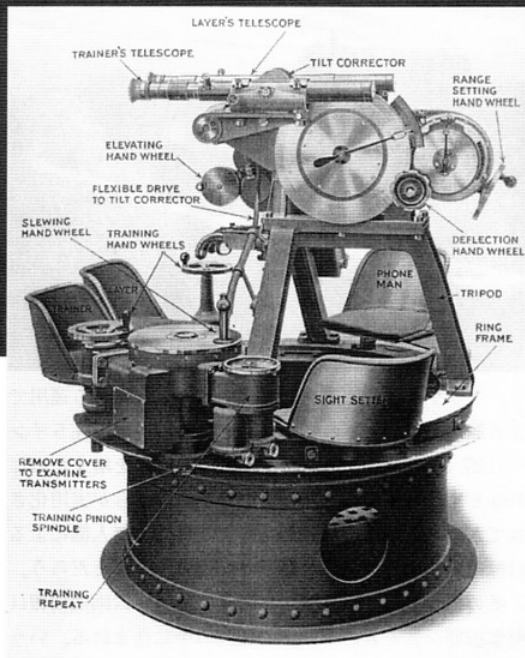


勘と経験 レーダー登場以前の射撃指揮法

FIRE CONTROL METHODS BEFORE APPEARANCE OF RADARS by Tomohiko Tada



多田 智彦 (防衛技術研究家)

英ヴィッカーズ社が開発した方位盤の解説図。1918年発行の“The Director Firing Handbook”に掲載されていたもので、1910年頃のモデルと思われる。(筆者提供)

巻き補強して砲身にするタイプであった。このようにして作った砲は、両端がオープンなので片方を砲口とし、他方に火薬（発射薬）を入れた薬室を取り付ける。砲身は丈夫な木材の架台に固定され、薬室の後には射撃時の反動を受けて砲尾を固定する木片が入れられた。砲弾は薬室側、すなわち砲尾から装填するため後装式と称された。

人類によってなされたいくつもの大発明の一つである火薬が現れたのは、中国・唐の時代（8～9世紀）であろうといわれている。この火薬の爆発エネルギーを利用して物体を投射する火砲は、13世紀末から14世紀初めにかけて出現した。これらはその後の改良発展により、手持ち可能な小型の銃および陸上に固定されたり車両によって移動させる大型の砲とに分化していった。

砲を搭載した帆走軍艦の出現

砲の艦船への搭載時期については諸説あるが、14世紀であろうというのが有力である。艦載砲に関する信頼できる記録が残っているのは15世紀後半以降のことだが、実際に使用されたもので現存しているのは1509～11年にイギリスのポーツマスで建造されたメリー・ローズ Mary Rose のものである。この500トンの帆走軍艦は1545年にポーツマス沖で沈没し、長らく忘れられていたが19世紀になって発見され、各種の搭載砲が引き揚げられた。

15～16世紀の砲には青銅製の鑄造砲もあったが、主流は樽を作るように錬鉄の角棒を丸く並べて筒状に組み立て、角棒の間を鉛で充填して、その外側からタガを

砲身 (Barrel) の語源となった樽型を改良したものが糸巻型と称されるもので、錬鉄性の短い糸巻型の筒をつなぎ合わせて砲身を構成する方法である。糸巻のつなぎ目には錬鉄性のタガをはめて固定するが、この方式でも薬室を砲尾に取り付け、砲弾を砲尾から装填するようになっていた。

一体構造で砲口から砲弾を装填する前装砲としては、青銅・黄銅製と鉄製があった。青銅・黄銅砲は鑄造で製造されていたが、鉄は技術が確立していなかったため鑄造は一般的ではなく、鍛造が主であった。つまり鍛冶職人が鉄板を叩いて筒状に加工するのである。したがって口径の大きな砲は製造できなかった。前記メリー・ローズから引き揚げた126門の砲のうち、錬鉄製組立砲および青銅製鑄造砲(15門)以外のは大半は、鍛造による小型の錬鉄製砲である。

ポイント・ブランク距離射撃

溶鉱炉の進歩により鉄製の砲が比較的容易に鑄造することができるようになったのは、16世紀の中頃からである。この結果、青銅・黄銅製と並んで鉄製の小口径(1インチ=25.4ミリ)から大口径(8.5インチ=216ミリ)まで各種の鑄造砲が帆走軍艦へ装備されることになる。

