

多変数最適化による逆電位アナライザ特性の データ処理法について*

南 繁行**・堤 四郎**・竹屋 芳夫**

(1981年12月26日受理)

An optimum fitting procedure for ion temperature determination from retarding potential analyzer aboard sounding rocket

By

Shigeyuki MINAMI, Shirou TSUTSUMI and Yoshio TAKEYA

Abstract : In this paper an improved data analysis method to deduce the ion temperature T_i from retarding potential analyzer (RPA) is dealt with. A voltage to current curve of RPA characteristic is decided by several parameters. There is no way to obtain the ion temperature T_i independently. Usually the optimum fitting method has been performed by using a computer. We advocate the usefulness of the improved error evaluation function which weights the gradient of RPA curve. From the result of actual use the merits of this method are ascertained.

KEY WORDS

Retarding potential analyzer

Ion temperature

Data analysis method

概 要

超高層プラズマ中のイオン温度の観測に用いる逆電位アナライザ (RPA) のデータ処理法について取扱っている。RPA 特性は数種のパラメータによって決定され、イオン温度だけを単独で導出する方法はない。通常その解析法としては電子計算機を用いた最適フィットが用いられる。本論文でのべる解析法は、特性の傾きに重点をおいた誤差評価関数を用いている点に特徴がある。また RPA をロケ

* 宇宙研特別事業費による論文

** 大阪市立大学 工学部

ット観測に用いた場合の解析手順を示した。

[重要語]

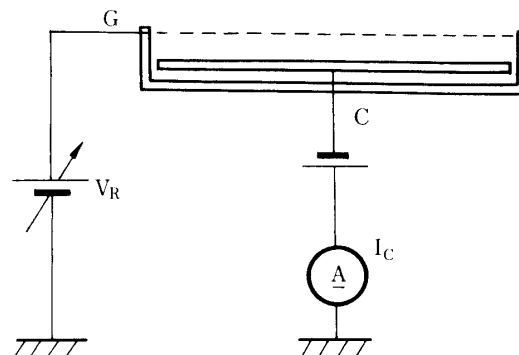
逆電位アナライザ

イオン温度

データ解析法

1. ま え が き

逆電位アナライザ (Retarding Potential Analyzer ; RPA) は、イオン温度測定用メッシュグリッド付イオントラップの1種である。このRPAはイオンマッハ数を越える速度をもつ飛翔体 (ロケットや人工衛星) に搭載され、その特性からイオン質量に関する情報も得ようとする点に特徴がある。RPAを用いた上層プラズマの温度測定は1957年のGringanz氏 (1960) や、Hanson氏ら (1961) 等によって進められた。また人工衛星搭載RPAによる測定も行なわれ、上空におけるプラズマのイオン温度の高度分布やイオン質量分布に関する知見 (Bowrdeau et al., 1962 ; Wrenn, 1969 ; Donley, 1969), あるいはイオン温度の層状分布の発見 (Knudsen et al., 1965 ; Hedin et al., 1974 ; Breig, 1976 ; Kayzer et al., 1979 ; Minami et al., 1981 a), イオン温度が中性大気風により昇温する効果, 直流電場にともなうイオンドリフトベクトルの観測 (Spiro et al., 1978), イオン温度の分布の太陽パラメータ依存性の観測 (Hanson et al., 1973 ; Massey et al., 1964 ; Harris et al., 1967 ; Hanson et al., 1970 ; Miyazaki, 1975 ; Rawer, 1976 ; Kntiev et al., 1977) 等が行なわれた。更にRPA自体の特性に及ぼす多くの誤差の要素が存在することが20余年の観測を通じてあきらかになってきた。例えばRPA電極の汚染 (Sayers, 1970 ; Oyama et al., 1975), グリッドの等電位性 (Knudsen, 1966 ; Hanson, 1972 ; Goldan et al., 1973 ; Troy et al., 1975 ; 南他 1981 b), プラズマ入射角の効果 (Sagalyn, 1963 ; 南他, 1980 a), 飛翔体の電位や寸法の効果 (Whipple, 1965 ; 南他, 1982 c), 飛翔体のもつ残留ガスの問題 (南他, 1980 b) 等である。これらの誤差に加えてRPAデータの解析時の誤差が存在することになる。本論文で取扱う内容はRPAの特性からイオン温度を導出するための電子計算機による最適フィットの方法についてである。RPAの電圧電流特性は実験室における流れの



第1図 RPT特性の測定法

ないプラズマ中のメッシュ付イオントラップに比べ多くのパラメータに依存し、イオン温度だけを単独に決定することは容易ではない(南他, 1981)。

RPAは第1図のようにイオン減速用正バイアス掃引グリッド電極Gと、イオンの選択捕集用負バイアスコレクタCで基本的には構成されている。主として製造上の技術的な理由から現在利用されている大部分のRPAは平板グリッドである。ここでは平板RPAにおけるイオン温度解析法についてのべる。

平板RPAの減速電圧を V_R とし、コレクタ電流を I_C としたときの V_R-I_C 特性は次の6つの変数によって決定される。すなわちプラズマ密度 N 、イオン温度 T_i 、イオン質量 m_i 、基準電位(飛翔体電位に相当)と、プラズマ電位の差 V_s 、飛翔体速度 v_0 、平板グリッドと飛翔体の速度ベクトルのなす角(アタックアングル) θ_a である。ただし対象とするイオンはマックスウエル分布とする。混合イオンの場合質量毎の特性の代数和となる。

