

方向のわかるガンマ線検出器 γ I (ガンマアイ)

榎本良治 (ICRR)

加賀谷美佳、中山浩平、片桐秀明、柳田昭平、吉田龍生 (茨城大)

村石浩 (北里大)

内田智久、田中真伸 (OpenIT)

花房龍治 (富士電機)

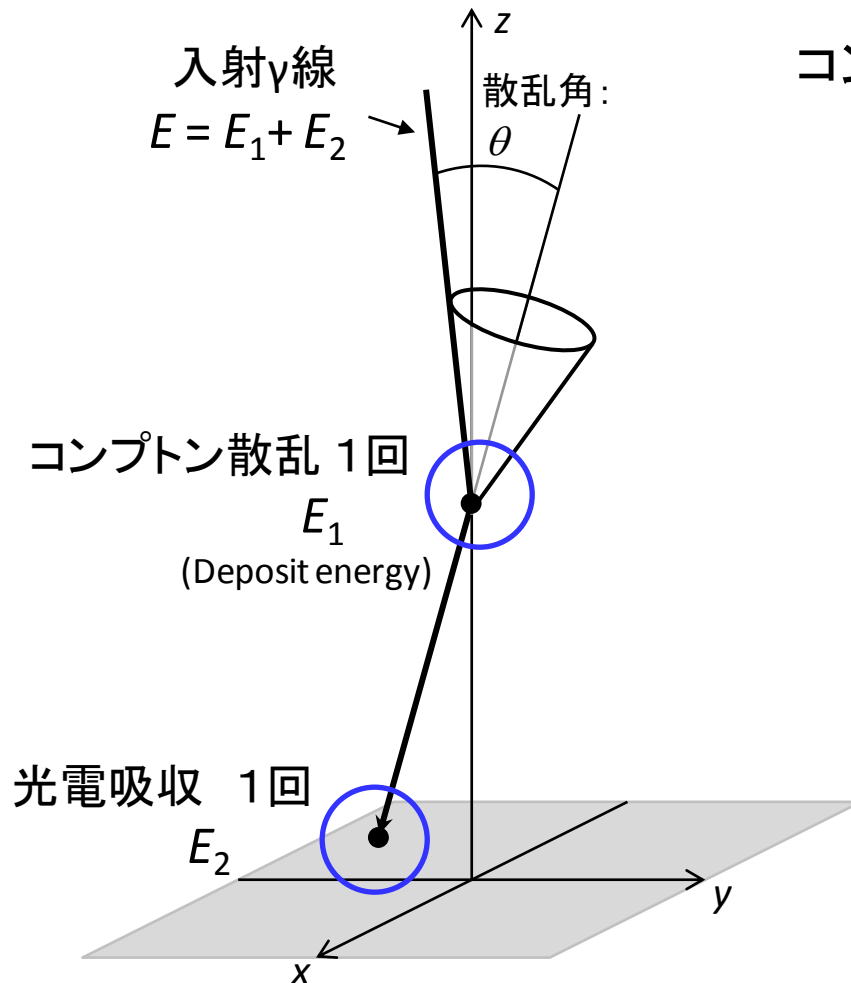
佐藤一弘 (シンセー)

研究目的

- $^{134,137}\text{Cs}$ → 604,662,796keVのガンマ線。
- 福島を除染に少しでもお役に立ちたい。宇宙観測機器が応用できることを示したい。
- サーベーターによる観測より「効率＋精度の高い測定」を可能にしたい。
 - 視野が人間並みで、方向が3度で分かる。計測時間はリーズナブル。
 - 10m離れて50cmの放射線源を特定できる。視野1sr以上で。まわりからの放射能の影響を受けない。
 - 安い。
 - 既存のもの10分の1。
 - コンパクト。軽量。
 - 一人で持てる程度。
 - 高感度。既存のものより10-100倍以上！
 - 柏キャンパス(0.3 $\mu\text{Sv/h}$)でも観測可能。既存のものは高レベル地域でしか働かない
 - 将来性あり。
 - 達成可能角度分解能1度。医学利用も視野にいれる。PETにかわる検出器。

