5-5　我が国における宇宙天気予報の前史 ～電離層観測の黎明期を中心に～

5-5　Prehistory of Space Weather Forecast in Japan -Dawn of Ionospheric Observation-

滝澤　修
TAKIZAWA Osamu

宇宙天気予報は、無線通信の品質に影響を与える電離層（最近は電離圏と呼ばれるが、歴史的な資料を扱う本稿では、旧来のまま電離層と呼ぶこととする）の変動を観測・予測する研究として、始まった。その研究の歴史は、無線通信の歴史と、軌を一にしている。本稿では、我が国の電離層観測及び電波伝搬研究の誕生から、宇宙天気予報業務の前身に位置づけられる電波警報業務が軌道に乗るまでの期間を中心に、その歴史を紹介する。

Space weather forecasting had begun as a study to observe and predict disturbances in the ionosphere that affect the quality of wireless communications. Then, the history of ionospheric observation research has the same direction and long history as the history of wireless communications. This paper introduces the period from the birth of ionospheric observation and radio wave propagation research in Japan, to the smooth implementation of radio wave warning research and services, which is the prehistory of space weather forecasting.

1　はじめに

宇宙天気予報は、主として太陽活動の変化によって生じる宇宙環境のじょう乱現象が、人類が活動している地球及び人工衛星等に与える影響の、現況把握と予想を行う研究・業務と定義できる。歴史的には、以下の３つの時代を経て、到達した概念である。

(1) 現状把握の時代

無線通信の黎明期に、（特に短波帯の長距離の）電波の伝わり方に影響を与える電離層が、地球上の位置（特に緯度）、時刻（昼夜）、季節などにより、どのような状態にあるかをまず把握するため、世界各地で電離層の定常観測（ルーチン観測）が行われた。これを天気予報に例えると、各地に設けられた百葉箱を使って、毎日の気温や天気の記録を取り続けることに相当する。

(2) 電波予報の時代

定常観測によって世界各地の電離層の現状把握ができてくると、その蓄積から規則性を見いだし、任意の地点における電離層の状態を推定できるようになり、その結果、「電波予報」が可能になった。電波予報は、ある与えられた送受信条件において、定められた２地点間を伝わる電波の強度及び到達する周波数の範囲、すなわち最高使用可能周波数（MUF）と最低使用可能周波数（LUF）を予測することをいう[1]。これを天気予報に例えると、本州では６～７月は雨が多く、８月は蒸し暑い、といった季節の傾向について、平年の状況及びそれとの差を予報することに相当する。電離層が太陽活動による影響を受けることは、早い段階から知られていたが、その影響は複雑であったため、当初は太陽活動による影響を無視し、太陽黒点数が同じ場合という条件付きで、平均的な規則性に基づいて推定・予報することが限界であった。やがて更に長期間の定常観測データが積み上げられてくると、約11年周期で活発化と静穏化を繰り返す太陽活動の影響を考慮した予報を行えるようになった。

電波予報は、短波による新しい通信路を開設する場合に、最良の通信品質を保つためには、時刻や季節に応じていかに周波数を選定するか、送信電力や空中線はいかなる程度のものを設備すべきかという、無線回線設計の根拠となるものであった[2]。相手方のいる無線通信の安定化のための予報では、地球上で離れた送受信地間の無線通信回線の品質を予測する必要があるため、ある１点の電離層の状態を推定するだけでは不十分で、地球上の２地点間のルート上の電離層の状態を含めて推定する必要がある点が、地上のそれぞれの地点における天気予報とは異なる。

(3) 電波警報の時代

長距離通信の主役が、短波通信から、マイクロ波や

ミリ波を利用する衛星通信、また光ファイバによる高速有線通信に移ってきた結果、無線回線の設計や無線通信における周波数の選択に利用される電波予報の重要性は、相対的に低下してきた。一方、多様な無線通信の普及に伴い、その途絶による社会的影響が大きくなってくると、太陽活動等の影響により、短期的、突発的な電離層のじょう乱による無線通信の障害を予知し、警報を発する業務の重要性が増してきた。これを天気予報に例えると、発生した台風の進路や到達時間を予測し、地上の被害を軽減することに相当する。

電波警報は、無線通信障害の予知にとどまらず、GPS衛星等による位置精度や人工衛星搭載機器への影響の回避も目的とする「宇宙天気予報」という、宇宙規模の概念に継承されることになった。

NICTには、過去の周年記念誌の編集に際して旧在職者から収集された、NICTの前身組織の資料が、未整理のまま残されており、筆者は2020年からその資料の整理を続けている。そこで本稿では、その整理の過程で見つかった電離層観測の黎明期における一次史料を駆使し、世界的に見ても極めて早い時期に始まった日本の電離層観測研究が、終戦直後の危機を乗り越えて、今日の宇宙天気予報業務に至った歴史的な経緯を紹介する。

2　現状把握の時代

2.1　電離層観測のはじまり

無線通信は、20世紀初頭に実用化されて以降、長波、中波、短波、超短波、極超短波、マイクロ波、ミリ波へと、高い周波数に向けて実用化が進んでいった。Marconiによる無線通信実験の成功(1895年)に触発された我が国では、1897年(明治30年)頃に無線通信の研究が始まった。いち早く無線通信技術に着目した機関は、公衆通信サービスを提供する逓信省(現・総務省、NTT、日本郵政)と、軍艦との連絡手段を確保したい海軍省だった。

上層大気内に電気の良導体が存在することは、Hertzによって電磁波の存在が実証(1888年)されるよりも早く、地磁気の日変化の解析によって1882年に、StewartとSchusterによって予想されていた[3][4]。1901年に、Marconiは、大西洋を横断する無線通信実験に初めて成功した。水平線を超える見通し外の無線通信の成功は、電波が地球の表面に沿って屈折、反射する事実の発見でもあり、KennellyとHeavisideらによる電離層(KH層)の存在予言(1902年)から、AppletonとBarnettおよびBreitとTuveらによるE層とF層の存在実証及び電離層観測法(インパルス法)の確立(1925年)に至る、電波伝搬研究の出発点となった[5]。

電離層は、太陽から放射された紫外線やX線などによって、大気の上層部が電離されてできる層である。短波は、電離層と大地の間を複数回反射することにより、小電力で地球の裏側にまで至る長距離通信が可能であることが、アマチュア無線家らにより1920年代には知られるようになった。ただし電離層は、反射あるいは突き抜ける電波の周波数と、反射する地上高が、地球上の位置(特に緯度)、時間(昼夜)、季節などにより、複雑に変化する。そのため、安定した短波通信業務のためには、電離層の性質を追究することが、重要な課題となり、電離層観測の初期にはまず、これらのパラメータを変えた観測データの積み上げが行われた。

電離層観測の重要性を認識した各国は、米国が1929年からWashington D.C.で、英国が1930年からSloughで、それぞれ定常観測を開始した。我が国では、1931年に海軍技術研究所(東京・目黒)が、文献を頼りに、Appleton-Barnettの周波数変更方式(送信局と受信局を離し、送信周波数を小範囲にわたって変化させ、直接波と電離層反射波を同時に受信し、その干渉パターンを測定することにより電離層の見かけ高を測定する方式)による日本独自の電離層観測機を製作し、翌1932年(昭和7年)にこの観測機により、電離層高の観測に成功した[6][7]。その成果を基に、1934年(昭和9年)から目黒において定常観測が開始された。これは世界で米、英に続いて3番目に早い定常観測開始であった[4]。

一方、逓信省電気試験所も、1930年(昭和5年)秋から、現在の茨城県ひたちなか市にあった平磯出張所において、難波捷吾出張所長らにより、短波の「感度測定」を行い、大気上層の電離状態を表す「電離図」を、1932年8月に発表している(図1)[2]。

難波が作成した電離図は、東京から地球上の大円に

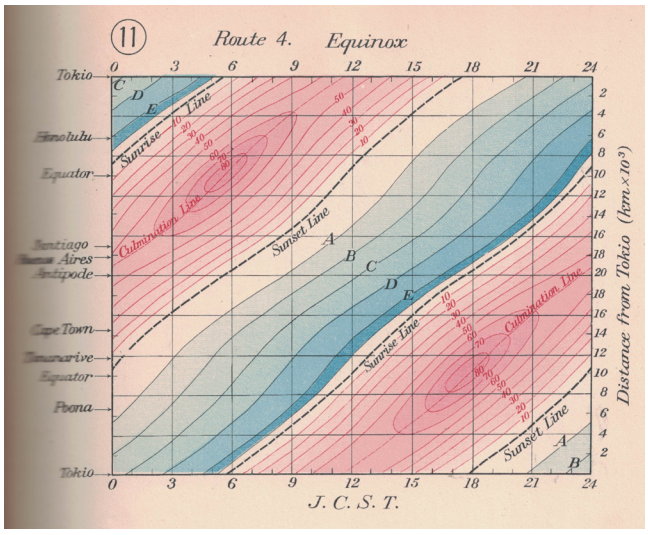


図1　平磯出張所の難波捷吾らが作成した電離図の例[2]

沿った距離を縦軸にとり、横軸に地方時をとって、太陽高度が電離層の電子密度に直に対応するという仮定に基づき、昼間領域（図 1 の赤色部分）は太陽高度、夜間領域（図 1 の青色部分）は電子密度を等高線で 1 枚に表した図である。東京と地球上の任意の受信点との間について、その経路途中の電波通路に生じる複数の頂点（電離層による反射点）における電子密度を電離図から求め、観測から求められている臨界周波数（これ以上高い周波数の電波は反射せず突き抜ける）や減衰量の計算式を併用して、受信点における電界強度を推定できるようになっている。

続いて平磯出張所では1932年に、一定の周波数で見かけの電離層高 h’ と時間 t をプロットする h’–t 観測機を製作し、それから約 2 年後に定常観測を開始した。平磯出張所の電離層観測は、難波の京大における後輩にあたる前田憲一が主導し、当初は日本無線電信株式会社（現・KDDI）の小山送信所（栃木県）から発射された 5,770 kHz 一波の時間に対する高度変化を平磯で受信する観測であったが、定常観測に移行してからは、送信を平磯、受信を 6 km 離れた隣町の磯浜（現・大洗）で行い、正午における E 層の臨界周波数を測定していた（図 2）[8]。

天文現象である日食は、昼間の状態のままで太陽放射が減少していくため、減少の影響が直接電離層に及び解析が容易で太陽と電離層の関係を直接に観測できる、絶好の機会である[7]。我が国で電離層定常観測が始まって間もない 1934 年（昭和 9 年）2 月 14 日に、南洋のローソップ島において実施された皆既日食観測では、我が国からは天文観測隊に加えて、初めての日食時電離層観測を、海軍と逓信省が共同で実施した（図 3）。この時は、h’–t 観測だけの初歩的なものであったが、日食以外の日に時々周波数を変えて、F 層の臨界周波数を推測する観測も行っていた。その結果、ローソップ島が位置する赤道地帯においては、F 層の臨界周波数は日出後上昇し、正午前後に 3 ～ 4 時間一旦下がってから再び上昇し、日没に向かって下降するという、当時の Chapman による電離層生成理論では説明できない奇妙な挙動をすることを発見している[9]。この現象が後に Appleton Anomaly（異常）と呼ばれるようになったことに対して、割り切れなさを感じていると、前田は書き残している[5]。

1934 年 6 月に海軍は、電離層観測の標準となるイオノグラム、すなわち見かけの電離層高 h’ と周波数 f をプロットする h’–f 観測機を初めて製作し、平磯出張所でも同様の観測機によって 1936 年から観測が始まった（図 4、5）。

図 2　平磯出張所の臨界周波数測定用送信機（1935 年）

図 3　ローソップ島における電離層観測（観測中の人物は前田憲一）（1934 年）

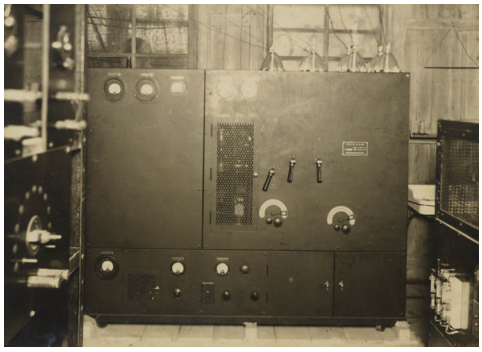


図 4 (a) 送信機（平磯出張所）

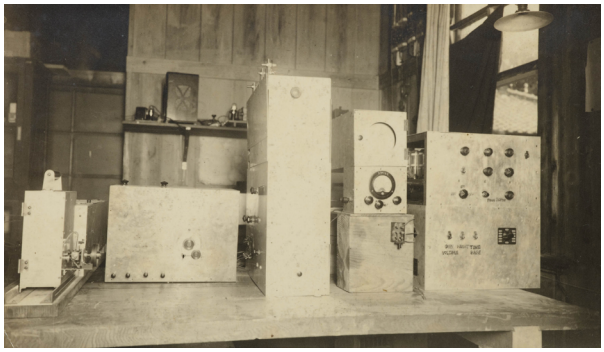


図 4 (b) 受信機（磯浜分室）

図 4　平磯出張所の電離層定常観測機（1936 年）

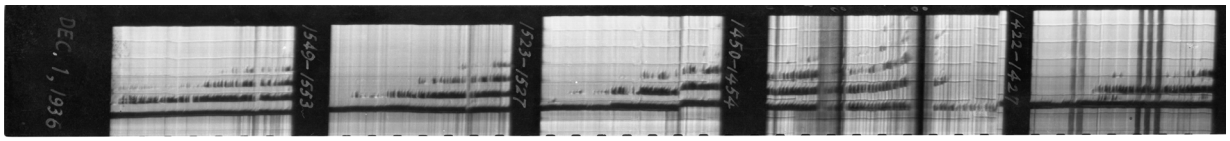


図 5　平磯出張所における最初期の観測記録フィルム　(1936 年 12 月 1 日)

