

素粒子から交通流 そして経済物理へ



2008年10月11日
サイエンスカフェ
南部・小林・益川ノーベル賞
(10月7日発表)

今日は、
南部・小林・益川の話を
期待してますね？
これを主に、後少し
私の話をします。



Press Release



KUNGL.
VETENSKAPSAKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

7 October 2008

[The Royal Swedish Academy of Sciences](#) has decided to award the Nobel Prize in Physics for 2008 with one half to

Yoichiro Nambu

Enrico Fermi Institute, University of Chicago, IL, USA

"for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics"

and the other half jointly to

Makoto Kobayashi, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Japan

and

Toshihide Maskawa, Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto University, Japan

"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"

Passion for symmetry

The fact that our world does not behave perfectly symmetrically is due to deviations from symmetry at the microscopic level. As early as 1960, **Yoichiro Nambu** formulated his mathematical description of spontaneous broken symmetry in elementary particle physics. Spontaneous broken symmetry conceals nature's order under an apparently jumbled surface. It has proved to be extremely useful, and Nambu's theories permeate the Standard Model of elementary particle physics. The Model unifies the smallest building blocks of all matter and three of nature's four forces in one single theory.

The spontaneous broken symmetries that Nambu studied, differ from the broken symmetries described by **Makoto Kobayashi** and **Toshihide Maskawa**. These spontaneous occurrences seem to have existed in nature since the very beginning of the universe and came as a complete surprise when they first appeared in particle experiments in 1964. It is only in recent years that scientists have come to fully confirm the explanations that Kobayashi and Maskawa made in 1972. It is for this work that they are now awarded the Nobel Prize in Physics. They explained broken symmetry within the framework of the Standard Model, but required that the Model be extended to three families of quarks. These predicted, hypothetical new quarks have recently appeared in physics experiments. As late as 2001, the two particle detectors BaBar at Stanford, USA and Belle at Tsukuba, Japan, both detected broken symmetries independently of each other. The results were exactly as Kobayashi and Maskawa had predicted almost three decades earlier. A hitherto unexplained broken symmetry of the same kind lies behind the very origin of the cosmos in the Big Bang some 14 billion years ago. If equal amounts of matter and antimatter were created, they ought to have annihilated each other. But this did not happen, there was a tiny deviation of one extra particle of matter for every 10 billion antimatter particles. It is this broken symmetry that seems to have caused our cosmos to survive. The question of how this exactly happened still remains unanswered. Perhaps the new particle accelerator LHC at CERN in Geneva will unravel some of the mysteries that continue to puzzle us.

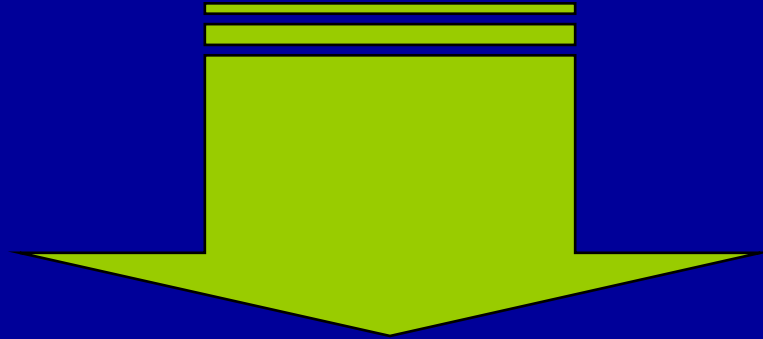
Prize amount: SEK 10 million. Nambu receives one half and Kobayashi and Maskawa share the other half.

ちょっとちがうんだけどな・・・



科学は推理小説のよう

事件がおきる



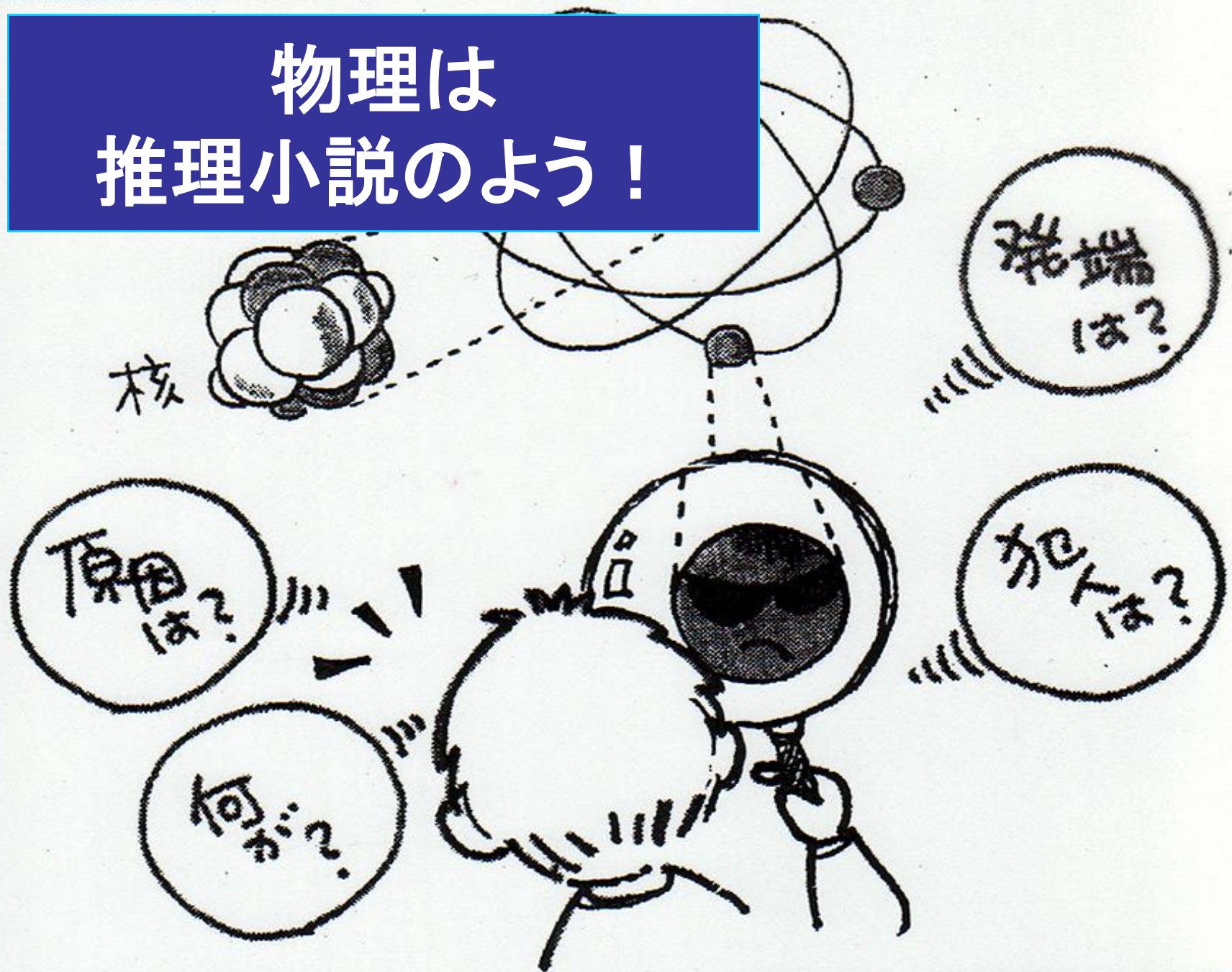
- 犯人の候補を推測(仮説)
- 証拠を探す
- 犯人を1人に追い詰める
- 犯人を確定(真理)

科学の推理小説・・・ 犯人を見つけるには



- 10年から100年かかる！
- 解決したと思ったら・・・
- 次の推理小説の始まり

物理は 推理小説のよう！



素粒子論

宇宙のあらゆるものを作っている
基の粒子

人間のものを見る目が進歩すると
素粒子とは何かが違ってきた

ものはなにからできているか

あらゆるものは原子からできている

原子論：デモクリトス

対 アリストテレス

原子論に対する反論

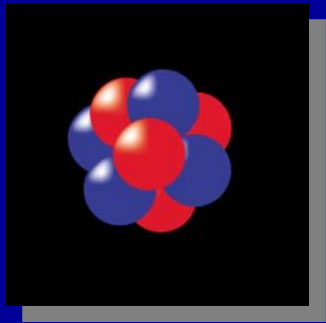
物を燃やすと熱が出る

- 1 空気が原子からできている
→ 下に落ちるはず
- 2 真空はないはずだ
→ 何らかのものがあるはず
- 3 水をいくら分けても水である

論理的におかしいところ

湯川！真空があるから運動がある
木を燃やすとなくなるのか？

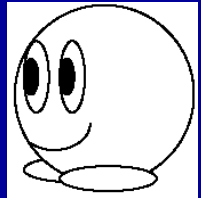
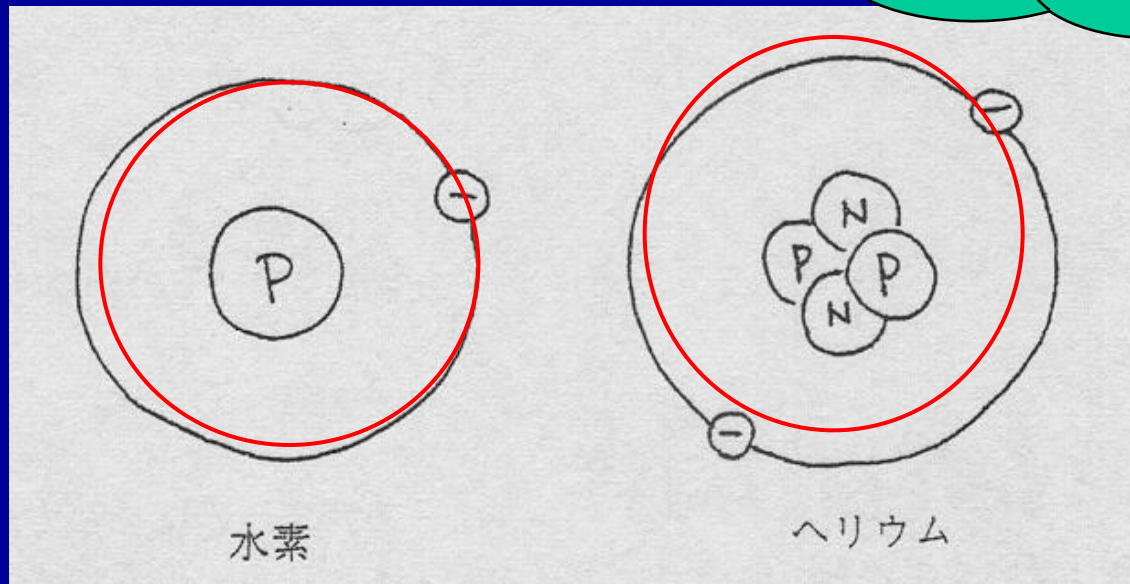
そして・・・ 原子核にも構造がある