著者らは過去約10年に亘って電離層の正イオン温度をRPAを用いて測定してきた。RPA特性からイオン温度を導出する方法についてはすでにWhipple氏(1959)、Moore氏(1960)、Moss氏ら(1968)およびPatterson氏(1969)によって最小二乗法を用いてなされてきたがその具体的な計算法については不明であるので、著者らは独自の方法でこの開発を行ってきた。本方法の特徴は変数に θ_a を入れている(他の場合 $\theta_a=0$ と近似)事と、理論式を実験式に対比させる際の誤差評価関数Gの決め方にある。本論文ではロケットを用いて得られたRPA特性から T_i を導出する際のプロセスを中心として説明を行ない、本方法の特長についてのべるとともにその計算機プログラムについて示す。本論文の手法はRPAに限らず多変数によって決まる実験データを理論式と対比させて解析するための一般的な場合に適用することができる。

2. 最適化の方法

ここでは電子計算機を用いてRPA特性からイオン温度 T_i を決定する方法について述べる。まえがきで述べたように、RPAの電圧電流特性(V_R-I_C 特性)はプラズマと飛翔体との相対速度 v_0 によって変化し、 I_C の片対数プロットから T_i だけを決定することはできない。ここでのべる最適フィットの方法はイオンの平均熱速度と同程度の飛翔体速度をもつロケットを用いたRPAデータの処理を念頭において取扱う。すでにのべたようにこの方法は平板型RPAのためのもので、他の形状の場合は適用する特性式が異なる。

計算機を用いたRPAのデータ解析についてはすでにいくつかの研究があるが、これらの方法は理論式と実験データとの比較を最小二乗法により行なうものである。著者が用いた用法はイオン温度の決定に重要な役割を果たす V_R-I_C 特性の傾斜に注目した解析法である。次にその内容を述べる。

ドリフトプラズマ中の平板RPA特性は次式のように表わされる(Minami et al., 1982 a)。

$$I_C = eNS\eta \left\{ \frac{v_0 \cos \theta_a}{2} (1 + \operatorname{erf} \cdot x_e) + \sqrt{\frac{kT_i}{2\pi m_i}} \exp(-x_e^2) \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここで

$$x_e = \sqrt{\frac{m_i}{2kT_i}} \left(v_0 \cos \theta_a - \sqrt{\frac{2e}{m_i}} V_R \cdot \sec^2 \theta_a \right) \dots\dots\dots(2)$$

ただし

V_R : 減速グリッド電圧

θ_a : アタックアングル

v_0 : 飛翔体速度

η : 実効透過率

(室内実験において他のプローブとの密度比較によって決定する)

である。また

$$\text{erf} \cdot x_e = \int_{x_e}^{\infty} \exp(-x^2) dx \dots\dots\dots(3)$$

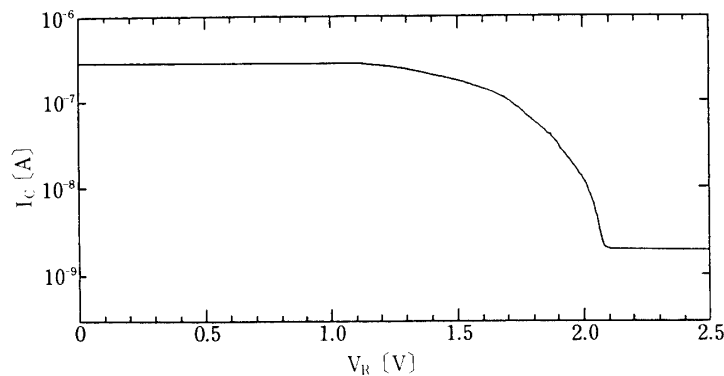
である。

諸パラメータの決定はつぎの過程で行なう。

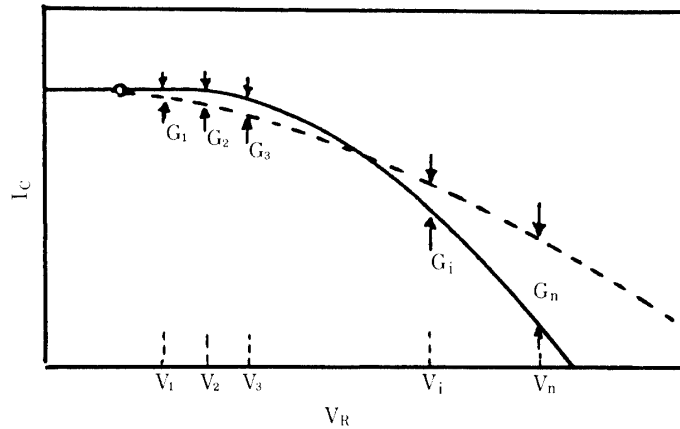
- (1) 飛翔体速度 v_0 の決定
- (2) RPA の電極グリッドの法線方向と飛翔体の速度ベクトルのなす角 θ_a の決定
- (3) プラズマ密度 N の算出
- (4) m_i, T_i, V_s の算出

これらのうち、(1)は飛翔体追跡用レーダートランスポンダシステムのデータから算出する。(2)は飛翔体のスピン軸に対し傾けた別の平板 RPA がスピンに応じて示すイオン飽和電流の変化振幅から求める (Minami, 1982 a)。(3)ではスピン軸方向に取付けた RPA のイオン飽和電流 I_{i0} は N, v_0, θ_a に依存するが、 m_i, T_i, V_s に無関係であることを利用する (付録 1)。この性質は式(1)における右辺の第 1 項が第 2 項に比べ常に大きいとき成り立ち、ロケットや人工衛星上の RPA では満たされ、 v_0, θ_a を代入することにより N が決定できる。

つぎに(4)の m_i, T_i, V_s の最適フィットによる決定法についてのべる。データ解析に利用した RPA 特性はアナログテレメータで伝送されたもので電流 I_c は対流化されてフォトコーダー上に記録されている。このカーブをペンシルフォロアによって 12 ビットにデジタル化した。第 2 図はその結果の再プロット図で、X 方向を V_R 、Y 方向を I_c にとったとき、X



