

# 重力波観測による SMEFTの新物理効果探索

---

端野 克哉 (福島高専)

Collaborators: 上田大輝 (テクニオン)

[K. H., Daiki Ueda, Phys.Rev.D 107 (2023) 9, 095022 ]

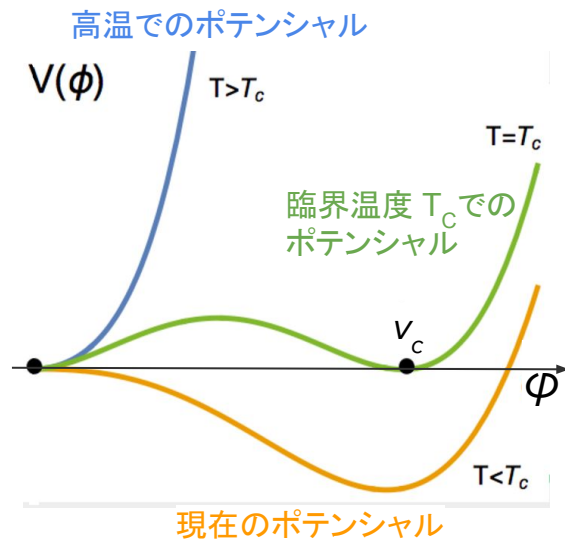
[K. H., Daiki Ueda, Ongoing work ]

# Introduction

- ★ ヒッグスポテンシャルの形状は未だに不明瞭
  - ポテンシャルに現れる標準理論を超えた新物理の効果を探れる可能性がある

- ★ ポテンシャルの形状は電弱相転移に強く依存する  
(標準理論では電弱相転移はクロスオーバー)

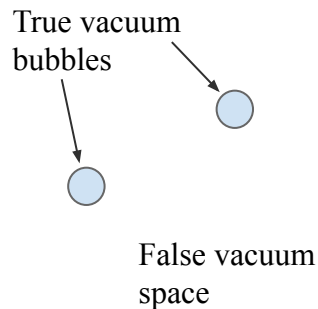
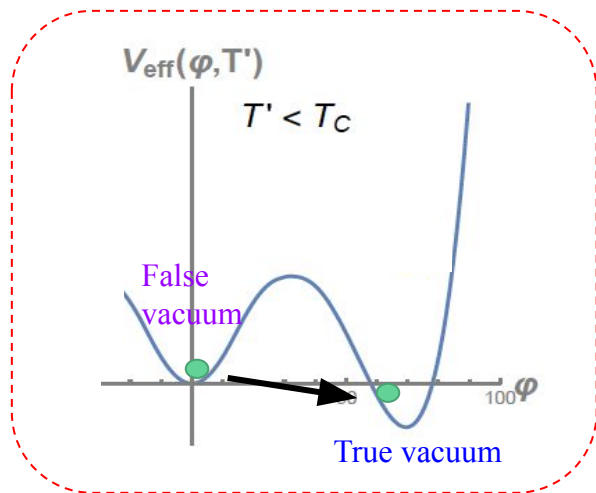
[Y. Aoki, F. Csikor, Z. Fodor and A. Ukawa, Phys. Rev. D 60, 013001 (1999)]



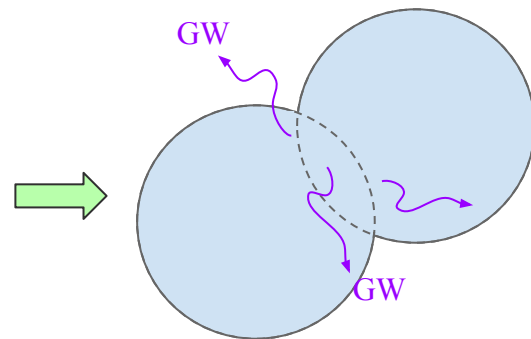
ポテンシャルに含まれる新物理効果により一次的な電弱相転移を実現できる可能性がある

