

# P-19 簡易同時計数回路による富士山頂の2次宇宙線強度の連続測定

— 付・簡易同時計測回路による地上人造構造物による宇宙線強度の変化の測定 —

松澤孝男<sup>1,2</sup>、矢島千秋<sup>2</sup>、保田浩志<sup>2</sup>

1. 元茨城高専、2. 放医研

## 1. はじめに

我々は、主研究テーマの富士山頂における宇宙線中の中性子の観察のほか、登山・下山時および山頂に於ける自然放射線の測定を行っている。昨年の報告(予稿集 P-13)では自然放射線強度の標高による変化を富士山下山時の測定データのほか、JR 小海線等の鉄道の路線の列車内で測定したものを紹介した。我々はこのほか、GM 管式の簡易放射線測定器(簡易同時計数回路)を用いた富士山頂における2次宇宙線の測定も夏季行っている [1]。さらに比較のため同じ簡易宇宙線測定器による2次宇宙線の測定を富士山の裾野(標高1000m)と北アルプスの乗鞍山頂付近(2770m)でも行っている。2013年度はこの3か所で2次宇宙線の通年連続観測を試みつつある。これ等観測所はそれぞれ夏季以外は閉鎖されるため、実際の観測データに触れられるのは今年夏である。

このほか、この簡易同時計数回路は小型で可搬性があるため装置の性能チェックを兼ねて下界の通常的生活空間で市街地の環境中の人工構造物による2次宇宙線の強度変化をつくばエクスプレス等のトンネルや地下駅のある鉄道等での走行時の測定も行っている。

本報告では、簡易宇宙線測定器の概要と高山での測定例と通年観測の方法と、つくばエクスプレス列車内での2次宇宙線強度の測定の例を示す。

## 2. 使用した機器

GM 管式 簡易放射線測定器 T-GMK2 (TAC 社)、GPS 付 GM 管式簡易放射線測定器 T-Mu1-G (TAC 社)、シンチレーター式簡易放射線測定器 T-GMK2-S (TAC 社)、気圧計付 SpO2 測定器 T-SpO2 (TAC 社)、GM 管式簡易同時計数回路 T-Mu1 (TAC 社、上記 T-GMK2 の出力をロジック IC で結合したもの)、および T-Mu1 で使用している GM 管より少し大きい3本の GM 管を用いた簡易同時計数回路 T-Mu2-3GM (TAC 社) を使用した。

## 3. 簡易放射線測定器による登山・下山時の環境放射線および二次宇宙線の強度変化

### 3.1 富士山頂および下山時の環境放射線強度

2012年7月、富士山登山の際、簡易放射線装置を携行し、山頂(観測所内)および下山時の環境放射線強度を連続測定した。2013年8月には乗鞍登山・下山時の環境放射線強度を連続測定した。

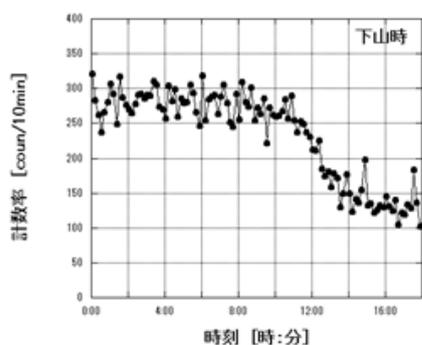


図1 富士山頂および下山時の自然放射線強度 (GM管、計数率) 富士山頂測候所～御殿場 2012年7月 (2013年予稿集、P-13) 10分平均

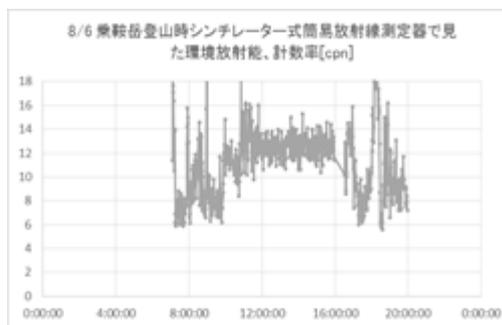


図2 シンチレーター式簡易放射線測定器による乗鞍登山全行程中の放射線強度(計数率) 松本～乗鞍岳～松本、2013年8月、1分平均

図 1、図 2 に示すように、富士山、乗鞍岳とも、登山をすれば簡易放射線測定器で感知できる程度の放射線強度の変化がみられた。山頂および登山時における環境放射線の増加は 2 次宇宙線の増加の影響と考え、この 2 次宇宙線の強度の変化を移動時（登山時）および固定時（山頂滞留時）に簡易放射線測定器を改良した簡易同時計数回路で測定しつつある。

