

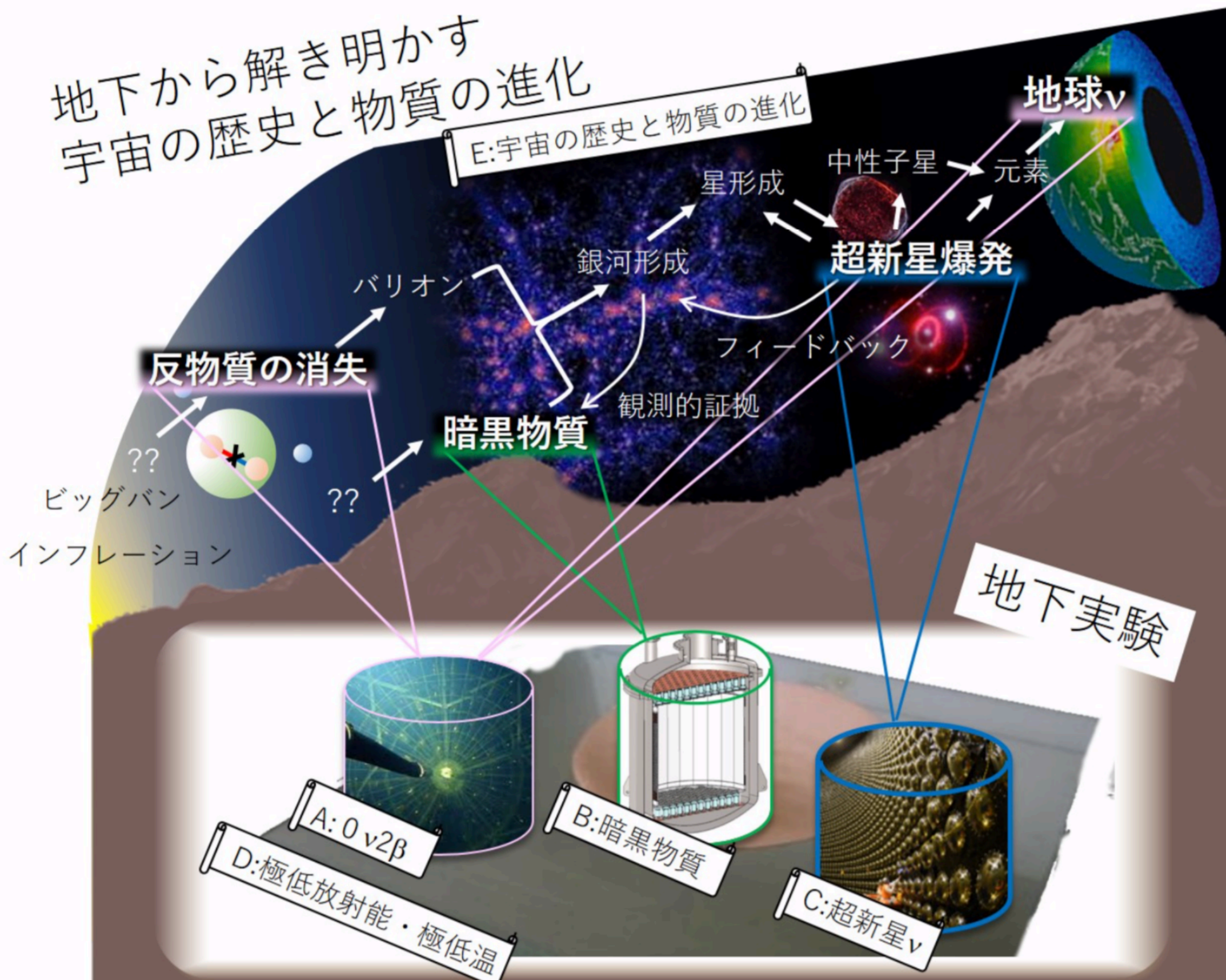
# 物質の起源を解明する 新たな素粒子モデルと初期宇宙進化 の理論研究

濱口幸一 (東京大学)

