

小型 GNSS 観測装置で捉えた令和6年能登半島地震の地震時・地震後の地殻変動 Coseismic and Post-seismic Deformation of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Detected by Compact and Small GNSS Observation Instrument

地理地殻活動研究センター 小林知勝・中川弘之・松尾功二・松本紗歩¹・服部晃久・
宗包浩志・桑原將旗・宮本純一²・加古考範²・岩本健吾・岩田和美³

Geography and Crustal Dynamics Research Center

KOBAYASHI Tomokazu, NAKAGAWA Hiroyuki, MATSUO Koji, MATSUMOTO Saho,
HATTORI Akihisa, MUNEKANE Hiroshi, KUWAHARA Masaki, MIYAMOTO Junichi,

KAKO Takanori, IWAMOTO Kengo and IWATA Kazumi

測地部 古屋智秋・植田勲⁴・多田直洋・畔柳将人²・小川拓真

Geodetic Department

FURUYA Tomoaki, UEDA Isao, TADA Naohiro, KUROYANAGI Masato
and OGAWA Takuma

要 旨

地理地殻活動研究センターでは、高密度の GNSS 観測で詳細な地殻変動を把握するため、機動性に優れた小型の GNSS 観測装置を開発してきた。開発した装置の地殻変動把握への適用可能性の検証のため、令和2年11月頃から活発な地震活動が継続していた石川県能登地方の珠洲市狼煙町に装置を設置し、観測を開始した。アンテナの設置状況や電力供給等の観測環境を様々に変えながら、近接する REGMOS（可搬型 GNSS 連続観測装置）の時系列データと比較検証したところ、両者整合する座標解が得られ、野外での自立した地殻変動観測が可能であることを確認した。本観測装置の設置期間中、令和5年5月5日に発生した気象庁マグニチュード (M_j) 6.5 の地震及び令和6年能登半島地震 (M_j 7.6) に伴う地震時地殻変動を検出した。REGMOS による地震時変動と比較したところ、両地震とも数 mm 程度の差で一致した変動量が得られ、強震動下においても設置安定性に問題なく観測が実施できることを確認した。さらに、令和6年能登半島地震発生後、余効変動の観測を目的として、輪島市門前町鶴山、同市門前町道下、同市門前町赤神の3か所（観測点名はそれぞれ「七浦（しつら）」、「道下（とうげ）」、「赤神」）に小型 GNSS 観測装置を設置し、観測を開始した。その結果、令和6年1月21日から同年6月30日までの約半年間で数 cm の沈降を観測した。一方、水平成分においては、「七浦」及び「道下」で約 1.5 cm の東向きの変動が、「赤神」では約 1 cm の南向きの変動が観測された。上下成分については、半島内の他の電子基準点と同様に沈降を示し、能登半島全体が沈降していることを明らかにする一方、水平成分においては、北陸地方とその周辺及び半島の南部で

進行する北西方向の変位とは異なる変動を捉えた。余効変動の発生機構として、粘弾性緩和が重要な役割を果たしていることを示唆する結果を得た。

1. はじめに

国土地理院では、日本全国に約 1,300 点の電子基準点を整備しており、その観測データ及び解析結果は地殻変動の観測等に利用されている。一方で、電子基準点の配点間隔は平均約 20 km であり、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、それを補う観測が必要となる。

近年、ナビゲーション等の分野で小型かつ機動性に優れた GNSS アンテナ及び受信機が普及し始めている。これらを用いて十分な計測精度の観測が可能となれば、電子基準点のみでは網羅できないメソスケール以下の地殻変動を対象として高密度な GNSS 観測が可能となり、高い空間分解能で変動の時空間変化を精密に捉えることが期待できる。

そこで地理地殻活動研究センターでは、これらの機器を使用した小型の GNSS 観測装置の開発を行ってきた（古屋, 2023）。開発した機器は、令和3年以降、房総半島に計30点設置され、局所的に進行する地盤沈下やスロースリップを高密度の観測で捉えることに成功している（松本, 2024）。房総半島の観測では、アンテナは公共施設の屋上に据え付けた架台や屋上壁面上部に固定して設置され、電力は施設の商用電源により供給されているため、アンテナ設置の安定性や電力確保の安定性は確保されている。しかしながら、地震や火山活動を対象とした野外観測では、必ずしも建物への設置や商用電源確保が期待できない場合が多い。そこで、屋外での自立的な

地殻変動観測を目指して、野外に設置可能な観測用架台や太陽光発電による電力供給装置の開発を進めてきた。

このような背景の下、小型GNSS観測装置のフィールドでの適用可能性の検証を目的として、令和2年11月末頃から活発化した非地震性の地殻変動及び群発地震が継続する能登半島に小型GNSS観測装置を設置し、令和4年7月から令和6年2月まで観測を実施した（松本，2024）。本報告では、能登半島での観測で得られた観測性能の検証結果及び装置設置期間中に発生した地震活動に伴う地殻変動について報告する。

