

1. ELISEに関する共同研究の背景、経緯

地球温暖化に関係する大気の放射過程を理解し、正確に評価するためには雲、エアロゾルの全球分布を3次元的に観測することが必要である。雲の放射特性は雲の高度に依存するため、雲の効果を把握するためには雲の立体構造を把握することが重要である。一方、エアロゾルは太陽光を散乱・吸収する直接的効果と、エアロゾルが雲の生成の核となる間接的効果の両面から重要な働きをしている。特に間接効果については現在まだ解明が進んでおらず、地球の放射収支におけるこの効果の推定値の誤差が、炭酸ガスによる温暖化効果の大きさに匹敵するほど大きいのが現状である。エアロゾルと雲の相互作用の過程を理解するために、エアロゾルと雲の鉛直分布を観測することが必要である。衛星搭載ライダーは、エアロゾルと雲の鉛直分布を全球的に観測する最も効果的な手法である。特にエアロゾルの鉛直分布を観測できる唯一のセンサーであり、エアロゾルと雲の相互作用を含む放射過程の研究や、気候モデルの同化・検証のための極めて有効なデータが得られると期待される。

国立環境研究所では、環境庁地球環境研究総合推進費の研究（1991-1994年）の中で、衛星搭載ライダーの概念検討に関する研究を実施した。この中で、衛星搭載ライダーの科学的意義、システムの基本的な概念、要素技術の現状などの総合的な検討を行い、小型衛星搭載用の衛星搭載ライダーの概念を提案した。一方、宇宙開発事業団では、衛星搭載ライダーの要素技術開発のための地上設置ライダー、航空機搭載ライダーの開発を行ない、これらに基づいてELISE (Experimental Lidar In Space Equipment) の開発に着手した。

ELISEは、ミッション実証衛星2号機(MDS-2)への搭載を目指して、技術的な面と科学的な面の2つの目的を持って計画された。技術的な観点からは、将来の地球観測衛星に搭載するライダーのための要素技術として必要な、軽量で高出力の半導体レーザー励起固体レーザー、Siアバランシェダイオード(APD)を用いた高効率検出系などの技術実証を目的とした。また、科学的な観点から、MDS-2の1年間のミッション期間に得られる雲とエアロゾルのグローバルな高度分布データを気候変動や大気環境の研究に利用する研究が計画された。

国立環境研究所では、ELISEデータの利用を念頭において、1998年より環境庁地球環境研究総合推進費の研究課題「衛星利用大気遠隔計測データの利用実証に関する研究」の中で「衛星ライダーによるデータの利用に関する研究」を開始した。この中で、ELISEの受信信号のシミュレーション、雲や巻雲、エアロゾルの観測のためのデータ解析アルゴリズムの開発、放射過程の検討や気候モデル等へのデータの利用手法の開発に関する検討を行ってきた。

1999年より国立環境研究所と宇宙開発事業団との間で共同研究契約を締結し、主にELISEのデータ利用実証研究を国立環境研究所が分担することとなっていた。また、この共同研究の中で、ELISEミッションチームを編成し、ELISEのデータ利用実証計画の検討と利用実証のための地上システムおよびソフトウェアの検討を行ってきた。

本報告書では、ELISEに関する国立環境研究所と宇宙開発事業団の共同研究について報告するとともに、2000年1月26日に開催されたELISEワークショップとこれに先立って1月24日-26日に開催されたCPR (Cloud Profiling Radar)ワークショップにおける

ELISE関連の主な論文を報告する。

2. ELISE搭載システムの概要

ELISEは半導体レーザー(LD)励起のNd:YLFレーザーを光源とする2波長のミ-散乱ライダーである。図2.1にELISEの主要部分のブロック図を示す。また、表2.1に主な仕様を示す。ELISEは大きく7つの部分で構成される。レーザー送信部、送信光学系、受信望遠鏡、受信光学系と検出部、信号処理部、熱制御部、それに電源部である。

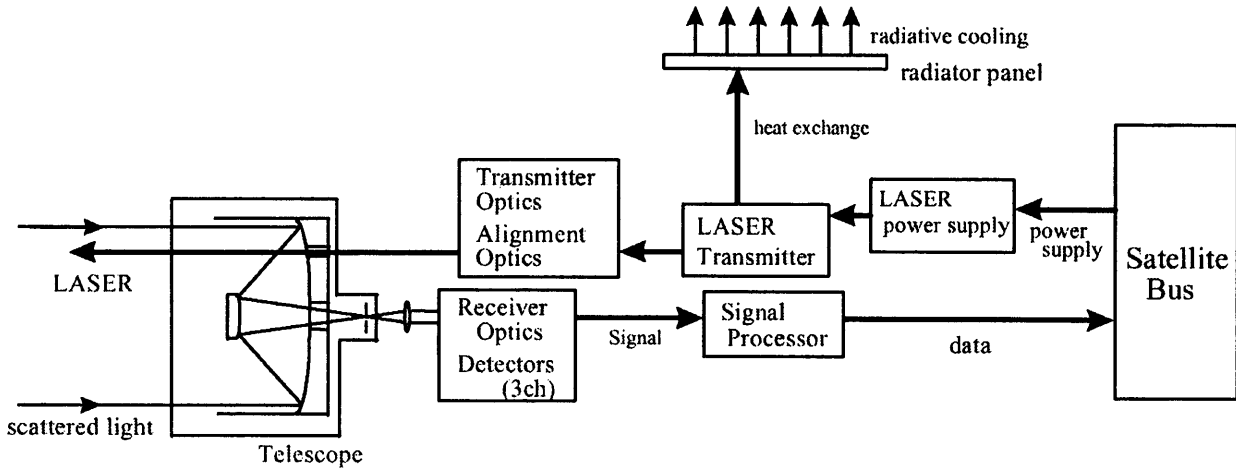


図 2.1 ELISE の主要部分のブロック図

表 2.1 ELISE の主な仕様

Items		Analog detection		Photon Counting detection	
		Fundamental		Fundamental	SHG
Performance	Vertical resolution	100 m (667 nsec)			
	Horizontal resolution	1.4 km (Int. 20)	1.4 km (Int. 20)	21 km (Int.300)	
	SNR	>10			
Transmitter	Laser	LD pumped Q-switch Nd:YLF laser + KTP			
	Wavelength	1053.2 nm		526.6 nm	
	Output energy	84 mJ		10 mJ	
	PRF	100 pps			
	Beam divergence	0.17 mrad			
Transmission Optics	Opt. Transmission	90%			
Receiver	Telescope diameter	1 m			
	Field of view	0.22 mrad			
	Filter band width	0.3 nm	4 nm		
	Opt. Transmission	40 %	6.5 %	60 %	
	Quantum efficiency	31.5 %	-----	-----	
	Det. Probability	-----	1.25 %	34 %	
	Dynamic range	50.6 dB	5 M counts/sec		
Mass	250 kg				
Power	390 W(maximum)				

ムについて検討するとともに、新しい解析手法の研究を行ってきた。一方、計算機シミュレーションにより、衛星搭載ライダーによる計測のシミュレーションデータを作成し、衛星ライダーの測定誤差を評価した。次に、シミュレーションデータに種々の解析アルゴリズムを適用して、雲量、雲頂雲底高度、散乱係数、消散係数などの物理量の導出の可能性や誤差等々を評価した。また、地上ライダーや海洋地球研究船「みらい」に搭載したライダーのデータを用いて、アルゴリズムの評価や解析に用いるエアロゾルのパラメータの評価を行ってきた。

データの利用手法の研究では、衛星ライダーから得られる雲・エアロゾルの分布データを大気放射の研究や大気大循環モデルの検証、エアロゾル分布モデルの同化などの利用の可能性について検討を進めてきた。

3.1 ELISEデータ解析アルゴリズムの研究

ELISEによる、成層圏エアロゾル、巻雲、黄砂などのダスト層、中低層の雲、大気境界層を測定対象とするシミュレーションを行ない、ELISEによる観測の可能性を示すとともに、シミュレーションデータを用いて、ELISEデータの解析アルゴリズムの検討を行った。シミュレーションに用いたELISEの仕様を表2.1に示す。図3.1に仮定した大気の後方散乱係数のモデルと、ELISEの3つのチャンネルで受信される信号を濃淡表示で示す。シミュレーションでは、検出器の雑音や背景光雑音、デジタル変換の誤差、飽和など、想定される雑音は全て考慮している。図3.1よりELISEの各チャンネルで雲、エアロゾルの分布が良く観測できることがわかる。

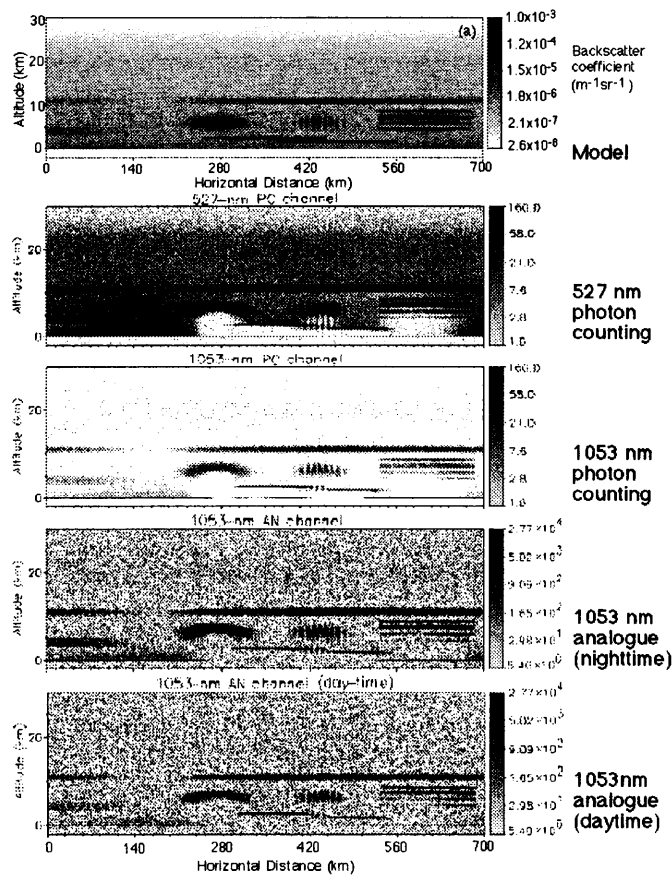


図 3.1 仮定した大気モデルとELISEの各チャンネルの信号のシミュレーション結果

表 3.1 シミュレーションに用いたELISEの仕様

衛星	軌道/高度:	円軌道 / 550±5 km
	対地速度:	6.983 km/s
送信部	レーザー:	半導体レーザー 励起 Nd:YLFレーザー
	出力エネルギー:	84 mJ at 1053 nm; 10 mJ at 527 nm
	パルス繰り返し:	100 pps
	送信ビーム拡がり:	0.17 mrad (full angle)
受信部	受信望遠鏡口径:	1000 mm
	受信視野角 (FOV):	0.21 mrad
	受信チャンネル/検出器:	3チャンネル/Si-APD
	アナログ(1053 nm), フォトンカウンティング(1053 nm, 527 nm)	
測定	方向:	鉛直下方
	高度領域:	0 to 35 km
	高度分解能:	100 m

