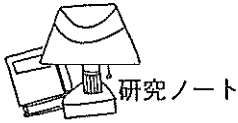


雷放電路可視化のための広帯域干渉計



河崎 善一郎*

VHF Broadband Interferometer and lightning observations

Key Words : Lightning Discharges, Broadband Interferometer, Leader Progression

1. はじめに

本来「干渉」とは、ある周波数の波(電磁波)が、異なる伝搬経路を經由してある地点に到達するとき、それらが重ね合わされることにより起こる現象である。即ちそれらが同相で重ね合わせられるとき強められ、逆相で重ね合わせられるときに弱められることになる。ただ、例えば信号の伝送を考えると、単一周波数では原理的に情報を伝送することが困難であり、「干渉」は狭帯域系が原則である。ところで筆者ら大阪大学大学院雷研究グループ(Lighting Research Group of Osaka University: LR-GOU)は、本来の意味での干渉計(狭帯域干渉計)を利用した雷放電路可視化技術の開発に携わり、雷放電路の三次元可視化や雷放電の進展速度測定に成果をあげてきている。一方、この狭帯域干渉計では雷放電路の枝分かれを伴う進展様相が可視化出来ないとの弱点があり、長年、関連研究者の間で解決すべき課題の一つとなっていた。

この弱点を克服すべくLRGOUで開発されたのが、「広帯域干渉計」^{〔1)~(6)〕}である。広帯域の干渉は、冒頭に述べた「干渉」本来の意味から考えると明らかに矛盾した表現となっている。しかしながらこの明らかに矛盾した表現は、即ち逆転の発想と、近年のデジタル技術のおかげで、見事に克服されている。そこで本稿では、LRGOUの開発した、VHF

波帯広帯域干渉計の原理と、最近の観測結果の一例を紹介する。

2. 広帯域干渉計の原理

広帯域干渉計とは、雷放電に伴い放射されるパルス幅1マイクロ秒以下のインパルス性電磁波のVHF波帯成分(25~250MHz)を複数の広帯域アンテナで受信し、その電波放射源位置を求めようとする測定機である(図1, 図2)。ここに継続時間が一秒に満たない一回の雷放電(落雷及び雲放電)により、少なくとも数千のVHF波帯インパルス波が放射されて

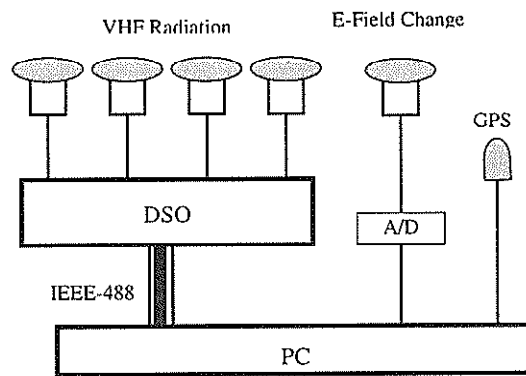


図1 広帯域干渉計システム

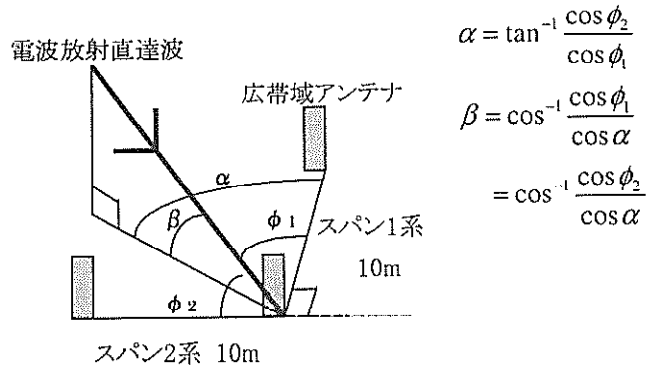
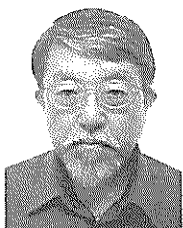


図2 干渉計による二次元標定原理



* Zen KAWASAKI
 1949年1月17日生
 昭和53年阪大・通・博士修了
 現在、大阪大学大学院・工学研究科・
 通信工学専攻、教授、工博、電波理工
 学
 TEL 06-6879-7690
 FAX 06-6879-7774
 E-Mail zen@comm.eng.osaka-u.
 ac.jp

いることを強調すると共に、それらが放電の進展に因るものであることを述べておきたい。言い換えれば、それらの放射源位置を明らかにすることは、雷放電の進展様相を明らかにすることと同義であり、本稿で紹介している広帯域干渉計とは、「雷放電の進展様相を観測する」ための機器であるという事になる。

