

第13回気象文化大賞 研究報告書

課題名： この70年間に雷日数のメソスケール分布は変化したのか？

研究代表者： 岩崎 博之(群馬大学共同教育学部)

第1章. 研究背景と目的

ある観測点で雷が1度でも観測された日を「雷日」とよび、その雷日の総和が「雷日数」である。雷日数は簡便に観測できるため、地点によっては、1910年代からのデータが蓄積されている。これまで日本や世界各地の観測点における雷日数の経年変化の研究が行われ(例えば、Kitagawa, 1989; Dai, 2001; 吉田, 2002; Kepski and Marek, 2022; Xue et al., 2021), 気候変動の有益な指標の1つであることが分かっている。しかし、観測点の数の制約から、これらの雷日数の空間分解能は非常に粗い。一方、活発な雷や豪雨/強雨をもたらす積乱雲活動は、メソスケールの地域性を持つことが大きな特徴であるが、これまでの雷日数データを使っているのは、雷活動のメソスケールの空間変動は検出できない。

中央气象台(1956年から気象庁に改称)は1954-1963年の10年間にわたり、日本全国で1300以上の有人観測点を確保し、雷の観測に注力した。その成果は「雷雨10年報」として月別雷日数分布にまとめられている(気象庁, 1968)。この空間分解能は現在のAMeDASと同程度であるため、積乱雲群に相当するメソスケールを表現できる世界的にも貴重なデータである。一方、近年では、空電の観測に基づく、時間・空間分解の細かな落雷観測データが整備され、空間分解能の高い雷日数分布を容易に算出できる。この空電観測に基づく雷日数分布と雷雨10年報の雷日数分布を比較することで、雷活動のメソスケール分布の変動を明らかにすることができると期待される。これが今回の申請研究の目的である。

しかし、1年の研究期間では最終目標を十分に達成できなかった。この報告書では、雷雨10年報の雷日数データの品質管理の方法と雷日数のメソスケール分布変動の概要を提示するに留める。雷日数のメソスケール分布の変動の詳しい研究については、継続研究とする。

第2章 雷雨10年報の雷日数データの品質管理

1. 雷雨10年報の月別落雷日数について

1) 観測地点

雷雨10年報は、1954-1963年に気象官署(气象台・測候所)と甲種観測所の約1300地点で観測された雷日数が使われている。明治以降の中央气象台・気象庁による気象観測地点は、1府県に1ヶ所程度で設置された測候所等と観測密度を補うために気象観測が委託された区内観測所に大別される。その委託先は市町村役場、学校、駐在

所や個人であり、温度計や雨量計が貸与されていた。時代による変遷を経て、1953年以降も気象観測を継続した区内観測所が甲種観測所である(池田ら, 2000)。

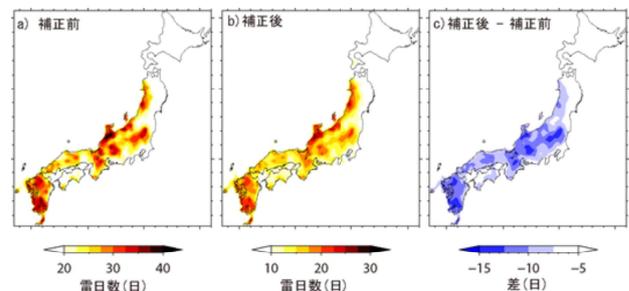
2) 雷日数の定義

気象官署では、1回でも雷電か強度1以上の雷鳴が観測された日を雷日数に加算している(中央气象台, 1950; 気象庁, 2022)。しかし、雷雨10年報では独自の基準を用いている。つまり、気象官署の基準に加えて、強度0の弱い雷鳴が観測された日も、雷日数に加算している。

3) 雷日数の補正と分布の求め方

気象庁(1968)に記載された月別雷日数分布の求め方を、次にまとめる。甲種観測所の雷日数は気象官署に比べて少なく、また、甲種観測所の空間密度が一樣でないため、それらを補正する必要があった。まず、気象官署と甲種観測所のデータから、別々に、緯度・経度0.25度の格子毎に月別雷日数を算出する。1つの格子に複数の観測地点が存在するときは、最大値を採用している。次に、この格子データを基に、雷日数の等値線図を作成し、各格子の月別雷日数を読み取った。なお、雷鳴は落雷地点から10-15km以上離れた地上には届かないため(Few, 1975)、この格子の大きさは雷鳴の可聴範囲に相当する。

