

1.2. プログラム2：情報統合プログラム

[概要]

情報統合プログラムはデータの作成、統合、公開を基軸として、主に大気圏・陸域の環境研究を推進する。取り扱うデータは衛星観測データ、地上観測データ、研究成果としての環境データである。本プログラムに含まれる主要な研究テーマは、衛星データの補正・前処理、膨大な衛星データの効率の良い処理手法の確立、衛星データと地上のデータ統合による環境モニタリング手法の開発、および衛星データからの大気・陸域環境情報の抽出である。なお、本プログラムは CEReS としての各種データ公開（VL；計算機データベース委員会業務）、共有システムの運用（CEReS Gaia）に密接に関係する。

情報統合プログラムの中期計画期間（H22 - 27 年度）の達成目標は以下の通りである。

[中期計画期間の達成目標]

- ・静止気象衛星の全球での 10 年以上のデータセットの整備、校正、高次化を行い、それらのデータを公開する（VL）。
- ・静止気象衛星データを中心として、特に鉛直方向の計測・リトリバルが可能な衛星データによる複合解析を実施し、大気のシームレスモニタリングを試行する。
- ・陸域ではグローバル樹木被覆率データセット、土地被覆データセット等、他の陸域環境研究に有益なデータセット作成を継続する。
- ・地理空間データ蓄積共有システム CEReS Gaia の基本システムを構築する。
- ・地球観測衛星データ、とくに主要な地球観測衛星データの集積、校正、高度化を実施し、大気圏のシームレスモニタリングの長期化（気候解析）を実現する。
- ・シームレスモニタリングで得られた知見を陸域プロダクト生成前段階（データ校正、大気補正等）にフィードバックし、大気圏研究と陸域研究の相互連携を強化する。
- ・地表環境に関連する世界の研究者が効率的に地理空間データを蓄積・共有するシステム CEReS Gaia を国際的に運用する。
- ・情報統合プログラム、あるいは他のプログラム、共同利用・共同研究で得られたデータを公開し、統合環境情報拠点の一つの完成形を目指す。

Program 2 : Integrated use of geoinformation

This program aims to promote atmospheric/terrestrial environmental studies based on integrated use of geoinformation including satellite remote sensing data, ground measurement data, and extracted environmental data. Main research subjects in this program are correction and preprocessing of satellite data, efficient processing methods for a huge volume of satellite data, environmental monitoring method by integrating satellite data and ground data, and extraction of atmospheric / terrestrial environmental parameters. This program has close relationship with the operation of the data distribution and sharing systems of the whole CEReS.

<Research targets during 2011-2016>

- ・ Archiving global data of geo-stationary meteorological satellites for more than 10 years, with validation, high-level analysis, and data publication.
- ・ Feasibility study for the seamless monitoring of the atmosphere by means of comprehensive analysis of satellite data that enables the profile retrieval of atmospheric parameters.
- ・ Production of advanced and highly precise datasets for global tree coverage and land coverage.
- ・ Development of a basic geoinformation system, “CEReS Gaia”, for efficient data accumulation and

sharing.

- Long-term climatology analysis is implemented by means of the seamless monitoring over more than 20 years, leading to the synergy of land and atmospheric studies and realization of the information center for the earth environment.
- Long-term seamless monitoring of the atmosphere is employed for climatology study, through the high-level analysis of various earth-observing satellites, especially geo-synchronous meteorological satellites.
- Invigorating the atmospheric and land-surface studies through the feedback of the knowledge from the seamless monitoring to the data pre-processing such as calibration and atmospheric correction prior to the land-coverage analysis.
- The final goal of this program is the formation of the information center for the earth environment by disseminating the data obtained from this program and other CReS programs. The international geospatial data sharing system, “CReS Gaia”, will promote terrestrial environmental research by integrating existing data and research products through mutual comparison activities.

[研究内容と平成 26 年度の成果]

◆ 2.1. 南シナ海夏季モンスーンオンセットの年々変動に対する海洋の相対的な役割

(今川新 [理学研究科 M2]・樋口篤志)

南シナ海夏季モンスーン（以下 SCSSM）は東南アジアの気候に大きな影響を及ぼすのみでなく、SCSSM 開始日の年々変動が東南アジアのみならず、東アジアの梅雨やメイユに代表される惑星スケールの前線活動にも影響を与える。Kajikawa and Wang (2012; KW2012) は SCSSM 開始日が 1993/1994 を境にして早期化していることを報告している。しかし、SCSSM 開始日の年々変動の要因に関しては、未解明な部分が多い。そのため、本研究では SCSSM 開始日の年々変動に対する海洋（海表面温度 SST）の相対的な役割を調べるために解析を行った。使用したデータは気象庁再解析データである JRA-55、SST は NOAA/OISSTv2、海洋 4 次元データセットとして JAMSTEC より公開されている 4 次元差分法海洋環境再現データセット ESTIOC version 02b をそれぞれ使用した。解析期間は 1979 – 2008 年の 30 年間である。SCSSM 開始日定義の方法は東西風、対流活動（OLR）、降水量等いくつか考案されているが、本研究は KW2012 と同様東西風により同定した。その後、SCSSM 開始日に基づくグループ分けを行い、前期（1979 – 1993）での早い年、遅い年、後期（1994 – 2008）の早い年、遅い年の 4 グループでそれぞれ上位 3 年分の時系列データを抽出し、コンボジット解析を行った。

コンボジット解析の結果、前期の早い年および後期の遅い年は南シナ海（SCS）の対流活動がオンセットのトリガーであったが、前期遅い年の SCS 対流活動は活発であったが、フィリピン海（PS）でのそれが不活発であったため、開始日が遅れていた。一方、後期の早い年は PS の活発な対流活動のみがオンセットのトリガーとなっていたことが明らかになった。このようなモンスーンオンセットの年々変動、長期変動の違いを規定する要因としてオンセット前の SCS および PS の SST が寄与している可能性がある」と仮説を立て、データを精査すると、PS での SST はプレモンスーン期である 1 月～3 月にかけて、前期・後期で明確に SST が違う（KW2012 と同様の結果）のに対し、SCS のそれは前・後期ではなく、早い年と遅い年の同期間で SST が異なる傾向を示した。

SCSSM オンセット日との関係を調べるため、散布図を作成した（図 2.1-1 および図 2.1-2）。図 2.1-1 では一見関係性が見られない散布に見えるが、前期、後期で分けて考えると、SCS の SST の低い年はオンセット日が早い傾向にあること（前期、後期で分けると相関係数はそれぞれ 0.49、0.61）が本解析で分かった。一方、PS の SST とオンセット日との関係は SST が高いとオンセット日が早まる傾向にある

(KW2012 と同様の結果) が、年々変動そのものにはあまり感度が無い（前期、後期で相関係数は -0.24 および 0.00 ）ことが分かった。これらの結果から、南シナ海のローカルな SST は SCSSM オンセットの年々変動に対し影響し、より長い周期（10 年規模変動）にはフィリピン海（東太平洋）の SST が寄与していることが分かった。今後は領海域の相対的な温度差が年々変動に与える影響について精査し、モンスーンオンセットに対する SST メモリ機能について考察を与える予定である。

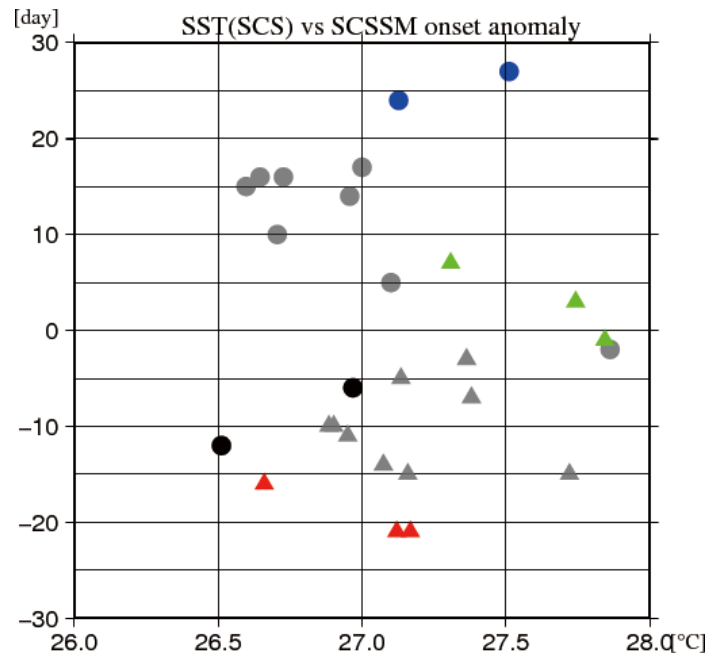


図 2.1.-1 南シナ海の高表面温度（横軸）と南シナ海オンセット日（平年オンセット日からの差；縦軸）の散布図。丸は前期、三角は後期、黒は前期早い年、青は前期遅い年、赤は後期早い年、緑は後期遅い年をそれぞれ示す。

