

研究ノート

細密読み取りダイアゴナル目盛の歴史

松本 栄 寿**

1. はじめに

この研究は、筆者が電気計測器を収集して、その発祥、歴史、構造を子細に調べているときの疑問から生まれた。すなわち、使われているダイアゴナル細分目盛が、なぜ長年月使われたのか、なぜほかのバーニア副尺などに変わらなかったのだろうか、その始まりと日本への技術はどこから、誰がもたらしたのかの疑問もあった。

これまで、英国・米国・チェコなど内外の博物館・アーカイブス、国内のメーカの史料などの検討結果から、電気計器にダイアゴナル目盛を採用したのは、1892年に米国特許を申請したウェストンであること、さらに、電気計器に長く使われたのは、器差を含めて目盛の正確さを得る手法が、ダイアゴナル目盛と手書きの組み合わせにあったと筆者は推定した⁽¹⁾。

目盛は計量計測の結果を人間が判断する重要な機能である。500年以上にわたって広く使われてきたダイアゴナル目盛は、個別の計量計測器ではどう技術移転されたか、次のバーニア目盛にどう移り変わってきたかなど、解ききれていない問題が多い。この報告の内容も、最後にいくつかの特徴ある目盛をもつ計量計測器を示すにとどめる。

また、最近のデジタル技術の中にも、アナログ・デジタル変換器の最少分解度をこえて精密に読みとる手法が研究されつづけている。これらの歴史研究にも目を向けて行きたい。

2. ダイアゴナル目盛を採用した電気計器

ダイアゴナルとは矩形の対角線の「斜め」を意味する言葉である。計量計測器では一目盛の間を細分して読み取る手法の一つダイアゴナル目盛を長らく使用してきた。

図1の標準用電気計器は目盛長310mmもある大型の計器で、指針のある電気計器としては最も大きく、外形390mm×390mm、重さ13kgである。標準用電気計器では、精度0.1%または0.2%を目指したから、500区分または1,000区分を読む必要がある。0.1%とすれば0.3(310mmの1/1,000)mmを区別して、目盛で読まなければならない。また、電気計器は持ち運べる(ポータブル)大きさと必要な精度を実現することが求められてきた。ここにも簡単で容易に作れて、簡単に読める補助尺の出番があった。

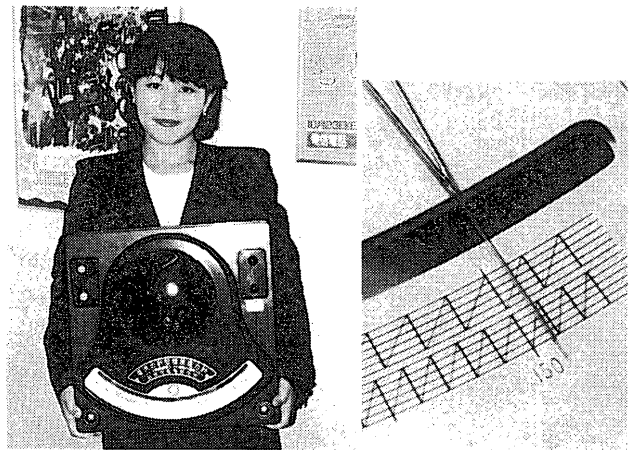


図1 標準用電気計器 (390×390 mm, 13 kg)

ダイアゴナル目盛とミラーがある。1981年まで横河電機で製造されていた

* 原稿受付 2003年10月30日

** 会員 〒204-0003 東京都清瀬市中里2-642-22

二つのものを識別する人間の読み取り限界は 0.1-0.2 mm であり、比較的容易に読み取れる目盛間隔は 1 mm または 0.5 mm 程度であるとされている。したがって、測定器具を大型に、直線または円弧を長くすれば、目盛の間隔も大きくなり細かに読み取れる。最終的には機器の変形や熱膨張が問題になり、限界があるので補助尺を使う方法が工夫された。電気計器では指針で直接目盛を読もうとすると、大型化にともなって指針が長く重くなるので、トルク・軸受等々の問題があり、巨大化には限度がある。

後述する天体観測用のチコ・ブラーエ (Tycho Brahe, 1546-1601, デンマーク) の壁面四分儀の目盛長が 3.14m であるのに対し、標準用電気計器 (精度 0.2%) の目盛長は 310 mm であるから、単純比較で天体観測用器具と電気計器では、10 倍の大きさのちがいがある。

3. 円弧状の目盛と補助尺の歴史

天体観測を目標に作られた、角度測定器 (象限儀) には角度を細かに読み取る手法として補助尺に、ノニウス法・ダイアゴナル目盛・バーニア目盛・マイクロメータ目盛などが使われてきた。

3.1 ノニウス法 (1583 年)

円弧上にすこしずつ異なる等分目盛を刻み、同心円状につくる。すなわち、最も外側の円弧は 90 等分目盛として、次の円弧は 89, 88, 87 - 等分目盛というようにして 46 等分目盛まで割り出す。インデックス (指針) が P 分割の m 番目の目盛と合えば、読みは $90m/P^\circ$ となる。たとえば 90 分割の 45 番目であれば $90 \times 45/90 = 45^\circ$ であるが、85 分割の 45 番目では $90 \times 45/85 = 47^\circ 38' 51''$ となる。図 2 に例を示す。発明者は、ペドロ・ニュネツ (Pedro Nunez, 1492-1577 ポルトガル) と言われる。

