



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A study of lightning magnitudes and thunderstorm activity based on the observation of VLF sferics [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	工藤, 剛史
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第11375号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55636
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takeshi_Kudo_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 工 藤 剛 史

学 位 論 文 題 名

A study of lightning magnitudes and thunderstorm activity

based on the observation of VLF sferics

(VLF 帯空電観測に基づいた落雷規模と雷雨活動に関する研究)

雷雨のライフサイクルにおいて、雷放電頻度と雷雨の降水量やレーダー反射強度、上昇気流の強さとの関係性が先行研究によって示唆されている。一般的に雷雨の研究には気象レーダーが用いられるが、気象レーダーの時空間分解能は、急速に発達する雷雨の様相やその詳細な構造を調べるためには十分とは言えない。雷データは高い時間分解能を有するため、雷雨の研究に有効である。しかし、先行研究は、雷の放電頻度の情報のみを用いていて、中和電荷モーメント(CMC)などの個々の雷放電の電気的特性が活かされていない。

この中和電荷モーメント(CMC)は、落雷により中和された電荷量と中和された電荷の高さをかけた物理量で、落雷の規模を示す。CMC は対地放電(CG)に伴って放射される電磁波のうち、Extremely Low Frequency 帯 (ELF, 3 – 3000 Hz)の電磁波の波形から推定される。ELF 帯は帰還雷撃の後に数 ms から数 100 ms 継続する連続電流に強い感度がある。CMC が数 100 C·km 以上の巨大落雷では、連続電流によって中和される電荷量は、帰還雷撃により中和される電荷量に比べ十分大きい。日本の暖候期の落雷の 90%以上は、負極性落雷(-CG)で、大半の-CG の CMC は、連続電流を伴わないか電流継続時間が短いため、100 C·km 以下の小規模落雷である。小規模落雷の CMC を推定するためには、数 10 μ s から数 100 μ s の時定数を持つ帰還雷撃から放射される Very Low Frequency 帯 (VLF, 本研究では 2 kHz – 35 kHz)の電磁波波形観測が求められる。さらに、将来の短時間気象予測に結び付けるために、実用的であり且つ短時間で CMC を推定できることが重要である。しかしながらこれまで数 100 km 以内の局所的な観測に基づく落雷位置標定システムは、VLF 帯に比べ 100 kHz 以上の高い周波数帯域を測定しており、落雷のピーク電流値しか推定できず、CMC を導出することはできない。

本研究の目的は、落雷の大半を占める小規模な-CG の落雷規模を推定する手法を確立し、雷雨の発達過程と個々の落雷の規模の情報を含めた雷活動との関係について調べることである。本論文は次に示す 3 つのテーマから成る。1) 関東地方における新しい VLF 帯雷観測システムの構築と連続観測を行う。2) VLF 帯雷観測システムから得られたデータから、小規模落雷の CMC とピーク電流の推定方法を確立する。3) 雷雲における落雷頻度及び電気的特性と気象パラメータの関係を明らかにする。

まずはじめに、新規に VLF 帯受信機を開発した。それを用いて 3 つの観測点から構成される新しい VLF 帯雷観測システムを初めて関東地方に構築し、2 kHz – 35 kHz の帯域の波形の連続観測を 2013 年 5 月から開始した。関東地方は、AMeDAS 及び複数の気象レーダーによる高密度気象観測が行われ、且つ平野が広がることから、山岳の影響を受けることなく気象パラメータと雷活動の関係を調べるのに適した世界でも有数な場所の 1 つである。このシステムから、解析に耐える質の高いデータが得られ、本研究では、山梨サイトで得られたデータを解析した。

次に、VLF 波形から 1 ms 以内の落雷電流の変化に伴うインパルス性中和電荷モーメント(iCMC)を推定する手法を確立した。落雷のピーク電流を推定するため、Japan Lightning

