

Smart and Human

常翔学園

摂南大学



ローレンツ型IB型行列模型の数値シミュレーションにおけるローレンツブーストについて

東 武大 (摂南大学)

日本物理学会春季大会 2024年3月20日(水), 14:30~14:45

共同研究者: Konstantinos N. Anagnostopoulos (NTUA), 畠山洗太 (京大),
平沢光昭 (Milano-Bicocca, INFN), 西村淳 (KEK, 総研大),
Stratos Papadoudis (NTUA), 土屋麻人 (静岡大)

IIB型行列模型 (IKKT模型) 20pS2-4 畠山さんの講演

⇒超弦理論の非摂動的定式化の有力な候補

[N. Ishibashi, H. Kawai, Y. Kitazawa and A. Tsuchiya, hep-th/9612115]

$$S = \underbrace{\frac{-N}{4} \text{tr}[A_\mu, A_\nu]^2}_{=S_b} + \underbrace{\frac{-N}{2} \text{tr}\bar{\psi}_\alpha (\Gamma^\mu)_{\alpha\beta} [A_\mu, \psi_\beta]}_{=S_f}$$

- **10次元** super-Yang-Mills 理論の **0次元** の次元還元
- A_μ ($\mu=0, 1, \dots, 9$), Ψ_α (Weyl射影, $\alpha=1, 2, \dots, 16$)
⇒トレースが0の $N \times N$ エルミート行列
- **SO(1,9)** ローレンツ対称性 ・ **SU(N)**ゲージ対称性
- $\mathcal{N} = 2$ 超対称性 ⇒ A_μ の固有値を時空の座標と解釈

私達の住む(3+1)次元時空はどのようにして創発するか？

1. はじめに

- ・ディラック演算子の0に近い固有値を避ける質量項:

$$S_f \rightarrow S_{m_f} = \frac{-N}{2} \text{tr} \left\{ \bar{\psi}_\alpha (\Gamma^\mu)_{\alpha\beta} [A_\mu, \psi_\beta] + im_f \bar{\psi}_\alpha (\Gamma^7 \Gamma^{8\dagger} \Gamma^9)_{\alpha\beta} \psi_\beta \right\}$$

($m_f \rightarrow \infty$: ボゾニック模型(S_f 省略), $m_f=0$: $\gamma=0$ で超対称性)

- ・ローレンツ対称な質量項の変形 ($d=4,5,6$) 20pS2-4 畠山さんの講演

m_f でフェルミオンの揺らぎが弱まる \Rightarrow ボゾンの揺らぎも合わせて弱める

$$S_\gamma \rightarrow S_\xi = \frac{N\gamma}{2} \left\{ \text{tr}(A_0)^2 - \sum_{I=1}^d \text{tr}(A_I)^2 - \xi \sum_{I=d+1}^9 \text{tr}(A_I)^2 \right\}$$

$\xi=1$ で $S_\gamma = \frac{-N\gamma}{2} \text{tr}(A^\mu A_\mu)$ に帰着

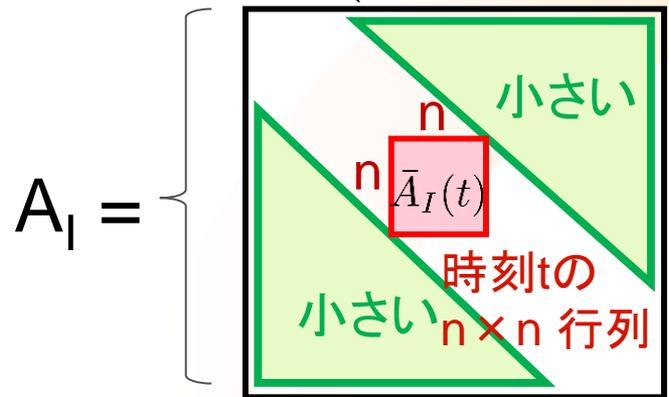
SO(1,9)ローレンツ対称性を、SO(1,d)に破る

本講演の趣旨:

SO(1,d) ローレンツ対称性によるローレンツブーストの問題について調べた。

2. ローレンツブーストの影響

$A_0 = \text{diag}(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$ となるようにSU(N)ゲージ固定



