

2014 10.4~5 BH勉強会@山口

# Magnetic Penrose Compton scattering process

~BH磁気圏におけるペンローズ過程の考察~

愛知教育大学 修士2年 浅野豪士

# 回転エネルギーの抽出機構

## 高エネルギー天体現象

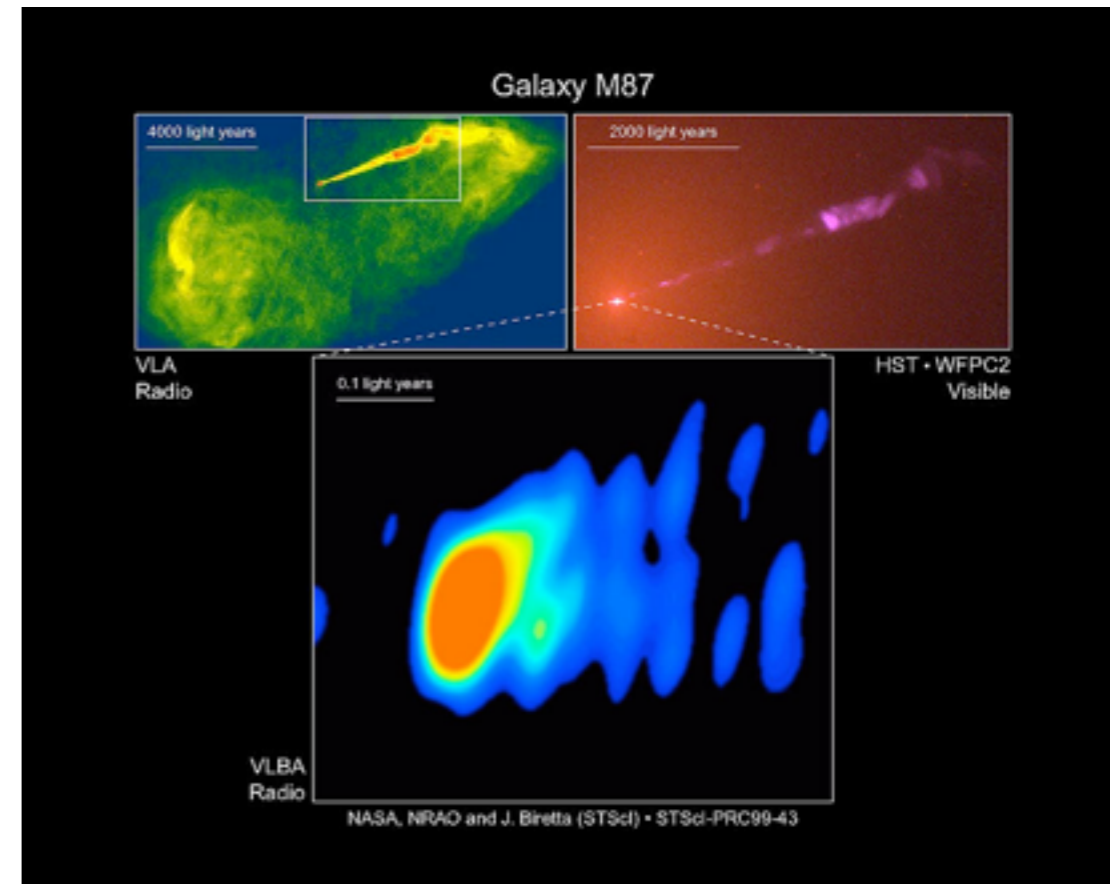
- ・ 宇宙ジェット
- ・  $\gamma$ 線バースト
- etc.

ブラックホールがエネルギーの中心機構??

- ①降着物質の重力エネルギー解放
- ②**回転ブラックホールからのエネルギー抽出機構**

### BHの回転エネルギーを抽出する有名な機構

- ・ **Penrose process**
- ・ super-radiant scattering(super-radiance)
- ・ Blandford-Znajek process



