

# 胡蝶の夢と明晰さ

畏友 大西明さんに捧ぐ

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻

浅川 正之

# Die Gesellschaft für **U**ber 60 s**C**hwer**I**onen Klub

Welcomes a new GUCI member



Bevalac->SIS->AGS->SPS->RHIC->LHC



# Die Gesellschaft für **U**ber 60 s**C**hwer**I**onen Klub

The GUCI Club as of March 12, 2010 when John joined



Then members: Walter, Reinhard, Ed, Mklaz, Larry, JPaul, John

# Die **G**esellschaft für **U**ber 60 s**C**hwer**I**onen Klub

The GUCI Club as of March 12, 2010 when John joined



Then members: Walter, Reinhard, Ed, Mklaz, Larry, JF

Well, OK, the outside layer  
May have worn a bit ...



But under that cap,  
there is still a ...



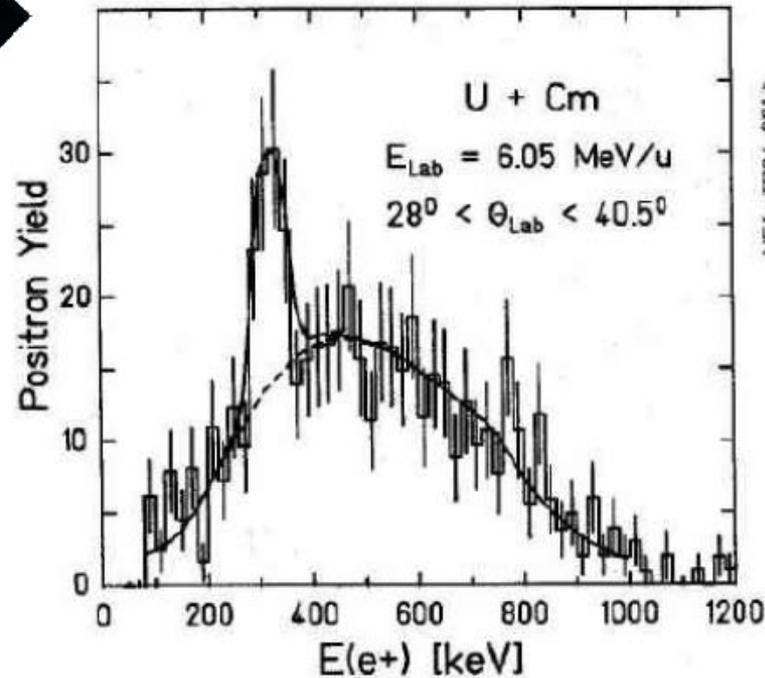
# Berndt's perfect dive into the Dirac sea 1972 with Johann und Walter



11) Solution of the Dirac equation for strong external fields.  
 Berndt Muller, Heinrich Peitz, Johann Rafelski, Walter Greiner,  
 Published in *Phys.Rev.Lett.*28:1235,1972.

GSI recorded a (too) perfect  $e^+$  splash

F. Bosch and B. Müller



PRL51(83)  
 Schweppe, et



Fig. 23. The U + Cm positron spectra at 6.05 MeV/u<sup>(63)</sup> show a remarkable structure in the selected region of scattered particles. Theoretical results (at  $E_{lab} = 5.8$  MeV/u, folded with the detector efficiency) are compared with the experimental positron yield. The line structure can be explained by a nuclear reaction component with a delay time  $T = 10^{-17}$  s and an admixture ratio  $q = 10^{-2}$ .

# 知魚楽

名古屋大学理学部会議室に湯川秀樹筆の  
「知魚楽」という書が掲げられていました。

出典は莊子。莊子と恵子が川のほとりで、  
「あの魚はのびのびと自由に泳ぎまわっている。これこそ魚の楽しみだよ」  
「君は魚ではない。どうして魚の楽しみがわかろうか」  
「君は僕ではない。どうして僕が魚の楽しみをわかっていないとわかろうか」

...



# 知魚楽

名古屋大学理学部会議室に湯川秀樹筆の  
「知魚楽」という書が掲げられていました。

出典は莊子。莊子と恵子が川のほとりで、  
「あの魚はのびのびと自由に泳ぎまわっている。これこそ魚の楽しみだよ」  
「君は魚ではない。どうして魚の楽しみがわかろうか」  
「君は僕ではない。どうして僕が魚の楽しみをわかっていないとわかろうか」  
．．．

テオフィル・ゴーティエ「死霊の恋」（永田千奈 訳、光文社）  
の訳者あとがきに、似た設定の話として、泉鏡花の高野聖、  
莊子の胡蝶の夢のことが書かれていました。

そう言えば、莊子にはそんな話もあったな…。

# 胡蝶の夢

昔者、莊周、夢爲胡蝶。栩栩然胡蝶也。自喻適志與、不知周也。俄然覺、則蘧蘧然周也。不知、周之夢爲胡蝶與、胡蝶之夢爲周與。周與胡蝶、則必有分矣。此之謂物化。

むかし、莊周は自分が蝶になった夢を見た。  
楽しく飛びまわる蝶になりきって、のびのびと  
快適であったからであろう。自分が莊周であることを  
自覚しなかった。ところが、ふと目がさめてみると、  
まぎれもなく莊周である。いったい莊周が蝶となった  
夢をみたのだろうか、それとも蝶が莊周になった  
夢を見ているのだろうか。莊周と蝶とは、きつと区別が  
あるだろう。こうした移行を物化（すなわち万物の変化）  
と名づけるのだ。

# アリストテレス

初田さんの引用

The whole is more than the sum of its parts.

アリストテレス 形而上学(Metaphysics)

明らかに More is different を意識している。

そこで、アリストテレスが他に何か言っていないか調べてみた。

Clarity (saphêneia) という用語が哲学者の間で論争になっているらしいと知った。

# Clarity

So in the present inquiry we must proceed in this way and advance from the things that are more obscure by nature but clearer to us, towards the things that are clearer and better known by nature.

アリストテレス(自然学、Physics)、J. H. Lesher の論文より

by nature の意味がわからない。そこでギリシア語からの日本語訳（阪大にも数冊しかない）

だからそれゆえ、われわれは、この仕方に従って、自然においてはより多く不明晰であるがわれわれにとってはより多く明晰なものことから出発して、自然においてより多く明晰でありより多く可知的なものへと進まねばならない。

自然学 (Physics)、出隆、岩崎允胤 訳

何を言っているか依然よくわかりませんが、明晰さがキーワードのようです。

# Metaphysics と Physics

「メタ」というのは「超えている」ほどの意味で、公理系の外に出て、その公理系について証明するといった感じです。

ある論理の公理系に対して、その公理系の完全性を調べるなど 「メタ論理」

「論理学」 野矢茂樹 東京大学出版会

私見では、物理学に対するメタは、論理学、数学、物理学的に...、というような論理など一般

それでは、メタ論理の完全性を調べるのは？

メタメタ論理（上掲書）

# 自然科学に戻って

だからそれゆえ、われわれは、この仕方に従って、自然においてはより多く不明晰であるがわれわれにとってはより多く明晰なものごとから出発して、自然においてより多く明晰でありより多く可知的なものへと進まねばならない。

自然科学 (Physics)、出隆、岩崎允胤 訳

私見： 自然において明晰なもの： 物理の言語・物理法則

われわれにとってはより多く明晰なものごと： 人間の思考言語

目標： 自然の言語をそのまま理解すること = 胡蝶の夢

# 明晰さと胡蝶の夢の境地

自然と一体の境地になれば、明晰さを手に入れられる！？

ちょっと対象が狭いが同じ方向の考え

準同型定理はひとたび理解してしまえば、空気の存在のように「当たり前」と感じられるものと思う。一方で、All things are difficult before they are easy というように、準同型定理を当たり前と感じられるようになるまでにはいくつかの関門があるように思われる。

「代数学入門」 川口周（日本評論社）

Dive into the deep shit !