原子核

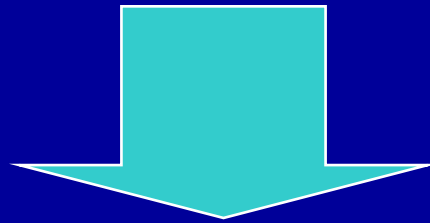
10^{-15} m

原子の大きさは
約100000倍だよ



ものはなにからできているか

中世：
発熱・発光・燃焼→悪魔のわざ



物は原子からできている
→ 近代的な原子の構造(ドルトン)

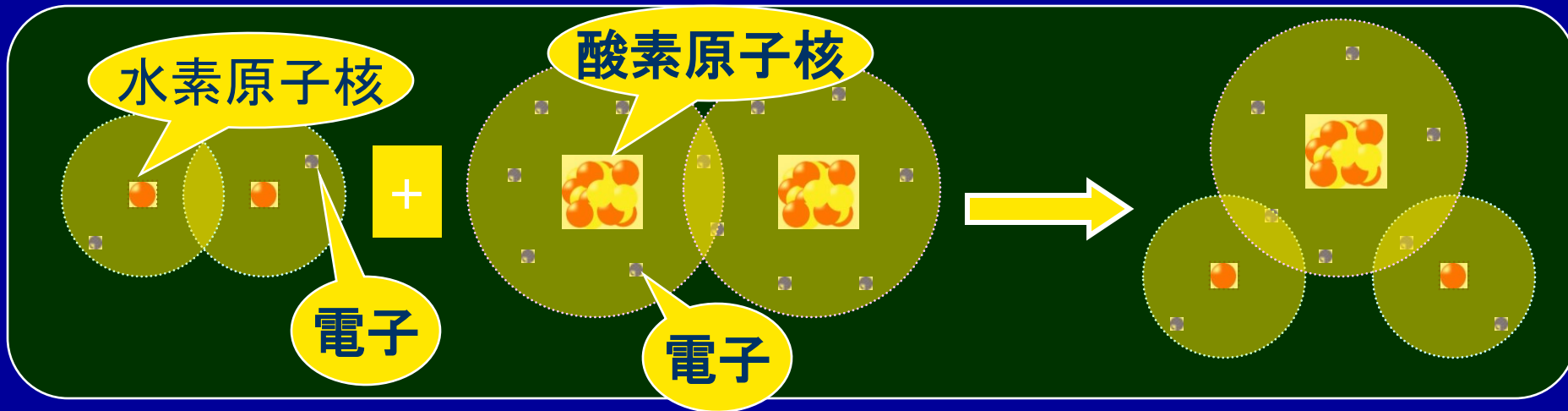
中世：発熱・発光・燃焼→悪魔のわざ

ドルトンから始まる化学の時代

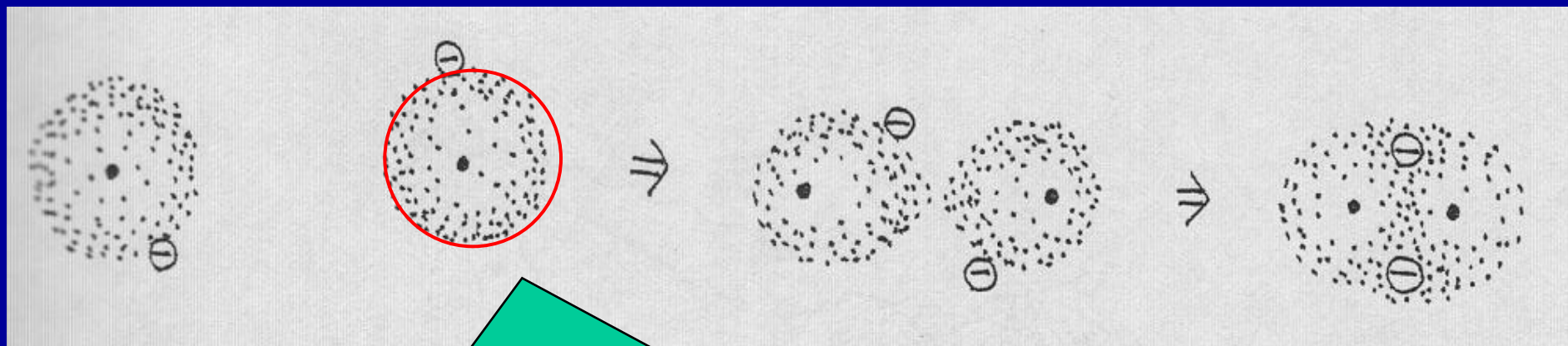
物を燃やすと熱が出る

燃焼→→

水素 + 酸素 → 水 + エネルギー



化学反応は電子が主役！

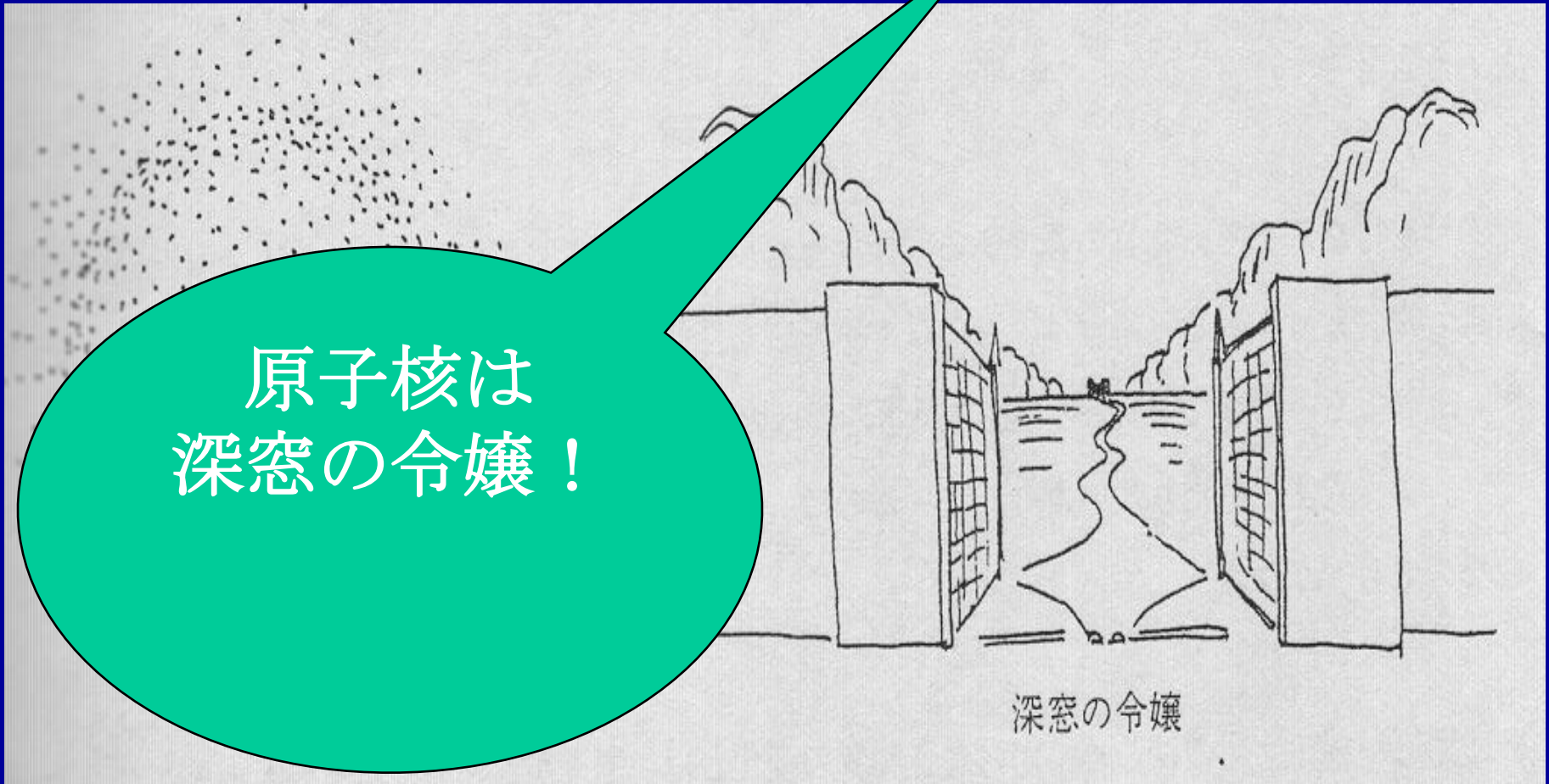


原子の大きさ→ 10^{-10} m
原子核の大きさ→ 10^{-15} m

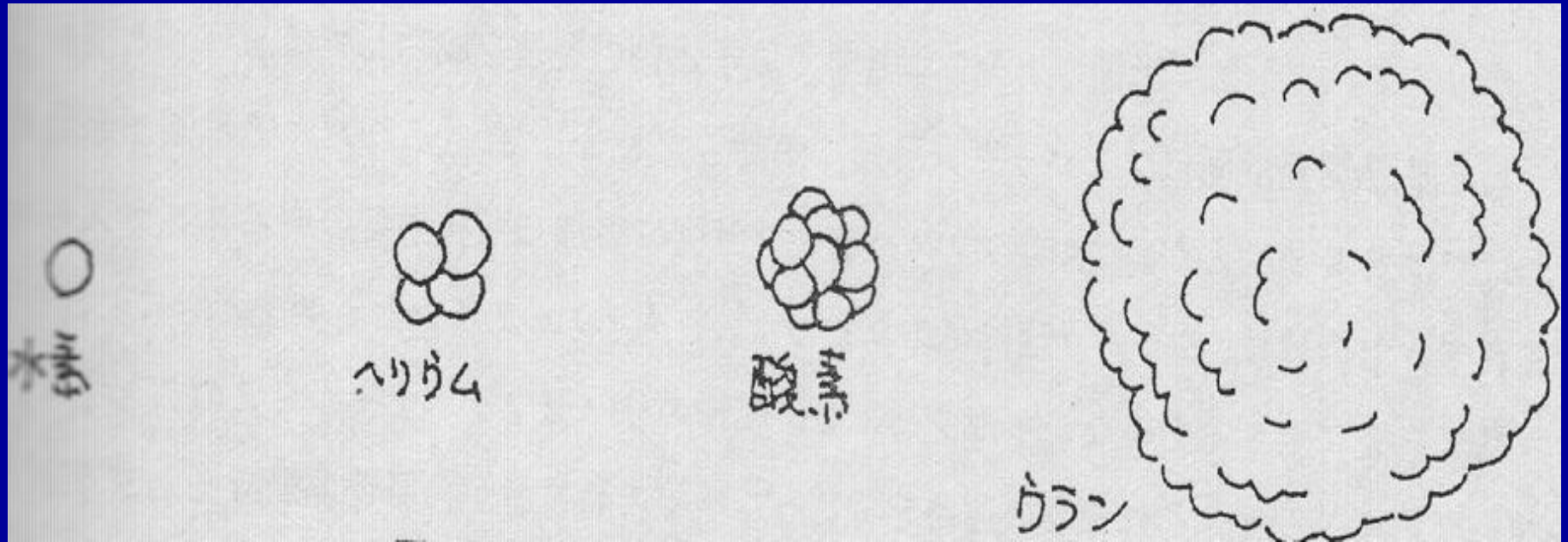
原子核の中は??

原子核は
深窓の令嬢！

深窓の令嬢



原子核は 陽子と中性子のあつまり！



物質の究極的構成物質

原子 素粒子 クォーク

現在の素粒子は????

- 2008年ノーベル賞受賞の話
- 南部陽一郎 小林誠 益川敏英
- 2002年 小柴昌俊ノーベル賞
ニュートリノ天文学→ニュートリノ素粒子論

南部： 愛知大学にこられたことがある
素粒子論のヨハネ

時代のなかでの素粒子像

アトム⇒⇒⇒ 化学反応 ⇒ 核反応 ⇒ 素粒子反応

原子・分子

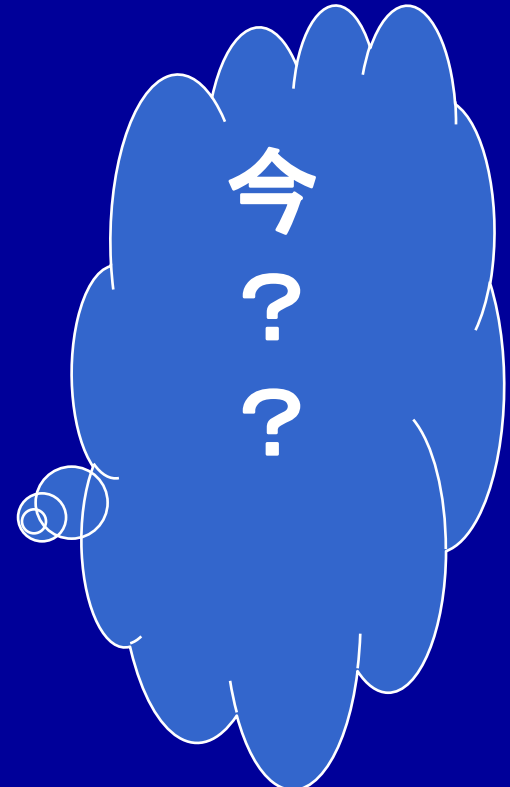
原子核

素粒子

十九世紀

二十世紀

今？？



ギリシャ時代

天も地も同じ法則に従う

人も宇宙も原子からできている

原子の種類→元素

- 水素からウランまで100種を超える
- もっと「基があるはず」
- 陽子と中性子からできている原子核
- 周りを飛び回っている電子

ミクロの世界

素粒子とは？

物はなにからできているか

はじめ、素粒子というと

陽子・中性子

と

電子・ニュートリノ

と

光子

だけだった！！！！

それでは.....

陽子と中性子を

素粒子

Elementary particle

と呼ぼう(湯川先生の命名)

Sakata Model

から

Nagoya Model



CKM mixing

- 1963 Cabbibo
