



2013年度SSIセミナー サイエンスカフェ

宇宙から地球を観る最前線

システムセンシング情報学講座
(宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター)
塩見 慶

2013年5月11日(金)13:00-14:30@北大情報科学棟A11



自己紹介



塩見 慶(しおみ けい)

出身: 奈良県奈良市

学歴:

- 1988年 奈良市立富雄中学校卒業
- 1991年 洛南高等学校卒業
- 1996年 東京大学理学部地球惑星物理学科卒業
- 1998年 東京大学大学院理学系研究科地球惑星物理学専攻修士課程修了
- 2001年 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了
「のぞみ」による月の極端紫外光観測 博士(理学)

入社時



現在



惑星探査を志す

地球観測を生業に

職歴:

- 2001年 (財)リモート・センシング技術センター入社 研究員
- 2004年 宇宙航空研究開発機構出向 地球観測利用推進センター 研究員
- 2007年 宇宙航空研究開発機構入社 地球観測研究センター 開発員
- 現在 主任開発員(GOSATデータの校正検証および利用研究に従事)

教育活動:

- 2012年10月 北海道大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻
システムセンシング情報学講座 客員准教授



研究室紹介

システムセンシング情報学講座



研究室メンバー



■ 教職員

- 田殿 武雄 / 客員教授
- 堀 雅裕 / 客員准教授
- 塩見 慶 / 客員准教授



■ 博士課程

- 橋本 秀太郎 (D3) : 「知識情報処理による高分解能衛星データ判読の自動化に関する研究」

■ 修士課程

- 加藤 勇氣(M1) :

■ 修了学生

- 本田 謙一 (H22年3月修士課程修了. 就職先: 国際航業)
「衛星リモートセンシングに基づく林野火災の延焼危険度 評価に関する研究」
- 岡部 慎平 (H24年3月終了予定. 就職先: 北海道電力)
「都市部における数値地表モデル(DSM)自動生成のための衛星 ステレオペア画像マッチング」
- 蓑田 一輝 (H24年3月終了予定. 就職先: KDDI)
「衛星時系列データを用いたパターン認識に基づく耕作物被覆推定」



■ 高次画像処理

- 幾何補正手法の開発
- 放射量補正手法の開発
- DEM/オルソ補正画像作成手法の開発
- 画質評価手法の開発
- 多次元(時空間)解析手法の開発
- 多センサデータを用いた解析手法の開発
- ...

エンジニアリング

情報処理

信号処理

■ 地球環境解析

- 地球環境変動の解析: 気候, 気象
- 物理量推定アルゴリズムの開発
 - ✓ 土壌水分, 積雪, 海氷, 氷河, 凍土, 農業, 森林, 砂漠化...
- 経時変化解析
- 空間分布解析

サイエンス

地球科学



■ 直接指導

- 教員来校:1-2ヶ月に1度(年間5-6回来札(集中講義を除く))
- インターンシップ:茨城県つくば市 筑波宇宙センターに1ヶ月程度(旅費支援あり)

※連携講座所属学生の日常生活指導や居場所、基本的な研究活動の支援・相談などは、基幹講座の先生方にお問い合わせの方針

■ 遠隔指導

- 電子メールの利用(随時)
- Web会議による定期連絡会(1回(2時間)/2週間)

■ 講義:システムセンシング情報学特論(11月頃に集中講義)



JAXAにおける地球観測プロジェクト



宇宙航空研究開発機構とは



宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

2003年10月発足



航空宇宙技術研究所
National Aerospace
Laboratory



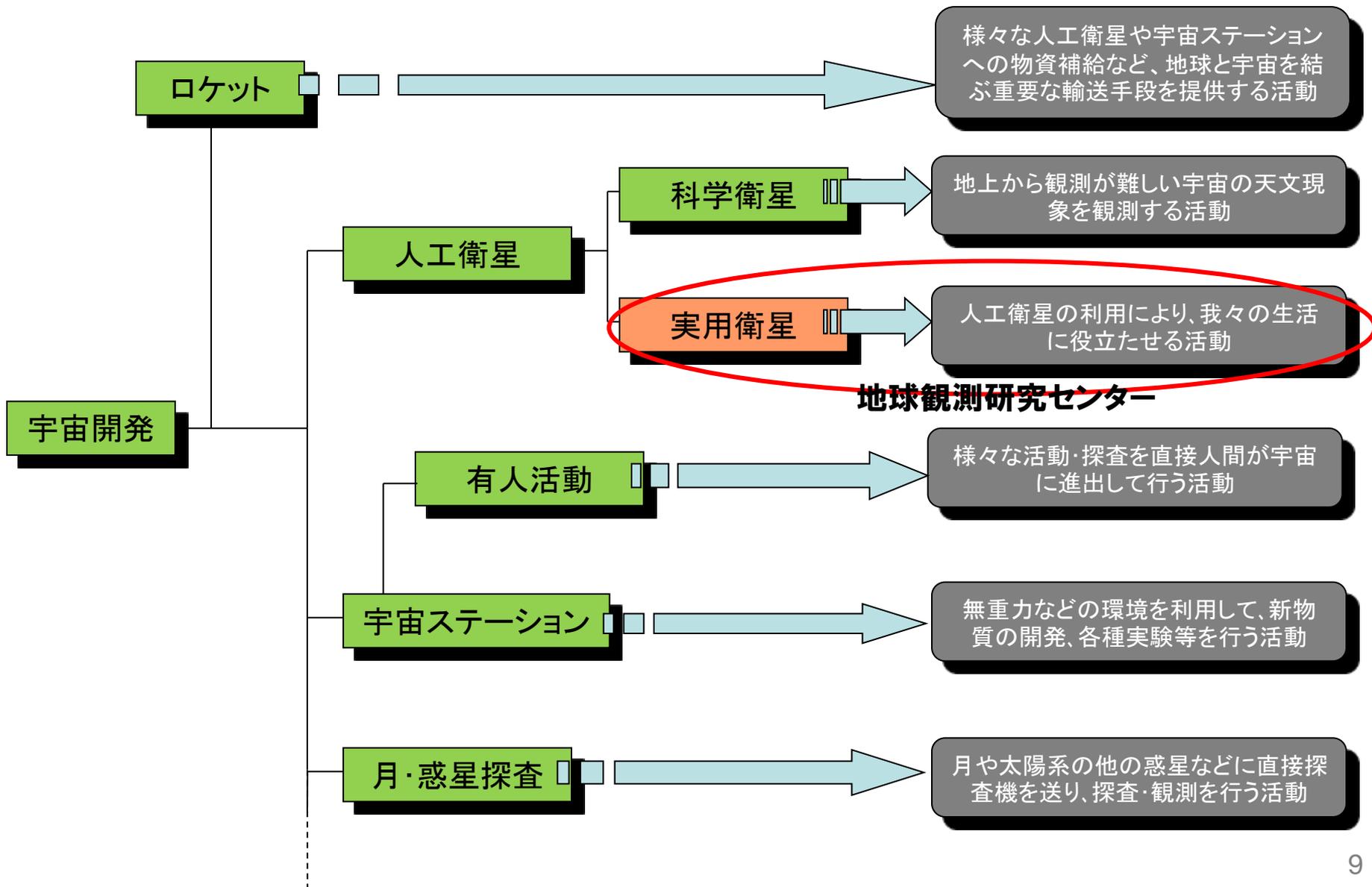
宇宙開発事業団
National Space Development
Agency of Japan



宇宙科学研究所
The Institute of Space and
Astronautical Science

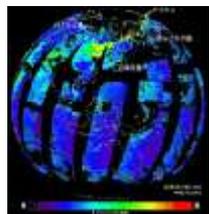


宇宙開発の活動分野





地球観測研究センターの活動分野



衛星データの解析および科学的研究

地球観測衛星から得られる観測データを解析し、地球科学的に意味のある物理量を導出するためのアルゴリズムの開発や、衛星データの校正検証を行い、衛星データの品質維持に努めています。

利用研究プロジェクト:ALOS, GOSAT, GPM, GCOM, EarthCARE, ...



観測センサの研究および地上データ処理システムの開発・運用

次世代の地球観測システムの研究、地球観測衛星からのデータを処理する地上データ処理システムの開発・運用を行っています。この一環として、衛星データの受信・処理・提供の業務を行う地球観測センター (EOC) の運営を行っています。



関係機関との協力

更なる衛星データ利用の拡大を図るため、国内外の関係機関、国際組織との協力を通じて、データ相互利用・データ利用研究の推進を行っています。



JAXAの衛星計画



ターゲット	観測センサ等	年度	2005 H17	2006 H18	2007 H19	2008 H20	2009 H21	2010 H22	2011 H23	2012 H24	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
災害監視 資源探査	合成開口レーダ										ALOS-2 (合成開口レーダ)						
	光学センサ			「だいち」(ALOS) PRISM, AVNIR2 (光学)									ALOS-3 (光学)				
気候変動/ 水循環 地球温暖化	降雨レーダ		TRMM/PR 【日米協力】									GPM/DPR 【日米協力】					
	マイクロ波放射計		Aqua/AMSR-E 【日米協力】								GCOM-W1/ AMSR2 【海面水温, 水蒸気, 土壌水分】						
	光学センサ											GCOM-C1/ SGLI 【植生, エアロゾル, 雲, 海面水温, 海色】					
	雲レーダ											EarthCARE/CPR 【雲とエアロゾルの3次元構造】 【日欧協力】					
	分光計							「いぶき」(GOSAT) 【CO ₂ , メタン】							GOSAT-2 【CO ₂ , メタン】		
通信	移動体通信		「きく8号」(ETS-VIII)														
	超高速インターネット通信		「きずな」(WINDS)														次世代情報通信衛星
	データ中継衛星		「こだま」(DRTS)													DRTS後継※	
測位	準天頂衛星							「みちびき」(QZSS)									

■ 運用中
 ■ 開発中
 ■ 研究中
 ※サービス調達の準備中



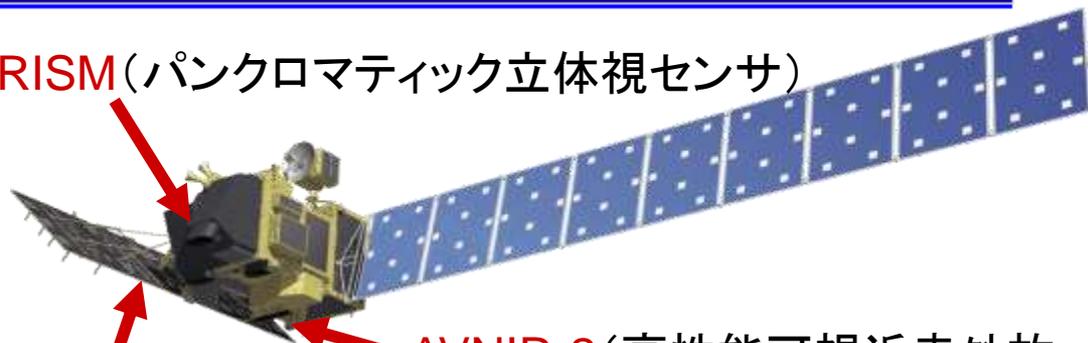
陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)



Advanced Land Observing Satellite (ALOS)

- 2006年1月24日打上げ
- 2011年5月12日運用終了
- 高度約700kmから3つのセンサーで地表を観測
- 地図作成, 土地利用観測, 災害状況把握, 資源探査等に利用

PRISM (パングロマティック立体視センサ)



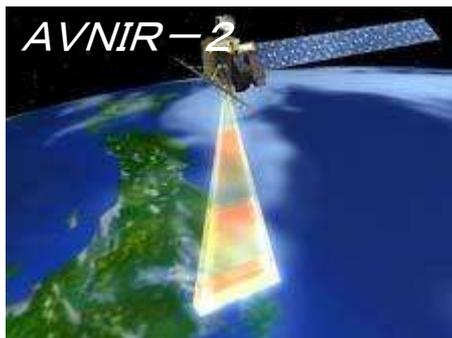
AVNIR-2 (高性能可視近赤外放射計2型)

PALSAR (フェーズドアレイ方式バンド合成開口レーダ)



衛星の進行方向に沿って3方向を同時観測＝数値標高データ (DEM)の計測

2.5mの分解能で地上の建物などを観測可能



10mの分解能で地上をカラー観測
左右44度の首振り機能を持ち, 災害発生時には2日以内に観測できる



地上が曇りや雨の天候時
また夜であっても電波レーダによって観測可能

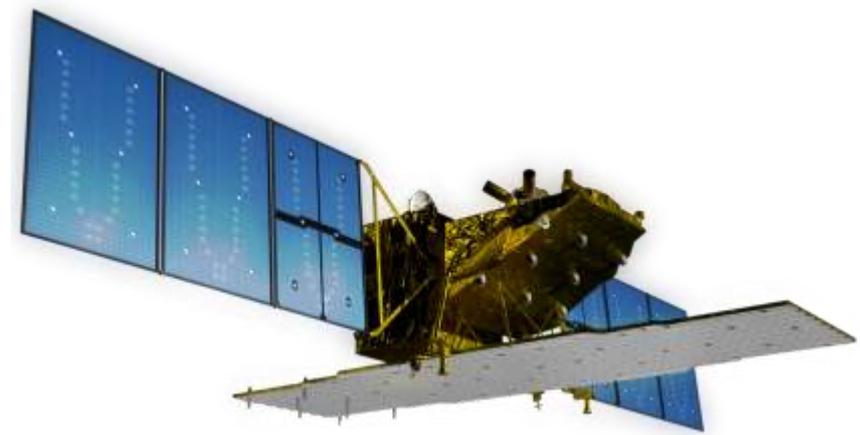


「だいち」後継機 (ALOS-2, 3)



ALOS後継ミッション: ALOS-2 (合成開口レーダ : SAR) と ALOS-3 (光学)

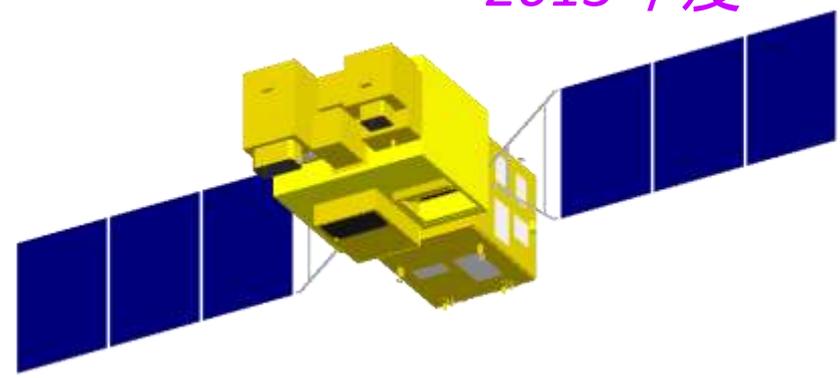
- National land monitoring and managements
- Resources managements
- Disaster monitoring
- ALOS-2 is planed to be launch in JFY 2013, and ALOS-3 will be launch in **TBD**



