

日韓三角測量原基線GPS共同観測 Joint Re-measurement of Japan-Korea Connecting Triangulation Network by GPS

測地部 横川 薫・田上節雄
Geodetic Department Kaoru YOKOKAWA, Setsuo TANOUE
韓国國土地理情報院 安淇徳・朴鎮植
National Geographic Information Institute, Korea An Ki Duk, Park Jin Sik

要 旨

平成15年2月、国土地理院と韓国國立地理院（現國土地理情報院）は、それぞれの国でGPS観測を同時に行う共同観測を実施した。観測した対馬の三角点2点（御岳、有明山）、及び韓国釜山市近郊の三角点2点（釜山、巨濟）は、日本と韓国を結ぶ三角測量網の原基線を構成する。今回の観測は、第29回日韓測地・地図協力会議において、韓国側より提案があり実現したものである。

今回のGPS測量から求めた原基線の距離は、大正時代に算出された一等三角測量の結果と40cm以内で整合しており、当時の測量がかなりの精度を有していたことを示している。また、現在では韓国も日本同様に世界測地系を導入しており、日韓両国の測地系が良く整合していることも確かめられた。

1. はじめに

我が国の骨格を決める一等三角測量は明治中期より行われ、現在の日本国以外の地域にもその網を延ばして行った。その中で朝鮮半島への測量は明治末期に行われ、日本と半島をつなぐ過程で対馬の三角点を使用された。

今回の共同観測は、いわば日本と韓国を結ぶ三角測量の原基線を最新の測量技術によって観測したものである。GPSによる共同観測は、平成15年2月21日に15時間あまりの同時観測を行うことができた。

原基線の測量成果を調べる過程において、対馬の一等三角点の成果には複雑な経緯があることも判明した。ここでは、当時の作業報告書等に基づき、成果の変遷についても併せて報告する。

2. 日韓測地・地図協力会議

日韓測地・地図協力会議は、「日韓両国の測量・地図作成機関同士の国際協力を通し、両国の測量・地図作成事業を推進させるとともに、測量・地図に関連する地球科学の発展、さらには全人類の課題である地球環境保全に貢献する。」ことを目的にしている。昭和49年に開催された第1回の会議以降、毎年、日韓両国で交互に開催されており、平成14年7月30日には我が国で第29回会議が開催された。

会議では、日韓双方から最新の業務内容の紹介や今後の両国の協力についての意見交換が行われ、今

回の課題である「三角測量原基線の共同観測」について韓国側より提案がなされ、原則合意した。この中で韓国側は、①最新測量技法による三角測量基線比較分析、②測量技術及び装備の発達による測量成果の変遷及び地殻変動後の把握、③今後の国家基準点成果の効果的な更新と管理などのための指標として活用することを目的としてあげている。

その後、韓国側より具体的な提案があり、測地部でGPSによる共同観測の実施を決定したものである。

3. 対馬の位置

我が国の一等三角測量は、明治15年より進められ、九州地方は明治25年頃より筑隅三角網として測量された。対馬の測量は、明治40年に行われた二等三角測量時に対馬三角網として行われた（図-1）。

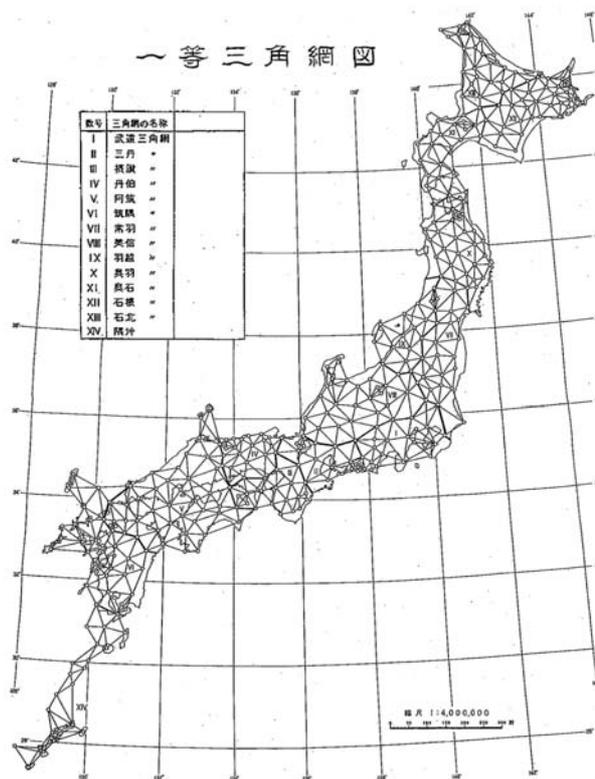


図-1 一等三角網図

3. 1 一等三角測量

対馬の一等三角点の本点である御岳、有明山は、本土までの間に、沖ノ島（沖ノ島）、嶽ノ峯（壱岐）、大島（大島）、天狗岳（平戸島）を介して、九州の梨川内、三瀬山、本州の天井ヶ岳と結合されている（図-2）。

