

# ボイドの密度構造と 赤方偏移進化

名古屋大学 宇宙論研究室 (C研) M2

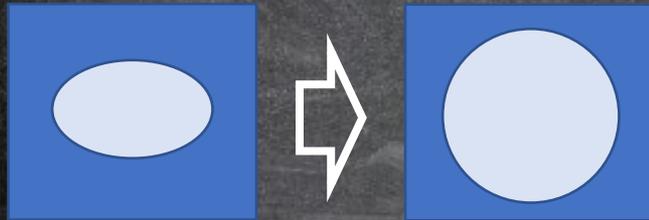
簗口睦美

第6回 観測的宇宙論WS @弘前大学

# 研究の背景：ボイドの力学の謎

孤立するボイドは  
重力で**球**に発展

Icke('84)



モデル

現在観測される  
ボイドは**歪んでいる**

Nadathur('16)

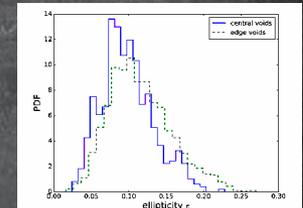
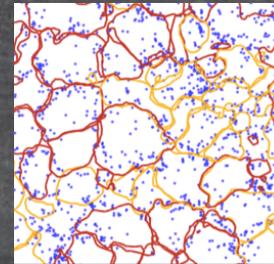


Figure 9. The distribution of ellipticity  $e$  for central and edge voids in the LOWZ catalogue. Edge voids show a significantly higher ellipticity, due to artificial truncation by the survey edges.

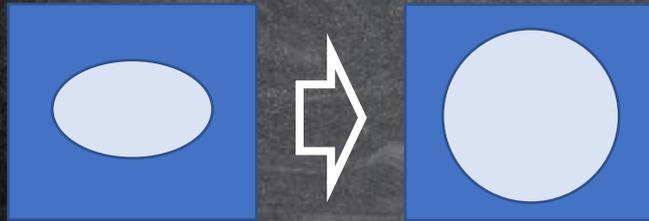
観測

but

# 研究の背景：ボイドの力学の謎

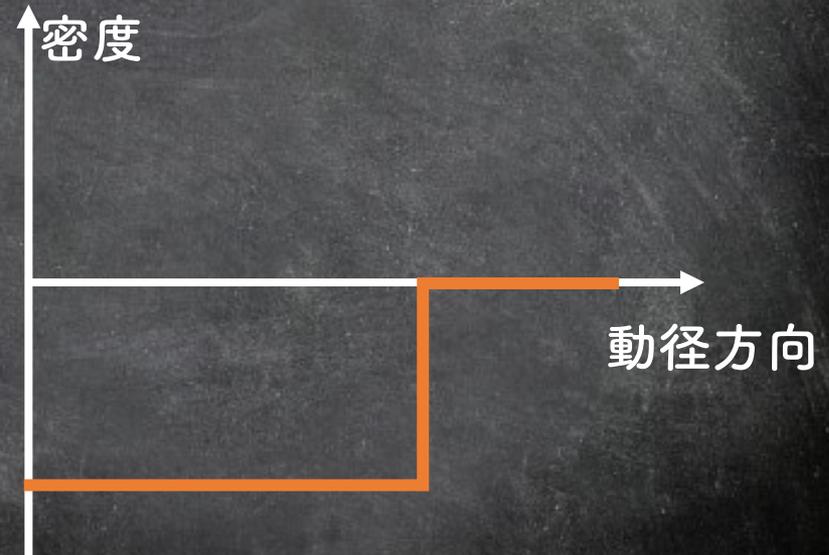
孤立するボイドは  
重力で**球**に発展

Icke('84)



