東京大学 教授 杉田 精司

13:50~14:40 天体衝突が残した地質学的痕跡

熊本大学 准教授 尾上 哲治

休憩(20分)

15:00~15:50 史上最大の大量絶滅とプルームの冬

東京大学 教授 磯崎 行雄

休憩(10分)

パネルディスカッション

16:00~16:50

立花 隆、吉川 真、杉田 精司、尾上 哲治、磯崎 行雄、渡部 潤一

閉 会

16:50~17:00

閉会挨拶

国立天文台 台長 林 正彦

※講演題目は全て仮題であり、講演者が変更する場合もあります。

機構長挨拶



自然科学研究機構 機構長

さとう かつひこ
佐藤 勝彦

1974年京都大学大学院理学研究科博士課程修了。京都大学理学部助手、北欧理論物理学研究所(Nordita)客員教授を経て、82年東京大学理学部助教授、88年東京大学大学院理学研究科教授、97年理学系研究科ビッグバン宇宙国際研究センター長(～99年、2001～05年)、99年大学院理学研究科長・理学部長、2010年より現職。2014年より日本学士院会員。
専門は宇宙物理学、宇宙論。



チェリヤビンスク隕石： 何が起きたのか？

国立天文台 教授 渡部 潤一
わたなべ じゅんいち

2013年2月15日午後0時15分頃(日本時間)、ロシア連邦ウラル連邦管区チェリヤビンスク州に大型の隕石が落下した。落下は太陽の明るさを越えるような巨大な流星として目撲された。この隕石の落下は、多くの車載カメラ等に捉えられていたため、その軌道や落下前の大きさの推定などが即座に行われた。その結果、地球突入前の大ささは直径17-20mほどと推定される、岩石質の小惑星が、秒速19km程度の速度で地球に衝突してきたことがわかった。隕石そのものは、上空約20km付近ではばらばらに分裂し、多数の破片を生みだした。それらの分裂した隕石破片も回収され、分析が行われている。

特筆すべきは、その隕石落下のエネルギーである。トリニトロトルエン火薬換算で500キロトン、つまり広島原爆の25倍に達したとされている。発生した衝撃波は、数分後に地上に達し、大きな被害をもたらした。約4千5百件の建物で窓ガラスが割れたり、ドアが吹き飛んだりして、負傷者は1500名を越えた。衝撃波は地面を揺らし、大気を振動させ、世界中の地震計等に記録され、地球を一周したほどである。いずれにしろ、隕石落下を原因とする災害では、有史以来初の大規模な人的被害をもたらした事例である。

この隕石落下から遅れること16時間後の2月16日午前4時25分(日本時間)、小惑星2012DA₁₄が地球に2万キロメートル台にまで接近した。この接近距離は気象衛星や放送衛星などの静止衛星の軌道より内側である。こちらは直径45mほどと推定されており、これほど大きな小惑星が、この至近距離まで地球に接近するのは極めて珍しいことだった。

これらが相次いで起きたことから、両者には関係があるのではないかと疑われたが、軌道を見る限りは無関係である。2012DA₁₄は既知のものだったが、隕石になった小惑星は未発見だった。その意味では、地球の周囲には、これだけ多数の小惑星が存在し、まだ被害を及ぼすような天体衝突が起こり得ることを実感させる事件であったといえるだろう。

KEYWORDS

流星：砂粒程度の大きさの天体が大気に猛スピードで突入し、大気密度が濃くなる上空100kmあたりで圧縮加熱によって高温となり、光を発して、秒のオーダーで蒸発してしまう現象。

隕石：流星の中でもサイズも密度も大きく、最終的に燃え尽きずに残存物が地上に落下したもの。

衝撃波：超音速で飛ぶ物体が作り出す圧力波。急激に減衰すると共に音波(ソニックブーム)となって、ドーンという爆発音のように聞こえる。



図1 ロシア・チェリャビンスクに落下した隕石によって生じた痕跡。(Uragan. TT 提供)。



図2 地球に接近した2012DA14の姿。
(国立天文台天文情報センター)