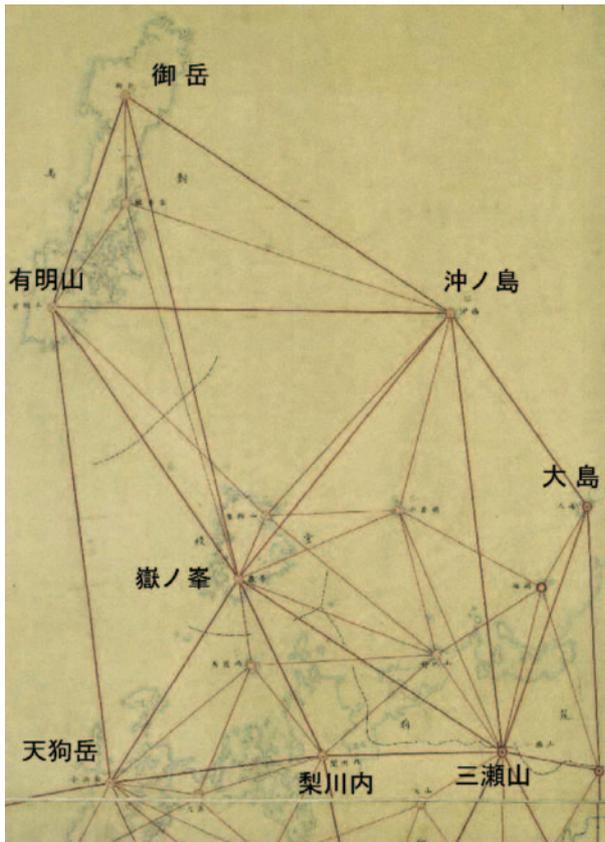


図-2 対馬三角網（選点図）
（太線が一等三角点本点の網）

一方、韓国側との接続は、明治43年以降に対馬の御岳、有明山から、釜山、巨濟のほか1点と結合している。この測量は、我が国でいう三等三角測量以下の精度であったため、昭和13年以降に、二等三角点に相当する既設の点（大三角本点）から一等三角点本点の網として選点、観測された（国土地理院、1970）。当時の報告書の付図を図-3に示す。



図-3 昭和13年度の報告書付図（一部）

3. 2 一等三角点と二・三等三角点の実用成果

3. 2. 1 再計算

一等三角測量の終了後、二・三等三角測量が引き続き実施された。中国、九州地域の観測、計算が終了し、四国地域の測量を実施して網平均計算をしたところ、2秒以上の改正数（改正量）を持つ方向が多数生じたため、四国、中国、九州北部を一括した網により再計算が行われることとなった（国土地理院、1970）。再計算は、大正2年から3年にかけて行われ、一等三角点の再計算に伴い、二・三等三角点についても再計算が行われた。

3. 2. 2 対馬の実用成果

対馬内の一等三角点成果（補点の観音岳含む）は再計算されたが、二・三等三角点成果については再計算されなかった。このことについて詳細な記録は残っていないが、当時の対馬は軍事的な理由から測量成果が一般には公開されない地域であったこと、一等三角網で本土と結合されている他は島外の三角点との接合がなく、島内の測量には支障をきたさなかったなどの事情があったと推測される。したがって、対馬の全ての三角点成果は、改算されていない一等三角点に基づいたものが公表されていた。つまり、一等三角点3点についても、明治に観測、計算された最初の値（以下「明治成果」という。）が日本測地系での実用成果となっていた。

御岳と有明山そして壱岐の嶽ノ峯について、大正時代に再計算された成果と明治成果を以下に示す（表-1）。

表-1 大正時代に再計算された成果と明治成果

		大正時代に再計算された成果	明治成果
御岳	緯度	34° 33' 41.8751"	34° 33' 41.5409"
	経度	129° 22' 19.2363"	129° 22' 19.3044"
	平面 X	173 185.72	173 175.42
	平面 Y	-11 743.36	-11 741.64
有明山	緯度	34° 12' 4.3280"	34° 12' 3.9992"
	経度	129° 16' 2.1395"	129° 16' 2.2238"
	平面 X	133 228.76	133 218.62
	平面 Y	-21 446.04	-21 443.90
嶽ノ峯	緯度	33° 44' 16.8744"	33° 44' 16.874"
	経度	129° 42' 45.2705"	129° 42' 45.270"
	平面 X	81 858.16	81 858.16
	平面 Y	19 694.49	19 694.49

