

EDM に於ける大気補正について*

上 田 満**・松 永 次 生***

On the Atmospheric Correction in Electro-optical Distance Measurement

Mituru UEDA and Tugio MATUNAGA

Abstract

The very first VLBI observation was carried out only 20 years ago. But the VLBI technique faces some difficult problems, such as measurement of propagation delay due to the atmosphere, improvement of the physical model etc.

GPS interferometric observations were carried out in Japan for a variety of baseline lengths, and from this analysis it is concluded that 1~2 ppm accuracy of baseline lengths can be attainable with the GPS interferometric positioning. One of the important problems in the Electro-optical Distance Measurement (=EDM) is how to estimate the refractive index n or refractivity $N (= (n-1) \times 10^{-6})$ under concerned atmospheric conditions. In practise the mean refractivity N_m is calculated by the mean temperature T_m and pressure P_m averaged from the observations at the two end points. The reasonable results can be obtained by using these N_m and P_m when the observations are carried out two hours before or after the sunset or sunrise. When the observations are obliged to be carried out at other times, We need another estimation of refractivity. Kukkamaki proposed a refraction correction formula based on his empirical temperature model :

$$t = a + bZ^c$$

where a , b , and c are constants and Z is the height above the ground. We estimated the temperature midway between the two end points by this formula.

1. 緒 言

長距離を正確に測定する機械又はシステムとして脚光を浴びているものに、VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Sattellite Laser Ranging), GPS (Global Positioning System) 等がある。これらは国際測地学会の第一分科会における「位置の決定」

に対する発表の中で多数講演されている。VLBI, SLR は数百kmから数千km程度の長距離を $10^{-7} \sim 10^{-8}$ の精度で測定したという例が欧米諸国の研究者により発表されている。さらに差動GPSは数百km以下の距離測定に対してはやはり $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 程度の精度が得られることが確認されている。

このような背景下に於てEDM (Electro-optical Distance Measurement) の位置を確認をしてみたい。即光波測距に於て得られる最高精度及びその側定方法、補正法等について検討してみることにした。

* 昭和63年度土木学会中国四国支部講演会にて講演

** 工業短期大学部土木工学科

*** 岩手大学農学部

2. 測定方法

工学部屋上の三角点(これをKとする)と竜王山三角点(これをRとする), 男山三角点(これをOとする)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 Fig. 1 に示すように, K—R 間は約10 km, K—O間約 6 km である。測定は昼夜間の気温差の大きい時期を選んで測距儀及び反射鏡はすえたままで1昼夜, 即24時間(1時間毎)測定を行った。各回の測定回数は1 set=10回とし, 2 set=20回行なう。この測定結果は Table 1 に示されている。

また地上よりの気温分布を観測するために給水塔(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 2 mmHg(日分量で

0.5mmHg) 読みのアネロイド気圧計を用いて各測定を行ない, 測定点は地上1.5m 以上でしかも日陰を選んで行なう。工学部屋上には百葉箱が設置してあるのでこれを利用する。

3. 一般気象補正のみによる補正

K&E 社製のレーザーレインジャーV 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¹⁾。

$$\begin{aligned} \Delta S_n &= (\Delta S - \Delta n) Dr \\ &= \{310.0 - 107.3P / (273.2 + t) \\ &\quad + 15.0e / (273.2 + t)\} \times 10^{-6} Dr \dots\dots(1) \end{aligned}$$

そこで気温を0.1°C, 気圧を 1 mmHg 単位で測定した場合, 気象補正量 ΔS_n に及ぼす誤差は0.002~0.003 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 Table 2,

