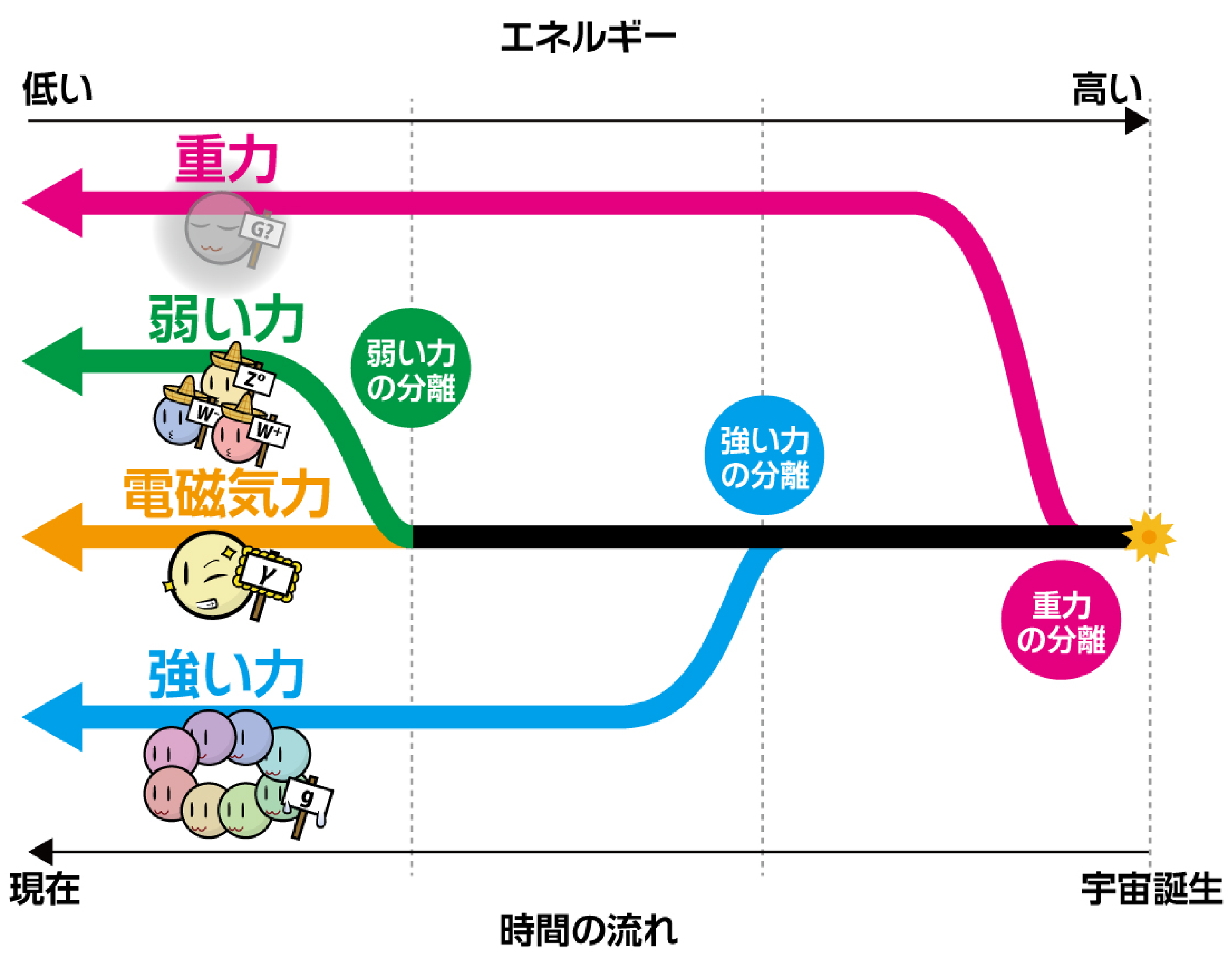
$\mathcal{N}=1$ SQCDにおける超対称グラディエントフロー法の構成と摂動計算

理学研究科数物系専攻　素粒子論研究室　鈴木光世

1. 素粒子理論で研究していること

宇宙はどのように生まれてきたのか？

- 宇宙は何でできているのか？
- どのような力が働いているのか？
- どのような運動をするのか？



2. 研究背景

素粒子理論の中でも重要な、超対称性を持った理論（＝超対称理論）の研究に注目

研究目的

- グラディエントフローという手法を用いて超対称理論を解明する
- グラディエントフローという手法を解明する

3. 素粒子と超対称性

素粒子理論

- 物質粒子（フェルミオン）と力を伝える粒子（ボソン）で宇宙を記述
- 素粒子の“場”の式を考える

$$S_{\mathrm{YM}} = \frac{1}{g^2}\int \mathrm{d}^4x\,\mathrm{tr}\left\{F_{\mu\nu}(x)F_{\mu\nu}(x)\right\}$$

$$F_{\mu\nu}(x) = \partial_\mu A_\nu(x) - \partial_\nu A_\mu(x) + i[A_\mu(x), A_\nu(x)]$$

- 無限大の発散をくりこみという操作で取り除くことで、有限な物理量を得る

超対称性

- ボソンとフェルミオンの交換に対応
- 時空とも密接に関係
- 力の統一がスムーズに考えられる
- 思考実験としても有用

4. グラディエントフロー法

ある種の拡散方程式を考え、場 $A_\mu(x)$ をぼやかす

$$\partial_t B_\mu(t,x) = -\left. g^2\frac{\delta S_{\mathrm{YM}}[A_\mu]}{\delta A_\mu(x)}\right|_{A_\mu(x)\to B_\mu(t,x)}$$
$$= \partial_\mu\partial_\nu B_\mu(t,x) + 2i[B_\nu(t,x), \partial_\nu B_\mu(t,x)] + \ldots$$

ご利益

- 自動的に有限な物理量が得られる
- 格子時空上に理論を定義する数値計算に活用

5. 超対称グラディエントフロー

ただのグラディエントフローだと

- ボソンとフェルミオンで取り扱いが違う
- 結果も少し違う

超場形式として場をまとめる

- ボソンの仲間　$V = (A_\mu, \lambda, D)$
- フェルミオンの仲間　$Q_\pm = (\phi_\pm, \psi_\pm, F_\pm)$
- 超対称性がとても見やすくなる

6. $\mathcal{N}=1$ SQCDの場合

ボソンもフェルミオンもグラディエントで考えられる

$$\partial_t V^a = -\frac{1}{2}g^{ab}\frac{\delta S_{\mathrm{SQCD}}}{\delta V^b},$$

$$\partial_t Q_+ = -\frac{1}{4}\bar{D}\bar{D}\left(e^{-2V}\frac{\delta S_{\mathrm{SQCD}}}{\delta Q_+^\dagger}\right),$$

$$\partial_t Q_- = -\frac{1}{4}\bar{D}\bar{D}\left(\frac{\delta S_{\mathrm{SQCD}}}{\delta Q_-^\dagger}e^{2V}\right).$$

7. 結果と展望

- 有限な物理量が得られそう。証明は研究中
- 対称性を尊重するのが良さそう
- 数値計算への応用？
- 他の理論への拡張？

キーワード：物理学、素粒子、超対称性、拡散方程式、くりこみ、格子計算