2. 小型 GNSS 観測装置

小型 GNSS 観測装置は、GNSS アンテナ部及び受信機部で構成される（写真-1 及び図-1）。受信機部は、小型の受信モジュールを内蔵する GNSS 受信機部、Linux OS を搭載した小型のシングルボードコンピュータによる制御・データ記録部、ネットワーク通信部、電源管理部で構成される。それぞれの専用基盤が、防水・防塵対策の施された専用のボックス内に設置され、野外での観測を可能としている。制御・データ記録部に接続されたネットワーク通信部は 4G/LTE 対応であり、この回線経由でシングルボードコンピュータにログインすることで遠隔操作が可能である。制御・データ記録部と GNSS 受信機部は有線ネットワークで接続され、受信モジュールへのアクセスも可能である。

本観測装置は、DC12V 及び AC100V 電源を使用できるため、設置場所に応じて商用電源からの電源供給と太陽電池パネルを使用した自立的な電源供給を選択可能である。能登半島での観測では、電源供給に太陽光発電を利用した。

これらの装置は専用架台に設置され、観測が行われた。架台も持ち運びが簡便にできる点が特徴であるが、四角型の架台においては、約 30 cm の深さまで杭を打ち込んで固定することで、装置の設置安定性を確保した。

3. 能登半島における地殻変動観測

3.1 令和 6 年能登半島地震前及び地震時の観測

令和 2 年 11 月末頃から活発化した非地震性の地殻変動及び群発地震の継続を受け、地殻活動観測の強化を目的として、令和 4 年 7 月に REGMOS（可搬型 GNSS 連続観測装置）を 2 台設置した（国土地理院，2022）。REGMOS は、太陽電池パネルを搭載し電源がない過酷な環境下でも自立した GNSS 観測が可能であり、電子基準点をサポートする GNSS 観測点として国土地理院が従来使用している観測装置である。この REGMOS 設置に合わせる形で、小型

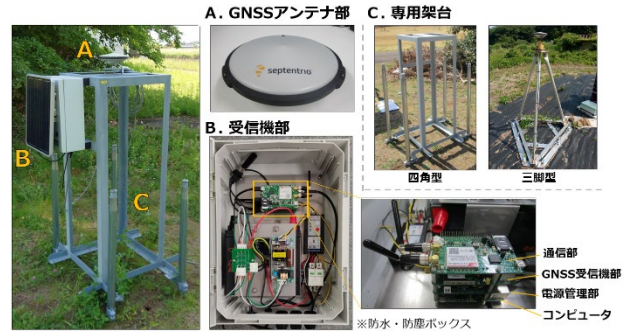


写真-1 小型 GNSS 観測装置の外観。

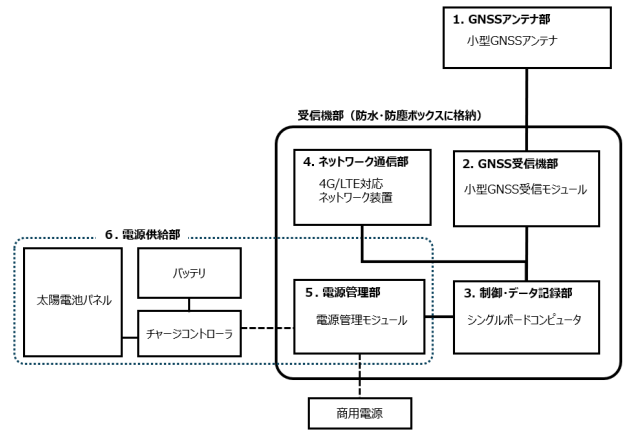


図-1 小型 GNSS 観測装置の構成図。



図-2 小型 GNSS 観測点「狼煙」の設置箇所。

GNSS 観測装置の検証を目的として、珠洲市狼煙町に設置された REGMOS（観測点名「M 珠洲狼煙」）と同じ敷地内に、小型 GNSS 観測装置を設置し（観測点名「狼煙」、図-2）、REGMOS との比較観測を令和 4 年 7 月から開始した（松本，2024）。

本検証では、段階的に条件を変えながら、観測の安定性の評価を行った（図-3 及び表-1）。まず初めに、受信性能の評価を目的に、アンテナ架台としての安定性が確認されている REGMOS の筐体に小型 GNSS 観測装置用の GNSS アンテナを取付け、令和 4 年 7 月 28 日から観測を開始した。小型 GNSS 観測

