

北九州デッカチェーンをめぐる無線技術史 —中距離航行用長波電波標識の建設と運用—

加島 篤

History of Wireless Technology on the Kitakyushu Decca Chain: Construction and Operarion of Long-wave Radio Beacon Network for Medium-range Marine Navigation

Atsushi KAJIMA

Keywords: Decca Navigator System, hyperbolic navigation, lightning damage control

1. はじめに

福岡県と佐賀県の県境に聳える脊振山系は、東西約70kmに及ぶ分水嶺で、筑紫平野を俯瞰する基山から唐津湾を眼下に望む十坊山まで、標高400~1,000mの花崗岩を主体とする山塊が連なっている¹⁾。最高峰の脊振山(標高1,054.6m)には航空自衛隊の警戒管制レーダーと通信設備、山頂から矢筈峠に下る尾根には福岡管区気象台の気象レーダーが設置されている。また、山系の西側に位置する雷山(標高955.3m)には、雨乞い伝承で知られる雷神社が鎮座している²⁾。雷山西方の羽金山(標高900.2m)の山頂には、情報通信研究機構の「はがね山標準電波送信所」が設置され、地上高200mの巨大な傘型アンテナから、電波時計や機器内蔵時計の時刻合わせに用いる日本標準時(JST)準拠のタイムコードが、周波数60kHz、空中線電力50kWの長波で送信されている³⁾。はがね山標準電波送信所は2001(平成13)年10月1日に運用を開始したが、その場所は第七管区海上保安本部北九州デッカ航路標識事務所が管轄する前原デッカ局の跡地であった。

デッカ航法(Decca Navigator System)は、英国生まれの電波航法で、星形に配置した複数の送信局から70~130kHzの長波を放射し、船舶等の移動体で受信する地上波の位相差から移動体の現在位置を求める双曲線航法(hyperbolic navigation)の一種である^{4,5)}。専用の海図(Decca chart)には送信局毎に色分けした複数の双曲線群が描かれ、受信機の指示値から求めた双曲線の交点で船位を決定する。隣接する同色の双曲線に挟まれた区間をゾーン(zone)、ゾーン内で位相差 2π 毎に区切られた区間をレーン(lane)と呼び、受信機の位相計(decimeter)では1/100レーン(距離数mに相当)まで読み取ることが可能であった。

1967(昭和42)年7月1日、英国Decca Navigator社のライセンス供与を受けて建設された日本初のデッカ航法用組局群(Decca chain)の北海道デッカチェーン(以下、北海道デッカ)が運用を開始した。2年後の1969(昭和44)年5月1日に運用を開始した北九州デッカチェーン(以下、北九州デッカ)は、主局(master station)の前原デッカ局を中心に、上県デッカ局(長崎県)、長島デッカ局(鹿児島県)、瀬戸デッカ局(愛媛県)の3従局(slave station)が星形に配置されていた。その有効範囲は、北は対馬海峡から玄界灘・響灘を経て山陰沖、更に関門海峡を通過して周防灘から瀬戸内海西部まで、西は済州島近海から五島列島や甕島列島沖に広がる東シナ海、東は豊後水道から日向灘、種子島沖に及んでいた。九州周辺の沿岸漁業や沖合漁業にとって、誤差数十mで船位の連続測定が可能で受信機の取扱も容易なデッカは、天然魚礁の境界線や人工魚礁の沈設位置をマークする際の強力な支援ツールであった。

1990年代、全地球衛星測位システム(GNSS, global navigation satellite system)の一種で米国国防省が管理するGPSの民生利用が進展すると、ロラン、デッカ、オメガなど双曲線航法用の電波標識は急速に存在意義を失った。1999(平成11)年3月10日、30年に亘って九州近海の漁業を支えた北九州デッカも運用停止となり、羽金山山頂に建つ前原デッカ局も閉鎖された。

本報では、日本における船舶用電波標識の発達史とデッカ導入の経緯を概説した後、北海道デッカなど初期のデッカシステムで使用された送信設備や受信機について解説する。また、北九州デッカが整備された時代背景や、計画策定から廃止までの変遷、送信設備の概要と運用・保守の実際、廃止に至る経緯を詳細に調べ、北九州デッカが果たした歴史的役割について考察する。

第七管区保安本部が所蔵する北九州デッカ関連資料や、日本航路標識協会発行の記念誌「デッカとともに」、燈光会発行の「日本燈台史」や同会の会誌「燈光」、電波標識や電波航法に関する専門書、関連企業の社史、国立国会図書館デジタルコレクションからは多くの引用をさせて頂いた。文中の地形図は国土地理院から交付された旧版地図の謄本の一部を使用し、空中写真は日本地図センターから購入した画像データを元に新たな情報を書き加えた。

原資料の時代性を考慮して、電波形式は旧表記(昭和58年郵政省令第9号による改正以前の表記)を用い、無線施設の所在地も設置当時の市町村名で表記した。無線用語の「空中線」と「アンテナ」、「欠射」と「停波」は状況に応じて使い分けた。また、周波数の旧単位[c/s]は[Hz]に、コンダクタンスの旧単位[μ]は[S]に変更した。

2. デッカ導入までの電波標識の変遷

2.1. 無線方位信号所の誕生

1925(大正14)年11月、南満洲鐵道株式会社は大連湾外の圓島に港湾事務と船舶方位測定を目的とする私設無線電信電話施設を設置許可を受けた⁶⁾。同年12月、関東庁は圓島に灯台と霧信号所の設置を決定している⁷⁾。昭和2年4月、南満洲鐵道が圓島灯台と大連埠頭事務所構内に設置した無線施設が通信省燈台局に移管され、圓島灯台と大連埠頭の2ヶ所で無線方位測定試験が開始され

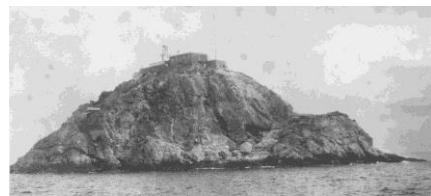


写真1 圓島灯台

た⁸⁾。そして、同年12月20日に圓島主無線羅針局と大連埠頭副無線羅針局の正式運用が始まった⁹⁾。本邦初の無線方位信号所の誕生である。両局は、呼出を受けた船舶局の発射電波をSRF (Société Française Radioélectrique) 社製の回転ループアンテナ型方位測定機で計測し、当該船舶に通知した⁴⁾。5~7月の濃霧期には1日50件以上の利用があったという。写真1は昭和初期に撮影された圓島灯台で、3等閃光レンズを備えた灯室と霧信号吹鳴用のラッパ、2基の無線鉄塔が確認出来る¹⁰⁾。

昭和2年5月7日、内地向けに無線羅針局と無線標識局の業務を規定した無線方位測定通信規則が施行された¹¹⁾。昭和5年3月には、通信省燈台局が管理する尻矢崎(青森県)など4灯台に、方向探知業務を目的とする無線方位信号所(無線羅針局)の併設が許可されている¹²⁾。昭和7年2月21日、恵山岬(北海道)、尻矢崎(とがさき 岩手県)の無線方位信号所で方向探知業務が開始された¹³⁾。方向探知には、Marconi社製DFM3型船舶用方位測定機が使用された⁴⁾。業務開始が2年近く遅れた原因として、通信省燈台局は方位測定機を装備した船舶の増加に対応するため、無線羅針局と平行して無線標識局の整備を進めたと考えられる。実際、灯台での方位探知業務が始まった昭和7年2月21日には、5ヶ所の灯台に併設された無線方位信号所が無線標識業務を開始している¹⁴⁾。送信周波数は恵山岬(290kHz)、尻矢崎(295kHz)、鮎崎(305kHz)、金華山(宮城県, 300kHz)、野島崎(千葉県, 295kHz)で、電波型式はA2(可聴持続電波)またはA1(持続電波)である¹⁴⁾。無指向性で空中線電力は350W⁴⁾。特定の時間帯および濃霧・降雪等による視界不良時に、船舶局からの請求を受けて自局の呼出符号を含む無指向性の標識電波を発射した¹¹⁾。その後、主要灯台への無線方位信号所の設置が続き、昭和20年には計24ヶ所に達している(内20ヶ所が方向探知業務を実施)¹⁵⁾。

一方、通信省燈台局に先行して無線標識局を設置した官庁がある。昭和6年5月、鐵道省は青函連絡船の航路標識として函館港周辺に2ヶ所の無線標識局を設置した¹⁶⁾。濃霧や降雪時の安全確保が目的と考えられる。使用周波数と空中線電力は、久根別局(上磯郡上磯町)が310kHz/30W、函館局(函館市大森町)が285kHz/100Wで¹⁷⁾、連絡船の入出港に合わせ不定時でA2波を発射した。同年12月、鐵道省は稚泊連絡船用の無線標識として鬼志別局(宗谷郡猿払村, 310kHz/100W)と稚内局(宗谷郡稚内町, 285kHz/200W)を設置している^{18,19)}。

2. 2. 回転無線標識の開発

通信省電気試験所と燈台局は、小型漁船など方位測定機を装備できない船舶に対応するため、安価な中波受信機で方位の判別が可能な回転無線標識を開発し、昭和11年から釧路灯台(神奈川県)で実用化試験を行った⁴⁾。ループアンテナが発射する指向性の可聴持続電波を水平方向に一定速度で回転(180°の正転と逆転を反復)させ、回転と連動して電信符号(回転の始点と終点を表す符号、および回転角2°ごとに短点)を送出する。聴取する船舶は、信号音が消失するまでの短点の数から方位を求めることができた。本装置は指向性電波を電氣的に回転させる方式で、送信機出力は電動機駆動の誘導型ゴニオメーターを介して固定式の直交ループアンテナに供給され、ゴニオメーターの回転コイルと連動して自動送符装

置が作動する仕組みであった⁴⁾。送信周波数は290kHz、空中線電力は100Wである。

昭和16年6月、青島埠頭会社からの依頼により通信省が青島港外の團島灯台に設置した、世界初の回転無線標識所が業務を開始した⁴⁾。空中線電力500W、ループアンテナを直接回転する方式で、天候不良時の入出港に威力を発揮したという。一方、釧路灯台の回転無線標識は、昭和18年に海軍が釧路灯台(北海道)に移設して運用した¹⁵⁾。戦後、釧路灯台の回転無線標識は通信省に移管され、昭和22年8月に業務を開始している²⁰⁾。

2. 3. 戦後の無線方位信号所

第二次世界大戦後、空襲被害を受けた無線方位信号所の復旧と、無線技術の進歩に応じた機器の更新が進み、昭和24年9月には戦後初の無線方位信号所が舩倉島灯台(石川県)に開設された¹⁵⁾。1948(昭和23)年5月1日に海上保安本庁が発足し、灯台併設の電波標識は同庁燈台局の所管となった。また、昭和25年6月30日施行の電波法施行規則により、無線羅針局は無線方向探知局に改称された。昭和30年代以降、船舶用方位測定機の小型軽量化によって小型船への装備が進み、役目を終えた無線方向探知局の廃止が始まった。昭和43年、最後に残った野島崎ほか2局の廃止により、40年余に及んだ燈台での方向探知業務は終了した⁴⁾。

一方、無線標識局は戦後も整備が続き、昭和27年6月には若宮灯台(長崎県)に初の全方向式回転無線標識が設置された。昭和43年末の時点で、全国51ヶ所(返還前の沖縄県を除く)の無線方位信号所に無線標識局(無線航行陸上局)が設置され、41局が無指向性標識(non-directional radio beacon)、40局が指向性回転標識(rotating pattern radio beacon)を運用していた¹⁵⁾。電波形式はA2で、50局が中波無線標識(周波数286~322kHz、空中線電力260Wまたは400W)で、昭和31年3月設置の磯崎無線方位信号所(茨城県)のみ中短波局(1,921kHz、320W、指向性回転標識)であった。

2. 4. ロランA

ロラン(Loran)は長距離航法(long range navigation)の略語で、第二次世界大戦中に米国が開発した双曲線航法の一種である⁴⁾。1対の送信局(主局と従局)からなる組局を複数配置し、各組局が発射する同期パルス(搬送波の周波数は同一)を船舶や航空機で受信して、到達時間の差から距離を算出する。位置の測定には2組の組局が必要となる。第二次大戦中に実用化されたLoran Aでは、受信機のCRT(陰極線管)で主局と従局のパルスを判別するため、従局は主局パルスの受信後に一定の遅延時間を経てパルスを発射した。組局毎にパルスの繰り返し周期が異なるため、CRTの時間掃引信号を同期させて目標組局のパルスを弁別できる。搬送波周波数(1,750kHz、1,850kHz、1,900kHz、1,950kHzの4段階)とパルスの繰り返し周期(29~50msの範囲で100μs刻みに設定した21段階)の組み合わせをレート(rate)と称し、主従のロラン局が固有のレートで組局を構成することを「レートを結ぶ」と呼んでいた。

送信局(ロラン局)は海岸線や離島に設置され、組局の連なりをLoran chainと称した。隣接する組局の接点は二重パルス局(double pulse station)、チェーンの端は単一パルス局(single pulse station)となる⁴⁾。通常測定では海面上を伝搬する地上波を用いるが、夜間

表1 昭和20年代に米国が設置した日本周辺のロランA局

局名	運用開始年月
Iwo Jima 硫黄島	1945(昭20) 5
Ichi Hanare* 伊計離(伊計島)	// 9
Oshima 大島(伊豆大島)	// 12
Matsumae 松前	1952(昭27) 1
Niigata 新潟	// 1
Miho Bay 美保湾	// 1
Nomaike 野間池	// 12
Pusan 釜山	1953(昭28) 1
Miyako Jima 宮古島	// 8

*通称: Ike ShimaまたはOkinawa

には電離層反射の空間波を用いた測定も可能である。Loran Aの標準的な基線長 (length of baseline, 主局-従局間の距離)は300海里(約560km)、搬送波は中短波(1,750~1,950kHz)、空中線電力(尖頭電力)は単一パルス局が160kW、二重パルス局が130kWである。1組局の有効範囲は、地表波のみで約700海里(1,300km)、空間波を利用した夜間は約1,400海里(2,600km)に達した。位置決定誤差は1~3海里(2~5km程度)であった。

1942年10月、最初のロラン局が大西洋岸で業務を開始した⁴⁾。戦中から戦後にかけて、米国防省は軍事上の理由から北半球各地にロランチェーンを展開し、日本占領後は日本と周辺地域にロラン局を設置した。表1は、この時期に米軍が設置した日本周辺のロランA局である^{21,22)}。各局の運用はUSCG(United States Coast Guard, アメリカ沿岸警備隊)が担当した。終戦前後に硫黄島(小笠原諸島)、伊計離(沖繩)、大島(伊豆諸島)の3局が設置され、日本本土を空襲する爆撃機の誘導、占領部隊の移動、物資の輸送に威力を発揮した。日本海と東シナ海に面した松前(北海道)、新潟、美保湾(鳥取県)、野間池(鹿児島県)、釜山(韓国)の5局は、朝鮮戦争の激化により設置が急がれた可能性が高い。宮古島局(先島諸島)は、Batán局(ルソン島北方のBatán島)、Catanduanes局(フィリピン東部のPanay島)と共にフィリピン海西部をカバーするEast Philippine chainを形成し、東アジアにおける米国の戦略的活動を支えていた。

朝鮮戦争が勃発した昭和25年に日本の民間船舶によるロラン利用が始まり、その優秀性が広く認識されるに従って、日本東方の北部太平洋を航行する貨物船や同海域を漁場とする漁船用として、新たなロランチェーンの建設を要望する声が高まった。海上保安庁は東日本の太平洋岸3ヶ所にロラン局を配置する計画を立案し、昭和34年11月に大釜崎(岩手県)を主局、落石(北海道)と波崎(茨城県)を従局とする太平洋ロランチェーンが業務を開始した¹⁵⁾。

表2は、海上保安庁が運用したロランA局の一覧である^{20,24-29)}。落石、大釜崎、波崎の3局には国産のロランタイマーと送信機が設置され、搬送波周波数1,850kHz、運用開始時の空中線電力(尖頭電力)は主局が130kHz、従局が160kWであった。建

表2 海上保安庁運用のロランA局

局名	変更事項	運用開始年月日
落石	新設	
大釜崎	//	1959(昭34) 11.1
波崎	//	
松前	USCGより移管	
新潟	//	1964(昭39) 7.1
米子	//	
対馬	新設	
野間池	USCGより移管	1966(昭41) 5.1
八丈島	新設	// 7.1
宮古島	USCGより移管	1972(昭47) 5.15
慶佐次*	//	1978(昭53) 2.1

*1963年11月にGesashi局として米国が新設(伊計島より移設)

設に際し、中短波帯の漁業無線との混信や中波放送の妨害が懸念され、ロラン局周辺の民家ではAMラジオにwave trapを取付けたという²⁰⁾。北海道南方から三陸沖、常磐沖に至る好漁場を抱えた太平洋ロランチェーンの有効範囲を拡大するため、昭和45年以降には大釜崎局の空中線電力が130kWから800kWへ、落石局は160kWから800kWを経て1,000kWへと増強された^{20,23)}。

昭和38年5月、米国は日本政府に対し松前、新潟、美保湾の日本西岸ロランチェーン3局を移管し、美保湾の組局である釜山局を廃止すると通告した¹⁵⁾。当時は日韓漁業協定の締結前で、昭和27年1月に韓国が設定し日本漁船の拿捕や銃撃、乗組員の抑留等が頻発した李承晩ラインの影響が残っており、釜山局に替わるロラン局の新設が急務であった。また、日本西岸の3局も、軍用トレーラハウスを転用した局舎や空中線用木柱が老朽化し、建て替えが必要であった。昭和39年7月1日、松前、新潟、米子(旧美保湾)の3局の管理が、USCGから海上保安庁に移管された^{15,20)}。局舎と空中線鉄塔は日本側で新造したが、ロランタイマーや送信機等の主要機器は米国から無償譲渡された¹⁵⁾。釜山局の代替として日本が新設した対馬ロラン局(長崎県上県郡上対馬町、空中線電力130kW)も同日に運用を開始し、米子局およびUSCG管理の野間池局とレートを結んだ。釜山局廃止前に試験電波を放射するため、対馬局の主要機器は別途米国から輸送されたが、同局の立ち上げに従事した元海上保安官の宮崎 巖氏によると、管球式の旧式装置であることにはなかつたという。