受信信号強度をより定量的に見るために図 3.2にグラフを示す。ここでは、黄砂のようなダスト層を含む場合（モデル1）と低層の雲を含むもの（モデル2）の2つを示した。それぞれのモデルの527 nm と1053 nmの後方散乱係数のプロファイルを図 3.2 の左に示す。各受信チャンネルについて、レーザー1ショットに対する受信信号光子数を、中央（モデル1）と右（モデル2）に示す。図にはフォトンカウンティング(PC)チャンネルの直線性の確保される領域も表示した。これによると527 nmのPCチャンネルでは、仮定した巻雲、ダスト層で飽和することがわかる。一方、1053 nmのPCチャンネルは巻雲、ダスト層では飽和しないが低層の雲では飽和する。3つのチャンネル全てを考えると、全ての測定対象を観測できることが分かる。

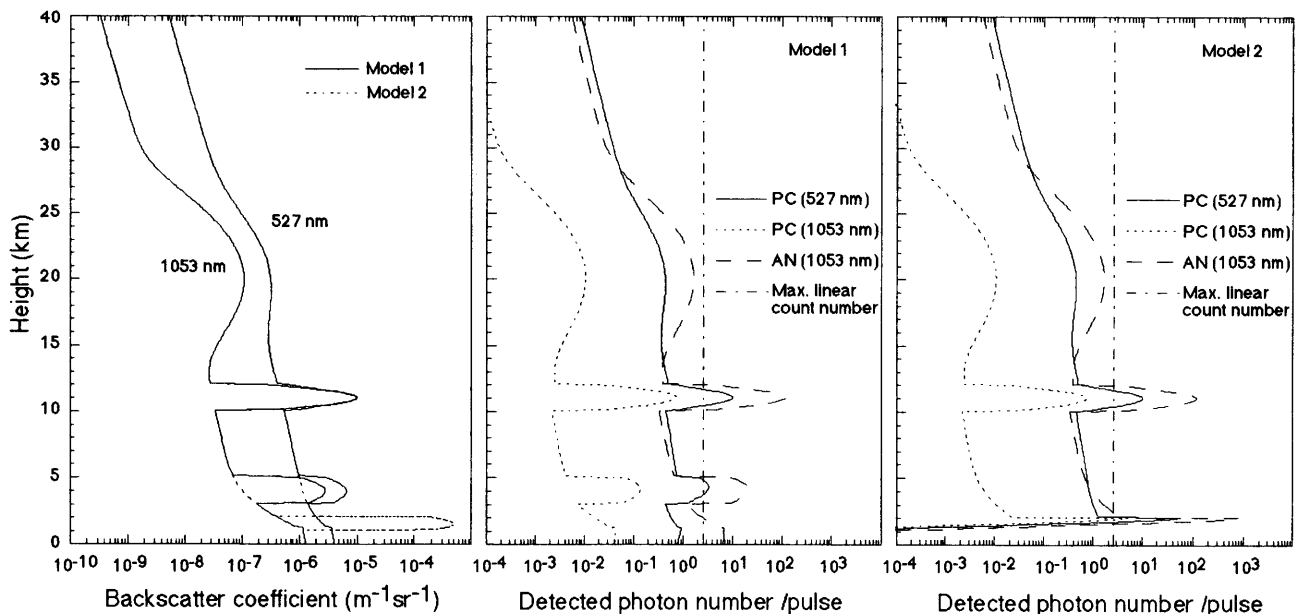


図 3.2 仮定したモデルと、レーザー1ショットに対する各チャンネルの信号光子数

3つの受信チャンネルのうち、527 nm フォトンカウンティング (PC) については高度 30 ~40 kmのレイリー散乱を用いて校正ができる。1053 nm ではレイリー散乱が小さいため積算回数を非常に大きくする必要があるが、PCチャンネルは同様にレイリー散乱を用いて校正ができる。積算回数は100,000 が必要でこれは、地球を数周回る時間に相当するが統計的処理によりこの方法が適用できる。1053 nm アナログチャンネルは、レイリー散乱信号を用いた校正はできない。そこで、適当な散乱係数を持つ巻雲を、1053 nm アナログと1053 nm PCチャンネルの両方で測定することで校正が可能である。

シミュレーションデータを用いて、それぞれの測定対象について解析アルゴリズムを検討した。成層圏エアロゾルについては、消散係数と後方散乱係数の比（ライダー比、S1）を仮定する標準的な2成分のフォワードインバージョン法により後方散乱係数が求められる。

巻雲については、527nmのPCチャンネルは散乱のピークでは飽和する場合多いと考えられる。1053nmのPCチャンネルは、飽和しないと予想されるが、巻雲の光学的厚さをライダー信号から測定するためにはSN比が十分でない。そこで、光学的厚さは527nmから求め、後方散乱係数の導出は1053nmのPCチャンネルの信号を用いて行う。インバージョンアルゴリズムとして、Youngによるイタレーション法と、光学的厚さを拘束条件とする解法の2つを検討したがいずれも良い結果が得られた。

ダストの層や大気境界層のエアロゾルについては、2波長の信号を用いて、2波長に対する後方散乱係数が相似になるような条件でライダー比と後方散乱係数を求める方法も適用できる。

衛星ライダーにおいては、多重散乱効果が問題となる。そこで、地球環境研究総合推進費の研究課題では、モンテカルロ法による計算機シミュレーションによりELISEにおける多重散乱効果を評価した。また、多重散乱効果を考慮したデータ解析手法の研究を行ってきた。

3.2 衛星ライダーデータの利用手法の研究

ELISEのデータを利用した研究として、雲、エアロゾルの全球的な分布の気候学的な解析、地上同期観測による、雲と放射収支の解明などいろいろなものが考えられる。国立環境研究所では、これらの内容について検討するとともに、地上ライダー、海洋地球研究船「みらい」に搭載したライダーのデータ、1994年にNASAが行ったスペースシャトルからのライダー実験LITE(Lidar In Space Experiment)のデータなどを用いて具体的な検討を進めてきた。

これらの検討の中で、時系列的に大量に得られるデータの処理の手順として以下のような方法が現実的に有効であることが示された。まず、時系列的に得られるライダーデータから雲を識別して雲の高度-距離分布を求め、一方、高度数kmまでに雲の検出されなかったデータのみを分離し、適当な空間平均を施してエアロゾルについて後方散乱係数等を求める。

雲の鉛直分布データについては、実利用に近いものとして数値予報モデルの検証が考えられる。この場合は、リアルタイムに近いデータの提供が必要になる。また、エアロゾルの分布についても、数値予報モデルに取り入れることが期待されるが、この場合は長期間の観測に基づく気候値としてのデータの利用であると考えられる。一方、最近、エアロゾ

ル分布についてもリアルタイム的な輸送モデルが開発されており、これらのモデルの検証や同化に衛星ライダーのエアロゾルデータをリアルタイム的に利用することも期待される。

地球温暖化等の研究への利用においては、スナップショット的なデータを利用するものと、長期間のデータを統計的に利用するものが考えられる。雲の放射過程などのプロセス研究的なものの多くは前者に、気候モデルの検証などは後者に属すると考えられる。いずれの場合も、各種の地上観測データや他の衛星センサーとの複合的な利用が重要である。

国立環境研究所における研究の中では、地上ライダーによる雲底高度の連続観測データを用いた雲の高度分布の気候学的な特徴の解析と衛星ライダーデータと組み合わせた雲の多重構造の解析の可能性、NOAA/AVHRRデータと組み合わせた巻雲の光学特性の解析などについて具体的な検討を行った。

4. ELISEデータ利用実証計画の検討

ELISEのデータ利用実証に関する計画は、国立環境研究所、宇宙開発事業団の共同研究のもとに編成したELISEミッションチームの中で検討を行った。

ELISEの科学利用については前節に述べたように、多くのものが期待されるが、ELISEの仕様、特にデータレートの問題による運用上の制約があった。ミッションチームでは、このような制約のなかで最大限に利用研究に応用するための運用モードの検討を行った。また、ELISEの検証について、測定された物理量（例えば後方散乱係数など）の検証は利用実証研究のなかを含めることとして検討を行った。一方、ELISE搭載機器に関する検証については、ELISE基本実証の中で宇宙開発事業団が実施する計画であった。

ELISEのデータレートの制約により、パルス積算数、すなわち水平分解能のモードの設定がひとつの課題であった。ELISEの衛星上でのデータ積算回数は最高分解能で20回（水平分解能1.4 km）であるが、このモードではデータ量が多いためダウンリンクが間に合わず、連続的に観測を行うことができない。しかし、雲、エアロゾルの全球的な分布の観測では、データを連続的に取得することが望まれる。そこで、積算数を増やしてデータレートを落とした（水平分解能を落とした）連続運用モードを設定した。雲の構造の観測などで高分解能の測定が望まれる区間については、測定モードを高分解モードに切り替えることで対応することとした。

ELISE計画の中止のためELISEデータ利用実証計画書の最終版をまとめるには至らなかったが、ELISEミッションチームで検討したMDS-2搭載ライダーの利用実験構想に関する調査報告を以下に紹介する。この調査報告は、ミッション実証衛星2号機（MDS-2）搭載ライダー（LIDAR）計画に関し、機能性能に関する技術実証（基本実証）が行われた後の科学研究利用への展開と、衛星運用へのインタフェースを設定するために、次の5つの項目について調査し、「利用実証」に関する計画等に関する利用実験構想として報告したものである。なお、「利用実証」とは、「物理量検証」と「取得データを利用した個別利用研究」とから構成される。