コンプトンカメラ

～1MeVのガンマ線で主要な反応となる、
物質中の電子との散乱(コンプトン散乱)を利用したカメラ

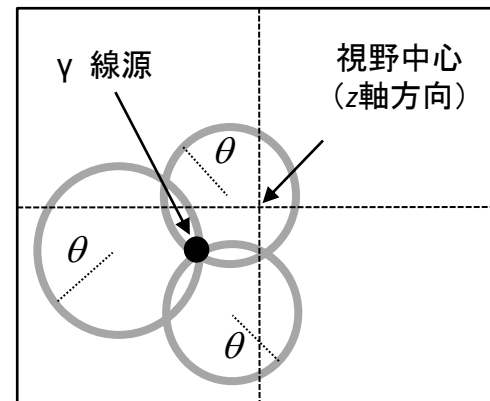


コンプトン散乱の式:

$$\cos\theta = 1 + \frac{m_e c^2}{E_1 + E_2} - \frac{m_e c^2}{E_2}$$

$$E_1, E_2 \Rightarrow \theta$$

再構成された画像の例



詳細仕様

- 角度分解能を向上するために「ある工夫」がなされている。
 - 新技術。
- 2層で全エネルギー吸収する工夫がなされている。
 - 1層目コンプトン散乱+2層目光電吸収。
- リング解析をオンライン高速処理。
 - ある確立した技術の応用。
- リング解析で現れるゴーストイメージを取り除く工夫。
 - ある確立した技術の応用。
- バックグラウンドをオンラインで取り除く工夫。
 - 新技術。
- 詳細は今は明らかにできない。皆さんあててみてください。

結晶 + 光電子増倍管 (PMT)



3.5cm角CsI(Tl)結晶

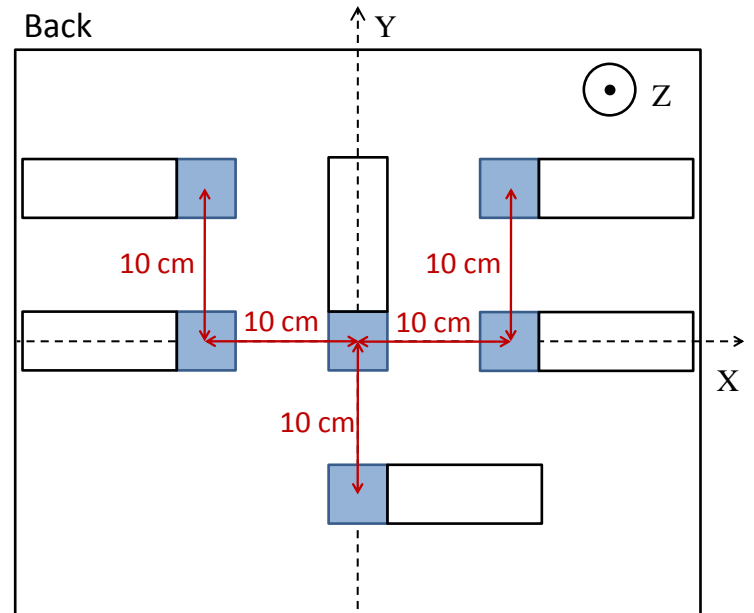
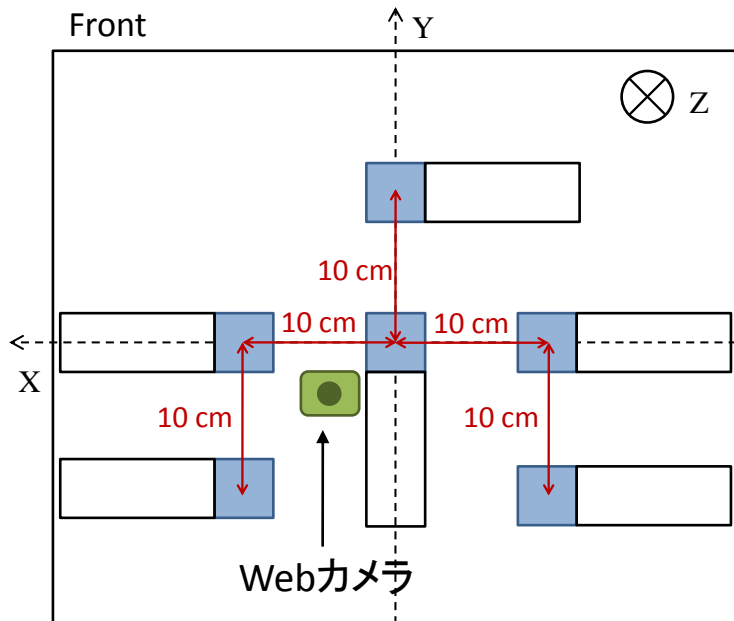
PMT(H11432-100)

