GRBを用いた宇宙論パラメータの推定

〜将来観測に向けた解析方法の比較〜

東京大学理学系研究科　宇宙理論研究室

M1　柏木俊哉

本研究の目的

- 近年、GRB (ガンマ線バースト) を標準光源として、宇宙論パラメータを推定する試みがある
- 現在はGRBの数が少なく、厳しい制限は得られないが将来的には多数観測できると期待される
- 解析方法に改善の余地はないのか？

本研究では、将来観測で得られるGRBを
シミュレーションし、2つの解析方法を検証した

標準光源→宇宙論パラメータ？

- 標準光源：観測量から絶対光度を推定できる天体
  (例.　Ia型超新星 (SNeIa) , セファイド変光星など)

- 絶対光度 (L) と見かけの明るさ(F)から
  光度距離　$d_L = \sqrt{\dfrac{L}{4\pi F}}$　がわかる

- 光度距離と赤方偏移(z)の関係式

$$d_L = \frac{c}{H_0\sqrt{|\Omega_k|}} S_k \left(\sqrt{|\Omega_k|} \int_0^z \frac{H_0}{H(z)} dz \right)$$

宇宙論パラメータ $(\Omega_m, \Omega_\Lambda)$

なぜGRBなのか？

- 宇宙で最も明るい天体

　$\longrightarrow$ $z \sim 10$ の遠方でも観測できる

　$\longrightarrow$ より過去の宇宙膨張まで probe できる

他の天体では得られない
宇宙論パラメータの情報が得られる

- SNeIaと異なり、ダストの吸収の影響を受けない

fundamental plane

- GRBについて、次の関係式が成り立つことが経験的に知られている

$$\boxed{L_p = A \times E_p^B \times T_L^C}$$

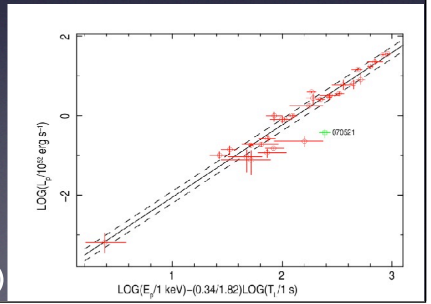
L_p ：絶対光度のピーク値

E_p ：νF_ν スクペトルのピークエネルギー

T_L ：バーストの継続時間

- 他の関係式に比べて分散が小さい
- (E_p, T_L) が多くのGRBで測定できているので、統計をかせぎやすい

(R.Tsutsui et al. 2009)



先行研究（方法）

(R.Tsutsui et al. 2009)

① fundamental plane の A, B, C を決める (= calibration)

SNeIaで得られている、$z < 1.76$でのd_Lの近似式

$$\frac{d_L}{10^{27}\mathrm{cm}} = 6.96 \times z^{1.79} + 14.79 \times z^{1.02}$$

⟶ low z の30GRBを用いて calibration すると

$$\frac{L_p}{10^{52}\mathrm{erg\ s^{-1}}} = 10^{-3.87\pm0.19}\left(\frac{E_p}{1\mathrm{keV}}\right)^{1.82\pm0.08}\left(\frac{T_L}{1\mathrm{s}}\right)^{-0.34\pm0.09}$$

② フィットした関係式を high z の29GRBに適用して光度距離を求める

⟶ 宇宙論パラメータの推定

先行研究（結果）

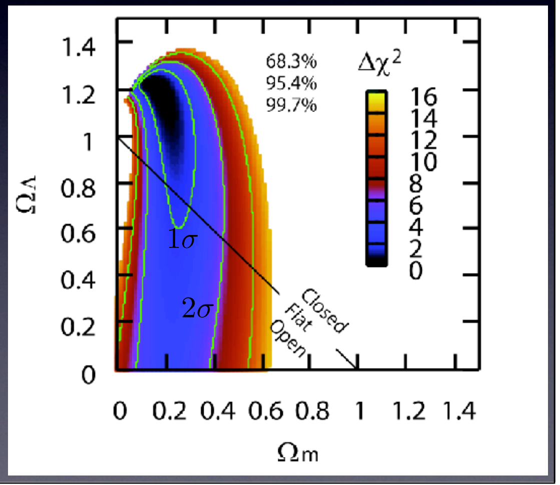
(R.Tsutsui et al. 2009)

$$(\Omega_m,\ \Omega_\Lambda) = (0.17^{+0.15}_{-0.08},\ 1.21^{+0.07}_{-0.61})$$

GRBの数が少ないため
良い制限は得られない

↓

今後観測数が増えたら
どうなるか？



研究内容

１．シミュレーションデータの作成

２．解析方法の検証

(a) SNeIa - calibration (先行研究と同じ方法)

