

平成27年 8月25日

氏名 大東 忠保

終了報告書

・派遣支援先 機関名: McGill University (国名: カナダ)

・受入研究者 Prof. Pavlos Kollias

・研究課題名 (和文・英文)

(和文) レーダーによって観測される北極域混相雲の特徴とその発生環境場

(英文) Characteristics of Arctic mixed-phase clouds observed by radar and their occurrence environments

・派遣支援期間: 平成27年2月24日 ~ 平成27年8月24日

派遣支援期間中の研究実施状況及びその成果

はじめに

過冷却水滴と氷晶などの固体粒子が共存する雲を混相雲とよぶ。北極域の境界層内においては、高度数百メートルから2kmの雲頂付近で混相域を一層のみもつ混相雲（以下、北極域混相雲とよぶ）が頻繁に観測される。混相雲中では固体粒子の成長は早く、固体降水粒子が形成される。北極域における水循環を理解するためには、この一層の混相域をもつ北極域混相雲の降水の特徴を明らかにする必要がある。このため、レーダーを含む以下の長期データを使用して研究を実施した。

データ

本研究で使用した観測データは、アメリカ合衆国エネルギー省 Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Climate Research Facility の一つで、アラスカノーススロープのバロー (71° 19' 23.73" N, 156° 36' 56.70" W) にある観測施設（以下、ARM バロー観測施設とよぶ）で長期間にわたって取得されている。まず、35GHz (Ka) 帯鉛直観測レーダー (KAZR、鉛直分解能 30m、時間分解能 3.7 秒)、シーロメーター (同 30m、16 秒)、マイクロ波放射計 (時間分解能 20 秒) のデータを用いて、1 時間平均値を作成した。2011 年 10 月から 2014 年 12 月までのデータを目視で確認し、合計 553 時間分の一層の混相域をもつ混相雲を抽出して使用した。また、環境場の解析等のためにゾンデデータを使用した。

研究結果

混相雲の過冷却水滴が存在する下端をシーロメーターで決定し、それより一格子下の KZAR の反射強度データから氷水量 (IWC) を推定した。マイクロ波放射計で測定された鉛直積算液水量 (LWP) と液相域下端の IWC とのそれぞれの 1 時間平均値の相関は高くなかった (図 1 左)。一方で、液相域下端における KAZR の平均ドップラー速度速度 (Vd) は LWP と高い相関を示した (図 1 右)。LWP

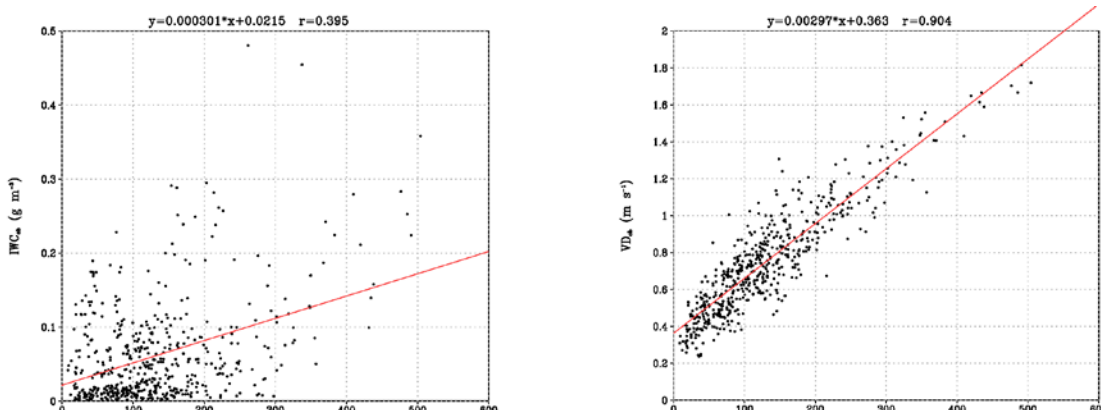


図 1: 鉛直積算液水量 (LWP; g m^{-2}) と液相域下端における (左) 氷水量 (IWC; g m^{-3})、(右) ドップラー速度 (V_d ; m s^{-1}) の関係を示す散布図。

