

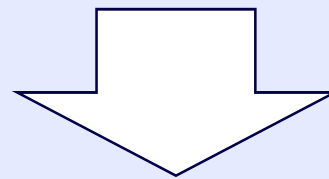
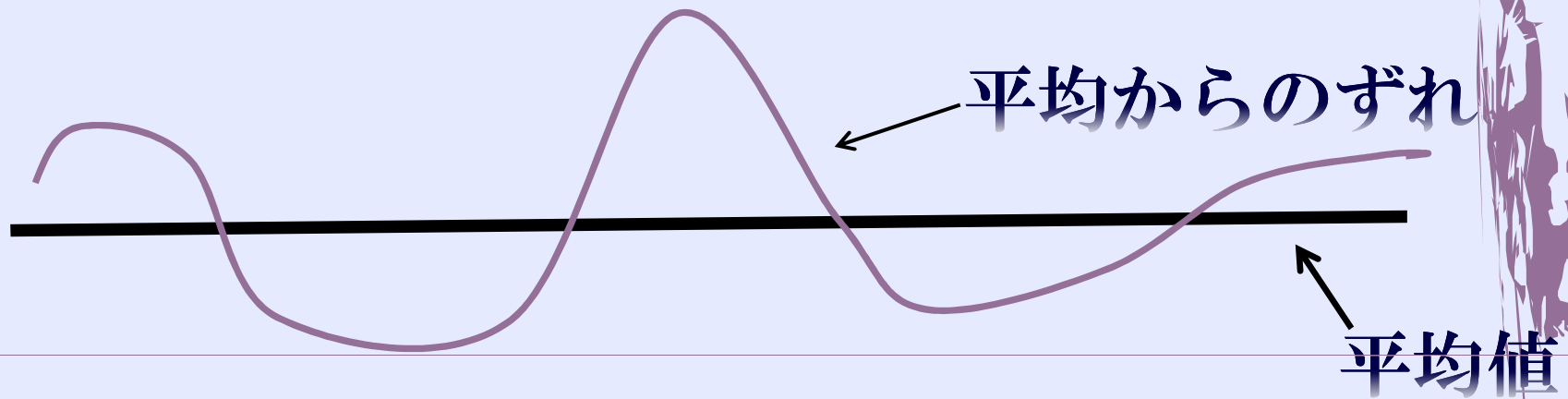
A general proof of the conservation of the curvature perturbation

David H. Lyth and Karim A. Malik

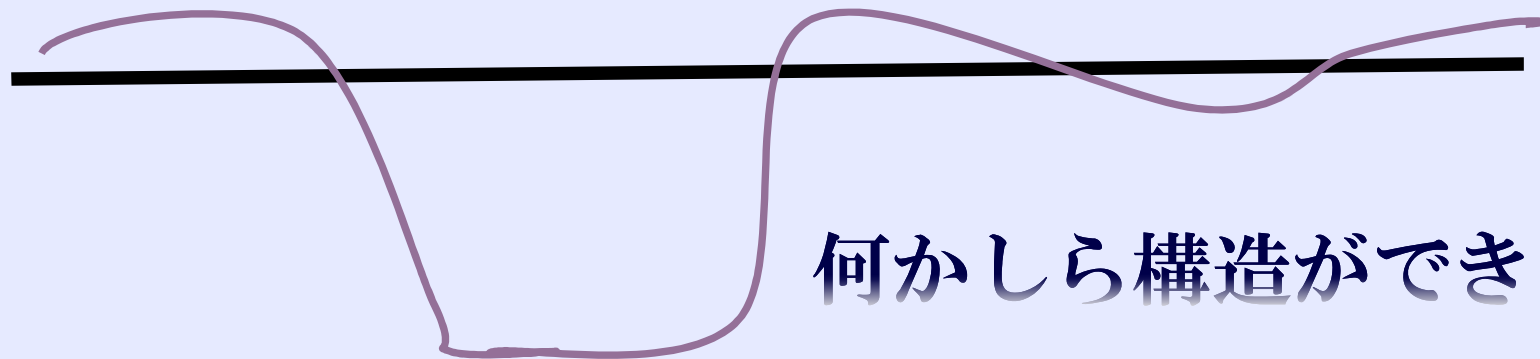
もくじ

- ◆ 揺らぎの生成について
- ◆ スーパーホライズンすけーるを考える理由
- ◆ 曲率揺らぎの定義
- ◆ インフレーションで生成された揺らぎと、現在の揺らぎとの関係

