



# KamLAND2-Zen実験に向けた 液体シンチレータ開発

第2回地下宇宙若手研究会

2021/11/24-25

東北大学RCNS 後藤杏奈

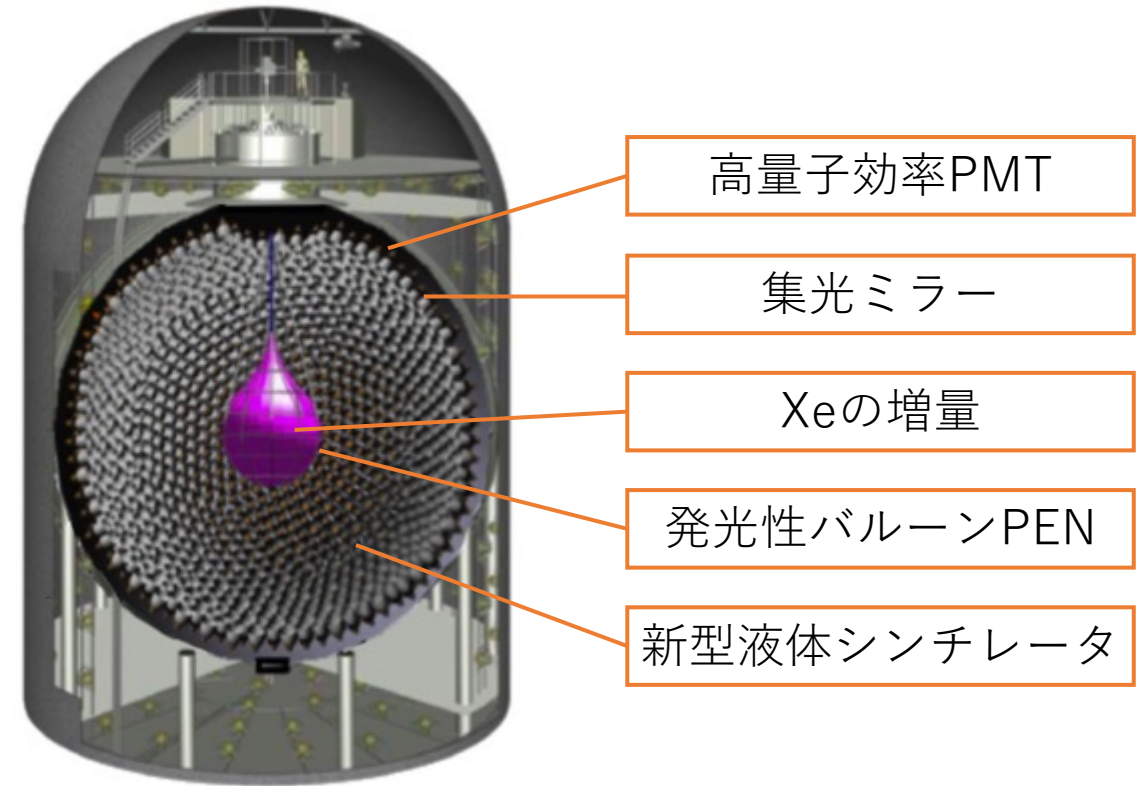
- 研究動機
- 実験
  - 発光量測定
  - 発光スペクトル測定
  - 透過率測定
- 解析結果
- まとめ

## KamLAND2-Zen実験

より高感度な $0\nu 2\beta$  探索に向けて、エネルギー分解能を改善、より低BG化  
目標感度： $\langle m_{\beta\beta} \rangle \sim 20 \text{ meV} / 5\text{year}$

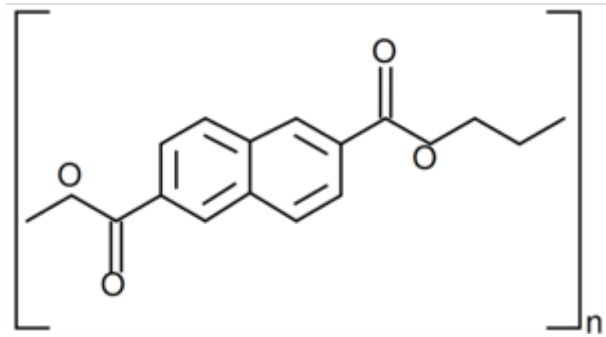
### 改良点

- Xeの増量：745kg → 1000kg
- 高量子効率PMT：光量 × 1.9
- 集光ミラー：光量 × 1.8
- 発光性バルーンPENへの変更
- 新型液体シンチレータ：光量 × 1.4

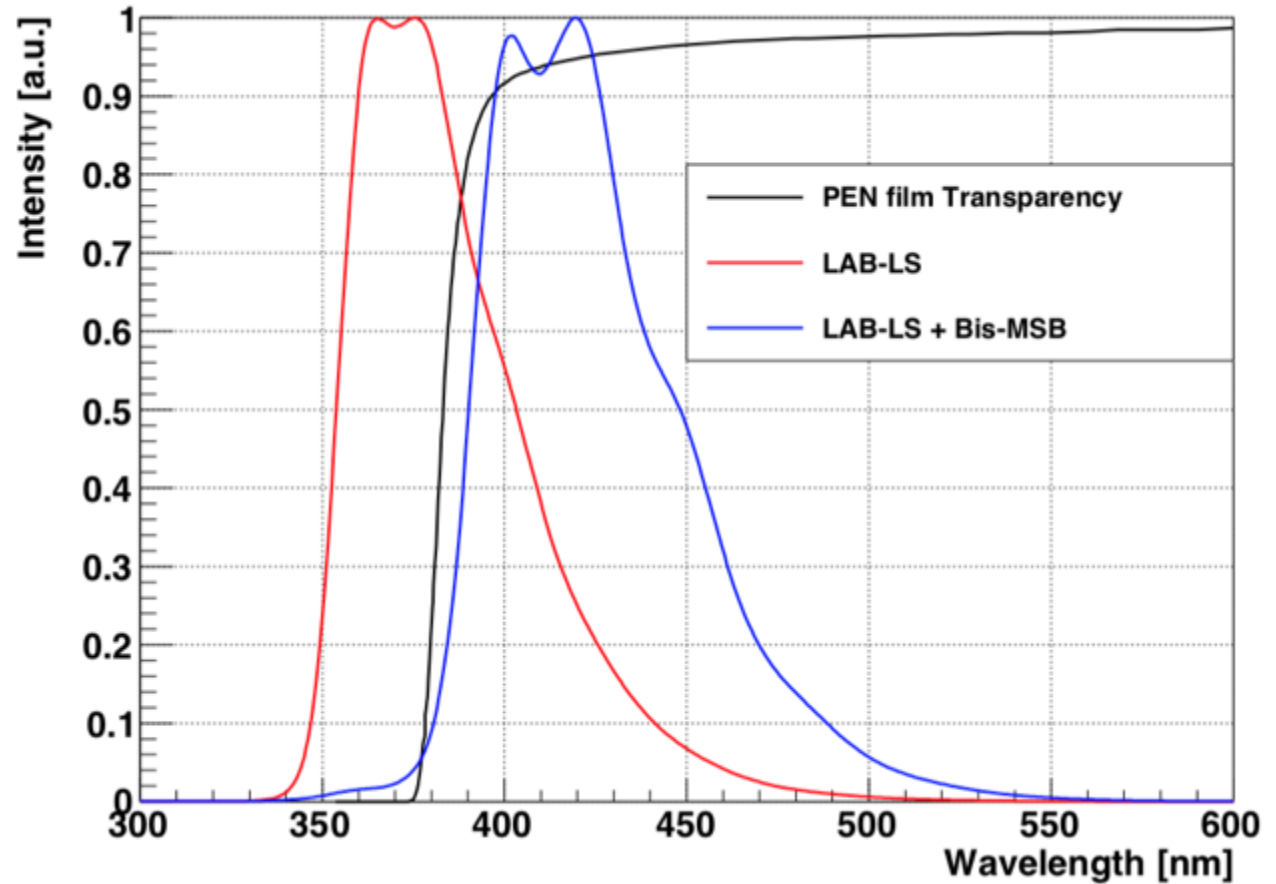


# 研究動機

ミニバルーンを発光性バルーン **PEN** に変更  
→ 対応するLSの開発が必要



PEN(ポリエチレンナフタレート)  
の構造式



PENの透過とLS発光のスペクトル



# 大光量LSの開発

波長変換剤を選定する



今回  
波長変換剤の濃度を決める



波長変換剤の放射性不純物含有量を測定し、純化する

現状でのLSの成分

- ・ LAB
- ・ PPO(2g/L)
- ・ Bis-MSB(濃度未定)