この表より、対馬の三角点の明治成果は、大正時代に再計算された本州、九州地域の三角点の成果と比較して10m程度の差があったことがわかる。

3.3 日米共同観測

昭和29年11月～12月、日米共同観測作業として、日本と韓国とを結ぶ一等三角網の観測が実施された(図-4)。観測は、ウィルトT3を使用して16対回方向観測が行われた。本州から九州にかけての天上ヶ岳、大島、三瀬山及び梨川内の4点を固定し、残りの沖ノ島、嶽ノ峯、御岳及び有明山の4点の位置を求めている(測量第二課, 1955)。その結果の一部を以下に抜粋する(表-2)。

昭和30年度 杓岐・対馬地方一等三角測量
日韓連絡一等三角網図

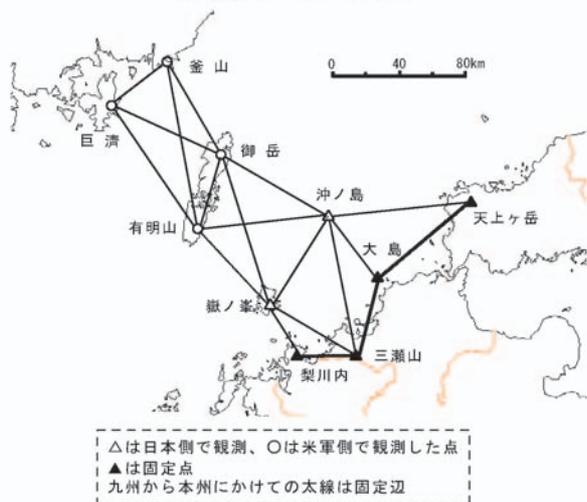


図-4 日米共同観測作業地域

表-2 日米共同観測の結果

		日米共同観測平均値計算結果	大正時代に再計算された成果	差(秒)	差(m)
御岳	緯度	34° 33' 41.8602"	34° 33' 41.8751"	-0.0149	-0.46
	経度	129° 22' 19.2557"	129° 22' 19.2363"	0.0194	0.49
有明山	緯度	34° 12' 4.3263"	34° 12' 4.3280"	-0.0017	-0.05
	経度	129° 16' 2.1795"	129° 16' 2.1395"	0.0400	1.02
嶽ノ峯	緯度	33° 44' 16.8788"	33° 44' 16.8744"	0.0044	0.14
	経度	129° 42' 45.2697"	129° 42' 45.2705"	-0.0008	-0.02

日米共同観測の結果、対馬内にある御岳及び有明山の水平位置は、大正時代に再計算された成果に比べ、最大でも1m程度の較差しかないことがわかる。

3.4 新聞報道

平成2年9月1日付けの朝日新聞に、「対馬が明治の値より北北西へ13メートルずれた」との記事が掲載された。海上保安庁水路部(現 海洋情報部)がSLR(衛星レーザー測距)によって対馬の厳原町にあるSLR観測点の位置を求めたところ、明治時代の旧陸軍が三角測量した値に比べ約13mずれていることが判明したというものである。

3.2節で述べたように、四国、中国、九州北部の二・三等三角点の成果は、一等三角網の再計算により改算されていたが、対馬では再計算されはしたものの成果は改定されず、明治成果のままであった。報道は、この明治成果とSLRの結果(日本測地系)とを比較したものであって、もともと大正時代に再計算された成果と明治成果とでは10mほどの差があることは既に分かっていた。

3.5 成果改算

新聞報道を受け、測地部では直ちに対馬の三角点成果の調査を行い、平成3年1月、四等三角点まで全ての成果の改算を次のとおり行った(測地第二課, 1990, 1991)。

改算にあたり、大正時代に再計算された一等三角点成果をもとに全ての三角点を改算するのでは、実施済みの公共測量成果等に与える影響が大きいため、一等三角点2点(御岳、有明山)における改算量の平均値を、全ての三角点に加えることとした。改算が容易にできるように、平面直角座標における改正量を求め(表-3)、その後、計算により緯度、経度に変換する方法をとった。

改正量に平均値を使用したため、御岳及び有明山の改算成果には、表-4に示す量だけ一等三角網との不整合が生じたことになる。

表-3 平均改正量の算出

測点	種別	X座標(m)	Y座標(m)
御岳	大正時代に再計算された成果	173 185.72	-11 743.36
	明治成果	173 175.42	-11 741.64
	差	10.30	-1.72
有明山	大正時代に再計算された成果	133 228.76	-21 446.04
	明治成果	133 218.62	-21 443.90
	差	10.14	-2.14
平均改正量		10.22	-1.93

表-4 一等三角網との不整合

		平成3年の改算成果	大正時代に再計算された成果	差
御岳	緯度	34° 33' 41.8725"	34° 33' 41.8751"	-0.0026"
	経度	129° 22' 19.2282"	129° 22' 19.2363"	-0.0081"
	平面 X	173 185.64	173 185.72	-0.08
	平面 Y	-11 743.57	-11 743.36	-0.21
有明山	緯度	34° 12' 4.3306"	34° 12' 4.3280"	0.0026"
	経度	129° 16' 2.1477"	129° 16' 2.1395"	0.0082"
	平面 X	133 228.84	133 228.76	0.08
	平面 Y	-21 445.83	-21 446.04	0.21

