

共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(特定共同研究(B))

1. 課題番号 2013-B-08

2. 研究課題名 (和文、英文の両方をご記入ください)

和文：ミュオグラフィ開発/利用コンソーシアム (H25 年度課題名：共通モジュール開発を通じたミュオグラフィ測定要素技術の体系化)

英文：Systematization of muography detection techniques through modular designing

3. 研究代表者所属・氏名 田中宏幸

(地震研究所担当教員名) 田中宏幸

4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
田中 宏幸	地震研究所・教授	代表者
内田 智久	高エネルギー加速器研究機構・助教	最先端要素技術開発
Cristiano Bozza	ソレルノ大学・准教授	最先端要素技術開発
宮本 成悟	東京大学・助教	最先端要素技術開発
渡辺 寛子	東北大学・助教	最先端要素技術開発
池田 晴雄	東北大学・助教	最先端要素技術開発
清水 格	東北大学・助教	最先端要素技術開発
石徹白 晃治	東北大学・助教	最先端要素技術開発
白井 淳平	東北大学・准教授	最先端要素技術開発
古賀 真之	東北大学・准教授	最先端要素技術開発
三井 唯夫	東北大学・准教授	最先端要素技術開発
丸藤 祐仁	東北大学・助教	最先端要素技術開発
玉江 京子	東北大学・助教	最先端要素技術開発
中村 健悟	東北大学・講師	最先端要素技術開発
上島 考太	東北大学・助教	最先端要素技術開発
加藤 孝弘	電源開発株式会社・サブリーダー	要素技術のシステム化
三宮 明	電源開発株式会社・メンバー	要素技術のシステム化
木方 建造	電力中央研究所・研究アドバイザー	要素技術のシステム化

宮川 公雄	電力中央研究所・副センター長	要素技術のシステム化
末永 弘	電力中央研究所・主任研究員	要素技術のシステム化
三浦 大助	電力中央研究所・主任研究員	要素技術のシステム化
草茅 太郎	東京大学・博士課程大学院生	要素技術のシステム化
大湊 隆雄	東京大学・准教授	システムユーザー
篠原 宏志	産業技術総合研究所・研究グループ長	システムユーザー
中川 貴司	JAMSTEC・主任研究員	システムユーザー
古市 幹人	JAMSTEC・主任研究員	システムユーザー
花里 利一	三重大学・教授	システムユーザー
大城 道則	駒澤大学・教授	システムユーザー

5. 研究計画の概要（800字以内でご記入ください。計画調書に記載した「研究計画」から変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。）

東京大学地震研究所主導のもと、素粒子ミュオンを用いた火山内部の透視（ミュオグラフィ）に世界に先駆けて成功した。また、東北大学ニュートリノ科学研究センター主導のもと、地球内部を起源とするニュートリノ（地球ニュートリノ）の検出に世界に先駆けて成功している。ともに従来の地球物理学で得られない、全く独立した観測量を得ることができる、この新たな地球観測技術は素粒子物理学者と地球物理学者の連携を通して共通な地球科学的興味を理解を深めることで進化できる。本研究の目的は個別に発展してきたミュオグラフィ研究、地球ニュートリノ研究分野間の壁を超えて、お互いの成果を利用できる体制を整備し、研究者間で本来共有できるはずの技術や知見を横断的に、かつ積極的に活用することで、分野間の連携を継続的に強化、ミュオンを用いた地球観測研究を発展させることにある。そのため、以下の研究者構造体を形成することで先端的研究領域の総合的な発展を目指す：（1）最先端要素技術の開発群、（2）要素技術のシステム化群、そして（3）ユーザー群、特に東北大学ニュートリノ科学研究センターとの連携を強化することで、素粒子物理学実験・観測・シミュレーション技術の横断的活用を促す。この構造をニュートリノグループ（2014-B-17）と共有する。第2群は明らかに素粒子物理学者が開発できる要素技術の組み合わせだけでは足りない、ミュオグラフィ要素技術群を地球理工学分野の最先端技術を用いて総合的にシステム化する。さらに、第3群の研究者を加えることにより、要素技術を階層的に整理整頓し、知識の体系化を図る。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1~2頁で記入してください。)

キーワード (3-5程度) : ミュオグラフィ、地球ニュートリノグラフィ、ミュオン、ニュートリノ、素粒子

2014年度特定共同研究に基づくがもととなって、ミュオグラフィ開発/利用コンソーシアムの活動が活発化され、国内外のグループとの交流が進み、2014年、ミュオグラフィ分野において数多くの研究成果が得られた。下記に得られた各々の研究成果について概観する。

