

令和元年6月25日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05555

研究課題名(和文) 電気的および地形的効果を考慮した冬季北陸の降雪雲四次元観測

研究課題名(英文) Snowfall thunderclouds observations around Hokuriku area in consideration of electrical and terrain effects

研究代表者

中村 佳敬 (Yoshitaka, Nakamura)

神戸市立工業高等専門学校・電気工学科・准教授

研究者番号：70609817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：冬季の特徴である気圧配置により発生した雪雲を、季節風に対して平行に発達するL-mode、季節風に対して斜交するように発達するT-mode、反時計回りに回転しながら発達するV-modeの3つのモードの観点から分類したところ、落雷発生率はL-modeがT-modeより高く、落雷を発生しやすい雪雲であることが分かった。また、L-modeにおいて雷放電が発生するケースとしない事例について比較検討を行ったところ、北陸での冬季雷の発生要因にJPCZが寄与していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北陸地域の冬季雷活動は「雪おこし」や「獅おこし」などと呼ばれるとおり、冬の初めに活発で、真冬には雷活動が低いことが知られている。冬季雷活動による落雷被害も深刻であり、雷活動を含めた積乱雲の解明が求められている。冬季落雷の親雲である雪雲をその要因別に解析することで、落雷に対する警戒の指標を提供しうるものとなる。また、シーズンにより雷活動の活発度が異なるため、観測事例を蓄積することが大気電気学分野で有効である。

研究成果の概要(英文)：To study the relationship between lightning activity and snow cloud mode, we classified snowfall clouds into three types by their shapes and radar echo motions: (1) L-mode clouds that develop parallel to the wind direction, (2) T-mode clouds that develop perpendicular to the wind direction, and (3) V-mode clouds that is strongest spiral convection cloud in the JPCZ. Based on lightning flash rate, L-mode clouds is higher than T-mode clouds in lightning activity. L-mode clouds could be divided into those with and without lightning. Our observations suggest that the JPCZ greatly influences lightning activities in Hokuriku.

研究分野：大気電気学

キーワード：冬季雷 リモートセンシング

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

冬季雷は夏季と異なる性質が報告されているが、これは親雲である積乱雲が冬季特有の降雪雲であり、積乱雲内の霰・雹の形成環境の違いがあることに一因があると考えている。富山湾では、能登半島で電氣的活動を終えて雷活動を伴わないものと、雷活動を伴ったままの雲など、様々な冬季積乱雲が観測される。そのため、本研究では発雷をもたらす降雪環境や冬季雷の発現する降雪雲構造を理解するため、富山湾沿岸において冬季積乱雲の稠密観測の実施が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、豪雪や冬季雷で知られる北陸日本海沿岸地域の中でも、特に能登半島と富山湾地域に注目し、気象レーダや雷放電可視化装置、光学式ディストロメータ等を用いて、冬季積乱雲を時系列で観測する。大陸側から東進する気象システムに対し、能登半島と富山湾を超えた場所に当たる魚津海岸には、高時空間分解能を誇る稠密観測網を展開する。

そして、電氣的活動(雷活動)を伴う冬季積乱雲と伴わない冬季積乱雲に対し、その特徴で分類し、違いを明らかにする。このようにして、電氣的活動を含む冬季降雪雲の構造や振る舞いの理解を進めることを本研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、Ku帯広帯域レーダやVHF帯干渉計に加え、降雪降雨強度計、ディストロメータを設置した。また、富山湾を囲むように合計7か所にLF帯雷受信機を展開し、その機器の性能調査を実施した。そして、それらの機器を用いて夏季積乱雲、冬季雪雷雲観測を実施した。なお、LF帯雷受信機での雷観測を実現していなかった時期については、他機関が運用する落雷位置標定装置による雷位置情報データを活用した。そして、これらのデータに加え、気象庁Cバンドレーダ等による1kmメッシュ全国合成レーダGPVによる降水分布、気象庁数値モデルJMA-MSMの気圧面データの初期値で用いられる風向風速データ、天気図による気圧配置などを使用し、雪雲の移動方向とその時の風向から、冬季積乱雲のタイプ分けを行い、特にLモード雲、Tモード雲に着目し解析を行った。



