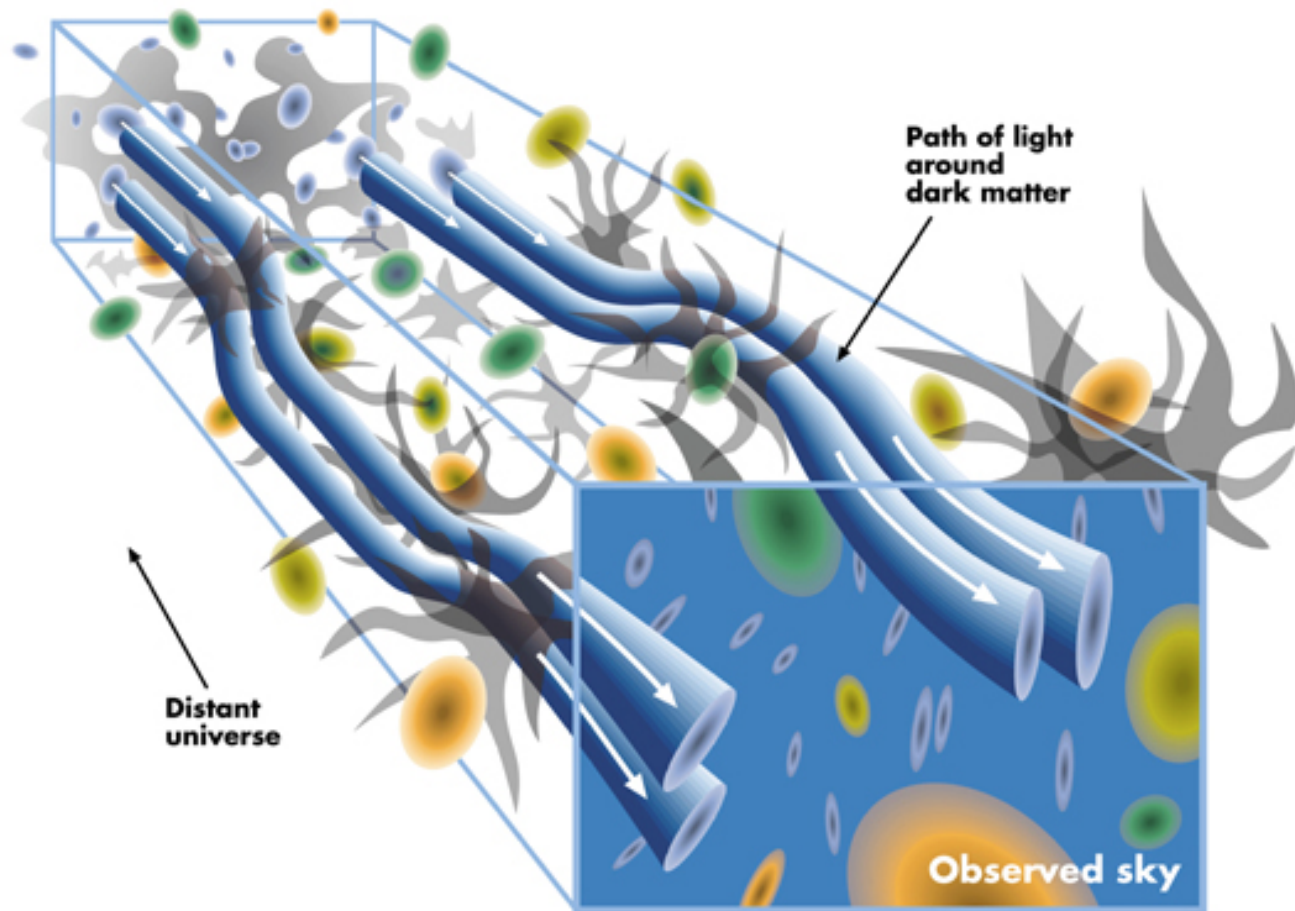


Super-sample covariances for cosmic shear and galaxy-galaxy lensing

Ryuichi Takahashi (Hirosaki U)

