



# TeV天体で磁場、 そして初期宇宙を探る

高橋慶太郎

京都大学基礎物理学研究所

2007年5月24日@有馬温泉



# 概要

- 1、宇宙にはあらゆるスケールの磁場が存在している
- 2、宇宙論的磁場は初期宇宙の情報を含んでいる
- 3、磁場の観測によって初期宇宙を探りたい



# 1、磁場の生成

## 共同研究者

- ・市來浄興 (RESCEU)
- ・杉山直 (名古屋大)
- ・大野博司 (東芝)
- ・花山秀和 (国立天文台)
  
- ・白水徹也 (東工大)
- ・小林努 (東工大)
- ・R. Maartens (Portsmouth)

## 参考文献

- ・ PRL 95 (2005) 121301
- ・ Science 311 (2006) 827
- ・ astro-ph/0701329
  
- ・ PRD 75 (2007) 103501

# 宇宙のゆらぎ

摂動 = 一様等方からのずれ

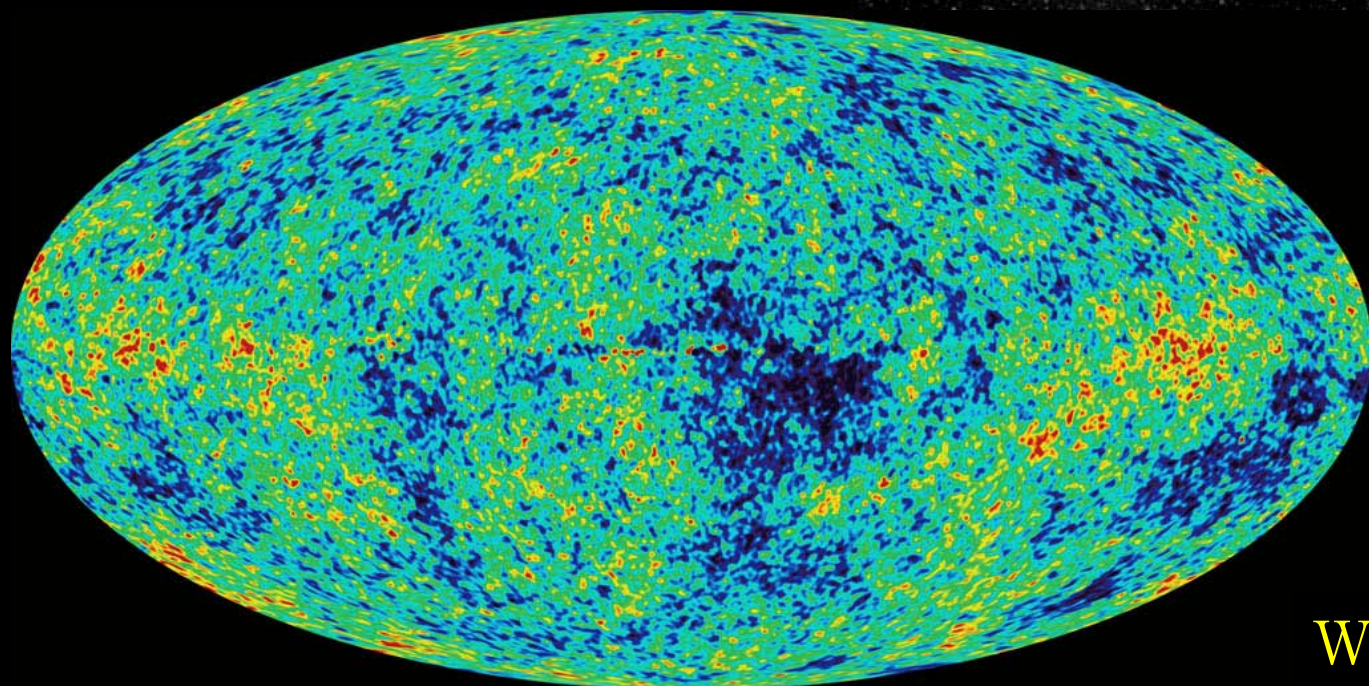
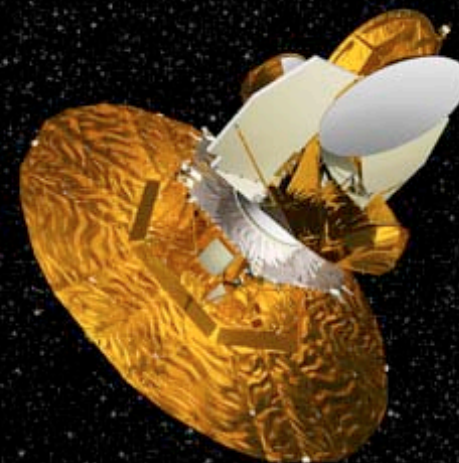
- ・ インフレーションで量子的に生成  
→ 密度ゆらぎ・重力波
- ・ その後、線形に発展  
→ CMB・構造形成