図1. LF帯雷受信機の設置場所

### 4. 研究成果

#### 解析手法1 ～水平規模の大きい雷放電～

冬季雷の特徴の一つとして水平規模の大きい雷放電が挙げられる。この観測事例として水平規模の大きい雷放電を捉えた。2016年12月9日の北陸地方では、温帯低気圧の通過に伴い、寒冷前線による対流性の雲が発達し易い環境場であったと考えられ、前線通過後には、西高東低の冬型気圧配置となり、積雪が観測されているところもあった。このような気象条件で北陸地方は雷放電が起りやすい環境にあった。このときの雷放電の一例に対して二次元標定を行った。図中の・は観測点、色のプロット(寒色系は相対的時間が早く、暖色系になるにつれて遅いことを表す)は放射源を示している。距離はおよそ100kmで、標定誤差を考慮しても非常に長い放電路であり、LF帯雷受信機が水平規模の大きな放電の観測にも有効と判断した。

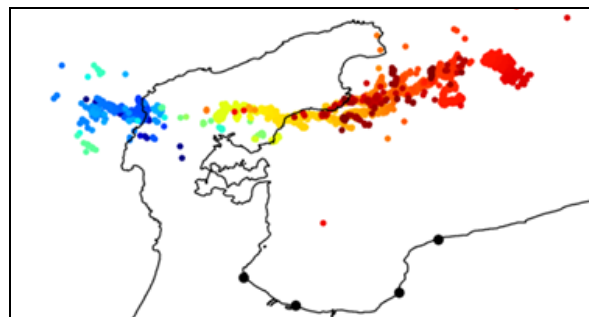


図2. 2016年12月9日の雷放電の一例

#### 解析手法2 ～冬季積乱雲の分類と雷活動～

大局的に雷放電をもたらす冬季積乱雲の特徴を理解すべく、2016年12月13日から2017年3月13日の期間、北緯36-38度、東経136-138度の範囲においてこれらの積乱雲が発生する環境場を、(1)気圧の谷、(2)低気圧、(3)寒冷前線、(4)Lモード、(5)Tモード、(6)Vモードの6パターンに分類した。(4)～(6)は冬型の気圧配置において、シベリア大陸から冷たく乾燥した北西季節風が吹き出し、この空気が日本海上を通過するときに、水蒸気と熱が補給され、不安定

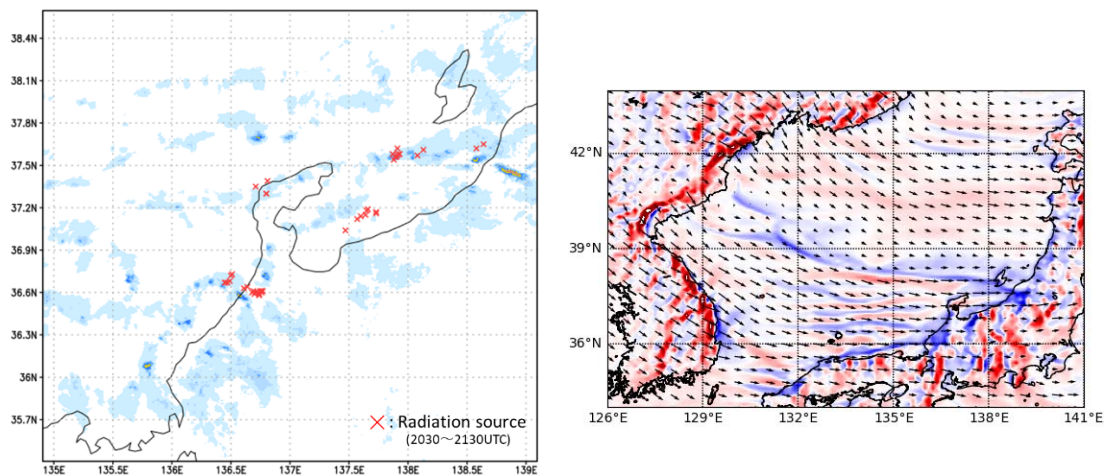


図3. 2017年1月12日2100JSTのレーダエコー・雷分布(左)とMSM-GPV初期値による850hPa面での風速場(右)

