

基準点測量で捉えられた硫黄島の地殻変動 Crustal Deformation of the Io To Island Detected by Control Point Survey

測地部 平岡喜文・三森庸里江・瀬川秀樹・根本盛行

Geodetic Department

Yoshifumi HIRAOKA, Yurie MITSUMORI, Hideki SEGAWA and Moriyuki NEMOTO

測地観測センター 矢来博司

Geodetic Observation Center Hiroshi YARAI

硫黄島測量班

Io To Survey Team of GSI

要 旨

硫黄島において 2009 年 2 月に基準点測量を実施し、水平位置については 7 年ぶり、標高については 41 年ぶりに位置情報を更新した。島内の基準点において GPS 測量を実施し、水平位置を求めた。また、標高基準を求めるため簡易験潮を実施し、その点を基点としてトータルステーション等による多角測量により各基準点の標高を求めた。そのほか、面的な上下変動の検出を目的として、1968 年の設置以後に道路拡幅工事により亡失となった簡易水準点が設置されていた地点において、GPS 測量を実施した。

本測量により、新たな位置情報のほか、最近 41 年間に積み重ねられた地殻変動を得ることができた。それによると、電子基準点において捉えられている最近 12 年間の隆起速度は、揺らぎを伴うものの、最近 41 年間の隆起速度とほぼ同程度である。また、最近 7 年間と最近 41 年間の上下変動の速度の分布から、硫黄島では地域的に速度が違ふ隆起現象が、速度に揺らぎを伴いながら継続してきたことがうかがえる。

摺鉢山は、現在、二等多角点や電子基準点が設置されている場所よりも山頂部のほうが隆起速度は速く、これまでも同様であった可能性がある。

1. はじめに

国土地理院は、地球上の正確な位置と高さを与える国家基準点体系（三角点、水準点等）を整備し、その基準点に正確な位置情報を与える基準点測量を実施している。

戦後の硫黄島においては、1968 年と 2002 年に基準点測量を実施し、2002 年以後は二等多角点 4 点と電子基準点 2 点について、水平位置は 2002 年の観測に基づく値を、標高は 1968 年の観測に基づく値を位置情報として公表してきた。しかし、硫黄島は地殻変動が活発で、島東部の元山周辺にある電子基準点硫黄島 1 は、1997 年の設置以後、12 年間で約 1.5m 隆起していることから、現在公表している基準点の位置情報と実際の位置とに大きな乖離があると考え

られた。

このような状況のもと、2008 年 10 月に海上自衛隊硫黄島航空基地隊から、島内にある二等多角点の成果更新に関する要望書が国土地理院関東地方測量部に提出され、基準点位置情報の定期的な更新が要望された。また、海洋基本計画が 2008 年 3 月に閣議決定され、離島に関する位置情報等の基本的情報の整備が施策の一つとして盛り込まれた。このような背景のもと、2009 年 2 月に基準点測量を実施し、水平位置については 7 年ぶり、標高については 41 年ぶりに更新した。

本測量により、新たな位置情報のほか、41 年間に積み重ねられた地殻変動を得ることができた。本報告では本測量により捉えられた硫黄島の地殻変動のうち、特に上下変動について報告する。

2. 基準点測量

測量は 2009 年 2 月 2 日から 8 日までの 7 日間において、既設の二等多角点 4 点と、新設した三等多角点 1 点、地殻変動観測点 1 点の計 6 点において実施した。

島内にはこれまで三角点が設置されていなかったことから、元山周辺にある二等多角点（1）を撤去して同位置に三等多角点硫黄島を設置した。新設した三角点を写真－1 に示す。



写真－1 三等多角点 硫黄島

水平位置はGPS測量を実施し、この期にあわせて位置情報が更新された島内の電子基準点2点を基点として求めた。また標高は、簡易験潮を実施して標高基準を求め、その点を基点として、1級トータルステーション等による多角測量を実施して各基準点の標高を求めた。

簡易験潮は釜岩において実施し、圧力式水位計(クリオテクノス KT-125S-010)による連続観測と、目視による水面高の観測を実施した。圧力式水位計のセンサー部は写真-2の矢印の海中に設置した。目視による水面高の観測は、写真-2に示すように、その都度水面に立てた標尺を読定した。