**in collaboration with T. Nishimichi, M. Takada (Kavli IPMU),
K. Shiroyama (Hirosaki U), M. Shirasaki (NAOJ), ...**

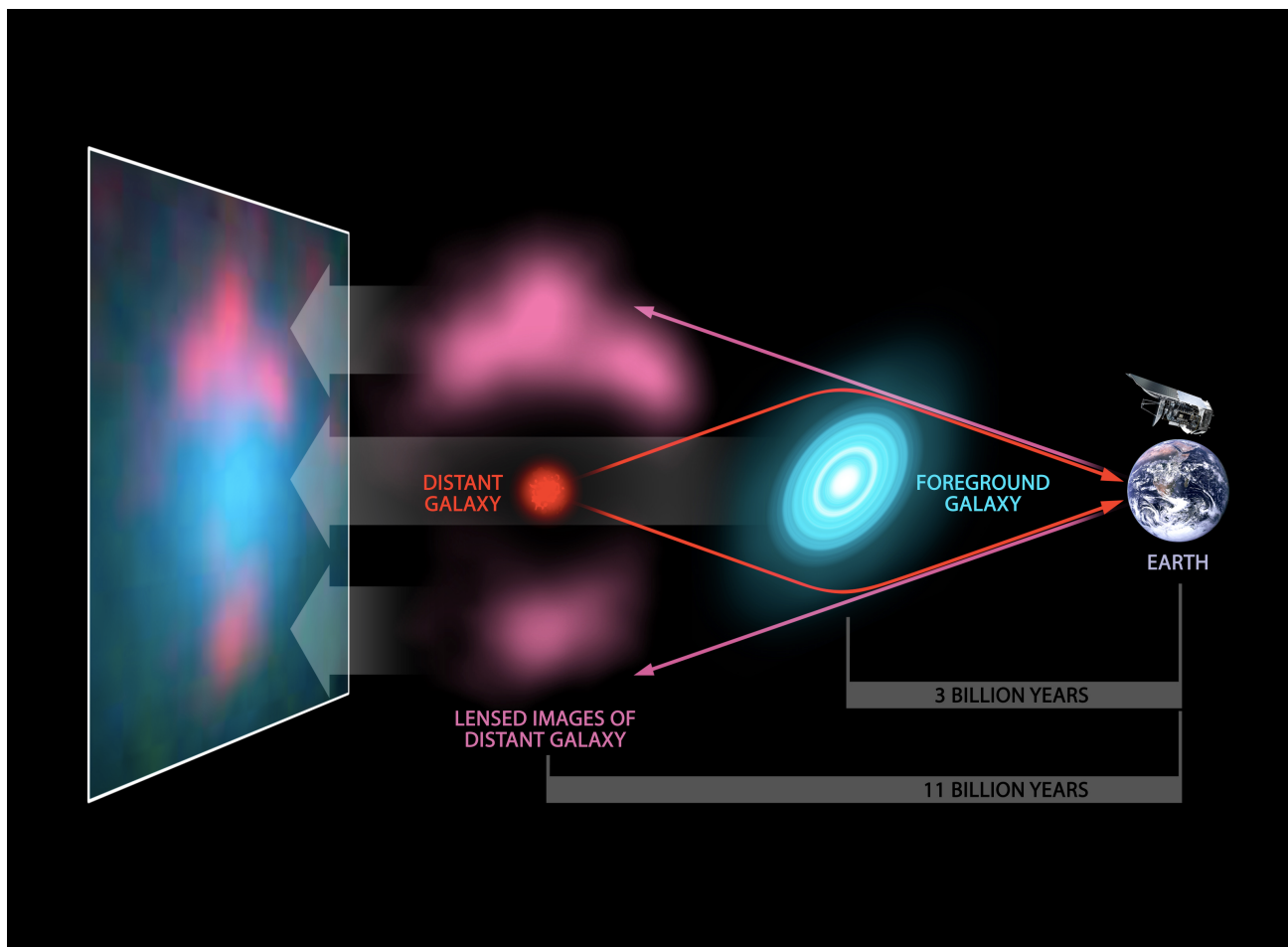
● Introduction cosmic shear



背景銀河の形状のゆがみ → 手前の物質分布を推定

観測量: projected 2D matter-matter power spectrum $P(k)$

Galaxy-galaxy lensing



手前の銀河周辺の背景銀河のゆがみ

→ 手前の銀河周辺の質量分布

観測量: projected 2D halo-matter power spectrum $P(k)$

Likelihood analysis

観測量から未知パラメータ(主に宇宙論パラメータ)を推定



- 2D matter-matter $P(k)$ for cosmic shear
- 2D halo-matter $P(k)$ for galaxy-galaxy lensing

χ^2 analysis

$$\chi^2(\vec{p}) = \sum_j \left[\frac{\overset{\text{理論予言}}{X_{\text{theory}}^j(\vec{p})} - \overset{\text{観測量}}{X_{\text{obs}}^j}}{\underset{\text{分散}}{\Delta X^j}} \right]^2$$

\vec{p} : fitting parameters

分散の推定方法

- 観測データを用いる (Jackknife, Bootstrap)
- シミュレーションから大量の mock を用意する
- 解析的に求める (perturbation theory, halo model, **super-sample covariance**)

Super-sample covariance

(Takada & Hu 2013)

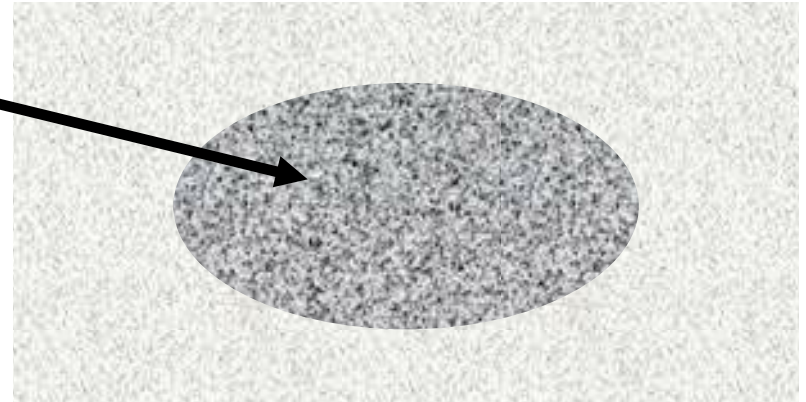
観測領域内の平均密度ゆらぎ

$$\delta_b$$

δ_b の高い(低い)領域



密度揺らぎが成長し易い(難しい)ため、揺らぎの振幅が大きい(小さい)
ハローができ易い(難しい)



観測領域の密度が高い(低い)と観測量が系統的にずれる

$$P(k; \delta_b) \simeq P(k) \left[1 + \frac{d \ln P(k)}{d \delta_b} \delta_b \right] \quad \text{with} \quad P(k) = P(k; \delta_b = 0)$$

Super-sample covariance

(Takada & Hu 2013)

