研究速報

金冠日食時における中波放送波強度の観測

Observation of the MF Broadcasting wave Intensities during the Annular Solar Eclipse

正会員 深見 哲男[†], 長野 勇, 東 亮一[†]
Tetsuo Fukami[†], Isamu Nagano and Ryoichi Higashi[†]

あらまし 中波帯電離層反射波は、太陽光によって生成される電離層D層を通過する際の減衰のため、昼間観測されない。2012年5月21日に金冠日食が日本中央部を通過した。D層の変化による日本の中波放送波電界強度の変化を調査したところ、数波の電離層反射波が観測された。

キーワード：金冠日食、中波、電離層反射波、電界強度観測

1. ま え が き

中波放送波は、昼間、地上波伝搬が主体となるが、夜間、電離層反射波により遠方の放送波を受信できる。これは、太陽光により生成される下部電離層のD層が電離層反射波を減衰させるからである¹⁾。日食により太陽光が遮蔽され、D層の生成が阻害されれば、中波の電離層反射波が観測される²⁾。

2012年5月に金冠日食が日本を通過した³⁾。この金冠日食時のD層の電子密度分布の変化を調査するため、日本の津幡と紀宝で中波放送波の電界強度を観測した⁴⁾。この結果、数波の電離層反射波が観測された。この中、大阪の放送波を津幡で観測した電界強度について周波数特性を検討した。

2. 金冠日食観測

2.1 金冠日食

2012年5月21日金冠日食が日本の中央を通過した。図1に示す灰色帯は、金冠日食である範囲であり、その中央線は完全な金冠となる場所である。大阪、東京の最大日食時刻は、それぞれ、7:30、7:33であり、最大遮光93%であった³⁾。津幡における日射強度の時間変化を図2に示す。比較のため5月19日の日射強度も示す。図2から、最大時刻7:33、最大遮光90%程度であり、前後1時間程度の時間で日射強度が減少している。

2.2 観測仕様

図1に示す石川県津幡と三重県紀宝で中波観測を行った。紀宝は完全な金冠場所にあたる。受信アンテナは、津幡ではロッドアンテナ (HP11966B) を用い、水平方向無指向性である。紀宝ではループアンテナ (HP11966 A) を大阪の地上

図1 金冠日食の経路と観測地点

図2 金冠日食時の日射強度 (津幡)

波を受信できないよう磁北から20°東方向に設置した。観測周波数は、500 kHz～1500 kHzを1 kHz毎にRBW1 kHz、VBW100 Hzで30秒毎にスペクトラムアナライザ (アドバンテスト社U3741) で掃引測定した。

2.3 観測結果

図3に、津幡における中波帯電界強度の観測結果を示す。時間軸の矢印は、大阪の金冠日食の時刻を示している。色は強度 (dB (μ V/m)) を示している。中波放送局は、9 kHz毎に置局され、搬送波送信強度は一定であるが、変調度

図3 津幡における中波帯電界強度の観測結果

図4 紀宝における中波帯電界強度の観測結果

30%程度以下の側波帯強度のため受信強度は少し変動する。図3において中波放送波が観測されれば線になって表示される。遠方の局は、夜間、電離層反射波が強い強度で受信されるが、日出(金沢5:00前)後1時間程度で都市雑音レベル以下となり、日食が始まる6:30頃には観測されていない。しかし、近郊の局である1107, 1224, 1386 kHz(金沢の局), 648, 738 kHz(富山の局)は、観測期間、安定に常時受信され、アンテナ校正に用いた。日食の7:30付近に着目すると、図中の矢印に示すとおり1179 kHz(MBSラジオ), 1314 kHz(ラジオ大阪), 1242 kHz(ニッポン放送)が観測されている。

図4に紀宝での観測結果を示す。ループアンテナは、バッテリーで車内観測が可能な車上にあり、最低受信感度は25 dB(μ V/m)と津幡よりよい。観測開始が深夜となったため、すでに電離層反射波の強度が強く、インバータを切らずに観測したため、8時頃まで電源インバータの線上の雑音が入っている。しかし、その他の周波数帯にはこの雑音の影響はないと思われる。その外、比較的周波数の高い場所に空間雑音が多く現れている。日食の時刻に着目すると、空間雑音が低下する時間帯が見られるが、紀宝が完全な金冠場所である効果であるかは定かでない。そして雑音が低下した結果、そこには多数の中波放送が受信されていることがわかる。日食により確認された観測波としては、図中の矢印に示すとおり837 kHz(新潟N1), 864 kHz(複局), 927 kHz(複局), 990 kHz(高知N1), 1107 kHz(複局)があった。