しかし注目すべきは、最大射程が1,000～2,000ヤード(1ヤードは0.91メートル)近くあった当時の大口徑砲でも、この距離を活かした射撃を行なっていなかったということである。自艦から目標までの距離を正確に測定する手段がなかったからで、至近距離の敵に対し、仰角を0度付近に設定して、動揺する船体がほぼ水平になった頃を見計らって射撃するのが一般的であった。砲身を海面に平行にして射撃を行ない、砲弾が海面に落下する距離をポイント・ブランク距離(Point Blank Range)と呼ぶが、当時の海戦ではこのような距離以下での射撃が当たり前であった。ポイント・ブランク距離は砲の種類や発射薬の量によるが、一般に200～300ヤードであった。

艦載砲の原始的照準方法

射撃を行なう場合、艦上で目標を照準する方法は極めて大雑把であった。照準器というものはまだ存在しなかったし、目標までの距離がポイント・ブランク距離以下であっても非常に近くなければ目標に砲弾が当たるということは偶然に近かった。

照準は射手の目を砲身の中心線に平行に、砲身の外側の仮想的な線を目標まで延長することによって行なっていた。この場合、砲口径は砲尾外径より細くなっているので、仮想的な線の傾斜を補正しなければならない。砲尾と砲口との肉厚の差を補正するために、砲口または砲身の中心部付近にディスパート・サイト(Dispart Sight)と呼ばれる割れ目を入れた固定部、すなわち照星を設ける必要性が認識されたのは比較的早い時期であったと思われる、17世紀の砲射撃に関する数件の文献に記載されている。しかしながら相手の顔が判別可能なほどの近距離での射撃では、ディスパート・サイトが一般的に使用されることは少なかった。

18世紀頃の砲照準に使用された唯一の方法は、砲尾環に刻まれたクォーター・サイト・スケール(Quarter Sight Scale)を利用することであった。これは砲尾環に水平の位置から2～3度の仰角までクォーター度、すなわち4分の1度(=25分)ごとに刻み目を入れて、この刻み目と砲口環上の一点とを結んで照準線を構成するのである。

照準線設定後、船の動揺にどのように対処するかということも大きな問題であった。当時の砲は一般的に砲身は舷側の砲門から突き出ており、船体がロール(横動揺)すると砲身は上下する。砲身がほぼ水平(海面にほぼ平行)になったことを見計らって発射しても、特に火縄式着火の場合には作

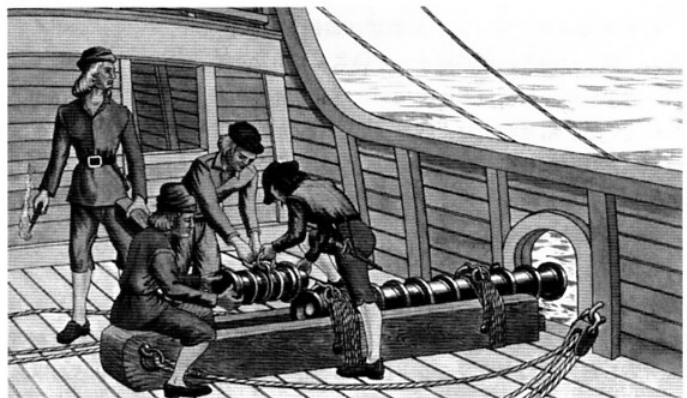
動遅れから砲弾は目標より高く飛び上がったたり、または海面に突入することが多い。砲身が下から上へ上がる場合(アップ・ロール)と上から下へ下がる場合(ダウン・ロール)のどちらの瞬間を捉えて射撃するかという問題は、18世紀初頭から議論があったらしい。アップ・ロール射撃はヤードや索具など帆装を破壊するフランス海軍の戦術に好都合であり、ダウン・ロール射撃は英海軍の船体破壊戦術に適していたといわれている。