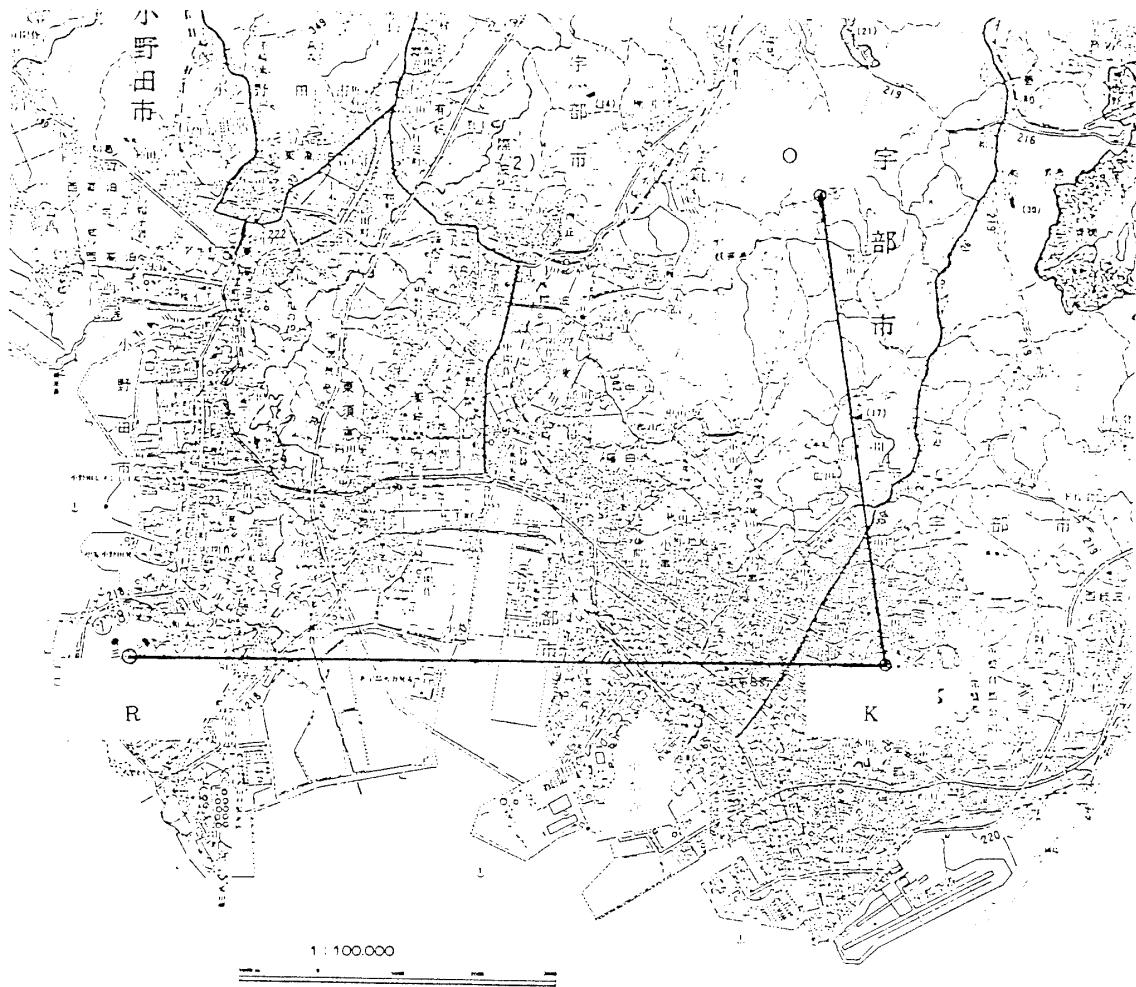


Fig. 1 Map of two base lines

Table 1 Distance measurement of K—O

D i s . M e s u . o f K - O			
D a t e	1 9 8 7 , 1 1 / 1 5 , S a t . P M 1 2		
A t m o s p . C o n d i .		K	O
	T (d r y)	1 0 . 8 0	8 . 3 0
	T (w e t)	9 . 2	7 . 8
	P	7 6 2 . 2	7 4 8 . 8
	H i g h t	4 7 . 4	2 1 5 . 2
	I n s t . H .	1 5 3 . 2	1 5 3 . 4
	V e r . a n g		
M e a s u . v a l u e	N u m b e r	s e t 1	s e t 2
	1	5 9 4 2 . 8 2 1	5 9 4 2 . 8 2 0
	2	5 9 4 2 . 8 2 2	5 9 4 2 . 8 2 1
	3	5 9 4 2 . 8 2 1	5 9 4 2 . 8 2 1
	4	5 9 4 2 . 8 2 2	5 9 4 2 . 8 1 7
	5	5 9 4 2 . 8 2 5	5 9 4 2 . 8 1 9
	6	5 9 4 2 . 8 2 3	5 9 4 2 . 8 1 9
	7	5 9 4 2 . 8 2 0	5 9 4 2 . 8 2 1
	8	5 9 4 2 . 8 2 4	5 9 4 2 . 8 2 0
	9	5 9 4 2 . 8 2 0	5 9 4 2 . 8 1 8
	1 0	5 9 4 2 . 8 2 0	5 9 4 2 . 8 1 8
N	2 0	M e a n . D i	5 9 4 2 . 8 2 1
S t a n . D e	0 . 0 0 1 9 8 4 2	T m	9 . 5 5
P m	7 5 5 . 5 0	E m	7 . 8 3
P - T	1 . 7 1 4	E - T	0 . 0 0 2
$\Delta S m$	0 . 1 3 1	C o r . D i	5 9 4 2 . 9 5 2

