

2008年度ノーベル物理学賞 受賞理論入門

岡山光量子科学研究所

石本 志高

Ishimoto, Yukitaka

参考URL

<http://nobelprize.org/>

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/

清心女子高

Nov 2008



ノーベル物理学賞 2008

原子核内物理
(素粒子物理)における
自発的対称性の破れ
のメカニズムの発見に対
して

自然界に少なくとも **3世代のクォーク** が
あると予言する**対称性の破れ**の起源の
発見に対して



Photo: University of
Chicago

南部 陽一郎

🕒 賞の1/2

米国



Photo: KEK

小林 誠

🕒 賞の1/4

日本



Photo: Kyoto University

益川 英俊

🕒 賞の1/4

日本

ノーベル賞公式サイトより抜粋

受賞理由

なぜ私たちの宇宙は「無」でないのか？

なぜ沢山の素粒子(12+12+①)が存在するのか？

素粒子の内奥でいったい何が起きているのか？

これらを解き明かす糸口を発見したから。



対称性の破れ

- 自然界での対称性の破れ方を明らかにした(南部理論)
- ある対称性の破れからクォーク数を予言した(小林・益川理論)

Plan of the talk

- 2008年度ノーベル賞理論入門
 1. 自然界の隠れた対称性をあばけ
 - 対称性ってなに？
 - 物理理論での対称性って？
 - 宇宙と対称性
 2. 鏡の国で
 3. 見えてきたパターン(対称性)
 4. 鏡は砕かれた
 5. 砕かれた対称性が運命を決める
 6. 破れた対称性の謎を追え
 7. メゾン(中間子)工場が出した答え
 8. 対称性は、自発的な破れの下に
 9. ヒッグス粒子が質量を与える

1. 自然界の隠れた対称性をあばけ

対称性ってなに？



正六角形
の対称性

縦の軸(0度)、60度
の軸、120度の軸

30度の軸、90度の軸、
150度の軸

回転対称

(60, 120, 180, 240, 300)

*air in which these are generated
s fell and lodged on my coat.*

inity; so that not a snowflake

—Henry David Thoreau (1817–1862)

変換しても
形が変わらない

物理理論での対称性って？

ニュートン力学の3法則

1. 慣性の法則

外力がなければ運動(静止)状態を維持する(等速度運動)。

2. ニュートンの運動方程式

$$\frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \vec{F}.$$

3. 作用・反作用の法則

二つの間に働く力は一方に作用する力だけでなく、他方への反作用の力がある(大きさが等しく、方向が逆)。

ガリレイの相対性原理

直線に沿って等速度運動している場所ならどこでも、物理法則は等しい。絶対的な静止状態は存在しない。

⇒ ガリレオ変換しても

(変換: $x \rightarrow x + v_0 t$)

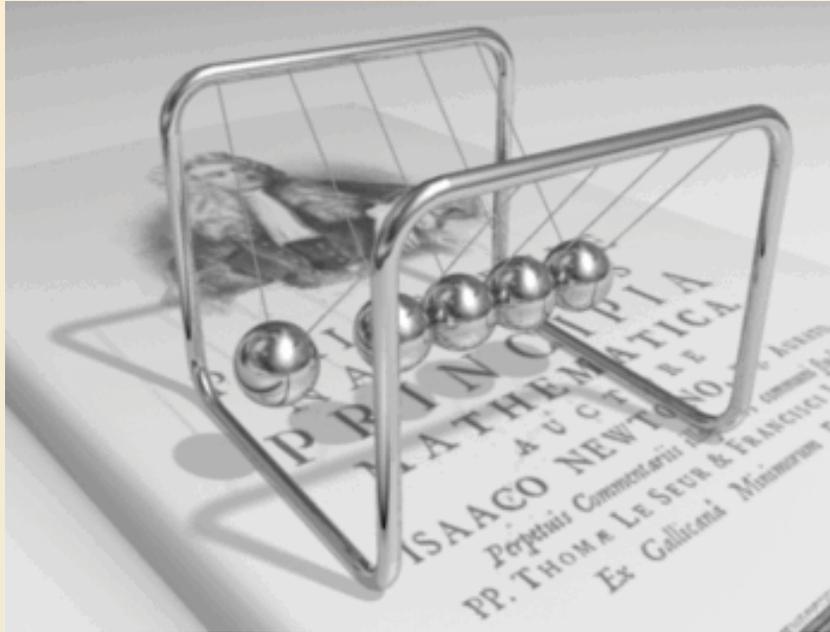
物理法則は変わらない。

運動量保存則(by デカルト)

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 V_1' + m_2 V_2'$$

空間反転・時間反転で変わらない。

分かりやすく運動量保存則な例



ニュートンのゆりかご

By DemonDeLuxe (Dominique Toussaint) at Wikimedia Commons.

