

大口徑砲射撃指揮システムの歩み

高須 廣一 (元海将補)



FIRE CONTROL SYSTEMS FOR THE BIG GUNS

by Koichi Takasu

カノン型式の大口徑砲は装甲艦の装甲を打ち抜くため出現し発達してきたが、これは中小口径砲に比べて破壊力が大きいだけでなく、より遠方の敵に及ぼすことができた。この能力を引き出し、敵よりも先に命中弾を得るために1890年代から照準測距器材に続いて発砲諸元を計算する装置の開発が始まり、これが1912年頃に射撃指揮システムとして機能するようになった。

システムといっても、今日のシステム工学の概念に基づくものではなく、その間に多くの人間が介在し、その判断によって操作される装置群である。それは用兵と技術が吻合した所産であって、その歩みについて19世紀末に始まった砲術革命の前後から述べよう。説明の都合で一部中口径砲用のシステムに触れるが、断りのない限り大口徑砲用である。

砲術革命の始まり

1889年に無煙火薬が発明され、砲口煙が薄くなって砲

カットは艦尾右舷方向から見た米戦艦ミズーリMissouriの上構。煙突直後の塔型構造物が40.6センチ砲用のMk13射撃指揮装置である。(井上 孝司)

弾の飛んで行く姿が認められるようになった。これによって弾着観測が容易になり、前弾の状況から次弾の発砲諸元を修正し、その積み重ねによって命中弾を得る道が開かれ、砲術革命ないし砲術ルネサンスが始まった。

比較のためそれ以前の状況を眺めると、発砲時のもうもうたる煙は敵の姿をささげり砲側では次弾の照準を最初からやり直さなければならなかった。

命中が得られるのは水平弾道に入ってから近距離だが、近距離だからといって当たるとは限らなかった。砲の照準発射は艦の動揺中に照準器が目標に合うのを待って行なわれた。水平射撃ならこれで当たりそうだが、その瞬間に引き金を引くのは容易でない。射手は反射神経と極度の集中力を高めることで克服するしかなかった。

したがって砲撃よりも衝角突撃が現実視され、砲は衝角に従属するという考えの下に戦術が立てられた。

なお砲側以外に砲煙にあまり妨害されない高所から照準する方法も行なわれた。いわゆる方位盤射撃である。この方位盤は照星と照門からなる肉眼照準器を方位を示す角度板に取り付けた装置で、艦橋などに据えられた。これを日本海軍でも明治10年代に装備している。

方位盤と砲に占位差があり、砲を方位盤の旋回角から

いくぶん偏向させない目標点に向かないことはすでに知られていた。また的針的速（目標の針路速度）や風力によってさらに旋回角を加減する必要も認識され、照準器には苗頭尺が付いていた。苗頭とは本来の旋回角に対する修正量で、考慮すべき対象はその後ふえている。

要するに1890年当時においても射手の照準発射は14世紀に艦砲が出現した頃と変わらず、衝角に至っては紀元前5世紀のサラミス海戦さながらであり、また砲戦開始距離はネルソン時代と大差ない1,000メートル程度だった。

さて無煙火薬の導入によって遠距離射撃に対する大きな障害が除かれた。弾着観測が容易になると列強海軍の熱心な砲術家の間で砲戦距離を伸ばそうとして近代的射撃指揮法の研究が始まり、十数年の間に有効砲戦距離は3,000メートル以上に伸びた。

これが実現したのは、ひとつには1890年代に照準望遠鏡や測距儀のような光学兵器が装備化されたことが挙げられよう。もっとも測距儀は初めのうちは射撃開始距離を求める程度にしか使用されなかった。

測距にはそれまでは主として六分儀が使用されていたが、1892年に英海軍はパー・ストラウド式測距儀を採用した。これは基線長1.37メートルの正分像上下合致式でたちまち各国海軍に普及した。ちなみに日本海軍は英海軍に続いてこれを購入し、武式測距儀と称した。

肉眼照準器は照準望遠鏡に変わったが、射手は昔ながらの照準法で、経験の積み重ねで技量の向上を図るだけであった。のちに砲術の父と呼ばれた英海軍のスコット大佐はこの状況を見て命中率向上のため各種の訓練器材を考案し、射手の技量は格段に上がった。

スコットは砲員を1人ふやして照尺手を新設し、これに遠近左右を修正させ、射手は照準鏡による照準に専念しうように分業化したが、さらに射手の古典的な照準法に代えて保続照準(Continuous Aim)法を創始し、近距離射撃の命中率を極めて高いものにした。