- 利用実証に関する全体計画
- 物理量検証計画
- 取得データを利用した個別利用研究計画

- データ取得のための衛星運用計画に対する要求条件
- 今後の検討課題

4.1 利用実証に関する全体計画

(1) 利用実証の実施体制

宇宙開発事業団（以下、NASDA）と国立環境研究所との間の研究協力契約等の取り決めに基づき、国立環境研究所の研究者を中心にした研究者グループ「（仮称）実証衛星ライダーミッションチーム」を設置する。

実証衛星ライダーミッションチーム（以下、ミッションチーム）は、国立環境研究所の研究者を中心にした研究者グループ（コアメンバー）、および公募によるメンバーから構成する。公募は国立環境研究所とNASDAからの公募案内（以下、RA）を発出し、提案課題を国立環境研究所とNASDAで選定し、採択する。公募課題の研究に係る経費は、原則として応募者の負担によるものとする。海外のメンバーについてはミッションチームのコアメンバーで選定し、国立環境研究所からミッションチームへの参加を要請する。（海外メンバーのRAによる公募については今後検討）。ミッションチームメンバーは、国立環境研究所客員研究員として登録する。

利用実証の作業は、ミッションチームが実施する。利用実証の実施においては、データプロダクトの作成、およびデータプロダクトの研究チームへの配布が、効率的に行われる必要がある。利用実証のためのデータプロダクトの作成およびデータ配布は、NASDAがこれを担当する。データ解析アルゴリズムおよびデータプロダクトの内容は、衛星打ち上げ前に、ミッションチームがこれを策定し、NASDAが運用ソフトウェア、運用システムを整備する。利用実証期間中に実施される、アルゴリズム・ソフトウェアの改訂、データの再処理についても、同様の分担とする。

なお、利用実証を有効に進めるためには、データの取得率を可能な限り高めることが望ましい。このことから、海外受信局における観測データのダウンリンクの可能性についても検討を進めることが必要である。

(2) 利用実証の概要

利用実証は、物理量検証と取得データを利用した個別利用研究から成る。

物理量検証では、雲・エアロゾルの後方散乱係数、消散係数、雲頂雲底高度などの地球物理量について、衛星ライダーデータから導出された観測値を、地上や航空機からのライダー観測や他の観測手法によるデータ（トゥルースデータ）と比較することによって検証する。物理量検証では、受信光子数などの測定値の検証を行う機器検証とは異なり、衛星ライダーデータから物理量を導出するためのデータ解析アルゴリズムの検証が中心となる。

個別利用研究では、衛星ライダーデータから得られた雲・エアロゾルの分布データを用いた様々な研究が考えられる。具体的な研究対象、研究内容として、以下のものがあげられる。

- 1) 巻雲の気候学的（統計的）解析
- 2) 雲の鉛直分布、多層構造の解明と気候学的（統計的）解析
- 3) 地上同期観測による、雲と放射収支の解明
- 4) 雲分布、雲頂高度、雲の構造データによる大気大循環モデルの検証

- 5) 対流圏エアロゾルの広域3次元分布の解析
- 6) 大気境界層構造
- 7) 成層圏エアロゾルの広域分布と大気循環
- 8) 極成層圏雲の解析（極軌道の場合）

物理量検証、個別利用研究は、ミッションチームのコアメンバーおよび公募メンバー、海外メンバーがテーマ毎に分担し、各主担当研究者が責任を持って研究を実施する。

4.2 物理量検証計画

物理量検証は、上記の体制の元で利用実証の一環として実施される。物理量検証は、検証（トゥルース）データの取得、衛星ライダーデータとの比較により行われる。さらに、これに基づいて、衛星ライダーデータ解析アルゴリズムの評価、解析アルゴリズムの改良が行われる。

衛星ライダーによる、雲・エアロゾルの散乱係数、消散係数や光学的厚さ、オングストローム指数などの物理量（地球物理量）は、解析手法や解析に用いるモデルなどの仮定に依存する。基本実証のなかで実施される機器検証がハードウェアの検証であるのに対して、物理量検証はデータ解析アルゴリズムを含めた観測手法の検証である。

4.2.1 検証すべき物理量

検証すべき地球物理量として以下のものがあげられる。雲・エアロゾルの散乱係数、雲の分布構造、雲頂雲底高度、雲の多層構造、雲の光学的パラメータ（雲の散乱比、消散係数、光学的厚さ）、エアロゾルの分布構造・光学パラメータ（消散係数、光学的厚さ、オングストローム指数）

4.2.2 物理検証観測手法、検証解析手法

4.2.2.1 機器検証、機器校正

物理検証観測に先立って、機器検証、機器校正が行われていることが必要がある。機器検証、機器校正ともに基本実証の範疇であるが、必要な検証の概要をここにまとめる。

機器検証では、以下のような検証が実施される必要がある。

- 1) 衛星搭載ライダー自身による整合性のチェック：アナログチャンネルとフォトンカウンティングチャンネルの相互の比較、波長の異なるチャンネルの比較（備考4.1 ELISEの基本仕様・性能を参照）
- 2) 大気（30 km 付近のレイリー散乱）や海面反射のモデルを仮定したシミュレーション信号との比較（海面反射を利用する場合、フォトンカウンティングの飽和の効果の事前のシミュレーションと航空機ライダー等による海面反射のトゥルースデータが必要である。）
- 3) 航空機搭載ライダー、地上設置ライダーによる検証：航空機搭載ライダーおよび地上設置ライダーにより同じ観測ボリュームの観測を同時に行い、このデータに基づいて衛星ライダーで得られるデータのシミュレーションデータを作成する。これと衛星ライダーデータを比較することによって機器検証を行う。

機器校正では、機器検証実験に基づいて衛星ライダーの装置定数をチャンネル毎に決定する必要がある。特に、1053 nm アナログチャンネルでは30km 付近のレイリー散乱

による較正ができないので、定量的なデータ解析のためには装置定数を決めておくことが重要である。装置定数の精度は5% (TBD) が必要である。

4.2.2.2 雲・エアロゾルの消散係数等の検証観測

衛星搭載ライダーと同じ測定領域の同時観測を航空機搭載ライダー、地上ライダー、その他の観測機器を用いて行い、これらで得られた雲・エアロゾルの消散係数を衛星ライダーデータから導出した消散係数と比較し、衛星ライダー観測の検証を行う。1053 nm アナログ、フォトンカウンティング、527 nm フォトンカウンティングの全てについて検証を行う。

4.2.2.3 雲の分布構造、雲の光学的パラメータ、エアロゾルの分布構造、エアロゾルの光学パラメータ等の検証観測

地上ライダー、スカイラジオメータ、航空機ライダー等による観測を衛星ライダーの通過前後の適当な期間実施し、観測データの値および時間変化と衛星ライダーデータの整合性を比較する。また、気象衛星データを用いて得られる同じ観測領域の雲の分布構造、雲頂高度、エアロゾルの分布構造、エアロゾルの光学パラメータなどを衛星ライダーデータと比較する。

4.2.3 検証観測実施計画

検証データ取得のための検証観測実験計画は、ミッションチームを中心に策定される。必要な機材の整備、観測実施に係る経費負担については、NASDAによるものとし、ミッションチームメンバーの参加を得て実施する。なお、機器検証実験と物理検証実験の一部は同時に実施することが可能であると考えられるので、基本実証計画との調整が必要である。

現時点で、想定される検証観測実験を以下にあげる。

1) 航空機搭載ライダーによる検証観測

NASDAの航空機ライダーを利用して、衛星ライダー軌道の直下の雲・エアロゾルの観測を行い、同じ観測ボリュームの散乱係数等の相互比較を行うことが望まれる。これは、直接的な比較検証として重要である。このような検証実験は、機器検証においても必要であると考えられるので、必要な検証実験を同時に行えるような効率的な計画を策定する必要がある。NASA、ESA等海外の宇宙機関への協力要請を行う。

2) 地上設置ライダーによる検証観測

衛星ライダーの観測領域内の地上設置ライダーにより、雲・エアロゾルの分布構造の観測を実施し、衛星ライダーデータと比較する。地上ライダーによる観測される領域は衛星の観測する領域と同一である可能性は低いので、散乱係数等の直接的な比較より、むしろ多少、時間、空間スケールの大きい分布構造の比較がねらいとなる。定量的な比較においても、平均値等、統計的な量の比較が中心になると想定される。また、利用実証研究において、地上ライダーや放射計のデータを組み合わせた研究が想定される。従って、地上ライダーによる検証観測は、運用期間中、できる限り継続的に実施することが望まれる。地上観測のサイトは、衛星ライダーの観測領域内であることが必要であるので、軌道傾斜角が30度程度であれば、検証観測実験も赤道をはさむ緯度30度の領域でなされる必要がある。現在のところ、日本が中心となって検証観測を行う候補地としてはインドネシア

(ジャカルタ、バンドン)、タイ、フィリピンなどで、これらの地点においてはこれまでの研究協力などの実績がある。これらのサイトでは、ある程度の連続的な観測態勢が取れるように準備する必要がある。また、各ライダーサイトでサンフォトメーター、スカイラジオメータ観測を実施する。その他についても今後可能な限り協力を呼びかける。衛星ライダーの軌道傾斜角が大きい場合には、検証観測の可能性は飛躍的に増加する。

3) 船舶搭載ライダーによる検証観測

海洋地球研究船「みらい」等、船舶を利用したライダー観測。観測の内容は地上ライダーの場合と同様であるが、海洋上の検証データが得られる大きな利点がある。「みらい」については、H10年度からライダー観測を開始し、これまで南西大平洋を中心に雲・エアロゾル分布の観測を行ってきた。このライダーを利用した検証観測が可能である。

具体的な物理検証計画については、ミッションチームにおいて策定し分担を明確にする。また、海外への協力要請等についてミッションチームで検討する。

4.3 取得データを利用した個別利用研究計画

衛星ライダーでは、衛星軌道の直下の断面上の雲・エアロゾルの分布が測定され、衛星のパスに沿った鉛直断面のデータが得られる。次の周回のグランドパスまでの距離は赤道上で3000 km程度あるので、データ利用においては空間的な画像の得られる気象衛星のデータなどとの併用が考えられる。また、観測頻度の観点からも気象衛星や地上観測の補完的な利用が考えられる。

衛星ライダーデータの利用においては統計的な解析研究とケーススタディ的な研究が考えられる。また、雲・エアロゾルの分布パターンを利用するものと、光学的厚さなどの定量的なデータを利用する研究が考えられる。これに応じて、必要とするデータ処理は異なる。

