

高エネルギー天体からの 偏光X線検出への道

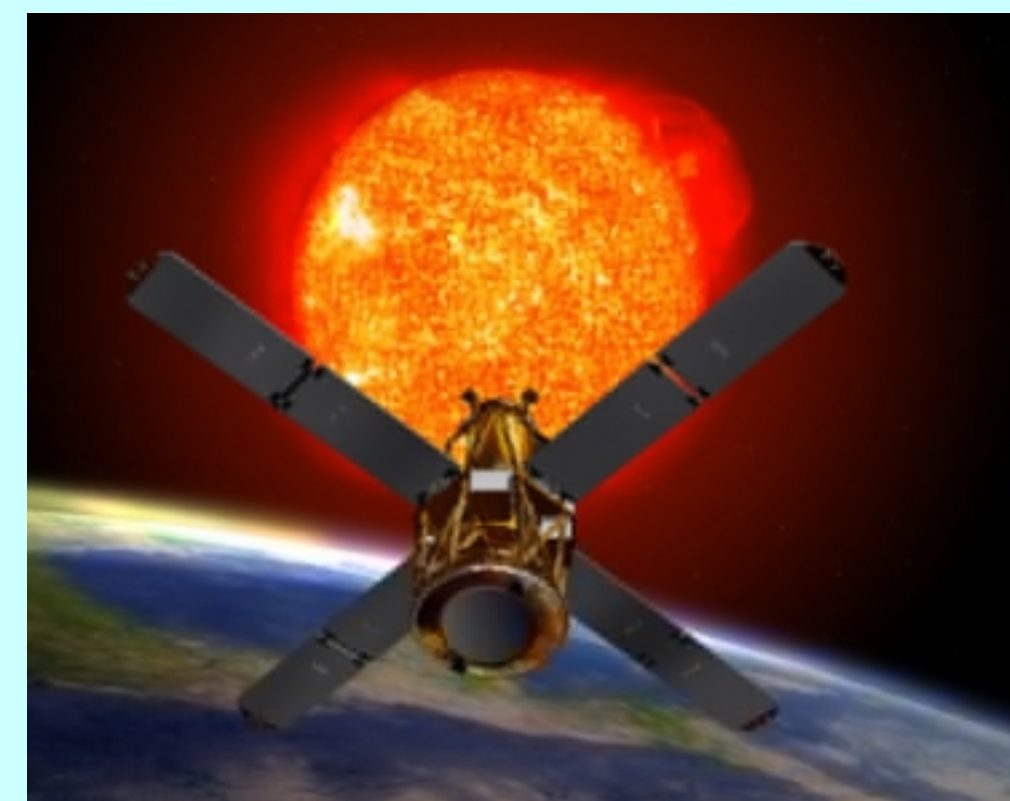
T.TANAKA T.HIRUTA @田代研究室

卒業研究ポスター発表会 場所:理学部一号館五階
時間:14:00~16:30

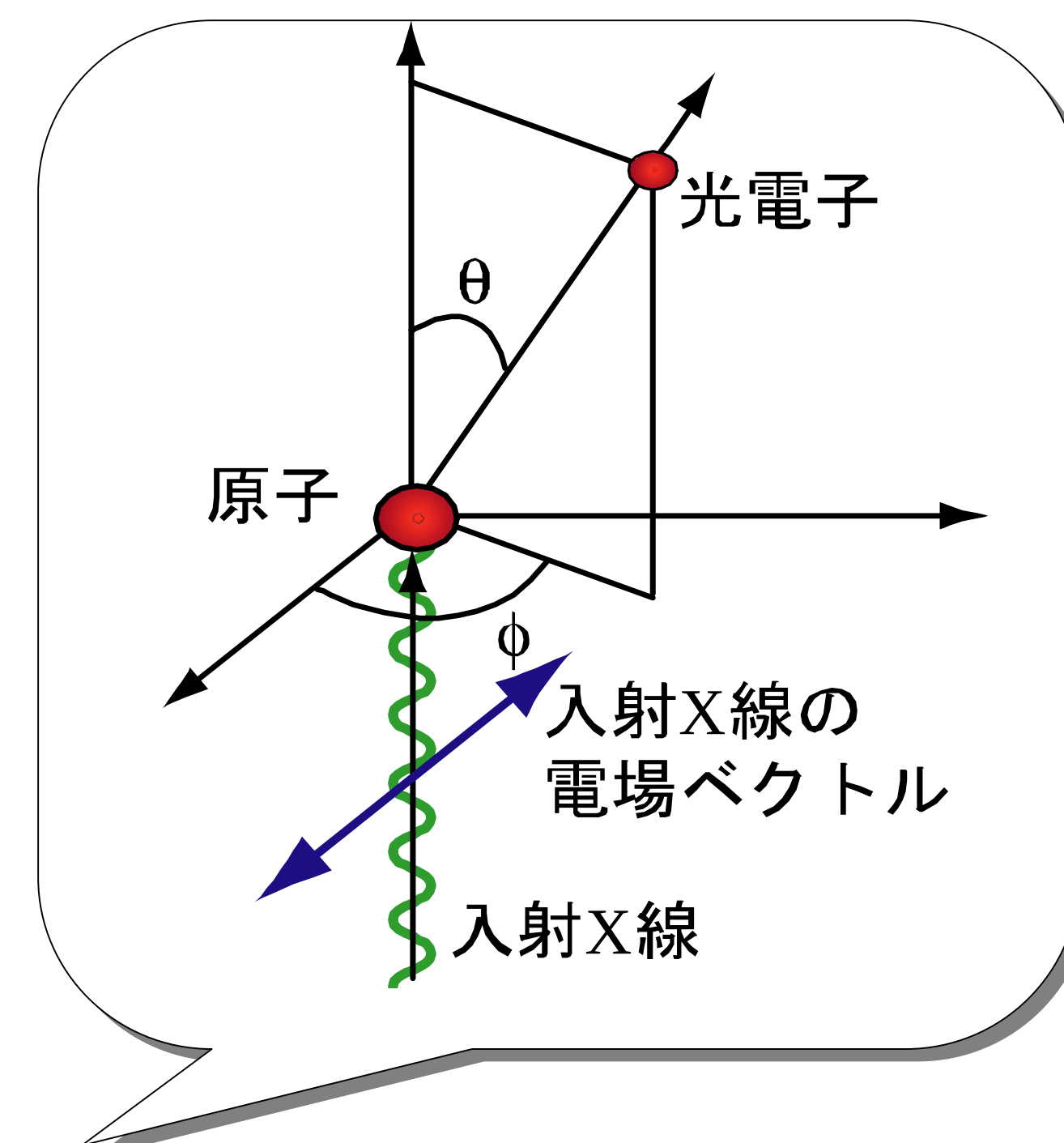


X

宇宙の高エネルギー現象をとらえる鍵となるX線天文学は、宇宙X線のエネルギースペクトルと強度の時間変動などの観測から始まり、現在では空間構造の撮像観測も行われるほど進展している。このX線天文学をさらに発展させていくには、X線の偏光情報を取得する事が非常に重要となる。偏光観測は、高エネルギー天体のエネルギー放射メカニズム、天体の幾何学的構造や磁場構造の解明に大きく役に立つと考えられるからである。また近年、宇宙から数十秒程度の短い時間に、X線・ガンマ線が爆発的に降り注いでくる現象で、いまだ多くの謎に包まれた現象であるガンマ線バーストの偏光観測が太陽観測衛星RHESSIによって初めて観測された。その結果は偏光度80%という高い数値であったが、この結果の真偽に関してはいまだ世界中で議論をよんでおり、こういった議論に決定打を出せるほどの、より高い精度で偏光を観測できるような検出器の開発が迫られている。