保続照準では、射手は甲板面の動揺にかかわらず絶えず俯仰手輪を回して照準望遠鏡内に目標を捕え続けて発射する。だがこの方法で成功したのは中口径速射砲であった。大口徑砲では俯仰機の制御機構の追従性が悪く、それが改善されたのは1907年以降で、大口徑砲の保続照準は1910年頃から広く行なわれるようになった。

砲術用計算器の導入

近距離射撃が確実に実施されるようになると、遠距離でも可能にするための指揮兵器の研究が始まった。この面で一步先んじたのは英海軍で、その実現に数学的アプローチが試みられた。

砲術で敵味方の距離の変化の割合を変距あるいは変距

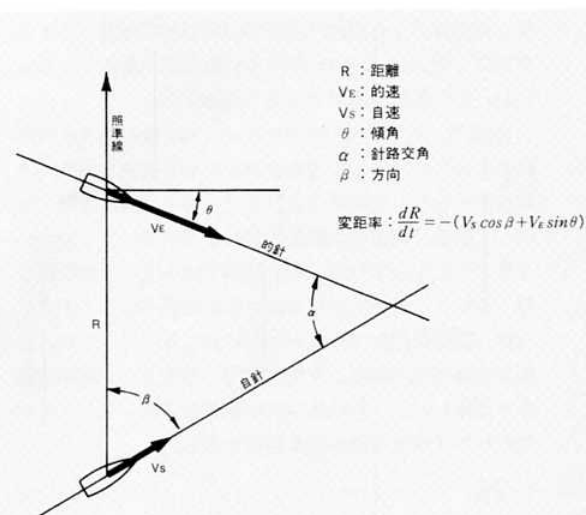
率というが、このような概念は以前からあり、砲塔士官たちはそれを考慮に入れて射撃を行っていた。しかし軍艦が速くなり砲戦距離が増大すると、目分量では処理しきれなくなって科学的な処理が必要になった。

それはまず第1図のように自艦と目標がそれぞれ直線運動を行っていると仮定することから始まった。図の方向角 β とは照準線の自針からの角度、傾角 θ は照準線の直角方向から測った的針の角度である。これを傾角(Inclination)というのはやや違和感があるが、水平面でこちら側または向う側に傾くという意味である。現在では θ を照準線から直接測って方位角と呼んでいる。針路交角 α は単なる作図上の双方の針路の交点での角を示し、この点で実際にぶつかり合うという意味ではない。変距率は図では省略したが、自速と的速のベクトルを照準線上に投影した成分の合計である。

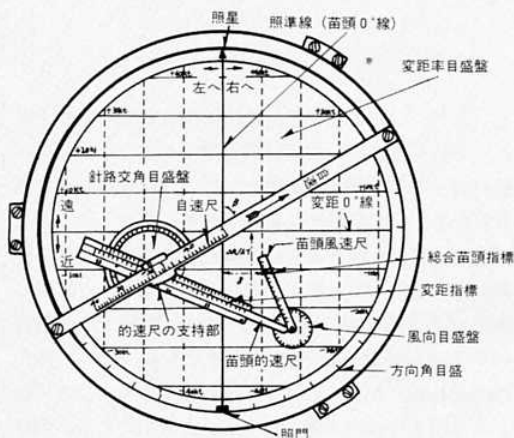
測距儀での測距を基に相対運動の変化を求めようとして最初に実用化されたのが変距率盤である。これは1902年に英海軍で考案され、発明者の名を取ってドゥーマリク(Dumaresq, 日本ではしばしばドマレスク)と命名されたが、1908年に日本に伝わり、変距率盤が正式名になった。ドゥーマリク上で対勢を作図するには θ をそのまま使用せず、第1図の針路交角 α の点まで自艦と目標を移動させて行なう。この場合に距離と自針自速は既知の量だが、的針的速は射撃指揮官や砲塔士官が艦影を眺めて長年の経験から推定値を入れた。的針を求めるのは、ちょうど本誌の斜め方向からの軍艦写真を見て何度か方向から写したか推定するのと変わらない。

第2図は日本海軍の大正時代の変距率盤で、目盛盤上で自速尺を β だけ回し、これに沿っての速尺を自速の目盛までスライドさせたのち針路交角目盛盤の α だけ回すと中央の照準線上で変距率が得られる。

