

次世代IACTカメラに向けた アレイタイプMPPC(PPD)の基礎特性

東海大学 修士1年

若塚昌彦

アウトライン

- 大気チェレンコフ望遠鏡 (IACT)
- 大気チェレンコフ望遠鏡の原理
- 光検出器・MPPC
- ゲイン測定
- まとめ・今後の課題

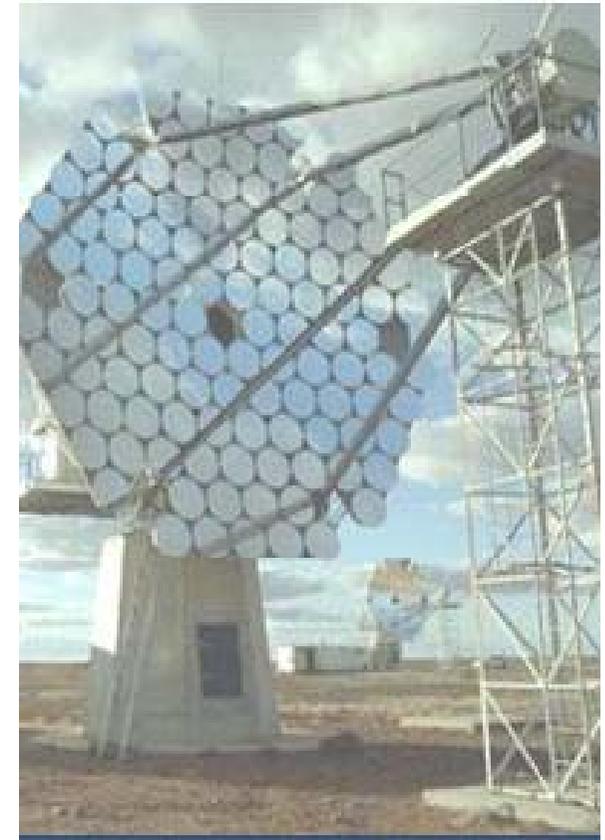
IACT

(Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope)

