

衛星利用による地球観測・監視に関する検討会
中間報告

『「みどりⅡ」運用停止による影響評価及び
今後の衛星観測実施の确实性確保に関する検討』

平成16年3月

衛星利用による地球観測・監視に関する検討会

要 旨

(検討の経緯)

「衛星利用による地球観測・監視に関する検討会」では、平成 15 年 11 月より、当面の重要課題として、環境観測技術衛星「みどり」の運用停止の影響及び環境省による今後の衛星観測実施の确实性を確保するための取組について検討を行い、平成 16 年 3 月にその中間的なとりまとめを行った。

(ILAS- の運用停止による影響と今後のオゾン層観測の方針)

成層圏オゾン観測センサ ILAS- は、「みどり」の運用停止により、目標期間よりも大幅に短い期間で運用を停止した。これにより、オゾン層の高精度かつ長期的な観測・監視、オゾン層変動の予測モデルの検証、及び我が国の国際的なイニシアティブに悪影響が出ることとなった。他方、ILAS 及び ILAS- による衛星観測においては、オゾン層破壊の機構解明研究のための観測という観点からは、当初の目的の 70～80%程度の成果を達成した。

今後は、取得された ILAS- 観測データの高精度化と国内外への発信、国際的な観測ネットワークと連携した地上観測の継続、国際的な共同衛星観測プロジェクトへの参画を行うことにより、オゾン層に係る観測・監視及び研究を推進していくことが適当である。

(今後の衛星による温室効果ガス観測の方針)

衛星による温室効果ガスの観測は、CO₂ の全球分布の把握、全球の炭素循環の解明、及び京都議定書による国際的な削減対策推進への貢献に資するなど、国内外の政策ニーズに応えることが期待される。従って、現在実施中の温室効果ガス観測センサの開発を今後も継続していくことが適当である。

(今後の衛星観測実施の确实性確保)

信頼性、コスト、開発期間、波及効果等の観点から評価した結果、開発中の温室効果ガス観測センサについては、JAXA との共同プロジェクトの体制を継続することが適当である。ただし、この場合、衛星計画達成のための确实性を確保することが不可欠。このため、環境省は JAXA に対し以下の要請を行うべき。

- 開発中の衛星の総点検の実施。リスク管理の徹底。
- 衛星バスに関しては確実性の高い既存技術を最大限利用する。
- 耐久性の高い衛星の設計・開発の実施。
- 予備機器の確保を含め、ユーザー側と協力しつつ重大な支障が生じないような対策を検討する。
- ロケットの信頼性向上。
- 打上げを予定通りに実施するための代替ロケットの検討。

また、環境省は、今後も JAXA からのヒアリングを継続し、必要に応じ JAXA に対し要請を行う必要がある。さらに、JAXA との密接な連携を図り、ミッションの目的達成に向けて環境省の意見が反映されるよう務める。

将来の衛星観測センサ開発においては、「JAXA との共同プロジェクト」、「海外の国際協力プロジェクトへの参加」、「商用衛星バスの利用」の中から、確実性、コスト、開発期間の他、我が国の宇宙開発利用技術の促進の観点も含め、総合的に評価した上で選択する。

(今後の課題)

「みどり」の運用異常の原因究明及び今後の対応検討に係る情報収集を行う。

地球観測・監視は、本来、明確なビジョンの下、戦略的に実施されるべき。今後は、環境省における地球環境モニタリング戦略の策定を検討する。

目 次

第1章 はじめに	1
1.1 検討会設置の趣旨	1
1.2 地球環境問題を取り巻く情勢	2
1.3 衛星による環境観測・監視の取り組み	6
1.3.1 衛星による環境観測・監視の取り組みの背景	6
1.3.2 環境省の取り組み	7
第2章 ILAS-IIの運用停止による影響と今後の衛星観測の方針	12
2.1 ILAS-IIの運用停止による影響	12
2.2 衛星を利用したオゾン層観測の方針	12
2.3 衛星を利用した温室効果ガス観測の方針	13
第3章 今後の衛星観測実施の確実性の確保に向けた取り組み	14
3.1 環境省が開発するセンサの衛星等への搭載オプション	14
3.2 衛星等への搭載に関する評価結果	15
3.3 現在開発中のセンサ（温室効果ガス観測センサ）の開発にあたっての課題	16
第4章 今後の課題	17
添付資料-1 検討会の構成・議事次第・配付資料	添 1-1
付 1.1 検討会の構成	添 1-1
付 1.2 議事次第・配付資料	添 1-2
添付資料-2 「みどり」 ₁ 、「みどり」 ₂ の運用断念に至る経緯	添 2-1

第1章 はじめに

1.1 検討会設置の趣旨

地球規模の環境の状況を把握し、国内外の地球環境保全対策を検討していく上で、地球環境の観測・監視を行うことは極めて重要である。

2002年（平成14年）9月のヨハネスブルグ・サミット以降、世界の首脳や閣僚レベルで衛星等の地球観測技術の開発と幅広い利用を促進することが合意されてきた。我が国においても、総合科学技術会議において、今後10年間の地球観測に係る国内戦略の検討が行われている。

このような状況の下、環境省が開発・運用を図ってきたオゾン観測センサ ILAS、ILAS- は、極域成層圏のオゾンやその破壊に関連する物質の高度分布を測定する初めてのセンサであり、そのデータの解析から成層圏オゾン層破壊のメカニズムに関する重要な知見を得ることができた。しかしながら、両センサとも衛星バスの故障のため、目標とする期間の運用を達成することなく、共に約10ヶ月で運用を停止した。これにより、我が国におけるオゾン層の観測・監視の継続、今後の温室効果ガス観測センサの開発計画に大きな支障が生じるおそれがあり、早急に対策を講じる必要性が認められた。

この状況を踏まえ、平成15年11月、環境省は、地球環境局長の委嘱により鈴木基之 放送大学教授を座長とし、計9名の有識者を委員とする「衛星利用による地球観測・監視に関する検討会」を設置し、衛星を利用した地球観測・監視の適切な進め方について総合的な検討を開始した。

なお、今年度は当面の重要課題として、「みどり」の運用停止の影響及び環境省による今後の衛星観測実施の確実性を確保するための取り組みについて検討を行った。また、検討会では、「みどりII」運用停止の原因究明状況や、H-IIA ロケット6号機打ち上げ失敗の原因究明状況、ならびに今後の衛星開発やロケット打ち上げに向けたリスク管理体制等について、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)に対するヒアリングを行い、検討の参考とした。

