

工学博士前田憲一君の「電離層に関する研究」に対する

授賞審査要旨

一、概要

電離層は一九二五年、はじめてその存在が実験的に立証されたのであるが、当時は恰も短波無線通信の勃興期を迎えようとしていたこと、またこの電離層が短波の遠距離通達を支配することが知られはじめたこと等により、英国の故エドワード・アプルトン卿、米国の故ブリークナー博士等により研究が開始された。前田憲一君は一九三二年より電離層の研究に着手して今日に至り、この方面の草分けである。

まず電離層を対象とする電波工学の研究に手をつけ、さらにその関連分野としての地球物理学並に宇宙空間物理学にその対象領域をひろげ、日本電気通信学会、学術会議電離層研究連絡委員会、日本地球電気磁気学会、国際電波科学連合、国際電離層特別委員会、国際宇宙空間研究会を通じて、多くの研究成果を発表しつづけている。

二、業績内容

前田君の主要な業績は、(一)電離層内の電波伝搬、(二)電離層に於ける電子密度の世界分布と高さ分布、(三)電離層の電気力学的挙動の三部門に大別することができる。

(一)電離層内の電波伝搬

(一—一) 短波の遠距離通達の特性

短波の遠距離無線通信においては、送信機の電力と周波数、空中線の利得等を如何に定めるかが、また昼夜、季節の別によって周波数を如何のように切り替えるかが重要問題である。これらのことはまた相手局の位置によっても変わる問題である。これらの問題を解決するには、短波が電離層内を伝搬する場合の諸特性を明らかにする必要がある、前田君はこの問題を研究して業績を挙げたのである。

電離層は上空約一〇〇kmのE層と約二五〇kmのF層の二段構造になっているが、短波は通常層を突抜けF層で反射される。F層による反射は光の鏡面反射の如きものでなく、電波の通路が徐々に屈折して再び地上に帰るものである。前田君は、電離層の観測すなわち、発射電波の周波数を変化しつつ、反射の高さを測定する実験を多年にわたって行い、得られた周波数対反射高の関係から電子密度の高さ分布を計算し、これを用いて、電波の周波数と地上からの発射角とに対応する通達距離を知ることが可能にした(論文1・2・3)。この研究では電離層内の電波の彎曲した通路が詳細に求められている。

つぎに電波は、電離層を通る道程でその勢力が僅かずつ吸収されて所謂減衰を受ける。前田君はこの減衰を量的に求めたのであるが、この場合前述の研究で明らかにされた電波通路が役立ったのである。

以上の研究によって、送信所から送出される電波の電力と周波数が与えられた場合、受信点に到達する電波の電界強度を算定することが可能となったのであり、昼夜、季節の差に応じて最も適当な周波数を、電離層の観測結果から適確に知ることができるようになった。

この種の研究は、わが国では前田君のほかにはその例を見ず、外国では米国の故スミス博士(関連論文a)と英国

の故ミリントン博士（関連論文b）が前田君と殆ど同時に別途に発表したものがあるのみである。スマス博士の方法は電波の通達距離を図式的に求める点に特長があるが、地表と電離層の曲率を無視しているので、距離約二、〇〇〇km以上の場合には適用し難いという難点があり、ミリントン博士の方法も遠距離通信を論ずるに適しない。前田君の方法にはこのような難点はなく、さらに電波の減衰を求めて電界強度の算定を可能ならしめて実用通信に役立ち得るようにしたものは前田君のみである。

前田君はこの研究に対して、ラヂオ協会、電気通信学会よりそれぞれ功績賞を受けている。

（一一二）散乱電波の利用

短波より周波数の高い超短波は、層を突抜けるため遠距離通信には使用できないとされていた。しかし前田君は、超短波が電離層を通過するとき、電子密度の僅かな局所的不一樣性によって電波が散乱現象を起し、微弱ながらも電波勢力の一部が地上に到達することを実験的にたしかめ（論文1）、この散乱表を実用通信に利用するための諸条件すなわち、所要電力、空中線利得、到達距離、受信波形の歪み、フェーディング等を究明し、超短波（二〇〜四〇MHZ）の遠距離通信への利用を提唱した（論文4）。このことは後年米國で実用化目的を以て取り上げられ実用通信に利用されている（関連論文c）。前田君のこの提案は、遠距離無線通信における電波周波数の利用範囲を拡大し得る可能性を洞察したもので、先見の明を誇るに足るといえよう。