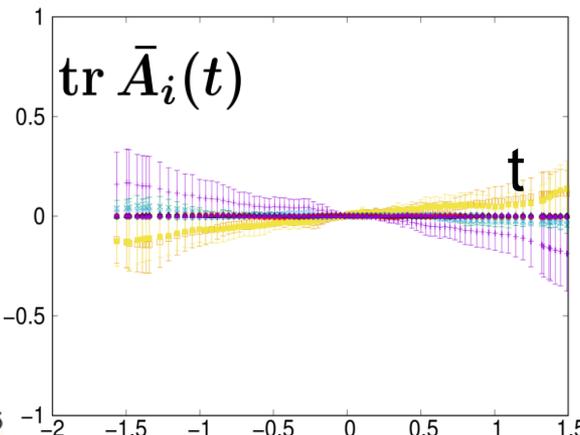
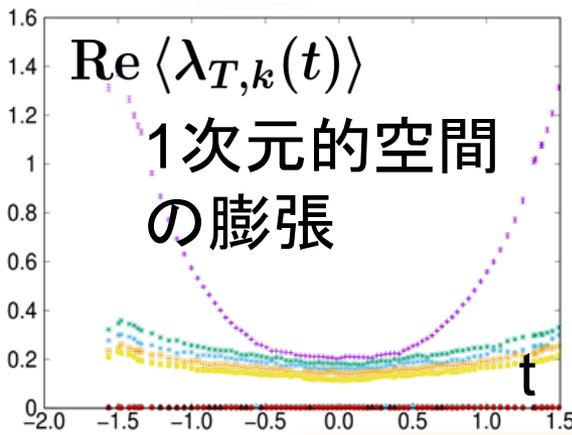
$$t_\nu = \sum_{k=1}^{\nu} |\bar{\alpha}_{k+1} - \bar{\alpha}_k|, \quad \bar{\alpha}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_{k+i}$$

空間方向の A_I はバンド対角的
空間の広がりを表す物理量:

$T_{ij}(t) = \frac{1}{n} \text{tr}(\bar{A}_i(t)\bar{A}_j(t))$ の固有値 $\lambda_{T,k}(t)$ ($k = 1, 2, \dots, 9$)

$N = 96, n = 12, \gamma = 4, d = 5, \xi = 18, m_f = 5$ [初期配位:3次元空間的]

[K.N. Anagnostopoulos et.al. arXiv:2210.17537]



tr $\bar{A}_i(t) \neq 0$
 \Rightarrow ローレンツブーストで重心速度が0でない

1次元膨張はローレンツブーストのartifact

(ブーストで2次元以上が大きくなることは無い)

2. ローレンツブーストの影響

5



原因: SU(N)ゲージ変換で A_0 を対角化するだけではローレンツ対称性を固定出来ていなかった。

ローレンツブーストのartifactを取り除く手法

SO(1,d)ローレンツ不変量

$$Q = T - U, \quad T = \text{tr}(A_0^\dagger A_0), \quad U = \sum_{i=1}^d \text{tr}(A_i^\dagger A_i)$$