解像型大気チェレンコフ望遠鏡

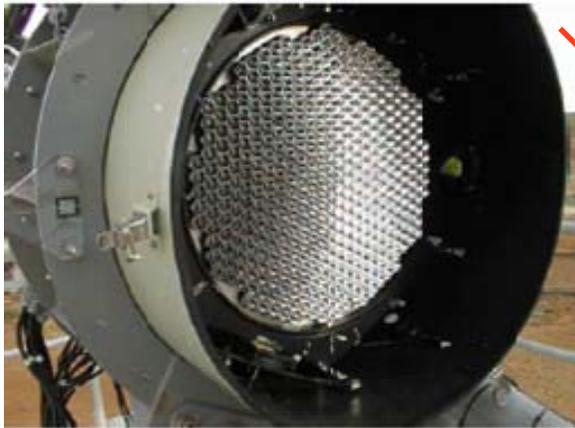
通称: 大気チェレンコフ望遠鏡

- エネルギー領域
 - 10GeV~100TeV
- ガンマ線を間接的にとらえる望遠鏡
 - チェレンコフ光の像をとらえる



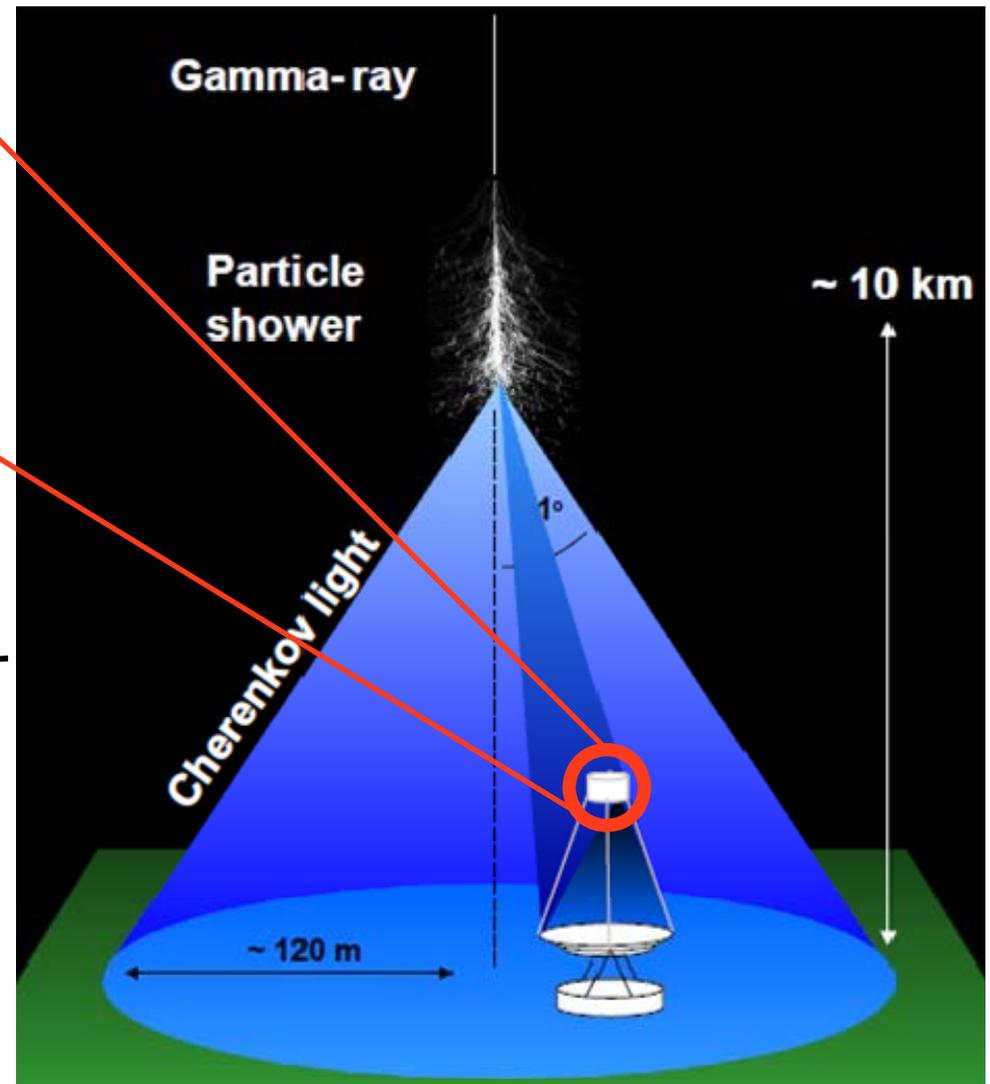
写真はCANGAROO

大気チェレンコフ望遠鏡の原理



CANGAROO焦点面カメラ

- ガンマ線が入射してくると大気中の原子などと相互作用し大気シャワーを引き起こす
- 大気シャワーによりチェレンコフ光が発生
- その大気チェレンコフ光をカメラに収束させることで検出
- 焦点面にPMTを使用