一方、陸軍は、3 省の中で最も遅い 1939 年 (昭和 14 年) に、満州で電離層定常観測を開始した。主導したのは、前田憲一の京大における同級生だった上田弘之 (後の郵政省電波研究所長) であった。先行していた海軍と逓信省の定常観測が、週に 1，2 日の少ない頻度だったため、臨界周波数の統計処理では誤差が大きかった。その問題に着目した上田は、陸軍においては、我が国で初めて毎日毎時の定常観測を年中無休で厳格に行うことと、満州での特異性を明らかにすることに注力した[10][16]。

2.2　陸・海・逓の統一：電波物理研究会の発足

1940 年代に入り、戦雲急を告げる中で、学術研究会議電波研究委員会の主導により、陸軍、海軍、逓信省の 3 省が個別に行っていた電離層観測研究の統一が図られ、各省が有している電波伝搬研究機関を全部提供して新しい研究所を設立し、電波研究委員会がその研究所を指導していく案が、検討された[11]。陸・海・逓の利害の調整は大変困難であったが、統一の実現には、明治時代以来の我が国の物理学界の大御所であった長岡半太郎委員長の力が、大きかったと言われている[10]。

統一研究所は、学術研究会議電波研究委員会の主導で設けられることや、陸・海・逓のパワーバランスを考慮した結果、中立的な文部省の所属とし、陸軍は敷地と建物、海軍は装置、逓信省は人を主に分担して発足することになった。そのため文部省は、「電波研究所」を設置する官制 (組織設置) 案を出した (図 6) が、予算と人の関係で、まず「電波物理研究会」として、昭和 15 年度末に 1941 年 3 月 1 日付官制で発足した。研究会という、研究よりも連絡に重点があるような名称となったが、組織概要では、「研究会自身トシテモ研究ヲ行フ」とされていた (図 7)。

研究会長には、電波研究委員会委員長の長岡半太郎が就任し、施設は東京市淀橋区百人町 4 丁目 5 番地 (新

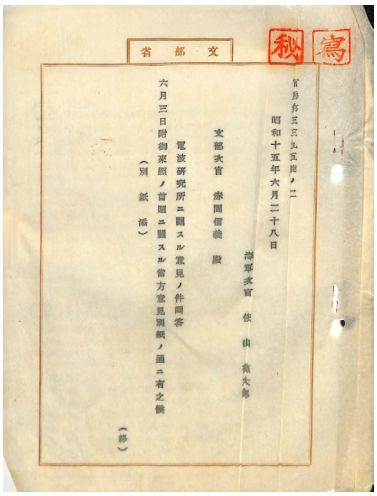


図 6　文部省電波研究所の設置案に対する海軍省からの意見書 (1940 年 6 月 28 日)
研究成果は軍事機密を含むため発表に際しては海軍の了解を得ること等の意見が出されていた。

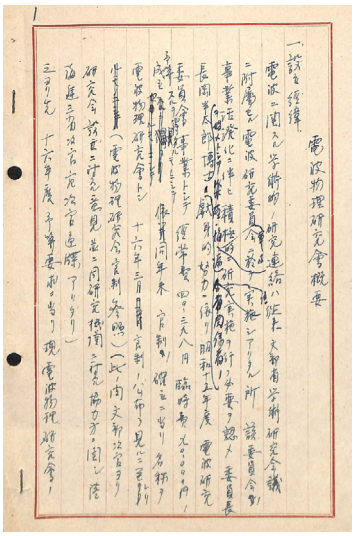


図 7 (a) 電波物理研究会概要の草稿

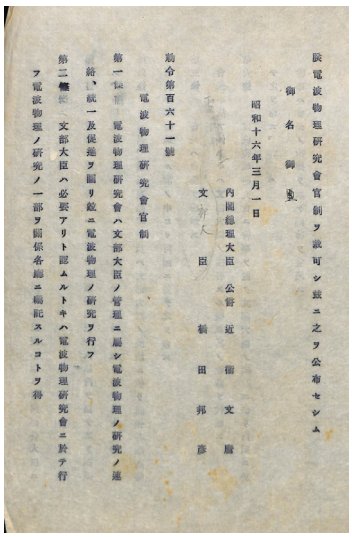


図 7 (b) 電波物理研究会官制の下書き

図 7　電波物理研究会発足関係の一次史料

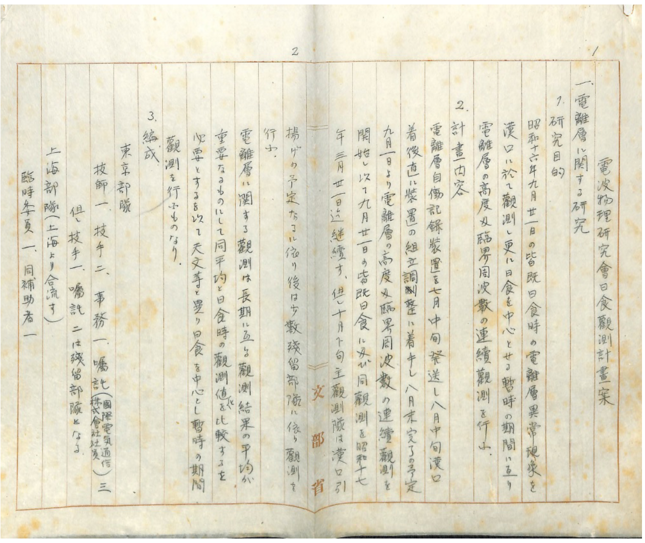

電波物理研究會日食観測計畫案
一、電離層に関する研究
1. 研究目的
昭和十六年九月廿一日の皆既日食時の電離層異常現象を漢口に於て観測し更に日食を中心とせる暫時の期間に亘り電離層の高度及臨界周波数の連續観測を行ふ。
2. 計畫内容
電離層自働記録装置を七月中旬發送し八月中旬漢口着後直に装置の組立調整に着手し八月末完了の予定九月一日より電離層の高度及臨界周波数の連續観測を開始し以て九月廿一日の皆既日食に及び同観測を昭和十七年三月廿一日迄継續す、但し十月下旬主観測隊は漢口引揚げの予定なるに依り後は少數残留部隊に依り観測を行ふ。
電離層に関する観測は長期に亘る観測結果の平均が重要なるものにして同平均と日食時の観測値を比較するを必要とするを以て天文等と異り日食を中心とし暫時の期間観測を行ふものなり。
3. 編成
東京部隊
技師一、技手二、事務一、嘱託(國際電気通信株式會社社員)三
但し技手一、嘱託二は残留部隊となる。
上海部隊(上海より合流す)
臨時委員一、同補助者一

図 8 (a) 観測計画案草稿

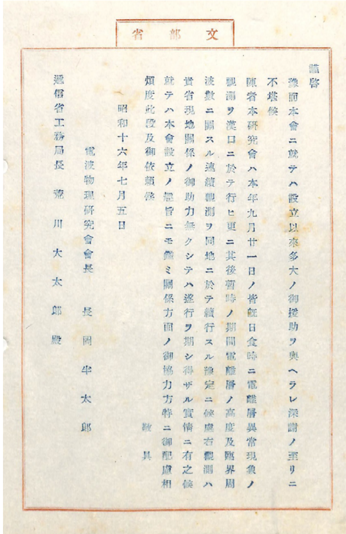

文部省
謹啓
豫而本會ニ就テハ設立以來多大ノ御援助ヲ與ヘラレ深謝ノ至リニ不堪候
陳者本研究會ハ本年九月廿一日ノ皆既日食時ニ電離層異常現象ノ観測ヲ漢口ニ於テ行ヒ更ニ其後暫時ノ期間電離層ノ高度及臨界周波數ニ關スル連續観測ヲ同地ニ於テ續行スル豫定ニ候處右観測ハ貴省現地關係ノ御助力無クシテハ遂行ヲ期シ得ザル實情ニ有之候就テハ本會設立ノ趣旨ニモ鑑ミ關係方面ノ御協力方特ニ御配慮相煩度此段及御依頼候　敬具
昭和十六年七月五日
電波物理研究會會長　長岡半太郎
遞信省工務局長　荒川大太郎殿

図 8 (b) 長岡半太郎会長から荒川大太郎逓信省工務局長宛に出された観測協力依頼状の写し

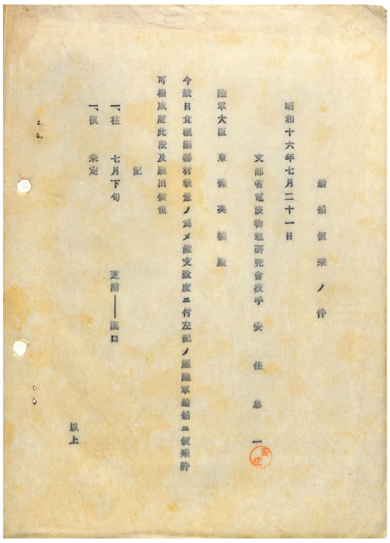

船舶便乘ノ件
昭和十六年七月二十一日
文部省電波物理研究會技手　安住恵一
陸軍大臣　東條英機殿
今般日食観測器材搬運ノ爲メ渡支致度ニ付左記ノ通陸軍船舶ニ便乘許可相成度此段及願出候也
記
一、往　七月下旬　芝浦――漢口
一、復　未定
以上

図 8 (c) 東條英機陸軍大臣宛に提出された船舶便乗申込書

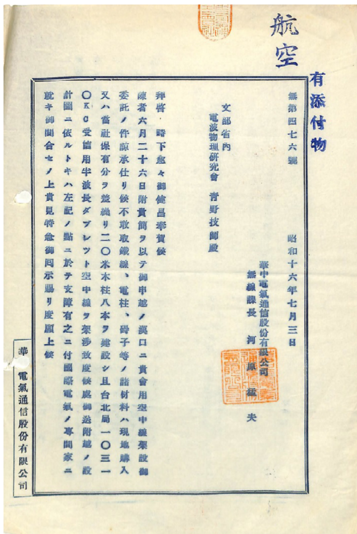

航空
有添付物
無第四七六號
昭和十六年七月三日
華中電氣通信股份有限公司
無線課長　河原猛夫
文部省内
電波物理研究會　青野技師殿
拜啓　時下愈々御健昌奉賀候
陳者六月二十六日附貴簡ヲ以テ御申越ノ漢口ニ貴會用空中線架設御委託ノ件諒承仕リ候不敢取鐵線、電柱、碍子等ノ諸材料ハ現地購入又ハ當社保有分ヲ差繰リ二〇米木柱八本ヲ建設シ且台北局一〇三一〇KC受信用半波長ダブレット空中線ヲ架渉致度候處御送附越ノ設計圖ニ依ルトキハ左記ノ點ニ於テ支障有之ニ付國際電氣ノ專門家ニ就キ御間合セノ上貴見特急御回示賜リ度願上候
華中電氣通信股份有限公司

図 8 (d) 華中電気通信股份有限公司の河原猛夫無線課長発の観測協力受諾書
【注】河原は、1925 年 (大正 14 年) に逓信省岩槻受信所 (埼玉県) において、実験局 J1AA により、日本で初めて短波で海外 (米国) との交信に成功した技手である[12]。

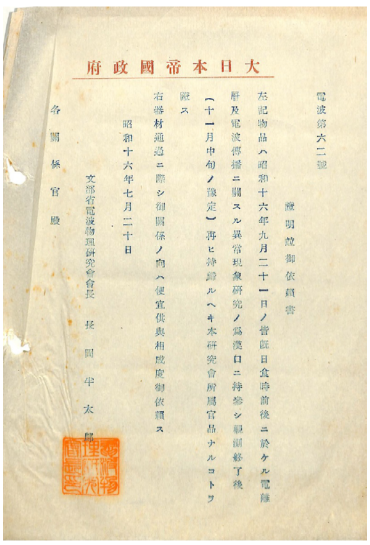
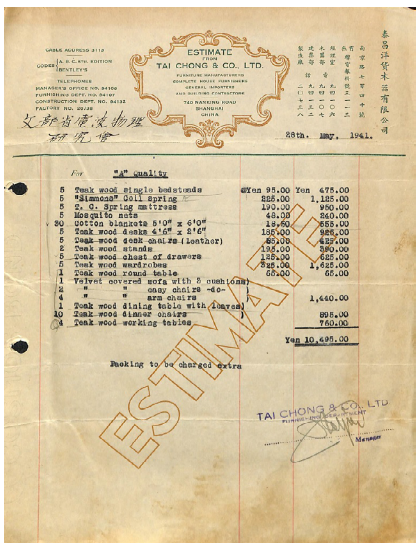

大日本帝國政府
電波第六二號
證明竝御依頼書
左記物品ハ昭和十六年九月二十一日ノ皆既日食時前後ニ於ケル電離層及電波傳播ニ關スル異常現象研究ノ爲漢口ニ持參シ観測終了後（十一月中旬ノ豫定）再ヒ持歸ルヘキ本研究會所屬官品ナルコトヲ證ス
右器材通過ニ際シ御關係ノ向ハ便宜供與相成度御依頼ス
昭和十六年七月二十日
文部省電波物理研究會會長　長岡半太郎
各關係官殿

図 8 (e) 観測機材の搬送に際しての長岡会長名の証明書及び依頼書


ESTIMATE FROM TAI CHONG & CO., LTD.
FURNITURE MANUFACTURERS
COMPLETE HOUSE FURNISHERS
GENERAL IMPORTERS
AND BUILDING CONTRACTORS
740 NANKING ROAD
SHANGHAI
CHINA
CABLE ADDRESS 3113
CODES A. B. C. 5TH. EDITION, BENTLEY'S
TELEPHONES
MANAGER'S OFFICE NO. 94106
FURNISHING DEPT. NO. 94107
CONSTRUCTION DEPT. NO. 94132
FACTORY NO. 20738
泰昌洋貨木器有限公司
文部省電波物理研究會
28th. May, 1941.

