



# 液体キセノン2相式検出器での 低エネルギーのBG Review

水越慧太 (神戸大)

ミグダル観測検討会2020 @ 神戸大学

2020 Dec. 9 (Wed.)

Many figures cited from

- Kaixuan Ni (TAUP2019) \*1
- Shingo Kazama (Migdal Day1 2020) \*2

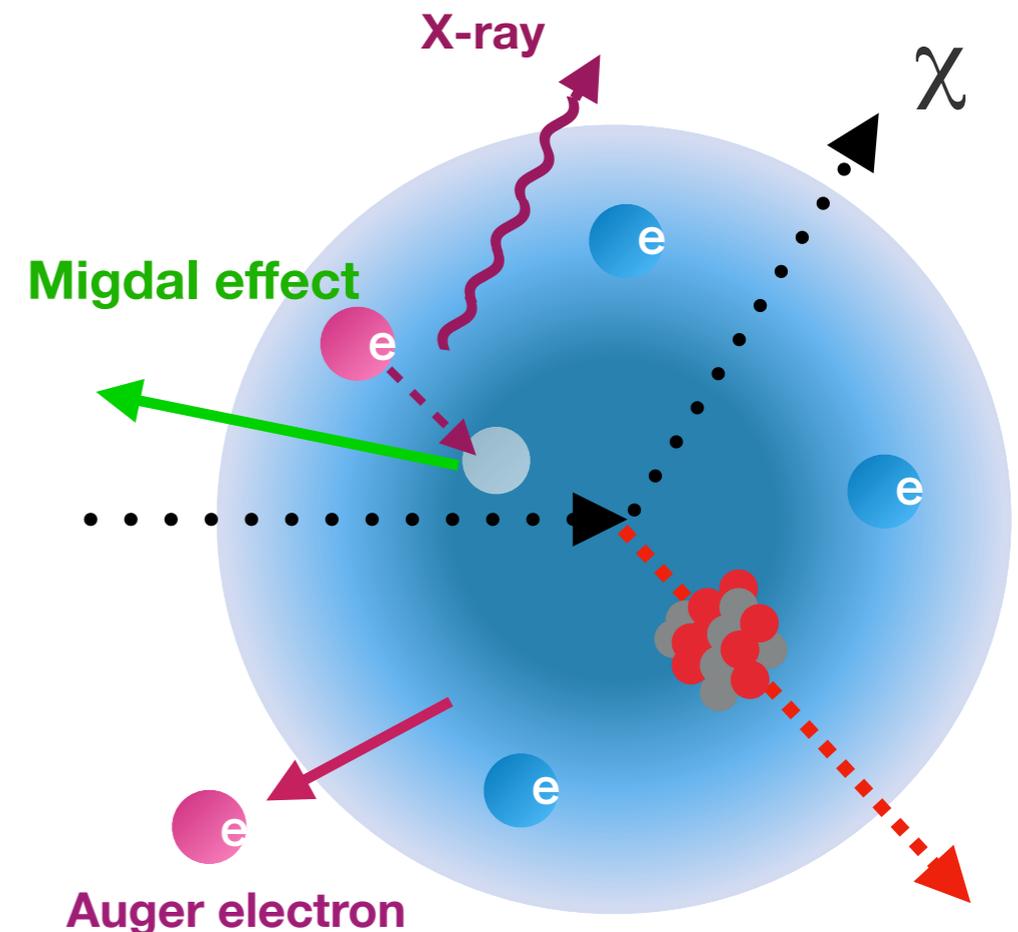
- Day 1の風間さんによる  
'Migdal 効果による暗黒物質探索実験' へのReview
- 風間さんのトークで定量評価できていない背景事象があるので発見能力に欠けるとの指摘
- 本講演ではMigdal 効果, XENONのおさらいをして,
- 具体的な液体キセノンTPCの電子散乱事象へのBGの理解について議論する

# (おさらい) Migdal effect

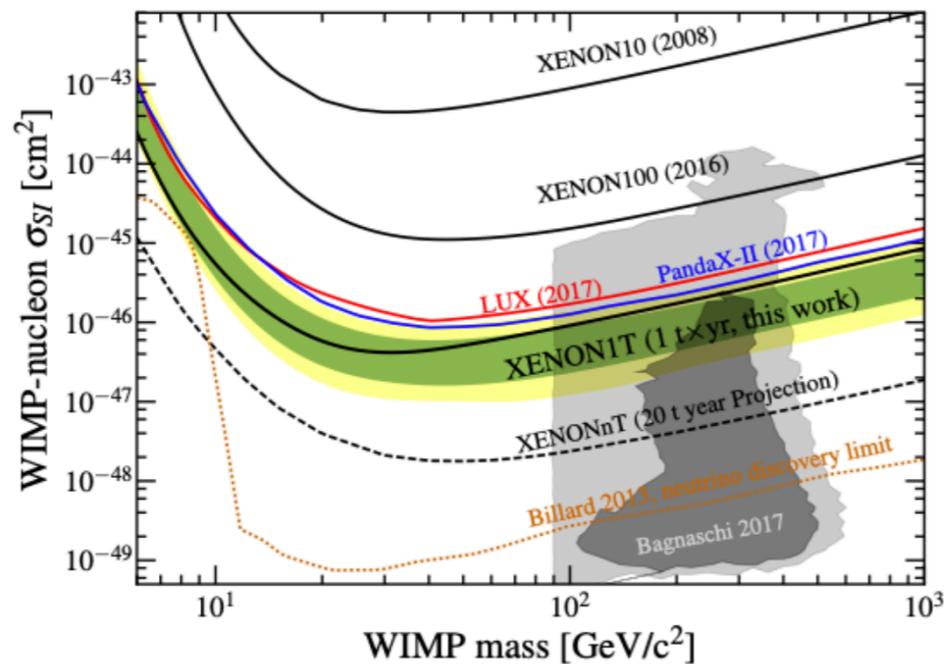
JHEP 03, 194 (2018)

- 粒子暗黒物質(や中性子)が原子核と散乱した際に,低確率でX線, 電子が放出される.
- XENONではこの電子の信号を用いる (n=3, 4)
  - (X線が欲しい人はn=1とか)
- 暗黒物質探索に,Migdal Effectを仮定すると, 原子核反跳に追加の信号が期待される.
- $\alpha, \beta$  崩壊などで観測済: 原子核反跳でもありと強く期待される

