

GRASP：リモセン界のスーパーモデル

The best sysstem for atmospheric remote sensing

向井 苑生¹, 佐野 到², 中田 真木子², Oleg Dubovik³

Sonoyo Mukai¹, Iataru Sano², Makiko Nakata² and Oleg Dubovik³

¹ 京都情報大学院大学環境リモートセンシングセンター

(The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics)

² 近畿大学 (Kinki University)

³ Laboratory of atmospheric optics University of Lille-1, CNRS, France

Abstract

This article introduces GRASP (Generalized Retrieval of Aerosol and Surface Properties) software package and GRASP-cloud for general users in order to expect for understanding the atmospheric remote sensing and new initiatives to handle feel free to the huge and difficult academic system without prior knowledge. The GRASP cloud system seems to be generally useful.

リモートセンシングへの興味と関心を持ってもらいたいと「リモートセンシングデータから地球環境情報を導出する画期的なソフトウェアパッケージ”GRASP”」, 並びに巨大で学術的に難解な GRASP パッケージを予備知識無く使いこなせる”GRASP-cloud”システムを紹介する。GRASP-cloud システムはリモートセンシング分野に限らず, 広く汎用化が可能である。

1. はじめに

我々環境リモートセンシング研究グループ (REESIT: Remote Sensing for Earth Environment based on Science and Information Technology) は, 四半世紀にわたりリモートセンシングデータを解析処理して地球環境問題に取り組んできた。リモートセンシングといっても人工衛星だけではない。地上放射観測ネットワーク NASA/GSFC/AERONET は自ら “ground remote sensing” と名乗っている。人工衛星データも紫外から可視, 赤外にわたる放射観測, ライダー, マイクロ波, 更に偏光情報とパラエティーに富んでいる。1957 年旧ソヴィエト連邦が打ち上げたスプートニク 1 号衛星以来, 1 万数千個の物体が地球から打ち上げられ, 得られる情報量は留まる事を知らない。勿論データ量だけではない。多様なリモートセンシング情報解析を支える物理数学過程の精密化・精度向上と言った質的改善も求められている。

今やリモートセンシング分野は高度な頭脳を駆使してビッグデータを解析し未知の多様な情報を抽出

する (AI を超えた) スーパー AI の世界となった。本稿では情報解析を目指す一人でも多くの方に, リモートセンシングへの興味と関心を持ってもらいたいと「衛星リモートセンシングデータから多用な地球環境情報を導出する画期的なソフトウェアパッケージ “GRASP (Generalized Retrieval of Aerosol and Surface Properties)” を紹介する。更に, 巨大で難解な “GRASP” パッケージの手軽な運用を実現した “GRASP-cloud” システムを紹介する。

2. 大気エアロゾル

当研究グループ REESIT の主たる研究課題は, 大気エアロゾル解析である。地球大気には, 窒素, 酸素, 二酸化炭素といった気体分子だけではなく, エアロゾルと呼ばれる 1 万分の 1 ミリ程の煙霧状の液体 / 固体微小粒子が漂っている。大気エアロゾルの生成過程は非常に複雑で, 自然起源・人為起源・両者の混合と様々な要素が複雑に絡み合っている (図 1 参照)。例えば春先にやって来る黄砂は, 中国大陸内部の砂嵐で巻き上げられた砂漠塵が, 中国都

市域から放出される人為起源粒子を先ず取り込み、次に東シナ海上にて海塩性エアロゾルを巻き込んで日本上空にやって来る。エアロゾル粒子は時により場所により質・量ともにめまぐるしく変化し、気候変化や環境変動を引き起こす。

1990年代に入り、環境破壊が進行する中で、最も関心の高い地球環境問題である温暖化(Global warming)予測の不安定要素として大気エアロゾルが注目されるようになった。地球温暖化問題は地球システムにおけるエネルギー収支のバランスが崩れる事によって生じる。地球に入射するエネルギーの大部分は太陽光で、この太陽入射光をエアロゾル粒子が散乱・吸収する(直接効果)。更に、エアロゾルは雲粒子の生成に関与し、雲による散乱・吸収に影響を及ぼす(間接効果)。温暖化予測において、大気エアロゾルが放射収支の鍵を握っているとも言われる。2017年12月23日に種子島宇宙センターから打ち上げられた気候変動観測衛星JAXA/GCOM-C(しきさい衛星)は、①エアロゾルの日射量影響 ②生物による二酸化炭素の吸収能力 ③気候形成に影響を及ぼす様々な物理量の観測から、気温上昇量を含む気候変動予測精度の向上を目指している。