by Ken Johnson, translated by MIT students

# 明晰さと胡蝶の夢の境地

ただし、それなりの時間と労力が必要。

物理学は自然が使っている最基層の基礎的な言語。

語学を習得するのに近道はありません。なんとなくCDを聞き流しているだけで流暢に話せるようになる、というのは広告の中だけのおとぎ話です。

「大学のロシア語Ⅱ」前田和泉 東京外国語大学出版会

しかし、以下で見るように  
複雑怪奇なテクニックのことを言っているのではない。

# まずは私の修論の論文から

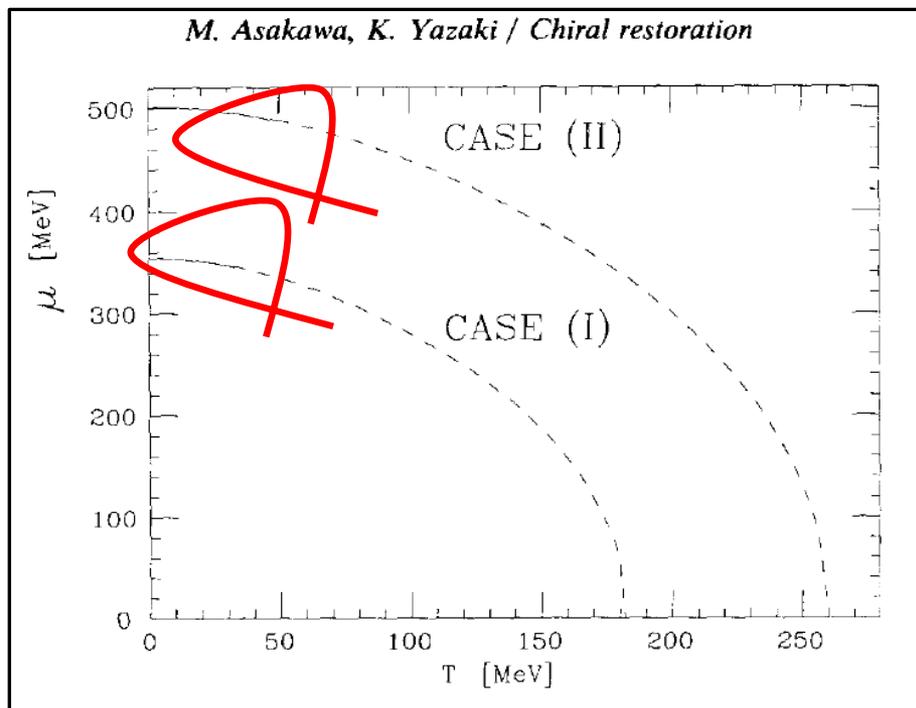
Nuclear Physics **A504** (1989) 668-684  
North-Holland, Amsterdam

## CHIRAL RESTORATION AT FINITE DENSITY AND TEMPERATURE

Masayuki ASAKAWA and Koichi YAZAKI

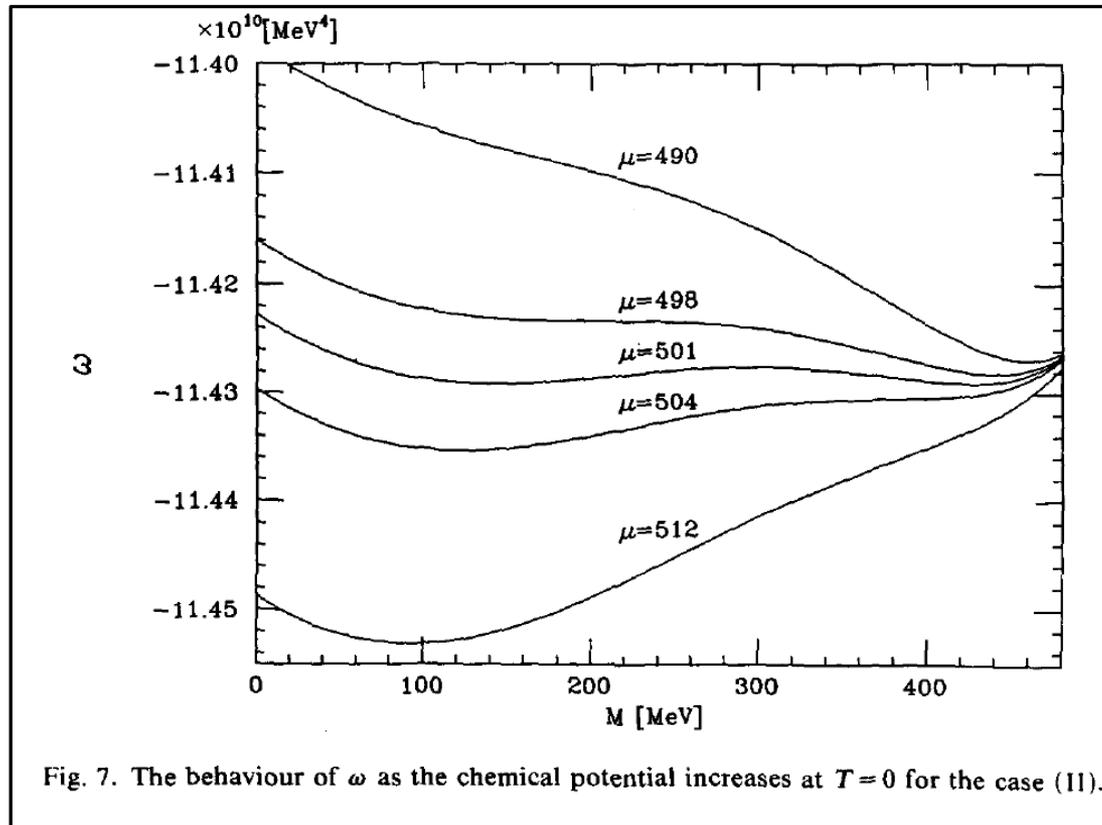
*Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan*

Received 2 May 1988  
(Revised 24 April 1989)



# 内憂外患 1

やってみたけど、1次相転移は見つからなかったという声、論文まで出る始末（しかも出版されてしまう）。



他の人たちは、密度を変数にしていた（らしい）。論文に、熱力学ポテンシャルを化学ポテンシャルを変化させて書いた図が載っているのにね...

# 内憂外患 2

Nuclear Physics **A504** (1989) 668-684  
North-Holland, Amsterdam

## **CHIRAL RESTORATION AT FINITE DENSITY AND TEMPERATURE**

Masayuki ASAKAWA and Koichi YAZAKI

*Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan*

Received 2 May 1988  
(Revised 24 April 1989)

この日付から、レフェリーもひどかったことがわかります。

救世主: S. P. Klevansky 先生

相律: 共存相では二つの相の温度、圧力、化学ポテンシャルが等しい

大学1年か2年で習う。証明も簡単。これが身についていなかったため、明晰さを失って、闇に突進!

# Dileptonの自明と非自明

横方向運動量はブルーシフトを受けるので、  
不変質量でプロットすればよい

かなりウケて、この流儀のプロットが大はやり

こんな当たり前のことで喜ぶより、dilepton胡蝶と一体になって、  
ハドロン相からの寄与が小さいとか、横方向膨張 ( $v_0$ ) が小さい  
時に出来たとか言ってみませんか？

実は、30年以上前に考えてみたことがありますを受けなかった。  
 $M_T$ スケーリングという名前がよくなかったと思われる。

# Dileptonの自明と非自明

VOLUME 70, NUMBER 4

PHYSICAL REVIEW LETTERS

25 JANUARY 1993

## $M_T$ Scaling in Dilepton Spectrum as a Signature for Quark-Gluon Plasma

M. Asakawa,<sup>(a)</sup> C. M. Ko,<sup>(b)</sup> and P. Lévai<sup>(c)</sup>

*Cyclotron Institute and Physics Department, Texas A&M University, College Station, Texas 77843*

(Received 27 April 1992)

$$\frac{dN}{dM_T^2 dy dq_T^2} = \frac{5\alpha^2}{18\pi^2} \int f_q(\rho, \tau) I_0\left(\frac{q_T \sinh \zeta}{T}\right) K_0\left(\frac{M_T \cosh \zeta}{T}\right) \rho \tau d\rho d\tau + \frac{\alpha^2}{24\pi^2} F_\pi(M) \left(1 - \frac{4m_\pi^2}{M^2}\right)^{3/2} \\ \times \int f_h(\rho, \tau) I_0\left(\frac{q_T \sinh \zeta}{T}\right) K_0\left(\frac{M_T \cosh \zeta}{T}\right) \rho \tau d\rho d\tau,$$

$$u^\mu = (\cosh \zeta \cosh \eta, \sinh \zeta \cos \varphi, \sinh \zeta \sin \varphi, \cosh \zeta \sinh \eta)$$

軸対称なboost-invariantな流れ

$$F_\pi(M) = \sum_{\rho_i = \rho, \rho', \rho''} \frac{N_{\rho_i} m_{\rho_i}^4}{(m_{\rho_i}^2 - M^2)^2 + m_{\rho_i}^2 \Gamma_{\rho_i}^2}$$

