

LAIを推定し、さらにLAIから葉量を推定する手法で5%以下の精度で推定が可能であることを示した。本アルゴリズムをTERRA/MODISの観測データに適用したところ、約15%の精度で葉量推定が可能であることが示された。

1.2.6. 混交林における植生物理量計測に関する研究

(本多嘉昭, 梶原康司)

カラマツ林のように落葉の単相林では光学的なLAI計測や、葉量の実測は比較的容易に行うことができる。しかしながら、常緑樹を含む混交林では樹冠の空間分布が一様ではないため、光学的なLAI計測では計測値の代表性が問題となる。また、リターの回収によるLAIや葉量の実測も常緑樹の場合では真値を得ることが極めて困難である。そこで本年度から千葉県東金市に上記のような計測手法を開発するための観測サイトを設定し、観測を開始した。本年度は光学的LAI計測で代表性を持たせるために必要な計測面積を明らかにするために1m間隔の密な計測ポイントを140箇所設定し、そこで得られた計測値と、サンプリングによって取得したLAIとの比較を行ったところ、計測を行った領域では、計測ポイントを中心とする半径約7mの範囲のLAIを反映しているという結果を得た。今後、このような計測を継続して、植生物理量推定アルゴリズムを構築するための基礎データを蓄積していく予定である。

1.2.7. 学外共同研究

環境省地球環境総合推進費 「北東アジアにおける砂漠化アセスメント及び早期警戒体制（EWS）構築のためのパイロットスタディ」（研究代表 東京大学大学院農学生命科学研究科 武内和彦教授）
サブテーマ2：砂漠化指標の長期的モデリングのための観測手法の標準化（本多嘉昭, 梶原康司）

プロジェクト3：衛星データと地上観測ネットワークによる放射収支の評価と大気パラメータの長期変動 [概要]

衛星データによる地球表面と大気の放射収支の推定・評価は、地球全体の気候変動研究に対して基礎的な量を提供するとともに、気候変動に関わる全球モデルの初期値データや検証データとしても重要性が高い。また放射収支は地球表層環境における主要なエネルギー過程として、植生や水文、海洋の動態研究に欠くことのできない量である。本研究では東アジアにおける放射収支の長期変動を、その要因となる大気パラメータの変動を含めて、衛星データによる解析と地上ネットワーク観測による解析の両面から総合的に研究する。

Project 3: Evaluation of radiation budget on the basis of satellite data and ground observation network, and study of long-term changes in atmospheric parameters

The satellite evaluation of radiation budget in the Earth's surface system including the atmosphere provides basic quantities required for the study of the global climate change. The data are important also as the basic parameters in the construction of global model for the climate change. Since the radiation budget describes the principal energy process in the Earth's surface, its accurate understanding is indispensable for studying dynamic behavior of vegetation, hydrology, and ocean environment. In this project, the long-term changes in the radiation budget of the East Asia region and in related atmospheric parameters are investigated in a comprehensive manner. Both the satellite data and ground-network data will be employed for this purpose.

[研究内容]

1.3.1. 衛星データを利用した放射収支・大気パラメータと長期変動の研究

(内容)

衛星データから地表面放射収支に関わる大気パラメータ諸量を抽出するアルゴリズムを確立するとともに、放射収支関連のデータセットを作成する。代表的な観測パラメータとしては、地表面での放射量・温度分布、および雲・エアロゾル量が挙げられる。過去およそ20年間の衛星データの解析も含め、これら諸量の地域的・季節的変動の研究を通じ、地表面環境研究に貢献する。

(成果)

東アジア地域を中心とする地表面の放射量分布、温度分布データベースの作成 (高村, 中島)

