

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

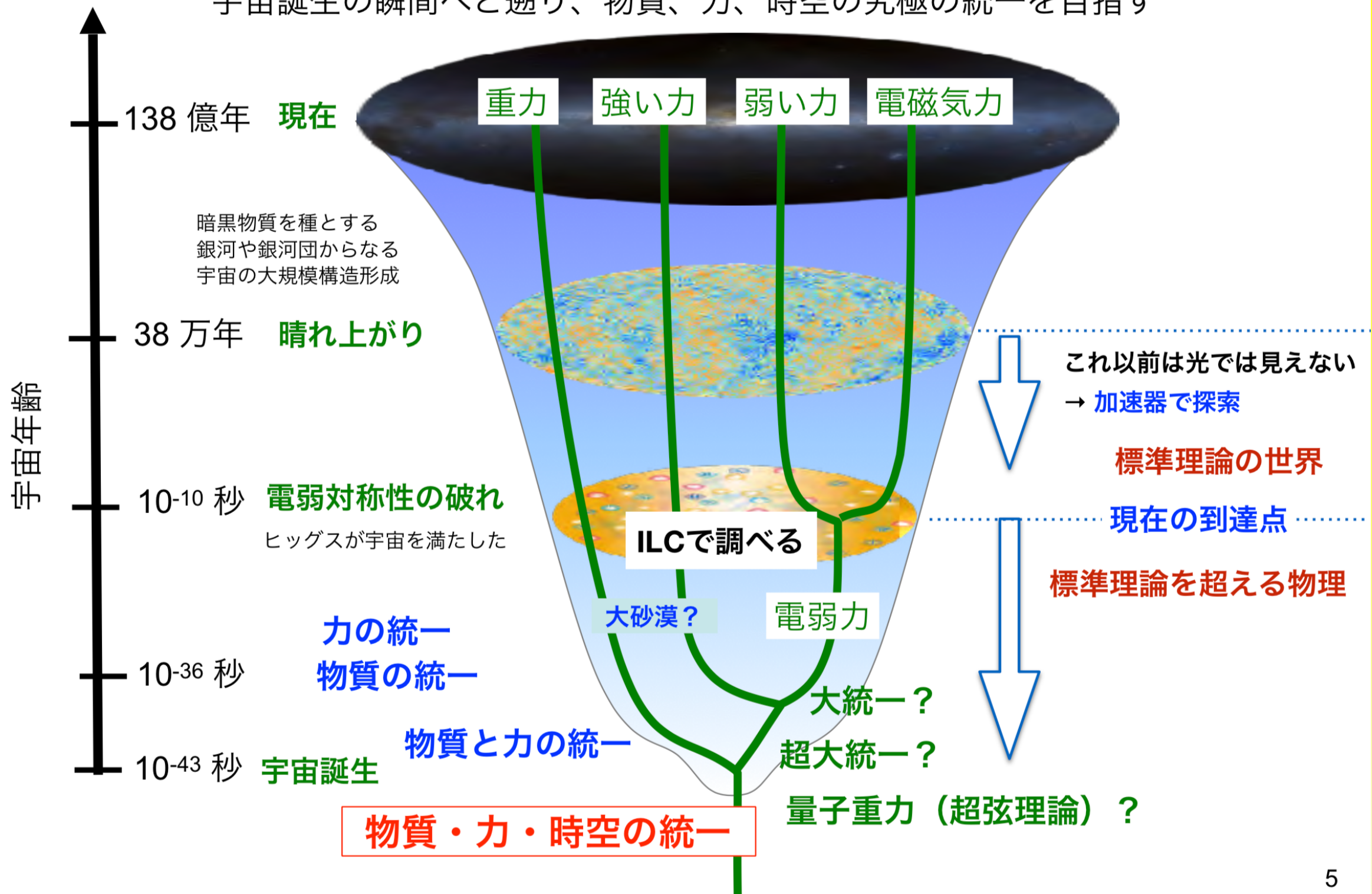
* **ヒッグスボゾン** の発見は何を意味するのか

次は 何か

ILC でできることは？

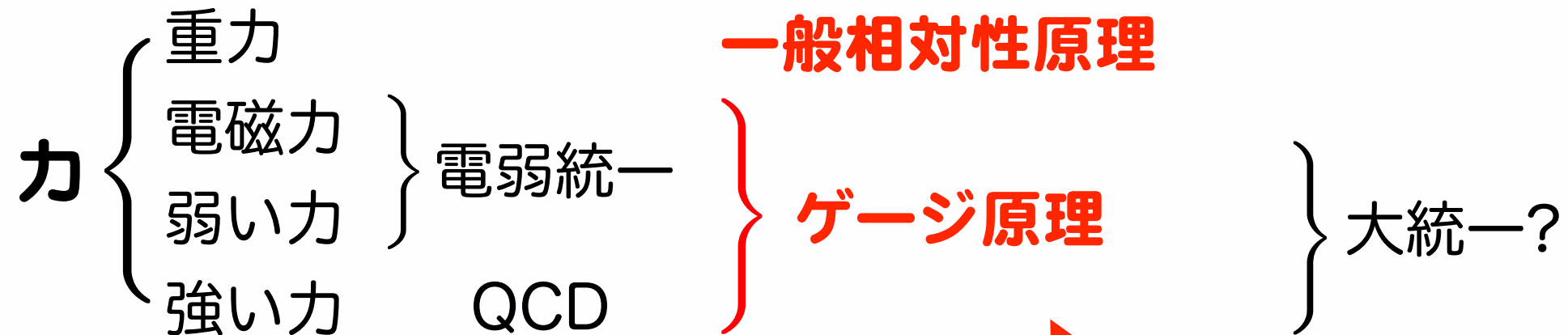
究極の統一を求めて

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

異なった力 $\longrightarrow$ 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)

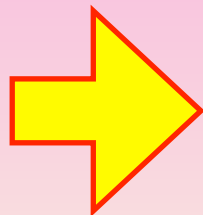