# 宇宙背景放射

宇宙背景放射の  
温度に10万分  
の1のゆらぎ



精密宇宙論  
の始まり

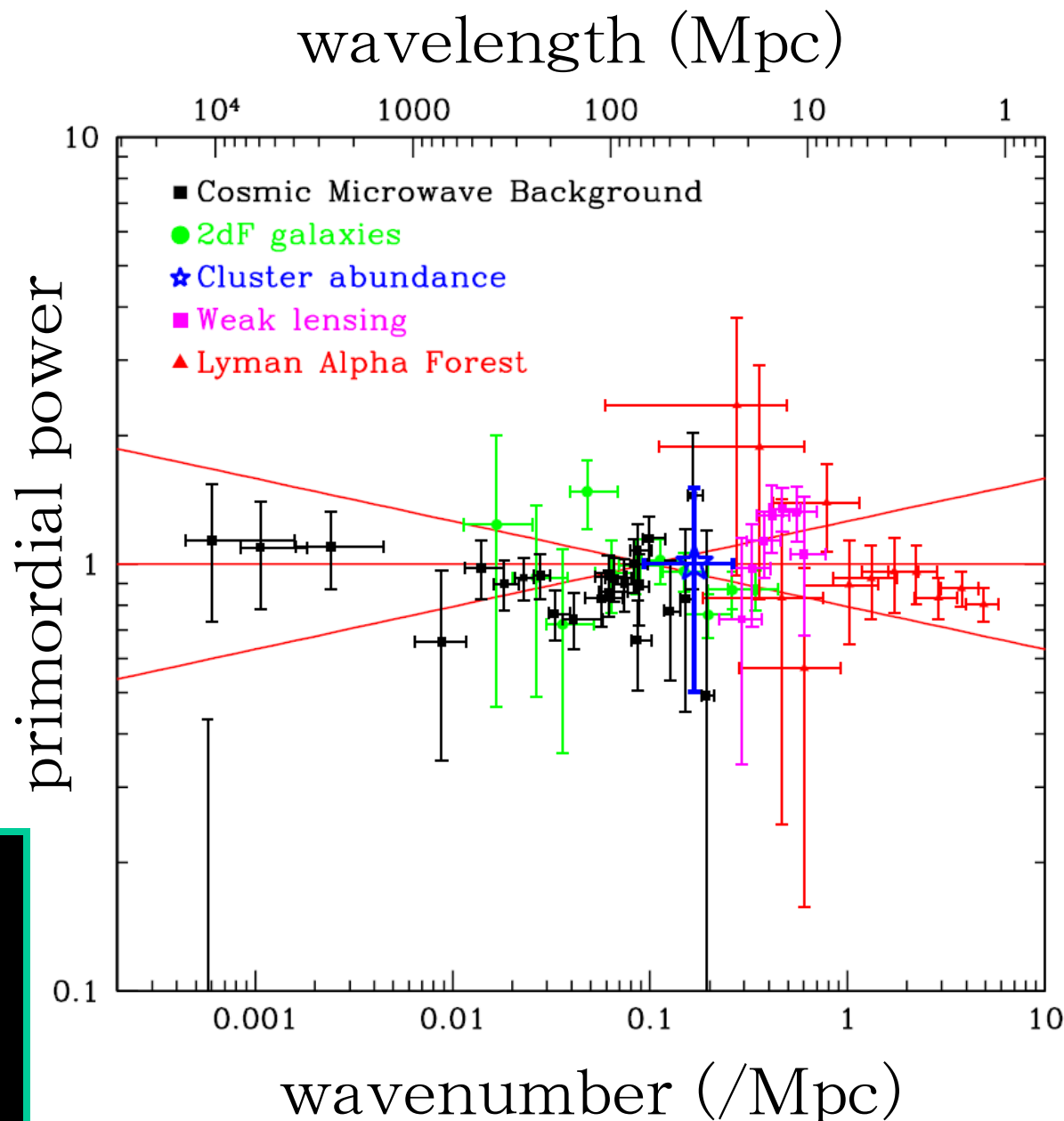
WMAP

# ゆらぎの観測

ゆらぎのスペクトル  
インフレーション期  
の物理状態を反映  
観測

CMB・銀河分布  
観測のスケール  
10Mpc ~ 10Gpc

インフレーションで  
あることは言える。  
しかしそれ以上は・・・

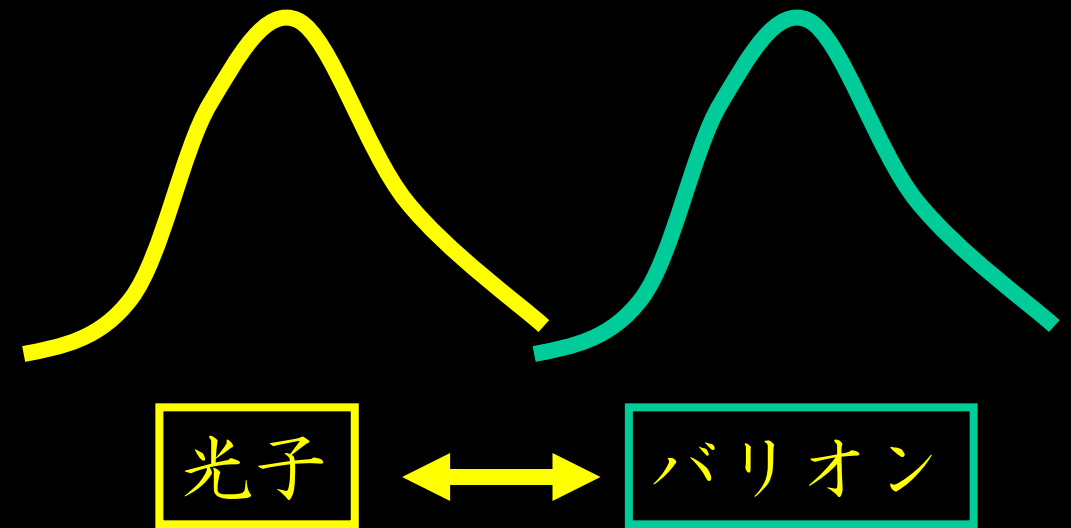


# 初期宇宙の様子

## 登場人物

- ・光子
- ・バリオン (陽子+電子)
- ・ダークマター
- ・ニュートリノ

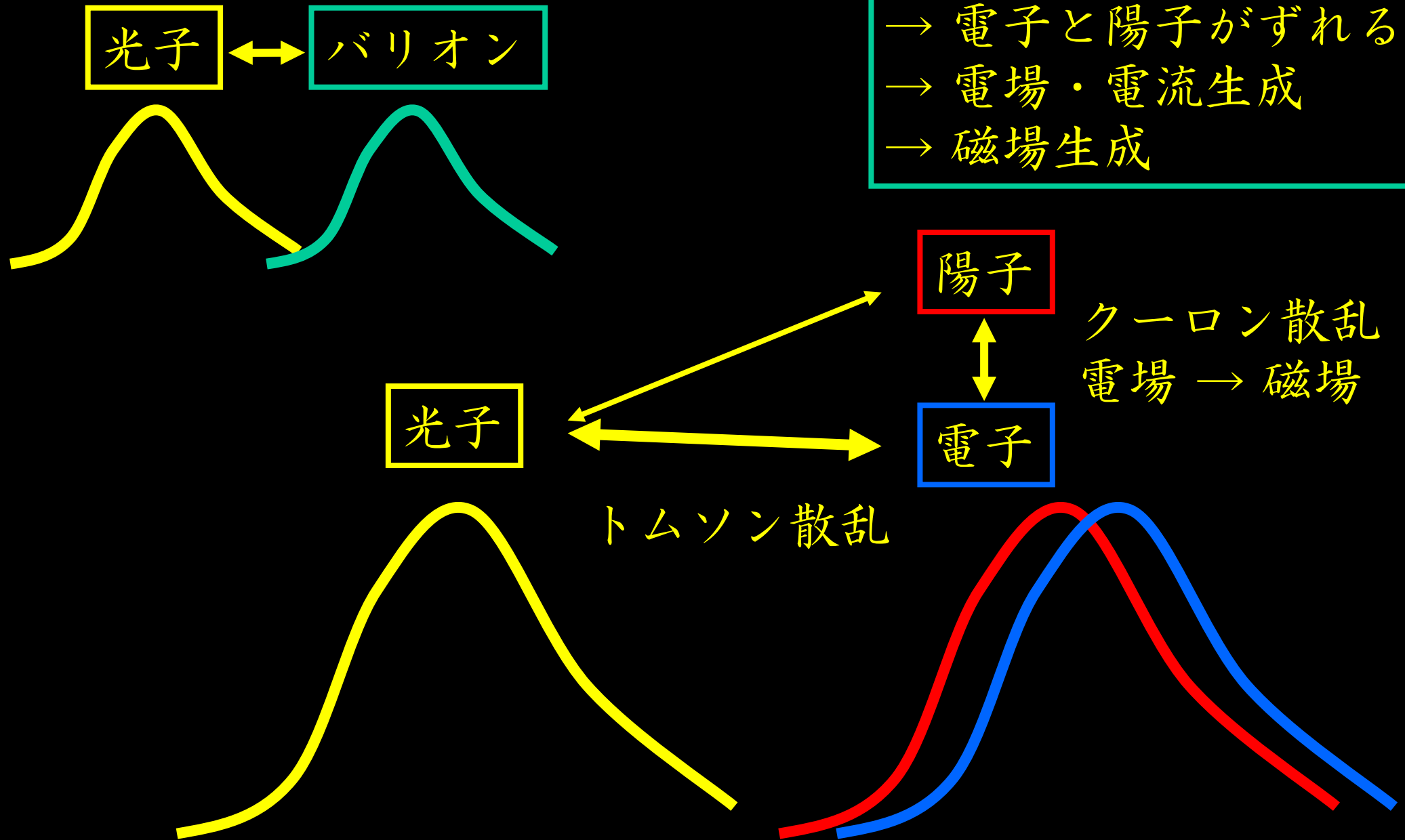
