

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	Novvria Sagita
論文題目	Studies on Atmospheric Environmental Predictors and Large-Scale Climate Influences on Thunderstorm Events over Indonesia （インドネシアにおける雷雨発生に及ぼす大気環境予測因子および大規模気候影響に関する研究）		
（論文内容の要旨）			
インドネシアは熱帯に位置し、雷雨が高頻度で発生して社会に顕著な影響を及ぼしうることから、雷雨発生の気象条件を理解することは重要である。雷雨活動に影響する気象条件は、一般に大気的不安定性が重要であり、加えて、インドネシアにおいてはエルニーニョ・南方振動やインド洋ダイポールといった大規模気候条件が雷雨発生の気象条件を変調させる。先行研究では、雷雨発生に関与する気象条件ならびにエルニーニョ・南方振動やインド洋ダイポールといった大規模変動による雷雨発生条件の変調を包括的には調査されていない。そこで本研究は、最初に、インドネシアにおける雷雨活動に影響を及ぼす環境予測因子を明らかにし、次に、エルニーニョ・南方振動およびインド洋ダイポールの組み合わせによる気候場がインドネシアの雷雨活動に及ぼす影響を解明することを目的とする。 雷雨活動の環境予測因子の解析では、2014～2022年を対象期間とし、地上雷観測網や日降水量データを組み合わせて雷雨日を定義し、欧州中期予報センターの長期再解析データを用いて気象条件を調べた。対流圏の安定度や水蒸気量に関する一連の指数を算出し、正規化したうえで、ロジスティック回帰により最適な環境予測因子とその閾値を同定した。解析の結果、水蒸気量に関連した条件、特に可降水量や対流圏中層の相対湿度が、雷雨日と非雷雨日との違いを明瞭に判別し、インドネシアでの雷雨活動を診断する上で最適な環境因子であることが示された。また、受信者操作特性曲線による解析から、これら環境因子の最適な閾値を決定し、インドネシア全域で雷雨活動度を診断できることを示した。 次に、エルニーニョ・南方振動およびインド洋ダイポールといった数年周期の大規模変動の影響を調べるため、解析期間を1993～2022年とし、エルニーニョ・南方振動とインド洋ダイポールの位相別に9つの気候モードに分類した。衛星観測や地上観測による雷データから、9つの気候モード別に雷雨活動度を算出し、大気再解析データから背景となる大規模場を調べた。解析により、エルニーニョ・南方振動とインド洋ダイポールの各位相によって、インドネシアでの雷雨活動の空間パターンが大きく変化していたことが分かった。これら空間パターンは、可降水量や鉛直積分水蒸気フラックス収束の偏差場と関連していた。正のインド洋ダイポールを伴うラニーニャ時は、インドネシアの多くの地域で雷雨活動を抑制する。一方、負または中立のインド洋ダイポールを伴うエルニーニョ時は、インドネシア西部で雷雨活動を増大させ、この増加傾向は西側ほど顕著であった。こういった雷雨活動の空間分布の違いは水蒸気量が増加または減少する地域を診断することで説明でき、水蒸気量に係る条件によって雷雨発生ポテンシャルが高い地域を同定することができる。 以上により本研究では、両大洋に囲まれた地域というインドネシアの気候特性を考慮し、孤立性積乱雲に見られるような局地的雷雨の活動度に及ぼす環境条件を、水蒸気量や相対湿度により特徴づけられる環境因子により整理した。また、エルニーニョ・南方振動やインド洋ダイポールの両者がインドネシアの背景場を決めることに着目し、両者の位相毎に分類して雷雨活動を診断した。			

(論文審査の結果の要旨)

世界で最も海面水温が高い海域において多数の島で構成されるインドネシアは、対流活動が活発な地域であり、熱帯地域に特有の孤立性の積乱雲が対流活動の主体であると考えられる。積乱雲発達の大気環境は、熱帯の気候特性の影響を受けるとともに、太平洋やインド洋で見られる大規模な長期的変動の影響も受ける。海大陸としても知られるインドネシア域は、大小多数の島で構成され、両大洋の固有の振動の影響も受けることから、そこでの対流活動は科学的に興味深い。また、そういった積乱雲が、時に落雷や豪雨をもたらし、局地的な災害に繋がることから、その発生の診断や予測は重要な課題である。本研究は、積乱雲活動の中でも雷を伴う現象に着目し、地上観測・衛星観測・大気客観解析データを用いて、インドネシアでの雷雨活動に影響を及ぼす気象条件の特徴を明らかにした。太平洋やインド洋で見られる大規模な長期的変動として、エルニーニョ・南方振動およびインド洋ダイポールに着目し、それぞれの変動の位相状況が及ぼす気候特性に着眼した。

最初に、インドネシアでの9年分の雷観測データや降水量データから雷雨日を定義し、非雷雨日と比較することにより、雷雨発生時の気象条件を長期再解析データにより調べた。解析に用いる再解析データとして、まず主要な再解析データを3つ選び、ラジオゾンデによる実測値と比較した上で、欧州中期予報センターの再解析データを選定しており、解析の根幹となるデータを慎重に選定したことは評価できる。解析の結果、水蒸気量や対流圏中層での相対湿度の条件が、雷雨発生を十分に識別できることを明らかにした。これにより、再解析データのような格子点解析値からインドネシアの全域で雷雨の活動度を診断することが可能となり、科学的にも実用的にも意義深い手法を提案できたものと高く評価できる。

次に、太平洋とインド洋の長期変動として代表的なエルニーニョ・南方振動およびインド洋ダイポールによる大気場への影響に着目し、30年分の長期のデータから、エルニーニョ・南方振動とインド洋ダイポールの位相別に9つの気候モードに分類することで、それら長期変動による雷雨活動度への影響を調べた。統計的な有意性に注意し、9つの気候モード別に雷雨活動に影響を及ぼす気象条件とその地域特性を明らかにした点が、本解析の独自性を示すものとして評価できる。ラニーニャ時またはエルニーニョ時であっても、インド洋ダイポールの位相によって、インドネシアの広域で見ると、雷雨活動を活発または不活発にする気象条件が地域的に異なることが分かった。この違いは、水蒸気量の大小とそれをもたらす水蒸気輸送の空間パターンの違いに起因することが示された。このことから、エルニーニョ・南方振動およびインド洋ダイポール双方の気候モードの位相の組み合わせによって、水蒸気場のインドネシアでの空間パターンを変化させ、雷雨活動が変調を受けるとということが分かった。こういったインドネシアでの雷雨活動に関する視点は、本研究が独自に示したものとして高く評価できる。

以上の通り、本研究は、インドネシア域での雷雨の活動度に影響を及ぼす環境予測因子を明らかにし、太平洋とインド洋のそれぞれの固有の長期変動としてエルニーニョ・南方振動およびインド洋ダイポールに着目し、それら変動の組み合わせにより決まる気象場の特徴を解明した。このように本研究の成果は、メソスケール気象学や熱帯気象学の発展に貢献したものとして高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和8年1月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降