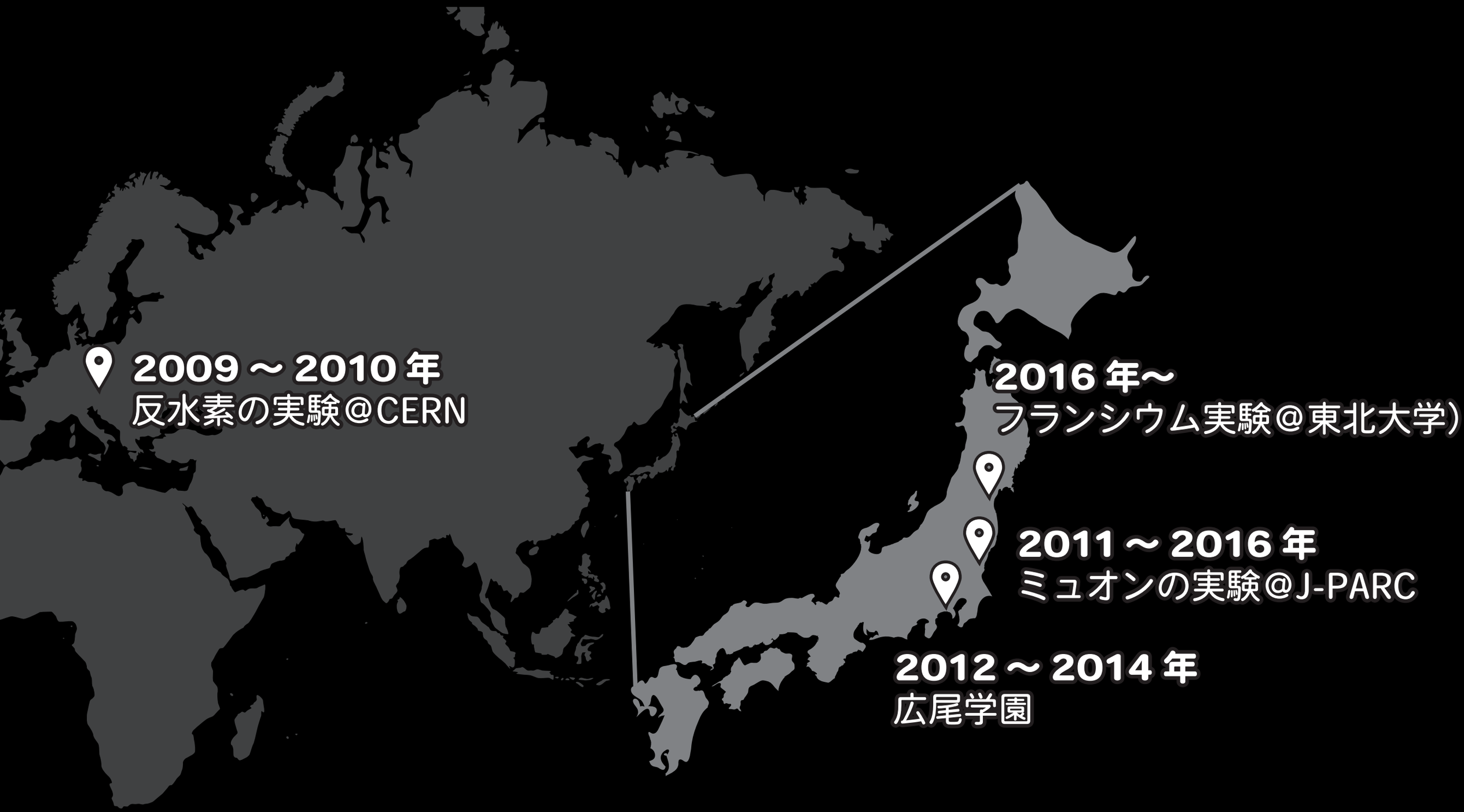
第５回　自然論「自然界の構造」

# 自然界を創る対称性の破れ

サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター
田中香津生

# 自己紹介

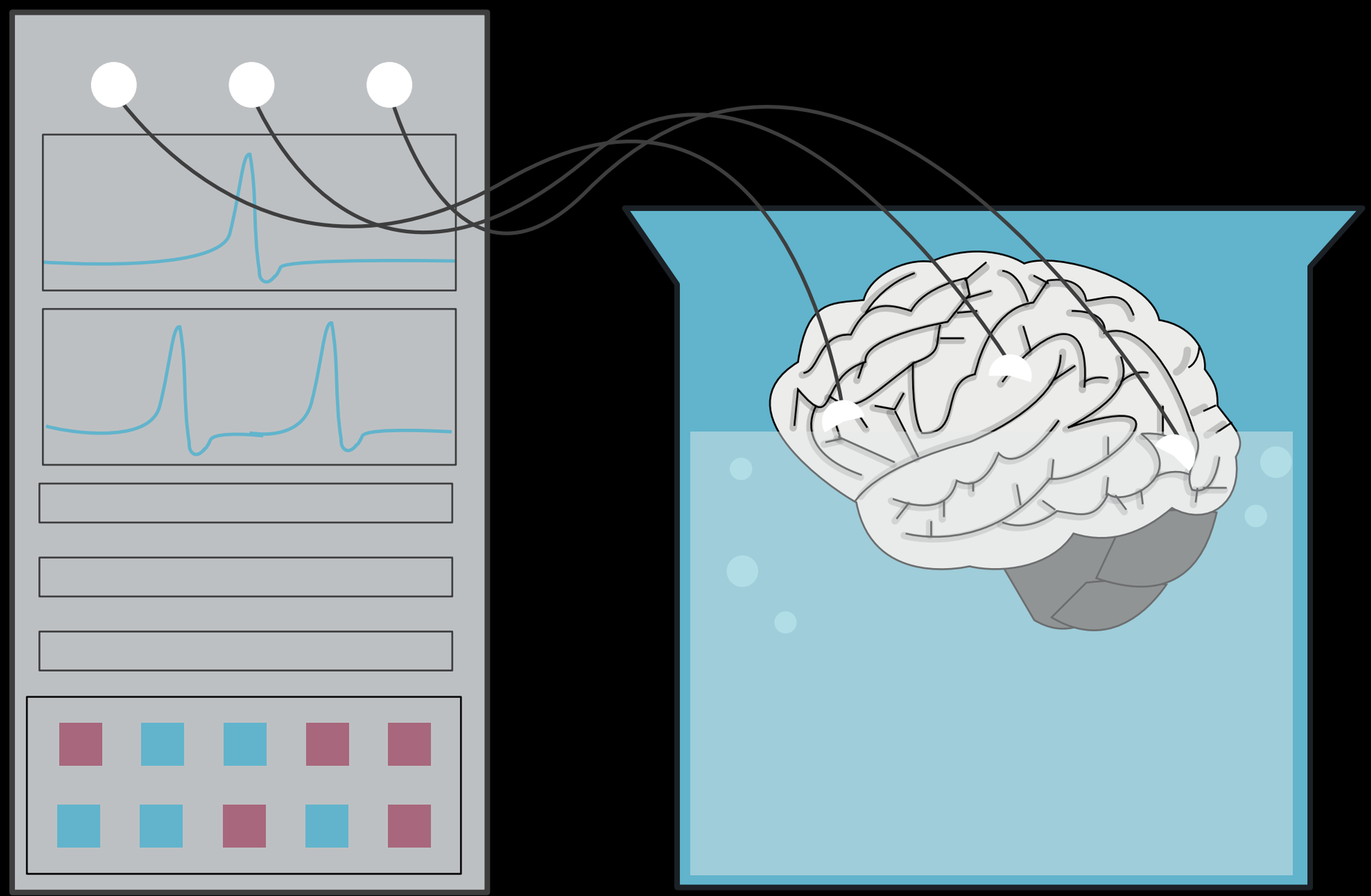

2009 ～ 2010 年
反水素の実験＠CERN
2016 年～
フランシウム実験＠東北大学)
2011 ～ 2016 年
ミュオンの実験＠J-PARC
2012 ～ 2014 年
広尾学園

# 基礎物理とは？

・自然現象は普遍的な法則に従っていると信じる業界
・因果的決定論を信じる業界（１９世紀まで）

↕

シミュレーション仮説（世の中を創った高次の支配者がいる）



# 基礎物理とは？

ビックバン

１５０億年

どうしてビックバンが起こった？
どのようにして宇宙ができた?

どのようして地球ができた?
なぜ私が生まれた？

# 基礎物理とは？

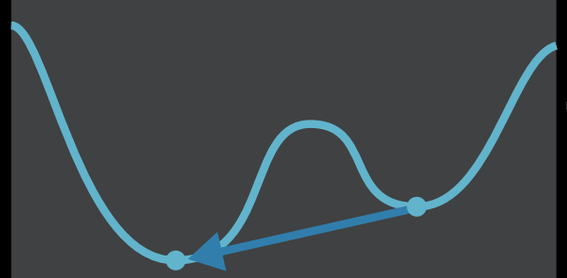
ビックバン

１５０億年

どうしてビックバンが起こった？
どのようにして宇宙ができた?