ALOS-2: SAR衛星
2013年度～

Current System Concept (under investigation)

- Monitoring disaster area affected by earthquake, volcano, flood, etc.
- Observing the disaster affected area within 3 hr (6 hr in night)
- A satellite constellation of two optical sensor satellites and two SAR satellites
- ALOS-2: 3m resolution (3x1m in spotlight mode) with 50km swath (SAR)
- ALOS-3: Panchromatic - 0.8m resolution in 50km swath; multi - 5m in 90km swath; and hyper-spectral 30m in 30km swath (**TBD**)

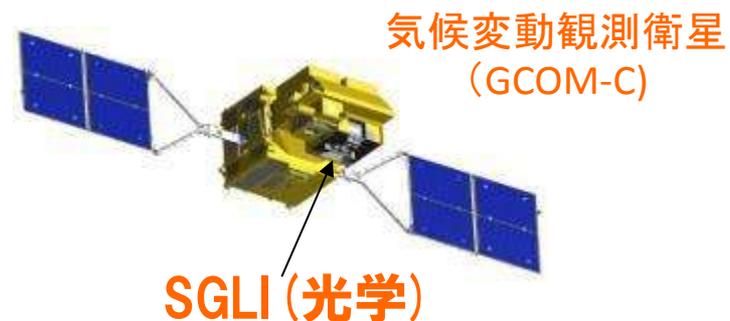
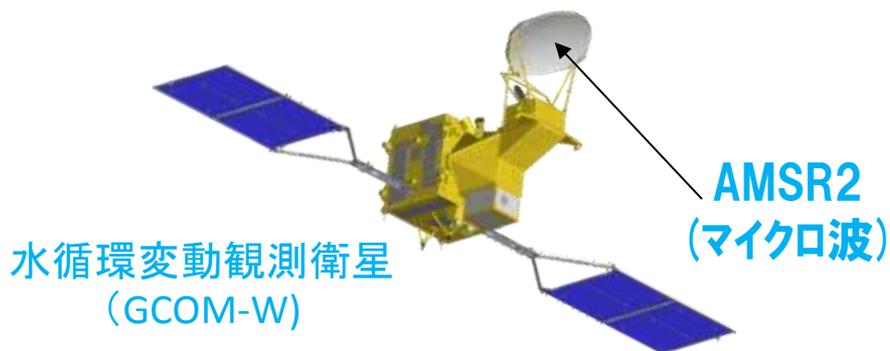


ALOS-3: 光学衛星



地球環境変動観測ミッション (GCOM)

- 地球規模での気候変動・水循環メカニズムを解明する
- マイクロ波、光学の2種類の衛星を3世代継続させ13年間の均質かつ安定的な観測
- 水循環変動観測衛星GCOM-W (Water) は全球水循環の変動を観測 (AMSR-E後継機)
- 気候変動観測衛星GCOM-C (Climate) は放射収支ならびに炭素循環の変動を観測 (GLI後継機+偏光・多方向観測機能)



観測センサ	高性能マイクロ放射計2 (AMSR2) 〔マイクロ波帯による観測 水蒸気量、土壌水分等を検出〕
観測軌道	太陽同期準回帰軌道 高度:約700km
外形寸法	5.1m(X) × 17.5m(Y) × 3.4m(Z)
衛星質量	1880kg
発生電力	4050W以上
打上	H-IIAロケットにより 2012(平成24年)年度打上げ
設計寿命	5年
開発状況	平成21年度 詳細設計

観測センサ	多波長光学放射計 (SGLI) 〔近紫外～熱赤外の波長帯による観測 雲・エアロゾル、海色、植生等を検出〕
観測軌道	太陽同期準回帰軌道 高度:約800km
	4.6m(X) × 16.3m(Y) × 2.8m(Z)
衛星質量	1950kg
発生電力	4250W以上
打上(予定)	H-IIAロケットにより 2015(平成27年)年度打上げ
設計寿命	5年
開発状況	平成21年度 基本設計



温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT)

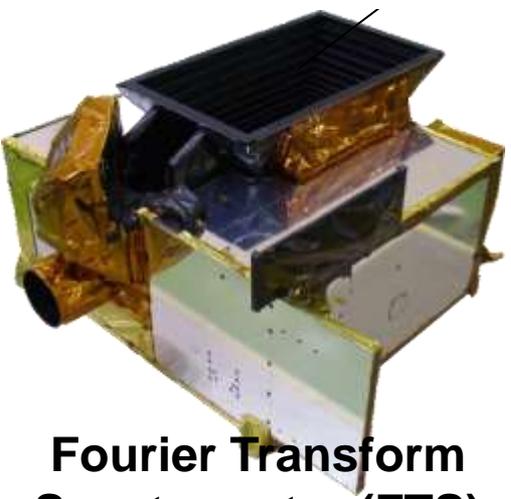
2009年1月23日打上げ運用中

GOSATはCO₂の全球的な吸収・排出量推定精度向上に貢献するミッション



GOSAT

Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation (TANSO)



Fourier Transform Spectrometer (FTS)



Cloud and Aerosol Imager (CAI)

Fourier Transform Spectrometer (FTS)

目的	温室効果ガスの観測
方式	フーリエ変換型スペクトロメータ
観測波長	SWIR-0.76 μ m, 1.6 μ m, 2.0 μ m 偏光観測 (O ₂ , CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O 気柱量)
	TIR-5.5~14.3 μ m (CO ₂ , CH ₄ , O ₃ 高度分布)
観測幅	約750km (150km毎に5観測点)
分解能	10.5km

Cloud and Aerosol Imager (CAI)

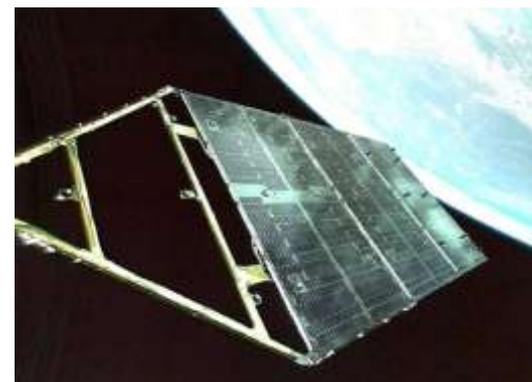
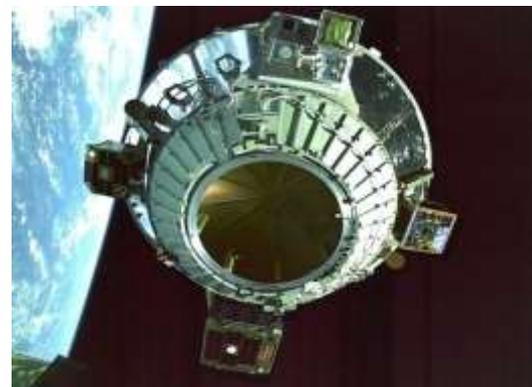
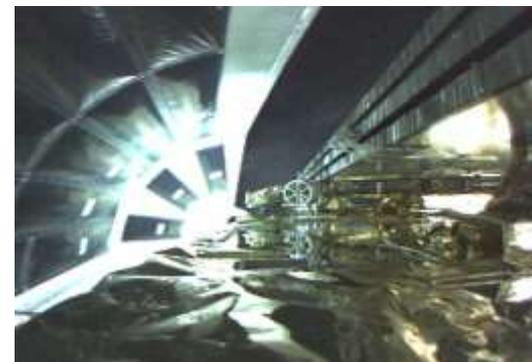
目的	雲検出およびエアロゾル導出
方式	フィルタ分光型イメージャ
観測波長	0.38, 0.67, 0.87, 1.60 μ m
観測幅	750-1000km
分解能	0.5-1.5km



「いぶき」(GOSAT) 宇宙から地球のCO₂を探査せよ



「いぶき」誕生



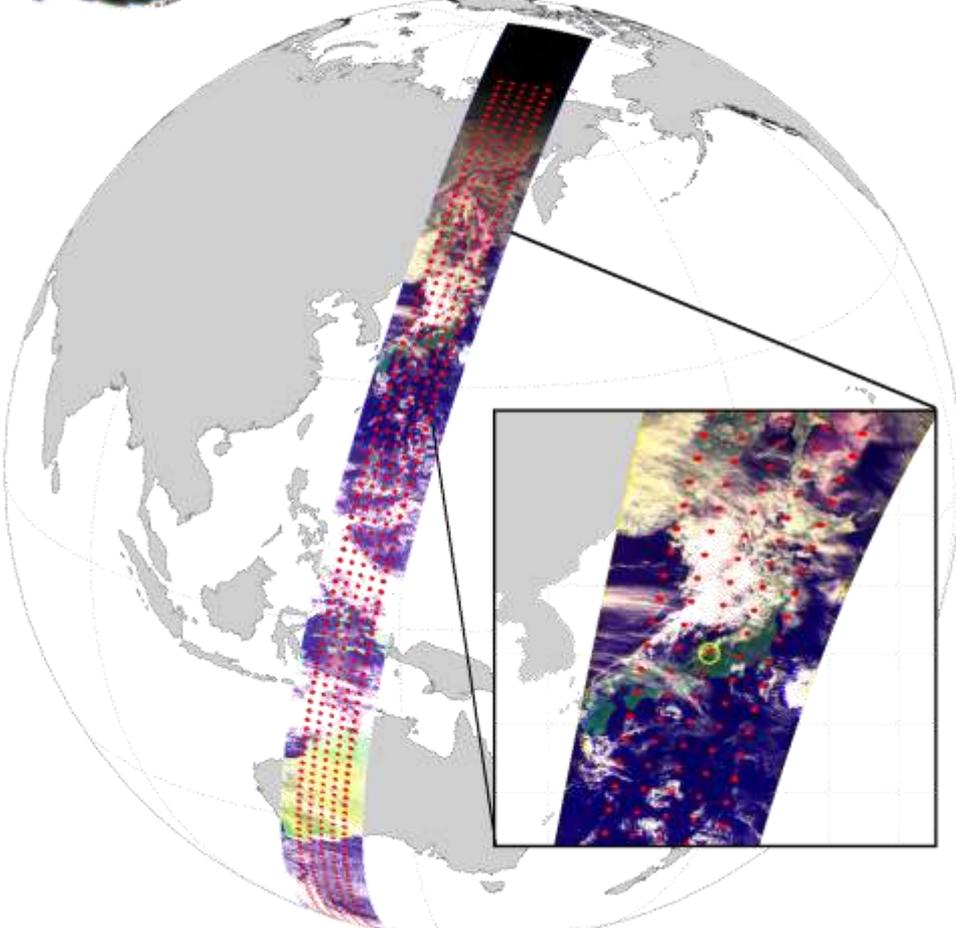


GOSAT first light



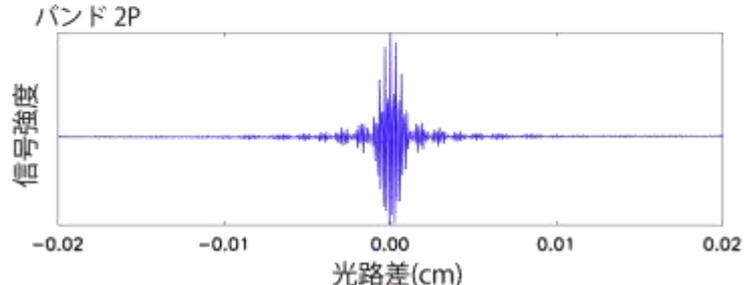
GOSAT - Greenhouse gases Observing SATellite -

「いぶき」搭載 温室効果ガス観測センサ (TANSO-FTS) および雲・エアロソルセンサ (TANSO-CAI) による観測データ



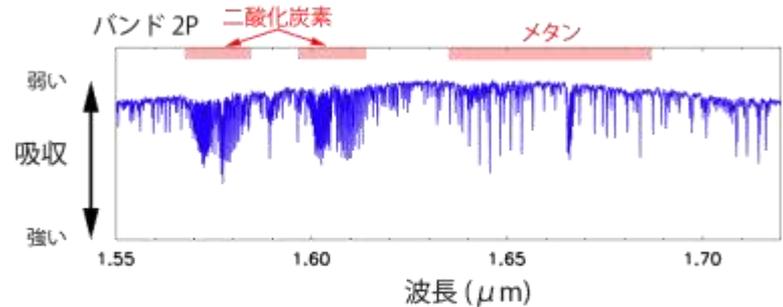
TANSO-CAI の疑似カラー画像 (赤印は TANSO-FTS の観測地点)

TANSO-FTSが取得した観測データ(インターフェログラム)
(岐阜県飛騨市付近(黄印)、2009年2月7日13時頃)



データ処理

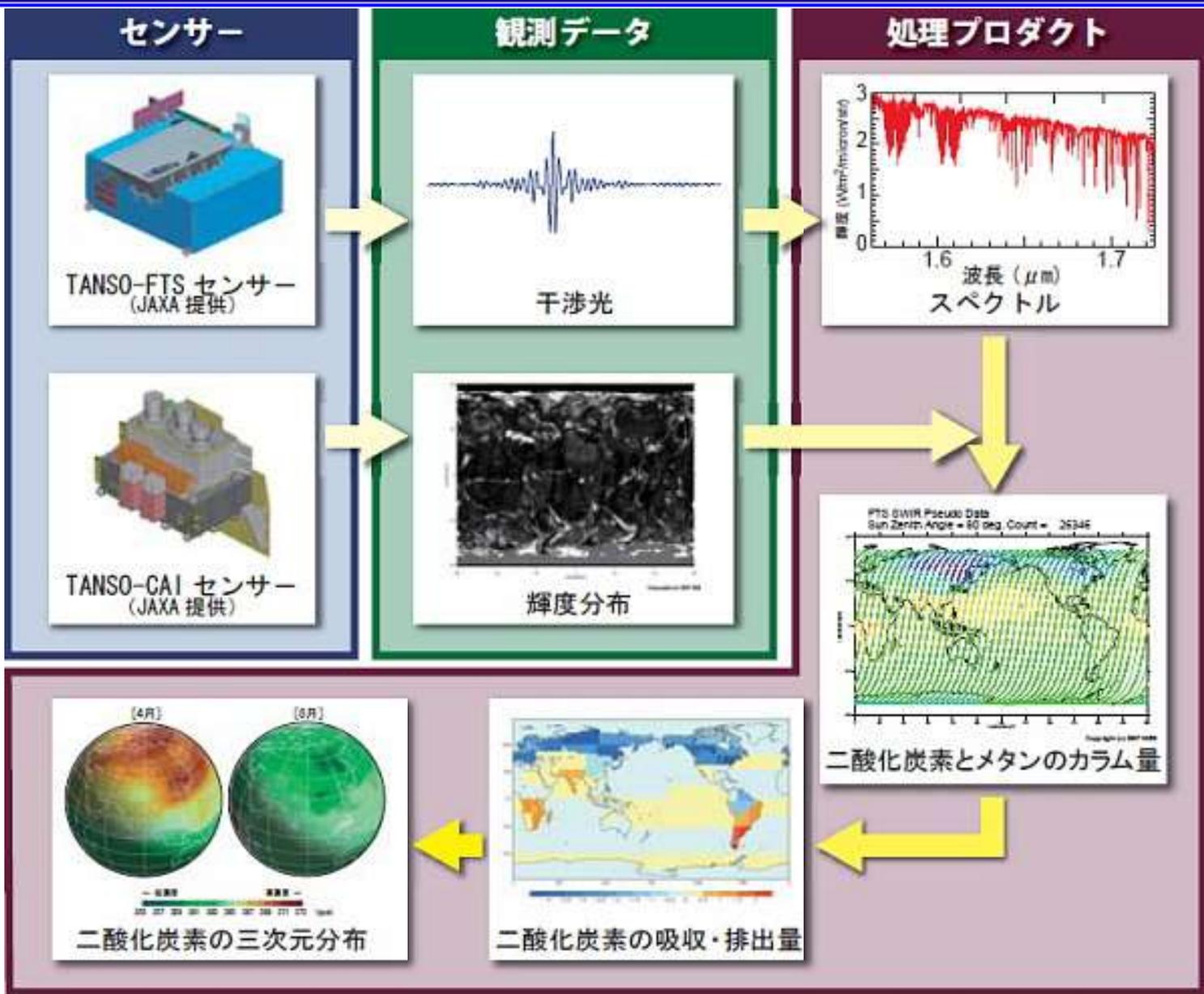
上の観測データから求めた波長ごとの光の強さ (スペクトル)



