

GOSAT-2による太陽光誘起 クロロフィル蛍光を利用した 生態系光合成量推定の高精度化

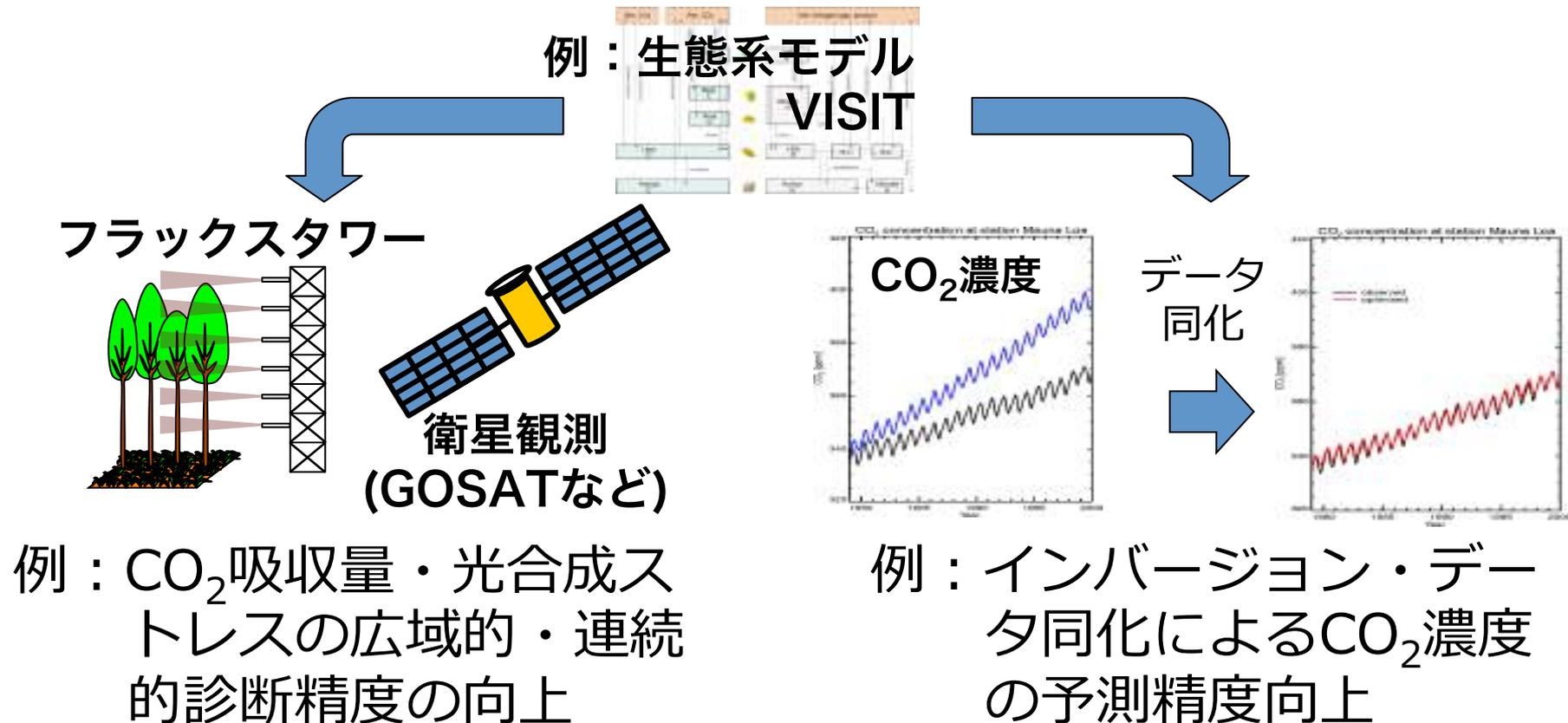
代表・サブテーマ1： 加藤 知道 (北大)
小杉 緑子 (京大)
中路 達郎 (北大)
松本 一穂 (琉球大)

サブテーマ2： 彦坂 幸毅 (東北大)