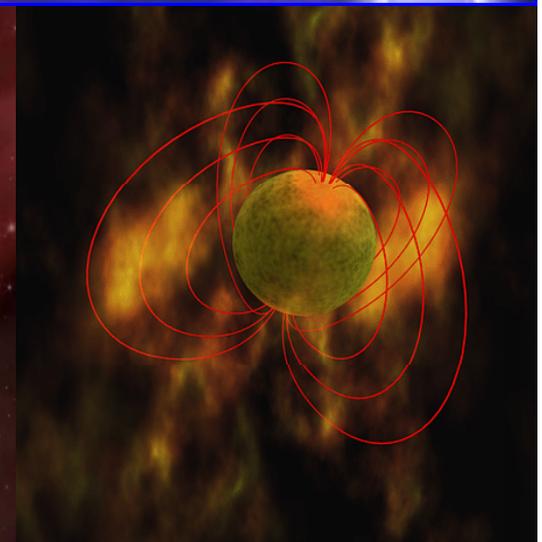
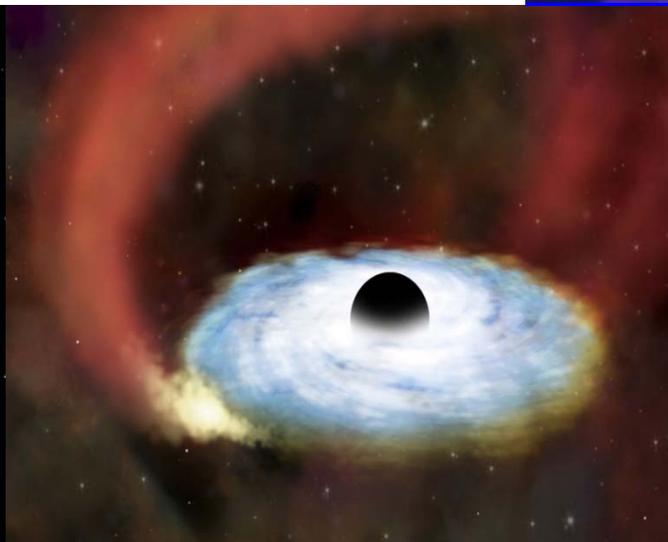
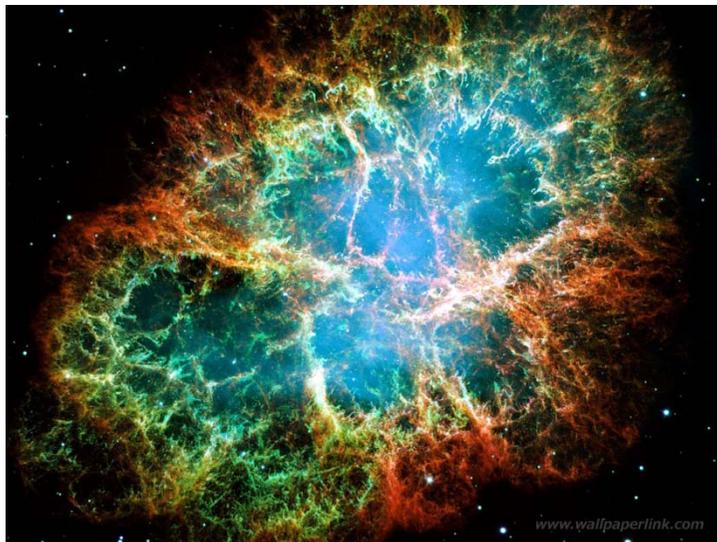


TeVガンマ線のターゲット

先ほどの望遠鏡で観測する対象の天体は

- 超新星残骸 (SNR)
- 活動銀河核 (AGN)
- パルサー (PSR)
- ガンマ線バースト (GRB)