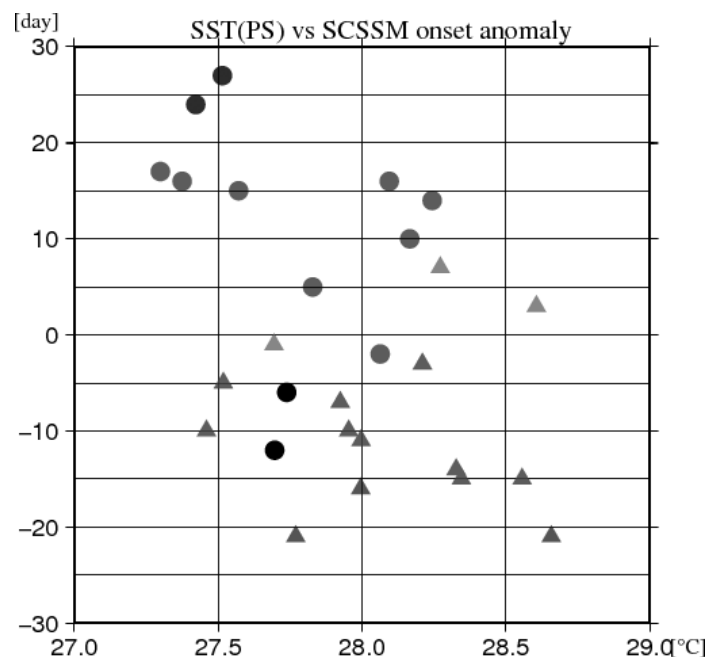


図 2.1.-2 図 2.1.-1 と同様、ただしフィリピン海の高表面温度と南シナ海オンセット日について。

◆ 2.2. 陸域リモートセンシング

◆ 2.2.1. 地表環境研究のための地理空間データ蓄積共有システム CEReS Gaia の運用と改良

(建石隆太郎、近藤昭彦、ヨサファット・T・S・スマンティヨ)

本研究は科学研究費補助金・基盤研究S「地表環境の総合理解を目指した地理空間データ蓄積共有システムの構築」2010－2014年度（課題番号：22220011）の助成を受けたものである。2014年度は5年プロジェクトの最終年度にあたり、2012年度に完成・公開したシステム CEReS Gaia を改良するとともに、インドネシア大学にサーバを設置し海外で最初のクラスターサーバとした。また、これに続くクラスターシステムを拡張するためにベトナム国立大学とインドネシアのハサヌディン大学との協議を継続的に行った。

CEReS Gaia システムは <http://gaia.cr.chiba-u.jp/portal/> からアクセス可能である。また、国内外の研究機関は CEReS Gaia システムにサーバを接続してクラスターシステムに参加することが可能である。

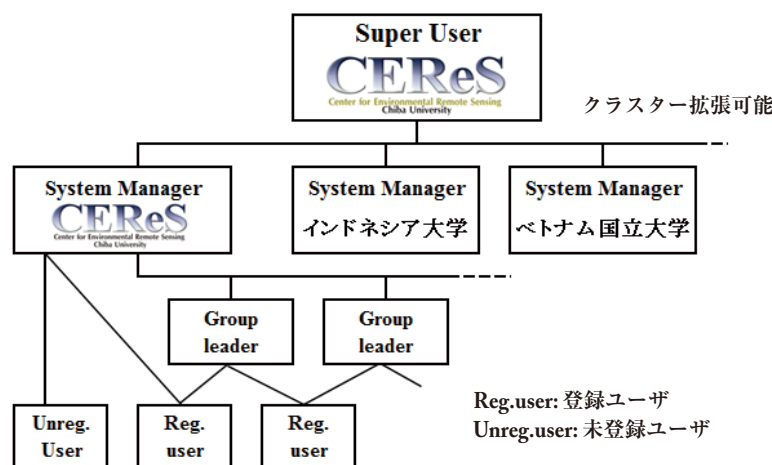


図 2.2.1. 地理空間データ蓄積共有システム CEReS Gaia

◆ 2.2.2. グローバル土地被覆データセットの作成

(建石隆太郎、小林利之 [特任助教]、Bayan Alsaaidh [特任助教]、Gegentana [特任助教])

本研究は地球地図プロジェクトの一部であり、建石研究室ではグローバル土地被覆データセットの作成を担当している。今年度は、2013 年観測の MODIS データを用いたユーラシア大陸の土地被覆データ (GLCNMO2013 = GLCNMO version 3, 図 2.2.2.) を作成した。マッピングの精度を向上させるため、分類項目ごとに独立マッピングした後に統合するという新しい方法を採用した最初の結果である。

http://www.cr.chiba-u.jp/~database-jp/wiki/wiki.cgi?page=GEOinfoDB_global

既に完成したプロダクトとして、上記サイトの [GG-10] [GG-11] [GG-12] [GG-13] [GG-14]) より 2003 年から 2013 年の MODIS データ、トレーニングデータおよび作成した土地被覆データを公開中である。

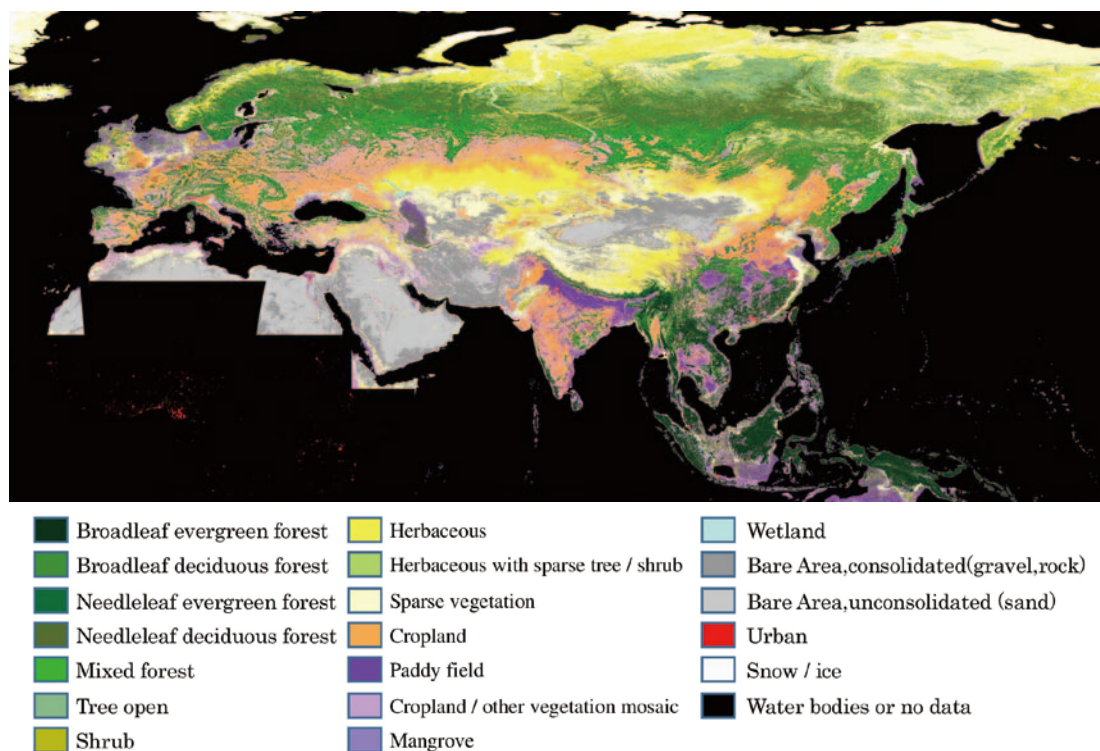


図 2.2.2. グローバル土地被覆図 GLCNMO2013 (version 3) ユーラシア大陸

◆ 2.3. 航空機データによる GOSAT の二酸化炭素プロファイルおよびメタンプロファイルの検証解析 (齋藤尚子)