SO(1,d) ローレンツ変換 $A_\mu \rightarrow A'_\mu = \mathcal{O}_{\mu\nu} A_\nu$

T を最小化して、 U を小さくする。

A'_0 は対角行列で無くなる $\Rightarrow A_0$ 'を対角化

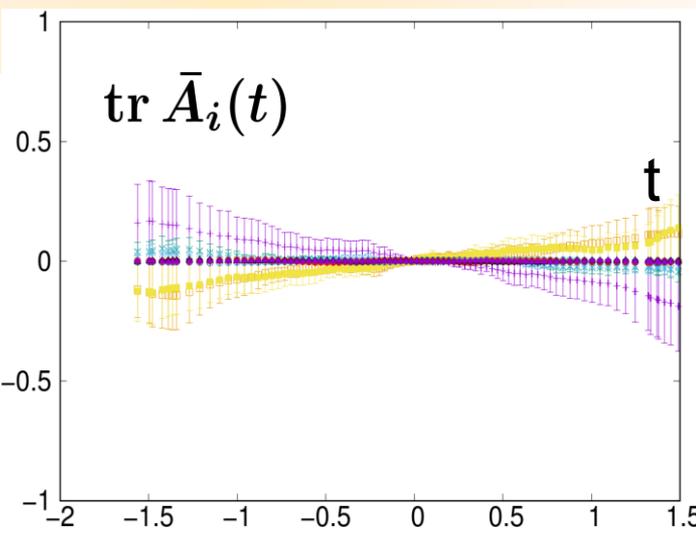
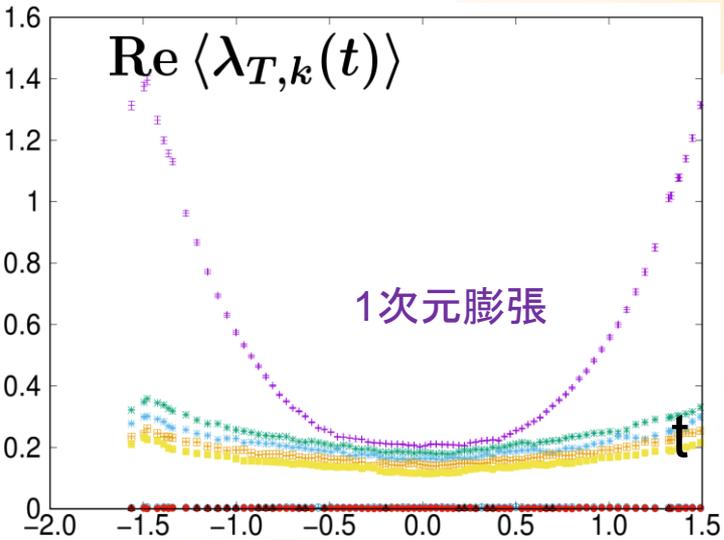
$$A'_0 \rightarrow \tilde{A}_0 = P^{-1} A'_0 P, \quad A'_i \rightarrow \tilde{A}_i = P^{-1} A'_i P$$

$$\tilde{A}_0 = \text{diag}(\alpha_1, \dots, \alpha_N), \quad \text{Re } \alpha_1 < \text{Re } \alpha_2 < \dots < \text{Re } \alpha_N$$

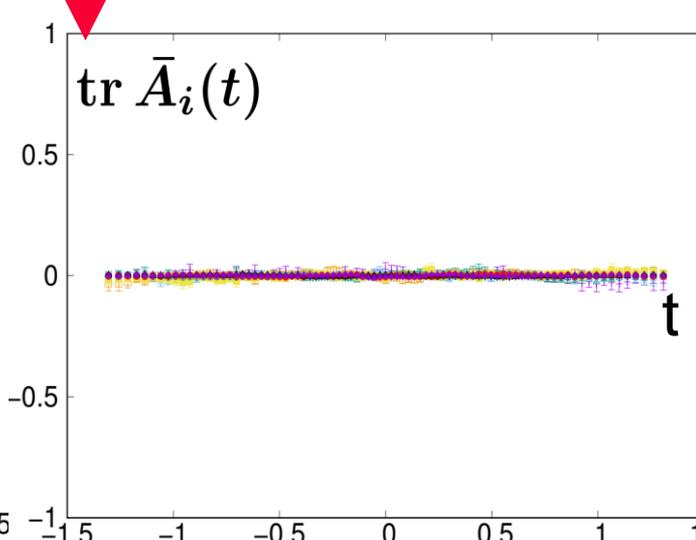
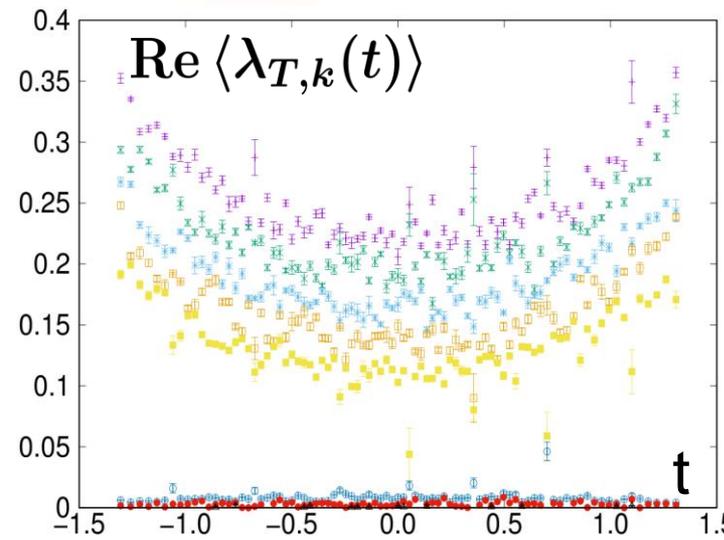
(α_k はこの意味で再定義)

