

A D E O S - サイエンスプラン

Vol.1 科学研究計画書

V e r . 2

1999年11月15日

宇宙開発事業団
地球観測データ解析研究センター

まえがき（ADEOS-II サイエンスプランの改訂について）

本技術資料は、'96年に作成された『ADEOS- サイエンスプラン Vol.1 科学研究計画書』の改訂版である。

'96年作成のサイエンスプランとしては、上記 Vol.1 に加え『ADEOS-II サイエンスプラン Vol.2 実施計画書』があるが、現在別途作成中の校正・検証実施計画書がこれを包含するため、『ADEOS- サイエンスプラン Vol.2 実施計画書』は改訂せず今後参考文書とし、『ADEOS-II サイエンスプラン Vol.2 実施計画書』に替わるものとして校正・検証実施計画書を別途作成する予定である。

なお、校正・検証実施計画書は、『ADEOS- サイエンスプラン Ver.2』を補う技術資料として、NDX-000160（AMSR CAL/VAL 実施計画書）、NDX-000161（GLI CAL/VAL 実施計画書）に分けて制定する。

NDX-000160、NDX-000161 は ADEOS- の校正・検証実施計画書として一冊にまとめ配付予定であるが、AMSR、GLI の各グループ毎に計画の制定・改訂を行っていくため、技術資料としては別々に登録することとする。

本計画書は、資料内に記述した各サイエンスチームの方々により執筆・校正されたものである。

作成に関し、御協力頂いた事を深く感謝致します。

（注）本資料は、ADEOS-II の打上が1年遅れとなる直前に作成・完成されたため、文章、スケジュールが ADEOS-II 打上を 2000 年 11 月としている。

打上延期に伴う本資料の改訂は今後適当な時期に実施予定である。時期的な変更は一部伴うものの基本的なサイエンスプランは同様であるため、本版にて技術資料として初版制定する。

ADEOS - サイエンスプラン Ver. 2

執筆者一覧

住 明正	プログラムサイエンティスト、監修 (東京大学 気候システム研究センター)
中島 映至	GLI リーダー、GLI (東京大学 気候システム研究センター)
柴田 彰	AMSR リーダー、AMSR (地球観測データ解析研究センター)
小池 俊雄	AMSR VAL リーダー、水文学 (東京大学 工学系研究科)
西尾 文彦	極域、雪氷 (北海道教育大学 教育学部)
向井 苑生	POLDER (近畿大学 理工学部経営工学科)
青木 輝夫	GLI 雪氷圏リーダー、雪氷圏の検証 (気象研究所 物理気象研究部)
石坂 丞二	海洋生物、海洋圏 (長崎大学 水産学部)
建石隆太郎	GLI 陸圏リーダー、陸圏の検証 (千葉大学 環境リモートセンシング研究センター)
久保田雅久	海洋物理、海洋科学 (東海大学 海洋学部海洋工学科)
江淵 直人	SEA WINDS (東北大学 大学院理学研究科 大気海洋変動観測研究センター)
村上 勝人	大気科学 (気象研究所)
斎藤 元也	植生 (農業環境技術研究所 環境管理部)
笹野 泰弘	ILAS- (国立環境研究所 地球環境研究グループ)

1 . はじめに.....	1
2 . ADEOS - の科学目的および期待される成果.....	2
3 . 搭載センサの観測目的とプロダクツ.....	3
3 . 1 G L I.....	3
3 . 1 . 1 科学目的.....	3
3 . 1 . 2 標準プロダクツ、研究用プロダクツおよびアルゴリズム開発.....	4
3 . 1 . 3 検証と校正.....	10
3 . 2 A M S R.....	25
3 . 2 . 1 科学目的.....	25
3 . 2 . 2 標準プロダクツ.....	26
3 . 2 . 3 研究用プロダクツ.....	26
3 . 2 . 4 アルゴリズム開発.....	27
3 . 3 S E A W I N D S.....	28
3 . 3 . 1 科学目的.....	28
3 . 3 . 2 標準プロダクツ.....	28
3 . 3 . 3 研究用プロダクツ.....	29
3 . 3 . 4 アルゴリズム開発.....	29
3 . 4 P O L D E R.....	32
3 . 4 . 1 科学目的.....	32
3 . 4 . 2 標準プロダクツ.....	32
3 . 4 . 3 研究用プロダクツ.....	33
3 . 4 . 4 アルゴリズム開発.....	33
4 . ADEOS - 科学研究計画.....	34
4 . 1 目標.....	34
4 . 2 大気科学.....	35
4 . 2 . 1 ADEOS - による大気科学.....	35
4 . 2 . 2 雲をめぐる水循環の解明.....	35
4 . 2 . 3 エアロゾルの気候への影響の解明.....	36
4 . 2 . 4 極域の大気科学への貢献.....	37
4 . 3 海洋科学.....	38
4 . 3 . 1 ADEOS - による海洋科学.....	38
4 . 3 . 2 海洋気象・海洋物理.....	38
4 . 3 . 3 海洋生物.....	41
4 . 4 水文学.....	45
4 . 4 . 1 ADEOS - による水文学の展開.....	45
4 . 4 . 2 1次水文量の推定.....	45
4 . 4 . 3 アルゴリズム開発と検証の課題.....	49

4・5	雪氷学.....	50
4.5.1	ADEOS - による雪氷学の展開.....	50
4.5.2	海氷分布、氷河・氷床分布の変動 - マイクロ波によるサイエンス.....	51
4.5.3	光学的観測によるサイエンス.....	52
4.6	植生.....	54
4.6.1	ADEOS - による植生観測の意義.....	54
4.6.2	エネルギー・水循環過程の解明.....	54
4.6.3	炭素循環および植物基礎生産量の推定.....	54
4.6.4	地球温暖化のモニタリング.....	55
4.6.5	植生研究および実利用への寄与.....	55
4.7	総合的理解のために.....	56
4.8	数値モデルとの結合.....	58
4.9	フィールドプログラム.....	60
5	おわりに.....	62
付	録.....	付録1
1.1	ILAS -	付録2
1.1.1	科学目的.....	付録2
1.1.2	標準プロダクツ.....	付録3
1.1.3	研究用プロダクツ.....	付録4

1 . はじめに

ADEOS - (Advanced Earth Observing Satellite -)は、ADEOSに続いて2000年11月打ち上げ予定の地球環境観測衛星である。この衛星は、1996年8月に打ち上げられ、1997年6月に運用を停止したADEOS衛星の後継であり、2005年に打ち上げを予定されているGCOM衛星に繋がる衛星である。したがって、ADEOS - の使命は、ADEOSの後継機としてADEOSが切り開いた日本としての地球観測ミッションを継続発展させると同時に、我が国における衛星観測を用いた地球環境問題に対する研究利用に関する確たる基盤を構築することにある。

また、ADEOS - は、宇宙開発事業団(NASDA)が、ADEOSの“成功と失敗”を総括して本格的に取り組む次の衛星計画である。それ故に、ADEOS - プログラムを通して、日本の地球観測衛星プログラムの具体的な姿を提示しなければならない。

同時に、ADEOS - の打ち上げは、国際的には、EOS - AM/PM(米国NASA)、ENVISAT(欧州ESA)などの他国の大型プラットフォーム衛星の打ち上げと期を一にしていることに着目する必要がある。これらの他国の衛星データと国際的に協調・強力を行いながら研究を行って行く必要がある。

地球観測業務は、科学的・実用的成果が上がって初めて継続する意味が出てくる。しかしながら、科学的・実用的成果は、自然発生的に生まれてくるものではない。宇宙開発事業団は、地球観測データ解析研究センター(EORC)を設立し、衛星データの利用に積極的に取り組んでいるが、同時に、大学や国公研の研究者との協力体制も強化する必要がある。現在、事業団を取り巻く状況は、文部省と科技庁の統合、国立研究所、国立大学のエージェンシー化など大きな変動の時期を迎えている。このような状況を踏まえ、NASDAが、積極的に地球観測事業に伴う科学的な成果を上げるための計画として、意図的な資金計画、研究体制の整備に伴う研究の推進、多省庁・大学や諸外国の機関との企画・調整を含んだものとして、このADEOS - サイエンスプランを定義する。

2 . A D E O S - の科学目的および期待される成果

A D E O S - の科学目的は、

- (1) 気候システムにおける水・エネルギー循環の定量的把握
- (2) 地球温暖化問題に関連する炭素循環に関わるバイオマス量と基礎生産量の定量的推定
- (3) A D E O S 観測の継続に伴う長期的な気候変動シグナル変動の検出の3つに絞ることができる。

この中でも、(1) の水・エネルギー循環は、A D E O S - のミッションの特色で、G L I による雲・水蒸気・エアロゾルの推定、A M S R による水蒸気量・降水量・土壌水分量・積雪分布・積雪量などの水文パラメータの推定、S e a W i n d s による海面ストレスの推定、P O L D E R によるエアロゾルの推定、I L A S - による極域のオゾンや微量成分気体の鉛直分布の推定などが、全球規模での水・エネルギー循環の定量的把握に役立つものと思われる。特に、N S C A T に続く S e a w i n d s による海面ストレスの継続的観測は、Q u i c k S c a t の運用と並び、海洋大循環の変動の解明に大いに資するところがある。

また、このような衛星観測による定量的な物理量推定は、的確な地上検証プログラムなくしてはあり得ない。その検証計画は、科学的目標・実施計画・データ管理・主なる研究者などを明瞭に定めた計画案を持った、国際的に開いた計画でなければならない。このような研究計画は、一朝一夕でできるものではなく、長期間にわたる準備と、国際的な調整が必要となる。この意味でも、A D E O S、G E W E X / G A M E で展開された地上検証サイトを引き継ぎ、発展させ総合的な検証プログラム計画を準備し、実施する予定である。幸い我が国の研究者を中心に、2 0 0 1 ~ 2 年に C E O P (Coordinated Enhanced Observing Period) と呼ぶ研究計画で、国際的にも提案されつつある。これらのプロジェクトとの協調も考える必要がある。

炭素循環に関する基礎生産量やクロロフィル量の推定は、A D E O S - のもう1つのミッションの特色である。特に、A D E O S に搭載された O C T S の発展したものと存在する G L I の持つ多チャンネルのデータや 2 5 0 m の高分解能の機能は、O C T S の成果を引き継ぎ、海洋バイオマス量、海洋基礎生産量およびその変動の推定、陸域バイオマス量、陸域基礎生産量およびその変動の推定に有効に働くことであろう。又、I L A S の成果を引き継ぐ I L A S - は、極域のオゾンや微量成分気体の鉛直分布を観測でき、成層大気化学の発展に大いに寄与できるものと考えている。

また、A D E O S に引き続き搭載される P O L D E R は、A D E O S に引き続き全球エアロゾル分布などの地球温暖化予測の精度向上に不可欠な情報を与えることであろう。

3 . 搭載センサの観測目的とプロダクツ

3 . 1 G L I

3 . 1 . 1 科学目的

A D E O S - に搭載される N A S D A の 2 つのコアセンサの 1 つである G L I (Global Imager) は、我が国初の中規模の波長分解能および空間分解能を持つ機械走査型 3 6 チャンネル光学センサである。その特徴は、次のようにまとめられる。

(1) 他の海色センサや大気センサに比べて、多くの可視チャンネルを持っている。また、高精度の海色観測に必要な大気補正チャンネルや陸域観測を行うダイナミックレンジの広いチャンネルを併せ持っている。

(2) 中緯度域の海色観測に必要なチルト機能を有する。

(3) L A N D S A T / T M に準拠した波長特性を持つ 2 5 0 m 分解能チャンネルを有しており、地表面の中分解能グローバル観測を実現する。

(4) 近紫外域の 0.38 μ m、酸素吸収の 0.76 μ m、水蒸気吸収の 1.4 μ m など、従来あまり活用されてこなかったが重要な波長のチャンネルを有する。一方、E O S - A M / M O D I S には 0.38 μ m、0.76 μ m チャンネルは装備されていない。

(5) 大気の窓である 1.6 , 2.2 , 3.7 , 8.3 , 10.9 , 12.0 μ m のチャンネルを有する。これらのチャンネルを同時に有する中規模センサは M O D I S など少数である。また、6.0 , 6.7 , 7.0 , 7.3 μ m を有し、水蒸気場の鉛直分布の指標を得ることができる。

このような特徴を持った G L I と A D E O S - に搭載のマイクロ波放射計である A M S R の組み合わせは、下層大気と地表面のモニタリングに適していることがわかる。すなわち、G L I は可視域から熱赤外にわたり大気分子の吸収チャンネルや窓領域に多くのチャンネルを有し、また A M S R は 6.9 G H z を始めとして地表面や雲に感度を持つチャンネルを同時に有している。これらのチャンネルは O C T S や A V H R R よりも良い S / N を持っており、それぞれの抽出物理量の精度の向上が期待される。

以上のような G L I の特性をフルに発揮することによって、次のような高次処理プロダクツを開発・提供することが G L I ミッションの重要な目標である。すなわち、

(1) 全地球規模での海洋に於けるバイオマス量と基礎生産量、およびそれらの年々変動

海洋の物質、エネルギー循環のより正確な予測を可能にするために、優れた海色センサである G L I を利用して、海洋の生物活動に関する研究を行う。全球規模での酸素循環を解明するには、長期間のバイオマス量や基礎生産量の時系列を作り、その平均値と年次変動パターンを研究する必要がある。G L I の多波長の海洋チャンネルを利用することによって、外洋域のクロロフィル a を求めるだけでなく、沿岸での溶存有機物や懸濁物など陸起源の物質の濃度把握を行い、また沿岸域のクロロフィル a の精度も向上させることができる。

(2) 全球規模での陸域に於けるバイオマス量と基礎生産量およびそれらの季節・年々変動

炭酸ガスのミッシングシンクの 1 つとして考えられている陸域植生の研究を行う。G L I の 6 つの 2 5 0 m チャンネルを活かして、陸圏でのバイオマスの詳細な全球マップを作る。この全球バイオマスマップにより、陸域炭素蓄積量の季節および年々変化量を明らかにし、炭素循環のプロセスの高精度化を行う。さらに、植生と気象・気候との相互作用が顕著であるので、その観点から解析を行う。

(3) 全球規模の雲、水蒸気、エアロゾル量の推定

地球温暖化シミュレーションにおける大きな不確定要因である雲、水蒸気、エアロゾルが引き起こす様々なフィードバックメカニズムを理解するために、これらの量の動態研究を G L I によって行う。特に低層雲、上層雲別の雲量や雲微物理特性、水蒸気分布、雲と対流圏エアロゾルの相互作用の強度などを解明する。

(4) 地表付近のプロセスの詳細モニタリング

G L I の重要な使命として、地球下層大気と地表面の詳細なモニタリングによる地表面プロセスの理解があげられる。特に温暖化の影響が増幅されると期待される極域のモニタリングは重要である。G L I は 4 日の回帰日数と 6 個の 2 5 0 m チャンネルを有しており、このような地表面状態の調査に適している。そこで、地表付近の詳細なモニタリングに適した物理量データセットを作成する。

3 . 1 . 2 標準プロダクト、研究用プロダクトおよびアルゴリズム開発

3 . 1 . 2 . 1 標準プロダクト、研究プロダクト

汎用センサである G L I から得られるプロダクトは大気圏、海洋圏、陸圏雪氷圏の多岐に及ぶ。この節ではこれらのプロダクトについて述べる。研究対象として重要であるが、標準プロダクトにするには不確実性が大きいものは研究用プロダクトとする。また、これらのプロダクトを得るために必要なアルゴリズムについてまとめる。

(1) 大気圏

a . プロダクツ一覧 :

[標準プロダクツ]

物理量名	地域 (1 km)		全球 (0.25 度等緯度経度)		
	シーン	シーン (地図投影)	4 日	1 6 日	月
エアロゾル光学指数					
エアロゾル光学厚さ					
雲フラグ					
雲タイプ					
雲量					
雲光学厚さ					
雲頂温度 (
雲等粒径 (W_refl)					
雲等粒径 (I_emit)					
雲光学厚さ (w_refl)					
雲光学厚さ (I_refl)					
雲光学厚さ (I_emit)					
雲頂温度 (w_refl)					
雲頂温度 (I_emit)					
雲頂高度 (w_refl)					
雲水量 (w_refl)					

：注文生産 / ：計画生産

w_refl:watercloudreflectance / I_refl:icecloudreflectance / I_emit:ice cloud emission

[研究プロダクツ]

雲量 (ピクセル) / 雲頂温度 / 雲水量 / 雲等価粒径 / 雲頂高度 / 雲幾何学的厚さ
 / 晴天短波放射量 / 水蒸気全量 / 水蒸気全量 (ピクセル) / エアロゾル等価粒径
 / エアロゾルタイプ / 降雨 / 地表太陽短波長放射量 / 大気上端短波長放射量 / P A R

b . アルゴリズム開発 :

- ・晴天放射 (晴天域放射) の抽出アルゴリズムの開発
- ・雲域放射の抽出アルゴリズムの開発
- ・雲パラメータの推定アルゴリズムの開発
- ・水雲と氷雲の区別アルゴリズムの開発
- ・エアロゾルパラメータの推定アルゴリズムの開発
- ・放射収支推定アルゴリズムの開発

c . アルゴリズム開発支援のための基礎研究や検証のための研究 :

- ・水蒸気、水等の光学パラメータの改訂

- ・雲パラメータ、エアロゾルパラメータの地上観測
- ・衛星観測輝度校正精度維持のための観測
- ・有限雲放射伝達理論の研究
- ・非球形散乱理論の研究

(2) 海洋圏

a. プロダクツ一覧：

[標準プロダクツ]

物理量名	地域 (1 km)		地域 (4 km)	全球 (9 km Binned)			全球 (9 km Binned Map)		
	シーン	シーン (地図投影)	パス	日	8日	月	日	8日	月
海水射出放射量									
エアロゾル									
クロロフィル a									
懸濁物質濃度									
溶存有機物									
K490 消散係数									
海面温度									

：注文生産 / ：計画生産

[研究プロダクツ]

カロチノイド / フィコピリン / 基礎生産量 (クロロフィル a 法・蛍光法) / クロロフィル a 量 (蛍光法) / ココリス濃度 / トリコデスミウム濃度 / PAR / 海表面温度 (Skin) / pCO₂

b. アルゴリズム開発：

- ・海色のための大気補正アルゴリズムの開発
- ・クロロフィル a 濃度推定アルゴリズムの開発
- ・SS (懸濁物) / CDOM (有色溶存有機物) の推定アルゴリズムの開発
- ・クロロフィル以外の色素 (フィコピリン、カロチノイド、その他の色素) 濃度推定アルゴリズムの開発
- ・ココリス、トリコデスミウム濃度の推定アルゴリズムの開発
- ・基礎生産量 (クロロフィル a 法および蛍光法) の推定アルゴリズムの開発
- ・海表面温度推定アルゴリズムの開発
- ・pCO₂ の推定と大気・海洋間 CO₂ フラックスアルゴリズムの開発

c . アルゴリズム開発支援のための基礎研究や検証のための研究 :

- ・ 船舶による海中放射観測
- ・ 海洋係留光学ブイによる海中放射観測
- ・ 植物プランクトンによる吸収や基礎生産等のパラメータ取得
- ・ 各種光学パラメータの測定
- ・ 大気補正のための大気パラメータの測定
- ・ 漂流ブイ、係留ブイによる海表面温度の観測

(3) 陸圏

a . プロダクツ一覧 :

[標準プロダクツ]

物理量名	パス	ゾーン (地図投影) 1 回 / 1 6 日	エリア (地図投影) 1 回 / 1 6 日
植生指標			
精密幾何補正パラメータ			
大気補正済み全球データ			

：注文生産 / ：計画生産

ゾーン：南北 6 0 緯度以上の極域が PS による地図投影とし、その他の中緯度帯 (南北 6 0 緯度以下は 4 0 緯度幅毎の 3 分割) が 0.5 分間隔の等緯度経度による地図投影とする。

エリア：南北 6 0 緯度以上の極域が PS による 4 分割の地図投影、その他の中緯度帯は等緯度経度 (3 9 度間隔) による 4 8 分割の地図投影とする。

[研究プロダクツ]

土地被覆分類マップ / バイオマス炭素量 / 植生変化マップ / バイオマス燃焼マップ
/ 光合成有効放射吸収量 / 植物基礎生産量 / 精密バイオマスマップ / 地表面温度 / アルベド

b . アルゴリズム開発 :