## Migdal effect

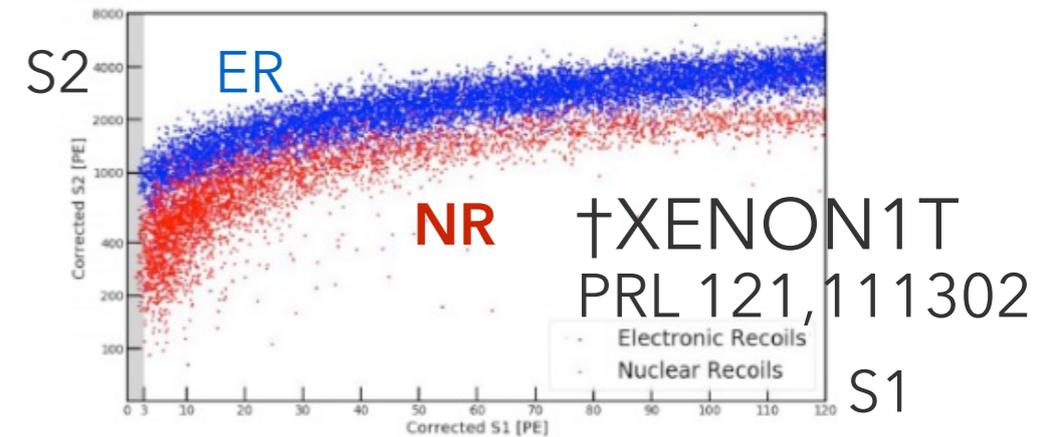
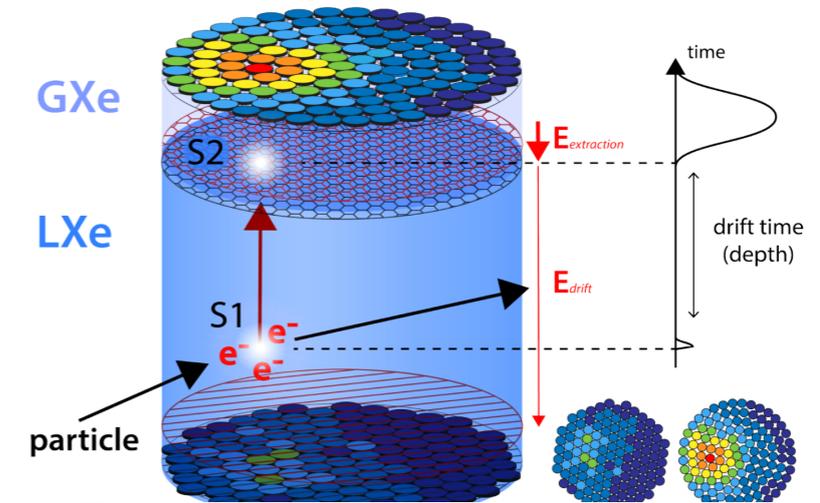


- キセノン2層式 Time projection chamber (TPC) を用いた実験
- WIMPsに対して電子反跳 (=BG) と原子核反跳の強力な弁別 → 今回は電子反跳 (後述)
  - シンチレーション光 (←光) と  
エレクトロルミッセンス (←電荷) を両方検出
- 希ガスは純化が比較的容易



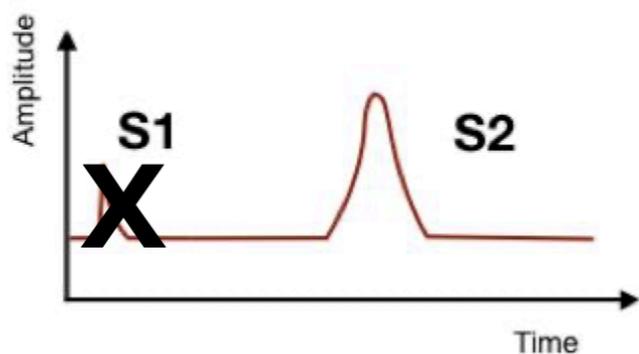
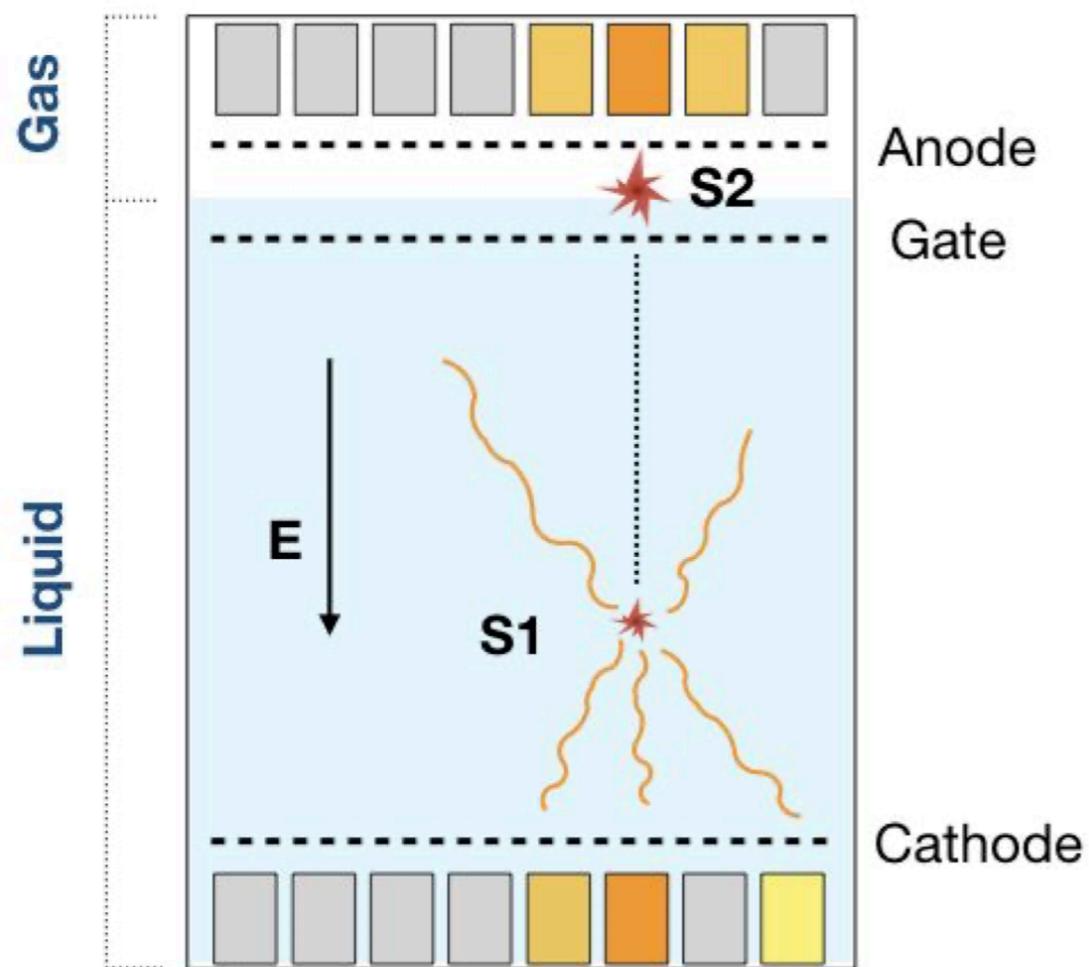
現状のWIMP-核子のスピン依存しない断面積の下限値+

Migdal effectを考慮しない (>6 GeV)



電子/原子核散乱識別の概要+

\*1



位置( $z$ )再構成, 電子/原子核反跳の弁別のためにS1(光)とS2(電荷)の信号が必要.

