雲粒の位相関数および多層平行平板大気を仮定した モンテカルロ法による雲の層構造を考慮した周辺効果の評価

Adjacency effects from layered box shaped clouds by means of Monte Carlo Simulation taking into account a phase function of cloud particles and multi-layered plane-parallel atmosphere

新井 康平*・川口 辰也*

Kohei Arai and Tatsuya Kawaguchi

Abstract: Adjacency effects from layered box shaped clouds are clarified by means of Monte Carlo Simulation taking into account a phase function of cloud particles and multi-layered plane parallel atmosphere.

Effects on adjacency effects of phase function of the clouds in concern and the number of layers of the plane parallel atmosphere are also found together with the effects from the top and the bottom clouds.

Keywords: Monte Carlo simulation, Top of the Atmosphere radiance, Cloud type, Adjacency effects, Layered clouds

1. はじめに

隣接効果については参考文献 1), 2) 等に述べられているように、観測対象物以外からの反射光成分が対象物からの輝度に重畳する現象である。たとえば、海面のように射出輝度の小さな対象物からの輝度に、その数倍の雲の隣接効果の影響が及ぶということもあり、この影響の補正は重要である。Wilson A³⁾によれば、Turbit Case 2 海水を対象とした場合、可視波長域における海面射出輝度は $2\sim3.5[\mu\text{W}/\text{cm}/\text{sr}/\text{nm}]$ であり、高層の雲のそれはその約100倍にも及ぶ。そのため、1%の隣接効果は、海面射出輝度に匹敵するので無視できない。

モンテカルロ法による雲の隣接効果については既に報告がある⁴⁾。これらは種々の大気の状態における地表面、海面、雲等を想定したモンテカルロシミュレーションに関する研究であり、放射伝達を解析的に解くことができないような場合にこのモンテカルロ法を適

用するものであった。既往研究では、雲底と地表面との多重反射の効果、光学的厚さの異なる雲の中における散乱の効果、雲側面と地表面との多重反射の効果をモンテカルロ法によって明らかにし、また、雲が層構造をもつ場合についても各層の雲の周辺効果に及ぼす影響を明らかにしている⁵⁾。しかし、これらのシミュレーションでは、モンテカルロシミュレーションに要する時間の短縮のため、大気も雲も1層モデルによって表現しており、現実の大気および雲の持っている鉛直方向の非一様性を考慮していなかった⁶⁾。

大気を多層の平行平板モデルに置き換えた雲粒の位相関数をエアロゾルの位相関数と同じものを用いた場合のモンテカルロシミュレーションによる雲の隣接効果の評価結果については既に報告がある⁷⁾。しかし、雲の雲粒分布および雲粒の位相関数については考慮されていなかった。雲粒の位相関数をエアロゾルの位相関数と同じものを用いていた。

本研究では、多層の雲の隣接効果を解明する際に、大気を多層の平行平板モデルで表し、その層数の隣接効果に及ぼす影響を調べた⁸⁾。また、雲粒の位相関数を現実に近いものを用いた。これらの結果を既往研究と1層の大気モデル、1層の雲で雲粒の位相関数がエアロゾルのそれと同じ場合の隣接効果と比較し、大気を多層にする効果と雲粒の位相関数を考慮する効果を明

*佐賀大学知能情報システム学科

Dept. of Information Science, Saga University

〒840-8502 佐賀市本庄1

1 Honjo, Saga 840-8502 Japan

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 40, NO. 6, 2001

らかにし、それらによってより現実の状態に近いシミュレーション条件における多層雲の隣接効果を解明したのでここに報告する。

2. 対象とする雲

雲底高度、雲頂高度をそれぞれ、Ht, Hb とすると、世界気象機関の定義する10種雲形⁹⁾は Table 1 のようになる。本研究では、

- 積雲、積乱雲を対象とした1層の雲
- 下層の乱層雲、層積雲、層雲に中層の高積雲、高層雲がかかっているような層構造の雲を対象とした2層の雲について隣接効果の評価を行う。Figure 1 にここで想定した1層および2層の雲を模式的に表す。