2009 年 1 月に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT (Greenhouse Gases Observing Satellite) に搭載されている TANSO (Thermal And Near-infrared Sensor for carbon Observation) -FTS の熱赤外波長領域 (TIR バンド: $5.5\text{--}14.3\mu\text{m}$) からは、二酸化炭素およびメタンの濃度鉛直プロファイルを導出することができる。二酸化炭素、メタンの鉛直プロファイルの導出には、ベイズ理論に基づいた線形写像付き非線形最大事後確率推定法を採用している [Saitoh et al., JGR, 2009]。二酸化炭素のリトリーバルでは、 $685\text{--}750\text{ cm}^{-1}$ 、 $790\text{--}795\text{ cm}^{-1}$ 、 $930\text{--}990\text{ cm}^{-1}$ 、 $1040\text{--}1090\text{ cm}^{-1}$ の 4 つマイクロウィンドウを用いている。メタンのリトリーバルでは、 N_2O 弱吸収帯を含む $1140\text{--}1370\text{ cm}^{-1}$ を用いている。

齋藤が中心となって、東京大学大気海洋研究所、宇宙航空研究開発機構、国立環境研究所と共同で開発した、最新の TIR バンドのリトリーバルアルゴリズムで処理した二酸化炭素およびメタンのプロダクト (V01.0x) は現在、世界中の登録研究者に配信されている。今年度は、V01.0x プロダクトのデータ質を検証するために、2010 年の一年分の CONTRAIL (Comprehensive Observation Network for Trace gases by Airliner) [Matsueda et al., Pap. Meteorol. Geophys., 2008] の CME 二酸化炭素データ、および HIPER Pole-to-Pole Observations (HIPPO) プロジェクト [Wofsy et al., Phil. Trans. R. Soc. A., 2011] の航空機観測メタン高度分布データとの比較検証解析を行った。図 2.3-1 に、成田ーシドニー間の季節別の上部対流圏の二酸化炭素データの比較結果を示す。TIR バンドの二酸化炭素データは、対流圏中層に 1-1.5% の負バイアスがあることがわかっているが、高度 9 - 12 km の上部対流圏については CONTRAIL の二酸化炭素データと概ね 0.5% 以内で一致していた。高緯度の成層圏についても、観測に含まれる二酸化炭素濃度の情報量が比較的多い夏季においては、TIR バンドの二酸化炭素データが先験値よりも CONTRAIL データとよい一致を示すことがわかった。(* 本研究の一部は、融合科学研究科情報科学専攻知能情報コースの木本周平君、杉村亮君の修士研究成果である)

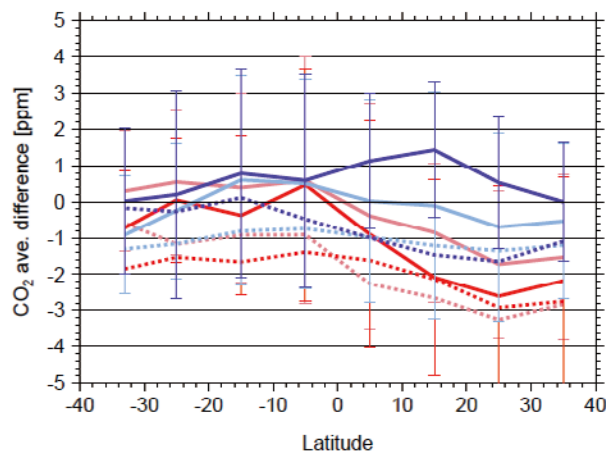


図 2.3-1 2010 年の成田－シドニー間の TIR バンド（実線）および先験値（点線）の上部対流圏の二酸化炭素データと CONTRAIL CME 二酸化炭素データ（水平フライト時）の差分。桃色が春、赤色が夏、水色が秋、青色が冬の比較結果を示している。

図 2.3-2 に、領域（緯度約 10 度、経度 30 度）ごと、10 日ごとに TIR バンドおよび先験値のメタン濃度データを平均し、各領域の HIPPO メタン濃度データと比較した結果を示す。低緯度および中緯度については、図中の黒で示された TIR バンドのメタン濃度プロファイルデータは、赤で示された HIPPO メタン濃度プロファイルデータとよい一致を示している。一方、先験値のメタン濃度プロファイルデータは全体的に濃度が両者より低めになっている。一方、北半球高緯度については、もともと観測に含まれるメタン濃度の情報量が中低緯度に比べて乏しいため、HIPPO メタンデータの濃度分布の特徴を十分に捉えられていなかった。このことは、衛星データを利用してシベリア域のメタンの動態に関する研究をするためには、リトリバーアルゴリズム等をさらに改良し、衛星データ処理に利用する気温などの気象場データの高精度化を図って、観測確度・精度を向上させなければならないことを示唆している。（本研究は、環境省・環境研究総合推進費の平成 24－26 年度課題（A-1202）の成果の一部である）

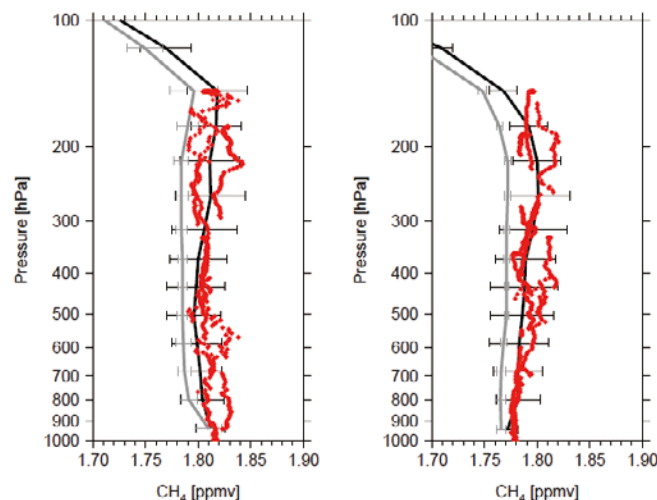


図 2.3-2 2011 年夏の北緯 20 度から南緯 10 度（左図）、南緯 10 度から 40 度（右図）における HIPPO メタン（赤）、TIR バンドのメタン平均値（黒）および先験値のメタン平均値（灰色）の領域ごとの比較。

謝辞：CONTRAIL の二酸化炭素データは、気象研究所の松枝氏、澤氏、国立環境研究所の町田氏より提供を受けたものです。CONTRAIL プロジェクトは日本航空・日航財団・JAMCO の多大な協力のもとに実施されています。

◆ 2.4. 気候診断系に関わるバーチャルラボラトリ（VL）の形成

（久世宏明、樋口篤志、齋藤尚子、入江仁士、眞子直弘、広瀬広志、岡本浩）

〔概要〕

昨今の異常気象・温暖化現象、雲解像モデルの全球での稼働等の新しい状況下において、現在気候診断の基幹データとなる人工衛星データの収集・解析および提供は研究コミュニティへの貢献のみならず、社会への情報還元の見点からも意義がある。こうした背景から、地球気候系の診断を行うため我が国で気候・環境研究を推進する4研究所・研究センター（東京大学大気海洋研究所 [AORI]、事業開始当時は気候システム研究センター [CCSR]、名古屋大学地球水循環研究センター [HyARC]、東北大学大気海洋変動研究センター [CAOS]、および千葉大学環境リモートセンシング研究センター [CEReS]）が協働して仮想研究室（バーチャルラボラトリ；以下 VL）を形成し、各拠点の特色と研究資産を活かした研究と教育を2007年度より分担・連携して行っている。VLとして地球気候系診断に関わる重要な課題に取り組み、地球温暖化イニシアチブ、水循環イニシアチブ、地球観測統合システム（GEOSS）等の我が国における重要課題に貢献している。

この枠組みの中、CEReSは静止気象衛星データの収集・処理および公開、および収集された静止気象衛星データの高度化、雲解像モデル改善のための衛星データの有効活用、および現象理解のための各種解析を行っている。CEReS VLの特徴として、VL機関のみならず、静止気象衛星現業機関（気象庁衛星センター）、民間企業（ウェザーニューズ）との連携を深めているのが特徴である。

