

氏名	竹見哲也
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2051号
学位授与の日付	平成11年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Studies on the Structure, Evolution, and Maintenance Mechanism of a Severe Squall Line in an Arid Region (乾燥地における激しいスコールラインの構造・発展及び維持メカニズムに関する研究)
	(主査)
論文調査委員	助教授 里村雄彦 教授 廣田 勇 教授 木田秀次

論文内容の要旨

砂漠のような乾燥地では水蒸気量が少ないために組織化した雲システムは発生しにくいと考えられる。しかし時には雲システムが発達することがあり、それらには強風や砂嵐といった自然災害を引き起こすものもある。本論文は、乾燥地における雲システムの構造・発達及び維持メカニズムを、観測データの解析と数値モデル実験によって総合的に研究したものである。論文の内容は大きく分けて3つからなる。

まず最初に、1993年5月5日に観測された激しい砂嵐を伴うスコールラインの気象衛星画像と高層ゾンデを用いたデータ解析を行った。気象衛星画像から、スコールラインは総観規模の寒冷前線の前面に発生し、その発達段階においては寒冷前線より高速で移動するようになって、独自のメカニズムで持続するようになったことを示した。

高層観測データを用いてスコールラインの鉛直構造を調べた結果、下層には前方の暖気よりも15度以上も気温が低い冷気プールが形成されていること、その冷気プールの厚さは2kmに達していることが明らかになった。また、冷気プール中の相対湿度と水蒸気量は、前方の暖気塊に比べて上昇しているが、スコールラインに伴う降水はごく微量しか観測されなかった。以上のことからスコールラインに伴う降水は雲底下ではほぼ完全に蒸発し大気を強く冷却したことが示唆された。

さらに、対象としたスコールライン前方の下層大気の成層の不安定度は小さく、その不安定のエネルギーを表す対流有効位置エネルギー(CAPE)は、米国などの他のスコールラインの発生環境で報告されている値に比べてかなり小さいことが分かった。このスコールライン前方では深く乾燥した対流混合層が発達し、その高さは日中においては約4.3kmにも達していた。

また、水蒸気フラックス解析も行い、スコールラインに供給された水蒸気は総観規模の移流ではなく、局地的な循環によってもたらされたものであることも示した。

次に、乾燥した深い混合層中での雨の蒸発について、簡略化した鉛直1次元モデルを作成し数値計算を行った。初期条件として、中国砂漠地域で見られる混合層の平均的な構造と観測されたスコールラインのパラメータを考慮した条件を与えた。その結果、雨がすべて蒸発して地上での降水が見られなくても地上気圧の上昇や湿度の上昇が観測されること、混合層上部での総降雨量が同じとすれば降雨強度が強いほど雨の蒸発量が多くなるという基本的な特性が明らかになった。したがって本論文のスコールラインの場合、その雨は乾燥混合層中で蒸発してしまうことが十分ありうることを示した。

最後に、非静水圧雲モデルを用いた2次元数値実験を観測された気象条件下で行い、長時間持続するスコールラインをモデル内に再現し、かつ、そのスコールラインの下に温度の低い冷気プールが形成されることと降水をほとんど伴わないことという観測事実も再現することに成功した。蒸発物質の解析から、この冷気プールの形成には雨の蒸発冷却効果が大きく作用していることが分かった。

さらに、データ解析で示された深い混合層の役割に注目し、混合層の深さとその層内における水蒸気の鉛直分布を変化させた感度実験を行った。その結果、深い混合層の存在がスコールラインの維持に必要であることが分かった。また最も持続するスコールラインが発達する条件として、深い混合層とその層内の水蒸気量の鉛直分布が様に近いという条件が必要であることを明らかにした。この条件でシミュレートされたスコールラインでは、混合層上部の湿った気塊が対流雲の発達に寄与し、混合層下部の乾燥した気塊が地上の冷気プールの強化に寄与することも明らかとなった。これは通常の水蒸気量の大气中でのスコールラインの場合と異なるので、その理由について考察し、混合層上部の気塊はゼロでないCAPEを持ち、かつその気塊の高度と自由対流高度との高度差が小さいために深い対流の発達に寄与することを明らかにした。

