

GNSSと異種センサを統合した 新しい測地観測技術の開発

【研究期間】令和6年(2024年)4月～令和11年(2029年)3月

国土地理院 地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室・宇宙測地研究室
代表 宗包 浩志

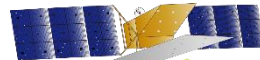
背景・必要性： 国土地理院の役割

GNSSやSAR等により地震や火山活動に伴う地殻変動を計測

観測

地表の動きを計測

異常を検知



SAR

GNSS

地殻変動

マグマ溜まり等の
変形により地殻変動が生じる

地殻変動の
力源

※火山の場合

データ分析

解析

地殻変動源の推定

位置, 形状, 変化量は?



$$u_r = \frac{(1-\nu)\Delta V}{\pi} \frac{r}{R^3}$$

情報提供

地震や火山等の専門機関へ

評価

活動度の把握
活動の危険度の評価



背景・必要性：迅速かつ稠密な地殻変動の把握

迅速かつ稠密な地殻変動観測は
解析性能・活動評価の的確さ等を支える重要な要素

【地震・火山の活動評価のために】

火山噴火の可能性が高まった際や地震が発生した際、活動の評価に必要なメカニズムの把握のため、**迅速かつ稠密**な測地データの収集が必要。

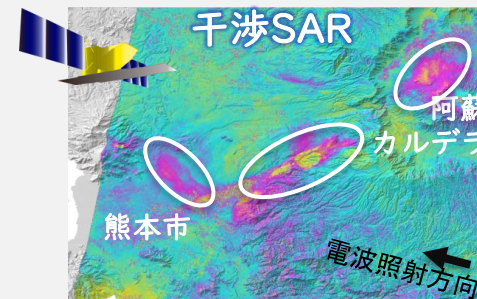
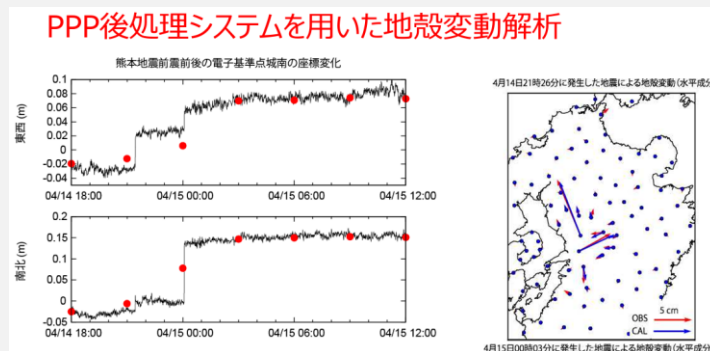
【国の位置情報管理のために】

巨大地震が発生した後の国家座標を適切に維持管理するため、地震発生後に起こる余効変動等の迅速かつ稠密な把握が必要。

これまで

地殻変動データの迅速な・稠密な取得のため
解析手法の高度化を中心とした研究開発に取り組んできた

- ・ 迅速・高精度なGNSS定常解析システムの構築に関する研究（平成29年度～令和元年度）
- ・ 精密単独測位型RTK(PPP-RTK)を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発（平成27年度～29年度）
- ・ GNSSによる地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発（平成26年度～28年度）
- ・ 正確・迅速な地殻変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究（平成20年度～22年度） 等々



