

短周期ガス惑星における磁気流体波駆動による大気散逸の磁場強度依存性

田中佑希 (鹿児島大学 東京工業大学)

利用カテゴリ 計算サーバ

現在までに多数の系外惑星が発見されている。その中には、中心星に非常に近い位置を公転するガス惑星も含まれており、サイズや質量に応じてホットジュピターやホットネプチューンなどと呼ばれている。これらの惑星は非常に高温であり、極端な環境にさらされている。その一例が、惑星本体よりも大きく広がった高温の高層大気存在や、高層大気からの大量の大気散逸現象である。

ホットジュピターやホットネプチューンからの大気散逸現象は、主に紫外線でのトランジット観測によって検出されている。例えば HD 209458b の紫外線トランジット観測からは、紫外線でのトランジット深さは可視光よりも深く、またトランジット光度曲線も非対称形状を示すことが知られている (Vidal-Majar et al. 2003)。これは惑星の周囲に高温の水素原子大気が広がっており、また散逸する大気が彗星の尾のような形状をしていることを示唆する結果である。同様の現象はホットネプチューン GJ 436b でも見られており、こちらは可視光でのトランジット深さを遥かに上回る極めて深いトランジットを起こすことが知られている (Ehrenreich et al. 2015)。

このような高温のガス惑星からの大気散逸を駆動するモデルとしては、中心星からの XUV 放射による加熱、いわゆる XUV 駆動散逸が知られている (e.g., Lammer et al. 2003)。これは、中心星からの X 線や極端紫外線が、惑星大気中での光電離や光解離を介して熱化され、大気散逸を駆動するというモデルである。XUV 駆動によって大量の大気散逸が駆動できることが多くの数値計算によって示されているもの (e.g., Yelle 2004)、高層大気の大きな時間変動や、散逸する大気の数など、未解決の問題点も多く残されている。

私は、XUV 駆動とは別の大気散逸の駆動機構として、ホットジュピターなどの高温のガス惑星大気中における、磁気流体波動が駆動する大気散逸モデルを提案してきた。このモデルでは、大気の乱流によって励起された磁気流体波動が高層大気で散逸して熱化し、高層大気からの流体力学的散逸を駆動する。過去の研究 (Tanaka et al. 2014, 2015) では、このモデルによって観測を説明可能な一定量の大気散逸が発生しうることが示された。また磁気流体波動駆動モデルによって、GJ 436b の観測的特徴が説明されうるということも明らかになっている (Bourrier et al. 2016)。

過去の研究では、惑星の質量と半径、大気中での乱流の大きさをパラメータとした計算を行い、その依存性について評価した。しかし惑星の磁場の強度によっても大気構造や大気散逸率は変化すると考えられる。そこで、本研究では惑星の磁場強度をパラメータとして扱ったシミュレーションを行い、磁気流体波動によって駆動される大気散逸の質量放出率や、高層大気構造の依存性について定量的な評価を行った。

図 1 は計算結果の一部である。左図が、質量放出率と惑星の磁場強度の依存性を表している。磁場強度は木星の磁場強度で規格化してあり、 $B/B_J = 1$ が木星と同じ磁場強度であることを表している。グラフを見ると、質量放出率は磁場強度を大きくしていくと大きくなるが、磁場強度がある程度大きくなるとそれ以降は減少に転じる事が分かる。惑星大

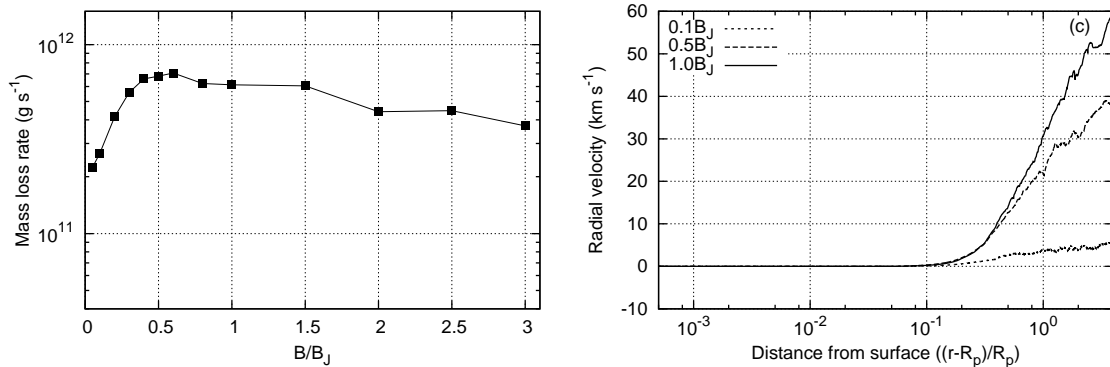


図 1: 左: 磁場強度と質量放出率. 横軸が木星の磁場強度で規格化した惑星の磁場強度, 縦軸が質量放出率で, 単位は g/s である. 縦軸は対数スケールで表している. 右: 散逸する大気の動径方向の速度分布. 横軸は惑星表面からの距離を惑星半径で規格化したもの, 縦軸は動径方向の大気速度で, 単位は km/s である. 横軸は対数スケールで表している.

気の加熱や質量放出の駆動に使われるエネルギー源は磁力線に磁気流体波動として注入されるエネルギーである. そのため磁場が小さい場合はエネルギーの注入量が少なくなるため, 質量放出率も小さくなる. このことは, 磁場が小さい場合は磁場強度を強くしていくと質量放出率が上昇していることから分かる. しかし磁場強度がある程度以上になると, 磁気流体波動の大気中での散逸が非効率的になる. そのため注入されたエネルギーの大部分が惑星大気中でのガスの加速に使われず, 上空へ通過する量が多くなってしまふことが判明した. これが, 磁場をさらに強くした際の質量放出率の減少という形で現れている.

つまり, ある大気構造に対して, 惑星大気中での磁気流体波動による大気の加速が最も効率的になり, 質量放出率が最大になるような磁場強度が存在する事が今回の計算により判明した. 例えばここでのパラメータでは, 惑星半径・惑星質量はそれぞれ木星と同じ値, 表面温度は 1000 K と設定しているが, この場合は磁場強度が木星磁場の 0.6 倍程度のときに質量放出率が最大になる事が分かった.

右図は惑星の大気構造のうち, 動径方向の大気速度分布を示したものである. ある高度に達すると磁気流体波動の散逸による大気の加速が発生し, 上空で高速のアウトフローが発達していることが分かる. また, $0.1 - 1 B_J$ の範囲では, 磁場が弱いほど散逸する大気の色度は低速になる事が判明した.

本研究課題では様々なパラメータでの計算を行い, 現在その結果の解析を進めている. この内容は論文にまとめて投稿する予定である.