

学位論文題名

Studies on Microscale Phenomena Responsible
for Low-Altitude Wind Shear

(低層ウインド・シアをもたらすマイクロスケール現象の研究)

学位論文内容の要旨

地面付近のごく狭い範囲で風が急変する状態を低層ウインド・シアという。離着陸時の航空機がこれに遭遇すると揚力やドリフト速度が急変するため、航空機の安全運航上最も注意すべき要素の1つとして、最近にわかに注目されるようになった。しかし、この状態を直接もたらす大気現象の構造や発生メカニズムなどについては十分明らかにされていない。

この研究は、航空機が低層ウインド・シアにしばしば遭遇することで従来から知られているいくつかのメソスケール現象(水平スケールが10km程度以上の現象)について、その中にどのようなマイクロスケール現象(水平スケールが数km以下の現象)が組み込まれているかを解析し、低層ウインド・シアを直接もたらすのは当該メソスケール現象ではなく、そこに組み込まれているマイクロスケール現象であることを明らかにしたものである。マイクロスケール現象を捕らえるため、主としてドップラレーダーが利用された。

この論文は10章からなっている。第1章は緒言で、低層ウインド・シアがわが国の航空交通の安全に脅かしている現状を示し、この研究で対象とするメソスケール現象が(1)水平スケールが比較的大きいダウンバースト、(2)海風前線帯、(3)地形的に生じた風の不連続帯、(4)メソスケール寒冷前線、の4つであること述べた。(1)と(4)は降水時の、他は晴天時の現象である。

第2章～第5章まではダウンバーストを扱った。わが国におけるダウンバーストの発生状況やその特徴はまだほとんど知られていない。このため第2章ではまず、「わが国で発生した激しいダウンバーストは雹をとともなうことが多い」ことを統計的に明

らかにした。第3章では岡山ダウンバーストを解析し、電が激しいダウンバーストを生じさせる本質的な要素であることを例示した。また、多種類のデータを有機的に組み合わせるダウンバーストを特定する方法を示した。さらに第4章では、他の2件のダウンバーストの解析結果を示した。第2章の統計結果や第3～4章の解析結果から、「わが国で発生した激しいダウンバーストは水平スケールが小さく、かつ電を伴う」という特徴が明らかになった。

この特徴を更にはっきりさせるため第5章では、水戸市で発生した水平スケールの比較的大きなダウンバーストを対象に、その中に組み込まれているマイクロスケール現象を、ドップラーレーダーを用いて解析した。その結果、(1)1つの大きなダウンバーストの中で、水平スケールが1km程度の小さなマイクロバーストが電を伴ってつぎつぎに発生したこと、および(2)これらのマイクロバーストに先行して、水平スケールがやはり1km程度の小さな電域が、各マイクロバーストの発生地点上空に存在していたこと、が判明した。激しいダウンバーストの水平スケールが小さいことは、上空の電域が同じように小さいためと考えられる。更に水戸ダウンバーストの解析から、対流セルへの乾燥空気の流入を示す「レーダー反射強度のノッチ」が大気中層に継続的に存在していたことを見いだした。これらの事実は、上空の電域と乾燥空気が小さなスケールの激しいマイクロバーストを次々に発生させたことを示すものである。

第6、7章では、晴天時のメソスケール現象に組み込まれている2つのマイクロスケール現象を扱った。わが国では、低層ウインド・シアが原因であると思われる最近の2件の航空機事故は、いずれも晴天時に発生した。このことがこの現象を扱った動機である。すなわち第6章では、海風前線帯付近の一般風場を解析し、マイクロスケールの強風核が一般風場に複数組み込まれていることを発見した。強風核は高度数百mを中心に存在し、その直径も数百mであった。これらの強風核は、低層ウインド・シアを助長するものと評価された。

第7章は、関東平野に地形的に生じた風の不連続帯を解析した結果を述べたものである。この不連続帯に組み込まれているマイクロスケール現象として、「一般風と平行な、幅1～2kmの、複数本の強風バンド」を発見した。その内の一本が極めて強い低層ウインド・シアを発生させていた。この強風バンドは水平ロール対流の結果生