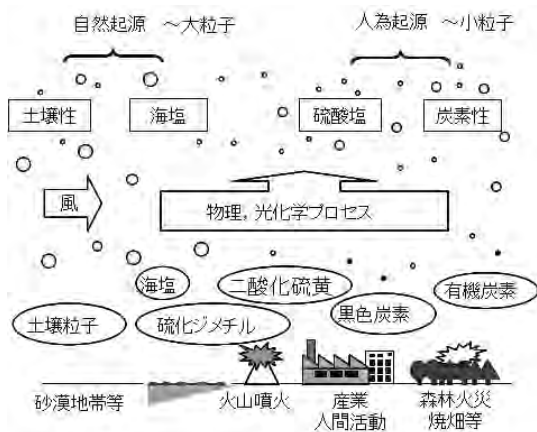


図1 地球大気エアロゾルの発生成成

リモートセンシングデータから大気エアロゾル粒子の特性(量、大きさ、組成、形等)を導出するエアロゾル・レトリバー(aerosol retrieval)の大まかな処理の流れを図2に示す。ライダーのような能動型センサを搭載する人工衛星もあるが、通常は太陽光が地球大気や表面で反射散乱される光(放射)を幾つかの波長帯(チャンネルやバンドとも呼ぶ)に分けて観測する受動型分光放射観測が多い。放射観測データを解析するには、先ず大気エアロゾルや地

表面モデルを作成し、大気-地表面複合モデルにおいて放射シミュレーションを実施する事になる。勿論、海洋リモートセンシングでは地表面に替わり海面モデルを採用する。ここでは放射シミュレーションには言及しないが、一言付け加えると、対象媒質を正確に表現する放射伝達方程式の定式化並びに解法は数理物理学の古くからの一つの課題で、その歴史は19世紀後半にまで遡る。滞りなく放射シミュレーションが終了すると、衛星観測値に相当する値をデータベース(この業界ではルックアップ・テーブル(Look-up table; LUT)とも呼ぶ)に格納する。ここまでの処理を“Forward process”と呼び、図2では細点線で囲み“F”と表記している。

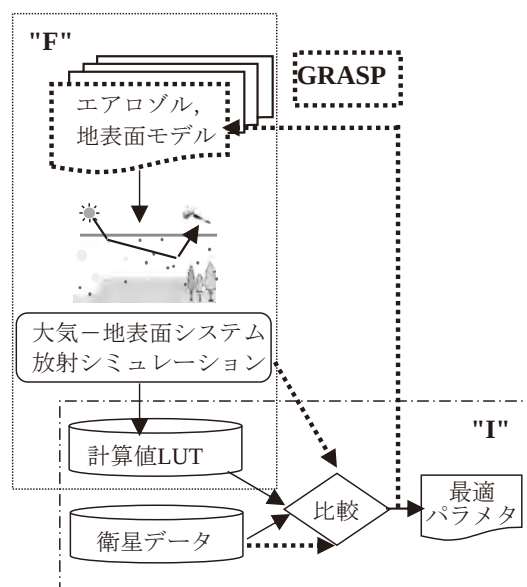


図2 エアロゾル・レトリバーの流れ

次に、得られた計算値と衛星観測データを比較して最も観測値に近い計算値を与えるエアロゾルや地表面パラメータを最適値とする。この統計的手法に基づく最適パラメータ推定過程を“Inversion process”と呼び、図2では“I”と表し1点鎖線で囲んだ部分が対応する。求めるパラメータ数が増せば、最適値探索に対応できる十分な衛星データ数が必要となる。多波長(マルチバンド)データが有効になる所以である。衛星画像の1画素に対応する(衛星の解像度により変わるが例えば)1平方キロメートルの基盤目で地球表面を敷き詰め、各画素で図2のFからIの処理を行うと考えて欲しい。(20年前には夢だったが)速くて大メモリーの計算機が必須となる。通常は、こうして推定したパラメータを最適解とする。