チコ・ブラーエが 1573 年に使用した四分儀には、ノニウス目盛が採用されていた (ノニウスはニュネツのラテン読みである)。この

方法は、最大 90 に分割をすればよいのでうまいアイデアである。作りやすくかつ使いにくかった。つまり 45 本もの同心状目盛をインデックスの端 (エッジ) であたって、もっとも近いものを選びだしてそのつど角度を計算する必要があった⁽²⁾。電気計器への適用も原理的には可能であるが、実例はない。

3.2 ダイアゴナル目盛 (14 世紀)

ダイアゴナル目盛は、最小目盛間を 5 または 10 区分して読み取るための一種の副尺である。発明者は、レビ・ベン・ゲルソン (Levi ben Gerson, 1288-1344 ヘブライ) とされている⁽³⁾。たとえば、主目盛に 6 本の平行線 (図 1 の場合は同心円弧) を等間隔に引き、目盛線と最も外側の線との交点と、その隣の日盛線と最も内側の線との交点を直線でむすぶ。その斜線と平行線との交点が、最小目盛の 5 分の 1 にあたることになる。斜線の長さは最小目盛間隔よりも大きいから、読み取る目の間隔が拡大されて読みやすくなる。ダイアゴナル目盛は構造が簡単なこともあり、14 世紀から 19 世紀まで航海用のヤコブスタッフ (Jacob Staff)、六分儀、日時計、羅針盤、大砲の照準器などにひろく使われた。またトランスバーサル目盛・対角目盛などとも呼ばれいくつかの変形があった。図 3 にその例を示す⁽⁴⁾。もっとも広く知られているのは、1600 年当時の天体観測用デンマークのチコ・ブラー

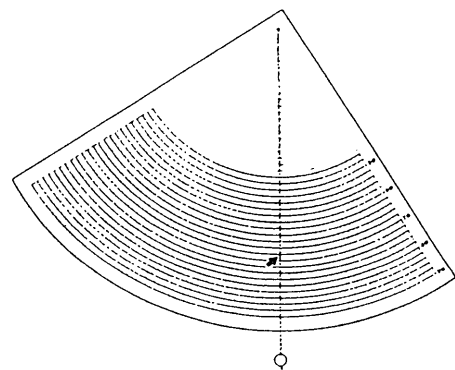


図 2 ノニウス目盛

エの壁面四分儀で、その目盛長は3.14mである。

3.3 バーニア目盛 (1631年)

バーニア目盛は、ピエール・ベルニエ (Pierre Vernier 1580-1637 仏) によって 1631 年に発明された⁽⁶⁾。17 世紀から航海用の六分儀などに採用されだし、現在でも長さを測るノギス (日本語はノニウスからきた) などに広く使用されている⁽⁶⁾。目盛の例を図 4 に示す。バーニアでは、たとえば主尺の 9 目盛を 10 等分した副尺を主尺に沿ってすべらせて測定するから、主尺の目盛間隔は一定であることが前提となる。また、主尺と副尺は密着してすべることを要求されるから、ある程度の精密加工が必要となる。しかし、次第に自動的に目盛が刻まれる機械 (Dividing Engine) が出現して、ダイアゴナル目盛はより急速にバーニア目盛に置き換わるようになった。

3.4 マイクロメータ目盛 (1640年頃)

17 世紀に正確なネジの切削が可能になり、1640 年頃にネジ送り方式の微細読み取り法が

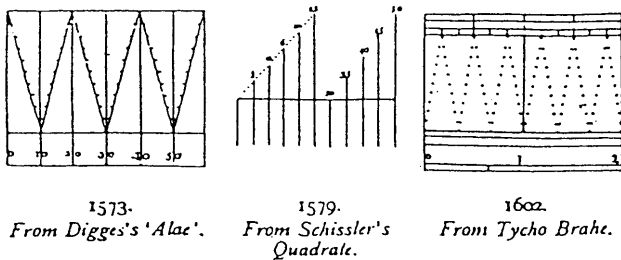


図 3 種々のダイアゴナル目盛

R. T. Gunter, Science in Oxford, Vol. 1 (1923), pp. 82-84

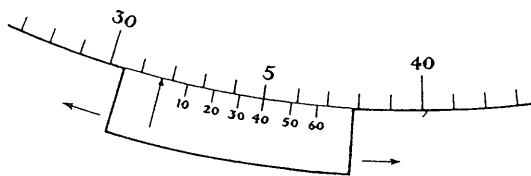


図 4 バーニア目盛の例

出現した⁽⁷⁾。回転運動を直線運動に変換して、回転部に刻んだ目盛を読み取る。この方法はまず天文観測用機器に使用され、やがて測長器などにも応用されたるようになる。その直線方向の分解度は 1/100 mm 程度に、これを取りつけた観測器具は角度 10° 程度の分解度が得られるようになった。

4. 電気計器へのダイアゴナル目盛の導入

1880 年代前後からの電灯照明・配電事業が始まると、研究用でなく現場でも使える電気計器が必要になった。この中で実用電気計器の技術を集大成したのは、エドワード・ウェストン (Edward Weston, 1850-1936 米) である⁽⁸⁾。

