

# 非平衡相転移・非平衡臨界点の AdS/CFT対応による解析

京都大学大学院理学研究科  
中村 真

Ref. S.N. arXiv:1204.1971, to be published in **Phys. Rev. Lett.**  
(See also, Prog. Theor. Phys. 124 (2010) 1105, arXiv:1006.4105.)

## AdS/CFT対応の現実物理への応用

- 我々が直面する困難の一つ：  
記述するゲージ理論が現実のものとは**厳密には異なる**。  
large- $N_c$ 、SUSY(の名残)、、、、、
- しかし、理論の詳細の差異を**乗り越えて**議論できる物理も存在する。  
**マクロな統計量の物理:**

**2次相転移における臨界現象など**

平衡系については教科書に載っている。

まだフロンティアが残っているか？

**Yes. 非平衡系**

# 非平衡系の分類

	時間依存性なし (非平衡定常系)	時間依存性あり (非平衡かつ非定常)
線形応答領域 (平衡近傍)	線形応答理論や流体力学などが一定の成功を取めている	
非線形領域 (平衡から離れた領域)	ここを攻める	

非平衡定常系

理論の微視的違いを乗り越えて、AdS/CFT対応を用いて、この未開拓領域の新しい情報を得よう。

## 非平衡定常状態

代表例: 定常電流の流れる系(例えばヒーターのような系)

- 巨視的には、時間変化しない。
- 熱やエントロピーが絶えず生成されている。

### 非平衡定常系を構成するための条件

- 外力の存在: 保存電荷に作用する外力(外部電場)がかかっている。
- 応答の存在: 保存電荷の輸送(電流)が存在する。
- 散逸の存在: 保存電荷と媒質(熱浴)の間の相互作用により散逸(熱などの生成)が存在する。
- 定常状態の実現: 外力が行う仕事と、熱浴へ(散逸として)流出するエネルギー流がバランスしている。

このような条件を満たす統計系は、AdS/CFT対応がカバーするようなゲージ理論(例えばSYMやその変形など)を用いても実現することができる。

# 用いるゲージ理論: D3-D7 system

非平衡定常系

熱浴の役割をはたす “gluon 系”

“quark 系”

3+1 dim. SU(N<sub>c</sub>) N=4 SYM + N=2 hypermultiplet

@ large-N<sub>c</sub> , strong-coupling

[Karch and Katz, 2002]

ここは温度を入れる



非平衡定常系

AdS<sub>5</sub>-BH × S<sup>5</sup> および probe D7-brane

[Karch and O'Bannon, 2007]

GKP-Witten 処方を用いて

- quark 電荷に作用する外部電場(E)
- quark 電荷の電流密度(J)

の関係(電気伝導度)を線形応答を超えて計算できる。

## GKP-Witten 処方

D7上のU(1)ゲージ場

z=0: boundary

$$A_0(z) = \mu - \frac{(2\pi)^2}{2N_c} \langle J^0 \rangle z^2 + O(z^4)$$

$$A_x(z) = -Et + \frac{(2\pi)^2}{2N_c} \langle J^x \rangle z^2 + O(z^4)$$

- ただし、D7-braneのon-shell作用がrealとなる条件を課す。  
[Karch and O'Bannon, 2007]
- D7-braneの形状に関しても運動方程式を解く。

