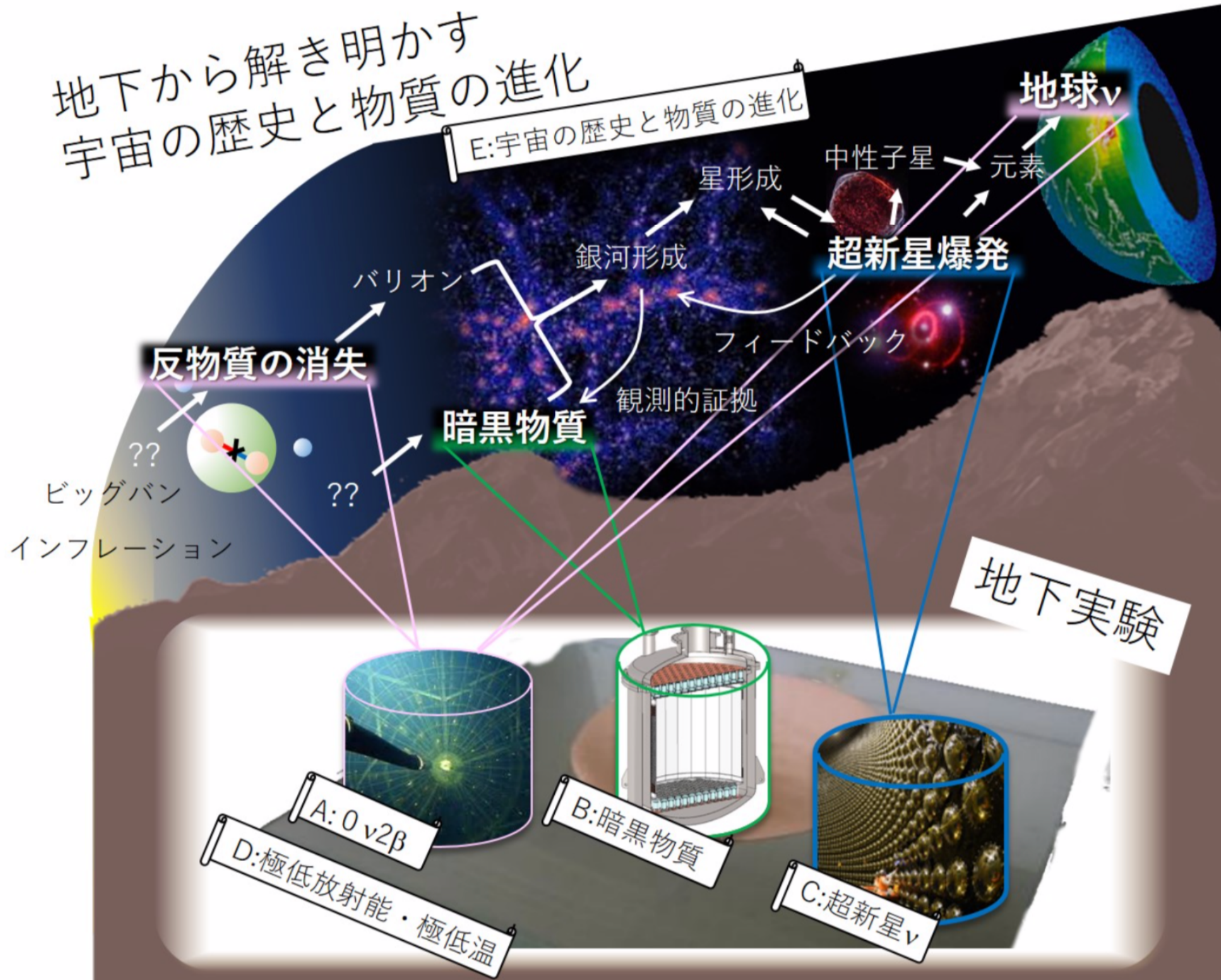


# 物質の起源を解明する 新たな素粒子模型と初期宇宙進化 の理論研究

濱口幸一（東京大学）

新学術「地下宇宙研究会」

@大阪大学、2019年8月25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

地球 $\nu$

元素

中性子星

超新星爆発

星形成

銀河形成

フィードバック

観測的証拠

暗黒物質

反物質の消失

??

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究

地下実験

A:  $0 \nu 2\beta$

B: 暗黒物質

C: 超新星 $\nu$

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

地球 $\nu$

中性子星

元素

超新星爆発

星形成

銀河形成

フィードバック

観測的証拠

暗黒物質

バリオン

反物質の消失

??

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究

地下実験

A:  $0 \nu 2\beta$

B: 暗黒物質

C: 超新星 $\nu$

D: 極低放射能・極低温



E01

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

# 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)                    |
| (分担) Menéndez Javier | (原子核理論・東京大学 -> Barcelona U.)         |

# 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)

(分担) Menéndez Javier (原子核理論・東京大学 -> Barcelona U.)



# 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)

(分担) Menéndez Javier (原子核理論・東京大学 -> Barcelona U.)



# 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)

(分担) Menéndez Javier (原子核理論・東京大学 -> Barcelona U.)



# 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)**

(分担) Menéndez Javier (原子核理論・東京大学 -> Barcelona U.)

次の講演！



# E01

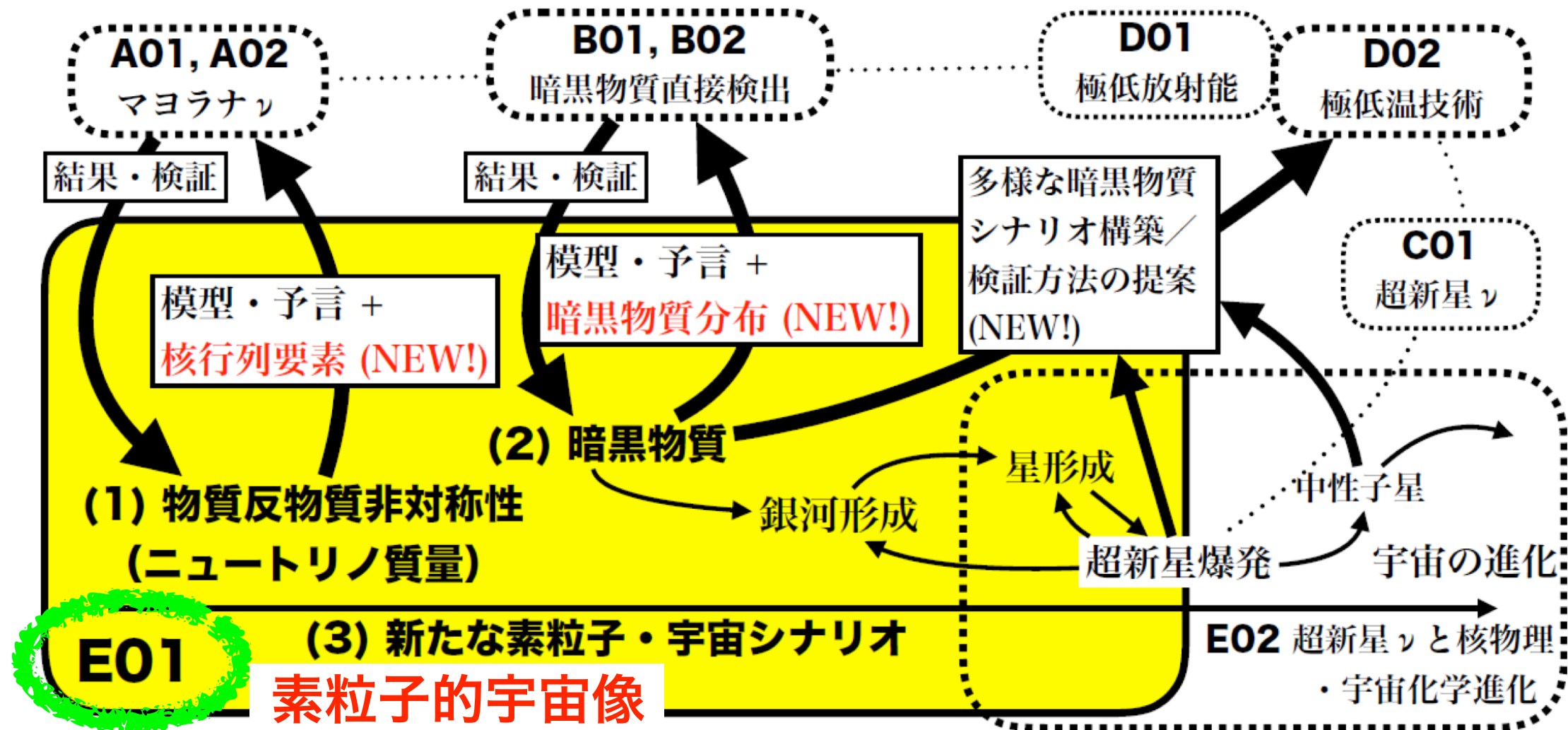
## 物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研究

