

第379回 生存圏シンポジウム

第12回
MU レーダー・赤道大気レーダー^一
シンポジウム

平成30年9月5日・6日

京都大学生存圏研究所

は　じ　め　に

滋賀県甲賀市信楽町に位置する MU レーダーは、完成当初の 1984 年から全国共同利用に供され、広範な学問分野に渡る多くの成果を上げ続けている。2004 年に導入された「MU レーダー観測強化システム」では、レーダーイメージング観測が可能になるなど、常に世界で最も高機能な大型大気レーダーの一つとして活躍を続けている。MU レーダーは、電気・電子・情報・通信分野の世界最大の学会である IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) より IEEE マイルストーンに認定され、また電子情報通信学会マイルストーンにも選定された。さらに、本年 3 月には電気学会から「でんきの礎」が授与された。これは、電気学会が創立 120 周年を記念して、社会の発展に貢献し、歴史的に記念される「モノ・場所・こと・人」を顕彰するために 2008 年に創設したものである。昨年 3 月には学内予算により「MU レーダー高感度観測システム」が整備され、送受信制御ユニットなどの一部を更新、受信感度が向上しており、益々その活躍が期待されている。

一方、インドネシア共和国西スマトラ州の赤道直下に位置する赤道大気レーダー (EAR) は、2000 年度末に完成した大型大気観測用レーダーで、京都大学生存圏研究所 (RISH) とインドネシア航空宇宙庁 (LAPAN) との協同運用により長期連続観測が続けられている。2001～2006 年度に実施された科研費・特定領域研究「赤道大気上下結合 (CPEA)」において、その中核設備として利用され、2005 年度から EAR 及びその関連設備の共同利用を開始した。当初から国際共同利用にも供しており、海外の研究者による共同利用が全課題数の約 3 割を占めている。また、京都大学では、赤道大気レーダーを MU レーダー並に高性能・高機能化するべく赤道 MU レーダー (EMU) を概算要求している。日本学術会議の学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスター・プラン「学術大型研究計画」(マスター・プラン 2014・2017) の重点大型研究計画に EMU を主要設備の一つとする「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」(津田敏隆代表) が選定された。また、文部科学省のロードマップ 2014 に選定されたが、残念ながらロードマップ 2017 からは外れた。

本年 9 月 5 日・6 日に、京都大学宇治キャンパスにおいて第 12 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウムを開催した。共同利用により得られた研究成果のほか、大気科学・レーダー工学に関する研究成果、計画について 26 件の研究発表があり、活発な議論が行われた。

