

9月中旬、夜9時半ごろ、南の空にはひときわ明るい星が見えます。木星です。そして日付が変わる前には、火星が東から昇ってきます。今回取り上げている小惑星帯は、木星と火星の間にあります。無数の非常に小さい石ころなので、もちろん肉眼で見ることはできません。しかしこれらは、太陽系の成り立ちを語ってくれる重要な天体です。さあ夜空を見上げて、「目には見えないけれどそこにあるものたち」に思いを寄せてみませんか。



小惑星帯の冷たい外縁は、巨大氷惑星の移動によって形成されたのかもしれない。

## NEWS nature news

語数：489 words 分野：宇宙・惑星・太陽系

Published online 15 July 2009 | Nature | doi:10.1038/news.2009.693

<http://www.nature.com/news/2009/090715/full/news.2009.693.html>

# Asteroid belt's icy fringe explained

'Primordial objects' may have been captured during planetary realignment.

Geoff Brumfiel

1. A reshuffle of the planets in the **early Solar System** may explain how ancient ice balls **ended up** in the asteroid belt.
2. This new hypothesis, based on a popular theory of Solar System formation known as the '**Nice model**', **upends** a previously held view that the asteroid belt is the **remnant** of a **protoplanetary disc** that surrounded the Sun early in its evolution.
3. "If the Nice model is true, then the old ideas about the asteroid belt must be wrong," says Harold Levison, a planetary scientist at the Southwest Research Institute in Boulder, Colorado. Levison and his colleagues published their new explanation of the belt's origins in this week's issue of *Nature*<sup>1</sup>.
4. The asteroid belt is a roughly 180-million-kilometre-wide stretch of space between the orbits of Mars and Jupiter that contains millions of objects of various shapes and sizes. "The surprising thing about these objects is that they show a wide range of diversity in their chemical composition," says Levison. On the belt's inner edge, the asteroids appear rocky and **scorched**, whereas the outer edge of the belt is filled with icy objects full of water and organic molecules.

## Planetary crime scene

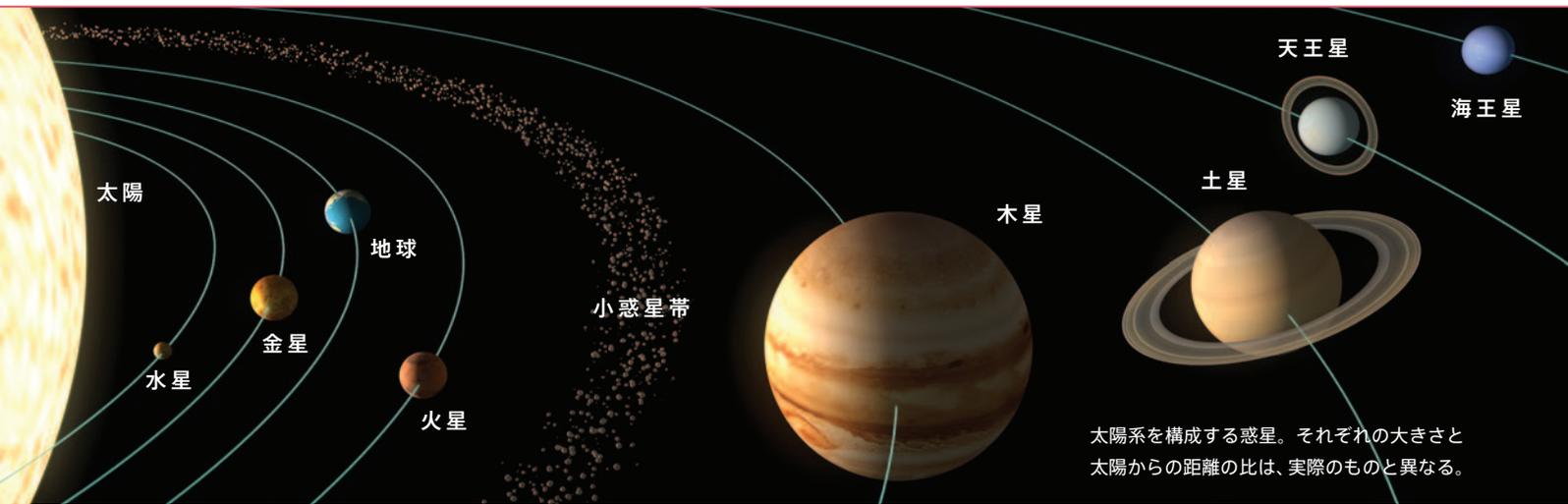
5. Astronomers had believed the belt to be the frozen remains of the protoplanetary disc that once existed around the Sun. The line between rock and ice, they reasoned, was a '**snow line**' beyond which large, icy planets could form.
6. But there were problems with this view, particularly for Uranus and Neptune, according to Stuart Weidenschilling, a senior researcher at the Planetary Science Institute in Tucson, Arizona, who was not involved in the latest work.

At the distances at which those planets now orbit, the protoplanetary disc would have been moving too slowly for them to form properly.

