



Title	Thunderstorm Observations by the Operational VHF Broadband Digital Interferometer
Author(s)	森本, 健志
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45804">https://hdl.handle.net/11094/45804</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	森本 健志
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19518 号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科通信工学専攻
学位論文名	Thunderstorm Observations by the Operational VHF Broadband Digital Interferometer (VHF 波帯広帯域ディジタル干渉計による雷嵐の観測的研究)
論文審査委員	(主査) 教授 河崎善一郎 (副査) 教授 辻 肇一郎 教授 小牧 省三 教授 三瓶 政一 教授 滝根 哲哉 教授 馬場口 登 教授 北山 研一 教授 元田 浩

### 論文内容の要旨

本論文は著者が大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻在学中に行なった、VHF 波帯広帯域ディジタル干渉計による雷嵐の観測的研究の成果をまとめたものであり、以下の 6 章によって構成する。

第 1 章は本論文の導入部であり、雷放電に伴い放射される電磁波の特性や、雷放電観測技術の動向などについて述べ、本研究の動機付けとその意義を明らかにした。

第 2 章では、本論文で開発および実用化を行う雷嵐観測用広帯域ディジタル干渉計について、その原理および構成について述べた。VHF 波帯広帯域ディジタル干渉計とは、雷放電に伴い放射されるインパルス性電磁波の VHF 波帯成分をアンテナアレイで受信し、その電波放射源を求めようとする装置である。本来、狭帯域系が原則である「干渉」を広帯域な電磁波に適用することで、電磁波放射源を時間的・空間的に高い分解能で標定することを可能としている。複数の広帯域アンテナで受信後、AD 変換器で直接高速サンプリング、記録した広帯域信号の各パルスについて高速フーリエ変換(FFT)を行い、アンテナ間での位相差をフーリエ周波数成分毎に数値的に求めた。各フーリエ周波数成分について、位相差からアンテナ対に対する電磁波の入射角を算出し、全ての周波数成分での算術平均を対応するパルスの入射角として採用し、この入射角を複数のアンテナ対に対し求めることで、インパルス性電磁波の到来方向を方位角・仰角として標定した。これを 2 地点で稼動し GPS で時間同期を行うことにより、交会法を用いて三次元標定が可能となる。

第 3 章では、第 2 章で述べた広帯域ディジタル干渉計の試作機による雷放電観測結果を示すと共にその機能検証を行った。まず、数値的手法により広帯域ディジタル干渉法の有効性を示し、次に、本装置による観測結果を、既に確立したとされる光学観測や気象レーダ観測など他の観測結果と比較することにより検証した。また、広帯域ディジタル干渉計は広帯域信号に含まれる多くの周波数成分から 1 つの入射角を得るという特徴を利用し、周波数成分による入射角のばらつきという点から、本装置独自の誤差評価を行なった。

第 4 章では、広帯域ディジタル干渉計による雷放電観測結果を用いて雷雲内電荷分布の推定に関する事例解析を行った。雷放電に伴い放射される VHF 波帯電磁波の強度は、negative breakdown によるものが positive breakdown

によるものと比較し 20 dB 程度強いとされていることから、一般に正負両極性の放電が同時に双方向に進展する自然雷において、本装置により進展様相が可視化されているのは主に negative breakdown であり、正電荷領域内を進展する negative breakdown の放電路の把握は、すなわち正電荷領域の把握と等価であることになる。本装置で放電進展様相を可視化することにより、遠隔計測が非常に困難である雷雲内電荷分布のうち正電荷領域を推定し、その有効性を示した。

第 5 章では、これまで述べてきた広帯域ディジタル干渉計の実用化に向けた改良を行った。試作機でその有効性を確認した上で、帯域通過フィルタ、広帯域線形増幅器、およびサンプリング周波数 200 MHz、垂直分解能 10 ビットの PCI-Bus 対応 AD 変換器を、それぞれ専用に開発した。また、本装置は 1 システム単独で電磁波放射源の方位角・仰角標定が可能であることから、これらをデータ取得直後に出力することで雷雲系の実時間移動監視を実現した。以上を経て、本装置を実用雷嵐観測装置として十分機能し得るものとした。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、VHF 波帯広帯域ディジタル干渉計による雷嵐の観測的研究の成果をまとめたものであり、以下の 6 章によって構成されている。

