【報　告】

Geodimeter による長距離精密測定の普遍的方法ならびにその精度について

多　谷　虎　男*

要　旨　30～40 km 程度の距離を精密に測定することは地上三角測量における基線測量だけでなく，航空三角測量のための基準点測量においても必要欠くべからざることであるが，従来行われてきた直接測定法は地形条件の制限と多大の労力および野外作物の伐採などをふくむ多額の経費を要する諸点において非常な困難をともなつた。近年スウェーデンの測地学者 Dr. Erick Bergstrand 氏によつて，従来の直接的測定法に代る方法として Geodimeter と称する光波を利用する電子工学的高精度器械が発明せられ，わが国においても 1956 年に地理調査所に輸入せられて種々実験が重ねられている。この器械によれば上記のような従来の欠点が除かれるばかりでなく，三辺測量のような三角測量に代る方法も実際上可能になり，将来の基線測量はすべてこのような電子工学的新方法に置きかえられるものと想像せられる。筆者はさきに地理調査所における実験に参加して Geodimeter を実際に取扱う機会を得た。本稿は Geodimeter NASM-2 による長距離精密測定の実際的方法，特にその際に遭遇する不確定距離算定の普遍的方法および精度についてこの際の経験をもととして述べたものである。

1. Geodimeter の原理および機構の概略

Geodimeter による距離の精密測定について述べるに先立ち，その原理と機構について測定者としてわきまえておかねばならぬ要点を参考諸文献にもとづいて説明しておこう。

図—1 は Geodimeter の機構の概略を示す。光源 (Light Source) から出た光線（可視光線，波長≒6 000 Å）は図—1 の集光レンズを通過して，Kerr cell というニトロベンゼンを満たした容器内の 2 枚の電極板間に集められる。Kerr cell の電極板間に集められたこの光線は第二のレンズにより平行光線となり送光系 (Transmission Optics) の大反射凹面鏡中央の孔を通り，焦点調節用小反射凹レンズで一たん反射されて，さらに大反射凹面鏡に至り，ここで再び反射されて平行光線となつて被測定距離の他端に置かれた反射鏡に向つて送り出されてゆく。このとき Kerr cell の前後に偏光面が互いに直角なように置かれた偏光子 P_1 および検光子 P_2 があつて Kerr cell の両電極板間に高圧の電圧 (3 200±900 V) をかけると，中を通過する直線偏光はだ円偏光となつて偏光子 P_1 の偏光面に対して直角な方向の偏光成分を有するようになる。従つて Kerr cell の両極板間の電圧を変化させると，その強弱にともなつて検光子 P_2 を通過する光の強さは同じ周波数で変化する。すなわち光波は Kerr cell の両電極間の電圧の周波数で変調せられることになる。この変調周波数は恒温装置内の水晶高周波発振器（図—1 Crystal controlled H.F. osc）によつて与えられ，約 10 mc/s（波長≒30 m）の周波数である。いまこの高周波電圧を

$$V = A \sin 2\pi ft \quad \cdots\cdots (1)$$

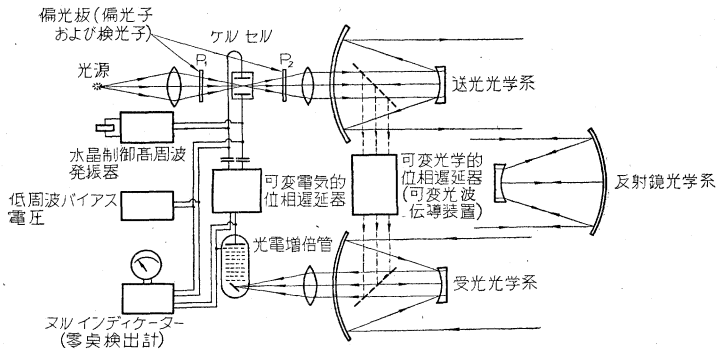
ただし　A：振巾

f：周波数

t：時間

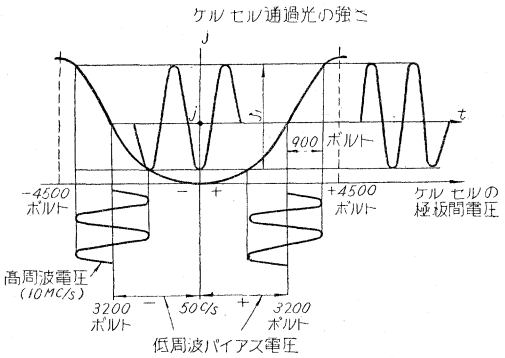
とする。Kerr cell の両電極板間にかかる電圧と，検光子 P_2 を通過する光の強さとの関係は図—2 のグラフに示すようになつている。電圧と光の強さとの関係のグラフが直線的に比例する部分を利用するために，高周波電圧のほかに直線部の中央に相当する Bias 電圧 (3 200 V) を Kerr cell の両極板間にかけ，この Bias 電圧を中心として高周波電圧を加えて高周波電圧の最大，最小値 (A=900 V) もこの直線部分を越えないようにする。この Bias 電圧は矩形の波形をした低周波電圧 (50～60 c/s, ±3 200 V) とする（図

図—1　Geodimeter の機構原理図

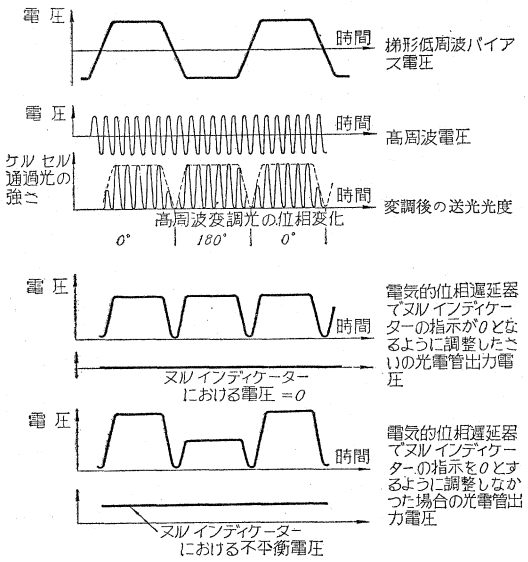


*正員　工博　国鉄技師，鉄道技術研究所

図—2　Kerr cell における光波変調特性曲線



図—3　Kerr cell および光電増倍管における電圧変化状況図



—3 の一番上)。図—2 からわかるように Bias 電圧の極性の変化は変調波の位相を 180° だけ変えるから，低周波電圧の正および負の半サイクルでは通過光の光の強さ J は，それぞれ次のように表わされる。

$$J_+=J_0+J_1\sin\omega(t-t_1)\cdots\cdots(2)$$

$$J_-=J_0+J_1\sin\{\omega(t-t_1)+\pi\}\cdots\cdots(3)$$

ただし，J_0：通過光の強さの平均

J_1：通過光の強さの変化振巾

ω：高周波変調電圧の位相角速度$=2\pi f$.

