

素粒子物理学とILC

日本学術会議

国際リニアコライダー計画の見直し案に関する検討委員会

・同委員会技術検証分科会 合同会議

平成30年10月10日

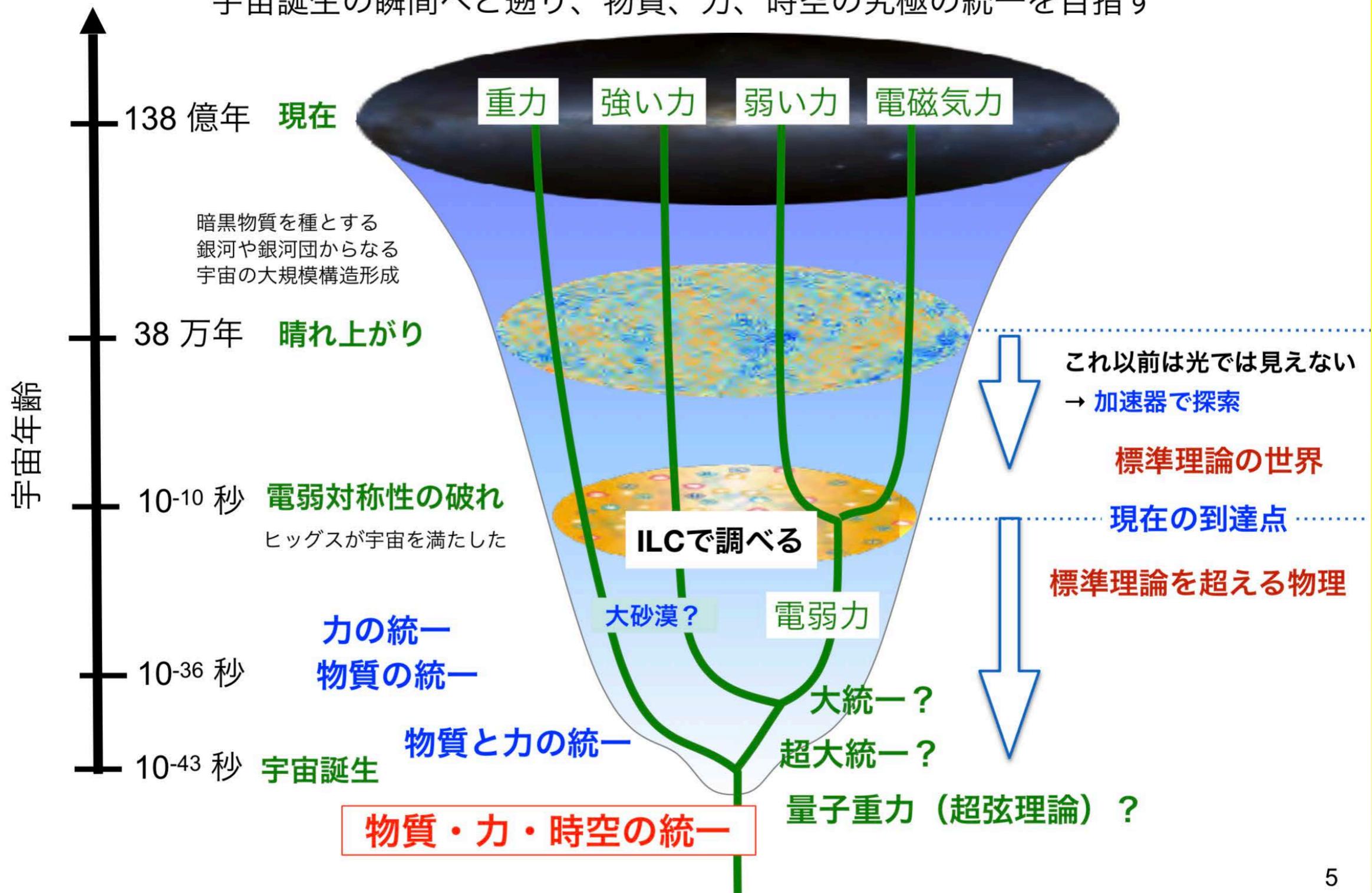
参考人 細谷 裕（大阪大学名誉教授）



- * **ILC** の目的は？ 位置付けは？ 可能性は？
- * **素粒子物理学** はどう発展するのか
- * 高エネルギー加速器実験
 - { 新粒子
 - 精密測定
- * **ヒッグスボゾン** の発見は何を意味するのか
- 次は** 何か
ILC でできることは？