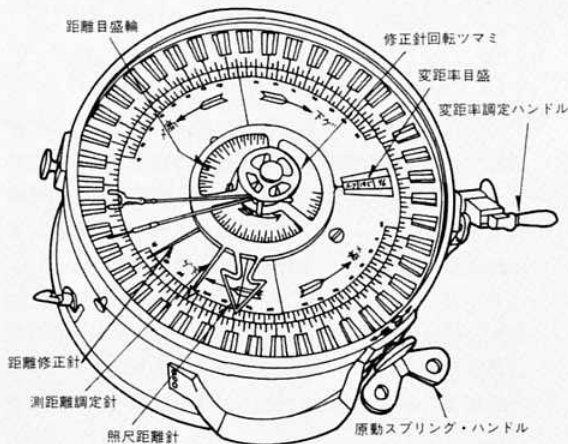
ドゥーマリクでは、また変角率すなわち方向角が時々刻々に変化していく割合も求められた。これが苗頭のう



第1図 対勢図の概念



第2図 変距率盤



第3図 距離時計

ち変化が一番激しい部分で、苗頭の速尺がその計出に使用される。図では風力を加味した苗頭 δ が得られるようになっているが、ドゥーマリクに風力修正が最初からあったか否か不明である。

ドイツでは、1908年にドゥーマリクと同じ考え方で独自の設計による変距率盤を採用したが、これは変距率を求めるだけで、変角率の計算が追加されたのは1913年であった。

ドゥーマリクに続いて、これから得た変距率に測距儀からの測距量を合わせて時々刻々の距離を示す距離時計が開発された。これには柱時計と同様なゼンマイが内蔵されており、測距針と照尺針が変距率の速さで、発砲の有無にかかわらず回転を続ける。前弾の弾着点の状況から距離修正針を動かして、これに照尺針を合わせれば次弾発射に砲身を何メートル分上下すればよいか分かる。

第3図は大正時代に日本海軍が使用した装置で、周囲の回転する目盛輪の距離は13,200メートルから17,400メートルになっている。開発当時の距離時計の目盛はこのような遠距離ではなかった。

英海軍ではこれを1905~06年に各艦に順次装備し、これと測距儀、ドゥーマリクなどと電気的な距離苗頭発信器や電話器のような通信装置で一応の射撃指揮システムを構成した。これはまた1907年に米海軍が輸入して装備化し、その後日本海軍その他も追随した。

1906年、イギリスの発明家ポレンは、敵の動きを巻取紙の上にプロットして発砲諸元を求める装置を英海軍本部に提示した。巻取紙は自針と逆方向に自速に正確に比例して動き、測距儀の距離的針を連続的にプロットしようようになっていた。海上試験では3度以上の精度が得られなかったためポレンはさらに改善を図ることにしたが、砲術科のドライバー大尉はむしろプロットから変距率を直接読み取れる方が実際的であるとして距離曲線盤を提案した。これは巻取紙に距離をプロットし、その傾斜から変距率を読み取る装置である。

海軍本部は双方の設計を競争させることにした。ポレンはジャイロ制御方式を導入し、盤上の操作は自速の設定以外をすべて自動化し、またドライバーは半手動で時々刻々の距離方位をプロットして変距変角率を改調していく方式の実現に努めた。この競争は1913年にドライバー盤が英海軍に採用されて終わりを告げた。この時採用されたのが第4図に示す装置である。

図からは見られないが左上の方位プロット盤の向う側に総合苗頭計算盤があり、風力、定偏（砲弾の回転による偏向）、観測量などを手輪を回して調定するとこれらが歯車機構によって代数的に加算され、その量が苗頭発信器を通して砲塔に伝えられる。

英海軍ではこれを射撃指揮盤 (Fire Control Table) と称したが、日本海軍では射撃盤、また米海軍ではレンジキーパー (Rangekeeper) と呼んだ。その後それぞれ独自に改善を施している。

方位盤射撃の再導入

光学兵器の導入によって、方位盤には垂直面と水平面それぞれ運動する俯仰望遠鏡と旋回望遠鏡が取り付けられた。しかし砲術革命が始まった頃には方位盤射撃はむしろ後退した。19世紀末には方位盤から砲側への伝達手段に難点があり、伝声管やラッパは砲戦が始まると砲声によってかき消された。電気通信装置はまだごく一部の艦にしか装備されていなかった。

