

1994年霧島火山群人工地震探査におけるGPSを用いた 爆破点・観測点の位置測量

松島 健¹⁾・井口正人²⁾・西村裕一³⁾・鍵山恒臣⁴⁾・渡辺秀文⁴⁾・三ヶ田均⁴⁾・及川 純⁴⁾
山本圭吾⁴⁾・山口 勝⁴⁾・増谷文雄⁴⁾・奥田 隆⁵⁾・筒井智樹⁶⁾・宮町宏樹⁷⁾

¹⁾九州大学理学部・²⁾京都大学防災研究所・³⁾北海道大学理学部・⁴⁾東京大学地震研究所

⁵⁾名古屋大学理学部・⁶⁾京都大学理学部・⁷⁾鹿児島大学理学部

(1995年9月18日受理)

GPS Survey of Shot and Observation Points in the Explosion Experiment of Kirishima-1994

Takeshi MATSUSHIMA¹⁾, Masato IGUCHI²⁾, Yuichi NISHIMURA³⁾, Tsuneomi
KAGIYAMA⁴⁾, Hidefumi WATANABE⁴⁾, Hitoshi MIKADA⁴⁾, Jun OIKAWA⁴⁾, Keigo
YAMAMOTO⁴⁾, Masaru YAMAGUCHI⁴⁾, Fumio MASUTANI⁴⁾, Takashi OKUDA⁵⁾, Tomoki
TSUTSUI⁶⁾, and Hiroki MIYAMACHI⁷⁾

¹⁾Faculty of Science, Kyushu University, Japan

²⁾Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan

³⁾Faculty of Science, Hokkaido University, Japan

⁴⁾Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan

⁵⁾Faculty of Science, Nagoya University, Japan

⁶⁾Faculty of Science, Kyoto University, Japan

⁷⁾Faculty of Science, Kagoshima University, Japan

(Received September 18, 1995)

Abstract

GPS surveys were made to determine 156 positions of observation and shot points in an explosion experiment in and around the Kirishima volcanoes on December 1, 1994. Using the Rapid static method, we determined almost all the positions of GPS rover position with an accuracy of less than 1 meter. Finally, the positions of observation and shot points were determined with an accuracy of less than several meters using a tape measure and a magnetic compass from the GPS rover positions.

1. はじめに

従来から行われてきた自然地震観測や人工地震観測においては地震計間隔が1km以上と広いものであったため、地震計設置場所の座標は地形図から読みとる程度の精度で十分であった。しかし、火山地域等の狭い範囲での地震探査や稠密な地震計アレイ観測においては地震計間隔が狭くなるため、必然的にその位置決定精度をあげる必要がある。またこのような観測ではデータのサンプリング周波数も高くなるため、位置の誤差が走時の読みとりにおいて数サンプリング以上の誤差になることも有り得る。

今回の測量を実施した霧島火山群人工地震探査(鍵山他,1995)においては地震計間隔が250m程度、サンプリング周波数が250Hzであり、誤差を1サンプル以内に抑えるためには、地震計位置の測定誤差を少なくとも10m以内にする必要がある。

位置測量の方法として、トータルステーションを使う方法も考えられる。これは光波測距儀とセオドライトを組み合わせたもので、反射鏡までの距離・方位角・仰角を測定し基準点からの3次元座標を求める装置である。この装置は比較的狭い範囲において手軽に精度良く測量を実施可能な装置である。しかし、今回の人工地震探査では探査範囲が20~30kmにおよぶことから、トータルステーションを用いる方法では効率が悪い。また探査の目的上山周りに徒歩で地震計を設置することも多いため、軽量で簡便な測量法を用いる必要がある。そこで、今回の探査においてはGPSを用いた測量を採用することとした。

GPS測量法はアメリカが打ち上げたGPS衛星(現在25衛星)のうち同時に4衛星以上(5衛星以上が望ましい)からの電波を受信して位置を割り出す測定法である。GPS測量の原理や解析法については例えば土屋・辻(1995)に詳しい。

GPS測量法においてその観測・処理方法にはいくつかあるが、1地点20分以内の観測で精度10m以内という条件を満たす方法には、高速静止法、差動GPS法、OTF対応のキネマティック法などをあげることができる。

差動GPS法はGPS単独測定の差を取るという簡便な方法であり、2~3分で数mの精度を出すことが可能である。しかし、この方法は上空視界の状態に大きく影響され、悪条件では大きく測定値がずれることがあり、またそれが異常値であるかどうかの判定が難しい。