新学術「地下宇宙」領域研究会  
オンライン研究会、2020年6月2日

# 地下から解き明かす 宇宙の歴史と物質の進化

E:宇宙の歴史と物質の進化





地下から解き明かす  
宇宙の歴史と物質の進化

E:宇宙の歴史と物質の進化

地球ν

星形成

中性子星

元素

銀河形成

超新星爆発

バリオン

フィードバック

反物質の消失

観測的証拠

暗黒物質

ビッグバン

インフレーション

物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研

地下実験

A:  $0 \nu 2\beta$

B: 暗黒物質

C: 超新星ν

D: 極低放射能・極低温





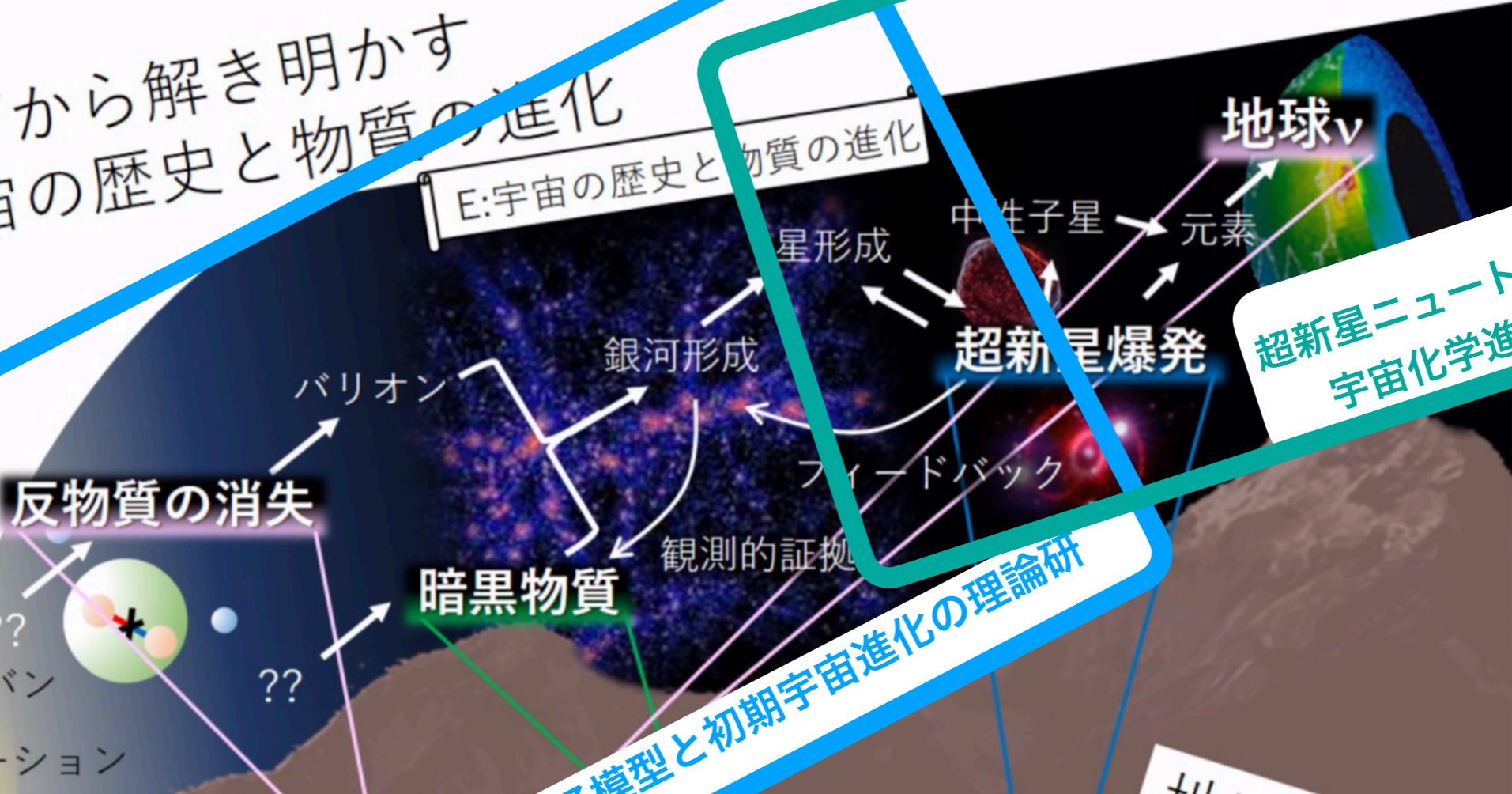
E02



超新星ニュートリノと核物理・  
宇宙化学進化の理論研究

地下から解き明かす  
宇宙の歴史と物質の進化

E:宇宙の歴史と物質の進化

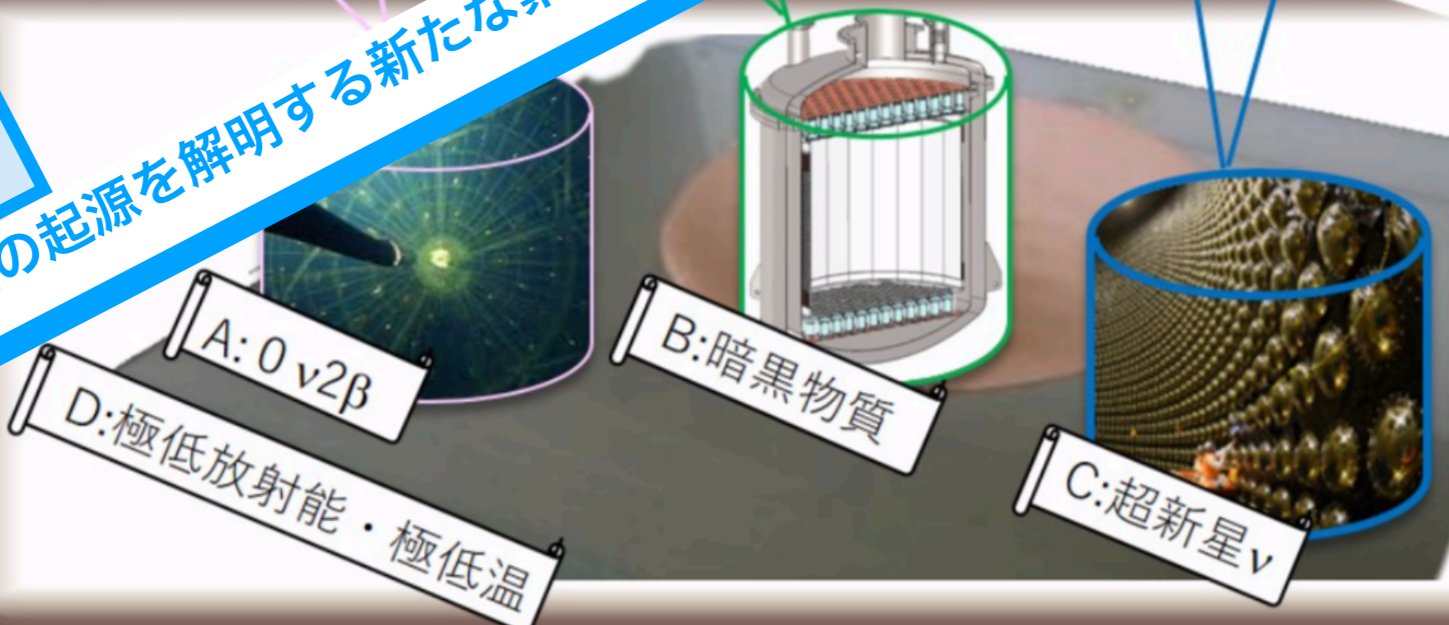


E01

物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研



地下実験





# E01

## 物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研究

- (1) 宇宙の物質 > 反物質の起源 / ニュートリノ質量の起源
- (2) 暗黒物質の正体・起源の解明
- (3) (1)(2) を含む、新たな素粒子模型・宇宙シナリオの構築

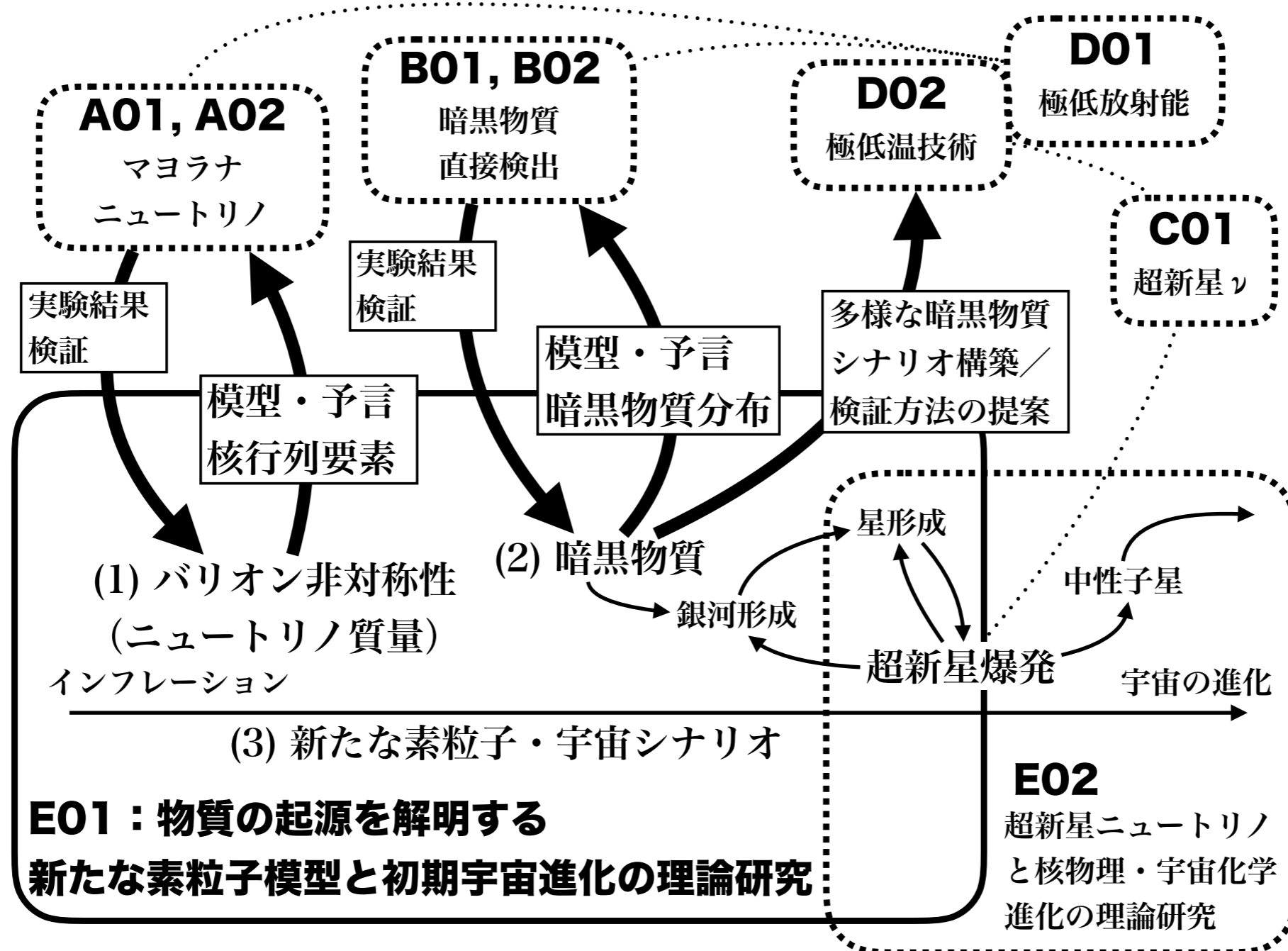
### メンバー

- |                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| (代表) 濱口幸一         | (素粒子理論・東京大学)                         |
| (分担) 松本重貴         | (素粒子理論・東京大学IPMU)                     |
| (分担) Melia Thomas | (素粒子理論・東京大学IPMU)                     |
| (分担) 柳田勉          | (素粒子理論・東京大学IPMU & T.D.Lee Institute) |
| (分担) 長峯健太郎        | (理論天文学,宇宙物理・大阪大学)                    |



