

3 磁気圏

3 Magnetosphere

3-1 ACE/IMAGE衛星リアルタイムデータ受信

3-1 Real Time Data Reception of ACE and IMAGE Satellites

佐川永一 渡邊成昭 大高一弘 島津浩哲 Ronald D. Zwickl
SAGAWA Eiichi, WATANABE Shigeaki, OHTAKA Kazuhiro, SHIMAZU Hironori,
and Ronald D. Zwickl

要旨

Advance Composition Explorer (ACE) 衛星で観測される太陽風データをリアルタイムで受信・処理することを目的として、1997年に11mパラボラアンテナを中心とする受信設備の整備、データ処理システムの構築及びデータを利用した宇宙天気予報のためのプロダクトの開発を行い、1998年から定常運用に供している。ACE衛星受信は世界各地のアンテナが共同して24時間の連続受信を行う国際共同プロジェクトであり、データは研究と予報に広範囲に利用されている。さらに、2000年にはImager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration (IMAGE) 衛星によるオーロラ画像を中心とする磁気圏撮像データのリアルタイム受信を開始した。このために、一つのアンテナで複数の衛星を受信するシステムへの変更と処理系の追加を行った。リアルタイム受信データは通信総合研究所(以下、CRLという)での宇宙天気研究と予報活動に使われるとともに、外部へ公開されている。

A ground station system for receiving and processing satellite telemetry data in real time was built for the ACE real-time solar wind monitor (RTSW) data in 1997. CRL has contributed to the global ACE tracking network by operating the facilities since the start of the RTSW project. A networked real-time data system hosted by NOAA/SEC was set up for exchanging the ACE real-time data, and it has been achieving a very high coverage. In 2000, data reception was extended to that of the IMAGE satellite. This addition incorporated a new antenna-management system for tracking multiple satellites. At CRL we use real-time satellite data for space weather forecasting. As a result of the success with the real-time data from ACE and IMAGE, real-time distribution of satellite data has become an important part of any satellite program dedicated to space science.

【キーワード】

衛星受信設備, 太陽風データ, 磁気圏撮像, オーロラ, 宇宙天気予報
Satellite observations, Solar wind, Magnetosphere imaging, Aurora, Space weather

1 はじめに

宇宙時代の象徴である人工衛星が登場してから、30年以上が経過した。人工衛星は宇宙環境を直接観測するという新しい研究手法を太陽地球間科学に提供するものであり、画期的であっ

た。一方で人工衛星の利用拡大は、その安定運用のために宇宙環境の変化を予報する宇宙天気予報の重要性につながっている。現在では宇宙科学研究を第一の目的とする科学衛星だけではなく、実用衛星でも宇宙環境が定常的に観測されはじめている。宇宙天気予報の観点から重要

なポイントは、人工衛星の観測データを観測の時点からできるだけ短い時間で利用可能とする点にある。従来の人工衛星計画ではデータが外部に公開されるまでに長い時間（時には1年を超える）が必要であったが、このような状況では予報に利用することは難しかった。しかし、最近の計算機とネットワーク技術の発達によって迅速なデータ処理が可能となったために、人工衛星計画立案の中で研究の目的とともに、宇宙天気予報での利用を視野に入れたリアルタイムに近い形での観測データの提供が取り入れられることが多くなってきている。

我々はCRLにおいて宇宙天気研究の重要なコンポーネントとして、日々、宇宙天気予報活動を行っており、リアルタイムの人工衛星観測データの必要性を痛切に感じている。また、研究においても対象となる現象をできるだけ早く見つけ出すことが近年ますます重要になってきている。すなわち、人工衛星観測データのリアルタイムでの利用は予報だけでなく宇宙天気研究においても大きな意味を持っているといえる。我々は1997年にACE衛星の太陽風データリアルタイム受信を目標に衛星受信・処理設備の整備を行い、1998年から運用を開始した。さらに、2000年からは、磁気圏撮像衛星IMAGEデータのリアルタイムでの受信・処理を開始した。

ここでは二つの衛星についてリアルタイムで提供されるデータの概要とその利用及びCRLに構築された受信システムについて述べる。

2 ACE衛星のリアルタイム太陽風観測データ

2.1 L1点での太陽風観測

1960年代の後半から1970年代前半にかけての研究によって、太陽から常に吹き寄せているプラズマの流れ（太陽風）と太陽風磁場の変動が地球周辺の宇宙環境、特に磁気圏の活動を支配していることが明らかになってきた。例えば、太陽風中の磁場が南向きの成分を持つときに太陽風エネルギーは磁気圏へ効率的に流入し、強い地磁気擾乱が発生することが明らかになった[1]。太陽風と宇宙環境の擾乱の関係を更に精密に観測するために、複数の衛星を地球周辺に配置す

るISEE計画が1978年に開始された。計画に従ってISEE-1と-2衛星が地球磁気圏内に、そしてISEE-3衛星が太陽風の観測のためにL1点軌道に投入された。L1点は太陽と地球の間、地球から太陽側に約150万kmの位置にあり、地球—太陽系に五つあるラグランジュ点の一つである。L1点を周回する軌道に投入された人工天体は、常に地球の前面の位置を保持しながら1年で太陽を周回する。このために、L1点は太陽観測や太陽風の観測に絶好のポイントである。ISEE計画は太陽地球系の科学研究を目指したものであったが、その中で、宇宙環境を予測するためにリアルタイムで太陽風観測データを宇宙環境予報を行っている米国海洋大気庁宇宙環境センター（NOAA/SEC）へ伝送する実験が行われた。実験は1979年から1982年まで継続され、大規模な地磁気擾乱は太陽風がL1点から地球に到達するのに必要な時間（30～40分）の遅れで予測できることを証明した[2]。

