

特集「太陽系天体の種別とその概念整理」 「惑星」ではない<惑星>たち

渡邊 誠一郎¹

(要旨)「太陽のまわりを公転する天体」という広義の意味でも<惑星>という言葉を使っていいのではないだろうか。あるいは<遊星>としゃれてもいいが、とくに初等中等教育では、太陽・地球・月に対応する星・<惑星>・衛星という普遍概念を軌道の違いによって理解させるというのが最優先されるべきであろう。その場合、国際天文学連合 (IAU) 決議で定義された「惑星」は<大惑星>のような別称を与えればすっきりすると思う。いずれにせよ、惑星の普遍的な定義はこれからも惑星科学のテーマであり続けるだろう。

1. IAU決議による「惑星」の定義

この稿では、2006年に開催された第26回国際天文学連合 (IAU) 総会の決議で定義された意味での惑星には鉤括弧をつけて「惑星」と表記する。また、IAU決議で定義された「準惑星」や「太陽系小天体」にも鉤括弧をつける。それに対して、より広義に「太陽のまわりを公転する天体」という意味を持つ惑星という語には山括弧をつけて<惑星>と表記する。小惑星や系外惑星などの複合語の場合、構成要素として含まれているのは、ほとんどは広義の<惑星>なので、煩雑さを避けるためいちいち山括弧をつけなくて書く。ただし、通常とは異なる用法の場合は、複合語全体に山括弧をつける (<大惑星>など)。

繰り返しになるだろうが、IAU決議による「惑星」の定義を掲げておく：

太陽系の「惑星」(planet) とは以下のa)からc)の3条件を満たす天体² (celestial body) のことである：

- a) 太陽のまわりを公転する軌道にある。
- b) 形状を保とうとする固体内部の力³ (rigid body forces) を上回る自己重力を生じさせる質量があるため、静力学平衡形状(ほぼ球形)をしているとみなせる。
- c) 自分の軌道の周辺から他の天体をきれいに無くしてしまっている。

これに対して、要件 c)のみを欠く天体で衛星ではないものを「準惑星」(dwarf planet) としている。そして、要件b)を満たさない衛星ではない天体は「太陽系小天体」(small Solar System body) と定義している。

ある専門語の定義が複数の要件から成る場合、それぞれの要件のみを満たすものに、それぞれ別の専門語を充てることが多い。この稿では、仮にa) を太陽周回天体、b) を自己重力天体、c) を孤立天体と呼ぶことにする。すると「惑星」は太陽周回孤立自己重力天体ということになる。

本稿における私の提案は、太陽周回天体で衛星でないものを広義の<惑星>と呼ぶべきだというものである。その話の前にまず、IAU決議での「惑星」の3要件を吟味しておこう。

要件a) の太陽周回天体というのは、太陽・地球・月の普遍概念として、星⁴・<惑星>・衛星を設定した際の、最も素朴な意味での<惑星>の定義であろう。ただし、衛星といえども太陽中心の座標でその軌道だけを描いてみれば、惑星との区別は困難であり、要件a) は<惑星>と衛星を区別するものとはならないと

1. 名古屋大学 大学院環境学研究科

2. 天体とは何か、とくにその大きさの下限については明快な定義を筆者は知らない。個人的には、小隕石や流星体、流星塵は天からやって来るが、天体と呼ぶには違和感を感じるので、本稿では、天体の下限を直径 100 m 程度としておこう。

3. 分子間力などの原子・分子あるいは粒子どうしを結びつける力で究極的には電磁気力である。

4. star のこと。日本語では惑星も衛星にも<星>という語が構成要素となっているため、恒星と呼ばないと国語的には分かりにくい。現代天文学では単に「星」と呼ぶのが普通である。英語では、star, planet, satellite と 3 者の語としての区別は単純明確である。

も考えられる⁵。また、双子惑星と<惑星>-衛星系の境界は明確ではなく、IAU決議でも衛星は未定義のままである。一つの考え方は、2天体の共通重心が一方の天体内部に入っていれば、<惑星>-衛星系、外に出ていれば双子惑星というものである。これによれば地球-月系はぎりぎり「惑星」-衛星系だが、冥王星-カロン系は双子惑星 (IAU決議の定義ではどちらも「惑星」ではない) となる。しかし、この基準にコンセンサスが得られている訳ではない。しかし、だからといって、<惑星>と衛星の区別が曖昧であると言うべきではない。ある<惑星>から見て他の<惑星>と自分の衛星の区別は明確である。