3.6 測地成果2000

平成14年4月から測地成果2000が施行された。成果の算出に際しては、電子基準点を骨格点として高度基準点測量や一次基準点測量等の観測値を用いて、一等三角点または二等三角点の位置を決定した。しかし、高度基準点測量等が実施されていない離島などについては、三角点と電子基準点との取り付け観測をして、その結果をもとに旧観測値（明治時代の角観測）を使用して成果を算出した。対馬については、島内にある三等三角点3点との取り付け観測を行って成果を求めている。

3.7 日韓VLBI・GPS観測

韓国の測地網も歪み等が存在していた。韓国は、これを修正するため、国際地球基準座標系（ITRF系）に結合されている日本の測地網との結合を我が国に要望していた。平成7年の第22回日韓測地・地図協力会議で早急な実施が合意され、平成7年10月、我が国の鹿島局と韓国の水原局の間で、日韓VLBI観測が行われた。

この観測によって大韓民国経緯度原点は、実用成果である日本測地系座標（ベッセル楕円体に準拠）のほかに、ITRF94系による座標が決定された。また、VLBI観測に先立ち、平成3年と平成6年には日韓間のGPS測量が行われている。観測点は、日本側で国土地理院構内にあるGSI5、韓国側で大韓民国経緯度原点、二等三角点2点（釜山、光州）である。その後、平成6年度からは水原にGPS連続観測局が設置され、観測が続けられている（石原ほか、1996）。

4. 日韓三角測量原基線GPS共同観測

4.1 観測点の決定

第29回日韓測地・地図協力会議での合意に基づいて、日本側は、対馬にある2点の一等三角点「御岳」と「有明山」で、韓国側は朝鮮海峡を挟んで二等三角点「釜山」と「巨済」においてGPS観測を同時に行うこととなった（図-5）。この観測では12時間以上の連続観測を行うため、測地第二課が中心になって高度基準点測量に準じた作業をすることとなった。

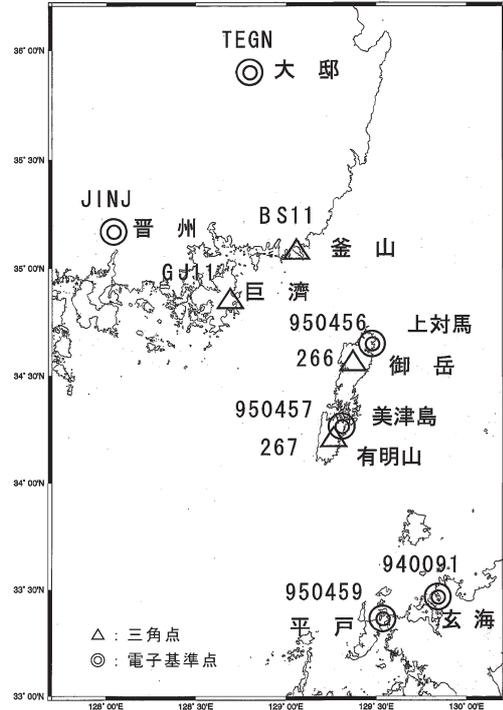


図-5 日韓三角測量原基線GPS観測作業地域

4.2 事前調査

観測を実施する2点については、離島取り付け観測作業の候補点として、平成10年9月に写真が撮影されており、現況の把握ができた。しかし、5年が経過していることと伐採の承諾を得る必要などがあるため、事前の選点調査を行った（表-5）。

表-5 2点の調査結果

点名	御岳	有明山
徒歩時間	1時間30分	30分
距離	2.3km	1.5km
歩道状況	幅1mの登山道、階段あり	幅1mの登山道
観測形式	アンテナタワー	三脚
アンテナ高	10m	1.6m
伐採の有無	あり	なし
伐採の量	伐木1本を含め枝打ち5本	
所有者	対馬森林管理署	対馬森林管理署、共有地
その他	低温、強風、年に数回積雪	低温、強風、脚杭困難

選点調査の結果から、御岳三角点ではGPSアンテナタワーによる観測が必要と判断された。現在、測地部で使用しているアンテナタワーは、10mまでのものと15mまでのものがある（表-6）。表から分かるとおり、10mと15mとでは運搬にかかる労力が大きく変わってくる。そこで今回は、徒歩時間を考慮して10mタワーを使用することにした。このため、アンテナから仰角15°以上の視界を確保するために伐採を行った。

表-6 アンテナタワーの諸元

型式	PA-7-90	PA-10-120
伸長高	10m	15m
収納高	1.9m	2.3m
伸縮段数	7段	10段
本体重量	20kg	37kg
付属品重量	14kg	20kg