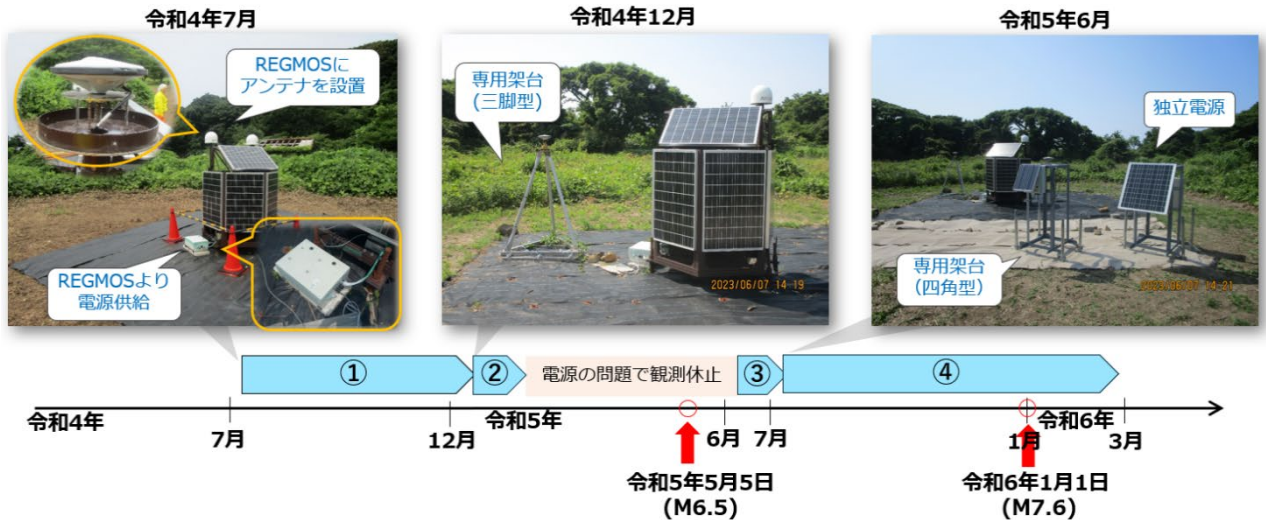


図-3 小型 GNSS 観測点「狼煙」の試験観測概況。

表-1 小型 GNSS 観測点「狼煙」の各観測期間における観測形態及び検証事項。

観測期間	観測形態		検証事項(*)
	アンテナ	電源	
① 令和4年7月28日 ～ 令和4年12月7日	REGMOS に設置	REGMOS より供給	I
② 令和4年12月8日 ～ 令和5年1月18日	専用架台 (三脚型)		II
③ 令和5年6月13日 ～ 令和5年7月11日		独立電源	II+III
④ 令和5年7月12日 ～ 令和6年2月27日	専用架台 (四角型)		II+III

*検証事項

- I. 受信性能の評価
- II. 架台を含めた安定性の評価
- III. 自立した電源供給を含めた安定性の評価

装置の電源は、REGMOSの太陽電池パネル及びバッテリーから供給した(期間①:令和4年7月28日～令和4年12月7日)。続いて、同年12月より、電力はREGMOSから供給したまま、簡易的な三脚型のアンテナ架台を用いて自立した観測を実現させた上で、アンテナ架台を含む装置全体の安定性の評価に移行した(期間②:令和4年12月8日～令和5年1月18日)。その後、専用の太陽電池パネルを設置することで電源も独自に確保し、電源供給も含めた自立型の観測を行った(期間③:令和5年6月13日～令和5年7月11日)。そして、令和5年7月から

は、四角型の新しい架台での試験観測を実施し(期間④:令和5年7月12日～令和6年2月27日)、令和6年2月27日に観測を終了した。

座標値の推定にはGPS統合解析(畑中, 2012)を用い、電子基準点の日々の座標値(F5)準拠の値を取得した。図-4は、観測期間①における小型GNSS観測装置とREGMOSによる電子基準点「舳倉島」との基線変化の時系列を比較したものである。両者の振る舞いに大きな違いは認められず、本観測装置の測位性能に大きな問題がないことを確認できる。図-5は、各観測期間における電子基準点「舳倉島」と小型GNSS観測点「狼煙」との基線変化を示す。なお、アンテナの設置位置が観測期間①、観測期間②+③、観測期間④でそれぞれ異なるため、時系列データはそれぞれの期間の開始日を基準に描画している。表-2は、各観測期間で得られた座標時系列のばらつきを評価するための標準偏差を示す。まず、各観測条件下において小型GNSS観測装置とREGMOSの標準偏差に大きな差は見られなかった。また、小型GNSS観測装置について地上用アンテナ架台へ取り付け前後(観測期間①と②)の標準偏差を比較すると、東西、南北、上下方向でそれぞれ0.2 mm, 0.1 mm, 0.2 mmの差となり、大きな変化は見られなかった。以上のことから、小型GNSS観測装置は、REGMOSと比較して機動性を重視した軽量で簡易的な装置であるものの、測位性能、架台の安定性ともREGMOSとの間に大差は見られず、十分な観測精度を有することが示された。