宇宙と対称性

正粒子と反粒子の間にも対称性がある。

ex. $e^- \leftrightarrow e^+$ (電子と陽電子)

光子から対生成される。 $2\gamma \rightarrow e^- + e^+$

光子に対消滅もする。 $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$

約137億年前のビッグバン直後....、

もし正粒子と反粒子が同数作られていたら
宇宙には光以外残らなかった....。

- 宇宙の観測から、宇宙初期には
(クォーク数):(反クォーク数) = 10億1:10億
→ 対消滅を起こして、10億分の1のクォークのみ残った！

破れた対称性の産物 = ●●●●

2. 鏡の国で Through the looking glass

物理学の課題：自然界の対称性の法則の発見

対称性を見つければ世界が分かる!?

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

左右対称なのは

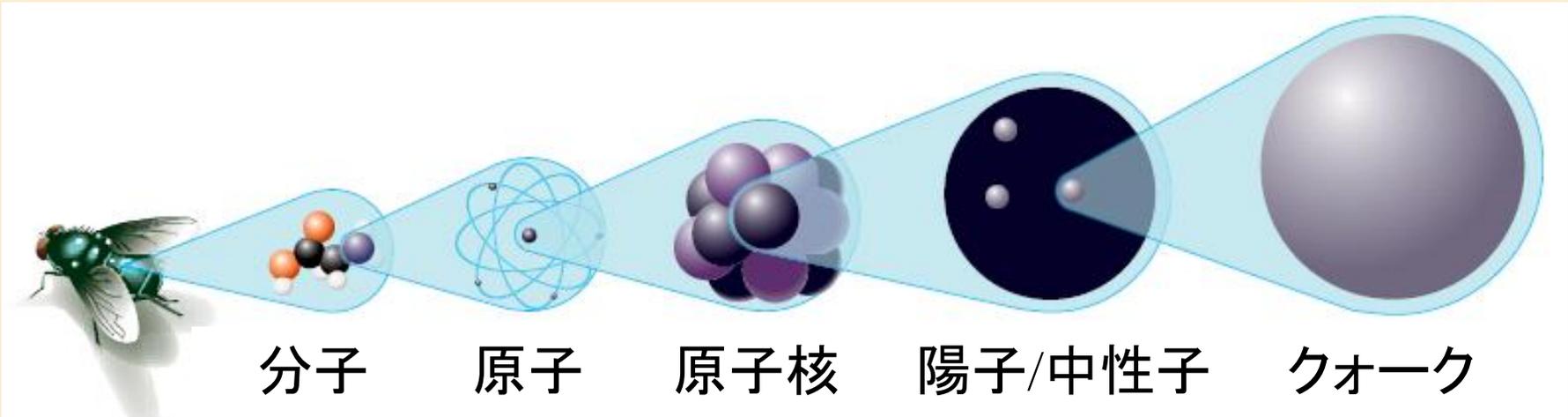
A HI M O TUVWXY

それ以外は対称性が壊れている(破れている)。

素粒子の世界の基本的な対称性：

C (Charge: 電荷)、P (Parity: 空間反転)、T (時間反転)

3. 見えてきたパターン(対称性)



素粒子の標準模型

	第1世代	第2世代	第3世代		力	媒介する粒子
レプトン	電子 ニュートリノ	ミューオン ニュートリノ	タウ ニュートリノ	ヒッグス 粒子?	電磁気力	光子
	電子	ミューオン	タウ		弱い力	W, Z
クォーク	up	charm	top		強い力	グルーオン
	down	strange	bottom			

4. 鏡は砕かれた

素粒子の世界の基本的な対称性：

C (Charge:電荷)、P (Parity:空間反転)、T (時間反転)