モデル

Ickeが考えたのは周囲  
に高密度領域のない  
モデル



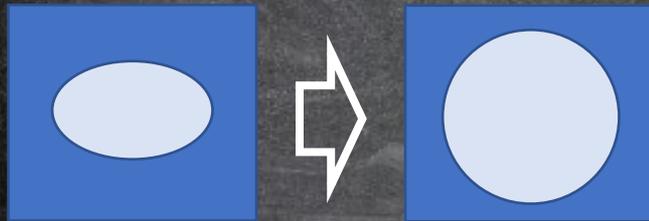
# 研究の背景：ボイドの力学の謎

観測におけるボイドの  
プロフィール

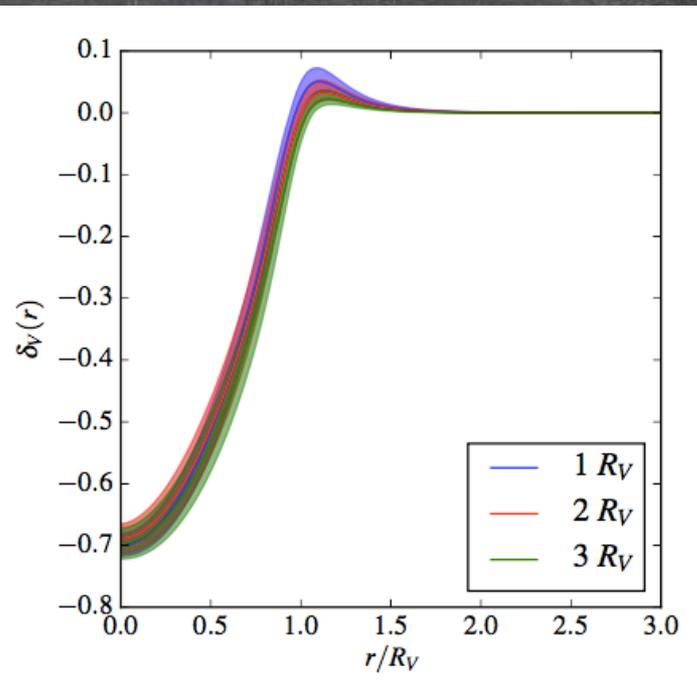
by Chantavat +('17)

孤立するボイドは  
重力で**球**に発展

Icke('84)



モデル



# 研究の背景：ボイドの力学の謎

Nadathurの論文では  
ボイドの形状を決める  
要因として

- 初期のガウス揺らぎの特性 cf. BBKS('86)

- merging  
を挙げている

→個々の重力発展の  
効果は見えないのか？

現在観測される  
ボイドは歪んでいる

Nadathur('16)

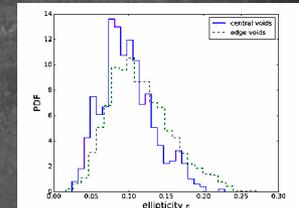
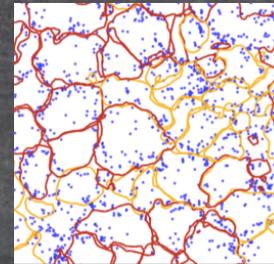


Figure 9. The distribution of ellipticity  $e$  for central and edge voids in the LOWZ catalogue. Edge voids show a significantly higher ellipticity, due to artificial truncation by the survey edge.

## 観測

# 研究の背景：ボイドの力学の謎

孤立するボイドは  
⇒ 外部の発展  
高密度領域を  
考える



but

現在観測される  
⇒ N体で個々の  
ボイドを追って  
みる

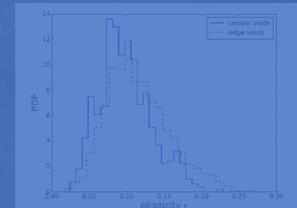


Figure 6. The distribution of ellipticity  $e$  for central and edge voids in the LOWZ catalogue. Edge voids show a significantly higher ellipticity, due to artificial truncation by the survey edge.

整合性は上がる？ボイドの進化を孤立系  
モデルで理解することは可能か？

# 研究の背景：ボイドの力学の謎

孤立するボイドは  
⇒ 外部の発展  
高密度領域を  
考える



but

現在観測される  
⇒ N体で個々の  
ボイドを追って  
みる

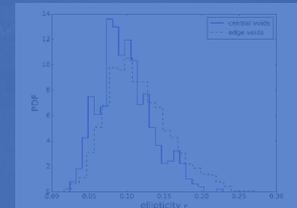


Figure 6. The distribution of ellipticity  $e$  for central and edge voids in the LOWZ catalogue. Edge voids show a significantly higher ellipticity, due to artificial truncation by the survey edge.