t_1：Kerr cell の極板電圧変化と光の強さの変化との間に存在する時間的遅れ

このようにして送光系から送り出された変調光波は，被測定距離の他端に置かれた反射鏡で反射せられて再び Geodimeter 本体の受光系 (Receiver Optics) に受光せられ，光電増倍管 (1P21) の陰極に集められる。この陰極からは受光光線の強弱に応じて電子が飛び出し，その数は陽極との間の 9 つのバイノードによつて初めの数の数 100 万倍に増加して陽極に向うが，陽極が (+) 電圧のときにのみ陽極に引付けられて電流が流れ，陽極が (−) 電圧のときには電子は反撥されて電流を生じない。この陽極電流は，低陽極電圧で飽和の状態に達するので，いま陽極に Kerr cell に与えたのと同じ高周波電圧を作用させると，光電管では正の半サイクルの間だけ受光量のみに比例した電流を生ずることになる。従つて低周波 Bias 電圧の正および負の半サイクルにおける光電管電流 i はそれぞれ次のようになる。

$$i_+=\frac{f}{2}\int_{t_3}^{t_3+\frac{1}{2f}}\left\{i_0+i_1\sin\omega\left(t-t_1-t_2-\frac{2D}{c}\right)\right\}dt\cdots(4)$$

$$i_-=\frac{f}{2}\int_{t_3}^{t_3+\frac{1}{2f}}\left[i_0+i_1\sin\left\{\omega(t-t_1-t_2-\frac{2D}{c}\right)+\pi\right\}\Bigg]dt\cdots\cdots(5)$$

ただし　f：変調周波数

t_1：(2) および (3) 式における t_1 と同じ

t_2：光電管内の陰極より陽極に至る電子の到達時間

t_3：Kerr cell 電極—光電管陽極，間に存在する高周波電圧の時間的遅れ（可変電気的位相遅延器による時間的遅れをふくむ）

$2D$：Kerr cell 電極—反射系—光電管陰極，間の距離

c：空気中（0°C, 760 mm Hg, 0 % RH.）における一定波長光の速度

上記の各積分値は t_3 に始まり $t_3+\frac{1}{2f}$ に終る高周波陽極電圧の正の半サイクルについてそれぞれ遂行せられ，次に 1 秒間に存在する高周波の半サイクルの数$=\frac{f}{2}$ を乗じて，それぞれ正または負の Bias 電圧期間の光電管電流となるわけである。この i_+ と i_- との差 I を Null Indicator というメーターで測定する。

$$\therefore\quad I=i_+-i_-=\frac{i_1}{\pi}\cos\omega\left(t_3-t_1-t_2-\frac{2D}{c}\right)\cdots(6)$$

I は次式が成立する場合に 0 となる。すなわち，

$$\omega\left(t_3-t_1-t_2-\frac{2D}{c}\right)=\frac{\pi}{2}-n\pi\cdots\cdots(7)$$

ただし，n：整数とする。

(7) 式は I の値を 0 ならしめるための (Null Indicator の指示を 0 ならしめるための) t_3 と D との間の関数関係を示す式であつて，可変電気的位相遅延器の機構は，

$$\omega\cdot\frac{2D}{c}=0\longrightarrow\pi\ \text{なるに従つて}$$

$\omega(t_3-t_1-t_2)=\frac{\pi}{2}\longrightarrow\frac{\pi}{2}+\pi$ ならしめることができるように作られている（すなわち，Elect. Delay は Null Ind. の指示が 0 となるように調整できる)。いま変調光波の波長を λ とし，$c=f\lambda$ を (7) 式に代入して式を変

形すれば次式をうる。

$$D=\frac{f\lambda}{2}(t_3-t_1-t_2)+\frac{2n-1}{8}\lambda$$

$$=K+\frac{2n-1}{8}\lambda \quad \cdots\cdots(8)$$

常数 K の値は t_3 の値をもとのままにしておいて（すなわち，Elect. Delay をそのままにしておいて）距離 D の代りに (8) 式を成立させるような（すなわち Null Indicator の指示を 0 ならしめるような）既知の長さ l を光波伝導装置から求めれば，この l の値から求めることができる。Geodimeter の内部には**図—1** に示すように可変光学的位相遅延器または Light Conductor と称する送光路切換装置があつて，これを用いれば変調光波を外部の反射系に向つて送り出す代りに，この装置内にある長さの精密に分つた何本かのパイプを通して受光系に送り込むことができるようになつており，かつこの Light conductor（パイプ）の長さ $2l$ は 0 から $\frac{\lambda}{2}$ (≒15 m) まで連続的に変化することができる。ただし実際には二，三の異なつた波長 λ について器械を使用できるようにするために，$2l$ は 0 から約 18 m まで連続的に変化できるようになつている。すなわち，この場合には，$\omega\frac{2D}{c}=\omega\frac{2l}{c}=2\pi f\cdot\frac{2l}{f\lambda}=\frac{2l}{\lambda}\cdot 2\pi$ は $\omega(t_3-t_1-t_2)$ の値に応じて 0 から π まで連続的に変化できるわけで，このとき (7) および (8) 式においては $n=0$ である。従つて，

$$l=K-\frac{\lambda}{8} \quad \cdots\cdots(9)$$

$$K=l+\frac{\lambda}{8} \quad \cdots\cdots(10)$$

これを (8) 式に代入して，

$$D=l+n\cdot\frac{\lambda}{4} \quad \cdots\cdots(11)$$

$\frac{\lambda}{4}$ は振動数のわかつている光波については定数であるから，以下これを長さの単位として用い，U で表わすことにすれば，

$$D=l+nU \quad \cdots\cdots(12)$$

(12) 式からわかるように，未知の被測定距離 D の値を求めるためには，n の値がわかつていなければならないから，D の値はあらかじめ U の範囲内でその概略値が既知であることが必要である。換言すれば被測定距離 D の値を確定するためには，D の不確定距離はあらかじめ単位長 U の範囲内であることを要するわけで，従つて，このままでは Geodimeter による距離測定は大きな制約を有し普遍的な測定方法ではない。

2. 未知距離の普遍的測定法

Geodimeter による距離測定はその際の不確定距離の範囲の制約が一般の未知距離の算定に実際上さしつかえない程度に大でなければ実用的な方法とはいいがたい。このため，Geodimeter では (7) 式ないし (11) 式の n が偶数であるか，奇数であるかを見分けうるような装置になつており，特に Geodimeter の型式のうち，最も精度の高い 2 型（Type NASM-2）では単に一つの周波数の変調波だけでなく，f_1, f_2, f_3, の 3 つの周波数の変調波について測定が実施できるようにしてあるから，このしくみを利用すれば不確定距離の範囲の制約は実用上，なんらさしつかえない程度に大きな値とすることができる。(7)～(11) 式の n が偶数であるか，奇数であるかを見分けるには次のようにする。すなわち Null Ind. の指示を 0 とするために回転した粗動および微動のダイヤルのうち，微動ダイヤル（**図—5** の Fine electric delay control. 以下ダイヤルと呼ぶ）を回転した方向と（ただしダイヤルの目盛部分がインデックスに合致しているように回転するものとする。ダイヤルの他の 180° 分は目盛がないが，この目盛のない方向にダイヤルを同一角度だけ回転しても Null Ind. は 0 となる。しかしこの方向の回転は採らないものとする），このとき Null Ind. の指針が 0 目盛に帰着した方向とが同方向であるとき（+），異方向であるとき（−）と約束する。さて極性切換えスイッチの（phase position switch，**図—4** Sw I および Sw II；**図—5** P.…… この 2 つのスイッチは連動になつていて同時に H.F. の極性と L.F. の極性との 4 つの組合わせが順次に切換えられるようになつている）。

a) Position 1 では (12) 式の n が偶数ならば，Null Ind. の指針が 0 に帰する方向とダイヤルの回転方向とは同一方向すなわち（+）となり，n が奇数ならば異方向すなわち（−）となる。

b) 極性切換えスイッチを Position 2 に切換えると**図—4** の Sw I のみが切換えられ，Phototube の陽極に作用する H.F. の極性だけが変えられるから，Phototube の陽極電圧の位相角は wt_3 の遅れ（Elect. Phase Delay による位相角の遅れ）のほかに，さらに π（極性の変化による位相角の遅れ）だけ遅れるから，陽極電圧は