ハドロン相からの寄与、  
この当時はbroadeningなどはなし

# Dileptonの自明と非自明

$$\frac{dN}{dM_T^2 dy dq_T^2} = \frac{5\alpha^2}{18\pi^2} \int f_q(\rho, \tau) I_0\left(\frac{q_T \sinh \zeta}{T}\right) K_0\left(\frac{M_T \cosh \zeta}{T}\right) \rho \tau d\rho d\tau + \frac{\alpha^2}{24\pi^2} F_\pi(M) \left(1 - \frac{4m_\pi^2}{M^2}\right)^{3/2} \\ \times \int f_h(\rho, \tau) I_0\left(\frac{q_T \sinh \zeta}{T}\right) K_0\left(\frac{M_T \cosh \zeta}{T}\right) \rho \tau d\rho d\tau,$$

ハドロン相からの寄与がなく、軸対称な流れもなければ $q_T$ によらない。

$I_0(x)$ は $I_0(0)=1$ の単調増加関数（ブルーシフトを表す）

ハドロン相では、ハドロンの質量( $\rho$ の質量など) という別のスケールが導入されるので、このスケーリングは破れる（これが $F_\pi(M)$ ）。

但し、これはQGP相からの寄与に関して、最低次の結果  
高次補正を入れた式を用いても、新たなスケールが導入される  
訳ではない(?  $gT$ は?)ので、おそらく $I_0$ 、 $K_0$ のところが変わるだけ(かも)。

# Broadening or Mass Shift

別にこの2つは対立概念という訳ではない。

レプトン対は反応の全過程の情報を含んでいる。

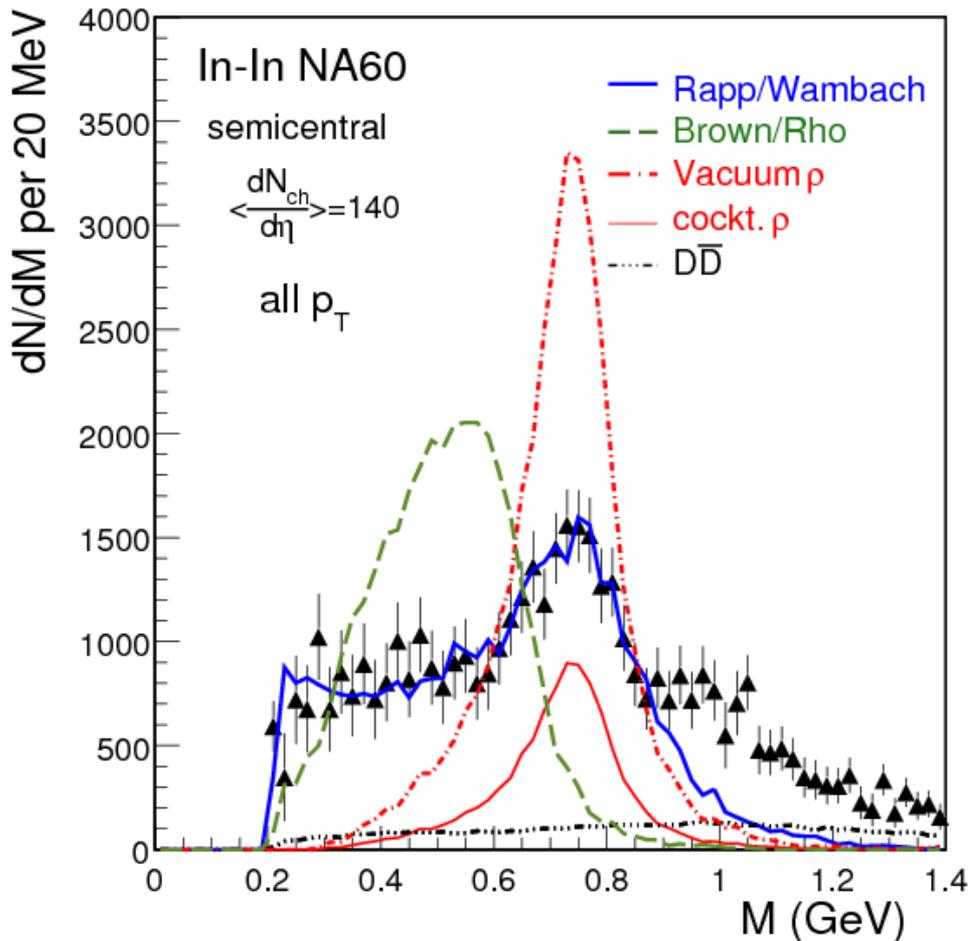
言い換えれば、反応の全過程の情報がわからないと、観測量は計算できない。

SPSでは反応の全過程を記述するモデルは存在しない。  
どうやってレプトン対を計算する??

横方向に膨張する円筒などで記述できるほど、簡単ではない。

ある所で使ったスライド。

# Is Partial Chiral Sym. Restoration dead?



NA60, Eur. Phys. J. C (2009)

1. Broadening is rather boring physics + No explicit chiral sym. restoration
2. “Brown-Rho” does not include broadening
3. Time evolution is not well-known @SPS
4. Brown-Rho scaling is based on a rather extreme assumption
5. Even in QCDSR, the relation between chiral sym restoration and  $\rho/\omega$  mass reduction is *not* very obvious
6. For  $\phi$ , situation is different

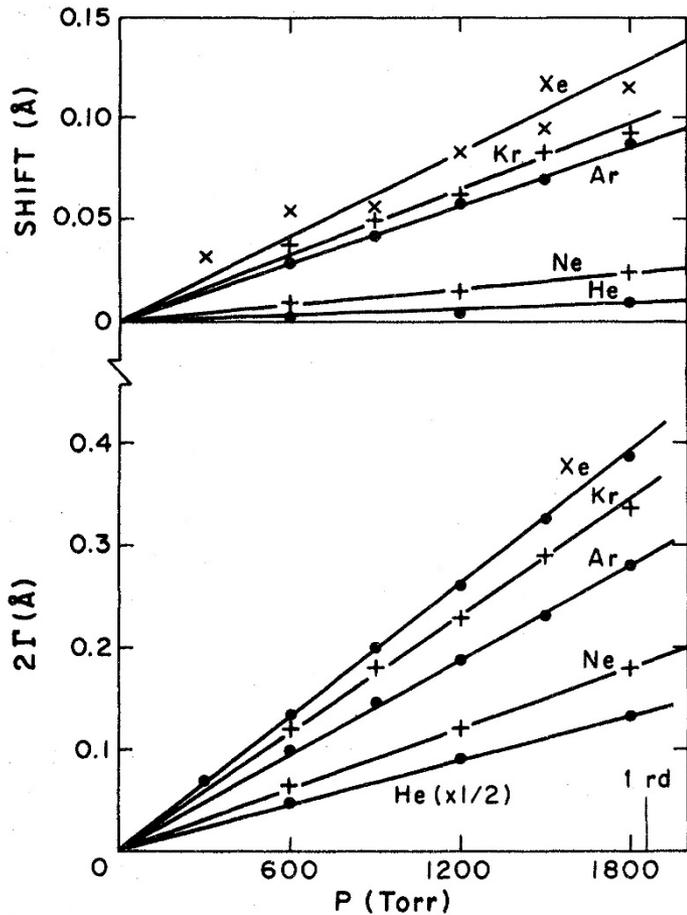
# まとめ

- ✓ Freezeouts はトリビアルな現象ではない
- ✓ Freezeouts は top down に起きるのではなく、bottom up に原子核衝突でのダイナミクスの結果生じる
- ✓ その結果、clear cut な現象ではなく、about (fuzzy) なもの
- ✓ すべての粒子種が同時に freezeout する保証はなく、実際そうになっていない
- ✓ [補足] Conserved charge fluctuation で問題となるのは thermal freezeout の方であって、chemical ではない

