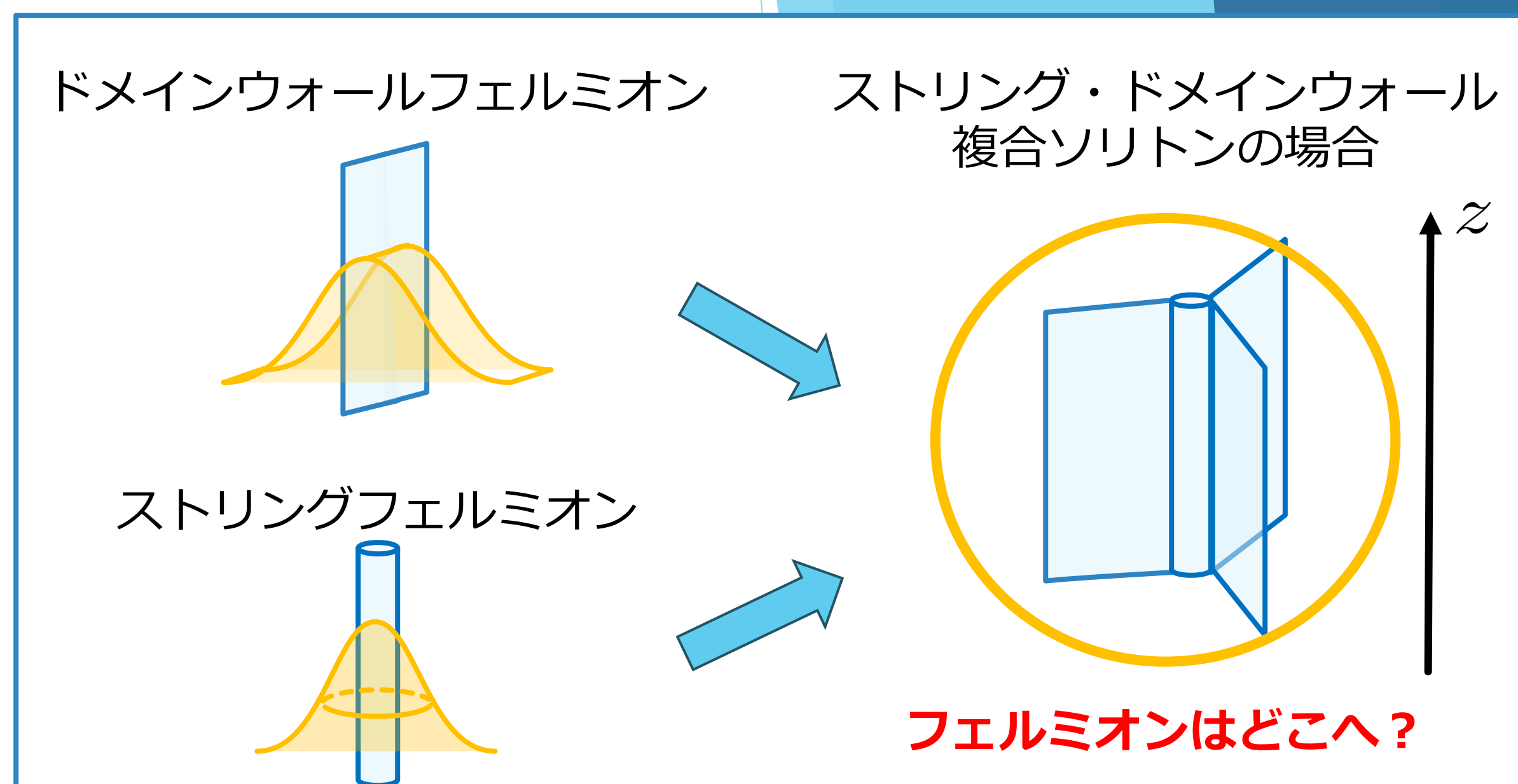


ストリング・ドメインウォールウォール複合ソリトンに 局在する0質量フェルミオンと超伝導化

発表 鈴木唯一（山形大D2）共同研究者 衛藤稔（山形大、慶応大自然セ、広島大SKCM²）

1. 導入

- ✓ 対称性の破れに伴って位相的ソリトンが形成される
- ✓ ソリトンとフェルミオンが結合すると**質量0のフェルミオンがソリトンに局在**
例) ドメインウォールフェルミオン [Jackiw, Rebbi '75]
ボータックスフェルミオン [Jackiw, Rossi '81]
- ✓ 0質量フェルミオンがキャリアとなって電流が流れ**ソリトンが超伝導化** [Witten '84]
- ✓ アクシオン模型ではストリングとドメインウォールの複合ソリトンが生成
→ **フェルミオンと結合したとき質量0のフェルミオンはどうか？**



2. ソリトン背景のDirac方程式

背景ソリトン解（複素スカラー場）

$$\varphi = \varphi_1 + i\varphi_2 \quad \varphi = \varphi(x, y)$$

静的 $\wedge$ z 軸方向に自明に延びたソリトン

フェルミオンのラグランジアン密度

$$\mathcal{L}_F = i\bar{\psi}\gamma^\mu\partial_\mu\psi - h\bar{\psi}(\varphi_1 + i\gamma_5\varphi_2)\psi$$

 ψ : 4成分スピノル, $\varphi_{1,2}$: 背景ソリトン場, h : 湯川結合定数

Dirac方程式のゼロモード解

$$\psi = \begin{pmatrix} 0 \\ f \\ if^* \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{Dirac方程式が1本に} \quad (-\partial_i^2 + h^2|\varphi|^2)f - h[(\partial_1 + i\partial_2)\varphi^*]f^* = 0$$