艦載砲や砲術をリードしていた英海軍で、砲尾環の刻み目や照準器のことが真面目に考えられ、その結果、正確な照準線を構成して砲に必要な俯仰角を与えるためにさまざまな道具が考案されるようになったのは、フランスとの戦争(ナポレオン戦争)が終結(1815年)してからであった。19世紀初頭、英海軍ではネルソン海将に照準器の使用が提案されたが、反応は好意的でなく、「われわれの船はいつものように敵に十分接近するので、目標を撃ち損じることはありえない」というような返事であったという。ネルソンといえども何らかの道具を使用して射撃命中率を上げるとか、射距離を延伸するというようなことは考えなかったらしい。

1805年10月21日、スペイン南部のトラファルガー岬沖でネルソン指揮下のイギリス艦隊とフランス・スペイン連合艦隊が激突した。両艦隊が接近し、フランス・スペイン連合艦隊は1,000ヤード以上の距離から発砲したが、当然、命中弾はなかった。一方イギリス艦隊は敵から浴びせられる砲弾の中を接近し、ネルソンの近距離射撃という戦術どおり確実に命中弾を得て、大勝利をおさめることになる。

射撃の道具・タンジェント照準器の活用

砲の照準線の設定、つまり砲の方位角と俯仰角を設定するための各種道具の必要性が認識され、陸上砲での射撃に使用されていて、おそらく19世紀初頭に艦載



糸巻型砲の装填状況。(The Wooden Fighting Ship in the Royal Navy, 筆者提供)



19世紀初頭の艦砲発射シーン。砲尾環にはタンジェント照準器が描かれている。(Guns at Sea)

砲にも活用され始めたと思像されるタンジェント照準器 (Tangent Sight) は、艦船における砲射撃のための初めての道具、つまり射撃指揮装置のルーツであるといえるのではないだろうか。

タンジェント照準器は砲尾環に取り付けて高さを変えることのできる金属柱である。金属柱の頂部 (照門に相当) を砲口環または砲身長手方向のほぼ中央部 (耳軸近辺) に取り付けたディスパート・サイト (照星に相当) とによって照準線を構成するが、高さを加減することによって砲の俯仰角 (すなわち射角) を変化させるようにした。つまり、所定の高さの金属柱の頂部 (照門) から目標が照準できるように砲の俯仰角を設定するのである。

ある種類のタンジェント照準器は黄銅製の六角柱で、その一面には角度目盛が刻まれている。残りの五面には各々異なった発射薬量と砲弾種類に応じた距離目盛が刻まれている。射撃時には、該当する面 (発射薬量と砲弾種類) の射距離目盛と第一面の角度目盛とを対応させて、射撃に必要な距離から角度、すなわち砲身設定に必要な俯仰角度を読みとるのである。

このタンジェント照準器では仰角5度までが対応可能であったが、それ以上の仰角が必要となるときには、木製のタンジェント目盛尺を使用して10度や12度の仰角に対応した。木製タンジェント照準器は砲架のステップに垂直になるように取り付け、船体の傾斜を示す振り子とともに使用された。また今日でいうライフ・スコ

プのような照準器も発明され1830年代に使用されたが、前装砲は再装填のため砲架を前後に移動するたびに設定が狂うことが多かったので、間もなく使用されなくなった。

目標距離の測定

タンジェント照準器を使用することによって、海面に対してほぼ水平の位置に設定していた砲身の角度を上げて射撃するようになったということは、射距離の延伸という点では大いなる前進だが、それを有効利用するためには射撃前に目標距離を把握しておかなければならない。当時の目標距離測定は、自艦上から六分儀で目標艦のマストまたはその他の部分で高さの分かっている個所を見込む角度 (仰角) を測定する、自艦の艦首と艦尾から目標を見込む角度 (旋回角) を測定する、または自艦のマスト上から目標を見込む角度 (俯角) を測定するなど、三角法で距離を計算して求める方法がとられた。

特に最初の方法では目標艦の各部寸法を知っておく必要があるが、英海軍では仮装敵国フランスの各種艦船の寸法詳細を入手していたようだ。19世紀半ば頃の120門搭載のフランス戦列艦について、3本の帆柱各部のほか、砲門など低い位置にある部分も含めて合計28カ所もの海面上の高さを英海軍が把握していたことが記録されている。この三角法を利用するという目標距離測定方法は、19世紀末に現れる目標距離測定専用装置である測距儀 (Range Finder) の開発につながるのである。