従来、GMSデータなどを利用して、太陽光の地表での下向き放射量の推定、晴天大気時の地表放射温度分布の計測アルゴリズムの開発を進めてきた。これまで1999年から2000年までのプロダクトが生成された。しかし、これらは十分な精度検証(アルゴリズム検証)がなされておらず、信頼度評価が不十分であった。この観点から、本年度はこれまで作成された上記プロダクトの精度検証を中心に行った。SKYNETによる地上観測値との比較の結果、地表面日射量の推定において、晴天時の推定は良く一致するものの曇天時の推定に大きな誤差が見られ、日平均で $50\text{W}/\text{m}^2$ 以上のケースが見られる。これは放射収支量に深刻な影響を及ぼすことから、誤差の原因究明が行われた。その結果、GMS固有のセンサー検定常数の経年変動、雲の多様性による解析における仮定の妥当性の問題、雲自身の非等方性に由来していることなどが示唆された。この結果を基に解析アルゴリズムの改善を図る必要があり、次年度以降の課題としたい。

衛星データの放射輝度値から大気の光学的厚さと地表面アルベドを分離する手法の確立 (久世, 竹内)

衛星データと、ライダー等の地上測器による観測データを利用し、千葉地域を例として、海陸の境界におけるエアロゾル特性の変化を把握する研究を行った。これまで、放射伝達コード6Sによって地表面アルベド ρ と光学的厚さ τ の関数関係を求め、さまざまな地表面分類アルベド画像(ρ マップ)をもとに衛星データから光学的厚さの分布画像(τ マップ)の作成を行ってきた。本年度は、これまでに引き続いて千葉大学を中心とする関東地域をモデル地域とし、LANDSAT-5/TM衛星データから、より精度の高い大気エアロゾル情報を抽出することを主な目的として研究を行った。大気が清浄な複数の日の衛星データにおけるエアロゾル光学的厚さが一様であるとし、サンフォトメータによる観測値を仮定して、大気の影響を取り除く大気補正を行い、 ρ マップを作成した。作成した ρ マップの相互比較、および小型CCD分光器を用いて実測した地表面反射率から作成した参照アルベド画像との比較によって精度検証を行った。この ρ マップを基に、大気が混濁した日の衛星データより、 τ マップを導出した。サンフォトメータ観測地点で τ マップにおける光学的厚さと実際の観測値の誤差は、バンド1(波長450-520nm)において8%未満、バンド2(520-600nm)において5%未満であり、十分に実用的な精度をもつ結果が得られた。GMS/VISSRによる日本付近の画像データについても同様の手法による研究を開始しており、今後、都市域の衛星データの解析に向け、衛星の地表面分解能との関係に注目しつつ、アルベドとエアロゾル光学的厚さのデータベース化をめざして研究を進める。

共同利用研究では、次のような成果が得られた。GMSを用いた地表面エネルギーフラックス算出アルゴリズムの開発(研究代表者、石川裕彦)では、アジア地域の気候を支配するアジアモンスーンの形成に多大な影響を与えているチベット高原を研究対象とした。海拔高度が4000mを越える地表面の日射による加熱は、対流圏中層の大気に直接熱的な影響を及ぼす。高原全体からの寄与を考察するために、潜熱・顕熱フラックスの日変化の振幅が非常に大きいことを考慮し、日変化が解像できる時間間隔で長期的に観測が可能なGMS-5のデータを用いた。地表面フラックス算出アルゴリズムSEBSを用いてGMS-5から算出した地表面フラックスは、再解析データERA40およびゾンデ観測値と矛盾のない日変化および季節変化を再現できていることが明らかになった。衛星データに含まれる大気減衰の効果を水蒸気チャンネル以外のデータから定量化することができれば、他の地域においてもフラックスの空間分布を求めることができるようになることが期待される。

偏光情報を利用した衛星・地上からの大気粒子解析(研究代表者、佐野 到)では、陸上域を含めた全球規

模でのエアロゾル情報の導出法に関して研究した。本研究の特徴は、ADEOS-1/POLDER(1996-1997)、ADEOS-2/POLDER-2(2003)によって観測された偏光輝度データを用い、海上域においては光学的厚さ、オングストローム指数、組成(屈折率)を、また、陸上域では光学的厚さとオングストローム指数を導出した点にある。その結果、バイオマス燃焼に由来するエアロゾルや、黄砂現象にともなうエアロゾルなどが明確に検出された。同時に、地上からのエアロゾル光学特性把握のため、東大阪市、長崎県福江島、和歌山県白浜町において地上放射計観測を実施し、衛星データからの解析と一致する結果を得た。

