

ミュオグラフィによる大深度地下トンネル工事を対象とした防災システムの開発

岡本直也¹, 川瀬頌一郎¹, 金政浩¹, 奥田歩夢², 関口恒¹, 芝洋斗¹, Hamid Basiri¹ (¹九大総理工, ²九大工)

① トンネル工事による陥没事故

地下トンネルは、パイプラインや送電などに使われる**エネルギー社会**における**基盤インフラ**である。

地下トンネル施工には**シールド工法**が用いられることが多い

トンネルの施工により**地中空洞**が発生し、**陥没事故**が発生する可能性がある

陥没以前に地中空洞を発見できれば、**陥没事故を防ぐことができるが、既存の手法では空洞を見落とす可能性がある。**



シールドマシン[1]



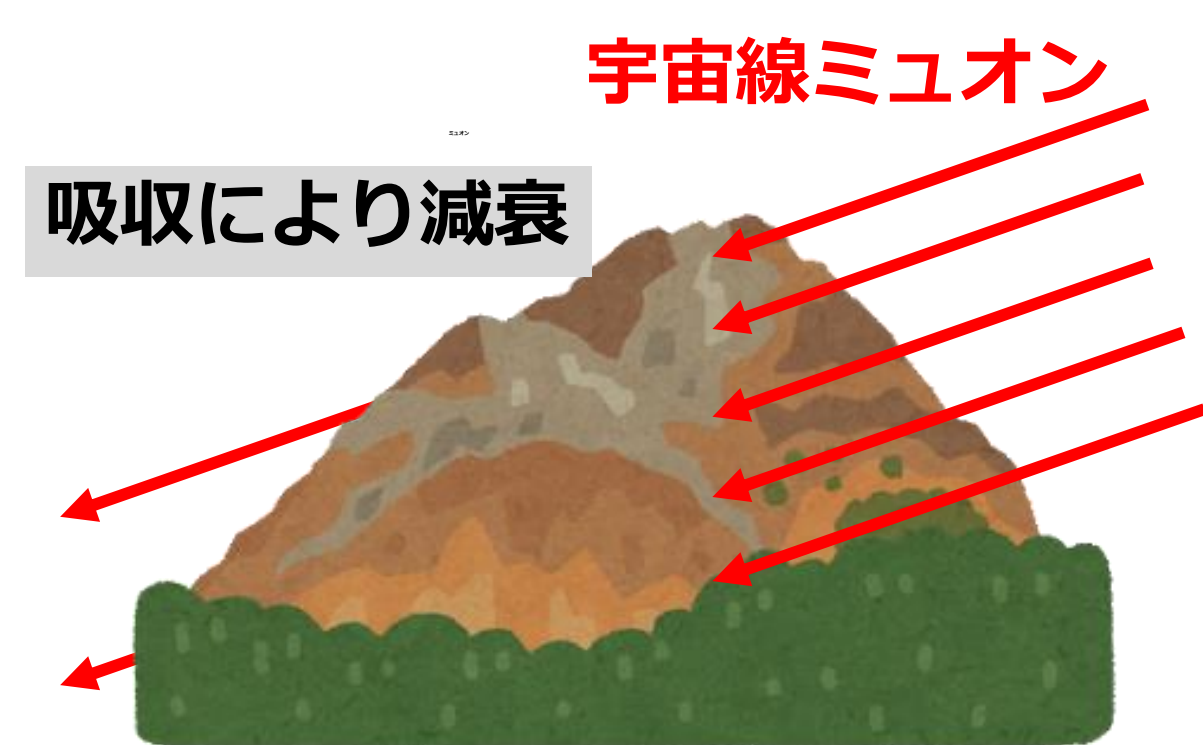
調布市でのシールド工事による陥没[2]

[1] JIMテクノロジー株式会社HP製品ラインナップ 閲覧日:2021.01.06 <http://www.jimt.co.jp/product/01.html> [2] 東京外かく環状道路(関越~東名)工事現場付近での地表面陥没事故について 閲覧日:2021.07.01 URL: https://www.e-nexco.co.jp/news/important_info/2020/1018/00008711.html

