

## 測量器械の発展 第1回

学校法人中央工学校歴史館長 原田 静男  
株式会社ソキアトプコン ソキアスクール理事長 鈴木 晶夫

古代から人間は、生活のために長さや高低差、角度を測る道具を開発してきた。その技術は次代に受け継がれ工夫が加えられ、機能は増した。

さまざまな対象物を測る道具が高度化され、より便利な器械となった。その代表的なものが角度を測る「セオドライト」、高低差を測る「レベル」、距離を測る「光波距離計」である。これらの器械が基本となって、より高精度で高機能な一体型の「トータルステーション」として発展してきた。最近では、宇宙を巻き込んだGNSS（GPS）の登場で測量器械が画期的に変貌した。ここでは、トータルステーションまでの推移を追いかけてみたい。

### 1. 角度測定器

#### (1) セオドライト（トランシット）

図1は、昨年6月公開された映画「剣岳・点の記」でスクリーンに現れたセオドライトである。120年前にドイツで製造され、明治以降、



図1 カールツェイスマーベルヒ2等経緯儀(中央工学校所蔵)

わが国が実施する基本測量用に輸入された。セオドライトという名前は、このヨーロッパから来た望遠鏡が長く回転しない高精度のものをいう場合が多い。一方、アメリカから輸入された主に土木建築用に使用された望遠鏡が回転するものをトランシットと呼んだ。現在は、どちらも同じように望遠鏡が回転し、どちらかという精度が低いバーニア読みものをトランシット、それ以外の比較的高精度のものをセオドライトと呼んでいる。

図2は国産の最新の電子セオドライトDT520である。外見はもとよりデジタル表示の小型軽量化で使いやすいものになり、機能には格段の差が見られる。セオドライトの主要部分のうち、



図2 電子セオドライトDT520（最新型）

図3の10秒読みセオドライトの望遠鏡・分度盤・鉛直軸について以下に示す。

望遠鏡の発明は17世紀初頭といわれている。水平にすえつけるための気泡管の発明は1662年、ついで十字線が発明され、1908年ピントを合わせても望遠鏡の長さの変わらない内焦式望遠鏡がウイルドにより発明され今日のセオドライトの原型が完成した。

分度盤は、17～18世紀、主に金属製の円盤に刻まれた目盛りをルーペなどで拡大して読んでいたが、目盛りを細かく刻むための技術がなく、より精度を上げるためには、分度盤の径を大きくせざるを得なかった。1611年、より細かく読み取れるバーニアが発明され、これにより小さい分度盤の粗い目盛りでも微小単位の読み取りが可能になった。この方法は、分度盤が金属からガラスに変わってからもトランシットに搭載され1960年代まで主流の読み取り方式になった。目盛盤の中心と望遠鏡の鉛直軸が一致していないことで時に生ずる誤差を、 $180^\circ$  対向するバーニアで読み平均することで消去する方法も



図3 電子セオドライトDT20

同時に考案されている。

鉛直軸は、ストレートの高精度な軸加工が出来ない時代には、加工のしやすい真鍮製の円錐型として多少のガタがあっても軸の安定を図れるようにして作られていた。1908年ウイルドは、鉛直軸を鉄製の円筒型にして、加工精度を上げ、鉛直軸の安定性を画期的に上げることに成功した。この方式は現在もセオドライトやトータルステーションに使われている。

## (2) 電子セオドライト

電子技術の発展により、目盛りの読み取りを人間の目から電子の目に切り替えたのが電子セオドライトである。1983年ソキアでは、10秒読み電子セオドライトDT20を開発した。

デジタル表示により細かい目盛りを読む必要がなくなり、これ以降のセオドライトは、デジタルになり誰が読んでも同じ値になった。

この角度の読み取り方法は、ガラス分度盤の目盛り線の代わりに白黒の細かい縞模様が印刷され、分度をはさむように配置された発光素子と受光素子の間を通過するこの縞の数を数えることで角度情報を得られるようにした。(これをインクリメンタルエンコーダーという)さらに最新の器械では、分度盤にバーコードパターンのような線幅の違う縞模様が印刷され、受光エリア内にある縞模様のパターンを認識することで絶対角度が読めるアブソリュートエンコーダーが搭載され主流になっている。

