

光波測距における大気補正について

山口大学工業短期大学部 ○ 正員 上田 満
山口大学工業短期大学部 正員 長谷川 博
岩手大学農学部 学員 松永 次生
山口大学工業短期大学部 浜地 拓実

1. まえがき

光波測距儀によって長距離測定を行う場合、その利用法として上げられるものに三角測量の基線の測定、三辺測量等があり、これらは今後も継続して行われるものと思われる。しかしながら光波測距の最も有効な利用法として今後期待されるものに、地殻変動観測等に利用すべく精密測距であろう。この精密測距の方法については従来より行われ成果を得ているVLBI¹⁾ (very long baseline interferometry)、また2〜3年後には人工衛星も整備され有効な方法になるであろう、差動GPS (differential Global Positioning System) 法等が考えられている。VLBIは経費がかかりすぎるし、GPS法は経費の面ではVLBI程ではないが、今現在人工衛星の数も不足しており、いずれはGPS衛星も整備されたとして、その測距の精度等についてはいまだ不明な点が多い²⁾。そこで光波測距により地殻変動観測等に適用可能な 10^{-7} 程度の精度を得る為の気象補正について考慮してみたものである。この結果は三角測量、又は三辺測量等にも適用可能かと思われる。

2. 測定方法

工学部屋上にある三角点を利用し、これと竜王山三角点、男山三角点を結ぶ二つの基線を設け、この間の距離を測定することにした。

なお図-1に示すように、工学部-竜王山間約10km、工学部-男山間約6kmである。また測定は昼夜間の気温差の大きい時期を選んで、24時間(1時間毎)測定を行った。各回の測定回数は1セット=10回とし2セット行い、さらに地上よりの温度分布を測定する為に給水塔(約30m)に取り付けた温度計の読みを数回にわたり測定した。気温は 0.1°C 読み乾湿計、気圧は2mmHg(目分量で0.5mmHg)読みのアネロイド気圧計を用いて測定を行った。

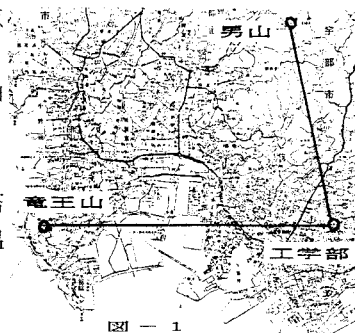


図 - 1

3. 一般気象補正による測定結果

K&E社のレーザーレインジャーの場合、 $\Delta s = 310 \times 10^{-6}$
 $\lambda = 0.63282 (\mu)$ (He, Neガスレーザー)であるから、気象補正式は、一般に次の様になる。

$$(\Delta s - \Delta n) D_r = \Delta s_n = \{310.0 - 107.3 \times p / (273.2 + t) + 15.0 e / (273.2 + t)\} \times 10^{-6} \times D_r$$

そこで気温を 0.1°C 、気圧を1mmHg単位で読んだ場合、気象補正量 Δs_n に及ぼす影響は $0.002 \sim 0.003\text{m}$ であり、観測誤差の範囲内に入る。一般気象補正を行った後の補正距離は表-1のようになる。なおこれは工学部-男山間の結果であり1時間毎に測定した24回の測定結果である。これを見ると補正距離が時刻毎に正弦波形のように波打ち、昼間の測定値にばらつきが多く、しかも補正距離は大きい値を示すことがわかる。

1 測定の標準誤差が 0.016m にもなる。そこで昼間と夜間に分けてその平均値及び標準誤差を求めると、昼間が平均値 5942.974m 、標準誤差 0.0157m 、夜間の平均値 5942.952m 、標準誤差 0.006m となり夜間の場合のばらつきは小さく、昼間の半分ぐらいである。

表 - 1 一般気象補正

No	時刻	平均距離 (m)	標準誤差	補正距離 (m)
1	11:00	5 942.894	0.002 750	5 942.975
2	12:00	5 942.797	0.001 785	5 942.971
3	13:00	5 942.796	0.001 068	5 942.975
4	14:00	5 942.838	0.017 376	5 942.997
5	15:00	5 942.829	0.021 625	5 943.000
6	16:00	5 942.795	0.007 975	5 942.956
7	17:00	5 942.796	0.001 897	5 942.949
8	18:00	5 942.804	0.002 032	5 942.954
9	19:00	5 942.830	0.005 233	5 942.954
10	20:00	5 942.833	0.001 910	5 942.952
11	21:00	5 942.804	0.001 828	5 942.940
12	22:00	5 942.809	0.002 479	5 942.947
13	23:00	5 942.808	0.001 549	5 942.941
14	24:00	5 942.821	0.001 934	5 942.952
15	1:00	5 942.820	0.001 682	5 942.953
16	2:00	5 942.821	0.003 659	5 942.952
17	3:00	5 942.825	0.001 161	5 942.952
18	4:00	5 942.830	0.001 802	5 942.953
19	5:00	5 942.834	0.002 508	5 942.959
20	6:00	5 942.837	0.002 759	5 942.963
21	7:00	5 942.834	0.002 655	5 942.962
22	8:00	5 942.822	0.001 785	5 942.962
23	9:00	5 942.829	0.002 432	5 942.978
24	10:00	5 942.829	0.002 725	5 942.992
平均			0.016 174	5 942.962

