



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

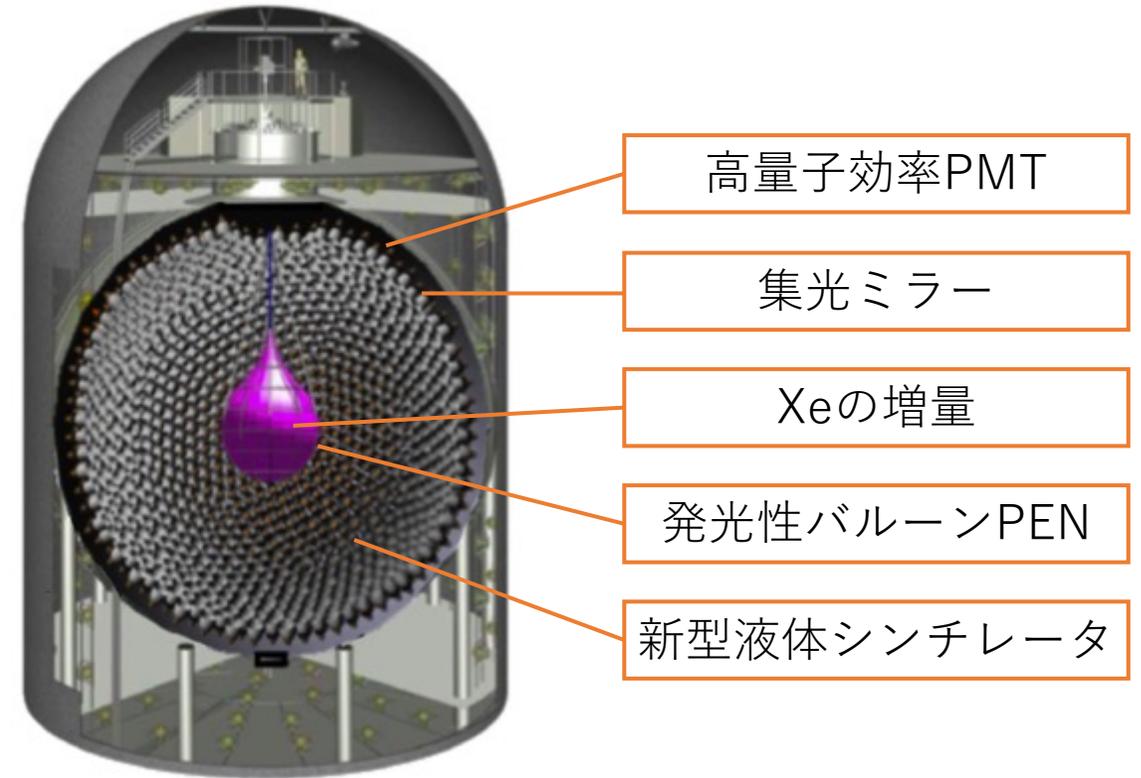
- 研究動機
- 実験
 - 発光量測定
 - 発光スペクトル測定
 - 透過率測定
- 解析結果
- まとめ

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： $\langle m_{\beta\beta} \rangle \sim 20 \text{ meV} / 5\text{year}$