1994年に打ち上げられたWIND衛星でも1日3時間程度ではあったがリアルタイムの太陽風データ伝送が試みられ、さらにリアルタイム太陽風データの重要性が認識された。しかし、ISEE-3やWIND衛星のデータ受信ではNASAの地上局ネットワークであるDeep Space Network（DSN）での運用が必要であったために、運用時間は大きな制限を受け、24時間連続の定常運用ベースとすることは困難であった。近年では数多くの深宇宙ミッションのためにDSNの運用スケジュールは非常に厳しい状況であり、24時間の定常運用のためには独自の受信局ネットワークを構築することが必要であった。

1989年にL1点の科学衛星ミッションとしてACE衛星計画がNASAによって検討されている中で、NOAAは太陽風観測データのリアルタイム伝送を行うRTSW（Real Time Solar Wind）の搭載を提案した。RTSWは独自のX-bandテレメータ送信機と地上局ネットワークを持つ計画として提案されたが、その後、ACE衛星観測機器のデータの一部を機上で編集してS-bandテレメータを使ってリアルタイムで地上に伝送することで計画が進められた[3][4]。

2.2 ACE衛星とRTSW

ACE (Advanced Composition Explorer) 衛星は銀河宇宙線から太陽風の低温プラズマまで、広いエネルギー範囲にわたり高精度でプラズマ粒子を観測することによって、太陽系を含めた天体で起きている粒子の加速現象を解明することを主なミッションとするNASAの科学衛星である[5]。ACEは1997年8月25日に打ち上げられ、その年の12月にL1点を回る軌道に投入されて運用が開始された。ACEは6種類の粒子観測器と磁場測定器を持ち、全観測データは機上のデータレコーダに記録され、一日一度のDSN運用で再生される。これとは別にRTSWはリアルタイムで各観測機器のデータを収集・編集処理して連続的にテレメトリーする。表1にリアルタイムで伝送されるデータの種類を示す[4]。RTSWデータは小口径の地上局アンテナで受信可能な低速(434 bps)で24時間連続して地上に伝送される。RTSWデータはACE観測データのサブセットであり、リアルタイムで推定される太陽風パラメータ、磁場や高エネルギー粒子の情報は、宇宙天気予報やイベントの発見で使用することを目的にしている。したがって、研究のため観測データ解析ではACE Science Teamから数日後に提供されるフルセットのデータを使用することが要請されている (<http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC>)。

表1 ACE/RTSWでリアルタイム伝送される観測データ[4]

RTSW parameters					
Instrument	Values calculated	Range	Units	Base time resolution	Operational time resolution
MAG	B_x, B_y, B_z	-200 to 200 ¹	nT, in GSM	1 s	1 min ave
SWEPAM	V	200 to 2000 ¹	km s ⁻¹	64 s	1 min
	n	0 to 200	cm ⁻³	snapshot	snapshot ²
EPAM	T	10 ⁴ to 10 ⁷	K		
	Electrons	38-53 keV	(s sr cm ² MeV) ⁻¹	32 s ave	5 min ave
		175-315 keV			
	Ions (Protons)	47-65 keV			
		112-187 keV			
	310-580 keV				
	1.06-1.91 MeV				
	480-970 keV				
	Anisotropy	0 to 2	Dimensionless		
SIS	Protons	>10 MeV	(s sr cm ² MeV) ⁻¹	32 s ave	5 min ave
		>30 MeV			
Location ³	X	0 to 300	R_r (l = 6378 km)	1 hr	1 hr
	Y, Z	-150 to 150	in GSE		

¹ Range set by RTSW coding. Instrument range larger.
² Data placed into nearest 1-min UT value, no averaging or interpolation.
³ Predict value used, accurate to 0.1 R_r in GSE.

2.3 地上局ネットワーク

ACE/RTSWの新しい点は、太陽風リアルタイムデータを取得するための地上局を衛星管制の局(DSN)とは別に整備した点にある。L1点を周回するACE衛星は地球から見たときに、常に太陽の近くに位置することになるので、24時間データを受信するためには経度方向に分散した複数の地上局が必要となる。ACE/RTSW計画の実現のためにNOAAでは日本のCRLを含む各国に計画への参加を要請した。この要請を受けて、CRLと英国Rutherford Appleton研究所(RAL)が主要な地上局として参加を決定した。現在では、NOAA、CRL、RALが主要な追跡局であり、これらの局でカバーできない時間は補助的に米国空軍(USAF)とインドISROの局が参加している。初期の段階ではフランスCNESの南米の地上局も参加していたが、現在は同経度のNOAA地上局に活動を引き継いでいる。

各地上局では復調されたACE/RTSWのテレメトリーデータを未処理のままNOAA/SECに置かれている処理計算機へ転送する。NOAA/SECではACE衛星搭載機器の各機器担当チームとの協力で開発されたデータ処理システムがテレメトリーデータを物理値に変換する作業を行っている。さらに処理されたデータはCRLを含むユー

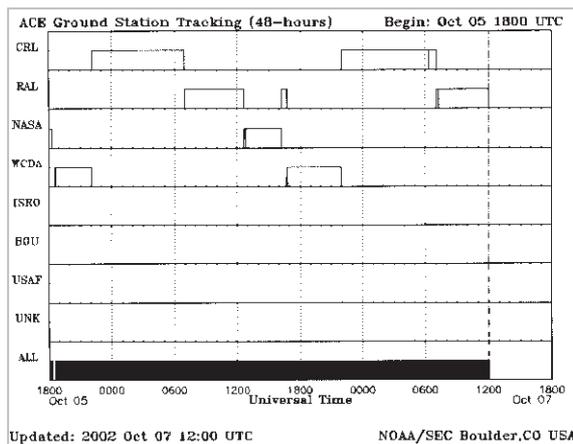


図1 ACE/RTSW地上受信局の分担図

横軸は時間(UT)、上からCRL(日本)、RAL(英国)、DSN/NASA、WCDA/NOAA(米国東海岸)、ISRO(インド)、Boulder/NOAA(米国山岳部)、USAF(米空軍局)の各局の受信状況。最下段のパネルはRTSWデータの総合的な受信状況を示す。10月5日1800UT過ぎに短時間の欠落があったことが示されている。

