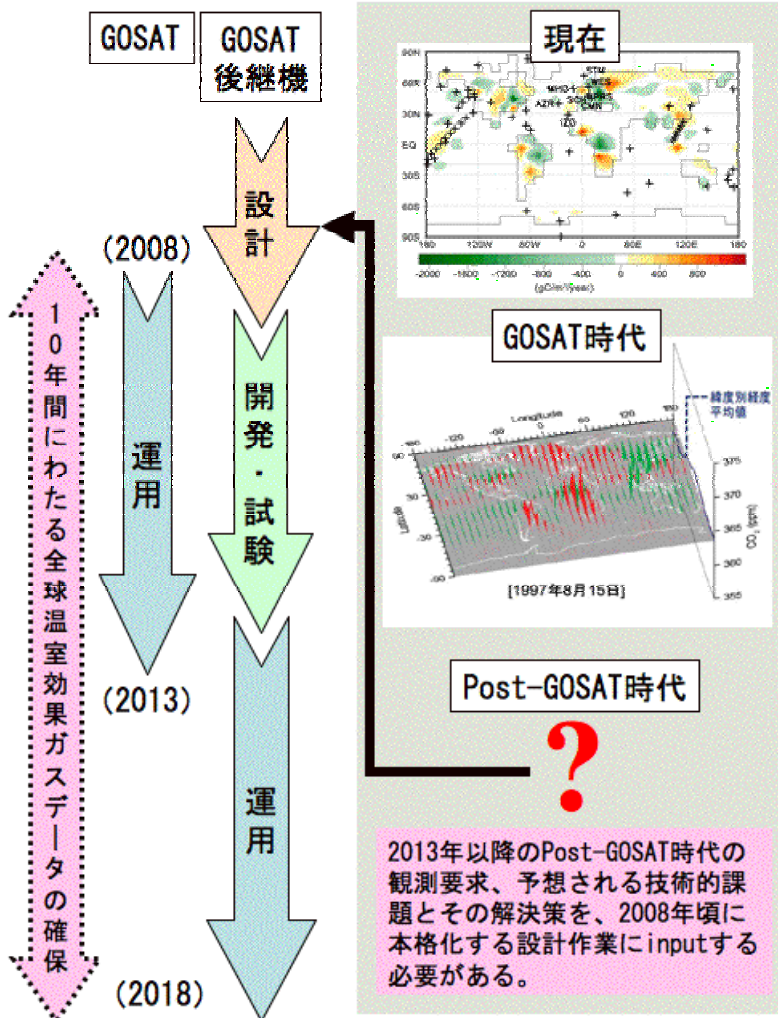


課題名	R F - 0 6 3 Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測に関する研究		
課題代表者名	松永恒雄（独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター 地球環境データベース推進室 室長）		
研究期間	平成18－19年度	合計予算額	19,304千円（うち19年度 9,307千円） ※上記の合計予算額には、間接経費4,454千円を含む
研究体制			
<p>(1) Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測に関する研究 (独立行政法人国立環境研究所)</p>			
研究概要			
<p>1. 序</p> <p>GOSAT（温室効果ガス観測技術衛星）は、主要な温室効果ガスである二酸化炭素（CO₂）とメタン（CH₄）の全球濃度分布の観測と、全球炭素収支推定精度の改善を目指して2008年度中に打ち上げられる予定の地球観測衛星である。GOSATは環境省、宇宙航空研究開発機構、国立環境研究所の共同プロジェクトとして推進されているが、一方米国航空宇宙局でも同様の衛星（Orbital Carbon Observatory, OCO）の打上げを同時期に予定している。</p> <p>これらの衛星の運用期間は2008年からの京都議定書の第1約束期間にほぼ対応しているが、2013年以降の同様の衛星開発が正式に承認された国はまだない。一方第2回地球観測サミット（東京、2004年4月）をうけ、総合科学技術会議「地球観測の推進戦略について」（2004年12月）では、「今後10年間に目処に取り組むべき課題・事項」として「全球的な温室効果ガス観測」を取り上げた。このように我が国はGOSAT運用終了後（以下、Post-GOSAT時代）においても、衛星による全球温室効果ガス観測について世界をリードすべき立場にある。</p> <p>しかしながら、実際の衛星開発に要する期間（日本の場合は通常5年程度）を考えると、GOSATが予定通り打上げられた場合には、運用終了予定時期（2013年）／GOSAT後継機打上げまで時間的な余裕が十分にある訳ではない。</p> <p>そこでこのようなGOSAT及びその後継機を巡る状況を鑑み、本研究ではPost-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測に求められる事、問題点等を実際プロジェクト化に先立って実施することとした。なお既往研究の数等の関係で、詳細検討の対象とする温室効果ガスはCO₂に限定した。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本課題では、Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測のシナリオを科学的及び政策的要求に基づいて作成すると同時に、その実現に必要な技術的課題と解決への展望を示し、Post-GOSAT時代の衛星観測計画策定に資することを目的とする。具体的には以下の4項目に取り組んだ（ただし取り組む順番は適宜調整した。）。</p> <p>(1) Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測に対する要求を明らかにする。 (2) 要求を実現するための具体的な観測シナリオを、データ平均期間、雑音レベル等を変えてを複数作成する。 (3) 個々の観測シナリオを実現するための課題を抽出する。 (4) 抽出された技術的課題について、その解決の可能性と道筋を検討する。</p>			