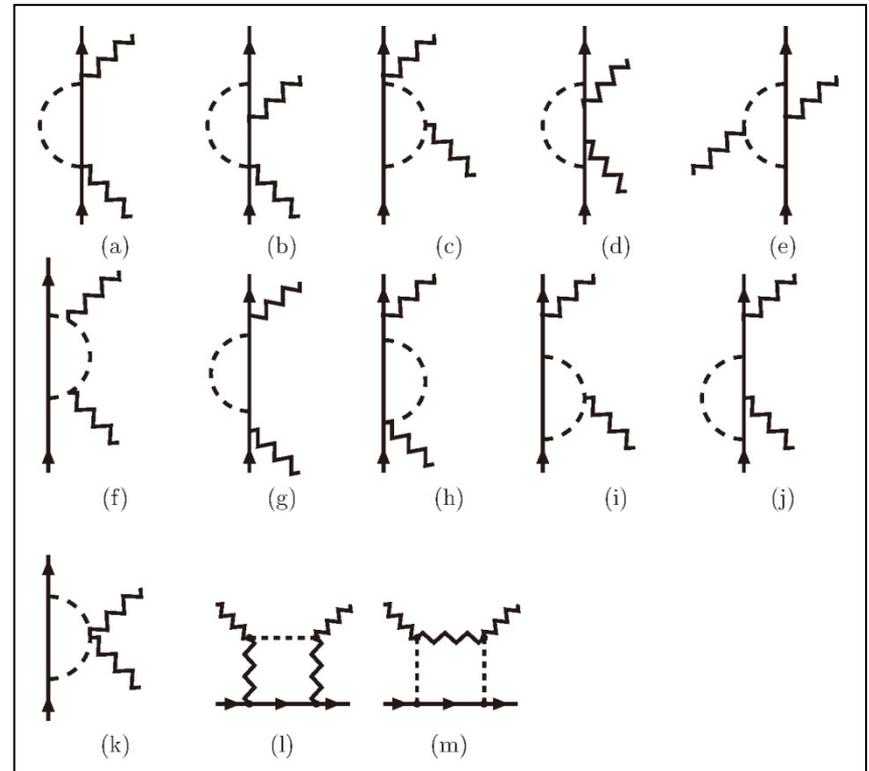
# Broadening of Li Line in Noble Gas

Li 6708 Å line in He, Ne, Ar, Kr, and Xe

$$\Gamma \sim \frac{1}{\tau}$$



Gallagher 1975



$\rho$ -N scattering graphs

Klingl, Kaiser, and Weise, 1997

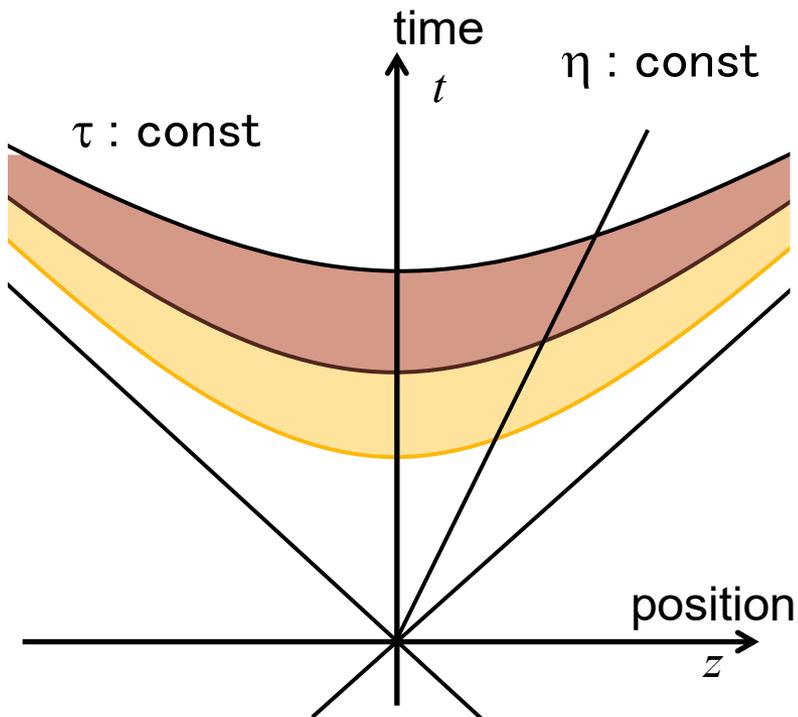
M. Asakawa (Osaka University)

# 座標系

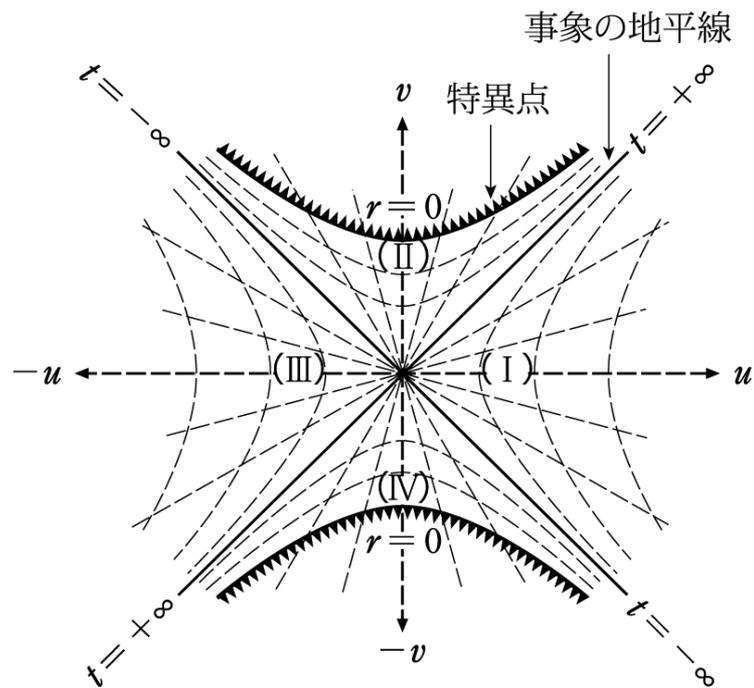
自然をよりよく理解するための方法

いつでも直交座標では、自然の言語と噛み合わないことがある。

極座標、円柱座標、Milne座標、Kruskal座標、tortoise座標 ...



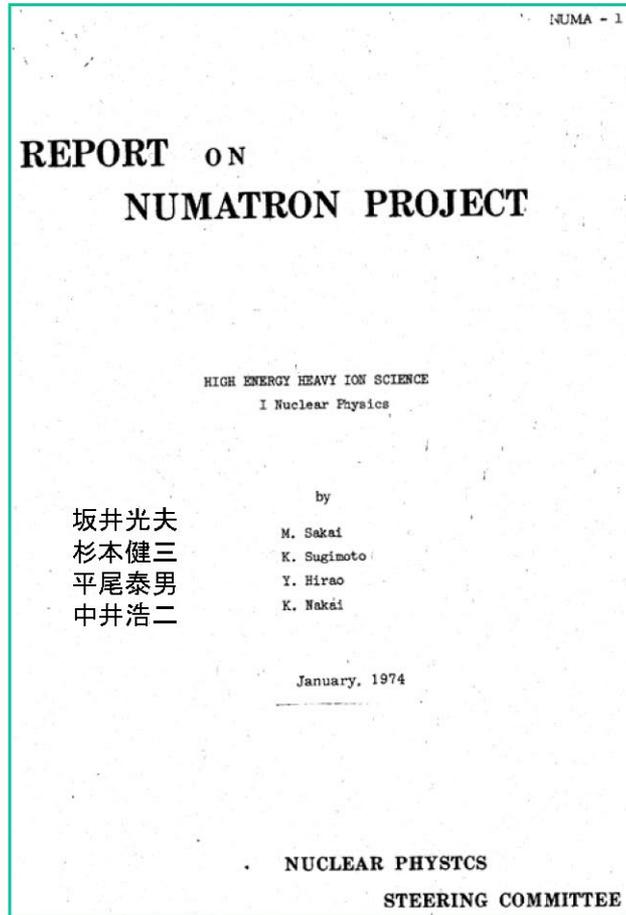
Milne 座標



Kruskal 座標

# Many Farseeing Ideas in 1973

## Two Workshops in 1973



from Prof. Nakai's presentation

# Many Farseeing Ideas in 1973

山口嘉夫 High-Energy Nuclear Reactions

宇宙線の常識

Lorentz invariance

Rapidity  

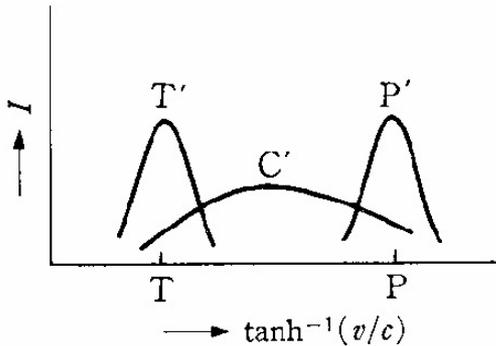
$$y = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{E+p_{\parallel}}{E-p_{\parallel}} \right)$$