(b) ベイズ統計を用いた解析

1．シミュレーションデータの作成

- 将来観測での目標として、

  GRBの数=1000個、観測誤差=5%を仮定

$$(\underbrace{z,\ L_p,\ T_L,}\ E_p\ , F_p(\Omega))$$

$z < 20,\ L_p : 10^{50} - 10^{54}\mathrm{erg/s}$
までの分布を現在の観測データ
の分布(Wanderman) から見積もる

$F_p = L_p/4\pi d_L^2(\Omega)$

fundamental plane (R.Tsutsui et al.) から計算

⟶ 与えたΩをより正確に言い当てる解析手法は？

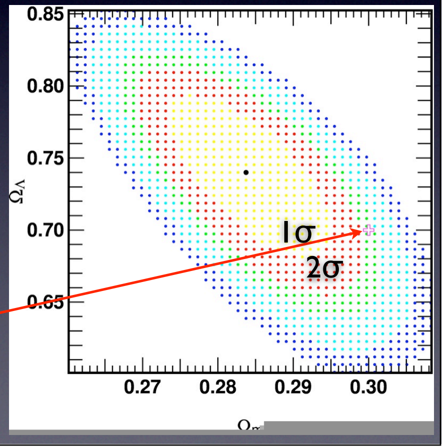
（今回は $\Omega_m = 0.30, \Omega_\Lambda = 0.70$ とした）

2.(a) SNeIa - calibration

- 解析は先行研究と同様 (low z ~ 100 個でcalibration)
- サンプル数が増えたため精度は格段に良くなる

$$(\Omega_m,\ \Omega_\Lambda) = (0.17^{+0.15}_{-0.08},\ 1.21^{+0.07}_{-0.61})$$

$$\longrightarrow (0.284^{+0.011}_{-0.010},\ 0.740^{+0.05}_{-0.05})$$



- しかし、

シミュレーションのモデル（正解）

2.(a) SNeIa - calibration

- 肝心の宇宙論パラメータは見誤っている

—— SNeIa が示す宇宙論モデルに引っ張られる

—— シミュレーションで仮定したモデルが
現在のSNeIa の観測結果と合っていなかった

- SNeIaの観測・エラーバーが間違っていると、
GRBでも間違った結果になる

GRBだけを使って
宇宙論パラメータの推定ができないか？

2.(b) ベイズ統計を用いた解析

まず、(Ω, A, B, C)を全て不定パラメータとして、

- ベイズの定理

$$\boxed{p(\Omega, A, B, C|\mathrm{data}) = \underbrace{p(\mathrm{data}|\Omega, A, B, C)}_{\text{データが得られる確率}}\underbrace{p(\Omega, A, B, C)}_{\text{事前確率}}}$$

データが得られる確率

(Ω, A, B, C) の下でデータ
(E_p^i, T_L^i, F_p^i)が得られる確率

事前確率

真の宇宙では fundamental plane
がよく合うはず

今知りたいのは、Ωのみについての確率なので

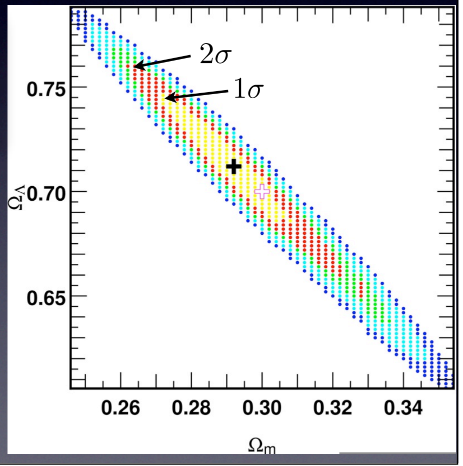
$$\boxed{p(\Omega|\mathrm{data}) = \int p(\Omega, A, B, C|\mathrm{data})dAdBdC}$$

2.(b) ベイズ統計を用いた解析

- 結果：$(\Omega_m,\ \Omega_\Lambda) = (0.292^{+0.016}_{-0.020},\ 0.712^{+0.034}_{-0.026})$

- SNeIa - calibration の結果と同程度の制限が得られた

- Ω と A, B, C の縮退？



まとめと今後の展望

- GRBだけを用いて、宇宙論パラメータに有意な制限を付けることが出来る
- 解析方法の改善
  — もっと精度の良い方法論は？
- 他の宇宙論モデルへの制限
  — よりGRBが有効なモデルは？