◆ 数学的定理より、CPT対称性はある！

C対称性はそもそも破れている。

1956年 P対称性の破れが弱い力で発見された。

(T. D. リー氏とC. N. ヤン氏、1957年ノーベル賞)

しかし、CP対称性(とT対称性)があれば、

粒子・反粒子対称性が回復(1957年ランダウ氏提唱)

5. 砕かれた対称性が運命を決める

◆ **CP対称性**とは・・・電荷と運動方向を反転させたものが同じ＝電流、磁界などが同じ

飛び込んだ鏡の国で正粒子と反粒子がひっくり返っていても、物理法則は全て同じ。

反粒子の宇宙人に出会っても分からない。



1964年 **CP対称性の破れ**発見。
(J. クローニン氏とV. フィッチ氏、
1980年ノーベル賞)

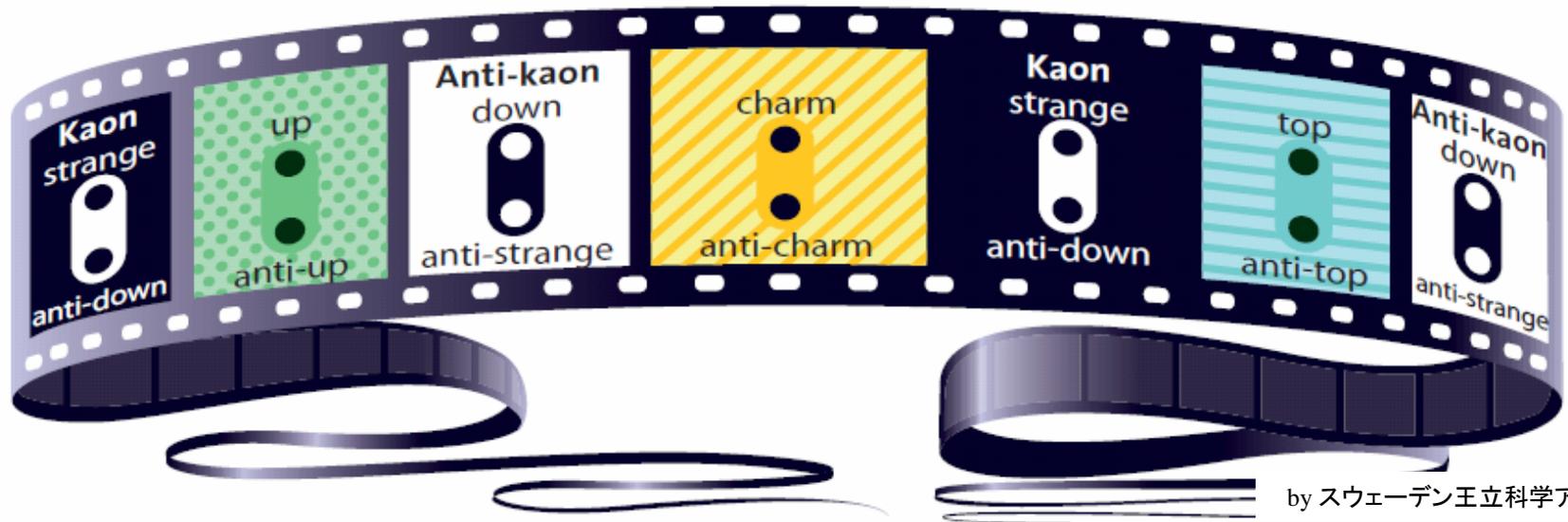
出会っても分かる(^-^)

6. 破れた対称性の謎を追え

1972年 **CP対称性の破れ**の起源を
クォーク3世代模型の
3x3行列の中に発見。
(小林氏と益川氏、2008年ノーベル賞)

CP対称性の破れを説明するには、
クォーク3世代(計6個)用意し、
各世代の down クォークに対応する
計3つのクォークが混ざる必要がある。
(クォークの混合 - mixing)

6. 破れた対称性の謎を追え



CP対称性の破れが見えるK中間子(4種)はクォークと反クォークでできている。弱い力(W, Z)がこれを随時入れ替える。

$K \leftrightarrow \text{反}K$

この際、クォーク3世代の down, charm, bottom が混ざりあう \Rightarrow CP対称性の破れ。

7. メゾン(中間子)工場が出した答え

通常物質は第1世代だけでできている。
なぜ第2世代、第3世代まで必要なのだろうか？

小林・益川理論⇒CP対称性の破れに必要

キラキラと星が光る宇宙を創るのに必要だった。

CPの破れはBメゾン(中間子)でも見える。
2001年、米国SLAC加速器のBaBar測定器、
日本のKEK加速器(つくば)のBelle測定器
共に小林・益川理論を立証。

⇒標準模型(クォーク部)の実験的完成 .