観測領域内の平均密度ゆらぎ

$$\delta_b$$

δ_b の高い(低い)領域

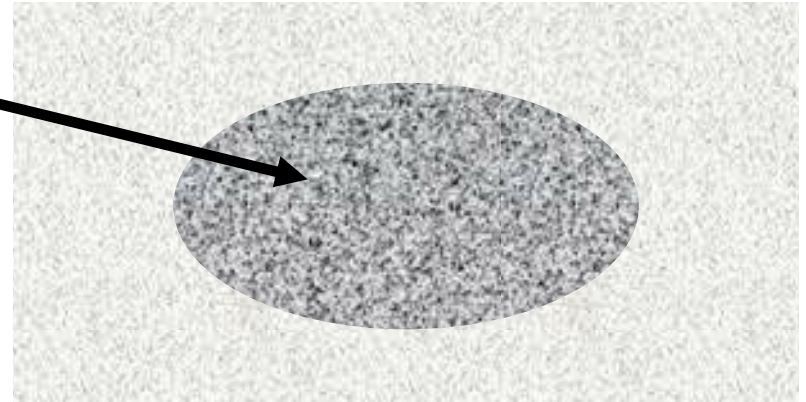


密度揺らぎが成長し易い(難しい)ため、揺らぎの振幅が大きい(小さい)
ハローができ易い(難しい)

“P(k) response”

観測領域の密度が高い(低い)と観測量が系統的にずれる

$$P(k; \delta_b) \simeq P(k) \left[1 + \frac{d \ln P(k)}{d \delta_b} \delta_b \right] \quad \text{with} \quad P(k) = P(k; \delta_b = 0)$$

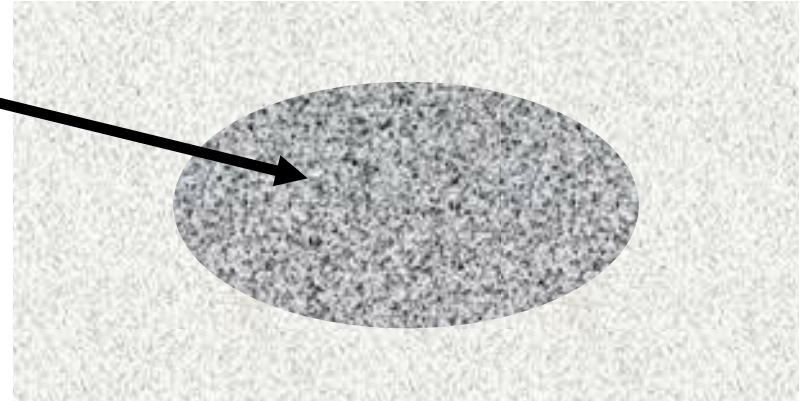


Super-sample covariance

(Takada & Hu 2013)

観測領域内の平均密度ゆらぎ

$$\delta_b$$



$$P(k; \delta_b) \simeq P(k) \left[1 + \frac{\partial \ln P(k)}{\partial \delta_b} \delta_b \right]$$

additional variance



$$[\Delta P(k)]^2 \Big|_{\text{SSC}} = P(k)^2 \left[\frac{d \ln P(k)}{d \delta_b} \right]^2 \sigma_b^2$$

$$\text{with } \sigma_b^2 = \langle |\delta_b|^2 \rangle$$

Separate Universe Simulation (Li+ 2014; Baldauf+ 2016)

P(k) response をシミュレーションから求める

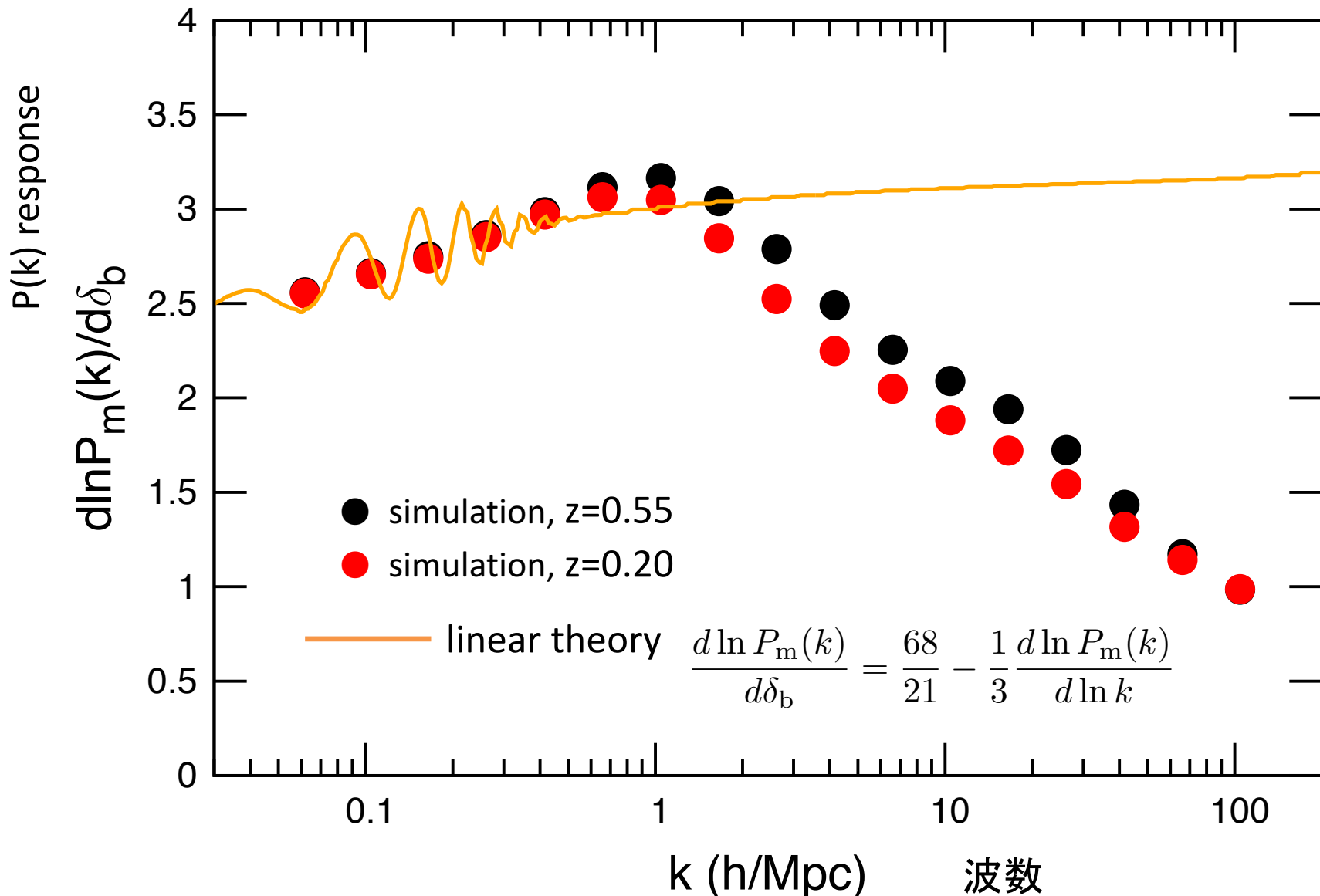
背景密度 δ_b がプラスとマイナス ($\delta_b(z=0) = \pm 0.01$) それぞれに対して
N体シミュレーションを走らせて差分をとる