指針と目盛で電気量を測定する電気計器は、長い指針をもっているが、駆動トルクは弱い。また、安定な永久磁石・安定なバネ・摩擦の少ない軸受等が必要となる。さらに計器内部の可

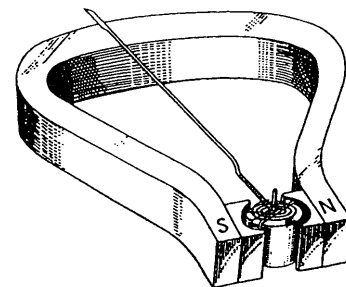
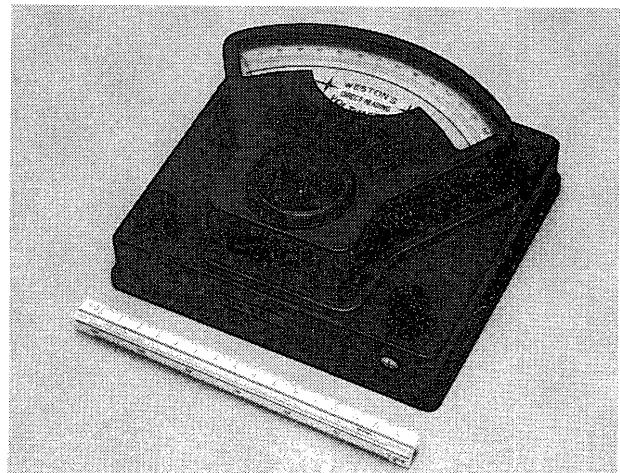


図 5 ウェストンの電気計器
長い指針・均一な磁束分布
かるいコイルとバネ

動部が回転する部分は、一様な磁界が求められる。(図 5)

ウェストンは、これらの問題を解決して精度 0.1%の精密標準用計器の計器まで開発し、そこにダイアゴナル目盛を採用した。1886年につくられた精密電気計器には、ポータブル計器(日本語で携帯用)と名付けた。要するに据え置き型ではなく、どこへでも持ち運べる計器であった。目盛板の裏に鏡(ミラー)を張りつけて、ミラー上の指針の影が隠れるように真上から見れば視差が生じない工夫もした。

ウェストンのポータブル計器は、当時アメリカの技術を信頼していないヨーロッパからも高い評価をうけた。ここに採用された技術は、現代でも電気計器の基本である。またウェストン社の精密計器は、1940年代まで我が国の大学や研究機関で貴重な測定器として使用されていた。日本の電気計器も、ウェストンになったものが主流となってきたと言えよう。

電気計器は長い指針の先で目盛をよむために、指針の先に重い副尺を取り付けられずバーニア目盛を使うことはできないとの指摘もあるが、これは必ずしもあたらない。むしろ 5.6 がダイアゴナル目盛を採用した理由と思われる。

電気計器でも、トーション・バランス(ねじり秤)と呼ばれる電流計には、補助尺としてバーニア目盛を持つものがある。この計器では、可動コイルに電流を流すと可動コイルが回転しようとするので、その回転を元に戻すようにバネをねじり、ねじった角度を円周上に刻まれた目盛とバーニアで読む。しかし、バネは完全に線型ではないから、正確な測定値を知るには校正表を使うことになる。また、筆者の知るかぎり、マイクロメータ目盛が指針で直接目盛を読みとる電気計器に使われた例はない。

5. ダイアゴナル目盛の円弧誤差と歴史的展開

ダイアゴナル目盛もある条件下では細分目盛に誤差の生ずることがある。それは等間隔の同心円が使われた場合である。つまり一番外側の

円弧と一番内側の円弧とはわずかながら長さが異なるので、これで囲まれた部分を方形と見なして直線の対角線をひくと、同心円弧との交点と隣の同様の点と中心を結ぶ角は、方形内の一番左側と右側とは異なり等しくない。

電気計器では「指針の振れ角度」から目盛を読むことになるので、この誤差が発生することになる。この誤差を避けるには幾つかの方法があるが、最も多く使われたのは同心円弧の間隔を不平等にして、外側ほど間隔を広くする方法である。ダイアゴナル目盛とその誤差の検討の歴史を見ていこう。

5.1 ダイアゴナル目盛のアストロラーベ (1483年現存)

最初にレビ・ベン・ゲルソンがダイアゴナル目盛を適用したのは、ヤコブスタッフの直線目盛である。ついでアストロラーベなどの角度の測定器具にも使用された。アストロラーベとは円形の万能観測器具で、航海用として太陽や星の高度の観測などに使われた。イスラム圏では 10 世紀、ヨーロッパでは 13 世紀頃から使われていた。現存するダイアゴナル目盛をもつ最古のアストロラーベは、フィレンツェに在する 1483 年のものである。

レビ・ベン・ゲルソンは、ダイアゴナル目盛の幅が半径の $1/6$ ものについて簡易な作図法と、厳密な作図を比較してその差は小さいとしている⁹⁾。17 世紀当時のダイアゴナル目盛を持つアストロラーベは、英国のオックスフォード科学史博物館などで数多く見ることができる。

(図 6, 図 7)

5.2 ティコ・ブラーエの壁面四分儀 (1580年頃)