（二）電離層における電子密度の世界分布と高さ分布

（二一一）F層電子密度の世界分布

F層は短波無線通信において電波を反射する重要な層であり、その反射はF層の電子密度に依存するので、電子密度が地球上如何に分布するかという所謂世界分布を明らかにすることは、実用上極めて重要な問題である。この電子密度の世界分布に法則性があるとするれば、地球上のある地点上空の電子密度の大小は、その場所における太陽の高度角によって定まると考へるのが当然である。その理由は、電離層が太陽からの輻射線によって上層大気が電離されて自由電子が生成される結果作られるからである。前田君はまず日食時の電離層の観測によってこの事を立証し、更にこの点を究明するための研究を行い、F層の電子密度が単純に太陽の高度角のみに依存するものでないことを、観測結果に基づいて最初に指摘したのである(論文5)。

この研究においては、当時利用し得た国の内外の観測資料を集め、地方時を横軸、地理的緯度を縦軸とする座標上に、春分時のF層の等電子密度曲線(コンター・マップ)を描いたが、マップの様相が赤道に対して南北対称でなく、かつ密度の極大値が正午には存在せず、午前と午後それぞれ一つずつ存在することなどが判明した。これは電子密度が太陽の高度角のみに依存するという法則性とは矛盾している。そこでマップの縦軸を地磁氣的緯度にかえて描き直して見ると、地磁氣赤道に対して南北対称となることを見出したのである。この現象は後日地磁氣的歪曲と呼ばれるに至り、地球物理学上でも一般の注目を集めた重要な実験事実であった。

前田君のこの発見におくれること四年(一九四六年)故エドワード・アップルトン卿はこれに類似の内容に関して簡単な報告を発表した(関連論文d)。前田君の論文が和文で、かつ戦時中であつたため、この重要事実の指摘は同卿の功績とされてきたが、これが誤りであることは、終戦直後来日して一年余にわたり日本の電波研究成果を詳細に

調査した米軍科学者ペーラー氏によって指摘されている。

前田君は後日この事実の理論的解明にその端緒を開いたが、これについては次節(三一一)において述べる。

(三一一) E層電子密度の高さ分布

前田君は、国際地球観測年、電離層総合研究委員会および南極観測における総合協同観測を立案し実施して、その結果よりF層が F_1 と F_2 の二層に別れていることを示した。更にわが国のロケットによる上層観測を提唱し、その発展に指導的役割を果たして今日に至っているが、特に電子密度のロケット観測を提議して勢力的に推進してきた。さきの(一一一)において電波がE層通過の際に減衰を受けることを述べたが、この減衰量を種々の周波数について適確に知るためには、従来の地上からの観測結果だけでは不可能で、ロケットによる電子密度の観測にたよらざるを得ないため、この研究は最近まで誰によっても行われなかった。

前田君は自己の観測を含めて国の内外からロケット観測の資料を集め、従来の地上観測結果をも併せ活用することにより、地上約七〇kmから一五〇kmにいたるE層電子密度の高さ分布をはじめ明らにした。電子密度分布は、一日中の時刻、季節、太陽活動度の三要素の組合わせに依存するものであるが、三者すべてについてロケット観測資料が揃っているわけではなく、むしろ何れかが欠けている場合が多い。よって前田君はE層電子密度に関する従来の理論を再検討してこれを改善し、その結果を基礎として、上記三要素の任意の組合わせに対応する電子密度の高さ分布を与えることに成功した(論文6・7・8)。この結果は、この方面における世界唯一の資料として広く利用されている。

(三) 電離層の電気力学的挙動

(三―一) 電子密度に対する地球磁場の影響

電離層内の電子と正イオンの荷電粒子が電場によって電流を生ずる場合、地球磁場の影響によって所謂ホール効果と同様の運動を生ずる。これをドリフトと呼ぶが、その速度は電子も正イオンも同一であつて電流を形成しない。前田君はこのドリフトによる電子の移動により、太陽輻射線によって一旦生成された電子が空間的再配置を受けるとして理論的解析を行い、その最も重要な結果として、地磁気赤道地帯において正午附近の層電子密度が低下して午前と午後に極大値をとること、春秋分時の電子密度が地磁氣的緯度に対して整然と配列されることを示したのである。この研究によって、前田君が最初に指摘したF層電子密度の世界分布(二―一)に記述)の原因が明らかになったのである(論文9)。