本報告書は、上記の検討結果をとりまとめ、本検討会としての提言を行うものである。

また、検討会の構成及び平成15年度に開催された検討会の議題等を本報告書の付録として添付する（添付資料-1参照）。

1.2 地球環境問題を取り巻く情勢

1960年代後半、欧州において酸性雨による大気汚染問題に対する警鐘が鳴らされたことをきっかけとして、1970年代には国境を越えた環境保全の重要性が意識されはじめた。1980年代以降、現在までオゾン層の破壊や地球温暖化を含む全地球的な環境問題に対する具体的な取り組みが、世界的に行われている。

特に、1992年(平成4年)にリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議(“地球サミット”)では、環境の保全と持続可能な開発をテーマに179カ国の政府首脳がオゾン層破壊や地球温暖化、熱帯林の減少、砂漠化、生物多様性の減少など様々な地球環境問題について議論し、「リオ宣言」、「アジェンダ21」が採択され、その具体化の一つとして気候変動枠組条約等の国際的な約束が合意された。近年では、地球サミットから10年を経た2002年(平成14年)にヨハネスブルグで持続可能な開発に関する世界首脳会議(“リオ+10”)が開催され、アジェンダ21に基づいた10年間の活動のレビューを行うとともに、新たな課題等について191カ国の政府首脳による議論が行われ、「ヨハネスブルグ宣言」及び持続可能な開発を進めるための各国の指針となる「実施計画」が採択された。さらに、2003年(平成15年)のG8エビアンサミットでは、「持続可能な開発のための科学技術についての行動計画」が採択され、地球全体の観測体制整備に向けた今後10年間の「実施計画」を作成することが定められた。これを受け、同年ワシントンで開催された地球観測サミットにおいて「実施計画」の作成が開始され、2004年(平成16年)4月に予定されている第2回地球観測サミット(東京)において、その枠組文書が合意される予定である。

国内においては、平成15年9月に、総合科学技術会議・環境研究開発推進プロジェクトチームの下に、地球観測調査検討ワーキンググループが設置され、今後の地球観測に関する取り組みの基本について、議論が行われている。

オゾン層破壊や地球温暖化は、これら地球環境問題の中でも重要な問題として取り上げられている。オゾン層の破壊については、1985年(昭和60年)の「オゾン層保護のためのウィーン条約」(以下、“ウィーン条約”)、1987年(昭和62年)の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」(以下、“モントリオール議定書”)の制定以来、世界各国において規制物質の全廃に向けた取り組みが行われている。

また、地球温暖化問題については、気候変動枠組条約の目的の達成に資するため、温室効果ガスの削減の数値目標や枠組を定めた「気候変動枠組条約京都議定書」(以下、“京都議定書”)が1997年(平成9年)に採択された。我が国は平成14年(2002年)6月に京都議定書を締結し、地球温暖化対策推進大綱に基づき、温室効果ガスの削減対策を実施しているところである。京都議定書については既に120ヶ国及び欧州共同体が締結しており、米国や豪州といった大国が不参加の姿勢をとっているが、地

球温暖化防止に向けた国際的な取り組みの第一歩として、極めて重要なものであり、早急な発効が期待されている。

表 1 において、1980 年代以降の地球環境問題に対する世界的な情勢、ならびに環境省を含む日本政府の対応について、特にオゾン層破壊や地球温暖化の問題を中心に整理する。

表1 オゾン層破壊および地球温暖化問題を取り巻く世界情勢および日本政府の取り組み

年	世界情勢		日本政府の取り組み	環境省の衛星観測の取り組み	年		
	オゾン層破壊	地球温暖化					
1980年代	1985	「オゾン層の保護に関するウィーン条約」制定。			1985		
	1987	「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」採択。5種類の特定フロン(CFC)、3種類の特定ハロンの生産量の削減が合意。			1987		
	1988		気候変動政府間パネル(IPCC)設置。温暖化の影響や対策、科学的な知見や、社会・経済的な影響評価などの視点から検討。	条約および議定書に定められた国際約束を国内において的確に行うため、「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」を制定	1988		
	1989	アルシュサミットで本格的に環境問題を議論。環境保護のためには、断固とした協調的な国際的対応を行なうこと及び持続可能な開発に根ざした政策を世界的規模で早急に採用することが要請された。			ILAS 開発開始	1989	
1990年代	1990	第2回モントリオール議定書締約国会議開催。議定書改正等による規制強化	気候変動枠組条約準備会にて、具体的な条文が検討。 世界気候会議が開催。地球温暖化をめぐる一連の国際的議論を総括。	環境庁に「地球環境部」設置。 地球環境保全に関する関係閣僚会議が「地球温暖化防止行動計画」を決定。		1990	
	1992	南極上空で過去最大のオゾンホールを観測。 第4回モントリオール議定書締約国会議開催。議定書改正等による規制強化				1992	
	1993	リオデジャネイロで地球サミット開催。「リオ宣言」、「アジェンダ21」が採択され、その具体化の一つとして気候変動枠組条約等が合意された。			環境基本法成立。 アジェンダ21行動計画(ナショナルアジェンダ)の決定	1990	
	1994	地球環境東京会議開催。「東京宣言1994」を採択。持続可能な開発に関する国際的な対話の強化を提唱。 先進国において、ハロン全廃。	気候変動枠組条約発効			ILAS-II 開発開始	1994
	1995	第7回モントリオール議定書締約国会議開催。議定書改正等による規制強化	COP1開催。「ベルリンマンデート」採択。			1995	
	1996	先進国において、特定フロン、四塩化炭素、その他CFC、1,1,1-トリクロロエタン全廃。先進国、途上国において、HBFC全廃。	COP2開催。		8月「みどり」打上げ	1996	
	1997	第9回モントリオール議定書締約国会議開催。議定書改正等による規制強化	COP3開催。「京都議定書」採択。	京都議定書の着実な実施に向け。「地球温暖化対策推進本部」を設置。	6月「みどり」運用停止	1997	
	1998	G8環境大臣会合。世界が直面している5つの主要な環境問題について議論	COP4開催。「ブエノスアイレス行動計画」を決定。	「地球温暖化対策推進大綱」を決定。2010年に向けて緊急に推進すべき対策を定めた。	SOFIS 開発開始	1998	
	1999	第11回モントリオール議定書締約国会議開催。議定書改正等による規制強化	COP5開催。	地球温暖化対策の推進に関する法律の施行。 地球温暖化対策に関する基本方針の閣議決定。		1999	
	2000	G8環境大臣会合。気候変動、リオ+10に向けた持続可能な開発、環境と健康等	国際社会が直面する主要な環境問題をテーマに議論 COP6開催。			2000	
	2000年代	2001	G8環境大臣会合。気候変動、リオ+10に向けた持続可能な開発、環境と健康等	国際社会が直面する主要な環境問題をテーマに議論 COP7開催。京都議定書に係るルール決定。	環境省発足		2001
2002		持続可能な開発に関する世界首脳会議(ヨハネスブルグサミット)開催。「持続可能な開発に関するヨハネスブルグ宣言」及び「実施計画」を採択。 先進国、途上国において、プロモクロロエタン全廃。	COP8開催。	新しい地球温暖化対策推進大綱の決定 京都議定書の締結 地球温暖化対策の推進に関する法律の改正	12月「みどりII」打上げ	2002	
2003		主要国首脳会議(エビアンサミット)開催。今後10年間の各国の地球観測計画の調整、実施計画を策定することを定めた「持続可能な開発のための科学技術行動計画」を採択。 地球観測サミット開催(ワシントン)。今後10年間の地球観測に関する実施計画作成作業開始。 南極において、過去2番目の規模のオゾンホールを観測。	COP9開催。	我が国の地球観測戦略を策定するため、総合科学技術会議に「地球観測調査検討ワーキンググループ」を設置。	環境省、JAXAと共同で温室効果ガス観測センサ開発開始。 10月「みどりII」運用停止	2003	
2004		第2回地球観測サミット開催(東京)。今後10年間の地球観測に関する実施計画の枠組文書が合意される予定。	COP10開催予定。			2004	
将来	2005	先進国において、臭化メチル製造全廃達成期限。 第3回地球観測サミット開催(欧州)。今後10年間の地球観測に関する実施計画が策定される予定。				2005	
	2007				「GOSAT」打上げ予定	2007	
	2008		京都議定書、第一約束期間開始。			2008	
	2010	途上国において、特定フロン、ハロン、その他CFC、四塩化炭素全廃達成期限。				2010	
	2012		京都議定書、第一約束期間終了。			2012	
	2013					2013	
	2015	途上国において、1,1,1-トリクロロエタン全廃達成期限。				2015	
	2017					2017	
	2020	先進国において、HCFC全廃達成期限。				2020	
	2040	途上国において、HCFC全廃達成期限。				2040	

