

# ダークマターの研究

金光研究室 松本 奨勢

## 1. 序論

宇宙に存在する物質の量を調べる方法は、大まかに分けて二つある。一つは、物質の出す電磁波の強さから推定するもの、もう一つは天体やガスの運動の観測からそれらに働く重力の源となる物質の量を重力の理論を用いて推定する方法である。

これらの方法を用いて観測してみると、後の方法を用いて決定された重力質量が前者の方法から得られた質量の10倍以上、場合によっては数百倍にもなることが判明したのである。

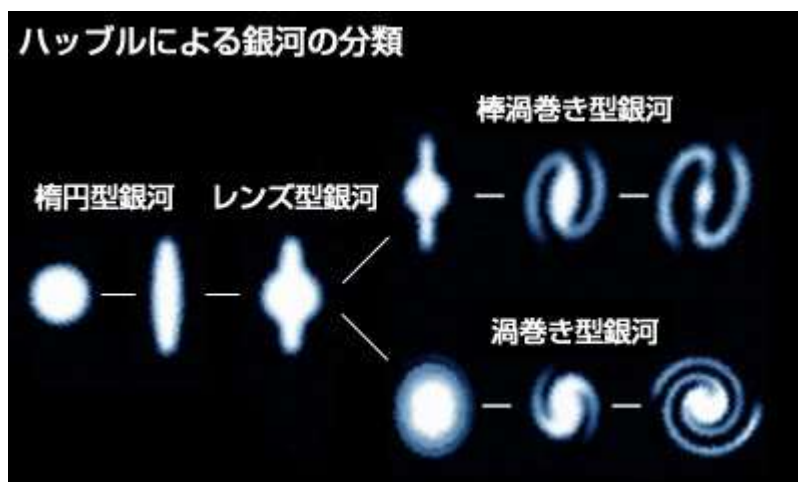
この重力の担い手となる物質は電磁波で観測できないという意味でダークマターと呼ばれている。

そして、1970年代になると、このダークマターが個々の銀河のまわりにも存在することが明らかになった。

本研究では、銀河を取り巻く「暗黒物質 (ダークマター)」について調べ、ダークマターと銀河の回転運動との関係を観察できるシミュレーションを作る。

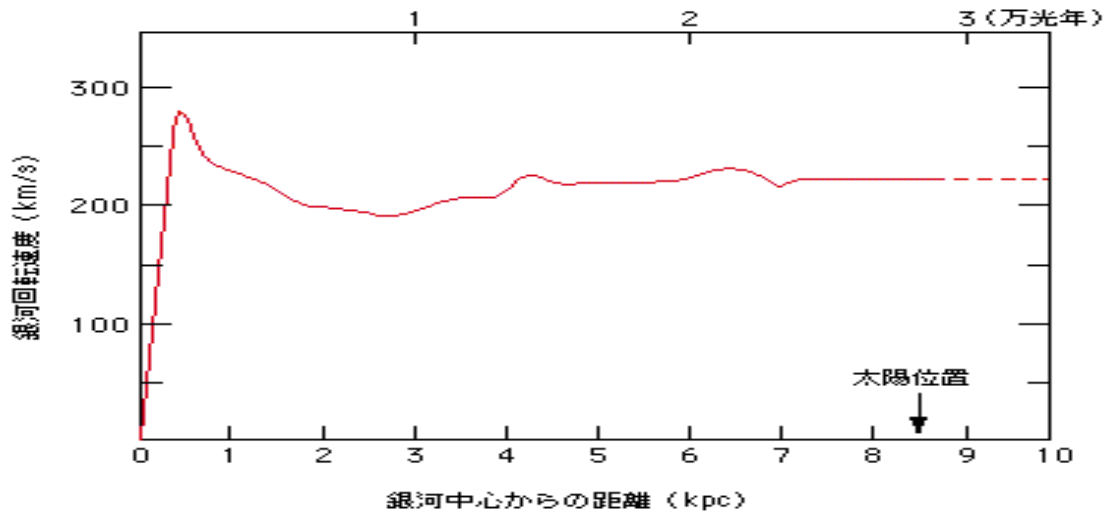
## 2. 銀河の回転曲線

さまざまな銀河の形をはじめて分類したのは、アメリカのエドウィン・ハッブルである。ハッブルは、自分の観測をもとに銀河を見かけ上の形にしたがって、見かけが楕円体状で星間ガスを少ししか含まない「楕円銀河」、円盤状で渦巻模様を持つ「渦巻銀河」、渦巻銀河に似ているが、中心部に棒状の形態が見える「棒渦巻銀河」、中心部と円盤部の区別はあるが、円盤部に渦巻き腕をもたない「レンズ状銀河」、不規則な形状を持ちガスを大量に含む「不規則銀河」に分類した。



