JAXA の地球観測衛星による雲・雨観測の現状と将来計画

沖　理子(宇宙航空研究開発機構(JAXA)/地球観測研究センター(EORC))

１．はじめに

地球観測衛星による大気・気象観測情報は、気象学、気候学の研究に役立てられるだけでなく、最近では気象予報の現場でも使われるなど重要さを増している。現在および近い将来の JAXA の地球観測衛星の中でも、特に雲・降水システム研究に関係する観測計画は目白押しである。それら計画について紹介する。

２．JAXA の地球観測衛星

気象学会関係の方々は、人工衛星による気象の観測といえばもちろん真っ先にひまわり(MTSAT)を思い浮かべられることと思う。気象庁が運用する静止気象衛星とは別に、日本の宇宙機関である JAXA は「地球観測衛星」と呼ばれる人工衛星の開発と運用を行っている。この場合 JAXA の衛星の中では対立する分類として、「測位」「通信」の衛星がある。「地球観測衛星」の中にも分類すると、陸域や海域を観測対象とするものと並んで大気の観測を行うものがある。地球観測衛星は環境観測衛星と言われることもある。

実際には衛星というより、搭載された観測機器のそれぞれが、何を観測対象としているかが重要で、衛星計画の立案時には、1 つの衛星にどのような観測機器を組み合わせて載せるかについて、計画の目的によって考慮される。

JAXA が現在運用している地球観測衛星には、温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT: Greenhouse gasses Observing SATellite、2009 年 1 月打上げ)、熱帯降雨観測衛星(TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission、1997 年 11 月打上げ)、米国地球観測衛星 Aqua 上の AMSR-E(改良型高性能マイクロ波放射、2002 年 5 月打上げ)がある。このうち GOSAT は大気中二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの全球分布や雲特性およびエアロゾル光学的厚さを観測対象としている。TRMM および Aqua/AMSR-E の観測対象は、降水や水蒸気等であり、後述する。

開発中の衛星には、2011 年度打上げ予定の水循環変動観測衛星(GCOM-W)、全球降水観測計画(GPM)、気候変動観測衛星(GCOM-C)、雲エアロゾル放射ミッション(EarthCARE)、陸域観測技術衛星 2 号(ALOS-2、地図作成・地域観測・災害状況把握・資源探査を目的)がある。3,4 節以降ではこのうち特に雲・降水が主たる観測対象となっているものをとりあげて紹介する。

３．衛星からの雨・雲観測

観測センサの分類はいくつか考えられるが、よく使われるものの 1 つに、能動型/受動型センサの区別がある。降雨観測の場合のそれぞれの観測原理を以下に説明する。

<u>降雨レーダ(能動型センサ)による降水の観測原理</u>

レーダからビーム状に発射された電波が降水粒子(雨粒や雪など)により反射されてレーダに返ってくる。それに要した時間からレーダからの距離が、ビームの方向からその水平位置が、そしてエコーの強さから降水の強度がわかる(図 1)。

図 1：降雨レーダ観測の概念図

受動センサによる降水の観測原理

可視赤外では雲の表面の情報が得られる（図 2)。雲の表面の温度からその高さを推定し、雲の高さと降水強度の経験的な関係を用いて地表付近の降水強度を推定する。マイクロ波放射計を用いた観測では、海上では雨粒から射出されるマイクロ波の強度を直接観測し、その強度から降雨強度を推定する。上空に氷がたくさん存在するとそこで高周波のマイクロ波が一部消散される。多チャンネルのマイクロ波放射計ではチャンネルごとに違う情報が得られ、そうした情報は総合的に利用される。陸上では地表面からの放射が強く、降雨粒子からのマイクロ波の射出は観測しがたい。そのため、上空の氷粒子による散乱の強弱を観測し、それと地表付近の降雨強度を結びつけて推定している。（図３）