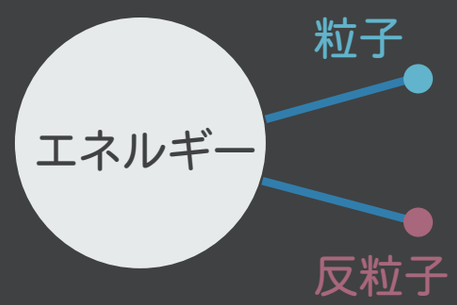
どのようして地球ができた?
なぜ私が生まれた？

## 真空の相転移



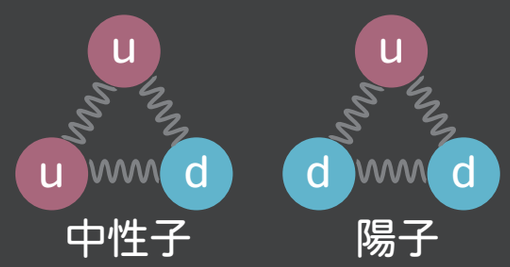

## 素粒子の生成

レプトン、クオーク生成



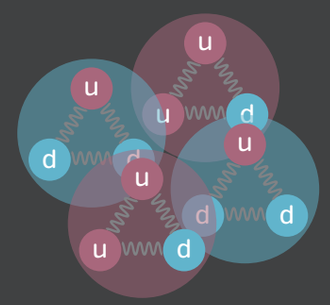

## 素粒子の結合１

クオーク結合が結合する




## 素粒子の結合２

原子核が生成



$\sim 10^{-34}$ 秒

$\sim 10^{-5}$ 秒

$\sim 100$ 秒

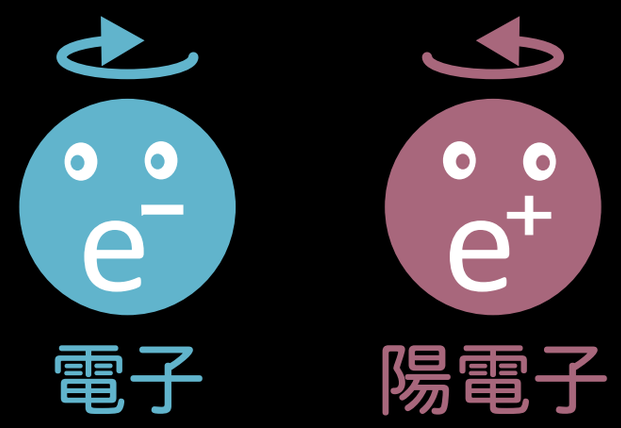
# 反粒子とは？

・粒子と性質が対称

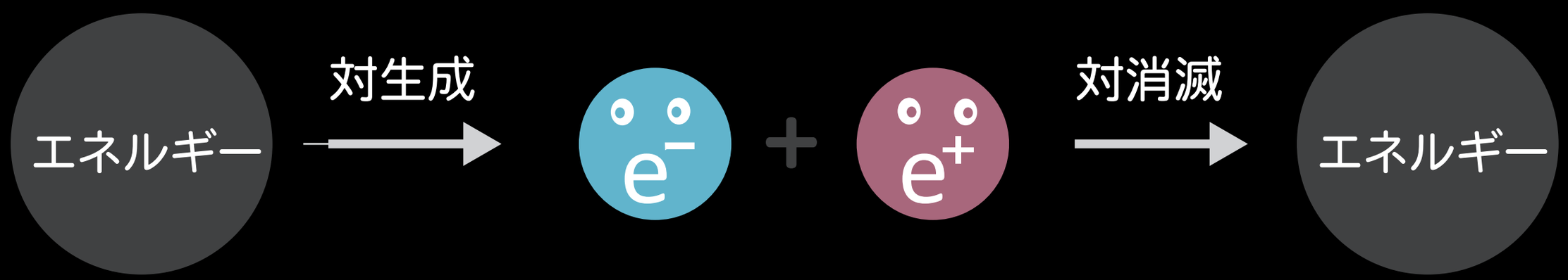
質量 = 等しい

電荷 = 等しい大きさ、符号逆

スピン = 逆

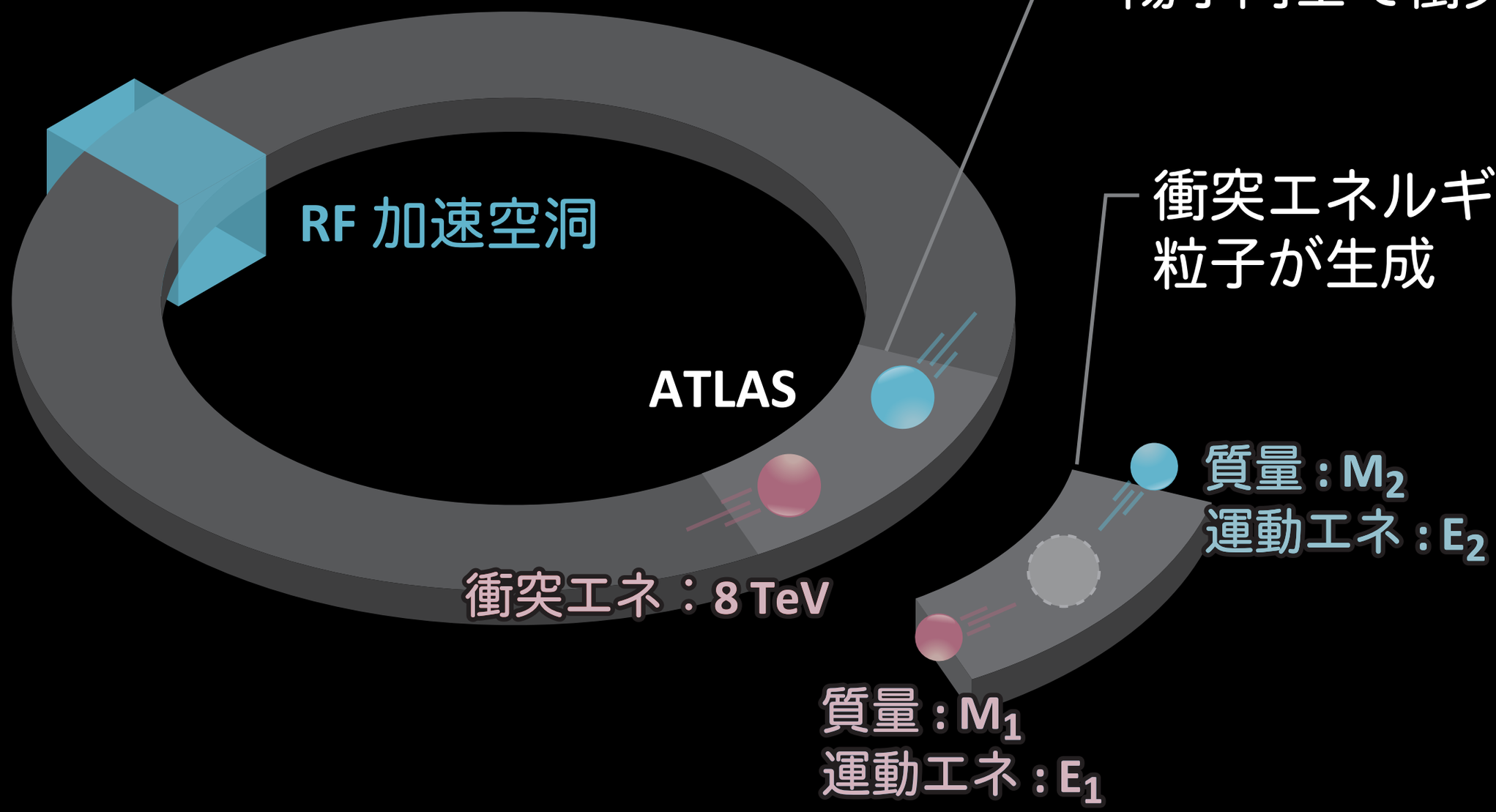



・エネルギーから対生成する。対消滅してエネルギーになる




・なぜか現宇宙には反粒子はほとんど存在しない

# LHC での素粒子物理




$$8\ \text{TeV} = M_e + E_e + M_e + E_e$$

衝突エネルギーに対応した質量の粒子が生成

# 基礎物理とは？

ビックバン

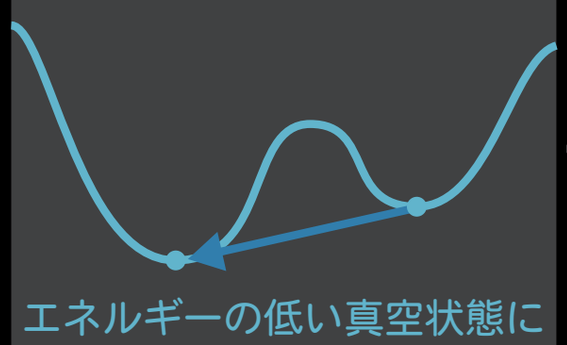
１５０億年

どうしてビックバンが起こった？
どのようにして宇宙ができた?