衛星ライダーデータの利用実証研究として具体的に以下のものがあげられる。

1) 巻雲の気候学的（統計的）解析

巻雲の分布と光学的厚さを統計的に解析。全球的に一年を通じて、出現頻度、出現高度の緯度依存性、地域による依存性、下層の雲との関係などの特徴を明らかにする。気象衛星や地上ライダーデータとの組み合わせ。

光学的に厚い雲の雲頂高度は従来の衛星の赤外データからも推定できるが、光学的に薄い巻雲の分布や、雲が多層にある場合の巻雲の分布は、衛星ライダーで初めて観測が可能となる。また、衛星ライダーでは高度が直接的に測定されることも大きな利点である。巻雲の観測について、衛星ライダーデータは定量的に取り扱う（光学的厚さを導出）。

2) 雲の鉛直分布、多層構造の解明と気候学的（統計的）解析

雲の分布、多層構造を場所と気象条件毎に統計的に解析し、気候学的な特徴を明らかにする。気象衛星、地上ライダーなどのデータと組み合わせで解析。下層の雲までを含めた多層構造に着目する。衛星ライダーデータは定性的（構造を抽出）または半定量的に取り扱う。

3) 地上同期観測による、雲と放射収支の解明

地上ライダーおよび放射計（サンフォトメータ、スカイラジオメータ）を用いて地上からの観測を同時に行い、雲の構造などに依存する放射特性を明らかにする。地域を限定して衛星ライダー、地上ライダーによる雲の構造の観測と、衛星および地上からの放射測定

を行い、雲の多層構造と放射特性の関係を定量的に評価する。

4) 雲分布、雲頂高度、雲の構造データによる大気大循環モデルの検証

衛星ライダーによる雲の分布構造のデータを用いて、気候モデルの検証を行う。

(一方、衛星ライダーで得られる大量の雲分布構造のデータを利用して気象予報のための大気大循環モデルの同化を行なうような利用も期待される。このような利用は世界的にもまだ行われていない。衛星ライダーデータのインパクトを示すひとつの例になりうる。衛星ライダーのデータのカバレッジが十分か、また、モデル側の雲過程の精度など、利用の可能性の検討が必要。)

5) 対流圏エアロゾルの広域3次元分布

バイオマスバーニング、サハラダスト、黄砂などの分布、放射収支の観点、輸送の観点、光学的厚さの分布、オングストローム指数の分布

6) 大気境界層

大気境界層の構造、大気境界層と自由大気のエアロゾルの輸送。

海洋大気境界層。

7) 成層圏エアロゾルの広域分布と大気循環

火山噴火時、火山噴火によって生成された高濃度の成層圏エアロゾルの輸送、南北輸送、赤道を挟んでの輸送。分布構造やそのスケールの時間変化など。

8) 極成層圏雲の解析 (極軌道の場合)

個別利用研究の具体的な課題については、コアメンバーが設定する課題と、公募による課題、海外メンバーによる課題が想定される。ミッションチームにおいて、テーマ毎に分担を明確にし、各主担当研究者が責任を持って研究を実施する。

4.4 データ取得のための衛星運用計画に対する要求条件

4.4.1 衛星軌道に関する要求

衛星軌道について、極軌道、傾斜軌道、また、太陽同期、非同期のそれぞれに利点があり、利用実証研究の目的に応じて要求が異なる。

地上のある地点(周辺)を観測する頻度の簡単な検討結果を(付録2)に示す。パスの総数は大きく変わらないので、軌道傾斜角で緯度範囲が(従ってその範囲のパスの密度が)変わる。一方、太陽同期、非同期は観測が決まったローカルタイムで(1日に2度)行われるか、全時間帯に分散するかの違いである。

日変化を見る必要のある応用では太陽非同期軌道が必要である。ある地点(周辺)に着目した場合の観測頻度は必ずしも多くないので、十分なデータセットが得られるかどうかの検討が必要である。大気境界層や対流雲を観測対象とするならば、たとえスナップショット的な観測であっても、異なるローカルタイムのデータは有効であろう。

太陽同期軌道では時間帯に限られる分、その時間帯の観測頻度が上がる。従って、季節変化等を見るには有利である。衛星ライダーの重要な観測対象である巻雲の分布の場合はおそらく大きな日変化はないと思われるので太陽同期軌道で問題はない。また、大気大循環モデルの検証、同化における利用においても問題はない。

太陽同期軌道の利点としては、ADEOS2などの太陽同期の地球観測衛星による同時間帯のデータが利用できることがあげられる。(逆に、海外の太陽同期のライダー衛星

(GLASなど)が同時期に上がる場合は、時間帯が互いに補完的になるように調整することが望ましい。)

一方、全球をカバーするためには軌道傾斜角が大きい必要がある。中緯度域までカバーできれば、検証観測に参加できる観測地点は飛躍的に増える。極域までカバーできれば、利用検証で極成層圏雲(PSC)も観測対象とできる。

以上のように、利用実証の観点だけから軌道要求を一概に決定することはむずかしい。打ち上げや運用上の問題と合わせて決定する必要がある。

4.4.2 衛星の運用に関する要求

4.4.2.1 地球物理量の検証

物理量の検証では、トゥルースデータとの相互比較のために、各チャンネルの信号を高い空間分解能で取得する必要がある。すなわち、1053 nm、532nm、アナログ、フォトンカウンティングのチャンネルの組み合わせの3つのモード(備考4.1 ELISEの基本仕様・性能を参照)について、少ない積算回数でデータを記録することが必要である。このような運用モードとして以下の仕様の「高分解能実験モード」を設けることが必要である。

表4-1 高分解能実験モード

Mode I	1053.2nm アナログ	積算回数 20 (水平分解能 1.45 km)
Mode II	1053.2nm フォトンカウンティング	積算回数 20 (水平分解能 1.45 km)
	526.6nm フォトンカウンティング	積算回数 20 (水平分解能 1.45 km)
Mode III	1053.2nm アナログ	積算回数 20 (水平分解能 1.45 km)
	1053.2nm フォトンカウンティング	積算回数 20 (水平分解能 1.45 km)
	526.6nm フォトンカウンティング	積算回数 20 (水平分解能 1.45 km)

(ここで、モード1はアナログのみ、モード2はフォトンカウンティングのみ、モード3は両方の運転を意味する。)

4.4.2.2 個別利用実証研究

利用実証の多くの実験においては、雲・エアロゾル分布の統計的な解析を行う。従って、全観測領域のデータを連続的に、長期間にわたって取得することが望まれる。ELISEの運用は、地上とのデータリンクのレートに制限されているが(備考4.1 ELISEの基本仕様・性能を参照)、現状のデータレートで実現可能な連続運用モードとして以下の仕様の「基本連続運用モード」を設けることが望まれる。

表4-2 基本連続運用モード(TBD)

昼	Mode I	1053.2nm アナログ	積算回数 60 (水平分解能 4.2 km)
夜	Mode III	1053.2nm アナログ	積算回数 60 (水平分解能 4.2 km)
		1053.2nm フォトンカウンティング	積算回数 300 (水平分解能 21 km)
			526.6nm フォトンカウンティング

この他、雲の構造の観測など特に高い空間分解能を必要とする利用実証も想定される。この場合は、前項（地球物理量の検証）に示した「高分解能実験モード」を用いる。

想定されているELISEの運用期間は全体で1年間であるが、このなかに基本実証（機器検証、機器校正）も含まれる。また、利用実証の中でもまず物理量検証が行われるので、個別利用実証研究の実施できる期間は明確にされていない。一方、個別利用実証研究の多くでは、季節変化を含めて1年間をカバーすることが望まれる。従って、基本実証計画と利用実証計画の間の調整を行なう必要がある。また、基本実証実験のデータについても、機器校正後に利用可能なものは利用できる体制とする必要がある。例えば、物理量検証の一部は機器検証と同時に実施することが可能であると考えられる。

4.4.3 プロダクトデータセット、配布に関する要求

データプロダクトは使用目的に応じて定義を明確にする必要がある。例えば、高度軸については基本実証用と利用実証用データでは異なる取扱が必要である。機器検証用データについては、衛星からの距離で表す方が便利な場合も考えられる。このときデータ点（データ取得のタイミング）は衛星からのレーザーの発射を起点とする。

一方、利用実証用のデータでは、高度軸は海拔高度に換算する必要がある。また、測定点は補間により海面高度からの区切りに変換する必要がある。

4.4.3.1 利用実証のための基本的なデータ処理

1) 位置・時間情報

軌道情報、姿勢情報、位置情報、地球形状データから衛星の位置、海拔高度を求める。

2) Aスコープデータ

ライダーデータに対してゼロレベル補正、感度補正、レーザーパワー補正等を行う。

（アナログチャンネル、フォトンカウンティングとも同様）。基本データ処理時には積算処理はしない（取得された最高分解能）。

ここまでの処理で得られるデータをAスコープデータと呼ぶことにする。データの値は、カウント数、電圧値など定義の明確な量（TBD）とする。

3) 距離補正Aスコープデータ

距離2乗補正を行う。

基本的なデータ処理のデータフォーマット例を（備考4.3）に示す。

4.4.3.2 地球物理量検証、個別利用研究のためのデータ処理

ア. 雲に対する処理

前処理として、AスコープデータのSN比に応じて、必要であればデータの積算（時系列データの積算＝水平分解能を落としてSN比を改善）を行う。（アナログチャンネル、フォトンカウンティングとも同様）

1) Aスコープデータ（距離補正Aスコープデータ）の2次元表示。

2) 雲頂・雲底高度の抽出。信号の規格化した微分値による抽出。

3) 閾値を用いた雲構造の抽出。

4) Klettの方法による後方散乱係数・消散係数の導出。下層で境界条件を一様に与える。

(TBD)

- 5) Klettの方法による 後方散乱係数・消散係数の導出。雲の状況を見ながら境界条件を与える。多重散乱補正を入れる。(TBD)
- 6) 改良型インバージョンアルゴリズム（上空の境界値を用いて、雲の光学的厚さを仮定し、雲の下の境界条件を推定して与えバックワードのインバージョンを行う。得られたプロファイルを用いて光学的厚さを計算し、改めて雲の下の境界条件を推定。というイタレーション。(TBD)）による雲の後方散乱係数・消散係数の導出。