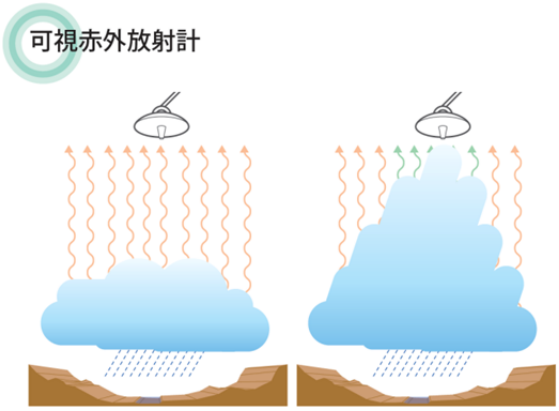
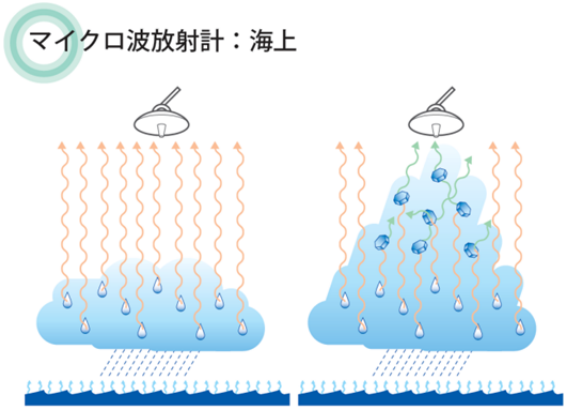


図 2：可視赤外放射計による降水観測の概念



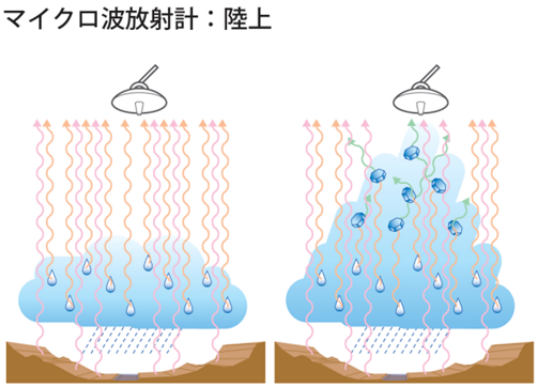


図 3：海上および陸上におけるマイクロ波放射計による降水観測の概念

４．衛星降水観測の実績、現状

－熱帯降雨観測衛星(TRMM)－

1997 年 11 月に打上げられて以来、現在で 13 年以上観測を継続している。衛星計画は日米共同のプロジェクトで、その名前の通り、熱帯・亜熱帯地域の降雨の観測を目的としており、そのために雨の推定が可能な三種類の観測機器を同時搭載している。中でも日本が開発した世界で初めての衛星搭載用降雨レーダ(PR, Precipitation Radar)によって、雨の三次元分布それ以前よりも格段に詳細な世界の降雨分布情報がもたらされた。特に所定の 3 年の観測寿命が大幅に延びたことにより、降水の気候値の高精度化が達成された。エル・ニーニョ/ラ・ニーニャに伴う降水分布や降水特性の変化であるとか、降水日変化が明らかになった。また PR による降雨の鉛直情報によって、熱帯・亜熱帯の降水システムの実態がわかってきたし、降水生成に伴う大気の潜熱加熱率の推定が行われたりしている。