第 2 図 RPT データのデジタル化後の再プロットの例



第3図 RPT特性における誤差 G_i の取扱い，点線は理論式を示す。

方向に約1mmカーソルが移動(約70mV)するごとの(X,Y)の座標を0.1mmの精度で読み取って求めた例である。この図では320対のサンプルがなされている。なおX,Y値ともその基準位置は最初にセットした任意の原点で、これをフレーム同期信号と校正信号によって変換する。

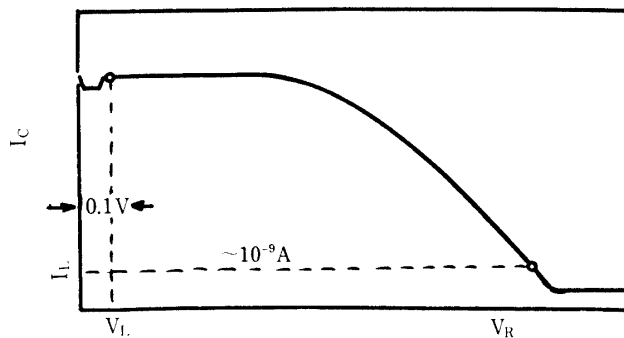
ここで行なう最適化のためのプログラムのうち最も特徴的なのは誤差の評価方法である。いま種々のパラメータの値を仮定したときの、あるサンプル電圧における理論値と実験データの値を各々 $I(V_i), J(V_i)$ としたとき、その点での誤差 G_i を次式で定義する。

$$G_i = \{\log_{10} J(V_i) - \log_{10} I(V_i)\}^2 \dots\dots\dots(4)$$

RPAの実験データのうち n 個のサンプル点に対する誤差 G_i の和 G を次式で表わす。

$$G = \sum_{i=1}^n G_i \dots\dots\dots(5)$$

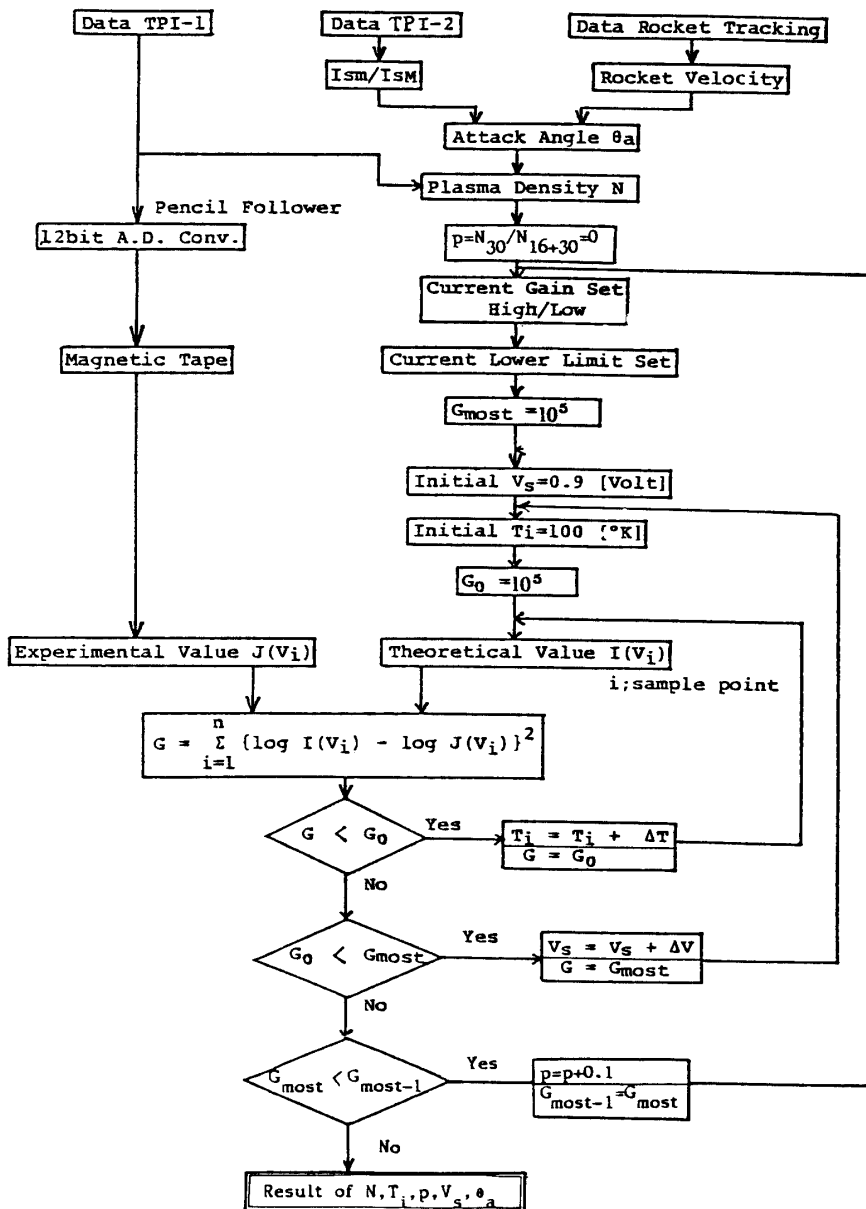
第3図はこの過程を図示したものである。誤差量を対数的にあらわした理由は、RPA特性の最適フィットにおいて、イオン温度の決定には電流の絶対値よりも電流の電圧に対する傾きが重要であると考えたからである。対数化によってイオン電流値に対しては均一な重



