

銀河の回転曲線が磁場で説明できるのだろうか？

渦巻銀河の回転曲線は銀河の外側の部分において平坦であることが観測的に知られている。この平坦な回転曲線は暗黒物質が存在することの最も説得力のある証拠と考えられているが、この議論では重力以外の力は通常無視されている。Battaner ら¹⁾は、銀河円盤内の方位角方向の磁場がガスに及ぼす力を考慮すると、暗黒物質は考えずにすむという可能性を調べた。M 31 の場合、 $6 \mu\text{G}$ (マイクロガウス) の磁場が必要であり、この磁場中の相対論的電子によるシンクロトロン放射は観測と矛盾しないという。磁場が銀河の平坦な回転曲線を説明するのであろうか？

渦巻銀河の回転曲線は銀河の外側の部分において平坦である。外側の部分は水素原子ガスを観測して回転曲線を求めている。銀河ガスの運動に関与している力が重力だけだと仮定すると、この回転の遠心力と重力がつりあうためには、見えている物質だけでは必要な重力をつくることのできないので、暗黒物質が存在することが結論される。この平坦な回転曲線は暗黒物質が存在することの最も説得力のある証拠となっている。

しかしながら、この議論では重力以外の力は無視されている。暗黒物質が存在するかどうかという問題は非常に重要であるから、他の可能性について考えてみることも必要であろう。例えば磁場である。渦巻銀河の外側の回転曲線は星間水素原子 21 cm 線のドップラー・シフトから得られている。銀河ガスは磁場が凍結する程度には十分に電離しているので、磁力は観測される水素原子の運動や分布に影響を与える。Battaner らは銀河円盤内の方位角方向 (レコードの溝の方向) の磁場が電離ガスに及ぼす力を考慮することによって、暗

黒物質を考えずにすむ可能性を調べた。彼らの議論を次に紹介する。

銀河磁場を考えると、差動回転によって増幅されやすいのは方位角成分だから、大局的構造は方位角成分が卓越しているとして良いであろう。銀河円盤の外側の領域では星は観測されていないので、星の運動については考えずにガスの運動についてのみ考えることにする。

半径方向のガスにかかる力のつりあいを調べてみる。ガスにかかる力はガスの圧力勾配を無視すると重力、遠心力、磁力である。遠心力は外向きの力で、重力は内向きの力である。暗黒物質を考慮しないと遠心力と比較して重力は弱く、磁力が内向きでないと力がつりあわない。磁力は磁気圧力勾配と磁気張力の二つの成分から成る。張力成分があるところが磁力のやっかいな性質である。軸対称性を仮定して方位角成分だけ考える場合、磁気張力は半径方向に内向きの力となる。銀河を磁場というひもでしばって、ぎゅっとしめつけているイメージである。磁場が銀河中心からの距離の一乗に反比例して減少するときに磁気圧力勾配と磁気張力が打ち消しあって正味の磁力は 0 になる。一乗よりも減少の仕方がゆるい場合と外側に向かって増加している場合には、磁力は半径方向に内向きの力となる。つまりこの場合には磁力が重力を補って、銀河ガスの平坦な回転を維持できる可能性がでてくる。

さて、問題は定量的にどの程度の磁場が必要かということである。半径方向の力のつりあいの式から、必要な磁場を計算することができる。重力の分布は明るさの分布から、回転速度は水素原子 21 cm 線から知ることができる。こうして計算して求めた磁場は、M 31 の場合、銀河中心から 30 kpc の位置において強さが $6 \times 10^{-6} \text{G}$ 、磁場の勾配が $-2 \times 10^{-7} \text{G/kpc}$ となる (図 1)。