3. 結果

(1) $N = 96, n = 12, \gamma = 4, d = 5, \xi = 18, m_f = 5$ [初期配位:3次元空間的]



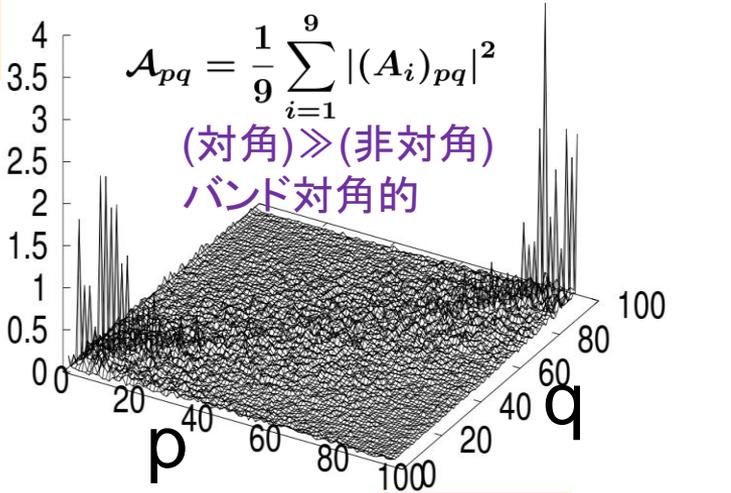
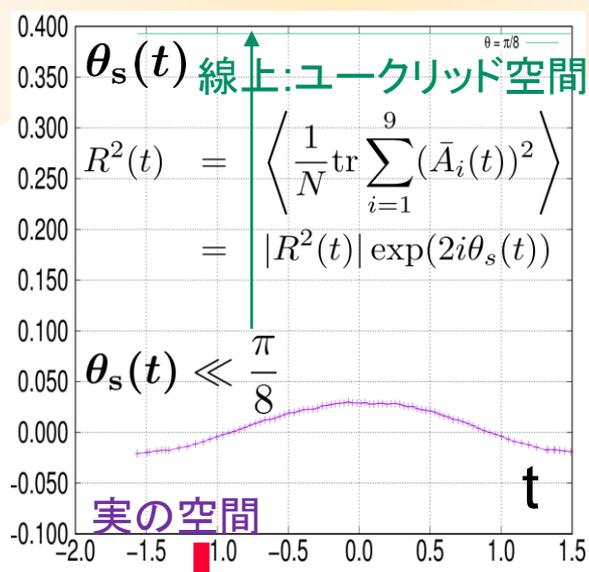
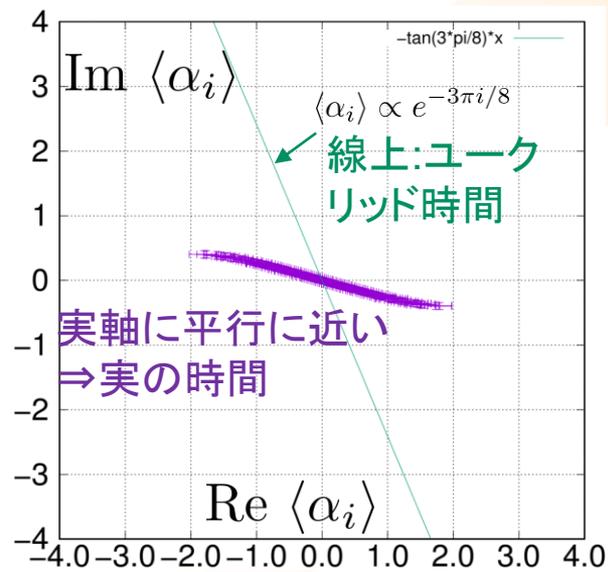
$\text{tr} \bar{A}_i(t) \neq 0$
ローレンツブーストのartifactで
1次元膨張