第4図 m^{*0} データにおける V_R の下限(V_L)と I_c の下限(I_L)

みをもたせることが出来る。最小二乗法をそのまま適用すると飽和電流付近の特性の歪(飽和電流の増加や、しゃへい効果による電流減少)が誤差の大きな要素となる恐れがある。このことはあとで最小二乗法との比較によって確認された。

つぎに式(5)の誤差評価関数Gをもちいた RPA の最適フィットプログラムについてのべる。最初に式(2)の V_R-I_c 特性のサンプル値を使用するにあたり V_R, I_c に対する上下限を決定する。第4図は電圧 V_R の下限 V_L と電流 I_c の下限 I_L を描いたものである。RPA データはフレ

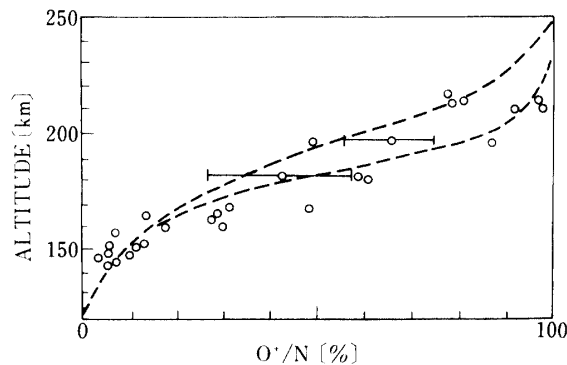


第5図 最適フィットプログラムの信号流れ図

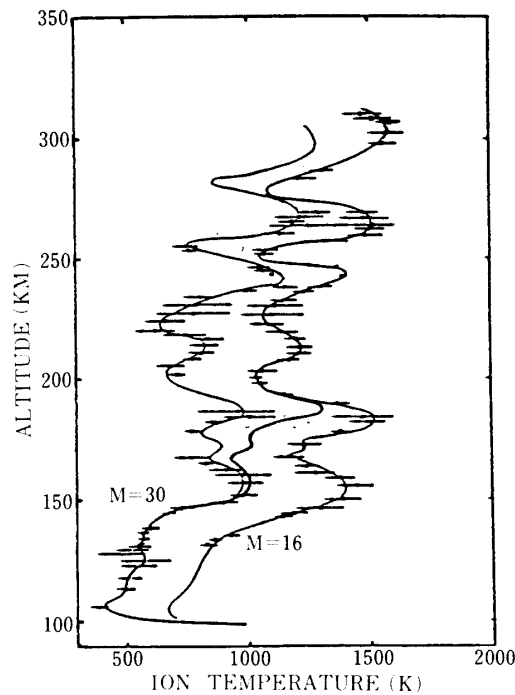
ーム同期として、掃引スタート時 10 msec の矩形マークが重畳されている。従ってこのデータの無い間を省略するために用いる。また I_c は対数出力であり、ある値以下はクランプされている。コレクタ電流 I_c 以下をデータとして用いないための処理に用いる。実際のサンプル数 n としては I_c があらわれる数サンプル前までとしている。

誤差評価関数 G の計算は最初 V_s を第 2 図の左端にとり、 T_i を 100 K から 50 K ステップで増加して行なう。もし G に最小値のないときは 2500 K で打ち切る。つぎに V_s を 5 ないし 10 サンプル点ずらし (V_s を約 0.15 V 増加させて) 再び G を最小とする $T_{i\min}$ を求めていく。 V_s を変えるごとにおきる G の最小値 G_{\min} が 1 つ前の V_s での G の最小値 G_b よりも大きくなった時、この時の V_s, T_i, G_{\min} を第 1 の最適値とし、その値をプリントする。つぎに V_s については 13 サンプル点、 T_i については 100 K だけ第 1 の最適値より各々戻り、 V_s を 1 サンプル点、 T_i を 10 K きざみに変えて再び誤差の最小値 G_{\min} の比較を行ない、最も G_{\min} が小さくなった時の T_i, V_s を第 2 の最適値として、 V_s, T_i, G_{\min} をプリントする。この計算を仮定したイオンの混合比について更に計算することになる。第 5 図にこの過程の信号流れ図を示す。この図は実際のロケットによるデータ解析にもとずいて書かれているので 2 つの RPA (TPI-1; V_R - I_c 特性取得用, TPI-2; θ_a 測定の傾けた RPA) が示されている。なおこの方法によって得られる G_{\min} の値は各パラメータの全ての場合のうち最小であることを後で示す。

つぎにイオン質量あるいは混合比の決定についてのべる。人工衛星を用いた場合、その速度 v_0 によって得られるイオンのエネルギーは単位質量あたり $1/3 \text{ eV/AMU}$ にもなるので、 $\text{H}^+, \text{He}^+, \text{O}^+, \text{NO}^+$ 等の混合比に応じて第 5 図の信号流れ図に従って P を決定することが容易である。しかしロケットは v_0 が小さいので、 O^+, NO^+ のような比較的重いイオンでも 1 eV 程度しか流れのエネルギーをもたないので、各質量ごとの RPA 特性を分離することができない。従ってイオン質量は 2 種程度と考えてもその特性は複雑である。幸い電離層におけるイオン質量分布は、高度 100 km から 400 km では第 6 図のように大まかには $\text{NO}^+(30)$ と $\text{O}^+(16)$ の 2 種類しかない。しかも約 150 km から 200 km の間の遷移領域の上は O^+ 、下は NO^+ が卓越しているの、最適化フィットはこの遷移領域でのみ混合質量と



第 6 図 電離層における O^+ イオンの全イオンに対する割合の高度分布 (Salah, 1974)