戦艦の防御力が強化されると砲塔や砲郭はますます孤立化し、発砲諸元の伝達応答などは逆に困難になった。用兵者は方位盤射撃を嫌うようになり、個々の砲台で最善を尽す独立打ち方の系列が支配的になった。しかし砲戦距離が伸びて4,000メートル程度になると、砲側での弾着観測は困難になり、高所で行なう必要が出てきた。誰もが艦樓の価値を認識し、同時に通信手段も改善されたが、依然として独立打ち方が主流を占めた。

このような傾向の中で、スコット大佐は早く命中弾を

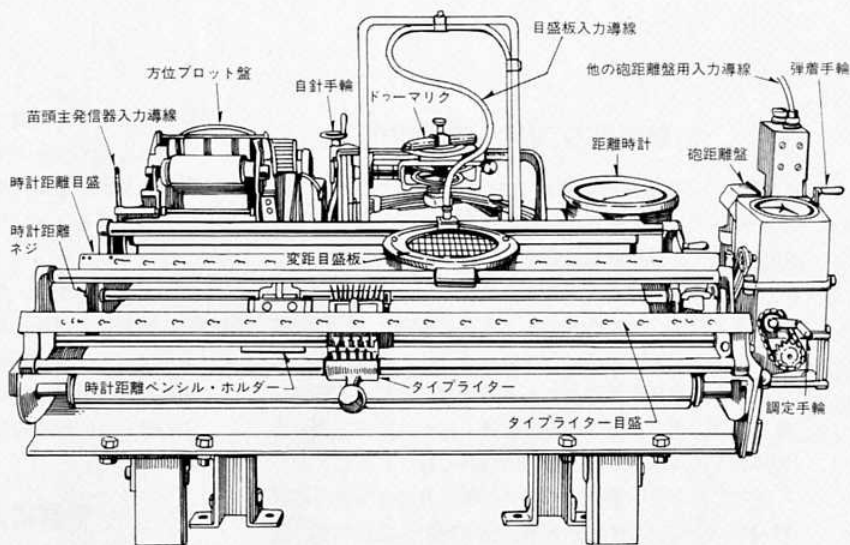
得るには何発かを斉射して落下点を調べ、観測距離の適否を判断するしかないと悟り、方位盤射撃の復活が遠距離砲術のニーズを満たすという結論を得た。1904年から電気を利用した方位盤射撃法について構想を練ったが、1907年に海峡艦隊の巡洋艦戦隊の司令官になると、早速その構想による方位盤射撃システムを旗艦に仮装備した。もっともこれは舷側の副砲用としてであった。

前橋楼に高倍率の主望遠鏡を備えた方位盤を置き、望遠鏡と各砲との水平軸を整合し、さらに潜差すなわち双方の高低差の補正を施し、旋回角度の目盛を一致させた。橋楼と各砲の間には俯仰命令伝達用にスコットが考案した電気式距離発信器、苗頭伝達用に同様なテレグラフ、また砲側で命令が実行されたことを報告する電気通信表示装置などの回線が設けられた。また方位盤側に引き金を設け、これを引くと全砲が同時に発射される発砲回路も設置された。

この方位盤射撃システムは完全なものではなく、いわば部分的なシステムで、方位盤で管制したのは仰角だけで、旋回手はまず命令された方位の目標に自分の望遠鏡を合わせ、命令された苗頭に望遠鏡を調節したのち発砲されるまで引き続き目標を望遠鏡で追い続けなければならない。この急造の試作方位盤よりもはるかに複雑で精密な装置がヴィッカーズ社で製造され、何隻かの戦艦に試験装備された。同時に戦艦では、各砲の俯仰機が既述のように方位盤の命令に十分追従しうる高感度の制御装置と一体化した型式に改善された。

しかしこの射法には独立打ち方になじんだ士官たち、特に上級士官の反対が強かった。その論争は1908年から1913年まで続いた。やがて1912年11月には方位盤装備済みの戦艦サンダラー Thundererの一斉打ち方と、艦隊中で射撃成績最優秀の戦艦オリオン Orionの独立打ち方との有名な比較試験がうねりのある中で同じ条件で行なわれた。結果は命中弾が6対1の比率でサンダラーが圧倒的な強さを発揮し、方位盤射撃の優秀性を実証した。