1.3.2. 地上観測データの収集と衛星データ解析アルゴリズムの高精度化

(内容)

衛星データから得られる各パラメータ量および関連する大気環境情報について地上からの同時計測を行い、その結果を利用して衛星データの解析アルゴリズムを検証し、高精度化を図る。観測の対象となる主なパラメータとしては、下向き太陽放射、水蒸気・雲水量、エアロゾルの光学特性、放射過程に関する大気分子成分のコラム量、および大気ゆらぎ量などが挙げられる。

(成果)

東アジア地域における地域的特性を考慮したエアロゾル気候学の基礎データ取得(竹内、久世): 代表的な地域について、地上検証結果も踏まえながら、標準地表面データセットおよび標準エアロゾルデータセットを作成することは、衛星データの管理・検証の意味からも有意義である。

近年来、可搬型自動計測ライダー(PAL)の開発と運用を進めてきたが、2002年からの連続観測データを利用して、地上付近のエアロゾル層の生成と消滅、境界層高度の時間変化や振動現象などについて調べた。また、境界層内部におけるエアロゾルの消散係数と地上計測される浮遊粒子状物質(SPM)の間には、しばしば、高い時間的な相関が観測されることを示し、これを、エアロゾルの質量消散係数(MEE)の形で整理した。昼間と夜間におけるMEEの平均値は、それぞれ、 $3.3\text{m}^2/\text{g}$ 、 $11.1\text{m}^2/\text{g}$ となり、昼間の小さなMEEの値は粗大粒子(主として海塩粒子や土壌粒子などの自然起源の粒子で、粒径がおおよそ $1\mu\text{m}$ 以上の粒子)が微小粒子(燃焼による煤や硫酸塩など、人為起源の粒子)に比べて卓越していることを示す。一方、大きなMEEの値は、(i)微小粒子の卓越、(ii)煤粒子を核とする内部混合粒子の存在、(iii)湿度の上昇による粒子の成長、といった要因による消散係数の増大に結び付けて考えることができる。全球はもとより、地域的な放射伝達へのエアロゾルの寄与を考えると、エアロゾルの質量としての発生量と、その光学的インパクトを橋渡しする量として、MEEは重要な概念である。さらに、エアロゾルは雲粒子の凝結核として働くため、その微視的プロセスの把握においても重要な役割をもつものと考えられる。PALの測定データはまた、雲ライダーによる雲底高度の観測において有力な検証データを提供する。

PALが単一波長(532nm)のライダーであるのに対し、多波長ミー散乱ライダーは地域的なエアロゾルの特性を鉛直プロファイルまで含めて取得する有力な手段を提供する。そのデータ解析には様々な方法が存在し、状況に応じた方法の使い分けが必要である。フェルナルド法では消散係数と後方散乱係数の比である S_1 パラメータの値を仮定する必要があり、この値は結果に大きく影響する。 τ マッチング法では、サンフォトメータを併用することによりデータの解析精度を上げることができるが、太陽の出ている時刻のデータにし適用できない。参照テーブル法(LUT法)では、観測された各波長の信号強度の比較からエアロゾルの粒形分布と屈折率を高度別に求めることができ、さらに S_1 の高度変化を通じてエアロゾルの特性変化が解析可能であるが、ミー散乱によるLUTの計算の際に多くの時間を要する。本年度は、計算時間の短縮をめざした改良型LUT法によりシミュレーションデータ及び実際の測定データを解析し、その結果をフェルナルド法や τ マッチング法による結果と比較するとともに、ダイナミックレンジの大きなライダーデータ解析において特に問題となるバックグラウンドの補正法について、各データの状態に合わせた解析方法について考察した。その他、天空光の簡易計測手法として、照度計やCCD小型分光器の活用について放射伝達計算の結果との比

