HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on the formation of high ice-concentration cirrus in the Tropical Tropopause Layer [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	三村, 慧
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第13383号
Issue Date	2018-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/72382
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Satoru_Mimura_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）　　氏　名　三村 慧

学 位 論 文 題 名

Studies on the formation of high ice−concentration cirrus in the Tropical Tropopause Layer
（熱帯対流圏界層における高氷晶数密度巻雲の生成過程に関する研究）

熱帯対流圏界層(Tropical Tropopause Layer; TTL)に生成する巻雲は、大気の放射バランスを変化させるだけでなく、成層圏へ流入する水蒸気量の決定にも密接に関わっており、その理解は気候変動予測の観点からも重要である(Solomon et al. 2010)。TTL巻雲の生成過程は、航空機等による現場観測データと雲微物理モデルシミュレーションとの比較から、多く議論がなされてきた(例えば、Jensen and Pfister 2004; Jensen et al. 2010; Jensen et al. 2012; Spichtinger and Krämer 2013)。しかし、TTL内で実際に進行する過程はまだ十分に理解されていない。このような問題意識の下で実施された航空機観測、Airborne Tropical TRopopause EXperiment (ATTREX) (Jensen et al. 2017)では、厚さが約20 mと非常に薄く、10^4 L^{-1}という高い氷晶数密度を持つ特徴的な巻雲が観測された。この特徴は、この巻雲が均質核生成により形成され、氷晶の落下や空気塊の混合・散逸をほとんど経験していないことを示唆する。本研究は、理想的な条件下で観測されたと見なせる本事例に注目し、雲微物理モデルによってその生成条件を特定することにより、TTL内氷晶生成過程の理解への貢献を目的とする。

Mimura et al. (2016)は、上記の巻雲に注目し、均質核生成を仮定した雲微物理モデルを用いて、等温位、一定の冷却率、単粒径エアロゾル条件の下、氷晶生成が停止するまでに実現する氷晶数密度の最大値(最大氷晶数密度)が10^4 L^{-1}に達する条件を考察した。大気の初期水蒸気混合比を観測値に基づいて固定し、大気の冷却率とエアロゾル半径の関数として求められた最大氷晶数密度の分布は、冷却率の増加に伴う増大とエアロゾル半径の増大に伴う減少を示した。さらに、エアロゾル半径に対する依存性は、粒径が大きいほど顕著であるという非線形性が見られた。

最大氷晶数密度のエアロゾル半径依存性は、異なる粒径のエアロゾルが混在する条件下で、エアロゾル間相互作用が氷晶生成に影響を与える可能性を示唆する。そこでエアロゾル分布を二粒径に拡張し、エアロゾル間相互作用が氷晶生成に与える影響を考察した。背景量が等しい大小二粒径のエアロゾルの半径を変化させて生成される氷晶数を求めたところ、単粒径条件と比較して氷晶生成数が増加する現象(増幅効果)が見出された。この増幅効果は、小粒径エアロゾルからの氷晶生成によりもたらされ、大粒径エアロゾル半径(r_l)が大きいほど大きいが、小粒径エアロゾル半径(r_s)との比r_s/r_l で評価すると、r_lに関わらず$r_s/r_l \sim 0.7$の条件下で極大をとる。

生成された氷晶の粒径分布については、単粒径エアロゾル条件下において、エアロゾル半径が大きい(小さい)ほど、分布幅が狭く(広く)モード径は大きく(小さく)なる特徴が見出された。二粒径条

件では、高い冷却率が必要とされる大粒径エアロゾル条件下(例えばr_1 = 1 μm)で、氷晶粒径分布に二峰性が実現した。この特徴は、r_1が大きく、r_s/r_1比が小さい条件で顕著となった。その持続時間を得られた氷晶粒径に基づく終端速度の違いにより見積もったところ、分布幅が狭い(広い)、大(小)粒径エアロゾル条件ほど長く(短く)なり、r_s/r_1が0.1から1.0の範囲で4–5日から11日となった。一連の計算で得られた氷晶粒径は、付着係数の不確実性を考慮しても常にATTREX観測結果より大粒径側に偏在し、観測結果を説明しない。この頑健性は、ATTREX観測で氷晶粒径が過小評価されているか水蒸気混合比が過大評価されている可能性を示唆する。一方、観測された数密度の巻雲の生成には、付着係数の不確実性を考慮すると2–8 K h^{-1}以上の冷却率が必要となる。これを満たす大気中の現象には、短時間(~数分)スケールのメソスケール擾乱が該当する。今後、より高分解能の氷晶粒径分布が得られれば、本研究で行われたような数値シミュレーションとの比較により巻雲の生成過程をより詳細に考察することが可能になるであろう。