## AdS/CFTを用いる利点

非線形伝導度の計算という、非平衡定常系の挑戦的な計算



曲がった時空上のD7-braneの古典力学という単純な問題

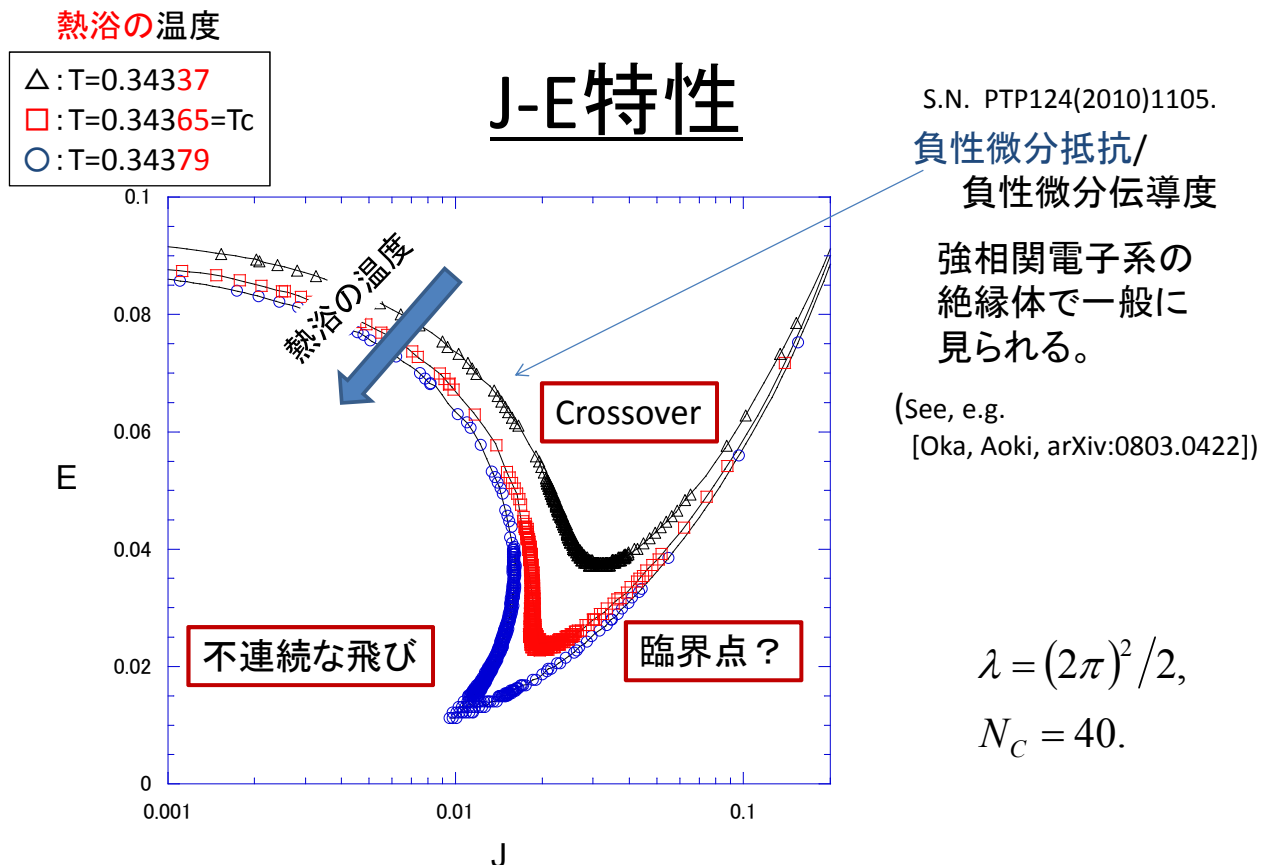
# 解析結果

S.N. arXiv:1204.1971 (See also, S.N. PTP124(2010)1105.)