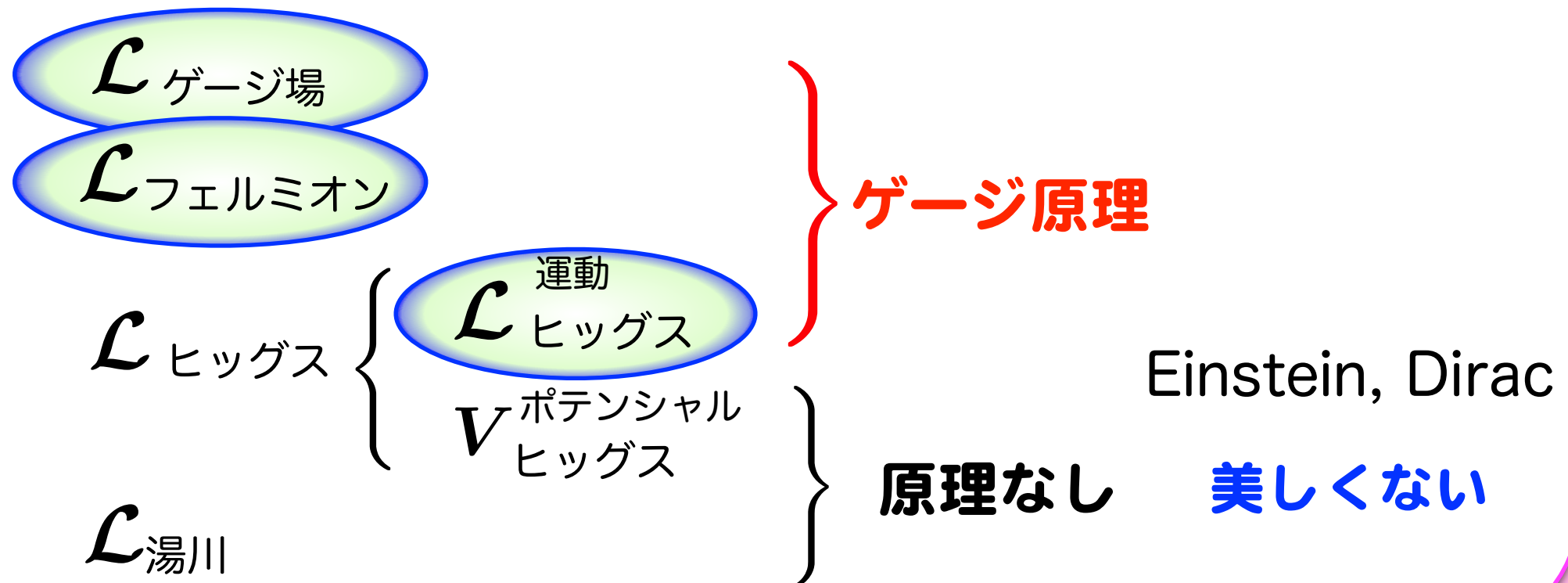
$\left\{ \begin{array}{ll} \text{電磁力} & \gamma \\ \text{弱い力} & W, Z \end{array} \right. \begin{array}{l} U(1)_{EM} \\ \text{大きな質量} \end{array} \left. \right\} \longleftarrow SU(2)_L \times U(1)_Y$

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、ヒッグスボソ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