2.1 1層の雲

1層の雲の対象となっている積雲、積乱雲は、鉛直方向に発達する雲で、対流雲とよばれることもある。

積雲は地面付近から中、上層まで広がることのある雲で、天気の良い日の昼間などによく見られる。また、積乱雲は垂直に大きく発達した濃密な雲で、この雲からは、雷、強い雨が降ったりする。このような下層の雲は、太陽光を反射して地表面に達する日射量を減らす反射効果が強いとされている。GLAS モデル¹⁰⁾によると、積乱雲(C_b)のアルベドは0.8、積雲(C_u)のアルベドは0.7となっている。そこで今回は、参考文献¹⁰⁾のGLAS モデルから、1層の雲の反射率(R)は0.7とし、光学的厚さ(OD)を9.0とした。

2.2 2層の雲

2層の雲の上層部の対象となっている高積雲は、白または灰色で丸いかたまりやロール状になっており、高層雲は灰色がかっているか、うす青みがかった色で一樣な層をしている。下層部の対象となっている乱層雲は、低いところから高い層まで広がる暗い灰色の厚い雲で、太陽や月を完全にかくし、雨を降らせる。層

Table 1 雲の種類

	和名	別名	国際名	雲底高度	雲頂高度
上層雲	巻雲	すじ雲	Cirrus	6 km	
	巻積雲	うろこ雲	Cirrocumulus	6 km	
	巻層雲	うす雲	Cirrostratus	6 km	
中層雲	高積雲	ひつじ雲	Alto cumulus	2 km	6 km
	高層雲	おぼろ雲	Altostratus	2 km	6 km
下層雲	乱層雲	雨雲	Nimbostratus	0 km	2 km
	層積雲	くもり雲	Strato cumulus	0 km	2 km
	層雲	霧雲	Stratus	0 km	2 km
	積雲	わた雲	Cumulus	0.5 km	6 km
	積乱雲	雷雲、入道雲	Cumulonimbus	0.5 km	6 km

Figure 1 The clouds in concern(Single and double layered clouds)
OD : Optical Depth, R : Reflectance

積雲は、地面付近から2000m くらいにでる雲で、灰色または白っぽい、あるいは灰白色のかたまりや薄い板のような層状の雲である。層雲は、雲の底が一様で、灰色の雲で霧雨が降ることがある。このような中層の雲は、下層の雲に比べて光学的に薄く太陽放射をよく通す。GLAS モデルによると、高層雲(A_s)のアルベドは0.5、層雲 S_t のアルベドは0.7となっている。そこで、これについても参考文献10)の GLAS モデルから、上層雲の反射率(R)を0.5、光学的厚さ(OD)を4.5、下層雲の反射率(R)を0.7、光学的厚さ(OD)を9.0とした。

3. 一様大気中に雲が存在する場合におけるモンテカルロ・シミュレーション

モンテカルロ法により現実に近い大気・地表系内における光の多重散乱・多重反射の問題を数値実験的に解くことを考える。

Figure 2 のように、孤立雲が存在する 3 次元大気セルを想定し、その大気上面から乱数的に光子を発生させ、太陽入射方向(天頂角および方位角)、(μ_0, ϕ_0)に従うように入射し、発生させた個々の光子の進行距離やその大気粒子との散乱・吸収を大気的光学的特性パラメータに応じて確率的決定をしながら追跡する。このシミュレーションにおいて大気セル上面から射出された光子の数をカウントすることにより、大気上面から

Figure 2 The simulation cell of the atmosphere

射出する放射輝度を計算する。

ここで次の仮定をする。

- 光子が散乱によって大気セルの範囲から出てしまう時にはその面に相対する面から大気セルに光子が入射する。
- 大気は同一層内では光学的に一様である(水平方向には一様、垂直方向には非一様)。
- 地表面は平面で一様な反射率を有するランベルト面である。