になり対流雲が発生するときにおこる。Lモードは風向きに対して平行に発達したペナル対流による対流雲列である。Tモードの雲は、上層ではJPCZ上の帯状雲から吹き流される層状雲、下層では対流雲であり、風向きに対して垂直に発達する対流雲である。VモードはJPCZの中で最も激しい対流で、低気圧よりは規模が小さいが、低気圧のような渦状に雲が発達し、大気の状態が不安定となる。その中で本研究は特に冬の季節風(冬型気圧配置)によって発生する(4)～(6)に焦点を絞り解析を行った。しかしながら解析期間中に大雪をもたらすVモード雲はほとんど観測されなかったため、LモードとTモードの降雪雲について比較した。Lモード雲に関するフラッシュレートの、Tモード雲の場合よりも高く、また総観測時間も長い。Lモード雲とTモード雲は、垂直方向の剪断ベクトルに沿って線形対流ロールを介して形成される(村上ほか, 2005)が、雷活動に重要な対流と固体降水粒子の違いなどについては評価されていない。そのため、Lモード雲とTモード雲の構造の違いに関する理解を深めるためには、雲バンドを直接観測するような広範囲かつ詳細に観測できる気象レーダによる観測が求められる。

加えて、雷活動が比較的高いという結果が得られたLモード雲に焦点を絞り、Lモード雲において雷放電が発生する2017年1月12日2100JST頃の事例について考察を深めた。風向は西北西から西であり、約400回の雷放電が発生し、レーダエコーより雲線が太いのが特徴である。このときのMSM-GPVの初期値データによる850hPa面での水平風と鉛直速度を図3に示す。大陸から風が日本海で収束している様子が顕著である。JPCZの位置は大気圧の配置によって偏在することが知られており、本事例では日本海の中央付近に位置している。このとき、日本海の本州沿岸部では、地形による強い上昇気流が発生している。このことから、北陸地域では、JPCZと地形性による強い上昇気流が雷放電の発生の要因の一つであると考えられる。

### 解析手法3 ～積乱雲のレーダ観測～

魚津観測点設置のKu帯広帯域レーダ観測範囲内にLモード雲、Tモード雲が存在した2017年の4事例について、その特徴を雲頂の高度、気温、雲の体積などの観点から解析を行った。等高度断面図を用いて反射強度20 dBZ以上を条件として抽出したところ、L-mode雲の雲頂の高度と気温は5.8～6.2km、-38～-32℃であり、T-mode雲は3.7～4.7km、-28～-18℃であった。また、L-mode雲とT-mode雲のエコー領域の大きさ(体積)と、単位体積当たりの平均反射強度

