2017/03/17 物理学会@大阪大学

Collisions of superconducting strings with Y-junctions

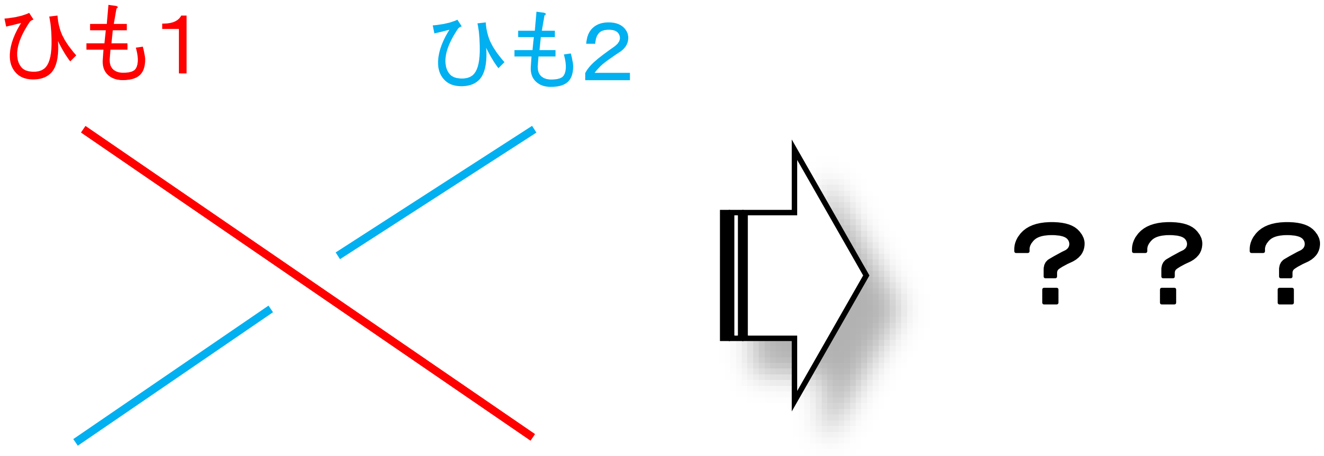
共同研究者: 平松尚志(立教大), Daniele Steer(APC)

