

課題3

- 前頁の時空図を理解せよ。上図の「しずく型」は何を意味するか？

<http://www.nao.ac.jp/study/uchuzu/rule.html>
も参照のこと

宇宙論パラメータのまとめ

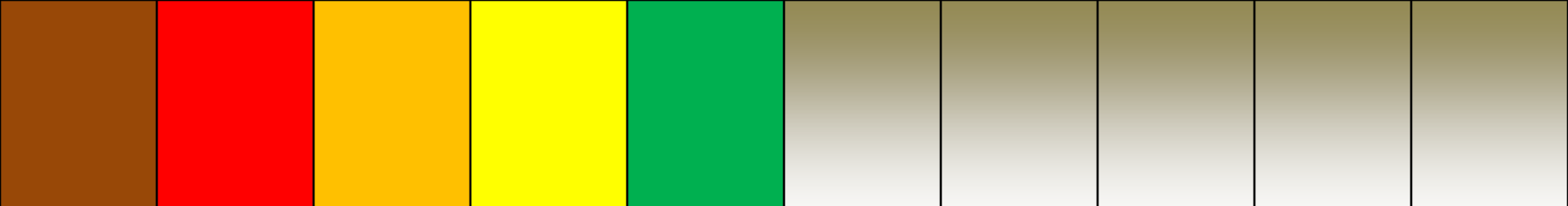
E. Komatsu et al. WMAP5

SUMMARY OF THE COSMOLOGICAL PARAMETERS OF Λ CDM MODEL AND THE CORRESPONDING 68% INTERVALS

Class	Parameter	WMAP 5-year ML ^a	WMAP+BAO+SN ML	WMAP 5-year Mean ^b	WMAP+BAO+SN Mean
Primary	$100\Omega_b h^2$	2.268	2.262	2.273 ± 0.062	$2.267^{+0.058}_{-0.059}$
	$\Omega_c h^2$	0.1081	0.1138	0.1099 ± 0.0062	0.1131 ± 0.0034
	Ω_Λ	0.751	0.723	0.742 ± 0.030	0.726 ± 0.015
	n_s	0.961	0.962	$0.963^{+0.014}_{-0.015}$	0.960 ± 0.013
	τ	0.089	0.088	0.087 ± 0.017	0.084 ± 0.016
	$\Delta_{\mathcal{R}}^2(k_0^e)$	2.41×10^{-9}	2.46×10^{-9}	$(2.41 \pm 0.11) \times 10^{-9}$	$(2.445 \pm 0.096) \times 10^{-9}$
Derived	σ_8	0.787	0.817	0.796 ± 0.036	0.812 ± 0.026
	H_0	72.4 km/s/Mpc	70.2 km/s/Mpc	$71.9^{+2.6}_{-2.7}$ km/s/Mpc	70.5 ± 1.3 km/s/Mpc
	Ω_b	0.0432	0.0459	0.0441 ± 0.0030	0.0456 ± 0.0015
	Ω_c	0.206	0.231	0.214 ± 0.027	0.228 ± 0.013
	$\Omega_m h^2$	0.1308	0.1364	0.1326 ± 0.0063	$0.1358^{+0.0037}_{-0.0036}$
	z_{reion}^f	11.2	11.3	11.0 ± 1.4	10.9 ± 1.4
	t_0^g	13.69 Gyr	13.72 Gyr	13.69 ± 0.13 Gyr	13.72 ± 0.12 Gyr

