

地球観測衛星GOSAT／GOSAT-2による 温室効果ガスの観測と後継機GOSAT-GWの開発

上野信一*
Shinichi Ueno

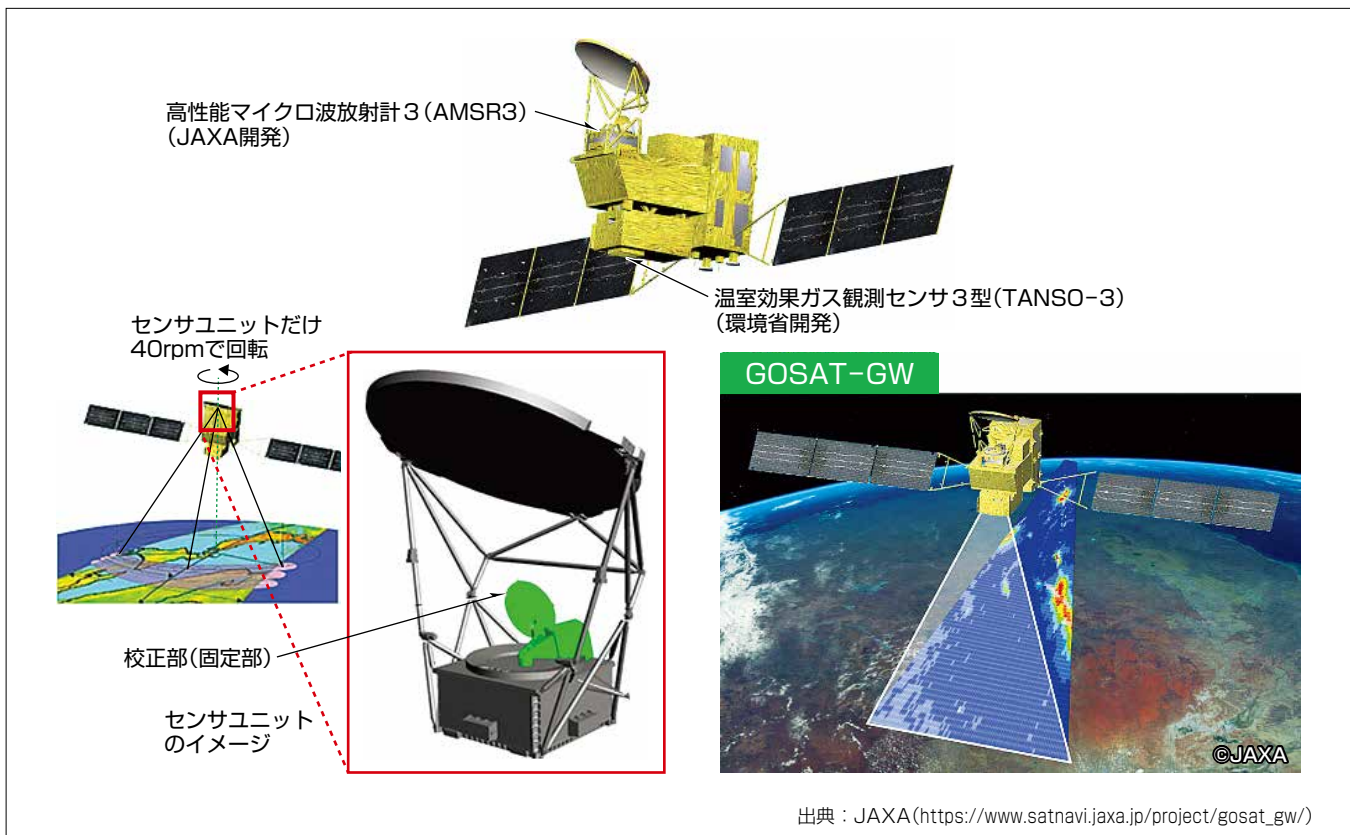
Observation of Greenhouse Gases by GOSAT/GOSAT-2 and Development of Next Generation Satellite GOSAT-GW

要 旨

三菱電機は、地球観測衛星による社会への貢献を宇宙開発の重要な柱と位置付け、海洋観測衛星(MOS-1)搭載マイクロ波放射計(MSR)の開発を端緒として、数々の地球観測衛星システム、及び搭載センサ開発に参画してきた。これらの一環として、環境省(MOE)、国立研究開発法人 国立環境研究所(NIES)、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)の3機関による共同プロジェクトとして、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測することを主目的にした世界初の温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(GOSAT: Greenhouse gases Observing SATellite)”及び“いぶき2号(GOSAT-2)”を開発した。