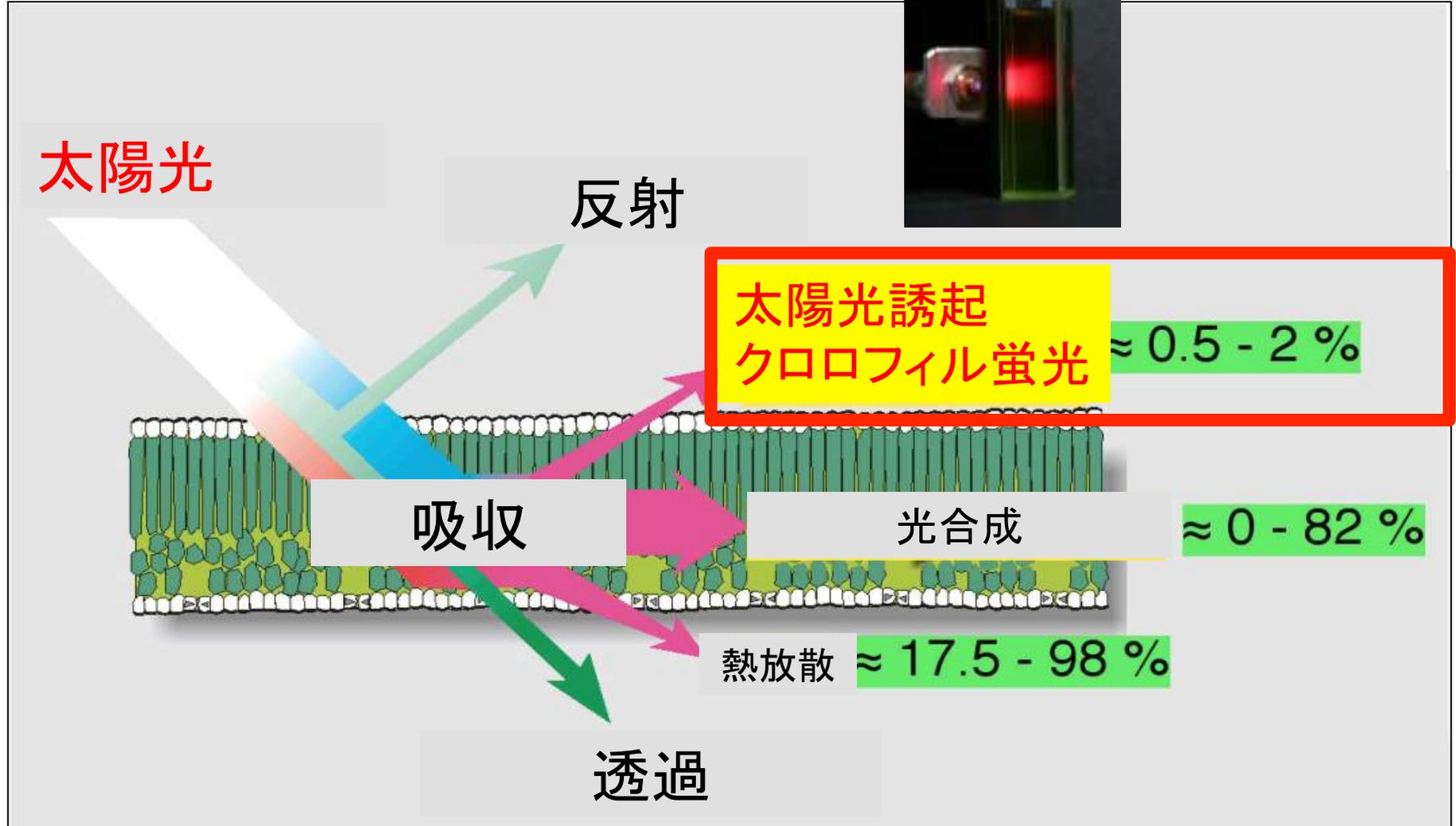
サブテーマ3： 小林 秀樹 (JAMSTEC)