光子とバリオンは  
トムソン散乱で  
相互作用しながら  
発展していく



トムソン散乱

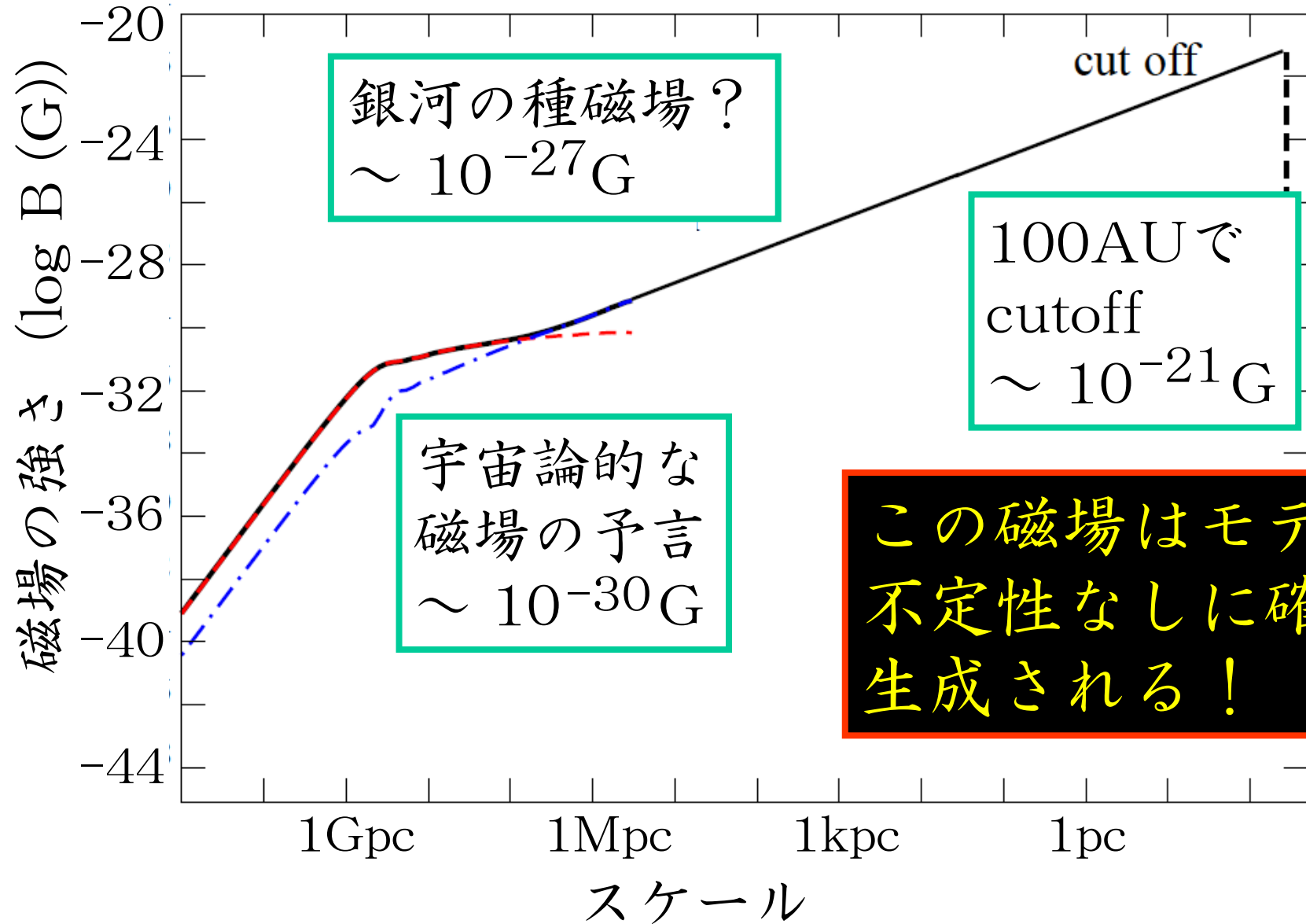
# 詳細に見てみると・・・

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

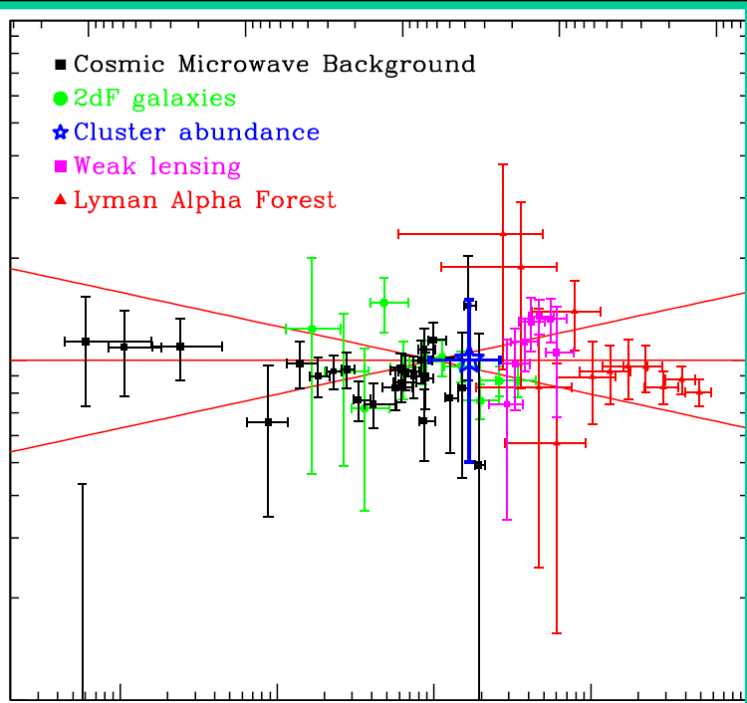




# 磁場のスペクトル



# 原始ゆらぎと磁場のスペクトル



磁場の強

-36  
-40  
-44

1Gpc

1Mpc

1kpc

1pc

スケール

cut off

原始ゆらぎの  
スペクトルによって  
磁場のスペクトルも  
変わる。

