

GCOM サイエンスプラン

2010 年 3 月

Ver.1.3

目 次

1. はじめに（下田 陽久：東海大）	1
2. GCOM 第一期の衛星の概要（下田 陽久：東海大）	2
3. GCOM の目的および期待される成果（下田 陽久：東海大）	6
4. GCOM 科学研究計画	8
4. 1 大気科学	8
4. 1. 1 GCOM による大気科学（中島 映至：東大）	8
4. 1. 2 雲・エアロゾル（中島 映至：東大）	10
4. 1. 3 水循環（沖 大幹：東大）	12
4. 2 海洋科学	16
4. 2. 1 海洋気象・海洋物理（江淵 直人：北大）	16
4. 2. 2 海洋生物、海洋炭素循環（才野 敏郎：JAMSTEC）	19
4. 3 陸域	21
4. 3. 1 土地被覆/変化（下田 陽久：東海大）	21
4. 3. 2 植生（本多 嘉明：千葉大）	24
4. 3. 3 陸域炭素循環（栗屋 善雄：岐阜大）	27
4. 3. 4 水文（小池 俊雄：東大）	29
4. 4 雪氷（西尾 文彦：千葉大）	30
5. GCOM の実利用	34
5. 1 気象予測精度の向上（岡本 幸三：気象庁）	34
5. 2 黄砂等の大気汚染の監視及び予測（中島 孝：東海大）	37
5. 3 海路情報の精度向上（松本 憲二：海上保安庁）	41
5. 4 漁場情報の提供（斎藤 克弥：JAFIC）	44
5. 5 沿岸管理の効率化（石坂 丞二：名大）	47
5. 6 農産物収量予想の高精度化（岡本 勝男：農環研）	49
5. 7 火山噴煙の観測及び影響範囲の予測（浦井 稔：産総研）	51
5. 8 森林火災検知（沢田 治雄：東大）	53
5. 9 極端な水循環現象（小池 俊雄：東大）	55
5. 10 環境（安岡 善文：NIES）	57
6. 搭載センサの観測目的とプロダクト	59
6. 1 AMSR2（今岡 啓治：JAXA）	59
6. 1. 1 目的	59
6. 1. 2 プロダクトおよびアルゴリズム開発	60
6. 1. 3 校正と検証	64
6. 2 SGLI（村上 浩：JAXA）	67

6. 2. 1	目的.....	67
6. 2. 2	SGLI プロダクト.....	68
6. 2. 3	SGLI アルゴリズム.....	74

1. はじめに（下田 陽久：東海大）

GCOM (Global Change Observation Mission)は、ADEOS、ADEOS-IIに続いて、地球環境変動を総合的かつ継続的に観測するミッションである。ADEOSは1996年8月に打ち上げられ、1997年6月に運用を停止したが、約10ヶ月に間に取得した大気、海洋、陸域のデータは、大きな成果をあげた。これに続くADEOS-IIは2002年12月に打ち上げられ、グローバル・イメージャ(GLI)や高性能マイクロ波放射計(AMSR)などの新たなセンサは、技術的にも大きな成果をもたらした。GCOMはこれら2つの衛星のミッションを継続すると共に、長期間の継続観測を目的とするミッションである。

ADEOSとADEOS-IIは、共に太陽電池パドルの破損により停止し、ミッション運用期間を達成することができなかったことを踏まえ、宇宙航空研究開発機構(JAXA)は大型衛星より中・小型衛星を開発する方針を固めた。そのためGCOMは中型衛星により構成される。衛星としてのGCOMは、水循環衛星GCOM-Wと気候変動観測衛星GCOM-Cの2つの衛星シリーズから成る。GCOM-WはAMSR後継機を中心として、主として水・エネルギー循環を観測する衛星であり、GCOM-CはGLI後継機を中心として、気候変動を主として観測する衛星である。各衛星の設計寿命は5年であり、それぞれのシリーズは、3機の衛星から構成される。衛星間の相互較正、相互検証を保証するために、各衛星は前号機の衛星打ち上げ4年後に打ち上げられる。従って、それぞれのシリーズは合計少なくとも13年間の継続観測が保証される。

地球環境変動の全てを観測するためには、GCOMシリーズだけでは十分ではない。そのためGCOMはJAXAの他の地球観測ミッション、AMSR-E(2002年Aqua打ち上げ)、ALOS(2006年打ち上げ)、GOSAT(温室効果ガス観測、2009年打ち上げ)、GPM(降雨観測、2013年打ち上げ予定)、EarthCare(雲・エアロゾル観測、2013年打ち上げ予定)と協同すると共に、同時期に観測が予定されている海外のミッション、NPP(2010年打ち上げ予定)、NPOESS、METOP等との共同研究も視野に入れる必要がある。

地球観測衛星は、科学的・実用的成果が挙がって初めて有効となるものである。しかしながら科学的・実用的成果は自然に生まれてくるものではない。JAXAは地球観測研究センター(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、独立研究法人等との協力が不可欠である。

現在、宇宙基本法が成立し、その中ではJAXAの見直しが謳われている。今後JAXAがどのような変化を迎えるかは現時点では不明であるが、GCOMによりJAXAが科学的・実用的成果を挙げるための計画として、このGCOMサイエンスプランを制定する。

2. GCOM 第一期の衛星の概要 (下田 陽久：東海大)

下記にGCOM第一期の衛星の概要を示す。

2. 1 GCOM-W 1

2. 1. 1 軌道

太陽同期準回帰軌道

高度：約700km

昇交点通過地方太陽時時刻：13:30±15min

打ち上げ：2011年度

2. 1. 2 衛星主要諸元

質量：約1.9トン

電力：約4kW

データ送信：Xバンド、10Mbps

2. 1. 3 センサ (AMSR2) の主要諸元

方式	コニカル走査方式マイクロ波放射計
アンテナ	口径 2.0m、オフセットパラボラアンテナ
観測幅	1,450km 以上
量子化 bit 数	12bit (全チャネル)
入射角	55 度 (検出精度は 0.0833 度以下)
偏波	垂直及び水平
交差偏波特性	-20dB 以下 (但し、7.3GHz チャネルを除く)
主ビーム効率	90%以上
ダイナミックレンジ	2.7-340K
輝度温度誤差	系統誤差：±1.0K 以下 (最大振幅、150K 相当) (目標) 変動誤差：±0.3K 以下 (3σ、150K 相当) (目標)
幾何誤差	2.5km 以内 (最小 IFOV の 50%程度)
サンプリング間隔	5-10km 程度 (但し、89GHz 帯を除き 3dB ビーム幅でアンダーラップが無いこと)

中心周波数 (GHz)	地上瞬時視野 (km, cross-track)	帯域幅 (MHz)	温度分解能 (K, 1σ, 150K)
6.925	35	350	0.34
7.3	35	350	0.43
10.65	24	100	0.70
18.7	13	200	0.70
23.8	15	400	0.60
36.5	7	1000	0.70
89.0	3	3000	1.2

2. 2 GCOM-C 1

2. 2. 1 軌道

太陽同期準回帰軌道

高度：約800km

降交点通過地方太陽時時刻：10:30±15min

打ち上げ：2013年度

2. 2. 2 衛星主要諸元

質量：約2.0トン

電力：約4kW

データ送信：Xバンド、138Mbps

2. 2. 3 センサ（SGLI）の主要諸元

SGLIは可視・近赤外放射計部（VNR）と赤外走査放射計部（IRS）の2種類の放射計から構成される。VNRはプッシュブルーム方式の放射計であり、IRSはホイスクブルーム方式の放射計である。VNRは更に非偏光測定のカメラと偏光測定のカメラの2種類のカメラから構成される。VNR非偏光カメラは3本の光学系から構成され、合計の走査幅は約1150kmである。VNRには11のチャンネルがあり、1チャンネルを除いて、空間分解能は250mである。偏光用カメラは波長別に2本の光学系から構成され、それぞれの波長で、3方向の偏光を測定する。走査幅は1150km、空間分解能は1kmである。また、各光学系は衛星進行方向前後にチルトする機能を備えており、太陽からの前方散乱光を測定する。

IRSは短波長赤外4チャンネル、熱赤外2チャンネルの放射計で、走査幅は地上約1400kmである。空間分解能はチャンネルによって異なり、短波長赤外1チャンネルで250m、他のチャンネルは1km、熱赤外チャンネルは500mである。次に、観測波長および仕様を示す。

表 2. 2. 1 VNR非偏光部

Ch.	中心 波長 [nm]	IFOV [m]	$\Delta\lambda$ [nm]	Lstd [W/m ² /str/ μ m]	Lmax. [W/m ² /str/ μ m]	S/N	主目的
VN1	380	250	10	60	210	250	エアロゾル, CDOM
VN2	412	250	10	75	250	400	エアロゾル, CDOM, PAR, EVI
VN3	443	250	10	64	400	300	海上吸収性エアロゾル, CHL, CDOM, PAR, EVI, 積雪/海氷面積, 雪不純物
VN4	490	250	10	53	120	400	CHL(middle)
VN5	530	250	20	41	350	250	雲検知, CHL(high), PAR, NPP, 積雪/海氷面積
VN6	565	250	20	33	90	400	CHL(Baseline), SS
VN7	673.5	250	20	23	62	400	大気補正, SS
VN8	673.5	250	20	25	210	250	NDVI,EVI,BSI,SI, 積雪/海氷面積, NDSI
VN9	763	250/ 1000	12	40	350	1200	雲幾何学的厚さ
VN10	868.5	250	20	8	30	400	大気補正
VN11	868.5	250	20	30	300	200	NDVI,EVI,BSI,SI, 積雪/海氷面積, 積雪粒径,NDSI

表 2. 2. 2 VNR偏光部

Ch.	中心 波長 [nm]	IFOV [m]	$\Delta\lambda$ [nm]	Lstd [W/m ² /str/ μ m]	Lmax. [W/m ² /str/ μ m]	S/N	主目的
P1	673.5	1000	20	25	250	250	エアロゾル, BSI・SI,雪/氷 BRDF, 雪/氷分類
P2	868.5	1000	20	30	300	250	エアロゾル, BSI・SI,雪/氷 BRDF, 雪/氷分類

表 2. 2. 3 IRS短波長赤外部

Ch.	中心 波長 [nm]	IFOV [m]	$\Delta\lambda$ [nm]	Lstd [W/m ² /str/ μ m]	Lmax [W/m ² /str/ μ m]	S/N	主要目的
SW1	1050	1000	20	57	248	500	雲光学的厚さ,NDII, 海水種類
SW2	1380	1000	20	8	103	150	雲検知
SW3	1630	250	200	3	50	57	雲検知, 積雪粒径, 雲フェイズ, 植生水分量,土壌水分
SW4	2210	1000	50	1.9	20	211	雲有効粒径

表 2. 2. 4 IRS熱赤外部

Ch.	中心 波長 [μ m]	IFOV [m]	$\Delta\lambda$ [μ m]	Tstd[K]	Tmin[K] /Tmax[K]	NEd T@T std	主要目的
T1	10.8	250/ 500	0.7	300	340	0.2	雲検知, 雲頂温度, 巻雲特 性, LST, SST,積雪面温度
T2	12.0	250/ 500	0.7	300	340	0.2	雲検知, 巻雲特性,大気補 正,LST, 積雪面温度

*T1、T2 の IFOV250m はオプション

3. GCOM の目的および期待される成果（下田 陽久：東海大）

GCOM の果たすべき役割は基本的に国民生活の向上と人類への貢献である。より具体的には ADEOS、ADEOS-II が目指した観測を再開し更にその高度化を図ることにより、地球環境問題解明に必要な知見の蓄積を目標とする。その主たる対象は気候変動と水循環メカニズムであり、京都議定書に対応すると共に、全地球観測システム（GEOSS）へ貢献する。同時に、国民生活向上への直接的貢献として、実利用を推進する。

地球環境変動の実態把握と理解への貢献として、気候変動と水循環メカニズムを中心とする地球環境変動に大きな影響を与える物理量を長期間継続観測することにより、下記の成果を達成する。

- ・地球規模での気候変動・水循環メカニズムを解明する上で有効な物理量（海面水温、土壌水分等）の観測を全球規模で長期間継続的に行えるシステムを構築し、利用実証する。
- ・現在の気候予測モデルにおいて不確定性の高いパラメータの正確な数値を与え、モデルの精度の向上を図る。
- ・温室効果ガスのシンク・ソースの明確化を図る。
- ・長期間の物理量変動を与え、気候予測モデルの検証及びモデルの精度の向上を図る。
- ・長期間の物理量変動から、短期（3－6年程度）の自然変動を除いた、地球環境変動（温暖化、植生の変動、砂漠化、大気中物質の変動、広域大気汚染の拡大、オゾン層 等）のトレンドを把握する。
- ・観測されたデータを用いて、地球環境変動素過程の解明に努める。
- ・上記の目標を達成するため、ユーザ機関と協調の上、衛星観測物理量、地上観測データ、モデル等を組み合わせて、放射強制力、エネルギー・炭素フラックス、アルベド等の推定を行う。
- ・これらの作業を通じて、地球システムの理解の高度化を図る。
- ・上記の結果を踏まえ、我が国の国際環境戦略に寄与する。

また、国民生活向上への直接的貢献として、得られたデータを用いて、下記のような国民生活の向上に寄与する。

- ・気象予測精度の向上（特に、台風進路予想、集中豪雨等）
- ・異常気象・気候の予報精度の向上
- ・海路情報の精度向上
- ・漁場情報の提供
- ・沿岸管理の効率化
- ・農産物収量予想の高精度化
- ・火山噴煙の観測及び影響範囲の予測
- ・黄砂等の大気汚染の監視及び予測
- ・森林火災検知

地球観測サミットのワーキンググループとして機能している GEO（Group on Earth Observation）が公表した GEOSS10 年計画では、以下の 9 分野を今後 10 年間の地球観測計画の中心と定めている。1）災害、2）健康、3）エネルギー、4）気候、5）水、6）気象、7）生態システム、8）農業、9）種の多様性。GCOM はこれらのうち、特に気候、水、気象、生態システムの各分野で GEOSS に貢献すると共に、他の 5 分野でも、十分な貢献が期待できる。

気候変動予測精度を向上させるためには、IPCC 報告に挙げられている不確定要因の観測精度を向上させなければならないと同時に気候変動の実態をモニタしなければならない。これらの不確定要因のうち、GCOM で観測可能な要因を下記に示す。

3. 1 放射強制力の不確定性

- ・エアロゾル
- ・雲

3. 2 フラックスの不確定性

- ・エネルギー循環
 - ・大気・海洋間エネルギーフラックス
 - ・海洋表層循環
 - ・雪氷・大気間エネルギーフラックス
 - ・地球放射収支
- ・炭素循環
 - ・温室効果ガスの発生源・吸収源
 - ・炭素フラックス
- ・水循環
 - ・降雨
 - ・海洋からの潜熱輸送
 - ・蒸発散
 - ・陸域水輸送
 - ・積雪

3. 3 プロセス及びフィードバックの不確定性

- ・雲・エアロゾルの生成・消滅過程
- ・気候変動の降雨・降雪への影響
- ・陸域植生の生態過程と気候変動の陸域植生への影響
- ・温暖化の短期気候変動に対する影響

3. 4 温暖化の徴候

- ・高緯度地域の雪氷変化
- ・高緯度地域の成層圏気温
- ・赤道地域の成層圏気温

上記の問題点を解決するために、GCOM では以下に示す具体的目標を置く。

- ・高精度物理量算出のためのアルゴリズム開発
- ・モデルの入力に用いるための気候値作成
- ・長期間データセットを用いた、自然変動とトレンドの分離及び、モデルの検証
- ・地域特性の把握
- ・プロセスの解明とモデルの精度向上

4. GCOM 科学研究計画

4. 1 大気科学

4. 1. 1 GCOM による大気科学 (中島 映至：東大)

GCOM シリーズの大気観測機能は、全球の気候の状態とその変化を調査するために最適に設計されている。すなわち、エアロゾル、水蒸気、雲、降雨の測定にとって重要な波長チャンネルを有する近紫外・可視・赤外イメージャ SGLI とマイクロ波放射計 AMSR2 によって、中規模空間・波長分解能で全球のイメージング観測を行うことができる。このカテゴリに入るセンサは、NOAA/AVHRR と SSM/I をはじめ、ADEOS-II/GLI と AMSR、AQUA/MODIS と AMSR-E、TRMM/VIRS と TMI などがある。これらのセンサを使って、これまでに、エアロゾル、水蒸気、雲、降水に関する全球マップが作られており、気候研究や環境モニタリングに利用されてきた。

AVHRR や SSM/I による大気リモートセンシングは、センサ感度等の問題はあものの、1981 年ころから (SSM/I は 1987 年から) から始まっており、それらを考慮すると大気に関するデータは 30 年スケールになり、気候変動研究にとって重要なデータセットを形成する。大気海洋の相互作用スケールのひとつである 10 年振動スケールの現象の分離が可能になり始めるので、特に気候変動研究に関しては、内部強制による自然変動と温暖化等の人為起原変動を分離することができると考えられる。また、GCOM 時代には地球温暖化等の人間起原の気候変化が顕著になり始めると考えられるので、モンスーン循環、領域ごとの降水量などの長年変化に関する貴重なデータが供給される。また、大陸スケールのエアロゾル分布が人間活動の変化に伴って変化する様子も観測されるはずである。雲に関しては、その時空間変動の大きさから長年変化をとらえるのはかなり難しい作業ではあるが、複数センサや地上観測データとの複合解析によって場の特徴が見えてくる可能性が高い。その結果、雲が気候変動に及ぼす役割についての知見が得られる。現在の大循環モデリングでは、雲が温暖化を加速するか、抑制するかは明らかになっていない。複合解析で明らかにすべき現象としては、温暖化に伴うハドレー循環の変化、熱帯性低気圧やエルニーニョ現象の変化、モンスーン循環の変化とそれに伴う集中豪雨等の極端現象の変化、アジア大陸等における降雨量の変化、水蒸気と雲による大気の冷却・加熱分布の変化、エアロゾルと雲の放射強制力の変化等である。このような評価は、現在の衛星観測とモデリングでは十分な確度をもって明らかにすることができていない。

このように、本ミッションは科学的に大きな成果を期待することが可能であるが、そのためには次の 2 つの条件を確保することが重要である。まず、気候研究にとって不可欠な長期時系列の作成である。さらに近年の大気場の解析では様々なパラメータ間の関連の研究が重要であり、そのためには単一センサからのデータだけでは不十分で、多面的なデータの供給が宇宙から必要である。特に、アクティブセンサであるライダ、雲レーダ、降雨レーダとの複合解析は重要である。これら 2 つの条件を満たすためには、他センサとのコーディネーションの可能性を最大限、図る必要がある。この場合、著しい日変化を伴う大気現象の長期解析には、複数時刻のデータが必要であることを念頭に置く必要がある。例えば、大気上端での放射収支の解析には水蒸気の有効放射温度が重要であり、温暖化の影響を調査するためには、衛星軌道のシフトがもたらす見かけの変動を極力排除する必要がある。また、人為起原のエアロゾルが引き起こす雲場の変化指標として良く使われる有効雲粒子半径の長期時系列にもこのような軌道シフトの影響が起る。この点から見ると、GCOM-W の地方時は 13:30、GCOM-C は 10:30 であり、1 日 4 回の観測を実現するために、世界その他衛星とのコーディネーションを図ることが非常に重要である。その意味では、NASA の A-Train を拡張して、午前と午後のトレインを実現する構想は検討に値する。すなわち、10:30 軌道と 13:30 軌道に投入された衛星を戦略的に組み合わせることができ

ば、衛星システムから得られる情報の質を画期的に上げられる可能性がある。このような可能性を含めて、GCOM シリーズによって得られた知見を、世界の他衛星から得られる知見と複合的に解析することによって、気象と気候研究、ひいては地球表層系に関わるサイエンスに大きな貢献ができると考えられる。このような衛星観測は、それを解釈するためのモデル研究と同時に推進する必要がある、そのための同化技術の開発などが必要である。また、このような長期データの生成には、衛星センサの校正が必要であり、そのためには地上観測網の維持が、本ミッションと国際衛星コミュニティーへの大きな貢献となる。

4. 1. 2 雲・エアロゾル (中島 映至：東大)

AMSR2によるマイクロ波スペクトル域のイメージングからは水蒸気、雲水、降雨強度に関する全球規模情報が取り出せる。また、SGLIによる近紫外・可視・赤外域のイメージングからは、最も分解能の高い場合には250mの空間分解能で雲とエアロゾルに関する情報が取り出せる。このような知見は、現在直面している地球温暖化現象等の気候変動問題における雲とエアロゾルの役割の解明に大きく寄与する。例えば、温暖化予測問題における大きな不確定要因は雲とエアロゾルの気候影響のモデリングであることは、IPCCの第3次と第4次報告書に示されている通りである。雲のモデリングの不確定性は、雲形成そのものが、格子サイズが100 km程度の大循環モデルでは難しい点と、大気汚染が作り出す人為起原エアロゾルが引き起こす雲場の変化の評価が難しいことに起因している。まず、雲の形成に関する問題においては、対流圏の成層状態の形成、水蒸気の輸送、水雲と氷晶雲の形成、降水の形成に関わるモデリング精度の向上が重要で、そのために、従来の大循環モデルによる研究と同時に、数キロメートルサイズの格子システムに基づいた領域モデルやNICAM等の全球非静力学モデルの利用が必要である。このような高分解能モデルでは対流セルとその組織化がより現実的に表現され、同時に、このようなセルに伴うエアロゾルの雲システムへの輸送も表現できるので、雲核による雲粒の形成過程もより現実的な取り込みが可能になる。特に、大循環モデルで使われる積雲対流パラメタリゼーションに強く依存しない雲形成が可能になるので、このことから気候系のなかの雲の役割や、それが大きく寄与している気候感度のより正確な見積もりが可能になる。従って、これらのモデルシミュレーションを検証するための大気データの確保が非常に重要であり、高い空間分解能で全球を覆えるAMSR2とSGLIは有効なデータを提供できるだろう。これらの雲に関する重要な情報としては、水蒸気量、雲光学的厚さ、雲水総量、氷晶粒子量、降水強度などがある。

エアロゾルおよび、エアロゾル・雲相互作用にとって重要な情報は、エアロゾルの光学的厚さ、オングストローム指数、エアロゾルタイプ、雲粒子半径、ドリブル量などであり、SGLIおよび、SGLIと他のマイクロ波放射計の複合データによって推定される。エアロゾルの光学的厚さの全球分布に関しては、衛星観測とモデルとの間に系統的な相違があり、その改善が必要になっている。これはエアロゾルが光学的に薄いために観測が難しいこと、生成消滅過程が複雑でモデリングが難しいことが主要因であると考えられている。このうち、リモートセンシングの改善に関しては、SGLIには、近紫外チャンネル、多方向、偏光観測機能が搭載されており、それによる大幅な観測精度の改善が期待される。特に陸域エアロゾルの精度の高い解析が可能になる。また、250mチャンネルは、ピクセルサイズ以下の雲の除去に有効である。これらの改良によって、放射強制力の大きさで言えば、全球大気上端において、 0.5 W/m^2 程度の精度の改善になるはずである。

エアロゾルが及ぼす雲場への影響については、雲光学的厚さ、有効粒子半径と、エアロゾル数密度との間の相関が衛星データとモデルを用いて調べられているが、未だに大きなばらつきがある。特に陸域の雲や深い対流雲におけるエアロゾルの影響が良く知られていない。これらの問題に関しては上に述べたように、GCOM時代には高分解能モデルが十分に利用できるようになるので、AMSR2とSGLIによる雲とエアロゾルの高い空間分解能のデータが非常にタイムリーに役立つと考えられる。また、近年の研究によると、人為起原のエアロゾルが作り出す地表面放射強制は、全球スケールの広い範囲で、雲量と降雨量の変化を引き起こすことが知られており、その観点からエアロゾルの光学的厚さと光吸収能の全球分布を求めることも重要である。そのために、地上観測網データとの同時解析によって、エアロゾルの一次散乱アルベドを決定するアルゴリズムも開発されている。これらの情報から、更に、地表面放射収支の精度の高い推定が可能である。

以上のような雲とエアロゾルに関するデータ解析のためには、ADEOS-II ミッションの時に開発された資産と地上検証システムが大きく役立つが、それを更に発展させる必要が

ある。近年では、衛星と地上観測網の同時解析やモデルを利用した同化手法による解析法が開発されており、それらを利用して **GCOM** 時代にはより精度の高い成果物を作成しなければならない。このような状況に対応するために、従来型の衛星データの逆問題を利用した解析と同時に、モデルとの比較や同化解析のためのシステム開発を行う必要がある。

4. 1. 3 水循環 (沖 大幹 : 東大)

地球表層にある水の総量は約 1.4×10^{21} kg と推定されており、これは地球全体の質量のわずか約 0.02 % に過ぎない。しかし、宇宙から地球を眺めたとするならば、その約半分には雲がかかっている、雲がなくとも 2/3 は海で覆われ、陸上にも植生が繁茂するなど、まさにその表層は水の存在ならではの様相を呈していて、例え惑星を構成する絶対量としてはわずかであっても、やはり地球は水の惑星だと実感されるに違いない (Oki, 2005)。

太陽からの放射エネルギーが緯度帯によって地球表層上に不均一に吸収され、結果として暖かい赤道地域から冷たい高緯度地域へとその不均一を解消するため大気と海洋は循環してエネルギーを輸送している。その大循環にともなって水は地球表層を循環しているだけではなく、固体 (氷)、液体 (水)、気体 (水蒸気) の間で相変化する際にエネルギーを放出したり吸収したりして大気や海洋の循環そのものにも影響を与えており、また、地球表層の放射収支にも大気中の水蒸気量が支配的な影響を持つなど、水の存在とその循環は地球表層の環境を決めている主要因である。

地球表層のどこにどの程度の水が存在し、どの程度の速度で動いているのかについて、Korzun (1978) や Shiklomanov (1997)、Oki (1999)、Dirmeyer *et al.* (2006) などのデータに基づいてとりまとめたものが図 4.1.1 である (Oki and Kanae, 2006)。枠に囲まれた数字が水の貯留量 (10^3 km^3)、矢印の脇に記された数字が水の移動量 ($10^3 \text{ km}^3/\text{年}$) でフラックスとも呼ばれる。降水量と蒸発量に関しては主な土地利用ごとの数字 (内数) も記されており、それらの土地利用区分の地球表層における面積 (10^6 km^2) が () 内の数字で示されている。地球表層全体をマクロに見ると、海洋上では降水量よりも蒸発量の方が多く、その分海洋上から陸上へと正味の水蒸気の輸送があり、雨や雪として降った水は蒸発散として大気に戻ったり、河川流出として海洋へと運ばれたりしている。図中では、農業、工業、生活用水のための取水量も書き込まれているが、これらのうちどの程度が蒸発し、残りが再び河川へ戻ったり地下水に浸透したりしているかはまだつまびらかではない。しかし、グローバルスケールの水循環に対してもこうした人間活動の影響は無視できない量となっており、「自然」の水循環に人間活動の影響を加えた「現実の」水循環を研究対象とすることが地球環境科学では重要である (Oki *et al.*, 2006)。