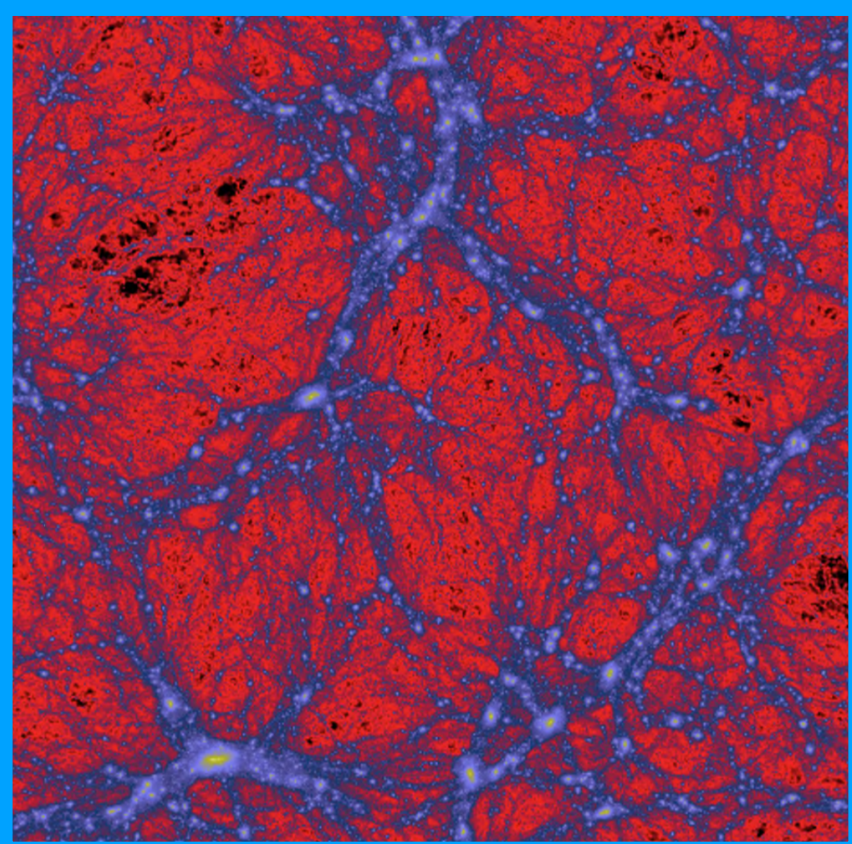
- (1) 宇宙の物質 > 反物質の起源／ニュートリノ質量の起源
- (2) 暗黒物質の正体・起源の解明
- (3) (1)(2) を含む、新たな素粒子模型・宇宙シナリオの構築

### 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 Insti |
| (分担) 長峯健太郎                                        | (理論天文学,宇宙物理・大阪大学)               |
| (分担) Menéndez Javier (原子核理論・東京大学 -> Barcelona U.) |                                 |







次の講演！

B01, B02

暗黒物質直接検出

D01

極低放射能

D02

極低温技術

結果・検証

多様な物質

C01

超新星

模型・予言 +  
核行列要素 (NEW!)

模型・予言 +

暗黒物質分布 (NEW!)

(2) 暗黒物質

銀河形成

星形成

超新星爆発

中性子星

宇宙の進化

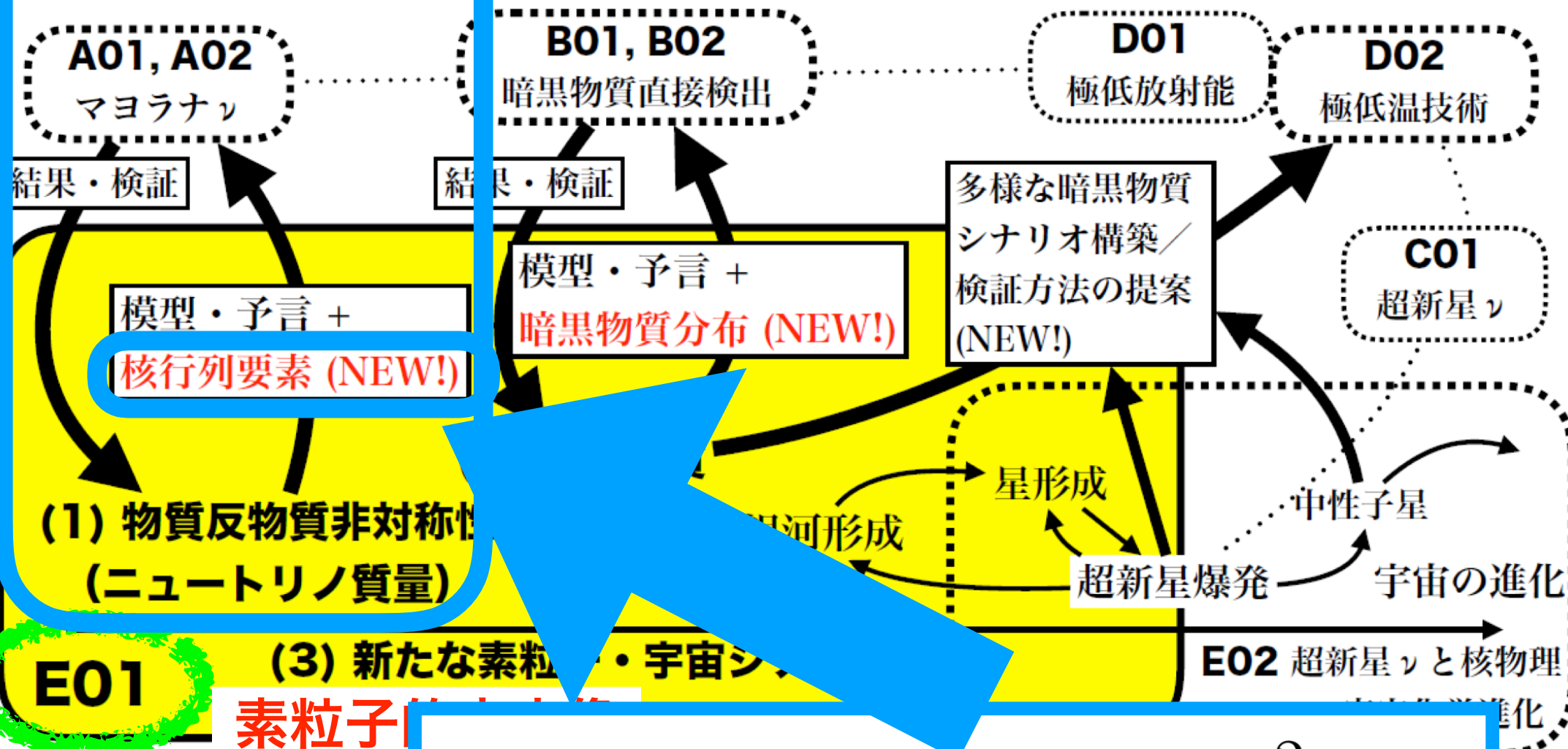
(1) 物質反物質非対称性  
(ニュートリノ質量)