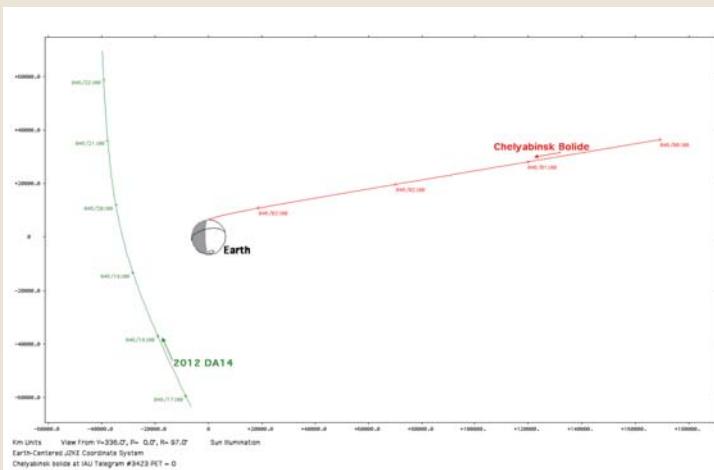


図3 小惑星2012DA14と、チェリャビンスク隕石の地球に対する接近の軌跡の違い(NASA)。

PROFILE

自然科学研究機構国立天文台副台長(総務担当)、教授、総合研究大学院大学教授。理学博士。東京大学大学院理学系研究科天文学専門課程博士課程中退、1987年東京大学東京天文台助手、1994年国立天文台広報普及室長、2006年同天文情報センター長を経て、2012年より現職。専門は太陽系天文学。広報にも長く携わる。「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)など著書多数。



地球接近天体と スペースガード

JAXA/ISAS 准教授・日本スペースガード協会 よしかわ まこと 吉川 真

1801年に最初の小惑星Ceresが発見されたが、その後現在(2014年1月)までの200年余りの間に63万個以上の小惑星が発見され、その軌道がリスト化されている。特に、1999年以降、小惑星の発見が急増するが、これは地球に接近・衝突するような天体を探そうという観測が本格化したためである。現在は1万個を超える地球接近小惑星(NEO:Near Earth Object)が発見されている。これらの天体が今すぐに地球に衝突するわけではないが、100m以下の小さいNEOについてはまだ発見されていない天体が非常に多くあり、地球への衝突が心配されている。そのような中で、2013年2月15日、ロシア・チェリャビンスクに隕石が衝突し、大きな被害が生じたわけである。

天体の地球衝突を扱う活動を「スペースガード(Spaceguard)」と呼ぶ。この活動が本格化してから20年以上が経過した。スペースガードの活動としては、NEOを発見・追跡観測をし、その軌道を決定して地球への衝突があるかどうかを確認することと、実際に地球に衝突する天体があったときにその衝突をどのように回避するかを検討することの2つがある。観測の方は上述のようにかなり進んできているが、チェリャビンスク隕石程度の大きさの天体まで対応しようすると観測できているのはほんの一部に過ぎない。天体の衝突回避の方は、アイディアはいろいろ考えられてはいるが、技術的には難しい状況である。実際にある程度大きな天体が地球に衝突すると大きな自然災害となるわけであるから、国連でもCOPUOS(国連宇宙空間平和利用委員会)などでスペースガードの議論が10年以上に渡って行われており、2014年からは新たな対応が行われることになった。ここでは、地球接近天体やスペースガードの活動についてまとめて、問題点や今後について議論する。

KEYWORDS

地球接近天体 : 英語ではNEO(Near Earth Object)と呼ばれている小惑星ないし彗星である。その定義は、軌道の近日点までの太陽からの距離(つまり太陽への最接近距離)が1.3天文単位以下になる天体である。このような天体が、地球に衝突する可能性がある。近地球天体とか地球近傍天体とも呼ばれている。

スペースガード : 天体の地球衝突問題に対応しようとする活動。1990年代半ばからその活動が本格化した。地球に接近する天体を発見し軌道を正確に決定する活動や、地球に衝突する天体の衝突回避の方法や社会的影響についても検討を行っている。

COPUOS : 国連宇宙空間平和利用委員会(United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)。スポーツニクが打ち上げられた直後に発足した国連の委員会である。宇宙空間の平和利用のために科学技術と法律の問題の議論を行っている。科学技術小委員会と法律小委員会があり、NEOの問題は科学技術小委員会の中に設置されたアクションチームで議論されている。