本観測装置の設置期間中、能登半島で2つの大きな地震が発生した(図-2)。1つは令和5年5月5日に発生した気象庁マグニチュード6.5(M_J) (最大震度6強)の地震である。震源は深さ約12 kmであり、震央は当該観測点から約1.9 kmの位置である。残念ながら、

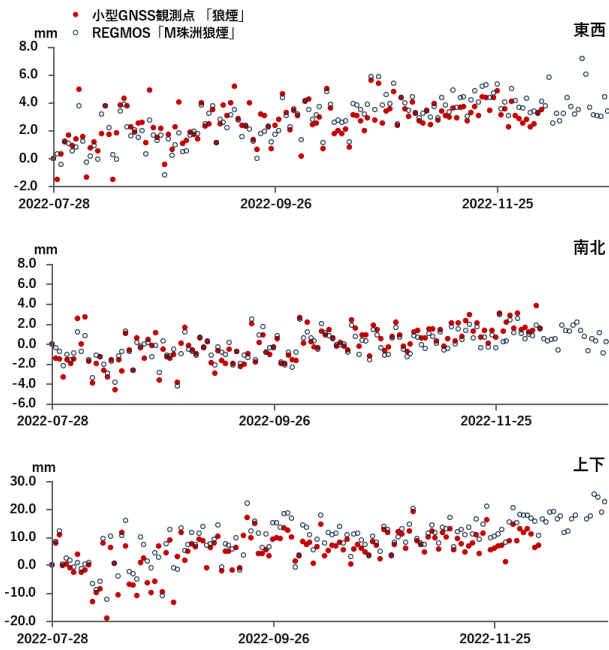


図-4 期間①における小型GNSS観測装置とREGMOSによる電子基準点「舳倉島」との基線変化の時系列.

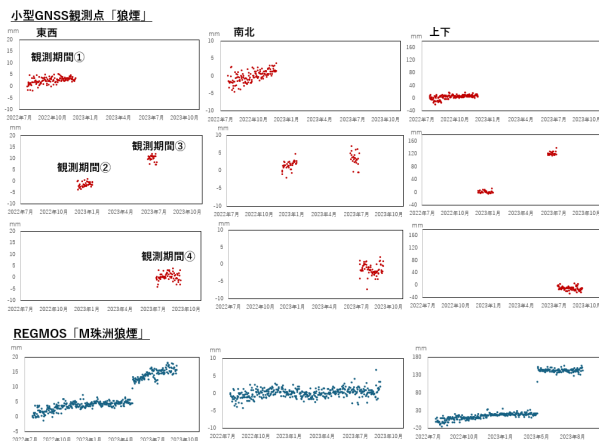


図-5 電子基準点「舳倉島」と小型GNSS観測点「狼煙」(上図)及びREGMOS「M珠洲狼煙」(下図)との基線変化.

表-2 各観測期間の座標時系列の標準偏差.

観測 期間	標準偏差 (mm)					
	小型GNSS観測点「狼煙」			REGMOS「M珠洲狼煙」		
	東西	南北	上下	東西	南北	上下
①*	0.9	1.3	3.8	0.9	1.0	4.1
②	1.1	1.2	3.6	0.9	0.8	4.4
③	1.4	1.9	5.3	1.3	1.6	4.5
④	1.6	1.6	6.4	1.4	1.4	5.2

*小型GNSS観測装置のデータ取得プログラムに不備があり、標準偏差の算出には安定したデータ取得が可能となった10月6日以降のデータを使用.

地震の発生日は、観測を一時中断しており、地震後のデータは同年6月まで取得できなかった。そこで、観測の中断日から観測再開日までの地震を挟む期間の変位を計測し、REGMOSで検出された同期間の変動と比較した。具体的には、令和4年12月8日から令和5年1月18日までの座標の平均値と令和5年6月16日から同年7月11日までの座標の平均値の差を計算した。表-3は小型GNSS観測装置とREGMOSで検出された地殻変動量を示す。2期間の変動量は、各成分においておおむね2 mm以内で整合していることが分かる。小型GNSS観測装置の架台は簡易的ではあるものの、激しい揺れに影響を受けることなく、アンテナの設置安定性に特段の問題はないことが確認できた。

表-3 小型GNSS観測点及びREGMOSで観測した令和5年5月5日の地震前後の変動量.