フェルミオンのカイラリティー

ハミルトニアン演算子の Z の固有値が $+k$

$$H_k = kZ + M$$

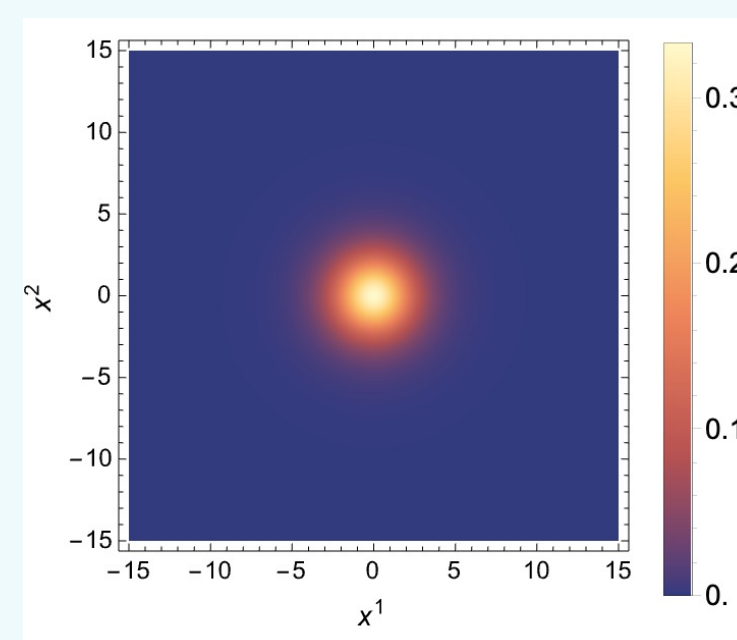
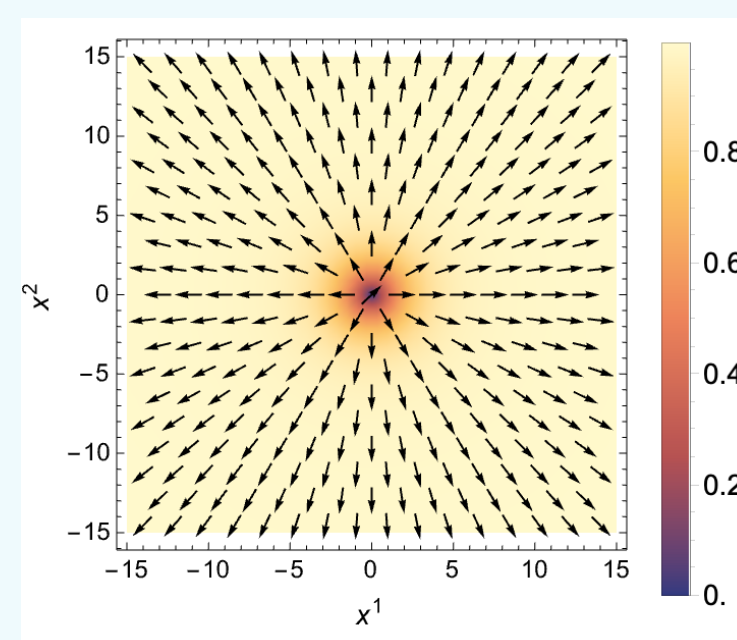
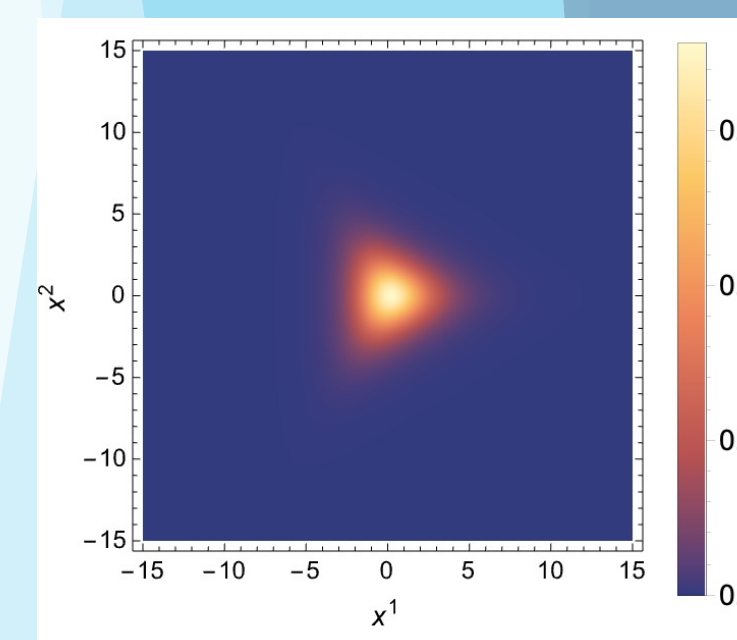
