

太陽系外地球型惑星の発見

名古屋大学太陽地球環境研究所 村木 綏

2005年8月7日、我々の銀河中心方向に地球の5.5倍の質量を有した地球型惑星が発見された。この発見は重力レンズ法を使ってなされた。そこで重力レンズ法の説明と、発見の科学的意義について解説する。

①光の直進とアインシュタイン

我々は、ユークリッド幾何学で記述される空間で日常生活を送っている。従ってこの世界では、光線が水に入るとか特別な場合以外光線は直進する。しかし光が直進するというこの“常識”は、宇宙では成立しない。特にブラックホールの近傍では入射光線の進路が大きく曲げられる。このような世界は非ユークリッド幾何学で記述される。

アインシュタインは、巨大な質量があるとその近傍の空間が歪んでいることを始めて指摘した。このアインシュタインの一般相対性理論の予言を確認するため1919年5月29日、英国からエディントンの日食観測隊がアフリカの赤道ギニアに派遣された。その日、皆既日食で隠された太陽の縁にあった星の位置が、アインシュタインが予想した値1.75秒角ずれていた。それ以来“強い重力のある星の周囲を通過する光線は直進せず曲げられる”という一般相対性理論の概念が受け入れられるようになった。(註1, 2)

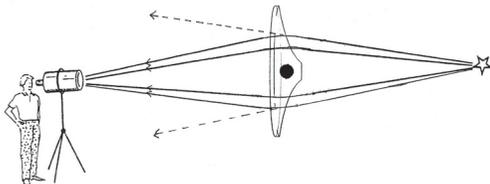


図1 遠方の星(☆印)の光が重力レンズ領域(中央の●印)を通過した時の軌跡。星の光(☆印)は直進せず屈折し集光されるので増光する。中央のレンズ天体(●印)はブラックホールや惑星のような暗い天体に対応している。

②重力レンズ

本来直進して地球に到来しない光も重力場で屈折して地球に届くようになる。そのため後方天体の光が一時的に明るくなる。強い重力の働く空間はレンズの働きをする。このレンズを利用して自らは発光しない暗黒天体を検出する方法を“重力レンズ法”という。それを図1で表す。

ここでプラスチック板を加工して使って作った重力レンズの写真(写真1)を紹介する。

レンズの形状は凸レンズでも凹レンズでもなく、富士山のような形をしている。そこでこのプラスチック重力レンズでボールの運動を撮影する。ボールがプラスチック重力レンズの中心付近を通過した時にボールの像は著しく変形しリング状になる(写真4)。

ここでボールを遠方の星、レンズをブラックホールや惑星と考えると重力レンズ効果が良く理解できる。即ち自ら光を出さないブラックホールや惑星でも、後方の星の光を利用して重力レンズを検出すれば、そこに重力レンズを有した見えない天体が存在していることがわかるのである。