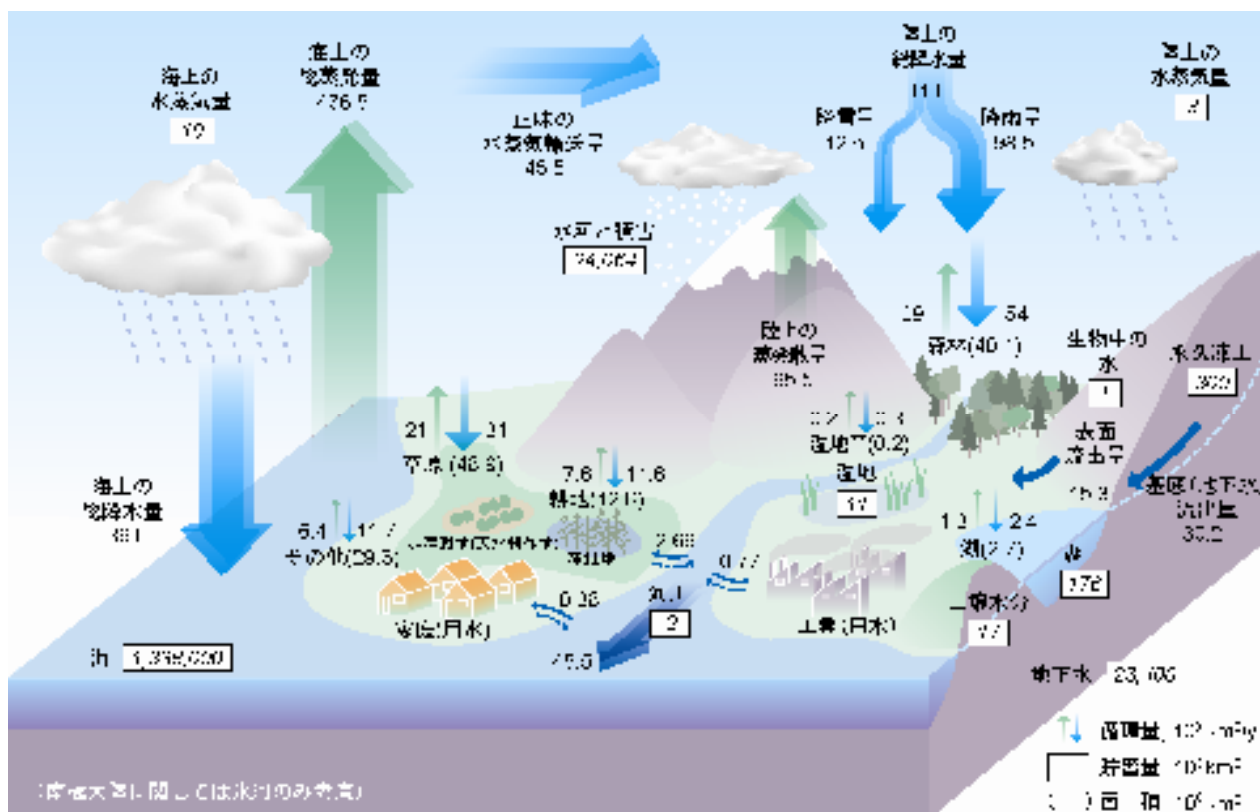


図 4.1.1 グローバルな水循環の模式図。Korzun (1978)、Shiklomanov (1997)、Oki (1999)、Dirmeyer *et al.* (2006) などのデータに基づく (Oki and Kanae, 2006 の耕地、その他面積の誤りを修正)。

水の循環は、洪水や渇水といった災害に関わっているのみならず、生命の維持に不可欠であり、生態系が健全に機能するためには健全な水循環が不可欠である。飲み水の質は短期的・長期的な健康の維持と深く関わっており、食料生産に対しても地域によっては水が生産性向上を左右する主要な要因となっている。洗浄用や冷却用などの媒体として工業生産にも水は不可欠であり、日本では全発電量の 4 % を占めるに過ぎない水力発電も、カナダやブラジルあるいはラオスのように発電量の半分以上あるいは大半を占めている国もあって、さらに大河川や湖沼のような内陸水面は原材料や製品の輸送路として重要な役割を果たしているなど、水循環の適切なマネジメントは人間の健康の維持と社会の経済発展のために不可欠である。

そうした人間社会が使う資源としての水は水資源と呼ばれるが、水資源を考える場合には、どこにどの程度水が存在するか、すなわち図 4.1.1 において枠内に記載された数字ではなく、水の流れ、すなわち図 4.1.1 では矢印に沿って示された数字が重要となる。それは化石資源とは異なり、水資源はストックではなくフローを利用するものだからである。すなわち、河川から水を使う、といっても、ある瞬間に世界中の河道内に存在していると推定されている 2,000 km³ が資源量だと考えるのではなく、1 年間に河道を通過する 45,500 km³/年が資源量だと考えるべきであり、これと例えば農業工業生活用水の合計約 3,800 km³/年とを比べて需給が満たされるかどうかを議論すべきなのである。地球上の水資源の希少性を論じる際に、地球上の水の 97.5 % は海水であり、残りの淡水のうちでも大半は深層地下水や氷床で人間は簡単には利用できない、といった説明がなされることがある。しかし、水資源はフローであることを考えるとこれはやや誤解を招く説明であることがわかるだろう。

地球規模の水循環の観測に限らず、衛星リモートセンシングなどでは概してストックよ

りはフロー、すなわち状態量よりはフラックスの方が測定は難しい。特に、降水量はその時間空間変動が大きいので、広域の精度の高い測定は非常に困難であるが、太陽放射とともに陸域の水循環を駆動している主要因であり、用途に応じた高い時間空間分解能で必要な精度で観測推定される必要がある。また、全球水循環という観点からは、降水以外にも、河川流量や蒸発散量といったフローが地球観測衛星によってもモニタリングされることが望ましいが、河川流量に関しては高度計によって大河川の水面水位変動がようやく観測されるようになったところであり、蒸発散量に関しては間接的に推定するか、数値モデルシミュレーションに頼らざるを得ない状況である。

グローバルスケールの水循環や水収支の推定には数値モデルによるシミュレーション結果に基づく推定値も含まれているが、同じ気象条件データに基づいて算定しても数値モデル（ここでは陸面モデルと呼ばれる陸上の水・エネルギー収支を算定する数値シミュレーションモデル）間のばらつきの方が、モデル推定値の平均値の年々のばらつきよりも大きいことがわかっている。全球土壌水分プロジェクト第2期の結果に基づいてとりまとめたものが図4.1.2（Dirmeyer *et al.*, 2006）であるが、雨として降るのか雪として降るのかすらモデル推定によって大きく異なる、ということもわかる。そもそも、降水量観測は雪など固体降水も溶かして測定されており、降水量のうちの雨雪分類がグローバルにどのようなになっているのか、といった信頼できる観測推定値はなく、より適切に水循環を知るためにも、そうした基礎的な情報が得られるような観測が望まれる。

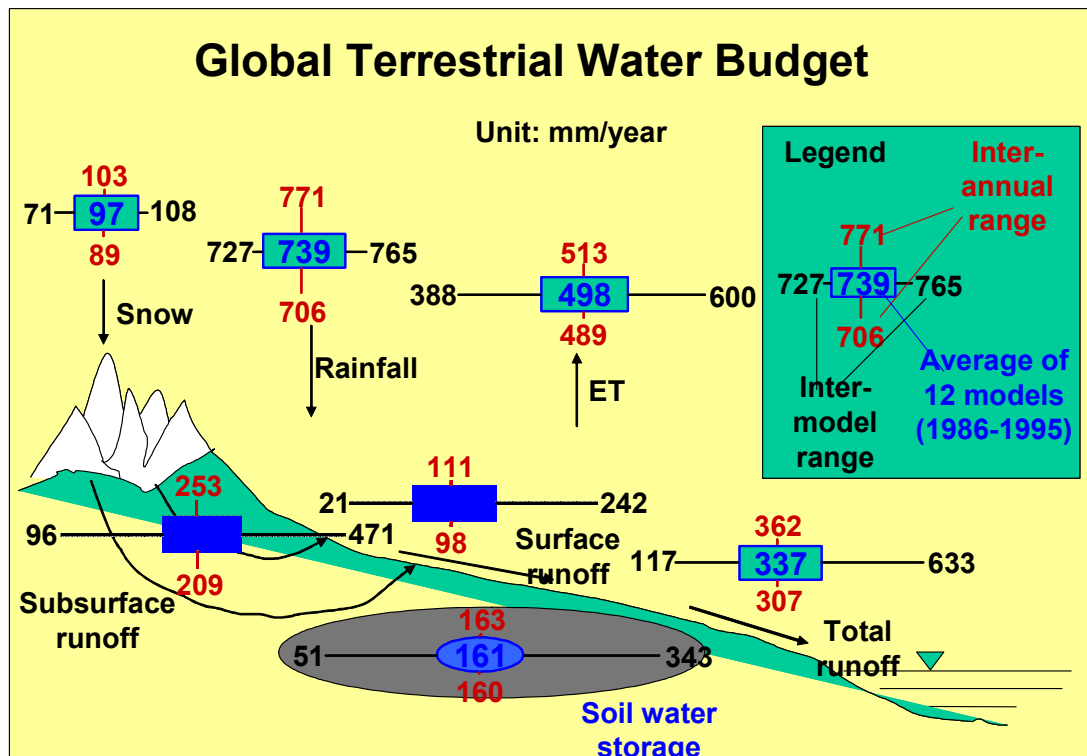


図4.1.2 陸面モデルによる10年平均のグローバルな水収支推定における年々変動とモデル間のばらつき（Dirmeyer *et al.*, 2006）。

地球規模の水循環の長期的な変動とその社会への影響を模式化したものが図4.1.3である。気候変動の影響だけではなく、人口増加や経済発展に伴う食料生産の増加や水使用量の増大、土地被覆の改変なども水文循環の変化をもたらし、渇水に対する脆弱性である水ストレスの増減、あるいは洪水に対するリスクの増減として社会に影響を及ぼす

ことになる。こういう枠組みで考えると、地球表層の水循環システムに関わる宇宙からの地球環境観測では、氷床・氷河や積雪面積、湖沼分布、土壌水分、地下水変動など、直接水循環に関わる「水ストック」の観測のみならず、気候変動をもたらすいわゆる温室効果ガス観測や食料生産に関わるような土地被覆・土地利用、植生分布に関わる観測も重要であることがわかる。GCOMにおいても、他の衛星やセンサによるそれらの水循環に関係する対象の観測推定結果を十分に活用し、地球表層の水循環システム全体の解明に資するような協調的な研究計画の構築が必要だと考えられる。

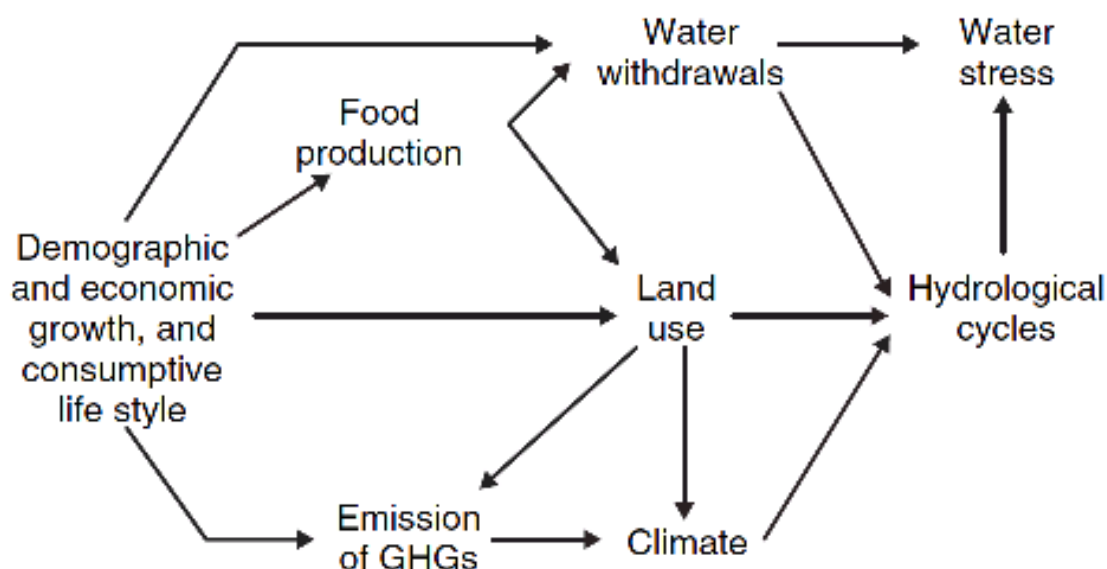


図 4.1.3 人口増加や経済発展による人間活動の増大が土地改変、気候変動や食料生産などを通じて地球規模の水循環に及ぼす影響について (Oki, 2005)。

<参考文献>

- Dirmeyer, P. A., X. Gao, M. Zhao, Z. Guo, T. Oki and N. Hanasaki, 2006: The Second Global Soil Wetness Project (GSWP-2): Multi-model analysis and implications for our perception of the land surface. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, in print.
- Korzun, V. I., 1978: World water balance and water resources of the earth. *Studies and Reports in Hydrology*, Vol. **25**, UNESCO.
- Oki, T., 1999: The global water cycle: *Global Energy and Water Cycles*, Browning K. and Gurney R. (Eds.). Cambridge University Press: pp. 10–27.
- Oki, T., 2005: The Hydrologic Cycles and Global Circulation. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, Volume 1, 656 pages, M.G. Anderson and Jeffrey J. McDonnell (eds), John Wiley & Sons Ltd, 13-22.
- Oki, T., C. Valeo and K. Heal (Eds.), 2006: Hydrology 2020: An Integrating Science to Meet World Water Challenges. *IAHS Publication*, **300**, 190 + xxxii pp.
- Oki, T., and S. Kanae, 2006: Global Hydrological Cycles and World Water Resources. submitted for *Science*.
- Shiklomanov, I. A. (ed.), 1997: Assessment of Water Resources and Water Availability in the World, Background Report for the Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Paris: WMO/SEI.

4. 2 海洋科学

4. 2. 1 海洋気象・海洋物理 (江淵 直人：北大)

4. 2. 1. 1 海面水温データセットの作成

海面水温は、大気と海洋の相互作用の研究にとって非常に重要な基礎的データである。また、種々の大気大循環モデルを駆動するための境界条件としても用いられている。1970年代後半から続いている赤外放射計を用いた海面水温観測に加えて、近年、TRMM/TMI、ADEOS-II/AMSR、Aqua/AMSR-Eなどのマイクロ波放射計による海面水温観測が行われるようになってきた。マイクロ波放射計は、空間分解能や観測精度の面では赤外放射計に劣るが、雲の影響を受けずに観測ができるという利点を持つ。赤外放射計、マイクロ波放射計それぞれの利点を生かす形で、両者の観測データをブレンドして高時空間分解能の海面水温データセットを作成する試みが進められている。

GCOM ミッションにおいても、赤外放射計およびマイクロ波放射計による全球海面水温観測が計画されている。GCOMによる海面水温観測データおよび同時期に運用されている衛星による海面水温観測データを統合して、より高時空間分解能の海面水温データセットが作成されることが期待できる。AMSR、AMSR-E から始まる赤外放射計、マイクロ波放射計観測をブレンドした全球海面水温データセットはGCOM ミッションによって20年以上の期間に及ぶことになる。このような長期間にわたる高時空間分解能の海面水温データセットを得ることにより、海面水温に現れる気候変動のトレンドの検出や大気・海洋の十年スケールの変動の研究が大きく進展することが期待できる。

4. 2. 1. 2 海面フラックスデータセットの作成

海面における運動量および熱のフラックスを正確に見積もることは、大気海洋相互作用のメカニズムを明らかにし、気候変動における海洋の役割を解明する上で極めて重要である。ADEOS-II ミッションにおいて、GLI、AMSR、SeaWindsの観測データを他の衛星データと組み合わせて、海面フラックスデータセットを作成することが計画されており、既存のマイクロ波放射計、マイクロ波散乱計、静止衛星の可視・赤外放射計などのデータを用いて、熱フラックスの4成分（短波放射、長波放射、潜熱、顕熱）、淡水（蒸発量－降水量）および運動量フラックスを見積もる手法の開発が行われている。現時点で、海面水温、マイクロ波帯の輝度温度、海上風速・風向、雲量などの衛星観測データから、バルク法を用いて海面熱・淡水・運動量フラックスを推定する手法はほぼ完成しつつある。

GCOM ミッションにおいては、この手法を活用して海面フラックスデータセットを作成し、現場データとの比較によってその推定精度を検証する。ミッションを通して10年以上継続するデータセットが完成することにより、海洋熱輸送や水塊の形成・移動過程が明らかとなり、十年スケールの大気海洋間のフィードバック機構の解明に寄与できるものと期待される。また、衛星観測データと大気大循環モデルなどの数値モデルとの融合あるいは同化によって、より高精度な海面フラックスデータを求める技術の開発が重要な課題となると考えられる。なお、運動量フラックスの推定には、マイクロ波散乱計によって観測される海上風ベクトルのデータが必要不可欠である。GCOM-W1にはマイクロ波散乱計が搭載されないため、同時期に運用が予定されているQuikSCAT/SeaWindsやMetop-A/ASCATの観測データの利用を予定しているが、GCOM-W2以降についてはマイクロ波散乱計の搭載が望まれる。また、将来マイクロ波放射計に海面塩分の計測機能が付加されれば、淡水フラックスの推定と検証に有効と考えられる。

4. 2. 1. 3 台風データベースの作成

台風に代表される熱帯低気圧は、防災の側面のみならず、赤道域から中緯度域への水・エネルギー輸送の面でも非常に重要な研究対象である。JAXA/EORC では、TRMM、ADEOS-II、Aqua/AMSR-E の観測データに基づいて台風データベースを作成してきた。海上風、積算水蒸気量、積算雲水量、海面水温などの観測データを複合的に利用することによって、台風の構造、発達、維持、減衰などのプロセスが明らかになりつつある。

GCOM ミッションにおいても台風データベースの作成が継続可能であり、熱帯低気圧のプロセス研究および水・エネルギー輸送への寄与などの理解が進むものと期待される。台風の構造などをより明らかにしていくためには、マイクロ波散乱計によって観測される海上風ベクトルのデータが必要不可欠である。GCOM-W1 にはマイクロ波散乱計が搭載されないため、同時期に運用が予定されている QuikSCAT/SeaWinds や Metop-A/ASCAT の観測データの利用を予定しているが、GCOM-W2 以降についてはマイクロ波散乱計の搭載が望まれる。

なお、GCOM ミッションの観測データの気象予報、防災等への現業利用については後述する。

4. 2. 1. 4 海洋上の広域水収支の研究

近年、ADEOS-II/SeaWinds や QuikSCAT/SeaWinds などのマイクロ波散乱計によって観測された海上風ベクトルと TRMM/TMI、ADEOS-II/AMSR、Aqua/AMSR-E などのマイクロ波放射計によって観測された積算水蒸気量を使って海洋上の大気の水収支を調べる方法が開発され、大洋規模の水循環の研究に用いられている。ある鉛直断面を通した水蒸気輸送を見積もるためには、原理的には、各層における水蒸気量と断面に直交する方向の風速成分の積を鉛直積分する必要がある、従来、主に気象モデルの解析データを用いた見積もりが用いられてきた。それに対して、水蒸気輸送量を鉛直積算水蒸気量とある代表的な風速の積として表現し、この代表的な風速をマイクロ波散乱計の海上風ベクトルを用いて経験的に求める方法が開発された。

GCOM ミッションにおいても同様の方法によって、海洋上の広域水収支の実態とその変動を明らかにすることが可能である。GCOM-W1 にはマイクロ波散乱計が搭載されないため、同時期に運用が予定されている QuikSCAT/SeaWinds や Metop-A/ASCAT の観測データの利用が予定されるが、GCOM-W2 以降についてはマイクロ波散乱計の搭載が望まれる。また、将来マイクロ波放射計に海面塩分の計測機能が付加されれば、淡水フラックスの推定および水循環の解明に大きく貢献するものと期待される。

この手法で見積もられる水蒸気輸送量は大気大循環モデルなどの数値モデルの結果と相補的に用いることが可能で、相互比較による検証や、データの融合・同化などの手法の開発も重要な研究課題となる。

4. 2. 1. 5 大気海洋相互作用の研究

GCOM ミッションで得られる長期間にわたる高精度・高時間空間分解能のデータプロダクトを用いて様々なスケールの大気海洋相互作用の研究が可能となる。赤道・低緯度域では、エルニーニョ・南方振動と熱帯収束帯の変動、インド洋ダイポール現象、季節内変動、モンスーンの変動と水循環、などの研究テーマが想定される。

中高緯度域では、近年の研究により、海洋表層の水温変動が大気の変動を生む新しい形の大気海洋相互作用が働いていることが、TRMM/TMI、ADEOS-II/AMSR、Aqua/AMSR-E などのマイクロ波放射計による全天候型の海面水温観測と QuikSCAT/SeaWinds、ADEOS-II/SeaWinds などのマイクロ波散乱計による海上風ベ

クトル観測の結果として明らかとなってきた。従来、中・高緯度では、海上風の変動が海面からの潜熱・顕熱フラックスの変動を通して海面を冷却して海面水温を変動させるメカニズムが考えられてきた。この場合、海面水温の偏差と海上風の偏差には負の相関が存在する。これに対して、海洋の変動が、海面水温の変動を生じ、それが大気境界層の安定度を変化させることによって、海上風の変動を生じるメカニズムが、黒潮、ガルフストリーム、アグラス海流、マルビーナス海流などの西岸境界流域や、南極周極流域、東部赤道太平洋域などで存在することが明らかになった。この場合、海面水温偏差と海上風偏差は正の相関を持つ。従来、種々のテレコネクションパターンなどを通じてエルニーニョ・南方振動などの赤道域の大気・海洋の変動が、世界中の気候に影響を与えることに関しては数多くの研究が行われてきたが、中・高緯度の海洋が気候システムに与える影響については明らかでない点も多い。GCOM ミッションによって得られる各種のデータセットを用いて、中・高緯度の海洋が大気を駆動する新しいメカニズムが明らかになることが期待されている。

GCOM ミッションの最終的な成果として、GCOM ミッション単独では十数年、ADEOS-II から通算すると 20 年あまりのデータセットが得られる見込みである。これまで種々のデータセットの期間の短さやそのカバレッジ、時空間分解能、精度などの問題が研究上の大きな妨げであった十年以上のスケールの大気海洋システムの変動現象についての理解が GCOM ミッションの成果として飛躍的に発展するものと期待される。

4. 2. 2 海洋生物、海洋炭素循環 (才野 敏郎 : JAMSTEC)

4. 2. 2. 1 海洋の炭素循環と基礎生産

海洋は地球表層における水と二酸化炭素の最大のプールである。このため、地球表層における水、熱・エネルギーおよび炭素の循環に対して決定的な役割を果たしている。陸上および海洋を問わず、地球表層において生物は水と炭素の循環の接点に位置し、両者の循環を関係付ける役割を果たしている。海洋においては海洋浅層に存在する植物プランクトンは基礎生産者として、物質循環の出発点となっている。独立栄養生物である植物プランクトンと、その基礎生産に依存する動物プランクトンや細菌などの従属栄養生物群集が海洋表層において粒子を生成し、その一部が重力によって深海に輸送される過程は、生物群集が全体として大気から海洋に溶け込んだ二酸化炭素を有機物の粒子に変換し深層へ運ぶことを意味しており、海洋の物質循環における生物ポンプと呼ばれている。

地球温暖化とそれによる気候変化や地球環境変化を予測し、対応策を立案するためには地球表層での水、熱エネルギー循環と炭素循環のメカニズムを理解し、気候変動予測モデルを精緻化する必要がある。特に炭素循環における生物ポンプのように生物の関与する現象に関しては変動要因に対する生物群集ひいては生態系の応答が必ずしも線形ではない可能性が高いため、そのメカニズムを理解することは容易ではない。海洋における炭素循環における生態系の応答を調べるためには、まず、海洋の基礎生産者が海洋表層における環境変化にどのように応答しているかを、時空間的に漏れなく観察し、現象を把握する必要がある。海洋生物、海洋炭素循環研究の立場から GCOM-C/SGLI に期待するのは、まず第一に現在までの実用的な海色衛星センサ群による観測を引き継いで、海洋表層の生物群集の活動を長期的に監視し、その変動を定量的に記述することである。

4. 2. 2. 2 海洋生物、海洋炭素循環に関する GCOM-C/SGLI データプロダクト

GCOM-C/SGLI では沿岸海域を対象に可視バンドを 250m の空間分解能で計測できることが最大の特徴である。外洋域に比べて沿岸域では複雑な海岸地形に加えて潮汐の影響により海洋学的現象の時空間変動が著しく大きい。また、人間活動の影響による変化を受けやすいため、経時的変化も大きい。GCOM-C/SGLI による沿岸海洋の生物過程の監視はこの目的にとって最適である。沿岸海域における GCOM-C/SGLI 海色データプロダクトの利用に関しては、本サイエンスプランにおいても沿岸管理への応用が記載されているが、海洋生物、海洋炭素循環研究の観点からも GCOM-C/SGLI 海色データプロダクトには大きな期待が寄せられている。

現在まで、さまざまな海洋炭素循環、特に海面二酸化炭素フラックスの定量的な見積もりが試みられているが、その中で最大の不確実さは沿岸域における見積もりの不確実さに由来している。これを低減することが最大の課題となっており、GCOM の運用はまさに時宜を得たものとなっている。

4. 2. 2. 3 複合的衛星データを利用した海洋表層のプロセス研究

海洋表層における生物群集の活動、炭素循環を監視し、その変動を定量化することが海色衛星観測の第一義的な目標であるが、GCOM-C/SGLI においては 7 つの標準プロダクトに加えて、有光層深度、海水固有の光学的性質、基礎生産力、植物プランクトンの機能別分類、赤潮検出、などの海色応用プロダクトと、海色、海面水温に関する他衛星との複合プロダクトが作成される。これによって今まで取得が困難であった

クロロフィル a 以外の植物プランクトンや、それ以外の粒子、溶存物質に関する光学的データが取得でき、衛星データプロダクトの精度の向上が期待できる。

さらに、気候変動予測モデルを精緻化するためには、海洋表層の環境変化に対する海洋の植物プランクトンの群集構造と基礎生産の変化、さらにはそれによる海洋の炭素循環の変化の因果関係を明らかにすることが必要である。そのためには、GCOM-C/SGLI による海洋生物関係の標準プロダクトおよび応用プロダクトの時系列データを、海洋表層に対する外部入力要因としての、風、日射、降水などの海面フラックスデータ、海流の収束、発散、渦などの物理的構造の変化、風送塵の沈積や沿岸海水の移流などの化学的な物質供給過程などに関する時系列データとあわせてプロセス研究を実施することにより、それらの間の因果関係を明らかにする必要がある。

海洋生物、海洋炭素循環の観点からは、基礎生産、新生産、輸出生産などの炭素フラックスに関するパラメータ、および海洋表層の二酸化炭素分圧、pH、硝酸イオン濃度などの物質の現存量に関するパラメータ、さらに大気-海洋ガス交換係数などに関する新たなデータプロダクトを求めるためのアルゴリズム開発も必要とされている。これらの衛星時系列プロダクトは、気候変動予測モデルの検証のためにも有用である。

4. 2. 2. 4 衛星データを利用したプロセス研究のための海洋現場観測

衛星データを利用したプロセス研究を実施するためには、用いる衛星データは海洋の現象を正しく現していることが保障されていなければならない。海洋表層での生物過程は 1 日程度の時間スケールを持っているので、これを検証するための海洋現場観測はそれを解像することが必要である。特に、GCOM-C/SGLI データの利用が期待される沿岸海域では潮汐の影響を考慮すると数時間スケールの時間解像度が要求される。これらの時間スケールでの海洋現場観測は各種センサを用いた自動計測でなければ実施することが不可能であるから、そのためのセンサと計測技術および、定点における自動計測技術の開発が不可欠である。

4. 2. 2. 5 新たなデータ処理手法の開発

衛星海色データを利用する上で一番問題になることは、雲域でデータが取得されないことによる、観測の偏りである。炭素循環研究において最も基礎的で重要なデータとなる基礎生産は、光の強さに対して非線形に応答するので、晴天領域だけで取得されたデータを用いると深刻な事実誤認を招くことになる。このことは、統計処理が可能なだけのデータ数を持つ GAC データを利用する場合には許容範囲に収まるかも知れないが、一つ一つの LAC データを用いたプロセス研究を実施する場合には特に深刻である。

これを克服するために、海色衛星画像からの客観的な雲域補間方法の開発が求められている。現在 4 次元データ同化手法に著しい進展が見られているが、これを生態系モデルを取り込んだ海水流動モデルに拡張することにより、海洋表層のクロロフィル a 濃度を推定することが可能になると期待される。

4. 3 陸域

4. 3. 1 土地被覆/変化 (下田 陽久：東海大)

4. 3. 1. 1 土地被覆図

土地利用図や土地被覆図は、地上に何があるのかを図示しているという点で、陸域の基本情報の一つである。国内、あるいはそれより小さい領域では、これらの主題図は各種開発計画の基本図となる。また、土地利用／被覆の変化を追うことにより、国の変遷、都市化の状況や、植生の変化状況を知ることができる。

一方、国より広域あるいはグローバルな土地被覆図は、全球レベルでの地表反射率や、植生域を知ることにより、全球の放射収支や炭素循環を推定する基礎資料となる。また、その変化を追うことにより、地表の放射強制力の変化を知ることができると共に、気候変動が地表に与える影響を見積もることができる。