# 相転移由来の重力波

- ★ 一次相転移が実現する時、相転移由来の泡の衝突により重力波が生じる



$$\Gamma \sim \exp \left[ -\frac{16\pi S_1^3}{3T\epsilon^2} \right]$$

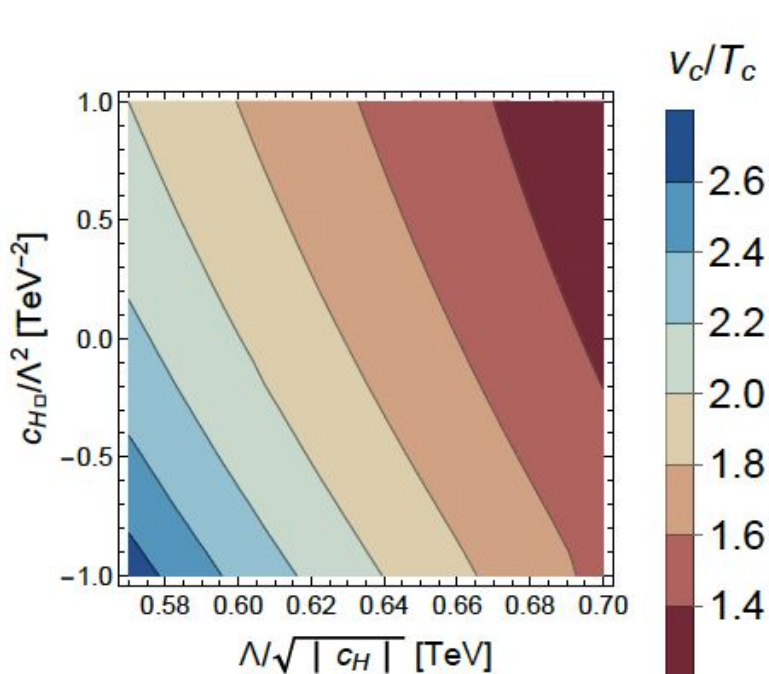


この重力波のスペクトルはポテンシャルの形状に依存するため、  
グスポテンシャルの形状を探るのに使える

重力波観測実験はヒッ

# 重力波スペクトルの例

- ★ 高次元演算子をもつ有効理論 (Standard model effective field theory) の場合

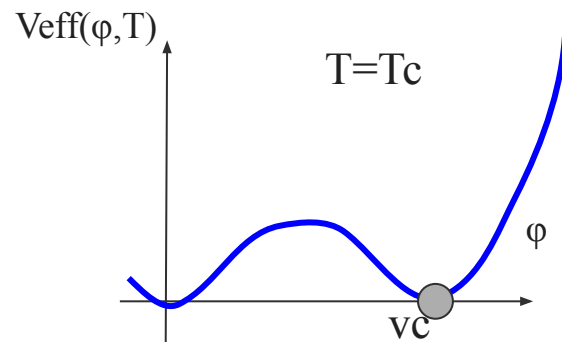


$$\mathcal{L}_{\text{SMEFT}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i C_i \mathcal{O}_i$$

$$\mathcal{O}_{H\Box} = (H^\dagger H)\Box(H^\dagger H),$$

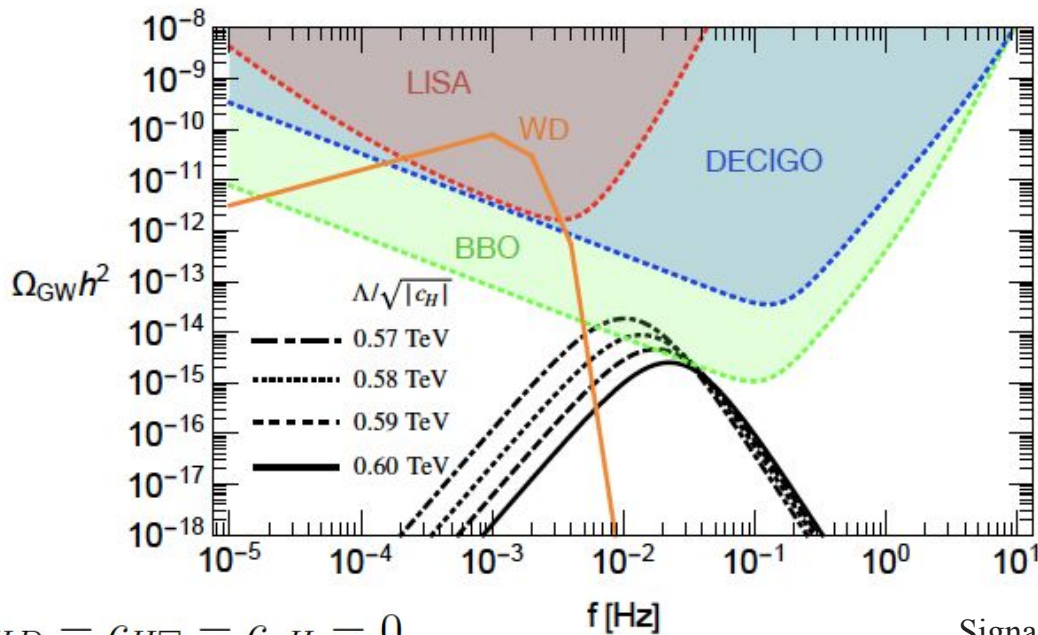
$$\mathcal{O}_{HD} = (H^\dagger D^\mu H)^*(H^\dagger D_\mu H)$$