陸域炭素収支の不確実性を減らすために

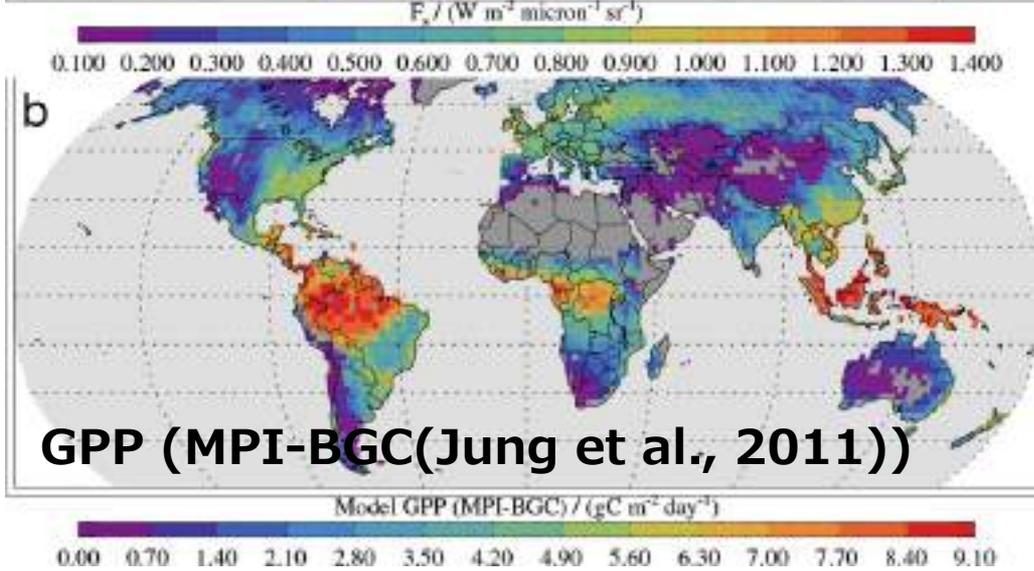
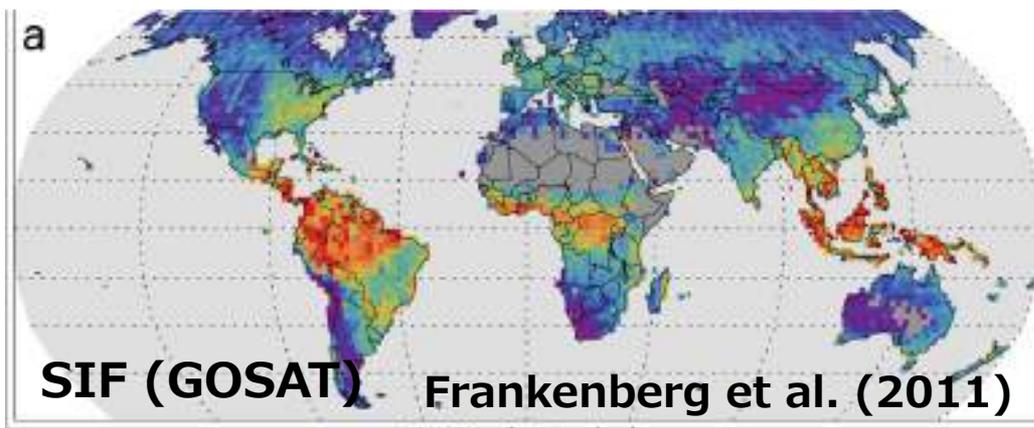
リモセンー地上観測-モデルの融合による
生態系炭素吸収量推定の高精度化が重要!!



太陽光誘起クロロフィル蛍光 (SIF)

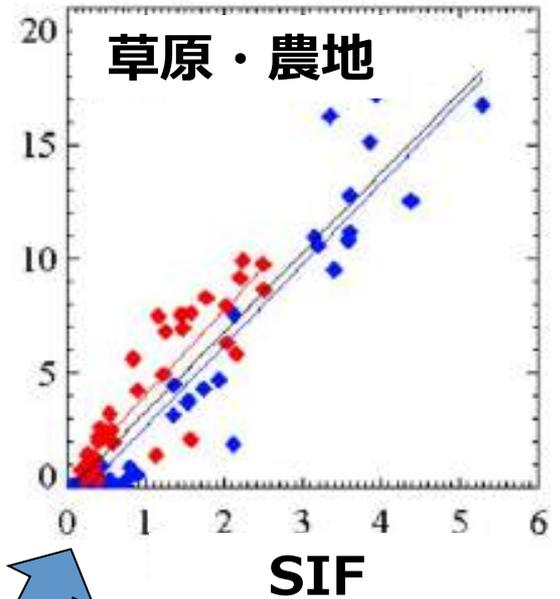


衛星GOSATに観測されたSIFと光合成量



$$y = -0.88 + 3.55x; r^2 = 0.92$$
$$y = 0.35 + 3.71x; r^2 = 0.79$$
$$y = -0.17 + 3.48x; r^2 = 0.87$$

生態系光合成量GPP



- SIFは生態系光合成量GPPを代表する
- 関係解明にはリモセン-地上観測-モデル連携が必要

世界SIF研究における本研究の位置

	日本	外国
衛星観測	GOSAT(MOE/JAXA:2009-) GOSAT-2(MOE/JAXA: 2018-)	OCO-2(NASA: 2015-) OCO-3(NASA: 2018-) GOME2(NASA: 1995-) TROPOMI(NASA: 2018-) FLEX (ESA: 2022-)
地上観測	中精度分光観測(PEN: 森林、水田等、2003-) 高精度分光観測(森林、湿地、水田等、2017-)	FLEXチーム/NASA JPLによる地上・航空機観測 地上分光観測 (トウモロコシ畑、広葉樹林、アマゾン)
モデル	FLiES-SIF (推進費 2RF-1601: 加藤+小林)	FluoMODleaf (欧州) SCOPE(オランダ)