- box size $L=250\text{Mpc}/h$ with 512^3 particles
- 100 realizations for each

2D matter-matter P(k) と halo-matter P(k) に対して求める
(cosmic shear) (galaxy-galaxy lensing)

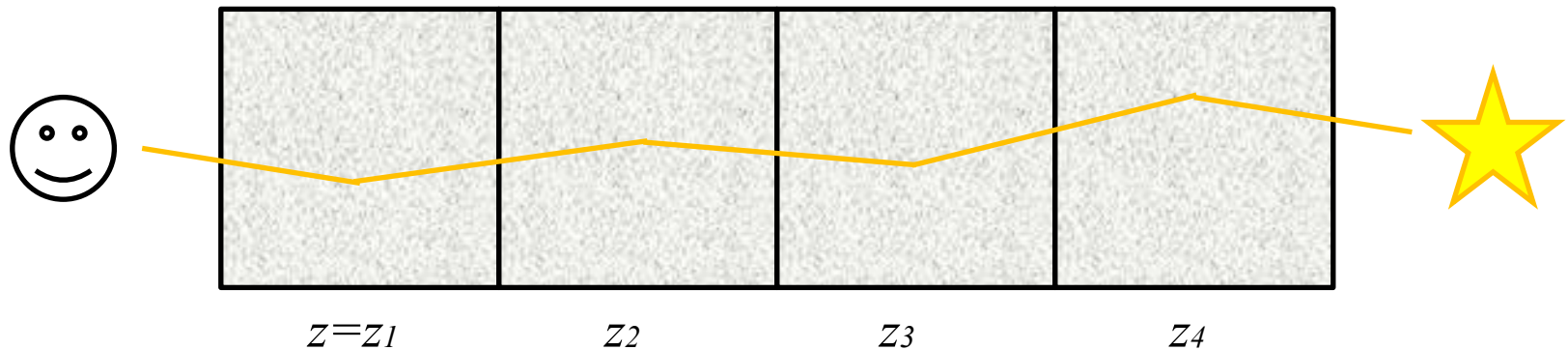
結果

2D matter-matter P(k) response



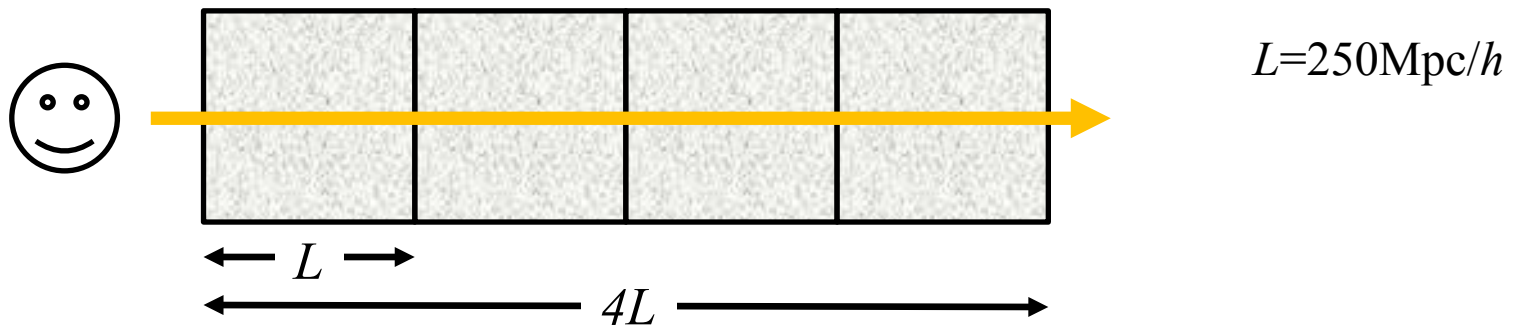
ray-tracing simulation

異なる赤方偏移のシミュレーションボックスを並べて光を飛ばす

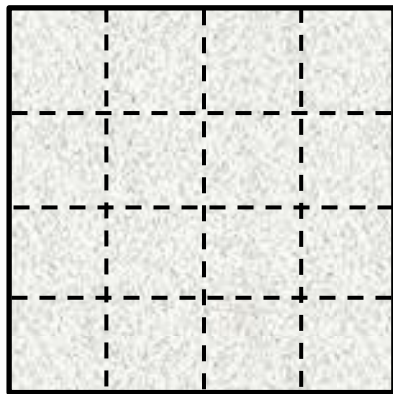


2D $P(k)$ variance の計算

matter-matter & halo-matter $P(k)$ variance の計算を行う
テスト計算のため同じ赤方偏移($z=0.2$)のボックスを並べる