### 3.2 簡易宇宙線測定器(簡易同時計数回路)の試作と製品化

簡易宇宙線測定器の試作は、市販の簡易 GM 管測定器製作キット、USB ガイガーカウンターキット（ストロベリー・リナックス社、GM 管は米国製 LND-712）2 台の出力を、ロジック IC の AND 回路 TC74H32AP を用いて結合し、その出力を同じ USB ガイガーカウンターキットの 3 台目の入力部につなぎ表示部とした。3 台目の GM 管は無駄になるが、わずか 100 円弱の追加投資と半田付けだけで誰でも簡易同時計数回路を得られる。これは、筆者が茨城高専の教員在職中マチュア無線クラブの学生たちと何回も試みてきた。原理は宇宙線観測研究の初期ロッシンの考案したものである[2]。計算機等の電子回路で使用される AND 回路はこの宇宙線観測用の同時計数回路(当時は真空管を使用)が源流である。市販の簡易 GM 管測定器キットを組み合わせただけのため、誰でも簡単にかつ確実に簡易同時計数回路を手にすることができることは上記無線クラブ員の「作品」で確認済みである[3]。この簡単な自作同時計数回路でも 2 次宇宙線を捕捉（観測）していることは富士山頂での観測強度の天頂角依存性の確認や、Cs-137 と Na-22 を用いた偶然同時計数の見積もり実験等で確認している[4]。

しかし、製作する学生により、また、製作のつど GM 管の相互位置や、電気回路にそれぞれ工夫を凝らすため、完全に同一の規格の同時計数回路はなく互換性に欠け、さらに素人の結線のため、装置の強靱性にも欠け、数か所の観測地点における同時比較測定 of 機器としては不適當であった。

市販の簡易 GM 管測定器製作キット 2 台の出力を、ロジック IC の AND 回路を用いて結合し、その出力を同じ簡易 GM 管測定器製作キットの 3 台目の入力部につなぎ表示部とする作業を専門の業者に依頼した。T-GMK という簡易放射線測定器 (GM 管はロシア製 SBMMB-20) を製作していた TAC 社に依頼した。当初はこの T-GMK で同時定数回路を作成する予定であったが、T-GMK の計測・記録部分も容器も改良した T-GMK2 が発売されたのに伴い、T-GMK2 での製作依頼をした (T-Mu、機種名は TAC 社の muon 測定器の意味か)。

2012 年夏の測定はこの T-Mu (TAC 社製) で行ったが、実際に使用してみると、心臓部のロジック IC を載せたユニバーサル基板が露出しているため、強靱性に欠け、試作機と同じく無駄な GM 管 1 本と計数回路・表示回路が 2 組が発生し、さらに体積も大きくなった。そのため、すべての電子回路と GM 管を 1 枚のプリント基板上に実装した本格的な改良品を作成した (T-Mu1, TAC 社)。

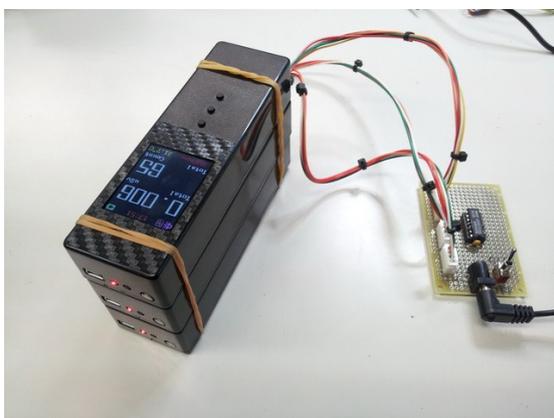


図 3 試作簡易同時計数回路、T-Mu (TAC 社)