Table 3 のようになる。Table 2 は K—O 間、Table 3 は K—R 間であり、1 時間毎に測定した 24 回の測定結果である。測距儀及び反射鏡を固定した状態での測定にもかかわらずこのように平均値の上下 2 cm ものばらつきのあることが分かると思われる。即測定する時刻によっては平均値とは 2 cm ものかけ離れた値が得られることになる。図の左欄の☆は夜間の測定によるものであるし、右端の 0 は平均値の±標準偏差範囲内を示している。

この表では分かりにくいと思われるのでグラフで示すと Fig. 2, Fig. 3 になる。この両図より昼間に於ける測定値は大きい値を示し夜間のそれは比較的小さい値を示すことが分かると思われる。さらにその測定値のばらつきの程度も昼間が大きく夜間は小さい、しかしながら日の入り前後 90 分程度の測定値は両グラフからも平均値に近い値で安定しておりばらつきが最も

小さくなっている。そこで昼間に於ける測定値の平均値又夜間の平均値またそれらのばらつきの程度をみるための標準偏差を取れば Table 4, Table 5 のようになる。これより明確なように昼間の平均値は夜間の平均値より大であると同時にばらつきの程度も昼間の方が大であることがよく分る。実際に昼間の場合気象状態が不安定であり単に測距儀に表示される補正前の値 (Table 1 参照) もばらつきが大きく、太陽の南中前後、特に最高気温となる午後 2 時前後では数 Cm ものばらつきの生じる場合がある。

4. 推定気温による補正法

一般気象補正に使用する気温、気圧は測距儀附近と反射鏡附近の 2 ヶ所で測定したものの平均値を用いている。しかしながら光はその途中長い距離を通過する

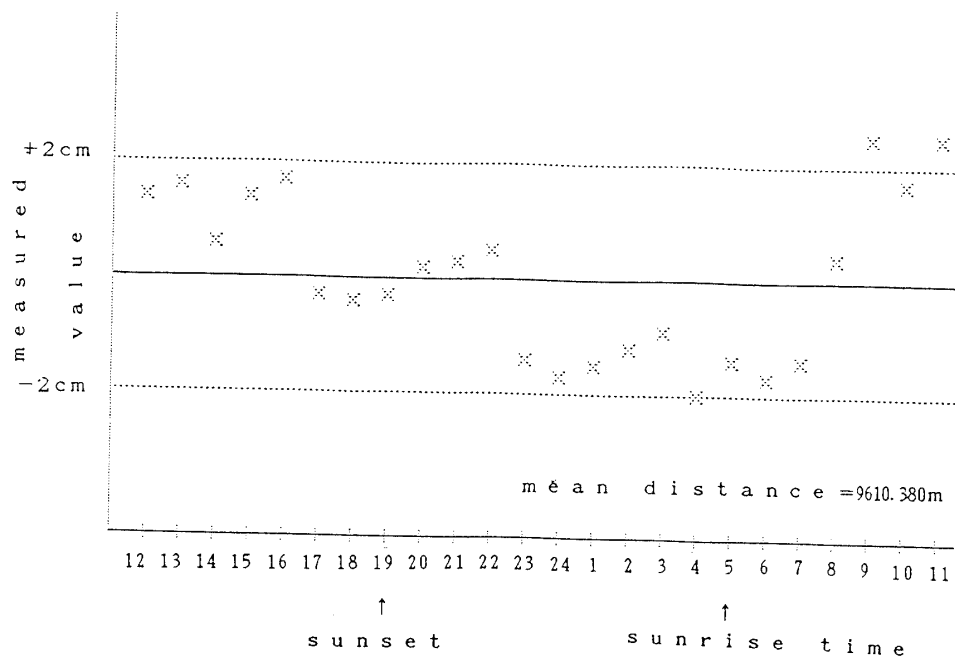


Fig. 2 Distribution of measured value in various time (Ryuo—Zan)