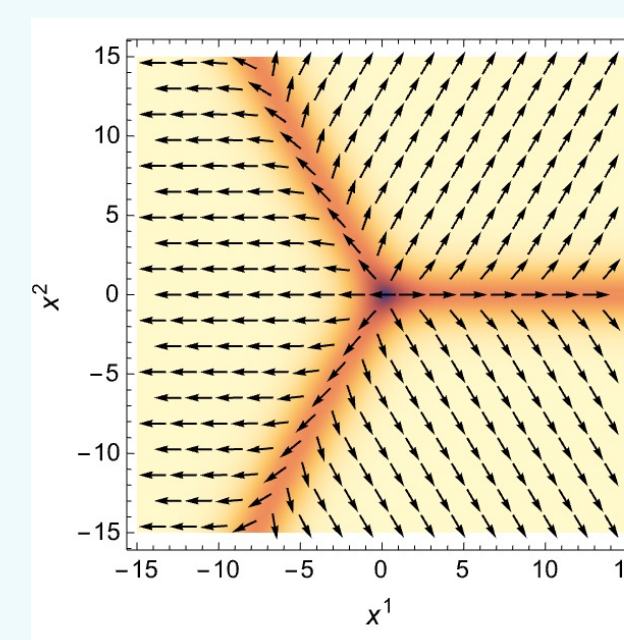
カイラリティ行列 $\gamma^0\gamma^3$ の固有値が $+1$ フェルミオンゼロ
モードは z 軸正の
方向に運動
(right-movingのみ)

3. ストリング・ドメインウォール複合ソリトン上の0質量フェルミオン

3.1 アクシオン型模型の場合(数値解)