一辺 $4L$ simulation box \times 20個用意

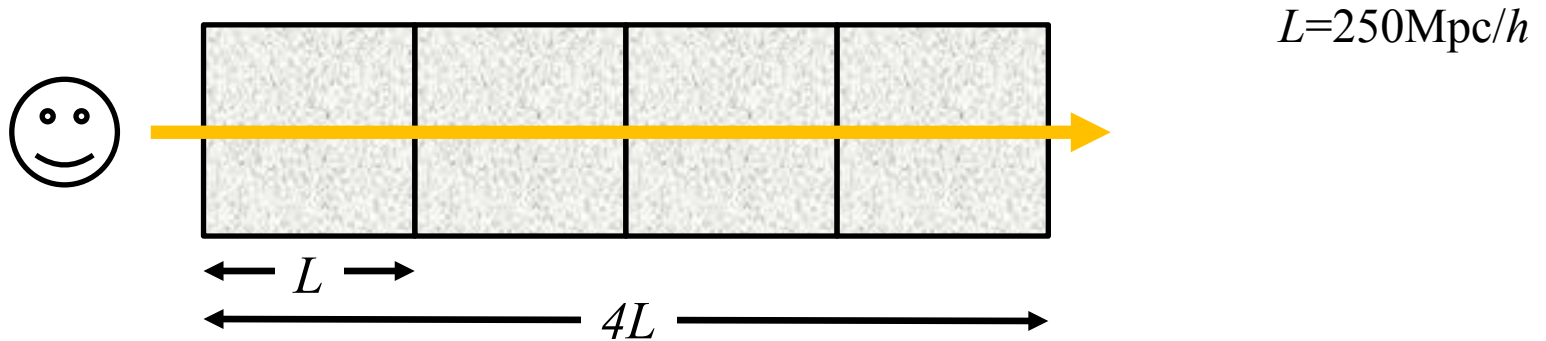


一辺 L simulation box \times 100個用意



2D $P(k)$ variance の計算

matter-matter & halo-matter $P(k)$ variance の計算を行う
テスト計算のため同じ赤方偏移($z=0.2$)のボックスを並べる

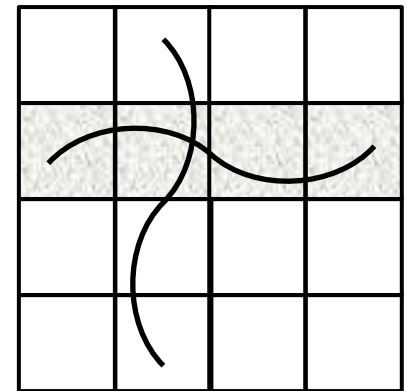


i) 一辺 $4L$ box から連続的に取り出して並べたとき
長波長揺らぎ入り & 視線方向の揺らぎ入り

ii) 一辺 $4L$ box からランダムに取り出して並べたとき
長波長揺らぎ入り & 視線方向の揺らぎなし

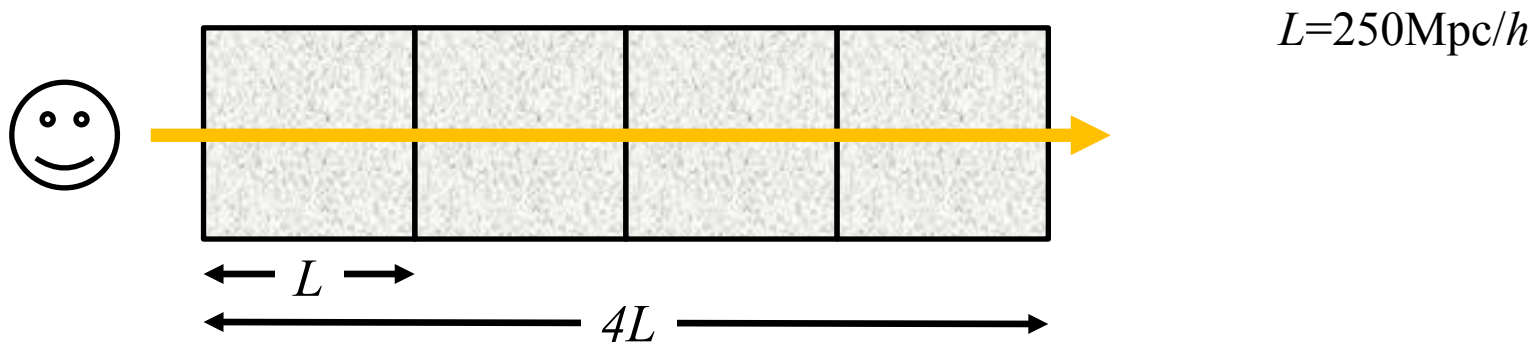
iii) 周期境界条件下の一辺 L box を並べたとき
長波長揺らぎなし & 視線方向の揺らぎなし

case (i)



2D $P(k)$ variance の計算

matter-matter & halo-matter $P(k)$ variance の計算を行う
テスト計算のため同じ赤方偏移($z=0.2$)のボックスを並べる

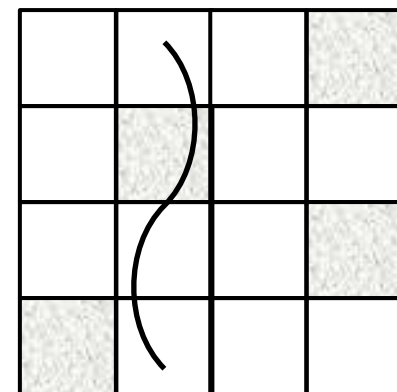


i) 一辺 $4L$ box から連続的に取り出して並べたとき
長波長揺らぎ入り & 視線方向の揺らぎ入り

ii) 一辺 $4L$ box からランダムに取り出して並べたとき
長波長揺らぎ入り & 視線方向の揺らぎなし

iii) 周期境界条件下の一辺 L box を並べたとき
長波長揺らぎなし & 視線方向の揺らぎなし

case (ii)