- ・ 2 5 0 m および 1 k m メッシュプロダクツ作成のためのアルゴリズム開発 (雲除去、ルックアングル・太陽角補正、幾何補正等を含む)
- ・ 植生分類マップおよびそれを用いたバイオマス炭素量推定アルゴリズムの開発
- ・ 全球的な土地被覆分類マップ作成アルゴリズムの開発
- ・ 植生 / 土地被覆変化検出アルゴリズムの開発
- ・ 基礎生産量 (クロロフィル a 法および蛍光法) の推定アルゴリズムの開発
- ・ 植物物理量算出アルゴリズムの開発 (光合成有効放射量、植物基礎生産量、月別精密植物バイオマスマップ作成)

- ・ 陸域大気補正アルゴリズムの開発

c . アルゴリズム開発支援のための基礎研究や検証のための研究 :

- ・ 植生の二方向反射特性の解析
- ・ 地上での基準分光反射率測定法の開発
- ・ 植生タイプ別広域バイオマス測定法の開発

(4) 雪氷圏

a . プロダクツ一覧 :

解析項目	全球	地域	旬	月	季節	年	不定期	タイプ	精度
積雪粒径								標準	10%
積雪不純物								標準	10%
雪氷面上雲検知								標準	10%
積雪・海水識別								標準	10%
積雪分布								研究	1km
海水分布								研究	1km
光合成日射量(PAR)								研究	10%
雪氷面温度								研究	10%
大気上端放射収支								研究	10%
雪氷面上エアロゾル特性								研究	10%
雪氷面上雲特性								研究	10%
海水密接度								研究	10%
氷床表面パターン								研究	10%
氷縁位置								研究	250m
冰山位置								研究	250m

b . アルゴリズム開発 :

- ・ 積雪粒径・不純物濃度抽出アルゴリズム
- ・ 雪氷面上雲検知アルゴリズム
- ・ 積雪・海水識別アルゴリズム
- ・ 積雪・海水分布アルゴリズム
- ・ 光合成日射量抽出アルゴリズム
- ・ 雪氷面温度計算アルゴリズム
- ・ 大気上端放射収支計算アルゴリズム
- ・ 雪氷面上エアロゾル特性抽出アルゴリズム
- ・ 雪氷面上雲特性抽出アルゴリズム
- ・ 海水密接度抽出アルゴリズム
- ・ 氷床表面パターン抽出アルゴリズム

- ・氷縁・氷山位置監視アルゴリズム

c . アルゴリズム開発支援のための基礎研究や検証のための研究 :

- ・雪氷面における双方向反射率 (BRDF) モデルの開発
- ・非球形積雪粒子散乱モデルの開発
- ・既存の衛星データを使った雪氷アルゴリズム検証
- ・大気-雪氷系の放射伝達モデルの開発
- ・積雪粒径・不純物濃度が積雪反射率に与える影響の検証観測
- ・航空機を使った雪氷アルゴリズム検証観測
- ・船舶を使った海水アルゴリズム検証観測

以下のプロダクツは、各圏共通で共同で作成する予定のプロダクツである。

解析項目	全球	地域	旬	月	年	日	不定期	タイプ	精度
250m メッシュデータ								標準	0.5 ピクセル
1km メッシュデータ								標準	0.5 ピクセル
PAR								標準	10%
アドベド (1km)								標準	5%全球 エネルギー
表面温度 (1km)								標準	0.5K 全球 エネルギー

3 . 1 . 2 . 2 アルゴリズム開発

各種プロダクツを抽出するためのアルゴリズムは各 PI がプログラミングを行い、EORC 内の組織である GAIT(GLI Algorithm Integration Team)に引き渡し、GAIT にてシステムフレンドリーなモジュールへ変換される。GAIT はマネジメント組織ではなく、構成員自らも積極的にアルゴリズムの研究開発に関わっている。GAIT では、GLI の観測輝度を予測する GSS(GLI Signal Simulator)、GSS にて作成される模擬観測画像 GSD(GLI Synthetic Data)、プロダクツを算出するアルゴリズム GRS(GLI Retrieval System)、他衛星のデータや In Situ データ GMD(GLI Measured Data)の 4 モジュールを用いて、効率的なアルゴリズムの開発支援を行っている。上記の 4 モジュールのひとつである GSS には、雪 BRDF 面、植生 BRDF 面、上向き水中輝度などの一連の GLI プロジェクトの研究成果が取り込まれており、引き続き各種の拡張が計画されている。近年ではニューラルネットワークのような強力な逆問題ソルバーの発展がめざましく、GSS のような順問題ソルバーによるニューラルネットワーク・システムの教育などが可能になりはじめた。従って、GSS のような順問題ソルバーへの投資はこれからのリモートセンシングに対して大きな駆動力となると思われる。

GAIT は NASDA 研究者と客員研究員にて構成されており、GAIT を中心としたアルゴリズム開発手法は、リモートセンシングに関わる研究者の育成や新規ユーザーの開拓にも有効である。

アルゴリズム開発の各作業の担当は次のようにまとめられる。

作業項目	PI	GAIT	EORC システム G	コントラクタ
プログラム作成				
ATBD 作成				
プログラムインプリメント				
個別試験				
全体システム試験				

3.1.3 検証と校正

3.1.3.1 校正

GLI センサーは36チャンネルもの多数の波長チャンネルを有しているために、良いレベル2成果物を得るためには、センサーの校正が非常に大きな意義を持つ。そのためには、センサー間相対幾何補正、絶対幾何補正、センサー間相対放射校正、絶対放射校正を適切に行う必要があり、それぞれ、打ち上げ前と打ち上げ後の校正プログラムによって、高い精度を確保されなければならない。

プロトフライトモデルの試験を通じて行われる打ち上げ前の校正は、レベル1処理アルゴリズムに反映されるが、打ち上げ後にセンサーのジオメトリ-ラジオメトリック性能やセンサー劣化のために、パラメーターが変化する可能性がある。従って、GLIの運用では、幾何学校正と放射校正をフライト時に随時実行する予定である。特にフライト時の絶対幾何補正と絶対放射校正は、サイエンスプランとも密接に結びついている。すなわち、これらの校正は、GLIミッションが目指している地球・大気系のリモートセンシングにおける逆問題のひとつの側面でもあり、以下に述べるレベル2成果物の地上検証の過程で、最適な校正パラメーターが決定される可能性がある。このような観点からGLIプロジェクトでは、打ち上げ後校正と検証を密接に連動した形で実施する予定である。

幾何補正に関しては、あらかじめ選定された地上校正点に一致するような自動補正アルゴリズムを実現されるはずである。その結果、GLIのレベル1成果物は1km画素でTBD画素、250m画素でTBD画素の精度をセンサー運用期間の間、維持する予定である。

放射校正に関しては、砂漠や雲などの反射率やその波長依存性が安定しているターゲットや、大気放射が卓越する清澄な海面を利用して行う予定である。この場合、GLIが非常に幅広い観測スペクトル域と、放射強度に関する大きなダイナミックレンジを持っていることを考慮して、反射率と放射輝度に基づく方法(EOS CAL Panelの定義)と直接法の2つの手法を併用する予定である。前者では、地表面での上向き分光放射輝度の測定値と大気モデルを利用してセンサーシグナルを再現する。また後者では、良く校正された放射計を高高度を飛行する航空機に搭載して放射量を直接測定し、センサーシグナル推定時の補正に用いる。これら校正プログラムの成功のためには、地表面と大気に関する適切な検証システムの確立が不可欠である。

3・1・3・2 大気圏の検証

(1) 概要

GLI から質の良い成果物を得るためには、検証・代替校正のための努力が不可欠である。近年の大気物理学と大気放射学の進歩は、地上観測データから GLI の受信信号を精度良く求めることを可能にし始めた。そのために、成果物の検証と成果物を得るために必要な放射輝度の代替校正とを総合的に行うことによって、得られる成果物の質が非常に高くなり始めた。従って、衛星データの取得とともに、検証と代替校正のための地上支援データを得ることが、GLI の大気成果物の生成にとって非常に重要である。検証計画の詳細は GLI-ATMOS Validation Plan に詳述するが、それに基づいて、ここでは検証の概略についてまとめる。

表 1 は検証・代替校正のために必要な観測量とその精度を示す。期待される精度で観測量を得るためには、地上検証データにチューニングするようなメカニズムが必要である。このような物理量を得るためには、既存の、あるいは新規に開発した検証機器の投入が必要である。

このような検証実験を行うためには、地表面での定常観測、航空機による特別観測、他圏との共同観測などが必要である。表 2 に、GLI-ATMOS に関わるスケジュールの概要を示すが、GLI センサーからのデータ取得前、最低 6 ヶ月前後から地上観測のネットワークを立ち上げる必要がある。すなわち、打ち上げが 2000 年 11 月とすると 2000 年 8 月頃からネットワークが立ち上がる必要がある。また、データ取得から 1 年程度は半年に 1 度、それ以降は 1 年に一度程度の集中観測を多圏と協力して行わなければならない。それと 3 ヶ月くらい時期をずらして、全圏で検定定数に関する評価会議を開く必要がある。

(2) 地上観測実験

GLI-ATMOS の基本的な戦略は、ネットワークサイトによる定常的な観測による広域かつ長期の検証・代替校正データの取得である。もちろん、このようなネットワークは一組織で維持できるものではないので、国際的にも共同研究を行いつつ実施する予定である。GLI-ATMOS によって確立すべきサイトを表 3 に掲げるが、検証計画に示したように、これらのサイトはすでに運用中のものもあり、また、計画中のものもあり、装置の投入はサイトごとに綿密に調整する必要がある。これらのサイトは地理的な分布と運営の容易さを考慮して設定した。表 3 には、投入する必要がある装置も示した。優先順位に従って、順次、装置を整備してゆく必要がある。

(3) 集中観測

打ち上げ後は半年間隔、その後、1 年に一度程度、地表観測と航空機観測を組み合わせることによって詳細な総合観測を実施することによって、センサーの校正と詳細な検証、さらに、科学的目的を達成するための研究を行う必要がある。

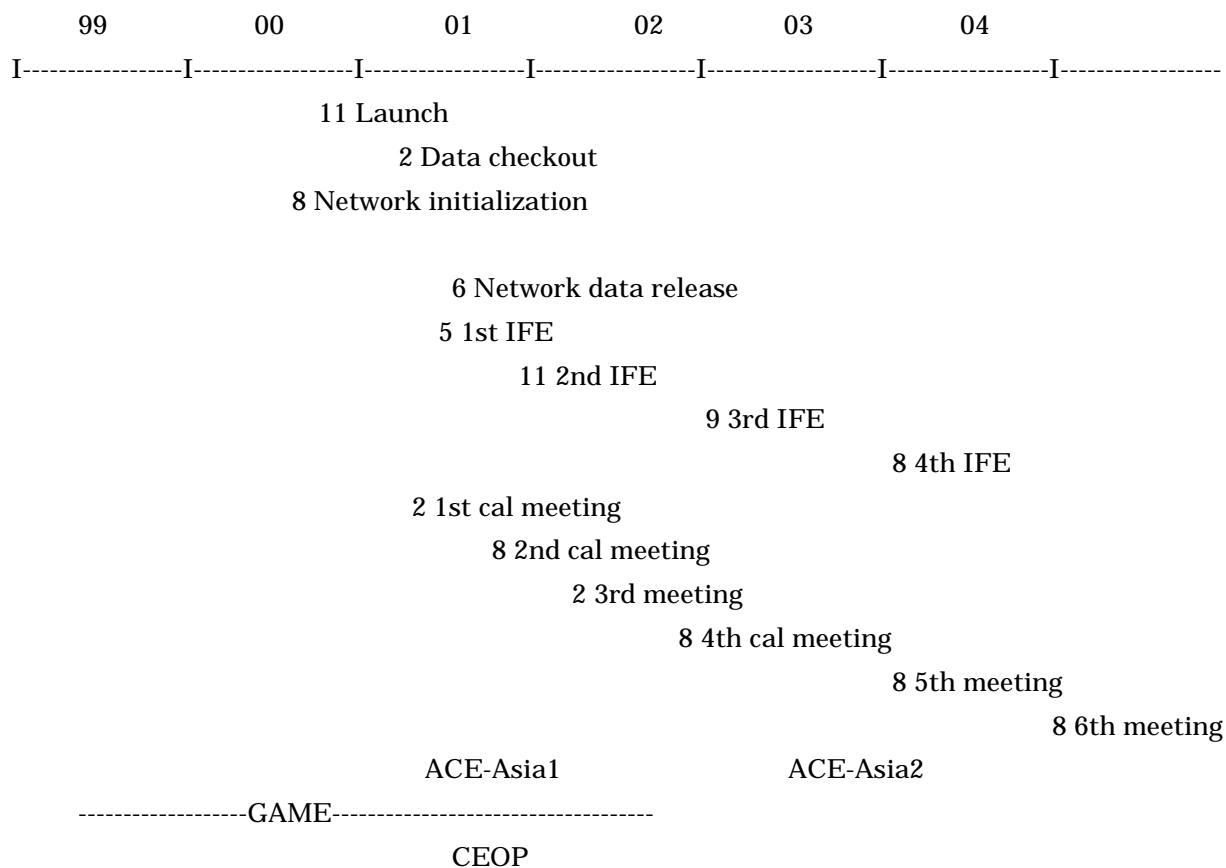
表 1 : 検証・代替校正のための物理量。S、R、Vはそれぞれ標準成果物、研究成果物、検証・代替校正のための観測量。

物理量	タイプ	精度	方法 (備考)
CLFR,CLFG	S	5%	Surface observation, lidar, CPR, GEO, AVHRR
CLOP	S	10%	Aircraft, SWSR POLDER, MODIS, AVHRR
CLWT	S	20%	Aircraft, MCWR AMSR, SSM/I
CLRE	S	20%	Aircraft MODIS, AVHRR
CLTP	S	0.5K	Sonde, lidar
CLHT	S	1km	Sonde, lidar
CLBH	R	1km	Sonde, lidar
WTVA	R	0.2g/cm ²	Sonde, GPS, Sunphotometer AMSR, SSM/I
AROP	S	10%	Sky radiometer/sunphotometer POLDER, MODIS, AVHRR
FSSRF	R	5W/m ²	BSRN, GLI-ATMOS (instantaneous)
FSTOA	R	5W/m ²	CERES (instantaneous)
FLTOA	R	5W/m ²	CERES (instantaneous)
PRCP	R	factor 2	Radar, CPR (warm precipitation)
Sky radiance	V	1%	Sky radiometer (vicarious calibration)
Surface leavingradiance	V	1%	TBD (vicarious calibration)

 Sensor names: GEO (Geostationary satellites), CPR (Cloud Profiling Radar), SWSR (ShortWave Spectral Radiometer), MCWR (MiCroWave Radiometer)

Product name: CLFR (Cloud fraction); CLOP (Cloud optical thickness); CLWT (Cloud water path); CLRE (Effective cloud particle radius); CLHT (Cloud top height); CLBH (Cloud bottom height); WTVA (Column water vapor amount); AROP (Aerosol optical thickness); FSSRF (Shortwave surface radiative flux); FSTOA (Shortwave TOA radiative flux); FLTOA (Longwave TOA radiative flux); PRCP (Precipitation).

表2 GLI-ATMOS 検証実験のスケジュール概要



NET work); GAW (Global Atmospheric Watch program); Frontier (Frontier Program)

2000.11 : 打ち上げ

工程 1 : アジア陸域連続観測

期間 : 2000.8 から GLI の運用停止まで

概要 : ネットワークサイトを打ち上げ前 6 ヶ月に立ち上げ、定期的に表 1 に示すような検証データを収集する。

工程 2 : 船舶観測

期間 : 2000.8 から GLI の運用停止まで

概要 : 船舶によるスカイラジオメーター観測を打ち上げ前後から随時行い、エアロゾルパラメーターを取得し、代替校正と検証に役立てる。

工程 3：集中観測

期間：2000.5 月から GLI の運用停止まで。

頻度：最初 1 年は半年間隔、その後 1 年間隔

概要：航空機と地上観測によって、地表面と大気に関する検証データを同時に得る。全圏の協力が必要。

工程 4：検定定数の維持

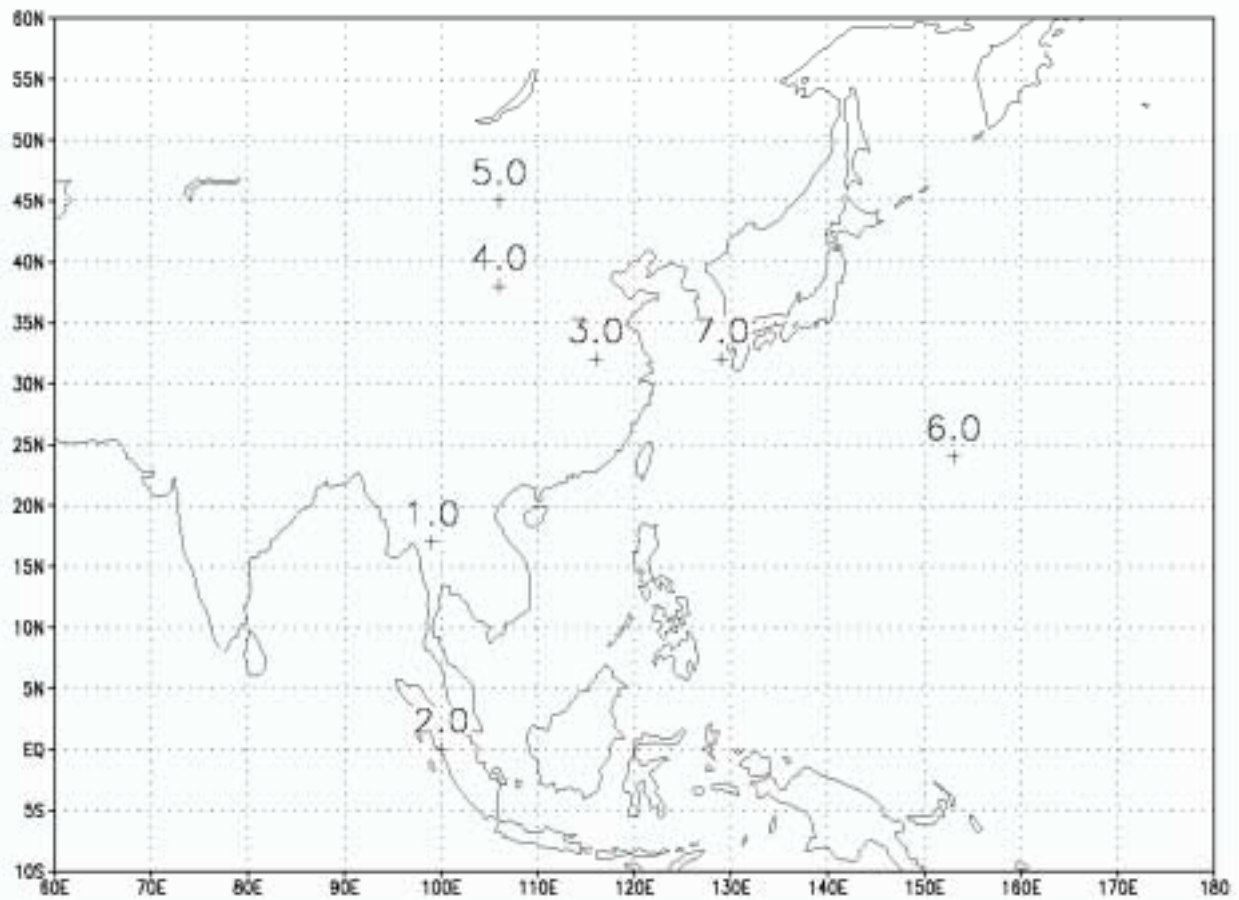
期間：GLI チェックアウト時から GLI の運用停止まで

頻度：最初の 1 年は半年ごと、その後 1 年ごと。集中観測後 3 ヶ月をめどとする。

概要：全圏の検証データをふまえた上で、GLI プロジェクト全体で検定定数を決定する会議を開く。

表 3：GLI-ATMOS のための検証サイトの候補地と投入すべき測器。サイトの状況として OP、PL、TS は運用中、計画中、テスト中を示す。

Code	Name	Status	測器
L1	Si Samrong	OP	SW spectral radiometer Aerosol sampler
L2	Anhui	OP	Microwave radiometer SW spectral radiometer Total nephelometer Aethalometer
L3	Yinchuan	OP	-
L4	Mandalgovi	OP	-
L5	Minami Torishima, Tokyo	PL	Aerosol module SW spectral radiometer Microwave radiometer SW, LW flux meter Lidar
L6	Fukuejima, Nagasaki	PL	Aerosol module SW spectral radiometer SW, LW flux meter
L7	Bukittinggi	OP	Sky radiometer SW spectral radiometer
S1	Ship-Mirai	TS	SW spectral radiometer Microwave radiometer
S2	Line-Persia	PL	Shipborne sky radiometer SW spectral radiometer
S3	Line-Australia	PL	Shipborne sky radiometer SW spectral radiometer
	Airborne PL	PMS	