# E01

## 物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研究

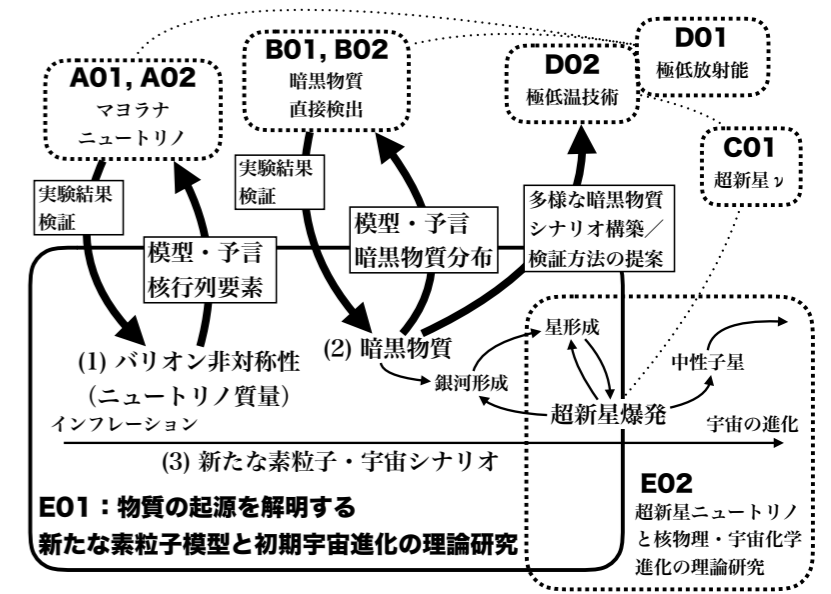


**E01 : 物質の起源を解明する  
新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研究**

**E02**  
超新星ニュートリノ  
と核物理・宇宙化学  
進化の理論研究



# 最近の研究から



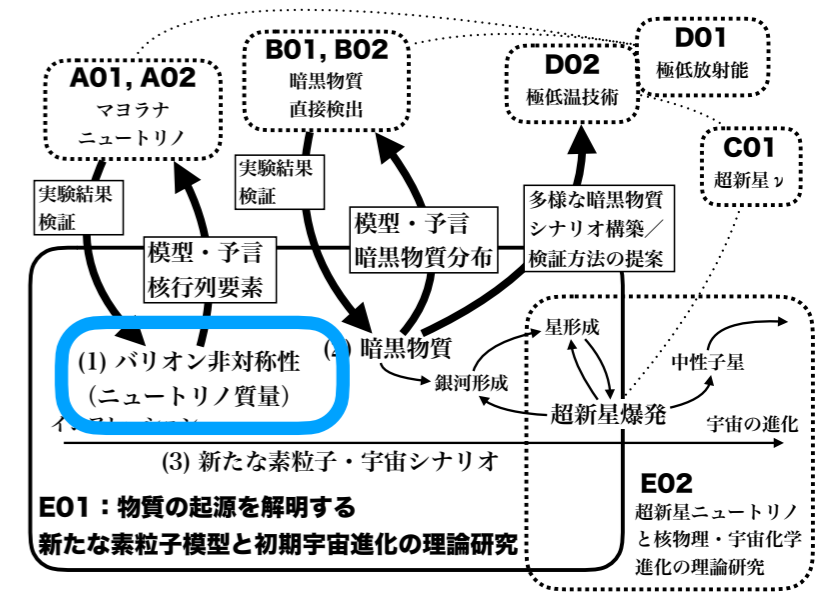


# 最近の研究から

[arXiv:2005.01039] (先月)

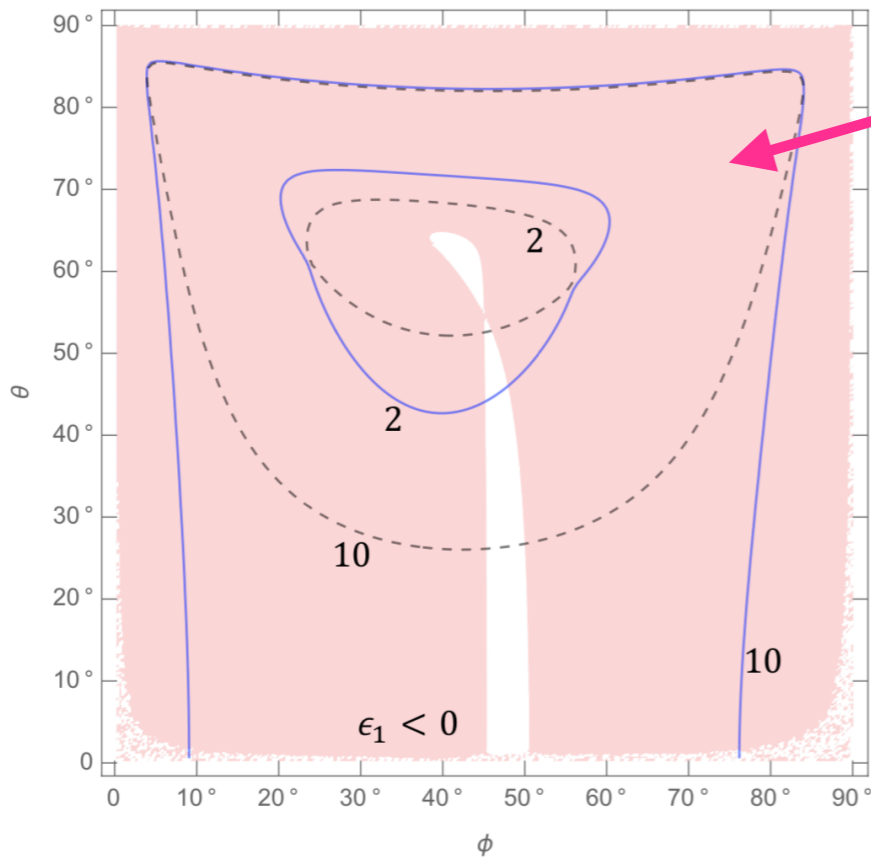
Leptogenesis in the minimal gauged  $U(1)_{L_\mu-L_\tau}$  model and the sign of the cosmological baryon asymmetry