## 2、磁場の観測

### 共同研究者

- ・市来浄輿 (RESCEU)
- ・井上進 (国立天文台)
  
- ・村瀬孔大 (京大)
- ・長瀧重博 (京大)

### 参考文献

- ・ほぼ完成
  
- ・始まったばかり



# 基本的なアイデア

1、磁場スペクトルは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

2、小スケールの観測が可能

CMBゆらぎ：小スケールでは減衰

磁場：散逸のスケールまでそのまま残る

→ 小スケールまで観測可能

しかしどうやって観測するか？

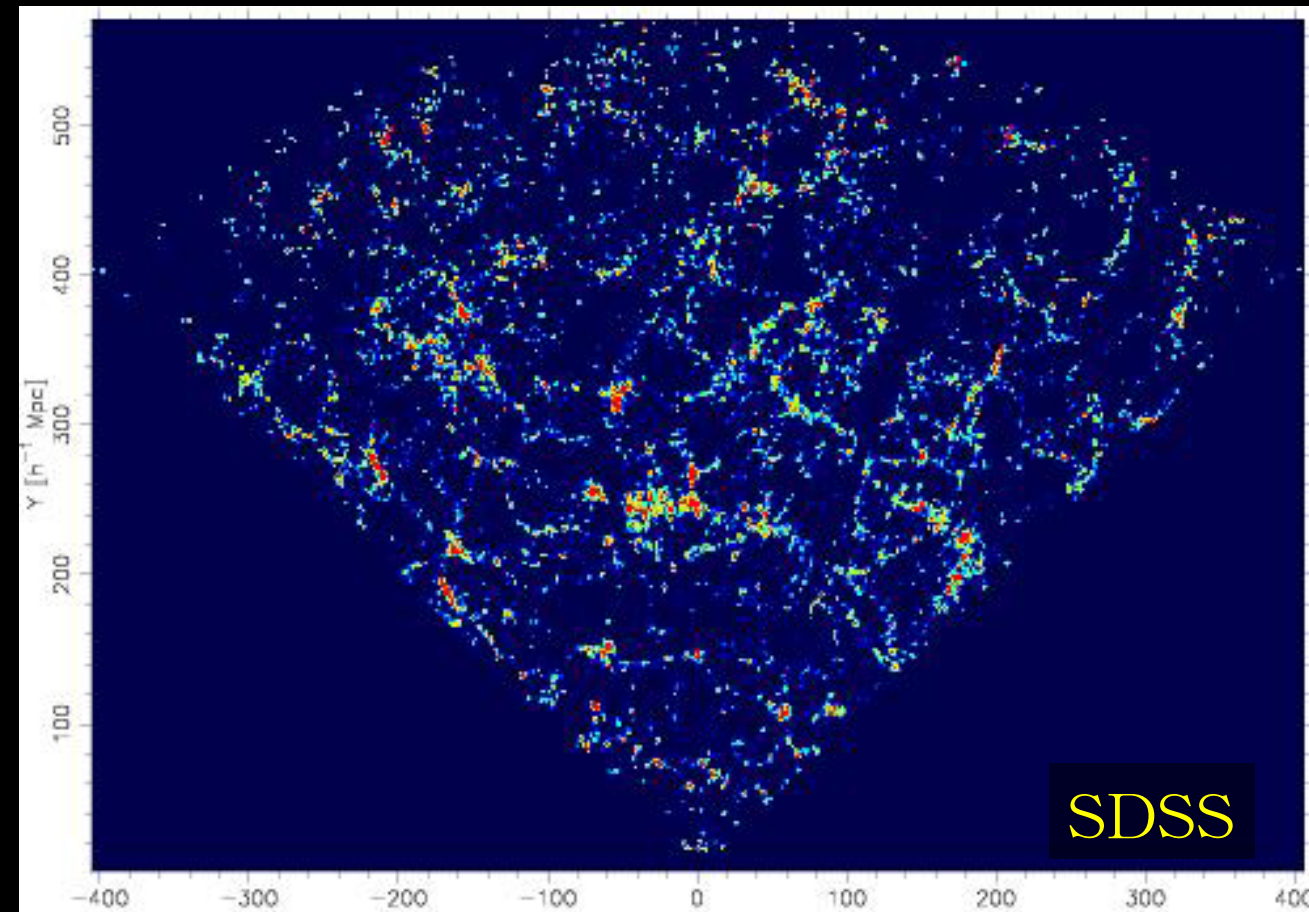
- ・生成されたときの情報は残っているか？
- ・そんな弱い磁場を観測できるか？

