

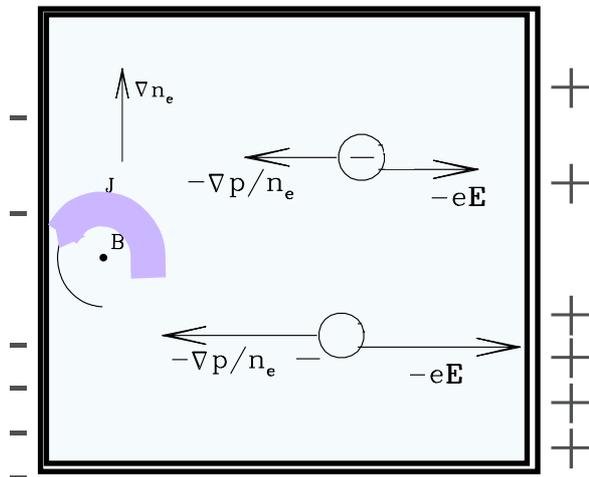
初代星周りの磁場生成

甲南大学 M1 城本 雄紀

現在の宇宙での磁場は観測されており、銀河では $\sim 10 \mu\text{G}$ 、銀河団では $\sim \mu\text{G}$ の磁場が観測されている。一方で、初期宇宙では現在の宇宙での磁場の種になる磁場、種磁場が存在される事が予測されるが実際の所は、まだ未知な部分が多く観測もされていないのでいくつかのモデルが提案されている。磁場の生成は、Maxwell方程式の一つのFaraday-

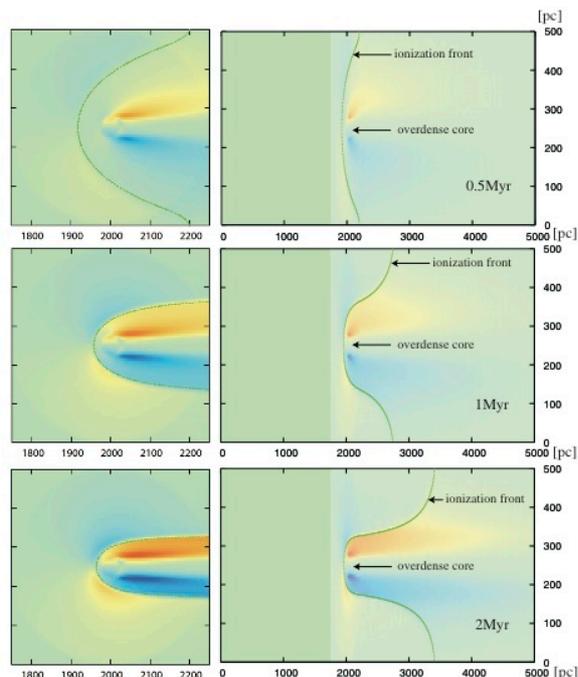
Maxwellの式を満たす現象が生じると磁場が生成される。その磁場生成モデルの一つが Biermann batteryであり、もう一つが輻射圧による磁場の生成である。Biermann batteryは宇宙の再電離や銀河形成、初代星の輻射により現れる効果である。

右の図は、電子一個に対し圧力とクーロン力の釣り合いが生じる。しかし、密度の勾配により上下で力の釣り合いの式での電場の大きさにズレが生じる。このズレにより $\text{rot } \mathbf{E}$ を満たし磁場が生成され効果がBiermann



batteryである。次に、輻射圧による磁場の生成は、初代星やクエーサーなどの明るく輝く天体からの非一様な輻射により、電子の輻射圧とクーロン力の釣り合いが出来る。ここでは、Biermann batteryでは圧力とクーロン力の釣り合いだったが、輻射圧による磁場の生成モデルは輻射圧とクーロン力の釣り合いができ、輻射圧に勾配があるためできた釣り合いで出来る電場の大きさにshearができ、