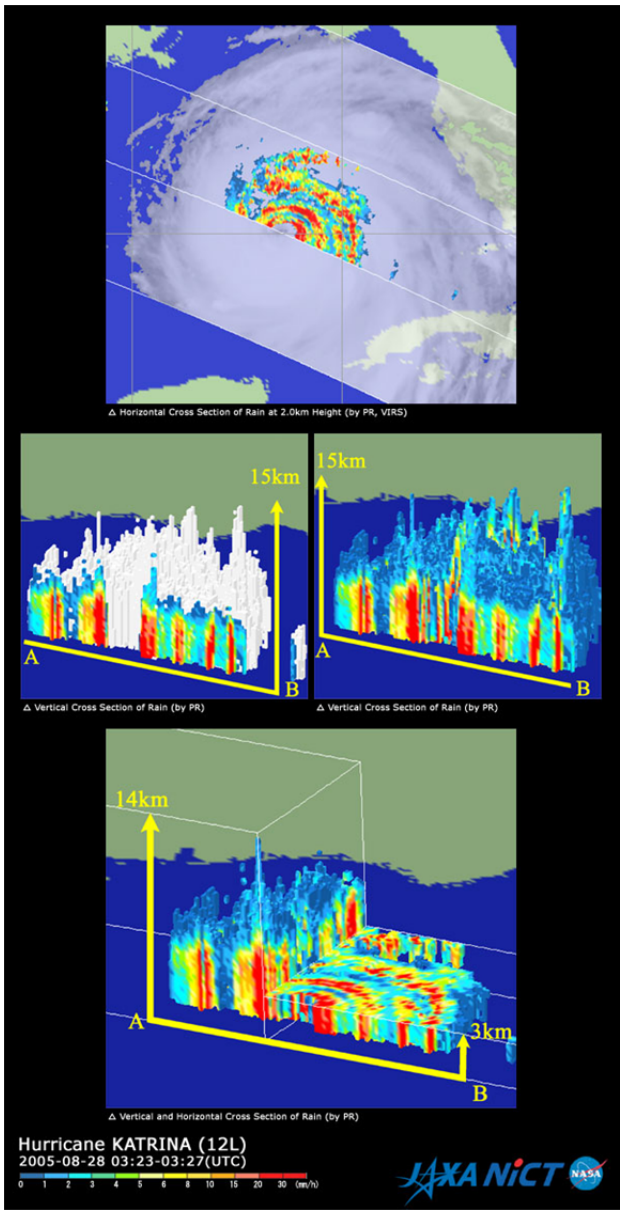


図 4：TRMM/PR によって観測されたメキシコ湾上でのハリケーンカトリーナの観測事例。2005 年 8 月 28 日。上段) 2.0km 高度における水平断面図。中段) 鉛直断面図。下段)鉛直および水平断面図。

5．衛星による雲雨観測の将来（1）
－GCOM-W－

GCOM 自体は、3 世代継続観測をコンセプトとしていて、かつ GCOM-W シリーズと GCOM-C シリーズで構成されている。GCOM-W はマイクロ波放射計で水に関連する物理量、積算水蒸気量、積算雲水量、積算降水量、海面水温、海上風速、積雪量、海氷密接度、土壌水分量を観測、GCOM-C は多波長光学放射計（SGLI）で雲、エアロゾル（大気中のちり）、海色、植生、雪氷などを観測し、水循環や気候変動の監視、そのメカニズムの解明が期待される。

日本における衛星搭載マイクロ波放射計技術は、MOS-1/MSR で開発が始まり、現在も観測を継続中の Aqua/AMSR-E へ発展、降水レーダとともに得意分野としての位置づけにある。今年度打上げ予定の GCOM-W1 搭載 AMSR2 でその観測を継続する。

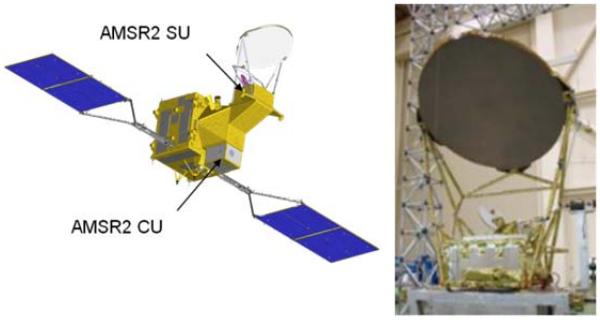


図 5：GCOM-W1 衛星軌道上予想図（左）と筑波宇宙センターで試験中の AMSR2 フライトモデル（右）

6．衛星による雲雨観測の将来（2）
－全球降水観測計画(GPM)－

TRMM の成功を受けて、その観測の長所を生かし、熱帯に限られていた観測範囲を中・高緯度にまで広げる。TRMM のように、観測機器の組み合わせとして、降水を観測するために、GPM 主衛星には降水レーダとマイクロ波放射計が同時に搭載される。TRMM に比較して、観測機器が高度化される。レーダについては、TRMM/PR で一周波(14GHz)だった降水レーダを二周波(14GHz と 35GHz)にすることで、TRMM/PR では見逃していた弱い降水までの観測を可能とする。米国開発のマイクロ波放射計(GMI)も、TMI で用いられている 10.65～89GHz 帯の 9 つのチャネルに加えて、ミリ波帯に 4 つのチャネルを追加し、特に高緯度域に多い、弱い雨や雪の推定精度向上に寄与すること、またアンテナ口径が大きくなることで空間分解能が向上するなど、高度化が図られている。

また主衛星に加えて、国際協力によるマイクロ波放射計を搭載した複数衛星群によって、高頻度の観測データ取得を目指す。GPM 主衛星の高精度観測情報を複数衛星群マイクロ波放射計データ利用に際して適用することで、システム全体として、高精度・高頻度の全球降水観測データを得る計画である。

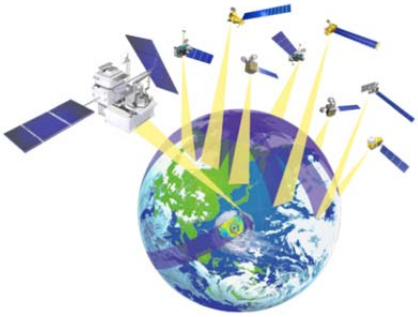


図 6：GPM の観測概念図。二周波降水レーダを搭載した主衛星と、複数のマイクロ波放射計搭載衛星群のデータを合わせて、高精度・高頻度の全球降水観測を実現する計画。