1954-1955年の5-9月の関東・甲信域を対象に、気象官署(35地点)と甲種観測所(256地点)の雷日数データに、電力と鉄道関係機関観測所(61地点)の雷日数データを加えて、上記の手法で、より正確な雷日数の等値線図を作成し、各格子の雷日数を読み取り、それを真値と見なした。この真値を求める際には、同雷鳴線図の解析から、日界を超えて、翌日の1-2時を過ぎても雷活動が続いた場合は、1つの事例と考えて、前日のみを雷日としている。



第1図: a) 雷雨10年報の月別雷日数データから求めた年間落雷日数(10年平均値)の分布。 b) 補正を行った月別雷日数から求めた年間雷日数(10年平均)の分布。 c) 差の分布。

そして、真値と気象官署および真値と甲種観測所の雷日数を直線近似して、それぞれの補正係数を、1.22 と 1.43 と求めた。等値線図から読み取った格子毎の雷日数に、この補正係数を乗じて、気象官署と甲種観測所の月別雷日数データを作成し、この2つを統合して、月別雷日数分布の格子データに編集した。第1a図は、それにより求められた年間雷日数(10年平均値)の分布である。

このように格子の大きさや解析方法に細心の注意を払いながら、雷雨10年報のデータは作成されている。しかし、解析者が等値線を描き、そこから数値を読み取る過程には、解析者の主観が混入する余地があった。

2. 気象官署で観測された雷日数

1) 気象官署の雷日数データ

雷雨10年報の精度を検討するためには、真値が必要である。ここでは、気象庁 web サイト「過去の気象データ・ダウンロード」から、1954-1963年に雷日数の欠測がない117地点の気象官署の月別雷日数を入手した。これは各気象台に保管されている地上気象観測月原簿の雷日数と基本的に同じである。これを真値と考え、「気象官署の雷日数」とよぶ。

注意すべきは、前述したように、強度0の弱い雷鳴のみが観測された日は、気象官署の雷日数には加算されないことである。つまり、弱い雷鳴を含む雷雨10年報の雷日数は気象官署の雷日数よりも大きな値となる。

2) 原簿データ

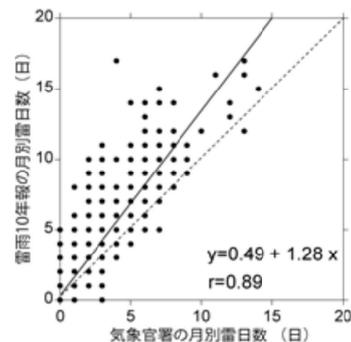
雷雨10年報と気象官署の雷日数の定義が異なるため、精度を確認するためには、強度0の弱い雷鳴の寄与率を知る必要がある。全気象官署を調査するのは難しいので、年間雷日数の極大域の近傍に位置する金沢、新潟、宇都宮と前橋の気象台に保管されている区内気象月表原簿や地上気象観測月原簿の記事摘要から雷鳴と雷電の記号を読み取った。これを「原簿データ」とよぶ。

この原簿データから、雷雨10年報と同じ基準である弱い雷鳴を含めた雷日数Aと、通常の気象庁の基準である弱い雷鳴を含まない雷日数Bの2つの雷日数を求めた。

3. バイアスの実態

1) 2つの雷日数の比較

雷雨10年報の月別雷日数分布図から、117の気象官署が位置する格子の月別雷日数を求め、雷雨10年報の雷日数と比較をした(第2図)。雷日数は整数値なので、散布図の点は多く重なっている。前述したように、雷雨10年報の雷日数には弱い雷鳴も含まれるため、気象官署の雷日数よりも大きな値となる。