など活動的な宇宙



ガンマ線観測の発展に向けて

これらのターゲット天体に対して
天体のもっと詳細なことを知りたい
より多くの天体を見つけたい



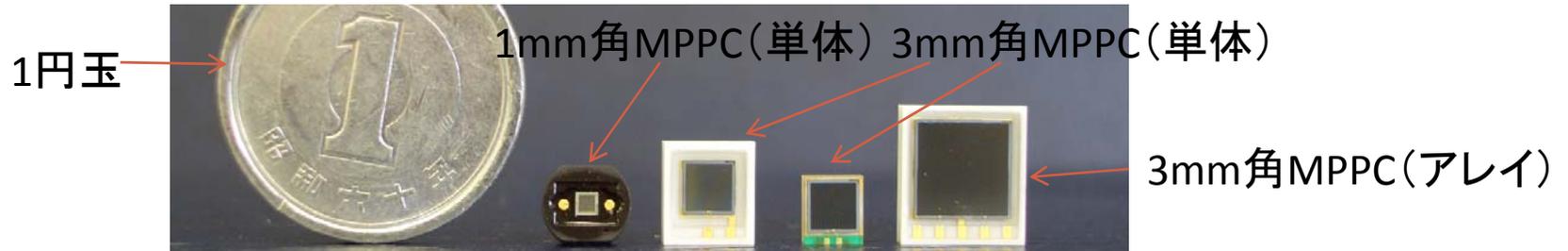
望遠鏡の感度向上させ、
より良いデータを得ることが重要



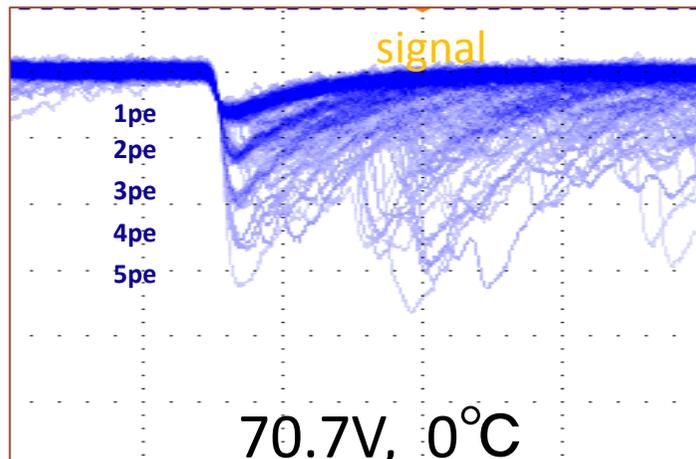
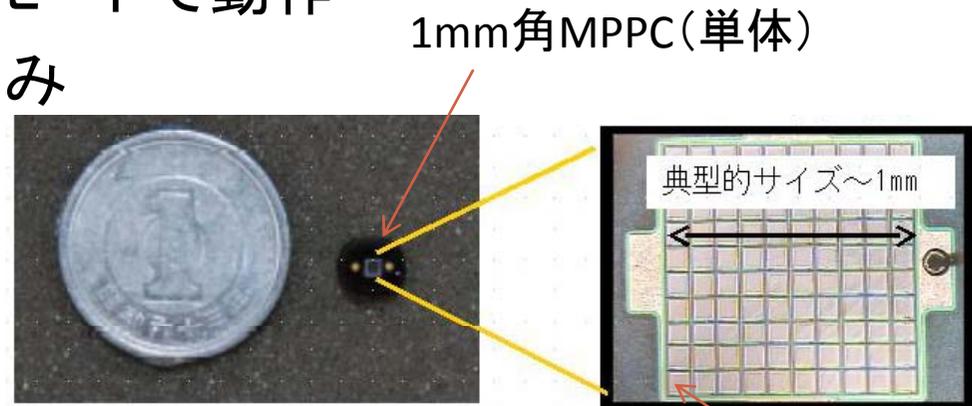
焦点面カメラの性能UPを考える

光検出器・MPPC

MPPC (Multi-Pixel Photon Counter): 浜フオト製半導体検出器

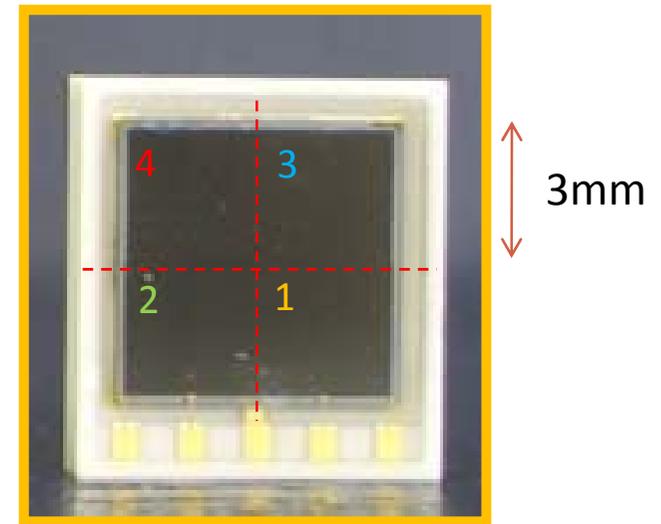


- 複数のAPDを並べてガイガーモードで動作
- 1ピクセルはON/OFFの判定のみ
- 検出効率(60%程度)が高い
- 低電圧(<100V)で動作
- 時間分解能がよい(数ns)