# ペンローズ過程

BHの回転によって発生する負のエネルギーを利用する。

## original Penrose process

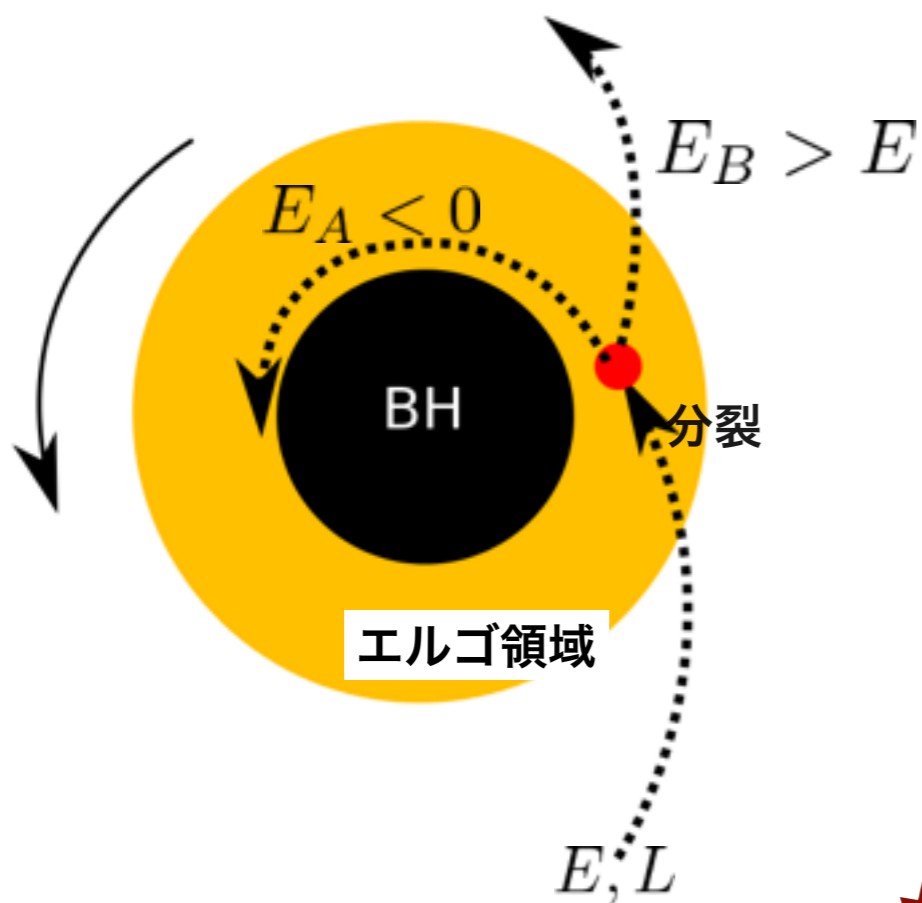
分裂前 分裂後

$$E = E_A + E_B$$

$E_B < 0$  とすると

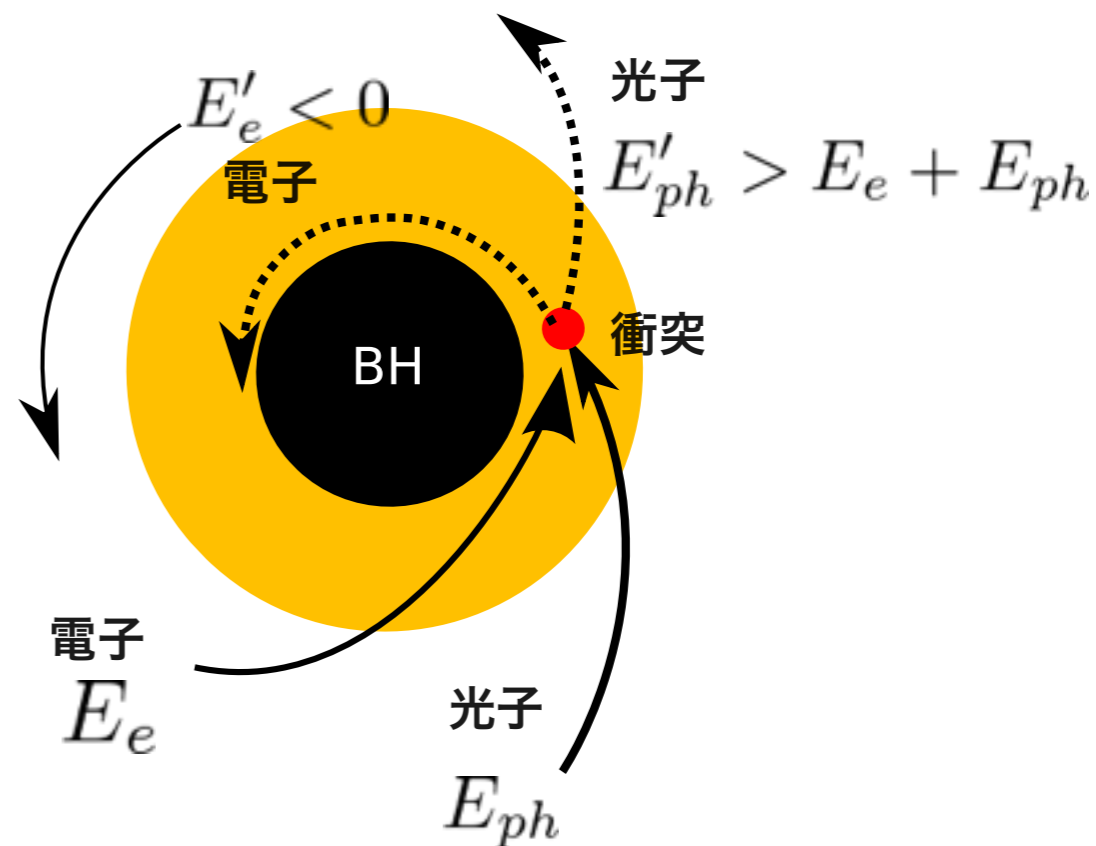
$$E_B = E - E_A > E$$

エネルギー抽出可能！



## Penrose Compton scattering

(Piran,Shaham,1977) (Williams 1995)



光子と電子の衝突では、  
相対速度の条件を満たしている。

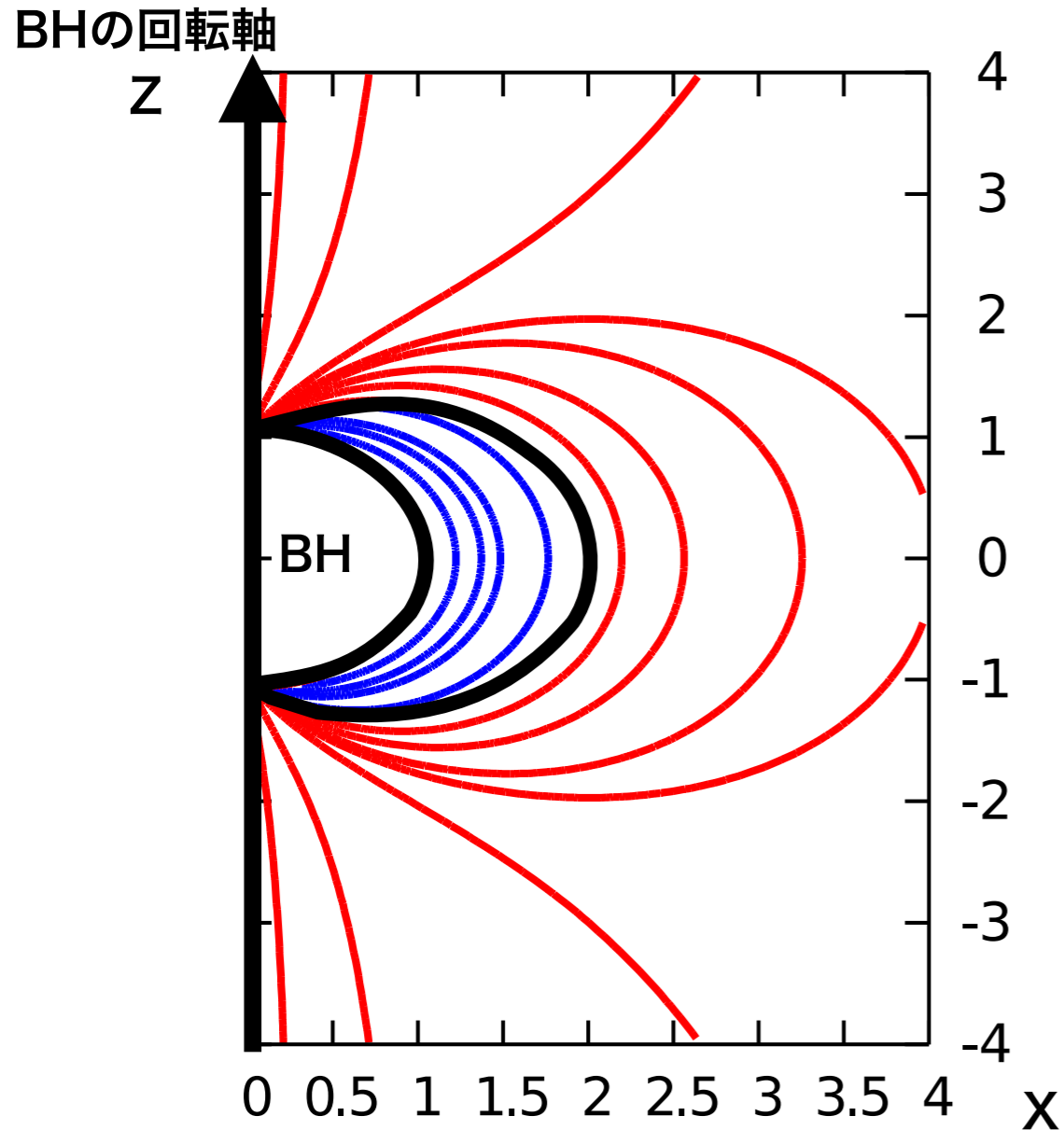
磁場の入りのcollisional process は  
あまり研究されていない。