GADS: CQLA/GES

図4 . GLI - ATMOS のための検証サイト

表 4 . GLI - ATMOS のための検証サイト

位置	緯度	経度	サイト
1.0	99.87E	17.17N	Si Samrong
2.0	100.31E	0.30S	Bukittingggi
3.0	116.78E	32.55N	Anhui OP
4.0	38.48N	106.22E	Yinchuan OP
5.0	45.59N	106.19E	Mandal govi
6.0	24.17N	153.59E	南鳥島
7.0	32.40N	129.50E	福江島

3・1・3・3 海洋圏の検証

(1) はじめに

GLI で測定される海色の情報は、船舶などにより直接観測された現場データと対応づけられることが重要である。また、ADEOS に搭載された OCTS と、その後打ち上げられた SeaWiFS から継続した時系列として利用することを考える場合、センサー間のデータの互換性を確保することが必要となり、現場観測データによって検証及び代替校正を行うことが必要不可欠である。ADEOS/OCTS の時にも、校正、代替校正、検証に関して様々な試みが行われており、特に航空機センサーとの比較による校正、日本海やハワイなどに設置された光学ブイデータによる代替校正、水産庁をはじめとする国内外の研究機関の協力による船舶データによる検証は成功を収めた。GLI-OCEAN ではこれらの経験を生かした形で計画することが望ましい。ここでは、検証および代替校正に重要な、現場観測について中心に述べる。

GLI のようなグローバル・センサーでは、全球規模の検証・代替校正と、地域を限定した検証の両方が必要である。グローバル・センサーとして全球である程度均一な精度が確保されなければいけない一方、I-LAC (Intensive LAC) など、ユーザーが集中する日本やアジア周辺域では、特に高い物理量推定精度が要求される。従って、全球規模の検証・代替校正用のデータの確保と、アジア域周辺のデータ確保が不可欠である。

(2) 地球規模でのデータ収集

まず代替校正用のデータ収集として重要なのは、大気および海洋の輝度が安定した海域で、両者について信頼性の高い、多くの物理量についてのデータが収集できる海域で、同時観測を行うことにある。このような観測から得られるデータセットは、センサーが定常観測をはじめた直後にだけでなく、その後もセンサーの安定性を調べ、適宜校正をやり直すために定常的に必要である。特に観測初期において、条件のよい海域で集中して観測を行うためには、予算が確保できれば専用の観測船を確保することも望ましい。その後は、数ヶ月おきに集中した観測ができる体制の確保が必要である。また光学ブイシステム等を利用した、継続した観測も望ましい。大気と海洋の条件がよい場所としては、カリフォルニア沖やハワイ沖が考えられ、NASA をはじめとする北米の研究者との協力体制が必要である。また、航空機を利用した大気の高層観測も望ましい。

一方、地球規模での検証には、北米、ヨーロッパも含め各国の研究者との検証用観測ネットワークの構築が必要である。このようなネットワークに関しては、ADEOS/OCTS でも成功しているが、GLI-OCEAN においては、衛星データの提供などで、今まで以上に船舶データの提供者にメリットのある形での構築が望ましい。

(3) アジア域でのデータ収集

GLI-OCEAN のデータの利用に関しては、日本をはじめとしたアジア域で多くのユーザーが確保できることが考えられる。そのためには、アジア域に特化した衛星データの検証とアルゴリズムの推定精度を確保し、またデータを利用する体制を整えることが必須である。特に、ADEOS/OCTS でも利用率が高く、検証にも非常に役立った I-LAC システムは必要不可欠である。

また日本やアジア域での Cal/Val の PI や CoI の確保、ADEOS/OCTS でも協力体制を結んだ水

産庁などの研究機関、これ以外の多くの研究者との協力関係も不可欠である。表2に現在研究協力の話が進められている研究組織およびその所有船舶を記述している。これらの多くの船舶は GLI の観測機関前および観測中に東アジア海域を中心に多くの航海を計画しており、そこで GLI 検証に必要なクロロフィルの測定、光学観測等を行うことが予定される。標準成果物の検証に必要な項目以外にも、GLI-OCEAN を利用したさまざまな研究を活性化するためには、研究成果物やそれに関連したデータの収集も望ましい。

表1：検証・代替校正のための物理量。S、Rはそれぞれ標準成果物、研究成果物

物理量	タイプ	方法（備考）
Lw	S(nLw)	underwater spectral radiometer
CHL	S	fluorometry, HPLC (after extraction)
SS	S	weight measurements of filter
CDOM	S	spectral absorption measurements of filtrate
Carotinoids	R	HPLC measurements
Primary Production	R	¹³ C, ¹⁴ C and other methods
New Production	R	¹⁵ N and other methods

表2：研究協力予定機関

北海道大学（おしよる丸、北星丸）
 東京大学海洋研究所（白鳳丸、淡青丸）
 東京水産大学（海鷹丸、神鷹丸、青鷹丸）
 広島大学（豊潮丸）
 長崎大学（長崎丸、鶴洋丸）
 鹿児島大学（敬天丸）
 海洋科学技術センター（みらい）
 国立極地研究所（しらせ）
 水産庁関係研究所（複数）
 漁業情報サービスセンター（県水産試験所との協力）
 国立環境研究所（貨物船・フェリー）

3・1・3・4 陸圏の検証

(1) 概要

全球観測を目的とした衛星センサーは、解像度が500mから1kmと低い。米国のEOS衛星搭載のMODISもADEOS-II搭載のGLIも中程度解像度である。海洋や大気はその一様性により中程度解像度相当の検証情報を得ることはさほど困難ではない。しかし、地表面は状態の変化が大きくまた、小規模スケールであり、中程度解像度相当の検証情報を得ることは困難である。一般に1km解像度のセンサーに対応する検証情報は2km×2kmの広大なサイトを必要としており、MODISの検証用サイトもこの条件を満たす必要がある。

なぜなら、衛星観測スケールと地上検証スケール（現地観測サイト）の相違は、推定する物理量の精度に直接影響する。検証の高精度定量化を図るためには、衛星観測スケールに対応したサイト（2 km × 2 km 以上）内での植生・地表状態等の均質性と安定性が必須条件である。的確な検証には、サイトの適切な選択と新たな実証手法の開発（直接サンプリング手法の開発：大面積を直接代表できる検証情報）が必要である。

千葉大学環境リモートセンシング研究センター（以下；CEReS）の研究グループが5年以上の歳月をかけ、中程度解像度センターに対応できる植生被覆率が異なる検証サイトを複数確保している。また、広大な検証サイトからその大面積を代表する地上情報を取得する手法をすでに開発している。よってモンゴル検証サイトにおいては中程度解像度センサーの高精度検証が実現できる。

1998年12月MODISサイエンスチームミーティングにおいてCEReSが運用するモンゴル検証サイトをEOS core validation siteとして登録しEOSプログラムに協力することが正式に要請された。この要請に応えることにより米国がMODIS検証のために観測を運用する他のEOS core validation site（20箇所程度）の地上情報を得ることができ、草原以外のGLIプロダクト検証にも役立つことができる。GLIならびにMODISの地上検証として、植被率が60～70%の草原サイト3箇所がある。植物がもっとも安定している7月下旬から8月上旬にかけて植被率が高・中・低の3箇所ですべて2週間程度の集中的な観測を検証項目「植生指標、草原植生の3D構造、コンポジット精度、大気補正のためのパラメータ、植物個体の反射率および透過率、BRDF、地表面温度、バイオマス、葉面積指数、植生調査（種の調査を主とする）、土壌調査（分光情報、土壌水分、土壌構造など）、気象」に対して米国MODISチームとクロスキャリブレーションをかねてADEOS-II打ち上げ前・運用中を通して実施する。GLIのデータが利用可能になった年度には前述の増減サイトのうちもっとも植被率が高いサイトにおいて5月末から9月末まで植生生育サイクルにあわせた長期観測を実施し、土壌が同一の条件における異なる植被率において検証情報を取得する。また、GLI運用中に米国MODISチームが利用する北米のEOS core validation siteにおいてMODISチームと合同でリモートコントロールヘリコプターを用いた観測を実施する。

全球土地被覆分類マップの検証のためには、各大陸毎の多様な土地被覆に対するランドトリスデータの収集が必須である。土地被覆の検証の成否はランドトリスデータの収集にかかっている。土地被覆ランドトリスデータ収集の必要性はADEOS-II GLIプロジェクトだけの問題でなく、MODIS、VEGETATIONなど他の衛星ミッションまたLUCCなどの国際的な土地利用/土地被覆研究プログラム共通の関心事である。しかし従来は各プロジェクトごとに独立して分類用あるいは検証用のランドトリスデータを収集してきた。一方、ランドトリスの収集には各国の土地被覆に対する知識が要求され多くの研究者の協力が必要となる。このため、GLI陸圏チームでは、GLIによる全球土地被覆分類マップの検証が目的ではあるが、他の土地被覆分類プロジェクトにも利用可能なGlobal Land Cover Ground Truth Database(GLCGT-DB)を国際協力により構築することが必要と考えている。このため、Committee on Earth Observation Satellites (CEOS)のような国際グループを通じた土地被覆ランドトリスデータの収集を行う予定である。

（2）検証項目と手法

GLIの陸圏標準プロダクトならびに科学的に物理量を検証する主な項目は次のようなものがあり、モンゴル草原サイトではいずれも大面積を代表できる地上情報を取得することができる。

a. 植生指標（広領域における代表値）

分校放射計による計測によって取得。広域を短時間に計測するためのシステムの完成度が重要。ラジオコントロールヘリコプターによる（地上計測に比べて）高高度からの計測が必須である。さらに、観測要員が現地に常駐せずとも計測を行えるような自動観測システムの設置も不可欠である。自動観測装置はRCヘリコプターの計測から地表面分光特性の代表値として必要な最小面積を算出し。それをカバーするような計測システムを設置する。

b. 草原植生の3D構造

レーザー3Dスキャナによる計測によって可能となる。既製のシステムでは計測不可能。草地における植生の3D構造を計測するためには、システム開発が必要。ただし、スキャナそのものを開発する必要はなく、計測のためのマウント及び稼働部のビルトアップを行えば計測可能。また、これにより観測対象に損傷を与えることなく、バイオマスを間接的に推定できる。

c. コンポジット精度（晴天率）

毎日のクラウドカバーを計測することによって、クラウドフリーコンポジットのデータセットを作成するための最短周期を実証的に明らかにする。具体的には全天カメラの映像データを毎時取得することで可能となる。

d. 大気補正のためのパラメータ

衛星同期の大気パラメータを計測することで、現地観測データと同期観測衛星データの比較を高精度で行うことが可能となる。エアロゾル・光学的厚さの計測が必要である。

e. 植物個体の反射率および透過率

散乱モデルを構築するために、土壌等の影響のない純粋な植物体の反射率・透過率の計測が必要となる。しかしながら、現状ではこれらを計測するためのシステムは一般化されていない。特に、個葉単位での計測は困難である。これらを計測するためのシステムを開発する必要がある。これまでの研究からシステムの基本設計はすでにできており、インプリメントの段階である。

f. BRDF

地上観測レベルでのBRDF計測は一応の完成をみているが、高高度における計測と、地上観測の計測値が一致するかの検証は行われていない。RCヘリコプターによる計測でこの比較が可能となる。RCヘリコプターにBRDF計測システムをマウントして計測する必要があるが、リモートコントロールによるBRDF計測システムは開発する必要がある。

g. 地表面温度

衛星センサの熱赤外データとの比較を行うためにRCヘリおよび車両から地表面の数多く計測を可能とするシステムを用いる。半自動観測装置への組み込みも考慮する。

h. バイオマス

刈り取りによるバイオマスの計測を20平米以上で1週間に1度の頻度で行う。この計測では地上部の植生量（生重量、乾燥重量、水分量）が計測できる。

i. 葉面積指数 (LAI)

バイオマスの計測の資料を乾燥する前に葉面積指数を計測する。統計的に大面積を代表しうるように葉面積指数を求める。

(3) 打ち上げ前後の検証活動計画

a. 打ち上げ前年度

7月下旬から8月下旬までモンゴルにおける集中観測

7月最終週

- ・参加機材のクロスキャリブレーション
- ・観測サイトの立ち上げ
(テント村、処理システム、観測システムの立ち上げなど)

8月第1・2週

- ・3サイトにおける集中観測(すべての検証項目)

8月第3週

- ・一部観測の続行
- ・データ処理
- ・測器クロスキャリブレーション
- ・撤収

b. GLI の運用中

5月末から9月末までモンゴルにおける長期観測

5月第3週(10名程度にて作業する)

- ・観測サイトの立ち上げ

5月最終週から9月最終週(3名程度にて1ヶ月交代)

- ・植被率が高いサイトにおける長期観測の開始
- ・観測項目
 - *半自動観測装置による植被状況・分光情報(午前9時から午後7時まで1時間おき)
 - *気象3要素(24時間15分おき)
 - *大気観測(24時間15分おき)
 - *太陽光観測(24時間15分おき)
 - *土壌水分(24時間15分おき)
 - *地表面温度(24時間15分おき)
 - *バイオマス調査(週1回)

10月第1週(10名程度で作業する)

- ・サイトの撤収

7月下旬から8月下旬までモンゴルにおける集中観測

7月最終週

- ・参加機材のクロスキャリブレーション
- ・観測サイトの立ち上げ
(テント村、処理システム、観測システムの立ち上げなど)

8月第1・2週

- ・3サイトにおける集中観測(すべての検証項目)

8月第3週

- ・一部観測の続行
- ・データ処理
- ・測器クロスキャリブレーション
- ・撤収

6月の1ヶ月間、北米のEOS core validation siteにおけるリモートコントロールヘリコプターおよびHueteチームによる集中観測
草原・農地・森林のそれぞれの土地被覆でリモートコントロールヘリコプターによる観測を行う。

(4) Global Land Cover Ground Truth Database(GLCGT-DB)の構築による検証

土地被覆分類マップの検証のために、Global Land Cover Ground Truth Database(GLCGT-DB)を構築する。異なるプロジェクト、ミッション間および個人研究者による土地被覆/土地利用/植生分類データ作成において、利用するランドトゥルスデータを一つのデータベースとしてまとめ、後続する土地被覆/土地利用/植生分類データ作成のためのトレーニングサンプルデータおよび検証用データとする。

このデータベースの機能は下記のとおりである。

- ・異なる種類のランドトゥルスの地理的領域(緯度経度)、時間、属性(土地被覆/土地利用/植生分類クラス)、属性(分類クラス)の定義、情報源のデータを記録する。これをオリジナルランドトゥルスデータ(original ground truth data)と呼ぶ。
- ・オリジナルランドトゥルスデータの土地被覆クラスを統合した generalized ground truth data をオリジナルランドトゥルスデータから作成する。

GLCGT-DBの構築を実行するためには、前提条件として、進行中の土地被覆/土地利用/植生分類データ作成のプロジェクト、ミッションから、使用しているランドトゥルスデータを提供してもらい、一般公開することの承諾を得る必要がある。

スケジュール

1999~2000末	他のプロジェクト、ミッションからの協力の承諾を得る。
1999~2000末	GLCGT データベースの詳細設計および作成
2000~	ランドトゥルスデータの入力
2001~	GLCGT データベースの利用による土地被覆分類マップの検証

3.1.3.5 雪氷圏の検証

(1) 概要

ADEOS - II/GLI データを用いた雪氷圏リモートセンシングでは、主に可視・近赤外域のチャンネルを使って雪氷物理量を求めるアルゴリズムが開発されており、このアルゴリズムの検証及びセンサー校正のため、低温実験室、北海道東部、アラスカ、南極などの雪氷域で実験・観測を計画している。対象となる雪氷物理量は、主に、積雪物理量に関するもの、海氷に関するもの、それらの分布に関するもの、放射量に関するもの、雲・エアロゾルに関するものである。これらを衛星と同期した分光放射観測（アルベド、BRDF、赤外放射量）、積雪断面観測、放射収支観測、大気エアロゾル及び雲観測、地上気象観測、植生観測によって検証する。また、代替校正のための分光放射観測（衛星方向輝度）及び大気観測を同時に行う。

(2) 地上観測・実験

地上観測・実験は北海道サロマ湖周辺、アラスカ Fairbanks 周辺、Barrow 周辺、南極昭和基地～内陸の雪氷面及び関係研究機関の低温実験室で行う。

低温実験室での測定は基本的な BRDF 特性を把握するため、GLI 打ち上げ前の 1999-2000 年度に実施、北海道サロマ湖周辺では打ち上げ前後の 1999-2002 年度に毎年実施、Fairbanks 周辺では打ち上げ直後の 2001 年 3 月に実施、Barrow 周辺では打ち上げ直後の 2001 年から毎年 4 月に実施、南極は打ち上げを確認してから、2001 年より 3 年間実施する計画である（表 1）。

a. 低温実験室

人工積雪と日射装置により、積雪粒径、気温、日射量、入射角を制御し、主に可視・近赤外域の波長別 BRDF 測定を行う。

b. 北海道サロマ湖周辺

2 月から 3 月にかけて、オホーツク海の海氷が張り出した時期には、積雪が比較的多い割には晴天率が高く、光学観測に適している。サロマ湖には一様な海氷があり、また周囲には観測に適した平らな雪原が広がっている。積雪面上においては積雪関係の cal/val 観測、サロマ湖上及びオホーツク海上では海氷関係の cal/val 観測を行う。また、ここでは航空機、船舶を使った観測を予定している。

c. アラスカ Fairbanks 周辺

代表的な高緯度積雪森林域が付近に広がり、林床に積雪の存在する積雪域を衛星から検知するアルゴリズムの検証を行う。ここでは、アラスカ大学(UAF)との共同観測を実施する。250m チャンネルデータも UAF で直接受信が可能。

d. アラスカ Barrow 周辺

ツンドラの上に数十センチの平坦一様な積雪があり、UAF と共同観測で積雪関係の cal/val を行う。付近には NOAA/CMDL、UAF の ARM 観測サイトなどもあり、cal/val で取得したスペクトル

データを補助する大気データを同時に取得し、主に、積雪粒径、不純物の検証とセンサーの校正を行う。

e. 南極

不純物が非常に少ないことや、大気エアロゾルが少ないため、Calibration 観測として最適地である。また、沿岸から内陸まで約 4,000m の高度差があるため、その間、積雪粒径が変化することが予想される。雲物理量、ダイヤモンドダスト分布、積雪粒径、層構造、表面霜、海氷分布の季節変化、経年変化など、地球科学的にも興味深いデータが取得されると期待される。昭和基地では GLI の cal/val 期間中、GLI/250m チャンネルデータの直接受信が計画されている。

表 1 地上実験・観測スケジュール

観測名称：ADEOS II/GLI データを用いた雪氷圏リモートセンシングのための Cal/Val 観測	
年度	平成 11 年度
1.工程 (月)	--4---5---6---7---8---9---10---11---12---1---2---3-- CC SSS
実施概要	C:低温実験室 S:サロマ湖 BRDF 測定 val 観測
年度	平成 12 年度
2.工程 (月)	--4---5---6---7---8---9---10---11---12---1---2---3-- CC *ADEOS II launch SSS FFFF
実施概要	C:低温実験室 S:サロマ湖 BRDF 測定 cal/val F:Fai rbanks Cal/val
年度	平成 13 年度
3.工程 (月)	--4---5---6---7---8---9---10---11---12---1---2---3-- FF AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA BBBBBBB SSS
実施概要	B:Barrow A:南極 S:サロマ湖 Cal/val cal/val cal/val
年度	平成 14 年度
4.工程 (月)	--4---5---6---7---8---9---10---11---12---1---2---3-- AA BBBBBBB SSS
実施概要	B:Barrow A:南極 S:サロマ湖 Cal/val cal/val cal/val

(3) 観測方法 (表 2)

可視・近赤外分光器、FTIR 等を使った分光放射観測では、地上における波長別アルベド、波長別 BRDF、上向き・下向き放射フラックス、方向別放射輝度を測定し、雪氷物理量との関係を調べ

る。雪氷物理量の測定は主に積雪断面観測によって行い、その中で積雪深、層構造、雪温、密度、積雪粒子の粒径、形態、顕微鏡写真撮影などを行う。また、積雪サンプルは実験室にてフィルター上に濾過し、重量測定により不純物濃度、光学測定（反射率・透過率）により不純物の光学的性質を推定する。