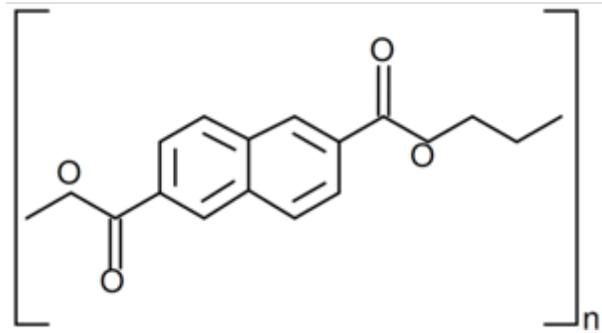
改良点

- 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

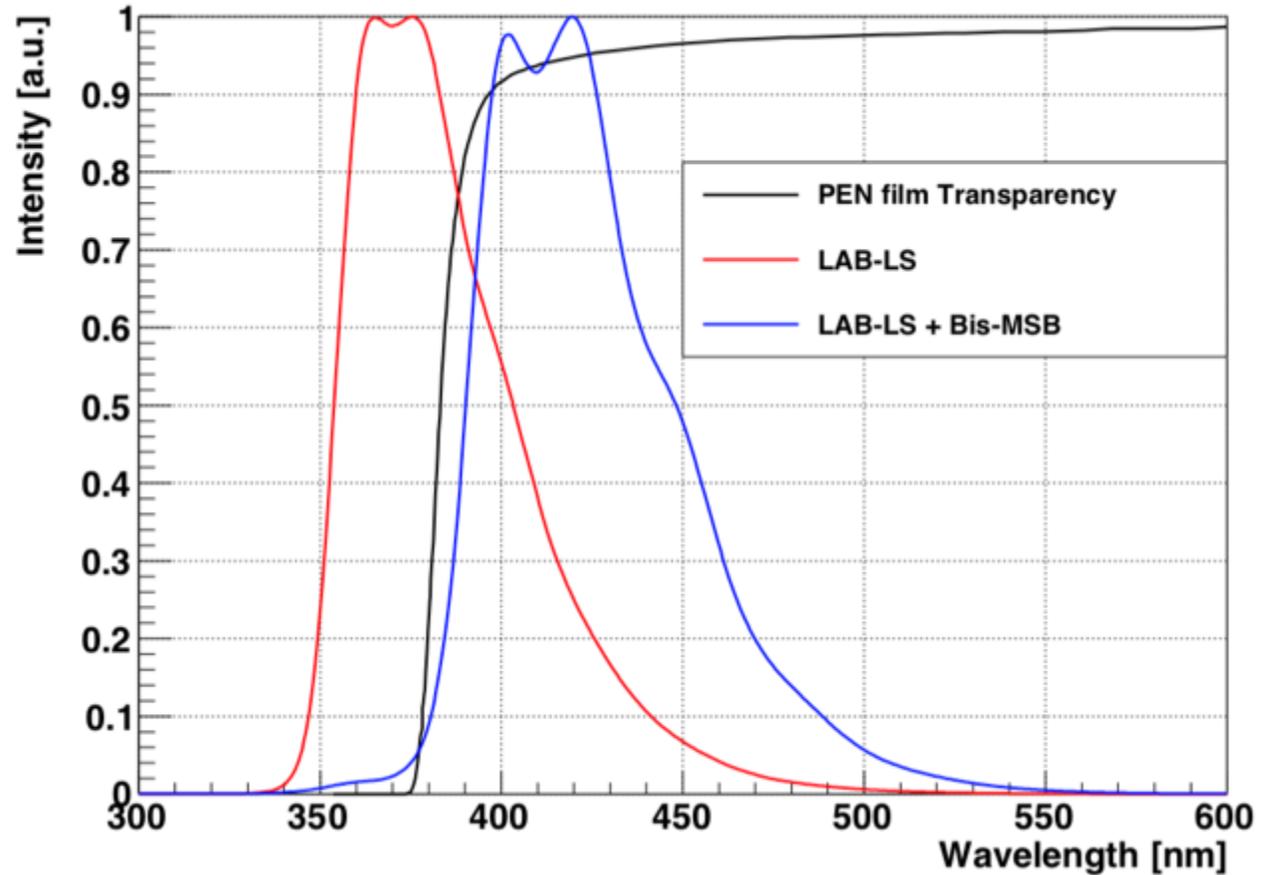


研究動機

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

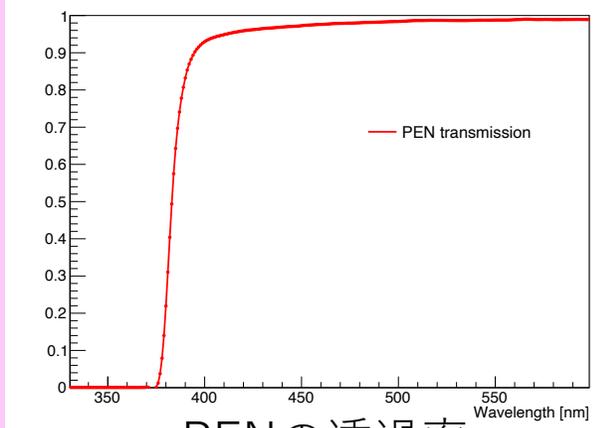
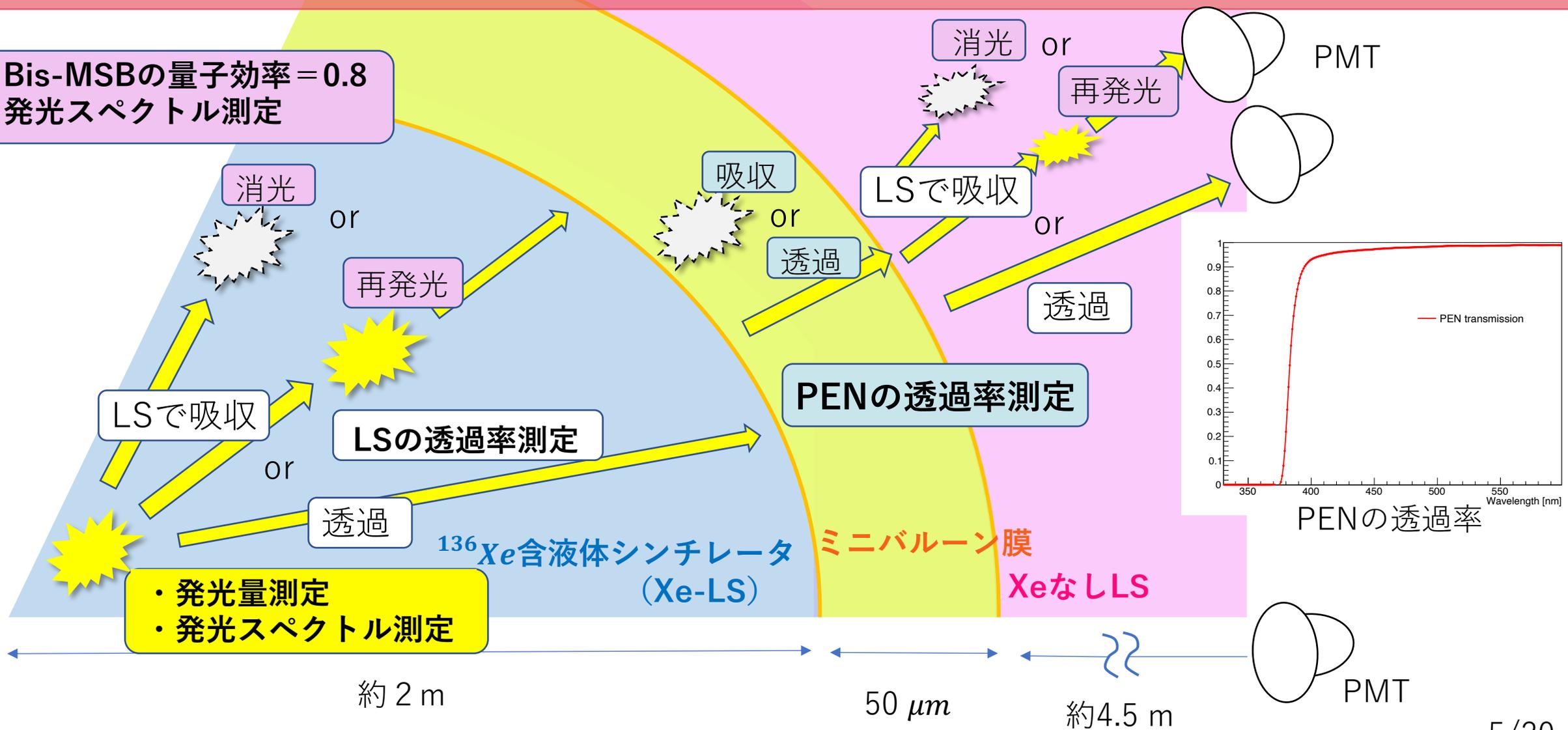
LS自身による吸収再発光や、PENによる吸収を考慮し、カムランドで検出される光量を比較

測定したLSのBis-MSBの濃度

0.92mg/L、4.94mg/L、21mg/L、100mg/L

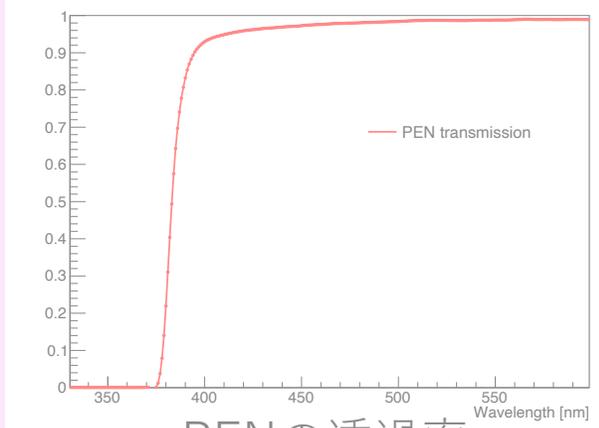
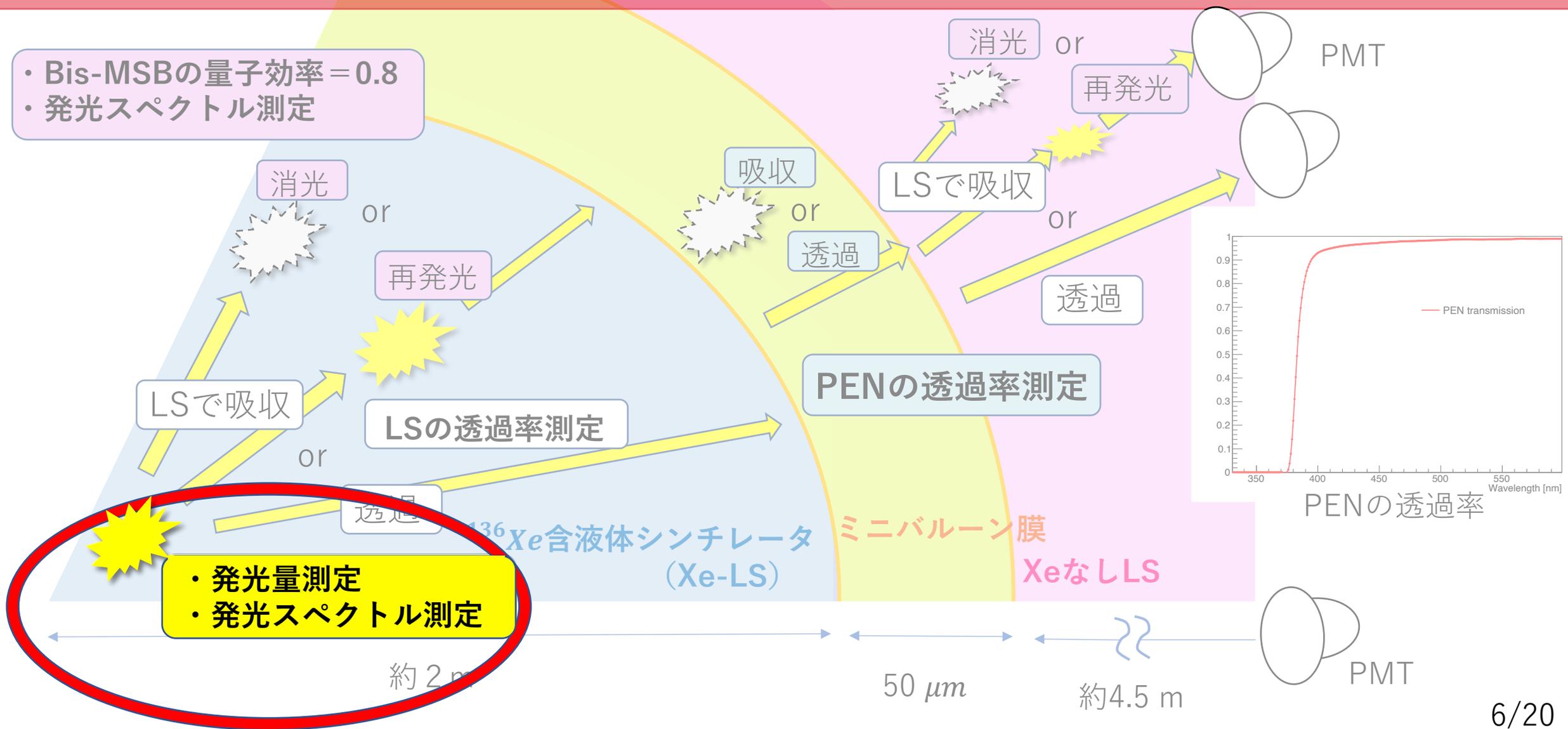
KamLANDで検出される光量