- 光学グリスで両者を結合、遮光のため、黒シート・テープで巻く
- ~700g/1カウンター
- +5V, コッククロフト・ウォルトン回路により、高電圧を生成

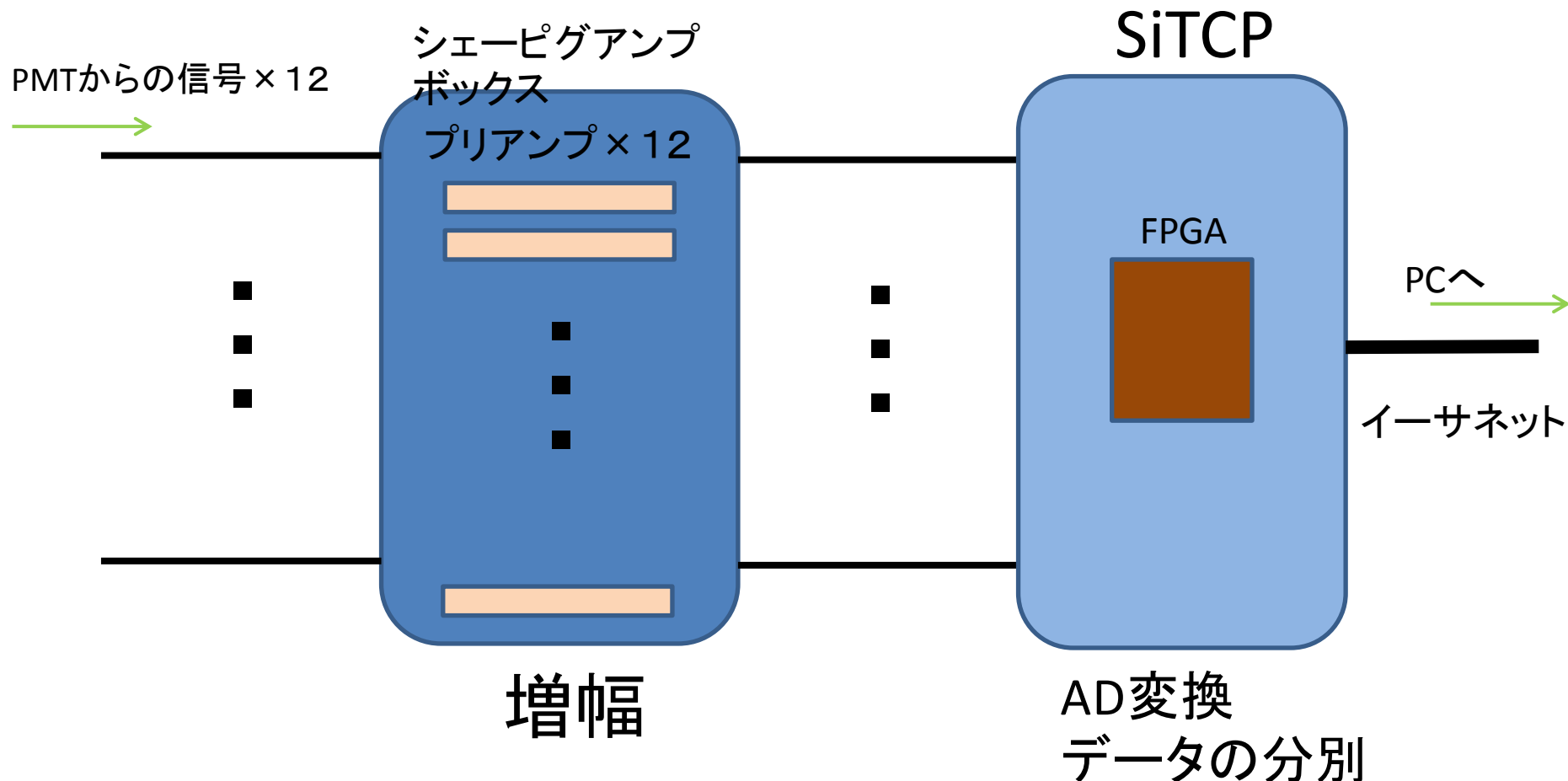
極めて簡易な構造: $\gamma 16 \times 6$

前面

* 総重量は15kg弱



データ収集の流れ



* 必要なものは、他にDC電源(5V,3.3V)とLAN接続のPC

Si-TCP利用が極めて重要。

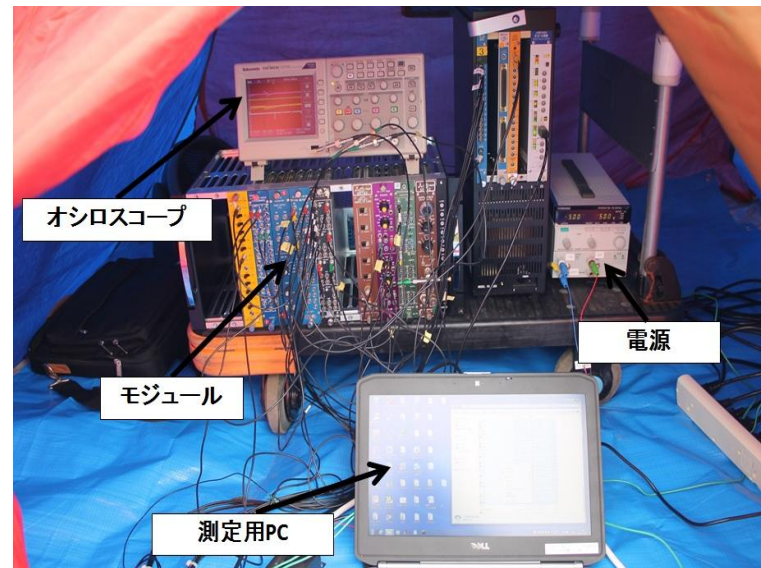
- NIM、CAMACは極めて重くフィールドワークに向かない。電力も食う。大きすぎる。
 - 今やDC電源が最大の重さ。軽い低ノイズ電源があったら紹介してください！
- ウェブフォームが分かる。
 - CsI検出器のエネルギー分解能の向上。
 - 時間分解能の向上とアクシデンタルBGの除去。
 - 消費電力もリーズナブル～3W
 - データ転送スピード大～800Mbps
 - ただし現状は10分の1？
 - どなたか教えてください。
- ソフトウェア開発が容易。WindowsでもOK。