前田君はさらに、その理論研究を赤道地帯のみならず中緯度地帯にまで拡張、F層電子密度の日変化の特性を解明した(論文10・11・12)。また地磁気嵐に伴う電離層風についても、同様の方法で解明を行った(論文13)。この種の研究は、前田君を含む日本の研究者によって専ら推進されたもので、外国にはその例を見ず、前記の論文13は一九五七年の国際電波科学連合の会合で前田君が選ばれてその執筆を依頼されたものである。

(三―二) 電離層の電気伝導度

前田君は、早くから(一九四〇年)その著書(関係著書(一))の中に、電離層の電気伝導度が地球磁場の影響を受けて非等方性となり、これがテンソル形式で表現されることを示した。上記の前田君の著書は、この研究のほかに、前

記(一)の業績を含んでいるが、これに対して電気学会より文献賞を受けている。

前田君は戦後勢力的に電気伝導度の研究を進め論文14・15を発表している(なお論文9・13も関連)。従来地球物理学では、電気伝導度を等方性と仮定して電離層内の電流系を計算し、これによる二次的作用として地磁気の日変化を説明していた。所謂ダイナモ理論がこれである。前田君は自ら求めた非等方性伝導度を用いて電流系を計算し、等方性の場合にくらべて電流系がねじれることを指摘して(論文14・15)、従来のダイナモ理論の改良に貢献した。この種の研究は、殆ど同じ頃日本の他の研究者によっても行われ、現在も電離層の電気力学的研究で日本の学界は世界をリードしている。前田君はこの研究の初期において指導的役割を果たしたものであり、その後発表した論文16は世界の多くの学者の参考とせられている。この研究を含めて、前記(一)および(二)の研究業績に対して東レ科学技術賞が与えられている。

三、結言

以上述べたように、前田君は四〇年にわたり、学術的に未知の領域であった電離層の研究に専念し、卓越した洞察力と獨創性に富む手法を以て、極めて広汎な分野を開発して数多くの知見と重要課題の解決とをもたらしたのである。

電離層の存在が短波遠距離無線通信の実用化の成否を左右するものであることは、はじめ推測の域を出なかったところであるが、前田君はその実用化に有用な諸要素を具体的、数量的に明らかにしたもので、これは世界で最初の電離層に関する応用的研究であり、実用面への寄与大なるものがあると認められる。

また電離層の物理的状态を明らかにし、かつその背後にある法則を見出すことは、地球物理学の研究対象として重要であるが、またデリンジャー現象や地磁気嵐による無線通信の杜絶の原因を究明するなど、実用面の応用を見逃すことはできない。前田君は、観測結果を優れた見透しを以て整理、分析して、重要事実の指摘に先駆的業績をおさめ、さらに地球磁場による電子のドリフト、電気伝導度の非等方性など、電離層の電気力学という新しい理論の分野を開拓することによって、電離層の物理的諸特性ないし諸現象を解明してその法則性を見出すことに成果をおさめた。これは電離層研究における一つの方法論の創始であり、かつこれが極めて有力な手段であることを実績を以て示したもので、学術上寄与するところ大であると認められる。

因に前田君は、学術会議電波科学研究所連絡委員会の役員、宇宙空間研究連絡委員会委員長、南極観測特別委員会および国際地球観測特別委員会の委員として活躍するほか、国際的にも国際電波科学連合、国際電離層特別委員会および宇宙空間研究委員会の会合には殆ど毎回出席して研究を発表し、またこれらの国際学術委員会の発行する専門書の編輯事務に参画し（編著書目録参照）、斯界の重鎮として指導的役割を果しつつある。また前田君は、その業績に対し、文献賞（電気学会）、功績賞（ラヂオ協会および電気通信学会）、東レ科学技術賞を受けている。

一、主要な著書及び論文目録

(一) 論文目録

1. 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、第四二六号、昭和十三年一月
2. 3. 空間波の伝播通路に就て、その一、その二（共著者河野哲夫）、電気通信学会誌、昭和十四年一月、六二八

