

# 宇宙磁場の起源



高橋慶太郎

京都大学基礎物理学研究所

2007年7月31日@夏の学校

# 概要

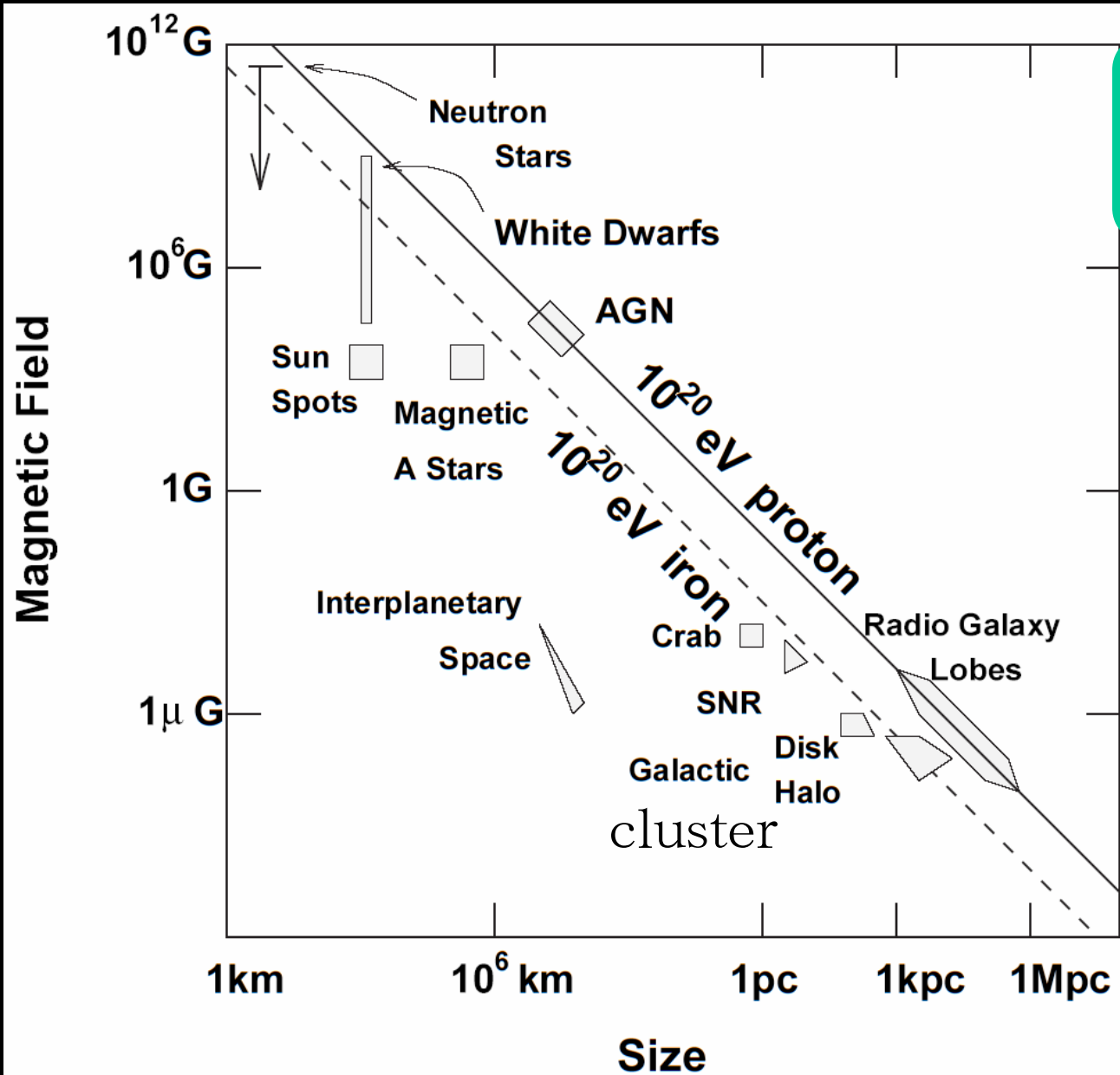
- 1、宇宙には磁場が遍在
- 2、初期宇宙のプラズマゆらぎによる  
磁場生成
- 3、高エネルギー天体による宇宙磁場  
の測定
- 4、宇宙磁場によって初期宇宙を探る

KT et al., PRL 95 (2005) 121301

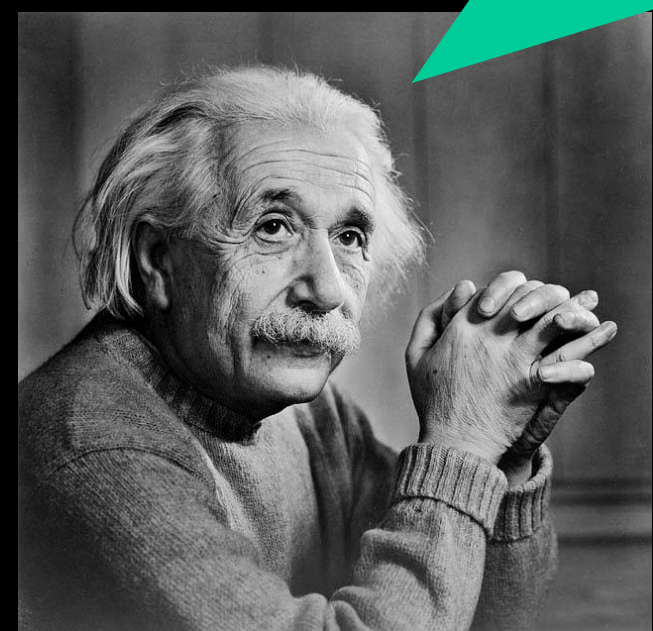
Ichiki, KT et al., Science 311 (2006) 827