整合性は上がる？ボイドの進化を孤立系  
モデルで理解することは可能か？

# 準備：準解析的計算

方程式と近似：

流体近似（ダスト）

2LPT近似（精度は良くない Matsubara+'98）

背景時空はEinstein-de Sitter

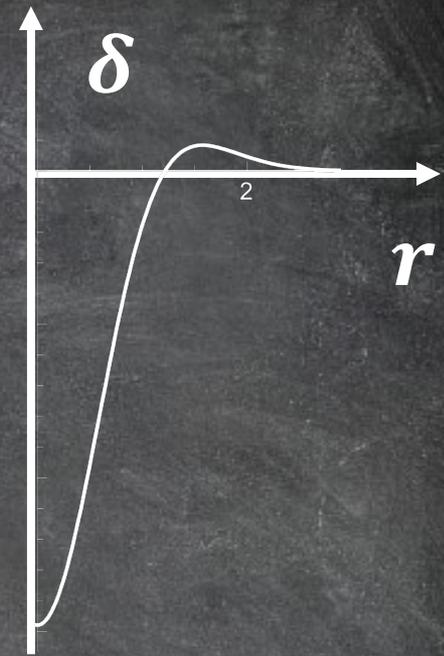
# 準備：準解析的計算

モデル：

$$\delta \equiv e^{-r^2} (r^2 - c)$$

$$\text{compensate} \leftrightarrow c = 3/2$$

$$\downarrow r \mapsto r(\theta)$$



二軸不等のメキシカンハット型楕円体

$$\delta \equiv e^{-r(\theta)^2} (r(\theta)^2 - c)$$

$$r(\theta) \equiv \sqrt{a^2 \cos^2 \theta + a^{-4} \sin^2 \theta}$$

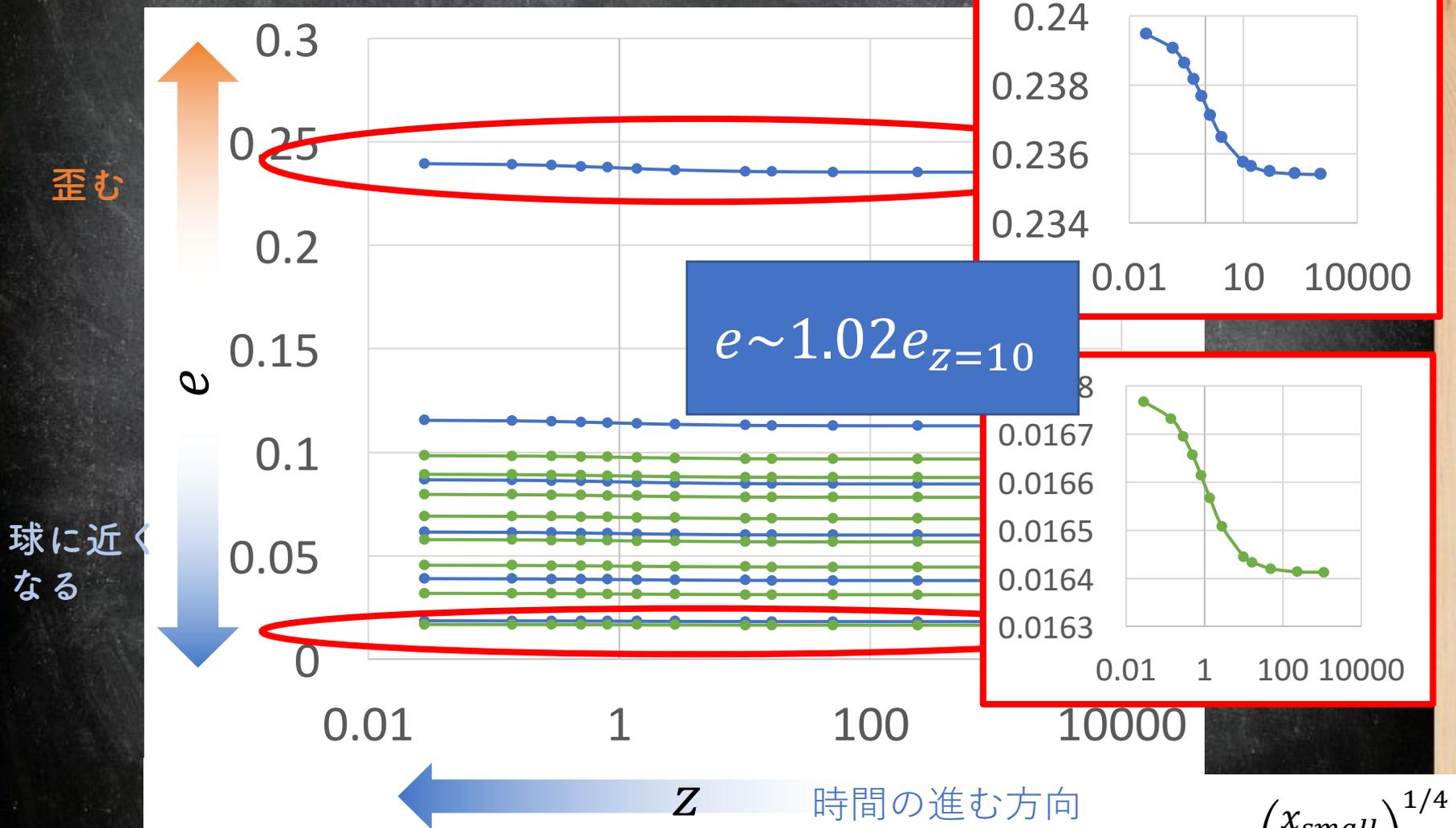
# 準備：準解析的計算

モデル：

二軸不等のメキシカンハット型楕円体

...のポテンシャルが解析的に求めにくい  
ので、ポテンシャルに対して  $r \mapsto r(\theta)$   
としてみる

# 結果：孤立系ボイドの形状発展



$$e = 1 - \left( \frac{x_{small}}{x_{large}} \right)^{1/4}$$

# 研究の背景：ボイドの力学の謎

孤立するボイドは  
⇒ 外部の発展  
高密度領域を  
考える



but

現在観測される  
⇒ N体で個々の  
ボイドを追って  
みる

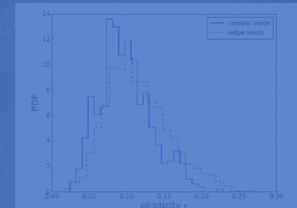


Figure 6. The distribution of ellipticity  $e$  for central and edge voids in the LOWZ catalogue. Edge voids show a significantly higher ellipticity, due to artificial truncation by the survey edge.

整合性は上がる？ボイドの進化を孤立系  
モデルで理解することは可能か？

# 準備：N体シミュレーション

パラメータ：

N	L (Mpc)	$\Omega_{m0}$	$\Omega_{\Lambda0}$	$h$
$128^3$	500	0.31	0.69	0.70

計算・解析コード：

- Gadget Springel+('01)
- VIDE Sutter+('14)