ティコ・ブラーエは、ダイアゴナル目盛の再発見者といえよう。デンマークのベーン島に巨大なウラニボルグ天文台を建て、ここに、1580 年代にダイアゴナル目盛をもつ半径 2m の壁面四分儀を取りつけた。分解能は 20 秒であった。

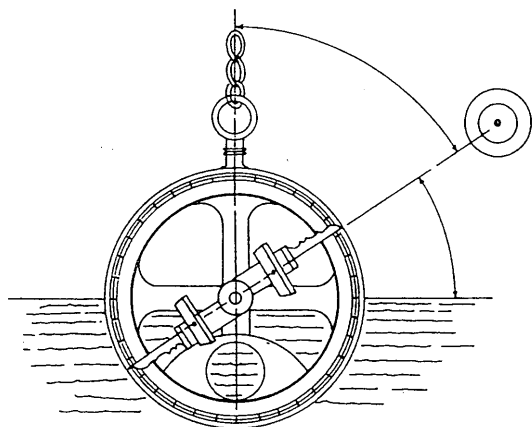
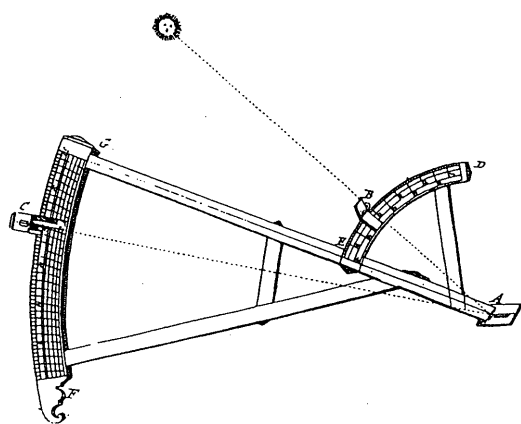
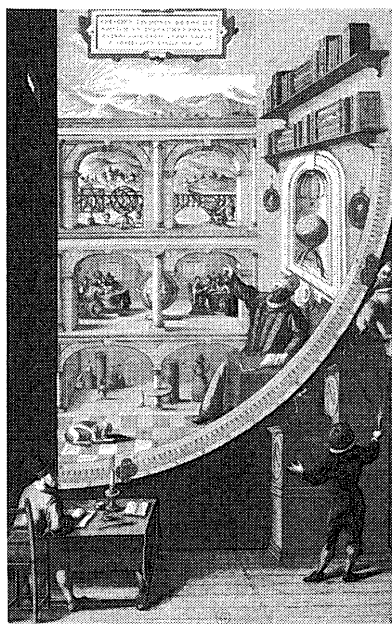


図6 アストロラーベ

図7 バックスタッフ
(ダイアゴナル目盛つき)図8 ティコ・ブラーエのウラニボルグ天文台
の壁面四分儀
1600年頃、半径2m、ダイアゴナル目盛

彼も円弧にともなうダイアゴナル目盛の誤差は無視できるよう、ダイアゴナル目盛の幅を四分儀径の $1/48$ 以下にしている⁽¹⁰⁾。(図8)

ところが、庇護者であった王フレデリック 2 世 (Frederick II, 1534-1588) が没すると、ティコはデンマークを追われ、彼は 1599 年にハンガリー・チェコ王のルドルフ II 世 (Rudolf II, 1552-1612) を頼ってプラハに移住する。このとき、ウラニボルグ天文台はその観測器具ともども徹底的に破壊されてしまい、使用された観測器具の構造も文献によってしか知ることができない。幸いにもプラハには当時の六分儀 2 台が現在でも残っている。この六分儀は半径 1m と小型で、ダイアゴナル目盛は 1 度が 12 等分され 5 分の目盛になっている。筆者はこの実物を見る機会があったが、同心円弧は等間隔である。円弧誤差は、ウラニボルグの壁面四分儀と同様に無視できるよう造られたと推定される。

5.3 伊能忠敬の象限儀 (1800 年)

日本でも天文や測量に使われた象限儀に、ダイアゴナル目盛が採用されている。千葉県佐原市の伊能忠敬記念館には、伊能忠敬 (1745-1818) の大日本沿海実測図や、測量に使用した器具が保存されている。そのなかの折衷尺と呼ばれる約 1 尺の直線儀、半径 16.7cm の半円方位盤、半径 135cm の中象限儀にダイアゴナル目盛が使われている。中象限儀では 10 分を 11 本の同心円弧により 10 分割しており、その交点は 1 分にあたる。(図 9)

伊能忠敬がダイアゴナル目盛の誤差まで認識していたかは、明確でない。彼の中象限儀の 11 本の同心円弧の間隔は、1900 年代の初めに大谷亮介が実測して不等間隔であることを確かめた⁽¹¹⁾。この作図法や不等間隔の必要性について伊能が言及した史料は、現在見当たらない。保柳睦美によれば、伊能の象限儀は清の南懷仁の『新製靈台儀象誌』(1674) から学んだものであるとされている。しかし、この書には説明的な図解があるだけで同心円弧の不等間隔の記述はない。

5.4 石黒信由の象限儀 (1819 年)

江戸後期の測量家であり、関流の和算家でもあった石黒信由(1760-1836)は、文政2年(1819)から測量を実施し、加越能三州(富山県・石川県)の郡図・国図・三州図を作成した。富山県新湊市博物館に、ダイアゴナル目盛を持つ象限儀が保存されている。半径約30cm、細かさは6分で、同心円弧の間隔は外側ほど広くなっていて、誤差を避けるように作られている。(図10)