- 小林、益川両氏は1973年、素粒子のクォークは少なくとも6種類あり、互いに変身し合うとの「小林・益川理論」を発表したが、カビボ氏はこれに先立つ63年に「3つの場合」について、その間の関係を考えてことがある
- しかし、小林益川の基礎となったのはGell-Man Levy の「mixing」という基礎となる考え方のほうが大切だった。

物を作る基

- ハドロン

陽子(P)と中性子(N) (P N)

電気 + と 中性

性質: 強い力で原子核の中で結合している
お互いに変換しあう($N \leftrightarrow P$)

- レプトン

電子(e)とニュートリノ(ν) (ν e)

電気 - と 中性

性質: 弱い力と電磁力のみ

物を作る基

- ハドロン(強い力)
 (P N)
電気 (+ 0)

- ・ レプトン
 (v e)
電気 (0 -1)

ところが.....

素粒子もまたまた種類が増えた

奇妙な粒子→(Λ :ラムダ)

レプトン→(μ :ミュー)

物を作る基

- ハドロン(強い力)
電気 (P N) + (? Λ)
(+ 0) 0
(Q+1, Q)
- レプトン
(v e) + (? μ)
電気 (0 -1) -1
(Q+1, Q)

専門は？

主に統一理論・ニュートリノを研究

ニュートリノの実験は
理論もがんばら

物質科学

物は何からできているか？

宇宙科学

宇宙のはしはあるのか？

生命科学

生きるってどういうこと？

脳科学

考えるってどういうこと？

社会科学
人文科学

人間の世界？？？

Nagoya Model

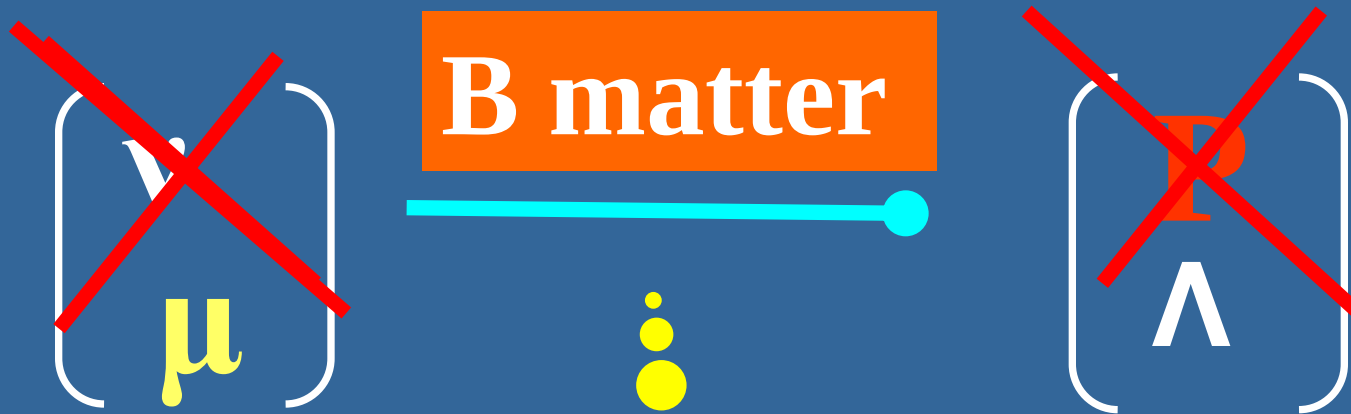


アルコールを飲むと
強くなる！！！！

Kiev Symmetry

Nagoya Model

3番目の粒子



アルコールを飲むと
強くなる！！！！

Kiev Symmetry

ちょっと昔のことを・・・

1963年頃（M2のころ） 2ニュートリノの発見

ニュートリノとクォークの対応

⇔小林－益川

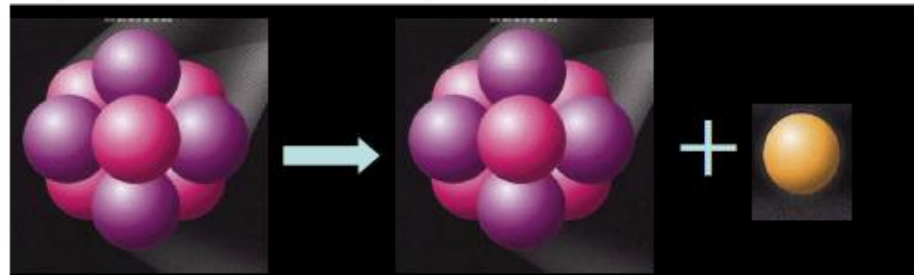
へつながった！！！！

ニュートリノの存在の予言



W.Pauli

観測されていた原子核反応



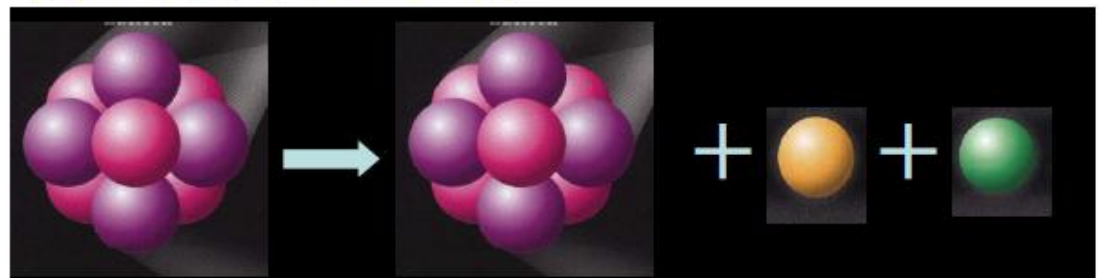
原子核

別な原子核

電子

なぜか、この反応ではエネルギーが保存していない ??? ?