どのようして地球ができた?
なぜ私が生まれた？

天文学・宇宙論

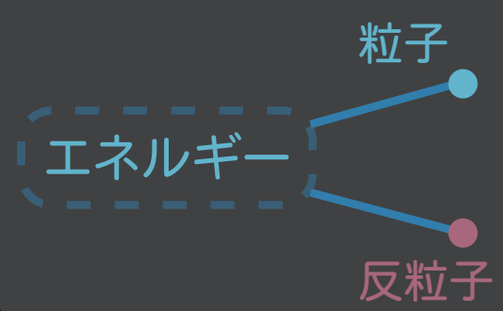
**真空の相転移**




素粒子物理

**素粒子の生成**

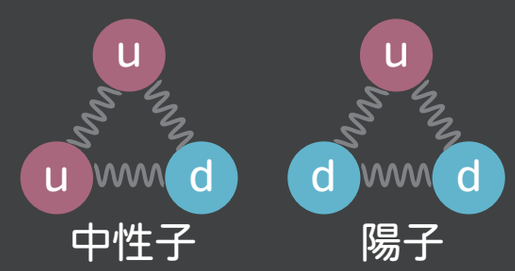
レプトン、クオーク生成




素粒子物理

**素粒子の結合１**

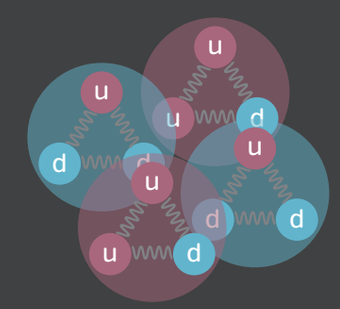
クオーク結合が結合する




原子核物理

**素粒子の結合２**

原子核が生成



$\sim 10^{-34}$ 秒

$\sim 10^{-5}$ 秒

$\sim 100$ 秒

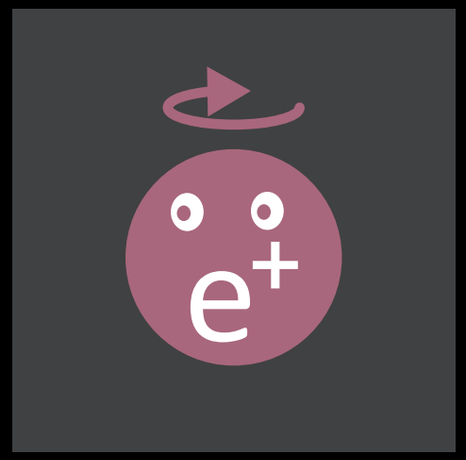
# 粒子と反粒子で物理法則はどう区別する？

電子

電荷：マイナス
スピン：左巻き

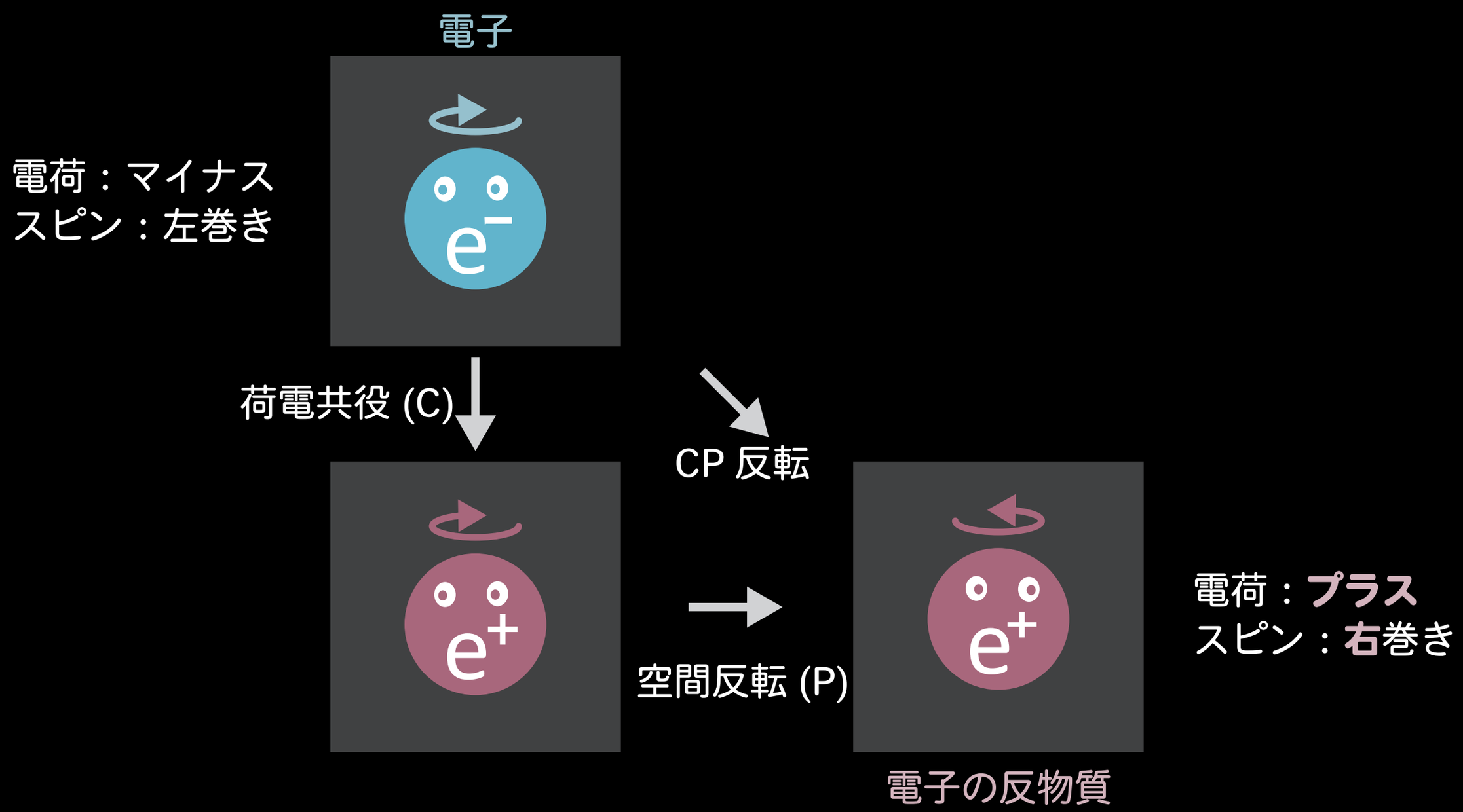
荷電共役 (C)