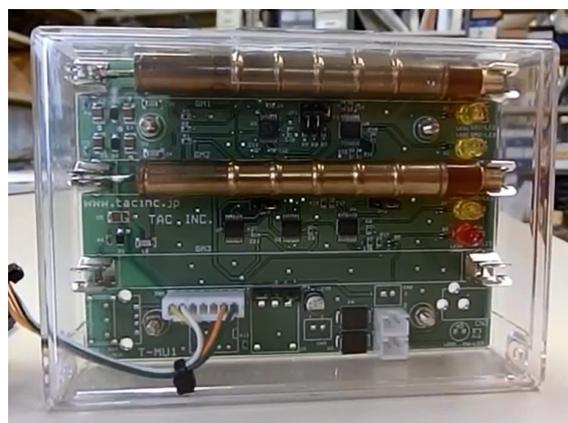


図 4 改良型同時計数回路、T-Mu1 (TAC 社)

2012年夏の2次宇宙線の測定はこの試作機 T-Mu (TAC 社製) で行ったが、2013年の測定にはこの改良型の簡易宇宙線測定器 T-Mu1 (TAC 社) で行った。乗鞍用には更に LAN 用インターフェースを付加した。

別途、展示用に計数効率を上げるため SBM-20 より大型の中国製の GM 管、j408 を3本並列に並べた簡易宇宙線測定器 T-Mu2-3GM を作成した。GM 管の本数を3本に増したため、宇宙線の入射方位の精度は向上するはずである (未確認)。GM 管の本数を3本に増したため相反的に計数効率は下がるはずであるが、GM 管が T-Mu1 の SBM-20 に比べ j408 は大型のため計数率は約4倍になった。



図5 展示用同時計数回路 T-Mu2-3GM (TAC 社) 心臓部のプリント基板は T-Mu1 と同一。図4の T-Mu1 のプリント基板上に GM 管 SBM-20 を3本実装できる。ただし、計数率が下がる。

データ表示およびデータ記録部は T-Mu1 の物と同じ。後述の乗鞍登山およびつくばエクスプレスでの2次宇宙線の測定にはこの T-Mu2-3GM も携行した。

### 3.3 北アルプス(乗鞍岳)登山・下山時の宇宙線強度

2013年8月6日北アルプス (乗鞍岳) 登山・下山時の宇宙線強度の測定を行った。測定の起点は松本市 (標高約 586m) で、電車およびバスを2台乗り継ぎ畳平 (標高 2702m) まで登り、そこから乗鞍宇宙線観測所 (2770m) までは徒歩で登った。松本発 07:16、同日下山後松本着 19:54 であった。前日および下山日は、松本駅前のビジネスホテルにそれぞれ1泊している。

シンチレーター式簡易放射線測定器 (T-GMK2-S, TAC 社) による登山・下山の全行程の環境放射線強度を図2に示した。横軸は時刻である。松本出発前と松本帰着後の放射線強度の上昇はホテルのコンクリート壁の自然放射能である。山頂と下界のビジネスホテルの室内の放射能強度が同レベルである。

次に簡易型の同時計数回路 (T-Mu2-3GM) による2次宇宙線の測定結果を図6に示す。標高測定の代わりに気圧測定を気圧計付簡易 Sp02 計 (T-Sp02, TAC) で行った。その気圧データを図7に示す。

図7からは、列車・バスの乗換地点 (新島々駅、乗鞍高原観光センター前、終点畳平) を読み取ることができる。松本気象台の現地気圧と海面気圧、および携行した気圧計 (気圧計付簡易 Sp02 計 T-Sp02) の測定気圧を図7に示す。図7の●印は松本気象台の現地気圧、◆印は補正された海面気圧を示す。携行した気圧計付簡易 Sp02 計 T-Sp02 の気圧値と気象台の現地気圧はよく一致している。気圧計付簡易 Sp02 計 T-Sp02 は簡易放射線測定器 T-GMK2 の応用製品で、センサーを GM 管から Sp02 計基板に変えただけで、データのサンプリングの間隔、データの保存方法等同一である。