それでもまだ方位盤射撃を否定する声があり、翌年さらに試験を実施したのち海軍当局はやっと方位盤をドレッドノート Dreadnought 以降の戦艦、巡洋艦に装備

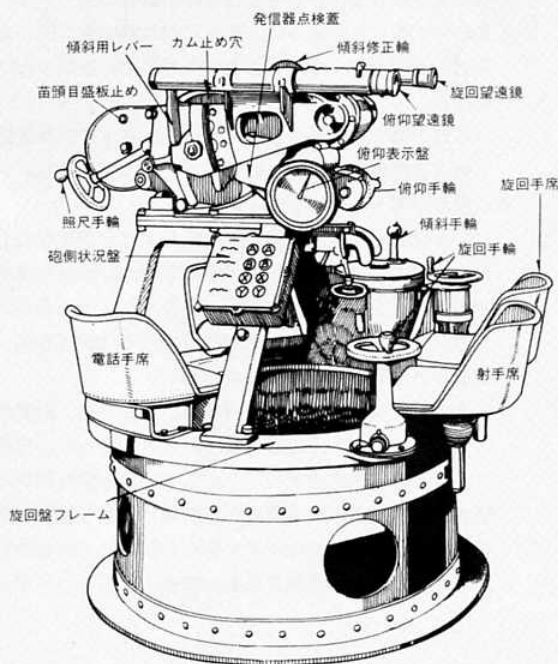


第4図 ドライヤー式射撃盤

することを決定した。

この時採用された方位盤を第5図に示す。射手は俯仰望遠鏡をのぞき、左手で俯仰手輪を回して望遠鏡の仰角を変え、右手でピストル式の引き金を引いて斉射する。射手には斉射の重要な責任があり、熟練した兵曹長が充てられた。旋回手は旋回望遠鏡をのぞき、旋回手輪を回して装置全体を旋回させる。図からは不明だが向う側に照尺手があり、苗頭手輪と照尺手輪を操作する。

ちなみにこの方位盤を装備したのは、砲側状況盤の表示灯の配列からみて前後部に連装砲塔を2基ずつ備えた主力艦のものである。左右に並んだ表示灯は各砲塔の左右それぞれの砲の状況を示す。



第5図 ヴィッカーズ式方位盤

射撃指揮システムの実用化

1913年に英海軍が方位盤と射撃盤を正式に採用したのに伴って、その主力艦には射撃指揮システムと呼ぶのにふさわしい装置群が装備されることになった。

まず第1次大戦勃発までに主力艦8隻の主砲用にこれを装備したが、その後ジユットランド海戦までには突貫工事ですべての主力艦に行き渡らせた。これらの方位盤は通常3カ所に設置された。主方位盤は前部の三脚檣の直上部に、第2、第3の方位盤はそれぞれ前部上構の装甲塔内と砲塔群のうち後側の砲塔内に設けられた。

主方位盤より一段上の檣樓に射撃指揮官の指揮所が設けられ、ここには弾着観測鏡、弾着時計、変距率盤、距離時計、測距受信器、各種発信器などが備えられた。射撃盤は防盾甲板の下に区画された発令所に置かれた。この区画には檣樓の指揮所からの通信系統や方位盤からの電線が三脚檣を経て導かれ、発令所の苗頭主発信器や射距離盤(Gun Range Counter)から電線が各砲塔に分岐していた。苗頭主発信器は方位盤と各砲塔の占位差などを補正した旋回命令を砲塔の旋回手に伝える。砲側の俯仰受信盤には第5図に示す方位盤の俯仰表示盤と同様な2個の基針があり、双方は発令所の射距離盤を介して連動する。砲側のものにはその他に追針があり、射手が俯仰手輪を回して追針を基針に合わせるように追うと、手輪の回転が歯車機構によって砲身に伝えられ、砲は追針が示す角度を取る。したがって、主砲の射撃に関係する乗員の多くはもう敵を見ることがなくなった。

射撃盤での計算結果は方位盤や指揮所に伝えられるが、射撃指揮官は必ずしもこれらのデータを採用せず、直接観察した弾着状況によって自己の判断に基づく旋回俯仰を命令することがあった。それは射撃盤の歯車間の遊びなどの誤差から、その答を全幅信用していなかったことによる。

これが第1次大戦の直前における英海軍の射撃指揮システムの概要だが、他の海軍ではこれほど揃ったシステムをまだ導入していなかった。

ドイツ海軍のものは英海軍のそれよりも簡単な装置で、たとえば照準は各砲塔内の射手が砲側の照準望遠鏡で保続照準を行なった。そのために荒天では海水の飛沫で悩まされる欠点があった。ただ砲塔旋回手は旋回受信盤の追針を方位盤からの命令に合わせた。