OTF (on the fly) 対応のキネマティック法とは、従来のキネマティック法の改良であり、移動しながらでも整数値バイアスを決定できる新しい測定法である。この方法では1地点あたり5分で3cm程度の誤差で測定可能であり、今後はGPS測量の主流になると考えられる方法である。今回の我々の測量では一部この方法に対応していない機材があったため、今回は採用しなかった。

高速静止法は10分程度の観測で3cm程度の誤差で測定が可能な方法である。短時間に整数値バイアスを決定するために2周波の受信機が必要であるが、これまでに多くの測定例があり、技術的にも安定している。今回の測量においてはこの方法を採用することとした。

2. 測量作業

測定には高速静止測量が可能な2周波受信機である、トプコンGP-R1DY 3台、Leica SR299 3台を用い、それぞれ1台を固定点とし、残りの計4台を移動運用とした。

東京大学地震研究所霧島火山観測所の前には、加藤照之らが1991年に測定した宮崎VLBI点と接続された測量点があり、そのWGS84系座標値がSengoku and Tamura (1993)に公表されている。今回はこの点を基準点として、固定受信機の1台を設置した。もう1台の固定受信機は同観測所の屋上に設置し、その座標は固定点同士を静止干渉測量法で計算することによって得た。

移動点のアンテナは長さ2mのポールの上部にセットしたが、視界が悪い地点は5mのグラス

KIRISHIMA 95

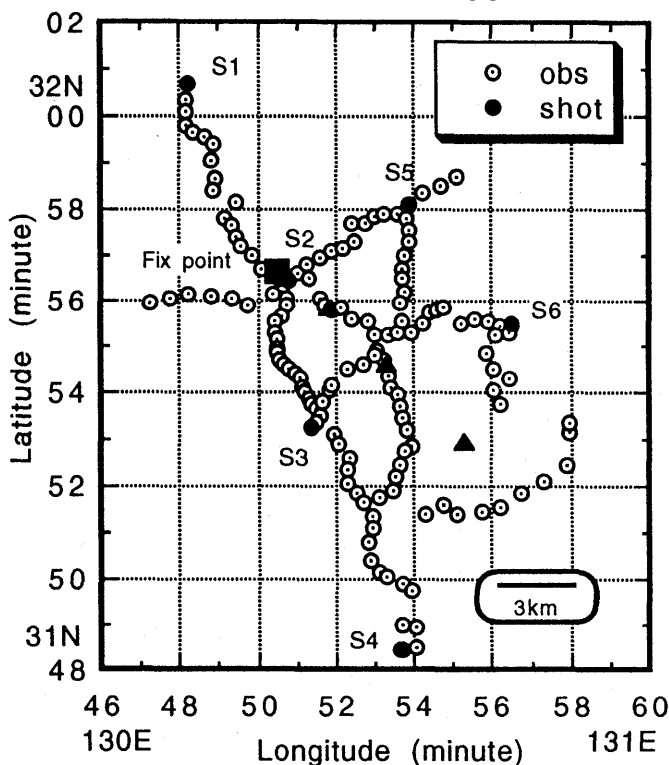


Fig.1 Observation and shot points (S1-S6) for an experiment at Kirishima in 1994. Solid square denotes the fixed point to estimate GPS rover positions. Solid triangles indicate the peak of Mt. Karakuni, Mt. Shinmoe, and Mt. Takachiho respectively from the north side.

ファイバーポールを用いた。また実際の地震計設置点は上空視界が悪いことが多いので、偏心点を設けてその間を巻尺と方位磁針で測定した。

サンプリング間隔は移動・固定点とも10秒間隔とした。各移動点では10分間の観測を基本としたが、視界の悪い地点は20分程度まで観測を延長した。観測中は受信機のそばにいない必要がないので、その間を利用して偏心点の測量や地震計設置準備が可能であり無駄がなかった。

全156点の測量は4台の移動観測で1994年11月25～27日の2日半で実施された。測量コースは全156点のうち約120点は道路脇もしくは近傍であり自動車運転手も含め1班3名で構成したが、残りの点は霧島火山群を縦走および横断する登山道であるため徒歩で1班4名で作業を行った。

もっとも、受信機やアンテナ、バッテリー等の合計重量はトプコンGP-R1DYで約7kg、Leica SR299で4kg程度であり、1人で十分持ち運べる重量である。三脚、ポール、予備電池を含めても最低2人で徒歩による観測が可能である。

