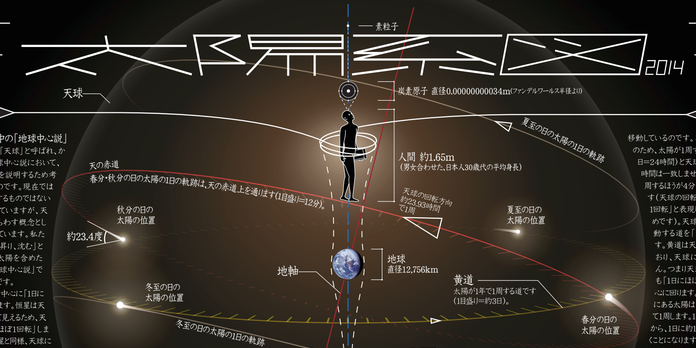
太陽系図 2014 初版発行：2014年4月1日 著作れび明光元：(公営)科学技術広報財団　企画：自然科学研究機構 国立天文台　制作：「太陽系図」制作委員会(蜂各弗、小阪淳、片桐晃、高梨直紘、廣瀬匠、日下暁彦、塚田健、内藤誠一郎、平松正顕、亀谷和久、川越至桜、成田憲保、高田裕行)
協力:梶谷真司、小久保英一郎、天文学普及プロジェクト「天プラ」　画像提供：AIA/ESA/Hubble/JAMSTEC/JPL-Caltech/Kepler mission/NASA/NASA's Goddard Space Flight Center/NAOJ/Space Science Institute/SDO

太陽系図 2014

太陽とは何だろうか　太陽とは、銀河系にある、およそ1,000億個の星たちのひとつ。夜空に見える数多くの星々同様、水素の核融合反応でエネルギーを生み出し、宇宙に放ち続ける存在です。しかし地球に生きる私たちにとって、太陽は絶対的な前提です。そのエネルギーの流れの一部に、この暮らしは成り立ちます。太陽と地球が作り出すリズムが、私たちの暮らしを左右します。宇宙中にある平凡で特別な星、それが太陽なのです。それでは、太陽系とは、いったいどのような意味なのでしょうか？

太陽系とは何だろうか　太陽系とは、英語のsolar systemの訳語です。solarは「太陽のかで動かされている」という意味。systemとは本来「神の創造物全て、宇宙」という意味。太陽系とはすなわち、語源を遡れば「太陽を中心とする、神の創造物たる全宇宙」を意味したのです。現在その定義は「太陽の重力場によって束縛されている天体群の全体」に変わっています。地球、他の惑星、小惑星、衛星、彗星、ダスト…、太陽の重力に束縛されるこれら全てが、私たちの太陽系を構成しています。



第一章　太陽系を見つける

朝、東から太陽が昇り、大地を暖める仕事を終えると、西の空へと沈んでゆきます。月は満ちては欠け、夜に瞬く星々は周期的に天を巡ります。しかし、夏と冬では太陽の高さが異なり、星々もまた全てが同じ運動をしているわけではなく、古代の人々は気付きました。天上界のふるまいを知ることは、私たちの祖先の切実な要求でした。なぜでしょうか？地域や時代に関わらず、古代の文明の多くが、暦、占星術、そして神話を育みました。それらはなぜ、必要とされたのでしょうか？

■月や太陽の観測から「暦」が生まれる

遥かな古代。私たちには遥も昔なく、年も正確には把握していませんでした。暦の誕生は歴史の霧に包まれていますが、農耕文明の発展が関係していたと考えられます。太陽や月の動きの周期性を読み取り、暦や時間を決めるためには、高度な観測技術や知識が必要となります。また、生産活動は暦に基づいて行われますから、暦を制定することは、経済活動の支配をも意味しました。こうして、暦作りはしばしば強大な権力と結びつき、暦自体が権力の装置ともなりました。