山内　大介

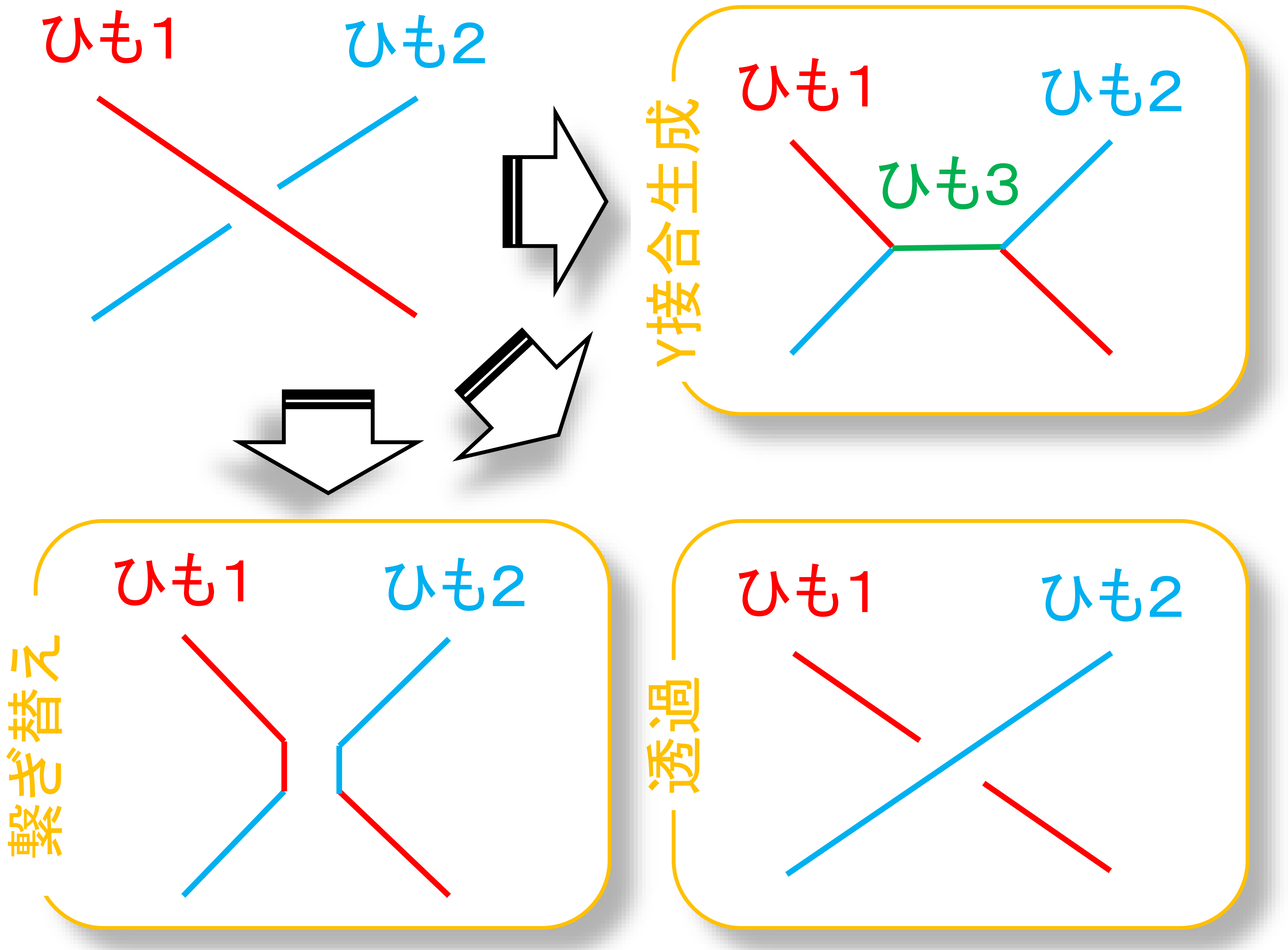
神奈川大学 工学部 物理学教室

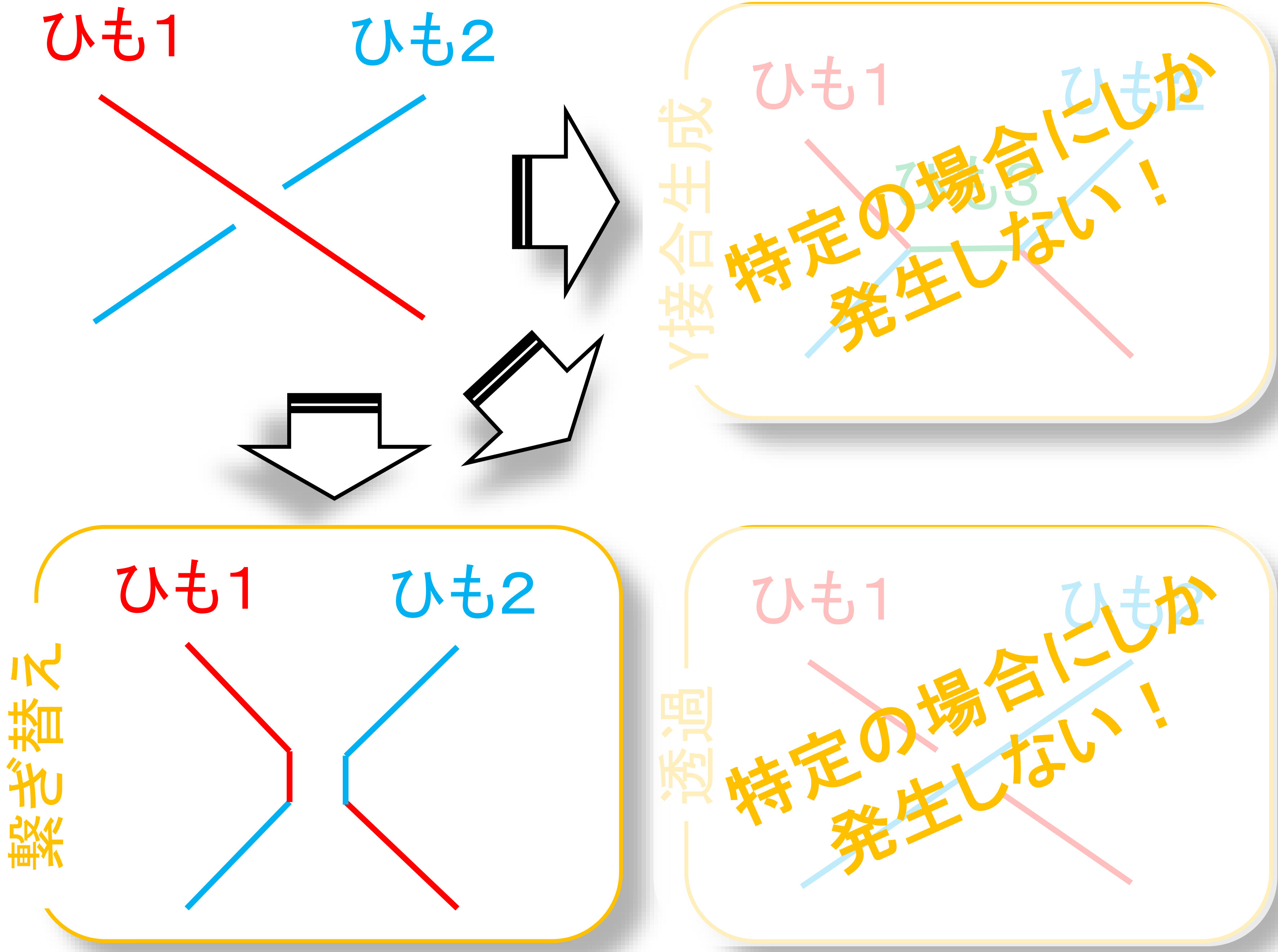
世界へ、そして未来へ
神奈川大学

ひもの衝突はユニバーサルか？



- ひもネットワークの進化を特徴づける
- ループ生成 → 重力波の振幅に鋭敏
- **「ほぼ100%繋ぎ変わる」と信じられている**

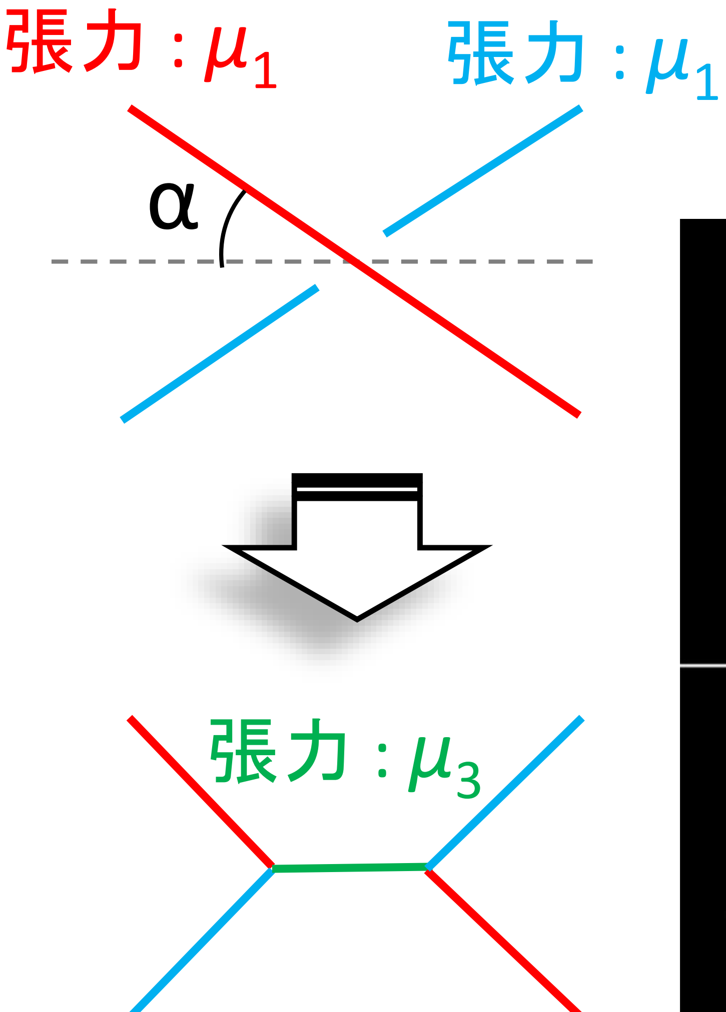

ひも1
ひも2
Y接合生成
ひも1
ひも2
ひも3
繋ぎ替え
ひも1
ひも2
透過
ひも1
ひも2

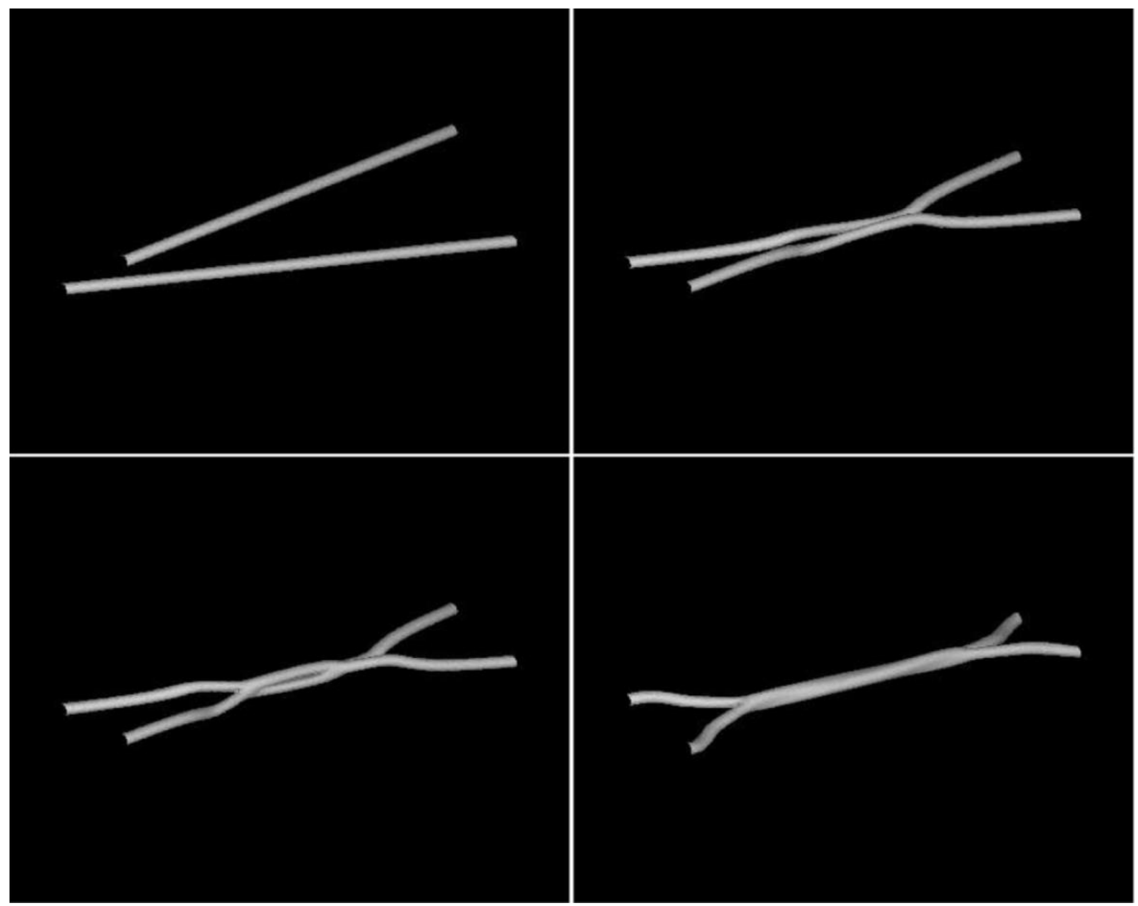

ひも1
ひも2
Y接合生成
ひも1
ひも2
ひも3
特定の場合にしか
発生しない！
繋ぎ替え
ひも1
ひも2
透過
ひも1
ひも2
特定の場合にしか
発生しない！

[Copeland+Kibble+Steer(2006), Salmi+Achucarro+Copeland+de Putter+Steer(2008)]

Y-接合生成 (type-I AHのみ)

$$\alpha < \arccos\left(\frac{\mu_3}{2\mu_1\sqrt{1-v^2}}\right)$$





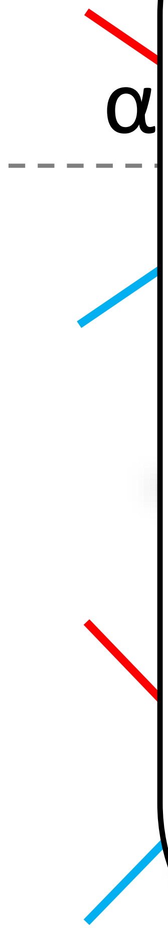
[Copeland+Kibble+Steer(2006), Salmi+Achucarro+Copeland+de Putter+Steer(2008)]

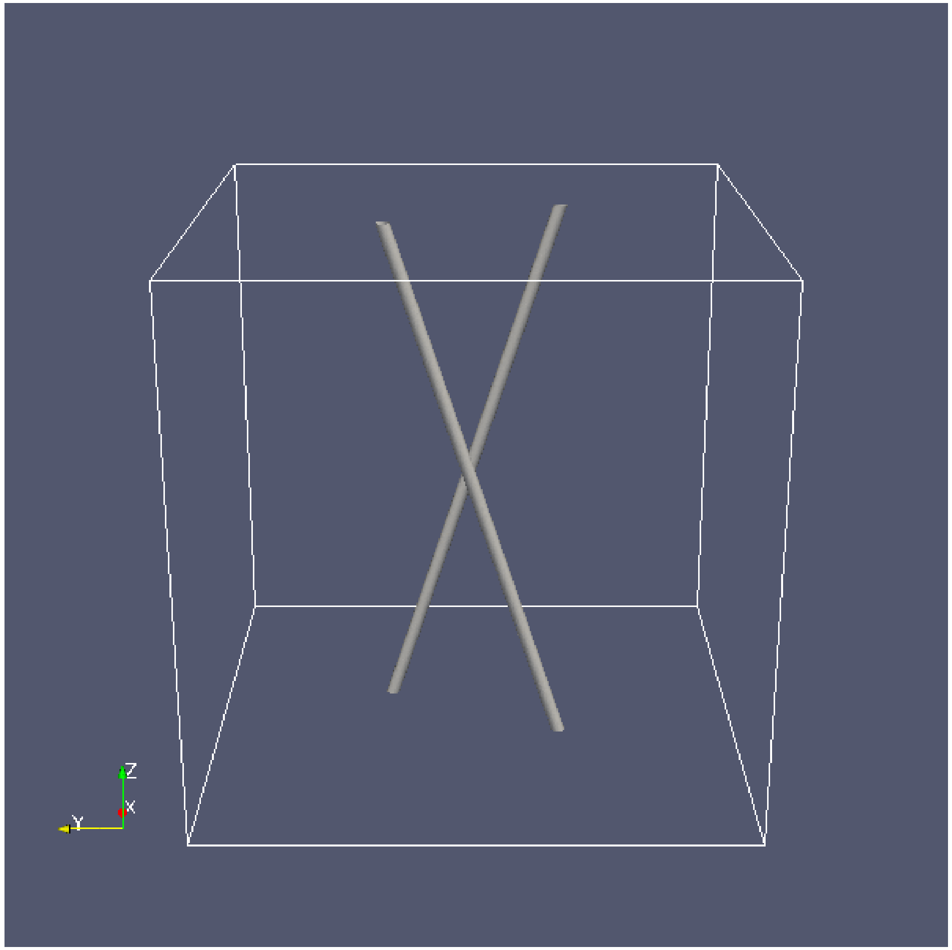
Y-接合生成 (type-I AHのみ)