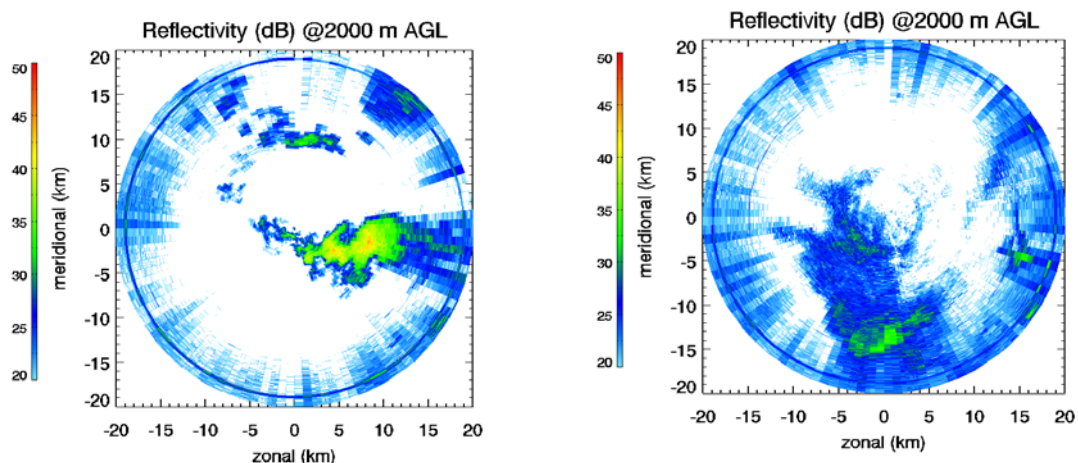


図4. 1月15日04時05分(L-mode雲)(左)と1月22日17時26分(T-mode雲)(右)のCAPPI

を比較したところ、L-mode 雲の体積は 160~300km<sup>3</sup>、単位体積当たりの平均反射強度は 27~29dBZ であるのに対し、T-mode 雲の体積は 80~400km<sup>3</sup>、単位体積当たりの平均反射強度は 23~26dBZ であった。このことから、平均反射強度は L-mode 雲の方が高いものの、雲の体積は L-mode 雲、T-mode 雲ともに特に違いはなかった。一方で、反射強度が大きい領域ほど雲内で雹や霰が多く存在し、電荷分離が生じやすいと考えられるため、各モードの雪雲で反射強度が 40dBZ 以上の強エコー域で同様の評価したところ、T-mode 雲より L-mode 雲の方が強エコー域の体積が大きいことがわかった。これらの結果から L-mode 雲は、T-mode 雲より上層である気温が低い領域まで発達し、その領域では氷晶ができやすいため、氷晶同士が衝突することで雲内において電荷分離が起き、L-mode 雲では雷放電が発生する頻度が高くなると推察している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① Y. Wada, G. S. Bowers, T. Enoto, M. Kamogawa, Y. Nakamura, T. Morimoto, D. M. Smith, Y. Furuta, K. Nakazawa, T. Yuasa, A. Matsuki, M. Kubo, T. Tamagawa, K. Makishima, H. Tsuchiya, Termination of Electron Acceleration in Thundercloud by Intracloud/Intercloud Discharge、査読有、Geophysical Research Letters, Volume 45, Issue 11, pp.5700-5707.

〔学会発表〕(計 10 件)

- ① 中村佳敬, 加藤健太郎, 藤井凌, 紅谷郁弥, 酒井英男, 森本健志, 本吉弘岐  
LF 帯雷受信機の富山湾への展開と冬季雷雲観測  
2018 年電気設備学会全国大会, 2018
- ② T. Morimoto, M. Tojyo, Y. Nakamura, F. Beniya, H. Sakai, M. Shimizu, K. Nagata  
Active and passive remote sensing on lightning and precipitation activities around Toyama Bay, Japan  
The 40th Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2018
- ③ F. Beniya, Y. Nakamura, T. Morimoto, H. Motoyoshi, H. Sakai  
Relationship between Winter Lightning and Snowfall Modes in Japan  
The 16th International Conference on Atmospheric Electricity, 2018
- ④ T. Morimoto, M. Tojyo, Y. Nakamura, F. Beniya, H. Sakai, M. Shimizu, K. Nagata  
High-resolution Study on Lightning and Precipitation Activity by EM Observations in Toyama, Japan  
The 16th International Conference on Atmospheric Electricity, 2018
- ⑤ 浜田一星, 中村佳敬, 紅谷郁弥, 酒井英男, 森本健志, 本吉弘岐, 清水雅仁, 永田広大  
2016 年度冬季北陸地方における雪雲モードと落雷との関係  
日本大気電気学会第 96 回研究発表会, 2018
- ⑥ 紅谷郁弥, 森本健志, 中村佳敬, 酒井英男  
富山湾周辺における LF 帯電磁波を用いた雷観測網構築と初期観測結果  
平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2017
- ⑦ 森本健志, 坂戸雅智, 宮本裕紀, 梶原正鶴, 中村佳敬, 紅谷郁弥, 酒井英男  
LF 帯電磁波を用いた富山湾周辺の雷観測網構築と冬季雷観測  
JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017
- ⑧ 宮本裕紀, 森本健志, 中村佳敬, 酒井英男, 清水雅仁, 永田広大  
広帯域レーダ, 広帯域干渉計および LLS で観測された雷雲と雷活動の時間変化  
JpGU-AGU Joint Meeting 2017. 2017
- ⑨ 坂戸雅智, 森本健志, 梶原正鶴, 中村佳敬, 紅谷郁弥, 酒井英男  
LF 帯電磁波を用いた富山湾周辺の雷観測網構築と初期観測結果  
平成 29 年電気学会全国大会, 2017
- ⑩ 梶原正鶴, 中村佳敬, 坂戸雅智, 森本健志, 紅谷郁弥, 酒井英男  
富山湾周辺の雷位置標定に向けた LF 帯広帯域受信機の初期観測  
日本大気電気学会第 95 回研究発表会, 2017

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：森本 健志

ローマ字氏名：(MORIMOTO, takeshi)

所属研究機関名：近畿大学

部局名：理工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：60403169

研究分担者氏名：本吉 弘岐

ローマ字氏名：(MOTOYOSHI, hiroki)

所属研究機関名：国立研究開発法人防災科学技術研究所

部局名：雪氷防災研究部門

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：70571462

研究分担者氏名：酒井 英男

ローマ字氏名：(SAKAI, hideo)

所属研究機関名：富山大学

部局名：大学院理工学研究部

職名：名誉教授

研究者番号（8桁）：30134993

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。