$$V=A\sin\{w(t-t_3)-\pi\}$$

で表わされることになる。この電圧は

$$t=t_3+\frac{\pi}{w}=t_3+\frac{1}{2f}=T_3 \text{ から，}$$

$$t=t_3+2\frac{\pi}{w}=t_3+\frac{1}{f}=T_3+\frac{1}{2f}$$

までの間で正となるから (7) 式はこの場合，

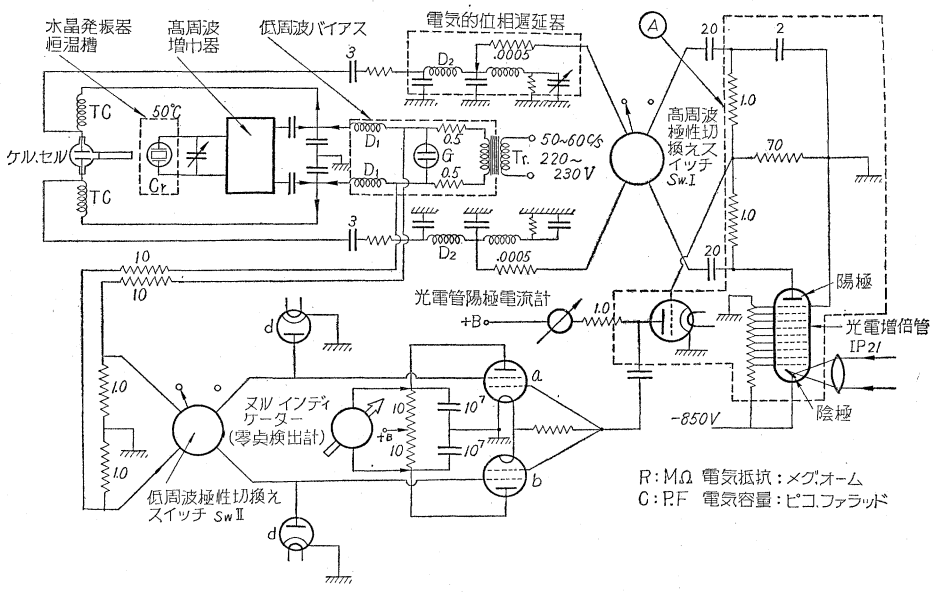
$$w\left(T_3-t_1-t_2-\frac{2D}{c}\right)=\frac{\pi}{2}-n'\pi \quad \cdots\cdots(7)'$$

となり，n' が偶数か奇数かによつてダイヤルと Null Ind. の指針が 0 に帰着する回転の相互関係がそれぞれ（+）または（−）となる。このときは，

$$w\left(t_3-t_1-t_2-\frac{2D}{c}\right)=\frac{\pi}{2}-(n'+1)\pi$$

$$=\frac{\pi}{2}-n\pi$$

図—4　Geodimeter の回路略図



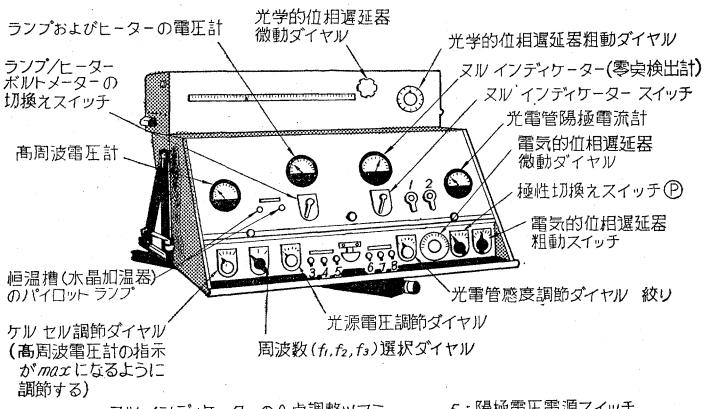
$\therefore\ n'=(n-1)$

すなわち $(n-1)$ が偶数か奇数かによつてそれぞれ（＋）または（－）となり，Elect. Phase Delay の回転角は Position 1 のときと同じである（$\because$ Elect. Phase Delay による位相角の遅延は Position 1 のときと同じく wt_3 である）。換言すれば Null Ind. の指示を 0 ならしめるダイヤルの同じ回転位置 α について，極性切換えスイッチの Position 1 と Position 2 とでは n の偶奇に対応する（＋），（－）の符号が反対になる。

c）次に極性切換えスイッチを Position 3 に切換えると図—4 の Sw I は Position 2 のままで，Sw II のみが切換えられ，図—4 a, b の両真空管の Suppressor grid にかかる L. F. 電圧の極性が反転するので，Null indicator（図—4，NI）を通る電流の方向（L.F. の半周期ごとに方向を変ずる）だけが Position 2 の場合に対してちようど反対になる。従つて，n の偶数，奇数に対応する（＋），（－）の符号は，Position 2 の場合と反対になり，ちようど Position 1 の場合と同じになる。

d）さらに極性切換えスイッチを Position 4 に切換えると図—4 で Sw II は Position 3 の場合のままで Sw I のみが切換えられ，結局 n の偶数，奇数と（＋），（－）の符号との対応は，Position 3 の場合と反対すなわち Position 2 の場合と同一になる。以上で n の偶数，または奇数と（＋），（－）の符号との対応のあらゆる場合について述べたが，n の偶数または奇数の判別は，通常極性切換えスイッチの Position 1 における（＋），（－）の符号だけで行うのが普通である。なおついでに図—4 の説明を多少行つておくと K.C. は Kerr cell；Cr は水晶高周波発振器；Ⓐ の部分は Photo tube の感度を増すために作られた一種のホイートストン ブリッジである。さて n の偶数または奇数の判別結果と，周波数 f_1, f_2, f_3，の 3 つの変調周波数とを用いて未知距離の不確定距離範囲の制約を実用上にさしつかえないように拡大するには次のようにすればよい。すなわち，まず f_1, f_2 の二つの振動数を用いる場合について述べよう。いま未知の距離を X とし，使用波長 λ_1, λ_2 の 1/4 をそれぞれ U_1，U_2（$U_1>U_2$）とすれば，(12)式から

図—5　Geodimeter NASM-2 型の外観



$$\left.\begin{aligned} X&=n_1U_1+l_1\\ X&=n_2U_2+l_2 \end{aligned}\right\}$$

Light conducter の読みから l_1, l_2 は既知量で，また n_1, n_2 もダイヤルと Null Indicator との関係から，偶数か奇数かの別が既知である。なお仮定から常に $n_2>n_1$ である。

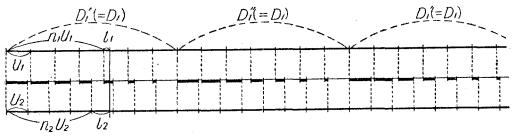
（1） $l_2 \geqq l_1$ なる場合

この場合には $n_1U_1 \geqq n_2U_2$

ゆえに未知距離 X が $2D_1$ の範囲内にあることだけがわかつておれば，X を次のようにして求めることができる（ただし $D_1=\dfrac{U_2}{U_1-U_2}\cdot U_1$ とする）。

すなわち，**図—6** のような $2D_1$ の範囲内で $n_1U_1 \geqq n_2U_2$ なる場合は，**図—6** の太線の区間に X がある場合であつて，太線の各区間については $l_2-l_1=n_1U_1-n_2U_2=$ const（＋）である。そして太線の区間が右に一つずつ寄るごとに n_1 および n_2 はそれぞれ1つずつ増し，従つて l_2-l_1 の大きさも，U_1-U_2 ずつ増加して，D_1' の距離でついに $l_2-l_1=U_2$ に達し，次の D_1'' の距離でまたこの状態をくり返す。**図—6** の太線の区間では，D_1' 区間で n_1, n_2 がともに偶数または奇数ならば D_1'' の区間においては，n_1,n_2 の一方が奇数，他方が偶数となり，