課題
面積が小さすぎる
ゲインの温度依存性がある
ノイズレートが高い

評価したサンプル



- 単体では小さい

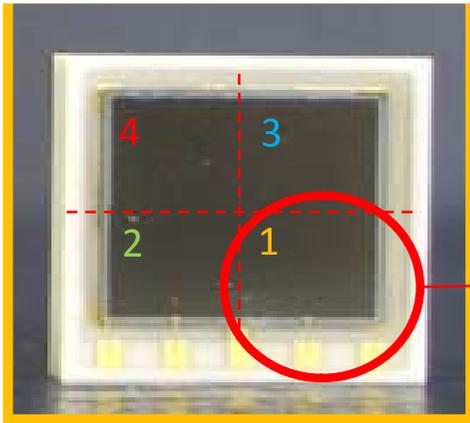
→ 単体を集めてMPPCをアレイ化

3mm角2×2
アレイタイプ

- 全ブロック(全チャンネル)で同じ電圧しかかけられない仕様になっている



- ゲインがアレイ内でそろっているか確認

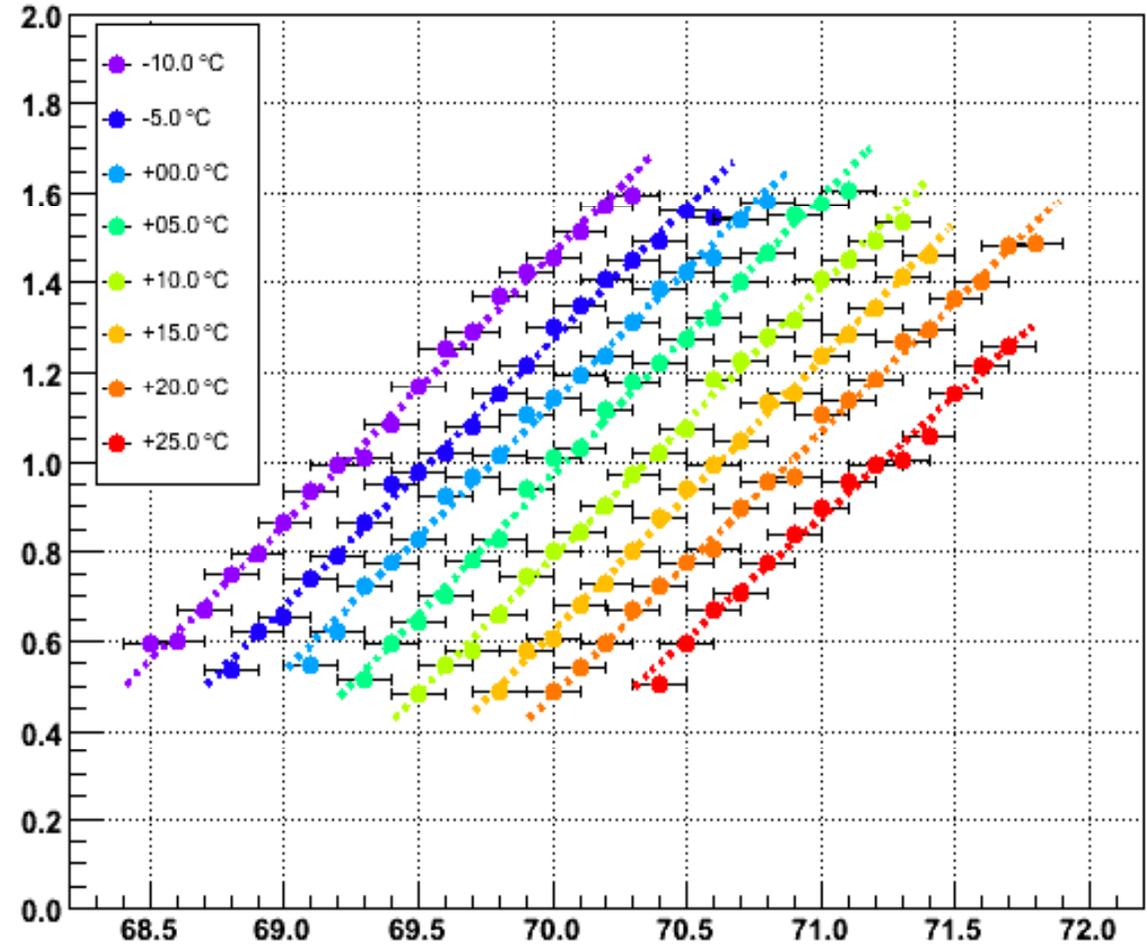


バイアス電圧とゲインの温度特性

No.59 1ch : Gain vs Bias Voltage

- バイアス \propto ゲイン
- 温度依存性がある
- 有意な個体差なし
- 他のチャンネルは backupへ

ゲイン [10⁶]