平成 30 年 9 月

京都大学生存圏研究所
MU レーダー/赤道大気レーダー全国国際共同利用専門委員会
委員長 山本 衛

目 次

MU レーダー・赤道大気レーダー全国国際共同利用の現状	1
山本衛・橋口浩之(京大 RISH)	
赤道ライダーにより観測された赤道ケルビン波に伴う下降流による成層圏エアロゾルの鉛直輸送	4
阿保真・柴田泰邦・長澤親生(首都大)	
航空機監視レーダ(SSR モード S)から得られる気象観測情報の信頼性検証と活用	7
吉原貴之・瀬之口敦・毛塚敦・齋藤亨・古賀禎(ENRI)・古本淳一(京大 RISH)	
パラメトリックスピーカーを用いた低騒音型 RASS 用音源の開発	10
六車光貴・橋口浩之(京大 RISH)	
MU レーダーを用いたスペースデブリの 3 次元形状推定に関する研究	13
上埜拓仁(京大 RISH)・山川宏(JAXA)・橋口浩之・山本衛(京大 RISH)	
MU レーダーを用いた観測による未知デブリの軌道推定手法に関する研究	19
鳥居拓哉(京大 RISH)・山川宏(JAXA)・橋口浩之・山本衛(京大 RISH)・佐藤亨(京大情報)	
Ku 帯衛星回線の台風接近時における降雨減衰特性	24
前川泰之・山田修稔・柴垣佳明(大阪電通大)	
Latest progresses in ShUREX (2015-2017) data analyses	30
H. Luce (Toulon 大, 仏/京大 RISH)・H. Hashiguchi (京大 RISH)・L. Kantha・D. Lawrence (Colorado 大, 米)	
Variation of Turbulence Kinetic Energy in the Tropical Tropopause from Long-term Observation of Equatorial Atmosphere Radar (preliminary results)	34
Noersomadi (京大 RISH/LAPAN, Indonesia)・Hiroyuki Hashiguchi (京大 RISH)	
Retrieval of Temperature Profiles using Radio Acoustic Sounding System (RASS) with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) in West Sumatra, Indonesia	37
Ina Juaeni (LAPAN, Indonesia)・Hiraku Tabata (京大 RISH)・Noersomadi (京大 RISH/LAPAN, Indonesia), Halimurrahman (LAPAN, Indonesia)・Hiroyuki Hashiguchi・Toshitaka Tsuda (京大 RISH)	
インドネシア西部海大陸における雷活動の日変化及び季節内変化 - Pre-YMC2015 観測結果	41
浜田純一(首都大)・森修一・勝俣昌己(JAMSTEC)・松本淳(首都大)・Fadli Syamsudin(BPPT, Indonesia)・米山邦夫(JAMSTEC)	
Pre-YMC 2015 および YMC-Sumatra 2017 で観られたスマトラ南西沿岸陸域の対流活動の特徴	44
森修一・伍培明・城岡竜一・横井覚・米山邦夫(JAMSTEC)・濱田純一(首都大)・Urip Haryoko・Noer Nurhayati (BMKG, Indonesia)・Reni Sulistyowati・Fadli Syamsudin (BPPT, Indonesia)	
コトタバンにおける水蒸気・オゾン・雲変動(2018 年 7 月集中観測・速報)	47
鈴木順子・木下武也・城岡竜一(JAMSTEC)・橋口浩之(京大 RISH)・阿保真・柴田泰邦(首都大)・Halimurrahman・Syafrion(LAPAN, Indonesia)	

簡易型全天カメラ 2 台を用いた波状雲の高度推定及び大気波動のパラメータの抽出	50
森脇亮介・下舞豊志(島根大)	
EAR 観測から推定された上空における雨滴粒径分布の高度変化	56
多田暁智・下舞豊志(島根大)	
豪雨発生予測への大気レーダー応用可能性: 日本およびインドネシアの場合	61
山中大学(地球研)	
南極昭和基地大型大気レーダー(PANSY)による電離圏観測	64
橋本大志(京大情報)・齊藤昭則(京大理)・西村耕司(極地研)・堤雅基(極地研)・佐藤薰 (東大理)・佐藤亨(京大情報)	
Results of joint ionospheric measurements with Kharkiv incoherent scatter and MU radars during near-equinox and solstice periods	67
Sergii Panasenko・Dmytro V. Kotov・Oleksandr V. Bogomaz (Institute of Ionosphere, Ukraine)・Yuichi Otsuka (名大 ISEE), Mamoru Yamamoto・Hiroyuki Hashiguchi (京大 RISH)・Leonid Ya. Emelyanov・Igor F. Domnin (Institute of Ionosphere, Ukraine)	
Role of the evening eastward electric field and gravity wave activity on the sequential occurrence of plasma bubble	70
Prayitno Abadi・Yuichi Otsuka・Kazuo Shiokawa (名大 ISEE)・Huixin Liu (九大)・ Mamoru Yamamoto (京大 RISH)・Tatsuhiro Yokoyama (NICT)	
Daytime periodic wave-like structures of the ionosphere observed at low latitudes over the Asian-Australian sector using TEC from Beidou geostationary satellites	73
Fuqing Huang (名大 ISEE, CAS Key Laboratory of Geospace Environment, China)・ Yuichi Otsuka (名大 ISEE)・Jiuhou Lei・Xiaoli Luan・Xiankang Dou (CAS Key Laboratory of Geospace Environment, China)・Guozhu Li (Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, China)	
成層圏突然昇温の伝搬性電離圏擾乱への影響 - GPS 全電子数を使った 2009 年の大昇 温時の事例解析 -	75
大塚雄一・新堀淳樹(名大 ISEE)・津川卓也・西岡未知(NICT)	
電離圏 3 次元リアルタイムモグラフィーの MU レーダーによる検証	78
斎藤亨(電子航法研)・山本衛(京大 RISH)・齊藤昭則(京大理)・C.-H. Chen (台湾国立 成功大)	
アジア域の電離圏赤道異常の日変化・季節変化の研究—衛星ビーコン長期観測—	81
坂本悠記・山本衛(京大 RISH)・穂積 Kornyanat (NICT)	
二重薄殻モデル(粗トモグラフィー)を用いた GNSS データからの赤道域電離圏全電子数の 高精度導出と電離圏ダイナミクス解釈の試み	86
丸山隆・穂積 Kornyanat (NICT)・馬冠一(中国科学院)	
熱圏鉛直風によるプラズマバブルシーディング	89
横山竜宏(NICT)	
新しい衛星=地上ビーコン観測用の4周波デジタル受信機の開発—機器構成と試験結 果—	91
山本衛(京大 RISH)・松永真由美(東京工科大)	