方法

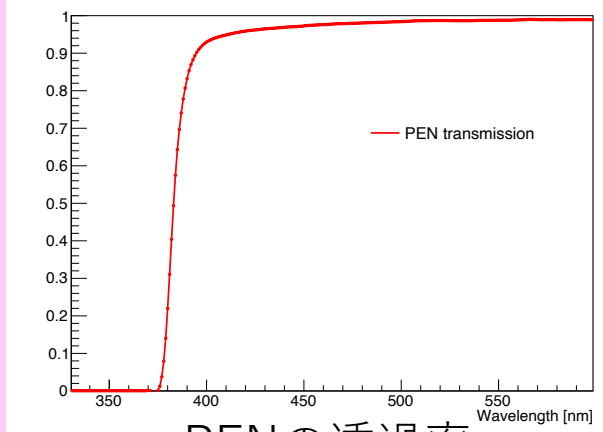
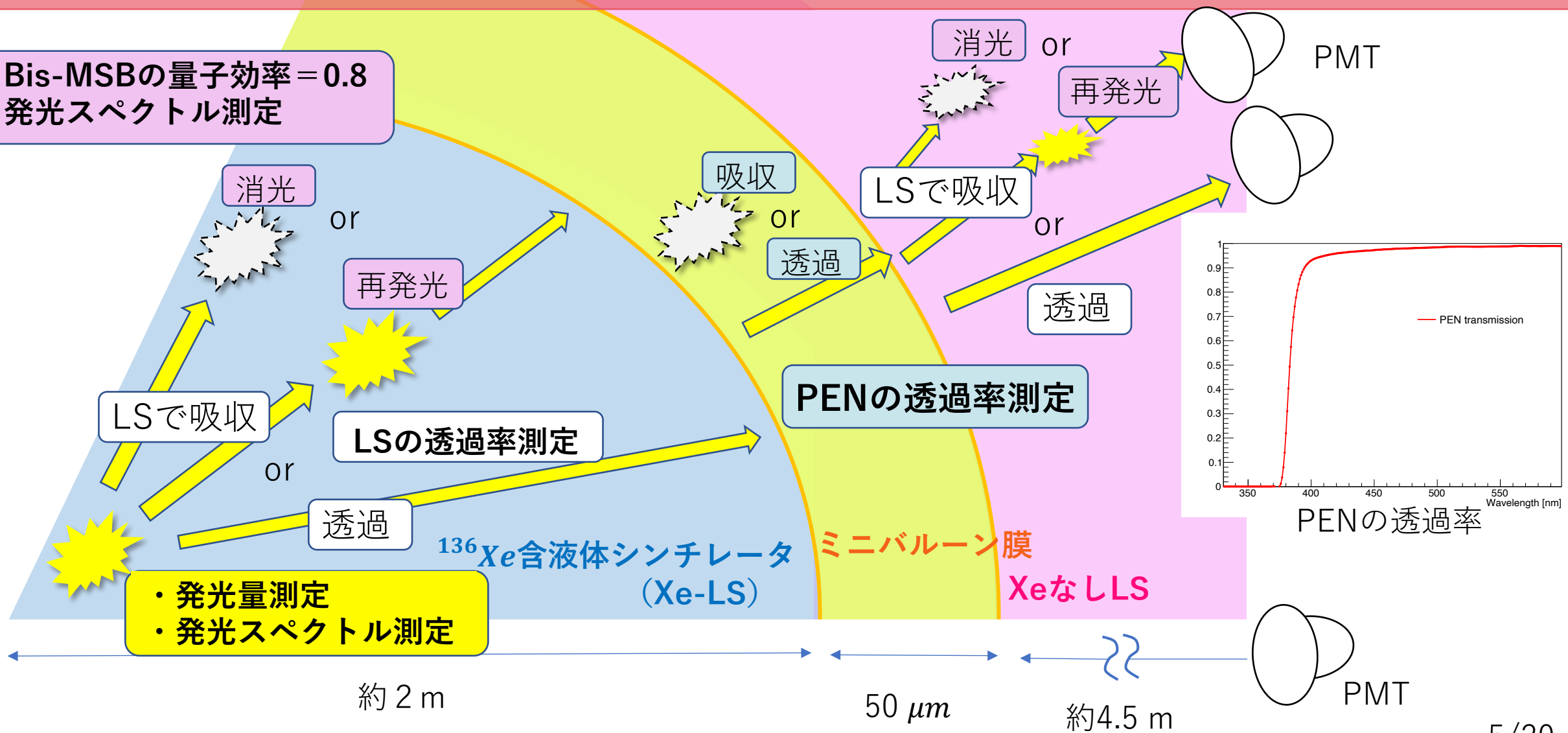
LS自身による吸収再発光や、PENによる吸収を考慮し、カムランドで検出される光量を比較

測定したLSのBis-MSBの濃度

0.92mg/L、4.94mg/L、21mg/L、100mg/L

# KamLANDで検出される光量

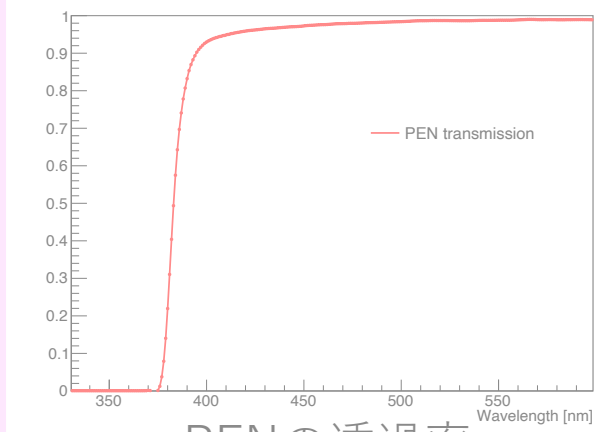
- Bis-MSBの量子効率 = 0.8
- 発光スペクトル測定



PENの透過率

# KamLANDで検出される光量

- Bis-MSBの量子効率 = 0.8
- 発光スペクトル測定



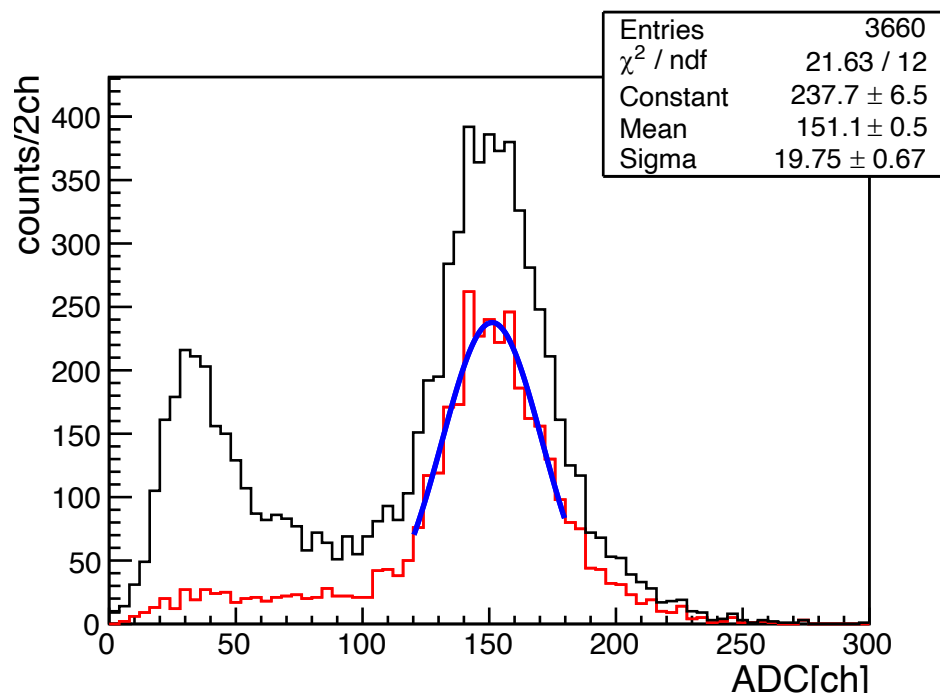
- 発光量測定
- 発光スペクトル測定

# 発光量測定

## 発光量測定

同時計測を用いた後方散乱測定 (線源:  $^{137}\text{Cs}$ )