K. Asai, K. Hamaguchi, N. Nagata, S. Tseng

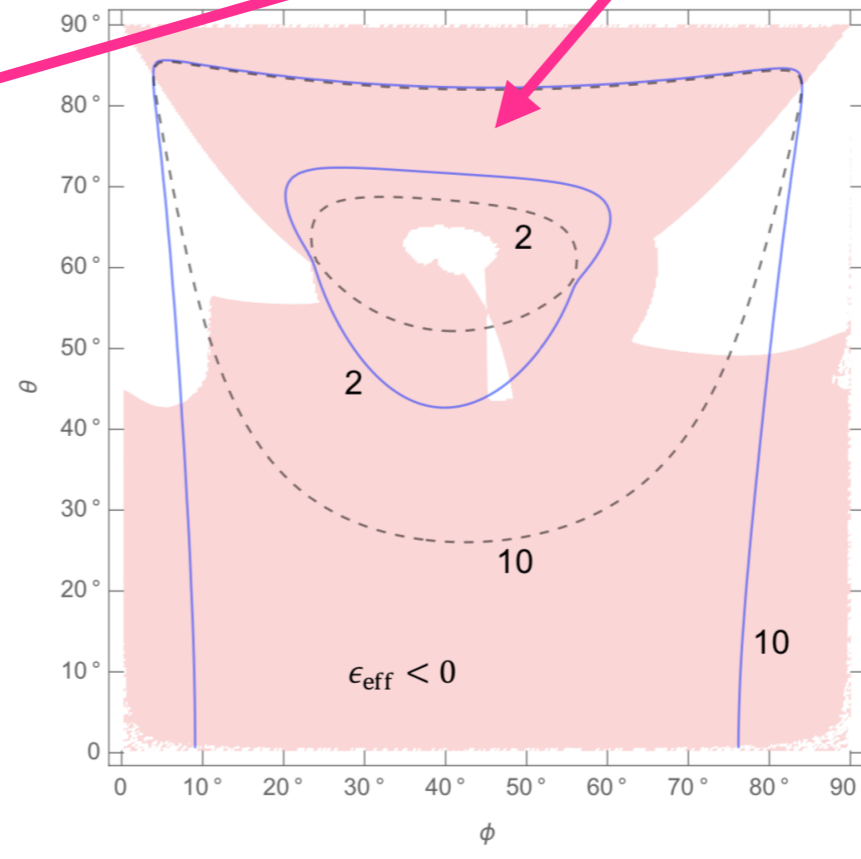


レプトジェネシスによる「宇宙の物質 > 反物質の符号」と、ニュートリノ振動での「Dirac 位相  $\delta$ 」に相関がある。

$\delta > \pi$  なら物質が残り  
 $\delta < \pi$  なら反物質が残る



一番軽い右巻きニュートリノの崩壊がdominantな場合



$U(1)_{\mu-\tau}$  を破る場=インフラトンとなるminimalなインフレーション模型の場合

T2K (global fit) は  $\delta > \pi$  を支持

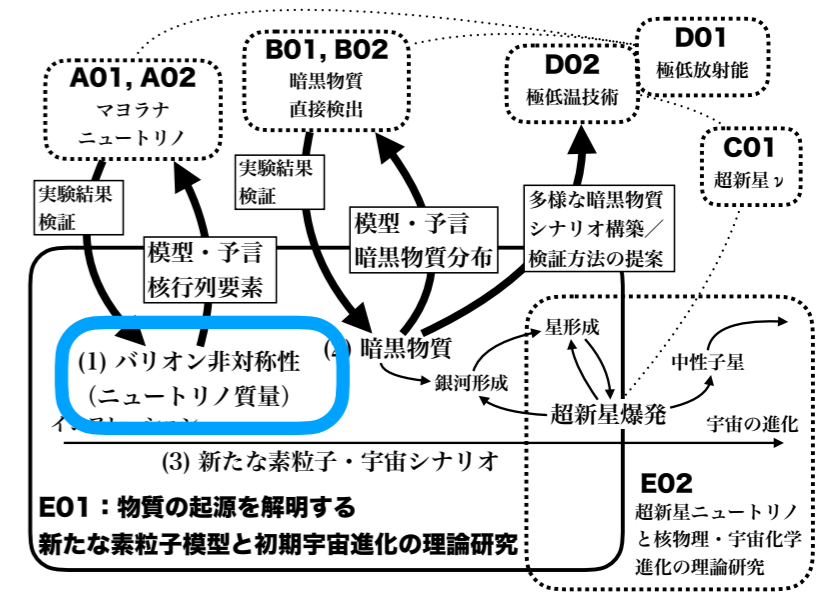
$$(\lambda_e, \lambda_\mu, \lambda_\tau) = \lambda (\cos \theta, \sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi)$$

# 最近の研究から

[arXiv:2005.01039] (先月)

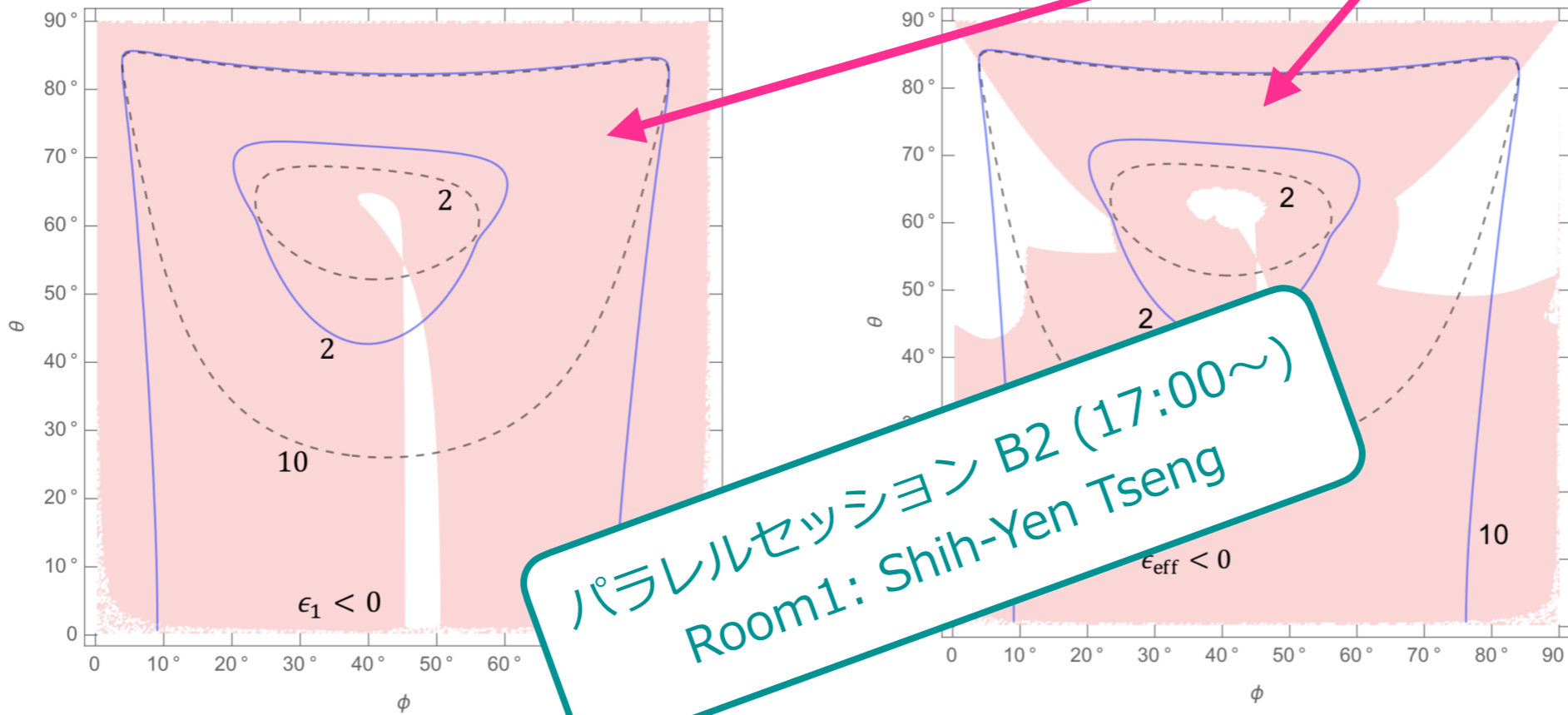
Leptogenesis in the minimal gauged  $U(1)_{L_\mu-L_\tau}$  model and the sign of the cosmological baryon asymmetry

K. Asai, K. Hamaguchi, N. Nagata, S. Tseng



レプトジェネシスによる「宇宙の物質 > 反物質の符号」と、ニュートリノ振動での「Dirac 位相  $\delta$ 」に相関がある。

$\delta > \pi$  なら物質が残り  
 $\delta < \pi$  なら反物質が残る



T2K (global fit) は  $\delta > \pi$  を支持

$$(\lambda_e, \lambda_\mu, \lambda_\tau) = \lambda (\cos \theta, \sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi)$$

一番軽い右巻きニュートリノの崩壊がdominantな場合

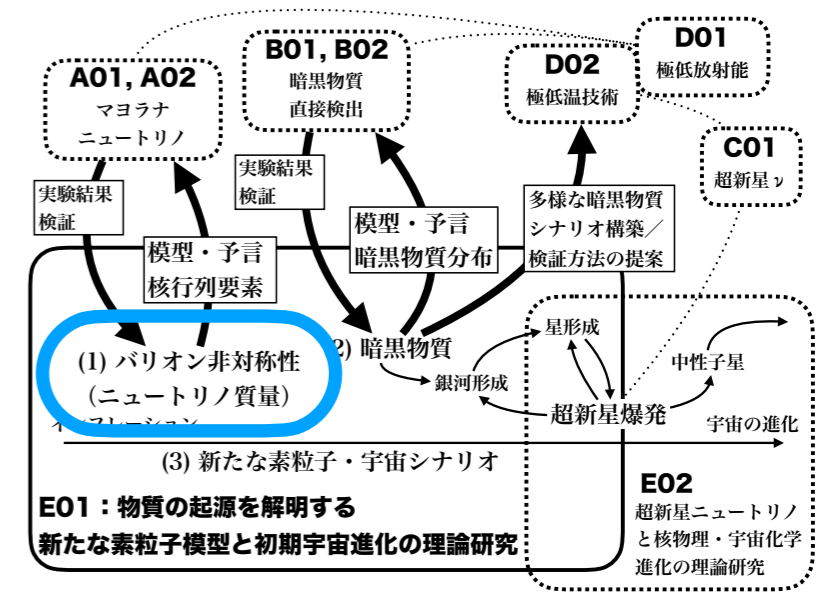
$U(1)_{\mu-\tau}$  を破る場=インフラトンとなるminimalなインフレーション模型の場合