しかし, S1はS2に比べて暗いので Thresholdを下げるのは難しい (S1:~1000 eVee, S2:168 eVee)

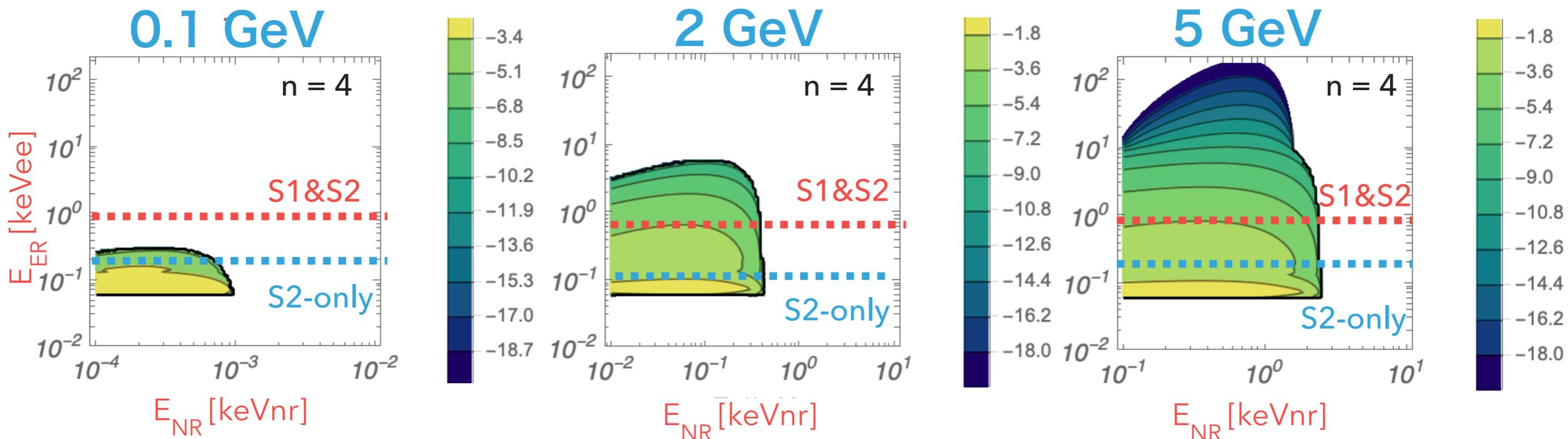
今回はMigdal effect ← 電子反跳

S2-onlyでThresholdを下げる

- v.s. Backgrounds (BG)

# Xenon TPC 信号スペクトル

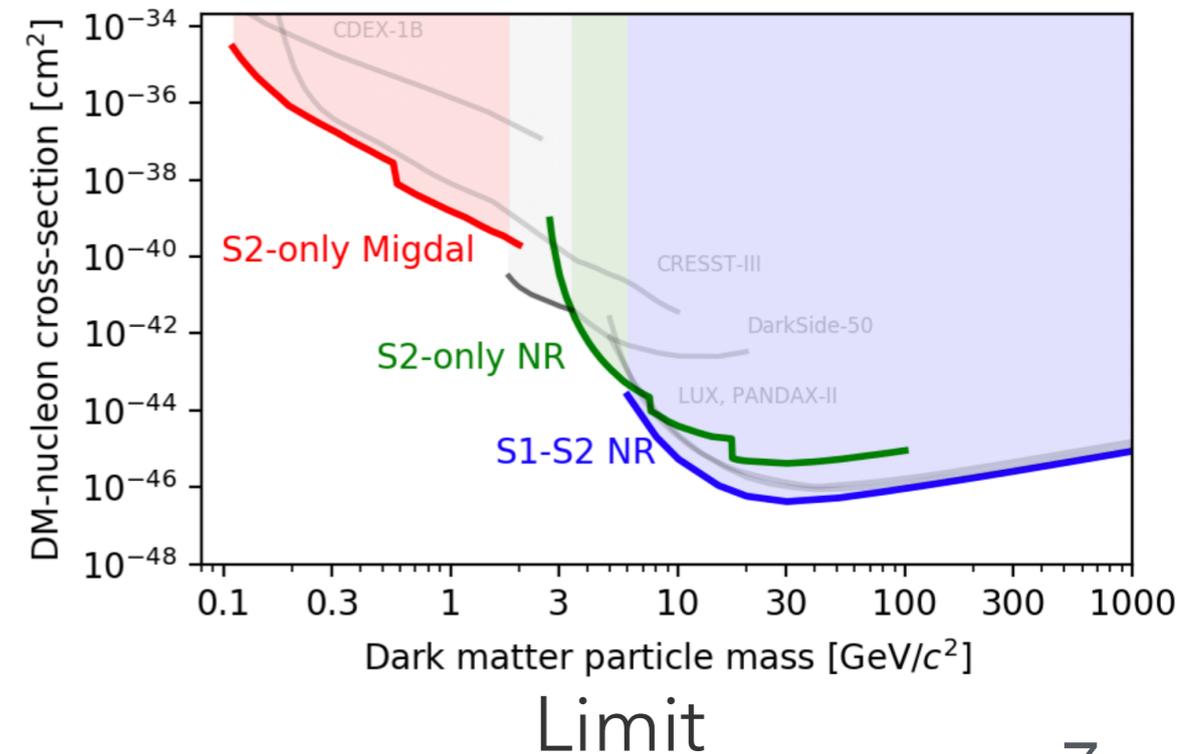
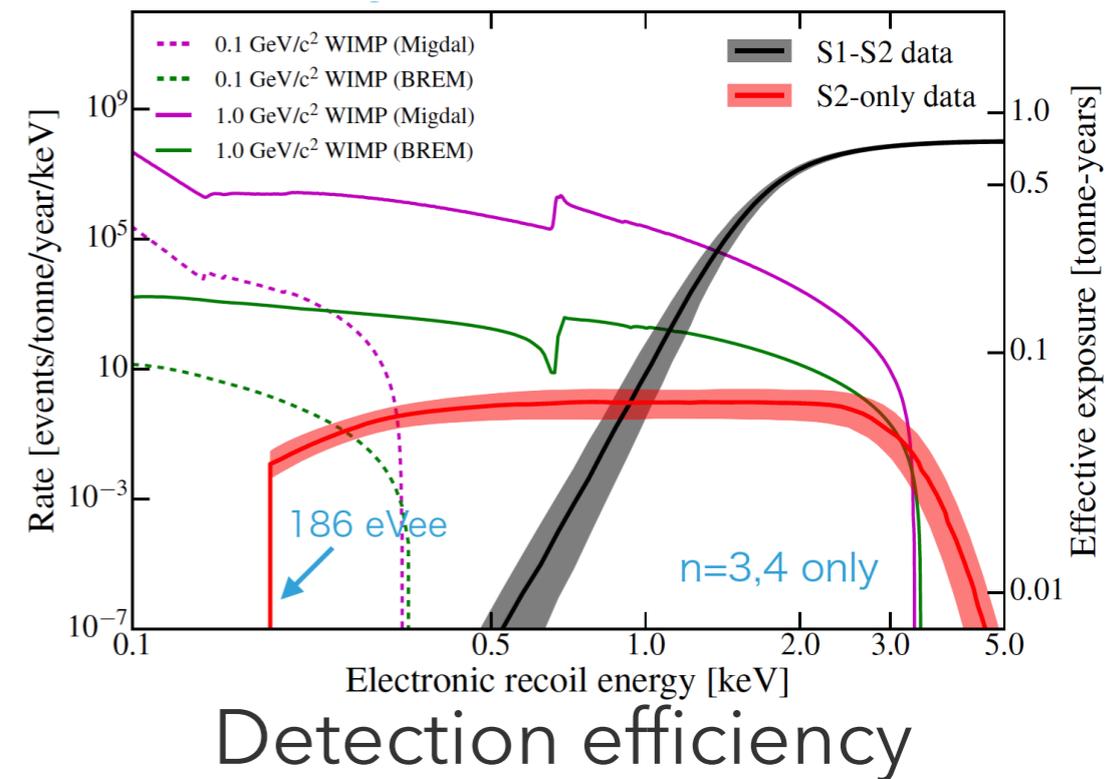
Ibe et al., Day1 talk



