

## 質疑・討論

Q. 脱水に関係する対流圏上層の雲は「ひまわり」などで見られるのでしょうか？

(長谷部) この雲は、「ひまわり」では見ることはできません。また、光学的厚さが0.03程度よりも小さいため、地上から肉眼でも見ることはできません。ただ、日暮れ時などに、横から日が当たっているときにカロウじて見ることはできます。

Q. 熱帯成層圏での水蒸気の流入は、極域成層圏雲の水蒸気源と考えられるという話を伺いましたが、熱帯から中緯度に物質輸送が起こるときに何も生じないのでしょうか？ 例えば、Tropopause gap は成層圏への物質輸送にとってあまり重要ではないのでしょうか？

(長谷部) 中緯度では、基本的に成層圏から対流圏へ物質が輸送されますので、成層圏への水蒸気などの物質の注入、あるいは、成層圏での水蒸気量を決定するという意味では、熱帯での注入が主であろうと考えています。熱帯から中緯度へ輸送が生じるときには、水蒸気量はあまり変化せず、基本的には、成層圏の水蒸気量は熱帯での注入量でほとんど決まっており、あとはメタンの酸化で追加される量がどれくらいかということになると思います。

Q. 対流圏から成層圏へ物質が流入する場所が決まっているという話を伺いましたが、その場所はどういう要因で決まっているのでしょうか？

(長谷部) 「成層圏の泉」の話ですね。この対流圏から成層圏への物質の流入が生じる場所は、ゾンデデータを用いて、成層圏の水蒸気量と矛盾しないくらい十分冷たい場所はどこかという観点で探さ

れています。その結果、その場所は西太平洋域に限定されました。その当時の考え方では、西太平洋は海面水温が一番高いので、そこで対流が立って、選択的に成層圏への流入が生じるという比較的単純な理解だったと思います。しかし、現在の理解では、もうワンステップあって、水平移流しながら成層圏に流入すると考えています。熱帯対流圏界層(TTL)に入る場所はほぼ同じなのですが、水平移流しながらゆっくり成層圏に流入していきます。例えば、400K等温位面で見ると水蒸気量は東西方向にかなり一様になっていますが、もう少し下層の360Kや380K等温位面では、やはり西太平洋域が乾燥しています。ですから、成層圏へ流入する場所を決める最も重要な要因は、どこで対流が立つかということです。また、それは、海面水温分布によって決まっていると言ってよいと思います。

Q. 結局、対流がたくさん生じているということが、流入する場所を決める要因なのですね。

(長谷部) 対流が立っているということが場所を決めますが、そこで、鉛直方向にそのまま流入するという描像ではなくて、対流によって作られた松野・ギルパターンに乗って水平移流している間に脱水が生じて、脱水された空気が最終的に成層圏に入っていくということです。

Q. 成層圏への流入と対応するという雲の写真を見ましたが、その雲が色づいて見えるのはなぜでしょうか？ また、成層圏への流入と対応しているという理由は、その雲の出現高度が高いということでしょうか？

(長谷部) 雲のところで成層圏へ流入しているということではありません。また、雲がピンク色に見えるのは、おそらく大気による屈折のために、長波長の光だけが上空を照らしているためだと思います。このことから、お見せした雲は、かなり高いところにある非常に薄い雲で、おそらく我々が注目している巻雲だろうと思います。また、実際には、飛行機による観測で、雲の出現高度や薄さを調べないといけません、我々は、地上から見て、おそらく脱水と関連していると思われる雲を紹介させて頂きました。

Q. 赤道エレクトロジェット (EEJ) の変動プロセスと大気運動との関係がよく分かりませんでした。電荷分布が変わって EEJ が変動するのでしょうか？

(宮原) 今日お話ししたのは、電流  $\mathbf{J}$  の変動ですが、 $\mathbf{J}$  は  $\mathbf{J} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{V} \times \mathbf{B})$  で表現されます。このシミュレーションで日々変化するのは、中性大気風の水平成分  $\mathbf{V}$  だけです。中性大気風が変わった結果  $\mathbf{J}$  が変動します。また、現実の大気では導電率  $\sigma$  も日々変動しますが、このシミュレーションでは、日々変動はないとしていますので、 $\mathbf{V}$  が変動して  $\mathbf{V} \times \mathbf{B}$  が変動することと、 $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$  を満たすように電場  $\mathbf{E}$  が変わるため、結果として電流  $\mathbf{J}$  も変動します。

Q. これから南極に大きなレーダを建てて、気象学と超高層大気物理学の共同研究を推進しようと思っておりましたので、宮原先生のお話は大変エンカレッジでした。今日のお話は中性大気から電離大気への影響という内容で、大気波動が大変重要であるという Kyushu-GCM の結果を示されましたが、このような高度になると、大気重力波が結構重要な役割を果たすと思います。そこで、宮原先生のモデルでは大気重力波がどのように表現されているのか教えてください。

(宮原) 今日示しました中性大気風  $\mathbf{V}$  は、東西波数 4 以下の大規模波動のみを与えて求めました。Kyushu-GCM の波数切断は T42 だったと思いますが、その生のデータで計算したら、かなり複雑な電流が出る可能性もあります。ただ、局所的な大気重力波が大規模波動を変調させて  $\mathbf{V}$  が変わるということは十分考えられます。もう一つの可能