※赤い帯の範囲は各気体の吸収帯を示す。

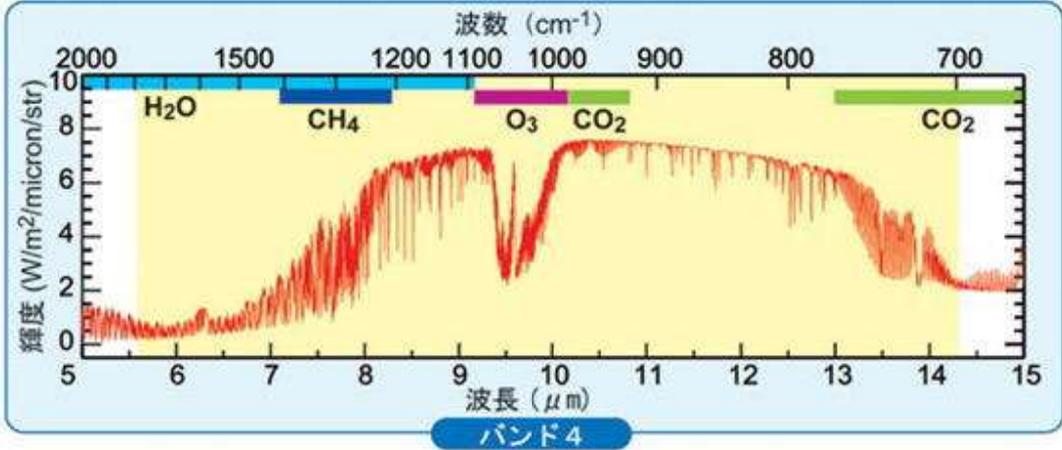
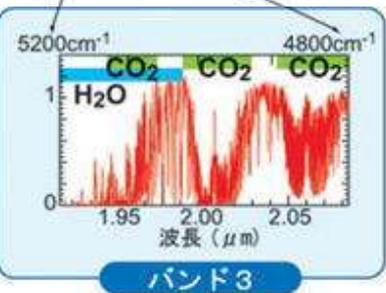
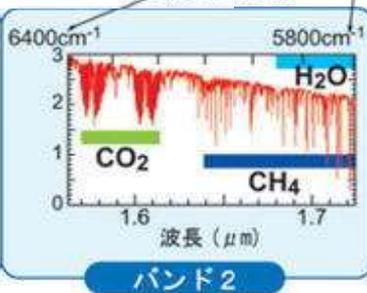
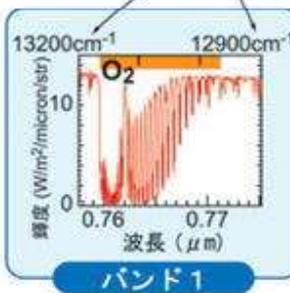
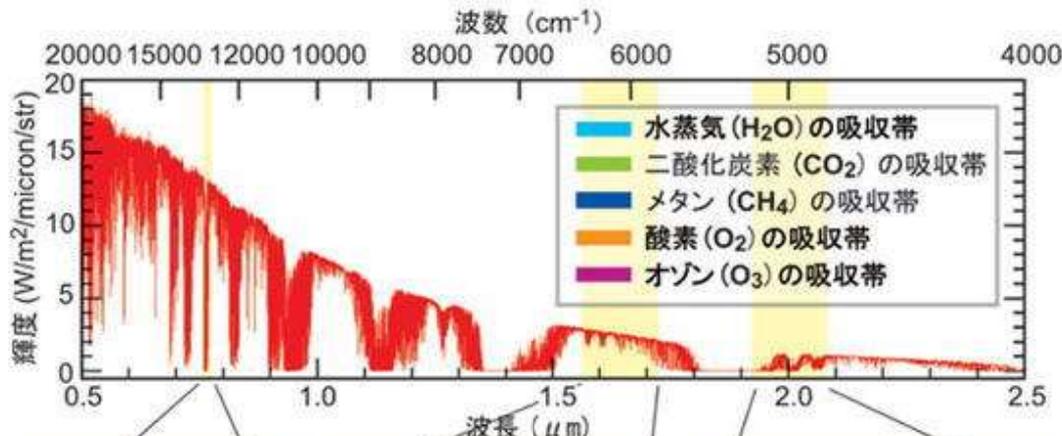


GOSATデータ処理



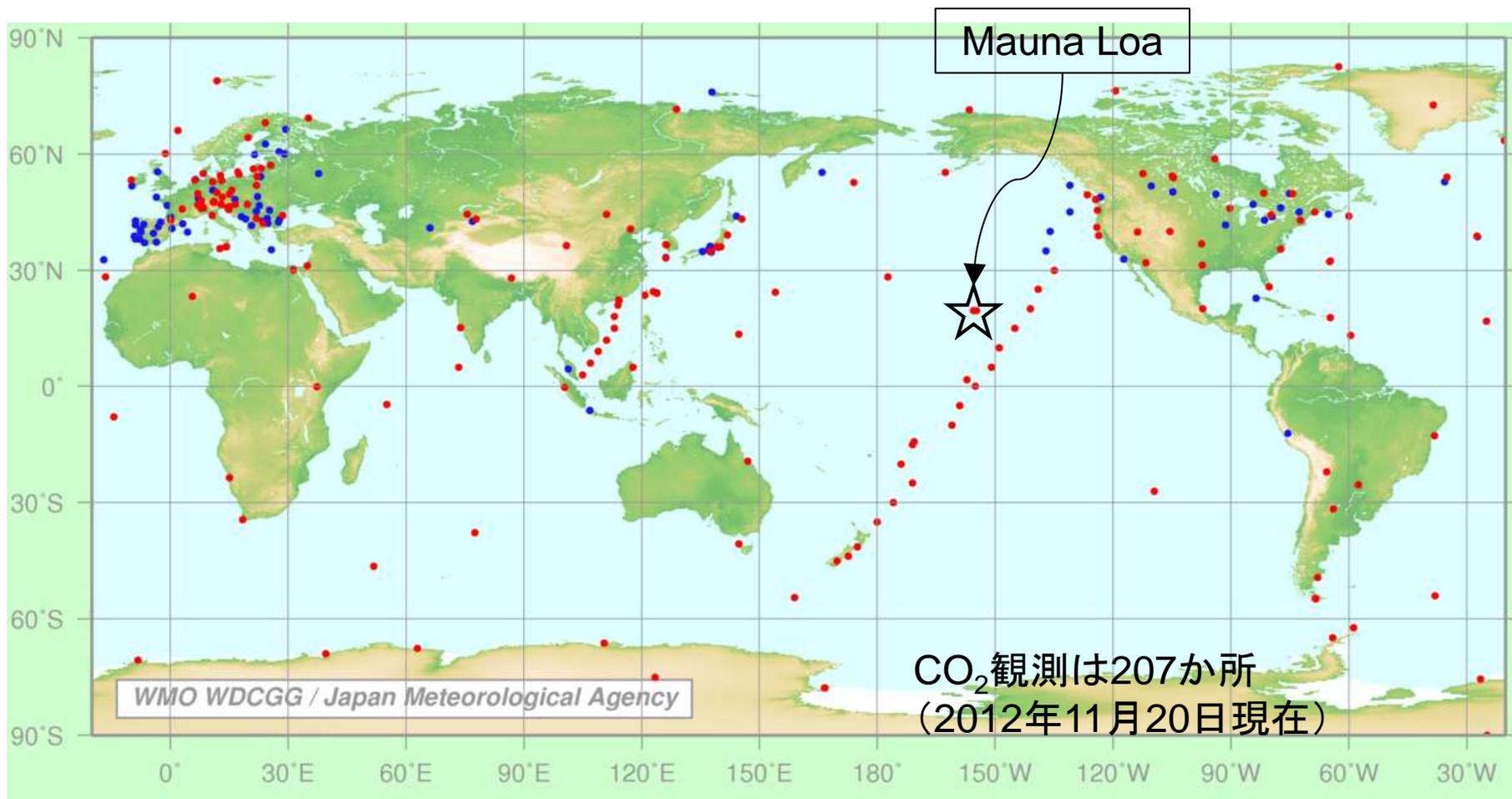


GOSATデータ処理





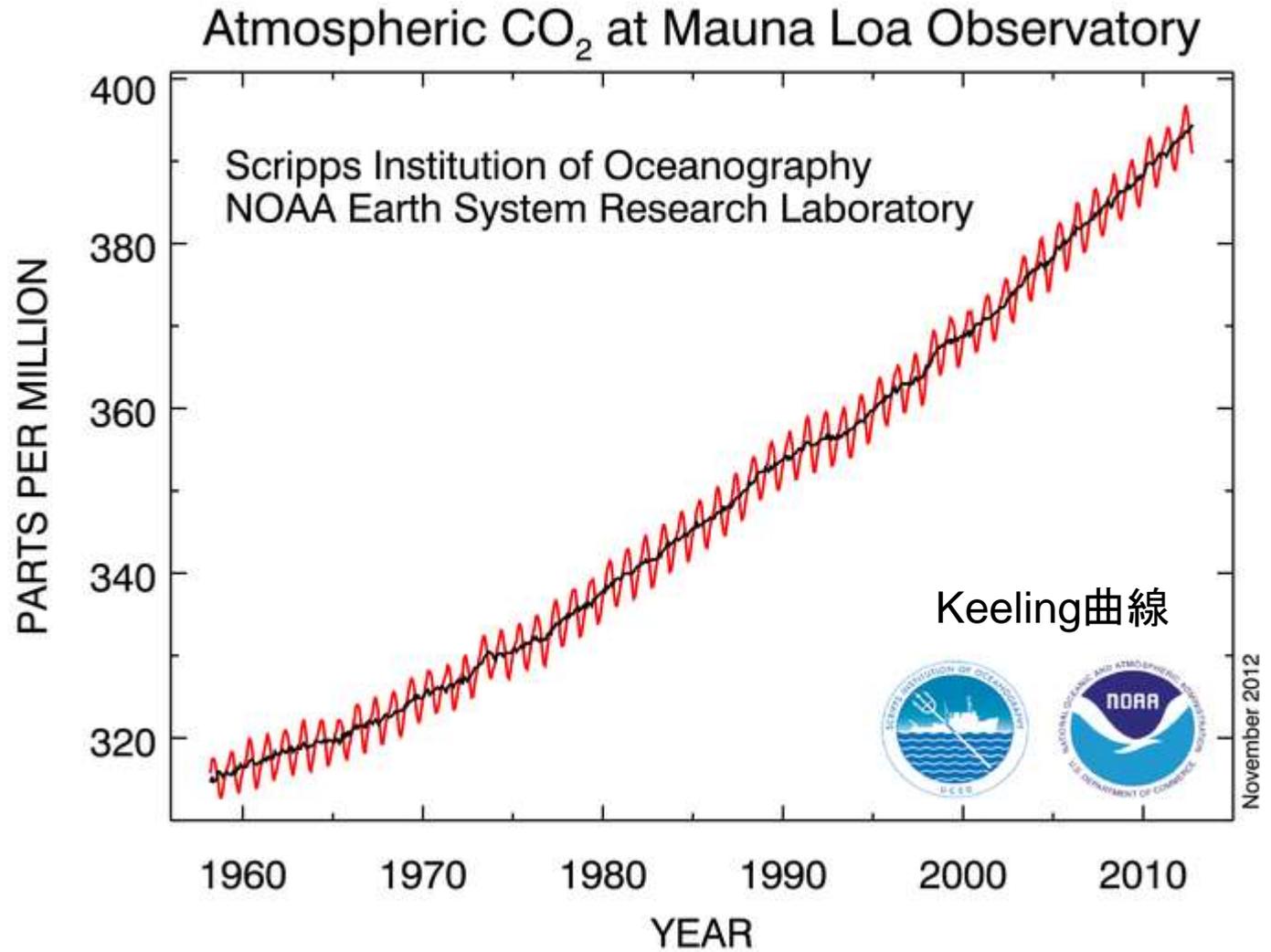
世界の二酸化炭素観測モニタリングサイト



図はWDCGGに提供されているデータの観測地点(モバイルは除く)をプロットしたもので、
"・"で示されている地点は、データが365日以内に更新されました。
Mauna Loaは1957年から運用している有名なサイトです。