乾燥した環境において境界層の構造が深い混合層・様に近い水蒸気の鉛直分布という条件を満たすときには雲システムは長時間持続しうることが予測される。このような境界層の構造は中国砂漠地域だけでなくサハラ砂漠やその周辺地域、米国北中西部においても報告されているので、このような地域で境界層の観測から激しい気象現象を伴う雲システムの発達・維持の予測が可能であることを指摘した。

論文審査の結果の要旨

砂嵐は中国、アフリカ、アメリカなど世界各地の砂漠地域においてしばしば報告されているが、砂漠における観測データの少なさから砂嵐とその発生原因についての解析は、及ぼす影響の大きさにも関わらずほとんど行われて来なかった。最近、Mitsutaら（1995）は砂漠地域における日中共同気象観測のデータを利用し、1993年5月5日に中国砂漠地域で発生した大規模な砂嵐の解析を行い、それがスコールラインと呼ばれるバンド状に組織化した積乱雲システムに伴うものであることを明らかにした。これまで中緯度や熱帯地方のスコールラインの解析・数値実験の研究は多いが、水蒸気混合比で数 g/kg しかない極度に乾燥した砂漠地域で長時間持続するシステムの構造やメカニズムは明らかではなかった。

本申請論文は、観測された上記の激しい砂嵐を伴うスコールラインのデータ解析、1次元簡略数値モデルによる雨滴の蒸発効果の見積、2次元大規模数値モデルによる当該スコールラインの維持機構の究明、という3つの部分に大別される。

最初のデータ解析では、気象衛星画像、高層天気図、地上観測、高層ゾンデ観測データを用いて、スコールライン通過時の地上気象要素の時間変化、その結果を加味した高層ゾンデ観測データ解析によるスコールラインの東西-鉛直断面の提示、水蒸気源の推定を行った。特に、地上気象要素の時間変化を反映させることにより細かな水平構造まで解析したスコールラインの東西-鉛直断面図は、観測データの少ないこのような乾燥地における激しい砂嵐を伴うスコールラインの詳しい鉛直構造を示した最初の結果である。これにより、乾燥地のスコールラインの特異な構造、即ち、典型的な中緯度・熱帯スコールラインのもつ冷気塊の数倍の強さ・厚さを持つ冷気塊が、やはり通常の数倍の厚さの対流混合層内を進んでいくということが示され、今後、乾燥地上空の対流雲擾乱を考える際の一つのモデルになると思われる。

次の簡略モデルによる雨滴の蒸発の計算では、単に雨滴が落下する際に乾燥した混合層内で蒸発するというだけでなく、混合層上端で総雨量を固定して雨量強度を変化させるという計算を行った。この計算により、雨量強度が強いほど蒸発量が多くなり地上での総雨量が減少するという結果を導き、激しいスコールラインの強い雨の下でも地上ではほとんど雨を観測しなかったという観測事実を説明している。巧みな状況設定により観測事実を解釈した計算と評価できる。

3番目の2次元数値モデルによるシミュレーションにおいては、深い混合層と鉛直にほぼ様な水蒸気鉛直分布が、長時間持続するスコールラインの維持に必要であることが示されている。この条件は、地上付近の対流有効位置エネルギー（CAPE）が小さくなるという不利な条件である。しかし、混合層上部の気塊が対流雲発達に寄与するという事実を計算結果から見出し、地上ではなく混合層上部の気塊を考えるとCAPEも自由対流高度も有利な条件となっているという合理的な解釈を提示した。これは、数値実験の特色を生かした巧みな分析と評価できる。このようなスコールライン循環と維持機構の描像は、乾燥した大気条件に特有なものであり、湿潤地で見られるスコールラインのものとは大きく異なっている。

本申請論文は、数少ない観測データを組み合わせて解析することにより乾燥地域の激しい砂嵐を伴うスコールラインの鉛直構造を明らかにし、数値的研究によってその構造や維持機構の定量的な力学的・熱力学的解釈を行ったものである。このことは、申請者の力量を立証するものであるとともに、対流圏気象学特に乾燥地のメソスケール気象学の分野に新しい知見をつけ加えたと判断できる。この乾燥地スコールラインの構造と維持機構の解明により、今後の研究の発展に繋がる有効な

概念モデルが提供された。よって、これらの観点から、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。
調査委員会は、平成11年2月1日、主論文および参考論文に示されている研究業績の他、関連した分野について試問を行った結果、合格と認めた。