この大気セル内に光子を太陽の入射角にしたがって入射する。このとき、大気中を光子が進む距離(自由行程)を乱数を用いて決定し、光子がつぎに衝突する粒子が空気分子か、エアロゾル粒子かをそれらの光学的厚さに応じて決定し、その粒子の単散乱アルベドによって光子が吸収されるか散乱されるかを決定し、散乱される場合は、その粒子の位相関数により散乱角を決定して、また、自由行程を計算する。これらを繰り返し、大気中を光子が伝搬する。雲の表面はランベルト面と仮定し、その反射率に応じて反射し、反射率を1から引いた透過率で透過させた。さらに、地表面もランベルト面を仮定し、反射率に応じた反射を行い、反射率を1から引いた吸収率で光子を吸収させた。現実の雲、地表面はミネラルト則のような異方性双方向反射特性をもつ面であろうと考えられるが、特に、雲のミネラルト係数等の反射特性に言及した論文が見当たらなかったため、ここでは計算の容易性からもランベルト性の仮定をおいた。シミュレーションセルを飛び出すような光子については飛び出す位置と正反対の位置から同じ方向に光子を入射させた。これらモンテカルロ法の詳細は参考文献5)に記載したので参照願いたい。

3.1 モンテカルロ法に必要な光子数

モンテカルロ法において大気セルに入射する光子数は十分に大きくする必要がある。これが少ない場合、解の変動が大きく、信号対雑音比が悪い状態でのシミュレーションになってしまう。一例として、光子数を変えて大気上端における放射輝度¹を計算してみると、Figure 3 のようになる。このことから、安定した大気上端放射輝度を得るためには、およそ10億個の光子が必要になることが判った。そのため、これ以降の

¹ 地表面反射率を0.4、エアロゾルの光学的厚さを0.1、空気分子の光学的厚さを0.1に、それぞれ、設定した場合の放射輝度である。

Figure 3 A relationship between the Top of the Atmosphere(ToA) radiance and the number of photons
aero : Aerosol optical depth, ray : Rayleigh optical depth, Refl : Reflectance

モンテカルロ法において用いる光子数は10億個に設定した。

3.2 大気セルサイズおよびシミュレーションパラメータ

モンテカルロシミュレーションのパラメータの設定は参考文献⁵⁾と等しくした。すなわち、大気セルのサイズは東西50km, 南北50km, 高さ50kmとした。大気組成は空気分子とエアロゾルのみとし、大気圏外太陽放射束はMODTRAN-3.7¹¹⁾に含まれているものを用いた。また、エアロゾルの複素屈折率²⁾の実部を1.44, 虚部を-0.005, 単散乱アルベドは0.9318とした。また、エアロゾルの粒径分布はユンゲ分布でユンゲパラメータは3, 波長は0.5 μ m, 太陽天頂角は30度, 太陽方位角は北から西まわりで120度, 地表面はランベルト面で一様とした。太陽光が180度方向から入射した場合が最も隣接効果が大きく, 90度方向からの入射が最も小さい。この太陽光の入射条件と隣接効果の定量的な関係については別の機会に述べるものとし, ここでは, 一例として120度入射の場合を取り上げて検討している。さらに, 衛星高度は任意に設定できるが, ここでは

JERS-1衛星等で採用されている500kmを仮定し, 瞬時視野を地表面で700m $\times$ 700mと想定した。すなわち, 約0.0014ラジアン=0.8度の瞬時視野をもつプッシュブルーム型の放射計が衛星に搭載されている状況を模擬した。50km高度の大気上端には約0.8度 $\times$ 0.8度のビンを設定し, そのビンに瞬時視野角内に入ってくる光子の数をカウントすることにした。このビンをx方向(東西)に配列し, y方向(南北)に走査してプッシュブルームを模擬した。

Figure 4に示すように, 雲は直方体(x方向10km, y方向50km)とし, 大気セルの中央に配置した。この雲の表面はランベルト面とした。この雲以外の地表面は平面な海面を仮定している。

3.3 隣接効果の評価

今回は, 隣接効果の評価項目として,

- 1層と2層の雲の隣接効果の相違
- 2層の雲の層別の隣接効果に及ぼす影響
- 雲の側面の隣接効果に及ぼす影響
- 雲粒の位相関数の隣接効果に及ぼす影響

を考慮した。参考文献⁵⁾において, 1層と2層の雲の

²⁾ これは, 海塩粒子起源のエアロゾル(Oceanic)と水溶性エアロゾル(Water Soluble)を6 : 4の比率でMaxell-Garnetの混合則にて混合したものに相当している。