- S2-only解析を行ってThresholdを下げることで、Migdal観測のチャンスがある。
- S2-only解析を行った際の、主にDetector response由来のBKGが問題になってくる→本トークの主題

# XENON1T Result

- S2-only解析でThresholdを下げて, Migdal効果を仮定したLimitを引いている
- Migdalのレートは計算依存
- XENON:high&low massで最高感度
- でも, Migdalがそもそもあるのかちゃんと確かめる必要がある



# 風間さんのトークまとめ

- Thresholdを下げられる(186 eV), S2-only解析 + Migdal効果の仮定で低エネルギー側をせめている.
- XENON + 他実験 でMigdalを入れている実験で, BGモデルを確立しているものはない.
  - 他実験: CDEX-1B, EDELWEISS-SURF, LUX, SENSEI, ...
  - 単にPoissonでlimitを引いている
  - →発見することができない...
- XENON 2相式TPCのS2-only解析での背景事象について議論する.

# では, Migdal 効果 発見のためには...

- Thresholdを下げる
  - S2-only解析以上に下げるのは難しい
  - しかし, 発見能力はない...
  - S1-S2解析のBGはよく理解されているので, こちらはOK
- **BG源について理解する**
  - BGの定量評価ができれば, 発見が期待できる
  - Electron recoilへのS2-only解析のBGの理解は難しい

# S2 Low threshold への背景事象 (BG) 源

- XENON1TでのBG源は一部 (定量的に) 理解されている.
- 定量評価済み
  - 1) Rn induced Pb-214 beta decay
  - 2) neutrino coherent scattering
  - 3) Cathode surface BG
- 未評価
  - 4) photoionization of electronegative impurity
  - 5.1) Delayed electron (LXe/GXe)
  - 5.2) Amplified single electron signal
  - 6) photoionization of metal surface