図2に示す直角二等辺三角形の三頂点に配置する容量性円形平板アンテナで受信される信号は、Digital Storage Oscilloscope(DSO)で直接高速サンプリングされ、GPS(Global Positioning System)による時刻情報、雷放筆者等がスローアンテナ(0.5Hz~2MHz)と呼ぶアンテナで測定される電界変化波形と共に記録されている。ここに、電界変化波形は、雷放電の種別及び極性を知るために必要となっている。

測定系全体を制御するパーソナルコンピュータ(PC)は、継続時間1マイクロ秒以下であるインパルス性電磁波それぞれについて、高速フーリエ変換(FFT)を行い、スパン1系・スパン2系と呼ぶアンテナ対それぞれについて、フーリエ周波数成分毎の位相差 ϕ_1, ϕ_2 を数値的に求める。そしてそれらの位相差から、フーリエ周波数成分毎に、インパルス性電磁波の当来方向、仰角 α ・方位角 β を明かにしている。具体的には、128のフーリエ各周波数(約2MHz間隔)について入射角を求め、それらの算術平均値を対応するインパルス性電磁波のアンテナ系への入射角として採用している。これらの演算処理は、継続時間1マイクロ秒以下というインパルス性電磁波各々について全く独立に行っているため、長年関連研究者間で懸案であった、枝分かれを伴う雷放電の進展様相が可視化可能となっている。

加えて、広帯域干渉計の1組のアンテナ対は128のフーリエ周波数成分を対象としているため、狭帯域干渉計の問題点の一つであった分散が大きく標定精度が劣る短スパン(低周波成分に相当)と、アンテナ間距離が波長を越え位相に不確実性が生じる長スパン(高周波成分に相当)の両方の役割を兼ね備えているため、より鮮明な放電路可視化結果が求められる事になる。さらにVHF波帯インパルス性電磁波を、直接高速サンプリング記録し演算処理を行うため、特別な受信機を必要としないことなどから、故障の心配が少なく、野外での連続稼働に適したシステムであろうと考えられている。

3. 観測結果

LRGOUは、1998年度より3年連続して、11月~12月には気候学的に熱帯収束帯に位置し活発な雷活動が発生するオーストラリア北端のダーウィン郊外、12月~翌1月には冬季雷と呼称される雷嵐活動が頻繁に発生する福井県三国町の、それぞれに本システムを設置し、雷放電現象の野外観測を実施している。

一例として図3に、オーストラリア観測において2000年12月10日8:30~11:30(CST)の3時間に記録した雷活動の様相を示す。ここに図中に示す各点は、雷放電毎に求めた方位角の中央値であり、観測点に対する平均的な意味での雷放電発生方向となっている。なお方形グラフ(a)では、横軸は時刻、縦軸は観測点から見た方位であり、円グラフ(b)では、円周方向は観測点から見た雷放電発生位置の方位、半径方向は観測点からの雷放電発生位置までの距離となっている。ここに距離は、前述の様に求めた雷放電位置が、雷放電に関与している電荷の中心に対応するものとし、さらに電荷中心の高度を6kmと仮定することにより概算したものである。また方位は北0度とし、反時計回りを正方向としている。図3は、3時間に約1400雷放電が発生していることを示すと共に、それらが、8:30~9:30に120度から240度へ移動する雷嵐活動(図中①)、9:30~11:00

