

# 次世代高エネルギーニュートリノ実験 のための検出器較正法の開発

**野田浩司（千葉大）**

共同研究者：清水、石原、小林（千葉大）

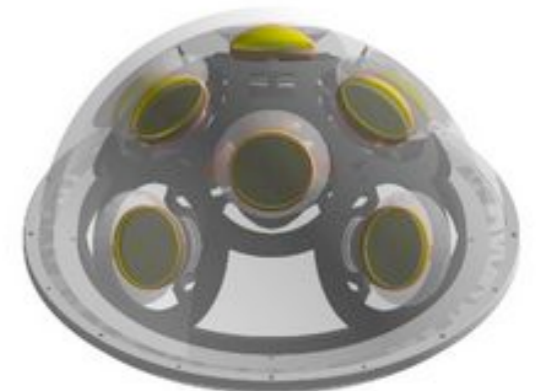
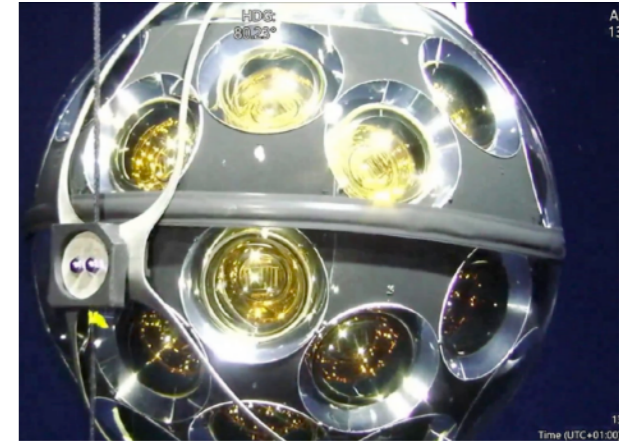
常定、藤井、小林（大阪公大）

2025年1月29日

ICRR共同利用研究成果発表会

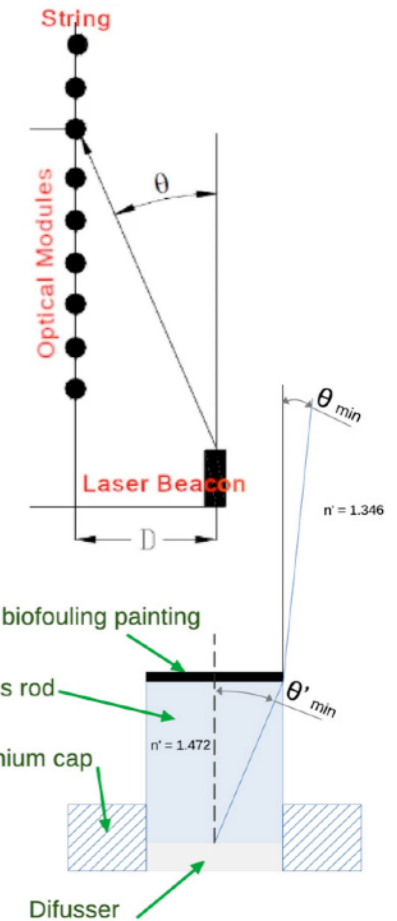
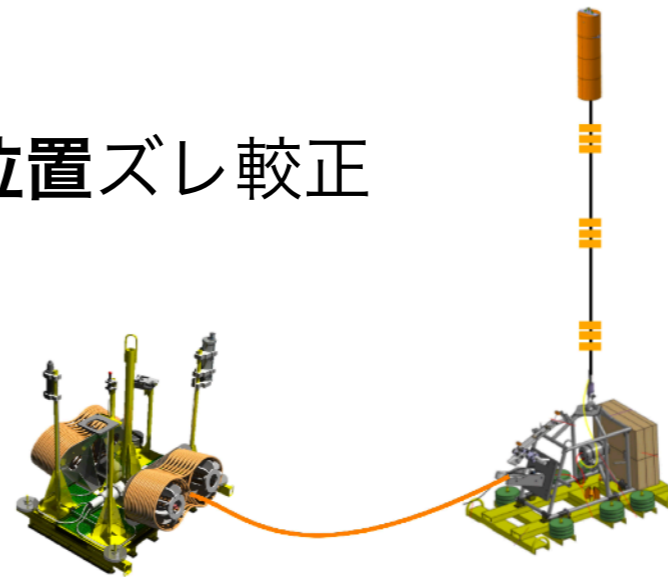
# 高エネルギーニュートリノ実験

