

# 論文審査の結果の要旨

氏名 高麗 正史

本論文は4章から成る。第1章は導入部で、初めに本論文の主要な研究対象である極成層圏雲（PSC: Polar Stratospheric Cloud）が紹介され、その形成が極低温の冬季極域成層圏の大規模低気圧性循環（極渦）内で起こることやその表面で起こる化学反応が春季に極域での成層圏オゾンの減少をもたらすことが述べられている。さらに、対流圏から伝播する大気波動がPSCの出現頻度やPSC雲粒の組成に与える影響も論じられている。加えて、最近の研究で見出された成層圏の大規模循環の変動に関連した極域対流圏上層での雲量変動が、対流圏の放射収支を変調させる可能性も論じられている。そして、大気波動と雲変動を介した成層圏-対流圏結合過程の解明を目指し、大気波動に伴う気温変動から雲形成への直接的影響としてPSCと対流圏上層の雲との同時出現、波動による強制で駆動される成層圏の大規模循環による雲への影響として成層圏突然昇温（SSW : Stratospheric Sudden Warming）からの北極域対流圏上層の雲への影響が、それぞれ本研究で探求されることが述べられている。

第2章では、最新の高分解能衛星観測データの解析から、南極上空でPSCと同時に最も出現しやすい雲の高度が9~11 kmであることを見出した。高分解能の全球大気再解析データから得られた気温や渦位の空間分布との綿密な照合から、この高度が対流圏界面近傍かそのやや上方に当たることを突き止め、PSCと同時に発生しやすい雲は、従来のように「上部対流圏雲」ではなく、寧ろ「圏界面雲（TPC : TropoPausal Cloud）」と呼ぶべきことを提唱した。そして、PSCとTPCとの同時出現が、水平スケール数千 kmの準停滞性のブロッキング高気圧に伴われることも見出した。極域対流圏に形成されたブロッキング高気圧に伴っては、蛇行する偏西風によって低緯度側から水蒸気が輸送され圏界面近傍にて雲（TPC）の形成が促されるのと同時に、高気圧性循環偏差により圏界面が持ち上げられ、その上方に形成された低温偏差により極渦内の高度17~23kmにおける気温がPSC形成に適したレベルにまで低下することを見出し、PSC・TPC同時出現のメカニズムを明らかにした。また、衛星観測データの解析から、ブロッキング高気圧上方の極低温域の風下側(東方)では、風上・直上に比べ、硝酸三水和物（NAT）を多く含むPSCが出現しやすい傾向を見出し、既に指摘さ

れていた大気重力波に伴う急激な温度低下に伴う NAT 形成と同様の過程が、ブロッキング高気圧の影響により広範囲に起こり得ることを示した。実際、南極半島付近でブロッキング高気圧が形成されやすい冬には、その上空で PSC が TPC と同時出現する頻度が増大する傾向が見出された。一方、北極上空においても、対流圏ブロッキング高気圧の形成に伴って PSC が TPC と同時出現する傾向が確認されたが、ブロッキングに伴う高気圧性循環偏差が惑星規模波動にも変化を与えるケースもあることから、南極上空とは異なり、TPC と同時出現する PSC の領域が東西方向により拡大する傾向が見出された。

第 3 章では、衛星観測による最新の高分解能雲データの解析から、2009・2010・2012 年の冬に起きた SSW の後に、北極域で高度 7~12 km の雲 (TPC) の出現頻度が減少し、東西平均として見た雲頂高度が低下したことを見出した。そして、これらの傾向が対流圏界面高度の低下とその近傍での気温上昇や静的安定度の増大に伴われていたことを、高分解能の全球大気再解析データに基づき明らかにした。そしてこうした変化が、対流圏から伝播した波動により引き起こされた SSW に伴って圏界面付近で下向き残差平均流が強化された傾向と整合的であることを示した。さらに、近年提案された 3 次元残差平均流理論やそれへの拡張ヒルベルト変換の適用から、TPC 出現頻度が低下した殆どの地域で下向きの残差平均鉛流が強化されたことが確認された。

上記の研究成果の気象力学的意義に関する包括的な議論が、今後の研究発展の方向性も含め、第 4 章にてなされている。本研究は、その気候学的役割が益々重要視されつつある成層圏-対流圏間の力学的結合過程において、大気波動が直接的・間接的に PSC や TPC に与える影響に関する幾つかの重要な現象を最新の衛星観測データから見出し、それらのメカニズムを明らかにした。この学術的成果は、成層圏-対流圏力学的結合研究の今後の発展に大きく寄与し得るものと高く評価される。

なお、本論文の第 2 章と第 3 章は指導教員である 佐藤 薫 教授との共同研究に基づくが、いずれも論文提出者が主体となってデータの解析・診断やその結果の力学・熱力学的解釈を行ったもので、論文提出者の寄与は十分と判断される。

従って、博士 (理学) の学位を授与できると認める。