研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 湿潤・乾燥大気境界層の降雨システムに与える影響の解明と降水予測精度の向上

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

中村 健治 （名古屋大学地球水循環研究センター 教授）

主たる共同研究者

檜山 哲哉 （名古屋大学地球水循環研究センター 助教授）

上田 博 （名古屋大学地球水循環研究センター 教授）

樋口 篤志 （千葉大学環境リモートセンシング研究センター 助教授）

加藤 内蔵進 （岡山大学教育学部 助教授）

3. 研究内容及び成果：

アジアの湿潤域と乾燥域の境となる領域において大気境界層が降水システムに与える影響を明らかにし、これを基に降水予測精度の向上や人為的地表面改変が将来の降水分布・水資源に与える影響等の予測のための分析等を行うことを目的とする。当初、3つの作業仮説；①大気境界層は降水システムの開始に大きな役割を果たす、②降水システムは大気境界層に「根」を持つ、③大気境界層の構造は降水システムのコントロールを通じて湿潤域の拡大に大きな影響を及ぼす、を設定し、それらの立証を目指した。そこで、主なターゲットを大気境界層全層の観測による熱や水蒸気の輸送の実態を解明することにおき、特に降水システムのトリガーとなる熱と水蒸気の鉛直輸送に研究の焦点を絞った。 研究は、次の4つのグループ；1）大気境界層観測、2）降水観測、3）広域解析、4）モデル、に分けて進めた。

1）大気境界層（ABL）観測

①中国におけるABL観測： 東アジアの湿潤域と乾燥域の境界に位置し比較的平坦な地形を有する中国・淮河流域中央部の寿県気象局を観測基地として、中国国家気象局と安徽省気象局の協力のもと、ウインドプロファイラーレーダ（WPR）、陸面接地ABL観測システム(フラックスタワー)、風速鉛直分布測定装置(ドップラーソーダ)、マイクロ波放射計(水蒸気プロファイラ)などを用いた継続観測によって、ABLの発達に重要な役割を果たす地表面からの顕熱・潜熱フラックスの連続的なデータならびにABL内外における水平・鉛直風やエコー強度の連続的なデータの取得に成功した。これらの観測から、気象条件と地表面状態の季節変化ならびにそれに伴う顕熱・潜熱の季節変化、ABL高度の日周変化、ABL高度の季節変化について新たな知見を得た。

②宮古島・下地島で観測された亜熱帯高気圧下でのABLの構造： 亜熱帯高気圧下の海洋上におけるABLの構造、すなわち海面からのフラックスとABL内の温位、比湿（水蒸気量）の水平・鉛直プロファイルについて理解するために、宮古島・下地島でフラックスマスト観測、ラジオゾンデ観測、エアロゾンデ観測を夏季に集中的に実施した。フラックス観測とラジオゾンデ観測では、これまでの熱帯域海洋上のものとほぼ同様の結果を得た。エアロゾンデ、ラジオゾンデ、フラックス観測の結果をまとめて、数値実験を行う際の基礎的なデータと、数値実験の結果を解釈するための参照データを作成した。

③沖縄本島における偏波ドップラ降雨レーダによる ABL の観測： 降水システムのエネルギー源である下層の水蒸気が充分に存在する夏季の沖縄本島において、その水蒸気を供給する ABL の晴天時の構造、形成と進化を探求し、また、ABL 内の乱流や山による地形効果がトリガーとなって ABL 上端において降水システムが発達する現場を捉えるため、沖縄亜熱帯計測技術センターの C バンド偏波ドップラ降雨レーダ(COBRA)と 400

MHz WPR を用いて、晴天大気エコー（CAE：ABL 乱流の指標）の詳細な観測を行った。降雨観測を目的する COBRA ではあるが、夏季には CAE をよく検出でき、ABL 乱流の構造、形成と進化、偏波特性、降水システムの形成との関連に関する多くの知見を得た。また、ここでの知見は、中国での WPR 観測の解釈に貢献した。

2）降水観測

①梅雨前線に伴う沖縄島を通過した線状降水システムの構造の変化： 梅雨期に沖縄本島に配置した COBRA と X バンドドップラーレーダで線状降水システムを追跡・観測することにより、湿潤な ABL が降水雲の発生・維持機構に果たす役割に関する知見を集積した。

②沖縄島における梅雨前線周辺の対流性降水雲の構造特性： Xバンドドップラーレーダ観測データを用いて対流性降水雲の降水セルの特性に関する統計的解析を行い、この地域の梅雨前線帯の降水システムを構成する降水セルは背が低く、上空に氷晶雲をそれほど広げないものの割合が多いことなどの知見を得た。

③Path rain gauge の開発： 衛星による降水観測データの検証を行うために、50GHz マイクロ波通信機器の伝播減衰量から経路（820m）間平均雨量を瞬時に計測できる Path-average rain gauge を開発し、雨滴計、雨量計および TRMM 降雨レーダによる観測値と比較して雨量計として十分機能することを実証した。