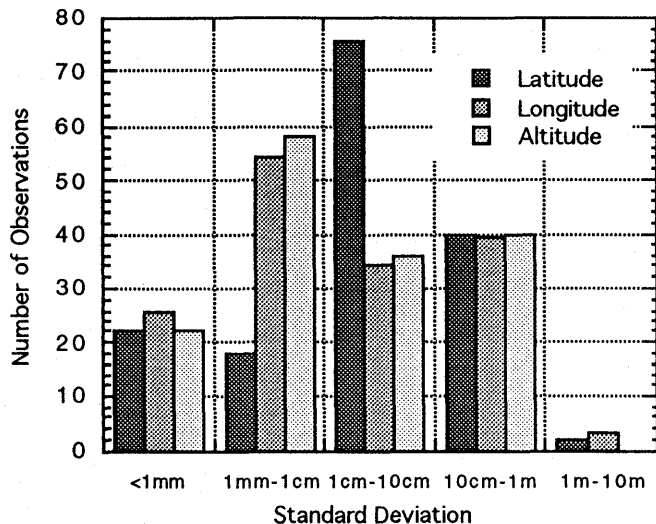


Fig.2 Histogram of standard deviations of estimated coordinates for GPS rover positions. Almost all the points were determined with an accuracy of less than 1 meter.

3. 解析作業

解析には受信機に付属のソフトウェアであるトプコンのGPPSおよびLeicaのSKIを用いた。固定点間の解析ではLeicaのデータを共通フォーマットであるRINEXファイルに変換した後、トプコン形式のファイルに再変換して静止干渉法を用いた。

一般に静止干渉法の解析においては、データは観測した受信機の機種によらずに解析できるが、高速静止測量法の解析においては固定点と移動点の受信機の機種が同じであることが望ましい。特にトプコンGP-R1DYはL2搬送波をコード相関で再生するのに対し、Leica SR299では二乗方式で再生するため波長が半分となり、両者を混合した高速静止法解析は難しい。

移動点の解析の結果をfig.1とtable 1に示す。このうち整数値バイアスを確定できた点は94点であり、2~3cm以内の精度でGPS測量点の位置を決定できた。衛星受信状態が悪く、整数値バイアスを確定できなかった点は62点であったが、しかしそのような地点でも、手で不良データを除去する等の操作を行った結果、ほぼ1m以内の標準偏差で位置を決定することができ、地震計位置の測量としては十分すぎる結果を得ることができた。Fig.2にGPS移動点の緯度、経度、楕円体高のそれぞれの標準偏差のヒストグラムを示す。経度および楕円体高の標準偏差は1cm以内のものが多い。緯度方向の標準偏差は経度、楕円体高の標準偏差よりも大きい。これはGPS衛星軌道の関係で北半球では天球の北側に衛星が来ることがなく、南北方向の精度が悪くなるためである。

ところで、GPS測量によって得られる座標はWGS84系のものである。日本で使われている日本測地系とは基準点の取りかたの違いにより、数百mの差が生じている。この座標変換にはいくつかの方法や変換値が提案されているが、今回は飛田(1994)がもつめた日本測地系とWGS84系の変換パラメータを用いた。このパラメータは緯度経度0.1度ごとに計算された緯度経度標高変換パラメータである。GPS測量によって求めたWGS84系座標は、このパラメータを線形補間

したものを加えることにより日本測地系座標に変換された。

この変換パラメータの誤差は3m以内と評価されている。したがって、このパラメータを使ってWGS84系から日本測地系に変換した場合、その絶対誤差は3m以内である。しかし、測定点間の相対誤差は今回の測量地域の大きさではミリメートルのオーダーである。

またGPS測量点と実際の地震計設置点との偏心測量は巻尺と方位磁針で実施しているのものでその誤差は最大2～3m程度ある。したがって、最終的な地震計位置の相対座標は数メートル以内の誤差で推定できたとと言える。

4. まとめ

1994年12月1日早朝に実施された霧島火山群人工地震探査実験において、150点の地震計と6点の爆破点位置を10m以内の誤差精度で決定するために、GPS高速静止測量法を用いて位置測量を実施した。その結果GPS測量点の位置はほとんどの点で3cm以内の誤差で決定できた。一部上空視界の悪い地点では誤差が大きくなったが、不良データの除去操作等により、誤差をほぼ1m以内に抑えることができた。地震計設置点とGPS測量点の間は巻尺と方位磁針で簡便に測量したので、最終的な地震計設置点座標は悪くても数メートル以内の誤差精度で決定できしており、当初の目標である精度誤差10m以内を達成することができた。

今回採用したGPS測量法は観測点にアンテナを設置し電源を入れるだけという初心者でも扱い可能な簡便な方法であり、しかも十分な精度を得ることができる。1地点あたり約10分の測定時間がかかるが、その間別の作業をすることもでき、無駄も少ない。さらにOTF対応のキネマティック法の使用により測定時間を短縮可能である。