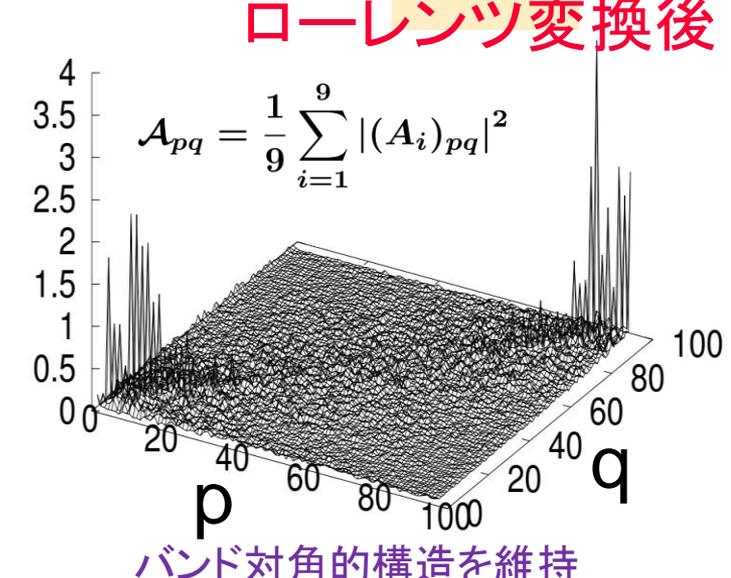
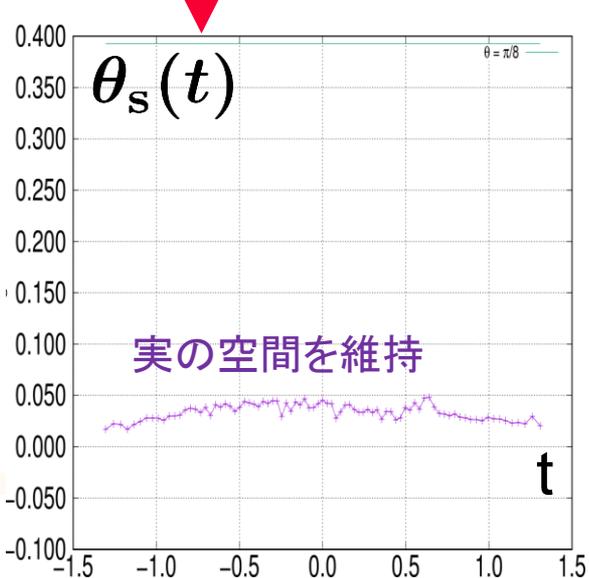
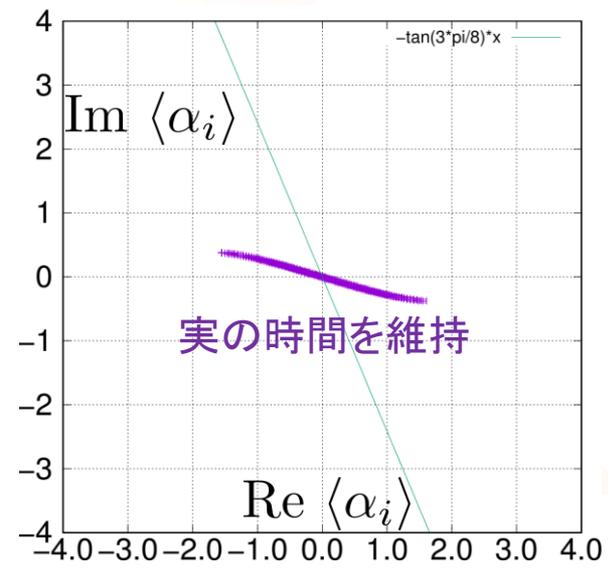
ローレンツ変換前
ローレンツ変換後
 $\text{tr} \bar{A}_i(t) \simeq 0$
1次元膨張が失われている

3. 結果

(1) $N = 96, n = 12, \gamma = 4, d = 5, \xi = 18, m_f = 5$ [初期配位:3次元空間的]