- Bis-MSBの量子効率 = 0.8
- 発光スペクトル測定



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



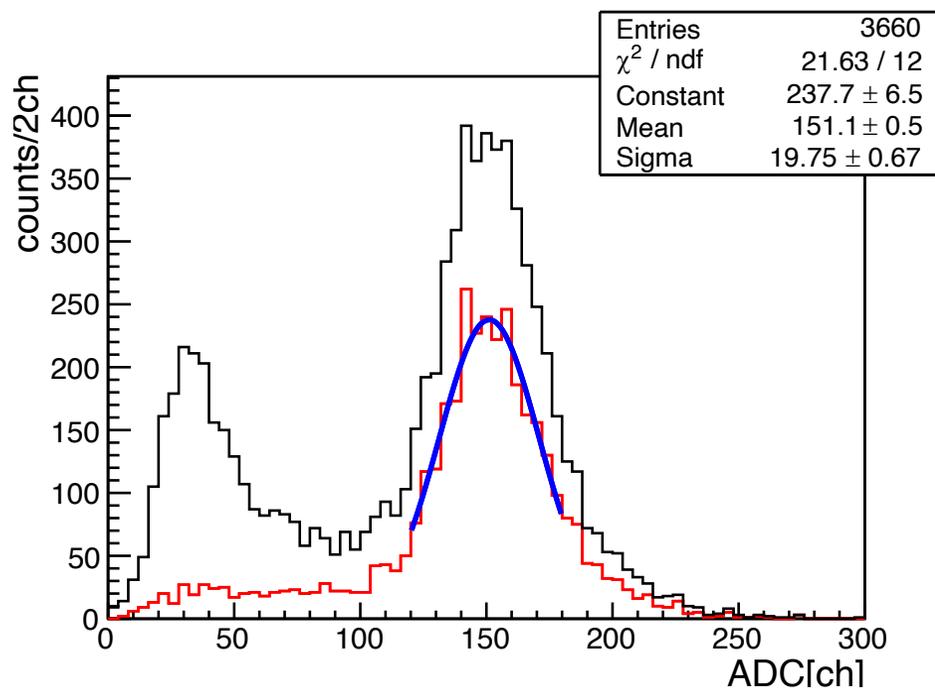
PENの透過率

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}Cs)

測定誤差 1.6 %



発光量測定の結果 (BisMSB 100mg/L)

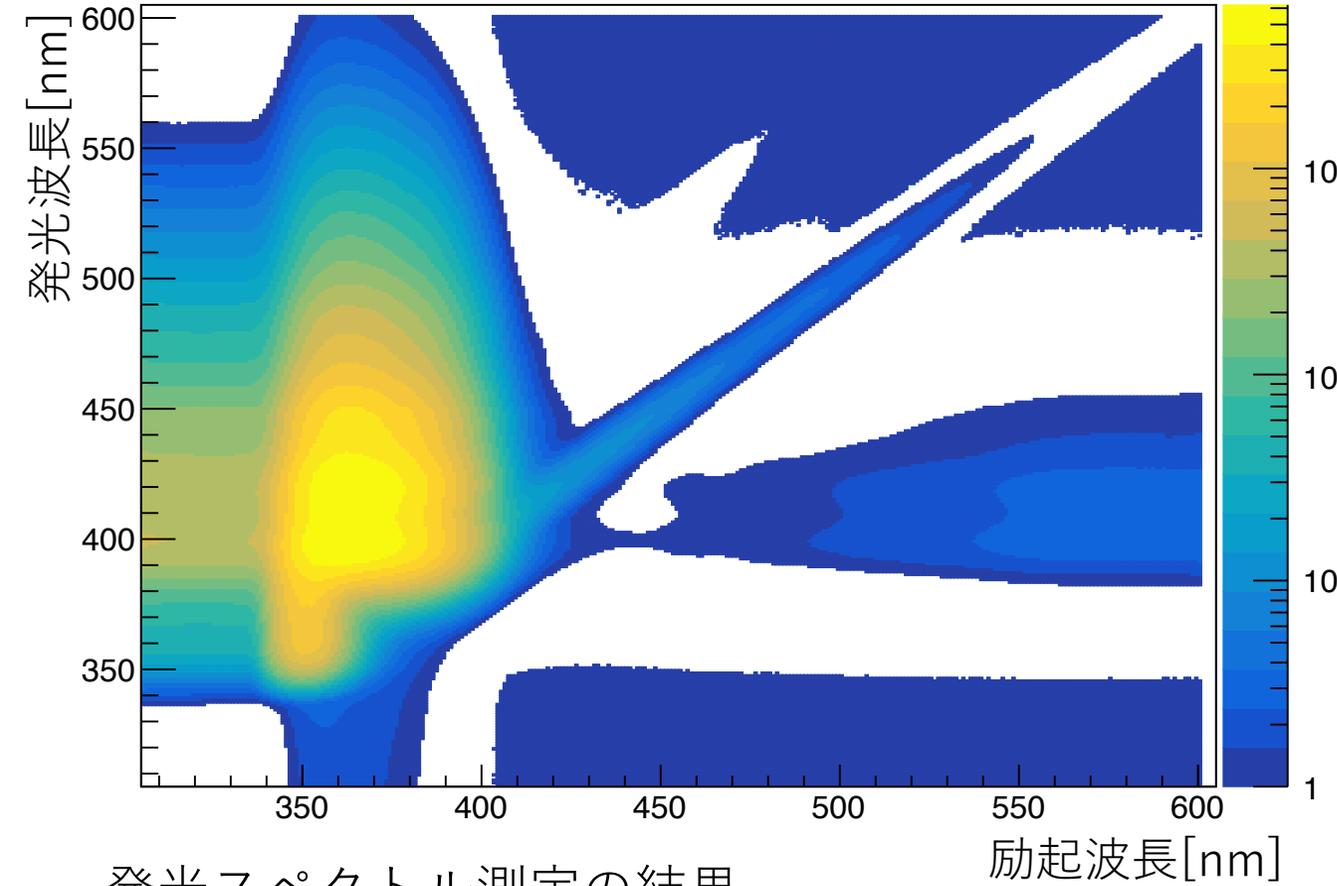
発光量のbis-MSB濃度変化
(KamLAND-LSを1とする)

	発光量の比
Bis 100mg/L	1.117 ± 0.036
Bis 21mg/L	1.075 ± 0.035
Bis 4.94mg/L	1.054 ± 0.034
Bis 0.92mg/L	1.032 ± 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