実は、、、(1930年)



原子核

別な原子核

電子

ν

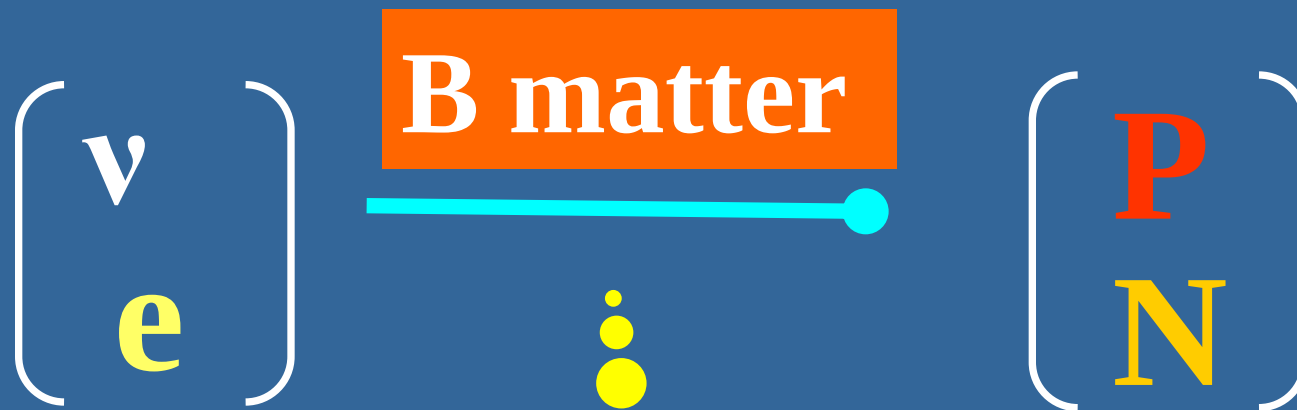
私がM2の頃

- 又新しい粒子が見つかった！

2種のニュートリノ

$$\nu_e \quad \nu_\mu$$

第1カップルに加えて・・・



アルコールを飲むと
強くなる！！！！

Kiev Symmetry

Nagoya Model

3番目の粒子

ここは??



B matter



アルコールを飲むと
強くなる!!!

Kiev Symmetry

P'バリオンがない？？

相殺して見えない？

複雑なメカニズム？

いいえ

みんな違って自然は簡単だった！！！！

丹生イベント(1971)

チャームクォークを宇宙線で見つける

第4番目→第2世代

名古屋

小川修三・牧二郎・原康夫

→小林・益川



名古屋グループは
信じていた！

第2世代までは名古屋はバリアはなかった

丹生粒子(ζ) $\rightarrow$ 4元模型

チャームクォークを宇宙線で見つけた

第4番目 $\rightarrow$ 第2世代

名古屋 $\rightarrow$ 小林・益川は・・・

4つの粒子を6つに $\rightarrow$ 2つのペア 第1
世代・第2世代

世代という概念に行き着いていた

・・・2世代を3世代に！

京都へ・・・誰がこれに気がついた？

少数派 湯川講義：

国際的に理論の準備はできていた
皆が気がつかなかっただけ！

- 1960 M. Gell-Mann M. Levy(current 保存則)
- 1964 Cronin CPの破れ
- 1967 Weinberg Salam (1970:ノーベル賞)
- 1971 t'Hooft Yang-Mills: 繰り込み可能性

1964年 CPの破れ発見

- ジェイムズ・クローニン: アメリカの物理学者

1980年に、ヴァル・フィッチと共に中性K中間子崩壊におけるCP対称性の破れの発見によりノーベル物理学賞を受賞した。

CP非保存は1972年 CPの破れを入れる模型

- どうしたら、自然に入る模型が作れるか？
- KM 行列 (3×3) ならOK

Next we consider a 6-plet model, another interesting model of CP -violation.
Suppose that 6-plet with charges $(Q, Q, Q, Q-1, Q-1, Q-1)$ is decomposed into

九後さんの記事

・「6種類のクォークなんてとても信じられない」。世界が認めた「小林・益川理論」が最初に披露された36年前の京都大研究室のセミナー。約20人の学生は、それまでの常識を覆す斬新なアイデアに首をかしげた。当時、大学院生だった京都大基礎物理学研究所の九後(59)は、「今思えば、まさに歴史が変わった瞬間だった」と振り返った。昭和47年9月、通称「湯川研」と呼ばれる京都大ソリューション研究室で、夏休み明けの研究員らに学術誌に掲載前のガリ版刷りのプリントが配られた。

週1回定例で開かれていた研究室のセミナー。その日の発表者は当時の助手、小林誠だった。
「クォークが6種類？」。
プリントを見た20人の研究員は目を疑った。当時、クォークは3種類以上はないというのが通説だったからだ。

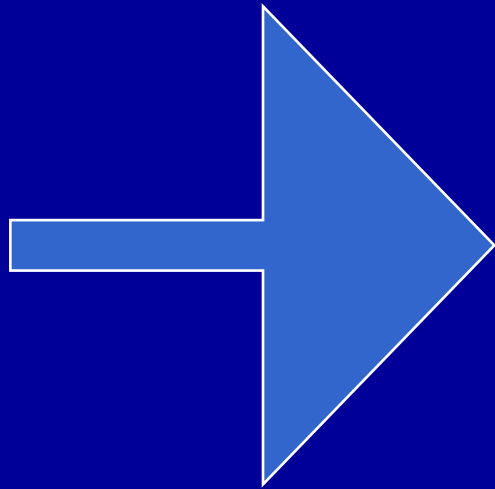


日本人としては・・・

- 第3まで見つかっていた
ともしノーベル委員会が書いていたら・・・
- 私は抗議したい・・・
- だって、名古屋の人々は、4番目は信じていたはず・・・・・・・・
- イタリアの Cabbibo も確かに言ったが、
それよりゲルマンの方が影響は大

ところで...

陽子・中性子・ π 中間子の
仲間は200種を越えた！



湯
川
先
生

こんなにあると、
素粒子とはいえないね

クォークからできている同じ仲間

クォークへの未知 バリオンとクォークの対応

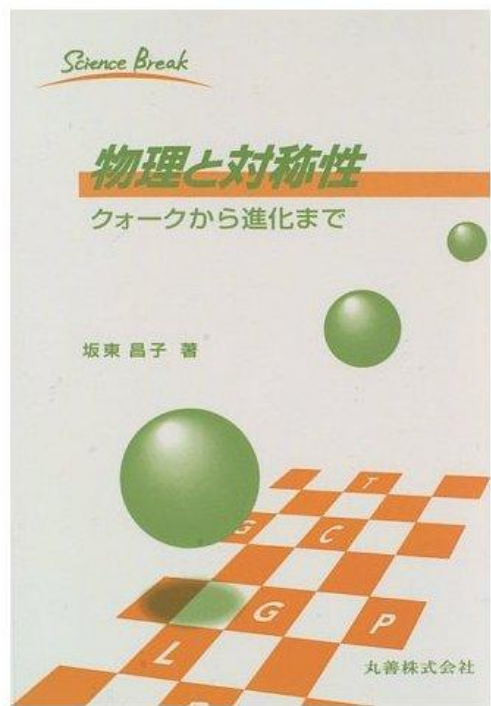
- ハドロンの数が増えた！
- ハドロンはクォークからできている！

実は、名古屋はここでは負けたのだ！

eight-fold way (八道説)

Gell-Mann Zweig Quark Model

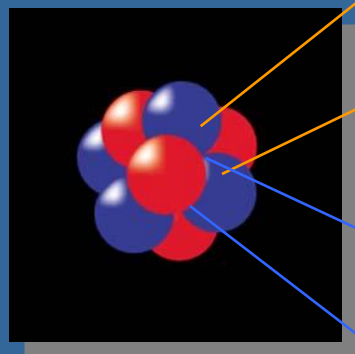
物理と対称性—クォークから進化まで



物理と対称性対称性という概念は、近代物理学の進歩の原動力として大きな役割を果たしてきた。これに異論を唱える人はいないだろう。本書は、物理分野に留まらず、生物分野にまでメスを入れた意欲作である。著者は言う—クォーク、素粒子、原子、分子、そして**DNA**、対称性は自然のあらゆるところに顔を出す。さらに宇宙・生物の進化の謎を解く鍵は対称性の破れにあると…。