イ. 薄い雲およびエアロゾルに対する処理

前処理として、SN比に応じて適当にデータの積算（時系列データの積算）を行う。
（フォトンカウンティング、アナログチャンネル）

- 1) エアロゾルの少ない高度（圏界面付近）でマッチングして、インバージョン（適当な高度で境界条件を与えてBackwordあるいはForwardのインバージョン）を適用して後方散乱係数・消散係数を求める。Fernaldの方法。（積算したデータそのものはマッチングを取るにはSN比が足りない可能性がある。感度補正で十分な精度が出るか要検討。）
- 2) Klettの方法を用いレイリー散乱に近い高度で境界条件を与えてBackwordあるいはForwardのインバージョン。
- 3) カラムのエアロゾルの光学的厚さを求める。1ミクロンと0.5ミクロンの光学的厚さからオングストローム指数を求める。

4.4.3.3 画像表示したデータプロダクト (TBD)

ア. 基本的な表示

- 1) 観測位置地図情報、気象衛星等の雲画像の表示。
- 2) Aスコープ（距離補正Aスコープ）の距離高度カラースケール表示。横軸：位置（時間）、縦軸：高度。

イ. 雲に関する表示

- 1) 雲頂高度の、緯度経度に対する表示。カラースケール、横軸：経度、縦軸：緯度。
（複数の雲頂高度が観測された場合は複数を表示）。
気象衛星などの雲画像と重ねた表示。
- 2) 巻雲の光学的厚さの緯度経度に対する2次元表示。カラースケール、横軸：経度、縦軸：緯度。
- 3) 雲の後方散乱係数の距離高度カラースケール表示。横軸：位置、縦軸：高度。

ウ. エアロゾルに関する表示

- 1) エアロゾルの後方散乱係数の距離高度カラースケール表示。
横軸：位置、縦軸：高度。
- 2) エアロゾルの光学的厚さの位置に対する表示。カラースケール、
横軸：経度、縦軸：緯度。
- 3) エアロゾルのオングストローム係数の位置に対する表示。カラースケール、
横軸：経度、縦軸：緯度。

4.5 今後の検討課題

ア. ミッションチームの運営

- ・ミッションチームの事務局体制の確立
 - ミッションチーム連絡事務
 - 公募・選定事務
 - ミッションチーム会合の開催
- ・ミッションチーム運営費の確保
 - 会合開催費
 - 海外研究者の招聘費
 - 海外調査・学会等外国旅費

イ. 物理量検証

- 基本実証計画と利用実証（物理量検証）計画の間の調整
- NASDA航空機ライダーを用いた検証実験計画の策定
- 検証のための地上ライダー、ラジオメーター観測ネットワークの構築
- 検証観測キャンペーンの立案と実施体制の確立
- 海外の検証観測（航空機）の要請
- ELISEシミュレータの製作
- データ解析アルゴリズムの確立（多重散乱の効果、雲の不均一性の効果など衛星ライダーで予想される問題の検討）

ウ. 利用実証

- 利用実証観測キャンペーンの立案と実施体制の確立
- データ解析アルゴリズムの開発とデータ解析の自動化の検討
- 利用実証用データプロダクトの定義とデータ解析システムの構築
- ADEOS2などとの複合利用研究の検討（特に極軌道の場合）

(備考4.1) 1. ELISEの基本性能 (暫定)

	項目	性能(設計値)
衛星	軌道の種類/高度	: 550±5km
	軌道傾斜角	: 30度
	周期	: 95.645分
	対地換算速度	: 6.983km/s
総合性能	レーザ	: LD励起 Nd:YLFレーザ
	観測波長	: 1053.2nm, 526.6nm
	検出方法	: PC検出、AN検出
	高度分解能	: 100m
	水平分解能	(AN,1053nm) : 1.4km(加算回数20回) : 4.2km(加算回数60回) (PC,1053&527nm) : 1.4km(加算回数20回) : 21km(加算回数300回)
	観測高度範囲	: ELISEからの距離 510--560km 衛星高度:550km, -10--40km <-0km, >35kmは背景観測 * 海拔高度への変換は検討中
	S/N	: (1)AN,1053nm、対象巻雲(B=3xE-5,h=9-11km) 背景昼間低層雲 14.2 (20回加算) 背景昼間地表 22.5 (20回加算) 背景夜間低層雲 32.0 (20回加算) (2) PC,527nm、対象大気h=35km 背景夜間低層雲 14.1 (2000回加算) 背景夜間地表 19.0 (2000回加算) (3) PC,1053nm、対象大気h=35km 背景夜間低層雲 17.4 (1.55E6回加算)
	送信系性能	レーザ波長 : 1053.2nm, 526.6nm 出力エネルギー : 84mJ(1053nm), 10mJ(527nm) パルス幅 : max:67ns パルス繰り返し : 100pps 送信ビーム広がり : 0.17mrad ビーム品質 : 低次ガウスビーム 短期出力安定度 : ±3%/min以下
	受信系性能	有効開口径 : 1,000mm 視野角 : 0.22mrad フィルタ幅 : max.0.3nm(AN), max.4nm(PC) 光学系透過率 : 40%(AN) : 6.5%(PC,1053nm) : 60%(PC,527nm) 量子効率/検知確率 : 31.5%(AN) : 1.25%(PC,1053nm) : 34%(PC,527nm) ダイナミックレンジ : min.25dB(AN), min.4Mcps(PC) データ長 : 12bits/データ

重量	: 250kg
寸法	: 1,600x1,430x2,600mm
電力	: 295W

2. データレコーダの能力

1Gbitの記録容量を想定している。

3. 1日当たりのダウンリンク量

ダウンリンク伝送レート : 1 Mbps、

1日の可視時間 : 約24分 (=8分/周回x3回)

ダウンリンク量 : 約1.5 Gbits (=1Mbps x 18min x60sec)

4. データ取得モード (高度分解能 : 100 m、水平分解能 : 積算回数に依存、1.4 km/20回)

例を以下に示す。

モード	積算回数		データ発生レート	観測可能な時間(1.5 Gbits記憶容量)
	AN	PC		
観測モードI(AN)	20	—	33.56kbps	746分
	60	—	11.19kbps	2237分
観測モードII(PC)	—	20	63.56kbps	400分
	—	300	4.237kbps	5900分
観測モードIII (AN+PC)	20	20	93.56kbps	267分
	60	300	15.43kbps	1620分
アライメント調整	—	20	33.56kbps	750分

(備考4.2) 衛星ライダーが地球上のある地点周辺 (メッシュ内) をある季節のある時間帯に観測する頻度

地表面を緯度経度のメッシュに分割する。ここでは、5度×5度、2度×2度、1度×1度の3つの場合を考える。それぞれの場合、赤道に沿って、 $360/5=72$ 、 $360/2=180$ 、 $360/1=360$ の区間に分割される。

1日の時間帯は2 (12時間毎)、4 (6時間毎) または、8 (3時間毎) に分割する。また、季節については、4 (春夏秋冬) または、6 (2月毎) に分割する場合を考える。

MDSライダーの運用期間を1年間として、一日のパスの数を15とすると、desendingとascendingのパスを考えて、パスの総数は、 $N_{path} = 365 \times 15 \times 2 = 10950$ である。

今、衛星軌道が太陽非同期であるとする、この値を、赤道に沿った観測メッシュの数、時間帯の数、季節の数で割ったものが、運用期間中にそのメッシュを、ある季節のある時間帯に観測する回数になる。赤道以外の緯度のメッシュについても同じである。これを下表にまとめる。なお、太陽同期の場合は時間帯数2の場合に相当する。

N_l	\times	N_h	\times	N_s	=	N_{block}	N_{block}/N_{path}		
メッシュ数		時間帯数		季節数		ブロック総数	運用期間中の観測回数		
72	\times	2	\times	4	=	576	19		
				6	=	864	13		
		4	\times	8	\times	4	=	1152	9.5
						6	=	1728	6.3
				8	\times	4	=	2304	4.8
						6	=	3456	3.2
180	\times	2	\times	4	=	1440	7.6		
				6	=	2160	5		
		4	\times	8	\times	4	=	2880	3.8
						6	=	4320	2.5
				8	\times	4	=	5760	1.9
						6	=	8640	1.3
360	\times	2	\times	4	=	2880	3.8		
				6	=	4320	2.6		
		4	\times	8	\times	4	=	5760	1.9
						6	=	8640	1.3
				8	\times	4	=	11520	0.95
						6	=	17280	0.6

(備考4.3) データフォーマット例

(データ自身の形式 (バイナリ (XDR)、キャラクター、HDF等) はTBD。計算機に依存しない簡便なフォーマットが望ましい。)

1) Aスコープデータ (TBD)

測定チャンネル、観測場所 (中心位置、位置分解能)、
 衛星位置、姿勢、地表面高度
 補正したゼロレベルの値、感度補正值、
 その他、観測パラメータ
 衛星からの距離1、海拔高度、Aスコープデータ (光電子数または電圧値)
 衛星からの距離2、海拔高度、Aスコープデータ

2) 距離補正Aスコープデータ (TBD)

測定チャンネル、観測場所 (中心位置、位置分解能)、
 衛星位置、姿勢、地表面高度
 補正したゼロレベルの値、感度補正值
 その他、観測パラメータ
 衛星からの距離1、海拔高度、距離補正Aスコープデータ
 衛星からの距離2、海拔高度、距離補正Aスコープデータ

5. ELISEデータ利用システムの検討

ELISEデータ利用実証計画を実現するために必要な地上システムおよびソフトウェアプログラムの機能について、ELISEミッションチームで検討するとともに、具体的な設備およびソフトウェアプログラムの仕様に関する検討を行った。

ELISEデータ利用システム（ELISEデータ処理・評価システム）は、ELISE基本実証のために宇宙開発事業団が整備する「ELISE実験・運用・評価システム」から提供されるレベル0データとレベル1処理に必要な補正情報を受信し、利用実験に提供するレベル1以降のシステム補正済みデータ、地球物理量変換データを作成するものである。受信データ及び作成されたデータを、利用システムにて保存管理し、ユーザに対して利便性のよい方式により提供を行う。

レベル1データはライダー測定に係る補正を加えたデータで、高次処理の基礎となるデータである。観測モード、緯度経度範囲、観測時期等の条件により容易に検索できるように管理することが必要である。例えば、「ある緯度経度メッシュに入る10月の朝のパスのライダープロファイル」、「東京から500km以内に入るライダープロファイル全て」などのような検索をかけて、データを配付することが必要である。