1.3 衛星による環境観測・監視の取り組み

1.3.1 衛星による環境観測・監視の取り組みの背景

地球環境問題への具体的な取り組みの第一歩は地球環境観測・監視であり、人工衛星はその有効な手段として位置づけられている。例えば、ウィーン条約においては“オゾン層の状態等についての研究及び組織的観測を推進すること（第3条）”とされ、その組織的観測として“人工衛星による観測網及び地上観測網を統合した全球オゾン観測組織を最大限に活動させることによるオゾン層の状態の観測（附属書）”が締約国に求められている。我が国のオゾン層保護法においても、“国は、特定物質のオゾン層に及ぼす影響の研究その他のオゾン層の保護に関する調査研究を推進する（第26条）”ことが規定されている。

また、1992年（平成4年）の地球サミットで採択された「アジェンダ21」に対応する形で、翌年に作成された我が国の「アジェンダ21行動計画」においては、大気保全に対する不確実性への対処及び意思決定のための科学的基礎の向上を図るための重点的な取り組みの一つとして“人工衛星、海洋観測船等を用いたグローバルで体系的な観測体制の整備を充実する”ことが挙げられている。

「気候変動枠組条約」及び「京都議定書」では、“気候変動に関する研究と組織的な観測の整備を促進すること”が規定されている。また、我が国でも、平成10年（1998年）に閣議決定された「地球温暖化対策推進大綱」において、“温室効果ガス、気候変動及びその影響等を把握するための総合的な観測・監視体制を強化する”こととされている。

平成14年（2002年）に総合科学技術会議議長（内閣総理大臣）より各省大臣にあてて意見提出された「今後の宇宙開発利用に関する取り組みの基本について」の中で、「地球環境監視」は、「安全の確保（安全保障・危機管理）」、「情報通信・測位」と並び今後10年間の宇宙開発利用の重点化3分野のひとつとしてあげられたほか、世界最高水準にある我が国のセンサ技術の高度化、利用者の利便性に配慮した観測データの系統的な蓄積、解析技術の向上を図ることとされた。さらに、2003年（平成15年）のエビアンサミットで採択された「持続可能な開発のための科学技術についての行動計画」では、以下に示す項目について、今後10年の全球観測戦略の調整と、新たな観測の必要性を特定する目的を達成するための実施計画の策定が求められた。

- 大気、陸域、海洋及び環境システムに関する、信頼性の高いデータの作成
- 既存システムの観測空白域の解消
- データ共有の相互運用確保

1.3.2 環境省の取り組み

1980年代以降、特にウィーン条約採択以降の国内外における人工衛星による環境観測・監視のニーズが高まっていた。1988年当時、既に米国が、オゾンの全量観測やオゾン破壊物質を含めた高度分布の観測を実施していたが、一ヶ国のみでの取り組みであり、環境省（庁）はオゾン層破壊の重要性を含めて、国際協力という観点から衛星によるオゾン層観測に着手した。環境省（庁）では、これまでに極域の成層圏オゾンを観測・監視するセンサとして ILAS（Improved Limb Atmospheric Spectrometer：改良型大気周縁赤外分光計）及びその後継機である ILAS-II（Improved Limb Atmospheric Spectrometer-II：改良型大気周縁赤外分光計 II 型）の開発を実施してきた。また、ILAS-II の後継機として成層圏オゾン層の観測を行うと同時に、温室効果ガスも測定可能なセンサである SOFIS（Solar Occultation FTS for Inclined orbit Satellite：傾斜軌道衛星搭載太陽掩蔽法フーリエ変換分光計）の開発に着手した。