MU レーダー・赤道大気レーダー全国国際共同利用の現状

山本衛・橋口浩之
(京都大学生存圏研究所)

1. はじめに

MU レーダーは 1984 年の完成当初から、また赤道大気レーダー(EAR)も 2005 年から全国(国際)共同利用に供し、多くの研究成果を生み出してきた。当初は異なる共同利用委員会を組織し、課題の審査やレーダー運用等の議論を行ってきたが、2012 年 6 月に両委員会を統合して MU レーダー/赤道大気レーダー全国国際共同利用専門委員会を組織し、2012 年 12 月公募分から共同利用を統一した。本報告では、共同利用の現状について報告する。

2. MU レーダー

MU レーダーは滋賀県甲賀市信楽町に位置する中層・超高層及び下層大気観測用 VHF 帯大型レーダーであり、高度 1~25 km の対流圏・下部成層圏、高度 60~90 km の中間圏及び高度 100~500 km の電離圏領域の観測が可能である。MU レーダーの最大の特徴は、アンテナ素子毎に取り付けた小型半導体送受信機(合計 475 個)を個別制御することにより、1 秒間に 2500 回という高速でレーダービーム方向を変えることが可能であり、また、25 個のサブアレイアンテナに分割して使用することも可能である点である。こうした柔軟なシステム設計のため、大型大気レーダーとしての感度は世界 4-5 番目ではあるものの、開発後 30 年を経た今も世界で最も高機能な大型大気レーダーの一つとして活躍を続けている。2003 年度には「MU レーダー観測強化システム」が導入され、レーダーイメージング観測などの機能向上が図られた。2016 年度末には全学経費(設備整備経費)により「MU レーダー高感度観測システム」が導入された。送受信制御ユニット、アンテナ素子、およびアンテナ同軸ケーブルの一部が更新され、受信感度が向上(回復)した。2017 年 7 月 17 日 15 時半頃に信楽 MU 観測所に落雷があり、MU レーダーも被害を受けた。1 ヶ月ほどで仮復旧したが、完全復旧のため今年度末に合成分配器及び分配合成制御器の一部を更新する予定である。

信楽 MU 観測所は、MU レーダーと協同観測するさまざまな大気観測機器の開発フィールドとしても活用されており、例えば、MU レーダーが観測できない高度 2km 以下の風速を測定するために開発された下部対流圏レーダー(LTR)やレンズアンテナウインドプロファイラ(LQ-7)は、気象庁の全国 33 カ所の現業用ウインドプロファイラとして採用されている。MU レーダーの標準的な観測モードのデータはホームページ上で逐次公開されている。(MU レーダーホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/mu/>)。

