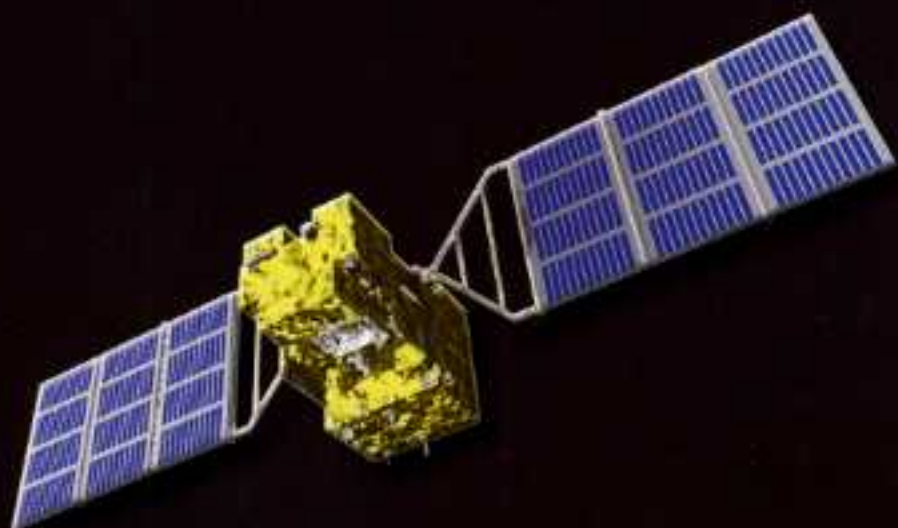


人工衛星による温室効果ガスの全球観測



GOSAT プロジェクト



Greenhouse Gas
GOSAT PROJECT
Observing Earth

Greenhouse gases Observing SATellite



図1. GOSATの概観図 (©JAXA)

GOSAT (温室効果ガス観測技術衛星、Greenhouse gases Observing SATellite) は、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世界初の衛星です (図1)。

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ます。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、将来の気候変化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されます。GOSAT プロジェクトは、環境省 (MOE)、国立環境研