② ミュオグラフィによる地中空洞探査

ミュオグラフィを地中空洞を探査する新たな手法として提案

↳ **宇宙線ミュオン**を用いて大型建造物の内部を透視する技術



ミュオンは対象の**密度×厚さ**に依存して減衰する

↓ 対象の大きさが既知なら

ミュオンの減衰率から対象内部の**密度構造をイメージング可能**

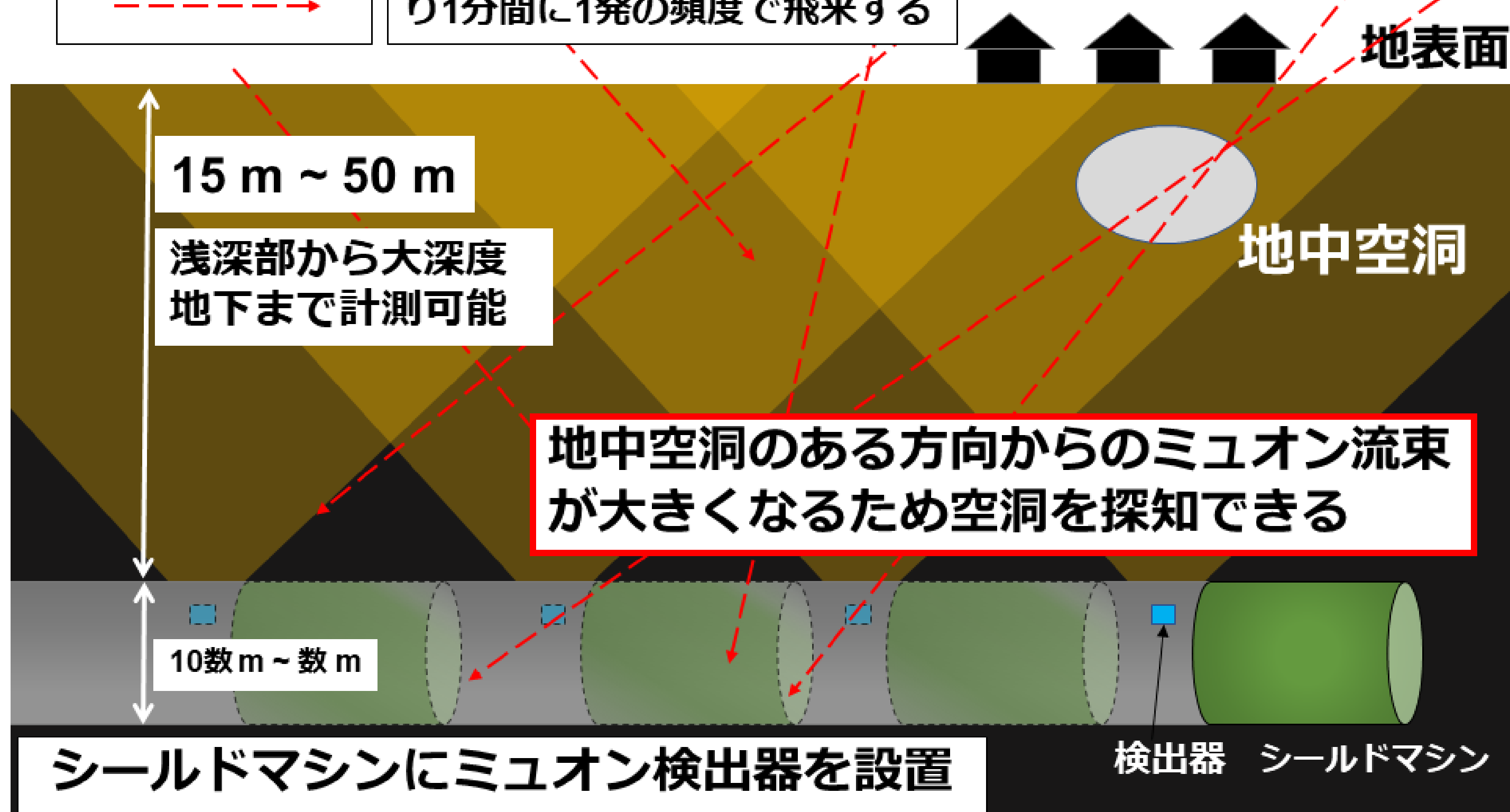
③ 本研究の目的

ミュオグラフィによりトンネル掘削時に発生した地中空洞を発見し、**陥没事故を未然に防ぐための防災システム**の開発

④ ミュオグラフィによる防災システム

宇宙線ミュオン

宇宙線ミュオンは、1 cm²当たり1分間に1発の頻度で飛来する



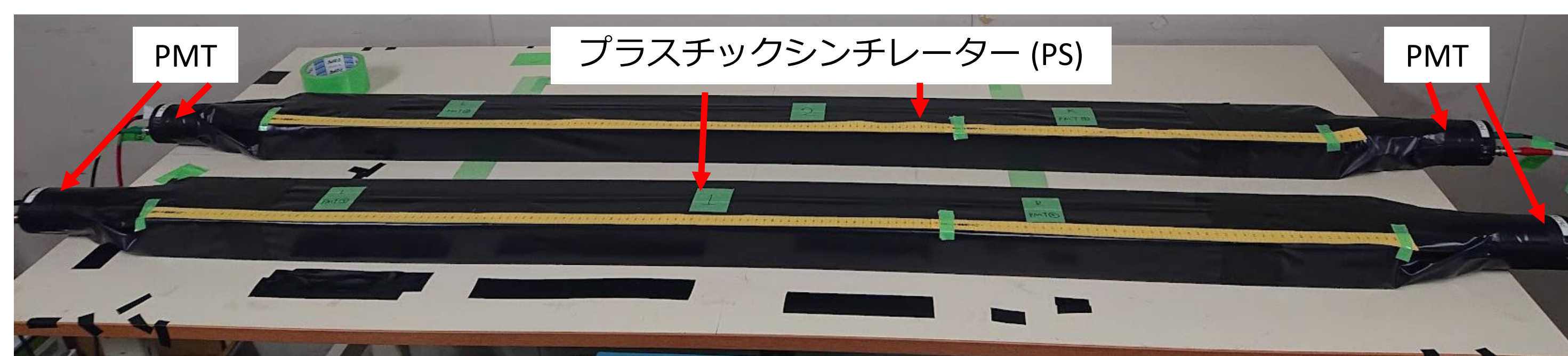
掘削と同時にリアルタイムでの空洞モニタリングが可能