このようにGPSを用いた測量法は人工地震実験の位置測定にのみならず、重力測定点測量、観測船の航跡測量など、野外观測におけるあらゆる位置測量に使用可能な画期的な測量法であると言える。

参考文献

- 鍵山恒臣・他68名, 1995, 霧島火山群における人工地震探査—観測および初動の読み取り—, 震研彙報, 本号.
- Sengoku, A. and Y. Tamura, 1993, A site catalogue of space geodetic techniques of Japan, Jour. of the Geodetic Soc. of Japan, 39, 41-56.
- 飛田幹男, 1994, 地域毎に求めた東京測地系—WGS84系座標間の変換パラメータ, 国土地理院時報, 79, 7-14.
- 土屋 淳・辻 宏道, 1995, GPS測量の基礎, 社団法人日本測量協会, 274頁.

Table 1 Coordinates of GPS rover positions with their standard deviations in the WGS84 system, and those of observation and shot points transformed to the Tokyo datum coordinates. The station KVO0 and KVO2 are fixed points to determine rover positions. KVO0 was connected from Miyazaki VLBI site.

st.	GPS rover position (WGS84)						Observation and shot position (Tokyo datum)		
	Latitude	S.D. ±(m)	Longitude	S.D. ±(m)	H(m)	S.D. ±(m)	Latitude	Longitude	H(m)
1	32 00 54.45	0.00	130 48 06.31	0.00	366.08	0.01	32 00 42.14	130 48 14.64	335
2	32 00 34.21	0.03	130 48 00.31	0.01	403.37	0.01	32 00 21.83	130 48 08.65	372
3	32 00 18.93	0.03	130 48 02.47	0.00	427.50	0.02	32 00 06.58	130 48 10.78	396
4	32 00 01.12	0.09	130 48 02.13	0.01	492.02	0.06	31 59 48.68	130 48 10.38	461
5	31 59 53.14	0.02	130 48 13.26	0.00	504.78	0.01	31 59 40.62	130 48 21.49	474
6	31 59 44.82	0.03	130 48 30.33	0.01	507.17	0.00	31 59 32.42	130 48 38.45	476
7	31 59 36.36	0.07	130 48 43.02	0.02	500.07	0.01	31 59 23.88	130 48 51.24	469
8	31 59 15.35	0.03	130 48 41.37	0.01	547.80	0.01	31 59 02.86	130 48 49.70	517
9	31 58 51.32	0.06	130 48 47.52	0.01	605.76	0.02	31 58 38.86	130 48 55.84	575
10	31 58 36.03	0.75	130 48 42.85	0.95	646.26	0.57	31 58 23.62	130 48 51.14	615
11	31 58 22.45	0.03	130 49 17.26	0.01	919.36	0.01	31 58 09.87	130 49 25.51	888
12	31 58 01.33	0.03	130 48 59.05	0.01	1008.93	0.01	31 57 48.85	130 49 07.37	978
13	31 57 50.99	0.03	130 49 09.73	0.01	1037.61	0.01	31 57 38.61	130 49 18.12	1007
14	31 57 38.08	0.05	130 49 17.00	0.02	1068.25	0.01	31 57 25.67	130 49 25.32	1037
15	31 57 24.97	0.02	130 49 25.77	0.00	1105.75	0.00	31 57 12.61	130 49 34.57	1075
16	31 57 11.83	0.01	130 49 41.83	0.01	1158.97	0.00	31 56 59.36	130 49 50.14	1128
17	31 56 56.33	0.02	130 49 55.58	0.01	1207.36	0.00	31 56 43.69	130 50 04.13	1176
18	31 56 50.59	0.02	130 50 16.53	0.01	1216.32	0.00	31 56 38.28	130 50 24.52	1185
19	31 56 38.13	0.02	130 50 26.76	0.01	1206.45	0.00	31 56 25.73	130 50 35.09	1175
20	31 56 27.24	0.02	130 50 29.03	0.01	1219.67	0.01	31 56 14.66	130 50 37.60	1189