ザー機関に配布されるとともに、NOAA/SECから公開されている (<http://www.sec.noaa.gov/ace/>)。アンテナでの受信からデータ公開までに要する時間は5分以内を目標に設計されている。図1は最近の各地上局の分担の様子を示す。DSN/NASAでの受信ではACE衛星はデータレコーダに記録されたデータの再生を高速で行うためにテレメトリーが高速モードに切り替えられるが、この間にもRTSWのデータストリームは継続しており、NASAからNOAAへデータが送られている。

ACE衛星受信の国際ネットワークは1998年の運用開始から現在まで90%を超える受信率でリアルタイムデータを受信してきた。地上局がすべて北半球にあるために冬季には各地上局での受信時間が短くなってデータギャップが生じがちであったが、ネットワーク全体を統括するNOAA/SECの尽力によって地上局の整備が進み、現在では冬季でもデータ欠落は非常に小さくなっている。ACE衛星は1998年以来順調に観測を続けており、RTSWも含めたACE衛星に対するNASAでの評価は高く、軌道制御用の燃料がある限りは運用が継続される予定である。

3 IMAGE衛星リアルタイムデータ

IMAGE (Imager for Magnetosphere to Aurora Global Exploration) 衛星は2000年3月25日にNASAのMIDEXシリーズの衛星として打ち上げられた地球磁気圏の探査を目的とする衛星である[6]。これまでの磁気圏探査衛星が「その場」の観測(磁場、電場、プラズマ等)を中心としたものであったのに対して、IMAGE衛星では紫外光や中性粒子撮像などの新しい技術による磁気圏のリモートセンシングによって様々な画像を取得し、磁気圏活動の全体像を把握することを目指している。

IMAGE衛星のもう一つの特徴は観測データの即時公開である。これまでの科学衛星プロジェクトの観測データに対する基本的なルールとして、衛星搭載機器のPI(担当者)チームが一定の期間優先使用权を持つということが一般的であったのに対し、全観測データでPIの優先使用期間が設定されておらず、観測データは即時公開されることが基本ポリシーとなっている。さら

に、このことを前提として宇宙天気予報業務や博物館での公開を想定したリアルタイムデータの提供がプロジェクトの最初から含まれていたことが特徴的である。このようなデータ公開の流れは近年のNASAのプロジェクトで極めて重視されており、いわゆる“Public Outreach”の項目はプロジェクトの必須項目となってきている。IMAGE衛星は観測時の全データを44 kbpsでリアルタイム送信すると同時に機上のデータレコーダに記録し、1周回に1回のDSN運用で全データの再生を行っている。リアルタイムデータに加えて、IMAGE衛星ミッション運用センター(SMOC)は、約1日遅れで再生データの1次処理を行い、全データを公開している。また、データ解析用ソフトウェアについても、基本的な処理が可能なパッケージが公開されている。

IMAGE衛星は起動傾斜角90度で13.5時間の軌道周期と遠地点7Re(地球半径)の軌道を持っている。IMAGE衛星は遠地点付近から磁気圏を撮像するが、内部磁気圏のほぼすべてがその視野に入っている。衛星の遠地点は図2に示すように徐々に緯度が変化する。ミッション期間の最初の2年間は北半球の高緯度に遠地点があった。この期間が衛星運用上の第1期に当たり、2002年3月まで続いた。その後、遠地点が低緯度に移動しつつある現在は第2期として2005年までの運用継続が決定している。NOAAと共同で行っ