- 数値的にD7-braneの運動方程式を解いて、**新たな発見**を探る。

実験的発想: discoveryがあるかどうか勝負

- Formalismとして**新たな提案**も行う。
  - 「自由エネルギー」の非平衡定常系への一般化
  - 新たな臨界指数を定義する

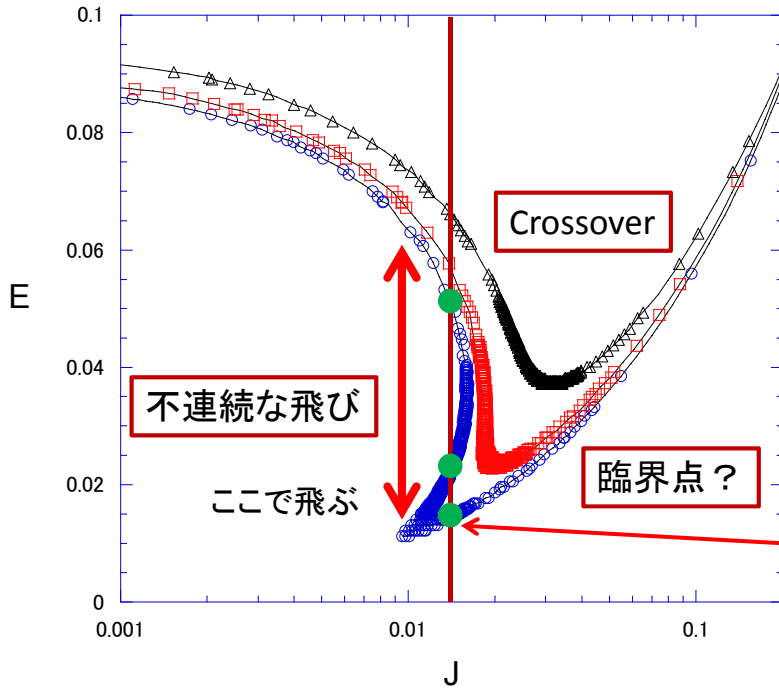


コントロールパラメータとして電流を選ぶ(電流駆動型の非平衡現象)

熱浴の温度

- △ :  $T=0.34337$
- :  $T=0.34365=T_c$
- :  $T=0.34379$

# J-E特性



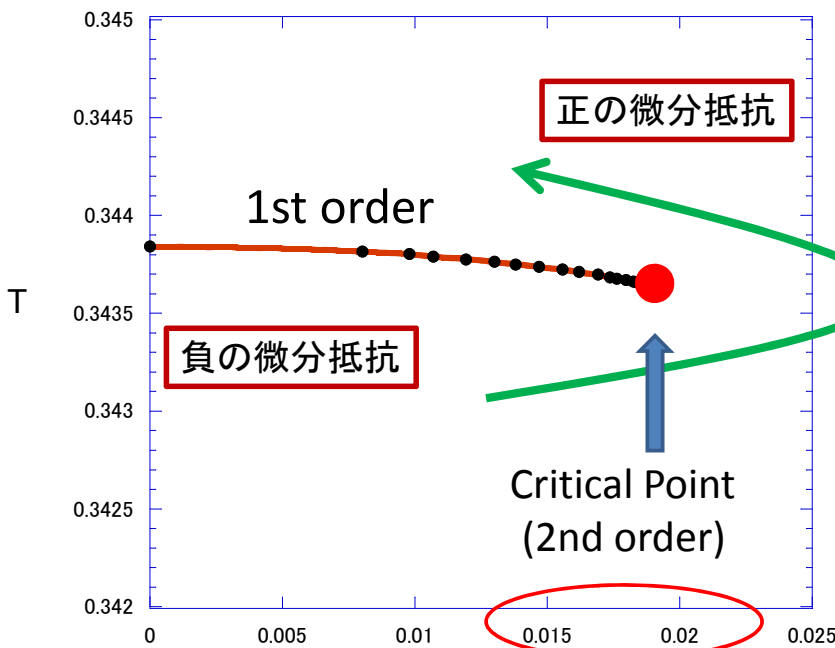
Jを指定した  
非平衡定常状態  
において、**どれが  
最も安定に実現  
されるか**という問題。

D7-braneのHamiltonian  
を「自由エネルギー」の  
非平衡定常系への一般化  
として用いることを提案。  
[S.N. arXiv:1204.1971]

数值的に調べると  
常にこれが最も小さい  
Hamiltonianを与える。

少なくとも、この系は**散逸が少ない方**を好む。

# 相図

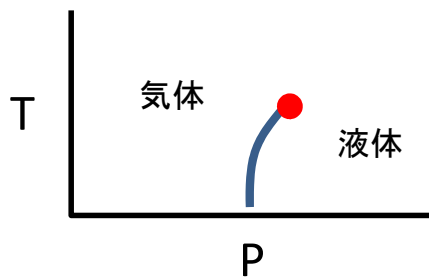


回り込むことが  
可能: **対称性の  
破れ(回復)は  
ない。**

平衡系の  
**気・液相転移  
Mott転移**  
に似ている。

J 非平衡定常状態

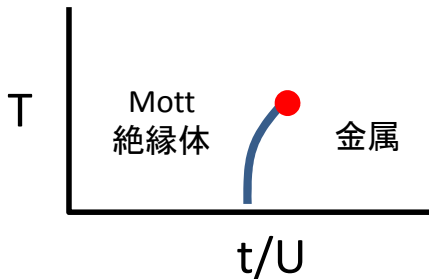
# 臨界現象(平衡系)