このように射撃のための道具を利用するようになった結果、19世紀半ばにはポイント・ブランク距離より長い距離での射撃が可能になったはずであるが、トラファルガー海戦 (1805年) 以降は大きな海戦がなかったため、実戦での射距離記録が残っていない。一説によると英海軍では1,200ヤード以上で射撃することが推奨されてきたが、船体動揺や発砲時の煙の影響で、有効射距離はせいぜい700ヤード程度ではなかったかと想像される。

施条砲の出現と照準器の改良

16世紀中頃に、鉄による一体铸造砲が比較的容易に製造可能となってから19世紀中頃までの約300年の間、砲の基本的な構造にはほとんど変化が見られず、球形の砲弾を滑腔砲身の砲口から装填する前装式のままであった。また、これらの砲を搭載する水上戦闘艦も木造で風力推進に頼っており、基本的な変化はなかった。

しかし、産業革命が船体への鉄の使用を促し、蒸気推進を可能にした。風力に加えて補助的な蒸気推進が大型の軍艦に採用されたのは1830年代に入ってからであり、1860年代に鋼鉄装甲を施した船体が建造され、球形砲弾と同様に円錐形砲弾を発射できる施条砲を搭載す

るようになった。砲弾装填も一時期は前装・後装両方式が混在したが、機械技術的な問題が解決されて後装方式が確立するのは時代の流れであった。1860年に進水した英海軍初の鍊鉄装甲戦闘艦ウォーリア Warrior(9,210トン)は、3本マストの風力推進(10ノット)と蒸気推進(14ノット)を併用し、68ポンド前装滑腔砲26門、110ポンド後装施条砲10門、70ポンド後装施条砲4門という滑腔砲・施条砲の混載であった。

施条砲の出現で発射された砲弾の軌跡が安定したことによって、正確な照準器が求められることになった。各種の照準器が考案され改善が施された結果、19世紀末に一般的に使用されるようになったのはHスピード・サイト(H Speed Sight)と呼ばれる機種であった。この照準器は砲身の前方(耳軸環または砲口環)に固定するフロント・サイト(照星)と砲尾環に取り付ける高さの調整が可能なりア・サイト(照門)から構成されており、形状がHという文字に似ているリア・サイトからフロント・サイトを通して目標を見ることによって照準線が設定された。Hスピード・サイトでは自艦の速力や風の方向、砲弾初速度の変化などの影響もある程度考慮できるようになっており、船体が動揺して目標が照準器の視野内へ入ってきたときに射撃の瞬間を判断した。

方位盤の誕生

19世紀後半に照準器の考案や改良がなされていた頃とほぼ同時期に、現在では射撃指揮装置にとってなくてはならない構成部品である方位盤(Director)が英海軍で誕生している。

砲身に取り付ける照準器の改良によって正確な射撃ができるようになり、射距離も延伸してきたが、複数門搭載されている各砲の照準や発射はまったく独立であり、艦としての統一性はなかった。また船体の比較的低い位置に設置されていた砲から目標を照準するのは、荒天時の波しぶきや砲煙に妨げられる場合は困難であった。

そこで砲の照準器とは別途に、専用の旋回俯仰架台に取り付けられた望遠鏡式照準器、すなわち方位盤で目標を照準し、得られた旋回角・俯仰角を砲の管制に使用する、というアイデアである。

方位盤は戦艦の司令塔やマストの高所などに設置されたことがあったが、機器の信頼性や信号伝送の問題などで評判は芳しくなく、射撃指揮装置の構成部品としての地位を確立するのは、諸問題が解決される20世紀に入ってからであった。

方位盤が信頼を得るようになる前の19世紀末から20世紀初頭にかけては、相変わらず砲側での目標照準が継続されることになるが、中口径以下の砲では旋回俯仰機構に改良が施された結果、船体の動揺があっても砲

手のハンドル操作で連続的に目標照準が可能になり、射撃チャンスはふえている。

測距儀の登場

命中するよう砲を所定の俯仰角に設定するのに必要な精度は、水上目標を中心とする命中界(Danger Space)と呼ばれる長さに依存している。命中界とは、発射した砲弾が大きさを持った目標への命中が可能(破壊可能)な最大距離と最小距離との差として定義されている。