For "A" Quality

5	Teak wood single bedsteads	@Yen 95.00	Yen 475.00
5	"Simmons" Coil spring	225.00	1,125.00
5	T. C. Spring mattress	190.00	950.00
5	Mosquito nets	48.00	240.00
30	Cotton blankets 5'0" x 6'0"	18.50	555.00
5	Teak wood desks 4'6" x 2'6"	185.00	925.00
5	Teak wood desk chairs (leather)	85.00	425.00
2	Teak wood stands	195.00	390.00
5	Teak wood chest of drawers	125.00	625.00
5	Teak wood wardrobes	325.00	1,625.00
1	Teak wood round table	65.00	65.00
1	Velvet covered sofa with 3 cushions		
2	" " easy chairs -do-		
4	" " arm chairs		1,440.00
1	Teak wood dining table with leaves		
10	Teak wood dinner chairs		895.00
4	Teak wood working tables		760.00
			Yen 10,495.00

Packing to be charged extra
TAI CHONG & CO. LTD
FURNISHING DEPARTMENT
Manager
ESTIMATE

図 8 (f) 上海の家具店による観測所用調度品の見積書

図 8　1941 年漢口皆既日食観測関係の一次史料

宿戸山ヶ原）にあった陸軍科学研究所の一角に置かれた。

電波物理研究会の研究題目として、以下が挙げられていた。

（a）基礎的研究

1. 電離層ニ関スル研究
2. 低高度反射層ニ関スル研究
3. 電離層状態予報ニ関スル研究
4. 空電ニ関スル研究
5. 昭和 16 年秋ノ皆既日食時ニ於ケル電離層異状現象ノ全国的総合研究

（b）応用的研究

1. 斜入射電波ニ関スル研究
2. 電界強度、電波入射角、到来方向等ニ関スル研究

研究題目として、既に「電離層状態予報ニ関スル研究」が含まれていることは、注目に値する。

発足して間もない電波物理研究会が重点的に実施した業務は、研究題目にも挙げられている中国・漢口における皆既日食観測であった。この皆既日食観測については、元電波研究所次長である青野雄一郎が残していた一次史料が、NICT に保存されている（図 8）。

同皆既日食は、1941 年 9 月 21 日に中国や台湾などで見られたもので、日本からは電離層班 7 名、電波伝播（でんぱ）班 3 名の体制で、日食の前後の観測も含めて 7 月 20 日に東京を出て 11 月 10 日に東京に帰着する予定が組まれた。足掛け 5 か月に及ぶ長期出張となった理由として、観測計画案には、「電離層ノ研究ハ長期ニ亘ル観測結果ノ平均ガ重要ナルモノニシテ同平均ト日食時ノ観測値トヲ比較スルヲ必要トスル為天文等ト異リ日食ヲ中心トシテ相当期間ノ観測ヲ行フモノナリ。」とある。

皆既日食の観測に使用した建物は、一般住宅を借り上げたもので、皆既日食の終了後も中支電波物理観測所として、1944 年（昭和 19 年）12 月頃まで観測を継続したとされる（図 9）[11]。

図 9　漢口皆既日食観測に使用した建物

3　電波予報の時代

3.1　電波物理研究所への改組

1941 年（昭和 16 年）12 月 8 日に太平洋戦争が勃発し、軍用通信の確保のために電離層観測研究が一層重要視されたため、電波物理研究会を拡充して昭和 16 年度中に電波物理研究所とする準備が急がれた。当時の詳細な予算要求書が残っており、昭和 16 年度に経常費 294,835 円、臨時費 450,000 円（昭和 16 年度）、450,000 円（昭和 17 年度）、定員は所長（勅任官）1 名、所員（奏任官）10 名、書記（判任官）8 名、技手 10 名が要求された。

結局、電波物理研究所への改組は、年度が改まった 1942 年（昭和 17 年）4 月 8 日になった。所長は、長岡半太郎に代わって横山英太郎が就任した。横山は、電気試験所による世界初の実用無線電話機である TYK 式無線電話機の開発者の一人（3 人の開発者のイニシャルである TYK の Y）であった。電波物理研究所には、逓信省（平磯出張所）の前田憲一、陸軍の上田弘之、海軍の新川浩が兼務で集った。

戦時中に発足した電波物理研究所の一番の課題は、アジア地域における短波通信のための使用周波数の選択をスムーズに行うために、アジア全域に渡る電離図を作成することであった。電波物理研究所の電離図は、前述の難波の電離図[2] とは異なり、太陽黒点数の同じ時期の同じ月という条件下で、縦軸に緯度、横軸に地方時をとって、F_2 層の臨界周波数の実測値の等高線をプロットしたものであった[10]。当時はまだ世界各地の観測データが積み上がっておらず、また戦争が始まり諸外国のデータの入手が困難になったこともあって、電離図の作成に際しては、「ある地点における F_2 層の状態の一日 24 時間にわたる変化は、これと同緯度の他の地点（経度を異にする）にも全くそのままあてはまる（但し時間は各地点の地方時を用いる）」という仮定が使われた。しかし、戦前の観測データを入手していた米国 Washington D.C. と、その緯度の南北に位置する東アジア諸都市の敷香（現・ポロナイスク）、チチハル、平磯、平塚、上海等の観測データを使って、臨界周波数の等高線を 1 枚にプロットすると、不自然な谷ができてしまうことがわかった。それを補正する材料を、極光（オーロラ）頻度曲線と地磁気緯度の二つに求め、高緯度では地磁気緯度、低緯度では地理的緯度に置き換えて電離図を作成すると、Washington D.C. の地磁気緯度が地理的緯度よりもはるかに高緯度になるため、自然な等高線になることを見いだした[13]。これは、F_2 層電子密度が地磁気緯度に支配される事実を世界で初めて報告した論文になったが、電波物理研究所のこの

報告は、戦時中のため諸外国には伝わらず、戦後になってから Appleton が地磁気制御（geomagnetic control）として報告している[14]。戦時中の電離層観測データは国家機密であり、電波物理研究所の論文には通し番号が付された上に、「用済後焼却要通報」とされていた。

3.2　電波物理研究所の小平村への疎開 ―現 NICT 本部の誕生

文部省電波物理研究所が置かれていた陸軍科学研究所のうち、陸軍技術本部を経て第 5 陸軍技術研究所になった部隊は、空襲を避けるため、1943 年（昭和 18 年）に、新宿から、東京郊外の北多摩郡小金井町と小平村にまたがる雑木林に疎開した。電波物理研究所も同研究所と一緒に疎開し、小平村側に新築した木造の 2 棟を使用した（図 10）。

小平村では 1943 年 8 月から、h'–f の定常観測を開始した（図 11）[11]

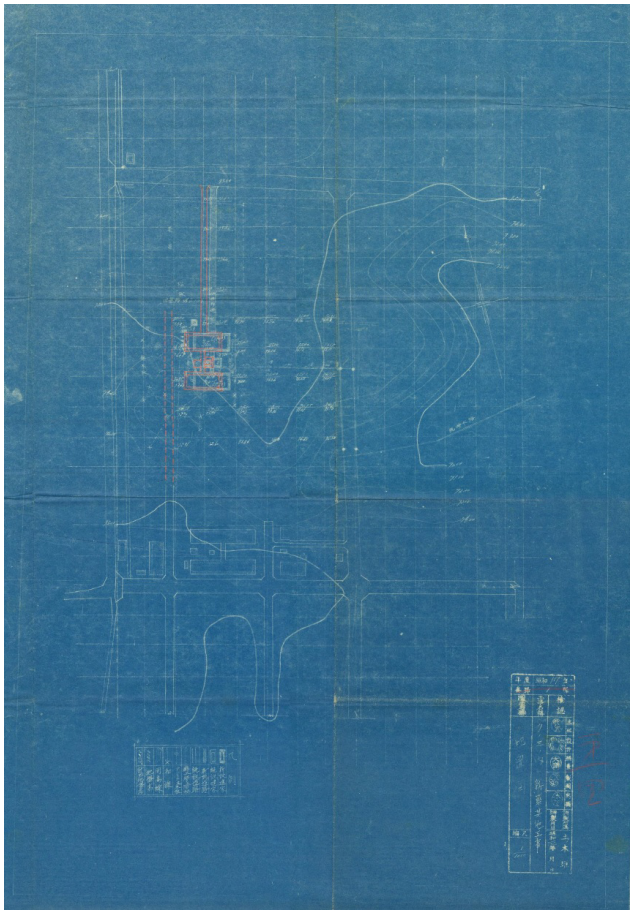


図 10　第 5 陸軍技術研究所と共に小平村に移転した電波物理研究所の建物配置図面
1942 年（昭和 17 年）製図
中央やや左上に赤枠で描かれた 2 棟が電波物理研究所。
中央やや下の東西道路は、現在のサレジオ通り。図 20 も参照。
東京府北多摩郡小平村 大字野中新田 善左衛門組 字御上水南 558 番（現・東京都小平市上水南町 4-2-1）
（東京府は 1943 年に東京都に、小平村は 1944 年に小平町に移行した）

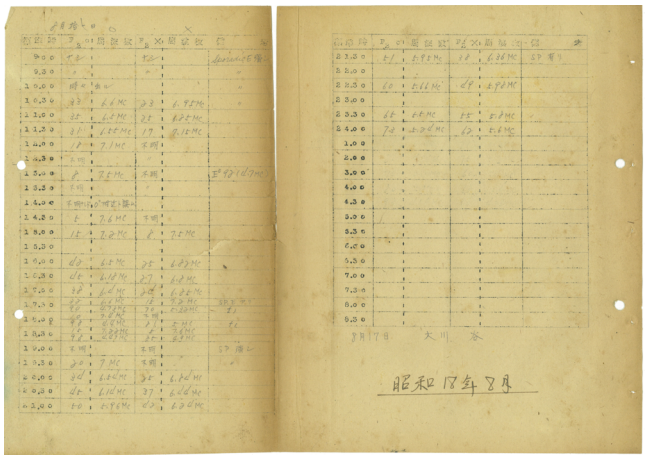


図 11　小平村における最初期の観測データ例
30 分ごとの臨界周波数の測定値が手書きで記載されている。
1943 年（昭和 18 年）8 月

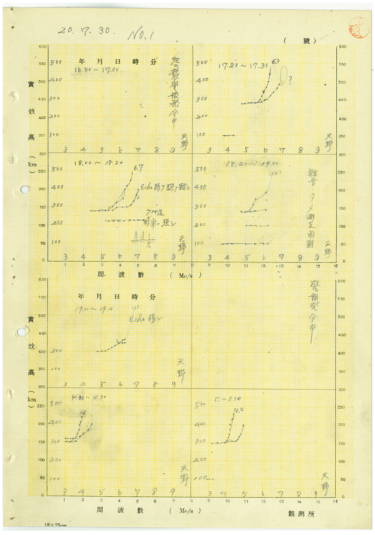


図 12 (a)　1945 年 7 月 30 日の h'-f 曲線（上野毛）
空襲警報発令のため欠測となっている時間が頻発している。

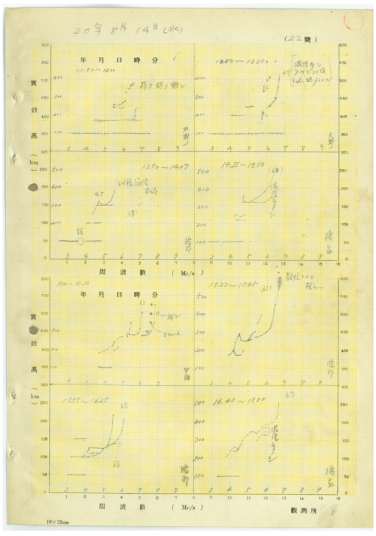


図 12 (b)　戦前最後の観測となった 1945 年 8 月 14 日の h'-f 曲線（上野毛）
この後、10 月 5 日に再開（後述）されるまで欠測になっている。

図 12　上野毛における観測データ例

3.3　電波物理研究所の上野毛への移転

小平町の電波物理研究所庁舎は、1944年（昭和19年）12月に、陸軍の都合により明け渡さなければならなくなったため、海軍の斡旋により、戦時徴用された東京都世田谷区玉川上野毛町336の多摩帝国美術学校（現・多摩美術大学）の校地に再移転し、電離層観測を継続した。当時は、手動で少しずつ周波数を変化させながらパルス変調電波を送信機から垂直上空に発射し、受信機で同調をとりつつブラウン管あるいは電磁オシロスコープに現れる電離層からのエコーを受信し、手書きでh'-f曲線にプロットしていく、原始的な方法で観測していた（図12）[7]。1945年（昭和20年）5月24～25日の夜間大空襲により、庁舎の3分の2が焼失し、観測装置は被害を受けて1か月間の欠測となったが、電離層データ資料室は焼け残ったため、過去の観測データは無事だった[11]。