気体-液体相転移(平衡系)

$$n_L - n_g \propto (T_C - T)^\beta$$

密度差



Mott 転移(平衡系)

Mott転移では「密度」のかわりに  
伝導度  $\sigma$  が用いられている。

P. Limelette et al., Science 302 (2003) 89.  
F. Kagawa et al., Nature 436 (2005) 534.

- 両者は同じ **universality class** = **Ising** universality class
- 平均場近似では  $\beta=1/2$

そこで、

$$\sigma_{\text{PDC}} - \sigma_{\text{NDC}} \propto (T - T_C)^\beta$$

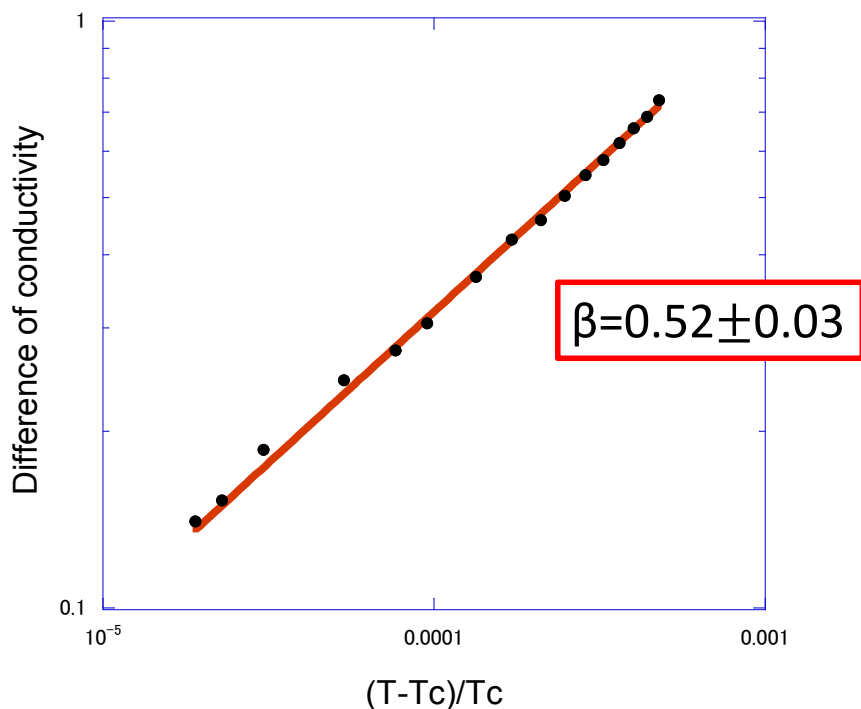
伝導度の差

熱浴の温度

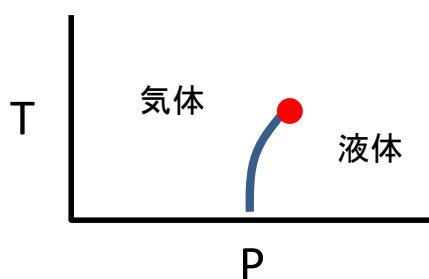
PDC: 正の微分伝導度  
NDC: 負の微分伝導度

とりあえず、これを見てみよう。

# 伝導度の飛びの振る舞い



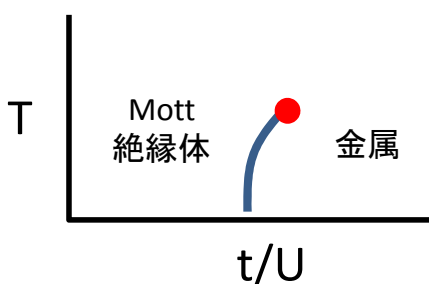
## 臨界現象 (平衡系)



気体－液体相転移 (平衡系)

$$n_L - n_g \propto (T_C - T)^\beta$$

密度差



Mott 転移 (平衡系)

Mott転移では「密度」のかわりに  
伝導度  $\sigma$  が用いられている。

P. Limelette et al., Science 302 (2003) 89.  
F. Kagawa et al., Nature 436 (2005) 534.

- 両者は同じ **universality class** = **Ising universality class**
- 平均場近似では  $\beta = 1/2$