4. 3. 1. 2 土地利用と土地被覆

土地利用 (land use) と土地被覆 (land cover) は、似た言葉であるが意味が異なるので注意が必要である。土地利用は、その言葉通り、ある土地が何に利用されているかを表す。言い換えれば機能を表している。これに対し土地被覆は、文字通りその土地に何があるかを表す。リモートセンシングで直接観測できるものは土地被覆であり、土地利用は高々推定できるだけである。

例えば、土地利用項目の中でも、商業地、工業地等の項目はこの辺りの違いをよく表している。ある建物があつたとき、それが商業的に利用されていれば商業地に分類され、メーカーが入っていれば工業地に分類される。上空からはこの違いが見えず、土地被覆上は、コンクリート製の建物といった分類になる。田や畑のように、土地利用と土地被覆が一致する場合もあるが、一般には異なるため、ここでは土地被覆を対象として話を進める。

4. 3. 1. 3 土地被覆分類の流れ

土地被覆分類といっても、その大半の処理は一般の画像分類と変わらない。最初に幾何補正、放射量補正のような補正処理を行い、特徴抽出の後分類を行う。その後、後処理や分類精度評価が行われる場合もある。この流れの中で特徴的なのは、分類項目 (classification category) の設定と土地被覆変化抽出である。

分類項目の設定は、後に述べるように土地被覆分類にとって大きな意味を持つ。この設定を誤ると、分類精度の低下や、分類結果の有効性を損なうことになる。

変化抽出も土地被覆分類では大きなテーマである。特に経年変化の抽出は多くの実用的利用にとって重要なテーマである。しかし、後に述べるように、画像上の変化は経年変化にとどまらず、季節変化や天候の変化によっても引き起こされるため、高精度な変化抽出は困難な作業である。

4. 3. 1. 4 分類項目

先にも述べたように、分類項目の設定は土地被覆分類にとって大きな影響を持つ。分類項目の設定には、画像の特徴と利用目的の双方を考慮する必要がある。画像側から考える場合、当然のことながら他の分類項目と異なる特徴を持つ分類項目を選定する必要がある。互いに特徴が似ている分類項目を選定した場合、誤分類が増加する。

一般には、利用目的から分類項目を設定することが多い。今、述べたように特徴が

似ている分類項目があった場合は、これらを統合するなどの処置が必要である。一方、同じ分類項目であるが、画像上では異なった特徴を持つ領域が存在する場合がある。例えば同一種類の木であっても、生えている場所の特徴、土壌の違い等によって、異なった特徴を示すことがある。このような場合、最終的な土地被覆図上での分類項目と、画像分類に必要な分類項目を分けて考える必要がある。画像分類の段階では、異なった特徴を持つ対象は異なったクラスとして分類する必要がある。このような場合、画像分類が終わった時点で、同一土地被覆に属する分類クラス (classification class) を統合する。

4. 3. 1. 5 ミクセル

リモートセンシングデータの1画素の中には、いくつかの土地被覆が含まれていることが多い。1画素が完全に同一の被覆物で覆われていることの方がまれだといってもよい。このように複数の被覆物が含まれている画素をミクセル (mixel, mixed pixel) とよぶ。このため、ミクセルに含まれる被覆物の割合を推定する必要がある。これをミクセル分解とよぶ。各被覆物のスペクトルが既知でそれぞれ異なり、かつ、スペクトルチャンネルの数が、ミクセルに含まれている被覆物の種類より多い場合は、簡単な連立方程式を解くことにより、被覆物の割合が求められる。

しかし、このような場合はまれであり、通常は上記の条件が満足されないため、問題は ill-posed となる。ill-posed な問題を well-posed な問題に変換するためには、制約条件が必要となるが、ミクセル問題解決のために多くの手法が提案されている。しかし、リモートセンシングでは、一般に地上に何があるかが分からないため、ごく一部の特殊な状況をのぞいて、安定にミクセル分解を行う方法は見いだされていない。

4. 3. 1. 6 土地被覆変化

土地被覆変化 (land cover change) を抽出する方法は、画像間の変化を抽出する方法と、それぞれの画像を分類後、分類結果の変化を抽出する方法に大別される。前者の方法をとる場合、最初に十分な放射量補正を施す必要がある。変化抽出手法としては、単純な差をとる方法、2つの画像間の内積をとる方法、主成分分析を利用する方法などがあるが、一般に精度の高い変化抽出は困難である。

この原因は、画像間に土地被覆の変化のほか、季節変化、天候変化（例えば前日に雨が降ったか否か）等、土地被覆変化とは関係ない変化が画像上に発生するためである。

分類結果の変化を抽出する場合は、画像間変化を抽出する場合に比べて、上記の問題は減少する。しかし、そのためには、分類クラスは2つの画像間で異なったクラスを設定する必要がある。

どのような変化検出手法を用いる場合でも、正確な幾何補正が必要とされる。時期の異なる画像間に1画素のずれがあった場合でも、異なった土地被覆の境界に沿って変化画素が並んでしまうため、通常は異なる時期の画像間で相対的幾何補正を施すことにより、ずれを最小にする。

4. 3. 1. 7 SGLI による土地被覆分類

現在、グローバルあるいはリージョナルな土地被覆分類には、主として NOAA 搭載の AVHRR、Terra および Aqua 搭載の MODIS および ENVISAT 搭載の MERIS が用いられている。AVHRR が主として用いられていた時期には、AVHRR の波長帯の制約から、土地被覆分類に用いる特徴量として、NDVI および NDVI の季節変化が用いられていた。NDVI が特徴量として用いられてきたもう一つの理由は、AVHRR の大気補

正が十分に行われなかったことにある。NDVI を用いることによって、簡単な大気補正効果が得られる。一方、MODIS の標準プロダクトが得られるようになると、MODIS の地表面反射率データが土地被覆分類に用いられるようになってきた。MODIS には陸域対象のチャンネルが可視から短波長赤外にかけて7つあり、これらのチャンネルに含まれる情報量は、NDVI に比べてはるかに多い。特に最近取得可能となった、NBAR (Nadir BRDF Adjusted Reflectance) プロダクトは、従来の地表面反射率に比べてはるかに精度が高く、高い精度の土地被覆分類が期待できる。

一方、MERIS はスペクトル、および空間分解能の高さに特徴がある。土地被覆分類に利用できるチャンネルは可視・近赤外域に 13 有り、それぞれのチャンネルの波長幅もそのほとんどが 10nm と狭い。また空間分解能も MODIS の陸域チャンネルが 500m (2 チャンネルは 250m) であるのに対し、300m と高い。従って、MERIS を用いた土地被覆分類は、これらの特徴から高い分類精度が期待できる。現在までに MODIS と MERIS を用いた幾つかの比較実験が行われているが、現在の所、MODIS の方が分類精度が高い結果が得られている。この理由として、MERIS には短波長赤外チャンネルがない、MERIS の標準プロダクトに地表面反射率がないという 2 点が考えられる。

これらのセンサに対して、SGLI は以下の点で優位性を持つと考えられる。まず、使用可能なチャンネルは可視から短波長赤外にかけて 10 チャンネル有り、MODIS より多く、MERIS にはない短波長赤外チャンネルが含まれている。空間分解能はこれらの 10 チャンネルに関しては 250m であり、MODIS、MERIS より高い。大気補正に関しては、SGLI からのエアロゾル量抽出能力が MODIS、MERIS より優っていることから、より高度な大気補正が可能と考えられる。更に、SGLI の標準プロダクトに植生ラフネス指数、カゲ指数があり、空間分解能は落ちるが、偏光プロダクトの利用も考えられ、これらの特徴の複合的利用により、従来にない高い精度の土地被覆分類が期待できる。

4. 3. 2 植生 (本多 嘉明：千葉大)

陸上植生は地球環境の形成に大きな働きをしている。気候変動に陸上植生は水・エネルギー循環に関わることで多大な影響を及ぼす。人類は陸上植生にほとんどの食糧を依存している。人類誕生以来、植物の採取、植物で育った動物の狩り、植物を栽培する農業、草原を利用する遊牧など、人類は概ね食糧を植生から得てきた。さらに燃料や様々な資材などとして利用してきた。陸上植生抜きに人類の生存は考えられない。人類を支えている食糧、エネルギー、環境（大気、水など）は植生と深く関わるものが少なくない。大河周辺に生まれた古代の文明も肥沃な土壌に支えられた豊かな植生にその基盤をもった。人間活動が周辺の植生を文明の維持のため費やし植生が衰退したため、その文明も衰退したとされている。地球環境や地球上での人類生存を考える上で陸上植生の役割を考慮する必要がある。

気候の変化は、植生にも大きな影響を及ぼすことが懸念されている。たとえば、温暖化によって寒冷な環境を好む植物はより高緯度あるいは高い標高の地域に分布エリアを移す。また、シベリアなどの永久凍土に分布する針葉樹林は、永久凍土分布の縮小に応じて、その分布範囲も縮小することが予測される。温暖化にともなう気候変化は、水循環の変化などを通し森林や草原の衰退をもたらし、その地域の植物種の減少をもたらす可能性がある。植生の豊かさは、そこに生息する生物種とも関係があるとされている。植生の衰退は、植生自体の種数の減少のみならず、その地域の生物多様性を低下させる可能性が高い。

地域によって温暖化の影響は異なる。ある地域では年間総降水量が増加しても降水パターンがこれまでと違い降水が集中し、雨期には洪水、乾期には干ばつと気象が極端化することもありえる。あるいは、単純に乾燥化が進む可能性がある。気候変動がもたらす植生への影響予測は不確実な部分が多い。随時、現状を把握する必要があり、準リアルタイムの全球観測が必要になる。

植生の活動は、様々な要素の相互関係、特に炭素循環、栄養循環、水循環、エネルギー循環に依存している。これらの循環の全てにおいて人間活動が影響を及ぼし変化を起こす可能性がある。

植生は炭素を光合成や呼吸により大気との間で常時やり取りをしている。また、枯れてからも分解や燃焼を通して大気に炭素を放出している。人間活動は、農耕など土地利用や森林伐採などの土地利用の変化によって炭素貯蔵を変化させてきた。経済活動拡大による温室ガス排出は大気への蓄積量を大きく増加させた。高緯度地域から熱帯地域に至るまで森林伐採は植生による炭素蓄積を減少させた。人間活動が地球上の炭素蓄積の状況に変化をもたらしたことは確かである。2000年のIPCC報告では9種類の植生帯（生物群）ごとに植生と土壌別に炭素蓄積量を以下の表のように見積もっているが、絶対量についてはかなり不確実な値であるとしている。

表：植生及び深さ 1 m までの土壌炭素プール中の地球規模炭素貯蔵量

生物群	面積 (10 ha)	地球規模での炭素蓄積 (G t C)		
		植 生	土 壌	合 計
熱帯林	1.76	212	216	428
温帯林	1.04	59	100	159
亜寒帯林	1.37	88	471	559
熱帯サバンナ	2.25	66	264	330
温帯草地	1.25	9	295	304
砂漠、準砂漠地帯	4.55	8	191	199
ツンドラ	0.95	6	121	127
湿地	0.35	15	225	240
耕地	1.60	3	128	131
合 計	15.12	466	2011	2477

注：生物群の定義があいまいであるため、上記の数値にはかなりの不確実性がある。しかし、この表は、それでも陸上系での炭素蓄積の大きさの概略を示している。

IPCC Special Reports Land Use, Land Use Changes, and Forestry 2000/5 地球産業文化研究所ホームページより

また、IPCCは次の表のように1980年代と1990年代の地球規模での年間平均炭素収支を報告している。陸上生態系の炭素取り込み量は他の推定値から求めたものでかなり不確実性の高いものであるが、植生を含む陸上生態系が、二酸化炭素の吸収源の役割を果たしていたことがわかる。たとえば、新たに植林された森林は、数十年間にわたって吸収源としての役割を維持するが、森林の成長に従って次第に減少し、森林自体が二酸化炭素排出源になる可能性さえ出てくる。

植生が気候の変化にどのように適応していくかなどは今後研究を進めていく余地が多分にある。したがって、気候変動に伴う植生の炭素吸収・放出がどのように推移していくかは今後の研究で解明しなければならない。

表：1980－1989 年および 1989－1998 年での年平均 CO₂ 収支－GtC/年で表す（誤差限界は、予想信頼範囲 90%に相当する）

	1980－1989	1989－1998
1) 化石燃料燃焼とセメント生産からの排出	5.5±0.5	6.3±0.6 ^a
2) 大気中の貯蔵量	3.3±0.2	3.3±0.2
3) 海洋への取り込み	2.0±0.8	2.3±0.8
4) 陸上での実質取り込み = (1) - [(2) + (3)]	0.2±0.1	0.7±1.0
5) 土地利用変化による排出	1.7±0.8	1.6±0.8 ^b
6) 残余の陸上変化 = (4) + (5)	1.9±1.3	2.3±1.3

注：a－2つの期間については重なっている1年（1989年）があることに注意されたい。

b－この数字は、利用可能なデータがある1989－1995年の年間平均排出量である。

IPCC Special Reports Land Use, Land Use Changes, and Forestry 2000/5 地球産業文化研究所ホームページより

以上のような温暖化における植生の変動に関する知見はその多くが不確実なものである。IPCCの第4次評価報告書では、森林を含む陸域生態系が温暖化の影響で大気中の二酸化炭素を増大させるように作用する可能性が高く、温暖化をさらに加速させる（正のフィードバック）可能性があることが報告された。このことは、従来の気候モデルに加えて、生態系などによる炭素循環過程をはじめ様々な物理的・化学的な過程を取り込んだ総合的

な予測モデルが必要であり、そのような概念の「地球システムモデル」の研究開発が始まっている。陸上生態系の分野では気候の変化に適用しようと生物が移動する。植物においては種子による移動速度が不足する可能性もあり、その結果どのような変化がもたらされるかなどを入れ込んだ、植物の移動や分布を表現できるモデルが必要とされている。生態系の動態モデルといえる。これらのモデルは生態系における二酸化炭素の循環を正確に表現し予測するためにきわめて重要である。

このような自然界における正確な二酸化炭素の循環の把握のため陸上植生の正確な把握が重要であり、現在の地球がどのような環境下にあるのかを客観的に知るためにも陸上植生の把握は必要である。陸上植生に関わる様々なパラメータ把握には地上観測による厳密な観測とともに以下のような全球レベルの時系列情報が不可欠である。

植生をとりまく水環境を把握するために降水量・土壌水分が必要であり春以降の植生活動を予測するためには流域の積雪深が重要な情報になる。これらは AMSR-2 により提供される。特に乾燥地帯では植生の活動にどのように水ストレスがかかっているのかを経年変化を追うことによって砂漠化や土地の荒廃状況を把握することができる。

SGLI は、多角観測、偏光観測などこれまでにない観測が特徴であり、精密幾何補正放射輝度に加え陸上の大気補正済陸域反射率を提供することができる。

陸上の大気補正はさまざまなプロダクトの精度を向上させると期待され、既存の植生分類や研究の成果を利用できるプロダクト、バイオマスなどの植生物理量に関連するプロダクト、植生生態モデル研究に役立つプロダクトなどの生成が可能である。生成可能であるプロダクトとして以下のものが主に挙げられる。さまざまな植生分析・研究に使われる植生指数、植生の立体構造に関する植生表面の粗さを表す植生ラフネス指数、樹冠にできるカゲの量を表すカゲ指数、植生のバイオマスに関する地上部バイオマス、植生の活動を関係する地表面温度、光合成有効放射吸収率や葉面積指数などが提供される。これらの他にも植生の生産量を表す純一次生産量、植生が受ける水ストレスに関する水ストレス傾向、土地利用変化モニタリングに役立つ土地被覆分類、森林火災のモニタリングに役立つ火災検知などの研究も進むことが期待される。

4. 3. 3 陸域炭素循環 (粟屋 善雄：岐阜大)

地球温暖化は二酸化炭素 (CO₂) をはじめとする温室効果気体の濃度の上昇が原因とされており、その実態を解明して効果的な温暖化防止の施策を実現するには、地球規模での炭素循環を明らかにする必要がある。陸域は全球表面の約 30% を占めていて光合成によって植物が二酸化炭素を吸収して炭素を固定しており、地球上で最大の炭素吸収源と考えられることから、炭素収支を解明するには陸域炭素循環を明らかにすることが不可欠である。

生態系での炭素収支は純生態系生産量 (NEP) として、以下の式で示される。

$$NEP = NPP - R_s = GPP - R - R_s \quad (1)$$

ここで NPP：純一次生産量、R_s：従属栄養生物の呼吸量、GPP：総一次生産量、R：植物体の呼吸量である。この式の各要素を定量的に評価して時系列的変化をマッピングすることによって、陸域の炭素循環を明らかにできる。

植物の成長量は植物種の特性だけではなく、植物がおかれた立地環境によって概ね決まってくる。とくに広い範囲での群落を対象とした場合、立地環境のほうの主たる要因となると考えられる。成長量に影響を及ぼす環境因子は、日射量、気温、降水量などの水分環境、土壌中の栄養分である。従って、これらの環境因子を変数とするモデルによって、成長量を推定することが可能になる。呼吸量はおもに気温の関数として表せるが、樹木の場合、葉量だけではなく木部表面積を考慮する必要がある。土壌からの CO₂ の放出量は樹木の根と従属栄養生物の呼吸量であるが、現在のところこれらを分離して地上計測することが難しい。

リモートセンシングで NEP を推定する場合、2 つのアプローチが考えられる。ひとつは生理・生態的な計測に基づいて構築されたプロセスモデルを構成する諸パラメータをリモートセンシングで推定して入力データとする方法である (積み上げモデル法)。この場合、葉面積指数 (LAI) や植物体の表面温度が有力な入力パラメータとなる。2 つめは正規化植生指数 (NDVI) など植物群落の光合成有効放射 (PAR) の吸収割合 (fAPAR) を推定し、日射量と植物の光利用効率と気温や水分に関するストレス関数を用いて推定する方法である (群落モデル法)。この場合、植生指数と表面温度が有力な入力パラメータとなる。また、気象衛星のデータを利用して推定した日射量は測定点が疎な地域では客観解析データよりも精度が高いと考えられ、有力な入力パラメータとなる。

一方、NEP 推定においては以下のような問題が生じる。

- (1) リモートセンシングで密な植生下の土壌水分を推定することが困難である。
- (2) 土壌からの CO₂ 放出を広域で推定することが困難である。
- (3) 高 LAI の植生に対して衛星データが飽和するため、LAI を正確に推定することが困難である。
- (4) プロセスモデルは限られた条件と特定の種に対して個葉について測定されたパラメータに基づいているため、群落レベルでの NEP を推定する時に、かなり無理なチューニングを行っている。

今日ではプロセスモデルを用いた NEP 推定が主流であるが、上記の (3) と (4) の問題を考えると、必ずしも適切な方法とは言いがたい。一方、今日では世界中のさまざまな植生に対して多くのフラックス観測サイトが設定されていて、渦相関法を用いて CO₂ フラックスが測定され、群落レベルでの NEP 時空間変動が明らかになってきている。渦相関法とバルク法などで測定されたフラックス測定値が一致しない、いわゆるフラックスが閉じない問題はあるが、渦相関法では群落レベルでの代表値を測定しており、リモートセンシングのデータに類似したスケールでの計測結果であることから両者を対比しやすく、それぞれを組み合わせることが NEP 推定の有力な手段になると期待される。

以上のような現状を鑑みると GCOM ミッションでは以下のような点に配慮しながら陸域炭素循環の研究を実施する必要があるだろう。

- (1) 積み上げモデル法、群落モデル法に共通するパラメータとして、表面温度プロダクトの高精度化をはかる。ただし、表面温度の計測時間は午後 1～2 時が望ましいので、午前軌道の GCOM ミッションのデータを利用する場合、表面温度のチューニングが必要になる。
- (2) 積み上げモデル法と群落モデル法のそれぞれの得失を比較しながら、GCOM ミッションに適したモデルを開発あるいは移植する。
- (3) LAI については、NDVI や EVI などの植生指数を利用した推定方法にとどまらず、大気補正、地形補正を施した反射係数データを利用した推定法について検証する。
- (4) 木部呼吸についてはプロセス研究についてのレビューを進め、木部バイオマスに基づいた木部呼吸量の推定方法を検討する。
- (5) パラメタライズの方法について、フラックス観測のデータを積極的に利用する。
- (6) 詳細なモデル化を目指すとともに、fAPAR と光利用効率に基づいたシンプルな群落モデルの構築を進める。

4. 3. 4 水文 (小池 俊雄：東大)

陸域水循環は時間的にも空間的にも変動性が大きく、洪水や渇水を通じて人間社会に大きな被害を与えており、これらはすべての自然災害による人的、物的被害それぞれの3分の2に相当している。したがってその変動のメカニズムを理解し、予測精度を向上させ、情報を国際的に共有する体制を築くことは、水危機回避のために必要不可欠である。また、積雪や土壌水分としての水貯留の効果により時間的ずれを伴う関係（気候メモリー）や、移流により離れた場所間の相互関係(テレコネクション)を有する水循環システムを理解し予測精度を向上させるためには、水循環の個々の構成要素を水量と熱のフローの観点から定量的に、しかも時間、空間的に連続的に把握しなければならない。

このような現在の気候下における水循環変動の把握と予測に加えて、温暖化に代表される気候変動は、水循環を変化させてきていることがIPCC第4次評価報告でも示されており、過去の変化過程を明らかにして、現在の変化をモニタする能力を開発しなければならない。また気候変動予測モデルは基本的に境界値問題であり、海洋変動に加え、陸域での変動を正確に表すモデルの開発が必要である。

近年の地球観測衛星によるリモートセンシングの発展は、これらの状況の改善に大きく貢献した。とりわけ昼夜を問わず広域、全天候観測が可能なマイクロ波放射計は、波長、偏波の組み合わせによって、水面、土壌水分、植生水分量、雨滴、雲水、水蒸気、雲氷、積雪、氷粒子の定量観測の可能性を有している。衛星搭載マイクロ波放射計による定量的な地球観測は、1987年の米国軍事気象衛星プログラム(DMSP)の機械走査型マイクロ波放射映像センサ(SSM/I)によって確立され、1997年の熱帯降雨観測衛星(TRMM)マイクロ波観測装置(TMI)では赤道から中緯度の限定された範囲ではあるが、陸面観測に有利な太陽非同期の10GHz帯の観測が実現し、2002年には土壌水分観測に有利な比較的高い空間分解能を有する6.925GHzの観測周波数を有する我が国の高性能マイクロ波放射計AMSRおよびAMSR-Eが相次いで打ち上げられた。AMSRは衛星本体の故障で1年足らずで観測を終えたが、AMSR-Eは設計寿命の5年を超えて今なお観測を継続している。

また、世界気候研究計画(WCRP)のプロジェクトとして実施された統合地球水循環強化観測期間(Coordinated Enhanced Observing Period(CEOP))プロジェクトの貢献も非常に大きい。CEOPは地上観測研究グループ、衛星機関、気象機関が協力して、局所的～地域規模～地球規模の全水循環過程のデータセットを作成し、それを用いて水・エネルギー循環プロセスの理解と予測研究、モンスーンシステムの研究、地球規模の広域予測情報を流域規模にダウンスケーリングする研究をおこなうことを目的とした国際プロジェクトである。このプロジェクトにおいて、2002年10月1日～2004年12月31日の2年3カ月間におよぶ、さまざまな気候条件下に分布する35か所のリファレンスサイトと衛星観測データと、11の数値気象予報センターのモデル出力が収集された。

陸域水文量を定量的に観測し、大気、海洋での水循環要素と組み合わせて全球水循環変動を継続的に観測し、その情報を洪水、渇水災害の被害軽減や気候変動の適応策に効果的に利用していくためには、個別の衛星観測だけではなく、CEOPで実現したように全球水循環を様々なスケール、手法で観測し、予測した情報の統合化が必要である。これらにより得られるデータ基盤をもとに、GCOMを中心とした陸域水文観測の高度化のために下記を実施する。

- (1) 土壌(凍土を含む)、植生、積雪を対象とするマイクロ波放射伝達モデルの高度化
- (2) 単一センサ、複合センサによるアルゴリズムの開発
- (3) 衛星データを用いた水循環モデルの高度化
- (4) データ同化による水循環モデルパラメータの最適推定手法の開発
- (5) 陸域水文データ同化手法の開発

4. 4 雪氷 (西尾 文彦：千葉大)

4. 4. 1 GCOM 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生じていると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。地球雪氷圏における海水分布や氷床の分布のモニタリングは、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。温暖化が直接に影響を与え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きわめて重要である。

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、衛星による観測が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。GCOM計画ではSGLIとAMSR2を用いて、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、海水や氷河、氷床のマッピングや縁辺部の変動など、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。

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。また、1970年代から始まった人工衛星観測による北極海の海水面積が、2007年9月には4,300,000km²を下回るなど、過去、最も小さくなったことが観測されている。

SGLI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、SGLI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、SGLI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变化として検知していく上で有用である。

AMSR2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の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. 4. 2 海水分布、氷河・氷床分布の変動ーマイクロ波によるサイエンス

AMSR2 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、海水、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。

AMSR2は直径約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、7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、SGLI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、AMSR-Eのデータ、航空機搭載用マイクロ波放射計（AMR）のデータなどのデータを用いてAMSR2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、較正、プロダクト作成などの方法を確定しておく。

4. 4. 2. 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、AMSR-E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、それら輝度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。

4. 4. 2. 2 海氷分布・海氷密接度

南極大陸の周囲の海水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AMSR2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、海氷の上に雪が積もると、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。基礎的データをとるには、航空機AMRの観測とトルースデータとを突き合わせる必要がある。

4. 4. 2. 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AMSR2/SGLI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、AMSR2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。これらの研究は氷床モデルの高度化に貢献するものである。

4. 4. 3 光学的観測によるサイエンス

4. 4. 3. 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、SGLIの $1.6\mu\text{m}$ 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。

4. 4. 3. 2 海氷分布・海氷密接度

全球的な大まかな分布はAMSR2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AMSR2に比べ高い空間分解能で観測を行うSGLI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。さらに海氷が薄いか厚いか、氷板のタイプ分けなどの分類も行なうことができる。

4. 4. 3. 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10km以上にも及び、十分SGLI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SGLIの観測が重要である。

4. 4. 3. 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。SGLIは分解能250m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。

4. 4. 3. 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。SGLIは19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。

4. 4. 3. 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/AVHRR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。

4. 4. 3. 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下物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 $1.1\sim 1.2\mu\text{m}$ 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、地吹雪が起これ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 SGLI は 19 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。

5. GCOM の実利用

5. 1 気象予測精度の向上（岡本 幸三：気象庁）

正確な気象予測は、国民生活を向上させ、農林水産業を始めとした産業の発展に貢献する。さらに豪雨や暴風などの自然災害から国民の生命・財産を守るために、正確かつタイムリーな気象予測は極めて重要である。気象予測の核となるデータは数値予報によって作られているが、その品質は初期値の精度によって大きく左右される。このため、高度なデータ同化システムを用いて、高精度かつ広範な観測データを同化し精度の高い初期値を作成することが、気象庁を含む世界の主要な数値予報センターにとって最も重要な課題の一つである。

気象庁では、気象レーダやアメダス、ウインドプロファイラー、ラジオゾンデによる観測網が国土を覆っており、これらのデータを適切に同化することにより、豪雨などの予測を行っている。しかしこれらの観測網は日本のごく周辺領域までしかカバーしておらず、時に豪雨をもたらす海洋からの湿潤空気の流入などを把握するには不十分である。さらに台風の発生・進路予測を行う上で重要となる熱帯・太平洋域の海洋上では、船舶・ブイ・航空機・島で観測される限定的なデータしか得られない。衛星観測は、海洋上や高層における広域の情報を高頻度取得するための手段として極めて重要である。現業同化システムで用いられている代表的な衛星データとしては、静止衛星や極軌道衛星搭載の高分解能可視・赤外イメージャによる連続画像から得られる上層の風、赤外・マイクロ波放射計（サウンダ・イメージャ）から得られる気温・水蒸気の鉛直プロファイル情報や積算水蒸気量・降水量、マイクロ波散乱計による海上風などがある。