Kobayashi, KT et al., PRD 75 (2007) 103501

# 磁場は宇宙の至るところにある



地球磁場の起源は  
現代物理学最大の謎



磁場の起源？  
宇宙論的磁場？  
宇宙進化への影響？

# 磁場観測の現状

銀河  $\sim 10 \mu\text{G}$

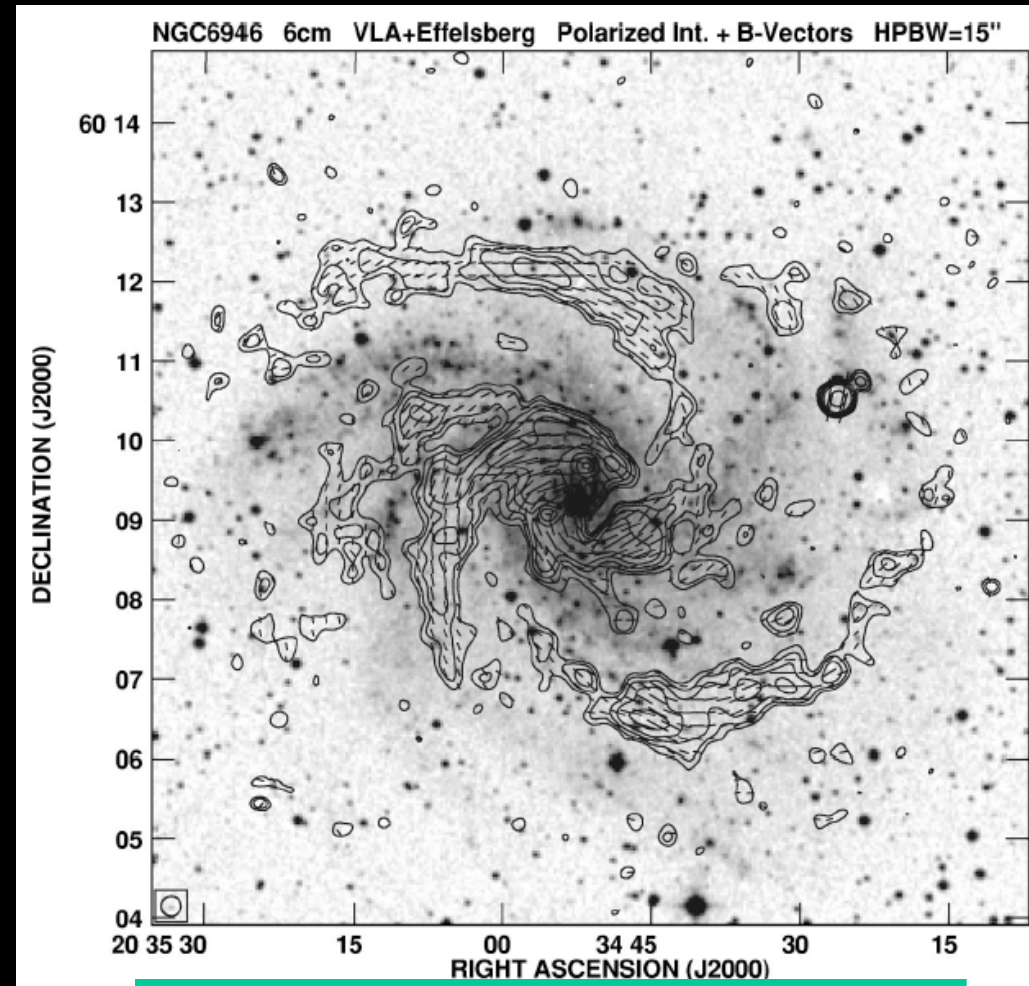
銀河団  $\sim 1 \mu\text{G}$

遠方銀河  $\sim 1 \mu\text{G}$

宇宙論的磁場

- ・ ビッグバン元素合成
- ・ 宇宙背景放射
- ・ 遠方の電波天体の  
ファラデー回転

$\rightarrow < 1\text{nG}$

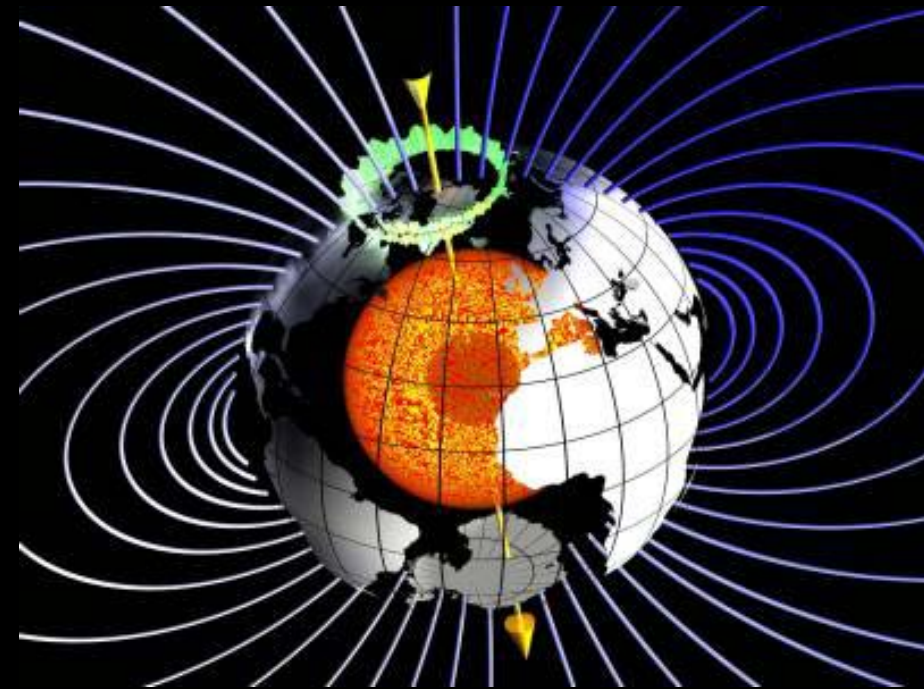


NGC6946  
Beck & Hoernes, 1996

# 磁場の起源

## ダイナモ

- ・ 磁場の増幅・維持機構
- ・ 電磁流体力学的不安定性
- ・ 宇宙の様々な所で働いている (地球・太陽・降着円盤・銀河? 銀河団?)



## 種磁場

- ・ ダイナモには種となる磁場が必要
- ・ 銀河磁場を説明するためには $10^{-25}$  G程度必要

種磁場の起源は何か?

# これまでの種磁場研究

## 天体物理学的起源

- ・ Biermann機構 ( $\nabla n \times \nabla p \rightarrow$  非熱的過程)  
原始銀河、再イオン化・・・
- ・ Weibel不安定性

→ 現象そのものがよくわかっていない

## 宇宙論的起源

- ・ 相転移
- ・ インフレーション

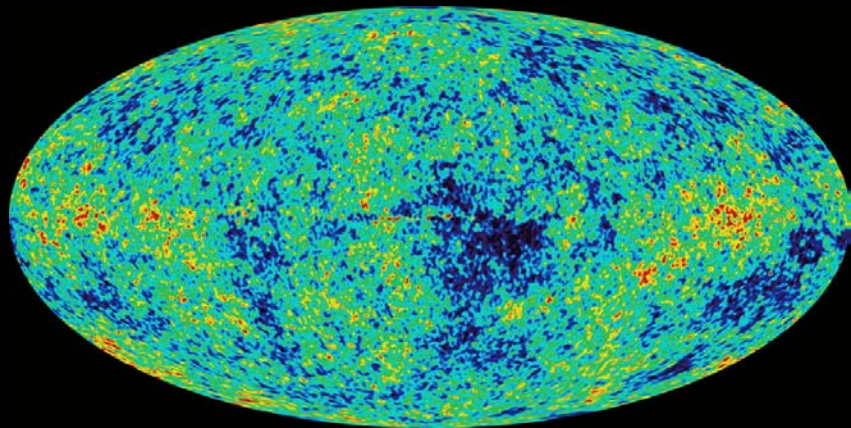
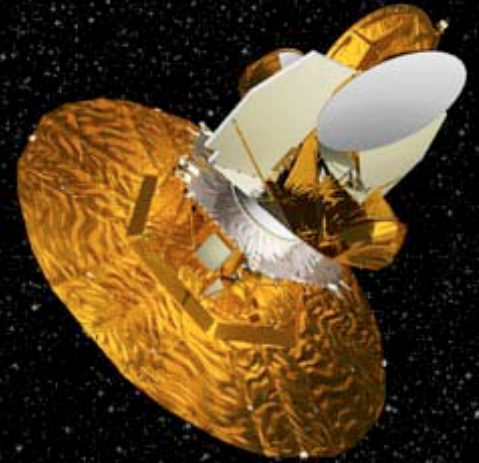
→ 物理がよくわかっていない

確かのことはなかなか言えない

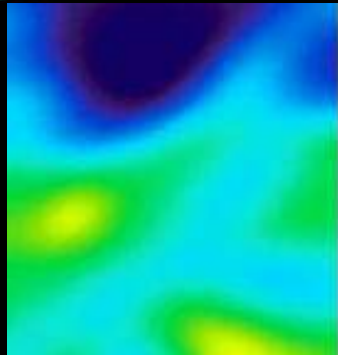
# 第3のカテゴリ

初期宇宙のプラズマゆらぎ

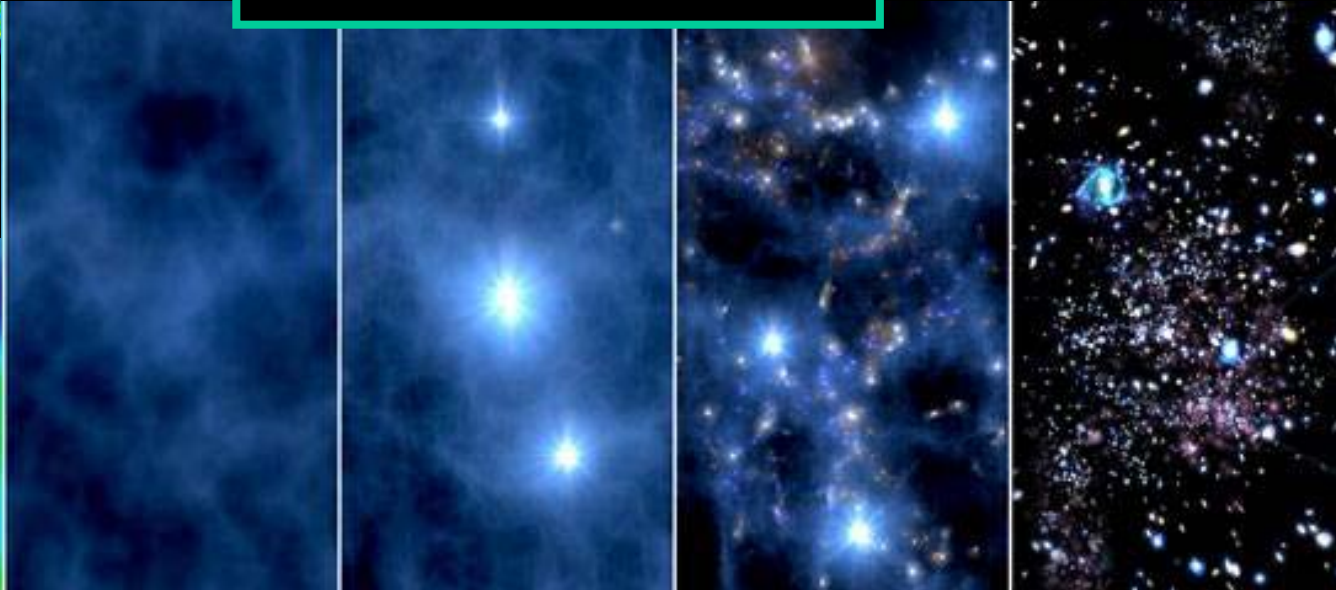
- ・ 一様等方からのずれ
- ・ インフレーションにより生成
- ・ 宇宙論的摂動論によって定式化
- ・ CMBや銀河分布で観測