究所 (NIES)、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が共同で推進しています (図2)。

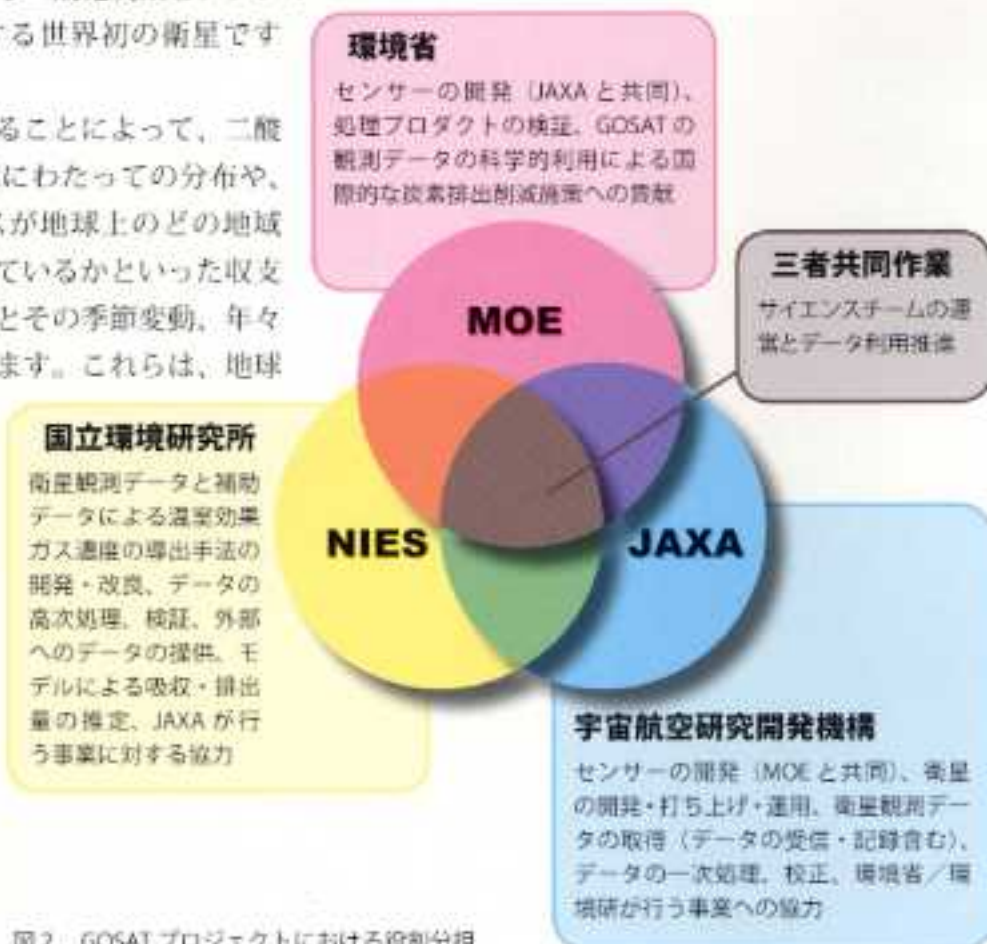


図2. GOSAT プロジェクトにおける役割分担

1

GOSATプロジェクトが目指すもの

人類の産業活動の拡大に伴う化石燃料の大量消費によって、二酸化炭素の排出量がこの100年間に急激に増え、大気中の濃度が急速に増加しています(図3)。二酸化炭素は温室効果を有しており、濃度が増えると気温が上昇します。気温の上昇をもたらす温室効果ガスとして京都議定書の規制対象となっているのは、二酸化炭素のほかに、メタン、亜酸化窒素、ハロカーボン類などがありますが、二酸化炭素とメタンがこれらのガスによる温室効果の8割を占めています(図4)。温室効果ガスの増加は、単に気温の上昇をもたらすだけでなく、現在雨量の少ない地域では早ばつが、雨量の多い地域では洪水が頻発し、多くの被害を引き起こすことも懸念されています。

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、1997年の京都議定書で先進国の削減目標が合意され、2002年2月に発効となりました。世界各国が温室効果ガス排出量の削減対策を進めるには、将来の気候変化とその影響の正確な予測に基づき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知り、各種施策の排出量削減効果を評価することが重要です。

GOSATの第一の目的は、温室効果ガスの垂大陸スケール(数千km四方)での吸収・排出量(図5)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す。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化影響などに関する新たな科学的知見の集積が図られ、気候変化予測及び影響の評価に役立てられます。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す。

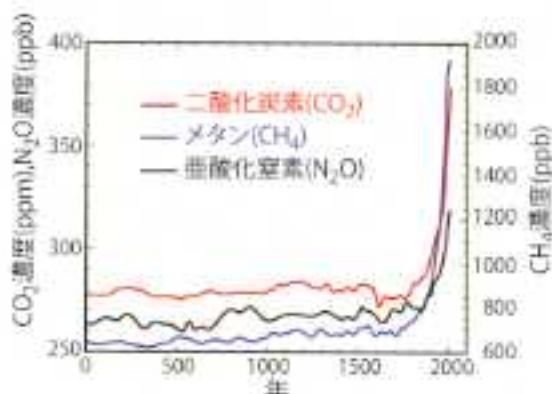


図3. 大気中の主要な温室効果ガス濃度の変化 (IPCC第4次報告書より作成)

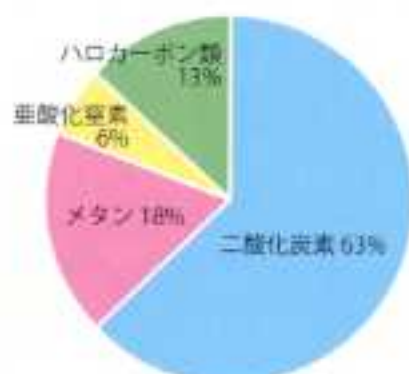


図4. 主要な温室効果ガスの気温上昇に対する寄与率(1750年から2005年までの放射強制力最良推定値の比、IPCC第4次報告書より作成)