中でも、マイクロ波イメージャによって得られる水蒸気情報は、メソスケールでの豪雨の予測並びに全球規模の降水分布や台風進路の予測を改善することが確認されている。一例として、2004 年の福井豪雨の際の 3、6、9 時間予報を図 5.1.1 に挙げる。2004 年 7 月 17 日 18UTC の解析では、日本海～東シナ海に水蒸気の観測データがなかったため、正確な水蒸気場を解析できなかった。このため、これを初期値とする 6～9 時間予報では福井県での降水が維持されず、さらに山口県で実況にはない降水が予想されている。これに対し、Aqua 衛星搭載の AMSR-E データから導出した可降水量と降水量を四次元変分法で同化したところ、実況を反映した水蒸気解析場が作成され、その結果 9 時間予報でも弱いながら福井の降水が予想され、山口の降水はほとんど現れていない。また図 5.1.2 は、全球データ同化システムにおいて、SSM/I、TMI、AMSR-E の晴天域海上の輝度温度を同化した場合に、台風進路予報平均誤差が減少したことを表している。

GCOM-W/AMSR2 は、観測精度・水平分解能が現状の AMSR-E よりも高度化されるため、予測精度の向上にさらに寄与することが期待される。さらに GCOM-W1 が運用されている時期は、他のマイクロ波イメージャの運用が少ないため、リアルタイムデータのキャリッジが重要な要素である現業同化システムにとって、全球的な観測体制を維持するという点でも大きな意義をもつ。

その他、マイクロ波イメージャから導出された海面水温、積雪深、海水密度プロダクトが、海面水温解析・陸面解析・海氷解析で利用され、解析結果は数値予報の境界値・初期値としても利用されている。例えば台風の発生・進路予測を数値予報モデルで計算する際には、海面水温解析が大きく影響する。

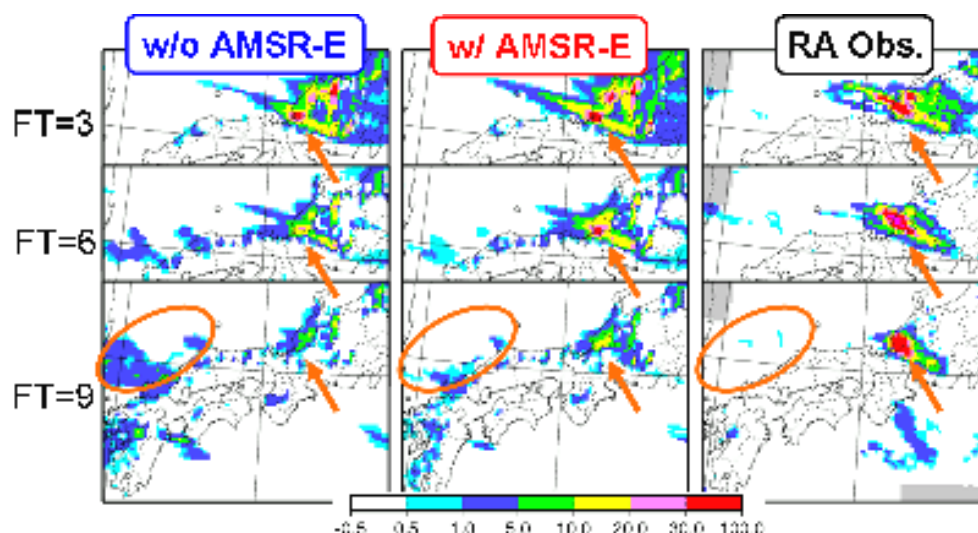


図 5.1.1 2008 年 7 月 17 日 18UTC の解析を初期値として、気象庁メソ数値予報モデルから計算した前 3 時間降水量。左列は AMSR-E を同化しない場合、中央列は AMSR-E を同化した場合の、3, 6, 9 時間予報結果を表す。右列は各予報時刻に対応する実況（レーダーアメダス解析雨量）。

GCOM-W/AMSR2 はこれらの解析の精度を維持・向上させることに貢献することが期待される。

ただし現状では、全球データ同化システムでは海上の晴天域のデータに利用が限られ、さらに 7 及び 10GHz 帯の情報は全球・メソデータ同化システムのいずれにおいても利用していないなど、観測情報を十分に活用しているとは言い難い。そのため、降水域での輝度温度の同化や低周波チャンネルを利用した地表面情報の活用などを進めている。その一つとして、台風強度予報の改善を目指し、JAXA で開発されている全天候海上風を同化する実験を行っている。現在気象庁のデータ同化システムで台風中心付近では、台風ボーガスと呼ばれる統計的に作成された擬似気圧・風データしか同化されていないが、実際の観測データを活用することによって実況に近い中心気圧・風が解析・予報されることが期待される。

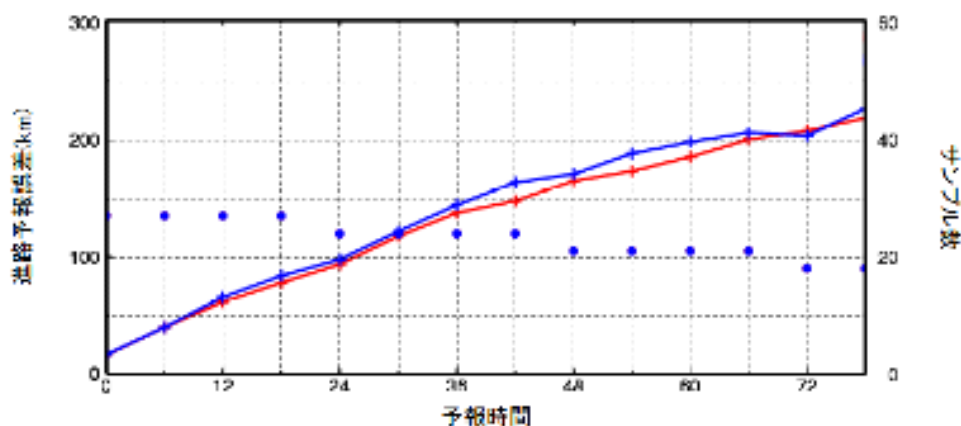


図 5.1.2 2004 年台風第 11 号から第 18 号について、全球数値予報モデルによる台風中心位置の平均予報誤差を予報時間毎に示したもの。青色が SSM/I, TMI, AMSR-E データを同化していない場合、赤線が同化した場合を表す。丸印は統計に使用されたデータのサンプル数（右軸）。

GCOM-C/SGLI から得られるデータ、プロダクトも、数値予報を始め気象庁の様々な業務への利用が期待される。高分解能・高精度な可視・近赤外域のデータは、アルベドや放射輝度、もしくは雲・エアロゾルプロダクトとして、数値予報モデルの雲・放射過程などの検証に利用できる。例えば現在は、静止衛星が観測するアルベド・輝度温度に対応する物理量を数値予報結果から計算し、これを実際の観測値と比較することにより、モデルの雲過程の検証・改善を行っている。またエアロゾルに関して、MTSAT、AVHRR、MODIS からのプロダクトを、黄砂を含むエアロゾルの実況監視や気候値作成に利用している。SGLI はこれらの業務を高度化できる可能性がある。さらに今後、モデルの高分解能化、雲・降水過程の精緻化、防災情報や大気汚染情報の高度化を行っていく中で、雲・エアロゾル情報を同化し初期値を作成する必要性が高まることが予想される。ただし可視・近赤外域のアルベド・輝度温度データを直接同化するには、技術的・計算資源的に解決すべき課題がまだ多く残されている。またオゾンに関しても、精度の高いプロダクトが得られれば、紫外線情報作成並びに気候解析への利用や化学輸送モデルの検証に有効であると考えられる。さらに SGLI の海面水温プロダクトを、AMSR2 プロダクトと同じく海面水温解析で利用することを検討している。

5. 2 黄砂等の大気汚染の監視及び予測 (中島 孝：東海大)

5. 2. 1 大気汚染粒子モニタリングの必要性

大気中を浮遊する微粒子には、海水の飛沫から発生する海塩粒子、地表から巻き上げられた砂塵、森林火災の煤煙や火山の噴煙等、自然を発生源とするものや、工場や自動車での化石燃料の使用により排出される粉塵、ガス状の大気汚染物質からの変換による2次生成粒子等、人間活動を主な起源とするものがある。ここでは、これらの微粒子のなかで、特に健康被害や生活被害をもたらす可能性のあるものを大気汚染微粒子と称する。大気中に放出された大気汚染微粒子は、地球大気を循環する気流に乗り、発生源から数千キロ離れた地域にまで到達することがある。特に、近年では大量の煤煙を発生させる森林火災や東アジア域における黄砂現象の増加傾向が懸念され、大気汚染粒子のモニタリングの必要性は非常に高まっているといえよう。GCOM-C 衛星搭載 SGLI は近紫外から赤外までの範囲に多くの観測波長を有しており、このような大気汚染粒子観測への利用が可能である。

5. 2. 2 GLI, MODIS が観測した大気汚染粒子の例

図 5.2.1(a)(b)は GCOM-C 衛星搭載 SGLI の前身である ADEOS-II 衛星搭載グローバル・イメージャ(GLI)がとらえたバイカル湖畔を起源とする森林火災の様子である。GLI が搭載する近紫外チャンネル(380nm)を用いることにより、効果的な煤煙の抽出が可能となった。図 5.2.2 は GLI の近紫外と可視光チャンネルを使用して森林火災の煤煙を含む大気粒子を広範囲に抽出したものである。図からはバイカル湖畔で発生した煤煙が遠くアラスカ付近まで到達している様子が判る。ここで用いられた 380nm 近紫外チャンネルは中程度解像度広域イメージャとしては日本で開発されたイメージャのみに搭載されている独自の波長であり、その有用性の高さから SGLI への搭載が決定している。SGLI には、この近紫外 380nm の他にも可視域の 670nm と 865nm に偏光観測チャンネルを有しており、これら大気汚染粒子のモニタリングに威力を発揮するものと期待される。図 5.2.3 は GLI とほぼ同時期に打ち上げられた Terra 衛星搭載 MODIS センサがとらえた黄砂現象の観測例である。大陸で発生した黄砂が大陸東岸付近から日本海にかけて広く分布している様子が明確にとらえられている。以上の例のように、宇宙からの大気汚染粒子の観測は徐々に実用領域に入ってきたといえるだろう。

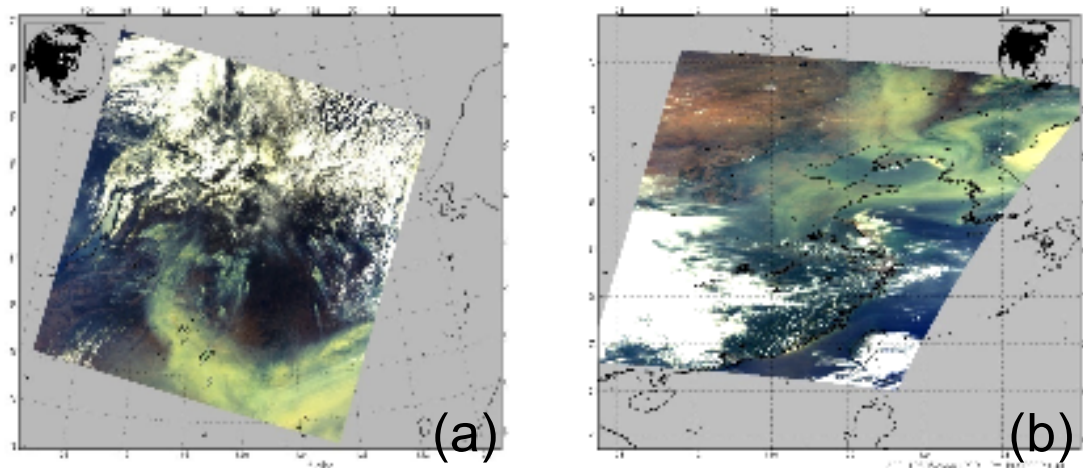


図 5.2.1 バイカル湖周辺の森林火災から発生した煤煙の様子(a)(2003 年 5 月 19 日)、および東アジア領域に広がった同煤煙の様子(b)(2003 年 5 月 20 日)。JAXA/EORC が提供する ADEOS-II 搭載グローバル・イメージャ(GLI)データを元に、東海大学情報技術センター(TRIC)において画像処理を行った。

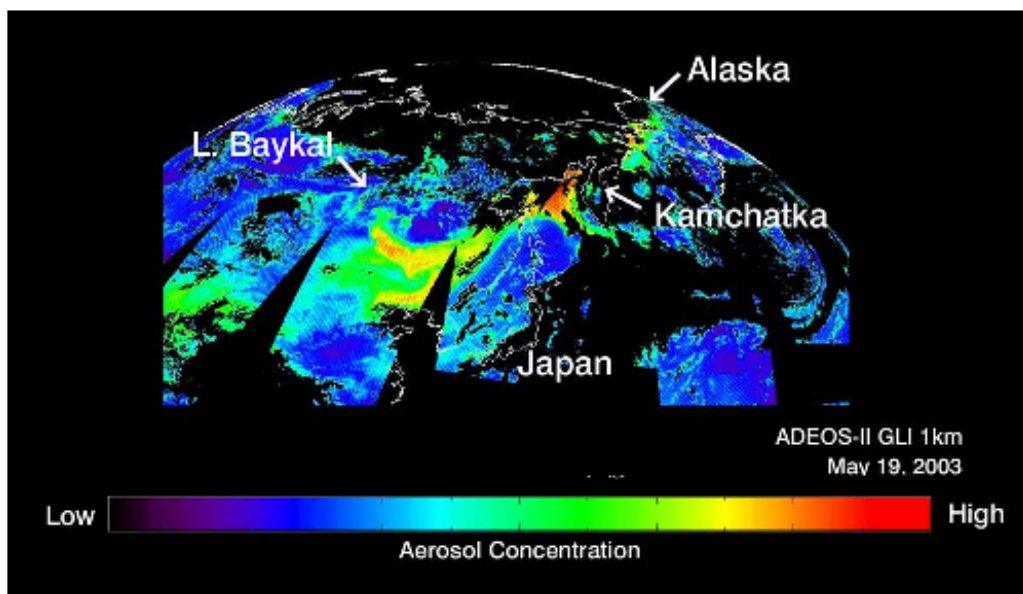


図 5.2.2 GLI が有する 380nm および 400nm チャンネルの組み合わせにより抽出された 2003 年 5 月 19 日の大気中微粒子の分布。バイカル周辺で発生した煤煙は遠くアラスカ付近まで到達していることが判る。画像は JAXA/EORC 提供。

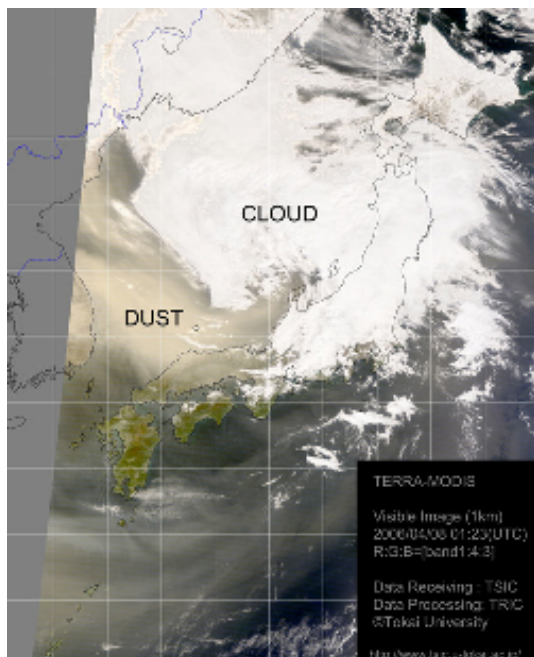


図 5.2.3 日本海から日本付近に広がる黄砂の様子(2006 年 4 月 8 日日本時間午前 10:23 頃)。東海大学宇宙情報センター(TSIC)で受信された Terra 衛星搭載 MODIS センサ(NASA 開発)を元に、東海大学情報技術センター(TRIC)で画像処理を行った。

5. 2. 3 大気汚染粒子の分布予測に活用される衛星観測

宇宙からの大気汚染粒子の観測は、観測時点における状況把握とともに、将来の予測に用いられるエアロゾル輸送モデルの開発検証にも活用される。すなわち、各種の物理法則に則って開発されたエアロゾル輸送モデルの計算結果と衛星が観測した実況値を、短期実況場や長期平均場において比較することにより、エアロゾル輸送モデルの実力検証を行う。図 5.2.4 はエアロゾル輸送モデル SPRINTARS(Takemura et al. 2000)により予報された東アジア地域における大気汚染粒子（すす、有機炭素、硫酸塩エアロゾル）の濃度分布である。発生源に近い東南アジアの広い範囲やインド亜大陸北部に濃い領域が予報されている様子がわかる。エアロゾル輸送モデルの空間分解能は徐々に向上しているため、SGLI の運用においては水平数キロ程度の空間分解能での詳細観測が必要となる。

5. 2. 4 実利用へ向けての様々な研究項目

GCOM-C 搭載 SGLI による大気汚染粒子観測においては幾つかの課題がある。まずひとつ目は、雲と大気汚染粒子の判別である。特に森林火災の煤煙や黄砂等の光学的に厚い粒子層の場合、従来の判別方法ではこれら大気汚染粒子を雲と間違える可能性があるため、判別アルゴリズムの開発およびその検証が必要である。次に、陸上における大気汚染粒子の検出精度の向上がある。一般に地表面反射率の大きな陸上域における大気中微粒子の検出は反射率の小さな海上域よりも難しく、精度の高いアルゴリズムの開発が求められる。さらに、大気汚染粒子の種別特定についても重要研究項目である。GLI プロジェクトの成果の一つとして可視～近赤外にかけての 4 波長を用いた種別判定アルゴリズム (Higurashi and Nakajima, 2002) が提案されており、SGLI への活用が可能である。また、実利用のためには衛星および搭載センサの長期にわたる安定運用と輝度校正も重要項目となる。

2008年06月26日21時

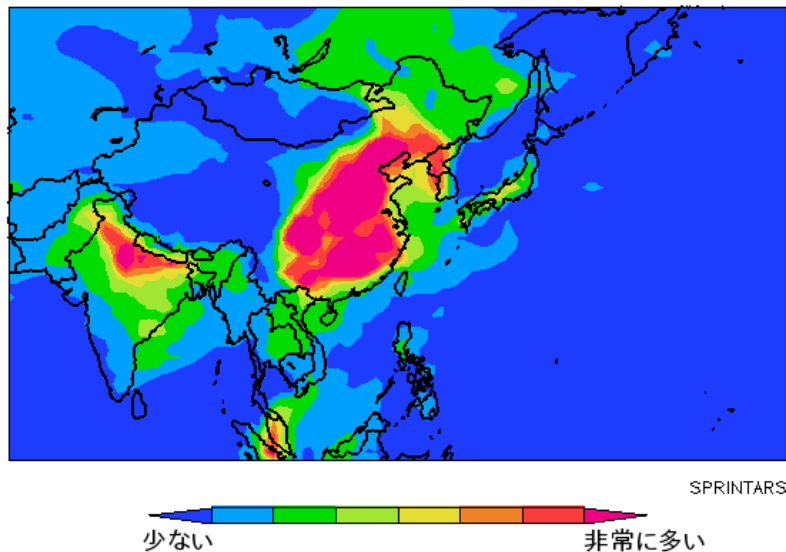


図 5.2.4 エアロゾル輸送モデル(SPRINTARS)によって予報された東アジア地域における大気汚染粒子（すす、有機炭素、硫酸塩エアロゾル）の濃度。図は2008年6月26日21時の予報値。画像は九州大学応用力学研究所の提供による。（<http://sprintars.riam.kyushu-u.ac.jp/indexe.html>）

衛星観測による観測結果の検証のために、地上観測網の活用が重要である。全球地球観測システム Global Earth Observation System of Systems (GEOSS)の一環として SKYNET 地上観測網 (Takamura et al. 2004) が東アジア領域を中心に整備されており、実利用におけるデータ検証において活用されている。SKYNET 観測拠点に装備されている全天雲カメラにおける雲量推定、スカイラジオメータ等による微粒子特性の観測、ライダーによる鉛直分布観測等を複合的に活用することにより、衛星観測の検証を行う。現在、東アジア領域においては、沖縄県辺戸岬、茨城県つくば市、韓国済州島等に設置された大拠点（「スーパーサイト」と呼ばれる）をはじめとする十数の拠点において大気観測が行われており、GCOM プロジェクトのサポートによる拠点の整備と運用が必要である。

<参考文献>

Higurashi, A. and T. Nakajima, 2002: Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 2836, doi: 10.1029/2002GL015357.

Takamura, T, T. Nakajima and SKYNET community group, 2004: Overview of SKYNET and its Activities, *OPTICA PURA Y APLICADA*, 37(3), 3303- 3308.

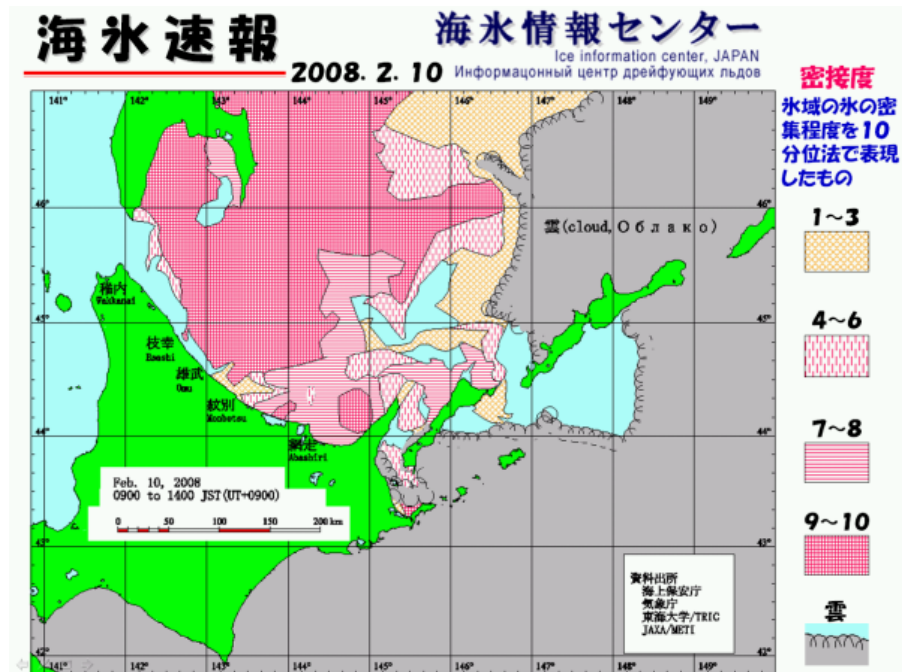
Takamura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima, 2000: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. *Journal of Geophysical Research*, 105, 17853-17873.

（<http://sprintars.riam.kyushu-u.ac.jp/indexe.html>）

5. 3 海路情報の精度向上 (松本 憲二：海上保安庁)

オホーツク海の北海道近海は、毎年冬期に海氷に覆われ、この海氷が船舶航行や沿岸漁業の障害となっている。1970年3月、択捉島の単冠（ヒトカップ）湾で流氷により大規模な海難が発生し、この海難を契機として、海氷情報センターが第一管区海上保安本部に設置された。

海氷情報センターでは、流氷による海難ゼロを目指して毎年12月下旬から5月上旬頃まで、海上保安部署、気象官署、巡視船艇、一般船舶、海上保安庁・防衛省の航空機及び衛星データを取りまとめ、毎日、17時にインターネットやFAXで最新の海氷情報を提供している。



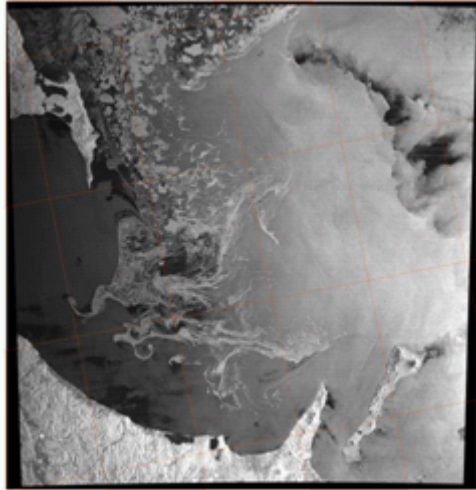
広域に分布する海氷の観測には衛星の利用が非常に有用であり、衛星データについては、近年は NASA の Terra 衛星に搭載された光学センサの MODIS、NOAA のマイクロ波放射計 AVHRR 等の光学センサの画像データが利用されてきている。しかし、冬期のオホーツク海は荒天の日が多く、毎日のように雲に覆われることから、海氷の分布状況を定常的に把握することには困難が多い。

そこで、雲を通過して海氷の分布状況が把握できる合成開口レーダやマイクロ波センサによる画像データの利用を図るため、海上保安庁海洋情報部では、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と「ALOS データを用いた海氷観測手法の開発及び利用に係る研究」を実施し、この共同研究で、海氷速報図作成に資する ALOS の観測データを入力とした自動処理による海氷密接度画像の作成手法の開発及び作成された海氷密接度画像について海氷の判読精度向上を図っている。

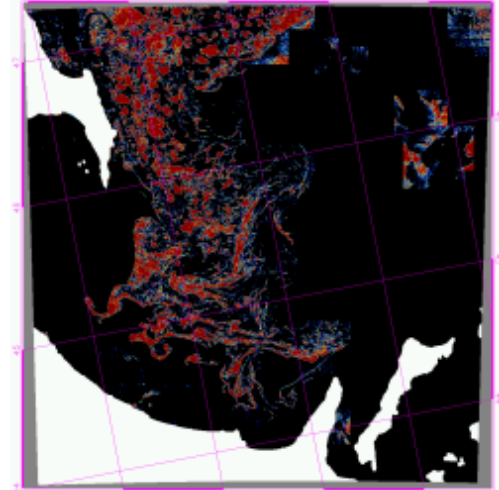
現在、実利用の海氷速報作成には、合成開口レーダ (PALSAR) で得た広域な ScanSAR 画像 (アンテナパターン補正済み画像も含む) 及び海氷密接度画像の他、光学センサ及びマイクロ波放射計による画像が利用されている。海氷速報作成時には、特に広域な画像が得られるこの ScanSAR 画像は海氷の詳細な分布状況が把握でき、海氷面の凹凸の度合いも推定できるようになっている。また、海氷密接度画像も、大まかな海氷の分布状況や海氷の密接の度合いが一目で分かることから海氷速報の作成作業にとって大変に便利な情報で

ある。

(オホーツク海：ScanSAR 画像)



(オホーツク海：海水密接度画像)



しかし、日々の ScanSAR 画像を航空機による観測結果や MODIS の画像データと比較してみると、次の課題がある。

- 後方散乱輝度が、同程度でも海氷面の場合と開水面の場合がある。海氷域に判断のつかない輝度差が発生することがある。
- 海面上に海水と誤認されやすい高・低輝度部があることがある。
- 後方散乱輝度情報だけでは、新成氷域が確認できない。

この問題解決のため、海氷速報作成の際に種々の工夫がなされているが、そのためには担当者の予備知識や経験、その他の情報が必要になっている。特に、グリーンアイスやニラス等の薄氷域の検証は、それらが海氷の生成過程で初期に形成されるもので、船舶の機関冷却水の取水口を塞ぎ航行を阻害することから、海氷情報として大変重要である。

地球環境変動観測ミッションでは多波長光学放射計 (GCOM-C/SGLI)、マイクロ波放射計 (GCOM-W/AMSR2) の 2 種類の衛星が打ち上げられることから、上記の課題の解決のため、精度の向上した GCOM-C/W による①海氷域と開水面の分離の検証、また、②海氷域が海氷密接度表示海域と薄氷域に分離されるためこの分離が妥当かどうかの検証に本ミッションが貢献することが期待される。

また、海氷速報では複数の衛星データを現在利用しており、これらの情報が途絶えた場合には、海氷情報の提供に支障をきたす恐れがあることから、地球環境変動観測ミッションにおいて 2 機の衛星が打ち上げられれば、海氷情報を継続的に提供する上で信頼性が格段に向上することが期待される。

(参考)

海水速報における氷の密接度とその例

密接度: ある水域の氷の分布状態がバラバラになっているか、つまっているか、その平均の密集程度を10分位法で表わしたもの

1~3



7~8



4~6



9~10



中 / 三 四

5. 4 漁場情報の提供 (斎藤 克弥 : JAFIC)

5. 4. 1 日本の漁業をとりまく環境

我が国の漁業は、1996年の国連海洋法条約批准を契機に、漁業生産を増やすことを軸としたそれまでの漁業から、効率的かつ永続的に水産資源を利用する資源管理型漁業へと軸を移動し、新しい時代の漁業へと変わりつつある。しかし、現在の漁業を取り巻く環境は、多くの魚種で資源水準の低下や魚価の低迷など、様々な面で厳しい状況が続いている。クラゲの大量出現や燃油価格の急騰などが水産業界に大打撃を与えたことも記憶に新しい。