レベル2データは雲頂、雲底高度やエアロゾルの後方散乱係数などの物理量データである。レベル2処理には、利用手法が確立して自動処理が可能な処理と、解析対象毎に境界条件や処理アルゴリズムを対話的に処理を進める必要のあるものが考えられる。自動処理が可能と考えられる処理は、雲の検出、簡単なフォワードインバージョンによる後方散乱係数の導出である。初期値を下層で与えるバックワードのインバージョン、雲の上下で境界条件を与えるヤングの方法による巻雲の解析、2波長アルゴリズムによるダスト層、境界層エアロゾルの解析などについては対話的な処理が必要である。ELISEデータ利用システムでは、前者についてはルーチン処理を想定した。後者については、利用者が利用システムの計算機を用いて解析作業が行えるようにシステムを設計するとともに、処理アルゴリズムのパッケージを用意することを想定した。

5.1 検討の前提条件

ELISEは2波長のライダーで、アナログ1チャンネル、フォトンカウンティング2チャンネルの3つの受信チャンネルを持つ。アナログチャンネルは、各周回のうち昼、夜の全領域でデータを取得し、フォトンカウンティングチャンネル(以下PCチャンネルという)は夜の領域のみ観測を行う。PCチャンネルの観測可能な領域は太陽背景光に依存し季節によって異なる。(衛星の運用では、太陽の位置の計算に基づいてオン、オフ時間を計算し、3日毎くらいに衛星にコマンドを打って観測シーケンスを設定する(TBD)。)

MDS-2の取得データは、テレメトリデータについてはNASDA筑波追跡管制局によりS-bandにて受信され、ミッションデータについてはNASDA勝浦局にてX-bandにより受信される。

MDS-2は、日本上空を1日平均3回通過し観測データを地上に送信する。地上局からは1回につき約8分の可視時間を得ることができる。1回のデータ量は約500Mbitsで1日のデータ量は約1.5Gbitsである。

衛星の打ち上げ後10日間は初期チェックが行われる。その後、継続的に観測が行われる。46日に一度軌道修正が行われ、その都度3日間、測定が中断される。衛星の運用期間は1年間と予定されている。

観測可能な期間のうちの1ヵ月に1日は、特に機器検証を目的とした測定が行われる。機器検証用データは、各チャンネル積算回数20回の最高分解能で取得される。水平分解

能は1.4 kmである。このデータもデータ利用実証に利用可能であるが、データレートの制限によりパスに沿った全データを取得することはできない。

機器検証以外の観測可能な期間は、全てデータ利用実証のための観測が行われる。データ利用実証では、連続運用モード（測定の全領域のデータをダウンリンクできるモード）を基本モードとする（TBD）。このモードは、積算数がアナログチャンネル60、PCチャンネル300である。（水平分解能は、アナログチャンネル4.2 kmとPCチャンネル21 kmである。）特に高分解能を要する観測対象については、あらかじめ観測計画を策定し、それに従って測定パラメータを設定する。

ELISEデータ処理・評価システム（以下、本システム）では、以上の全てのデータを取り扱い、以下に定義するデータプロダクトを作成し、基本実証およびデータ利用実証に提供する。

本システムは、データ処理を行う「データ処理サブシステム」とデータ配布を行う「データ配布サブシステム」、データの解析・評価を行う「データ解析・評価サブシステム」とから構成する。本システムのブロック図を図5.1に示す。

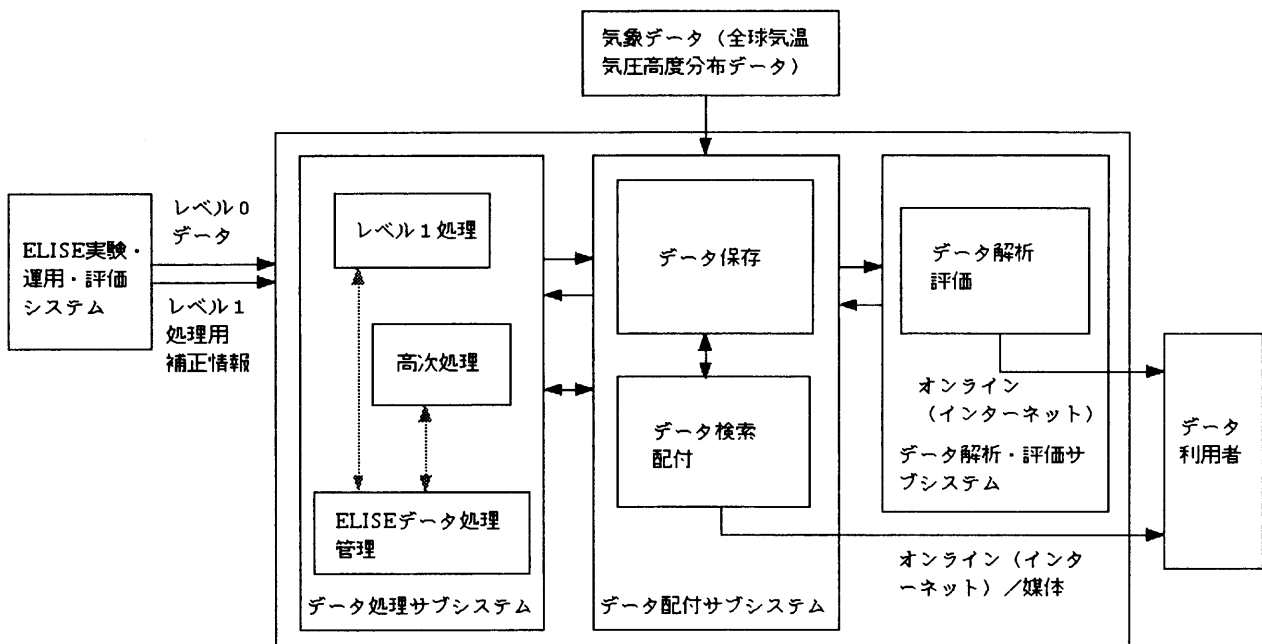


図 5.1 ELISEデータ処理・評価システムの構成

本システムにて要求される前提を以下の様に設定する。

- ・本システムは、データ処理を行う「データ処理サブシステム」とデータ配布を行う「データ配布サブシステム」、データの解析・評価を行う「データ解析・評価サブシステム」とから構成する。

- ・NASDA地上局にて受信されたミッションデータ（RAWデータ）は、全てELISE基本実験で整備される「ELISE実験・運用・評価システム」に入力され、時刻同期、結合、フォーマット変換等のレベル0処理が行われる。本システムは、「ELISE実験・運用・評価システム」から全てのレベル0データおよび、レベル1処理に必要な補正情報（レーザー出力、受信系感度、高度変換のためのパラメータ、等）を受信する。オンラインインタフ

エースとする。

- ・本システムに入力されたレベル0データおよび補正情報を全て保存管理する。
- ・全球の気温気圧高度分布データをオンラインで入手、アーカイブし、データ処理に用いる。

- ・検証用データを入手し、アーカイブする。
- ・レベル0データについてはシーンは特に定義しない。受信した一連のデータを1ファイルとする。

[レベル1]

- ・システム補正を加えたライダーデータをレベル1と呼ぶ。レベル1データは周回毎に通し番号を打って管理する(TBD)。レベル1の処理ではデータの積算は行わず、測定された分解能のままで処理を行う。また、測定地点、測定時間等のデータを個々のライダープロファイルデータに付加する。

[レベル1 a]

ライダー測定に係る補正(背景光補正等)、距離2乗補正を加えたライダーデータをレベル1 a呼ぶ。

- ・レベル1データはデータ取得後*日(TBD)以内に作成してアーカイブする。
- ・レベル1データを基に全データのブラウザ(クイックルック画像)(距離2乗補正Aスコープ)を作成し、カタログ登録する。クイックルック画像WEB上で公開する。

[レベル1 b]

- ・レベル1データに、大気分子散乱を用いたPCチャンネルの感度補正、巻雲等を利用したアナログチャンネルの感度補正を加えレベル1 bを作成する。補正に用いたパラメータはライダープロファイルデータに付加する。補正パラメータを求めるための処理のためのソフトウェアおよび手順を準備する。レベル1 bデータをアーカイブする。(レベル1 bが高次処理の基礎データとなる。)

- ・レベル1 bデータは、観測モード、緯度経度範囲、観測時期等の条件により容易に検索できるように管理する。

[レベル2]

- ・利用手法の確立したレベル2データについてはルーチン的に処理してアーカイブする。

a) 雲分布の自動抽出

b) 簡単なフォワード2成分インバージョンによる自動処理

- ・その他ユーザのアルゴリズムによるレベル2の付加的な自動処理の拡張性をもたせる。

- ・研究者による対話的なデータ質の評価、利用実証に必要な解析を可能にする。そのためのアルゴリズムパッケージを用意する。

1) フォワードインバージョンの境界条件の変更

2) 雲の検出条件の変更

3) 初期値を与え、バックワードの2成分インバージョン

4) ヤングの方法による巻雲の解析

5) 2波長アルゴリズムによるダスト層、境界層エアロゾルの解析

- ・省力化のために必要最低限の運用者で運用する設備とすることを想定する。

・「データ提供サブシステム」、「データ解析・評価サブシステム」は24時間運転とする。

・設備は新設するものと想定する。

・データ提供は、打ち上げ後8年間（TBD）行うことを前提とする。

5.2 技術検討結果

5.2.1 データ処理サブシステム

5.2.1.1 データプロダクトおよびデータ処理の定義

レベル0データ、レベル1データ、レベル1bデータ、レベル2データを定義しそれぞれのレベルの処理の内容を定義した。また、処理モードとして以下のものを定義する。

通常処理	受信データに対する即時処理する
再処理	過去の受信データに対する再処理
研究処理	利用研究のための処理でアルゴリズム開発を含む処理

さらに、

自動処理	適用パラメータが固定または自動で決定できる処理
対話処理	運用者もしくは研究者によってパラメータを与える処理

の概念を定義する。

各レベルの処理の内容を以下にまとめる。

レベル1処理

レベル0データにレーザー出力、受信系感度、高度変換のためのパラメータ等の補正情報を用いてシステム補正を行う。衛星からの距離、海拔高度、観測位置の計算を行う。また、距離二乗補正を行う。