図2の太点線で表記した“GRASP”は、これでは飽き足らず、得られた最適パラメタをエアロゾルや地表面モデルに還元し、各画素においてFからIの処理を（収束条件を満たすまで）繰り返す。当然、更にハイレベルな計算機とアルゴリズムが求められる。

3. GRASP

図3にGRASPの現段階の構成概念図を載せる。

GRASPは1節でも示したように Generalized Retrieval of Aerosol and Surface Properties の頭文字であり、リモートセンシングデータから「エアロゾルと地表面情報を同時に導出」するシステムと名付けられた。GRASPは誰もが使用可能のようにオープンソースで公開されている (<https://www.grasp-open.com/>)。また、図3に示すように衛星観測データ・地上計測値・実験室データなど様々なデータに適用できる上、これらのデータの複合利用も可能で、この汎用性の高さが得られる結果の質と量を高めている。

エアロゾル解析処理では、2節で既述したように、まず地球大気－地表（海面）をモデル化し放射伝達過程に基づき計算を行う。その過程においてはさまざまなパラメタを設定するが、衛星（或いは地上）計測値を最もよく説明できるエアロゾルや地表（海面）パラメタが目標値となる。放射伝達計算は、このような様々なパラメタを必要とするだけでなく、太陽と衛星と観測点の位置や方向に関する変数並びに観測波長といった多変量関数の微積分方程式の解を求める事になり長い計算時間を要する。さらに衛星解析においては多数の画素が存在することから、計算結果をまとめて大規模な配列データベース（図2のLUT）に格納し、それを参照しながら最適値探索を進める。この従来手法の利点は解析時において必要な計算は適切なパラメタに近づくための最適探索計算ならびにLUTデータ参照に必要な各種の内挿処理のみであるため、大容量の衛星画像であっても効率的に解析できる。但し、LUTを準備する際に予めパラメタを事前に設定しておく必要があるため、最適探索時、即ち Inversion 処理においては事前に準備した範囲の解答群内でパラメタを推