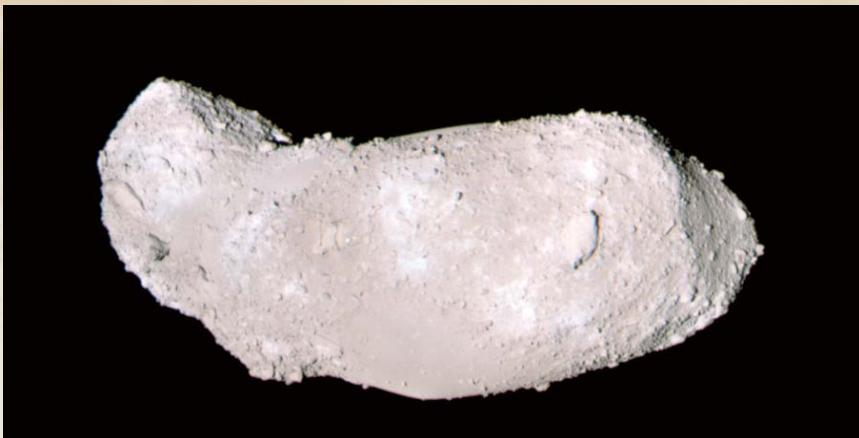


図1 小惑星探査機「はやぶさ」によって撮影された小惑星イトカワ。500m程度の大きさのNEOである。

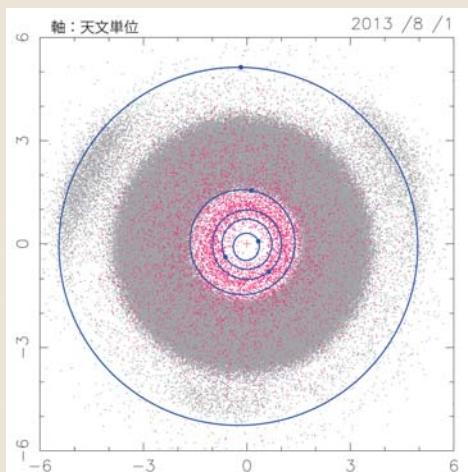


図2 小惑星とNEOの分布。2013年初めまでに軌道が算出された小惑星を灰色で、その中のNEOを赤で示す。中心が太陽で、軌道は水星から木星である。天体の位置(2013年8月1日)と軌道は黄道面(地球の軌道面)に投影したものである。(ローレル天文台が公開している軌道データより筆者が作図)

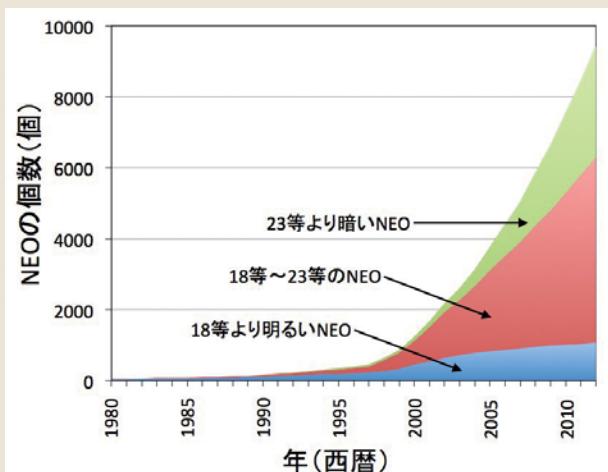


図3 軌道が算出されたNEOの累積個数。等級は絶対等級※であり、小惑星の大きさに対応する。小惑星の大きさは小惑星表面のアルベド(反射率)によるが、アルベドを小さく0.05と仮定した場合、絶対等級18等は直径1500m、23等は150mに相当する。(マイナー・プラネット・センターが公開しているデータより筆者が作図。)

※太陽系天体の絶対等級とは、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)が0度と仮定したときの視等級である。

PROFILE

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所准教授。理学博士。1984年東京大学理学部天文学科卒業。同大学院博士課程修了。日本学術振興会の特別研究員を経て、1991年から郵政省通信総合研究所に勤務。1998年に文部省宇宙科学研究所に異動。2003年10月からは、組織の統合により現職。専門は天体力学。「はやぶさ」のプロジェクトサイエンティスト・プロジェクトマネージャ、「はやぶさ2」のプロジェクトマネージャ等を経て、現在は「はやぶさ2」のミッションマネージャを勤めている。スペースガードには、その活動が始まった当初から関わっている。



天体衝突で何が起こるのか —衝突の物理と地球への影響—

すぎた
東京大学 教授 杉田 精司

1908年に起きたツングースカ事件以来で最大の規模を持つ今回のチェリヤビンスク隕石落下事件は、落下場所が都市近郊であったために、車載カメラなどの電子機器によって大隕石が大気中を高速飛翔する姿の詳細が克明に捉えられました。また、落下隕石も回収されて詳細に分析されました。そのようなことは歴史上初めてのことです。