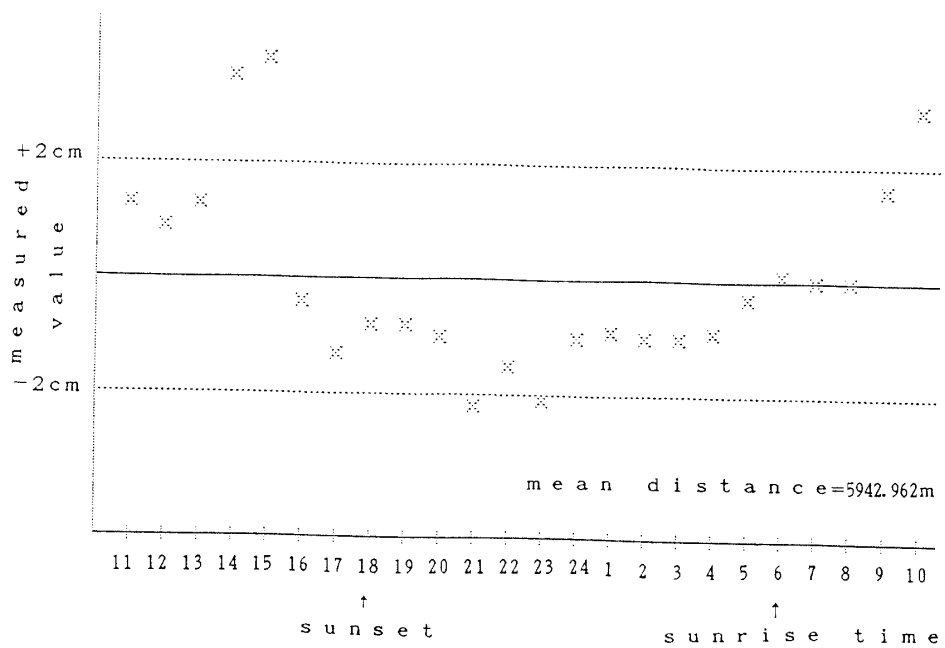


Fig. 3 Distribution of measured value in various time (Otoko—yama)

わけでありその途中の気温、気圧に大いに影響される。

そこでその途中の気温、気圧を推定することにし、その補正值への影響を考慮してみる。

地上よりの温度勾配モデルは Kukkamäki²⁾によって提案され次のように表わせる。

$$T = a + bz^c \dots\dots\dots(2)$$

但し、T：気温(°C)、a、b、c：常数、z：地上よりの

高さ (m)

(2)式に於けるCの値は-1/3が理論からも試験観測上からも欧米諸国では受け入れられつつある³⁾。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も-1/3としてよいか疑問であり、各点の気温を推定するためにCの値の確認を行なった。その方法は測定方法の後半に述べられている通りで給

No	Dr (m)	σ	ΔS_n	Dr + ΔS_n
1	5 942.804	0.002 750	0.171	5 942.975
2	5 942.797	0.001 785	0.174	○ 5 942.971
3	5 942.796	0.001 068	0.178	5 942.975
4	5 942.818	0.017 370	0.179	5 942.997
5	5 942.829	0.021 625	0.171	5 943.000
6	5 942.795	0.007 575	0.163	○ 5 942.958
7	5 942.796	0.001 897	0.153	○ 5 942.949
8	☆ 5 942.804	0.002 032	0.149	○ 5 942.954
9	☆ 5 942.810	0.003 233	0.144	○ 5 942.954
10	☆ 5 942.813	0.001 910	0.138	○ 5 942.952
11	☆ 5 942.804	0.001 828	0.135	5 942.940
12	☆ 5 942.809	0.002 479	0.138	○ 5 942.947
13	☆ 5 942.808	0.001 549	0.133	5 942.941
14	☆ 5 942.821	0.001 934	0.131	○ 5 942.952
15	☆ 5 942.820	0.001 682	0.133	○ 5 942.953
16	☆ 5 942.821	0.003 659	0.132	○ 5 942.952
17	☆ 5 942.825	0.001 161	0.127	○ 5 942.952
18	☆ 5 942.830	0.001 802	0.123	○ 5 942.953
19	☆ 5 942.834	0.002 508	0.121	○ 5 942.959
20	☆ 5 942.837	0.002 759	0.126	○ 5 942.963
21	5 942.834	0.002 655	0.128	○ 5 942.962
22	5 942.822	0.001 785	0.140	○ 5 942.962
23	5 942.829	0.002 632	0.149	5 942.978
24	5 942.829	0.002 725	0.163	5 942.992
mean				5 942.962
σ				0.016 174

Table 2 General atmospheric correction (Otoko—yama)

No	Dr (m)	σ	ΔS_n	Dr + ΔS_n
1	9 609.995	0.002 124	0.399	○ 9 610.394
2	9 609.992	0.001 714	0.404	9 610.396
3	9 609.988	0.002 598	0.397	○ 9 610.386
4	9 609.996	0.003 817	0.398	○ 9 610.394
5	9 609.979	0.007 576	0.418	9 610.397
6	9 609.986	0.002 947	0.391	○ 9 610.377
7	9 610.008	0.006 228	0.368	○ 9 610.376
8	☆ 9 610.015	0.001 626	0.363	○ 9 610.377
9	☆ 9 610.030	0.003 279	0.352	○ 9 610.382
10	☆ 9 610.038	0.002 933	0.345	○ 9 610.383
11	☆ 9 610.042	0.004 268	0.343	○ 9 610.385
12	☆ 9 610.022	0.002 167	0.344	○ 9 610.366
13	☆ 9 610.026	0.001 414	0.337	9 610.363
14	☆ 9 610.031	0.001 268	0.334	9 610.365
15	☆ 9 610.033	0.001 813	0.335	○ 9 610.368
16	☆ 9 610.036	0.002 390	0.335	○ 9 610.371
17	☆ 9 610.038	0.003 185	0.321	9 610.360
18	☆ 9 610.046	0.002 779	0.320	○ 9 610.366
19	9 610.048	0.003 314	0.316	9 610.363
20	9 610.047	0.001 954	0.319	○ 9 610.366
21	9 610.040	0.002 739	0.344	○ 9 610.384
22	9 610.025	0.003 547	0.380	9 610.405
23	9 610.020	0.002 723	0.377	9 610.397
24	9 610.023	0.002 723	0.382	9 610.405
mean				9 610.380
σ				0.013 866