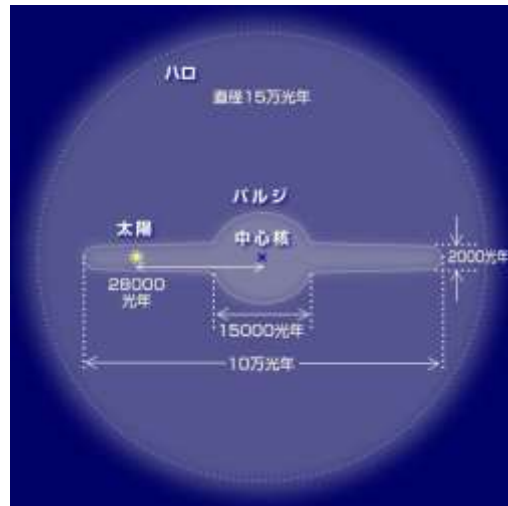
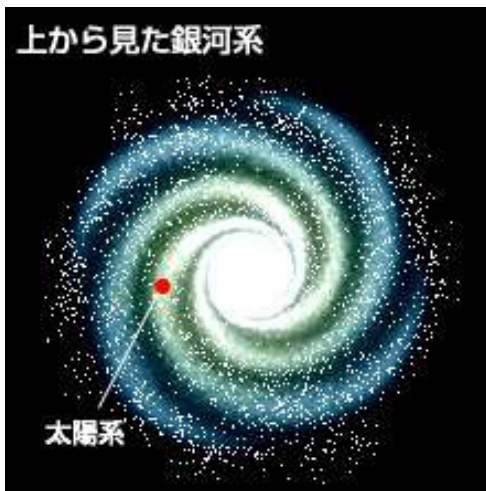
これらのうち、渦巻銀河では星やガスが円盤に沿って回転運動をしていることが知られている。この回転運動は一様回転ではなく、回転角速度が銀河の中心からの距離と共に変わっている微分回転と呼ばれる回転をしている。この回転速度  $V$  を銀河中心からの距離  $R$  の関数として表した曲線は銀河の回転曲線と呼ばれている。

銀河系の回転曲線



### 3. 暗黒ハロー

渦巻銀河は中心部にある「バルジ」と呼ばれる丸い部分と、渦巻きに見える「円盤部」からなる。これらの円盤とバルジを取り囲むように「ハロー」と呼ばれる領域が広がっている。



質量  $m$  の物体が質量  $M$  の物体のまわりを回転運動しているとき、重力と遠心力は釣り合っている。したがって、

$$GmM / r^2 = mv^2 / r$$

の関係が成り立っている。(  $G$  は重力定数、  $r$  は物体間の距離、  $v$  は質量  $m$  の物体の回転速度) これを回転速度  $v$  について解くと

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

といった、いわゆるケプラー回転速度を得ることができる。

もしも、銀河がバルジと円盤だけでできているのであれば、質量が中心の方に集中しているときは、回転速度は半径の平方根に反比例して減少することになる。しかし、ほとんどの銀河では回転速度は半径によらず一定の値をとることがわかっている。半径によらず

回転速度がほぼ一定になるためには、銀河の質量が半径に比例して増加する必要がある。

この事実は、大量の物質が銀河を取り囲むように外のほうまで分布していることを意味する。こうして、暗黒物質のかなりの部分が、個々の銀河にくっついていることが分かった。したがって、ダークマターがハロー領域にも広がっていることにより、銀河を包む暗黒物質は「暗黒ハロー」と呼ばれている。

#### 4. シミュレーション

このシミュレーションでは、「暗黒ハロー」が銀河の回転速度に与える影響について調べる。まず、中心の質量が  $10^{11} M_{\odot}$  で半径が  $15 \text{ kpc}$  の仮定の銀河系をつくり、銀河系の可視総量  $10^{11} M_{\odot}$  と半径  $15 \text{ kpc}$  をそれぞれ 1 とした。これに、暗黒ハローの質量比と半径比を与えることによって星の速度が決定されるプログラムをつくった。これによってできる銀河の回転曲線の変化について考察する。

星がハローの質量によって速度に影響がでるとき、銀河中心から星までの距離  $r$  のところでのハローによる重力は  $r$  内の質量によるため、ハローの半径を  $R$ 、ハローの質量を  $M_2$ 、ハローによって星にかかる重力を  $M'$  とおくと、

$$M' = \frac{4}{3} \pi r^3 \times \rho \quad (\rho \text{ は密度}) \quad \rho = \frac{M_2}{4\pi R^3 / 3} \quad \text{より}$$

$$M' = \frac{r^3 M_2}{R^3} \quad \text{となる。}$$

星にかかる全体の重力は  $M = M_1 + M'$  ( $M_1$ : 銀河質量) となり、

$$\text{星の速度 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \text{ で求められる。}$$