張力：

$$\frac{\quad}{v^2}\Big)$$

α

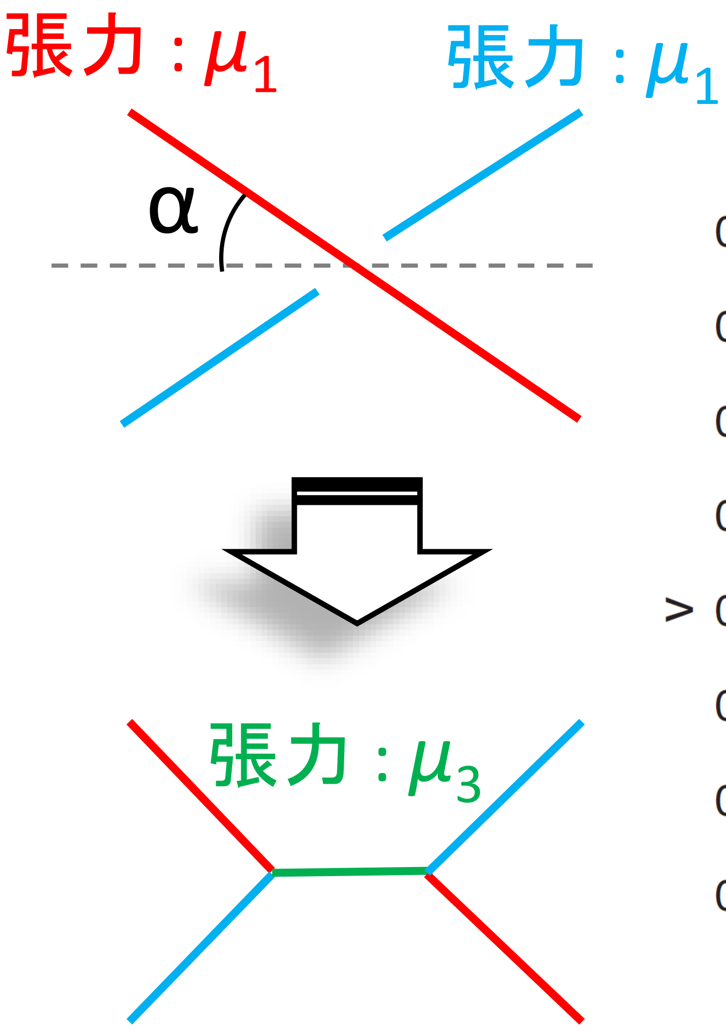




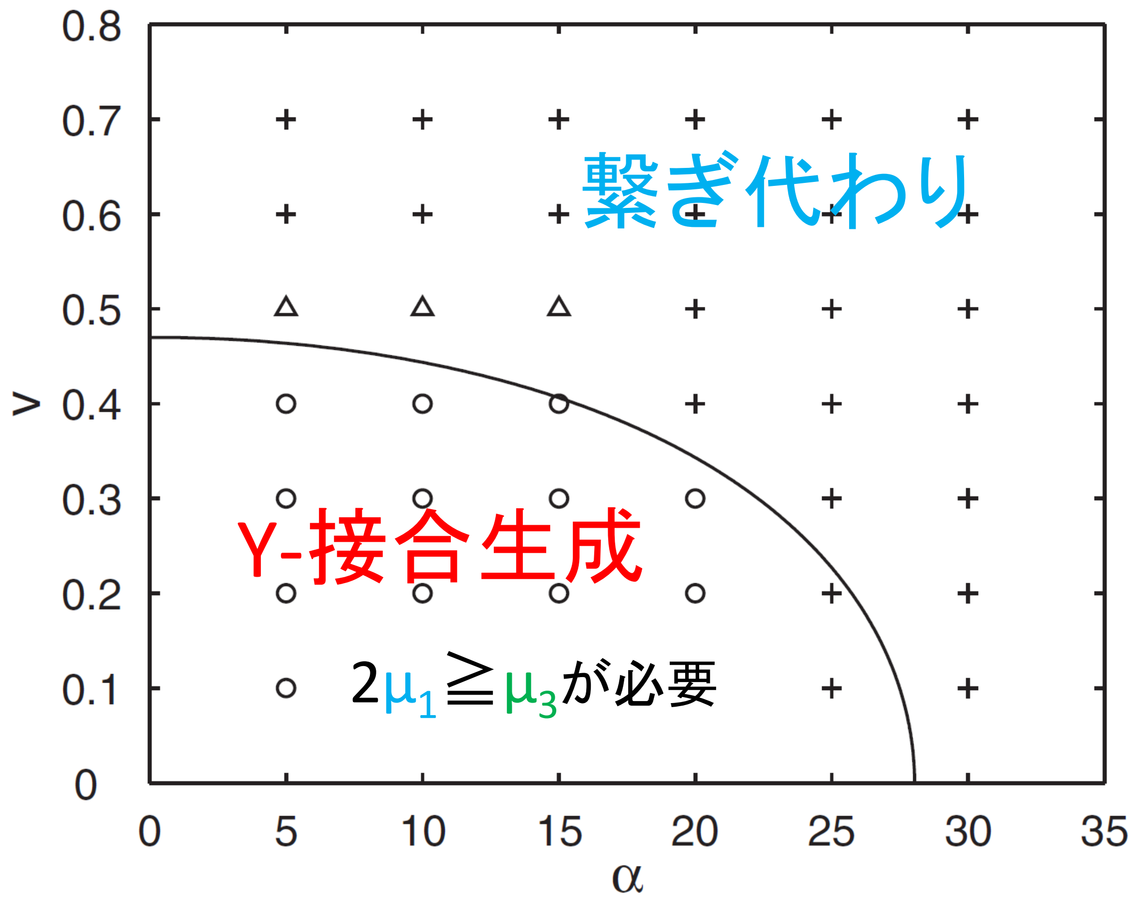
By Hiramatsu

[Copeland+Kibble+Steer(2006), Salmi+Achucarro+Copeland+de Putter+Steer(2008)]

Y-接合生成 (type-I AHのみ)