測定誤差 1.6 %



発光量測定の結果 (BisMSB 100mg/L)

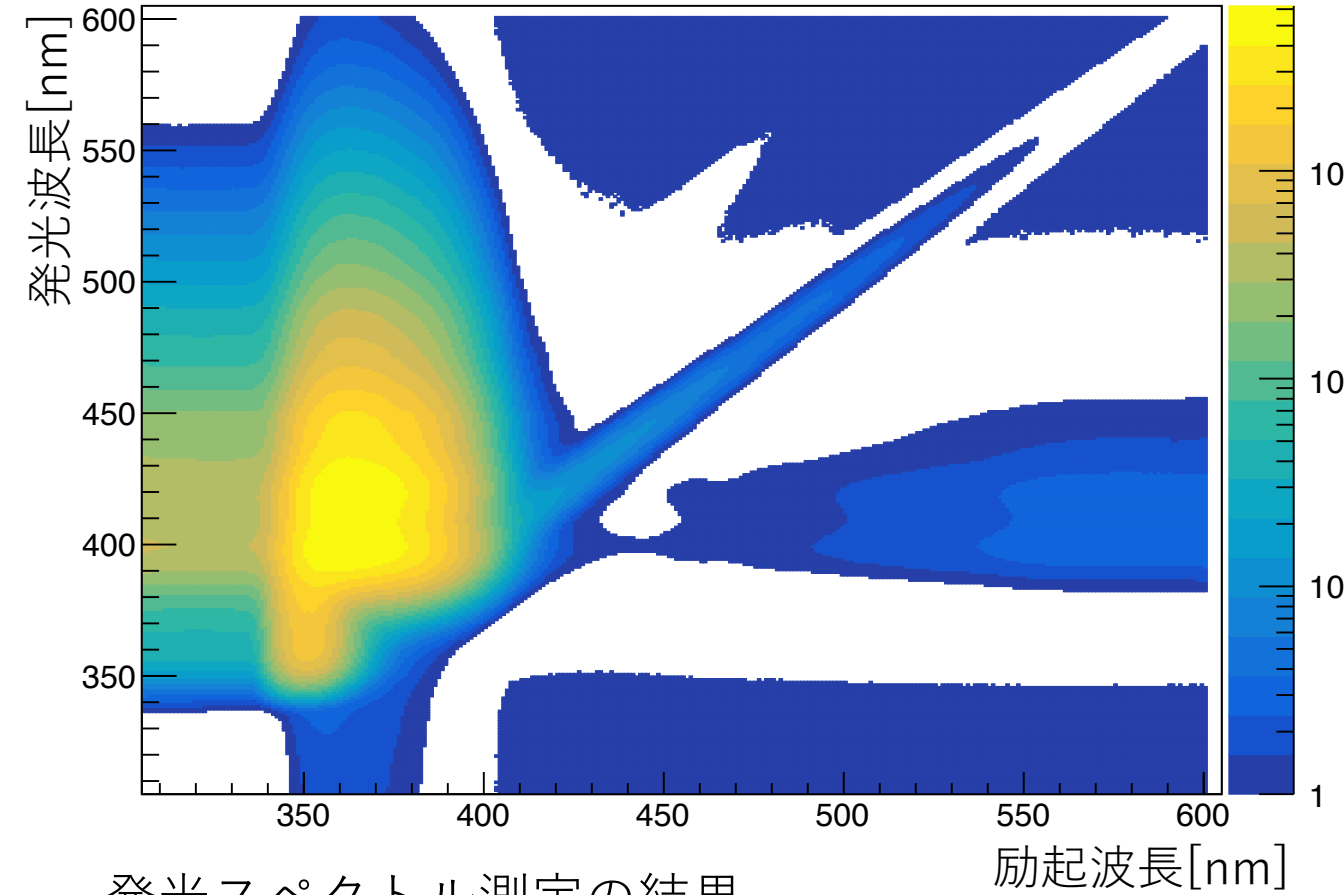
発光量のbis-MSB濃度変化  
(KamLAND-LSを1とする)

	発光量の比
Bis 100mg/L	$1.117 \pm 0.036$
Bis 21mg/L	$1.075 \pm 0.035$
Bis 4.94mg/L	$1.054 \pm 0.034$
Bis 0.92mg/L	$1.032 \pm 0.033$