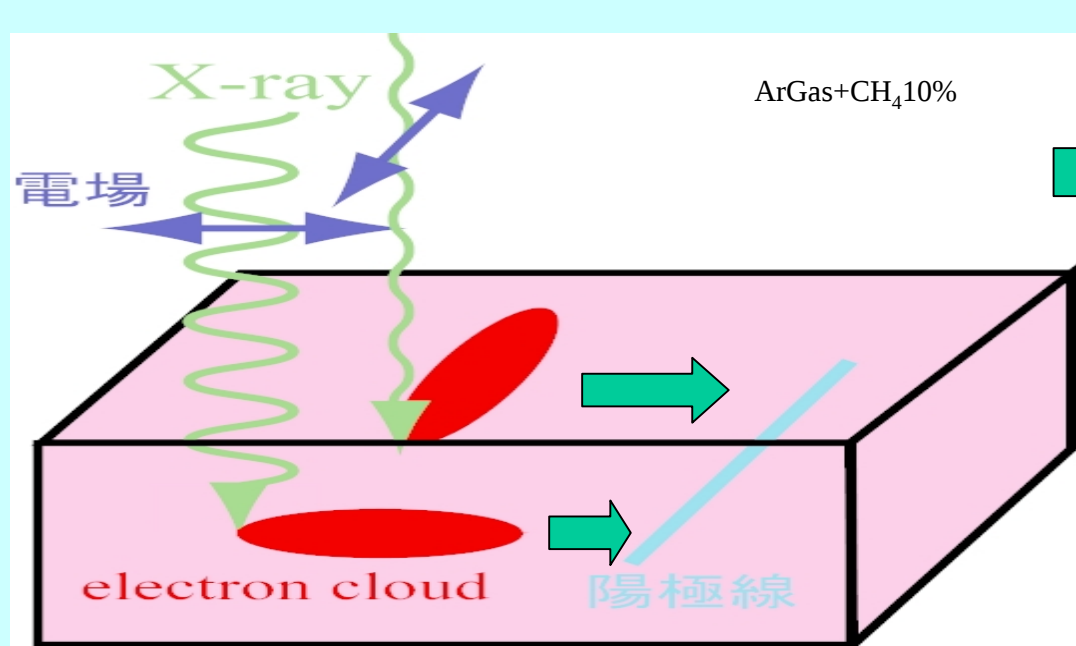
太陽観測衛星RHESSI



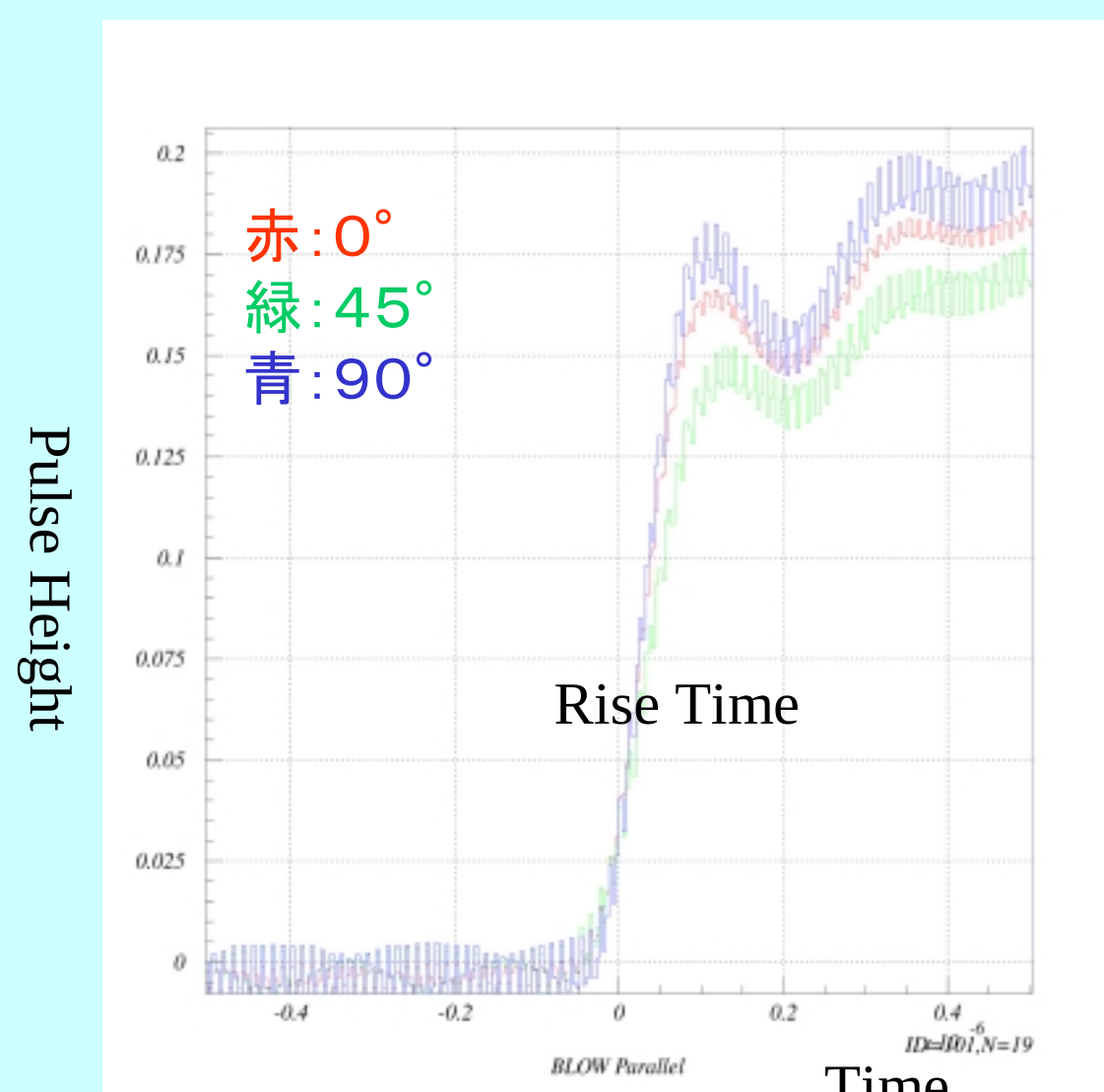
X

X線の偏光を捕らえるためには、偏光に依存したさまざまな物理現象をとらえることが考えられるが、私たちは特に偏光X線が光電効果を起こしたときの光電子の射出方向の異方性に着目して、その光電子の異方性を捕らえることの出来るような、検出器の研究開発を行っている。