しかし、その後の温室効果ガスの全球分布を観測する重要性の高まりに対して、温室効果ガスの観測に重点を移行し、そのセンサの仕様や妥当性について検討するため、平成 14 年 11 月、環境省と宇宙開発事業団（NASDA：平成 15 年（2003 年）10 月より宇宙航空研究開発機構（JAXA））は研究推進委員会を設置した。この研究推進委員会において、SOFIS の観測方式は観測高度が約 5 km 以上に限定されるため温室効果ガス濃度の変動が大きい対流圏下部の大気の観測に十分には適さないことや、観測が衛星からの日昇・日没時に限定されるため全球の観測頻度が少ないこと等の理由により、衛星 / センサ開発計画の見直しが行われた。その後、平成 15 年（2003 年）9 月までに幾つかの観測方式に関する検討を重ねた結果、衛星の直下方向で温室効果ガスを観測する方式が最も適切であるとの結論となり、SOFIS の開発は直下方向を観測するセンサの開発に移行することとなった。

現在環境省では、ILAS、ILAS-II 及び SOFIS の開発によって蓄積された技術を基に、JAXA と共同で温室効果ガス観測・監視用のセンサ開発を実施している。

(1) ILAS・ILAS-II

(a) ILAS・ILAS-II の目的

人工衛星によるオゾン層観測・監視は、オゾン層保護対策の効果を把握するとともに、有効な対策を実施するためのデータを提供するための貴重なツールである。ILAS、ILAS-II の開発当時は、他の衛星センサや地上からの遠隔観測、航空機による直接観測、室内実験や数値モデル計算等を通じて、成層圏オゾン層破壊、特に極域オゾンホールが発生・生長・消失に至るメカニズムについては、明らかになった部分も多かったが、未だ定性的な理解に留まっている部分も少なくなかった。また、温室効果ガス

の増加に伴う地球温暖化は成層圏放射収支にも影響すると考えられており、オゾン層の破壊との関連、起こりうる大気大循環パターンの変化が高層大気環境に及ぼす影響など不明な点も少なくない。

以上の背景を踏まえ、環境省が開発した ILAS・ILAS-II の目的は以下の通りである。

- 極域オゾン層の状況と変動の正確なモニタリング
- オゾン層破壊や地球温暖化に影響する微量気体やエアロゾル等の有効なデータの提供
- オゾン層変動の監視やオゾン層変動機構の解明に資するデータの国内外への提供

(b) ILAS の開発経緯と成果

ILAS は、昭和 63 年度（1988 年度）に NASDA が開発する地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS）への搭載センサを公募し、それに環境庁（当時）が応募して採択されたセンサであり、平成元年度（1989 年度）より開発が開始された。その後、ILAS を搭載した ADEOS は、平成 8 年（1996 年）8 月 17 日に打ち上げられた（ADEOS は打ち上げ後、「みどり」と命名）。ILAS は同年 10 月より定常観測を開始したが、平成 9 年（1997 年）6 月 30 日に太陽電池パドルの故障によって「みどり」が運用を停止したため、以降の ILAS データの取得は不可能となった。（添付資料-2 参照）

ILAS の観測により得られた主な成果は以下の通りである。

- オゾンの他、成層圏オゾン層破壊に関わる複数の大気微量成分の高度分布を同時に測定することができた。
- 南半球春季のオゾンホール崩壊時期から静穏期に向かう夏季のデータ、さらに近年中では最大規模にオゾン破壊が進んだとされる 1997 年北半球冬～春季のデータ等興味深いデータが取得された。
- オゾン破壊に対して中心的役割を果たすと考えられている極成層圏雲（PSC）の発生頻度や、そのタイプを世界に先駆けて明らかにすることができた。
- オゾン破壊に関連した、「脱窒」、「脱水」といった現象を捉えることに成功した。
- 国立環境研究所が中心となって、ILAS データに関する処理アルゴリズムの高度化を行い、国内外にデータの提供を行っており、オゾン層研究の進展に寄与した。

(c) ILAS-II の開発経緯と成果

ILAS-II は、オゾン層の観測・監視を引き続き推進する観点から ILAS の後継機として開発された大気観測センサである。ILAS-II では、ILAS の機器構成を踏襲しながら、高度分解能を高め、さらに観測波長範囲を広げることで観測成分に硝酸塩素

(ClONO₂) が追加されたとともに、大気微量成分やエアロゾルなどの濃度測定精度の向上が図られた。

ILAS-II は、平成 6 年度 (1994 年) から環境庁 (当時) により開発が開始された。その後、NASDA が開発した環境観測技術衛星 (ADEOS-II) に搭載され、平成 14 年 (2002 年) 12 月 14 日に打ち上げられた (ADEOS-II は打ち上げ後、「みどり II」と命名)。ILAS-II は平成 15 年 (2003 年) 4 月より定常観測を開始したが、同年 10 月 25 日に「みどり II」の太陽電池パドルによる発生電力の急激な低下に伴う運用異常が発生したため、ILAS-II を含む全ての機器の運用は停止した。なお、「みどり II」の運用異常については、JAXA による原因究明作業が継続中であり、環境省からも専門家を派遣して対応しているが、現時点においては最終的な特定には至っていない。

ILAS-II の観測により得られた現時点までの成果は以下の通りである。

- 2003 年の冬季南極域において、オゾンホール形成に中心的役割を果たすと考えられている極成層圏雲 (PSC) の大量の発生の状況を観測した。
- 2003 年南極春季における、過去最大級のオゾンホールの発生から終息に至るまでのオゾンを含む大気微量成分の変動状況を、高度別に連続して観測した。

(2) 温室効果ガス観測センサ

(a) 温室効果ガス観測センサの目的

地球温暖化の問題は成層圏オゾンの問題に比べてより複雑である。その一つは原因物質である二酸化炭素が現代文明を駆動するエネルギー源である化石燃料消費に伴い放出されることから、その削減は大きな社会的・経済的変化を伴うこととなり、大幅な削減を短期間で実施するのが困難なためである。もう一つは、大気中に放出された二酸化炭素の一部は陸域生態系や海洋に吸収されており、その吸収機能を把握すると共にそれが将来どのように変化していくかを予測し、適切な対策を進めていく必要があるためである。

気候変動枠組条約第 2 条に示された条約の究極的な目的である「気候系に対して危険な人為的影響を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化」させるためには、正確な温室効果ガスの収支の把握が極めて重要である。

大気中の二酸化炭素濃度のグローバルデータから、大気輸送インパースモデルを用いて排出・吸収の空間分布を求めることが可能であり、現在では亜大陸規模 (約 7000km の分解能) で季節変化を推定することができている。そのベースとなる二酸化炭素の地上での観測は 1980 年には 20 ヶ所で行われ、現在は 100 ヶ所余りに増加しているが、依然として熱帯域等においてデータの空白域が存在しており、収支推定誤差の原因となっている。このデータ空白域を埋めるには、全地球的にデータを取得できる衛星観

