

R005-12

Zoom meeting C : 11/1 PM1 (13:45-15:30)

13:45-14:00

## 直流電場センサーの開発と電離層 Sq 電場の直接測定

#筒井 稔

京産大 名誉教授

## Development of DC electric field sensor and direct measurement of ionosphere Sq electric fields

#Minoru Tsutsui

Prof. Emeritus of KSU

A new DC electric field sensor which is available to use in all spaces has been developed. The sensor is quite different from the mill type electric field sensor which measures electric potentials by gathering charged particles in the atmosphere. Since a key point of the new sensor is focused on electric equi-potential lines which are usually formed in orthogonal to the electric field lines everywhere, a linear dipole antenna can be applied to the new sensor.

Profiles of electric potentials around the linear dipole elements (each length of  $L$  and the gap of  $d$ ), when they were set along a uniform electric field, were obtained numerically by solving the Laplace equation. The result showed that only two equi-potential lines having a distance  $L$  with each other connect to A and B on each center of the linear elements, respectively, and the potentials  $V_A$  and  $V_B$  of each element became the same as those of each equi-potential lines. These two potentials are led to a differential pre-amplifier. Since the output from the pre-amplifier is  $(V_A - V_B)$ , an accurate electric field intensity at the position of the sensor can be obtained by  $(V_A - V_B)/L$ .

Another important point in the structure of the new sensor is that the entire dipole elements are covered with an electrical insulating jacket, because the dipole elements have to be protected from attaching of charged particles in the atmosphere.

For practical measurements on the ground, new sensors of 3-D dipole antennas were installed in an electromagnetically quiet environment where is in a mountain north of Kyoto city, and started continuous observation at the end of 2016. A typical example of one day traces of electric fields in 3-D directions is shown in the figure. From two traces of horizontal electric fields, we found a clear polarization change from south to east at about 2 hour after sunrise, and lasting with east-ward until the mid-day. After changing the polarization to westward, another large polarization change to northward appeared at about 2 hour before sunset. Since large fluctuations seen in the figure cannot be seen in rainy-days, the source of the electric fields would be above the troposphere, it is possibly in the ionosphere. The observed electric field intensity was 0.16 mV/m at maximum which is about 1/10 of those in the ionosphere which have been studied by many workers. The field intensity at the ground are consistent with the radiation effect from the ionosphere. Therefore, the observed electric field is considered to be the result of direct measurements of ionosphere Sq electric fields.

The result of this research is published in TEEE A from IEEJ as Tsutsui and Kaji, A New DC Electric Field Sensor and Direct Measurements of Ionosphere Sq Electric Field.

空間中の直流電場を測定するものとして、これまでは回転集電方式 (Mill type) による対地電位を測定する方法しか無く、真空も含めた空間中の正確な直流電場を測定できるセンサーは存在しなかった。この問題を解決のために、新たな直流電場測定用センサーを開発した。この開発に当たっての着眼点は空間における 2 本の等電位線間の電位差を測定し、それを両等電位線間の距離で割る事により、空間電場を求める事であった。開発したセンサーの構造は、2 本の線状素子 (各長さ  $L$ ) を短いギャップ (間隔  $d$ ) を挟んで一直線上に配置した極めてシンプルなダイポールアンテナである。

均一静電場が印加されている空間内にこのダイポールアンテナを平行に置いた場合の、その周囲の電位分布を、Laplace 方程式を数値的に解く事により求めた。その結果、 $L > 15d$  の場合は、間隔  $L$  離れた 2 本の等電位線のみが両ダイポール素子の中点 A 及び B にそれぞれ電氣的に接続し、各々の等電位線の対地電位  $V_A$  及び  $V_B$  が両素子に現れる事が示された。この両素子に現れた電位を差動増幅器に入力し、その電位差出力 ( $V_A - V_B$ ) を距離  $L$  で割れば、センサー中心位置での正確な電場を得ることが出来る。

このセンサーの構造上でもう一つ重要な点は、素子表面に大気中の荷電粒子が付着する事を防ぐための処置を施す事である。即ち、ダイポールアンテナ素子全体を電氣的絶縁物で被覆する事である。またこの絶縁被覆をできる限り厚くすることにより、太陽光線に含まれている様々なスペクトルにより引き起こされるセンサー素子表面における光電効果によるショット雑音を抑制する事ができ、検出直流電場の制度を向上する事ができる。

上記知見を基に、そのプロトタイプを製作し、静電シールドボックス内に、均一電場を形成するための平行平板電極配置し、その中間点にアンテナ回転機構を備え、そこにプロトタイプを取り付け、均一電場方向に対するダイポールアンテナの角度に依存した電場強度変化を測定したところ、理論通りの 8 字特性を得る事が出来た。

上記実験結果により、この直流電場アンテナは実用可能とであると判断できたので、鉄道線路から 9 km 以上離れた電磁氣的に静穏な京都市北部の山間の民家の庭に、東西・南北・および上下の各方向に長さ 5 m の直流電場測定用ダイポールアンテナを設置し、2016 年末から連続観測を開始した。

観測結果の一例を添付図に示す。これは24時間における3-D方向成分の静電場変動を示している。特に東西・南北の電場水平成分の時間的偏波を調べると、日出から約2時間後に南方向の電場が大きく現れ、それが短時間に東方向へ変化して、その向きのまま昼過ぎまで続き、その後西向きに変化し、日没の約2時間前に北方向へ大きく変化している事が見られた。これら2つの大きく変化する偏波の時刻を季節的に調べると、それらは日出。日没と同期して変化している事も判った。また、添付図に示した変動振幅の最大値は0.16 mV/m であるが、雨天の時はこの振幅はほとんど現れない事から、この電場の源は対流圏より上空であり、電離層にある事を示唆している。一方、電離層研究の先人達が理論的やISレーダやMUレーダの観測結果で得られた電離層内での水平電場の強度は、本観測で得られ強度の約10倍の値であるが、Strattonの電磁界放射に関する理論により、電離層での電場強度は地上ではその約1/10になる事が示された。本観測におけるその他の様々な電場変動現象も電離層における電場変動現象を示唆しており、本観測で得られた電場は電離層Sq電場であるとの結論を得た。またこの観測で磁気圏・電離圏結合による沿磁力線電流による効果も現れている可能性もあり、その研究にも寄与するものと思われる。この研究成果は電気学会から共通英文論文誌(TEEE A)に Tsutsui and Kaji, A New DC Electric Field Sensor and Direct Measurements of Ionosphere Sq Electric Field として掲載予定である。

