

UDC 551.508.96 : 551.508.85  
53.088.24 : 621.391.822

各種雑音によるISレーダ観測  
の系統誤差に関する一考察

深尾昌一郎 佐藤 亨

深尾昌一郎：正員 京都大学工学部電気工学第二学科

佐藤 亨：准員 同 〃

On a Systematic Error Due to Noise Contamination in  
Incoherent Scatter Radar Measurements. By Shoichiro  
FUKAO, Regular Member and Toru SATO, Associate  
Member (Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto  
-shi, 606 Japan).

論文番号：昭 53-24[B-11]

あらまし ISレーダの電離圏エコーに伴う各種雑音が電子温度などの推定値に及ぼす影響を検討し、系統誤差としてクラタの影響が最も大きいことを示した。

1. まえがき

電離圏プラズマの有力な観測手段として、ISレーダの重要性は広く認識され<sup>(1)</sup>、近年ではほかの手段による観測結果

との詳細な相互比較が電子温度およびイオン温度を中心に  
行われている<sup>(2)</sup>。しかし、ISレーダ観測における誤差につ  
いては、送受信系による散乱エコーのひずみの影響が報告され  
ているのみである<sup>(3),(4)</sup>。本文では散乱エコーに混入する各種  
雑音各物理量の推定値に与える誤差の大きさを検討する。

以下では、まずISレーダの電離圏エコーを解析してプラ  
ズマの物理量を推定する方法を簡単に述べ、次に各種雑音が  
推定値に与える誤差の大きさを電離圏F領域の昼間と夜間  
について計算機シミュレーションによって求める。

2. 解析方法

通常、ISレーダ観測ではあらかじめ計算によって自己相  
関関数 (Autocorrelation function ; 以下ACFと略す) の  
ライブラリーを作成しておき、この中から観測値と最もよく  
一致する理論値を最小2乗法を用いて探し出すことによって  
プラズマの各種物理量が推定される<sup>(5)</sup>。この報告で使用した  
計算機プログラムも、この解析法に従って既に開発し実際の  
データ解析に用いている<sup>(6)</sup>ものである。

この方法によって決定される物理量の数は原理的には任意  
であるが、実際上余り多くなると推定精度が落ちる。そこで  
対象とするプラズマの状況に応じて適当な仮定を置き、決定  
すべき物理量の数を減少させることが行われる。ACFの形  
状から決定すべき物理量は電子温度、イオン温度および  $O^+$ 、  
 $He^+$ 、 $H^+$  の3種のイオンの比密度であるが、ここで論ずる電  
離圏F領域の場合、昼間は  $He^+$  イオンの存在を無視し、夜間  
は電子とイオンの熱平衡を仮定して解析が行われる。

3. 推定精度と雑音の影響

次に、上に述べた方法の推定精度とデータに混入する各種  
雑音の影響を計算機シミュレーションによって検討する。ま  
ず代表的な昼間および夜間の電離圏モデルを選定して各高  
度におけるACFを計算する。これに(1)白色雑音、(2)クラ  
タ性雑音、(3)AFCのランダムな変動の3種の雑音を加えた  
ものを観測データと考えて2の方法で解析し、推定される各  
物理量の再現性を調べるわけである。クラタとしては主に受  
信系のDCの成分が考えられる。これらの雑音の強度は、そ  
れぞれを単独に加えた場合に得られる2乗誤差の大きさが、  
実際のデータ解析における代表的な2乗誤差値(分散値  $\sigma^2=10^{-4}$ )

と同程度になるように選んだ。

まず雑音のない場合は、誤差が電子およびイオン温度に  
ついては  $2^\circ K$  以内、各イオンの組成については0.2% 以内で再  
現された。次に雑音を加えた場合の昼間のモデルに対する電  
子およびイオン温度の推定値を図1に、夜間のモデルに対す  
るイオン組成およびイオン温度の推定値を図2に示す。図中  
の横線は最小2乗近似の誤差を各物理量の推定誤差に換算し  
たものである。

図1,2より白色雑音およびクラタが存在すると各物理量の推  
定値に系統的な誤差が現れることが分かる。特にクラタの  
影響が著しい。例えば、夜間のモデルに対して  $-15 dB$  のク