# 発光スペクトル測定

発光スペクトル測定  
蛍光光度計F-2700を使用  
波長正確さ：±3.0 nm以内

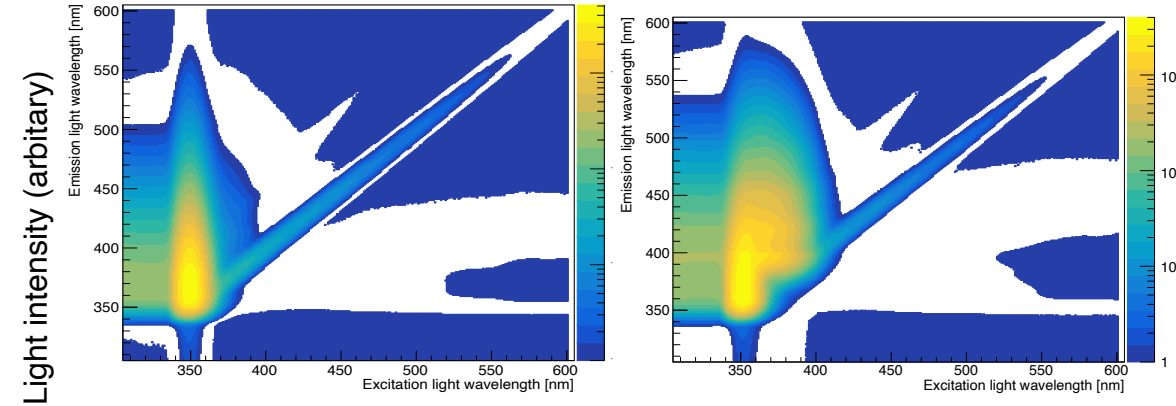
4.94mg/L



発光スペクトル測定の結果

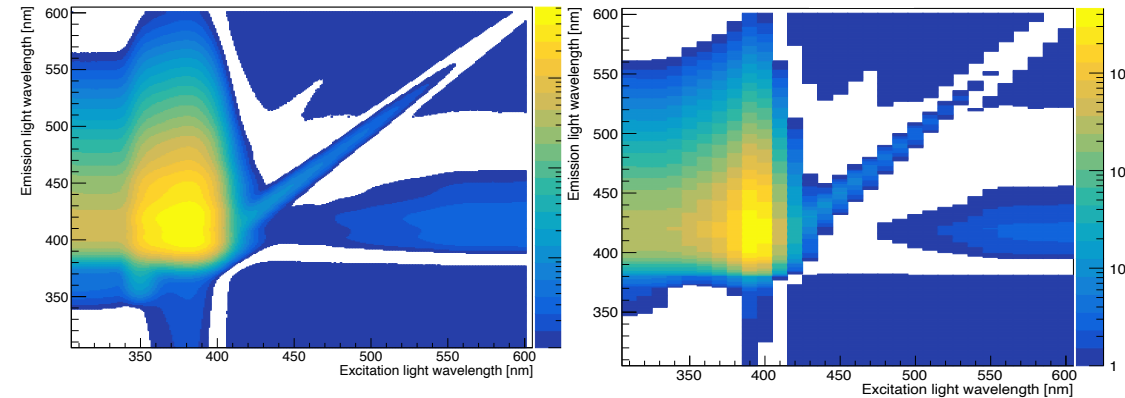
Kam-LS

0.92mg/L



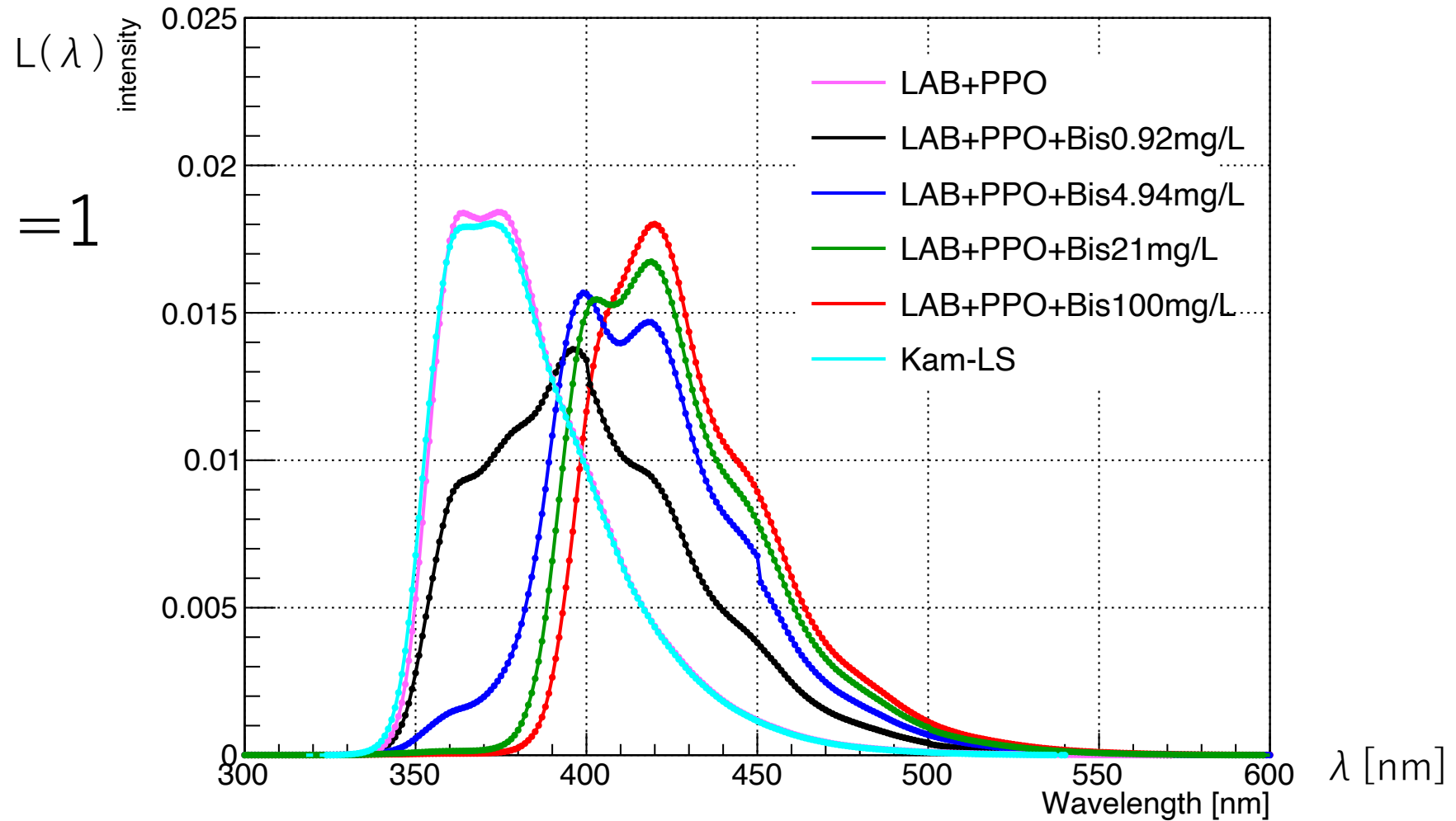
21mg/L

100mg/L



# 発光スペクトル測定

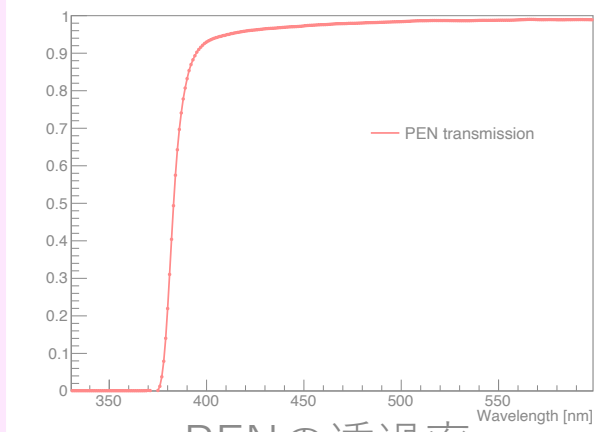
$$\int L(\lambda) d\lambda = 1$$



発光スペクトル測定の結果（励起波長：300nm）

