

令和 3 年 5 月 30 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03739

研究課題名(和文) 落雷特性の多様性の実態把握とその多様性が生じるメカニズムの解明

研究課題名(英文) Study on climatology of lightning diversity and cause of the diversity

研究代表者

岩崎 博之 (IWASAKI, Hiroyuki)

群馬大学・教育学部・教授

研究者番号：70261823

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)： 全球規模の落雷特性の多様性を、多重雷と落雷密度という視点から調査を行った。多重雷が全落雷に占める割合は陸域に比べて海洋上で高くなり、また、陸域では多重雷に伴う雷撃(stroke)の時間間隔は、標高が高いほど短くなることが分かった。これらは多重雷の基本的な特徴は地面状態によって大きく変わることを意味している。また、北陸の冬期雷に特徴的な「一発雷」は、広く全球で観測され、高緯度海洋上と熱帯の太平洋上で出現頻度が高いことが分かった。一発雷は落雷エネルギーは高いと言われて来たが、一発雷の落雷エネルギーの頻度分布は対数正規分布を示し、十分な数の弱い落雷も存在することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

全球規模の解析を行うことで、これまで知られていなかった落雷の多様性を指摘した。この学術的意義は高いと言える。また、一発雷は構造・発達過程が単純なため、落雷エネルギー毎に分類し、事例解析を行うことで、これまで研究が行われていなかった落雷エネルギーの大きさを決める機構についての研究に発展できる。これにより、レーダ観測などから落雷エネルギーの大きさを予測する手法を開発できる可能性があり、特に、北陸地方の冬期雷による落雷被害軽減に役立つと思われる。

研究成果の概要(英文)： The diversity of lightning characteristics on a global scale was investigated from the viewpoint of multiple-stroke lightning (MSL) and lightning density. It is found that the ratio of MSL to total lightning is higher over the ocean than over land, and the time interval between lightning strikes associated with MSL becomes shorter at higher elevations over land. These imply that the basic characteristics of MSL can vary greatly depending on the ground conditions.

The "Ippaturai/single stroke lightning (SSL)" was widely observed globally, and was found to occur more frequently in the high-latitude oceanic regions and the tropical Pacific Ocean. Although it has been said that the lightning energy of SSL is high, the frequency distribution of the lightning energy of a single lightning strike shows a log-normal distribution, indicating that there is a sufficient number of weak lightning strikes.

研究分野：気象学・気候学

キーワード：落雷 多重雷 高エネルギー落雷 落雷気候学 一発雷

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

雷の基本的な特性は、気候学・気象学の視点から十分な研究がなかった。日本周辺では、多重雷や落雷エネルギーが季節や領域により変動するため、その多様性が認められていた。しかし、全球規模の実態は把握されておらず、その多様性が決まる機構の研究もなかった。

2. 研究の目的

本研究では、様々な落雷特性の多様性の実態を全球規模で統計的に明らかにすることを第1の目的とした。しかし、多様性の実態把握ができて、多様性が生じる機構の解明に直結するとは限らない。そこで、積乱雲内部における電荷分離過程で本質的な役割を担っている霰(あられ)の3次元分布を、国土交通省偏波レーダー(Xrain)データを使って推定し、関東地方の熱雷を対象に、霰の時空間変動と観測された落雷特性の多様性との関係を調べ、積乱雲内部の電荷分離過程の視点から考察することを第2の目的とした。

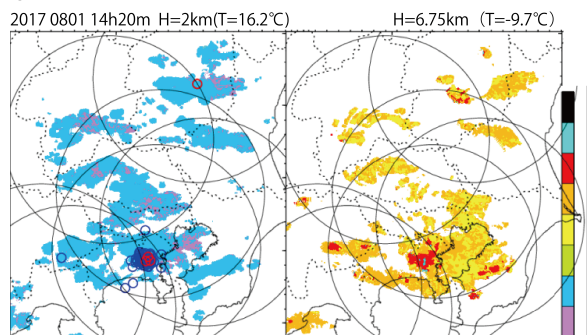
3. 研究の方法

第1の目的については、ワシントン大学から購入した全球落雷データを利用し、1) 多重雷の出現割合、多重度や雷撃間隔、そして、2) 落雷密度に注目して解析を行った。

第2の目的に関しては、Xrainデータの偏波情報から霰の3次元分布の時間変化を調べるシステムを構築し、関東地方の熱雷を対象に、多重度の大きな/小さな落雷やエネルギーの大きな/小さな落雷をもたらす積乱雲の構造の違いを調査する。

