

マーシャル諸島マジュロ環礁におけるGPS測量とジオイド



大西 俊次¹ 今枝 良平¹ 佐野 滋樹¹ 伊藤 和弘¹ 山野 博哉² 茅根 創³

1. はじめに

太平洋上のマーシャル諸島共和国は、ほとんどが標高数mの環礁上の州島である。こうした国々では、近年の地球温暖化の加速により、海面上昇が懸念され、国が海没する危険性が指摘されている。こうした状況を解明するために、5大学・1政府系研究機関による研究チーム（代表者：東京大学大学院 茅根創教授）が形成され、環境省地球環境総合推進費による研究課題『環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持に関する研究』により、地学、生態学、海岸工学、民俗学、考古学等の多面から研究が進められている。測量調査は、2006年8月マジュロ環礁において、同研究事業の一環として海面上昇に伴う地形への影響の把握等、研究に必要な地形図及びDEM作成の基準成果を得るために、基準点測量、直接水準測量、横断測量等を行った。

さらに、2007年8月験潮場潮位観測データの調査を行った。本稿では、その概要と精度評価及びジオイドについて述べる。

2. 調査地域の概況

調査対象のマジュロ環礁は、マーシャル諸島共和国の首都所在地で、総人口約5.46万人（2004年統計）の約半数が居住する。マジュロ環礁は、57の島が約100kmに渡り連なり、島幅約100m～200m、東西約40km、南北約10kmの環礁上の州島である。州島の内側の海を

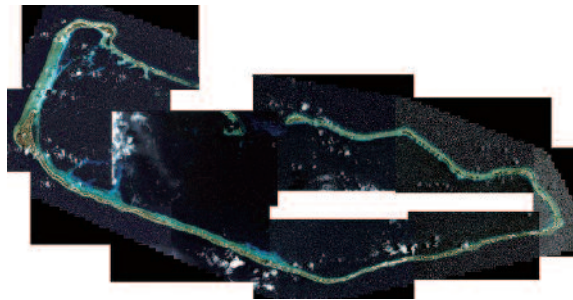


図1 マジュロ環礁全景（衛星画像）



図2 マジュロ環礁（機上よりMJ3付近）



図3 マジュロ環礁（機上よりウリガ地区）

ラグーンといい、水深は浅く比較的波静かで穏やかな海である。外側は、太平洋に囲まれ水深2000mが間近に迫り、波の荒い日が多い。標高は、最高5m程度、ほとんどが1.5m～3.5mの細長い環礁島である。南半分の約50

¹ 玉野総合コンサルタント株式会社

² 独立行政法人国立環境研究所

³ 東京大学大学院理学系研究科

kmは、舗装された道路（幅員約6m）が整備されている。北半分は、点在する島の連続である。首都機能は、東端のウリガ及びデラップ地区にあり、人口の多くが集中している。西端のローラ地区は、ラグーン側3km、その中央付近の島幅が1.2kmの三角形を成し、陸地面積も大きい。また、古い時代から居住する地区であり、マジュロ環礁で唯一真水の地下水（雨水浸透水）が採取できる地区である。

3. 測量調査の実施

- ・作業期間（国外）：2006年8月17～30日（現地測量調査）、2007年8月（験潮場潮位観測データ調査）
- ・実施場所：マーシャル諸島共和国マジュロ環礁
- ・作業量：基準点測量（水準点併用）9点
直接水準測量31.4km、GPS局取付観測1箇所、横断測量及び海水面観測2箇所
- ・主な使用機器：1級GPS測量機3台、3級水準儀1台、3級トータルステーション1台



図4 ローラ地区全景（衛星画像）



図5 GPS測量機・トプコンGB-1000GD 図6 TS・トプコンGTS-320

4. 測量調査の要点

- ①既知点は、マーシャル諸島共和国の国家基準点CMI（以下CMIという）及び国家水準点MAR35を選定した。CMIの成果値は、EPA（ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY）GPS局とGPS測量観測結果を用いて比較検証した。EPAのGPS観測値は、本測量期間中EPAにGPS連続観測を依頼し、その観測データの提供を受けた。
- ②基準点測量は、基準点9点（点名MJ1～MJ7-1）を設置し、GPS測量スタティック法により6セッションの観測を行った。

