

Photon-trapping effect in black-hole accretion flow —超臨界降着流の特徴と slim disk の妥当性について—

京都大学基礎物理学研究所 大須賀 健

Luminosity reduction:

Photon-trapping とは円盤内部で発生した輻射エネルギーが、円盤表面から即座には解放されずにガスもろとも下流へ流される現象である。流されたエネルギーの一部がそのままブラックホールに落ち込むため、光度を下げる効果がある。この photon-trapping は発生した輻射エネルギーが円盤表面に伝わるまでの time lag が無視できない状況、即ち、radiative diffusion timescale が accretion timescale より長くなる場合に顕著になる。この条件は超臨界降着流 ($\dot{m} \equiv \dot{M}c^2/L_E > 1$) で満たされる [\dot{M} :質量降着率、 L_E :Eddington 光度]。

我々は輻射輸送を解き、降着流中でのエネルギー伝搬を調べた。粘性発熱が円盤の赤道面付近で起こる場合 (model A) と円盤全体で一様に起こる場合 (model B) の二つのモデルを採用した。図 1 に質量降着率に対する光度の変化を示した。数値シミュレーションの結果を丸 (model A) と四角 (model B)、解析的見積もりを太い実線と破線、energy-conversion efficiency, $\eta \equiv L/(\dot{M}c^2)$, を一定と仮定した場合を細い実線で示してある。超臨界降着流での光度は質量降着率に比例せず、model A では $\propto \dot{m}^0$ 、model B では $\propto \dot{m}^{1/2}$ となることがわかる。これが photon-trapping 効果による光度の低下を示している。

Slim disk との比較:

超臨界降着流を記述する定常解として広く知られている slim disk は、photon-trapping 効果を考慮するため、エネルギー方程式に移流冷却項を導入している。しかし、肝心の輻射冷却率を $\sim \sigma T_c^4/\tau$ と同じ半径での赤道面の温度 (T_c) 及び円盤の光学的厚み (τ) から見積もっている。この関係式は diffusion timescale が accretion timescale より十分短い場合にのみ成り立つ式である。したがって、slim disk の方程式系では photon-trapping 効果を物理的に正しく取り扱っていないことになる。

Slim disk (点線: Watarai et al. 2001) は赤

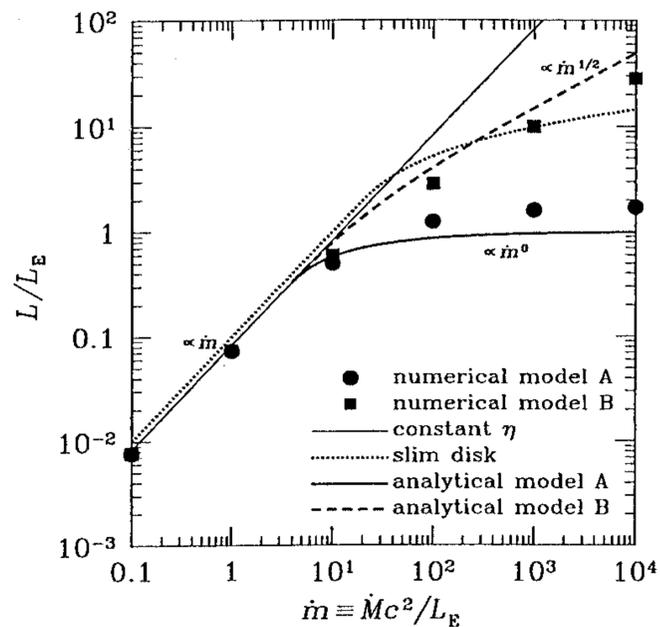


図 1: 質量降着率と光度の関係

道面付近で粘性発熱が起こると仮定しているので、直接比較すべきは model A であるが、図 1 で分かるように、光度を大幅に過大評価している。この過大評価は Eddington 光度を超える前からすでに起こる。また、比較的 photon-trapping が起こりづらい model B と比較しても slim disk は $\dot{m} = 10^{1-3}$ の範囲で光度を過大評価している。

Photon-trapping 効果は円盤の表面温度分布を通じて SED にも大きな影響を与える。表面温度分布は model A では slim disk よりも flat に ($T \propto r^{-p}; p < 1/2$)、model B では slim disk より steep であるが、standard disk よりも flat に ($1/2 < p < 3/4$) なる (Ohsuga et al. 2002)。

超臨界降着流の光度、SED を正しく求めるためには、slim disk では不完全であり、photon-trapping 効果をフルに取り入れる必要がある。

References

- Ohsuga, K., Mineshige, S., Mori, M., & Umemura, M. 2002, submitted to ApJ
Watarai, K., Mizuno, T., & Mineshige, S. 2001, ApJ, 549, L77