昭和40年5月、米国は大島と野間池のロラン局の日本移管を打診した¹⁵⁾。しかし、硫黄島の組局である大島局は、波崎局との局間距離が短く十分な基線長が確保できなかった²⁰⁾。そこで同じ伊豆諸島の八丈島に代替局を設置し、新たに波崎局とレートを結ぶことが決定した。昭和41年5月、野間池局がUSCGから海上保安庁に移管され、同年7月には新設の八丈島局が対硫黄島局、対波崎局の複従局として業務を開始した。八丈島局は空中線電力(尖頭電力)130kWで、ロランタイマーと送信機は米国から無償譲渡された。

写真2は、南さつま市の観光施設「笠沙恵比須」内の博物館に保存された野間池局のロランタイマーである。右端と中央の筐体は沖電気工業製のロランタイマー(型式JLM-3, 昭和50年1月製造)、左端は同社製のタイマー切替装置(型式LLM-40, 昭和53年2月製造)で、野間池局では昭和50年代前半にロランタイマーの換装が行われたと考えられる。沖電気工業は、昭和40年に松前ロラン局向けの純国産ロランタイマー(JLM-1型1号機)を納入しており²⁹⁾、各地のロランA局で主要機器の更新が順次実施されたと推察される。

2. 5. マイクロ波電波標識

対空・対艦用測距儀として開発されレーダーは第二次世界大戦中に急速に発達し、戦後は夜間や濃霧など視界不良時の航海用



写真2 旧野間池局のロランタイマー (南さつま市 笠沙恵比須 所蔵)

電波機器として一般船舶にも普及した。船舶用レーダーの画像は、水平ビームの回転に同期して放射に掃引するPPI(plan position indicator)で表示される。そこで、PPI管面上の陸地映像に重畳して航路標識の方向や位置を示す輝線を表示する近距離航行用マイクロ波電波標識が実用化された。

レーマーカービーコン(Remark beacon)は、パルス変調されたマイクロ波を回転式パラボラアンテナから発射し、船舶レーダーのPPI管面上に自船と送信局を結ぶ輝線を表示させる³⁰⁾。船舶用レーダーの周波数帯に合わせるため、中心周波数を9,375~9,435MHzに設定し、±35~40MHzの範囲で周波数掃引を行った²³⁾。空中線電力(尖頭電力)は1.2Wであった。本邦初のレーマーカービーコン局は、昭和36年2月に観音埼灯台(神奈川県)で業務を開始している²⁰⁾。

レーダービーコン(radar beacon)は、トランスポンダ(transponder)の通称である。船舶用レーダーのパルスを受信すると、これをトリガーに応答パルスを発射し、船舶レーダーのPPI管面上にビーコン設置点から半径方向に伸びた輝線を表示する³⁰⁾。応答パルスは無指向性のスロットアンテナから発射され、中心周波数は9,405MHzで±65MHzの範囲で周波数掃引される²³⁾。空中線電力(尖頭電力)は150mWであった。本邦初のレーダービーコン局は、昭和44年5月に布良鼻灯台(千葉県)で業務を開始した²⁰⁾。

一方、レーダーを装備しない小型船舶を対象に、マイクロ波の高指向性を応用して航路や方位、船位を知らせる近距離用電波標識が開発された。コースビーコン(course beacon)は港湾の入出港航路を指示するもので、コースの延長線上に設置した2つのアンテナから可聴周波数でパルス変調したマイクロ波を発射し、船舶側の受信機でダイオード検波して音声信号を復調する³⁰⁾。送信機出力を切り換えて左右の高指向性ホーンアンテナから交互に電波(例えばモールス符号AとNに相当)を発射し、コース中央を進行する船舶では連続音が、中央を外れた船舶ではAまたはNが聴取される仕組みである。マイクロ波の周波数は9,310MHzで、空中線電力(尖頭電力)は7kWであった²³⁾。昭和36年5月、富山港の伏木と新湊で本邦初のコースビーコン局(実験局)が業務を開始した²⁰⁾。

ロータリービーコン(rotary beacon)は、マイクロ波版の回転無線標識である。可聴周波数でパルス変調したマイクロ波を回転式アンテナから発射し、船舶は受信機(ダイオード検波)の音声出力で方位信号を計数して標識の方位を知る。測定開始、2°毎の方位、10°毎の方位の3種類の信号は高速回転(回転速度150rpm)のホーンアンテナから、測定終了信号は低速回転(回転速度5/6rpm)のパラボラアンテナから発射する³⁰⁾。両アンテナの空中線電力(尖頭電力)は40kW(一部施設は7kW)であった³⁰⁾。本邦初のロータリービーコン局(実験局)は、昭和35年5月に綾里埼灯台(岩手県)で業務を開始している²⁰⁾。

ロータリービーコンでは船舶側で方位信号を計数する必要があったが、方位を知らせる音声信号を直接送信して計数の手間を省いたものがトーキングビーコン(talking beacon)である³⁰⁾。鋭いマイクロ波ビームを発射するスロットアレイアンテナを低速回転(1/3rpm)させ、これに同期して磁気ドラムに記録した局名と回転角2°ごとの方位情報の音声信号を再生する。その音声信号で9,310MHzの搬送波をPWM変調(繰り返し周波数10kHz、パルス幅と偏移8±6μs)し、回転アンテナから発射する。船舶は、受信したマイクロ波をダイオ-

ド検波し、低域フィルターを通して音声信号を得る。分散配置された複数局の方位信号を受信すれば、船位を求めることが可能である。実際のトーキングビーコン局では、3基のアンテナを120°ずつずらして回転させており、船舶は1分おきに方位信号を受信できる。アンテナ1基当たりの空中線電力(尖頭電力)は1.5kWである。昭和39年6月、能登小木(石川県)に設置された本邦初のトーキングビーコン局(実用化試験局)が業務を開始した²⁰⁾。

昭和40年6月22日に締結された日韓漁業協定により、日韓両国の領海が重複する対馬西方海域では領海線の中に規制線が設定された³¹⁾。海上保安庁は、レーダーやロラン受信機を装備できない小型漁船の安全操業の確保と漁業能率の向上を目的に、受信機が小型軽量で廉価なトーキングビーコンの導入を計画し、対馬西岸の3ヶ所に配置した1群の無線方位局を連携して運用する方針を決定した¹⁵⁾。昭和41年7月1日、対馬北局(上県郡上対馬町、標識符号「あか」)、対馬中局(上県郡上県町、標識符号「くろ」)、対馬南局(下県郡美津島町、標識符号「あお」)が業務を開始した³¹⁾。これらは無人局で、対馬ロラン局から無線遠隔監視制御を行った。昭和48年2月、対馬南西海域をカバーする木柵山局(下県郡厳原町、標識符号「きい」)が業務を開始し、対馬トーキングビーコンは1群4局体制となった^{20,23)}。

3. デッカ日本導入の経緯

3.1 デッカ航法システムの誕生と発展

レーダーと同様に、デッカの誕生と発展には第二次世界大戦におけるヨーロッパの戦況が大きく関わっている。以下、W. Blanchardの論文³⁴⁾に基づき、その経緯を要約する。

1937(昭和12)年、Douglas Aircraft社の顧問技師William J. O'Brienは、電波を用いて従来の経緯儀を上回る精度で新型輸送機の対地速度を計測する手法の開発を依頼された。試行錯誤の末、O'Brienは同期状態にある2ヶ所の地上局から発射された無変調波(continuous wave)を航空機で受信し、その位相差から現在位置を求める方法を考案した。更に、主局と複数の従局に調和関係にある固有の周波数を割り当てることで、受信機側で送信局の区別が可能となり、受信波の周波数通倍により位相比較に支障がないことも示した。しかし、Douglas Aircraft社はO'Brienのアイデアを却下し、米陸軍や民間航空機関も同案の実現性を認めなかった。

第二次世界大戦が勃発すると、O'Brienは英国の戦争遂行に協力するため、友人で米国人のHarvey F. Schwarz(Decca Record社ラジオ部門の主任技師)に、自らのアイデアを伝えた。Decca社管理部門の支持を得たSchwarzは、英航空省に宛て航空機の航行と着陸を支援する方向制御システムに関する論文を送ったが、反応はなかった。1941年9月、Schwarzは英海軍本部科学研究所と会見し、同年10月には公式試験の計画案を作成するよう依頼された。

紆余曲折を経て、1942年9月にアイリッシュ海に面したAnglesey島とMan島間の海域で、英海軍本部、航空機生産省、軍需省、郵政省の各代表立ち会いの下、公式試験が行われた。島内の2ヶ所(Carmel HeadとBull Bay)に空中線電力12kWの主局(305kHz)と従局(610kHz)を配置し、比較周波数1,220kHzの受信機を搭載したトロール漁船を航行させてシステムの性能試験を行った。

公式試験の成功後、英国に渡ったO'BrienはSchwarzと共にシス

テムの改良に取り組んだ。600kHz付近の中波は、陸地による地上波の減衰が大きく、送信局の近傍で空間波の干渉が生じやすい。また、比較周波数が1,000kHz以上では、専用チャート上の位置線は密集して不明瞭になり、周波数通倍率の増加によりS/N比も低下する。そこで、1943年に送信周波数を長波帯(70~130kHz)に変更し、基本周波数を $f=14\text{kHz}$ 、主局を6f、2ヶ所の従局を8f(赤)と9f(緑)に設定し、比較周波数を24fと18fとする形式に改良された。2従局方式の採用により、専用チャートは色分けされた2群の双曲線が交差し、格子の位置が固定されたパターンとなった。

その後、コードネーム“QM”と呼ばれたデッカ航法システムは、北アイルランド海とスコットランド北方のMoray湾での実用化試験を経て、1944年6月6日に開始された連合軍のノルマンディ上陸作戦(Operation Neptune)に投入され、船舶の誘導システムとして大きな役割を果たした。イングランド南部West Sussex州のChichesterに主局、Dorset州のSwanageに赤従局、East Sussex州のBeachy岬に緑従局が設置され、上陸地点前方の機雷原で掃海作業を担う掃海艇や上陸用舟艇、港湾警備艇の一部に受信機が装備された。これらの舟艇は、横風や潮流の影響下でも正確な進路を保ち、上陸作戦を成功に導いた。

第二次世界大戦終結後の1945年9月、英国政府はデッカ航法システムに関わる全ての権利を50,000ポンドでDecca Record社に譲渡し、同社は同年11月に子会社のDecca Navigator社を設立した。1947年1月に英国運輸省がデッカ航法システムを認可し、同年5月には第2回国際電波航法会議(2nd International Meeting on Radio Aids to Marine Navigation)で国際的な使用が承認された³⁰⁾。1948年にレーン識別法が完成すると、実用性と測定精度の高さからデッカは航海・航空用電波航法として世界各地に普及を始めた。

1946年1月、イングランド東南部に初の実用デッカチェーン(English chain)が業務を開始して以降、ヨーロッパや北米東海岸、大英帝国の旧植民地である南アフリカ、ペルシヤ湾、インド、オーストラリアに拡大し、1971年4月の時点で38チェーン(日本の北海道・北九州チェーンを含む)が運用中であった³⁰⁾。

3.2 青函トンネル建設計画とデッカ測位機

昭和23年、海上保安庁水路部(以下、水路部)は運輸省鉄道総局の委託を受け、津軽海峡連絡隧道(後の青函トンネル)のルート選定に関する基礎調査として、海洋調査船による津軽海峡西口(吉岡一竜飛間)の深淺測量を実施した³⁵⁾。翌昭和24年6月1日に日本国有鉄道(以下、国鉄)が発足し、鉄道総局から青函トンネルの建設計画を継承した。同年にも水路部は津軽海峡西口の深淺測量を行い、1万分1の海図を作成している。

昭和28年8月1日、改正鉄道敷設法が公布・施行され、予定線を示す別表に「青森県三厩^{みんまや}附近ヨリ渡島国福島附近ニ至ル鉄道」として津軽海峡連絡線が追加され、青函トンネル建設が正式に決定した³⁶⁾。昭和29年、国鉄は青函トンネルの掘削工事に必要な津軽海峡西口の詳細な海底地形図の作成を水路部に委託した³⁵⁾。同年の測量では、調査船の位置測定に測量用六分儀を用いたが³⁷⁾、その利用は陸岸が見える場所に限定され、気象状況により測定不能となる場合も多かった³⁸⁾。昭和30年1月、水路部は可搬型の測量用デッカ測位機を輸入した^{38,39)}。空中線電力300W、基本周波数 $f=$

11.84kHzで、主局(6f)、赤従局(8f)、緑従局(9f)の3局と監視局、船舶に搭載する受信機で構成されていた³⁹⁾。主局と従局の重量は約1トン、消費電力1.5kW、高さ70ft(21.4m)の傘型アンテナを使用した⁵⁾。有効距離30~150海里、高精度で夜間や視界不良時の測量も可能であった^{5,39)}。同年3月には、東京湾でデッカ測位機の基線長と受信可能距離の限界を調べる実験が行われた^{39,40)}。同年6月、水路部はデッカ測位機を用いて津軽海峡西口の再測量を実施し³⁸⁾、精密な等深図の作成に成功した³⁷⁾。松前ロラン局が発射する高出力パルスの影響が大きく、局配置には苦労したという³⁹⁾。

昭和28年発行の「水路要報」には、デッカの紹介記事が続いて掲載されている^{41,42)}。当時、海上保安庁内でデッカへ関心が高まっていたことが分かる。その後、青函トンネル建設計画に伴い海底地形の精密測量の必要性が生じ、同庁はデッカ測位機の導入を決定したと推測される。昭和29年9月26日に函館港内で発生した青函連絡船の海難事故では、洞爺丸ほか4隻の連絡船が沈没し、1,400名以上の乗員乗客が犠牲となった⁴³⁾。事故を契機として青函トンネル建設促進の世論は急速に高まり、水路部の担当官は大きな使命感を持って、津軽海峡の精密測量に携わったに違いない。

その後も鹿島灘や常磐沖等の水路測量にデッカ測位機が活用され⁴⁴⁾、水路部の技術者たちはデッカシステムの測定精度の高さを実感すると共に、地上局用送信機や受信機など主要機器の取扱に習熟していったと考えられる。測量用に輸入された可搬型の小型デッカシステムが、昭和30年代後半に本格化する日本のデッカチェーン建設の“呼び水”となった可能性が高い。

3.3 デッカチェーン建設計画

昭和26年9月、電子航法の方式や機器、運用技術の発達と普及を目的に産学官が連携した電波航法研究会が発足した⁴⁵⁾。昭和28年5月、同研究会は運輸大臣の諮問機関となり、昭和29年3月に「対船舶用電波航法施設の整備に関する答申書」を提出して、太平洋ロランチェーンの建設推進に大きな役割を果たした¹⁵⁾。答申書には、「ロランと並行してデッカの導入も検討すべき」と書かれていた²⁰⁾。

昭和35年、海上保安庁は昭和36年度予算で九州西部沖を対象とするデッカチェーンの建設(2ヵ年計画で総計3億8千2百万円)を要求した³²⁾。中国や韓国と接する同海域では国際紛争防止のため漁船の精密な位置測定が必要で、海難の防止や漁業開発(好漁場や人工漁礁の位置同定等)のために、高精度で受信機の取扱が容易な中距離航行用電波標識の整備が求められていた。当時は、太平洋ロランチェーンの運用開始直後で、レーダーを応用した航行援助システムと共に、デッカは次の大型プロジェクトと目されていた。

昭和30年代半ば、ロランAは釜山・野間池・慶佐次の3局で広大な東シナ海をカバーしていた。しかし、対馬海峡から済州島沖の海域では、近接する釜山局の電界強度が極端に大きいため、他局の電波を受信しても正確な位置測定が困難であった¹⁵⁾。また、ロランAの中短波は陸上を伝搬する際の減衰が大きく、伝搬経路に陸地が混在すると伝搬速度の差による測定誤差が増大する。よって、瀬戸内海西部や豊後水道、日向灘なども利用不可となっていた¹⁵⁾。

同時期、海上保安庁は大阪ハーバーレーダーの建設も計画していた²⁰⁾。ハーバーレーダーは、入出港する船舶をミリ波およびセンチ波レーダーで監視し、VHF無線電話で船舶に的確な情報を伝え

る施設である。大阪湾は港湾の形状と運航状況が複雑で、小型船の往来も激しい上に大気汚染による視界不良が深刻で、船舶運航者や港湾管理者からレーダー局の早期設置を求める声が高まっていた^{20,46)}。大蔵省との協議や海上保安庁内での調整の結果、九州地区のデッカチェーン建設を見送り、大阪ハーバーレーダーの建設を優先することが決まった。大阪港レーダー局は昭和37年度から2ヵ年で建設され、昭和39年7月に測位業務を開始した²⁰⁾。

九州地区のデッカチェーン建設は、昭和37年度と38年度の予算要求でも認められなかった³²⁾。一方、北海道の漁業関係者からは新たな測位システムの設置を求める声が高まっていた。北海道周辺では、道東および道南の海域の一部でロランAや中波ロータリービーコンの利用が可能であったが、日本海方面の底曳網漁やオホーツク海方面の鮭鱒漁では地形の関係から既存のロランチェーンの利用は不可能であった³²⁾。更に、漁業資源の減少で漁場が遠くなり、沿岸から100海里以上離れた海域をカバーする電波標識の設置が急務となっていた。しかし、当時の国際情勢から千島列島や樺太への新たなロラン局設置は不可能で、中距離航行援助用のデッカチェーン建設が唯一の解決策と見られていた。

昭和37年12月、北海道漁業4団体は海上保安庁や大蔵省、水産庁にデッカの早期建設を陳情し、地元紙や中央紙の一部も大きく報じた³²⁾。結果、海上保安庁は昭和39年度予算で九州地区に代えて北海道地区のデッカチェーン建設を要求し(4ヵ年計画、総計4億3千7百万円)、初年度の調査費490万円が認められた。デッカ建設で北海道に先を越された九州地区であったが、昭和39年7月にロラン局が釜山から対馬に移設され、2年後の昭和41年7月には対馬ロータリービーコンの運用が開始されるなど、広大な国境海域を抱える第七管区海上保安本部(以下、七管区。他の海上保安本部も同様に表記)の管内では、電波標識の整備が継続的に行われていた。