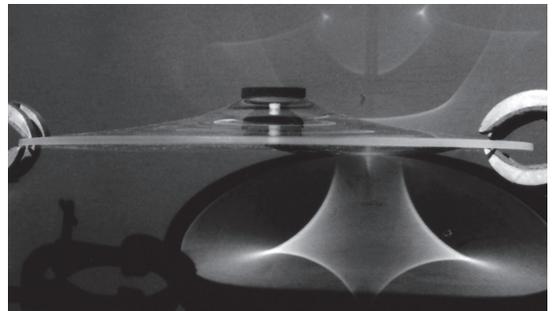


写真1 プラスチックで作った重力レンズと等価なレンズ。富士山のような形をしている。

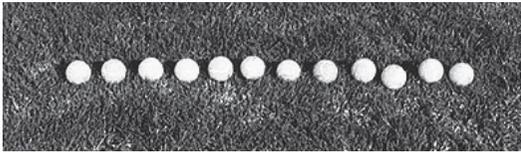


写真2 並んだテニスボールを、ボールの運動の連写(星の動き)と見立てる。

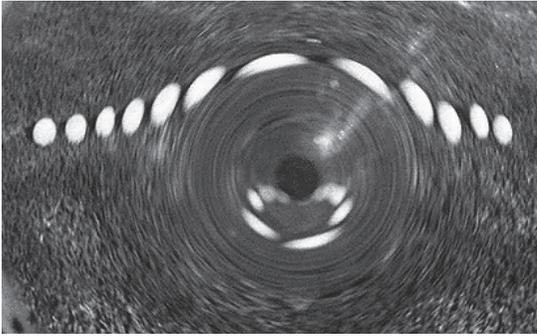


写真3 写真2のテニスボールの運動を重力レンズで見た写真。テニスボールがレンズの端を通過した場合。

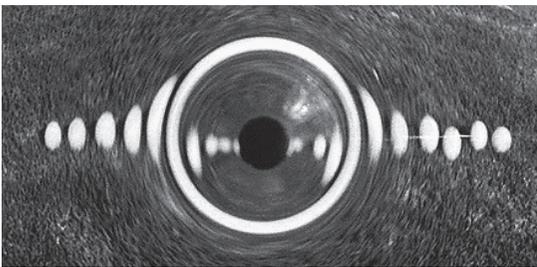


写真4 写真3と同じ。ただしテニスボールがレンズの中心を通った場合。ボールは球ではなくリングになって見える。一次元の点(星)が二次元のリングになる!

③どのようにして地球型惑星を見つけたのか?

自ら光を出さない遠方の惑星は望遠鏡をむけても見ることはできない。1995年頃から、この見えない惑星を見つける努力が盛んに行われた。その結果、光のドップラー法で現在までに140個見つかった(詳細に興味のある方は次のwebサイトを参照：<http://exoplanets.org/massradiiiframe.html>)。しかし我々は重力レンズ法という全く異なる方法を使用して惑星の検出を試みた。重力レンズ法で惑星を発見する確率は多くはないが、“無バイアス”で惑星を検出できる魅力がある。

重力レンズ法では、銀河中心方向に望遠鏡を向けて毎晩2000万個以上の星をモニターし、それ

らの星の前にレンズ天体が存在するか否か調べる。星の数があまりにも多いので、最新の計算機を使っても観測と同じ位計算時間を必要とする。計算時間を省くため差分測光法というソフトを開発した。そのおかげで計算時間が1/5に減った。しかしそれでも計算機の能力が不足気味である。

観測データの中に変光星のような紛らわしい天体も入ってくる。しかし次第に経験を積むと変光星と重力レンズの区別ができるようになる。レンズ天体が存在するか否かの判定は、星の増光曲線を見て判定する。増光曲線が重力レンズから期待される曲線を示しているかどうかで決める。また別の方法として色による増光度の違いを調べる方法がある。変光星は、星が膨張すると温度が下がり星は赤みを増し、星が収縮すると温度が上がり青みを増す。赤と青両方のフィルターを通して観測すると、赤色のフィルターを通して見た時と青色のフィルターを通して測った増光曲線に差がある。一方重力レンズは空間の幾何学的な配置によって生じるので増光曲線は波長に左右されない。そのため赤色のフィルターを通して見ても、青色のフィルターを通して見ても差はない。これが変光星と重力レンズを区別する決定的な決め手になる。

星の質量は増光時間の違いからわかる。太陽と同じ程度の質量を有した星であれば、重力レンズの半径が大きいので増光時間は2ヶ月程度続くが、木星と同じ程度の天体では2日間くらい、地球程度の天体だとわずか2時間しか増光は継続しない。これでは地球型惑星が見つかるか否かは運次第になる。そこで南天にある各国の天文台の望遠鏡を連動し、興味ある天体を24時間連続観測する方法を確立した。毎晩追尾する候補は何例もあり、すべてを同時に追いかけれられないため狙いを定めて観測することになり見落としもでる。