- 1) – 3)についてはXENONでは定量的に評価されている。

- 図中, 灰塗領域

- Rn-induced Pb-214 beta decay

- Rnの濃度で評価できる

- Neutrino coherent scattering

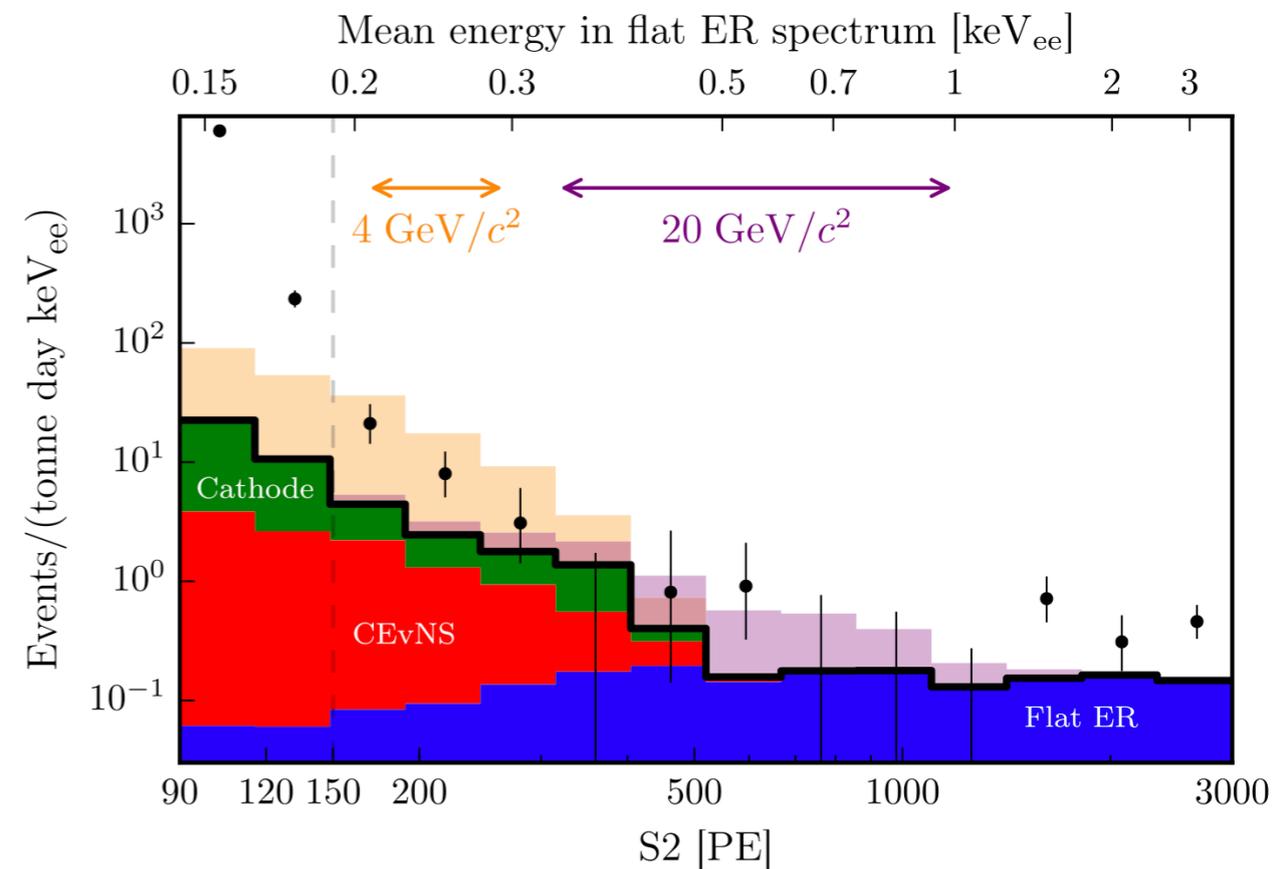
- ニュートリノの量, 断面積は既知

- Cathode surface background

- TPCカソード付近でシンチレーション光なしで電荷ができるゴミイベント

- 光がすこし出る場合をもちいて評価

(PRD. 100, 052014)

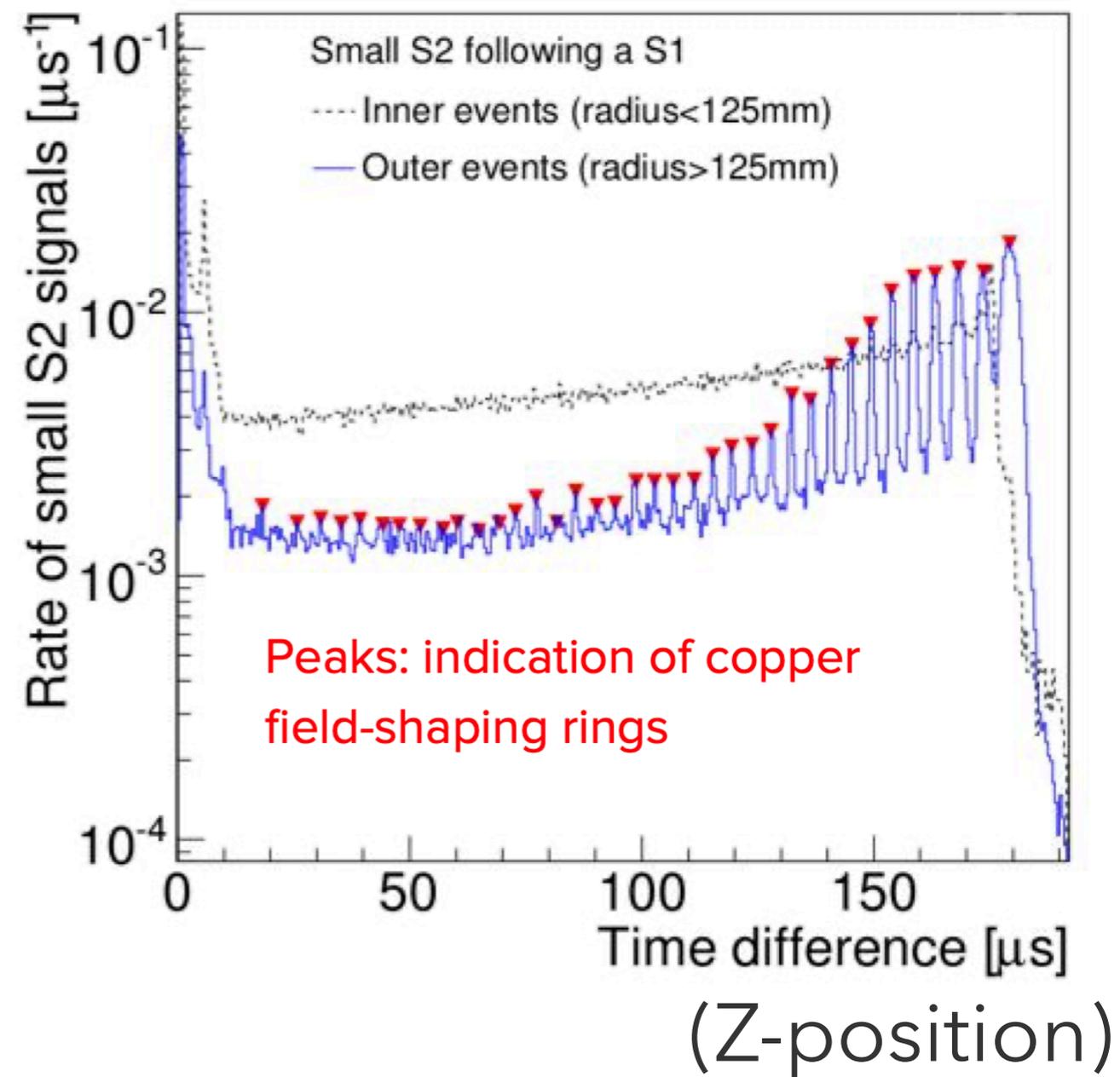


まだすべてではない!