3.4 デッカ社との技術導入契約

海上保安庁は、九州地方のデッカチェーン建設を予算要求する以前から、Decca Navigator社との接触を重ねていた²⁰⁾。その後、昭和38年12月に同社幹部が初来日し、送受信機の国産化やロイヤリティ等について具体的な交渉が開始された。協議の詳細は、当時同庁燈台部電波標識課の補佐官であった清野 浩 氏の手記⁴⁷⁾に記されている。数度にわたる厳しい交渉を経て、昭和39年8月25日、海上保安庁と送受信機を製造する神戸工業株式会社は、Decca Navigator社と技術導入契約を締結した。締結された契約の概要(ロイヤリティに関する事項を除く)を以下に示す^{33,47)}。

- ①Decca Navigator社は、日本国内におけるデッカ送受信機の製造を神戸工業1社に許可し、製造に必要な技術援助を行う。
- ②日本国内で製造するデッカ受信機は船舶用に限定する。
- ③Decca Navigator社は、デッカ受信機の販売やレンタルを行う出先機関に出資する。

契約交渉に先立ち、Decca Navigator社は技術提携先となる日本の通信機メーカーについて綿密な調査を実施していた⁴⁷⁾。同社は、海上保安庁との折衝が峠を超えた段階で、欧州各社と技術または資本で提携関係にある複数の候補企業と順次交渉し、神戸工業をパートナーに選定した。

3.5 神戸工業

神戸工業は、昭和24年から昭和43年まで存在した電機メーカーで、その起源は1913(大正2)年に神戸で創立した川西機械製作所(以下、川西機械)である⁴⁸⁾。航空機や繊維機械、衡器の製造で発展した川西機械は、昭和3年に航空機製造部門を川西航空機として分離・独立させた。その後、陸海軍の要請を受けて軍用無線機の製造に着手し、昭和10年に真空管の製造を開始した⁴⁹⁾。終戦後、川西機械は戦時補償特別措置法(昭和21年10月公布)による軍需補償の打ち切りで、多額の特別損失を計上した。昭和24年8月、企業再建整備法(昭和21年10月公布)に基づく第二会社として、川西機械の弱電部門を母体とする神戸工業株式会社が創立された。同社は、鉄道・警察・漁業などの業務用無線機を製造する傍ら、TEN(TEN)の商標でラジオ受信機・電蓄など民生用音響機器と、真空管・トランジスタ等の電子部品を製造した⁵⁰⁾。特に、真空管製造技術の高さには定評があった。写真3(a)は、昭和28年に作成された管球式スーパーヘテロダイン受信機の販売店用チラシ⁵¹⁾で、受信機の性能に対する自信の大きさが窺える。写真3(b)は、同社が製造した金属反射型クライストロン2K26(7GHz帯用、出力100mW)で、表面に神戸工業の商標と九州電力の旧社章が印刷されている。本品は、電力用多重通信回線における簡易マイクロ波端局の送受信機^{52,53)}に使用されたと推定される。

神戸工業は、真空管に代わる能動素子として半導体素子の実用化にも注力した。昭和27年に日本初の点接触型Geトランジスタの試作に成功すると、昭和29年には合金接合型Geトランジスタの市販を開始し^{54,55)}、同年1月には日本初のトランジスタラジオを試作・展示している⁵⁶⁾。国産トランジスタラジオの市販は東洋通信工業(後のソニー)に先行されたが、昭和34年にはオールトランジスタ式のカーラジオを製品化した。表3は、神戸工業が国産化に成功した主な電子機器と電子部品である^{50,56,60)}。昭和30年にはオートラジオがトヨタ自動車工業(現・トヨタ自動車)の純正品に採用され⁵⁷⁾、以後はカーオーディオ部門が経営の柱に成長していく。また、同年に製品化した船舶用レーダーは、第二次南極地域観測隊が乗船する南極観測船「宗谷」に搭載された⁵⁶⁾。

川西機械は、昭和12年に真空管と無線機の研究開発を行う研究所を設立した⁴⁸⁾。同研究所は終戦と共に閉鎖されたが、「技術の川西」と呼ばれ研究開発を重んじる企業風土は神戸工業に継承され

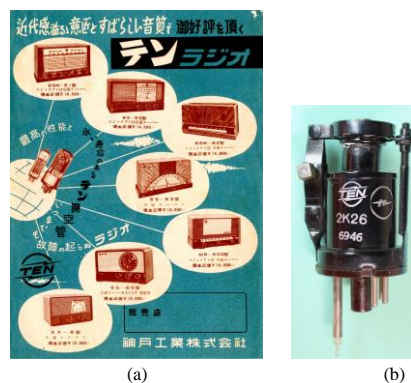


写真3 神戸工業の製品
(a)管球式ラジオの広告チラシ(昭和28年)、
(b)金属反射型クライストロン(昭和35年製造)

表3 神戸工業が国産化した主な製品

1950(昭25)	放射線測定器
1952(昭27)	テレビ放送機器
1954(昭29)	ダイオード、接合型トランジスタ
1955(昭30)	テレビ受像機、真空管式カーラジオ
1960(昭35)	全トランジスタ式カーラジオ
1964(昭39)	トーキングビーコンシステム
1966(昭41)	デッカ送信機、デッカ受信機

表4 神戸工業の主要な技術提携先と対象技術

提携年	提携企業	対象技術
1951(昭26)	RCA	受信管
1954(昭29)	Western Electric	トランジスタ、ダイオード
1957(昭32)	Philips	テレビ受像機
1960(昭35)	Sperry Rand	クライストロン
	Litton	マグネトロン
	Bendix	航空機用無線機
1964(昭39)	Ultra Electronics	救難用無線機
	Decca Navigator	デッカ航法用無線機器

た。神戸工業は、海外企業からの技術導入にも積極的であった。表4は、技術提携先の企業と対象技術の一覧である^{57,61}。昭和20年代は電子部品に関する技術提携が中心で、昭和35年降は業務用無線装置とマイクロ波電子管に関する技術提携に力を入れている。

無線機用真空管の大口需要家で神戸工業の高い技術力を評価する富士通信機製造(現・富士通)は、昭和32年に真空管の供給と開発に関する業務提携を神戸工業と結び、直後に資本提携に発展させた⁴⁹。昭和33年、経営危機に陥った神戸工業は、富士通の支援を受け経営再建を図った。昭和43年3月、電子計算機の開発を加速させる富士通は、技術力の結集と人材の高度活用、生産設備の効率的運用を理由に神戸工業を吸収合併した⁴⁹。昭和47年10月、富士通はカーオーディオと移動無線機器、自動車用電子機器の製造部門を分社化し、富士通テン(現・デンソーテン)が誕生した⁵⁷。

Decca Navigator社は、技術提携先となる日本の通信機メーカーの選定に際し、欧州企業との提携実績を重視したとされる⁴⁷。表4に示すように、神戸工業は電子管や半導体素子、無線機の製造に関しRCAを始め多くの米国企業と技術提携を行ったが、欧州系はPhilipsとUltra Electronicsの2社に限られている。一方で神戸工業は、富士通との資本提携により同社が保有する独Siemens社のライセンスを二次利用できる立場(sublicensee)にあった⁵⁷。Decca Navigator社は、神戸工業の技術力の高さを評価すると共に、同社の関係会社で日独の通信機製造大手である富士通とSiemensの存在を重視して、デッカシステムの技術提携先を決定した可能性がある。同時期、神戸工業は海上保安庁のトーキングビーコンの開発を手掛けており(表3参照)、同庁電波標識課も神戸工業が有する電子技術と開発力の高さを十分に認識していたと考えられる。

4. 北海道デッカチェーンの建設

4.1 送信局の位置決定から業務開始まで

昭和39年9月15日～10月2日、海上保安庁は北海道デッカ建設のため神戸工業と共同で電波伝搬調査を実施した⁶²。これは、主従局の位置や送信電力、空中線高、計測誤差、有効距離等に関する基礎データの収集が目的で、主局予定地の美瑛に設置した高さ60mの傘形アンテナから85.725kHz、空中線電力600WのA0波とA1

波(標識符号JN9A)を放射し、従局候補の3地点の外に沿岸部や海上、伝搬経路に山岳を含む地点など十数ヶ所で受信した。棒形ループアンテナを接続した雑音電界強度計により、地表波の電界強度と空間波の影響を調査した。その結果、北海道デッカは当初の計画どおり主局を上川地方の上川郡美瑛町、赤従局を釧路地方の厚岸郡厚岸町、緑従局を宗谷地方の稚内市、紫従局を渡島地方の山越郡長万部町に設置することが決定された。また、昼間は電界強度の変動が小さく地表波のみが受信されるが、夜間はかなりのフェージングがあり、位相誤差の原因となる空間波の影響が大きいことが確認された。北海道デッカの置局配置と有効範囲を図1に、各送信局の諸元を表5に示す^{23,62,69}。

電波伝搬調査と並行して、海上保安庁電波標識課は神戸工業と共同で送信アンテナの設計を進め、神戸工業明石工場では送信装置とデッカ受信機の設計が進められた³²。昭和40年度には主局、従局の建設工事が開始され、翌昭和41年度には局舎や宿舎の建設も本格化した。アンテナの建柱や空中線の展張、電力線の引込工事に続いて送信設備の据付が行われ、昭和41年11月末から各局は順次試験電波の発射と機器の調整を開始した^{70,73}。12月前半にはDecca Navigator社技師の立ち会いによる最終調整が行われ、12月中旬以降は主局と従局の位相差を測定し従局側の機器を調整する「主従局基線延長線試験」や、積丹岬やチキユ岬を含む道内数ヶ所で昼夜における測位の安定度を調べる「固定点測定試験」などシステム測定試験が実施された⁷⁴。

昭和42年3月下旬、北海道デッカの各局は郵政省電波監理局の落成検査(新設検査)を受け、3月30日付で無線局免許状が交付された⁷⁴。4月1日に試験業務を開始し、試験運用期間を経て7月1日に業務開始となった。9月27日には美瑛局で北海道デッカ開局の記念式典が挙行されている⁷⁵。

一方、国内チェーン専用の船舶用デッカ受信機は、全真空管式のDecca Navigator社製MK-12型をベースに、神戸工業明石工場が開発が進められた^{76,77}。昭和41年5月には真空管回路の一部をトランジスタ化した試作機が完成し、技術認定のためDecca Navigator社に空輸された。同年11月、実用化を目指し改良を加えた第2次試作機が完成し、型式承認(MS-1A型船舶用デッカ受信機)を経て量産が開始された。

昭和41年、Decca Navigator社と神戸工業に加えて海運、造船、漁業、保険の各社が出資し、国内用デッカ受信機の配給機関として

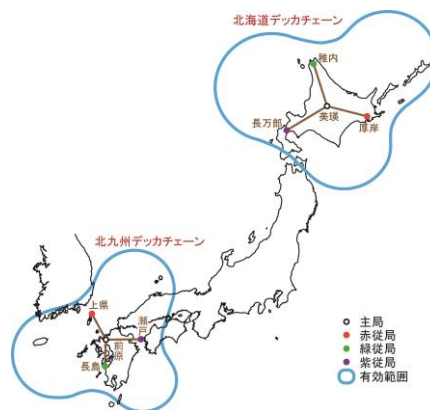


図1 北海道・北九州デッカチェーンと有効範囲

表5 北海道・北九州デッカチェーンの諸元

チェーンコード 基準/同期用 周波数[kHz]	送信局	位相比較用 送信周波数 [kHz]	空中線 電力 [kW]	所在地	送信アンテナ位置			基線延長 [km]	基線上の レーン長* [m]
					北緯†	東経†	標高 [m]		
北海道 9C 1f: 14.2875 8.2f: 117.158	美瑛(主局)	6f: 85.725	1.2	北海道上川郡美瑛町字村山	43°35'55"	142°26'59"	287 [‡]	—	—
	厚岸(赤従局)	8f: 114.300	//	北海道厚岸郡厚岸町字門静	43°03'51"	144°47'41"	84 [‡]	199.203	436.352
	稚内(緑従局)	9f: 128.588	//	北海道稚内市西稚内	45°23'10"	141°39'18"	159 [‡]	208.419	581.802
	長万部(紫従局)	5f: 71.438	//	北海道山越郡長万部町字富部	42°21'47"	140°21'47"	33 [‡]	209.103	349.081
北九州 7C 1f: 14.2283 8.2f: 116.672	前原(主局)	6f: 85.370	0.7	福岡県糸島郡前原町大字白糸 佐賀県佐賀郡富士町大字上無津呂 羽金山	33°27'44"	130°26'41"	900.3	—	—
	上県(赤従局)	8f: 113.827	//	長崎県上県郡上県町大字佐護字北里 千俣蒔山	34°38'24"	129°21'21"	287.4	151.080	438.352
	長島(緑従局)	9f: 128.055	//	鹿児島県出水郡長島町大字城川内字焼頭 春木が岡	32°07'57"	130°08'39"	388.0	147.486	584.222
	瀬戸(紫従局)	5f: 71.142	//	愛媛県西宇和郡瀬戸町志津 大成山	43°35'55"	133°13'32"	388.0	192.372	350.533

(空中線電力は昭和56年当時の値, †旧日本測地系, ‡地理院地図標高データ, *電波伝搬速度299,250km/sでの計算値)

セナー株式会社(資本金2億4千万円)が設立され、同社は昭和42年11月に神戸工業から独占配給実施権を継承した^{33,78-81)}。Decca Navigator社の強い意向により、デッカ受信機は賃貸契約に基づくレンタル方式で配給され、受信機の取付や定期点検、保守、整備はセナー社の出張所や各地の代理店が担当することになった^{5,82)}。

北海道デッカの業務開始に対応するため、海上保安庁水路部は赤、緑、紫の3色に色分けされた双曲線群を記入したデッカチャート(縮尺50万分1)を作成した^{38,83)}。図2に示す「宗谷岬至小樽港」⁸⁴⁾は昭和41年10月刊行の第1号で、旧海軍省水路部が作成した海図(明治41年までの測量)を基にしている。昭和42年末までに関係区域のデッカチャート10種が刊行されたが、これらのチャートは電波伝搬速度を海上で299,600km/s、大地導電率の影響を受ける陸上で299,250km/sと仮定して計算した応急版であった⁸⁵⁾。海岸線付近の複雑な地形に起因する電波の屈曲効果による双曲線の乱れを考慮して、水深20m以内の海域を通る双曲線は省略され、沿岸航行用には不十分であった。そこで、宗谷海峡や噴火湾、根室海峡など主要港湾を含む海域の縮尺10万分1デッカチャートの刊行が計画された。マイクロ波距離測定器(tellurometer)を用いて陸上の2点と船上で三角測量を行い、各点に置いたデッカ受信機の指示値から沿岸部における双曲線の形状を補正する地道な作業が続けられた⁸⁵⁾。

4.2 送信設備

図3は、北海道デッカに設置された送信設備の系統図である⁸⁶⁾。本邦のデッカチェーンでは、位相誤差の原因となる空間波の振幅が地表波の50%に達するまでレーン識別(lane identification)が可能なMK-10方式が採用された⁴⁾。これはDecca Navigator社が開発したmulti pulse型の送信方式で、タイムスケジュールには各送信局が輪番で5波(6f, 8f, 9f, 5f, 8.2f)を同時発射するタイミングが含まれて

いる。ここで、6fは主局、8fは赤従局、9fは緑従局、5fは紫従局が通常発射する電波の周波数で、デッカ受信機はこの4波を加算してレーン識別用の1f信号を得る。一方、8.2fは主従局間の同期用周波数で、航空機用受信機では8.2fと8fの混合によりゾーン識別用の0.2f信号を得ている。

デッカ局舎に設置された送信装置の中核である位相制御器は、真空管回路とトランジスタ化された論理回路で構成され、現用と予備の2台を必要に応じて切り換える。内部は、高安定度の水晶発振回路(周波数安定度±1ppm以下⁶³⁾)で基準周波数の1f信号を発生させる「主発振部」、1f信号を分周・通倍して6f, 8f, 9f, 5f, 8.2fの各信号を生成する「送信駆動部」、1f信号の分周パルスからタイムスケジュールに基づくゲート信号を生成して送信駆動部を制御する「時間信号発生部」で構成されている⁸⁶⁾。従局の位相制御器は、主発振部の位相とタイムスケジュールの時間信号が主局と同期するように、主局の電波を受信して主発振部を制御している。

5波同時発射を行うため、出力1.2kWの真空管式送信機5台(位相比較用主送信機1台、レーン識別用送信機4台)を設置している。各送信機は励振部と電力増幅部(出力600W)のセットが2系列あり、並列合成で出力1.2kWとなる。励振部(双三極管6201×1、五極管6BQ5×6で構成)は位相反転と出力7Wの前段増幅を行うドライブ回路で、電力増幅部はセンタータップ付プレートチョークを負荷とするC級プッシュプル電力増幅回路である^{86,87)}。終段の送信管は、デッカ用に開発された高信頼度の空冷ビーム4極管(型番:K-6022)で、24本のパラプッシュ接続により出力600Wを得ている。電力増幅回路の出力は、カップリングコンデンサを介して接続された同調器(現用と予備の2台有り)でC級増幅に伴う高調波成分を除去する。また、同調器のタンク回路を調整して、コイル舎への伝送線路である同軸

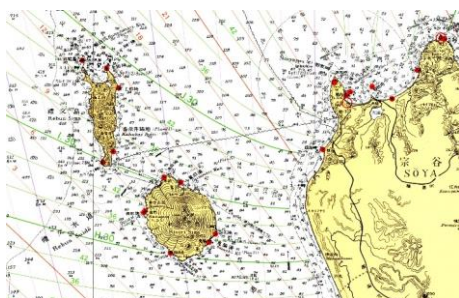


図2 北海道デッカチェーン用海図
(海上保安庁 昭和41年刊行の5万分1デッカ・チャート「宗谷岬至小樽港 日本・北海道北岸及西岸の一部」)