WMAP



重力によって進化



# ゆらぎによる磁場生成

トムソン散乱は主に  
電子を押す

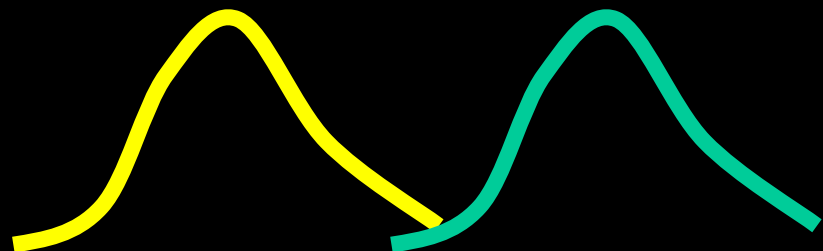
→ 電子と陽子がずれる

→ 電場・電流生成

→ 磁場生成

光子

陽子・電子



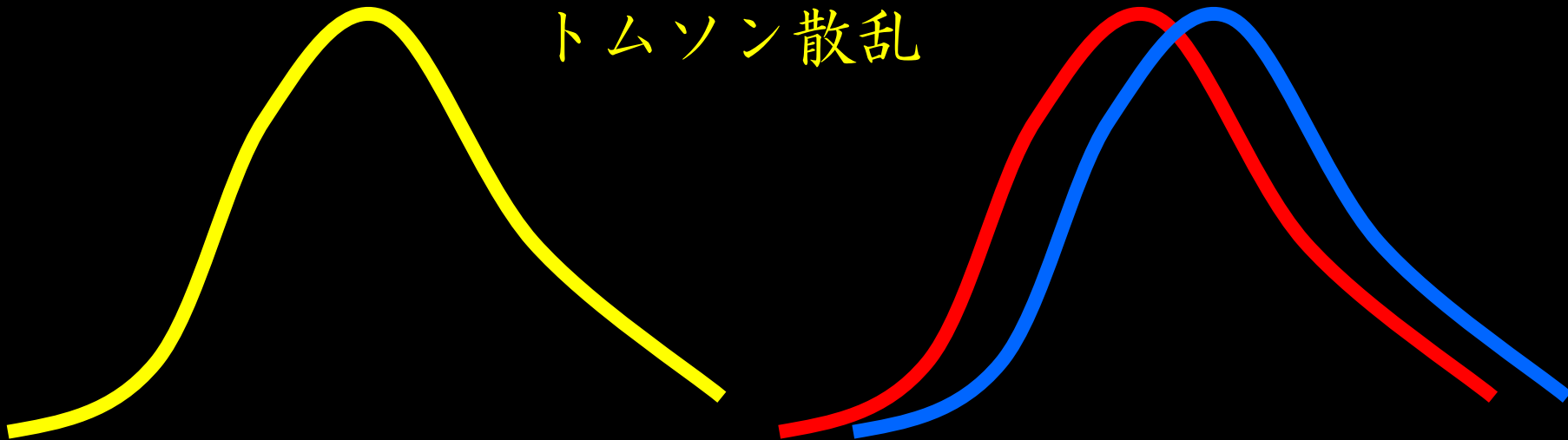
陽子

クーロン散乱  
電場 → 磁場

電子

光子

トムソン散乱





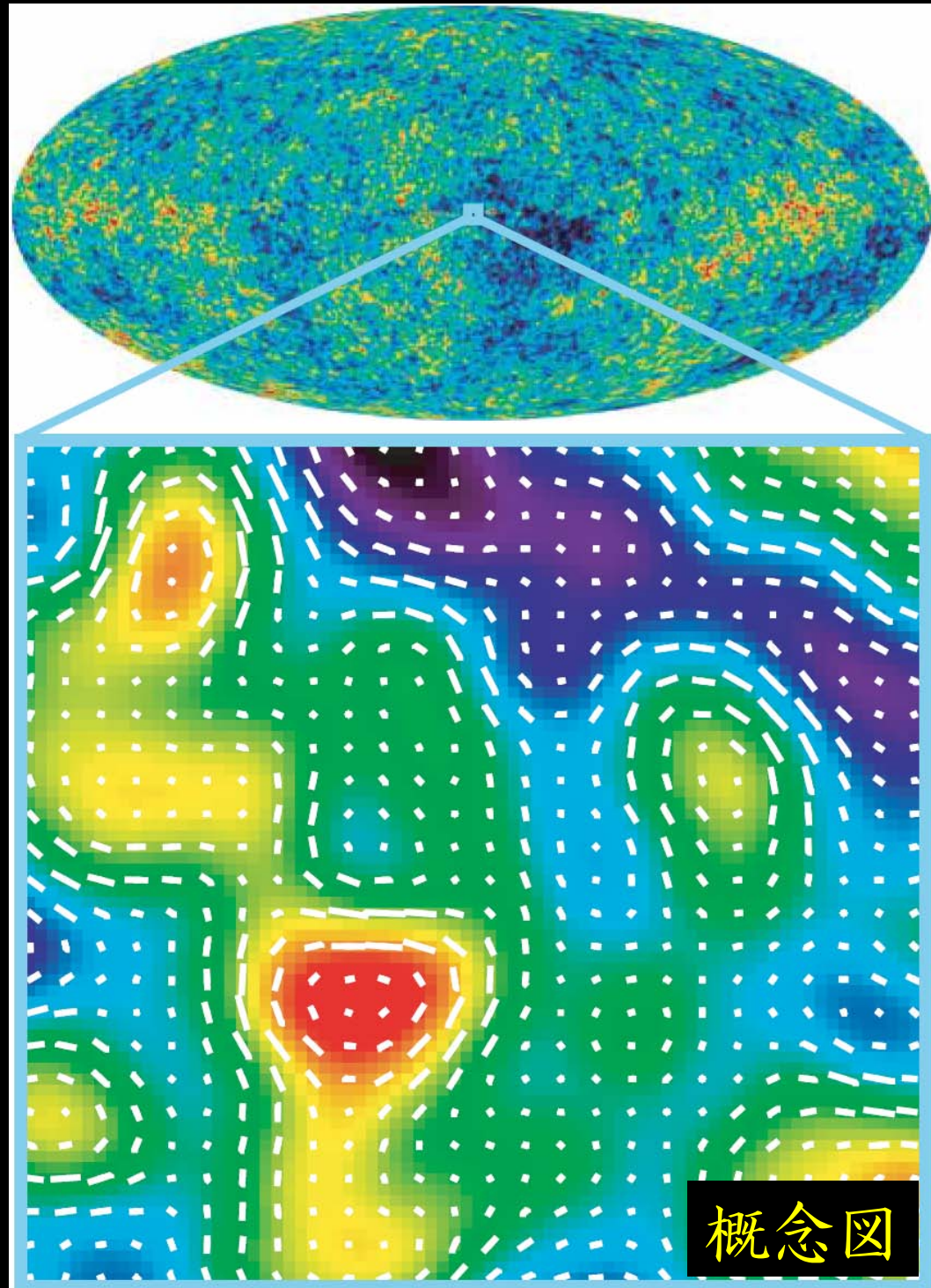
# CMBと磁場の相関

ゆらぎから  
磁場が生成



CMBゆらぎと  
磁場は相関

理論的・観測的によく  
理解されているもので  
磁場生成を議論  
→ 強い予言力



# 磁場の発展方程式

光子・陽子・電子の3流体

→ 電磁氣的量を議論

宇宙論的摂動論 (2次)

→ 回轉成分の電場・電流を記述

磁場の  
発展方程式

光子の非等方ストレス

$$\frac{dB^i}{dt} = \frac{4\sigma_T \rho_\gamma a}{3e} \epsilon^{ijk} \left[ \delta_{\gamma,j} (v_{ek} - v_{\gamma k}) - \frac{1}{4} (v_{el} \Pi_{\gamma j}^l)_{,k} - (v_{ej,k} - v_{\gamma j,k}) \right]$$