第7図 イオン温度 T_i の解析の結果の例

して取扱えばよいことになる。イオンの混合密度比 P を

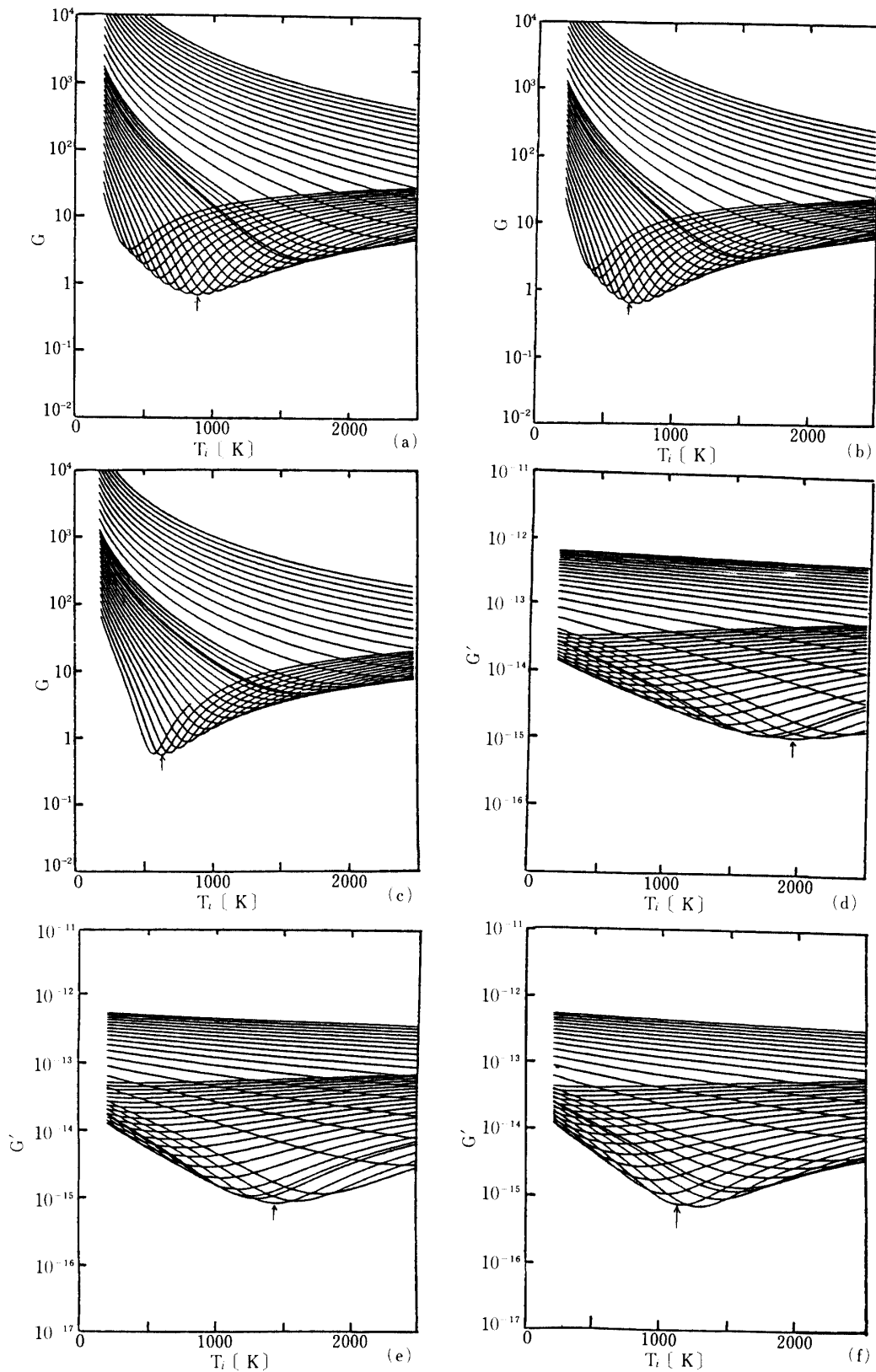
$$P = \frac{N_2(\text{NO}^+)}{N_1(\text{O}^+) + N_2(\text{NO}^+)} \dots\dots\dots(6)$$

と定義する。ここで N_1, N_2 は各々 O^+, NO^+ の密度である。プラズマパラメータ T_i, N, P, V_s を決定するための計算機プログラムを付録2に示す。参考までに高度100 kmから300 kmまでの電離層プラズマでのRPAによる T_i の解析データの例を第7図に示す。この場合の遷移領域は高度160 kmから180 kmの間にあることがわかった。図中の $M=30, 16$ は各々単独のイオン質量と仮定して行なった計算結果である。イオン温度の高度の高度分布に波状の分布がみられるがこれは解析誤差ではなく、地球物理学的な原因によるものである (Minami, et al., 1982 a).

第8図(a)~(c)は解の一意性を示すために P が(a) 0, (b) 0.5, (c) 1としたときの誤差評価関数 G を T_i の関数として描いた結果で、 V_s をパラメータとしている。第8図(d)~(f)は誤差評価関数として

$$G' = \sum_{i=1}^n \{J(V_i) - I(V_i)\}^2 \dots\dots\dots(7)$$

を用い、従来の最小二乗法で同様の計算を(a) 0, (b) 0.5, (c) 1なる P を用いて行なった結果である。これらの計算は第2図のRPA特性に対して行なった。この結果から G は G' に比べ T_i の決定能力において優れていることを次に検討する。



第8図 誤差評価関数 G, G' の収束過程(a), (d) $P=0$; (b), (e) $P=0.5$; (c)(f) $P=1$
 (a),(b),(c)は G を用い, (d),(e),(f)は G' (最小二乗法)を用いた結果