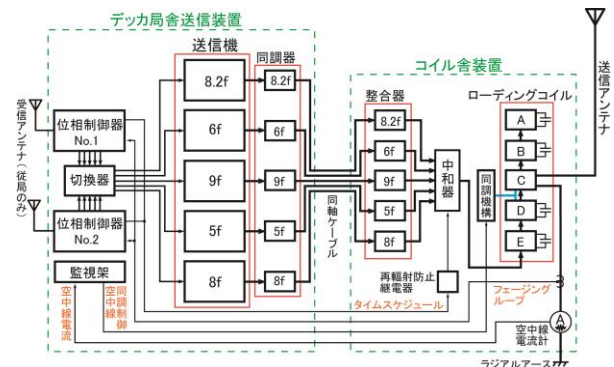


図3 北海道デッカチェーンの送信設備系統図

ケーブル(75Ω)と整合させている^{86,87)}。

コイル舎の中核装置で5波の多重給電を実現するローディングコイルは、5f~9fの各波に共振する高Q値の同調コイル群が、5組の一次巻線を介してM結合されている^{86,88)}。アンテナ同調コイル(コイルC)は空中線容量、4つのバンドスプレッドコイル(A, B, D, E)は高耐圧の固定コンデンサと共振回路を構成している。写真4は、前原局の主アンテナ用ローディングコイルである。コイルの直径は約1mで、アクリル製の枠に高周波損失の低いリッツ線(Litz wire)を層間耐電圧が高いハネカム式で巻き、木製のコイル台で固定している⁸⁸⁾。空中線定数が変化した場合は、監視架から遠隔操作でコイルCに直列に挿入した可変インダクタンス(variometer)と、コイルC, D間の空隙(結合係数)を調整して共振状態を保つ。



写真4 ローディングコイル (前原デッカ局)
(石原雅文氏 提供)

中和器は、ローディングコイルの各一次巻線に並列接続した中和用チョークコイルで、多重給電による漏洩(他の一次巻線への誘導)を防止する^{4,88)}。整合器は、デッカ局舎から伸びる給電用の同軸ケーブルとローディングコイルのインピーダンスを整合させる。

タイムスケジュールの標準動作期間(各送信局が割当周波数の電波のみを発射する時間)に他局が発射した電波を送信アンテナが受信して、ローディングコイルの共振によりアンテナから再放射し、その電波がデッカシステムに誤差を与える可能性がある。そこで、標準動作期間中は位相制御器の指令によって再放射防止継電器を動作させ、割当周波数以外の同調コイルを短絡して再放射を防止する⁸⁶⁾。アンテナ基部の空中線電流は、コイル舎内の熱電対型高周波電流計で測定され、デッカ局舎の監視架でモニターしている⁴⁾。一方のフェージンググループは、位相制御器の主発振器出力とアンテナ基部の検出コイル出力を5f~9fの周波数毎に位相比較し、発射電波の位相ずれを補正するフィードバック機構である⁸⁶⁾。

4.3 送信管

写真5(a)はデッカ局用の送信管で、元箱(b)の上蓋に「デッカ用K-6022」と印字されている。ガラス管面にシルク印刷された型番は剥落しているが、「TEN」・「FUJITSU」のロゴマークと製造時期(1976年5月)が確認できる。本型式は傍熱型酸化陰極ビーム4極管で、RCA社が1952年に開発した増幅・変調・発振用の空冷ビーム管6146(JIS名2B46)の同等管である⁸⁹⁾。一方、写真5(c)の富士通製2B46は「NHK」のロゴマークが入り、放送機材用に製造された高信頼管と推定される。

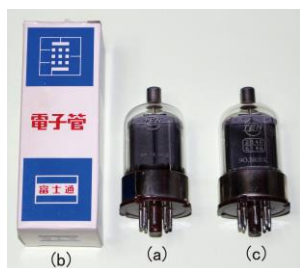


写真5 富士通製ビーム送信管
(a)デッカ用K-6022, (b)K-6022元箱,
(c)2B46(NHK仕様)

表6は、K-6022の一般定格とデッカ用特別定格である^{86,90)}。2B46

表6 デッカ用送信管K-6022の定格

(一般定格)			
E _h (ヒーター電圧)	6.3V	最大定格	
I _h (ヒーター電流)	1.25A	E _p (陽極直流電圧)	600V
g _m (相互コンダクタンス)*	7.0mS	I _p (陽極直流電流)	140mA
μ(増幅率)*	4.5	E _g (第2グリッド直流電圧)	250V
C _{gp} (第1グリッド陽極間容量)	0.22pF	E _{cg} (第1グリッド直流電圧)	-150V
C _{in} (入力容量)	13.6pF	I _{cg} (第1グリッド直流電流)	3.5mA
C _{out} (出力容量)	8.5pF	P _p (陽極損失)	25W
f _{max} (最大周波数)	60MHz	P _g (第2グリッド損失)	3W
*I _p =100mAでの値			
(特殊定格)			
デッカ送信機で使用する場合で、同時投入、並列動作において異常がないこと。			
E _h =6.3V, E _p =600V, E _g =200V, E _{cg} =90V, 第1グリッド入力電圧e _{cg} =92V _{p-p} , I _{cgmax} =1mA, f=140kHzで出力P _o =25W以上			

の連続使用商用規格(continuous commercial service:CCS)に比べ、最大陽極損失が25%増加している^{91,92)}。K-6022の製造では、使用中の特性変動を避けるための「安定化エイジング」や、デッカ送信機と同じ電子回路を用いて安定した並列動作を確認する「並列動作特性試験」、特殊定格に記載された電圧や信号を同時に印加して動作異常(スパーク等)の有無を確認する「同時投入試験」、陽極損失30Wで使用して異常(電極の放出ガスによるグロー放電など)の有無を確認する「真空度試験」が実施された⁸⁶⁾。船舶の安全航行や漁船の操業支援の要となる電波標識の停波を防ぐため、海上保安庁は神戸工業が納品するデッカ用送信管に対し、厳しい品質検査を課していたことが分かる。

昭和34年11月に業務を開始した太平洋ロランチェーンは、米国製を複製した日本電気製ロランA送信機(尖頭出力160kW)が使用された^{15,24)}。強制空冷三極管5680(JIS名7T80R, 陽極損失2.5kW)4本のパラプッシュ接続で電力増幅とパルス変調を行い、陽極供給電圧E_{pp}は15kVであった⁹³⁾。初期には送信管周辺で異常放電が頻発し、過負荷継電器の作動や送信管台碍子の破損により欠射が頻発した⁹⁴⁾。また、輸出品である送信管の調達にも苦労したという。

一方、デッカ送信機ではパラ止め(parasitic surpressor)を施したK-6022が12本一組で並列接続されており、送信機1台で48本、1送信局当たり計240本のK-6022が常時通電状態にあった。神戸工業は、Decca Navigator社の回路設計を踏襲して、国産デッカ送信機の電力増幅部に小型送信管12本の並列動作を採用したと推察される。小型送信管を使用するメリットとして、以下の3点が考えられる。

- ①陽極電圧が1kVを超える大型送信管に比べ、小型送信管の並列動作では陽極電圧が数百V程度となり、異常放電の発生が少なく、後述する無停電電源装置(高圧直流発電機)の出力電圧を低く抑えられる。また、送信管の交換作業も容易である。
- ②大型送信管の場合は、送信管1~2本の故障が欠射に直結する危険性がある。多数の小型送信管を用いた並列動作では、一部の送信管が不良でも欠射や大幅な出力低下を回避できる。
- ③並列接続により送信管の出力インピーダンス(プレート抵抗)が低下するため、負荷用チョークや同調コイルのインダクタンスが低減され、負荷回路の小型化が可能となる。小型送信管の並列接続は、送信管を低出力インピーダンスのパワートランジスタで置換した後継機の開発を見据えた措置であった可能性もある。

4.4 送信アンテナ

- デッキ用送信アンテナの設計では、以下の4点が考慮された⁹⁵⁾。
- ①水平面は無指向性、垂直面は低角度放射（空間波の放射を抑制し地表波の割合を増加）となるよう実効高を大きくする。
 - ②5波多重給電を行うため、アンテナの固有周波数を300kHz以上に設定する。
 - ③リアクタンス傾度（給電点のインピーダンス変化）を小さくするため、空中線容量を増して波動インピーダンス(surge impedance)を下げる。
 - ④アンテナの導体抵抗損、接地抵抗損、碍子の漏洩損と誘電損、コロナ損等を抑制する。

検討の結果、基部絶縁型の塔形アンテナが採用された。鉄柱の高さは200m程度でそれ以下の場合には頂部装荷(top load)を付けること、また鉄柱部分を籠型アンテナとすることが決まった。

スケールモデルを用いた実験によって決定した北海道デッキ用送信アンテナの仕様を、表7に示す⁹⁵⁾。美瑛主局は200m級の籠型アンテナ、3ヶ所の従局は150m級の傘型トップロード付籠型アンテナである。経済的な理由によって、従局のアンテナに支線や碍子の少ない150m級を採用したとされるが⁹⁵⁾、全ての従局が強風や塩害に曝される沿岸部に位置するため、鉄柱と支線の構造的強度や保守点検の負担を考慮して選定した可能性がある。

5波の多重給電時、アンテナの電位は基部で最大35kV、頂部で50kVに達する。よって、鉄柱や支線、アンテナエレメントには多数の絶縁碍子が装着された⁹⁵⁾。鉄柱基部を大地から絶縁しアンテナ全体の重量を支える台碍子、支線の中に挿入する支線碍子、鉄柱と支線を絶縁する塔付碍子(2連の支線碍子)、傘型トップロードと引留線を絶縁する空中線碍子で、台碍子と空中線碍子は長石磁器製である。支線碍子は、tanδが小さい上に機械的強度が高く、熱伝導率が大きく耐熱性に優れ小型化が可能なアルミナ磁器製碍子が新規に開発された。支線碍子ほど耐張力が要求されない空中線碍子には、安価で静電容量が小さい電力用長幹碍子が使用された。

表7に示したように、デッキ局ではアンテナ基部を中心に、アンテナ高と同程度の半径を持つラジアルアースを展張・埋設している。接地抵抗の低い広大なラジアルアース上で反射した反射空間波は、直接空間波と干渉してこれを相殺し、空間波を減衰させる(空間波抑圧効果)。その結果、地表波成分が増強された低角度放射が可能となる¹⁵⁾。

4.5 無停電電源装置

デッキ局の送信機は各々が2系統に別れており、各系統は専用の無停電電源(UPS)から電力を供給される。よって、UPSの1基が故障・停止しても、5台の送信機はそれぞれ1/2の送信出力(600W)で電波を放射できる。UPS1基分の構成を図4に示す^{4,15,86)}。デッキ用

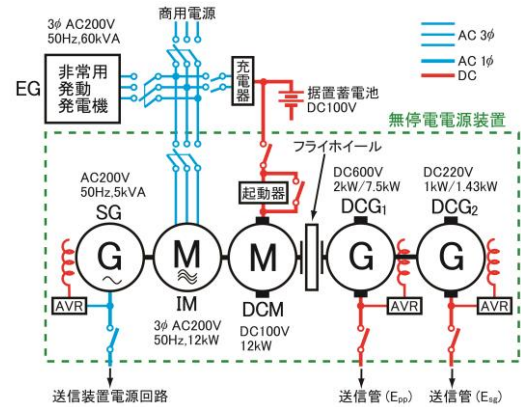


図4 デッキ送信局用無停電電源装置(1基分)
(直流発電機の定格出力は(連続定格/短時間定格))

UPSは5M-M/G-SETと呼ばれる電気機械式無停電電源で、5台の回転機が同一軸上に配置(直結)されている。内訳は、三相誘導電動機(IM)、直流電動機(DCM)、単相同期発電機(SG)、フライホイールを挟んで大小2台の直流発電機(DCG₁とDCG₂)である。

送信機の消費電力は5波同時発射のタイミングで急増するため、送信管用の直流高圧(陽極供給電圧E_{pp}と第2グリッド供給電圧E_{sg})はDCG₁とDCG₂から個別に供給される。SGからAC200Vで供給する送信装置の通常電源(送信管を除く真空管とトランジスタ用の直流電源、全真空管のヒーター用電源、グリッドバイアス用電源)と分離することで、水晶発振回路を含む位相制御器の安定化を図っている。発電機群は界磁制御の自動電圧調整器(AVR)を備えており、DCG₁とDCG₂の定電圧安定度は常時1%以下、負荷変動時10%以下で、整定時間(settling time)は75ms以下である⁸⁶⁾。

通常時、2基のUPS(No.1, No.2)は三相200Vの商用電源でIMを運転し、発電機群を駆動して送信装置に電力を供給する。停電により商用電源を喪失した場合は、UPS No.2はそのまま停止し、UPS No.1は据置蓄電池(DC100V)でDCMを運転して、1/2の送信出力を維持する⁹⁶⁾。同時に、非常用発電機EGのディーゼルエンジンを起動し、EGが整定(出力電圧と周波数が規定値に到達)すると、その出力で停止したUPS No.2のIMを起動する。その後、UPS No.1の動力源をDCMからIMに切り換える。なお、IMとDCMの動力切替時や瞬間的な停電では、フライホイールが蓄積する慣性エネルギーにより発電機群の回転数と出力を安定させている⁸⁶⁾。

昭和34年に開局した太平洋ロランチェーンの送信局では、ロランタイマーや送信機などロラン業務用の電力を、商用電源に頼らず発電機(主局:45HP 25kVA×3台, 従局:40HP 20kVA×3台)から供給した^{15,93)}。太平洋ロランが建設された当時、戦後の電源開発の遅れから全国的に電力事情が悪く、送信局が建つ沿岸部までの配電線も貧弱で停電や電圧低下が頻発し、商用電源は信頼性に欠けていた。

4.6 デッキ受信機

神戸工業が開発したMS-1A型船舶用デッキ受信機は、小型漁船への搭載を想定して、一部電子回路の半導体化により大幅な小型軽量化と省電力化を実現した⁷⁷⁾。受信機の筐体は受信部、指示部、AC電源部(AC100V入力)に3分割され、船内電源に合わせて自動

表7 北海道・北九州デッキチェーン用送信アンテナの仕様

チェーン	送信局	アンテナ型式(高さ)	アンテナエレメント	支線
北海道	美瑛	籠型アンテナ(203m)	籠型アンテナ部 (12条,籠直径6m)	3方4段
	厚岸, 稚内 長万部	傘型トップロード付 籠型アンテナ	籠型アンテナ部 (12条,籠直径6m) 傘型トップロード部 (6条,長さ35m,法角度45°)	3方3段
北九州	前原, 上県 長島, 瀬戸	籠型アンテナ(153m)	籠型アンテナ部 (12条,籠直径6m)	3方3段

鉄柱: 基部絶縁型支線式円管柱(外径1.1m),
接地: ラジアルアース(本数120本, 半径150~200m)

電圧調整器 (AC90～130VをAC100Vに安定化)、インバーター (DC22～35VをAC100V変換)、ロータリーコンバーター (DC100V/200VをDC24Vに変換)が適宜使用された。

写真6は、MS-1A型デッカ受信機の指示部である。受信機の仕様を表8に示す^{5,7)}。3つの筐体を合わせた容積70.3ℓ、重量37kgで、Decca Navigator社製MK-12型と比べ容積比で57.9%、重量比で61.7%の小型軽量化を実現していた。

受信部のレーン数表示回路は、高周波増幅器 (RF AMP)、局部発振器 (LOSC)、混合器 (MIX)、中間周波増幅器 (IF AMP)、位相弁別器 (PD) 及びデコメータ (Decometer) と呼ぶ指示器で構成される^{5,7)}。RFAMPは、主従局の発射電波 (6f, 8f, 9f, 5f) を増幅する4chの増幅器である。LOSCは水晶発振器で、チェーンスイッチに従って水晶振動子を切り換え、ヘテロダイン用パルス信号 (周波数Δ) を出力する。MIXは、RF AMPの出力とn乗倍したLOSC出力を混合して、 $nF=n\Delta-nf$ (n=5,6,8,9) の関係を持つ4つの中間周波数 (6F, 8F, 9F, 5F) に変換する。出力側には他チェーンの干渉を防ぐため狭帯域のクリスタルフィルターを挿入している。IF AMPは4ch・3段の中間周波増幅器で、終段のリミッタ回路により各chの出力電圧の振幅を一定にしている。PDとデコメータは赤、緑、紫用の3chが用意され、各chにはIF AMP出力から基準信号6Fと比較信号 (8F, 9F, 5F) の1つが入力される。PDは、2つの入力信号を互いの最小公倍数となる比較周波数 (24F, 18F, 30F) に通倍して位相比較し、 $\sin\theta$ と $\cos\theta$ (θ :位相差角) に比例した2つの直流電圧を出力する。これを増幅して可動磁石型位相差計であるデコメータの固定直交コイルに印加し、連続的に回転する磁石で指針を駆動してレーン数を表示する。

一方のレーン識別回路は、電圧制御水晶発振器 (VXO) と2chのPD及び指示器 (L.I. meter) で構成されている^{5,7)}。VXOの発振周波数は6F'で、位相比較により主局電波からの6F'信号と同期している。これを6分周した1F'信号と、主従局が順次発射するレーン識別用のマルチパルス (6f, 8f, 9f, 5f電波の同時発射) から合成した1F'信号 (6F, 8F, 9F, 5F信号の重畳波形から生成) をPDで位相比較し、可動磁石型位相差計でLIメータのセクタ指針を駆動する。また、VXO出力の6F'信号とマルチパルスから



写真6 船舶用デッカ受信機 MS-1A型指示部 (電気通信大学UECミュージアム所蔵)

表8 MS-1A型デッカ受信機の仕様

受信チェーン	国内6チェーン
受信方式	海上保安庁式 (英国MK-10方式準拠)
回路方式	水晶制御スーパーヘテロダイン式
中間周波数	6F (主ch): 97.2kHz 8F (赤ch): 129.6kHz 9F (緑ch): 145.8 " 5F (紫ch): 81.0 "
指示方式	デコメータ×3, LIメータ×1
使用能動素子	真空管48本, トランジスタ40個
所要電力	1φ AC100V 50～60Hz 約140VA またはDC24V 約180W
アンテナ	垂直単条アンテナ (長さ7m以上を推奨) またはホイップアンテナ (長さ5m)