Transverse momentum

$$p_{\perp}$$

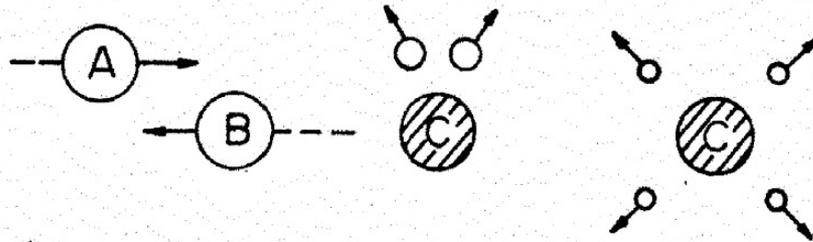
Invariant cross section

$$\frac{1}{P} \frac{d^2\sigma}{dE d\Omega}$$

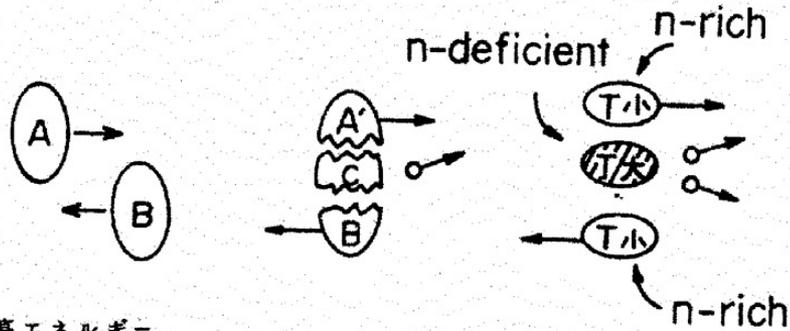


重イオン核反応の機構

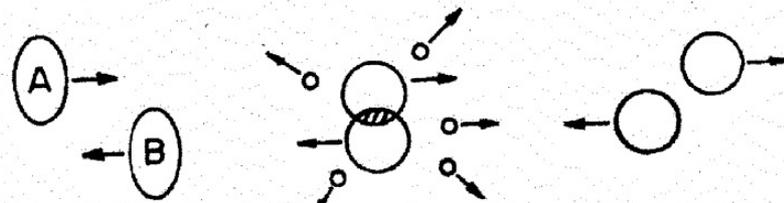
(I) 低エネルギー



(II) 高エネルギー



(III) 超高エネルギー



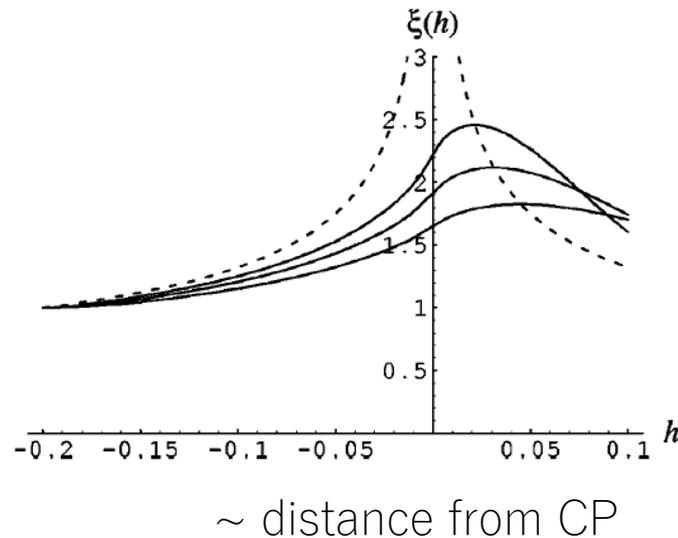
Essentially inside-outside cascade (McLerran-Bjorken picture)

from Prof. Nakai's presentation

# Correlation and Cumulants

Time evolution of correlation length around CP with critical slowing down

相関長：せいぜい 2~3 fm



Berdnikov, Rajagopal (2000)  
Asakawa, Nonaka (2004)

---

こちらは熱平衡が十分条件 (Thermal Wick theorem or Bloch de Dominicis theorem)

$$K_2 \sim \xi^2, \quad K_3 \sim \xi^{4.5}, \quad K_4 \sim \xi^7$$



高次キュムラントが有利

# 理論で計算されているものとは

理論で計算されているものと、  
実験で測られているものの関係を理解しよう。

揺らぎは高次キュムラントも含めて位置空間で計算されている。

一方、測定は運動量空間（あるrapidity window...etc.）。

その二つが同じものを見ていればよいが...

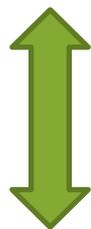
# 理想的な場合

$y = \eta$  in Bjorken picture

Rapidity

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + P_z}{E - P_z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + v_z}{1 - v_z}$$

Momentum  $P_z$

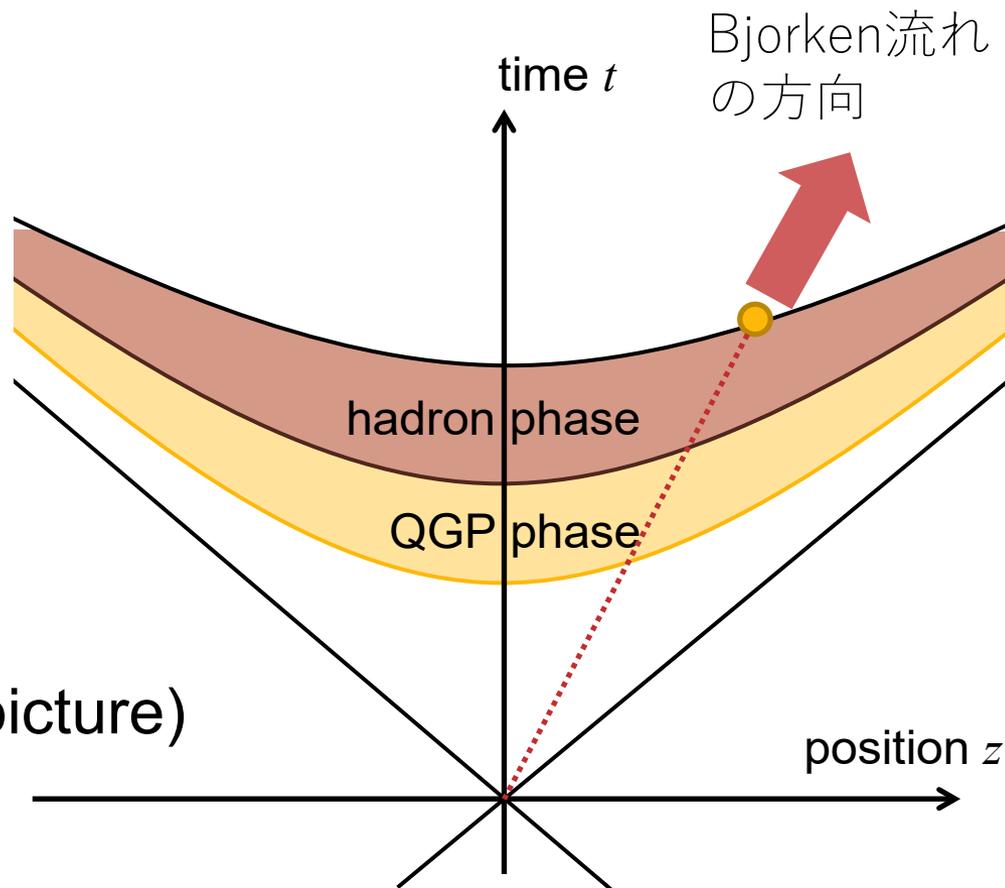


identified  
(in Bjorken picture)

Spacetime Rapidity

$$\eta = \frac{1}{2} \ln \frac{t + z}{t - z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + z/t}{1 - z/t}$$

position  $z$



ここでは熱揺らぎはないとしている。

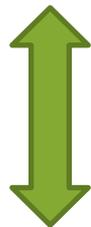
# 理想的な場合

$y = \eta$  in Bjorken picture

Rapidity

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + P_z}{E - P_z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + v_z}{1 - v_z}$$