問題点: GOSAT-2はSIFを標準プロダクトとして提供しているが、検証体制不十分で利用可能性低下

衛星SIF観測の課題

- 時間代表性 :

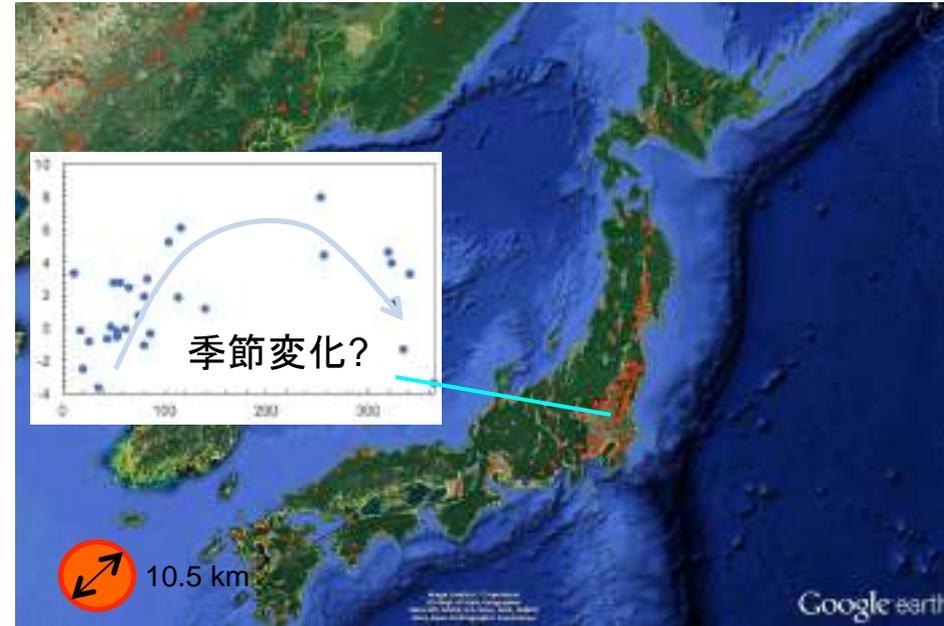
回帰日数6日(GOSAT2)

晴天時13:00のみ有効

- 空間代表性 :

10km円スポット観測

2°x2° (プロダクト解像度)



GOSAT SIF有効データ取得ポイント
(Jul. 2009 – Jun. 2014)

野田様(NIES)提供

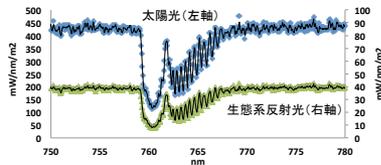
- 考えられる疑問 :