生成した1F'信号を6通倍した6F'信号をPDで位相比較し、可動磁石型位相差計でLIメータのバーニヤ指針を駆動する。マルチパルスは、主局、赤従局、緑従局、紫従局の順に2.5秒間隔で発射され、その度に受信機のLIランプが点滅する。LIランプの点灯に合わせて、LIメータは同軸配置したセクタ指針 (扇形) とバーニヤ指針 (6本の細針を60°間隔で配置) で、各パターン (赤、緑、紫) のレーン番号を順番に表示する。

神戸工業は、デコメータ等の位相差計を駆動する直流増幅回路をトランジスタ化し、省電力と位相差計の小型化を実現した^{76,77)}。入力段には、自社開発した高入力インピーダンスの接合型電界効果トランジスタ (JFET) を使用した。出力段は低出力インピーダンスのエミッタフォロワで、真空管駆動に比べて出力電流が大きくなり、位相差計の固定直交コイルの巻数を大幅に減らすことができた。

写真6に示すMS-1A型の指示部では、上段左に電源ボタンとチェーン切換スイッチ、中央にLIメータ、右側にLIランプが配置され、下段左から赤、緑、紫の順でデコメータが並んでいる。

5. 北九州デッカチェーンの建設

5.1 デッカチェーン整備計画

図5は、昭和39年頃に海上保安庁が作成したデッカチェーン整備案⁶⁾で、送信局の配置案と仮のチェーン名称、割当予定のチェーンコードが記されている。日本周辺の海域は6つのデッカチェーンでカバーされ、北九州デッカは主局を福岡・佐賀の県境付近に、従局を対馬、五島列島、国東半島の3カ所に配置する計画であった。

昭和41年8月、海上保安庁は航路標識整備第二次五カ年計画 (昭和42～46年度、総額166億円)⁹⁾を策定し、整備を要する5チェーンのうち北九州デッカを含む緊急性の高い3チェーンを先行して建設するとして⁹⁾。北九州デッカは昭和41年度予算で調査費が認められ、五カ年計画が提示された時点で電波伝搬調査を終えていた。表9に北九州デッカの年表を示す^{3,32,66,98-109)}。

5.2 置局設計と電波伝搬調査

北九州デッカの設計は、主従局の建設予定地の探索から始まった。昭和40年9月、主局の候補地を探すため、本庁電波標識課と七管区の係官が、筑後地方の鷹取山 (標高801.6m) や筑豊平野を望む福智山 (標高900.5m) と三都山 (標高935.9m) など21ヶ所の峰に

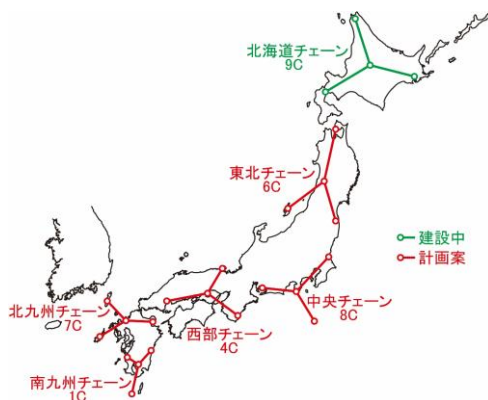


図5 デッカチェーン整備計画 (昭和39年頃)

表9 北九州デッカチェーン年表

年	月日	北九州デッカチェーンおよび関連事項
1960(昭35)	8.-	北九州デッカチェーン整備の予算要求(昭和36、37年度)
1961(昭36)	8.-	北九州デッカチェーン整備の予算要求(昭和37-40年度)
1962(昭37)	8.-	北九州デッカチェーン整備の予算要求(昭和38-40年度)
1965(昭40)	8.-	北九州デッカチェーン整備の予算要求(昭和41-43年度)
	9.-	主従局建設候補地選定のため現地調査開始
1966(昭41)	3.-	福岡佐賀県境の羽金山を主局候補地に選定
	7.16	北九州デッカチェーン電波伝搬調査開始(～7月29日)
1967(昭42)	9.-	羽金山、アンテナ鉄柱基礎工事開始
		電気興業(株)、北九州デッカチェーン空中線工事受注
	10.-	羽金山、海上保安庁専用道路のデッカ橋竣工
1968(昭43)	9.5	前原デッカ局開設準備室発足
	9.11	羽金山、デッカ装置搬入開始
	10.14	前原デッカ局、瀬戸デッカ局試験電波発射
	10.16	長島デッカ局、試験電波発射
	11.7	上県デッカ局、試験電波発射
	11.15	灯台補給船「若草」による海上測定試験(～12月2日)
1969(昭44)	1.-	北九州デッカチェーン試験運用開始
	5.1	北九州デッカチェーン業務開始 前原・上県・長島・瀬戸デッカ航路標識事務所開設
	10.23	北九州デッカチェーン開局記念式挙行
1980(昭55)		前原デッカ局、予備アンテナ設置
1984(昭59)	4.1	野北監視局、新木場固定局、糸島固定局開設
1985(昭60)		北九州デッカチェーン集中化完了
	4.6	前原・上県・長島・瀬戸デッカ航路標識事務所を統合、北九州デッカ航路標識事務所に集約
1998(平10)	4.1	若宮・大瀬戸・瀬戸・都城DGPS局運用開始
	3.10	北九州デッカチェーン廃止
1999(平11)	11.-	上県・長島・瀬戸デッカ局、送信アンテナ撤去(～12月)
2001(平13)	10.1	はがね山標準電波送信所運用開始

登頂したが、送信局の建設に適した平坦な山頂は発見できなかった⁶⁶⁾。主局が背振山系の羽金山山頂に決定したのは、翌年の3月末であった。赤従局の候補地は、昭和40年9月の調査で長崎県上県町の千俣嶺山で即決したが、他の従局の候補地選定は難航した。緑従局の候補地は、昭和41年5月に川内市付近から北上しながら調査した結果、鹿児島県長島町に決まった⁶⁶⁾。紫従局は、国東半島、萩市周辺、長門市周辺、佐田岬半島を巡回調査し、最終的に上県局との夾角関係が良い佐田岬半島の愛媛県瀬戸町が候補地となった¹¹⁰⁾。

昭和41年7月の電波伝搬調査⁹⁹⁾では、羽金山山頂に高さ60mの傘型アンテナを展張し、周波数85.725kHz、空中線電力600WのA0波とA1波(標識符号JN7A)を発射した。電界強度を連続測定する電測点は上県、長島、佐田岬、萩、長門、国東半島の6地点で、灯台補給船「若草」による海上測定(五島列島の玉之浦や済州島周辺)や移動測定、羽金山から20km圏内の近距離測定も実施された。羽金山と長島、佐田岬間では、ロランC(昭和39年1月にUSCGが運用を開始した北西太平洋ロランCチェーン¹¹¹⁾)の受信波に同期した周波数シンセサイザーを用いて位相比較試験も行われた⁹⁹⁾。

電波伝搬調査後に決定された北九州デッカの主従局建設地を表5に、置局配置と有効範囲を図1に示す。北海道デッカと比較すると、基線延長が70～92%と短く、送信アンテナ設置点の標高が高い。特に、主局の標高は美瑛局の3.1倍である。北海道デッカは、広大な周辺海域を1チェーンでカバーするため基線延長が長くなり、加えて美瑛一厚岸間、美瑛一長万部間は途中で高い山岳があり、空間波の影響が大きい夜間に同期誤差を生じやすかった^{110,112)}。

Decca Navigator社の基準では、安定した位相特性を得るため、送・受信点から見て仰角2度を超える範囲に山岳等がないことが条件であった¹¹³⁾。北九州デッカでは、地表波の減衰を抑えて局間同期の安定性を上げるため、主局を標高900mの山頂に置き、各従局も極力高地に設置したと考えられる。また、従局群の配置は、デッカの有効範囲が北部九州周辺の好漁場を漏れなくカバーするように検討した結果と推察される。

紫従局は、発射電波の周波数(5f)が低いと位相変動が大きく、受信機の位相比較回路でも中間周波数の通倍数が最大(6通倍で30F)で、他従局に比べ誤差が大きい¹¹⁴⁾。よって、北九州デッカが赤従局を対馬、緑従局を長島に配置した理由は、対馬西方を含む東シナ海での測位精度を上げ、“緊張の海”での安全操業を支援するためと考えられる。日ソ漁業交渉に翻弄された北海道デッカのオホーツク海から根室沖、好漁場として名高い東北デッカの三陸沖や関東デッカの房総沖も、赤と緑の従局でカバーされている。

5.3 主従局の建設

北九州デッカの建設工事は、前原・上県・長島の各局を七管区電波標識課⁶⁶⁾、瀬戸局を六管区灯台部(五管区電波標識課が併任)が担当した¹¹⁵⁾。七管区にとって、野間池ロランA局の移管工事、対馬ロータリービーコン3局の建設に続く大仕事で、特に前原局の建設では悪路と天候不順に悩まされ続けた。工事の詳細は、七管区電波標識課長であった江並氏の手記に詳しい^{66,100,103)}。

図6は羽金山周辺の地形図で、名勝白糸滝から延びる林道から分岐した海上保安庁専用道路は、同庁初の橋梁「デッカ橋(橋長10.5m)」⁶⁶⁾で川付川を渡り、獅子舞岳を経由して羽金山山頂に至る。福岡・佐賀の県境に置かれた二等三角点(標高900.3m)の脇に電波塔の記号がある。

昭和44年5月1日、北九州デッカは運用を開始し、主従局の管理運用を行う前原・上県・長島・瀬戸のデッカ航路標識事務所が開設された。前原デッカ航路標識事務所は、羽金山を望む福岡県糸島郡前原町大字前原に設置された。一管区が単独で管轄する北海道デッカと異なり、前原局と上県局は七管区、長島局は十管区、瀬戸局は六管区の管轄で、北九州デッカは3管区に跨がる電波標識となった^{102,116,117)}。

5.4 送信アンテナ

図7は、資料から推定した建設当初の前原局の送信アンテナである^{95,118,119)}。北海道デッカの従局と同じ150m級の傘型トップロード付籠型アンテナ(3方3段支線式)で、上県・長島・瀬戸の3従局も同規格の送信アンテナであった(表7参照)。図7に示すように、支線や傘型トップロードには多くの絶縁碼子が装着され、引留用の錨塊(アン



図6 羽金山周辺地形図
(国土地理院 昭和60年修正測量
2万5千分1 地形図「雷山」から
抜粋し加筆)

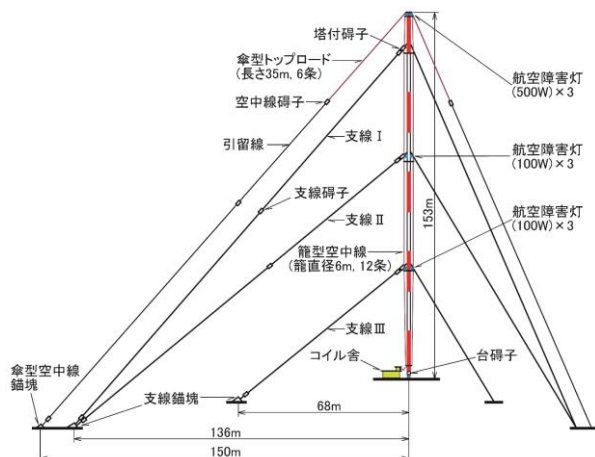


図7 開局当時の前原デッキ局送信アンテナ(推定図)

カー)には羽金山山頂の起伏に応じた高低差が生じている。台碍子で絶縁されたアンテナ基部には、コイル舎からの給電線が接続されている。鉄柱は、航空法に基づく昼間障害標識として紅白に塗装され、航空障害灯も9ヶ所に設置された¹¹⁹⁾。

昭和43年、長万部局で送信アンテナの支線が破断し、鉄柱が屈曲する事故が発生した¹²⁰⁾。直後、建設間もない瀬戸局でも同様の事故が起きた。円柱状の支線碍子を挟む高張力鋼製の金具(タイロッド)の遅れ破壊(delayed fracture)が原因であった。急遽、全デッキ局で支線碍子用金具の改造作業が行われた。

写真7(a)は、長島局の送信アンテナ基部で、コンクリート製の基礎に載った白い台碍子と避雷用保護ギャップ、コイル舎外壁の椀型貫通碍子から延びた給電線が確認出来る。写真7(b)は、前原局のコイル舎内に設置されたオースチントランス(Austin transformer)である。オースチントランスは、一次巻線を施した円環状の積層鉄心と円環状の二次巻線が、空隙を保ちながら垂直に鎖交する“知恵の輪”形の絶縁変圧器で¹²¹⁾、基部絶縁型送信アンテナに設置する航空障害灯にAC100Vを供給する。高い絶縁耐力と、高周波の漏洩を防ぐ低キャパシタンスが特徴で、デッキ局では耐電圧60kVのタイプが使用された¹²²⁾。写真7より、航空障害灯の電源ケーブルは、アンテナ基部に接続する給電線(中空導体)の内部を通してコイル舎内に導かれ、オースチントランスの二次側に接続されていたと推定される。

5.5 空中線電力の謎

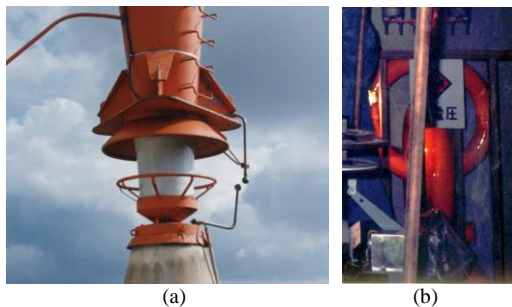


写真7 デッキ送信アンテナ付属装置(第七管区海上保安本部 提供)
 (a)送信アンテナ基部と避雷用保護ギャップ(長島デッキ局)
 (b)第一コイル舎内のオースチントランス(前原デッキ局)

北九州デッキでは、先行した北海道デッキとほぼ同規格の送信設備と非常用電源が設置された。しかし、海上保安庁が昭和56年に発行した燈台表²³⁾によると、北九州デッキ各局の空中線電力は0.7kWで(表5参照)、北海道デッキや昭和50年以降に整備された東北・関東・四国の各デッキの空中線電力(1.2kW)の6割弱となっている。昭和49年に発行された北九州デッキの電波伝搬特性に関する報告¹²³⁾も、送信出力を700Wと記載している。ところが、平成2年発行の燈台表¹²⁴⁾では、北九州デッキ各局の空中線電力は1.2kWと表記されている。

図1に示すように、北九州デッキの有効範囲は朝鮮半島南端部とその沿岸海域に及んでおり、出力上昇による有効範囲の拡大は韓国や中国との漁業交渉に影響を与える虞がある。北九州デッキでは、周辺国への配慮から、空中線電力を700Wに抑制していた期間があったと推察される。

5.6 RAMMEとRASME

北九州デッキでは、送信装置の位相制御器(FC)が従来の2台から3台に増設され、発射電波の位相やレーン識別信号の自動監視と制御を行う新たなシステムが導入された^{4,123)}。本システムは、主局用のRAMME(rechecking automatic master monitor equipment)と従局用のRASME(rechecking automatic slave monitor equipment)で構成され、各局では3台の位相制御器の出力を比較検定して、多数決の原理で正常なFCを選定する。現用FCの位相変動が上限を超えると、これを切り離し次位のFCに切り換える。3台のFCが正常な場合は、1時間単位で順次切り換える。また、レーン識別信号のタイミングを監視するため、各FCの時間信号を比較検定し、異常を検知した場合は次位のFCに切り換える。更に、RASMEは受信した主局6f電波と自局発射電波の信号レベルの監視とレベル低下の検出や、主局6f電波と自局発射電波の位相比較と異常な位相変動の検出、主局6f電波と混信する妨害波の監視など多くの役割を担っていた。北九州デッキにおける自動監視切換装置の導入は、その後のデッキチェーン集中化の試金石となった可能性が高い。

6. 北九州デッキチェーンにおける設備改良

6.1 頻発する雷害

開けた平野や高地の頂に高さ150mを超える鉄柱が屹立するデッキ送信局では、落雷による被害が甚大であった。開局間もない北海道デッキでは、稚内局のローディングコイルが雷撃で焼損し、軸方向に吹き飛ばす被害が発生した⁸⁸⁾。厚岸局でも落雷でローディングコイルが破損し、UPSも停止して欠射となった¹²⁶⁾。

北海道デッキに比べて主従局の標高が高い北九州デッキは、雷害が一層深刻であった。開局前の試験運用中、前原局では落雷によりローディングコイル(コイルC)が破損し、上県局や瀬戸局でも落雷による欠射が発生した¹⁰³⁾。冬季降雪時の前原局の落雷は特に強烈で、送信アンテナから200m離れた局舎まで地響きが伝わったという¹²⁷⁾。長島局も落雷が多く、「鉄柱に向かって火花が機関銃のように飛ぶ」と言われていた¹⁰³⁾。更に、「長島局では、雷鳴が鳴るとFCの動作が不安定になり、RASMEが次々にFCを切り換える暴走状態に陥った」との証言もある¹²⁸⁾。これは、落雷による空電で局間同期が不安定になることを示唆している。

気象庁が昭和29～38年の観測で作成した年間雷雨日数分布図(isokeraunic level map)¹²⁹⁾によると、北海道デッカ各局は年間雷雨日数が10日以下の地点にある。一方、前原局と長島局は30日以上、瀬戸局は20日以上エリアに属し、北九州デッカの雷害の多さを裏付けている。沖合を対馬暖流が流れ、北西の季節風が吹き付ける冬の脊振山系は、北陸地方と同様に冬季雷(winter lightning)の多発地帯であった。冬季雷は、①夏季雷に比べて雷雲の高度が低く、所有電荷量が大きい、②電撃数は少なく、前触れもなく突然発雷する“一発雷”がある、③雷電流の継続時間が長く、被害が大きい等の特徴を持つ^{130,131)}。なお、一発雷には標高の高い場所の建造物から上向きリーダ(upward leader)が開始し、それが進展して発雷するトリガード雷(triggered lightning)が含まれる^{131,132)}。高山にある前原局で、アンテナの雷害対策が極めて重要であったことが分かる。

6.2 雷害対策

アンテナからコイル舎に侵入した雷電流がローディングコイルに流れると、耐熱性の低いリッツ線が焼損する。また、発生する電磁力でコイルが移動し、同調ずれにより空中線電力が低下する。その後、図8に示す雷害防止策が行われた。アンテナ基部に設置した従来の避雷用保護ギャップに加え、コイル舎内部の給電線引込部にも保護ギャップを取り付け、コイルCと直列に雷保護ヒューズを挿入している^{103,133)}。