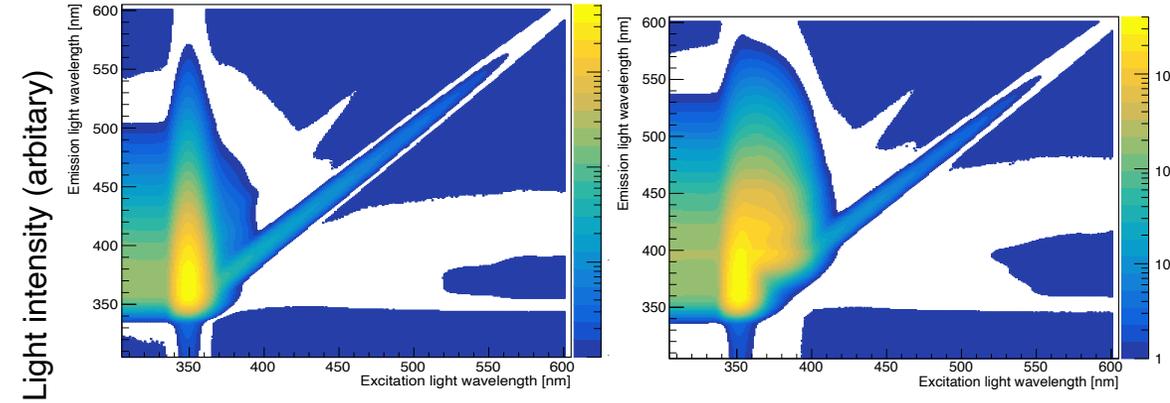
4.94mg/L



発光スペクトル測定の結果

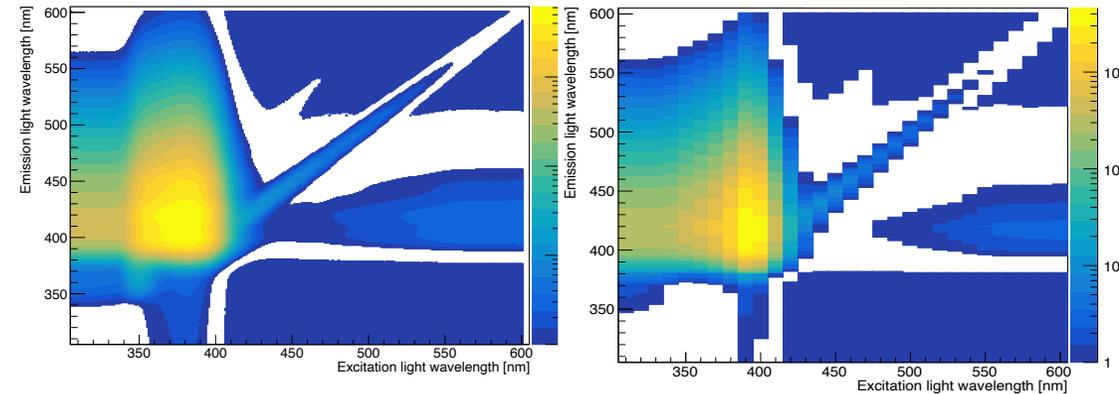
Kam-LS

0.92mg/L



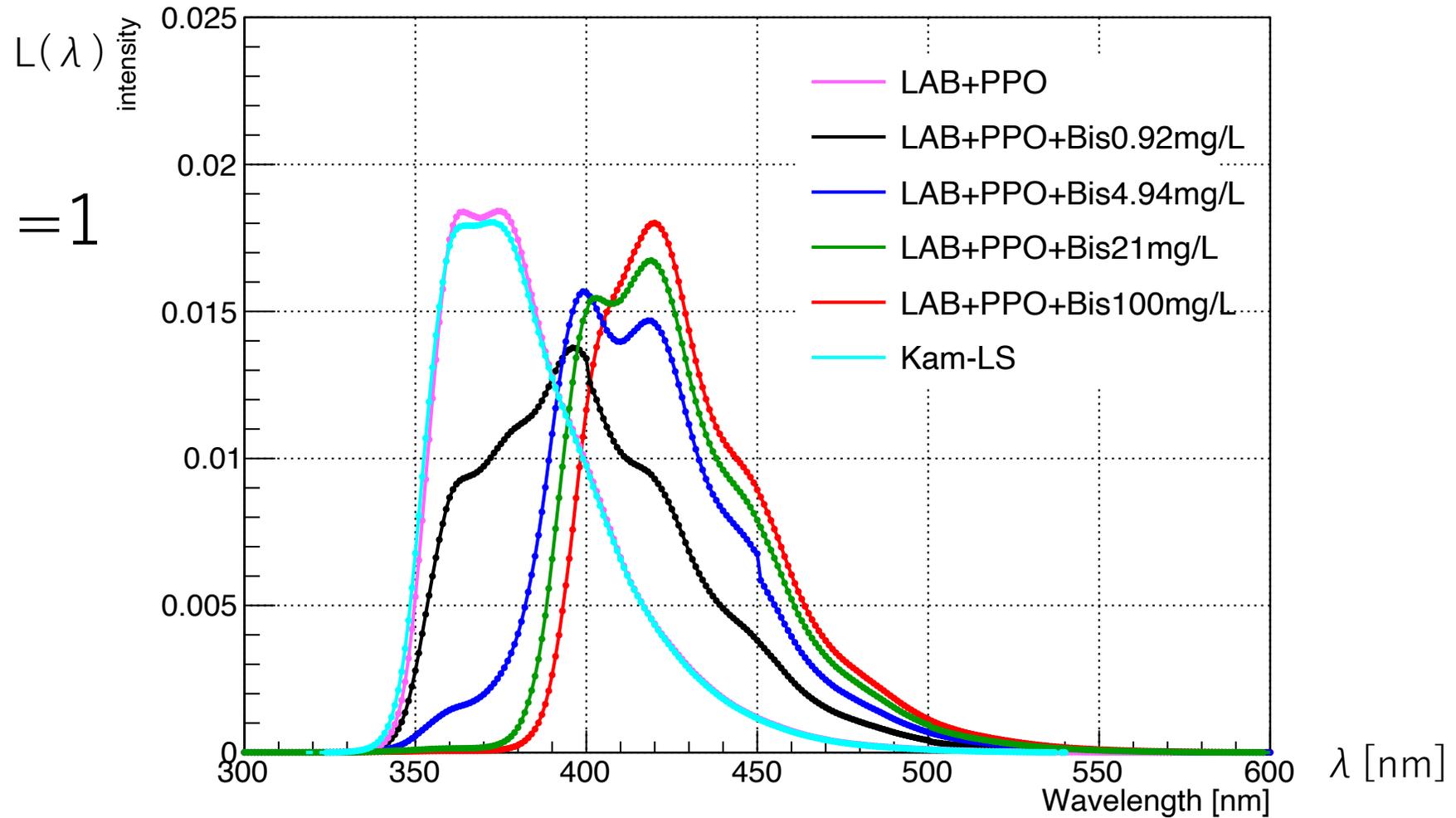
21mg/L

100mg/L



発光スペクトル測定

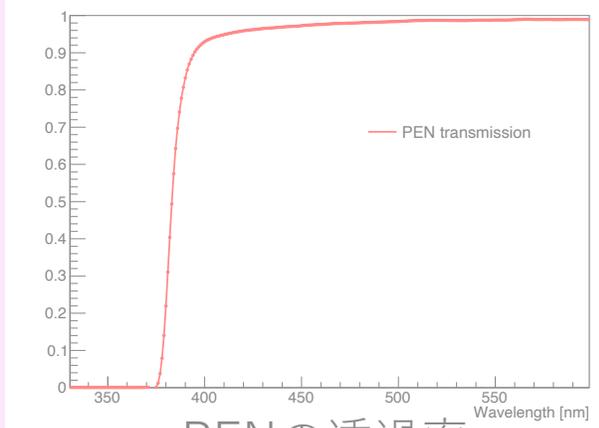
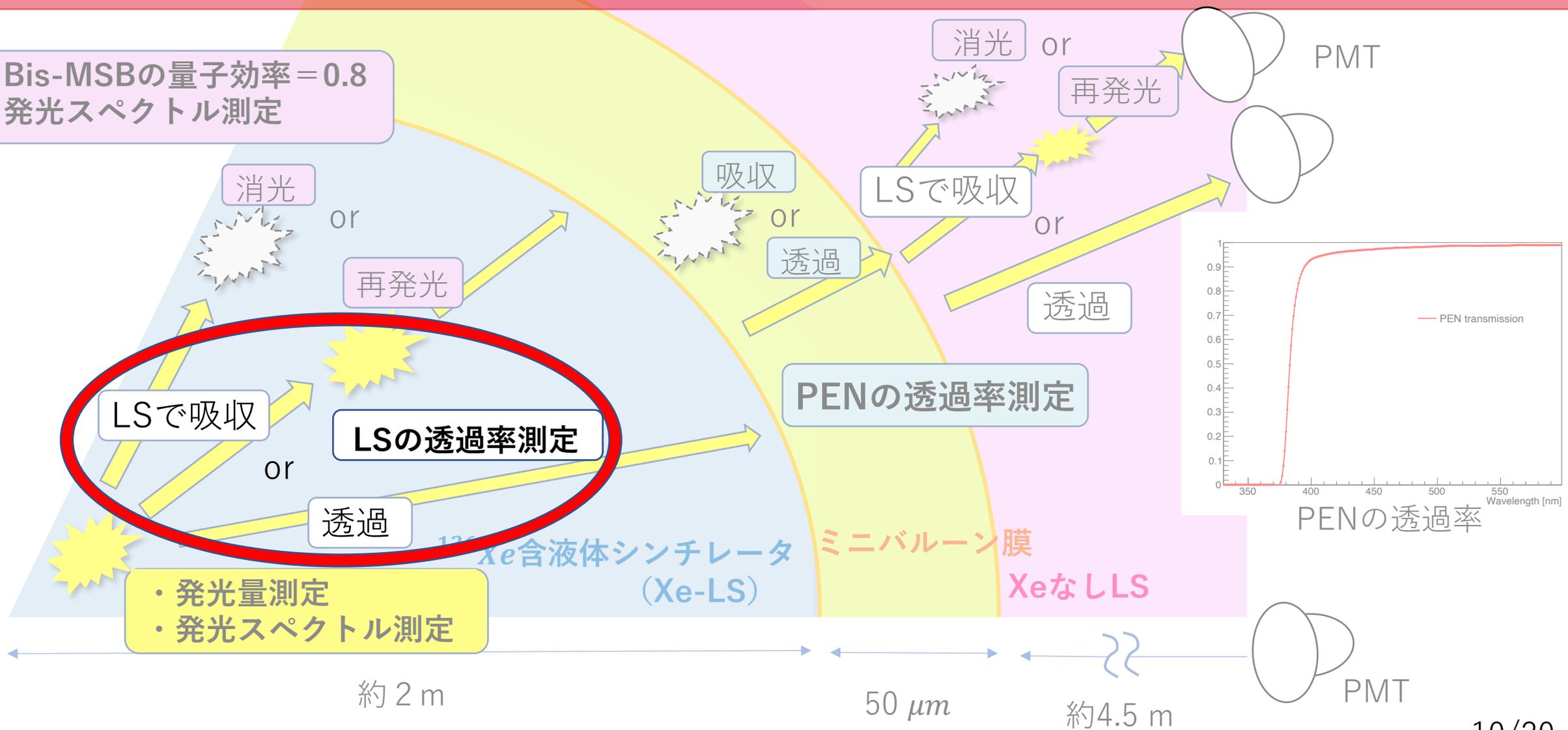
$$\int L(\lambda) d\lambda = 1$$