測が極めて有効である。温室効果ガス観測センサによる観測の結果を、地上、航空機、船舶等の観測結果と組み合わせることによって、炭素収支の推定誤差の低減、空間分解能の大幅な改善が実現できる。さらに将来、衛星観測の大幅な精度の向上と観測頻度の増加によって、国別規模（1000km 以下の分解能）で高い時間分解能により推定することが可能になると考えられる。

本センサを実現し、そのデータ利用の研究を着実に行うことにより、気候変動に関する科学的知見の不確実性の低減、京都議定書に基づく温室効果ガスの削減対策の推進等、国際的な地球温暖化問題への取り組みに対し、我が国が大きく貢献することにつながる。

温室効果ガス観測センサの目的は以下の通りである。

- 二酸化炭素の全球分布の把握
- 全球の炭素循環の解明
- 亜大陸規模での吸収排出量の推定誤差を半減し、京都議定書第一約束期間における削減対策の効果の検証に貢献
- 将来の国別規模での吸収排出量推定手法の構築に貢献
- 将来の定常的な二酸化炭素観測体制の実現に貢献

(b) 温室効果ガス観測センサの開発経緯

平成 10 年度(1998 年度)にオゾン及び温室効果ガスの観測を行う目的で環境庁(当時)は SOFIS の開発を開始した。その後、平成 14 年度に衛星 / センサの開発計画の見直しが行われ、環境省と NASDA は、平成 14 年 (2002 年) 11 月に「温室効果ガス観測技術衛星プロジェクト研究推進委員会」を設置し、特に二酸化炭素の計測方法等について検討を実施し、センサに求められる基本的な仕様を検討した。

「推進委員会」での検討の結果、SOFIS で取得される二酸化炭素濃度データでは、二酸化炭素の地表面における収支推定精度はそれほど改善されないことが明らかになった。これは炭素収支推定において、SOFIS に用いられる観測方式 (太陽掩蔽法) は詳細な高度分布が観測可能で、濃度算出誤差も小さいという利点があるが、約 5km 以高の二酸化炭素濃度分布しか観測できないため、二酸化炭素吸排出の影響が最も大きく現れる地表面付近におけるデータを取得できず、また衛星の周回ごとに衛星から見た日昇と日没の 2 回 (1 日に 28 回) という低頻度の測定のため、全球の炭素収支推定に役立つデータ数も少ないことによる。また、将来技術的な改善があっても、SOFIS の観測方式の原理的な問題から、水平方向における高い空間分解能での収支推定に発展できないことも明らかになった。

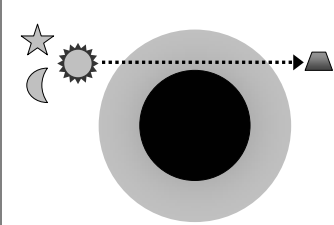
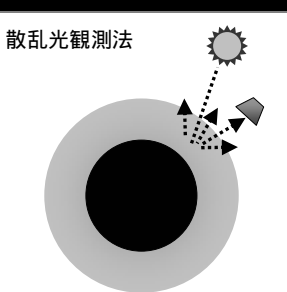
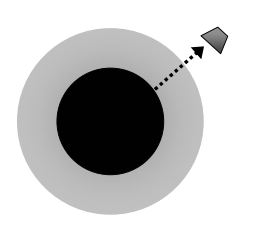
それに代わるセンサ方式として幾つかの方式が提案され、地上での二酸化炭素の収

支分布を推定することを最優先するというニーズ側の要求から、対流圏下部・陸域上空のデータが取得できる「近赤外地表面散乱光観測方式」が最も適切であるとの結論に至った。また「熱赤外放射観測方式」は高度 3km 以下の感度が乏しいが、高度分布が算出できるという利点があり、二つの観測方式によるセンサの開発を目指すことになった（図 1 に、大気観測方式の分類と特徴を示す）。

さらに、これらの検討の中で、(1) 観測データを解析する上で、雲やエアロゾルに起因する系統的誤差が重大であり、その誤差を低減するための補助的センサが必要であること、(2) 観測データの解析やデータ利用の観点から、同一地点を同一時刻に、できるだけ高頻度で観測することが望ましいこと、(3) 衛星による観測データだけではなく、地上や航空機による高精度の直接観測、地上からの遠隔計測などのデータを総合的に利用することが重要であること、(4) 濃度観測データから炭素収支情報に転換する解析モデルの改善、及びモデル計算と観測データを統合的に扱う「データ同化の手法開発」が重要であるという共通認識が得られた。

この結果を受け、平成 15 年度より環境省は、ILAS、ILAS-II 及び SOFIS の開発により蓄積した技術をもとに、JAXA と共同で温室効果ガス観測センサの開発を開始した。本センサは、JAXA が開発を行う衛星(GOSAT)に搭載され、平成 19 年度に H-IIA ロケットにより打ち上げることを目指している。

図 1 大気観測方式の分類と特徴

	周縁観測	下方視観測	
観測方式	掩蔽法 	散乱光観測法 	放射観測法 
	太陽や月、恒星を光源として、地球周縁の大気による光源からの光の吸収を観測	太陽光の大気による散乱を観測	大気の放射を、地心方向で観測
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ● 大気に含まれるガス成分高度分布の測定 ● ガス濃度の低い成層圏の観測に向く 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大気に含まれるガス成分の全量（気柱量）の測定 ● 測定領域は主に対流圏となり、ガス濃度の低い成層圏の測定には不向き 	
鉛直分解能	極めて高い（500m～2km程度）	低い（10km程度以上）	
水平分解能	低い（100km程度以上）	高い（10km～50km程度）	
観測頻度	光源との幾何学的な位置関係により観測の機会が限定される	日照域では常時観測可能	常時観測可能
その他	高い SN 比が得られ、特に輝度の高い太陽を光源とする太陽掩蔽法は、一般に観測精度が高い		