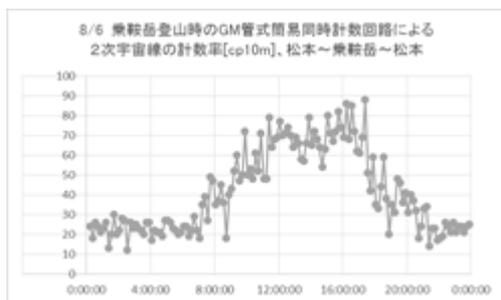


図6 GM 管式簡易同時計数回路 (T-Mu2-3GM) による2次宇宙線の計数率の変化

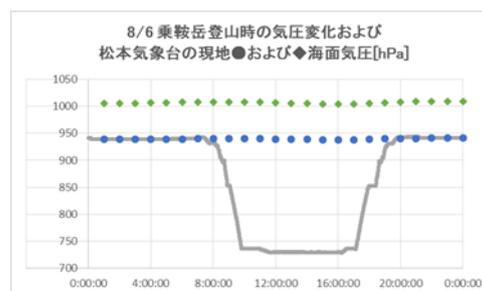


図7 登山中および松本市の気圧変化 [hPa] 気圧計付簡易 Sp02 計 T-Sp02 (TAC 社) 使用

### 3.4 簡易宇宙線測定装置および簡易放射線測定装置で測ったつくばエクスプレス

つくばエクスプレスは路線長 58.3km、全 20 駅の路線である。つくばエクスプレスは始点・終点をはじめ地下駅が多数あり、路線も地下道（トンネル）の部分がある一方地上部分は路線も駅も高架になっており、地面との関係（トンネル内の壁よりの放射線、宇宙線の遮蔽、地面からの放射線の減衰等）が複雑であることが予想される。そのため、放射線測定値のみで表しただけでは環境放射能の概要が把握しにくいことが予想される。

測定には、高度変化の指標として気圧計(T-SpO2)を、宇宙線強度の測定にはGM管式の同時計数回路(T-Mu1 および T-Mu2-3GM)を用いた。また放射線測定器の検出器に原理の違いによる放射線強度の違いを調べるため、シンチレーター式簡易放射線測定器(T-GMK2-S)とGM管式簡易放射線測定器(T-GMK2)を同時に使用した。計器はすべてTAC社製である。

測定場所は、列車内および駅のホーム並びに始点新秋葉原駅および終点つくば駅の地上出口近傍の地上部である。始発駅から2駅通過した3駅目で下車し、約20分その駅のホームの待合席の椅子の上の宇宙線強度を測定し、同様の方法を繰り返した。使用した測定装置と測定項目、測定条件については以下に示す。

#### GM管式簡易放射線測定装置で測ったつくばエクスプレス

GM管式簡易放射線測定装置で測ったつくばエクスプレスの始点新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の放射線の計数率を示す。図8はT-GMK2で測った計数率の5分ごとの平均値(単位cpm=count/min)、図9はT-Mu-G1で測った計数率の2分ごとの平均値(単位cpm=count/min)である。2つのグラフの外形が似ていることから、2分ごとの平均値で測定できそうである。



図8 新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の放射線の計数率、片道、下り、TC=2分



図9 新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の放射線の計数率、片道測定、TC=5分

#### シンチレーター式簡易放射線測定装置で測ったつくばエクスプレス

シンチレーター式簡易放射線測定装置で測ったつくばエクスプレスの始点新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の放射線の計数率を示す。図10はT-GMK2-S(#1)で測った計数率の2分ごとの平均値(単位cps=count/sec)、図11はT-GMK2-S(#1)で測った計数率の1分ごとの平均値(単位cps=count/sec)である。2つのグラフの外形が似ていることから、1分ごとの平均値で測定できそうである。

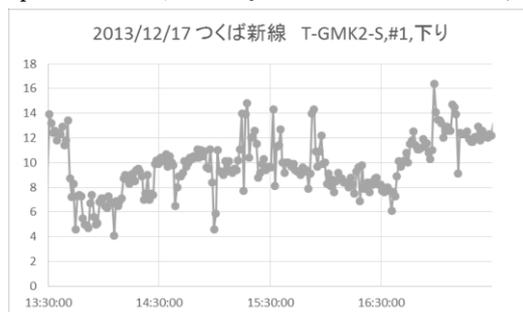


図10 新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の放射線の計数率、片道、下り、TC=2分



図11 新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の放射線の計数率、片道測定、TC=1分

## GM 管式簡易同時計数回路による宇宙線測定器で測ったつくばエクスプレス

GM 管式簡易宇宙線測定器で測ったつくばエクスプレスの始点新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の放射線の計数率を示す。図 12 は展示用に中国製の GM 管 J408 を 3 本並列に並べた GM 管式簡易宇宙線測定器 T-Mu2-3GM で測った計数率の 5 分ごとの平均値(単位 cp10m=count/10min)、図 13 は改良型の簡易宇宙線測定器 T-Mu1 で測った計数率の 5 分ごとの平均値(単位 cp10m=count/10min)である。2つのグラフの外形が似ていることから、改良型の簡易宇宙線測定器 T-Mu1 で 5 分ごとの平均値で測定できそうである。