図—6



逆に D_1' の区間で n_1, n_2 の一方が奇数，他方が偶数ならば D_1'' の区間では n_1,n_2 はともに偶数または奇数となる。しかるに n_1, n_2 は観測の際に偶数か奇数かがわかつているのであるから，X は D_1', D_1'' のいずれの区間に所属するかがわかる。ゆえにこの結果からかりに X が D_1' に所属することがわかつたとし，いまこの D_1' の中の太線の区間で未知距離 X の代りにある距離 D を任意に仮定するならば，

$$\left.\begin{aligned} D&=n_1'U_1+Q_1\\ D&=n_2'U_2+Q_2 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(13)$$

と置いて n_1', n_2', Q_1, Q_2 が得られる。この場合太線の区間であるから常に $n_1'U_1>n_2'U_2$ であるはずである。（$\because$ $Q_2>Q_1$）

いま $l_2-l_1>Q_2-Q_1$ ならば

$$\frac{(l_2-l_1)-(Q_2-Q_1)}{U_1-U_2}=n' \quad \cdots\cdots(14)$$

だけ n_1' および n_2' をそれぞれ増加すれば n_1 および n_2 がそれぞれ得られる。すなわち

$$\left.\begin{aligned} n_1&=n_1'+n'\\ n_2&=n_2'+n' \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(15)$$

しかして未知距離 X は，

$X=n_1U_1+l_1$ または $X=n_2U_2+l_2$

として得られる。

もしも $l_2-l_1<Q_2-Q_1$ ならば

$$\frac{(Q_2-Q_1)-(l_2-l_1)}{U_1-U_2}=n' \quad \cdots\cdots(16)$$

だけ n_1', n_2' をそれぞれ減少させれば，n_1 および n_2 がそれぞれ得られる。すなわち，

$$\left.\begin{aligned} n_1&=n_1'-n'\\ n_2&=n_2'-n' \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(17)$$

しかして未知距離 X は，

$X=n_1U_1+l_1$ または $X=n_2U_2+l_2$ ……(18)

として得られる。

しかるに (14)～(17) 式を通じて見ればわかるように $(l_2-l_1) \gtrless (Q_2-Q_1)$ のいずれの場合についても

$$\frac{(l_1-l_2)-(Q_1-Q_2)}{U_1-U_2}=n' \quad \cdots\cdots(19)$$

とすれば n' は符号を持つた数値として得られ，n_1, n_2 は常に

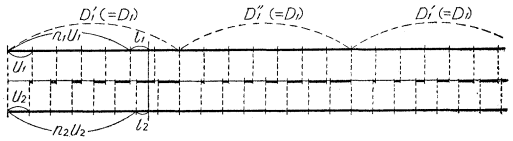
$$\left.\begin{aligned} n_1&=n_1'-n'\\ n_2&=n_2'-n' \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(20)$$

として得られることがわかる。

（2） $l_2<l_1$ なる場合

この場合には $n_1U_1<n_2U_2$ であつて，X は **図—7** の太線の区間になければならない。(1) の場合と同様に太線の区間について D_1' の区間が n_1, n_2 ともに偶数または奇数の区間とすれば，D_1'' の区間は n_1, n_2 の一方が偶数，他方が奇数なる区間である（またはその逆である）。このことと，n_1, n_2 がそれぞれ偶数か奇数かの観測の際の結果とから，X が D_1', D_1'' のいずれの区間に所属するかを決定することができる。かくして，この場合にも (1) の場合と同様にして (13), (19), (20), (18) 式を用いて未知距離 X を求めることができる。

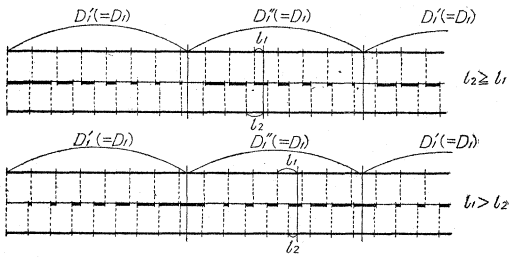
図—7



以上のように，(13)，(19)，(20)，(18) 式はすべての場合を通じて X を求める式として通用するわけであるが，いずれの場合においても初めに任意に仮定する距離 Dは，Xが所属する区間 D_1' もしくは D_1'' 内で，かつそれぞれ $l_2 \geqq l_1$ または $l_2<l_1$ の区間中にあらかじめ選定しなければならないものと考えた。しかしながらこのような制限は少しも必要ではない。何となれば $\dfrac{Q_1-Q_2}{U_1-U_2}$ は Q_1-Q_2 の値を $\to 0$ にするために増加すべき n の個数を示し（符号をふくめて），$\dfrac{l_2-l_1}{U_1-U_2}$ は l_2-l_1 の値を $0 \to (l_2-l_1)$ の値にするために増加（符号をふくむ）すべき n の個数を示す。従つて $\dfrac{(l_2-l_1)+(Q_1-Q_2)}{U_1-U_2}=$

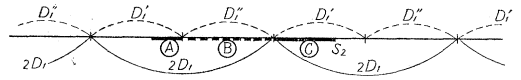
$-\frac{(l_1-l_2)-(Q_1-Q_2)}{U_1-U_2}=-n'$ はいかなる場合にも U_1 および U_2 の半端長（U 未満の長さを半端長と称することにする）の差が Q_1-Q_2 である点より出発して l_1-l_2 の値に達するために増加すべき n の個数を符号をもふくめて表わしたものであるからである。従つて最初に仮定する距離 D の選定については，なんらの制限もつけずに (13)，(19)，(20)，(18) 式を適用しても，l_1，l_2 の大きさおよび相互関係がそれらの観測値の大きさおよび相互関係と全く同様な関係にある距離点［この点を，おのおのの $D_1\left(=\frac{U_1\cdot U_2}{U_1-U_2}=mU_1=(m+1)U_2\right)$ 区間を一周期と見立てて U_1，U_2 に関する同位相距離点と呼ぶことにする］を求めることができる。このようにして得た同位相距離点から所定の不確定範囲内に X を定めるには，上記のようにして求めた同位相距離点に $\frac{U_1\cdot U_2}{U_1-U_2}=D_1$ の整数倍を増加（または減少）することにより同位相距離点を不確定区間内に求めればよい。所定の不確定範囲内の同位相距離点は一般に D_1',D_1'' の区間内に，それぞれ一つずつあるが，n_1, n_2 の偶奇の相互関係が観測結果に適合する距離点はそのうち一つしかないわけであるから X は一義的に決定せられるわけである（ただし，$\frac{U_2}{U_1-U_2}=m$ の値が整数でないときには同位相距離点に $\frac{U_1\cdot U_2}{U_1-U_2}=D_1$ の整数倍を増減した値は，一般に正確には同位相距離点とはならないが，これが同位相距離点付近の点を与えることだけは確かである。このような場合については次節の実例を参照のこと）。

図—8



なお未知距離 X の不確定範囲が上記のようにちょうど $D_1'+D_1''$ の区切りの点間の範囲として与えられることは通常まれであるので，このような一般の場合について付言しておこう。この場合に X が存在する D_1 の区間を見出すには，$X=S_1\sim S_2(S_2-S_1\leqq 2D_1)$ なる不確定範囲の上下限 S_1 および S_2 がわかつているから，まず S_1，S_2 がそれぞれ所属する D_1 の区間を見出す。しかるときは不確定範囲として図—9のような Ⓐ,Ⓑ,Ⓒ の三区間が得られる。このように不確定範囲が D_1 の三区間にまたがる場合でも，n_1，n_2 の偶数奇数についての相互関係が観測結果に適合する同位相距離点はただ一つしかないから X はやはり一義的に定められる。