実は、小惑星が地球などの惑星に衝突すること自体は、太陽系の歴史を通して普遍的に起きてきたことで、特に珍しいことではありません。実際、直径5~6mの隕石が毎年1個程度は地球大気に突入して燃え尽きていくことが衛星観測などから分かっています。また、中生代末の大量絶滅が巨大隕石衝突で引き起こされたことは、ほぼ確実と考えられており、その際にできた巨大クレーターも発見されています。他の惑星の表面にも、巨大隕石の衝突の跡は、衝突クレーターという形で数多く見ることができます。特に、非常に分厚い大気をまとう金星には、今回のような大気中で爆発を起こした大隕石の痕跡が多数残っています。これらの衝突の痕跡を研究することによって天体衝突の物理過程はかなり詳しく研究されてきました。その結果、天体衝突は生命の起源や進化に大きな影響を果たしてきた可能性が高いことも分かってきました。

これら過去の研究に照らし合わせたとき、今回の落下事件の観測から何が新しく分かったのでしょうか?様々なことが分かったのですが、大変重要な問題として破壊強度の矛盾が非常に深刻だったことが挙げられます。衝突天体が、自分の破壊強度より何桁も低い空気抵抗を受けただけで破壊してしまったのです。これは、小惑星の破壊強度か、大気中を飛ぶ小惑星が受ける力かどちらかの推定が大幅に間違っていることを示しており、小惑星の内部構造を理解する上でも、小惑星衝突の危険性を正しく理解する上でも重大な問題です。この問題は、宇宙航空研究開発機構のハヤブサ2探査機、米国航空宇宙局のオシリス・レックス探査機など各国がしのぎを削っている小惑星探査の観測内容にも影響するかもしれません。

本講演では、これまでの惑星探査や室内実験などで分かってきた天体衝突過程の最新の研究成果に触れつつ、チェリヤビンスク隕石衝突がもたらしたこの新しい問題について解説します。

KEYWORDS

ツングースカ爆発事件：ロシアの中央シベリアで起きた巨大な爆発事件。約40km四方もの広大な地域(山手線域に匹敵)で樹木が爆風によってなぎ倒され、爆発に由来する光は遠くヨーロッパ西部にも届いた。高速で飛来した小天体が地球大気中で爆発したことが原因であると推定されているが、その小天体が彗星なのか小惑星なのかなど詳細については未だに論争が続いている。

普通コンドライト：地球上で最も多く見つかる隕石種である。岩石質で炭素に乏しいのが特徴。チェリヤビンスク隕石は普通コンドライトであり、その中でも小惑星イトカワ(日本の探査機はやぶさが調査した小惑星)と同じLLタイプであった。



図1 ツングースカ爆発事件でなぎ倒された樹木(Leonid Kulik氏提供)。爆心地を中心にして外側に向かって樹木がなぎ倒されている。ただし、樹木がなぎ倒された地域(爆風域)は円形ではなく、蝶が羽を広げたような形(角の取れた台形)をしている。爆風域のこの形状と大きさは、直径60mほどの小天体が大気に斜めに突入して高度8kmほどで爆発した際に生じる衝撃波で再現できることが分かっており、ツングースカ爆発事件の天体空中爆発説の有力な根拠の1つになっている。しかし、彗星のように脆い天体が8kmという低空まで形を留めて高速飛行することは難しい。その一方で、巨大な夜光雲が生じるには彗星衝突が必須との指摘もある。

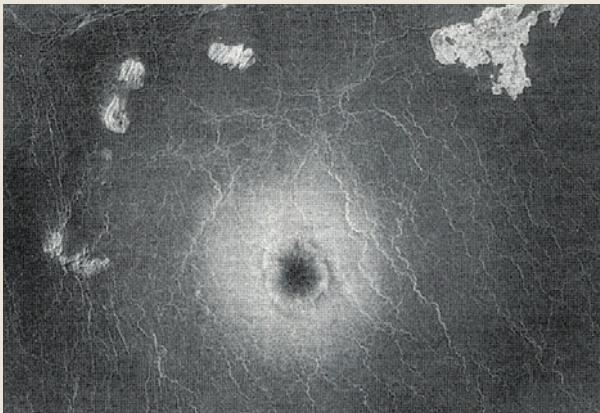


図2 NASAのマゼラン(Magellan)探査機のレーダーが捉えた金星の地表に残る大隕石の空中爆発の痕跡。中央の黒い部分は、蒸発や分裂過程で生じた隕石の粉末が堆積してきた。その周りの白い領域は、隕石の爆発で生じた衝撃波によって金星表面の表土が剥ぎ取られて凹凸が多くレーダー反射率の高い基盤岩が露出したものと推定されている。