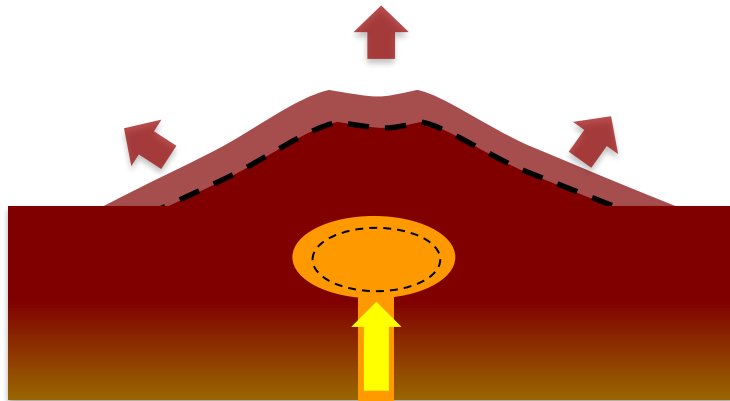
例：熊本地震

新しい観測体制の設置 / 低頻度現象による災害発生

【火山】

活動火山対策特別措置法の一部改正
(新規)第31条～第36条関係

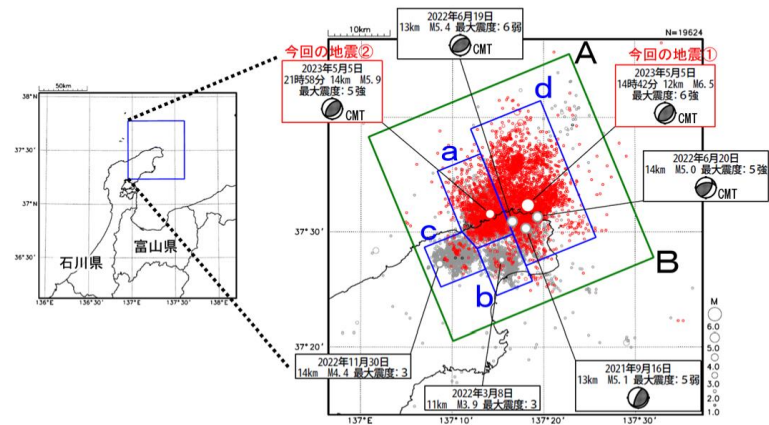
令和6年度より
火山調査研究推進本部設置予定



【地震】

石川県能登地方の地震活動

一般的な海溝型地震や内陸型地震とは異なる地震現象(群発地震)



地震調査委員会資料 (令和5年6月9日) より

国内の地震・火山噴火災害軽減へ向けて
地殻変動観測能力の強化が一層求められる状況

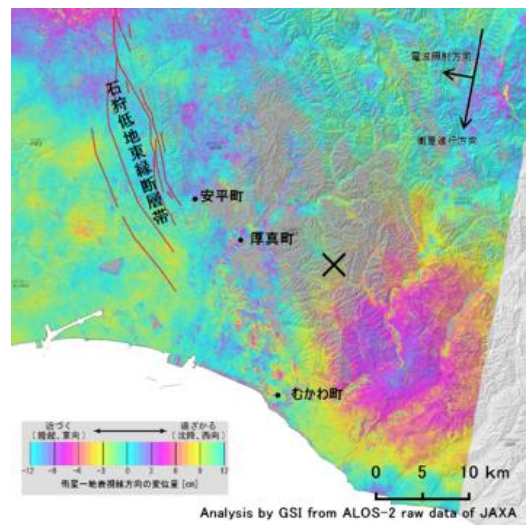
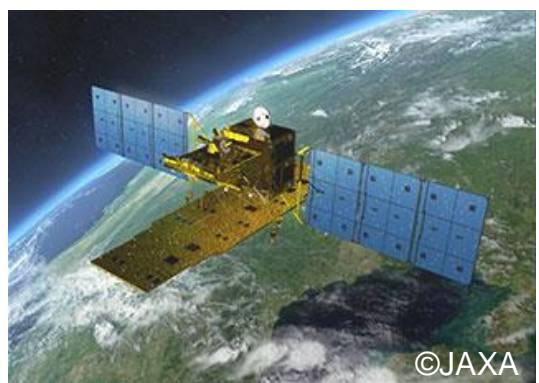
解析手法のみならず観測技術・手法の新規開拓も
視野に入れた新しい取り組みも必要

対象となる地殻変動の空間的な規模がメソスケール（数十km）以下の場合、電子基準点では配点密度が不足するため、それを補う測地観測が必要である。そのため、国土地理院では、可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）による観測や、SAR観測による地盤変動把握を実施している。

可搬型GNSS連続観測装置(REGMOS)