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

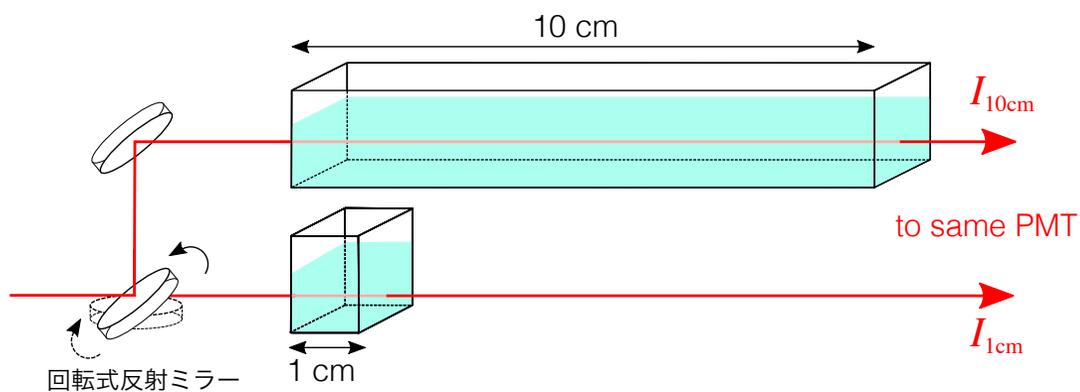


- 発光量測定
- 発光スペクトル測定

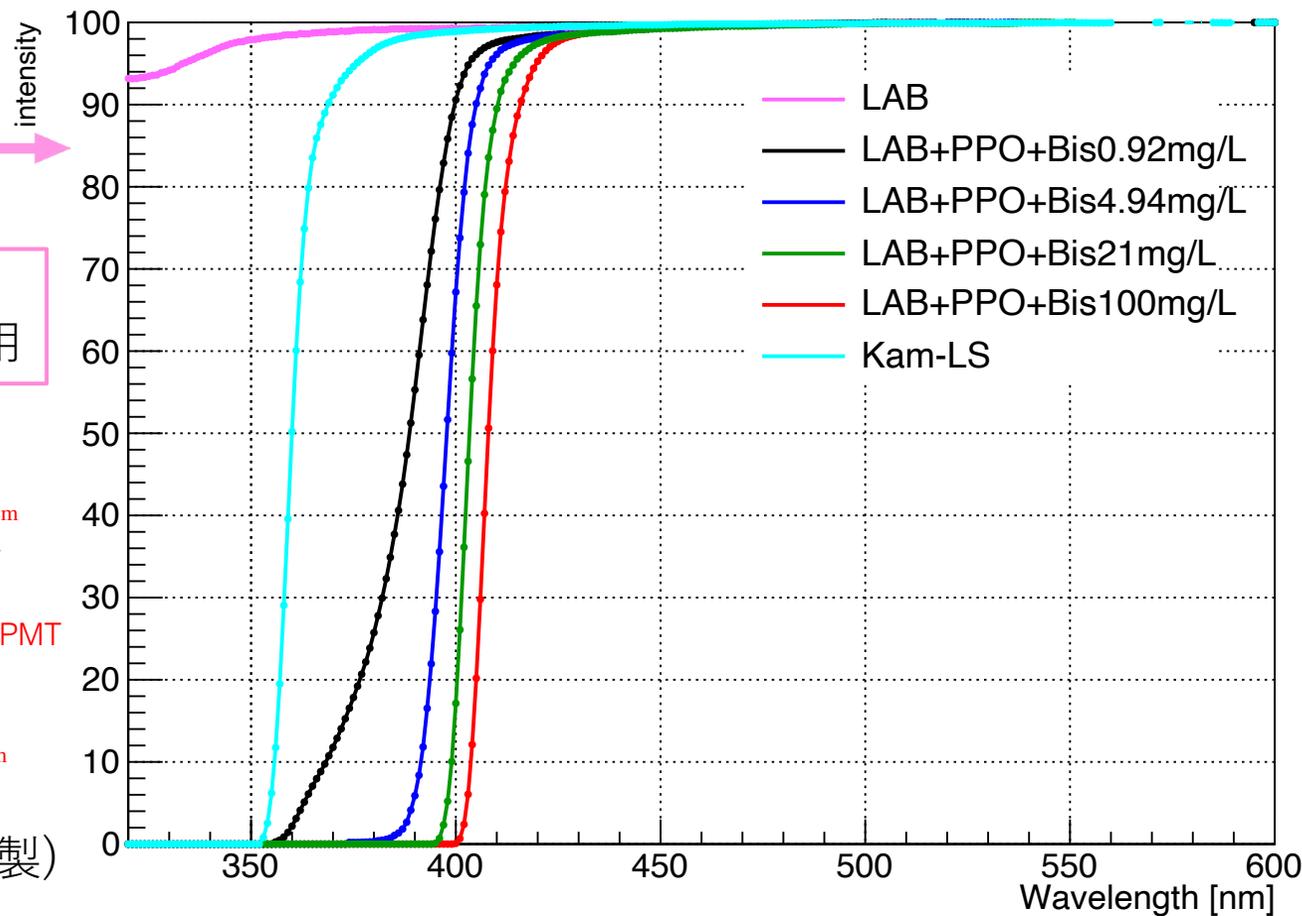
透過率測定

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)

