沖ノ鳥島の変位（1999年2月～2002年2月）

Displacement of the Okinotorishima Island From February, 1999 to February, 2002

測 地 部　　愛場政広・濱崎英夫
Geodetic Department　Masahiro AIBA, Hideo HAMAZAKI

要　旨

国土地理院では，沖ノ鳥島の正確な位置決定やフィリピン海プレート運動の検出のため，同島において1989年からGPS観測を実施している。

本報告では，1999年2月～2002年2月の間に得られた各年の観測データを処理し，周辺の国際GPS事業（IGS）の観測局から一等三角点「沖ノ鳥島」の座標を求め，その変位量を算出した。1999年2月～2002年2月までの変位量を平均した結果，N70 °W 5.0cm/年となり，同島が国際地球基準座標系（ITRF）において西北西に移動していることが確認された。

1．はじめに

国土地理院では，「沖ノ鳥島における正確な位置の決定及びフィリピン海プレート運動の検出」を目的として，1989年から同島においてGPS観測を実施している。

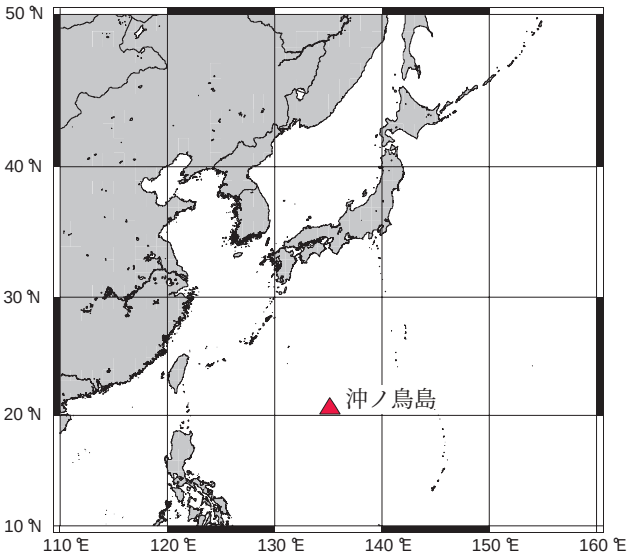
現在，沖ノ鳥島には，一等三角点「沖ノ鳥島」及び三等三角点「北小島」が設置されており，海洋科学技術センターの観測船の便宜供与により渡航し，GPS観測を行っている。三角点の名称は，平成14年1月23日付けで一等三角点「東露岩」から「沖ノ鳥島」，三等三角点「北露岩」から「北小島」に変更された。この報告では，変更後の名称を使用する。

同島の三角点の測量成果については，1989年観測のデータを放送暦で解析した結果が公表されている。また，一等三角点「沖ノ鳥島」については，1998年2月観測のデータを，国内の電子基準点網を基準として解析した，より精度の高い測量成果が公表されている。

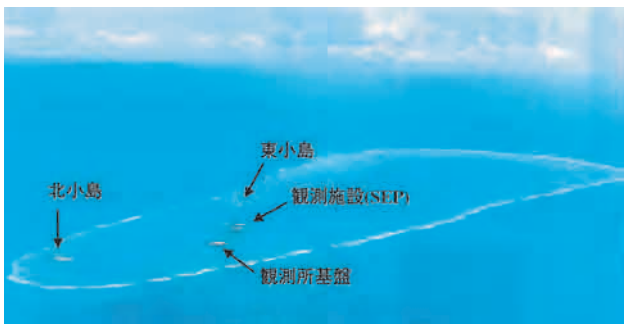
本報告では，1999年2月～2002年2月の間に得られた各年のGPS観測データを用いて，国際GPS事業（IGS）の観測局から一等三角点「沖ノ鳥島」の座標を求め，その変位量を算出した。