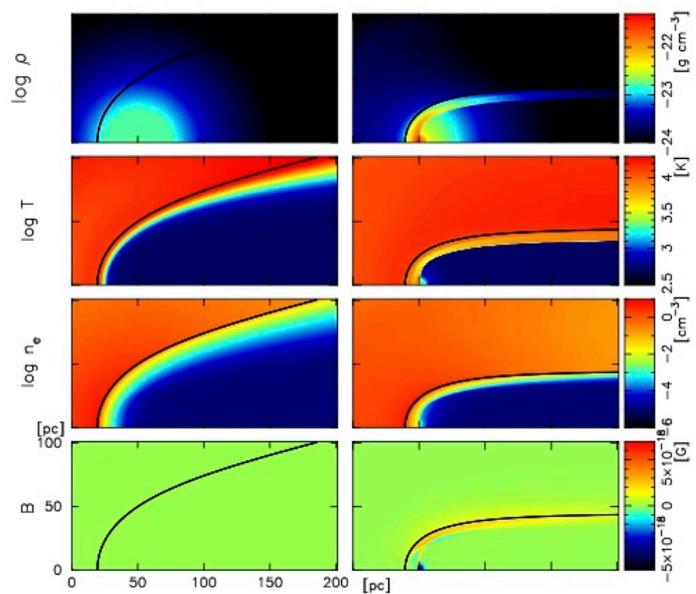
それにより磁場が生成される。また初期宇宙では $z=20$ @IGMでの星形成過程では、磁場が $> 10^{-13}-10^{-14}\text{G}$ ある場合は双極分子流が駆動し、星の形成を遅らせる働きをする。今回のレビューした論文では初期宇宙を考え、始めは中性だった領域が初代星が光りだすことで輻射により、中性領域が電離されるH II領域の拡大を考えている。そして分子雲の周りでBiermann batteryと輻射圧による磁場生成効果をシミュレーションし、実際に星形成に影響する磁場が生成されるかどうかを見る。まず等温、静的を考え、 $500 M_{\odot}$ の初代星からの輻射圧による磁場生成をシミュレーションを使いみてる。右上の図がシミュレーションの結果であり、上から初代星が光りだしてから0.5Myr、1Myr、



2Myr後である。0.5Myrを覗てみると電離波面はまだ高密度コアに達していないが、1Myrでは電離波面が捕えられている。そして2Myrではよりコアの中心まで電離されて

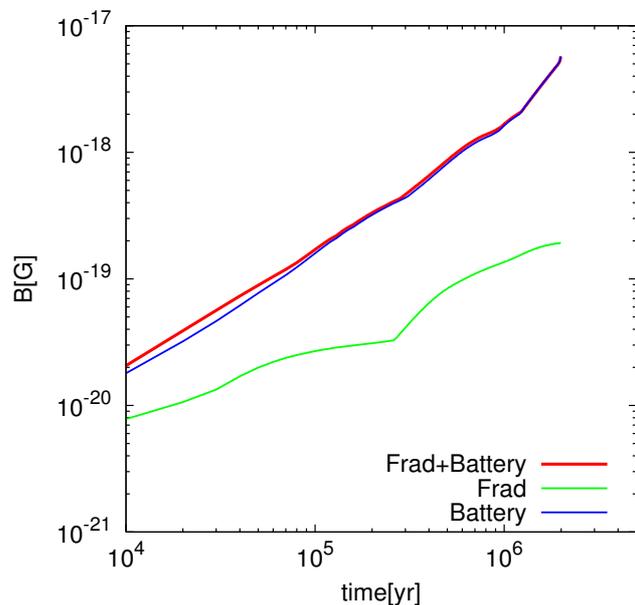
いる事が分かる。このモデルで得た最大の磁場強度は $\sim 10^{-19}$ Gである。この磁場強度では星形成に影響しない事が分かった。

次に、等温、静的ではない場合でのシミュレーションについて考える。右図は、左の図が星が光りだしてから0.1Myr後で、右の図が2Myr後の図である。そして上から質量密度、温度、数密度、磁場強度のコンターである。まず一番上の質量密度を見てみると0.1Myrではまだ電離波面がコアに到達していないが、2MyrではH II領域では温度が高く、その事が原因で発生する圧力により物質が掃き集められているのが分かる。次に温度と数密度勾配を見てみると、電離は面近傍で傾きにズレがありそ



こでBiermann batteryがよりよく生じているだろうと推測できる。そこで磁場強度を見てみるとやはり電離波面の周辺でより良く磁場が生成されている。このモデルでの最大の磁場は $\sim 6 \times 10^{-18}$ Gの磁場が生成された。次にこのシミュレーションでの最大磁場の時間発展を見てみる。

右の図が、磁場の時間発展のグラフであり青色の線がBattery効果のみの磁場、緑色が輻射圧の効果のみの磁場、赤色が輻射圧+Battery効果による最大磁場の時間発展である。計算が2Myrで終わっているのは星の寿命がだいたいそれぐらいだからである。グラフを見てみると輻射圧+Battery効果とBattery効果のみはほぼ等しく輻射圧はほぼ寄与していない事が分かった。



まとめ

輻射圧のみで生成された磁場は

最大 $\sim 10^{-19}$ Gで、輻射圧+バッテリー効果

+流体では $\sim 6 \times 10^{-18}$ Gの磁場が生成された。

磁場生成は主にBiermann batteryにより生成された。

first star周りで生成された磁場は次世代の星形成に影響しない事が分かった。

参考文献

Doi, K., & Susa, H. 2011, arXiv:1108.4504

Ando, M., Doi, K., & Susa, H. 2010, ApJ, 716, 1566