図 12 新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の 2 次宇宙線の計数率、片道、下り、TC=5 分測定器 T-Mu2-3GM、(単位 cp10m = count/10min)

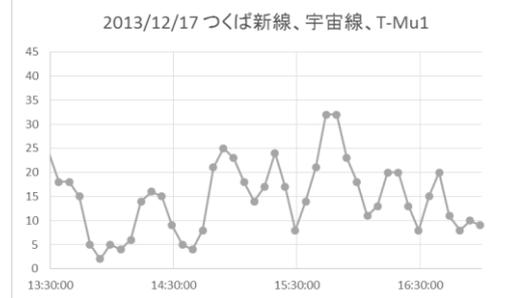


図 13 新秋葉原駅からつくば駅までの列車内外の 2 次宇宙線の計数率、片道測定、TC=5 分測定器 T-Mu1 (単位 cp10m = count/10min)

装置の計数率〔感度〕の違いにも拘わらず、図 12、図 13 でほぼ同じ変化をとらえている。ただし、測定グラフの各山および谷の解析は未了である。図 8～図 11 のつくばエクスプレスの列車内外の放射線強度の測定は、以前測定したことのある茨城県のひたちなか海浜鉄道湊線の勝田駅～阿字ヶ浦駅間の全線 13.4km、19 駅の列車内外の放射線強度の測定結果と様相が異なる。湊線の場合、各駅で下車しホームの測定を 30 分ほど行ったが、列車の車体の遮蔽効果が顕著に表れ、列車内は計数率が低く、列車外(駅のホーム)は低いことが解るが、つくばエクスプレスの路線の敷設状況(地上か地下か高架か)および駅舎の設置位置(地上か地下か高架か)、橋梁(鉄橋)の有無および、車体の材質、周辺の自然放射能および原発事故の FP による汚染の程度等の違いにより慎重に分析する必要がある。その際、図 12、図 13 のような宇宙線強度のデータが重要になると思われる。

山頂の 2 次宇宙線強度の測定には図 13 と同じ簡易宇宙線測定器 T-Mu1 を使用している。

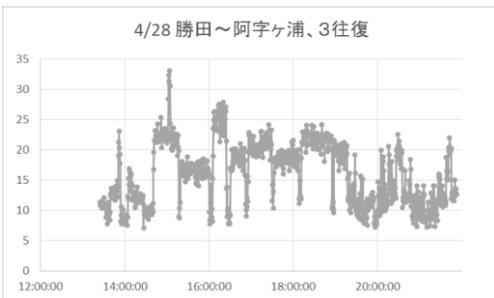


図 14 ひたちなか海浜鉄道湊線、勝田駅～阿字ヶ浦駅間の放射線強度の変化。1 駅毎に下車、次の列車が到着するまで 30 分程度ホームの待合用椅子の上の放射線強度を測定。次の 2.5 往復は、始発駅および、終点駅以外は下車せず。



図 15 新秋葉原駅～つくば駅、つくば新線下りの高度変を気圧であらわす。(気圧:単位[hPa]) T-Sp02 縦軸は気圧、ただし目盛は上下を逆転しているため、標高に即対応する。新秋葉原駅、つくば駅が地下駅であることおよびその地下深度がほぼ推定できる。

## 気圧変化(片道、往路)で測ったつくばエクスプレス

図 15 に気圧で測った新秋葉原駅～つくば駅間の気圧変化を示す。縦軸は気圧、ただし目盛は上下を逆転しているため、標高に即対応する。新秋葉原駅、つくば駅が地下駅であることおよびその地下深度がほぼ推定できる。

このほか、3 軸加速度計+3 軸磁場測定器 T-GMK2-G を携帯しており、加速度と磁場の变化から列車の運行状態をある程度把握できる。路線の中間点付近には直流・交流の切り替え点もあり、磁気的にも現在位置の確認の補助手段となりうる。