要件b)の自己重力天体というのは、軌道ではなく天体自体の構造に関するものである。要は質量による線引きと考えて良いように思えるが、これもそう単純ではない。例えば、半径数kmの微惑星であっても、それが半径1 mm程度の砂粒の集合体で焼結が進んでいなければ⁶、砂粒間に働くファンデル・ワールス力が弱いので自己重力によってほぼ球形となるものと予想される。一方で、一度溶融した後固化した母天体が衝突破壊された破片天体であれば、数百km程度のサイズでもいびつな形を保持できる。要は自己重力に対抗する固体内部の力は天体の物性に依存するため、単純に天体の質量だけで自己重力天体と呼べるか否かが判定できないのである。つまり要件b)は、具体的にどの天体が満たすかについてはかなり不明確だと言える。「準惑星」の例として掲げられている天体のうち最小のものである小惑星ケレスは、直径が1000 km弱、質量が約 1×10^{21} kgである。

要件c)の孤立天体は太陽周回天体についての更なる制限条件であるが、これも分かりにくい。大きな太陽周回天体は周囲の太陽周回天体に重力的な摂動を及ぼして、その軌道を大きく散乱する。しかし、その散乱は、周囲の天体の軌道離心率を増大させるが、その近日点距離もしくは遠日点距離は散乱源天体の軌道長半径近くにあるままである。このため衝突による合体や他の天体による重力散乱がなければ、周囲の天体の軌道の一部は近接したままとなる。このとき散乱された天体の公転周期が散乱源天体の公転周期と簡単な整

数比(尽数関係)になると、近接遭遇は回避され、その軌道は安定化される場合がある。このため大きな「惑星」であっても自身の重力だけではその軌道の周囲から他の天体をきれいに無くすことはできない。これは木星に対するトロヤ群小惑星(公転周期比1:1)や、海王星に対する冥王星など(公転周期比2:3)の存在を見れば明らかである。よって要件c)の中の「他の天体」には定義の対象となる天体より質量のずっと小さい天体(衛星、海王星にとっての冥王星、木星にとってのトロヤ群小惑星など)は含まれないものと考えなくては行けない。なお、木星と海王星以外の「惑星」の周囲に他の天体がほとんど無いのは、自身の重力によるのではなく、木星や他の「惑星」の重力摂動によってそれらが無ければ安定な尽数関係にある軌道が不安定化された結果と考えられる。これらのことから、要件c)が妥当なものかどうかは疑問が残る。

このように「惑星」の要件はいずれもかなり不明確なものと言わざるを得ない。しかし、太陽系の「惑星」が8つであり、それらを冥王星やエリスなどそれより小さい太陽周回天体と区別した点は広いコンセンサスが得られている。何より、8つの「惑星」は太陽を別として質量の大きな太陽系天体の上位から8つを占めている。太陽系で最も重い衛星であるガニメデは、半径では水星(最軽量「惑星」)を上回るものの、質量では水星に及ばない。また、水星は冥王星やエリスに比べると10倍以上の質量がある。どちらかという、8つの「惑星」を念頭に置いて要件a)からc)がやや無理を含んで案出されたというのが実態に近いのではないかと思う。

2. 広義の<惑星>のすすめ

IAU決議による「惑星」の定義は、冥王星やエリスなど「準惑星」を他の8つの「惑星」とは区別したことで、「惑星」という語を明確に限定したということの両方の側面がある。私は、前者は支持するが、後者には、とくに日本語でそのように強く限定することには違和感を覚える。それは、日本語の<惑星>は、英語のplanetよりも広く使われてきたと思うからである⁷。その一番の根拠は、小惑星という名称である。英米ではasteroidという語がminor planetよりもよく使われてきたため、asteroidも<planet>の一種だと