しかし、分裂時の相対速度が光速の半分以上必要

# 磁場を取り入れることの意義

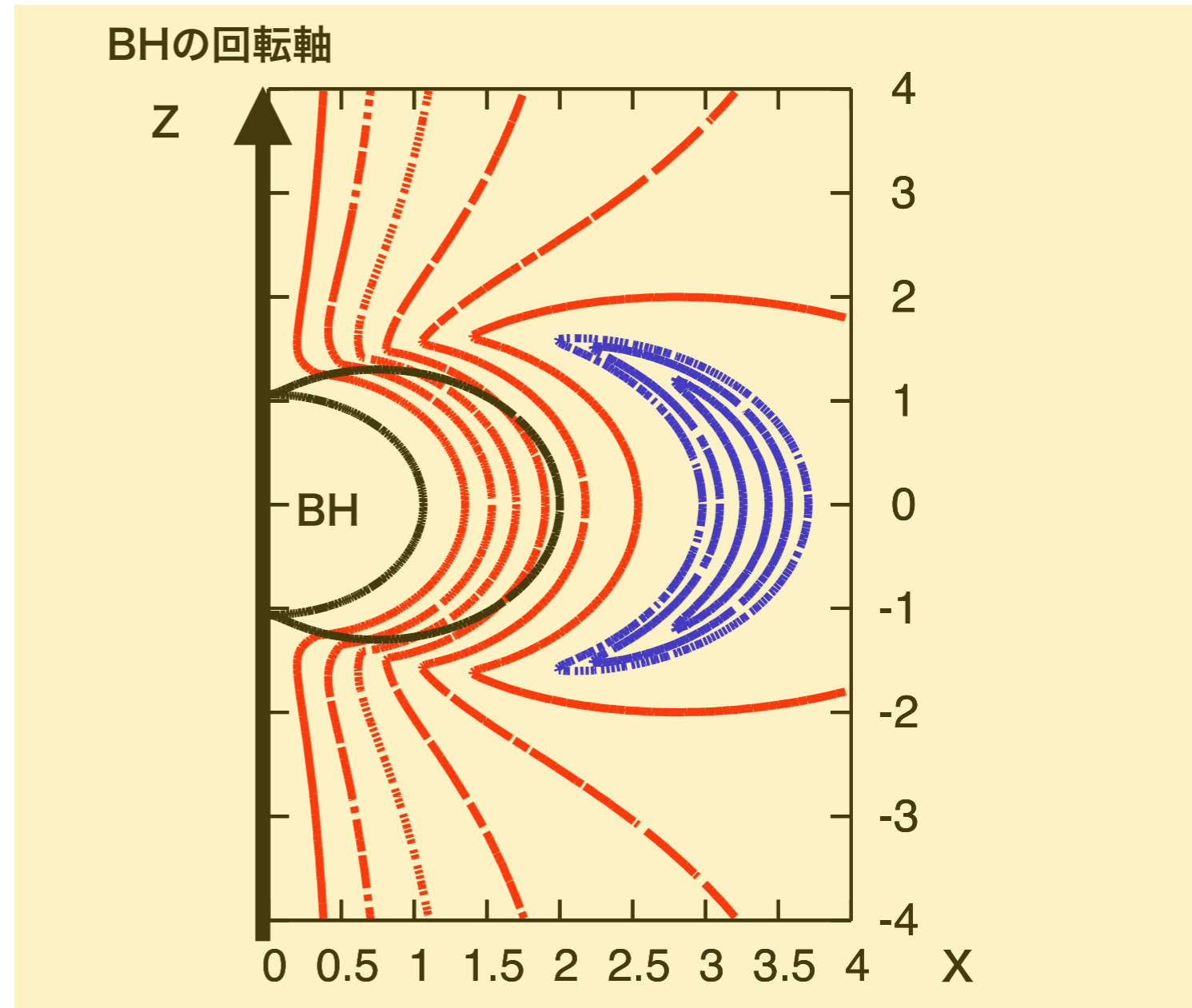
～粒子が負のエネルギー値をもつ領域～

## 磁場なしの有効ポテンシャル



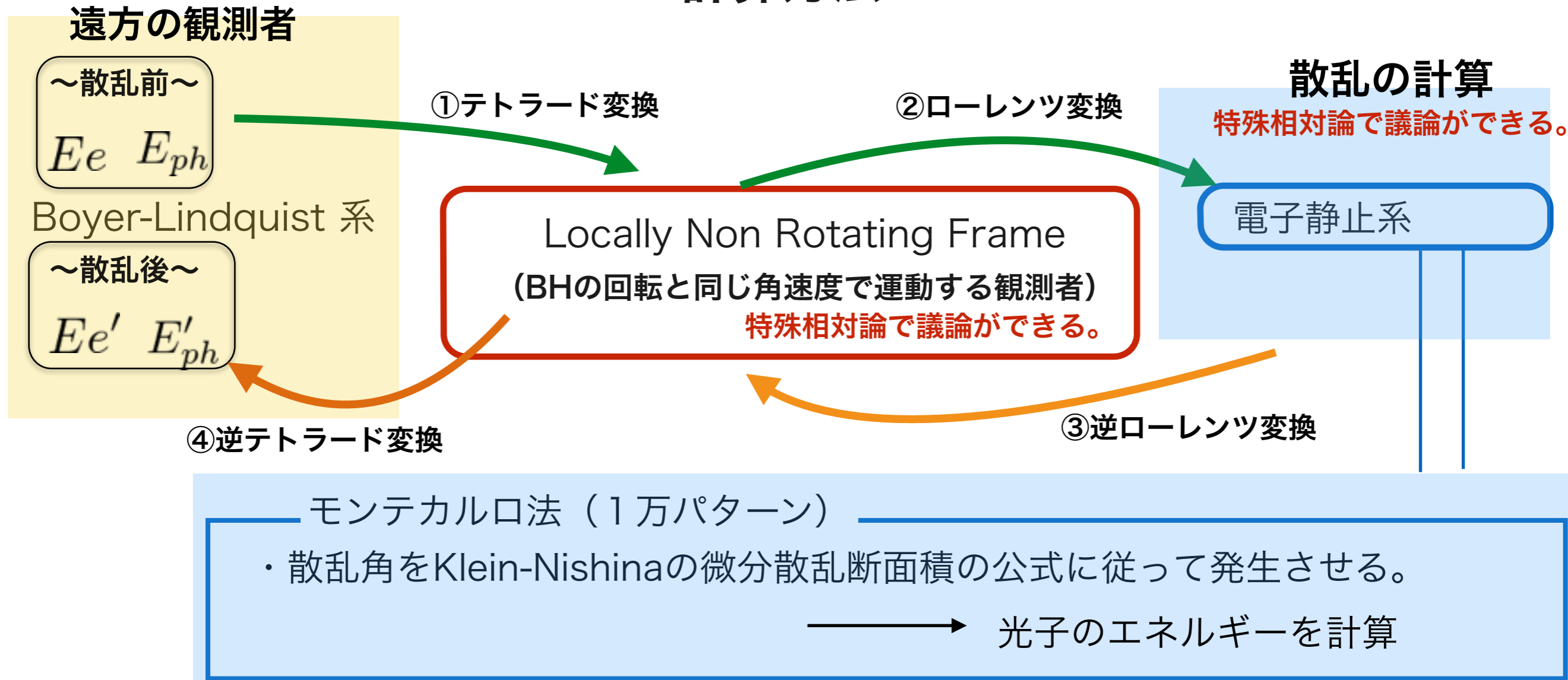
エルゴ領域内で負のエネルギー領域が存在  
エルゴ領域内でエネルギー抽出が可能

## BHダイポール磁場が存在する場合の有効ポテンシャル



エルゴ領域の外側で負のエネルギー領域が存在  
エルゴ領域の外側でエネルギー抽出が可能

# 計算方法



## 仮定

- ① 衝突前の電子と光子の運動は赤道面で考える。衝突後は赤道面以外も考える。
- ② 電子がBH近傍を円軌道運動をし、無限遠から自由落下してきた光子と衝突する。
- ③  $a = 0.998M$  とする。
- ④ 磁場のモデルとして、BH dipole
- ⑤ 磁場が存在しても、Klein-Nishinaの微分散乱断面積の公式が適用できるとする。