# Photoionization of metal surface

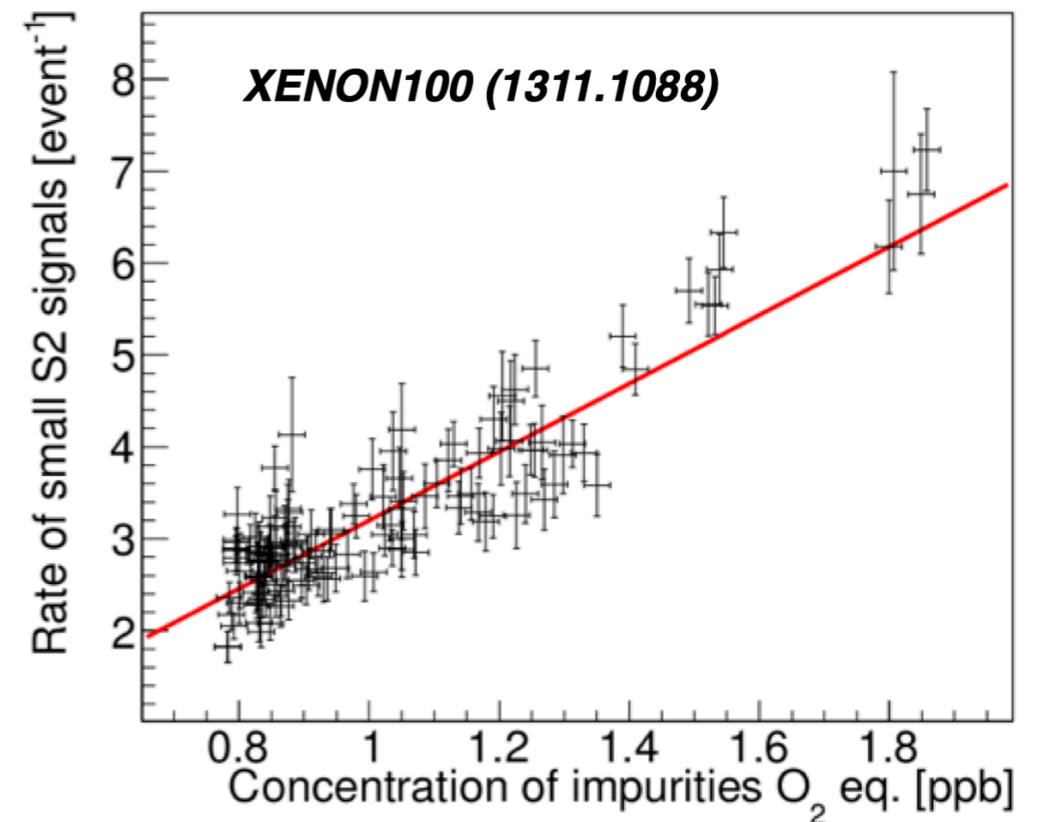
- ステンレス電極 (や歴史的には銅) の表面で光電効果を起こして電子生成 → S2
  - Xe scintillation photon 7 eV
- Shaping ring (Cu)は XENON1Tでは外側に配置して見えない (対策済み)
- ステンレス電極は不可避
- 仕事関数の大きい金属 (Ptなど)でコーティングすると抑えられる?

XENON100 ArXiv: 1311.1088



# Photoionization of electronegative impurity

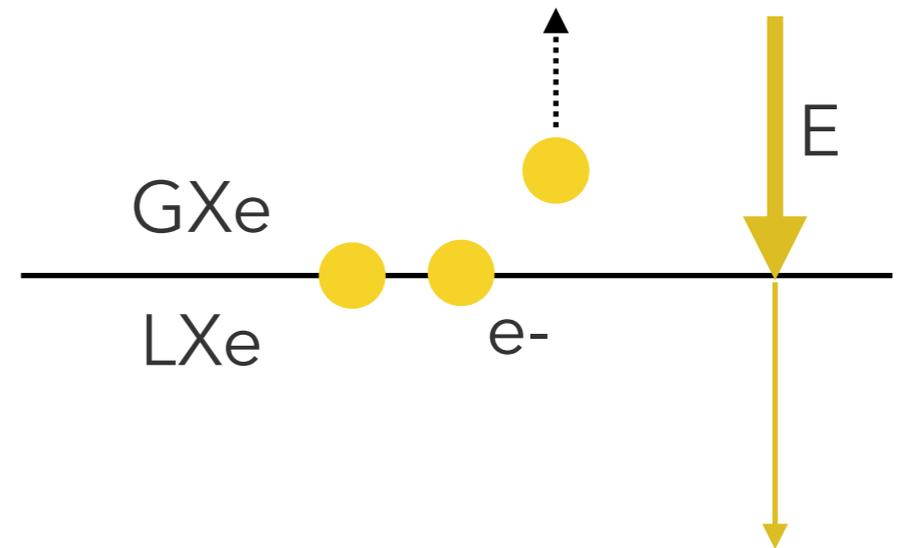
- XENON中の酸素原子が電子を捕獲, 再放出する
- 遅れたS2として観測される
- MCでの捕獲再放出のモデル化は (データが少ないので) 難しい
- 純化を頑張る
- 酸素を少し入れて外挿する
- これらで抑えられる可能性はありそう?



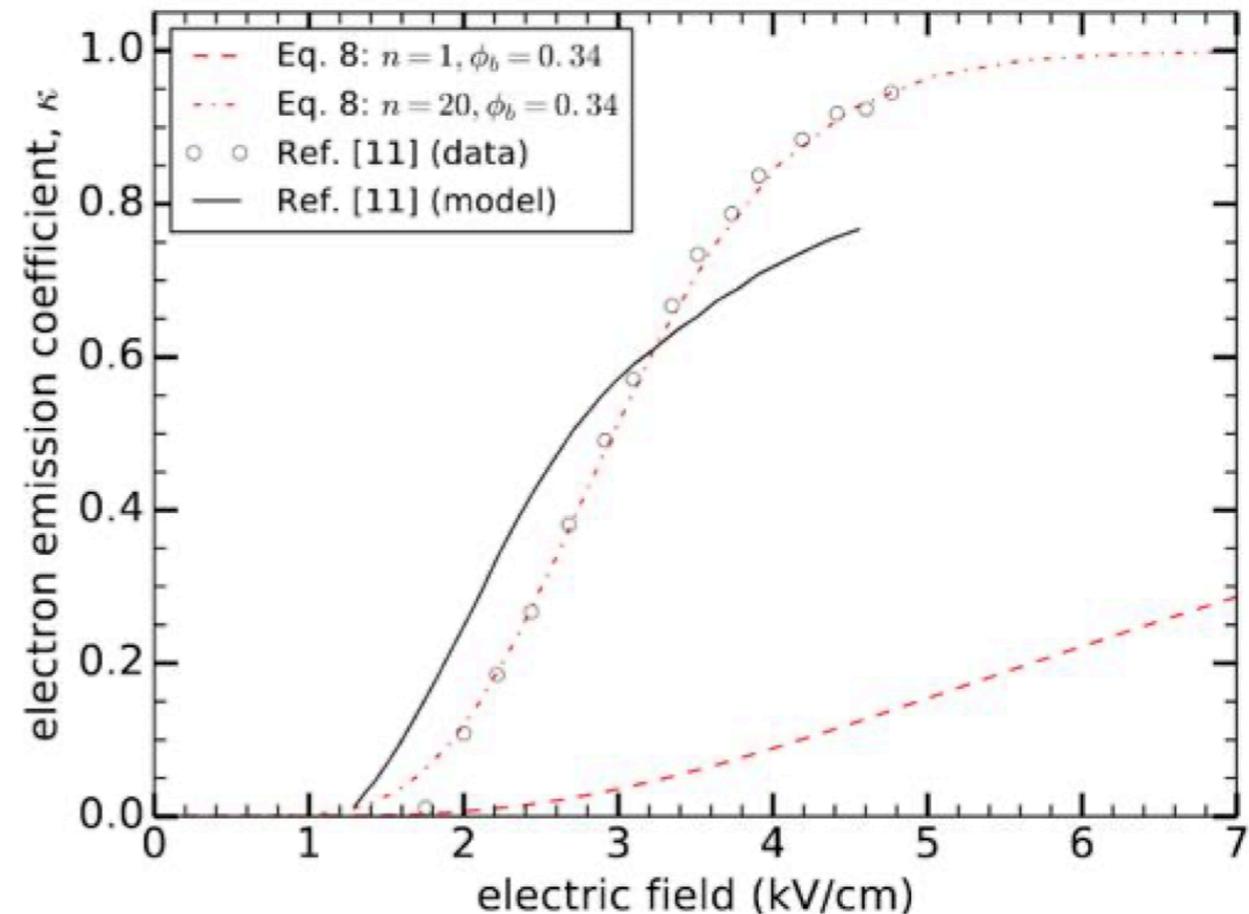
**Single e<sup>-</sup> rate in the bulk LXe: proportional to the concentration of impurities**