過去 with CAMAC&NIM



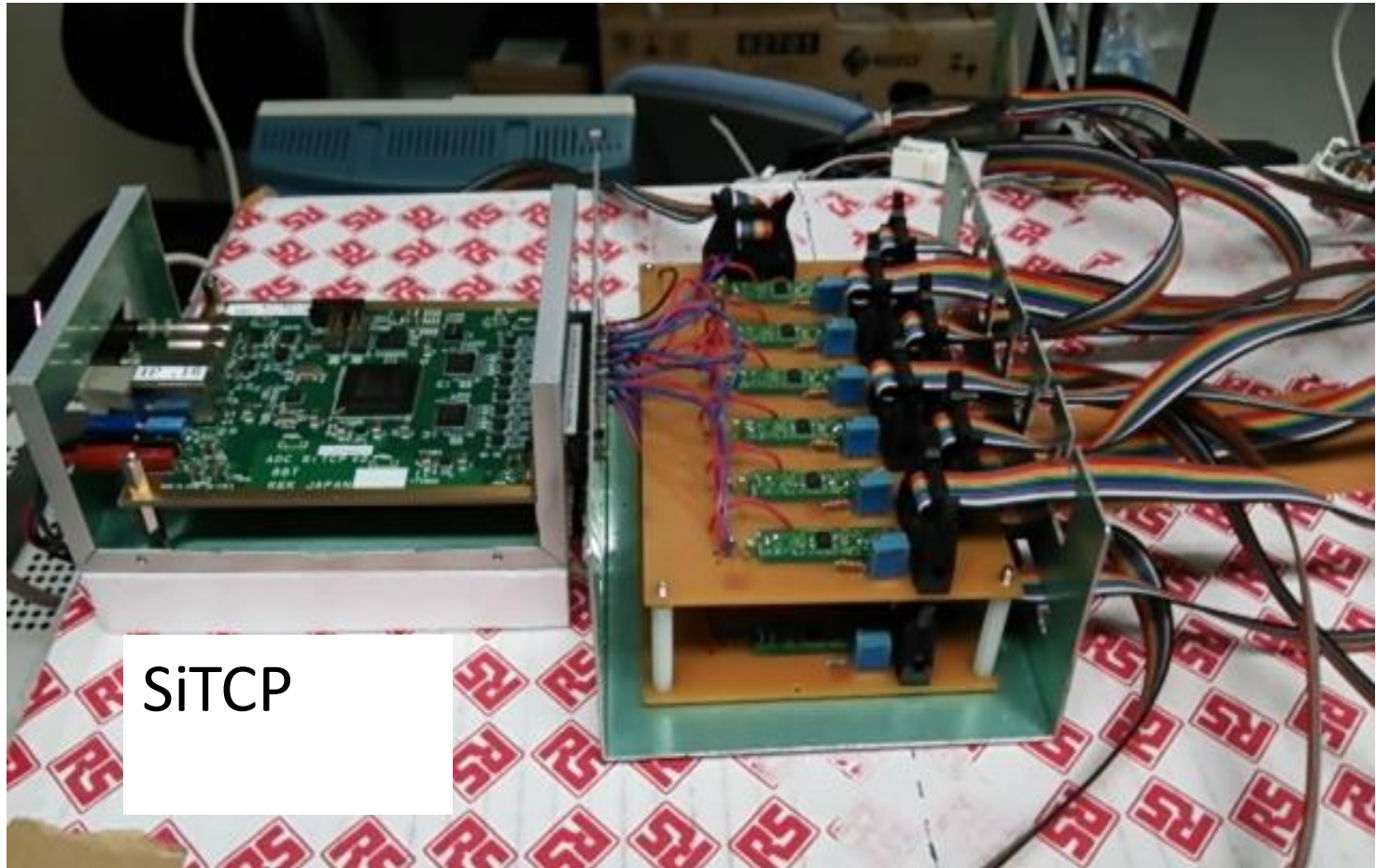
検出器とテントの中のモジュールを接続し、パソコンで操作してデータを取得する。

- 50cmx50cm
- 重さ60kg