日射計、放射計は主に長期間のモニタリング観測で使用し、短波放射収支、長波放射収支、広帯域アルベド測定を行う。これらは雪氷面上雲検知、大気上端放射収支、エアロゾル特性、雲特性の検証に用いる。また、サンフォトメータ、エアロゾルサンプリング、他衛星データもこれらの検証に用いる。

航空機、船舶による観測は積雪・海水識別、積雪分布、海水分布、海水密接度、氷床表面パターン、氷縁位置、冰山位置の検証を目的とし AMSS、AMR、ビデオなどの測器を用いるほか、他衛星データも利用する。また、積雪分布観測では、森林内で葉面積指数(LAI)の観測を行い、森林密度との関係を調べる。

GLI の打ち上げ後校正は、主にパローと南極において、代替校正を行う。これには可視・近赤外分光器、FTIR、精密大気観測を必要とし、上の検証観測と組み合わせた集中観測を実施する。

短期間の観測はサロマ湖周辺、フェアバンクス、パローで行い、長期観測観測は主に南極で行う。

表 2 雪氷物理量の検証方法

物理量	方法	測器	精度	場所
積雪粒径	積雪断面観測	積雪断面測器、顕微鏡	5%	S,B,A
積雪不純物	積雪断面観測等	積雪断面測器、フィルタリング	5%	S,B,A
雪氷面上雲検知	放射収支観測	日射計、放射計	5%	S,B,A
積雪・海水識別	航空機	AMSS、ビデオ、他衛星データ	5%	S,B,A
積雪分布	航空機、植生測定	AMSS、ビデオ、LAIメータ	数十 m	S,F
海水分布	航空機、船舶	AMSS、AMR、ビデオ、他衛星データ	数百 m	S,A
光合成日射量 (PAR)	分光放射測定	可視・近赤外分光器	5%	F,B,A
雪氷面温度	分光放射測定	FTIR、放射温度計	1°C	S,F,B,A
大気上端放射収支	放射収支観測	日射計、放射計、他衛星データ等	10%	F,B,A
エアロゾル特性	放射収支観測	日射計、放射計、サンフォトメータ等	10%	B,A,
雲特性	放射収支観測等	日射計、放射計等、ラジオゾンデ等	10%	B,A
海水密接度	航空機	AMSS、AMR、ビデオ、他衛星データ	10%	S,A
氷床表面パターン	航空機	ビデオ、他衛星データ	10%	A
氷縁位置	航空機	ビデオ、他衛星データ	数百 m	A
冰山位置	航空機	ビデオ、他衛星データ	数百 m	A

3.2 AMSR

3.2.1 科学目的

AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) は、地球から放射される微弱なマイクロ波を測定する受動型のマイクロ波放射計である。AMSRなどのマイクロ波放射計の特徴は、昼夜の別なく、ほぼ全天候で定量的な物理量を得ることである。AMSRでは14チャンネルのデータを組み合わせて、地球上の水に関する諸々の物理量を観測することを目的とする。すなわち、

- (1) 大気中の積算水蒸気量 (海上のみ)
- (2) 大気中の積算雲水量 (海上のみ)
- (3) 降水量
- (4) 海洋上の風速
- (5) 海面水温
- (6) 海水分布
- (7) 積雪深
- (8) 土壌水分量

などである。

AMSRの主鏡は径2mであり、これまでのマイクロ波放射計の中では最大のものである。主鏡が大きくなったことにより、周波数6.9GHzの低周波による観測が可能となった。それにより、海面水温、土壌水分量など従来のマイクロ波放射計では観測が行われていなかった物理量が得られる見込みである。AMSRは従来のマイクロ波放射計と同じく水蒸気量、雲水量、降水量なども観測でき、高空間分解能になっているために、観測精度の向上が期待できる。

AMSRはADEOS-IIに搭載される他、NASAのEOS-PM1にも搭載される。EOS-PM1に搭載されるものはAMSR-Eと呼ぶが、AMSRという用語で二つのセンサーを意味するとする。ADEOS-IIの観測時は地方時の10時半であり、EOS-PM1のものは1時半である。二つのAMSR合わせて、観測回数が増える他、日変化を調べることができる。AMSR-Eの主鏡の径は1.6mである。

最後に、AMSRのデータはデータ中継衛星を通じて準リアルタイムに全球のものが入手できるので、気象予報などのモデルの初期値として利用し、マイクロ波放射計の実利用の実証ができると期待される。今後、衛星データと数値モデルとを同化し、より高次の解析を行うことが増えるとみられる。AMSRの定量的なデータをこれに利用することは、将来の有望な利用分野の1つと考えられる。

3.2.2 標準プロダクト

- (1) 積算水蒸気量 (海上のみ) 全球、精度は $3.5 \text{ kg} / \text{m}^2$
範囲 $0 \sim 70 \text{ kg} / \text{m}^2$ の積算水蒸気量を精度 $3.5 \text{ kg} / \text{m}^2$ で推定したもの。
- (2) 積算雲水量 (海上のみ) 全球、精度は $0.05 \text{ kg} / \text{m}^2$
範囲 $0 \sim$ 約 $1.0 \text{ kg} / \text{m}^2$ の積算雲水量を精度 $0.05 \text{ kg} / \text{m}^2$ で推定したもの。
- (3) 降水量 (海上のみ) 全球、精度は 10%
時間雨量約 20mm までの降水量を精度 10% で推定したもの。
- (4) 海上風速 全球、精度は $1.5 \text{ m} / \text{s}$
範囲 $0 \sim$ 約 $30 \text{ m} / \text{s}$ の海上風速を精度 $1.5 \text{ m} / \text{s}$ で推定したもの。海面マイクロ波放射の異方性を除去したもの。
- (5) 海面水温 全球、精度は 0.5
範囲 $-2 \sim 35$ の海面水温を精度 0.5 で推定したもの。陸から約 50km 以上離れた海域。海面マイクロ波放射の異方性を除去したもの。
- (6) 海水分布 / 海水密接度 極域、誤差は 10% 以内
南北両極域の海水分布域および海水密接度を誤差 10% 以内で推定したもの。
- (7) 積雪深 精度は 20% または 5cm 以内
森林地帯を除いた地域の積雪量の情報を与える。
- (8) 土壌水分量
裸地および草地における土壌水分量の情報。

3.2.3 研究用プロダクト

- (1) 高精度積算水蒸気量
標準プロダクトに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。
- (2) 高精度積算雲水量
標準プロダクトに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。
- (3) 高精度降水量
標準プロダクトに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。

る。陸上の降水および冬期の降雪も対象とする。

(4) 高精度海面水温

標準プロダクツに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。

(5) 高精度海上風速

標準プロダクツに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。

(6) 高精度海水分布

標準プロダクツに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。海水分布以外に、海水の種類、海水上の積雪深などの情報も含まれる。

(7) 高精度積雪深

標準プロダクツに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。

(8) 高精度土壌水分量

標準プロダクツに準じる。場合によって、他の衛星データ、気象モデルの解析値を併用する。凍土地帯の融解情報も含まれる。

3.2.4 アルゴリズム開発

アルゴリズム開発は、(a) AMSRデータのみで行うもの、(b) 他の衛星データを併用するもの、(c) 数値モデルなどの他のデータも併用するものなどによって、開発の難易さが違ってくる。また、コーディング、計算時間、必要となる計算機の大小も違ってくる。したがって、標準プロダクツのアルゴリズムはAMSRの比重(CPU、ディスクなどから換算したもの)が約70%以上あるものから選ぶ。研究用プロダクツのものは約50%以上あるものから選び、50%以下のものは、複合アルゴリズムに分類する。

標準プロダクツのアルゴリズムは、RAで採用されたPIのアルゴリズムの中で、性能比較評価を行い、性能の良いものから選ぶ。PIのレポート提出期限厳守、アルゴリズムのインストール、チューニングにおける協力なども勘案する。研究用プロダクツのものも同様であるが、複数個(2~3)残す。アルゴリズムの性能評価は日本国内外とも同一の基準で行う。衛星打ち上げ後、研究用プロダクツのアルゴリズムが標準プロダクツのものより良いと検証されれば、アルゴリズムの交換、再処理を行う。

3.3 SeaWinds

3.3.1 科学目的

マイクロ波散乱計 SeaWinds は、13.4GHz のマイクロ波を海面に向けて送信し、海面から後方散乱された信号を受信することによって、海上風の風速・風向を観測するセンサである。

SeaWinds は、ADEOS に搭載されるマイクロ波散乱計 NSCAT を継承・発展させたもので、NSCAT と同様に NASA / JPL 提供のセンサである。SeaWinds ミッションの目標は、海上風ベクトルの全球分布を、風速の精度 2 m/s、風向の精度 20°、空間分解能 25 km で、全海域の 90% を少なくとも 2 日に 1 回の頻度で観測することである。

マイクロ波散乱計によって全球規模で繰り返し観測される海上風ベクトルのデータは、地球の気候システムの重要な要素である大気海洋相互作用や海洋表層の風成循環などの研究に対して、従来の船舶などによる観測の少ない外洋域における貴重な観測資料となる。特に、1991年のERS-1/AMI 散乱計より継続する海上風のデータは、ADEOS-1/SeaWinds のミッションによって10年以上の期間に及ぶことになり、エルニーニョなどの全球規模の経年変動の現象の把握・解明にも大いに役立つものと期待できる。また、気象・海象の予報・予測などの準リアルタイムの実利用も ADEOS / NSCAT に継続して計画されている。

環境観測衛星としての ADEOS-1 の枠組みの中で、GLI や AMSR の海面水温・水蒸気量・海色などのデータと組み合わせることにより、海面における熱・水蒸気フラックスなどのより高次の情報を得ることができると期待される。また、NSCAT では不可能であったマイクロ波放射計データを用いた大気補正および Rain Flagging が AMSR との組み合わせによって可能となったことにより、海上風の観測精度が向上するものと考えられる。海面水温や海色情報などを求めるアルゴリズムに SeaWinds の海上風のデータを取り入れることにより、それぞれの観測精度を向上させることができるであろう。

海上風の観測以外にも、近年の研究の進展によりマイクロ波散乱計によって、観測される散乱断面積の情報から、陸上の植生・雪氷や海水分布などの情報も抽出できることがわかってきた。今後、この方面でのデータ利用も促進されるものと期待できる。

3.3.2 標準プロダクト

NASA / JPL が作成する標準プロダクトは、NSCAT と同様の以下の3種類が予定されている。

- ・レベル 2 A : Global Backscatter Cross-Sections
陸域・海域・氷域の散乱断面積データ
入射角・方位角・大気補正用 AMSR 輝度温度データ
- ・レベル 2 B : Ocean Vector Winds
海上風ベクトルデータ (25 km 分解能)
Ambiguity Removal をかける前の4つの解を含む

・レベル3 : Time-Space Averaged Wind Vectors

海上風ベクトルの時間平均格子化データ

平均スケールは緯度 $1^\circ \times$ 経度 $1^\circ \times$ 1日程度

3.3.3 研究用プロダクツ

標準プロダクツのレベル3データよりも長い時間スケール(たとえば月平均)の格子データの作成については、風の変動の時空間スケールに対する衛星観測のサンプリングの問題を考慮する必要があり、またそのプロダクツの利用目的にもよるために、現在のところ標準的な作成手法は確立されていない。この格子データの作成手法については、今後の研究課題であるが、ERS-1、ERS-2、NSCATと継続する散乱計ミッションにおいて、整備されていくものと期待できる。

SeaWindsミッションでは、その手法を継承・発展させて、長期間にわたる継続した海上風ベクトル場のプロダクツを作成する。

NSCATミッションでは、NSCATのみならず、ERS-2/AMI、ERS-2/ALT、SSM/I、TOPEX/POSEIDON ALTなどの測風センサのデータを組み合わせて、より高精度・高頻度の海上風総合プロダクツを作成することを計画している。SeaWindsミッションでは、同様のプロダクツを継続して作成するとともに、各測風センサの推移によるデータ品質の変化をチェックする。

3.3.4 アルゴリズム開発

マイクロ波散乱計によって観測された後方散乱断面積から海上風ベクトルを求めるアルゴリズムは大きく分けて、大気補正および Rain Flagging、Geophysical Model Function、Wind Retrieval、Ambiguity Removal の4つの部分に分けられる。

大気補正および Rain Flagging は、散乱断面積の観測に対する水蒸気・雲・雨滴などによる減衰の効果を補正し、また観測精度が保証できない降雨強度の強い領域を判別するためのものである。マイクロ波放射計を搭載していないADEOS/NSCATでは、OCTSの可視・赤外画像およびDMS P衛星のSSM/Iのデータを用いることになっている。SeaWindsでは、水蒸気量・雲水量・降水量などを反映する情報として、AMSRの輝度温度のデータを用いることが考えられているが、具体的な方法は現在のところ確立されていない。SeaWindsのアルゴリズムの中で、現在最も研究・開発が遅れている部分であるといえる。

Geophysical Model Function は、入射角・風向に相対的な方位角・風速の関数として散乱断面積の値をあらかじめ与えるもので、Wind Retrieval アルゴリズムの中で、観測された散乱断面積から風速・風向を求める際の基礎となるデータベースである。NASA/JPLは、ERS-1/AMI 散乱計のデータと客観解析データを比較することによって、経験的に Model Function を作成する方法を開発した。この方法は、NSCATおよびSeaWindsでも継承される。

散乱計で観測された散乱断面積のデータから風速・風向を求める Wind Retrieval のアルゴリズムは、SEASAT以来多くの研究が行われてきたが、現在では Maximum Likelihood Estimation (MLE) 法が主流となっている。NSCATのデータ処理用にもMLE法を採用したアルゴリズムがすでに開発されており、ERS-1/AMI 散乱計データの処理に適用されて良好な結果が得

られている。SeaWindsでもこれをほぼそのまま適用できる。

Wind Retrieval によって得られる最大4つの風速ベクトルの解の中から最適なものを選択するアルゴリズムがAmbiguity Removalである。NSCATのデータ処理用には、客観解析データに基づいて初期化した風速ベクトル場にメジアンフィルタを用いるアルゴリズムが開発されており、これもERS-1/AMIのデータ処理に適用されて良好な結果が得られている。SeaWindsでもこのアルゴリズムがそのまま適用される見通しである。

以上に述べた一般的なマイクロ波散乱計のアルゴリズム以外に、SeaWindsのみに必要とされるアルゴリズムとして、観測域の内側および外側の領域における風速ベクトルの推定アルゴリズムが上げられる。従来のファンビーム方式の散乱計では、入射角の制限から衛星軌道直下点周辺は観測できなかったが、SeaWindsではコンカルスキャン方式を採用したため、直下点付近でも散乱断面積の観測が可能になった。ただし、直下点付近では観測方位角が制限されるので、観測された散乱断面積のみから風速ベクトルを通常の観測領域と同じ精度で求めることはできない。

しかし、観測された散乱断面積のデータおよび周囲の観測域の風ベクトルデータを用いれば、この‘Nadir Gap’と呼ばれる幅500km程度の領域の風速場を、実用的な精度で推定することは可能であると推測できる。また、通常の観測域の外側で、散乱断面積の観測数が足りない領域に関しても、同様にある程度観測幅を広げることが可能であろう。ただし、この観測幅の拡張の手法については、現在のところほとんど研究は行われていない。

以上、アルゴリズムの開発の現状に関する概要を述べた。SeaWindsはNASA/JPL提供のセンサであり、アルゴリズム開発および標準データ処理はJPLで行われる。ERS-1/AMIの実績およびNSCAT、SeaWindsに向けての準備状況から考えて、SeaWindsの打ち上げ時には観測精度の目標を達成できるアルゴリズムが準備されるものと期待できる。よって、基本的な方針として、独自のアルゴリズムを開発することを任務とはせず、得られたデータを利用した気象学・海洋学の研究に重点を置く。ただし、各研究者がそれぞれの研究対象として、新しいアイデアに基づいてアルゴリズムを開発・改良することは大いに歓迎し、できる限り支援する。

NSCATのアルゴリズムに関しては、今まで日米NSCATサイエンスチームおよびその下にいくつか設けられたサブワーキンググループの活動を通じて、JPLのアルゴリズムの開発・改良に貢献してきた。SeaWindsにおいてもNSCAT同様に、サイエンスチームおよび各種ワーキングサブグループの活動に積極的に参加し、JPLのアルゴリズムの開発・改良に参加・貢献する形を踏襲する。特に、前述のSeaWindsで初めて必要となるアルゴリズム、すなわち、AMSRとの組み合わせによる大気補正、Rain Flaggingおよび観測域の内側・外側への拡張などに関しては、独自に研究を行い、その成果をJPLの標準アルゴリズムに反映させるように努力する。

Sea Winds

項 目	地 域	頻 度	精 度	備 考
大気補正済散乱断面積データ	全 球 (陸・氷域を含む)	パス別	0.5dB	
海上風ベクトルデータ	全 球 (海域)	パス別	風速 2m/s 風向 20°	
海上風ベクトル格子化データ	全 球 (海域)	日	不明 (現段階では推定不能)	

3.4 POLDER

3.4.1 科学目的

POLDER (POLARIZATION AND DIRECTIONALITY OF THE EARTH'S REFLECTANCES) センサは、ADEOS衛星に搭載されたセンサと同じ偏光放射計である。

ADEOS-II搭載センサのうち唯一ADEOSに搭載されたものと同じであるという利点を生かし、ADEOS衛星に続く時系列観測を実施する。これより取得情報の時間変動を探ることができる。

POLDERは、写真(フレーム画像)を撮像するように、フィルターリールを回転しながら、マトリックスCCDに地球からの可視～近赤外波長の反射光を集光させる。撮像角は衛星進行方向で43度、直角方向で51度で、1580X2200画素の画像に対応する。衛星の運行に伴い、フレーム画像が連続して取得されるので、地表の同じ目標が11度づつ方向を変えて観測されることになる。

このフレーム画像の多方向(多観測角度)観測は偏光観測と共にPOLDERセンサ固有の特徴的なデータをもたらす。

瞬時視野角は6度、輝度分解能は12ビットである。可視波長から近赤外域にかけて8つの観測波長帯を持ち、そのうちの3波長帯[0.443、0.670、0.865 μ (マイクロメートル)]で偏光観測を行う。また、0.765 μ では酸素吸収帯解析のために、広域と狭域の2種類の観測帯を設定している。酸素吸収帯を用いて雲頂高度の推定も期待できる。

POLDERセンサ固有の偏光情報、角度情報、スペクトル情報を利用して、大気エアロゾルや雲の光学特性、地表面反射特性の導出が可能である。ただPOLDERはそれ自身の校正システムがないので、ADEOSではOCTSと同じ観測波長帯に設計されていた。また、POLDERセンサは赤外波長域での観測帯を持っていないので、OCTSの赤外データはPOLDERの有効利用のために非常に有用であった。このPOLDER-OCTS複合利用の考えはADEOS-IIにも踏襲される。OCTSより更に豊富なスペクトル情報を有するGLIとPOLDERの相互連携は不可欠である。ADEOS-II/POLDERは、GLIに限らず他のセンサとの複合利用に基づき、大気エアロゾル、雲、地表面反射特性の全球分布図の作成・更新・蓄積を目指す。

3.4.2 標準プロダクツ

1. 1度メッシュの全球分布図の作成

(1) 海洋エアロゾルの光学特性

項目：光学的厚さ、粒径分布、屈折率。

(2) 海上雲

項目：光学的厚さ、粒径分布、雲頂高度

(3) 地表面反射特性

(4) 放射収支

項目：大気上端

3.4.3 研究用プロダクツ

(1) 海上風

項目：風速、風向

(2) 雪氷面反射率

(3) 陸域エアロゾルの光学特性

項目：光学的厚さ、粒径分布、屈折率

(4) 陸域雲

項目：粒径分布、雲頂高度

(5) 海上雲

項目：拡がり、高さ

(6) エアロゾルと雲の相互作用の解明

(7) 海洋色素濃度分布

3.4.4 アルゴリズム開発

ADEOS- に搭載されるPOLDERは、ADEOSに搭載されたものと同じ偏光放射計である。それ故、既にPOLDER用の標準アルゴリズムができています。また、POLDERはそれ自身の校正システムがないので、GLIとの相互校正/検証を実施しなければならない。したがって、アルゴリズム開発もPOLDER単独利用の立場に留まらず、GLIとの相補的相互利用という立場から、既成標準アルゴリズムの改良を図る。次の各項目毎に効率的なアルゴリズムを開発する、

1. 空気（酸素）分子吸収補正
2. 大気（海域、陸域）エアロゾル光学特性の導出
3. 雲の光学特性の導出
4. 地表面反射特性の導出

海上では、大気エアロゾルや雲に関するより精密な推定が可能となるので、併せて海色解析のためのより進んだ大気補正アルゴリズムの開発も可能である。特に、GLIに限らず複合機器との相互連携可能なアルゴリズムの開発と処理システムの作成に留意する。