〔平成26年度活動概略〕

CEReSではVL支援室を設けVL自身の推進、VL連携機関との調整の役割を担っている。活動としては、中核的事業である静止気象衛星データ群の処理・公開に加え、新たな連携形態の模索を行っている。しかし、静止気象衛星データ処理もそれなりのウェイトを占めているため、データベース委員会（データ支援室）とも連動し、効率の良い運営を行う努力も継続している。VL校との連携のため、VL協議会への参加、VL講習会（平成26年度は東北大CAOSで実施）の参加支援を行った。新たな連携として、北海道大学研究林で実施された生態リモートセンシングトレーニングコースの参加者（CEReS所属学生のみではなく、園芸学部学生も対象）に対して旅費支援を行った。加えて、VL参加校が主体となって進めている大型施設要求（航空機観測プラットフォーム）に関する検討を行い、JpGU2014、および名大HyARCにより実施された航空機ワークショップで話題提供を行った。最後に、VL活動のまとめとしてVL関係者による分担執筆によってまとめられた「気候変動研究の最前線」と題する本を出版し、啓蒙活動を行った。

◆ 2.4.1. 静止気象衛星データ収集・処理・公開（樋口、青木 [データ支援室]）

VL開始時から一貫して日本のMTSAT・GMS衛星、米国のGOES衛星、欧州のMETEOSAT衛星、中国のFY2衛星データに対し、緯度－経度座標系へ変換を施したグリッドデータのftp公開を継続している。また、METEOSATデータを除いては、配信データの準リアルタイム受信・グリッド変換・画像作成・ftp公開の作業を自動化している。準リアルタイム処理をしていないMETEOSAT衛星群に関しては、Meteosat-IDOC（インド洋上）はEUMETSATポータルサイトにユーザ登録し、データをインターネット経由で取得、グリッドデータ処理をオフラインでルーチン処理としてデータ支援室の青木氏に依頼

している。データ量の大きいMSG（Meteosat Second Generation）シリーズはビジョンテック社を通じてEUMETSATにデータ取得依頼を行い、3ヶ月分を目安としてtape（LTO4）でデータ取得を行い、テープの読み出し、グリッドデータ処理を同じくデータ支援室と協働して実施している。

平成26年度で通常業務意外で行った仕事は、1）気象庁からのご厚意により、NICTサイエンスクラウドを通じ、GMS-1からMTSAT-2迄の気象庁アーカイブデータを取得することができた。2）平成26年10月7日に無事打ち上げが成功したひまわり8号のテストデータを気象庁が応募した評価者に対して提供した（ftp://hmwrtst.cr.chiba-u.ac.jp）。3）ひまわり8号以降、データ量が膨大になること、現行サーバ室（研究棟3F）が耐震基準的に42Uラック群を設置するのに適さないことから、新規に研究棟1Fにサーバ室工事を行い、工事終了後、稼働しているサーバ群を移動させた（詳細については10. 計算機データベース主要業務を参照のこと）ことである。現時点での取得静止気象衛星データリストを表2.4.1. に示す。

表 2.4.1. VL にて収集された静止気象衛星データリスト

静止気象衛星収集・処理状況

	*1: 3hourly data only							
Asia 1 (JMA GEO)	GMS1*1 198103- 198406	GMS2*1 198112- 198409	GMS3*1 198409- 198912	GMS4 198912- 199506	GMS5 199506- 200305	GOES9 200305- 200507	MTSAT1R 200506- 201007	MTSAT2 201006- 現在
Asia 2 (CMA GEO)							FY-2C 200605- 200809	FY-2D 200809- 現在
Asia 3 (Meteo- IDOC)					Meteosat(MFG)5 199804-200702		MFG7 200607- 現在	
EU-Africa (EUMET)		MFG4 198912- 199402	MFG5 199402- 199707	MFG6 199610- 200212	MFG7 199806- 200607	MSG1 200401- 200612	MSG2 200609- 現在	MSG3 201212- 現在
America (GOES-E)				GOES-08 199409-200303		GOES-12 200304-201004		GOES-13 201004- 現在
Pacific (GOES-W)			GOES-07 -199509	GOES-09 199507- 199807	GOES-10 199807-200606		GOES-11 200606- 201112	GOES-15 201112- 現在

◆ 2.4.2. 静止気象衛星マルチチャンネルによる全球降水ポテンシャルマップ

（広瀬民志、樋口篤志）

推定精度の高い全球降水観測データセットは気候学研究・応用分野で重要な役割を担い、特に高頻度降水観測の需要はより高まることが予想される。衛星全球降水マップ（GSMaP）は複数のマイクロ波衛星を併用し高い精度で全球の降水量を推定しているが、この手法は短時間に発生・発達する対流性降水を見逃す可能性が指摘されている（Ushio et al., 2009; GSMaP_MVK, GSMaP_NRT）。そこで本研究では昨年度にMTSAT-1R 静止気象衛星の赤外・水蒸気チャンネルを用いて高時間分解能で降水域を推定するプロダクト（降水ポテンシャルマップ；以下PPM）を作成し、PPMを用いてGSMaPの降水判定を改良することにより、降水域推定精度が向上する可能性を提示した。

本研究では本年度にPPMに対して行った以下の3つの改良結果を紹介する。

解析に用いた静止気象衛星データは文部科学省特別教育研究経費プロジェクト「地球気候系の診断に関わるバーチャルラボラトリーの形成」の一環として作成され、千葉大学環境リモートセンシング研究センターで公開されているものである。

(1) PPM の全球への拡張

昨年度の解析において MTSAT-1R 静止気象衛星 1 台のみで作成していた PPM を全球に拡張するために、まず MTSAT-1R、Meteosat7、MSG-2、GOES-11、GOES-12 の 5 台の静止気象衛星観測を結合し全球をカバーできる輝度温度データの作成を行った。この際にまず Joyce et al. (2001) の手法に基づき各衛星の観測する輝度温度から視野角依存性を取り除いた。視野角依存性とは静止気象衛星の視野周辺部で観測光路長が視野中心部の 2 倍以上の長さとなるため、光学的に薄い雲でも観測輝度温度を大きく減衰させる問題である (Evan et al., 2007)。PPM の作成は昨年度に MTSAT-1R 静止気象衛星の観測を用いて作成した際と同様、静止気象衛星群による全球輝度温度観測と TRMM PR との各月毎のマッチアップデータを集計することで輝度温度-降雨確率変換テーブルを作成し、作成した変換テーブルを用いて図 2.4.2-1 に示されるような全球 PPM を作成した。全球 PPM は静止気象衛星の赤外観測と同様の時・空間解像度 (1 時間、 0.04°) を持っており、マイクロ波観測の降水推定と比較して観測域の陸・海の違いによる影響が比較的少ないというメリットを持つ。

この全球 PPM を用いて GSMaP の降水判定を改良した結果、マイクロ波観測が利用できない場所でスコアが全体的に向上し、GSMaP データに含まれていたマイクロ波の有無や観測域の陸・海の違いによるギャップを減少させることに成功した。静止気象衛星観測を用いることにより GSMaP の降水域推定精度の向上が可能であることが、全球に適用することでより明示的に示唆することができた。

(2) 対流性・層状性の降水システムの分離

個々の降水システムの輝度温度情報のみでは、降水を伴わない層状性の雲と降水を伴う対流性の雲の分離は難しい。そこで本研究では静止気象衛星の輝度温度の空間分布情報から対流性の降水システムの抽出を試みた。本解析は気象庁合成レーダの高頻度降水観測を利用したため、解析は日本付近 ($120^\circ\text{E} - 150^\circ\text{E}$ 、 $20^\circ\text{N} - 50^\circ\text{N}$) に限定して行った。対流コアの検出は Adler and Negri (1988) に基づいて行った。この手法は静止気象衛星が観測する赤外輝度温度の空間分布特性から、周囲のピクセルより温度が低く、輝度温度が局所的に最小値を示すピクセルを対流コアとして検出するというものである。このようにして抽出した対流コアと、実際に降水レーダから得られた降水分布を比較した結果の例を図 2.4.2-2 に示す。図を見ると静止気象衛星の輝度温度分布から抽出した対流コアの位置と、レーダが観測した降水分布がよく一致することがわかる。

対流コアが存在する場所に限定して PPM を作成し直した結果、 240K から 270K の間の比較的輝度温度の高い雲域で降水セルの検出率が大きく向上した。この結果から対流性の降水タイプ分類の情報を GSMaP に取り込むことで、暖かい雨に対する降水推定精度の向上、特に陸上での向上が期待される。