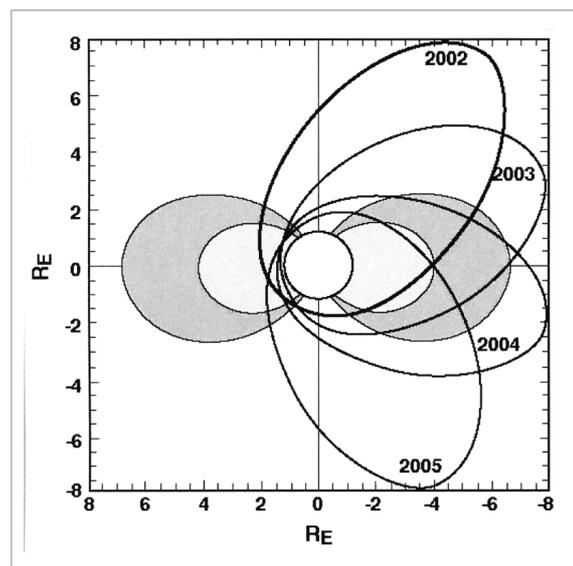


図2 IMAGE衛星の2002年以降の軌道の変化

遠地点の緯度が約40度/年で移動する。

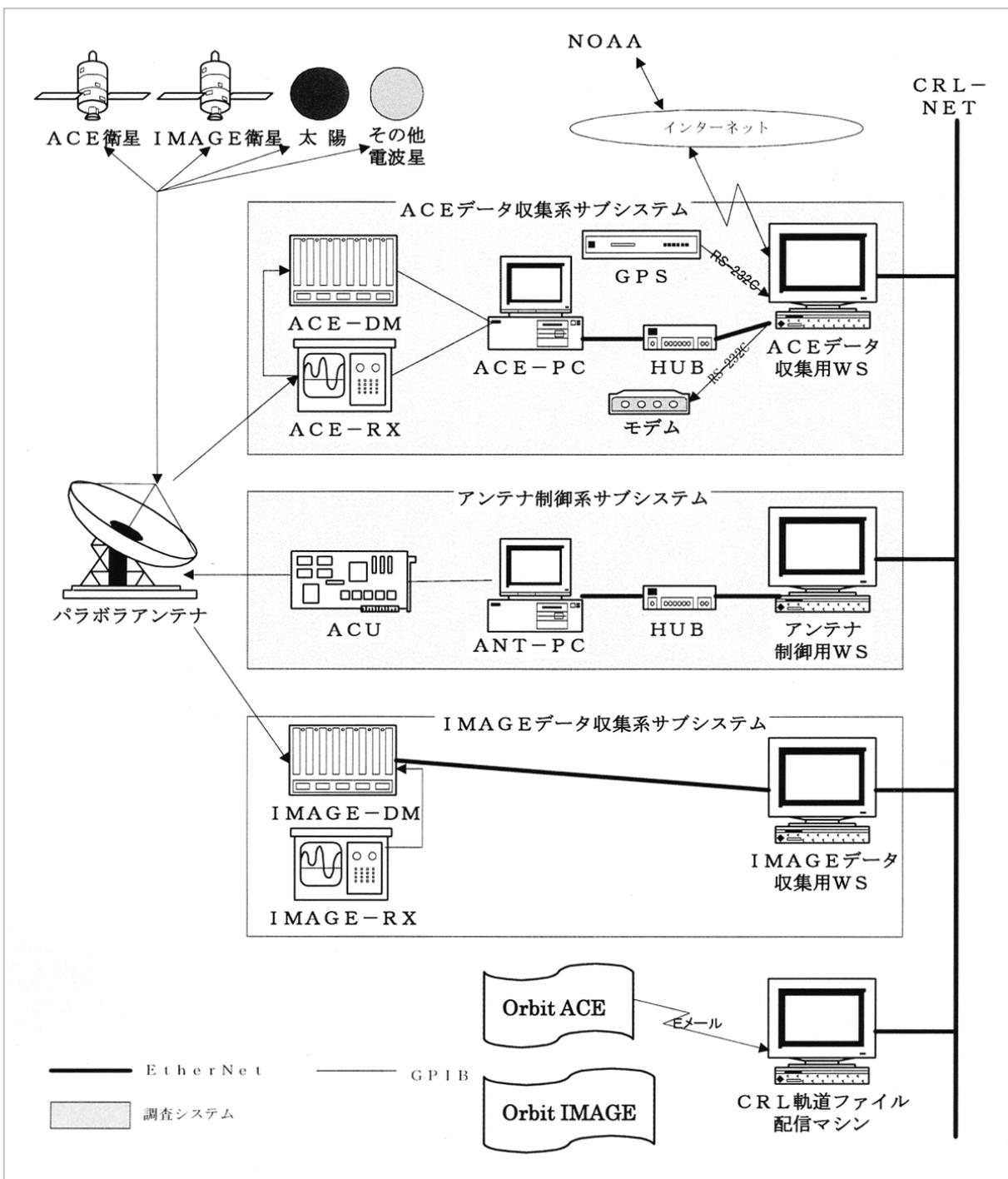


図3 ACE/IMAGE衛星受信・処理システム構成

ているリアルタイム受信では東京 (CRL)、アラスカ Fairbanks (NOAA)、カリフォルニア Berkeley (UCB) の3か所の受信点がある。各受信点はACE衛星の場合と異なり、独自の運用スケジュールで受信とデータ処理を行っており、受信局間で処理した結果を交換している。高緯度に遠地点があった第I期では極域の受信点である Fairbanks 局が長時間に渡って受信が可能で

あったので、非常にカバー率が高かったが、遠地点が低緯度に移った現在では、3点が経度的に比較的に近いこともあり全体のカバー率が低下している。今後、遠地点が南半球側に移れば、さらにカバー率が低下するであろう。

4 ACE/IMAGE 衛星データ受信・処理システム

ACE 受信設備については丸山他[3]によって、既に報告されているので、ここでは概略を述べる。受信設備は11 m パラボラアンテナを中心に構成されている。ACE/RTSW ではリアルタイムデータ伝送は、世界中で普及している S-バンド 10 m 級の既存のアンテナで受信可能であるように低速で行われる。これに対して DSN での運用では 34 m 級のアンテナを使用し、高速でのデータレコーダ再生を行っている。衛星データ受信のような定常的な運用で最も重要な点は、運用に必要な人的資源を最小にすることである。そのため本設備は無人運転が設計の基本となっている。設備は図3に示すように11 m アンテナとアンテナ制御及びスケジュール系から構成される追跡系と衛星ごとの受信機テレメトリー(TM) データ処理系で構成される。当初は ACE 衛星のみの設備として設計されたが、1999 年には IMAGE 衛星受信のために受信設備の追加と複数衛星追尾のためのシステム変更を行った。

4.1 複数衛星追跡運用システム

受信用アンテナは、昭和62年度に当時の鹿島支所に整備された「西太平洋電波干渉計計画」用11 m パラボラアンテナ[7]を1997年にCRL本所に移設したものである。表2には本アンテナの諸元を示す。本アンテナは衛星管制用に設計されたもので、高速の衛星追尾が可能である。図4にアンテナの外観を示す。アンテナ制御システムは毎日の衛星運用スケジュールを制御用WSに置かれたコントロールファイルから読み出し、各衛星の軌道データを参照しながら、アンテナの角度を指定している。運用スケジュール設定はテキストファイルを編集することで行う。利用者が限定されているので、一般ユーザーのため



図4 11mパラボラアンテナ外観

のインターフェースは作っていない。軌道データの更新等は本システムの外に置かれており、そのインターフェースはすべてファイルで行っている。軌道データは ACE 衛星では NASA/GSFC で CRL アンテナでの可視時間とアンテナ角の計算が毎週行われ、電子メールでデータが転送される。また、IMAGE 衛星では IMAGE 衛星運用センターで毎週予測軌道が更新されるので、このファイルを取得し、CRL でのアンテナ角を計算している。これらの処理は簡単なスクリプトで自動的に処理され、追跡運用システム