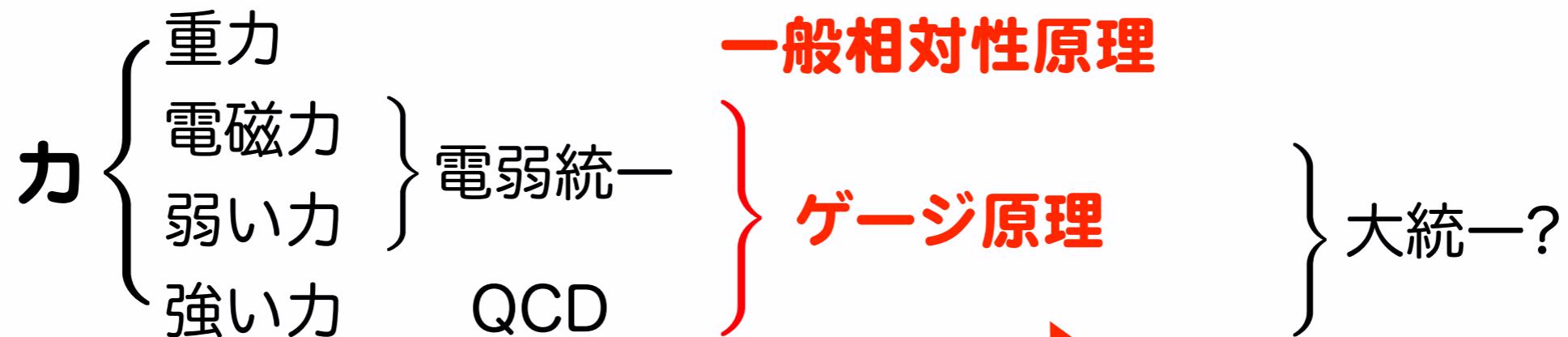
究極の統一を求めて

宇宙誕生の瞬間へと遡り、物質、力、時空の究極の統一を目指す



20世紀後半からの素粒子物理学の歩み

素粒子 クォーク、レプトン



20世紀前半からの信念

Einstein, Dirac

物理の基本法則は 美しい

数学的には 対称性

力の統一とヒッグスボゾン

異なる力 → 統一

対称性：小さい 大きい

逆に、我々の世界（低エネルギー）に辿りつくためには

大きな対称性は自発的に破れて小さな対称性になる

南部陽一郎 (1960)

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{電磁力} & \gamma \\ \text{弱い力} & W, Z \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} U(1)_{EM} \\ \text{大きな質量} \end{array} \right\} \xleftarrow{} SU(2)_L \times U(1)_Y$$