図3 高速衝突実験の高速カメラの連続画像。画像間隔は30マイクロ秒。画像は差し渡し約80cm。弾丸はチェリャビンスク隕石の1／3程度の速度で画面左上方から進入し、画面右下に置かれた標的に衝突している。衝突の下流方向に向かって、非常に明るい火球が高速で飛散した後に、半球形状をした画面では黒色に見える低温の衝突蒸気雲が膨張するのが見える。さらにその後に、ほとんど衝突加熱の影響を受けないイジェクタの放出が起きる。チェリャビンスク隕石のように空中で爆発しない場合には、地表面との衝突が起き、図のように、様々な現象が生じる。



PROFILE

東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻教授 博士(Ph.D.)。1990年 東京大学理学部地球物理学学科卒業、1998年 米国ブラウン大学地球科学科 博士課程修了(Ph.D.)。米国航空宇宙局エイムズ研究センター招聘研究员、東京大学助手、准教授などを経て、2009年より現職。専門は惑星科学。地球を含む惑星の起源と進化を研究。天体間の高速度衝突の基礎物理解明に力を入れている。現在は、はやぶさ2号機光学カメラ主任研究者も務める。



天体衝突が残した 地質学的痕跡

熊本大学 准教授 尾上 哲治

おのうえ

てつじ

2013年2月のロシア・チェリャビンスク州における隕石落下の映像をみて、「今後さらに巨大な隕石が地球に落下したら、人類はどうなるのだろうか?」と考えた人は多いと思います。このような問いに説得力をもって答えるには、過去の天体衝突の記録を解読し、衝突によって引き起こされた環境変動の実体を知る必要があります。

天体衝突を記録した有名な地層として、今から約6600万年前の白亜紀/古第三紀境界があげられます。白亜紀/古第三紀境界の天体衝突による大量絶滅説が提唱されてから、多くの研究者が、他の地質時代からも天体衝突の痕跡が見つかるはずであると考え、探索を進めてきました。しかし、実際に研究対象になりうる天体衝突の地層は、白亜紀/古第三紀境界と3500万年前の始新世後期以外からはみつかっていません。そのため、生物大量絶滅を引き起こすほどの巨大な天体衝突は、白亜紀/古第三紀境界だけだったのではないかと考えられるようになってきました。

ところが最近になって、今から約2億1500万年前(三疊紀後期)の天体衝突の痕跡が、日本の地層から発見されました。天体衝突の証拠は、岐阜県坂祝町の木曽川川岸に露出する「チャート」とよばれる岩石中に残されています。推定された衝突天体のサイズは直径3.3–7.8 kmと巨大なもので、この衝突が当時の地球環境に大きな影響を与えたことが予想されました。本講演では、新たに発見された巨大天体衝突の地質記録を中心に、地層から過去の隕石衝突を解読する研究について紹介します。

KEYWORDS

三疊紀：前期、中期、後期の3つの時代に細分される。このうち三疊紀後期は、今から2億~2億3700万年前の期間をさす。この時代の特徴として、それまで陸上生態系で主要な位置を占めていた哺乳類型爬虫類が絶滅し、代わりに恐竜が進化発展したことがあげられる。最古のは乳類化石が発見された時代としても有名である。

チャート：二酸化ケイ素を主成分とする硬く緻密な珪質堆積岩の総称。主に放散虫とよばれる二酸化ケイ素の骨格を持つ海生浮遊性プランクトンの死骸が、陸域から遠く離れた深海で降り積もってできた地層である。