$$\mathcal{O}_H = (H^\dagger H)^3,$$



# 重力波スペクトルの例

★ 高次元演算子をもつ有効理論 (Standard model effective field theory) の場合



$$\mathcal{L}_{\text{SMEFT}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i C_i \mathcal{O}_i$$

$$\mathcal{O}_{H\Box} = (H^\dagger H)\Box(H^\dagger H),$$

$$\mathcal{O}_{HD} = (H^\dagger D^\mu H)^*(H^\dagger D_\mu H)$$

$$\mathcal{O}_H = (H^\dagger H)^3,$$

色がある領域: 各実験の感度領域

オレンジ線: 白色矮星由来

黒線: 一次相転移由来

$$C_{HD} = C_{H\Box} = C_{uH} = 0$$

[K. H., Daiki Ueda, Phys.Rev.D 107 (2023) 9, 095022 ]

Signal to Noise Ratioを使って重力波観測により検証可能か調べることも可能

$$\text{SNR} = \sqrt{\delta \times T_{\text{obs}} \int_0^\infty df \left[ \frac{\Omega_{\text{GW}}(f)}{\Omega_{\text{sen}}(f)} \right]^2} \quad 5$$

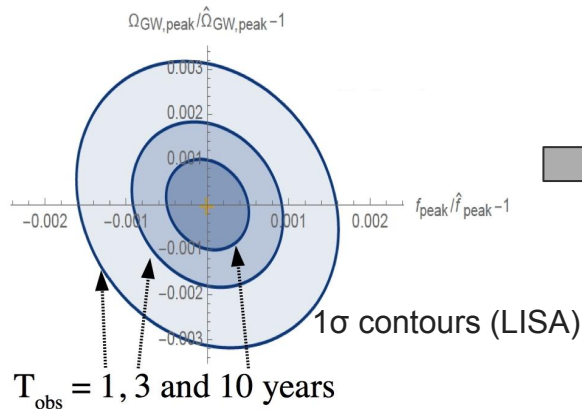
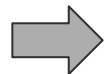
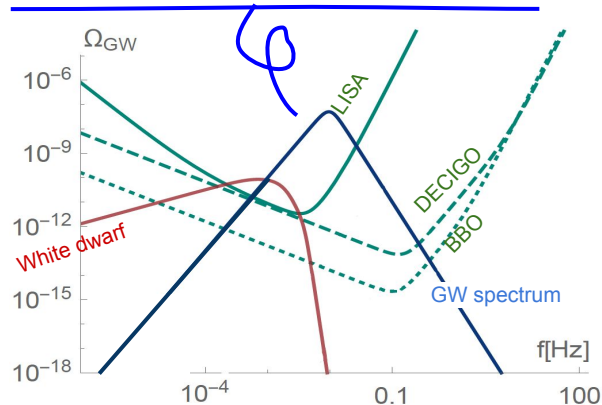
# 重力波観測

★ フィッシャー行列による解析で重力波スペクトルに対する不定性が解析できる

[K. Hashino, R. Jinno, M. Kakizaki, S. Kanemura, T. Takahashi and M. Takimoto, PRD 99 (2019) no.7, 075011 ]

(フィッシャー行列は分散共分散行列の逆行列に相当する )

$$\hat{\Omega}_{\text{peak}} = 10^{-7}, \hat{f}_{\text{peak}} = 10^{-2} \text{ Hz}$$



$$\hat{\Omega}_{\text{peak}} = 10^{-7} \pm 3 \times 10^{-10}$$

$$\hat{f}_{\text{peak}} = 10^{-2} \pm 1.5 \times 10^{-5} \text{ Hz}$$

LISA (1 year)

LISA, White dwarf : [A. Klein et al., Phys. Rev. D93 no. 2, (2016) 024003],  
 DECIGO, BBO : [K. Yagi and N. Seto, Phys. Rev. D83 (2011) 044011]

