

赤外線で、銀河系の中心部まで見とおし、系外惑星をさぐる

京都大学が東京・品川の「京都大学東京オフィス」で開く連続講演会「東京で学ぶ 京大の知」のシリーズ 13「宇宙に新たな知を求めて」。2013 年 12 月 18 日の第 4 回講演では、理学研究科の長田哲也教授が「赤外線で、銀河系の中心部まで見とおし、系外惑星をさぐる」と題して、赤外線を使った宇宙観測の現状や今後の展望について語った。

●赤外線とは



「どちらが赤外線観測用の望遠鏡だと思えますか」など、参加者とのやりとりを交えながら講演する長田教授

「赤外線を使ってどんなことができるのかお話しします」

理学研究科の長田哲也教授は、まず赤外線の説明から始めた。

太陽の光を 7 色に分けた太陽スペクトルだが、そのうちの可視光線は波長が $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ 。波長が短いと紫や青色になり、波長が長いと赤色になる。

では、波長が $0.8\mu\text{m}$ だとうか。「これはもう目に見えません。これが赤外線です」

赤外線が発見されたのは 1800 年。ウィリアム・ハーシェルが太陽スペクトルの色別に温度を測ったところ、青から赤にかけて温度が上昇すること、さらに赤色部の外側で最も温度が上昇することを発見したのである。

「これによって光には目に見えないものがあることが証明されたのですが、それですぐに赤外線天文学が始まったかという、そうではありません」

精密な温度計の開発には 20 世紀のテクノロジーを待つしかなかったからだ。

1960 年代になってボロメーター検出器が天文学に応用され、また、1965 年にはバンドギャップの赤外線センサーで検出された天体 5612 個がカタログに掲載。その後、赤外線天文

衛星による観測が行われ、1983年には40万個、1990年代後半には4.7億個の天体を検出している。

電磁波は波長の長いほうから電波、赤外線、可視光線、紫外線、X線、 γ 線とあり、天体が発する各種電磁波を感知できれば、宇宙からさらに幅広い情報を得られることになる。

日本と欧米がチリのアタカマ砂漠に建設したALMA望遠鏡は、66台ものアンテナを一つの超高性能な電波望遠鏡として運用。日本が打ち上げたすざく衛星によってX線観測も行われており、現代の天文学は赤外線に限らず、各種電磁波による研究が進んでいる。

●赤外線で見える

赤外線で見ると、星が誕生している場所が見える。星はガスが集まってできるのだが、ガスが濃くなると、その中にある固体の微粒子も密度が増える。

そういう場所では、光の吸収や散乱が激しくなって可視光線では見えなくなるが、赤外線カメラならはっきりと見通すことが可能なのだ。

天体をプロットする場合、単位は角度である。地球上に緯度・経度があるように、空にも座標が振っており、東西で180度。高度は90度で天頂。太陽や月の直径は0.5度に相当する。0.5度は30分角で、1分角は60秒角。地上の望遠鏡で普通に観測すると、見分けられるのは1~2秒角程度である。

●太陽系外惑星の検出法

近代的な天文学が始まってからも、惑星といえば水金地火木土天海であったが、1995年、太陽系外の恒星に惑星があるという証拠が見つかった。

太陽系外惑星の検出法は、直接法と間接法の2つに分けられる。直接法は、惑星からの光を直接とらえる方法。間接法は、惑星が主星に及ぼす影響を間接的にとらえる方法で、数種類がある。

間接法で最初に行われたのがドップラー法だ。

「ドップラー効果はご存じだと思います。救急車が近づいてくる時は高い音なのに、通り過ぎると低い音になる。これは音という波が近づいてくる時には波長が縮み、遠ざかる時には波長が伸びるからです。これと同じことが光にも起こります」

実は、惑星の重力の影響で主星自身も回っている。例えば、太陽は地球の重力によって

1cm/秒程度の速さで動き、太陽系の中で最も重い木星になると、12m/秒の反作用を太陽に及ぼす。

この時、恒星が我々から遠ざかると光は赤いほうへ、近づくと青いほうにずれる。

「このずれをとらえ、惑星の影響によって起きる主星の速度変化を測定することで惑星を検出するのが、ドップラー法です」

主星と惑星の重さや距離によって主星のふらつきは異なる。重さが同程度の場合、距離が遠いとふらつきは小さく、距離が近いと引力も強く働くため主星は揺さぶられやすい。

「惑星が重いほど、また距離が近いほど、発見しやすいことになります」

1995年、ドップラー法によって初めて発見された太陽系外惑星は、ペガサス座 51 番星 b である。この惑星は 4 日という短い周期でペガサス座 51 番星を公転しているため、恒星自身も 50m/秒という大きい振幅が観測されたのである。

太陽系で最も太陽に近い水星の公転周期は 88 日。地球は 365 日、木星は 12 年。長周期の惑星は検出が難しいが、ようやく数年周期の惑星が見つかり始めている。

間接法であるトランジット法は、恒星の前を惑星が横切ることによって起きる「惑星の影」を確認する方法で、実際には星の明るさの変化を調べる。身近な例では、2012 年の金環日食、金星の太陽面通過など、惑星が太陽を隠す影が観測されている。