米海軍では開戦時までに射撃盤、変距率盤、距離時計などを備えたが、方位盤は採用していなかった。檣樓よりも下方の発令所を重視し、たとえば測距儀も射撃指揮官の定位置である司令塔内の指揮塔に設置した。方位盤はないが一斉打ち方はすでに行なわれていた。しかしそれは完全に同時に発射されるのでなく、若干の不斉が一

認められた。方位盤は1916年から戦艦に装備されたが、いったん採用するとそれを前後の檣樓に装備して双方を同期させた。なお大戦中に米海軍は、方位盤のほかポレン式射撃盤をグランド・フリートに参加した戦艦に装備している。

日本海軍の場合、米海軍とは逆にまず方位盤を手掛けた。英海軍の情報を基に大正4年(1915年)に、方位盤を国産して巡洋戦艦榛名に装備し、続いて新造の戦艦、巡洋戦艦に装備していった。射撃諸元の計算には、射撃盤の代わりに距離時計や変距率盤、距離曲線盤などを使用している。

射撃指揮システムの発達

砲戦開始距離は第1次大戦直前には1万メートル程度と予想されたが、開戦後は1万5,000メートルを超えた。戦後には2万メートル以上と認められ、射撃指揮システムもこれに対応して改善が図られた。さらに機械装置は次第に電気機械装置に代えられ、第2次大戦では電子管も導入されるようになった。

測距儀は遠距離での精度を確保するため基線長が次第に伸びた。ジユットランド海戦で英主力艦が基線長2.74メートルであるのに対してドイツは6メートル型を使用し、先に命中弾を得たことが教訓になっている。砲塔測距儀は1912年に米海軍で採用を決定し、大戦後は他の海軍でも装備し始めた。ドイツ以外の測距儀はほとんどが上下合致式であったが、砲戦の遠距離化に対応して無条約時代には日米海軍もドイツ流のステレオ式を採用した。戦艦大和は15メートルの上下合致式2本とステレオ式1本の三重測距儀を搭載し、レイテ突入作戦の際それによる測距で米空母に33,000メートルで初弾命中、2斉射弾で撃沈の戦果を挙げている。

1916年にジャイロ・スコープが動揺修正に応用され自動化への一歩を踏み出した。従来方位盤照準は艦の動揺が激しいと目標が射手の視野から外れ、再び捕えるには非常な訓練と技量を必要とした。この欠点は望遠鏡にジャイロ制御のプリズムを挿入して照準線を方位盤の動揺にかかわらず固定することで除かれ、英海軍では1918年までに艦隊のすべての艦にこれを装備した。ドイツもほぼ同時期に採用している。

米海軍ではジャイロを垂直安定儀(Stable Vertical)に組込んで、まず方位盤の照準望遠鏡に適用した。射撃盤にも転輪羅針儀のジャイロ・レピーターから自針が自動的に入力されるようになり、ジャイロは応用の範囲を広げていった。