E01

(3) 新たな素粒子・宇宙シナリオ

素粒子的宇宙像

E02 超新星と核物理  
・宇宙化学進化



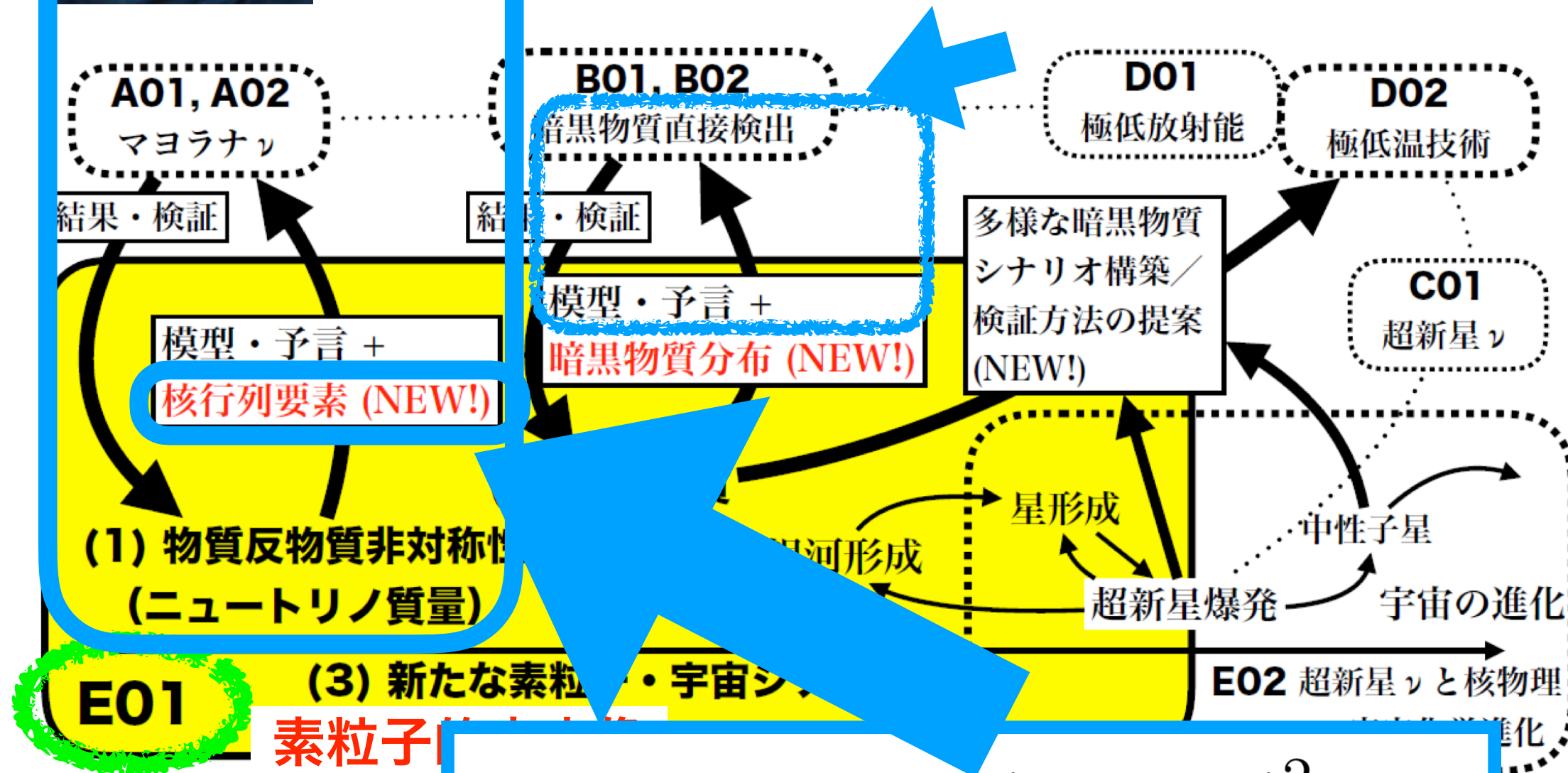
$$[T_{1/2}^{0\nu}]^{-1} = G^{0\nu} \left| M^{0\nu\beta\beta} \right|^2 m_{\beta\beta}^2$$

$0\nu\beta\beta$  崩壊率



核行列要素

マヨラナ質量



$$[T_{1/2}^{0\nu}]^{-1} = G^{0\nu} \left| M^{0\nu\beta\beta} \right|^2 m_{\beta\beta}^2$$