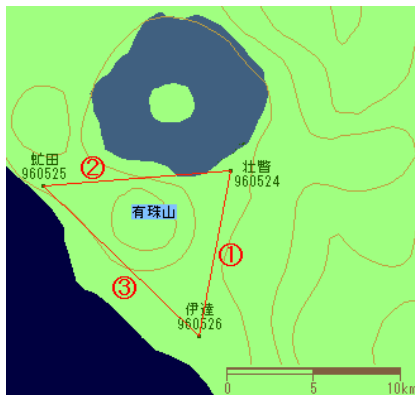
SAR観測



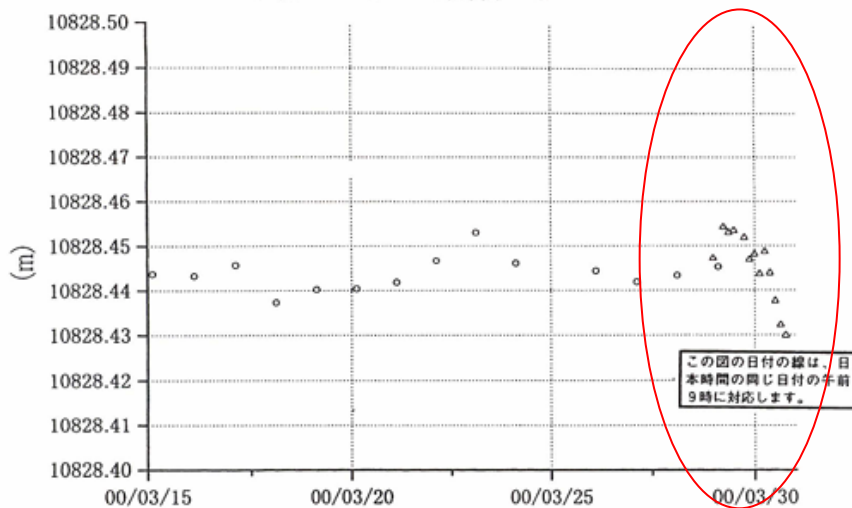
現状の課題 ～機動的な観測～

【例：2000年有珠山の噴火】

- 2000年の有珠山の噴火の場合、3月27日の火山性地震の増加から4日後に噴火が発生した。このように、短いスケールで時々刻々変化する現象を捉えるためには、現状の干渉SARの時間分解能では不十分。
- REGMOSでは、運搬・設置に手間を要し、複数観測点を短時間で機動的に配置することは困難。



壮瞥 → 虻田 斜距離 ②



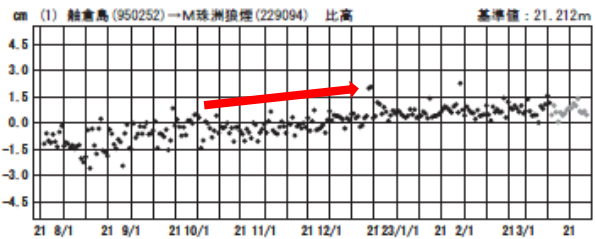
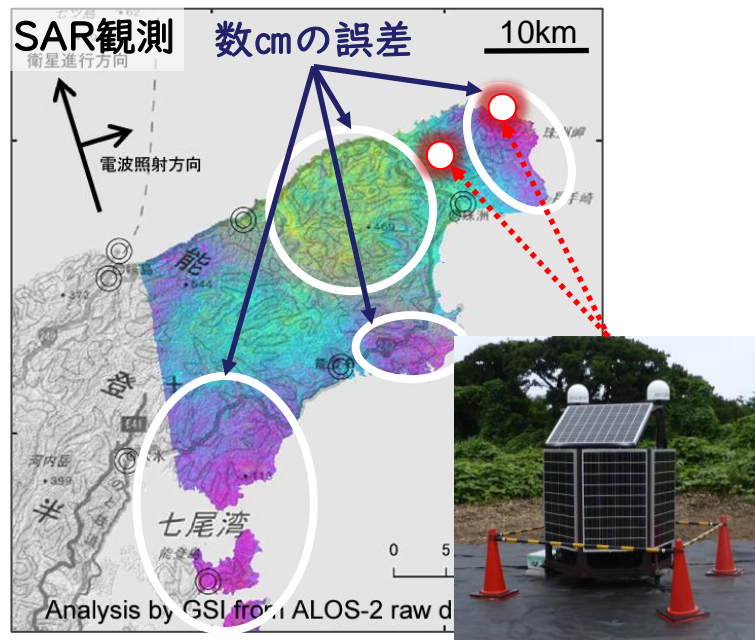
	干渉SAR	REGMOS
空間密度	○	△
機動性	△	△
時間分解能	× (2週間～数か月)	○
迅速性	×	○
精度	～3cm	1cm以下
計測成分	1成分	3成分 (東西・南北・上下)

現状の課題 ～稠密な観測(地震活動)～

【例：能登半島の地震活動】

- REGMOS：配置は2台にとどまっており（2023年4月の時点）、地殻変動の全貌を把握するための空間分解能が不足。
- SAR：観測頻度が少なく時間分解能が不足。計測精度の不足によりノイズとの分離が困難。
→ **現状の観測だけでは、力源のメカニズムを拘束することが困難。**