## 3.5 富士山外の高山(北アルプス、2770m)の冬季宇宙線連続測定途中経過

### 温度変化と宇宙線強度の冬季連続測定の実験の方法

秋の観測所閉鎖以降商用電源がなく暖房、空調もなく、通信回線もなく、機器の動作確認をする人もいない。自主電源として鉛蓄電池(容量 115Ah)2 台並列を用いた。簡易宇宙電観測装置は T-Mu1 である。サンプリング間隔は 10 分とした。データは、装置内の  $\mu$  SD に CSV 形式で順次保存される。記録項目は、年月日時分秒と、計数率内の IC の温度である。厳密な意味では室温とは言えない。乗鞍岳の宇宙線観測所では、太陽電池電源の無線 LAN の回線を借用できたため、準リアルタイムで下界で観測データをモニタリングできる。簡易宇宙線測定器に LAN 用インターフェースを付け、1 時間(観測データが 6 個たまると)毎に地上のサーバーに転送する。T-Mu1 の 5V 電源駆動仕様を直流 12V 電源使用に変更した。内臓の電池の充電回路も撤去し極力消費電力を落とした。準リアルタイムの観測データは、

[http://www.tacinc.sakura.ne.jp/gmk2\\_2/index.php](http://www.tacinc.sakura.ne.jp/gmk2_2/index.php)

で閲覧でき、任意の観測期間のデータを CSV 形式のファイルでダウンロードできる。

富士山頂旧測候所および富士山麓(標高 1000m)の名大観測所も観測装置および自主電源(鉛蓄電池)は同じである。LAN 用インターフェースはない。残念ながら、夏観測所を開所するまでは観測データに触れることはできず、機器の動作状態の確認もできない。図 16 に装置設置以来 1 月中旬までの 2 次宇宙線強度の連続測定の概要を示す。9 月の低い値 2 点は、京都における製作時の動作確認と茨城県ひたちなか市における製品受け取り時の動作確認を示す。10 月上旬の欠測は、観測所の閉所作業、12 月からの小刻みの欠測は無線 LAN の太陽電池の制御回路の不調を示し、日中の太陽照射時のみの無線 LAN の運用を反映している。観測値は欠測なく装置内部の  $\mu$  SD に記録されていると期待している。

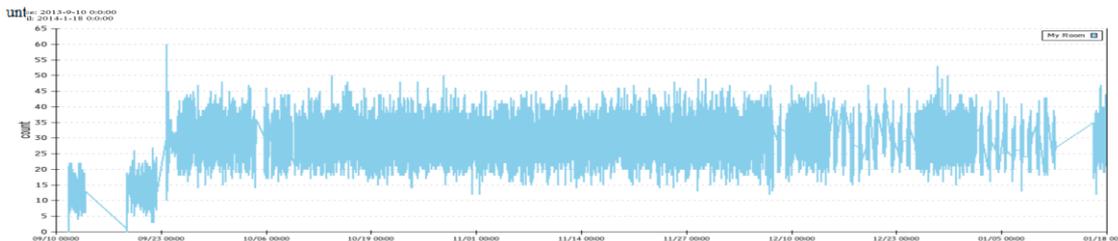


図 16 高山における 2 次宇宙線の無商用電源・無人越冬観測の例

## 4. 測定結果

まだ、富士山頂の 2 次宇宙線強度の今夏～今秋～今冬の観測データに接していないため、比較測定用の高山の測定例と、簡易宇宙線測定器を用いたつくばエクスプレスの列車内外の 2 次宇宙線強度の測定例を挙げるにとどめる。

**謝辞** NPO 富士山測候所を活用する会、東大宇宙線観測所、名大太陽風観測所の厚遇に感謝します。

**参考文献** [1] 関根恵、大沼侑司、会澤雄基、阿久津達也、森脇滉、中島宏昌、飯島竜司、矢野倉伊織、八重樫拓也、松澤孝男、保田浩志、学生による富士山頂における宇宙線測定の実験、放射線、vol. 37 [No. 1] (2011) pp. 41-48. 連絡先: 松澤孝男 (Takao MATSUZAWA)、[matsuzawa\\_2000@yahoo.co.jp](mailto:matsuzawa_2000@yahoo.co.jp)