⑤ 本発表での報告事項

本防災システムの実現には**ミュオン検出器を開発し、その空洞探査能力を実証することが必須**

本発表では、製作した**ミュオン試作検出機**の**基礎性能(位置分解能)**に関して報告

⑥ 試作機の製作



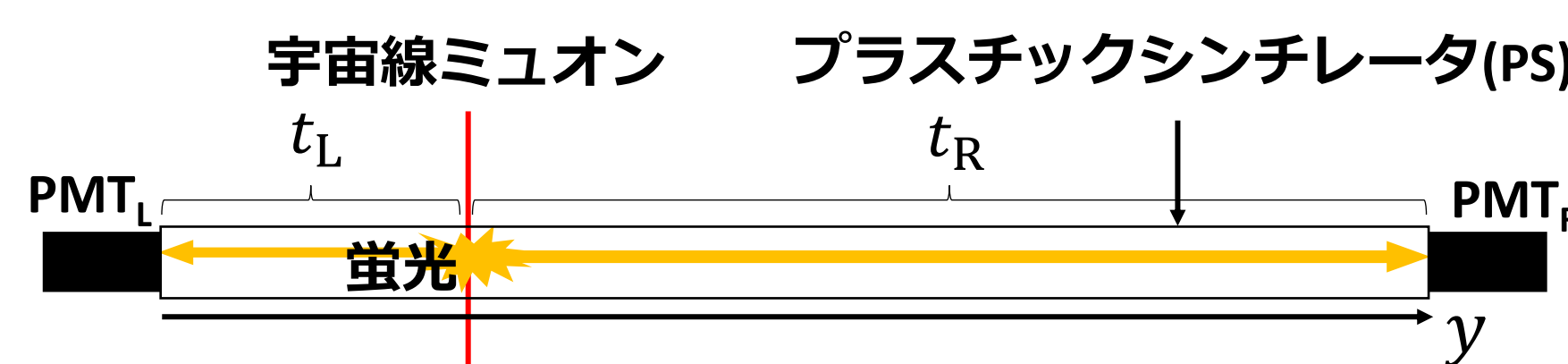
製作した試作機(二台用いることでミュオンの飛来方向を特定できる)

- **プラスチックシンチレータ(PS)**
Eljen Technology EJ200 (10 × 150 × 5.7 cm³)
- **光電子増倍管(PMT)**
Hamamatsu H6410
- **Time to Digital Converter(TDC)**
CAEN V775 (最大**35 ps**の時間分解能で時間差を計測可)
↳ PS内で光が約7 mm進む時間に相当