光子密度と速度差の外積

vorticityの差

# いろいろなゆらぎの振る舞い

ゆらぎの進化

①インフレーションで生成

②superhorizon

生成されたまま固定

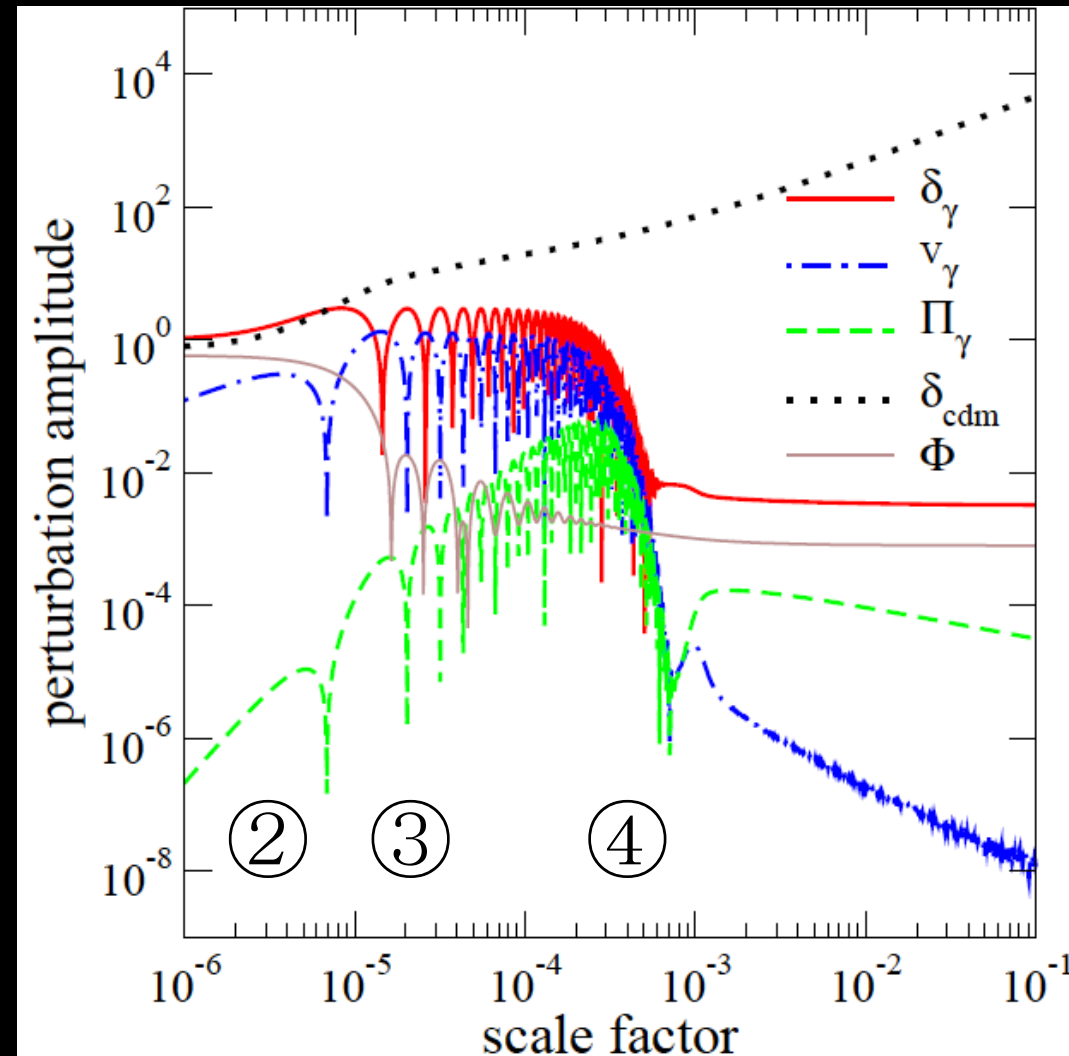
③音波振動

horizonに入ると振動

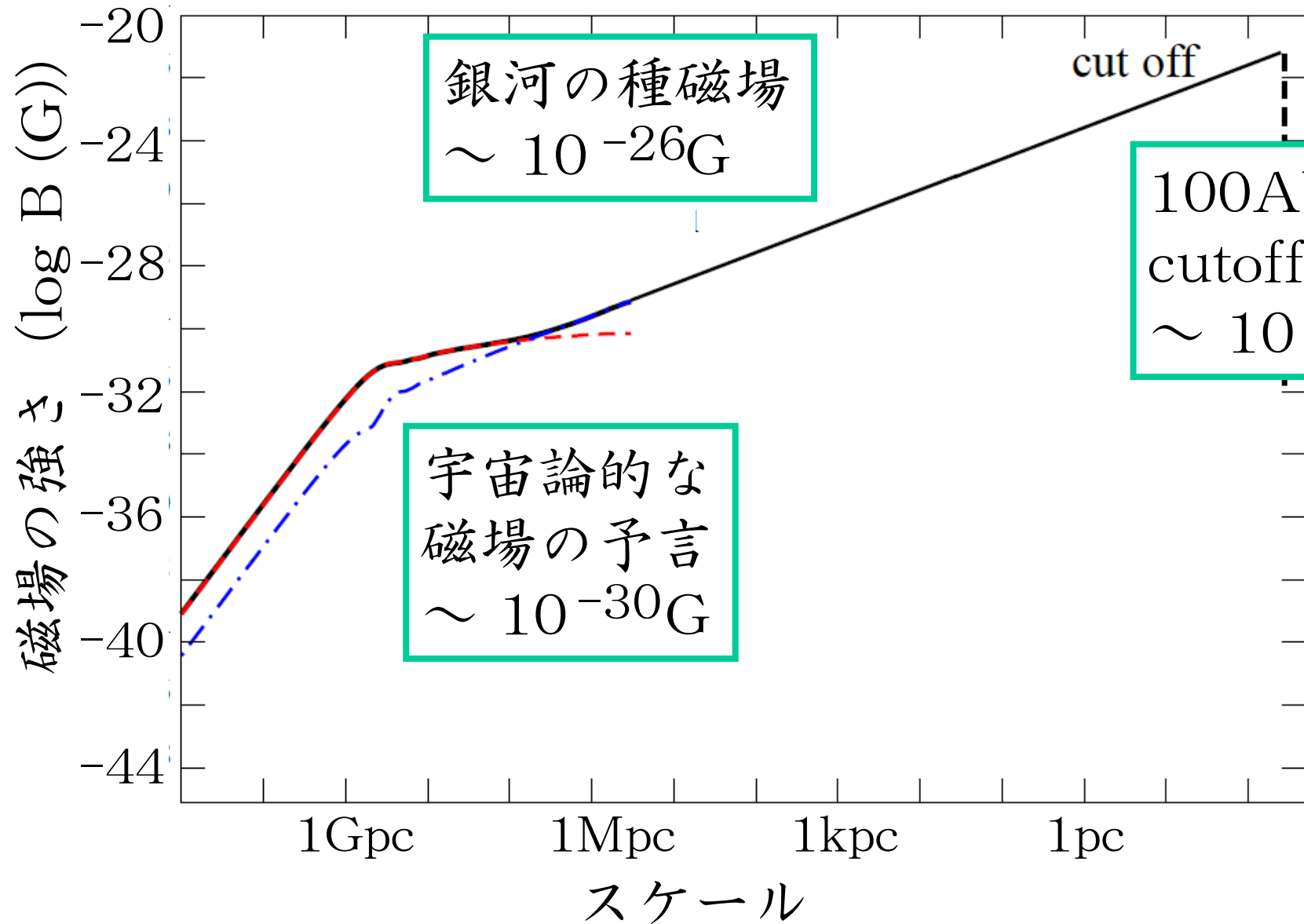
④シルク減衰

拡散によりゆらぎが減衰

horizonに入ってから  
減衰するまで磁場生成



# ゆらぎで生成される磁場のスペクトル



# 宇宙磁場の観測

理論を検証したい、さらに・・・

CMB・Faraday rotation

→ 現在の制限： $B < 1\text{nG}$

→ 望み薄

Plagaの方法 (Plaga, 1994)