第2図: 気象官署(117地点)と雷雨10年報の月別雷日数の散布図。実線は回帰直線を示す。

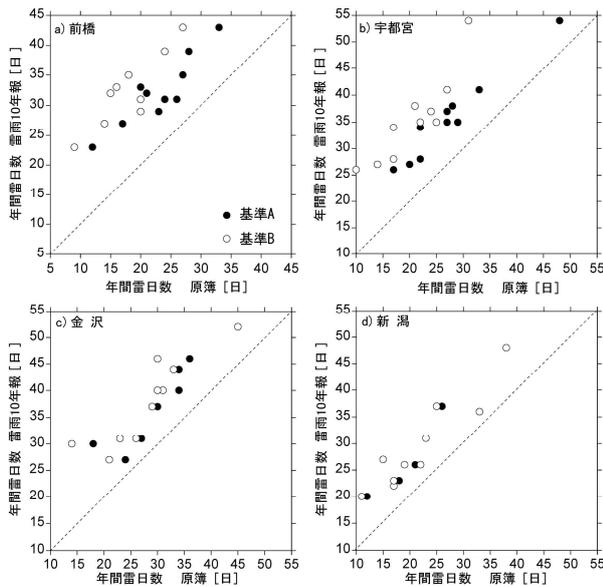
第1表は、雷雨10年報の年間雷日数と気象官署の年間雷日数の10年間平均値である。表の左欄は、年間雷日数の極大域の近傍に位置する気象官署を選び、右欄は雷日数が比較的小さな気象官署を選んでいる。左欄に注目すると、冬期に雷が多い日本海沿岸でも、夏期に雷が多い内陸であっても、観測値に比べて、雷雨10年報の雷日数が1.4-1.7倍多くなっている。右欄の雷日数が少ない気象官署でも、雷雨10年報の雷日数は過大評価されており、その比率は雷日数が多い地域と同程度である。

第1表: 雷雨10年報の年間雷日数, 気象官署の年間雷日数の10年平均値と補正後の雷雨10年報の年間雷日数。雷日数の最大格子は、金沢の1つ東側の格子である。

地点	雷雨 10年報	気象 官署	補正後	地点	雷雨 10年報	気象 官署	補正後
秋田	30.6	20.5	20.7	札幌	14.0	8.4	9.0
新潟	29.6	20.1	19.8	むつ	10.4	7.6	6.7
金沢	37.8	25.2	25.5	八戸	8.5	7.1	5.4
宇都宮	35.5	20.9	20.8	宮古	9.6	7.9	5.8
前橋	32.3	20.2	18.6	盛岡	16.1	9.7	9.7
高山	29.1	17.4	17.3	石巻	11.3	5.8	6.6
福岡	30.2	21.6	21.3	勝浦	15.3	11.8	10.3
鹿児島	34.6	22.6	21.7	室戸岬	26.0	17.9	16.4
最大格子	40.3	-	26.4	松山	20.7	12.8	13.0

2) 弱い雷鳴の日数の影響

第 2 図で示された過大評価の原因が弱い雷鳴の日数だけなのか否かを確認する。年間雷日数の多い金沢、新潟、宇都宮と前橋の原簿データから弱い雷鳴を含む雷雨 10 年報と同じ基準の雷日数 A と含まない気象官署と同じ基準の雷日数 B を求め、それらと雷雨 10 年報の年間雷日数を比較する(第 3 図)。図から明らかな様に、雷日数 A と比較しても、雷雨 10 年報の値は過大評価されている。その差は、雷の少ない年でも 3-5 日、多い年では 10 日を超え、年間雷日数の 25-30%に相当する。これは雷日数の経年変化を解析する際に、無視できない正バイアスである。



第 3 図: 雷雨 10 年報と原簿の年間雷日数の比較。解析地点は、a)前橋, b)宇都宮, c) 金沢, d)新潟の年間雷日数の極大近傍に位置する地方気象台である。原簿データを基に、弱い雷鳴を含む基準 A と含まない基準 B を使って 2 種類の雷日数を求めている。