観測種別	地震の前後の変動量 (mm)		
	東西	南北	上下
小型GNSS観測点「狼煙」	11.5	1.8	120.7
REGMOS「M珠洲狼煙」	10.8	0.5	122.9

もう一つの大きな地震は令和6年1月1日に発生した令和6年能登半島地震(M_j7.6, 最大震度7)である。図-6は本地震前後の電子基準点「三隅」と小型GNSS観測点「狼煙」の基線変化の時系列を示す。各成分に明瞭な跳びが見られ、地震時の変動を捉えていることが認められる。表-4は小型GNSS観測装置とREGMOSで検出された地震時地殻変動量を示す。REGMOS「M珠洲狼煙」による観測では東西及び南北成分でそれぞれ111.6 cm及び20.8 cmの変動(北西方向に113.5 cmの変動)を、上下成分では100.5 cmの隆起を観測したのに対し(国土地理院, 2024a), 小型GNSS観測点では東西及び南北成分でそれぞれ111.5 cm及び20.8 cmの変動(北西方向に113.4 cmの変動)を、上下成分では100.1 cmの隆起を観測した。両者は水平で1 mm, 上下で4 mm程度の差で一致しており、強震動にさらされながらも、架台の設置安定性を保ちつつ計測ができていたことを示した。

3.2 令和6年能登半島地震後の観測

令和6年能登半島地震では、能登半島全域で大きな地殻変動が観測され、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)によるSAR画像解析により、輪島市西部で約4 mの隆起が観測された(石本ほか, 2024)。大規模な変動域における余効変動は、基準点の管理や余効変動のメカニズム推定等にとって

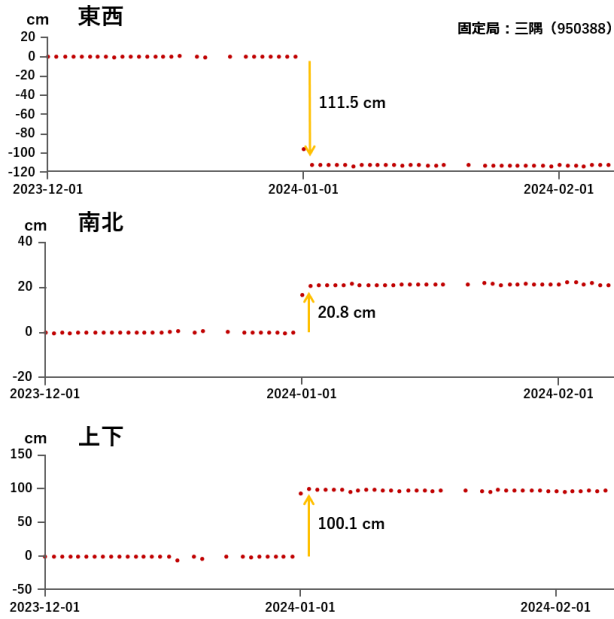


図-6 令和6年1月1日の地震前後の電子基準点「三隅」と小型GNSS観測点「狼煙」の基線変化。

表-4 小型GNSS観測点及びREGMOSで観測した令和6年1月1日の地震前後の変動量。

観測種別	地震の前後の変動量 (cm)		
	東西	南北	上下
小型 GNSS 観測点 「狼煙」	-111.5	20.8	100.1
REGMOS 「M 珠洲狼煙」	-111.6	20.8	100.5

重要なデータであるが、大規模な隆起が観測された地域には電子基準点が配置されておらず、余効変動の詳細な向き・規模や時間推移を把握することが困難である。このような背景の下、輪島市門前町鶴山、同市門前町道下、同市門前町赤神の3か所に小型GNSS観測装置を設置した(観測点名はそれぞれ「七浦」、「道下」、「赤神」)。「七浦」及び「道下」は令和6年1月20日から、「赤神」は同年同月21日から観測を開始した(図-7)(植田ほか, 2024)。

図-8は、令和6年1月21日から同年6月30日までの約半年間の各観測点の座標時系列である。ここに示すデータは、電子基準点「つくば1」の共通誤差を除去し(小林ほか, 2023)、電子基準点「三隅」を固定局としたものである。なお、「七浦」及び「道下」の時系列データには、それぞれ5月中旬及び6月中旬に原因不明の跳びがあったため、オフセットを補正して示している。3観測点とも、余効変動が進行していることが分かる。上下成分においては、3観測点とも沈降が進行するという共通点はあるものの、詳細に比較すると、変動の向きや規模には違