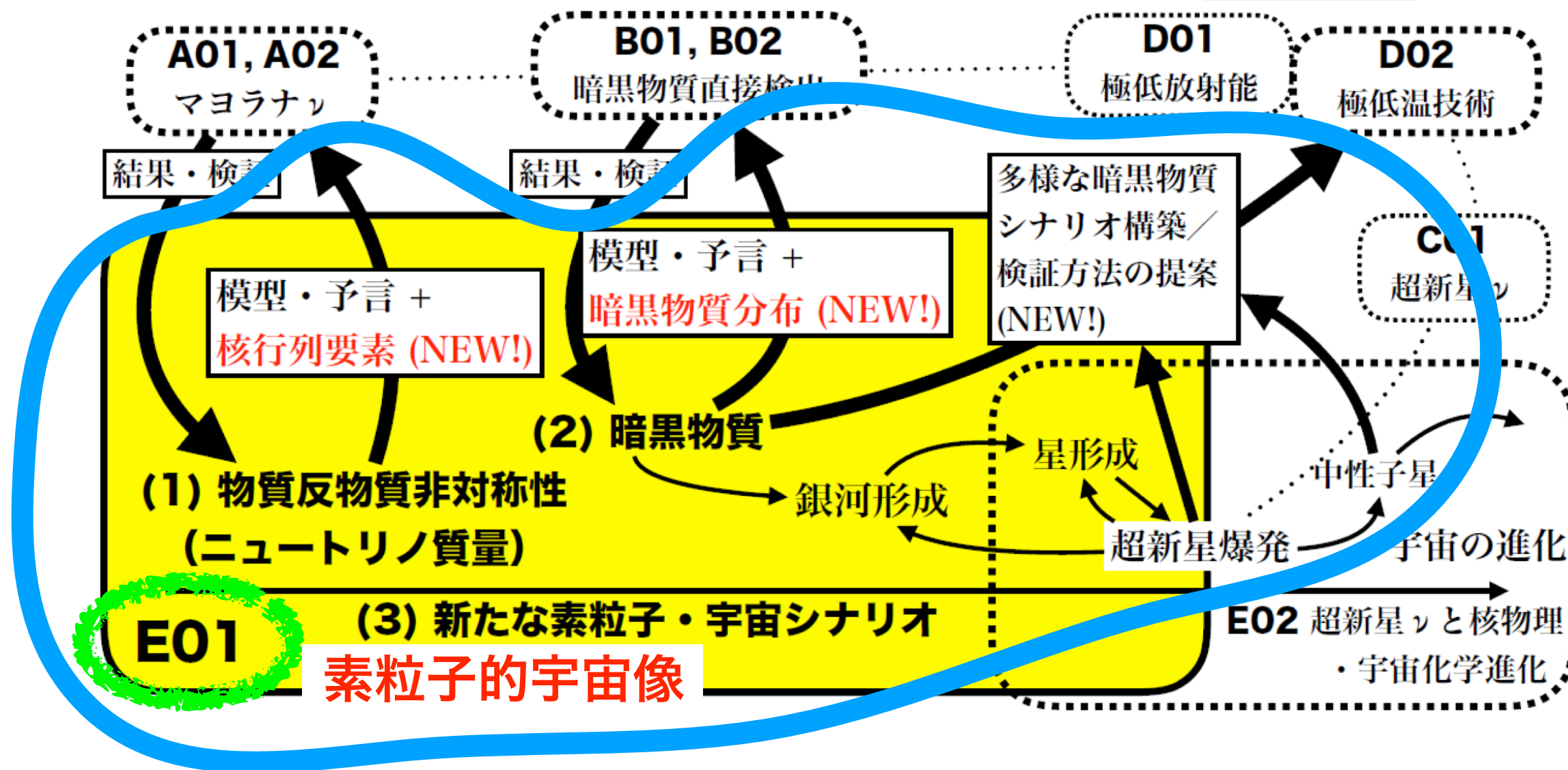
$0\nu\beta\beta$  崩壊率

マヨラナ質量

**核行列要素**



PD, 2020~

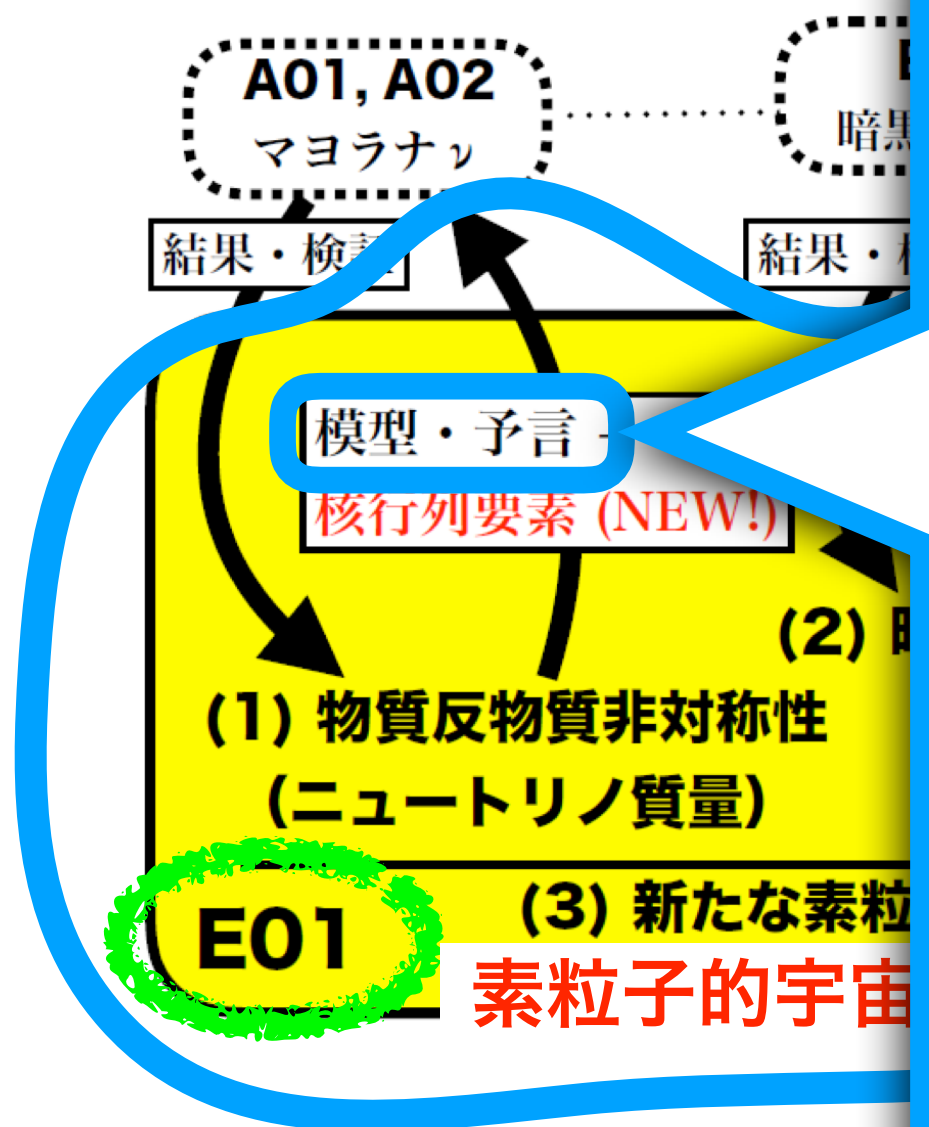






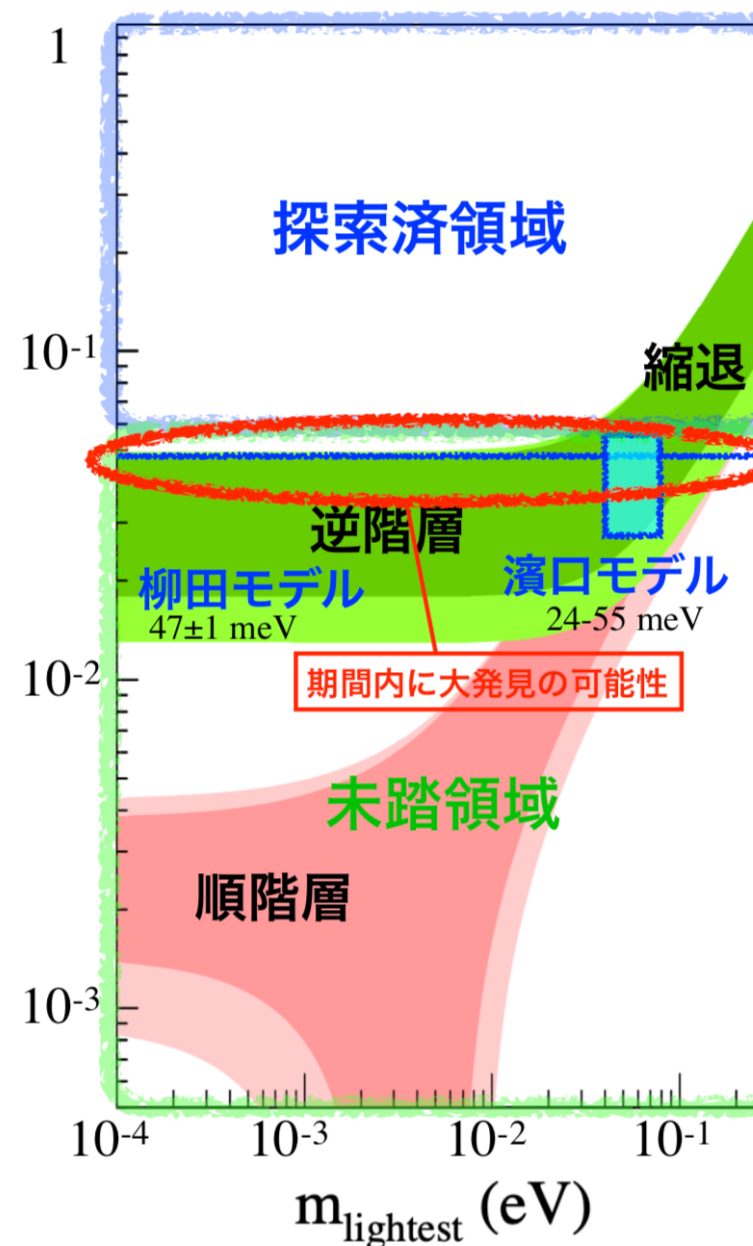
PD, 2020~

## 井上さんスライドより



未知のマヨラナニュートリノ質量