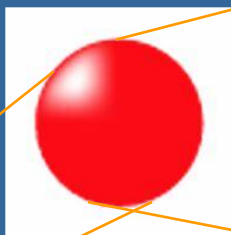
対称性は謎解きの優れた道具なのだ。

すみません
一寸宣伝させて下さいね。
自慢じゃないけど…
これほど分りやすく書いた
本はそうありません。

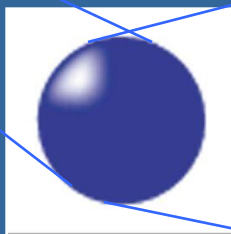


原子核

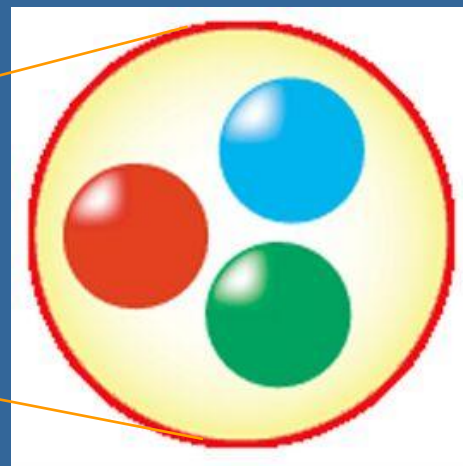
10^{-15} m



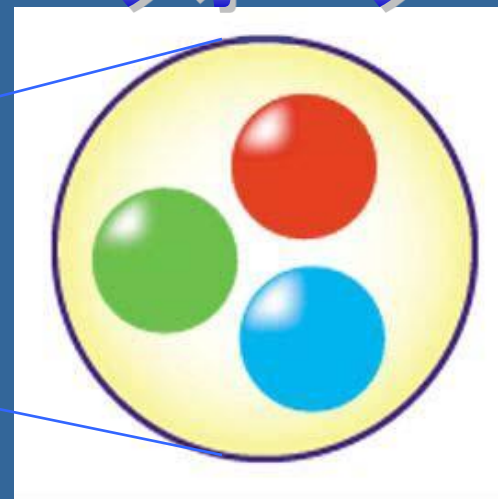
陽子



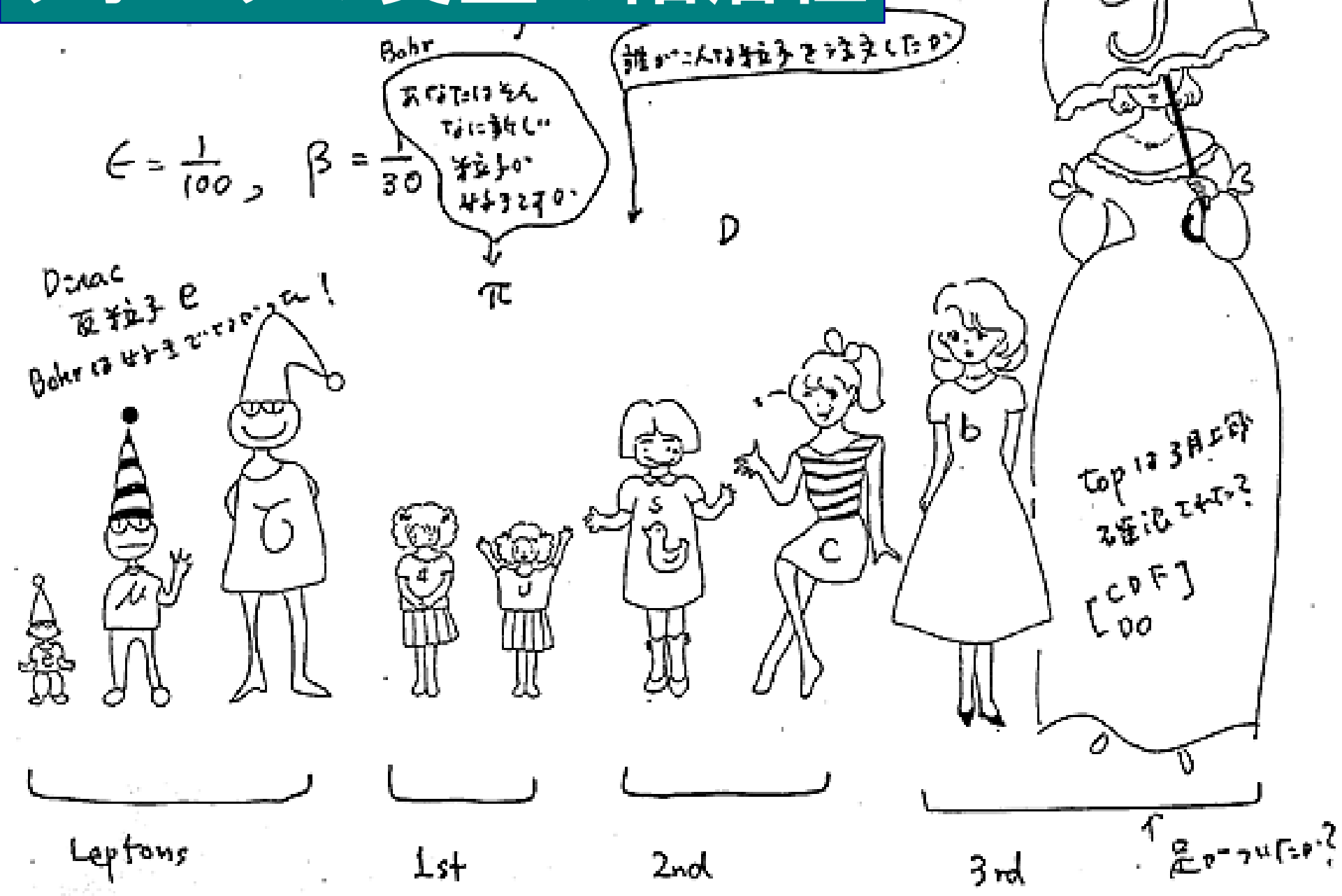
中性子



クォーク



クォークの質量の階層性



3つのグループがある



素粒子の世代問題

ニュートリノはヒントを与えた

size in atoms

and in meters

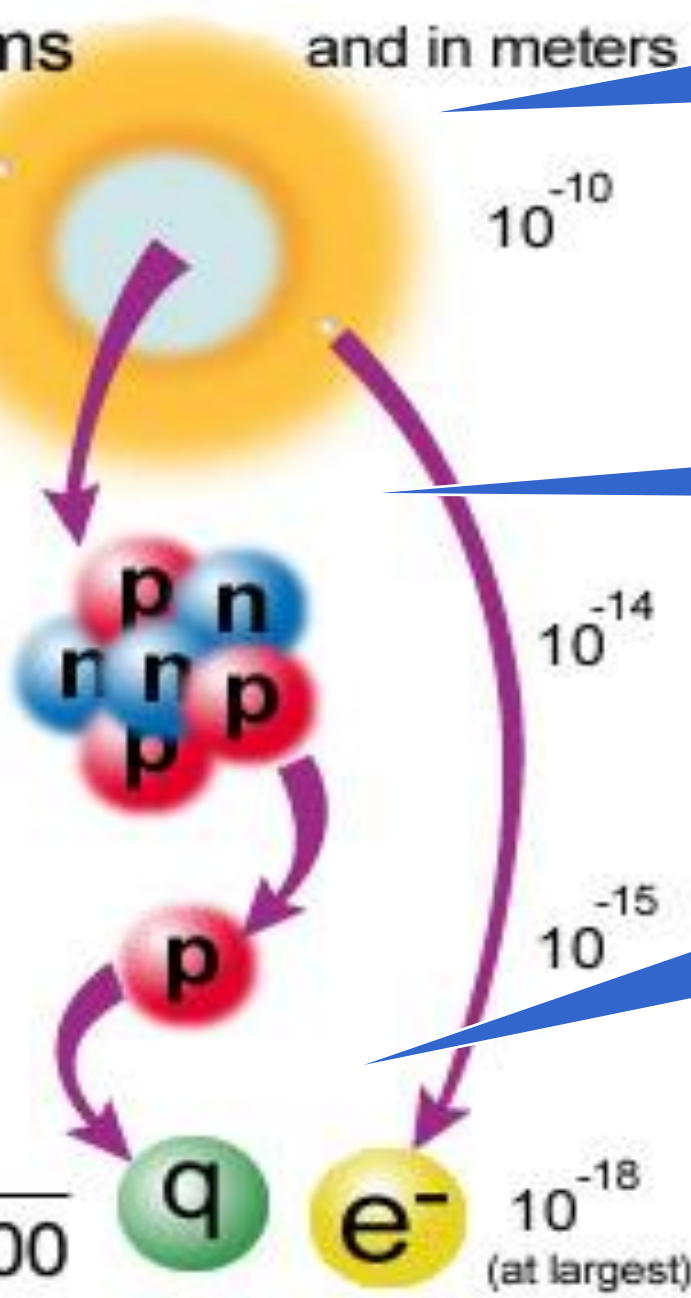
1

10^{-10}

$\frac{1}{10,000}$

$\frac{1}{100,000}$

$\frac{1}{100,000,000}$



原子

原子核と電子

原子核

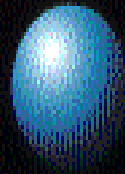
陽子
中性子

クォーク

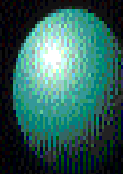
素粒子には3つの世代がある

third)

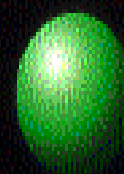
レプトン：LEPTON



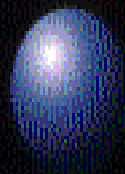
電子ニュートリノ
electron neutrino



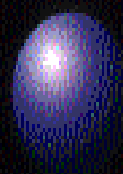
ミューニュートリノ
muon neutrino



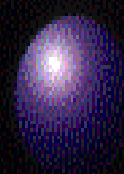
タウニュートリノ
tau neutrino



電子
electron



ミューオン
muon



タウオン
tauon

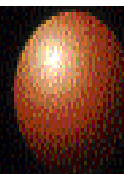
クォーク：QUARK



ダウン
down



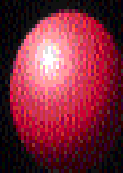
ストレンジ
strange



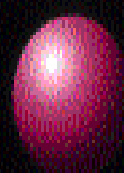
ボトム
bottom



アップ
up



チャーム
charm



トップ
top

「物質を細かく分割していくと最終的にはクォークとレプトンからなる素粒子に行きつきます。ニュートリノはレプトンの仲間であり、三種類存在します。」

クォークの種類が対応・・・

クォークは
種類が増えてきた



もつと基が
あるのかな？？？？

そして今素粒子は？ (標準理論)