写真-1 御岳



写真-2 釜山

4.3 観測

日本及び韓国で使用したGPS受信機、アンテナの構成を表-7に示す。また、観測時のデータ取得間隔、最低高度角、最少衛星数はそれぞれ30秒、15度、4衛星に設定した。

表-7 使用した受信機及びアンテナの種別

番号	点名	受信機	アンテナ
266	御岳	4000SSI	Compact Geodetic L1/L2 with Ground Plane
267	有明山	4000SSI	Compact Geodetic L1/L2 with Ground Plane
BS11	釜山	4700	Micro Centered Compact Geodetic without Ground Plane
GJ11	巨濟	4700	Micro Centered Compact Geodetic without Ground Plane
950456	上対馬	4000SSI	Permanent L1/L2
950457	美津島	4000SSI	Permanent L1/L2
940091	玄海	5700	Choke Ring Antenna
950459	平戸	5700	Choke Ring Antenna
TEGN	大邸	4000SSI	Choke Ring Antenna
J1NJ	晋州	4000SSI	Choke Ring Antenna



写真-3 有明山



写真-4 巨濟

日本側の観測は、作業員の編成や移動時間を考慮すると、1日で2点のセットは不可能であったので、まず初日に、御岳への観測器材の荷揚げ及びGPSアンテナタワーの建設を行った。翌日は2班に分かれ観測の開始に当たった。1班は御岳のアンテナの致心の確認、もう1班は有明山の荷揚げ及び機材のセットを行い、韓国との同時観測を実施した（写真-1～4）。観測当日は悪天候となり、対馬では滅多に降らない雪にも見舞われ、御岳での致心の確認に苦勞した（写真-5）。翌日、アンテナの致心の確認とデータのダウンロードを行い、予備観測として再び観測を行った。各点とも、致心のずれや気泡の変位はなく、また、受信機内部のメモリから、十分な量のデータが取れたことを確認した。

各観測点で取得したデータを表-8に示す。

表-8 各点の観測状況

観測点	月日	通算日	アンテナ高	開始時刻	終了時刻	観測時間
御岳	2.21	052	9.355	5:30	23:59	18:29
	2.22	053	9.355	0:00	23:59	23:59
有明山	2.21	052	1.626	5:30	23:59	18:29
	2.22	053	1.626	0:00	23:59	23:59
釜山	2.21	052	1.176	5:29	0:01	18:32
巨濟	2.21	052	1.032	5:24	20:40	15:16

※アンテナ高とは、アンテナ底面までの高さ(m)である



写真-5 雪の中での致心作業

4.4 解析

4.4.1 現地概算

御岳及び有明山で観測したデータが、十分な品質を持っているかどうかの現地点検として、高度基準点測量と同様に観測データを前半と後半の2つに分け、それぞれの基線解析を行い較差を点検した（表-9）。

表-9 有明山～御岳間の基線ベクトル

	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	斜距離(m)	楕円体比高(m)
8:00~14:00	6907.047	-23635.812	32938.552	41125.504	-100.455
14:00~20:00	6907.047	-23635.806	32938.552	41125.501	-100.452
較差	0.000	-0.006	0.000	0.003	-0.003
データ数		棄却率(%)	RMS	RATIO	データ: 2/21 (052)
8:00~14:00	3668	0.76	0.014	4.773	
14:00~20:00	4019	0.07	0.012	34.844	

解析に使用したソフトウェアは、GPSurvey 2.35で、放送暦を使用した。最低高度角は15度、データ間隔は30秒、対流圏や電離層の補正はすべてデフォ

ルト値を使用した。

各成分ともよく一致しており、取得データに問題はないことが確認された。高度基準点測量では、基線ベクトルの較差を南北、東西、上下 (DN,DE,DU) 成分に分けて制限を設けている。上記の値をこれらに変換すると次のようになる。

$$\begin{aligned} DN &= 3 \text{ mm} && (\text{許容範囲: } 20\text{mm}) \\ DE &= 4 \text{ mm} && (\text{許容範囲: } 20\text{mm}) \\ DU &= -4 \text{ mm} && (\text{許容範囲: } 60\text{mm}) \end{aligned}$$

4. 4. 2 GAMITにおける精密基線解析

精密基線解析を行うため、日韓両国の観測データを交換した。韓国より受領した各点のデータは表-8にあるもので、各点の成果値等は表-10のとおりである。

精密基線解析も高度基準点測量に準じて計算を行った。使用したソフトウェアは、GAMIT ver.10.02で、精密暦としてIGS暦を使用した。解析に用いた各種パラメータは以下のとおりである。

- 1) 固定点：日本国内の電子基準点4点 (950456 上対馬, 950457 美津島, 950459 平戸, 940091 玄海)