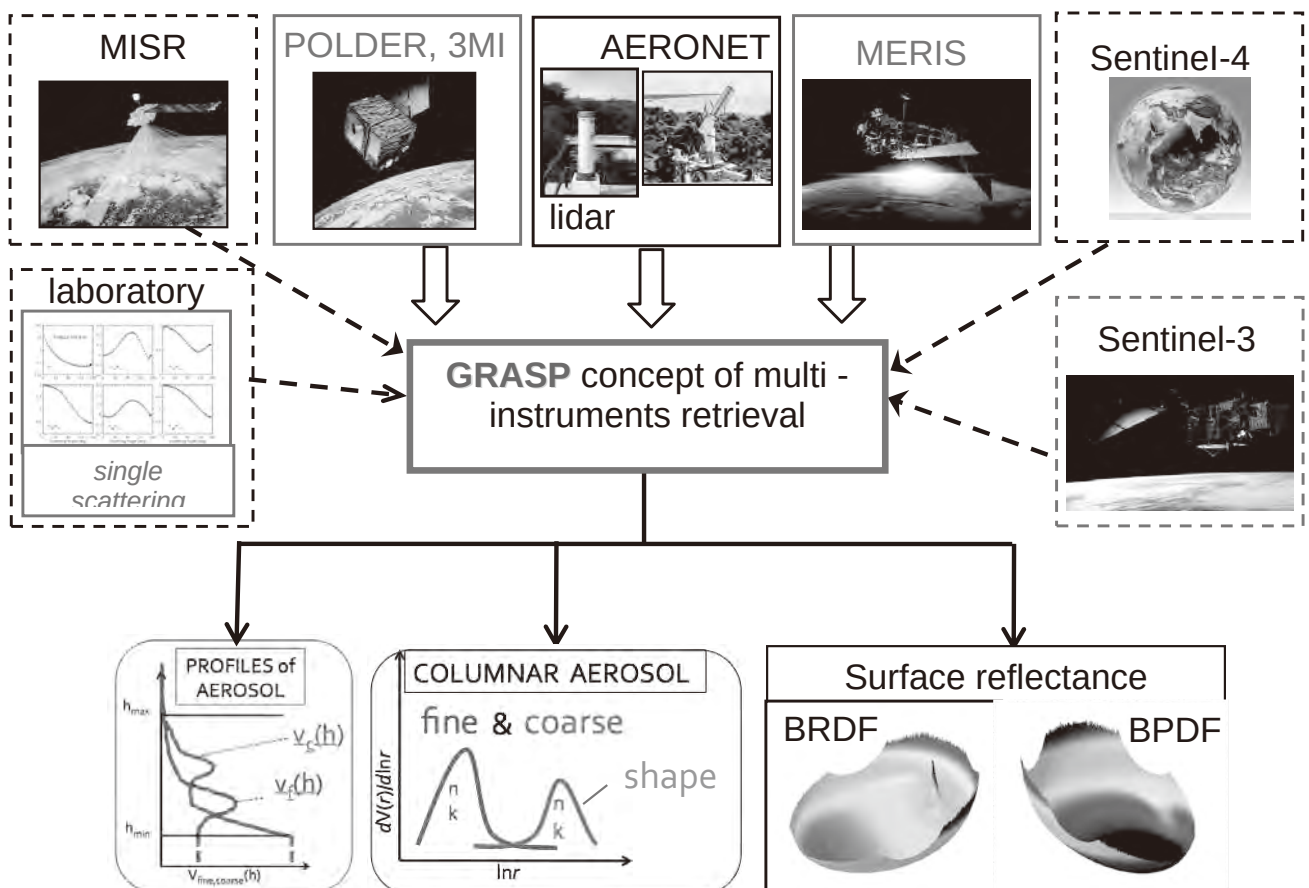


図3 GRASPの構成概念図 (www.grasp-open.com)

定するという制約条件を超えられない。

GRASP の特徴は解析時において放射伝達計算を即時に行うのが大きな特徴である (図 2 太点線参照)。Dubovik らが 2000 年にアルゴリズムを提案しシステムを開発して、その端緒を開いており (Dubovik and King, 2000)、現在でも NASA/AERONET データの標準解析手法として用いられている。さらに GRASP の利点は、衛星データの画素を超えた領域と時間を基準に解析を行うことにある。領域 (複数画素) 解析のアイデアはエアロゾルや地表面の物理特性に基づくものである。通常 10 km 四方程度の領域では、大気中に浮遊するエアロゾルの変動は小さい。一方、地表面の土地利用 (土地被覆状況) の空間変化は大きい。他方、時間変化という観点から見ると、エアロゾルは毎日のように変動するが、地表面特性の日変動は大きくない (図 4 参照)。このように時間および空間という 2 次元空間での特性変化を制約条件として、両変量に関する方程式を解く。方程式系は大規模で複雑になるが、結果として大気エアロゾルパラメータだけではなく、地表面パラメータも同時に推定出来る。GRASP の理論的解析に関する多くの研究論文が Dubovik 等によって刊行されているが、本稿は応用情報分野の一例として GRASP というビッグデータ解析システムとその運用法を紹介するものなので、代表的な最小限の文献を挙げておく (Dubovik et al. 2011, Litvinov et al. 2012, Lopatin et al. 2013)。

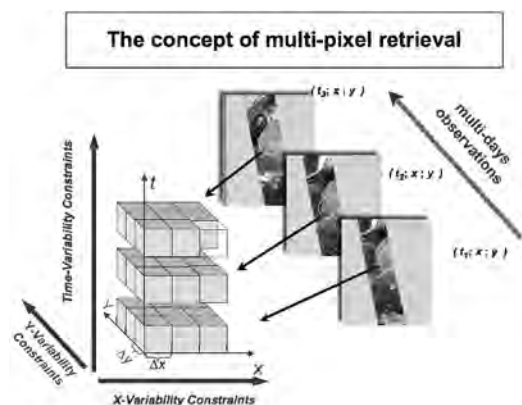


図 4 面データと時系列データを組み合わせた GRASP 処理の図示

Dubovik 等は、その後も弛まず改良開発を重ね、応用領域を広げ、GRASP マフィアとも言える国際グループを育てるに至った。多くのユーザーとサポーターにより常に進化し続ける生きたシステム (それ故、図 3 は現段階のものと解釈してほしい) で、