# KamLANDで検出される光量

- Bis-MSBの量子効率 = 0.8
- 発光スペクトル測定



- 発光量測定
- 発光スペクトル測定

約 2 m

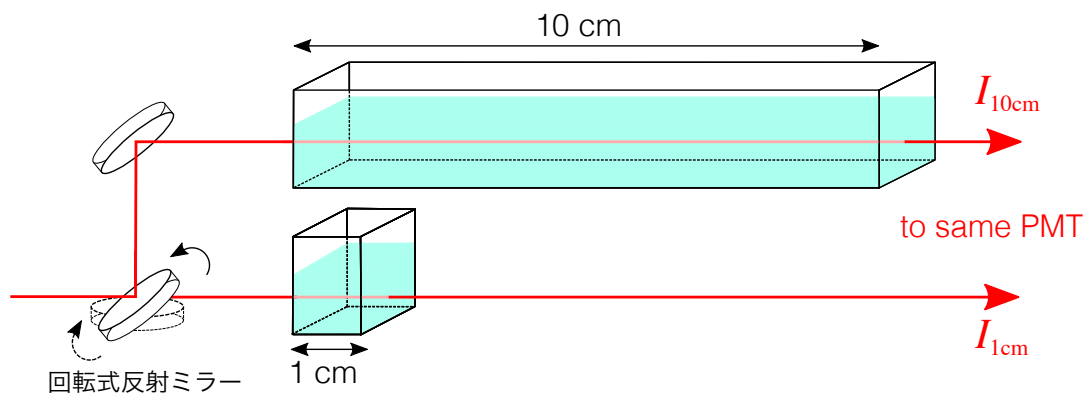
50 μm

約 4.5 m

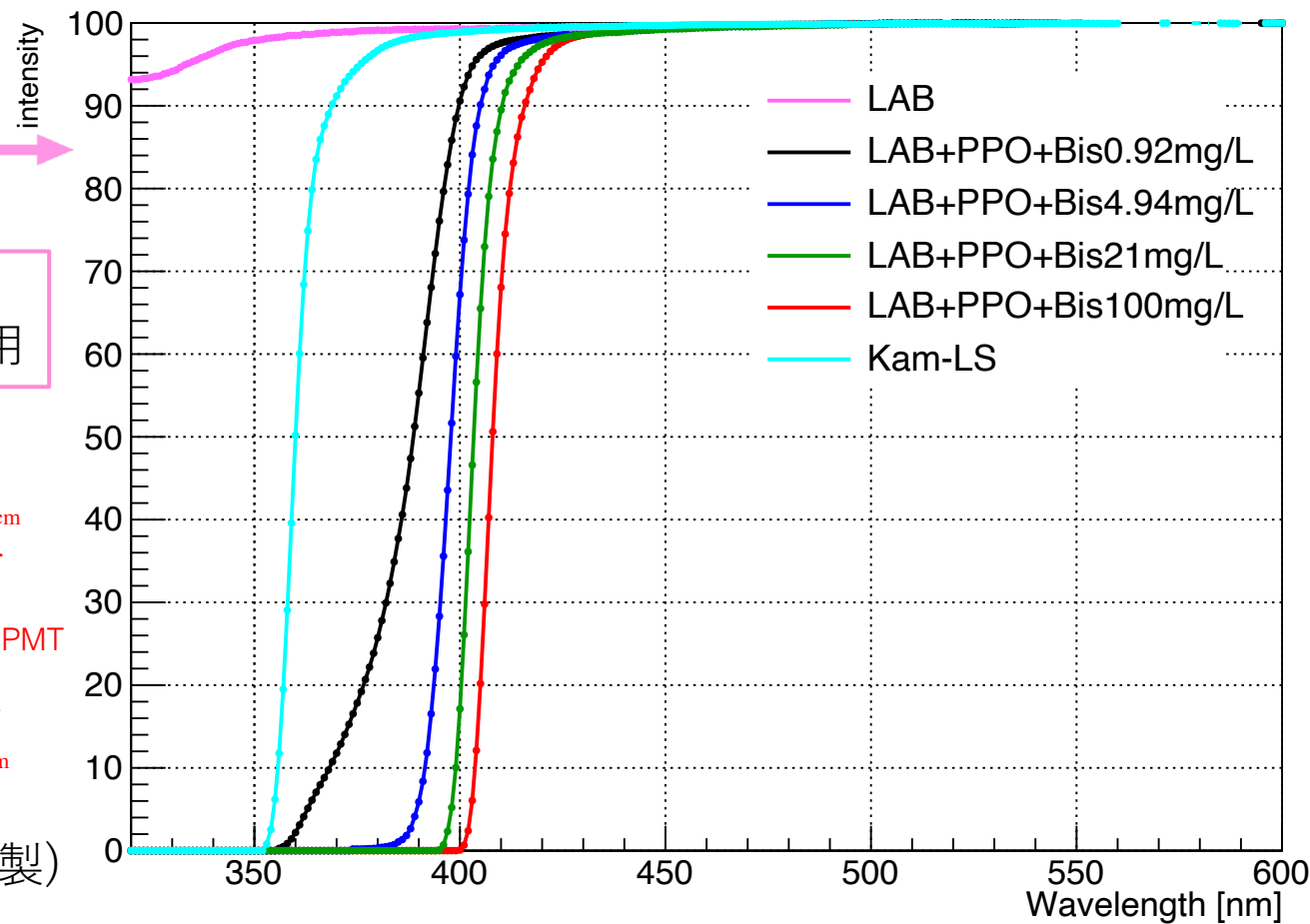
# 透過率測定

分光高度計を使用  
測定誤差0.1%

LABデータは  
上澤修論\*から引用



分光光度計U-3900(日立ハイテクサイエンス製)  
模式図

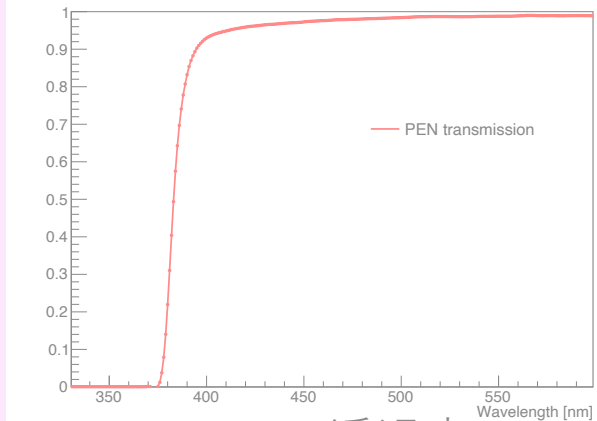


LSの透過率測定 結果

\* 「KamLAND2-Zen 実験で用いる 新液体シンチレータの活性炭による純化」  
東北大学 上澤康平 (2017)