宇宙には揺らぎがある。



時間進化



何かしら構造ができる。

最初の揺らぎはどこから来たのか？

インフレーション理論がそれを説明する。

インフレーション期の量子揺らぎが
現在の揺らぎであると考ええる。

$$\langle 0 | \delta\varphi \delta\varphi | 0 \rangle = \langle \delta\varphi \delta\varphi \rangle$$

真空期待値

アンサンブル平均

インフレーション期

スカラー場が宇宙を
満たしている

φ

大雑把にはこんなもん
だろうとわかっている

Reheating 期

スカラー場が物質
に変化する

$\varphi \rightarrow \rho$

なにがなんだか
さっぱりわからない

元素合成期
多成分流体

$\rho_\nu \rho_\gamma$

$\rho_B \rho_D$

よく
わかっている。

インフレーション期

Reheating 期

元素合成期
多成分流体

スカラー場が宇宙を
支配している

スカラー場が物質
に転化する

$\rho \approx \rho_D$

φ

$\varphi \rightarrow \rho$

$\rho_R \approx \rho_D$

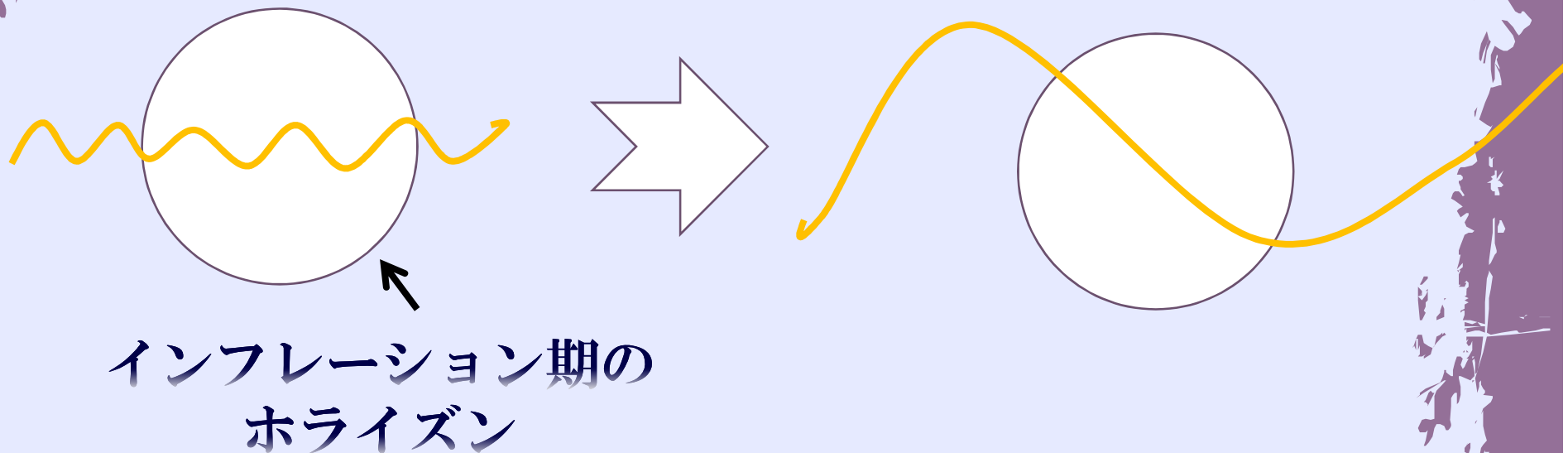
大雑
だ

インフレーション期から、変わらぬ量が
存在したなら、Reheatingについて詳細
に知ることがなくても、インフレーショ
ンについての情報を得ることができる。

る。

どう画像を描けばいいか？

インフレーションによって
揺らぎは引き延ばされる



ホライズン（地平線）とは



考えている時期において
光の進むことができる最大距離

