

# 素粒子-交通流-経済物理 そして???

タウ・レプトン  
物理研究センターセミナー  
坂東昌子  
愛知大学名誉教授

2008年10月27日

小林・益川の話を  
予定してしておけば  
よかったね？  
ごめんなさいね。



# 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.

# 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

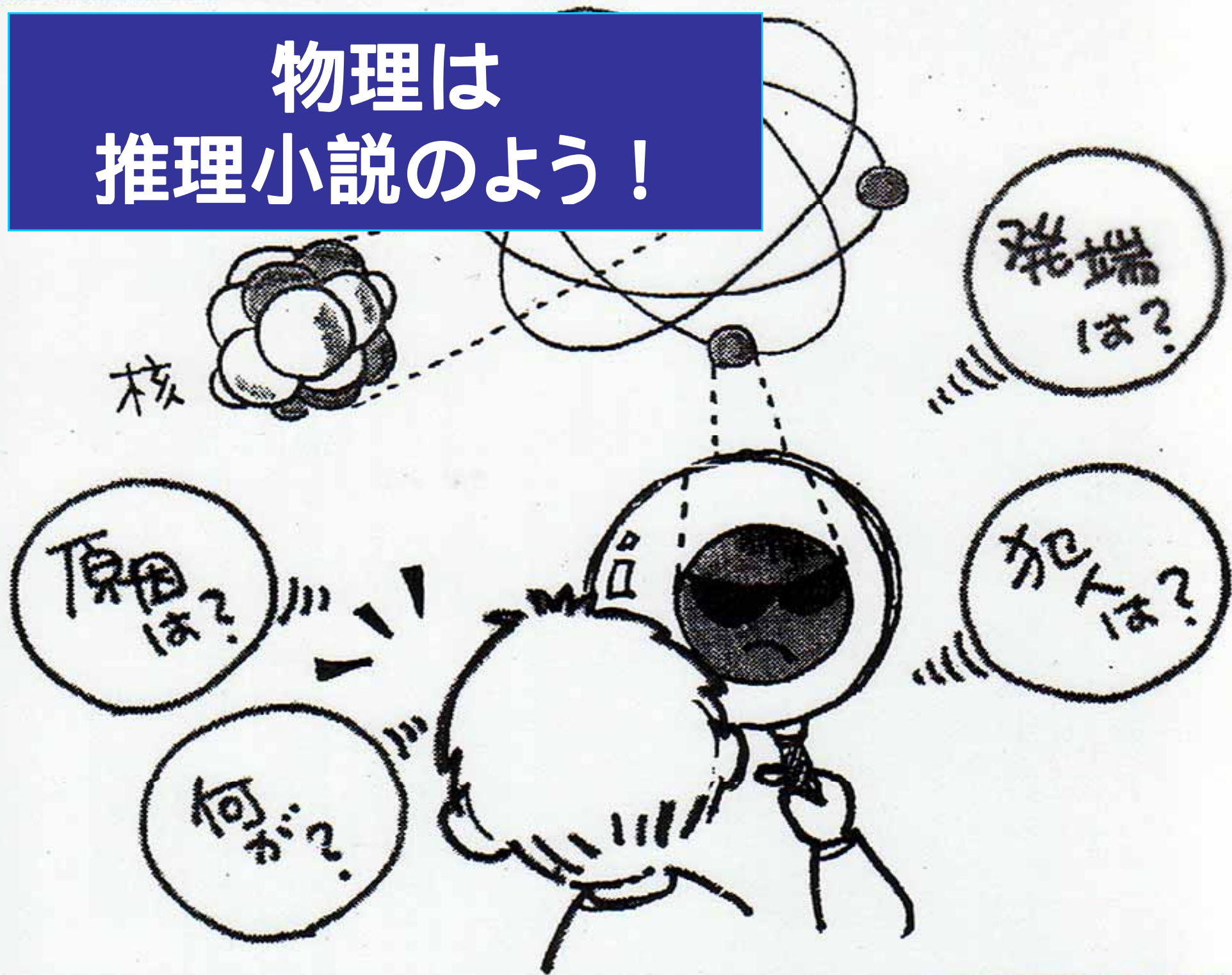
南部： 対称性の自発的破れ

# Broken Symmetry report





# 物理は 推理小説のよう！



# 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
- 予測をする
- 予測が当たる
- 犯人を確定(真理)

# 科学の推理小説… 犯人をみつけるには

- 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



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

# 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

## 原子論に対する反論

物を燃やすと熱が出る

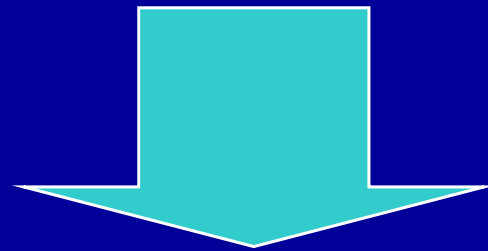
- 1 空気が原子からできている  
→ 下に落ちるはず
- 2 真空はないはずだ  
→ 何らかのものがあるはず
- 3 水をいくら分けても水である

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？

# 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・燃烧→悪魔のわざ

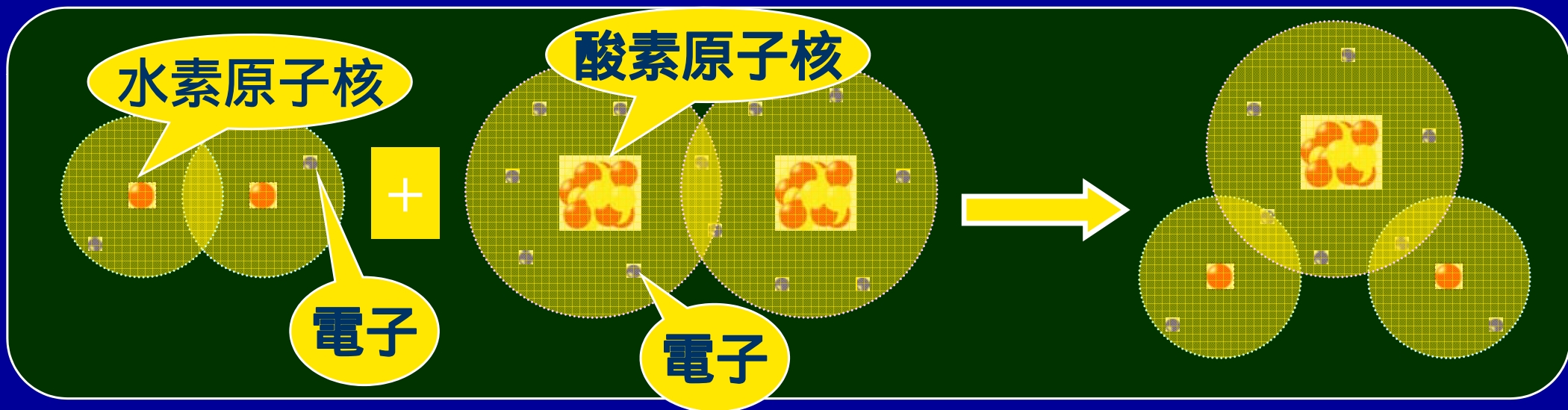
ドルトンから始まる化学の時代

物を燃やすと熱が出る

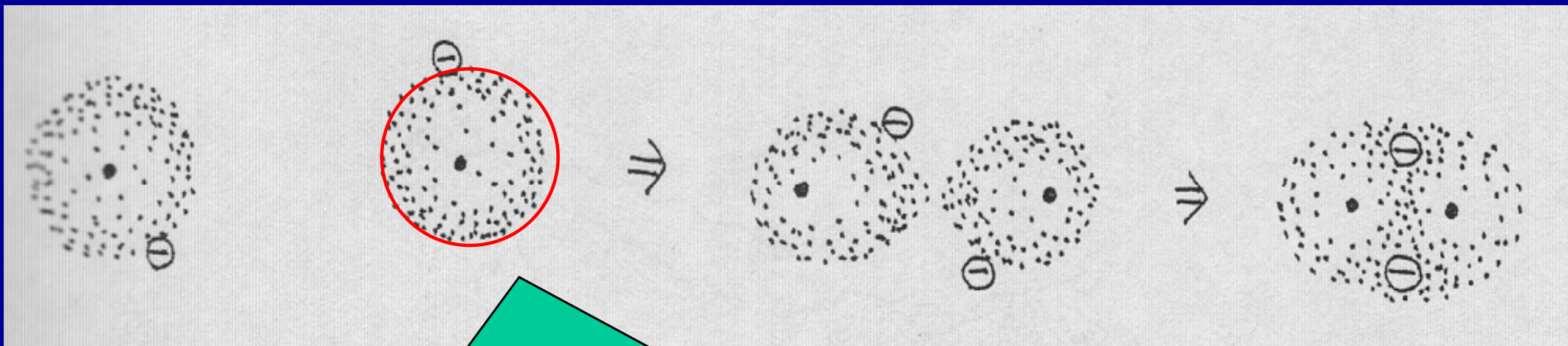


燃烧 → →

水素 + 酸素 ⇒ 水 + エネルギー



# 化学反応は電子が主役！



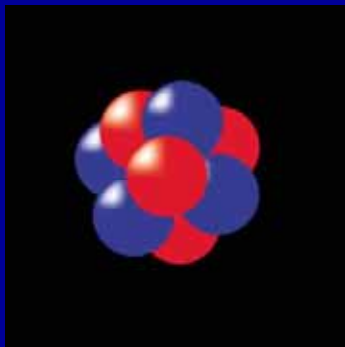
原子の大きさ  $\rightarrow 10^{-10}$  m

原子核の大きさ  $\rightarrow 10^{-15}$  m



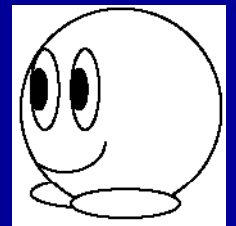
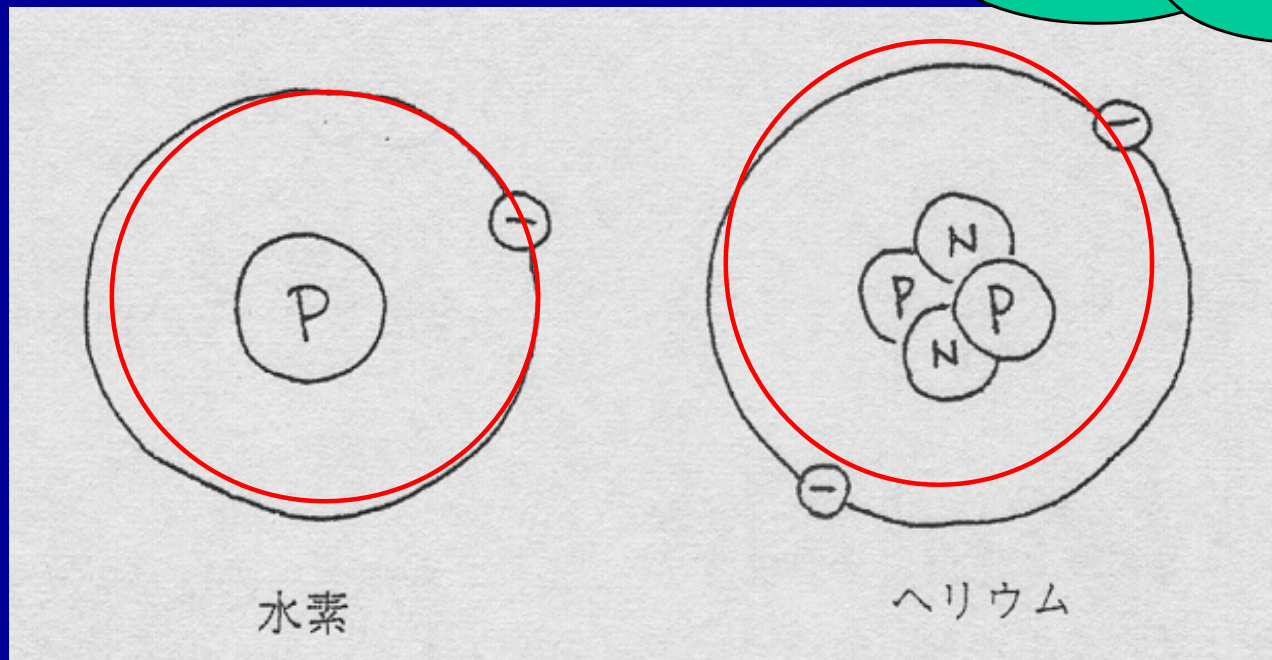
# そして・・・ 原子核にも構造がある

原子の大きさは  
約100000倍だよ



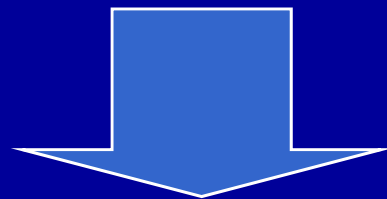
原子核

$10^{-15}$  m



# 原子の種類

- 水素からウランまで100種以上
- もっと「基」「構造」があるはず



さらに、下の階層の構造  
→多様性が説明できる

# 多様性の統一理解への道

- 現象論的整理  
空白の予言
- 実体論的理解  
多様性の予言
- 本質論的理解  
理論の予言

メンデレーフは  
講義のために  
整理した!