標準理論では「ヒッグスボゾン」がこの役割を果たす

ヒッグスボゾン

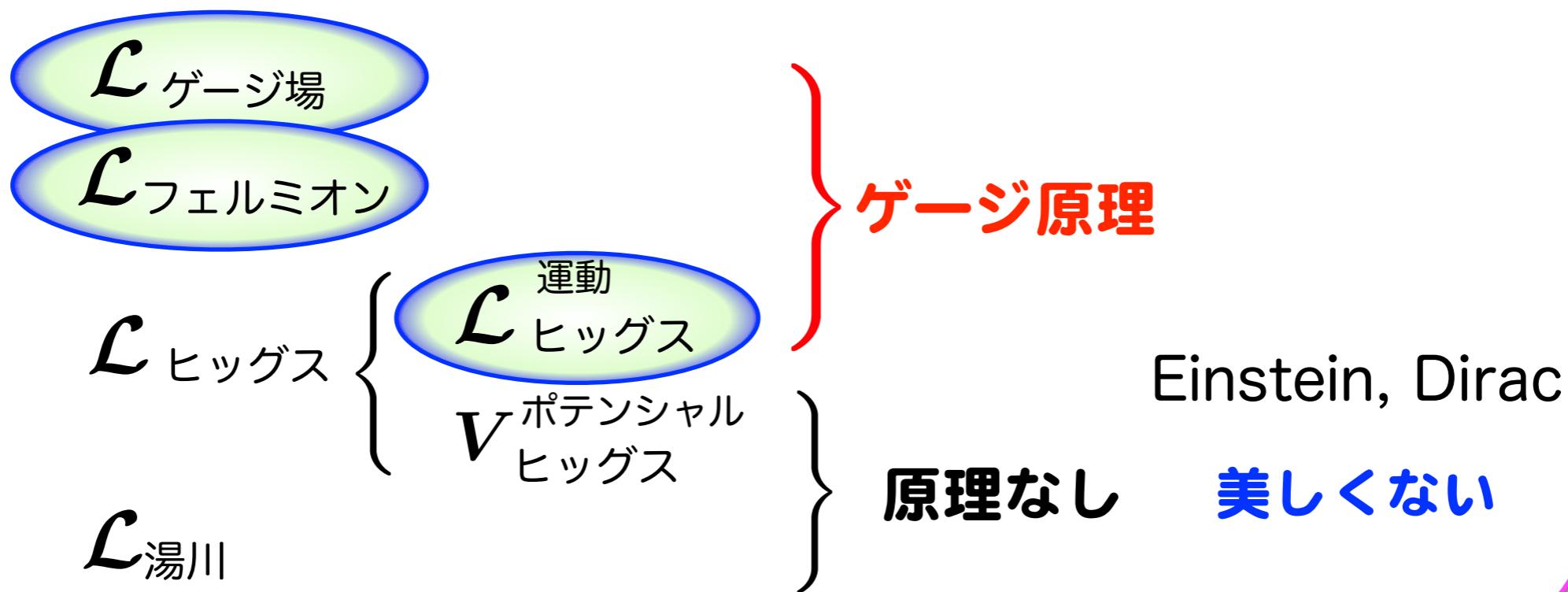
の発見は

力の統一

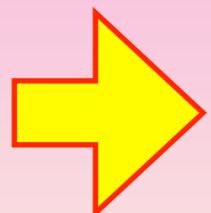
シナリオを裏付ける

しかし、ヒッグスボゾンの正体は明らかでない

標準理論



標準理論のままで良い
多重ヒッグス模型
超対称性理論
複合ヒッグス模型
ゲージヒッグス統合（余剰次元）



ILC 250GeV では

既知の粒子を探る

ヒッグスボゾン

確実に実現できる

ヒッグス結合の精密測定
(ヒッグス・ファクトリー)

未知の粒子を探る

半分賭け、予期されぬ

250GeVでは新粒子の直接生成は不可能

量子論の特性、**干渉効果**を見る

$$\begin{aligned}\text{観測データ} &= \left| \mathcal{M}_{\text{known}} + \mathcal{M}_{\text{new}} \right|^2 \\ &= \left| \mathcal{M}_{\text{known}} \right|^2 + 2\text{Re } \mathcal{M}_{\text{known}} \mathcal{M}_{\text{new}}^* + \left| \mathcal{M}_{\text{new}} \right|^2\end{aligned}$$

新粒子の発見

私が経験したもの

- J/Ψ (1974) c quark, QCD
- τ (1975) 第3世代
- b (1977)
- W, Z (1983) $SU(2)_L \times U(1)_Y$
- t (1995) 最後のクォーク
- $Higgs$ (2012) 最後のSM粒子