ウル第三王朝のジッグラト(復元図)。後のバビロニア王朝によって天文観測にも利用されたと推測されます。

記念碑であるオベリスクは、おそらエジプトでは日時計としても使われていました。「時刻」は元々、太陽の運動から生み出されたものです。

夜空の変化のうち、月の満ち欠けは最も明確に見て取れます。その1周を1ヶ月、12周を1年とする考え方が太陰暦です。しかしこの暦は四季の変化とは本来無関係なため、次第に季節とずれてしまいます。そこで太陽の観測も取り入れ、閏月によって修正したものが太陽太陰暦。古代バビロニア、ギリシア、中国、後には日本などで広く使われました。

古代エジプトでは、月の満ち欠けでなく太陽を基準とし、1年=365日の暦を作りました。太陽暦は幾度かの改良を経て、現在日本でも使われているグレゴリオ暦になりました。

週の考え方は古代バビロニアに遡るもので、太陽、月、当時知られていた5惑星が主役となっています。土星、太陽、月、火星、水星、金星が守護惑星とされ、24分割された1日の各時間を支配します。その日の1時間目に当たる星が、その日自体も支配します。こうして7つの曜日が生まれました。天界の星々が地上の事柄に影響を及ぼすという考え方は、古代の世界で広く信じられていた、呪術的世界観に基づくものです。

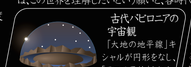
■天界と地上界が結びついた「占星術」

病や飢え、家族の不幸、戦乱…ふりかかる苦難にいかに立ち向かうかは、時代を問わない問題です。古代の人々は、呪術によって運命を制御できると考えました。自然界の様々な出来事は神々と関わりがあると考えられ、それを読み解き、然るべき手続きやまじないを行うことで、悪しき運命を変えようとしたのです。現代の科学的世界観とは異なりますが、それは世界のふるまいを予期し、対処するための、高度に体系化された考え方でした。

天体観測が国家事業だった古代バビロニアでは、不思議な現象に気付いていました。夜空の星々は、見えない天球の内側に貼り付いているかのように1日に1回転します。ところがそのルールに従わず、星座の間をふらふらと動く「惑星」たちが、5つの星があり、それらは「惑星」です。その動きは、地上界の未来を暗示する天界のサインと考えられました。惑星や太陽、月を観測し、その動きを解釈して未来を予測する術は、占星術と呼ばれました。占星術とその観測技術、天体に関する知識などは、一つの大きな知的権威でした。国家の運命を知るための占星術は、やがて個人の運命をふりものへと変質していきますが、世界に伝播し、中世にいたるまで強い影響力を及ぼし続けます。古代中国では、それは各政を分かち各羅万象を説明できると考えられ、天意を占い、国を正し、導くことは天子の勤めとされました。天変地異という概念に象徴されるこうした世界観は、日本にも深く浸透していきました。これらの世界観の下で蓄積された膨大な観測記録や知識は、現代の天文学の礎のひとつとなっています。

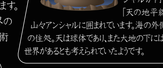
■世界各地の様々な「宇宙観」

大地に恵みをもたらす太陽、闇夜を照らす月、星々、海、自らの立つ大地。これらを含む世界とは、一体どんな姿をしているのか？古代の人々はそれを、身近な概念や現場からの類推で説明しようとしました。それらの神話には、この世界を理解したいという願いと、各時代、各地域における宗教や信仰のあり方が反映されています。



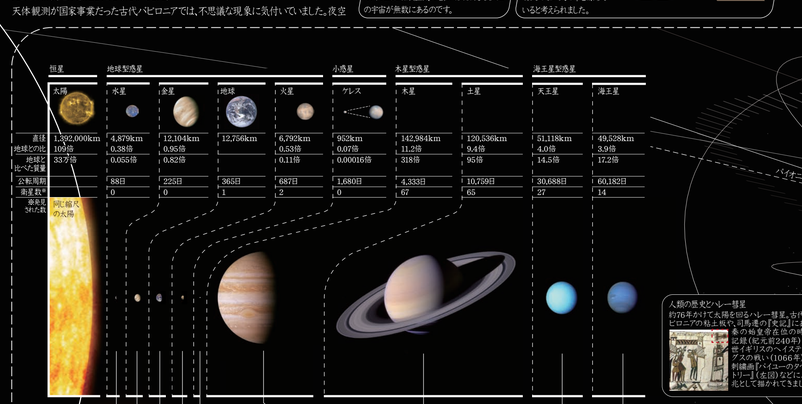
古代バビロニアの宇宙観
「大地の地平線」キャシャルが円形をなし、「天の地平線」を囲むように山々アンシャルに囲まれています。海の外側は神々の住処。天は球体であり、また地の下には地下の世界があるとも考えられていました。