・新型データ処理回路基板の開発に成功

従来は望遠鏡の感度が低く、1枚の透視像を得るのにひと月以上かかっていたミュオグラフィ観測だが、対象物体のイメージングをもっと短時間で完了するには、望遠鏡にとって邪魔な背景雑音、すなわち高エネルギーのミュオン以外の粒子を、効率的に除去する必要があった。そのためには、カロリメータ方式の望遠鏡の新型データ処理回路基板、乾板読み出し技術等が必要であったが、コンソーシアムの中で技術交流があったため、可能となった。その結果、背景雑音を従来の100分の1以下に低減した望遠鏡開発に成功した。その結果、3日に一枚のスナップショットという形で火山(薩摩伊王島)内部のマグマの動きを透視動画として捉えることに成功した。この成果は、2014年4月24日にNature Communications 電子版に掲載された。

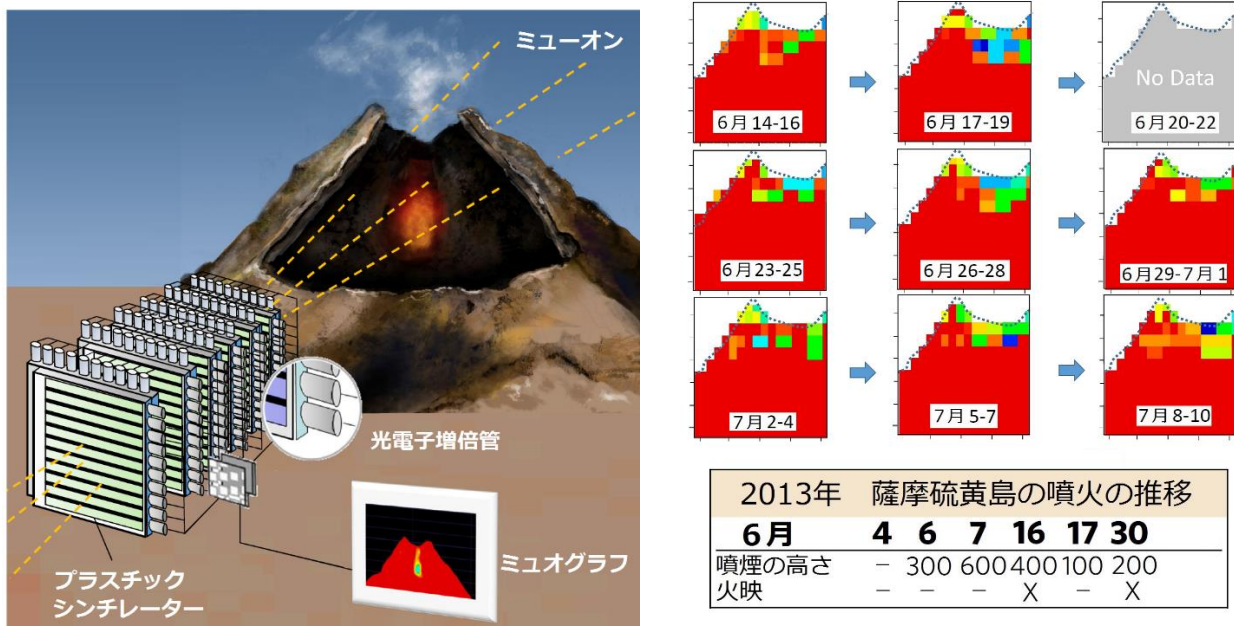


図1. 極低雑音ミュオグラフィ望遠鏡の原理(左)と得られた薩摩硫黄島内部の時系列的ミュオグラフィ透視画像(右上)。右下の表は2013年薩摩硫黄島噴火の推移。

・世界に先駆けて地球ニュートリノグラフィに関するアイデアを提案

東京大学地震研究所で開発が進められている火山のミュオグラフィ技術と東北大学ニュートリノ科学研究センターの地球ニュートリノ観測技術とを融合することで、地球内部を透視する地球ニュートリノグラフィに使える可能性のある反電子ニュートリノ方向検知技術を見出し、世界に先駆けて提案した。これはニュートリノグループ(2014-B-17)との連携によってはじめて可能となった。本技術を使うことによって、破局噴火を起こす様な巨大マグマだまり、地球形成過程で局在化したコア・マントル境界の巨大不均質構造など新たな観測窓を開ける他、原子炉モニタリング、天体物理学への貢献などの波及効果も大きいこと