# 準備：N体シミュレーション

void tree のルール：

特定された個々のボイドのうち、粒子IDを使って  
トレース

- 子は最も多い粒子数を受け継いだ  
ボイドを親とする

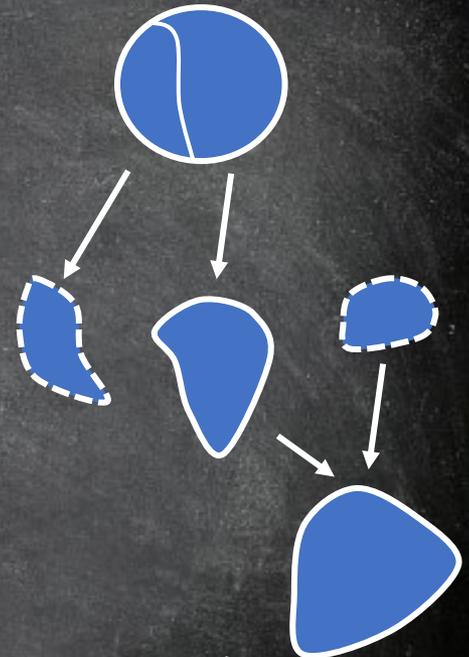
かつ

- 親は最も多い粒子数を与えた子のみを  
子とする（同数の場合無作為に一つ選ぶ）

→ 親と子は一対一対応

→ 生成消滅は扱わない

（ $z \sim 0$ から $z \sim 10.2$ まで同定できたもののみ扱う）



# 準備：物理量の定義

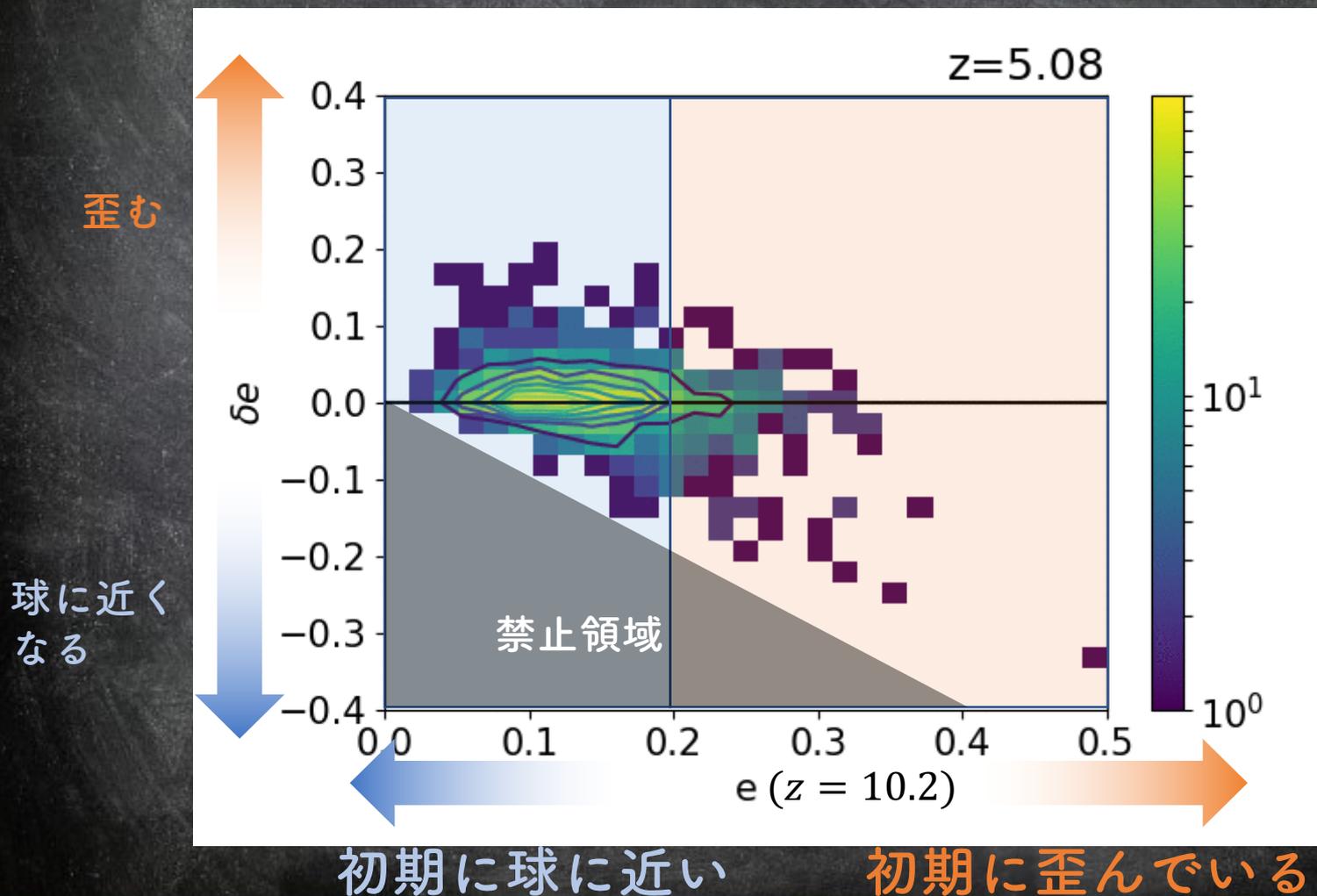
$$\text{楕円率 } e \equiv 1 - \left(\frac{\Lambda_1}{\Lambda_3}\right)^{1/4} \quad \text{有効半径 } r \equiv \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