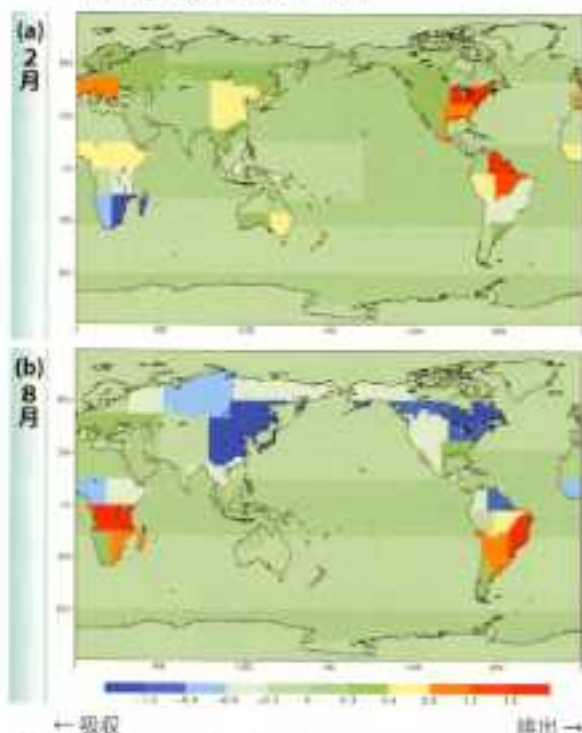


図5. GOSAT観測データに基づいて明らかになると期待される全球の二酸化炭素の吸収・排出量分布の算出例(シミュレーション、(a)2月、(b)8月、炭素換算 $[gC/m^2/day]$)

2

GOSATのセンサーと観測方法

GOSATは、地表面や大気から届く赤外線を観測し、二酸化炭素とメタンのカラム量を算出します。カラム量は、地表面の単位面積上の大気中に含まれる気体分子の総数または乾燥空気の分子総数に対する比として表現されます。

GOSATは地上約666kmの高度を飛行して約100分で地球を一周し、3日間で同じ軌道に戻ります(図6)。GOSATに搭載される観測装置は、Thermal And Near-infrared Sensor for carbon Observation (TANSO)と呼ばれています。TANSOは、「フーリエ変換分光器(Fourier Transform Spectrometer; FTS) "TANSO-FTS"」、 「雲・エアロゾルイメージャー(Cloud Aerosol Imager; CAI) "TANSO-CAI"」という2つのセンサーから構成されています。表1と2に、それぞれのセンサーの観測対象や波長帯を示します。

FTSは、光の干渉を利用したセンサーです。センサーに入ってくる光を2つの光路に分け、両者に光路差を作って再び合成することにより干渉を起こさせます。光路差を少しずつ変えながら観測した信号をフーリエ変換と呼ばれる数学的な変換を行うことによって、波長別の光の強度分布(スペクトル)を得ることができます。

FTSは、地表面により反射された太陽光と、地球大気や地表面から放射される光のスペクトルを観測します。前者は昼間にバンド1から3により、後者は、昼と夜両方にバンド4により観測します。太陽光の反射特性は陸面と水面では大きく異なります。海上や湖などの水面では、海水や湖水が光を吸収するため反射光の観測は困難ですが、特定の方向では鏡面反射により太陽光を反射してきらきら輝いていますので、このような場所を狙って観測を行います。

CAIは、大気と地表面の状態を昼間に画像

として観測します。観測データから、FTSの視野を含む広い範囲での雲の有無を判定し、エアロゾルや雲がある場合はその雲の特性やエアロゾルの量などを算出します。これらの情報は、FTSから得られるスペクトルに含まれる雲とエアロゾルの影響を補正することに利用されます。

FTSは全球にわたり偏りなく、3日間で数万点の観測を行います。実際には、解析可能な地点は雲の無い晴天域に限られるため、二酸化炭素とメタンのカラム量を算出できる地点数は全観測数の10%程度になりますが、現在の百数十点の地上測定に比べて測定点数は飛躍的に増加し、これまでの測定の空白域を埋めることができます。

表1. フーリエ変換分光器(FTS)のセンサー仕様

| | バンド1 | バンド2 | バンド3 | バンド4 |
|---------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 波長範囲[μm] | 0.758-0.775 | 1.56-1.72 | 1.92-2.08 | 5.56-14.3 |
| 分光分解能[cm^{-1}] | 0.6 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| 観測対象 | 酸素 | 二酸化炭素 メタン | 二酸化炭素 水蒸気 | 二酸化炭素 メタン |
| 同時視野及び衛星直下での観測視野 | 同時視野: 15.8 mrad, 観測視野: 直径約 10.5 km | | | |
| 1走査データの取得時間 | 1.1, 2.0, 4.0 秒 | | | |

* $1\mu\text{m} = 1/1000\text{mm}$

表2. 雲・エアロゾルイメージャー(CAI)のセンサー仕様

| | バンド1 | バンド2 | バンド3 | バンド4 |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 波長範囲(中心波長)[μm] | 0.370-0.390 (0.380) | 0.664-0.684 (0.674) | 0.860-0.880 (0.870) | 1.56-1.65 (1.60) |
| 観測対象 | 雲・エアロゾル | | | |
| 観測幅[km] | 1000 | 1000 | 1000 | 750 |
| 衛星直下での空間分解能[km] | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1.5 |

