

修士論文

北陸冬季雷が下部電離圏に及ぼす影響

Study of lower ionosphere perturbations caused by
Hokuriku winter lightning

東北大学理学研究科
地球物理学専攻

森永 洋介

論文審査委員

小原 隆博 教授 (指導教員・主査)

笠羽 康正 教授

三澤 浩昭 准教授

坂野井 健 准教授

土屋 史紀 助教

平成 27 年

要旨

雷放電に伴い発生する高高度放電発光（エルブスあるいはスプライト）の研究によって雷放電が下部電離圏に無視できない影響を与えている事が知られるようになってきた [Chen et al., 2008; Inan et al., 2010]。雷放電が夜間の下部電離圏の電子密度分布に及ぼす影響はモデル計算により調べられている [Marshall et al., 2010; Schmitter, 2014] が、このモデルの整合性を調べた観測的研究は未だ存在していない。一方、雷放電による電離圏擾乱は、夜間の下部電離圏を伝搬する VLF/LF 帯の人工電波の受信信号に表れる変調（Early event）を観測することで検出できるが、Early event の特徴と電離圏で生じた現象を定量的に結び付ける研究は未だ発展途上である。

本研究では、雷放電に伴う下部電離圏電子密度変化モデルの観測的な検証を行い、Early event の発生メカニズムを明らかにすることを目的とする。Early event の原因となる雷放電発生位置の同定、雷放電による電磁パルスの規模の指標となるピーク電流値の導出、雷放電上空に発生する準静電場の規模を表す電荷モーメントの推定を行い、JJY 60 kHz 電波の位相変化とそれぞれの対応関係の調査を行った。また、雷放電による下部電離圏の電子密度変化を原因とする、60 kHz 電波の位相変化量、及び位相変化に対応する電波の反射高度変化量の推定を行うために、3次元 Ray-tracing による伝搬計算を行った。

使用したデータは、World Wide Lightning Location Network (WWLLN) により決定された雷放電の発生位置及び時刻、福島県田村市滝根町で受信された JJY 60 kHz の位相、石川県珠洲市のファーストアンテナで観測された雷放電期限の電場波形、昭和基地の誘導磁力計で観測された ELF トランジェントである。

過去の観測結果 [Otsuyama et al., 2004] から、日本列島の太平洋側の夏季雷よりも日本海側の冬季雷が Early event を発生させやすく、Early event の原因となる雷放電は海上と沿岸部に集中して発生することから、若狭湾を中心として雷放電の検出範囲を限定した。2014年12月12日から2015年3月31日までの期間において、雷放電と同時に発生し、JJY 60 kHz の位相変化として同定された Early event は 189 件であった。

Early event を引き起こした雷放電について電荷モーメントを推定したところ、ほとんどが $200 \sim 500 \text{ C}\cdot\text{km}$ に分布した。先行研究[[Hu et al., 2002](#)]によると、この電荷モーメント値の範囲ではスプライトの発生確率は低いことから、Early event を伴った雷放電は雷雲上空に絶縁破壊電場を超えるような準静電場を発生させておらず、スプライトのような鉛直方向に延びた電子密度の空間構造は発生していなかったといえる。そのため、今回の観測における Early event は雷放電の準静電場ではなく、電磁パルスに関連して発生したと結論した。

Early event を引き起こした雷放電のピーク電流値、JJY 60 kHz の位相変化、及び JJY 60 kHz の伝搬経路に対する雷放電発生位置の解析から、Early event の位相変動の特徴が、それを引き起こした雷放電の電磁パルスの強さと、雷放電発生位置と電波の伝搬経路の midpoint との距離に依存していることを観測から示した。観測から得られた Early event の特徴は、[Marshall et al \[2010\]](#)が数値計算により示した下部電離圏の電子密度変化の空間分布によって解釈が可能であり、電磁パルスの強さが下部電離圏の絶縁破壊電場を超えた場合は電離度が上昇し、絶縁破壊電場に達しない時は電子と大気の吸着反応が卓越して電離度が低下する理論モデルと整合することから、これは、雷放電に伴い下部電離圏の電子密度の増減の条件を観測的に初めて示した成果である。また、この結果は、エルブスの発光分布のように水平方向に数 100 km にかけて広がった電子密度変化の空間構造が、Early event の発生メカニズムの一つである事を示したといえる。

3次元 Ray-tracing 法を用いた 60 kHz 電波の伝搬計算から、同じ規模の雷放電が発生した(下部電離圏の電子密度変化が同じであった)としても、電波の伝搬経路上の雷放電の発生位置によって、Early event の位相差が変化することを確認した。JJY 60 kHz を福島県田村市滝根町で受信した場合、伝搬経路の midpoint から数 100 km の雷放電によって発生する Early event において、位相変化量に対応する反射高度変化量は、(反射高度差) [m] $\cong 19 \times$ (位相差) [deg] となった。