同業者としては一瞬たりとも目が離せない怖い存在である。

GRASP は、大気や地表面の環境情報解析に携わる者には非常に有用で誰もが使いたいシステムであるが、余りにも専門的な設定が多く複雑なため、計算機好きであってもシステム設定に長い時間を要する。結果として「GRASP は確かに良さそうだが、私は私のやり方で行こう」と多くの同業者は、GRASP 導入に躊躇し尻込みして来た... (向井のような高齢者程その傾向が強いかも)。そこで、聡明な Dubovik は考えた。難解さを隠して“ガーファ”のような誰でも簡単に GRASP が使えるようにしよう。

“GRASP-cloud” プロジェクトの発足である。GRASP-cloud は、いわゆるクラウド上に GRASP システムを準備し、またシステム導入においても専門家の助言を仰ぎながら設定を行うことができる。ユーザーは GRASP システムの面倒なインストール作業から解放され、例え大規模な解析であってもクラウド上のリソースを用いて処理時間の短縮が図れる。現在、GRASP-cloud プロジェクトはオーストリア政府助成金「Beyond Europe」のサポートの下に進行している。プロジェクト実行主体はオーストリアの IT 企業 Catalysts 社、アルゴリズムを担う仏リール大学の GRASP グループ、オーストリア地球観測データセンタ (EODC) が EU 内メンバーで、「EU を越えて」のスローガンの下に日本 (近畿大学、京都情報大学院大学)、米国 (NASA/GSFC, NASA/JPL, Air Photon)、中国 (CAS) の研究者が参加している。各国のメンバーは、それぞれの国の衛星データ解析を GRASP-cloud で実施することを目指している。

4. おわりに

第 1 回 GRASP-WS が 2018 年 6 月 20 日から 22 日リンツの Catalysts 社で開催された (図 5 写真参照)。



図 5. リンツでの第 1 回 GRASP-WS でのスナップ

第 2 回は 12 月末にアメリカ・ワシントン DC で開催予定であり，2019 年前半期に「是非，日本で第 3 回 GRASP-WS」をと熱い期待が寄せられている。

謝辞

本研究は次の外部資金の援助の下に実施しました：JAXA 受託研究費（Global Change Observation Mission - Climate project by JAXA (no. JX - PSPC - 434796)), オーストリア 政府助成金 Beyond Europe “Universal Satellite Retrieval Cloud “ (862347), (独) 環境再生保全機構 環境研究総合推進費 (S-12)。ご協力いただいた関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- [1] O. Dubovik and M. D. King, “A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements,” *J. Geophys. Res.*, vol. 105, pp. 20673-20696, 2000.
- [2] O. Dubovik, M. Herman, A. Holdak, T. Lapyonok, D. Tanre, J. L. Deuze, F. Ducos, A. Sinyuk and A. Lopatin, “Statistically optimized inversion algorithm for enhanced retrieval of aerosol properties from spectral multi-angle polarimetric satellite observations,” *J. Atmos. Tech.*, vol. 4, pp. 975-1018, 2011.
- [3] P. Litvinov, O. Hasekamp, O. Dubovik and B. Cairns, “Model for land surface reflectance treatment: Physical derivation, application for bare soil and evaluation on airborne and satellite measurements,” , vol. 113, pp. 2023-2039, 2012.
- [4] A. Lopatin, O. Dubovik, A. Chaikovsky, P. Goloub, T. Lapyonok, D. Tanre and P. Litvinov, “Enhancement of aerosol characterization using synergy of lidar and sun-photometer coincident observations: the GARRLiC algorithm,” *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 6, pp. 2065-2088, 2013.

◆著者紹介

向井 苑生 Sonoyo Mukai

京都情報大学院大学
応用情報技術研究科
環境リモートセンシングセンター
(KCGI-REESIT) 教授

佐野 到 Iataru Sano

近畿大学理工学部情報学科
大学院総合理工学研究科教授

中田 真木子 Makiko Nakata

近畿大学総合社会学部
大学院総合文化研究科准教授

Oleg Dubovik

Laboratory of atmospheric optics
University of Lille-1, CNRS, France
LOA 教授