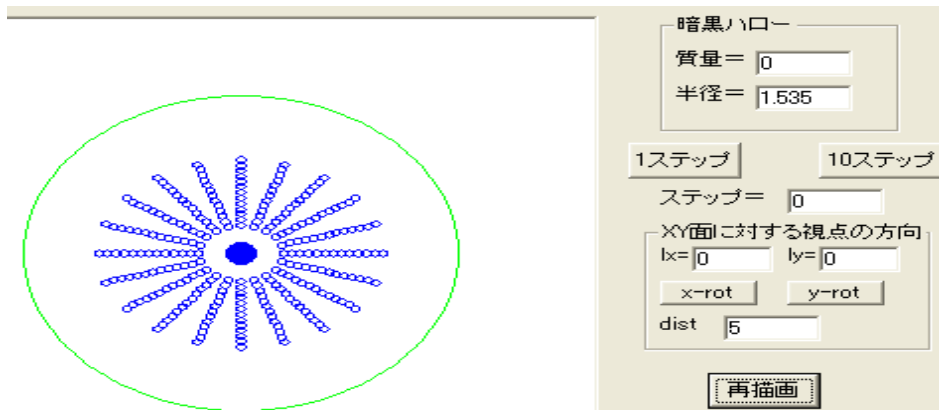
##### 4. 1 暗黒ハローの質量を 0 とした場合

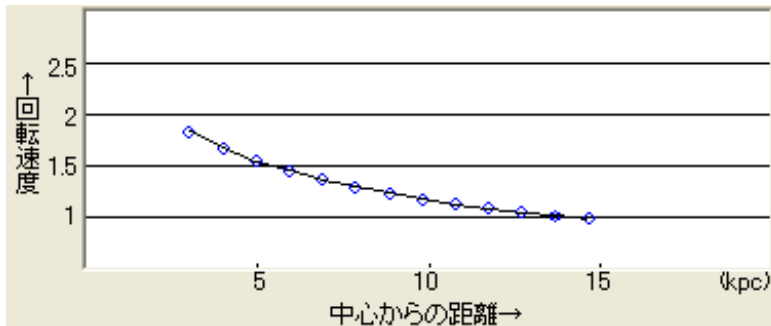
ハローによる重力は発生せず、銀河系質量は中心に集まっているため、星の速度はケプラーの回転速度より、

$$v = \sqrt{\frac{GM_1}{r}} \quad (v: \text{速度} \quad G: \text{重力定数} \quad M_1: \text{銀河質量} \quad r: \text{星までの距離})$$

プログラムでは  $G=1$  の単位系で、 $M_1=1$  としているので

$v = \frac{1}{\sqrt{r}}$  となり、回転速度は星までの距離の平方根に反比例して減少することがわかる。





星の回転速度			
星1=	1.825741	星8=	1.188372
星2=	1.670615	星9=	1.142279
星3=	1.549317	星10=	1.101163
星4=	1.451105	星11=	1.064191
星5=	1.369477	星12=	1.030708
星6=	1.300237	星13=	1
星7=	1.240538		

ここで、星は銀河円盤内径より星1～星13までとする。

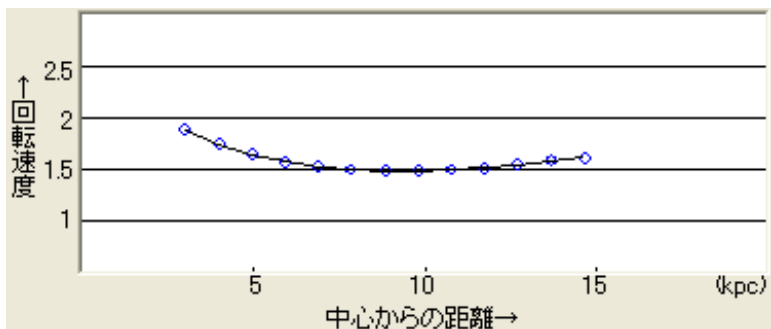
#### 4. 2 暗黒ハローの半径を銀河系ハロー領域の値に設定し、銀河系速度に近づけた場合

銀河系ハロー領域は半径約7.5万光年といわれている。また、銀河中心からの太陽の位置は  $2.8 \pm 0.3$  万光年であり、太陽近傍における銀河回転速度は  $220 \pm 20$  km/s と観測されている。太陽位置より外側における銀河回転は最近の観測によれば、太陽位置より外側では、回転速度はほぼ一定 ( $220$  km/s) ないしはゆるやかに増大しているといわれている。このことから、

$$\text{ハロー半径 } R = 7.5 \text{ 万光年} = 23.025 \text{ kpc} = 1.535$$

$$\text{太陽の位置 } 2.8 \text{ 万光年} = 8.6 \text{ kpc} \quad \text{より、}$$

星7=9kpc と星8=10kpc を比較し、星7と星8の速度がほぼ一定となる時のハローの質量を求めると、 $M_2 = 5.8$  のときそれぞれの速度がほぼ等しくなり、太陽位置より外側では、回転速度がゆるやかに増大していることがわかる。



星の回転速度			
星1=	1.864848	星8=	1.488723
星2=	1.731135	星9=	1.498906
星3=	1.636674	星10=	1.517641
星4=	1.570787	星11=	1.543642
星5=	1.526886	星12=	1.575831
星6=	1.500560	星13=	1.613575
星7=	1.488640		

#### 5. まとめ

今回の研究では、銀河系の回転速度と暗黒ハローの関係を視覚的に捉えることができ、結果からハロー領域内にも「暗黒物質」が存在していると言えることがわかった。課題としては、銀河系の回転曲線に近づけるために銀河中心部にバルジの質量をおき、星の数を増やし、滑らかな曲線を描けるように改善する必要がある。