- 光検出器 (水や氷中)
  - Baikal (~1995-) @湖の水  
=> Baikal-GVD (2021-)
  - ANTARES (-2022) @地中海の水  
=> KM3NeT (2021-)
  - IceCube (2005-) @南極の氷  
=> IceCube-Gen2
  - (新規) P-ONE @バンクーバー沖
- 電波 : RNO-G, GRAND, IceCube-Gen2 Radio,,,
- 大気チェレンコフ : Trinity,,,
- 本研究は、水や氷の中で用いる光検出器の校正について

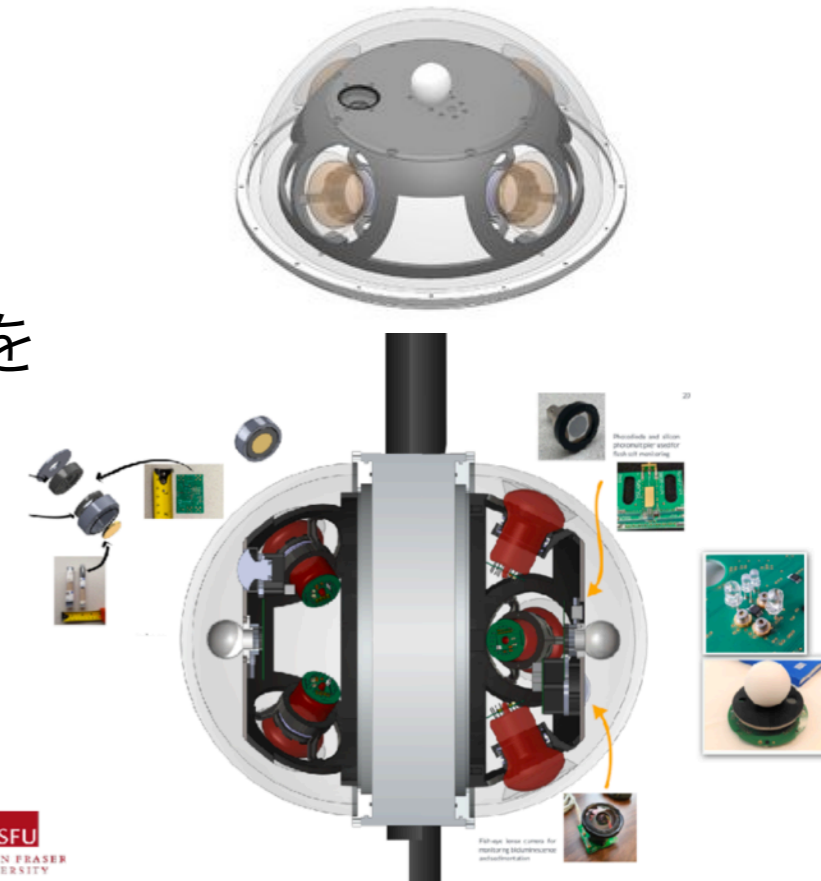


# 水の実験の例

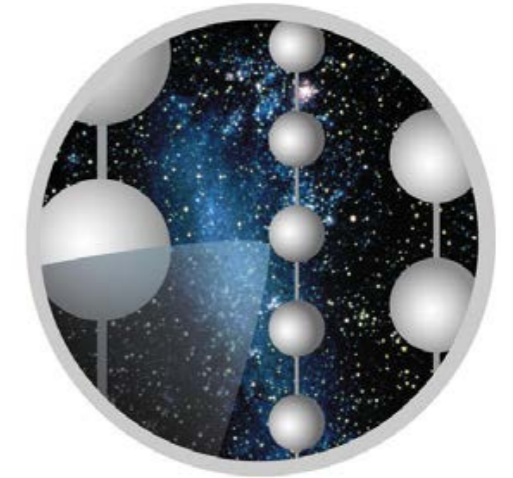
- KM3NeT (R. Le Breton 2021など)
  - **Acoustic**送受信機で、海流による位置ズレ較正
    - 水中の音速は別に測る
  - **Laser Beacon**で時間較正と水質測定 (但し月～週1)
    - 下から拡散させれば上まで届くらしい
- P-ONE (<https://www.pacific-neutrino.org/main-menu/prototypeより>)
  - **Acoustic**はKM3NeT同様海底に設置
  - 光学較正 = P-ONE Calibration Module (P-CAL)  
<nsの光パルスをPTFEで拡散、周囲の通常Moduleを較正。光検出器ダイナミックレンジが大きく、遠くても見え、近くても飽和しないとのこと
    - 光源の安定性は光ダイオードとSiPMでモニタ
    - 「光源はIceCube Upgradeを踏襲」 LED