# KamLANDで検出される光量

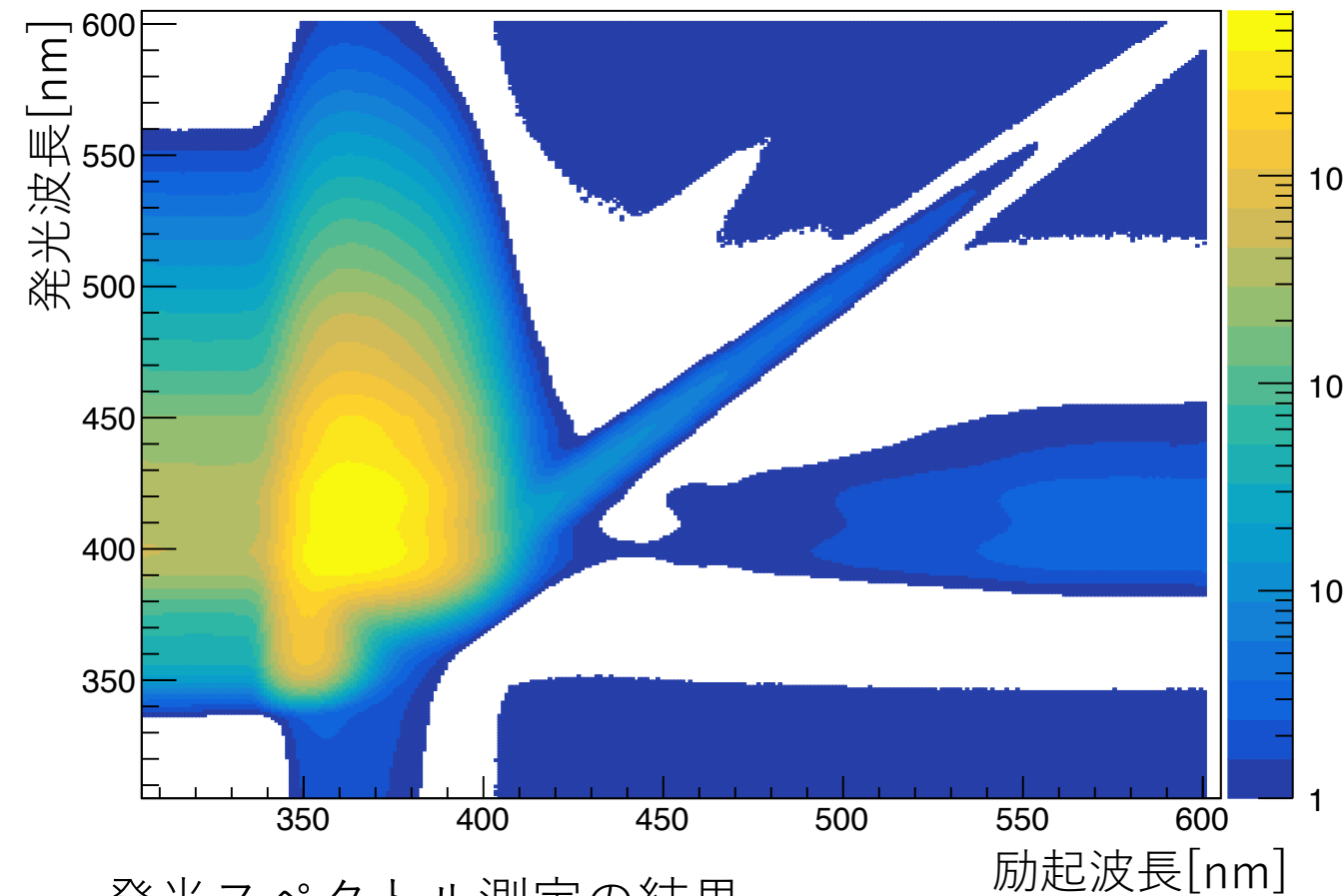


PENの透過率

# 発光スペクトル測定

発光スペクトル測定  
蛍光光度計F-2700を使用  
波長正確さ：±3.0 nm以内

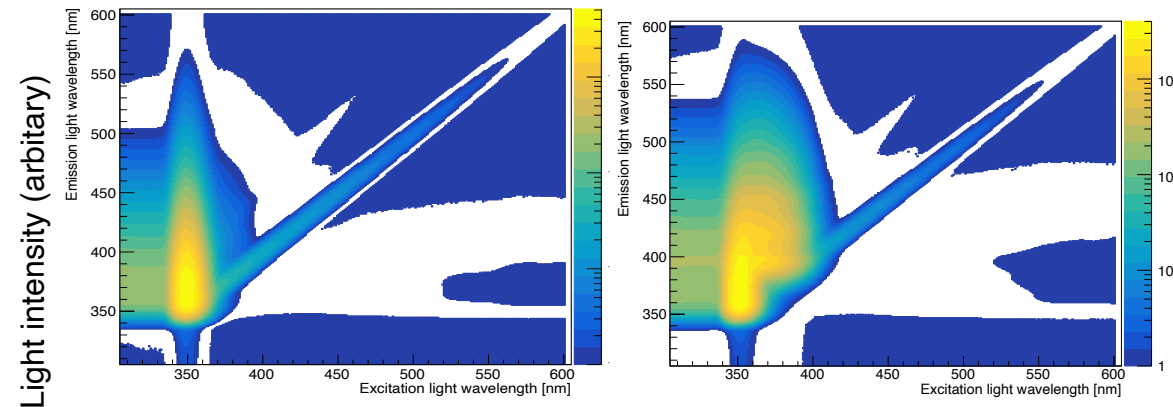
4.94mg/L



発光スペクトル測定の結果

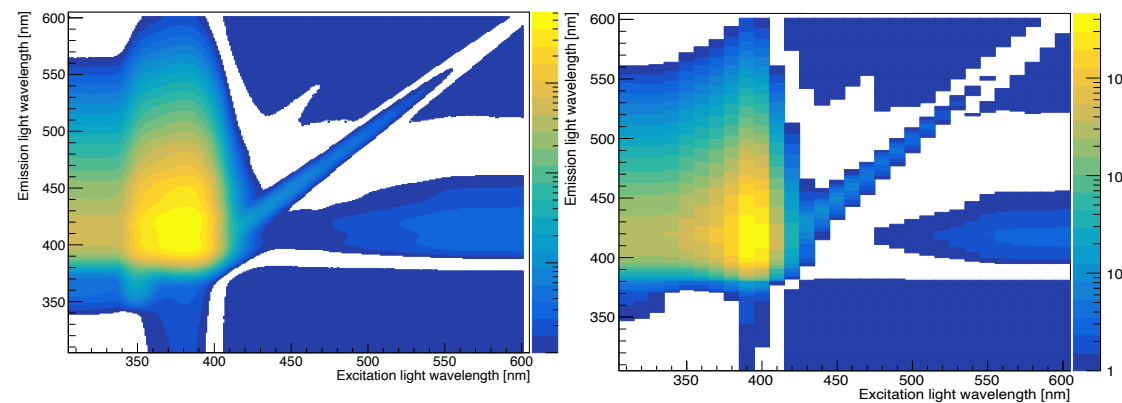
Kam-LS

0.92mg/L



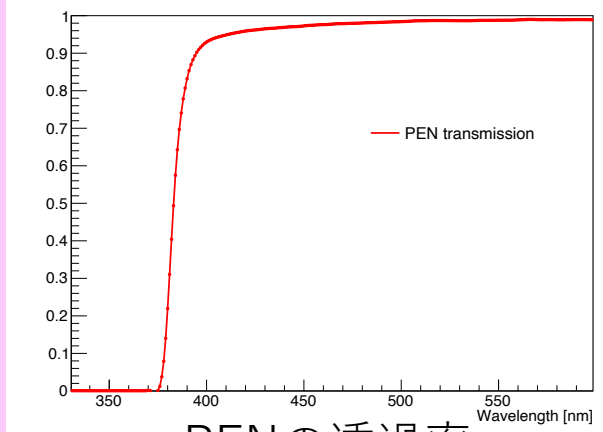
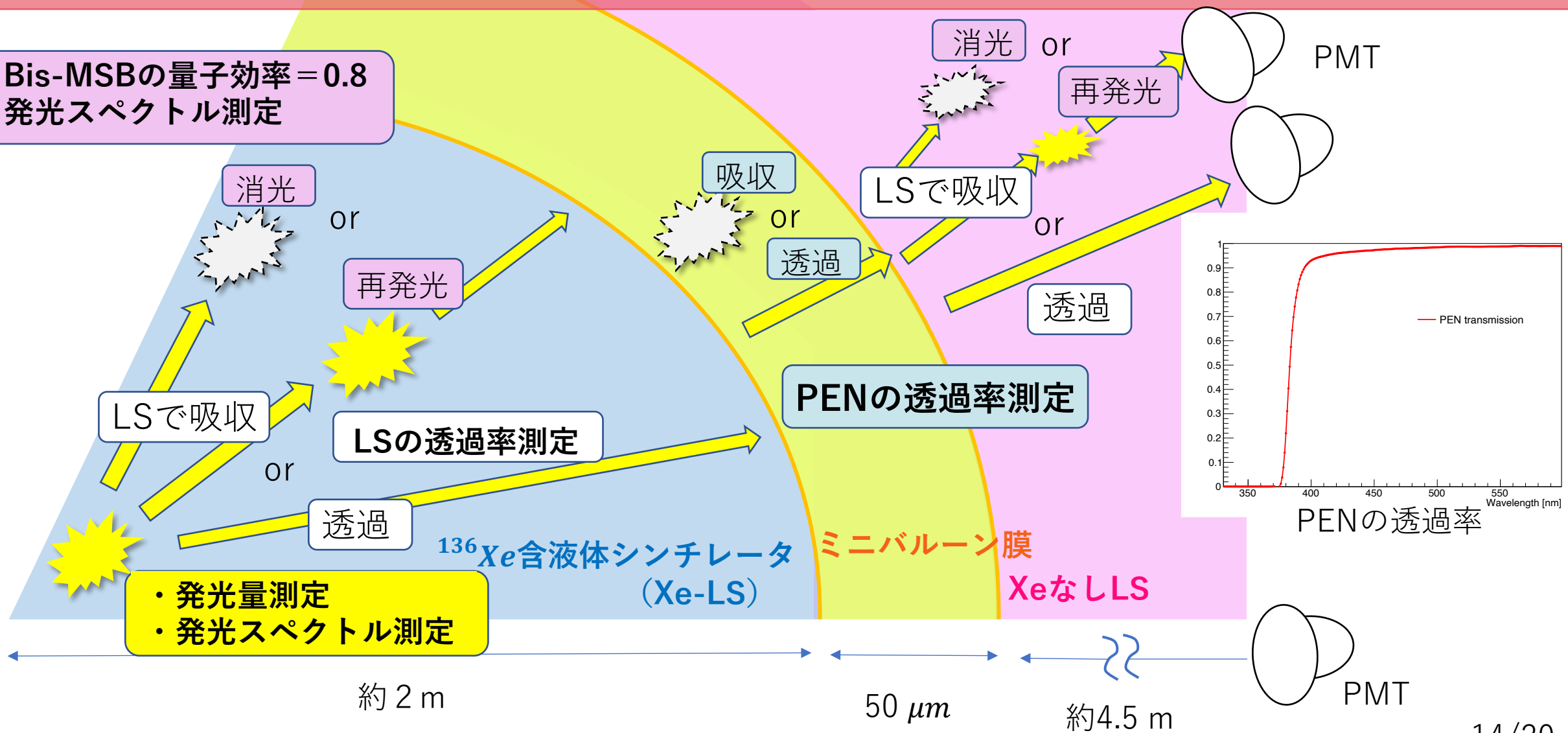
21mg/L