晴天時のデータでコンポジットでSIF過大評価？

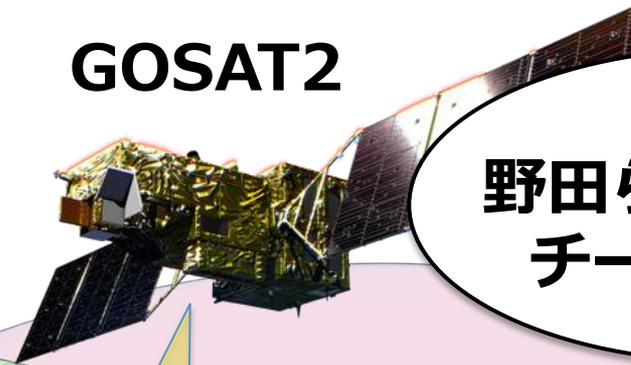
観測時刻・角度のSIF観測感度・意味への影響は？

目的： GOSAT2のSIFによる生態系光合成量推定の高精度化

- ① 地上観測による検証
加藤、小杉、中路、
松本、ポスドク

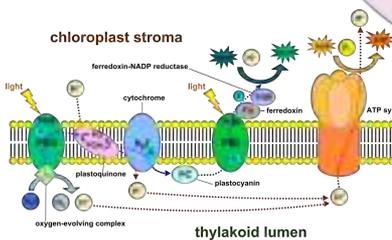


GOSAT2

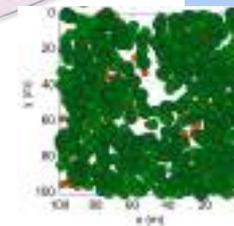
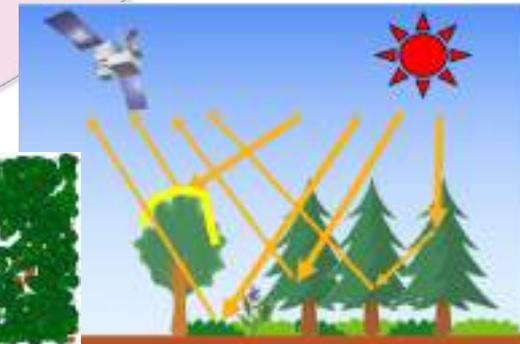


連携研究者
野田ら(GOSAT-2
チーム/NIES)

- ② 個葉モデル改良
彦坂、ポスドク

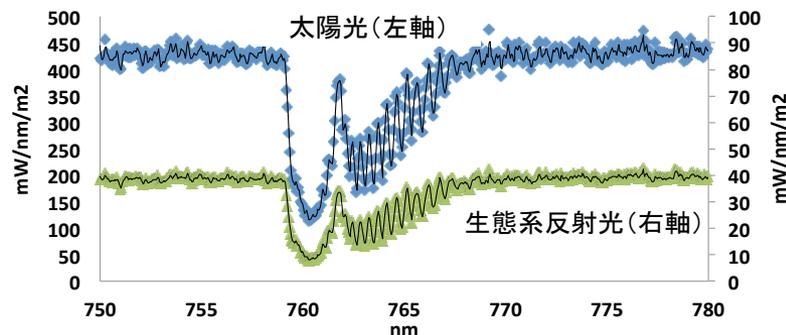


- ③ SIF放射伝達
モデル改良
小林、ポスドク



サブテーマ① 地上観測データベースによる GOSAT-2のSIF検証

高分解能システム



波長領域: 630-800 nm

波長間隔: 0.2-0.5 nm

全幅半値: 0.1-0.3 nm

長所: 高いSIF推定精度

短所: 連続観測体制が不安定

観測プロトコル模索中

中分解能システム



波長領域: 300-1150nm

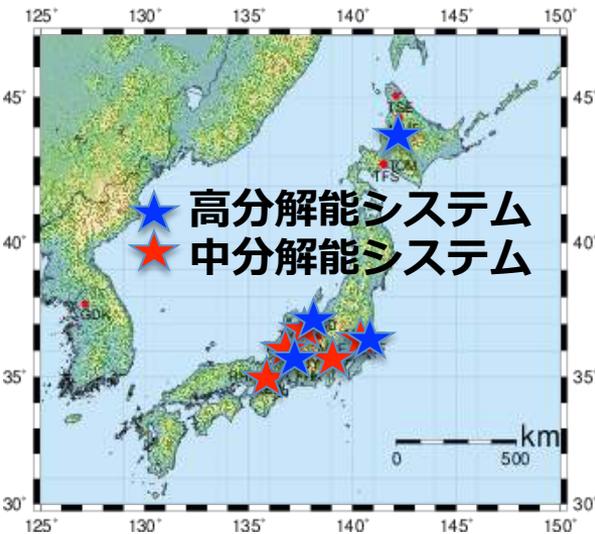
波長間隔: 3.3nm

全幅半値: 10 nm

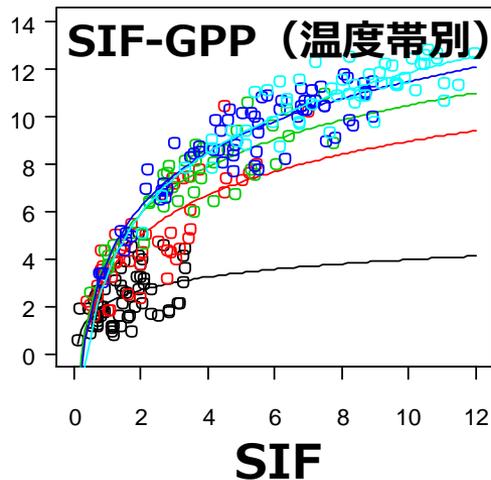
長所: 連続測定確立(筑大奈佐原・秋津)