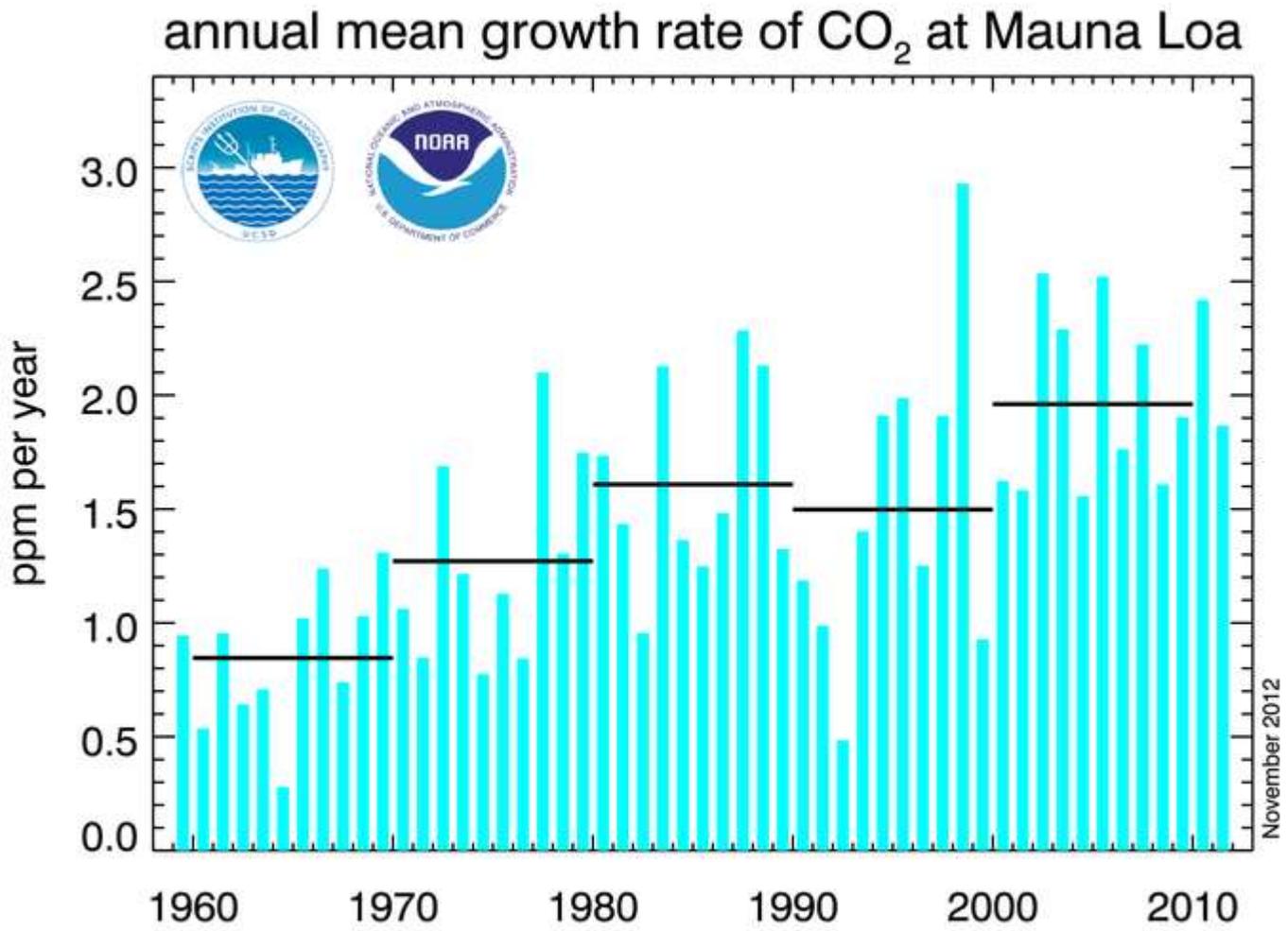


二酸化炭素濃度の長期変動



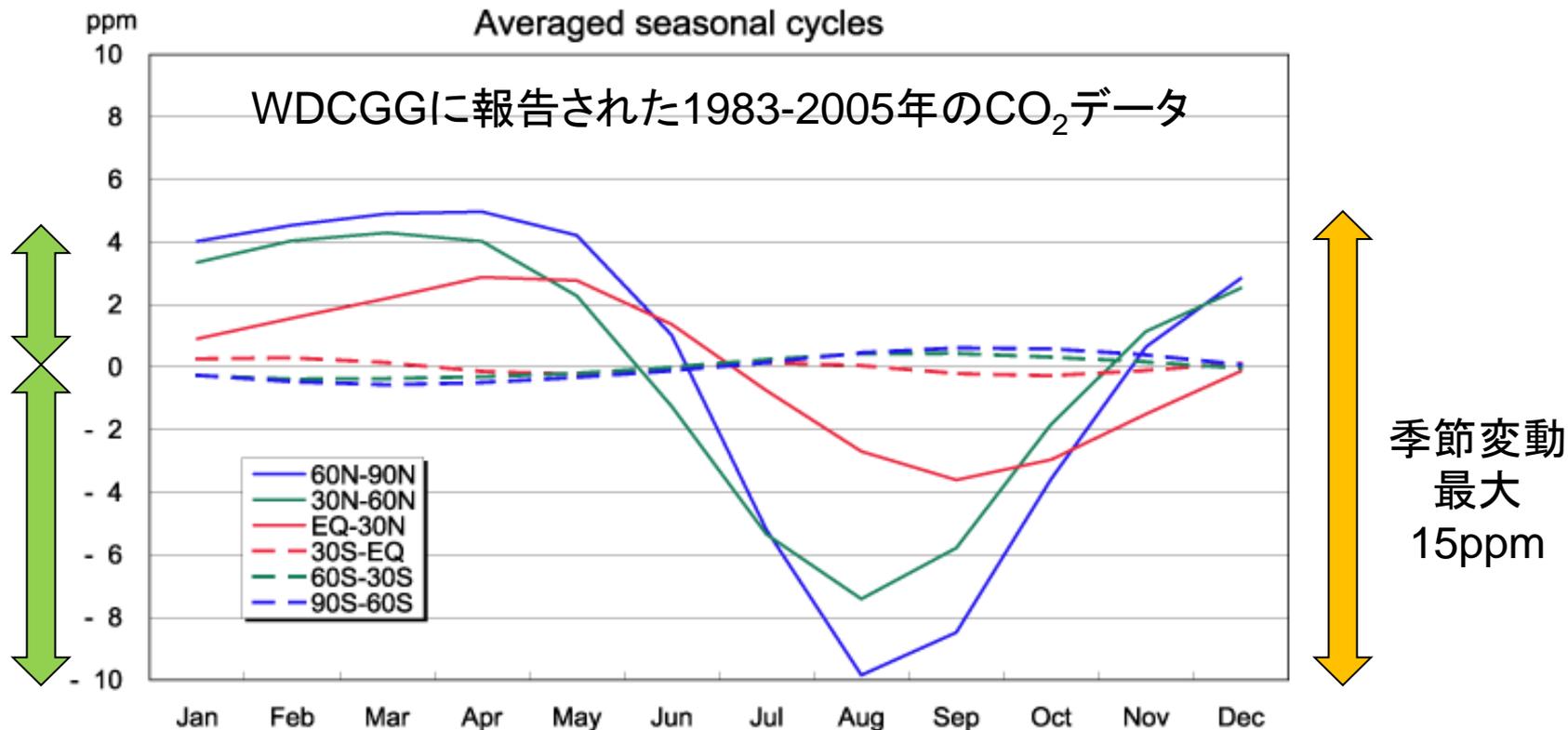


二酸化炭素の年増加率





二酸化炭素濃度の季節変動



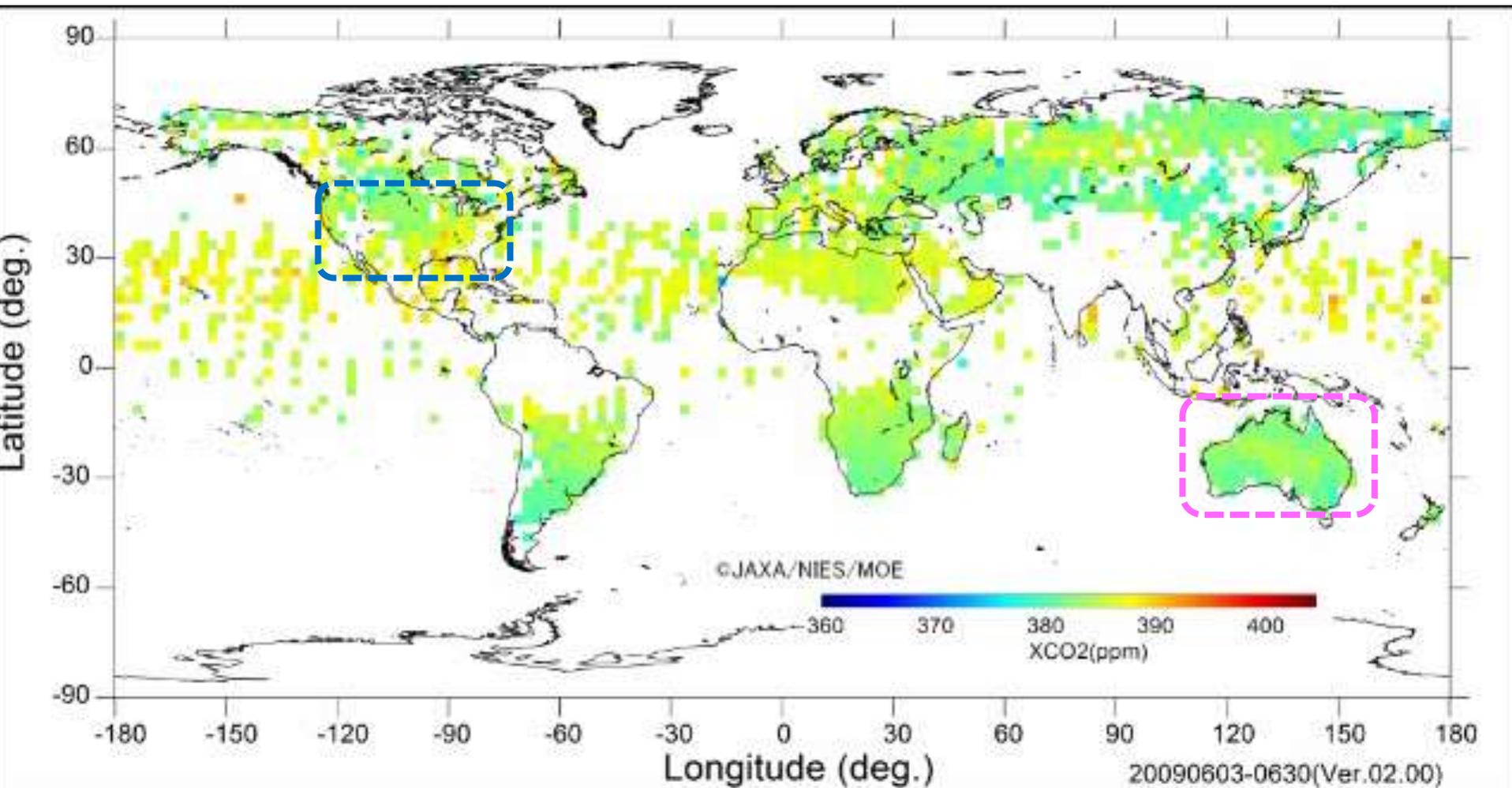
大気中のCO₂濃度の季節変動は、主に陸上の生物活動の季節依存性に由来する。光合成や呼吸、それに土壌有機物の分解を含めた陸上生物圏の活動は夏季を中心に活発になる。この中で、光合成による吸収は日射に強く依存し、夏至近くを中心に比較的短い期間に集中して活発になるのに対して、呼吸や分解による放出は気温(あるいは地温)に依存して比較的緩やかに変化する。そのために、一般的には北半球夏季の前半は光合成が上回って濃度が下がり、夏季の終わりから濃度が上昇を始める。



GOSAT X_{CO2} monthly mean



GOSATが観測した月平均CO₂濃度(2009年6月~2013年3月)



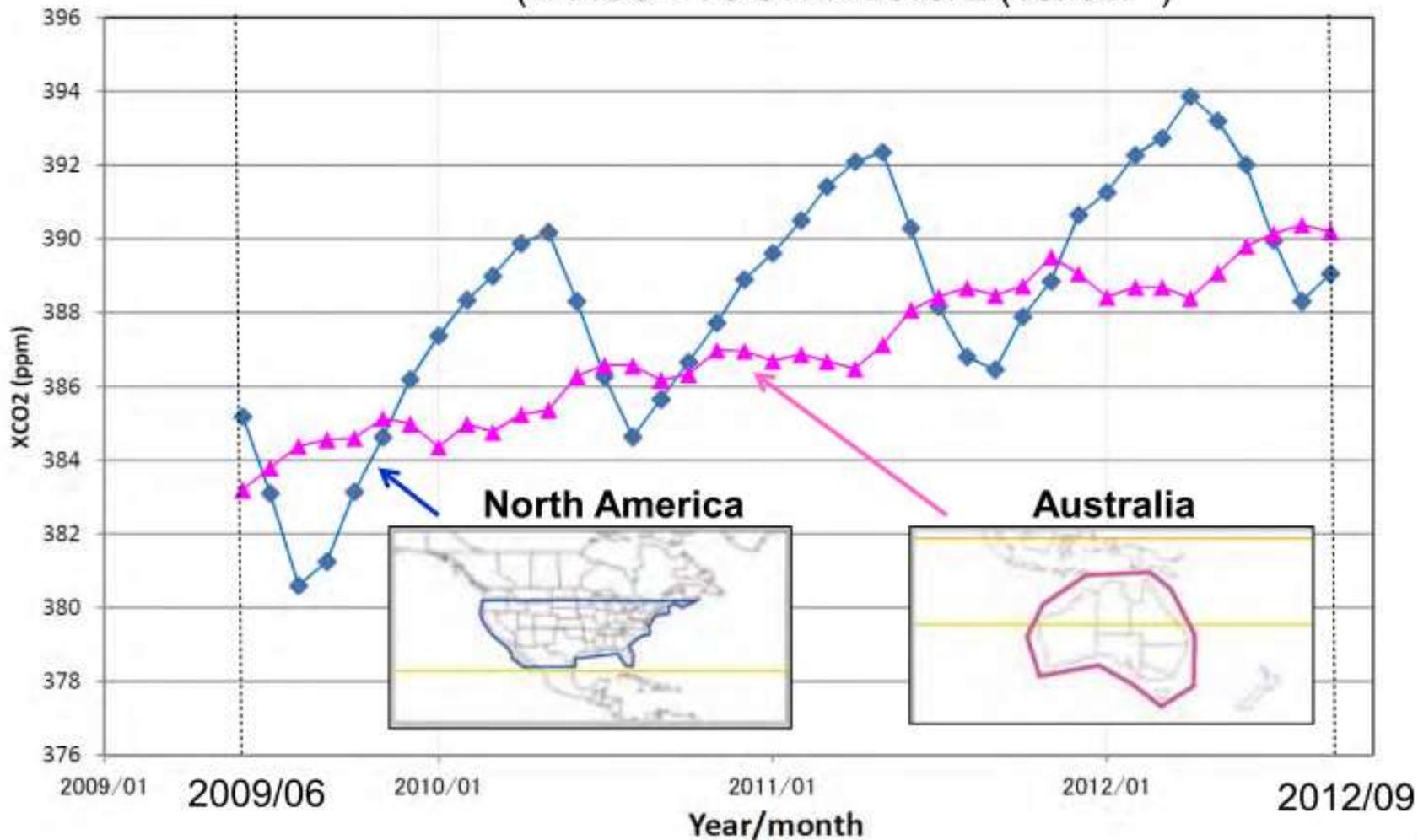
X_{CO2} = CO₂ column-averaged dry air mole fraction (乾燥空気中のCO₂気柱濃度)