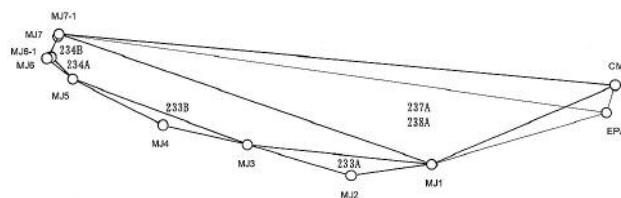


図7 GPS観測網図



図8 基準点測量（GPS観測MJ1：右・空港滑走路、左・道路 その外側は海）



図9 直接水準測量（MJ4～MJ5）

基線長10km未満は1時間以上、10km以上は2時間以上、できる限り長時間の観測をした。

③直接水準測量は、空港西端MJ1からローラ地区北端MJ7-1まで31.4kmを簡易水準測量（観測は3級水準測量相当）で行った。

④横断測量及び海水面観測は、MJ1、MJ4で行った。観測時の海水面は、波浪等が全くない略静水面状態であった。

5. 測量結果および精度評価

①座標計算は、三次元網平均計算により行い、計算結果の精度評価を行った。測地系は、WGS84、楕円体原子は長半径=6378137m、扁平率（f）=1/298.257223563、平面座標の原点をマジュロ環礁の中央付近に設定、原点の縮尺係数を1.0とした。

②CMIを基準とするEPAとのGPS基線解析値とEPAの成果値との較差は、0.271mであった。

③各基準点間のGPS観測距離は、表1のとおり215.849～38155.987m平均9239.518m。CMI及びM1～MJ7-1の総距離（環）は、81.772km。閉合差は、緯度方向-16mm、経度方向+56mm、高さ方向-7mmであった。

④三次元網平均計算における座標値の標準偏差は、緯度方向±4.5～7.6mm、平均±6.7mm、経度方向±5.0～8.4mm、平均±7.6mm、高さ方向±16.2～25.5mm、平均±23.4mmであった。

⑤直接水準測量の標高値は、暫定標高としてMJ1、MJ4の海水面観測値を用いた。直接水準測量によるMJ1～MJ4間の観測水位差（観測距離19.423km）と験潮場の潮位観測値による水位差の差は、-0.037mであった。

6. 観測楕円体高差と観測高低差によるジオイド高差

マジュロ環礁西端ローラ地区のMJ6を基準に、GPS測量による楕円体高差と直接水準測量による高低差は、図10のとおりである。

表1 GPS観測基線ベクトル閉合差

	観測点名	D (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	セッション
1	CMI～MJ1	13598.311	1413.569	12816.010	-4320.389	238A
2	MJ1～MJ2	5544.836	800.561	5475.884	-344.966	233A
3	MJ2～MJ3	7433.729	1389.423	6795.990	2672.891	233A
4	MJ3～MJ4	5921.725	1090.691	5539.461	1786.502	233B
5	MJ4～MJ5	6909.075	1357.516	5742.480	3593.939	233B
6	MJ5～MJ6	2293.582	453.482	1647.031	1530.412	234A
7	MJ6～MJ7	1699.120	40.992	-896.930	1442.513	234B
8	MJ7～MJ7-1	215.849	7.286	-105.890	187.949	234B
9	MJ7-1～CMI	38155.987	-6553.523	-37014.092	-6548.868	238A
	計	81772.214	-0.003	-0.056	0.017	
	閉合差		dN=-0.016	dE=0.056	dU=0.007	
	許容範囲		dN=0.060	dE=0.060	dU=0.090	