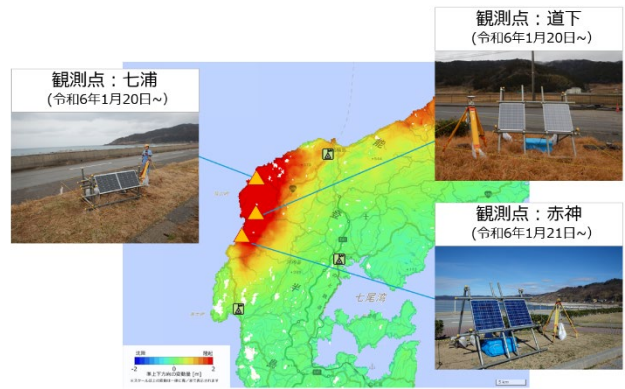


図-7 小型GNSS観測装置の設置場所と概況。背景図はSARによる2.5次元解析結果(準上下成分)。

いが見られる。

図-9は、電子基準点及び小型GNSS観測点から得られた令和6年1月21日から同年6月30日までの変位ベクトルである。北陸地方及びその周辺では、北西方向の水平変位が卓越する余効変動が一様に分布していることが知られている(国土地理院, 2024b)。能登半島においても半島の南部においては、北西方向の変位が分布している。しかしながら、半島の西部にある「七浦」及び「道下」においては、ほぼ逆向きの東向きの変動が観測された。この傾向は、電子基準点「輪島」においても見られる。一方、「赤神」では、東向きの変位は認められず、南向きの変動が卓越しており、半島西側では複雑な変動を示している。「七浦」、「道下」、「赤神」で観測された余効変動の水平変位量は、それぞれ1.6 cm, 1.3 cm, 1.1 cmであった。上下変位については、能登半島内の電子基準点と同様に3点とも沈降を示し、能登半島全域で沈降が進行していることが分かる。「七浦」、「道下」、「赤神」で観測された上下変位量はそれぞれ、-2.2 cm, -4.5 cm, -2.2 cmであった。

上下成分については、「道下」の沈降量がやや大きい。「七浦」及び「赤神」での上下変位の時系列を見ると、時間とともにその沈降速度が減衰している一方、「道下」の上下成分は減衰の傾向は見られず5月頃からその速度を増しており、他の観測点とやや異なる挙動を示している。図-10は、「だいち2号」のSAR干渉解析により得られた変動分布である。図-10(a)は令和6年1月17日と同年4月10日のペアで、「道下」のある八ヶ川下流域の平野部で衛星から遠ざかる局所的な変動が明瞭に認められる。電波照射方向が逆の令和6年1月14日と同年3月10日のペアの結果でも、同地域で衛星から遠ざかる局所的な変動を明瞭に確認できる。観測日及び観測期間が異なるため、時間とともに進行する変動に対して、その上下変位量をSARから正確に計測することは

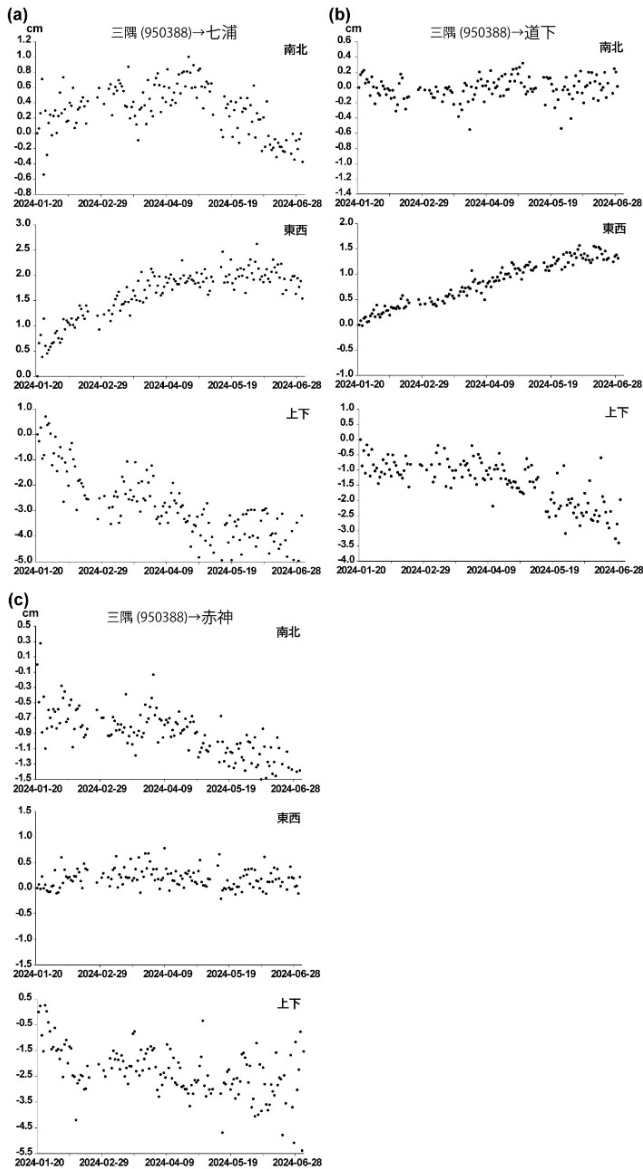


図-8 小型GNSS観測点で得られた令和6年1月21日から令和6年6月30日までの座標変化量の時系列。(a)七浦。(b)道下。(c)赤神。固定局は電子基準点「三隅」。