較を含め、検討を行った。

共同利用研究においては、以下のような成果が得られた。ヤマセ雲の衛星リモートセンシングおよび数値モデル化のための検証観測（研究代表者、浅野正二）では、夏季の三陸沖海上に頻発し、東北地方や北海道東部の天候に大きな影響を与えるヤマセ雲の雲物理学的構造と放射特性を、NOAA衛星データ等を用いたリモートセンシングおよび数値モデルによるシミュレーションの手法により解析した。2003年6月の船舶観測において遭遇したヤマセ現象を中心に、そのときのNOAA/AVHRRデータを解析して、ヤマセ雲の光学特性および雲物理特性を抽出した。この船舶観測により、ヤマセ現象に伴う海洋大気境界層の時間変化の様相を初めて捉えることができた。このように、地表面（海面）からの検証観測を実施することにより、雲水量や有効半径などの雲パラメータの衛星リモートセンシングおよび数値モデルの雲パラメタリゼーションに含まれる不確実性を減らし、それらの改良に資することができる。

エアロゾルの光学特性に関する観測的研究（研究代表者、塩原匡貴）では、リモートセンシングおよび現場観測により対流圏エアロゾルの光学特性を調べることを目的とし、甲府での黄砂観測（2004年4月）の結果および南極観測船しらせの日本周回訓練航海（2004年9月）において実施した洋上エアロゾル光学観測の結果についてまとめた。

西部赤道太平洋域における現場海面分光反射及び二方向性反射計測（研究代表者、香西克俊）では、正規化海面上向き分光放射モデルおよび船影を利用して海面分光放射輝度を推定して衛星プロダクトを検証し、クロロフィル-a濃度を推定した。その結果、SeaWiFS、MODISから得られるバンド別放射輝度値と高い相関を得ることができた。

1.3.3. 衛星データからの大気パラメータ導出法の高精度化（高村、鷹野、久世、岡山）

雲レーダおよびイメージングライダーといった、新しいアイデアに基づいた測器の開発を進めた。ソフトウェアなど従来手法による検証と合わせて大気パラメータ、とくに雲とエアロゾルについて衛星・地上の両面からの解析手法を開発していく。東京大学宇宙線研究所が中心となって進めているASHRA(All-sky Survey High Resolution Air-shower)計画では、広角高解像度望遠鏡により全天観測を行い、超高エネルギー宇宙線計測をめざす。その望遠鏡の仕様である50°という広角特性、1分角の高解像度、インテリジェント高速シャッター動作、および1kHzオーダーの高速繰り返しは、同時にイメージングライダーの望遠鏡システムとしても、類例のない優れた性能を有することを意味している。イメージングライダーの検出装置として広角高解像度望遠鏡を用いる最大の利点は、通常のライダー望遠鏡が極めて狭い視野角内で運用されるのに対してこの望遠鏡は広角で観測可能なことであり、視野角50°の範囲であれば望遠鏡の角度掃引なしにライダー観測が可能になる。この広角高精度望遠鏡をライダー計測に活用することにより、様々な発生源の存在する都市大気エアロゾルや雲の立体構造について、時間・空間的分布情報の計測が可能であることを実証する。本年度は、観測装置システムの組み立てを行うとともに、プロトタイプの実験系を用いて、レーザー光の飛跡の観測を行い、シミュレーション結果と比較した。イメージングライダーによる雲・エアロゾル分布の計測は、衛星データからの解析結果の検証にも重要である。

Ashra計画は、文部科学省科学技術振興調整費「先導的研究等の推進（新たな領域の創成等が期待される先導的な研究開発）」のうち、「複数の分野に係る境界的又は融合的な研究開発を行う必要がある領域を対象とした、新たな領域の創成が期待される研究開発」のフロンティア分野(主)・環境分野(副)において採択された（研究代表者、佐々木真人）。実施年度は平成15年度から平成17年度の3年度にわたっている。Ashra望遠鏡の環境計測への応用は、同プログラムの枠組みの中で千葉大学環境リモートセンシング研究センターが分担する研究テーマ「高精度広角望遠鏡の環境科学との融合に関する研究」（研究代表者、久世宏明）において行われる。