図—9



	Ⓐ，Ⓒ の 区 間	Ⓑ の 区 間
I	n_1, n_2 ともに偶数または奇数	n_1, n_2 の一方が奇数，他方が偶数
II	n_1, n_2 の一方が奇数，他方が偶数	n_1, n_2 ともに偶数または奇数

結局，以上の結果を総合すればすべての場合を通じて次のように結論することができる。すなわち

まず最初に全く任意の距離 D を仮定し（しかし実際には所定の不確定範囲内に選んだ方がつごうがよい），(13)，(19)，(20)，(18) 式を順次に適用すれば求めようとする未知距離 X と U_1，U_2 に関して同位相にある距離点 X' を求めることができる。しかして不確定範囲 $2D_1$ 内では，X' と U_1，U_2 に関して同位相にある距離点でかつ n_1，n_2 の偶数，奇数についての相互関係が観測結果に適合する点は常にただ一つであることから，X は不確定範囲 $2D_1$ 以内で常に一義的に求めることができる。

最後に f_1，f_2，f_3 の三つの周波数を用いて不確定範囲内に X を決定する方法について述べる（$U_1>U_2>U_3$ とする）。まず U_1，U_2 を用いれば未知距離 X は $\pm D^1=\pm\left(\frac{U_1\cdot U_2}{U_1-U_2}\right)$ の不確定範囲内で決定できる。次に U_1，U_3 を用いれば X は $\pm D_2=\pm\left(\frac{U_1\cdot U_3}{U_1-U_3}\right)$ の不確定範囲内で決定できる。しかるに $D_1>D_2$ であるから U_1，U_3 を用いた場合では U_1，U_2 を用いた場合よりも狭い不確定範囲内でしか X は決定できないわけで，U_1，U_3 を用いることは U_1，U_2 を用いれば原理的にはすでに不必要である。しかしながら U_1 と U_2 のように波長がきわめて接近しているときは，(19) 式を用いて n' を算出する際，U_1-U_2 の値がきわめて小さい（約 37 mm）から，もしも l_1，l_2 の測定（従つて l_1-l_2 の測定）にこの程度の誤差をふくむ可能性があれば，n' の算出値には 1 以上の誤差をふくむ可能性があり，従つて X の値に対する n の真値としては，算出値とこれに ±1 を加えた整数値との少なくとも三つの整数値のうち，いずれをとるべきか決定できなくなる。実際次節の例でも示されているように Light conductor による半端長 l の測定結果には，計算結果と照合すると U_1-U_2 程度の誤差をふくむおそれが十分ある。しかるに U_1-U_2 は相当に大きな値（約 218 mm）であるから U_1，U_3 を用いて算出した n の値には 1 よりもはるかに小さな誤差しかふくまないはずである。ゆえに n の確実な値の決定のためには，まず U_1, U_2 を用いて広い不確定範囲内でおよその n の値を定め，次に U_1，U_3 を用いて n の確実な値を決定するようにする。

3. 観測結果計算例

既知の基線長の検測などのように不確定範囲がきわめて小さく，n の真値もすでにわかつているような場合はとにかく，不確定範囲がある程度大きい場合，もしも n の真値の決定にあいまいなところがあれば，せつかくの精密測定が無意味となつてしまうことはいうまでもない。以下本節では前節で述べた確実な n の値の普遍的決定法の数値計算例を示すことにする。

表—1

日付	33年10月31日		天候	雲量	風向	風力	視通
加熱開始時間	18～30	G	晴	40%		0	5/5
		R	晴	40%		0	5/5

Geodimeter 番号	NASM-2 No. 116	反射器番号	590—234

	G	R
標高	176.982 m	743.469 m
器械高	2.990	3.184
定数	170	177
$h=\Sigma$	180.142	746.830

	E(Heater)	E (Lamp)	E(H.F)	CI_1	CI_2	Wedge
開始時	5.9	3.8	44	1	0.8	170°
終了時	5.9	3.8	45			

(1) 観測値

E：電圧

CI：Control Instrument (=Photo current meter) の読み

Photo current meter は光電管に光が入射すると，読みが 1～1.2 mA から 0.8 mA 程度まで下がるようにしてある。読みが 0.8 mA 以下に下るような状態は避けるべきである。

Wedge：(=Photo sensitivity control) 光電管入射光線のしぼりの角度

G：Geodimeter，　R：Reflector，

$LC_{1,2}$：Light Conductor，

N：Coarse Light conductor (delay) の読みすなわち Light conductor の pipe の本数

$L_{1,2}$：Fine Light conductor の読み

N および L_1 は，Elect. Delay の読みを R に対する読みのままにして置いて光路を LC の方に切りかえ，その長さの調整によつて Null Ind. の読みをできるだけ 0 にしたときの Light conductor の粗および微の値である (L_2 は L_1 の値を 10 cm だけ変化した値とす)。LC の読みを N および L_1 に調整しただけでは Null Ind. の読みを完全に 0 にすることはできないので，その残りを再び Elect. Delay の操作によつて Null Ind. が完全に 0 になるように調整する。このときのダイヤル (Elect. Delay) の読みの平均値が L_m である。

表—2

F	$f_1=10^7$ c/s		Time	18—40			
	R		LC_1		LC_2		R
P	ダイヤル		N=7		N=7		ダイヤル
	粗	微	L_1=315 mm		L_2=415 mm		微
1	3	+51.9	P_1=	+50.2		+57.1		+50.8
2		54.2	P_2=	53.0		61.3		54.9
3		55.8		54.1				56.5
4		52.0		51.5				53.4
Σ=		213.9	Σ=	208.8	Σ=	118.4	Σ=	215.6
M_1=		53.5	L_m=	52.2	L_m'=	59.2	M_2=	53.9

	G	R	平均
Bar (mmHg)	749.0	694.0	721.5
Temp (°C)	13.0	10.1	11.6
R.H (%)	79.0	82.0	80.5

表—3

F	$f_2=10\,050\,046$ c/s		Time	19—40			
	R		LC_1		LC_2		R
P	ダイヤル		N=10		N=10		ダイヤル
	粗	微	L_1=67 mm		L_2=167 mm		微
1	6	−44.3	P_1=	−43.7		−53.6		−42.9
2		39.0	P_2=	47.1		56.8		39.8
3		41.4		47.3				42.0
4		45.1		45.5				46.8
Σ=		169.8	Σ=	183.6	Σ=	110.4	Σ=	171.5
M_1=		42.4	L_m=	45.9	L_m'=	55.2	M_2=	42.9

	G	R	平均
Bar (mmHg)	749.5	694.0	721.8
Temp (°C)	12.1	9.9	11.0
R.H (%)	80.0	82.0	81.0

表—4

F	$f_3=10\,299.660$ c/s		Time	20—30			
	R		LC_1		LC_2		R
P	ダイヤル		N=12		N=12		ダイヤル
	粗	微	L_1=220 mm		L_2=120 mm		微
1	8	+55.9	P_1=	−57.4		−55.8		+53.2
2		61.4	P_2=	64.7		49.2		63.0
3		62.6		65.3				63.4
4		57.3		57.9				53.0
Σ=		237.2	Σ=	245.3	Σ=	105.0	Σ=	232.6
M_1=		59.3	L_m=	61.3	L_m'=	52.5	M_2=	58.2

	G	R	平均
Bar (mmHg)	749.5	694.0	721.8
Temp (°C)	11.3	9.7	10.5
R.H (%)	80.0	82.0	81.0

(2) 計算

(a) 諸常数値

c=299 702.0 km/s

c：(0°C, 760 mmHg, 0% R.H.) の標準大気中における波長 5 650 Å の光の変調波の群速度

f_1：第 1 変調周波数=10^7c/s

f_2：第 2 〃 =10 050 046 c/s

f_3：第 3 〃 =10 299 660 c/s

(H.F.)