4. 研究成果

1) 目的2の成果について



第1図: 熱雷に伴う降水粒子判別の結果と落雷分布。左は高度2km、右は高度6.75km (-10 高度)の結果。落雷の位置は、左図に重ねて示しており、○はIwasaki (2015)の基準に基づく、高エネルギー落雷の位置データある。

多重度の大きさと落雷エネルギーに注目して熱雷の分類を試みた。図1に示す熱雷の粒子判別の結果を見ると、-10 高度(6.75km)にはDryとWetの霰が卓越しており、その近傍で数多くの落雷が観測されている。しかし、○で示した $4 \times 10^4 \text{J}$ の高エネルギー落雷の他にも、100J程度の弱い落雷も発生している。つまり、高or低エネルギー落雷を伴う熱雷に分類はできないことを意味している。同じように、様々な多重度の落雷が共存しているため、多重度に基づく分類も難しい。換言すると、目的2は達成できなかったことになる。

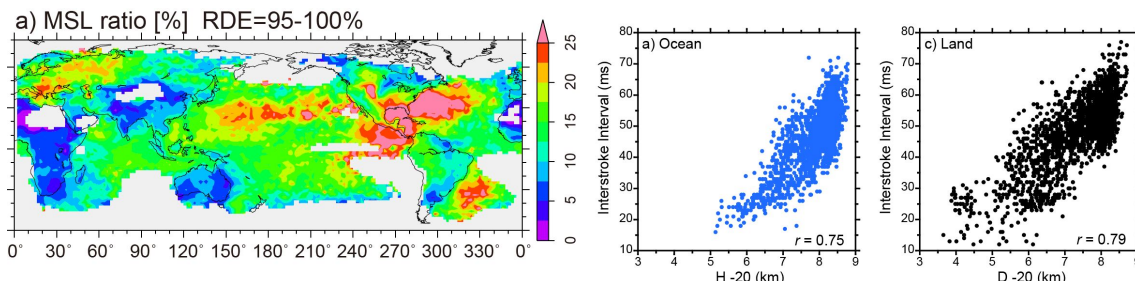
また、多重セルである熱雷では、その構造と発達過程が複雑であり、解析対象とした落雷と熱雷の発達過程の比較することが難しく、目的2の解析を困難にしていた。そのため、熱雷での解析は諦め、構造と発達過程が単純な「一発雷 (= 1回の落雷で、雷活動が終わる積乱雲)」を解析対象とすべく、目的1の全球雷気候学の研究において「一発雷」にも注目した。

2) 目的1の成果1: 多重雷の全球気候学

多くの落雷は1回の放電(雷撃)で終わるのではなく、同じ放電路に何度か放電(雷撃)が繰り返される。これを多重雷(multi-stroke lightning: MSL)という。この多重雷の割合および第1雷撃と第2雷撃との間隔(雷撃間隔)に焦点を当て、全球規模の特徴を明らかにした。第2図に、全落雷に対する多重雷の占める割合の分布を示す。多重雷の割合は、陸域で小さく、海洋上で大きい。陸域の欧州と北米大陸では20-25%の高い値が認められるが、地形との対応は認められない。海洋上では北太平洋の中緯度、東部太平洋の熱帯域と大西洋の南北中緯度で、多重雷の割合が20-25%と高いが、これらの領域の対流動度、雷活動やSST分布などに共通する特徴は認められない。つまり、多重雷の起きやすさを決める原因については不明である。