我が国が資源管理型漁業を推進していく上で、日本周辺海域における水産資源の状況を正確に把握することは重要課題である。併せて、この資源を計画的かつ効率的に漁獲することも重要課題である。特に後者は、操業コストの削減や魚価の安定など漁業経営に直結する課題であり、より具体的な対策が求められている。

5. 4. 2 何が必要とされているか

このような厳しい環境下では、これまで以上に正確かつ迅速な水産資源の動向把握や、効率的な漁業活動が必要不可欠となってくる。

効率的な操業には、漁具や漁船といった操業と直接関係する技術の高性能化や効率化に加えて、操業に必要な情報の高度化も必要不可欠である。どこに行けば濃密な魚群と遭遇する可能性が高いのか、どのルートを通れば燃油消費を抑えられるのか、どの海域ならば危険な操業をしなくて済むのか、どの港に水揚げすれば高値で取引されるのか等、操業に関係する様々な情報が日々リアルタイムで得られれば、効率的かつ安定的な操業に重要な役割を果たす。特にリアルタイムで海況等の海洋環境情報が得られる衛星リモートセンシングは有効な情報収集技術の一つである。

日々の操業で必要とされるリアルタイムの海況情報とは別に、広域的な海洋環境情報とその時系列データは資源管理型漁業において重要な役割を果たす。植物プランクトンを底辺とする海の世界食物連鎖の全容を把握することは、高次捕食者である魚類の資源変動を知るひとつの手がかりである。また、黒潮の蛇行がマイワシ等の資源変動に大きな影響を与えることが知られているように、大局的な海洋環境の把握も資源変動を知る手がかりである。広域的かつ連続的な海洋環境情報の把握は、水産資源変動のメカニズムを解明する上で必要不可欠である。また、それらのデータを取得する上で衛星リモートセンシングは有効な観測技術の一つといえる。

この他にも、赤潮等の発生状況や油濁などの海洋汚染等を広域的に詳細かつリアルタイムで把握することが可能となれば、漁業被害の軽減に資すると期待される。

5. 4. 3 現在の問題と課題

水温や塩分や動植物プランクトン量などは、漁業において最も基本となる海洋環境情報である。表面水温や海色については、1980年代から衛星リモートセンシングによって得られた画像の漁業への応用が試みられてきた。特に表面水温の衛星画像は長期的なデータの蓄積があり、水産海洋分野で多くの利用・研究実績がある。一方、海色リモートセンシングでは、Nimbus7/CZCSからADEOS/OCTSまでの約10年に渡って観測衛星の運用が無かった期間もあり、中長期的な観点での解析をする上では大きな障害となっている。表面水温や海色といった基本的な海洋環境情報を、リモートセンシングの優位性を生かして継続的に取得することは、水産資源変動のような中長期スケールの問題に取り組む上で重要である。

雲などに起因するデータの欠損も漁業への応用解析では大きな問題である。表面水温

や海色といった可視～赤外波長のリモートセンシングは雲の影響を強く受ける。特に日本周辺海域は季節によって雲の影響による欠損領域が多くなり、漁場データとの比較解析などの研究においても、漁業者への情報提供の観点でも障害となりやすい。継続的に高頻度で、より欠損の少ないデータを取得できるようになれば、漁場（ミクロスケール）から資源（マクロスケール）までのマルチスケールで応用解析が可能となる。

漁業利用が最も進んでいる NOAA/AVHRR の MCSST は、約 1km の空間解像度で表面水温を得ることができるが、これが現在の衛星画像を基にした漁業情報としての標準的な空間解像度となっている。しかし、高精度で漁場付近の海洋環境を把握するには、さらに細かい空間解像度が要求される。特に、多くの漁船が操業する沿岸域や、漁船が集中する大和堆などの好漁場海域では、現在標準解像度となっている 1km よりも更に高解像度化が必要である。

海洋は気象と同様に時々刻々と変化する。このような観測対象の変動を的確に把握するには、観測頻度を向上させることが必要である。日々の海況情報がより短い頻度間隔で得られることは漁業情報として重要なポイントであり、また、従来の応用研究ではデイリースケールでの解析が主体であったのに対して、更に短いスケールでの応用研究の可能性が考えられるようになる。

2000 年以降、水温や海色以外にも漁業での利用が進みつつある海面高度や夜間可視画像などの新しい衛星リモートセンシング情報への期待も大きい。またそれらを組み合わせた複合的なデータの利用も期待されている。しかし、現状では多種多様なデータを簡単に組み合わせて利用できるのは専門的な研究者等に限定されている。今後はエンドユーザーレベルでのマルチセンサリモートセンシングへの対応も必要となる。

5. 4. 4 GCOM による漁業情報の提供と応用研究

TMI、AMSR-E、AMSR と続くマイクロ波放射計による表面水温観測の有効性は、既に広く漁業関係者の知るところである。マイクロ波放射計は GCOM 計画においても最も期待されるセンサであり、更なる高解像度化が期待されている。GCOM-W のマイクロ波放射計による海面水温観測は、全天候観測というマイクロ波センサの特徴を生かして、雲による欠損域が少ない表面水温画像を得ることができる。これにより、情報提供の観点では、空間解像度はやや低くとも漁業者に水温画像の確実な提供が可能となり、安定的な操業に貢献すると期待される。また応用研究の観点では、可視～赤外センサでは十分に情報が得られなかった梅雨や冬季でも確実に表面水温画像が得られることにより、漁場データと画像とのマッチアップ数を増やすことが可能となり、海況予測や漁場予測の精度向上に貢献する。広範囲で均一な観測データが得られることは、比較的マクロスケールでのアプローチが必要な水産資源変動や高度回遊性魚種の回遊と海洋環境との関係を解明する上で重要なデータセットとなり、水産資源研究等にも大きく貢献する。

OCTS、GLI と続く多波長の可視～赤外センサのデータは、漁業情報として必要不可欠な情報である。GCOM-C の可視～赤外センサによる高解像度多波長観測は、海色から表面水温まで、様々な海洋環境情報を得ることができる。情報提供の観点では、特に沿岸 250m という高解像度で頻繁に観測が行えることで、ごく沿岸で操業する漁船への情報提供や、近海で操業する漁船への細密な海況情報の提供が可能となり、操業の効率化に大きく貢献すると期待される。応用研究の観点では、現在一般的に使われている 1km 解像度の衛星センサでは見えない微細な渦や前線の把握、水温と海色の同時観測による漁場環境の解明、水温フロントと海色フロントの違いなどをより詳細に知ることができる。これらの研究成果は漁場予測や海況予測の高精度化に大きく貢献する。また、海色に関してはこれまでの研究や解析において主にクロロフィル濃度画像が使われてきたが、GCOM-C で提供される多様なプロダクトは、漁場環境の光学的特性や、CDOM、SS などと漁場との関係についても解析が可能となる。資源研究の観点では、海洋生態系の全

容把握や、魚類回遊エリアの餌環境の把握と資源変動への影響、海洋生態系モデルへのインプットとして、基礎生産などのプロダクトの有効利用が期待される。更に、高解像度の海色画像は、赤潮の早期発見や予測への応用も期待される。

マイクロ波散乱計によって得られる海上風ベクトルは、安全操業や効率的な船の運航に供することが期待される。気象情報のうち、波浪情報は漁業者が最も注目する情報のひとつである。よりリアルタイムに近い海上風ベクトルや、海上風の時系列情報が提供可能となれば、漁業情報としての有効性は高い。また、漁場とマイクロ波放射計のデータを詳細に比較した研究はほとんど無く、比較解析によって漁場形成における海上風の影響や、漁場の移動との関係についての知見が得られる可能性が考えられることから、漁場予測の新しい情報としても期待される。

以上のような多種多様なデータを総合的に利用する情報提供や応用研究も期待される。衛星やセンサが異なるだけでも、衛星データの解析を専門としない研究者や漁業者にとっては簡単な画像合成やオーバーレイ等の難易度が高くなってしまいが、同一の衛星やセンサによって得られる画像では、これらの操作も容易になると期待される。マイクロ波放射計やマイクロ波散乱計や可視～赤外センサを組み合わせた本格的なマルチセンサリモートセンシングは GCOM 時代の新しい研究アプローチであり、かつ資源管理型漁業に基づく新時代の漁業情報になると期待される。

5. 5 沿岸管理の効率化 (石坂 丞二：名大)

沿岸域は全海洋の 10%以下であるが、世界の漁獲量の半分以上がこの海域から確保されている。一方で、人口も世界中で半分以上が生活しており、人間活動の影響も大きい。例えば、陸域から様々の人為的な物質が、沿岸に設置された工場などから直接流入するほか、河川や大気、船舶経由で流入し沿岸域を汚染している。また河川へのダムの建設などによって流入する河川の水質や土砂にも変化がおこり、さらに埋め立てなど海岸線の改変工事も頻繁に行われている。さらに現在は地球温暖化によっても、水温上昇や海面上昇などの影響も出始めていると考えられている。

人為的に大きな影響を受けていると考えられる沿岸域を管理する上で、定常的な観測は欠かせないが、沿岸域は外洋域と比較してその空間スケールが小さく、なおかつ潮汐等で短期的な変動も激しいことが知られている。例えば、沿岸域で養殖業等にしばしば大きな被害を与える赤潮(有害藻類ブルーム)は、大規模な場合もあるが、その多くは 1km 以下と小さなスケールであり、また数日間継続することが知られている。このような環境のモニタリングを行う場合は、高解像度のセンサのように観測頻度が荒くではその変化が追えず、またグローバルセンサのように低解像度でもその利用に限界がある。解像度 250m でほぼ毎日のデータが習得できると考えられる SGLI は、沿岸域のモニタリングに最適である。

SGLI を用いて沿岸海洋管理に用いることが可能と考えられる事象としては、まず上述した赤潮が考えられる。赤潮の全てが人間活動に被害を与えるわけではなく、現在のリモートセンシング技術ではその種類を特定することは困難であるが、植物プランクトンの総量であるクロロフィル a 濃度や赤潮と考えられる色を判別することは可能である。特定の海域や時期でこれらの情報がわかれば、現場観測と連動することによって有害藻類ブルームであるかどうかの判別が可能であり、その情報を迅速に漁業者に発信することが可能である。このような試みはすでに、JAXA で処理された MODIS データ等を利用して水産庁や水産試験場でも行われているが、SGLI によって高解像度の情報が発信されることで、内湾などのより小さいスケールでの対応も可能となることが期待されている。また、現在では困難な植物プランクトンのグループ分類が可能となれば、さらにそれを生かすことが可能である。このような取り組みは、現在、国連教育科学文化機関 (UNESCO) の政府間海洋学委員会 (IOC) の赤潮(有害藻類ブルーム)に関する政府間パネル (IP-HAB) と全球海洋観測システム (GOOS) 運営委員会 (GSSC) でも議論が行われている。

一方、赤潮は発生してからの対応が重要となるが、沿岸域の富栄養化などがその原因となっている場合が多い。SGLI によって、定常的に沿岸域のクロロフィル a 量や透明度、基礎生産などのモニタリングが可能になり、長期データが習得されれば、特定海域での富栄養化の状況を判断することが可能であり、それによって長期的な沿岸管理に対しても貴重な情報となることが期待される。このような試みは現在でも、環境省と(財)環日本海環境協力センターが国連環境計画 (UNEP) 北西太平洋行動計画 (NOWPAP) のために行っている環日本海環境ウォッチでも、すでに JAXA で処理された MODIS データを利用して行われつつある。さらに高解像度の国産センサのデータの利用が期待されている。

クロロフィル a や基礎生産以外でも、懸濁物質 (SS) は陸域起源の土砂や堆積物の巻き上がりなどの指標となり、ダムの建設などで流入が減少する土砂や逆に鉱物資源開発や沿岸開発に伴った土砂の流入などのモニタリングに利用することが可能である。また有色溶存有機物質 (CDOM) は、現在他のリモートセンシング技術では測定が困難な小さなスケールでの淡水流入(塩分)の指標としても利用が可能と考えられる。また油汚染(オイルスピル)も、海色の変化から検知が可能である。

このように沿岸域の管理には、SGLI の高解像度、高頻度の海色情報が利用可能であると考えられる。沿岸域で起きている問題は、日本だけではなく全世界レベルで起きている共通の問題であり、特に開発の進行の激しいアジア沿岸域では変化が顕著で重要な問題である。その意味でも地球規模に高解像度、高頻度で得られる情報は全球レベルの沿岸管理に重要

であると考えられる。

5. 6 農産物収量予想の高精度化 (岡本 勝男：農環研)

5. 6. 1 GCOM-C1による農業生産量予測の重要性

「農業政策は、すべての政府の重要課題になるであろう。農業研究には、2つの側面がある。第1は、単収を上げるためのもので、第2は、食料需給を最もバランス良く決定するために地球規模で作物生産量を迅速かつ正確に評価することである。」と *Idso et al.*が *Science* 誌に報告したのは1977年のことであった。その後30年の間に、これを補強するように、世界の人口が増加して食料需要が増大するという予測や、気候変動に伴う異常気象が世界各地の穀物生産量に影響を及ぼすという報告が相次いでなされてきた。しかも、気候変動の過程で、異常気象は多発する傾向にあり、食料の多くを海外に依存している日本では、*Idso et al.*が指摘する農業研究の第2の側面が重みを持っている。我が国の食料の安定供給を図るには、国内と国外の毎年の生産量（短期的生産量）を、できるだけ早い時期に知る必要がある。短期的生産量は、毎年の農作物作付面積と単位面積当たり収穫量（単収）から計算できるので、人工衛星リモートセンシングを用いて客観的により正確かつ迅速に予測することが期待される。GCOM-C1に搭載されるSGLIのデータは4日で全球をカバーできるので、農作物の生育状況を監視することが可能となる。

5. 6. 2 食料生産とバイオマス・エネルギー生産

気候変動に大きな影響を及ぼすと見なされている温室効果ガスの主要構成要素である二酸化炭素の排出量を抑制するため、化石燃料の代替品としてのバイオマス・エネルギーが注目されている。トウモロコシやサトウキビは、エチルアルコールの原料となると同時に食料でもある。トウモロコシは人間の食料ともなるが、それよりも遙かに多くを家畜の飼料として消費しているので、酪農品や畜産品の生産にも関わりが深い。トウモロコシやサトウキビが食料となるか、エチルアルコールの原料となるかは社会経済的要因で決まるが、食料需給にも大きく影響を及ぼすので、GCOM-C1のSGLIで作付面積と生育状況を監視し、生産量を推定することは非常に重要である。

一方、バイオ・ディーゼルの原料としてアブラヤシ（オイル・パーム）が注目されている。ヤシ油は洗剤や食用油の原料でもある。アブラヤシの場合は食料とバイオマス・エネルギーとの振り分けよりも、問題はその栽培地にある。アブラヤシは熱帯地方で栽培されるため、栽培地は熱帯雨林を切り開かれて造成される。そして、植栽されたアブラヤシは、25年ほどで皆伐されて植え替えられると言われている。したがって、本来ならば熱帯雨林として炭素のシンクとなったかもしれない場所が、化石燃料抑制のために農地として切り開かれるという矛盾を引き起こしている。熱帯地方は雲が多いため光学センサでは観測しにくい場所であるが、高頻度観測を行うGCOM-C1を使うことにより、熱帯雨林の伐採箇所の把握、サトウキビやアブラヤシの生育状況の監視が可能となる。

5. 6. 3 農作物栽培面積の推定

人工衛星リモートセンシングデータを用いて、作付面積は、誤差20～10%で推定されている。しかし、行政区（日本の市町村）のように推定単位が狭い場合には誤差が大きい傾向がある。耕地の中で、日本人の主食であるコメを栽培する水田は、田植え時期に湛水（水没）するという特徴があるため、GCOM-C1/SGLIの短波長赤外域データを用いることにより、ほかの作物を栽培する畑地と容易に区別することができる。一般に、光学センサデータを用いるとマイクロ波センサデータより高精度で水稻作付面積を推定できる。ところが、熱帯から温帯のイネが栽培される地域はモンスーン気候のため、栽培期間には雲が多く、水稻作付け地の検出に適した田植え時期に、毎年確実に光学セン

サデータを取得するのは困難であった。GCOM-C1 は高頻度観測できるため、この光学センサが抱える根源的な欠点を克服できる。さらにこの高頻度観測という特徴は、栽培期間を通して観測データを得ることができるということを意味している。したがって、イネ以外の農作物でも、作物ごとの栽培期間の違いを利用して適切な時期の観測データを組み合わせることにより、農作物の作付分類図の作成が可能となろう。

5. 6. 4 農作物生育状況の推定と収穫量予測

作物の単収を推定するために、作物生育モデルからアプローチするのは、たいへん有効である。しかし、モデルに入力すべきパラメータが多い、あるいは、地球規模のデータセットがないため、パラメータが既知の限られた狭い地域または地点での利用に限られる。したがって、広域での単収の推定・予測には、衛星リモートセンシング技術の利用が不可欠となる。一方、リモートセンシングデータは、作物の一生における観測時点での 1 断面であり、生育ステージの違いが生育程度の違いとしてとらえられる危険性がある。ところが、GCOM-C1 は高頻度観測ができるため、栽培期間を通して観測データを得ることができ、生育ステージの違いと生育程度の違いを区別することが可能となろう。これによって、農作物の生育状況の推定精度を高めることができ、収穫量の高精度予測につながる。

5. 6. 5 農業生産量予測研究と実利用への寄与

食料、特に主要作物の栽培面積や収穫量を広域で迅速に推定したり予測したりするためには、GCOM-C1 のような高頻度多波長観測衛星のデータが不可欠である。毎年の生産量を準リアル・タイムで推定するには、(1) どこに農地があって、どこに草地があるか(土地利用・土地被覆分類)、(2) どこでどんな作物が栽培できるか(栽培地域推定)、(3) どんな作物がどのくらいできるか(生産力推定)を予め調べておく必要があり、これらに GCOM-C1/SGLI は大きく寄与できる。これらの情報を利用すれば、(4) 今年はどこで何を栽培しているか(リアルタイムの作付分類)、(5) 今年はどれくらい穫れるか／穫れたか(リアルタイムの生産量推定)を毎年調べて食料の安定供給につなげることが可能となる。

5. 7 火山噴煙の観測及び影響範囲の予測 (浦井 稔：産総研)

広域に広がる火山噴煙を観測するには衛星画像が有効である。火山噴煙には航空機の運行に重大な危険をもたらす火山灰が含まれている場合が多い。特に、多くの火山が存在する地域と重要な航空路が重なる北太平洋では深刻な問題となっている。過去 12 年間に少なくとも 60 機が浮遊する火山灰によって被害を受け、その内 7 機は飛行中にジェットエンジンの出力低下を招いた(Casadevall, 1993)。航空路火山灰情報センター(VAAC: Volcanic Ash Advisory Center)は火山の噴火によって上空に噴き上げられ浮遊する火山灰から航空機の安全運航を確保するため、火山灰の実況や予測を含んだ航空路火山灰情報を発表している。VAAC は東京をはじめ、全世界に 9 ヶ所設置されており、気象衛星や航空機からの報告等を使用して、浮遊する火山灰の常時監視を行っている。衛星による火山灰の監視には雲と火山灰を識別することが重要である。Prata(1989)は NOAA 衛星に搭載された AVHRR センサのチャンネル 4(10.3-11.3 μm)と 5(11.5-12.5 μm)の温度差から雲と火山灰を識別する方法を提案した。この方法は静止気象衛星や MODIS でも使用されている(Tokuno, 1997, Novak et al., 2007)。Wen and Rose(1994)は AVHRR センサのチャンネル 4 と 5 の温度差から浮遊する火山灰の量を推定した。大規模噴火に伴う噴煙の高度は噴煙の赤外線画像から得られた最低温度を用いて推定できる(澤田, 1998)。これらの方法は、SGLI の T1(10.8 μm)および T2(12 μm)は AVHRR のチャンネル 4 と 5 に相当することから、SGLI にも適用できる。T1 や T2 の空間分解能は、AVHRR や MODIS より高く、500m であることから、SGLI によって空間分解能の高い火山灰検出が可能と思われる。

火山灰は数 mm 堆積しただけで農作物に被害を生じると言われる。数 cm 堆積すれば交通機関が麻痺し、健康被害も予想される。数 10cm 堆積すれば家屋の倒壊が起こる。可視～近赤外域の衛星画像から降灰分布が得られた例は多い。例えば、有珠火山 2000 年噴火では ASTER 等から降灰域が観測された。この時、地表調査では追跡できなかった降灰域が衛星画像によって把握された(浦井ほか, 2001)。噴火の規模を評価する上で、火山灰噴出量はその指針の一つとなる。衛星画像は地表調査による火山灰等重量線図を補間する目的で重要である。航空機 MSS 観測からは降灰分布の増減が観測された(實渕ほか, 2002)。降灰域の検出は SGLI の可視～近赤外域チャンネルでも検出可能と思われる。

火山灰から航空機を守るためには、火山灰の検出と並んで、検出された火山灰の移動予測が重要である。また、降灰量の予測のためにも、検出された火山灰の移動予測は重要である。Searcy et al. (1998)は、火山の噴火によって上空に噴き上げられ浮遊する火山灰の移動を予測する “PUFF” と呼ばれるモデルを開発した。“PUFF”モデルは火山灰の個々の粒子が、風と粒子の重力および擾乱によって、微小時間中に粒子が移動するベクトルを予想するモデルであるが、三次元的風速風向の精度や火山灰の粒子サイズ分布の精度が火山灰の移動予測精度に影響を及ぼす。

<参考文献>

- Casadevall, T. J. (1993), Volcanic hazards and aviation safety lessons of the past decade, *Aviation Safety Journal*, 2(3), 3-11.
- 實渕哲也, et al. (2002), 航空機搭載型多波長走査計による有珠山 2000 年噴火の多時期観測, 火山第 2 集, 47(4), 297-323.
- Novak, M. A. M., et al. (2007), Volcanic emissions from Popocatepetl volcano, Mexico, quantified using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) infrared data: A case study of the December 2000 - January 2001 emissions, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Prata, A. J. (1989), Observation of volcanic ash clouds in the 10-12 μm window using AVHRR/2 data, *International Journal of Remote Sensing*, 10(4 and 5), 751-761.
- 澤田可洋 (1998), GMS 画像における 1986 年 11 月 21 日伊豆大島噴火の噴煙の最高高度と

- 位置の補正, 日本リモートセンシング学会誌, 18(4), 359-368.
- Searcy, C., et al. (1998), PUFF: A high-resolution volcanic ash tracking model, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 80, 1-16.
- Tokuno, M. (1997), Satellite Observation of Volcanic Ash Clouds, *Metrological Satellite Center Technical Note*, 33, 29-48.
- 浦井 稔, et al. (2001), ASTER による有珠火山 2000 年噴火に伴う降灰域の観測, *地質調査研究報告*, 52(4/5), 189-197.
- Wen, S., and W. I. Rose (1994), Retrieval of sizes and total masses of particles in volcanic clouds using AVHRR bands 4 and 5, *Journal of Geophysical Research*, 99(D3), 5421-5431.

5. 8 森林火災検知 (沢田 治雄：東大)

森林や草地などで、林野火災の影響を被った面積は、2000 年では約 3 億 6 千万 ha であり、林野火災は世界各地で増加傾向にあると世界食糧農業機関 (FAO) は報告している。火災による植生の焼失量は年間 51 億トンに上ると推定され、大気中の二酸化炭素量増加にも影響していると考えられている。植林地の増加を計画するよりも、まず森林減少を優先させるべきであるとの議論の所以である。

林野火災の主な要因は、地中海地方で 95%、南アジアで 90% が人為的な要因であるように、ほとんどの地域で林野火災は人間活動に直接的に起因している。1997 から 1998 年にかけて、東南アジアなどで多発した大規模林野火災はエルニーニョによる乾燥も大きな要因であるが、乾燥情報に基づいて人間の活動を制限しなかったことが、大規模火災の発生を招いたと言える。火災が発生した場合には初期消火が極めて重要であるが、火災情報を適切に消火隊に伝えることができなかったことも、被害を大きくしたと言える。

林野火災情報として必要とされる主な情報は、乾燥注意報として利用できる早期警戒情報、初期消火を可能にする早期火災検知情報、さらに被災地の復旧に必要な被害程度評価図の 3 つである。一方、林野火災の危険度は、着火危険度、延焼危険度、消火の困難性の 3 つに分けられる。着火危険度は人間活動に直接的に起因するもので、居住地からの距離や道路網データが重要な意味を持つ。延焼危険度は、着火した火が燃え広がる危険性を示すもので、植生の乾燥度と天候が重要な情報である。消火の困難性は、道路からの距離や、火災地点の傾斜など消火作業を困難にする度合いである。

5. 8. 1 林野火災早期警戒

林野火災の早期警戒情報におけるリモートセンシングデータの役割は、これらの火災危険度情報に寄与することである。着火危険度と消火の困難性は、GIS 情報として整備することができる。一方、天候によって変化する延焼危険に関しては、乾燥状況を示す植生の水分含有量に関する図化が有効であり、GCOM では SGLI-IRS 短波長赤外の SW3 の利用が考えられる。地上分解能が 250m なので、きめ細かな延焼危険度図が作成可能で、火の利用制限やパトロールの重点化に資することができよう。ただし、植生の乾燥度に関する予測情報を生成する必要があるため、衛星データに時系列モデル処理を施して予測データを生成できる手法 (LMF-KF などの利用) が必要である。また延焼危険度情報は、情報の蓄積とフィードバックによる延焼危険度評価の向上を図ることも重要である。それらはグローバルレベルから国レベル、地域レベルに至るまで、様々なレベルでの向上をもたらすことが期待される。

5. 8. 2 林野火災早期検知

林野火災の早期検知情報は、初期消火が必要な林野火災にとって極めて重要である。これは観測頻度によるため、GCOM だけの利用では不足である。日本の林野火災早期発見システムでは、利用可能な全ての NOAA と TERRA、AQUA 衛星のデータを利用して観測頻度を高め、高速処理によって早期検知情報を提供している。林野火災早期検知には同様に利用可能な他の衛星データとの併用を図るべきである。それによって観測頻度を高め、実利用可能なシステムに近づけることができるであろう。IRS 熱赤外の利点としては、空間分解能が 250m であり、NOAA-AVHRR など(1km)と比べて、極めて高いことである。温度感度は最大が 340K であり、MODIS とほぼ同様である。

5. 8. 3 被災地評価

林野火災の被災地は、森林資源の減少とともに、二酸化炭素の放出をもたらす。また、

被災程度の把握は林野環境の復旧にかかわる手法の選択にとっても重要である。被災程度は、近赤外チャンネルと遠赤外チャンネル利用である程度識別できることが分かっている。被災程度に応じた二酸化炭素量の推定は緊急の課題であり、京都議定書問題において次期期間での取り組みとされている REDD(Reduction Emission from Deforestation and forest Degradation)の情報源としても活動が期待される。

林野火災に関しては世界的な情報ネットワークとして GOF-C-GOLD の活動があり、情報の提供と蓄積が進んでいるため、GOF-C-GOLD との連携強化も視野に入れるべきであろう。

5. 9 極端な水循環現象 (小池 俊雄：東大)

豪雨災害、水不足など水に関わる深刻な問題が世界各地で近年広がってきており 21 世紀は水危機の時代といわれている。同時に、人類が排出を続ける温室効果ガスによって気候変動が生じていることが確認され、その結果、豪雨頻度が増加し、渇水の影響を受ける領域が拡大し、熱帯低気圧の強度が増加する傾向が、20 世紀後半の観測データから確認されるとともに、将来についても数多くの気候変動予測モデル出力の統合解析によって示唆されている。

これら現状と将来における水循環変動、とりわけ豪雨や渇水などの極端事象は、人口が集中する都市部、防災力の脆弱な中山間地など、災害に関して脆弱な地域で生じた場合に深刻な被害をもたらす。特に、気候変動にともなう水循環の極端事象の発生に対しては、「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)」(社会資本整備審議会、平成 20 年 6 月)にあるように、これまでのような防災・減災対策のみならず、モニタリングの強化と災害に強い社会構造への転換が必要である。その施策の一つは、水循環変動のメカニズムを理解し、その予測精度を向上させる科学的基盤を形成し、社会に対して危機回避の有用な情報を提供することである。