## 2. 高さ測定器

橋あるいは道路・建物の工事に必要な水平及び鉛直方向を定めるために人間は道具を考え、昔から水盛り管や下げ振りなどを使ってきた。現代につながるレベルの開発は、18世紀はじめに棒状気泡管を直接望遠鏡に取り付けて水平を得るYレベルから始まった。しかし、Yレベル(図4, 1906年)は、高精度の気泡管の管理が面倒なことや操作に熟練を要するので、ティルティングレベルの出現で姿を消した。



図4 Yレベル

(1) ティルティングレベル

感度の高い棒状気泡管（10"～40"／2mm）を内蔵し、望遠鏡の視野内にプリズムを使って気泡の両端の像を見られるようにし、気泡を合致させるための上下微動ができる機構を使い、望遠鏡をのぞきながら視準線を水平にすることができるレベル。（1950年国産開始）現在は、自動レベルが弱いとされている振動の多い建築現場などでわずかに使われている。



図5 ティルティングレベルTTL 6

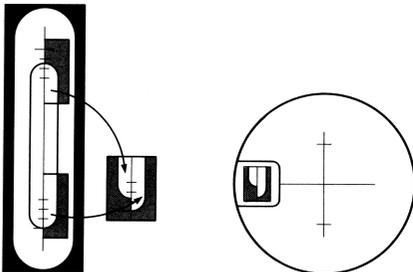


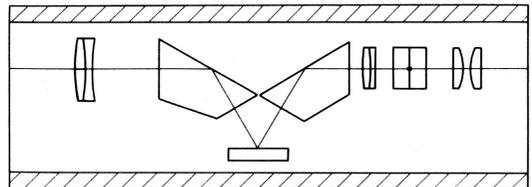
図6 ティルティングレベルの焦点鏡（ソキアレポートに掲載）

(2) 自動レベル

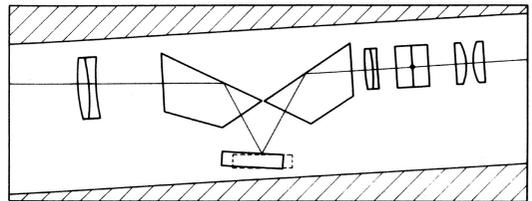
円形気泡管の気泡を中央の円内に入れば、望遠鏡の対物レンズから接眼レンズに至る光路内に設置されたコンペンセータと称する「自動補正機構」によりどちらに向けても視準線が水平となるレベル。これ以前のレベルでは、棒状気泡管の感度を高めることによって精度を上げてきたが、気泡管感度が良くなると操作性が悪くなり、感度の低い円形気泡管を合わせるだけで水平が保証される自動レベルの出現は、いままでの操作性の悪いレベルを駆逐してしまった。



図7 自動レベルB-2本体



本体が水平の状態



本体を傾斜させた状態

図8 自動補正機構（ソキアレポートに掲載）

自動補正機構の代表的なものとして、1964年に発売された測機舎製B 2型に搭載されたものを紹介する。これは、望遠鏡の光路上に吊り線につられたミラーを加えることで水平を保証す

る機構。このミラーのゆれ止めに磁気制動方式を用いた。この方式は、制動力の高さと堅牢なことから今では、世界中のレベルに採用され標準となっている。(国産化は1956年開始)

### (3) デジタルレベル

標尺の表面パターンを電子的に読み取り、デジタルでデータを表示できる自動レベルである。1990年ウILD社が開発し、それ以降各社から発売されている。

バーコードに似たパターンコードが印刷された標尺(図9)を視準し、測定ボタンを押すと視野内のパターンを読み取り、標尺の読みと標尺までの距離をデジタル表示する。またデータの電子化により本体内に搭載されたCPUやメモリーを使ってデータの加工や保存が出来る能力も付加することが出来る。