比例計数管による偏光計試作



比例計数管の原理

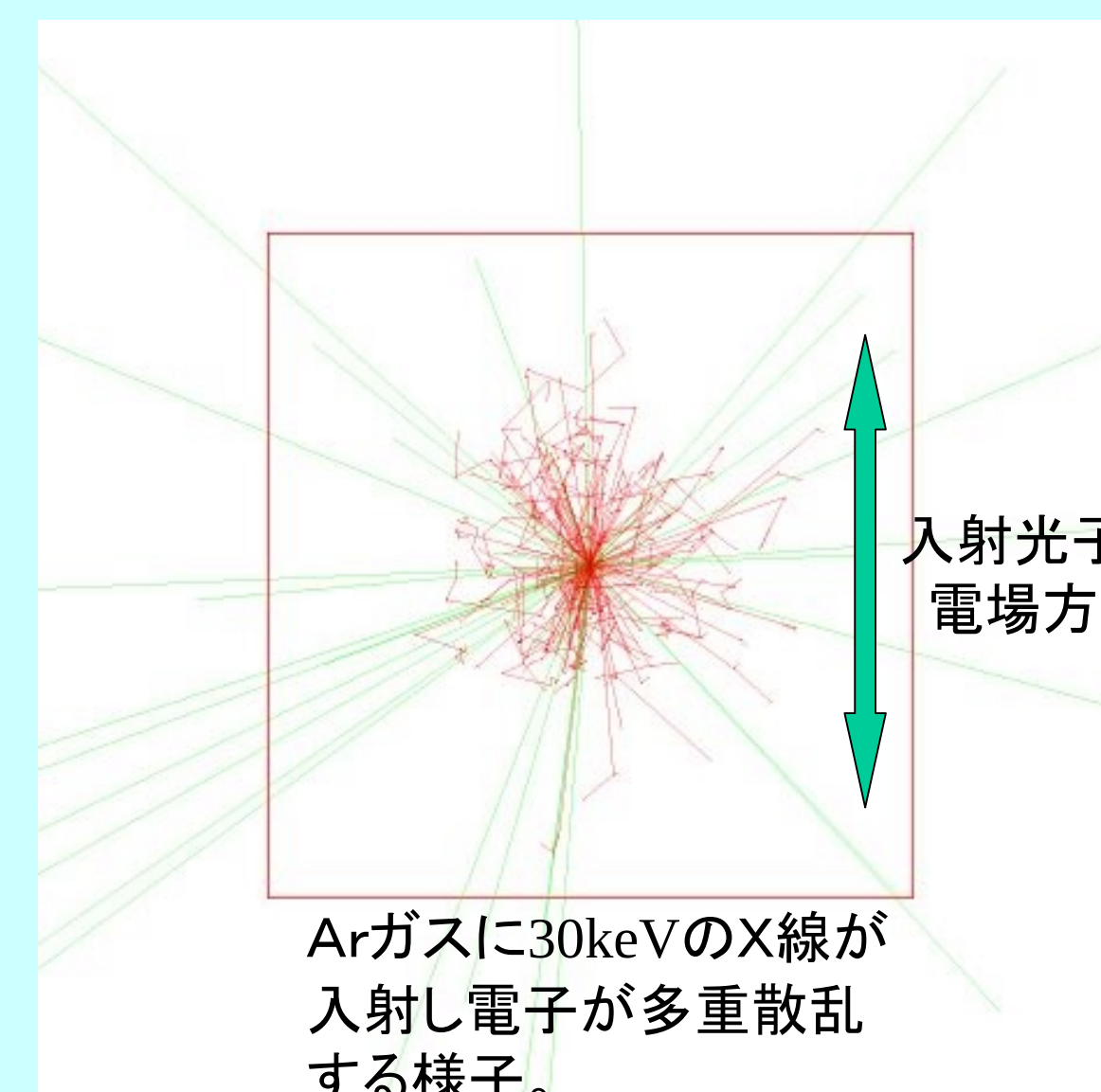


光電効果の微分断面積

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 \frac{Z^5}{137^4} \left(\frac{\mu}{k} \right)^2 \frac{4\sqrt{2} \sin^2 \theta \cos^2 \phi}{(1 - \beta \cos \theta)^4}$$

r_0 = 電子の古典半径 ($2.8 \times 10^{-15} m$) θ = 入射X線と光電子とのなす角
 Z = 吸収物質の原子番号 ϕ = 入射X線の電場ベクトルと光電子のなす角
 μ = 電子の静止エネルギー (511keV) β = 光速に対する電子の速度比