性は、この辺りの高度になると、電磁力も効いてきますので、イオンドラッグのような効果で  $\mathbf{V}$  が変わる可能性があります。大気重力波の効果は大変重要と思いますので、是非、研究してください。

Q.  $S_q$  の等価電流系が、鉛直方向に二階建てになったのは、なぜですか？ また、高緯度なら等価深度は負になるため二階建ての構造にはならないので、示された図は低緯度域の分布でしょうか？

(宮原) 大気中性風が鉛直に二階建ての構造になった原因は  $\mathbf{V}$  の分布にあり、 $\mathbf{V} \times \mathbf{B}$  によるホール電流により、 $\mathbf{J}$  も二階建ての構造になります。また、示した図は、緯度 30 度より赤道側での分布です。

Q. ご自身の研究分野で、こういった点が難しいか、あるいは面白いのか、また、こういった点を今後研究していく必要があるかという点についてコメントを頂きたいです。

(谷本) 今日は、中緯度における海洋から大気への影響を主にお話ししました。中緯度では総観規模擾乱が卓越するため、海から大気への影響は見えにくいですが、それを取り出すというところに、面白さがあると思います。今日のお話では、何十年分のデータを用いた季節平均の図や、1ヶ月くらいの期間で平均した数値実験結果をお見せしました。このような時間平均操作は、総観規模擾乱の効果をフィルターアウトするには効果的です。しかし、実際には総観規模擾乱が卓越していますので、今日お話しした気圧極小域が、暖気移流場や寒気移流場の中で、どのように応答しているのかを細かく観ていくのが一つの研究の方向だと思います。また、海洋のスケールは大気のスケールよりも一桁くらい小さいので、海洋の影響が大気中でどのようにスケールアップするのかという点も、これから研究すべき非常に重要な課題だと思います。

(新野) 今日は、境界層と自由大気の相互作用のうち、対流のイニシエーション、台風と海面も含めた境界層の相互作用、竜巻渦の速度分布を決める上での境界層の役割について話しましたが、いずれも観測による把握も、数値シミュレーションに

よる再現も容易ではなく、難しい課題が沢山残っています。また、新しい測器が開発されているので、対流のイニシエーションの問題では、新しい測器を用いて、データ同化を含めて観測できっちり実態を把握することが必要です。一方、海の波浪の問題では、現状では非常に荒れた海では観測が難しいので、新しい観測手法を考えていく必要があると思っています。いずれにしても現象を観測できっちり把握するのが鍵と言えます。

(黒田) ともかく、わけが分からないのが面白いと思います。これは、原因Aに対する応答Bが一对一ではなく、非常にぶれて確率的だということです。これは気象学全般に言えることでしょうが、その対応が非常に難しいという印象を持っています。例えば、昔からよく知られている成層圏突然昇温にしても、何で起きるのか詳しくはよく分かっていないと思います。ブロッキングが関係しているということも示唆されていますが、両者の因果関係が明瞭に分かっているとは言い難いと思います。そういうところがある意味面白いです。また、成層圏-対流圏上下結合に関しても、力学的に分かっているような気もしますが、外部パラメータをほんの少しだけ(0.1%)変化させると、様相がすごく変わってしまいます。これは、どのような理由によるのか、今後研究していく必要があると思います。

(長谷部) 難しさという点からしますと、現象として私たちが観ているのは、太平洋を横断する規模の現象で、明らかにこのような現象を理解するには、例えば衛星観測が有利ですが、一方で鉛直スケールが大変小さくて衛星観測では分解できないということが挙げられます。また、最近、個々の対流活動そのもの、あるいは対流雲の貫入という非常に小さなスケールの現象に再び注目が集まりつつありますが、こういうスケールが大変異なる

現象を統一的にどのように捉えるのかということが難しいと思います。さらに、個人的な興味としては、私はもともと大気組成を力学の観点から見てきたのですが、例えば大気組成が力学場を変えらるというようなことがあれば面白いと考えています。

(宮原) ご承知のように先ほど紹介した超高層大気をもともとやっておられた方、あるいはその辺の研究分野の方が、気象学会で現在非常に沢山活躍されています。逆に、超高層の分野で活躍されている気象出身の方はあまり多くありません。今日堀内賞を受賞されたお一人の方は気象出身ということで、このようなことをこれから先もどんどんやっていけば、お互いの分野の相互理解が深まるのではないかと思います。また、電離圏と聞くと、中性大気の力学は手が出ないように思いがちですが、電離圏といっても圧倒的に多くの中性大気が存在しますので、中性大気の知識が通用する部分も多いため、中性大気の力学屋さんにも超高層の方と一緒にやれば、超高層の現象に気象力学の知識で迫ることもできると思います。さらに、互いの協力で力学に限らず広い分野で非常に大きな発展が期待できると思います。

Q. 平均場が大きく変わるときに、例えば、降水や風などで見た大気海洋の相互作用のシグナルを取り出すことができるのかという点に関しコメントを頂きたい。

(谷本) 実際には、平均場が変わるといふほどの変化がないので、イメージが湧きにくいですが、数値実験の枠組みでは、例えば、水温のフロントの位置を変えたりとか、その強さを変えたりにより平均場を大きく変えることはできます。このような数値実験により、大気海洋相互作用のシグナルを取り出すことは擬似的に可能ではないかと思います。