MU レーダーは「世界初のアクティブ・フェーズド・アレイ方式の大気レーダー」として、2014 年 11 月に IEEE マイルストーンに認定された。これは、電気・電子・情報・通信分野の世界最大の学会である IEEE が、IEEE の分野における歴史的偉業に対して認定する賞で、認定されるためには 25 年以上に渡って世の中で高く評価を受けてきたという実績が必要である。また、電子情報通信学会が創立 100 周年を記念して新たに創設した、電子情報通信学会マイルストーンにも選定された。これは、社会や生活、産業、科学技術の発展に大きな影響を与えた研究開発の偉業を選定し、電子情報通信の研究開発の歴史と意義を振り返ると共に、次の 100 年に向けて更なる革新を起こす次代の研究者や技術者にその創出過程を伝えることを目的としている。さらに、2018 年 3 月 15 日に電気学会から「でんきの礎」が授与された。これは、電気学会が社会の発展に貢献し、歴史的に記念される「モノ・場所・こと・人」を顕彰するために創立 120 周年の 2008 年に創設したものである。

3. 赤道大気レーダー

赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)は、周波数 47MHz、3 素子八木アンテナ 560 本から構成される直径約 110 m の略円形アンテナアレイを備えた、インドネシア共和国のスマトラ島中西部に位置する西スマトラ州コタバランに 2000 年度末に完成した大型の大気観測用レーダーである。本装置は、小型の送受信モジュールが全ての八木アンテナの直下に備えられたアクティブ・フェーズド・アレイ構成をとっており、総送信出力が 100 kW、アンテナビーム方向を天頂角 30 度以内の範囲で自由に設定し、送信パルス毎に変えることができ、赤道域に設置されている大気レーダーの中で世界最高性能を誇っている。EAR はインドネシア航空宇宙庁(LAPAN)との密接な連携のもとで運営されており、2001 年 7 月から現在まで長期連續観測を続けてきた。EAR 観測データの 10 分平均値はホームページ上で逐次公開されている。(EAR ホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/>)。

EAR は MU レーダーに比べて送信出力が 1/10 であり、中間圏や電離圏の IS 観測を行うには感度が不足している。また、受信チャンネルは 1 個のみであるため、空間領域のイメージング観測ができないなど、機能面でも MU レーダーに劣っている。下層大気で発生した大気波動が上方へ伝搬し、上層大気の運動を変化させる様子など、大気の構造・運動の解明をより一層進めるため、MU レーダーと同等の感度・機能を有する「赤道 MU レーダー(EMU)」の新設を概算要求している。この EMU を主要設備の一つとする大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤構築」(代表 : 津田敏隆) は日本学術会議のマスタープラン 2014・2017 の重点大型研究計画の一つとして採択された。本研究計画は、さらに文部科学省のロードマップ 2014 にも選定されたが、ロードマップ 2017 には残念ながら選定されず、これまでに予算化には至っていない。

4. 共同利用の概要と現在までの推移

MU レーダーは、アジア域最大規模の大気観測用大型レーダーであり、高度 2 km の対流圏から、高度 400 km の超高層大気(熱圏・電離圏)にいたる大気の運動、大気循環を観測する。1984 年の完成以来、全国共同利用に供され、超高層物理学、気象学、天文学、電気、電子工学、宇宙物理学など広範な分野にわたる多くの成果を上げている。図 1 にこれまでの共同利用課題数の推移を赤道大気レーダー共同利用の課題数とともに示す。また、図 2 に MU レーダーの観測時間の推移を示す。2017 年 2~4 月には MU レーダー高感度観測システムの整備のため、共同利用観測を休止した。2017 年度には、キャンペーン(長期間)観測課題