頁、昭和十四年二月、七四八頁

4. 周波数 $1.0-4.0$ MHz 電波の利用について、電気通信学会第四回秋季大会講演予稿、昭和十三年一〇月
5. 電離層の経度による変化—F₂層電子密度(井著者、田弘之、新川浩)、電波物理研究所研究報告、第二号、昭和十七年四月
6. Mid-Latitude Electron Density Profile as Revealed by Rocket Experiments, *J. Geomag. Geoelect.*, **21**, 557-567 (1969).
7. Mid-Latitude Electron Density Profile in the Low Solar Activity, *J. Geomag. Geoelect.*, **22**, 551-557 (1970).
8. The E Region Electron Density Profiles, 第十一回 COSPAR Symposium (一九七一年六月 Seattle) で発表 Space Research, **12** (1972). (在職中).
9. Distortional Characteristics of the World-Wide Distribution and Diurnal Variation of the Ionospheric F₂ Layer Associated with the Geomagnetic Variation, *J. Geomag. Geoelect.*, **4**, 83-93 (1952).
10. A Theory of Distribution and Variation of the Ionospheric F₂ Layer, *Rep. Ionos. Res. Japan*, **7**, 81-107 (1953).
11. Geomagnetic Distribution in the F₂ Layer, *Rep. Ionos. Res. Japan*, **8**, 155-164 (1954).
12. Theoretical Study on the Geomagnetic Distribution in the Ionosphere, *Rep. Ionos. Res. Japan*, **9**, 71-85 (1955).
13. The F₂ Region During Magnetic Storms, *Proc. I.R.E.*, **47**, 232-239 (1959). (井著者、佐藤輝夫)
14. Dynamo-Theoretical Conductivity and Current in the Ionosphere, *J. Geomag. Geoelect.*, **4**, 63-82 (1952).
15. Conductivity of the Ionosphere and Current System, *Rep. Ionos. Res. Japan*, **16**, 1-26 (1962). (井著者、本原隆)

16. Electrodynamics of the Ionosphere, *Space Sci. Rev.*, **5**, 57-79 (1966). (共著者加藤判)

① 野間隆夫監

(a) Smith N., Application of Vertical-Incidence Ionosphere Measurements to Oblique-Incidence Radio Transmission, *Journ. Res. N.B.S.*, **20**, 683-705 (1938).

(b) Millington, G., Attenuation and Group Retardation in the Ionosphere, *Proc. Phys. Soc.*, **50**, 561-580, July 1 (1938).

(c) Bailey D.K., R. Bateman, L. V. Berkner, H. G. Booker, G. F. Montgomery, E. M. Purcell, and W.W. Salisbury, A New Kind of Radio Propagation at Very High Frequencies Observed over Long Distances, *Phys. Rev.*, **86**, 141-145 (1952).

(d) Appleton E.V., Two Anomalies in the Ionosphere, *Nature*, **157**, 691, May 25 (1946).

無線電波概

J. Geomag. Geoelect. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity

Rep. Ionos. Res. Japan Report of Ionosphere Research in Japan

Proc. I. R. E. Proceedings of the Institute of Radio Engineers

Space Sci. Rev. Space Science Reviews

Journ. Res. N. B. S. Journal of Research of the National Bureau of Standards

Proc. Phys. Soc. Proceedings of the Physical Society

Phys. Rev. Physical Review

Nature Nature

② 関係著書目録

(一) 電波伝播(昭和十五年一月、コロナ社(共著者難波捷吉))

(㉔) 電波伝播、昭和二八年一〇月、岩波（共著者後藤三男）

(㉕) 電波工学、昭和三四年一二月、共立出版

(㉖) 電磁波動論、昭和四五年一二月、オーム社（共著者木村馨根）

（電磁波論著書目録）

- (1) Space Radio Science, Progress in Radio Science 1960-1963, Vol. 3, XIVth General Assembly of URSI, Tokyo, September, 1963, Elsevier Publ. Co. Amsterdam. (共著者 S. Silver)
- (2) Technique Manual on Electron Density and Temperature Measurements in the Ionosphere, COSPAR Information Bulletin, No.17, Feb, 1964 and COSPAR Technique Manual Series, March, 1967.
- (3) Small Rocket Instrumentation Techniques, Proc. Symp. XIth COSPAR Meeting, Tokyo, 1968, North-Holland Publ. Co.