例：能登半島の地震活動

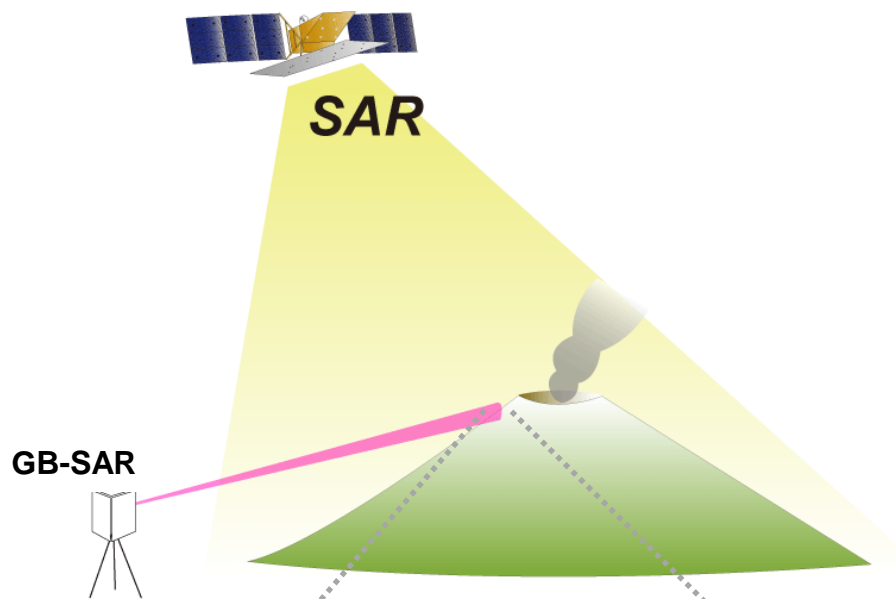


●— [F5:最終解] ●— [R5:速報解]

	電子基準点	REGMOS
空間	×	△
機動性	—	△
即時性	○	○
時間分解能	○ (1秒～1日間隔)	○ (1秒～1日間隔)
精度	1cm以下	1cm以下
計測成分	3成分 (東西・南北・上下)	3成分 (東西・南北・上下)

【局所的（サブkmスケール）な変動】

- 火山では溶岩ドームの形成など、局所的（サブkmスケール）に大規模な地殻変動が発生。
- 既存技術の限界
 - ✓ 衛星SAR：観測頻度が少なく時間分解能が不足。計測成分が1成分のみの課題。
 - ✓ 地上設置型SAR(GB-SAR)：計測成分が1成分のみ。電波の使用に許可が必要。



活火山総覧より

例：雲仙普賢岳の活動

火山では様々な空間スケールの現象が進行

	干渉SAR
広域観測	○
空間分解能	○
時間分解能	× (2週間～数か月)
迅速性	×
精度	～3cm
計測成分	1成分
安全性	○
急速な変動	×

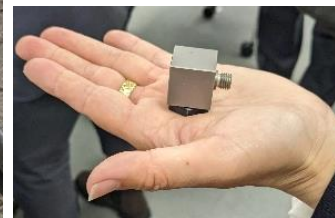
課題解決のための新規観測技術

近年、エレクトロニクス技術の発達により、小型で機動的なGNSS観測が実現可能となるとともに、MEMS(Micro Electro Mechanical System)により、比較的安価（現状で数十万円程度）で高精度の傾斜・加速度計測が可能となった。また、地上型レーザスキャナの技術開発が進展し、三次元点群のマッチング技術を工夫することで、場所を選ばず、遠隔から高い計測精度で測地観測を行う技術的環境が整ってきた。