(3) MSG-2 複合チャンネルの利用

Kühnlein and Appelhans (2014) は MSG SEVIRI のマルチチャンネルを活用し、より高精度な降水域推定を可能とした結果を示している。そこで本研究では今後打ち上げが予定されている第三世代静止気象衛星群に備えるため、MSG のマルチチャンネルを用いて PPM を改良し、IR1 と WV のみでは分離できなかった背の低い降水雲の検出精度向上を試みた。MSG2 の雲パラメータ推定指標は前述した先行研究に基づき、近赤外 (NIR)、WV1、WV2、IR1、IR2 の 5 つのチャンネルを利用した。さらに先行論文では異なる波長帯で観測した輝度温度の差を利用して以下に示す 3 つの雲パラメータを推定している。雲頂高度に相当する IR1 - WV1、雲タイプの違いを判別するのに有効な IR1 - IR2 (スプリットウィンドウ観測)、雲水量に相当する NIR - WV2。

この複合チャンネル情報に対して感度解析を行った結果、雲頂高度の低い暖かい雨に対しては IR1 - IR2 で推定されるスプリットウィンドウ観測が最も検出率を向上させることがわかった。そのため IR1 と

WVにスプリットウィンドウ観測の輝度温度差を加えて、複合チャンネル情報に基づく改良型のPPMを作成した。その結果IR1とWVのみを利用していた場合と比較して全体的にスレツスコアが向上し、マイクロ波の有無や陸・海の違いによる差もより小さくなるという結果が得られた。図2.4.2-3を見ると、(c)に示されるレーダーで捉えられた線状降水帯域において、(a)に示される複合チャンネルPPMは(b)に示されるIR1とWV観測のみを用いたPPMより高い降水確率を推定していることがわかる。(a)のPPMと(b)のPPMの降水確率の差分を取った(d)を見ると、線状降水帯付近で複合チャンネルPPMの方が20%以上高い降水確率を示していることがわかる。これらの結果から次世代静止気象衛星のマルチチャンネル観測を取り込むことでGSMaP降水推定精度のさらなる向上が期待できる。

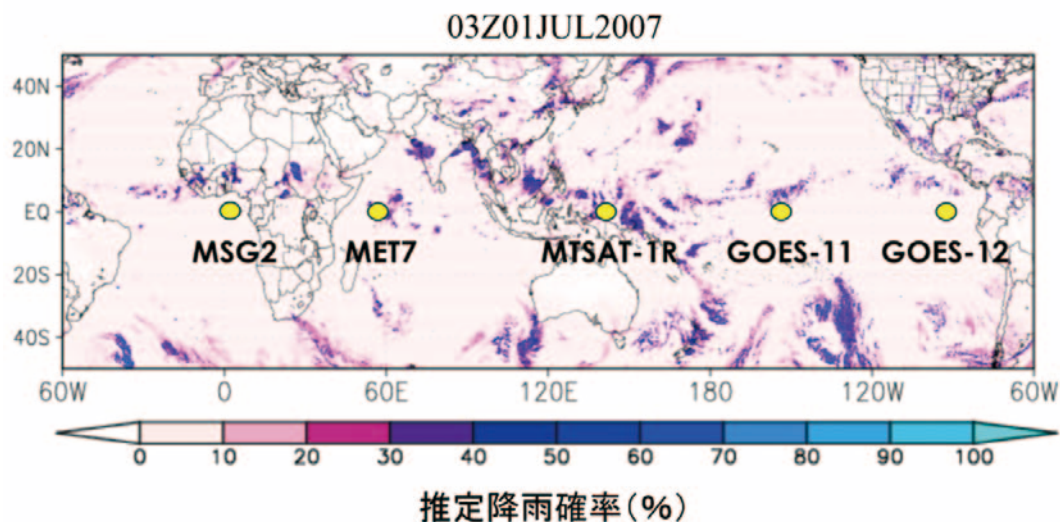


図 2.4.2-1 全球PPMスナップショット。シェードはPPMによって推定された降水確率を示し、黄色のドットは各静止気象衛星の観測中心の座標を示す。

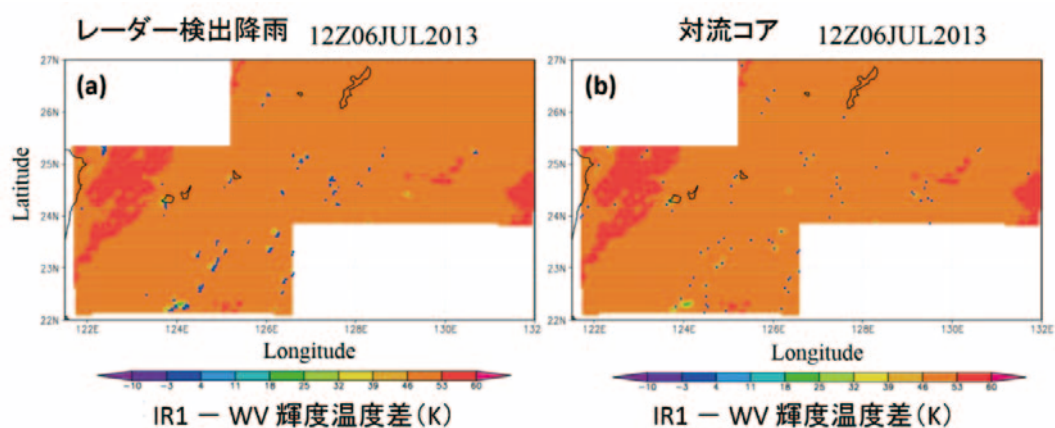


図 2.4.2-2 検出した対流コアの分布。(a) 青いドットが気象庁合成レーダーで捉えられた実際の降水分布を示す。(b) 青いドットが静止気象衛星輝度温度分布から推定した対流コアの位置を示す。

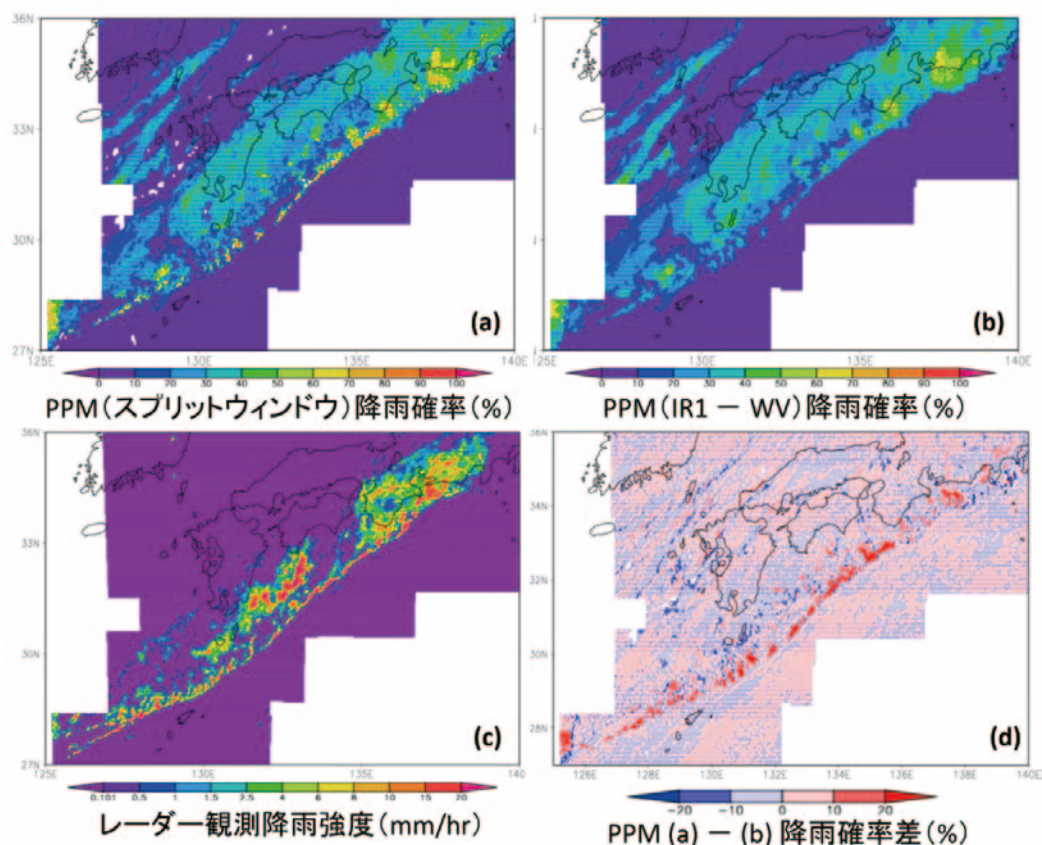


図 2.4.2-3 複合チャンネルを用いた改良前・改良後 PPM 比較結果。(a) スプリットウィンドウを加えた複合チャンネル PPM。(b) IR1 と WV チャンネルのみによる PPM。シェードは推定された降水確率。(c) 気象庁合成レーダで観測された実際の降水分布。(d) は (a) と (b) の PPM の降水確率の差分。