研究成果の概要（続き）

が予想される。この成果は、2014年4月24日にNature Scientific Reports 電子版に掲載された。

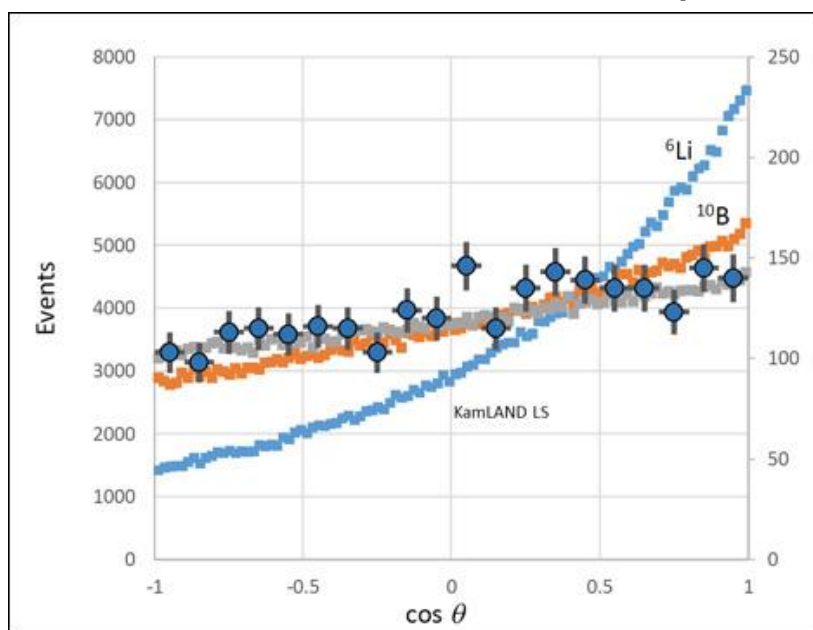


図2. 地球ニュートリノの方向検知性能の比較。地球ニュートリノは $\cos \theta = 1$ の方向から入射している。液体シンチレーターにリシウムを添加することで方向感度が大きく向上する。

・ストロンボリ火山透視国際共同研究の実施

日伊5機関（東京大学、ナポリ大学、サレルノ大学、伊国立原子核物理学研究機構、伊地球物理学火山学研究機構）の共同研究により、ストロンボリ火山で、原子核乾板を用いたミュオグラフィ観測を実施した。6mというこれまでにない非常に高い空間分解能で火道の形状を映し出すことに成功した。結果は2014年11月駐日イタリア大使館で開催されたMUOGRAPHERS2014でイタリア側より発表された。

・大学間学術交流協定基本合意

コンソーシアム活動により、国外のグループとの交流が進み、2014年11月12日にイタリア大使館及び我が国外務省支援（エグゼクティブプログラム）の下、国際シンポジウムMUOGRAPHERS2014（地球科学のためのミュオグラフィ地球ニュートリノ物理学）をイタリア大使館で開催し、日伊から50名の参加を得た。これに引き続き、イタリア大使館で東京大学、イタリア国立原子核物理学研究機構（INFN）、イタリア国立地球物理学火山学研究機構（INGV）との全学協定に関する基本合意書が在日イタリア大使、外務省科学技術担当大使臨席のもと地震研究所長、INFN副機構長、INGV火山部長との間で調印され、素粒子を用いた地球科学研究の推進に政府レベルで合意が得られた。イタリア文部科学省（MIUR）特別経費を得て国際交流をより活発化すること議論した。

・世界文化遺産の透視

遺跡の長期保全を目的としたミュオグラフィ観測の実用化に向けて、少人数で運搬、測定ができるシステムを構築した。システムは日本からインドネシアに手荷物として運搬され、観測点で速やかに組み立てることで、速やかなミュオグラフィ観測開始が実現した。測定装置は2014年9月に世界文化遺産であるボルブドール遺跡の管理を行うボルブドール研究所で観測デモンストレーションを行い、地盤沈下の調査等、遺跡の長期保全を目的としたミュオグラフィモニタリング調査を2015年度より開始することを目標にして、準備が進められている。

7. 研究実績（論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無）

・ **新型データ処理回路基板の開発に成功**

Hiroyuki K.M. Tnaka, Taro Kusagaya, Hiroshi Shinohara, Radiographic visualization of magma dynamics in an erupting volcano, Nature Communications, 5, 3381, 1-9 (2014)

・ **世界に先駆けて地球ニュートリノグラフィに関するアイデアを提案**

Hiroyuki K.M. Tnaka, H. Watanabe, 6Li-loaded directionally sensitive anti-neutrino detector for possible geo-neutrinographic imaging applications, Nature Scientific Reports, 4, 4708 (2014)

・ **ストロンボリ火山透視国際共同研究の実施**

Valeri Tioukov, Giovanni De Lellis, Paolo Strolin, Lucia Consiglio, Andrey Sheshukov, Massimo Orazi, Rosario Peluso, Cristiano Bozza, Chiara De Sio, Simona Maria Stellacci, Chiara Sirignano, Nicola D'Ambrosio, Seigo Miyamoto, Ryuichi Nishiyama, Hiroyuki Tanaka, Muography with nuclear emulsions – Stromboli and other projects, MUOGRAPHERS2014, Nov. 12, 2014, Tokyo

・ **海外学術交流**

国際シンポジウム MUOGRAPHERS2014 を 2014 年 11 月 12 日に駐日イタリア大使館にて主催。

・ **世界文化遺産の透視**

岡本 裕美子, 花里 利一, 田中 宏幸, 草茅 太郎, 上北 恭史, 小野 邦彦, ミュオグラフィ観測による世界遺産組積造建造物の内部構造調査：インドネシア・プランバナン寺院シヴァ祠堂の調査, 2014 年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会・建築デザイン発表会