21	31 56 23.90	0.01	130 50 29.75	0.01	1221.16	0.01	31 56 11.75	130 50 38.07	1190
22	31 56 15.39	0.01	130 50 33.88	0.01	1228.82	0.01	31 56 03.14	130 50 42.14	1198
23	31 56 06.55	0.01	130 50 34.45	0.00	1230.10	0.01	31 55 54.24	130 50 42.84	1199
24	31 55 52.70	0.01	130 50 28.73	0.00	1223.84	0.01	31 55 40.23	130 50 37.41	1193
25	31 55 44.39	0.03	130 50 18.76	0.00	1203.55	0.02	31 55 31.98	130 50 27.05	1173
26	31 55 31.17	0.05	130 50 17.00	0.00	1179.19	0.03	31 55 18.77	130 50 25.40	1148
27	31 55 20.81	0.03	130 50 20.09	0.01	1158.23	0.02	31 55 08.28	130 50 28.51	1127
28	31 55 08.69	0.04	130 50 22.29	0.01	1130.12	0.01	31 54 56.24	130 50 30.69	1099
29	31 55 02.96	0.06	130 50 21.95	0.01	1114.57	0.01	31 54 50.83	130 50 30.44	1084
30	31 54 54.61	0.04	130 50 25.58	0.01	1100.58	0.02	31 54 42.23	130 50 34.00	1070
31	31 54 47.32	1.01	130 50 31.75	1.07	1083.97	0.62	31 54 34.92	130 50 40.03	1053
32	31 54 43.24	0.75	130 50 37.39	0.89	1071.58	0.41	31 54 30.85	130 50 45.74	1041
33	31 54 35.95	0.03	130 50 48.95	0.01	1056.55	0.01	31 54 23.52	130 50 57.36	1026
34	31 54 29.31	0.02	130 50 56.69	0.01	1040.96	0.01	31 54 16.81	130 51 05.03	1010
35	31 54 17.65	0.06	130 51 00.86	0.03	1009.24	0.02	31 54 05.10	130 51 08.98	978
36	31 54 11.50	0.45	130 51 04.74	0.39	997.23	0.42	31 53 59.13	130 51 12.85	966
37	31 54 04.19	0.49	130 51 10.51	0.69	988.82	0.53	31 53 51.62	130 51 18.98	958
38	31 53 58.40	0.02	130 51 15.06	0.01	965.45	0.01	31 53 46.00	130 51 23.37	935
39	31 53 52.91	0.01	130 51 21.72	0.01	987.15	0.01	31 53 40.16	130 51 30.27	956
40	31 53 41.29	0.02	130 51 26.97	0.01	967.50	0.00	31 53 28.78	130 51 35.34	937
41	31 53 33.11	0.02	130 51 21.45	0.01	976.93	0.01	31 53 20.63	130 51 29.82	946
42	31 53 28.06	0.47	130 51 15.38	0.61	948.41	0.30	31 53 15.59	130 51 23.74	917
43	31 53 17.71	0.02	130 51 48.38	0.04	825.13	0.02	31 53 05.47	130 51 56.99	792
44	31 53 05.12	0.00	130 51 55.38	0.00	789.71	0.00	31 52 52.86	130 52 02.95	757
45	31 52 49.42	0.00	130 52 12.21	0.00	745.69	0.00	31 52 37.15	130 52 21.09	713
46	31 52 34.76	0.00	130 52 09.58	0.00	724.79	0.00	31 52 22.17	130 52 17.89	692
47	31 52 16.49	0.02	130 52 11.22	0.02	690.76	0.02	31 52 03.96	130 52 19.65	657
48	31 52 04.98	0.00	130 52 23.65	0.00	643.48	0.00	31 51 51.90	130 52 31.81	610
49	31 51 50.93	0.01	130 52 32.28	0.04	622.62	0.01	31 51 38.28	130 52 40.83	587
50	31 51 33.88	0.04	130 52 51.64	0.11	538.57	0.04	31 51 21.96	130 52 58.08	503

Table 1 Coordinates of GPS rover position (continued).