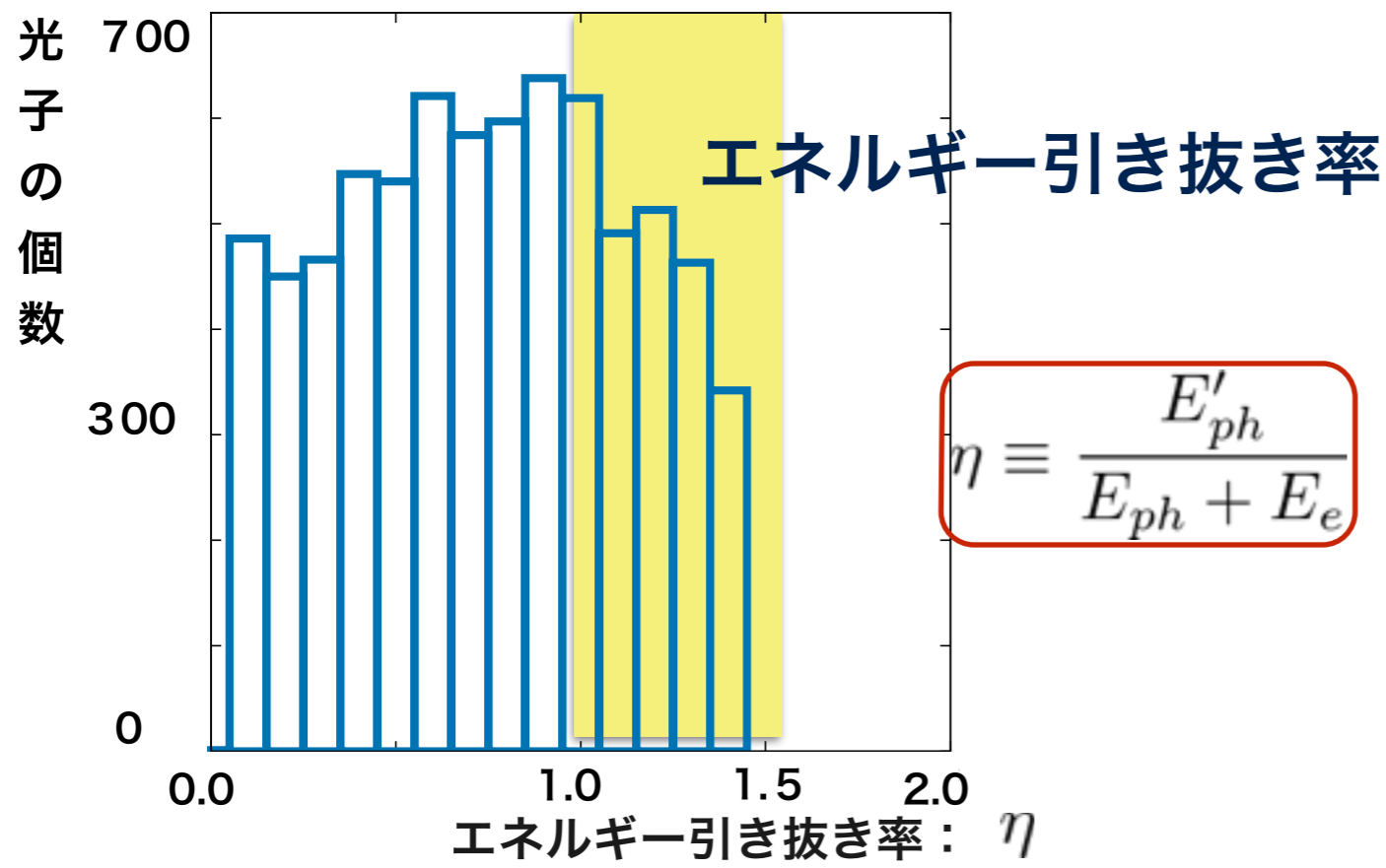
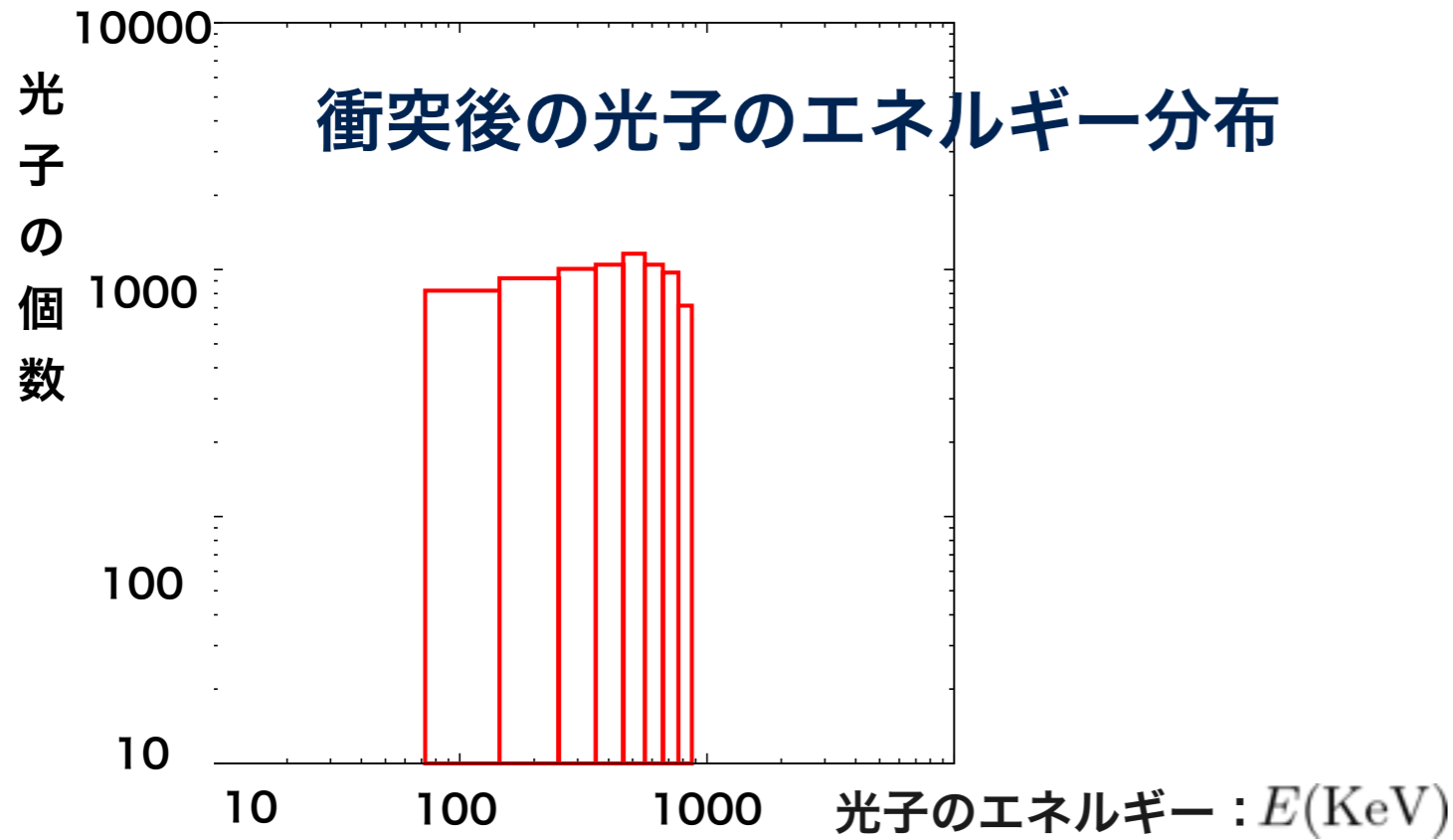
# 計算結果①