7. **Enter** the Nice model. The model, which was introduced four years ago, has Uranus and Neptune forming at roughly half of their present-day distance from the Sun<sup>2</sup>. Beyond them, the model **postulates**, lay a vast disc of **comet-like** balls of ice.
8. This set-up wasn't stable, Levison says, and "the orbits really just **went kablooy**". Jupiter moved **inwards**, while Saturn, Uranus and Neptune all moved away from the Solar System's centre. As they did so, they **catapulted** icy bodies from the early protoplanetary disc **into** the **inner Solar System**. The new simulations show that **a fraction** of these ended up in stable orbits around the outer edge of the asteroid belt, where they **reside to this day**.
9. Weidenschilling says that the latest work is yet another accomplishment for the relatively new Nice model. "It's another one of these little puzzle pieces that seem to fit in," he says.
10. Levison believes that, if this model is correct, detailed studies of the asteroid belt will tell astronomers more about how the early Solar System evolved. "It's sort of like a crime scene investigation," he says. "How the blood is **splattered** on the wall tells you more about what happened than the body itself."

## References

1. Levison, H. F. *et al. Nature* **460**, 364-366 (2009)
2. Tsiganis, K., Gomes, R., Morbidelli, A. & Levison, H. F. *Nature* **435**, 459-461 (2005).



太陽系を構成する惑星。それぞれの大きさと太陽からの距離の比は、実際のものとは異なる。

**TOPICS**

**太陽系 (Solar System) と小惑星帯 (Asteroid belt)**

太陽とその周りを公転している惑星、彗星、準惑星、小惑星、塵、ガス、衛星、さらには太陽活動が影響を及ぼす空間までを含めて、太陽系という。太陽系の惑星は、下の表に示す8個である。惑星の公転軌道は、太陽を1つの焦点とした正円に近い楕円で、ほぼ同じ平面を回っている。海王星の外側には、彗星や準惑星、小惑星などさまざまな小天体があり、複雑な公転

軌道をもつ(太陽系外縁天体)。また火星と木星の間には、小惑星帯(メインベルト)とよばれる小天体が集中している地帯がある。これは、惑星形成時に無数に存在した微惑星のうち、惑星に成長しきれずに取り残されたものだと考えられている。メインベルトには直径1km以下から100km以上のものまで、大小さまざまな小惑星が数百万個もあると思われる。メインベルトで、現在知られている最も大きいものは、直径約950kmの準惑星ケレスである。

惑星	赤道半径 (km)	自転周期 (日)	公転周期	質量 (地球=1)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	赤道重力 (地球=1)	軌道長半径 (AU)	衛星数 (個)
水星 (Mercury)	2440	58.65	87.969 日	0.05527	5.43	0.38	0.3871	0
金星 (Venus)	6052	243.02	224.7 日	0.815	5.24	0.91	0.7233	0
地球 (Earth)	6378	0.9973	365.257 日	1	5.52	1	1	1
火星 (Mars)	3396	1.0260	1.88089 年	0.1074	3.93	0.38	1.5237	2
木星 (Jupiter)	71492	0.414	11.8622 年	317.83	1.33	2.37	5.2026	63
土星 (Saturn)	60268	0.444	29.4578 年	95.16	0.69	0.94	9.5549	63
天王星 (Uranus)	25559	0.718	84.0223 年	14.54	1.27	0.89	19.2184	27
海王星 (Neptune)	24764	0.671	164.774 年	17.15	1.64	1.11	30.1104	13

\*AU (天文単位) は、地球の軌道長半径を1とした単位。1AU=1億 4959 万 7870km \*衛星の数は2009年1月現在のもの

**SCIENCE KEY WORDS**

- early Solar System: 初期太陽系**  
形成初期の太陽系。隕石の解析により、太陽系の進化を推察できる。
- Nice model: ニース・モデル**  
惑星移動再編説の1つ。天王星と海王星は、現在の軌道で形成されたとする、形成時間が太陽系の年齢(約46億年)を超えてしまう。ニース・モデルでは、土星、天王星、海王星は当初、今よりずっと太陽に近い位置にあった。ところが土星と木星の形成最終段階で、周囲の残存微惑星と惑星の重力の相互作用により、木星は内側へ土星は外側へ押しやられ、天王星と海王星が飛ばされた。このとき海王星は、外縁部の凍った小天体の中に放り込まれ、弾みでそれらが太陽系内部へと移動し、木星の軌道にとらえられたり、内側の惑星や衛星に大量に降り注いだりした。そして、メインベルトに飛び込んだものは、さらに大量の隕石の落下を引き起こした。
- protoplanetary disc: 原始惑星系円盤**  
生まれてまもない恒星の周囲を回転している扁平な円盤状の濃いガス。水素・ヘリウムのほかに、質量で1%程度の塵が含まれており、これらが重力により集積し微惑星となり、衝突・合体を繰り返して惑星へ成長した。
- snow line: 雪線**  
年間の積雪量と融雪量が等しい高度を結んだ線のこと。氷河形成の下限。ここでは、小惑星帯内で、岩石型と氷型の境界を「雪線」に例えている。
- comet: 彗星**  
岩石と氷でできた直径数kmの塊が、太陽に近づくと熱せられ、ガスや塵が放出されて周囲に「コマ」とよばれる大気を作りだし、「尾」を引くようになったもの。
- inner Solar System: 内部太陽系**  
火星より内側の太陽系。