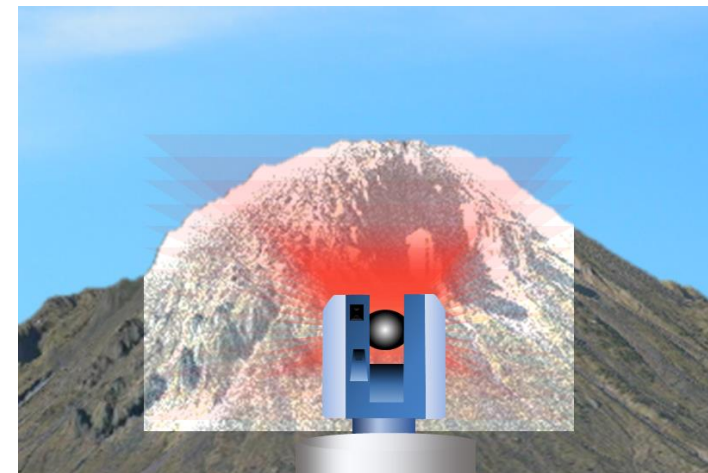
小型GNSS



MEMS傾斜・加速度計



地上型レーザスキャナ



* 米国スクリプス研究所ホームページより引用
<http://sopac-csrc.ucsd.edu/index.php/mems>

研究開発の目的・課題解決方針

目的

- ・地震・火山活動において、メソスケール以下の地殻変動を把握可能とし、かつGNSS単独よりも付加価値が高く効率的な、小型・機動的な測地観測装置を開発する。
 - ・火山における、溶岩ドームの成長などの小スケールの地殻変動を遠隔から面的に計測可能な観測技術を開発する。
- 地震・火山活動のメカニズム把握や国家座標の適切な維持管理に資する。

研究開発の内容

①小型・機動的測地観測装置の開発（R6～R10年度）

GNSSとMEMS傾斜・加速度計を融合した、小型で機動性にすぐれた測地観測装置を構築する。

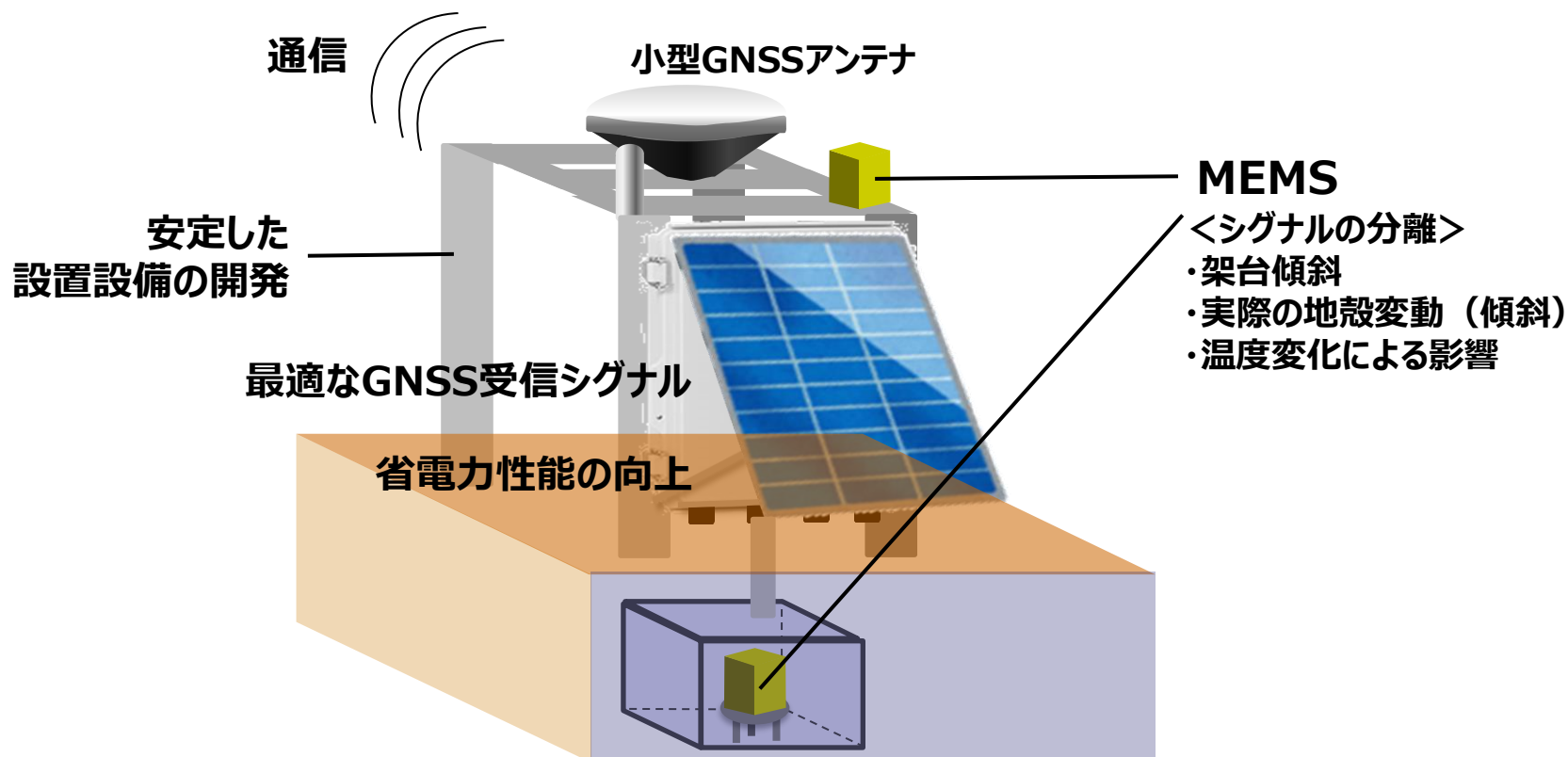
②地上型レーザスキャナとの融合による面的地殻変動把握技術の確立（R7～R10年度）

