

第14回気象文化大賞 研究報告書

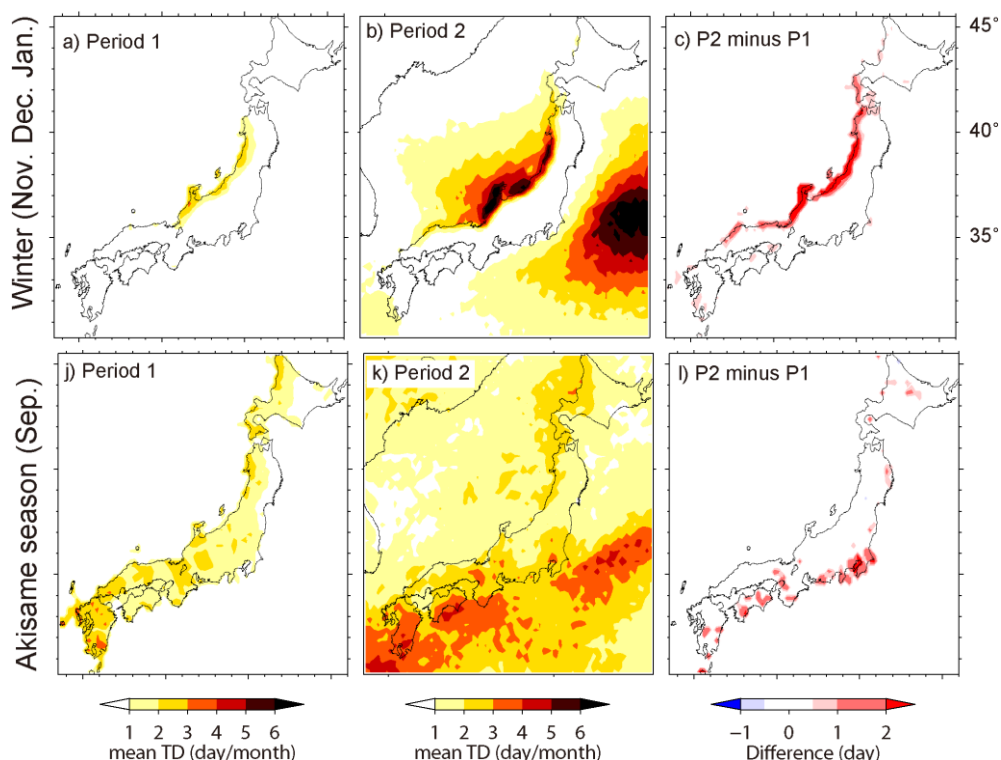
課題名：沿岸域で顕著に見られる雷日数増加の原因

研究代表者：岩崎 博之(群馬大学共同教育学部)

第1章 研究の目的

第13回気象文化大賞の助成研究において、60年前(期間1:1954-1963年)と近年(期間2:2010-2019年)の雷日数分布を比較して、冬期には日本海沿岸において、秋霖期(9月)には太平洋沿岸において、雷日数が有意に増加していることを示したが(第1図)、その増加要因についての議論は行えなかった。そこで、第14回気象文化大賞の助成研究では、日本海沿岸で雷日数が増加する要因についての議論を行う。

申請段階では、地球温暖化に伴い日本海の海面水温が上昇していることから、日本海・太平洋沿岸域の雷日数の増加の主因は近傍の海面水温の上昇という作業仮説に基づいていた。冬期に関しては日本海の海面水温と日本海沿岸域の雷日数との関係を解析し、この作業仮説は正しくないことを示す。また、秋霖期に関しては、黒潮の大蛇行に伴う海面水温の時空間変動と雷日数との関係を調査する計画であったが、黒潮の大蛇行と雷日数との関係は Kato et al (2025)が詳細な解析を行い、その解析結果を見ると、秋霖期の太平洋沿岸における雷日数増加とは無関係であることが分かる。そのため、敢えて、秋霖期の解析は行わなかった。



第1図: 期間1(1954-1963年: aとj)と期間2(2010-2019年: bとk)の雷日数分布, および雷日数の増減分布(cとl)。上は冬期(1-12月), 下は秋霖期(9月)についての図である。雷日数の値は、10年の観測期間の平均値で示されている。期間2については、全球落雷データを用いているので、海洋上の雷日数の分布が示されている。