古代エジプトの宇宙観
あらゆる水の源泉ヌンの上に大地が浮かび、天の神ヌトは大気の神シューによって持ち上げられています。大陽は昼の船で天を渡り、西のヌンに沈んだ後に夜の船に乗り換え、地底の川を航行し、翌朝、東から昇ります。



古代インドの宇宙観
世界の中心には「須弥山」がそびえ立ち、その上には神々の天界、南方は人々の住処、海は金輪(黄金の層)の上にあり、金輪の下には水輪(水の層)、その下には風輪(空気の層)があります。そしてこの宇宙が無数にあるのです。

古代中国の宇宙観
蓋天説では、大地の上を、円盤状あるいは半球型の天が回転しています。渾天説では、天は卵に浮かぶ球体で、大地は天球内部の水上に浮かんでいるとされました。宣夜説では、大地は天球内部の水上に浮かんでいるものと考えられました。惑星や太陽、月を観測し、その動きを解釈して未来を予測する術は、占星術と呼ばれました。惑星や太陽、月を観測し、その動きを解釈して未来を予測する術は、占星術と呼ばれました。



第二章　託された知、託された美

私たち人間は、様々な時代や地域において、独自の呪術や神話というかたちで天界との関係を結んでいました。ところがその中のある人々が、神々に託さずして、宇宙のありさまを説明し始めます。古代ギリシアで起こったこの思考方法は、やがて科学という方法論となり、この世界を合理性や因果関係で記述する術として定着します。観念先行型から、観測・実証を重んじるスタイルへ。やがて科学は、私たちが属する太陽系の姿を包括的に説明できるまでに発展します。

■古代ギリシアと科学の萌芽

古代バビロニアの優れた知の遺産は、古代ギリシアに受け継がれます。そのギリシアでは、最初の哲学者とも呼ばれるタレス(BC624-BC546頃)が、神話を使わずに世界の説明を行ったと、万物は水からできており、原初の海中で固まった物質から大地が誕生したといのです。地球が丸いことは、アリストテレスの「天体論」によれば、紀元前5世紀頃には経験的に人々にあられていました。アリスタルコスは、数値こそ不正確でもたが、半月を利用して太陽への距離を算出し、地球より太陽が大きいことを見ぬいました。そして太陽こそが宇宙の中心であり、地球はその円周上を回っていると説いたのです。しかし地球中心説(天動説)を信じていた当時の人々には受け入れられませんでした。

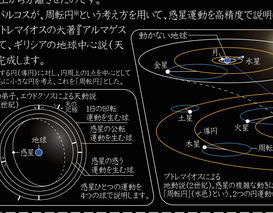
■円を理想としたプラトン

プラトン(BC427-BC347)は、永遠不変の理想世界(イデア界)を想定し、地上界はその影にすぎないと考えました。プラトンの宇宙では円が理想型とされ、惑星は地球を中心に等速運動を描きます。実際の観測結果と一致しないのは、天界の詳細を我々があらないからだとプラトンは考えました。プラトンが「現象を救う」と呼んだこの課題は、弟子たちによって継承されます。

■『アルマゲスト』と地球中心説の完成

中でも後世に影響を与えたのはアリストテレス(BC384-BC322)です。精緻な天界のモデルを考案した上、地上界は土水風火の4元素、天上界は第5元素(エーテル)からなるとして、天上界の物理法則を地上から分離させたのです。

やがてヒッパルコスり、同転円や「いう考えを用いて、惑星運動を高精度で説明します。これを発展させたプトレマイオスの大著『アルマゲスト』によって、ギリシアの地球中心説(天動説)は完成します。