重力波観測実験により新物理効果がどの程度精度良く探れるかがわかる

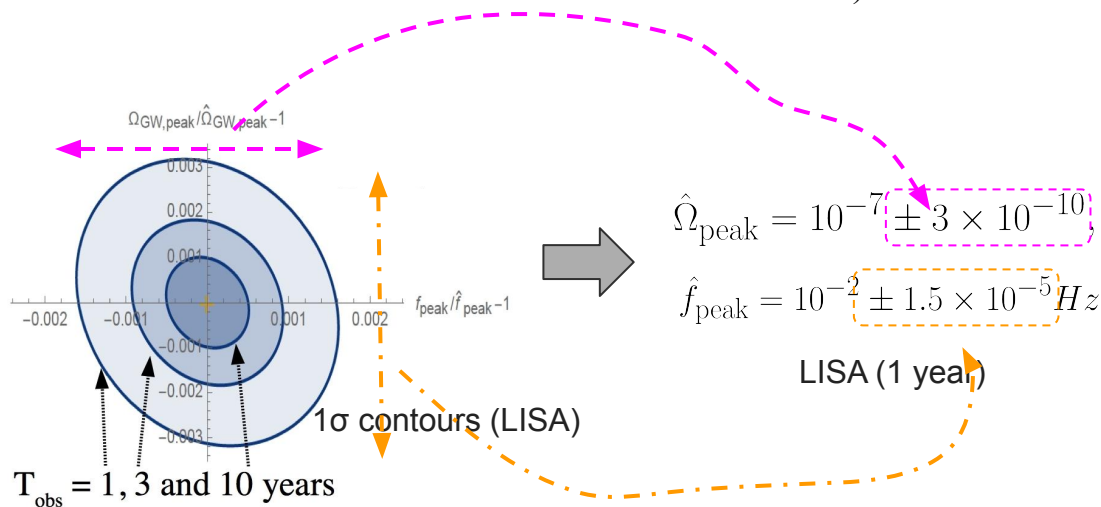
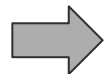
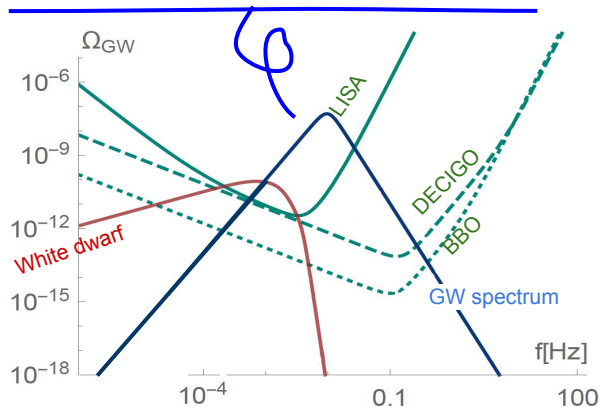
# 重力波観測

★ フィッシャー行列による解析で重力波スペクトルに対する不定性が解析できる

[K. Hashino, R. Jinno, M. Kakizaki, S. Kanemura, T. Takahashi and M. Takimoto, PRD 99 (2019) no.7, 075011 ]

(フィッシャー行列は分散共分散行列の逆行列に相当する)

$$\hat{\Omega}_{\text{peak}} = 10^{-7}, \hat{f}_{\text{peak}} = 10^{-2} \text{ Hz}$$



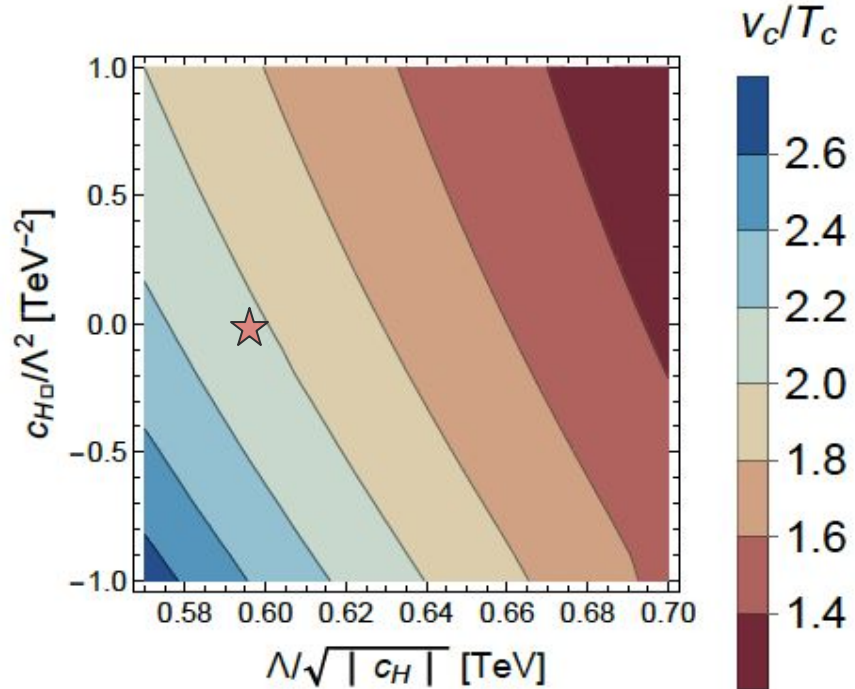
The magnitude of 1 $\sigma$  confidence intervals