◆ 2.4.3. VL における SKYNET の現況と活動報告

(入江、カトリ、岡本)

本研究における千葉大学環境リモートセンシング研究センターの役割は、エアロゾル・雲・放射に関する国際地上観測ネットワークである SKYNET (旧ウェブサイト <http://atmos.cr.chiba-u.ac.jp/>, 新ウェブサイト <http://atmos2.cr.chiba-u.jp/skyenet/>) を基盤として、各種衛星プロダクト検証等の研究を推進するとともに、エアロゾル・雲が放射に与える影響を評価する観点から気候変動に与える大気汚染物質等の重要な因子の特徴を把握することである。

本年度は、主にデータユーザーの利便性の飛躍的な向上のために、SKYNET における一連のデータフローシステム (データ転送→データ処理→データ公開)、特に、SKYNET ホームページからのデータ公開方法を刷新した。具体的には、新ホームページの立ち上げ、年次データの提供、公開するデータのフォーマットの見直し、観測サイトごとの機器の履歴等のデータ処理に必要な基礎情報の整理、その自動解析プログラムへの反映を行った。また、新たな SKYNET 観測サイトについて一連のデータフローシステムを追加で構築した。さらには、セキュリティを考慮した観測データ転送方法の再検討を行った。これらのデータフローシステムに関する研究作業に加えて、SKYNET のデータ処理を定常運用するための新しいサーバーへの移行作業も進めた。

SKYNET データを利用した衛星プロダクト検証としては、我が国の地球観測衛星計画である GCOM-C (エアロゾル、雲) 等の打ち上げ前検証計画に関わる研究を実施した。具体的には、SKYNET 観測サイトにおいて、定常的なデータ取得を行うとともに、定常観測で可能となったエアロゾル光学的厚さ (AOD,

500 nm) のトレンド解析を試みた。千葉サイトにおいては、2005 年から 2014 年まで、夏季に極大となる明瞭な季節変化をしながら、年々 AOD が減少した傾向が見られた。年々の減少量は 0.01 程度であった。このデータを外挿すると GCOM-C の観測期間における AOD の年平均値は 0.2 程度になることが予想された。AOD についてはまた、可搬型のサンフォトメーターである MICROTOPS II で測定を行い、SKYNET/ スカイラジオメーターのデータとの比較等を通じて、MICROTOPS II の有効性の評価を行った。精度は 0.01 よりも良いことが分かった。また、4 方位に向けた MAX-DOAS (多軸差分吸収分光) 法による観測から、主に都市域において空間不均一性に十分に留意して衛星検証すべきことが分かった。場合によっては、20 km 四方の領域で AOD が 6 倍も異なることが分かった。

また、GCOM-C の雲プロダクト検証の予備的研究として、千葉大学において 2014 年 11 月 4 - 18 日に Chiba Campaign 2014 集中観測を実施し、SKYNET/ マイクロ波放射計による観測と集中的なデータ解析を実施した。マイクロ波放射計と MAX-DOAS 法による可降水量観測データも比較結果を踏まえ、雲水量について、マイクロ波放射計データと人工衛星 AQUA や TERRA 搭載の MODIS データとの比較を行い、整合性を評価した。雲に関しては SKYNET 観測機材のキャリブレーションを行う気象条件が重要であることが分かった。

さらには、東日本大震災以降の再生可能エネルギーの利用推進の機運の高まりを受けて、衛星利用による太陽エネルギーの効果的な利用法の検討に資する形で、戦略的創造研究推進事業 (CREST/JST) における「再生可能エネルギーの調和的活用に貢献する地球科学型支援システムの構築 (代表: 東海大学中島孝教授)」プロジェクトが最終年度を迎えた。このプロジェクトにおいて、衛星観測に基づく日射量推定値を SKYNET データで検証した。本年度の研究から、一般にエアロゾルに起因する推定日射量の最大の誤差はおよそ 10% であることが分かった。また、SKYNET の単一散乱アルベド (SSA) データを AERONET (NASA 主導の大気エアロゾル観測ネットワーク) の SSA データと比較し、系統的な差があることを確認した。そして、その差の原因を明確にするために、SKYNET で採用している解析方法を用いて、AERONET の校正後のデータから SSA を推定し、オリジナルの AERONET の SSA 値と比較した。この比較から、SSA の差は、解析方法ではなく校正方法に主に起因することが分かった。一方、AERONET と同様に積分球を用いて SKYNET の機材を検定したところ、AERONET に比べて SKYNET の方法を採用した場合、340 - 1020 nm におけるエアロゾル観測用の特定波長の校正定数は 1 - 7% 程度、過大評価することも分かった。このほかに、さらなる精度向上のための解析を行った。さらには、天空輝度を簡易・高信頼度で計測するための機材の開発・改良も行った。

◆ 2.4.4. スカイラジオメーターの立体視野角校正

(眞子直弘、カトリ プラディープ、高村民雄、久世宏明)

(1) はじめに

SKYNET ではスカイラジオメーターで測定された直達・散乱太陽光スペクトルからエアロゾル特性を導出している。SKYNET で測定された単一散乱アルベド (SSA) は同様の大気放射観測ネットワークである AERONET の測定値に比べて大き目になる傾向があることが分かっている。この原因の一つとしてスカイラジオメーターの立体視野角 (SVA) が過小評価されている可能性が指摘されており (Hashimoto et al. 2012)、スカイラジオメーターの SVA を正確に測定することが望まれている。そこで、スカイラジオメーターの SVA をランプメソッド、点光源メソッドの 2 つの方法で測定し、従来から行われているディスクスキャンの方法で測定された SVA と比較した。

(2) ランプメソッドによるスカイラジオメーターの SVA 測定

ランプメソッドとは放射輝度が既知である一様光源を使い、測定された放射照度と放射輝度の比から

SVA を計算する方法である。このような光源には校正された積分球が使える。スカイラジオメーターの出力電流が入射光量に比例するならば以下の式が成り立つ。

$$\frac{E_0(\lambda)}{V_0(\lambda)} = \frac{L(\lambda)\Delta\Omega(\lambda)}{V(\lambda)} \quad (1)$$

ここで、 λ は波長、 E_0 は太陽から 1 天文単位の距離にある大気上端における太陽の分光放射照度、 V_0 はスカイラジオメーターの検定定数、 L は積分球の分光放射輝度、 V はスカイラジオメーターの積分球測定電流、 $\Delta\Omega$ はスカイラジオメーターの SVA である。 E_0 、 V_0 、 L は既知なので、測定で V が得られれば $\Delta\Omega$ を算出できる。

測定は宇宙航空研究開発機構・筑波宇宙センターで定期的に輝度校正されている積分球（表面コート BaSO₄、直径 1 m）を使って行った。光源は 5.8A（150W）x4、4.8A（150W）x4 の 2 通りに設定して明るさを変え、スカイラジオメーターのセンサーのリニアリティーも確認した。千葉大の準器スカイラジオメーター（シリアル番号 PS1207807）の SVA 測定結果を図 2.4.4-1 に示す。光源の明るさによる違いは十分に小さく、センサーのリニアリティーは良いと言える。ディスクスキャンと比較すると、波長 380 nm と 940 nm の 2 チャンネルを除き、ランプメソッドによる測定結果の方が 1～7 % 程度大き目になった。波長 380 nm では積分球の輝度が小さ過ぎるために L 、 V の誤差が大きく、波長 940 nm では水蒸気の吸収の影響を受けるために E_0 、 V_0 、 L の誤差が大きいと考えられる。その他の波長においても、誤差要因の中で特に E_0 の不確定性が大きく、1～5 % 程度と見積もられる。したがって有意性はあまり大きくないが、どちらかというディスクスキャンの SVA は過小評価になっているようである。同様の結果は気象研の準器を含む複数のスカイラジオメーターでも得られており、再現性は高い。