幸いにも、石黒が目盛の製作法を記した天保9年(1838)の『象限儀蘭尺之法』が高樹文庫として残されているのを、見出した⁽¹²⁾。ちょうど和算の練習問題を解く過程のような書き方が図示されていて、11本の同心円弧の間隔を切幅として外側から内側へしだいに狭くなる値を計算している。(図11)

このような問題の解は、石黒が図形を和算の研究問題として自分で取り組んだ結果なのか、それとも外部からヒントを得たのかは、筆者の調査でも明らかにするにいたっていない。少なくとも、南懐仁(Ferdinand Verbist, 1623-1688, フランドル生)の『新製靈台儀象誌』には、図11のような計算図は見出せない。また、同時代の

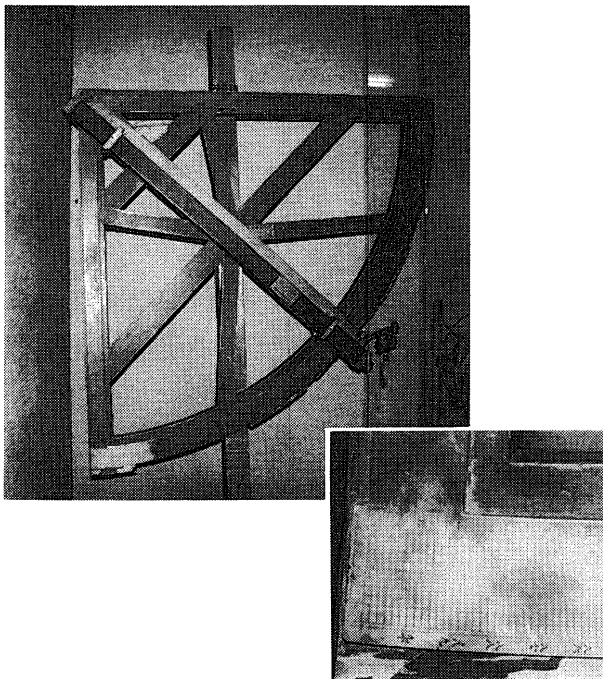


図9 伊能忠敬の中象限儀 (伊能忠敬記念館)

坂出の測量家、久米通賢の測量器具にはダイアゴナル目盛は見あたらない。

5.5 ウェストンの電気計器 (1892 年)

ダイアゴナル目盛を電気計器に適用したのは、ウェストンであったと思われる。筆者は、ウェストン・コレクション(米国ニュージャージー工科大学)で調査を行い、彼が1892年に申請した、電気計器のダイアゴナル目盛特許申請が残されていることを見つけた。

図12は、その1892年11月28日付けの米国特許庁の申請受付書 No.453363 である⁽¹³⁾。題名

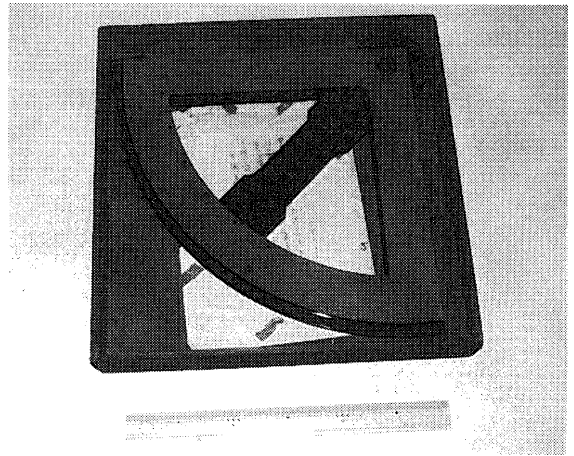


図10 石黒信由の象限儀 (富山県新湊市博物館蔵)

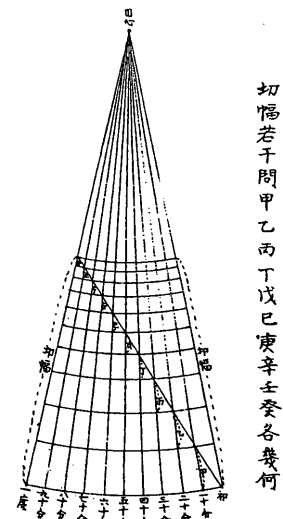


図11 石黒信由のダイアゴナル目盛の解法『象限儀蘭尺之法』 (富山県新湊市高樹文庫所蔵)

(C-020.)

Series of 1880
No. 53363

DEPARTMENT OF THE INTERIOR,
United States Patent Office,
Washington, D. C., Nov. 28, 1892

All communications respecting this application should give the serial number, date of filing, and title of invention.

SIR:

I have to acknowledge the receipt of the petition, specification, oath, and drawing of your alleged improvement in
Scales for Electrical Measuring Instruments
with Fifteen Dollars as the first fee payable thereon.
The papers are duly filed, and your application for a patent will be taken up for examination in its order.