4. 検 討

第8図において G と G' から得られた最小の誤差を与えるイオン質量はいずれも $M=30$ である。しかし両者の示す T_i の最適値は異なっている。最小二乗法による T_i の算出結果は対数化して求めた T_i の結果に比べ常に高い。一般にプローブ電流は飽和電流付近ではしゃへい効果によってひずむ事が多く、イオン飽和電流付近の値を重視する最小二乗法には、解析誤差が多く発生することが考えられる。第2図のRPA特性は1000メッシュ/インチのグリッドを用いており、飽和電流は一定値に近い。しかしグリッド付イオントラップではたとえ平板であってもその寸法効果によってイオン飽和が十分おきないことがしばしばある(Parker et al., 1970; Troy et al., 1975; 南他, 1982 b)。このような効果に対しても誤差評価関数の対数化による方法は影響を受けがたいことが容易に推論できる。

5. ま と め

本論文において、流れのあるプラズマ中でRPAにより得られた V_R-I_c 特性から、イオン温度 T_i 、プラズマ密度 N 、プラズマ電位 V_s 、イオン質量比 P を導出するための多変数最適フィットプログラムとその方法の特徴についてのべた。すなわち理論式との対比を各々の値の対数化後行なうことによって、 T_i の決定が従来の最小二乗法による方法に比べ精度の面ですぐれている点を指摘した。

今後計算処理能力の増大により、実験データを用いた多変数パラメータの決定には、このような最適フィットプログラムが活用されることが多くなるとと思われる。なおこの研究の一部は旧東京大学宇宙航空研究所並びに国立極地研究所の共同利用研究として行なわれたものである。

参 考 文 献

- Bourdeau, R. E. and G. P. Serbu, Proc. First. Int. Space Sci. Sympto., 1960.
- Bourdeau, R. E., and E. C. Whipple, Jr., J. L. Donley, and S. J. Bauer, J. Geophys. Res., 67, 467 - 475, 1962.
- Breig, E. L., W. B. Hanson, and J. H. Hoffman, J. Geophys. Res., 81, 2677 - 2687, 1976.
- Donley, J. L., L. H. Brace, J. A. Findley, J. H. Hoffman, and G. L. Wrenn, Proc. IEE, 57, 1078 - 1084, 1969.
- Goldan, P. D., E. J. Yadlowsky, and E. C. Whipple, Jr., J. Geophys. Res., 78, 2907 - 2916, 1973.
- Gringanz, K. I., and M. Kh. Zelikman, VzPekhi Fiz. Nauk, 63, 239 - 252, 1957.
- Hanson, W. B., and D. D. Mckibbin, J. Geophys. Res., 66, 1667 - 1671, 1961.
- Hanson, W. B., S. Sanatani, P. Zuccaro, and T. W. Flowerday, J. Geophys. Res., 75, 5483 - 5501, 1970.
- Hanson, W. B., D. R. Frame, and J. E. Midgley, J. Geophys. Res., 77, 1914 - 1922, 1972.
- Hanson, W. B., D. R. Zuccaro, G. R. Lippinsott, and S. Sanatani, Radio Sci., 8, 333 - 339, 1973.
- Harris, K. K., G. W. Sharp, and W. C. Knudsen, J. Geophys. Res., 72, 5939 - 5948, 1967.
- Hedin, A. E., H. G. Mayr, C. A. Reber, N. W. Spencer and G. R. Carignan, J. Geophys. Res., 79, 215 - 225, 1974.
- Kayzer, D. C., E. L. Brieg, R. A. Power, W. B. Hanson, and A. O. Nier, J. Geophys. Res., 84, 4321 -

4327, 1979.

Knudsen, W. C., and G. W. Sharp., J. Geophys. Res., 70, 143 - 160, 1965.

Knudsen, W. C., J. Geophys. Res., 71, 4669 - 4678, 1966.

Kutiev, K., R. S. Dachev, and K. Serafimov, Space Res. 17, 269 - 272, 1977.

Massey, H., Space Phys., Chap. 5 and Chap. 6, Cambridge Univ. Press, 1964.

南, 堤, 竹屋, 東大宇宙研報告, 16, 1301 - 1326, 1980 a.

南, 堤, 竹屋, 宇宙観測シンポジウムプロシーディング, 31 - 37, 1980 b.

南, 堤, 竹屋, 電気学会プラズマ研究会資料, EP - 81 - 23, 1981.

Minami, S., and Y. Takeya, J. Geophys. Res., 87, 713 - 730, 1982 a

南, 竹屋, 電学論, 101 - A, 47, 1982 b.

南, 竹屋, 電学論印刷中, 1982 c.

Miyazaki, S., J. Geomag. Geoelectr., 27, 311 - 320, 1975.

Moore, R. H., and R. K. Zeigler, Los Alamos. Sci. Lab. Rept., La - 2367 - 1960.

Moss, S. J. and E. Hyman, J. Geophys. Res., 73, 4315 - 4323, 1968.

Oyama, K., and K. Hirao, Planet. Space Sci., 23, 1309 - 1312, 1975.

Parker, L. W., and E. C. Whipple, Jr., J. Geophys. Res., 75, 4720 - 4733, 1970.

Patterson, T. N. L., J. Geophys. Res., 74, 4799 - 4801, 1969.