GOSAT/GOSAT-2から得られた観測データを解析することによって、二酸化炭素(CO₂)とメタン(CH₄)の全球にわたっての分布や、これらの温室効果ガスが地球上のどの地域で排出され、吸収されているかといった収支について、地理的分布とその季節変動、年々変動を知ることができる。

GOSAT-2の後継機である温室効果ガス・水循環観測技術衛星(GOSAT-GW: Global Observing SATellite for Greenhouse gases and Water cycle)について、MOE, NIES, JAXA指導の下、2023年度打ち上げを目指して当社で開発中である。



現在開発中のGOSAT-GW衛星

GOSATシリーズの後継機として開発中であるGOSAT-GWの軌道上想像図を示す。MOE開発の温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)は、GOSAT-2に搭載されたTANSO-FTS-2の後継センサである。TANSO-FTS-2で採用していたフーリエ干渉型分光方式から回折格子型分光方式に変更し、二酸化炭素やメタン等の温室効果ガスの空間的に詳細化した観測が行われる。JAXA開発の高性能マイクロ波放射計3 (AMSR3)は、地表や海面、大気などから自然に放射されるマイクロ波を観測するセンサである。

1. ま え が き

地球はそれぞれの地域の気候を背景に形づくられている。また、日本は四季に恵まれて風光明媚(めいび)な土地になっている。その気候が今、地球規模で、これまでに経験したことのないものになりつつある。

現在の地球はデータが確認できる過去1,400年で最も暖かくなっている。この地球規模での気温や海水温の上昇、氷河や氷床が縮小する現象、すなわち地球温暖化は、平均気温の上昇にとどまらず、夏の異常高温(熱波)や大雨・干ばつの増加などの様々な気候変動を引き起こしている。その影響は、早い春の訪れや海温上昇などによる生物活動の変化や、水資源や農作物への影響など、自然生態系や人間社会に既に表れ始めている。将来、地球全体の気温は更に上昇すると予想され、水、生態系、食糧、沿岸域、健康などでより深刻な影響が生じると考えられている。

これらの地球温暖化に伴う気候変動がもたらす自然・社会・経済的影響に対して、世界各国との協力体制を構築し、解決策を見いだしていかなければならない。このため、国際社会は温室効果ガスの排出量を削減する方向に動き始め、気候変動枠組み条約の下で、2015年のパリ協定で、全ての国に温室効果ガス排出量の削減の努力目標が定められた。削減対策を進める上で、将来の気候変動とその影響の正確な予測に基づく合理的な削減目標を設定すると同時に、国別の排出量を正しく測定し、各種施策の排出量削減効果を評価することが重要である。

当社はこれまでも、地球観測衛星による社会への貢献を宇宙開発の重要な柱と位置付け、MOS-1搭載MSRの開発を端緒として、数々の地球観測衛星システム、及び搭載センサ開発に参画してきた。これらの一環として、MOE、NIES、JAXAの3機関による共同プロジェクトとして、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測することを主目的とした世界初の温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(GOSAT)”及び“いぶき2号(GOSAT-2)”の開発・製造を担当した。さらにGOSAT-2の後継機である温室効果ガス・水循環観測技術衛星GOSAT-GWをMOE、NIES、JAXAの指導の下、当社で開発中である。本稿では、これらの衛星と、地球温暖化防止への貢献について述べる。

2. 地球温暖化とGOSATシリーズ

2.1 地球温暖化の原因

地球温暖化の支配的な原因は、人間活動による温室効果

ガスの増加である可能性が極めて高いと考えられている。大気中に含まれる二酸化炭素などの温室効果ガスには、海や陸などの地球の表面から地球の外に向かう熱を大気に蓄積し、再び地球の表面に戻す性質(温室効果)がある。18世紀半ばの産業革命以降、人間活動による化石燃料の使用や森林の減少などによって、大気中の温室効果ガスの濃度は急激に増加した。この急激に増加した温室効果ガスによって、大気の温室効果が強まったことが、近年の地球温暖化の原因と考えられている(図1)。

温室効果がない場合の地球表面の温度は氷点下19℃と見積もられているが、温室効果のために現在の世界の平均気温はおよそ14℃になっている。このため、温室効果ガスがないと人類の地球での活動は困難である。しかし、現在のように大気中の温室効果ガスが増えると温室効果が強まり、地球の表面の気温が高くなって人類の活動に悪影響を及ぼすことになる。