GRB、AGNなど高エネルギーバースト

天体からのdelayed photonを使って

非常に弱い磁場を測る

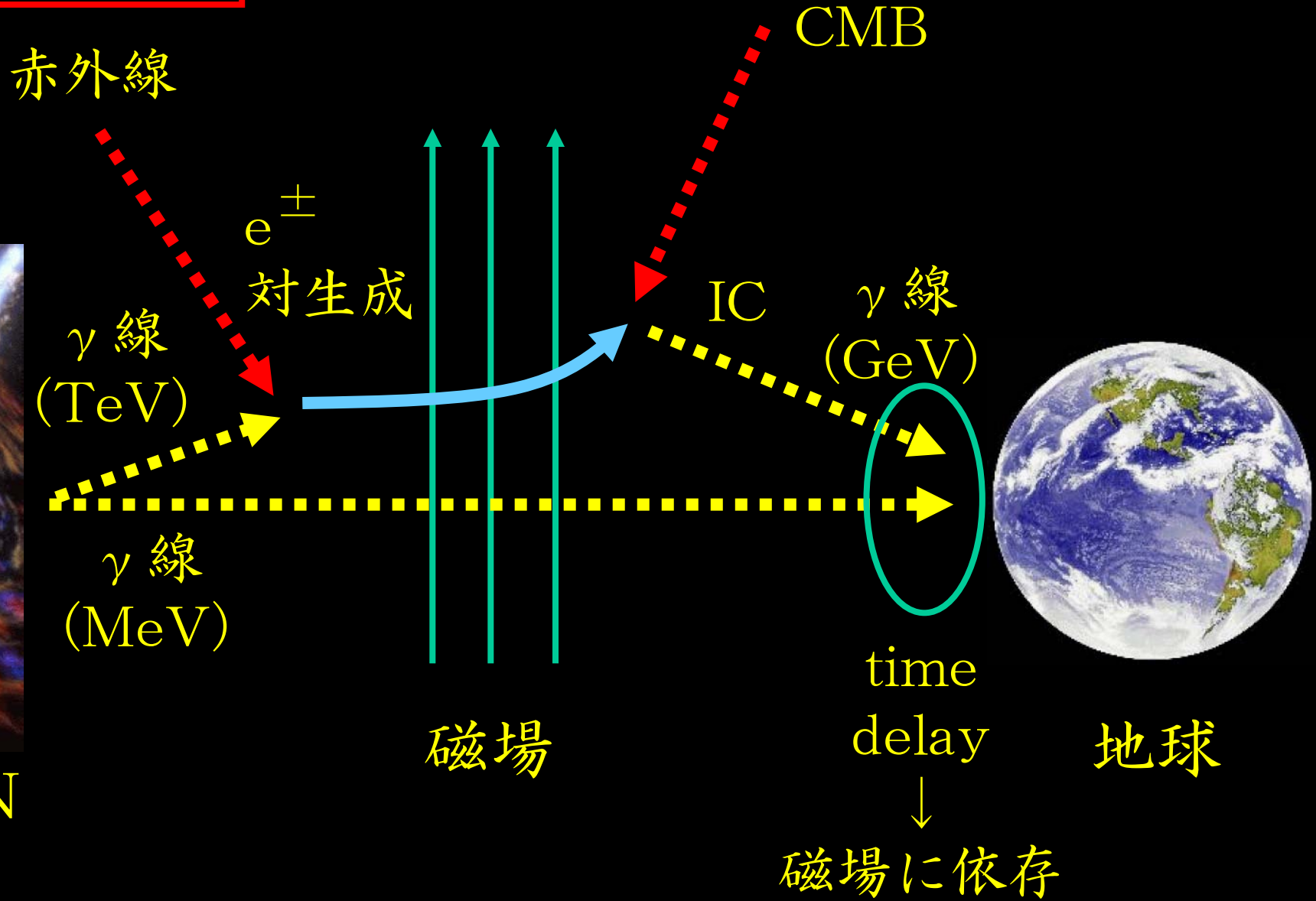
→  $B = 10^{-15} \sim 10^{-20}\text{G}$

→ 現在のところ最も強力な方法

# Plagaの方法

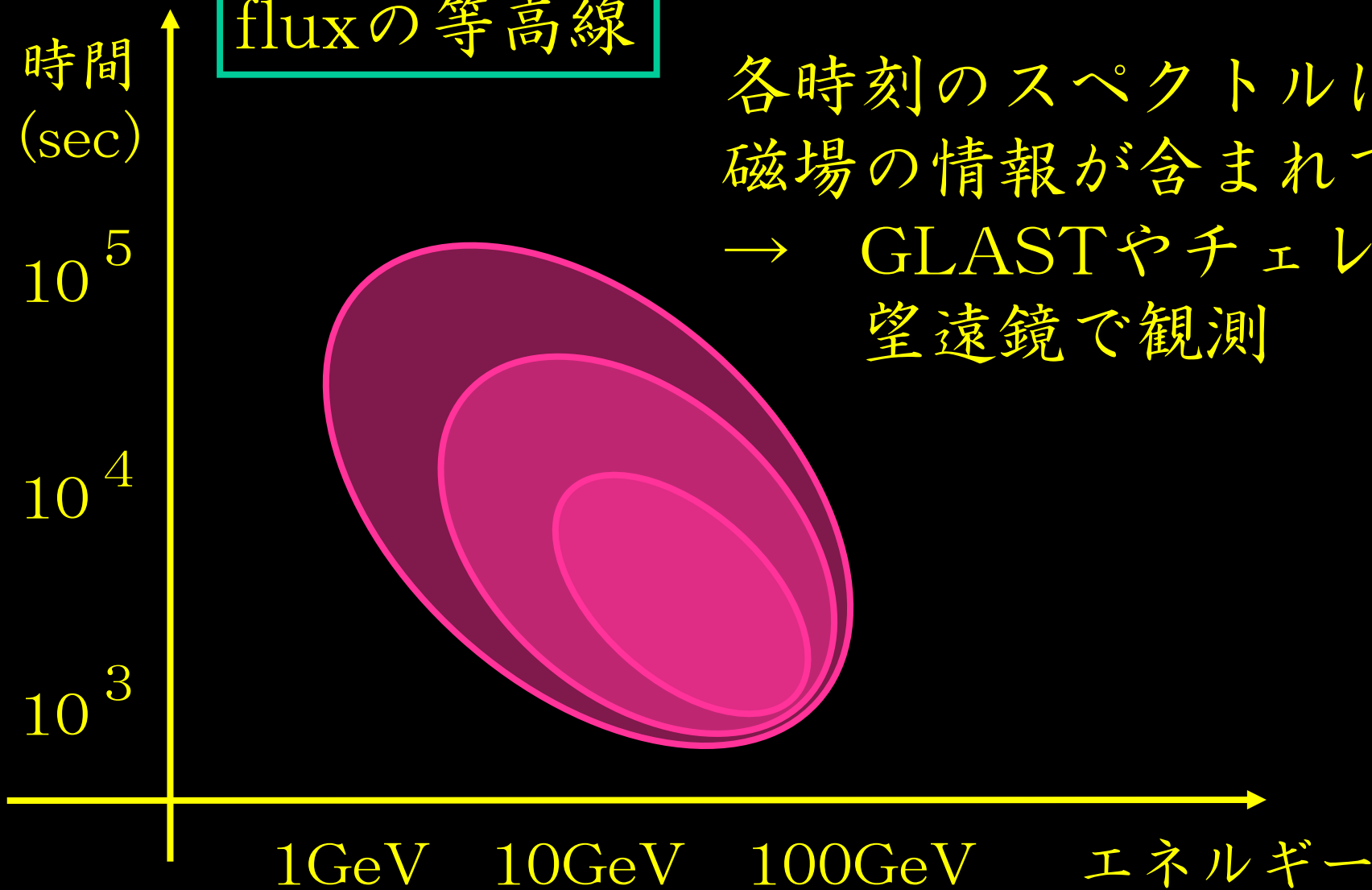


GRB, AGN



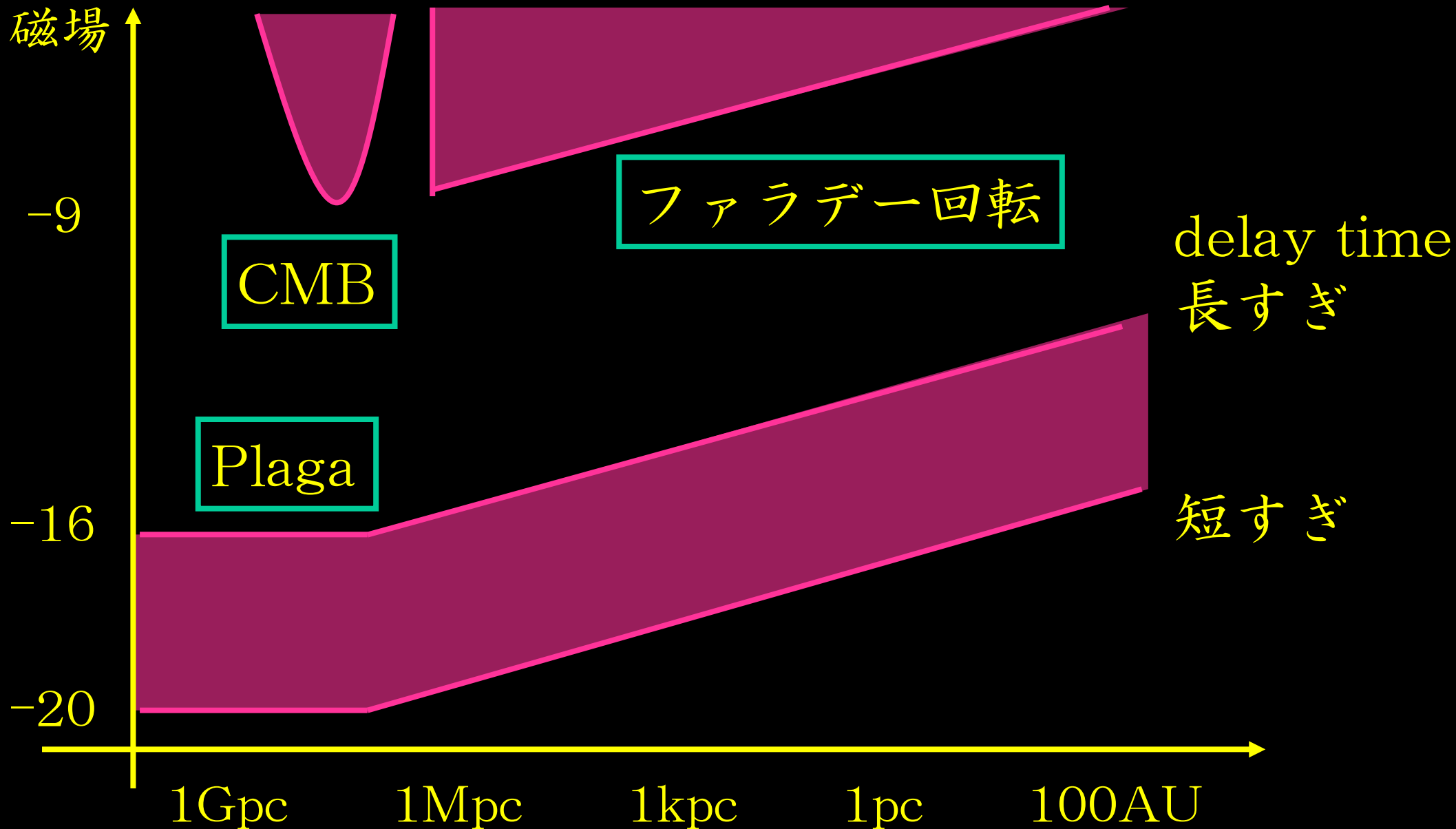
# 観測量

fluxの等高線



各時刻のスペクトルに  
磁場の情報が含まれている  
→ GLASTやチェレンコフ  
望遠鏡で観測

# non-detectionによる制限





## 宇宙磁場で初期宇宙を探る

磁場のスペクトルはインフレーションでできる  