8. 対称性は、自発的な破れの下に

標準模型：6クォーク＋6レプトン＋3つの力

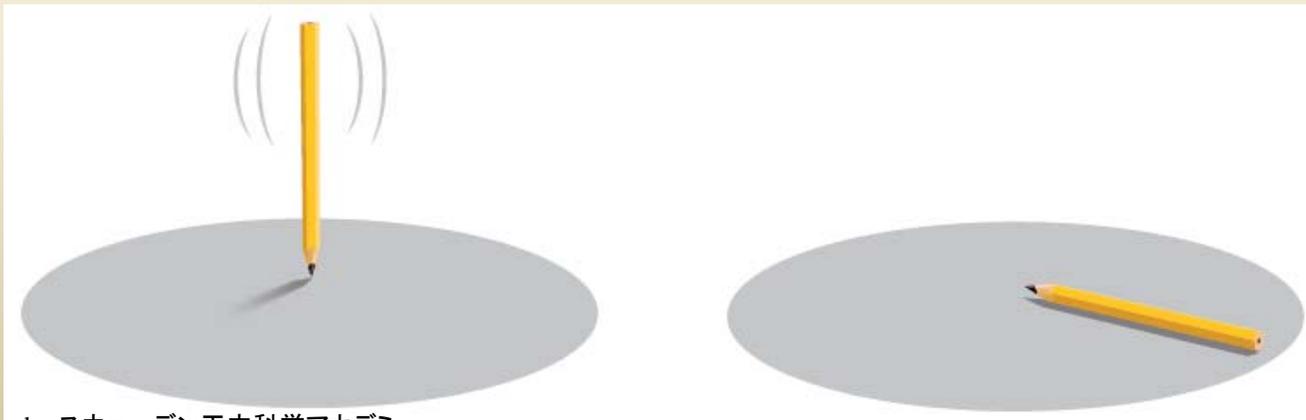
なぜ3つの力はこんなに違うの？

なぜクォーク・レプトンの質量は違うの？

(topクォークは電子の30万倍重い)

ヒッグス機構でいくつかを説明できる。

ヒッグス機構・・・**自発的対称性の破れ**の一例
で、1960年に発表された**南部理論**の産物。



9. ヒッグス粒子が質量を与える

南部理論: 温度が下がると、対称な真空が自然に不安定となり、対称性の壊れた新たな真空に移る（**自発的対称性の破れ**）。

同時に対称なペア粒子が、質量のある粒子と質量0の粒子に分離する（**南部・ゴールドストーン定理**）。

質量をもった**ヒッグス粒子**があるはず。

ビッグバン (全粒子の質量0)

⇒ CPの破れ、ヒッグス粒子の発生

⇒ 素粒子が質量獲得、銀河団形成

未解決問題: 各質量の予言, ヒッグス粒子の発見, 超対称性, 重力との統一 (超弦理論?), 4次元, etc.

最後に

ノーベル賞受賞講演 12/8 17:00~19:05ぐらい(日本時間)

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/

サイトの右の方に出ている、名前の中の“Nobel Lecture”をクリックすれば多分見れる。それぞれ40分ずつの講演。スウェーデンとの時差は8時間(夏は7時間)。

※南部博士は講演しないかも。

原論文たち:

Original scientific articles

M. Kobayashi, T. Maskawa: "CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction". Progress of Theoretical Physics 49 (1973) sid. 652-657.

Y. Nambu, G. Jona-Lasinio: "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity II", Physics Review 124 (1961) sid. 246.

Y. Nambu, G. Jona-Lasinio: "A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity I", Physics Review 122 (1961) sid. 345.