RF-063 Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測に関する研究



3. 研究の方法及び結果

(1) Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測に関する研究

1) Post-GOSAT時代における衛星からの全球温室効果ガス観測に関する要求・要望について

国立環境研究所GOSATプロジェクトからは、現状のGOSATの成功基準またはそれをやや厳しくした基準を確実に達成できる観測が強く求められた。特に現在の基準は時間、空間的な平均範囲を広くしてあるため、相対精度要求自体は満たせても、その他の要因（バイアス成分や実際の二酸化炭素濃度分布の変動等）によりCO₂フラックスの推定精度が十分に改善されない恐れがある。このため、より狭いメッシュ、より短い期間でのCO₂気柱量推定精度目標の実現が求められた。

またインバースモデル関係者や排出インベントリ作成関係者から、国別収支の推定または国別収支に関する既存の統計データの検証に資するデータの取得の要望が出た。さらに空間分解能やその他の観測条件が許せば大都市圏や森林火災（CO観測の要望あり）、パイプライン漏洩（CH₄観測の要望あり）といった比較的大きなポイントソースからの排出量推定につながる観測への希望もあった。

2) インバースモデルを用いた全球CO₂フラックス推定からの要望

GOSATに焦点をあてた最新のMaksyutovらの成果を中心に、インバースモデル計算によるCO₂フラックス推定精度と衛星データの関係に関する既往研究・知見をまとめ、その上でPost-GOSAT時代の衛星観測に対する要求を提案する。なおCO₂以外の気体については十分な数の既往研究がないため、検討は行わなかった。

国立環境研究所のMaksyutovらは、全球を22の領域に分けたインバースモデル計算におけるGOSAT FTS SWIR陸域データの効果（領域毎の炭素収支推定誤差の低減度）を、雲分布等の詳細な実データを利用して検討している。この場合年平均において、1回（シングルショット）の相対的な測定誤差が5ppm、バイアス誤差が0.5ppmより良いケースでは、地上データとGOSATデータを併用した場合のCO₂フラックス推定誤差は、地上データのみの場合の50%以下（22領域の平均）になる事が示された。また誤差0.8ppm程度のGOSATデータのみ用いた場合の誤差は、地上データのみの場合より10%程度しか増加しておらず、衛星データを地上データと独立に利用出来る可能性がある事も示唆された。なおこのような誤差低減が、地上観測点の少ない領域で顕著である事も確認された。さらに全球を分割する領域数を22から66に増やすと、GOSATデータによるCO₂フラックス推定精度がさらに改善される傾向がある。またこの場合、GOSATデータの精度が1.5ppm程度であれば、インバースモデルを用いた全球炭素収支におけるGOSATデータの有用性は地上観測ネットワークと同等といえる事も示唆された。