■幾何学的モデル化を進めたイスラーム世界

キリスト教が普及する4〜5世紀頃から、ローマ帝国を中心とするヨーロッパ社会では、ギリシアの文化的遺産がほとんど失われてしまいます。しかし東方世界には数多の写本などが残されました。7世紀以降版図を広げたイスラーム帝国は、これらを元にギリシアの自然哲学を研究。9世紀頃にはアルマゲストも翻訳されます。イスラーム世界は昔のテキストを再発見したのみならず、10〜11世紀には自ら発見させました。「現象を救う」だけに留まっていた惑星理論を、物理的に矛盾のない モデルに昇華させようとしたのです。その結果、地球を中心とした太陽系の、様々な幾何学的モデルが考案されました。

■太陽中心説とコペルニクスの美学

12世紀頃から、『アルマゲスト』を筆頭とした多くの知識が、イスラーム文化圏からキリスト教文化圏へと流れ込みました。そして16世紀には、プトレマイオスの降主流であった地球中心説(天動説)に対して、コペルニクスが太陽中心説(地動説)を提唱します。このモデルは、太陽を中心に、他の惑星や天体たちをその周囲に配置したものです。現代の科学が掲げる太陽系像とは、遠くかけ離れていますが、視野時には、太陽説よりも美しい宇宙観だったのです。

■ケプラーによる楕円軌道の発見

1619年、ケプラーが惑星運動に関する3つの法則[※]を発見します。ケプラーは、先人ティコ・ブラーエの膨大な観測データを手がかりに、70以上もの幾何学的モデルを検討します。そして、惑星の軌道は楕円であること、その運動は一様ではないことを明らかにし、ブラヒ以来の「真円」の観念を覆したのです。数学的には、これら3つの法則から、万有引力の法則が導き出せます。しかし実際の発見には、大きな思想上の跳躍が必要でした。

※1. 惑星は、太陽を1つの焦点とした楕円軌道を描く。2. 惑星と太陽を結ぶ線分が単位時間に掃く面積は一定である。
3. 惑星の公転周期の2乗は、惑星の太陽からの平均距離の3乗に比例する。

■ニュートン力学 ―近代科学への道程

1665年、ニュートンが万有引力の法則を発見します。アリストテレス以来分離されていた天界と地上界が、ここにようやく力学によって統一的に記述されました。天界と地上界を同一レベルで考えるニュートンの力学は当初は反発を受けますが、18世紀後半には、科学の世界に完全に定着します。この地球上にも、地球と月の間にも、太陽系にも、同じ力が働いているのです。より多の現象を、よりシンプルに説明できることへ。それは、現代の私たちが「美しい」と感じる事柄のひとつです。

第三章　現代天文学が捉えた太陽系

現代の私たちは、科学的な手段によって観測や探査の結果から理論を導き出し、太陽系の研究を進めています。太陽や太陽に束縛された天体群、すなわち太陽系の仕組みを知ることは、その外側に広がる宇宙の姿を類推することを可能にしました。太陽系の研究は、この地球をより深く知り、私たち生命の起源を探ることとも関わっています。その空間的構造や46億年の歴史を、現代天文学の成果をもとに見てみましょう。

■太陽系の空間的構造

主星　太陽

太陽系全体の質量の99.9%を占める太陽は、文字通り「太陽系の主」。太陽の重力場が束縛する天体群の全体がすなわち太陽系です。太陽の中では核融合反応が起きており、そこから生み出されたエネルギーが、太陽系の中で多様な現象を起こしています。

岩の世界　水星・金星・地球・火星

太陽系の内側には、主に岩石成分からなる地球型惑星、水星・金星・地球・火星が位置します。質量は小さく、密度が高いのがその特徴。このうちで唯一、生命の存在が確認されている天体が地球です。その表面に多量に存在する液体の水は、生命が存在するための重要な要素のひとつと考えられています。金星は太陽に近すぎたため、火星は質量が小さすぎて大気を保てなかったため、いずれも地表の水を維持できませんでした。

小惑星帯

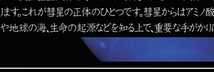
火星の先に広がるのは小惑星帯。太陽から遠いため、仮に地球と同じような惑星があっても、もはや地表の水が液体でいられずに氷となってしまう領域です。しかし中には、水や炭素に富み、単純な有機物を含む小惑星も見つかっており、地球や生命の起源との関係が調べられています。小惑星の中でも最大のケレスからは、水蒸気が吹き出していることがわかっています。