写真-2 釜岩における簡易験潮

目視による水面高の観測は1日2～3回実施した。簡易験潮は、2009年2月のほか、2008年8月25日から28日までの3日間においても実施した。簡易験潮場球分体の標高は、海洋潮汐補正、年周変化補正、気圧補正、地殻変動補正を施し、両者の平均値を採用した。観測結果を表-1に、各種補正情報を表-2にまとめる。2回の観測で得られた球分体の標高の差は23cmであった。差の原因としては、①潮位観測期間が3日間、7日間と短いため、それよりも長い周期で現れる副振動の影響を十分に取りのぞけていないこと、②目視による水面高の観測では波の影響による誤差が大きいこと、以上2つが挙げられる。

表-1 硫黄島簡易験潮場球分体の標高

測定期間	観測値[m]	標準偏差[m]
2008/08/25～27	2.481	0.009
2009/02/03～08	2.710	0.022
平均値	2.516	0.082

表-2 簡易験潮における各種補正情報

海洋潮汐補正	NAOTIDEJ (松本, 2000)
年周変化補正	気象庁父島検潮所の実測値を用いて平均潮位 (2003 年～2008 年) と観測期間中の潮位の差を補正
気圧補正	変化率 -1cm/hPa
地殻変動補正	GPS 測量を実施し 2009 年 2 月に化成

多角測量は1級トータルステーション(ライカ TCPR-1201)と1級セオドライト(ウイルド T2)の2台を用い、観測網が三角形を形成するよう観測した。鉛直角の観測ではレフラクションの影響を抑えるよう、2班に分かれて1辺ずつを相互から観測した。観測網は4つの三角形から構成され、それぞれの外辺は約10kmとなり、3辺の比高の閉合差は25cm以下であった。

そのほか、面的な上下変動の検出を目的として、1968年の設置以後に道路拡幅工事により亡失となった簡易水準点10箇所において、設置場所周辺でGPS測量を実施した。観測では測量標を設置せず、地面の高さを観測した。

観測点の位置を図-1にまとめる。



図-1 観測点の位置 (2009年2月)

3. 測量結果

3.1 基準点の上下変動

1968年観測値との比較を表-3に示す。1968年の観測では、簡易験潮は本田式簡易験潮儀による連続観測と、目視による水面高の観測を1週間ほど実施

していた。また、多角測量は、角観測にはウイルド T2 セオドライトを、距離観測にはジオジメーター VI 型測距儀を使用していた(辻ほか, 1969)。測量方法、観測機器の精度とも本測量と大きな差はないので、1968 年と 2009 年の標高の精度はほぼ同等と思われる。

表－3 二等多角点の上下変動

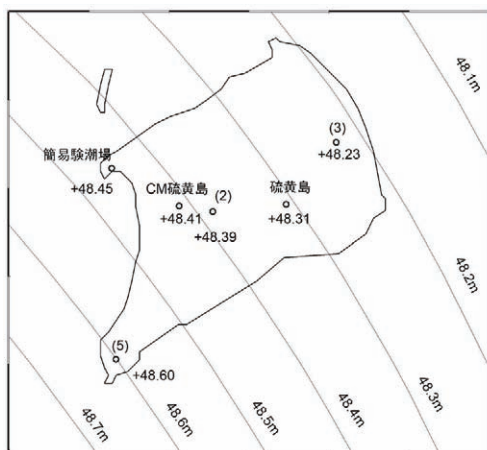
番 号	標 高[m]		変動量[m]
	1968 年	2009 年	
(1)	111.79	116.10	+4.31
(2)	102.90	109.39	+6.49
(3)	119.65	124.19	+4.54
(5)	161.23	162.31	+1.08

なお、1968 年観測の当時は小笠原諸島では連続的な潮位観測が実施されておらず、1968 年の標高算出では潮位の年周変化の補正がされていなかった。そこで、1975 年から観測を開始した気象庁父島検潮所のデータを用いて、1975 年から 1979 年までの月平均潮位（気象庁, 1975-79）から 5 年間の平均潮位を算出するとともに、基準点測量を実施した 8 月について 5 年間の平均潮位を算出し、その差である 20cm を年周変化補正量として 1968 年の標高に加えた。