（内容）観測モード判定、工学値変換、異常値・欠測値処理、衛星位置計算、システム補正、距離二乗補正、クイックルック作成

（必要な外部データ）衛星軌道に関するデータ、地球形状に関するデータ、ミッションデータに含まれないシステムデータ

レベル1b処理

レベル1データに対して感度補正を行う。

（内容）

(1) PCチャンネル感度補正

高度30km付近の大気分子のレイリー散乱を利用してライダーシステム定数を求める。この定数を用いて感度補正を行う。

(2) アナログチャンネル感度補正

PCと同時に観測されている巻雲の信号を用いてアナログチャンネルのライダーシステム定数を求める。この定数を用いて感度補正を行う。

（必要な外部データ）客観解析気象データ（ライダーシステム定数の算出時）

レベル2 処理（自動処理）

(1) 雲分布抽出処理 1

信号値に対してある閾値を設定して雲の分布（雲頂・雲底高度）を算出する。

(2) 後方散乱係数算出処理 1（フォワード2成分インバージョン）

高度30-35kmに境界条件をおいてFernaldのフォワードインバージョンを適用する。

(3) 後方散乱係数算出処理 2（対流圏エアロゾルの処理）

ある高度領域以下に雲が検出されなかったデータに対してFernaldのフォワードインバージョンを適用してエアロゾルの後方散乱係数を算出する。境界条件は7km(TBD)付近におく。

(4) ブラウズ画像作成

レベル2 処理（対話処理）

(1) 雲分布抽出処理 2

検出条件の変更を伴う雲分布抽出処理

(2) 後方散乱係数算出処理 3（フォワード2成分インバージョン）

ライダー比、境界条件の変更を伴うフォワードインバージョン。

(3) 後方散乱係数算出処理 4（初期値を与えるバックワード2成分インバージョン）

(4) ヤングの方法による巻雲の解析

(5) 2波長によるダスト層、大気境界層エアロゾルの解析

(6) ブラウズ画像作成

運用の観点からみたデータ処理の定義を改めて表にまとめる。

処理モード	自動/対話	プロダクト作成
通常処理	自動処理	レベル1 処理 レベル1 b処理 レベル2 処理
	対話処理	レベル2 処理
再処理	自動処理	レベル1 処理 レベル1 b処理 レベル2 処理
	対話処理	レベル2 処理
研究処理	自動処理	レベル1 処理 レベル1 b処理 レベル2 処理
	対話処理	レベル2 処理

データ処理サブシステムはこれらの処理を行うとともに、データ処理管理に関する以下の機能が必要である。

- (1) スケジューリング機能
- (2) 処理状況監視機能
- (3) 対話処理支援機能

また、処理に必要な外部データを管理する機能が必要である。

5.2.1.2 データ量の概算

レベル0 データの量はRAWデータとほぼ同程度である。RAWデータはダウンリンクのデータ量で制限されており、約1.5Gbit (180MB)/dayである。（運用モードについては4章を参照）年間データ量は約64.2 GBとなる。

レベル1 データはレベル0 の約2 倍程度となるので360MB/day、131.4GB/yearである。

レベル1 bも同様に360MB/day、131.4GB/yearである。

レベル2 データについては、高度領域0-35km、高度分解能100mより、1 プロファイル当たり350 record である。ヘッダがデータ70 recordとして、1 プロファイル420 recordである。テキストデータあるいは、バイナリーデータの両方の場合を考えると、テキストの場合21000byte/profile、バイナリの場合3780 byte/profileとなる。

1 日当たりのレベル2 データの量は、RAWデータ量は同じであるがプロファイルの数に依存するので運用モードに依存する。

	基本連続運用モード			高分解能実験モード		
	AN	PC	PC	AN	PC	PC
	1053	527	1053	1053	527	1053
積算回数	60	300	300	20	20	20
1 観測に必要な時間(sec)	0.6	3	3	0.2	0.2	0.3
観測可能時間(h)	24	12	12	6.55	3.28	3.28
1 日当たり取得可能 プロファイ数(/1000)	144	14.4	14.4	118	59	59
1 日当たりデータ量 テキスト(MB/day)	2880	288	288	2360	1180	1180
1 日当たりデータ量 バイナリ(MB/day)	519	52	52	425	213	213

これより、

基本連続運用モードの場合、テキストで3456 MB/day、バイナリで623 MB/day、高分解能実験モードでは、テキストで4720MB/day、バイナリで851 MB/dayとなる。

また、レベル2 処理には自動処理、対話処理を含めて8種類を考えたが、全ての処理を全てのデータに適用するわけではない。そこで各処理の適用比率を想定した。

処理区分	処理名	処理割合(%)
自動処理	雲分布抽出処理 1	100
	後方散乱係数算出処理 1	100
	後方散乱係数算出処理 2	40
自動処理	雲分布抽出処理 2	20
	後方散乱係数算出処理 3	20
	後方散乱係数算出処理 4	20
	ヤング法巻雲解析処理	20
	2波長法エアロゾル解析	20

これらのうち雲分布データはプロファイルデータに比べて小さいので、複数処理を行うことによるデータ量増加のファクターは約2.2と見積もられる。

仮に1ヵ月に1日は高分解実験モードで運用し、その他の日は連続運用モードでデータを取得したとすると、1年のミッション期間のデータ量は、テキストデータでは2.43 TB、バイナリでは450GBとなる。さらに、5回のバージョンアップを行うとすると、テキストで12.2 TB、バイナリで2.2 TBとなる。

一方、外部データとして必要なデータのうち容量の大きいのは客観解析データである。UKMOデータの場合、1ファイル約3MB、1日4回データを取得したとして1年間で約4.4 GBである。

5.2.1.3 必要な処理能力

ダウンリンクされたデータを次のダウンリンクするまでに処理を完了することが最小限の要件となるが、再処理や研究処理を考えると、その2倍以上の性能が要求される。

類似処理を行っているシステム例から推定すると、CPUとしてIBM RS/6000 SP 160 MHz Thin node 1 processor (SPECfp_base_rate95:218)を想定して、1ダウンリンク分(8時間毎)のレベル1処理を行うのに要する時間は、CPU: 129~232 sec、I/O: 51 sec (10 MB/sec)、で合計180~283 secと見積もられる。

レベル2処理は、後方散乱係数の計算が大部分を占める。1ダウンリンク当たりの処理時間は自動処理に約360sec、対話処理に約345secと見積もられる。必要なメモリは約500 MB程度である。ここで想定した計算機の場合、レベル0からレベル2までの処理に必要な処理時間の合計は約17分となるので十分な能力を持つ。

5.2.2 データ配付サブシステム

データ配付サブシステムは、ELISEデータ処理・評価システムがインターフェースするすべてのデータと保存が必要な処理済みデータを保存管理し、必要に応じて利用者にデータを検索させ、配付する。データ保存機能(情報管理、データ保存、データバックアップ)、データ検索・配付機能(イベントリサーチ、データアーカイブ及び配付、利用者管理、利用状況確認)。

データの保存については、レベル0と参照データについてはディスク、レベル1、1b、2についてはディスクマスタストレージが媒体として適当である。

データ管理は、検索キーをデータベースにより取り扱い、検索されたデータIDをもとに各種データプログラムにアクセス可能な方法が適当である。

データ検索／配付についてはインターネットを利用したwww技術を用いたシステムが適当である。

5.2.3 データ解析・評価サブシステム

データ解析・評価サブシステムは、ELISEデータの解析・評価作業を支援するためのシステムである。ユーザとのインターフェースは、インターネットを利用したWebブラウザを基本とし、プラットフォームに依存せずに本システムを利用可能とする。

本システムは大きくデータの解析・評価作業を行うための研究者支援機能とユーザに対して提供する高次プロダクトを作成するためのデータ配付保存サブシステムから構成される。

研究支援機能は、データ処理により算出した雲・エアロゾルの散乱係数や光学的厚さ等の地球物理量検証、ELISEの機器較正・機器検証を支援するためのグラフ・地図表示機能を有する。グラフ・地図表示は、Webブラウザを利用しデータベース管理された取得データのカタログ管理情報テーブルを検索し、検索結果よりデータを選択して、グラフ・地図をダイナミックに作成表示する。

高次プロダクト作成機能は、研究者支援機能で作成可能なグラフプロダクトをデータ処理サブシステムと連動して自動的に必要なプロダクトを作成する。作成されたプロダクトは、データ配付保存サブシステムによりインターネットを通じてWebブラウザで参照可能とする。

5.3 必要な設備の概要

ELISEデータ処理・評価システムの設備構成を図 5.2に示す。各部の主な仕様を表 5.1に掲げる。また、開発の必要なソフトウェアプログラムの一覧を表 5.2に掲げる。