LISA, White dwarf : [A. Klein et al., Phys. Rev. D93 no. 2, (2016) 024003],

DECIGO, BBO : [K. Yagi and N. Seto, Phys. Rev. D83 (2011) 044011]

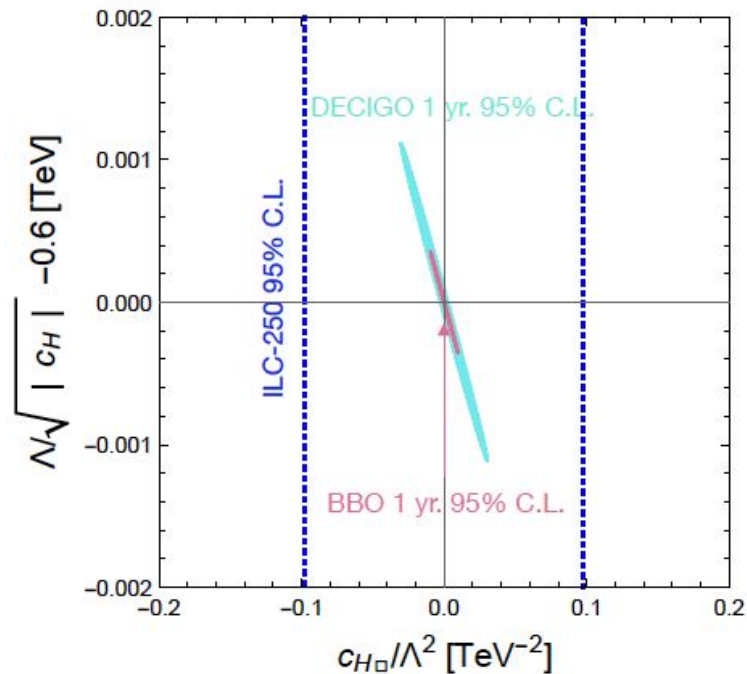
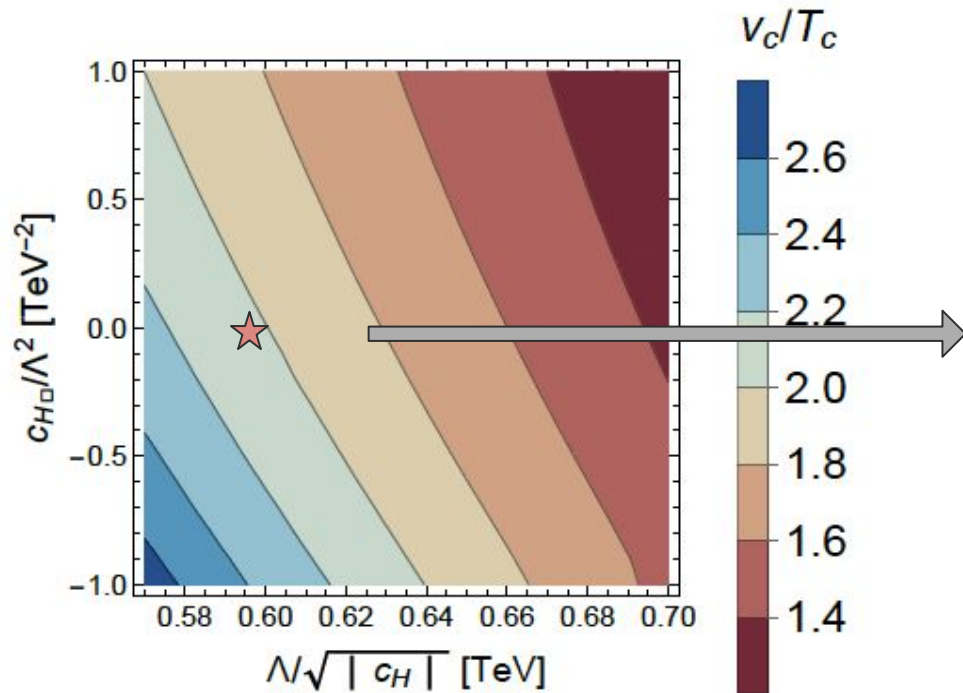
重力波観測実験により新物理効果がどの程度精度良く探れるかがわかる