原始ゆらぎスペクトルに依存

→ 磁場を観測すれば原始ゆらぎを観測できる

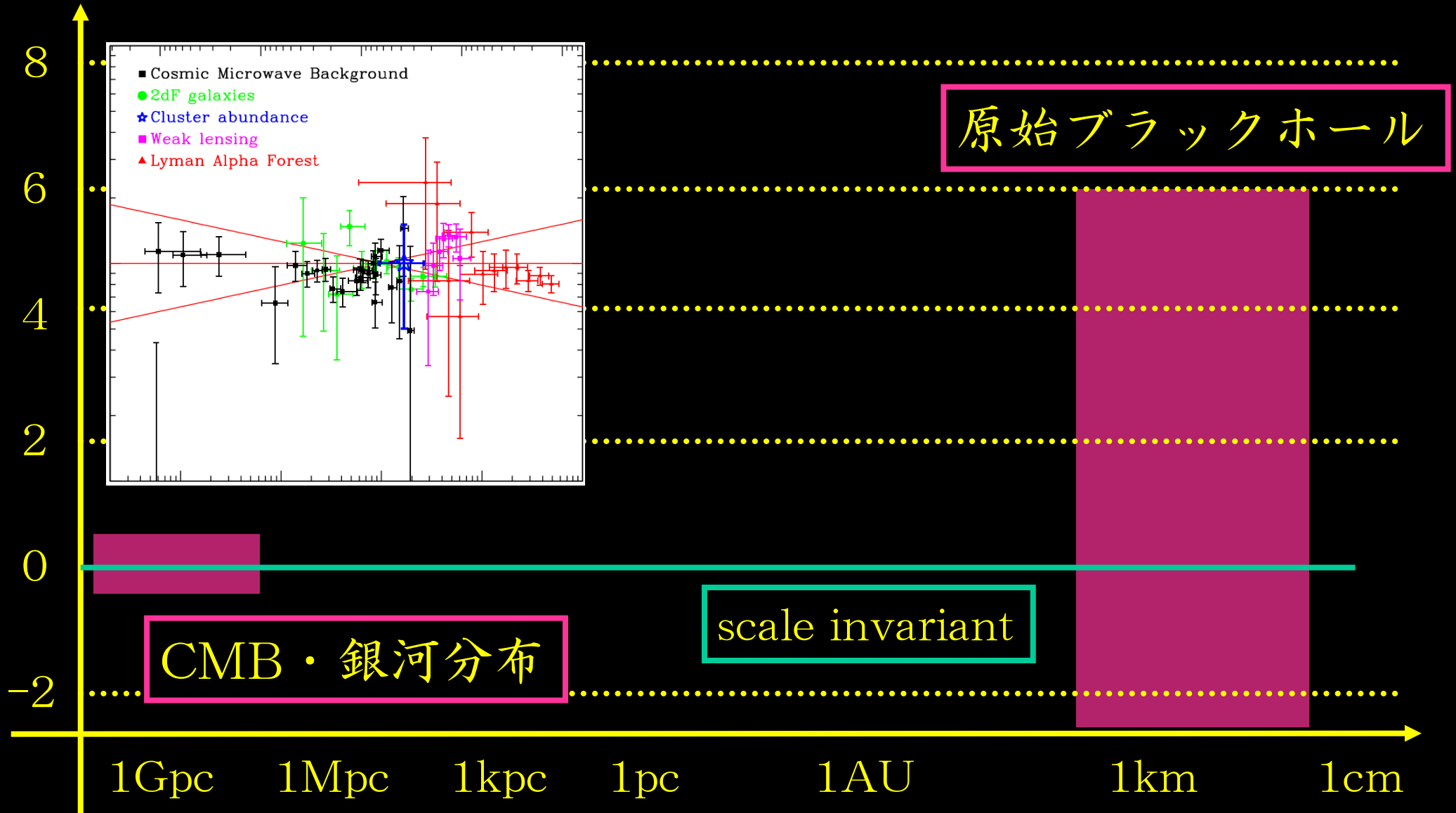
磁場は他のゆらぎと違って散逸しない

→ CMBや銀河分布では探れない小さな  
スケールのゆらぎを観測できる

→ インフレーションのダイナミクスの情報

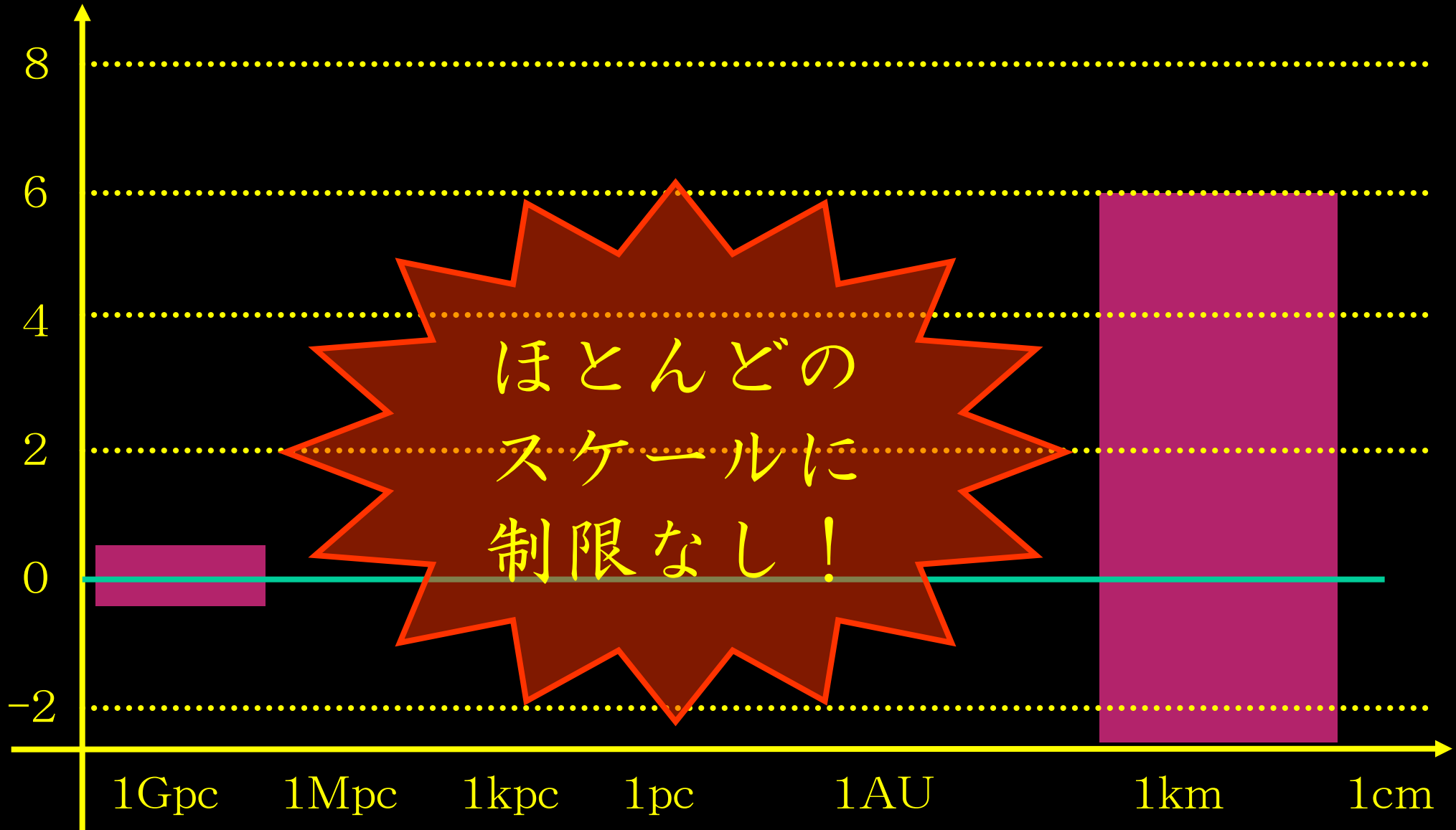
# 現在のゆらぎへの制限

$P(k)$



制限なし！

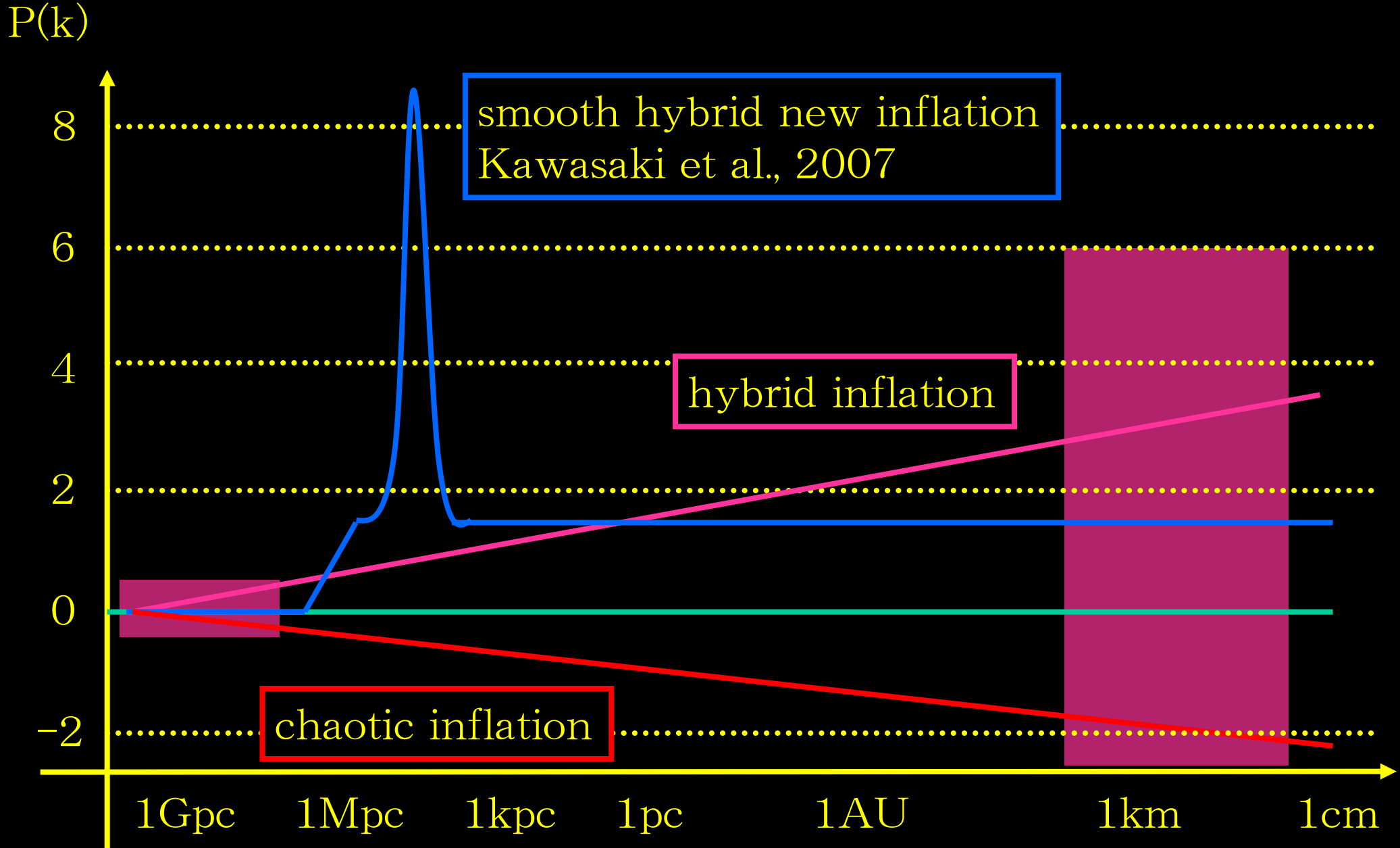
$P(k)$



ほとんどの  
スケールに  
制限なし！

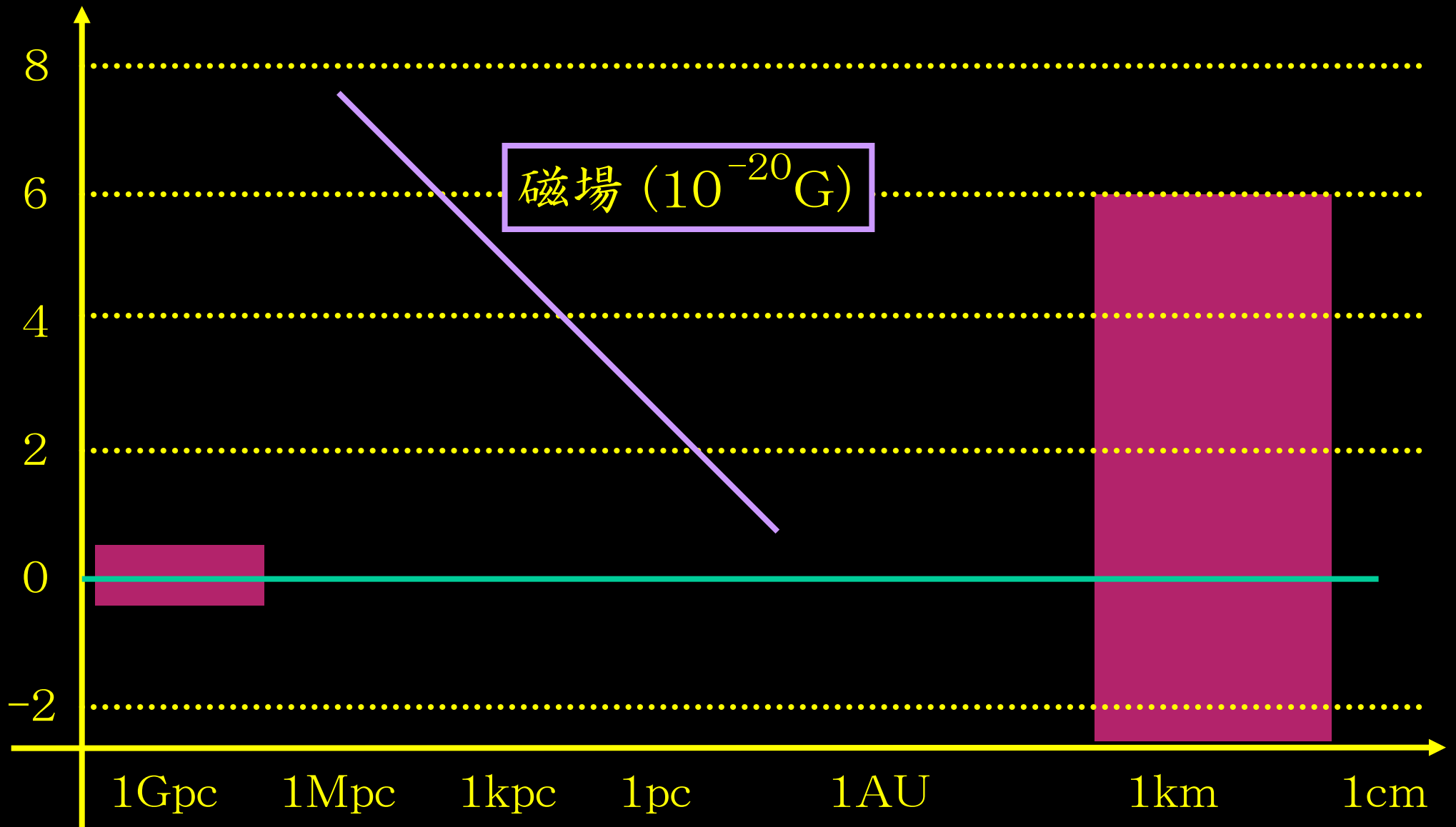