④太陽系外地球型惑星発見の意義

重力レンズ法で見つかった最初の2例の惑星の質量は木星程度の重い惑星であった。光のドップラー法で見つかった140個の惑星観測の結果と大

差なかった。(観測データ及び詳細は次の web サイトに: <http://bulge.astro.princeton.edu/~ogle/>) これらの観測データから、地球のような軽い惑星を伴った惑星系は非常に稀な存在であると考えざるをえない状況が生まれた。

最近の理論は惑星形成をどのように考えているのだろうか。東京工業大学の井田 茂先生のグループがどのような惑星系が形成されるかシミュレーションで調べた。その結果、木星のような大型惑星ばかりで構成された惑星系も作られるし、地球型小型惑星ばかりでできた惑星系も作られるという結論がでた。井田さんたちは、私達太陽系はちょうどその中間にあると予想している。大型惑星系になるのか、小型惑星系になるのかは、最初の原始惑星系を取り囲んでいた塵や分子雲の総質量によって決まるとというのが結論である。

光のドップラー法の観測結果は、原始惑星系の分子雲の質量が多いものが主流であることを示唆する。主星の運動が惑星で揺らぐことを利用して惑星を検出するドップラー法では、どうしても主星の近くに重い惑星を伴う惑星系を選びやすくなり、測定バイアスを伴う。つまり重い惑星は主星に大きな揺らぎを与えるのでその検出が容易になる。そこでバイアスの少ない“自然な”観測が望まれ、重力レンズ法が注目を浴びた。

2005年8月7日に、ついにNZ南島テカポに設置したMOA 1.8m望遠鏡は、地球から離れること2万2千光年のかなたに、地球の5.5倍の質量を有した軽い惑星の存在を見出した。(図2) (日本—NZ共同研究MOAの詳細はwebサイト <http://www.phys.canterbury.ac.nz/moa/> を参照。また観測の詳細は拙著『3つのダークマター』(開成出版)に詳しい。) 地球型惑星発見の科学的意義は、我々太陽系のような惑星系が宇宙に存在する可能性を初めて観測的に明らかにした点にある。

今後はもっと事例を集め、どのような質量を有した惑星系が、私達の銀河系に最も頻繁に存在するのか調べる課題がある。同時に主星と地球型惑星間の距離が程よく離れており、生命が存在する環境の惑星を探査することが大きな課題である。

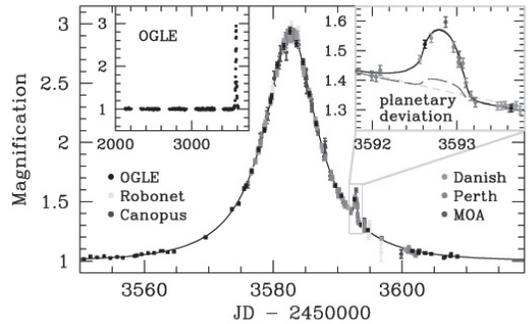


図2 縦軸は後方の星の増光度、横軸は時間を表す。7月31日にピークがある増光は主星の重力レンズによるもの。それから数日後に小さな増光がある。これが小型惑星の重力レンズによるピークである。

暑からず、冷たからず主星からほど良く離れていることが生命には重要である。今回の惑星は気温が零下220度と予想され、そこに生命が生存する可能性は極めて低い。我々と同じ生命を宿す可能性の高い“地球の兄弟星”を求めて、世界のEarth Hunterは今晩も銀河の中心を観測している。最後に写真を提供してくれましたNZオークランド大学のP. Yock教授とMOA観測グループのメンバーに謝意を表す。

註1：一般相対性理論は今や現実の日常生活に深くかかわっている。GPSシステムにこの知識が生かされている。特殊相対性理論では光速に近い早さで走るシステムでは時計が遅れる。一方、一般相対性理論では重力が弱くなると時計が早く進む。カーナビに広く利用されているGPSシステムにはこの効果が取り入れられているのである。

註2：1919年5月29日の観測結果はかなり大雑把なもので、一般相対性理論をこの観測で証明したと言うことには異議をもつ科学史研究者もいる。しかし最近の精密な観測でももちろん一般相対性理論の予言したとおりの結果が得られている。