Figure 4 Outlook of the cloud in concern(Side view : Top, Top view(Bottom))

隣接効果の相違，2層の雲の層別の隣接効果に及ぼす影響，雲の側面の隣接効果に及ぼす影響等について明らかにした。ここでは雲粒の位相関数の効果を調べることにする。この隣接効果を評価するために，参考文献5)において定義した Slope Factor(D_{99})を再度定義する。 D_{99} は，Figure 5に示すように，雲のエッジから雲の輝度の隣接効果による影響がだんだん減少し，平均的な海面輝度の1%に到達するまでの距離である。この1%の隣接効果は衛星搭載センサの量子化ビット数を8ビットとすると，2，3レベルに相当し，無視できない。衛星搭載センサの観測最大入力放射輝度を，雲や雪氷のように高輝度レベルを呈する対象物を観測する場合でも飽和しないように設定すると考えると，この1%の隣接効果は，海面射出輝度に匹敵するので無視できない。

3.4 1層と2層の雲の隣接効果の比較

Figure 6，7に1層と2層の雲の隣接効果の比較を

Figure 5 The definition of Slope Factor(D_{99})

示す。

1層の雲の D_{99} は4.8km，2層の雲の D_{99} は4.1km で1層の雲の方が隣接効果が大きいことが判った。雲の平均放射輝度は，2層の雲より1層の雲の方が大きくなっている。これは，2層の雲の上層の雲の反射率が0.5であるのに対し，1層の雲の反射率が0.7であり，1層の雲の上面でより多くの反射が起こったためであると考えられる。また，左側の天頂角30度から太陽光が入射するように設定しているため，反対側の雲の右側には約3 km の影が現れ，この部分では大気上端輝度が急速に下がっていることも判る。

● 2層の雲と上層の雲を取り除いた雲の隣接効果の比較

Figure 8，9に2層の雲と上層の雲を取り除いた雲の隣接効果の比較を示す。

2層の雲の D_{99} は4.1km であるのに対し，2層の雲の上層の雲を取り除いた1層の雲の D_{99} は2.0km と隣接効果が小さくなっていることが判った。また，上層の雲を取り除いた雲は，雲頂高度が2 km と2層の雲より低くなったため，雲の影が小さくなっている。

上層の雲を取り除いた雲は，1層の雲と比べると，雲頂高度は低く，体積も小さくなっているが，雲の平均大気上端輝度にはあまり差がない。これにより，雲の大気上端輝度は，雲の上面の反射率が支配的であることが判る。

● 2層の雲と下層の雲を取り除いた雲の隣接効果の比較

2層の雲の D_{99} は4.1km であるのに対し，2層の雲の下層の雲を取り除いた1層の雲の D_{99} は7.6km と隣接効果がかなり大きくなっていることが判った。こ

Figure 6 A comparison of phase functions between aerosol and cloud particles calculated with Mie scattering theory

Figure 7 A comparison of the adjacency effect of the single layered cloud with phase functions of aerosol and cloud particle (the unit of ToA radiance is $W/cm^2/str/\mu m$)

れより、2層の雲の隣接効果において、上層の雲は隣接効果を増加させ、下層の雲は隣接効果を減少させていることが判る。

下層の雲を取り除いた雲は、光学的厚さ4.5、反射率0.5と薄い雲にもかかわらず、隣接効果が大きくなって

いる。これは、雲で反射されず透過し、雲の中で散乱された光子が隣接効果に大きな影響を与えていることが原因と考えられる。

●雲粒の位相関数の隣接効果に及ぼす影響
参考文献5)では、雲粒の位相関数は大気中のエアロ

ゾル(複素屈折率は実部が1.44, 虚部が0.005, エアロゾルの分布はユング分布でユングパラメータは3, 粒径の最小半径は0.01 μm , 最大半径は10 μm , 波長は0.5 μm)と同じ位相関数を仮定して実験を行った。しかし, 実際の雲粒の粒径は最大半径が15~30 μm で, 最も数が多い半径は3~7 μm ¹²⁾となっており, 大気中のエアロゾルに比べて粒径が大きい。