が 220 g m^{-2} 以上では、 V_d は 1.0 m s^{-1} を越えるようになり、さらに大きな LWP では V_d は 1.8 m s^{-1} に近づいた。 V_d は大気鉛直流と粒子の終端落下速度の和である。ここで、1 時間平均において前者は 0 とみなし、 V_d をレーダー反射強度で重み付けされた固体粒子の終端落下速度と考えた。LWP が大きな部分におけるこの大きな終端落下速度は、固体粒子の昇華凝結成長過程のみでは説明できない。LWP と KAZR で得られた地上付近の V_d との相関も同様に高かった。LWP と液相域下端および地上付近での V_d の高い相関関係から、LWP が固体降水の質量フラックスをある程度コントロールしていることは明らかである。観測されたこの関係は、北極域混相雲の数値シミュレーションに対して有効な拘束条件となると考えられる。

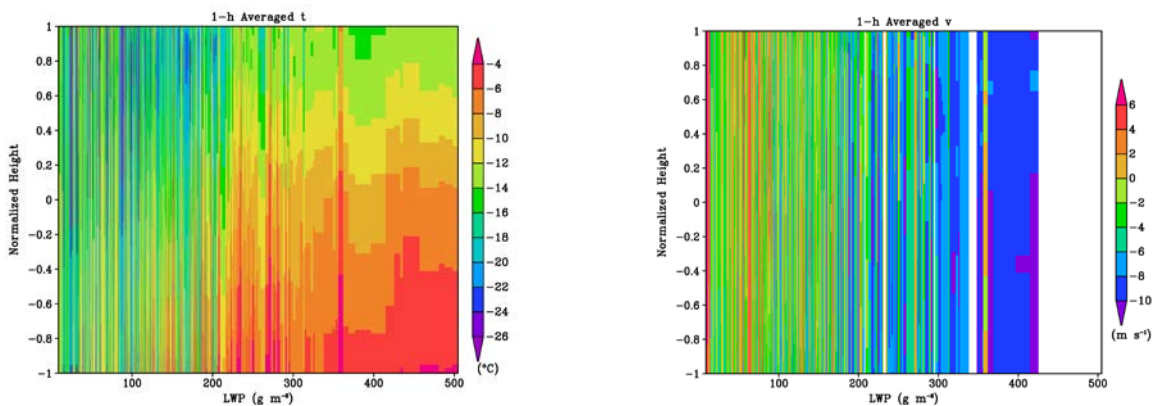


図 2: 規格化した各高度における鉛直積算液水量 (LWP; g m^{-2}) に伴う (左) 温度 ($^{\circ}\text{C}$)、(右) 南北風 (m s^{-1}) の分布。高度は最下層を -1、混相雲の液相域下端を 0、上端を 1 として規格化した。

次に、一層の混相域をもつ混相雲について、ゾンデを用いて環境場の特徴を調べた。図 2 は最下層

を-1、混相雲の液相域下端を0、上端を1として規格化した高度を用いて、LWPの大きさごとの環境場の違いを示したものである。温度（図2左）をみると、LWPが大きい時ほど温度が高くなっていることがわかる。大きなLWPを生じためにはそのもととなる水蒸気が必要である。したがって、飽和水蒸気混合比が大きいより高い気温時に大きなLWPが形成されていることは整合的である。一方で、図2右は南北風を示している。LWPの増加に伴って、北風成分が大きくなっていることがわかる。バローはおおまかにいって、北側に北極海、南側に大陸が位置している。これらのことは、北極海側から暖かい北風が吹くときに大きなLWPをもつ混相雲が形成されることを示している。