You will be duly advised of the examination. File No. 66
Very respectfully, Paper No. 4

W. E. Simonds
Commissioner of Patents.

E. Neaton
Per Chas. Thompson
New York City.

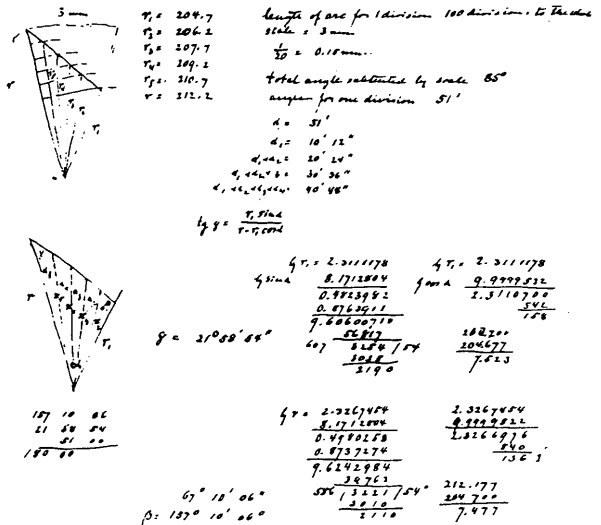
Note.—In order to maintain an application for a patent, the inventor is by law required to furnish his petition, specification, oath, and drawings (where the nature of the case admits of drawings) and to pay the required fee.
No application is considered as complete, nor can any official action be had thereon, until all its parts, so here specified, are furnished in due form by the inventor or applicant.

図12 ウェストンの電気計器
ダイアゴナル目盛特許申請受付書
(ニュージャージー工科大学
ウェストン・コレクション蔵)

は“Scales for Electrical Measuring Instruments”で、請求範囲には「測定器でポインターまたはインデックスとダイアゴナルラインをもつもの」とある。しかしこの特許申請は拒絶されている。拒絶には、ウェストンは抗告しなかったようである。筆者はこのコレクションの図書に、Jacob Leupold の *Theatrum Arithmetico Geometricum*, Leipzig, Christoph Bunsel, (1727) が所蔵されていることを見出した。この書は、一種の工業全書で第8巻にはダイアゴナル目盛や測量器具をも記載されており、ウェストンはこれから目盛の知識を得ていた可能性がある。

さらに、このコレクションには、ウェストンの設計メモが保存されており、筆者はその中にダイアゴナル目盛の設計計算を見出した。これを図13に示す。ハインリッヒ (R.O.Heinrich、ウェストンの部下と推定される) 1892年と署名・記入があり、同心円弧を等間隔として斜線で分割したときに生ずる誤差を計算している。円弧半径210mm、間隔各1.5mm、一目は85° / 100 = 51' を5等分して使うと、円弧による誤差は

Calculation of Radii for concentric circles of diagonal scale and of radii of circles the arcs of which would cut the diagonal in points giving 1 part of a scale division.



べて手書きであった。それが、次第に印刷あるいは機械書きになって来たと考えられる。しかし、精密計器になるにしたがって同一の印刷目盛では間に合わず、最後まで手書きが残った。

天体観測の四文儀や象限儀と違って、電気計器では測定量（電流）を一旦、回転角に変換してその角度から電流値を知る。つまり、電流・角度の変換特性が計器の性能に影響して、0.1%、0.2%などの高精度計器では、電流・角度変換のわずかな非直線特性が問題になる。この電流計の目盛を決めるプロセスを調べると、一台毎に実際に電流を流してまず 10 の主メモリを目盛板上にプロットして、次にその間を細分する手順である。この細分作業を手でおこなう限り、隣り合う主目盛の間隔にちがいがあっても、細分化ができるしダイアゴナル目盛を書くことができる。しかし、ラムスデンの自動目盛器(1775)などができてからはむしろそう行かなく、各目盛は平等でないと細分目盛もつけれないことになった。バーニア目盛でも同様である。

いい換えれば、電気計器の目盛の手書きは、非直線性をもつ目盛上でもダイアゴナル目盛を創ることができたし、直読目盛として器差をカバーすることが出来た⁽¹⁵⁾。これが同時に精密電気計器の付加価値を高めることになったと筆者は判断する。

6. まとめ

計量計測器の目盛は多様である。その当時の技術でそれなりの必然性を追求して目盛が出来上がったものであろう。伊能忠敬の折衷尺、円弧状のばねばかり(17世紀頃)、日時計など、計量計測器の目盛を幾つかの写真・図を紹介するにとどめるが、フラムステード(John FLamsteed, 1646-1719, 英)の四分儀のような、ダイアゴナル目盛りの手法で一目の間を 1/30 まで分割したものもある。(図 14, 15, 16)

ウエストンがダイアゴナル目盛を採用した精密電気計器(1892)は、一般の計量計測器がダイアゴナル目盛からバーニア目盛に移行した後も、約 100 年間にわたってダイアゴナル目盛を使いつづけた。筆者は今まで誰がダイアゴナル目盛を電気計器に採用し、なぜ長期間にわたって使われてきたかを追求してきた。

現代にいたるまで、少なくとも 500 年以上にわたって使われてきた副尺ダイアゴナル目盛は、応用されてきた計量計測器も天文・地測・計量器・電気計器などさまざまである。18 世紀末までには日本でも幾つかの象限儀に使われているが、円弧ダイアゴナル目盛と、誤差補正法や対策はどのようにして欧米・中国・日本のあいだに移転されたのか、モノによる伝達か、文書による伝達か、また経路はどうかなどの解明は今後に残されている^{(16), (17)}。