3.4　電波予報のはじまり

電波物理研究所は1942年（昭和17年）に、赤道地帯を対象とし、季節と2地点間距離ごとに電界強度の等高線をプロットした図を作成した（図13）[15]。これは、電離層特性の地理的分布を示す図であり[7]、電波予報の先駆けとなるものである[1]。

当時の電波予報は、赤道地帯に展開された南方戦線における軍事作戦への寄与が目的であった。電波物理研究所研究官と陸軍技師を兼務し、南方で観測業務にあたっていた上田弘之は、当時の電離層観測データの軍事的な重要性について、シンガポールで観測していた頃のエピソードを、次のように書き残している[10] [16]。

南方ではF2層の最大電子密度が日出前に急激な低下をするという赤道地方特有の現象がある。だから戦争末期、太陽黒点活動度の最小期には赤道地方での日出前の通信連絡は困難をきわめた。この現象が印緬（インド・ビルマ）国境での悲劇となって現れた。数十機のわが爆撃編隊は未明、基地を飛び立って印緬国境に向かった。同地方が天候不良のためただちに帰還命令を発したが、連絡のつかないままに時は流れた。無事任務を終えた編隊は帰途突如として現れた敵戦闘機の要撃を受けて全滅した。軍人には遠方まで届く電波ならば近くでは当然届くはずではないかという手合も少なくない。実は電波ではこれとまったく反対で、空間波は近距離には届かないが遠方へは届くのが電波の常識である。おそらくこの場合にも基地からの帰還電報は友軍の飛行機には達しないで、敵への出撃通知電報となったのであろう。

（第十海軍通信隊司令から）ペナンからアフリカの南をまわってドイツまで往復する潜水艦の通信時間を教えてくれてという注文である。潜水艦は夜中にちょっと浮上して、符号をトントンとたたいてはまたすぐにもぐる（数秒間）。そうしないとすぐにやられてしまうとのこと。持参の電離層伝搬データと首っ引きで、徹夜のようにして2～3日かかって全航路に対する最適時間の表を作った。それから2か月ぐらいしてからのことである。司令と将校がウィスキーをさげてひょっこりお礼にみえた。教えられたとおり、少しの狂いもなく、全航路すぐに通じたとのことであった。自分ではしばらく信じられなかったが、ドイツまで往復されたご本人が目の前に立っていた。

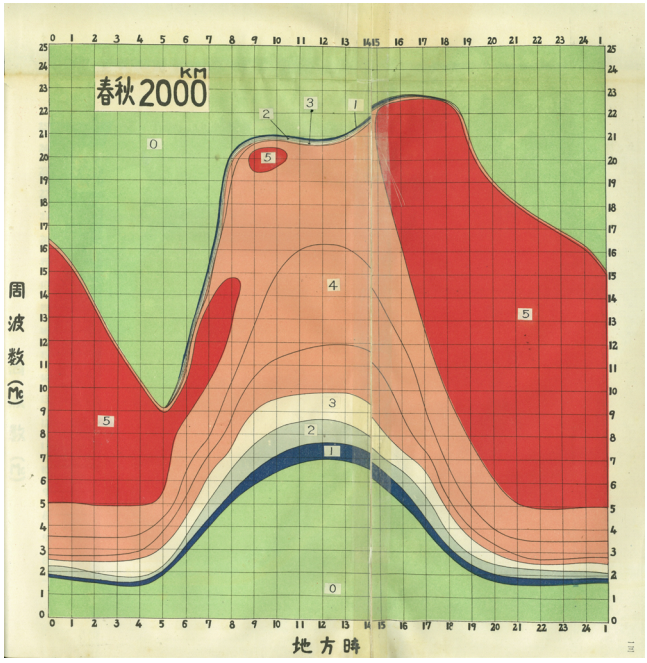


図13　電波物理研究所研究報告第6号（1942年）に掲載された、赤道地帯における春季または秋季の2,000 km離れた地点間無線通信の場合の予想電界強度の図。
横軸は地方時、縦軸は周波数、色は予想電界強度で、濃いほど強い。太陽黒点の最少期を中心とする2～3年間に有効な図とされた[15]。

こうして戦時中に始まった電波予報は、終戦から約2年の中断の後、1947年（昭和22年）に東京上空を反射点とするMUFの予報図が作成され[7]、3か月後の予報が月刊で公刊されるようになった。電波予報は、通信回線の対象を時代の要請に応じて増やしていき、例えば南極観測が始まったのに伴い、南極観測船の航路上や昭和基地との通信回線に関する電波予報を追加し、あるいは海運業界の発達に合わせて、商船・漁船の主要海域に対する海上移動業務用周波数の通信可能時間の予報を追加した。こうして、太陽活動の3周期に渡って電離層観測データが蓄積され、その間の観測技術・処理技術の発達（人工衛星による観測も含む）により、太陽活動指数（相対黒点数）だけを与えれば、日本と中心とした世界各地との短波通信に使用可能な周波数帯を簡単に求められるようになった。その結果、1986年に「日本中心の短波伝搬曲線集」[1]が刊行されて、月刊電波予報は終刊した。

4　電波警報の時代

4.1　電波警報の構想　―短波無線障害予報

大戦末期に、デリンジャー現象や地磁気じょう乱現象によって突発的に発生する短波無線通信の障害を予報し、それを事前に陸海軍などの所要機関に通報する業務が、計画された。この計画が、戦後の電波警報業務、そして今日の宇宙天気予報業務につながる、初めての構想となる。

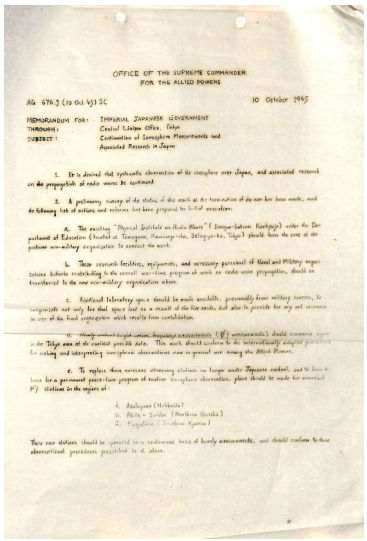
計画では、文部省学術研究会議第 1 部第 25 班を、短波無線障害予知班として組織し、電波物理研究所のほか、東大、東京天文台、地磁気観測所、中央気象台などの関係者を班員とした。使用資料や予報方法の手順、連絡方法などが定められ、業務開始時期を 1945 年（昭和 20 年）9 月以降と定めたが、同年 8 月の終戦により、未実施に終わった[11]。

4.2　終戦に伴う電離層観測研究の危機 [9][11]

1945 年 8 月 15 日の終戦により、電波物理研究所は電離層定常観測を中断した。前田憲一所長代理らは、文部省の指令により、機密書類の焼却を始めることになった。5 月 24 ～ 25 日の空襲にも無事だった電離層観測データや研究報告も、焼却の対象となったが、青野雄一郎（図 29（b））は指令に背き、密かに大八車に積んで約 12 km 離れた自宅の防空壕に隠したほか、中田美明（図 29（b））も電離層データ整理室の資料を自宅に運び隠した。

組織の生い立ちの経緯からすれば当然のことだったが、電波物理研究所は軍に協力してきた機関であったため、敗戦に伴い、解体されるものと誰もが考えていた。

1945 年 10 月 2 日、連合国軍総司令部（General Headquarters : GHQ）通信部の D. K .Bailey 少佐が、電波物理研究所に臨検のため来訪した。後に CCIR の SG6 の議長を長く務めた電波伝搬分野の専門家である少佐[17] は、観測資料を焼却しなかったことを称賛し、今後週 1 回の頻度で来訪して資料を詳しく調査することになった。戦勝国による臨検官という態度は全くなく、あくまでも科学者同士の話し合いという少佐の態度に応えるべく、電波物理研究所側は調査に積極的に協力することになった。Bailey 少佐は、電波物理研究所が電離層の研究を継続する意思の有無を尋ね、前田所長代理は二つ返事で継続を希望したことから、日本における電離層観測及び関係研究の継続を認める GHQ の覚書（図 14）が、同年 10 月 10 日付 AG676,3 号にて、日本政府に渡されることになった。覚書による正式許可に先立ち、上野毛における電離層定常観測が、同年 10 月 5 日に再開されている（図 15）


OFFICE OF THE SUPREME COMMANDER
FOR THE ALLIED POWERS

AG 676.3 (10 Oct 45) SC　10 October 1945

MEMORANDUM FOR: IMPERIAL JAPANESE GOVERNMENT
THROUGH: Central Liaison Office, Tokyo
SUBJECT: Continuation of Ionosphere Measurements and Associated Research in Japan

図 14 (a) 英語手書き草稿

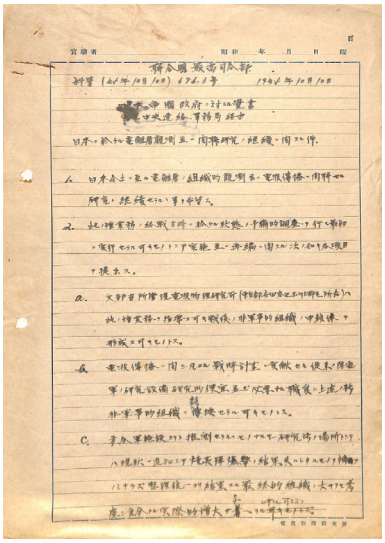


図 14 (b) 日本語訳草稿

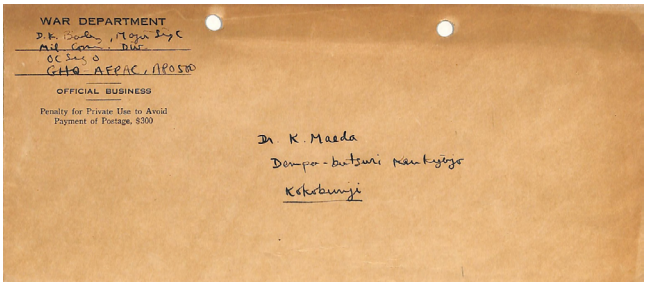


図 14 (c) Bayley 少佐から前田所長代理宛に送られた覚書の封書

図 14　日本の電離層観測研究を救った GHQ 覚書 AG676,3 号（1945 年 10 月 10 日付）

大蔵省は、電波物理研究所を予算面において廃止することにしてあったのを、この覚書を受けて予備費を支出し、存続させることになった。またこの覚書で、北海道、東北地方、南九州に観測所を置くことになったことから、翌 1946 年（昭和 21 年）に、稚内（北海道）、

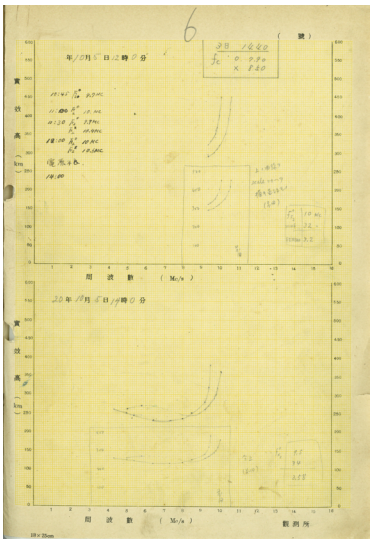


図 15　戦後に定常観測を再開した 1945 年 10 月 5 日の h'-f 曲線（上野毛）

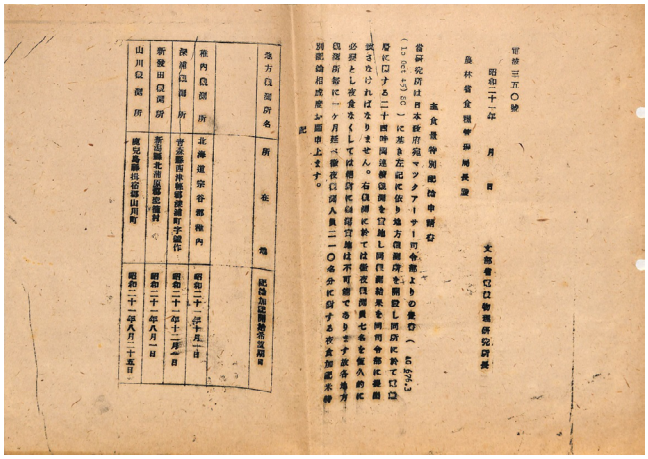


図 16　稚内、深浦、新発田、山川の電波観測所の新設にあたり、24 時間体制で観測する職員のために、食糧の配給増を農林省に要請する、電波物理研究所長の文書草稿（1946 年）

深浦（青森）、新発田（新潟）、山川（鹿児島）の 4 か所に、電波観測所が設けられ、観測を開始した（図 16）。（深浦と新発田の両観測所は、1949 年に秋田電波観測所に統合された。）

Bayley 少佐による 9 か月間の電波物理研究所における膨大な資料調査の結果は、Report on Japanese Research on Radio Wave Propagation という 2 冊組の報告書として残っている（図 17）。この報告書によって、前述の F_2 層電子密度の地磁気効果など、日本が世界に先駆けて発見した成果が、初めて世界に公表されることになった。