①と地上型レーザスキャナによる変動計測とあわせ、遠隔地から安全で効率的に面的地殻変動を把握可能とする技術を確立する。

GNSSとMEMS傾斜・加速度計を融合した、小型で機動性にすぐれた測地観測装置を構築する。

A. 小型・機動的GNSS観測装置の試作 (@地理院構内)

- 小型・機動的測地観測装置のプロトタイプ構築
- 計測要素技術 (安定した設置条件、通信、省電力性、最適なGNSS受信シグナルなど) の評価



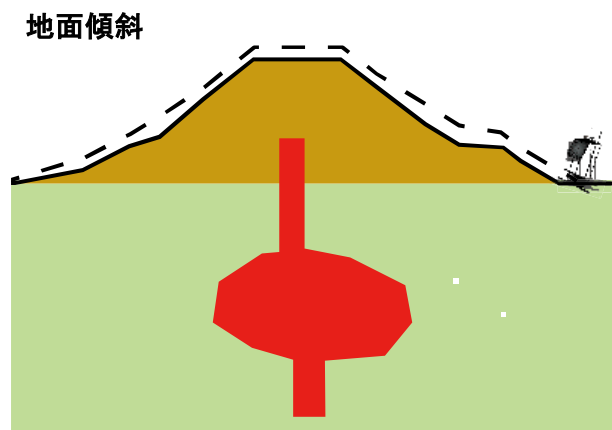
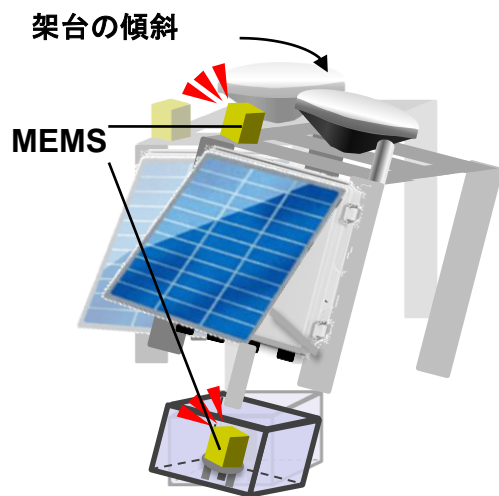
B. MEMS傾斜・加速度計の試験

- MEMS傾斜・加速度計の試験観測 (@地理院構内)
 - 【基本】傾斜計 (架台傾斜) としての利用可能性の評価
 - 【応用】傾斜計 (地面傾斜) としての利用可能性の評価
 - 【応用】加速度計 (地震計) としての利用可能性の評価
 - 【発展】キネマティックGNSSとの融合手法の評価

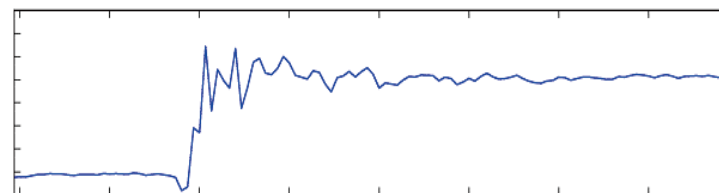
C. フィールド試験

地殻変動シグナルが期待される火山地域において連続観測を実施

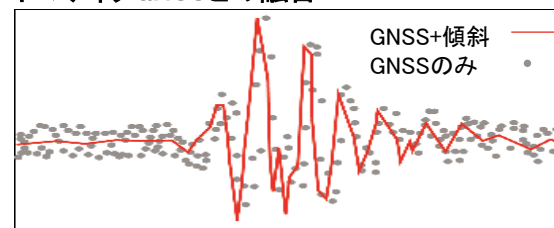
- 【基本】他観測 (干渉SARなど) との比較を通じた精度検証
- 【基本】フィールドで取得したデータを遠隔でモニタリングするシステムの開発
- 【応用】取得したシグナルを用いた地球科学的な分析



地震計としての利用



キネマティックGNSSとの融合



技術の確立 (R7~R10年度)