基準点の 41 年間の最大変動量は元山にある二等多角点 (2) で +6.49m (+16cm/年)、最小は島南西端の摺鉢山にある二等多角点 (5) で +1.08m (+3cm/年) であった。

3. 2 ジオイドマップ

旧簡易水準点における GPS 測量の結果から標高を算出するためにジオイドマップを作成した。ジオイドマップは、基準点測量における GPS 測量により得られた楕円体高と、トータルステーション等による多角測量により得られた標高の差から作成した。



図－2 ジオイドマップ

作成されたジオイドマップを図－2 に示す。北東－南西の傾斜が特徴的であり、海上重力データから作成された重力ジオイド・モデル (JGE0ID2000) でも同様の特徴が見られる。

3. 3 簡易水準点の上下変動

1968 年観測値との比較を表－4 に示す。1968 年の標高は二等多角点と同様、年周変化補正として観測値に 20cm を加えている。

表－4 簡易水準点の上下変動

番 号	標 高[m]		変動量[m]
	1968 年	2009 年	
1	69.6	77.5	+7.9
2	87.7	96.3	+8.6
3	67.9	74.8	+6.9
4	42.2	51.0	+8.8
5	40.3	45.7	+5.4
6	44.1	49.4	+5.3
7	50.4	58.5	+8.1
8	43.7	50.8	+7.1
9	83.1	92.2	+9.1
10	100.7	105.6	傾斜地

変動量は簡易水準点のうち、設置場所が道路の交差点などで位置が確定できたもの、また周辺に設置場所が確定できる地物はないが、平坦な場所に設置されていたものについて算出した。簡易水準点は道路拡幅工事により亡失となったが、その周辺の地形は簡易水準点が設置された 1968 年以後、人為的な影響をそれほど受けていないので、変動量は 1 m 程度の信頼度があるものと思われる。

4. 考察

4. 1 電子基準点との比較

本測量で基準点の標高を求めたことにより、基準点測量により捉えられた最近 41 年間の上下変動と、電子基準点により捉えられた最近 12 年間の上下変動を比較することができ、過去に比べて最近の地殻変動が速いのか、それとも遅いのかを知ることができる。

元山周辺にある二等多角点 (1) と摺鉢山にある二等多角点 (5) は、数 m 離れた地点に電子基準点硫黄島 1、硫黄島 2 がそれぞれ設置されている。電子基準点は 1997 年から連続観測を実施しており、揺らぎを伴いながら隆起する現象が捉えられている。そのデータを用い、電子基準点で捉えられた最近 12 年間の平均隆起速度と、本測量により捉えられた基準点の最近 41 年間の平均隆起速度を比較した。結果

は図-3 および表-5 に示すとおり、両者はよく一致しており、電子基準点で見られる最近 12 年間の隆起現象は、最近 41 年間の平均的なものであるといえる。

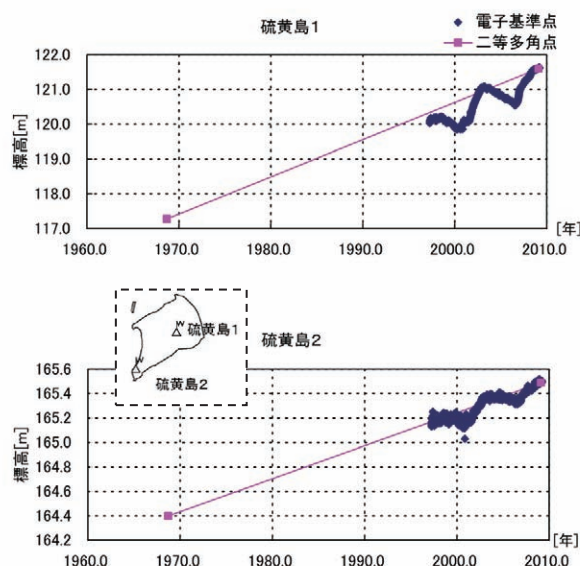


図-3 電子基準点と多角点の上下変動

表-5 隆起速度の比較

場所	測点名	1997-2009	1968-2009
元山	二等多角点 (1)		+11cm/年
周辺	電子基準点硫黄島 1	+12cm/年	
摺鉢山	二等多角点 (5)		+3cm/年
山	電子基準点硫黄島 2	+3cm/年	