2.2 GOSATシリーズの概要

世界気象機関(WMO)を含む世界の幾つかの気象機関や大学などの研究機関では、これまででも地表面の各地の観測地点や、それらのデータを用いて算出した地上での温室効果ガスの全球平均濃度を発表してきた。しかし、二酸化炭素は標高や気圧によって濃度差があるために、地上観測点だけの濃度データでは地球大気の全体濃度を表せない。今後の温室効果ガスの増加による地球温暖化のリスクを算出・予測するためには、全地球レベルでの温室効果ガスの平均濃度の算出が重要であり、上空の大気まで含めた“全大気”の平均像を把握することが不可欠である。ゆえに、温室効果ガスの全球分布を把握する衛星観測が望まれていた。

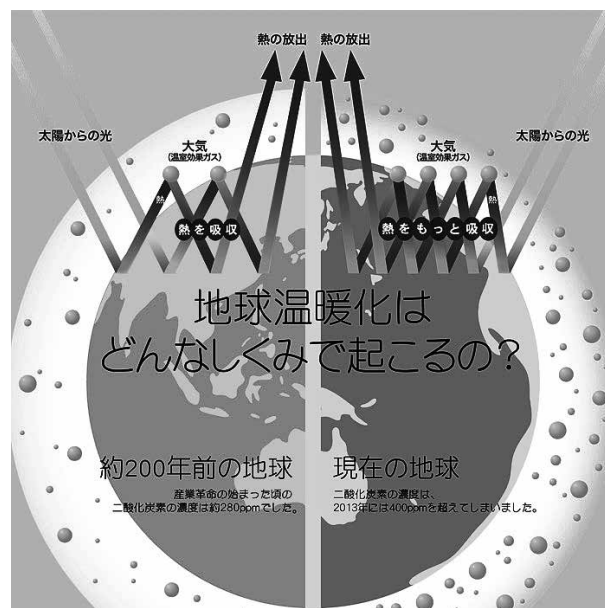


図1. 地球温暖化の仕組み(1)

このため、MOE、NIES、JAXAの3機関による共同プロジェクトとして、主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測することを主目的とした世界初の温室効果ガス観測技術衛星“いぶき(GOSAT)⁽²⁾”が開発され、2009年1月23日に打ち上げが成功し、設計寿命の5年を大きく超えた現在も順調に観測を続けている。

さらに、GOSATの後継機として、“いぶき2号(GOSAT-2)”が開発され、2018年10月29日に打ち上げが成功し⁽³⁾⁽⁴⁾、2019年8月から観測データの公開が始まっている。

これらGOSAT/GOSAT-2から得られた観測データを解析することによって、二酸化炭素とメタンの全球にわたっての分布や、これらの温室効果ガスが地球上のどの地域で排出され、吸収されているかといった収支について、地理的分布とその季節変動、年々変動を知ることができる。GOSATによる10年以上の長期間にわたる二酸化炭素濃度の測定結果を図2に示す。

2.3 GOSATシリーズの目的

GOSATの第一の目的は、温室効果ガスの亜大陸スケール(数千km四方)での吸収・排出量の推定精度を高め、地域ごとの吸収・排出状況の把握や森林炭素収支の評価などの環境行政に貢献することである。さらに、GOSATデータの利用研究を通して、温室効果ガスの全球分布とその時間変動や、全球の炭素循環メカニズムとその気候変動影響などに関する新たな科学的知見の集積が図られ、気候変動予測と影響の評価に役立てられている。

第二の目的は、これまでの地球観測技術を継承・発展させ、温室効果ガスの測定技術を開発するとともに、将来の地球観測衛星に必要な技術開発を行うことである。

またGOSAT-2では、GOSATの成果を基に次の三つの機能が機器開発に反映されている⁽⁴⁾⁽⁶⁾。

- (1) 観測データの品質向上のために観測機器の開口径を拡大し、観測する光量の増加によるS/N(Signal to Noise ratio)の向上を図った。
- (2) 観測機器の観測波長領域を拡大し、一酸化炭素観測機能を追加した。一酸化炭素は、人為起源の場合二酸化炭素と同時に発生するが、寿命が短い。一酸化炭素を同時観測することで燃焼に伴って発生する二酸化炭素排出量評価の精度向上を目指している。
- (3) 有効観測データを増加させるための、観測地域の雲量を算出して雲の少ない地域を観測する雲回避機能(インテリジェント・ポインティング機能)を搭載した。

図3にGOSATとGOSAT-2の観測した全球二酸化炭素濃度を示す。また図4にGOSAT-2の観測した全球一酸化炭素濃度を示す。

これらは、地球温暖化の原因物質の挙動に関する科学的な理解を深めるのに役立てられるとともに、将来の気候変動予測の高度化や炭素排出削減施策などの温暖化対策に係る基礎情報として活用することが可能である。