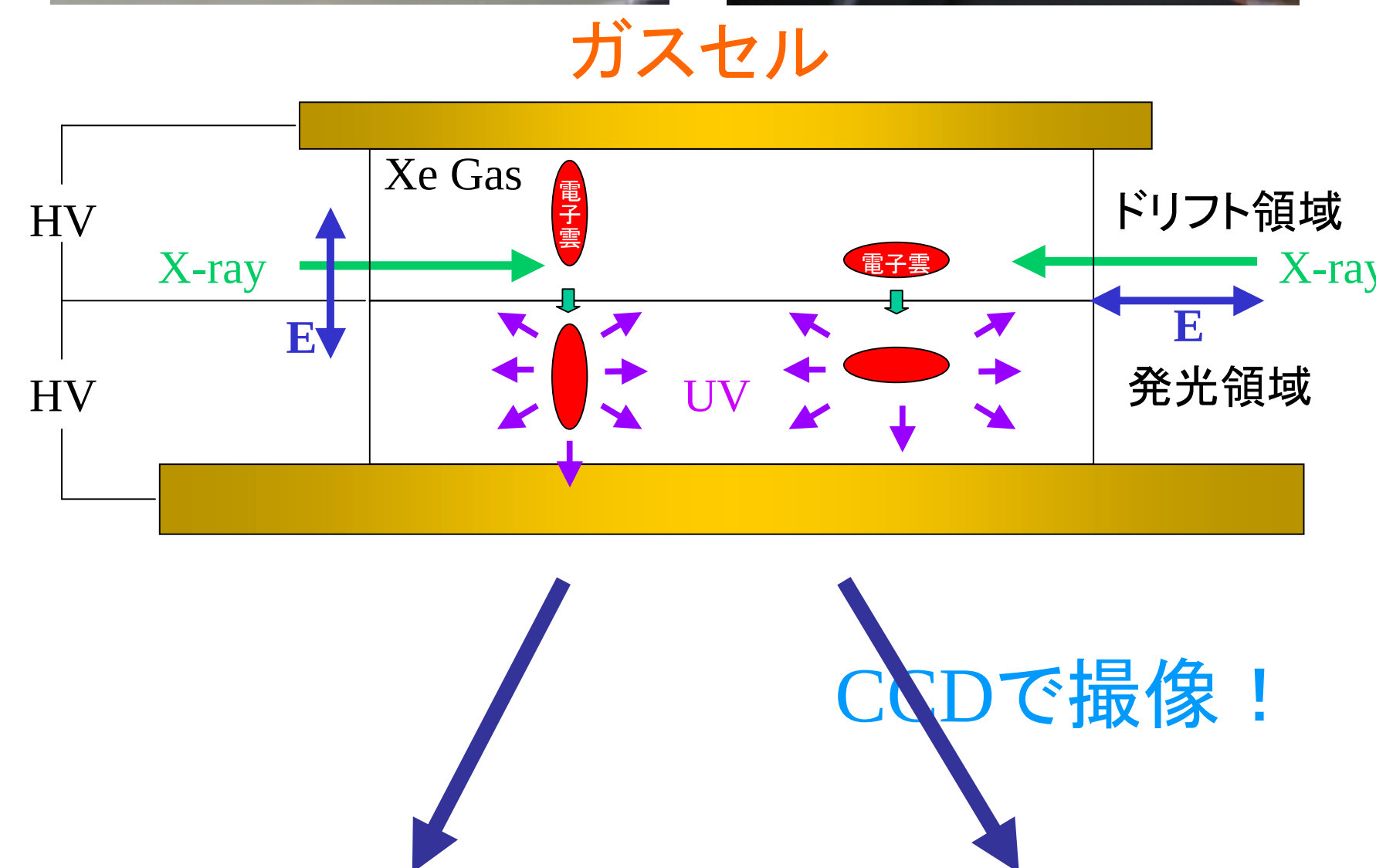
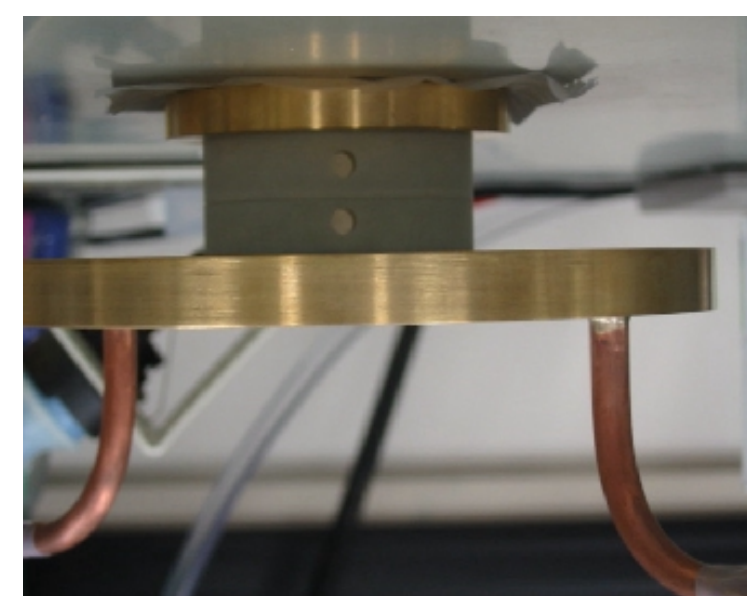
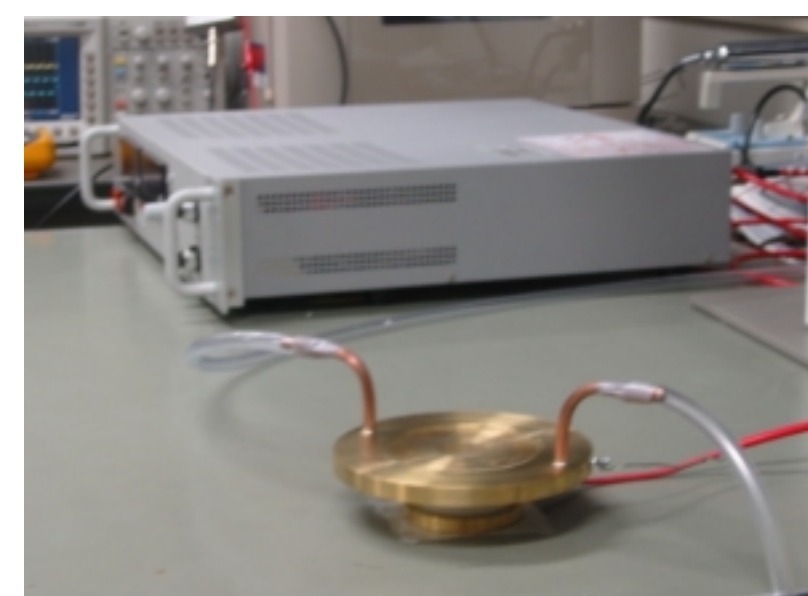
入射してきたX線は比例計数管内のArガスによって光電吸収され、光電子を放出する。この時、放出される光電子の散乱方向は上の式を見れば分かるとおり、入射X線の電場ベクトルの方向に放出されやすい。したがって、電子雲は偏光方向に伸びた形になる。この電子雲の形状の差を電荷収集時間、すなわち Rise Timeの差を測定することによって情報を得る。



シミュレーションの結果から電子雲の形はある程度入射光子の偏光方向に依存することは分かったが、Rise Timeの差の測定、やイメージングから実際偏光度をどの程度判別できるかということは、現在良く分かっていないのが現状である。

ガス蛍光比例計数管による偏光計の試作

ガスセル中に入射した偏光X線はXeによって光電吸収され、光電子が放出される。光電子の放出方向はX線の偏光方向に依存するので、偏光方向によって電子雲は偏った方向に伸びた形になると考えられる。この電子雲はドリフト領域でガスセルに印加された高電圧によって加速され、発光領域に入るとXe原子を励起する。励起されたXe原子は基底状態に戻る時に紫外光(UV)を発光する。この紫外光を検出することで入射X線についての情報を得ることができる。