僕は光だよ。
ばびゅーん。



インフレーション期

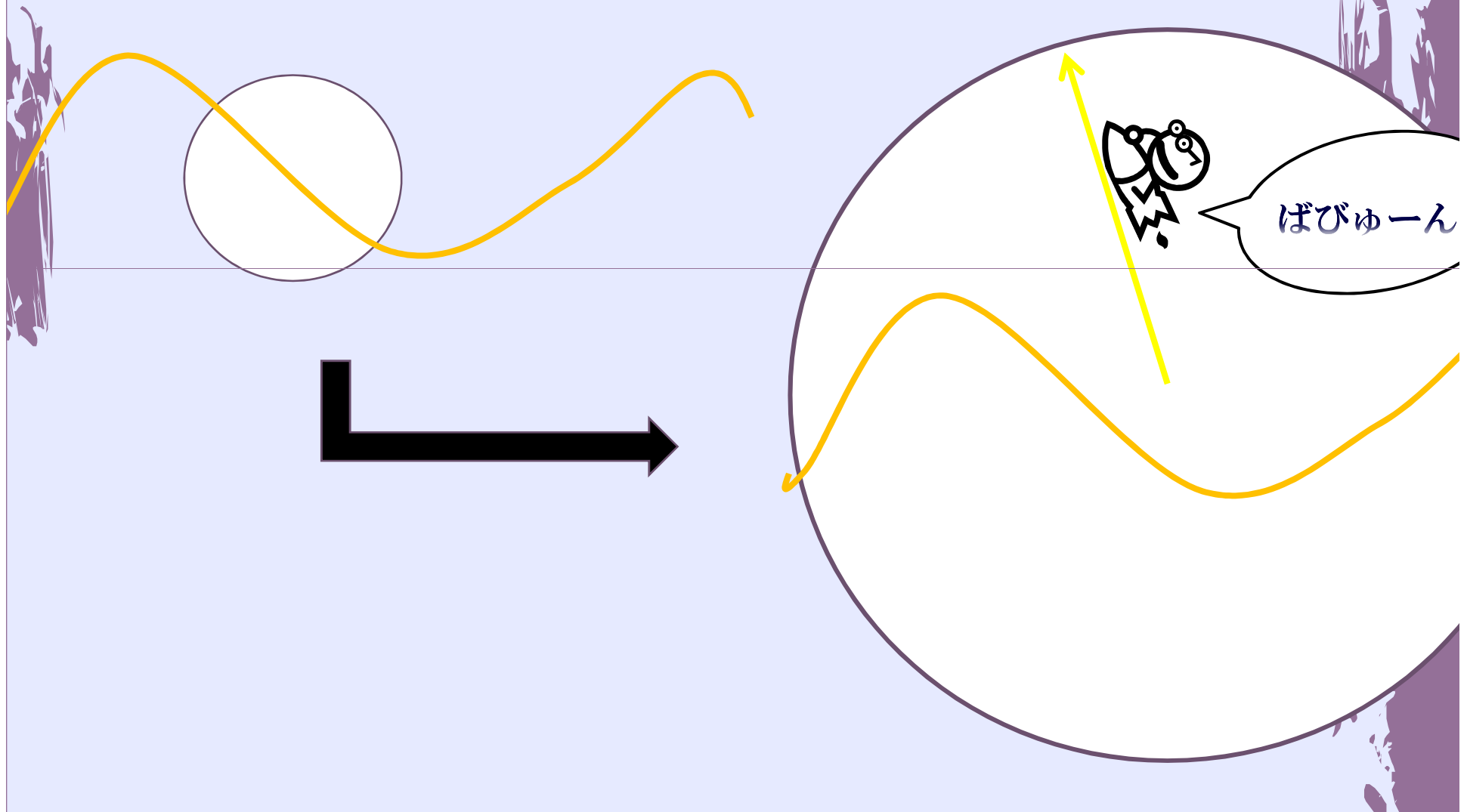
誰もオレに追いつけ
はしないぜ！！



現在



インフレーション後に再びホライズンの中に入ってくる



インフレーション後に再び
ホライズンの中に入ってくる

インフレーションからReheating後まで
ずっとホライズンより大きいスケールとなる。

ホライズンよりも大きいスケール
の揺らぎに注目すればよい。

インフレーション期

Reheating 期

元素合成期
多成分流体

スカラー場が
満たす

スーパーホライズンでの物理を
考えれば、インフレーションと
現在を結ぶことができる。

ν ρ_γ

B ρ_D

大雑把にはこんなもん
だろうとわかっている

なにがなんだか
さっぱりわからない

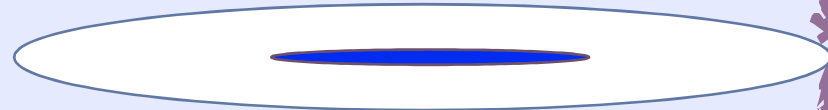
よく
わかっている。

スーパーホライズンスケールとは？

十分に大きい領域で
平均化する。



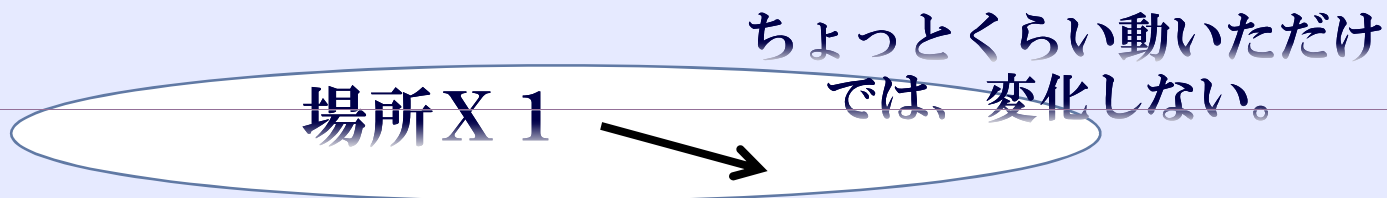
ホライズンスケール



スーパーホライズンスケールとは？

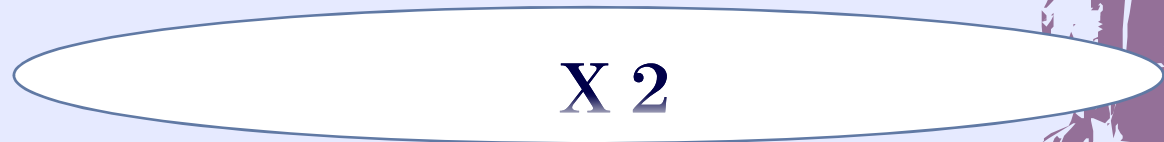
metric

$$ds^2 = -N^2 dt^2 + a^2 e^{2\psi} \gamma_{ij} dx^i dx^j$$



$$a(t, x) = a(t) e^{\psi(x, t)}$$

それぞれの場所ごとにスケール
ファクターが定義される。



インフレーション期の情報を取り出すために、
スーパーホライズンについて考えることはわかった。

完全流体のエネルギー保存の方程式