# 新しい臨界指数を定義

我々のsetupにはコントロールパラメータとしての  
圧力が存在しない。(無限体積系)

手持ちのコントロールパラメータで残っているもの:

J

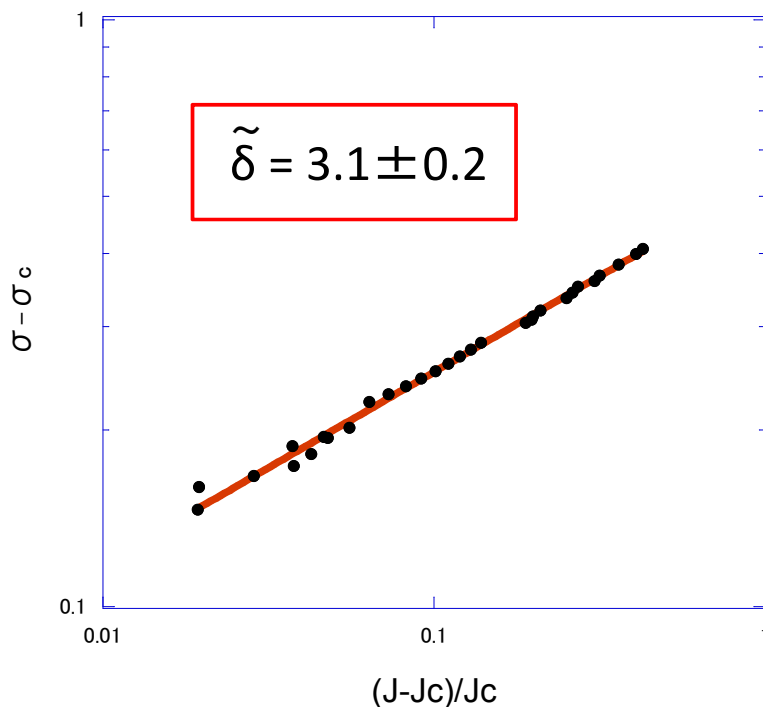
本質的に非平衡系の物理量

提案

$$(\sigma - \sigma_c) \Big|_{T=T_c} \propto |J - J_c|^{1/\tilde{\delta}}$$

で臨界指数  $\tilde{\delta}$  を定義する。

## $\tilde{\delta}$ は意味を成すか？





# 新しい非平衡相転移

少なくとも、私が調べた範囲では、ここで見られたタイプの**非平衡相転移・非平衡臨界点**（**電流駆動型・非バリスティックな非線形伝導で、負の微分伝導度と、正の微分伝導度の間の転移**）は、**理論的にも実験的にも知られていない**。

新しい非平衡相転移・非平衡臨界点を**発見**したと言えるのではないか。

## 実験的検証に向けて



名古屋大学 大学院理学研究科 物質理学専攻 (物理系) [サイトマップ](#) [ENGLISH](#)

機能性物質物性研究室 (V研究室)  
Laboratory of Condensed-Matter Physics of Functional Materials

メンバー

スタッフ

職位	氏名	電子メールアドレス
教授	寺崎一郎	terra[at]cc.nagoya-u.ac.jp terra[at]condmat.net
助教	岡崎竜二	okazaki.ryuji[at]cc.nagoya-u.ac.jp
招へい教員	安井幸志	yasui.yukio[at]cc.nagoya-u.ac.jp
客員教授	野上由夫	nogami[at]psun.phys.okayama-u.ac.jp
博士研究員	Partha Sarathi Mondal	mondal.partha.sarathi[at]c.mbox.nagoya-u.ac.jp psmondal[at]gmail.com

名古屋大学大学院理学研究科 物質理学専攻  
機能性物質物性研究室(V研) (寺崎一郎先生)  
にて**セミナー**と**意見交換**をさせて頂いた。(5/24)

# 寺崎研究室での 研究内容

$\theta$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>CsCo(SCN)<sub>4</sub>  
crystal at 4.2 K.

Charge order insulator

F. Sawano, I. Terasaki, et al.,  
Nature 437 (2005) 522.

さらに温度を上げてどうなるか？