南方で観測業務にあたり、ベトナムで終戦を迎えた上田弘之は、内地への引き揚げ時に、連合国軍の命令により、南方における貴重な電離層観測データを現地で焼却せざるを得なかったが、焼却直前に各観測所の月平均値だけを小さな紙にびっしり転記し、密かに持ち帰ることに成功した。帰国後、直ちに前田憲一の導

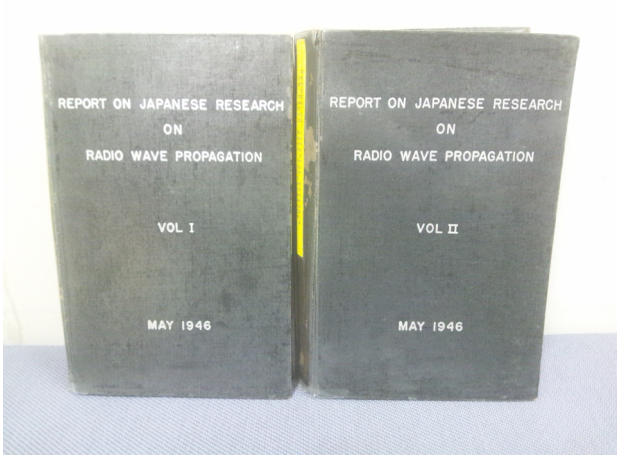


図 17　Bayley 少佐による調査報告書　（NICT 図書室所蔵）

きで離任直前の Bayley 少佐に面会し、持ち帰ったデータも上記の報告書の付録に盛り込まれている。

上田は、終戦後にベトナムで抑留されていた間に、連合国軍から電離層観測についての報告書の作成を命じられた。同報告書について後年に以下のエピソードを書き残している[10]。

戦争には敗れたが、東南アジアにおいて得られた電離層の知識、特に赤道付近の知識は貴重なものであった。さきに述べたイギリス軍に提出した私の報告は東京の GHQ にもきていたそうである。私はこの報告で東南アジアにおける電離層観測によって明らかになった電離層の概要と特徴を述べ、もし電離層観測を再開するようなことがあれば、これまでの経験からみて、観測所の配置はかくかくにすべきであるという意見を添えて報告を結んだ。この報告をみた友人に、私はたしなめられた。「どっちが戦争に勝ったんだかわからんような調子だ。相変わらずだな。」と。でも、誰が電離層の観測を再開しようとも、彼にこの貴重な経験は教えてあげたらよい。事実は事実、経験は経験だと思ったのである。

戦後の混乱期に、航空機研究をはじめ多くの科学技術研究がストップした中で、電離層観測研究だけが止まらずに継続できたのは、以下の 3 つの理由があったとされる[7]。

(1) 占領時の通信政策上欠かせない重要な平和的基盤研究だったこと
(2) GHQ の特別の理解があったこと
(3) 我が国のこの方面の研究が特に進んでいたこと

(1) については、GHQ 自身により観測研究を行う構想もあった。実際、Bayley 少佐は 10 月 2 日の臨検時に、電波物理研究所が電離層観測を継続する意思が無い場合には、GHQ 通信部が稚内、東京、鹿児島の 3 か所で電離層観測を行うつもりであることを、前田憲一に伝えている。したがって、(2) と (3) が特に効いたものと思われる。青野雄一郎らのとっさの行動によって

感謝状

デナ・ケイ・ベイレー殿

あなたは戦後における我が国電波研究機関の研究活動の発展に多大の貢献をされるとともに多年にわたり国際無線通信諮問委員会第六研究委員会議長として我が国の電離層伝搬分野の研究に寄与されましたその功績は誠に顕著でありますので深く感謝の意を表します

昭和五十三年六月二十三日

郵政大臣　服部安司

図 18　Bayley 氏に郵政大臣から贈られた感謝状 (1978 年)

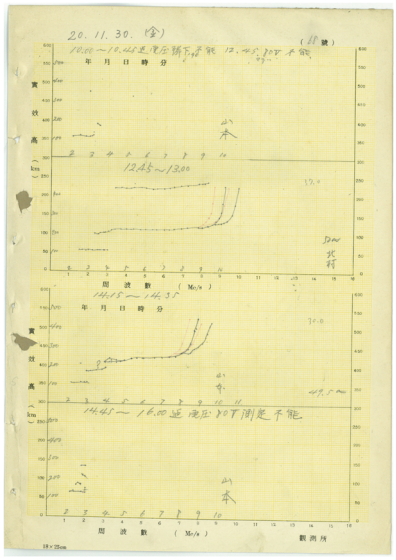


図 19 (a) 上野毛における最後の h'-f 曲線 1945 年 11 月 30 日
80 V まで送電圧降下のため測定不能というメモ書きがあり、終戦直後の電力事情の劣悪さを物語る。

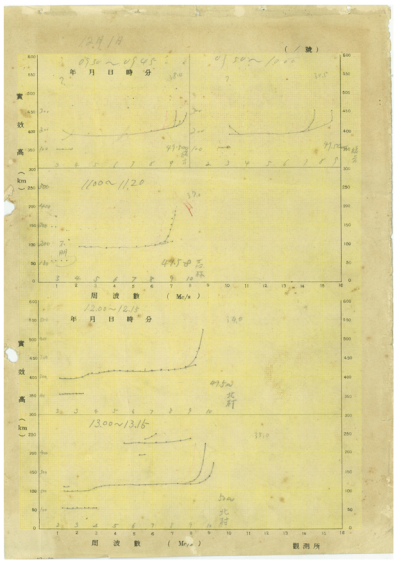


図 19 (b) 小平町に復帰後の最初の h'-f 曲線 1945 年 12 月 1 日

図 19　上野毛から小平町に移転した前後の観測データ

保存された観測データが、科学を尊ぶ電波物理研究所の姿勢と、研究水準の高さを裏付けるものとなり、その後の組織存続の決め手になったことは疑いない。もし電波物理研究所の電離層観測の実績を理解しない臨検官であったならば、また、もし敗戦時に軍部と歩調を合わせて観測データを焼却していたならば、研究の継続は認められず、すなわち今日の NICT と宇宙天気予報業務は存在しなかったであろう。短波伝搬の研究に関して戦前は各国とも国防上の見地から秘密主義をとったため、連合国軍は戦時中に東南アジアにおける電離層観測資料の不足に苦しんだ。そのため終戦後に直ちに日本から電離層観測資料を探し出すことが、Bayley 少佐の調査の主目的であったことを、同氏は後年に告白している[16]。Bayley 氏は、日本の電離層観測研究存続の恩人といえ、後年に再来日した際に、郵政大臣から感謝状が贈られた (図 18)。1999 年 8 月 27 日に亡くなった Bayley 氏の訃報は、当時の CRL ニュース (現・NICT NEWS) にも掲載されている[18]。

存続が決まった電波物理研究所は、1945 年 (昭和 20 年) 12 月 1 日に上野毛から小平町に戻った。移転の前後も 1 日の欠測も無く観測を継続した (図 19)。小平町に戻った際、小金井町側の旧第 5 陸軍技術研究所の敷地・施設の一部を併合し、小平町から小金井町にまたがる細長い敷地を有することとなった (図 20)。これが現在の NICT 本部敷地となる。旧陸軍技術研究所の残りの敷地は、現在の東京学芸大学とサレジオ学園等に移管された。

電波物理研究所の住所表示は戦後に、本館のある小金井町 (1958 年に市政施行) に変わった。但し電離層観測施設は現在も小平市側に設置されているため、無線

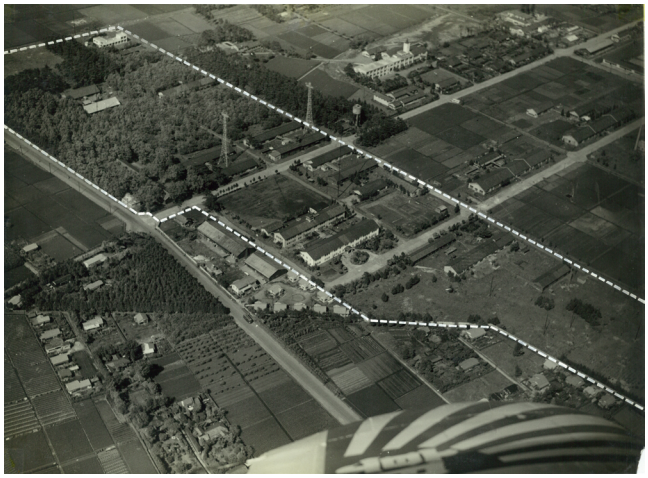


図 20　戦後に撮影された電波物理研究所の航空写真 (左上が北)
左上の小平町側の雑木林内に建つ木造 2 棟が、発足当初の電波物理研究所 (図 10 参照)。白点線内が戦後に右下の小金井町側に拡張された後の電波物理研究所の敷地で、現在の NICT 本部の領域。写真中央の正面玄関にロータリーがある建物が、旧第 5 陸軍技術研究所から引き継いだ本館 (図 35 参照)。

RADIO RESEARCH LABORATORIES
MINISTRY OF POSTS & TELECOMMUNICATIONS
KOKUBUNJI P. O., TOKYO, JAPAN TEL. 0423-2-1211
September 3rd, 1964

図 21　1960 年代に使用されていた電波研究所のレターヘッド
住所（小金井市）の代わりに KOKUBUNJI P.O.（国分寺郵便局）と刷り込まれており、「国分寺の電波研究所」として周知されていたことを表す。

局免許状の設置場所は、小平市になっている。

敷地は小金井市と小平市にまたがり、国分寺市にはかかっていないが、研究所宛の郵便物は国分寺郵便局から配達されていた（図 21、図 14（c））。そのため、地球電磁気学の業界では、NICT 本部及び電離層観測地点を指す地名として「国分寺」の呼称が、習慣的に現在も使われている。

戦後、陸軍と海軍は廃止されたが、電離層観測研究は前述のとおり戦時中から文部省の研究機関に統一されていたため、その後身の NICT が、陸軍と海軍の時代の観測データも一緒に保管している。

4.3　電信電話事業の実用化研究強化に伴う電離層観測研究の危機

終戦直後の荒廃した日本において、頻発する停電と通じない電話の状況を憂慮した GHQ 民間通信局（CCS）の指導により、逓信省電気試験所において明治以来一緒に行われてきた電力と電気通信の試験研究を分離して、それぞれの技術復興を加速することになった。特に電気通信の研究は、米国ベル電話研究所が手本とされた。そのための改組の準備として、電波物理研究所は、戦前の対外通信設備の建設と保守を担っていた国策会社の国際電気通信株式会社（KDTK）の技術研究所（所長：難波捷吾）と共に、電気試験所に吸収されることになった。

元は逓信省が所掌していた電力行政は、戦時体制を経て商工省（通商産業省を経て現在の経済産業省）に移管されていたため、電気試験所から分離する電力部門を商工省に移す必要が生じ、商工省の外局として新設されることになった工業技術庁（工業技術院を経て現在の産業技術総合研究所）の中に（新）電気試験所として移管することになった（後の電子技術総合研究所）。一方、逓信省電気試験所は、電気通信部門だけを残して、1948 年（昭和 23 年）8 月 1 日に、「電気通信研究所」（通研）に改組された。

電離層観測研究は、もともと電気通信の研究者や無線技術者によって行われていた。ところが、次第に地球物理学上の重要な分野としてクローズアップされてきた。そのため戦後には、電離層観測データは短波通信の運用に利用されるだけでなく、地球物理学分野の研究資料としても利用されるようになってきた。そのような状況の中で、文部省電波物理研究所は、我が国を代表する電離層・電波伝搬の学術研究拠点としての性格を帯びてきた。前田憲一所長は、そのような学術的及び行政的性格の強い観測・研究業務は、電気通信の実用化研究を行う通研にはそぐわないとして、吸収に強く抵抗した。しかし、学術研究会議（現・日本学術会議）主催の数回の討議における、長岡半太郎、八木秀次、仁科芳雄らの諸大家を含む多くの物理・電気の学者の総合意見は、通研への吸収に賛成するものであったため[11]、前田所長としても最終的には受け入れざるを得なかった。電波物理研究所は、電気通信研究所の電波部となり、前田所長は電波部長になった。そして小金井の本部は「国分寺分室」になった（図 22）。

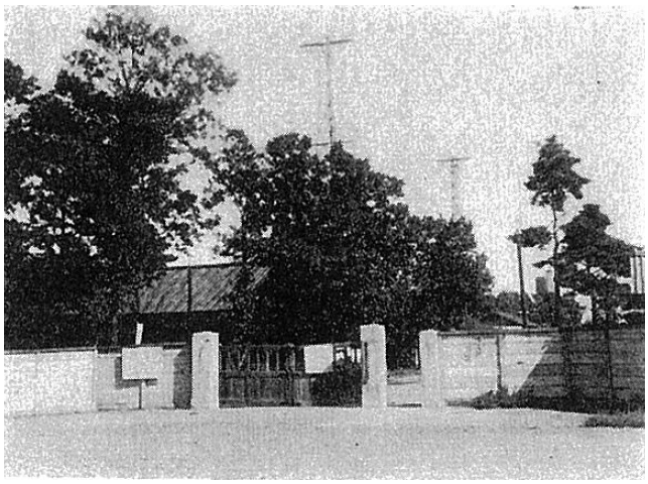


図 22　電気通信研究所 国分寺分室時代の旧電波物理研究所[11]
正門は現在の上水南町交差点の位置になる。現在のサレジオ通りは正門から東西に伸びる構内道路であった。