GOSATで観測された X_{CO_2} 年変動



(TANSO-FTS SWIR Level 2 (Ver.02.**))



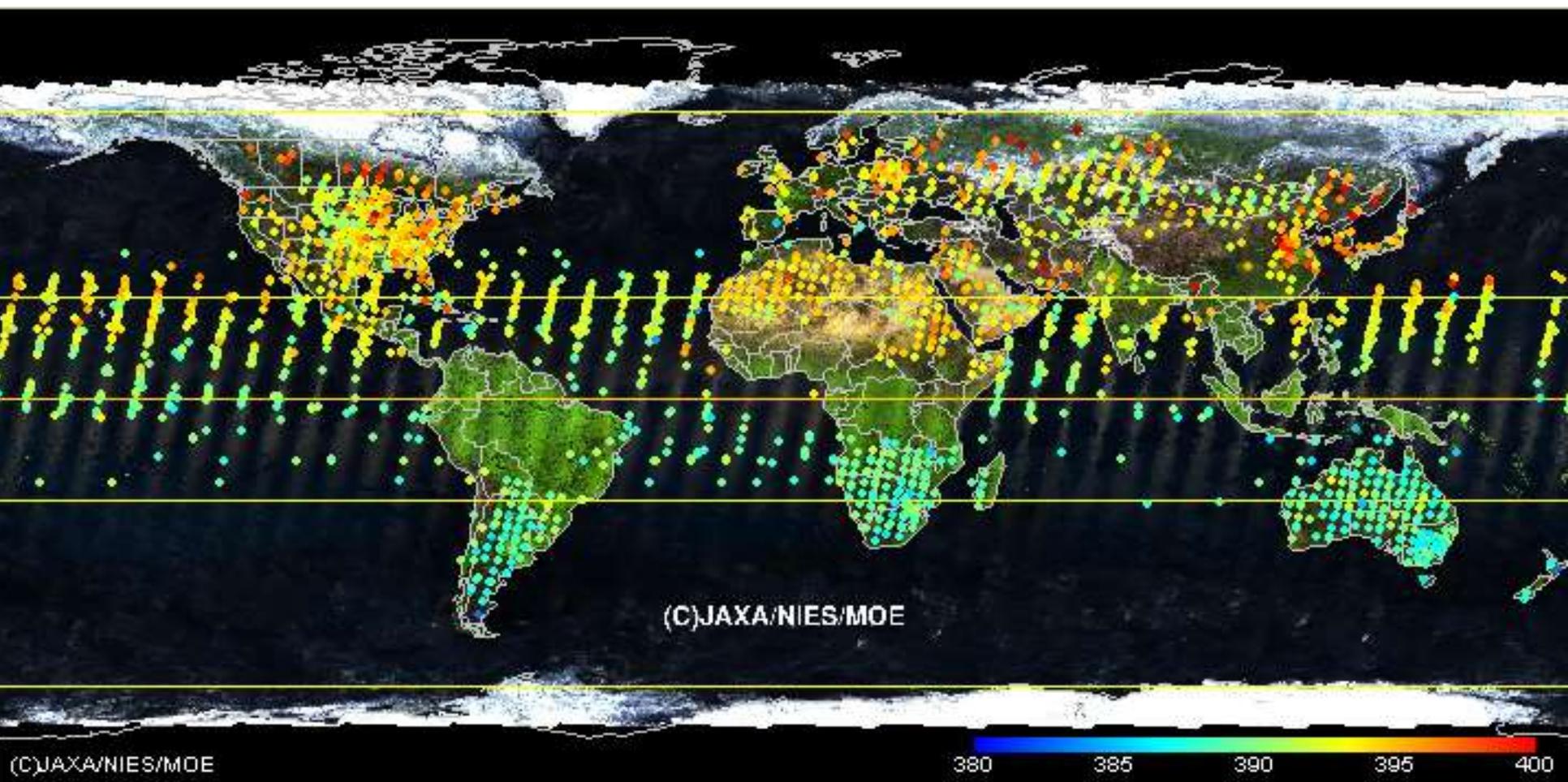
from GOSAT leaf



GOSATひと月分X_{CO2}データ



2012年4月

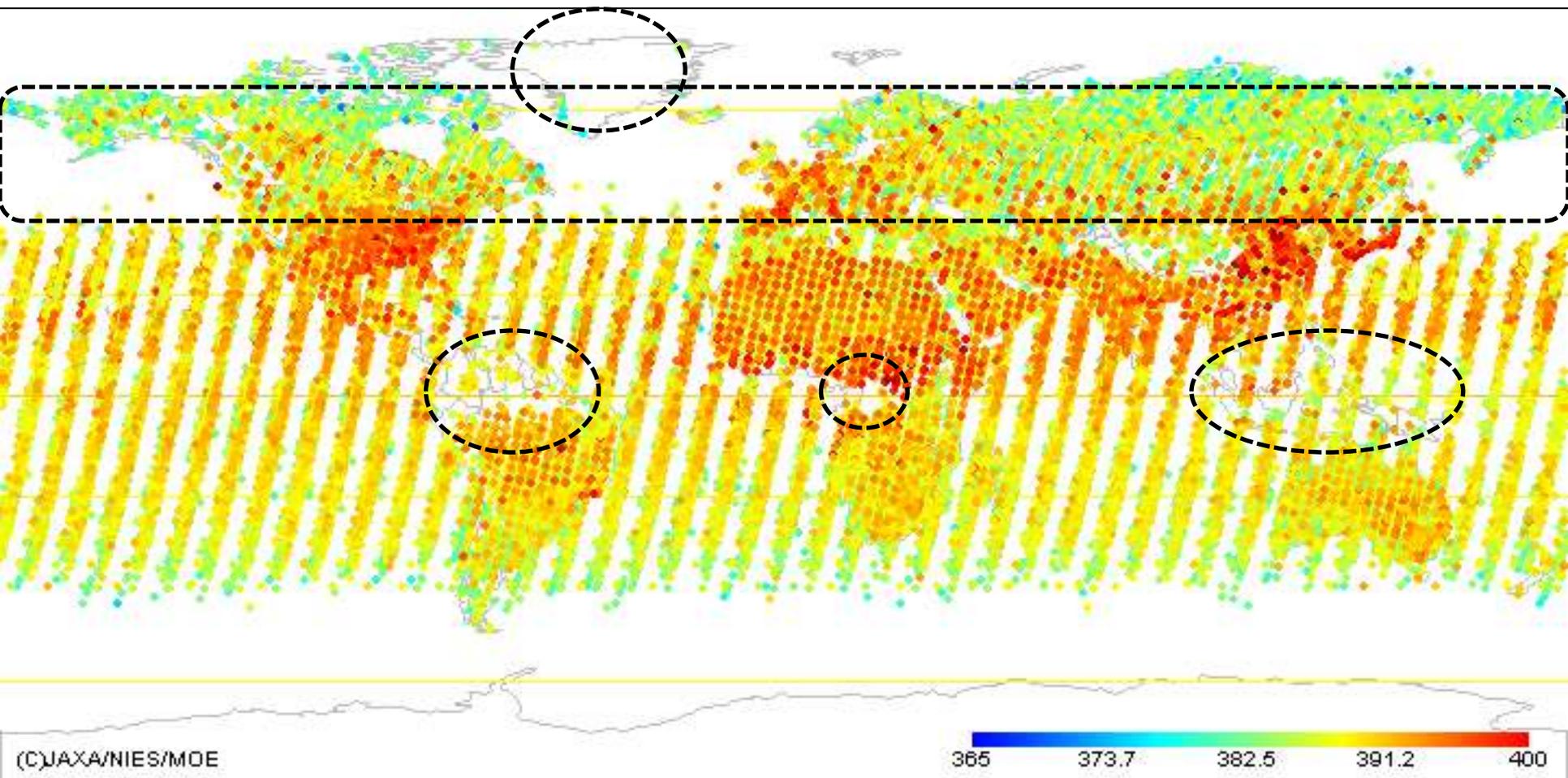




GOSAT全期間分のX_{CO2}データ



2009年6月～2013年3月



GOSAT現行機で更なる導出アルゴリズムの向上、運用の工夫を行う。

⇒ 次号機GOSAT-2に向けての改善項目



NASAとの国際的協力関係 世界との協力と競争



GOSATとNASA OCOプロジェクト



The Pioneers: GOSAT and OCO



GOSAT launched successfully on 23 January 2009



OCO was lost a month later when its launch system failed

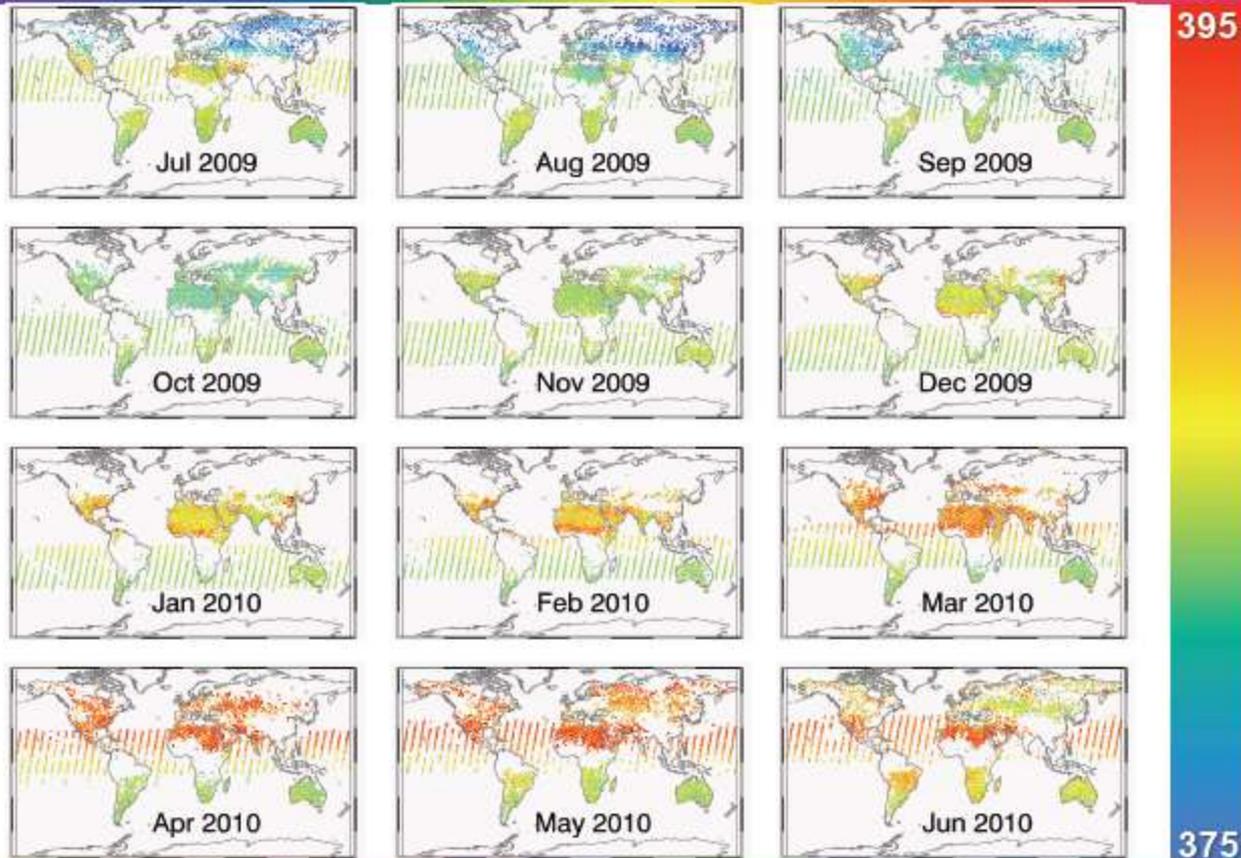




GOSAT X_{CO2} retrieval by ACOS



ACOS GOSAT B2.10 XCO2 Retrievals





世界のCO₂アルゴリズム比較



OSHCHEPKOV ET AL.: GOSAT ALGORITHM COMPARISON

Table 2. Statistical Characteristics Using Single Scans, Daily

NASA

国立環境研究所

蘭SRON

英Leicester大

Algorithm	ACOS B2.9	NIES 01.xx	NIES 02.xx	NIES PPDF-D	RemoTeC L0	UoL-FP: 3G
Single GOSAT and TCCON Scans						
N_c	3274 (1469)	1238 (591)	3039 (1316)	1231	2237 (799)	3339 (1434)
α	0.90 (0.92)	0.86 (0.98)	1.09 (1.09)	1.13	1.23 (1.19)	0.96 (0.99)
Bias [ppm]	-0.25 (-0.76)	-7.58 (-8.54)	-1.13 (-1.41)	0.07	-0.21 (0.03)	0.12 (-0.42)
σ [ppm]	2.06 (1.62)	3.36 (3.02)	2.17 (1.76)	2.48	2.66 (2.29)	2.45 (1.94)
R^2	0.79 (0.87)	0.36 (0.53)	0.83 (0.89)	0.79	0.83 (0.86)	0.72 (0.84)
r	0.78 (0.85)	0.4 (0.58)	0.81 (0.85)	0.73	0.73 (0.73)	0.70 (0.80)
i -Bias [ppm]	0.65 (0.40)	0.69 (0.60)	0.63 (0.40)	0.61	0.52 (0.55)	0.39 (0.33)
Observation Fraction [%]	62.2 (27.4)	23.5 (11.2)	57.8 (25.0)	23.4	42.5 (15.2)	63.5 (27.3)
Daily Mean GOSAT and TCCON Data						
N_d (days)	672 (356)	335 (191)	631 (327)	347	525 (232)	672 (395)
α	0.83 (0.88)	0.89 (0.88)	1.03 (1.03)	1.06	1.03 (1.02)	0.88 (0.99)
Bias [ppm]	-0.02 (1.74)	-7.87 (-8.53)	-1.15 (-1.39)	0.10	-0.20 (0.00)	0.10 (-0.25)
σ [ppm]	2.11 (1.74)	3.93 (2.90)	1.85 (1.67)	2.23	2.15 (2.06)	2.34 (1.92)
R^2	0.74 (0.83)	0.36 (0.54)	0.86 (0.89)	0.81	0.83 (0.84)	0.72 (0.84)
r	0.78 (0.85)	0.41 (0.64)	0.86 (0.88)	0.78	0.81 (0.79)	0.74 (0.81)
i -Bias [ppm]	0.94 (0.53)	0.78 (1.00)	0.83 (0.53)	0.71	0.65 (0.52)	0.57 (0.39)
Weekly Mean GOSAT and TCCON Data						
N_w (weeks)	357 (213)	221 (137)	349 (208)	227	313 (162)	362 (234)
α	0.81 (0.88)	0.92 (0.87)	0.99 (1.02)	0.99	1.00 (1.04)	0.88 (1.02)
Bias [ppm]	0.20 (-0.62)	-7.90 (-8.39)	-1.07 (-1.35)	0.10	-0.16 (-0.04)	0.09 (-0.28)
σ [ppm]	2.09 (1.73)	3.97 (3.06)	1.68 (1.66)	2.10	1.98 (2.08)	2.24 (2.01)
R^2	0.73 (0.83)	0.38 (0.51)	0.87 (0.89)	0.81	0.83 (0.85)	0.73 (0.84)
r	0.78 (0.85)	0.44 (0.61)	0.88 (0.87)	0.79	0.83 (0.78)	0.76 (0.80)
i -Bias [ppm]	1.00 (0.57)	0.97 (1.15)	0.78 (0.45)	0.74	0.73 (0.55)	0.68 (0.44)

当初のミッション目標値STDEV~4ppmをVer01で達成し、現在Ver02および海外ユーザはSTDEV~2ppmを達成している。

Orbit parameters (inclination, longitude of ascending node, argument of perigee, and semi-major axis) and observation geometry (solar zenith angle, solar azimuth angle, and viewing geometry) are used for the selection by spectral variability in albedo (equation (1)).