5. 実際、このような考えに基づく混乱を防ぐために、要件a)があるにもかかわらず、「準惑星」や「太陽系小天体」の定義で「衛星ではない」といちいち繰り返しているのであろう。

6. 後述の微惑星はこのようなものと考えられている。

いう認識は弱いものと想像されるのに対し、日本語では小惑星という複合語は、構成要素に〈惑星〉を含んでいるため、一部の専門家を除けば小惑星も〈惑星〉のうちと捉えてきた。また岩石惑星や氷惑星という複合語は、専門家の間でも「惑星」に限らず小惑星や太陽系外縁天体に対して使われてきた。惑星科学の対象も「惑星」に限られず〈惑星〉全般であろう。このため今回の「惑星」の定義は強く限定されたものと感じるのである。一方、英語のplanetは、もともと8つの「惑星」+冥王星に限定されて使われてきたので違和感は少ないようだ。しかし、英語においても太陽周回天体の総称に簡明な用語がないという問題は残る。

さらに私は専門が惑星形成論であるため、「惑星」の卵である微惑星 (planetesimal) から原始惑星 (protoplanet) を経て現在の「惑星」までを連続的に〈惑星〉と捉える感覚が強い。この場合、いつから「惑星」になったのかという問いに答えるのは今のところ困難である(後述)。

太陽のまわりを公転する(衛星でない)天体には総称を与えるべきである。この明快に定義できる概念にふさわしい日本語は、現状ではやはり〈惑星〉であろう。それを太陽系天体とするのが公式見解に一番近いのであろう。しかし、太陽系天体では、太陽の周りを回るという語義が失われ、衛星も入ってしまうように感じる。また星のまわりを公転する天体への一般化が難しい。そこで太陽周回天体とすれば意味は明白になり、一般化も可能になるが、語として長すぎる嫌いがある。さまざまな複合語をつくる点からも〈惑星〉はなるべく広くかつ簡明に捉えるべきである。そこで、少なくとも惑星という語には、IAU決議の「惑星」という狭義の意味に加えて、太陽のまわりを公転する天体〈惑星〉という広義の意味があることを明確にすべきだと思う。混乱を避けるためには、できれば「惑星」を<

大惑星〉あるいは〈真惑星〉のような名称する方がよいように思うのだが…

あるいは、IAU決議の「惑星」はそのままとし、太陽のまわりを公転する天体には〈遊星〉という簡潔な名称を与えるのも一策かも知れない。〈遊星〉という語が(本誌タイトルを除いて)ほぼ死語となっているため、現状では違和感があるが、使い慣れれば楽しい名前かも知れない。あるいは中国語の「行星」を借用するというものもある。英語では〈planetary body〉ではどうだろうか。

3. 太陽系形成論からみた〈惑星〉

太陽系の形成過程を考えると、「惑星」ができたのはいつと考えるべきなのだろうか。太陽系形成の標準シナリオにおいては、原始惑星系円盤の中心面付近に形成されたダスト層が自己重力不安定によって分裂して微惑星が形成されたと考えられている。形成されたダスト集合体である微惑星は、サイズは数kmだが自己重力天体ということになる。微惑星は暴走成長過程を経て原始惑星となる。原始惑星が周囲の微惑星の運動状態をコントロールするようになると成長は鈍り、寡占的成長期となる。その後はより長いタイムスケールで原始惑星どうしの軌道交差が起こり、衝突合体とその後のガス抵抗による円軌道化を経て、現在の惑星系へと進化したと考えられている。

こうした成長過程から判断すると、微惑星が要件b)を満たす自己重力天体に相当し、原始惑星はさらに要件c)を満たす「惑星」に相当することになる。もし、そうであれば「惑星」の要件と惑星形成論が想定する「惑星」の成長過程に対応がつくことになり興味深い。しかし、IAU決議での自己重力天体とみなされるのは微惑星よりはずっと重い天体が想定されている。これは、小惑星や太陽系外縁天体の多くが微惑星よりずっと固い物性をもっている、つまり岩石や氷の塊であり、さらに母天体の衝突破壊による破片として形成されたものが多いため、比較的大きなサイズの天体でもいびつな形を保持しうると考えられる。また、比較的短時間のうちに軌道交差を起こしてしまう寡占成長期の原始惑星たちを要件c)を満たすと言えるのかも不明確である。