4. 2 GPS 繰り返し観測との比較

二等多角点と簡易水準点から求めた最近 41 年間の上下変動の速度の分布を図-4 に示す。

硫黄島測量班は、2002 年から年に複数回、およそ 15 箇所において GPS 繰り返し観測を実施しており、地殻変動の分布を明らかにしている（矢来ほか、2005）。そのデータから作成した、最近 7 年間の上下変動の速度の分布を図-5 に示す。

両者の測点は、元山周辺の二等多角点 3 点と摺鉢山の二等多角点 1 点のほかは場所が異なる。両者を見ると全測点が隆起している。隆起速度は 1968 年から 2009 年に比べ、2002 年から 2009 年のほうが全体的に遅いように見えるが、これは図-3 に示すとおり、硫黄島は揺らぎを伴いながら隆起しており、その影響が現れていると思われる。

分布には、元山は中心部よりも周辺部のほうが隆起速度は早く、摺鉢山が全体に比べて隆起速度が遅いなど、共通した速度の違いが見られる。島全体が一様に隆起しているのではなく、地域的に速度が違

う隆起現象が、この間継続してきたことが示唆される。

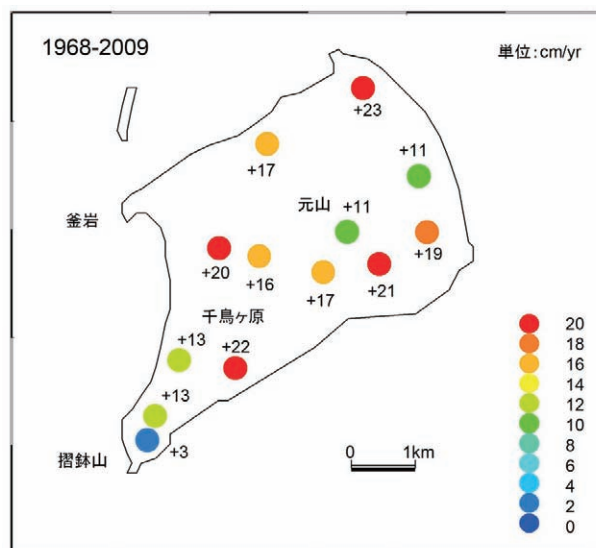


図-4 二等多角点と簡易水準点の上下変動(1968-2009)

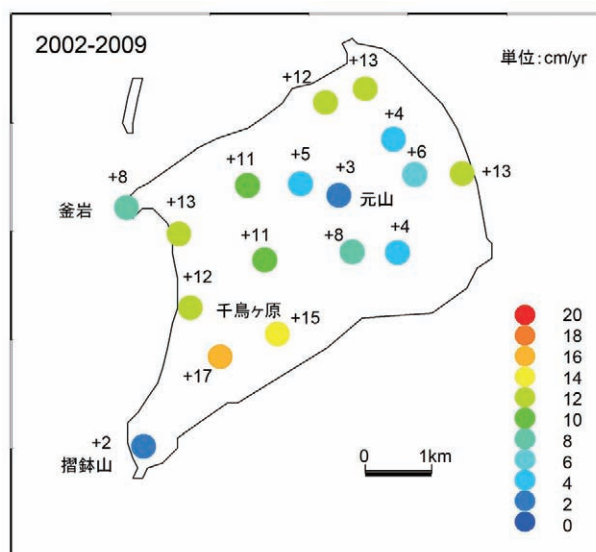


図-5 GPS 繰り返し観測点の上下変動 (2002-2009)

4. 3 98 年間の変動

4. 3. 1 元山周辺

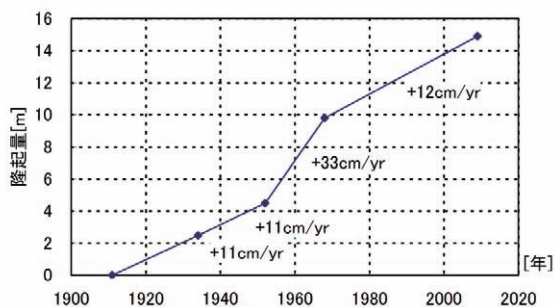
硫黄島では、これまで表-6 に示す機関により測量が実施されており（辻ほか、1969）、また、1976 年から 1984 年にかけて 5 回に渡り国立防災センター（現防災科学技術研究所）において繰り返し測量が実施されてきた（熊谷・高橋、1985）。そこで、今回は表-6 の観測データをもとに、1911 年から現在までの元山周辺の隆起量を求めた。