# 問題1：情報は残っているか？

収縮・乱流に巻き込まれるとスペクトルは変化する

濃い領域（銀河・銀河団）→ ダメ

薄い領域（void）→ OK？



- 宇宙の大部分を占める銀河密度10%以下  
→ 空間の40%
- 典型的には10Mpc
- 密度が平均より小さいのでeffectiveに反重力  
→ ゆらぎは線形のまま
- 紫外線に満ちている  
→ ガスはなかなかcollapseできない

## 問題2：弱い磁場を観測できるか？

CMB・Faraday rotation

→ 現在の制限： $B < 1\text{nG}$

→ 望み薄

Plagaの方法 (Plaga, 1994)

GRB、blazarなどからのdelayed photonを使って非常に弱い磁場を測る

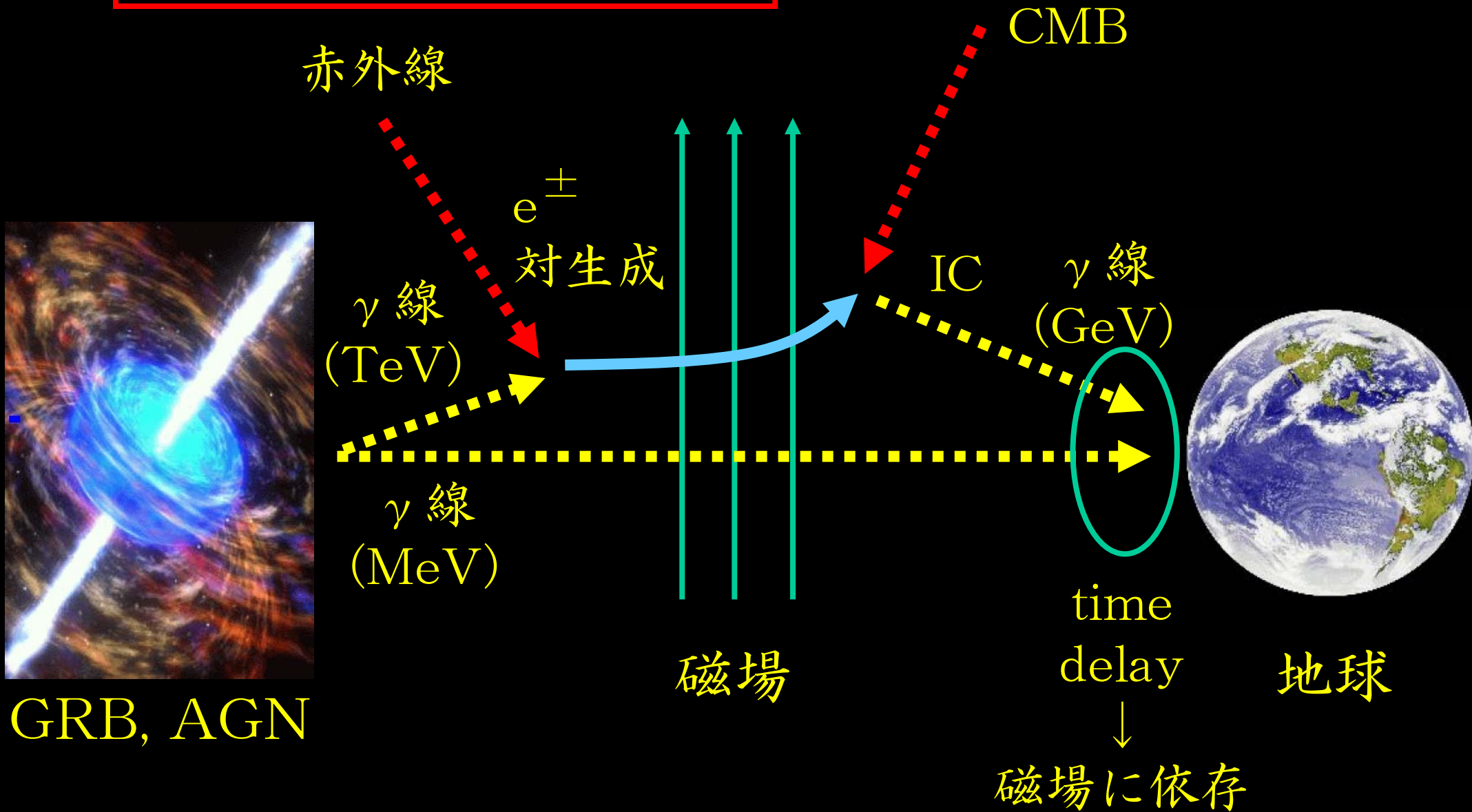
→  $B = 10^{-15} \sim 10^{-20}\text{G}$

→ 現在のところ最も強力な方法

(Ichiki, Inoue & KT, in progress)



# Plagaの方法概念図 1



ターゲット

GRB・AGN

~ 50Mpc

地球



AGNの方が  
やりやすい?

# 概念図 2

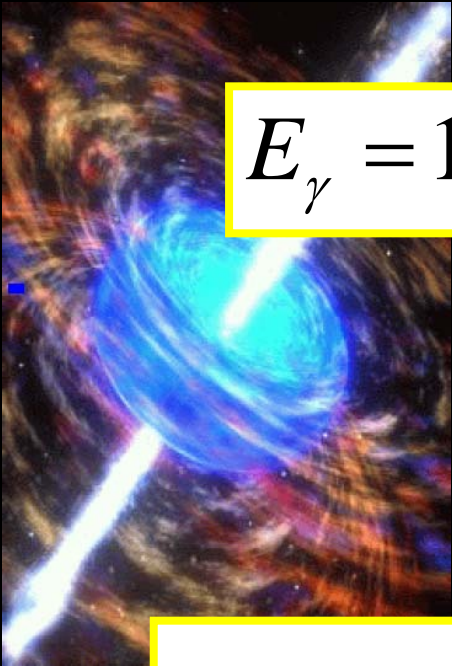
赤外線

$$E_{\text{IR}} = 0.1\text{eV} \left( \frac{E_\gamma}{1\text{TeV}} \right)^{-1}$$