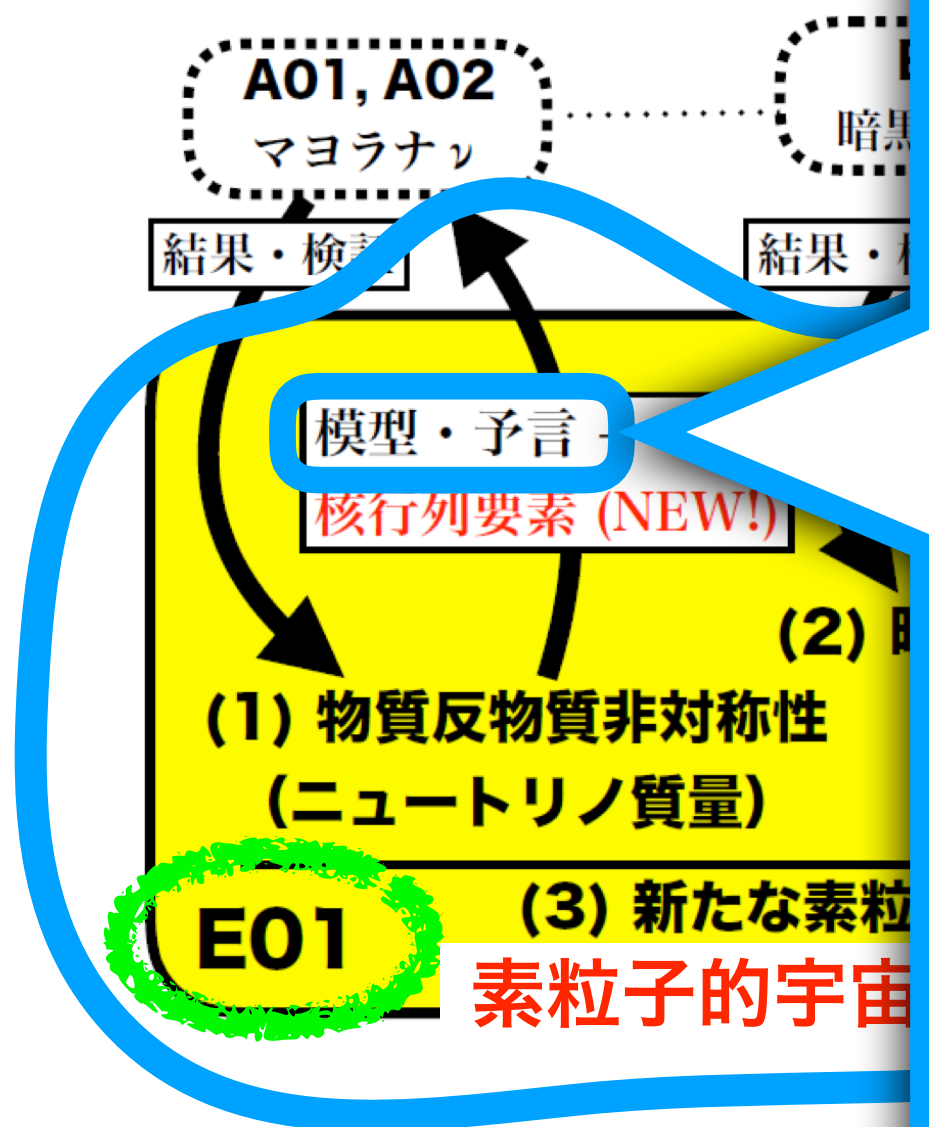
$\langle m_{\beta\beta} \rangle$  (eV)





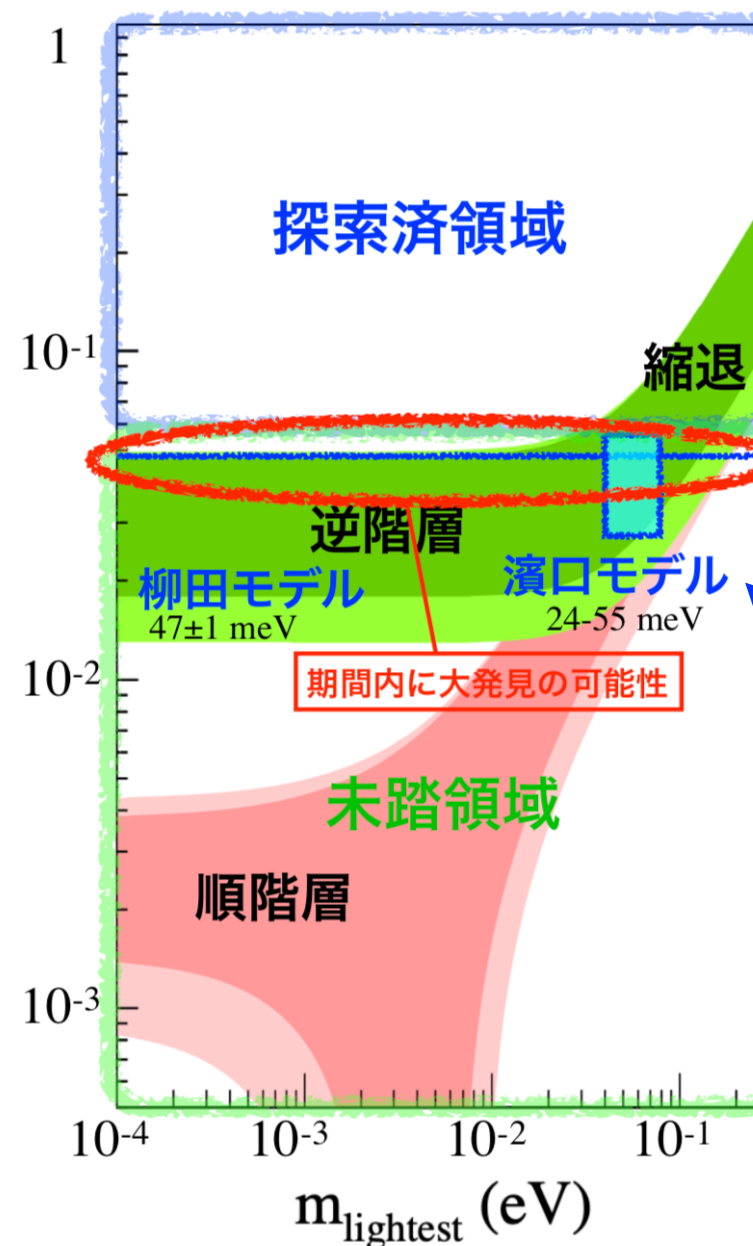
PD, 2020~

## 井上さんスライドより



未知のマヨラナニュートリノ質量

$\langle m_{\beta\beta} \rangle$  (eV)