(D. Real 2023より)

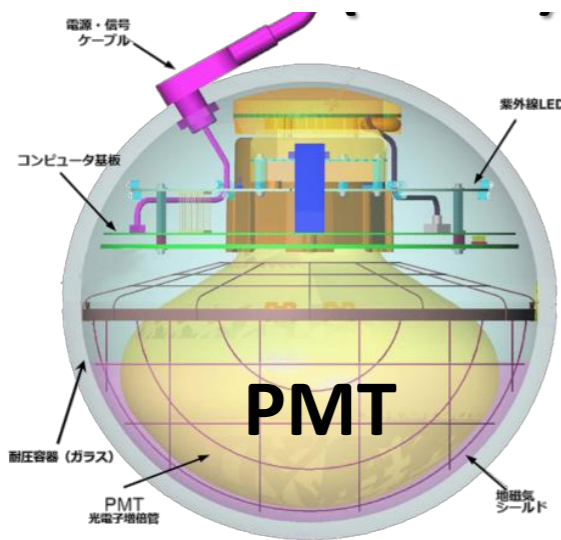


# IceCube実験

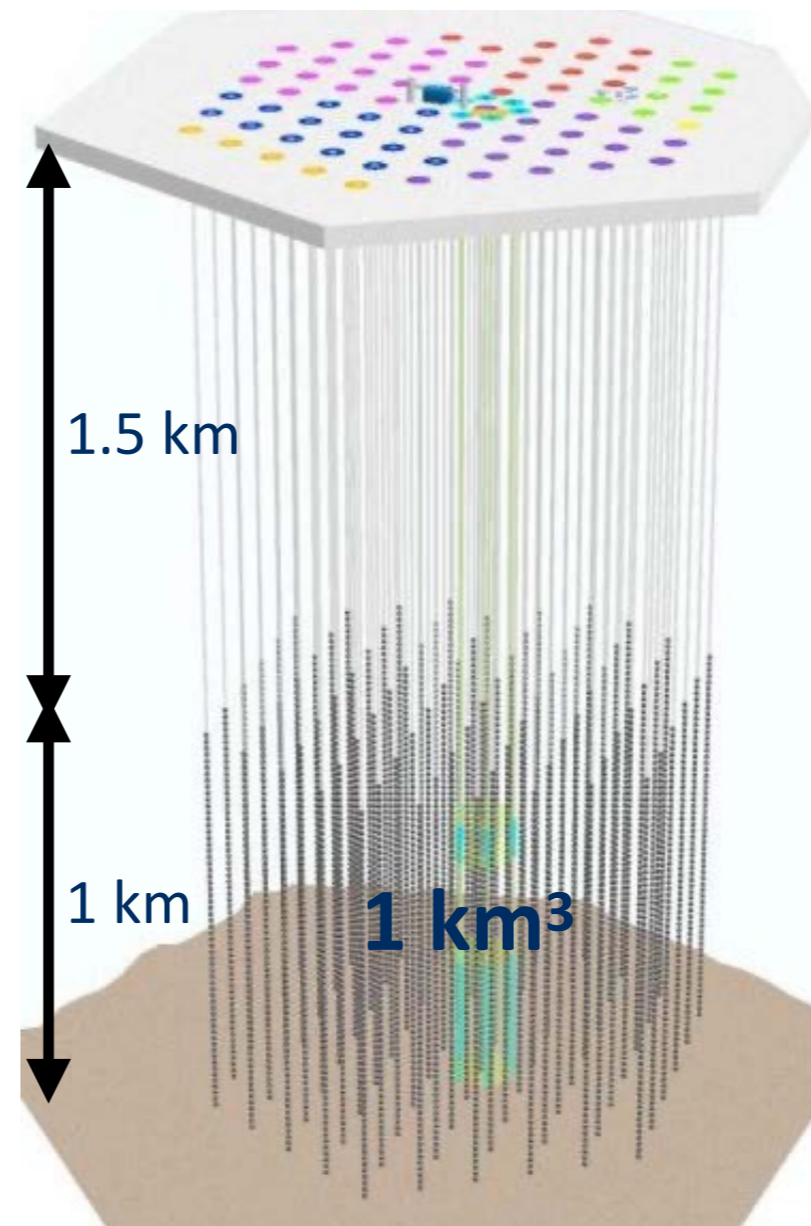


ICECUBE

- 南極点の地下1.5-2.5kmの1km<sup>3</sup>の氷に5160のPMTモジュール (DOM) を配置



- ニュートリノと原子核の反応でできる荷電粒子が氷中で放射するチェレンコフ光を検出