4 . A D E O S - 科学研究計画

4 . 1 目標

この節では、A D E O S - に搭載されるセンサから得られる観測量に基づいて期待される科学的な目標にふれる。A D E O S - のサイエンスの当面の目標は、搭載される各種センサを総合的に利用し、地球環境変動の解明に資することであるが、このような最終的な成果は、個々のセンサに基づくサイエンスなくしては、存在し得えないものである。故に、個々の科学的目標の中には、前記の各センサの科学目的と重複することもでてくる。

A D E O S - は、地球環境に関する衛星なので、関連する科学としては、大気科学、海洋科学、水文学、雪氷学、植生などである。要するに、地球の表層における水に関連した科学と言える。中でも、従来、測定が困難であった雲・水蒸気・土壌水分量・積雪・雪氷・植物・海洋中の有機物などに関する新たな知見が得られることが重要である。

次に、最も重要なことは、それらの知見を総合化してゆく視点の確立である。これには数値モデルとの結合、地上検証データとの結合が不可欠であり、我々の持っている全ての情報・知識を総動員した体系化・手法の開発が望まれる。言い換えればA D E O S - のサイエンスとしては、この総合化の手法の確立に基づく、地球環境での気候システムの変動メカニズムの解明こそが最終目標ということができる。

4.2 大気科学

4.2.1 ADEOS - による大気科学

ADEOS - は、地球温暖化と成層圏オゾンの減少を主要観測対象として掲げたADEOS ミッションの継承機である。ADEOS はミッション途中で観測を停止したが、大気科学研究にとっての基本方針は、観測対象を引き継いで長期モニタリングの達成を図る、ということになる。

ADEOS 観測においては、地球温暖化の研究対象として炭素循環およびエネルギー循環が取り上げられている。このうちエネルギー循環研究のための観測パラメータとしては、雲、エアロゾル、大気海洋間フラックス、地表面（雪氷面）アルベトが設定されている。ADEOS - においても、これらのパラメータの分布や変動特性の研究を継続していくことが重要である。このような長期モニタリング・ミッションは、我が国の地球観測衛星のGCOSへの寄与としても位置づけられる。

これに加えて、さらにADEOS - によって可能となる科学研究目標を新たに追求することが必要となる。ADEOS - においてはマイクロ波観測が可能となり、これを利用した大気科学関連の研究課題として地球規模の水循環を研究することができる。全地球規模の水およびエネルギーの循環は、とりもなおさず全地球的気候変動のことである。「水惑星」とも呼ばれる我々の地球環境は、海洋や陸水・土壌水分量ならびに雲水としての液相の水、雪氷や海氷ならびに氷晶雲粒としての固相の水、そして大気中の水蒸気としての気相の水の存在によって大きく支配されている。この三相の相変化を伴う気圏・水圏・地圏における水の移動は、それに伴う顕熱・潜熱の作用、大気・海洋とのエネルギー交換、ならびにその存在自身による放射特性によって、短時間の気象変動から長期の気候変動にいたる大気の変動をもたらしているのみならず、生態系への影響、さらには地形への影響をももたらす重要な現象である。GLIとAMSR（海上）を利用した雲と水蒸気量（雲水量と可降水量）の変動観測は重要な研究対象となる。又、SeaWindsを用いた海面ストレスの観測は、海面フラックスの推定精度を飛躍的に向上させることになる。

我が国におけるADEOS - 科学研究計画にあっても、このような認識のもとに、関連国際プロジェクトであるGEWEXやCLIVARなどと連携を取りつつ、海洋上の風および水蒸気の3次元分布、全地球規模の雲および降水の気候値と変動などの全球的な解析を推進していく必要がある。又、近年ますます重要性を指摘されているエアロゾルの観測も、ADEOS - の重要な研究テーマである。これらの量については、アルゴリズム開発を含めた総合的な発展が望まれる。

極域成層圏の大気化学に対してもADEOS - は、大いに寄与することが期待される。ILAS - によるオゾンを含む大気微量成分の観測は、自然の実験室ともいべき極域成層圏における大気化学の種々の様相を明らかにしてくれることであろう。

4.2.2 雲をめぐる水循環の解明

気候モデルにおいて、依然として定量的なスキームの組み込みが難航しているのが雲である。ADEOS - では、衛星全体として水・エネルギー循環の解明を目標に上げており、とりわけ、そこに搭載されているGLI、AMSRは、雲を対象にした水循環を解明するのに適したセンサといえる。

雲の気候システムに及ぼす影響については、最近、2つの新しい課題が提案された。その1つが、ラマナッサン達によって提案された“サーモスタット理論”である。この趣旨は、地球の歴史を通して熱帯海洋の最高水温はほとんど変化しなかったことを例に挙げて、海面水温が上昇すると、積乱雲の雲頂高度が高くなり、雲頂から外に伸びるアンビル(かなとこ雲)の氷の粒径が小さくなり、太陽放射をより反射して海面水温を冷やすように働く、というメカニズムが存在すると主張するのである。海面水温が一定であったか否か、また、このようなサーモスタット効果で海面水温が一様に保たれているかは疑問であるが、少なくとも、雲の粒径分布が放射特性に重要な働きをする、という問題を再提起した点では意義がある。幸いにして、GLIには、雲の粒径分布などを推定できるチャンネルが積み込まれている。雲の粒径分布に関する全球分布などがわかれば、気候システムの理解に多いに寄与することとなる。

もう1つのホットな話題は、雲の太陽放射の吸収に関する話題である。従来の理論に比べて、実際の雲は、もっと多くの太陽放射を吸収しているらしい、という課題である。このような結果は、衛星を用いたり、飛行機を用いたりした観測から同じような結果が報告されている。この結果が正しいか否かは最終的に確立された訳ではない。もしこれが正しいのなら、現在、モデルで用いられている放射コードを書き換える必要が出てくる。また、その大気大循環に与える影響も無視できない。急いで決着をつけるべき問題である。このような問題についても、ADEOS- は多いに貢献できると思われる。

全球に及ぶ水・エネルギー循環で重要な物理量は、水蒸気輸送量と降水量である。しかしながら、水蒸気量や降水量などの空間変動は水平スケールも小さく、既存のデータだけでは解析することが困難である。そこで、マイクロ波のデータを用いたこれらの物理量の解析手法を開発してゆく必要がある。とりわけ、降水量はTRMMでの主要課題であり、そこで開発されたTMIによる降水分布の推定に関する成果は、AMSRに引き継がれてゆくものと考えられる。その結果、全球に関する降水量観測は、TRMMに引き続いて更にADEOS- に継続されることになる。この点でも、TMIとAMSRとの協力は不可欠である。

4.2.3 エアロゾルの気候への影響の解明

従来、エアロゾルは大気中の物質として、雲物理の凝結核や物質循環の担い手としての役割に興味を持たれてきた。しかしながら、最近ではその放射過程に対する影響が興味を集めている。

その理由の1つは、全世界の数値予報モデルで用いられている海洋表面に入射する太陽放射を観測と比べてみると、どうも、少し多すぎる傾向にある、という報告がなされたことである。これも、現実にエアロゾルがどの程度大気中に存在するかの観測がほとんど存在していないので、なかなか検証できないのが実状である。

もう1つの理由は、地球温暖化に関するシミュレーションで、経済活動の発展に伴い増加するエアロゾルを考慮したら現実のデータと良く合致するという最近の実験結果(Intergovernmental Panel on Climate Changeの第2次報告書参照; IPCC: 気候変動に関する政府間パネル)である。地球温暖化に関するエアロゾルの効果は、エアロゾルの増加によって太陽放射を反射するのみならず、放出されたエアロゾルが種となって下層雲が増加し、太陽放射を反射し温暖化を抑制するという効果があるといわれている。しかし、エアロゾルに関しては“スス効果”という側面もあり、できる雲が黒かったら、かえって太陽放射を吸収して温暖化を加速することになる。

この点で、ADEOS - は、ADEOSに引き続いてエアロゾルを観測し得るセンサを搭載している。エアロゾルの全球分布およびその季節変動などのデータセットが提供できるならば、地球温暖化問題に関して大いに貢献できることとなる。

4.2.4 極域の大気科学への貢献

成層圏オゾン層の減少の問題は、とりわけ極域で顕著である。この傾向に対する世界的な警戒心の高まりとともに、1985年にはオゾン層保護のためのウィーン条約が、また1987年にはモントリオール議定書が締結されるなど、国際的な協力の枠組みが整備されてきた。観測分野においても、オゾン層の状態等について人工衛星による観測を含む組織的観測を推進することが締結国に求められている。ADEOS - には、ADEOSのILASに引き続きILAS - が搭載される。ILAS - の科学目標は、ILASと同様にオゾン層変動の監視、及びオゾン層化学・物理過程の解明であり、宇宙からのオゾン層に関する組織的観測として、多大の寄与をなすことができる。また、このセンサでは、オゾンだけではなく、窒素酸化物やCFC等、その他の大気微量成分も観測される。これらのデータは、とりわけオゾンホールなどに見られる極域での大気化学反応プロセスの定量的把握にとって重要な情報を与える。近年注目されている極成層圏雲(PSC)の役割とあわせて、将来に及ぶオゾンホールの予測・検出などを推進することは、極域での大気科学の発展に大いに寄与するものとなる。

4.3 海洋科学

4.3.1 ADEOS - による海洋科学

ADEOS - は、ADEOSの後継機ではあるが、単なる後継機というよりもその基本的な科学目的をより明確にした後継機と解釈できる。その基本的な科学目標は、(1)水・エネルギー循環、および(2)炭素循環に重要な役割を果たすクロロフィル・植生分布の解明である。このどちらの問題においても海洋が非常に重要な役割を果たしていることは明白であり、水・エネルギー・炭素などの循環における海洋の役割を明らかにすることが、ADEOS - の最大の使命と考えられる。どちらの研究課題もWCRP / GEWEX & CLIVAR、IGBP (JGOF S、LOICZ)、GOOSなどの国際研究計画に対応した重要な研究課題である。水・エネルギー循環に対しては、海面での運動量フラックスや熱フラックスに関連する、海洋気象・海洋物理の分野の研究が、また、炭素循環に関しては、海色生物の研究が中心となるであろう。この両者が、ADEOS - による海洋科学における2本の柱として位置づけることができる。

多発する異常気象現象は、気候変動問題に対する社会的な関心の増大を引き起こしている。このような気候変動問題を解決するためには、気候システムの理解が必要であることはいうまでもない。地球規模での気候システムにおいて、海洋が、非常に重要な役割を果たしているという認識は、近年、急速に高まっている。気候システムの基本は、水とエネルギーの循環過程であると考えられるが、その循環過程における海洋の役割は、2種類に大別される。1つは、海洋とその外部、主に大気との水・エネルギーの交換であり、もう1つは、海洋内部での水・エネルギーの移動である。この両者の過程における海洋の役割を明らかにすることは、地球全体の気候システムの理解には必要不可欠であり、それは、人工衛星データの利用によって初めて可能になるものであると考えられる。

近年地球環境問題の重要なテーマの1つとして、大気中の炭酸ガス増加による地球の温暖化が上げられており、そのために地球規模の炭素循環過程の解明が急がれている。海洋は炭素化合物の生物地球化学的循環量の約半分を担っている。そこで、地球規模の炭素循環過程における海洋の役割を解明することは、強く推進されるべきであると考えられる。一方、人類の食糧生産の場としての海洋も、その見方に転機がきている。主要水産資源はほぼ開発され尽くされた現在、海洋生産力のより有効な持続的利用を計る必要が出てきている。海洋基礎生産力をベースとした食物連鎖系物質循環の研究は、炭素化合物系循環過程の研究と協調しながら進んでいく性格を持っている。植物プランクトン現存量を基にした海洋基礎生産力研究を地球規模で進めることは、環境面からも食糧面からも人類にとって欠かせないものである。

4.3.2 海洋気象・海洋物理

4.3.2.1 人工衛星データを用いた海面フラックスの推定

水・エネルギーの循環を考える際に、最初に問題となるのは、海面での大気 - 海洋間におけるフラックスである。これは、海洋、あるいは大気のどちらに対しても循環の境界条件を設定するものであり、大気 - 海洋間の相互作用を理解するためには必要不可欠な量である。海洋から大気への熱フラックスは、大気大循環の駆動力であり、その値が地球規模で正確にわかれば天気予報の予測精

度は上がるとともに、時間的な予測可能範囲が飛躍的に向上すると予想される。一方、人工衛星から海中を観測することは原理的に不可能であり、観測されるのは、基本的に海面での情報のみであることを考慮すると、海面フラックスの正確な推定こそが、A D E O S - にとって重要な課題であることがわかる。海面フラックスとしては、A D E O S - に搭載された単独のセンサから直接推定できる1次物理量、複数センサを複合利用することによって推定できる2次物理量の2種類があると考えられる。

(1) 1次物理量算出アルゴリズムの開発

海面フラックスの中で1次物理量として考えられるものとしては、海面風速・風向・放射が上げられる。1次物理量のうち、海面風速・風向についての詳しい説明は、Sea Windsの部分で、放射についての詳しい説明はG L Iの部分でされているので、ここでは割愛する。運動量フラックスは、海洋の駆動力として重要な要素であるが、これについては、1次物理量から容易に算出可能であると思われる。1次物理量として最も期待されるのは、A M S Rによって海面水温が雲の有無にかかわらず測定できることである。従来のような熱赤外放射計による海面水温観測においては、雲域の下の海面水温が測定不可能であり、これが海洋研究の発展に対して非常に大きな問題点であった。そこで、A M S Rによる時空間的に欠測のない海面水温観測は、乱流熱フラックスの計算において、従来、存在したと思われる系統誤差に対する大幅な改善をもたらすと期待される。

さらに、海面水温が他のデータと同時に観測される点も乱流熱フラックスの精度の高い評価につながると予想される。これらの点は、A D E O S - によって初めて可能となる特筆すべき点と考えられる。

(2) 2次物理量算出アルゴリズムの開発

2次物理量としての海面フラックスであるが、必ずしもすべてが、1次物理量を単純に複合化すれば算出できる訳ではない。また、一般的にバルク公式を用いて海面フラックスが算出されることに注意する必要がある。たとえば、潜熱フラックスの推定には、海面水温に対する飽和比湿・海面比湿・風速などを必要とするが、海面比湿は1次物理量ではないので、経験式を用いて可降水量から計算される。そこで、このようなバルク公式に必要な物理量の推定方法についての開発も行う必要がある。

A D E O S - に搭載予定のセンサを利用して、推定することが期待される海面フラックスとして、乱流熱フラックス(顕熱・潜熱フラックス)・運動量フラックス・淡水フラックス・放射フラックス・二酸化炭素フラックスが上げられる。この中の多くのフラックスデータは、A D E O S を利用して得ることが期待されていたが、A D E O S の観測は1年足らずで終わっているため、フラックスデータの本格的取得については、A D E O S - により初めて可能となると考えられる。

(3) 数値モデルとの結合・同化技術の開発

A D E O S - にとっての基本的な目標である、広範囲における大気-海洋間での各種フラックスを精度よく推定するためには、ただ単に、アルゴリズムの向上のみでは限界がある。そこで、大気大循環モデルのような数値モデルとの結合、あるいは同化が、どうしても必要になる。そこで、そのような技術の開発は、重要な研究課題である。既に各気象機関では、人工衛星データの大気循環モデルへの同化を実施、あるいは検討することを開始しており、その結果は非常に有望である。

同化手法自体の技術的な進歩とも有機的に結びつき、今後、この分野は飛躍的に発展することが予想される。

(4) 現場観測、あるいは数値モデルを用いての結果の評価

推定された海面フラックスの値は、ブイの船舶などによって得られた現場観測データを利用して、評価される必要がある。しかしながら、これだけでは、非常に限られた場所でしか推定したフラックスの評価ができない。そこで、推定したフラックスを実際に入力した海洋、あるいは大気大循環モデルの結果を利用して、フラックスの評価を行う必要がある。

4.3.2.2 海洋の循環機構の解明

次に各種フラックスを利用することによって、どのような科学目的が考えられ、また、どのような成果が期待されるであろうか？ 最も重要な科学目的は、最初にも述べたように各種フラックスを用いて、水・エネルギー・物質循環における海洋の役割を明らかにすることである。海面での各種フラックス量が正確に把握できれば、静的な意味での海洋の役割は理解できたと考えられるが、これだけでは水・エネルギー・物質循環における海洋の役割が本質的に明らかにされたとはいえない。そのような海面フラックス量、あるいは分布となる原因に海洋が関与する部分、すなわち海洋の循環機構についても理解する必要がある。その多くの研究は、衛星データから得られた海面フラックスを海洋大循環モデルに入力したり、あるいは、同化したりして、それぞれの現象の理解・把握・予測、あるいはモニタリングを行うものである。そこで、数値モデルの開発が、これらの研究にとって本質的に不可欠であることを強調しておく。

(1) 海洋熱輸送量の推定

海洋の熱輸送量に関しては、今まで多くの研究が行われてきているが、そのほとんどの研究は、海洋観測データを用いた研究である。しかしながら、観測データの時空間密度の低さから、研究の対象は非常に粗い平均的なスケールに対してであったが、それでも、誤差は非常に大きく、得られた結果はかなり異なっている。そこで、衛星データから得られた海面フラックスを用いて、海洋の循環が正確に把握できれば、海洋による熱輸送量に関する精度も大幅に向上すると予想される。

(2) 熱帯域における海洋循環の把握

熱帯域には、大量の熱エネルギーが蓄えられていて、エルニーニョに代表されるような熱帯海洋における変動が、地球規模での気候変動に大きな影響を与えることは、よく知られている。そこで、この海域での海洋の循環を把握することは、熱帯域にとどまらず、地球規模での気候システムにとっても重要である。また、インドネシアンスルーフローの問題も、海洋循環による熱の移動の観点から、非常に重要であり、注目される課題である。

(3) 黒潮などの西岸境界流を含む亜熱帯循環系の変動

黒潮は、亜熱帯循環系を形成する西岸境界流の1種として位置づけられるが、日本の気候や水産業に非常に大きな影響を与えていることは、いうまでもない。そこで、黒潮を含む亜熱帯循環系の

変動を、衛星データを用いることによって理解・把握することは、社会的にも大きな意味を持つことであろう。また、データ同化システムを開発することによって、黒潮の変動を予測することも可能になるであろう。海洋大循環モデルに対するデータ同化は、TOPEX/POSEIDONによる精度の高い海面高度観測を契機に、近年、飛躍的に発展した。さらに、TOPEX/POSEIDONに引き続き打ち上げられるJason-1によって、高精度の海面高度観測が継続的に実施されることは、ADEOS-2の観測データにも大きな影響を与えることであろう。

(4) 水塊の形成・移動過程の解明

海洋には、特徴的な性質をもつ重要な水塊に対しては、北太平洋中層水、あるいは亜熱帯モード水などのように名前が付けられている。このような水については、その存在自体は明らかにされているものの、その形成・移動・変質過程について十分に理解されているとはいえないのが現状である。このような水塊の形成には、海面での大気との相互作用が本質的に重要であることは、容易に予想される。そこで、衛星によって推定された海面フラックスは、海洋表層での水塊形成の重要な情報となるとともに、そのメカニズムの解明に対しても、非常に重要な役割を果たすだろう。

(5) 海洋の汚染物質、あるいは漂流物に関する研究

タンカーの事故などによる石油の流出、あるいは海洋に不法に投棄された汚染物質の拡散などといった問題は、社会的な関心も高く、人類にとって重要な問題である。これらは、どれも海洋循環と直接に結びついた課題であり、海面フラックスの情報が必要不可欠な問題でもある。そこで、人工衛星データと海洋循環モデルを利用して、このような問題の解決を図ることは、急務であると考えられる。

(6) 漁海況予報技術の開発

海洋の循環が、水産業に大きな影響を与えることは、よく知られている。そこで、海面でのフラックスからの情報、あるいはそのフラックスを入力・同化した海洋循環モデルからの情報などを統合して、漁海況予報が正確に行われるようになることは、重要な課題であると考えられる。また、この課題は、次の海洋生物の研究とも密接な関連がある。

4.3.3 海洋生物

4.3.3.1 人工衛星データを用いた海洋生物現存量と生産速度の推定

炭素をはじめとする物質は、海水中の植物プランクトンによる光合成で、無機物から有機物に変化する。これが基礎生産と呼ばれ、海洋中での物質循環および水産資源を支える食物連鎖の両方の面で、もっとも重要な過程である。この海水中での植物プランクトンによる光合成量は、全地球上での光合成量の30%以上を占めているといわれている。ADEOSのOCTSやPOLDER, その後のSeaWiFSプロジェクトにおいて、外洋海面付近の植物プランクトンの指標であるクロロフィルa濃度マップを作成する技術は、ほぼ完成されたと言える。またクロロフィルa分布の季節変動もおおむね把握されつつある。GLIにはOCTSやSeaWiFSの後継機として、継続的にクロロフィルa濃度マップを作成し10年スケールの変動を捉える役割がある。また外洋域