短所: SIF推定は高分解能との比較校正必要

SIFデータベース構築



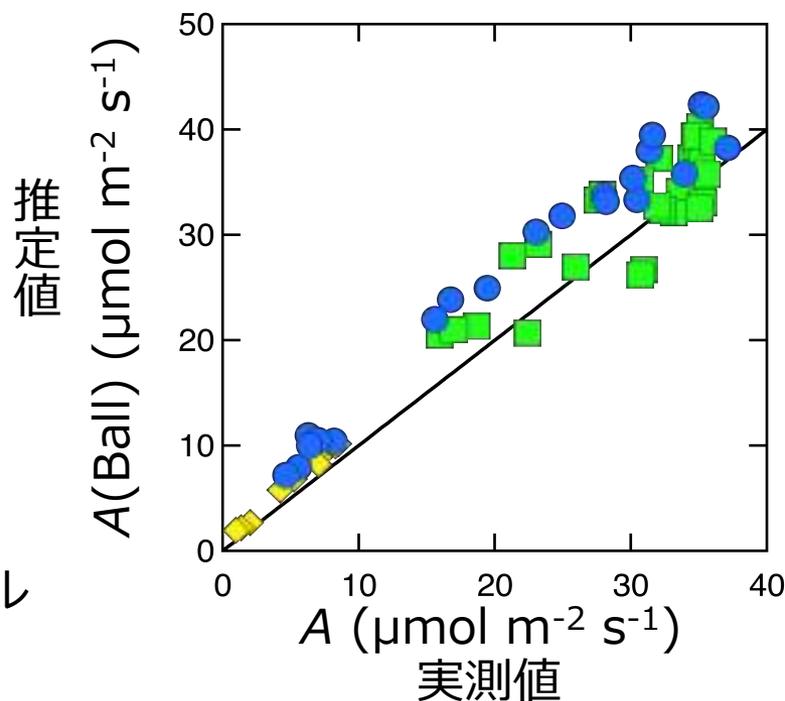
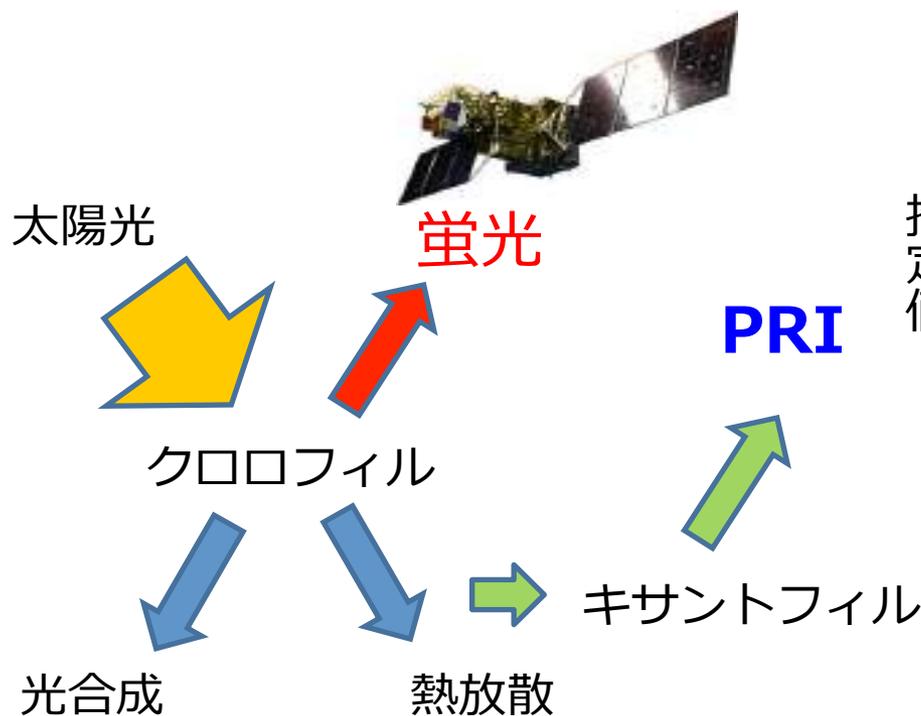
気候帯	植生タイプ	場所	高分解能	中分解能
寒帯	疎林	アラスカ	2017-	なし
温帯	落葉広葉林	高山	2018-	2003-
	常緑針葉林	桐生	2017-	2004-
	落葉針葉林	富士北麓	なし	2006-
	水田	つくば	2018-	2005-
	湿地	美唄	2019-	なし
熱帯	常緑広葉林	沖縄	2020予定	なし
	常緑広葉林	マレーシア	検討中	2008-