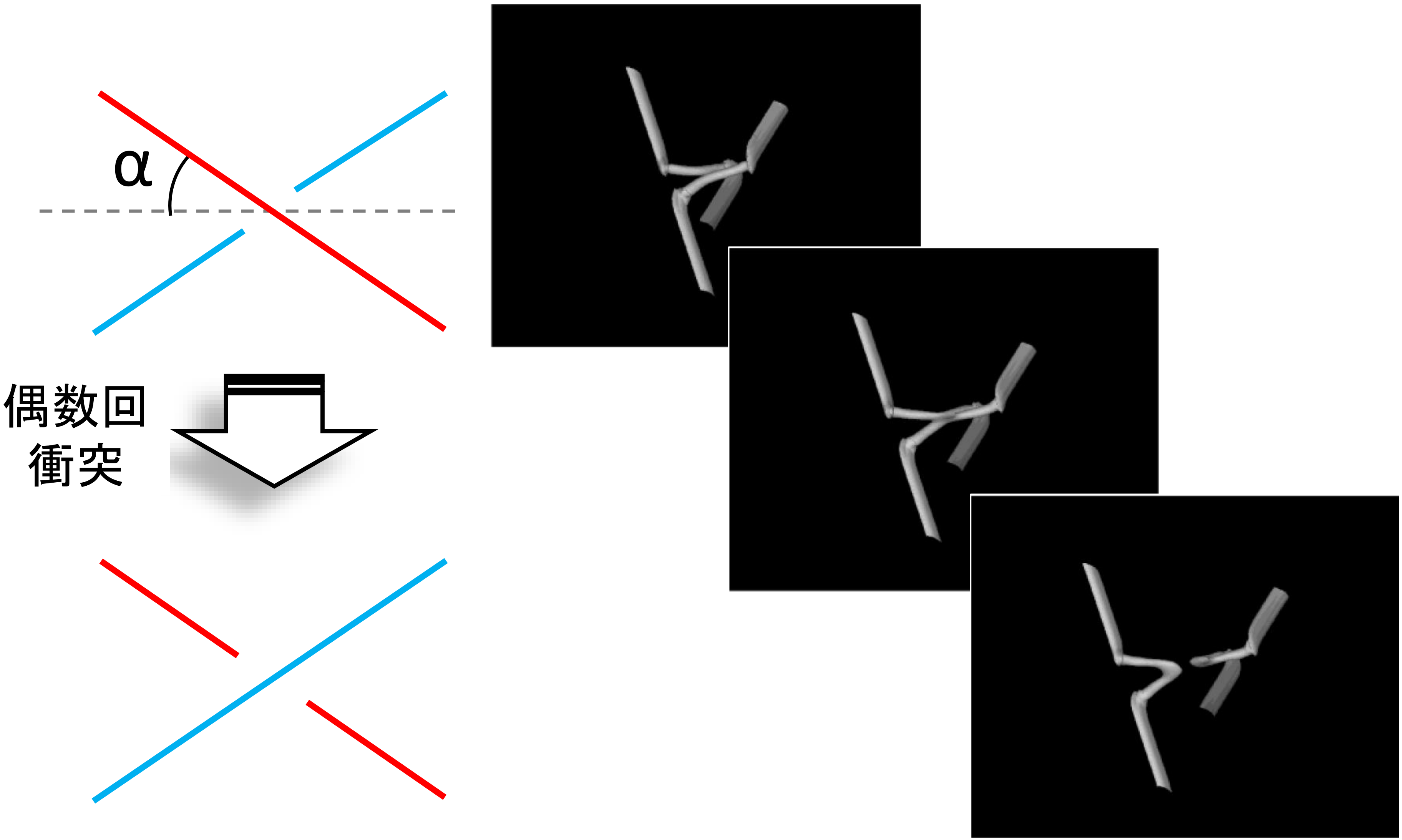


$$\alpha < \arccos\left(\frac{\mu_3}{2\mu_1\sqrt{1-v^2}}\right)$$



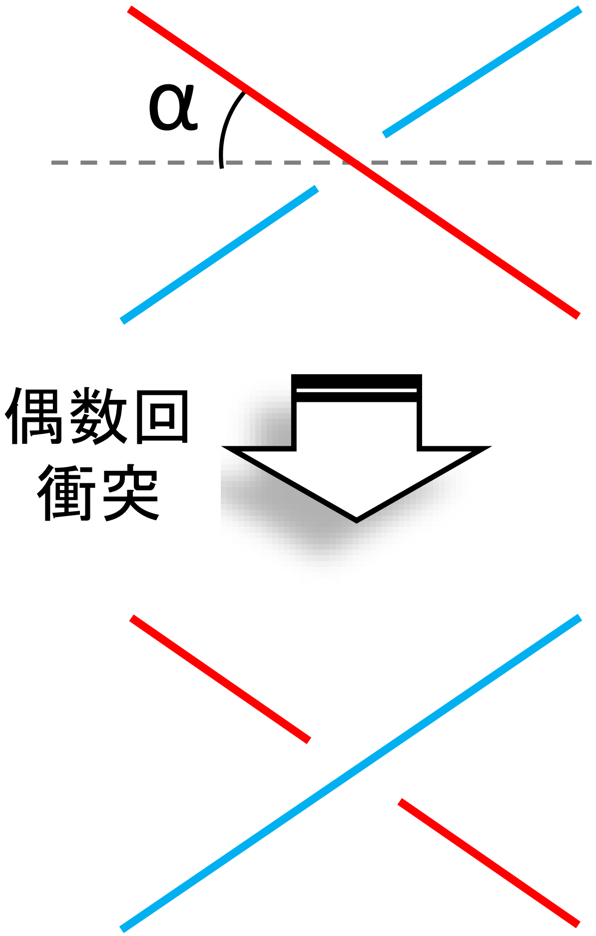
[Achucarro+de Putter(2006), Achucarro+Verbiest(2010)]

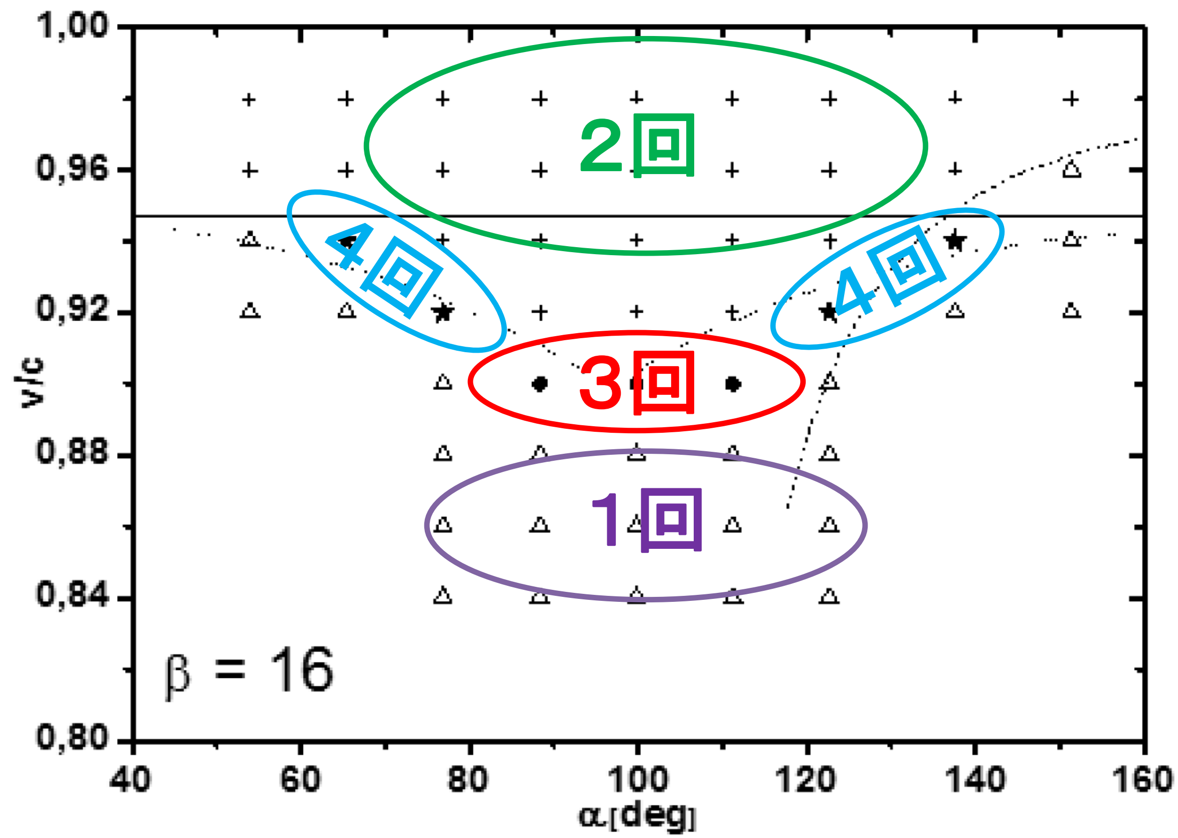
透過：複数回衝突 (type-II AHのみ)



[Achucarro+de Putter(2006), Achucarro+Verbiest(2010)]

透過：複数回衝突 (type-II AHのみ)

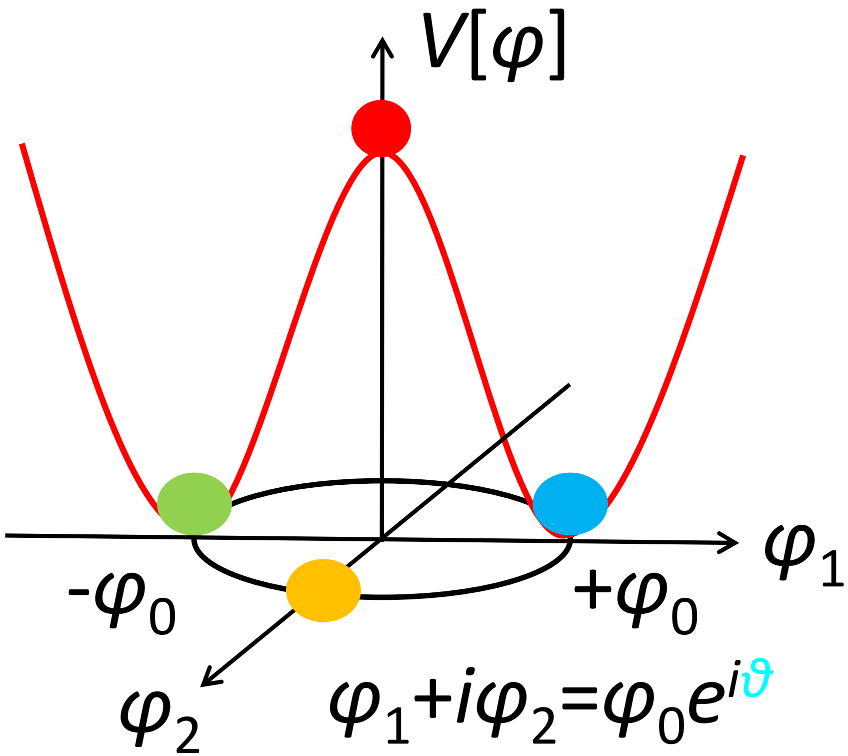




Abelian-Higgs宇宙ひも

$$S = -\int \mathrm{d}^4x\sqrt{-g}\left[-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + (\mathrm{D}_\mu\phi)^*(D^\mu\phi) \qquad + V(\phi \quad)\right]$$

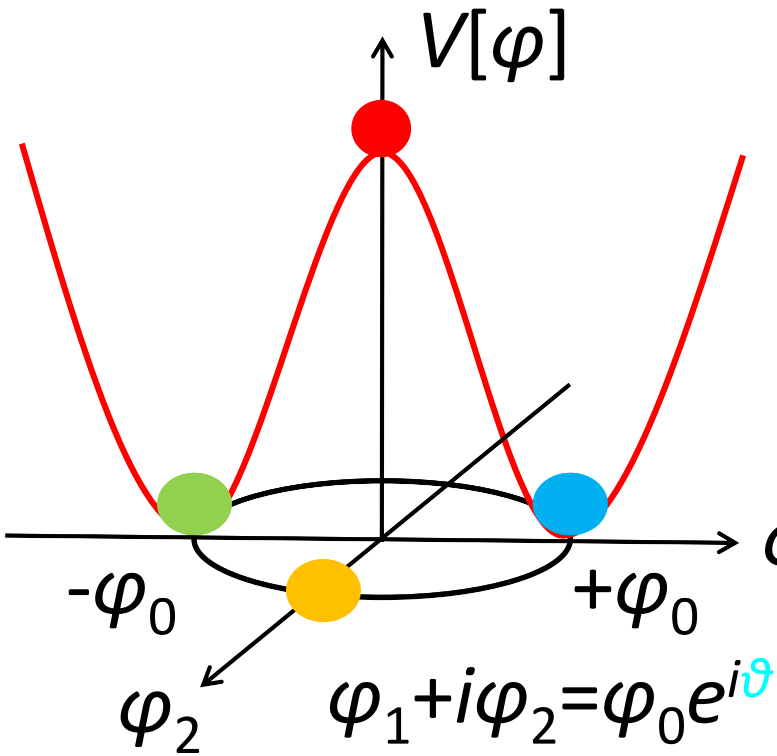
$$V(\phi \quad) = \frac{\lambda_\phi}{4}\left(|\phi|^2 - \eta^2\right)^2$$