K.Asai et.al. 1811.07501  
K.Asai et.al. 1705.00419





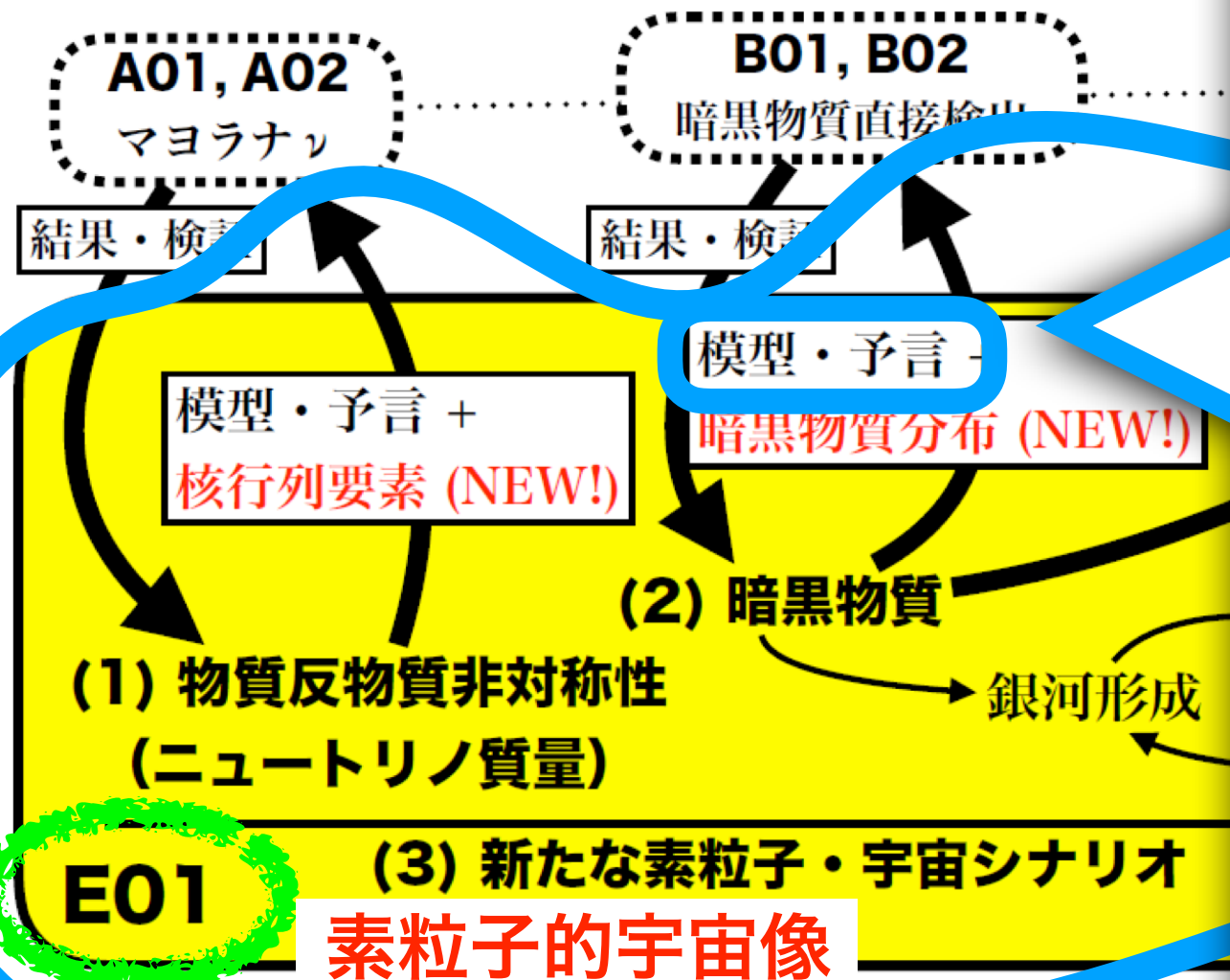
PD, 2020~

## 7月早稲田DM研究会

### 暗黒物質理論

Koichi Hamaguchi (University of Tokyo)

ダークマターの懇談会2019  
@Waseda Univ., 2019.07.05



### 面白くて大事な熱的暗黒物質候補たち

松本 重貴 (Kavli IPMU)

Kavli IPMU Thermal Dark Matter Project

暗黒物質の正体を探るうえで重要となる質問の一つは、現在までの様々な観測において示唆されている暗黒物質質量(平均質量密度)、これがどのように決定されたのか?である。様々な機構を考えると可能だが、特に強い動機を持つ熱的暗黒物質に焦点を当て、その中でも更に動機を持つ熱的暗黒物質について紹介する。

## Magnetic Bubble Chambers and Sub-GeV Dark Matter Direct Detection

Philip C. Bunting,<sup>1,\*</sup> Giorgio Gratta,<sup>2,†</sup> Tom Melia,<sup>3,4,5,‡</sup> and Surjeet Rajendran<sup>3,§</sup>

<sup>1</sup>*Department of Chemistry, University of California, Berkeley, California 94720, USA*

<sup>2</sup>*Physics Department and HEPL, Stanford University, Stanford CA 94305, USA*

<sup>3</sup>*Department of Physics, University of California, Berkeley, California 94720, USA*

<sup>4</sup>*Theoretical Physics Group, Lawrence Berkeley*

*National Laboratory, Berkeley, California 94720, USA*

<sup>5</sup>*Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI),  
University of Tokyo, Kashiwa 277-8583, Japan*

IPMU18-0113

## Detecting Dark Blobs

Dorota M Grabowska,<sup>1,2,\*</sup> Tom Melia,<sup>3,†</sup> and Surjeet Rajendran<sup>1,‡</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics, University of California, Berkeley, California 94720, USA*

<sup>2</sup>*Theoretical Physics Group, Lawrence Berkeley*

*National Laboratory, Berkeley, California 94720, USA*

<sup>3</sup>*Kavli Institute for Physics and Mathematics of the Universe (WPI),  
University of Tokyo, Kashiwa, 277-8583, Japan*

IPMU19-0065

## The Dark Matter Phonon Coupling

Peter Cox,<sup>1,\*</sup> Tom Melia,<sup>1,†</sup> and Surjeet Rajendran<sup>2,3,‡</sup>

<sup>1</sup>*Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI),*

*UTIAS, The University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8583, Japan*

<sup>2</sup>*Department of Physics, University of California, Berkeley, California 94720, USA*

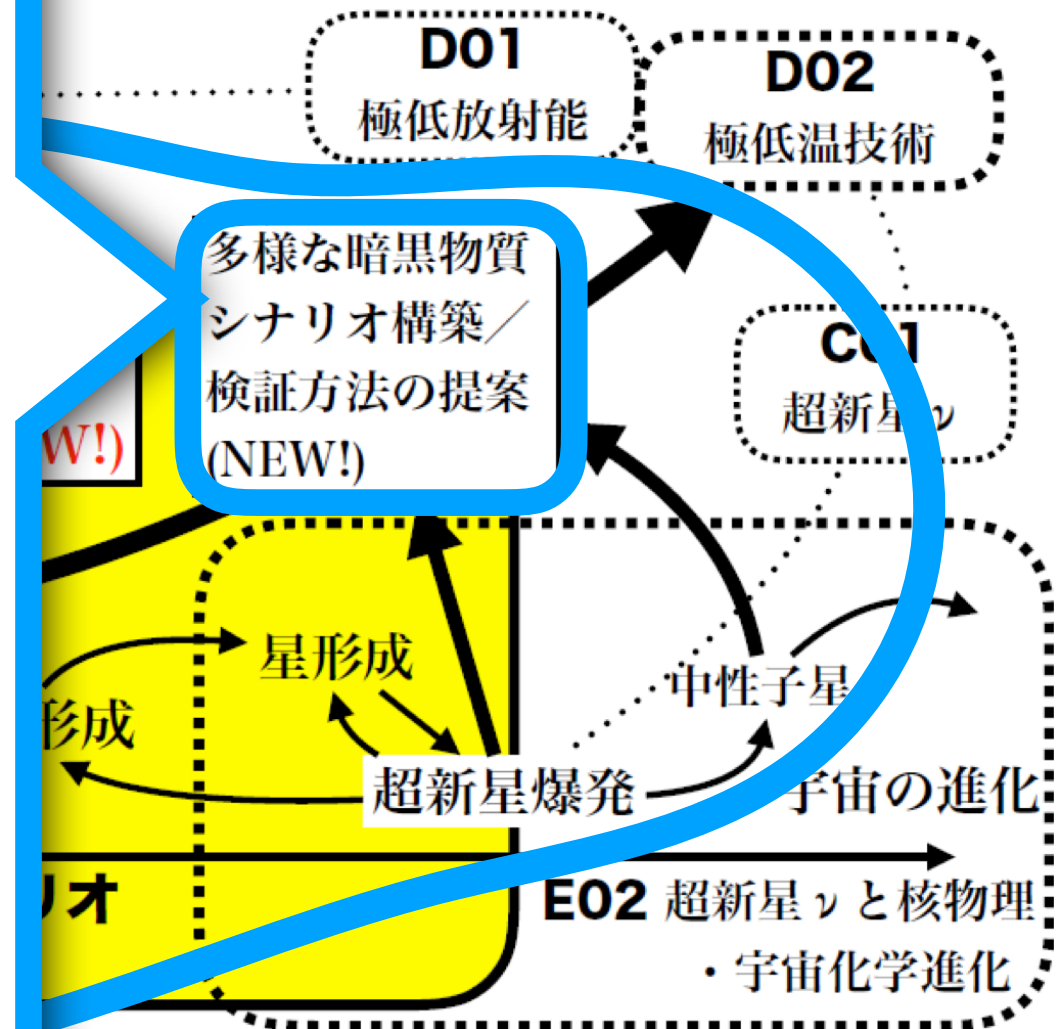
<sup>3</sup>*Department of Physics & Astronomy,  
The Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218, USA*