古くは

- e^+ (1932)
- μ^- (1936)
- ⋮

多くは

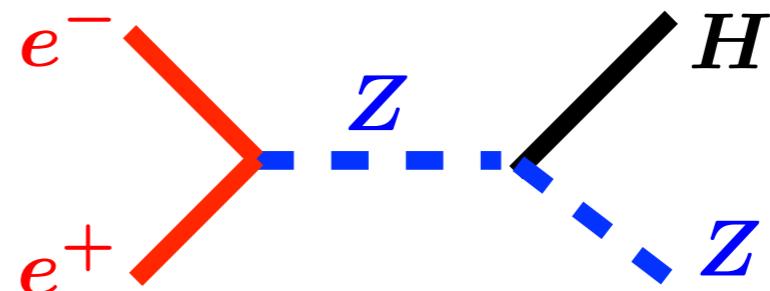
予期されぬもの

既知の粒子を探る

ヒッグス結合の精密測定

$e^+e^- 2000 \text{ fb}^{-1}$

→ 1 ~ 2 % の精度



標準理論のままで良い

多重ヒッグス模型

超対称性理論

複合ヒッグス模型

ゲージヒッグス統合（余剰次元）

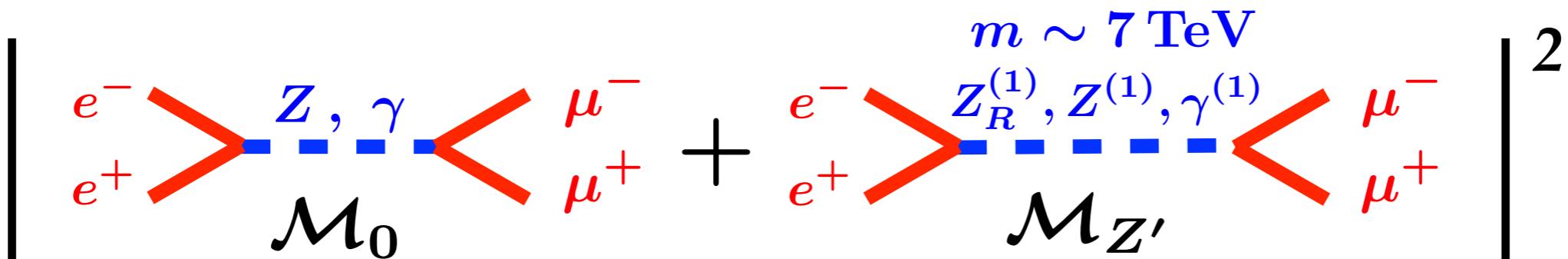
大きなずれあり

ずれありうる

ずれありうる

微小なずれ (~1%)