物質のもと →→ クォーク・レプトン

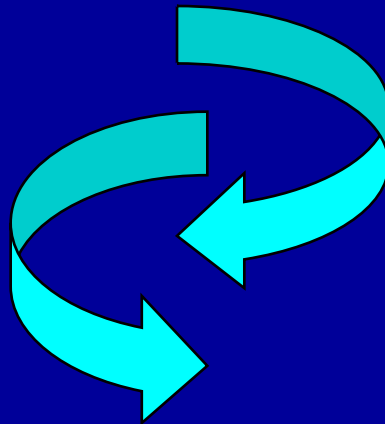
力の原因 →→ ゲージ粒子

質量を与える粒子 →→ ヒッグス粒子

ニュートリノが鍵を握っていた

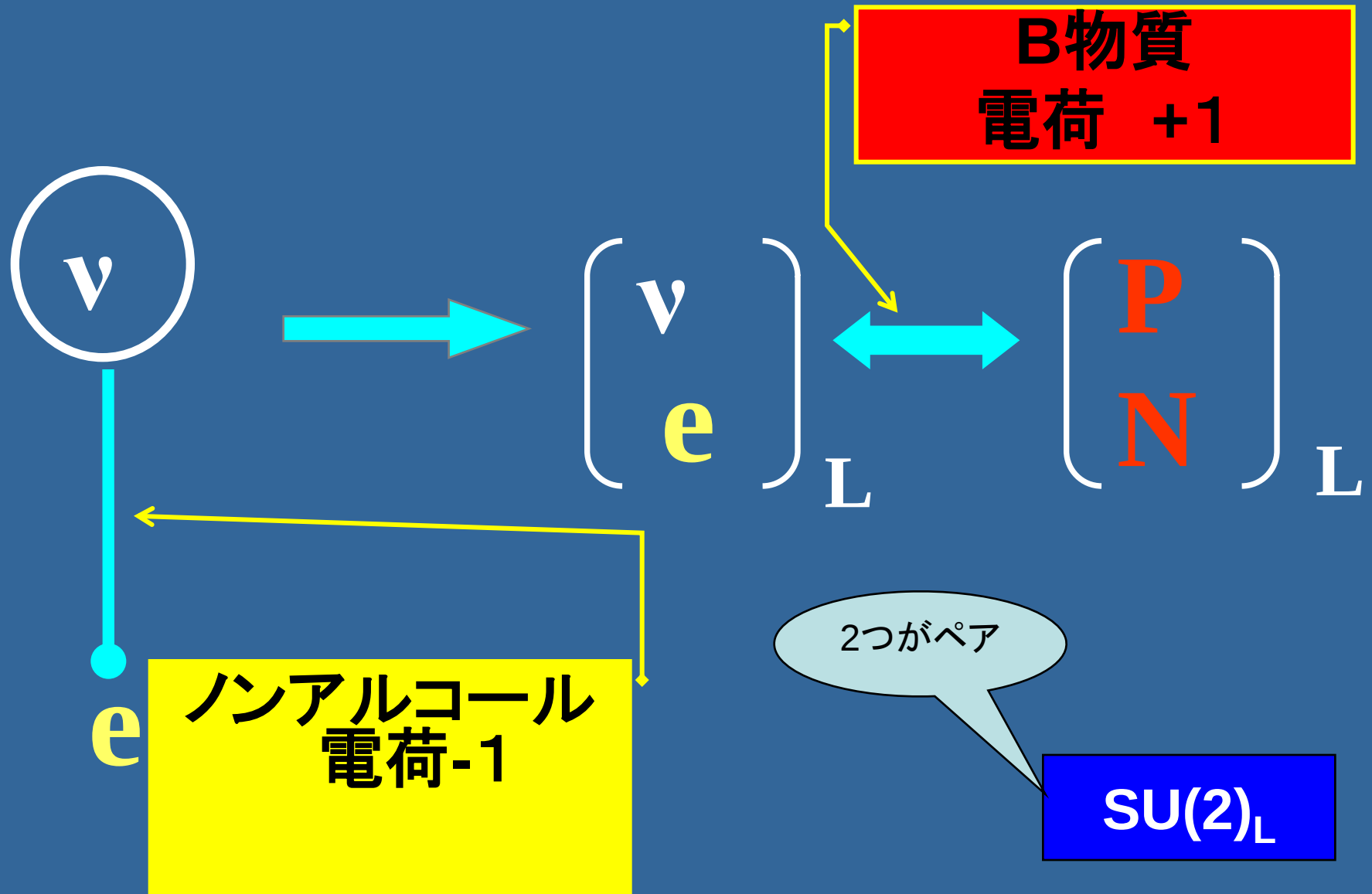
- もし、ニュートリノの質量がゼロなら、対応はうまくいかない
- とすると、ニュートリノも質量がある??
- ということはニュートリノ振動が起こるはず！

南部先生：1975年「科学」
ニュートリノは当分わからないだろう
標準理論から続く砂漠の存在



ニュートリノ振動の確立
日本の快挙 小柴さん！

武谷模型 (サンパウロ模型)



こうなると……
もとのもとは……

ニュートリノかも
しれない！！

ところで

- こころで、物理の領域拡大と
- 南部先生の話と……

シカゴ大学
訪問時
南部先生と私



2006年は、湯川・朝永生誕百年の年

湯川 秀樹・朝永 振一郎



記念事業

百年

生誕



2006年は湯川・朝永生誕百年の年 2007年は湯川秀樹生誕100年(ユネスコ)

1949年 日本人初のノーベル賞



湯川エフェクト

- 1948年 Powell 等
2中間子確認
- 湯川ノーベル賞
- 素粒子 湯川・朝永 意気が上がった
- 東京・名古屋・京都グループ理論的研究 →
早川「地下宇宙線の解釈」
→ 藤本・山口「スター理論」
西村・鎌田「3次元電子シャワー理論」

みんなを元気付けた！
多くの研究者に
新しい息吹を！
物理学の対象は素粒子
だけではないよ。

2つの例



20世紀 新しい物理学の幕開け

量子力学 + 相対性理論

どんな物質が存在し、それらがどんな
力を及ぼし合っているかを探求する

古典物理学から近代物理学

へ

科学者の国際協力
国境を越えた連携

ノーベル賞

アインシュタイン

湯川精神

素粒子論
中間子論

広い分野へ
開拓者精神

国際的な連携
共同利用の精神

世界連邦構想

核廃絶への
国際的連携

地球を越
えて

分野を
越えて



基礎物理は翔たく

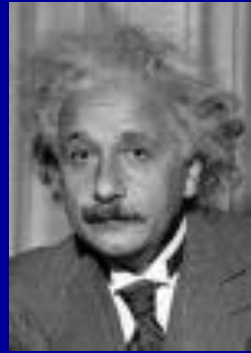
多くの新領域を切り開いた！
世界の人とつながった？
新しい展開？

物理学の内面的発展
新しい発見や理論がどのよう
にして生まれてきたかを、ここ
で振り返る

国を超えて

コスモポリタン

共同利用研究所の精神



CERN プリンストン

.....

基礎物理学研究所



基礎物理学の理念

多くの新領域を切り開いた！

物理学はどのような方向へ？

新しい展開？

物理学の内面的発展

新しい発見や理論がどのようにして生まれてきたかを、ここで振り返る

基礎物理学研究所(共同利用研究所)

1930年 京大での仁科芳雄博士の集中講義(10日間)

1932年 「中間子討論会」 → 素粒子論グループ

1934年11月1日

1952年 湯川記念館

1953年 基礎物理学研究所

基礎物理学は

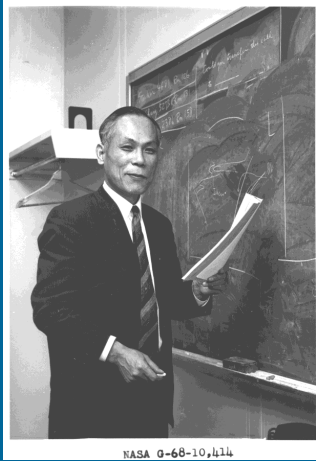
20世紀にはいって混乱怒濤の時代に入った

「こんな小さな研究所でな
にができるか」

という思いがあった



林忠四郎先生



学問の各分野に広く興味をもたれていた湯川先生は、機会あるごとに若い研究者に対して、狭い領域に閉じこもることなく、新分野の研究を手がけるように勧められました。

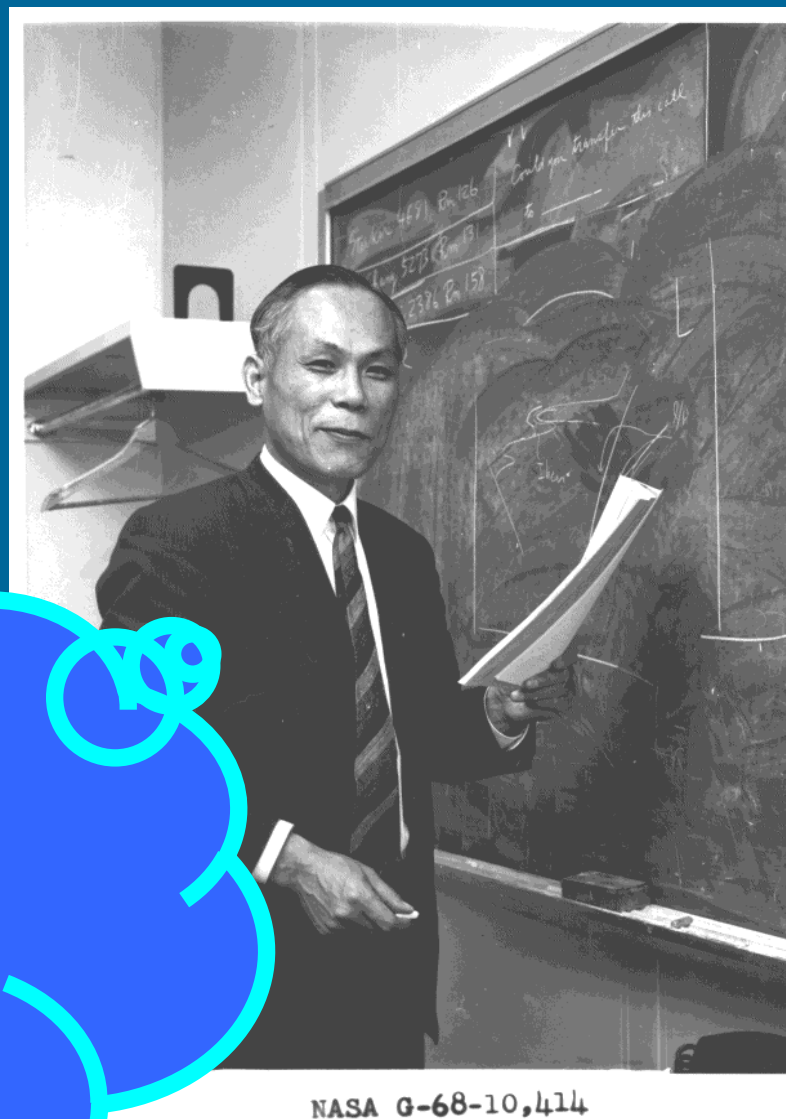
- 生物物理
- ・ 宇宙物理
- ・ プラズマ
- ・ 核融合
- ・ 非線形数学
- ・ 地球物理
- ・ 太陽系起源