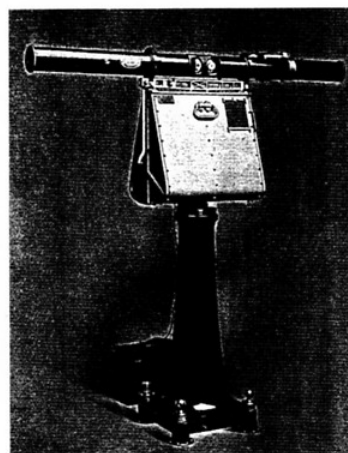
近距離射撃では砲弾の軌跡はほぼ水平であり、目標艦の吃水線以上の部分は比較的大きな垂直目標として見られるため命中界は大きく、吃水線を照準した砲はたとえ目標距離が数100ヤード狂ってかなり大きめの仰角をとっても、舷側や上部構造物に命中することが可能であった。

一方遠距離射撃では砲弾は高角度で落下するが、目標は水平な甲板であり、命中界は当時の戦艦の上甲板幅を考慮しても30ヤードより大きくなることはなかった。

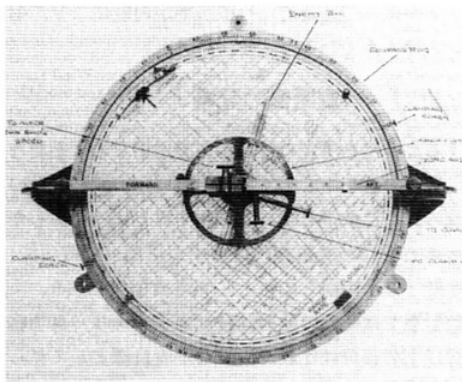
したがって近距離目標射撃では、距離推定に誤差があっても命中界が長い(広い)ため十分な命中弾を得ることが可能であったが、遠距離目標射撃では命中界が短い(狭い)ため命中弾を得るには十分な精度で砲仰角を設定する必要があり、そのための距離測定は極めて重要であった。

遠距離射撃で目標距離測定が重要であることを認識した英海軍は、19世紀末に距離測定装置の開発を民間企業に依頼している。提案された4種類の器材による競争試験の結果、バー・アンド・ストラウド(Barr and Stroud)社の基線長4.5フィート測距儀が選定された。

この測距儀は左右に4.5フィート(1.37メートル)離れた対物鏡を通して目標を照準し、その2本の照準線と基線とによって構成される三角形から目標距離を求めるのである。左右の対物鏡を通して得られる目標映像

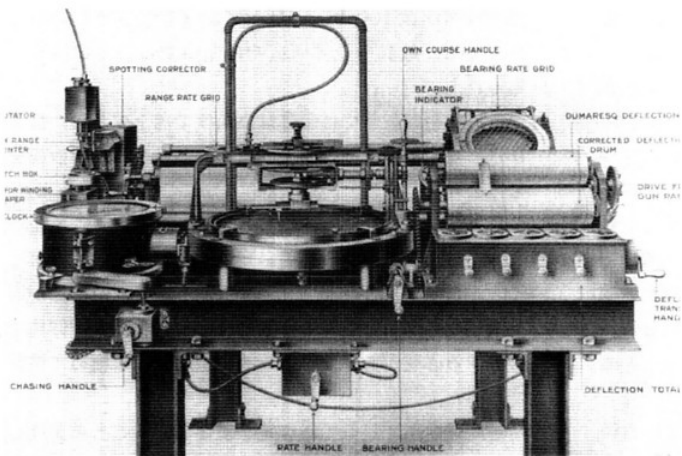


英バー・アンド・ストラウド社が開発した4.5フィート測距儀。(筆者提供)



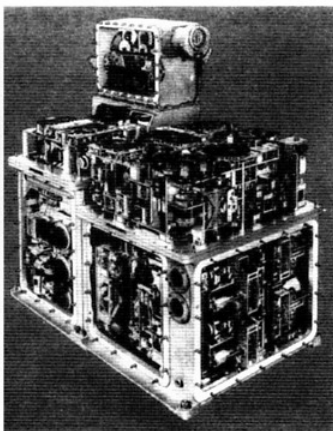
〈左〉英海軍のドゥマリック大尉が考案した距離変化率の計算尺。(Manual of Gunnery for Her Majesty's Fleet, 筆者提供)