確実に実現できる

ヒッグスボゾン

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

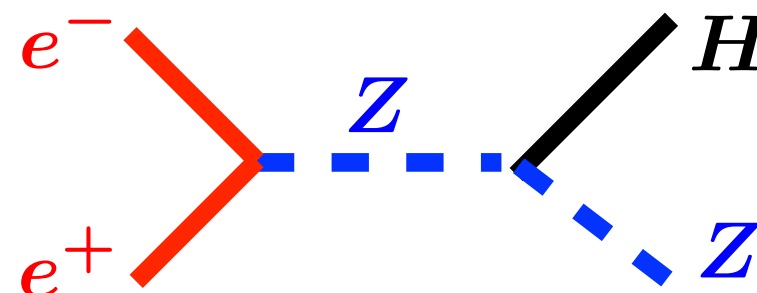
予期されぬもの

既知の粒子を探る

ヒッグス結合の精密測定

e^+e^- 2000 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

干渉効果を見る

$$\left| \begin{array}{c} e^- \\ e^+ \end{array} \right\rangle \xrightarrow[\mathcal{M}_0]{Z, \gamma} \begin{array}{c} \mu^- \\ \mu^+ \end{array} + \begin{array}{c} m \sim 7 \text{ TeV} \\ Z_R^{(1)}, Z^{(1)}, \gamma^{(1)} \end{array} \xrightarrow[\mathcal{M}_{Z'}]{e^- \\ e^+} \begin{array}{c} \mu^- \\ \mu^+ \end{array} \right|^2$$

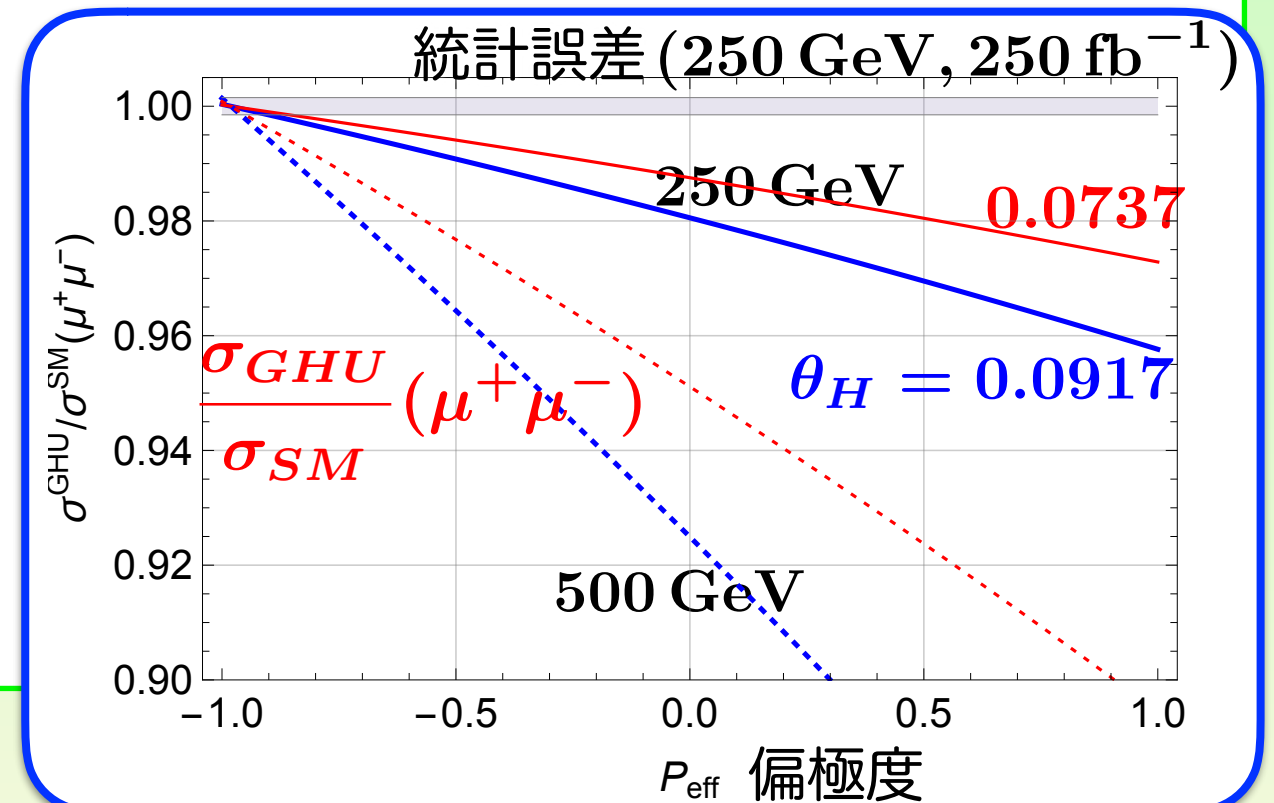
事象数：大 $O(10^6)$

電子ビーム：偏極できる

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



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、7~8TeVの物理