# これまでの研究成果

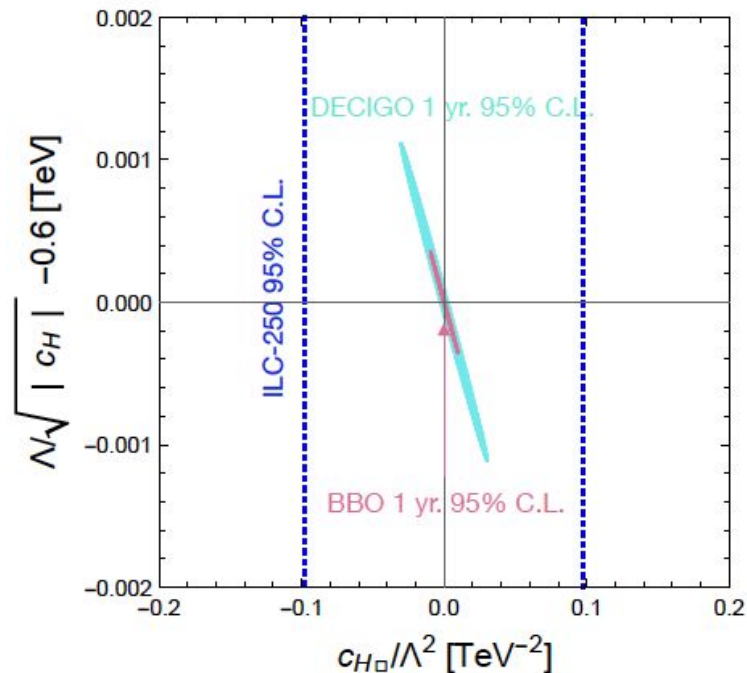
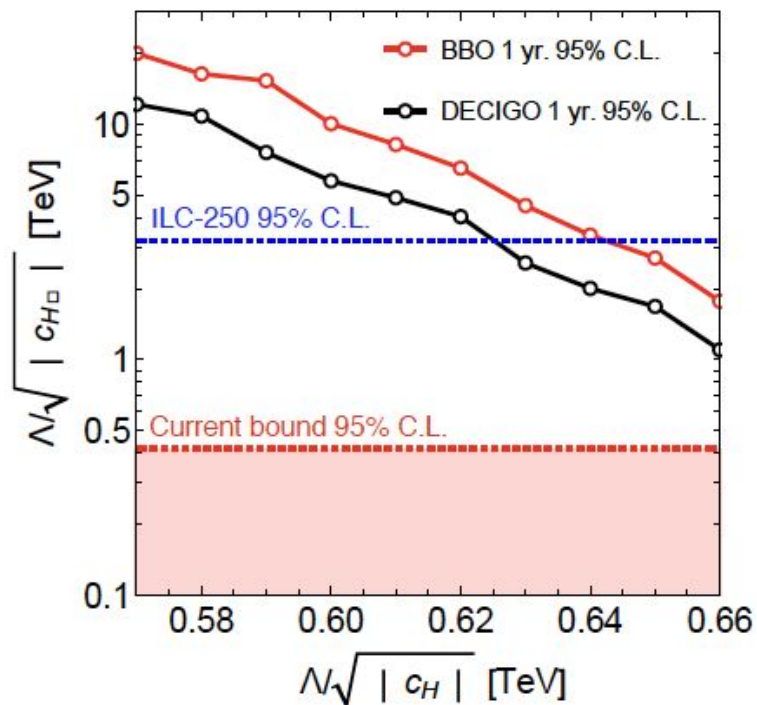