2D $P(k)$ variance の計算

matter-matter & halo-matter $P(k)$ variance の計算を行う
テスト計算のため同じ赤方偏移($z=0.2$)のボックスを並べる



i) 一辺 $4L$ box から連続的に取り出して並べたとき
長波長揺らぎ入り & 視線方向の揺らぎ入り

ii) 一辺 $4L$ box からランダムに取り出して並べたとき
長波長揺らぎ入り & 視線方向の揺らぎなし

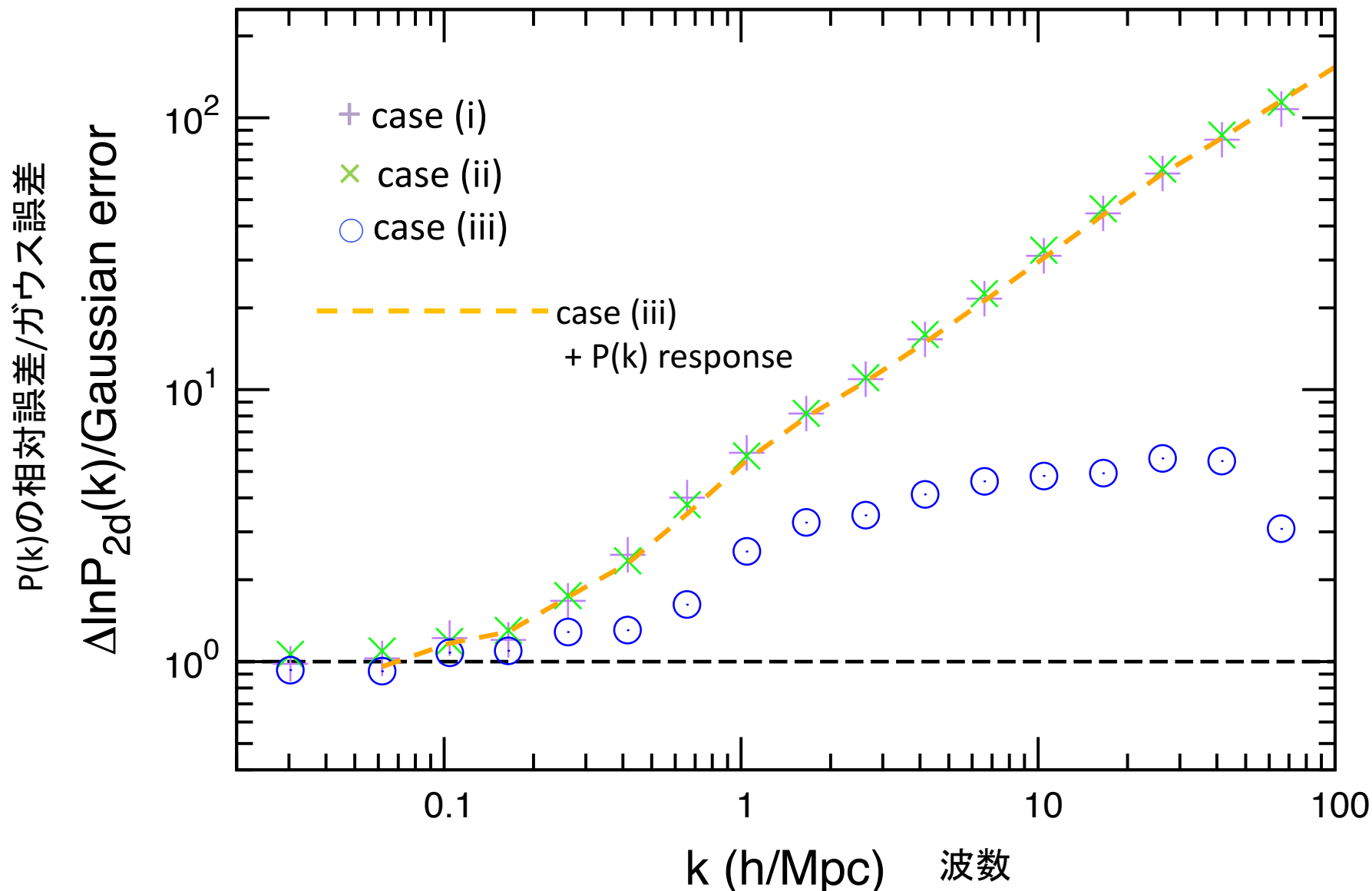
case (iii)