第2章 ILAS-IIの運用停止による影響と今後の衛星観測の方針

2.1 ILAS-IIの運用停止による影響

前述の通り、ILAS-IIは、「みどり」の運用異常により、目標とする期間よりも大幅に短い期間で運用を停止した。

ILAS-IIの運用停止による影響は、以下の通りに整理される。

- ILAS-IIが運用を停止したことにより、オゾン層破壊の顕著な高緯度（両極付近）における、高精度な大気成分高度分布の観測、多種類の大気成分の同時観測、及びこれらの長期的な監視が不可能となった。
- また、オゾン層変動に関する将来予測のためのモデルの検証と精度向上に向けた貢献が限定されることとなった。
- さらに、オゾン層監視における、我が国の国際的なイニシアティブにも悪影響が及ぶと考えられる。

一方で、ILAS、ILAS-IIは、ともに設計寿命（3年）以下の観測期間ではあったが、1.3.2項で述べたとおり、オゾン層破壊の機構解明研究を推進する上である程度の成果を得た。その意味でILAS及びILAS-IIは当初の目的のうち、継続的な観測という観点からは20%程度、オゾン層破壊の機構解明研究のための観測という観点からは70～80%程度を達成したと言える。

2.2 衛星を利用したオゾン層観測の方針

以上の評価を踏まえ、今後は、ILAS、ILAS-IIで得られたデータを最大限に活用し、以下の方針でオゾン層破壊の機構解明に関する観測・監視、研究を推進することが適当である。

- ILAS-II観測データについては、検証用のデータを収集し、データ解析手法の高度化を継続することにより、信頼性のある高精度な観測データを国内外に発信する。
- 国際的な観測ネットワークとの連携により、地上からのオゾン及びオゾン層破壊物質のモニタリングを継続する。
- 国際的な共同衛星観測プロジェクト（例：米国の主導するSAGE IIIミッション等）に積極的に参画する。具体的な参画の方法については、必要性に加えてコストや人的リソースなども考慮して検討する。

2.3 衛星を利用した温室効果ガス観測の方針

環境省としては、温室効果ガス排出削減により当面の国際的義務を果たすと共に、中長期的には科学的根拠に基づいた排出削減目標の設定や削減努力の評価などをおこなう必要がある。その一つとして、温室効果ガスの収支量の空間分布を算出するための大気濃度分布の観測データを取得することが重要である。

環境省が開発してきた温室効果ガス観測センサの観測データを、地上や船舶・航空機による直接分析計測、地上での遠隔計測などのデータと総合化することにより、二酸化炭素やメタンの収支分布の算出精度を飛躍的に高めることが可能となる。また、衛星などによる大気観測データに加え、温室効果ガス排出インベントリ、森林など陸域生態系のモデルなどと統合的に解析するデータ同化の手法開発が進むことにより、より高精度な炭素収支推定のシステムが可能になると考えられる。さらに将来、より適切なセンサ仕様によって衛星観測の大幅な精度の向上と観測頻度の増加が見込まれ、国別規模（1000km 以下の分解能）で高精度かつ高い時間分解能により推定することが可能になるものと期待される。

その結果、温室効果ガス排出削減施策に有益な多くの情報が得られる。また、人為的な温室効果ガスの排出インベントリを、大気中濃度の観測から算出するという、個々のデータ積み上げと全く別な方向から点検することができる。これは統計情報の不十分な途上国の炭素収支算定にも有効な手法になると期待される。さらに、国別排出インベントリでの不適切な報告の監視にもなり、京都議定書による国際的な削減対策の適切な推進に貢献していくことが可能になると考えられる。森林など自然生態系の炭素収支を詳しく評価することにより、気象条件や人為活動の影響を評価し、二酸化炭素濃度変化の将来予測や森林への炭素蓄積の有効性に関する情報を得ることができる。

このように衛星を中心とした温室効果ガスの観測体制が実現すれば、気候変動に関する科学的知見の不確実性の低減、京都議定書に基づく対策の推進に貢献するなど、環境省として、政策的なニーズに応えることができると期待される。

我が国は、世界最高水準にある衛星センサ技術を基に、技術的に困難とされる温室効果ガス観測センサを開発できる可能性を持つ数少ない国の一つである。従って、温室効果ガスの衛星観測は、我が国が地球観測分野において国際的なリーダーシップを発揮するという点で重要である。

（ 総合科学技術会議「今後の宇宙開発利用に関する取り組みの基本について（平成14年6月）」）

以上の点を踏まえ、環境省は、今後も温室効果ガス観測センサの開発を継続していくことが適当である。

第3章 今後の衛星観測実施の確実性の確保に向けた取り組み

「みどり」¹、「みどり」²の運用停止を踏まえ、環境省による衛星センサの開発計画においては、センサを搭載する衛星本体（バス）の確実性の確保を追求することが不可欠であり、温室効果ガス観測センサを含む今後の衛星計画については、国内外の機関との協力も視野に入れ、総合的に検討する必要がある。

3.1 環境省が開発するセンサの衛星等への搭載オプション

今後の環境省による衛星観測計画の実現方法について、現在想定し得るものとして、以下の3つのオプションについて、信頼性、コスト、開発期間（タイミング）、波及効果等の観点から評価する。

- オプション1：JAXA との共同プロジェクト
- オプション2：海外の国際協力プロジェクトへの参加
- オプション3：商用衛星バスの利用

(1) JAXA との共同プロジェクト

- 長所
 - 我が国の、基盤技術を含む宇宙開発技術の振興及び宇宙利用の促進に貢献する。
 - 現在のところ、環境省の負担するコストは比較的安価である。衛星打ち上げ経費及び衛星バス開発はJAXA側の負担となる。
 - 国内機関であるため、意思疎通が容易でありプロジェクトを円滑に推進できる。
- 短所
 - 平成2年（1990年）以降に打ち上げられた地球観測衛星を、設計寿命を越えて運用された実績で評価した場合、「みどり」¹、「みどり」²と設計寿命前の運用停止が続いており、抜本的な見直しが無い限り、JAXAは海外の宇宙開発機関と比較して信頼性が高いとは言えない。

(2) 海外の国際協力プロジェクトへの参加

- 長所
 - 衛星側の不具合によって運用停止したケースは少なく、比較的信頼性は高い。
 - 環境省の負担するコストは比較的安価である（ただし、協力関係の枠組みにより追加的費用負担が発生する可能性がある）。
- 短所
 - センサ公募等のタイミングが衛星開発機関側に依存する。