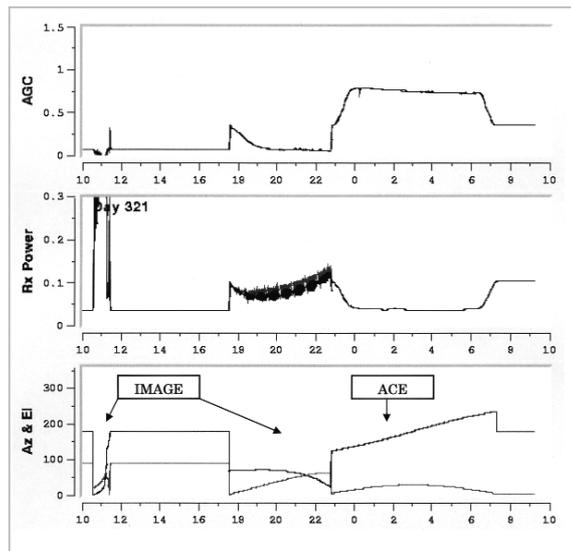


図5 11mアンテナによる衛星追跡の24時間分の記録

上から ACE 用受信機 AGC レベル、アンテナ受信電力、アンテナ角 (Az, El)。IMAGE 衛星追跡が 10:30-12:30UT と 16:40-22:55UT に行われ、22:55-07:10UT の間 ACE 追跡が実施されたことを示す。これらはすべてスケジュールに従って、自動的に運用されている。

表2 11mパラボラアンテナ諸元

	機能及び性能
アンテナ口径	11m
受信周波数	S バンド 2200 ~ 2320 MHz
給電方式	フロントフィード
受信偏波	右旋/左旋切替受信
G/T	S バンド 24 dB/K 以上
駆動速度	Az 11 度/秒、El 5 度/秒
駆動範囲	Az +/-360 度、El -2~182 度

のフォーマットでWSへ転送される。

図5に11mアンテナによる衛星追跡の24時間分の記録を示す。三つのパネルは上からACE用受信機AGCレベル、アンテナ受信電力、アンテナ角(Az, El)。IMAGE衛星追跡が10:30-11:30 UTと17:40-22:55 UTに行われ、22:55-07:10 UTの間ACE追跡が実施されたことを示す。これらはすべてスケジュール定義ファイルの内容に従って、自動的に運用されている。衛星の追跡運用は365日行われるが、運用状況はネットワーク経由で確認できるようにモニターシステムを別途整備した。さらに、運用障害発生時にはポケットベルに通知される。これらの工夫によって、最小限の人的資源での自動運転が可能となっている点が本システムの特徴である。

本システムは1998年1月に運用を開始した。現在に至るまで、降雪が直接の原因で運用が不可能になる障害が二度発生したが、その期間は宇宙開発事業団にACE衛星の追跡を依頼し、電話機回線経由でCRLのシステムへデータを転送した。この障害以外はほぼ順調に運用を継続している。

4.2 ACE衛星データ処理

11mアンテナで受信された434bpsのACE衛星テレメトリ信号は復調器によってパケット復調され、そのままインターネット経由でNOAA/SECに送られる。SECにはテレメトリ信号から物理的な値に変換するシステムが設置されている。他局の受信データも同様にSECに送られるが、最初に到着したデータが選択して処理される。物理量に変換されたデータはSEC

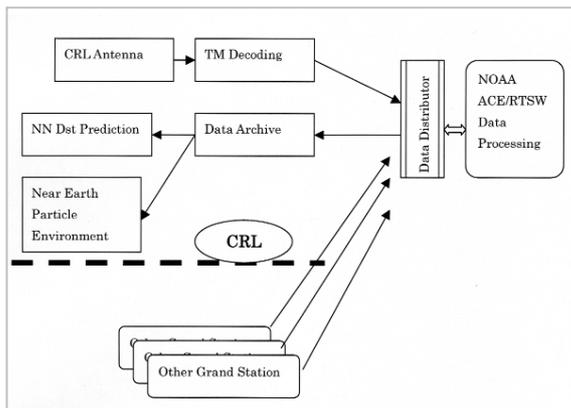


図6 ACEデータ処理フロー

からCRLへ、やはりインターネット経由で送り返されてくる。このようにして、24時間連続したACE/RTSWデータが取得されている(図6)。

SECからCRLへリアルタイムで伝送された処理済みのACE/RTSWのデータはデータプロットとしてWEBで公開されている(<http://www2.crl.go.jp/uk/uk223/service/1day/>)。図7はCRLで作成されている太陽風プラズマと太陽風磁場データの1日分のプロットの例を示す。図には、RTSWデータに加えて、磁気圏への入力パワーを表す値を最下段のパネルにプロットしているが、この日(2001年11月24日)の06 UTごろから大きなエネルギーが磁気圏へ流入していることが示されている。また、NOAAでも同様にACEデータの公開ページを設けている(<http://www.sec.noaa.gov/ace>)。我々はデータプロット以外に太陽風磁場のセクター構造(1日更新)、ニューラルネットワークによるDst指数の予測(1時間更新)[8][9]、静止軌道付近での高温プラズマ予測などのACEデータを利用したプロダクトを開発し、公開している。

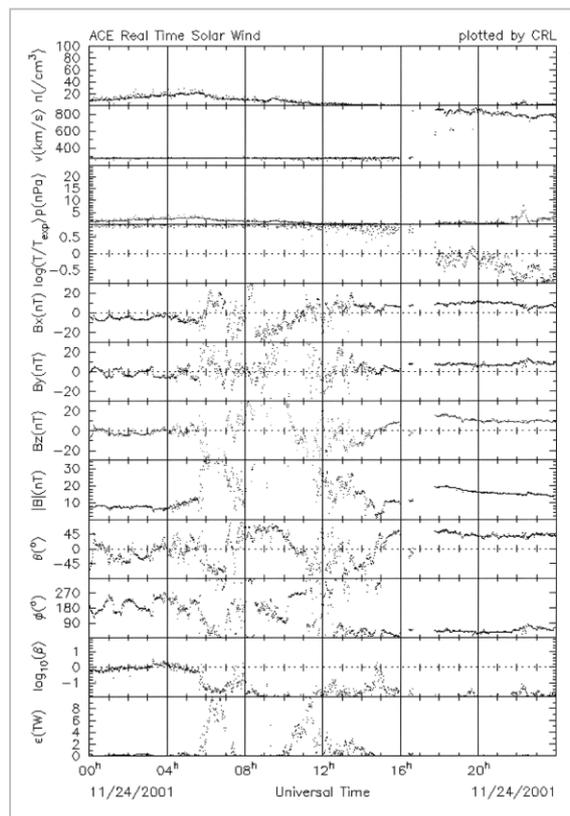


図7 ACE/RTSWの太陽風プラズマと太陽風磁場データプロット

(2001年11月24日)