電荷：**プラス**
スピン：左巻き




**荷電共役**に対して物理法則は普遍かを調べる
→電荷を変えただけでは粒子反粒子変換とはいえない

# 粒子と反粒子で物理法則はどう区別する？

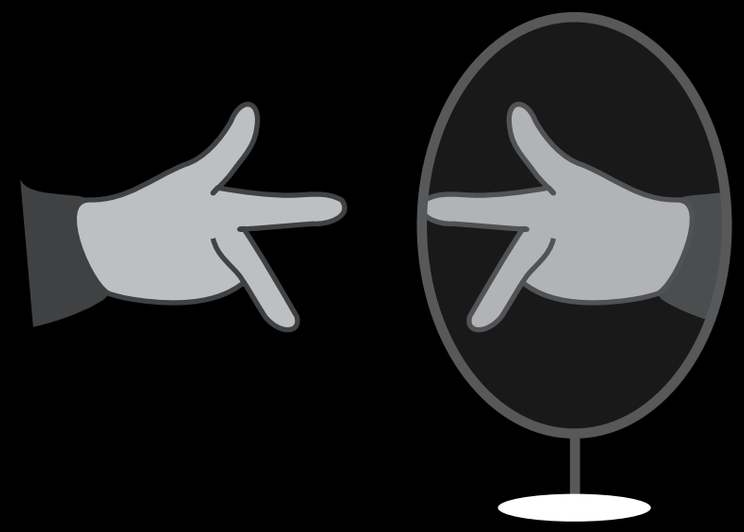



**CP変換**に対して物理法則は普遍かを調べる
→粒子反粒子の違いの検証実験

# 自然界は鏡像対称性が保たれているか

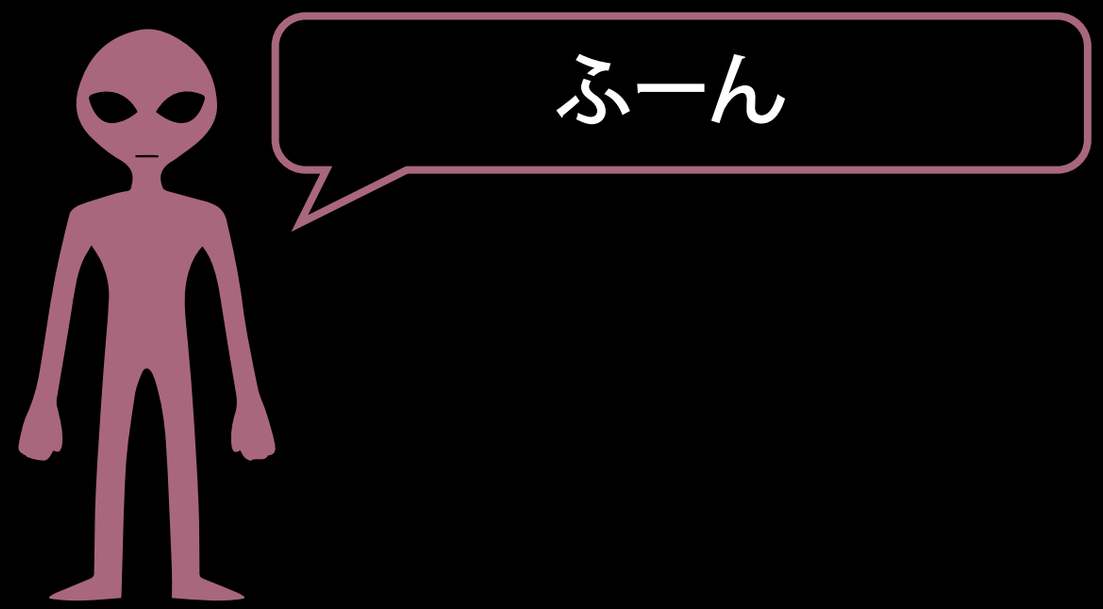
## 鏡像対称性

- 鏡の手の形を現実には再現できない
- 物理法則も鏡の中では違う？



## オズマ問題

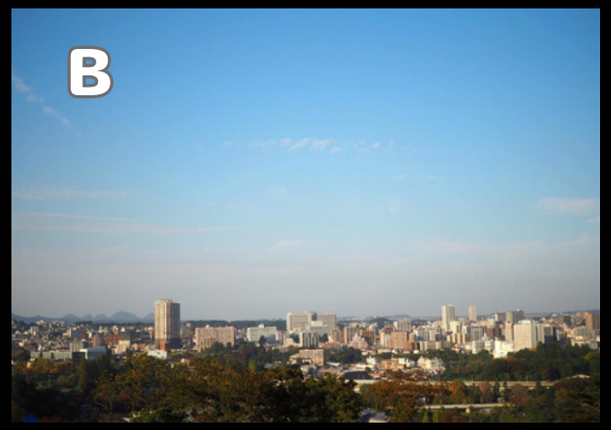
- 宇宙人に左右の違いを説明できるか



# どちらが反転していない本物？

# どちらが反転していない本物？

# どちらが反転していない本物？



# 自然界は鏡像対称性が保たれているか

人工

文字、ユーザーインターフェース等