水循環はエネルギーフローとあわせて地球気候システムを形成する重要なサブシステムであり、全球規模、地域規模の水循環が流域規模の水文現象と密接に関係している。つまり、流域規模の降雨や河川流出は全球規模、地域規模の水循環変動の影響を色濃く受けている。したがって、たとえ流域規模の洪水や水不足の問題に対応する場合にも、全球規模、地域規模の水循環変動情報を効果的に流域規模の予測情報にダウンスケーリングする手法の開発が有用である。

一方途上国では、予測システムはおろか観測システムの整備も遅れている。第 3 回地球観測サミットで合意された複数の観測システムからなる統合的な地球観測システム(GEOSS)10 年実施計画(2005 年 2 月)では、「特に開発途上国に対して、データ及びモデルへのアクセスを奨励する。」としており、地球観測データや地球規模の予測モデルの利用により、途上国へ有用な情報、手法を提供し、災害の軽減や環境改善の能力開発を強化することが謳われている。さらに G8 北海道洞爺湖サミットの首脳宣言には、「開発途上国、とりわけ最も脆弱な国々の、気候変動に適応する能力を強化するため、共に努力していく」と明文化されている。これらを実現する一つの手法は、地球観測データや全球規模、地域規模の水循環変動予測情報を用いて、各国、各河川流域規模の予測情報を抽出する手法の開発である。

洪水や渇水被害を軽減するための健全な意思決定のためには、全球規模、地域規模の予測情報を局所規模の情報にダウンスケーリングする必要がある。そのためにこれまで数値気象予測モデル分野では、ネスティングや広域予測のための粗いグリッド規模のモデル出力の統計的性質と対象とする局所規模の観測データの統計的性質を合わせる手法が用いられてきた。しかしこれらの手法では、短期の数値予測において重要な初期値、つまり大気中の水蒸気量や雲水量、土壌水分量などの陸面水文条件を、対象とする狭域規模で物理的整合性をもって得ることはできず、それがゆえに広域規模の予測情報を効果的に狭域規模に利用し、その予測精度を向上するには至っていなかった。その理由は、全球規模で土壌水分の推定が困難なこと、また推定された土壌水分を数値モデル上で表現する手法が確立されていなかったことにある。さらには、大気中の水蒸気量や雲水量は海洋上では算定する手法が開発され、数値モデルへの導入も図られてきたが、大陸上での定量的観測手法は確立されていなかったからである。

また、より長期の数値予測においては、物理的妥当性と安定性を有する境界条件のモデル化が不可欠である。全球モデルの場合の境界条件は海面と陸面であり、海面の場合は海洋モデルと大気モデルを結合することによって、境界条件を物理的整合性を持って作り出していく努力が重ねられてきた。一方、陸面の場合にも、鉛直一次元のエネルギー、水フ

ローを記述するモデルが数多く提案されたが、陸面の多様性、とりわけ土壌の物理的性質や植生の季節変化については、十分な精度が確保されていないにもかかわらず、全球的に利用可能であるという理由から選択されたデータセットの制約条件下で陸面モデルが開発され、数値予測に利用し、観測データを用いて結果を検証するという、いわば一方通行のシステムであった。観測データとモデル出力が整合する条件下でモデルパラメータを同定するなど、いわば双方向の検討による予測精度の向上は図られてこなかった。

そこで、河川流域規模の極端事象の予測精度の向上と予測情報に基づく適切な河川・水資源管理情報を提供することを目的として、衛星で観測される全球規模、地域規模の水循環変動情報を効果的に取り込んで、よりローカルで具体的施策に適応できる定量的な水循環情報を提供できる地球観測とダウンスケーリングの手法開発と、全球データや地域情報を統融合して意思決定に有用な情報へ変換し、情報を適宜に提供できるデータ統合・解析システムの開発が必要である。

5. 1 0 環境（安岡 善文：NIES）

“環境”の概念は広く、衛星観測が対象とする領域、事象も多岐にわたる。ここでは、GCOM 搭載センサの有する広域・高頻度・多波長観測という機能から、大陸規模、特にアジアを中心とした陸域、海域、大気域における環境問題を対象として、その問題解決に資する情報の収集に焦点を合わせる。環境問題の解決に向けてはそれぞれの域において、科学的・基礎的な知見の獲得が不可欠となるが、科学的・基礎的な知見に関する事項の観測については前章（4. GCOM 科学研究計画）に記述することとする。ここでは、GCOM 打ち上げの時点で顕在化することが予想される地域規模から大陸規模での環境問題の解決（実利用）に資する観測のみを対象とする。

また、GCOM 搭載センサをこれまでの AVHRR、MODIS などの広域高頻度観測センサの後継と位置づけ、これらのセンサで観測されてきた項目の継承と発展に焦点を合わせて検討する。

なお、GCOM による観測が期待される“環境の実利用”に関するパラメータとしては、
陸域：詳細土地被覆、植生分類、植物季節（フェノロジー）、農作物分類および成長ステージ、森林火災、純一次生産、積雪、冠水状態、地表面温度
水域：クロロフィル濃度、プランクトン量、透明度、懸濁物質濃度、基礎生産、赤潮・青潮、あおこ、水生植物、海面高度、水面温度
大気域：エアロゾル、雲（種類も含む）、降雨量、可降水量
などが考えられるが、ここでは、特に近未来の実利用を考慮したパラメータを以下に挙げる。

5. 1 0. 1 陸域

5. 1 0. 1. 1 広域植生評価

これまで衛星データを利用して作成された大陸規模での植生分布図は少なくない。しかしながら、植生種数の少なさや分類精度の不十分さから必ずしも実利用レベルの植生分布図とはなっていない。GCOM-C/SGLI の仕様がこれまでのセンサの仕様を越えていることから、SGLI では実用レベルでの植生分布図の作成を目指すことが可能である。具体的には、世界で最も詳細と云われる環境省作成の“緑の国勢調査”（自然環境保全基礎調査植生分布図；日本国内のみ）をアジアにまで展開したアジア植生分布図を作成する。植生種数は 20・50 として、衛星時系列データからの植生季節（フェノロジー）判別により実現可能なレベルに設定する。

5. 1 0. 1. 2 都市熱環境評価

温暖化による都市への影響は、ヒートアイランド現象と相まって、アジアの大都市圏において顕在化してくることが懸念される。SGLI では、熱赤外多波長帯データによる放射率を考慮した地表面温度分布の計測が可能である。世界の大都市圏を対象とした都市熱環境分布図を作成することにより、ヒートアイランドの把握、ならびに対策効果の評価が可能となる。

5. 1 0. 2 海域

5. 1 0. 2. 1 赤潮監視

近年、アジアにおける発展途上国の沿岸域において、富栄養化に伴う赤潮の発生が頻発している。赤潮は漁業に影響を及ぼすばかりでなく沿岸環境の著しい悪化を招く

ことから、実利用レベルでの監視、評価、予測が望まれる。SGLI では、クロロフィル、プランクトンに対する波長を有していることから、水温分布、クロロフィル、プランクトン分布図を作成することにより、準実時間での赤潮監視が期待される。

5. 10. 3 大気域

5. 10. 3. 1 大気天気図

発展途上国の経済活動の活発化に伴い、大気へ放出される物質量は増加の一途を辿っている。大気エアロゾルの増加は、温暖化とも密接な関係を有することが云われているが、日常生活レベルにおいても、光化学スモッグ発生による人々への健康影響なども懸念されている。

一方、砂漠化の進行等により粉塵が大気中に舞い上がり遠距離まで輸送される問題、例えば、黄砂の飛来なども大気環境問題として取りあげられている。

これら大気を介した越境汚染は、対象とする範囲が広いため、衛星観測による監視・評価が不可欠である。SGLI は大気成分観測の波長帯を有しており、これらの成分分布観測から大気汚染（天気）分布図を作ることが期待される。

5. 10. 3. 2 水蒸気分布

近年の温暖化に伴い、大気中の可降水量が増加している。可降水量は必ずしも降水量とは直接に比例しないが、その分布は、気象予報にも重要な役割を果たす。これまで、可降水量の分布は、ゾンデ、GPS などにより観測されているが、発展途上国では必ずしも観測ネットワークが確立していない。SGLI の熱赤外領域観測から可降水量を推定することが可能であり、広域での分布観測が望まれる。また、AMSR2、GPM による降雨観測とも併せて、より精度の高い気象観測が可能となる。

6. 搭載センサの観測目的とプロダクト

6. 1 AMSR2 (今岡 啓治 : JAXA)

6. 1. 1 目的

6. 1. 1. 1 地球環境観測

GCOM-W は、GCOM の目的である気候変動の監視・理解の中で、極域を含む全球規模での水・エネルギー循環に関わる長期継続観測を担う。具体的な観測内容として地球温暖化の兆候がいち早く、最も顕著に現れるとされる海氷・氷床・積雪などの雪氷圏の観測、エルニーニョに代表される大気・海洋相互作用に伴う海面水温・降水量・水蒸気量などの変動に関する観測、また、これらの変動を理解する上で不可欠な大気・海洋・陸面間の水・エネルギー交換の定量的把握のための、海上風や土壌水分などの観測である。

このような観測の実現には、全球を高頻度で定量的に測定できるシステムが必要である。地球表層・大気からのマイクロ波放射を受信するマイクロ波放射計による観測は、その透過性により大気や雲、積雪、土壌などの表面だけでなく体積的な情報を含み、定量的な観測に適する。また、太陽反射光の測定でないため夜間や極域の観測に利点があり、透過性を活かした雲域下での計測も併せて高頻度な観測を実現する。搭載センサである AMSR2 は、AMSR/AMSR-E のミッションを引き継ぎ、海面水温、海上風速、水蒸気量、雲水量、降水量、海氷密接度、積雪、土壌水分などの観測を継続する。GCOM-W は現在の AMSR-E 観測を継続し、連続したデータセット構築を行うことに重点を置く。これにより、AMSR-E から GCOM の 3 世代で足かけ 20 年規模の長期観測を実現する。

6. 1. 1. 2 社会貢献実現

気候変動監視の実現にはセンサの精度と安定性が必須である。また、気候変動の理解・予測の実現には、科学研究者・気候モデル機関等への安定的なデータ提供と連携が必要である。このためには、観測データを遅滞なく処理し、関係機関へ配布できるシステムが必要であり、これらは衛星・地上処理を総合して実現しなければならない。

このような継続的で安定した衛星データは、同時に数値気象予測や漁業利用などの現業面でも不可欠となりつつある。AMSR-E データは既に現業機関で利用されており、雲に影響されない海面水温の長期観測や、気象予測、特に台風や豪雨等に関わる降水予測に用いられている。このため、継続したデータ提供と準リアルタイムのデータ提供が求められている。

6. 1. 1. 3 他ミッションとの関連

降水や雲のように変化の速い現象については、単一の極軌道衛星では現業利用に貢献できる十分な観測は不可能である。また、気候変動監視のような長期観測であっても、サンプリング誤差、観測地方時の偏りによる気候変動シグナルの違いなどから、単一の極軌道衛星シリーズで得られる精度には限界がある。このような観点から米国共同極軌道衛星システム (Joint Polar Satellite System, JPSS) のような衛星システムとは互いに相補的な関係にある。

6. 1. 2 プロダクトおよびアルゴリズム開発

6. 1. 2. 1 プロダクト

AMSR2 データから生成するプロダクトを以下に示す。

(1) 輝度温度

輝度温度は全ての物理量推定の入力となる基本量であるとともに、陸面や氷床の時系列解析などで直接利用される場合もある。また、近年の数値モデル同化では、よりよい初期値を作成するために輝度温度の直接同化を行う傾向にある。そのため、輝度温度自体が良く校正され、安定したプロダクトとして生成・提供される必要がある。

(2) 大気

鉛直方向に積分された積算水蒸気量・積算雲水量、および地表面換算の降水量を標準プロダクトとして作成する。多周波情報を用いた降水量の鉛直プロファイルも研究的に推定される。水蒸気は大規模水循環の担い手であるとともに、地球上で最大の温室効果を持つ気体である。Microwave Sounding Unit (MSU)やSSM/Iなどの衛星データが示しているように、水蒸気量は気温上昇に伴い増加すると考えられている。降水現象は地球表面へ水を還元する役割を持ち淡水フラックス算定に不可欠であるとともに、潜熱放出による大気へのエネルギー供給源として重要である。気候変動による降水現象の変動は、水資源や災害の面で直接的に人間活動に影響を与えるため、実利用面でも不可欠な情報となっている。AMSR-Eによる降水量、水蒸気量は現在既に数値気象予測に入力されている。

(3) 海洋

海洋分野に関しては、海面水温と海上風速を標準プロダクトとして作成する。海面水温はエルニーニョ等の自然変動を良く現す物理量であるとともに、温暖化指標のひとつと考えられる。AMSR2は、マイクロ波観測の特徴を活かし非降水雲下での高頻度観測を可能とする。雲や火山性エアロゾル等の影響を受けず、誤差要因の点で赤外観測と相補的な関係にあるため、複合利用により変動監視の精度を高めることができる。海上風は、大気・海洋間のエネルギーフラックス、二酸化炭素フラックスの推定に不可欠である。海面水温・海上風の双方とも、台風の発生、中心位置、強度の監視や予測に有効であり、現業気象観測および予報に欠かせない情報である。

(4) 雪氷圏

雪氷分野に関しては、海氷密接度、および陸圏での積雪量が標準プロダクトとなる。また、海氷の氷厚測定も、他の衛星観測（SARによる偏波比やレーザ高度計観測）と併せて研究的に推定することができる。海氷・積雪・氷床の消長には地球温暖化の兆しがいち早く現れ、その影響を鋭敏に反映すると考えられ、衛星モニタリングによる変動検出が比較的容易と考えられる。海氷・積雪・氷床は、地球表面と大気を断熱し熱輸送量を著しく変化させることに加え、アルベド効果により放射収支にも影響するため、その分布の正確な把握が必要である。また、分布だけでなく凍結や融解の状態や厚さの情報が重要である。例えば、海氷表面から大気への熱輸送量は氷厚に大きく依存し、特に薄氷域における氷厚推定が重要とされている。南極氷床や周縁部の棚氷の観測には、輝度温度が直接用いられている。真水の氷である氷床では、観測周波数により透過深度が大きく異なり、7GHz帯では10m程度、89GHz帯ではほぼ表面近くの温度を反映しているとされている。高周波により短期的な昇温現象を、低周波により長期の状態を反映した年平均気温に近いシグナルを取り出すことができる。

(5) 陸圏

陸圏においては土壌水分量、および雪氷の部分で述べた積雪量の標準プロダクトを作成する。また、植生含水量や地表面温度も研究的に推定が行われる。土壌水分の挙動は蒸発散や地下水の涵養を左右し、陸圏水循環に影響を与えているが、広域・定量的な測定は衛星以外では不可能な状況にある。そのため、AMSR2 による観測データは、中長期気象予測や気候変動予測のためのモデル改良において重要な役割を果たす。地表面温度も同様に陸面の水・熱収支を左右しており、温暖化の指標とも考えられる。土壌水分や地表面温度は植生活動への影響因子でもあるため、GCOM-C/SGLI の植生観測に有効な情報を与えると考えられる。

標準プロダクトは全数を定常的に処理し一般配布するものである。研究プロダクトは、試験的に処理し研究に用いるもの、および標準プロダクトのプロトタイプ版を含み、最新の成果を反映して種類が検討される。標準・研究の別は、アルゴリズム開発の進捗と打上げ後の検証結果に基づき変更される。表 6.1.1 に、AMSR2 標準プロダクトの一覧を示す。新たな概念や必要性に基づくもの、あるいは他衛星・センサ等との複合による研究プロダクトの研究開発を進めるが、以下のようなプロダクトが現時点で考えられる。

- ・ 海氷域および陸域の積算雲水量
- ・ 寒帯の降水量
- ・ 海氷厚さ
- ・ 全天候海上風速
- ・ 陸域水文データ同化プロダクト

表 6.1.1 AMSR2 標準プロダクト

プロダクト*1		対象領域	空間 分解能 (概略)	精度*2			計測範囲	備考
				リリース*3	標準*4	目標*5		
輝度温度 (6周波帯・2偏波)		全球	5-50km	±1.5K	±1.5K	±1.0K ±0.3K	2.7 - 340K	系統誤差(最大振幅, 150K 相当) 変動誤差(3σ, 150K 相当)
地球物理量	積算水蒸気量	全球洋上	15km	±3.5kg/m ²	±3.5kg/m ²	±2.0kg/m ²	0 - 70kg/m ²	鉛直積算量、海氷・降水域除く。
	積算雲水量	全球洋上	15km	± 0.10kg/m ²	± 0.05kg/m ²	±0.02kg/m ²	0 - 1.0kg/m ²	鉛直積算量、海氷・降水域除く。
	降水量	熱帯～温帯	15km	海上±50% 陸上± 120%	海上±50% 陸上± 120%	海上±20% 陸上±80%	0 - 20mm/h	地表面降水量。精度は 50km 平均 の相対誤差(平均降水強度に対す る RMSE の割合)。
	海面水温	全球洋上	50km	±0.8℃	±0.5℃	±0.2℃	-2 - 35℃	海氷・降水域除く。目標精度は緯度 10° 毎の 1 ヶ月平均バイアス値。
	海上風速	全球洋上	15km	±1.5m/s	±1.0m/s	±1.0m/s	0 - 30m/s	海氷・降水域除く。
	海氷密接度	高緯度洋上	15km	±10%	±10%	±5%	0 - 100%	精度は海氷密接度[%]で表示。
	積雪量	陸圏	30km	±20cm	±20cm	±10cm	0 - 100cm	氷床と密な森林域を除く。精度は積 雪深で示しており、瞬時値の絶対 値平均誤差。
	土壌水分量	陸圏	50km	±10%	±10%	±5%	0 - 40%	全球陸域(乾燥地、寒冷地を含む) で、植生被覆が水分相当 2kg/m ² 以下の地域での体積含水率。氷床 と密な森林域を除く。精度は瞬時値 の絶対値平均誤差。

*1 輝度温度はセンサの工学値出力を最も基本的な観測量に変換したものであり、それ以外の地球物理量は、変換アルゴリズムを介して輝度温度を地球物理量へ換算したものである。

- *2 精度については、特に示さない限り瞬時値の二乗平均平方根誤差（RMSE）で表している。輝度温度の精度はオンボード及び地上処理の校正精度に依存する。それ以外の地球物理量の精度は、輝度温度精度、変換アルゴリズムの性能、及び検証方法に依存する。
- *3 気候変動解析に貢献しうるデータとしてリリースできる最低精度。
- *4 AMSR、AMSR-E 等の実績を踏まえた、有用かつ標準的な精度レベル。
- *5 アルゴリズム性能や校正精度改善等の研究要素を多く含む精度レベル。

6. 1. 2. 2 アルゴリズム

（１）対象アルゴリズム

1) プロダクト種類

プロダクト種類は表 6.1.1 に示した標準プロダクト、ならびに後述する研究プロダクトの双方に対してアルゴリズム開発を実施する。

2) 処理レベル

想定する処理レベルを表 6.1.2 に示す。

処理レベル	定義
1A	センサ出力工学値、衛星の姿勢・位置情報やセンサの状態、輝度温度変換係数、観測点毎の緯度経度情報等を格納する。地図投影は行わない。
1B1	レベル 1A に輝度温度変換を施し、輝度温度を格納する。地図投影は行わない。
1R	レベル 1B に対し空間分解能マッチングを行ったもの。
2	レベル 1B/1R から地球物理量を算出したもの。地図投影は行わない。
3	レベル 1B、レベル 2 を時空間的に統計処理し、地図投影したもの。

表 6.1.2 AMSR2 処理レベル

（２）レベル 1 アルゴリズム

レベル 1 プロダクトの生成には様々なコード・アルゴリズムが必要となるが、利用者が直接扱う情報に関連する主要なアルゴリズムを以下に識別する。

1) 輝度温度算出アルゴリズム

AMSR2 の工学値から輝度温度を算出するアルゴリズムであり、観測・校正カウント値、物理温度モニタ値等を入力として算出を行う。センサの地上試験・解析に基づきセンサのラジオメトリックモデルとその係数等を打上げ前に決定し、軌道上校正作業により調整を行い処理に供する。

2) 幾何情報算出アルゴリズム

AMSR2 の観測ジオメトリ、および衛星の姿勢・位置情報等を用いて AMSR2 の観測位置情報や入射角等を算出するアルゴリズムである。衛星・センサの設計情報や地上試験・解析等に基づいてセンサのジオメトリックモデルとその係数等を打上げ前に決定し、軌道上の校正作業により調整を行い処理に供する。

3) 品質情報付与アルゴリズム

AMSR2 の観測点毎・走査毎・ファイル単位毎等にデータの品質に関する情報を算出し、品質フラグなどの形態でプロダクトに付与するためのアルゴリズム。AMSR2 では 6.925GHz と 7.3GHz を併用した電波干渉に関する品質フラグの付与が新規に追加される。

4) 空間分解能マッチングアルゴリズム

マイクロ波放射計は、観測原理から周波数帯により空間分解能が大きく異なる。よって、複数周波数の組み合わせで地球物理量を算出する場合、空間分解能の違いを考慮しなければならない。本アルゴリズムにより、各周波数の空間分解能を合致させた L1B2 プロダクトを作成し、利便性を向上させる。

(3) レベル 2 アルゴリズム

レベル 2 の地球物理量算定アルゴリズムのうち、現時点で標準プロダクトと位置づけているものに対して、今後の研究における重点を列挙する。研究アルゴリズムについても並行して研究を進める。

1) 積算水蒸気量

AMSR-E アルゴリズムを発展させ、現業数値予報システムの出力を活用した品質評価やデータ同化技術に関する連携を意識したアルゴリズム開発が必要となる。具体的には、GPS 掩蔽観測やマイクロ波散乱計を同化した高分解能数値予報モデルの解析値や予報値を補助データとして使用することによる精度のよい気温・水蒸気・海上風の事前情報に基づいた積算水蒸気量の推定を試みることで、厚い雲域や降水域における推定精度の向上、長期変動解析のための安定したアルゴリズムの開発などである。

2) 積算雲水量

近年は衛星搭載の雲レーダやライダーが打ち上げられ、雲の鉛直分布に関する情報を全球で得ることが可能になりつつある。これらの情報を活用し、AMSR-E アルゴリズムを発展させた鉛直積算量アルゴリズムの開発を行う。

3) 降水量

降水アルゴリズムの課題である、熱帯～温帯陸上、および寒帯における推定精度を制限している散乱アルゴリズムの改良を更に進めることが必要である。具体的には、非球形氷晶を考慮した放射伝達モデルの改良、積雪域など様々な地表面タイプにおける推定精度の改善、寒帯域の固体降水推定の精度向上、客観解析データなどの補助情報の有効利用などである。また、AMSR2 の降水アルゴリズムは GPM 計画における利用も考慮し、類似センサに対応可能な一般化を図ることが期待される。

4) 海面水温

AMSR2 による海面水温推定は、全天候型の観測として有効である。AMSR-E アルゴリズムを基礎として、気温・水温差や海上風向の影響などの環境条件を考慮した海表面放射率の精密なモデル化を進め、更に高精度のアルゴリズム開発が必要である。また、電波干渉の影響低減など、新規に追加する 7.3GHz チャンネルを用いた精度向上を検討する。

5) 海上風速

海面水温と同様に、海上風向の精密な補正など、種々の海洋環境条件を考慮した海表面放射率の精密なモデル化が必要となる。また、7、10GHz等の低周波を用いた全天候型の海上風速推定の研究を進めることで、研究プロダクトへの発展も見込まれる。

6) 海氷密接度

代表的な海氷密接度算定手法である Bootstrap アルゴリズムおよび NASA Team アルゴリズムをベースとして、陸域影響の低減、大気影響の低減、薄氷域の海氷密接度推定精度の向上などに主眼を置いて改良を進める。特に薄氷域の取り扱い、海氷密接度の推定向上だけでなく、海氷・大気間の熱輸送量に影響を及ぼす氷厚に関係しており、今後の取り組みが重要である。

7) 積雪深

定量的な積雪深推定には改良の余地が多く残されている。具体的には、積雪下層の土壌状態の考慮、積雪と寒冷地無雪乾燥地の区別、乾雪期～融雪期までの連続的推定、特に樹冠積雪などの植生影響の考慮などである。これらの改良を行うための地上観測データは必ずしも十分とは言えず、今後も集中観測や長期定点観測を継続する必要がある。

8) 土壌水分量

土壌水分量の推定は AMSR-E により大きく進展したが、全球規模での信頼性の高い算定のためには、様々な土壌構造（テクスチャ）・地表面粗度・植生タイプに対応した柔軟なアルゴリズム開発、融雪過程から連続的に土壌水分変化を算定できる手法開発、寒冷地における土中含水量算定（凍土帯のモニタリング）手法の開発などを進める必要がある。

6. 1. 3 校正と検証

6. 1. 3. 1 校正

(1) 打上げ前校正

校正に関係するセンサ特性を特定し地上試験・解析項目に反映させるとともに、必要に応じて補正方法を検討し、レベル 1（輝度温度）処理アルゴリズムの入力となる輝度温度変換・幾何変換のセンサモデルに反映する。

(2) 初期校正検証

1) 輝度温度校正

輝度温度の絶対的な評価を行う方法が事実上存在しない。そのため、以下に示す各種の校正評価手段の結果の整合性などを総合的に評価し、最終的な校正を決定する。

①軌道上校正

軌道上校正は、低温・高温校正源データを用いた 2 点校正で行う。まず、各校正源データについて、各種テレメトリ情報と比較評価し特性を把握する。センサモデルの係数調整、または新たなモデル化により最適化する。低温校正源については、地球・月・衛星構体など深宇宙以外の寄与の除去、高温校正源については、校正源温度テレメトリから有効放射温度を算出するモデルの調整が挙げられる。

②深宇宙校正

深宇宙校正マヌーバにより取得する深宇宙温度の観測結果を用いて、低温絶対校正（主鏡と CSM の整合性確認）、走査内バイアス評価・補正、スピルオーバー量評価（TBD）を実施する。

③複合・相互校正

地球上には絶対値校正を行う理想的なターゲットが存在しないため、同時期に運用されている類似のマイクロ波放射計群との相互校正、地上観測・他センサ観測データと放射伝達計算を併用した結果との比較検証などの評価を実施する。

④センサ特性・データ品質評価

走査内・走査間バイアス、受信機個体差（89GHz A+B 系、6.9+7.3GHz 等）、温度分解能、利得安定性等の特性を、観測・校正・テレメトリデータの統計処理等で評価する。また、人工電波干渉等による異常値の全球分布・頻度評価と適切な除去方法の決定等を実施する。

2) 幾何校正

各チャンネルの観測データと、予め設定した海岸線・島嶼などの地図情報との比較により、幾何精度の評価を行う。この結果を用いて、センサモデルのアライメント情報や周波数間レジストレーションパラメータ等の修正を行う。

(3) 定常校正検証

初期校正検証作業の定常的实施、テレメトリ・校正データ、熱帯雨林・氷床域・海域等の特定領域上の輝度温度等を定常的にモニタすることにより長期安定性を評価する。また、地球物理量のトレンド評価から、逆に輝度温度校正へ反映される場合もある。

6. 1. 3. 2 検証

(1) 積算水蒸気量

全球のラジオゾンデ網を利用した検証を主とする。また、必要に応じて、離島に設置した地上マイクロ波放射計、ラジオゾンデ、地上型 GPS 受信機、低軌道衛星 GPS 掩蔽観測による検証を行う。さらに、他の GPM 衛星観測との相互比較や、現業数値予報システムを用いた品質調査を行う。

(2) 積算雲水量

地上からのマイクロ波放射計・レーダ・雲底高度計などによるリモートセンシング観測との比較検証、他の GPM 衛星観測、衛星搭載雲レーダ観測との相互比較を行う。また、現業数値予報システムの解析値との比較も行う。

(3) 降水量

降水量は時空間変動が激しく、地上観測データとの直接比較が難しい地球物理量のひとつである。基本的には既存の現業地上レーダ網や地上雨量計群を用いた検証を行うが、地上データ自体の精度や均一性の観点から、運用時期が合致すれば衛星搭載降水レーダとの比較を行うことが非常に重要である。