$$\dot{\rho} + 3(H + \dot{\psi})(\rho + p) = 0$$

スーパーホライズンで考えるべき
方程式の形もわかった。

以下ではこの方程式のみに注目する。

$$\dot{\rho} + 3(H + \dot{\psi})(\rho + p) = 0$$

あとはこの方程式のみを使っておもしろいことをいいたい。

$$\dot{\rho} + 3(H + \dot{\psi})(\rho + p)$$

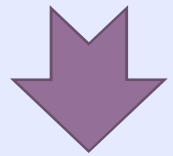


$$\delta \equiv \frac{1}{3} \int_{\bar{\rho}(t)}^{\rho(x,t)} \frac{d\rho}{\rho + p}$$



$$\dot{\delta} = -\dot{\psi}$$

$$\dot{\delta} = -\dot{\psi}$$

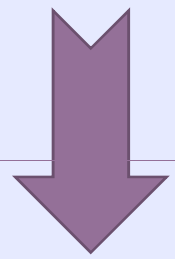


積分

$$\zeta \equiv \psi + \frac{1}{3} \int_{\bar{\rho}}^{\rho} \frac{d\rho}{\rho + p}$$

↑
積分定数

$$\zeta \equiv \psi + \frac{1}{3} \int_{\bar{\rho}}^{\rho} \frac{d\rho}{\rho + p}$$



摂動 1 次まで展開

$$\rho(x, t) = \bar{\rho}(t) + \delta\rho^{(1)}(x, t)$$

$$\zeta^{(1)} = \psi^{(1)} + \frac{1}{3} \frac{\delta\rho^{(1)}}{\bar{\rho} + \bar{p}}$$