st.	GPS rover position (WGS84)			S.D.			Observation and shot position (Tokyo datum)		
	Latitude	±(m)	Longitude	±(m)	H(m)	±(m)	Latitude	Longitude	H(m)
51	31 51 19.26	0.01	130 52 46.61	0.04	500.40	0.01	31 51 06.58	130 52 55.05	465
52	31 51 00.07	0.23	130 52 40.35	0.21	479.04	0.17	31 50 47.39	130 52 48.40	447
53	31 50 36.50	0.16	130 52 43.86	0.14	498.83	0.15	31 50 24.00	130 52 52.23	466
54	31 50 22.06	0.16	130 53 00.70	0.16	449.54	0.19	31 50 09.72	130 53 07.91	417
55	31 50 16.50	0.17	130 53 08.86	0.15	432.66	0.22	31 50 03.99	130 53 16.62	400
56	31 50 07.57	0.19	130 53 32.85	0.16	405.24	0.29	31 49 55.57	130 53 40.84	373
57	31 49 57.21	0.20	130 53 48.03	0.19	395.34	0.27	31 49 44.77	130 53 56.20	363
58	31 49 13.86	0.36	130 53 34.36	0.19	380.47	0.22	31 49 01.32	130 53 42.52	348
59	31 49 08.01	0.20	130 53 52.68	0.23	366.12	0.15	31 48 55.89	130 54 02.69	334
60	31 48 42.73	0.29	130 53 53.28	0.19	367.42	0.16	31 48 30.40	130 54 01.97	335
61	31 48 39.52	0.24	130 53 32.43	0.29	381.23	0.37	31 48 26.99	130 53 38.83	349
62	31 56 38.73	0.00	130 50 39.42	0.00	1224.16	0.00	31 56 26.17	130 50 47.64	1191
63	31 56 47.41	0.44	130 50 54.57	0.45	1257.69	0.50	31 56 35.46	130 51 02.30	1225
64	31 56 59.69	1.00	130 51 06.73	0.84	1281.41	0.68	31 56 47.52	130 51 15.03	1248
65	31 57 09.18	0.00	130 51 27.21	0.00	1234.28	0.00	31 56 56.88	130 51 35.20	1201
66	31 57 19.50	0.92	130 51 44.56	1.02	1182.94	0.56	31 57 06.41	130 51 53.61	1150
67	31 57 23.81	0.80	130 52 02.92	0.83	1064.65	0.68	31 57 10.68	130 52 11.15	1031
68	31 57 31.17	0.50	130 52 20.18	0.53	935.44	0.39	31 57 17.98	130 52 29.04	902
69	31 57 52.72	0.01	130 52 14.13	0.03	881.28	0.01	31 57 41.74	130 52 24.05	848
70	31 57 53.65	0.00	130 52 36.45	0.00	812.45	0.00	31 57 40.84	130 52 44.46	779
71	31 58 03.44	0.03	130 52 50.43	0.10	758.19	0.03	31 57 50.95	130 52 59.09	725
72	31 58 05.95	0.38	130 53 07.05	0.48	699.82	0.53	31 57 53.47	130 53 15.31	667
73	31 58 07.72	0.00	130 53 28.31	0.00	633.13	0.00	31 57 55.26	130 53 36.70	601
74	31 58 17.91	0.00	130 53 45.02	0.00	600.57	0.00	31 58 06.75	130 53 54.23	567
75	31 56 42.62	0.02	130 51 08.68	0.01	1334.43	0.01	31 56 30.18	130 51 16.97	1302
76	31 56 14.54	0.01	130 51 27.75	0.01	1637.12	0.01	31 56 02.09	130 51 36.10	1605
77	31 56 06.17	0.20	130 51 33.29	0.26	1690.82	0.25	31 55 53.73	130 51 41.59	1658