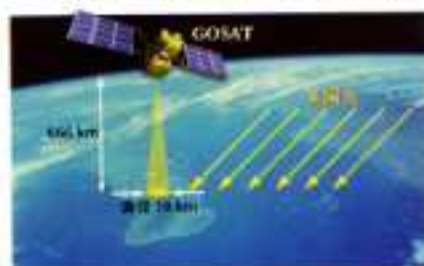


図6. GOSATによる観測概念図とGOSATの軌道(3日間、44周回分)

500km高度上

3

GOSAT データの解析方法

FTS と CAI を用いて測定されたデータは、図7に示す流れでデータ処理がなされプロダクトが作成されます。FTS による観測値からスペクトルが得られ、CAI からは雲やエアロゾルに関するデータが作成されます。これらのデータを統合し、雲やエアロゾルの少ない観測点において、二酸化炭素とメタンのカラム量を算出し、大気輸送モデルを利用した解析により、全球における二酸化炭素の吸収・排出量の分布と二酸化炭素の三次元分布を推定します。

大気中に存在する二酸化炭素とメタンは、ある特定の波長の光を吸収する性質がありますので、大気中を透過してきた光の吸収の度合いにより、光の通り道に存在した二酸化炭素とメタンの量を算出することができます。図8は FTS の観測で得られると予想されるスペクトルの例です。楕状のへこみが二酸化炭素やメタンなどの気体による吸収を表しており、その深さがそれらの気体のカラム量に関係しています。

取得された FTS のスペクトルデータのうち、その視野内に雲がないものを、より高い空間分解能を持つ CAI 画像などを用いて選び出します。次に、気体による吸収の特性に基づいて、スペクトルを逆推定と呼ばれる数値計算手法を用いて解析し、二酸化炭素とメタンのカラム量を算出します。二酸化炭素濃度の変化は、主に地表面付近で顕著に表れます。1.6 μm 付近や 2.0 μm 付近の二酸化炭素の吸収帯は、地表面付近の情報を多く含む波長帯として重要です。一方、14 μm 付近の吸収帯は、主に 2km より高い高度の情報を得るために利用されます。

こうして得られた二酸化炭素とメタンのカラム量のデータを週ごとや月ごとに平均し、全球における二酸化炭素とメタンのカラム量のマッピングを行います。そして、全球を亜大陸スケールの多数の領域に分割し、全球にマッピングされた二酸化炭素のカラム量などのデータを用い、大気輸送モデルに基づいて逆推定を行うことにより、各領域の二酸化炭素の収支すなわち吸収・排出量を推定します(図5)。現在は地上観測のデータのみを使っ

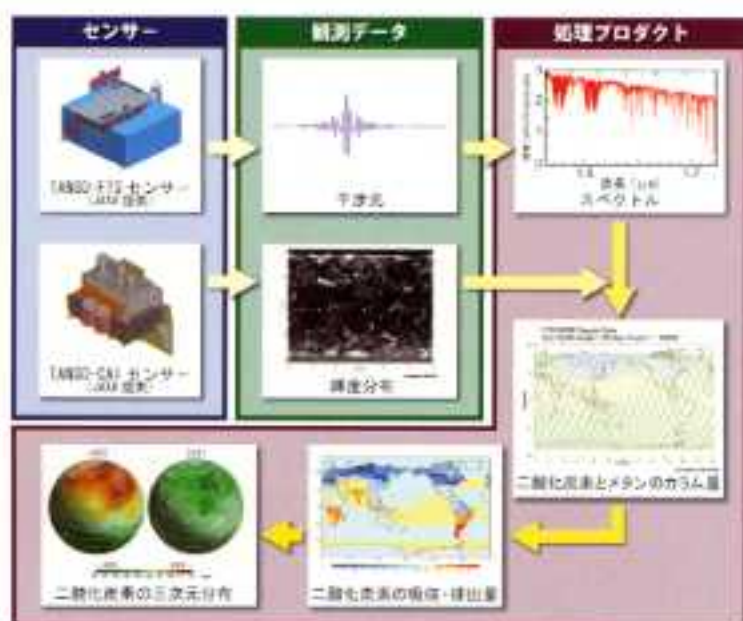


図7. GOSAT データ処理の概要

て吸収・排出量を推定しているため、地上観測点が少ないアフリカや南アメリカなどの地域での推定誤差が大きいという問題があります。GOSAT 観測により全球ではほぼ一律にデータを取得できるので、二酸化炭素の吸収・排出量の推定誤差が低減できると期待されます。さらに、こうして得られた二酸化