〈下〉英戦艦ドレッドノート Dreadnought に搭載された機械式距離計算機ファイア・コントロール・テーブル Mk 1。(Handbook of Captain F. C. Dreyer's Fire Control Tables, 筆者提供)



(分像) が右目接眼部視野内で合致するよう光学系を手動操作し、左目接眼部視野内の目盛から距離を読みとった。距離目盛は 250 ヤードから 20,000 ヤードまで刻まれていたが、測距の保証は 4,000 ヤードまでで、英海軍の精度要求は 3,000 ヤードで 3 パーセントであった。

ちなみに日本海海戦 (1905 年) で活躍した戦艦三笠



米 Mk37 方位盤用機械式コンピューター Mk 1 の外観 (左) と内部。(Computer Mark 1 and Mods, description and operation, 筆者提供)

ほか主力艦にはパー・アンド・ストラウド測距儀が装備されていたが、当時の世界最新鋭艦でも方位盤はまだ搭載されていなかった。

連続距離計算機の出現

新しく開発された測距儀は主力艦の艦橋や司令塔など見晴らしのよい場所に設置され、射撃に必要な目標距離を測定するのに活用された。測定された距離は、伝声管や電気的な距離通報器を通じて砲側に伝送されることになった。しかし固定目標の場合は問題ないが、移動目標では測定時点と射撃する時点との時間差が問題となる。19 世紀末から 20 世紀初頭にかけて軍艦の最大速度が増大し、15 ノットを超えて 20 ノット近い艦も現れた。もし自艦と目標艦とがそれぞれ約 20 ノット (約 10 ヤード/秒) で接近するとすれば、お互いの距離は 1 秒間に約 20 ヤード近づくことになり、上記の時間差がたとえば 5 秒の場合は射撃距離は 100 ヤードもずれることになる。

この問題を解決するためにレンジ・クロック (Range Clock) と称する連続距離計算機が 1900 年代初めにイギリスのヴィッカーズ社で開発された。この機械装

置は、距離目盛を刻んだダイヤルを指示する指示針を駆動する時計のような機構で構成されていた。指示針がスタートの距離値に設定され、時計機構が距離変化の割合 (距離変化率) に対応する速度で動くように調定された後、クロックはスタートから刻々変化する距離を指示するので、この値を読みとるのである。ダイヤルで最初に

設定する距離指示針の値 (スタートの距離値) は、測距儀による距離測定で求められた。また調定する距離変化率の値は、簡便法では単に測距儀で計測した異なる 2 点の距離の差を、ストップウォッチで計測した時間によって紙上で割算して求めた。しかしこの方法は、自艦と目標艦とがほぼ同一直線上を移動している場合にしか適用できなかったため、一般的にはドゥマリック (Dumaresq) と称する計算尺を使用して求めた。これは英海軍のドゥマリック大尉が考案したもので、自艦 (射撃艦) で既知の値である自艦針路および自艦速度、さらに推定値である目標針路および目標速度を調定すると、距離変化率を目盛尺上で読み

とることができた。

この方法ではドゥマリックに測定する目標艦の速力や針路を推定しなければならず、その結果を利用してレンジ・クロックから得られる刻々の距離値は必ずしも正確とはいえなかったが、連続的な距離が得られるようになったということは、大きな進歩であったといえる。

本格的な射撃指揮装置

距離測定装置としての地位を確立した測距儀は、基線長を長くして測距離延伸・測距精度向上を図り、従来の分像合致式のほかに立体視式も登場して視認性・操作性の改良が施されている。

主として水上目標の方位角を測定する方位盤の活用は19世紀後半に一時後退したが、試行錯誤を繰り返し20世紀に入って有効性が見直され、改良が施されて機械的電気的問題が解決し、英海軍では装備化が進められた。