78	31 56 02.07	0.33	130 51 46.56	0.35	1716.98	0.24	31 55 49.59	130 51 54.89	1685
79	31 56 03.27	0.86	130 51 58.88	0.79	1677.23	0.57	31 55 50.79	130 52 07.20	1645
80	31 55 49.66	0.02	130 52 15.40	0.03	1447.93	0.04	31 55 37.20	130 52 23.62	1416
81	31 55 46.56	1.35	130 52 40.13	1.53	1369.67	0.46	31 55 34.08	130 52 48.42	1337
82	31 55 27.51	0.21	130 52 50.64	0.22	1393.71	0.14	31 55 15.04	130 52 58.96	1361
83	31 55 05.74	0.32	130 52 56.52	0.28	1343.35	0.28	31 54 53.25	130 53 04.87	1311
84	31 54 53.44	0.00	130 53 04.03	0.00	1418.60	0.00	31 54 40.93	130 53 12.32	1386
85	31 54 35.06	0.00	130 53 12.85	0.00	1445.55	0.00	31 54 22.55	130 53 21.17	1413
86	31 54 19.72	0.00	130 53 17.45	0.00	1348.85	0.00	31 54 07.20	130 53 25.78	1317
87	31 54 09.35	0.00	130 53 28.04	0.00	1378.50	0.00	31 53 56.85	130 53 36.33	1346
88	31 53 54.98	0.00	130 53 29.35	0.00	1369.82	0.00	31 53 42.46	130 53 37.71	1338
89	31 53 40.76	0.00	130 53 34.26	0.00	1184.13	0.00	31 53 28.29	130 53 42.58	1152
90	31 53 24.01	0.00	130 53 41.95	0.00	1089.25	0.00	31 53 11.50	130 53 50.26	1057
91	31 53 05.01	0.01	130 53 46.50	0.04	1005.41	0.01	31 52 52.63	130 53 54.75	973
92	31 52 56.53	0.37	130 53 37.32	0.47	982.66	0.33	31 52 43.95	130 53 45.82	952
93	31 52 38.89	0.37	130 53 29.51	0.45	905.0	0.38	31 52 26.30	130 53 37.62	874
94	31 52 24.35	0.01	130 53 23.23	0.01	838.85	0.01	31 52 11.98	130 53 31.56	808
95	31 52 06.73	0.68	130 53 19.97	0.49	755.96	0.56	31 51 54.23	130 53 28.12	725
96	31 51 58.58	0.71	130 52 59.01	0.28	677.81	0.24	31 51 46.53	130 53 07.44	647
97	31 53 59.88	0.56	130 51 32.90	0.40	913.51	0.35	31 53 47.43	130 51 41.20	883
98	31 54 16.62	0.75	130 51 40.21	0.88	985.62	0.88	31 54 04.24	130 51 48.56	955
99	31 54 22.92	0.01	130 51 46.19	0.01	1017.07	0.01	31 54 10.32	130 51 54.70	986
100	31 54 42.94	0.02	130 52 09.50	0.01	1106.70	0.01	31 54 30.45	130 52 17.90	1076
101	31 54 48.41	0.01	130 52 32.56	0.01	1260.96	0.01	31 54 35.67	130 52 40.88	1230
102	31 55 00.57	0.03	130 52 50.94	0.01	1330.93	0.01	31 54 48.12	130 52 59.65	1300
103	31 55 29.03	0.01	130 53 11.93	0.01	1353.72	0.01	31 55 16.37	130 53 20.16	1323
104	31 55 31.22	0.02	130 53 28.11	0.01	1389.83	0.01	31 55 19.59	130 53 36.17	1359
105	31 55 30.95	0.03	130 53 47.56	0.01	1380.24	0.01	31 55 18.53	130 53 55.80	1349