炭素の吸収・排出量分布と大気輸送モデルを用いて、全球における二酸化炭素の三次元分布を推定します。

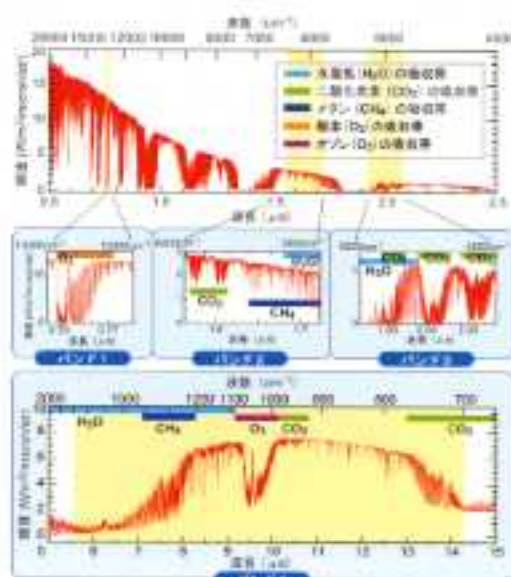


図8. GOSATの観測で得られるスペクトルの例と、そこに現れる二酸化炭素やメタンなどの吸収帯

4

データ解析手法の評価とプロダクトの検証

カラム量の算出精度を高めるための解析手法に関する研究を行い、模擬実験によってその解析手法の妥当性を評価しています。また、衛星の打ち上げ後に、解析手法と GOSAT から得られるプロダクトを検証する計画を進めています。その検証結果に基づいて、さらに解析手法の改良研究を行います。

これまでに、衛星観測を模擬した実験を複数回行いました。一例として、標高約 800m の筑波山の山頂付近に TANSO-FTS と同じ観測原理のフーリエ変換分光器を設置し、麓の農地で反射された太陽光を観測して、二酸化炭素の濃度を算出しました(図9)。観測と同時に、麓の農地付近から高度 3000 m まで二酸化炭素の濃度計を搭載した小型航空機を飛ばし、濃度測定結果とフーリエ変換分光器による算出結果とを比較しました。その結果、両者は概ね一致しており、二酸化炭素のカラム量の算出手法に誤りのないことが確認されました。今後も模擬実験を継続的に実施し、解析手法の評価や改良を行う予定です。

衛星打ち上げ後には、衛星で観測されたデータから、二酸化炭素とメタンのカラム量、二酸化炭素の吸収・排出量と三次元分布などのプロダクトが作られます(図7)。これらのプロダクトは、地上での観測や航空機での観測などによって独立に得られたより高い精度のデータを用いて検証や評価を行います(図10)。二酸化炭素とメタンのカラム量については地上高分解能フーリエ変換分光器による観測、地上や航空機に設置された測定器による直接観測などを用いて検証を行い、雲とエアロゾルについてはライダーやスカイラジオメー

ターなどの遠隔計測装置を用いて検証を行います。二酸化炭素の吸収・排出量と三次元分布に関しても、プロダクトの評価を行う予定です。



図9. 2005年に実施した筑波山における模擬実験の概要



図10. 衛星打ち上げ後のプロダクトの検証実験の模式図

5 データの提供と配布

国立環境研究所では、GOSAT データの定常的な処理のために、GOSAT データ処理運用施設 (GOSAT DHF: GOSAT Data Handling Facility) を整備しています (図 11)。GOSAT で観測されたデータは、JAXA で受信され、一次処理が施された後、つくば地区の高速ネットワーク (つくば WAN) を通じて GOSAT DHF に配信されます。GOSAT DHF では、配信された GOSAT データと各種機関から収集した参照データを使って、二酸化炭素とメタンのカラム量の算出および全球における二酸化炭素の吸収・排出量と三次元分布の推定を、外部の計算機センターとも連携しながら行います。

GOSAT DHF から提供される主要なプロダクト (標準プロダクト) を表 3 に示します。JAXA から提供されるレベル 1 データ (FTS の L1B, CAI の L1A) と、国立環境研究所で作成されるより高次のプロダクト (CAI の L1B, L1B+,