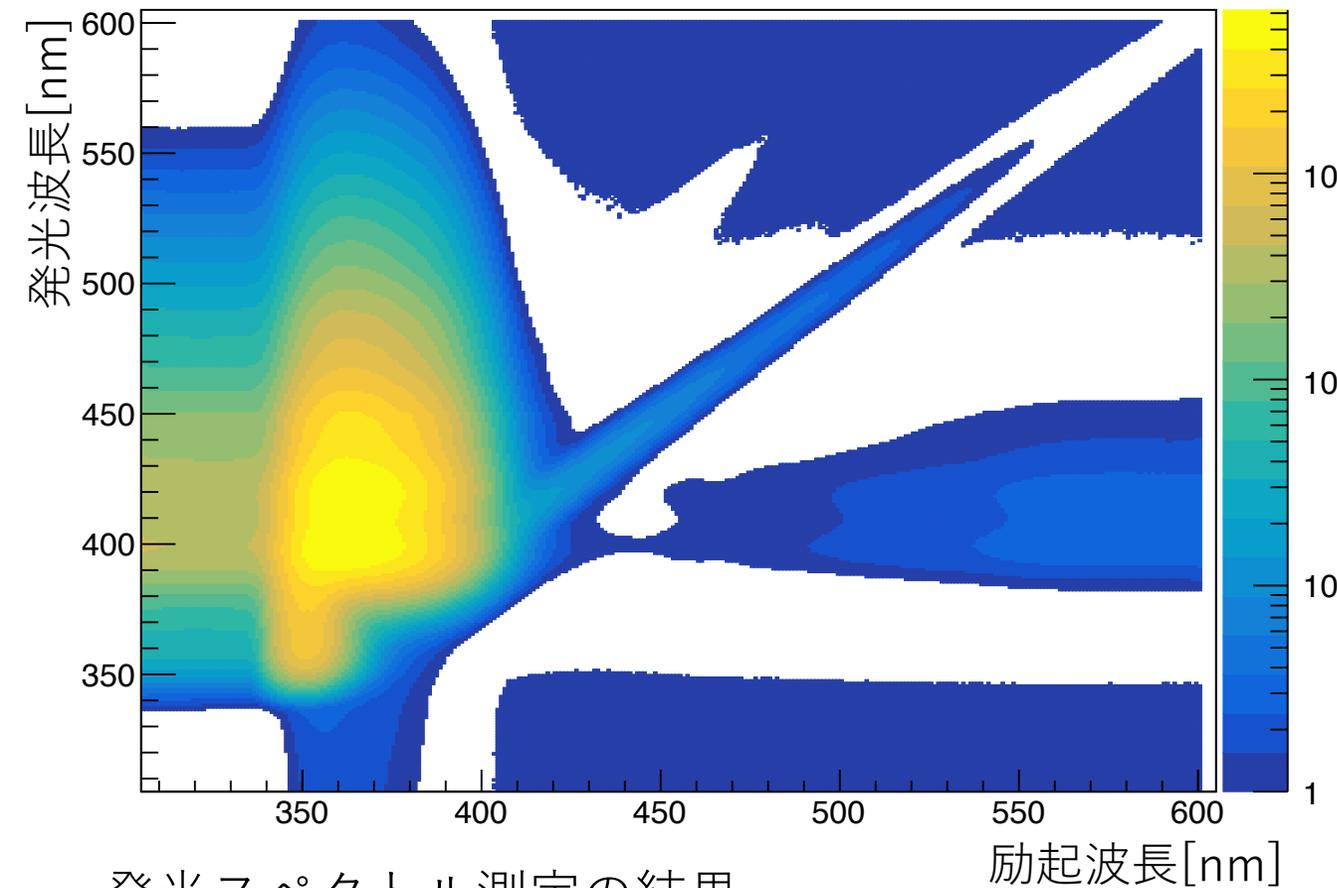
KamLANDで検出される光量



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

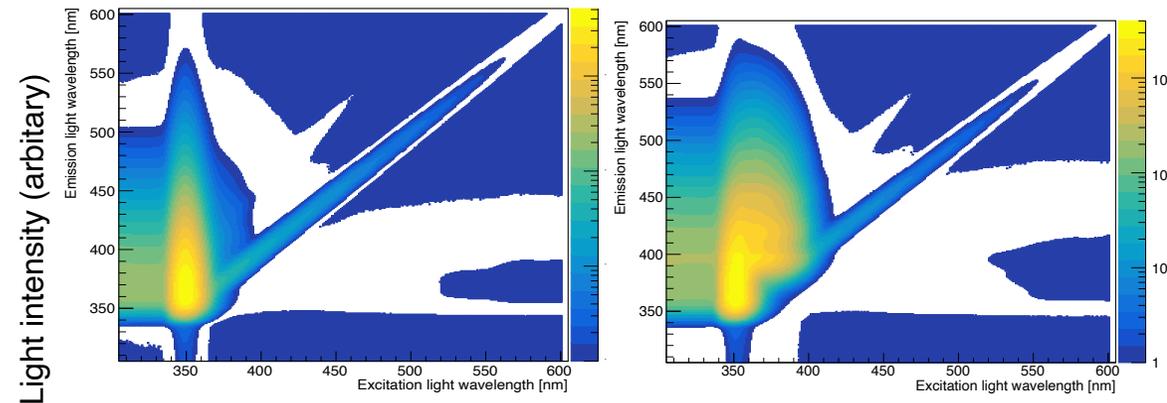
4.94mg/L



発光スペクトル測定の結果

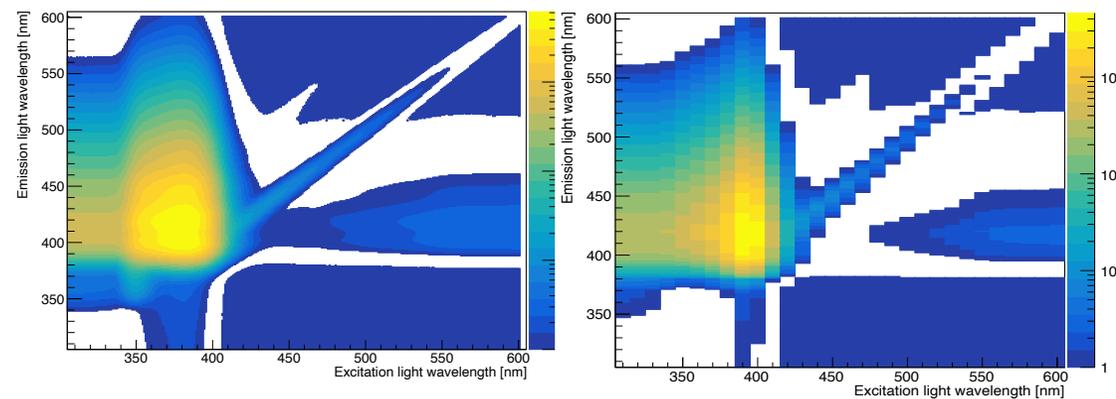
Kam-LS

0.92mg/L



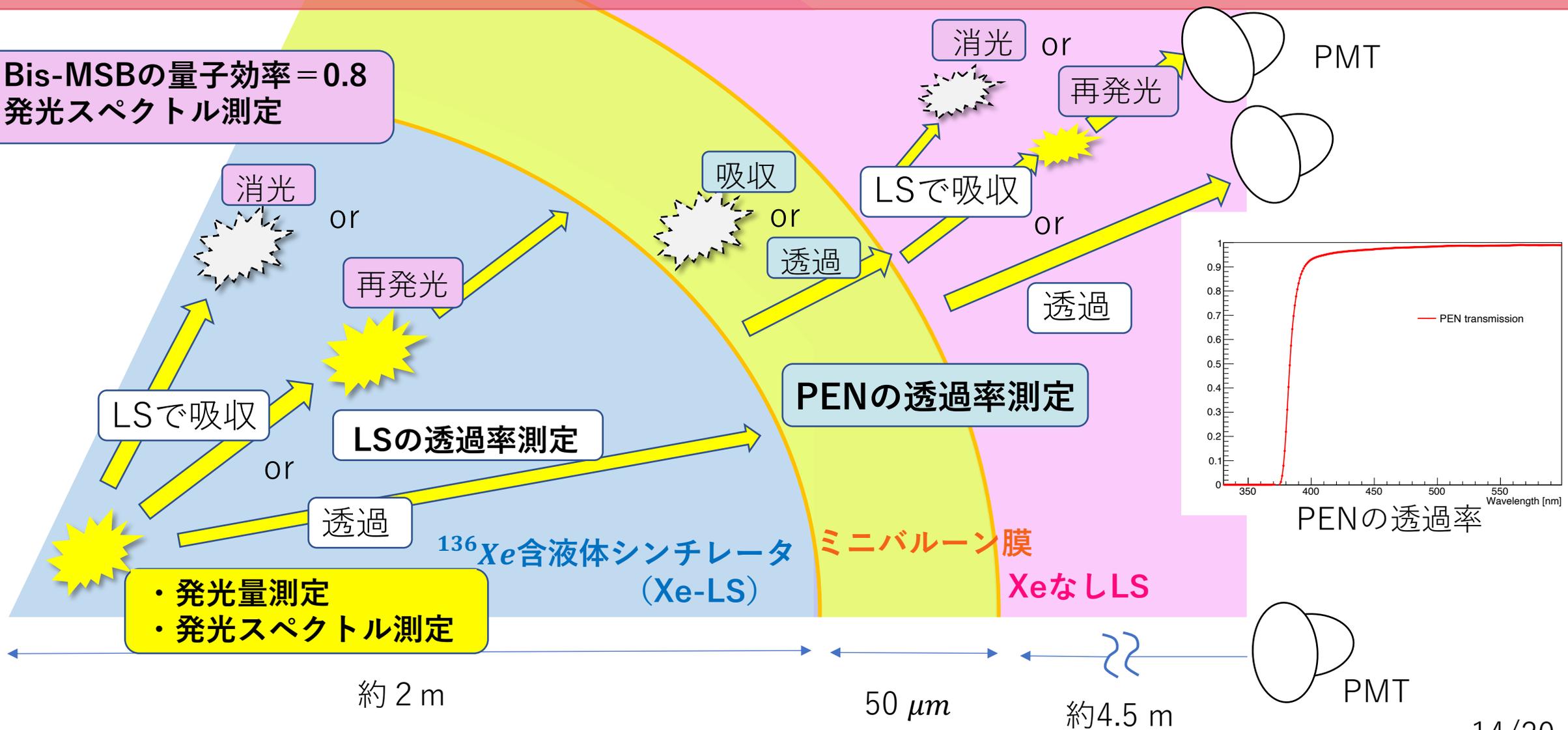
21mg/L

100mg/L