観測施設見学

2015年8月10日に、本研究で使用した観測データを取得しているARMバロー観測施設を見学した。現在は、3名の技術者が常時測器のメンテナンスを実施している。彼らが働く建物は、職場と6部屋の寝室、キッチン、シャワー等を合わせたもので、当施設での機器のメンテナンスや見学などのために来る場合は申請が受理されれば宿泊可能である。この他、すぐ横に、レーダー等大型の機器を展開しメンテナンスする作業小屋がある。観測機器は、その町中の建物から少し離れた場所にあり周囲



図3: ARMバロー観測施設の観測機器。

には建物があまりない。図3に観測機器群を示す。この図以外に40mの観測タワーが存在し、走査型X帯レーダーが離れた場所にある建物に設置されている。施設責任者のWalter Brower氏の案内で観測機器を見てまわった。ARMバロー観測施設は1997年に観測を開始し、観測測器を充実させながら常時観測を続けている。バローは豊富な天然ガスに恵まれており、これを

もちいてバロー市内の発電所で発電を行っているようで、電気は安定的に供給されている。しかしながら、機器はほとんど全て無停電電源装置（UPS）が備え付けられていて、数時間の停電には耐えることができる。3名の技術者は毎日、データの中から一定時間毎にサンプルしてデータの質をチェックし、異常があればその解決をしている。データのチェックはアラスカ大学フェアバンクス校内部にも2人おり、連絡をとりながら対処している。また、ライダー等は透明な窓を通して光を出すのが曇ったり雨に濡れたりするとデータの質に関係するため窓を拭いたり、機器の異常メールが来れば対応している。日に2回実施しているラジオゾンデ観測は、3年前からバイサラ製の自動放球施設になったが、現在も特別な観測やバックアップのために手動の放球設備が一式備わっていた。機器のデータは、

図3 一番左のコンテナ内部のサーバーに集約される。データサーバーは2重になっており、一式が壊れた場合は自動で切り替わるようになっている。データの一部のサンプルが無線LANを使用して彼らの職場に送られている。データ全体は、ポータブルHDDに格納され、1週間に一度交換されている。現在一台のレーダーが停止しており、その場合で一週間あたり2TBの容量となる。バローからのネットワークが太く無いため、HDD自体が空輸されて最終的にシカゴに集められ、公開されている。したがって、データの公開までには若干の時間差がある。

かなり多くの機器を3名体制で維持していることには驚いた。私の使用しているデータは2011年から約3年半分だが、データの欠損もあまりなく、またデータの均一性がよく非常に扱いやすい。長期的な研究に耐える観測データの取得には、このようなメンテナンス技術者の仕事が必要であることが非常によくわかった。

まとめ

アラスカノーススロープのバローにおける、一層の混相域をもつ北極域混相雲の降水の特徴をKa帯レーダー、シーロメーター、マイクロ波放射計を用いて調べた。1時間平均の量において、LWPと混相雲の液相存在域下端および地上付近でのVdの相関が非常に高いことがわかった。このことは混相状態にある層のLWPの量が、地上降水をある程度コントロールしていることを示している。観測的に得られたこの関係は、北極域混相雲の数値シミュレーションに対して拘束条件を与えることができる。環境場の解析からは、北極海側から暖かい北風が吹くときに大きなLWPをもつ混相雲が形成されていたことがわかった。LWPにおいてどのような循環システムが寄与しているかについてはまだわかっていない。また、混相雲が出現する時と、出現していない時の差も調べるができなかった。これは今後の課題である。

また、本派遣中には、使用したデータを取得しているARMバロー観測施設を訪問し、測器の見学と、観測の維持体制、観測で苦労している点などについて聞き取り調査を実施した。これらは今後北極域において観測を実施、維持する際に役立つと考えている。

謝辞

長期滞在を快諾し研究開始の示唆を与えて下さったMcGill大のProf. Pavlos Kolliasには大変感謝しております。同グループのWanda Szyrmer博士と研究員・学生には、研究を進めていくなかで多くの議論をしていただきました。ARMバロー観測施設見学では、Walter Brower施設責任者が毎日の機器の維持に忙しい中対応して下さいました。また、派遣の事務全般は国立極地研の方にお世話になりました。皆様に感謝いたします。