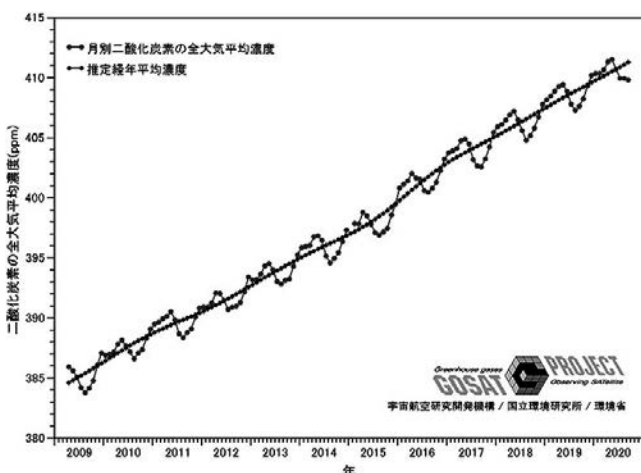


図2. 全大気での二酸化炭素濃度の月平均値と経年平均値(2020年9月まで)⁽⁵⁾

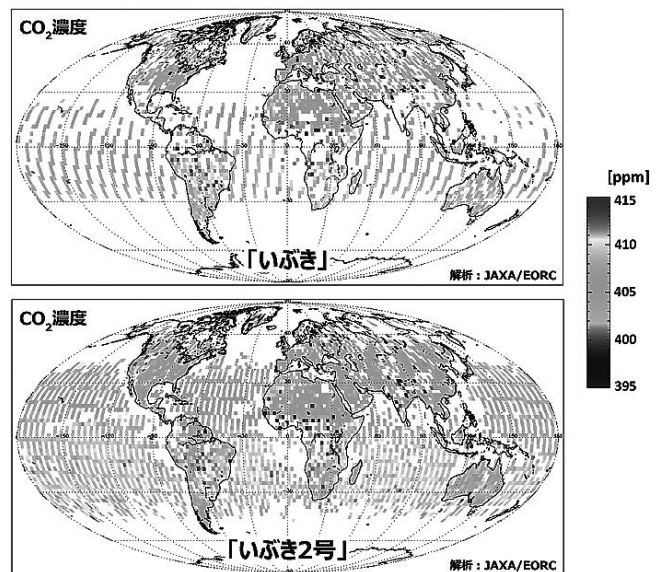


図3. GOSATとGOSAT-2の観測した全球二酸化炭素濃度(2019年9月)⁽⁷⁾

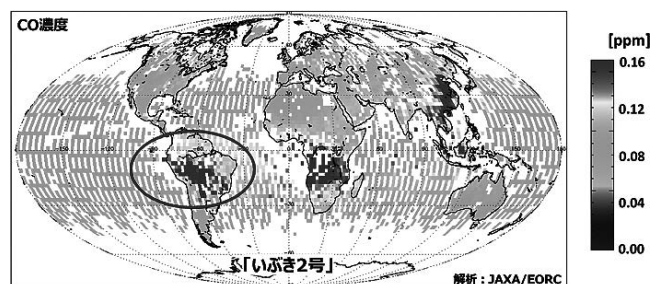


図4. GOSAT-2の観測した全球一酸化炭素濃度(2019年9月)⁽⁷⁾

2.4 GOSATシリーズの後継機GOSAT-GW

GOSAT-GWは、温室効果ガス観測ミッション(MOEとNIESが担当)と水循環変動観測ミッション(JAXAが担当)を担う地球観測衛星である。2012年に打ち上げられた“しずく(GCOM-W)”の水循環変動観測ミッション、2009年に打ち上げられたGOSAT及び2018年に打ち上げられたGOSAT-2の温室効果ガス観測ミッションを発展的に継続するため、JAXAが開発する高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)、MOEが開発する温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)を搭載し、温室効果ガスの観測だけでなく、水蒸気の観測を同時に行い、地球環境の保全に役立つデータ取得を実施する。