1Gpc 1Mpc 1kpc 1pc 1AU 1km 1cm

# 様々なインフレーションモデル



# ゆらぎへの制限 (超楽観的)

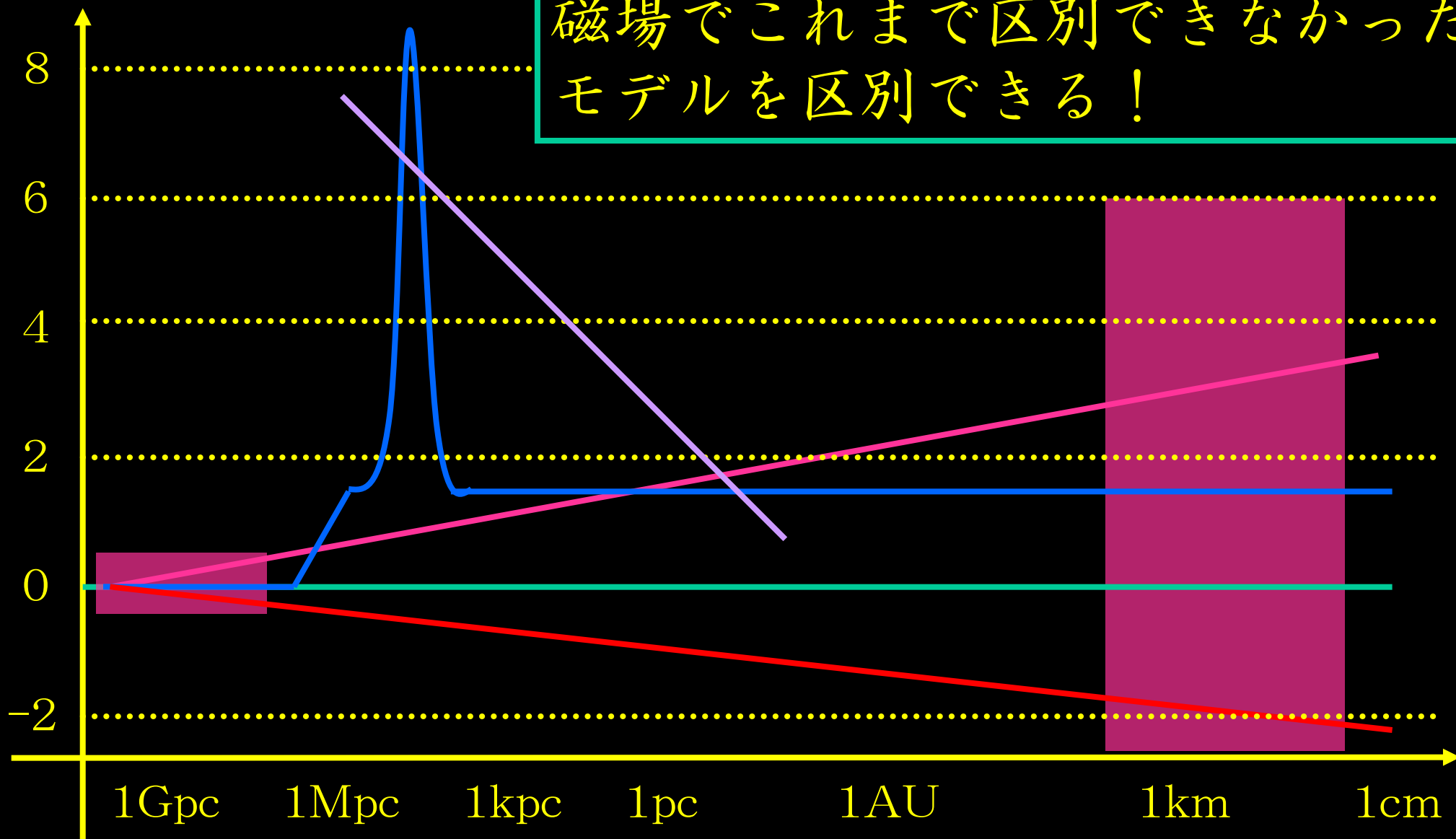
$P(k)$



# インフレーションモデルへの制限

$P(k)$

磁場でこれまで区別できなかったモデルを区別できる！



# 研究テーマの変遷

磁場研究 → これだ！

観測的宇宙論を雑多に  
with 同世代の友達

ブレンワールド  
with 先輩 → 博士論文

超新星ニュートリノ  
with 指導教官 → 修士論文

試行錯誤を重ねてこれだ  
というテーマを見つけた

M1 M2 D1 D2 D3 PD1 PD2 PD3

# 研究テーマポテンシャル

面白さ・適性  
↓

最初に与えられる  
テーマはこんなもの