$U_1=7.492\,550$ m, $U_2=7.455\,240$ m, $U_3=7.274\,561$ m

$U_1-U_2=0.037\,310$ m, $U_1-U_3=0.217\,989$ m

$$D_1=\frac{U_1\cdot U_2}{U_1-U_2}=1\,497\text{ m }152\,5=199.8\,U_1=200.8\,U_2$$

$$D_2=\frac{U_1\cdot U_3}{U_1-U_3}=250\text{ m }035\,6=33.4\,U_1=34.4\,U_3$$

K : Light conductor pipe 1本の長さ=797.6 mm

不確定範囲：17.000～19.000 km

（b） 演算　まず仮定距離 D を $D=18.000$ km とする。

$$\left.\begin{aligned}D&=n_1'U_1+Q_1=18\text{ km}=2\,402\,U_1+2.894\,9\text{ m}\\D&=n_2'U_2+Q_2=18\text{ km}=2\,414\,U_2+3.050\,6\text{ m}\\D&=n_3'U_3+Q_3=18\text{ km}=2\,474\,U_3+2.736\,1\text{ m}\end{aligned}\right\}$$

$\therefore$ diff. Δ :

$Q_1-Q_2=-0.155\,7$ m

$Q_1-Q_3=0.158\,8$ m

表—5

	f_1	f_2	f_3
$R_m=\frac{M_1+M_2}{2}$	53.7	42.6	58.8
$\frac{P_1+P_2}{2}$	51.6	45.4	61.0
L_m'	59.2	55.2	52.5
$\Delta D=\frac{P_1+P_2}{2}-L_m'$	−7.6	− 9.8	+ 8.5
$\Delta L=L_1-L_2$	−10.0 cm	−10.0 cm	+10.0 cm
$[S]=\frac{\Delta L}{\Delta D}$	1.32 cm	1.02 cm	1.18 cm
$[d]=R_m-L_m$	+ 1.5	− 3.3	− 2.5
$[S]\cdot[d]$	+ 1.98 cm	− 3.37 cm	− 2.95 cm
$L_1+[S]\cdot[d]$	334.8 mm	33.3 mm	190.5 mm
$(N-1)K$	4.876 m	7.178 m	8.774 m
Z	1.150 m	1.150 m	1.150 m
Σ	6.271 m	8.361 m	10.115 m
$[-U]$		− 7.455 m	− 7.275 m
$l_{1,2,3}$	6.271 m	0.906 m	2.840 m
$n_{1,2,3}$ の符号	+(even)	−(odd)	+(even)

Z : Zero correction.

本体の Kerr cell から反射鏡を経て本体の光電管陽極に至る変調波の光路程の 1/2 の半端長と等しい半端長 l を有する光路程を等価光路程と称することにすれば，Light conductor を用いて Null Ind. を 0 にしたときの変調波の光路程は一つの等価光路程であるが，この等価光路程は Light conductor の長さのほかに一定長をふくんでいる。この一定長を Zero correction と呼ぶ。この Z の存在のためにも上表の Σ の値は U より大となることがある。

$$\therefore\ n'=\frac{(l_1-l_2)-(Q_1-Q_2)}{U_1-U_2}=\frac{5.365-0.156}{0.037\,31}\fallingdotseq 148$$

$$\left.\begin{aligned}n_1&=n_1'-n'=2\,402-148=2\,254\\n_2&=n_2'-n'=2\,414-148=2\,266\end{aligned}\right\}$$

ゆえに求める距離 X と U_1, U_2 に関して同位相にある距離 X' は

$$\left.\begin{aligned}X'&=n_1U_1+l_1=2\,254\,U_1+6.271\text{ m}=16\,894.4787\text{ m}\\X'&=n_2U_2+l_2=2\,266\,U_2+0.906\text{ m}=16\,894.4798\text{ m}\end{aligned}\right\}$$

従つて不確定範囲（17～19 km）内で X' と U_1, U_2 に関してほぼ同位相（D_1 が U_1 または U_2 の整数倍でないため完全には同位相でない）にある距離すなわち X と U_1, U_2 に関してほぼ同位相にある距離は

$$\left.\begin{aligned}X'+\left(\frac{U_1\cdot U_2}{U_1-U_2}\right.&=16\,894.4787\text{ m}+1\,497.1525\text{ m}\\&=18\,391.6312\text{ m}=2\,454\,U_1+4.9135\text{ m}\\X'+\left(\frac{U_1\cdot U_2}{U_1-U_2}\right.&=16\,894.4798\text{ m}+1\,497.1525\text{ m}\\&=18\,391.6323\text{ m}=2\,466\,U_2+7.0105\text{ m}\end{aligned}\right\}$$

同様に U_1, U_3 について，求める距離 X と同位相にある距離 X'' は次のようにして求められる。

$$n'=\frac{(l_1-l_3)-(Q_1-Q_3)}{U_1-U_3}=\frac{3.431-0.159}{0.217\,989}\fallingdotseq 15$$

$$\left.\begin{aligned}n_1&=n_1'-n'=2\,402-15=2\,387\\n_3&=n_3'-n'=2\,474-15=2\,459\end{aligned}\right\}$$

$$\therefore\ \left.\begin{aligned}X''&=n_1U_1+l_1=2\,387\,U_1+6.271\text{ m}\\&=17\,890.9878\text{ m}\\X''&=n_3U_3+l_3=2\,459U_3+2\,840\text{ m}\\&=17\,890.9855\text{ m}\end{aligned}\right\}$$

$\therefore$ X' の場合と同様に不確定範囲内で X'' と U_1, U_3 に関してほぼ同位相（従つて X とほぼ同位相）にある距離は

U_1, U_2 についての計算結果を参照して，

$$\left.\begin{aligned}X''+2\times\left(\frac{U_1\cdot U_3}{U_1-U_3}\right)&=17.890.9878\text{ m}+500.0712\text{ m}\\&=18\,391.0590\text{ m}=2\,454\,U_1+4.3413\text{ m}\\X''+2\times\left(\frac{U_1\cdot U_3}{U_1-U_3}\right)&=17\,890.9855\text{ m}+500.0712\text{ m}\\&=18\,391.0567\text{ m}=2\,528\,U_3+0.9665\text{ m}\end{aligned}\right\}$$

ゆえに求める距離 X の付近にあつて，U_1, U_2 に関して X と同位相で U_1, U_2 について同一の距離は次のようになる。

表—6

X	18 385.4962 m 2 453 U_1 +6.2710 m 2 466 U_2 +0.8743 m	18 392.9887 m 2454 U_1 +6.2710 m 2467 U_2 +0.9116 m	18 400.4812 m 2455 U_1 +6.2710 m 2468 U_2 +0.9489 m

表—6 下段の l_2 に相当する値は Light conductor による l_2 の測定値=0.906 m との間に最大 0.03 m 程度の相違しかなく，この程度の誤差は観測によつても生ずる可能性があるので，**表—6** だけでは X の値を表中のいずれとも決定しがたい。しかしながら U_1, U_3 について **表—6** と同様な表を作れば次の **表—7** が得られる。

表—7

X	18 385.4962 m 2 453 U_1 +6.2710 m 2 527 U_3 +2.6805 m	18 392.9887 m 2 454 U_1 +6.2710 m 2 528 U_3 +2.8985 m	18 400.4812 m 2 455 U_1 +6.2710 m 2 529 U_3 +3.1165 m