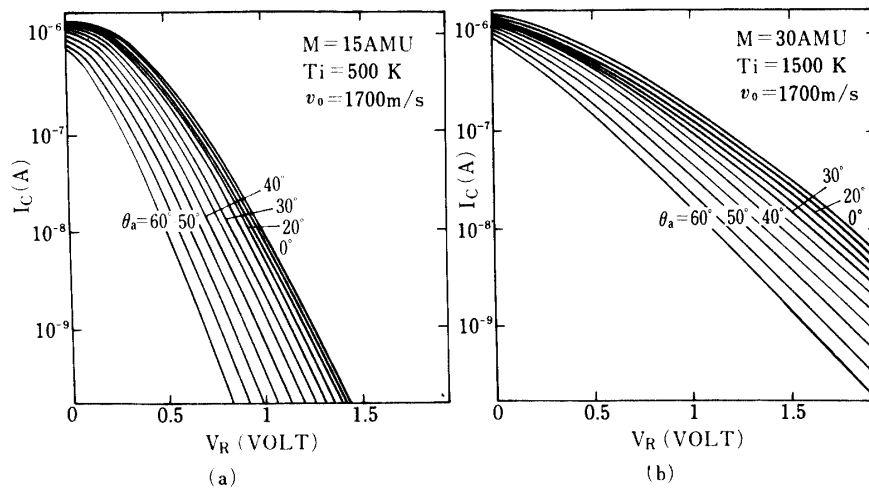
Sagalyn, R. C., and M. Smiddy, J. Geophys. Res., 68, 199 - 211, 1963.

Salah, J. E., J. Atmos. Terr. Phys., 36, 1891 - 1909, 1974.

Sayers, J., J. Atmos. Terr. Phys., 32, 663 - 691, 1970.

Spiro, R. W., R. A. Heelis, and W. B. Hanson., J. Geophys. Res., 83, 4255 - 4264, 1978.

Troy, B. E. Jr., and E. J. Maier, J. Geophys. Res., 80, 2236 - 2240, 1975.



付録 1 アタックアングル θ_a をパラメータとした RPA 特性

本文式(2)を数値計算すると v_0 が大きい時, イオン飽和電流は m_i, T_i に依存しないことがわかる (右図)