でのクロロフィル a 観測の継続以外に、沿岸域での色素や陸域起源の物質、クロロフィル a 以外の植物プランクトン色素の把握、そして基礎生産や輸出生産、大気海洋間のCO₂フラックスの推定などが期待される。

(1) 外洋域のクロロフィル a 濃度分布

OCTSにおいて、地球規模で外洋域表面付近のクロロフィル a 濃度は実測値のファクター 2 程度の精度で測定できることが明らかとなった。また、ADEOS の故障後もアメリカのSeaWiFSによって、同様のクロロフィル a 濃度が測定されている。ADEOS - では、これらのOCTS, POLDER, SeaWiFSのデータを継続する形で、10年近い地球規模での外洋域のクロロフィル a 分布の変動が明らかになる。これらの異なったセンサー同士のデータを比較するためには、GLIではそれ自体のクロロフィル a 濃度の推定精度をファクター1.5程度に改善する予定であり、さらにクロロフィル濃度推定のもととなっている規格上向き放射輝度の精度の明確化が必要である。

(2) 沿岸域のクロロフィル a 濃度と有色溶存有機物・懸濁物質濃度推定

OCTSにおいては、植物プランクトンが主にその光学特性を決定している(ケースIの水と呼ばれる)外洋域のクロロフィル a 濃度の測定について、その技術がほぼ確立された。しかし、沿岸域では有色溶存有機物や懸濁物質など植物プランクトン以外の物質がその光学特性に影響している(ケースIIの水と呼ばれる)可能性が高く、そういった海域でのクロロフィル a 濃度の推定に関しては、まだ問題が残っていた。ADEOS - に搭載されるGLIでは、その波長の数の多さを利用して、有色溶存有機物や懸濁物質など植物プランクトン色素以外の物質を推定し、またこれらが混在する海域でのクロロフィル a 濃度についても正確に測定することが期待されている。

(3) クロロフィル a 以外の植物プランクトン色素の推定

クロロフィル a を持つ植物プランクトンは、海域によってその分類群の組成が異なっており、これらの分類群はクロロフィル a 以外に持つ補助色素が異なっている。特にGLIは、クロロフィル a 以外の重要な植物プランクトン色素のためのバンドを持っている。そのために、GLIでは大きく分類群組成の異なる水塊を区別することができる可能性がある。これらの分類群は物質循環や食物連鎖においても、異なった役割を果たしていると考えられるため、分類群が区別できると大きな進歩となる。

(4) 基礎生産力の推定

海色センサーのひとつの目的は、広域の基礎生産力のモニタリングである。OCTSやSeaWiFSにおいては、まだ世界的に合意された基礎生産力アルゴリズムを作成するにはいたっていない。GLIでは、海面水温、海面クロロフィル a 量、海面到達光を基本要素とする基礎生産力アルゴリズムを完成させることによって、基礎生産力の時空間分布を連続的に表示できるようになることが期待されている。

(5) 輸出生産・CO₂フラックスの推定

海洋基礎生産で無機の炭素から有機物に変化した炭素のうち、表層から中深層に移動していく部

分を輸出生産という。輸出生産は、炭素を大気と接している表層から、直接大気と触れていない中深層に輸送する速度のため、炭素の循環にとって重要な過程である。OCT Sではこの輸出生産を求める手法が研究されており、ADEOS - においても引き続きこの種の研究が重要である。また、海洋表層の生物活動によって変化する分子状のCO₂の濃度を求め、SeaWINDSの海上風のデータなどもあわせて、大気と海洋間のCO₂のフラックスを求める研究も期待される。

4.3.3.2 海洋の物質循環機構と食物連鎖機構の解明

(1) 大洋・地球規模での物質循環とその変動の把握

ADEOSにおいては、基礎生産を行う植物プランクトンの指標であるクロロフィルaの外洋での濃度がかなりの精度で測定できるようになった。ADEOS - においては、ADEOSやその後にあげられたアメリカのSeaWiFSを含め、10年近くにもわたる海洋表層のクロロフィルaの地球規模での時系列が取得される。特に、ADEOSでも有効性がしめされたように海上風との組み合わせによって、その変動が明らかにされることが期待される。さらにクロロフィルa濃度をもとに、基礎生産、新生産などの推定もある程度可能になりつつあり、物質の輸送速度の変動まで観測可能になりつつある。また物質循環で異なった役割を持っている分類群を分離することができるようになれば、物質循環と生態系の構造の関係にまでその視野を広げられることが期待される。

(2) 大陸棚域で物質循環の把握

ADEOSでは、植物プランクトンが主に光学特性を決めている外洋域のクロロフィルaの測定が可能になったが、懸濁物質や有色溶存有機物などの植物プランクトン以外の物質がその光学特性に重要な沿岸域での利用はまだ限られていた。ADEOS - においては、これらの海域でのクロロフィルaの定量が可能になることによって、物質循環や水産資源の生産に重要な役割を果たしていることが考えられる大陸棚域での生物生産の把握が可能になってくるはずである。さらに懸濁物質や有色溶存有機物などの多くは、陸起源物質であり、これらもまた物質循環に重要な役割を果たしているため、これらの変動を把握できるようになれば、大陸棚での物質循環および食物連鎖の機構を明らかにすることが可能になる。

(3) 赤潮・有毒藻類ブルームのモニタリング

現在、東南アジア域を中心に、赤潮や有毒藻類のブルーム現象と、その漁業などへの影響が深刻な問題となっている。ADEOS - では、沿岸域での植物プランクトン色素や陸起源物質の分布や変動を明らかにすることによって、赤潮や有毒藻類ブルームのモニタリングが可能になる。特に東南アジア域では、人為的な沿岸の利用によってその環境が大きく変化しつつあり、それをモニタリングすることが大きく期待されている。

(4) 高次生産の変動と持続的な海洋生物資源利用に関する研究

植物プランクトンが生産した有機物は、人間が利用する魚類などの海洋生物資源を支えている。現在、海洋生物資源は乱獲や環境の破壊などによって、その持続的利用が危ぶまれている。海洋生物資源の資源量推定には、これまで経験的な情報に頼っていたが、最近海洋環境などと資源量変動の関係が徐々にあきらかになりつつある。植物プランクトンが生産した有機物のどれだけが、どう

言った経路でどの海洋生物資源に供給され、それを今後最適に維持していくためにどうしたらいいのか研究を急ぐ必要がある。A D E O S - の情報はこのためには必要不可欠の情報である。

(5) 海洋生物資源の効率的な利用システムの開発

海洋生物資源の利用のためには、効率よいシステムが必要とされる。A D E O S のデータで実証されつつあるような漁場情報の抽出をさらに進めることによって、A D E O S - では効率的に海洋生物資源を利用するシステムの開発が期待されている。

(6) 海洋の物質循環・生態系の数値モデルとの統合・同化技術の開発

現在、大洋・地球規模から沿岸規模まで多くの海域で、その物質循環や食物連鎖のモデル化が進められている。これらの数値モデルは近い将来、重要な項目を予測する手段と利用されることが望まれている。A D E O S - のデータは、これらの数値モデルへの入力や検証のための情報、さらにデータ同化のための情報として利用されることが期待される。

4.4 水文学

4.4.1 ADEOS - による水文学の展開

地球規模の熱・水循環の理解とモデル化は、気候変動予測とその影響評価において重要な課題である。特に大気-陸面相互作用に基づく地表面での地球規模の熱・水フラックスが、気候システムの中で果たす役割を定量的に把握することは、地球規模の気候変動予測精度の向上において不可欠である。ただし、地表面でのフラックスを地球規模で直接計測することは困難であり、また広域データを用いた推定においても、降水量や陸面貯留量（土壌水分量、積雪量）の広域情報の収集が困難なことから、手がつけられていなかった。

ADEOS - は、降水、植生、地温、アルベド、放射収支、土壌水分量、積雪量などの陸域1次水文学の推定に有効な可視、近赤外、熱赤外、マイクロ波領域の、時間およびスペクトルにおける高分解能データを提供するグローバル観測衛星である。とりわけ土壌水分量と積雪量に関しては、AMSRの搭載により全球スケールの定量観測が初めて試みられ、GLIデータを組み合わせた推定精度の向上が期待されている。また、GLIの250mチャンネルは、植生、地温、アルベドの全球詳細データを初めて提供し、人間活動が水循環に与える影響や、気候変動が人間活動に与える影響評価の研究において有効な情報をもたらす。さらに、ADEOS - に先立って打ち上げられたTRMMの成果を組み合わせることで、AMSRとGLIデータの複合利用による陸域降水量推定精度の向上も水文学分野にとって、重要な課題となる。

これらの1次水文学を用いて、顕熱、潜熱フラックスや河川流出量を地球規模で推定するには、赤道～極域、沿岸～内陸、低地～高山にわたり、極めて多様な地表面での水文プロセスの理解と全球解析を前提とした陸面-大気間の熱・水輸送モデルや流出モデルの開発が必要となる。これらの研究はWCRP/GEWEXとして国際的に取り組まれており、我が国も水文学、気象学の研究者が協力して、アジアモンスーンの変動の理解と予測を目的としてユーラシア大陸での熱・水循環に関する国際共同研究GAMEを推進し、1998年に実施された集中観測を通してこれまでにない包括的かつ広域をカバーする観測データが衛星データと同期して取得され、現在、解析研究が精力的に進められている。国際科学プロジェクトと衛星観測計画の密接な協力関係に基づくエネルギー水循環観測研究の成功の経験を踏まえ、ADEOS-IIデータの有効利用を考える上でも、また有効なアルゴリズム開発とその検証のためにも、これらの国際プロジェクトとの連携がますます重要であることが認識されるに至った。

4.2.2 1次水文学の推定

(1) 土壌水分量

陸域-大気の相互作用が水循環を通して気候変動に与える影響は大きく、季節～年々の水資源管理や気候変化に伴う水資源の長期変動予測のためには、空間的にも時間的にも変動が大きな陸面での水文状態をグローバルに観測するシステムの確立が不可欠である。中でも土壌水分は、蒸発散抑制を通して、赤外放射、顕熱、潜熱、地中熱の各フラックスへの吸収放射エネルギーの配分をコントロールすることにより、気候の形成と変動に深く関与していることが、気候モデルを用いたシミュレーションにより指摘されている。土壌水分量は、短期的には蒸発効率を制御しボーエン比を変

化させることにより、大気への熱・水輸送をコントロールしており、中長期的には気候のメモリとして機能している。地上での放射収支、顕熱・潜熱フラックス、土壌水分量、積雪、流出量を算定するため、大気の下向き放射、降水量、気温、風速のデータを与えるメモリとして機能している。ビットはF I F Eで得られた地表面データからE C M W Fの地表面 - 境界層スキームを改良した。この研究は、1993年ミシシッピ川大洪水期の降水予測精度向上の研究に発展し、長期気象予測精度向上における土壌水分量のグローバルマッピングの重要性が世界中に認識され、Global Soil Wetness Project (GSWP)を開始するきっかけとなった。また、ユーラシア大陸および北米大陸の高緯度帯とチベット高原に広がる永久凍土層の季節的融解は、土壌水分量の供給とともに、活動層厚の変化による圃場容水量（降雨後、重力によって排水された後に土壌中に残る水分量）の季節的变化を生み出す。さらに、凍結前の夏～秋の活動層厚や土壌水分量が翌年春～夏の融解期にまで保存されるという点において、凍土は前年の気象条件を記憶する機能により、積雪と同様に、あるいはそれ以上に大気循環に大きく影響していると推定されている。

土壌水分観測には、測器を地球上に均一に展開することが理想であるが、現実には既設観測地点の密度は極めて低い。例えば土壌水分の定常観測は、ロシア、中国、モンゴル、米国の一部で実施されているだけである。近年、マイクロ波計測技術の発達に伴い、全天候下での、陸面水文学の観測の可能性が示唆されるようになってきた。マイクロ波リモートセンシングは、液体水分が高いマイクロ波誘電率を有するため、誘電率の直接測定により水の定量観測が可能であること、また、マイクロ波放射伝達の消散・射出効果の周波数・偏波依存性をアルゴリズムに取り入れることが可能であるという利点を有する。植生の影響を考慮した土壌水分を対象としたマイクロ波放射計のためのアルゴリズム開発研究は、地上マイクロ波放射計や航空機搭載マイクロ波放射計による実験的研究をもとに始められた。また、SMMR や SSM/I を利用した衛星利用研究も進められている。これらの研究は、

植生効果を考慮した統計的な土壌水分算定手法

植生インデックスによる植生量の推定

土壌水分 / 植生 / 地表面温度の同時推定

に分類される。この手法は、可視-近赤外データから得られる植生指数や土地利用区分から推定される植生効果を導入して、統計的手法により植生効果を取り除いた土壌水分量を算定するものである。

は植生による散乱効果が偏波特性に与える影響を導入して、植生バイオマスを算定しようというものである。はそれぞれの水文学量に対応するパラメータを、多周波・多偏波観測データから得られる連立の放射伝達方程式を直接解くことによって求める手法で、物理的根拠に基づいた一般化された手法であると考えられる。E. Njoke は、に基づき問題を3元連立方程式で定式化し、その数値解法を提案しており、小池は数値解法では解の不安定性に加え、解の収束状況が物理的に把握しにくいという欠点を踏まえ、の手法を援用し、3つの未知数の中で地表面物理温度の効果を取り除き、かつ土壌水分と植生含水量に感度を有する、独立した2つの指標を導入することにより、2元連立方程式に変換して、数値的に土壌水分と植生含水量を求め、さらにその結果を放射伝達方程式に代入して、地表面物理温度を算定するアルゴリズムを提案している。

(2) 積雪量

大陸の季節的な加熱状況が気候の季節変動や年々変動に与える影響は、特に積雪の多寡で変動する観点から調べられ、ユーラシア大陸の冬の積雪面積と次の夏のインドモンスーン降水量の間に逆

相関があることがハーンとシュクラにより示された。冬から春の積雪の偏差がこの効果によって夏のアジアモンスーンと大気循環に大きく影響することは、観測からはまだ検証されていないが、バーネットらや安成らの大気大循環モデル(GCM)による研究で確認されている。そのメカニズムとして注目すべきことは、雪面のアルベド効果だけでなく、融雪による土壌水分量の増加が夏の地表面熱収支に与える影響である。

積雪量推定には既に数多くのアルゴリズムが出されている。ただし、いずれも基本的には、乾き雪を対象としたもので、地表面からの放射が積雪層中を伝播していくときの消散のみを評価したもので、あるいはさらに散乱による射出効果を加えて評価したものであり、19GHzと37GHzの2周波を用いたものが主である。ここでは、粒径情報が加わればよい精度で積雪水量を推定することができ、粒径情報の取得を組み込んだアルゴリズム開発が鍵となる。ツァンは積雪モデルとマイクロ波放射伝達モデルを組み合わせ、ニューラルネットワークにより粒径の変化を考慮した積雪量算定モデルを開発している。また、植生が積雪量算定に与える影響も重要で、チャンは植生区分に応じた統計的な植生影響モデルを積雪量算定アルゴリズムの中に導入している。小池はNDVIで評価される植生層での消散効果をマイクロ波放射伝達方程式に導入し、19GHzと37GHzの2周波を用いて積雪水量と雪温を同時推定する手法を提案している。積雪深や粒径が大きな場合や、植生層による消散が大きな場合は、消散効果により高周波側の情報が失われる。したがって、多雪地域や霜ザラメ層の発達する領域、あるいは森林帯での積雪観測には、AMSRで初めて実現される低周波観測データの利用アルゴリズム開発も重要となる。

(3) 植生、地温、アルベド

これらの地表面情報については、すでに多くのアルゴリズムが提案され、またNOAA/AVHRRデータを基にしたグローバルプロダクトも提供されている。ただし、GLIは先にも述べたように、高スペクトル分解能で、しかもLANDSAT/TMと同様のバンドを有する250mチャンネルを有している。したがって、従来と比較してより定量的な、高精度のグローバルプロダクト構築が可能となる。

そこで問題となるのが、多様な地表面に対する可視～赤外の分光反射率や放射率の観測データの欠如である。これまで、地表面分類などの定性的な値との同時観測データは取得されているものの、地表面アルベドや光合成有効放射吸収量(APAR)、地表面物理温度などの物理量を、大気の透過率やパサラディアンズあるいは太陽光の直散分離比などの大気パラメータと同時に観測した事例は乏しく、アルゴリズム開発の障害となっている。集中的で包括的な衛星同期の地上観測と、長期的視野にたった系統的な地上観測システムの整備が望まれる。

また、センサの空間分解能より細かな陸面の不均一性を計測する手法として、各対象の分光反射率の独立性を利用したミクセル分解手法が近年発達してきた。これは各ピクセルにおける分類項目の面積割合の算出を可能にする手法であり、中分解能・高スペクトル分解能を有するGLIによる陸面観測の高度化を考える上で、重要な研究課題である。解析手法確立と全球データセット作成のために、多様な気候・地理条件下での、1kmのピクセル内での衛星同期の詳細観測を実施して、ミクセル分解のための基礎データの収集が必要となる。

(4) 降水量

陸域水文過程の入力となる降水量については、大気モデルによる定量的推定の不確実性より、実測が強く要求される水文量である。降水現象は、他の水文現象と比較して短期間で局所的に発生し、また顕著な日周変化を示す領域もある。全球レベルの降水観測は、WCRP/GEWEX のもとで全球降水気候学プロジェクト(GPCP)による、地上雨量計、静止衛星による赤外データ、衛星搭載マイクロ波放射計データを組み合わせて、月単位の 2.5 度グリッドのデータが作られており、現在、日単位 1 度グリッドのデータセットを作成することが試みられている。しかし、地上降水量と衛星観測量との関係は、大きな地域特性や季節特性があり、特に地上雨量観測の少ない領域および高緯度地帯での観測精度は低い。

近年、マイクロ波放射計と熱赤外放射計の組み合わせによる降水量推定アルゴリズムの開発が進められているものの、これは地表面放射の小さな海洋上では有効であるが、陸域上での散乱アルゴリズムによる推定精度はかなり低い。陸域の降水観測で問題となるのが次の 3 点である。

- 1) 陸面は放射率が高く、また不均一性が激しいために、大気中の降水のシグナルを捕まえにくい。
- 2) 降水システムが、地形や地表面の水文状態による影響を受け、複雑な空間・時間変動を示す。それが降水の鉛直プロファイルに反映し、降水量算定精度に大きな影響を与える。
- 3) 高緯度での降水は固体である場合が多く、陸域での多様な固体降水算定のアルゴリズムが開発されていない。

1) については、近年、低周波帯(6.9~36.5GHz)の情報を用いた陸面の土壌水分、地温、植生水分算定アルゴリズムが提案され、地表面の放射率の推定精度が向上しており、さらに低周波数帯と高周波数帯(85GHz)を組み合わせ、地表面の状態と降水システムを同時に算定するアルゴリズムも開発されている。しかし、2) の理由により降水の鉛直プロファイルが大きく影響するため、鉛直プロファイル観測のためのアクティブセンサと、低周波~高周波のマイクロ波放射計による一体観測が必要となっている。特に、降水系上層の固体降水粒子の鉛直プロファイルの関連性が指摘されており、TRMM タイプの 14GHz 帯の降水レーダに加えて、固体降水や強度の低い降水を観測するための高周波数側(35GHz)のレーダとの一体観測が望まれている。3) について、特に地表が積雪で覆われている場合は、積雪と降雪を見分けることが困難であることから、今後のアルゴリズム開発が望まれる課題である。

1997 年打ち上げられたの TRMM に搭載される降雨レーダ/マイクロ波放射計/可視熱赤外放射計の組み合わせは、レーダによる降水粒子の後方散乱の鉛直プロファイルとマイクロ波/可視熱赤外域の放射の同時データを初めて取得するもので、これらのデータを基にした陸域での降水量推定に関する新たなアルゴリズムの開発が期待されている。ただし、TRMM の観測範囲は南北 35 度に限られており、また日周変化が顕著でない降水の場合には、サンプリング頻度の向上が不可欠であることが知られている。これを解決するために、マイクロ波放射計を搭載した 8 基衛星により 3 時間ごとの観測が計画されており(GPM)、マイクロ波放射計による全球降水観測の精度向上が見込まれる。