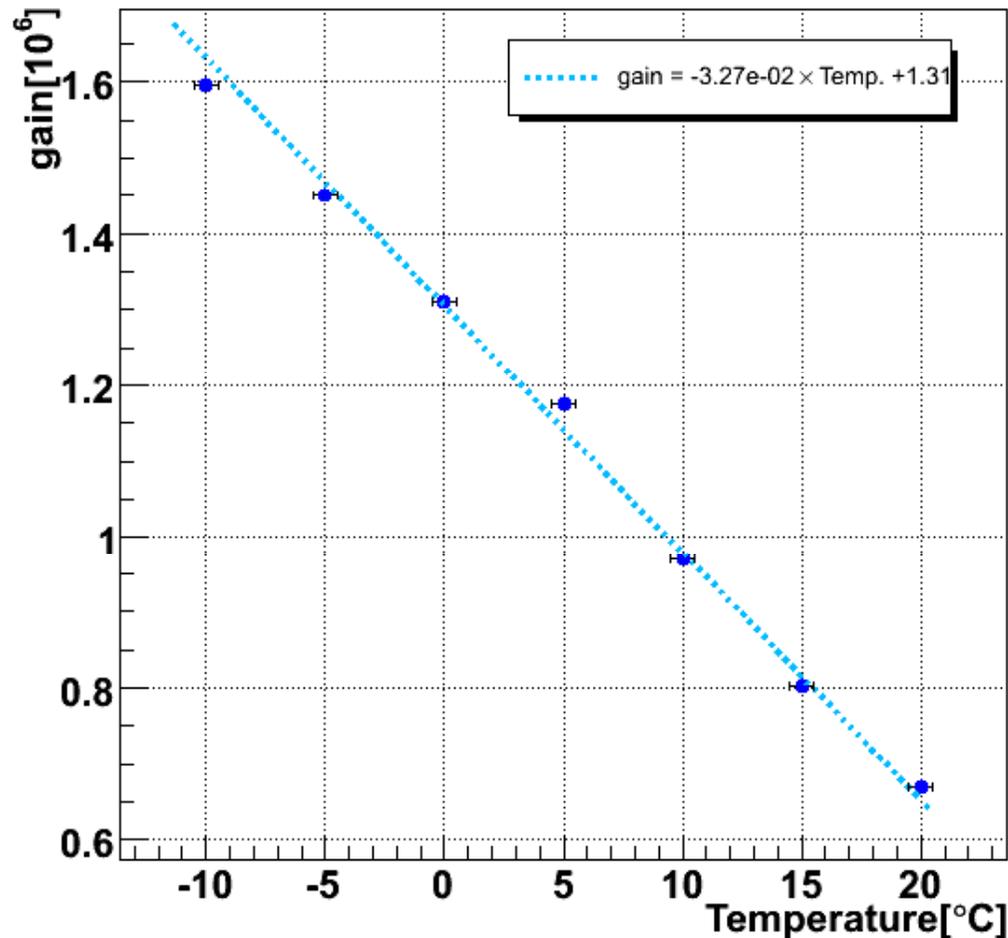


印加電圧 [V]

| | 平均勾配[V ⁻¹] |
|-----|------------------------|
| 1ch | 5.94×10^5 |
| 2ch | 5.94×10^5 |
| 3ch | 6.02×10^5 |
| 4ch | 6.03×10^5 |

ゲイン温度特性

No.59 **1ch** Temperature vs Gain



- 温度上昇→ゲイン低下
- 線形の関係
- 個体差は見られない
- 他のチャンネルはbackupへ
- 温度のモニタリング
→ゲインの補正

| Gainの温度依存性[°C ⁻¹] | |
|-------------------------------|---------------------|
| 1ch | -3.27×10^4 |
| 2ch | -3.13×10^4 |
| 3ch | -3.55×10^4 |
| 4ch | -3.42×10^4 |

印加電圧: 70.3V

まとめ・今後の課題

- MPPCは、PMTに代わるカメラとして期待
 - 検出効率が高く軽量
 - 低電圧で動作
- ゲインの温度依存は温度をモニタリングし解消
- 今後はノイズレートを計測し、対策を検討
- 読み出し回路を設計し、試験観測を行う