(4) 海面水温

全球に分布する固定・漂流ブイの水温データとの比較検証を基本とする。また、同

時期に得られる衛星搭載赤外放射計による海面水温との比較により、特に観測初期における全球の面的な検証や、両者の特性・誤差の分布を評価する。

(5) 海上風速

全球に分布する固定ブイの風速データとの比較検証を基本とする。また、同期間に衛星搭載マイクロ波散乱計が運用されている場合は、これとの比較も重要な評価項目である。

(6) 海氷密接度

アルゴリズムパラメータ調整、ならびに検証のためには様々な海氷種別・季節・海域における検証データが必要であるが、特に薄氷域の検証のためにはオホーツク海での検証は重要である。具体的には、船舶・航空機・衛星観測を同期したマルチステージ観測により、地上レベルから段階的に検証データセットを整備する必要がある。特に、数 m～数 10m 級の高分解能衛星データとの比較は重要である。

(7) 積雪深

アルゴリズムの項で述べた改良の実施と検証のため、3 つの条件下での検証が必要である。まず、積雪条件・積雪下面の特性・植生条件を定量的に把握できるサイトにおける地上マイクロ波放射計観測により、高精度な物理的検証を行う。次に、衛星フットプリントサイズの検証領域における積雪パラメータ集中観測により、実際の AMSR2 データに対する検証を行う。そして最終的には、気象・植生・土壌タイプの異なるサイトで観測実験を継続し、長期的な検証へと移行する。

(8) 土壌水分量

アルゴリズム改良とその検証のため、次の 3 点を考慮した検証が肝要である。ひとつは、乾燥～湿潤の土壌水分条件により異なるマイクロ波放射伝達特性に対応する検証である。次に、異なる土壌タイプ（地表面粗度・テクスチャ）に対する検証である。地表面散乱では粗度が、土層内の体積散乱ではテクスチャの違いの影響が顕著となる。そして、異なる植生条件（植生量、植生タイプ、植生被覆の不均一性）に対する検証である。植生の影響を受けやすい C バンドを用いる AMSR2 では、植生条件に対する評価は非常に重要である。

6. 2 SGLI (村上 浩 : JAXA)

6. 2. 1 目的

6. 2. 1. 1 地球環境観測

GCOM-C/SGLI は GCOM の目的である気候変動の監視・理解の中で、全球規模での「気候のバランスに関わる放射・熱収支」と「食糧生産や炭素循環に関わる植物生産」に関するパラメータの長期継続観測を担う。近年、人口増加や産業分布の変化に伴って環境変動が顕著になっているが、GCOM-C では特にこの人間活動の地球環境への影響、及び地球環境の変化の各地域の人間生活への影響を高精度で観測することに重点を置く。そしてこれらの観測の実現には、近紫外～熱赤外域という地球から反射・放射されるエネルギーが特に大きくなる波長帯に感度を持ち、人間活動と広域環境の結びつきを一貫して把握しうる 250m の空間分解能を持つ衛星搭載放射計が必要である。

エアロゾルおよびエアロゾルと雲の相互作用に基づく放射強制力は、IPCC 第 4 次報告書でも最大の不確定要素となっており、この両者の精度の高い観測は必須である。また、人間活動の盛んな地域における地表物理量の正確な推定には、その上空に多く分布するエアロゾル特性の正確な見積もりが必須である。しかし、従来の輝度情報だけを用いる手法では、陸面の光学特性の複雑さから上空のエアロゾルを正確に推定することは困難であった。ADEOS-1、-2 搭載の POLDER では、偏光・多方向観測による新たな大気情報を用い、陸圏を含めた全球規模のエアロゾル分布を得ている。しかし、POLDER ではその分解能の低さ (5~6km) から、雲の除去が困難であった。そこで SGLI では分解能を 1km に向上させ、雲の影響を除くと共に、さらに人為起源の光吸収性エアロゾルの識別に役立つ近紫外波長の輝度観測を併用することにより、精度の高いエアロゾルモニタリングと地表物理量の推定を実現できる。

こうして正確に得られた地表物理量はさらに高度な物理量の推定に繋がる。例えば、陸域植生に関する指数の変動は植生に対する環境ストレスを表すことにもなり、その地域での農業生産や将来の環境変化に対する応答の予測などへ繋がることが期待される。

6. 2. 1. 2 社会貢献の実現

温暖化などの 100 年スケールの気候変動を監視する上では、その変動傾向を捉えるためにも 10 年以上の高精度で安定したシステムによる観測が必須である。また、気候変動の理解・予測や IPCC レポートなど政策判断への貢献には、科学研究者・気候モデル機関等への安定的なデータ提供と連携が必要である。このために、観測データから高精度で情報を抽出し、ユーザへ配布できるシステムを構築する。また、気象監視や漁業利用などの実利用への貢献においては、必要な観測データや情報を速やかに関係機関へ提供できる衛星・地上処理を総合したシステムが必要であると考えられる。

6. 2. 1. 3 他ミッションとの連携

大気や海洋のように変化の速い現象については、単一の極軌道衛星で変動の全てを捉えることは困難である。また、気候変動監視のような長期観測であっても、サンプリング誤差、観測地方時の偏りによる気候変動シグナルの違いなどから、単一の極軌道衛星シリーズで得られる精度には限界がある。GCOM-C ミッションでは、NPOESS/VIIRS のような他の観測システムと観測頻度や空間分解能を互いに補完することで、より効果的に気候変動監視に貢献することを目指す。この補完関係に加え

て、偏光・多方向観測による陸圏を含む全球でのエアロゾル分布の観測、雪氷面での人工汚染物質の堆積によるアルベドの変動と放射収支、SGLI の 250m 分解能での全球観測による人間活動の環境への影響の評価など、SGLI は広域環境変動に焦点を置いた先端的観測を行う点で特長を持つ。また、同時期の GCOM-W や EarthCARE/CPR 等の異なる衛星観測手法と連携し、雲・エアロゾル相互作用の変動モニタリング等をより効果的に行うことを目指している。

6. 2. 2 SGLI プロダクト

SGLI プロダクトは、①ミッションとしての重要度+②アルゴリズム開発における実現性+③有効なデータ処理・提供形態の 3 つの要素を踏まえて、標準プロダクトと研究プロダクトの種別されている。例えば、標準プロダクトは、GCOS 要求事項でもある雲・エアロゾル特性、海面水温、海色、積雪、植生など、ミッション目的の実現に対して特に重要で、ADEOS-II などの実績で実現性が十分確認されており、データの提供形態としても計画的な提供が適したプロダクトを設定する。一方研究プロダクトは、開発や利用の面で研究段階にある、あるいは重要度は高いが計画的なデータ提供ではなく得られた知見が成果となるようなプロダクトを設定している。また、これらプロダクトの処理・提供システムは上記の①②③の側面を考慮し、効率かつ効果的な手段を選択する。

SGLI データから生成するプロダクトとその精度目標を表 6.2.1 に示す。また、それぞれの説明を以下に記す。

6. 2. 2. 1 衛星観測放射輝度

衛星センサの観測値から校正処理を経て得られる放射輝度は、全ての物理量推定の入力となる基本量であると共に、アルゴリズム開発や陸域の応用利用の分野では多くのユーザを持つプロダクトでもある。また、多方向観測や偏光観測輝度では観測対象物の散乱角度依存性や偏光強度や偏光角度の情報を含むことになる。

SGLI のような陸・海・大気・雪氷様々な対象を持つ多用途センサデータにおいては、全ての観測条件（陸海比率・雲量）のデータを利用して時空間解析を行うので、全ての観測条件において正確な位置を決定する必要がある。そこで輝度データには各画素の位置を特定するための情報が含まれる。

6. 2. 2. 2 陸分野のプロダクト

陸分野のプロダクトには、植物生産やバイオマスとその変動を捉え、気候変動予測、農業や水循環、災害分野での貢献が期待されている。特に SGLI では、陸域大気補正の向上による派生する植生指数の精度向上や多方向観測によりバイオマスや土地被覆分類の精度向上が期待される。

・精密幾何補正済放射輝度

特定地点の時間変動の解析、他の地図情報との複合的な解析、山岳地帯のような局所的な地形効果等を考慮した解析、地上観測を用いた検証等のため、精密幾何補正済放射輝度プロダクトを作成する。特に 250m 分解能の場合は、1km 分解能よりも標高による位置ずれの影響が大きいため、全球レベルの高空間分解能の DEM、や GCP ライブラリを使用して補正を実施する。

・大気補正済陸域反射率

植生等のパラメータは大気補正済陸域反射率プロダクトから算出されるため、大気補正済陸域反射率が如何に高精度で算出できるかが重要となる。一般的に、光学センサ

は大気を通して地上を見るため、大気の散乱と吸収の影響を受ける。陸上のエアロゾルは、ダスト起源、煤、火山性等の混合比により多種多様なタイプが存在する上に極めて非均質性が大きいため、これまでの陸域大気補正アルゴリズムでは、陸域エアロゾル補正は十分な精度に達していない。SGLI では近紫外波長や偏光観測によるエアロゾル補正精度の向上が期待される。

- ・植生指数、光合成有効放射吸収率および葉面積指数

植生の炭素固定機能を把握するには、光合成過程を理解する必要がある。植生が炭素を固定する量 (NPP, Net Primary Production; 純一次生産量) を衛星データに基づいて推定する場合、大気補正済陸域反射率から、NDVI、葉面積指数 LAI、光合成有効放射吸収率 fAPAR (fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation)、光合成光利用効率 LUE (Light Use Efficiency) 等をパラメータとして推定する場合が多い (Monteith, 1972)。NDVI は LAI が 3 を越えると飽和し (LAI の検出感度がなくなり)、背景土壌の影響などを受けるため、EVI が用いられることもある。SGLI では前述の大気補正精度の向上や現場観測等と連携した効果的なアルゴリズム開発・検証によって LAI や fAPAR プロダクトの精度を向上することで、NPP プロダクト精度の向上と、ひいては、気候変動予測の高精度化を目指している。

- ・地上部バイオマス、植生ラフネス指数、およびカゲ指数

京都議定書の発効以来、炭素吸収・固定における森林植生の役割が注目されている。植物による炭素固定量 (植物生産量) を知る上で重要なパラメータとなるのは地上部のバイオマスである。バイオマスは植生被覆率と相関が高く、これまでは、主に植生被覆状態を示す植生指数 NDVI のような植物の可視域と近赤外域の反射特性の比率などを用い推定が行われてきた。しかし、NDVI のような二次元的 (面的) 情報だけでは植生タイプ (樹種) や樹高によるバイオマス量の違いを推定するのが難しく限界があった。バイオマスを精度良く算出するためには、樹冠の形状、高さ、ギャップなどの情報を含む三次元 (体積) 情報が必要になる。

地表面を多方向で観測することにより植生のラフネスを、多チャンネルのスペクトル情報によりカゲを検知しうるものが最近明らかとなってきた。この特性を指数化したものが植生ラフネス指数 BSI (Bi-directional reflectance factor structure Index) とカゲ指数 SI (Shadow Index) である。BSI は植生表層のラフネス (形状) や高さを表し、植生タイプ (樹種) やバイオマスを反映している。一方、SI は樹冠部に出来るカゲ比率を表したもので、樹冠のギャップ情報から樹種識別、また変動量を追うことで、バイオマス変動の推定に役立つ。こうした新たな植生指数で従来の植生指数では把握不能であった植生の表面形状の識別を行うことにより、地上部バイオマスの算出精度が上がり、地上部バイオマスを利用した下流プロダクトの算出、気候変動予測の高精度化が期待できる。

- ・地表面温度

陸面ではその物性が土壌や植生や水分量によって変化するため表面温度の推定が比較的困難である。しかし、地表面温度は気温等と並んで温暖化など気候変動の影響を結果として示すと共に、植生の活性や陸面の熱や水の収支を表す重要な指標である。SGLI では NDVI や土地被覆プロダクトの情報と組み合わせて地表面温度を求める。

- ・水ストレス傾向

植生の環境ストレスの中で重要なものに水ストレスがある。植物は水ストレスを受けると、水分を保持するために気孔を閉じ、蒸散を抑制する。すなわち、気孔を閉じた葉面の温度は、蒸散中よりも上昇するため、葉面温度の変化から蒸散の程度を知ることが出来る。こうした植生の水ストレスが進行する傾向を掴むプロダクト (水ストレ

ス傾向)を温度変化から算出することにより、蒸発散・乾燥度を知らることが期待される。

- ・純一次生産量 LNPP

従来手法としては主に NDVI や EVI、LAI を用いた NPP 推定があるが、SGLI においては BSI、SI といった新しい植生指数を用いた推定を試みる。目標精度としては、少なくとも京都議定書において、削減量の中に盛り込まれている吸収源、森林による二酸化炭素の吸収量を精度良く推定できるだけの精度が必要である。また本プロダクトやその入力パラメータは、陸域生態系モデルや地上植生観測と連携して広域の植物生産量の把握やその過程の理解に貢献することが期待される。

- ・土地被覆分類

土地被覆分類は、単に植生分布を知るだけでなく、衛星 NPP 推定や生態系モデルの入力にもなるため、高精度な土地被覆分類プロダクトが必要とされている。SGLI では、可視～短波長赤外の大気補正済み反射率やそれから導出される指数、多方向観測によるラフネス情報を用いた土地被覆精度の向上が期待される。

- ・火災検知

森林火災は膨大な量の二酸化炭素を排出し、世界的な気候変動の問題につながる。火災による二酸化炭素の排出は気候変動を増長させ、森林火災をいっそう激化させる乾燥状態を招き、悪循環を生み出すことになる。また、森林火災の煙によるエアロゾルは、直接的に日射をさえぎるだけでなく、雲の凝結核（雲粒を作るもと）を供給することにより雲量を増やし、その雲が日射を反射するといった間接効果も加わり、地球を寒冷化させる方向に働くと考えられている。シベリアに限らず、東南アジアや南米など世界各地で、森林火災はかなりの頻度で発生しており、それらの煙は気候変動に十分な影響を与える。このように、気候に影響を与える要因の一つとしての役割も持つ大規模森林火災の監視に火災検知プロダクトが貢献することが期待される。

- ・陸域アルベド

地球温暖化の熱源は太陽光であり、地球のアルベドの変化に伴い正味放射量が変化するため、全球レベルで地表面アルベドを正確に把握することは、こうした放射収支の把握において極めて重要である。IPCC 第 4 次評価報告書でも地表面状態による放射強制力の理解度は未だ低いと認識されており、SGLI の多波長の大気補正済み反射率から導出する陸域アルベドによる貢献が期待される。

6. 2. 2. 3 大気分野のプロダクト

IPCC 等で重要視されている「放射強制力の変化をもたらす機構と因子の理解を改善する」ために、SGLI では地球のエネルギー収支を支配し気候を形成する大気中の物質のうち、雲・エアロゾルを測定する。特に従来困難だった陸上エアロゾルの推定を精度良く行い、人為起源エアロゾルと雲の相互作用の解明、気候変動予測精度の向上、気候変化の検出に貢献することが期待される。

- ・雲

雲は太陽放射を反射して地表面の加熱を妨げる効果とともに、地表面からの赤外放射が宇宙空間へ逃げるのを遮り、地表面の冷却を妨げる効果がある。低層の層積雲（水滴でできている）は加熱を妨げる効果が大きく、高層の薄い巻雲（氷晶でできている）は冷却を妨げる効果が大きい。このような相反する二つの効果の兼ね合いで雲は地球のエネルギー収支を左右するので、将来の気候変動予測にとって雲の振舞を研究することは重要な課題の一つである。

衛星観測では雲量・光学的厚さ（太陽放射の反射率に関係する）・雲頂高度に加えて、雲の相（水滴・氷晶）の区別と有効半径（雲粒の大きさ）を推定することが重要になる。光学的厚さを求めるには雲や大気による吸収のなるべく少ない波長を選ぶ必要がある。雲粒は大きさが変わると吸収係数が変わるので有効半径を求めるには雲粒による吸収のある波長を選ぶ必要がある。また水滴と氷晶を区別するには水滴と氷晶で吸収係数の違う波長を選ぶ必要がある。雲頂高度は大気の温度プロファイルを仮定して、赤外線の黒体放射から温度を測定して高さを推定する。地表面での赤外の放射収支を推定する為に酸素の吸収帯を使って雲の幾何学的厚さを推定し、雲底高度を導出する。

- ・ エアロゾル

エアロゾルは雲と同様に太陽放射を反射して地表面が加熱されるのを妨げる効果がある。それに加えてエアロゾルは雲の凝結核となり雲を厚くして太陽放射の反射率を高める効果がある。またエアロゾルは雨に取り込まれることで大気から除去される。そのためエアロゾルと雲の相互作用を研究することは重要な課題の一つである。エアロゾルは黄砂などの土壌粒子、波しぶきが乾燥することによってできる海塩粒子、生物が生産したガスが凝結してできる粒子などのほか、工場や車・船の排気ガス、家庭での暖房などによって有機炭素・硫酸・煤の人為起源エアロゾルがある。

気候変動によって乾燥した地域が広がれば土壌粒子のエアロゾルが増えることが予想される。また突発的には火山噴火の時の亜硫酸ガスが成層圏に上昇すると硫酸水滴のエアロゾルとなり、成層圏では雨が降らないことから数ヶ月から数年にわたって滞留して地球全体を冷却することがある。また人為起源のエアロゾルによる気候への影響が懸念されている。過去 100 年間の地球の平均気温のシミュレーションと実際の気温変化の比較において、人為起源のエアロゾルによる冷却効果を考慮しないシミュレーションでは、温暖化の影響が強く出すぎる結果となっている。

従来、衛星観測ではエアロゾルの測定は海上のみで行なわれていた。海上では暗い海の上にエアロゾルがあるので、衛星で受信するシグナルはほとんど大気からのものであると仮定できる。海上では 4 つの波長を用いることにより、光学的厚さ・オングストローム指数（粒子の大小を表す）・吸収係数が求まり、オングストローム指数と吸収係数からエアロゾルの大まかな組成（土壌粒子、炭素粒子、硫酸粒子、海塩粒子）の区別ができる。これらの結果は IPCC 第 4 次報告に反映されているが、陸上エアロゾルに関しては未だ多くが不明である。陸上エアロゾルでも光学的厚さオングストローム指数と吸収係数の情報が必要とされており、これらの量からエアロゾルの組成を大まかに求めて、エアロゾルの放出源を推定し、気候への影響を予測することが期待されている。しかし従来のセンサとアルゴリズムを用いて陸上エアロゾルを測定することは困難なので、SGLI では GLI で搭載された紫外センサに加えて偏光・多方向センサを搭載しこれに対応する。紫外線領域では地表面の反射率が小さいので、紫外センサを用いることでエアロゾルのシグナルを検出することが容易になり、エアロゾルの量と吸収特性を測定できる。また偏光センサでは地表面で反射した光の偏光が小さいのに対して大気の偏光が大きいことを利用して大気のシグナルを抽出し、エアロゾルの量と粒子の大きさを測定する。エアロゾルによる偏光度の変化は前方散乱で大きく、後方散乱ではほとんどない。このため従来のように真下をスキャンするだけでは、太陽が真上に近い位置関係にある時には十分な大きさの偏光情報が得られず、偏光を使ってエアロゾルの情報を取り出すことが困難になる。そのため偏光観測センサは、進行方向に対して前後 45 度に傾けて前方散乱を観測するような運用を行う。

- ・ 放射収支

地球は太陽からエネルギー（短波放射）を受け取り、宇宙に熱放射（赤外放射）を

逃がすことで一つの熱機関として大気や海洋の循環を行なっている。そのため、この収支の変動は地表気温をはじめ、気候システムに大きく影響することになる。

SGLI では地表面の太陽放射収支と赤外放射収支を推定する。太陽放射収支は晴天域ではエアロゾルの光学的厚さ・オングストローム指数・客観解析データから地表面での下向き放射量を計算し、曇天域では雲量・雲の相・雲の光学的厚さ・有効半径から下向き放射量を計算する。このとき陸圏・雪氷圏の測定結果を用いて地表面反射率を求めて上向き放射を推定する。赤外放射収支は客観解析データから地表面での放射収支を推定する。雲のあるところでは雲底高度を使って雲からの下向き赤外放射を考慮して地表面の放射収支を推定する。

6. 2. 2. 4 海洋分野のプロダクト

海洋分野において、地球上の熱エネルギー分布や地球温暖化の影響を示す海面水温や海洋生態系や炭素固定に関わるクロロフィル a 濃度や基礎生産量などのパラメータを全球観測すると共に、人間活動と地球環境の主要な接点である沿岸域における気候変動・炭素循環パラメータを 250m 分解能でモニタリングすることにより、沿岸-外洋域の相互作用の解明、予測モデルの構築・高精度化を行うことが期待される。

・海色基礎パラメータ

クロロフィル a 濃度などの海洋生物パラメータを推定するためには、衛星観測輝度から大気の寄与を補正し海面直上の輝度に換算した、いわば海面の“色”が必要となる（正規化海水射出放射輝度 Normalized Water Leaving Radiance と呼ぶ）。この補正には、近赤外や短波長赤外バンドによるエアロゾル光学特性（光学的厚さ τ_a と波長特性情報）の推定を行う必要がある。特に沿岸域ではエアロゾルの量が多く変動も大きいので、より高精度なアルゴリズムが必要となる。また、海洋純基礎生産力推定の入力として、光合成に用いられる波長での積算光量（光合成有効放射量 PAR）や海洋中に太陽光が届く深度（有光層深度 EZD）も SGLI から推定することができる。

・水中物質パラメータ

海色から導出される主なパラメータとして、クロロフィル a 濃度（CHLA、植物プランクトンが持つ主要な光合成色素の濃度で、海洋純基礎生産力、漁場、富栄養化の指標となる）がある。この他、特に沿岸においては、懸濁物質濃度（SS、流入土壌やプランクトンなど無機・有機の粒状物質の濃度で、沿岸や河川からの土砂流入や、珊瑚礁域の環境監視の指標となりうる）や有色溶存有機物の 440nm における吸光係数（CDOM、河川から流入する土壌やプランクトン起源の水溶性有機物の指標となる）が導出される。クロロフィル a 濃度は海色フロントを通して、漁場形成過程の解析に利用することができる。

さらに高度な海色の特徴抽出のためにクロロフィルや SS や CDOM 毎の散乱係数や吸収係数（海水固有の光学的性質 Inherent Optical Properties, IOP）や窒素固定、珪素固定、二酸化炭素能出などの機能別の植物プランクトンの存在割合である植物プランクトン機能別分類（PHYtoplankton Functional Type, PHFT）も今後期待される重要なパラメータである。

・熱環境パラメータ

海面水温（SST）は地球温暖化指標であると共に、海流・湧昇・日射・風混合・河川水など海洋熱環境変動を表す重要なパラメータである。その他にも、大気海洋のエネルギー交換や海洋表層の CO₂ 分圧推定などの推定において、SST は入力として用いられる。また、SST 分布から暖・冷水塊や暖水ストリーマなどを特定することにより、漁場形成過程の解析に利用することができる。

- ・応用パラメータ

炭素循環における海洋生物の寄与、分布、変動を捉えるために、海洋純基礎生産力（ONPP、海洋植物プランクトンによる単位時間・面積あたりの炭素固定量）を推定することが重要である。この推定には CHLA、SST、PAR などが入力として用いられる。また、生態系保全、養殖、水産業などに関わる沿岸環境の詳細モニタリングのために、赤潮や海水固有の光学的性質 IOP が今後重要となる。また、雲核形成に関わる DMS 生成、窒素固定、珪素固定、二酸化炭素放出などの機能別の植物プランクトン存在割合を示す、植物プランクトン機能別分類 PHFT など今後重要になると予想される。

6. 2. 2. 5 雪氷分野のプロダクト

雪氷圏は、地球上で最も温度の変化に敏感に応答を示す領域であり、地球温暖化の進行の程度を把握する上での良い指標となる。また、雪氷圏の変動は、大気、海洋、植生など他の気候変動要素とも影響を及ぼしあうため、その応答メカニズムの詳細を解明することが、気候変動の将来予測のために不可欠である。光学センサである SGLI では、雪氷圏の表面特性に関する様々な物理量の変動を長期間にわたり継続的に監視し、気候変動の兆候を捉えるとともに、放射収支や水収支の変動を通して気候システムの中で雪氷圏が果たしている役割を解明することが期待される。

- ・雪氷分布・分類

積雪・海水分布は、全球の積雪・海水面積を抽出するプロダクトで、地球温暖化に伴う気温上昇の影響を直接的に受けて変動する重要な観測物理量である。氷河・氷床縁分布についても、地球温暖化の進行度を計る指標として長期間の継続監視が重要である。また、オホーツク海流水分布は、海上航路の保安上重要な流水分布を準リアルタイムに高分解能で抽出するものである。積雪・海水分類は、積雪分布内の融雪域や海水分布内の薄氷域・裸氷域などを識別するもので、雪氷表面物理特性を抽出する際の補助データとして、また AMSR 海水密度度の検証に重要である。また、SGLI の 250m 分解能のデータは、従来の 1km 分解能のデータに比べて現場観測との対応付けや画素内の植生などの混在による誤差が改善されるため、より高い精度での検証が可能になる。

- ・雪氷表面物理特性

雪氷面アルベドは雪氷面温度とならび地球の放射収支を見積もる上で不可欠な物理量であり、積雪粒径と積雪不純物濃度に大きく依存しながら変動する。SGLI の複数のチャンネルで分光学的に雪氷面アルベドを観測し、積雪粒径・不純物濃度との時空間変動特性を観測することにより、積雪の融雪過程のモデル化研究に大きく貢献できるものと期待される。

- ・森林・山岳域積雪分布

森林・山岳域の積雪分布は、衛星観測画素内での植生や標高、地形の影響などのため正確な推定が難しいが、大陸規模での気候形成過程や内陸圏における水資源確保を考える上で今後ますます重要性が増す観測対象であると考えられる。SGLI では波長情報の詳細な解析や正確な雲識別などを通じ、森林・山岳域積雪分布の精度良い推定を目指している。

- ・氷床表面ラフネス

氷床表面ラフネスは、氷床表面上に卓越する強風が作り出す表面構造で、風向に依存した構造を有している。SGLI の多角度観測を用いることにより、氷床表面の双方向反射率分布を抽出し、ラフネスの大きさ、方向を推定する。ラフネス情報は、氷床表

面の積雪物理特性（粒径、不純物、温度）プロダクトの品質を評価する上で、補助入力情報として有用である。

6. 2. 3 SGLI アルゴリズム

6. 2. 3. 1 アルゴリズム開発の方針

GCOM-C/SGLI プロダクトのアルゴリズム開発は以下のような方針で実施する。

- ・ADEOS-II/GLI での開発ノウハウ（例えば GAIT 活動）を基礎として、効率的に開発を行う。
- ・公募研究者との共同研究で広い知見を得ることにより、アルゴリズム開発を確実かつ効果的に実現する。
- ・長期間の均一・安定・高精度なデータセットの構築に向けたアルゴリズムを開発する。
- ・地球環境変動研究や現業利用などのプロダクトの利用先を視野に入れた開発を行なう。
- ・安定した処理が行える処理ソフトを作成し、円滑で速やかなデータ配布と解析研究を行う。
- ・新たなデータ解析・利用手法の開発を行い、将来の地球環境観測における衛星リモートセンシングの可能性を広げる。
- ・衛星やセンサの設計・開発結果に対応したアルゴリズム開発を行い、衛星から地上処理までの全体の性能によりプロダクト精度・品質を向上させると共に、その結果を次期衛星・センサ開発へフィードバックする。

6. 2. 3. 2 アルゴリズム開発の概要

アルゴリズム開発は、それぞれの性格により作業の重みは違うが、一般に以下のような手順で行われる。

（1）プロダクトの設定

ミッションに必要なプロダクトの定義（対象物理量・単位・測定法による定義など）と精度目標の設定を行う。詳細はユーザ、アルゴリズム開発研究者、現場観測研究者等との調整を行う。

（2）基礎データベースの構築

プロダクトとして導出したい量を現場で直接観測し、現場での各波長帯の放射輝度との関連付けを行う。

（3）アルゴリズム理論の構築

上記の基礎データ等を利用し、プロダクト作成処理の中核となる物理量推定のアルゴリズム理論を構築する。観測幾何条件と大気分子やエアロゾルや雲などによって影響される現場放射輝度と衛星観測放射輝度との関係を、RSTAR や 6S などの放射伝達コードを用いて対応付ける。生態系のような複雑系を扱うものでは、理論モデルによって複数の過程を組み合わせたたり、数値モデルを活用したりすることもありうる。この段階でアルゴリズムの実現性や衛星プロダクトで見込まれる精度をある程度確認することができる。

(4) 処理コード化

あらかじめ全ての衛星・太陽の幾何条件において計算してルックアップテーブルを作成しておき、実際の衛星観測放射輝度データを処理する時にそれを参照する等、運用性を考慮してアルゴリズム理論をコード化する。