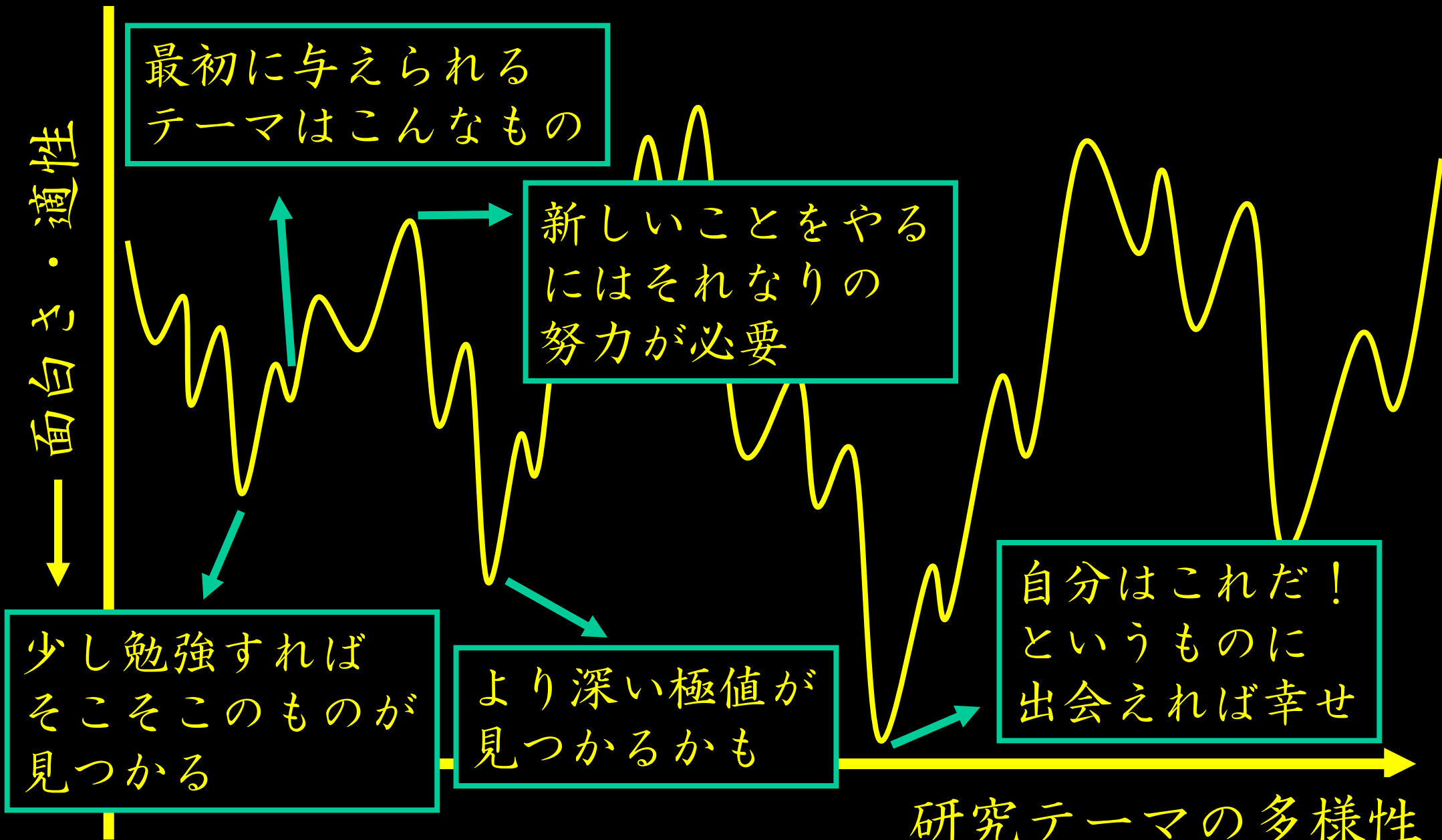
新しいことをやる  
にはそれなりの  
努力が必要

少し勉強すれば  
そこそこのものが  
見つかる

より深い極値が  
見つかるかも

自分はこれだ！  
というものに  
出会えれば幸せ

研究テーマの多様性  
→





# 結論

- 1、初期宇宙のゆらぎによる磁場生成
  - ・宇宙論的磁場の存在
  - ・銀河磁場の起源
- 2、宇宙磁場の観測
  - ・高エネルギー天体を使って
  - ・インフレーションを探る

KT et al., PRL 95 (2005) 121301

Ichiki, KT et al., Science 311 (2006) 827

Kobayashi, KT et al., PRD 75 (2007) 103501

**END**