表—7 下段の l_3 に相当する値は，Light conductor による l_3 の測定値=2.840 m に対して，中央の値以外

はそれぞれ約 16 cm, 28 cm もの大きな誤差を有し，このように大きな誤差は観測の際に生ずるものとは考えられない。従つて求める距離 X は中央の値 18 392.9887 m であることがわかる。今の場合，X の決定に当つて，n の符号から判断した n の値の偶数，奇数についての相互関係を用いる必要がなかつたけれども，かりに不確定範囲が 17～20 km である場合には X と同位相にある距離として**表—8**のような距離も未知距離 X の候補者として登場し，**表—6** の値をとるべきか，**表—8** の値を取るべきか，についてはぜひとも n の値の偶数，奇数の相互関係による判断にまたねばならない。

表—8

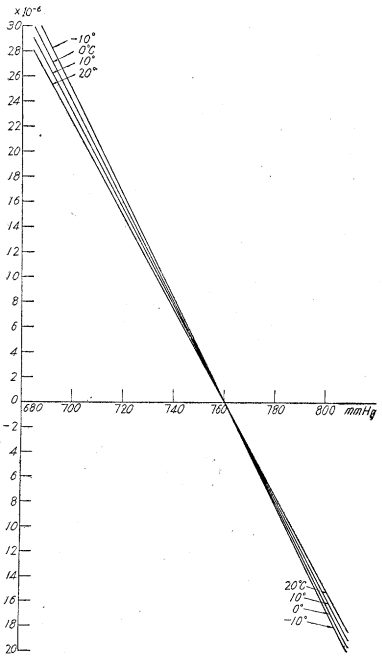
X	19 884.0062 m	19 891.4987 m	19 898.9912 m
	2 653 U_1 +6.2710 m	2 654 U_1 +6.2710 m	2 655 U_1 +6.2710 m
	2 667 U_2 +0.8811 m	2 668 U_2 +0.9184 m	2 669 U_2 +0.9557 m
	2 733 U_3 +2.6309 m	2 734 U_3 +2.8489 m	2 735 U_3 +3.0669 m

なお上記の X の決定において l_1 の値だけをその観測値＝6.2710 m に固定して，$n_1U_1+l_1$ と同一の距離を採つたのは，f_1, f_2, f_3 の使用三周波数中，f_1 のみは f_2, f_3 に比してきわめて高精度を保つように器械装置が作られているからである。

（c） 補 正

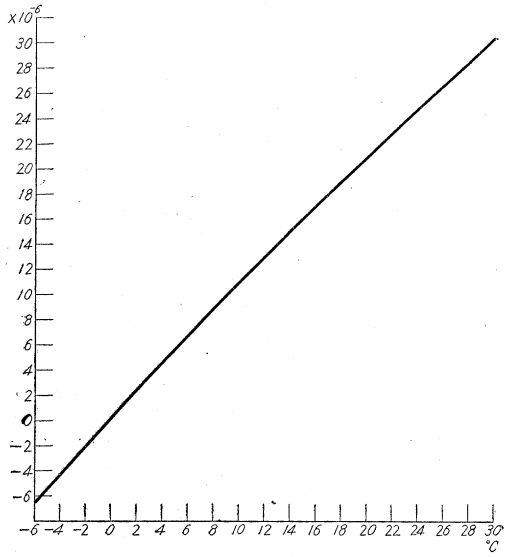
1) 大気補正：前項で求めた X の値は標準大気圧中で effective wave length＝5 650 Å の光電管を有する器械を使用した場合の未知距離の値であつた。しかし NASM-2 No. 116 の光電管の effective wave length は 5 450Å で，本測定の大気条件も**表—2～4** のとおりであるから，まずこのような条件変化に対する光速度補正が必要である。

図—10 気圧に対する光速度補正図表

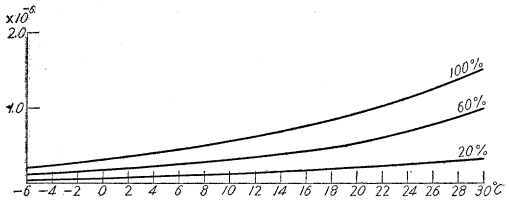


大気条件による補正係数

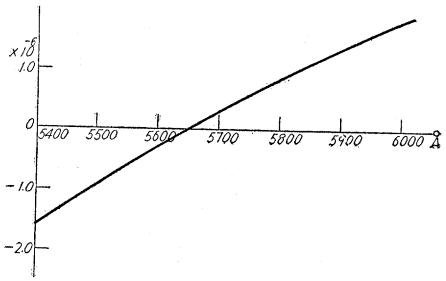
図—11 気温に対する光速度補正図表



図—12(a) 湿度に対する光速度補正図表



図—12(b) 光波長に対する光速度補正図表
（色 補 正）



の値（測定距離に対する ppm）は Bergstrand 氏によれば **図—10～12** のとおりである。

これらの図表を用いて U_1, U_2, U_3 に対する補正量は次のように求められる。

	U_1	U_2	U_3
l	6.271 m	0.906 m	2.840 m
n	2 454.0	2 467.0	2 528.0
nU	18 386.7177 m	18 392.0771 m	18 390.0902 m
$nU+l$	18 392.9887 m	18 392.9831 m	18 392.9302 m

		U_1	U_2	U_3
気圧補正	ppm	14.8	14.7	14.7
温度補正	〃	12.6	12.0	11.5
湿度補正	〃	0.45	0.42	0.40
色補正	〃	−1.3	−1.3	−1.3
Σ	〃	26.55	25.82	25.30
$(nU+l)$	$(\times 10)^6$	18.393	18.393	18.393
$(\Sigma)\times(nU+l)$	mm	488.0	475.0	465.0

2) リング補正：次にこの器械は送受信および反射凹面鏡の焦点調節のために現場で焦点リングの調節を行うので，このために生ずる光路程長の変化に対する補正が必要である。その量は U_1, U_2, U_3 のいずれについても同一で本測定の場合は次のとおりである。

送光リング	mm	− 9.1
受光リング	〃	− 9.1
反射リング	〃	−2.86
Σ	〃	−21.06

3) 偏心補正：2) の補正までで真の光路程に対する補正は一応すべて終つたわけであるが，実際に測定しようという距離は変調波の光路程長ではなく，二測点間の距離であるから，これに対する偏心補正が必要である。このためには真の光路程に対する二測点の偏心量を現実にどこで測るかが問題になるが，本器械では変調波の光路程長の 1/2 に等しい距離の出発点として器械本体の背面が採られるようになつており，また一方上記の距離（光路程長の 1/2）の終点と Reflector の中心との距離差を反射器定数として与えている。従つて測点杭の偏心量は G 側の本体背面および R 側の中心点をそれぞれ基準として測定すればよい。これらの偏心補正量は本測定では右のとおりである。

反射器定数	mm	−628.0
G 側偏心	〃	+201.0
R 偏偏心	〃	+385.0
Σ	〃	− 42.0

なお，Geodimeter および Reflector の傾斜がはなはだしい場合には，本体背面および反射器中心の下げ振りを下げる点よりも G 側は 0.170 m，R 側は 0.177 m だけ光軸がそれぞれ上方にあることによる補正が必要である。この補正量は本体の上向き角度を ϕ とすれば $(0.177-0.170)\sin\phi=7\sin\phi$(mm) である。しかしこの量は本測定では僅少であるから省略した。