ラグランジアン密度

$$\mathcal{L} = |\partial_\mu\varphi|^2 - \frac{\lambda}{4}(|\varphi|^2 - v^2)^2 - \eta(\varphi^N + \varphi^{*N})$$

 φ : 複素スカラー場, λ, η : 結合定数,
 N : ドメインウォールの枚数背景ソリトン φ (左)とフェルミオンゼロモード ψ (右) $N = 0$ (ストリング単独) $N = 3$ 

3.2 $\mathcal{N} = 2$ SUSY Abelian Higgs模型の場合(厳密解)

ラグランジアン密度 [Eto, Isozumi, Nitta, Ohashi, Sakai '05]

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4g^2}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \frac{1}{2g^2}\sum_{\alpha=1}^2\partial_\mu\varphi_\alpha\partial^\mu\varphi_\alpha + |D_\mu H|^2 - V$$

$$V = \frac{g^2}{2}(|H|^2 - v^2)^2 + \sum_{\alpha=1}^2 |HM_\alpha - \varphi_\alpha H|^2$$

 A_μ : ゲージ場, φ_α : 実スカラー場, H^A : 複素スカラー場

ソリトン解とフェルミオンゼロモードの厳密解

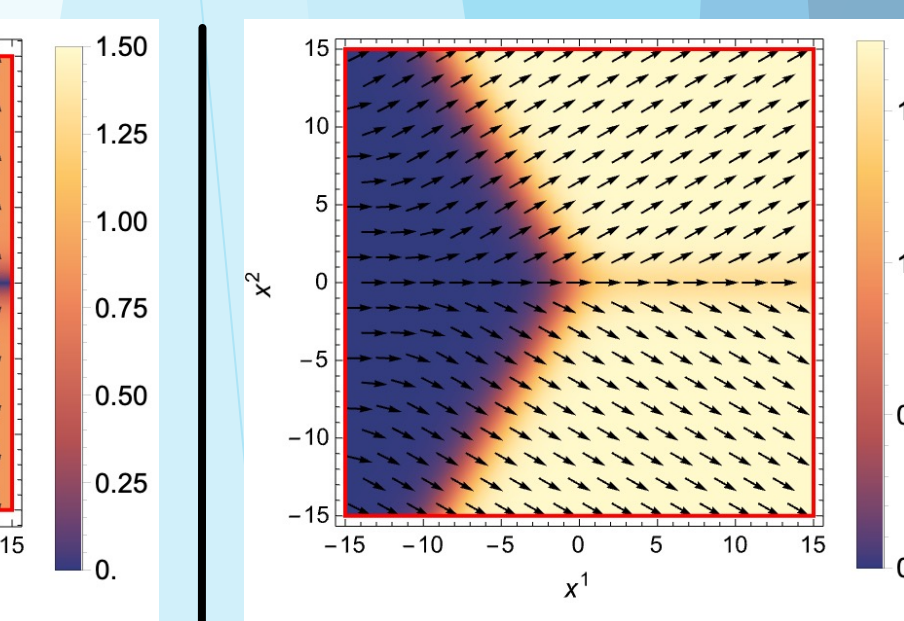
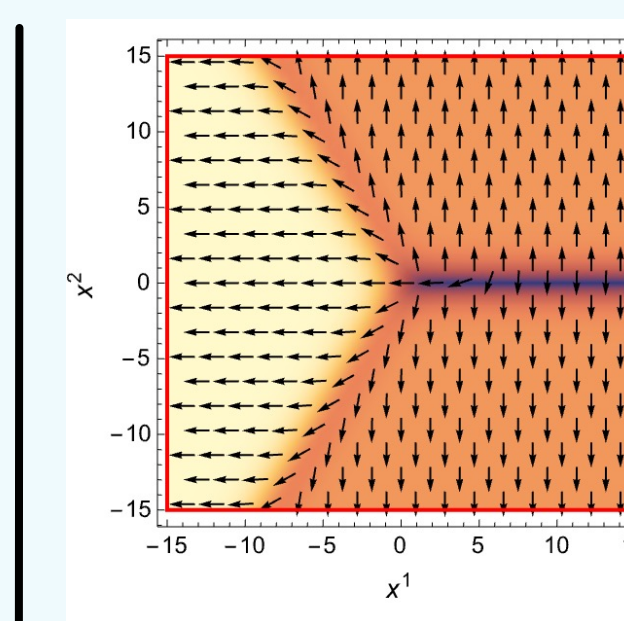
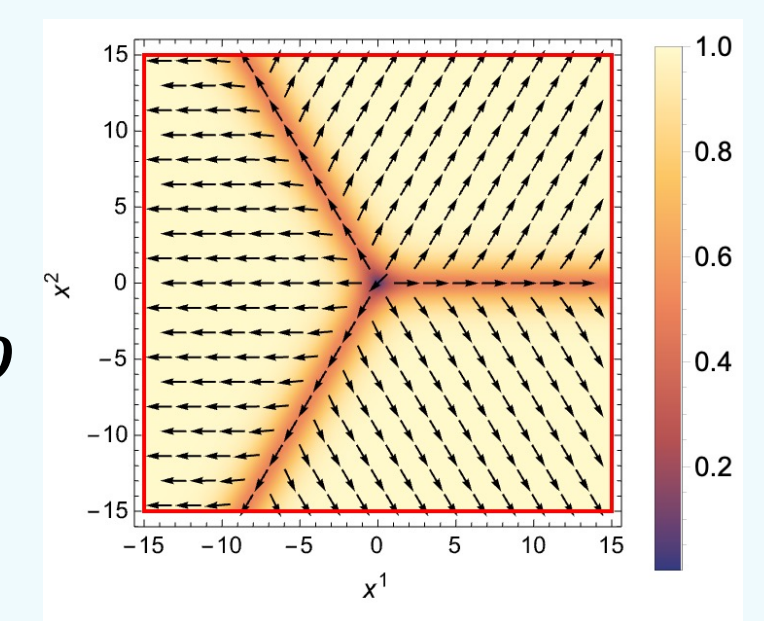