(5) 処理試験・最適化

既存の衛星データや現場観測データによるシミュレーションデータを用いてアルゴリズムの実行試験を行う。

ここでは、衛星データ適用における分解能と処理領域のスケールアップ/ダウン、処理時間、処理異常値、フラグ・マスク、センサ特性による影響などについての確認・対応を行う。

必要に応じて結果をアルゴリズム・コードへフィードバックし、プロダクト作成システムとしての最適化を図る。

6. 2. 3. 3 アルゴリズム開発のフェーズ

アルゴリズム開発は以下のようなフェーズを経て開発される。

(1) 初期開発フェーズ（～JFY2009）

- ・開発候補アルゴリズム・プロダクトの選定を行う（ミッション要求設定および RA で実施）。
- ・GLI から新規のプロダクトの実現性検討と継続分の問題点改善を行う。
- ・他衛星データや現場観測データを用いてアルゴリズムの検証・改善を行う。
- ・GCOM-C1 衛星・SGLI センサ設計結果の影響評価とそれに適用したアルゴリズムの検討を行う。

(2) 性能開発フェーズ（JFY2010～2011）

- ・アルゴリズム候補の性能（理論的妥当性+テストデータに対する精度+処理安定性）評価・改善提案を行う。
- ・必要な基礎データを収集し、開発・検証・利用実証を行う。
- ・上記の結果を踏まえて、アルゴリズム本体の性能と衛星データ適用性を確認するための、打ち上げ前インプリメントその1（PLI-1）を行う。
- ・衛星・センサ性能評価結果に対応する。
- ・アルゴリズム基準書（Algorithm Theoretical Basis Document; ATBD）を作成する。

(3) 打ち上げ版準備フェーズ（JFY2012～2013）

- ・（前半）PLI-1 の結果を踏まえ、衛星打ち上げ時のアルゴリズムの選定（選定結果は次期 RA に反映される）
- ・選定されたアルゴリズムの実運用用コード化と評価・改良を行う。
- ・（後半）打ち上げ当初の処理の流れを再現・性能を確認するための、打ち上げ前インプリメントその2（PLI-2）を行う。（JFY2013 末 GCOM-C1 打ち上げ）

(4) 打ち上げ後開発・改良フェーズ（JFY2014～2018）

- ・SGLI 観測データを用いたアルゴリズム評価・検証・改良・利用試験を行い、アルゴリズムのバージョンアップを行う。
- ・打ち上げ約1年間は初期校正検証フェーズとして Ver.1 リリースに向けた集中的な検証とアルゴリズム改良を行う。
- ・研究プロダクトや新規利用の開発・検証・実証を行う。

- ・改善に必要な基礎データや検証データの収集を行う。
- ・GCOM-C の目標の達成を行う
- ・得られた知見の GCOM-C2 アルゴリズムへの反映と、第 2 期 (GCOM-C2) との連続性の確保を行う。

6. 2. 4 校正検証

6. 2. 4. 1 校正検証の方針

衛星観測プロダクトを気候変動やモニタリングに利用する場合、その絶対値や変動パターンの精度や精度情報が重要である。地上でセンサの放射輝度や取り付け（幾何）精度の校正（測定・値付け）を行ない、軌道上でしか確認できないものや、地上試験では必要十分な精度で決められないものや、打ち上げ時や運用期間に宇宙空間で変化するものについては、打ち上げ後に確認・修正する。校正検証活動では、GCOM のミッション要求を達成するために必要なプロダクト精度を達成すると共に、精度情報をデータ利用者に提供していく。

GCOM のミッションにおいて達成目標とすべき各プロダクトの精度は、以下の 3 種類が定義されており、打上約 1 年後および 5 年後に評価されるミッションのサクセスクライテリアと結び付けられている。

(1) リリース基準精度（打上約 1 年後に評価されるミニマムサクセスの評価基準）
気候変動解析に貢献しうるデータとしてリリースできる最低精度。つまり、プロダクトがミッション目的（地球環境変動のモニタリング・過程解明・数値モデル精度への貢献）に対して有益な情報となりうるのが目安。

(2) 標準精度（打上 5 年後に評価されるフルサクセスの評価基準）
ADEOS-II 等の実績を踏まえた、有用かつ標準的な精度レベル。類似の他のデータがある場合は、同等かそれ以上の価値（精度や分解能や観測範囲）があることが目安。

(3) 目標精度（打上 5 年後に評価されるエクストラサクセスの評価基準）
達成にはアルゴリズム性能や校正精度改善等が必要な研究要素を多く含む精度レベル。

SGLI の標準精度および目標精度は、GLI などの衛星データ利用やプロダクト検証の実績を基に、今後のアルゴリズムの進展見込みも含め、研究利用機関・実利用機関と GCOM 委員会で協議の上、設定されている。実績を基に設定する理由は、プロダクトの精度が、(1) 輝度データの校正誤差、(2) ピクセル中に様々な観測対象物が混ざってしまうことによる誤差、(3) アルゴリズムの理論仮定の誤差や気圧などの補助データに内在する誤差、(4) 比較する現場データに含まれる誤差、のそれぞれが複合したものであり、それぞれの寄与はプロダクト（アルゴリズム）や観測条件に依存して変化する。そこで精度の指標としては、これらを積み重ねた後の評価可能な指標として“実績を基にした値”を用いることとした。同時に、GLI の検証作業などの中でも、アルゴリズムやシミュレーションによって、理論的な誤差も確認している。

なお、SGLI センサ仕様は、上記の標準・目標精度を達成しうる値を設定してある。

6. 2. 4. 2 校正作業の概要

輝度校正は、センサの出力値からセンサ開口部に到達する分光放射輝度値を精度良く与えるための作業である。この作業には、SGLI の各観測コンポーネント（可視近赤外 VNI 非偏光の各鏡筒・偏光の各鏡筒・赤外走査放射計 IRS）・各波長チャネル・各画

素の総合応答特性、走査鏡反射率の入射角特性、偏光感度特性などの性能を設計・試作段階から評価し、観測データの精度（絶対精度及び相対精度）を改善・維持するといった項目がある。達成目標とすべき輝度校正精度は、システム校正済み衛星観測放射輝度（Level-1B）プロダクトとして、表 6.2.1 に示すとおりミッションフェーズ毎に設定されている。

輝度校正手段には、打ち上げ前の地上校正（特性評価・センサモデルの作成・校正処理パラメータの測定・導出）、内部光源や太陽光、黒体、月、深宇宙、暗時、夜間観測データを利用する軌道上校正、さらに、SGLI の地球観測データと地表の分光放射輝度観測データや他衛星観測データを利用する代替校正、感度偏差補正用ヨーマヌーバ等の解析など様々あるが、それぞれ精度良く評価できる項目と一部の仮定を必要とする項目があり、一つの手段では精度を十分な信頼性で決定できない。そこで、センサ開発や地上システム部門と協力し、上記の校正結果を総合的に解析することで、運用期間中の SGLI 観測放射輝度プロダクト精度の評価・改善・維持を行う。

システム幾何校正は衛星の位置、姿勢、センサアライメントなどの情報を用いて地球観測各画素の位置を決定することである。達成目標とすべき幾何精度は、システム校正済み衛星観測放射輝度プロダクトとして、表 6.2.1 に示すとおりミッションフェーズ毎に設定されている。この位置決定誤差は、衛星とセンサの軌道上熱歪、経年変化、位置・姿勢の決定誤差などによって生じうる。このうち短期（1 年以下）の変動についてはシステム幾何校正で補正を行い、長期（1 年以上）の周期変動成分については、地上基準点（GCP）と SGLI 観測画像パターンとのマッチングによってその長周期成分をある期間毎の平均値として統計的に抽出し Level-1 処理に取り込み補正する。これらの幾何校正作業は衛星・センサ・地上システム開発部門と協力して実施する。

6. 2. 4. 3 検証作業の概要

検証は、各チャンネルの分光放射輝度値から推定される地球物理量の精度を見積もる作業である。達成目標とすべき精度は、表 6.2.1 に示すとおり、個々の物理量についてミッションフェーズ毎に設定されている。精度の評価方法は、大別して、地上、船舶等で得られた現場観測データに基づく手法と、物理量固有の時空間変動特性を考慮し推定された理論値や経験値（気候値を含む）等に基づく手法とに分けられる。

現場観測データに基づいた検証は、主としてマッチアップデータセットにより行う。マッチアップデータセットとは、同一地点を同時刻もしくは近い時刻に観測した、現場観測データと SGLI 切り出しデータからなるデータセットである。現場観測の方法や期間、頻度等は対象物理量によって様々であるが、最終的には両者から算出した物理量を対照させることによって SGLI 高次プロダクトの精度を算定する。

地上等で現場観測データが容易に入手できない物理量については、検証対象とする物理量と観測放射輝度との関係、あるいは検証対象ではない他の地球物理量との関係を、理論計算や数値モデル、過去に行われた航空機や衛星による観測データなどで事前に推定しておき、対象物理量の精度を、放射輝度精度（代替校正などに基づく）や他物理量の精度から推定する。見積もられた精度をもとに、必要に応じて物理量抽出に用いられる高次アルゴリズムの改訂を行う。

複合利用のためには、それぞれのプロダクトの精度を十分高くすると共に、評価結果をその評価手法と共に公表したり、評価結果をセンサ間で相互比較可能にする（例えば共通な現場データを用いたり、精度結果として用いる数値の算出手順をある程度共通化する）なども必要である。これらについては、GEOSS や CEOS/WGCV などの国際的なフレームワークを活用する。

検証作業にて見積もられた物理量の精度をもとに、必要に応じて物理量抽出に用いられる高次アルゴリズムの改訂を行う。また、校正・検証作業にて得られたプロダク

トの精度情報は、利用研究系プロジェクトの web 上で公開するとともに、学会講演や学術雑誌の論文として外部に発表する。

表 6.2.1 GCOM-C1 Products (1/2)

圏	種類	プロダクト	類型	GLI 実績 (注 1)	日照域・全日別	プロダクト単位	分解能	リリース基準精度(注 2)	標準精度(注 2)	目標精度(注 2)
共通	輝度	衛星観測放射輝度 (システム幾何校正情報を含む)	標準	A(非偏光) B(偏光)	TIR と陸域の 2.2μm チャンネル: 全日 上記以外: 地上 日照域(特殊運用を除く)	シーン	TIR 以外: 陸沿岸: 250m 外洋: 1km 偏光: 1km TIR: 沿岸: 500m 外洋: 1km	5% (絶対(注 3)) 幾何精度<1pixel	TIR 以外: 5% (絶対(注 3)), 1% (相対) TIR: 0.5K (@300K) 幾何精度<0.5pixel	TIR 以外: 3% (絶対(注 3)), 0.5% (相対) TIR: 0.5K (@300K) 幾何精度<0.3pixel
陸圏	陸域基礎	精密幾何補正済放射輝度 PGCI	標準	A	全日	シーン, 全球 (モザイク 1, 16 日, 月)	250m	<1pixel	<0.5pixel	<0.25pixel
		大気補正済陸域反射率 ACLR (雲検知含む)	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	250m	0.3 (<=443nm), 0.2 (>443nm) (シーン)(注 11)	0.1 (<=443nm), 0.05 (>443nm) (シーン)(注 11)	0.05 (<=443nm), 0.025 (>443nm) (シーン)(注 11)
	植生・炭素循環	植生指数 VI	標準	A	地上日照域	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	250m	草原: 25% (シーン), 森林: 20% (シーン)	草原: 20% (シーン), 森林: 15% (シーン)	草原: 10% (シーン), 森林: 10% (シーン)
		地上部バイオマス AGBIO	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	1km	草原: 50%, 森林: 100%	草原: 30%, 森林: 50%	草原: 10%, 森林: 20%
		植生ラフネス指数 VRI	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	1km	草原・森林: 40% (シーン)	草原・森林: 20% (シーン)	草原・森林: 10% (シーン)
		カゲ指数 SI	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	250m, 1km	草原・森林: 30% (シーン)	草原・森林: 20% (シーン)	草原・森林: 10% (シーン)
		光合成有効放射吸収率 FAPAR	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	250m	草原: 50%, 森林: 50%	草原: 30%, 森林: 20%	草原: 20%, 森林: 10%
	熱環境	葉面積指数 LAI	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	250m	草原: 50%, 森林: 50%	草原: 30%, 森林: 30%	草原: 20%, 森林: 20%
		地表面温度 LST	標準	B	全日	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	500m	3.0K 以下 (シーン)	2.5K 以下 (シーン)	1.5K 以下 (シーン)
	応用プロダクト	純一次生産量 LNPP	研究	C	地上日照域	全球 (月, 年)	1km	N/A	N/A	30% (年平均)
		水ストレス傾向 WST	研究	C	N/A	シーン, 全球 (1, 16 日, 月)	500m	N/A	N/A	10% (誤判定率) (注 13)
		火災検知 FDI	研究	B	全日 (注 12)	シーン	500m	N/A	N/A	20% (誤判定率) (注 14)
		土地被覆分類 LCT	研究	B	地上日照域	年/地域	250m	N/A	N/A	30% (誤判定率)
大気圏	雲	雲フラグ・タイプ CLFG	標準	A	全日	シーン, 全球 (1 日, 月)	1km	10% (全天カメラとの 2 値比較)	下記雲量として評価	下記雲量として評価
		雲種別雲量 CLFR	標準	A	地上日照域	全球 (1 日, 月)	シーン 1km, 全球 0.1 度	20% (日射量換算) (注 9)	15% (日射量換算) (注 9)	10% (日射量換算) (注 9)
		雲頂温度・高度 CLTTH	標準	A	全日	シーン, 全球 (1 日, 月)		1K (注 4)	3K (注 5)/2km (注 5)	1.5K/1km (注 5)
		水雲光学的厚さ・粒径 CLOT_W	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)		10%/30% (光学的厚さ/粒径) (注 6)	100% (雲水量換算) (注 7)	50% (雲水量換算) (注 7) / 20% (注 8)
		氷晶雲光学的厚さ CLOT_I	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)		30% (注 6)	70% (注 8)	20% (注 8)
		水雲幾何学的厚さ CLGT_W	研究	C	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)		N/A	N/A	300m
		海上エアロゾル ARV	標準	A	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)		0.1 (月平均の $\tau_{a, 670, 865}$)	0.1 (シーンの $\tau_{a, 670, 865}$) (注 10)	0.05 (シーンの $\tau_{a, 670, 865}$)
	エアロゾル	陸上エアロゾル(近紫外) ARU	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)	シーン 1km, 全球 0.1 度	0.15 (月平均の $\tau_{a, 380}$)	0.15 (シーンの $\tau_{a, 380}$) (注 10)	0.1 (シーンの $\tau_{a, 380}$)
		陸上エアロゾル(偏光) ARP	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)		0.15 (月平均の $\tau_{a, 670, 865}$)	0.15 (シーンの $\tau_{a, 670, 865}$) (注 10)	0.1 (シーンの $\tau_{a, 670, 865}$)
	放射収支	地表面長波放射フラックス LWRF	研究	C	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)		N/A	N/A	下向き成分 10W/m ² 、上向き 15W/m ² (0.1 度, 月平均)
		地表面短波放射フラックス SWRF	研究	B	地上日照域	シーン, 全球 (1 日, 月)		N/A	N/A	下向き成分 13W/m ² 、上向き 10W/m ² (0.1 度, 月平均)

表 6.2.1 GCOM-C1 Products (2/2)

海洋圏	海色基礎	正規化海水射出放射輝度 NWLR (雲検知含む)	標準	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)	沿岸 250m 外洋 1km 全球 4~9km	60% (443~565nm)	50% (<600nm) 0.5W/m ² /str/um (>600nm)	30% (<600nm) 0.25W/m ² /str/um (>600nm)
		大気補正パラメータ ACP	標準	A	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		80% ($\tau_{0.865}$)	50% ($\tau_{0.865}$)	30%
		光合成有効放射量 PAR	標準	A	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		20% (10km/月)	15% (10km/月)	10% (10km/月)
		有光層深度 EZD	研究	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		N/A	N/A	30%
	水中物質	クロロフィル a 濃度 CHLA	標準	A	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		-60~+150% (外洋)	-60~+150%	-35~+50% (外洋), -50~+100% (沿岸)
		懸濁物質濃度 SS	標準	A	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		-60~+150% (外洋)	-60~+150%	-50~+100%
		有色溶存有機物吸光係数 CDOM	標準	A	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		-60~+150% (外洋)	-60~+150%	-50~+100%
		海水固有の光学特性 IOP	研究	C	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		N/A	N/A	440nm 吸収係数の RMSE<0.25、かつ 550nm プラントン後方散乱係数の RMSE<0.25
	熱環境	海面水温 SST (雲検知含む)	標準	A	全日	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)	沿岸: 500m 他同上	0.8K (評価対象は日中のみ)	0.8K	0.6K
	応用プロダクト	海洋正純基礎生産力 ONPP	研究	C	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)	沿岸: 500m 他同上	N/A	N/A	70% (月平均)
		植物プランクトン機能別分類 PHFT	研究	C	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)	沿岸: 250m 他同上	N/A	N/A	大/小型植物プランクトン優占/非優占の誤判定率 20%、または植物プランクトン群集内で優占する機能群の判別誤判定率 40%
		赤潮 RTD	研究	B	地上日照域	シーン, 全球 (1, 8 日, 月)		N/A	N/A	誤判定率 20%
		多センサ複合海色 MOC	研究	B	地上日照域	地域、全球 (1, 8 日, 月)	沿岸: 250m 外洋: 1km	N/A	N/A	-35~+50% (外洋), -50~+100% (沿岸)
		多センサ複合海面水温 MSST	研究	A	全日	地域、全球 (1, 8 日, 月)	沿岸: 500m 外洋: 1km	N/A	N/A	0.8K
雪水圏	面積分布	積雪・海水分布 SICA (雲検知含む)	標準	A	地上日照域	シーン, 全球(1, 16 日, 月)	シーン: 250m, 全球: 1km	10% (他衛星を用いた代替検証)	7%	5%
		オホーツク海海水分布 OKID	標準	A	地上日照域	地域 (1 日)	250m	10% (他衛星を用いた代替検証)	5%	3%
		積雪・海水分類 SIC	研究	B	地上日照域	全球 (16 日, 月)	1km	N/A	N/A	10%
		森林・山岳域積雪分布 SCAFM	研究	B	地上日照域	地域 (1, 8 日)	250m	N/A	N/A	30%
	表面物理	雪水面温度 SIST	標準	A	地上日照域	シーン, 全球(1, 16 日, 月)	シーン: 500m, 全球: 1km	5K (他衛星, 気象値を用いた代替検証)	2K	1K
		浅層積雪粒径 SNGSL	標準	B	地上日照域	シーン, 全球(1, 16 日, 月)	シーン: 250m, 全球: 1km	100%(温度-粒径の関係(気候値)を用いた代替検証)	50%	30%
		準表層積雪粒径 SNGSS	研究	B	地上日照域	シーン, 全球(1, 16 日, 月)	1km	N/A	N/A	50%
		表面積雪粒径 SNGST	研究	C	地上日照域	シーン, 全球(1, 16 日, 月)	シーン: 250m, 全球: 1km	N/A	N/A	50%
		雪水面アルベド SIALB	研究	B	地上日照域	全球 (1, 16 日, 月)	1km	N/A	N/A	7%
		積雪不純物 SNIP	研究	B	地上日照域	シーン, 全球(1, 16 日, 月)	シーン: 250m, 全球: 1km	N/A	N/A	50%
		氷床表面ラフネス ISRGH	研究	C	地上日照域	地域(季)	1km	N/A	N/A	0.05 (注 15)
		氷床縁監視 ISBM	研究	B	地上日照域	地域(季)	250m	N/A	N/A	500m 以下

表 6.2.1 注の説明:

- ・ 共通の注

注 1: ADEOS-II/GLI プロダクト及び MODIS データ利用研究における実績を以下の A-C の基準で表す。A: GLI 等でのプロダクト作成実績あるもの、B: 実績あるが課題が残るもの、C: あまり実績が無い、あるいは比較的多くの課題が残るもの。

注 2: 想定している校正検証手法や絶対校正精度については別途、校正・検証計画書に記載する。プロダクト精度は Table 4 に対応する下線部の数値で代表させる。その他の数値は下線部の精度達成に必要な各々のプロダクト精度。精度値は特に示さない限り二乗平均平方根誤差 (RMSE) で表している。

- ・ 輝度データの注

注 3: 絶対精度はノイズとオフセット誤差を合わせたもので定義。衛星観測放射輝度のリリース基準精度は、代替校正、軌道上拡散板による校正、黒体校正による評価値とする。

- ・ 大気分野の注

注 4: 海面温度などの精度による代替検証と客観解析データと矛盾しないことを確認 (日照域、海洋上)

注 5: 航空機などの比較的直接的なリモートセンシング手法による推定値との相互検証。中程度の光学的厚さをもつ均質な水雲を対象とする。

注 6: 雲特性データを十分に収集するには時間がかかるため、リリース基準では他衛星を用いた代替検証値で定義 (中低緯度全球月平均値)

注 7: 地上マイクロ波放射計による雲水量換算で評価

注 8: スカイラジオメータによる光学的厚さ; 直接的な評価方法であるが、時空間一致性や測定誤差などにより他衛星との統計量比較よりも評価数値としては悪くなる場合がある。
(GLI vs MODIS の結果を参考に設定)

注 9: 全球月平均の 0.1 度格子平均で日射量換算した値と現場観測日射量との比較 (GLI の海洋 PAR の実績により設定)

注 10: GLI や POLDER のエアロゾルプロダクトの実績から設定。

- ・ 陸分野の注

注 11: 地表面反射率の推定精度は、太陽天頂角 30 度以下の反射率 0.2 程度の水平な地表面として設定。リリース基準精度は 500nm でのエアロゾル光学的厚さ 0.25 以下の領域における値。

注 12: 夜間の特殊運用要求時における 1.6 μ m チャンネルを用いたプロダクトがある。

注 13: 半乾燥地域 (ステップ気候域等) の場合。

注 14: 夜間の 1000K 以上の火災が 1km 画素の 1/1000 以上を占める火災の場合。

- ・ 雪氷分野の注

注 15: ラフネス=高さ/幅の値として検証。

補足

GCOM-C プロダクト定義（案）

1) 陸圏

- 標準プロダクト

精密幾何補正済放射輝度

処理単位毎に地上評価点（GCP）を用いて標高も考慮して画素位置決定を行った衛星観測放射輝度データ

大気補正済反射率

衛星観測放射輝度から大気散乱などの影響を補正して地表面反射率を推定したもの

植生指数

緑色植物の密度や活性を表す指数で、赤と近赤外による正規化植生指数や可視光を用いた拡張植生指標を含む

植生ラフネス指数

多方向観測で得られる「観測方向による観測光の違い」から、植生の三次元構造の情報を抽出した指数

カゲ指数

「植生の立体構造によって生じるカゲの割合」を、観測光の波長特性を用いて推定したもの
光合成有効放射吸収率

樹冠（キャノピー；樹木の葉をつける部分）が 400-700nm 光を吸収する率

葉面積指数

地表の単位面積に対する、植物の葉の総面積の比率

地上部バイオマス

地上部の生物の量を乾燥重量で表したもの

地表面温度

地表面の温度

- 研究プロダクト

純一次生産量

陸上植物による光合成から呼吸を引いた炭素吸収量

水ストレス傾向

「植物に対する水分供給の障害の程度」を温度変化のしやすさを用いて推定したもの

火災検知

火災の場所を、熱赤外や短波長赤外放射を用いて検出したもの

陸域アルベド

「太陽光の入射光エネルギーに対する反射光エネルギーの比」を、被覆分類の情報と各チャンネルの地表面反射率を用いて推定したもの

土地被覆分類

土地被覆の状態を、植生指数や各波長の地表面反射率を用いて推定したもの

(2) 大気圏

- 標準プロダクト

雲フラグ・タイプ

画素毎の雲のあるなしと雲の種類

雲種別雲量

雲判定画素の出現比率を雲種類毎に統計的に示したもの

雲頂温度・高度

「雲上端の温度と高度」を熱赤外観測輝度温度を用いて推定したもの

水雲光学的厚さ・粒径

光学的な視点で表した水雲の量と粒子の大きさ

氷晶雲光学的厚さ

光学的な視点で表した氷雲の量

海洋上エアロゾル

光学的な視点で表したエアロゾルの量（エアロゾル光学的厚さ）と粒子の大きさ（エアロゾルの波長特性を表すオングストローム指数で表す）と、煤や海塩粒子などのエアロゾル種別

陸上エアロゾル

エアロゾル光学的厚さと エアロゾルによる可視光の吸収を表す係数

偏光エアロゾル

エアロゾル光学的厚さとオングストローム指数を偏光観測を用いて推定したもの

（マルチチャンネルエアロゾル 海域と陸域アルゴリズムを統合した将来のアルゴリズムの候補で、エアロゾル粒径分布や エアロゾル煤粒子割合の推定を目指している）

- 研究プロダクト

水雲幾何学的厚さ

水雲の厚さを長さの単位で表したもの。雲頂高度と組み合わせる事で、雲底高度の見積りが可能となる。その結果として地表面長波放射フラックスの推定精度向上に貢献する

地表面長波放射フラックス

地表面における下向き長波放射フラックスと上向き長波放射フラックス；地球放射エネルギーの放射収支を表す。曇天時の上向き長波は地表面温度を AMSR2 等で推定する

地表面短波放射フラックス

地表面における下向き短波放射フラックスと上向き短波放射フラックス；太陽放射エネルギーの放射収支を表す

(3) 海洋圏

- 標準プロダクト

正規化海水射出放射輝度

衛星観測放射輝度から大気散乱などの影響を補正して海表面における海の色（各波長の放射輝度）を推定したもの

大気補正パラメータ

大気散乱などの影響を推定するために用いるエアロゾルなどの情報

光合成有効放射量

植物プランクトンが利用できることのできる波長 400-700nm の海面入射光量

クロロフィル a 濃度

植物プランクトンの主要な光合成色素

懸濁物質濃度

水中で溶解しない懸濁物質の乾燥重量。プランクトンなどの有機物と土壌などの無機物の合わせたもので定義

有色溶存有機物吸光係数

海水に溶けた有機物の吸光係数（単位は 1/m）

海面水温 海面の温度

- 研究プロダクト

有光層深度

植物の成長に十分な光のある層の深さ

海水固有の光学的性質

植物色素・懸濁物質・有色溶存有機物の光吸収係数および懸濁物質の光散乱係数等、海水が持つ光学的性質。正規化海水射出放射輝度と関連付けて推定

海洋純基礎生産力

海洋植物プランクトンによる光合成から呼吸を引いた炭素を吸収する

能力（純一次生産力）

植物プランクトン機能別分類

「窒素固定、珪素固定、二酸化炭素放出などの機能別の植物プランクトングループの存在割合」を正規化海水射出放射輝度と関連付けて推定したもの

赤潮

海面の色の特徴を用いた赤潮の判別

多センサ複合海色

NPOESS/VIIRS など同時期の海色センサデータを複合したデータセット

多センサ複合海面水温

AMSR-2 や NPOESS/VIIRS など同時期の海面水温データを複合したデータセット

(4) 雪氷圏

- 標準プロダクト

積雪・海氷分布

画素毎の積雪や海氷域の判別情報

オホーツク海海氷分布

オホーツク海の積雪・海氷分布を準リアルで行うもの

雪氷面温度

雪氷面の温度

浅層積雪粒径

「積雪の粒径」を 865nm の観測光を用いて推定したもの

- 研究プロダクト

積雪・海氷分類

積雪と海氷のタイプ（1 年/多年氷など）の分類情報

森林・山岳域積雪分布

画素内に植生などが混ざる可能性がある領域での積雪判別

準表層積雪粒径

「積雪の粒径」を 1050nm の観測光を用いて推定したもの。上記より積雪表面付近の情報となる

表面積雪粒径

「積雪の粒径」を 1640nm の観測光を用いて推定したもの。上記よりさらに積雪表面付近の情報となる

雪氷面アルベド

「太陽光の入射光エネルギーに対する反射光エネルギーの比」を、衛星観測放射輝度から大気の影響を考慮し積雪面の反射率を用いて推定したもの

積雪不純物

積雪に混入した煤や土壌物質などの不純物の割合

氷床表面ラフネス

多方向観測で推定する氷床の凹凸を高さ/幅の値として定義したもの

氷床縁監視

特定の氷床の縁の変動を監視する情報