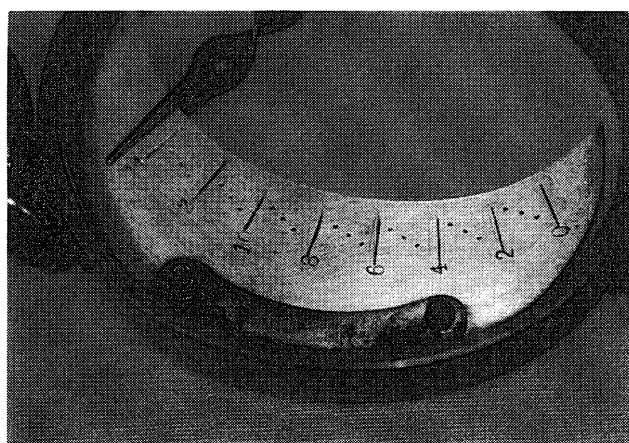
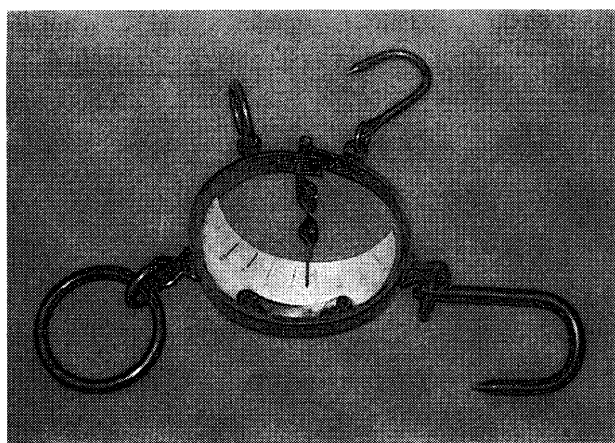


図 14 ばねばかりの目盛(17世紀頃)
(スミソニアン・アメリカ歴史博物館蔵)

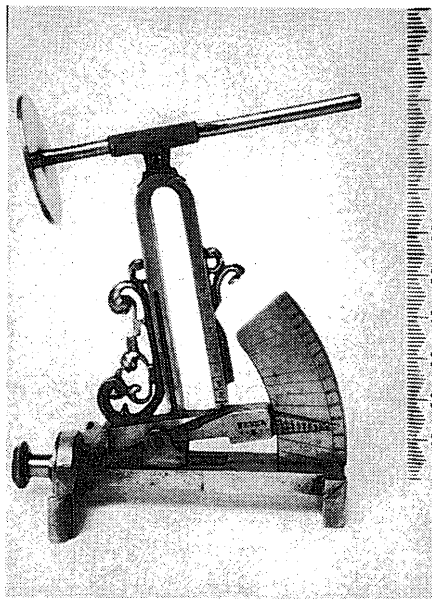


図15 ガンナーサイト(1621)
(オックスフォード科学史博物館蔵)

ダイアゴナル目盛は細分目盛として、構造が単純であり、また手作業で造りやすい。天文観測用の機器、19世紀に開発された指針型電気計器のほかにも、電気信号の発振器のダイヤルなどにも使用した例がある。

ダイアゴナルを、一種の副尺と考えると最近のデジタル計器やデジタル機器でも使われているアナログ・デジタル変換器の最小分解能を高めるのに、副尺に近い考えを利用した回路がある。最小の目盛間を補間して行く細密読み取りとしての考え方は、アナログ・デジタルを問わず永遠に続くものとも考えられる。それらの歴史を今後の研究としてまとめて行きたい。

文献と注

- (1) 松本栄寿「精密電気計器における細密読み取りの歴史」電気学会論文紙 A.Vol.117-A, No.7, pp740-748, (1997)
- (2) ノニユース目盛とティコ・ブラーエについては、Victor E. Thorn, The Lord of Uraniborg, Cambridge Univ. Press (1990), pp.75-77 によ

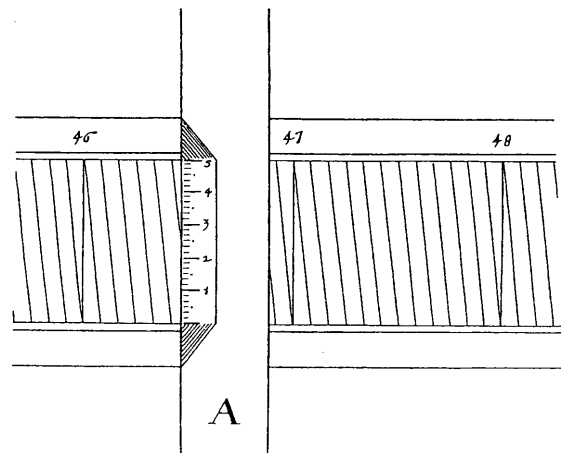


図16 フラムスティードの
壁面四分儀目盛の一部(1688)