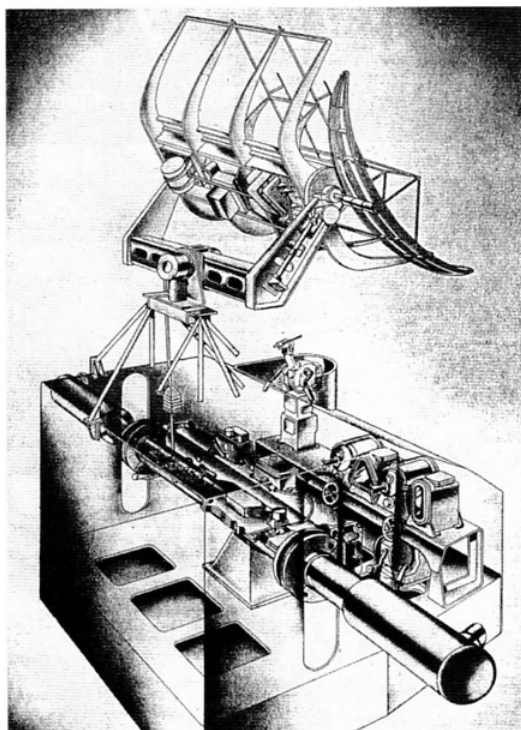
レンジ・クロックに始まる機械式の距離計算機は、イギリスの民間発明家ポーレン (Pollen) による後押しや海軍士官ドライヤー (Dreyer) の努力もあり、第1次大戦開戦 (1914年) 頃にはファイア・コントロール・テーブル (Fire Control Table) という形で高度な装置ができ上がり、時間経過に対応する自艦と目標艦との相対位置関係が用紙上に連続的にプロットされるようになっていた。この装置は Mk 1 が12インチ (305ミリ) 連装砲5基 (10門) 搭載の戦艦ドレッドノート Dreadnought に装備されたほか、次々と改良されて Mk 5 までが英海軍の主力戦艦や巡洋艦を中心に装備された。

同じ頃アメリカでは、フォード (Ford) がレンジ・キーパー (Range Keeper) と呼ばれる類似の装置を開発し、初号機 Mk 1 が1917年に14インチ (356ミリ) 連装砲5基 (10門) 搭載の戦艦テキサス Texas BB-35 に装備されている。

このような距離を連続的に求める機械式コンピューターに砲固有の弾道計算を行なう機構が加えられ、さらに砲弾の弾着 (水柱) を観測した結果から目標速力および目標針路を修正して正しい値を求めるレート・コントロール (Rate Control) と称する方式が開発されて本格的な射撃指揮装置として完成することになる。

以上のように開発されてきた装置は水上目標対処が中心であったが、第1次大戦 (1914～18年) 後から艦船に対する脅威となり始めた航空機への対処、つまり対空用射撃指揮装置の必要性が高くなってきた。速力の速い航空機の位置 (旋回角および俯仰角) を求めるには、目標を手動追尾する方位盤は必須の機器となった。

1930年前後から米海軍では対空砲を管制するのに、性能向上した方位盤およびコンピューターを中心として



米 Mk37 方位盤の構造。図は後期のもので、上部にレーダー・アンテナが描かれている。(Naval Ordnance and Gunnery, 筆者提供)

測距儀やジャイロ・コンパスなどと接続してシステム化を図っている。測距儀やコンピューターを方位盤と機械的に統合した装置も現れた。また艦船に砲を搭載して以来の厄介な問題であった船体動揺は、垂直ジャイロを使用した動揺修正装置 (Stable Vertical) により解決された。

この後、射撃指揮装置の構成品である方位盤、コンピューター、測距儀などはそれぞれ改良を施されて高度化していくが、第2次大戦開戦頃の米海軍では、乗員7名が操作する測距儀付きの巨大な方位盤 Mk37 および精巧な機械式コンピューター Mk 1 という組合せで極致に達した。また大戦中には、近距離まで接近する日本軍航空機に対処する小口径砲を管制する必要性から、方位盤内にレート・ジャイロを取り付け、目標を追尾することによって発生するジャイロのプリセッションを利用する簡便な方式も考案された。

第2次大戦開戦前後に新しい測距装置としてのレーダーが出現し、戦後にデジタル・コンピューターが導入されても、また砲のほかに新しくミサイルのような武器を管制するようになって、目標諸元 (現在位置・速力) の計測、風や気温など環境条件を考慮した弾道計算、船体動揺修正などを行なうという射撃指揮の基本的なコンセプトは変わることなく引き継がれている。