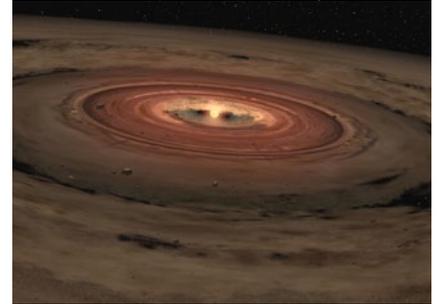
**WORDS AND PHRASES**

- リード **primordial:**「原始(の)」、「初期(の)」
- end(ed) up ~:**「結局~になる」、「最終的には~となる」
  - upends:**「覆す」
  - remnant:**「残骸」
  - scorched:**「焼かれた」、「焦げた」
  - enter ~:**「~登場」。脚本のト書きで使われることの多い3人称命令法。
  - postulate(s):**「仮定する」
  - go(went) kablooy:**「ドカンと爆発する」、「バシッと飛び散る」
  - inwards:**「inward」のこと。「内側へ」、「中心へ」
  - catapult(ed) into:**「勢いよく放つ」、「急激に動かす」
  - a fraction of ~:**「~のほんの一部」
  - reside:**「存在する」
  - to this day:**「今日に至るまで」、「現在でもなお」
  - splatter(ed):**「飛び散らす」

## 参考訳

## 小惑星帯を縁取る氷の謎を解く

それらは、惑星の軌道配置が変化した際に「原始天体」が捕獲されたものかもしれない。  
ジョフ・ブラムフィールド



惑星は、原始惑星系円盤の中で生まれた微惑星が衝突・合体して形成された。

1. 小惑星帯に古い氷の玉が入り込んでいることは、初期太陽系において惑星の軌道配置が変化した結果として説明できるかもしれない。
2. この新しい仮説は、進化の初期段階にある太陽を取り巻いていた原始惑星系円盤の残骸が小惑星帯になったとする、従来の仮説を覆すものである。その基礎には、「ニース・モデル」という支持者の多い太陽系形成理論がある。
3. サウスウェスト研究所（米国、コロラド州ボルダー）の惑星科学者 Harold Levison は、「ニース・モデルが正しいなら、小惑星帯に関する従来の考え方は間違っていることとなります」という。Levison らは、小惑星帯の起源に関する冒頭の新仮説を今週号の *Nature* に発表した<sup>1</sup>。
4. 小惑星帯は、火星と木星の軌道の間にひろがる幅約 1 億 8000 万キロメートルの空間であり、さまざまな形と大きさの天体が数百万個も分布している。「こうした天体の化学組成には、驚くほどの多様性があります」と Levison はいう。小惑星帯の内縁には、岩石を主成分とし、表面を焼かれたような天体が見られるのに対して、その外縁は、水分や有機分子を大量に含む氷でいっぱいである。
5. 天文学者たちはこれまで、かつて太陽を取り巻いていた原始惑星円盤の残骸が凍って小惑星帯ができたと思っていた。そして、岩石天体と氷天体の分布の境界線が「雪線」にあたり、その外側では大型の氷惑星が形成されると考えていた。
6. 米国アリゾナ州ツーソンにある惑星科学研究所の上級研究員 Stuart Weidenschilling（今回発表された研究には関与していない）によると、この仮説にはいくつか問題がある。なかでも重要なのは、天王星と海王星に関する問題であるという。これらの惑星は、現在、太陽から非常に遠い軌道を運動しているが、この距離では原始惑星円盤の動きが遅すぎて、惑星が正しく形成されないと考えられるのだ。
7. そこに登場したのがニース・モデルである。4 年前に提唱されたこのモデルでは、天王星と海王星は、いずれも現在の太陽からの距離の約半分のところで誕生したとされている<sup>2</sup>。また、その外側には、彗星のような氷の玉が巨大な円盤状に分布していたと仮定されている。
8. Levison によると、この軌道配置は不安定で、やがて「文字どおりはじけ飛んでしまった」という。木星は太陽系の内側へと移動し、土星、天王星、海王星は外側へと移動した。一連の運動は原始惑星系円盤の氷天体にも影響を及ぼし、内部太陽系に向かう急激な運動を開始させた。今回発表された新しいシミュレーションでは、そうした氷天体の一部が小惑星帯の外縁付近で安定した軌道に入り、今日に至っていることが示された。
9. この最新の研究は、比較的新しいニース・モデルを証明するさらなる成果だと Weidenschilling は話す。「また 1 つ、正しいジグソーパズルのピースが見つかったようです」。
10. このモデルが正しいとすれば、天文学者は小惑星帯を詳しく調べることで、初期太陽系の進化についての理解を深められると Levison は考えている。「これは現場検証のようなものです。現場で何が起きたかは、死体を調べるよりも、壁に付いた血痕の飛び散り方を調べたほうが、よくわかるのです」。

（菊川要 訳）