3) 正バイアスをもたらした要因についての想像

雷雨 10 年報の雷日数が過大評価された原因は不明であるが、次の様に想像している。気象庁の業務の目的の 1 つは、国民や施設を自然災害から守るために、適切な情報を提供することである(中央気象台, 1949; 気象庁, 2023)。戦後から雷雨特別観測が実施された期間には、1945 年の枕崎台風(死者・行方不明者 3756 人)、1953 年の 2 つの梅雨末期豪雨(同 2137 人)、1954 年の洞爺丸台風(同 1761 人)や 1957 年の諫早豪雨(同 722 人)、1958 年の狩野川台風(同 1269 人)、1559 年の伊勢湾台風(同 5098 人)など、大きな気象災害が頻発していた(内閣府, 2022)。この頃の気象庁職員の観測に対する姿勢は柳田(2011)に描かれている。そのような状況下において、解析者は気象災害がもたらす最大の危険度を意識しただろう。そのため、雷日数の多い領域の面積が広がるように等値線を描くことがあったかも知れ

ない。また、等値線分布から雷日数を数値化する作業では、大き目に値を読む傾向があったかも知れない。このような理由で正バイアスが生じたと想像している。

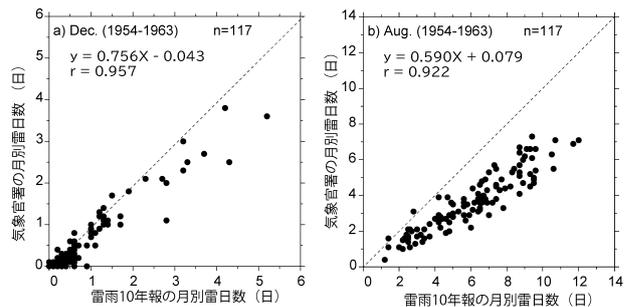
4 補正方法の提案

長期間にわたり同じ基準で観測されている気象官署の雷日数を真値と考えて、雷雨 10 年報の雷日数を補正する方法を検討する。

雷雨 10 年報の雷日数の過大評価の程度は、観測地点や季節によっても変動し、系統性は認め難い。しかし、第 4 図に例示したように、10 年間平均した月別雷日数で比較すると、雷雨 10 年報と気象官署の雷日数には高い相関が認められる。特に、雷が日本海側で多発する 12 月(第 4a 図)と内陸で多発する 8 月(第 4b 図)では相関係数が高い。相関係数が 0.9 未満になるのは、5 月($r=0.81$)、6 月($r=0.86$)と 9 月($r=0.86$)の 3 ヶ月で、落雷頻度が少ない期間に対応する。

回帰式の y 軸切片は小さいので、回帰式の傾きから、冬期(11-2 月)では約 1.3 倍、夏期(7-8 月)では約 1.6 倍に過大評価されていると言える。この回帰式の高い相関係数は、過大評価を補正できる可能性を意味している。つまり、各月のバイアスの特徴が全国で一様と仮定すれば、月毎の回帰式を使うことで、雷雨 10 年報の雷日数を気象官署の雷日数へ変換できる。この月毎の回帰式を使って、雷雨 10 年報の月別雷日数を補正することにする。

但し、雷雨 10 年報の雷日数が 0 日の場合は補正を行わない。また、5 月と 6 月の補正式の精度は低く、y 軸切片の値が大きいため、雷雨 10 年報の雷日数が 1 日の格子も補正を行わない。



第 4 図: 雷雨 10 年報の月別雷日数と気象官署(117 地点)の月別雷日数の比較。a) 12 月, b) 8 月

補正された月別雷日数から求めた年間雷日数の分布を第 1b 図に、補正前と補正後の差の分布を第 1c 図に示す。気象官署の雷日数と雷雨 10 年報の雷日数には強い正の相関があるため(第 4 図)、補正前と補正後の雷日数の等値線は相似の関係がある。つまり、この補正は、分布の形状をほとんど変化させない。また、補正式は、雷雨 10 年報の雷日数の 1 次関数なので、この補正によって雷日数の多い領域の雷日数がより減少することになる。その

結果、第 1a 図と第 1c 図の等値線の形状も酷似することになる。

第 1 表には補正後の年間雷日数も示され、誤差は数%未満である。これまでは年間雷日数の最大値は金沢に隣接した格子の 40.3 日とされていたが、補正により 26.4 日に減少し、金沢の観測値である 25.2 日に近い値となる。