共同利用研究では、次のような成果が得られた。ミリ波レーダによる雲物理量導出と放射収支評価への応

用（研究代表者、鷹野敏明）では、これまでに開発したバイスタティック型94GHz FC-CWレーダが安定に運用されることが確認され、研究観測船「みらい」に搭載して北極域の雲観測を行った。さらに、2005年3月にはABC計画（Asian Brown Cloud Study/UNEP）の一環として韓国済州島を中心に行われたABC-EAREX05 IOPに同期して、奄美大島におけるSKYNET観測サイトでの集中観測に参加した。これらの観測の結果、高度15km程度までの雲の検知に成功し、雲内の構造をよりよく知る事が可能となった。

衛星画像と天空観測データによる日本における反射率バンド比の推定（研究代表者、川田剛之）では、金沢地方でスカイラジオメータを用いた天空観測を実施し、大気エアロゾルの7か月分の光学的厚さとオングストローム指数を求めた。これらの大気観測データを用いて、Terra衛星MODISデータに大気補正を行い、陸域の代表的分類クラスである植生域、都市域、その他(土壌、砂地等)の可視波長の反射率と短波長赤外の反射率との比を計算し、Kaufmanら(1997)による結果や、昨年度の共同利用研究の結果との比較を行った。反射率バンド比には季節変化が認められ、さらに詳しい研究の必要性が明らかになった。

衛星観測におけるエアロゾル光学的厚さの不均一性に関する影響評価（研究代表者、朝隈康司）では、広域の衛星画像におけるエアロゾル光学的性質の解明を目的として、衛星画像からの光学特性導出方法について検討した。比較的大気が清浄な日のTM画像を選んで大気補正し、得られる地表面反射率を参照アルベドとした。これと近い日付のエアロゾル濃度の高い日の画像をテスト画像とし、エアロゾルパラメータを変化させた。テスト画像の大気補正後のアルベドと参照画像のアルベドが一致する条件から、エアロゾル粒子半径の平均値を定めることができた。

1.3.4. 地上ネットワーク観測による大気環境の解析

（内容）

スカイ・ラジオメータおよび放射観測器材による観測を、内外の研究機関と協力して展開・実施しており（SKYNET）、これを引き続き維持・発展させる。これと合わせ、日本国内およびアジアの諸大学・研究機関と共同してライダーによるエアロゾルのネットワーク的観測を継続して行っていく。

（成果）

放射量の地上観測機器による観測データと統合的解析手法の開発（全員）：SKYNETでは、すでに中国・モンゴル・タイに大気環境測定のためのサイトを設置している。衛星データによる大気状態の解析においては、複数の地上測器による同時多地点での情報を活用することが有用である。本年度も、これまでと同じく、共同利用機関との同時計測や、黄砂飛来時のACE-Asia集中観測への参画などを行い、放射データの活用と併せた研究を進めた。

SKYNETによる観測により、エアロゾルの光学的厚さ、下向き日射量、地表付近のエアロゾルの光学的散乱量、同吸収量等が求められる。放射強制力についてSKYNET観測サイトの内敦煌（中国）、合肥（中国）、銀川（中国）について解析した。その結果、敦煌では冬から春にかけて相対的に光学的厚さが厚くなり、快晴日の平均で約0.33程度であった。このときの放射強制力は、単位的光学的厚さに対して8%強を示す。一方、夏から秋にかけては光学的厚さは0.2以下であり、その強制力も5-7%程度である。一方、銀川での放射強制力は、14-17%、合肥では20-24%に達する解析結果となった。計算によって推定される放射強制力との比較から複素屈折率の虚数部の推定が可能となる。これをみると、たとえば敦煌では春の黄砂の季節にやや吸収が大きくなり0.005程度となり、夏から秋にかけてこれより小さくなる傾向が見られる。一方、銀川、合肥では、冬季に吸収が強くなる傾向が見られ、これは冬季に乾燥することと暖房による汚染の増加が原因の一つと想像される。