100mg/L



# KamLANDで検出される光量

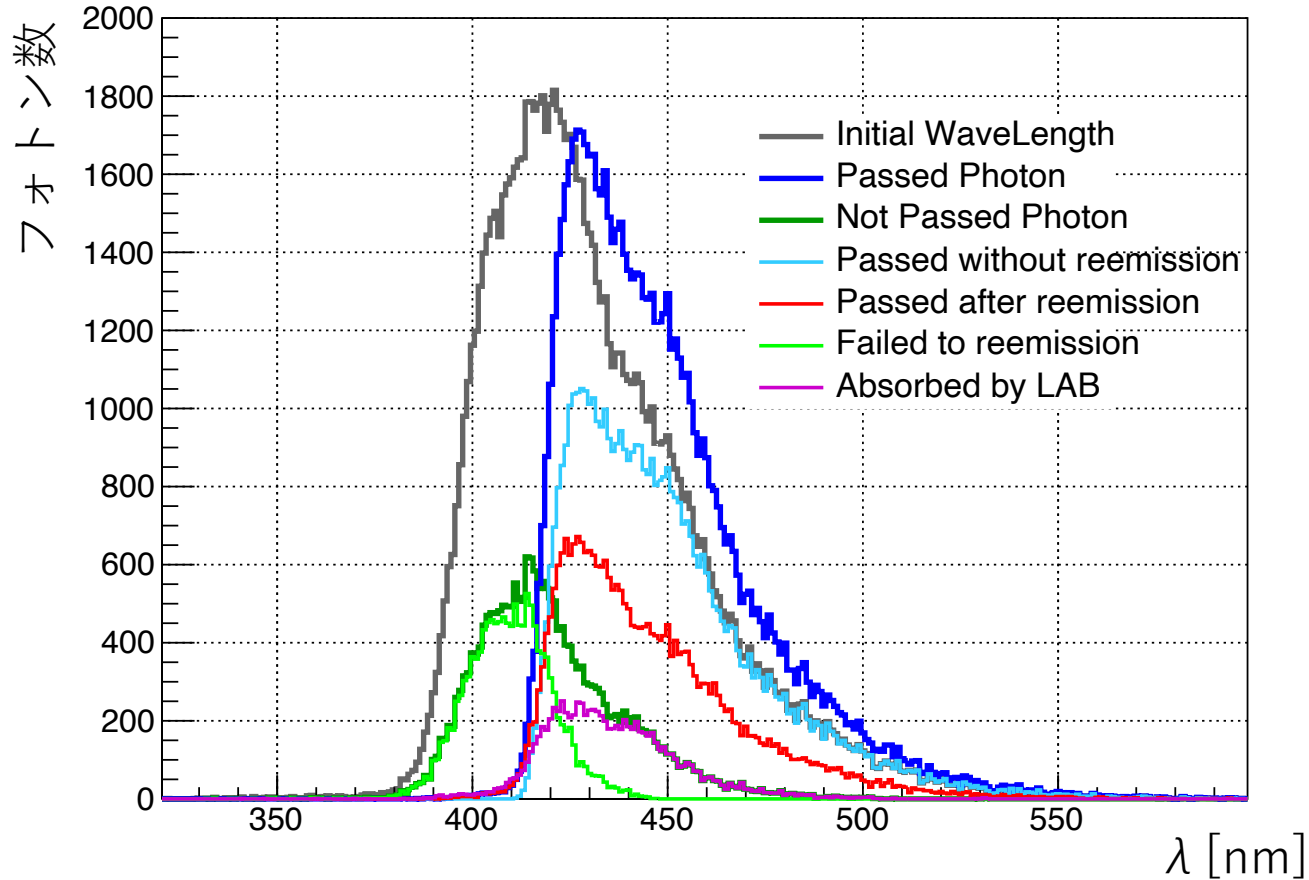
- Bis-MSBの量子効率 = 0.8
- 発光スペクトル測定



PENの透過率

# 解析結果

KamLAND中心からバルーンまで (約2 m)  
bis 100mg/L

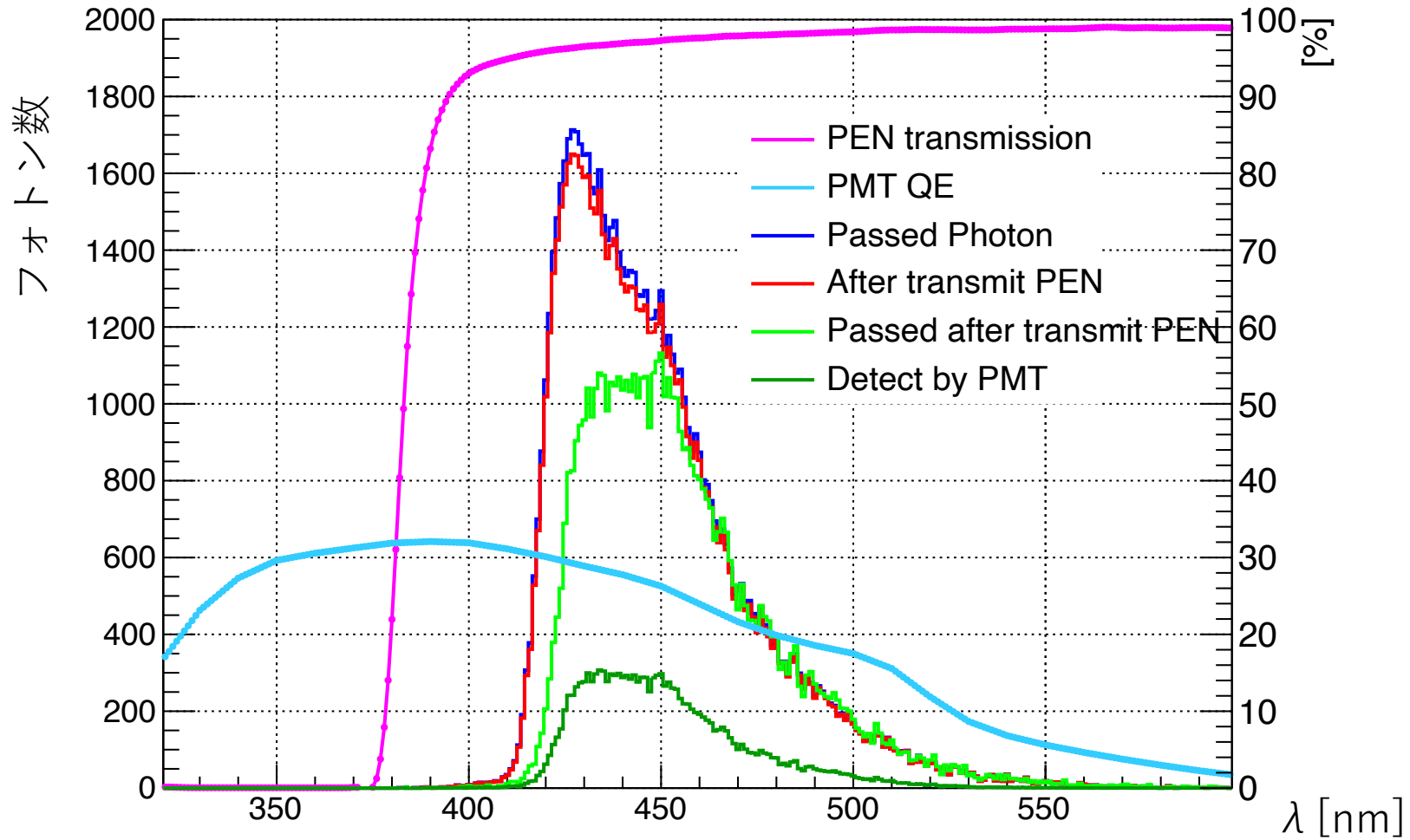


Bis の濃度 [mg/L]	光子数	減衰長[cm]
0.92	71640	600
4.94	76139	734
21	76490	746
100	77815	797