図1 頓石衝突が記録された粘土層の写真。
岐阜県坂祝町の木曽川右岸。

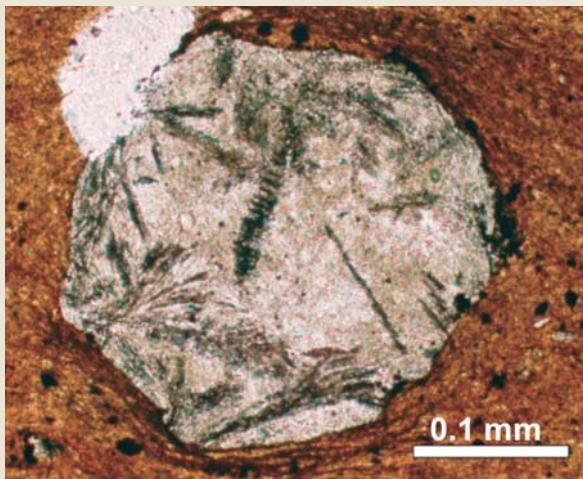


図2 頓石衝突により形成された球状のスフェルールの光学
顕微鏡写真。

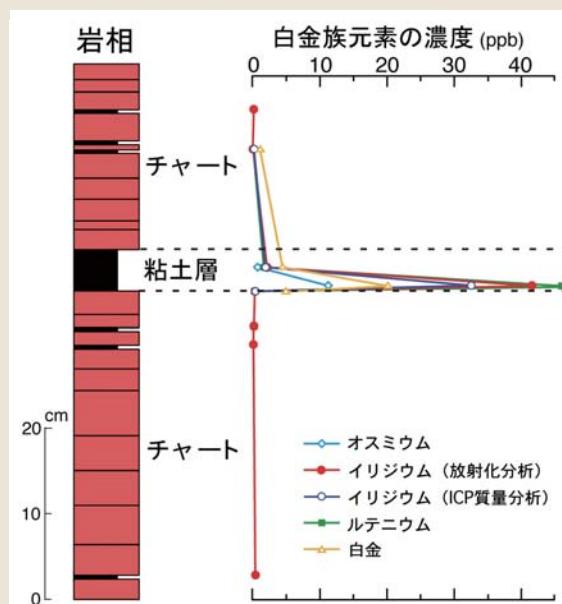


図3 岐阜県坂祝における白金族元素
濃度の垂直変化。チャートに挟ま
れた粘土層に白金族元素が非常
に高い濃度で含まれる。

PROFILE

熊本大学大学院自然科学研究科地球環境科学講座准教授。博士(理学)。2000年熊本大学教育学部地学教室卒業。2005年九州大学大学院博士課程修了。2005年鹿児島大学理学部助手、同大学助教を経て、2013年より現職。専門は地質学。特に堆積学。現在は地層に記録された地球外物質付加の記録に関心を持つ。2012年日本地質学会小藤賞、2013年日本地質学会小澤儀明賞受賞。



史上最大の大量絶滅と プルームの冬

東京大学 教授 いそざき ゆきお 磯崎 行雄

惑星地球の体積の約80%を占めるマントルは、固体の岩石からできている。ただし、硬い岩石とはいえ、長い地質学的時間ではゆっくり流動する。マントル内での大規模な流動は、地球内で最大の物質およびエネルギーの移動であるが、表層で起きるプレートテクトニクスとは異なり、その動きは定常的ではない。特に、相対的な高温部が浮力を得て、大規模かつ間欠的に核・マントルから地表へ上昇する部分をスーパープルームと呼ぶ。

地球表層の生命および生命圏環境は脆弱で、固体地球の大変化が起きると、その運命は激しく揺さぶられる。過去に起きた生物の大量絶滅およびその直後に起きた大進化事件は、正にその証左である。約2億5千万年前の古生代／中生代(P-T)境界において史上最大規模の絶滅が起こり、当時の海や陸に生息した多様な動物が一斉に姿を消した。恐竜が絶滅した6千5百万年前の中生代／新生代境界よりも遙かに大規模な事件だったが、その原因については未解明である。これまでの研究で、P-T境界前後におきた重要なグローバル事件として、最近5億年間で最低となった海水準低下と大規模マグマ活動がある。前者はグローバル寒冷化を意味する。一方、大規模な火山活動はスーパープルームや超大陸パンゲアの初期分裂に関連するが、その主要噴出時期は明らかに生物多様性の減少より遅く、絶滅の直接的原因にはなりえない。

演者は、絶滅の時期に先行してマントルのさらに内側にある金属核でおきた変化に注目している。古生代末ペルム紀中期の終わりに地磁気の逆転パターンが大きく変わった。それまで長期安定していた極性が急に激しく入れ替わるようになった。これは、液体金属からなる外核の対流パターンが変化したことを記録しており、おそらく地球磁場強度が低下したことを示唆する。生物絶滅、寒冷化、異常マグマ活動、そして地球磁場変動という、いずれもグローバルな事件を整合的に説明するため提案された統合版「プルームの冬」シナリオを紹介する。過去の地質記録は、地球表層の温暖化／寒冷化を決定したのは地球磁場強度と銀河宇宙線の流入量であって、大気中の二酸化炭素濃度変化はほとんど効いていないことを示している。

KEYWORDS

大量絶滅：きわめて短期間に世界中の生物の多様性が(個体数ではない)減少した過去の事件で、グローバル環境変化の結果とみなされる。現代のパンダやトキのような局所的かつ特定の動物の絶滅とは異なる。