SUMMARY OF THE 95% CONFIDENCE LIMITS ON DEVIATIONS FROM THE SIMPLE (FLAT, GAUSSIAN, ADIABATIC, POWER-LAW) Λ CDM MODEL

Section	Name	Type	WMAP 5-year	WMAP+BAO+SN
§ 3.2	Gravitational Wave ^a	No Running Ind.	$r < 0.43^b$	$r < 0.22$
§ 3.1.3	Running Index	No Grav. Wave	$-0.090 < dn_s/d \ln k < 0.019^c$	$-0.068 < dn_s/d \ln k < 0.012$
§ 3.4	Curvature ^d		$-0.063 < \Omega_k < 0.017^e$	$-0.0179 < \Omega_k < 0.0081^f$
	Curvature Radius ^g	Positive Curv.	$R_{\text{curv}} > 12 h^{-1}\text{Gpc}$	$R_{\text{curv}} > 22 h^{-1}\text{Gpc}$
		Negative Curv.	$R_{\text{curv}} > 23 h^{-1}\text{Gpc}$	$R_{\text{curv}} > 33 h^{-1}\text{Gpc}$
§ 3.5	Gaussianity	Local	$-9 < f_{\text{NL}}^{\text{local}} < 111^h$	N/A
		Equilateral	$-151 < f_{\text{NL}}^{\text{equil}} < 253^i$	N/A
§ 3.6	Adiabaticity	Axion	$\alpha_0 < 0.16^j$	$\alpha_0 < 0.072^k$
		Curvaton	$\alpha_{-1} < 0.011^l$	$\alpha_{-1} < 0.0041^m$
§ 4	Parity Violation	Chern-Simons ⁿ	$-5.9^\circ < \Delta\alpha < 2.4^\circ$	N/A
§ 5	Dark Energy	Constant w^o	$-1.37 < 1 + w < 0.32^p$	$-0.14 < 1 + w < 0.12$
		Evolving $w(z)^q$	N/A	$-0.33 < 1 + w_0 < 0.21^r$
§ 6.1	Neutrino Mass ^s		$\sum m_\nu < 1.3 \text{ eV}^t$	$\sum m_\nu < 0.67 \text{ eV}^u$
§ 6.2	Neutrino Species		$N_{\text{eff}} > 2.3^v$	$N_{\text{eff}} = 4.4 \pm 1.5^w$ (68%)



5. 宇宙の初期条件と インフレーション仮説

地平線問題

- 宇宙論的地平線

- ハッブル地平線半径 $r_H(t) = c/H(t) = 2/[3(1+w)]$

- 一様等方角な範囲 $r > r_{H0}/(1+z)$

- $z \sim 1100$ (晴れ上がり)で

$$\frac{r}{r_H} \sim \sqrt{1+z}$$

CMBが一様すぎる。減速膨張する限り、
この問題からのがれられない。

銀河団のスケールも大きすぎる

→ 加速膨張できれば、のがれられる！（説得力あるでしょ）

平坦性問題

- 観測から $K \sim 0$ 。何故？
- フリードマン方程式

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{K}{a^2} = \frac{8\pi G}{3}\rho$$

$$\rho \propto a^{-3(1+w)}$$

放射優勢: $w=1/3$

物質優勢: $w=0$

宇宙初期に特殊なエネルギー配分をする必要がある

モノポール問題(？)

- 大統一 → モノポールが必ず生成されてしまう
- 宇宙のエネルギー密度が $\sim r_c \times 10^{14}$ になってしまう

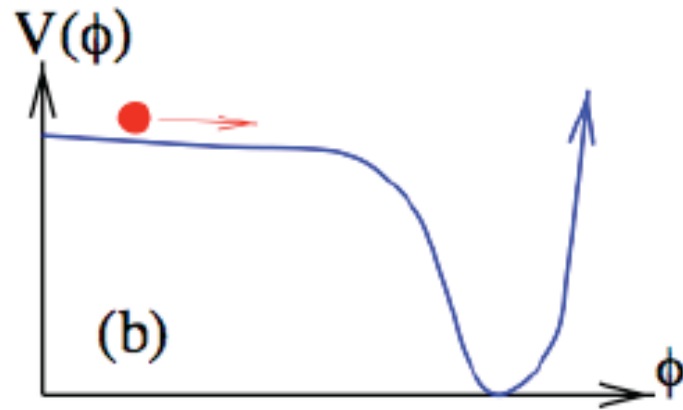
インフレーション仮説

- Rapid expansion solves the horizon problem.
 - 平坦性問題も解決
- Negative pressure is required for rapid expansion.
- Negative pressure is easy to accommodate in a scalar field theory. → 詳細は板書

インフレーション = 加速的膨張 + 加熱

↑
本講義の範囲外

single-field slow roll models



$$\epsilon = \frac{m_{PL}^2}{16\pi} \left(\frac{V'(\phi)}{V(\phi)} \right)^2 ; \eta = \frac{m_{PL}^2}{8\pi} \left(\frac{V''(\phi)}{V(\phi)} \right)$$

$$n_S \approx 1 - 6\epsilon + 2\eta$$

$$r \equiv T/S = 16\epsilon$$

$$n_S \neq 1 \Rightarrow r \neq 0$$