- 2) 固定点の座標：測地成果2000 (ITRF94座標系における三次元直交座標値に変換)
- 3) アンテナ位相補正：NGSテーブルによる補正 (Mader,2003)
- 4) データ時間：8:00~20:00 (UT)
- 5) データ間隔：30秒
- 6) 最低高度角：15度
- 7) 座標の拘束条件：固定点は0.3m, その他の点は100m (X,Y,Z各方向)
- 8) 観測法の選択：LC_HELP
- 9) 対流圏遅延の推定：2時間毎

4. 4. 3 GLOBKによる網平均計算

GAMITでの解析結果ファイル (hファイル), 座標ファイル (itr_station_xyz) 及び自由量の設定ファイル (globk.cmd) を使用してGLOBK ver.5.02Iで網平均計算を行った。

GAMITと同様に、日本国内の電子基準点4点を固定点とし、globk.cmdファイル内で設定する観測点座標の拘束条件 (NEU成分の標準偏差) は、各成分とも固定点では0.003m, その他の点では10.000mとした。

表-10 韓国各点の成果

韓・日原基線共同観測成果

測点名	GRS80 成果			Bessel(舊)		Bessel(新) 1998,2000年 告示成果		備考
	緯度	経度	橢圓體高	緯度	経度	緯度	経度	
TEGN 大邱	35-54-22.7033	128-48-07.0818	106.386m	-	-	-	-	Trimble choking antenna ARP
JINJ 晋州	35-10-23.1136	128-02-58.8269	122.013m	-	-	-	-	Trimble choking antenna ARP
NJI3 麗州13 (東端)	35-00-21.5049	126-43-01.7802	30.664 m	35-00-10.394	126-43-09.185	35-00-10.3876	126-43-09.1650	antenna height = 0.93m (True vertical)
CP11 青島11 (西端)	34-59-56.9765	126-45-12.5445	36.313 m	34-59-45.860	126-45-19.960	-	-	antenna height = 1.18m (True vertical)
BS11 釜山11	35-04-57.2439	129-03-18.5440	423.690 m	35-04-46.066	129-03-26.651	35-04-46.0969	129-03-26.6719	antenna height = 1.257m (True vertical)
GJI1 巨濟11	34-51-08.0076	128-41-36.6207	584.252 m	34-50-56.755	128-41-44.602	34-50-56.7771	128-41-44.6272	antenna height = 1.113m (True vertical)

*GRS80成果：日本とのVLBI観測より求められた値 (元期2002年1月1日)

*Bessel (舊)：1910年代の成果

*Bessel (新)：1977年~1998年に測量し再計算された成果

4. 5 解析結果

GAMITによる基線解析の結果は、標準偏差 (Postfit nrms) が0.20 (高度基準点測量での制限値：0.3以下) であり、良好であった。三角点間の基線についての結果を表-11に示す。

表-11 GAMITによる解析結果の抜粋 (単位：m)

自	至	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔL
有明山	御岳	6907.060	-23635.826	32938.541	41125.506
	釜山	49978.813	-30897.603	80058.185	99306.881
	巨濟	66418.163	1337.296	59207.373	88986.930
御岳	釜山	43071.753	-7261.777	47119.645	64250.838
	巨濟	59511.103	24973.122	26268.833	69679.838
釜山	巨濟	16439.350	32234.900	-20850.812	41762.391

GLOBKによる網平均の結果は、カイ二乗分布の値が1.569 (制限値：3以下) と良好であった、各三角点の座標値を表-12に示す。

表-12 GLOBKによる結果 (単位：m)

	X座標	Y座標	Z座標
有明山	-3342408.726	4088717.555	3565552.144
御岳	-3335501.668	4065081.728	3598490.686
釜山	-3292429.919	4057819.951	3645610.335
巨濟	-3275990.568	4090054.852	3624759.524

4. 6 考察

4. 6. 1 座標の比較

GLOBKの結果と現在の実用成果である測地成果2000を比較した。ただし、韓国の2点については測地成果2000の値を持たないので、表-10にある「GRS80成果」を使用した。GLOBKの結果は、ITRF94系の三次元直交座標値からGRS-80楕円体上の緯度、経度及び楕円体高を経て平面直角座標値に変換し、距離と方向角の計算から水平 (高低) 変動量を求め (表-13)、変動図を作成した (図-6, 図-7)。