L1点での太陽風観測は地球に到達する太陽風と磁場の情報を1時間弱のリードタイムを持って提供することで、地磁気擾乱の1時間前予報を可能とし、宇宙天気予報へ極めて大きな貢献をしている。また、予報だけではなく、太陽地球系環境を研究する上で太陽風データは他の観測データの解析やシミュレーションへの入力データとしても必要である。ACE衛星は1998年から運用が開始されたが、その寿命を決定する大きな要因の一つは軌道制御用燃料の量である。次のL1点太陽風観測の計画がはっきりしていないこともあり、当面はACE衛星が太陽風観測の主力である状況が続くので、ACE衛星運用チームは軌道制御の頻度を落として燃料を節約することを決定した。これによって、一部データ欠落は増えるが、2010年ごろまでの運用が可能な状況にある。将来は更に太陽側に近い地点に衛星を置いて、現在の1時間のリードタイムを更に大きくする計画もNOAAとNASAによって検討されている(GEOSTORM計画)。

4.3 IMAGE衛星データ処理

IMAGE衛星からは44k bpsでリアルタイムデータが送信されている。受信機からのテレメトリデータは、受信機と復調器を経て、データ処理システムへ入力される。我々は、各搭載機器チームで開発された処理ソフトウェアをリアルタイム用に改修し、独自の処理システムを構

築した。図8にデータ処理の流れを示す。受信機からのテレメトリデータは、IMAGE衛星の解析で標準として使われているUDFフォーマット(<http://image.msfc.nasa.gov/>)に変換される。他地上局とのデータ交換はUDFフォーマットのレベルで行われている。また、SMOCもUDFデータを提供するので、全データに対して共通のソフトウェアで処理が可能である。UDFデータは更に各搭載機器に固有の処理ルーチンを通して画像データに変換される。現在、定常的に処理を行っているのは、紫外オーロラ撮像器(FUV)と紫外プラズマ撮像器(EUV)の2種類の観測データである。処理されたデータはWEBで公開されている(<http://www2.crl.go.jp/uk/uk223/IMAGE/index.html>)。

紫外光によるオーロラ撮像は1970年代の日本の「きょこう」衛星で初めて行われた[10]。その後、DE-1, Viking, Akebono, Freje, Polarなど多くの衛星に搭載され、オーロラ研究に多くの貢献を行ってきた観測手法である。紫外光の波長帯では地球のアルベド(反射係数)が低いために日照領域でもある程度の撮像が可能である。また、可視光に比べてオーロラ紫外光の発光過程が比較的単純であり、発光量の観測からオーロラを光らせる元となる粒子の情報を得やすいという特徴もある[11]。これらの理由で衛星からのオーロラ観測では紫外光を使う例が多い。その意味では実績が多く、データ解析の手法やどの