巨大ガス惑星と衛星たち　木星・土星

小惑星帯の外側には、主に水素やヘリウムからなる巨大ガス惑星、木星・土星が位置します。質量は大きく、密度が低いのがその特徴。それぞれ60個以上の衛星を持ち、活火山があるイオ、地下に海を持つといわれるエウロパとエンケラドス、水ではなく炭化水素が循環しているタイタンなど、多様な個性が知られています。

氷が支配する世界　天王星・海王星・太陽系外縁天体

土星の外側には、主に水やメタン、アンモニアの氷からなる氷惑星、天王星・海王星が位置します。その外側に広がるのは、太陽系外縁天体の世界。氷を主成分とし、時に大きなものは冥王星型天体と呼ばれています。これらの小天体が何らかの原因で太陽に近づくと、氷が蒸発し尾を伸ばすことがあります。これが彗星の正体のひとつです。彗星からはアミノ酸も発見されており、外縁天体や彗星は、太陽系の起源や地球の海、生命の起源などを知る上で、重要な手がかりになると期待されています。



■太陽系の時間的構造

漂うガスとダストの中から一太陽系の起源

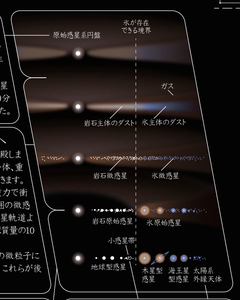
銀河の中でひときわガスやダストの濃い場所を分子雲といいます。ガスやダストが5ふ、集まるで原始星となり、中心部の温度や圧力が高まると、水素の核融合反応が始まります。時に46億年前。太陽の誕生です。

誕生時の太陽の周囲には、やはりガスとダストからなる原始惑星系円盤がありました。その質量は、現在の太陽のわずか約100分の1。太陽以外の全ての太陽系天体はここから生み出されました。

暴走的成長と巨大衝突―微惑星から原始惑星へ

原始惑星系円盤が冷えると、ダストは太陽に赤道面へと圧縮します。すべて数マイクロメートルのダストは、分子間力によるため、重力が安定性の影響などから、次第に微惑星へと成長していきます。キロメートルサイズを超えた微惑星は、今度は互いの重力で衝突合体します。他より1ふ大きくなった微惑星は次々と周囲の微惑星を引き寄せ、暴走的に成長していきます。こうして、火星軌道より内側では地球質量の10分の1ほどの、外側では地球質量の10倍程度の原始惑星が作られました。

太陽からある程度離れた場所では、水は固体(氷)の微粒子になるため、ダストより多く存在することになりました。これらが後の巨大ガス惑星の材料となります。



太陽からの距離が組成を決める一惑星の住み分け

原始惑星の形成後、円盤内側のガスは太陽に落ちゴんだり、吹き飛ばされて取り散りになったりします。互いに交ぎる軌道を持った原始惑星同士は衝突・合体を繰り返し、最終的に地球型惑星が形成されました。地球の周囲、その遠程で誕生したと考えられています。

現在の太陽や土星付近では、原始惑星の成長後もガスが残りました。ガスは原始惑星の重力に捉えられ、次々と降り積もります。この暴走的降着から、巨大ガス惑星が作られました。

現在の天王星や海王星付近では微惑星の成長が遅く、原始惑星になった頃にはガスが散逸してしまっていました。そのため、ガスではなく氷を主成分とした惑星が生まれたのです。

集まれなかったものたち

木星の内側では、先にできた木星の強い重力で微惑星同士の合体が妨げられ、原始惑星に成長できなかった破片が数多く残されました。これらが小惑星帯です。

海王星の外側では、微惑星の公転速度が遅く、空間密度も小さかったため合体がなかなか起きず、多くの天体が微惑星サイズに留まりました。これらが太陽系外縁天体の起源です。その一部は、原始惑星の重力で軌道を変えられ、はるか彼方でオールトの雲になったと考えられています。