- 防水対策＋暴風雨対策



測定に必要なモジュール。測定の開始や終了はすべてパソコンで操作する。

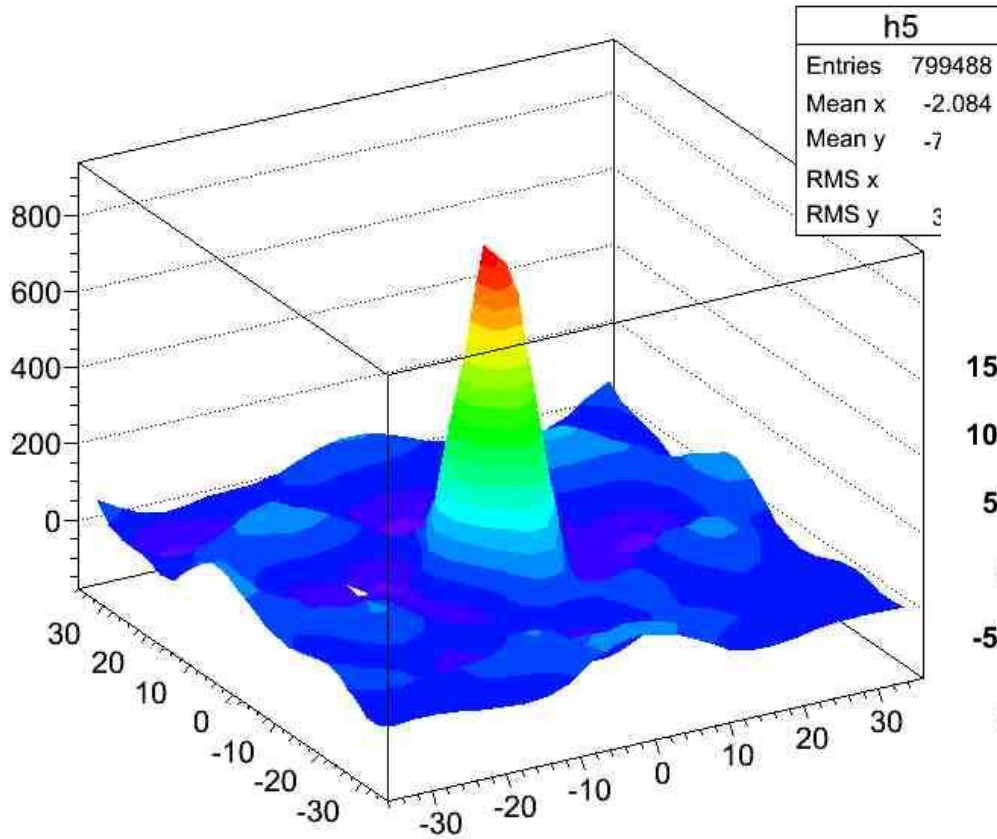
今 (15cmx20cm重さ300g?)