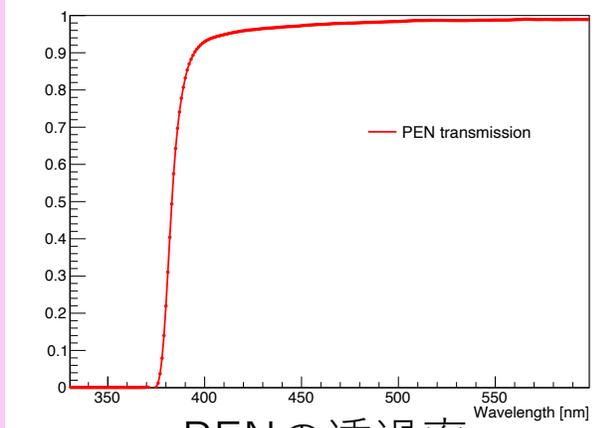


KamLANDで検出される光量

- Bis-MSBの量子効率 = 0.8
- 発光スペクトル測定



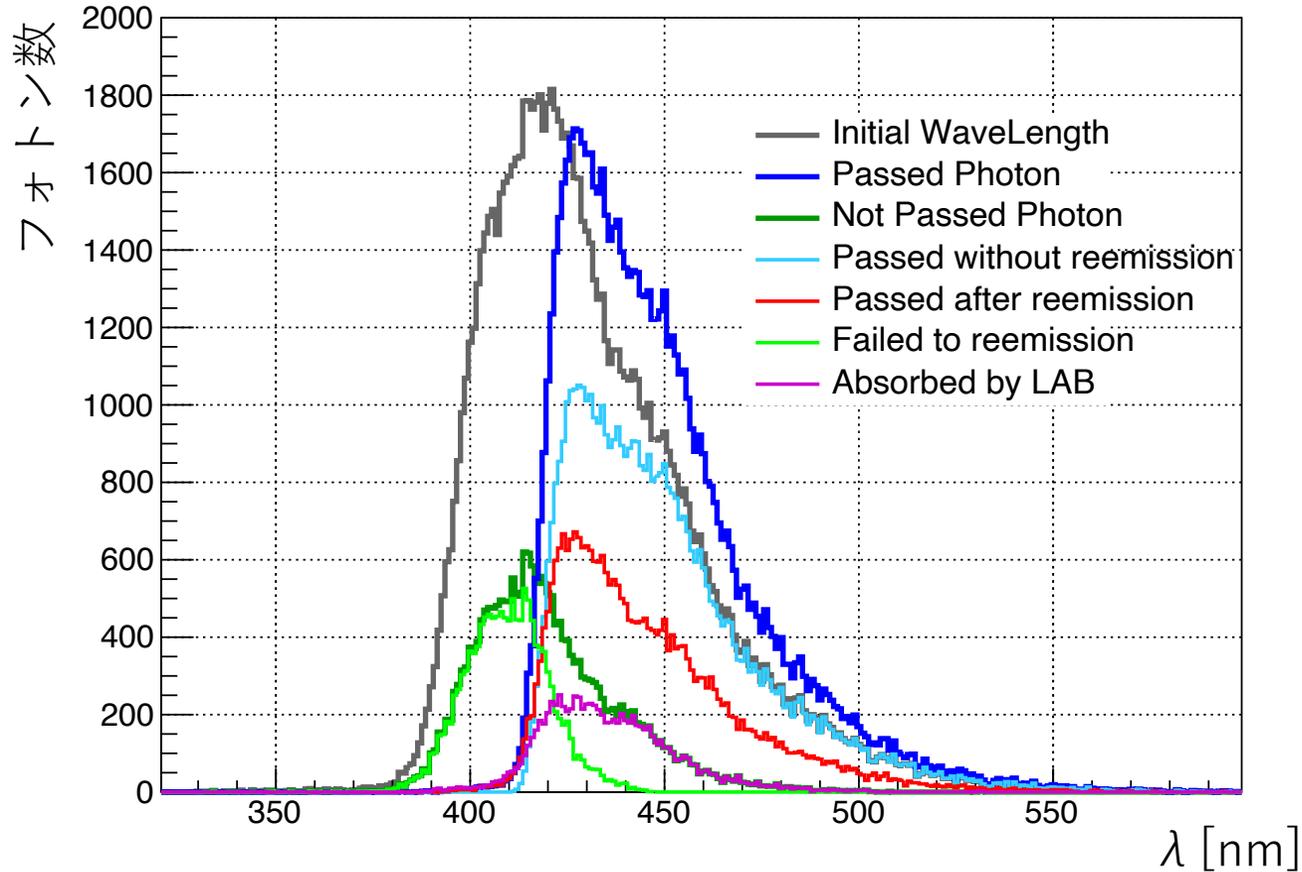
- 発光量測定
- 発光スペクトル測定



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

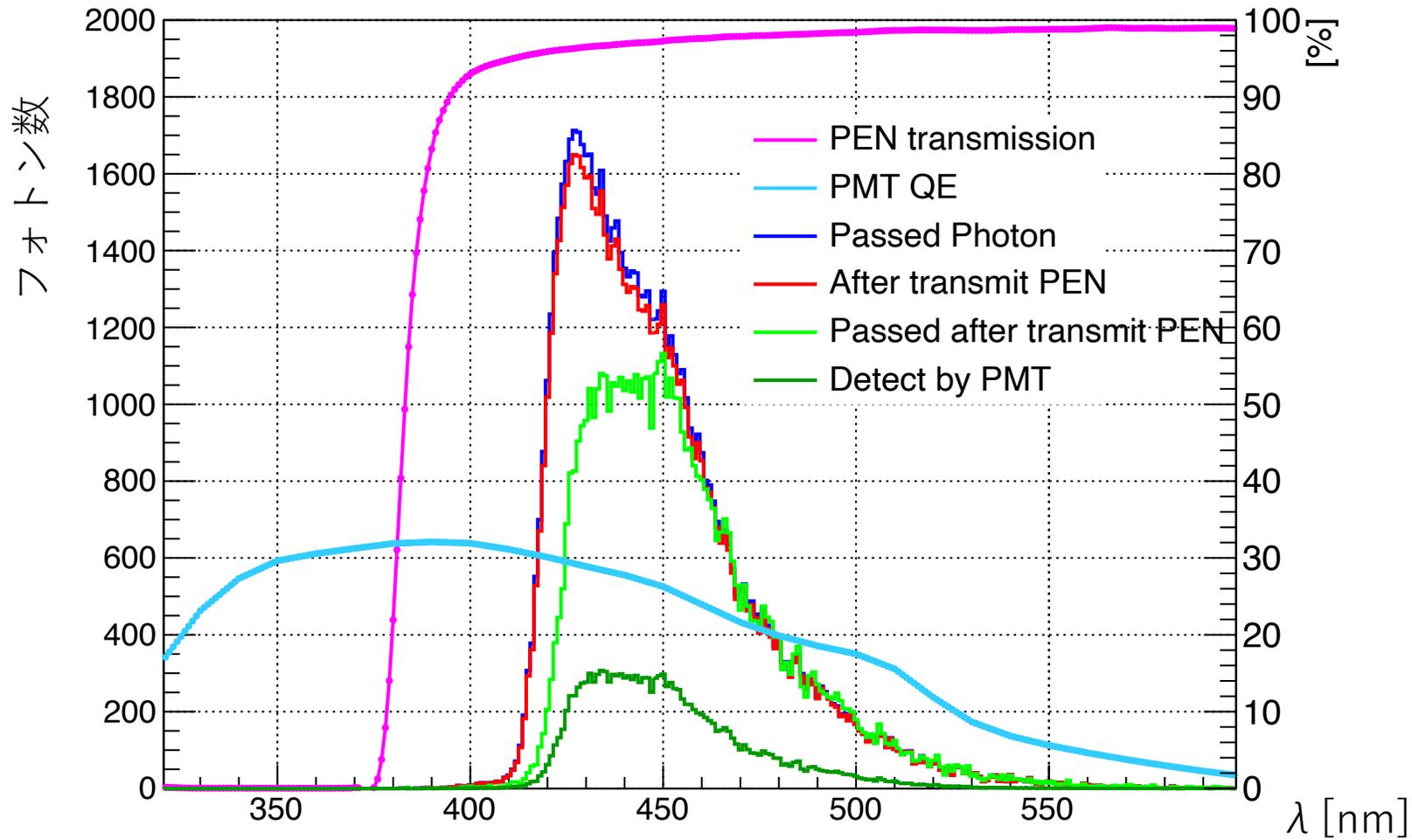


Bis の濃度 [mg/L]	光子数	減衰長[cm]
0.92	71640	600
4.94	76139	734
21	76490	746
100	77815	797