CCS は、逓信省の改革促進を更に強く迫り、明治以来、逓信省が実施していた郵便事業と電信電話事業を分離する「郵電分離」が断行されることとなった。1949 年（昭和 24 年）6 月 1 日に、逓信省は郵政省と電気通信省に分割され、電気通信研究所は、電気通信省の内局になった。電波物理研究所及び電気試験所平磯出張所に由来する電離層観測研究業務は、方式実用化部の電波課と基礎研究部の物理科に移された[9][11][19]。前田憲一は基礎研究部の部長になった。

電気通信研究所は、吉田五郎所長（図 23）の強いリーダーシップにより、電信電話事業に資する実用化研究所に急速に変貌していった。吉田所長は、電気試験所時代の電気通信の研究は、工学的研究に終始し学問的にのみ考究して直接経済活動に貢献する部分が少なく、企業経営体からの遊離に欠陥があったと断じた。そのため電気通信研究所は、研究者に仕様書、実施法の草案を作らせるまでの責任を負わせ、それを完璧にする

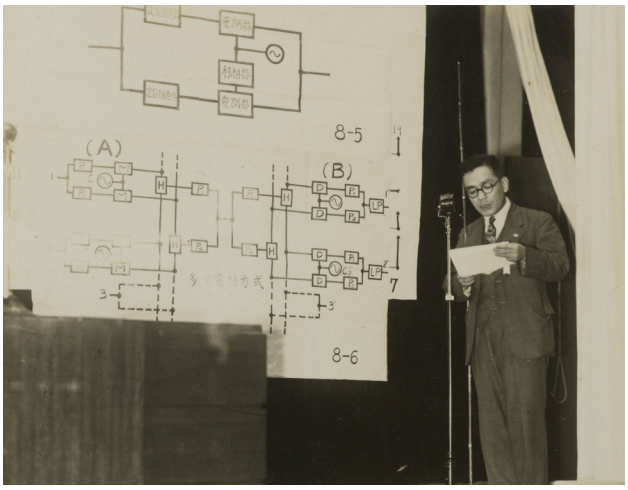


図 23　電気通信研究所 初代所長　吉田五郎
写真は逓信省電気試験所第二部技師当時。電気試験所創立五十周年記念式典写真帖（昭和 16 年 11 月、NICT 所蔵）より

ための現場試験をもその責任下に置いて多量生産に必要な資料の提供を求めることに、研究所の運営の重点が置かれた。そして自由研究や理論研究が主ではなく、組織された命令研究や監督制度の下に行われる実用化研究が主体でなければならないと主張した[20]。

その電気通信研究所において、方式実用化部等の中で、実用化が直接の目標にならない電離層観測と、それに伴う電波伝搬研究に対する風当たりが、次第に強くなっていき、旧電波物理研究所の職員たちの不満が募っていった。GHQ にも業績と必要性が認識されて生き残った電離層観測研究が、電信電話事業の実用化研究の中で、二度目の存続の危機に立たされることになった。

電気通信省が発足して間もない、1949 年（昭和 24 年）7 月のある夜中に、網島毅電波庁長官（電波庁は電気通信省の外局）の自宅に、上田弘之、青野雄一郎ら 4 人が突然押しかけ、吉田所長の方針への反対論を訴えた[21]。網島は 4 人の意見を聞き、これは通研の中では解決できない大きな問題であり、放置すれば稚内から山川に至る全国の電波観測所の職員の処遇のみならず、我が国の世界に誇る電波伝搬の研究機能は崩壊するかもしれないと危機感を抱いた。そのため網島は、旧電波物理研究所及び旧電気試験所平磯出張所で電離層観測と電波伝搬研究に従事していた 200 名以上の人員と施設を、通研から電波庁に移管する決断をし、調整を始めた。庁議で意見をまとめ、省議で各局の賛成を得て、最後には大臣の決裁を得なければならず、多数の職員を本庁に引き取ることは、研究費や庁費の手当の困難さが見込まれ、庁内の反対が予想された。しかし電気通信省の事業部門はいずれ公社組織になり、純政府機関から外れることになっていたため、電波行政上必要な研究部門は電波庁に移すこともやむを得ないと

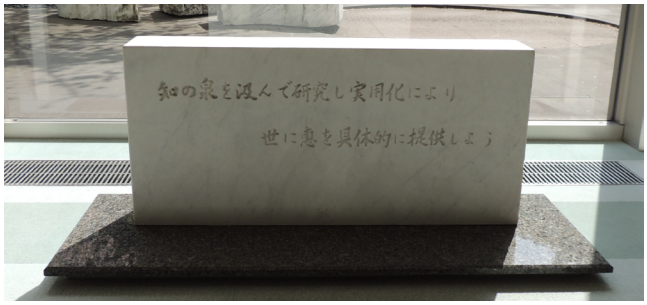


図 24　通研が 1950 年 12 月に武蔵野市に集約された際に建てられた吉田五郎揮毫の記念碑（NTT 武蔵野研究開発センタ、筆者撮影）
碑文「知の泉を汲んで研究し 実用化により世に恵を具体的に提供しよう」「実用化」は吉田五郎の造語と言われている。

いう意見が大勢を占めた結果、同年 8 月 29 日の省議で決定に至り、大臣決裁を経て、同年 11 月 1 日付（組織規程改正の省令は 11 月 5 日付）で電波庁電波部に新設された 3 課（電離層課、対流圏課、電波資料課）として新たに発足した。吉田五郎通研所長も、この移管にあっさり同意した[9]。通研の基礎研究部長になっていた前田憲一は、立場上、行動を共にはできず通研に残ったため、上田弘之が電波庁電波部付としてこの新設 3 課をまとめる役割を担うことになった。組織の移管に当たり、上田が地方電波観測所長を集めて語った心構えが興味深いので、ここに再録する[11]。

（中略）…通研では電波といえば我らの専売特許でありましたが、電波庁では専売特許どころかクズかごまでも電波でありますから、つまらぬ電波であれば容赦なく焼却されるおそれがありますから、よくよく考えてください。（中略）…通研では一つの波を貰ってその質を量的に良くするのが主眼であるが、電波庁では、その波を与えること、出力その他を指定すること、発射された波を監督する等個々の波の賦与の責任、存在の監督は勿論でありますが、波と波の限界を明らかにし、波の限度を知ることが主眼であります。従って電波庁では、全周波数バンドの端から端まで、その性能、性質の隅から隅までを知って最も合理的な運用を期さなければなりません。かかる意味から電離層の観測も、対流圏のルーチンも、電波予報も警報も責任と義務とにおいて必要欠くべからざるものでありまして、決して体面や興味からではないのであります。

電気通信研究所は、五反田本部（旧電気試験所本部、現 NTT 東日本関東病院敷地）や神代分室（旧国際電気通信株式会社技術研究所、現 NTT 中央研修センタ敷地）など各地に分散していた拠点を、1950 年（昭和 25 年）12 月に武蔵野市（東京都）に集約させた（図 24）。もし旧電波物理研究所が電波庁電波部に移管されずに通研の一部署のままであったならば、現在の NICT 本部である国分寺分室も撤退し、電離層観測研究は縮小されていたかもしれない。電離層観測研究の電波庁への引き取りを決断した網島長官は、我が国の標準電波の

立ち上げにも深くかかわっており[22]、Bayley 少佐と共に、NICT の「第 2 の恩人」と言うべき人物である。

4.4　電波監理委員会の発足と電波観測所の改組

電離層観測研究業務が、通研を離れて電気通信省電波庁に移って一息ついたのも束の間、僅か半年後に、今度は電波行政自体の機構改革のあおりを受けることになる。

逓信省から電信電話事業を継承した電気通信省は、将来の公社化が想定されていた。国として実施する必要がある電波監理行政については、GHQ の指導に基づき、電気通信省の手を離れて行政委員会たる電波監理委員会が担うことになった。1950 年（昭和 25 年）6 月 1 日に、電波法、放送法と共に、電波監理委員会設置法が施行され、電波庁は廃止され、同委員会の事務は、総理府に新設された電波監理総局が担うことになった。そして電離層観測研究業務は、同委員会に附属する電波観測所が担うことになった。その結果、国分寺の本部は「中央電波観測所」と称することになり、それと並列に、稚内、秋田、犬吠、平磯、山川の 5 か所に地方電波観測所を置いた。中央電波観測所の所長には、上田弘之が就任した。

電離層観測研究業務は、中央を含む 6 つの電波観測所として、組織的にようやく安定し、終戦以来途絶えていた定期的な発表会や定期刊行物（中央電波観測所研究報告）の刊行も、再開された。

サンフランシスコ平和条約が発効され GHQ のくびきが外れると、行政委員会制度の見直しが行われ、電波監理行政は再び省庁が担うことになった。電波監理委員会は 2 年余りの短命で廃止になり、電気通信省は公社化されるため、同じ逓信省由来の郵政省が電波監理行政を担うことになった。郵政省は、郵政事業（郵便、貯金、保険）に特化した公共事業官庁としてスタートしていたが、1952 年（昭和 27 年）8 月 1 日、郵政省に電波監理局が設置され、同時に電波監理委員会、総理府電波監理総局及び電気通信省が担っていた電離層観測・電波伝搬研究業務、周波数標準・標準電波発射業務、型式検定業務等が統合され、郵政省電波研究所（RRL）が発足した。同日に電気通信省は日本電信電話公社（NTT）に改組された。

こうして郵政省は電気通信行政も担う官庁に変わったため、省名を逓信省（注）に戻すことも検討されたが、「逓」が当用漢字（現・常用漢字）に無いこと等が理由で実現せず、英語名だけが、Ministry of Postal Services から、Ministry of Posts and Telecommunications に変わった。

（注）逓信とは駅逓（郵便）と電信を一字ずつ組み合わせた造語で、まさに Posts and Telecommunications を表す。

4.5　電波警報の開始と発展 [23]

さて、大戦末期に計画されたものの敗戦により実現しなかった電波警報業務は、前述の複雑な組織変遷のさなかに始まった。電波庁の時代の 1949 年（昭和 24 年）12 月に、電波部電波資料課が電波警報業務を始めることになり、電波予報のような刊行物では速報性が無いため、同じ電波部の標準課が運用していた短波標準電波（呼出符号 JJY）に、現在または 12 時間以内の電波じょう乱を予告する符号 W（激しい通信嵐）をモールスコードで載せて、リアルタイムに発表することになった。後に U（不安定状態）と N（平穏状態）が追加され、常にこの 3 つの符号のいずれかが標準電波に載せられるようになった[7]。

電波警報は、図 25 に示すように、他機関から届く太陽光学観測データや地磁気観測データも駆使して、開始当初の一時期を除き、平磯電波観測所から発令されていた（図 26）。

太陽については光学観測に加えて、電波観測も 1952 年から平磯電波観測所において 200 MHz 帯を対象として、定常的に実施されるようになった（図 27）。太陽から放射される電波の存在が発見されたのは意外に遅く、第 2 次世界大戦中であり、我が国では 1949 年に、

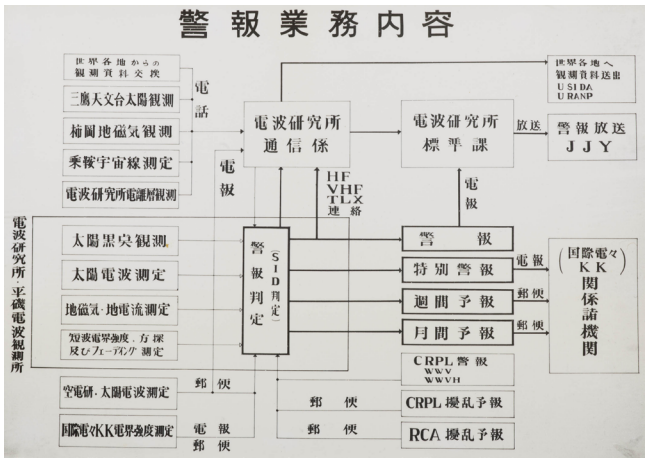


図 25　1965 年頃の電波警報の情報伝達フロー

図 26　平磯電波観測所の電波警報発令室

平磯電波観測所が三鷹の東京天文台構内に 200 MHz 帯の受信装置を設置したのが、我が国の太陽電波観測の始まりであった。

中央電波観測所時代の 1951 年（昭和 26 年）5 月から、JJY の電波警報に加えて、週間電波じょう乱予報が始まり、ハガキにより利用者へ 1 週間分の予報が週 1 回郵送されるようになった（図 28）。ハガキによる予報も、月刊電波予報の終刊と時期を同じくして廃止され、代わりに 1986 年（昭和 61 年）4 月から、テレホンサービスによる音声アナウンス式の予報が始まった。

電波警報は、国内諸機関のみならず、世界中の関係観測研究機関によって取得された日々の観測データを参照して、精度を高める必要がある。そのため、「ウルシグラム放送」という短波無線によって、世界的に観測データを交換する仕組みが構築された。ウルシグラム放送は、1919 年に結成された国際電波科学連合（URSI）の勧告により、1928 年にフランスで始まったもので、日本でも 1932 年に日本無線電信株式会社（現・KDDI）小山送信所によって始まり、戦争による中断を経て、1951 年 12 月に中央電波観測所によりコールサインJJD で再開された[7][24][25]。図 25 の右上に「世界各地へ観測資料送出」と描かれているのが JJD である。その後、観測データの交換手段として、テレックスや計算機ネットワーク等が発達したことにより、JJD は 1995 年 6 月末をもって終了した[26]。