Table 1 Coordinates of GPS rover position (continued).

st.	GPS rover position (WGS84)					Observation and shot position (Tokyo datum)			
	Latitude	S.D. ±(m)	Longitude	S.D. ±(m)	H(m)	S.D. ±(m)	Latitude	Longitude	H(m)
106	31 55 41.59	0.04	130 54 04.23	0.05	1331.76	0.01	31 55 28.95	130 54 12.59	1301
107	31 55 56.74	0.04	130 54 16.23	0.01	1268.33	0.01	31 55 44.12	130 54 24.92	1238
108	31 56 01.01	0.11	130 54 25.16	0.03	1245.25	0.09	31 55 48.36	130 54 32.87	1214
109	31 56 02.41	0.05	130 54 37.48	0.02	1145.53	0.03	31 55 49.92	130 54 45.99	1115
110	31 55 43.15	0.07	130 55 04.65	0.02	861.59	0.02	31 55 30.89	130 55 12.81	831
111	31 55 48.64	0.02	130 55 27.39	0.01	780.27	0.01	31 55 36.39	130 55 35.74	750
112	31 55 46.74	0.04	130 55 47.80	0.02	724.57	0.01	31 55 34.01	130 55 55.99	694
113	31 55 40.22	0.05	130 56 03.31	0.02	717.55	0.01	31 55 27.74	130 56 11.62	687
114	31 55 40.48	0.03	130 56 20.88	0.01	698.29	0.01	31 55 27.83	130 56 29.26	668
115	31 56 01.76	0.00	130 53 41.80	0.00	636.41	0.00	31 57 49.19	130 53 50.16	604
116	31 57 44.62	0.04	130 53 42.81	0.07	666.51	0.04	31 57 32.09	130 53 51.15	634
117	31 57 29.34	0.02	130 53 44.94	0.02	810.88	0.02	31 57 16.79	130 53 53.11	779
118	31 57 16.60	0.00	130 53 38.04	0.00	843.48	0.00	31 57 01.42	130 53 45.81	810
119	31 56 55.77	0.00	130 53 33.76	0.00	913.54	0.00	31 56 43.54	130 53 42.88	880
120	31 56 42.82	0.01	130 53 34.41	0.02	1017.58	0.01	31 56 29.09	130 53 43.60	984
121	31 56 25.91	0.30	130 53 38.62	0.31	1105.26	0.26	31 56 12.60	130 53 46.78	1072
122	31 56 09.43	0.00	130 53 31.14	0.00	1137.91	0.00	31 55 56.95	130 53 40.04	1105
123	31 55 46.28	0.00	130 53 33.65	0.00	1291.54	0.00	31 55 33.77	130 53 41.98	1259
124	31 56 22.68	0.00	130 50 15.90	0.00	1261.40	0.00	31 56 10.20	130 50 24.24	1228
125	31 56 07.00	0.00	130 49 34.96	0.00	1153.73	0.00	31 55 54.32	130 49 43.60	1121
126	31 56 15.92	0.00	130 49 09.81	0.00	1063.63	0.00	31 56 03.25	130 49 19.03	1031
127	31 56 18.32	0.00	130 48 38.83	0.00	930.65	0.00	31 56 05.90	130 48 46.67	900
128	31 56 21.30	0.00	130 48 05.68	0.00	896.94	0.00	31 56 08.87	130 48 13.59	866
129	31 56 16.13	0.00	130 47 36.89	0.00	810.41	0.00	31 56 04.06	130 47 45.61	779
130	31 56 08.18	0.00	130 47 03.79	0.00	734.57	0.00	31 55 55.93	130 47 12.05	703
131	31 58 34.51	0.03	130 54 05.74	0.01	544.21	0.01	31 58 21.72	130 54 14.08	513
132	31 58 42.79	0.04	130 54 32.22	0.02	453.70	0.02	31 58 30.47	130 54 40.54	423
133	31 58 57.10	0.01	130 54 55.46	0.01	412.79	0.01	31 58 43.70	130 55 04.65	375
134	31 55 30.24	0.16	130 56 19.08	0.03	689.39	0.06	31 55 17.66	130 56 27.57	659
135	31 55 28.34	0.02	130 55 56.70	0.01	755.66	0.01	31 55 15.76	130 56 04.97	725
136	31 55 02.49	0.58	130 55 43.25	0.77	722.78	0.44	31 54 50.01	130 55 51.61	692
137	31 54 44.34	0.03	130 55 52.56	0.01	665.14	0.02	31 54 31.47	130 56 00.98	634
138	31 54 30.87	0.02	130 56 17.97	0.01	629.34	0.01	31 54 18.63	130 56 26.33	599
139	31 54 14.84	0.01	130 55 51.87	0.01	760.44	0.01	31 54 02.45	130 56 00.46	730
140	31 53 59.56	0.02	130 56 03.06	0.01	733.31	0.01	31 53 46.61	130 56 11.21	703
141	31 51 37.98	0.05	130 54 10.12	0.02	682.48	0.02	31 51 25.10	130 54 18.17	652
142	31 51 47.12	0.19	130 54 35.15	0.37	668.06	0.41	31 51 34.73	130 54 43.28	637
143	31 51 38.18	0.30	130 54 58.41	0.47	617.28	0.22	31 51 25.70	130 55 06.51	587
144	31 51 38.23	0.37	130 55 36.96	0.43	577.24	0.26	31 51 25.78	130 55 45.34	547
145	31 51 45.47	0.08	130 56 03.89	0.02	579.25	0.03	31 51 32.97	130 56 11.12	549
146	31 52 04.31	0.07	130 56 34.84	0.02	589.14	0.03	31 51 51.94	130 56 43.25	559
147	31 52 18.11	0.02	130 57 10.24	0.04	474.50	0.01	31 52 05.62	130 57 18.58	444
148	31 52 39.66	0.09	130 57 44.46	0.02	425.90	0.01	31 52 27.09	130 57 52.70	395
149	31 53 19.16	0.05	130 57 49.64	0.01	382.89	0.01	31 53 08.15	130 57 59.12	352
150	31 53 32.21	0.03	130 57 49.60	0.00	476.43	0.01	31 53 22.65	130 57 59.18	446
S1	32 00 53.74	0.01	130 48 05.05	0.01	366.08	0.01	32 00 41.31	130 48 13.36	335
S2	31 56 40.36	0.00	130 50 39.41	0.00	1224.48	0.00	31 56 27.89	130 50 47.73	1190
S3	31 53 27.03	0.01	130 51 13.66	0.01	944.74	0.01	31 53 14.58	130 51 21.95	914
S4	31 48 39.52	0.24	130 53 32.43	0.29	381.23	0.37	31 48 27.01	130 53 40.74	349
S5	31 58 17.91	0.00	130 53 45.02	0.00	600.57	0.00	31 58 05.38	130 53 53.09	567
S6	31 55 41.72	0.02	130 56 22.13	0.00	691.59	0.00	31 55 29.24	130 56 30.47	661
KVO0	31 56 50.30	fixed	130 50 20.55	fixed	1227.87	fixed	31 56 37.84	130 50 28.87	1197
KVO2	31 56 50.59	0.01	130 50 21.51	0.01	1234.28	0.01	31 56 38.13	130 50 29.83	1203