次に、雷撃間隔の特徴について述べる。第3a図は、海洋上で発生した多重雷の雷撃間隔と霰が存在する-20 高度との関係を示している。両者には高い位相関係があり、-20 高度が高い - つまり気温が高い - と第1雷撃と第2雷撃の時間差が大きくなる(落雷に伴うピカ、ピカの間隔が長くなるように見える)。しかし、海洋の標高は一律に0mなので、電撃間隔を決める要因が、-20 高度(つまり、霰の高度)なのか、地面と霰域までの距離なのかを判断できない。そのため標高差が大きな陸域について、多重雷の雷撃間隔と-20 高度の関係を調べると、相関係数は+0.65となるが(図略)、第3b図に示すように、地表と-20 高度までの距離との相関係

数は+0.79 と高い．地表と-20 高度までの距離が雷撃間隔に，より重要であると考えられる．



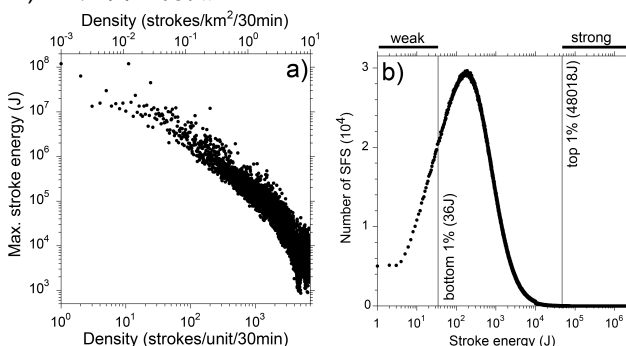
第2図(左): 格子毎に求めた全落雷数占める多重雷の割合．相対検出頻度(RDE)が95%以上の領域を対象とした．
第3図(右): a) 海洋上における-20 高度(ASL)と多重雷の雷撃時間間隔(第1雷撃と第2雷撃との時間差(雷撃間隔)の関係．b) 陸域における地表と-20 高度の距離と多重雷の雷撃時間間隔の関係．

3) 目的1の成果2: 全球規模で見た一発雷の特徴

a) 一発雷の定義と抽出方法:

「一発雷」とは，1回の落雷で雷活動が終わる積乱雲を指す．この一発雷を落雷データから抽出するために，まず，2012-2019年に観測された全ての落雷について，次の2つの基準を使って落雷密度を定義した．つまり，ある落雷について，その落雷から半径15km以内(基準1)かつ±15分以内(基準2)に検出された落雷数を求め，落雷密度[stroke/unit/30min]と定義した．基準1は積乱雲の水平規模，基準2は積乱雲の寿命を想定している．落雷密度が「1」の落雷が，1回の落雷で雷活動が終了した「一発雷」と見なすことができる．

b) 一発雷の特徴:

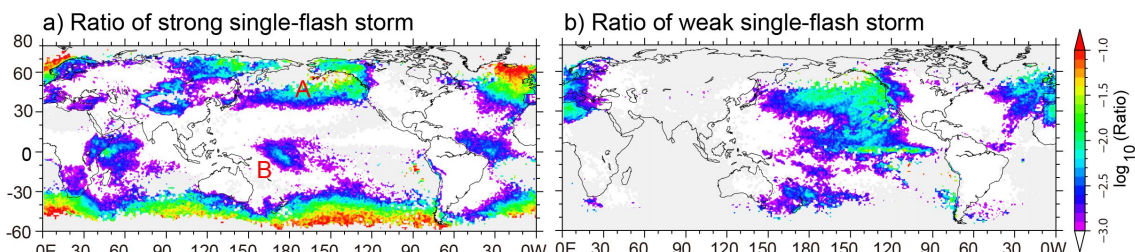


第4図:a)落雷密度毎に見た最大落雷エネルギー．落雷密度=1が一発雷に対応する．
b)一発雷の落雷エネルギーの分布．上位/下位1%の落雷を，強い/弱い落雷と呼ぶ．