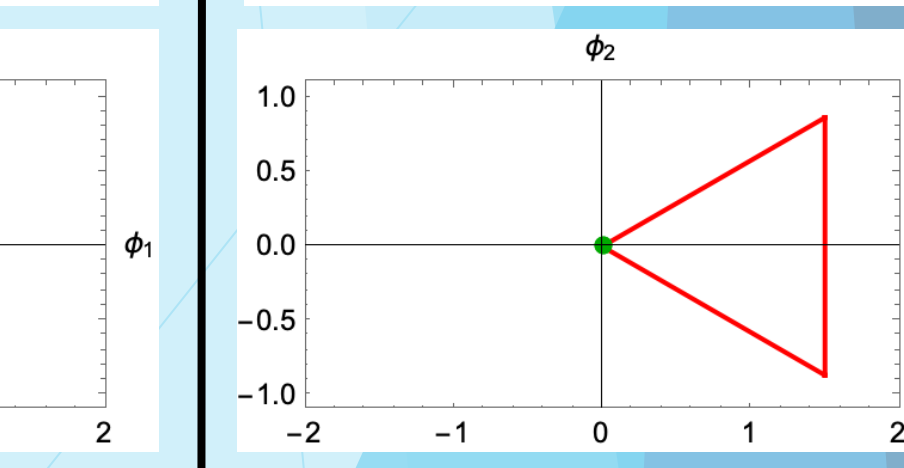
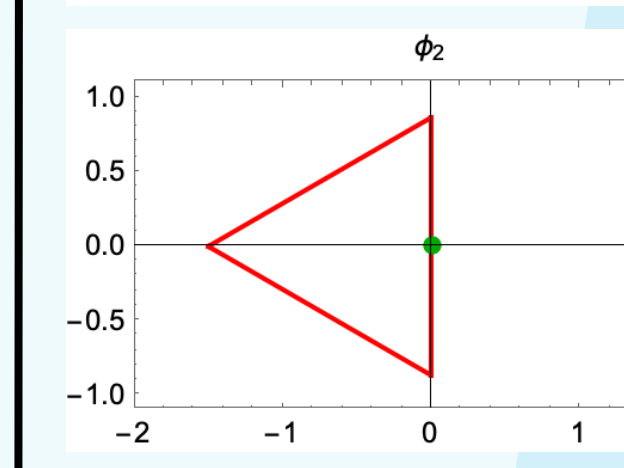
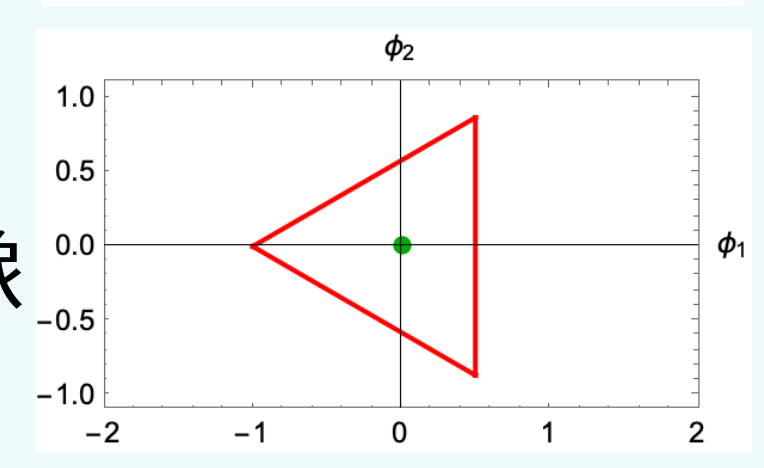
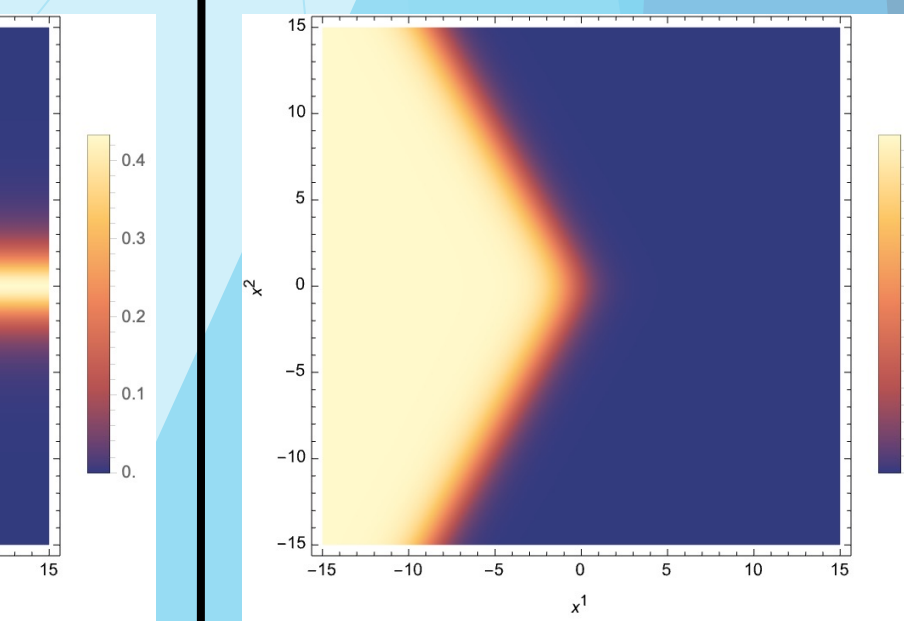
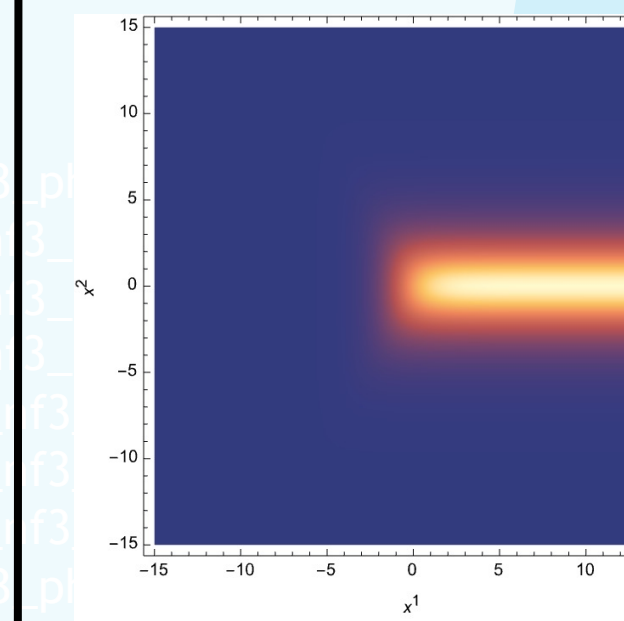
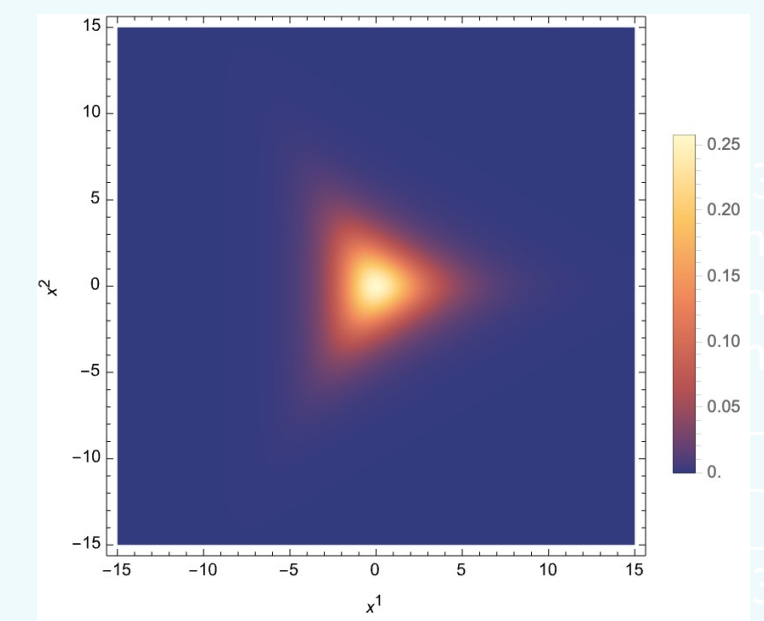
BPS方程式