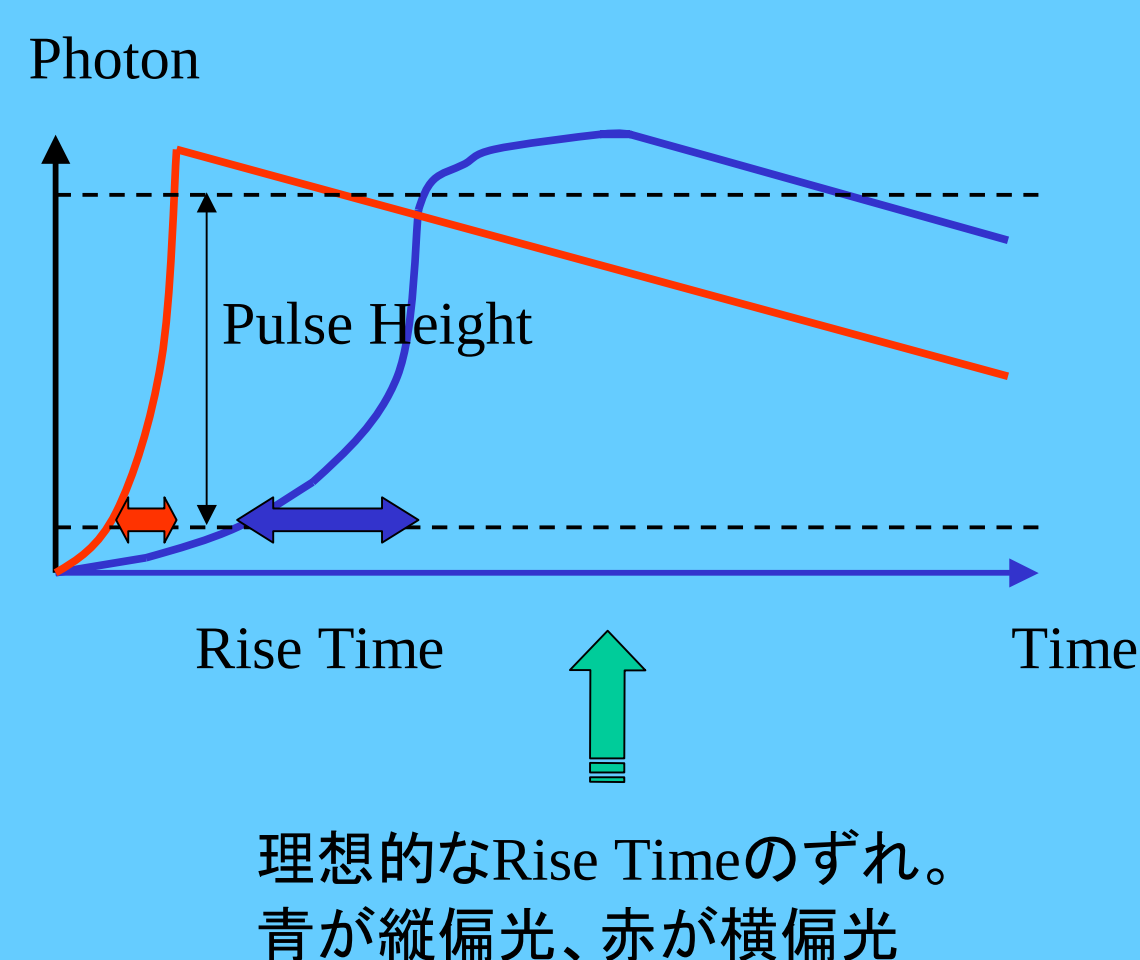


CCDで撮像！

CCD

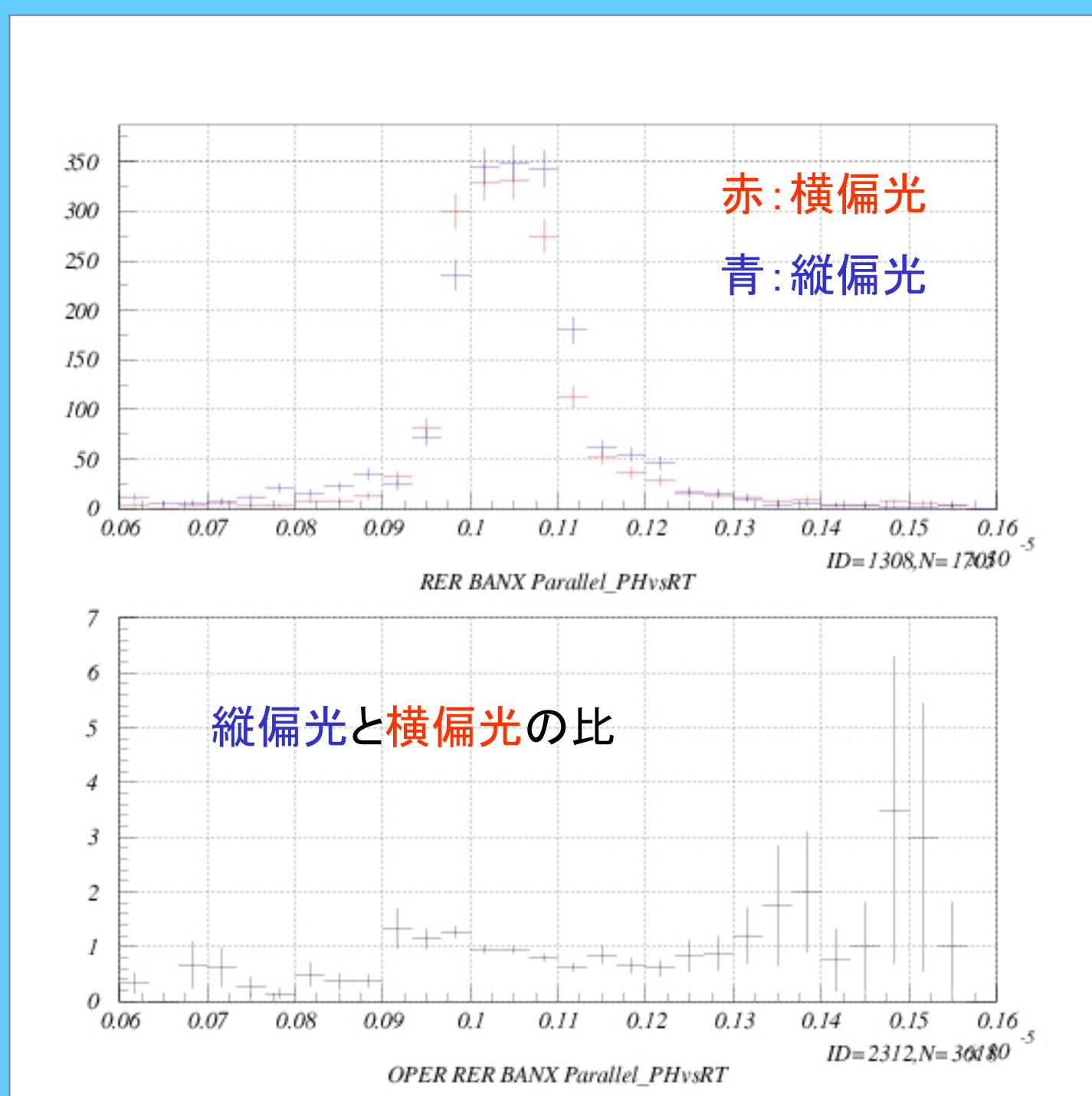
CCDカメラを用いて、ガスセル中で発光するUV(蛍光紫外線)を検出することにより、電子雲の2次元形状を撮像する。電子雲の形状が詳細に分かれればX線の偏光情報を得ることが出来る。今回の実験でX線光子の検出に成功した。しかし、CCDの有効画素内に光子を納めることやイベントセレクションがまだできていない。今後の実験により、電子雲の分布の取得やエネルギースペクトルの取得等が期待される。

X線発生装置で発生させたX線をポリエチレンで散乱(トムソン散乱)させて偏光X線を得る。電子雲の形状の違いをUVの蛍光発光時間を測定することによって調べる。右上の図より縦偏光のX線がガスセルに入射したときの方が横偏光よりも、発光時間が長いだろう事が直感的にもわかる。発光時間の差を調べることによって入射X線の偏光情報を得ることが出来る。