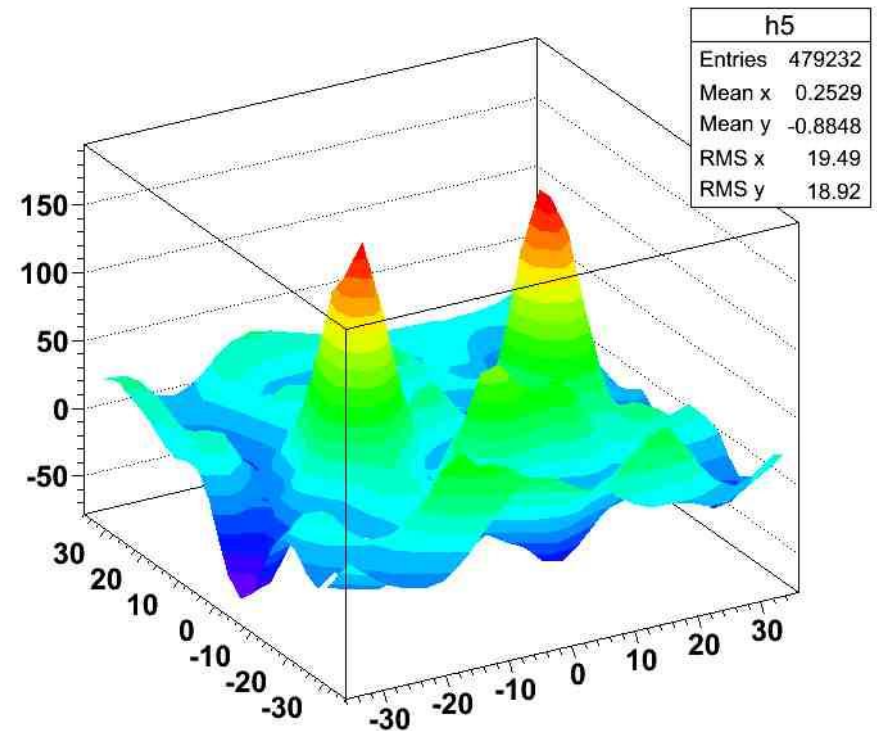
SiTCP+シェーピングアンプボックス

RIでのテスト(1MBq, ^{137}Cs)

2D



2D



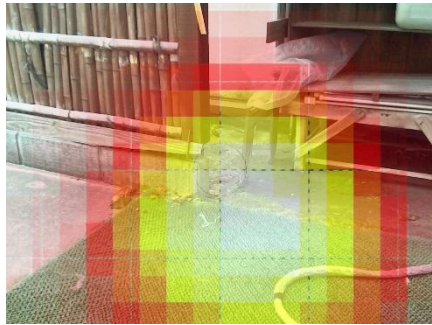
これまでの成果

- 150万ベクレル/kgの「こけ」の発見。
 - 朝日、読売、福島民友新聞などで報道
 - 市街地コンクリート上より。
 - 黒い塵は70万Bq/kg
 - コンクリート上の効率的除染の確立。
- Bq値のオンライン推定。
- 特殊な木。
- 低レベル地域の観測。
- 長距離測定。

福島市市街地の鉄筋住宅でのフィールドワーク

ベランダのコケ(15 μ Sv/h)を測定し、除染を行う

測定時間:1時間 測定距離:約2m



除染前



コケを除染



人工芝生を排除



塵を排除

基準となる1MBqの標準線源の測定値とフィールドワークでの測定値を比較し、除染前後での線量を比較

	除去前	コケ除去	人工芝除去	塵除去
ベクレル数	7.35MBq	5.62MBq	3.06MBq	1.15MBq

約6分の1のレベルまで除染できた

残りはコンクリートに染み込んだものであると考えられる

Ge半導体検出器の測定結果との比較

■ 採取した

	コケ	塵
ガンマアイの測定結果から推定	1.57MBq	0.75MBq
Ge検出器での測定結果	1.78MBq	0.70MBq

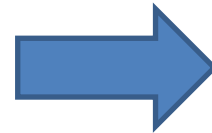
約10%の精度で一致している。
今回の測定結果から、コケや人工芝だけでなく、塵を排除することでも除染効果が得られることが判明。
サーベイメータではわからないスポットもガンマアイで測定することで除染をより効率よく行える。

黒い塵



福島市住宅地域の宅地の測定

自宅玄関脇の植木を自宅内から測定



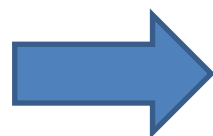
木造の自宅の壁を突き抜けている
積算線量計での測定結果もこの部屋が最も高い。
部屋の中といえども、周辺にホットスポットがあると危険！

※この植木はその後、除去された

木の測定

- 宅地の敷地内に生えている木を測定

ガンマ線イメージ



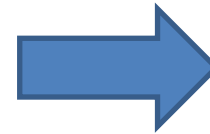
- コンクリートの道路脇(斜面になっていて雨が流れてくる部分)
- サザンカの木、松の木のレベルが高い可能性(今後調査が必要)