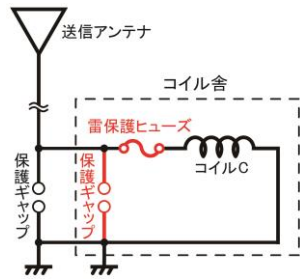


図8 デッカ局の雷害対策 (赤色は追加された設備)

雷保護ヒューズは、Siemens製の電力用高圧限流ヒューズ(high voltage current-limiting fuse)で¹²⁰⁾、ヒューズエレメント(螺旋状のPt平導線)を覆うセラミック管には消弧剤の珪砂(SiO₂)が充填されている。エレメント溶断時に生じる金属蒸気を含むアークプラズマは、珪砂中に拡散して急速に冷却され、導電率の低下で高いアーク電圧が発生する。その限流作用により、回路を高速に遮断できる¹³⁴⁾。

デッカ用雷保護ヒューズの動作時間は数十μsで、遮断後は保護ギャップにより雷電流を逃がす¹²⁰⁾。瀬戸局での試験で有効性が確認された雷保護ヒューズは、その後全デッカ局に設置された。

6.3 予備コイル舎の設置

写真8は、昭和50年3月に撮影された羽金山山頂の空中写真¹³⁵⁾で、アンテナ鉄柱の脇に2棟のコイル舎が確認出来る。開局直後(昭和44年5月)の写真¹³⁶⁾では第一コイル舎のみが写っており、第二コイル舎は後に追加されたことが分かる。新旧のコイル舎は、コイル切換時の送信機の調整を考慮して、アンテナ基部への給電線の長さ(電気特性)が等しくなるよう



写真8 前原デッカ局コイル舎 (国土地理院の空中写真CKU7423-C3-17[昭和50年3月撮影]の一部を拡大し加筆)

に配置されている。一方、上県・長島・瀬戸の3従局に予備のコイル舎が設置された記録はない。

前原局では、雷保護ヒューズの導入後も深刻な雷害に見舞われ、ローディングコイル全体の交換が必要な事態も発生した⁸⁸⁾。予備コイルの搬入と現用コイルとの交換、再調整には長時間を要する。更に、冬季雷が襲来する厳冬の羽金山では、積雪や凍結のため専用道路を用いたコイルの緊急輸送が困難である。チェーンの要である前原局を雷害から早期に復旧させるため、第二コイル舎を設置したと推察される。

6.4 非常用アンテナの設置

デッカ局では、アンテナ鉄塔の補修や塗装の塗替、航空障害灯の交換などの保守作業に伴う長時間の停波が必要で、特に主局の停波中はチェーン全体が運用停止となる。そこで、昭和55年度から各デッカチェーンの主局に非常用アンテナが順次整備された¹⁰⁴⁾。前原局はその第1号で、主アンテナ用の第二コイル舎を転用した。その結果、非常用アンテナのインピーダンス特性を主アンテナに近づける必要が生じ、アンテナ設計に時間を要したという¹⁰⁴⁾。

一方、昭和52年10月に撮影された北海道デッカ美瑛主局の空中写真¹³⁷⁾では、主アンテナ用の予備コイル舎は確認できない。また、昭和57年度に美瑛局に設置された非常用アンテナの写真では、コイル舎の給電線引出口(腕型貫通端子)が主アンテナの基部と対向しておらず¹⁰⁴⁾、非常用アンテナ用のコイル舎を新規に建設したと考えられる。よって、停波対策の切札となる非常用アンテナは、主アンテナ用第二コイル舎が活用可能な前原局に試験的に導入され、その後他のデッカチェーンに拡大された可能性がある。

図9は、平成3年の前原局の敷地平面図^{104,118)}で、鉄柱を支える支線は省略している。非常用アンテナは、高さ60mの鋼製支柱(3方3段支線式)から展張した傘型アンテナ(15条)と、第二コイル舎から支柱頂部に伸びる2組の籠型給電線(6条)で構成される。支柱は主アンテナの中心から南南西90mの位置にあり、放射効率を考慮して基部の台碀で大地から絶縁している。外見以上に、主アンテナ(傘型トップロード付籠型アンテナ)との共通点が多い構造である。

写真9(a)は、前原局の主アンテナ(左手前)と非常用アンテナ(右奥)で、厳冬期のためアンテナエレメントや支線に着氷が見られる。写真9(b)は、霧に覆われた主アンテナの基部で、左が主アンテナ用第一コイル舎である。右の第二コイル舎からは、2基の引止柱から伸

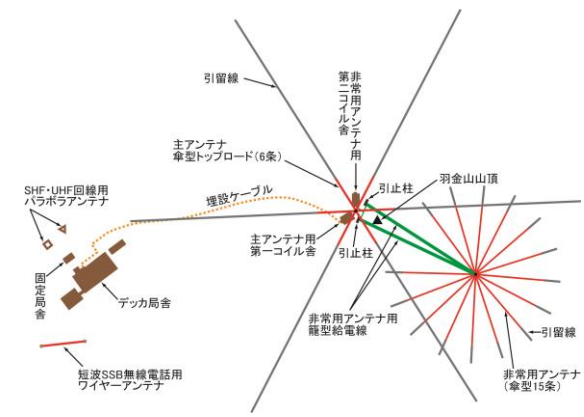


図9 前原デッカ局敷地平面図(平成3年頃)

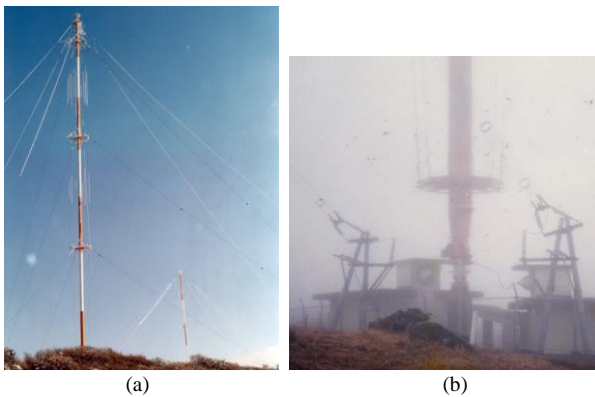


写真9 前原デッカ局の送信アンテナと非常用アンテナ用給電線
 (a)主アンテナ(左)と予備アンテナ(右)(石原雅文氏 提供)
 (b)主アンテナ基部のコイル舎と給電線(第七管区海上本本部 提供)

びた2組の籠型給電線で非常用アンテナの頂部に給電している。
 昭和60年代、北九州デッカでは従局にも簡易型の非常用アンテナが設置された。長島局で撮影された写真¹³⁸⁾には、3条のワイヤーアンテナで構成された非常用アンテナが写っている。コイル舎の外壁に増設した専用の椀型貫通端子から引止部の端子まで給電線が延長され、引止部から3ヶ所の支線端子(アンテナ鉄柱の2段目支線の間付近)に向かって、3方向にエレメントが展張されている。

7. 北九州デッカチェーンの集中化

7.1 デッカチェーンの増設と技術革新

北九州デッカの業務開始から7年後の昭和51年3月30日、東北デッカチェーン(以下、東北デッカ)が運用を開始した¹³⁹⁾。世界有数の好漁場である三陸沖から常磐沖、津軽海峡を経て日本海側の秋田沖、新潟沖に至る広大な海域をカバーするチェーンであった。東北デッカの建設が大幅に遅れた最大の要因は、長距離航行用超長波電波標識オメガ(Omega navigation system)の日本局建設に伴うデッカ整備計画の一時中断であった¹⁴⁰⁾。対馬オメガ局は、昭和50年5月1日に長崎県上対馬町舟志湾で運用を開始した¹⁴⁰⁾。

建設が先送りされた東北デッカには、電子技術の急速な進歩を反映して、下記に示す様々な新機軸が盛り込まれた^{139,141)}。

- ①主局での集中監視と遠隔操作による従局の無人化(主従局間に監視制御用400MHz UHF回線を設置)
- ②監視受信局による主従局電波のモニタリング(主局と監視局間に12GHzマイクロ波回線を設置)
- ③半導体化による送信設備の信頼性向上と小型・省電力化
- ④サイリスタを用いた静止型無停電電源装置の導入
- ⑤ATAM装置(天候によるアンテナインピーダンスの変化に即応する自動同調整合装置)の導入
- ⑥雷保護ヒューズの溶断検出とヒューズ交換の自動化

送信装置の開発は、神戸工業の事業を継承した富士通が担当した。電力増幅部(パワー素子48個のパラプッシュ接続)には、富士通製の高耐圧大電力用Siトランジスタ2SC1230L(三重拡散メサ型)が用いられた^{142,143)}。

東北デッカに続く集中管理式のデッカチェーンとして、関東デッカ、四国デッカ、北陸デッカが順次整備された。各チェーンの諸元を表10に示す^{23,64,68,139,144-148)}。東北デッカと関東デッカは、紫従局の

表10 昭和50年以降に増設されたデッカチェーンの諸元

チェーンコード	基準/レーン識別用周波数[kHz]	送信局	位相比較用送信周波数[kHz]	空中線電力[kW]	業務開始年月日
東北	6C	金成(主局)	6f: 85.185	1.2	1976(昭51).3.30
	1f: 14.1975	川内(赤従局)	8f: 113.580	〃	
	8.2f: 116.420	種市(緑従局)	9f: 127.778	〃	
関東	8C	粟島(紫従局)	5f: 70.988	〃	1976(昭51).12.15
	1f: 14.2583	館山(主局)	6f: 85.550	1.2	
	8.2f: 116.918	八丈島(赤従局)	8f: 114.067	〃	
四国	4C	鉢田(緑従局)	9f: 128.325	〃	1979(昭54).3.3
	1f: 14.1383	奈半利(主局)	6f: 84.830	1.2	
	8.2f: 115.9340	大月(赤従局)	8f: 113.107	〃	
北陸	2C	太地(緑従局)	9f: 127.245	〃	1982(昭57).4.20
	1f: 14.0775	三国(主局)	6f: 84.465	1.2	
	8.2f: 115.436	珠洲(赤従局)	8f: 112.620	〃	
	5f: 70.388	鳥取(緑従局)	9f: 126.698	〃	1985(昭60).5.1

建設遅延のため当初2従局で業務を開始した。四国デッカと北陸デッカは、地理的条件から有効範囲の狭い2従局型となった。従来の3従局型では、内陸部に配置した従局の発射電波が山岳地帯を超えて伝搬し、位相誤差の原因となるためであった¹⁴⁹⁾。

関東デッカでは、用地取得の困難さと経済的理由から、敷地面積が小さい高さ120mの送信アンテナ(傘型トップロード付籠型アンテナ)が採用された¹⁵⁰⁾。150m級送信アンテナの既成局と同程度の放射効率を得るため、傘型トップロード部のエレメント数の増加(12条)やエレメントの伸長を行なっている。その後の四国デッカや北陸デッカでも、120m級の送信アンテナが設置された^{151,152)}。また、冬季雷の多発地帯にある北陸デッカの各局では、送信アンテナに特殊な消雷システムが装備されている^{153,154)}。

関東デッカの館山局と浜岡局には、主従局間の同期誤差を抑制する目的で、高安定性のCs原子周波数標準(cesium atomic frequency standard)を内蔵した独立同期式送信機が設置された¹⁵⁵⁾。その後、同装置は北海道デッカなど複数のデッカチェーンに導入され、システムの安定化に寄与した^{153,156)}。写真10は、前原局の位相同期装置に組み込まれた富士通製Cs原子周波数標準である。



写真10 前原デッカ局のCs原子周波数標準
 (第七管区海上本本部 提供)

7.2 設備更新と集中監視制御回線の整備

デッカチェーンの新設が続く中、開局から十数年が経過した北海道デッカと北九州デッカの集中化工事が実施された。北九州デッカでは、昭和57~59年度の3年間で実施され¹⁵⁷⁾、固体化された新型送信機への換装や静止型無停電電源の導入、監視受信局の設置や監視制御回線の整備が行われた。その結果、上県・長島・瀬戸の3従局が無人化され、4ヶ所の航路標識事務所の統廃合により昭和60年4月に北九州デッカ航路標識事務所が発足した¹⁰²⁾。

昭和44年5月の開局以来、主従局間の連絡は短波SSB無線電話(2M/6MHz帯の昼夜間切替、単信通話)で行われてきた¹⁵⁷⁾、集中化工事により一変した。図10は、昭和59年頃の北九州デッカ監視制御

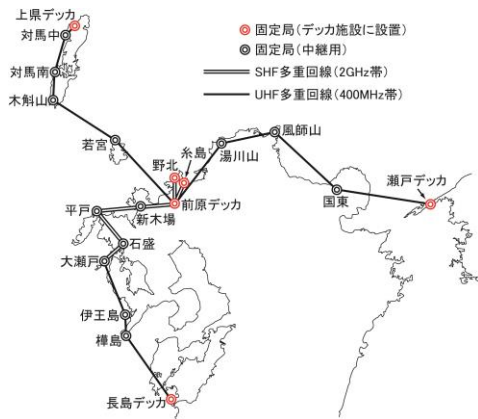


図10 北九州デッカチェーンの監視制御用多重回線(昭和59年頃)

用多重回線の経路図である^{157,158)}。主従局間は400MHz帯のUHF回線(PM変調)が主体で、前原局周辺と佐世保方面が2GHz帯のSHF回線(PCM変調)である。野北固定局は野北監視受信局、糸島固定局は北九州デッカ航路標識事務所に設置されている。対馬トーキングビーコンの3局を経由する対馬系通信路と七管本部のある門司(風師山)までの通信路は、対馬オメガ局の開局に合わせて整備されたと推測される¹⁵⁹⁾。その後、対馬系を含むUHF回線の多くがマイクロ波多重回線に格上げされた。平成6~9年に前原局で勤務した石原雅文氏によると、「前原・上県・瀬戸の3局間はマイクロ波回線であったが、長島系はUHF回線のままであった」という。

8. 北九州デッカチェーンの終焉

8.1 新設デッカチェーンの苦戦

北陸デッカの業務開始により、南西海域と小笠原海域を除く日本周辺の海域をカバーするデッカ網が完成した。しかし、東北デッカ以降に整備されたチェーンは漁業者の利用が伸びず、デッカ受信機のリース契約数も低迷した¹⁶⁰⁾。主な原因を以下に示す^{110,161)}。

- ①夜間は空間波の影響による誤差が増加し、航行や操業に支障が生じる(パルス波を用いるロランAは空間波の分離が可能)。
 - ②導入時期がロランAより約10年遅く、知名度が低い。
 - ③利用者は受信機のレンタル制度になじみがなく、レンタル料も高額で買取制のロランA受信機に比べて割高な印象を与えた。
 - ④日本周辺のほぼ全域で利用可能なロランAに対し、デッカはチェーン整備計画の遅れによって有効範囲が限定され、精度面での優位性をアピールできなかった。
 - ⑤東北デッカなど有効範囲に好漁場がある場合も、データ集積のあるロランAからの乗換需要が少なかった。
 - ⑥昭和50年代、新たに登場したロランCは好漁場での位置精度が高く、またデジタル技術とLSIの採用によってロランC受信機の性能向上と低価格化が進み、同受信機の装備船が急増した。
- 原因①に関して、昼夜を問わず高精度な船位測定を可能にするためデッカ局の配置を見直し、基線延長の長い北海道デッカを3チェーン、東北デッカを東西2チェーンに分割する案も検討された¹⁶¹⁾。また原因⑥に関しては、デッカ受信機も指示器のみ固体化した初代MS-1A型から、受信機全体を固体化したMS-3A型、マイコンやLSI等のデジタル技術を採用したMS-5A型など新機種投入が続け

表11 日本における双曲線航法システムの廃止

年	月日	関連事項
1993(平5)	6.30	東北・関東・北陸・四国デッカチェーン廃止
	7.1	落石・大釜崎・波崎・八丈島ロランA局廃止
	10.1	USCG、十勝太・慶佐次ロランC局を日本に移管
1994(平6)	10.1	USCG、硫黄島・南鳥島ロランC局を日本に移管
	10.1	硫黄島ロランC局廃止、新島ロランC局開局
1997(平9)	5.9	松前・新潟・米子・対馬・野間池・宮古ロランA局廃止
	9.30	対馬オメガ局廃止
1999(平11)	3.10	北九州デッカチェーン廃止
2001(平13)	3.1	北海道デッカチェーン廃止
2009(平21)	12.1	南鳥島ロランC局廃止
2013(平25)	2.1	十勝太ロランC局廃止
2014(平26)	2.1	新島ロランC局廃止
2015(平27)	2.1	慶佐次ロランC局廃止

られたが⁷⁶⁾、Decca Navigator社との契約により開発と製造が富士通1社に限られたこと、終末期までレンタル制度が継続されたことが足枷となり、性能や価格の面で遅れをとった可能性がある。

8.2 ロランCの移管とデッカチェーンの廃止

1980年代後半、米国はNavstar衛星を用いたGPS技術の急速な発達と、東西冷戦の終結を見据えた極東アジア戦略の見直しにより、USCGが運用する北西太平洋ロランCチェーン(硫黄島主局と慶佐次・Guam・十勝太・南鳥島の4従局で構成)を平成4年に廃止すると日本に通告した¹⁶²⁾。日本政府は、利用船の多いロランCを存続させるため米国と交渉を重ね、Guam局を除く同チェーンは平成5年7月に日本に移管され、海上保安庁による運用が始まった¹⁶³⁾。同年10月には、硫黄島局の新島への移転も完了した¹⁶⁴⁾。海上保安庁は、ロランCの運用費用と要員の確保を理由に¹⁶⁵⁾、有効範囲が重複する太平洋側のロランA4局と東北・関東・四国・北陸のデッカチェーンを平成5年6月末で廃止した^{163,166)}。双曲線航法用電波標識の廃止の流れを表11に示す^{112,167-169)}。

開局から34年でその役割を全うした太平洋ロランAチェーンの各局に比べ、北陸デッカの稼働期間は僅か8年で、あまりにも早い退場劇となった。一方、利用船数の多い北海道デッカと北九州デッカは当面の間存続させることが決まった。