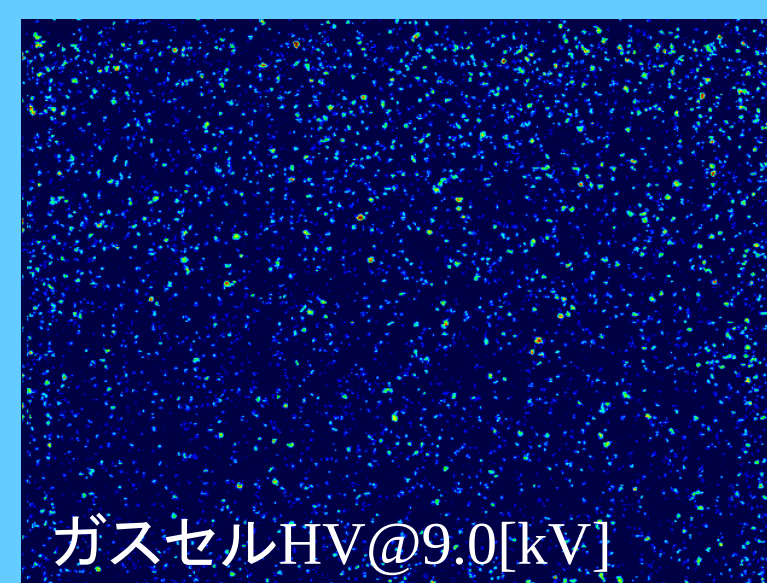


理想的なRise Timeのずれ。青が縦偏光、赤が横偏光

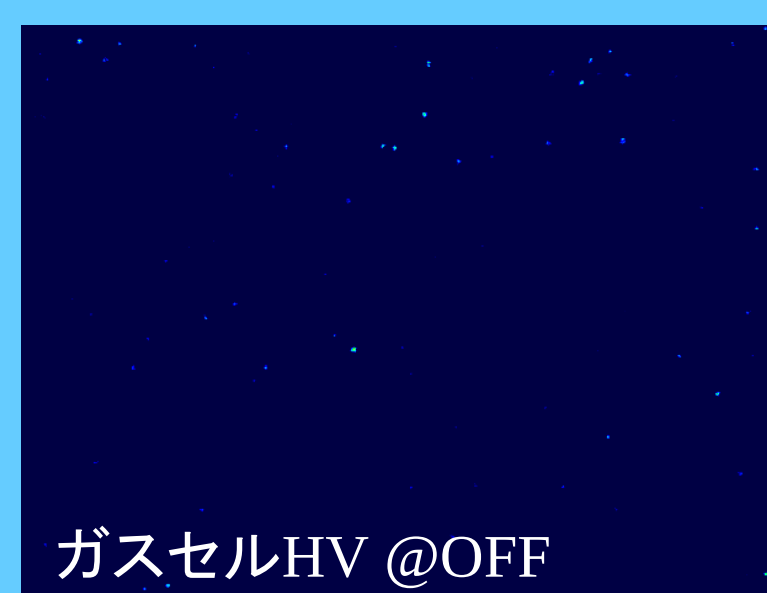
左図は実際のデータ。ジェネレータを回転させる事によって入射X線の偏光方向を変化させた。縦偏光の方が横偏光よりも若干発光時間が長く、偏光方向によって発光時間に違いが見られる。



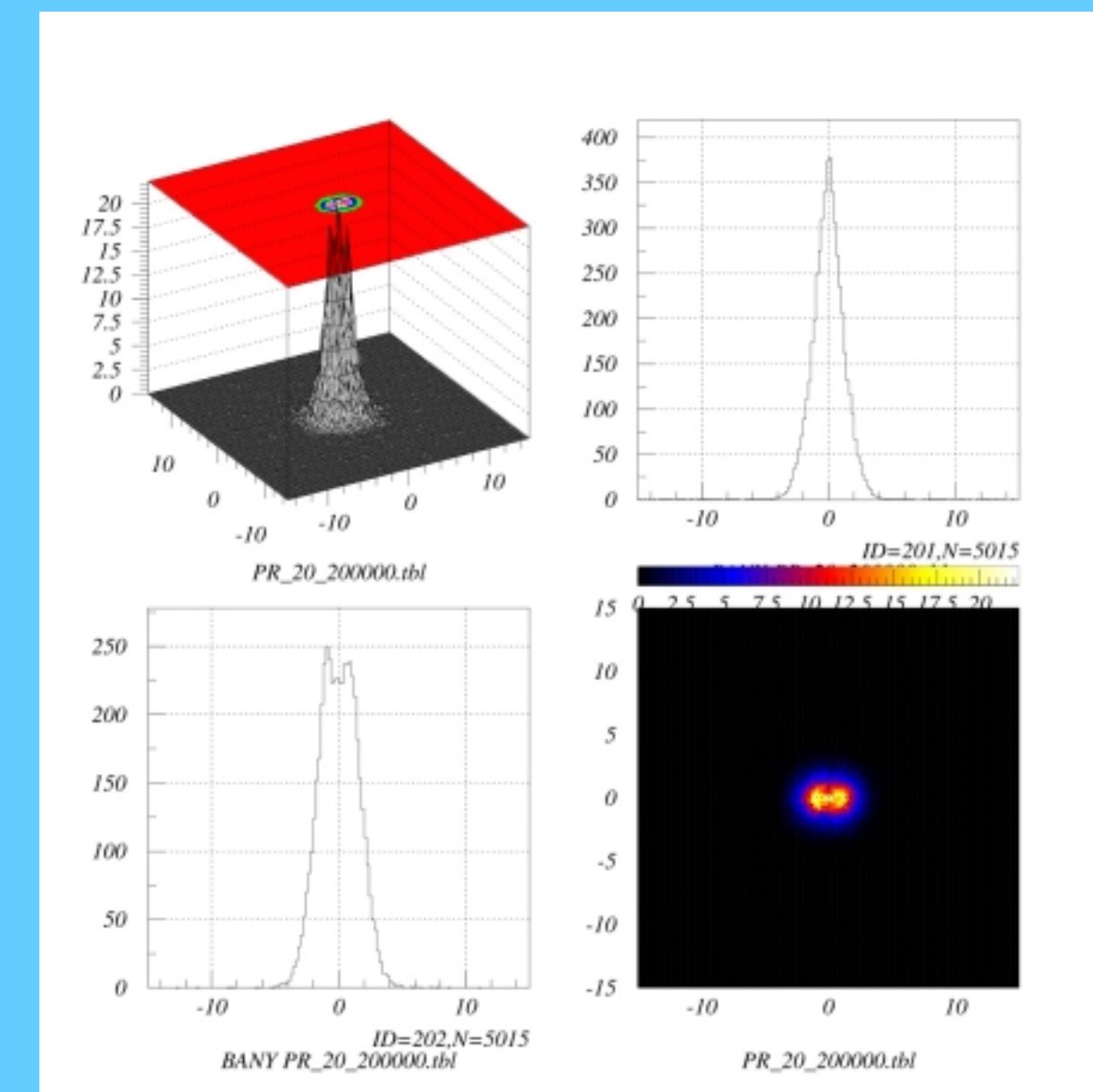
上の方のグラフ、縦軸はX線のカウント数(ガス中で止まったX線イベント数)横軸は発光時間(second)



ガスセルHV@9.0[kV]



ガスセルHV @OFF



CCDで取得した画像(左)と電子雲のシミュレーション結果(右)

ガスセルに高電圧を印加した時としていない時でCCDで取得した画像に明らかな違いが見られる。シミュレーション結果では電子雲が偏光方向に伸びた形をしている様子がわかる。