海水準変動：過去の地層は、グローバルに数100mに及ぶ大規模海水準変動が何度も起きたことを記録している。

地磁気：地球内の外核では流体の金属(鉄・ニッケル)が対流しているため、磁場が発生する。地球自転と関連するので、通常は回転軸に近い双極子磁場をつくる。

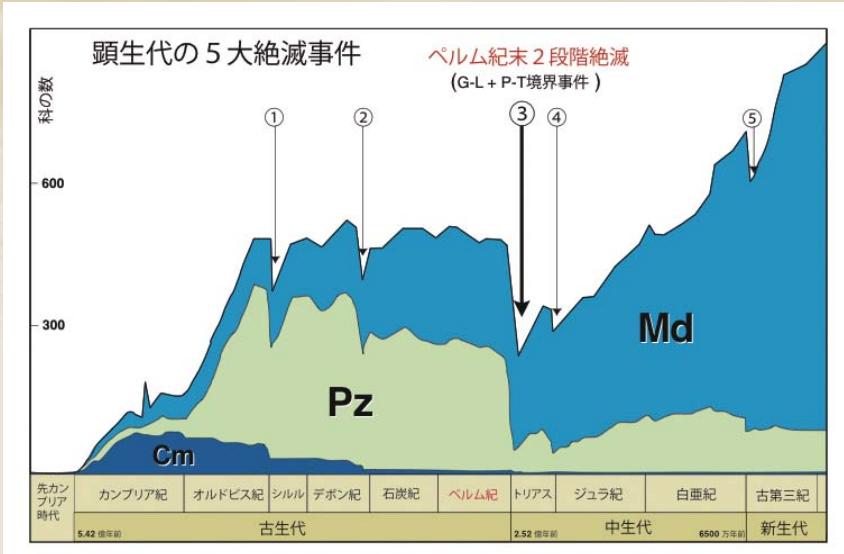


図1 頓生代の生物多様性変化

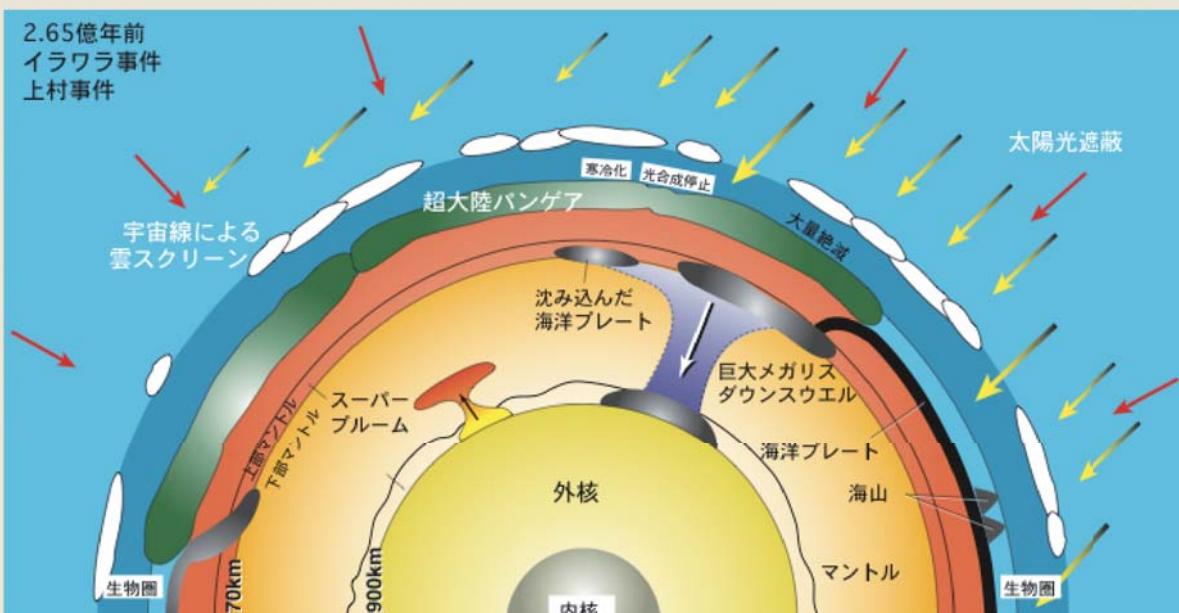


図2 統合版プルームの冬シナリオ

参考:磯崎行雄, 2012: 大量絶滅・プルーム・銀河宇宙線:統合版「プルームの冬」シナリオ. 生命の科学遺伝 66-5, 492-493; 中島林彦, 2013. 大絶滅と復活:古生代末に何が起きたか. 日経サイエンス2013年10月号, 32-41.