CMB

$$E_{\text{delay}} = 1\text{GeV} \left( \frac{E_\gamma}{1\text{TeV}} \right)^2$$

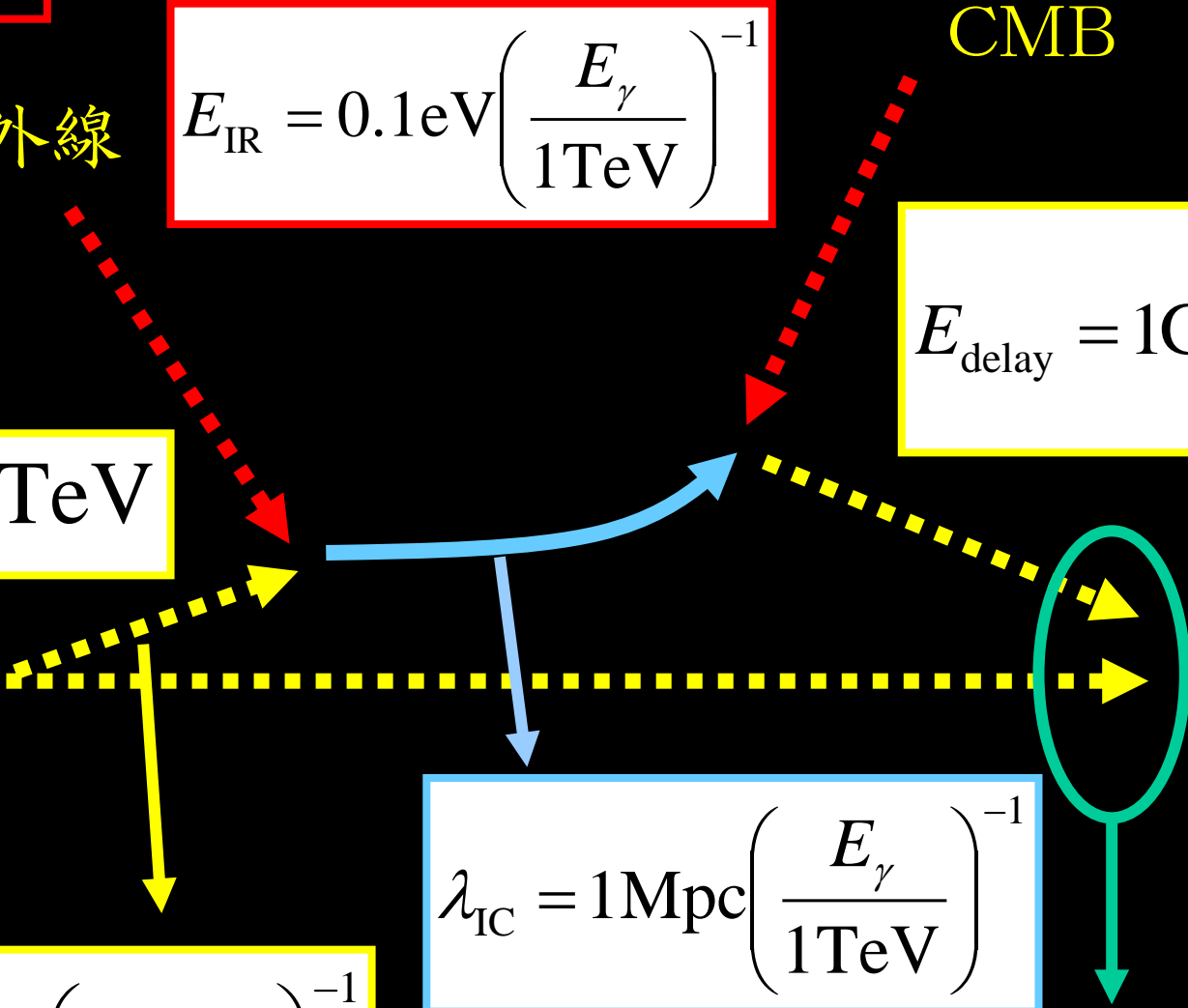
$$E_\gamma = 1\text{TeV}$$



$$\lambda_{\text{IC}} = 1\text{Mpc} \left( \frac{E_\gamma}{1\text{TeV}} \right)^{-1}$$

$$\lambda_{\gamma\gamma} = 6\text{Mpc} \left( \frac{n_{\text{IR}}}{1\text{cm}^{-3}} \right)^{-1}$$

$$\Delta t_B = 10^3 \text{sec} \left( \frac{E_{\text{delay}}}{1\text{GeV}} \right)^{-2} \left( \frac{B}{10^{-18} \text{G}} \right)^2$$





# いろいろな数字 1

$$E_{\gamma} = 1\text{TeV}$$

- ・ blazarではすでに観測されている
- ・ GRBではパラメータ次第でGeV-TeV放射が出ているのはわりと自然

$$E_{\text{IR}} = 10^{-1}\text{eV} \left( \frac{E_{\gamma}}{1\text{TeV}} \right)^{-1}$$

- ・ このあたりの赤外線はCOBE (FIRAS)でわりとよく観測されている

$$E_{\text{delay}} = 1\text{GeV} \left( \frac{E_{\gamma}}{1\text{TeV}} \right)^2$$

- ・ GLASTなど衛星の領域。もう少し高いと地上のチェレンコフ望遠鏡の領域。

## いろいろな数字 2

$$\lambda_{\gamma\gamma} = 6\text{Mpc} \left( \frac{n_{\text{IR}}}{1\text{cm}^{-3}} \right)^{-1}$$