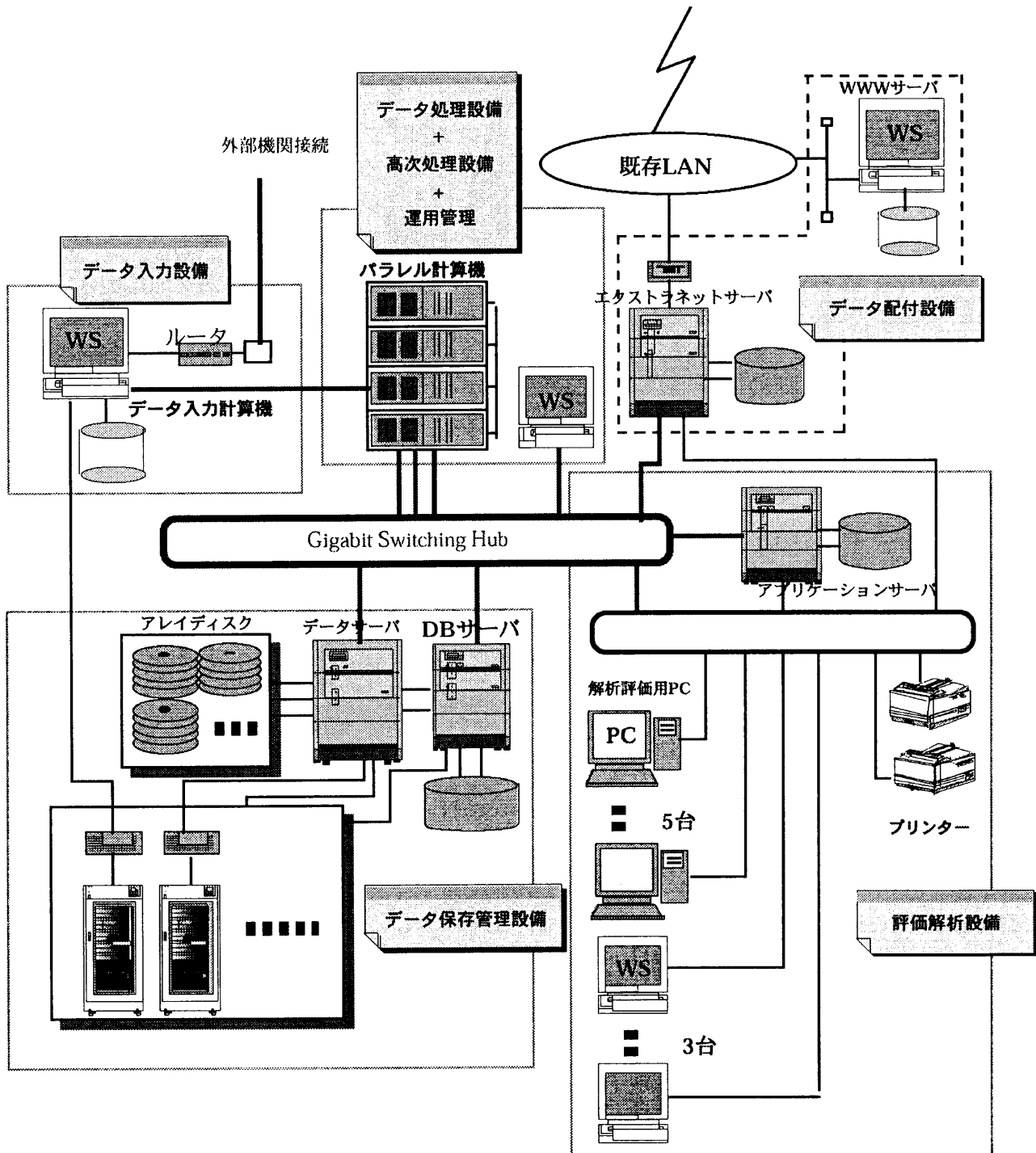


図 5.2 ELISEデータ処理・評価システムの設備構成

表 5.1 設備構成要件一覧

1) データ処理部計算機兼データ受信装置	
a. 構成	複数プロセッサ搭載のSMP型ワークステーション1台。
b. 演算性能	SPECfp_base_rate95 : 500以上
c. 主記憶	2Gバイト以上
d. ハードディスク	18Gバイト以上
e. ネットワーク	100Base-Tインターフェース、FiberChannelインターフェース
2) データサーバ兼DBサーバ	
a. 構成複数	プロセッサ搭載のSMP型ワークステーション1台。
b. 演算性能	SPECint_rate95 : 5000以上, SPECfp_rate95 : 8000以上
c. 主記憶	4Gバイト以上
d. ハードディスク	RAID構成が可能な高速ハードディスクで1Tバイト容量を有する。 FiberChannel相当で接続。
e. マス・ストレージ装置	ドライブ数3台の拡張型テープライブラリー。総データ容量15TB以上 (非圧縮)。最大データ転送速度24MB/sec以上。
f. 周辺装置	CD-ROMドライブ、DATドライブ、AITドライブ等
g. ネットワーク	100Base-Tインターフェース、FiberChannelインターフェース
3) データ開示用WWWサーバ	
a. 構成	ワークステーション1台
b. 演算性能	SPECint95 : 20以上、SPECfp95 : 40以上
c. 主記憶	1Gバイト以上
d. ハードディスク	100Gバイト程度の外付けハードディスク装置
e. 周辺装置	CD-ROMドライブ、8mmテープドライブ、DATドライブ等
f. ネットワーク	10/100Base-Tインターフェース
4) アプリケーションサーバ	
a. 構成複数	プロセッサ搭載のSMP型ワークステーション1台。
b. 演算性能S	PECint95 : 30以上、SPECfp95 : 60以上
c. 主記憶	2Gバイト以上
d. ハードディスク	RAID構成が可能な200Gバイト程度のハードディスク
e. 周辺装置	CD-ROMドライブ、8mmテープドライブ、DATドライブ等
f. ネットワーク	10/100Base-Tインターフェース
5) 研究支援・運用支援端末	
a. 構成	ワークステーション3台
b. 演算性能	SPECint_rate95 : 100以上
c. 主記憶	256Mバイト以上
d. ハードディスク	18Gバイト以上
e. 周辺装置	CD-ROMドライブ
f. ネットワーク	10/100Base-Tインターフェース
6) その他	
パーソナルコンピュータ5台	
プリンター(カラー、モノクロ)2台	
10/100Base-Tハブ1台	
10/100Baseスイッチ1台	
外部機間接続用リモートルータ1台	

開発が必要なソフトウェアシステムの一覧

1. ELISE データ解析・評価ソフトウェアシステム

<研究者支援機能>

- ・ 距離高度断面図表示機能
- ・ 地図マッピング表示機能
- ・ 観測位置地図表示機能
- ・ パラメータ設定支援機能
- ・ その他各種データ解析・評価機能

<高次プロダクト作成機能>

- ・ 高次プロダクト作成機能
- ・ 高次プロダクト表示機能

等

2. ELISE データ処理ソフトウェアシステム

- ・ レベル1 データ作成機能
 - ・ レベル1 b データ作成機能
 - ・ レベル2 データ自動作成機能
 - ・ レベル2 データ対話処理機能
 - ・ レベル3 データ作成機能
 - ・ カタログデータ作成機能
 - ・ 処理システム運用管理機能
 - ・ ミッションデータ入力機能
 - ・ 参照データ等の外部データ取得・管理機能
-

3. ELISE データ配布ソフトウェアシステム

- ・ ユーザ管理機能
 - ・ データ検索・配布機能
 - ・ データ保存・管理機能
-

5.4 開発スケジュール

打ち上げをx年とするとき、必要な開発項目およびスケジュールを表に示す。

項目	x-4年	x-3年	x-2年	x-1年	x年
アルゴリズム調査、検討	●	●	●	●	●
基本設計	●	●			
詳細機能設計		●	●		
データ処理詳細機能設計		●	●		
製造					
プログラム設計			●	●	
プログラミング					
プログラム単体テスト					
テスト				●	●
結合テスト					
システムテスト					
運用テスト					
打ち上げ					△
実データを用いた検証、実運用					●
同期実験					●
改訂・維持					●
計算機設備（一次導入）		▲			
計算機設備（二次導入）			▲		
外部ネットワーク設備				●	●

6. 関連する主な成果発表の一覧

1.6.1 論文発表

- Imai, T., Y. Kawamura, N. Tanioka, K. Asai, T. Itabe, O. Uchino, T. Kobayashi, Y. Sasano, and T. Aoyagi, "NASDA ELISE (MDS-LIDAR) Program," Proc. of SPIE, 3218, 177-183 (1997).
- Liu, Z. and N. Sugimoto, "Theoretical and Experimental Study of Inversion Algorithms for Space Lidar Observation of Clouds and Aerosols," Proc. of SPIE, 3494, 296-305 (1998).
- Liu, Z., P. Voelger, and N. Sugimoto, "Simulation Study for the Experimental Lidar in Space Equipment (ELISE), Abstracts of Papers, International Laser Sensing Symposium, Fukui, Japan, pp. 271-272 (1999).
- Liu, Z., P. Voelger and N. Sugimoto, "Simulations of the Observation of Clouds and Aerosols with the Experimental Lidar in Space Equipment (ELISE)," accepted for publication in Applied Optics (2000).
- Sasano, Y. and T. Kobayashi, 1995: Feasibility study on space lidars for measuring global atmospheric environment, No.4 (Final Report), F-82-'95/NIES, p.106.
- Sasano, Y., K. Asai, N. Sugimoto, Y. Kawamura, K. Tatsumi, and T. Imai, "NASDA Mission Demonstration Satellite lidar project and its sciences," Proc. SPIE, 3504, 2-7 (1998).
- Voelger, P., Z. Liu, and N. Sugimoto, 1999: Effects of Multiple Scattering on the Retrieval of Optical Parameters from ELISE - Simulation Study, SPIE 3865, 172-177.
- 地球環境研究総合推進費平成10年度研究成果報告集(中間報告1)、オゾン層の破壊、環境庁企画調整局地球環境部, pp. 9-12, pp. 18-21 (1999).

1.6.2 講演発表

- Liu, Z., P. Voelger, and N. Sugimoto: Simulation Study for the Experimental Lidar in Space Equipment(ELISE), Abstracts of Papers, International Laser Sensing Symposium, Fukui, Japan (1999) pp. 271-272.
- 長澤親生、柴田泰邦、阿保真、朱 宇、杉本伸夫: 多重散乱によるスペースライダー信号の遅延時間、第60回応用物理学学会学術講演会、神戸(1998).
- 長澤親生、阿保真、柴田泰邦、杉本伸夫: ライダーにおける多重散乱効果の実験的研究、第46回応用物理学関連講演会、野田(1998).
- Sasano Y. : ELISE (Experimental Lidar In Space Equipment) Development and Science Application Plan: NASDA Mission Demonstration Satellite Lidar (MDS-lidar) Project, 19th Int. Laser Radar Conference, Annapolis, Maryland (1998).
- Sugimoto, N., Y. Sasano, K. Asai, and Y. Kawamura : Cloud Observation Planned with the Mission Demonstration Satellite Lidar (MDS-Lidar), GCSS-WGNE Workshop on Cloud Processes and Cloud Feedbacks in Large-Scale Models, Reading (1998).
- Sugimoto N., and Y. Sasano: Observation of Aerosols and Clouds Planned with the Mission Demonstration Satellite Lidar (ELISE), CLEO Pacific Rim 99, Seoul (1999).
- Sugimoto, N., Y. Sasano, K. Asai, H. Kobayashi, and Y. Kawamura: Validation and Science Application Plans for the Experimental Lidar In Space Equipment (ELISE), Abstracts of Papers, International Laser Sensing Symposium, Fukui, Japan (1999) pp. 303-304.
- Voelger, P. , Z. Liu, N. Sugimoto: Simulation of Lidar Measurements for the MDS-lidar (ELISE) Proc. MUSCLE10, Florence, Italy (1999) p. 128-134.
- Voelger, P. , Z. Liu, and N. Sugimoto: Simulation of Multiple Scattering Effects in Planned Measurements with the MDS-Lidar (ELISE), Abstracts of Papers, International Laser Sensing Symposium, Fukui, Japan (1999) pp. 273-274.