また1測定の標準誤差が0.016mで、平均値の±0.016mの範囲内に約70%の補正距離が入っているわけだが、日の入り前後90分の間の測定値はすべてこの70%信頼区間内にあり、この間に測定するのが適当であるといえるかと思われる。

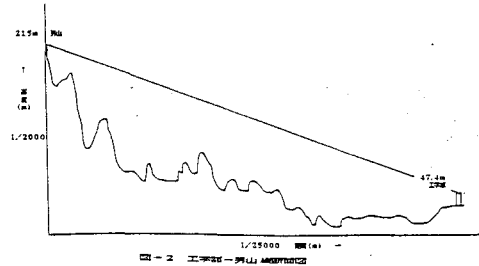
4. 推定気温を使用しての補正による方法

地上よりの温度勾配モデルはKukkamaki³⁾によって提案され次のように表せる。

$$t = a + bZ^c \quad (1)$$

但し、 t : 気温(°C), a, b, c : 常数, Z : 地上よりの高さ(m)、また $c = -1/3$ が理論からも試験観測からも欧米では受け入れられつつある⁴⁾。

しかしながら、この気温モデルの c の値は地形や植生が複雑に変化する日本に於て $-1/3$ としてよい疑問であり、各点の気温を推定するために c の値のチェックを行った。その方法は2の測定法の中に示されている。その結果工学部に於ける値は、 $b = -0.099$, $c = 0.615$ となった。また工学部男山の縦断面図は図に示されており、工学部の気温より中間点の気温を(1)式により推定し補正を行った結果は、ばらつきが2~3mm小さくなる程度であった。



間であり、各点の気温を推定するために c の値のチェックを行った。その方法は2の測定法の中に示されている。その結果工学部に於ける値は、 $b = -0.099$, $c = 0.615$ となった。また工学部男山の縦断面図は図に示されており、工学部の気温より中間点の気温を(1)式により推定し補正を行った結果は、ばらつきが2~3mm小さくなる程度であった。

5. 追加補正による場合

一般化された光波測距における大気補正式は、次のように表せる⁵⁾。

$$S = D_r + \Delta s_n + \Delta c \quad (2)$$

但し、 D_r : 測距儀の表示する測定値、 Δs_n : 標準大気補正、 Δc : 追加補正、また式中の Δc は、地表と光路の間の温位の差 $\Delta \theta_x$ を光路 X に沿って積分し、

$$\Delta c = 10^{-6} N_m / T_m \int_0^S \Delta \theta_x dx : \Delta \theta_x = \int_{Z_r}^Z (\partial \theta / \partial Z) dz \quad (3)$$

として求められる。但し、 N_m : 平均屈折率、 T_m : 平均気温、 S : 全光路の長さ、そこで(1), (3)式を利用して追加補正 Δc を求めたが、数mmのばらつきの縮小にとどまった。

6. あとがき

一般気象補正のみによる場合は、昼夜間通してのばらつきが大きい。夜間測定だけに於けるばらつきは昼間のばらつきの半分ぐらいであり、特に日の入り前後の測定値は昼夜間の平均値に近い値である。これは、日の入り前後の測定を3~4日間続けた場合の測定が16~18kmの基線で5~6mmのばらつきに収まっているという報告⁶⁾からもうなづける。推定気温による場合、又追加補正による場合の補正方法については現在検討中であるが、数mm程度のばらつきの減少は見込まれるようである。いずれにしても昼間に於ける測定も有効であるような補正法について考慮中である。

参考文献

- 1) 河野宣之: VLB Iによる地殻変動観測、測地学会誌 31(1985)1~11
- 2) 加藤照之: Differential GPSにおける電離層の影響、測地学会誌 32(1986)174~180
- 3) Kukkamaki, T. J.: Über die Nivellitische Refraktion. Ruble. Finn. Geod. Inst. Helsinki 25(1938)
- 4) Holdahl, S. R.: A Model of temperature Stratification for Correction of leveling Refraktion. Bull. Geod. 55(1981)231~249
- 5) Angus-Leppan, P. V. and F. K. Brunner: Atmospheric temperature models for short-range E.D.M. the Canadian Surveyor, 34(1980)153~165
- 6) 木股文昭、山内常生: 東海地域における辺長測量 (1977~1981), 地震 36(1983)203~211