～ Williams(1995)の再現～

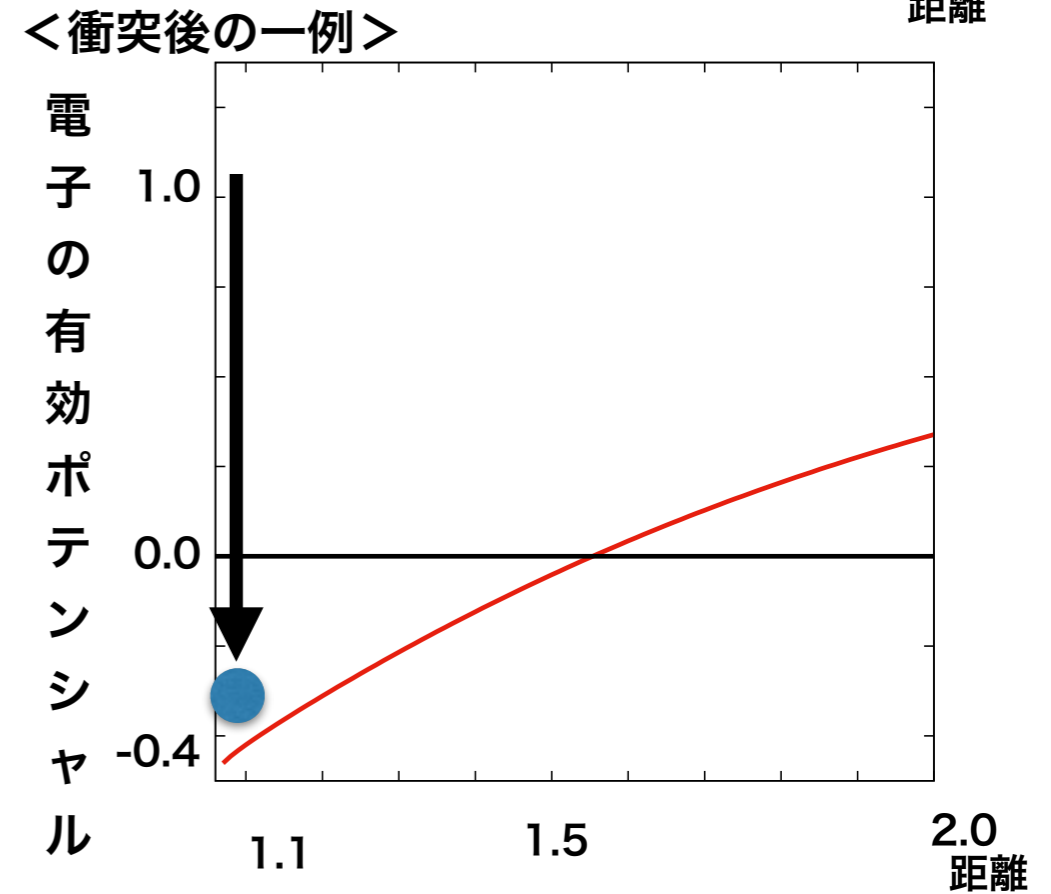
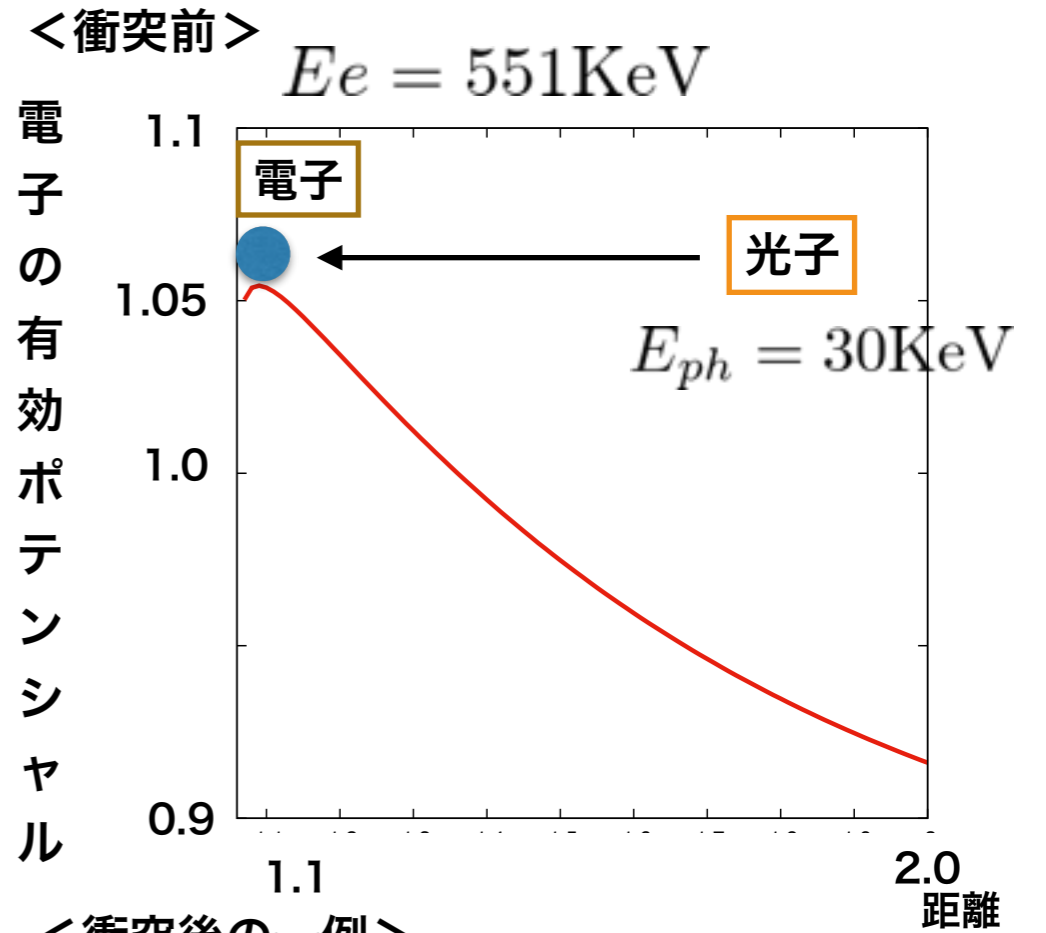
磁場なし、エルゴ領域の内側 ( $r=1.089M$ ) で散乱