2．沖ノ鳥島の概要

沖ノ鳥島は，東京から南に約1,700km，小笠原諸島から南西に約900km離れた日本最南端に位置する無人島である（図－1）。同島は，周囲約11kmの長楕円形をした珊瑚礁（リーフ）からなっており（写真－1），一等三角点が設置されている「東小島」（写真－2）及び三等三角点が設置されている「北小島」（写真－3）の2つの小島が満潮時に海面上に残る。その他同島の保全工事や様々な実験のために作られた観測施設（SEP）（写真－4）や人工島である観測所基盤（写真－5）が存在する（国土交通省，1999）。



図－1　沖ノ鳥島位置図



写真－1　沖ノ鳥島配置図
（国土交通省リーフレット，「沖ノ鳥島の保全」より）

写真－２　東小島
鉄製消波ブロックとコンクリートで保護されている。

写真－４　観測施設（SEP）
基礎的な調査・観測が実施されている。

写真－３　北小島
日本最南端の島

写真－５　観測所基盤（旧灯台跡）

写真－６　東小島の一等三角点「沖ノ鳥島」

写真－７　作業船にて北小島上陸
水深が浅いため母船から作業船にて上陸

3．解析方法

3.1 データ

今回使用したGPS観測データを，表－１に示す。1999年～2001年については，それぞれ約2日分，2002年については約3日分のデータが得られている。観測月日が毎年異なるのは，観測船の運航日程が海洋科学技術センター，国土交通省本省及び京浜工事事務所との調整で決定されるためである。また，観測時刻に違いがあるのは，天候の障害で同島に上陸できなかったためである。

3.2 初期座標値

解析に使用した初期座標値は表－２のとおりである。

この値は，1998年2月に一等三角点「沖ノ鳥島」において観測されたデータをもとに，国内の電子基準点「硫黄島１」・「南大東」・「城辺」・「多良間」を固定点として基線解析を行った結果である（図－２）（丸山他，1999）。

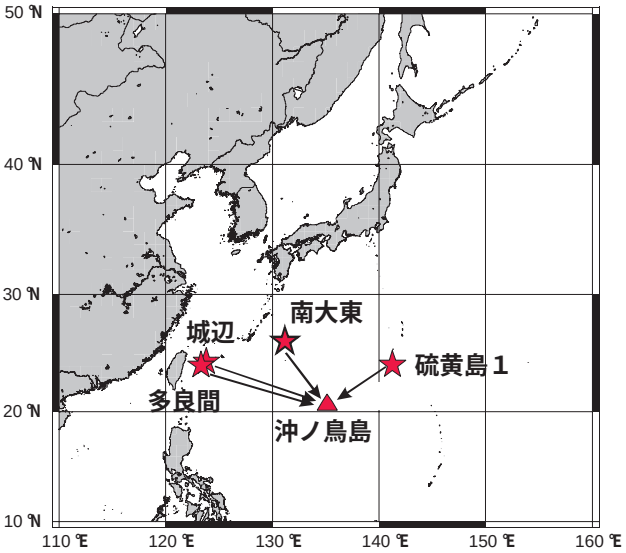
初期座標値は，以上のように国内の電子基準点を固定して計算した結果を用いたが，基線解析においては，図－３及び表－３に示したように「つくば」・「グアム」・「上海」の国内外のIGS観測局を基準とした。その理由は，次のとおりである。