Table 3 General atmospheric correction (Ryuo—Zan)

daylight

No	time	T (k)	T (°C)	ΔT	Dr + ΔS_n
1	11:00	16.30°C	16.40°C	-0.10	5 942.975
2	12:00	17.40	15.90	1.50	5 942.971
3	13:00	16.60	17.90	-1.30	5 942.975
4	14:00	17.60	17.20	0.40	5 942.997
5	15:00	16.40	15.80	0.60	5 943.000
6	16:00	15.50	13.60	1.90	5 942.958
7	17:00	14.40	11.70	2.70	5 942.949
21	7:00	10.20	7.70	2.50	5 942.962
22	8:00	11.40	10.60	0.80	5 942.962
23	9:00	13.40	12.10	1.30	5 942.978
24	10:00	15.50	14.60	0.90	5 942.992
	$\sigma =$	0.015 733			5 942.974

night

No	time	T (k)	T (°C)	ΔT	Dr + ΔS_n
8	18:00	13.60°C	11.40°C	2.20	5 942.954
9	19:00	13.00	10.30	2.70	5 942.954
10	20:00	11.90	9.40	2.50	5 942.952
11	21:00	11.40	9.20	2.20	5 942.940
12	22:00	12.20	9.10	3.10	5 942.947
13	23:00	11.00	8.90	2.10	5 942.941
14	24:00	10.80	8.30	2.50	5 942.952
15	1:00	11.60	8.40	3.20	5 942.953
16	2:00	10.80	8.40	2.40	5 942.952
17	3:00	10.20	7.30	2.90	5 942.952
18	4:00	9.30	7.10	2.20	5 942.953
19	5:00	9.80	7.20	2.60	5 942.959
20	6:00	9.80	7.40	2.40	5 942.963
	$\sigma =$	0.006 005			5 942.952

Table 4 Standard deviation of corrected distance in daylight and night (Otoko—yama)

水塔に取りつけた温度計(最小読み0.1°C)の読みを取った。その値は Table 6 のようである。

最小二乗法により b, c の値を求めれば工学部に於ける値は、

$$b = -0.099 \quad c = 0.615$$

となる。

a は地上に於ける気温であって時期、時刻によって異なる。K—0間、及び K—R 間の縦断面図は Fig. 4, Fig. 5 である。縦断面図により光の通過点の標高を求め(2)式により気温を推定する。又気圧は理想気体の状態方程式

daylight						night					
No	time	T (k)	T (r)	ΔT	Dr + ΔSn	No	time	T (k)	T (r)	ΔT	Dr + ΔSn
1	12:00	29.00°C	26.40°C	2.60	9 610.394	8	19:00	24.00°C	23.00°C	1.00	9 610.377
2	13:00	29.40	27.20	2.20	9 610.396	9	20:00	23.00	21.90	1.10	9 610.382
3	14:00	29.00	26.10	2.90	9 610.386	10	21:00	22.60	20.80	1.80	9 610.383
4	15:00	28.90	25.90	3.00	9 610.394	11	22:00	22.80	20.80	2.00	9 610.385
5	16:00	28.80	26.60	2.20	9 610.397	12	23:00	22.80	20.40	2.40	9 610.366
6	17:00	26.90	26.10	0.80	9 610.377	13	24:00	22.00	19.90	2.10	9 610.363
7	18:00	25.10	22.80	2.30	9 610.376	14	1:00	21.80	19.80	2.00	9 610.365
19	6:00	18.80	18.90	-0.10	9 610.363	15	2:00	22.00	19.70	2.30	9 610.368
20	7:00	20.00	19.20	0.80	9 610.366	16	3:00	21.60	20.00	1.60	9 610.371
21	8:00	24.20	20.60	3.60	9 610.384	17	4:00	19.40	19.60	-0.20	9 610.360
22	9:00	26.00	23.10	2.90	9 610.405	18	5:00	19.20	19.30	-0.10	9 610.366
23	10:00	28.40	24.00	4.40	9 610.397	σ = 0.008 392					9 610.371
24	11:00	29.20	24.00	5.20	9 610.405						
σ = 0.013 211					9 610.388						