- 広く気候帯・植生タイプをカバー
- 中分解能は長期間の過去データ提供可能性
- 高分解能観測プロトコルの取りまとめ
- 衛星SIF/モデルの精度評価に必須

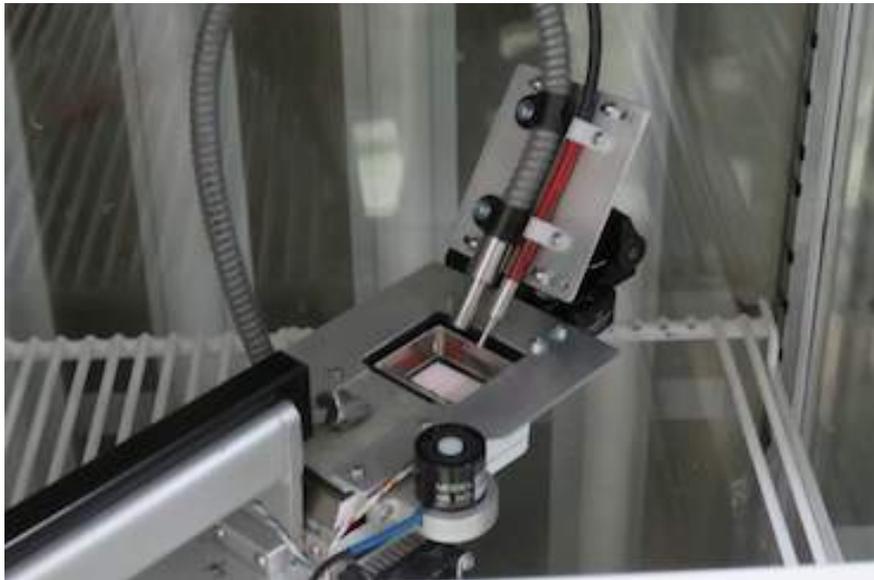
サブテーマ② 光合成・蛍光・反射分光同時測定系を用いた個葉光合成推定モデルの改良

- クロロフィル吸収光は、光合成・蛍光・熱放散で消費される
- 先行モデル (SCOPE) は光合成と熱放散の間の関係を経験的に仮定することにより、蛍光から光合成速度を推定
- 新モデル (Hikosaka & Noda 2019 Plant Cell Env.) は、熱放散を光化学反射指数PRIで再現し、光合成の推定精度を向上



新モデルのパラメータ取得のための実験

- ① 人工気象室実験：様々な**環境条件**で育成した植物でモデル検証
- ② 圃場実験： 様々な**種類**（落葉/常緑種・木本/草本種・C3/C4など）についてモデルの検証
- ③ サイト観測：地上SIF観測サイトで同時測定をし、モデル適用
- ④ 以上の観測結果をもとに種間差と環境条件の影響を考慮したモデルを構築し、人工衛星情報から光合成速度を推定する



同時測定システム
(光合成測定装置
Li6400+蛍光計PAM
+分光放射計)

サブテーマ③ 放射モデル解析に基づく 地上・衛星SIF観測の標準化

- ・ 3次元放射伝達+SIF光合成モデル**FLIES-SIF**（推進費若手枠2RF-1601課題（H28-30）で開発中）を利用
- ・ 現在、モデル開発 & 落葉広葉林（高山市）での精度検証中
- ・ テーマ① & ②の検証サイトでシミュレーションを実行し、GOSAT2などの衛星と地上観測間のSIFデータ標準化を実施