１）沖ノ鳥島は日本の最南端に位置しているため，国内の電子基準点だけを用いた解析では，網の形がいわゆる「突出し」になってしまい精度低下が懸念される。

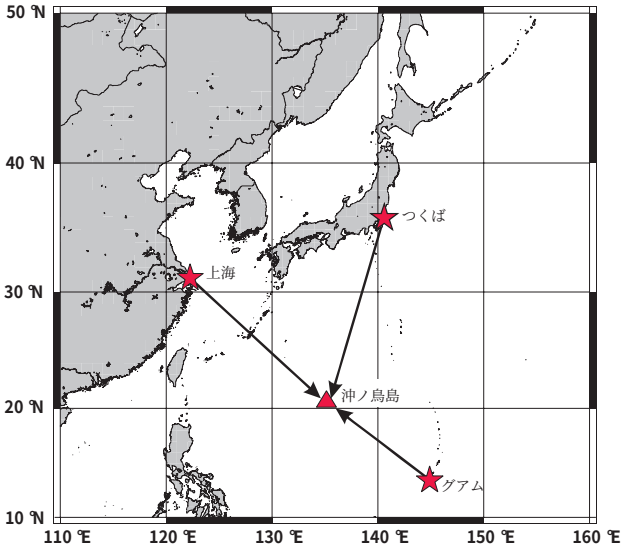
２）沖ノ鳥島及びその周辺の電子基準点の座標は，プレート運動によって，年間約１～5cm程度の変位が，予想される。しかし，電子基準点は，変位速度が公表されていないため，変位速度が公表されているIGS観測局を固定点として使用する方が，より精度の高い解析が期待される。

3.3 ソフトウェア

精密基線解析には，GAMIT Version 10.04，網平均計算にはGLOBK Ver 5.05I Global solutionを使用した。また，入力値及び解析結果等の座標変換にはtrns99 Ver 1.1.5を使用した。



図－２　初期座標の計算方法



図－３　基線解析の固定点

表－１　一等三角点「沖ノ鳥島」における各年のGPS観測

観測開始時刻　観測終了時刻	観測時間	観測者
1999.02.22 6:00 UT～02.23 24:00 UT	42時間	渡辺政幸・森　克浩
2000.02.18 6:00 UT～02.19 24:00 UT	42時間	宮口誠司・村上克明
2001.03.01 1:00 UT～03.02 24:00 UT	47時間	河和　宏・濱崎英夫
2002.02.03 1:00 UT～02.06 06:00 UT	77時間	平井英明・愛場政広

表－２　一等三角点「沖ノ鳥島」の初期座標値

Tokyo97（Bessel 楕円体）	ITRF94 座標系
緯度＝ 20 °25 ′15.0186 ″N	X＝－4307245.5900m
経度＝136 ° 5 ′ 1.2451 ″E	Y＝　4147685.1919m
楕円体高 112.952m	Z＝　2211923.1500m

表－３　今回使用した，1997.0年における固定点のITRF2000座標値及び変位速度

IGS観測局名	X（m）	Y（m）	Z（m）	Vx（m/y）	Vy（m/y）	Vz（m/y）
つくば　TSKB	－3957199.240	3310199.668	3737711.708	－0.0012	0.0073	－0.0087
グアム　GUAM	－5071312.800	3568363.492	1488904.316	0.0042	0.0105	0.0030
上　海　SHAO	－2831733.268	4675666.039	3275369.521	－0.0307	－0.0112	－0.0134

解析には，測地データ解析室にあるLinuxワークステーションGaia 1を使用した。

4．計算結果

解析は，まず一日ごとにGAMITによる基線解析を行った。暦は，IGSの精密暦を使用した。次に，GLOBKによる網平均計算を行った。なお，同じ年でデータが2日以上ある場合は，まとめて網平均計算をした。

解析結果を，表－4～6に示す。

表－4には，各セッションにおける初期座標値からの調整量と標準偏差を示す。調整量が年々大きくなっていることがわかる。これは，沖ノ鳥島が初期座標値の位置から少しずつ移動していることを示している。

GAMITによる精密基線解析において，2001年の第60セッションと2002年の第37セッションにおいて，解析を正常に終了できなかった。第60セッションについてはグアムのデータが計算に使用できず，第37セッションについては，つくばのデータが計算に使用できなかった。従って，これらのセッションでは，固定点が2点となってしまった。他の解析結果と比較してみると，値が大きく違っているため，この2つのセッションの結果は最終結果には採用しなかった。なお，解析が正常に終了