る。ノニユース目盛を持つこの四分儀を使った観測データは、残されていない。

- (3) Bernard R. Goldstein, "Levi ben Gerson: On Instrumental Errors and Transversal Error", Journal for the History of Astronomy, Vol.8 (June 1977), pp.102-111, 特に 102 と 104。
- (4) ダイアゴナル目盛の変形については、R. T. Gunter: Science in Oxford, Vol.1 (1923), pp.82-84 を見よ。直線定規などに使われた例は、M. Bion, The Construction and Principal Uses of Mathematical Instruments, (1758), Chap.V, Plate 4, Holland Press, reprint (1972) にある。
- (5) 例えば、Allan Chapman, Dividing the Circle, Ellis Horwood, (1990), p.22
- (6) 日本語のノギスは、ノニユースからきた名前だと言われている。ドイツでは現在でも、バーニアのことをノニユースと呼んでいる。このように名称の語は国によってちがう。
- (7) 前掲、Chapman, p.41 参照
- (8) ウェストンの生涯と仕事については、David O. Woodbury, A Measure for Greatness - A short biography of Edward Weston,

- McGraw-Hill, New York,(1949)を見よ。電気計器については特に pp.146-191 および、Eiju Matsumoto, Edwad Weston Made His Mark on the History of Instrumentation, IEEE Instrumentation & Measurement Magazine pp. 46-50, (June 2003)。
- (9) 前掲、Goldstein に、ゲルソンの仕事について詳しい。pp.104-105 に、ダイアゴナルの目盛部分の幅が半径の $1/6$ のものについて、簡易的な作図法を示し、正確な作図との差は小さいとしている。
- (10) Tycho Brahe, Astronomie Instrumentae Mechanics, (1596)、ティコの観測機器の集大成である。彼がウラニボルグで 20 年にわたって観測したデータをもとに、ケプラーがその第一法則・第二法則を発見したと言われている。
- (11) 伊能に関する優れた研究書として、大谷亮吉:『伊能忠敬』、岩波書店、(1917)がある。その 355 頁に次のように書かれている。“但しここに注意すべきことは一尺の度器に於いては十一箇の平行直線を劃するに当りてその問題を一樣ならしむるをもって足りると雖も象限儀に於ける十一箇の同心円は劃円半径の差を一定の法則に従いて適当に定むるに非ざれば経線間に施せる対角斜線をして S1, S2, S3・・・, S9 の弧と夫々厳密に $1'$, $2'$, ・・・ $9'$ の角度の相当する点に於いて交叉せしむる能ざることなり。而してこの問題は当時十分に研究されたるものにしてその計算の方法を例示せる紙片伊能家に遺存せるのみならず実物につきて見るも同心円の半径差は最内円より順次に一分三二、一分三三、一分三四、一分三五、一分三六、一分三七、一分三八、一分三九、一分四〇、一分四一なる値を取り能くこの条件を満足する様の同心円を劃せり。”日本語の文献でダイアゴナル目盛の構造実測値をここまで明確に書いたもの見あたらない。
- (12) 石黒と伊能とは、ほぼ同年代に活躍した人物で交流があった可能性がある。石川県立歴史博物館、『科学技術の 19 世紀』(1993)、p.66 に“石黒信由の遺品に伊能忠敬の量程車 [車輪の回転によって距離が測定できるようにした器具] と同様な部品が残されており、両者の交流を物語るうえで注目されよう”とある。高樹文庫資料目録、p.30 によれば、石黒の遺品には幕府の秘図であった伊能の「大日本沿海実測図」も残されている。ダイアゴナル目盛の円弧誤差に関する様な問題が相互に伝わったのかどうかは、興味深い研究課題である。
- (13) File No.168 “Scale for Electric Measuring Instruments, Serial 453363”, (Nov.28, 1892)の特許庁受領書。
- (14) Laboratory Notes, Edward Weston と題したノートが 3 冊のこされている。その 1 冊に R. O. Heinrich 1892 とあり、pp.7, 8 にダイアゴナルの計算がある。
- (15) これらの事情は、水銀柱精密温度計の場合と似ている。トリチェリーの真空を使った水銀柱気圧計ならば高さを正確に目盛ればよいが、水銀温度計では、ガラス管の内径がどこも完全に均一ということはありません。精密水銀温度計の場合、氷点と沸点の間を等分して温度目盛にするのでは不十分で、一本一本中間の温度で校正しながら目盛を刻んでいる。
- (16) 宮崎小吉『測定器のルーツをたずねて』ミツトヨ博物館 (1995)
- (17) 電気計測とアナログ型電気計器の歴史については、和文では次がある。高木純一:『電気の歴史(計測を中心に)』、オーム社 (1966)。松本栄寿:「ガルバノメータの発展と応用から自動平衡計器への道をたどる—横河電機博物館のプロジェクトより」、電気技術史研究会資料、HEE-93-16, (1993) など。

History of the Diagonal Scale for Measuring Instruments

Eiju MATSUMOTO

Abstract

The Diagonal Scale has been employed for the precision reading of Electrical Measuring Instruments. Having searched for the source of precision readings in the measuring such as astrolabes, Tyco's quadrant or surveying instruments which employed nonious scales, diagonal scales and micrometer driven scales in Europe, the US and Japan from the fourteen century, the author found that Edward Weston in

the US employed diagonal scales for the precision electrical meters in the last half of the nineteenth century. Those precision electrical instruments with diagonal scale have been used widely in the world and were manufactured by 1980s in Japan.

The author studied the small errors caused by the scale configuration and how they were corrected. He also describes some examples of instruments which employed similar precision reading scales.

キーワード：技術移転、電気計器、象限儀、目盛、副尺、ダイアゴナル目盛、バーニア目盛