メンデレーフの周期表 (1869年)

① 水系 2.0							
② リチウム 7.0	③ ベリリウム 9.4	④ ナトリウム 11.0	⑤ 炭素 12.0	⑥ 窒素 14.0	⑦ 酸素 16.0	⑧ 小フ素 19.0	
⑨ ナトリウム 23.0	⑩ マグネシウム 24.0	⑪ アルミニウム 27.0	⑫ けい素 28.0	⑬ 珪素 32.0	⑭ 硫黄 32.0	⑮ 塩素 35.5	
⑯ カリウム 39.0	⑰ カルシウム 40.0	⑱ ? 44.0	⑲ ? 50.0	⑳ パラジウム 51.0	㉑ ろう素 53.0	㉒ マンガン 55.0	㉓ 鉄 56.0
㉔ 銅 63.0	㉕ 亜鉛 65.0	㉖ ? 68.0	㉗ ? 72.0	㉘ 白金 75.0	㉙ セレン 78.0	㉚ 臭素 80.0	
㉛ 亜鉛 85.0	㉜ 亜鉛 87.0	㉝ ? 88.0	㉞ ? 90.0	㉟ ニオブ 94.0	㊱ モリブデン 96.0		
㊲ 銀 108.0	㊳ カドミウム 112.0	㊴ インジウム 113.0	㊵ 錫 118.0	㊶ 白金 194.0			

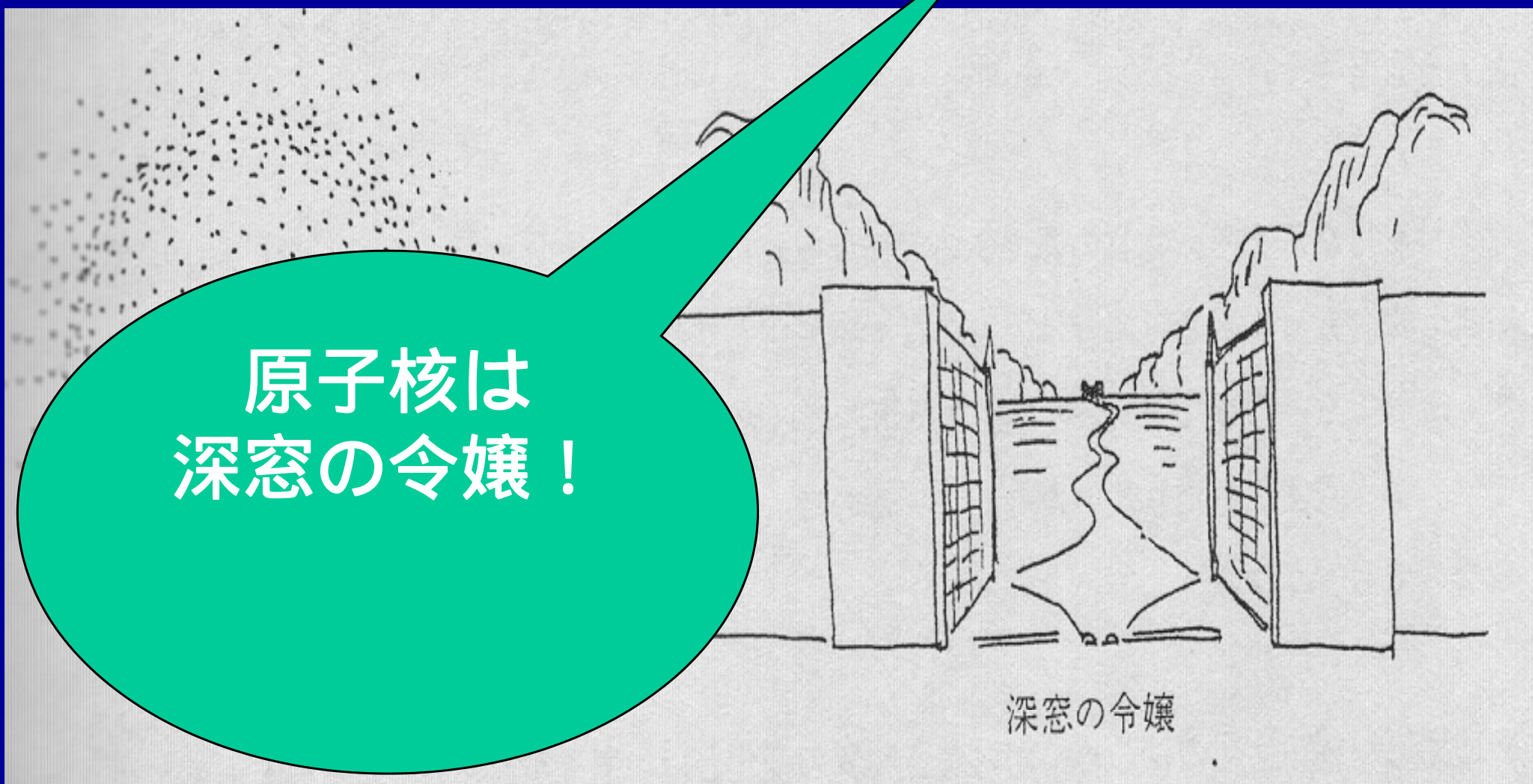
# 原子の種類

- 水素からウランまで100種を超える
- もっと「基」「構造」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

# 原子核の中は??

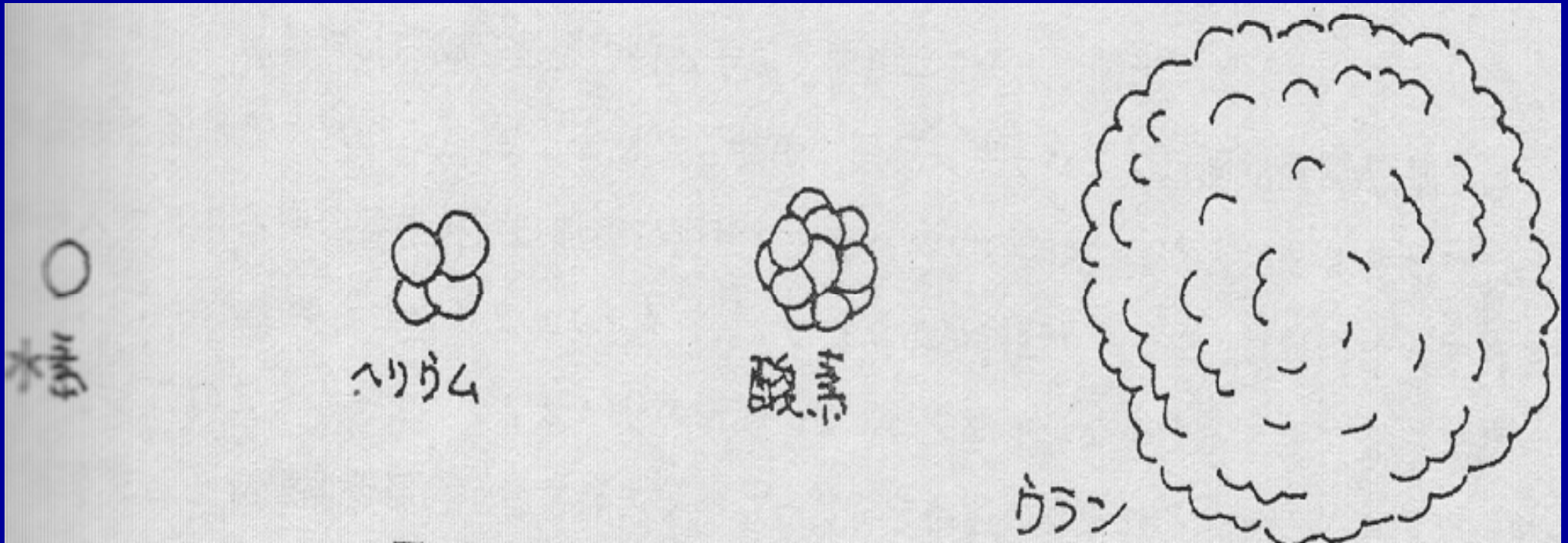
原子核は  
深窓の令嬢！

深窓の令嬢





# 原子核は 陽子と中性子のあつまり！





# まとめ：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

人も宇宙も原子からできている

ギリシャ時代

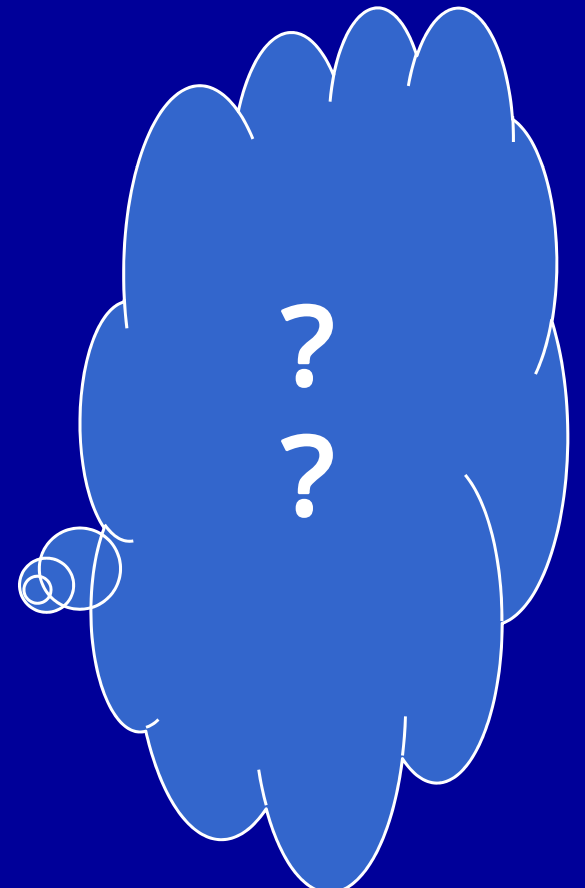
天も地も同じ法則に従う

十九世紀



二十世紀

?  
?



# クロの世界

素粒子とは？

物はなにからできているか  
その間にどういう力が働いているか

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

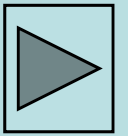
Elementary particle

と ぼう(湯川先生の 名)

# Sakata Model

から

# Nagoya Model



3つ→ 2つ  
ではないよ！

# CKM mixing

クォークと  
言わなかつ  
たわけは？

- 1962 Cabibbo
- 小林、益川両氏は1973年、基本粒子は、3世代あり、互いに 身し うという「小林・益川理論」を発表。
- しかし、小林益川の基礎となったのはGell-Mann たちの「mixing」という基礎概念が大切だった。

世代混合  
が基本だ！



# 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 合している  
お互いに変換しあう(N P)

- レプトン


電子(e)とニュートリノ( $\nu$ ) (  $\nu$  e )  
電気 - と 中性

性質: 弱い力と電磁力 (  $\nu$  e )

# 物を作る基

- ・ ハドロン(強い)


電気


$$\begin{pmatrix} P & N \\ + & 0 \end{pmatrix}$$

電荷は1増えている

- ・ レプトン

電気


$$\begin{pmatrix} \nu & e \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

電荷は1増えている

ところが.....

素粒子も種類が増えた

奇妙な粒子 → ( $\Lambda$ : ラムダ)

レプトン → ( $\mu$ : ミュー)

# 物を作る基

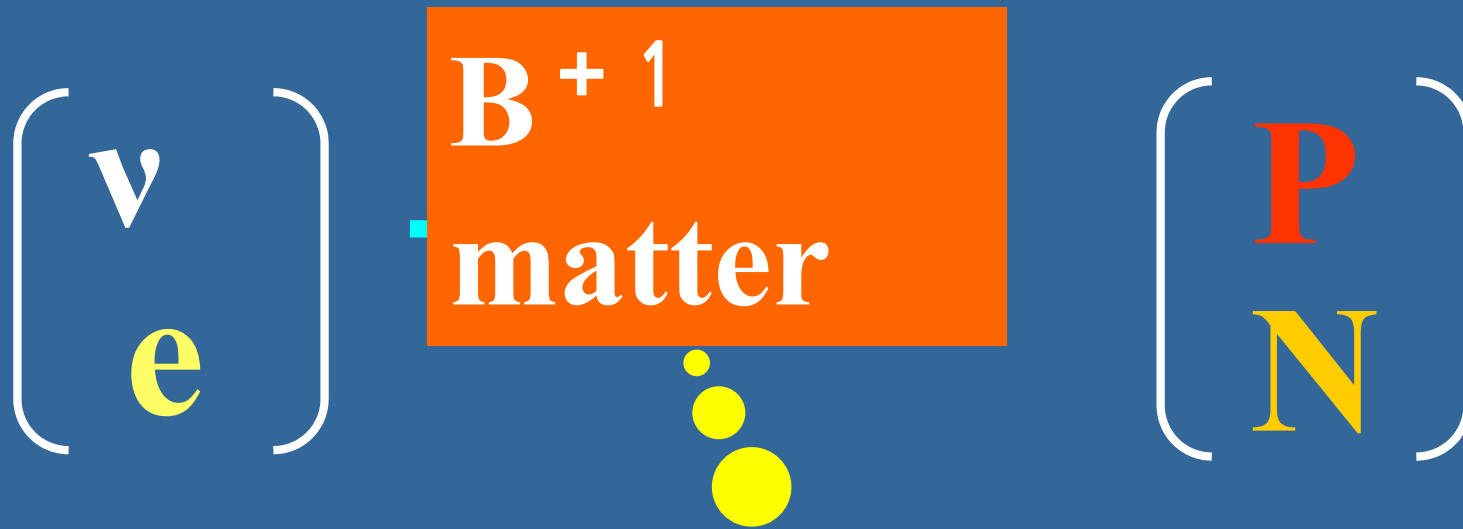
- ハドロン(強い )

$$\begin{array}{l} \text{電気} \quad (P \quad N) \quad + \quad (? \quad \Lambda) \\ \quad \quad \quad (+ \quad 0) \quad \quad \quad \quad \quad 0 \\ \quad \quad \quad (Q+1, \quad Q) \end{array}$$

- レプトン

$$\begin{array}{l} \text{電気} \quad (v \quad e) \quad + \quad (? \quad \mu) \\ \quad \quad \quad (0 \quad -1) \quad \quad \quad \quad \quad -1 \\ \quad \quad \quad (Q+1, \quad Q) \end{array}$$