利き手は心臓位置等体の対称性に関係している？

心臓の位置、巻貝の巻く方向
有機化合物に関係？

有機化合物
L- 旋光性のみ地球上の生命は用いる

素粒子

自然

# 自然界は鏡像対称性が保たれているか

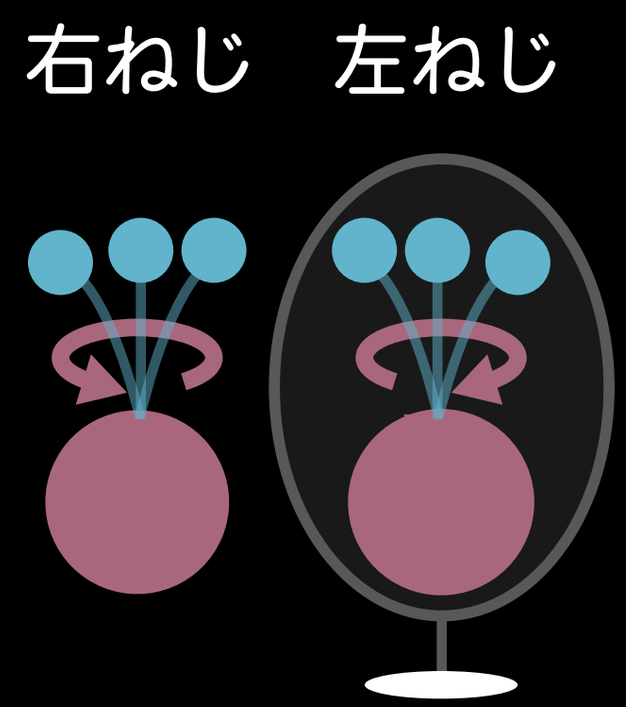
人工

文字、ユーザーインターフェース等
利き手は心臓位置等体の対称性に関係している？

心臓の位置、巻貝の巻く方向
有機化合物に関係？

有機化合物
L- 旋光性のみ地球上の生命は用いる

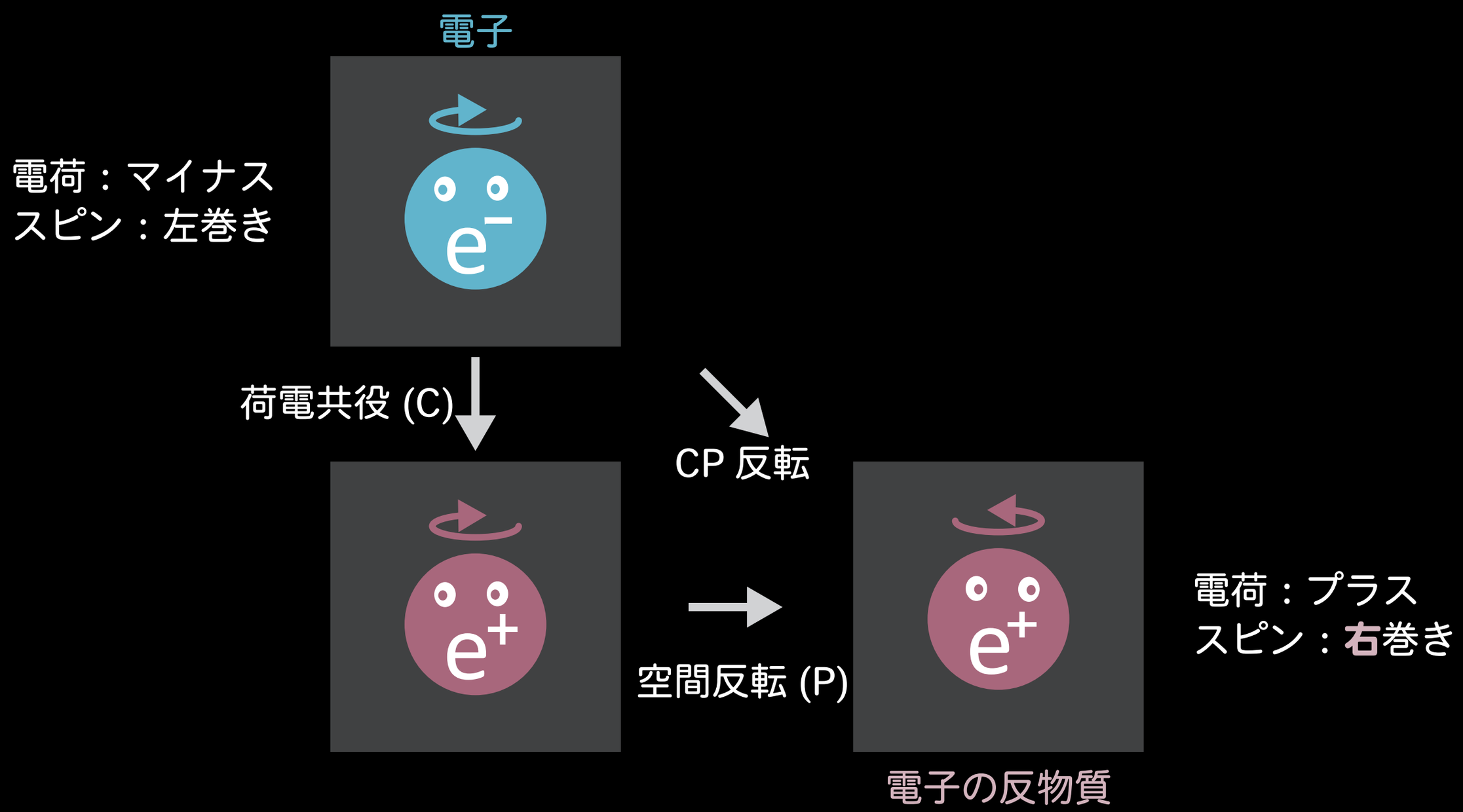
素粒子（弱い相互作用で対称性の破れ）
$Co^{60}$ は崩壊してスピンの方向が
**右ねじなる方向**に多く電子を出す
→ 鏡の世界では逆方向




自然

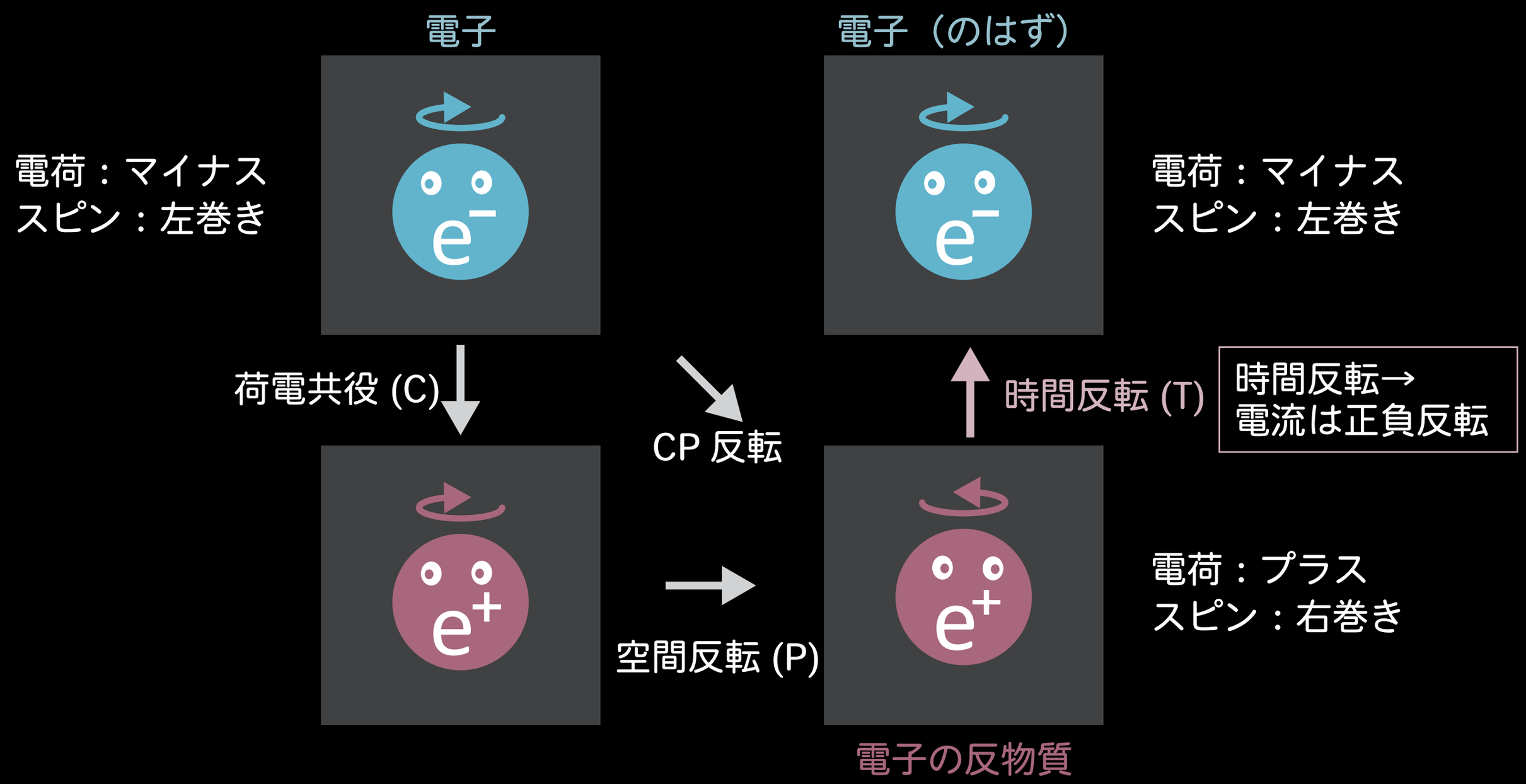
R.L. Garwin et al. Phys. Rev. 105, 1415(1957)