電波警報業務が軌道に乗った時期の 1957 ～ 58 年に実施された国際地球観測年（IGY）は、電離層定時観測の強化すなわち従来の 1 時間ごとを現在と同じ 15 分ごとに頻度を増やしたこと等を始め、電離層観測研究に大きな変革をもたらした。南極地域の観測事業が始まったほか、観測資料の分散保管と国際的な交換のために、世界資料センターが設けられて、電波研究所は世界に 4 つ置かれたセンターの一つ（C2 センター）になった。また、太陽フレアや地磁気嵐を予知して連絡を取り合う組織が創設され、米国ボルダーに置かれた本部のほか、電波研究所に西太平洋地域警報センターが置かれた。本組織は、1962 年に前述のウルシグラム交換組織と統合されて、国際ウルシグラム世界日警報業務機関（IUWDS）になった。1963 年（昭和 38 年）9 月に初めて日本で開催された URSI の総会では、参加者のエクスカーションとして、国分寺の電波研究所本所や、当時は小金井市緑町にあった標準課、茨城県鹿島町に建設中の 30 m パラボラアンテナ及び平磯電波観測所に、前述の Bayley 氏を含め著名な研究者が多数訪れた（図 29）。IUWDS は 1996 年に国際宇宙環境サービス機関（ISES）に衣替えして、現在に至っている[27]。

一方、人類初の人工衛星が打ち上げられて宇宙時代の幕が開き、後述するとおり電離層観測研究にロケットあるいは人工衛星が活用される時代になった。さらに、太陽活動が活発な時期で、期間中に多くの現象を観測でき、地球上の超高層に生ずる諸現象はその原因のほとんどが太陽現象に起因していることから、電波警報が通信障害の予知という実用面のみでなく、太陽

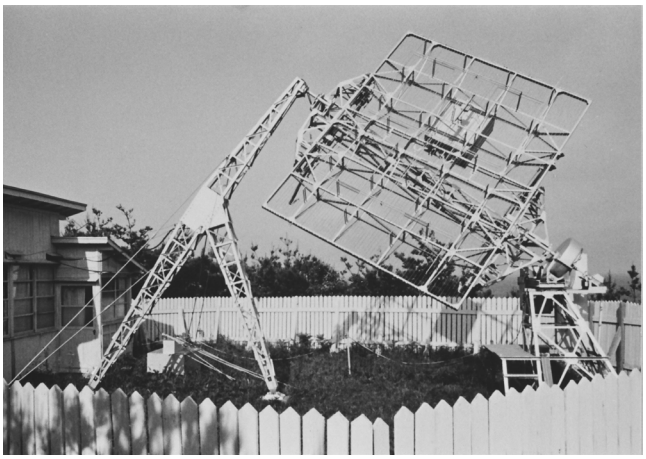


図 27　平磯電波観測所の 200 MHz 太陽電波観測アンテナ（1952 年設置）

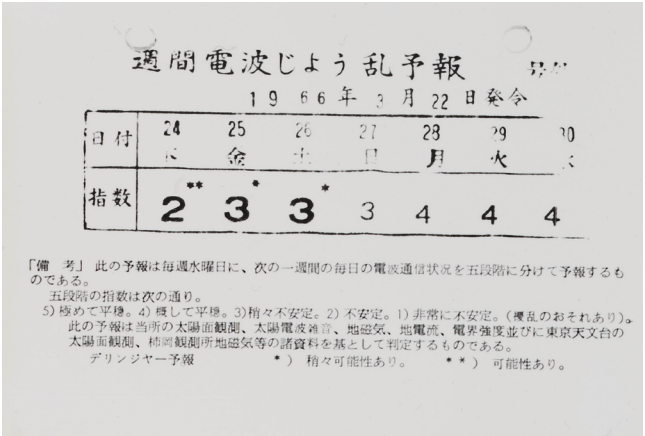


図 28　週間電波じょう乱予報ハガキの例（1966 年）

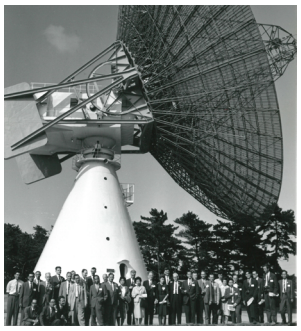


図 29 (a)　鹿島に建設中の 30 m パラボラアンテナを見学した一行（1963 年 9 月 14 日）

図 29 (b)　終戦直後に電離層観測研究を救った 3 人が電波研究所本所に勢揃いした。左から中田美明、青野雄一郎、Bayley（1963 年 9 月 18 日）

図 29　1963 年 URSI 総会のエクスカーションで電波研究所を訪れた参加者

地球間現象のモニターとしての役割も果たし、太陽地球間物理学という新しい学問分野の誕生に寄与した。

4.6　宇宙開発と電離層観測

戦後の電離層観測・電波伝搬研究は、宇宙開発に伴うロケットと人工衛星の発達により、これまでの地上からの観測だけでは得られなかったデータを得られるようになったことが、特筆される。

ロケットあるいは人工衛星を用いた電離層観測・電波伝搬研究は、手法により以下の３つに大別できる。

(1) 人工衛星電波を用いた観測

地球を周回する人工衛星の出現により、宇宙空間で発射点が移動する人工電波が電離層を突き抜けて地上に届くことで、電離層の不規則性分布や全電子数を広範囲に観測することが可能になった。1957 年に人類最初の人工衛星である旧ソ連のスプートニク１号が打ち上げられると、さっそく電波研究所では、同衛星が発射する 20 MHz の電波を連続受信し、軌道と受信範囲の関係を求めて、見通し外の衛星から電離層反射及び地上反射で届く電波の伝搬様式について、基礎的な検討が行われた[28]。その後も、周回衛星や静止衛星から届く電波を用いて、ファラデー現象、ドップラー現象、電波通路の湾曲等を利用した電離層観測研究が、盛んに行われた[7]。

(2) ロケットによる電離層の直接観測

電離層の直接観測に用いられたロケットは、人工衛星を軌道に乗せるためではなく、電離層の高度まで上昇して、プローブにより電子密度等を直接に観測するための弾道飛翔体である。我が国のロケット開発は 1955 年に東大によるペンシルロケットの実験から始まり、電離層の直接観測は、1960 年７月に秋田県の道川海岸におけるカッパ８形２号機によるものが最初で、その時の高度は約 200 km であった。その後、射場を鹿児島県の内之浦に移転し、1964 年頃には、ラムダ形ロケットにより高度 1,000 km 以上に達し、電離層を突き抜けて宇宙側（トップサイド）にまで至る電子密度の高さ分布等が、詳しく観測できるようになった。

(3) 電離層観測衛星による観測

ロケット技術の発達により、電離層観測機器を搭載した周回衛星が打ち上げられ、衛星から下向きに、エコーの見かけ距離対周波数 d'-f すなわちトップサイド・イオノグラムの観測が可能になった。前述の弾道ロケットでは観測は一発勝負となるが、電離層観測衛星による観測は周回飛行中に繰り返し、地球上の異なる場所のトップサイド・イオノグラムを観測できる。我が国では、1960 年代に ISIS（国際電離層研究衛星）のプロジェクトへの参加に始まり、日本最初の実用衛星である電離層観測衛星 ISS（うめ）及び ISS-b（うめ２号）を用いて、電離層観測のほか、電波雑音観測、プラズマ観測、イオン組成観測等を行い、人工衛星観測による F_2 層臨界周波数の世界分布図を、世界で初めて作成する等の成果を挙げた[29]。

4.7　宇宙天気予報業務の開始 [30]

電離層観測・電波伝搬研究は、当初の目的であった短波通信の安定化の重要性が低下し、一方では人工衛星が多数打ち上げられて実用化され、衛星に障害を与える宇宙空間の環境変化を把握し予報する必要性が増してきた。そのため郵政省電波研究所では 1979 年頃から、宇宙時代を見据えて、電離層観測、電波予報、電波警報などの定常業務の見直しを始め、1984 年度には、定常業務の簡素化・合理化と、電波利用形態の変化や宇宙利用の発展に応じた新しい予警報の開発を進める提言が出された。これを受けて、1988 年（昭和 63 年）度から「宇宙天気予報システム」の研究開発が、電波警報業務を行っていた平磯支所（旧平磯電波観測所）を中心として始まった。

「宇宙天気予報」の名称については、電波警報業務の見直しのさなかに、1984 年 11 月に京都で開催された、国際 MAP（中層大気国際共同観測計画）シンポジウムに出席した、丸橋克英（後の平磯支所長）と富田二三彦（当時研究官）の会話の中から、生まれたとされる。「宇宙環境予報」という名称案を物足りなく感じた丸橋が、富田に「電波の天気予報」という表現を紹介したことが背景にある[31]。この表現は、平磯支所が置かれている平磯町（那珂湊市）が 1972 年（昭和 47 年）に刊行した「平磯町六十五年史」[32] の中で、以下の平磯支所の紹介文に登場していたことが、丸橋の回想に記述されている[31]。

旅に出る人があすの天気予報を気にするように、地球上の一点から他の地点へ電波が伝わって通信を送る時、空中状態が電波の旅行に適しているかどうかの予報はきわめて大切なことである、平磯電波観測所がこのような「電波の天気予報」を出していた当時、日本で唯一つのところで、国際観測年の間は極東観測センターであるわが国の重要な部門として国際的に活躍していた。

開始当初の宇宙天気予報システムは、宇宙環境じょう乱の根源である太陽活動の観測システムの充実や、観測データの国際間の迅速な交換を可能にするコンピュータネットワークの整備などに、力が入れられた。太陽電波観測については初年度に、70 ～ 500 MHz 帯のダイナミックスペクトル計が整備され、後に二つのアンテナが増備されて、25 MHz ～ 2.5 GHz まで連続的にカバーするようになり、HiRAS（ハイラス）と命名された広帯域ダイナミックスペクトル計を使って、

図 30　平磯太陽観測施設の閉所式 (2016 年 12 月 9 日)

2016 年度の施設の閉鎖まで、観測が続けられた。コンピュータネットワークについても初年度に、デジタルデータの取得を開始したのを皮切りに、SERDIN と命名されたネットワークが整備されていき、Ethernet LAN によってセンター内の太陽電波強度データ、地磁気データ、太陽画像データ等のシステムがつながれていった。観測技術の発達によって使用可能な各種宇宙環境データが増大する中で、宇宙環境じょう乱の予警報を発令するためには、発令者が観測データを効率的に相互参照して総合的に解析できる必要があり、そのためにデータベースをネットワークに接続しワンストップで相互参照できるような仕組みが不可欠になっていた。ちょうど世界的にコンピュータネットワークが急発達を始めた時期であり、国内外の諸機関ともネットワーク接続され、平磯宇宙環境センター (旧平磯支所) は通信総合研究所 (旧電波研究所) のネットワークに関する外部との接続点になっていった。1994 年初めには分散型宇宙環境データベース SERDIN/WWW として、国内機関としては早い時期に Web サーバの運用を始めている[33]。

電波警報業務の近代化に重要な役割を果たした宇宙天気予報業務は、2002 年に平磯から国分寺に移り、電離層観測・電波伝搬研究の発祥の地である平磯宇宙環境センターは、無人の太陽観測施設を経て、2016 年度をもって満 102 年の長い歴史を閉じた (図 30)。

5　補遺　田中舘愛橘と長岡半太郎のかかわり

田中舘愛橘 (安政 3 年～昭和 27 年) と長岡半太郎 (慶応元年～昭和 25 年) は、日本史の教科書にも登場する、明治期の物理学界の二大巨頭である。この 2 人は、現在の NICT に連なる組織の歴史に深くかかわった学者で、亡くなる直前に、現在の NICT 本部を訪れたことがある。

田中舘愛橘は、地磁気の研究で著名であるが、無線工学に関しても造詣が深く、1898 年 (明治 31 年) に逓信省電気試験所の松代松之助技師が、我が国初の無線電信実験に関する学会発表を行った際に、松代を相手に質疑をした議事録が残っている[34]。松代が無線電信の研究に着手したとされる 1896 年 (1897 年の説もあり) は、NICT の組織史の始まりに位置づけられている。無線通信の始まりから戦後の飛躍的発展まで見続けてきた田中舘は、1951 年 (昭和 26 年) 5 月 21 日に、中央電波観測所 (国分寺) で開催された日本地球電気磁気学会に参加し、その時の写真 (図 31) と揮毫 (図 32) が残っている。亡くなる 1 年前のことであった。

長岡半太郎は田中舘の弟子にあたり、Hertz の電波実験 (1888 年) をいち早く日本に紹介し、我が国の電波物理学分野を主導した。前述の URSI に日本が加盟した翌年の 1928 年総会において、長岡が副会長に選出さ

図 31　中央電波観測所を訪れた田中舘愛橘 (中央)
左端は上田弘之、右端は長谷川万吉 (日本地球電気磁気学会初代委員長)、右から 2 人目は永田武 (後の第 1 次南極地域観測隊長)。
左端の装置は、4 型自動式電離層観測機[4]