第2章 冬期に日本海沿岸で増加する雷日数の増加を決める要因

第1図に示したように、2つの期間(1954-1963年と2010-2019年)ともに冬期では日本海沿岸では多くの雷日数が記録され(第1a図と第1b図)、この60年間に、日本海沿岸で雷日数が2日/月(10年平均値)以上増加していることが分かる。冬期雷が発生し始める12月を対象として、どのような要因が雷日数の増加と関係しているのかを調べる。

1. 気象台周辺の高層建築物の増加が原因か？

季節によらず雷は高層建築物の上部に落ち易いことが知られ、冬期雷の落雷密度は建築物の高さの2乗に比例するという試算もある(高田, 2005)。そのため、風力発電用風車の周辺には落雷地点が集中することになる(斉藤ら, 2011)。このような落雷特性を基に、冬期雷の増加の可能性の1つとして、気象台周辺で増加した高層建築物の影響が指摘されている(田中 1999)。この可能性について考えて見る。

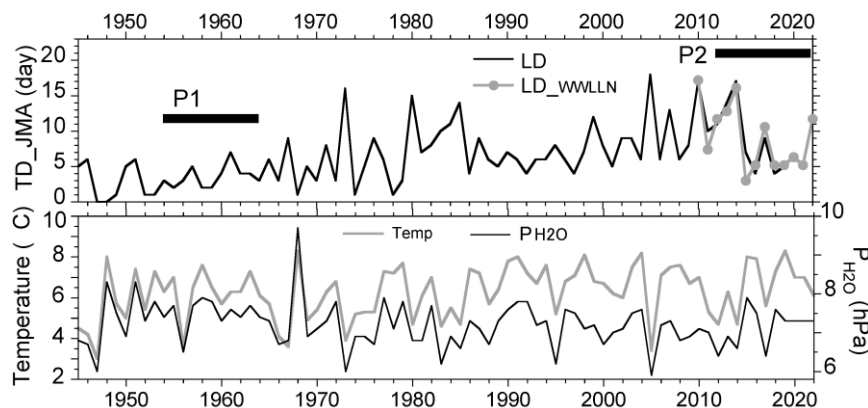
第1c図から、北海道から山陰までの日本海沿岸における雷日数は、一様に増加している。もし、気象台周辺の高層建築物の増加が主因であれば、人口密度が少ない地域では雷日数の増加は抑えられる筈である。この様な雷日数の増加は、建築物の増加が主因ではないことを意味している。

2. 日本海の温暖化が主因か、それとも総観規模場の変動が主因か？

1) 地上水蒸気量の影響

冬期雷をもたらす積乱雲のエネルギー源は水蒸気である。そのため近年の日本海の海面水温の上昇により冬期の水蒸気量が増加し、その結果、積乱雲活動を活発化させ、雷日数が増加している可能性が缶変えられる。この可能性について考える。

第2図は、日本で雷日数が最も多く、2019年まで雷観測が継続されていた金沢地方気象台における12月の雷日数(上)および月平均気温と月平均水蒸気分圧(下)の経年変化である。2015-2020年の雷日数はやや減少しているが、1945年以降の雷日数は有意水準1%を満たす増加傾向を示している。これは田中(1999)や第1c図とも整合的である。しかし、金沢の12月の気温と水蒸気量の経年変化には有意な増加傾向は認められない。このことから、少なくとも12月は、地上水蒸気量の経年変動が雷日数の増加の主因とは考え難い。



第2図: 金沢における12月の雷日数(上)および月平均気温と月平均水蒸気量(下)の経年変化。

2) 外部条件の影響1(総観規模の環境場)

次に、2つの外部条件(総観規模の環境場と日本海の海面水温)の影響について考える。

冬期雷は、寒冷前線の通過前後に発生し易いことが知られている(Takeuti and Nakano, 1977)。この環境場の気象条件を念頭に、輪島の高層気象データを使って、次の3つの条件を満たすと冬期雷が発生し易くなると考え、『冬期雷日指標』を定義する。