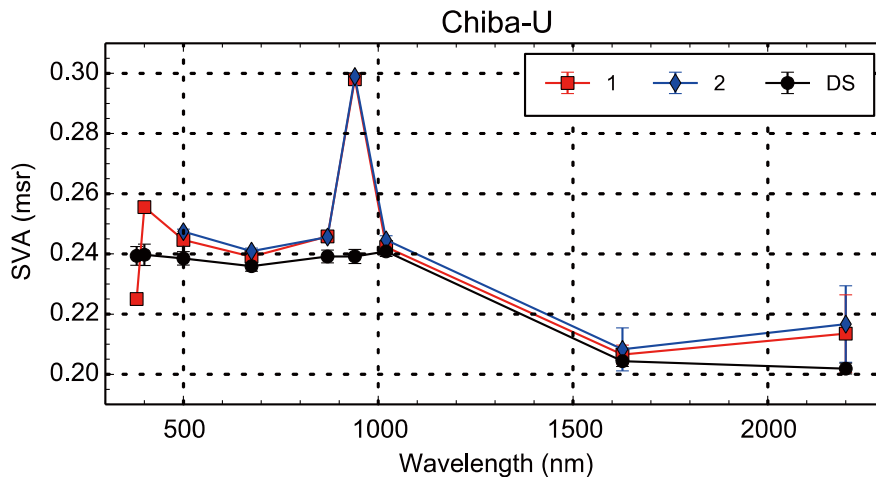


図 2.4.4-1 ランプメソッドによる千葉大準器スカイラジオメーターの SVA 測定結果とディスクスキャンの比較。1 = BaSO₄ 5.8A（150W）x4、2 = BaSO₄ 4.8A（150W）x4、DS = ディスクスキャン。誤差棒は標準偏差を表しており、 V_0 と V の測定値から見積もった。

(3) 点光源メソッドによるスカイラジオメーターの SVA 測定

点光源メソッドとは視野角に比べて視直径が十分に小さい光源を用いて装置感度の入射角依存性（応答関数 R）を測定し、実効的な SVA を算出する方法である。放射輝度が一般的な光源を観測した時の放射照度測定値が放射輝度と SVA の積で表されるとすると、

$$\Delta\Omega = \int R(\theta, \phi) d\Omega \quad (2)$$

の関係が成り立つ。ここで、 θ 、 ϕ はそれぞれ仰角および方位角であり、 $d\Omega = \cos\theta d\theta d\phi$ である。スカイラジオメーターの放射照度は直達太陽光の測定によって校正されているため、応答関数と太陽の放射輝度の積の積分値が放射照度と等しくなるように応答関数を規格化する必要がある。もし太陽の視直径（～0.5度）の範囲で応答関数が平坦であるならば、平坦部分の値が1になるように規格化すれば良い。なお、従来法であるディスクスキャンは点光源メソッドの一種であるが、光源に視直径が無視できない太陽を用いるため、太陽の輝度分布関数が畳み込まれて少し平滑化された応答関数が得られる。この場合でも、もし元の応答関数が太陽の視直径の範囲で平坦であるならば、得られた応答関数の最大値が1になるように規格化することで（deconvolutionを行わなくても）正しいSVAが得られる。

測定にはキセノンランプを光源に用いた。スカイラジオメーターの光学系は平行光線が入射することを想定して設計されているため、光源をスカイラジオメーターから出来るだけ離し、約60 mの位置に置いた。また、開口径10 mmの絞りをを用いて光源の視直径を0.01度程度の大きさに制限した。光源の周囲を通常のディスクスキャンと同じ条件（±1度の範囲を0.1度ステップ）でスキャンして得られたSVAを図2.4.4-2に示す。測定に使用した旧式スカイラジオメーター（シリアル番号PS1207806）には準器スカイラジオメーター（315 nmの紫外チャンネルが有効になるようにレンズを交換したもの）と異なるレンズが使われており、応答関数の形も異なっている。SVAをディスクスキャンの結果と比較すると1020 nmのチャンネルを除いて大きな違いは見られず、±2%以内の範囲で一致している。準器スカイラジオメーターではSVAの波長依存性は見られなかったが、旧式スカイラジオメーターのSVAは短波長ほど大きい傾向があることが分かる。SVAの差が特に大きい波長400 nmと940 nmの応答関数を比較すると、波長400 nmの方が立ち上がり、立下りの肩がなだらかであり、中心付近の平坦性が悪いことが分かった。また、スキャン範囲の外端部においても感度が完全にゼロにはなっておらず、積分範囲を広げるとさらにSVAが大きくなる（すなわち、現状ではSVAを過小評価している）ことが予想された。

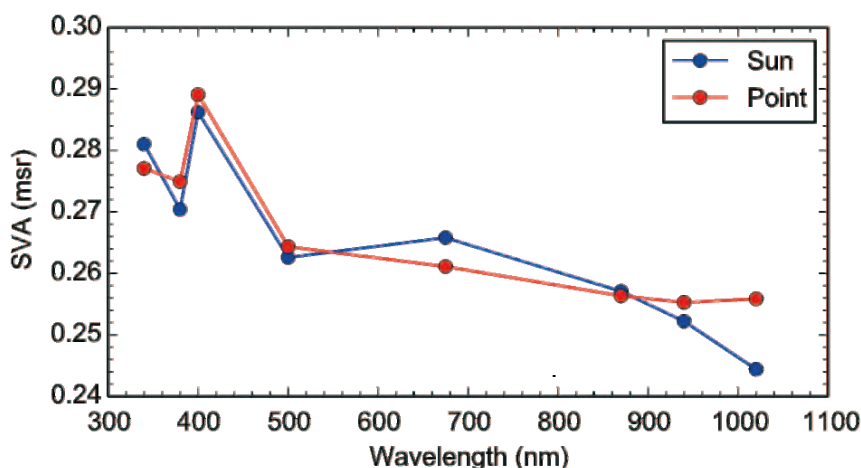


図 2.4.4-2 旧式スカイラジオメーターの SVA 測定結果の比較。
Sun = ディスクスキャン、Point = 点光源メソッド

そこで、スキャン範囲を±3.5度まで広げて波長400 nmの応答関数を調べた結果、感度領域は半径3度程度の領域に広がっていることが分かった。このデータを元に、積分範囲±3.5度で計算したSVA ($\Delta\Omega_{3.5}$) を真値として、積分範囲±1度で計算したSVA ($\Delta\Omega_1$) の誤差を $(\Delta\Omega_1 - \Delta\Omega_{3.5}) / \Delta\Omega_{3.5}$ か

から見積もったところ、積分範囲を±1度にした場合、SVAを5.1%程度過小評価することが分かった。同様の計算により、波長500 nm、波長940 nmで積分範囲を±1度にした場合の過小評価量はそれぞれ2.6%、1.9%と見積もられた。一方、準器スカイラジオメーターの応答関数を調べた結果、感度領域の広がりには旧式スカイラジオメーターほど広くないことが分かった。波長400 nmの応答関数は入射角0.5度を境に大きく減少している。積分範囲±2度で計算したSVAを真値とすると、積分範囲を±1度にした場合の過小評価量は0.5%と見積もられた。同様に、波長500 nm、波長940 nmの過小評価量はそれぞれ0.4%、1.0%と見積もられた。

以上の議論から、従来のディスクスキャンで測定されたSVAは過小評価になっており、スキャン範囲が狭すぎるのが原因になっていると考えられる。過小評価量は測器ごとに異なるため、全ての測器で校正することが望ましい。今後は点光源メソッドを利用した容易な校正方法について検討を行う。

◆ 2.4.5. 大気中の長光路伝搬を利用した二酸化炭素の平均濃度計測

(齊藤隼人、眞子直弘、久世宏明)

大気中の二酸化炭素濃度は気候変動研究の基礎データとして位置づけられ、その計測は世界中で行われている。その手段としては地上サンプリング計測のほか、航空機による上空サンプリング、人工衛星による広域計測があり、また、差分吸収ライダー等の新たな広域計測手法の研究が継続的に進行中である。今後、都市域における排出量や森林・海洋域における炭素固定量や吸収量を推定する目的から広域かつ精密な計測手法の確立が必要となることが予想され、その有力な候補として長光路を利用した吸収計測があげられる。長光路差分吸収分光法 (Differential Optical Absorption Spectroscopy, DOAS 法) は、低層大気中のほぼ水平な長光路に沿って気体の平均濃度を計測する手法であり、これまで CERE S では紫外・可視光領域の DOAS によって二酸化イオウ (SO₂)、二酸化窒素 (NO₂) といった主要汚染気体およびエアロゾルについての精度の高い計測が可能であることを示してきた。本研究ではこの DOAS 手法を波長 1.5 μm の近赤外領域に拡張し、大気中の二酸化炭素 (CO₂) の長時間にわたる実測を実現した。