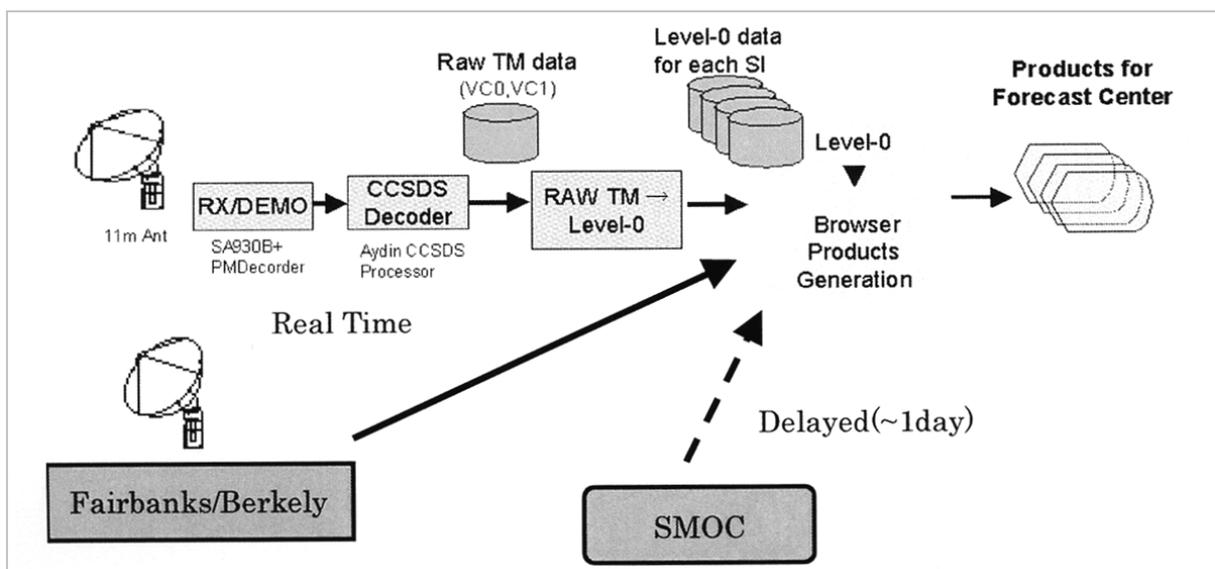


図8 IMAGE衛星データ処理フロー

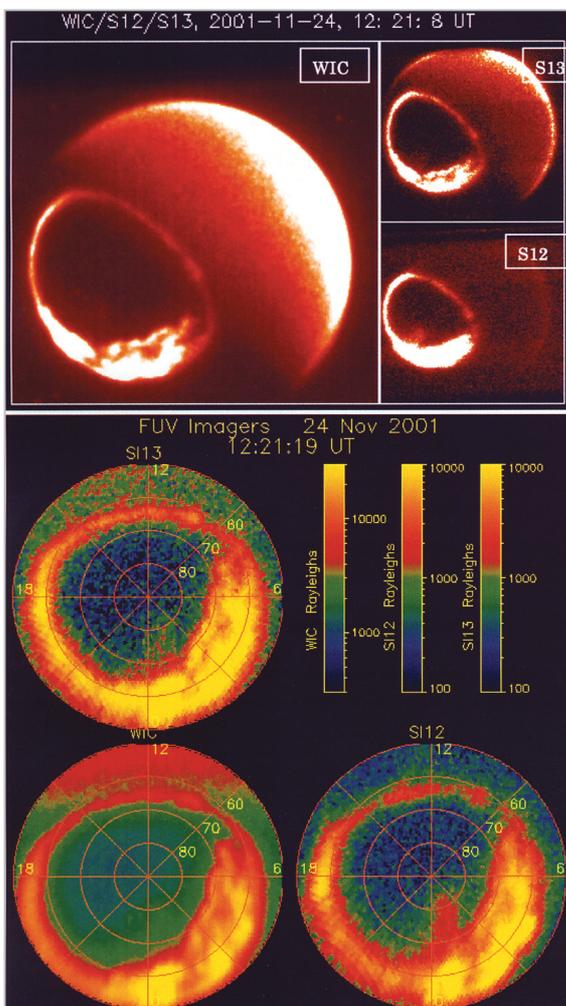


図9 IMAGE/FUVで観測されたオーロラ画像

上のパネルは三つのカメラからの元データ。下のパネルは地磁気座標系 (MLAT-MLT) でのプロット

ようなデータが得られるかについて打ち上げ前から予想を立てやすい観測法でもあった。IMAGE衛星の他の搭載機器が、そのほとんどがこれまでに衛星に搭載された実績の無い新しい観測器であることと対照的である。リアルタイムの処理の観点からはデータ解析の手法が確立しているために、事前の準備が整えやすかったということが言える。

IMAGEに搭載されたFUV (Far Ultraviolet Imager) はこれまでの搭載用紫外オーロラカメラを更に発展させたもので、三つの撮影波長の異なるカメラで構成され、2分間隔の撮像を行っている[12]。N₂LBH波長 (140 nm-180 nm) を使った撮像 (WIC: Wideband Imaging Camera) は降下電子で発光するオーロラを高感度で観測する。

また、高波長分解能のカメラとして酸素原子135.6 nm (S13) とドップラーシフトした水素原子ライマンアルファ 121.4 nm (S12) の波長でそれぞれ電子とプロトンによるオーロラの撮像を行う。図9に図7と同じ2001年11月24日の観測データを一例として示す。上のパネルは、三つのカメラからの画像出力を、また、下のパネルはMLT-MLAT座標に変換した画像を示す。図7に示された太陽風からの大きなエネルギー入力によって、オーロラ活動が活発化していることが示されている。

FUVは新しい世代のオーロラ撮像機器として従来にない特徴を持っている。一つには、プロトンオーロラの撮像を初めて可能にした点であり、エレクトロンオーロラとの比較が可能となっている。これらのFUVのデータ解析を進める上で必要なツールとして、例えば短波レーダーによるコンベクションマップとの同時表示の開発を計画している。さらに、FUVでは単にオーロラの形態を写すだけではなく、複数の波長チ

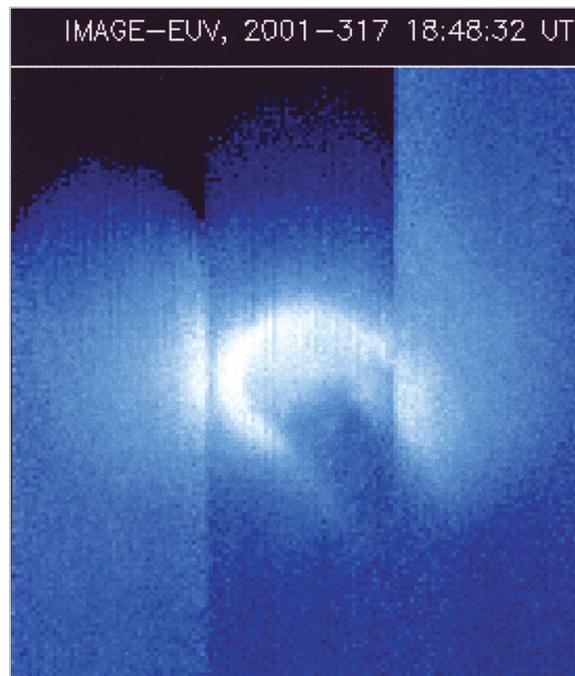


図10 IMAGE/EUVで観測された地球プラズマ圏

(2001年11月13日)中央部の明るいところが電離層。太陽は図の左上から照らしているために、中央部左上が明るい。EUVは三つのカメラで視野を分割して撮影している。この画像は各カメラの感度差を補正していないので、三つのバンドが見える。

チャンネルのデータからオーロラを作り出す降下粒子(電子、プロトン)の平均的なエネルギーとフラックスの推定が可能である。降下粒子の定量的な評価ができれば、その次のステップとして極域電離圏の電気伝導度の推定が2次元的に可能となると考えている。