# Nagoya Model

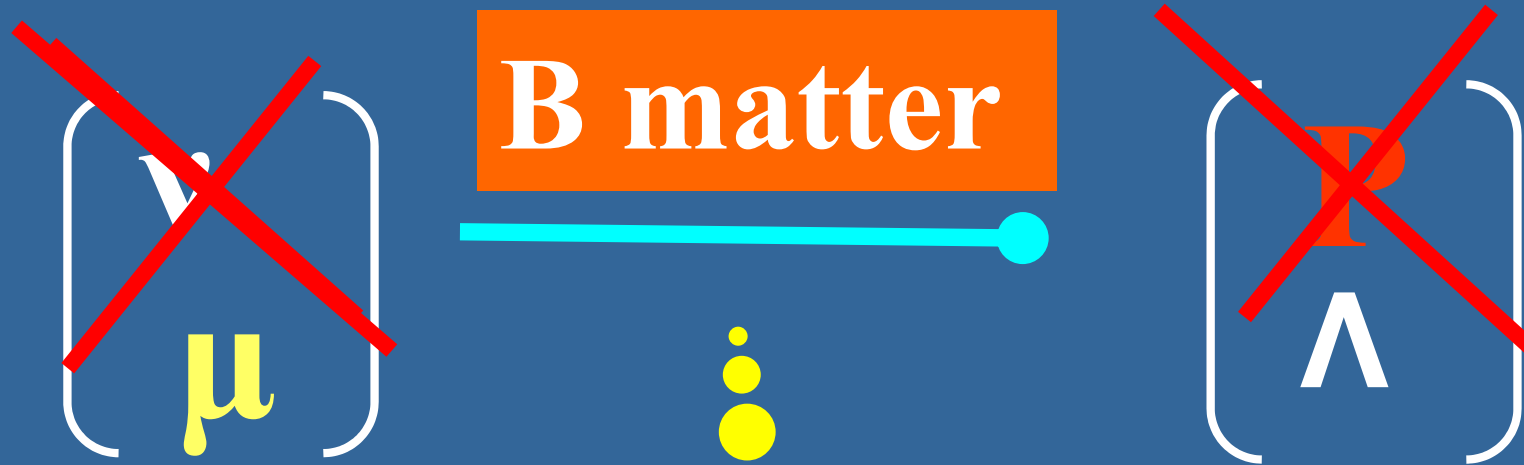


アルコールを と くなる！  
電荷はプラス1だよ

**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！！！！

# がM2の

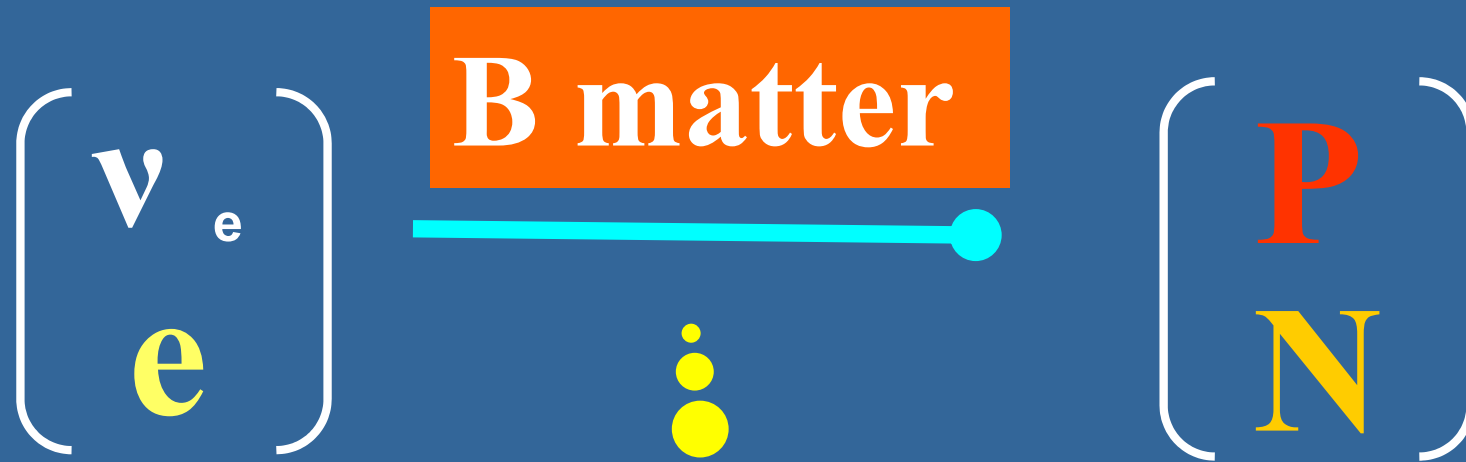
- 又新しい粒子が見つかった！

2種のニュートリノ

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



# 1カップルに 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 単だった!!!

# 丹生 ベント(1971)

チャームクォークを宇宙線で見つける

4番目 → 2世代

名古屋

小川修三・二郎・原康夫

名古屋グループは  
ていた!

第2世代 名古屋4元模型

→ 小林・益川

# 丹生粒子 ( $\zeta$ ) $\rightarrow$ 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世代

世代という 念に き いていた

…… 2世代を3世代に！

出揃った！

$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$



$\begin{pmatrix} P \\ N \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$



$\begin{pmatrix} \zeta \\ \Lambda \end{pmatrix}$

4 模型

京都へ・・・ がこれに気がついた？

国際的に理論の 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 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、 アル・フィッチと 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 保存は1972年 CPの破れを入れる模型

- どうしたら、自然に 型 が作れるか？
- KM 行列 ( $3 \times 3$ )

クォークとは  
いっていない！

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

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} P \\ N \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \zeta \\ \Lambda \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} T \\ B \end{pmatrix}$$

模型  
3世代

# 日本人としては・・・

- 「3つまで見つかった」  
とノーベル 員会が いているのは・・・  
おかしい！
- だって、名古屋の人 は、4 目は 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 が 響は大

# 訓

- 物質観に基づいたアタック
- 流行の先を見る目
- 形式論理を追い詰める  
気に入った可能性だけでとどまらないこと  
科学は客観的、論理性を重視
- 日本人同士お互いに 価できる い  
丹生イベント・菅原寛孝さんの功績  
肩書きも年齢も関係なく…

ところで...

陽子・中性子・ $\pi$ 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

間

# 電磁相互作用

パイ中間子

—中間子

$\psi$ 中間子

$\rho$

$\psi$

K

2つ目の

ニュートリノ

ニュートリノ

ラムダ粒子

グマ粒子

チャーム粒子

B粒子

$\Sigma c$

B

ミュー

ウ粒子

$\mu$

$\tau$

原子核を作っている強い力

→→核力

強い相互作用

ベータ壊  
弱い相互作用

# 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、 古屋はここでは けたのだ！

eight-fold way ( 道説)

Gell-Mann Zweig Quark Model

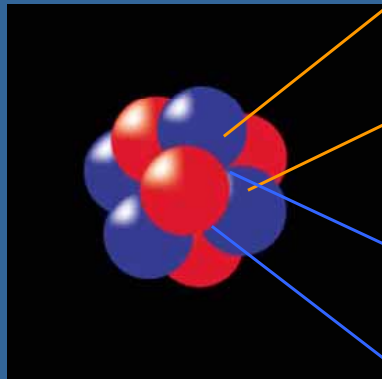
先ほどの話を思い出す!

# 多様性の統一理解への道

- 現象論的整理  
空白の予言
- 実体論的理解  
多様性の予言
- 本質論的理解  
理論の予言

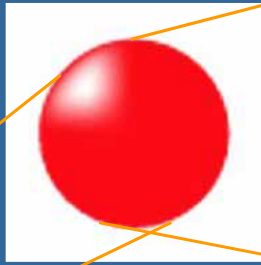
- 坂田模型  
説明不十分
- 実体論的理解  
多様性の予言  
群論の知識 ( $\Omega$ )  
+ 発想の転換
- 本質論的理解  
ラーゲージ理論