# 自然界は鏡像対称性が保たれているか




**CP 変換**に対して物理法則は普遍かを調べる
→Belle 実験（Ｂ中間子のＣＰ対称性の破れ）

# 粒子と反粒子で物理法則はどう区別する？




①時間反転対称性＝CP 対称性と思って調べてみる
②もしくは CPT 対称性自体を疑ってみる

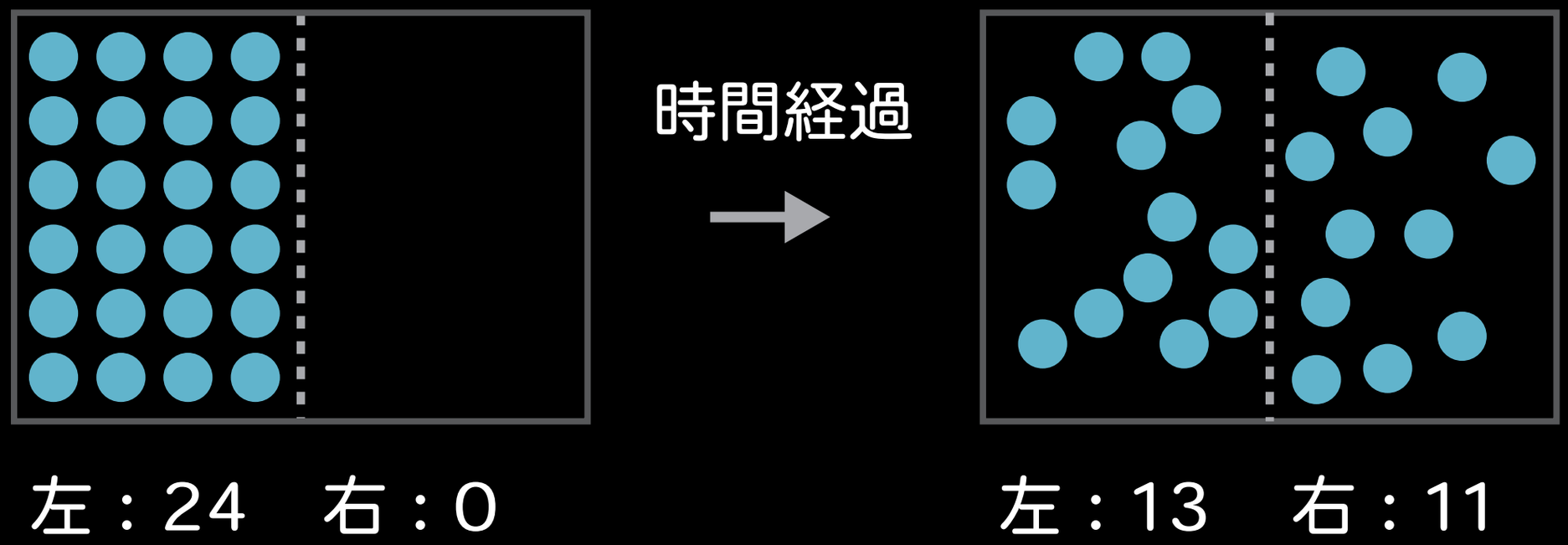
# 自然界は時間対称性が保たれているか

Lv1 の問題

Lv1 の問題

# 自然界は時間反転対称性が保たれているか

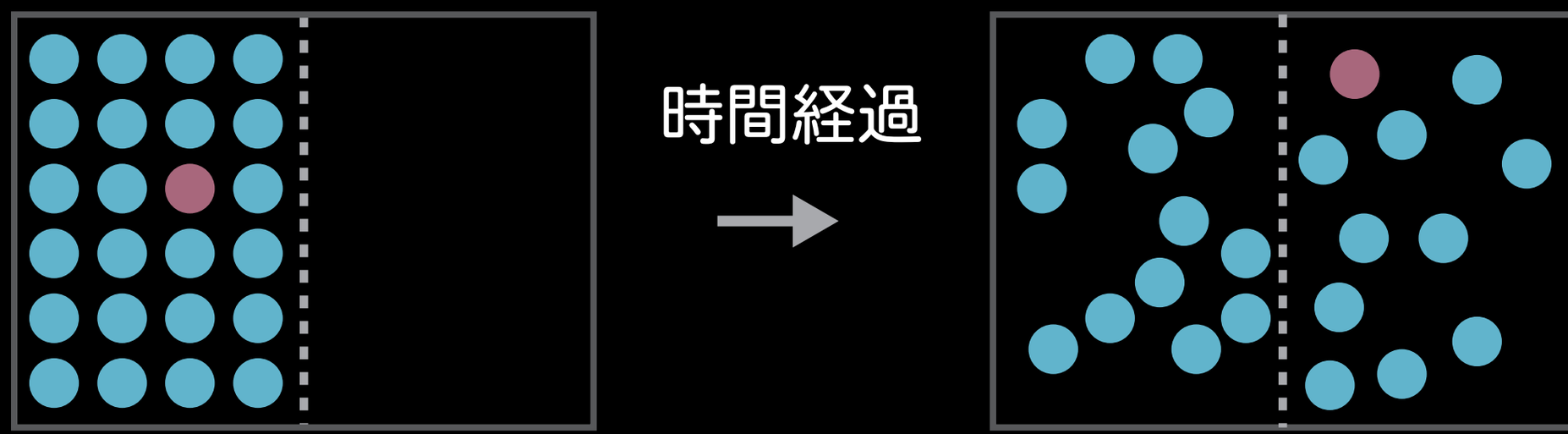
エントロピー（乱雑さ）は時間対称性を破る



# 自然界は時間反転対称性が保たれているか

エントロピー（乱雑さ）は時間対称性を破る

1 粒子は反転しても違和感ない




左：24　右：0
確率：$6 \times 10^{-6}$ %

左：13　右：11
確率：16 %

身の回りでは初期条件が特殊な（エントロピーが低い）だけ

→素粒子単体で時間反転対称性は保たれている？

# 自然界は時間反転対称性が保たれているか

もし電子に電荷の偏りがあり、電気的な方向（EDM）があったら・・

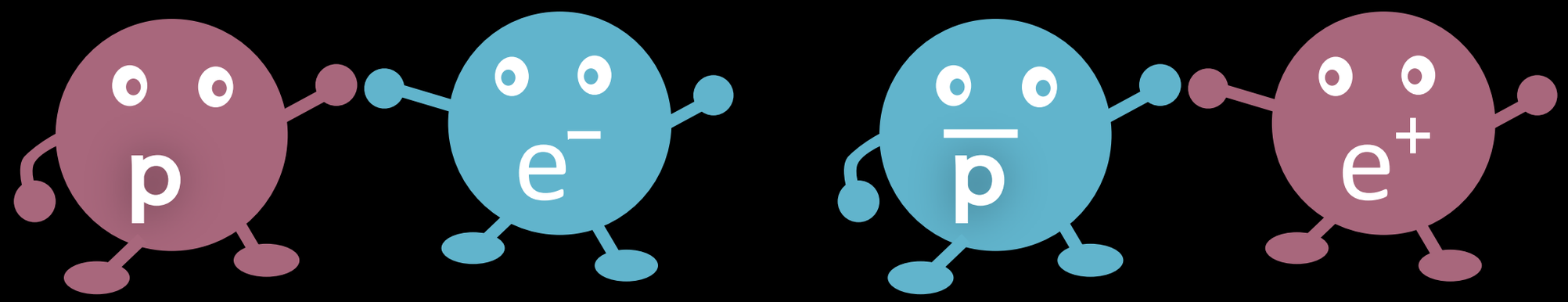
スピン：左巻き　　スピン：右巻き