⑦ 宇宙線ミュオン検出原理

信号出力時間 t

宇宙線ミュオンが入射し蛍光を発生してからPMT(光検出器)に光子が到達する時間



信号出力時間差

$$\Delta t = t_L - t_R$$

Δt と入射位置 y の関係

$$y = \frac{c}{2n} \Delta t + b \dots (1)$$

c : 光速, n : PSの屈折率, b : 定数

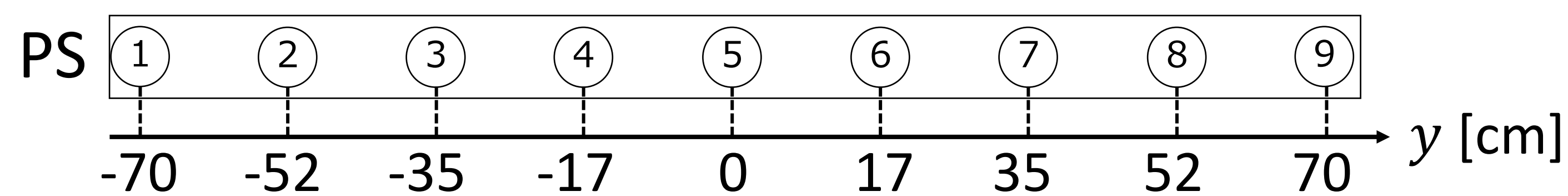
信号出力時間差を計測することで宇宙線ミュオンの入射位置を推定することができる

⑧ 実験：時間差と位置の関係

目的

実験的に試作機の**位置分解能**および **Δt vs y の関係**を求める

実験手法



2本のPSそれぞれ9点に⁹⁰Sr(β線源)を配置し10分間計測

結果・考察(1本の結果のみ)