- 反応はフレーバーによって異なるため、区別可能



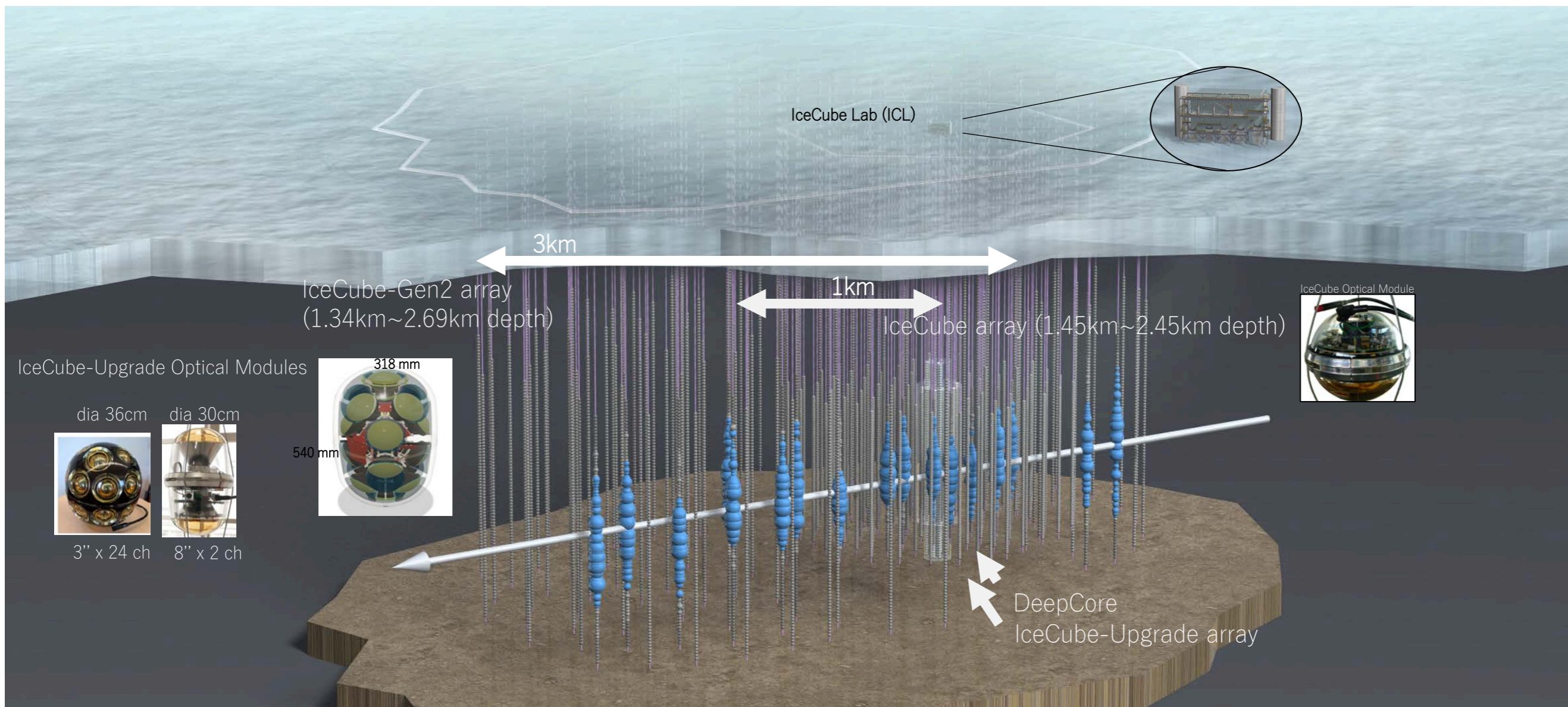
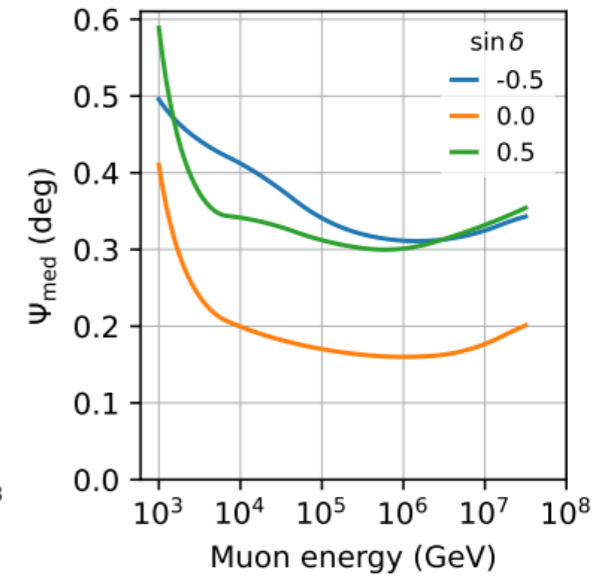
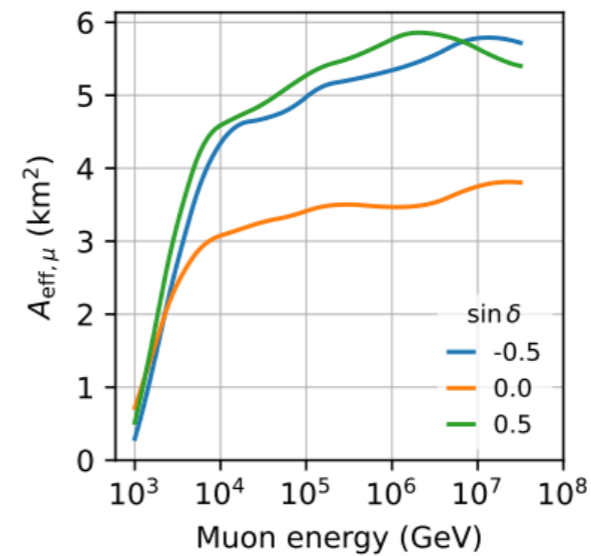
78 strings x 60 DOM/string  
(HE array) + 8 DeepCore  
間隔：水平125m、縦17 m