表－6 硫黄島における測量

回 数	測量の年次（西暦）	測量機関
第1回	明治44年（1911）	陸地測量部
第2回	昭和9年（1934）	海軍水路部
第3回	昭和20年（1945）	米国海軍
第4回	昭和27年（1952）	米国第71測量隊
第5回	昭和43年（1968）	国土地理院
第6回	平成21年（2009）	国土地理院（今回）

辻ほか（1969）に加筆

辻ほか（1969）では第5回以前について、元山周辺に設置された基準点から島の隆起量を算出している。その結果に第6回を加えた元山周辺の隆起量を図－6に示す。なお、第5回から第6回の間の隆起量は二等多角点（1）、（2）、（3）の平均値とした。元山周辺ではこの98年間に約15m隆起しており、隆起速度には揺らぎが見られるが、平均すると+15cm/年である。貝塚ほか（1985）では、海成段丘の放射性炭素年代測定により最近700年間の元山の平均隆起速度が求められている。それによると隆起速度は+15～20cm/年であり、両者はよく一致しており、活発な隆起現象がこの間継続していることが示唆される。



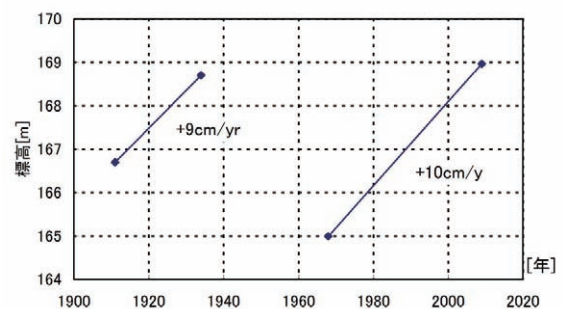
図－6 1911年以降の元山周辺の隆起量

4. 3. 2 摺鉢山

摺鉢山山頂の標高を求めるため、本測量では、二等多角点（5）から山頂の高台にある海上保安庁測量標の間において水準測量を実施し、海上保安庁測量標の標高168.97mを得た。

1911年に摺鉢山に設置され、その後に亡失となった三等三角点摺鉢山は、設置位置を詳細に示す記録はないが、①当時の測量では三角点は極力山頂部に設置されていたこと、②当時の観測では島内の三角点のほか、南硫黄島も見通しており、山頂部でないと難しいと思われること、③設置当時の標高(166.66m)が現在の二等多角点（5）よりも高く、そのような場所の中では山頂部がもっとも適した場所であったと思われることから、測量標は山頂部に設置さ

れていたと思われる。そこで、これまでの測量で得られた摺鉢山山頂の標高をまとめ、その結果を図－7に示す。1911年、1934年、2009年の標高は実測によって求められたものであるが、1968年については同年に作成された1/5,000国土基本図から読み取ったものであり、精度が劣る。1934年と1968年の間には戦争があり、地形が大きく変化していると思われるので、この間をのぞいて標高変化を見る。すると、1911年から1934年の平均隆起速度は+9cm/年、1968年から2009年は+10cm/年とよく一致した結果が得られたが、同じ摺鉢山に現在ある二等多角点（5）や電子基準点硫黄島2の表－5に示す平均隆起速度+3cm/年とは異なる。