表－4　各セッションの初期座標値からの調整量と標準偏差
＊セッション名は通算日。備考欄の使用不可の結果は，最終結果には採用していない。

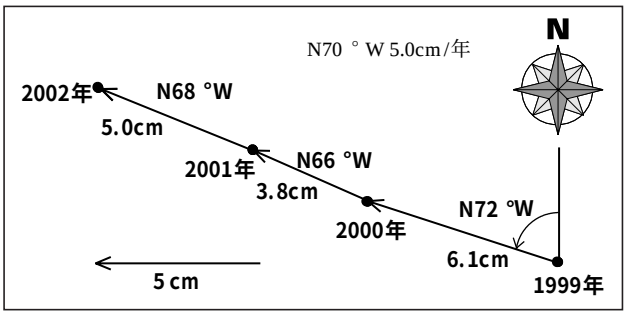
年	セッション	解析時間	Gamit Postfit nrms	Globk prefit chi**2	初期座標値からの調整量(m)			標準偏差(m)			備　考
					dx	dy	dz	dx	dy	dz	
1999	53	18	0.22147	0.566	−0.0025	0.0920	0.0342	0.0059	0.0051	0.0030	
1999	54	24	0.21927	0.594	−0.0100	0.0875	0.0326	0.0060	0.0052	0.0031	
1999	53+54			0.585	−0.0062	0.0898	0.0335	0.0043	0.0037	0.0022	2日分の平均値採用
2000	49	18	0.22209	0.512	0.0334	0.1297	0.0521	0.0083	0.0077	0.0045	
2000	50	24	0.21366	0.598	0.0437	0.1223	0.0488	0.0071	0.0069	0.0039	
2000	49+50			0.555	0.0393	0.1256	0.0501	0.0055	0.0052	0.0030	2日分の平均値採用
2001	60	23	0.23207	3.701	−0.0701	0.3838	0.1322	0.0131	0.0147	0.0091	グアムデータ使用不可
2001	61	24	0.21785	0.765	0.0660	0.1486	0.0679	0.0045	0.0044	0.0026	採用
2002	34	23	0.21137	1.225	0.0886	0.1944	0.0933	0.0044	0.0042	0.0025	
2002	35	24	0.20864	1.082	0.0998	0.1801	0.0856	0.0045	0.0044	0.0026	
2002	36	24	0.21397	0.975	0.1037	0.1792	0.0819	0.0041	0.0040	0.0024	
2002	37	6	0.22471	0.287	0.0820	0.1970	0.0871	0.0142	0.0115	0.0065	つくばデータ使用不可
2002	34+35+36			1.087	0.0973	0.1852	0.0877	0.0026	0.0025	0.0016	3日分の平均値採用