電荷：上に偏り　　電荷：上に偏り

電場と磁場の両方に影響を受ける物理量は時間反転対称性を破る

・東北大サイクロセンターでやっている研究です
・今のところ両者に違いは見つかっていません

# 直接粒子と反粒子で比べちゃえばいいのでは？

水素と反水素を分光して結果を比較してみます

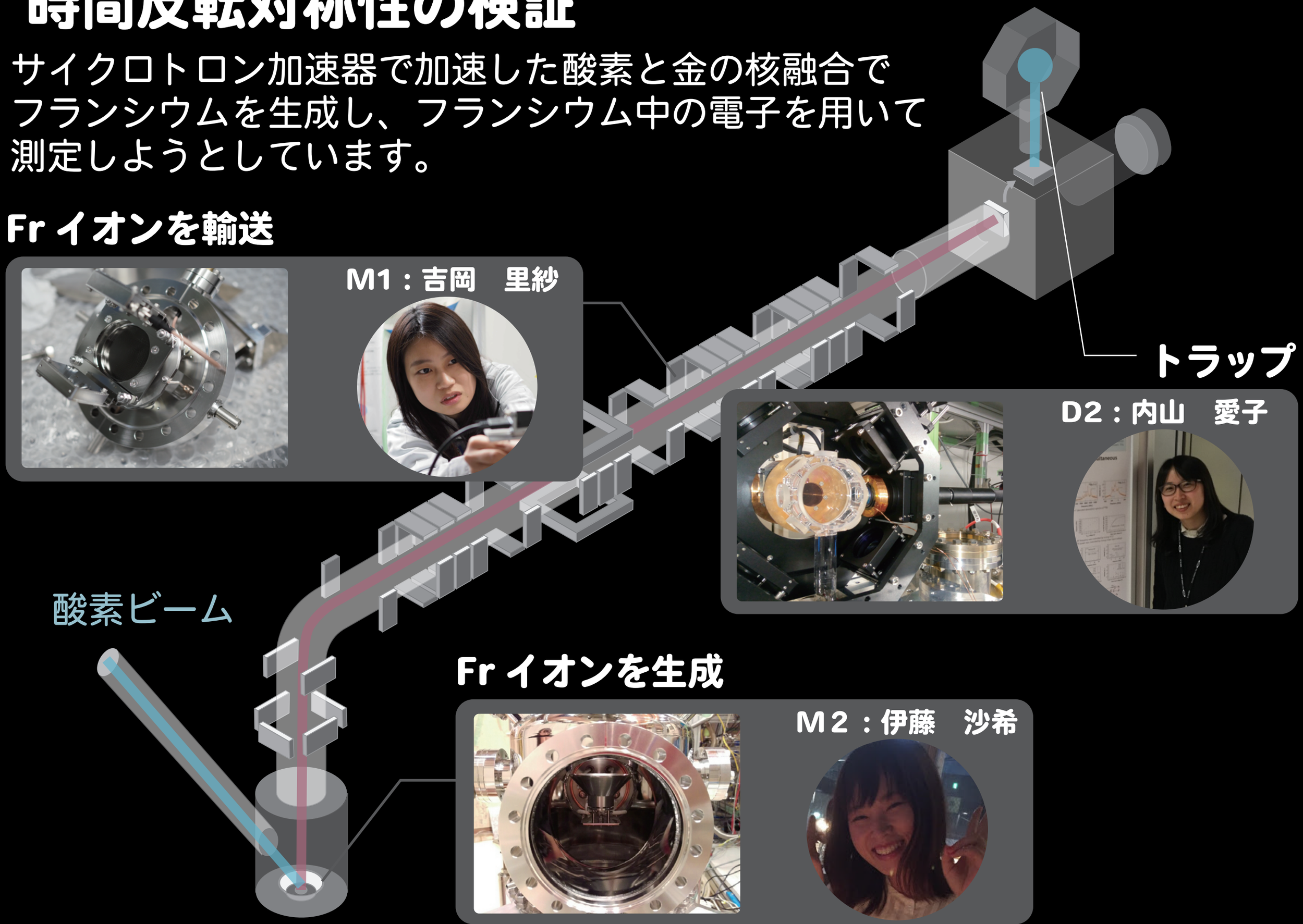



水素原子　　反水素原子

・CERN（ジュネーブ）でやっている研究です。
・今のところ両者に違いは見つかっていません。

# 時間反転対称性の検証

サイクロトロン加速器で加速した酸素と金の核融合で
フランシウムを生成し、フランシウム中の電子を用いて
測定しようとしています。



# 授業課題

ISTU 上に課題を載せました。

・課題１：授業アンケート（必須）
出すと評価 C、全部丁寧に書いてあると評価 B

・課題２：身の回りの対称性の破れをみつける
例１→ 鏡像非対称なものを写真を撮ってアップロード
例２→ 時間反転非対称な現象の逆再生動画を撮ってアップロード
題意通りの内容で評価 B、授業の素材に使えそうだと評価 A

・課題３：対称性の破れに関する論文を読んで A4 1 枚程度でレビュー
ISTU 上にいくつかおすすめの論文を載せました。
よく理解できていることが分かる内容で評価 AA