

大気重力分離シミュレーション

菅原敏¹、石戸谷重之²、森本真司³、青木周司³、中澤高清³、本田秀之⁴、村山昌平²

¹宮城教育大学、²産業技術総合研究所、³東北大院理、⁴JAXA/宇宙科学研究所

1. はじめに

大気気体成分がその分子の質量の違いに応じて分離する、いわゆる重力分離という現象は、分子拡散が卓越する高度120 km以上の大気において起こるものであり、成層圏や対流圏では十分に均一であると考えられてきた。しかし、クライオサンプリングによる極めて質の高い成層圏大気試料を、高精度の大気主成分同位体分析の技術を用いて分析することにより、高度35 km以下の成層圏においても重力分離が起こっているという事実が、我々のこれまでの研究によって明らかになった。本研究では、数値モデルを用いて、この重力分離の基本的な構造を再現し、さらに、今後の大気輸送過程の研究における重力分離の応用について提起する (Ishidoya et al., ACP, in press)。

2. 計算方法と結果

本研究では2次元大気化学輸送モデル (SOCRATES) を用いて成層圏大気中における重力分離を再現した。モデルでは中間圏以上において Banks と Kockarts(1973)の分子拡散フラックスを組み込まれており、これを対流圏界面まで拡張した。重力分離を再現するために、質量数が44と45のそれぞれのCO₂濃度から、その同位体比を計算した。また、地表付近でのCO₂同位体比は常にゼロとした。なお、CO₂-ageを同時に計算するために、地表付近では現実のCO₂濃度増加を与えた。以下では、計算で得られた同位体比を δ と表記する。また、観測でも、同位体を含む気体分子の質量数の差を1に規格化したときの同位体比を平均した値を δ と表記する。図1に、モデル計算により再現された δ 値の年平均分布を示す。基本的には、 δ 値は重力分離によって高度とともに低下しており、CO₂-ageが大きくなるほど δ 値は小さくなる傾向がある。しかし、 δ 値の大きな特徴は、変化の割合が高度とともに急激に大きくなっていることである。このことは、成層圏の中層以上において、高度とともに分子拡散係数が大きくなることに対応している。

3. 大気輸送研究への応用

Brewer-Dobson 循環 (BDC) をはじめ、様々な大気輸送過程が変化するとき、それら非質量依存型の輸送による均質化の働きと、質量に依存する重力分離の働きとのバランスが変化し、 δ 値の変化として検出される可能性がある。ここでは、近年活発に議論されている BDC の長期変化を念頭におき、BDC が強化された場合の δ 値の変化を調べた。計算では、図2に示したように、北半球中緯度の高度30 km付近において、CO₂-age がおよそ80%になるように、平均子午面循環を増加させた。これに応じて δ 値の高度方向の低下は小さくなり、成層圏全体で重力分離が弱くなることを示しているが、図3に示すとおり、同時にCO₂-ageと δ 値の相関関係が大きく変化することが示唆された。ageデータのみからBDCの長期変化を検出する試みがなされてきたが、さらに、CO₂-ageと δ 値の相関関係の変化が検出できれば、より明確にBDCの長期変化を明らかにできる可能性が高い。図3にこれまでの観測値を示したとおり、現時点では期間が短く、観測値のばらつきが大きいものの、CO₂-ageと δ 値の相関関係は逆にBDCが弱まっている方向に変

化する傾向にある。

4. まとめ

成層圏における重力分離の基本的な構造は、既存の分子拡散の理論で再現できることが示された。重力分離は、地球大気の輸送過程に関する新しい指標となる可能性がある。気球観測は極域や赤道でも展開されており、重力分離のグローバルな観測が期待されると同時に、今後は3次元モデルを用いた分布の再現や、長期シミュレーションが必要となるであろう。

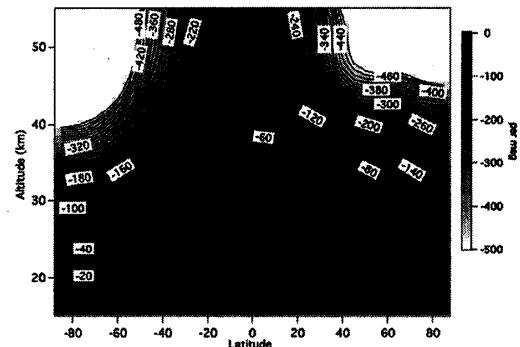


図1 モデルにより再現された δ の年平均分布。 δ は質量数が1だけ大きい分子の同位体比として表し、地表ではゼロにしている。 δ が小さいほど、重力分離が大きいことを表す。なお、-500 per meg 以下は表示していない。

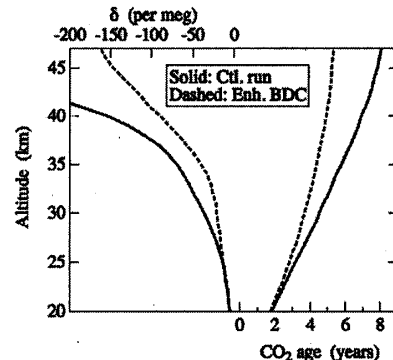


図2 北緯40°における δ とCO₂-ageの鉛直分布。コントロールランと、BDCを強化したときの計算結果。

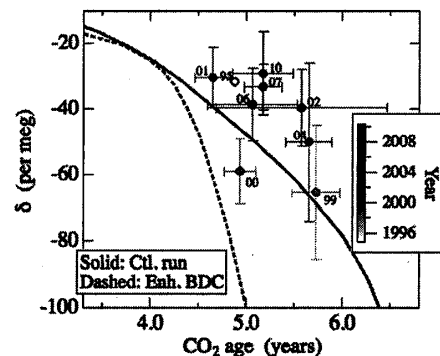


図3 図2と同様。ただし、CO₂-ageと δ 値の関係を示したもの。丸は観測値を示す。ただし、それぞれ気球観測で得られた鉛直分布から、CO₂-ageは20-28kmの平均値を、 δ は直線回帰により29km相当での値をそれぞれ求めたもの。