# Delayed excitation

- LXeとGXe間にPotential barrier (0.34 eV)があり, 電子がトラップされる.
- そのうちポロっとでてくる
- 電場を強くすれば出てくるようになる
- 電場を変えて外挿すると  
定量評価できる?



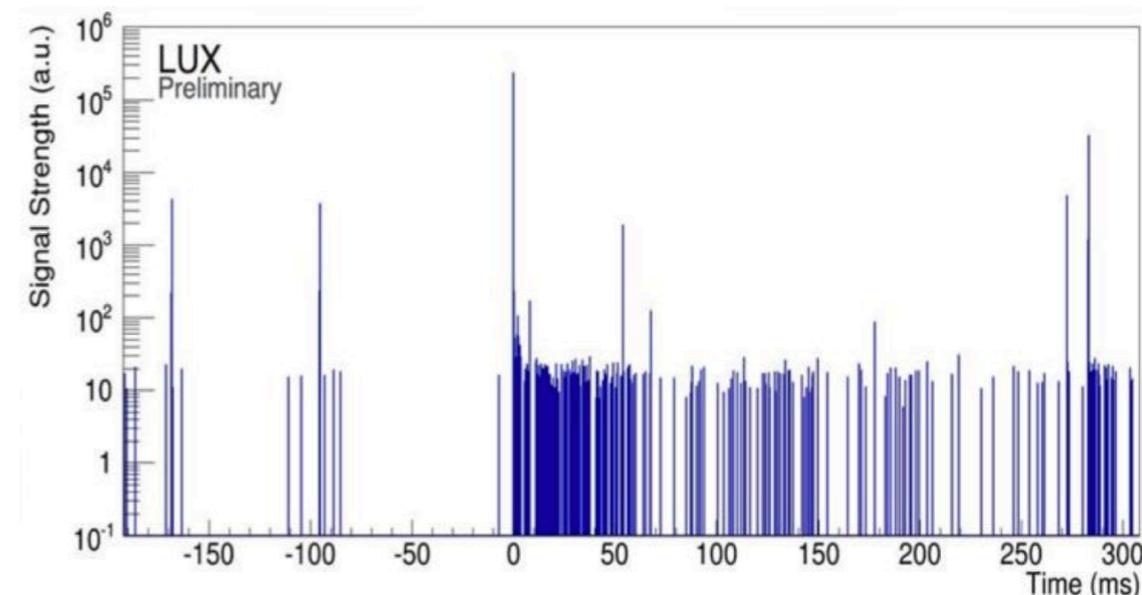
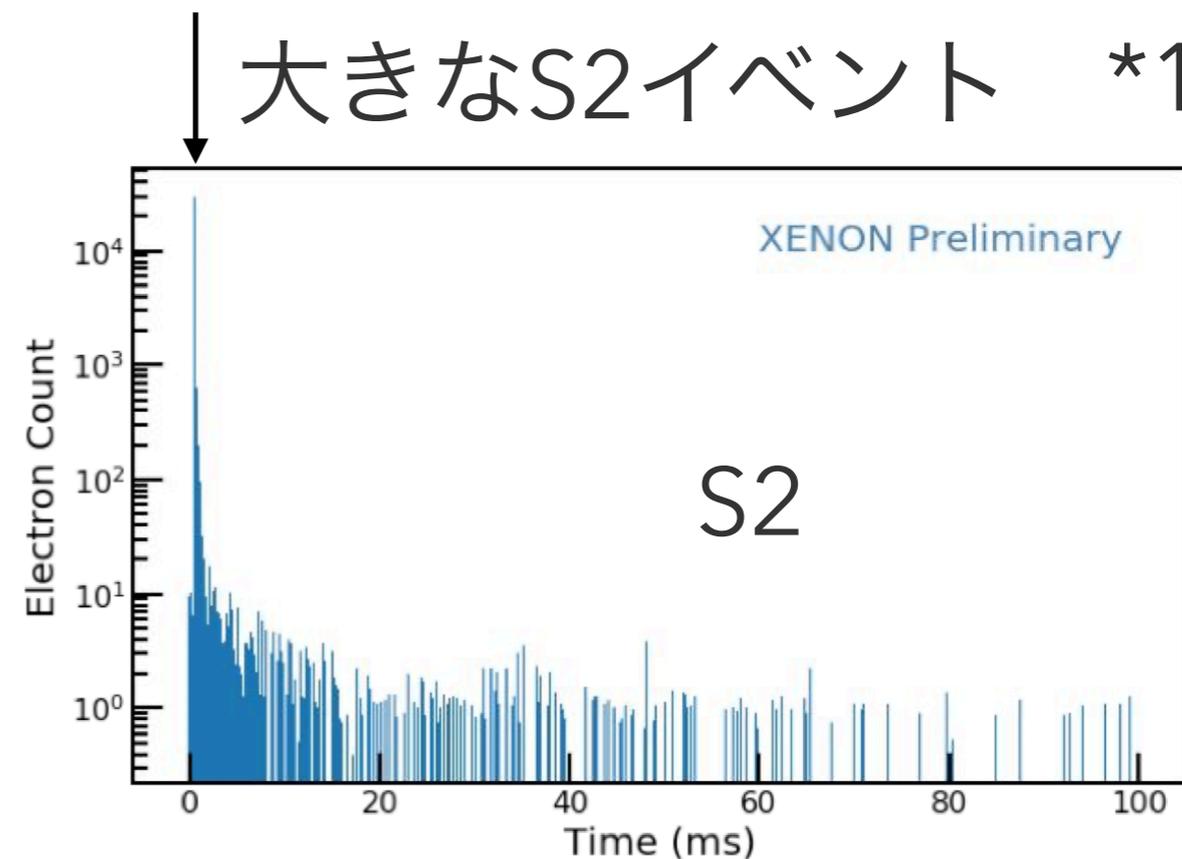
P. Sorensen 1702.04805



XENON1T: 8kV/cm

# Amplified single electron

- 高エネルギーの宇宙線イベント (~1発/hour)が来た時  
(大きなS2信号が出た後に)  
検出器が後々まで煩くなる。
- 事象のかなり後 ~100 msまで  
1電子が見え続ける
- 数electron 要求すればかなり  
抑えられるはず
- イベントを集めてモデル化  
して定量評価できる?