よく知られた形になる。

インフレーション期

スカラー場が宇宙を
満たしている

φ

大雑把にはこんなもん
だろうとわかっている

Reheating 期

スカラー場が物質
に変化する

$\varphi \rightarrow \rho$

なにがなんだか
さっぱりわからない

元素合成期
多成分流体

$\rho_\nu \rho_\gamma$

$\rho_B \rho_D$

よく
わかっている。

多成分流体期

$$\dot{\rho} + 3(H + \dot{\psi})(\rho + p)$$

それぞれの流体に対して方程式ができる。

$$\dot{\rho}_{\gamma} + 4(H + \dot{\psi})\rho_{\gamma}$$

$$\dot{\rho}_{\nu} + 4(H + \dot{\psi})\rho_{\nu}$$

$$\dot{\rho}_D + 3(H + \dot{\psi})\rho_D$$

$$\dot{\rho}_B + 3(H + \dot{\psi})\rho_B$$

$$p_{\gamma} = \frac{1}{3}\rho_{\gamma}$$

$$p_D = 0$$

$$\delta \equiv \frac{1}{3} \int_{\bar{\rho}(t)}^{\rho(x,t)} \frac{d\rho}{\rho + p}$$

それぞれの流体に対して δ を定義する。

$$\delta_D = \frac{1}{3} \ln \frac{\rho_D(x,t)}{\bar{\rho}_D(t)}$$

$$\delta_B = \frac{1}{3} \ln \frac{\rho_B(x,t)}{\bar{\rho}_B(t)}$$

$$\delta_\gamma = \frac{1}{4} \ln \frac{\rho_\gamma(x,t)}{\bar{\rho}_\gamma(t)}$$

$$\delta_\nu = \frac{1}{4} \ln \frac{\rho_\nu(x,t)}{\bar{\rho}_\nu(t)}$$

全て同じ形の方程式に書き換えることができる。

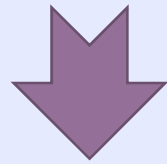
$$\dot{\delta}_D = -\dot{\psi}$$

$$\dot{\delta}_B = -\dot{\psi}$$

$$\dot{\delta}_\gamma = -\dot{\psi}$$

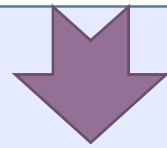
$$\dot{\delta}_\nu = -\dot{\psi}$$

方程式が同じということは、
それぞれの流体は同じように進化する。



異なるのは初期値の情報のみ。

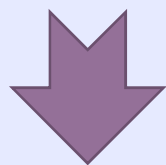
$$\delta_{\gamma}(x, t_i) \quad \delta_{\nu}(x, t_i) \quad \delta_D(x, t_i) \quad \delta_B(x, t_i)$$



初期値が全て同じであると仮定する。

$$\delta_B(x, t_i) = \delta_D(x, t_i) = \delta_{\gamma}(x, t_i) = \delta_{\nu}(x, t_i)$$

$$\delta_B(x, t_i) = \delta_D(x, t_i) = \delta\gamma(x, t_i) = \delta_\nu(x, t_i) \equiv \delta$$



$$\dot{\delta} = -\dot{\psi}$$

最終的に 1 成分流体と同じ形となる。

初期値を等しいとすることは不自然に思える
かもしれないが、これは観測によって確かめられている。

インフレーション期

スカラー場が宇宙を
満たしている

φ

Reheating 期

スカラー場が物質
に変化する

$\varphi \rightarrow \rho$

元素合成期
多成分流体

$\rho_\nu \rho_\gamma$

$\rho_B \rho_D$



大
だ

$$\zeta = \psi + \delta$$

く
いてる。

conclusion

- ◆ インフレーションの情報を得るには、スーパーホライズンの物理を考える必要がある。
- ◆ スーパーホライズンスケールで任意の摂動論的オーダーで保存する量を構成することができる。
- ◆ 現在の揺らぎの初期値は、インフレーションによって一つしか与えられないという観測的事実がある。
- ◆ インフレーションはsingle fieldを考えるのがもっとも手っ取り早い。もしくはReheating時に他の初期値を与える情報が消えていくと考える。