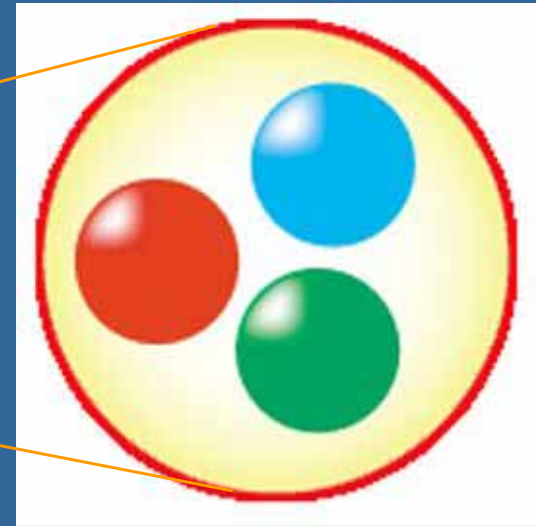


原子核

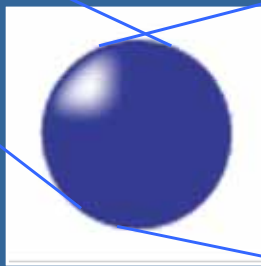
$10^{-15}$  m



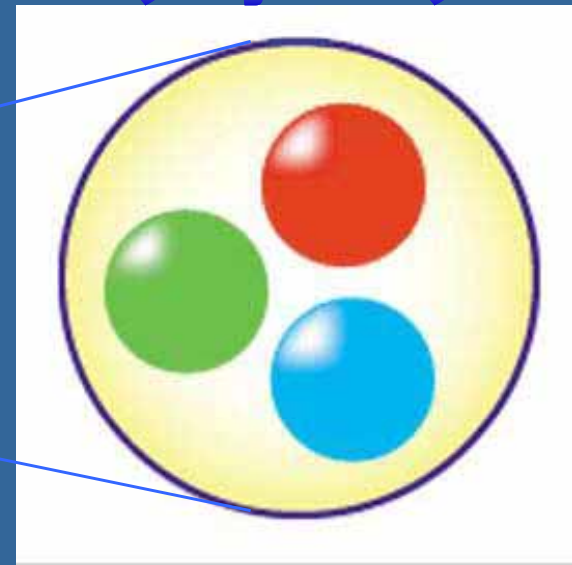
陽子



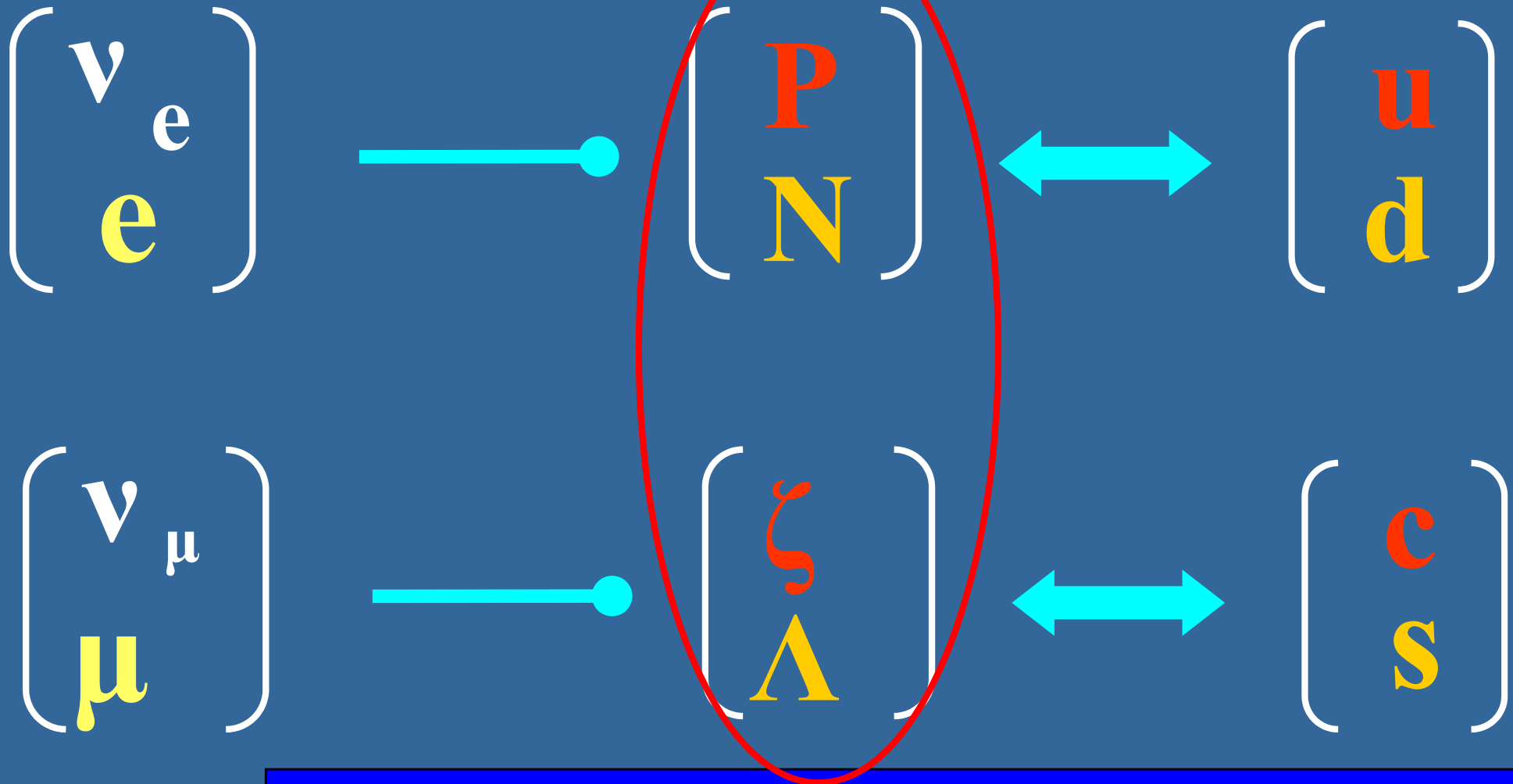
クォーク



中性子



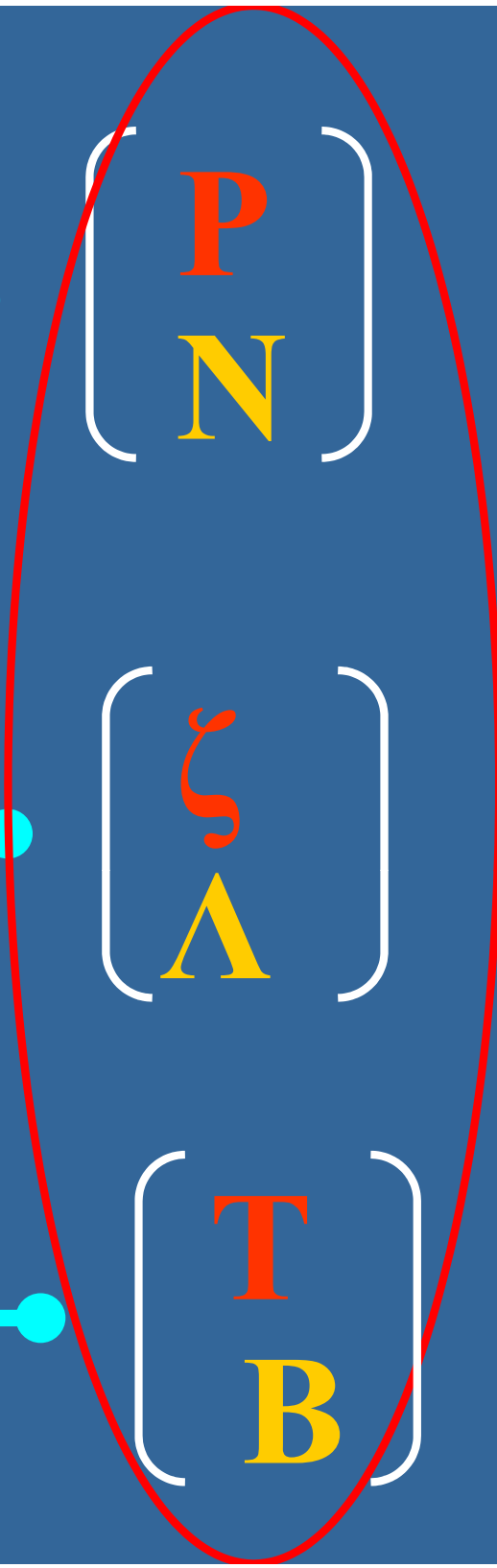
# 出揃った！



4つのバリオン → quarks

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} P \\ N \end{pmatrix}$$

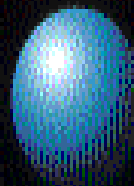
6クォーク  
3世代

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} \zeta \\ \Lambda \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} T \\ B \end{pmatrix}$$
$$\begin{pmatrix} \\ b \end{pmatrix}$$


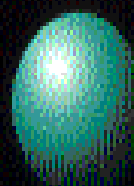
# 素粒子には3つの世代がある

(third)

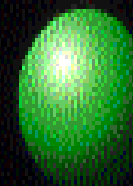
レプトン：LEPTON



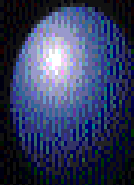
電子ニュートリノ  
electron neutrino



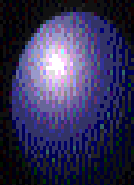
ミューニュートリノ  
muon neutrino



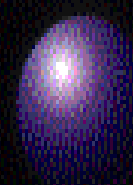
タウニュートリノ  
tau neutrino



電子  
electron



ミューオン  
muon

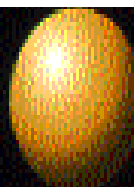


タウオン  
tauon

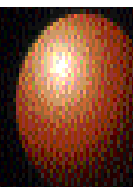
クォーク：QUARK



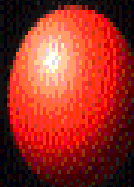
ダウン  
down



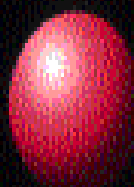
ストレンジ  
strange



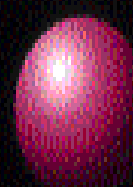
ボトム  
bottom



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。」

size in atoms

and in meters

1

$10^{-10}$

原子

原子核と電子

原子核

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

$10^{-14}$

陽子  
中性子

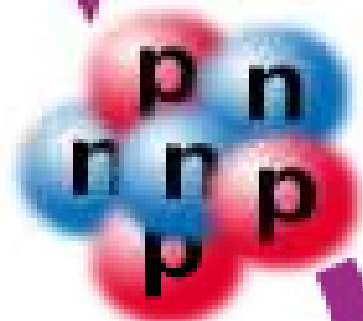
$\frac{1}{100,000}$

$10^{-15}$

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

$10^{-18}$   
(at largest)

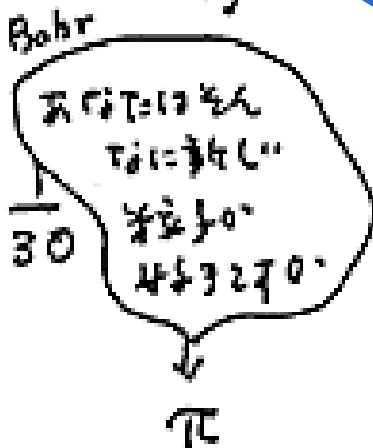
クォーク



# クォークの質量の階層性



$$\epsilon = \frac{1}{100}, \quad \beta = \frac{1}{30}$$



世代の 源は  
まだ分っていない  
特に第3世代は・・・  
**世代問題**

Dirac  
粒子  $e$   
Bohr のお父さん!



Leptons



12月3日  
日記  
0F  
20

↑  
 $\tau$  の質量問題?

クォークの種類が対応……

クォークは  
種類が えてきた



もっと基が  
あるのかな????

# 物理と対称性—クォークから進化まで



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。

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。



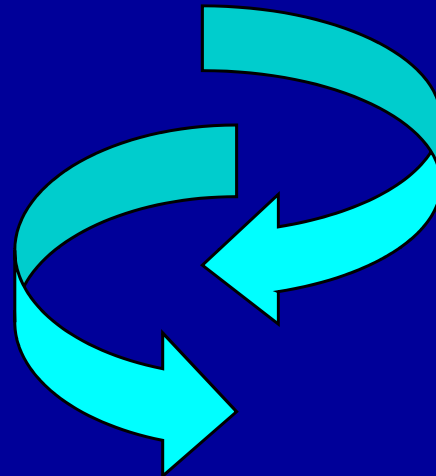
# ニュートリノが を っている??

- 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 動が くるはず!

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

準理論から 〈砂漠の 在

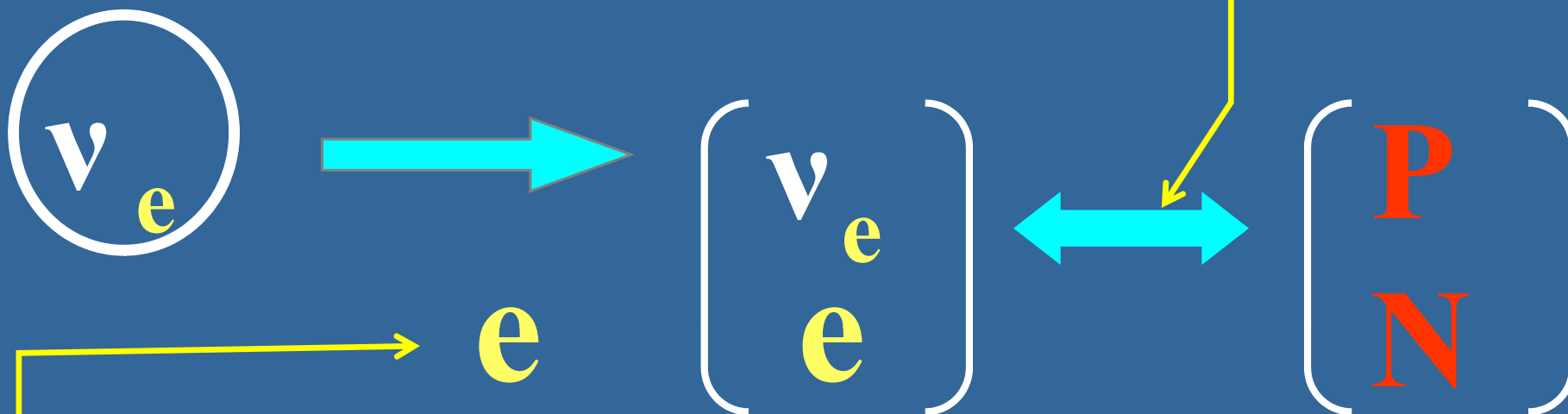


ニュートリノ  
日本の快拳

動の確立  
小柴さん！

# 武谷模型 ( ニンパウロ 型 )

B物質 電荷 +1



3世代

→

3つのニュートリノ?

ノンアルコール 電荷 -1

こうなると……  
もとのもとは……

ニュートリノかも  
しれない!!!

# ニュートリノ振動

カイラル構造

左右対称性

→ やっぱり自然は左右対称

→ より大きなGUT??

世代混合も実は相互作用

湯川相互作用??????  
ヒッグス粒子は最大の謎

# ところで

- ことから、物理の 域拡大と
- 南部先生の話をして……

シカゴ大学  
訪問時  
南部先生と私



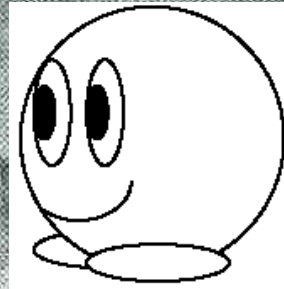
# 2006年は、湯川・朝永生誕百年の年

湯川秀樹・朝永振一郎





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・・・





2006年は湯川・ 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

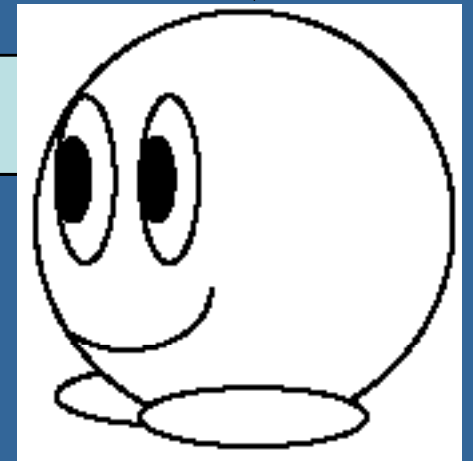


# 湯川エフェクト

- 1948年 Powell  
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・ 古屋・ 都 ループ理論的研究 →  
早川「下宇宙線の解釈」  
→ 藤本・山口「スター理論」  
西村・ 田「3次元電子 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ているかを探求する

古典物理学から近代物理学



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

世界連邦構想

広い分野へ  
拓者精神

核廃絶への  
際的連携

国際的な連携  
共同利用の精神

地球を越えて

分野を越えて



基礎物理は たく

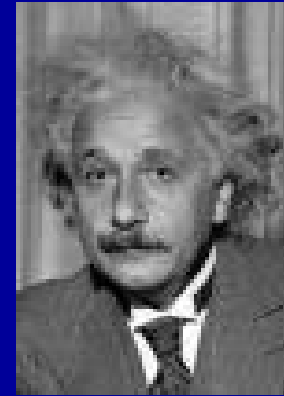
多くの新領域を切り開いた！  
世界の人とつながった？  
新しい展開？

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 まれてきたかを、ここ  
で振り返る

国を超えて

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！

物理学はどういう 向へ？

しい 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 り る

# 基礎物理学研究所( 同利用研究所)

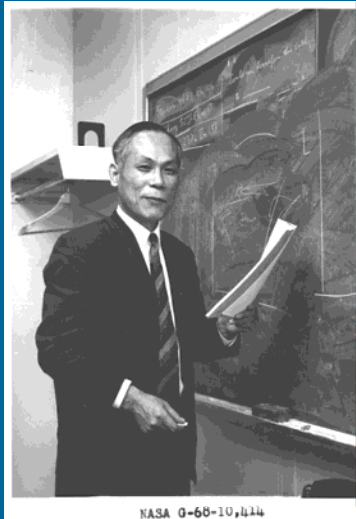
- 1930年 京大での仁科芳雄博士の集中講義(10日間)
- 1932年 「中間子討論会」 → 素粒子論グループ
- 1934年11 1
- 1952年 湯川記念館
- 1953年 基礎物理学研究所

基礎物理学は  
20世紀にはいって混乱怒涛の時代に入った  
「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 分野に広く 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 められました

## 生物物理

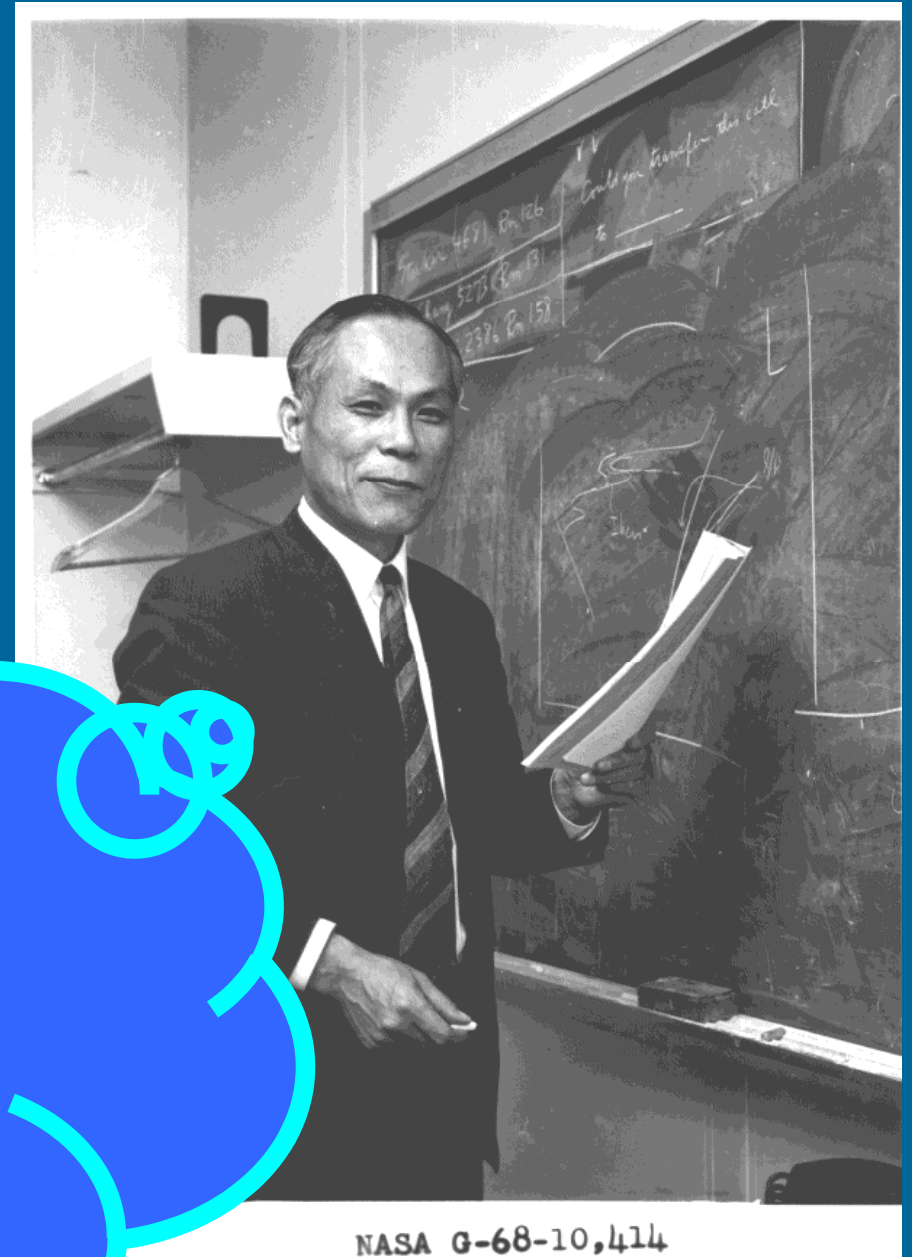
- ・ 宇宙物理
- ・ プラズマ
  - ・ 核融合
- ・ 非線形数学
- ・ 地球物理
- ・ 太陽系起源