2.4 大阪の放送5波の津幡受信における検討

これらの中、大阪のラジオ放送局の送信アンテナは、図1の大阪高石等など集中しており、観測地点の津幡間の地上距離は、約260 kmである。また、周波数は、666 kHz(NHK第1), 828 kHz(NHK第2), 1008 kHz(ABCラジオ), 1179 kHz(MBSラジオ), 1314 kHz(ラジオ大阪)と分散しており、周波数特性を調査した。

図5(a)～(e)は、図3から放送波強度を得た。図5(b), (a)から1179 kHzは、空間雑音レベルより10 dB程度上昇し、1314 kHzも、数dBの上昇が金冠日食時に見られた。また、時間的には、上昇の最大は、金冠日食の最大遮光時刻が大阪の7:30に対し、数分遅れていることがわかる。図5(e), (d)において、666 kHzと828 kHzの電界強度は、7:30付近以降上昇する変化がある。しかし、図3から空間雑音も上昇しており、電離層反射波ではないと思われる。図5(c)に示す1008 kHzは、送信点のわずかな違いから津幡で地上波が観測されている。7:30付近以降に規則的な電界強度の変動現象が見られる。これは、電離層反射波と地上波の2波の干渉と思われる。今後、日食時の電離層モデルの推定を検討し、理論電界強度の計算⁵⁾から検証を得たい。

これらの特性から周波数が低いほど電離層減衰量が大きい。これは、電離層D層が棚構造をしており、この棚に反射点に近い周波数の電波の方が、D層を通り抜ける減衰が大きくなるためと思われる⁵⁾。周波数の高い短波放送は、昼間、電離層反射波を通信に利用している。

図5 (a) 金冠日食時の電界強度 (ラジオ大阪)

図5 (b) 金冠日食時の電界強度 (毎日放送ラジオ)

図5 (c) 金冠日食時の電界強度 (朝日放送ラジオ)

図5 (d) 金冠日食時の電界強度 (NHK 大阪第2)

図5 (e) 金冠日食時の電界強度 (NHK 大阪第1)

3. む す び

2012年5月21日の金冠日食時に津幡と紀宝で500 kHz～1500 kHzの中波帯電界強度を観測した。結果として、数波の中波放送波の電離層反射波を観測した。

今後、この観測結果を日没・日出の電界強度特性と比較検討するとともに、観測条件に合う電離層D層の電子密度モデルを検討していきたい。

〔文 献〕

- 1) 例えば、安達、佐藤：“電波工学”，森北出版，p149（2016）
- 2) P.I. Klein: "Radio Propagation Observations During the July 20, 1963, Solar Eclipse", IEEE Tran., Com., pp.643-644（1964）
- 3) <http://naojcamp.mtk.nao.ac.jp/phenomena/20120521/img/map-japan-no-text>
- 4) T. Fukami, I. Nagano, R. Higashi: "Observation of the MF radio waves on the annular solar eclipse in Japan", 2013 AP RASC, GH1-6 (Sep. 2013)
- 5) 深見哲男，満保正喜，山田秀章，香川幸雄，長野勇：“中波夜間観測による国際参照電離層の棚の有無の検証”，信学誌，J74-B-II，6，pp.355～362（June 1991）

深見 哲男 1978年，金沢大学工学部電気工学科卒業。同年，同学科助手。1985年，石川工業高等専門学校電気工学科助手。2003年，教授となり現在に至る。その間，VLF～HF帯による下部電離層探査，UHF帯のICタグやTV伝搬とそれらの測定システム開発に関する研究に従事。博士（工学）。正会員。

長野 勇 1970年，金沢大学大学院修士修了。同年，同大学工学部電気工学科助手。1987年，同大学電気・情報学科教授。2000年，同大学総合メディア基盤センター長。2006年，同大学理事・副学長。2011年，退職。同年，同大学名誉教授。2013年，小松短期大学学長。2017年，同短期大学退職。電離層プラズマ中の電波伝搬の研究に従事。工学博士。

東 亮一 2005年，金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程数値情報科学専攻修了。2006年，石川工業高等専門学校助手。2013年，准教授となり，現在に至る。科学衛星搭載用電界センサの特性解析などに従事。博士（工学）。