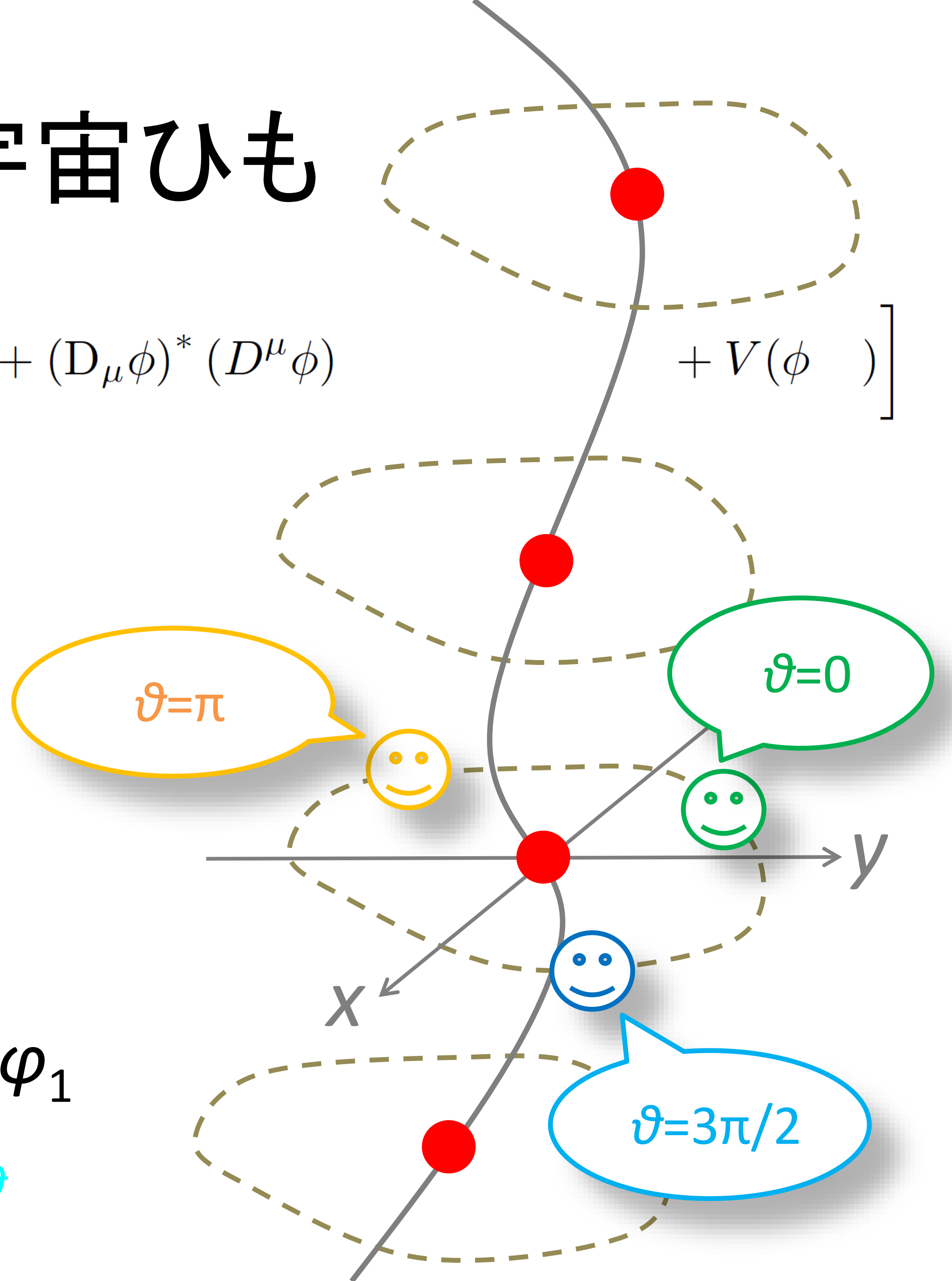


Abelian-Higgs宇宙ひも

$$S = -\int \mathrm{d}^4x\sqrt{-g}\left[-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + (\mathrm{D}_\mu\phi)^*(D^\mu\phi) + V(\phi)\right]$$