# 林研の先進性

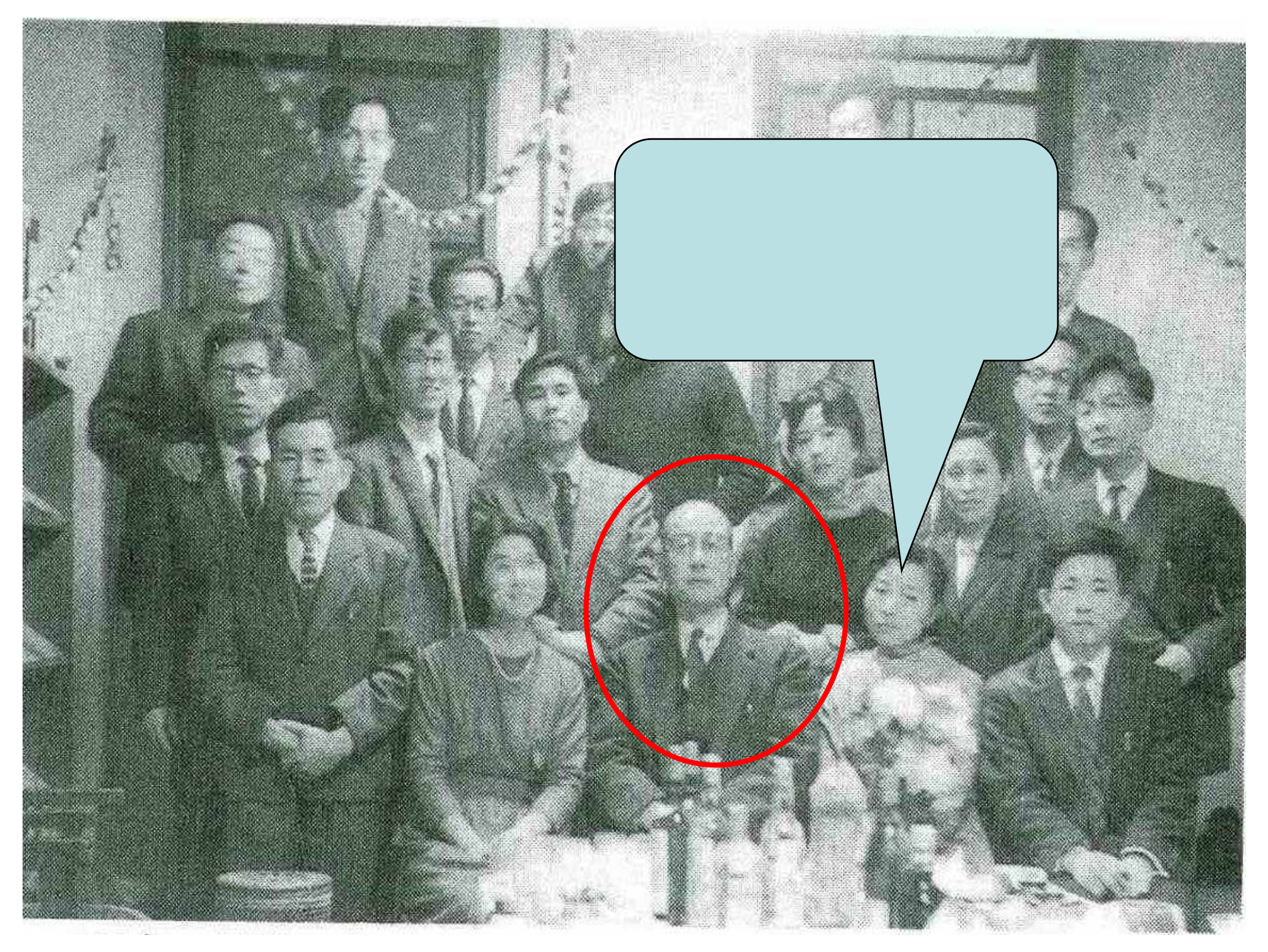
ずっと現役・ 拓者  
佐藤さんの先生

子が 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…  
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 業でやった  
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・ 学部

学生たちが原子磁石になる

か ( と )

度が下がると磁石になる

「自発磁化」



# 多数が集まると

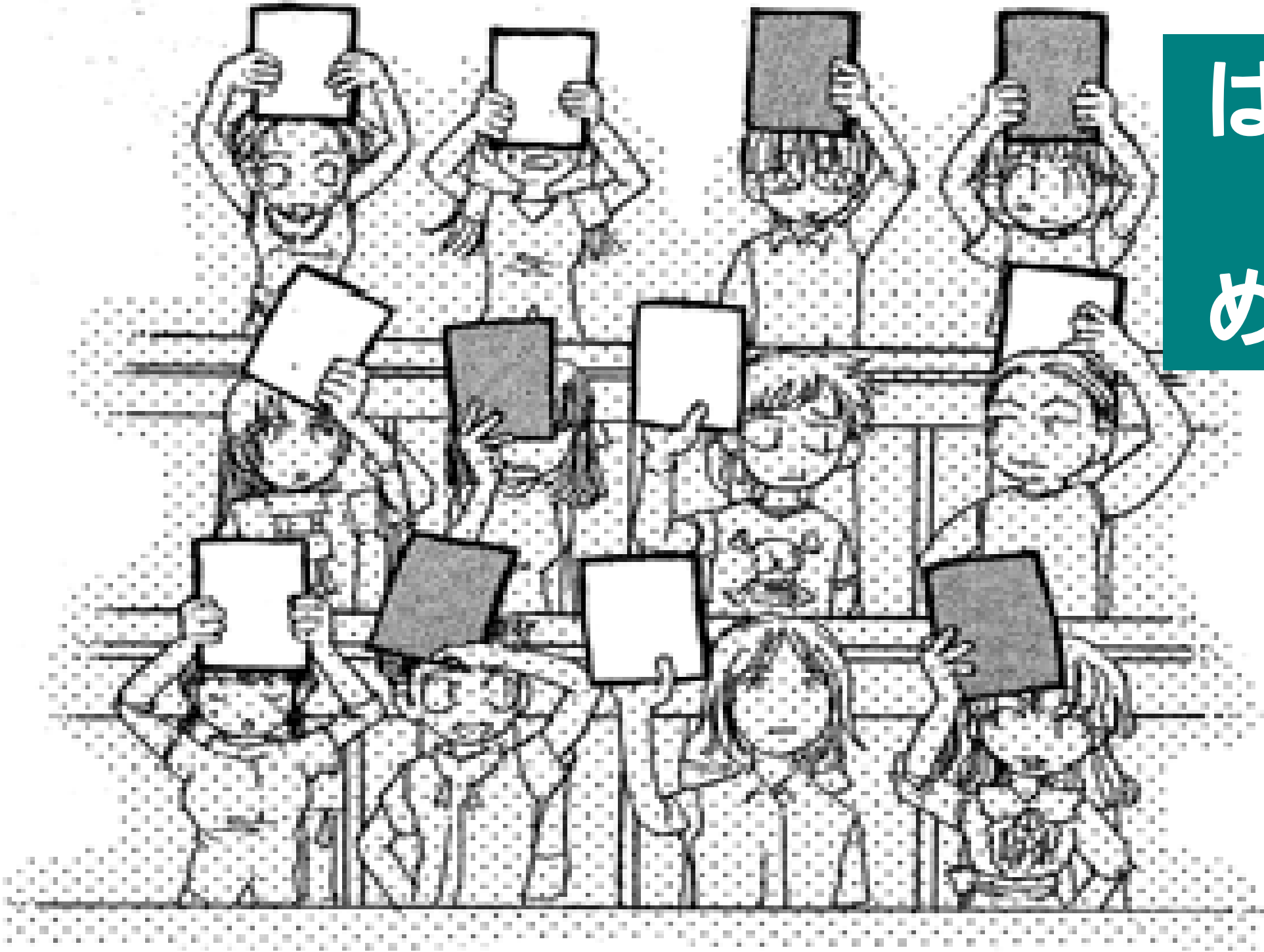
思いがけない  
現象が起こる

自発磁化

やってみましょうか？面  
白い実験！！

コミュニケーション  
と多様性が  
会の進化につながる

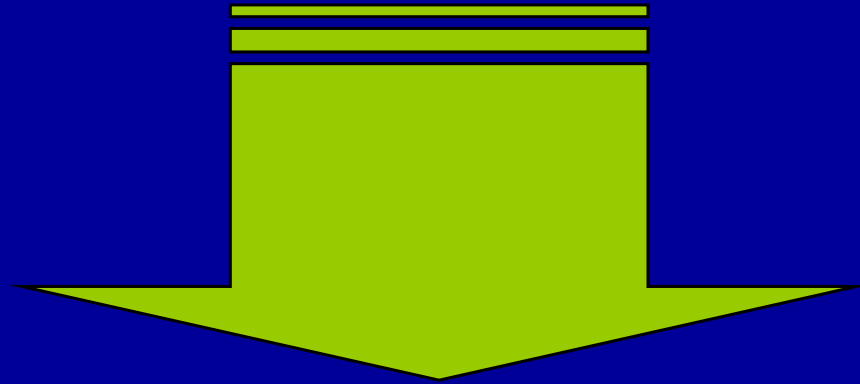
は  
め



# ルール

- 前後左右の をみて
- 号令に わせて
- 多数決の 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  
色が揃う



# 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 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  
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

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 えてきた 法を え



???

- 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、れえに対して対称
- ・ 応用できるとしたら、則的な運動
- 自動車運転は共通性がある？

# 交通流の基本量

- Density, (headway distance )  
 $\rho, \Delta x,$
- Velocity;  $v$
- Flow:  $Q$