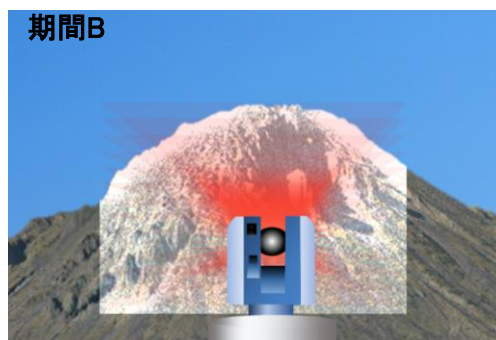
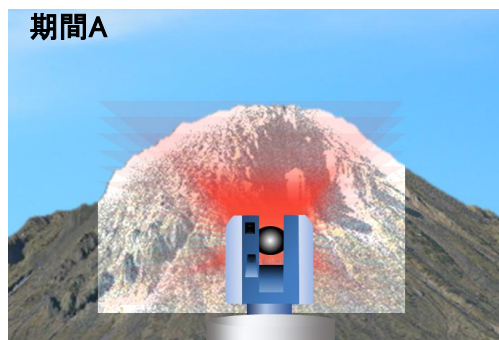
小型・機動的測地観測装置と地上型レーザスキャナを融合し、遠隔地から安全・効率的に面的地殻変動を把握する技術を確立する。

A. 地上型レーザスキャナの試験観測 (@地理院構内)

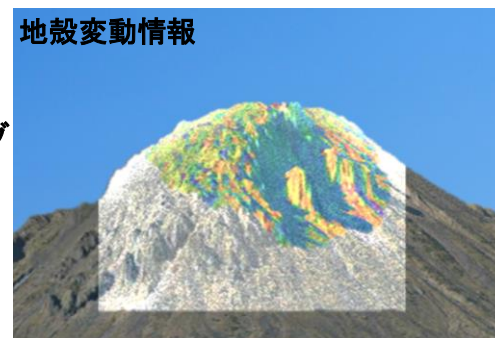
B. 小型・機動的測地観測装置と融合した三次元点群のマッチング・差分取得技術の開発

C. フィールド試験

- 小型・機動的測地観測装置が設置しているフィールドで地上型レーザスキャナ観測を同時に行い、B.の技術を用いて面的な地殻変動シグナルを抽出
- 【基本】他観測 (干渉SARなど) との比較を通じた精度検証
- 【応用】取得したシグナルを用いた地球科学的な分析



・点群
マッピング
・差分
→



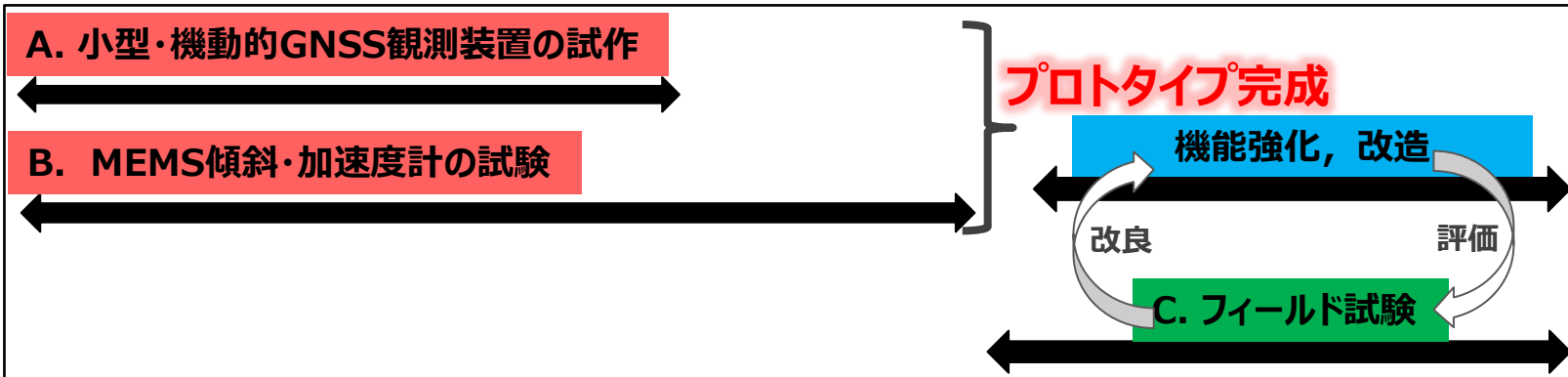
	電子 基準点	REGMOS	小型機動 観測
空間密度	×	△	○
機動性	—	△	○
迅速性	○	○	○
時間 分解能	○ (1秒～1日 間隔)	○ (1秒～1日 間隔)	○ (1秒～1日 間隔)
精度	1cm以下	1cm以下	1cm以下
計測成分	3成分 (東西・南北・ 上下)	3成分 (東西・南北・ 上下)	3成分 (東西・南北・ 上下)