林研の先進性

ずっと現役・開拓者
佐藤さんの先生

弟子が新しい分野
理学部長として
電気代
会議の後



1968年5月; NASA Goddard SpaceFlight Center
at Greenbelt U.S.A.にて星の進化に関する講義
を行っているところ



実は・・・

私は湯川秀樹博士の
研究室に入ったのです！
大学院修士課程のときの
クリスマスパーティで

近代物理学は者を細かく
分けるだけではない！

多数が集まると起こる新しい現象
ミクロからマクロに！！

ここで

私の授業でやった
面白い実験
をご紹介します

たくさんの粒子の集団
面白い現象

相転移

→ 協調・共同現象

イジング模型の多人数実験

700規模の文系学生

経営学部・法学部

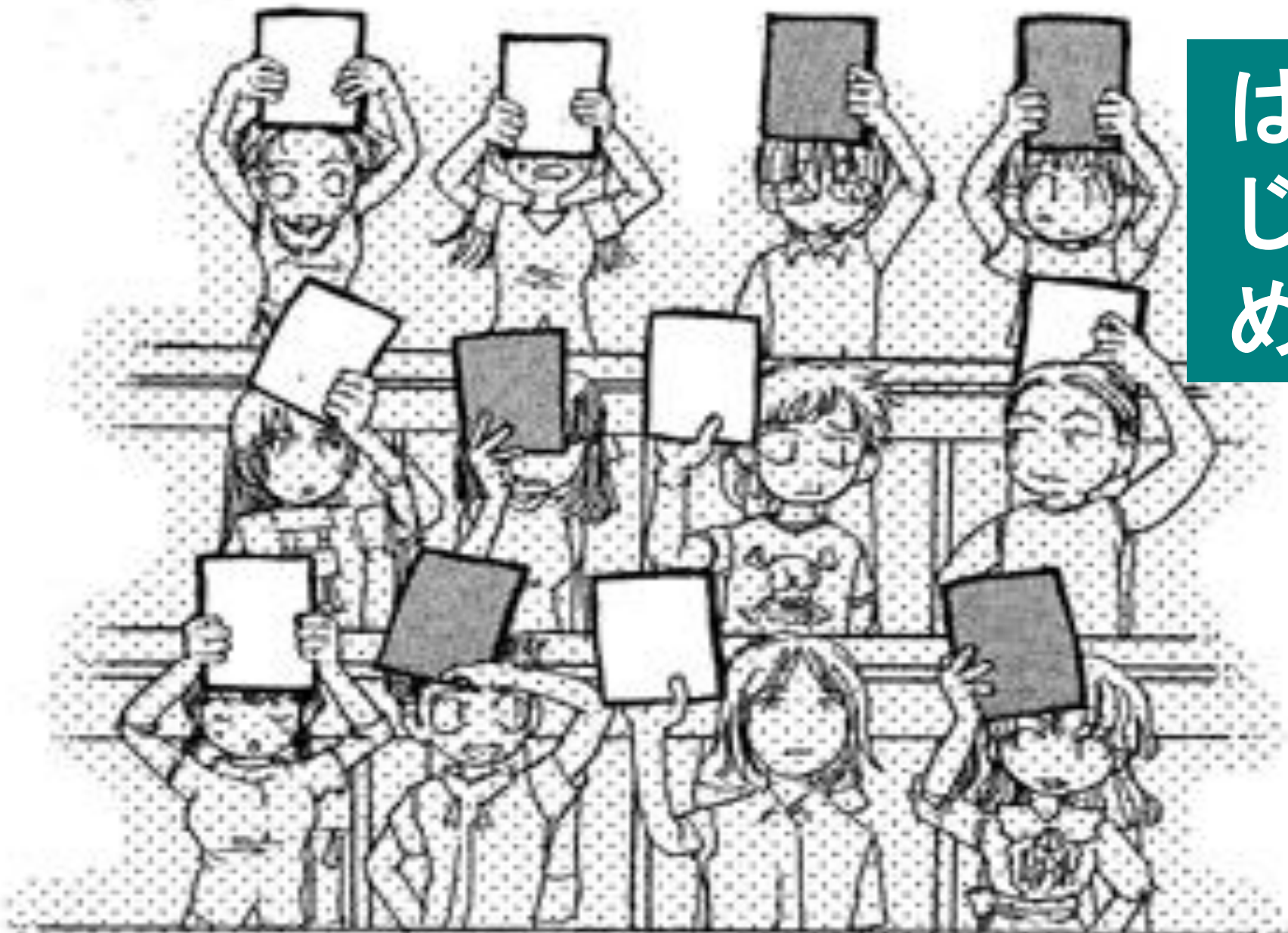
学生たちが原子磁石になる

↑か↓(赤と青)

温度が下がると磁石になる

「自発磁化」

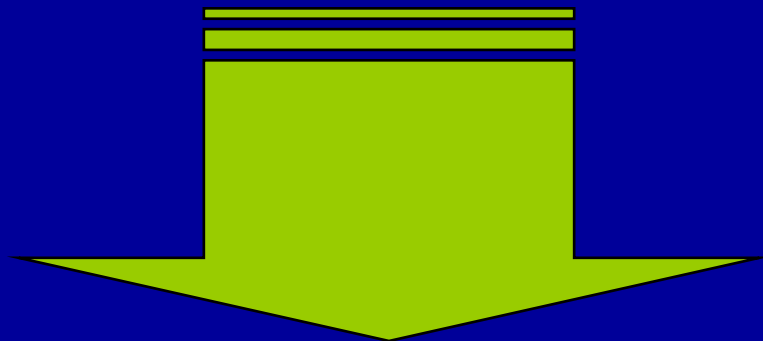
はじめ



ルール

- 前後左右の色をみて
- 号令に合わせて
- 多数決の色にかえる
- 同数だったらどちらでもいい

さて？？？



どうなるでしょう？？？

コンピューターシミュレーション
人間によるシミュレーション

終わりが揃う



相転移

- 原子分子の多体系が示す面白い現象
- 対称性の自発的破れ
- 論理だけで抽象化し、そこに見られる共通のルールを見つける
- それがいろいろなところで当てはめられることを示す.....