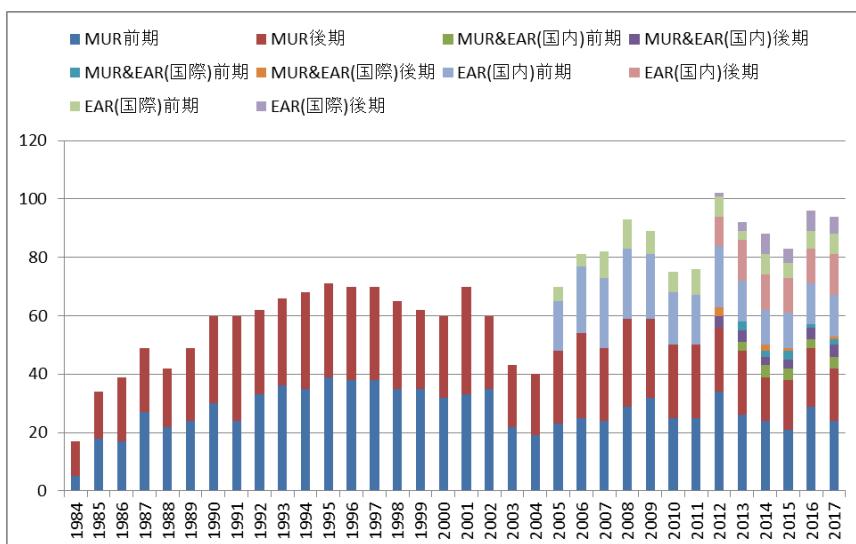


図 1. MU レーダー・赤道大気レーダー全国国際共同利用の課題件数の年次推移

として、前期に L. Kantha 教授代表の「Shigaraki UAV Radar Experiment (ShUREX 2017)」を、後期に佐藤薰教授代表の「国際大型大気レーダーネットワーク同時観測」を実施した。観測データのうち標準観測については観測後直ちに、その他の観測については 1 年を経過したデータを「生存圏データベース共同利用」の一環として共同利用に供している。