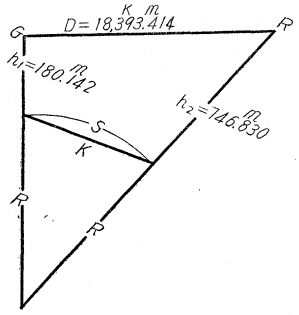
この 3) の補正量は元来，真の光路程には無関係な補正量であつて，従つて Light conductor を使用したときの等価光路程にも無関係である。この補正量のように等価光路程の形成に無関係な量は，真の光路程の計算後補正量として加えるべきで，**表—5** での $l_{1,2,3}$ の計算の際に Z の値にふくめて先に計算をしては誤りを生ずることがあるから注意しなければならない。∵ 前項における n の計算では一般に真の光路程に対する n の符号から n の値の決定をするのであるから，一般には真の光路程に対する n を求めていることとなり，従つて $l_{1,2,3}$ の計算もまた真の光路程について計算しなければならぬからである。しかしながら n の値が二測点間の距離について別途すでに明白な場合には，Light conductor による等価光路程の形成に無関係な量であつても二測点間の半端長に関係ある量は Z の値の中にふくめて先に計算をすませて置いてもよいことはもちろんである。

以上の 1), 2), 3) の結果を総合して，f_1, f_2, f_3 のそれぞれについて全補正量および補正結果を算出すれば次のとおりである。

	f_1	f_2	f_3
総補正量	+425 mm	+412 mm	+402 mm
補正距離	18 393.414 m	18 393.395 m	18 393.332 m

最後に正しい補正距離としては通常上表中の f_1 に対するものを採ることは前述したとおりであるが，上表の加重平均を採るのも一策である。

図—13



4) 投影補正：3) までの補正によつて求められた距離は斜距離であるから地球の球面上への投影距離を求めるためには，そのための補正が必要である。ただしこの補正は特に Geodimeter に限つた補正ではない。

$$K=D\left[1-1/2\left\{\frac{(h_1-h_2)^2}{D^2}+\frac{h_1}{R}+\frac{h_2}{R}\right\}\right] \quad \cdots(21)$$

R：地球の半径＝6 367 km

D=18 393.414 m, h_1=180.142 m, h_2=746.830 m

∴ $K-D=-10.069$ m　　∴ K=18 383.345 m

また，$S=K+K^3/24\,R^2$ ……(22)

(22)式に上記の結果を代入すれば，S=18 383.351 m をうる。

4. Geodimeter NASM-2 の精度

この器械で生ずる誤差は測定距離に比例する部分と測定距離に無関係な部分とより成ると考えられる。測定距離に比例する部分を主として支配するものは，単位長 U を規定している変調周波数および光速度常数の精度であり，測定距離に無関係な部分は，例えば Light conductor の pipe 長の温度伸縮による誤差のようなものである。前者のうち水晶発振器の精度は Bergstrand 氏によれば数カ月の連続使用後においても $1/10^6$〜$1/10^7$ である。また Light conductoor の pipe の膨張係数は $(20/10^6)$

表—9

地名および既測定値	Geodimeter NASM-2 No. 116 による測定				
	観測回数 n	測定値日平均 M	一回の観測値の平均誤差 $\sigma=\sqrt{\Sigma V^2/(n-1)}$	平均誤差 $\sqrt{\Sigma V^2/n(n-1)}$	一回の観測値の精度 σ/M
大将山—半甲山 18 393.446 m	5	18 393.409 m	±18 mm	±8 mm	$1/(1.02\times10^6)$
	7	386	17	6	$1/(1.08\times10^6)$
	6	423	8	3	$1/(2.30\times10^6)$
	7	389	15	6	$1/(1.23\times10^6)$
天神野—焼林村 3 516.399 m	13	3 516.399 m	±17 mm	±5 mm	$1/(2.07\times10^5)$
	17	389	10	2	$1/(3.52\times10^5)$
	18	382	12	3	$1/(2.93\times10^5)$
	11	400	8	2	$1/(4.40\times10^5)$
千葉基線 649.927 m	8	649.920 m	± 8 mm	±3 mm	$1/(8.12\times10^4)$
	5	932	17	8	$1/(3.82\times10^4)$
	8	932	10	4	$1/(6.50\times10^4)$
	6	916	11	4	$1/(5.91\times10^4)$

cm/cm•°C であるから全 pipe 長 15 m の温度伸縮による誤差は 20°C の温度変化について 6 mm である（pipe 長の検定温度は 20°C）。このような状況から考えてこの器械の精度は長距離（15～40 km）では $1/10^6$ 程度であるが比較的近距離では const な誤差部分のために相当精度が低下することが推察せられる。次に**表—9**は地理調査所が Geodimeter NASM-2 No. 116 を用いて，すでに基線測量または三角測量の結果測定済みの距離を検測した結果の精度を示すものであるが，上述のような傾向が実際にもよく現われている。

波長の短い可視光線では屈折率や空中での散乱による消耗がむしろ大きいにもかかわらず，本器械でラジオ波のような長波長のものを使用しない理由は，精度上，使用波の指向性の高いことが必要なためであるが，一方ではこの可視光線使用のため，昼間時の測定では太陽光線が noise として作用し (noise)/(signal) がきわめて大となる結果，測定できないばかりでなく，使用光電管 1P21 も高感度のものであるため太陽光が入射すれば破損する恐れがある。従つてこの器械による観測がもつぱら夜間に限られることは，この器械の欠点である。しかしこれもまた高精度のためにはやむを得ないことで ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА（測地および航空写真測量）1959 No. 1 にも精度の点では他の電子工学的距離測定器械にくらべて，Geodimeter が数段すぐれていることが記されている。中距離以下の距離を本機よりも多少低精度で測定する代りに運搬に便利なように小型軽量を目的として（Geodimeter の 3 型，4 型以外に）Kerr cell 変調器を屈折変調器または干渉変調器に置き換え，位相検定器としてトランジスターを使用する考案がなされていることを前記のソ連誌が報じている。なお本機よりも低精度ではあるが，中距離以下の距離を測定するに便利なように製作されたものに，T.L. Wadley 氏の設計になる Tellurometer なる電子工学的距離測定器械があるが，この器械は地理調査所および国鉄にそれぞれ 1 台，今年輸入せられた。Tellurometer はラジオ波（波長＝10 cm；3 000 mc/s）を使用するので昼夜いずれでも測定可能であるが，Null Ind. のように sine curve の最も傾斜の強い点（感度の強い点）を利用するような構造の検定器は備えていない。

以上 Geodimeter による長距離精密測定の普遍的方法並びにその精度について要点を述べたが，本稿をまとめるについては地理調査所 石川甲子男氏の御教示に負うところが多かつた。ここに深く感謝申上げる。

参考文献

1) E. Bergstrand; Measurement of Distances by High Frequency Light Signalling, Arkiv för Mat. Astr. Fysik, Vol. 29 A, No. 30, Stockholm, 1943.
2) E. Bergstrand; A Preliminary Determination of the Velocity of Light, Ark. f. Mat. Astr. Fysik, Vol. 36 A, No. 20, Stockholm, 1949.
3) E. Bergstrand ; Measurement of Distances with the Geodimeter, Rikets Allmänna Kartverk, Meddelande No. 16, Stockholm, 1951.
4) V.M. Nazarov; On Research in Designing High-Precision Modulated-Light Rangefinders and on the Application thereof, ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА, 1959 No. 1, Moscow.
5) I.N. Adrianova, Y.V. Popov; Light Modulators for Electro-Optical Rangefinders, ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА, 1959. No. 1,Moscow.
6) V.P. Vassiliev; On the Problem of Comparing Respective Merits of Electro-Optical and Radio Ranging Devices, ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА, 1959. No. 1, Moscow.