# これまでの研究結果



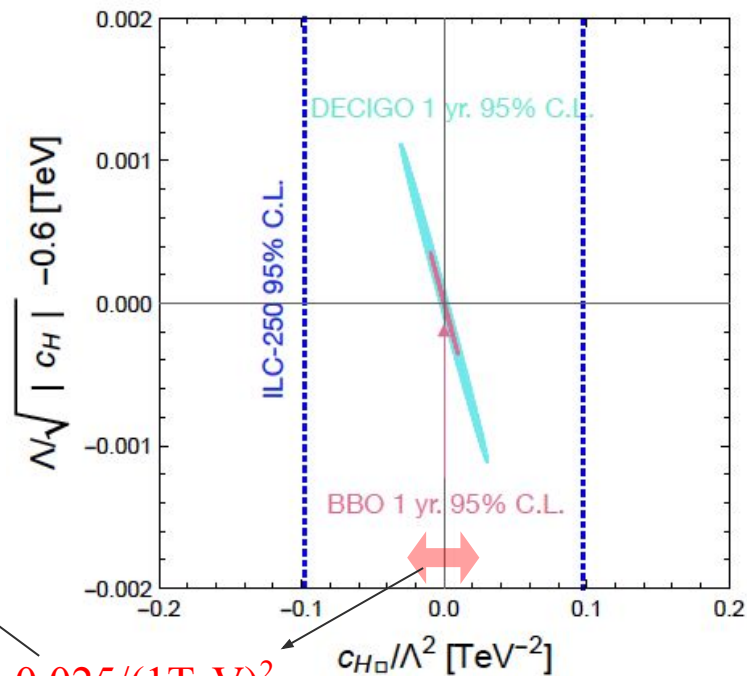
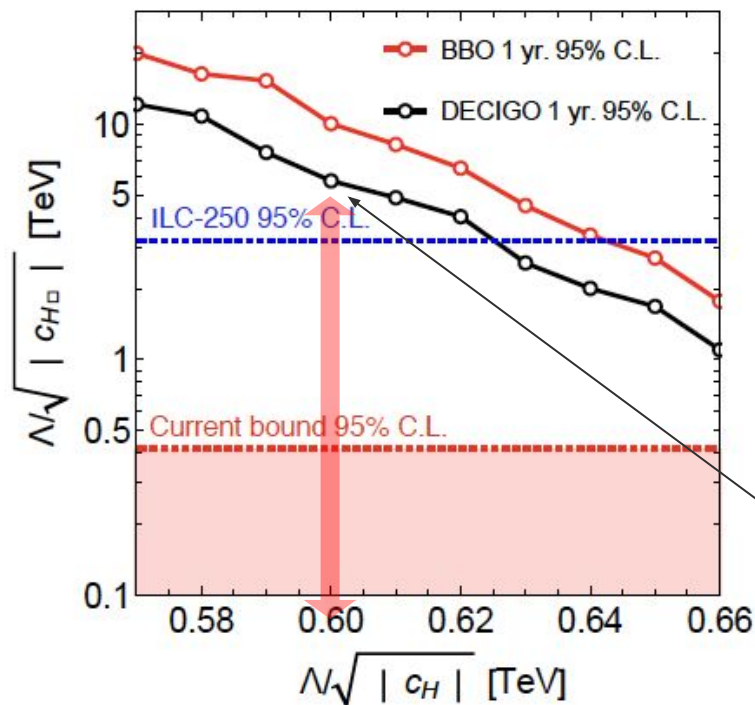
# これまでの研究結果



[K. H., Daiki Ueda, Phys.Rev.D 107 (2023) 9, 095022 ]

将来の重力波観測実験は加速器実験より精度良く測定できる可能性がありそう だったが...

# これまでの研究結果



$$C_{H\Box} = 0 \pm \underline{0.025/(1\text{TeV})^2}$$

[K. H., Daiki Ueda, Phys.Rev.D 107 (2023) 9, 095022 ]

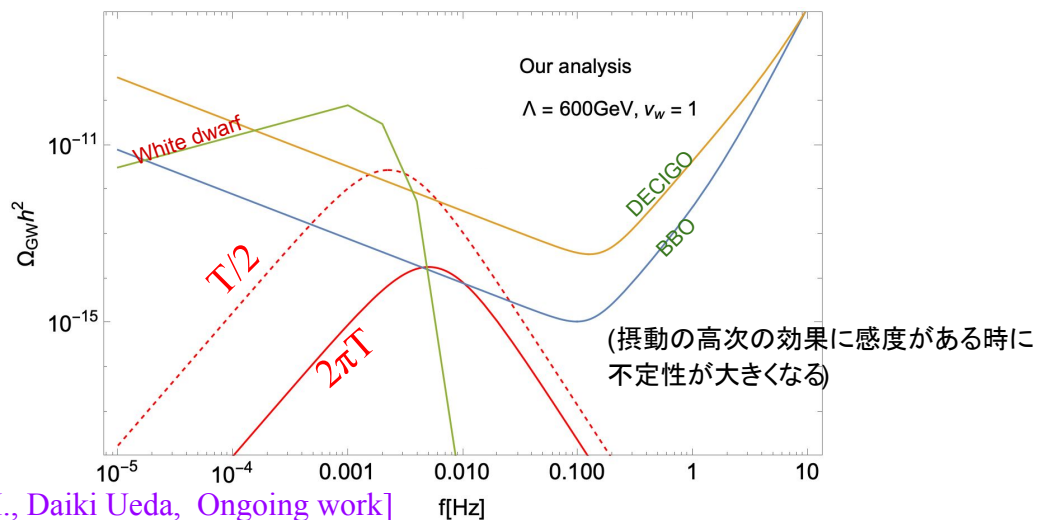
将来の重力波観測実験は加速器実験より精度良く測定できる可能性がありそう だったが...