$$V(\phi) = \frac{\lambda_\phi}{4}\left(|\phi|^2 - \eta^2\right)^2$$

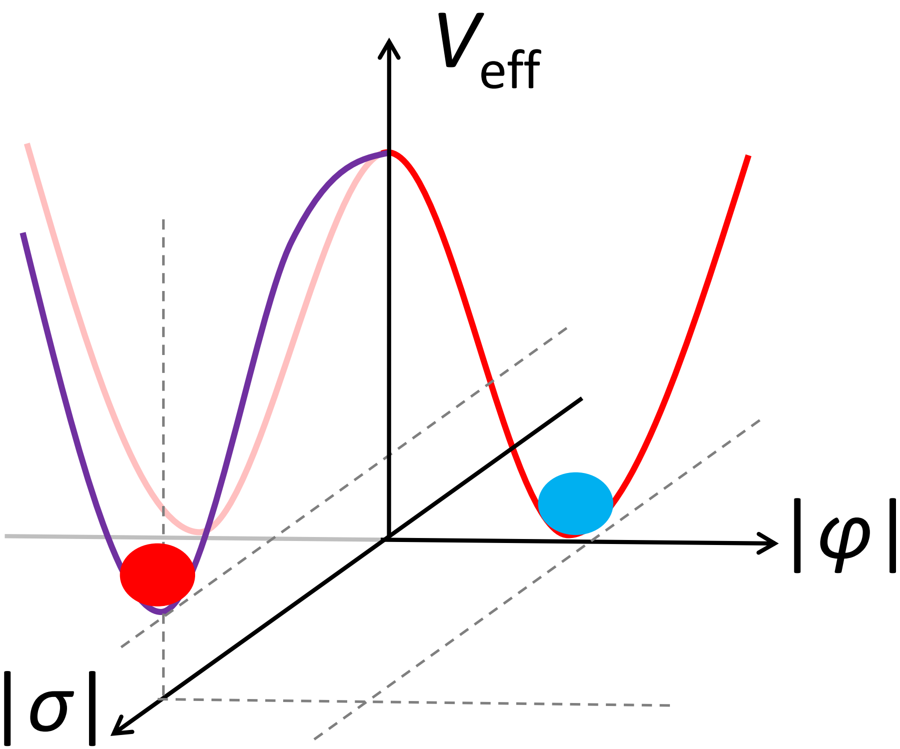


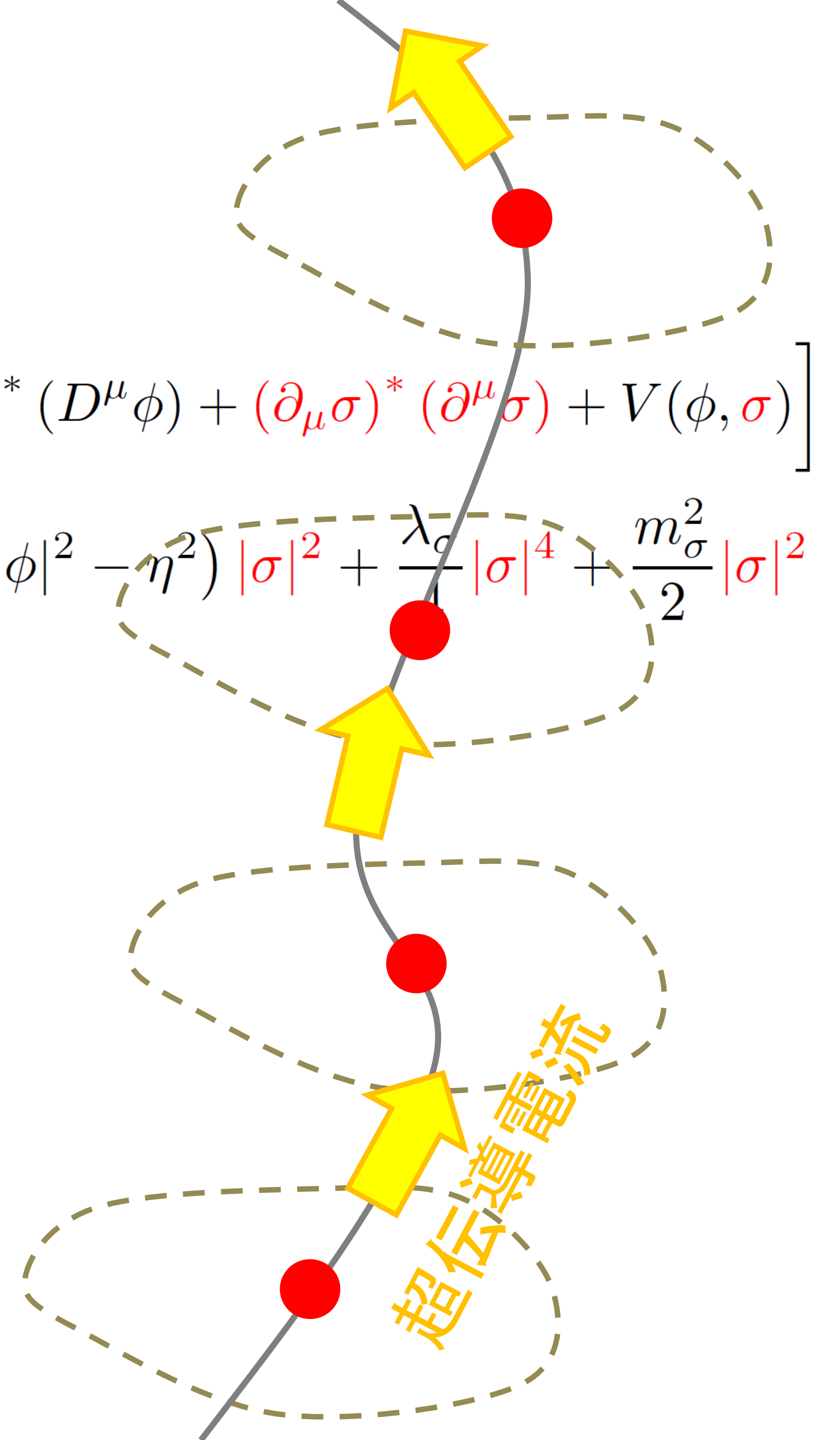


超伝導宇宙ひも

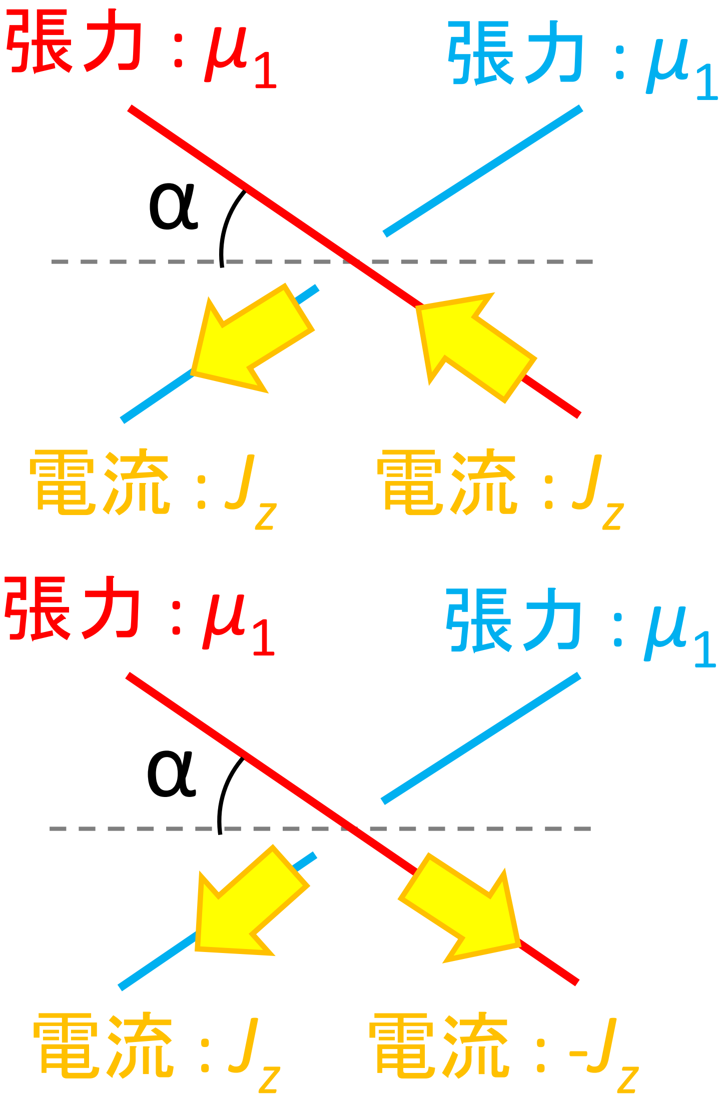
$$S = -\int \mathrm{d}^4x\sqrt{-g}\left[-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \left(\mathrm{D}_\mu\phi\right)^*\left(D^\mu\phi\right) + \left(\partial_\mu\sigma\right)^*\left(\partial^\mu\sigma\right) + V(\phi,\sigma)\right]$$

$$V(\phi,\sigma) = \frac{\lambda_\phi}{4}\left(|\phi|^2-\eta^2\right)^2 + \lambda_{\phi\sigma}\left(|\phi|^2-\eta^2\right)|\sigma|^2 + \frac{\lambda_\sigma}{4}|\sigma|^4 + \frac{m_\sigma^2}{2}|\sigma|^2$$

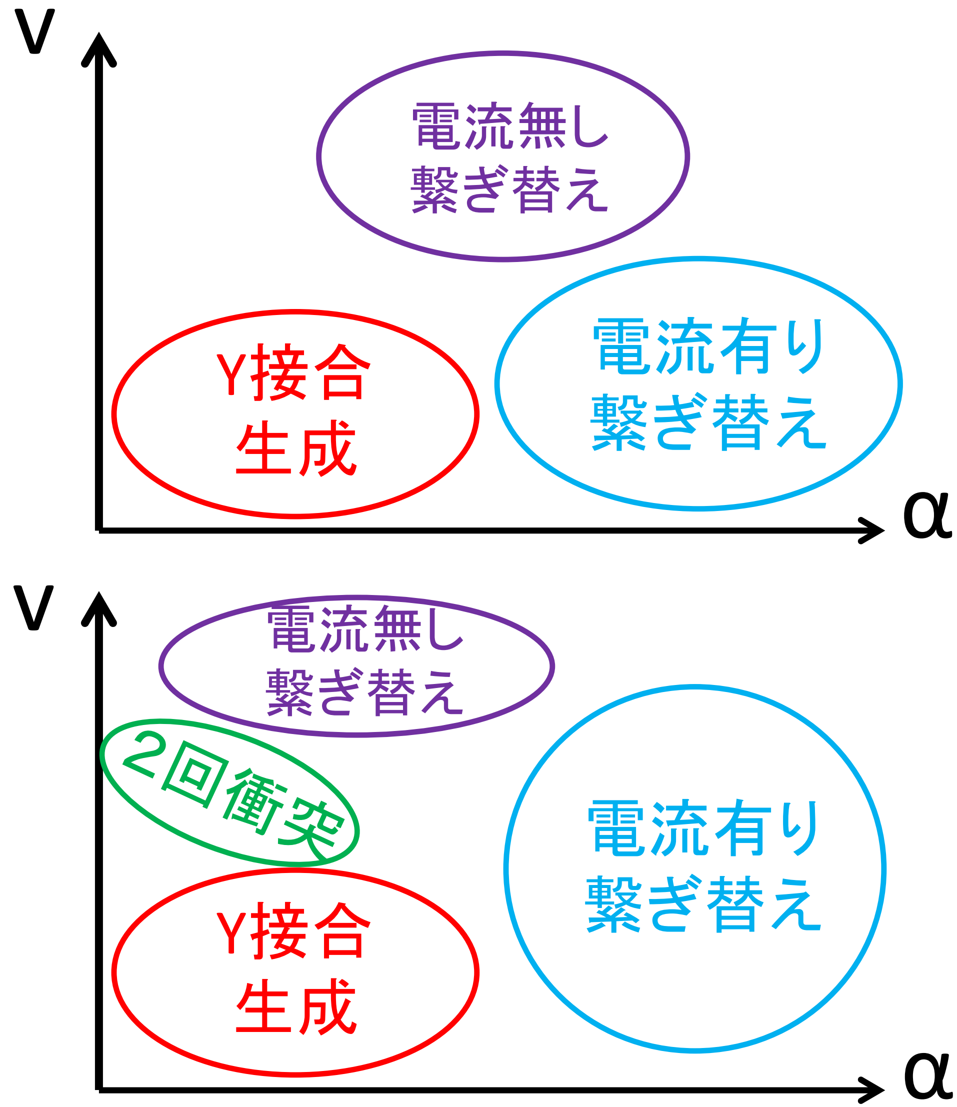




超伝導宇宙ひもの衝突



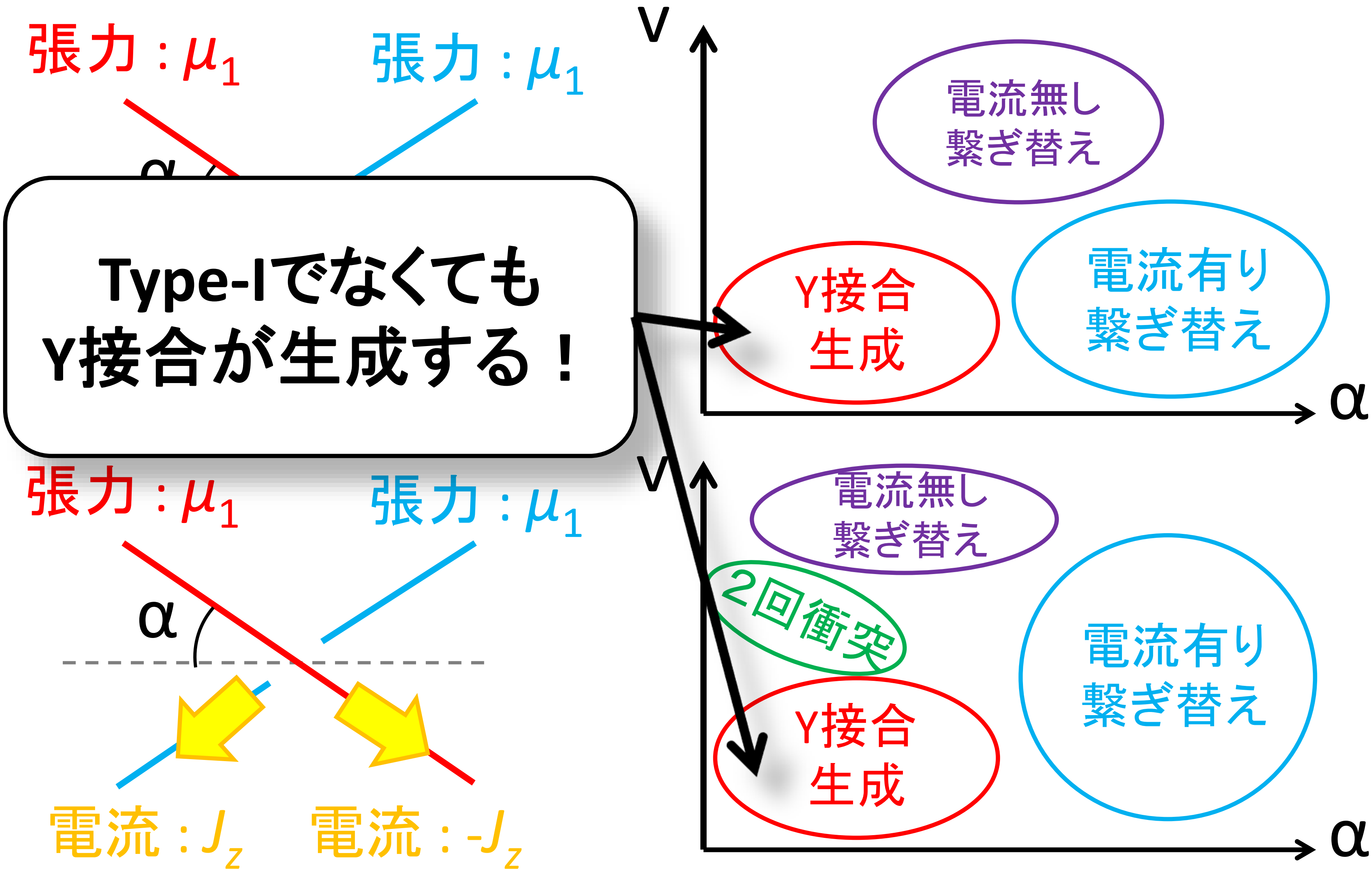
張力 : μ_1
張力 : μ_1
α
電流 : J_z
電流 : J_z
張力 : μ_1
張力 : μ_1
α
電流 : J_z
電流 : $-J_z$