Backup

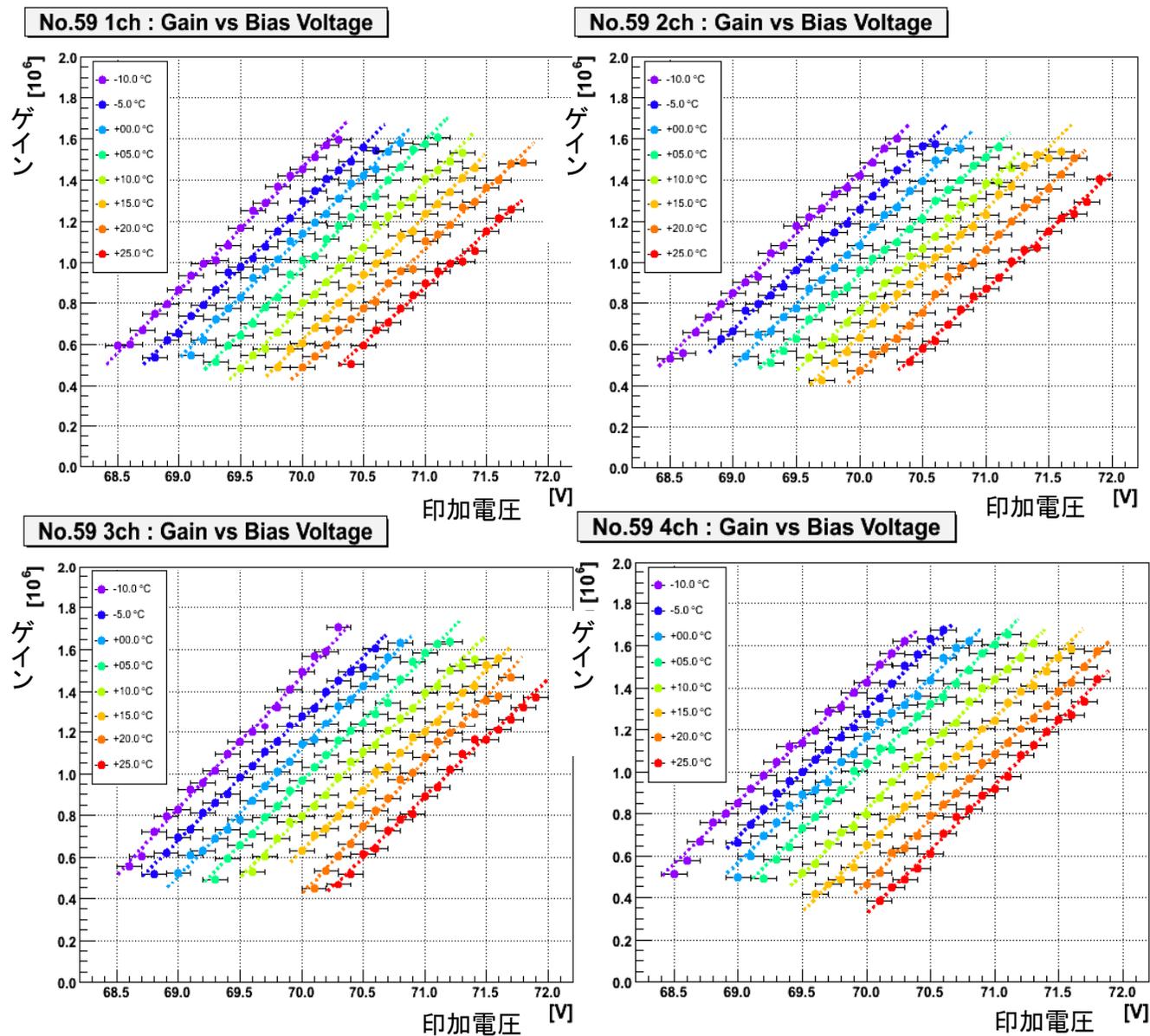
MPPC検出効率

- 量子効率では原理上90%以上
- 開口率の影響で検出効率は60%程になる

開口率……1画素のデットスペースを除いた受光面積の割合

$$\text{検出効率} = \frac{\text{MPPCの検出フォトン数}}{\text{PDの入射フォトン数}} \times \frac{\text{PDの受光面積}}{\text{MPPCの受光面積}}$$