Post-GOSAT時代の衛星観測では、インバースモデル計算において衛星データと地上データを独立に扱い、相互比較・十分な検証が出来るようになることが望ましい。これにより、衛星データの有用性及び衛星からの温室効果ガス観測の意義が確固たるものになると考えられる。この観点からは、全球を22分割する場合には0.8ppm程度、66分割の場合には1.5ppm程度の7.5°メッシュ月平均CO₂カラム濃度推定精度を実現する事が、Post-GOSAT時代の衛星観測に対する要求となる。

3) 国内地方自治体による二酸化炭素濃度観測と

都市域周辺における二酸化炭素濃度分布の特徴について

1) で述べたように、GOSATのようにインバースモデルを使った全球CO₂フラックスの算出をより高精度化する方向とは別に、より狭い地域レベルでのCO₂排出量観測の要望もある。このような「小さな」対象の排出量を求める方法としては、インバースモデルを用いた逆推定法以外に、対象地域を挟む風上域、風下域でのCO₂濃度観測を使う方法がある。

このような背景の元、国内の地方自治体で実施されているCO₂濃度モニタリングの事例を調べ、都市域の排出量推定に寄与する可能性のある都心部と郊外部の測定を実施しているケースについてまとめた。

その結果神奈川県、名古屋市、徳島県、埼玉県の例より、国内の都市域の都心部と郊外部では10～40km程度の距離で10～40ppm程度の地表CO₂濃度差が発生している事が分かった。また都心部と郊外部の濃度差が時間帯によって異なる場合とほぼ一定になっている場合の両方がある。前者の場合、日中は濃度差が大きく、夜間は濃度差が小さくなる事が多いようである。

なおCO₂以外の気体については地方自治体による測定例が少ないため、検討は行わなかった。

4) 差分吸収ライダに関する検討

大気中のCO₂濃度の計測については、レーザー光源を用いた能動型センサ（レーザーレーダまたはライダー）方式も考えられる。この場合には、CO₂の吸収線の中心またはその近傍の波長（オン波長）と、吸収線の影響を受けない波長（オフ波長）の2種類の波長を用いて、2波長間の強度比より、光路中の吸収物質の量を推定する差分吸収ライダー（Differential Absorption Lidar, DIAL）方式の利用が考えられている。ライダーではフットプリント面積を小さくする事が出来、雲の影響のないデータの取得率が高くなる他、SNが大陽高度や緯度帯にあまり依存しない等の利点がある。またレンジング機能も持つ場合には、CO₂濃度の鉛直分布情報も得る事が出来る。一方、ライダー自身、宇宙での実績が不足しており、長期間の連続運用が保証出来る段階では未だ無い。また二酸化炭素用DIALについても、まだ室内・野外地上実験が中心であり、航空機に搭載したものでCO₂の定量的な測定が実施できたケースは希である。

そこでここでは、国内外におけるCO₂計測用DIALの開発状況を、学会講演聴講・出版物調査・個別インタビュー等によって調査し、さらに比較的実用に近いと考えられるDIALの一方式に絞ってより詳細な机上検討を実施した。その結果以下のような仕様のDIALシステムが比較的实现性が高い事が分かった。なお本検討ではCO₂を対象としたが、1.6 μm帯の適切な吸収線を選択すれば、本システムはCH₄の測定にも転用可能である。

項目		値
計測条件	計測高度 [km]	666
	精度 [ppmv]	1
	積分時間[sec]	4
装置条件	レーザー光波長 [μm]	1.5729920 (ON波長) 1.5731933 (OFF波長)
	変復調周波数差 or 変調周波数 [Hz]	10
	送信パワー（2波長 合計）[W]	143（コード変調有） 25（コード変調無）
	ON・OFFパワー比 [dB]	-1 (所要S/N比：58.5dB)
	受信波長幅 [nm]	0.1
	GB積 [ΩHz]	1×10 ¹²
	なだれ増倍率	1
	暗電流 [A]	1×10 ⁻¹⁴
	受信開口径 [m]	1
	受信視野角[mrad]	0.2
	システム効率 [dB]	-8（コード変調有） -2.5dB（コード変調無）

5) Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測シナリオについて

本節では1) で述べた「Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測」への要望のうち、GOSATの成功基準をやや厳しくしたものを確実に実現するという要望と、都市域等の比較的狭い地域レベルでのCO₂排出量の推定を行うという要望に対して、どのような衛星観測が可能か、または必要かを検討した。その結果、バイアス誤差を1ppm以下に出来れば、全球CO₂フラックス推定においてGOSATデータを地上データとは独立に使用出来るという事、都市域等の地域レベルの観測についてはGOSATは十分な性能を待たず、またDIALの場合でも都心部／郊外部のCO₂濃度差の日変化に注意する必要がある事、が示された。

4. 考察

Post-GOSAT時代の衛星からの温室効果ガス観測に対する要望は、GOSATと同じ方向で性能をより高めてほしいという要望と、GOSATとは異なる方向で、GOSATでは出来なかった事を実現してほしいという要望の2つに大別された。この2つの要望を同時に満たす事は必ずしも不可能ではないが、ミッションの性格を曖昧にし、費用対効果も十分に示せない恐れもある。最終的にはGOSAT及びOCOの観測成果を確認した上で、慎重な判断をする必要がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

GOSAT及びOCOの打上げが間近に迫っている現在、バイアス誤差を1ppm以下に出来れば、全球二酸化炭素フラックス推定においてGOSATデータを地上データとは独立に使用出来るということは、GOSATの検証計画を実施する上で重要な知見である。また都市域等の地域レベル／ポイントソースの観測については、国内の都市の場合にはGOSATでは十分な精度を持たない可能性がある事が分かった一方、DIALを使う場合には都心部／郊外部のCO₂濃度差の日変化に注意する必要がある事が分かった事も、今後の計画をたてる上で重要である。

(2) 地球環境政策への貢献

宇宙航空研究開発機構（JAXA）においてGOSAT後継機検討チームが進めているGOSAT後継機に関する検討に関して、本研究による検討の一部、特に都市域等のポイントソース測定に関する考え方を2008年2月に提示し、意見交換を行った。その後JAXA GOSAT後継機検討チーム*が作成した報告書（「平成19年度GOSAT後継機の研究 成果報告書」）に、都市域等のポイントソース測定に関する記載が含まれた。また2008年4月に開催されたJAXA「GOSAT後継機 ミッション定義審査」においては、国立環境研究所からの審査員が本研究の検討内容に基づいて意見をし、議論に参加した。

以上の通り、本研究において検討された「Post-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測」は実際のミッション検討に適宜反映されつつある**と言う事が出来る。

*：本研究組織と「JAXA GOSAT後継機検討チーム」は完全に別個の組織であり、両方に所属する者はいない。またそれぞれの研究も別個に実施された。なお本研究組織と「JAXA GOSAT後継機検討チーム」の間の情報交換は2008年2月に初めて行われた。本研究組織は衛星観測データを含む様々な地球観測データを利用して地球の炭素収支に関する研究を進める視点から研究を行った。一方、「JAXA GOSAT後継機検討チーム」は我が国の宇宙機関としての立場から検討を行ったと考えられる。

**：JAXA「GOSAT後継機 ミッション定義審査」は、平成20年度の後期に再度開催される予定である。

6. 研究者略歴

課題代表者：松永恒雄

1966年生まれ、東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、博士（工学）、
通商産業省工業技術院地質調査所環境地質部研究員、
東京工業大学大学院総合理工学研究科講師、
現在、独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター
地球環境データベース推進室長

主要参画研究者

(1) : 松永恒雄 (同上)

(2) 1) : 小熊宏之

1965年生まれ、千葉大学園芸学部卒業、博士（工学）
宇宙開発事業団開発部員、
現在、独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター
陸域モニタリング推進室主任研究員

2) : 森野 勇

1968年生まれ、総合研究大学院大学博士課程修了、博士（理学）
現在、独立行政法人国立環境研究所大気圏環境研究領域遠隔計測研究室主任研究員

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

無し

(2) 査読付論文に準ずる成果発表（社会科学系の課題のみ記載可）

該当せず