## 慣性テンソル

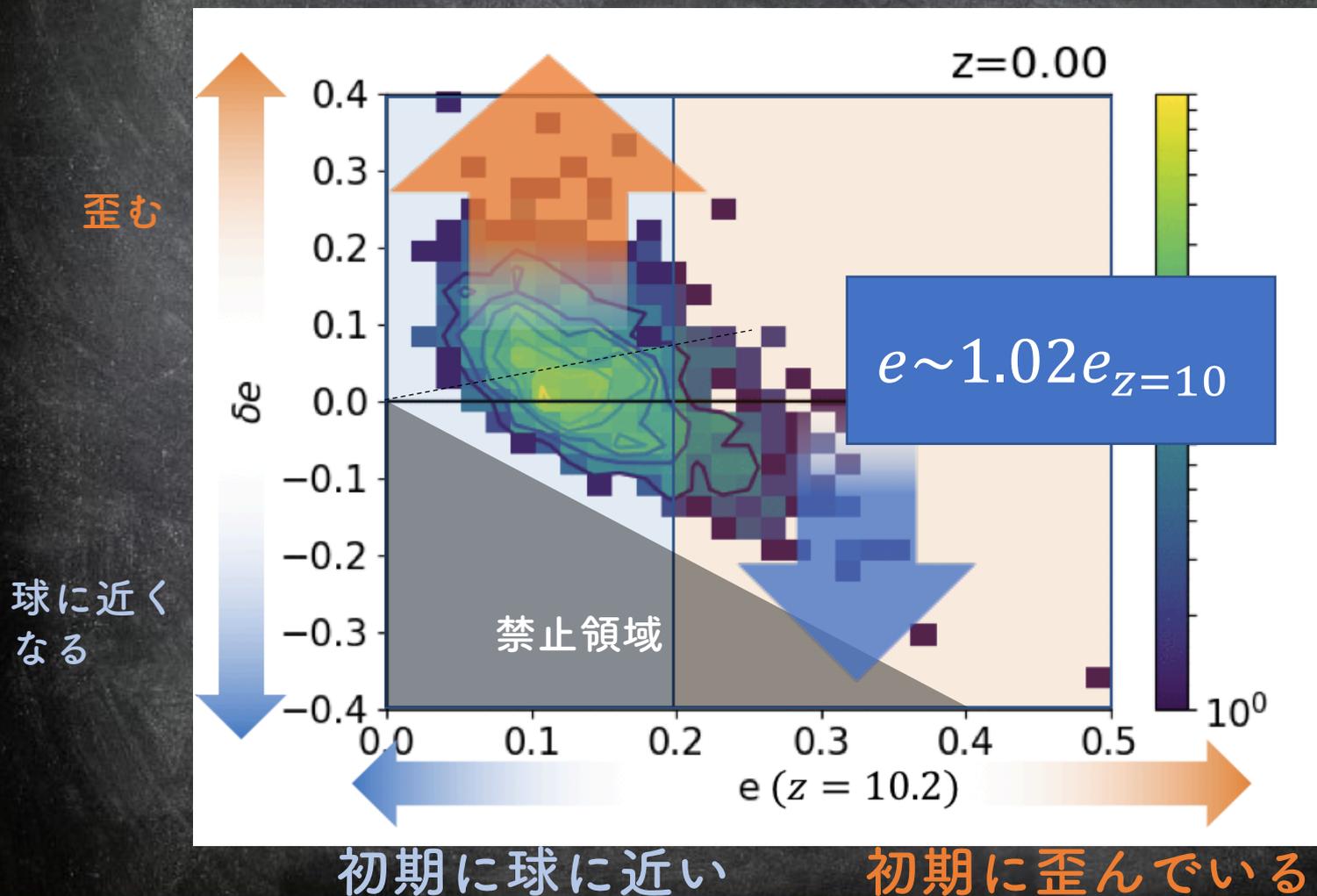
$$I = \begin{bmatrix} \sum_i (y_i^2 + z_i^2) & \sum_i x_i y_i & \sum_i x_i z_i \\ \sum_i y_i x_i & \sum_i (x_i^2 + z_i^2) & \sum_i y_i z_i \\ \sum_i z_i x_i & \sum_i z_i y_i & \sum_i (y_i^2 + x_i^2) \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{対角化}} \begin{bmatrix} \Lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \Lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda_3 \end{bmatrix}$$

$(\Lambda_1 < \Lambda_2 < \Lambda_3)$

# 結果：大規模構造中のボイド



# 結果：大規模構造中のボイド



# まとめと今後

	大規模構造中のボイド	単体のモデル
先行研究	(観測) 平均値ほぼ変化しない	球になる
今回の結果	(シミュレーション) “極端さ”がなくなるよう に変化、むしろ歪む	歪む



ボイド1個の力学で決まるのか      もっと厳密に解きたい  
大規模構造中の潮汐場が決まるのか      → 孤立系のN体シミュレーション