Table 5 Standard deviation of corrected distance in daylight and night (Ryuo—Zan)

ll	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	mean
3m	6.40°C	7.15	8.175	8.25	8.15	7.625
6	6.40	7.125	8.00	7.95	8.125	7.43
9	6.30	6.975	7.875	7.85	7.925	7.385
12	6.275	6.975	7.65	7.80	7.90	7.321
15	6.20	6.925	7.70	7.85	7.925	7.32
18	6.10	6.825	7.40	7.575	8.025	7.185
21	6.15	6.85	7.50	7.70	7.925	7.225
24	6.05	6.75	7.15	7.375	7.725	7.01

Table 6 Temperature distribution

$$P = \rho \frac{RT}{Mr}$$

より導びかれた次式により求める.

$$P = P_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{g/Rd\alpha} \dots\dots\dots(3)$$

但し P : 高度 h に於ける気圧

P₀ : h=0 に於ける気圧

T₀ : h=0 に於ける気温

T : 高度 h に於ける気温

g : 重力加速度

Rd : 2.87 × 10² m² · s⁻² · k⁻¹

α : 気温遞減率

このようにして光の通過点に於ける気温, 気圧を求め補正量を

$$\Delta S'n = \int_0^{Dr} (\Delta S - \Delta n) dx \dots\dots\dots(4)$$

として求める. このようにして補正したものが Table

7 の中央の欄である. このような補正法は例えば男山三角点のように山の南側に面した斜面上の三角点等に於けるように気温が高く観測される場合には有効である. また気温, 気圧の観測が良好な条件下に於て観測することが不可能な場合, 周辺の地物の影響が大きい場合にも有力な手段となり得る.

5. 追加補正による方法

最も一般化された光波測距における気象補正式は, 次のように表せる⁴⁾.

$$D = Dr + \Delta Sn + \Delta C \dots\dots\dots(5)$$

但し, Dr : 測距儀の表示する測定値

ΔSn : 標準大気補正

ΔC : 追加補正

である.

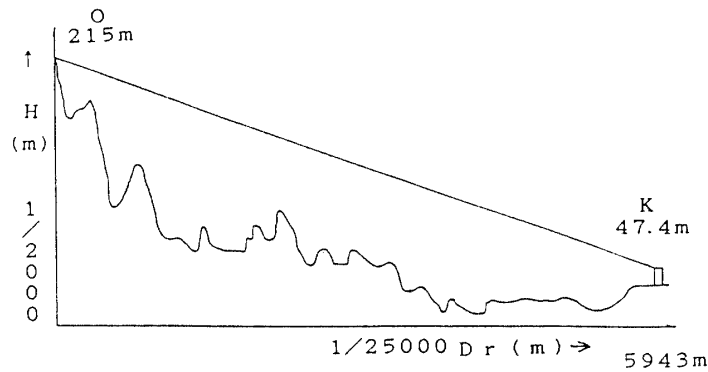


Fig. 4 Vertical profile (O—K)

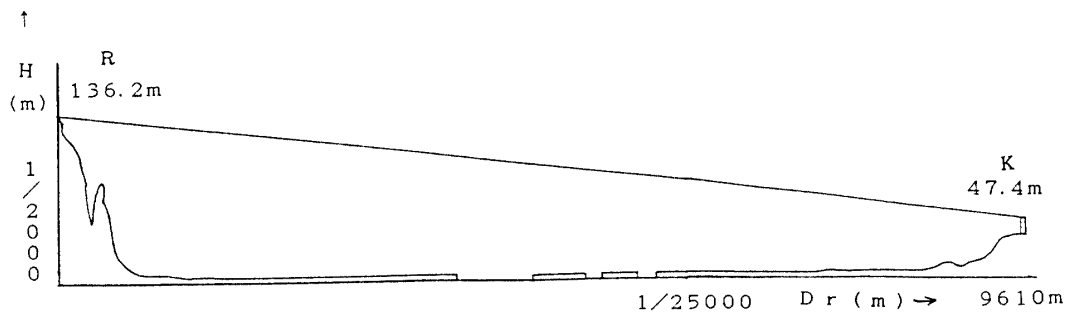


Fig. 5 Vertical profile (R—K)