付録 2 最適フィットのための計算機プログラム

```

C SEARCH 3 PARAMETERS/ N = M = 1 VS = T1
C DIMENSION IPD(2,400),PO(2,400),GN(300),IM(300),GGG(300),TTT(300)
C THIS PROGRAM WAS PRODUCED UNDER THE COLLABORATION RESEARCH PROGRAM AT ISAS
1 DIMENSION IPD(2,400),PO(2,400),GN(300),IM(300),GGG(300),TTT(300)
C L(BUF(128)
1 ANK(300),ANY(300),PP(1,500),YD(900),GS(500),GTB(500)
2 DIMENSION VS(400),AT(400),AZ(400)
1 MD(1000)
3 DIMENSION IPD(300)
1 GGGM(100),VSSM(100),VSSS(100)
3 DIMENSION TTM(300),TAM(300),ZHM(300),VSS(500)
1 GGGM(100),TTM(300),TAM(300),ZHM(300),VSS(500)
4 DOUBLE PRECISION DIMENSION VP,EM,GN,IG,TH,A,JD,AJ,VV,ZZ,ERG,PD,PP,AN
1 OX,AP,AVL,AVZ,DV1,DV2,GGV,GGG,TTT,DDO,VS,A
1 VX,AY,AZ,XY
1 PE,AMY
1 GGGM,TTM
1 VSSS,VSSM,P
1 PM
1 AJ1,AJ2,VRR
P=30/NL=30
5 CALL PLOTS(BUF,128)
6 CALL SET(5,0,3,0)
7 SUBCNE(11)
8 JK=0
9 ITD=0
10 IN=0
11 ITD=ITD+1
12 READ(5,177) (YD(I),I=1,320)
13 177 FORMAT(10I5)
14 NMM=400
15 READ(5,1002) TIM,DEG,V,ALT,LM,HE
16 1002 FORMAT(2F5.1,F10.1,F8.2,2I1)
17 WRITE(4,1001)
18 1001 FORMAT(1M)
19 WRITE(4,1000) TIM,DEG,V,ALT,LM,HE
20 1000 FORMAT(1M,2F5.1,F10.1,F8.2,2I1)
21 J=0
22 IR=1
23 DO 73 J1=3,NMM+2
24 IF(IRM.EQ.1)GO TO 74
25 J=J+1
26 MD(I1)=J+10
27 IR=2
28 GO TO 73
29 74 MD(I1)=YD(J)
30 TR=1
31 73 CONTINUE
32 WRITE(6,750) MD(J),J,JK=NMM+2
33 750 FORMAT(1M,10I5)
34 CALL PLOT(10,0,0,0=3)
35 GO TO 37
36 37 CONTINUE
37 CALL PLOT(15,0,10,0=3)
38 CALL PLOT(0,0,10,0=2)
39 I=2
40 IX=1
41 DO 85 J=3,NMM+2
42 YD(J)=FLOAT(MD(J))
43 IF(IXY.NE.1) GO TO 84
44 I=I+1
45 ANK(I)=10.0+ANK(I)*.8963*(1.E-3)
46 ANK(I)=FLOAT(MD(J))
47 IX=2
48 GO TO 83
49 84 IF(LM.EB.1) GO TO 70B1
50 C LLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLL
51 C LOW GAIN
52 ANY(I)=10.0+((YD(J)-YD(NMM+2))/10.0-22.0)/103.5*9.29E-10
53 IF(ANY(I).LT.+.0E-10) GO TO 833
54 GO TO 70B0
55 C HIGH GAIN
56 70B1 ANY(I)=10.0+((YD(J)-YD(NMM+2))/10.0-21.5)/51.2*8.03*9.0E-9
57 IF(ANY(I).LT.+.0E-9) GO TO 833
58 70B0 CONTINUE
59 IX=1
60 831 CONTINUE
61 IF(IXY.EB.2) GO TO 83
62 X=ANK(I)/10.0
63 X=ANK(I)/100.0
64 Y=DLOG10(ANY(I))+10.)*5.-5.
65 CALL PLOT(SMGL(2),SMGL(Y)+2)
66 GO TO 85
67 833 IX=1
68 GO TO 83
69 83 CONTINUE
70 CALL PLOT(50,0,0,0=3)
71 CALL PLOT(10,0,0,0=2)
72 IK=1,JB=23
73 E=1.62E-19
74 PAI=3.14159
75 C IK=JK=1
76 C DEG : ATTACK ANGLE
77 C V : ROCKET VELOCITY
78 C ALT : HEIGHT
79 C IF(LM.EB.0) HIGH GAIN
80 C IF(LM.EB.1) LOW GAIN
81 C IF(IM.EB.0) KUDARI
82 C IF(IM.EB.1) MOWORI
83 C AR=2.0+PAI*DEG/360.0
84 C TI : INITIAL TEMPERATURE
85 C TE : TEMPERATURE ELZAMI
86 C VL : LOWER VOLTAGE
87 C SI : LOWER CURRENT
88 C SM : SHITSURYO
89 C SHITSURYO M=16/SANSO, N=30/MO
90 C TI=200
91 TE=30.0
92 VL=0.01
93 IF(LM.EB.1) SI=.5E-8
94 IF(LM.EB.1)SI=1.0E-8
95 IF(LM.EB.0) SI=1.0E-9
96 BM1=20
97 BM1=28
98 BM1=24
99 BM1=16
100 BM1=30
101 GO TO 166
102 166 CONTINUE
103 BM=BM1+.62E-27
104 C IPD :
105 C PD(1, J)=VOLTAGE DATA AREA
106 C PD(2, J)=AMPERE
107 C
108 I=0
109 IX=1
110 5 DO 3 J=3,NMM+2
111 IF(IXY.NE.1) GO TO 4
112 I=I+1
113 IPD(I,1)=MD(J)
114 IX=2
115 GO TO 3
116 4 IPD(2,1)=MD(J)
117 IX=1
118 3 CONTINUE
119 C M : PEN-FOLLOWER DATA LENGTH/WORDS
120 N=NMM/2
121 IF(IPD(1,1).NE.0) GO TO 22
122 I1=0
123 20 I1=I+1
124 IF(IPD(1,I1).EQ.0) GO TO 20
125 I1=I+1
126 21 I1=I+1
127 J1=I+1
128 IPD(I1,1)=IPD(I,I1)
129 IPD(2,1)=IPD(2,I1)
130 IF(I1.LT.N) GO TO 21
131 N=J1
132 22 IF(LM.EB.1) GO TO 30
133 WRITE(6,3000)
134 3000 FORMAT(1M,12H HIGH GAIN)
135 IF(LM.EB.0) GO TO 31
136 30 CONTINUE
137 WRITE(6,3100)
138 3100 FORMAT(1M,12H LOW GAIN)
139 31 DO 40 J=1,N
140 PB(I,1)=FLOAT(IPD(1,1))/10.0
141 IF(J.LE.2) GO TO 41
142 IF(J.LE.2) GO TO 41
143 DV1=DABS(PB(1,1)-PB(1,2))/2.0
144 DV2=DABS(PB(1,1)-PB(1,3))/2.0
145 IF(DV1.LT.10.0) GO TO 41
146 PB(1,1)=AV1
147 PB(1,2)=AV1
148 41 PB(2,1)=FLOAT(IPD(2,1))/10.0
149 AV2=DABS(PB(2,1)-PB(2,2))/2.0
150 DV2=DABS(PB(2,1)-PB(2,3))/2.0
151 IF(DV2.LT.10.0) GO TO 40
152 PB(2,1)=AV2
153 40 CONTINUE
154 IF(LM.EB.0) GO TO 30
155 DO 51 J=1,N
156 PP(1,1)=PB(1,1)+J
157 51 CONTINUE
158 GO TO 53
159 50 DO 52 J=1,N
160 DO 52 I=1,2
161 PP(I,1)=PB(I,1)
162 52 CONTINUE
163 P=0.0
164 IM=0
165 7505 CONTINUE
166 53 M=1
167 KK=0
168 INPT=4
169 INPT=8
170 INPT=15
171 INPT=20
172 60 IF(MD.EB.1) GO TO 61
173 T=TTT(M)/100.0
174 T1=200.0
175 IF(INPT.LT.0) GO TO 11
176 TE=10.0
177 TE=25.0
178 J=0
179 J1=J1-15
180 GO TO 70
181 61 J=0
182 J1=0
183 160 IF(J1.NE.0) GO TO 70
184 J1=1
185 GO TO 71
186 70 CONTINUE
187 IF(MD.EB.1) J1=J1+10
188 IF(MD.EB.2) J1=J1+1
189 IF(MD.EB.3) J1=J1+2
190 71 J=J1+1
191 WRITE(6,4000)
192 PD1=PP(1,1)
193 PD2=PP(2,1)
194 PD3=(PP(1,1)-PP(1,1))**.8963*(1.0E-3)
195 GO TO 662
196 662 CONTINUE
197 VS(I,1)=PD3+0.9
198 DO 80 J=1,N
199 PD(1,1)=PP(1,1)-PD1+.8963*(1.0E-5)
200 GO TO 661
201 661 CONTINUE
202 IF(LM.EB.1) GO TO 81
203 C HIGH
204 PD(2,1)=10.0+((PP(2,1)-PD2)-22.0)/103.5*9.0)
205 GO TO 80
206 C LOW
207 PD(2,1)=10.0+((PP(2,1)-PD2)-21.5)/51.2*8.0)
208 80 CONTINUE

```