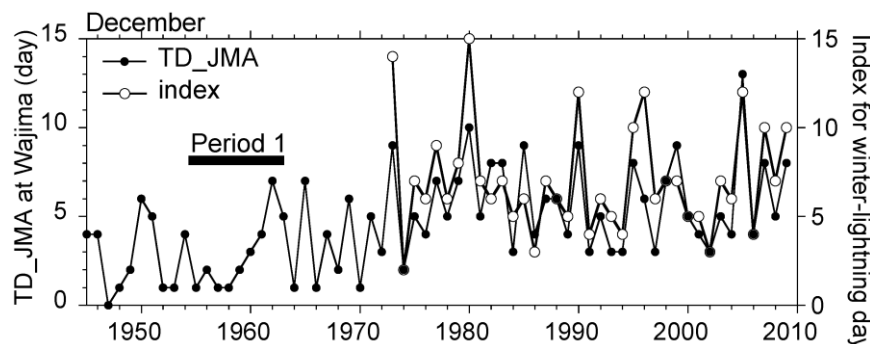
条件1: 850 hPaの風向 $240^{\circ} - 320^{\circ}$

条件2: 850 hPaの風速 $\geq 6 \text{ m/s}$

条件3: Showalter stability index (SSI) $< +8.7^{\circ}\text{C}$

この条件により、寒冷前線の通過に伴い、比較的風が強く、大気が余り安定ではない事例を抽出し、その総数を『冬期雷日指標』とする。12時間毎の高層ゾンデデータを用いているので、3つの条件を全て満たすと、冬期雷日指標に0.5日を加算する。第3図は、12月の輪島の雷日数(TD_JMA)と冬期雷日指標(index)の時系列である。雷日数と冬期雷日指標の年々変動はよく一致しており、両者の相関係数は+0.79に達する。つまり、少なくとも12月に関しては、寒冷前線の通過前後で積乱雲が発達し易い環境

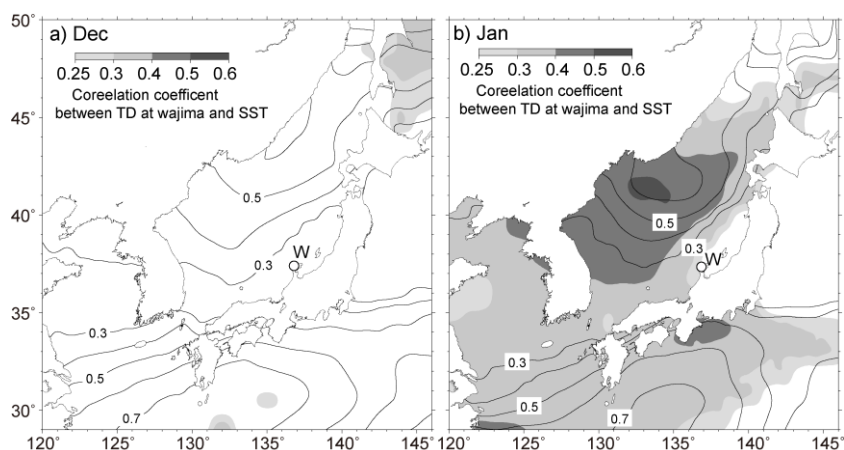
場の頻度が輪島における雷日数を決めていると解釈でき、雷日数の年々変動には総観規模の大気場の年々変動が重要と言える。



第 3 図： 輪島における 12 月の雷日数 (●: TD_JMA) と冬期雷日指標 (○: index) の時系列。

3) 外部条件の影響 2 (日本海の海面水温)

冬期の日本海からは蒸発が盛んに起こり、積乱雲のエネルギー源である水蒸気の供給源となっている (例えば, Ninomiya et al., 2006). 蒸発する水蒸気量は、海面水温の影響を強く受けるため、海面水温の年々変動が雷日数の年々変動に影響する可能性がある。そこで $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 毎に編集された月平均海面水温データである cobe2_sst (Ishii et al. 2005) を用いて、この可能性を検討する。第 4 図の等値線は海面水温の長期トレンド (1945–2009 年) の相関係数であり、12 月と 1 月の海面水温は日本海全領域で増加傾向にあるが、日本海の沿岸では相関係数は高くない。