ボイジャー1号は太陽系の外に出たのだろうか

2013年9月、「ボイジャー1号が太陽系を飛び出した」というニュースが流れました。しかしこの太陽系図では、ボイジャー1号はまだ太陽系の中にいるように描かれています。この太陽系図で「太陽系の果て」として描かれているオールトの雲は、太陽の重力によって太陽の周りを回る物質が存在する範囲を示しています。一方、ボイジャー1号が飛び出したのは「太陽風」が届く範囲。太陽風とは、太陽の表面から吹き飛ばされてくるエネルギーの粒子のことです。この粒子が到達する限界をもった、太陽の影響範囲を示す、ひとつの指標なのです。

長周期彗星のエリア

太陽から半径1万au(15兆5000億km)には、非常に長大な軌道を持つ長周期彗星というグループがあります。今太陽の近にこれる長周期彗星は、太陽系のはるか外縁からおよそ1万年をかけて太陽の近くまでやってきました。彗星や太陽系外縁天体は、大変広い範囲に分布しているのです。

太陽系の果て

太陽から半径10万au(15兆km)の空間には、「オールトの雲」と呼ばれる、まだ発見されていない天体の集まりがあると推測されています。オールトの雲の存在は、長周期彗星の軌道の分布から考えられました。太陽系外縁天体の特に大きな軌道でも、オールトの雲に比べると中心部の1あたと見分けがつきません。太陽系外縁天体の広がりは、はるかなオールトの雲につながっているのかもわかません。

太陽から半径1,000au(1,500億km)の太陽系

幾つかの太陽系外縁天体の、長大な軌道が見えてきます。遠方の太陽系外縁天体はたいへん暗く観測は、太陽に近づいた時期でないと困難です。セドナや87269は軌道を1周するのに1万数千年かかります。このことから、発見されていない太陽系外縁天体が数多くあると考えられます。

太陽系外惑星

2013年9月、「ケプラー62星系に、ハビタブルゾーンにある地球の1.4倍の大きさの惑星が見つかった」という発表がなされました。ケプラー62星系は、太陽系から約200光年の彼方にあります。ケプラー22星系の22bは、ハビタブルゾーンにある惑星の中で、地球に最も近いサイズです。

太陽系が属する銀河系。

銀河系は、1,000億個程度の星たちくさんのガスが集まって、薄巻き状の凸レンズのような形をしています。太陽は、銀河系の中心からかなり離れた、ひとつぶの恒星にすぎません。

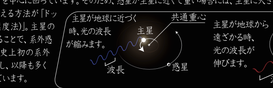
第四章　新しい太陽系を探して

私たちの太陽以外にも、この宇宙には無数の恒星が存在します。それらの周りにも、惑星は存在するのでしょうか？私たちの太陽以外の恒星を回る惑星のことを、「太陽系外惑星(系外惑星)」と呼びます。私たちは今、太陽系の外へと視線を向けて、系外惑星の調査に乗り出しています。人類や地球上の生命は、この宇宙の中で唯一の孤独な存在なのか。それとも、いつか他の生命や知性に出会う可能性はあるのでしょうか？

■太陽系の外にある惑星を探す方法

ドップラー法

地球が太陽の周囲を公転するように、系外惑星もまた、主星の周囲を公転しています。その際、実際には惑星も主星も「お互いの共通重心」を中心に回っています。そのため、惑星が主星に近くて重い場合には、主星にも大きなふらつきが生まれます。この効果を捉える方法が「ドップラー法(視線速度法)」。主星の光を分光して調べることで、系外惑星を探し出します。史上初の系外惑星の発見をもたらし、以降も多くの系外惑星を検出しています。

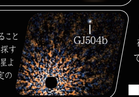


トランジット法

地球と太陽の間を金星や水星が通る際、太陽表面をそれらのシルエットが横切るのが見えます。これと同様に、系外惑星の軌道が地球から見て真横になっている場合、その軌道はちょうど主星の前を通過(トランジット)します。その際、主星がわずかに暗くなる現象を利用するのが「トランジット法」です。2000年に初成功し、2014年3月時点で1,000個を超える系外惑星を検出しています。

