P219a 巨大惑星による原始惑星系円盤のギャップ形成と衝撃波加熱の統合モデリング

奥住聡 (東京科学大学), 武藤恭之 (工学院大学)

原始惑星系円盤内を公転する巨大惑星は、円盤内に腕状の密度波を形成する。この波は惑星から離れるにつれて衝撃波化し、円盤に2つの重要な作用を引き起こす。1つは、衝撃波が円盤に与えるトルクによる、円盤ギャップの形成である (e.g., Duffel 2015; Kanagawa et al. 2015, 2017)。もう1つは、衝撃波で発生する熱による、円盤の長期的な加熱である (e.g., Rafikov 2016; Ziampras et al. 2020)。腕状衝撃波のもたらすトルクと加熱率の間には、何らかの関係が成立すると考えられているが (e.g., Goodman & Rafikov 2001; Rafikov 2016)、その関係の検証や、それを円盤モデリングに応用する試みは、これまで行われていない。

本研究では、惑星をもつ円盤の2次元流体シミュレーションに基づき、惑星がつくる衝撃波による円盤のギャップ形成と加熱を統合的にモデル化した。我々は最近の研究 (Ono, Okamura, Okuzumi, & Muto, in press, arXiv:2411.09940) において、冷却効率の低い円盤の2次元流体計算を用いて、腕状衝撃波による円盤加熱率 (エントロピー生成率) の動径分布を詳しく調べた。本研究では、「衝撃波が円盤に与えるトルクと加熱率は簡単な関係式で局所的に対応付く」という仮定 (Rafikov 2016) のもとで、流体計算で見られるギャップの面密度分布を加熱率の分布から正確に予言できることを明らかにした。さらに、我々の最近の研究 (Ono et al. 2024) で経験的に導いた、衝撃波加熱率の動径分布に対するスケーリング公式を用いて、惑星軌道付近の円盤の面密度・温度分布を惑星質量および円盤粘性の関数として求める解析モデルを導出した。このモデルを用いれば、冷却効率の低い原始惑星系円盤の内側領域 (中心星から 10 au より内側) において、木星のような巨大惑星がその周囲のガスやダストの組成進化に及ぼす影響を自己整合的に議論することが可能になる。