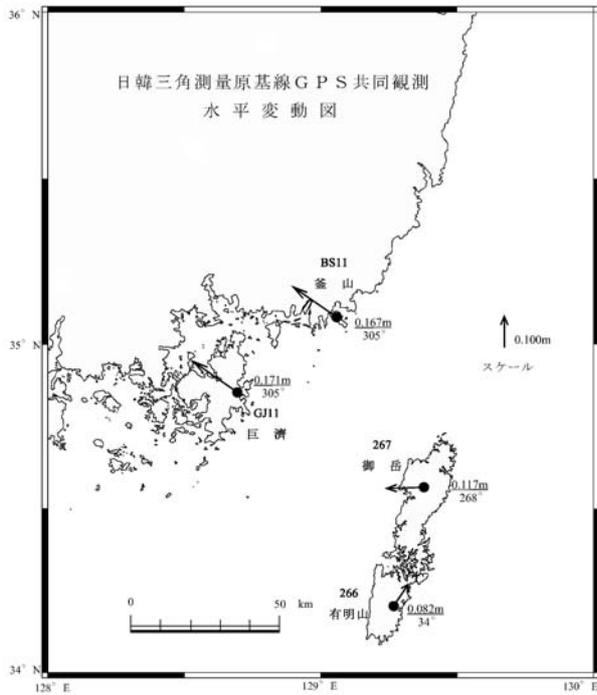
その結果、今回の測量による対馬の三角点の位置は、測地成果2000と水平で約10cmの差で良く整合していることがわかる。一方、韓国の点については、水平で17cm程度の差がある。韓国内での各点のずれの向きは同方向であることから、固定点とした電子基準点が日本国内のみであることや、日韓両国の測地系の定義 (原点の位置, 元期) の違い, 地殻変動等が影響していると思われる。

表-13 各点の変動量 (結果-成果)

水平及び高低変動量計算

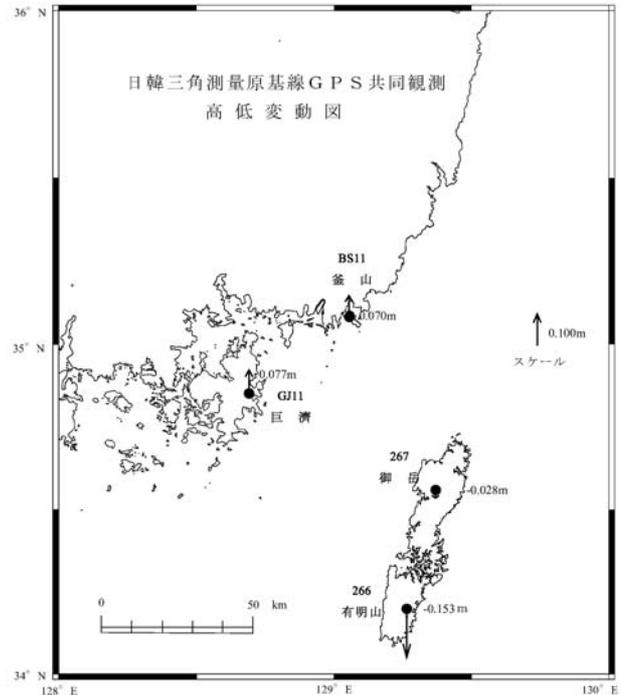
点番号 点名	GLOBK結果 (ddmmss. ssss)		測地成果2000 (ddmmss. ssss)	較差 (秒)	準拠楕円体：GRS-80 (Hは楕円体高)			
	GLOBK結果 (m)				測地成果2000 (m)		較差 (m)	変動量 (度) (m)
266 御岳	B= 34 33 53.2762 L= 129 22 11.0581	34 33 53.2763 129 22 11.0627	-0.0001 -0.0046	X= 173555.488 Y= -11952.770 H= 488.242	173555.489 -11952.653 488.270	-0.001 -0.117 -0.028	AZ= 268 DS= 0.117	
267 有明山	B= 34 12 15.8632 L= 129 15 54.0303	34 12 15.8610 129 15 54.0285	0.0022 0.0018	X= 133598.634 Y= -21655.365 H= 588.717	133598.565 -21655.412 588.870	0.069 0.047 -0.153	AZ= 34 DS= 0.082	
BS11 釜山	B= 35 04 57.2470 L= 129 03 18.5386	35 04 57.2439 129 03 18.5440	0.0031 -0.0054	X= 231072.541 Y= -40564.826 H= 423.760	231072.444 -40564.689 423.690	0.097 -0.137 0.070	AZ= 305 DS= 0.167	
GJ11 巨濟	B= 34 51 08.0108 L= 128 41 36.6152	34 51 08.0076 128 41 36.6207	0.0032 -0.0055	X= 205726.920 Y= -73749.116 H= 584.329	205726.822 -73748.977 584.252	0.098 -0.139 0.077	AZ= 305 DS= 0.171	

※韓国の点の測地成果2000については表-10の「GRS80成果」を使用。変動量欄のAZ, DSは、ベクトルの方位角と大きさを表す。



※固定点：日本国内の電子基準点4点を固定 (940091,950456,950457,950459)

図-6 水平変動図



※固定点：日本国内の電子基準点4点を固定 (940091,950456,950457,950459)

図-7 高低変動図

4. 6. 2 距離の比較

GLOBKの結果や測地成果2000などの三次元直交座標値の座標差から距離を計算し、比較した。これらの距離とそれぞれの較差を表-14と図-8に示す。韓国の2点に関して、測地成果2000及び明治成