困難であるものの、両方向の観測で衛星から遠ざかる変動が認められることから(図-10の右下拡大図)、「道下」でも局所的な沈降が進行していたことが示唆される。こうした局所的な変動は、「七浦」及び「赤神」では見られない。したがって、「道下」で検出された上下変位には、この地域で地震後進行した局所的な地盤沈下が含まれている可能性があることに留意されたい。

能登半島にある観測点は、地震時の地殻変動を生じさせた断層の上盤側に位置する(水藤ほか, 2024)。もし余効変動が、地震時と同じ逆断層運動による余効すべりにより生じているのであれば、能登半島は隆起を示し、半島西部においても北西もしくは西向きの水平変位を示すはずである。本観測結果は、令

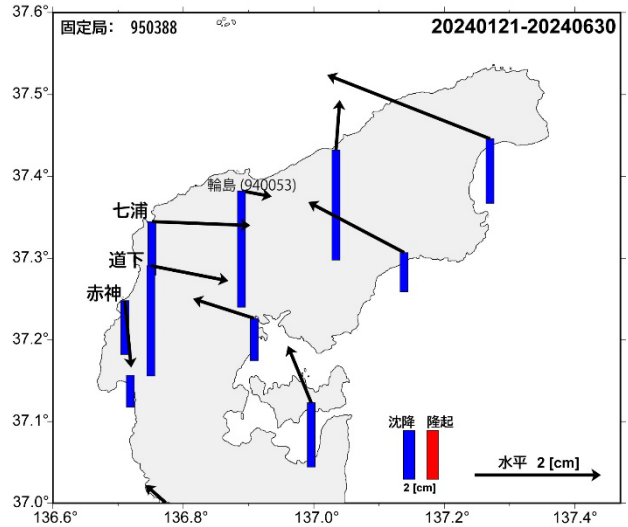


図-9 小型GNSS観測点及び電子基準点で検出された令和6年1月21日から同年6月30日の能登半島の余効変動。固定局は電子基準点「三隅」。変位量は、基準期間を令和6年1月21日から同年同月25日、比較期間を令和6年6月26日から同年同月30日として算出されている。

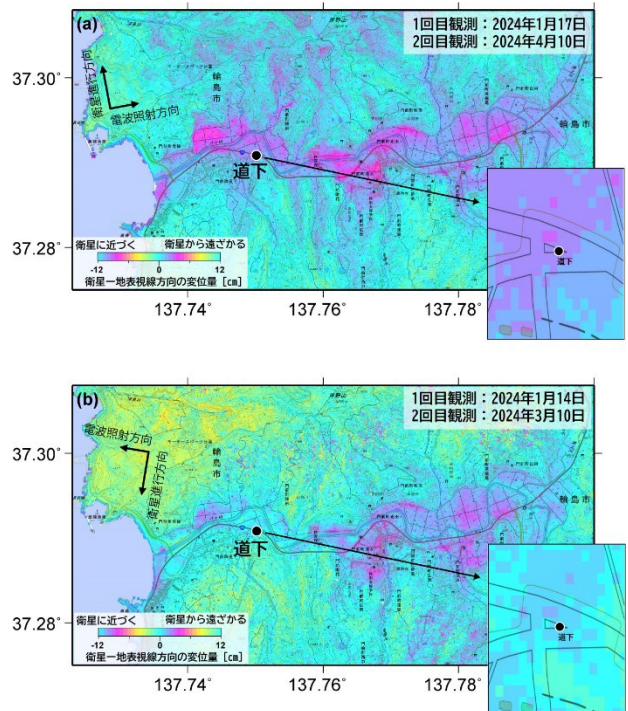


図-10 小型GNSS観測点「道下」周辺における干渉SAR画像。(a)令和6年1月17日と同年4月10日のペア(Path 127)。(b)令和6年1月14日と同年3月10日のペア(Path 20)。

和6年能登半島地震の余効変動では、余効すべりに加えて粘弾性緩和も、その駆動機構として重要な役割を果たしている可能性を示唆している。小型GNSS観測点は、他の観測点では十分に捉えられていない半島西部の貴重な余効変動を検出しており、その発生機構を推定するうえで重要な拘束力を持つデータとなり得る。

6. まとめ

小型GNSS観測装置の地殻変動把握への適用可能性の検証のため、令和4年7月から能登半島の珠洲市狼煙に装置を設置し、観測を開始した。本観測では、受信性能及び観測の安定性の検証を目的として、REGMOSと同じ敷地内に設置し比較検証を行った。アンテナの設置状況等の観測環境を様々に変えながら、小型GNSS観測装置とREGMOSによる座標時系列のばらつきを評価したところ、どのような観測環境においても両者に大きな差は見られなかった。機動性を重視した軽量で簡易的な装置である小型GNSS観測装置が十分な観測精度を有することを確認した。