# IceCube-Gen2

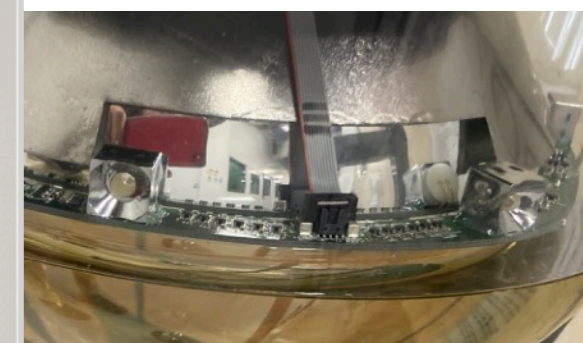
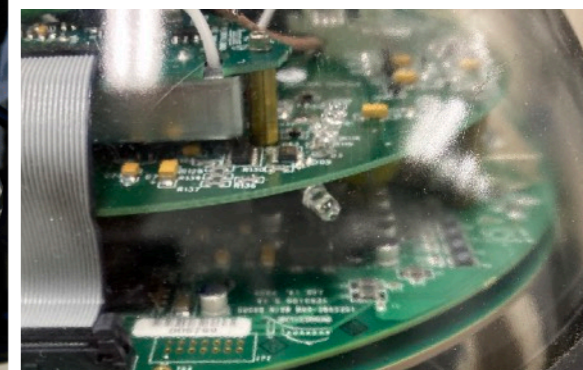
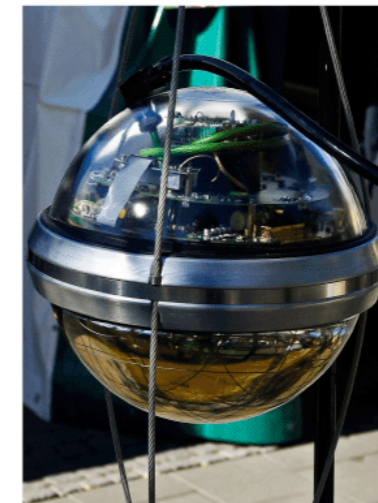
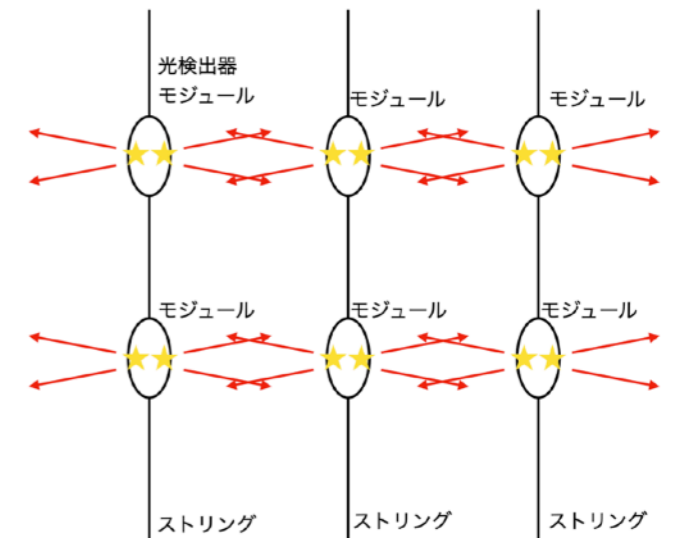
- ~x3.5 tracks, ~8.5 cascades
- ~x2 better angular resolution