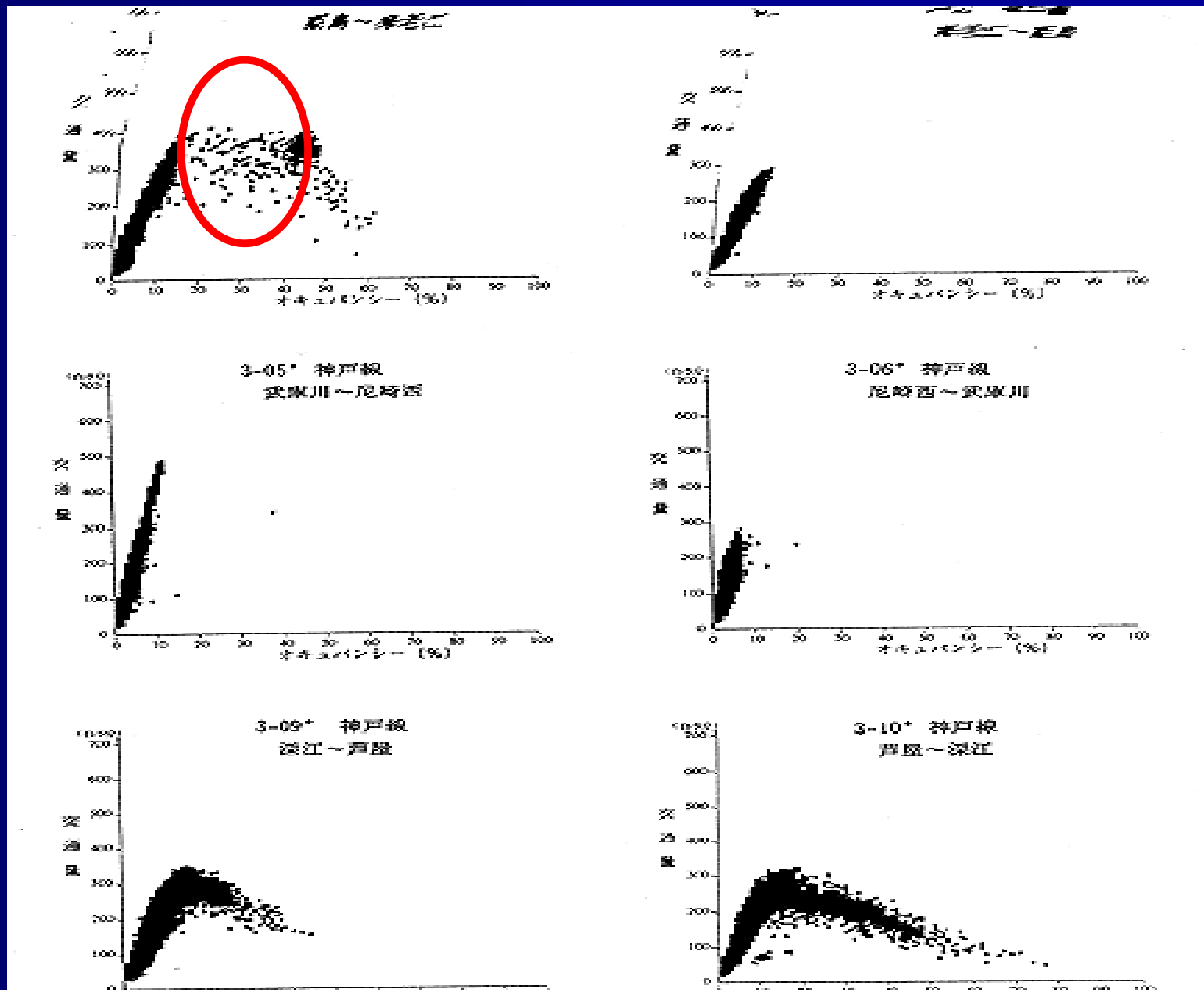
定常流



$$Q = \rho v$$

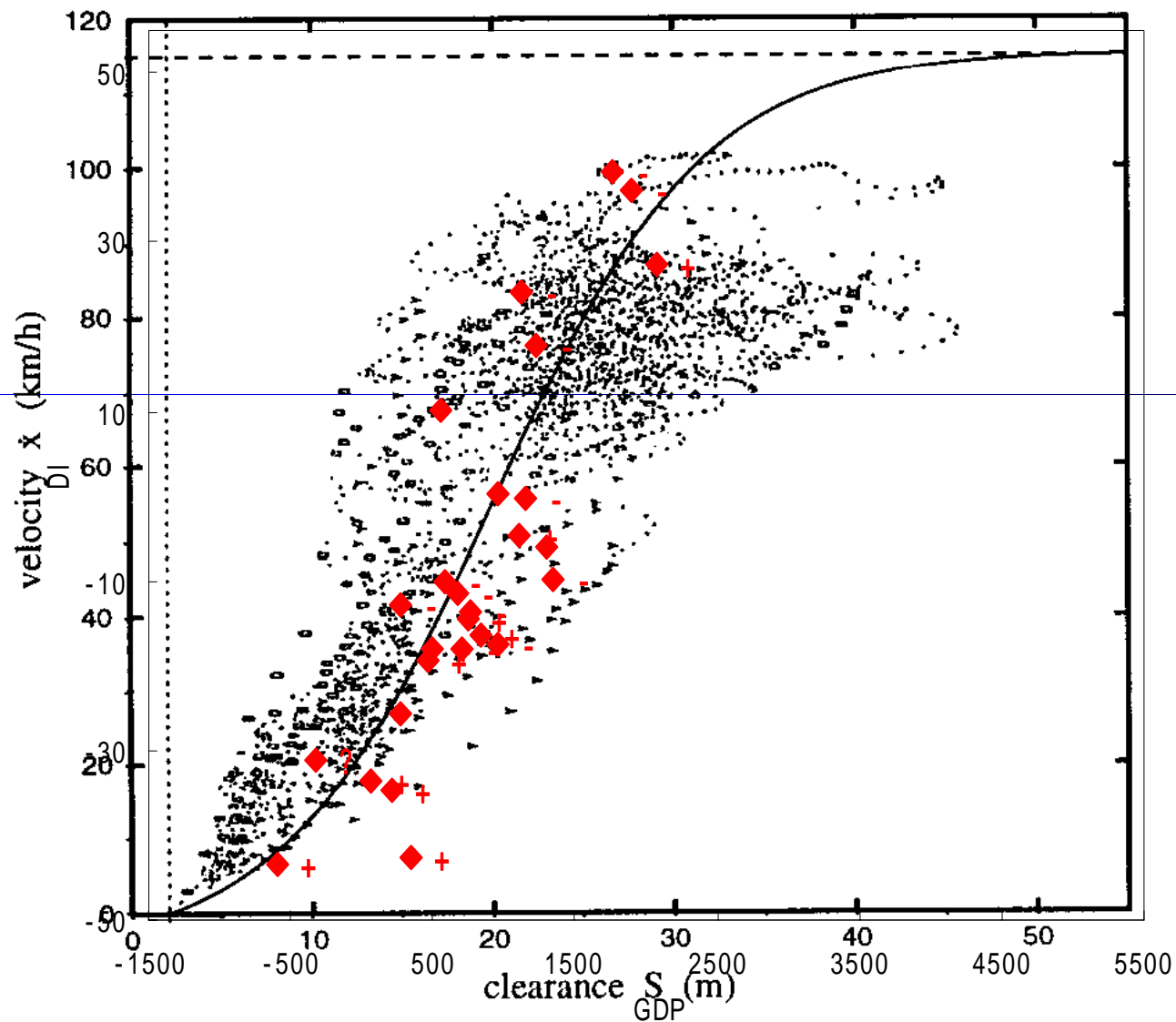
基本図

traffic flow

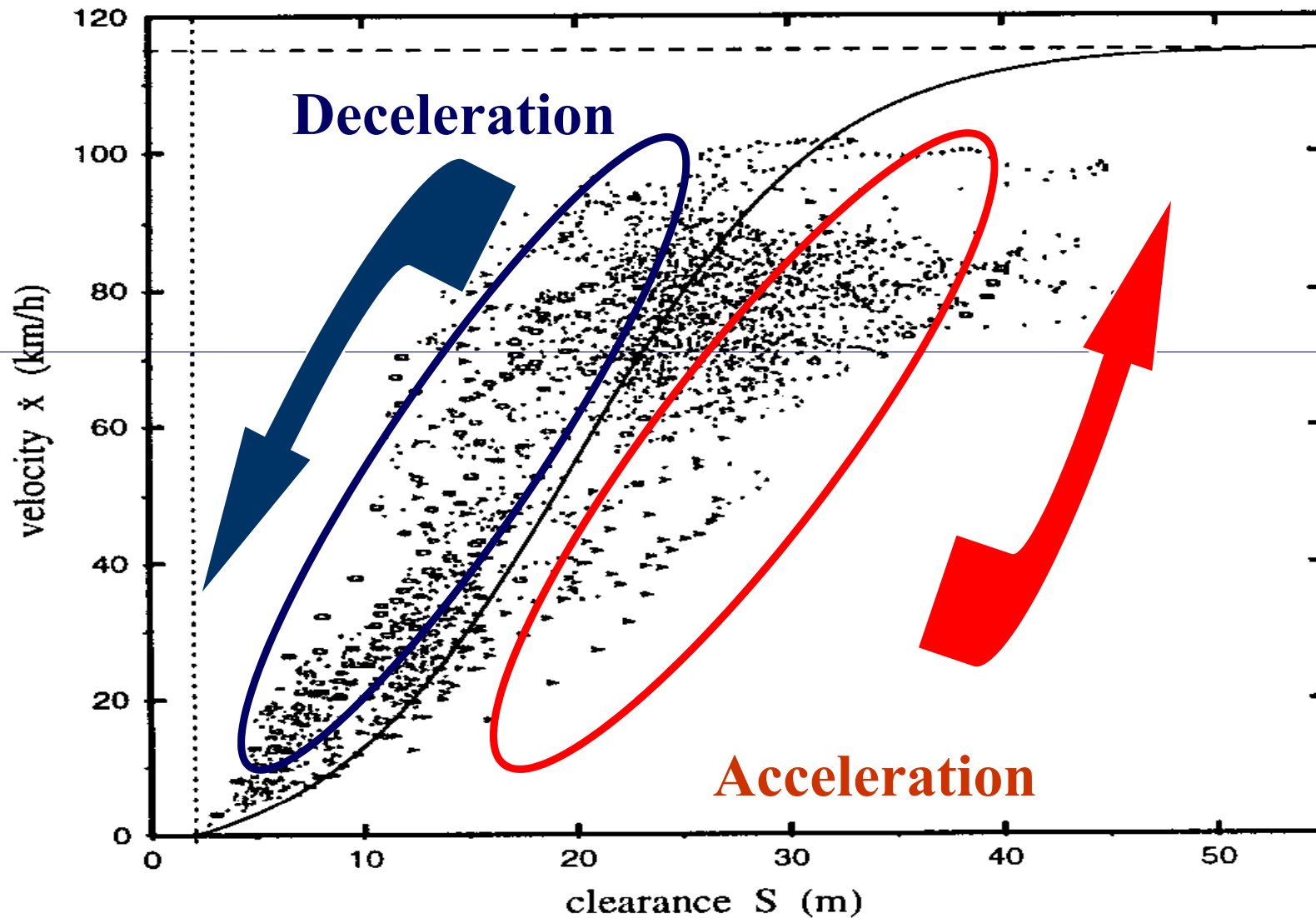


density

# Traffic flow in phase diagram



# Traffic flow in phase diagram ( $\Delta x_n, v_n$ ) plane



# 参考文献

- 10) M. Taniguchi, M. Bando, and A. Nakayama, Economic Fluctuation based on Optimal DI Model., J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 124003.
- 11) M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, Dynamical Model of Traffic Congestion and Numerical Simulation., Phys. Rev. E51 (1995) 1035-1042.

Typeset with jpsj2.cls <ver.1.2.1>

最近のpreprint

## Business Cycle and Conserved Quantity in Economics

Masa-aki Taniguchi<sup>1\*</sup>, Masako Bando<sup>1</sup>, and Akihiro Nakayama<sup>2</sup>

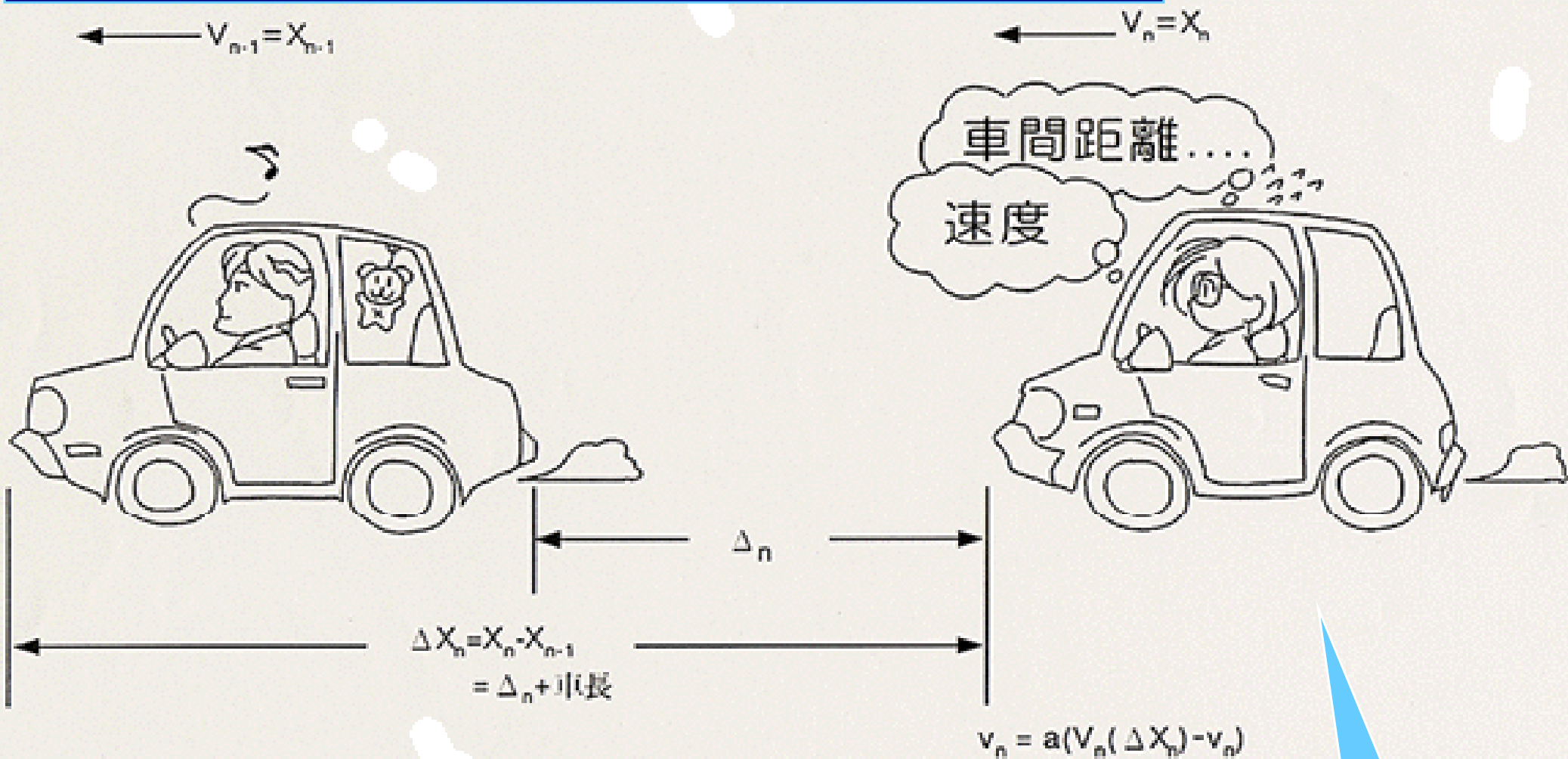
<sup>1</sup>*Aichi University, Miyoshicho, Aichi 461-8641, Japan.*

<sup>2</sup>*Meijo University, Nagoya 468-8502, Japan.*

We propose a dynamical model for business cycle based on an optimal DI model. In the model there exists a conserved quantity, which corresponds to the total energy in a dynamical system. We found that the business cycle with the period 6 ~ 7 years is nicely reproduced, since the model predicts a periodic motion in the conservative system.