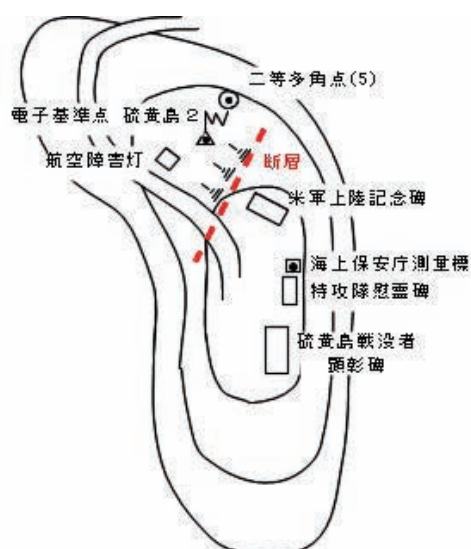


図－7 1911年以降の摺鉢山山頂の標高

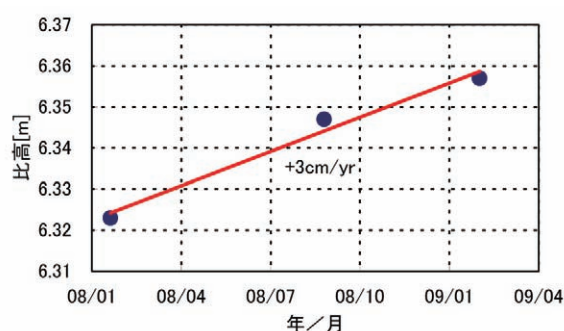
二等多角点（5）および電子基準点硫黄島2と、山頂の高台との間には写真－3および図－8に示す断層がある。二等多角点（5）と海上保安庁測量標との間においては、2008年1月から年に1～2回の頻度で水準測量を繰り返し実施しており、その結果によると、図－9に示すとおり、両者の間の比高は平均3cm/年の速度で広がっている。摺鉢山は二等多角点（5）や電子基準点硫黄島2が設置されている場所よりも頂上の高台の方が、現在は隆起速度が速く、図－7の結果から、これまでも同様であった可能性がある。また、二等多角点（5）や電子基準点硫黄島2から求められた表－5に示す隆起速度は、摺鉢山全体を示すものではないと思われる。



写真－3 摺鉢山山頂の断層（波線部）



図－8 摺鉢山山頂部の見取り図



図－9 二等多角点(5)と海上保安庁測量標間の比高変化

5. まとめ

本測量により、新たな位置情報のほか、41年間に積み重ねられた地殻変動を得ることができた。それによると、電子基準点において最近12年間に見られる隆起現象は、隆起速度に揺らぎを伴うものの、平均的な隆起速度は最近41年間の平均隆起速度とよく一致している。また、最近7年間と最近41年間の上下変動の速度の分布から、硫黄島では地域的に速度が違う隆起現象が、速度に揺らぎを伴いながら継続してきたことがうかがえる。

電子基準点により捉えられた最近12年間の元山の隆起現象は、基準点測量により得られた最近41年間、98年間、放射性炭素年代測定により得られた最近700年間のそれぞれの平均的なものとよく一致しており、この間、活発な隆起現象が継続していると思われる。

摺鉢山は、現在、二等多角点や電子基準点が設置されている場所よりも山頂部のほうが隆起速度は速く、これまでも同様であった可能性がある。

上記のとおり、硫黄島は地殻変動が活発であり、正確な位置情報を提供していくためには、定期的に基準点測量を実施していく必要がある。

謝 辞

本測量の実施において、海上自衛隊硫黄島航空基地隊から多大なる支援を得た。また、標高基準の計算において、気象庁父島検潮所の潮位観測データ、気象庁父島気象観測所および海上自衛隊硫黄島航空基地の気圧データを使用させていただいた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 貝塚爽平，加藤茂，長岡信治，宮内崇祐（1985）：硫黄島と周辺海域の地形，地学雑誌，94(6)，22-33.
- 気象庁（1975）：潮位表（昭和50年），気象庁，481.
- 気象庁（1976）：潮位表（昭和51年），気象庁，592.
- 気象庁（1977）：潮位表（昭和52年），気象庁，302.
- 気象庁（1978）：潮位表（昭和53年），気象庁，302.
- 気象庁（1979）：潮位表（昭和54年），気象庁，302.
- 熊谷貞治，高橋博（1985）：硫黄島の地殻変動（Ⅱ），地学雑誌，94(6)，77-85.
- 辻昭治郎，栗山稔，鶴見英策（1969）：小笠原諸島調査報告，国土地理院時報，37，1-18.
- 矢来博司，村上亮，森克浩，宮本純一（2005）：GPS繰り返し観測により捉えられた硫黄島の地殻変動，国土地理院時報，106，51-55.