この結果を観測と比較するために、彼らはこの磁場に伴って放射されるシンクロトロン放射を推定している。このとき単位体積あたりの相対論的

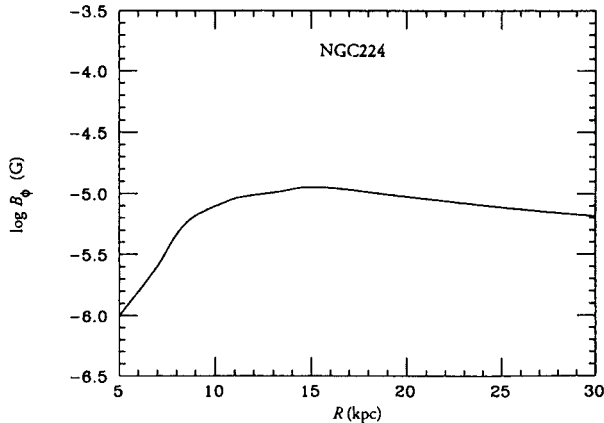


図1 力のつりあいから計算して求めた M31の磁場方位角成分の強度分布。

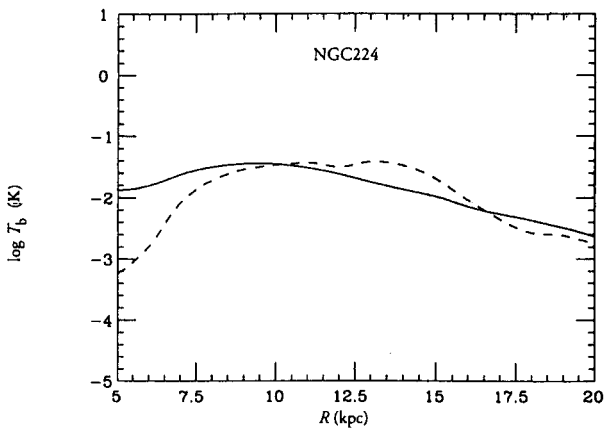


図2 M31の輝度温度。実線は観測値、破線は理論値。

電子の個数は(密度/磁場強度)に比例するという仮定を使っている。このときの比例係数は10 kpcにおける輝度温度が観測と一致するように選ぶ。そうすると10 kpcより外側の輝度温度はまずまず観測と一致するようである(図2)。

しかしながら、この比較は比例係数を任意に選んでいるから定量的なチェックになっていない。彼らも述べているように、ここで得られた30 kpcの位置において6 μ Gという磁場は強すぎる。パーカー不安定性や乱流拡散によって磁場は円盤外に放出されていくであろうから、この磁場を維持するためには非常に強力なダイナモ機構によって磁場が再生産されていることが必要である。ガスの銀河回転エネルギーと比較するほどのエネル

ギーの磁場を、ダイナモによって維持することができるのだろうか？

さらに、この磁気張力を遠心力とつりあわせるというアイデアについて力学的な面からもう少し考えてみよう。このような銀河円盤は円盤に垂直方向にはどのような構造になるだろうか？ 磁力が遠心力や重力と比べて無視できる円盤においては、半径方向には遠心力が重力と、垂直方向にはガスと磁場の圧力勾配が重力とそれぞれつりあっている。渦巻銀河の場合、遠心力は圧力勾配よりもずっと大きい。これが渦巻銀河が幾何学的に薄い理由である。もし彼らのアイデアのように磁気張力と遠心力をつりあわせた場合、磁気圧力勾配も遠心力と同じ程度の強さになる。従って、この場合の銀河ガスの分布は幾何学的に厚いものとなるであろう。この点において、彼らのモデルは観測とは矛盾するように思われる。

彼らは、自分達の解釈を確かめるには、シンクロトロン放射を意味する、偏波した電波を使った磁場の直接測定が必要であると結論している。まさにその通りで

あるが、銀河の回転曲線を磁場で説明することは難しそうである。

藤堂 泰(核融合科学研究所)

参 考 文 献

1) Battaner, E., Garrido, J. L., Membrado, M., and Florido, E. 1992, *Nature*, **360**, 652.