Momentum  $P_z$

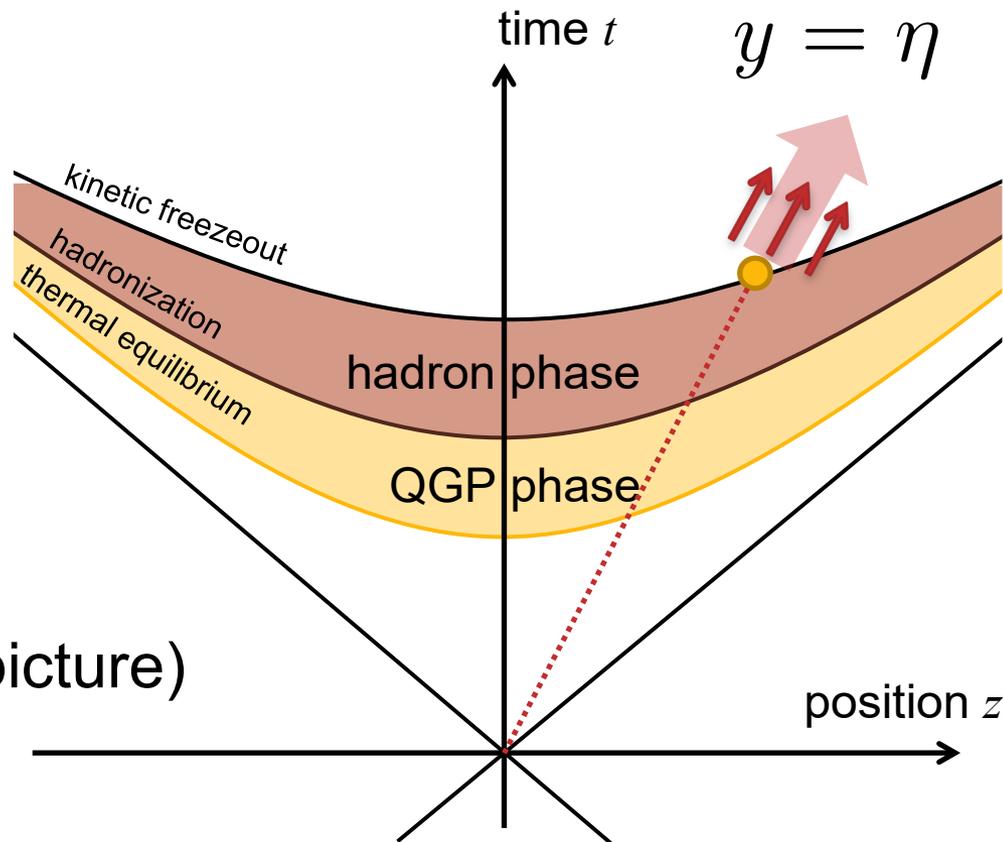


identified  
(in Bjorken picture)

Spacetime Rapidity

$$\eta = \frac{1}{2} \ln \frac{t + z}{t - z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + z/t}{1 - z/t}$$

position  $z$



熱揺らぎがないと、  
運動量空間の情報 = 位置空間の情報

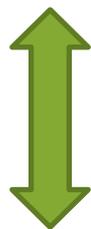
# 準理想的な場合 1

$y = \eta$  in Bjorken picture

Rapidity

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + P_z}{E - P_z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + v_z}{1 - v_z}$$

Momentum  $P_z$

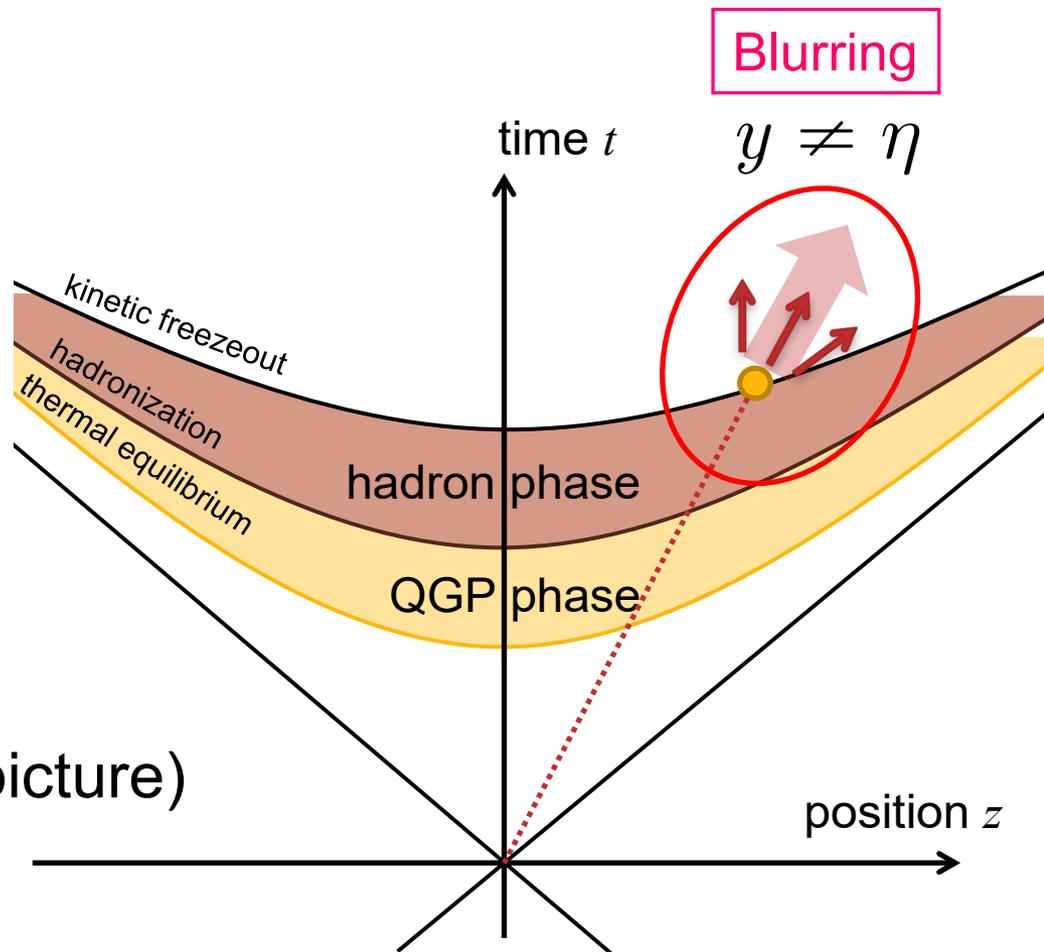


identified  
(in Bjorken picture)

Spacetime Rapidity

$$\eta = \frac{1}{2} \ln \frac{t + z}{t - z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + z/t}{1 - z/t}$$

position  $z$



# 準理想的な場合 2

$y = \eta$  in Bjorken picture

Rapidity

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + P_z}{E - P_z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + v_z}{1 - v_z}$$

Momentum  $P_z$

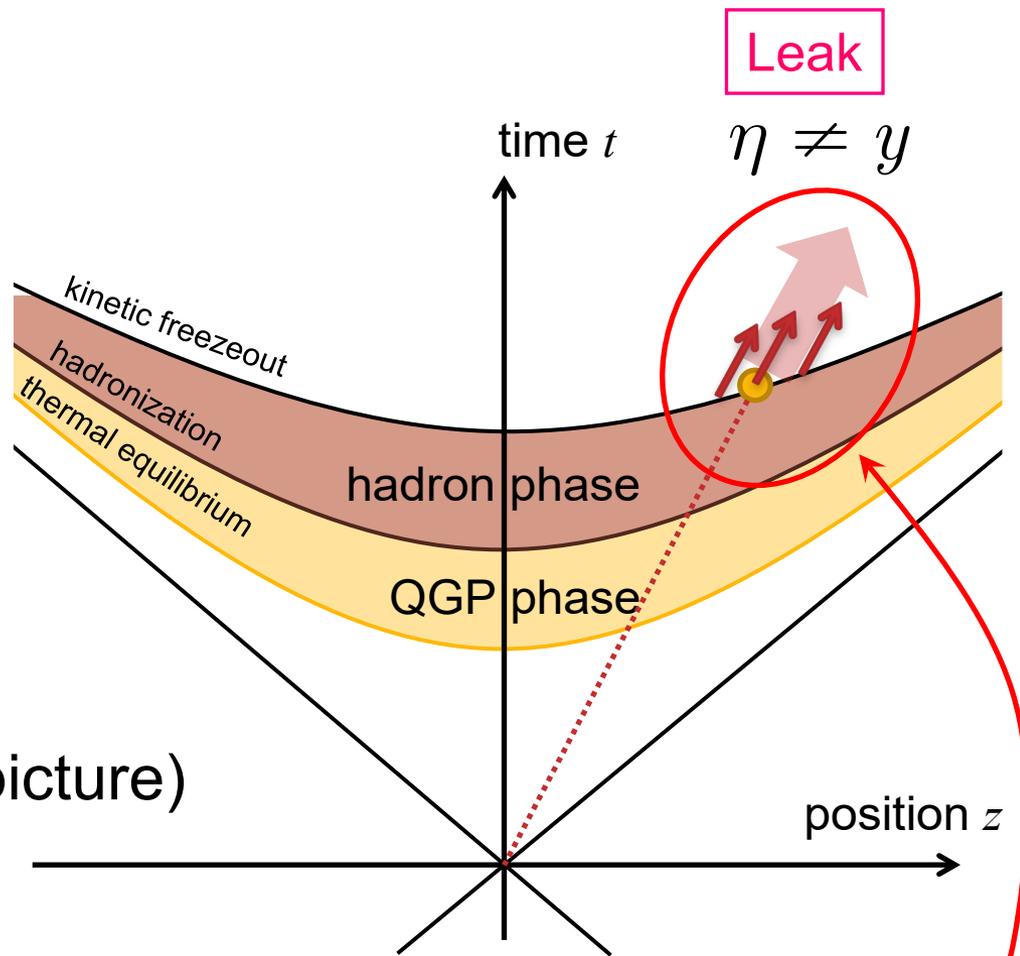


identified  
(in Bjorken picture)