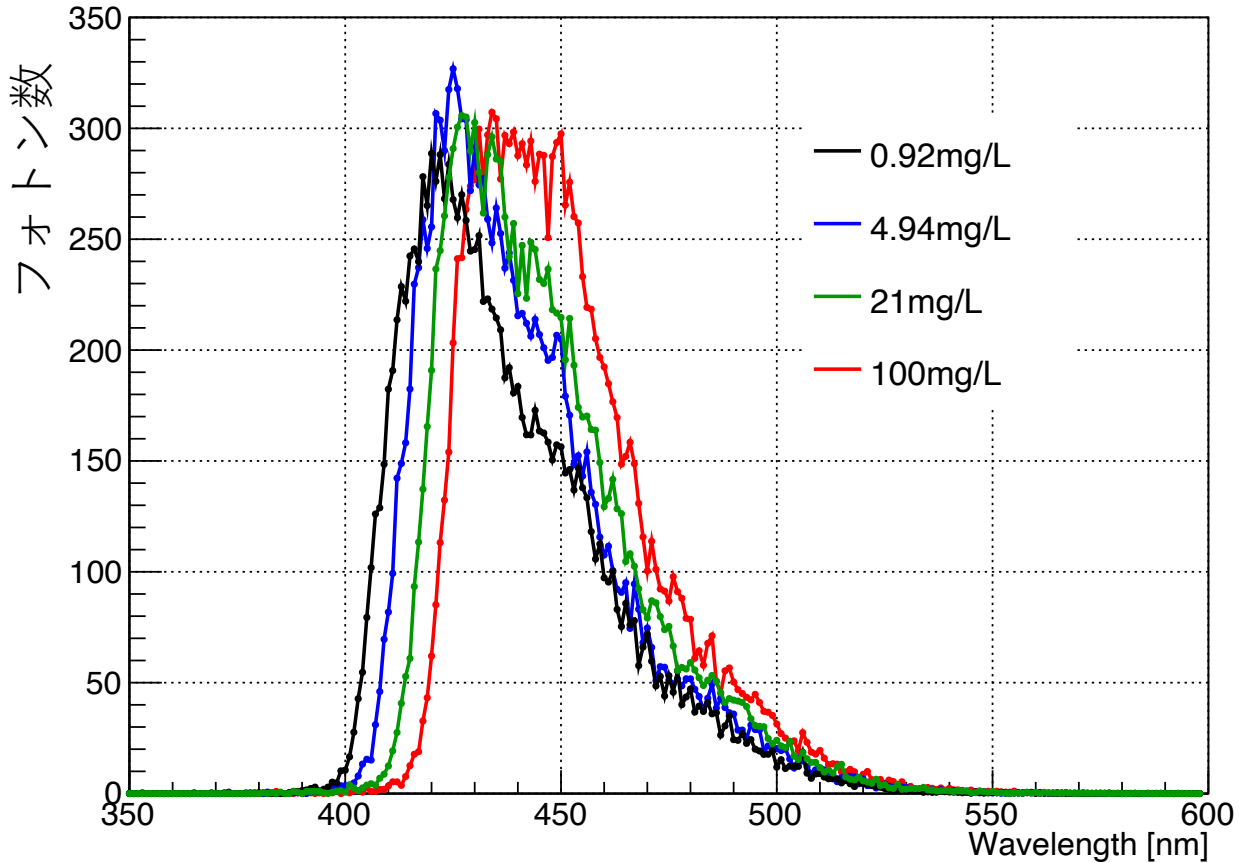
光子数をもとに減衰長を計算

# 解析結果

バルーンからPMT検出まで (約4.5 m)  
bis 100mg/L



# 解析結果



KamLANDで検出できるスペクトル

KamLAND中心での光量を1とする

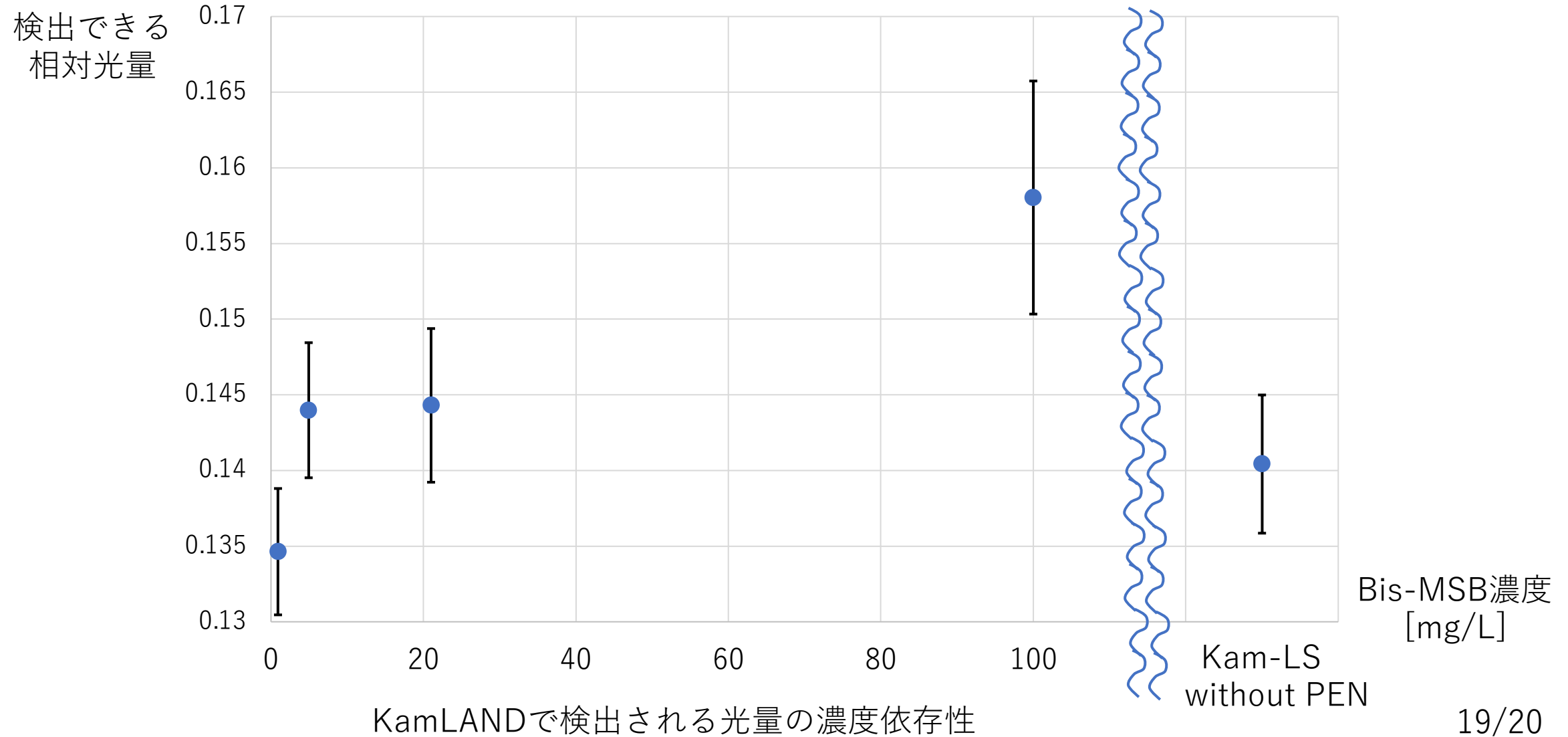
	吸収・再発光やPEN、QEを考慮した 相対光量
Bis 0.92mg/L	$0.131 \pm 0.004$
Bis 4.94mg/L	$0.137 \pm 0.004$
Bis 21mg/L	$0.134 \pm 0.005$
Bis 100mg/L	$0.142 \pm 0.007$
Kam-LS without PEN	$0.140 \pm 0.005$

# 解析結果

	吸収・再発光や PEN、 QEを考慮した 相対光量	発光量の比	検出できる 相対光量
Bis 0.92mg/L	$0.131 \pm 0.004$	$1.032 \pm 0.017$	$0.135 \pm 0.005$
Bis 4.94mg/L	$0.137 \pm 0.004$	$1.054 \pm 0.017$	$0.144 \pm 0.005$
Bis 21mg/L	$0.134 \pm 0.005$	$1.075 \pm 0.018$	$0.144 \pm 0.006$
Bis 100mg/L	$0.142 \pm 0.007$	$1.117 \pm 0.018$	$0.158 \pm 0.008$
Kam-LS without PEN	$0.140 \pm 0.005$	1	$0.140 \pm 0.005$

解析結果の数値

# 現在までの進捗





# まとめ

- KamLAND2-Zen では、ミニバルーンを発光性のPENに変更予定。
- 波長変換剤 Bis-MSB を導入した、PENを透過できるLSを開発中。
- KamLAND2-Zen で観測可能光量の Bis-MSB 濃度依存性を調べた。
- さらに、ゲルマ・ICP-MS 等での放射性不純物含有量測定を進めており、光量・費用・純度の3方向から Bis-MSB の濃度を決定する。