共同利用研究においては、以下のような成果が得られた。多波長ラマンライダーとスカイラジオメータ観測に基づいたエアロゾルによる放射強制力の見積もりの研究（研究代表者、村山利幸）では、ライダーとスカイラジオメータを用いてエアロゾルの放射強制力を推定する手法が試みられた。夜間の多波長ラマンライダー観測によって得られた消散係数の鉛直分布と、反転解析の結果得られたエアロゾルの微物理量（粒径分布

複素屈折率)の鉛直分布を用いて、エアロゾルの直接放射強制力(ADRF)の推定を、放射伝達コードFSTAR5Cを用いて行なった。今後、東アジアでのネットワーク観測により、こうした手法を活用してエアロゾル特性と放射環境との関連を調べていくことが重要である。

プロジェクト4：地域社会に役立つリモートセンシングの実現

－多様な空間情報のシナジーによる社会基盤情報の発信－

[概要]

複数の地球観測衛星が運用され、新しい衛星の打ち上げも予定されている現在においては、衛星データ利用が地域環境の把握・理解のために役立ち、これまでにない新しい領域を開拓していくことが期待されている。そのために本プロジェクトにおいては、衛星データ・地理情報をはじめとする空間情報を統合し公開するとともに、CEReSの研究手法・成果を活用することによりシナジー効果を生みだし、地域研究の新しい側面を創造すること、また地域に科学の成果をフィードバックすることを目的とする。

Project 4: Application of remote sensing methods to regional scale --- enlightenment activities by means of the synergy effect of various spatial data

Presently several earth observation satellites are operating simultaneously and new satellite programs are planned. In this circumstance, the use of satellite data is expected to be important for understanding the regional environment and for exploiting a new field of application. In this project, by integrating and freely providing the spatial information such as satellite data and geographical information, we expect to generate synergetic effect with the combination of CEReS research method and result, then to create a new field and to feedback the scientific results to a local.

1.4.1. 千葉県に関する空間情報の提供

近藤昭彦

(内容)

中期計画に関わるデータセンター機能の一環として、千葉県に関わる様々な空間情報を提供するページをホームページに開設した。平成16年度は①土地条件、②千葉県の公共水域の水質の経年変化、③空間情報を使った教材、についてホームページ整備を行った。

土地条件についてはホームページから現在公開中の国土調査成果図表(CEReSがデータ配布センターとして機能している情報)を用いて、千葉県の土地条件に関する情報をインターネットを通じて配信している。その意義は、河川法、水防法、土砂災害防止法、等の施行により、災害に対する地域の安全性に対しては地域の住民が責任を持つ時代となり、居住地の安全性に関わる土地条件を住民が知る必要が高まっている点にある。ここに大学から情報発信を行う重要性がある。

このページでは国土調査の(i)地形分類図、(ii)表層地質図、(iii)土壌図、(iv)土地利用現況図、の各図幅をダウンロードできると同時に、ウェブマップサーバーによって、対話的に空間情報を取得することができる。平成16年度で技術的な問題点は解決できたので、次年度以降はシステムの機能強化を行う予定である。

次に、大学からの情報発信の一環として「千葉県の公共水域の水質の経年変化」に関するホームページを公開した。この情報発信は、身近な環境の変動を意識することが、環境改善のモチベーションに繋がる、という点に重要性がある。ここでは、水質項目としてBODを取り上げ、過去20数年間でその値がどのように変わってきたか、についてわかりやすく図化した。

最後に、環境教育に関わる教材を提供するページを公開した。今後、さらに整備を進めていく予定であるが、千葉県のランドサットマップは自治体やマスコミ等に利用頂くとともに、公開講座、研修において配布し