	干渉SAR	レーザスキャナ
広域観測	○	△
空間分解能	○	○
時間分解能	×	○
迅速性	×	○
精度	～3cm	本研究で 検証
計測成分	1成分 (視線方向)	3成分 (東西・南北・ 上下)
安全性	○	△
急速な変動	×	○

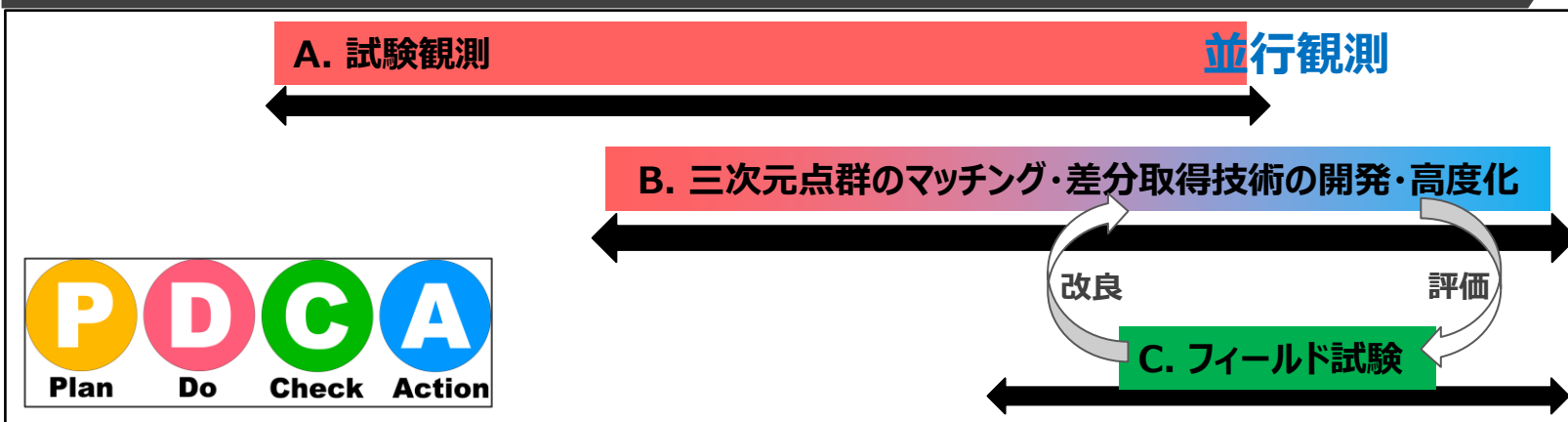
研究開発の全体計画

計画・提案

① 小型・機動的測地観測装置の開発



② 地上型レーザスキャナとの融合による面的地殻変動把握技術の確立



令和5年度

令和6年度

令和7年度

令和8年度

令和9年度

令和10年度

【アウトプット】

- GNSSとMEMS傾斜・加速度計を融合した小型・機動的測地観測装置。
- 小型・機動的測地観測装置と地上型レーザスキャナの融合による面的地殻変動把握技術の確立。

【アウトカム】

- 火山調査研究推進本部、地震調査委員会、地震予知連絡会、火山噴火予知連絡会等の各専門機関における活動評価や検討に利活用。
- 国家座標（測量成果）の現況からの不適合を迅速に把握し、必要に応じて修正（測量法：第31条）することに貢献。
- 本研究成果で得られた機器開発に関する要素技術を、電子基準点等の測地観測の高度化に利活用。

例：ピラー傾斜の監視能力の向上

【人員体制】

[総括] 室長 2 名

① 小型・機動的測地観測装置の開発

担当：研究官 3 名

② 地上型レーザスキャナとの融合による面的地殻変動把握技術の確立

担当：研究官 3 名

なお、フィールド観測は両室の室員全員で分担する

【効率的な実施体制・協力体制】

- 定型的な作業や装置の工作、システム開発のGUIの作成などは技術を有する企業に外注するなどして、作業の効率的な実施を図る。
- 火山地域における観測については、対象火山に深い知識を有する大学等の研究者と連携して実施する。