エアロゾルについては, 球形を仮定した任意の大きさの粒子による電磁波の散乱理論, Mie 散乱理論が使用される。Mie 散乱において, 光の波長が同じ場合, 散乱される粒子の粒径が大きいほど前方散乱が卓越するという特徴がある。

今回は, 雲粒の位相関数として参考文献12)の粒径が15から30 μm の water soluble のものを考慮し, Mie 散乱理論に基づく平均的な位相関数を求めて用いた。

大気中のエアロゾルと平均的雲粒の位相関数を Figure 6 に示す。

また, 1 層の雲の場合について, 雲粒の位相関数を大気中のエアロゾルと同じものを用いた場合と平均的雲粒の位相関数にした場合の隣接効果を比較した。その結果を Figure 7, Table 2 に示す。

雲粒の位相関数を前方散乱が大きくなる平均雲粒のものにした場合, 雲エッジ付近の輝度は大きくなっているが, 雲の平均放射輝度, D_{99} ともに小さくなっている。

参考文献 5) に示したように, 隣接効果の影響が比較的大きかった 2 層の雲の下層雲を取り除いた雲について実験を行った。その結果を Figure 7, Table 2 に示す。

Figure 7 をみると, 雲のエッジから 3 から 4 km の範囲ではエアロゾル位相関数の場合よりも雲粒の位相関数の場合の方が隣接効果が大きく, ToA 放射輝度が上回っていることが判る。これは, 雲粒の位相関数の方がエアロゾルのそれよりも前方散乱が卓越しているためと考えられる。しかし, D_{99} にすると, 殆ど変わらないことも判る。また, 雲の影は太陽天頂角を30度に

Table 2 The mean ToA radiance and D_{99} for the single layered cloud with the phase function of aerosol and cloud particle

Phase Function	ToA Radiance	D_{99}
Aerosol	1.099E-5	7.6km
Cloud Particle	1.086E-5	7.6km

設定しているため, Figure 7 に示すような距離まで現れ, その輝度は両者の場合とも同じである。

雲の隣接効果は, 雲の中で多重散乱された放射の寄与が大きいのので, 位相関数の前方散乱が大きくなると, 雲エッジ付近の輝度が大きくなっていた。雲粒の位相関数は, 隣接効果に影響を及ぼすことが判った。

4. 層構造大気中に雲が存在する場合におけるモンテカルロ・シミュレーション

現実の大気は, 高度方向に不均一な大気である。そこで, 現実に近いモデルを想定するため, 3次元大気セルを層構造にする。今回は, Gauss-Seidel を使うことにより大気を分割した。Gauss-Seidel は, 反復法による収束計算を用いた平行平板大気モデルに基づく放射伝達コードであり^{5,6)}, 光学的厚さにより, 大気をいくつかの層に分割し, 放射伝達を計算した。光学的厚さ0.2(エアロゾル0.1, 空気分子0.1)の場合, Gauss-Seidel は大気を10層に分割した。この時の高度とエアロゾル, 空気分子の光学的厚さを Table 3 に示す。

光学的厚さ0.4(エアロゾル0.2, 空気分子0.2)の場合, 大気を21層に分割した。高度とそれぞれの光学的厚さを Table 4 に示す。

ここでは, これら 2 つの光学的厚さの層構造大気セルに雲を配置し, より現実に近いモンテカルロ法による雲の隣接効果の評価を行った。

4.1 層構造大気におけるパラメータの計算方法

光学的性質が異なる層構造の境界における光子の進

Table 3 Optical depth of aerosol and molecule for ten layered atmosphere model

Layer	Altitude	Aerosol	Molecule
10th	14.868km~50.0km	0.007325	0.011809
9 th	9.868km~14.868km	0.006168	0.013963
8 th	6.668km~ 9.868km	0.004410	0.015632
7 th	4.328km~ 6.668km	0.004286	0.015800
6 th	2.708km~ 4.328km	0.006514	0.013617
5 th	1.723km~ 2.708km	0.010541	0.009586
4 th	1.089km~ 1.723km	0.013244	0.006767
3 rd	0.663km~ 1.089km	0.014925	0.005178
2 nd	0.282km~ 0.663km	0.015966	0.004171
1 st	0.0km ~ 0.282km	0.016615	0.003473