# 最近の研究から

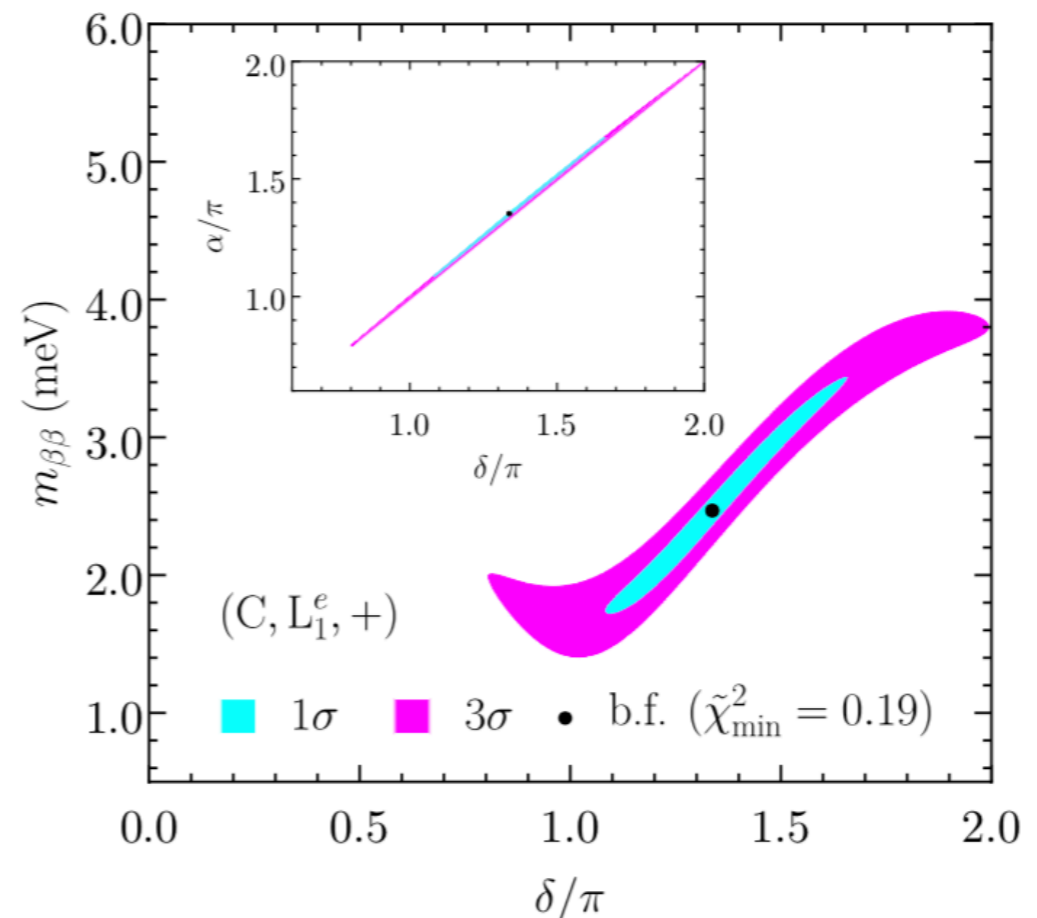
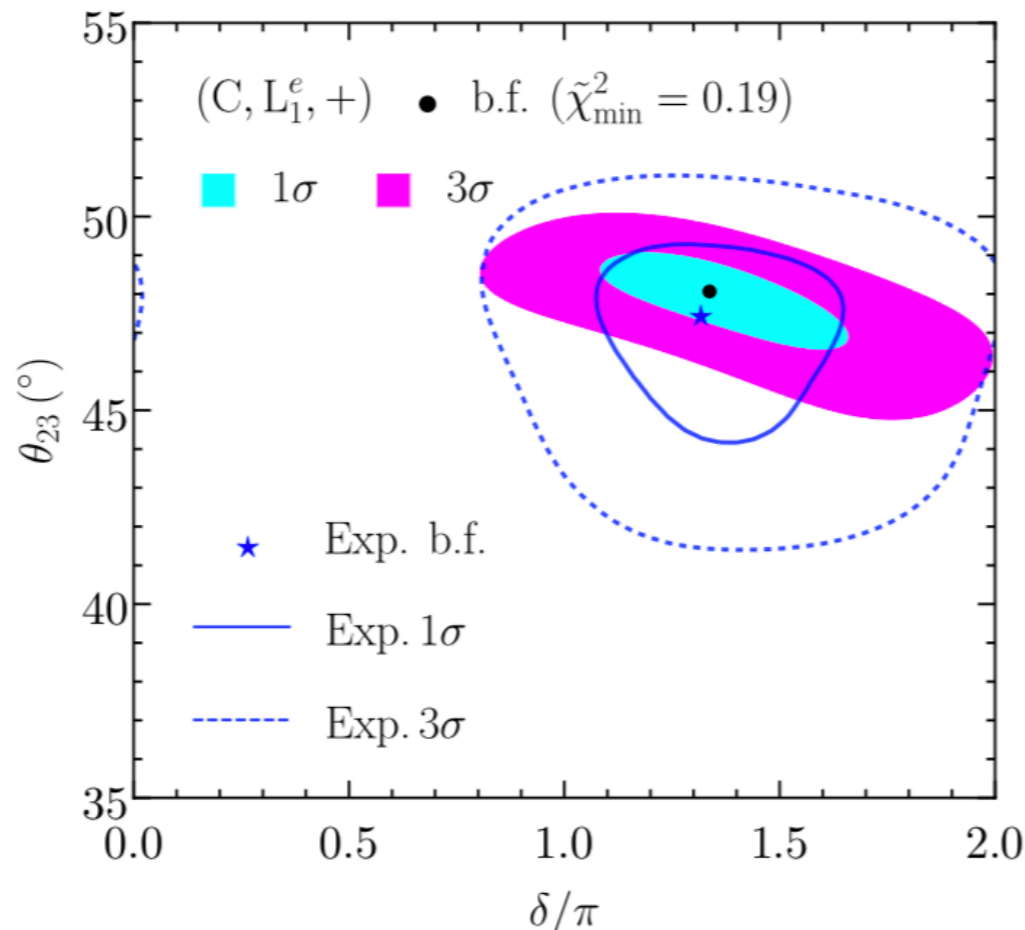


Tsutomu Yanagida



[arXiv:2003.06332] Perfect Occam's razor for neutrino masses and leptogenesis

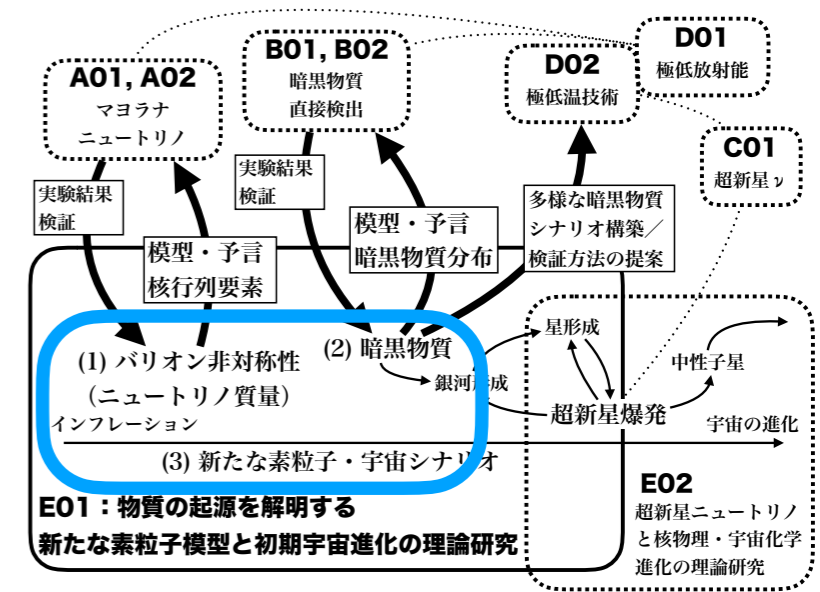
[D. Barreiros](#), [F. Joaquim](#), [T. Yanagida](#)



# 最近の研究から



Tsutomu Yanagida



[arXiv:2005.10415] QCD **Axion** From a Spontaneously Broken B-L Gauge Symmetry

[G. Choi](#), [M. Suzuki](#), [T. T. Yanagida](#)

[arXiv:2004.13966] **Strongly-interacting massive particle and dark photon** in the era of intensity frontier

[A. Kamada](#), [M. Yamada](#), [T. T. Yanagida](#)

[arXiv:2004.07863] Degenerate **Fermion Dark Matter** from a Broken  $U(1)_{B-L}$  Gauge Symmetry

[G. Choi](#), [M. Suzuki](#), [T. Yanagida](#)

[arXiv:2003.10455] Gravitational Wave Production right after Primordial Black Hole Evaporation