No	Dr	σ	ΔS_n	$Dr + \Delta S_n$	$\Delta S_n'$	$Dr + \Delta S_n'$	$\Delta S_n + \Delta C$	$Dr + \Delta S_n + \Delta C$
1	5 942.804	0.002 750	0.171	5 942.975	0.163	○ 5 942.967	0.166	○ 5 942.970
2	5 942.797	0.001 785	0.174	○ 5 942.971	0.172	○ 5 942.969	0.175	○ 5 942.972
3	5 942.796	0.001 068	0.178	5 942.975	0.168	○ 5 942.964	0.171	○ 5 942.967
4	5 942.818	0.017 370	0.179	5 942.997	0.174	5 942.992	0.176	5 942.994
5	5 942.829	0.021 625	0.171	5 943.000	0.166	5 942.995	0.170	5 942.999
6	5 942.795	0.007 575	0.163	○ 5 942.958	0.162	○ 5 942.957	0.165	○ 5 942.960
7	5 942.796	0.001 897	0.153	○ 5 942.949	0.154	○ 5 942.950	0.158	○ 5 942.954
8	☆ 5 942.804	0.002 032	0.149	○ 5 942.954	0.149	○ 5 942.953	0.153	○ 5 942.957
9	☆ 5 942.810	0.003 233	0.144	○ 5 942.954	0.145	○ 5 942.955	0.150	○ 5 942.960
10	☆ 5 942.813	0.001 910	0.138	○ 5 942.952	0.139	○ 5 942.952	0.143	○ 5 942.956
11	☆ 5 942.804	0.001 828	0.135	5 942.940	0.135	5 942.939	0.139	5 942.943
12	☆ 5 942.809	0.002 479	0.138	○ 5 942.947	0.140	○ 5 942.949	0.144	○ 5 942.953
13	☆ 5 942.808	0.001 549	0.133	5 942.941	0.133	5 942.941	0.137	5 942.945
14	☆ 5 942.821	0.001 934	0.131	○ 5 942.952	0.131	○ 5 942.952	0.135	○ 5 942.956
15	☆ 5 942.820	0.001 682	0.133	○ 5 942.953	0.135	○ 5 942.955	0.139	○ 5 942.959
16	☆ 5 942.821	0.003 659	0.132	○ 5 942.952	0.131	○ 5 942.952	0.135	○ 5 942.956
17	☆ 5 942.825	0.001 161	0.127	○ 5 942.952	0.128	○ 5 942.953	0.132	○ 5 942.957
18	☆ 5 942.830	0.001 802	0.123	○ 5 942.953	0.122	○ 5 942.952	0.127	○ 5 942.957
19	☆ 5 942.834	0.002 508	0.124	○ 5 942.959	0.125	○ 5 942.959	0.129	○ 5 942.963
20	☆ 5 942.837	0.002 759	0.126	○ 5 942.963	0.125	○ 5 942.962	0.130	○ 5 942.967
21	5 942.834	0.002 655	0.128	○ 5 942.962	0.128	○ 5 942.962	0.132	○ 5 942.966
22	5 942.822	0.001 785	0.140	○ 5 942.962	0.134	○ 5 942.956	0.138	○ 5 942.960
23	5 942.829	0.002 632	0.149	5 942.978	0.145	○ 5 942.974	0.148	○ 5 942.977
24	5 942.829	0.002 725	0.163	5 942.992	0.159	5 942.988	0.161	5 942.990
mean				5 942.962		5 942.960		5 942.964
σ				0.016 174		0.014 191		0.013 735

Table 7 The Results by three different sorts of correction

(5)式に於ける ΔC は地表と光路の間の温度の差 ΔT_x を光路 X に沿って積分し、

$$\left. \begin{aligned} \Delta C &= 10^{-6} Nm / Tm \int_0^{Dr} \Delta T_x dx \\ \Delta T_x &= \int_{hr}^{hx} ; \partial T / \partial Z \end{aligned} \right\} \dots\dots(6)$$

として求められる。

但し、 Nm ：平均屈折率

Tm ：平均気温

Dr ：全光路長

そこで前掲の温度勾配式により ΔC を求めてみる。即(6)式により ΔC を求めるとし、その T に(2)式を代入して式を整理すれば

$$\Delta C = 10^{-6} \cdot \frac{bNm}{Tm} \left[\int_0^{Dr} h_x^c dx - h_r^c \cdot Dr \right] \dots(7)$$

となる。この式に測定された Nm , Tm , 又最小二乗法により求めた b , c の値、縦断面図に於ける x と h_x を読み積分し、追加補正を行なった後の値は Table 7 の最後の欄となる。

この方法に関しては藤井氏⁹⁾の方法もあるが、これは比較的短距離に於ける方法として有力視されているのでこの方法についても試みたが、我々のような長距離の場合には追加補正量の ΔC は小さく mm のオーダーに影響がないことが認められた。

6. 結論及び考察

光波測距によって二点間の距離を測定する場合、一般気象補正のみによるときはその測定の時刻に注意しなければならず、日の入り前後2時間の気象の安定した時刻に於ける測定を行ないその平均値を取らねばならぬ。しかしながら測定点が山奥(山頂)等で日の入り後の移動が困難な場合とか、どうしても昼間でないと測定不可能な場合には、太陽が南中する前後をさけ午前中に測定をし4, 5に示したような各補正を行なわねばならぬ。