- ▶ 協力関係の確立等のプロジェクト立ち上げに比較的長い時間がかかることが多い。

(3) 商用衛星バスの利用

■ 長所

- ▶ 衛星側の不具合によってセンサが運用停止したケースは少なく、比較的信頼性は高い。
- ▶ 仕様が規格化された衛星を利用するため、センサ開発を除けば開発期間を大幅に短くできる可能性がある。

■ 短所

- ▶ 環境省が負担するコストは、衛星開発・運用及びロケット打ち上げまで含めると大幅な追加費用（約 90～150 億円）が発生する可能性が高い。ただし、衛星開発費用やロケット打ち上げ費用はセンサの要求する衛星の仕様に依存し、また将来的には価格が低下する可能性はある。

追加的費用内訳：

項目	費用	前提条件等
衛星開発	50～80 億円	温室効果ガス観測センサ（熱赤外）、雲センサ（近赤外）を搭載する 1～2t 級の中型衛星を想定。
打ち上げ	20～50 億円	ロシアや米国の商用打ち上げサービス利用を想定。
地上設備開発	約 5 億円	アンテナを含むデータ受信設備及び受信したデータの前処理設備までを含み、物理量算出等のデータ処理を行う設備は除く。カタログ化されたアンテナの利用等、可能な限り既製品の購入によるシステム構築を想定。
衛星の運用	約 3.5 億円/5 年*	JAXA への委託により、JAXA 追跡管制設備を利用することを想定。追跡管制アンテナ及びネットワークの利用、衛星軌道算出の運用費が含まれる。
データ受信	約 12.5 億円/5 年*	衛星データ受信及び前処理の運用を外部に委託することを想定。データ受信・前処理運用費、受信したデータを伝送する回線費、設備の維持費が含まれる。

*：衛星が 5 年間運用された場合を想定

3.2 衛星等への搭載に関する評価結果

温室効果ガス観測センサの開発は既に進められており、打ち上げ予定時期（平成 19 年度）を考慮すると、現在公募が行われていない「海外の国際協力プロジェクトへの参加」については、実現が困難と考えられる。また、「商用衛星バスの利用」については、現時点ではコストの観点から環境省が主体的に開発を実施することは困難である。

従って、現在開発中のセンサ（温室効果ガス観測センサ）は、「JAXA との共同プロジェクト」の体制を継続することが適当である。ただしこの場合は、下記 3.3 に述べるとおり、衛星計画達成のための確実性を確保することが不可欠である。

また、温室効果ガス観測センサ以降の将来の衛星計画を実現するための方策としては、「JAXA との共同プロジェクト」に加え、「海外の国際協力プロジェクトへの参加」や「商用衛星バスの利用」を選択することが可能である。いずれを選択するかは、3.1 項で示された各オプションの特徴を再度精査し、その時点におけるコスト、確実性、開発期間の他、我が国の宇宙開発利用技術の促進の観点も含め、総合的に評価・検討を行うことが必要である。

3.3 現在開発中のセンサ（温室効果ガス観測センサ）の開発にあたっての課題

3.2 を踏まえ、現在開発中の温室効果ガスの開発にあたっては、環境省は JAXA に対し、衛星等のユーザーとして耐久性の高い衛星及びロケットの開発について、以下の通り要請すべきである。

- 現在開発中の衛星に対して総点検を実施し、その結果を今後の衛星開発に反映するなど、確実な衛星開発を行うとともに、リスク管理の徹底を図る。
- 衛星バスに関しては確実性の高い既存技術を最大限利用する。
- 衛星の運用停止につながるクリティカルポイントを特定し、その対策を講じることにより、耐久性の高い衛星の設計・開発を行う。
- 予備機器の確保を含め、ユーザー側と協力しつつ観測計画に重大な支障が生じないような対策を検討する。
- 衛星を予定通り軌道に投入できるよう、ロケットの信頼性向上に努める。
- 衛星の打ち上げを予定通り行うため、必要に応じて H-IIA の代替ロケットによる打ち上げを検討する。

さらに、JAXA 側が実施する衛星開発に対し、環境省は以下のような積極的な関与が必要である。

- JAXA に対して、本検討会等の場で、開発実施状況のヒアリングを継続して実施するとともに、必要に応じて要請を行うなど、衛星センサ運用の確実性の向上を図る。
- JAXA との密接な連携を図り、衛星軌道や観測頻度等概念設計を含めて、ミッションの目的達成に向けて環境省の意見が反映されるよう努める。

第4章 今後の課題

本検討会は、当面の課題として、「みどり」の運用停止の影響及び環境省による今後の衛星観測計画の确实性の確保についての中間とりまとめを行ったものである。

衛星利用を含めた地球観測・監視は、本来、環境省あるいは我が国全体のビジョンの下、国際的な連携を図りつつ戦略的に実施されるべきであり、今後は、第3章で示された課題に加え、「今後の宇宙開発利用に関する取組の基本について」を踏まえつつ、環境省における地球環境モニタリング戦略の策定について検討し、総合科学技術会議等における我が国全体の地球観測のビジョンに反映されるように努める。今後検討が必要な追加的課題としては、例えば、以下の項目が挙げられる。

- 環境省における地球環境モニタリングのビジョン作成
- 政策ニーズを踏まえたモニタリング計画とデータ活用のあり方
- 世界における地域戦略（例：アジア太平洋を中心とした地球観測の展開）
- 国内外の地球観測システムにおける、環境省が実施する地球環境モニタリングの位置付け。
- 地上観測及び衛星、航空機、船舶等を利用した総合的な地球環境モニタリング計画
- 観測ニーズに適した衛星の設計の考え方
- 国際的なモニタリングネットワークの活用
- 開発途上国の能力開発
- 総合科学技術会議等に対する発信及び連携

なお、今後「みどり」の運用異常の原因究明及び今後の対応検討に係る進展がみられた場合は、本検討会において、適宜、情報収集及び検討を行っていく必要がある。

添付資料-1 検討会の構成・議事次第・配付資料

付 1.1 検討会の構成

【委員】(五十音順/敬称略)

- | | | |
|----------|-----------|--------------------------|
| ■ 青木忠生 | あおきただお | 気象庁気象研究所物理気象研究部長 |
| ■ 鈴木基之 | すずきもとゆき | 放送大学教授 |
| ■ 住 明正 | すみ あきまさ | 東京大学気候システムセンター長 |
| ■ 高木鞠生 | たかぎゆきお | 日経サイエンス社代表取締役社長 |
| ■ 中澤 高 清 | なかざわたかきよ | 東北大学理学部大気海洋変動観測研究センター長 |
| ■ 中須賀真一 | なかすかしんいち | 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻助教授 |
| ■ 西岡 秀 三 | にしおかしゅうぞう | 国立環境研究所理事 |
| ■ 松野太郎 | まつのたろう | 地球フロンティア研究システム長 |
| ■ 安岡善文 | やすおかよしふみ | 東京大学生産技術研究所教授 |
- (は座長)