## Abstract

Generically, the effective coupling between the dark matter and an atom scales with the number of constituents in the atom, resulting in the effective coupling being proportional to the mass of the atom. In this limit, when the momentum transfer is also small, we show that the leading term in the scattering of a particle off the optical phonons of an array of atoms, whether in a crystal or in a molecule, vanishes. Next-generation dark matter direct detection experiments with sub-eV energy thresholds will operate in a regime where this effect is important, and the suppression can be up to order  $10^6$  over naive expectations. For dark matter that couples differently to protons and neutrons, the suppression is typically of order 10 – 100 but can be avoided through a judicious



PD, 2020~







PD, 2020~

**A01, A02**  
マヨラナ

**B01, B02**  
暗黒物質直接検出

**D01**  
極低放射能

**D02**  
極低温技術

**C01**  
超新星

中性子星

星爆発 宇宙の進化

**E02** 超新星と核物理  
・宇宙化学進化

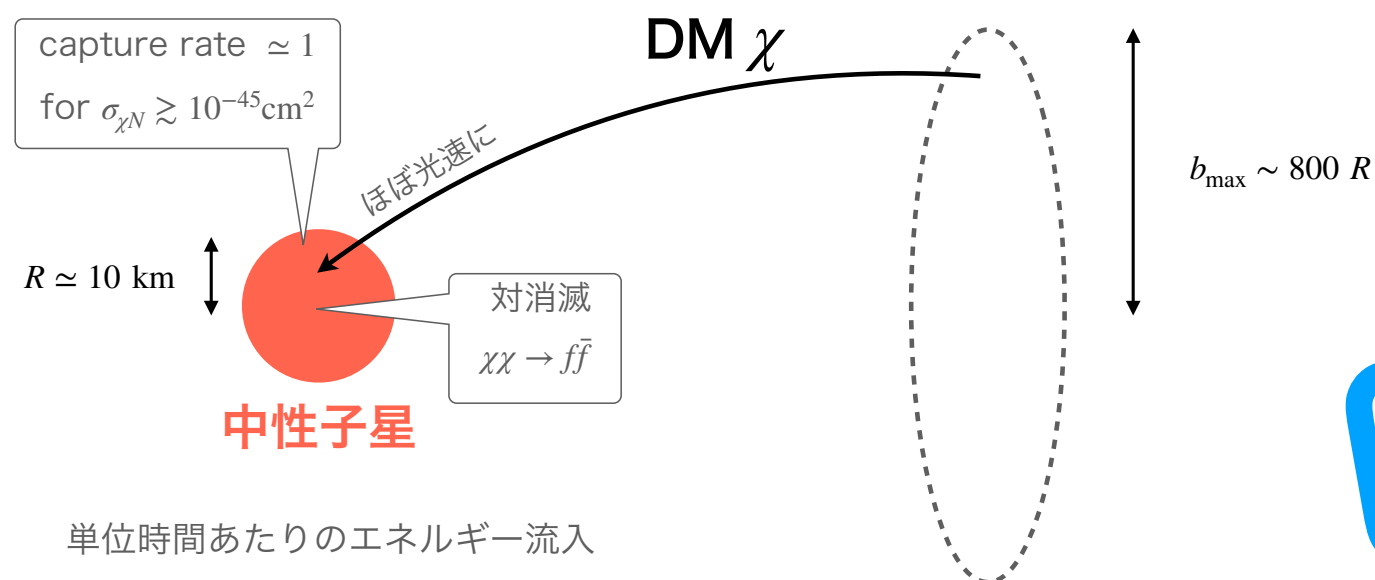
**中性子星 vs. DM**

## Dark Matter Heating vs. Rotochemical Heating in Old Neutron Stars

K. Yanagi, N. Nagata, KH, [1905.02991 + 1904.04667]

あらすじ

1. WIMP DM は中性子星に当たって、内部で対消滅する。



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 ]

浜口トーク

@7月早稲田DM研究会



PD, 2020~

A01, A02  
マヨラナ

B01, B02  
暗黒物質直接検出

D01  
極低放射能

D02  
極低温技術

C01  
超新星

中性子星

E02 超新星と核物理  
・宇宙化学進化

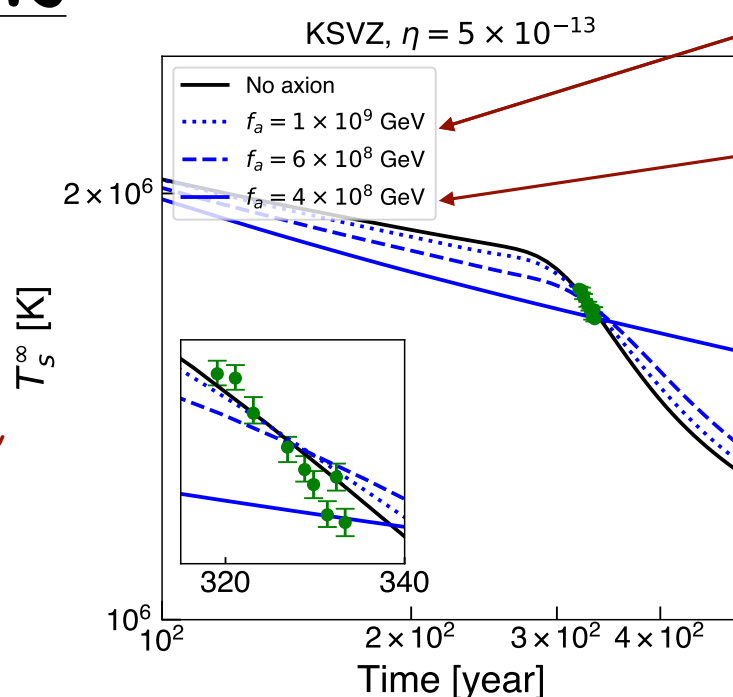
中性子星 vs. Axion

浜口トーク

@7月CERN研究会

# Cas A NS Cooling with axion

## Results



$f_a = 1 \times 10^9$  GeV:  
can fit the data.

$f_a = 4 \times 10^8$  GeV: difficult  
to fit the data even by  
adjusting gap parameters.