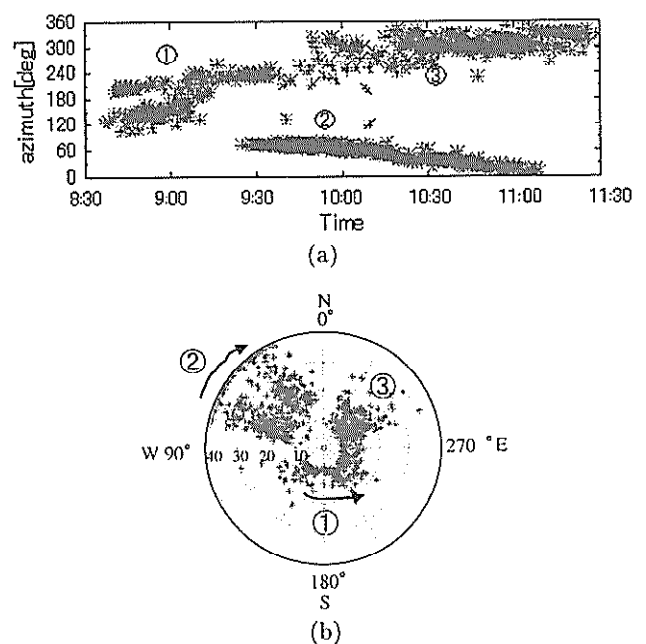


図3 広帯域干渉計によるマッピング結果

に60度から0度へ移動する雷嵐活動(図中②), 及び10:00~11:30に300度付近での雷嵐活動(図中③)である事を示している. そして, その結果少なくとも3個の独立した雷嵐システムの発生していることが明らかにされている, さらに同時記録している電界変化波形から判断される様に, 雲放電が80%以上を占め, 負極性落雷が10%余り, 正極性落雷が数%となっている事を勘案すれば, 雷放電総数, 雷放電種別比のいずれの観点からも, 上記の雷活動が活発なものであった事が理解できる.

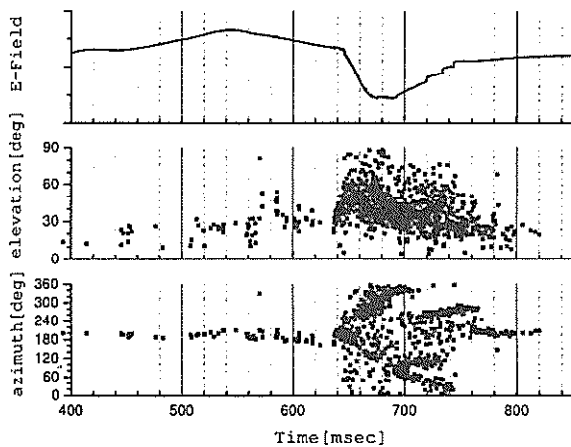


図4 広帯域干渉計によるマッピング結果

図4は北陸での観測において2001年1月29日12:39:44(JST)に記録した事例についての標定結果である. 同図は上段に電界変化波形(雷雲内負電荷の中和を正とする大気電気学の慣習に従う), 中下段に仰角・方位角の標定結果をそれぞれ時系列で示したものである. 電界変化に帰還雷撃に伴う急峻な変化が見られないことから, 雲内放電を記録したものであることがわかる. また図中640ミリ秒以降, 雷放電が複数方向に分かれて進展する様相が示されており, 長年の懸案であった雷放電進展の枝分かれを含め微細構造が可視化されている. いずれにしても, 図4に示す雷放電路の枝分かれ像は, 筆者の知る限り, これまで国内外のいずれの研究機関によっても報告されておらず, まさに我が国で考案された固有技術による世界最初の結果となっている.

4. 結 び

本稿では, 大阪大学大学院雷研究グループが設計,

製作, 稼働しているVHF波帯広帯域干渉計が, 雷活動の監視や放電路の可視化に適している事を示した. なお本稿ではあえて紹介しないものの, このシステムを, 異なる二地点に設置しGPSで時間同期し, 雷放電路の三次元の可視化も行い, 雷放電進展の速度も観測的に求めている.

なおこの装置は, 文部科学省の外郭団体である, 科学技術進行事業団を通じ特許申請中であると共に, 現在, 同事業団, 電力会社, 及び電子機器メーカーと共に実用化のための検証を行っている事を付記しておきたい.

参 考 文 献

- 1) "Broad band interferometric measurement of rocket triggered lightning in Japan", T. Ushio, Z-I. Kawasaki, Y. Ohta and K. Matsu-ura, Geophys. Res. Letters, 24, 22, 2769-2772 (1997).
- 2) "A broad band interferometer for observing lightning discharge process", R. Mardiana, Y. Ohta, M. Murakami, T. Ushio, Z-I. Kawasaki, and K. Matsu-ura, J. Atmospheric Electricity 18, 2, 111-117 (1998).
- 3) "雷観測のための広帯域及び狭帯域干渉計の比較", 村上, 河崎, 太田, 磯田, R. Mardiana, 牛尾, 松浦, 電気学会論文誌B, 119-B, 807-812(1999).
- 4) "Detection of Wide-Band E-M Signals Emitted from Partial Discharge Occurring in GIS using Wavelet Transform", M. Kawada, A. Tungkanawanich, Z-I. Kawasaki, K. Matsuura, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.15, 467-471 (2000).
- 5) "Dependency of VHF broad band lightning source mapping on Fourier spectra", M. Redy and Z-I. Kawasaki, Geophys. Res. Letters. Vol. 27, 2917-2920 (2000).
- 6) "Broadband and narrowband RF interferometers for lightning observations", Z-I. Kawasaki, M. Redy, T. Ushio, Geophys. Res. Letters. Vol.27, No.19, 3189-3192 (2000).