Table 4 Optical depth of aerosol and molecule for 21 layered atmosphere model

Layer	Altitude	Aerosol	Molecule
21st	20.018km～50.0km	0.004726	0.010445
20th	15.568km～20.018km	0.008392	0.010709
19th	12.618km～15.568km	0.006839	0.012443
18th	10.418km～12.618km	0.005588	0.013730
17th	8.668km～10.418km	0.004682	0.014532
16th	7.188km～ 8.668km	0.004138	0.015010
15th	5.888km～ 7.188km	0.003708	0.015549
14th	4.788km～ 5.888km	0.004119	0.015100
13th	3.848km～ 4.788km	0.004819	0.014463
12th	3.068km～ 3.848km	0.006196	0.013183
11th	2.458km～ 3.068km	0.007987	0.011137
10th	1.978km～ 2.458km	0.010032	0.009337
9 th	1.596km～ 1.978km	0.011502	0.007808
8 th	1.284km～ 1.596km	0.012556	0.006634
7 th	1.023km～ 1.284km	0.013349	0.005733
6 th	0.798km～ 1.023km	0.014082	0.005081
5 th	0.6km ～ 0.798km	0.014738	0.004579
4 th	0.426km～ 0.6km	0.015085	0.004109
3 rd	0.27km ～ 0.426km	0.015485	0.003754
2 nd	0.129km～ 0.27km	0.015809	0.003450
1 st	0.0km ～ 0.129km	0.016158	0.003205

Figure 8 The method for determination of the final destination of photon when the photons across the border of the different layers

行距離の決定は、一様大気における決定方法は使用できない。そこで、光学的性質が異なる大気層に光子が入る時には境界で一旦光子を止めて、境界で新しく入る大気層の光学的パラメータに基づいて新たに進行距離を決定する方法で進行距離を求める。この方法を Figure 8 に示す。

4.2 一様大気と層構造大気の大気上端輝度の比較

雲のない一様大気と層構造大気で地表面反射率を変化させた場合の大気上端輝度を比較した。その結果を Figure 10, 11 に示す。

4.3 10層大気に1層雲が存在する場合の隣接効果

Figure 9, Table 5 に10層大気に1層雲が存在する

Figure 9 A comparison of the ToA radiance for the single and ten layered atmosphere(the unit of ToA radiance is $W/cm^2/str/\mu m$)

Figure 10 Adjacency effect of the single layered cloud for the 21 layered atmosphere(the unit of ToA radiance is $W/cm^2/str/\mu m$)

Table 5 A comparison of the mean ToA radiance and D_{99} for the single layered cloud between the single and the 10 layered atmosphere

The No. of Layer	ToA Radiance	D_{99}
10	1.911E- 5	5.5km
Single	1.535E- 5	4.8km

Table 6 ToA radiance and D_{99} for the single layered cloud with the single and 21 layered atmosphere

The No. of Layer	ToA Radiance	D_{99}
21	1.712E- 5	3.4km
Single	1.350E- 5	2.7km

場合の隣接効果を示す。

一様大気の1層の雲より、10層大気の1層の雲の方が D_{99} 、雲の平均放射輝度ともに大きくなっている。

4.4 21層大気に1層雲が存在する場合の隣接効果

Figure 10, Table 6 に21層大気に1層雲が存在する場合の隣接効果を示す。

10層大気と同様に、21層大気の1層の雲の方が D_{99} 、雲の平均放射輝度ともに大きくなっている。

雲のない一様大気と層構造大気では、地表面の反射率を変化させても大気上端輝度にはあまり変化が見られなかったが、雲の存在する一様大気と層構造大気では、隣接効果と雲の平均放射輝度にかなりの違いがあった。これは、雲の上面は10層大気では、第7層、21層大気では第15層と大気の上層にあるため、層構造大気における進行距離は大気の上層ほど大きくなっ

