

## 【学位論文審査の要旨】

(論文審査の要旨)

本学位審査に関して、公聴会および 2 回の審査会を実施し、論文の内容に関する慎重な審査を行った。審査結果について以下のように報告する。

雷放電は 18 世紀頃から広く知られている大気中の電氣的現象である。落雷は、人的被害（死亡や負傷）、家屋火災、森林火災、電子機器の破壊、航空機の運航や地上サービスの障害等の原因の一つとなっている。また、気候変動により将来的な雷の頻度が増えることが予想されており、気候変動予測の指標となりうる。安心安全な社会を実現するために、雷放電の予測精度向上が喫緊の社会的課題となっている。

正確な雷放電の将来予測と直前予測（ナウキャスト）を行うためには、雷雲における電気発生と雲微物理的特徴の関係が重要である。ラジオゾンデ等による雲内の直接観測は、雷雨時の雲内の電界強度や粒子分布を詳細に取得できるが、観測頻度が低く、観測領域も限定されるため、気象予報業務での雷放電予測に使用することは困難である。

このような背景から、遠方の雷雲をリアルタイムで観測できる最新のリモートセンシング技術によって得られる観測データに着目した。本論文は、落雷による自然災害リスク低減のため、さまざまな雷雨に効果的な雷指数を提案することを最終目標として、単偏波レーダによって観測された積乱雲を追跡し、その観測データから統計的に優れた特徴量を抽出する、さらに氷粒子や雨滴の粒子情報を取得できる最新の二重偏波ドップラーレーダ観測によって得られたデータから新たな雷放電指数を提案する。本論文の成果は以下のとおりである。

- (1) 2010 年に関東平野で発生した雷雨を対象事例として単偏波レーダによって観測されたレーダエコーの塊（セル）（雷放電を伴う/伴わない積乱雲）を追跡し、単偏波レーダで観測されたデータの統計的特徴を調べ、a)セルの寿命、面積、エコー高度、鉛直積算雲水量、最大レーダ反射強度および $-10^{\circ}\text{C}$ の等温線高度を考慮したレーダ反射強度の平均値は、雷セルの判別において統計的に有意であること、b)追跡された対地・雲間雷セルの特徴の時間的変化から気温  $0^{\circ}\text{C}$  および  $-10^{\circ}\text{C}$  のレーダ反射強度の変化は雷活動と同期していること、c)鉛直積算雲水量は対地・雲間雷セルでのみ大きな値を示し、雷活動として時間とともに低下する傾向を示すこと、d)対地・雲間雷セルは最も高いエコー高度を示し、その寿命までその高さを維持すること、そして、e)20 分以内に対地雷の発生を予測するためには、「 $-30^{\circ}\text{C}$  高度で 35dBZ レーダ反射強度」を閾値とすると、最も高い雷放電予測スコアとなることを明らかにした。
- (2) 2017 年から 2018 年に関東平野で発生した雷活動を伴う孤立積乱雲を対象事例として雷放電発生頻度と二重偏波ドップラーレーダによって観測から抽出された雲微物

理的特徴の関係について調べ、a)レーダ反射因子 35dBZ を超える氷関連の粒子体積は、対地雷、雲間雷ともに高い相関係数と小さい誤差こと、b)2 番目に相関係数が高いレーダ導出の雲微物理的特徴は、すべての氷関連粒子を質量に換算したものであることを明らかにした、レーダを使用した効果的な雷放電指標には、従来の研究で使用されていたレーダ反射強度のみの体積や霰や雹の体積だけでなく、それ以外の粒子の体積も組み合わせる事が重要であることを示し、レーダ反射強度と雲粒子情報を組み合わせた新たな雷指数を提案した。雷活動に対して雷放電指標の有効性を評価するために、雷発生0分から30分前まで5分ごとに遡るタイムラグ相関を調べ、時間経過に対する特徴から雷活動の直前予測に対して有効な指標となることを示した。

以上、本論文では、単偏波レーダによって観測された雷放電を伴う/伴わない積乱雲を追跡し、その観測データを統計的に調べ、雷活動の盛衰と雲の構造の関係を明らかにしている。二重偏波ドップラーレーダ観測から得られた雲微物理的特徴を検証し、レーダ反射強度と粒子種別情報を組み合わせた新たな雷放電指標を提案し、その指標の有用性を示した。雷予測精度の向上を通して、雷による人的・物的災害リスクの低減、航空業務の安心安全、リモートセンシングデータの効果的な利活用に大きく貢献する有益な成果をあげている。よって、博士（工学）に値する論文と認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上（オンラインを含む）で論文発表を行い、航空宇宙利用工学及び気象学の教員による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。