これらの間接法により、今や太陽系外惑星は約 800 個も発見されている。

また、トランジット法では、ケプラー衛星の打ち上げによってより精密な明るさ測定が可能となり、3000 個近い惑星候補天体も見つかっている。

「でも、天文学者としては、やっぱり直接観測をして惑星からの電磁波を詳しく調べたい」と長田教授は言う。

主星と惑星の関係は、遠くにある灯台とその周りを飛ぶ蛍に例えられる。この蛍を見つけるにはどうすればいいのか？

暗い蛍を見つけるのに必要なのは、高い感度と、灯台と蛍を見分けるための高い空間分解能だ。加えて、実際には灯台の光が明るすぎて蛍の観測が難しいため、灯台と蛍の高い強度比を解消する高いコントラストも必要になる。

この強度比は 1 億倍から 10 億倍にもなるので、強度比を解消するために、主星の明るさを減じる技術が必要になる。

そこで使われるのが赤外線だ。惑星の赤外線をとらえることで、何億という強度比を 100 万程度にまで落とすことが可能となる。

今や、すでに直接法によって 30 個程度の惑星が見つまっている。

主星と惑星の距離が近すぎるとノイズが多くて区別がつきにくく、距離が離れているほど発見できる可能性も高いのだが、生命体が存在する可能性がある木星軌道をさぐるにしても、木星軌道ぐらい主星に近くなってくると現在の技術ではノイズがまだまだ多い。

「重要なのは、いかにノイズを減らしコントラストを高められるか。私たちが進めている京大岡山 3.8m 望遠鏡計画では、現在のすばる望遠鏡より 100 倍も高性能な技術を搭載します。2015 年度中のファーストライトを目指しており、これによって直接観測も進むはずですよ」

●ブラックホールはこわくない？

ブラックホールは物質も光も脱出できないような強い重力を持つ、大質量の天体。「こんなのが銀河系の中心にあれば、いずれ地球も吸い込まれてしまうのじゃないか、と思いますよね。でも、ブラックホールはこわくないのです」

ブラックホールから脱出するには、どれだけの速さが必要か。

地球表面から脱出するのに必要なのは 11km/秒、太陽表面からだと 620km/秒。それに比べて光速は 30 万 km/秒と桁違いなのに、その光速をもってしても、ブラックホールからは脱出できない。「ただそれは表面だから。表面より遠くにあればそれなりの速度で脱出して来られるのです」

月が地球の周りを、地球が太陽の周りを回っているのは、万有引力と遠心力の等式が成り立っているため。ブラックホールも同じなのだ。

興味深い天体であるブラックホールの観測は、世界各国で活発に行われてきた。

銀河系中心にある超巨大ブラックホールいて座 A* (SgrA*) を観測してみると、静穏時にはほとんど見えないのに、フレア時は明るくなる。近傍の星の明るさはほぼ一定なのに対し、SgrA* は明るくなったり暗くなったり大きく変化する。

「ブラックホールの近くからは光も脱出することができないので黒く見えるけれど、その周囲を回っているガスが光っているのだと思います。そしてドップラー効果によって明るくなったり、暗くなったりするのでしょう」

星の観測の際、大気のゆらぎによって光の波面が乱れてしまう。そのゆらぎを補正する

のが補償光学技術。大気のゆらぎをセンサーでとらえ、望遠鏡の鏡面を変形させることで鮮明な像を得るといったものだ。また、すばる望遠鏡にはレーザーガイド補償光学装置も搭載され、よりクリアに銀河系の中心を観測することが可能となっている。

最近になってブラックホールにガスが落ち込む時に X 線や赤外線を出すことが明らかとなり、ブラックホールの直接的な証明に近づいたとされる。

「これらの現象をとらえるには頻りに観測することが必要ですが、すばる望遠鏡を利用するにも制約が多い。だから今、自分たちで望遠鏡を持とうとしているのです」

それが前述の京大岡山 3.8m 望遠鏡計画である。民間の資金を受け、大学間連携によって製作が行われており、半分近くは完成している。

すばる望遠鏡には 1 枚の精密な鏡が使われているが、この方法で大きな鏡を作るには限界があり、また、大きな鏡を作るために何百枚もの鏡を精密に制御する技術は、今のところ米国にしかない。そこで、この京大岡山 3.8m 望遠鏡計画では、18 枚の分割鏡を制御するという新技術を盛り込む予定である。

同計画では「アジア最大の望遠鏡を国内に」をスローガンにしている。もし日本上空でガスが落ち込んだ場合、ハワイやオーストラリアなどにある望遠鏡からは観測できず、ブラックホールの厳密な存在証明となり得る貴重な現象を見逃してしまうからだ。

「だからこそ計画を成功させたい」。そんな決意で、長田教授は講演を終えた。



京大岡山 3.8m 望遠鏡計画に対する参加者の関心が高く、「補償光学搭載の詳細」や「鏡の種類」などの質問もなされた