

SDSS+2dF クエーサーを用いた宇宙の大域トポロジーの制限

藤井宏和 (東京大学)

宇宙の局所幾何は、一様等方な FLRW 計量によってよく近似される。現在標準とされている Λ CDM モデルは多くの観測事実をおおむね説明するが、それによると我々の宇宙は平坦である。したがって、空間が位相的に単連結であるという仮定を置く限りその体積は無限大になってしまう。無限な体積を持つ空間は理論的に好ましくないことが知られており (e.g., Ellis 1975; Zel'dovich Grishchuk 1984; Hawking 1984), 位相的に多重連結で次元がコンパクト化された空間モデルが一つの可能性として研究対象になっている。

結晶研究の副産物として、平坦空間をコンパクト化する方法は平行移動、ねじ運動 (回転角 $\theta = \pi, 2\pi/3, \pi/2, \pi/3$), および並進反転のいずれかによって空間をつなぐ以外に存在しないことが示された (Nowacki 1934)。これらのモデルにおいては空間内の 2 点を結ぶ測地線のループが存在するため、同一の天体の像が複数観測されるはずである (ゴーストという)。したがって、ゴーストの有無によってこれらのモデルに対する制限を観測的につけることができる。平行移動モデルについては次元サイズが超ホライズンであるという示唆がなされている (e.g., Cornish et al. 2004; Key et al. 2007; Bielewicz Banday 2011) が、最終的な決着はついていない (e.g., Roukema et al. 2008; Aurich 2008)。それ以外のモデルはこれまで有効な手法が無かったためほとんど研究されておらず、現在利用可能なデータにゴーストが隠されている可能性がある。

今回、我々はねじ運動および並進反転に有効な手法をはじめて考案し、SDSS カタログのクエーサーに対して適用した。並進反転モデルは CPT 定理などの議論によって否定的な見方があるため、今回はねじ運動のみに注目した。我々の手法は、ゴーストを探す目的に特化した 4 点統計を用いるものである。まず、次の 3 つの条件を満たす 2 点のペア $(x_1, x_2), (x_3, x_4)$ を全て選び出す。

- $\|x_1 - x_2\| - \|x_3 - x_4\| < 10 \text{ Mpc}$
- $|t_1 - t_3|, |t_2 - t_4| < 10^8 \text{ yr}$
- $\|x_1 - x_2\|, \|x_3 - x_4\| > 100 \text{ Mpc}$

ある 2 天体とそのゴーストは同一の距離を持つはずであり、またそれらがいずれもクエーサーとして観測されるためにはそれぞれの lookback time がクエーサーの寿命よりも短い必要がある。したがって、第一および第二の条件によって、物理的に同一な 2 天体のゴーストの候補が選択される。第三の条件はクラスタリングによるノイズを減らす効果がある。

こうして選択されたそれぞれの 4 点について、 (x_1, x_2) を (x_3, x_4) に移すねじ運動を決定する。あるねじ運動は、回転軸の方向 (α, δ) , 平行移動の距離 L , および回転軸の位置 (X, Y) (Z 軸は回転軸の方向にとる) の 5 つのパラメータによって完全に決定される。選択された全ての 4 点に対してこれら 5 つのパラメータを計算し、その相関をとる。もし我々の宇宙がねじ運動によるコンパクト次元を持っていれば、対応する箇所での相関が大きく出るはずである。

上記の手法を SDSS の高赤方偏移クエーサーに対して適用したところ、いずれのモデル ($\theta = \pi, 2\pi/3, \pi/2, \pi/3$) についても顕著なシグナルは出ず、単連結モデルを仮定した疑似カタログに対する結果と矛

盾しなかった。しかし、これによって多重連結モデルが排除されるわけではない。実際、我々は多重連結モデルを仮定した疑似カタログを 100 個作成して同様な解析を行ったが、そのうちたったの 26 個でしかシグナルは検出されなかった。これは主に、SDSS の南天のカバー領域が不足していることに起因する。ゴーストがたとえあったとしても、SDSS の領域にそれらが運良く入ってくる可能性は低いのである。したがって、SDSS のデータでは宇宙のトポロジーモデルを切り分けるには不十分であることがわかった。最近の宇宙論では SDSS のような大規模分光サーベイの重要性がますます増しており、進行中あるいは将来のサーベイ計画によってこのテストはより現実的なものになるであろう。