そこで、2節での議論と組み合わせて、次のように

7. 筆者は planet と〈惑星〉という語義の差を歴史的に調べた訳ではなく、あくまでも近年における〈惑星〉の語の使い方に基づいて議論している。常識的な範囲で聞きかじった歴史に触れておくと、英語の planet の語源はギリシア語 asteres planetai (= wandering stars) である。日本では、個々の惑星名は使われていたが、総称名は無かった。西洋文献の訳語として、江戸時代に〈惑星〉、遊星(後に遊星)、行星(漢籍より)などが書物に登場する。戦前は東大系の学者が〈惑星〉を使い、京大系の学者が〈遊星〉を使ったという俗説があるが、これは「アメリカの学者は冥王星を惑星だと主張している」という程度の話で反例もあるらしい。いずれにせよ、戦争直後までは遊星もけっこう優勢で、関西出身の筆者の父も遊星と言うことがあった。

整理するのはいかがだろう。

〈惑星〉：微惑星がもととなって形成された太陽のまわりを公転する天体。ただし、〈惑星〉のまわりを回る天体は衛星と呼ぶ。〈大惑星〉の他、現在のところ小惑星、太陽系外縁天体、彗星と呼ばれている天体を含む。

〈大惑星〉：寡占成長期の原始惑星がもととなって形成された〈惑星〉。ただし、原始惑星がカタルフィックな破壊を受けたものは〈大惑星〉とはせず、破片のうち太陽のまわりを公転する天体となったものは〈惑星〉とする。ただし、細かい破片(小隕石や流星体、宇宙塵など)は天体とはみなさず〈惑星〉とは呼ばない。

今後、惑星成長過程あるいは衝突破壊過程がさらに詳細に理解されれば、〈惑星〉などの定義や分類についても、より普遍的で説得力のあるものを作ることができるだろう。

4. 初等中等教育における〈惑星〉

初等中等教育において〈惑星〉をどう教えるべきか。現状での理科の初等中等教育にはさまざまな問題点が指摘されているが、ここでは現状に捕らわれずどう教えるべきかについてのみ簡潔に論じたい。IAU決議の「惑星」とするなら、その要件を小学生や中学生に理解してもらうのは無理な話であるので、列挙的に水・金・地・火・木・土・天・海の8つが「惑星」と教えることになる。そして、これ以外にも太陽を回る天体がたくさんあると付け加えるのであろうか。しかし、これでは理科としての楽しさが無い気がする。

この場合も、広義の〈惑星〉を教える方が良いと思う。太陽や月、星の動きを実際に観察させた上で、太陽・地球・月の光り方と軌道の違いを説明し、それらの普遍概念として星・〈惑星〉・衛星を教えるというのが分かりやすい。例えば——〈惑星〉は地球のように太陽のまわりを回る天体で、太陽に照らされて光っている。8つの〈大惑星〉に加えて、火星と木星の間にある小惑星や海王星のさらに外側の方にある氷惑星(冥王星など)、あるいは細長い軌道で太陽に近づき長い尾を引く彗星などたくさんある。近年は太陽以外の星のまわりにも〈惑星〉がたくさん見つかっている。星の光を受ける〈惑星〉の表面では条件が整えば地球の

ように生命が誕生する可能性がある——などと教えれば良い。あわせて、コペルニクスやガリレオからチコ・ブラーエやケプラーを経てニュートンに至る科学史も伝えたい。星・〈惑星〉・衛星の学習は宇宙の階層性を理解する土台となると思う。

5. 終わりに

〈惑星〉は自然科学の枠をはるかに超えた大きな言葉であり、〈宇宙〉や〈生命〉などと同様に一朝一夕に明確な定義ができる語ではないと思う。IAU決議の定義はあくまでも暫定的で可塑的なものと考え、過去の太陽系や系外惑星にも適用できるより普遍的な定義を探求していく必要があると考える。〈惑星〉とは何かを探ることが惑星科学の目的なのだから。

謝辞：渡部潤一氏には本稿を査読いただき、いくつかの有益なコメントをいただいた。この場を借りて謝意を表したい。