v
電流無し
繋ぎ替え
Y接合
生成
電流有り
繋ぎ替え
α
v
電流無し
繋ぎ替え
2回衝突
Y接合
生成
電流有り
繋ぎ替え
α

[Hiramatsu+Steer+**DY**, work in progress]

超伝導ひものとき



目標

超伝導宇宙ひものY接合生成を解析的に理解したい！

[Witten(1985), Carter(1989)]

超伝導ひもの有効理論

南部後藤作用

$$S = \int \mathrm{d}\tau \mathrm{d}\sigma \sqrt{-\gamma}\Big(-\mu + \kappa_0 \gamma^{ab}\partial_a\vartheta\partial_b\vartheta\Big)$$

電流：$J^a=\varepsilon^{ab}\vartheta_{,b}$

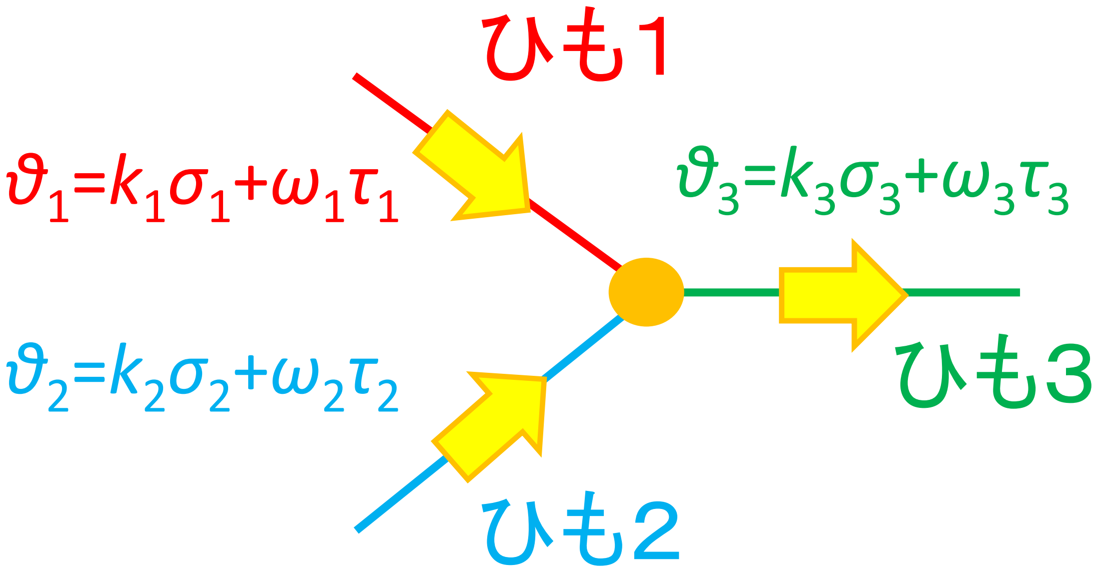
$\sigma=\sigma_{vev}\exp[i\vartheta]$

$\vartheta=k\sigma+\omega\tau \rightarrow \boldsymbol{J}=(k,\omega)$

[南部後藤のとき: Copeland+Kibble+Steer(2006)(2007)]

Y-接合入り有効理論

$$S = \sum_i \int \mathrm{d}\tau_i \mathrm{d}\sigma_i \, \Theta(s_i(\tau_i) - \sigma_i)\sqrt{-\gamma_i}\left(-\mu_i + \kappa_0 \gamma_i^{ab} \partial_a \vartheta_i \partial_b \vartheta_i \right)$$
$$+ \sum_i \int \mathrm{d}\tau_i \left\{ \mathfrak{f}_i \cdot \left[x_i(s_i(\tau_i), \tau_i) - X(\tau_i) \right] + \mathfrak{g}_i \left[\vartheta_i(s_i(\tau_i), \tau_i) - \Phi(\tau_i) \right] \right\}$$



[南部後藤のとき：Copeland+Kibble+Steer(2006)(2007)]

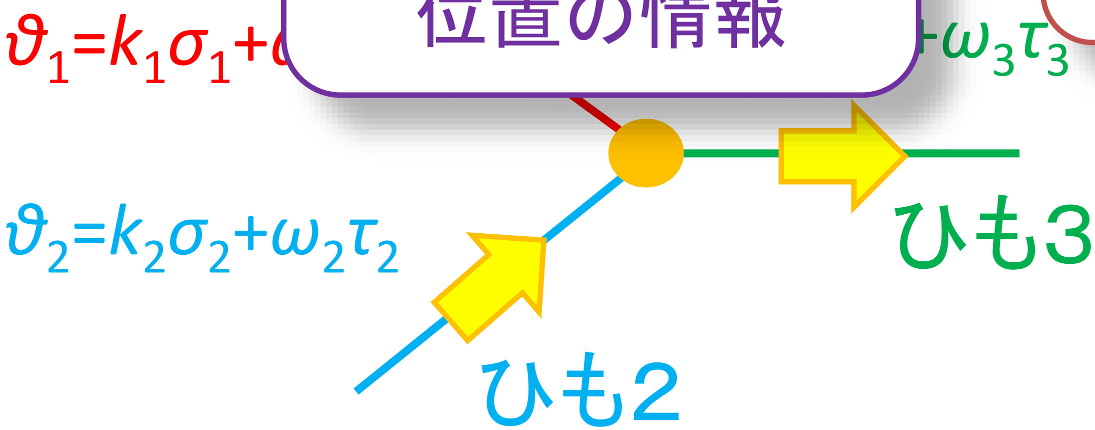
Y- 効理論

Y接合の位置：
$\sigma_i = s_i(\tau_i)$

$$S = \sum_i \int \mathrm{d}\tau_i \mathrm{d}\sigma_i\, \Theta(s_i(\tau_i) - \sigma_i)\sqrt{-\gamma_i}\left(-\mu_i + \kappa_0 \gamma_i^{ab}\partial_a\vartheta_i\partial_b\vartheta_i\right)$$
$$+ \sum_i \int \mathrm{d}\tau_i \left\{ \mathfrak{f}_i \cdot \left[x_i(s_i(\tau_i),\tau_i) - X(\tau_i)\right] + \mathfrak{g}_i\left[\vartheta_i(s_i(\tau_i),\tau_i) - \Phi(\tau_i)\right]\right\}$$

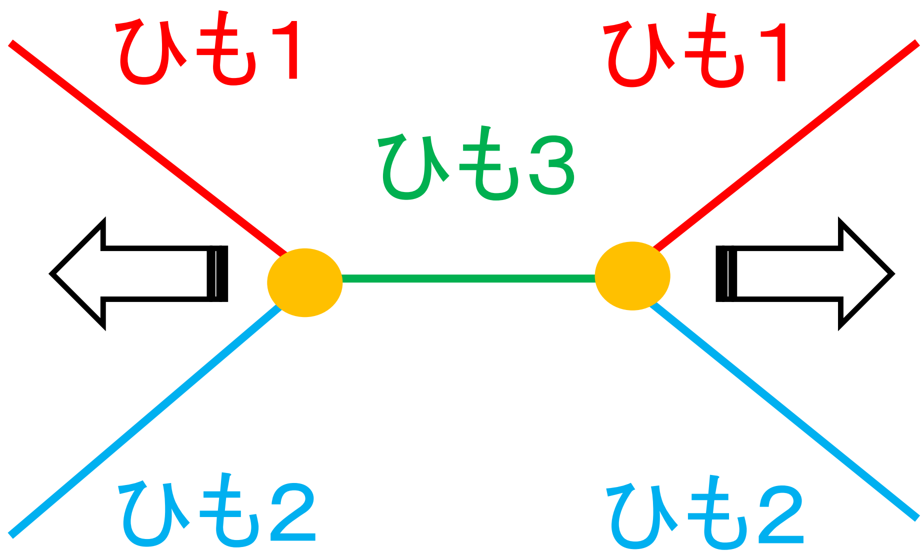
Y接合の
4次元時空上の
位置の情報

Y接合での
電流の保存



[DY+Hiramatsu+Steer, work in progress]