K. Hamaguchi,  
N. Nagata,  
K. Yanagi,  
J. Zheng,  
1806.07151

obtained a new bound:  $f_a \gtrsim 5 \times 10^8$  GeV (KSVZ)

(for an envelope with a thin carbon layer)

cf. SN1987A bound:  $f_a \gtrsim 4 \times 10^8$  GeV



PD, 2020~

A01, A02

マヨラナ

B01, B02

暗黒物質直接検出

D01

極低放射能

D02

極低温技術

C01

超新星

中性子星

E02 超新星と核物理

宇宙の進化  
宇宙化学進化



Send Feedback

Home pdgLive Summary Tables Reviews, Tables, Plots Particle Listings

pdgLive Home > Axions ( $A^0$ ) and Other Very Light Bosons, Searches for > Invisible  $A^0$  (Axion) Limits from Nucleon Coupling

### 2019 Review of Particle Physics.

M. Tanabashi *et al.* (Particle Data Group), Phys. Rev. D **98**, 030001 (2018) and 2019 update.

## Invisible $A^0$ (Axion) Limits from Nucleon Coupling

INSPIRE search

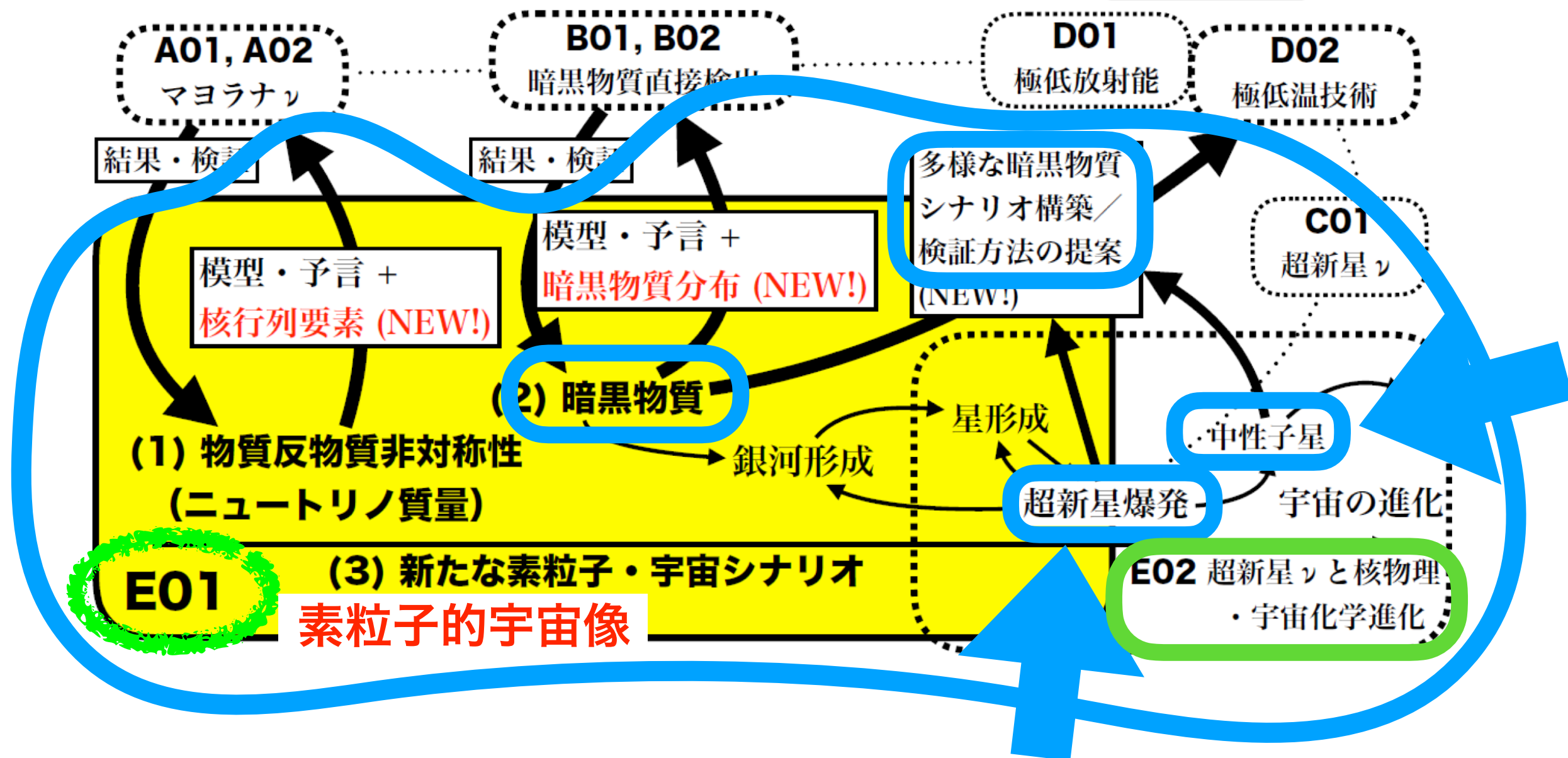
Limits are for the axion mass in eV.

| VALUE (eV)                                                                | CL% | DOCUMENT ID           | TECN | COMMENT              |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------|------|----------------------|
| ... We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ... |     |                       |      |                      |
| < 65                                                                      | 95  | 1 AKHMATOV 2018       | CNTR | Solar axion          |
| < 6.6                                                                     | 90  | 2 ARMENGAUD 2018      | EDE3 | Solar axion          |
| < 0.085                                                                   | 90  | 3 BEZNOGOV 2018       | ASTR | Neutron star cooling |
| < 12.7                                                                    | 95  | 4 GAVRILYUK 2018      | CNTR | Solar axion          |
| < 0.01                                                                    |     | 5 HAMAGUCHI 2018      | ASTR | Neutron star cooling |
|                                                                           |     | 6 ABEL 2017           |      | Neutron EDM          |
| < 93                                                                      | 90  | 7 ABGRALL 2017        | HPGE | Solar axion          |
| < 4                                                                       | 90  | 8 FU 2017A            | PNDX | Solar axion          |
|                                                                           |     | 9 KLIMCHITSKAYA 2017A |      | Casimir effect       |
| < 177                                                                     | 90  | 10 LIU 2017A          | CDEX | Solar axion          |

中性子星 vs. Axion



PD, 2020~



本領域での E01 + E02 の連携にも期待

宣伝1

# 3月に東大本郷で理論研究会やります

LHC新学術の理論班との合同主催

- (暫定タイトル) “New Directions in Cosmology”
- 2020年 3/24-27 (or 25-27)
- @東大本郷キャンパス.
- Organizers:  
K.Hamaguchi (Co-chair), T.Moroi (Co-chair),  
S.Matsumoto, T.Melia, J.Menendez, K.Nagamine,  
S.Iso, N.Nagata, K.Nakayama, M.Yamaguchi, T.Yanagida.

# New Physics Forum

ニュートリノ新学術の理論班との共催

**New Physics Forum** は素粒子の起源と宇宙の構造の解明を目指した研究者間の交流集会です。会場は東大本郷、東大宇宙線研、KEK、Kavli IPMUの持ち回りで開催されます。

**New Physics Forum** is organized for the purpose of stimulating physics research to understand the origin of elementary particles and the structure of the Universe. U. Tokyo (Hongo), ICRR (Kashiwa), KEK (Tsukuba) and Kavli IPMU (Kashiwa) take turns providing a meeting place.

## Support:

MEXT Grant-in-aid for Scientific Research on Innovative Areas  
"Exploration of Particle Physics and Cosmology with Neutrinos"  
"Unraveling the History of the Universe and Matter Evolution with  
Underground Physics"

## Organizer:

Gi-Chol Cho (Ochanomizu U.)  
Shintaro Eijima (KEK)  
Motoi Endo (KEK)  
Koichi Hamaguchi (U. Tokyo)  
Masahiro Ibe (ICRR)  
Ryuichiro Kitano (KEK)  
Masafumi Kurachi (ICRR/Keio U.)  
Tom Melia (Kavli IPMU)  
Satoshi Mishima (KEK)  
Natsumi Nagata (U. Tokyo)  
Joe Sato (Saitama U.)