AMSR と GLI の組み合わせは、空間およびスペクトルに関して、従来より高分解能のマイクロ波/可視熱赤外域の放射の同時の全球データを提供し、TRMM で得られる陸域降水推定のアルゴリズムを基にした全球の陸域降水マッピングの可能性を与える。また、EOS-PM1 の AMSRE -

MODIS の組み合わせのプロダクトと組み合わせることにより、日周変化観測およびサンプリング頻度の向上が見込まれ、GPM による全球観測のための基礎的なデータセットを提供できる。

4.4.3 アルゴリズム開発と検証の課題

1次水文学のアルゴリズムの開発と検証において最大の問題は、陸面の不均一性が大気や海面よりはるかに大きいことである。特に、AMSRの6.9GHz帯の約50kmの空間分解能で、地上検証データをどのように取得し、さらにピクセル内の不均一性がアンテナ輝度温度にどのような影響を与えるかを評価することが大きな課題となる。この場合、空間的に一様とみなせるピクセルサイズで広域データを取得し、その空間分布特性を考慮して、衛星センサの空間分解スケールの平均量を推定することが必要で、データ収集には航空機観測が不可欠である。複雑な地表面での平均的な水文学推定手法は、水文学分野では、陸面 - 大気相互作用をGCMに組み込むためのスキームの開発の一環として近年活発に研究されており、「マクロ水文学モデル」の開発と呼ばれ、我が国主導のGAMEプロジェクトでは、主要課題の1つとなった。ここでいう「マクロ」とは特定のサイズを示すものではなく、均一と見なせる小さなスケールで成立していた水文学過程モデルを、その非線形性を損なわずにより大きなスケールへ平均化する手法ということであるが、GAMEでは特にGCMの改良を目的として、数10kmのメソスケールグリッドサイズを中心に研究が進められている。これは、AMSRの6.9GHz帯の空間分解能と同程度のスケールであり、両者を一体として研究、開発を進めることは、衛星データの利用とモデルの開発にとって、極めて有効な戦略である。

1次水文学を決定するために必要となる電磁波伝播の基本物理量の取得も、アルゴリズム開発にとっては不可欠である。特に、可視 - 赤外分光反射率、放射率の空間不均一性に関するデータ、マイクロ波帯の誘電率、放射率と水文学の同時観測データ、陸面水文学と大気物理量の衛星同期観測データに乏しく、水文、植生、大気などが共同して研究を進めるべきである。

4・5 雪氷学

4・5・1 ADEOS - による雪氷学の展開

18世紀の小氷期以降の気温の上昇傾向と、最近の温室効果ガスの増加で起きていると懸念される温暖化の影響は、極域を中心とした地球雪氷圏の変動に最も強く現れていることが予想される。地球雪氷圏において海水分布や氷床の分布の継続したモニタリングは、その変化が長期間にわたるために継続した観測が必要となる。そして温暖化の影響が直接に影響を受けると考えられるものには、海水分布の減少、氷床上への積雪量の増加、氷床周辺の融解域の増大や氷山流出の増加などがある。そのため極域を中心とした、これらの雪氷圏の現象の素過程の解明と継続した長期間にわたる観測はたいへん重要である。

極域雪氷圏の観測やモニタリングを継続して行っていくためには、衛星による観測は最も重要な手法である。雪氷圏の分布の変動を知るためには、可視からマイクロ波までの多重センサを複合的に利用していくことが大切であるが、雲に覆われることが多く、極夜が長いことから、マイクロ波の利用がより有効となっていく。

ADEOS - 計画ではGLI / AMSRを中心として、従来のセンサに比べて高分解能での観測を行うことができる。たとえば氷河や氷床のマッピングや氷床の縁辺部の変動を、温暖化による雪氷圏のモニタリング観測として継続することができる。他のセンサであるSeaWinds、POLDERで氷床のアルベドや表面積雪の特性の変化も相補的に観測することができる。

小氷期以降の気温の上昇によって地球上の氷河の後退は一般的な傾向として起こっているのが知られているが、後退する速度や機構について観測例の増加やモデルによる研究が進んではいるが、まだまだ詳細なことは、極域の厳しい環境のためによく分かっていないことが多い。

GLIは多チャンネルで高分解能であり、かつステレオ視することから地形の変化や氷の厚さの変化を検知できる可能性がある。また、氷河や氷床表面、さらに海水表面でのアルベドの変化は気温上昇傾向と密接な関係があり、GLIによる小領域での雪氷面の光学特性を検知できる。さらに、GLIやPOLDERのスペクトル情報は、雪氷面での鉱物や生物バクテリアの活動などによる汚れを、アルベドの変化および分光的に検知していく上で有用である。POLDERの偏光情報は大気補正および雪氷面のアルベド変化を評価するために有用である。

AMSRの多波長、多偏波情報は氷床の広大な雪氷域、大気と雪氷面の相互作用を理解するために有効である。これらのデータは氷床と大気物質のやり取りの相互作用、そして氷床の質量収支の過程を理解するために重要である。

一方、海水における研究では、南北極域の海水と海洋および生物圏との相互作用の研究が課題となっている。海水の中に存在する海水面と薄い海水、厚い海水の分布のモニタリングと1次生物生産量との関連がある。この研究課題のために必要な情報量として、海水の厚さと流動速度から海水の質量収支、大気と海洋間の熱、ガスと水蒸気フラックス、海水の成長過程への積雪の影響、海水の成長速度とブラインの排出速度と海洋構造（海洋の密度と循環）、海水表面での放射収支とアルベドの変化、海水表面での物理温度、1次生物生産量の季節と空間的な変動とそのプロセスがこの研究を通して解明されていくことを期待している。

4.5.2 海氷分布、氷河・氷床分布の変動 - マイクロ波によるサイエンス

AMSRは、地球が放射する微弱なマイクロ波を測定して、大気中の水蒸気、雲水量、降水量、陸上の積雪、土壌水分量、海洋の海上風速、海面水温、海氷、南極氷床表面の積雪量など、おもに水に関する諸物理量を抽出することができる。同じ水(H₂O)でも、気体・液体・固体でマイクロ波放射特性が大きく変化することから、これを利用して多周波で精度よく物理量を抽出することができる。

AMSRは直径2mという最大級のアンテナを持つことにより、高空間分解能を実現するとともに、6および10GHz帯の低周波のデータも利用できる。この高空間分解能および低周波のデータ解析に重点を置き、雪氷圏の現象解明とモニタリングを行う。さらに、GLIおよびSeaWindsから得られるデータも併用して解析を行う。準リアルタイムに全球のデータを取得できることから、予報などにおけるマイクロ波放射計データの実利用につき実証を企てるものとする。

これらの研究課題を達成するために、航空機搭載用マイクロ波放射計(AMR)のデータ、およびDMS/Pのマイクロ波放射計(SSM/I)などのデータを用いてAMSRによるアルゴリズムの開発と改良を行う。データの品質を保証するために、キャリブレーション、データ作成などの方法を確定しておく。

(1) 積雪分布、積雪面積、凍土

積雪分布、積雪面積の変動を調べることは、地球の温暖化を監視する上で重要なテーマである。しかし、陸上については放射率がよくわかっていないことから、研究要素が多い。まず、SSM/Iのデータから各種地表面の垂直、水平偏波のマイクロ波放射の季節変化を調べる。次に、AMRのデータから、それら温度データだけから積雪、土壌水分量などに換算できるかどうかを検討する。水から氷へ、あるいはその逆に相変化した時のマイクロ波放射は急激に変化するので、表面状態を検出するのは比較的容易であることが期待できる。

(2) 海氷分布・海氷密接度

南極大陸の周囲の海氷域は季節変化が大きく、夏でも約350万平方km、冬には約2,000万平方kmという膨大な面積が海氷に覆われている。また、北極海は廻りをユーラシア大陸と北アメリカ大陸で囲まれ、北極海の大部分が一年中、海氷で覆われているので海氷の消長は熱収支、海洋循環などに支配的な役割を果たしている。その分布の経年変化は温暖化の兆候を捉える上で重要な指標となる。南北半球の大まかな分布はAMSRで把握することが可能である。

また、基礎的な課題として、マイクロ波放射計による海氷の観測は、1970年代のはじめからかなり行われてきているが、いまでも海氷の放射率と物理的特性の関係はよく分かっていない。その原因として、衛星の放射計の空間分解能は数十kmと粗く、その範囲の中で海氷の種類が一樣でないこと、海氷の上に雪が積ると、放射率が変化し、海氷あるいは積雪の物理温度が気温によって10程度変化することがある。基礎的なデータをとるには、航空機AMRの観測とトルスデータとを突き合わせる必要がある。

(3) 氷床分布の変動

マイクロ波を応用してグリーンランド氷床や南極氷床の分布の変動を継続して観測していくことは、温暖化の影響がどのようなプロセスで現れているのかを知るために大切である。氷床上に堆積する積雪量、周辺部の融解域、氷河の流出、氷床の全域の輝度温度の季節変動や年々変動などが重要な観測である。

また、南極氷床質量収支の観測には、氷床の雪氷としての質量の収支と海面変動に寄与する氷の堆積は、接地線 (grounding line) から内陸部にある氷床の氷の堆積による変動が寄与する。そのために AMSR / GLI による南極氷床質量収支と素過程のアルゴリズム開発の基礎的な研究は重要な課題となっている。地球の温暖化と南極氷床質量収支の現況を把握していくうえで、AMSR による表面積雪量の見積りのためのアルゴリズムの開発が急がれ、質量収支に関連したデータと他の地球科学的なデータとの突き合わせを行い、氷河氷床の質量収支の素過程、変動の素過程の研究を行っていくことが重要である。

4.5.3 光学的観測によるサイエンス

(1) 積雪分布・積雪面積

通常、積雪分布の観測で問題となるのは雲と積雪域の識別である。AVHRR に関する研究で中間赤外と熱赤外の組み合わせの有効性が示されているが、GLI の 1.6 μm チャンネルはさらにその精度を向上させるものと期待される。また、大陸域で森林帯での積雪分布の推定アルゴリズムが開発され、精度を向上できるものと期待できる。

(2) 海氷分布・海氷密接度

全球的な大まかな分布は AMSR で把握可能であるが、局所的に発生するポリニアの状態や、海氷の密接度の違いなどを評価するためには AMSR に比べ高い空間分解能で同時観測を行う GLI の存在が不可欠である。また、両者を併用することにより、精度の良い海氷分布の把握が期待できる。海氷の表面状態 (海氷上の積雪の分布、放射率など) や、表面温度を知ることは海氷域の熱収支を考える上でも必須事項である。さらに海氷の薄いか厚いか、氷板のタイプ分けなど分類も行うことができる。

(3) 極域氷床の変動

南極やグリーンランドの氷床の変動、特に氷河の流動の観測は温暖化監視の観点から重要である。最近、南極半島における大規模な棚氷の崩壊が報じられているがその規模は数 10 km 以上にも及び、十分 GLI の観測対象となりうる。氷河などの変動も、詳細には高分解能センサが必要であるが、広域な変動観測の観点では GLI の観測が重要である。

(4) 巨大氷山の監視

近年、巨大氷山の流出が相次いで報告され、温暖化との関係が取り沙汰されている。また、巨大氷山は航行する船舶にとっても危険な存在であり、その監視が重要である。GLI は分解能 250 m で極域ではほぼ毎日観測できるため、巨大氷山の監視に有効であると考えられる。

(5) 雪氷面アルベド

雪氷域のアルベドは、地球の熱収支、温暖化などを検討する上で重要なパラメータである。特に、氷 - アルベド・フィードバックは地球雪氷圏の気候へのかかわりの中で最大の要因である。雪氷のアルベドは、波長、積雪粒子の粒径、形態、積雪に含まれる不純物、積雪密度、含水率、表面の状態などにより変化し、波長、積雪粒子の粒径、形状と積雪深とアルベドとのモデルの開発研究が進展した。アルベドを分光学的に観測して積雪の分布や積雪深を推定できることが期待できる。GLIは36の波長帯で雪氷域を観測するため、雪氷の詳細な表面状態がアルベドとどのような関係にあるのかを明らかにする貴重なデータをもたらすものと期待される。

(6) 雪氷表面温度

雪氷域の表面温度は、雪氷面の状態を推定する上で重要な情報である。また、雪氷域の熱収支、大気・雪氷の相互作用を評価する上でも必須な情報である。但し、表面温度のみならば、NOAAのデータを上回る情報は期待できず、他の波長域との組み合わせで解析に付加する情報として位置付けられよう。

(7) 積雪の物性

積雪のアルベドは、波長、積雪粒子の粒径、形態、積雪に含まれる不純物、積雪密度、含水率、表面の状態などにより変化するが、その関係はまだ十分分かっていない。これらの積雪の物性はその積雪域の気象条件、あるいは大気からの降水の有無や降雪後の経過時間などによって変化する。したがって、積雪物性にはその積雪の履歴に関する情報が含まれている。たとえば、積雪の粒径は1.1~1.2 μm の波長帯を使うことによって見積もることができるが、一般に新積雪の粒径が小さいことから、積雪地帯における新たな降雪の有無を推定できそうである。また、地吹雪が起こると近赤外域のアルベドが増加することが知られているが、このことを利用して、地上風速が推定できる可能性もある。このようにGLIは36の波長帯で雪氷域を観測できるため、雪氷の詳細な表面状態がアルベドとどのような関係にあるのかを明らかにする貴重なデータをもたらすものと期待される。

4.6 植生

4.6.1 ADEOS - による植生観測の意義

ADEOS - は、総合地球観測衛星として地球科学発展と地球環境把握のために、エネルギー・水循環過程の解明、炭素循環の解明、植物基礎生産量の推定、地球温暖化のモニタリングという目的を有している。この目的達成のために、AMSR、GLI、ILAS - 、SeaWinds、POLDERが搭載され、総合的観測が行われる。

エネルギー・水循環過程において、植生は陸域での太陽エネルギーおよび水分保持に重要な役割を担っている。炭素循環の解明および生物基礎生産量の推定においては、陸域部分の植生である森林・草原・農耕地での炭素固定量の把握が重要課題である。さらに、地球温暖化のモニタリングという観点では、温暖化にともなう植生変化を把握することが必須である。ADEOS - によるグローバルな植生観測により、はじめて、エネルギーおよび物質循環が明らかにされ、地球環境の総合的な理解が可能となる。

4.6.2 エネルギー・水循環過程の解明

地球規模のエネルギー収支および循環については、大気と海洋の相互作用が重要な課題となっており、ADEOS - における観測の主要テーマである。陸域植生がグローバルなエネルギー循環に及ぼす影響は海洋が及ぼす影響に比較して小さいかもしれないが、人類は陸域植生を改変することで文明を築いてきており、植生は人類により大きく影響を受け変化し、地球全体のエネルギー収支にも影響している。森林地帯のアルベドは0.1以下であるのに対し、裸地の土壌では0.5以上になり得るため、植生状況の変化は地球のエネルギー収支・循環に影響を与えるため、植生変化を評価することが極めて必要である。

水循環過程において、植生は陸水の挙動に深く関わっている。植物体自身が含水率が高く水の保持体であり、また、植物が存在することにより、流出速度を低下させ、地下浸透を増加させる。このように、植生が雨水の保持機能を有しており、植生の減少は陸域の乾燥化をもたらすことが懸念される。

AMSRによるマイクロ波観測により土壌水分量・植生の把握、GLIの高分解グローバル光学データにより植生状況・地表温度などの観測が期待される。

4.6.3 炭素循環および植物基礎生産量の推定

炭酸ガス収支の研究によると、モデルと実測の炭酸ガスのシンクに大きな違いが存在する。その原因の1つとして、陸域植生の炭酸ガス吸収量の評価における不確定さがあげられる。このため、正確な全球規模の土地被覆および植生分類マップを作成し、これらのマップを利用して植生によるバイオマス炭素量を正確に求める必要がある。

また、現在広く利用されているグローバルな植生マップは、NOAA/AVHRRから算出した正規化差分植生指数(NDVI)を基にしている。このAVHRRは、土色に影響を受け、さらに、積雪は大きな攪乱要因である。このため、短波長赤外域も観測しているGLIデータを利用し、バ

バイオマス推定の新たな手法の開発が必要である。

陸域の炭素循環を正確に把握するためには、時系列データとしての光合成有効放射吸収量のデータが必要である。植物基礎生産量の分布を得ることは、植物による炭素固定能を把握し、炭素循環の推定に寄与するとともに、地球の人類生存可能限界数の推定に資する重要なデータが得られる。

以上の炭素循環および基礎生産量の推定を A D E O S - に搭載された G L I を中心にして実施する。

4.6.4 地球温暖化のモニタリング

永久凍土をモニタリングし、融解の状況を調査することは、地球温暖化の把握に重要な事項であり、さらに、永久凍土の融解は地球温暖化ガスであるメタンの大気への放出をともなう。G L I により永久凍土の融解による地表面の植生・土壌水分量などの変化を精密に検出することと、A M S R により凍土の融解が直接的に測定されることが期待される。

シベリア地方の湿地状況を把握し、地球温暖化ガスのメタンについて、湿地からの放出量を算出することは地球温暖化の現状把握と将来予測の両方に重要である。グローバルセンサである A M S R と G L I により、このような湿地のモニタリングが期待される。

以上の地球温暖化のモニタリングを G L I および A M S R を中心にして実施する。

4.6.5 植生研究および実利用への寄与

適正な食糧確保、食糧問題の迅速な把握、地球での生存可能人口の推定のため、農耕地の状況を適正に把握することは重要である。国連食糧農業機構 (F A O) では、各国の農業機関より情報を収集しこの任務を遂行している。しかしながら、より迅速でかつ正確に行う必要があり、地球観測衛星技術の利用が検討されている。

農作物の作付け及び生育状況を把握し、農作物状況マップおよび収穫高推定マップを作成することは重要である。主要農作物の生育期間は 4 ~ 9 ヶ月であり、この期間に数回の地表観測データが必要である。作物の生育には水分が必要であり、大部分の地域の農作物は雨期に栽培され、高分解能光学センサの観測頻度では生育期間中に 1 回程度しか観測できない場合が多い。このため、多頻度観測・準高分解能の G L I により、このような農作物マップの作成がはじめて可能となる。

多時期の G L I データを重ね合わせることにより、森林が破壊されている地域や砂漠化されている地域を検出し、マップを作成する。多時期の G L I データを利用し、森林・草地での火災および焼き畑などで延焼している地域を検出し、バイオマス燃焼マップを作成する。森林火災などの緊急を要する現状把握には、この多頻度観測・準高分解能の G L I が有効である。

以上の植生研究および実利用を G L I を中心にして実施する。

4.7 総合的理解のために

ADEOS- は、大型衛星に多種多様のセンサを搭載した複合型地球観測衛星である。ADEOS- のような大型衛星に多種のセンサを搭載するのは、単に、打ち上げ回数を節約して一度に多くのセンサを打ち上げるという意味だけではない。むしろ、その特徴は、多種多様なセンサで、地球環境に関する様々なデータを手にすることができる点にある。そのために、このような多種多様のセンサデータを利用する方法を考えていくことが、これらの科学目的を実現するためには不可欠となる。一方、多様なセンサが搭載されているために、得られるデータは膨大となり、その処理方式も多岐にわたる。このようなデータを組み合わせることによってさらに新しい知見も手にすることができるようになる。

ADEOS- の科学目的としては、

(1) 気候システムにおける水・エネルギー循環の定量的把握

(2) 地球温暖化問題に関連する炭素循環に関わるバイオマス量と基礎生産量の定量的推定

という2つがあげられる。この科学目的にしたがって、載せられるセンサも選ばれている。

まず、最初の水・エネルギー循環の総合的な把握に関しては、GLI、AMSR、POLDER、SeaWindsなどのセンサが関係している。現在、グローバルな水・エネルギー循環の観点から重要な問題点として上げられるのは、雲およびエアロゾルの放射特性、全地球上の降水量分布、全地球上の雲水量・水蒸気量分布、海水分布、土壌水分量分布などである。また、クロロフィル分布、植生分布を求める観点からは、陸域、海域のバイオマスを推定することが重要となる。これらの点を考慮して、ADEOS- のセンサの複合利用の具体的な課題として、

AMSR、GLIの複合解析による雲水、雲粒分布の推定

GLI、POLDERの複合解析による海上および陸域でのエアロゾルの解析

AMSR、GLIの複合解析による積雪量・海水分布の推定

AMSR、GLIを用いた水蒸気量の推定精度の向上

GLI、AMSR、SeaWindsを組み合わせた海面水温、海上風速、うねりなどの海面状態の推定精度の向上

GLI、AMSRの組み合わせによる植生バイオマスの推定精度の向上

などが考えられる。

具体的にどのようなアルゴリズムを作ればよいかは今後の課題であるが、現在まで行われている研究から予想される解析法の一例としては、GLIの可視バンドから雲域と快晴域を区別し、別々の水蒸気・雲水量の推定アルゴリズムをAMSRのデータに適用することが考えられ、これによって精度のよい水蒸気量・雲水量を得られると考えられる。