Y接合生成条件



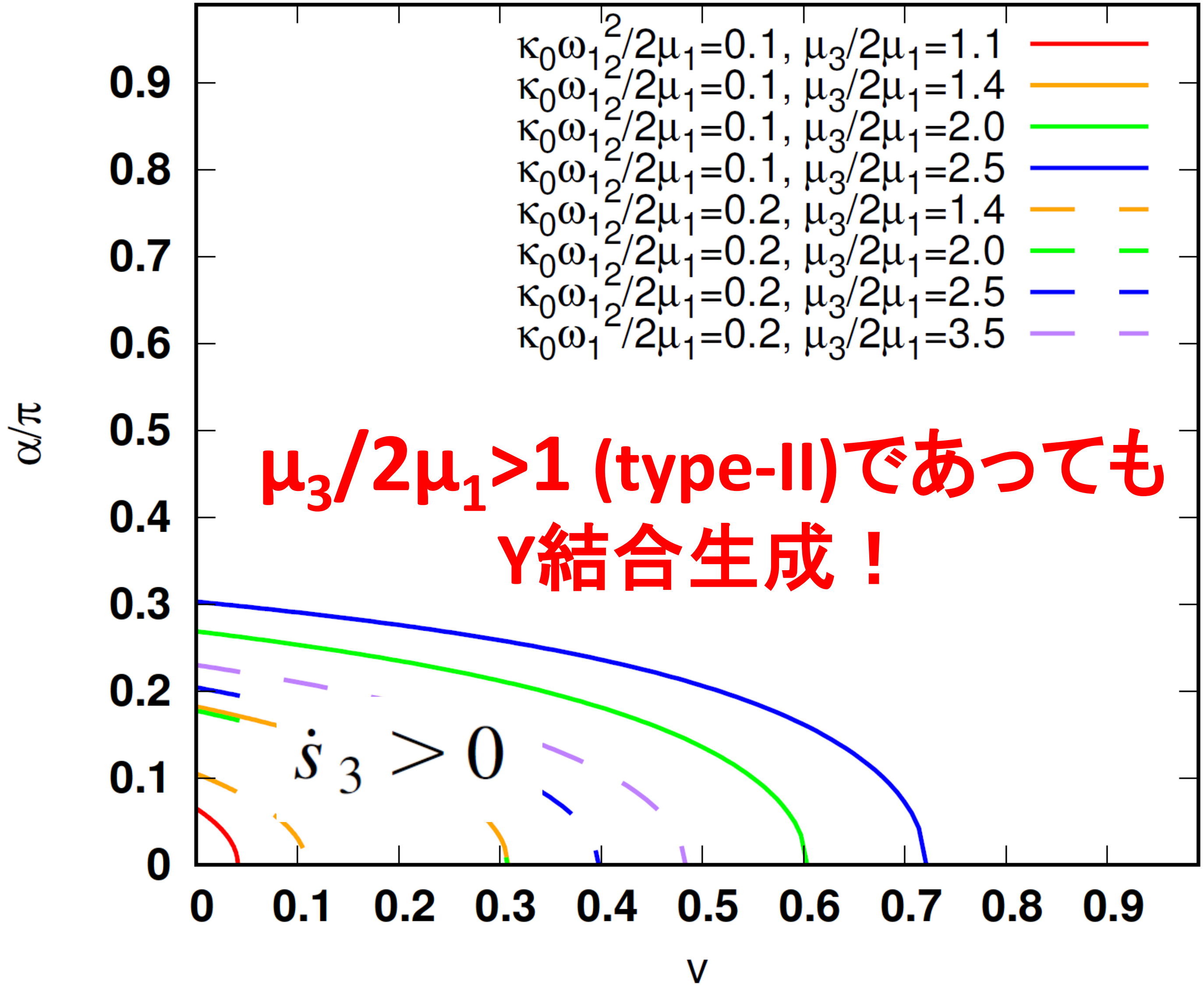
✓「ひも3が短くならない」ことを要請

$$\dot{s}_3 > 0$$

[南部後藤のとき: Copeland+Kibble+Steer(2006)(2007)]

[DY+Hiramatsu+Steer, work in progress]

相図



$\mu_3/2\mu_1>1$ (type-II)であっても
Y結合生成！

まとめ

超伝導宇宙ひもに対してY接合生成条件を明らかにした

電流の影響により南部後藤ひもではY接合が生成しない領域でも生成しうることがわかった！

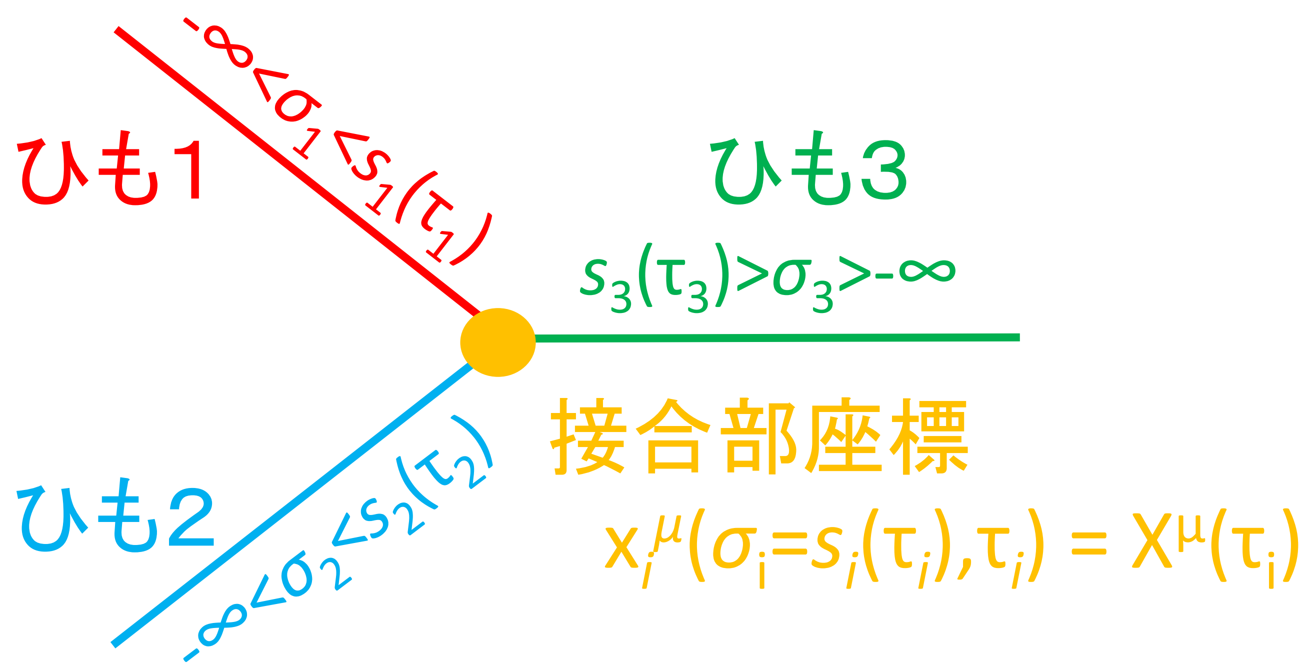
- ✓ ネットワーク進化に影響→スケーリングするか？
- ✓ 重力波振幅に影響？

[Copeland+Kibble+Steer(2006)]

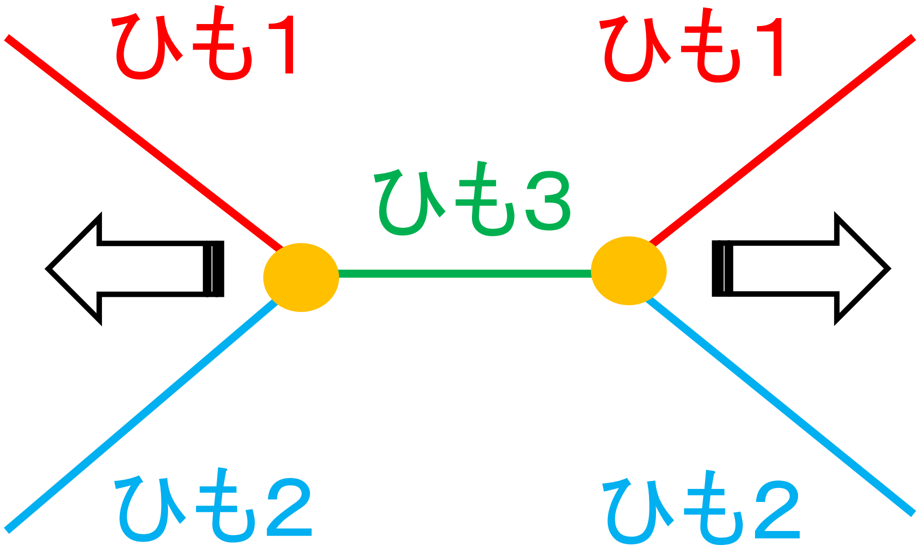
Y接合入り有効理論

$$S = \sum_i \int \mathrm{d}\tau_i \mathrm{d}\sigma_i \, \Theta(s_i(\tau_i) - \sigma_i)\sqrt{-\gamma_i}$$

$$+ \sum_i \int \mathrm{d}\tau_i \, \mathfrak{f}_i \cdot \left[x_i(s_i(\tau_i), \tau_i) - X(\tau_i) \right]$$



Y接合生成条件



✓「ひも3が短くならない」ことを要請

$$\dot{s}_3 > 0$$

$$\alpha < \arccos\left(\frac{\mu_3}{2\mu_1\sqrt{1-v^2}}\right)$$