表－5　各セッションにおけるITRF座標系のX・Y・Z座標値

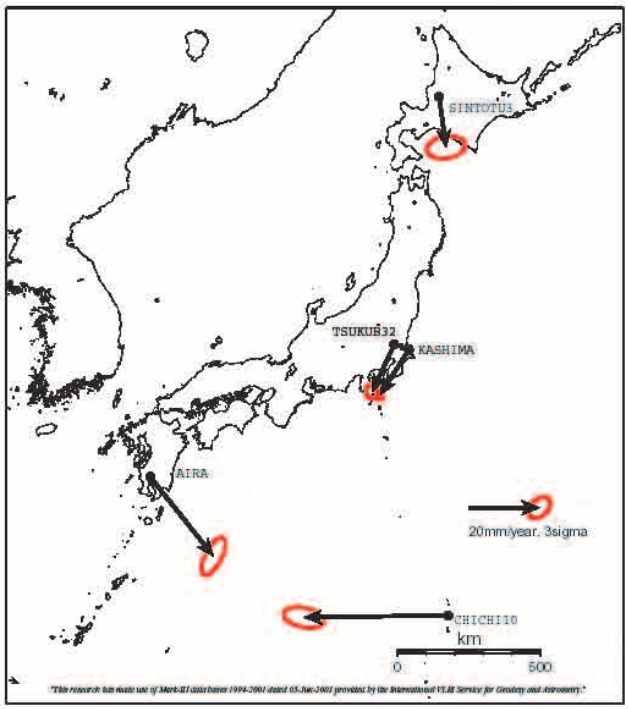
年	セッション	解析時間	座標値(m)			備　考
			X	Y	Z	
1998			−4307245.5900	4147685.1919	2211923.1500	初期値（1998年2月）
1999	53	18	−4307245.5925	4147685.2839	2211923.1842	
1999	54	24	−4307245.6000	4147685.2794	2211923.1826	
1999	53+54		−4307245.5962	4147685.2817	2211923.1835	2日分の平均値採用
2000	49	18	−4307245.5566	4147685.3216	2211923.2021	
2000	50	24	−4307245.5463	4147685.3142	2211923.1988	
2000	49+50		−4307245.5507	4147685.3175	2211923.2001	2日分の平均値採用
2001	60	23	−4307245.6601	4147685.5757	2211923.2822	グアムデータ使用不可
2001	61	24	−4307245.5240	4147685.3405	2211923.2179	採用
2002	34	23	−4307245.5014	4147685.3863	2211923.2433	
2002	35	24	−4307245.4902	4147685.3720	2211923.2356	
2002	36	24	−4307245.4863	4147685.3711	2211923.1524	
2002	37	6	−4307245.5080	4147685.3889	2211923.2371	つくばデータ使用不可
2002	34+35+36		−4307245.4927	4147685.3771	2211923.2377	3日分の平均値採用

表－６　各年のBESSEL楕円体およびGRS-80楕円体上の緯度・経度・楕円体高

年	解析時間	Tokyo97（BESSEL）緯度	Tokyo97（BESSEL）経度	楕円体高（BESSEL）	GRS-80 緯度	GRS-80 経度	GRS-80 楕円体高
		° ′ ″	° ′ ″	m	° ′ ″	° ′ ″	m
1998		20 25 15.01860	136 05 01.24510	112.9520	20 25 31.97751	136 04 52.14166	47.2627
1999	42	20 25 15.01886	136 05 01.24302	113.0262	20 25 31.97777	136 04 52.13957	47.3369
2000	42	20 25 15.01946	136 05 01.24104	113.0246	20 25 31.97837	136 04 52.13760	47.3353
2001	24	20 25 15.02004	136 05 01.23983	113.0277	20 25 31.97895	136 04 52.13638	47.3384
2002	71	20 25 15.02061	136 05 01.23817	113.0373	20 25 31.97952	136 04 52.13473	47.3480



図－４　水平変位軌跡図
北からの方位角と各年の変位量を示す



図－５　VLBIによる最新の解析結果

しなかった原因については，解明できなかった。

表－５には，各セッションにおけるITRF座標系のX・Y・Z座標値を示してある。表－６には，各年のBESSEL楕円体およびGRS-80楕円体上の緯度・経度・楕円体高を示してある。緯度・経度の変化から，西北西方向に移動していることがわかる。

これらの計算結果を図－４に示してみた。1999年２月～2002年２月までの変位量を平均した結果，N70 °W 5.0cm/年の値が得られた。

なお，初期値として使用した座標は，今回解析を行った1999年２月～2002年２月までの値とは，固定点や使用したソフトウェアのバージョンが違うことから，変位量の計算には含めなかった。単純に1998年２月から1999年２月の変位量を求めるとN 81 °W 6.2cmとなる。