# 計算結果 (磁場なし)

$r_{mb} = 1.089M$  : the marginally bound circular orbit



$$\eta \equiv \frac{E'_{ph}}{E_{ph} + E_e}$$



# 計算結果②

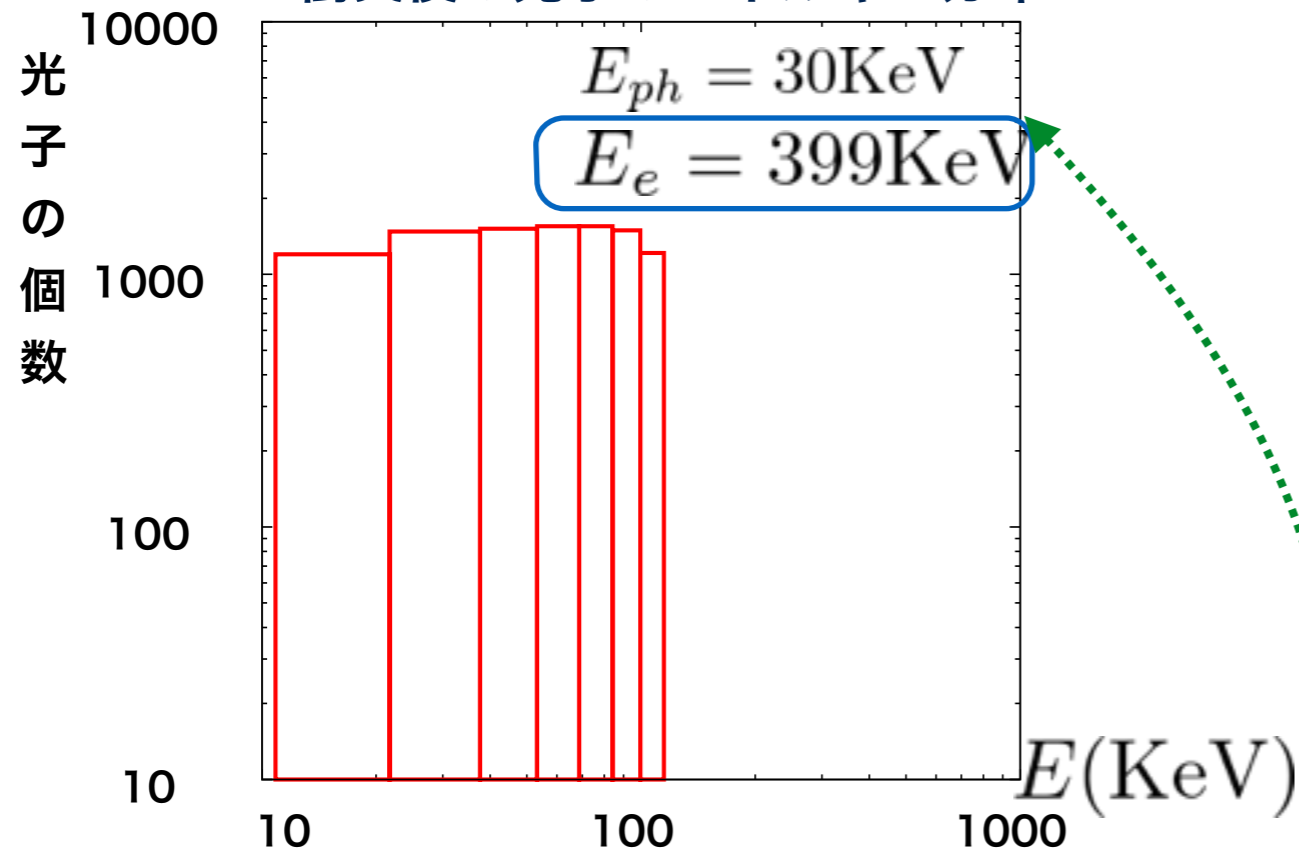
**エルゴ領域の外側 ( $r=2.1M$ ) で散乱**

磁場なしと磁場ありの比較

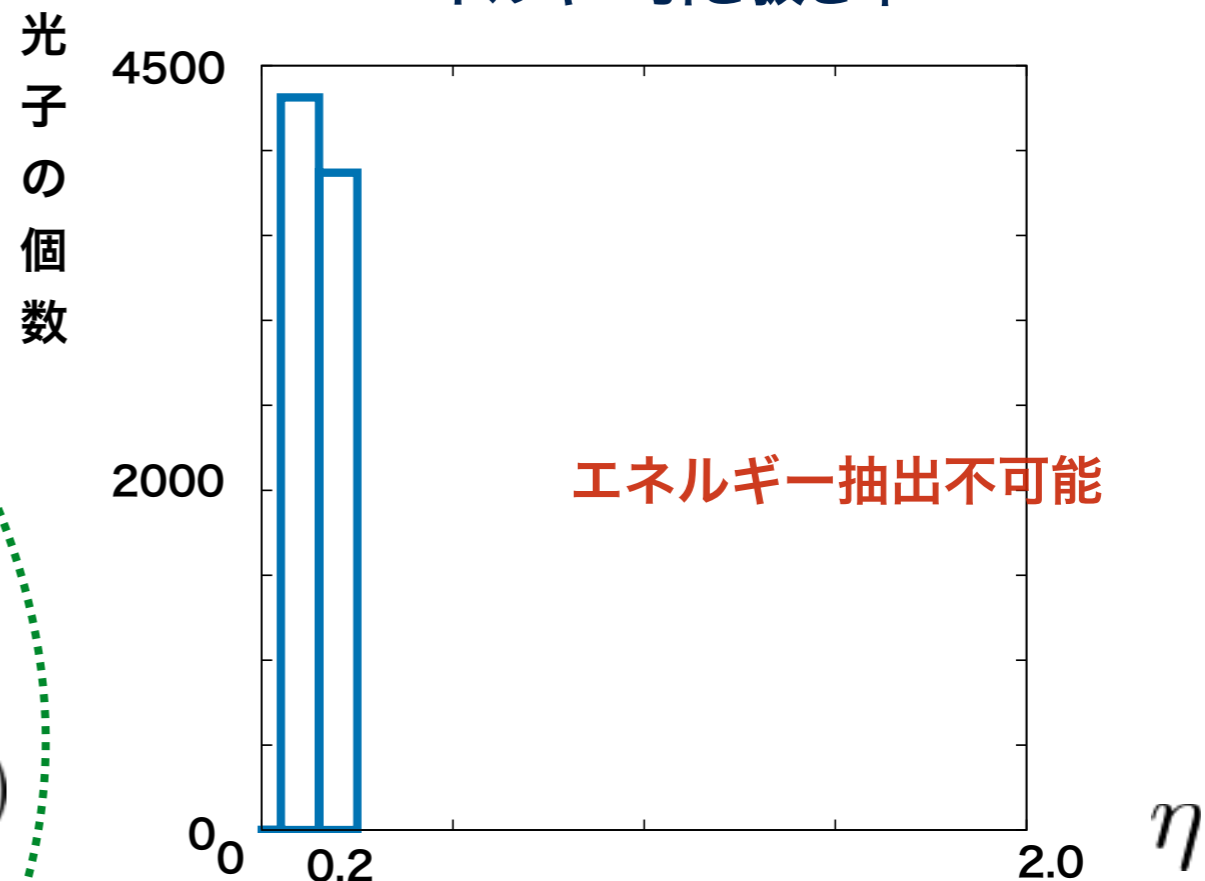