【事務局】

- | | |
|---------|----------------------|
| ■ 小島 敏郎 | 環境省 地球環境局長 |
| ■ 高橋 康夫 | 環境省 地球環境局 研究調査室長 |
| ■ 竹本 明生 | 環境省 地球環境局 研究調査室 室長補佐 |
| ■ 奈良 税 | 環境省 地球環境局 研究調査室 主査 |

付 1.2 議事次第・配付資料

(1) 第 1 回検討会

■ 開催日時・場所

- 開催日時：平成 15 年 11 月 21 日（金） 14：00～16：15
- 開催場所：環境省 第 2 会議室

■ 議題

- 議題 1：検討会の趣旨と背景
- 議題 2：ILAS 及び ILAS-II の成果と ILAS-II の運用停止による今後の影響
- 議題 3：「みどり II」運用異常の原因究明状況等

■ 配付資料一覧

- 資料 1-1：衛星利用による地球観測・監視に関する検討会の設置について（環境省）
- 資料 1-2：環境省における衛星による地球観測・監視センサ開発の経緯（環境省）
- 資料 2-1：ILAS・ILAS-II の成果（国立環境研究所）
- 資料 2-2：ILAS-II の運用停止が地球観測に及ぼす影響（国立環境研究所）
- 資料 2-3：オゾン層破壊物質規制スケジュール（国立環境研究所）
- 資料 2-4：2003 年に発生したオゾンホールに関する新聞記事（国立環境研究所）
- 資料 2-5：国内外の大気（オゾン）観測衛星 / センサの計画（国立環境研究所）
- 資料 3-1：「みどり II」運用異常の原因究明状況（JAXA）
- 資料 3-2：「みどり」軌道上事故の「みどり II」への反映、関連について（JAXA）
- 資料 3-3：環境観測技術衛星（ADEOS-II）「みどり II」の参考写真集（JAXA）
- 資料 3-4：FTA の検討状況と異常事象の発生シナリオについて（JAXA）
- 資料 3-5：他衛星の電源・太陽電池パドル系軌道上異常事象について（JAXA）

(2) 第2回検討会

■ 開催日時・場所

- 開催日時：平成15年12月25日（木） 14：00～16：30
- 開催場所：環境省 第1会議室

■ 議題

- 議題1：ILAS-IIの運用停止に対する今後必要な対策
- 議題2：衛星センサによる次期ミッションの必要性
- 議題3：JAXAからの報告
- 議題4：次期ミッションの確実性を確保するための方策等

■ 配付資料一覧

- 資料1-1：衛星停止による国立環境研究所としてのオゾン層研究の方針（国立環境研究所）

- 資料2-1：温室効果ガス観測センサの開発について（環境省）
- 資料2-2：GOSATのデータはどのように利用されるのか（国立環境研究所）

- 資料3-1：みどりII運用異常の原因究明状況等（JAXA）
- 資料3-2：H-IIAロケット6号機打上げ失敗の原因究明状況について（JAXA）

- 資料4-1：環境省将来ミッションの実現方法に関するトレードオフ（環境省）
- 資料4-2：GOSATのリスクマネジメントについて（JAXA）

(3) 第3回検討会

■ 開催日時・場所

- 開催日時：平成16年1月29日（木） 14：00～15：50
- 開催場所：経済産業省別館10階 1020会議室

■ 議題

- 議題1：中間骨子案について
- 議題2：その他

■ 配付資料一覧

- 資料1：中間報告骨子案（環境省）
- 資料2：みどりII運用異常の原因究明状況について（JAXA）

(4) 第4回検討会

■ 開催日時・場所

- 開催日時：平成16年3月15日（月） 10：30～12：30
- 開催場所：環境省 第1会議室

■ 議題

- 議題1：中間報告案について
- 議題2：その他

■ 配付資料一覧

- 資料1-1：中間報告（案）本文（環境省）
- 資料1-2：中間報告（案）添付資料（環境省）
- 資料1-3：中間報告（一次案）に対する検討会委員からのコメント（環境省）
- 資料1-4：中間報告要旨（案）（環境省）
- 資料2-1：H-IIA ロケット6号機打上げ失敗に係わる原因究明状況について（JAXA）
- 資料2-2：「みどり」運用異常の原因究明状況について（JAXA）
- 資料2-3：ロケット/衛星の確実な開発・打上げと運用のための総点検の実施について（JAXA）

添付資料-2 「みどり」の運用断念に至る経緯

(1) 「みどり」の運用断念に至る経緯

- 「みどり」は打ち上げ後、約10ヶ月が経過した平成9年6月30日に太陽電池パドルの発生電力が0となり、衛星からの通信が不可能となったことから、NASDA(当時)は「みどり」の運用を断念した。
- その後の調査により、太陽電池パドルのブランクット部(太陽電池セルを貼り付けた膜)が根本付近から破断したことが分かった。その原因は、太陽電池セルのマスト部が加熱により膨張し、一方ブランクット部裏面は低温で予測より収縮した状態であったことから、太陽電池パドルの定張力機構が可動範囲の限界に達した。これにより、ブランクット部に想定以上の過大な張力が加わり、ピンヒンジ(ちょうつがい)の一部に応力が集中したことにより破断し、その後、ブランクット部の疲労・劣化が進行した結果、根元付近から破断したものと判明した。

(2) 「みどり」の運用異常に至る経緯

- 平成15年10月25日午前1時15分頃(日本時間)「みどり」の太陽電池パドルの発生電力が約3分間で約6kWから約1kWに低下した。
- 同年10月31日、JAXAより、「みどり」の観測運用を復旧する見込みが極めて少ない、との発表がなされた。
- その後、「みどり」の運用異常の原因究明調査が行われ、現段階では、今回の発生電力低下の原因は、ある程度故障部位が特定され、太陽電池パドル・太陽電池パドルハーネスにおいて何らかの故障が発生したものと推定されている状況。引き続き前記の部位に絞り込んで、関連部位の長期試験を実施中であり、これまでの結果と合わせて故障発生状況の分析を実施している。