# 理論的不定性

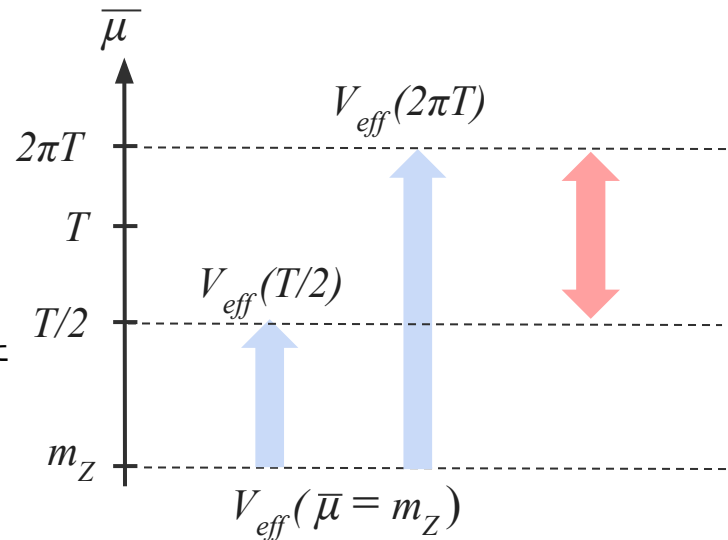
★ 重力波スペクトルに対する理論的不定性が存在する事が知られている....

(RG scale dependence が一番大きな不定性.)

[D. Croon, O. Gould, P. Schicho, T. V. I. Tenkanen and G. White, JHEP 04 (2021), 055]



[K. H., Daiki Ueda, Ongoing work]



これらの不定性があったとしても、新物理効果を先ほどのように精度良く測れるか？

# 最近の研究結果

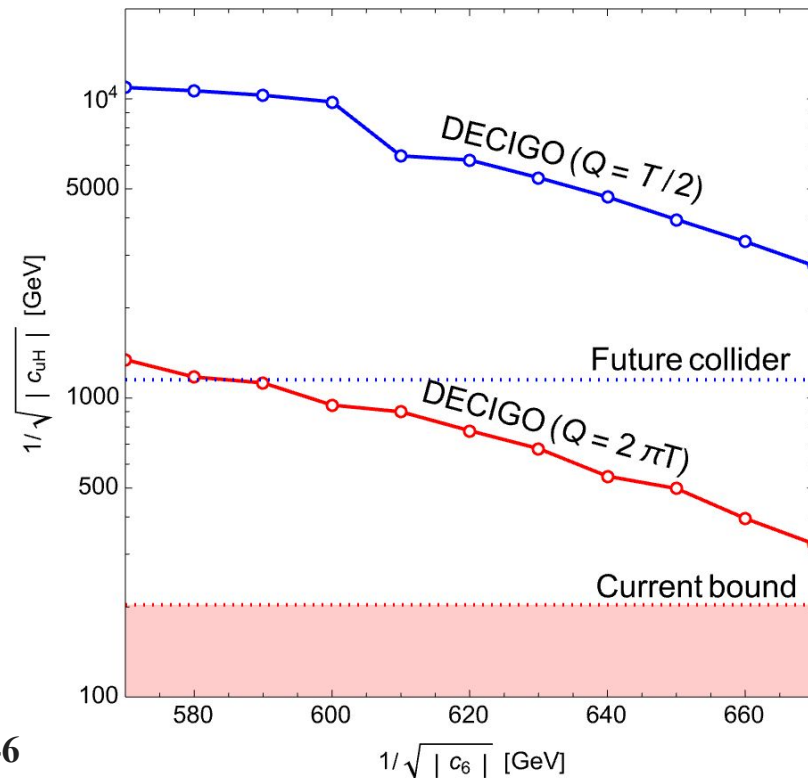
- ★ RG scale dependence による不定性を考慮した結果 ( $C_{uH}$  operator)

Blue line:  $Q = T/2 \sim 50$  GeV

Red line:  $Q = 2\pi T \sim 600$  GeV

[K. H., Daiki Ueda, Ongoing work]

- ★ 理論的不定性が重力波スペクトルに寄与する場合であっても、新物理効果は加速器実験と同程度かそれ以上の精度で探れるかもしれない



現在 gauge, top Yukawa, Higgs self coupling 由来の dim-6 SMEFT 効果を全て解析中 ...

# Summary

- ★ ヒッグスポテンシャルの形状は不明瞭であり、電弱一次相転移が初期宇宙で生じた可能性がある
- ★ 一次相転移由来の重力波スペクトルはポテンシャルの形状に依存する

重力波観測実験で新物理効果を探れる可能性がある

- ★ 最近の研究では一番大きなRG scale dependenceによる理論的不定性が現れる状況で重力波観測実験が新物理効果の検証にどう影響を与えるか調べている