磁場なし

~

衝突後の光子のエネルギー分布

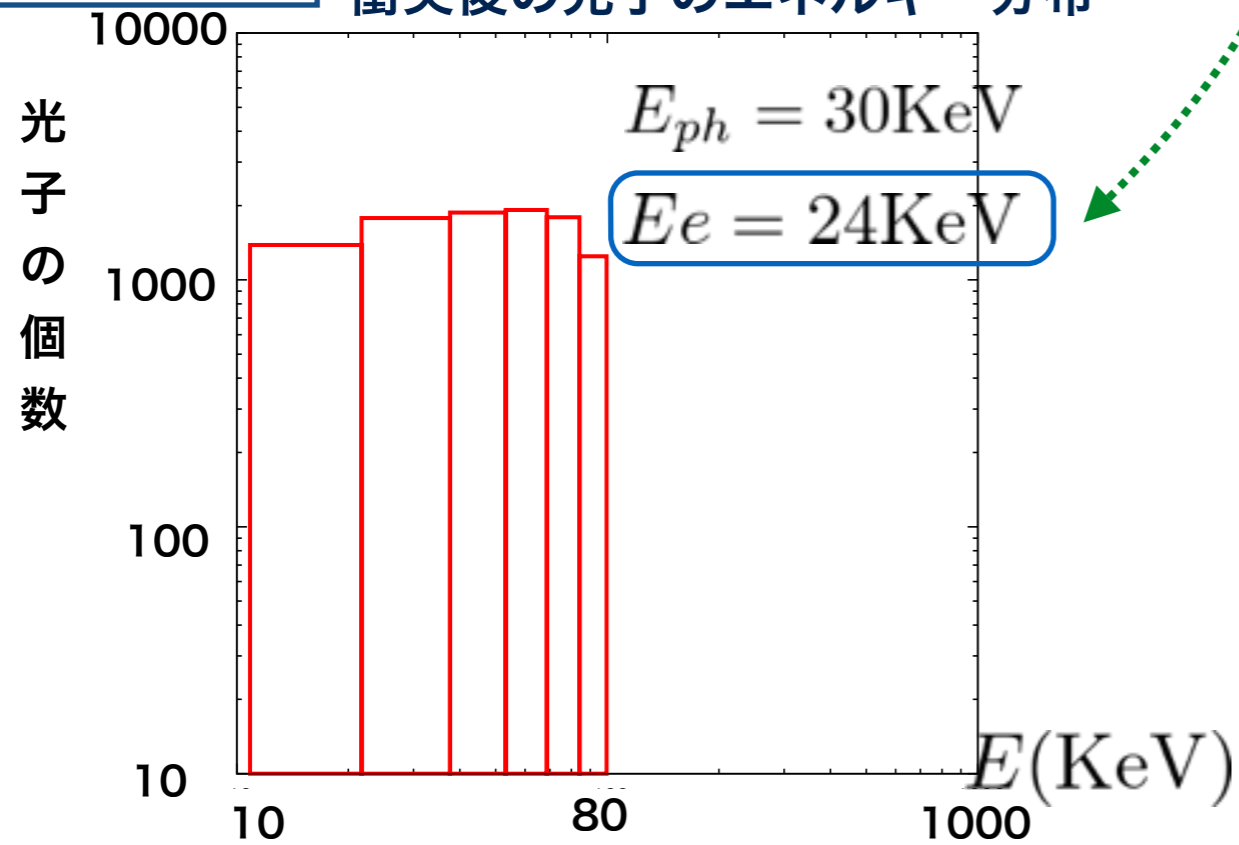


エネルギー引き抜き率

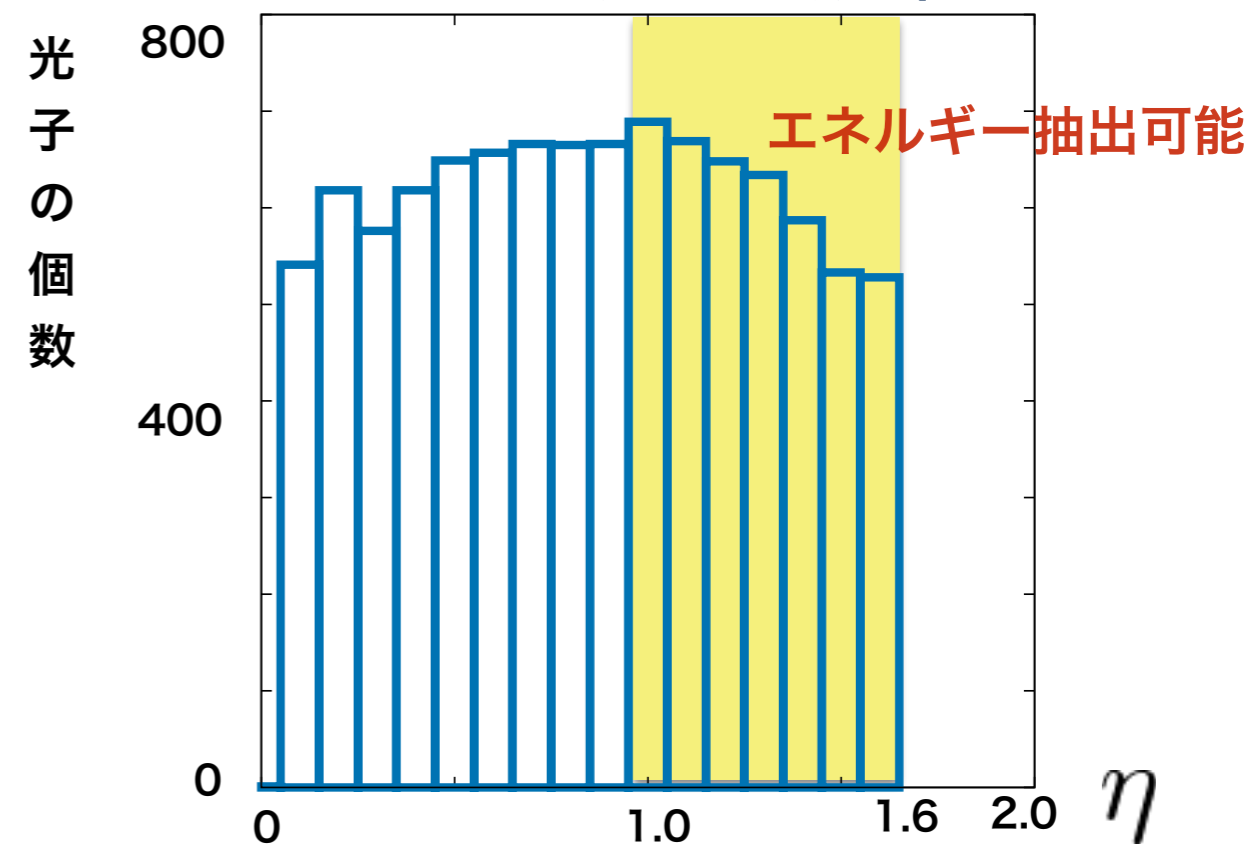


磁場あり

衝突後の光子のエネルギー分布



エネルギー引き抜き率



# まとめと今後の展開

## ～まとめ～

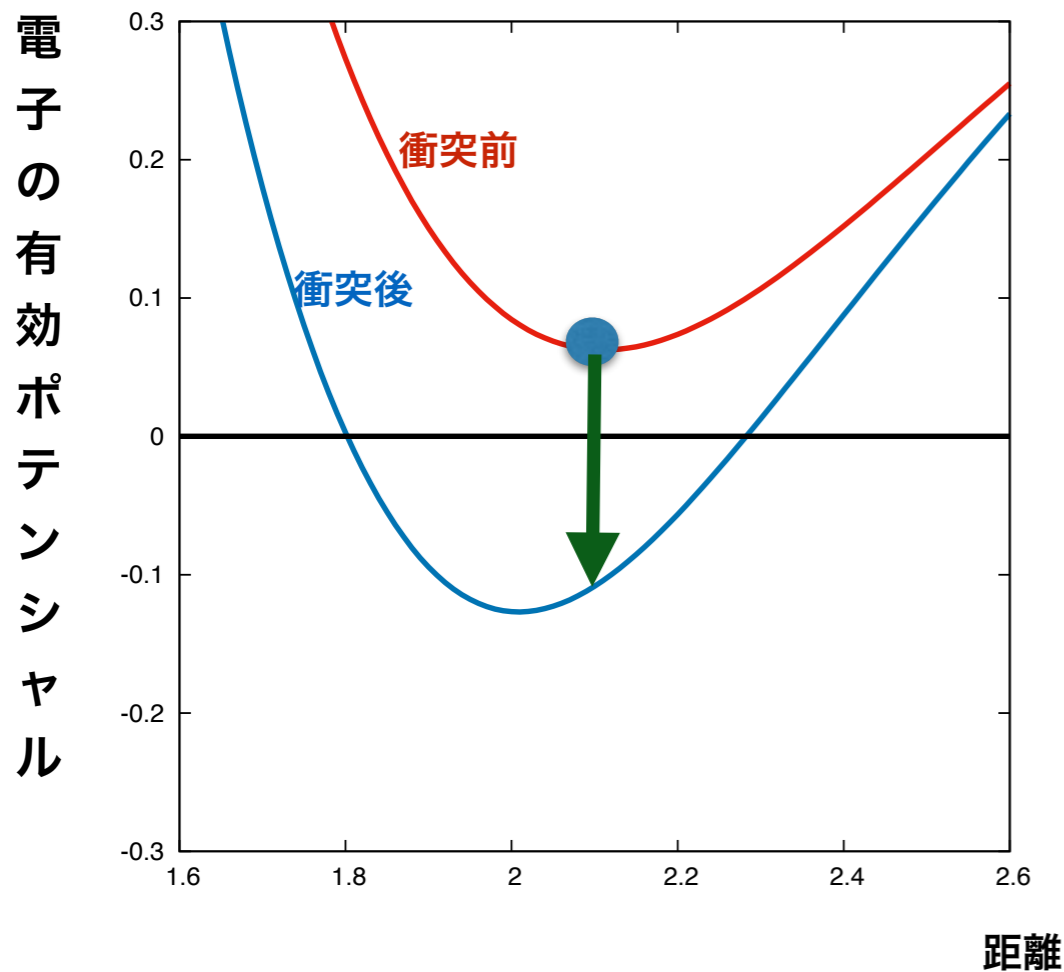
Wagh & Dadhich (1989)