# (再掲) S2 Low threshold への背景事象 (BG) 源



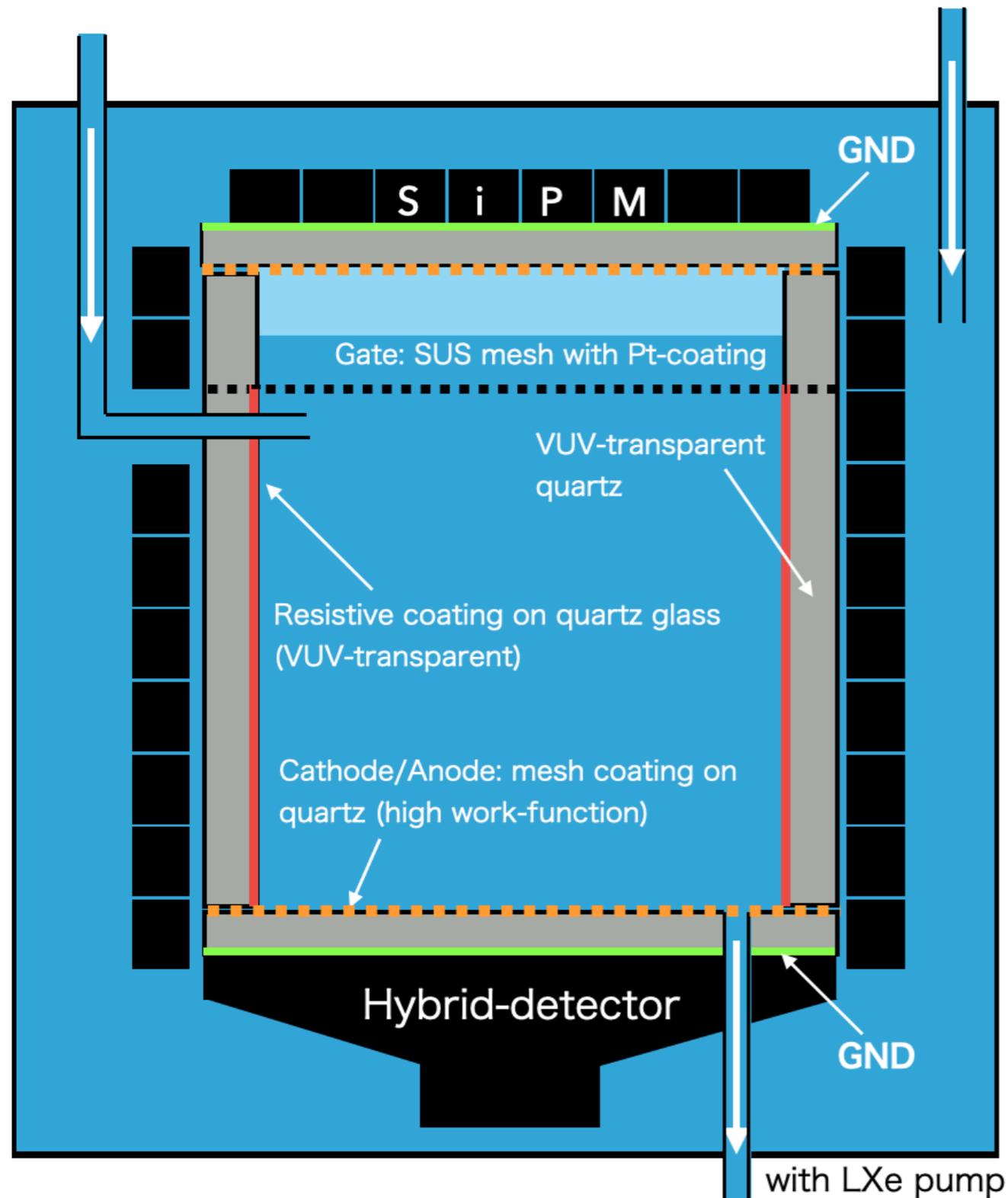
定量 (可能性)

評価 削減

- |   |   |  |
|---|---|--|
| ○ | ○ | • 1) Rn induced Pb-214 beta decay                |
| ○ | × | • 2) Neutrino coherent scattering                |
| ○ | ○ | • 3) Cathode surface BG                          |
| ○ | ○ | • 4) Photoionization of electronegative impurity |
| ? | ○ | • 5.1) Delayed electron (LXe/GXe)                |
| ? | ○ | • 5.2) Amplified single electron signal          |
| ? | ○ | • 6) Photoionization of metal surface            |

- ざっくりとしたBG源のまとめ
- 定量評価できそうなもの, かなり難しそうなものがある
- 将来のためにはこれらを一つずつ潰していく必要がある

## Prototype Concept



- 全て減らしてしまおうという解決策
- 名古屋大, LBECA Collaboration から独立に提案されている
- 検出器からBGが来るので,クォーツで内部を分離したデザインをする.

## Our Idea: Sealed TPC with Quartz

- Can separate LXe target from other outgassing/Rn-emanating materials
- Resistive ( $1-100\text{G}\Omega/\text{sq}$ ) coating for drift field  $\rightarrow$  already available
- No more charge-up problems because of resistive coating (No PTFE)
- S1 can be readout without reflection
- Double-sided electrodes for cathode/anode  $\rightarrow$  No below-cathode events
- High work-function electrode: Pt, Au. New coating under optimization
- Challenge: scale up to 2.6 m size TPC ( $> 2$  m-size quartz available from some companies)

# BGの定量理解にむけて

- Electron Recoil事象, S2-only解析でのBGの定量理解は  
かなりむずかしい.
- 未評価のBGの理解のためのアイデアが必要
- BGの理解を進めた先に新たな理解の難しいBGを  
発見してしまうかも
- 定量評価するために可能なこともある (かもしれない)
  - 現状は私の妄想
- 小さなTPCでもBGを減らせれば有望
  - →新たなデザインの検出器

- 風間さんトーク: 電子事象, S2-only解析へのBGの定量的評価が未達成→発見能力に欠ける
- XENON以外の他実験もPoissonでLimitを引くのみ
- XENONでのBGは一部定量評価されている.
- 主要な理解が難しいBGはDetector response関連
- 存在は知っている; 定量評価の方法があるか?
- 知っているものが全てのBGだろうか? ← わからない
- BG同定:キセノンTPC以外の実験にすぐに応用できない

Backup slides