Spacetime Rapidity

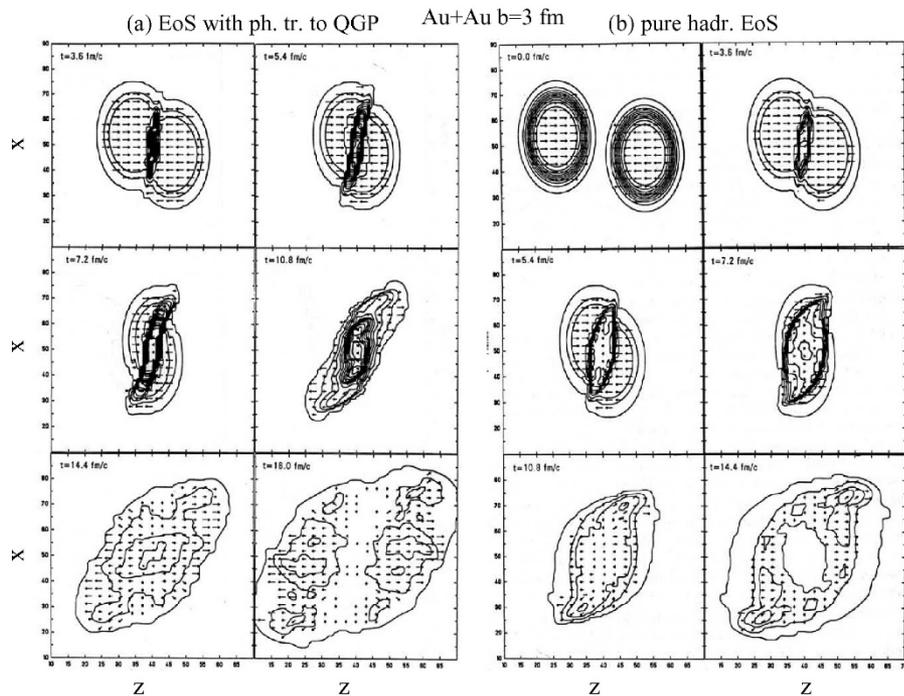
$$\eta = \frac{1}{2} \ln \frac{t + z}{t - z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + z/t}{1 - z/t}$$

position  $z$



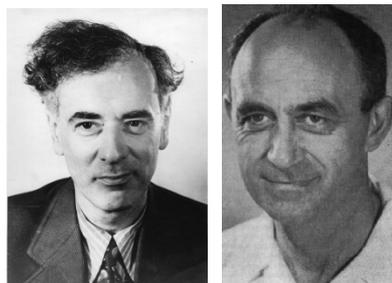
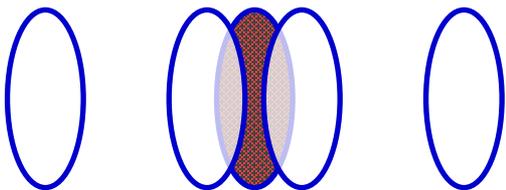
Blurring or Leak in rapidity space takes place !

# Hopelessな場合



Rischke et al. (95)

もっと有名なところで

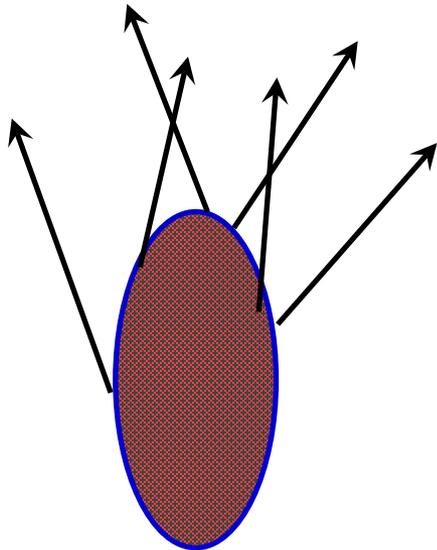


Landau-Fermi 描像      これは誰でも知っているはず

# Hopelessな場合



BES(2)で作られる系は、Landau-Fermi 描像に近いということも誰でも知っているはず。



本当は原子核がストップした後に流れが生じる (Landau) が、そこは簡単のため省略。

こうなると、  
見ている揺らぎ = 理論的揺らぎ と言えなくなる。

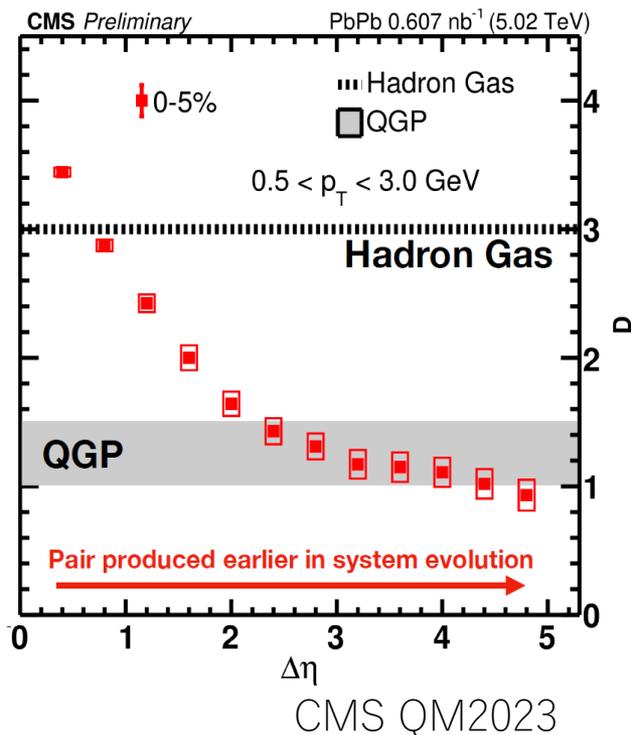
# D measure = 4の理由

$$D = 4 \frac{\langle Q^2 \rangle_c}{N_{ch}}$$

理論値： $D \sim 4$  (ハドロン相)  $q = (\pm 2), \pm 1, 0$   
 $D \sim 1$  (QGP相)  $q = \pm 1/3, \pm 2/3, 0$

Asakawa, Heinz, Müller, Jeon, Koch, 2000

RHICでもLHCでも今まで観測された $D$ は $\sim 4$ だった: D-puzzle



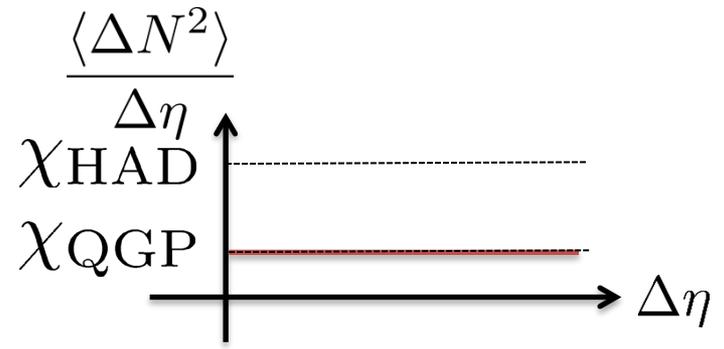
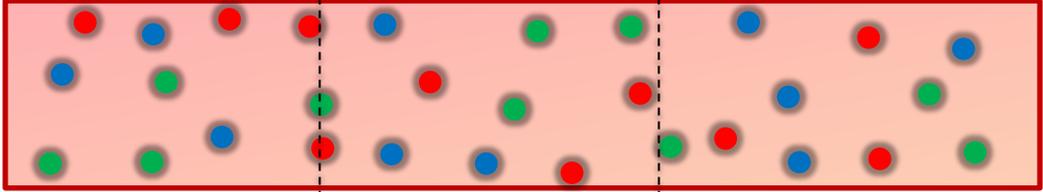
今までは $\Delta\eta$ が小さすぎた。