エルゴ領域内の光学的厚みは非常に小さいため、collisional process が起こりにくい。

磁場が存在すると、エルゴ領域の外側でcollisional processが起こる可能性がある。  
(エルゴ領域外側でもエネルギー抽出が可能)

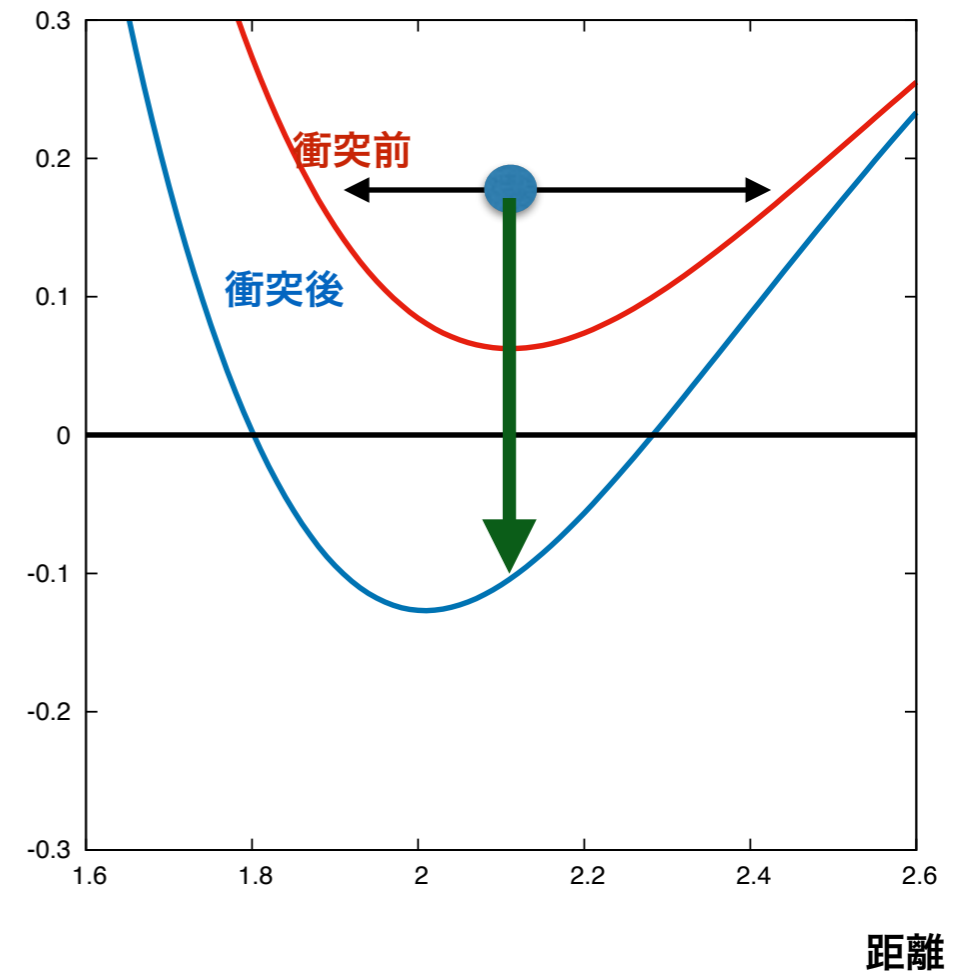
## ～今後の展開～

電子の円軌道 (これまでの初期条件)



電子のジャイロ軌道 (今後の初期条件)

電子の有効ポテンシャル



高エネルギーの光子が生成されやすい？