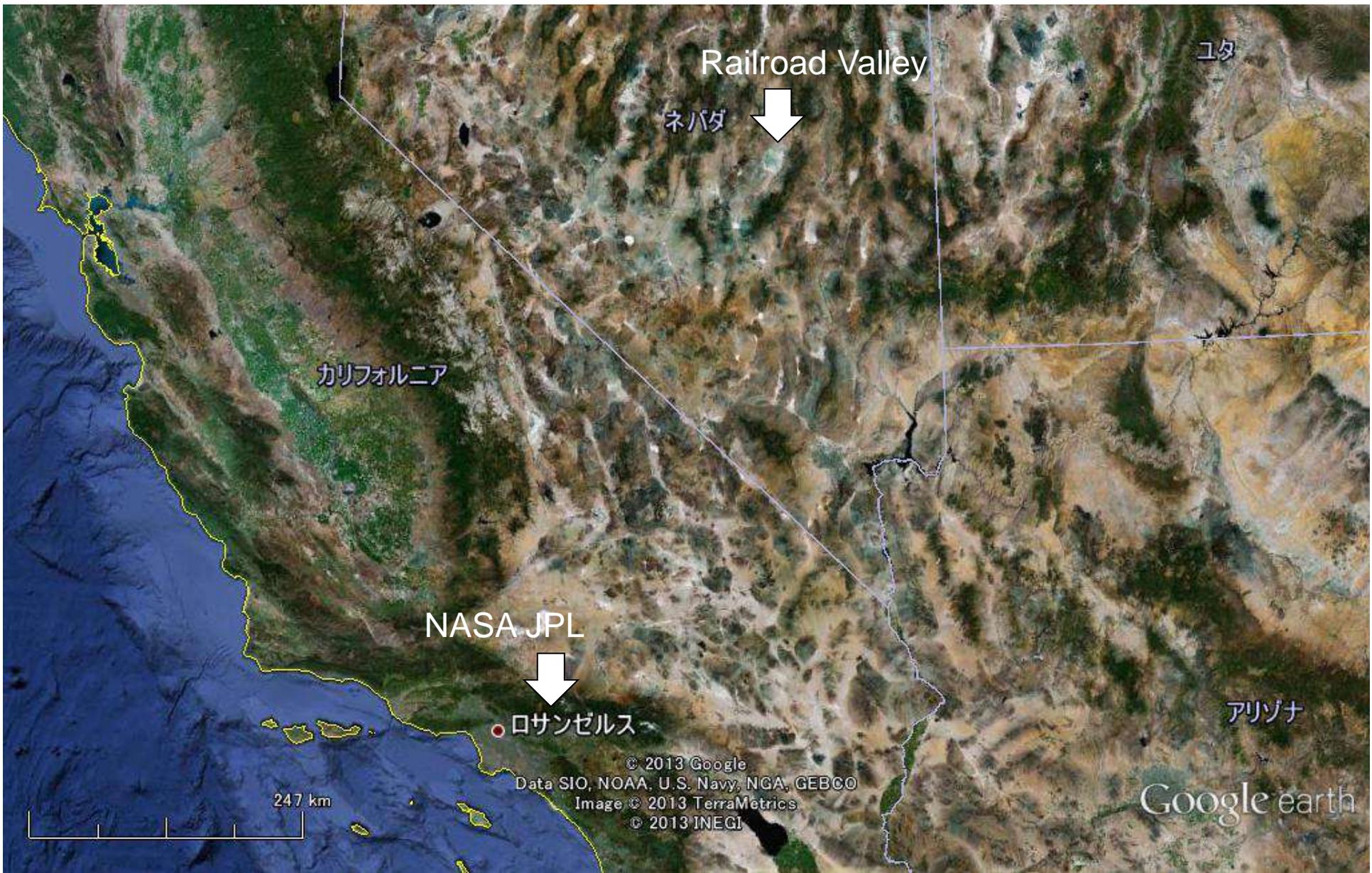


米国ネバダ州砂漠における衛星同期観測





Railroad Valley (RRV) への道





Railroad Valley (RRV) への道



Railroad Valleyの一樣な場所は15km程度。赤丸はGOSAT FTSのフットプリントの大きさ直径10.5kmである。衛星からのポインティング指向精度が重要である。



RRVにおける代替校正実験

- Railroad Valley field
 - Nevada/USA
 - Base-camp: 38.49703 N;
115.69013 W
 - Height : about 1435m

2009年打上げ後、6月～7月夏至の時期に毎年1回、代替校正を主としたキャンペーン実験をNASA OCO – JAXA GOSAT協力として、JPLを始めとする研究者と実施している。



©JAXA

ALOS/AVNIR-2 (R/G/B=3/2/1)



RRV 2011

衛星で観測される輝度を模擬するには、地表面状態(反射率、BRDF)、大気状態(気温、水蒸気、気圧、エアロゾル)、対象ガス(CO₂, CH₄)の同期した現場観測データを取得し、放射伝達計算を行う。

Path 37
from West



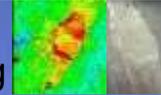
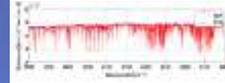
Path 36
from East



25deg

19deg

19.9deg



TOA Spectral radiance

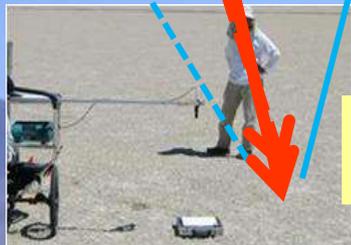


High altitude



Horizontal
CO₂ CH₄

Vertical
CO₂ CH₄



Surface Thermal
radiation

Surface and Profile
of Pressure,
Temperature, Humidity

Surface
CO₂ CH₄

BRDF

Surface Spectral
Reflectance

Variability

Aerosol
Optical
Thickens



RRV 2010 キャンペーンスケジュール



		Day	Path	
17-Jun-10	水	167		機材JPLへ到着
	木	168		JPL機材確認
18-Jun-10	金	169		事前打ち合わせ、機材パッキング
19-Jun-10	土	170		Tonopahへ移動
20-Jun-10	日	171		セットアップ、トレーニング、試験測定
21-Jun-10	月	172	36	ASTER overpass
22-Jun-10	火	173	37	
23-Jun-10	水	174		MODIS & ASTER (Terra) Overpass
24-Jun-10	木	175	36	
25-Jun-10	金	176	37	
26-Jun-10	土	177		日本へ帰国
7月12日	月		36	NASA-DC8同期フライト

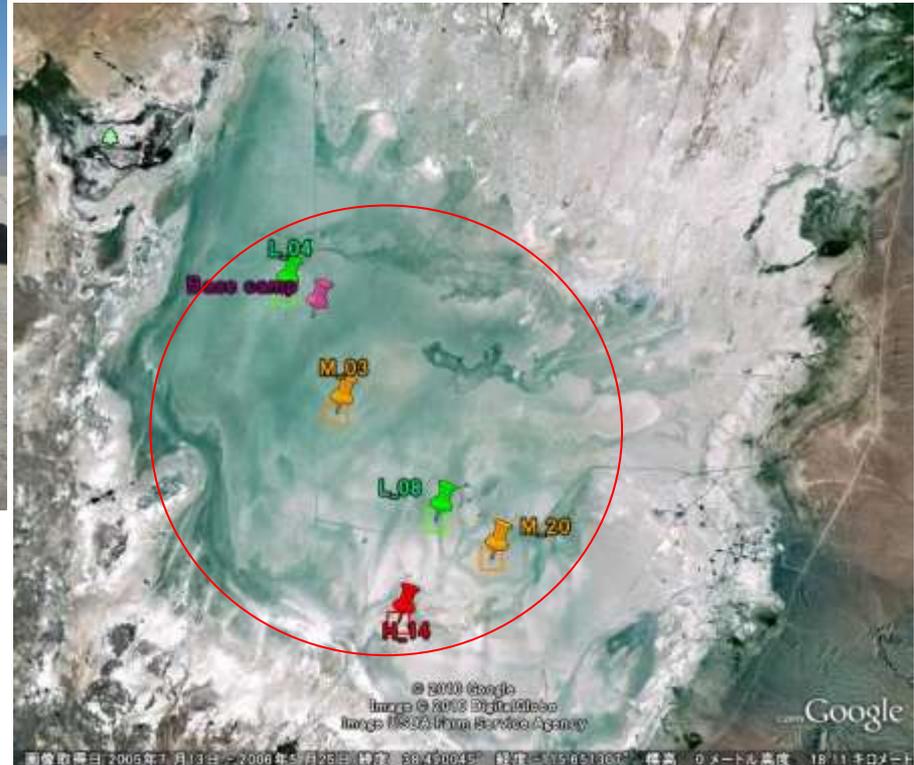
Base camp RV



Clean power station



solar panels and wind electricity





地表面測定サイト(地表面状態)



L_08



M_03





CAMとCAI画像(晴天でないとき...)



CAM data

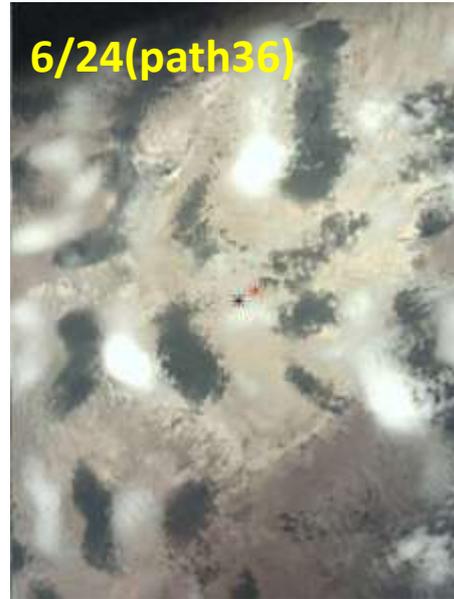
6/21(path36)



6/22(path37)



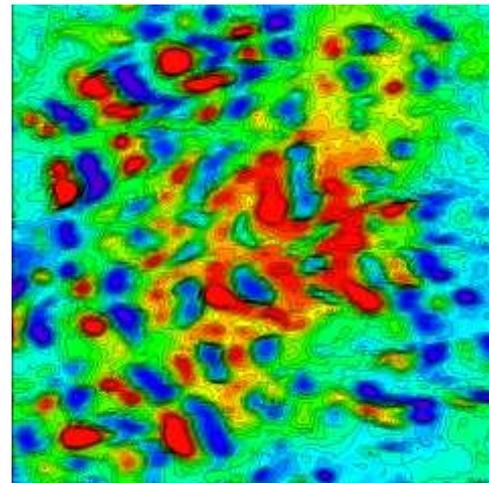
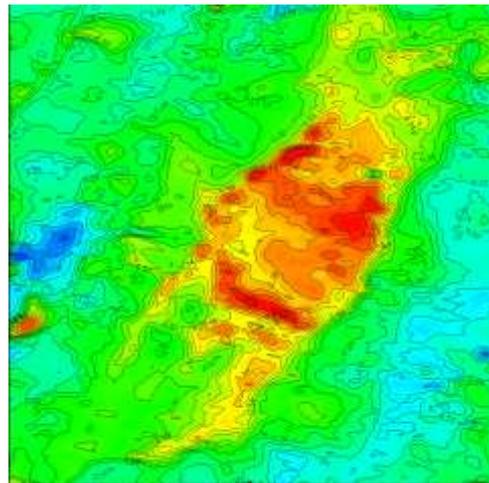
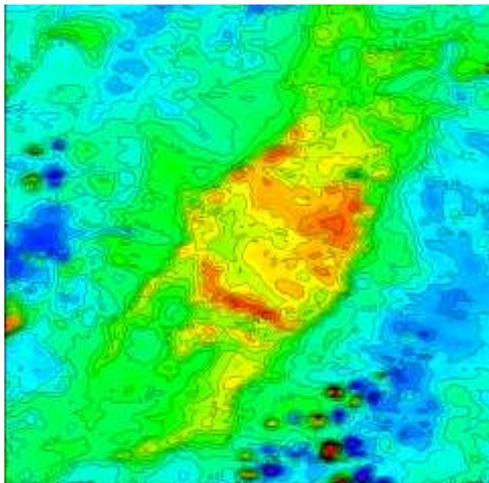
6/24(path36)



6/25(path37)