図9 デジタルレベル(1998)とバーコード標尺

人間の目で読み取らないので安定したデータが取得でき、一等水準測量などの高精度分野では、既に殆ど移行が完了した。しかし、一般の土木建築分野では、同じメーカーの専用標尺を使う必要があり、自由度が劣ることや少し値段が高いことなどから普及に時間が掛かっている。更に改良され利便性が浸透していくことで今後の普及が期待される。

なお特殊なレベルとしてレベルプレーナ、ラインレーザ、パイプレーザなどが開発されている。

## 3. 光波距離計

距離の測定には巻尺類を使用した直接距離法と三角測量(2角挟辺)による間接測定法があった。しかしいずれも距離が長くなると精度が落ちるので、高精度で長距離を測れる器械の開発が期待されていた。

1953年スウェーデンのアガ社が作った光波測距儀ジオジメータI型が発売された。同じく電波を利用した電波測距儀もこの頃に市販されていたが、精度が悪く、免許・資格等が必要な電波を使っていたので長距離の分野にしか普及しなかった。その後、光波測距儀が使いやすく長距離対応になるのに従い、あっという間に取って代わられた。



図10 光測距離計RED 1 A(1978)

光波測距儀は、測点にすえた器械から特定の周期で明暗をつけた(変調をかけるという)光を発射し、目標点にすえた反射鏡で反射して返ってきた反射光の位相と発射光の位相の差から距離を求める装置である。わが国では1970年代から80年代にかけて国内メーカーで特徴のある機種が開発されたが、トータルステーションの出現で出番が無くなった。

## 4. トータルステーション

光波測距儀と電子セオドライトを一体化したものがトータルステーション(TS)で、距離と角度を同時に測ることができる。

1980年代には既にスタジア式距離測定機能

を光学式セオドライトに組み込んだタキメータが欧州で出現していたが、アナログで距離精度もよくなく普及していなかった。光波距離計と電子セオドライトの登場以降それぞれ小型化電子化が急速に進み、1980年代に入り一体型のTSとして欧米で次々と商品化された。その後1980年代に入り国産メーカー各社も次々に小型化された光波距離計を搭載し販売した。これ以降国産の器械が使いやすく比較的安価に提供されたこともあり世界中で一挙に普及した。

その後もTSの進化は止まらない。データがデジタルで得られる特長を生かしてTS内に測量計算などの処理プログラムを内蔵し、欲しい答えをその場で出すことが可能になった。OSにWindows CEを採用することで表示も大きく見やすくなり、汎用のメモリーカードが使えるなどPCとの連携も良くなりさらに使いやすくなった。

最近ではTSにモーターを内蔵し自動視準機能や自動追尾機能を持たせたものも出現し、TS側には人が付かず、プリズム側の測定者が無線で遠隔操作する一人での測量（ワンマン測量）が可能な機種も登場し、変位観測や位置制御のための自動計測も可能になり測量器械は測量機械といわれるようになった。しかし測量分野では、高額なTSに人を付けずに置いた結果思わぬ問題が発生している。

## 5. 最後に

時代はアナログからデジタルへ急速に進み、測量機にもマイクロコンピュータが搭載され、ボタンを押せば欲しい答えが瞬時に得られる便利な時代になった。更に宇宙にある衛星を使ったGNSS（GPS）が登場したことでますます答えが出るまでの経過はブラックボックス化して

きて、表示された値は正しいと信じて疑うことの無い使用者が増えている。

一方、測量器械を作る側は、より精度の高い、だれでも簡単に答えが出るような便利な器械（もう道具と言われてもおかしくないかもしれない）を目指してきた。それは、使い方さえ間違わなければ誰が使っても安定した精度で答えを得られるようになり、結果だけを見ればプロでもアマでも誰が測っても差がなくなることを意味している。

しかし、昔から測量士の常識として言われてきた、「観測前には、始業点検をして機械が狂っていないか確認した上で使うこと」や「測定結果の信頼性の評価を行うこと」が測量技術者に対して今でも変わらずに課せられている。

発展著しいトータルステーション（TS）の応用分野については追って報告したい。



図11 トータルステーションSRX(2006)