iii) 周期境界条件下の一辺 L box を並べたとき
長波長揺らぎなし & 視線方向の揺らぎなし



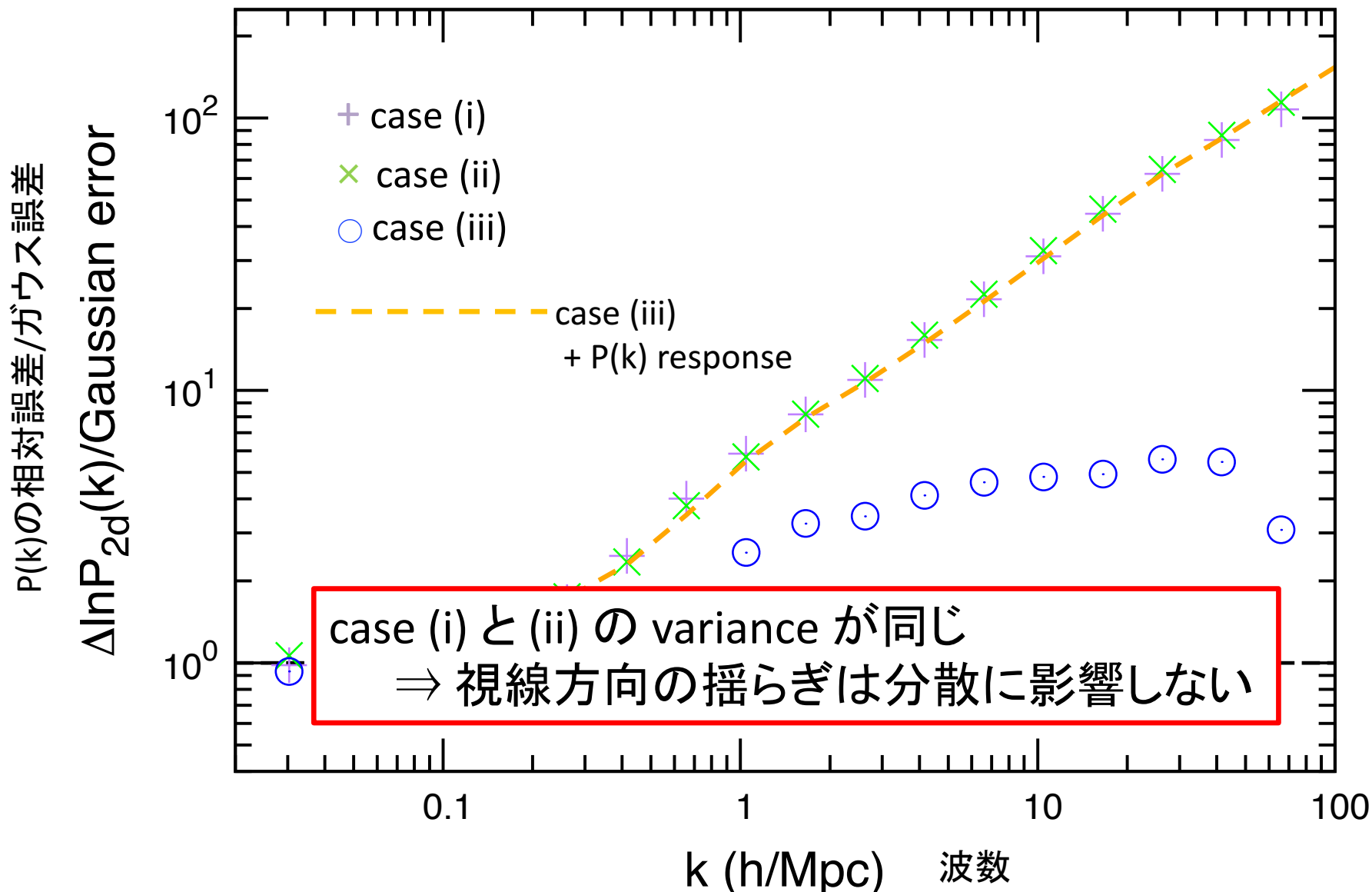
結果

2D matter-matter $P(k)$ variance @ $z=0.2$



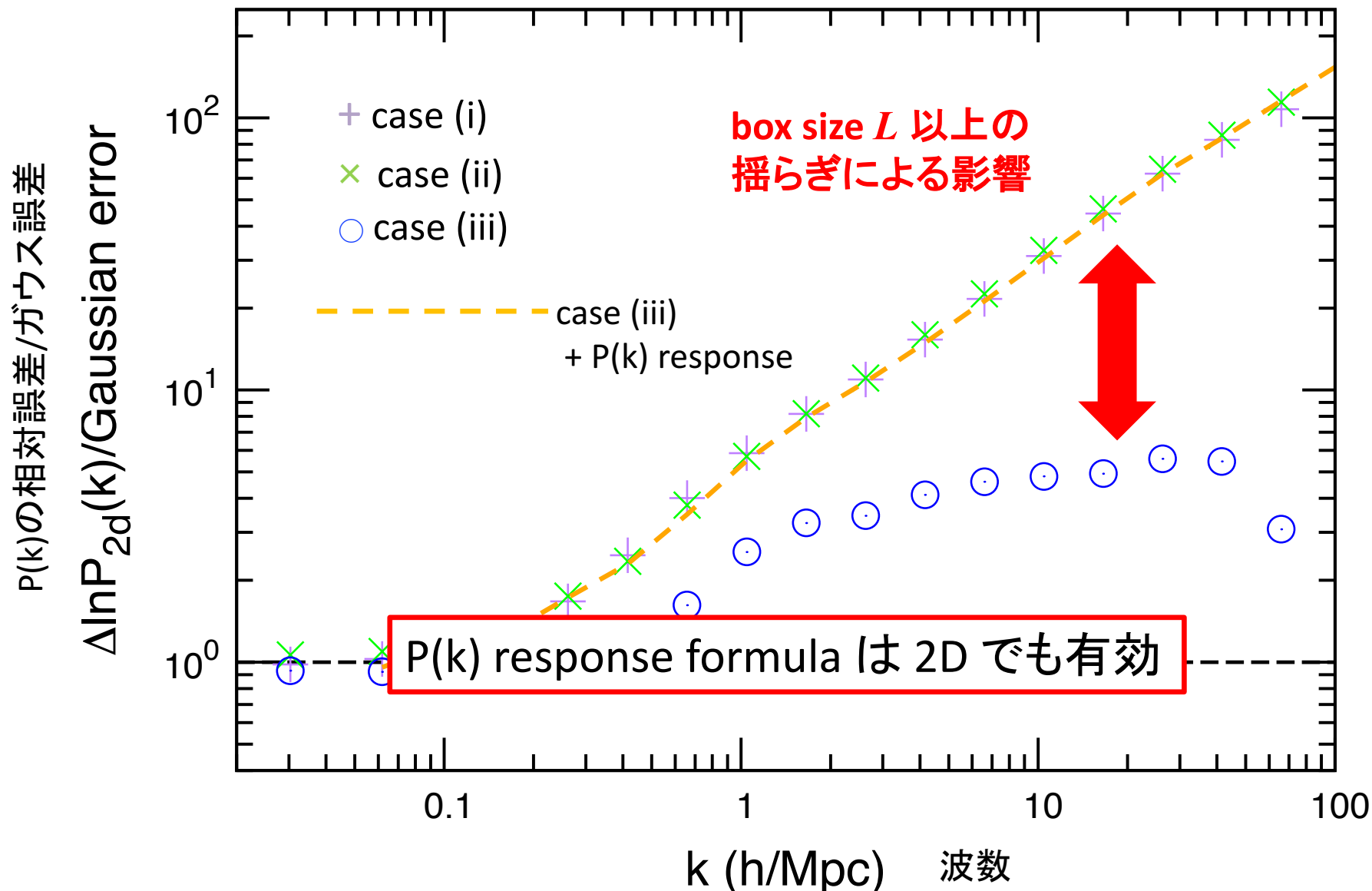
結果

2D matter-matter $P(k)$ variance @ $z=0.2$



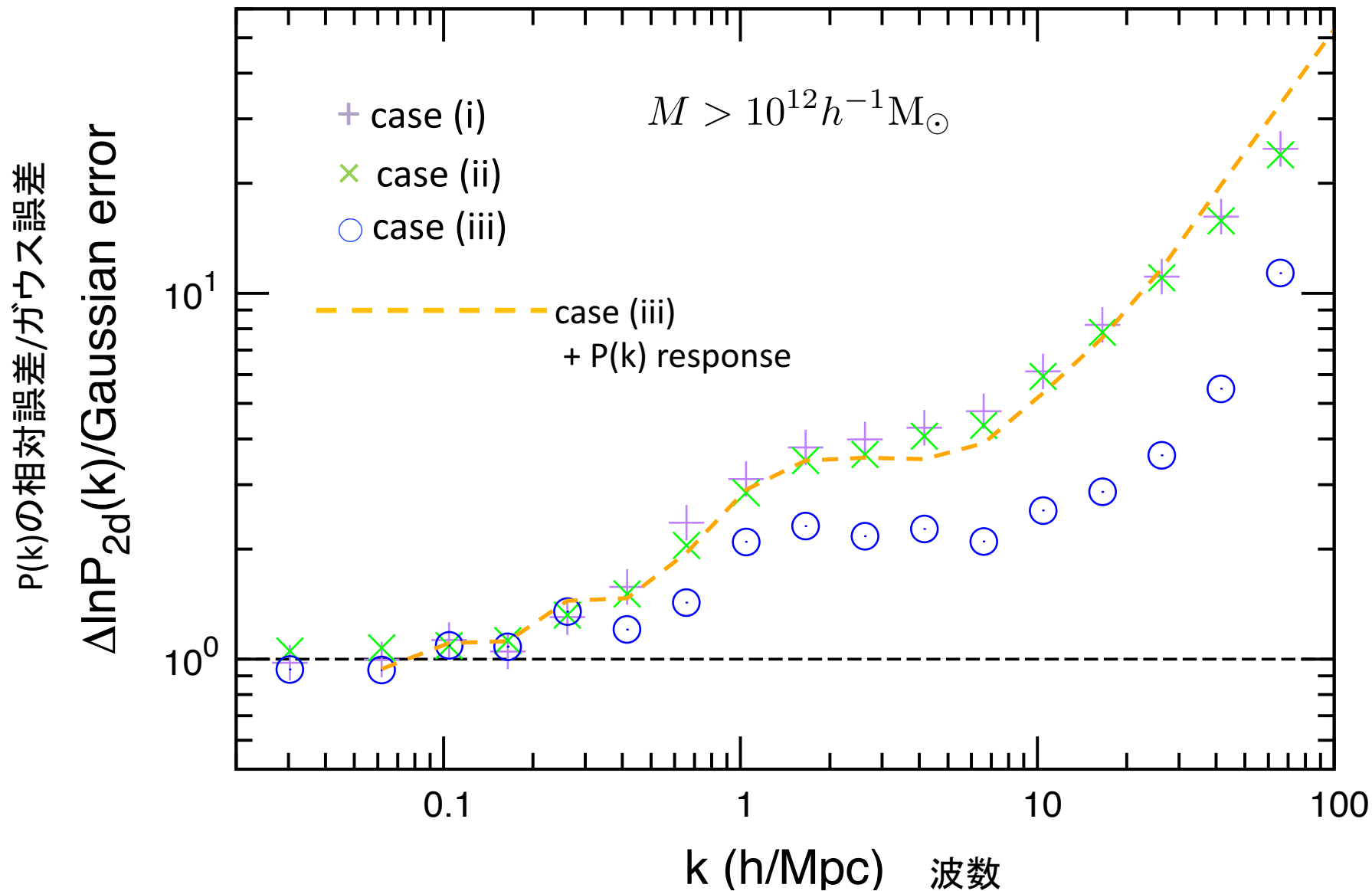
結果

2D matter-matter $P(k)$ variance @ $z=0.2$



結果

2D halo-matter $P(k)$ variance @ $z=0.2$



●まとめと今後

2次元に射影した matter-matter/halo-matter $P(k)$ に対して
Separate Universe Simulation から $P(k)$ response を求めた

$P(k)$ variance との比較を行い、super-sample covariance formula が
使えることが確かめられた

今後、全天重力レンズマップで求めた2点相関 $\xi(k)$ variance との
比較を行う