CAI band3 Reflectance



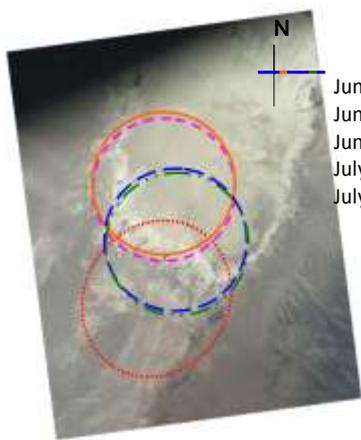


ポインティング精度向上



path36

path37



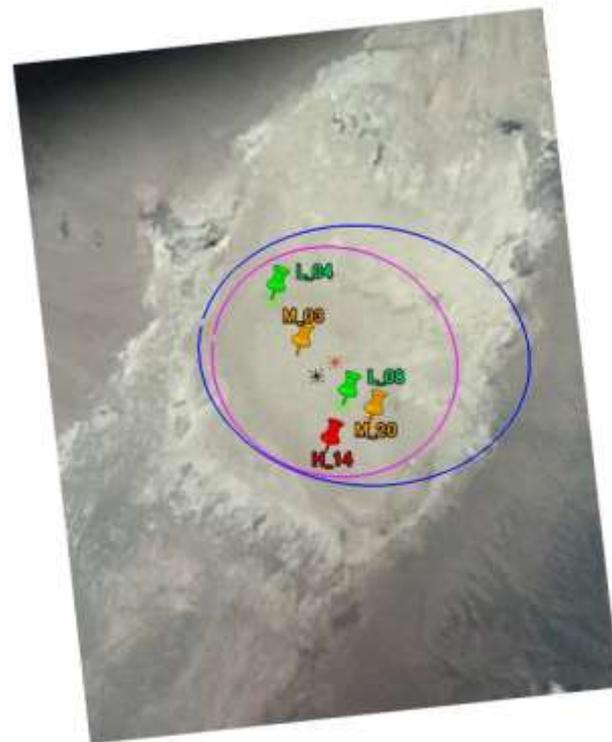
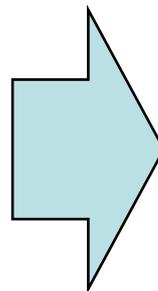
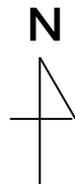
June 23
June 26
June 29
July 2
July 5

0 10 km



..... June 24
- - - - - June 27
————— June 30
- · - · - July 3

0 10 km



FTS-footprint

Jun 21 (path36)

Jun 22 (path37)

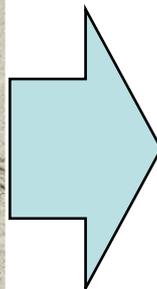
RRV2009

RRV2010

CAM 6/21
FTS 6/21,22



地表面測定安定度向上



RRV2009



RRV2010



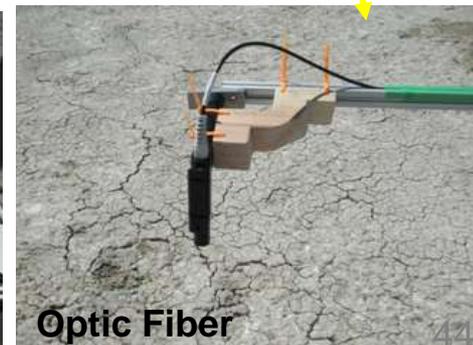
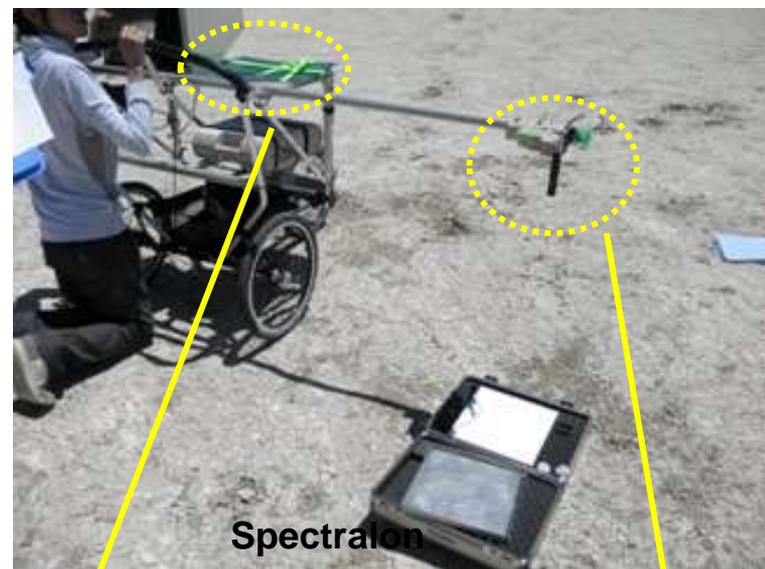
ASD FieldSpec (地表面観測)



双子用ベビーカーに実装したASD



- ASD Field Spec Spectrometers
- Spectral range : 400 - 2500 nm
- Scanning time : 100 msec

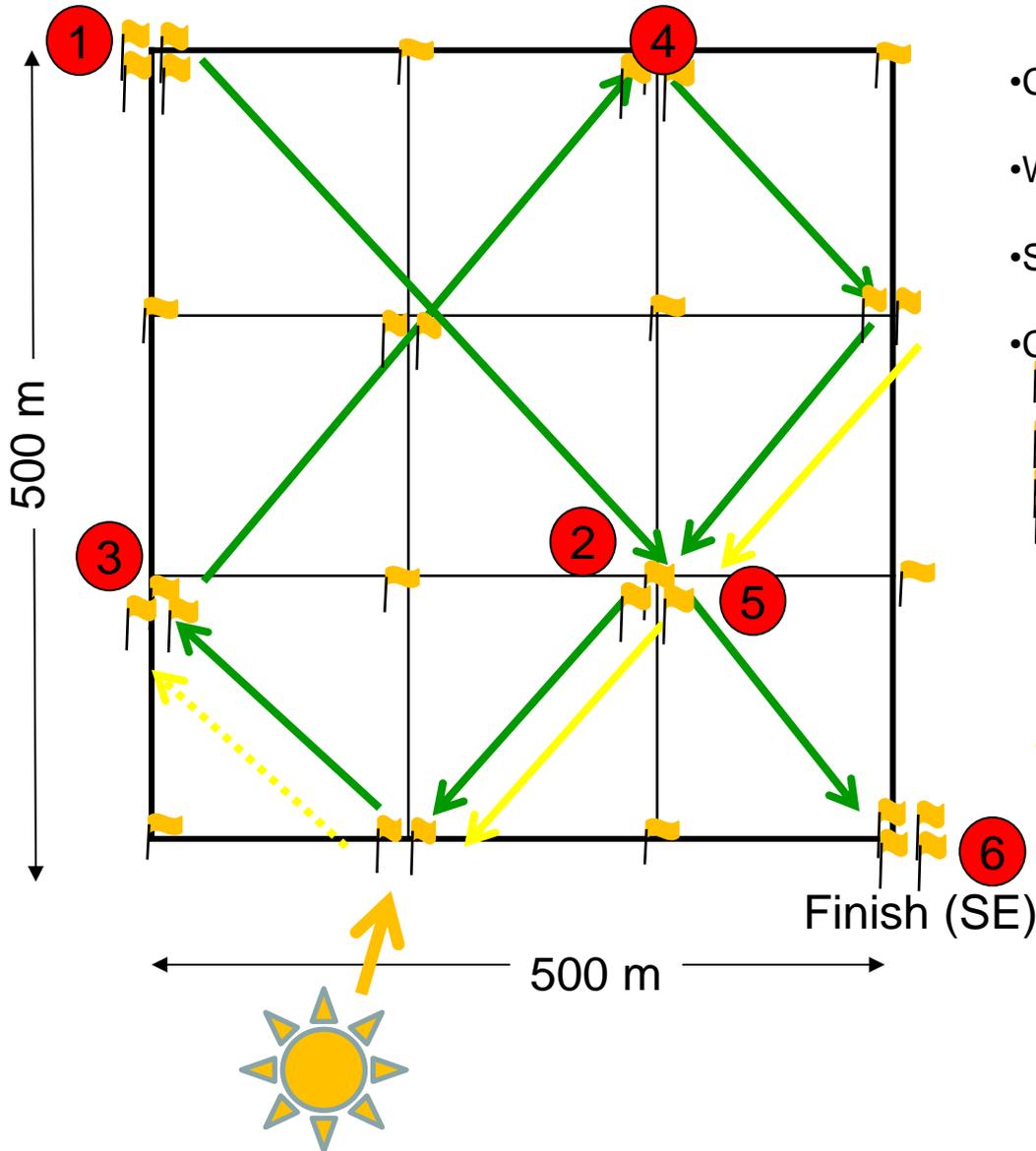




反射率測定パターン



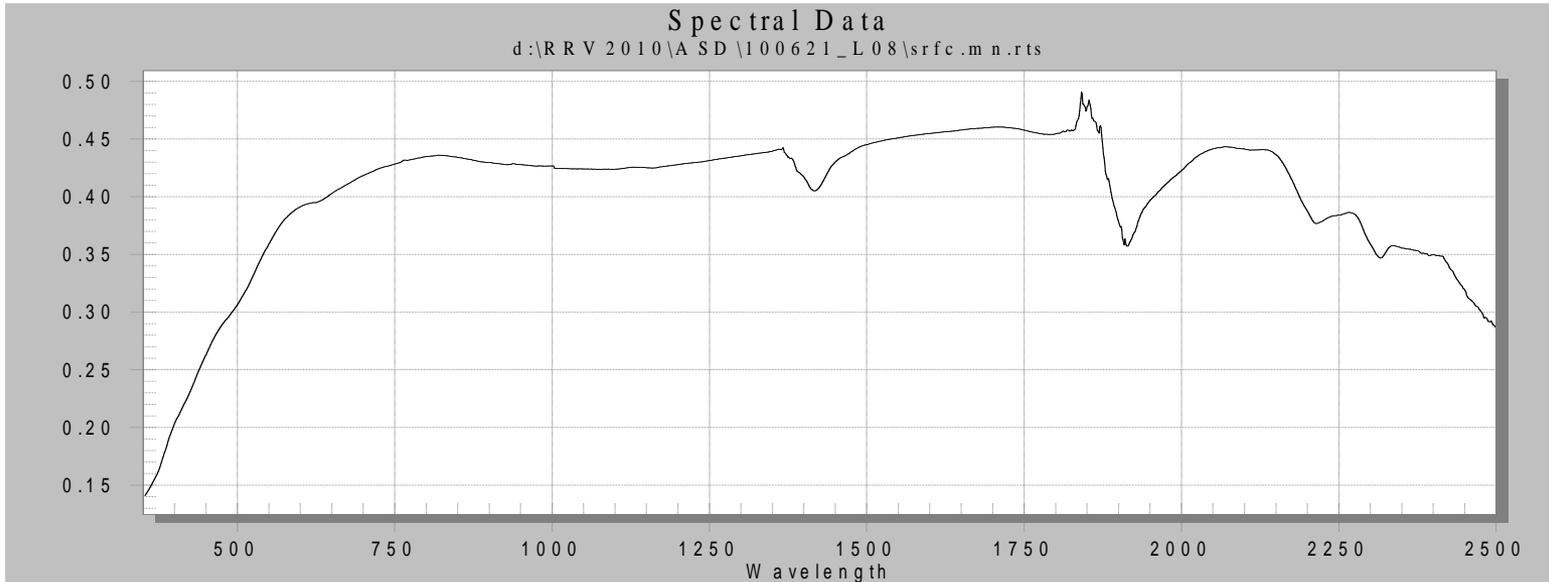
Start (NW)



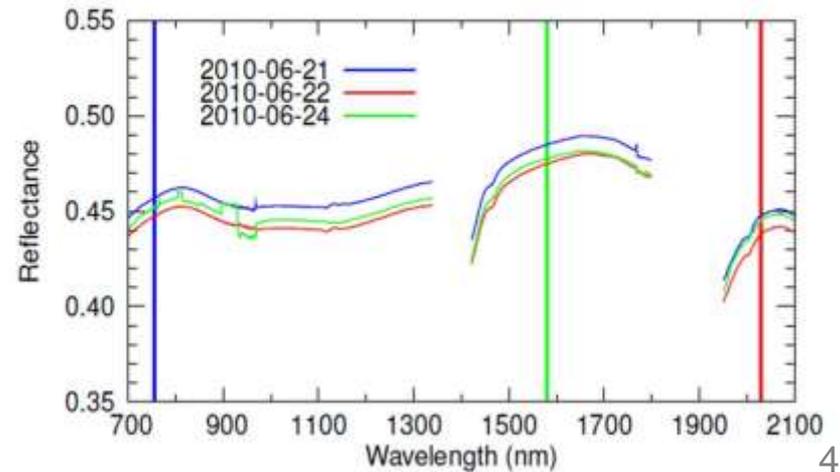
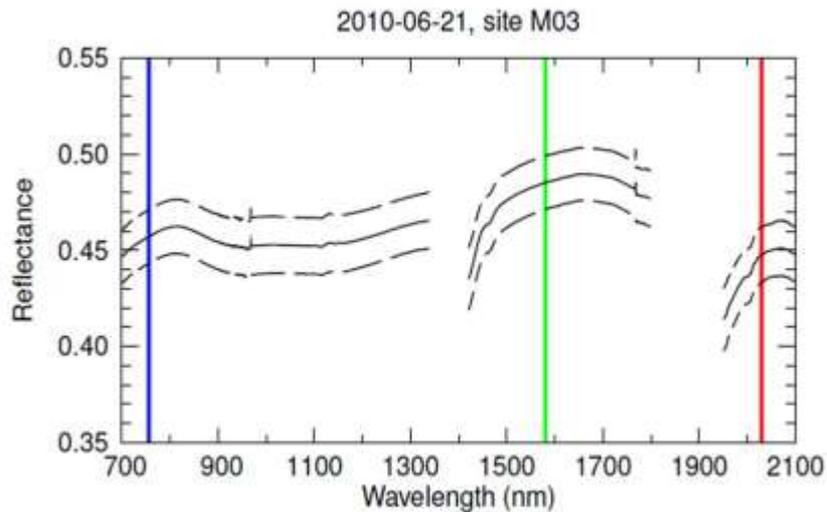
- Characterize a 500 x 500 m cell
- Walking on diagonal line
- Spectralon measurements acquired at 
- Corner Flags at
pass through
Spectralon measurements
Spectralon measurements & start/end point