設置期間中、本観測装置は、令和5年5月5日に発生したM_j6.5の地震及び令和6年1月1日に発生した令和6年能登半島地震(M_j7.5)の地震時地殻変動を検出した。これをREGMOSで検出された地震時変動と比較したところ、令和5年5月の地震では両者数mm以内で整合した変動量が得られた。また、令和6年能登半島地震では、水平で5mm、上下で10mm程度の差で一致した変動量が得られた。小型GNSS観測装置はREGMOSと比べ簡易的な架台を使用しているものの、強震動にさらされながらも、架台の設置安定性を保ちつつ計測できることを確認できた。

令和6年能登半島地震発生後、余効変動の観測を目的として、輪島市門前町地区の3か所(「七浦」, 「道下」, 「赤神」)に小型GNSS観測装置を設置し、観測を開始した。観測の結果、令和6年1月21日から同年6月30日までの約半年間で、「七浦」, 「道下」, 「赤神」においてそれぞれ2.2cm, 4.5cm, 2.2cmの沈降を観測した。一方、水平成分において

は、「七浦」及び「道下」で東向きの変動が、「赤神」では南向きの変動が観測された。「七浦」, 「道下」, 「赤神」で観測された余効変動の水平変位量は、1.6cm, 1.3cm, 1.1cmであった。上下成分については、半島内の他の電子基準点と同様に沈降を示し、能登半島全体が沈降していることを明らかにした。一方、水平成分においては、北陸地方とその周辺及び半島の南部において北西方向の変位が分布する中、半島の西部にあるこれら観測点では北西方向の変位は認められず、ほぼ逆向きの変動が捉えられた。これらの観測事実は、余効変動の発生機構として、粘弾性緩和が重要な役割を果たしている可能性を示唆している。小型GNSS観測点は、他の観測点では十分に捉えられていない半島西部の貴重な余効変動を検出し、その発生機構を推定するうえで重要な情報を与えることとなった。

以上のように、能登半島の群発地震活動以降、小型GNSS観測装置による地殻変動観測を通じて、本観測装置が屋外での自立的な地殻変動観測に十分実用的な水準にあることを確認できた。特に、令和6年能登半島地震後の地殻変動観測では、本観測装置の特徴である機動性がいかんなく発揮され、地震直後から余効変動に関する重要な知見の獲得につながった。能登半島における観測及び検証を通じて、屋外での自立的な地殻変動観測の有効性が確認できた。一方、本試験で実施した期間より長期の観測に対してはまだ検証が不足している。架台設置や電力供給・通信の長期安定性について、より一層の検証が今後必要であろう。

謝辞

本研究で用いた「だいち2号」のデータは、だいち2号に関する国土地理院とJAXAの間の協定及び地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ(地震WG)を通じて、(国研)宇宙航空研究開発機構(JAXA)から提供を受けました。ここで使用した「だいち2号」の原初データの所有権は、JAXAにあります。

(公開日：令和6年12月27日)

参考文献

- 古屋智秋 (2023) : 小型GNSS機器を用いた詳細かつ迅速な地殻変動把握手法の開発 (第2年次), 国土地理院令和4年度調査研究年報, 140–146.
- 畑中雄樹 (2012) : GPS統合解析技術の高度化 (第3年次), 国土地理院平成23年度調査研究年報, 112–115.
- 石本正芳, 服部晃久, 三木原香乃, 小門研亮, 小林知勝 (2024) : だいち2号で捉えた令和6年能登半島地震に伴う地殻変動, 国土地理院時報, 138, 17–24. doi: 10.57499/JOURNAL_138_03
- 小林知勝, 中川弘之, 古屋智秋, 松尾功二 (2023) : 災害に強い位置情報の基盤 (国家座標) 構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究 (第3年次), 国土地理院令和4年度調査研究年報, 116–121.

国土地理院 (2024a) : 令和 6 年能登半島地震に伴う地殻変動 (第 5 報)

https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_20240101noto_5.html (accessed 28 Aug. 2024).

国土地理院 (2024b) : 令和 6 年 6 月の地殻変動, <https://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2024-goudou0708.html> (accessed 22 Sep. 2024).

国土地理院 (2022) : 石川県能登地方で地殻変動観測を強化, <https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi65006.html> (accessed 27 Sep. 2024).

松本紗歩 (2024) : 小型 GNSS 機器を用いた詳細かつ迅速な地殻変動把握手法の開発 (第 3 年次), 国土地理院令和 5 年度調査研究年報, 134–139.

水藤尚, 宗包浩志, 桑原將旗 (2024) : 令和 6 年能登半島地震の震源断層モデル, 国土地理院時報, 138, 33–38. doi: 10.57499/JOURNAL_138_05

植田勲, 畔柳将人, 小川拓真, 服部晃久, 岡村盛司, 田上節雄, 橋本哲志, 宮本純一, 神宮章克 (2024) : 令和 6 年能登半島地震における緊急測量調査, 国土地理院時報, 138, 57–62. doi: 10.57499/JOURNAL_138_09