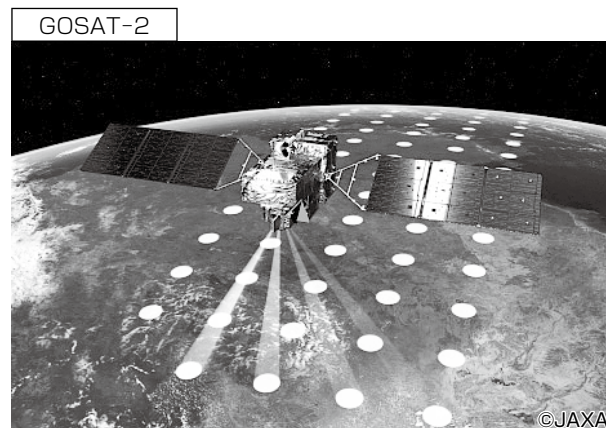
MSRは、地表面や海面、雲の中の水に関する物理量を雲を透過して観測することが可能である。また夜間の観測も可能なため、天候や昼夜を問わず常時観測を行えることが特長である。AMSR3では、AMSR2から、新たに166GHz帯、183GHz帯を追加搭載することで、解析精度の向上に加えて、降雪や陸上での水蒸気観測の実現を目指している。

TANSO-3は、GOSAT-2に搭載されたTANSO-FTS-2の後継センサであり、地球上の温室効果ガスを広範囲・高精度に観測することで温室効果ガス排出量の推定精度向上を目指す。

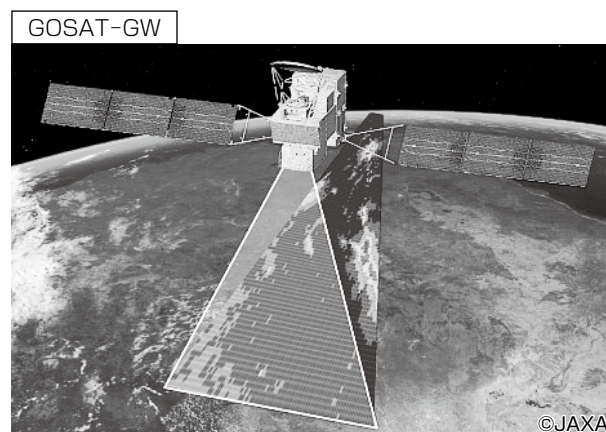
主な特徴として、TANSO-3では、これまでTANSO-FTS及びTANSO-FTS-2で採用していたフーリエ干渉型分光方式から新たに回折格子型分光方式を採用する。この方式によって、これまでは格子点状に観測していたのに対し、面的に観測することが可能になり、より多くの観測データの取得ができる。またTANSO-3では広域観測モードと精密観測モードの二つの観測モードを具備している。広域観測モードでは、911km以上の観測幅を10km分解能で面的に観測し、精密観測モードでは、90km以上の観測幅を3km分解能で詳細に観測する。TANSO-FTS-2とTANSO-3の観測データ数の違いを図5に示す。

3. むすび

GOSATとGOSAT-2の概要と、これらの衛星による温室効果ガスの観測及び観測データの利活用による地球温暖化防止への貢献について述べた。2009年1月GOSAT打ち上げ以降、2014年4月米国OCO-2、2016年12月中国TANSAT、2019年5月米国OCO-3の打ち上げ等軌道上観測が開始されており、宇宙からの温室効果ガス観測に注



(a) TANSO-FTS-2の観測イメージ



(b) TANSO-3の観測イメージ

図5. TANSO-FTS-2とTANSO-3の観測データ数の違い

目が集まっている。

当社は、より良い社会の実現、また持続可能な開発目標(SDGs)の実現に貢献するため、MOE、NIES、JAXA指導の下、GOSATシリーズの後継機であるGOSAT-GWの開発を進めていく。

参考文献

- (1) 全国地球温暖化防止活動推進センター：温室効果ガスと地球温暖化メカニズム
https://www.jccca.org/chart/chart01_01.html
- (2) Hamazaki, T., et al.: Sensor system for Greenhouse Gas Observing Satellite(GOSAT), Proc.of SPIE, 5543, 275~282 (2004)
- (3) 中島正勝, ほか：いぶきの運用と搭載センサの軌道上性能, 電子情報通信学会技術研究報告, 110, No.92, 121~122 (2010)
- (4) 上野信一, ほか：温室効果ガス観測技術衛星2号のミッション機器, 三菱電機技報, 90, No.2, 111~114 (2016)
- (5) JAXA：「いぶき」の観測データに基づく全大気中の月別二酸化炭素濃度速報値(2020)
<http://www.gosat.nies.go.jp/recent-global-co2.html>
- (6) 上野信一, ほか：温室効果ガス観測技術衛星2号(GOSAT-2), 三菱電機技報, 92, No.2, 109~112 (2019)
- (7) JAXA：パリ協定実現に向けた温室効果ガスの長期観測継続へ「いぶき2号」による二酸化炭素分布の初解析～(2020)
<https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2020/tp200203.html>
<http://www.nies.go.jp/whatsnew/20201112/20201112.html>