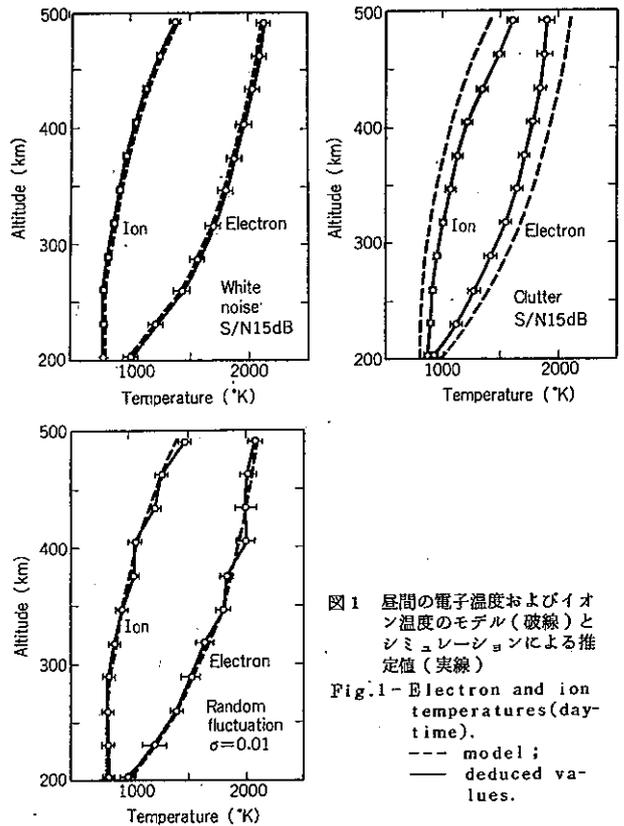


図1 昼間の電子温度およびイオン温度のモデル(破線)とシミュレーションによる推定値(実線)  
Fig.1- Electron and ion temperatures(day-time).  
--- model ;  
— deduced values.

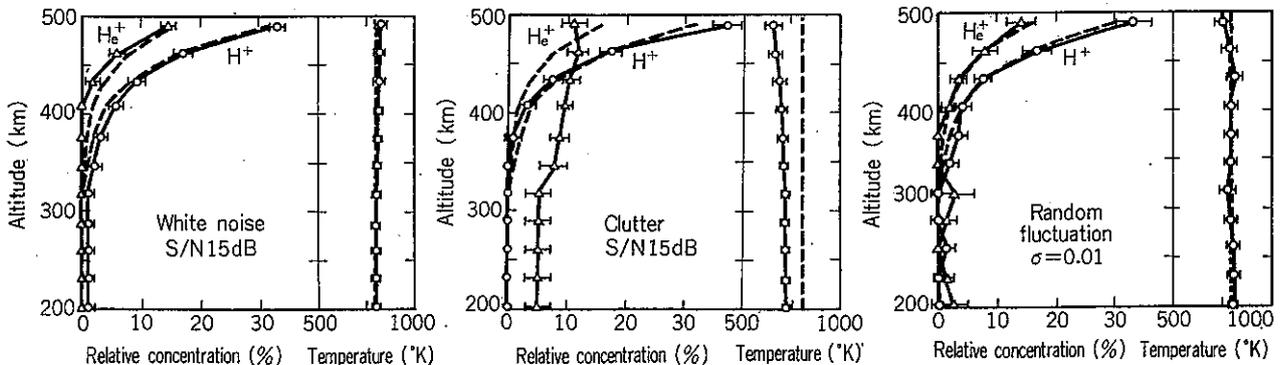


図2 夜間のイオン組成およびイオン温度のモデル(破線)と推定値(実線).  
Fig.2- Relative ion concentration and ion temperature(night-time).  
--- model ; — deduced values.

ラタを加えると電子およびイオン温度は実際より  $100^{\circ}\text{K}$  程度低く推定され、 $\text{He}^+$ イオンは実際には存在しない場合でも5%程度存在するように推定される。又、昼間のモデルに対しては、イオン温度は実際より高く電子温度は低く推定される。これはクラタのもつACFを非振動的にする効果が、電子とイオンの温度比の低下または少量の $\text{He}^+$ イオンの効果と類似するためである。白色雑音の場合は、その影響と実際の物理量の影響の類似度が低く系統的な誤差はクラタより小さい。これに対してACFのランダムな変動は系統的な誤差を伴わず、各物理量は最小2乗近似の誤差範囲内で正しく推定される。

通常、白色雑音は送信を行わないときの受信電力から、クラタは受信信号のDC成分から求められ除去される。しかし、信号対雑音電力比15dB程度まで雑音を除去することは、特に電離が減少する夜間は困難であり、一部の物理量の推定値には最小2乗近似誤差をこえる比較的大きな誤差を伴うことが考えられる。

#### 4. むすび

ISレーダの電離圏エコーの解析精度と、各種雑音が電離圏の各物理量の推定値に与える誤差の大きさの検討を行った。その結果、白色雑音およびクラタ、特に後者が推定値に系統的な誤差を与えることが分かった。一方、ACFのランダムな変動は系統誤差を伴わず各物理量は最小2乗近似の誤差範囲内で正しく推定し得ることが示された。

謝辞 日ごろ御指導頂く本学工学部木村磐根、加藤進両教授ならびに非常勤講師横井寛博士(KDD研究所次長)に深謝する。

#### 文 献

- (1) J.V.Evans: "Theory and practice of ionosphere study by Thomson scatter radar", Proc. IEEE, **57**, p.496 (1969).
- (2) J.P.McClure, et al.: "Comparison of  $T_e$  and  $T_i$  from Ogo 6 and from various incoherent scatter radars", J. Geophys. Res., **78**, p.197 (1973).
- (3) D.T.Farley: "Incoherent scatter correlation function measurements", Radio Sci., **4**, p.935 (1969).
- (4) 深尾, 若杉: "複数の位相変調されたパルスによるISレーダ観測精度の改善", 信学論(B), **J60-B**, 10, p.720 (昭52-10).
- (5) J.B.Hagen and P.Y.Hsu: "The structure of the protonosphere above Arecibo", J. Geophys. Res., **79**, p.4269 (1974).
- (6) 深尾, 佐藤: "Arecibo ISレーダによる夜間の電離圏イオン組成の研究", 信学技報, **A-P76-70** (1976).  
(昭和52年7月20日受付, 9月24日再受付)