KEYWORDS: business cycle, econo-physics, economic fluctuations

# Optimal Velocity Model

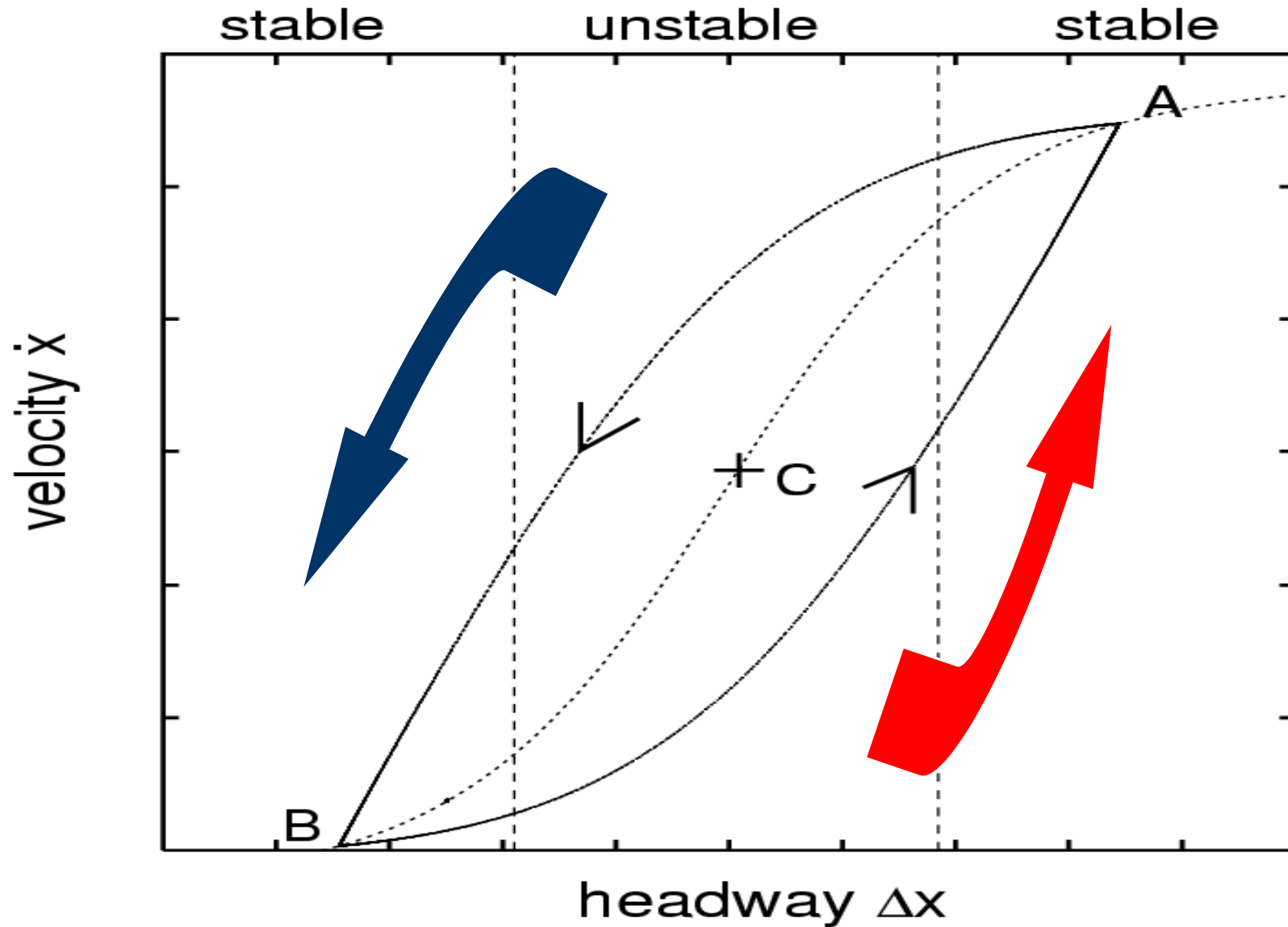


$$\frac{dv_n}{dt} = \alpha(OV(\Delta x_n) - v_n)$$

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

谷部・杉山  
 中山・柴田

# Limit cycle in phase space





# 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**

# Basic quantities of economics



- GDP NNP Y
- Consumption C
- Investment I
- Demand D
- Supply S
- Price P
- Diffusion index DI
- .....

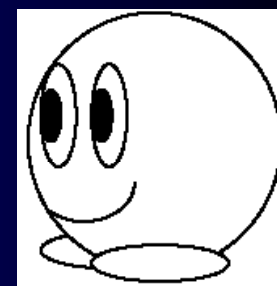


交通流では

$\rho(\Delta x)$  :  
**Density**  $v$  ;  
**velocity**

**Q: Flow**

**( GDP , DI ) を採用**



# Optimal DI Model

## Difference Equation

$$DI(i+1) - DI(i) = a(ODI(\Delta G(i)) - DI(i))$$

+

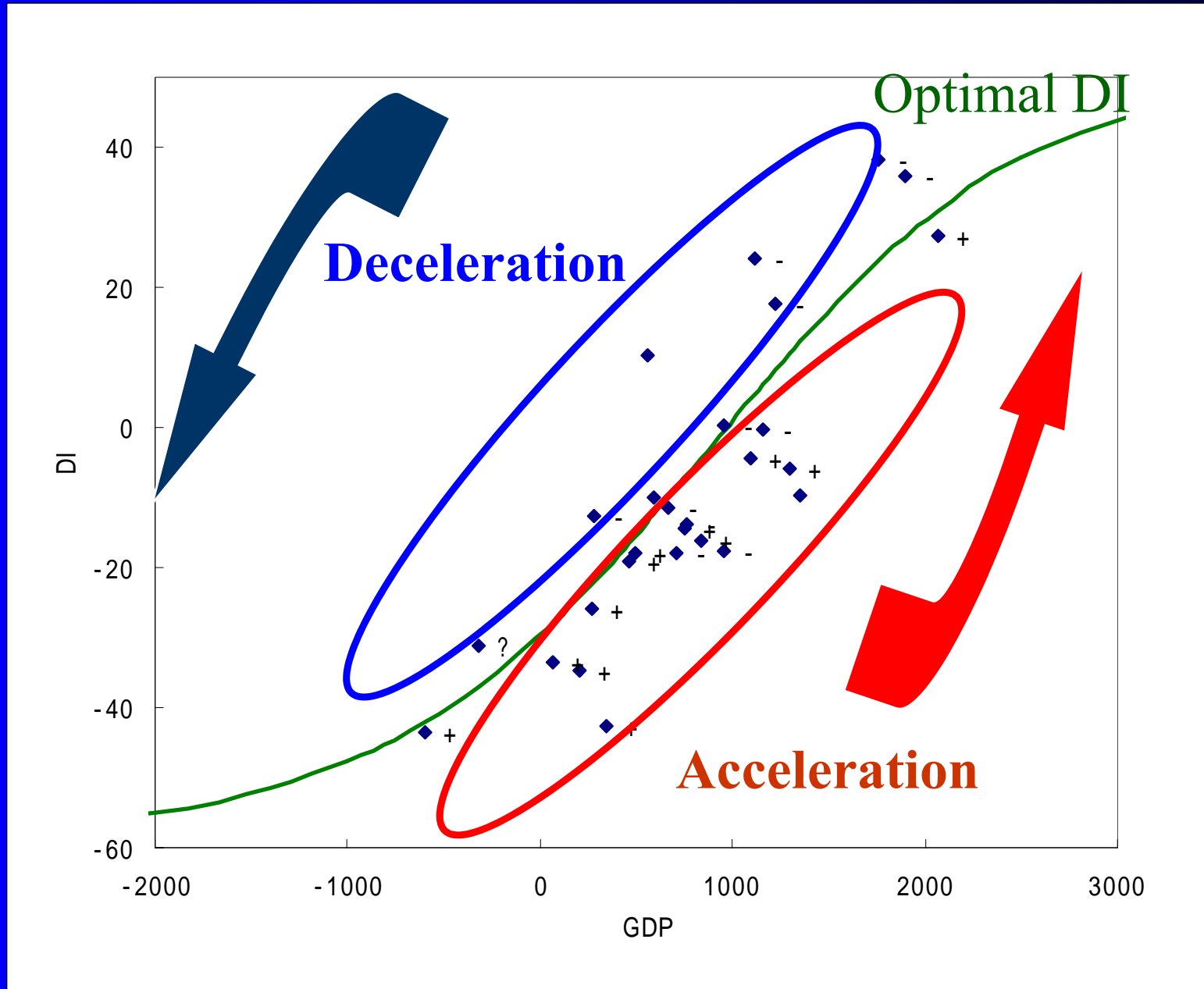
$$\Delta G(i) = b DI(i) + c$$

From observed data



$$b = 23.8, \quad c = 980$$

# Accelerations & Decelerations



# 保存系の模型へ . . .

## ODI模型の変形

1変数の物理  
微分方程式

$$\Delta G(i+1) + a\Delta G(i) + (a-1)\Delta G(i-1) = 2abODI(\Delta G(i)) + 2ac.$$

(1)  $a < 2$

The behavior of  $x(i)$  is similar to that of the original ODI model,<sup>10)</sup> namely  $x(i)$  tends to a fixed point irrelevant to the initial condition.

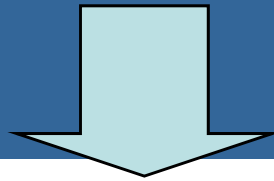
(2)  $a = 2$

This is a special case and we find that  $x(i)$  shows a periodic behavior.

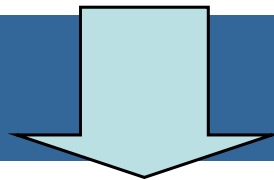
(3)  $a > 2$

Irrelevant to the initial condition,  $x(i)$  tends to infinity.

$$\Delta G(i+1) + a\Delta G(i) + (a-1)\Delta G(i-1) = 2abODI(\Delta G(i)) + 2ac.$$



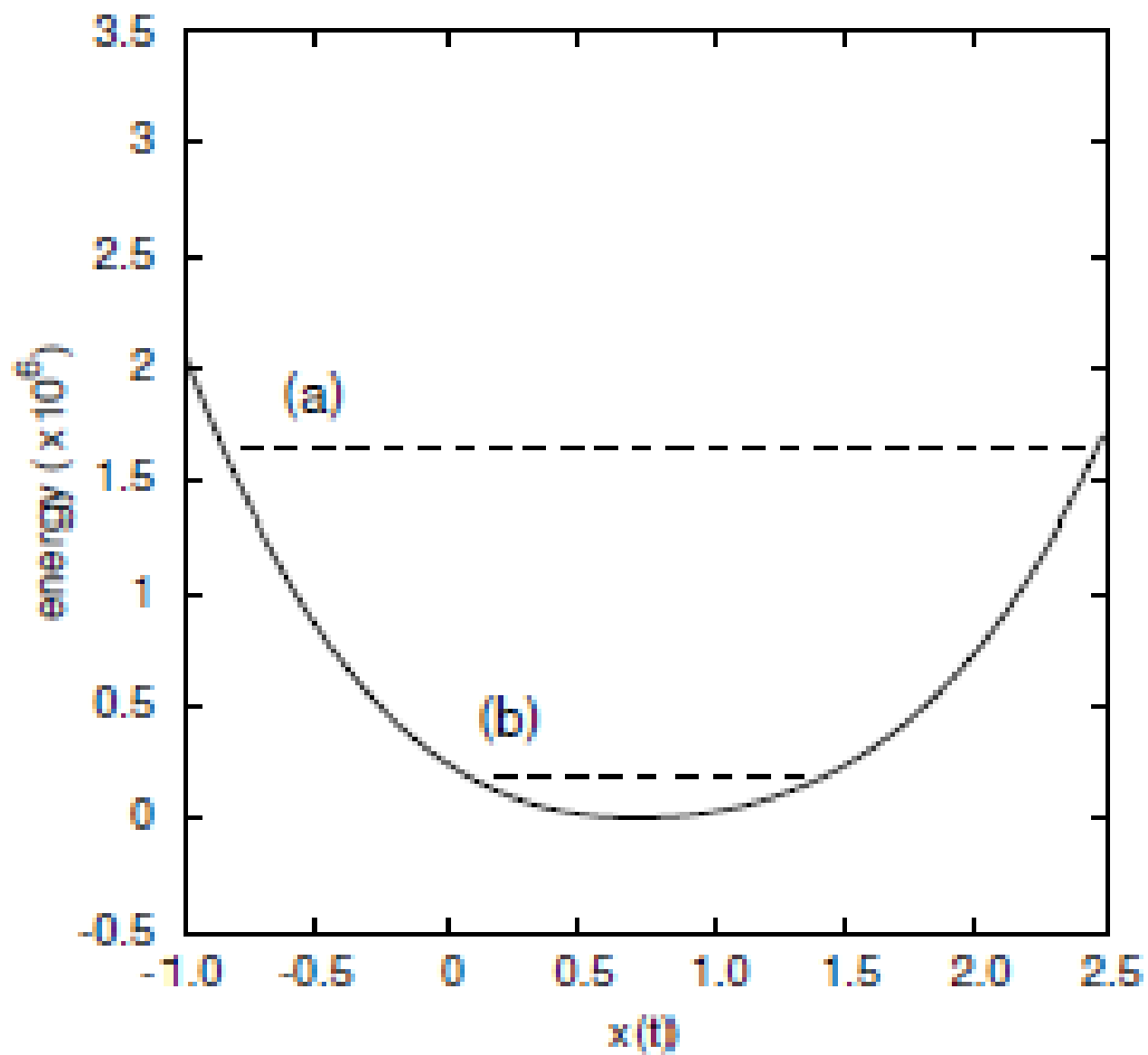
$$x(i+1) - 2x(i) + x(i-1) = 4[bODI(x(i)) - x(i) + c].$$



$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = 4[ bODI(x(t)) - x(t) + c ]$$