この補正を行うことで、雷雨 10 年報の雷日数に含まれていたバイアスは減少し、気象官署の雷日数と比較することが出来るようになった。

第 3 章 雷日数のメソスケール分布の変動

1. 近年の雷日数分布の算出方法

1) WWLLN データの概要

ワシントン大学により運営されている全球落雷観測網 (WWLLN: World Wide Lightning Location Network) は、雷放電に伴い発生した VLF 波を全球に配置されたセンサーで観測を行い、雷撃(stroke)を検出し、発生時刻・地点と落雷エネルギーを計算している。その時間と位置の精度は十分に高い。落雷の検出率は全球平均で 30%と低いですが、2010 年以降は検出率は安定している。この WWLLN 落雷データを使って、近年の雷日数の分布を求める。

2) 解析期間

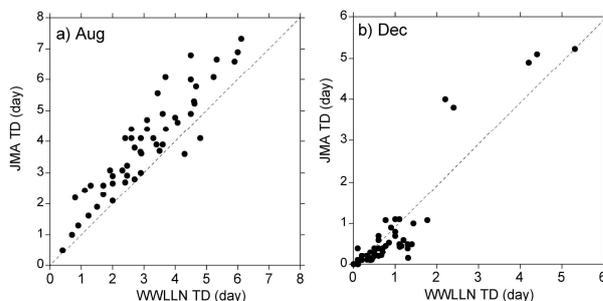
WWLLN 落雷データは電波観測を基にしているため、人間による観測に比べて、何らかのバイアスが存在する可能性がある。そのため、雷雨 10 年報の落雷日数と同じように気象官署の雷日数を真値と考えて、同じ発想で補正を行う。これにより、2 つの雷日数データの品質を近づける。

しかし、気象庁職員による雷観測を行う気象官署は減少し続けている。2010 年は 48 地点で雷観測が行われていたが、2019 年は 43 地点、2020 年には 5 地点に激減した。雷日数の補正は品質管理のために不可欠であるため、近年の雷日数の解析期間は 2010-2019 年の 10 年間とした(期間 II)。

3) WWLLN 雷日数の算出方法

2010 年から 2019 年の WWLLN 落雷データ

を使って、雷雨 10 年報の仕様に合わせて、緯度・経度 0.25 度の格子毎に月別雷日数を算出した。その WWLLN 雷日数と気象官署の雷日数(真値)を比較した結果が第 5 図である。高い正の相関が認められるが、気象官署の雷日数に比べて WWLLN 雷日数は少ない傾向があり、これは WWLLN の検出率が低いことと関係していると思われる。雷雨 10 年報の雷日数と同じように、月毎に得られた回帰式を使って、WWLLN 雷日数の補正を行う。



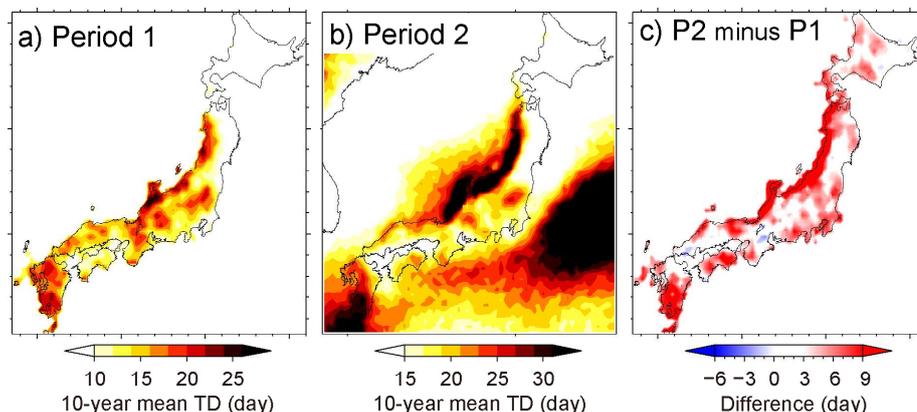
第 5 図: WWLLN データから求めた雷日数と気象官署(48 地点)の月別雷日数の比較。a) 8 月, b) 12 月