2030年代中のフル観測開始を目指す



# IceCube実験 (水中) での校正

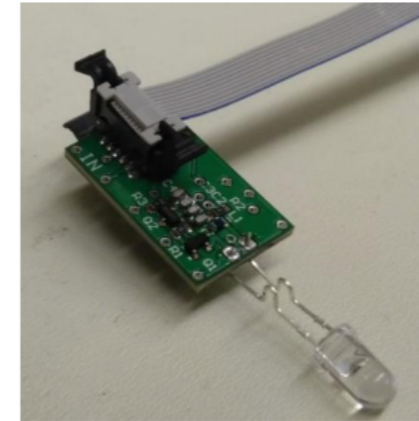
- 継続的な位置校正は不要 => 光学校正だけでよい
- 水に比べ透過率が低く、混ざらないので非一様  
=> 隣のモジュールから指向性のある光で校正
- 極低温下で壊れない安定性も重要 => LED
- Gen2になると
  - 隣までの距離が増え (125m => 240m)  
さらに高輝度が必要。LED変更では不足？  
指向性を増やす必要？
  - 大量生産：価格、設置・取り回しも要改善
- 今後想定される変更・改善が容易になるよう、  
まずは設置・取り回しがより簡素で、かつ  
比較的安価に作れる構造にしておきたい



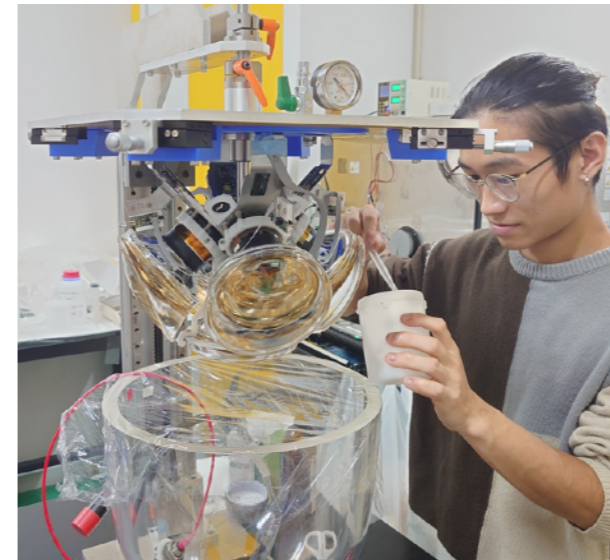
# 現状 (&その他)

- リボンケーブル+コネクタの代わりに、一体型フレキ基板（フレキ部分と硬い部分が一体化） => 試作開始

**組立中のGen2 DOMに途中から組込む？**



- Gen2 DOM製作@千葉 現状
  - 試作機10台完成、2025年中に最終デザイン確立、より量産用の設計へ



- Upgrade (Gen2 phase1) @南極 現状
  - D-Egg検出器：2024年8月に日本発、無事に現地到着。千葉からはColton (Hill) が現地での最終調整に参加
  - 来冬（南極での夏）にdeploy  
2026年中に較正、観測開始



# まとめ

- 「次世代高エネルギーニュートリノ実験のための検出器較正法の開発」
  - IceCube-Gen2計画の光検出器用の光学較正素子を開発中
  - 将来の他実験にも活きる（例：P-ONE）
- 査定額：20万円（物品：フレキ基板、高輝度LEDなど）
- 使途：初期費用（設計など）、試作  
本年度はほぼ全て初期費用に使用しました（します）
- 来年度はフレキ基板試作をまず行い、その後、光学素子（LED、コーン状フィルム、ゲル）の方に移る予定です
- 今後ともよろしくお願いいたします