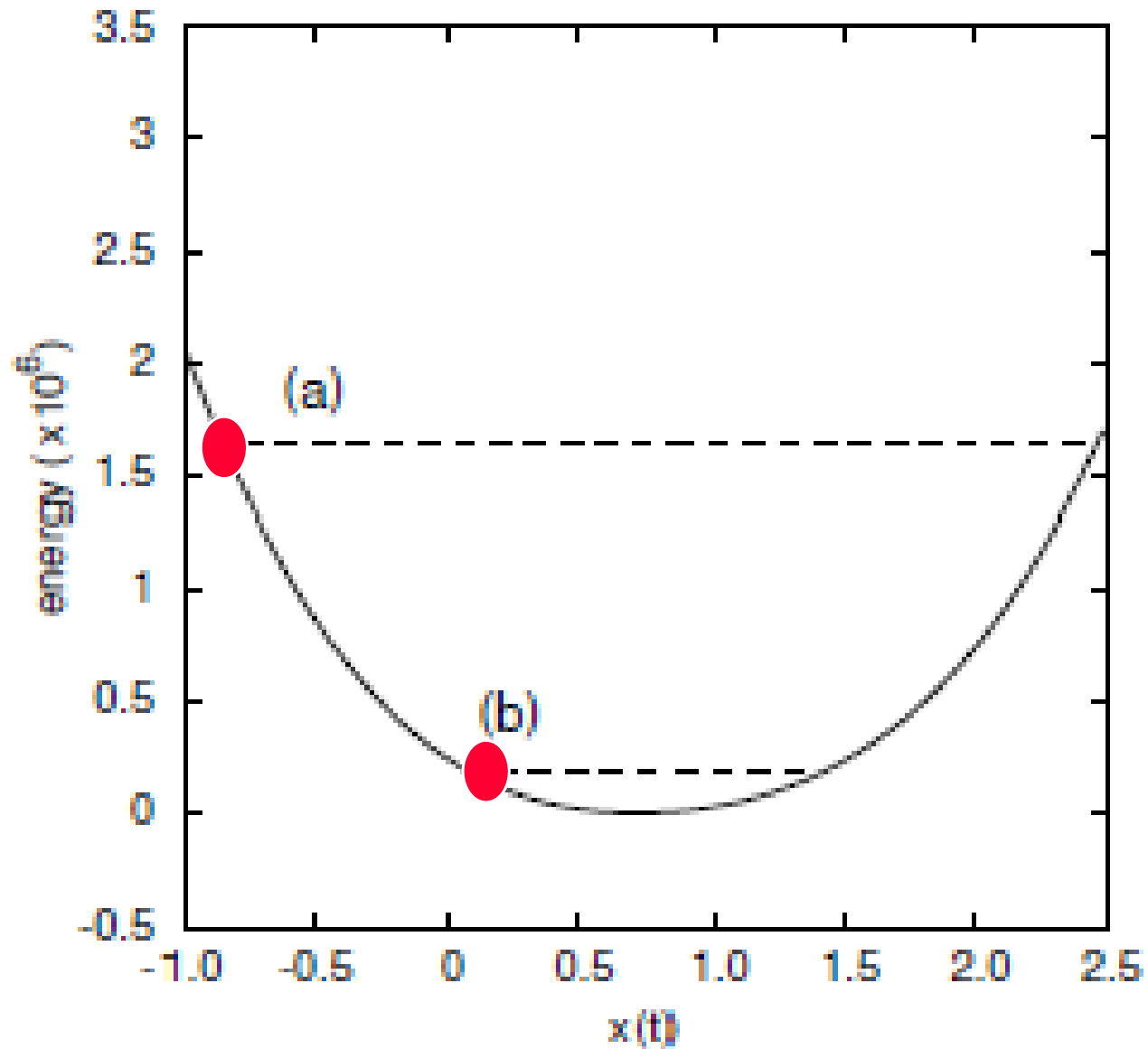
変数  $x \equiv \Delta G$  の 分方程式で される物理系

# ポテンシャルの形

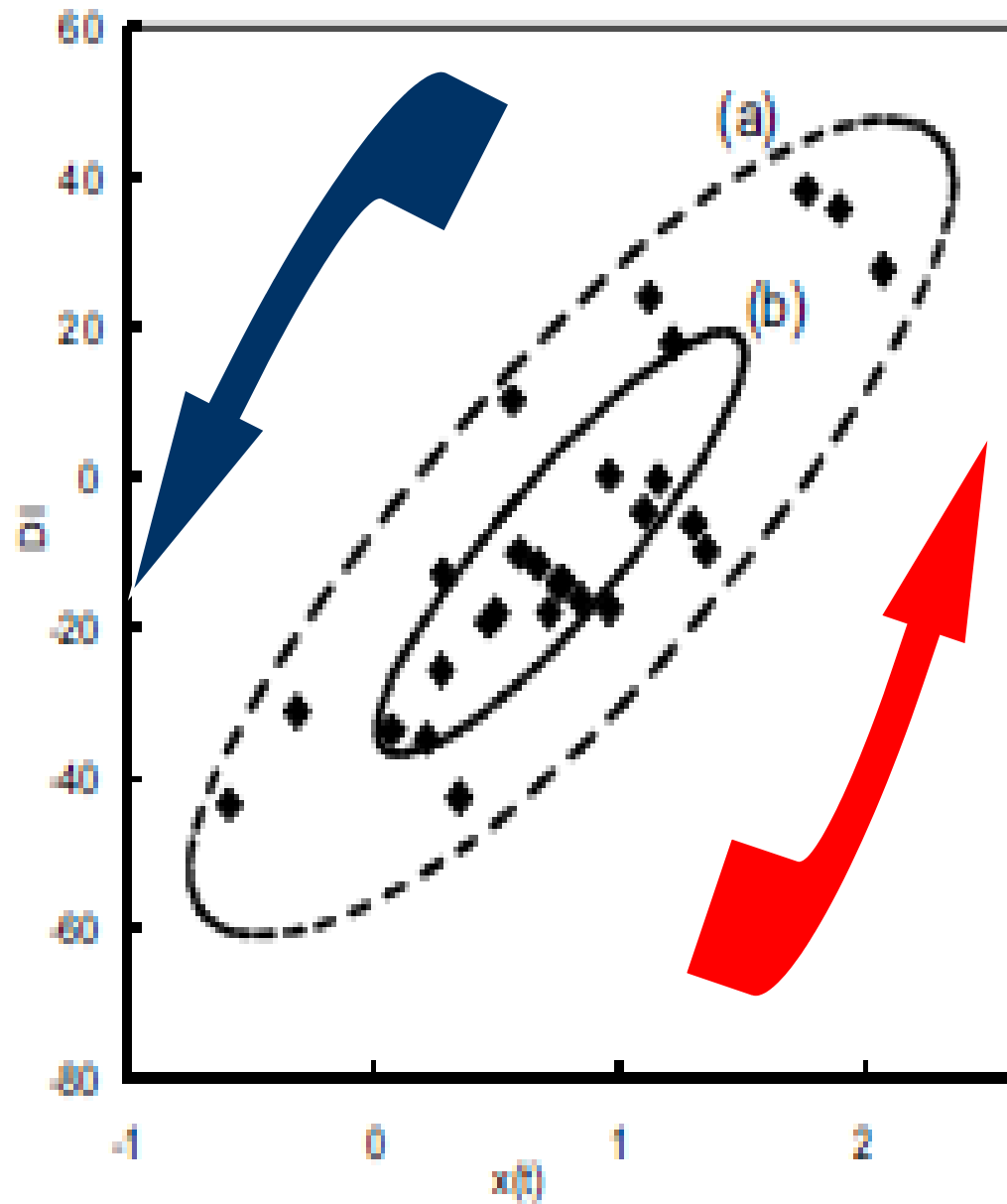




# 総エネルギーと運動の様子



# Phase space での trajectory

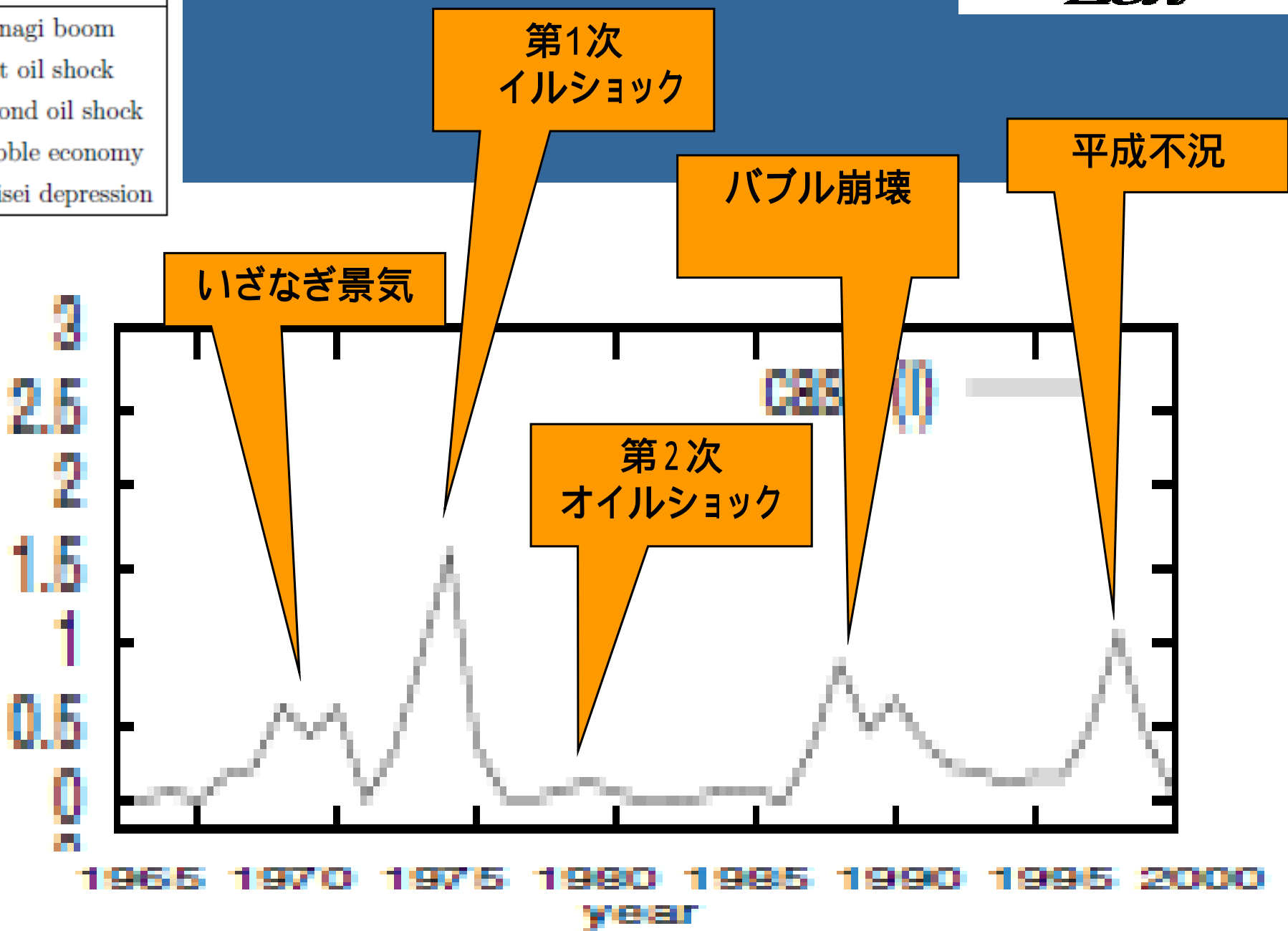


Limit cycle  
ではない  
が . . .

# エネルギーは保存するか？

$$E = \frac{1}{2} \dot{x}^2 + V(x)$$

years	economic event
1965-70	Izanagi boom
1974	first oil shock
1979	second oil shock
1986-91	bubble economy
1997-98	Heisei depression



# 『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

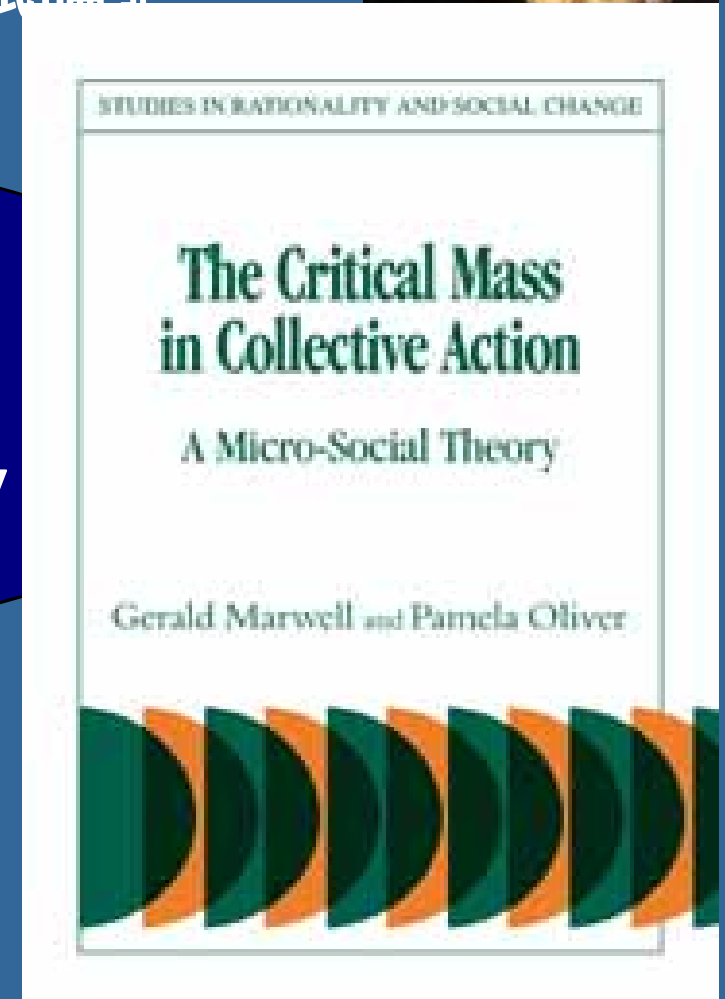
## 物理学者の社会科学へのかかわり

- 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

大量の金銀が大陸から ってきた 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 **本位制**を 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

# 次は気候変動へ・・・

- 温度変化のダイナミクス
- CO<sub>2</sub> 酸化炭素の 響
- 外力と内的変動を同分けるか
- どちらが原因でどちらが結果か

おわり  
おつかれさま！

