

Lognormal Property of Weak Lensing Fields

樽家 篤史(東大理)

弱い重力レンズ効果によって遠方銀河が系統的に歪む、いわゆる”cosmic shear”は、宇宙大規模構造の質量分布によって引き起こされる現象であり、ダークマターの性質や宇宙論パラメーターを推定する上で有力な検証手段と考えられている。近年、cosmic shear 検出の観測報告があちこちでなされ、2点相関などの統計解析から宇宙論パラメーター推定の試みが行われるようになっている。

宇宙論パラメーターの影響は、理論的には、cosmic shear の非ガウス性に強く現れることが知られている。これまで宇宙論パラメーターの推定方法として、cosmic shear から convergence field “ κ ”と呼ばれる2次元密度場を構成し、 κ から skewness, kurtosis と呼ばれる高次統計量を見積もる方法が提案されている。しかし、こうした高次統計量には、重力非線形性の影響が強く現れるせいで、摂動的取り扱いによる理論予言は破綻することが指摘されていた。

そこで我々は、convergence field の統計的性質を記述する、単純だが非摂動的な理論モデルとして「lognormal モデル」に着目し、ray-tracing simulation を用いて、 κ の持つ統計性と lognormal の予言とを詳細に比較した [1]。Lognormal モデルは、質量分布の統計的性質を記述する近似モデルとして古くから知られており、近年、Kayo et al. (2001) によって、lognormal モデルの妥当性が定量的に確かめられている [2]。重力レンズ効果によって生み出される convergence field κ は、2次元面への射影効果を通して、質量分布と結び付く量である。それゆえ、lognormal モデルの妥当性が十分期待できる。

解析では、スムージングされた convergence field に対して、(i). 1点分布関数 $P(\kappa)$ 、(ii). Minkowski functional $v_i(\nu)$ ($i = 0, 1, 2$)、(iii). 高次モーメント (skewness & kurtosis) の3種類の統計量を見積もり、lognormal モデルとの比較を行った。図1は、Lambda CDM モデルにおける1点分布関数 $P(\kappa)$ のふるまいを示している。系統的な解析の結果、lognormal モデルを用いると convergence field の特徴をよくとらえることができ、定量的にも、source redshift が比較的浅く ($z_s \sim 1$)、スムージングサイズが小さい場合 ($\theta_s \leq 8'$)、 $|\nu| \leq 5 - 6$ 程度の非ガウス的性質を精度よく記述できることができた (ここで、 $\nu \equiv \kappa / \langle \kappa^2 \rangle^{1/2}$) [1]。

Lognormal モデルの最大の利点は、convergence field の統計的性質をたった3個のパラメーターで特徴づけることができ、しかも、理論的にそれらを精度よく予言することができる点にある。これらパラメーターは、宇宙モデルにも依存性するため、lognormal モデルを観測量と比較することで、宇宙論パラメーターの推定に使える可能性がある。

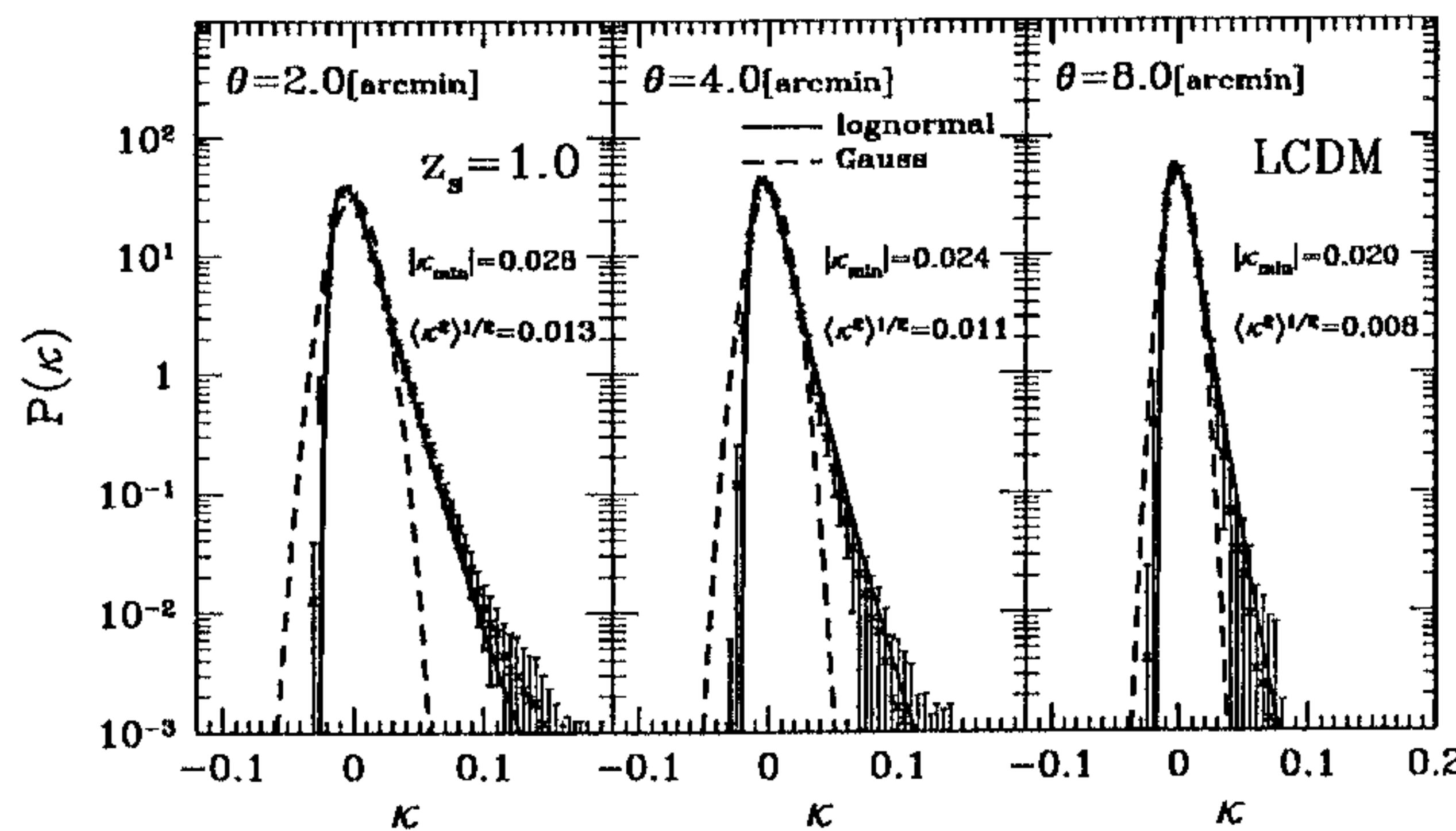


図1：様々なスムージング角度 θ_s における1点分布関数 $P(\kappa)$ のふるまい。実線が lognormal モデル、点線がガウス分布の予言を表す (left: $\theta_s = 2'$; middle: $\theta_s = 4'$; right: $\theta_s = 8'$)。

References

- [1] Taruya, A., Takada, M., Hamana, T., Kayo, I., & Futamase, T. 2001, ApJ (submitted)
- [2] Kayo, I., Taruya, A., & Suto, Y. 2001, ApJ, 561, 22