その準備として、現時点で利用可能な TRMM の他、マイクロ波放射計等データを用いて全球合成の降水分布マップが作られている。

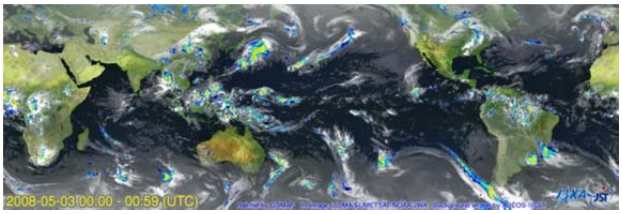


図 7：複数のマイクロは波放射計観測データをもとに合成した全球の降水分布。2008 年 5 月 3 日、00Z、サイクロン ‘Nargis’が観測されている事例。GSMaP は準リアルタイム(観測後 4 時間程度)で日々作成され、下記ページより公開されている。GSMaPhttp://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/

７．衛星による雲雨観測の将来（３）
－雲エアロゾル放射ミッション(EarthCARE)－

EarthCARE(Earth Cloud, Aerosol and Radiation Explorer)は欧州宇宙機関(ESA)と日本(JAXA 及び NICT)の共同の衛星観測ミッションであり、2015 年度の打上げを予定して現在開発中である。観測の目的は、現在気候予測の数値モデルにおいて最も不確定性の高い要素の 1 つと考えられている雲・エアロゾルの放射強制力の評価、及び雲とエアロゾルの相互作用の解明を行うことにある。そのため全球を対象に、雲・エアロゾルの 3 次元構造、および雲層内上昇流、および大気上端の放射収支を計測することで、エアロゾルとの相互作用を含んだ雲の生成消滅過程の一端を明らかとし、雲を含む全天状況での鉛直方向の放射収支ダイバージェンスを一定レベル以上の精度で推定することを目標としている。そのために EarthCARE では 4 つの観測センサを搭載する。すなわち、高波長分解能紫外ライダー(エアロゾル及び巻雲の観測)、雲プロファイリングレーダ(CPR)(雲構造・弱い降水および雲層内上昇流の観測)、多波長イメージャ(観測シーンの確認及び雲エアロゾルの水平分布の確認)、放射収支計(雲頂面の 3 次元効果を考慮した大気上端での放射収支測定)である。このうち日本は CPR の開発を担当しており、その他センサと衛星の開発、および打上げ運用は ESA が実施する。CPR は現在の類似観測センサである米国 NASA の Clousat 衛星の雲レーダよりも高感度・高精度の観測を実現する機器仕様となっている。観測成果は、単体データの他、協調可能性のある他衛星データ(GPM/DPR、GCOM-W、GCOM-C 等)とともに、雲エアロゾル相互作用のプロセス解明に利用され、またその研究成果をもとに数値気候モデルの高精度に貢献するものと期待されている。

８．気象業務での地球観測衛星データの利用

宇宙機関の運用する地球観測衛星のデータは、気象庁における気象業務に利用される場合がある。数値天気予報システムでは多種多様な観測データを用いて作られる初期値や境界値が用いられる。近年地

球観測衛星データの数値予報への利用が急激に進展している。例えば 2003 年にメソモデルで TMI/SSM/I の利用が開始され、2006 年に全球モデルでの TMI、SSM/I、AMSR-E データの利用が始まって以来、現在も継続して利用されている。これらマイクロ波放射計のデータは、水蒸気場の情報などとして入力される。

その他にも、気象庁は、北西太平洋域での台風の常時監視をしており、その台風中心位置解析や台風強度解析において、TMI や AMSR-E などのマイクロ波放射計画像を参考資料として使っている。マイクロ波放射計は雲を通して降水域を検出できるため、静止気象衛星の可視赤外放射計を用いた場合に比べて精度良い台風の中心決定が可能だからである。

９．おわりに

地球観測衛星の観測データは、その一部を紹介してきたように、気象学、気候学を含む地球環境の研究に広く使われている。特に広域を観測できるという衛星ゆえの特長により、そのデータは、現代の全地球的な環境問題への対処・解決にとっての欠かせない情報となっている。

また最近では、気象庁などにおける現業的な目的に既に当たり前のように使われていることを、本稿を通じて知っていただければ幸いである。