PROFILE

東京大学大学院総合文化研究科教授。理学博士。大阪市立大学大学院理学研究科後期博士課程中退。1981年山口大学理学部助手、1993年東京工業大学理学部助教授、2000年より現職。専門は地質学、特にテクトニクスと生命史。Geological Society of America, Fellow。「生命と地球の歴史」(岩波新書、共著)。

パネルディスカッション

- ・立花 隆 ジャーナリスト
- ・吉川 真 JAXA/ISAS 准教授・日本スペースガード協会
- ・杉田 精司 東京大学 教授
- ・尾上 哲治 熊本大学 准教授
- ・磯崎 行雄 東京大学 教授
- ・渡部 潤一 国立天文台 教授



ジャーナリスト
たちばな たかし
立花 隆

1964年東京大学仏文科卒業。同年文藝春秋社に入社。66年文藝春秋社退社。67年東京大学哲学科に入学、フリーライターとして活動を開始する。95～98年東京大学先端科学技術センター客員教授。96～98年東京大学教養学部非常勤講師として、第一次立花ゼミ「調べて書く」ゼミを開講。2005年東京大学大学院総合文化研究科特任教授就任を機に、第二次立花ゼミを開講。07年～10年立教大学21世紀社会デザイン研究科特任教授、08年～11年立教セカンドステージ大学特任教授、11年～12年同大学客員教授。07年より東京大学大学院情報学環特任教授に就任し、第三次立花ゼミを開講（ゼミ指導は10年まで）。ジャーナリスト・評論家として多くの著作をもつ。

閉会挨拶

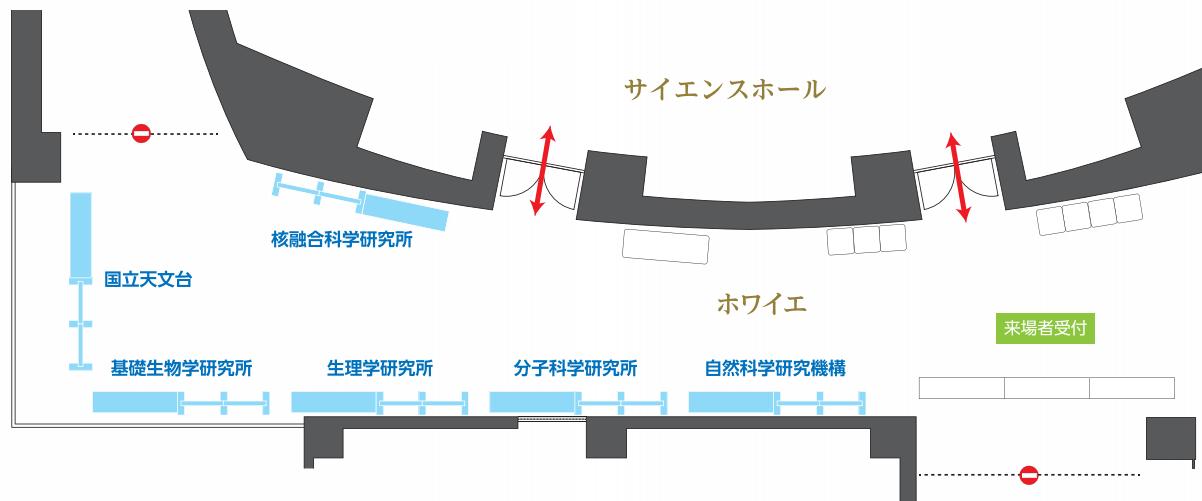


自然科学研究機構 副機構長／国立天文台 台長
はやし まさひこ
林 正彦

1986年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。同年日本学術振興会奨励研究員、87年東京大学理学部助手、94年国立天文台大型光学赤外線望遠鏡計画推進部助教授、98年国立天文台ハワイ観測所教授、06年自然科学研究機構国立天文台ハワイ観測所長、10年東京大学大学院理学系研究科教授を経て、2012年より現職。
専門は電波天文学。

MEMO

展示会場 案内図



LIVE配信(Ustream)

下記WEBサイトよりご視聴いただけます。

<http://www.nins.jp/sympo16.php>

写真等の撮影について

当イベントで撮影した写真・映像・音声等は当機関のホームページ上又はプレス発表、広報誌等に公表する場合がありますので、予めご了承下さい。

自然科学研究機構シンポジウム・メールマガジン

<http://www.mag2.com/m/0001498331.html>

会場

名古屋市科学館サイエンスホール

愛知県名古屋市中区栄二丁目17番1号 芸術と科学の杜・白川公園内

主催:大学共同利用機関法人自然科学研究機構 <http://www.nins.jp/>

共催:名古屋市科学館



文部科学省

本シンポジウムは、文部科学省の研究大学強化促進事業の支援を受けて行われます。