

銀河には電磁波では観測できない膨大な質量、つまりダークマターが潜んでいると推定されている。このレポート課題では実例をもとに、ダークマターの存在に迫ってみよう。図 1 は渦巻銀河 M33 (写真) の回転速度分布を測定した結果を示している。ここから、M33 の質量分布について考察しよう。

銀河の中心からの距離 r における回転速度 V は、次式で表される単位質量あたりに働く万有引力と遠心力のつり合いに従う。

$$G \frac{M(r)}{r^2} = \frac{V^2}{r}$$

ここで G は万有引力定数、 $M(r)$ は中心からの距離が r 以内の空間に存在する質量である。簡単のため、質量分布は球対称で近似している。この式を V について解くと、距離 r における回転速度は次式に従う。

$$V = \sqrt{G \frac{M(r)}{r}} \quad \text{①}$$



つまり回転速度と質量には関係性があり、回転速度分布をもとに銀河の質量を推定できる。以上を踏まえて、課題 1～3 に答えよ。計算過程や考察もまとめること。

課題1. 電磁波を用いた観測から M33 の恒星と星間ガスの質量の和は 6×10^9 太陽質量と推定されている。この質量が全て M33 の中心にあり、他の質量は無視できると仮定した場合の回転速度分布を以下の手順に従って求め、図示せよ。

- a. $r=5\text{kpc}$ における速度を求め、図 1 の中に記せ。
- b. この場合、 M が r によらず一定であるため、①式から回転速度は \sqrt{r} の逆数に比例する。このときの回転速度分布を、図中に描け。

課題2. 見えない物質の影響を加えることを試みる。M33 の中心から 15kpc 以内の球状領域に合計 6×10^{10} 太陽質量が一定の密度で分布している場合の回転速度分布を以下の手順に従って求め、図示せよ。

- c. $r=15\text{kpc}$ における回転速度を求め、図中に記せ。
- d. $M(r) \propto r^3$ を用い、 $r < 15\text{kpc}$ において回転速度 V が r の何乗に比例するか求めよ。またこの場合の回転速度分布を図中に描け。

課題3. 観測をよりよく説明できるよう、質量分布を工夫することを試みる。中心から半径 3kpc 以内の球状領域に合計 6×10^9 太陽質量が一様に分布し、さらにその外側では半径 15kpc まで合計 5.4×10^{10} 太陽質量が一様に分布している場合の回転速度分布を以下の手順に従って求め、図示せよ。

- e. $r=3\text{kpc}$ における回転速度を求め、これを起点として $r \leq 3\text{kpc}$ における回転速度分布を図中に描け。
- f. $r \geq 3\text{kpc}$ では、 $M(r) = A + Br^3$ の形で書ける。ここで A, B は定数で $r=3\text{kpc}$ のとき $M=6 \times 10^9$ 太陽質量、 $r=15\text{kpc}$ のとき $M=6 \times 10^{10}$ 太陽質量であることから求めることができる。これを用い、いくつかの距離における速度を求めよ。それらを滑らかに結び、 $r \geq 3\text{kpc}$ における回転速度分布を図中に描け。

ヒント：計算は距離を m、質量を kg で表して計算を進めるとよい。1 kpc=1000 パーセク= 3.1×10^{19} m, 1 太陽質量= 2.0×10^{30} kg, 万有引力定数 $G=6.67 \times 10^{-11}$ m³ kg⁻¹ s⁻²

学生証番号: _____

氏名: _____

提出日: _____

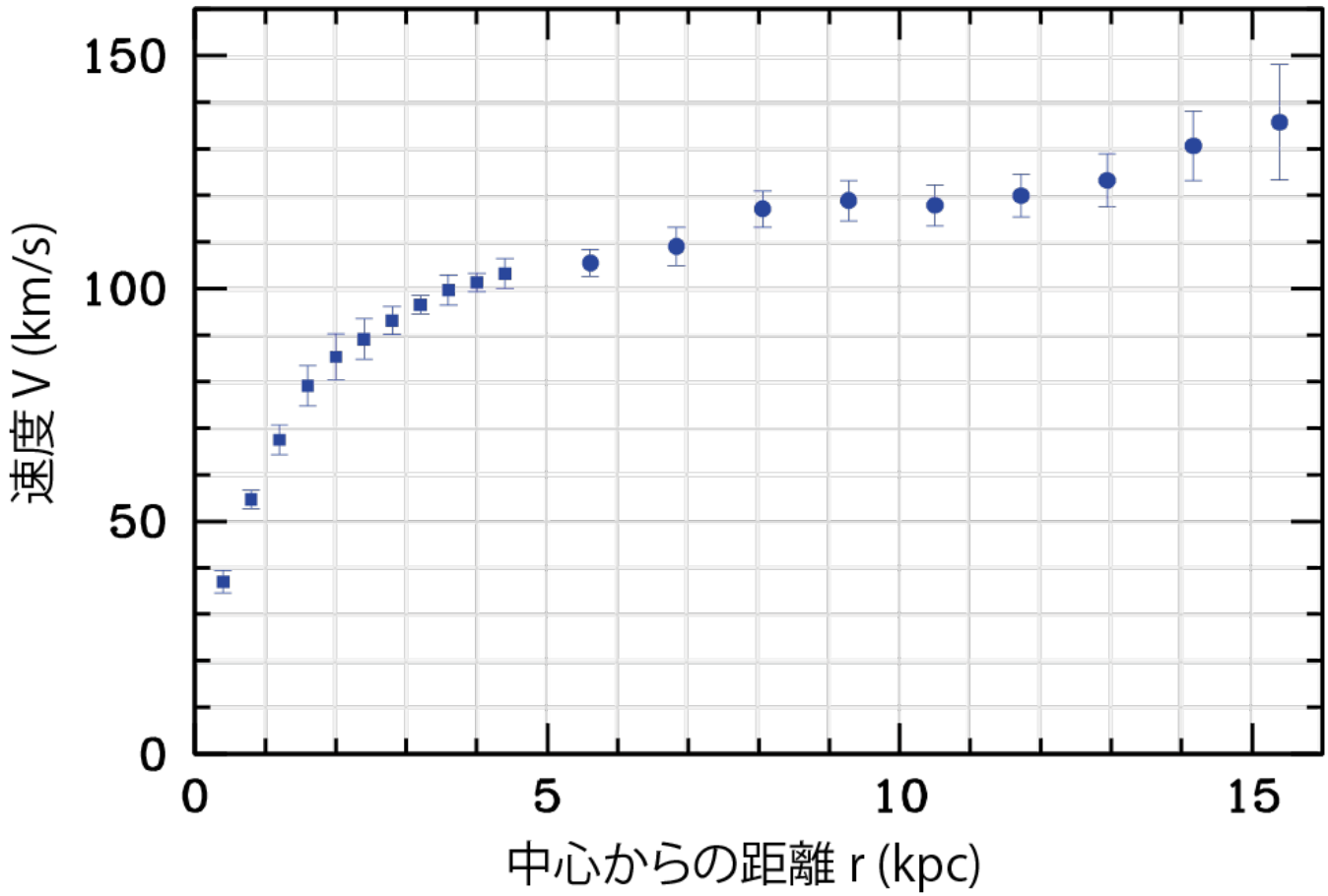


図 1. M33 の回転則分布 (Corbelli and Salucci, 1999 より)。

計算過程・考察