EUV (Extreme Ultraviolet Imager) は 30.4 nm の He⁺イオンの共鳴散乱光を撮像する機器で、プラズマ圏全体の形状をダイナミックに追うことが可能である[13]。30.4 nmによるプラズマ圏撮像は最近になって開発された技術であり、日本の火星探査機「のぞみ」によって世界初の撮像に成功している[14]。しかし、まとまった観測データを取得するのはIMAGE衛星が最初となる。観測データはプラズマ圏の全貌をとらえるものとして精力的な解析が進められている。観測データの例を図10に例を示す。IMAGE衛星は上の二つの撮像機器以外に中性粒子撮像機器(ENA)や電波探査器を搭載しているが、これらの観測データ処理に関しては、処理ソフトウェアの整備を各機器の担当者と共同で進め、追加していく予定である。

IMAGEリアルタイムデータは、地上磁場観測ネットワークや短波レーダーネットワークからのリアルタイムデータとともに磁気圏活動の全貌をとらえるものとして、日々の予報業務にも貢献している。また、IMAGE衛星受信においてはデータ処理システムをローカルで整備したことにより、リアルタイムデータだけでなく、全観測データの処理が可能であり研究面での利用価値が格段に広がっている点は大きな特徴であ

る。

5 まとめ

ACE衛星によるリアルタイム太陽風データの受信システムの整備を行い、国際的な協力のもとに1998年から現在まで、ほぼ24時間/365日のデータ受信を継続している。リアルタイムデータを有効に活用するためにニューラルネットワークによる地磁気擾乱予測などのデータ利用を進めた。これらの結果はWebによって広く外部へ公開している。また、受信設備の改良により複数衛星の追跡を可能とすることで2000年から磁気圏観測衛星IMAGEのリアルタイム受信を開始した。IMAGE衛星のオーロラ画像は磁気圏活動の現況を現すものとして、予報業務や研究に大きな貢献をしている。

本受信設備の整備とその後の長期にわたる安定的な運用は、衛星データのリアルタイム利用に大きく道を開くものであり、今後もリアルタイムでデータを伝送する衛星計画が実現するであろう。

謝辞

ACE/IMAGE衛星受信設備の整備と運用には、株式会社東陽テクニカ及び株式会社アトムシステムからご協力を頂いています。宇宙開発事業団にはACE衛星追跡を一時期分担していただきましたことを感謝します。

参考文献

- 1 N.U. Crooker, "Solar Wind-Magnetosphere Coupling", Rev. Geophys. Space Phys., 13, 955, 1975.
- 2 J.A. Joselyn, J. Hirman, and G.R. Heckman, "ISEE 3 in Real-time: An Update", EOS, 62, 617, 1981.
- 3 丸山 隆, 渡邊成昭, 大高一弘, 島津浩哲, "ACE衛星による太陽風モニター計画", 通信総合研究所季報, 43, 285-290, 1997.
- 4 R.D. Zwickl, K.A. Dogget, S. Sahm, W.P.Barrett, R.N. Grubb, T.R. Detman, V.J. Raven, C.W. Smith, P. Riley, R.E. Gold, R.A. Mewaldt, and T. maruyama, "The NOAA Real-time Solar-Wind (RTSW) System Using ACE", Space Sci. Rev., 86, 633-648, 1998.
- 5 E.C. Stone, A.M. Frandsen, R.A. Mewaldt, E.R. Christian, D. Margolies, J.F.Ormes and F. Snow, "The Advance Composition Explorer", Space Sci. Rev., 86, 1-22, 1998.
- 6 Burch, J. L., "IMAGE Mission Overview", Space Sci. Rev, IMAGE special issue, 91, 1-14, Jan. 2000.

- 7 金子明弘, 佐藤正樹, 澤田史武, 山本伸一, 栗原則幸, 雨谷純, "南大東島局用 11m アンテナシステム及び超小型 VLBI 局", 通信総合研究所季報, 36, 65-74, 1990.
- 8 渡邊成昭, 佐川永一, 大高一弘, 島津浩哲, "The operational model of Dst forecast", ADVANCES IN SPACE RESEARCH, in press.
- 9 渡邊成昭, 佐川永一, 大高一弘, 島津浩哲, "Operational models using a neural network to forecast the geomagnetic storm index Dst", Earth, Planets and Space, in press.
- 10 E. Kaneda, M. Takagi and N. Niwa, "Vacuum Ultraviolet Aurora Television Camera", in Proceedings of the Twelfth International Symposium on Space Technology and Science, 233-238, Tokyo, Japan, 1977.
- 11 R.R. Mier, "Ultraviolet Spectroscopy and Remote Sensing of the Upper Atmosphere", Space Sci. Rev., 58, 1-186, 1991.
- 12 S.B. Mende, et al., "Far-Ultraviolet Imaging from the IMAGE Spacecraft. 1. System design", Space Science Reviews, IMAGE special issue, 91, 243-270, Jan. 2000.
- 13 B.R. Sandel, et al., "The Extreme Ultraviolet (EUV) Imager Investigation for the IMAGE mission", Space Science Reviews, IMAGE special issue, 91, 197-242, Jan. 2000.
- 14 Nakamura, M., I. Yoshikawa, A. Yamazaki, K. Shiomi, Y. Takizawa, M. Hirahara, K. Yamashita, Y. Saito and W. Miyake, "Terrestrial Plasmaspheric Imaging by an Extreme Ultraviolet Scanner on Planet-B", Geophys. Res. Lett., 27, 141-144, 2000.

さわえいいち
佐川永一

電磁波計測部門宇宙天気システムグループ主任研究員 理学博士
宇宙天気



わたなべしげあき
渡邊成昭

電磁波計測部門宇宙天気システムグループ主任研究員 理学博士
宇宙天気予報、プラズマ波動



おおたかひろあき
大高一弘

電磁波計測部門宇宙天気システムグループ研究員
宇宙天気予報



しまづひろあき
島津浩哲

電磁波計測部門シミュレータグループ主任研究員 博士(理学)
宇宙プラズマ物理学

Ronald D. Zwickl, Ph. D.

米国大気海洋庁宇宙環境センター副所長
太陽・太陽圏科学