[K. Inomata](#), [M. Kawasaki](#), [K. Mukaida](#), [T. Terada](#), [T. T. Yanagida](#)

[arXiv:2003.06332] Perfect Occam's razor for **neutrino masses and leptogenesis**

[D. Barreiros](#), [F. Joaquim](#), [T. Yanagida](#)

[arXiv:2002.04204] A Complete Solution to the **Strong CP Problem**: a SUSY Extension of the Nelson-Barr Model

[J. Evans](#), [C. Han](#), [T. T. Yanagida](#), [N. Yokozaki](#)

[arXiv:2002.00036] Phys.Rev. D101 (2020) 075031, Degenerate Sub-keV Fermion **Dark Matter** from a Solution to the **Hubble Tension**

[G. Choi](#), [M. Suzuki](#), [T. T. Yanagida](#)

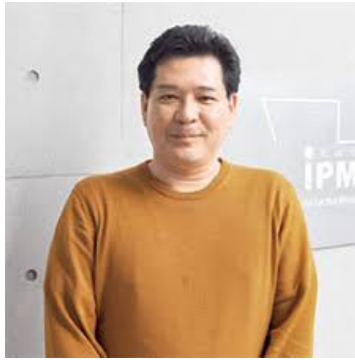
[arXiv:2001.07476] **Axion** Stars Nucleation in Dark Mini-Halos around Primordial Black Holes

[M. P. Hertzberg](#), [E. D. Schiappacasse](#), [T. T. Yanagida](#)

[arXiv:2001.02672] Muon  $g-2$  in Higgs-anomaly mediation

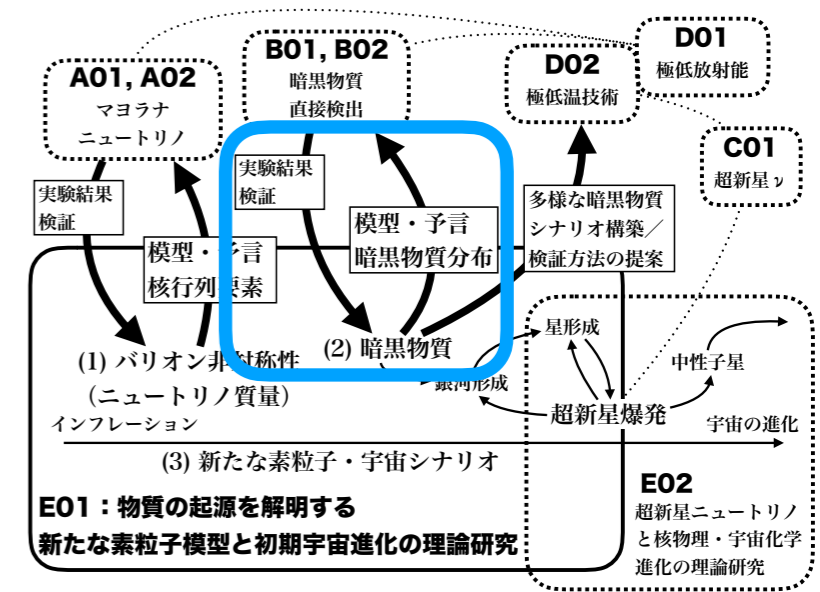
[T. T. Yanagida](#), [W. Yin](#), [N. Yokozaki](#)

# 最近の研究から



Shigeki Matsumoto

## WIMP暗黒物質の系統的・包括的研究



JHEP 1907 (2019) 050

Light Fermionic WIMP Dark Matter with Light Scalar Mediator

[S. Matsumoto](#), [Y. S. Tsai](#),

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2} \bar{\chi} (i \not{\partial} - m_{\chi}) \chi + \frac{1}{2} (\partial \Phi)^2 - \frac{c_s}{2} \Phi \bar{\chi} \chi - \frac{c_p}{2} \Phi \bar{\chi} i \gamma_5 \chi - V(\Phi, H),$$

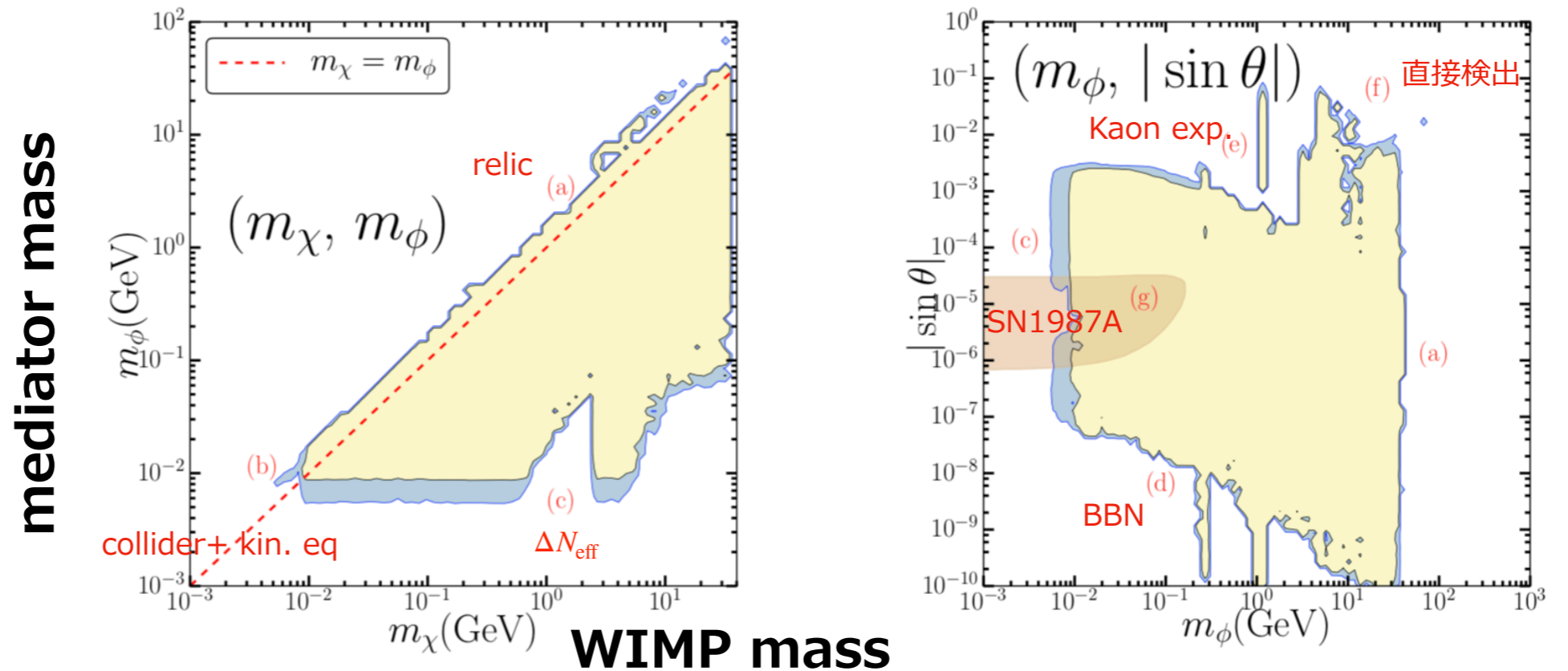


Figure 3: Results of our analysis for the present status of the minimal WIMP model projected on the  $(m_{\chi}, m_{\phi})$ - and  $(m_{\phi}, |\sin \theta|)$ -planes at 68% C.L. (yellow) and 95% C.L. (blue). Please see figures in appendix C.1 for those who are interested in results projected on all planes of input parameters. The alphabet on each edge of the contour corresponds to each paragraph of the main text.