- ・天体付近の濃い領域から出るのに十分大きい

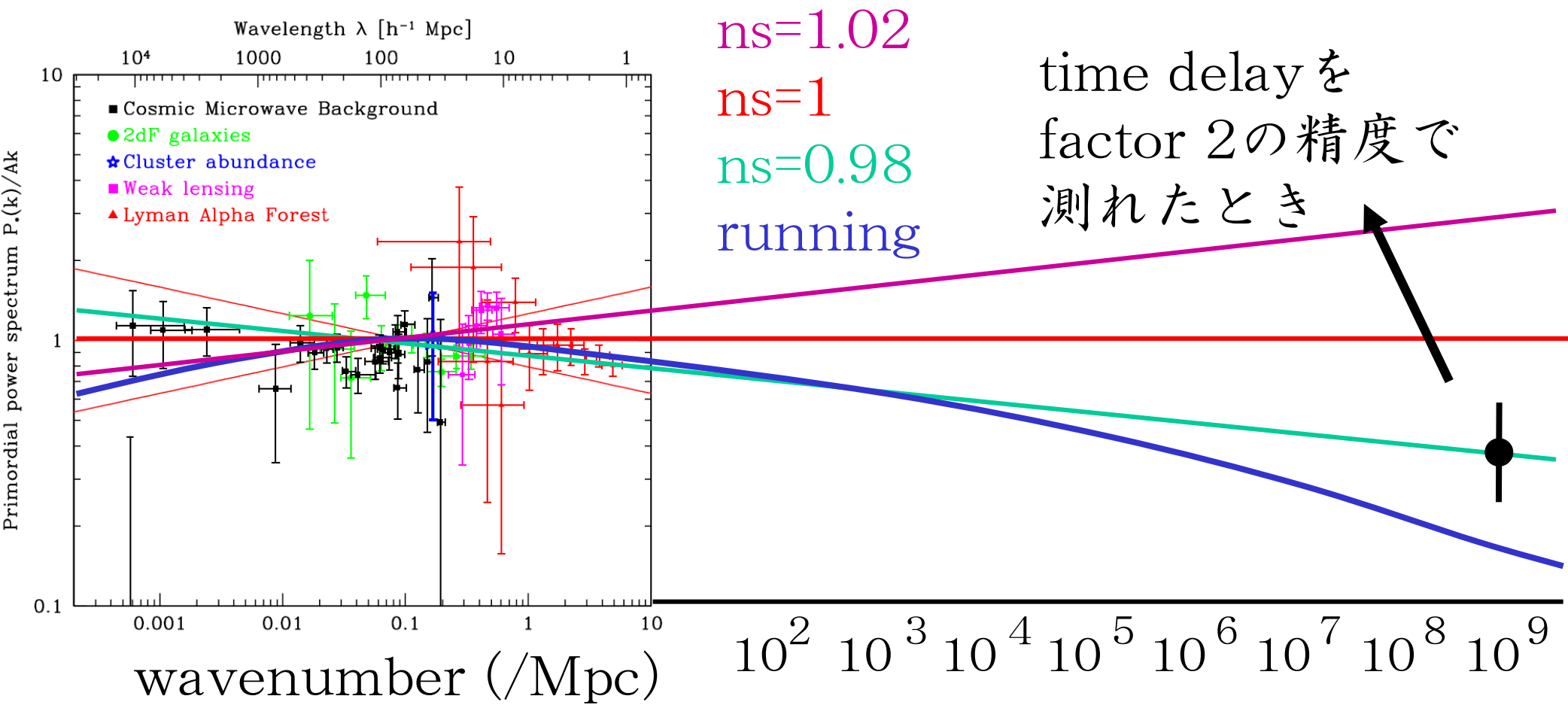
$$\lambda_{\text{IC}} = 1\text{Mpc} \left( \frac{E_{\gamma}}{1\text{TeV}} \right)^{-1}$$

- ・上と合わせても基本的に反応はlocal

$$\Delta t_B = 10^3 \text{sec} \left( \frac{E_{\text{delay}}}{1\text{GeV}} \right)^{-2} \left( \frac{B}{10^{-18} \text{G}} \right)^2$$