素粒子のカイラル対称性の破れ

NJモデル これもM2のとき

インフレーション宇宙

素粒子論は
宇宙のはじまりの話
につながる！！

→宇宙の初期の相転移
ビッグバンのその前

→インフレーション宇宙

宇宙→物質



生命→人間

宇宙・物質はかなりわかってきた



生命・人間社会はまだまだ



物理学が鍛えてきた方法を使え

ところで・・・

- 人間の多体系は物理で取り扱えるか？

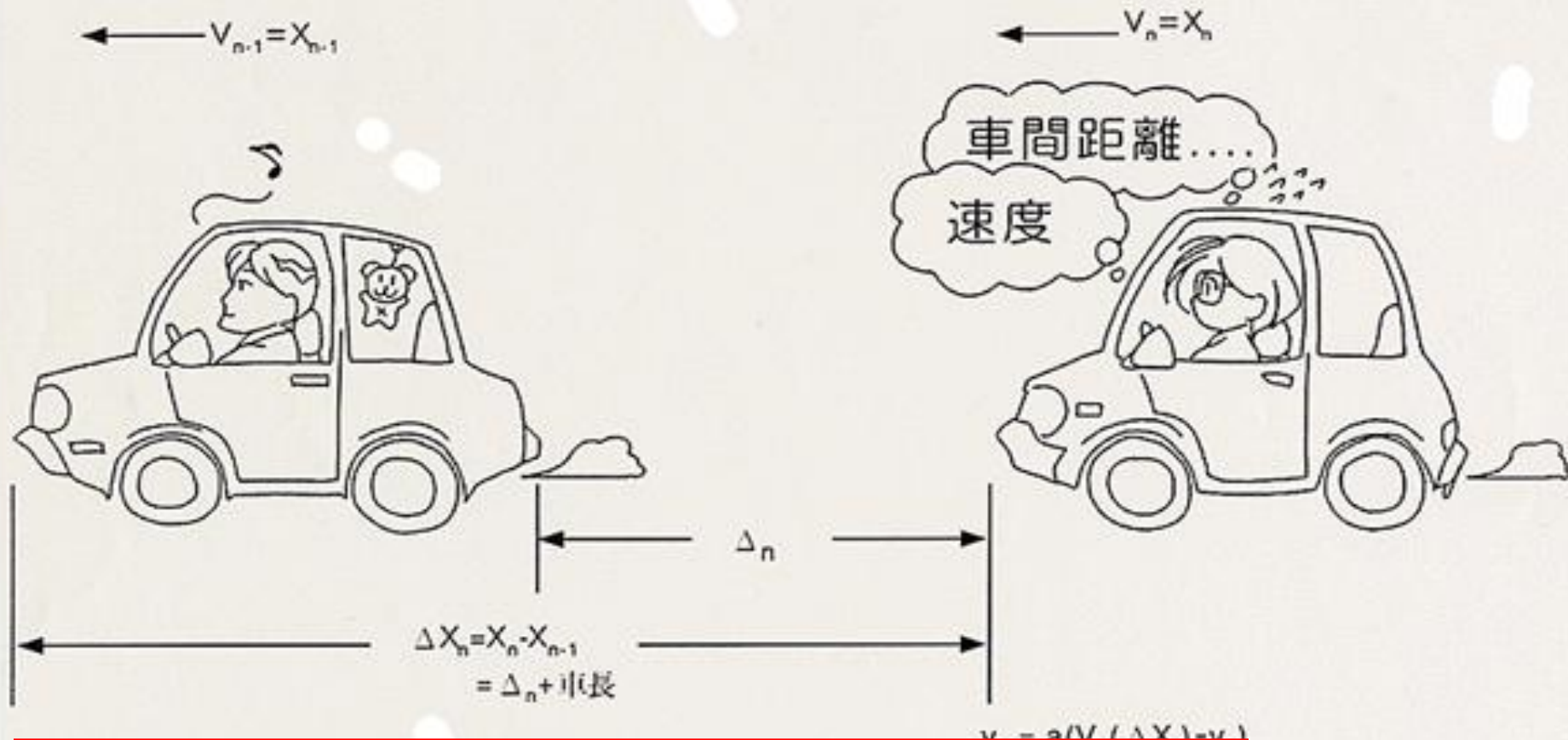
人間は自由意志で動く

原子や分子は、入れ替えに対して対称

- ・応用できるとしたら、規則的な運動

自動車の運転は共通性がある？

Optimal Velocity Model

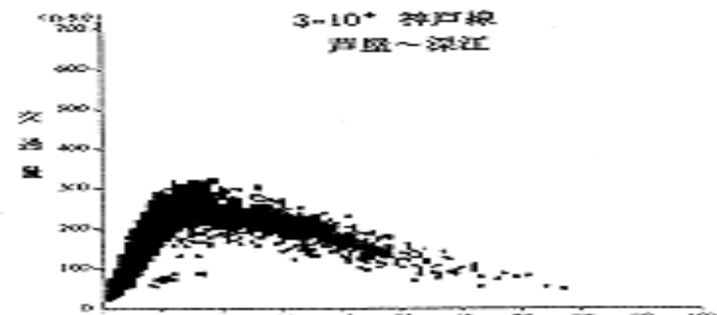
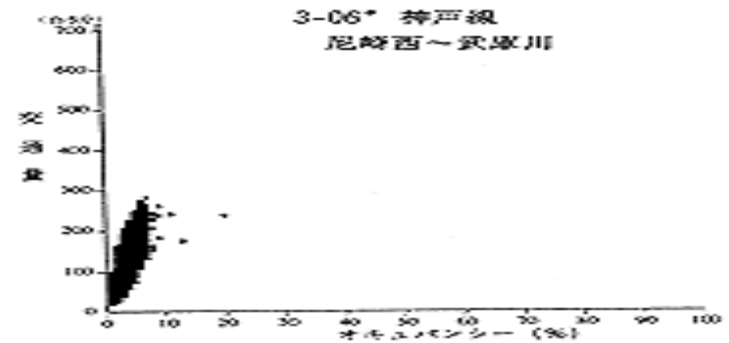
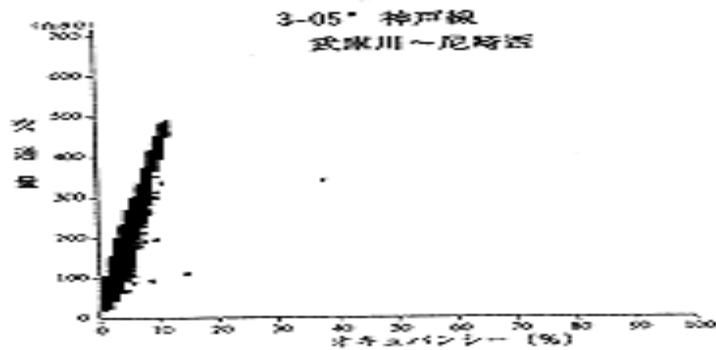
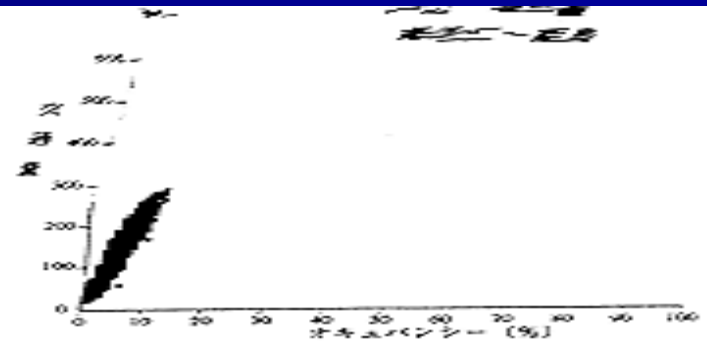
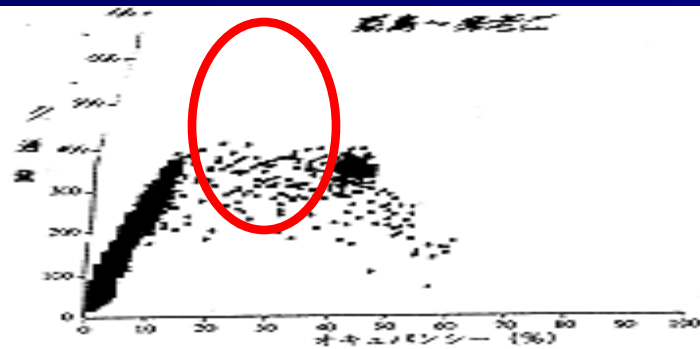


$$\frac{dv_n}{dt} = \alpha(OV(\Delta x_n) - v_n)$$

$$\Delta x_n = x_{n-1} - x_n, \quad OV(\Delta x_n) = a \tanh(b\Delta x_n - c)$$

Hanshin high way data showing the existence of phase transition

traffic flow



density

交通流物理から経済・社会物理へ **Application of Optimal Function**

Traffic Flow 研究会
Microscopic and Macroscopic View
6-7 Dec. 2007

M. Bando,
A. Nakayama,
M. Taniguchi

『経済学は科学たりうるか』

都留重人

- 所得（Y）・消費（C）・投資（I）
- ティンベルヘン（第1回ノーベル受賞者）
- 「経済学者として関心を持たざるをえない3つの問題領域」規範的要請
- 古典経済学は、道徳哲学の一面を持って誕生→規範意識
- サムエルソン
 - 「私が願っている政治経済学は、人類の福祉を助長するような科学である」
- 1 国内の所得分配
- 2 南北問題 貿易政策・投資計画・産業補助
- 3 人間と自然：地球環境 資源・環境

社会物理学

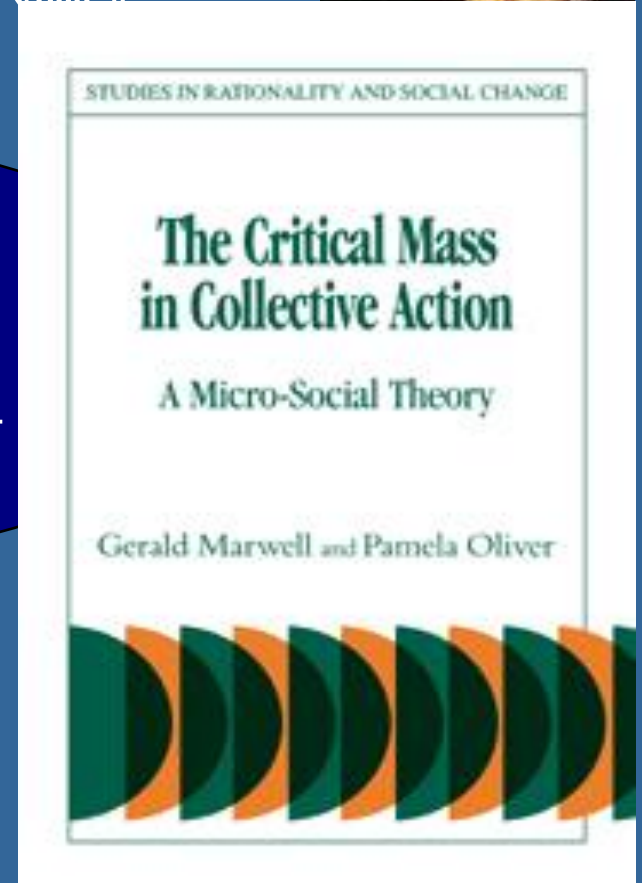
物理学者の社会科学へのかかわり

- 1738 ベルヌーイ 効用関数の導入
- 1782 ラプラス 『確率の哲学的試論』
- 1835 ケトレ

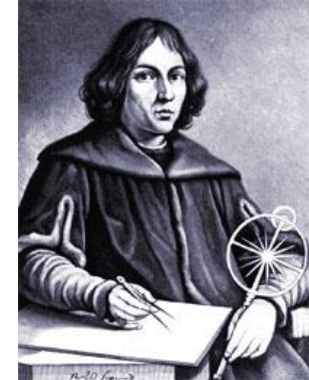


経済物理学
環境物理学
Micro-Social Theory

• • •



経済物理学の先駆者達(経済を研究した物理学者)



16世紀 大航海時代 ⇒ 天文学も進歩

大量の金銀が新大陸から入ってきた結果、すさまじいインフレが発生

インフレの基本理論

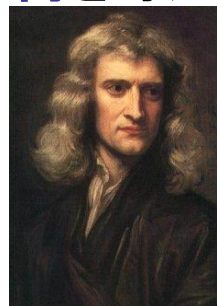
貨幣の供給量が多すぎるとお金の価値が下がる

コペルニクス(地動説)

金本位兌換通貨はその後
約300年間、世界の標準
1971年 ドルと金との交換
が停止され、為替市場誕生

17世紀末 インフレ対策として**金本位制**を導入

ニュートン 王立造幣局長官
晩年は錬金術師になったと
の悪評が多いが...



科学革命の立役者4人の残る二人、

ガリレオとケプラーも、当時、流行っていたサイコロギャンブルに関する研究をしていた。

えらい科学者は時代のニーズに応じて何でも考えていた

おわり
おつかれさま！