8.3 終末期における前原局の状況

平成6年4月から平成9年3月まで北九州デッカ運用官を務めた石原雅文氏に当時の前原局の状況を尋ね、以下に示すような証言を得た。主アンテナやマイクロ波回線など前原局の諸設備の詳細や落雷時の対応、雷害の深刻さが分かる。

- (1) 前原局は、常時2名の24時間勤務(日勤+夜勤)で運用された。積雪時は、除雪車は頼まず羽金山山頂まで徒歩で登った。従局のメンテナンス作業は、2泊3日または3泊4日の出張となった。
- (2) 送信機の保守作業は無かったが、前原局内には廃止されたデッカ局の送信機ユニットや備品が大量に保管されていた。
- (3) 送信アンテナには、航空障害灯と航空障害灯不点通報装置(断芯等による不点を検出し、小電力の400MHzで自動的に通報する)が取り付けられ、オースチントランスから電力を供給した。
- (4) 前原局のマイクロ波固定局からは、壱岐や平戸方面、野北固定局や福岡航空基地向けなどの回線に加えて、湯川山中継所を経由して七管本部に向かう多くの回線が伸びていた。1組の送受

信周波数を時分割して使う多方向多重回線で、固定局の鉄塔には各局に向けたパラボラアンテナが複数設置されていた。

- (5) 定期点検は年1回で、主アンテナの基部を強制的にアースに落とし、予備アンテナで運用した。予備アンテナは効率が低く、電波の乗りも悪かった。点検期間は最長1週間で、天候に恵まれ航空障害灯のキセノンランプ交換だけの場合は、2,3日で終了した。
- (6) 夏の雷は、徐々に雷雲が近づいてくる兆しがある。一方、冬の雷は突然落ちる“一発雷”で、霰や雹が降る時は100%近い確率で一発雷に襲われた。
- (7) 落雷で雷保護ヒューズが溶断するとアンテナをアースに落とし、雷雲が去ったことを目視で確認して再発射した。夜間は確認できないため、朝まで停波することが殆どであった。落雷で停波した時は、海上保安庁本部に電報で連絡し「航行警報」を出した。夜間操業の漁船はデッカを当てにしておらず、夜間に停波しても苦情は来なかった。
- (8) 落雷では、雷保護ヒューズ切替器の半導体基板が度々焼損した。高圧受電設備の主トランスが破損したこともある。上県局の落雷では、アーク放電によりヒューズの磁器製外管が溶けていた。
- (9) 上県局では、主アンテナの傘型エレメントが切れて鉄柱と支線に絡みつき、長期間予備アンテナで運用した。北九州デッカの廃止が検討される中、エレメントの張り替えは見送られ、切れたエレメントを根本から切断した。空中線定数が変化した主アンテナと整合をとるため、ローディングコイルにリッツ線を巻き足した。

8.4 DGPSへの移行と北九州デッカの閉局

平成9年、福岡県漁業協同組合連合会主催の「北九州デッカの今後とDGPSの整備計画に関する説明会」が、吾智網漁業者を対象に開催された¹⁷⁰⁾。吾智網漁は、漁船で網を曳いて魚礁に群れた魚を追い込む伝統漁法で、筑前海(響灘と玄海灘を合わせた海域)では二艘引きの「二双吾智網」が主流である¹⁷¹⁾。当時、吾智網漁に従事する約300隻が魚礁の位置確認にデッカを利用していた。高い精度に加え、前原・上県の両局が作るデッカチャート上の赤い曲線が、潮流の方向にほぼ一致することも大きな魅力で、「デッカを使い熟せるか否かで、水揚げが大きく変わる」と云われた¹⁰⁸⁾。また、吾智網漁船は早朝出航し夕方から夜にかけて帰港するため¹⁷²⁾、夜間に測位精度が低下するデッカとの親和性も高かった。平成3年、海上保安庁がデッカの段階的廃止を表明すると¹⁷³⁾、危機感を感じた漁業者と福岡県漁連は北九州デッカの存続を強く要請した¹⁰⁸⁾。

DGPS (Differencial GPS) は、GPSの測位精度を向上させる補正データを中波帯で送信する電波標識である。多くは既設の中波無線標識局を改修し、標識符号発射用の搬送波を補正データのデジタル信号でMSK (minimum shift keying) 変調していた¹⁷⁴⁾。平成9年3月に剣埼と大王埼のDGPS局が正式運用を開始し、九州周辺海域をカバーするDGPS局も年度内に整備される予定であった¹⁰⁶⁾。上記の説明会は、デッカからDGPSへの乗換に対する漁業者の不安解消が目的であったが、デッカで蓄積した魚礁や操業ポイントの位置データの読み替えや、指針(デコモーター)によるアナログ表示から数値表示への変更に、困惑する漁業者も多かった¹⁷⁰⁾。

平成10年4月1日、若宮・大瀬崎・都井岬・瀬戸のDGPS局が運用を開始した(佐田岬の瀬戸は新設のDGPS専用局)^{107,174)}。そして平

成11年3月10日、前原局で北九州デッカ閉局式が挙行された¹⁰⁸⁾。閉局から30年目の春、筑前海の漁業者たちがデッカからDGPSへ無事移行する様子を見届けて、北九州デッカはその役割を終えた。

8.5 はがね山標準電波送信所

平成11年11月から12月にかけて、上県・長島・瀬戸の3従局で送信アンテナの撤去工事が行われた¹⁰⁹⁾。瀬戸局では12月10日に控屈工法により鉄柱が倒され、敷地内には後継の瀬戸DGPS局が残った。一方、前原局の跡地には長波標準周波数局(JJY)が建設された。平成13年4月1日に運用を開始した独立行政法人 通信総合研究所(現・情報通信研究機構)の「はがね山標準電波送信所」で³⁾、支線式基部絶縁型の傘型アンテナ(高さ200m)から、日本標準時を含むタイムコードを日本全国の電波時計に向けて送信している。

平成11年6月10日に福島県の大鷹鳥谷山(標高794m)に開局した「おおたかどや山標準電波送信所(高さ250mの傘型アンテナ、周波数40kHz、空中線電力50kW)」³⁾も、東北デッカの川内局(赤従局)の跡地を利用している。新設の長波JJY局が何れもデッカ局の跡地に設置された理由として、①標高が高く、山頂に開けた土地が確保できる、②専用道路や電力線、電話回線が整備済みである、③デッカ運用時に測定された電波伝搬特性(長波帯)のデータが活用できる、の3点が考えられる。北九州デッカは北海道デッカより2年早く廃止されたが、西日本における電波時計の普及促進と大鷹鳥谷山局を補完するJJYの必要性から、第2送信所の建設を急ぐ郵政省と海上保安庁の間で何らかの調整が行われた可能性がある。

平成23年3月12日、東京電力福島第一原子力発電所の事故により、原発から17kmに位置する大鷹鳥谷山局に避難勧告が出され、無人となった同局は標準電波の送信を停止した³⁾。同年9月に遠隔運用制御システムが導入されるまで、大鷹鳥谷山局は送信再開と停波を繰り返した。この間、羽金山局は機器の保守や雷害回避、商用電源の異常による短時間の停波を除いて、日本全体に標準周波数と日本標準時を供給し続けた¹⁷⁵⁾。

9. おわりに

1970年代後半、私は自作した管球式全波受信機でKTWRやDeutsche Welle, HCJBなど短波帯の海外日本語放送を聴いていた。中短波と短波のJJYは、女声の時刻読み上げが楽しかった。管球式の長波コンバーターも製作し、VladivostokやKhabarovskなどソ連沿海州の長波放送や、芦屋、築城、小月の航空無線標識にダイヤルを合わせた。微弱ながら、角島、若宮、女島の中波無線標識局が発するモールス信号も捉えることができた。これが、“電波の灯台”との出会いである。

数年前、職場の先輩で登山が趣味のO先生から、長波JJY局が置かれた羽金山の登山道に「デッカ橋」という名の小さな橋があると教えられた。電波航法の知識は皆無だったが、デッカやロランの名を耳にしたことはあった。平成9年8月に仕事で上対馬を訪れ、巨大なオメガ塔を眺めた記憶もあった。私は、羽金山のJJYがデッカ局の跡地に建てられた事実を知り、デッカに関する文献を集め始めた。

平成30年3月、O先生のガイドで羽金山の山頂を目指した。劣化の激しいデッカ橋を渡り(写真11参照)、ツクシヨウジョウバカマの可憐な姿を探しながら自然林の中を歩き、漸く三角点のあるなだら

かな山頂に到着した。天を衝く高さ200mの傘型アンテナと焦茶色の巨大な台座に圧倒された。アンテナ基部や給電線、支線端子には超高圧電気設備の証であるコロナリングが装着され、要所要所に配置された避雷用保護ギャップは雷との熾烈な闘いを物語っていた。



写真11 羽金山中腹のデッカ橋
(平成30年3月, 加島 篤 撮影)

その後、元海上保安官で前原局での勤務経験のある宮崎 巖氏と石原雅文氏から、当時の話を伺うことができた。ロラン、デッカ、オメガなど様々な電波標識局の業務を経験し、無線工学に精通した両氏の証言は、極めて興味深いものだった。私は、北九州デッカ開局の時代背景や廃止に至る経緯を調べ、地域の電気技術史の1ページとして記録に残したいと考えるようになった。

同年6月、記念誌「デッカとともに」を入手し、デッカ導入の顛末やデッカチェーン建設時のエピソード、デッカの運用を担当した海上保安官の苦労など、多くの事実を知った。しかし、最初に整備された北海道デッカに比べ2番手の北九州デッカに関する記述は少なく、デッカ事業全体を俯瞰できる年表も未収録であった。

8月中旬、第七管区海上保安本部から北九州デッカ関係資料の閲覧許可が下りた。電波伝搬試験報告書やチェーン集中化に伴う整備工事の図面や写真、廃止後の機器撤去工事の写真など貴重な資料を入手することができた。10月には燈光会の会員となり、会誌「燈光」の膨大なバックナンバーから電波標識に関する記事を洗い出す作業を始めた。その結果、北九州デッカの開局から廃止に至る道程と関連事項を、時系列で把握することが可能となった。

調べを進める中で、戦中・戦後に米軍が東アジア戦略の一環として建設したロランAが、昭和初期の南満州から始まった日本の電波標識の歴史に多大な影響を与えたことが分かった。通信省燈台局無線課の流れを汲む海上保安庁燈台部電波標識課(通称、電標課)は、新設の太平洋ロランAチェーンに国産のロランタイマーと送信機を導入し、国産真空管の品質バラツキによる機器の不調や、高圧パルス技術の未熟さに起因する異常放電に悩まされた^{24,94)}。

ロランAの運用と保守で経験を積んだ電標課の技術者たちは、欧米企業との技術提携により技術力を向上させた国内通信機メーカーと共に、トーキングビーコンなど電子工学を駆使した電波標識の開発に取り組んでいった。Decca Navigator社との交渉で、海上保安庁が送信設備や受信機の国産化を譲らなかつた背景には、電標課とメーカー技術者の無線技術に対する自信があったと推察される。北海道デッカの建設では、電標課の技術者は高品質のアルミナ製支線端子の開発やCs原子周波数標準を用いた独立同期試験など、新技術にも果敢に挑戦した¹¹⁰⁾。デッカ送信管の特殊定格にも、欠射が頻発した国産ロランの苦い経験が反映されていると感じた。

その後、ロランとデッカで磨いた高い技術力が評価され、海上保安庁は米国が主導するオメガシステムに参画した。対馬オメガ局の送信設備は米国からの貸与品であったが、高さ450mの送信アンテナの設計と施工にはデッカの経験が十分に活かされたという¹⁴⁰⁾。

北九州デッカについては、元運用担当官の証言や国土地理院の空中写真、第七管区海上保安本部に残されたデッカ関係資料から、送信アンテナの形状と配置の再現を試みた。前原局では、長期の停波を回避するため、他のチェーンに先行して雷害対策の予備コイル舎や主アンテナを代替する非常用アンテナが設置された。これは、漁業者からの強い要望に応えた措置であったと推察される。

離島に配置された従局は、北九州デッカの上県局と長島局、東北デッカの粟島局、関東デッカの八丈島局の4ヶ所である。中でも、上県赤従局と前原主局の間には対馬暖流が貫流する筑前海が広がり、「赤の電波」は好漁場へと漁船を導く道標となった。絶妙な置局設計とデッカ航法に適した伝統漁法の存在が、衛星航法が急速に発達する中で北九州デッカが延命できた理由と考えられる。北九州デッカの開局式では、筑前海の漁業者を代表して福岡県漁連会長が「方位はもとより漁労の為の機器として真価を発揮する、正に漁を行うためのシステムであった」と惜別の言葉を述べ、吾智網漁関係者が見守る中で送信停止のボタンが押されたという¹⁰⁸⁾。

北九州デッカの廃止から20年後の平成31年3月1日、全国27ヶ所のDGPS局が廃止された¹⁷⁶⁾。デッカの後継として整備されたDGPSの廃止理由は、①GPS自体の測位精度の向上、②GPSを補強する準天頂衛星の運用開始、③同年4月に発生するGPS信号の不具合(GPS week number roll over, 週番号カウントの桁溢れ)で、DGPS装置の時刻管理に障害が発生することの3点であった。衛星航法システムは、電子技術の急速な進歩によって時代の寵児となり、陸上局を用いる双曲線航法を“過去の技術”にした。一方、独占状態のGPSが未知の脆弱性を胎している可能性もあり、強力な太陽フレアによる大規模な磁気嵐への備えも充分とは言えない。オメガが夢見た“究極のナビゲーションシステム”は、未だ実現されていない。

現在、私の自宅では十数年前に購入した2台の電波時計キットが、窓際の作業机で時を刻んでいる。1台は大鷹鳥谷山局からの40kHz、もう1台は羽金山局からの60kHzに同調してタイムコードを受信し、短波JYJに似せた信号音を響かせている。デッカの跡地に建つ巨大なアンテナから届く長波は、無線技術者の智恵と努力によって完成した電波の灯台が、運用官に守られながら日々の役割を果たし、漁業者から全幅の信頼を得ていた事実を思い出させてくれる。

10. まとめ

昭和44年の開局から平成11年の廃止まで30年に亘って運用された長波航路標識の北九州デッカチェーンについて、その歴史的役割を無線技術史の観点から考察した。初めに、日本における電波標識の歴史を概説した後、ロランAに続く双曲線航法システムとしてデッカが導入された経緯とその時代背景を紹介した。併せて、米英を舞台とするデッカの開発史や、デッカの国産化を担った神戸工業の技術力について解説した。

国内初のデッカチェーンとして整備され、北九州デッカと同仕様の送信設備を有する北海道デッカについて、送信機や送信アンテナ、無停電電源装置、船舶用受信機の特徴を解説した。

北九州デッカについては、北海道デッカとの置局設計の違いや送信設備の改良点を考察し、他局に先駆けて実施された様々な雷害対策や非常用アンテナの整備、昭和50年代末期のチェーン集中化工事について解説した。また、ロランCやGPSなど新世代の航路

標識の台頭によって各地のデッカチェーンが廃止される中、北九州デッカの廃止が先送りされた理由を考察した。更に、元運用担当官の証言を元に、終末期の北九州デッカの設備や深刻な雷害の実態を明らかにした。

謝辞

北九州デッカ関係資料の情報公開に応じて頂いた第七管区海上保安本部に感謝致します。また、資料閲覧の際に便宜を図って頂いた同本部総務部総務課文書係長の田中 裕氏に感謝致します。

前原デッカ局の設備や運用状況について御教授頂いた元海上保安官の宮崎 巖氏、原口敏通氏、石原雅文氏に深謝致します。石原氏は、私との面談に応じて頂いた上に度重なる質問メールにも毎回丁寧に回答して頂き、更に貴重な写真まで御提供頂きました。

デッカ受信機の撮影では、電気通信大学UECコミュニケーションミュージアム学術調査員の三橋 渉氏と同館事務室の茂原聡子氏に御協力を頂きました。また、デッカ送信機の規格調査では同館の真空管担当学術調査員の方に、燈光誌バックナンバーの閲覧では公益財団法人 燈光会の事務局に御支援を頂きました。皆様の御厚意に感謝致します。

本報執筆の契機となった「デッカ橋」の情報を提供して頂き、羽金山登山のガイドをお願いした北九州工業高等専門学校名誉教授の小城左臣氏に感謝致します。

参考資料

表記の凡例

* 第七管区海上保安本部所蔵資料
 燈光:公益財団法人 燈光会誌
 デッカとともに:デッカ記念誌編集委員会編, 日本航路標識協会発行(2006)
 神戸工業技報:神戸工業株式会社. 技術論文誌