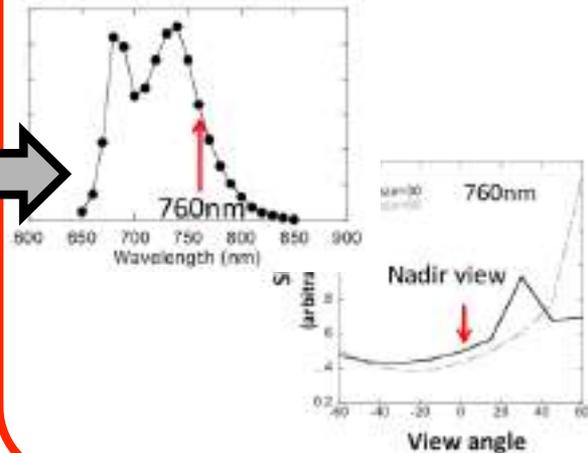
観測角や計測手法の違いにより観測条件が一致しない

GOSAT2など

現場観測

衛星および現場観測条件で放射計算を実施

現場SIFデータを衛星観測条件で標準化
→GOSAT2検証への貢献

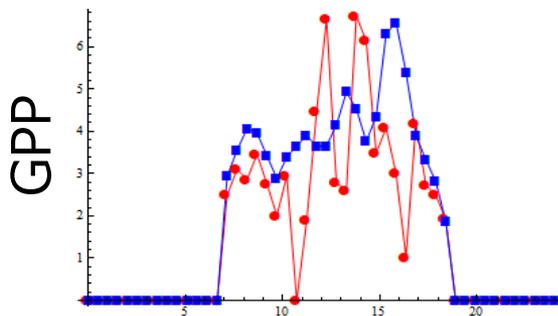
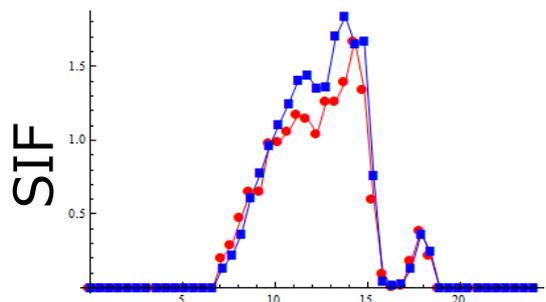
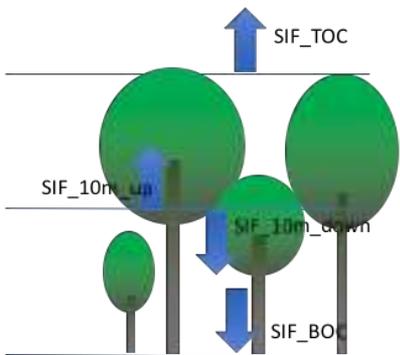


SIF観測データの生態系プロセスモデルへの組み込みによる精度向上

現場レベル

- テーマ① & ②のサイトでSIFと生態系総光合成量推定 (GPP) の再現性検証
- 各サイトでモデルのアップデート、メカニズム解明

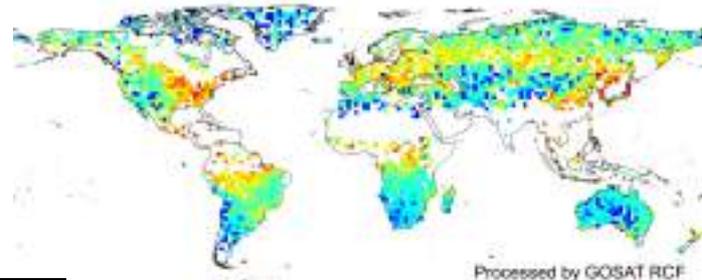
GPPとSIF及び生態系プロセスの関係シミュレーション



広域レベル

衛星SIFの生態系プロセスモデルへの組み込みとGPP推定
(GOSAT2プロジェクトと連携)

衛星SIFデータ



生態系モデルへの組み込みとGPP推定



研究スケジュール

① 地上観測検証

- 既存観測サイトのSIFのDB構築
- 観測/解析プロトコルの取りまとめ
- 亜熱帯/熱帯サイトの新規設置検討

② 個葉モデル改良

- 室内/圃場実験による環境条件/種依存パラメータ取得
- ①のサイトにおける再現性の検証と改良

③ 放射伝達モデル改良

- 衛星/①地上SIFデータの収集と加工
- 放射伝達計算用のパラメータ作成
- FLiES-SIFの②などによる改良

共同：リモセン—観測—モデル連携による統合解析

- GOSAT2によるSIF観測の系統誤差、幾何条件、空間代表性の評価
- FLiESによる東・東南アジアのGOSAT2-SIFおよびGPPの高精度推定

今回：GOSAT2-SIFの地上観測・モデルによる検証・精度向上

将来：衛星によるCO₂吸収量・光合成活性のリアルタイム推定

地球システムモデルの生態系炭素循環の推定精度改善

新規衛星計画(GOSAT3など)への情報提供による貢献

一次審査評価コメントに対する回答

- ① 重要・有意義な研究であり推進すべき：ありがとうございます
- ② サブ1における2年目以降の人件費増の説明がない
 - ・ 1年目:サイト設置+研究員1名 -> 2年目:研究員2名雇用
- ③ 熱帯パソールなどで新たに測定を予定しているが、
まずは国内サイトの充実が重要では？
 - ・ 稼働中サイトは温帯-寒帯のみをカバー
 - ・ 熱帯林（沖縄）は、中分解能MS700がないため新規設置
 - ・ 熱帯林（パソール）は既設MS700による観測が基本
- ④ サブ2は測定対象を絞り込む必要がある
 - ・ 測定に時間がかかる場合は、対象種数を考慮