FTS の L2, L3 と L4A, L4B) すべてを対象として、広く一般の方々がネットワークを通じて GOSAT DHF にアクセスすることにより検索・利用できるようになります。これらプロダクトの一般の方々への提供は、GOSAT の打ち上げ後に検証作業を行った後になる予定です。また、GOSAT DHF では、ユーザの観測要求をとりまとめて JAXA に送る作業も行います。

表 3. GOSAT DHF から提供される予定の標準プロダクト一覧。プロダクトの生成方法は図 7 参照

| プロダクトレベル | センサー | プロダクトの内容 |
|----------|------|--|
| L1B | FTS | 干渉光データをフーリエ変換して得られる輝度スペクトルデータ |
| | CAI | バンド間補正、幾何補正のパラメータを含む輝度データ (地図マッピングは未適用) |
| L1B+ | CAI | バンド間補正、幾何補正、地図マッピングを行った輝度データ |
| L2 | FTS | 二酸化炭素カラム量データ等 メタンカラム量データ等 |
| L3 | FTS | 二酸化炭素カラム量を地図上にマッピングした図表データ (月平均と 3 ヶ月平均) メタンカラム量を地図上にマッピングした図表データ (月平均と 3 ヶ月平均) |
| L4A | - | 全球を 64 程度に分割した地域別の二酸化炭素の吸収・排出量データ (月平均) |
| L4B | - | 二酸化炭素の全球三次元分布のデータ (月平均) |



図 11. GOSAT データ処理の流れ

6 体制と今後の予定

GOSATは2008年度に打ち上げられる予定で、打ち上げ後3～6ヶ月以降から本格的なデータの取得が開始されます。

国立環境研究所では、GOSATプロジェクトを推進していくためにプロジェクト体制を構築し(図12)、GOSATデータから二酸化炭素とメタンのカラム量を算出する手法の開発、二酸化炭素の吸収・排出量を推定するモデルなどの開発、得られた結果の検証・評価を行うとともに、定常処理を行うGOSAT DHFの開発・運用、ユーザーへの情報提供を行っていきます。

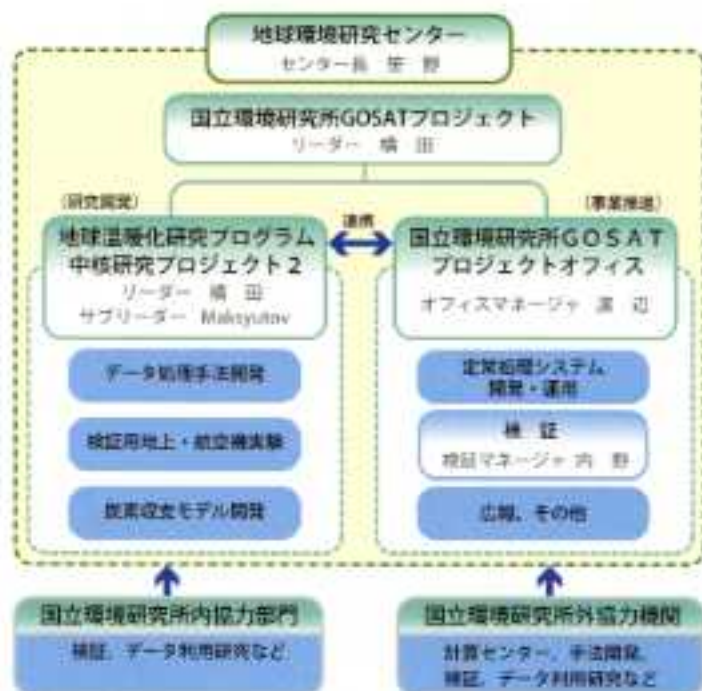


図12. 国立環境研究所 GOSAT プロジェクト体制図 (2008年10月現在)



GOSATプロジェクト



環境省
Ministry of the Environment



独立行政法人 国立環境研究所
National Institute for Environmental Studies



独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

問い合わせ

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2
独立行政法人国立環境研究所
地球環境研究センター
GOSAT プロジェクトオフィス
TEL: 029-850-2966 FAX: 029-850-2219
E-mail: gosat-prj1@nies.go.jp
URL: <http://www.gosat.nies.go.jp>

(発行) 独立行政法人 国立環境研究所
地球環境研究センター
Center for Global Environmental Research
National Institute for Environmental Studies