じたものであると考えられる。水平ロール対流の生成には、下層ジェットが境界層内にもたらした水平風の鉛直シアと日射による地面加熱が寄与していた。

第8章は、上越の三国峠付近から関東平野に流入した寒気が同平野に形成したメソスケールの寒冷前線を解析した結果を述べたものである。ここに組み込まれていたマイクロスケール現象は、同前線面に沿って並ぶ複数の降水核であった。低層ウインド・シアは降水核の付近で助長され、降水核付近以外では弱いことを見いだした。前線帯の構造として、「地面付近では、前線面の勾配がほぼ垂直で前線帯の厚さは2～3 km。高度1 km以上では降水核が数 km 間隔で前線帯に沿って並び、降水核の前面で上昇流、後面で下降流が存在する」などが明らかになった。

第9章は考察である。最初に「統計調査や被害調査、メソスケール解析を総合することで、わが国のダウンバーストの実態がかなり明らかになったこと」を述べた。次に、「低層ウインド・シアは、メソスケール現象中では0～9 m/s/kmと小さいのに対し、マイクロスケール現象中では10～18 m/s/kmとかなり大きいこと」を示し、激しい低層ウインド・シアを直接もたらすのは、マイクロスケール現象であることを主張した。さらに、地形や日射がマイクロスケール現象を発生させる要因になること、地上の風向風速計では探知が困難な低層ウインド・シアがあることなどを議論した。加えて、ドップラーレーダーで解析した上記4事例について複数の航空路を設定し、航空機がどのような低層ウインド・シアに遭遇するかを評価した。着陸時の航空機の加減速能力を超える追い風・向かい風を生じさせるウインド・シアや、強い横風を突然生じさせるウインド・シアの存在が示された。最後に、本研究の成果を現業利用する一環として、ドップラーレーダーが無くても当該マイクロスケール現象の存在をある程度把握できそうなくつかの「指標」を提案した。

第10章は結論である。低層ウインド・シアを直接もたらすのは、水平スケールが数 km 以下のマイクロスケール現象であることをまず強調した。次に、わが国におけるダウンバーストの発生状況とその特徴をまとめた。最後に、この研究で明らかになった4つのマイクロスケール現象 - 「次々に発生した、小さな激しいマイクロバースト」、「海風前線帯付近の強風核」、「水平ロール対流の結果生じた強風バンド」、および「メソスケール寒冷前線面に沿って並ぶ複数の降水核」 - について要点を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 菊 地 勝 弘
副 査 教 授 金 成 誠 一
副 査 助 教 授 上 田 博
副 査 講 師 遊 馬 芳 雄

学位論文題名

Studies on Microscale Phenomena Responsible for Low-Altitude Wind Shear

(低層ウインド・シアをもたらすマイクロスケール現象の研究)

地表付近のごく狭い範囲で風が急変する状態を低層ウインド・シア (Low-Altitude Wind Shear; LAWS) という。離着陸時の航空機がこれに遭遇すると揚力や速度が急変するため、航空機の安全運行上最も注意すべき要素の1つとして、最近にわかに注目されるようになった。しかし、この状態を直接もたらす大気現象の構造や発生メカニズムなどについては今日まで十分明らかにされていない。

この研究は、航空機が低層ウインド・シアに遭遇したと考えられるいくつかのメソスケール現象 (水平スケールが10km程度以上の現象) や突風災害を詳細な現地調査やドップラーレーダーを使った観測から低層ウインド・シアを直接もたらすのはメソスケール現象に組み込まれているマイクロスケール現象 (水平スケールが数km以下の現象) であることを明らかにしたものである。

この論文は10章で構成されている。第1章は緒言で、最近20年間に低層ウインド・シアによると思われる航空機事故がどの程度発生しているかの現状を示し、メソスケール現象のうちで特に注目しなければならない次の4つの現象として、(1) 水平スケールが比較的大きいダウンバースト、(2) 海風前線帯、(3) 地形的に生じた風の不連続帯、(4) メソスケール寒冷前線を指摘した。