Diffusion + 様々な位置からのハドロンの寄与

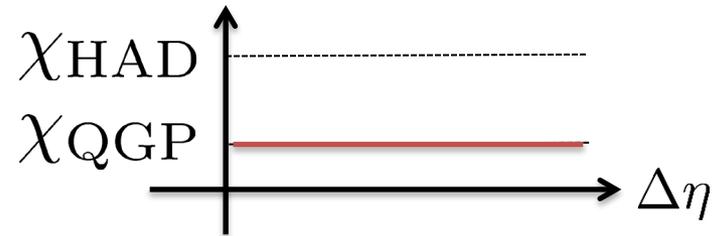
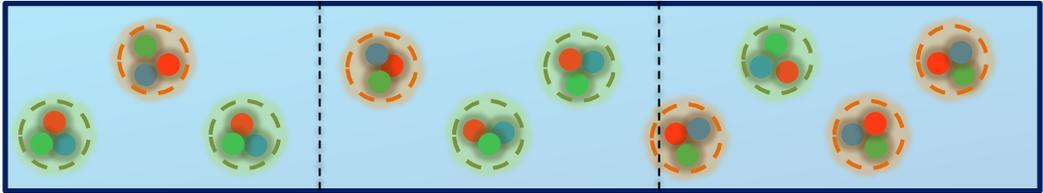
いずれも  $D \sim 4$  を与える。

# Time Evolution of C.C. fluctuation

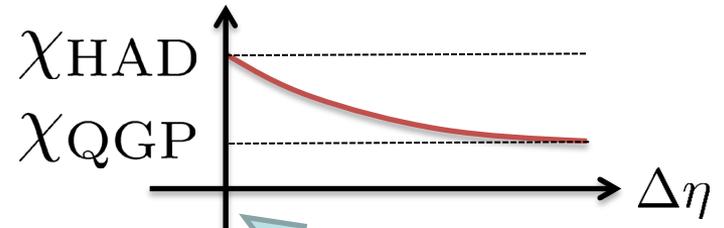
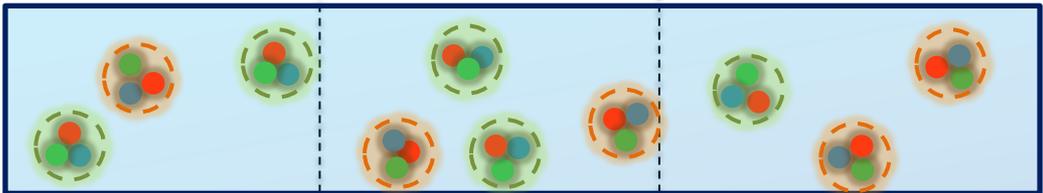
Quark-Gluon Plasma



Hadronization

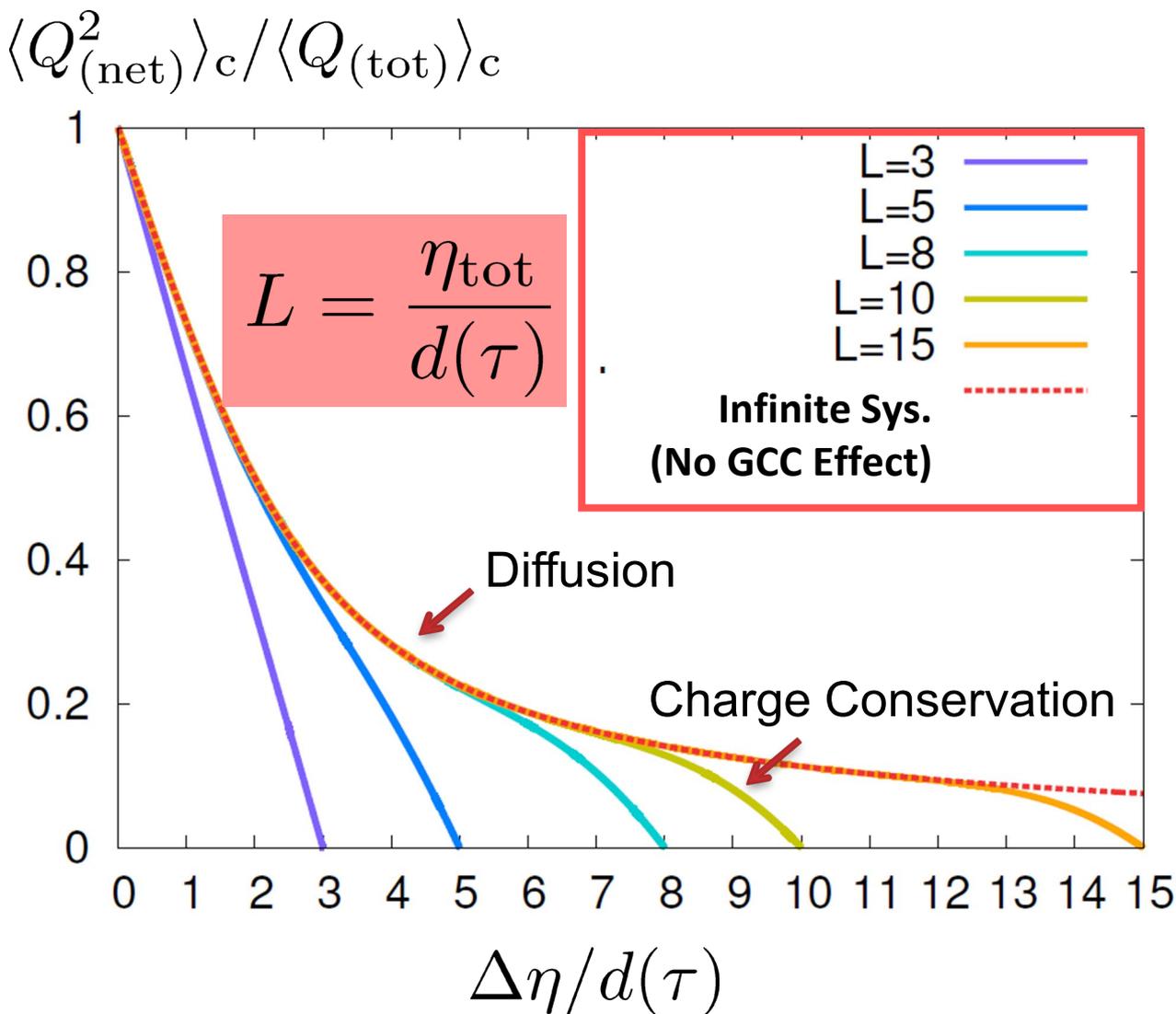


Freezeout



*Through diffusion*

# Diffusion or Global Charge Conservation?



$$d(\tau) = \sqrt{2 \int_{\tau_0}^{\tau} D(\tau') d\tau'}$$

$d(\tau)$  : Average Diffusion Length

$D(\tau)$  : Diffusion Coefficient

$\Delta\eta$   
 $\eta_{\text{tot}}$  : Total Rapidity Length

# 失敗例

PHYSICAL REVIEW C **71**, 051901(R) (2005)

## **Possible resolutions of the $D$ -puzzle**

C. Nonaka,<sup>1</sup> B. Müller,<sup>1</sup> S. A. Bass,<sup>1,2</sup> and M. Asakawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics, Duke University, Durham, North Carolina 27708*

<sup>2</sup>*RIKEN BNL Research Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973*

<sup>3</sup>*Department of Physics, Osaka University, Toyonaka 560-0043, Japan*

(Received 11 January 2005; published 13 May 2005)

We explore possible ways of explaining the net charge event-by-event fluctuations in Au+Au collisions observed in experiments at the Relativistic Heavy Ion Collider within a quark recombination model. We estimate the number of quarks at recombination and their implications for the predicted net charge fluctuations. We also discuss the consequences of diquark and quark-antiquark clustering above the deconfinement temperature.

$D \sim 4$ を説明しようとして、いろいろな推論を組み合わせた。 $T_c$ 以上でのダイクォークとクォークのクラスタリングの可能性なども考えているが、全体的に明晰性を欠いたために無理な推論になってしまった例。

# 若い人にとっては毒薬かも知れませんが

毒キノコも誰かが食べてみるまでは毒キノコとわからなかった。

10年、20年、引用され続ける論文を書きましょう(松茸論文ばかり書いても…)

そういう論文は、自然と一体になった結果、自然の神秘を  
明晰さをもって提示しているはずです。

pNJL模型が出だしたころ、ある外国人の研究者が  
言っていたことにショックを受けました。

カラオケ物理はやめよう (故 滝川昇先生)

ウケ狙い論文もやめよう

砂上の楼閣に屋上屋を架する

# 結語

物理学は自然界の最基層の言語です。この言語を自由に操って、自然と一体となって俗説に惑わされずに明晰な研究をして行きましょう。なぜなら、自然は明晰だからです。