1980年代には，一発雷は北陸の冬期雷に特徴的な現象で，大きなエネルギーを伴うと言われていた．しかし，一発雷は全球の至る所で検出され，全落雷数の3.6%を占めている．全球規模で見ると，落雷密度が低い落雷のエネルギーは高くなる傾向が認められ(第4a図)，一発雷のエネルギーが高いという特徴が再確認できる．しかし，第4b図に示すように，一発雷のエネルギー分布は対数正規分布を示し，弱いエネルギーを持つものも存在することが分かる．つまり，単純な構造かつ発達過程の一発雷であっても強い落雷と弱い落雷が存在するため，それぞれを抽出して事例解析を行えば，どのような雲の3次元分布や発達過程を有する積乱雲において，強い/弱いエネルギーを伴う落雷が発生するのかを考察できることを意味している．

次に，強い落雷と弱い落雷を伴う一発雷の地理的特徴を示す(第5図)．南北半球ともに高緯度の海洋上で，強い一発雷の占める割合は10%を超え，これらは冬期の寒気吹き出しに伴い発生している．また，大気条件が全く異なる熱帯海洋上にも，一発雷の割合が高い領域が存在している．一方，太平洋中緯度から熱帯に掛けて，弱い一発雷の占める割合が高くなっている．残念ながら，これらの地理的分布だけでは，強い/弱い落雷の割合が高くなる要因は見当が付かない．

しかし，黒潮続流域(第5図のA)や熱帯太平洋(第5図のB)の領域では，それなりの数の強い一発雷と弱い一発雷が同じ領域で検出されている．特に，B域では，強い/弱い一発雷が発生する期間が異なっているため，それぞれの期間の大気条件の特徴や雲・降水分布を衛星データから調査することで，強い/弱い落雷の割合が高くなる要因を考察できると期待される．



第5図: 全落雷に対する強い一発雷(a)と弱い一発雷(b)の占める割合．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 松井 孝夫、船井 智貴、岩崎 博之	4. 巻 66
2. 論文標題 小型落雷実験装置の開発と中学校における避雷教育への応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 617 ~ 627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24761/tenki.66.9_617	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 H. Iwasaki	4. 巻 40
2. 論文標題 Climatology of multiple-stroke lightning in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int. J. Climatol.	6. 最初と最後の頁 in print
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/joc.6504	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 岩崎 博之	4. 巻 13
2. 論文標題 全球雷気候学	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 大気電気学会誌	6. 最初と最後の頁 81-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小川哲也、芳原容英、岩崎博之、M. Stock、 S. Heckman
2. 発表標題 日本国内で観測されたトータル雷と激しい降水との相関関係の調査
3. 学会等名 日本大気電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松井孝夫・岩崎博之
2. 発表標題 小型落雷実験装置の開発と中学理科での教育実践
3. 学会等名 日本大気電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成田貴一, 岩崎博之, 本島邦行
2. 発表標題 気象レーダを用いた落雷の短時間予測
3. 学会等名 電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎 博之
2. 発表標題 全規模で見た「一発雷」の特徴
3. 学会等名 日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下幸三, 岩崎博之, 藤坂浩史
2. 発表標題 静電界計測に基づいた雷雲充放電監視の初期結果
3. 学会等名 日本大気電気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎 博之
2. 発表標題 全規模で見た「一発雷」の特徴
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩崎 博之
2. 発表標題 全球規模で見た落雷密度と落雷エネルギーの関係
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩崎 博之
2. 発表標題 多重雷の電撃時間間隔を決める要因
3. 学会等名 大気電気学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩崎 博之
2. 発表標題 日本周辺における多重雷の雷撃時間間隔を決める要因について
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松井孝夫・岩崎博之
2. 発表標題 型落雷実験装置の開発と中学校理科での教育実践
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩崎 博之
2. 発表標題 全球規模で見た多重雷の出現特性
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松井孝夫・岩崎博之
2. 発表標題 落雷情報を活用した中学理科における防災教育の実践
3. 学会等名 日本理科教育学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------