地表面反射率測定

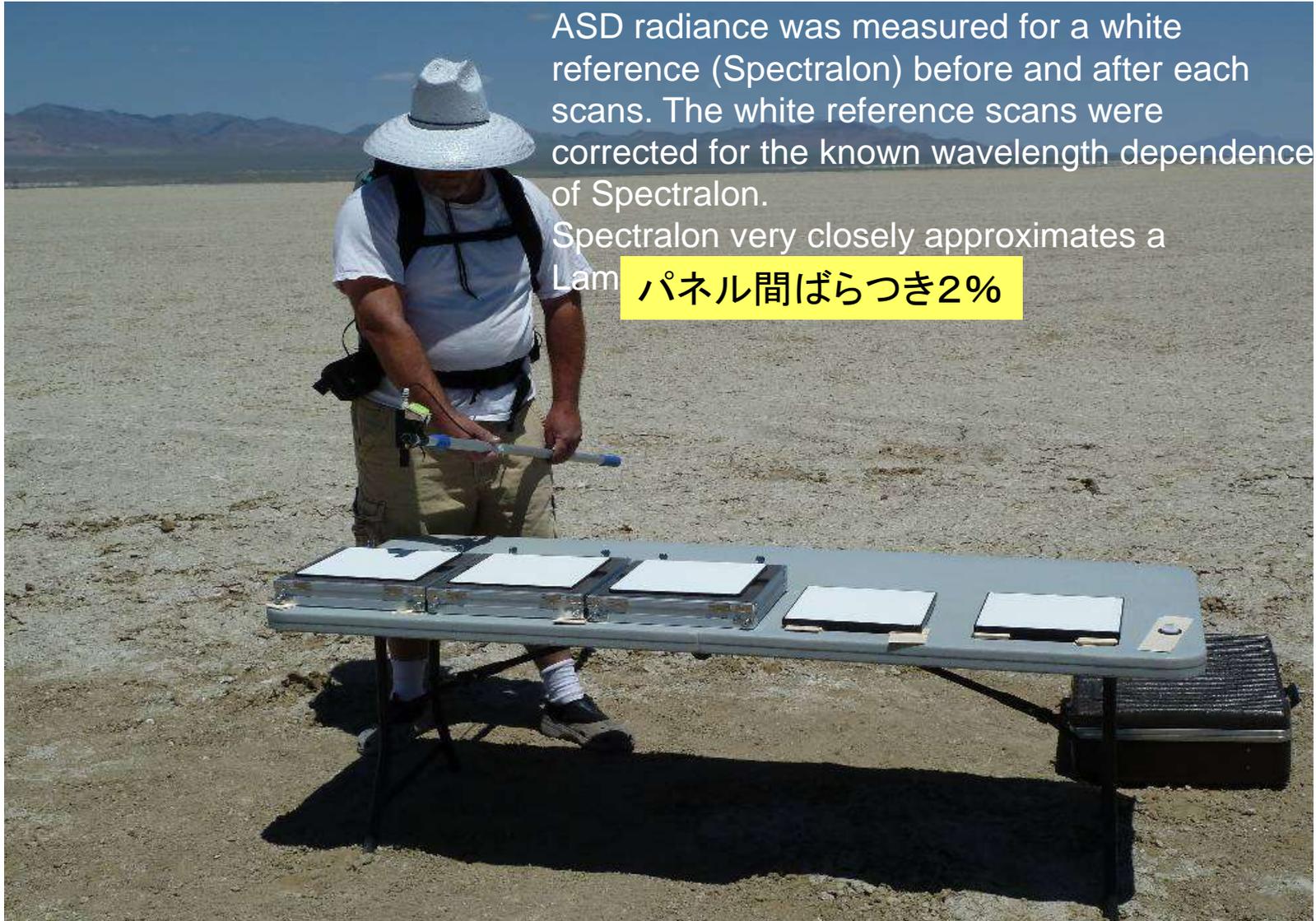


Comparison of reflectance spectra for site M03





スペクトラロン比較測定



ASD radiance was measured for a white reference (Spectralon) before and after each scans. The white reference scans were corrected for the known wavelength dependence of Spectralon.

Spectralon very closely approximates a
Lam

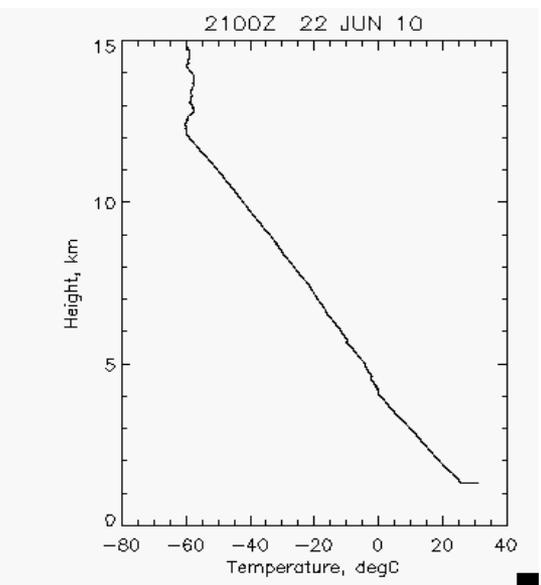
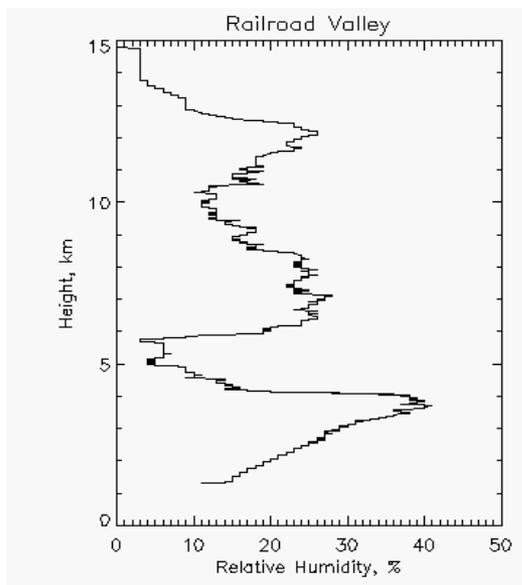
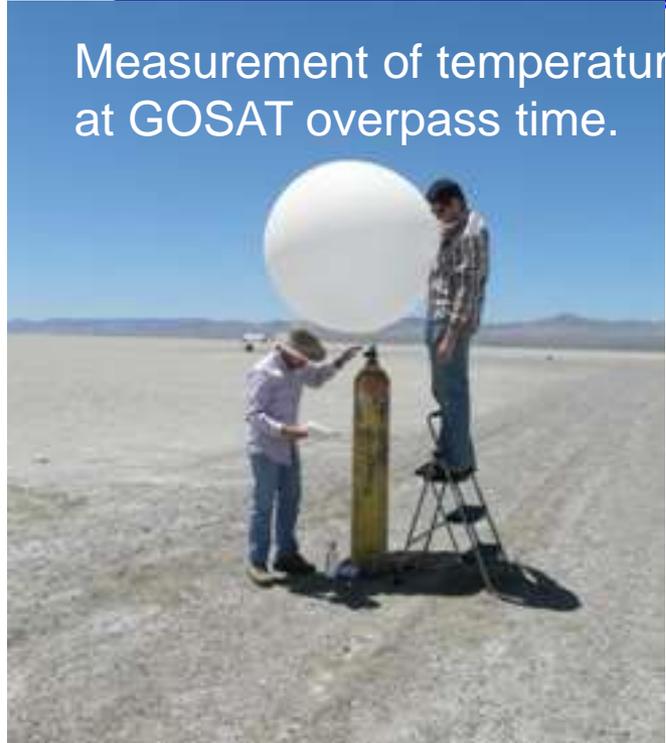
パネル間ばらつき2%



気球測定(気温、気圧、水蒸気高度分布)



Measurement of temperature and relative humidity profile at GOSAT overpass time.





エアロゾル、気象ステーション、オゾン



Sun photometer AERONET station
(aerosol optical thickness)



Meteorological station (T, P, Humidity)



Microtops (mobile)

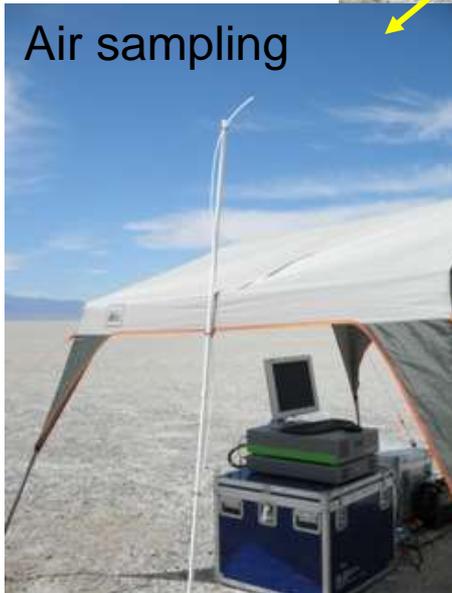


for ozone



for aerosol

PICCARO : Cavity Ring-Down 分光計



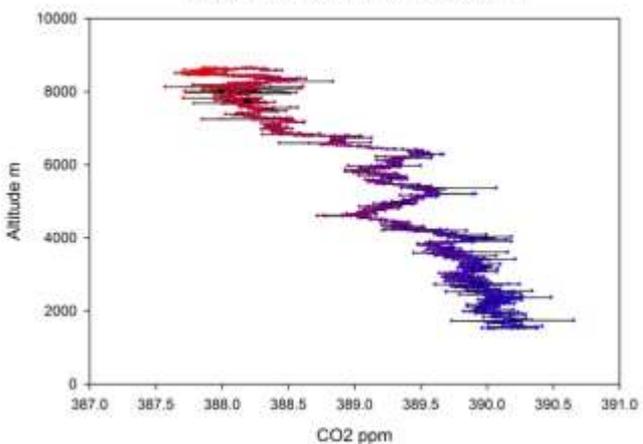


航空機によるCO₂、CH₄プロファイル観測

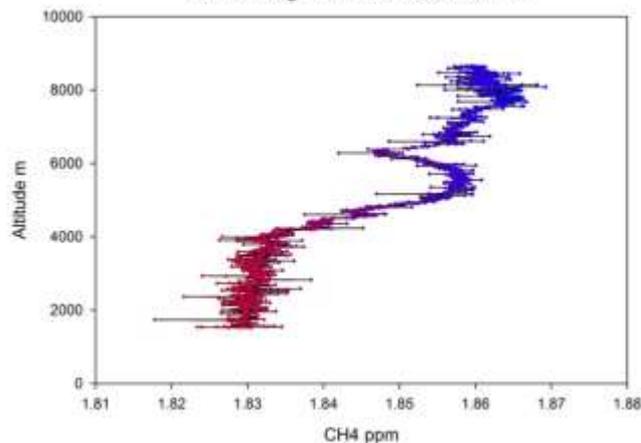
NASA AMES AJAXプロジェクト



CO₂ change with altitude 25.06.2011



CH₄ change with altitude 25.06.2011



CO₂ (left) and CH₄ (right) mixing ratios over RRV, NV on 25 June 2011.



PARABOLAによるBRDF測定



装置は大掛かりです。
設置も大変です。
2-3時間の労働です。

Solar battery



Portable Apparatus for Rapid Acquisition of Bidirectional Observation of the Land and Atmosphere



NASA JPL Brueggeさんによる教育的指導

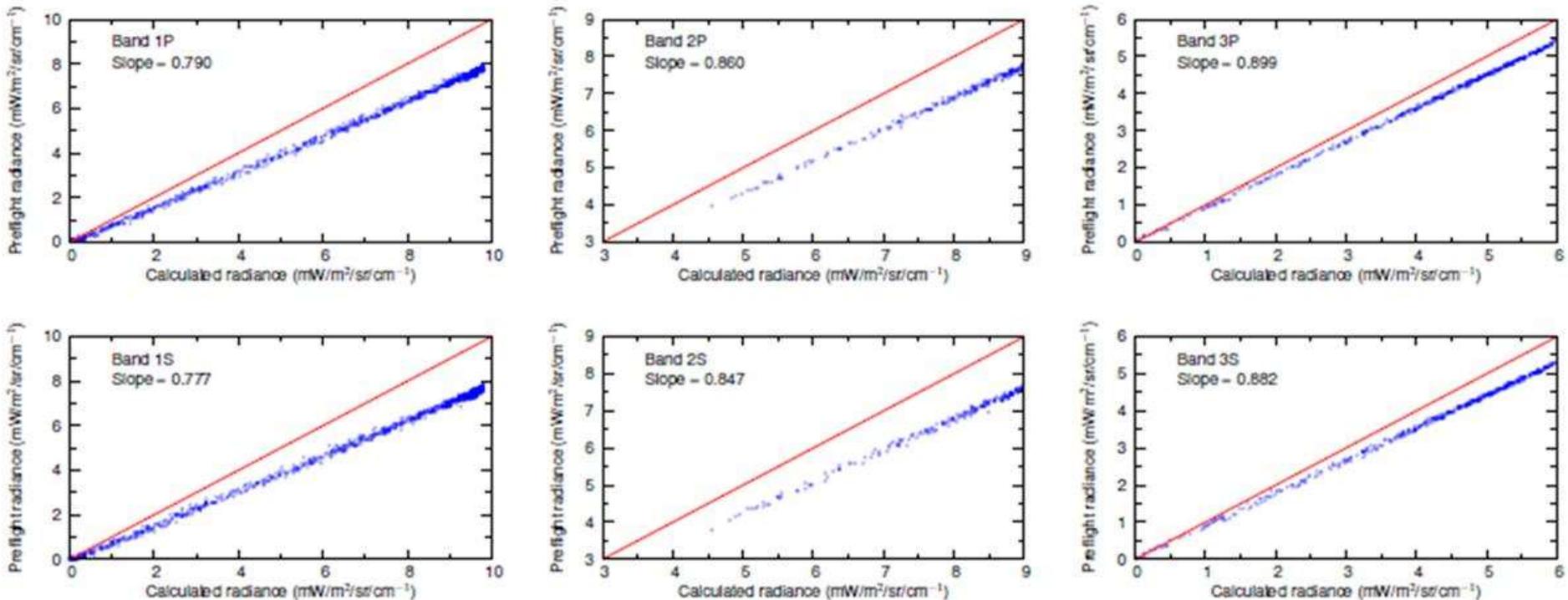
原理はとてもシンプル。FieldSpec光学系を斜視させ分度器で入射角度を測り、そのときの反射スペクトルを取得します。直下視のときと比べてBRDFを決めます。



解析結果 (放射伝達計算vs衛星観測輝度)



Comparison of observed and calculated radiances — CAI method 3



現場での観測値を入力とした放射伝達計算による輝度と、GOSATの観測輝度の比較 (青の1つの点はある波長チャンネルの値)。青が赤(1対1の線)になるように輝度補正係数を決める。軌道上でのセンサ感度の変化を表す。高次処理では、この補正を行う。



本日お伝えしたこと



- (1) ミッションをプロジェクト化し着実に遂行すること
 - 地球観測一大気・海洋・陸で、何を知りたいか、どういう精度で知りたいか、ミッション目的を明確にして、プロジェクトは進みます。
 - GOSATでは、現在4年間運用を続け、宇宙からのCO₂観測データを配信しています。
- (2) データの精度を維持し、さらに追究すること
 - センサ特性を評価し観測量を校正すること、観測量から抽出した物理量を検証することは大切です。
 - GOSATは、当初の観測目標精度CO₂ 4ppm(1%)を達成し、さらに2ppm(0.5%)まで精度を高められた。
- (3) サイエンスの成果をさらに拡大すること
 - 世界の研究者との協力と競争は大切です。自分ひとりではできないことが、できるかもしれません。
 - GOSATでは、年に1回、米国の砂漠に衛星の一瞬の観測のために人が集まります。そこにサイエンスがあるからです。