第 1 章は本論文の導入部であり、雷放電に伴い放射される電磁波の特性や、雷放電観測技術の動向などについて述べ、本研究の動機付けとその意義を明らかにしている。

第 2 章では、本論文で開発および実用化を行う雷嵐観測用広帯域ディジタル干渉計について、その原理および構成について述べている。VHF 波帯広帯域ディジタル干渉計とは、雷放電に伴い放射されるインパルス性電磁波の VHF 波帯成分をアンテナアレイで受信し、その電波放射源を求めるとする装置である。

第 3 章では、第 2 章で述べた広帯域ディジタル干渉計の試作機による雷放電観測結果を示すと共にその機能検証を行っている。また、広帯域ディジタル干渉計は広帯域信号に含まれる多くの周波数成分から 1 つの入射角を得るという特徴を利用し、周波数成分による入射角のばらつきという点から、本装置独自の誤差評価を行なっている。

第 4 章では、広帯域ディジタル干渉計による雷放電観測結果を用いた雷雲内電荷分布の推定に関する事例解析を行っている。

第 5 章では、これまで述べてきた広帯域ディジタル干渉計の実用化に向けた改良を行っている。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

本論文で得られた成果は次の通りである。

- (1) 本来、狭帯域系が原則である「干渉」を広帯域な電磁波に適用することで、電磁波放射源を時間的・空間的に高い分解能で標定することを可能としている。複数の広帯域アンテナで受信後、AD 変換器で直接高速サンプリング、記録した広帯域信号の各パルスについて高速フーリエ変換 (FFT) を行い、アンテナ間での位相差をフーリエ周波数成分毎に数値的に求める。各フーリエ周波数成分について位相差からアンテナ対に対する電磁波の入射角を算出し、全ての周波数成分での算術平均を対応するパルスの入射角として採用し、この入射角を複数のアンテナ対に対し求めることで、インパルス性電磁波の到来方向を方位角・仰角として標定している。これを 2 地点で稼動し GPS で時間同期を行うことにより、交会法を用いて三次元標定を実現している。
- (2) 数値的手法、および、本装置による実観測結果を既に確立したとされる光学観測や気象レーダ観測など他の観測結果と比較することにより検証し、広帯域ディジタル干渉法をインパルス性電磁波の到来方向推定に適用することの有効性を明らかにしている。
- (3) 雷放電に伴い放射される VHF 波帯電磁波の強度は、negative breakdown によるものが positive breakdown によるものと比較し 20 dB 程度強いとされていることから、一般に正負両極性の放電が同時に双方向に進展する

自然雷において、本装置により進展様相が可視化されているのは主に negative breakdown であり、正電荷領域内を進展する negative breakdown の放電路の把握は、すなわち正電荷領域の把握と等価であることになる。このことから、本装置で放電進展様相を可視化することにより、遠隔計測が非常に困難である雷雲内電荷分布のうち正電荷領域の推定を可能としている。

- (4) 試作機でその有効性を確認した上で、帯域通過フィルタ、広帯域線形増幅器、AD 変換器をそれぞれ専用に開発し、より空間・時間分解能の高い装置を構築している。また、本装置は 1 システム単独で電磁波放射源の方位角-仰角標定が可能であることから、これらをデータ取得直後に output することで雷雲系の実時間移動監視を実現している。以上を経て、本装置を実用雷嵐観測装置として十分機能し得るものとしている。

以上のように、本論文は雷嵐観測用 VHF 波帯広帯域ディジタル干渉計の開発と実用化を行い、その効果を具体的に示している。また、ここで用いる技術は電波によるリモートセンシング、無線通信などの分野に対しても有益な技術である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。