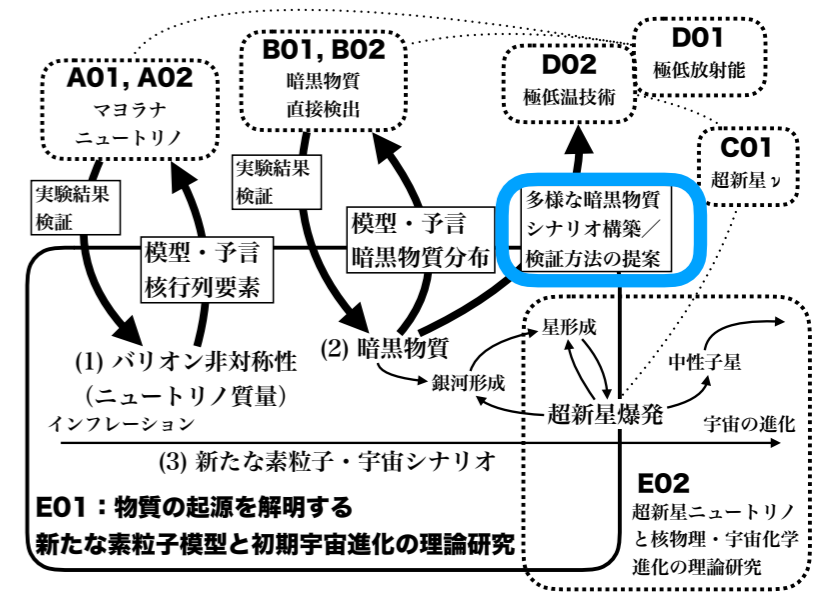


# 最近の研究から



Tom Melia

## sub-GeV 暗黒物質の 新たな検出方法の可能性

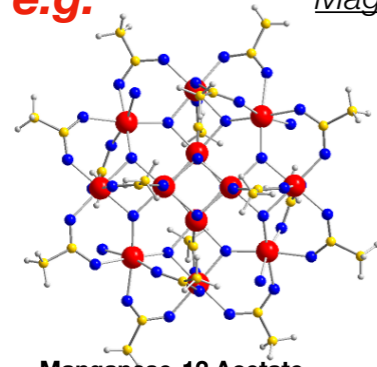


## Searches for sub-GeV dark matter

1. New technologies under R&D, with broad applications

2. New theoretical input needed to determine rate and nature of DM interaction — Effective Field Theory (EFT) of dark matter interactions in condensed matter

e.g. *Magnetic bubble chambers*

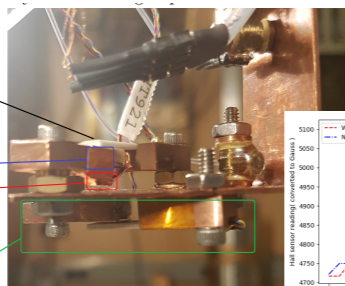


Chemical crystals: single molecule magnets

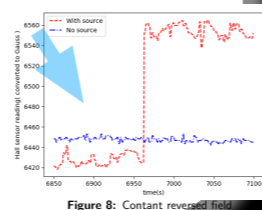
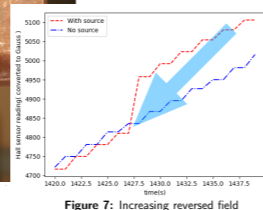
Signal amplification occurs via a 'magnetic avalanche' in the crystal seeded by DM scatter, in principle sensitive to meV energy deposit



Hall Sensor  
Mn12  
Am241  
Control



Observe alpha particle induced avalanche



DM de Broglie wavelength > interatomic spacing



We are used to characterising DM via its interaction with particles. Here, DM doesn't resolve individual nuclei/atoms...

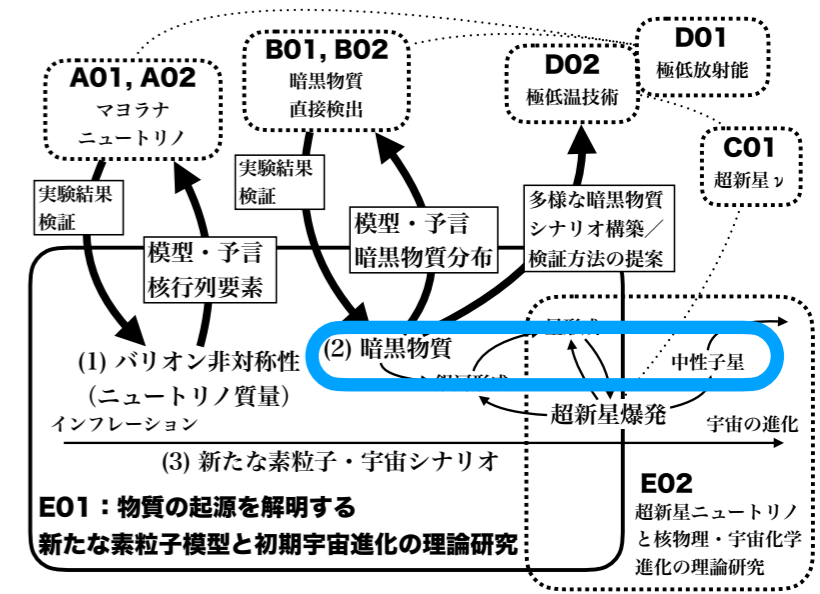
At these energies in materials, phonons (crystal/molecule vibrations) are the relevant (EFT) particle description

P. Bunting, G. Gratta, T. Melia, and S. Rajendran, Phys.Rev. D95 (2017) no.9, 095001

Hao Chen, Rupak Mahapatra, Glenn Agnolet, Michael Nippe, Minjie Lu, Philip C. Bunting, Tom Melia, Surjeet Rajendran, Giorgio Gratta, Jeffrey Long arXiv:2002.09409

P. Cox, T. Melia, and S. Rajendran; Phys.Rev. D100 (2019) no.5, 055011

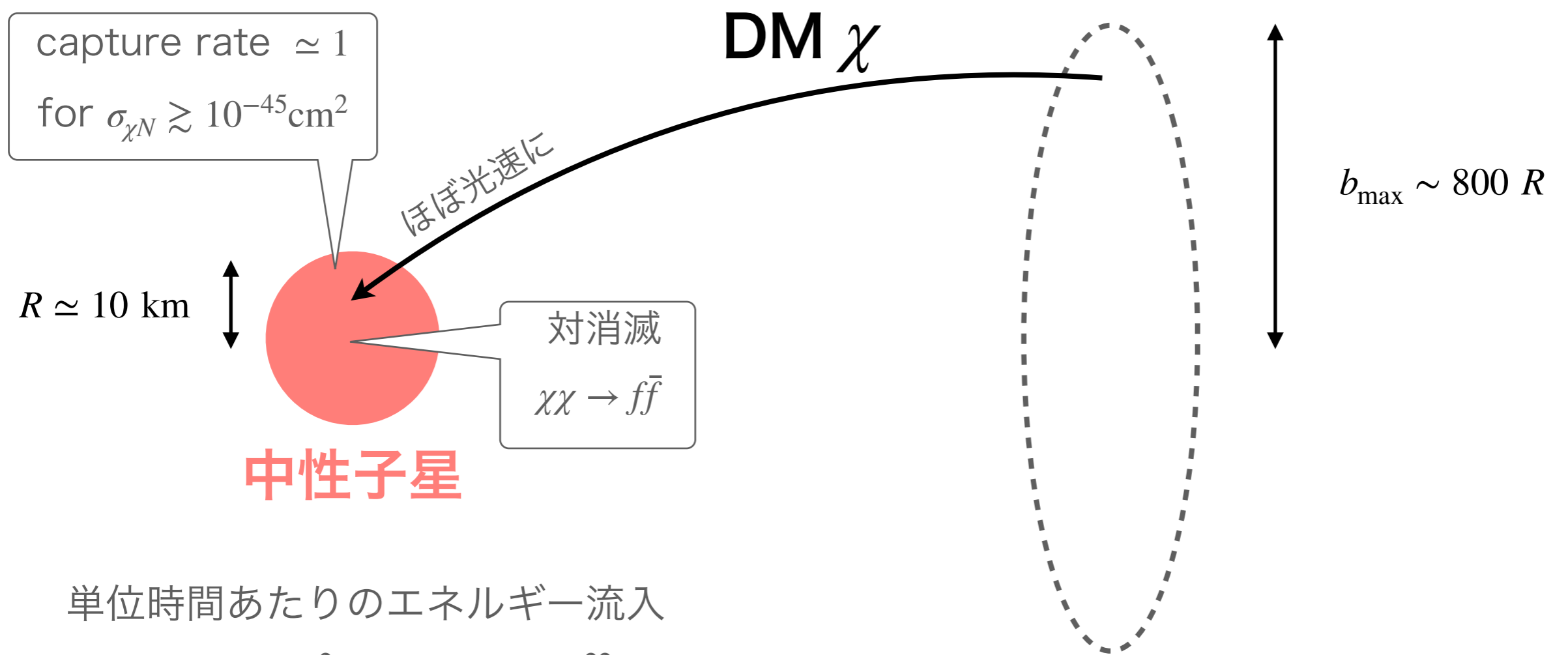
# 最近の研究から



Phys.Lett. B795 (2019) 484-489

Dark Matter Heating vs. Rotochemical Heating in Old Neutron Stars

[K. Hamaguchi](#), [N. Nagata](#), [K. Yanagi](#)