直接撮像法

惑星からの光を直接捉えるのが「直接撮像法」です。地球型の系外惑星の光を捉えることは非常に困難で、主星の明るい光の陰で、それより10桁は暗い光(25等分暗い光)を探すことになります。2013年現在、直接撮像の成功例は10 個程度。近赤外線において主星より6桁暗い光を持つ、木星型の系外惑星などです。現在、宇宙望遠鏡や地上に建設予定の超大型望遠鏡など、様々な手段を用いた直接撮像計画が進行中です。



■初の系外惑星が発見される

1995年、スイスの天文学者メイヨールらによりペガスス座51番星の周囲に惑星が存在することが報告されました。発見された系外惑星は、太陽に似た星の周囲を4日程度で回る、驚くべき天体でした。太陽系でいえば、水星よりはるかに近い軌道を、木星の半分程度の重さのガス惑星が猛スピードで回っていることになります。この種の系外惑星は、主星に非常に近いことから「ホットジュピター」と分類されました。

■想像を超えた惑星系たち

これを機に、惑星形成論はさらに大きな変更を余儀なくされました。従来おおむね正しいと思われてきた太陽系の形成理論では、ホットジュピターの形成をどうしても説明できなかったのです。しかし、これまでの常識が通じないと分かったことによって、様々な惑星系の発見が相次ぐことになりました。

太陽系では彗星などの小天体に特有のものである、楕円軌道を持つ惑星。太陽系の惑星とは異なり、主星の自転方向とは逆向きに公転する惑星。主星の自転軸に対して、傾いた軌道で公転する惑星。地球の数十倍程度の重さの惑星が主星近くにあるホットネプチューン[※]や、地球の数倍の重さを持つ「スーパーアース」など、多種多様な惑星系が、太陽系の惑星を含めて統一的に説明できる理論は、未だ完成していません。

■太陽系内に生命は存在するか？

こうした惑星のいずれかに、地球外生命が存在する可能性はあるのでしょうか？太陽系内の惑星はどうでしょう？この地球上でも、普通の生物ではとうてい生きられない深海や地下深くなど、極限の環境下で生存可能な微生物が多数発見されています。この事実から、他の惑星や衛星にも生命が存在する可能性が考えられます。

近年、火星の地下に水があることが確認され、エンケラドス(土星の衛星)やエウロパ(木星の衛星)といった氷で覆われた天体に「内部海」が存在することがわかってきました。人間のような形の知的生命の存在については否定的な見方が主流ですが、バクテリアなどの微生物まで含めると「存在する」と考える研究者が多くなってきており、その発見に期待が寄せられています。

地球の深海熱水環境に、驚くほど高密度に生息する多様な生物たち。その生態系を支えるのは、惑星内部の熱エネルギーに由来する還元化学物質によって有機物を創り出す「化学合成微生物」です。地球以外の惑星で衆星の内部海にも、このような太陽の光を要しない生命の可能性が考えられています。

■地球は、地球を見つけられるか？

発見された系外惑星には、地球のような岩石の惑星も含まれています。「ハビタブルゾーン(居住可能領域)」と呼ばれる、水(H_2O)が液体で存在できる範囲に、惑星が発見された惑星系もあります。そこで、宇宙望遠鏡や地上の超大型望遠鏡によって、系外惑星の表層環境や大気を観測する試みが始まっています。液体の水の存在や、水素、アンモニア、メタン、酸素やオゾンなどの物質が含まれていないかを分析し、生命活動を支える環境の有無や、生命活動の痕跡ふしもをのパ(バイオマーカー)を探えようというのです。そして、天文学や生物学の学際的協力による「アストロバイオロジー(宇宙生命学)」が立ち上がり始めています。

ここに、生命を育てる惑星を仮定してみましょう。その惑星ではどのようなロが昇り、どのような大地を暖め、どの方角に沈むのでしょうか。衛星はあるのか。四季は巡るのか。その惑星の知的生命体はどんな文明を有ん、歴史を紡ぐ。そして、星空に何を見つめているのでしょうか？

第X章　太陽系を見つける