2. 雷日数のメソスケール分布の変動

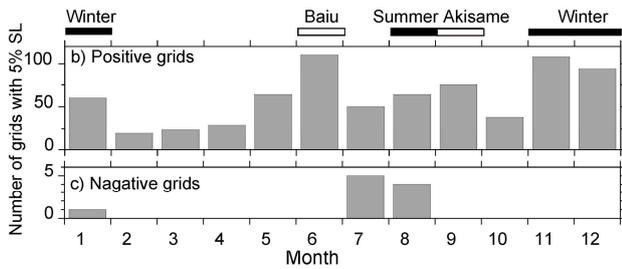
1) 年間雷日数の分布

第 6 図は、期間 I (1954-1963 年) と期間 II (2010-2019 年) の年間雷日数の分布とその変動値の分布である。期間 II は全球落雷データを使っているため、海洋上の落雷日数も表示している。期間 I と期間 II の雷日数分布の形状は、期間 I の近畿地方の極大域を除けば、大きな違いはない。57 年前も雷日数が多い領域は、近年でも雷日数が多いと言える。そして、第 6 図 c に示すように、多くの領域で年間の雷日数が増加し、大きく減少している格子はない。

月毎の雷日数の変動を第 7 図に示す。順位和検定を用いて、5%の有意水準で雷日数が増加/減少した格子を抽出し、その季節変化を示している。冬期(11~1月)と梅雨期(6月)に雷日数が増加した格子が極大に達し、夏期(8月)秋霖期(9月)も雷日数が増加した格子が多い。一方、雷日数が有意に減少した格子は極めて少なく、主に、7-8月の夏期に計 7 格子が認められる程度である。



第 6 図: a) 期間 I (1954-1963 年) と b) 期間 II (2010-2019 年) の年間雷日数の分布。c) 期間 I と期間 II の差



第 7 図: 57 年間に雷日数が有意に増加した格子数(上)と有意に減少した格子数(下)の季節変化。

2) 季節毎の雷日数分布

季節によって、雷日数の変動には特徴がある。第 7 図 a と b は期間 I と期間 II の雷日数の分布である。第 7 図 c は、雷日数の 57 年間の変動値であり、順和検定により、5% の有意水準を満たす増加・減少が認められた格子のみを表示してある。以下に、季節毎の特徴をまとめる。

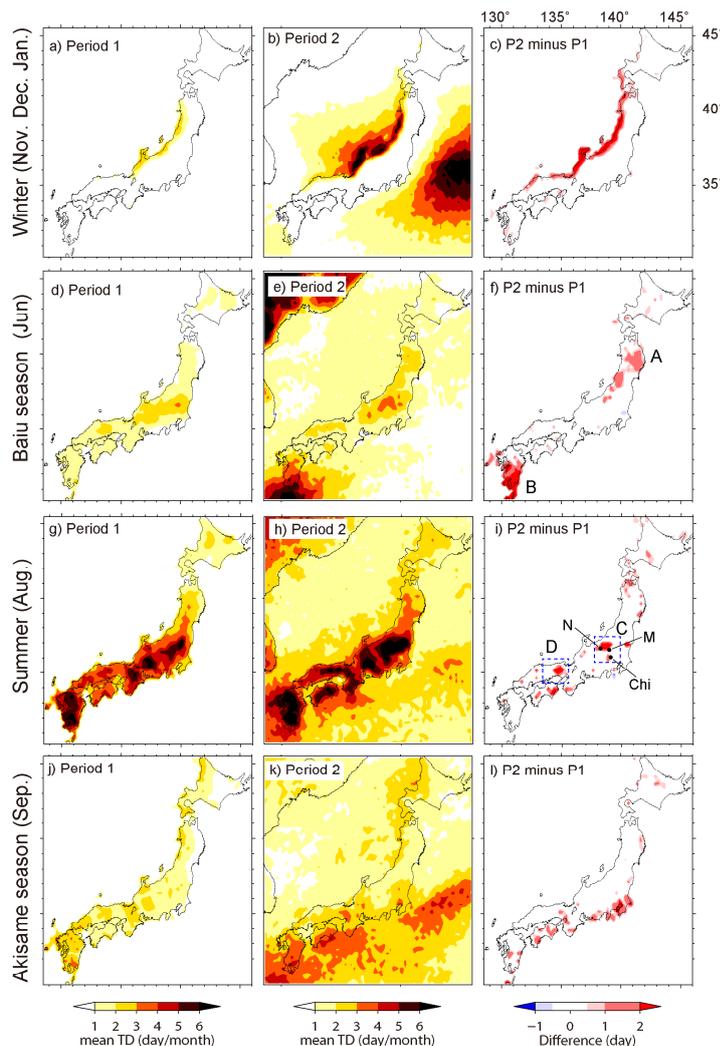
冬期(11-1月): 日本海沿岸の広範囲で雷日数が有意に増加しており、田中(1997)によると、この増加は 1960 年代から確認できる。気象官署周