第2章ではわが国で報告された1981年から1994年までの30例のダウンバーストについていずれも激しいダウンバーストは雹をともなうことを明らかにした。第3章で

は1991年7月27日に発生した岡山ダウンバーストの詳細なメソ解析を行い、少なくとも4個のマイクロバーストが存在したことを明らかにした。さらに第4章では、1990年7月19日埼玉県妻沼町、また1992年8月7日福島県館岩村に発生したダウンバーストを解析し、これらの激しいダウンバーストは水平スケールが100~500mと小さく、かつ雷を伴うという特徴をさらに明確にした。

これらの特徴をさらにはっきりさせるために第5章では、1992年9月4日水戸市で発生した雷雨に伴う比較的水平的スケールの大きなダウンバーストをドップラーレーダーを用いて解析した。その結果、(1)1つの比較的大きなダウンバーストの中に、水平スケールが1km程度の小さなマイクロバーストが雷を伴って次々に発生したこと、また(2)これらのマイクロバーストに先行して、水平スケールがやはり1km程度の小さな雷の領域が、各マイクロバーストの発生地点上空に存在していたことを明らかにした。更に発達した対流セルへの乾燥空気の流入を示す「レーダー反射強度のノッチ」が対流セルの中層に継続して存在していたことを発見した。これらの事実は、上空の雷の領域と乾燥空気が小さなスケールの激しいマイクロバーストを次々に発生させたことを示唆するものである。

最近わが国で、低層ウインド・シアが原因であると思われる2件の航空機事故は、いずれも晴天時に発生したことから、第6章では、海風前線帯付近の一般風場を解析した。その結果、高度数百m、直径数百mのマイクロスケールの強風核が一般風場に複数個組み込まれていることを発見した。これらの強風核は、低層ウインド・シアを更に助長するものであることを指摘した。

更に第7章では、関東平野に地形的に生じた風の不連続帯を解析し、この不連続帯に組み込まれているマイクロスケール現象として、「一般風と平行な幅1~2kmの、複数本の強風バンド」を発見し、その内の一本が極めて強い低層ウインド・シアを発生させていることを明らかにした。この低層ウインド・シアの生成には、下層ジェットが境界層内にもたらした水平風の鉛直シアと日射による地面加熱が寄与していることを示した。

第8章は、上越の三国峠付近から流入した寒気が関東平野に形成したメソスケールの寒冷前線を解析した結果を述べたもので、これに組み込まれていたマイクロスケール現象は、同前線面に沿って並ぶ複数の降水核で、低層ウインド・シアは降水核の付

近で助長され、降水核付近以外では弱いことを見いだした。

第9章では、これまでの解析結果を総括し、低層ウィンド・シアは、メソスケール現象中では $0\sim 9\text{m/s/km}$ と小さいのに対し、マイクロスケール現象中では $10\sim 18\text{m/s/km}$ とかなり大きいことを示した。更に、ドップラーレーダーで解析した事例について複数の航空路を設定し、航空機がどのような低層ウィンド・シアに遭遇するかを評価している。また、本研究の成果を現業利用する一環として、ドップラーレーダーが無くても当該マイクロスケール現象の存在をある程度把握できそうなくつかの「指標」を提案した。

第10章は結論で、低層ウィンド・シアを直接もたらすのは、水平スケールが数km以下のマイクロスケール現象であることをまず強調し、また、わが国におけるダウンバーストの発生状況とその特徴をまとめ、この研究で明らかになった4つのマイクロスケール現象について総括している。

このように、申請者は最近航空気象、メソ気象学の分野でとくに注目されている低層ウィンド・シア(LAWS)はメソスケール現象に取り込まれているマイクロスケール現象であることを詳細な現地観測やドップラーレーダーを使った観測から、明らかにした点は高く評価される。今日までに公表した論文は欧文16篇を含め22篇あり、いずれもこの分野で高い評価を得ている。

以上により審査員一同は、申請者が博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める次第である。