DOAS 計測には、光源および検出器の入手が比較的容易な 1575 nm 付近の CO₂ 分子の吸収構造を利用した。昨年度までは研究室で自作した反射型回折格子分光器 (分解能約 0.7 nm) を用いて距離 10.2 km の単光路で試験を行った。この装置の場合、迷光が問題となって測定は夜間に限られたが、10.2 km の距離を伝搬後の光を望遠鏡で集光すれば CO₂ の吸収バンドを測定可能であることを実証できた。この結果を踏まえ、平成 26 年度は、より高分解能の高性能分光器 (HORIBA, iHR-550 + Symphony IGA、波長分解能 0.046 nm) を導入した。光源も昨年度まで使用した出力 30 mW の super luminescent diode から amplified spontaneous emission に基づいた光源 (Fiber Labs Inc., ASE-FL-7015、出力 200 mW) に改善した。実験装置および取得直後の信号例を図 2.4.5-1 に示す。

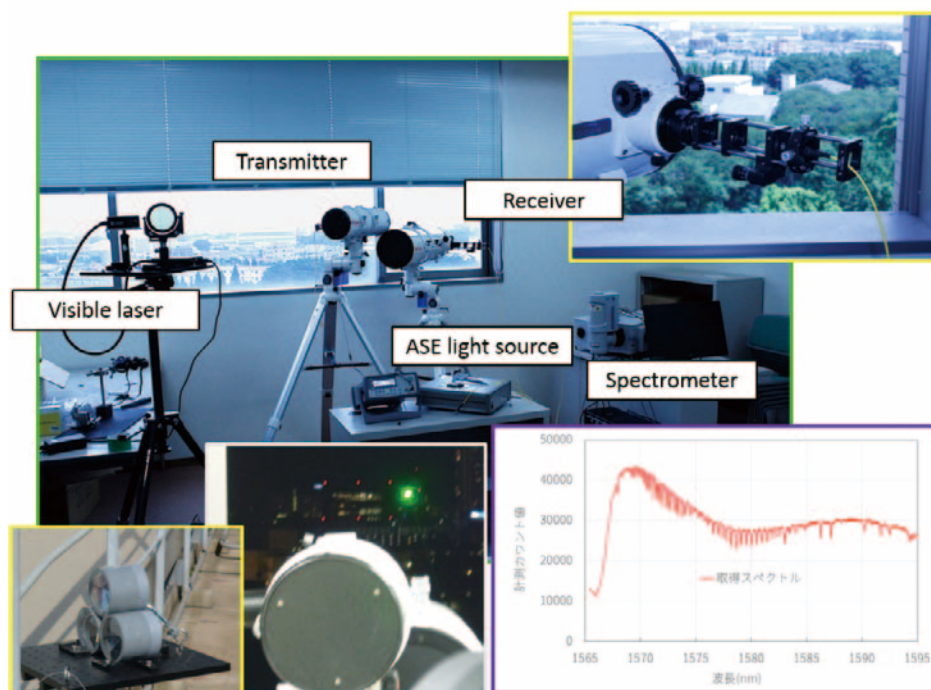


図 2.4.5.-1 近赤外 DOAS による大気中 CO_2 濃度の連続計測の様子。可視レーザー光を用いて送信および受信の望遠鏡の光軸合わせを行う。総合研究棟 8F の観測室から 2.55 km 隔てた千葉市科学館の建物屋上のレトリフレクター（左下）に向けて可視光、赤外光を射出する。右下は実際に観測されたスペクトルで、これをデータベースの CO_2 吸収線と比較することによって濃度が決定される。

2014 年 9 月 8 日から 18 日にかけて取得した観測結果を図 2.4.5.-2 に示す。1 回の計測では大気の状態に応じて 60 ～ 300 秒の露光を行い、取得されたスペクトルの 1 時間平均を使用して濃度解析を行った。図 2.4.5.-2 (a) では、DOAS で観測された H_2O 濃度から導出し湿度値と、気象庁観測の湿度は全体としてよく一致しており、観測期間中の千葉市周辺において、湿度の一様性は高かったことが推察される。また、DOAS と気象局の湿度データに大きな乖離の無いことから、DOAS 解析に使用した気温にも大幅なずれが無いことが推定できる。同図 (b) には千葉気象庁データによる風向・風速の変動を、(c) には DOAS で観測された CO_2 濃度の変動を、また、(d) には水の同位体である HDO の変動を示す。最後の HDO については、大気中の一般的な水・水蒸気に含まれる HDO の存在比はおよそ 105 ± 79 ppmv の間で変動し、大気中濃度としては H_2O に比べてはるかに少ない。しかし、観測波長領域においては HDO の吸収断面積は H_2O に比べて大きく、高分解能 DOAS のスペクトル解析においては HDO も考慮することが必要である。

図 2.4.5.-2 (c) から分かるように、観測期間中 CO_2 濃度はおよそ 360 ～ 450 ppmv の間で変動を示している。この濃度値に関しては、気温・湿度同様に一定の日変動傾向が見受けられるが、特に風向との関係が強い。すなわち、北西から西の風の場合に濃度が上昇しやすく、逆に南東から東の風ではほとんどの場合で低い濃度値が観測される傾向が現れた。これは、DOAS の光路の西側に火力発電所や製鉄所など、 CO_2 発生源とみられる施設が多くあること、逆に東側には比較的緑被率の高い地域があることと関係が深いことが推察される。今後、都市域だけでなく森林域などでも同様の観測を行っていく予定である。

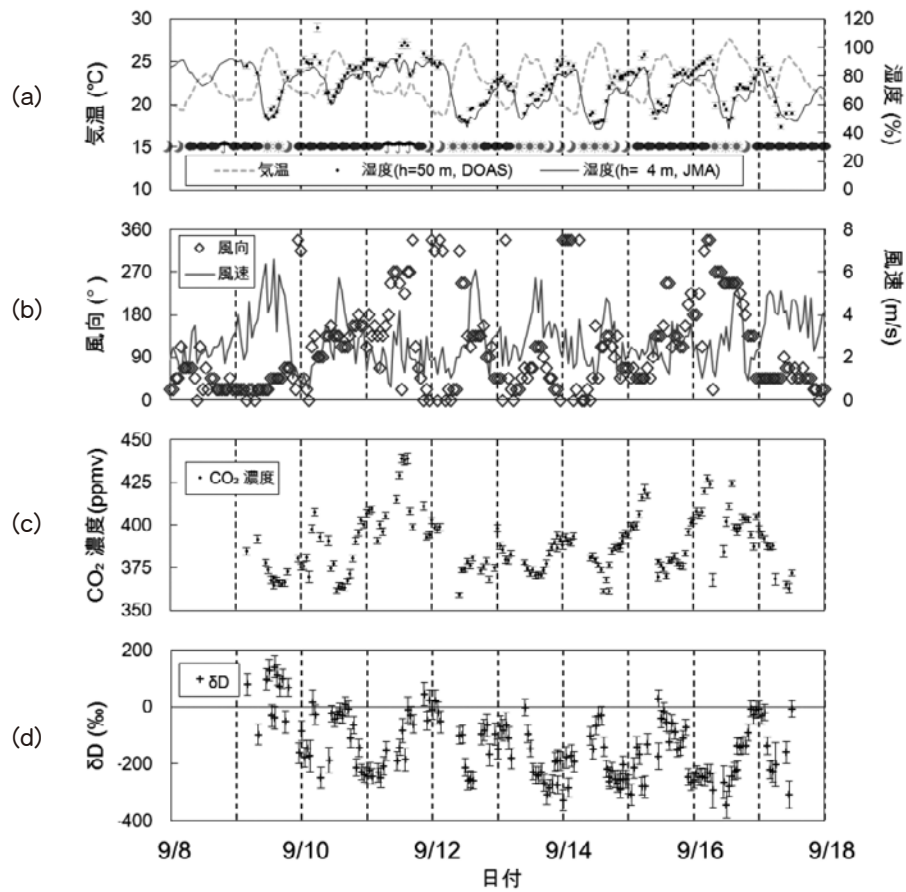


図 2.4.5-2 2014 年の 9 月 8 日から 9 月 18 日の期間にわたる近赤外 DOAS 法による CO₂ 濃度の連続計測結果。(a) 千葉気象台の観測値に基づく気温と湿度、および DOAS 水蒸気データから導出された湿度、(b) 気象台の風向風速データ、(c) DOAS による CO₂ 濃度、(d) DOAS による HDO 濃度変動。