最後に、総合的理解に関して注意する点を述べる。重要なことは、データが増えたことが、正しい物事の理解に単純にはつながらないということである。その理由を、以下に示す。

(1) データ自体が相互に関連しており、独立なデータとなっていないからである。たとえば、

GLIの雲のデータとAMSRの水蒸気のデータは相互に関連していることが考えられ、

これらを単に使用したからといって、雲の情報も水蒸気の情報もよくなる保証はないのである。これらの点に注意をして、アルゴリズムを開発する必要がある。

- (2) 現象として、関連が全く分かっていないからである。たとえば、G L Iによる海色のデータが正しく得られたとしよう。これとS e a W i n d sによる海上風のデータを結びつけようとしたとする。しかしながら、これらの生物活動と、海洋の物理的状態とは、明らかに関係はあると思われるが、具体的にどんな関係があるか、と問われれば、一般的な、常識的な知識しか持ち合わせてはいない。このような場合には、背景にある関係を理解することから始めなければならない。
- (2) 他のデータを導入することによって、誤差を持ち込むことである。この誤差には、計算モードもあれば、物理モードもある。これらの対策としては、アルゴリズムをきちんとするとともに、検証データによるチェックが欠かせないものとなる。

以上のことを考えると、A D E O S - の各種のデータを総合的に利用するための具体的な方針が出てくる。すなわち、

- (1) 問題が難しいので、最初から、全てのデータを総合的に利用することを考えるのではなく、から までで述べたような現在の知識で関係があると思われるような課題を追求していくことである。
- (2) 4次元解析のアルゴリズムの開発を考えるべきであろう。衛星データの利用と気候モデルの結合というのは、衛星データの総合的な利用の切り札といってもよい。たとえば、極軌道衛星の赤外放射計による温度情報は、4次元データ同化システムに入れることによって利用されているが、その入れる手法にしても統計的手法やモデルを用いた変分法的手法など様々な方法が考えられている。A D E O S - が目指している雲に関する情報などは、今まではほとんど利用法が考えられてこなかったので、最初から、どのようにしたらよいかを考える必要がある。

いずれにせよ、A D E O S - の科学目的の達成に関する根幹的な問題であり、簡単に結論が出る問題ではないので、長期的な取り組みが必要となろう。

4.8 数値モデルとの結合

前節で、“衛星データと気候モデルの結合”こそが、衛星観測の利用の最後の切り札である、と述べた。この節では、その点をもう少し詳しく述べてみよう。

衛星を用いた“宇宙からの観測”の特徴は、同一の測器で地球上を一様に観測できるという利点と、間接測定に伴う観測精度の限界がある、という欠点がある。前者の利点は、可視チャンネルを用いたマッピングなどに十分生かされているが、気候変動のモニタリングに用いるための物理量を導き出そうとすると、後者の欠点が大きく全面に出てくる。

衛星観測による物理量の推定精度を向上させるためには、精度のよいアルゴリズムを開発する必要がある。一般的には、これらのアルゴリズム開発には、物理現象に関する理解と、地上検証データが必要となる。しかしながら、地上検証データは、必要な時間・場所で全てのデータが手に入るわけではない。また、必要な物理量が全て観測できるわけではない。

物理量の推定というのは、いうなれば、結果を知って原因を求める、という逆問題である。しかしながら、この逆問題を解くには、原因を知って結果を知る順問題が解けなければならない。この順問題を解く知識こそ、数値モデルを支えている知識なのである。

衛星データと数値モデルの結合の歴史は、1970年代にさかのぼる。その頃は、FGGEの観測システムの構築のために、衛星データの利用法が模索されている時代であった。そのときの主な物理量は、極軌道衛星の赤外放射計のデータから得られる温度と、静止気象衛星から得られる雲移動ベクトルであった。

赤外放射計のデータから温度分布を求めるには、放射伝達の式を逆に解く必要がある。放射伝達の式は、非線形の方程式であり、第1推定値からのズレから線形化して解くか、あるいは、逐次近似で解く必要がある。さらに、この問題は逆問題で解の一意性が保証されていないという問題がある。1970年代では、第1推定値の値の精度も悪く、鉛直のレベルの数も少なく、チャンネルの数も少なかったため精度が十分でなかった。そのため、温度の観測値と赤外放射の観測値から統計的関係式を用いて、温度分布を求めることが行われた。この方法で、一応の精度のデータが得られていたが、その後の数値予報モデルの発達の中で、予報値の精度が向上し、中高緯度の極軌道衛星のデータや雲移動ベクトルは、精度が不十分のために使用されなくなってきた。しかしながら、精度が不足しているのは、アルゴリズムが悪いためであり、最近のECMWFでの物理法による衛星データの取り扱いによって、数値予報にもインパクトが出てくるようになった。将来的には、4次元変分法を導入することにより、衛星データの利用は行われると考えられている。しかしながら、この手法には膨大な計算機資源が必要であり、「地球シミュレータ」などの他のプロジェクトとの協力が不可欠である。

また、最近では、単に、風や温度などの基本的な物理量以外に気候システムに必要とされる様々な物理量を衛星を用いて観測しようという状況になってきた。たとえば、雲量や雲水量、土壌水分量などである。しかしながら、これらの新しい物理量を衛星データから広域で推定するためには、やはり、数値モデルに依存せざるを得ない。その理由の1つは、衛星観測から直接必要とする物理量が出てこないからである。たとえば、雲水量を考えてみよう。この量を求めるためには、対応するマイクロ波の放射量から雲水量を逆に解くのであるが、その際には、その場の温度および水蒸気の値が必要となる。一般的に、これらの量を全て衛星観測から同時に決めることは不可能である。一方、数値モデルに基づく4次元解析から得られた温度場・水蒸気量場は、観測データではないと

はいえ、各地でのゾンデデータや予報モデルに予想値を最適に組み合わせたものであり、精度は高いと考えられる。そこで、この値を用いることにより、雲水量などの精度を向上させることができる。

もう1つの利用法は、土壌水分量などの直接観測にかからない量の推定である（もちろん、マイクロ波を用いて土壌水分量が観測可能という議論もあるが、ここでは、その精度は悪い、と仮定する）。この場合、土壌水分量は、大気からの降水量と大気への蒸発量、そして、河川などへの流出量の結果として決まる、と考えることができる。そうすると、観測なり大気モデルを用いて地表面に対する降水量 - 蒸発量を与え、土壌モデルを時間積分することによって、土壌水分量の推定値が得られることになる。地面からの蒸発などには、太陽放射による地面の加熱が必要であり、これらの量は衛星観測から見積もることができる。このように、衛星データと数値モデルを組み合わせることによって、衛星データからでも数値モデルだけでは導くことのできない物理量を導き出すことができるのである。この意味でも、数値モデルと衛星データの結合は新しい時代の幕開けということができる。

ADEOS - は、このような新しい時代にふさわしい衛星である。この新しい時代にふさわしい解析手法、数値モデルと衛星データの結合に関する様々の手法を確立する必要がある。以下、具体的な例を上げる。

(1) 雲量・雲水量の推定・チェック

雲量分布、雲水量は、数値モデルのなかで最も精度の悪い物理量である。現在のところ、どのモデルも一応最も確からしいと思われるスキームを用いているが、その確からしさを確認することは、今まででは、不可能であった。しかしながら、これらの雲水量・雲量は、ADEOS - のAMSR、GLIを用いて推定することができる。そうすると、このADEOS - から得られた雲水量や雲量を用いてモデルのスキームのチェックが可能となる。このようにして、数値モデルの予測精度が向上するならば、ADEOS - のデータから雲量・雲水量を求める際の第1推定値の精度も向上することになり、結果として、雲量・雲水量の精度も向上することになる。このように、モデルと衛星データを組み合わせることによって、両者の精度を向上させることができる。

(2) 海面水温および海上風の利用による海洋内部の温度場の再現

海洋内部の状態は、衛星からは直接観測することができない。しかしながら、基本的に、海洋の内部状態は海洋表面での境界条件によって決まっていると考えられており、海洋表面のフラックスなどを与えることにより、海洋大循環モデルを用いれば、内部状態が再現できる可能性があることになる。

ADEOS - には、全世界の海洋関係者が待望していたADEOSのNSCATの後続であるSeaWindsと呼ばれるマイクロ波散乱計が搭載される。このセンサから得られる海面ストレスを用いて、海洋大循環モデルを駆動することができる。もちろん、このデータ以外にも、海水温などのデータもあり、これらのデータと海面でのストレスを使用することにより、海洋内部の温度場などをよく表現できるようになることが予想される。

4.9 フィールドプログラム

衛星打ち上げに伴うフィールドプログラムは、単に衛星搭載センサによる観測量の検証データを取得するための地上観測プログラムではない。それ自身が、明確な科学的目標を持ち、衛星観測、地上観測データ、数値モデリングなどの様々の手法を結合して研究を行う科学的計画、実施計画、データ管理、プロジェクトセンターなどを用意した国際的に開かれたプロジェクトでなければならない。従来の衛星観測に関するフィールドプログラムに関しては、このような視点が不足していた。これまでの衛星検証実験は、衛星観測のためだけに個別に行われており、地球規模でしかも陸域・大気・海洋全般にわたってフィールドキャンペーンを単独に実施することが困難であることから、検証に用いられるデータには限りがあった。また、検証目的で得られたデータやその成果が関連する地球科学研究に供せられることも少なかった。一方、衛星観測を念頭においた地球科学研究も、研究目的に即した衛星打ち上げ計画などを提案してはいるが、実際に新たな衛星と同期したフィールド観測を展開することは少なく、衛星のプロダクツの利用にとどまっていることが多い。1998年にWCRP/GEWEXのアジアモンスーン観測実験であるGAMEとTRMMプロジェクトの共同検証実験がチベット高原とタイで実施され、エネルギー・水循環に関する包括的で貴重なデータが取得された。この共同観測の成功に基づき、今後ますます衛星検証実験と地球科学研究のフィールド観測の有機的な共同観測体制の確立が望まれる。

世界気候研究計画(WCRP)の副プログラムのひとつである全地球エネルギー・水循環観測研究(GEWEX)は、現在進行中の5つの大陸スケール観測実験と雲・放射研究パネル、モデルパネルが協力して、2000年までに打ち上げられる新しい地球観測衛星(ADEOS-II、EOS-AM/PM、ENVISATなど)と同期した国際的な強化観測を提案した。これを踏まえ、WCRPでは、同じく副プログラムとしてスタートしたCLIVARとの協力の上で、気候の年々変動やテレコネクションなどの問題も対象とした大気-陸域-海洋間のCoordinated Enhanced Observing Period(CEOP)を計画することとなった。GEWEXは全球のエネルギー・水循環の解明、モデル化、水資源への影響評価を目的としており、一方、CLIVARの目的は気候の長期変動に与える海洋の役割の解明とモデル開発を中心として、地球温暖化問題も含む気候変動の長期予測に取り組むものであり、CEOPはこれら二つの副プログラムをつなぐ、WCRP初のInter Projectとして提案されている。CEOPの目的は下記のように要約されている。

"To understand and model the influence of continental hydroclimate processes on the predictability of global atmospheric circulation and changes in water resources, with a particular focus on the heat source and sink regions that drive and modify the climate system and anomalies. "

CEOPの主たる研究目的は、上述のように、大気・陸面・海洋間のそれぞれの相互作用の多様性を理解し、スキームの開発・検証・改良とそのtransferabilityを確認するとともに、気候システムにおけるテレコネクションや季節～年々変動およびそれが水資源に与える影響の予測精度を向上することにある。そのためには、大気、陸面、海洋でエネルギー、水、運動量を定量的に、様々なスケールで、継続的に観測する必要がある。この場合、測器を地球全体に均一に展開し観測することが理想だが、海陸分布、大規模山岳などの存在により一様な観測は不可能であり、衛星に測器

を搭載して地球全体を眺めるという方法が取られ、中でも、ADEOS-II には大きな期待が寄せられている。CEOP は、WCRP と衛星機関の実質的な共同作業による地球観測システム構築と気候・水資源変動研究推進の初めての機会を提供することができよう。

2001 年以降の数年間、エネルギー・水循環を、ローカル～グローバルな空間スケールで、日周変化から季節～年々変動の広い時間スケールの範囲で、多角的かつ包括的に観測できる可能性があり、これは人類が手にする初めての機会といってよい。ADEOS-II をはじめとする大型衛星群と同期して地球規模の様々な気候条件下で観測実験を実施することは、アルゴリズムおよびデータセット検証のためのデータを取得し、衛星によるグローバル観測技術の確立にとって不可欠であるとともに、大気 - 陸面 - 海洋間の相互作用による気候の季節～年々の変動およびその水資源に与えるインパクトを研究し、その成果を地球規模に展開する基礎作りに大きく貢献する。GEWEX でのこれまでの heritage を有効利用すると共に、現在進行中の CLIVAR の観測計画との調整を図り、必要に応じて計画案修正を加え、宇宙機関が進める衛星地上検証実験や気象予報機関と協力して、同じ time frame で集中観測を実施しようというのが CEOP の戦略である。

5 . おわりに

ADEOS - サイエンスプランの第2版をまとめることができた。その目標の大きさとうらはらに、実際面での不十分さが目についてくる。この実際面での記述を補うために、今後、実施計画書は何度かの改訂が行われることと思われるが、是非ともこの科学研究計画書に記載した科学的目標の全てを達成したいものである。

しかしながら、プロジェクトは、結局は人である。いくら科学的目標が正しく、計画がしっかりしていても、実際に参加し、研究する人がいなかったら研究は進展しない。現在の日本は、実働する研究者が極端に不足している状況である。このADEOS - サイエンスプランを読み、数多くの人が参加をしてくれることを切に希望する次第である。

付 録

1.1 ILAS -

1.1.1 科学目的

クロロフルオロカーボン(CFC)などによるオゾン層の破壊は、1970年代前半にその問題が議論され、対策の必要性が指摘された。1980年代半ばには、いわゆる南極オゾンホールが発見され、南極特有の気象条件下という特殊性はあるにせよ、CFCなどによるオゾン層破壊が非常に速い速度で進行していることが明らかにされた。

これを受けて、CFCなどの生産・使用の制限に係る国際的な取り組みがなされ、1990年代中頃までには、いくつかのCFCなどについては大気中濃度の増加傾向がゆるみ始め、減少に向かうものも見いだされるようになってきた。オゾン破壊をもたらす成層圏中の塩素濃度は、あと10年間くらいは増加を続け、その後は減少していくと考えられている。そして、その他の条件に変化がなければ、オゾン層破壊は今後数年間のうちにピークを迎え、その後は回復に向かうと考えられている。

環境庁では、オゾン層破壊問題の重要性に鑑み、オゾン層の監視とオゾン層破壊機構の研究を推進するため、1996年8月に打ち上げられたADEOS衛星に改良型大気周縁赤外分光計(ILAS: Improved Limb Atmospheric Spectrometer)を搭載し、オゾンを始め、オゾン層化学に関係する各種の大気微量成分、気温・気圧、エアロゾル/極域成層圏雲などの高度分布の観測を行った。オゾン層の変動を正しく把握し、オゾン層対策の効果を検証するとともに、オゾン層を含む高層大気の物理化学過程に関する知見を得て、将来の地球規模の大気環境変化の予測に寄与するためには、長期にわたる精度の高い観測が必要である。ADEOSは残念ながら1997年6月で運用を停止したが、ILASは約8ヶ月間にわたる貴重なデータを取得することに成功した。今後ともオゾン層に関連して継続的な観測を行い、同時に測定項目の追加、高精度化を図るため、環境庁はILASに引き続きILAS-を2000年度打ち上げ予定のADEOS-に搭載することを決めた。

ILAS-の科学目的は、ILASと同様、(1)オゾン層変動の監視、(2)オゾン層化学・物理過程の解明にある。ILAS- センサの持つ分光器の波長域、測定対象項目を表1.1-1に記す。

表1.1-1 ILAS- センサの測定波長域と測定項目

チャンネル	波長域(波数)	測定対象項目
1	6.21 ~ 11.76 μm { 1610 ~ 850 cm^{-1} }	O_3 , HNO_3 , NO_2 , N_2O , CH_4 , H_2O , CFC-11, CFC-12, エアロゾル
2	3 ~ 5.7 μm { 3333 ~ 1754 cm^{-1} }	エアロゾル, H_2O , CH_4 , N_2O , O_3 , CO_2 但し、 CO_2 は圧力測定用
3	12.80 ~ 12.83 μm { 781 ~ 779 cm^{-1} }	ClONO_2
4	753 ~ 784 μm { 13280 ~ 12755 cm^{-1} }	気温、大気密度、エアロゾル

但し、エアロゾルは、極域成層圏雲（PSCs：Polar Stratospheric Clouds）を含む。また、測定高度範囲はおよそ10～60km（雲頂高度から250kmまでを連続測定）、高度分解能は1km、測定領域（ADEOS- の軌道が10：30地方時に降交点通過の場合）は両半球の高緯度地方で北半球は北緯56～70度、南半球は南緯63～88度の範囲である。チャンネル1および4は基本的にILASと同等で、ILAS- ではチャンネル2および3を追加した。

O_3 、 HNO_3 、 NO_2 、 N_2O 、 CH_4 、 H_2O はいずれも、ILASでも測定対象としたガス成分であり、オゾン層の物理・化学を理解する上で重要な微量成分である。CFC-11、CFC-12は、オゾン層破壊をもたらす塩素原子の供給源であるが、全廃に向けて国際的な取り組みがなされている物質である。これらの動向を監視することは、オゾン破壊原因物質の動向を知るだけでなく、対流圏から成層圏への輸送過程など、高層大気中の物質輸送などの物理的な機構についての知見を得ることにつながる。

気温は、大気循環などの物理的な環境を規定するものであると同時に、気体成分の化学反応速度、PSCsの発生・消滅などに関わる重要なパラメータである。また、赤外域における気体分子の吸収係数は気温に依存することから、測定が必須である。

測定項目のうち、 $ClONO_2$ はオゾン層破壊をもたらす塩素原子のリザーバーとして、オゾン層破壊の機構、実態を理解する上で重要な分子であることから、ILAS- で新たに測定項目としたものである。エアロゾル/PSCsなどの粒子は、 $ClONO_2$ 、 HCl 、 H_2O などの不均一反応の場を提供しており、オゾン層破壊を促進させるものと理解されている。粒子の組成、粒子形成の過程、表面積の大きさなどが、粒子表面での不均一反応を規定していることから、これらの情報を抽出することが極めて重要である。そのため、ILASが6 μm 以上の赤外チャンネルだけを有していたのに対し、ILAS- では6 μm 以下の中間赤外チャンネルを付加し、精度の向上を図るものである。

1.1.2 標準プロダクト

ILAS- は、太陽光を測定域大気を通して測定する太陽掩蔽法を測定原理とし、また搭載衛星が太陽同期軌道衛星であることから、衛星から見た日の出・日の入り時に測定が行われる。したがって、ADEOS- が1日に地球を約14周することから、測定は1日に北南両半球の14地点の上空でなされる。

ILAS- の標準プロダクトは、下記の項目の各測定地点における高度分布（測定誤差を合わせて提供する）である。参考のため、ILAS- で期待されている測定精度の推定値をいくつかの高度について示した（表1.1-2）。

表 1.1-2 ILAS - で期待される測定精度

(数字は、ILASで期待されている精度を示しており、精度の向上が見込まれる)

Altitude (km)	10	20	30	40	50
O ₃	5%	5%	5%	5%	5%
HNO ₃	50%	10%	50%	n.d.	n.d.
NO ₂	n.d.	5%	5%	20%	100%
N ₂ O	5%	5%	20%	100%	n.d.
CH ₄	5%	5%	5%	10%	n.d.
H ₂ O	5%	5%	5%	10%	n.d.
CFC-11	10%	under study			n.d.
CFC-12	under study				
ClONO ₂	under study				
エアロゾル消散係数(複数波長)	under study				
気温	1 K				
気圧	1%				

(注) n.d.: 検出不能

1.1.3 研究用プロダクツ

エアロゾルについては、標準プロダクツとしては複数の波長での消散係数が与えられる。これを元に、研究用プロダクツとして、エアロゾルの組成、粒径分布などに関するパラメータを導出する予定である。また、標準プロダクツを利用してレベル3プロダクツを作成し、研究用プロダクツとする。