特に気温、気圧等の測定に関して一方の測点に於ては精度よく測定する必要があり、百葉箱(工学部屋上には設置)等の利用も考えるべきで、この点に於ける気温、気圧のみで他点に致るまでの各中間点の気温、気圧等を推定し、これらの積分値として補正値を求めようがより精度がよい場合もあり得る。

また、同時に地上よりの各高度に於ける気温分布も測定しその地方独特の気温逓減率も考慮しなければならぬ。

このようにすればEDMによる測距の精度はなんとか 10^{-7} のオーダーは得られる。まとめれば地殻変動観測等

に必要な 10^{-7} のオーダーの精度を得るための測距は次のようにすればよいと思われる。

1. 日の入り前後2時間程度測距し、2~3日続けた上でその平均を取る。
2. 日の出から正午までの午前の観測を行ない各補正を行なうと同時に、これを1週間程度、繰返し行なう。

以上のようにすればEDMに於ける測距も有意義なものとなるが、この場合気象条件に大いに左右される即、見透しの悪い場合、雨天の場合には観測出来ないし、気温、気圧の測定もかなり正確に測定しなければならぬといった制約条件がかなりきついかと思われる。

それに反して緒言で述べたGPSの場合この条件がかなり緩和される。即、見透しがなくて良い、気象条件もそんなに影響されないかと考えられるので次章にてその比較を行なうことにするが、EDMに於ける測距値のばらつきについては日本測地学会に於ける発表にもみられ⁹⁾、基線長1.9km, 2.3kmに於て7~8mmのばらつきが48時間測定で確認されている。

7. 今後の展望

地殻変動観測に必要なとされている測距の精度 10^{-7} はEDMによってもなんとか可能であるがGPS等に比較するとかなり制限された上での観測となる。

またGPSは米国によって開発され実用化されつつある人工衛星による新しい測位システムである。

その主要な目的はいうまでもなく、航空機や船舶のための航法援助であるが、その電波をいろいろの目的に利用できる。これは3つの軌道面に8個ずつ合計24個のGPS衛星を打ち上げる予定であったが、予算上の制約のため、6軌道、各3個の合計18個に削減され1989年度中には完成予定である。

GPSによると測定の地球上に於ける絶対位置が決定される。即、緯度、経度、高さが決定される。又差動(differential)GPSによれば二点間の距離が 10^{-8} のオーダーまで測定されることになる。

しかしながら100km以上になると電離層の影響等で精度が悪くなるが、電離層の影響を除く方法も具体的に考えられている。

そこでこのGPSとEDMについてその比較を行なうと次のようになる。

項目	GPS	EDM
得られる精度	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷
絶対位置決定	可能	不可能
可能測定距離	数百km	数十km
気象条件	影響されない	影響される
見通し	なくてもよい	なければならぬ
システム価格	4～5千万	1千万前後

このようにGPSはEDMに比べて、精度も高く、絶対位置決定もでき、測定距離も長く、気象条件にもあまり左右されない、二点間の見通しもなくてもよい等有利な点が多い。しかしながらこのシステムの価格が高く現在では米国のマイクロメーター等数機種しかなく日本ではまだ開発途上で信頼性におけるものはないといつてよい。いずれはこれらのシステムのソフト面も開発され価格もコンピューター同様値下がりし、将来的には日本全国にGPSの基準点が設けられるものと思われる。従ってEDMは、小三角測量、小三辺測量等だけに限って利用されることになる可能性が高いかと思われる。

参 考 文 献

- 1) 上田満他：“レーザー測距儀を用いた三辺測量について”，山口大学工学部研究報告，37，2，281-288 (mor. 1987).
- 2) KUKKAMAKI, T.J.：“Uber die Nivellitischl Refraktion”，Publ. Finn. Geod. Lnst., Helsinki, 25, (1938).
- 3) WEBB, E. K.：“The Temperature Structure of the Lower Atmosphere”，Rnoc. of REF-EDM Conference, Univ. NSW, Sydney. (1969), 1-9.
- 4) Angus-Leppon, P. V. and F. K. Brunner：“Atmospheric temperature models for short-range E. D. M. the Canadian Surveyor”，34, 153-165 (1980).
- 5) 藤井陽一郎，宮本秀晴：“光波距離における大気補正の一般化，測地学会誌，33，205～214. (1987).
- 6) 木服文昭，奥田 隆：“自動光波測距システムの開発(2)自動視準操作の再現性”，日本測地学会第69回講演会要旨集，105-106(MAY. 1988).

(昭和63年10月15日受理)