- ・強い（弱い）磁場は高（低）エネルギー $\gamma$ 線で見える
- ・高エネルギー天体固有の時間スケールより大きくなければならない

# スペクトルへのナイーブな制限



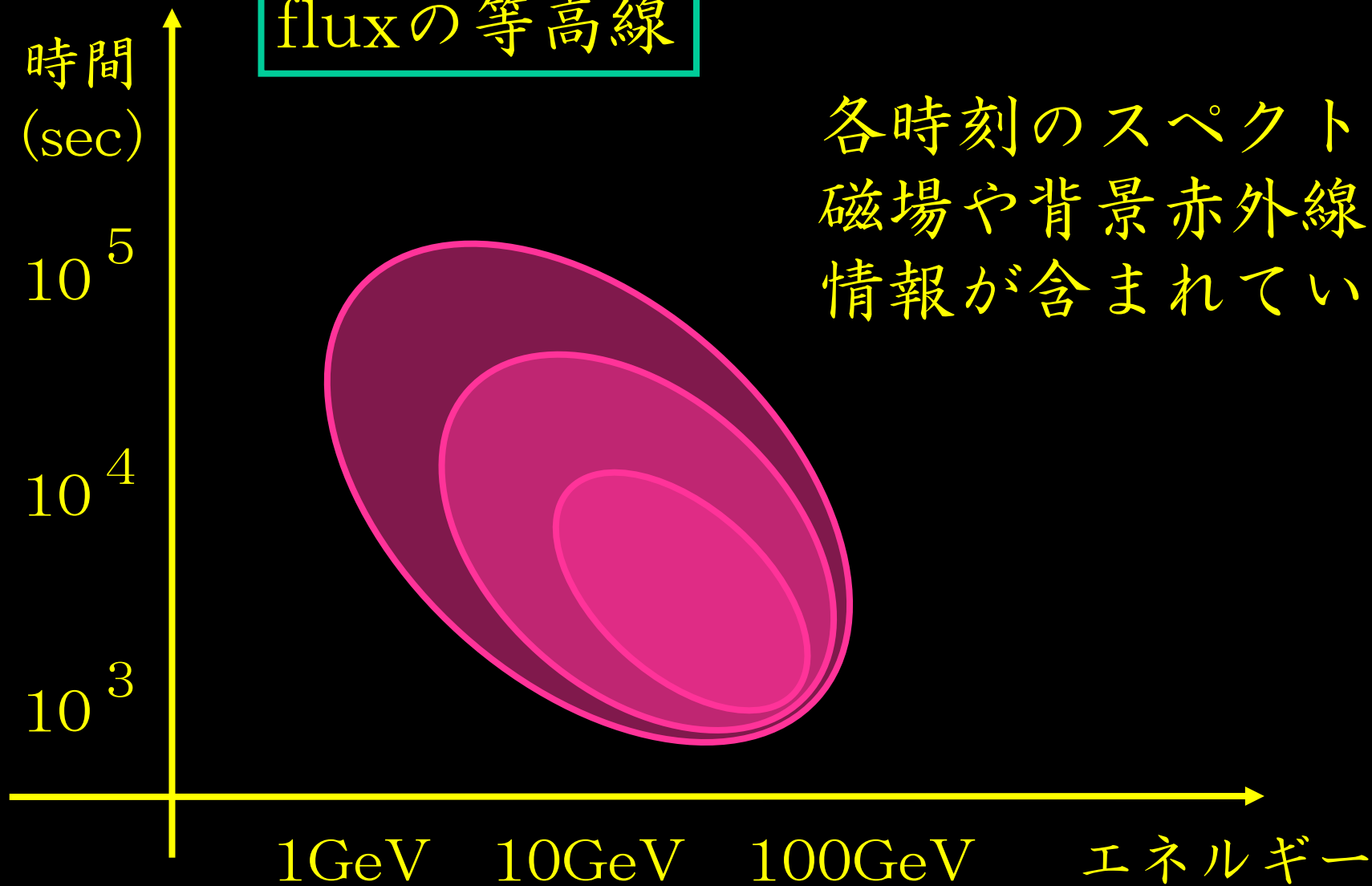
→ 後の時間に生成 → 終了間際 ↑

インフレーションのモデルに強い制限を与える



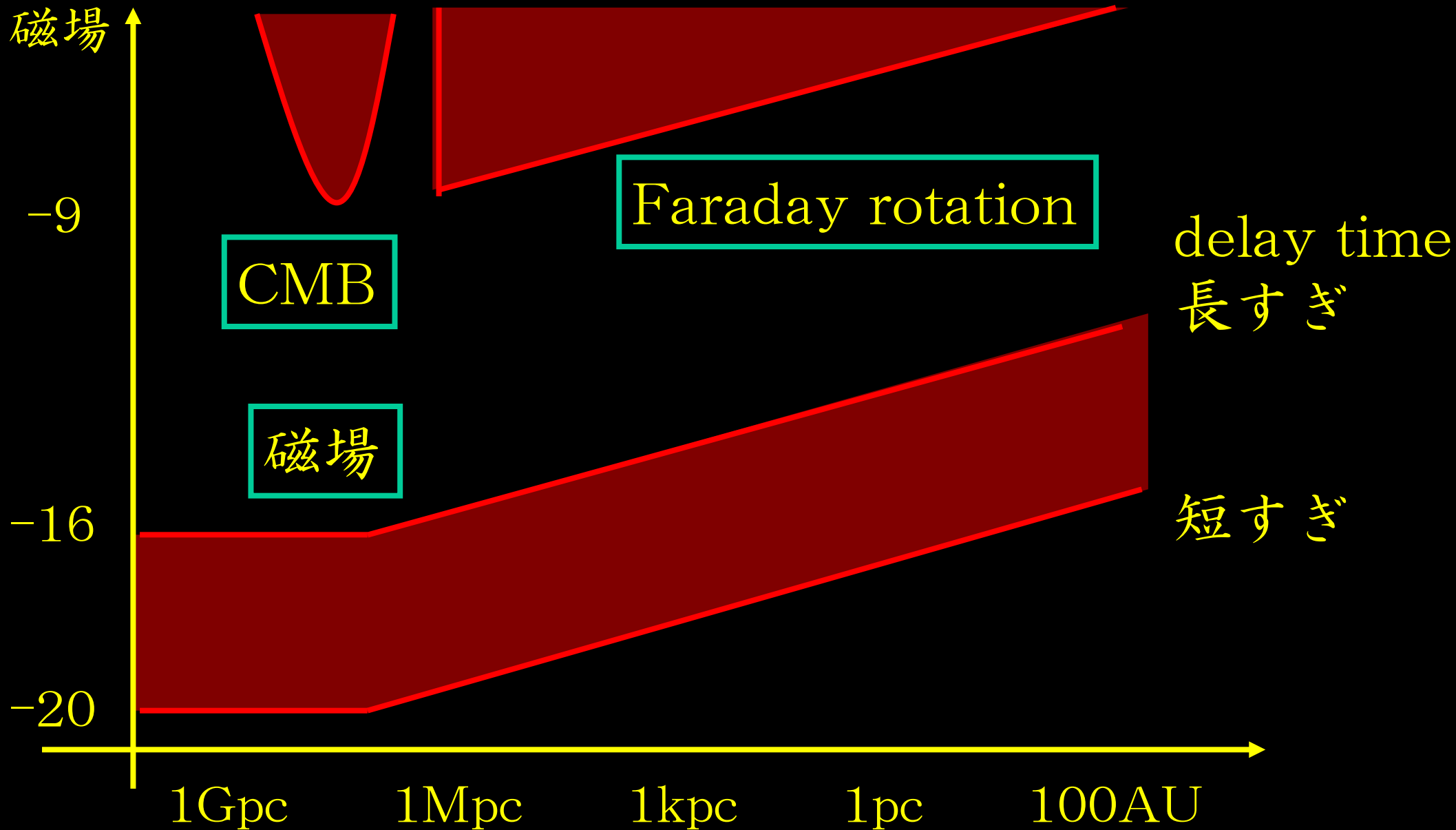
# 実際の観測量

fluxの等高線



各時刻のスペクトルに  
磁場や背景赤外線  
情報が含まれている

# non-detectionによる制限



## 今後の研究ステップ

- 1、Plagaの方法をきちんと定式化  
→ ほぼ完成
- 2、現実的なセットアップでモンテカルロ  
→ 夏頃までには？
- 3、MAGICとかCANGAROOとかにお願い  
→ 1・2を引っさげて  
→ まずは宇宙論を忘れて、とにかく  
この方法でなんらかの制限を得る
- 4、GLASTにお願い  
→ 宇宙論的に意味のある制限が出る？



# 結論

- 1、宇宙初期で磁場が生成
- 2、磁場は原始ゆらぎの情報を  
持っている
- 3、高エネルギー天体で磁場を  
測って初期宇宙を探る

END

# 制限できそうなインフレーションモデル