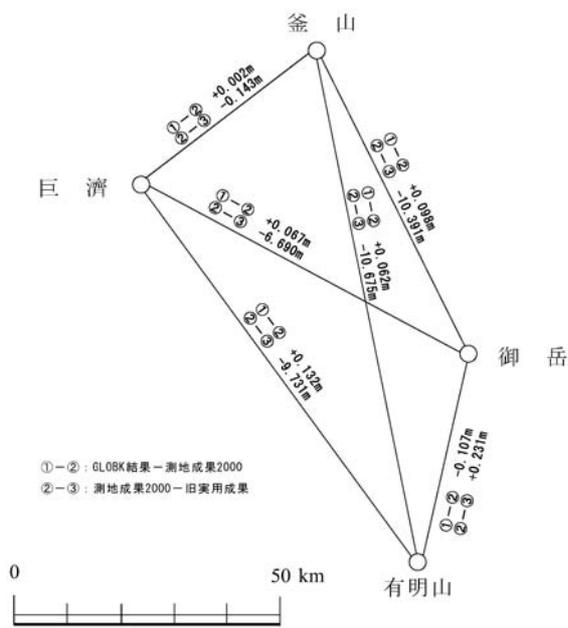
果とは、それぞれ表-10にあるGRS80成果、Bessel (舊) の値を使用して求めている。また、旧実用成果とは、世界測地系に移行される前の日本測地系成果 (3. 5節でいう改算された成果) である。

表-14 距離の変化量

測点1 ~ 測点2	GLOBK結果 ①	測地成果2000*1 ②	明治成果*2 ③	旧実用成果 ④	単位：m 準拠楕円体：GRS-80		
					較差 ①-②	較差 ②-③	較差 ②-④
267 有明山 ~ 267 御岳	41125.507	41125.614	41125.383	41125.382	-0.107	0.231	0.232
267 有明山 ~ BS11 釜山	99306.883	99306.821	99317.496	99307.095	0.062	-10.675	-0.274
267 有明山 ~ GJ11 巨濟	88986.931	88986.799	88996.530	88987.114	0.132	-9.731	-0.315
266 御岳 ~ BS11 釜山	64250.839	64250.741	64261.132	64251.129	0.098	-10.391	-0.388
266 御岳 ~ GJ11 巨濟	69679.838	69679.771	69686.461	69680.040	0.067	-6.690	-0.269
BS11 釜山 ~ GJ11 巨濟	41762.392	41762.390	41762.533	41762.533	0.002	-0.143	-0.143

*1, *2 韓国の点については表-10の「GRS80成果」「Bessel (舊)」を使用

日韓三角測量原基線GPS共同観測
辺長変動図



※固定点：日本国内の電子基準点4点を固定 (940091,950456,950457,950459)

図-8 辺長変動図

これを見ると、今回の観測結果と両国での現在の成果（較差①-②）が非常に良く整合していることが分かる。10cm程度の差があるのは、対馬の測地成果2000は、離島取り付け観測と明治時代の観測のみで決定されたことと、平成3年の改算で生じた不整合が含まれているためである。一方で目を引くのは、現在の成果と明治成果の差（較差②-③）である。日本と韓国の中に最大10mもの較差が生じている。この原因は、3.2節で述べた事情によるものと考えられる。対馬の成果が改算された後でみると（較差②-④）、較差は40cm以下に収まる。このことから、韓国への原基線の観測は明治43年以降に行われているが、使用された成果は大正初期に再計算された一等三角網の成果であったと推測される。現に、昭和29年の日米共同観測では、再計算された一等三角測量の成果が与件として使用されていた。

5. おわりに

今回の日韓共同観測の結果から、両国ではともに世界測地系を採用していることにより、80kmを越えるような広範囲の測量であっても相互の測地系がよく整合していることが分かった。また、昭和29年に行われた日米共同観測や今回の結果から判断すると、明治末に行われた原基線観測で求められた韓国側の三角点成果は、当時としては非常に高精度であったことがわかる。

韓国にも日本と同様に電子基準点が整備されている。今後はこれらのデータを蓄積することによって、日本と韓国との間の地殻変動の検出や基準点網の管理に役立てる予定である。

参考文献

石原操・福崎順洋・吉村愛一郎・飛田幹男・雨宮秀雄・川原敏雄・根本正美・大滝修・谷澤勝・板橋昭房・齋藤隆・佐々木正博・飯村友三郎・宮崎真一 (1996)：日韓VLBI・GPS観測，国土地理院時報，第86集，46-56

国土地理院 (1970)：測量・地図百年史，国土地理院技術資料A1-No.8

測地第二課 (1990)：対馬の位置誤差について，報告書

測地第二課 (1991)：長崎県対馬地方一・二・三・四等三角点改算について，報告書

測量第二課 (1955)：壱岐，対馬地方一等三角測量成果報告，報告書

Mader, G. : GPS antenna calibration at the National Geodetic Survey, <http://www.NGS.nps.gov/ANTCAL/> (1 Apr 2003).