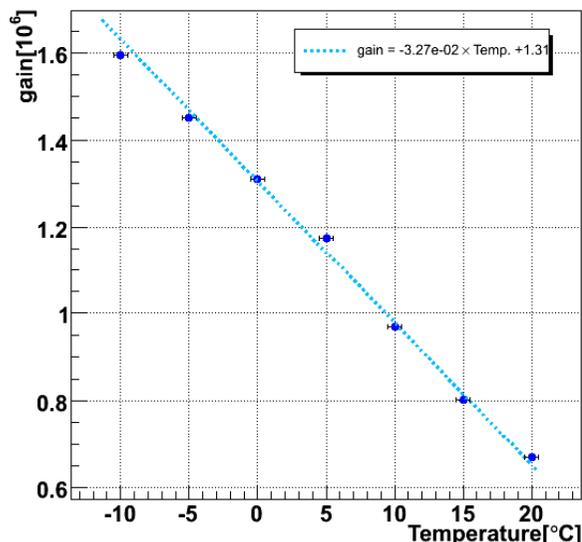
各チャンネルごとのバイアス電圧とゲインの温度特性



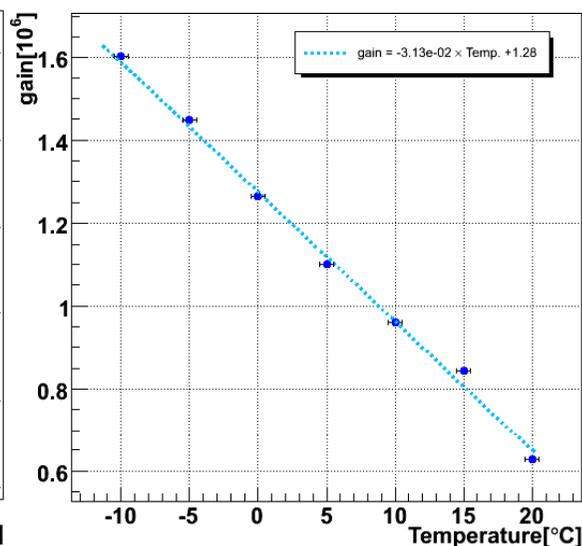
| 平均勾配[V^{-1}] | |
|------------------|--------------------|
| 1ch | 5.94×10^5 |
| 2ch | 5.94×10^5 |
| 3ch | 6.02×10^5 |
| 4ch | 6.03×10^5 |

各チャンネルごとのゲイン温度特性

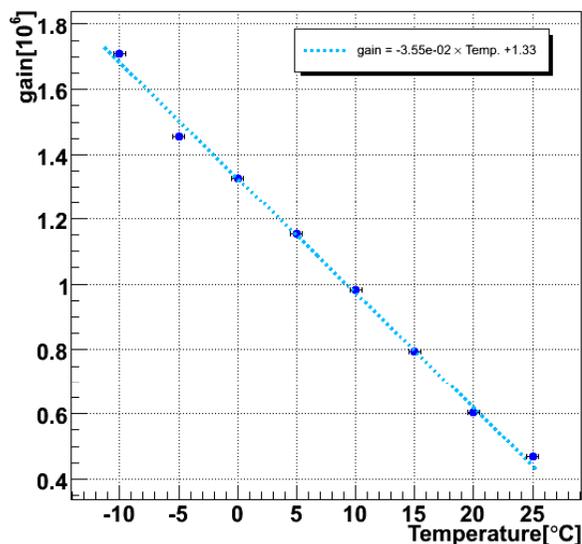
No.59 1ch : Temperature vs Gain



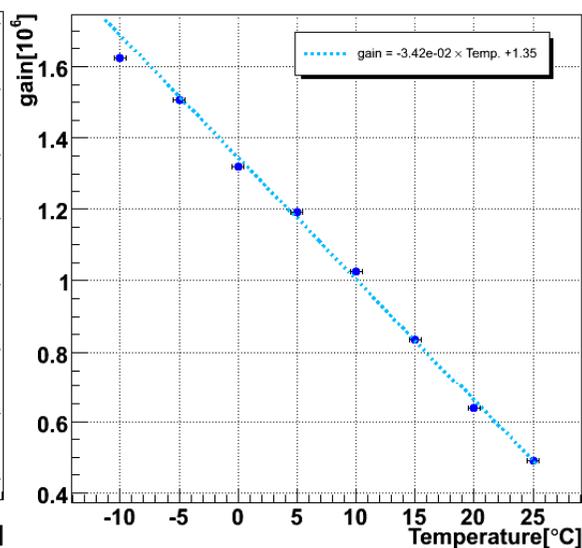
No.59 2ch : Temperature vs Gain



No.59 3ch : Temperature vs Gain



No.59 4ch : Temperature vs Gain



Gainの温度依存性[°C⁻¹]

| | |
|-----|---------------------|
| 1ch | -3.27×10^4 |
| 2ch | -3.13×10^4 |
| 3ch | -3.55×10^4 |
| 4ch | -3.42×10^4 |

印加電圧 : 70.3V

PMTとMPPCの特徴

| | PMT | MPPC |
|--------------|---------|------------------|
| 検出効率(@400nm) | 25%程度 | 60%程度 |
| 増幅率 | 10^6 | $10^5 \sim 10^6$ |
| 強磁場中 | 使用不可 | 使用可能 |
| 印加電圧 | 1000V以上 | 100V以下 |
| 重量 | 重い | 軽い |
| ノイズレイト | 低い | 高い |
| 温度依存 | 小さい | 大きい |