未知の粒子を探る



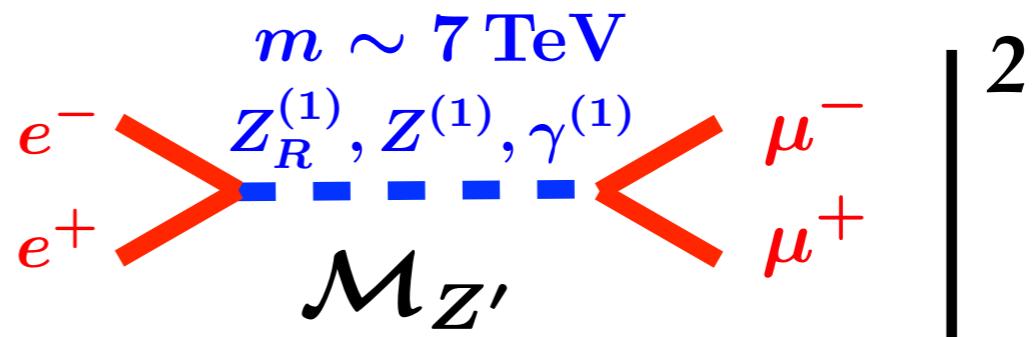
事象数：大 $O(10^6)$

ゲージヒッグス統合

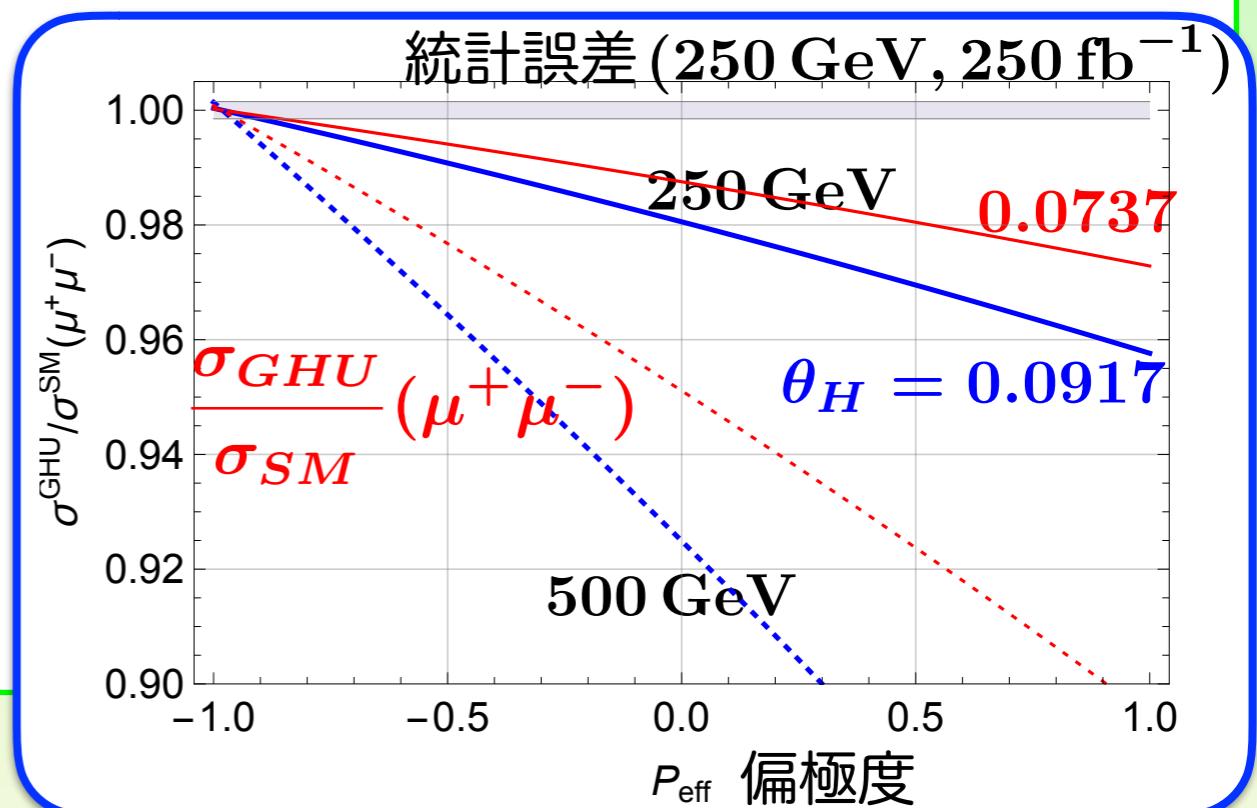
$$\frac{\mathcal{M}_{Z'}}{\mathcal{M}_0} \sim -13.6 \frac{s}{m_{Z'}^2} \sim -0.017$$

250 fb^{-1} のデータで
 $m \sim 7 \text{ TeV}$ の効果が見える

干渉効果を見る



電子ビーム：偏極できる



まとめ

素粒子物理学

力の統一シナリオ：半分、確かめられた

ヒッグスセクター：不明点多し

基本原理に欠ける → 新しい
対称性、時空？

ILC 250 GeV

既知の粒子を探る

ヒッグス結合の精密測定

未知の粒子を探る

$e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ の特性、偏極電子ビーム

予期できぬ事象、 $\sqrt{s} \sim 8$ TeV の物理