単位時間あたりのエネルギー流入

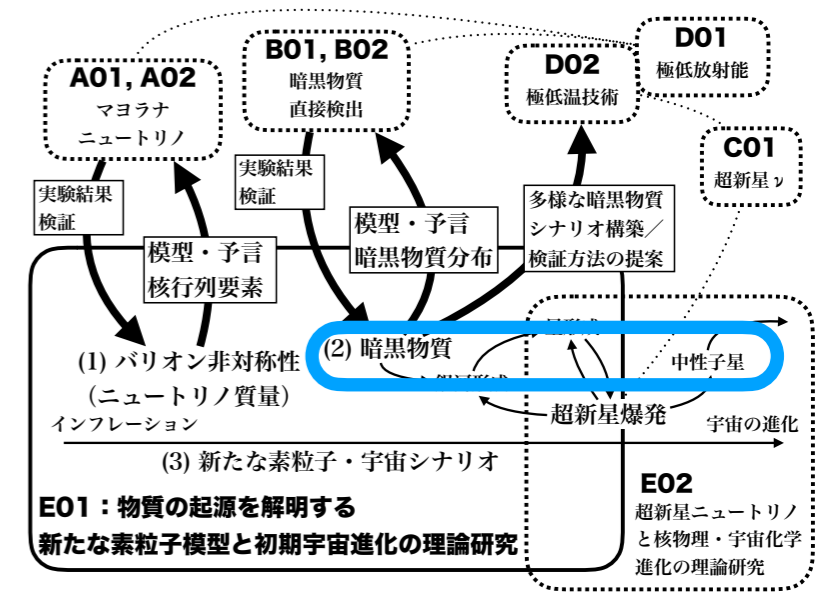
$$L_{\text{WIMP} \rightarrow \text{NS}} \sim \pi b_{\text{max}}^2 \rho_{\chi} v_{\chi} \simeq 3 \times 10^{22} \text{erg/s}$$

(DM mass に依らない)

→ **中性子星を暖める!**

[ C. Kouvaris, 0708.2362 ]

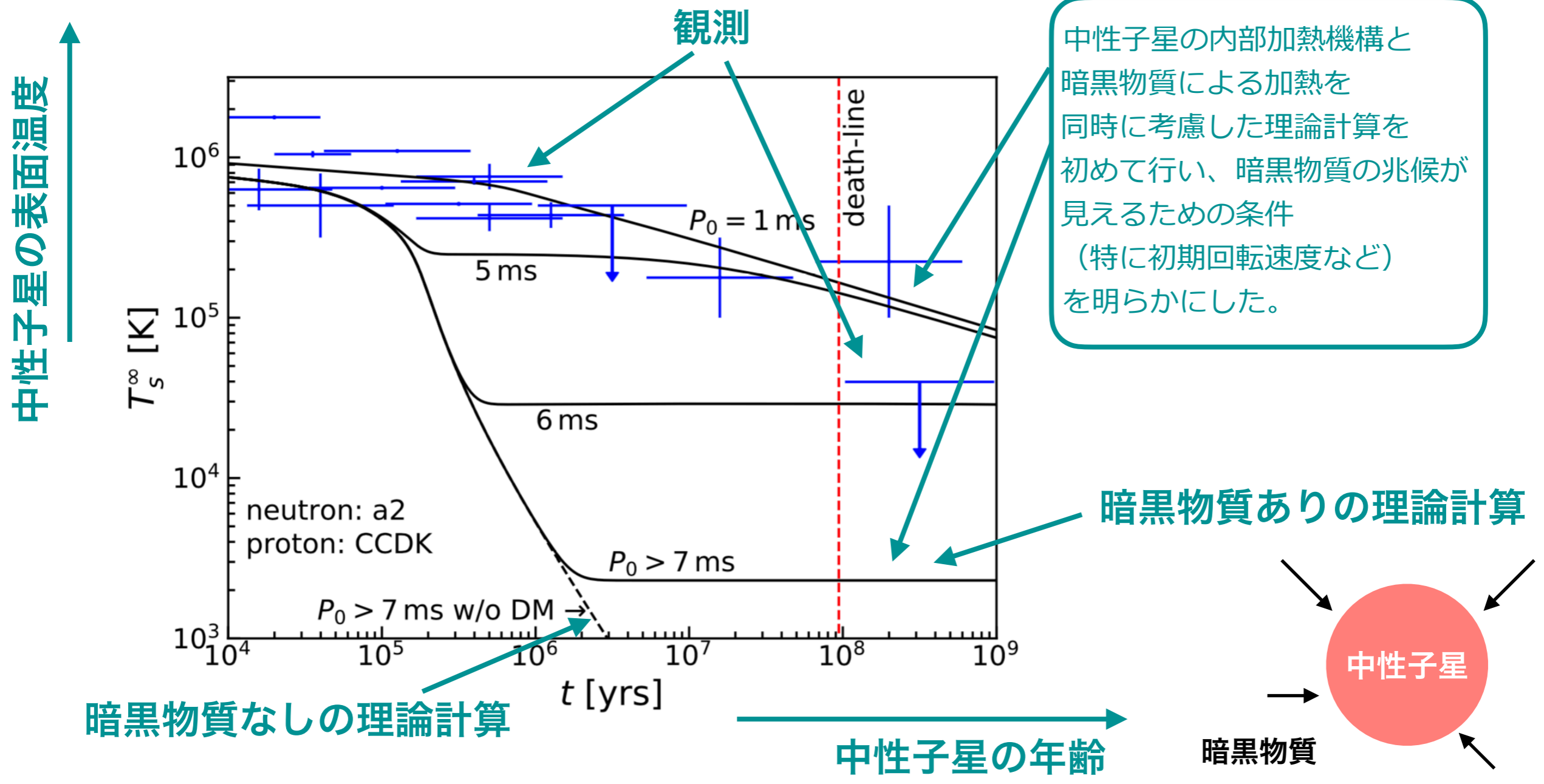
# 最近の研究から



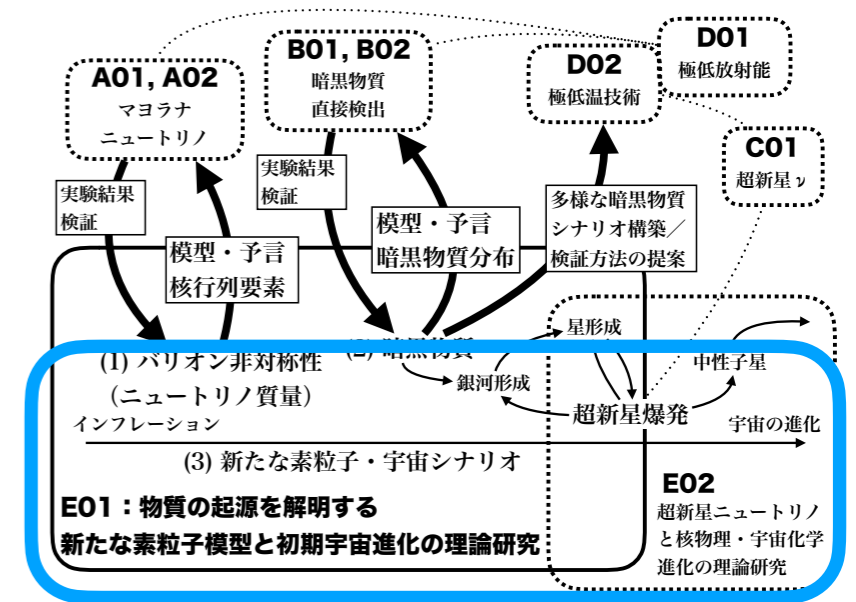
Phys.Lett. B795 (2019) 484-489

Dark Matter Heating vs. Rotochemical Heating in Old Neutron Stars

K. Hamaguchi, N. Nagata, K. Yanagi







## この新学術での新たな連携

### E01 (素粒子理論) × E02 (超新星理論)

アクシオンの物理などで重要な先行研究多数あり。  
領域内での連携により新たな共同研究を目指す。

第一回 E01-E02 合同勉強会を 5/27 に開催。

→ 今後にご期待下さい。