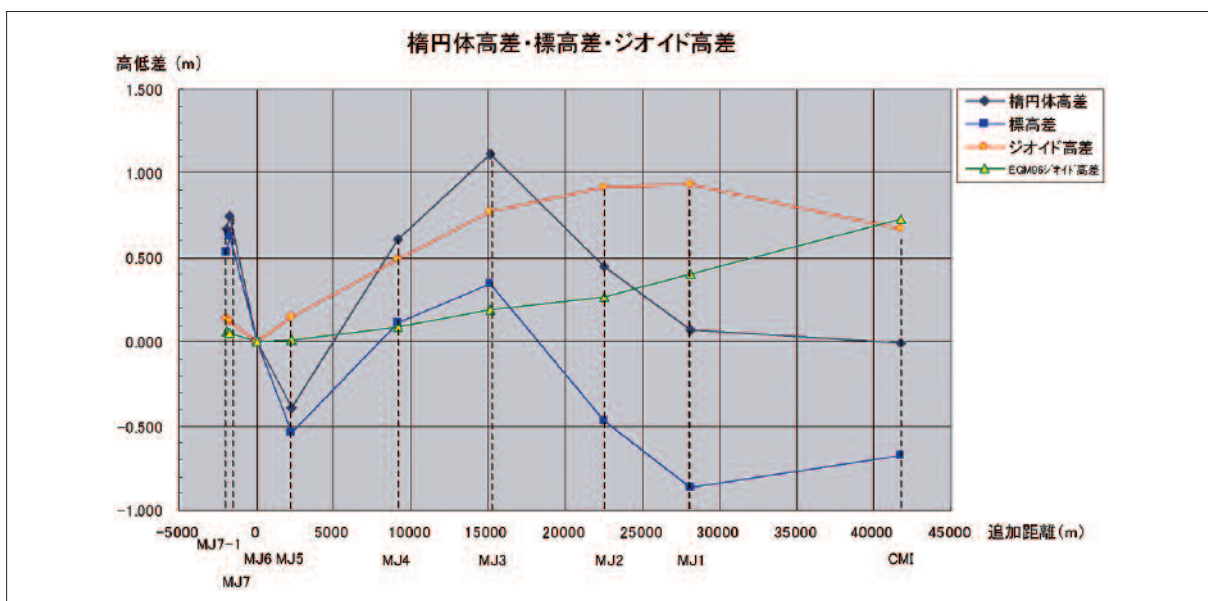


図10 楕円体高差・高低差によるジオイド高差

MJ1とCMIの間は、標高値の差から求めた。ジオイド高差はMJ6を基準に、最大値がMJ1で0.935mに達し、地表の平坦な地形に対して大きな差が見られた。なお、CMIでのジオイド高差0.668mは、EGM96 (Earth Gravitational Model 1996) にもみられ、長波長成分であると推察される。さらに、MJ6からCMIの長波長成分を除いた各観測点の観測ジオイド高が、マジュロ環礁の地形による短波長成分を表すものと推察される。

7. まとめ

- ①GPSを用いた基準点測量は、座標の標準偏差が1cm以内の高精度で決定できた。これらの基準点は、マーシャル諸島共和国の国家基準点として使用可能と考える。
- ②マジュロ環礁のジオイドは、環礁の特異な地形及び長波長のジオイド成分等から、西端を基準に東へ28km地点で、90cmを上回る大きな差がみられた。このことは、精密なジオイドモデルのない地域では、安易なGPS測量による標高決定は危険であり、直

接水準測量による標高決定が重要である。

- ③今後の課題として、精密ジオイドモデルのない地域において、高さ測定にGPS測量を有効利用するためには、ローカルなジオイドモデルの容易な作成手法の確立が必要である。

8. おわりに

本稿は、2007年6月22日開催の第29回測量調査技術発表会及び2007年11月7～9日開催の日本測地学会第108回講演会の講演要旨を用い一部加筆したものである。

■謝辞

本件について、(財)建設情報総合センターGIS研究部長(元国土地理院・地理地殻活動研究センター長)海津 優氏には、貴重なご意見をいただいた。また、(株)トプコン販売東京営業所長足立和哉氏、(株)トプコン野間 尚氏には、ご協力いただいた。ここに紙面を借りて御礼申し上げます。



地球環境を守る。測量技術が貢献。