第 4 図： 影域は、12 月と 1 月における輪島の雷日数と各格子の海面水温の年々変動の相関係数の分布を示す。等値線は、各格子における海面水温の長期トレンドの相関係数である。共に有意水準 5% を満たす領域のみを記載している。解析期間は、1945–2009 年である。

日本海の海面水温と輪島の雷日数の関係に注目する。第 4 図の等値線と影域は、それぞれ、cobe2_sst の各格子における海面水温の長期トレンドの相関係数、および輪島の雷日数と各格子の海面水温の年々変動の相関係数の分布である。輪島の 12 月では日本海の海面水温と雷日数の年々変動には有意な相関を示す領域は存在しない (第 4a 図)。これは、輪島における 12 月の雷日数の年々変動に、日本海の海面水温の年々変動は寄与していないことを意味する。第 2 図に示したように、12 月の金沢の雷日数と地上水蒸気量の変動に有意な相関が見られなかったも考慮に入れると、次の様に解釈できる。つまり、12 月の日本海の海面水温は有意に上昇しているが、海面からの水蒸気供給に伴い積乱雲の活動度が強化され、雷日数の増加の主因になっているとは考え難い。それよりも、第 3 図に示したように、冬期雷が発生し易い総観規模場の長期変動が雷日数の増加に影響していると考えの方が自然であろう。

4) 日本海の海面水温が雷日数に与える影響の季節による違い

第 4b 図の 1 月についての輪島の雷日数と各格子の海面水温の年々変動の相関係数の分布である。

12 月とは異なり, 日本海全域の海面水温と輪島の雷日数には有意な相関が認められている。そして, 相関係数が最大 ($r > +0.5$) を示す領域は, 海面水温の長期トレンドの最大相関係数 ($r=+0.6$) を示す領域と一致している。この 1 月の特徴は 12 月の特徴 (第 4a 図) とは全く異なり, 日本海の海面水温の年々変動が雷日数の年々変動に与える影響の仕方は, 季節によって変化している可能性を意味している。

このような季節依存性という視点からの冬期雷の研究は行われていない。冬期雷の基本的な特徴が記述されていないのが日本の雷研究の現状とも言える。季節依存性のみならず, 気象学・気候学の知識に基づいた冬期雷の研究が必要と考える。

第 3 章 助成期間に出版された論文

この 1 年間, 申請課題を遂行すると同時に, 前年度の助成研究で得られた研究成果を深化させ, 次の 2 つの論文にまとめた。

1. 雷雨 10 年報の精度に関する研究成果

岩崎博之, 2024: 雷雨 10 年報の雷日数に含まれるバイアスとその補正方法. 天気, **71**, 497-502.

2. 過去 60 年間における雷日数のメソスケール分布の変化に関する研究成果

Iwasaki, H., 2024: Mesoscale variations in the number of thunder days over the Japanese archipelago during the past fifty-six years. *Int. J. Climatol.*, **44**, 5655-5666. doi:10.1002/joc.8658

引用文献

齋藤幹久, 石井勝, 大西淳之, 藤居文行, 松井倫弘 と 夏野大輔, 2011. 風力発電用風車に対する冬季雷による雷撃頻度. 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), **131**, 979-985.

高田吉治, 2005. 連載その 3 雷. 風力エネルギー, **2**, 54-62.

田中明夫, 1999, 冬季雷増加の背景について: 東京管区気象研究会誌, **31**, 248-249.

Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto and T. Matsumoto, 2005: Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century using ICOADS and the KOBE Collection. *Int. J. Climatol.*, **25**, 865-879.

Kato, M., Tachibana, Y., Kasuga, S., Sato, H., Shigeta, E., and Matsui, M., 2025: Influence of the Kuroshio system and its large meander on the incidence and interannual variation in lightning strokes. *Journal of Climate*. **38**, 3487-3501.

Ninomiya, K., Nishimura, T., Suzuki, T. and Matsumura, S., 2006: Polar-air outbreak and air-mass transformation over the east coast of Asia as simulated by an AGCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 47-68.

Takeuti, T. and Nakano, M., 1977. On Lightning Discharges in Winter Thunderstorm. Electrical processes in atmospheres: proceedings of the Fifth International Conference on Atmospheric Electricity held at Garmisch-Partenkirchen (Germany), 2-7 September 1974.