- 1) 「特集 あらためまして脊振山系です。」, 季刊のぼろ,8,(西日本新聞社, 2015)
- 2) 天本孝志:九州の山と伝説 北部篇(葦書房, 1978)
- 3) 岩間 司:「長波標準電波送信システムその近況と今後の取り組みについて」, マイクロメカトロニクス,59,No.212, 日本時計学会発行(2015)
- 4) 電波標識システムとその利用-上巻, 電波標識編集委員会編(鶴巻書房, 1972)
- 5) 茂在寅男:解説「デッカ」,(成山堂書店, 1969)
- 6) 官報 第3990号, 關東廳告示第200号(1925/12/11)
- 7) 官報 第4013号, 關東廳告示第223号(1926/1/13)
- 8) 官報 第100号, 關東廳告示第54号(1927/5/3)
- 9) 官報 第286号, 遞信省告示第2686号(1927/12/10)
- 10) 燈臺概要, 燈臺局発行(1927)
- 11) 官報 第104号, 遞信省令第14號(1927/5/7)
- 12) 官報 第961号, 遞信省告示第700号(1930/3/15)
- 13) 官報 第1536号, 遞信省告示第273号(1932/2/16)
- 14) 官報 第1536号, 遞信省告示第274号(1932/2/16)
- 15) 日本燈台史 海上保安庁燈台部編, 燈光会発行(1969)
- 16) 官報 第1322号, 遞信省告示第1138号(1931/5/29)
- 17) 官報 第1261号, 遞信省告示第553号(1931/3/16)
- 18) 官報 第1623号, 遞信省告示第1008号(1932/5/31)
- 19) 本邦無線電信電話局所設備一覧表(昭和9年3月末日現在), 遞信省工務局発行(1934)
- 20) 電波の灯を守って, 電波標識五十周年記念事業委員会編(海分堂出版, 1978)
- 21) loran-history.info, <http://www.loran-history.info/default.htm>
- 22) United States Coast Guard Histrians' Office, Loran "A" Construction Detachments, https://media.defense.gov/2017/Jul/03/2001772418/-1/-1/0/LORAN_SS.PDF
- 23) 燈台表 第1巻, 海上保安庁発行(1981/11)
- 24) 只野 暢:「双曲線航法とともに わが喜びも悲しみも……の記」, 燈光,33,No.11(1988)
- 25) 東西南北 十管区「野間池ロラン局 海上保安庁に移管」, 燈光,11, No.8(1966)
- 26) 事務所案内 三根航路標識事務所, 燈光,11,No.11(1966)
- 27) 知念順正:「沖繩の航路標識について」, 燈光,57,No.5(2012)
- 28) 事務所案内 慶佐次ロラン航路標識事務所, 燈光,23,No.11(1978)
- 29) 沖電気工業株式会社:「ロランタイムJLM-1形」, 電波航法,No.7, 電波航法研究会発行(1965)
- 30) 電波標識システムとその利用-下巻, 電波標識編集委員会編(鶴巻書房, 1975)
- 31) 「対馬トローキングビーコン局」, 水産界,No.992, 大日本水産会発行(1967)
- 32) 本編II「北海道デッカチェーンの整備」, デッカとともに
- 33) 本編I「デッカ技術導入契約」, デッカとともに
- 34) Walter Blanchard:「The Genesis of the Decca Navigator System」, Journal of Navigation,68,No.2(2015)
- 35) 津軽海峡線工事誌(青函トンネル)上, 日本鉄道建設公団札幌工務事務所発行(1990)
- 36) 「鉄道敷設法等の一部を改正する法律」, 昭和28年法律第147号御署名原本, 内閣作成(1953)
- 37) 小向良七, 「水路測量における地形表現について」, 水路部海洋研究室報,1,No.1, 海上保安庁発行(1959)
- 38) 海上保安庁30年史, 海上保安庁総務部政務課編集, 海上保安協会発行(1979)
- 39) 今吉文吉, 「デッカ測位機及びその使用実績」, 測地学会誌,2,No.3-4(1956)
- 40) 「デッカ無線測位機の購入について」, 水路要報,No.47, 海上保安庁発行(1955)
- 41) 沢田徹三「デッカ・ナビゲータシステムについて」, 水路要報, No.35, 海上保安庁発行(1953)
- 42) 「デッカ航法計器について」, 水路要報,No.37, 海上保安庁発行(1953)
- 43) 田中正吾:青函連絡船 洞爺丸転覆の謎, 交通ブックス211(成山堂書店,1998)
- 44) 杉浦邦朗, 「鹿島灘並に常磐沖測量におけるデッカ測位機の精度」, 日本測地学会講演要旨(1957)
- 45) 電波航法研究会 沿革, <http://www.jana.or.jp/denka/kenkyu.html>
- 46) 清野 浩, 「大阪ハーバーレーダ局について」, 電波航法,No.4, 電波航法研究会発行(1963)
- 47) 清野 浩, 「デッカ技術導入始末記」, 燈光,10,No.12(1965)
- 48) 村松 洋, 「戦前・戦時期の技術志向弱電企業の技術力構築—川西機械の事例—」, 技術と文明,19,No.1, 日本産業技術史学会発行(1985)
- 49) 社史II(昭和32年~50年), 富士通株式会社発行(1976)
- 50) 「富士通テン技術年表」, 富士通テン技報, No.50(別冊2), 富士通テン株式会社発行(2007)
- 51) チェラン「近代感溢るゝ意匠とすばらしい音質で御好評を頂く。テンラジオ」全国放送局周波数一覧表付, 神戸工業株式會社作成(1953)
- 52) 岸本三郎, 水谷克己, 宗宮 璋, 「電力用無線通信」, 電気學會雜誌,81,No.872, 電気学会(1961)
- 53) 森田正典, 海東幸男, 佐藤利夫, 「簡易マイクロ波通信装置」, NEC日本電気技報,No.29, 日本電気株式會社(1956)
- 54) 久保脩治:トランジスタ・集積回路の技術史(オーム社, 1987)
- 55) 江崎玲於奈, 「トランジスター」, 神戸工業技報,No.15(1956)
- 56) 植田厚三, 「技術の礎石と飛躍」, 富士通テン技報,No.20, 富士通テン株式会社発行(1993)
- 57) 富士通テン社史(1972~1992), 富士通テン株式会社発行(1993)
- 58) 成田信一郎, 「ゲルマニウムダイオードについて」, 神戸工業技報,No.15,(1956)
- 59) 「製品紹介 シリコン整流器」, 神戸工業技報,No.21(1961)
- 60) 松田彦彦, 竹島忠昭, 竹鼻俊夫, 志水浩哉:「トローキングビーコン装置について」, 神戸工業技報,No.31(1965)
- 61) 佐々木竹四郎, 「技術援助契約擴張成立に就いて」, 神戸工業技報,No.14(1952)
- 62) 清野 浩, 只野 暢, 山越芳郎, 「日本におけるデッカチェーンの建設について」, 燈光,10,No.2(1965)
- 63) 只野 暢:「デッカチェーンの現況」, 電波時報, 28,No.10, 電波振興会発行(1973)
- 64) ラジオライフ別冊 周波数帳1992 完璧データ版(三オブックス, 1991)
- 65) 富士町史 上巻, 富士町史編さん委員会, 富士町発行(2000)
- 66) 江並 脩:「北九州デッカ局建設当時の思い出(一)」, 燈光,14,No.11(1969)
- 67) 長島郷土史, 長島町郷土史編集委員会編, 長島町発行(1974)
- 68) 口絵「各デッカ局の諸元」, デッカとともに
- 69) 海上保安庁電波標識課:「開局近い北九州デッカチェーン」, 水産界, No.1012, 大日本水産会発行(1973)
- 70) 豊福滋善:「デッカ局建設当時の思い出」, 燈光,12,No.10(1967)
- 71) 稚内デッカ航標所:「デッカ開局まで」, 燈光,12,No.10(1967)
- 72) 田中 章:「開局までのあれこれ」, 燈光,12,No.10(1967)
- 73) 三沢津夫:「長万部デッカ局の開局まで」, 燈光,12,No.10(1967)
- 74) 小野 滋:「デッカ局業務開始まで」, 燈光,12,No.10(1967)
- 75) 第一管区燈台部:「北海道デッカ開局記念式」, 燈光,12,No.10(1967)
- 76) 塚田一雄:「デッカ受信機三代の開発史」, デッカとともに
- 77) 池端幸雄, 塚田一雄, 原 澄, 岩村和久, 神前義春:「船舶用受信機について」, 神戸工業技報,No.34(1967)
- 78) セナーアンドバーンズ株式会社 沿革, <http://www.s-vans.com/SV-History/history.html>
- 79) 「最近のデッカニュース 北海道チェーン工事完成、日本製受信機目下ロンドンにてテスト中」, 神戸工業技報,No.34(1967)
- 80) 宮田 昭:「巡視船デッカを積む」, 燈光,12,No.7(1967)

- 81) 村井 宏：“船舶用受信機のレンタル業務について”，神戸工業技報，No.34(1967)
- 82) 「北海道デッカチェーン本格運用を開始」，海と安全，1.No.2，日本海難防止協会発行(1967)
- 83) 海上保安庁電波標識課：“デッカチャートについて”，燈光，12.No.7(1967)
- 84) デッカ・チャート 縮尺5万分1(D9)41号「宗谷岬至小樽港 日本・北海道北岸及西岸」，海上保安庁発行(1966)
- 85) 佐藤正志：“北海道デッカ測定試験”，燈光，12.No.7(1967)
- 86) 藤原雅一，徳永靖夫，平川 博，小林慎二，加藤雄司，市川一見，大橋 亘：“送信装置について”，神戸工業技報，No.34(1967)
- 87) 杉本洋一：“新旧デッカ送信設備について”，デッカとともに
- 88) 大橋 亘：“デッカ送信装置・空中線結合(ローディング)装置を担当して”，デッカとともに
- 89) 技術文書“6146 VHF Beam Power Amplifier (Tentative Data)”，Tube Department, Radio Corporation of America (1952)
- 90) 技術文書「K-6022定格」，*デッカ送信装置仕様書からの抜粋
- 91) マツダ真空管ハンドブック 第2巻(誠文堂新光社，1958)
- 92) ナショナル真空管トランジスタ・ハンドブック(誠文堂新光社，1960)
- 93) 道野敏雄：“ロラン局の機能と機器”，燈光，5.No.2(1960)
- 94) 豊福滋善，宇治田浩：“ロラン局の現状とロランCについて”，電波航法，No.2，電波航法研究会発行(1961)
- 95) 清野 浩，只野 暢，堀江義雄，“デッカ局送信空中線”，神戸工業技報，No.34(1967)
- 96) 田村隆馬：“二番煎じのデッカ勤務記”，デッカとともに
- 97) 海上保安庁：“航路標識整備第二次五か年計画”，燈光，11.No.11(1966)
- 98) 本編X「デッカチェーンの増設」，デッカとともに
- 99) 北九州チェーン デッカ電波伝播調査報告書，神戸工業株式会社作成(1966/11)*
- 100) 江並 脩：“北九州デッカ局建設当時の思い出(二)”，燈光，14.No.12(1969)
- 101) 電気興業 40年史，電気興業株式会社発行(1990)
- 102) 第七管区海上保安本部50年史，第七管区海上保安本部発行(1999)
- 103) 江並 脩：“北九州デッカ局建設当時の思い出(三)”，燈光，15.No.1(1970)
- 104) 本編XI「予備空中線」，デッカとともに
- 105) 瀬下直男：“佐伯官を悼む”，燈光，30.No.6・7(1985)
- 106) 海上保安庁灯台部監理課，“平成九年度航路標識整備事業実施計画の概要について”，燈光，42.No.7(1997)
- 107) 海上保安庁灯台部監理課，“平成十年灯台十大ニュース”，燈光，44.No.2(1999)
- 108) 岩尾亮二：“北九州デッカチェーンの閉局”，燈光，44.No.6・7(1999)
- 109) 東西南北 六管区「整理が進む北九州デッカチェーン施設 そして世代交代」，燈光，45.No.2(2000)
- 110) 只野 暢：“私とデッカーデッカとの出会いと別れ”，燈光，47.No.3(2002)
- 111) 十一区航路標識保守研究会“USCG時代のロランC局送信用鉄塔の保全状況を観る”，燈光，53.No.5(2008)
- 112) 清野 浩：“デッカの終わった日”，燈光，46.No.4(2001)
- 113) 田中仙治：“デッカに出会ったころを振り返って”，デッカとともに
- 114) 清野 浩：“北海道デッカチェーン測定試験結果”，電波航法，No.9，電波航法研究会発行(1968)
- 115) 岡村 守：“思い出の品々”，デッカとともに
- 116) 南九州の海上保安30年史，第十管区海上保安本部編，海上保安協会南九州地方本部発行(1992)
- 117) 瀬戸内海・宇和海の海上保安50年史，第六管区海上保安本部50年史編集委員会編，海上保安協会広島本部発行(1998)
- 118) 図面「前原デッカ局アンテナ敷地平面図」，第七管区海上本本部灯台部作成(1993/1)*
- 119) 飛行場航空灯火施設機器仕様基準，防衛施設庁発行(発行年不明)
- 120) 堀江義雄：デッカ空中線鉄塔を顧みて，デッカとともに
- 121) B. Whitfield Griffith, Jr. “Radio-Electronic Transmission Fundamentals, second edition” (Scitech Publishing, 2000)
- 122) アンテナ工学ハンドブック，電子通信学会編(オーム社，1980)
- 123) 田口一夫，西谷芳雄，西本金三，中根重勝，中島 裕，西野朝生，佐藤尚登，甲斐靖彦，山崎孝助：“デッカ電波の長距離伝搬特性-I-北九州チェーン-I”，日本航海学会論文集，51(1974)
- 124) 灯台表 第1巻，海上保安庁発行(1990/2)
- 125) 「デッカ送信装置自動監視切換装置」，FUJITSU，21.No.2，富士通株式会社発行(1970)
- 126) 田中 章：“回想の厚岸デッカ『落雷事故』”，デッカとともに
- 127) 清水孝行：“天皇・皇后両陛下への拝謁の荣誉に浴して”，燈光，49.No.1(2004)
- 128) 岩尾亮二：“デッカで学んだこと”，デッカとともに
- 129) 雷雨10年報(昭和29年-昭和38年)，気象庁発行(1968)
- 130) 饗庭 貢：“雷の科学”，新型コロナシリーズ9(コロナ社，1990)
- 131) 道本光一郎：“冬季雷の科学”，新型コロナシリーズ41(コロナ社，1998)
- 132) 三木 恵：“冬季雷の電流とリーダ進展様相の観測”，電気設備学会誌，27.No.3(2007)
- 133) 五井 正：“雷サージに関する調査研究-デッカ送信空中線避雷用ポールギャップの改善について”，平成2年度研究成果報告書，海上保安庁発行(1991)
- 134) 渋谷正豊，黒沢幸夫：“アーク制御電力保護機器”，電気學會雑誌，107.No.11(1987)
- 135) 国土地理院 空中写真 CKU7423-C3-17 甘木(1975/3/08)
- 136) 国土地理院 空中写真 MKU691X-C8-6 浜崎(1969/4/28)
- 137) 国土地理院 空中写真 CHO7729-C7A-11 富良野(1977/10/22)
- 138) 写真「長島デッカ局 非常用空中線引留部」(1998/10/7)*
- 139) 岡村 守：“東北デッカチェーンについて”，燈光，21.No.5(1976)
- 140) オメガとともに，オメガ開局20周年事業協会編，燈光会発行(1996)
- 141) 高橋文夫：“東北デッカ技術研修について”，燈光，21.No.3(1976)
- 142) 森脇憲治，塩山寿男，大仲末雄，塚田一雄，小林三樹，中辻俊一，大橋 亘，浜松正博：“デッカ送信装置”，FUJITSU，27.No.2，富士通株式会社発行(1976)
- 143) 最新トランジスタ規格表'85(CQ出版，1985)
- 144) 桜田久雄：“粟島デッカ局の建設に携わって”，燈光，22.No.5(1976)
- 145) 本庁燈台部監理課：“昭和五十四年度航路標識整備実施計画の概要”，燈光，24.No.8(1979)
- 146) 燈台部監理課：“昭和五十五年燈台部十大ニュース”，燈光，26.No.3(1981)
- 147) 第五管区海上保安本部灯台部監理課：“四国デッカチェーン開局記念式典盛大に挙行される”，燈光，27.No.8(1982)
- 148) 第八管区海上保安本部灯台部監理課：“北陸デッカチェーン開局記念式典の開催について”，燈光，30.No.8(1985)
- 149) 田口一夫：“ロランC・システムとデッカ・システム-現状と展望-”，航海，90，日本航海学会発行(1986)
- 150) 第三管区海上保安本部燈台部電波標識課：“関東デッカチェーンの概要と建設工事”，燈光，24.No.3(1979)
- 151) 箕輪次郎：“珠洲デッカ局建設の頃”，デッカとともに
- 152) 谷本吉夫：“四国デッカチェーン建設の思い出”，デッカとともに
- 153) 山越芳郎：“最近の電波標識の整備及び電波標識に関する国際協力について”，電波航法，No.34，電波航法研究会発行(1987)
- 154) 口絵「無線鉄塔を落雷から守れ!」，新電気，38.No.3(オーム社，1984)
- 155) 田中仙治，岩村和久，長尾勝行：“デッカ主従局独立送信用装置”，FUJITSU，33.No.6，富士通株式会社発行(1982)
- 156) 松井孝幸：“トリフトレートについて”，燈光，38.No.3(1993)
- 157) 本編XII「チェーンの集中化」，デッカとともに
- 158) 図面「前原デッカ局等無線整備工事 通信路構成図・前原固定局機器配置図」，第七管区海上保安本部燈台部作成(1983)*
- 159) 田中仙治：“オメガシステムの世界的な管理機構について”，燈光，15.No.11(1970)
- 160) 米山晴正：“国産化した東北チェーンと受信機の販売”，デッカとともに
- 161) 只野 暢：“二〇〇理時代と電波航法”，燈光，23.No.10(1978)
- 162) 大園哲生：“「つしま」実習体験記(前)”，燈光，32.No.2(1987)
- 163) 海上保安庁燈台部監理課：“平成五年灯台十大ニュース”，燈光，39.No.2(1994)
- 164) 東西南北 三管区「新島ロランC局開局」，燈光，39.No.11(1994)
- 165) 海上保安庁燈台部監理課：“北西太平洋ロランCチェーンについて”，燈光，37.No.8(1992)
- 166) 東西南北 八管区「北陸デッカ廃止」，燈光，38.No.9(1993)
- 167) 海上保安庁燈台部監理課：“平成九年灯台十大ニュース”，燈光，43.No.2(1998)
- 168) 杉崎 玲：“新島ロランC局への思い出”，燈光，59.No.4(2014)
- 169) 海上保安庁交通部：“平成27年交通部十大ニュース”，燈光，61.No.1(2016)
- 170) 北九州デッカ航路標識事務所：“北九州デッカの今後とDGPSの整備計画に関する説明会”，燈光，42.No.11(1997)
- 171) 特集「日本一の糸島天然真鯛をめぐる千年の営み」，広報いとしま，No.160(2016)
- 172) 佐伯政司：“デッカ受信機-1Aへの想い”，デッカとともに
- 173) 本庁灯台部電波標識課：“将来の電波航法システムについて”，燈光，36.No.12(1991)
- 174) 海上保安庁灯台部監理課，“電波標識の最新技術 第3回 ディファレンシャルGPS(DGPS)”，燈光，43.No.12(1998)
- 175) 標準電波(電波時計)の運用状況，情報通信研究機構 日本標準グループ，<http://jty.nict.go.jp/jty/log/index.html>
- 176) 海上保安庁広報「ディファレンシャルGPSの廃止について」(2017/6/30)

(2019年11月 5日 受理)