 φ がポテンシャルを用いて表せる

$$\begin{cases} B_3 = 0 \\ \partial_1\varphi_2 - \partial_2\varphi_1 = 0 \\ \vec{D}H^A = (\vec{m}_A - \vec{\varphi})H^A \\ \vec{\partial} \cdot \vec{\varphi} = g^2 \left(v^2 - \sum_{A=1}^{N_F} |H^A|^2 \right) \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{\varphi} = \frac{1}{2}\vec{\partial}\log\Omega \\ \text{マスター方程式} \\ \frac{1}{2g^2v^2}\partial^2\log\Omega = 1 - \Omega_0\Omega^{-1} \end{cases}$$

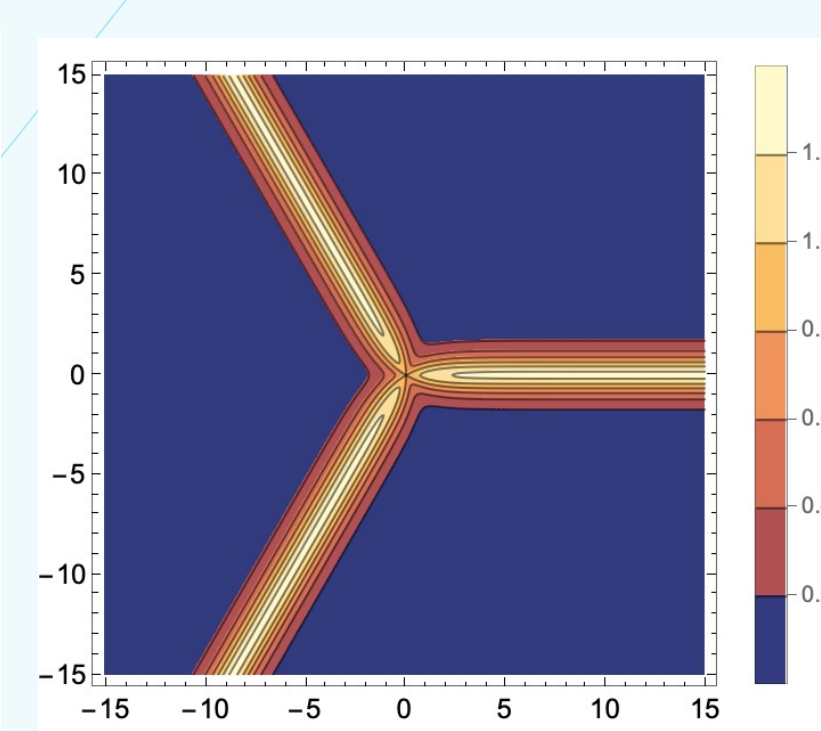
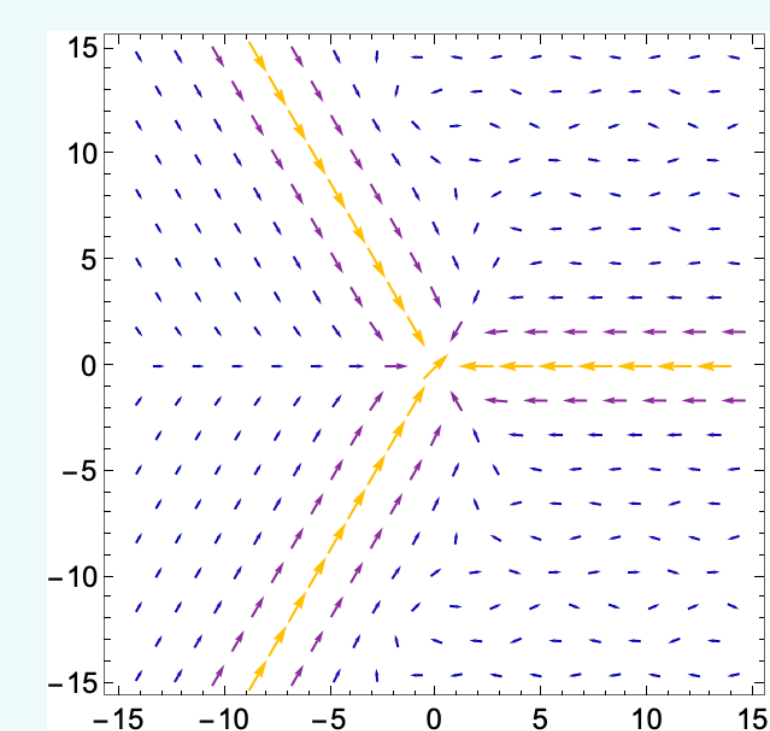
Dirac方程式が**厳密に**解ける！

$$f = \Omega^{-\frac{h}{2}}$$

背景ソリトン φ とフェルミオンゼロモード ψ 背景ソリトン φ  φ 平面への写像フェルミオン
ゼロモード ψ 湯川項 $-h\bar{\psi}(\varphi_1 + i\gamma_5\varphi_2)\psi$ フェルミオンの質量 $m_F \sim \varphi$ フェルミオンゼロモードは
 $\vec{\varphi} = 0$
に対応する場所に局在

Anomaly inflow 外部からカレントが流入しアノマリーを補償

[Callan, Harvey '84]

カレントは
ドメインウォールから流入

4. 今後の進展

3次元的な複合ソリトン上のフェルミオンゼロモード
→ ストリングの交点にモノポール(右図)

$$\mathcal{L}_F = i\bar{\Psi}_n\gamma^\mu\partial_\mu\Psi_n - h\bar{\Psi}_l T_{ln}^a \varphi^a \Psi_n$$