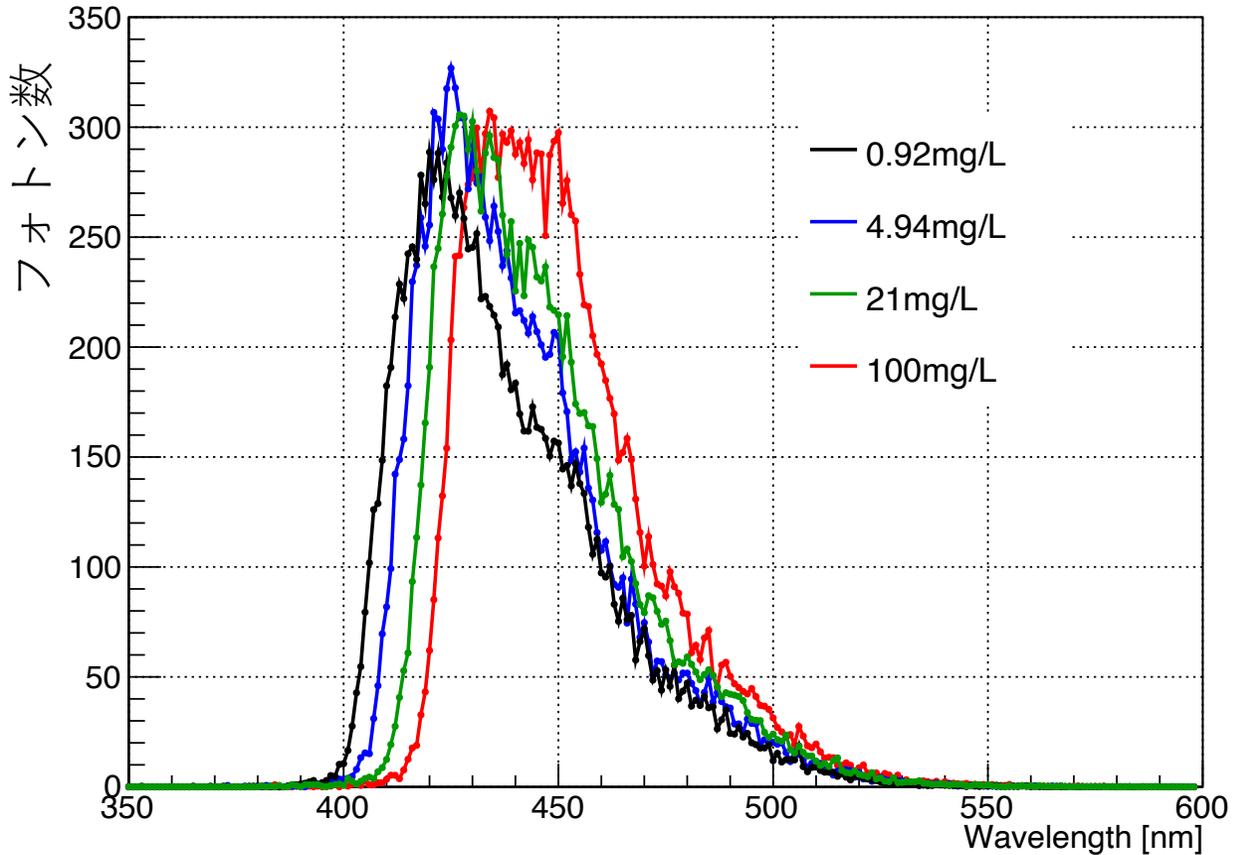
光子数をもとに減衰長を計算

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

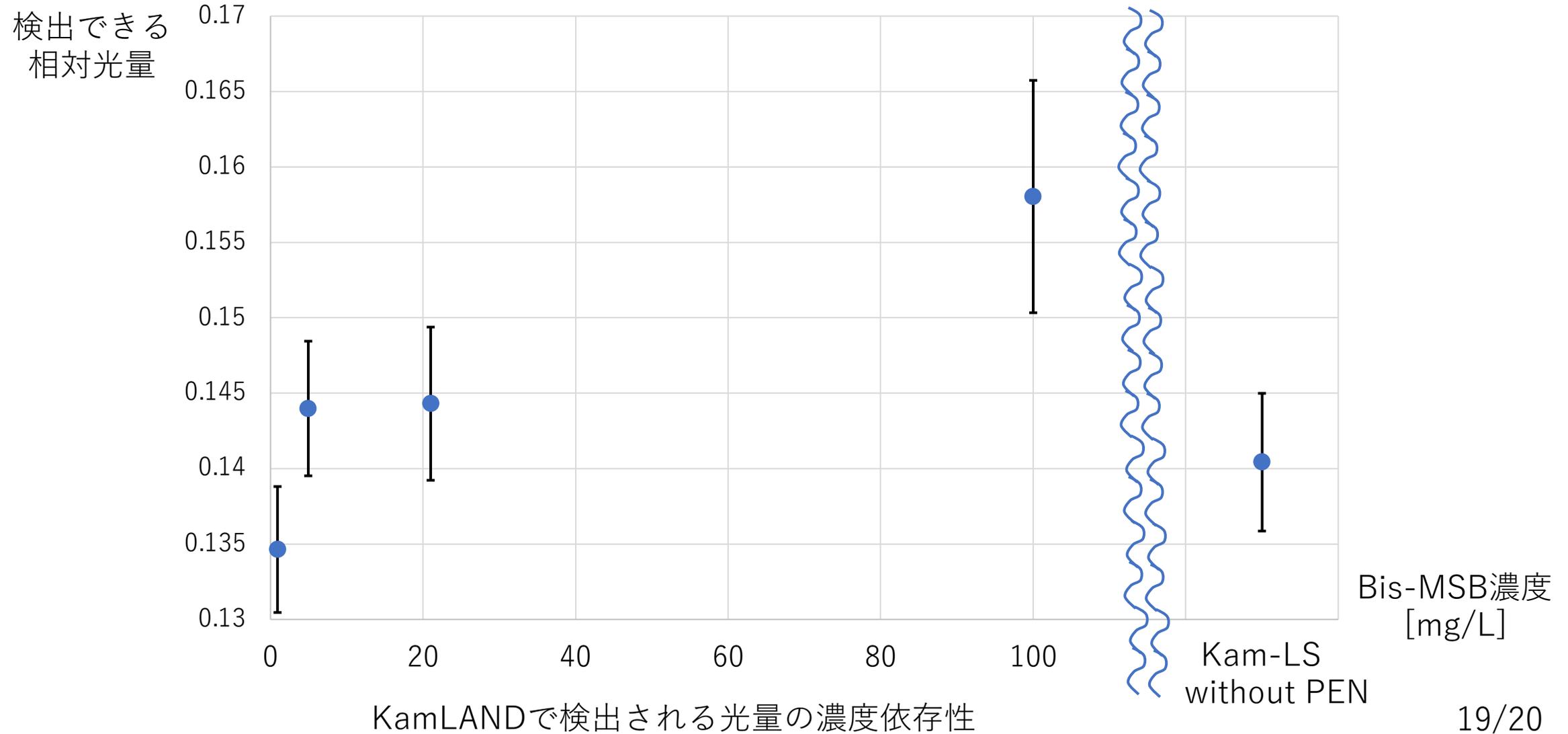
	吸収・再発光やPEN、QEを考慮した 相対光量
Bis 0.92mg/L	0.131 ± 0.004
Bis 4.94mg/L	0.137 ± 0.004
Bis 21mg/L	0.134 ± 0.005
Bis 100mg/L	0.142 ± 0.007
Kam-LS without PEN	0.140 ± 0.005

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 ± 0.004	1.032 ± 0.017	0.135 ± 0.005
Bis 4.94mg/L	0.137 ± 0.004	1.054 ± 0.017	0.144 ± 0.005
Bis 21mg/L	0.134 ± 0.005	1.075 ± 0.018	0.144 ± 0.006
Bis 100mg/L	0.142 ± 0.007	1.117 ± 0.018	0.158 ± 0.008
Kam-LS without PEN	0.140 ± 0.005	1	0.140 ± 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。