５．結果の考察

計算の結果，1999年２月～2002年２月までの平均変位量として，N70 °W 5.0cm/年という結果が得られた。

沖ノ鳥島もしくはフィリピン海プレートの変位量については，これまでにもいくつか報告がある。

つくばの観測点に対する沖ノ鳥島の速度（ITRF93）はN68.7（±16.1）°W2.97（±1.02）cm/yr，安定なユーラシアプレート大陸に対する沖ノ鳥島の推定速度はN59.9 °W 5.98cm/yrという結果が報告されている（加藤他，1996）。

沖ノ鳥島と同じフィリピン海プレート上にある父島の変位量について，鹿島のVLBI観測点を基準としたときの父島VLBI観測点の移動量は，1987年～1989年の２年間でN 67 °W 7.4 ± 0.8cm/２年である（Matsuzaka et al., 1991）。

最近のVLBIによる解析結果は，国土地理院のホームページにおいて公開されている（図－５）（http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/vlbi/global/）。解析方法の詳細については，こちらのホームページを見ていただきたい。単純に図から判断すると，父島が西方向へ約4.0cm/年で移動していることが読み取れる。ここでは，グローバルな解析が行われているため，つくばについても南西方向への移動が見られる。

これらは，基準座標系が微妙に異なるため単純に比較することはできないが，今回得られた結果は従来の結果と調和的であると考える。

６．今後の課題

同島の三等三角点「北小島」については，2002年２月

を除き各年の観測時間が4～5時間と少ないため，比較検討をするまでに至らなかった。三等三角点の変位を算出すれば，一等三角点の変位検証ができるため，今後の観測の蓄積が期待される。

固定点の候補としてフィリピンのIGS観測局を予定したが，データの欠測が時々みられ，今回は使用しなかった。今後，網の形を考慮しフィリピンの観測局も使用した方が良いと思われる。

7．まとめ

本土から約1,700km離れた沖ノ鳥島において高精度な測地学的位置を算出するためには，VLBI観測の実施が望ましいが，同島は周囲をリーフに囲まれた岩礁であるため器材の搬入や劣悪なる環境下での維持管理に困難が予想され，VLBI観測は現実的に難しい。このため，長時間・複数日の観測データを使用したり，固定点には最新の成果を持たせ変位速度を考慮するなどして，GPSの精密基線解析を行うのが現時点では最良の方法であると考える。

沖ノ鳥島は，フィリピン海プレートのほぼ中央に位置し，周りのプレート境界からも遠く離れている。従って，プレート境界付近のプレート同士の衝突による影響などを直接受けず，フィリピン海プレートの動きを代表していると考えられている（加藤他，1996）。フィリピン海プレートの動きを知ることは，日本列島の東南海で起きるであろう地震のメカニズムを知るための重要な目安になると考えられ，今後も引き続きGPS観測を実施して，沖ノ鳥島の変位量を監視する必要がある。

本報告をまとめるにあたり，1999年～2002年に沖ノ鳥島へ渡航した職員，渡航に関しご協力いただいた海洋科学技術センター，国土交通省本省及び京浜工事事務所の関係機関の職員の方々に，ここに深く感謝する。

参考文献

加藤照之・小竹美子・茶珎俊一・飯村友三郎・宮崎真一・金沢輝雄・末広　潔（1996）：沖ノ鳥島におけるGPS観測によって得られたフィリピン海プレートの運動について，測地学会誌，No. 42, 233-243.

国土交通省（1999）：沖ノ鳥島海岸保全区域台帳.

濱崎英夫・平井英明・愛場政広（2002）：沖ノ鳥島における近年の変動量（平成10年度～13年度），国土地理院技術報告書.

丸山一司・井上武久（1999）：沖ノ鳥島における一等三角点（東露岩）の成果算出について，国土地理院作業報告書.

Matsuzaka, S, M. Tobita, Y. Nakahori, J. Amagai and Y. Sugimoto（1991）: Detection of Philippine Sea Plate motion by very long baseline interferometry, Geophys. Res. Lett., 18, 1417-1419.