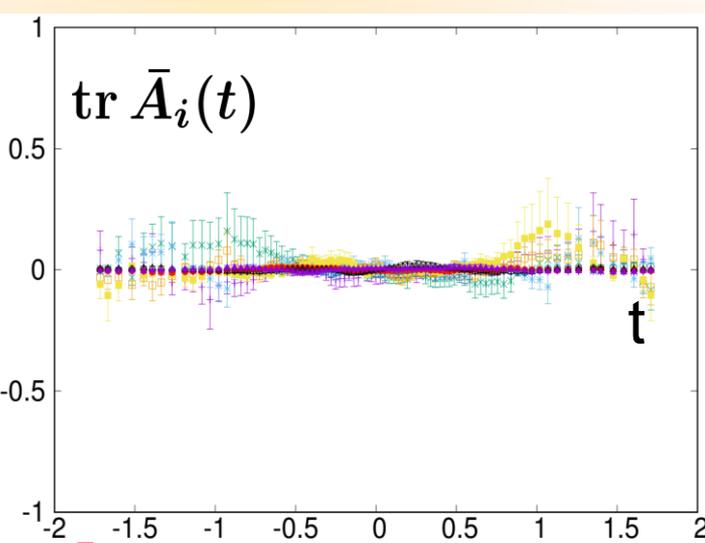
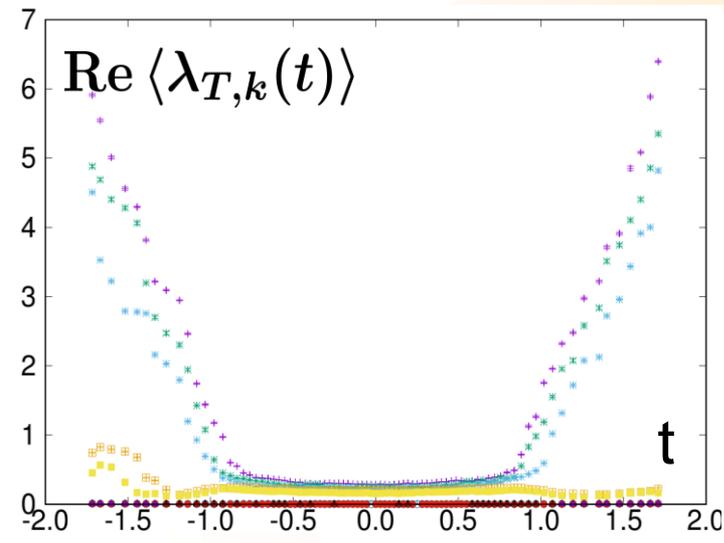


ローレンツ変換前
ローレンツ変換後



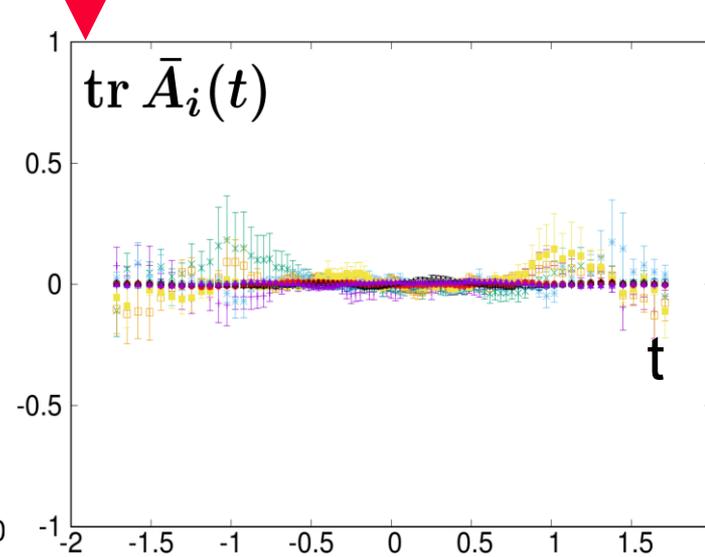
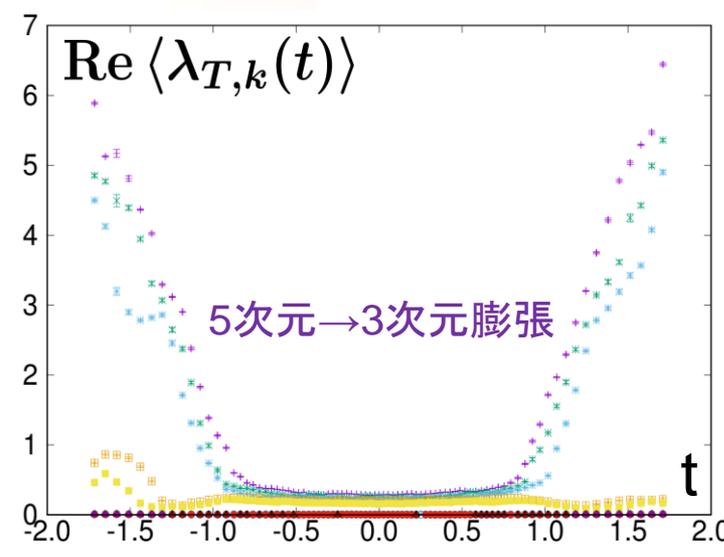
3. 結果