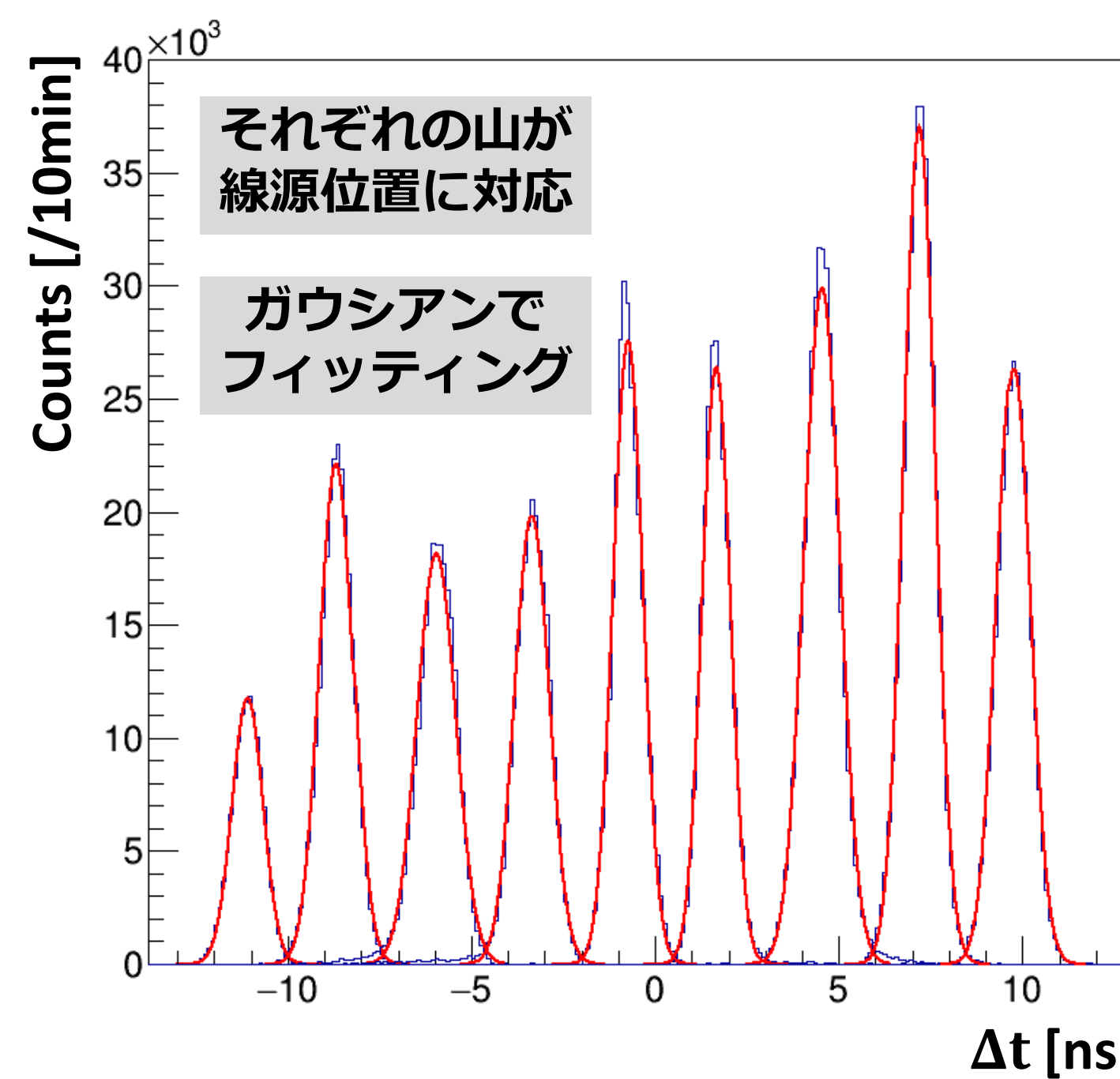


図1. 各線源位置での時間差分布

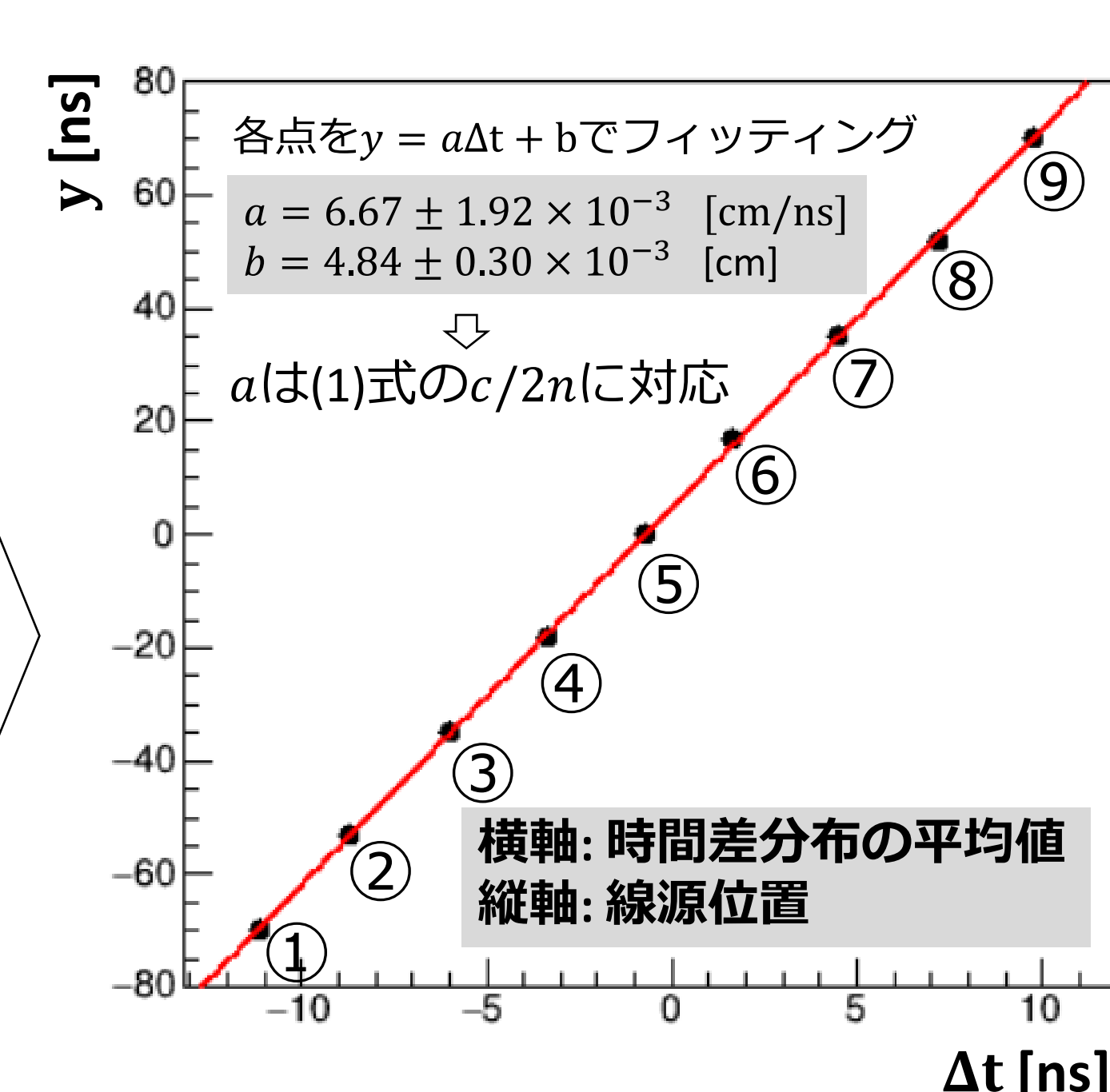


図2. Δt と y の関係

図1で各ピークの標準偏差は約400 ps ⇒ 4 cm程度の位置分解能

図2の傾きは $c/2n$ の理論値 9.49 cm/ns と誤差以上の乖離がある ⇒ 信号波高の違いによる**トリガータイミングのずれ**が原因の可能性

⑨ 今後の課題

トリガータイミングのずれ(ウォーク)の影響を波高値と時間差を同時計測し明らかにする。

試作機により**宇宙線ミュオンの計測**を行い、その**角度分布**を取得する

テスト対象(鉛ブロック)の計測により、**空洞探査能力の実証**を行う。