最初のうちはジャイロの追従性が不十分で、動揺が大きくなると役に立たないことがあったが、追従性が向上すると砲の運動の自動化が試みられ、動揺安定儀によ

て大口径砲の保続照準は追従性がよくなり、砲は荒天中でも一定の点に向けて発射が可能になった。

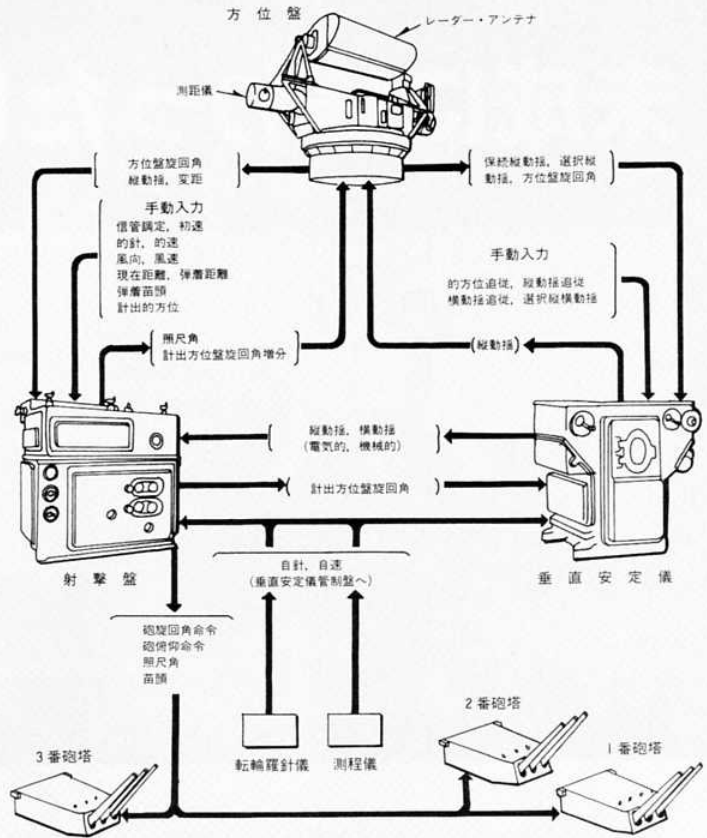
1916年にはまた英海軍で傾角測定儀(Inclinometer)が考案された。傾角とは第1図に示した θ である。的針を目標運動のプロットから求める従来の方法は、過去の状況を示すだけで、その直前に目標が大変針をしたような場合には変距測定に遅れが出た。傾角測定儀は現時点的針を即座に求めるための分像上下合致式望遠鏡で、目標の艦首と艦尾のなす角度の観測に使用され、あらかじめ計算しておいた表からの的針を求める。

日本海軍ではこの情報がヒントになって、その年に弾着観測鏡の分画目盛を利用して θ を求める方法が考案された。なお傾角測定儀は大正10年(1921年)に輸入して戦艦長門に装備されている。その後、傾角測定儀を機械的な計算器と組み合わせ、さらに的速も計出する測的盤が開発された。これ

から得た的針の速を射撃盤へ入力するのは手動であった。軍縮条約後の近代化改装の主眼は主砲仰角の引き上げであり、主力艦主砲の有効射程は3万メートルになった。この距離では、艦楼よりもさらに高所からの弾着観測が必要になって航空観測が導入された。戦艦は弾着観測専用の水上機を搭載することになり、航空機が射撃指揮システムの構成兵器になった。

無条約時代になると、米海軍は艦内のデータ通信にシンクロ電機を広く導入した。これは自己同期電気信号装置で、日本海軍ではむしろGE社の商品名であるセルシンの名で知られていた。

それまで旋回俯仰などの角度信号の伝達には、指針を小刻みに進めるしか方法がなかったが、シンクロによって指針の動きが円滑になり、また発砲衝撃などで示度が狂うこともなくなった。示度は、1回転が10度と360度の精粗一対のシンクロ回路を使用することで精度を増した。方位盤の旋回俯仰命令は差動シンクロによって占位差などが自動的に補正され、またシンクロ管制変圧器とサーボ機構の組み合わせによって情報伝達だけでなく動力伝達が可能になったが、アンプリダイン発電機が導入されて自動操縦が実現した。米海軍の新戦艦などは、この方式によって自動操縦される方位盤を装備して就役した。



第6図 米戦艦のレーダー射撃指揮システム

自動操縦型方位盤の望遠鏡は射撃盤が計算した方位信号で常時目標の方向へ向けられ、また望遠鏡を手動で操作することによって方位の修正値を射撃盤に返すこともできた。

英米海軍では1941年から光学的な測距儀が次第に射撃指揮レーダーに席を譲るようになった。その波長は初期の50センチから大戦末期の英戦艦ヴァンガード Vanguardでは3センチに向上している。射撃用レーダーも測距儀も照準望遠鏡もねらう目標が同じであるため、レーダー・アンテナは方位盤の測距儀の上に取付けられるのが標準になった。第6図にレーダーを装備した射撃指揮システムの一例を示す。なお図で縦動揺とあるのは照準線を含む鉛直面で水平面と甲板面のなす角である。

射撃指揮システムにレーダーが導入され夜間でも的確な砲戦を展開しうようになったのは、大艦巨砲時代の最後に起こった砲術革命と称すべきであろう。しかし洋上決戦兵力の中心としての戦艦の使命は1942年をもって終わり、その後は生き残るために兵装では対空火器とその射撃指揮システムの強化に向けられた。大口径砲用射撃指揮システムは終戦後本来意図した目的に使用されることはなくなり、むしろ陸上目標に対する射撃諸元の計出が主任務になった。