辺の建築物の高層化に伴い、冬期雷の観測日数が増えたという仮説があるが、増加域は都市域に限らず、連続的に分布するので、建築物の高層化は本質的ではないと言える。

梅雨期(6月): 九州南部(B)と北陸地方(A)で有意な増加が見られ、九州南部では梅雨前線上の擾乱に伴い強い降水と雷が起きている。

夏期(8月): 内陸で雷日数が増加している。高増加域を含む領域 M と D では、標高が高くなると雷日数の増加率が高い(図略)。熱雷が発生する夏期晴天日には、熱的局地循環に伴い山岳域へ水蒸気が輸送されているので、その効果が雷日数の増加に寄与している可能性がある。

秋雨期(9月): 太平洋沿岸で雷日数が増加する格子が見られ、2020 年以降も増加傾向にある。第 7 図(k)の帯状に延びる高雷日数域は黒潮域の秋雨前線に対応しており、黒潮や秋雨前線の長期変動が関係しているのかも知れない。



第 8 図: 冬期(11-1月)・梅雨期(6月)・夏期(8月)・秋雨期(9月)における期間 I(左図:1954-1963)と期間 II(中央:2010-2019)の雷日数分布。57 年間の増減分布(右図)。増減分布は 5% の有意水準を満たす格子のみを表示した。

参考文献

- Dai, A., 2001. Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations. *Journal of climate*, 14: 1092-1111.
- Few, A. A., 1975: Thunder, *Scientific American*, 233, 80-91.
- 池田学, 渡邊幸男, 牛山素行, 2000 . 気象庁における地域気象観測(1) — AMeDAS の展開まで — *水文・水資源学会誌*, 13, 313-319
- Kepski, D. and K. Marek , 2022: Thunderstorm activity at high latitudes observed at manned WMO weather stations. *Int. J. Climatol.*, 42: 7794-7816.
- 気象庁, 1968: 雷雨 10 年報, 気象庁.
- 気象庁, 2022: 気象観測統計の解説. 気象庁.
- 気象庁 , 2023: 気象庁の任務 .
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/intro/gyomu/index1.html>. (最終閲覧日 2024 7/1)
- Kitagawa , N., 1989: Long-term variation in thunder-day frequencies in Japan. *J. Geophys. Res. Atmos* , 94 , 13183-13189
- 日本気象学会, 1998: 気象科学事典, 東京書籍, P104.
- 中央気象台, 1949: 気象業務とは. 中央気象台.
- 中央気象台, 1950: 地上気象観測法. 中央気象台.
- 吉田 弘, 2002: 日本列島における雷日数の地理的分布とその長期的傾向. *天気*, 49, 279-285.
- 内閣府, 2022: 令和 4 年版防災白書. 附属資料 7 .
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r04/onbun/3b_6s_07_00.html. (最終閲覧日 2024 7/1)
- 柳田邦男, 2011 , 空白の天気図, 文藝春秋. (初版本は, 新潮社から 1975 年に刊行)
- Xue, X., Ren, G., Xu, X., Sun, X., Yang, G., Zhang, P., and Zhang, S., 2021: The trends of warm season thunderstorm and lightning days in China and the influence of environmental factors. *J. Geophys. Res. Atmos* , 126, e2021JD034950.