Detection Network (JLDN)が推定したピーク電流と、50 km で規格化した VLF の電場波形の振幅値の関係を調べたところ、強い相関があることを確認した。従来 100 kHz 以上の高い周波数(LF 帯)でピーク電流を推定していたが、LF 帯より遠くの落雷を検出できる VLF 帯からピーク電流を推定できることを示した。山梨サイトから 50 – 200 km の距離で観測された 10,606 の VLF 波形に対し、iCMC およびピーク電流の推定を行ったところ、iCMC を推定できた割合は、-CG が約 72 %、+CG が 23 %となった。この値は、iCMC またはピーク電流を推定できる既存の VLF 帯観測網の検出率が約 3 % から 10 %程度であるため、我々の VLF 帯雷観測システムは世界最高水準であると言える。iCMC とピーク電流の関係について調べたところ、iCMC の絶対値が 20 C·km より大きくなるとピーク電流との相関が低くなり($R^2 = 0.18$)、iCMC の絶対値が 20 C·km より小さいとピーク電流との相関が高くなる($R^2 = 0.70$)ことを見出した。iCMC とピーク電流と電場波形の継続時間の関係を調べたところ、iCMC と電場波形の継続時間との間に弱い相関(-CG: $R^2 = 0.12$, +CG: $R^2 = 0.31$)を示し、ピーク電流と電場波形の継続時間との間には、相関はほぼ無いことが示された(-CG: $R^2 = 0.03$, +CG: $R^2 = 0.05$)。これらの結果は、iCMC が 20 C·km を超えたイベントでは、ピーク電流だけでは iCMC を推測できず、今回開発した VLF 帯雷観測システムによる波形観測が重要であることを示す。

最後に、推定された iCMC、ピーク電流、電場波形の継続時間を用いて、領域の降水量とレーダーエコー高度 12 km 以上の面積と落雷パラメータのそれぞれの時間変化の関係を、3つの事例について調べた。領域の降水量とレーダーエコー高度 12 km 以上の面積は、気象庁の 10 分毎の C-band レーダーデータから求めた。-CG の頻度の増加と、領域の降水量およびレーダーエコー高度 12 km 以上の面積の増加は、雷雨が発達していることを示す。雷雨の発達に伴って、iCMC の絶対値が 5 C·km より大きいものの割合が増えることを発見した。これは、上昇気流により、雲内の電荷の中心位置が上空に移動しているか、上昇気流によって多くの電荷が生成され、雲内に分布していると推測される。ピーク電流と電場波形の継続時間の増大も同様の時間変化を示した。レーダーエコー高度 12 km 以上の面積は増え続けていたにも関わらず、地上でダウンバーストが発生する約 15 分前に、-CG の頻度が一時的に減少することを発見した。このことは、強い上昇気流によって、あられや雹などの負に帯電した大きい降水粒子が上空に持ち上げられ、正に帯電した氷晶に近づいたため、-CG の頻度が減少したと推測する。また、ダウンバーストが発生している時間帯に、iCMC の絶対値が 5 C·km より小さいものが卓越することを発見した。さらに、ダウンバースト発生後、-CG の頻度は減少し、入れ替わるように+CG の頻度が増加した。このことは、負に帯電したあられや雹がダウンバーストによって地上に落下したことで、もしくは、雲内放電や-CG によって、雲内の負電荷が減少し、iCMC の絶対値が小さいものの割合が増えたと推測される。負電荷の減少によって、上空の正電荷による+CG の頻度の増加が見られたと推測される。本研究において、雷雨の発達過程に伴って、落雷の電気的特性、特に落雷規模の大きさの割合の分布が変化することをいくつかの事例において、世界で初めて発見した。雷雨の発達と共に、iCMC の絶対値が 5 C·km より大きいものの割合が増加することを示した。ダウンバーストに約 15 分先行して-CG の頻度が減少することを、日本で初めて発見した。ダウンバーストの発生に伴い、-CG の iCMC の絶対値が、5 C·km 以下のものが卓越することを示した。