

光学観測のための放射伝達モデル JACOSPAR

岩淵 弘信 (JAMSTEC/FRCGC)

1. はじめに

大気・地表面のリモートセンシングや数値予報におけるデータ同化では、大気・地表面の物理特性のベクトル $\mathbf{x}$ に対して、観測される放射量（放射照度や放射輝度など） y を任意の状態 $\mathbf{x}_0$ の周りで線形化して扱うことが多い。

$$y(\mathbf{x}) = y(\mathbf{x}_0) + \sum_i \frac{\partial y(\mathbf{x}_0)}{\partial x_i} (x_i - x_{0i})$$

逆問題を解くための線形・非線形のアプローチ (Newton, Gauss-Newton, Levenberg-Marquart et al.) を問わず、観測される量 y だけでなくその偏微分を放射伝達モデルによって求める必要がある。放射量と同時に偏微分を計算するものは「線形化された」放射伝達モデルと呼ばれ、これまでに開発されたモデルでは、大気化学観測用／データ同化用を含め、GOMETRAN/CPI, OSIRIS, SIRO, LIDORT, LILA, MCC++, SHDOMPPDA などがある。用いられるアルゴリズムは様々で、偏光、大気の球状性の擬似的または完全な扱いの違いや、偏微分の精度、計算効率の面、限られた変数（吸収係数など）に対する偏微分しか計算しないなどの点でそれぞれ制限がある。

また実際の応用では、散乱・吸収特性の異なる多数の大気地表面系について放射伝達の計算をすることが多い。例えば多数の波長、観測方向・位置、異なる時間における多数の系、衛星観測画素に対応する多数の系、などである。数千／数万の条件について放射伝達計算が必要なことも珍しくはない。

2. モデル JACOSPAR

そこで本研究では衛星・地上・航空機搭載の測器を用いた光学測定から得られる量とその偏微分を多数の大気地表面系について効率的に計算する放射伝達モデルを開発した。複数の系についての放射伝達計算を同時に処理することで、独立な計算を逐次繰り返すよりも効率的になっている。

惑星大気形状は多層の平行平板または球状（球殻）とし、極域や朝夕の観測、Limb 観測に対応している。大気中での光の屈折、多重散乱、Lambert 反射を考慮した。現状では太陽放射のみ扱っている。直達光と 1 次散乱光成分を解析的に計算し、多重散乱光成分はバックワード型モンテカルロ法によって計算する。計算精度の事前指定と実際に計算された値の不確定性の診断が可能である。一回の計算で複数の大気地表面系と複

数の太陽方向について計算する設計となっている。測器の視野立体角 ($0-2\pi$ radian), 惑星の半径などは可変である。

偏微分は地表面アルベド、吸収係数、（任意の成分の）散乱係数に対する偏微分を Marchuk et al. (1980) を参考にして計算している。これら以外のパラメータに対するより一般的な偏微分を求めるため、オリジナルの大気地表面系とそれに摂動を与えた系から得られるそれぞれの放射量の有限差分を同時に計算する機能を付けた。これらの偏微分や有限差分を求めるためにかかる計算時間は放射量だけを計算する時間と比べて 1.5-4 倍程度である。

モデルの検証のため、Wagner et al. (2007, ACP) で行われたモデル相互比較の 1 ケースについて比較を行った。図 1 は地上観測の仰角 3 度で Rayleigh 散乱大気を見ている場合であり、Wagner et al. (2007) において大気球面性の影響が最も顕著に現れたケースである (PP: 平行平板, SS: 球殻)。既に検証済みのモデル MCARaTS と新しいモデル JACOSPAR の計算結果を示す。二つのモデルで有意な差は無かった。

このモデルは 100 個以上の大気地表面系について同時に計算する場合、かつ多数回の多重散乱が起きないような条件（光学的に薄い、または吸収が強い）で特に効率的であることがわかった (PC を利用した場合、散乱の光学的厚さ 0.5, 精度 1%, 大気 20 層, 1 万点の高分解スペクトルとヤコビ行列を計算するのに約 10 秒)。今後は熱放射の導入と偏光の考慮により適用範囲を広げる計画である。

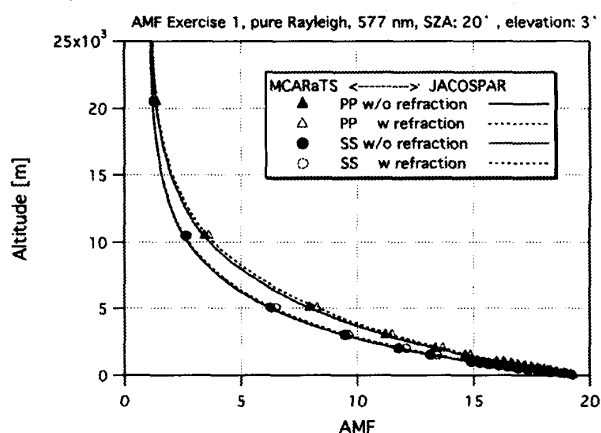


図 1. モデル JACOSPAR と MCARaTS の Air Mass Factor (AMF) 計算値の比較: AMF は吸収係数に対する偏微分を規格化した量である。