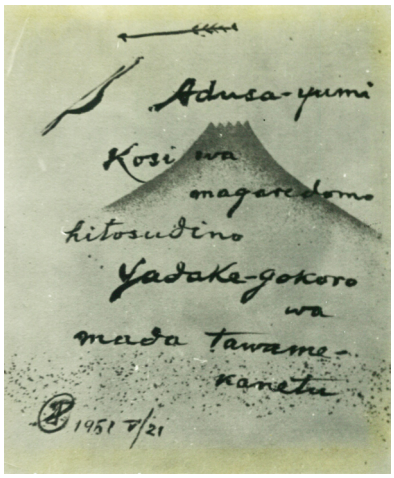


図 32　田中舘愛橘の揮毫
田中舘は、日本式ローマ字の普及にも尽力した。

図 33　電波物理研究所（国分寺）を訪問した長岡半太郎（中央）
左隣は前田憲一、右隣は上田弘之
（1946 年夏～初秋）

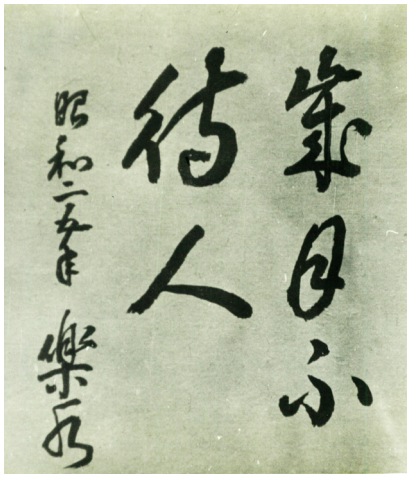


図 34　長岡半太郎の揮毫
1950 年 6 月 13 日、中央電波観測所の開所式にて

図 35　戦後の電波物理研究所（後に中央電波観測所を経て電波研究所）本館の正面玄関と八重桜（1952 年春）

図 36　本館の跡地に建った NICT 本部 2 号館と八重桜
（2021 年 4 月 6 日）

れている[35]。電波物理研究会の発足によって陸・海・逓の電離層観測研究を一本化でき、日本が当該分野を世界でリードできたのは長岡の功績と言ってよい。戦後に廃止された陸・海軍の観測データを、電波物理研究所が受け継ぎ、敗戦によっても研究に後退をきたさず今日まで発展できたのも、組織が一本化されていたお陰であった。

その長岡は、戦後の電波物理研究所においても参与として運営に関わった（図 33）。1950 年（昭和 25 年）6 月 13 日に国分寺で開催された中央電波観測所の開所式に出席した際の揮毫が残っている（図 34）。亡くなる半年前のことであった。

現在の NICT 本部には、旧第 5 陸軍技術研究所の本館（図 35）の脇に植えられ、本館前で撮影された田中舘愛橘や長岡半太郎らの集合写真の脇にもあった 1 本の八重桜が残っており（図 36）、今も毎年春に花を咲かせている。

6　おわりに

本稿では、1988 年に始まった宇宙天気予報業務の 30 年余りの歴史については、時期尚早と考え、詳しくは触れなかった。近い将来に、もう少し歴史として熟した頃に、業務に携わった研究者らによって、まとめられることを期待している。

宇宙天気予報業務は、その前身の電波予報・電波警報業務と同じく、正確な観測データの積み上げによって、予報の正確さを期すことができる。電離層観測研究の歴史は、観測拠点の増設、観測頻度の増加、観測手法の進歩、観測データの精度向上の歴史であり、時代によっては文字どおり命がけで観測データを取得し、伝えてきた歴史である。今日では大量の観測データを自動的に取得・共有できるようになり、予報業務にも機械学習など AI 的手法が取り入れられて、飛躍的に精度が上がってきているが、結局は正確なデータの蓄積があってこその結果である。自然現象を相手にしている限り、観測データの重要性が変わることはない。前田憲一（図 37）は、自らの京都大学の退官記念集で、

図 37　前田憲一 (1909 年～ 1995 年)
1983 年 10 月 15 日に京都大学工学部電気系教室で開催された名誉教授の講演会において、当時は学部生だった筆者が撮影した動画の一コマ。

観測データの重要性について、以下の言葉を残している[9]。この言葉で、本稿を締めくくりたい。

観測データというものは、それが何年何月何日の何時何分の値であるという点に大切な意味があります。後になってある研究者が過去のデータを必要とした時、何らかの理由で欠測になっていたということがしばしばありますが、このような時は涙をのむほかありません。これを考えると、観測者は毎日一種の科学的文化財を生み出しているのだと私は考えています。

謝辞

まず、NICT 研究報告の宇宙環境計測・予測技術特集に、本稿の執筆の機会を与えていただいた、石井守電磁波伝搬研究センター長に感謝する。本稿については、丸橋克英元平磯支所長及び富田二三彦元平磯研究官に推敲いただいた。

本稿は、NICT 平磯太陽観測施設の 100 周年を記念して 2015 年に刊行された「平磯の 100 年：その歩みと回想集」の中で筆者が執筆した「平磯無線 100 年の前半史」[36]、2016 年に RF ワールド誌 (CQ 出版) に連載した、「日本の無線通信研究の故郷 平磯無線の 100 年史」[37]、2017 年から 2018 年にかけて電波技術協会報 FORN に連載した、「電気試験所の偉業と平磯出張所」[38] 及び Radio Science 誌に石井研究センター長らと共著で執筆した 2021 年の論文[39] をベースにしている。本稿の執筆にあたり、現在整理中の歴史資料を多数引用しているが、同資料の整理にあたっては、畚野信義元通信総合研究所長ら元職員にアドバイスをいただいている。

2016 年に RF ワールド誌上に筆者の連載が掲載された際に、同誌の別の号の同じコーナー[40] に原稿を執筆していた、京都大学名誉教授の木村磐根先生から、筆者宛に読後の感想が下記のとおり届いた (抜粋)。

(中略)…貴君の名前も懐かしく、また前田憲一先生が京大を卒業後まず入所された平磯出張所の記述が懐かしかったです。またこの頃の日本の無線に関する歴史を詳細に書いて頂いているのは大変貴重です。ご苦労されたと思いますが私にとっても大変良い復習になりました。

木村先生は、通研から京大に移った前田憲一の一番弟子で、筆者が郵政省電波研究所に就職を希望した際にお世話になった。2019 年 12 月 3 日に他界した先生の追悼集[41] において筆者が執筆を約束した歴史書として、本稿を木村先生のご霊前に捧げる。

【参考文献】

1　日本中心の短波伝搬曲線集, 郵政省電波研究所, 1986 年.
2　難波捷吾, “短波伝播特性並に短波電界強度計算法に就て,” 電気試験所研究報告, no.336, 逓信省電気試験所, 1932 年 8 月.
3　田尾一彦, “Ⅵ -3. 電離圏,” 電波研究所季報, vol.15, no.78, pp.383–388, 郵政省電波研究所, 1969 年 5 月.
4　我が国における電離層観測機の変遷, 郵政省電波研究所, 1984 年 3 月.
5　前田憲一, “電離層研究の五十年,” 電波研究所季報, vol.33, no.167, pp.51–91, 郵政省電波研究所, 1987 年 6 月.
6　“イオン化大気層に関する研究 (第 1 回報告) KH 総高測定 (測定装置之部),” 研究実験成績報告 第 1024 号, 海軍技術研究所, 昭和 7 年 (1932 年) 10 月 30 日.
7　電波研究所二十年史, 郵政省電波研究所, 1975 年 3 月.
8　前田憲一, “電離層並に近距離短波伝播に関する研究,” 電気試験所研究報告, no.426, 逓信省電気試験所, 1938 年 11 月.
9　前田憲一先生退官記念集, 京都大学工学部電気系教室 前田憲一先生退官記念会, 1973 年 6 月.
10　上田弘之, “郵政までの思い出,” 電波時報, vol.27, no.6, pp.57–62, 郵政省電波監理局, 1972 年 6 月.
11　電波研究所沿革史, 郵政省電波研究所, 1961 年 3 月.
12　電波監理委員会編, " 第三節 短波送信機 1 岩槻の実験装置," 日本無線史, 第 1 巻, pp.159–162, 電波監理委員会, 1950 年.
13　“電離層の経度による変化 —F_2層電子密度,” 電波物理研究所研究報告, 秘第 2 号, 文部省電波物理研究所, 1942 年 4 月.
14　Appleton, E.V., “Two Anomalies in the Ionosphere,” Nature, no.157, p.691, 1946. https://www.nature.com/articles/157691a0
15　“赤道地方に於ける短波伝播特性曲線,” 電波物理研究所研究報告, 秘第 6 号, 文部省電波物理研究所, 1942 年 12 月.
16　上田弘之, “第 2 章 陸軍における電波伝播の研究,” pp.615–629, 陸軍兵器総覧, 日本兵器工業会, 1977 年 3 月.
17　田尾一彦, “Bayley 博士の思い出,” 通信総合研究所五十年記念誌, pp.272–273, 総務省通信総合研究所, 2001 年 3 月.
18　飯田尚志, “通信総合研究所の恩人を偲んで,” CRL ニュース, no.282, 郵政省通信総合研究所, 1999 年 9 月. http://www.nict.go.jp/publication/CRL_News/9909/onjin.html
19　永野宏, 佐納康治, “日本の地球電磁気学の歴史 —IGY の前までを中心にして,” 地球電磁気・地球惑星圏学会, https://www.sgepss.org/sgepss/history/20180711_Chap7.pdf, 2021 年 6 月 3 日閲覧.
20　吉田五郎, “逓信省電気通信研究所生誕の必然性とその任務,” 通研月報, vol.1, no.1, pp.12–31, 逓信省電気通信研究所, 1948 年 10 月.
21　網島毅, 波濤：電波とともに五十年, 電気通信振興会, 1992 年.
22　網島毅, “「標準電波 50 年の歩み」の刊行を祝して,” 標準電波 50 年の歩み, 郵政省通信総合研究所標準測定部, 1991 年 3 月.
23　木所常一, 森弘隆, “電波警報業務の概要,” 電波研究所季報, vol.32, no.162, pp.1–46, 郵政省電波研究所, 1986 年 3 月.
24　電波監理委員会告示第 4 号, 官報, 第 7498 号, 昭和 27 年 1 月 8 日. https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/2964051
25　企画部, “ウルシグラム放送のあゆみ,” 電波研究所ニュース, no.66, 郵政省電波研究所, 1981 年 9 月.
26　川崎和義, 石橋弘光, 徳丸宗利, “宇宙環境情報サービス,” 通信総合研究

所季報, vol.43, no.2, pp.271–275, 1997 年 6 月.
27 丸橋克英,“日本の無線通信研究の故郷 平磯無線の 100 年史（後編）電波警報から宇宙天気予報へ（歴史読物 平磯無線開設 100 周年記念）,”RF ワールド, no.35, pp.131–143, CQ 出版, 2016 年 8 月.
28 上田弘之, 石田正, 柴田久, 満保正喜,“人工衛星電波の受信について,”電波研究所季報, vol.4, no.15, pp.118–123, 郵政省電波研究所, 1958 年 4 月.
29 最近 10 年間の歩み（創立 30 周年記念）, 電波研究所 30 年史編集委員会, 1985 年.
30 電波研究所から通信総合研究所へ（創立 40 周年記念）, 電波研究所 40 年史編集委員会, 1993 年.
31 丸橋克英,“宇宙天気予報のはじまり,”平磯の 100 年：その歩みと回想集, pp.100–101, 国立研究開発法人情報通信研究機構, 2015 年 4 月.
32 “電波研究所平磯支所,”平磯町六十五年史, pp.310–322, 平磯町六十五年史編さん委員会, 1972 年 7 月.
33 石橋弘光, 川崎和義,“分散型宇宙環境データベースの開発,”通信総合研究所季報, vol.43, no.2, pp.257–270, 郵政省通信総合研究所, 1997 年 6 月.
34 松代松之助,“マルコニー式無線電信,”電気学会雑誌, 18 巻 121 号, pp.339–345, 電気学会, 1898 年 8 月. https://doi.org/10.11526/ieejjournal1888.18.339
35 松本紘,“宇宙電波科学と国際ネットワーク,”学術の動向, vol.5, no.1, pp.32-37, 日本学術協力財団, 2000 年 1 月.
36 滝澤修,“平磯無線 100 年の前半史,”平磯の 100 年：その歩みと回想集, pp.15–38, 国立研究開発法人情報通信研究機構, 2015 年 4 月.
37 滝澤修,“日本の無線通信研究の故郷 平磯無線の 100 年史（前編）黎明期の無線技術開発から電波伝搬研究へ（歴史読物 平磯無線開設 100 周年記念）,”RF ワールド, no.34, pp.124–141, CQ 出版, 2016 年 5 月.
38 滝澤修,“電気試験所の偉業と平磯出張所＜5＞ ～ラジオ放送の立ち上げと短波の開拓、そして宇宙天気予報へ～,”電波技術協会報 FORN, no.323, pp.36–39, 一般財団法人電波技術協会, 2018 年 7 月.
39 M. Ishii, O. Takizawa, K. Marubashi, and M. Den,“History of Space Weather Research and Operation in Japan and New Emphasis in Southeast Asia,” Radio Science, March 2021. DOI: 10.1029/2020 rs007162
40 木村磐根,“VLF 帯を通してみた超高層電波の科学研究小史（歴史読物 ホイッスラーの研究を軸に, ロケット実験やあけぼの衛星による観測実験, 電離層加熱実験などを振り返る）,”RF ワールド, no.11, pp.127–142, CQ 出版, 2010 年 8 月.
41 滝澤修,“JA3ER 木村 OM のサイレントキーに寄せて,”木村磐根先生追悼集, pp.135–138, 故木村磐根先生を偲ぶ会, 2020 年 12 月.

滝澤　修　**（たきざわ　おさむ）**
NICT ナレッジハブ
研究統括
博士（工学）
電波利用管理・ものづくり、組織史