(2) $N = 96, n = 12, \gamma = 4, d = 5, \xi = 16, m_f = 3.5$ [初期配位:3次元空間的]



前後であまり変化が無い。

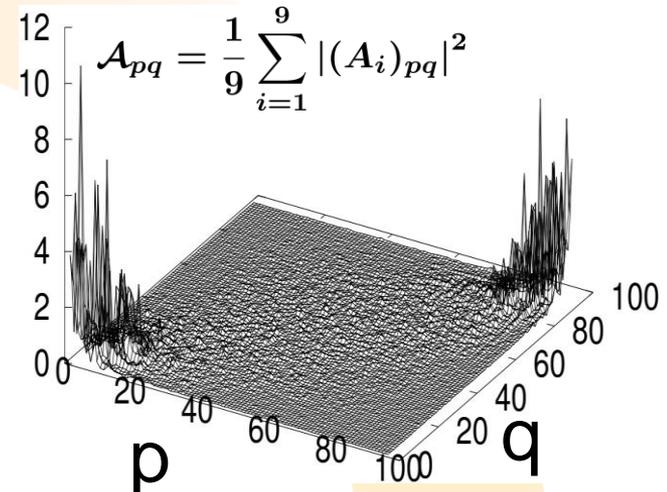
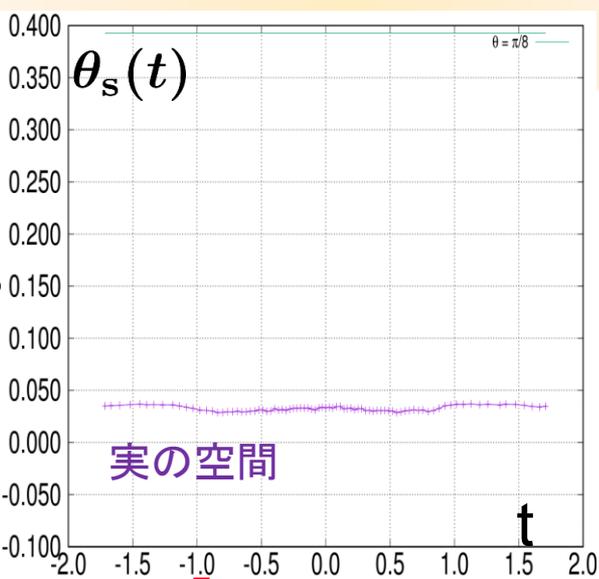
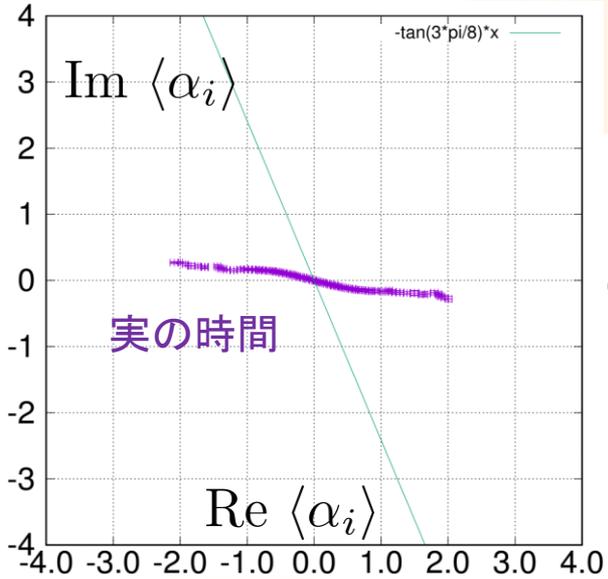
ローレンツ変換前