3）広域解析

①湿潤域の振る舞いと水蒸気輸送に関わる広域大気場： NCEP/NCAR、ECMWF および GAME 再解析データ、高層気象観測の生データ（宮古島での特別観測とルーチン観測）などの解析により、中国大陸上の梅雨前線の南北両側での湿潤域の形成・維持と「熱く湿った」陸面の役割、中緯度の偏西風システムの役割（季節内変動や寒帯前線帯の季節進行）、秋雨前線の南側での南風変動の重要性、などを明らかにした。

②TRMMデータによる降水解析及び植生解析： TRMM搭載の降雨レーダ(PR)、マイクロ波放射計(TMI)、可視赤外放射計(VIRS)、雷観測装置(LIS)データを用いた解析により、実験領域を含む中国の降雨の時空間的特徴を調べた。PRとTMIの推定降雨量の比較において、TMIは陸域の場合、背が低い降雨に対して小さく、高い場合に大きいこと、対流性降雨を過小評価すること、などが見出され、TMIによる推定の精度向上へ向けて原因が考察された。また、NOAA/AVHRRデータを用いて梅雨前線の南北振動に伴う地表面湿潤度指標の変動過程を解析するとともに、TRMMとNOAA/AVHRRデータを複合利用してアジア域における降水に対する植生の応答と熱ストレスを図化し、乾燥～湿潤への移行過程の地域特性などを明らかにした。

4）モデル

①亜熱帯高気圧下の海洋上における ABL 内の鉛直循環の構造に関する数値実験： 宮古島と下地島の観測で確認された“negative correlation type eddy”など、ABL 内の鉛直循環の構造を明らかにするために、開発中の雲解像度モデル CReSS を用いて数値実験を行った。観測条件のもとでは積雲は発生しなかったが、大気境界層内の相対湿度を増やした（+5%）感度実験においては、積雲の発生を確認することができた。

②初夏の中国淮河流域で観測された対流境界層内の鉛直循環の構造に関する数値実験： 淮河中流域・寿県におけるウインドプロファイラとフラックス観測システムで取得された地表面フラックスと対流境界層の日変化、および対流境界層内の鉛直循環の構造を参照データとして、対流境界層内の循環場の特徴と熱および水蒸気の鉛直輸送量を明らかにする目的で、CReSSを用いた数値実験を行った。観測された地表面フラックスと対流境界層の時間変化を、乾燥期、湿潤期ともに再現することに成功し、観測だけでは分からない鉛直循環の構造に関する知見を得た。

③沖縄島における晴天大気エコーの数値実験： 沖縄本島でのCOBRAによる観測データを基に、地形効果を含めて湿潤なABLと降水の始まりと見なせる浅い対流雲との関係を調べるために、CReSSを用いたシミュレーションを行い、観測された境界層上端の浅い対流雲の再現に成功した。地形を与えた数値モデルでABLを再現することにより、ABLと自由大気間のエネルギー・水循環への地形効果の影響を調べることができ、ABLのパラメ

タリゼーションに寄与できる可能性を示した。

4. 事後評価結果

4－1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文(国内誌 3 件、国際誌 10 件)、その他の著作物 3 件(国内)、口頭報告(国内:34 件、国際:57 件)、ポスター報告(国内18件、国際:9件)と、観測に重点をおいた研究であったため、現状では論分数は少ないが、質の高い論文が多い。さらなるデータ解析の進展や数値モデルによる研究など、今後も成果の発表が期待される。Path-average rain gauge 計測システムについては特許出願中。主な成果の評価を以下にまとめる。

1)中国・淮河流域における最新の機器を含む継続観測、東シナ海における COBRA 等による集中観測は、多に類例がない体系的なABLの観測研究であり、それぞれの地域におけるABLと降水機構に関する詳細なデータセットを得たこと自体が、今後のこの分野の研究に資する貴重な成果として高く評価される。

2)観測によって立証しようとした 3 つの作業仮説は必ずしも当たらなかったが、それによって観測研究の視点が明確にされ、中国大陸や東シナ海上での ABL の発達に関する新たな多くの知見を得ている。特に、東シナ海での梅雨前線に伴う降水システムの構造など解析において詳細でインパクトのある成果を出している。

3)雲解像度モデル CReSS の開発は極めて順調に進んでおり、これを用いた数値実験やシミュレーションにより観測事実の理解が深まるとともに、雲降水機構と ABL の関係について新たな知見を提出している。

4)研究全体として、ABL の降水システムに関する実態解明と言う所期の目標は十分には達成できたとはいえないが、乾燥域、湿潤域を含む陸上の ABL について、観測による実態把握を踏まえて理解が大きく進んだと評価できる。具体的には、中緯度湿潤域における陸上の ABL 構造について、特に、混合層の発達過程を観測とモデルの両面からのアプローチにより理解を進めた。最終報告書の各所に観測ツールの開発を含めて今後の研究方向や可能性に関する明確な指針が示されており、次のステップの研究の発展が期待される。

4－2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

モデルの高解像度化に伴い、ABLと降水機構の解明はますます重要になっており、本研究はそれへ向けてのパイオニア的研究といえる。この研究グループは、現在日本のABLの観測体制が弱体化している中で貴重な存在である。また、国際的にも対流システムと境界層の関係を観測的に研究しているグループは少ないので貴重である。この種の観測研究は、直ぐに答えが出るものではないが、今後とも継続して充実・発展させることが必要である。

4－3. その他の特記事項(受賞歴など)

特になし