ガンマアイで測定することにより、レベルの高い種類の木を判別できるようになるかもしれない

低レベル地区を30mから広い範囲を長時間測定

東京大学 柏キャンパス 宇宙線研究所の3階の窓から測定

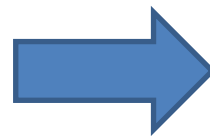
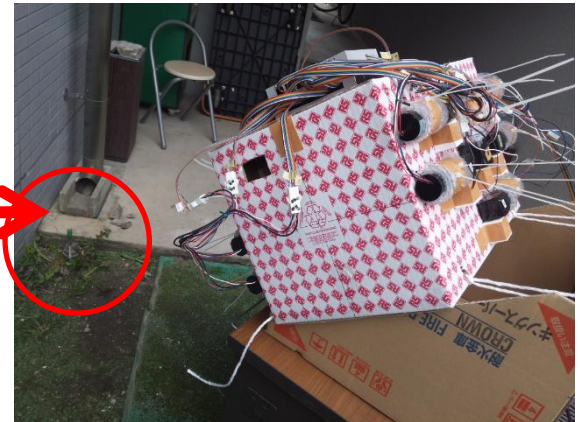
- γ 3×3 (素子数3+3の初期のプロトタイプ)



- 駐車場のコンクリートはレベルが低く、芝生や木が生えている土壤のレベルが高い
- 30m離れたターゲットも長時間の測定で見える

もっと低レベルな茨城大学水戸キャンパス のホットスポットの測定

- 茨城大理学部敷地内の雨樋近くを測定
- 空間線量: $0.05\mu\text{Sv/h}$
- ホットスポット: $1\mu\text{Sv/h}$
- ホットスポットまでの距離: 1.2m



0.05 $\mu\text{Sv/h}$ の地域のホットスポットを測定することに成功!

他検出器との比較

- 角度分解能＝3.5度（実測）
 - 最も良い方のレベル。
- 測定感度
 - 最高レベル。
 - バックグラウンドがなければ最少0.0006 μ Sv/hまで測定可能（実測）。
 - 全面1 μ Sv/h土壌の上にある0.02 μ Sv/hの放射能を識別可能（実測）。
- すでにいろいろなものを測定しており実績あり。

既存の製品との比較(日本製は論外)

比較項目	HSL1000(IPL社)	γ 13×3	γ 16×6	γ 16×6 compact
素子数	16×16	3+3	6+6	6+6
重量	15kg	8kg	15kg	15kg
寸法	200mm×200mm×400mm	400mm×400mm×400mm	400mm×400mm×400mm	200mm×200mm×400mm
角度分解能	3度以下	3.5度	3.5度	3.5度
最大検出距離	5m	> 30m	> 30m	> 30m
捕獲時間	3分未満	40秒	8.8秒	13.9秒
視野角	45度	60度	60度	60度
感度	バックグラウンド 0.23 μ Sv/hで0.46 μ Sv/h を測定可能	バックグラウンドなし で0.02 μ Sv/hを1 時間で測定可能	バックグラウンドなし で0.0006 μ Sv/hを 1時間で測定可能	バックグラウンドなし で0.0009 μ Sv/hを 1時間で測定可能

γ Iの感度は既存の検出器に比べて10倍以上
平均1 μ Sv/hの環境で10m先の測定が行えるかどうか重要
→今後のフィールドワークにより実証する

除染学の構築

- サーベーターではわからない放射線源分布がわかる。
- 除染の効率が明らか。
 - サーベーターでは周囲の影響を受けすぎてわからない。
 - 除染方法の確立に貢献できる。
- ある意味物理学より意味有。
- OpenITの技術が一般社会に貢献できるチャンス。

まとめ

- 満足のいく検出器のプロトタイプが完成した。
- 今後は普及化タイプの製品をつくりたい。
- 効率的除染の手順を確立したい。
- OpenIT:
 - ボードあたり16chであるが将来的には128chまで拡張したい。
 - Multi-board?
 - 1ボードで多チャンネル化？
 - Suggestionを乞いたい。

バックアップスライド

ハイパーリンクスライド