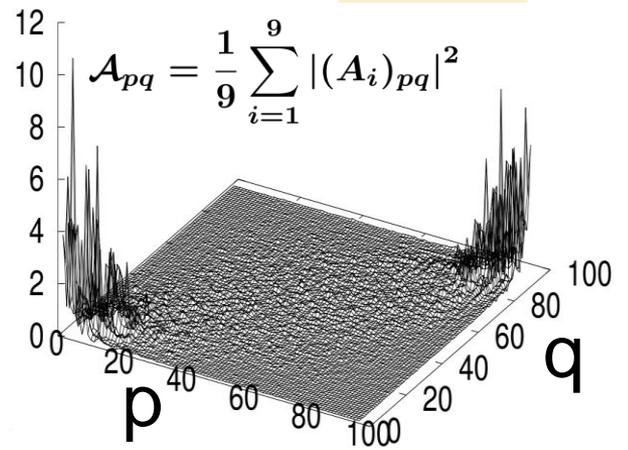
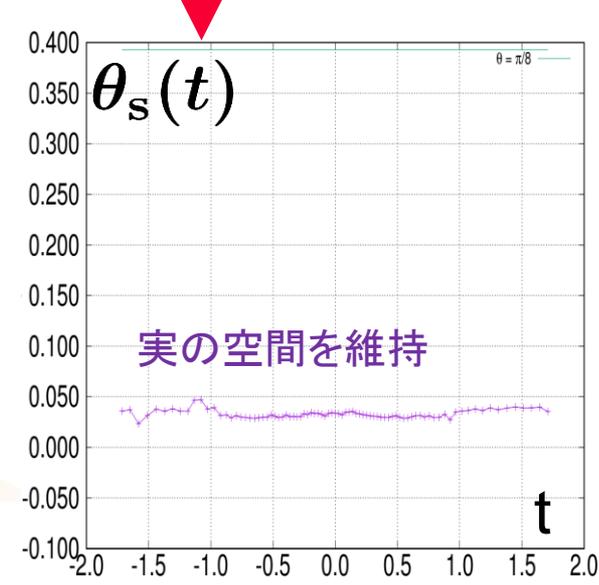
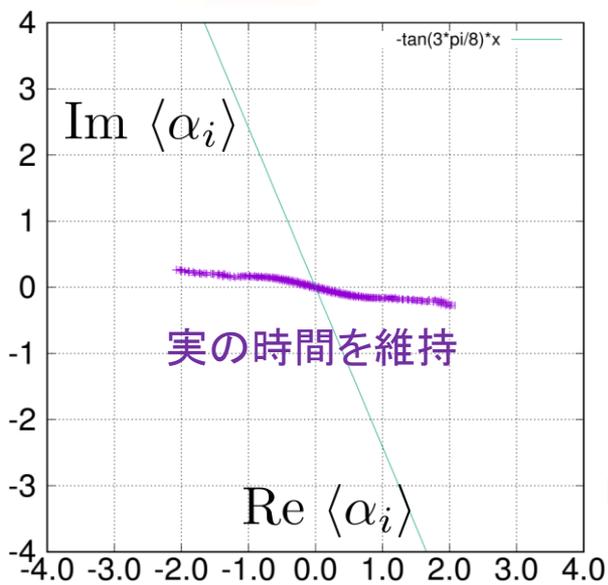
ローレンツ変換後

3. 結果

(2) $N = 96, n = 12, \gamma = 4, d = 5, \xi = 16, m_f = 3.5$ [初期配位:3次元空間的]



ローレンツ変換前
ローレンツ変換後



バンド対角的構造を維持

ローレンツ型IIB型行列模型の数値シミュレーションにおけるローレンツブーストの問題について調べた。

空間の1次元膨張 \Rightarrow ローレンツブーストのartifact

ローレンツ変換でartifactを取り除いた

- ・空間の1次元膨張は失われた
- ・空間の3次元膨張は維持

今後の展望

- ・ $N \geq 128$ のシミュレーションを継続
- ・ $m_f \rightarrow 0$: $\xi \rightarrow 1$ で3次元時空が見えるか?
- ・ $N \rightarrow \infty \Rightarrow \gamma \rightarrow 0$ の極限を調べる