ているからである。

実際の大気は、層構造になっていると考えられており、より正確な隣接効果の影響を調べるためには、層構造大気における隣接効果の評価が必要である。

5. あとがき

雲の隣接効果は、雲の中で多重散乱された放射の寄与が大きいため、位相関数の前方散乱が大きくなると、雲エッジ付近の輝度が大きくなっていた。このことから、雲の隣接効果を評価する際には雲粒の位相関数を考慮する必要があることが判った。

また、大気を多層の平行平板モデルと考えた場合の層数を変えた雲の隣接効果の評価結果から、隣接効果は層数が大きくなるにしたがって増大することが確認できた。すなわち、隣接効果は大気中の多重散乱に起

因しているので多層大気の方が単層よりも大きく、現実に近い評価が期待できる。このことから、雲の隣接効果を評価する際、平行平板大気の層数を十分大きくとる必要があることが判った。

謝辞

本研究を進めるに当たり、御指導、御教示戴いた金沢工業大学の川田先生をはじめ、日頃御討論戴く、元気象研究所の高島氏(現在、CSIRO)、気象研究所の小林氏、増田氏、千葉大学の竹内先生、高村先生、久世先生に深謝の意を表します。また、モンテカルロシミュレーションプログラムの作成に協力してもらった、本学の寺山、江頭両氏に感謝します。

(受付日2001.5.16, 受理日2001.11.14)

参考文献

- 1) Kawata, Y., Y. Haba, T. Kusaka, S. Ueno and Y. Terashita, Atmospheric effects and their correction in airborne sensor and Landsat MSS data, Proceedings of the 12th International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM, pp. 1241-1257, 1978.
- 2) Lenoble, J., Edt., Radiometric transfer in scattering and absorbing atmospheres: Standard computational procedures, A Deepack, Publishing 1985.
- 3) 高島 勉, 増田一彦, 沿岸域における大気上端からの放射輝度に及ぼす陸域反射光の影響計算アルゴリズム, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 17, No. 4, pp. 3-13, 1997.
- 4) Wilson A., Atmospheric correction of SeaWiFS data: An algorithm and validation for case-2 waters, NASA Technical Memorandum 104566, 31, 1996.
- 5) Kobayashi, T., K. Masuda and M. Sasaki, Effects of adjacent clouds to satellite field of view on the measurements of the surface reflectivity, Proceedings of the International Symposium on the Atmospheric Correction of Satellite Data and Its Application to Global Environment, 157-160, 1998.
- 6) 新井康平, 川口辰也, モンテカルロ法による雲の層構造を考慮した周辺効果の評価, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 21, No. 2, pp.179-185, 2001.
- 7) 新井康平, 寺山康教, モンテカルロ法に基づく層構造を持つ雲の周辺効果の影響評価, 千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究会報告集, No. 6, pp.52-55, 2000.
- 8) 川田剛之, モンテカルロ法によるターゲット観測輝度に対する周辺雲の影響評価, 千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究会報告集, No. 6, pp.29-33, 2000.
- 9) 新井康平, 川口辰也, モンテカルロ法に基づく多層雲の隣接効果の解明, 日本リモートセンシング学会第30回学術講演会, B8, pp.49-50, 2001.
- 10) W.E. Meador, W.R. Weaver, Two-Stream Approximations to Radiative Transfer in Planetary Atmospheres: A Unified Description of Existing Methods and a New Improvement, Journal of Atmospheric Science, 37, 1980.
- 11) 時岡達志, 山岬正紀, 佐藤信夫, 気象の数値シミュレーション, 東京大学出版会, p.50, 51.
- 12) US Air Force Geophysical Laboratory, MODTRAN 3 User Instructions, GL-TR-89-0122, 1996.
- 13) 浅井富男, 武田喬男, 木村竜治, 大気科学講座 2 雲や降水を伴う大気, 東京大学出版会, p.82, 83.
- 14) 新井康平, リモートセンシングの基礎理論, 学術図書出版, 2001.
- 15) J. Lenoble (Edt.), Radiative transfer in scattering and absorbing atmospheres: Standard Computational Procedures, A. Deepak Publishing, 1985.