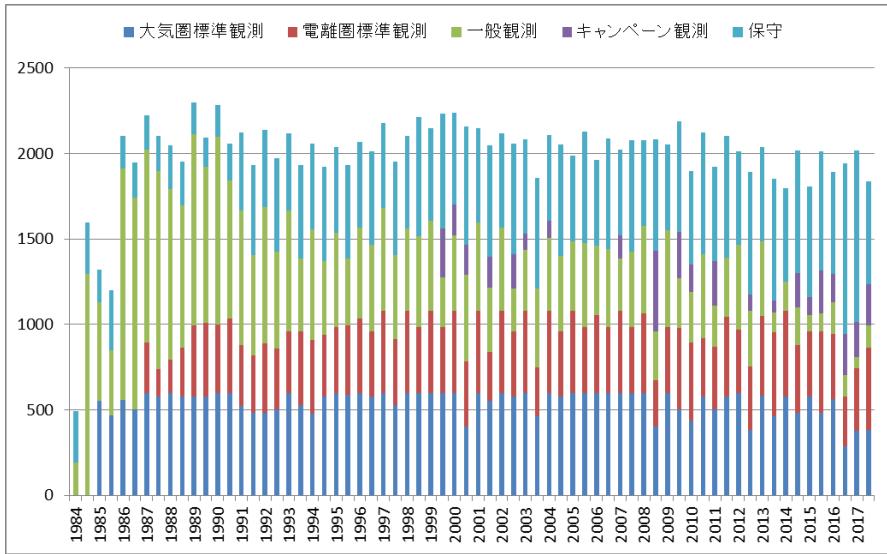


図 2. MU レーダー全国国際共同利用の観測時間の半年毎の推移。

一方、EAR は、本研究所の重要な海外拠点として、国内外の研究者との共同研究によって生存圏の科学を推進するという大きな役割を担っている。同時にインドネシアおよび周辺諸国における研究啓発の拠点として、教育・セミナーのための利用も想定される。EAR は 2005 年度から全国国際共同利用を開始した。EAR の共同利用については、開始当初の議論から以下のような性格付けが行われてきた。(1) EAR の共同利用は、施設が外国に位置することから必然的に「全国」「国際」型が重なった形態をとること、(2) 「国際」対応について、当初 2 年間は、利用者を原則として日本及びインドネシアからに限定して開始し、2007 年度から本格的な全国国際共同利用施設として運営すること、(3) 共同利用は学術目的とし、海外からの利用者の資格は個別に判断すること等である。また、EAR 共同利用には、EAR を直接利用するものの他、EAR サイトへの機器の持込み観測、すなわち観測場所としての利用も含まれる。実際の観測実施については、EAR の特性を考慮し、課題をいくつかのグループに分けてスケジュールする方式を取っている。また予算の許す範囲において、EAR までの旅費(日本人研究者については日本から、インドネシア人研究者についてはインドネシア国内旅費)を支給している。

MU レーダー及び赤道大気レーダーによって得られたデータは、IUGONET プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」(<http://www.iugonet.org/>)によって、メタデータ・データベースが整備され、また解析ソフトウェア UDAS により簡単に図をプロットできる環境も構築されている。MU レーダー・赤道大気レーダーのデータベースの重要性が認められ、生存圏研究所は 2016 年 3 月に ICSU(国会科学会議)の WDS(世界科学データシステム)の Regular Member に認定された。MU レーダー及び赤道大気レーダーの全国国際共同利用はこれまで順調に推移しており、今後は MU レーダー・赤道大気レーダーを含む国際レーダーネットワークによる研究が一層進むものと期待される。

はじめに

赤道ライダーにより観測された 赤道ケルビン波に伴う下降流による 成層圏エアロゾルの鉛直輸送

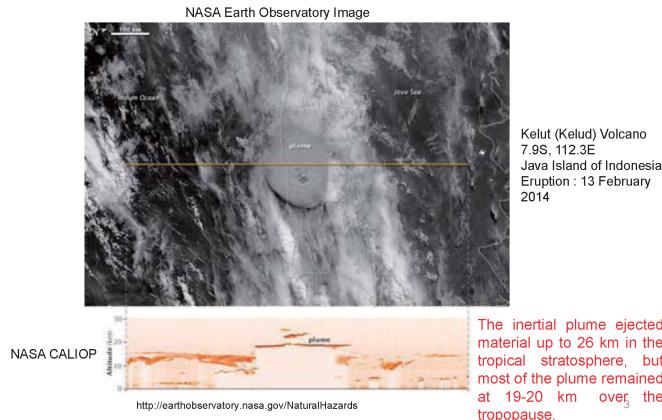
阿保 真、柴田泰邦、長澤親生(首都大学東京)

第12回MULレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
2018年9月5-6日

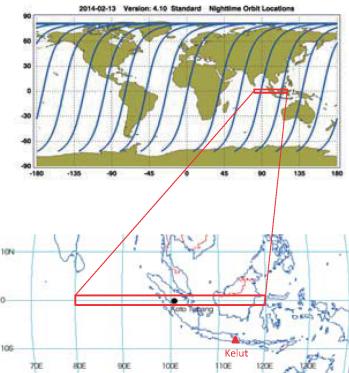
- 赤道域における成層圏・対流圏間の物質輸送は気候変動に影響を与えるが、その振る舞いは十分解明されていない。
- 2014年2月から行っている成層圏観測用大型ライダーによる偏光観測データ、CALIOPの衛星ライダーデータ並びにEARの鉛直風データを利用し、2014年に噴火したケルート火山に着目し成層圏エアロゾルの動態解析を行った。
- 今回は2014年6月に観測された火山起源成層圏エアロゾルの、赤道ケルビン波に伴う下降流による鉛直輸送の解析を行った。

2

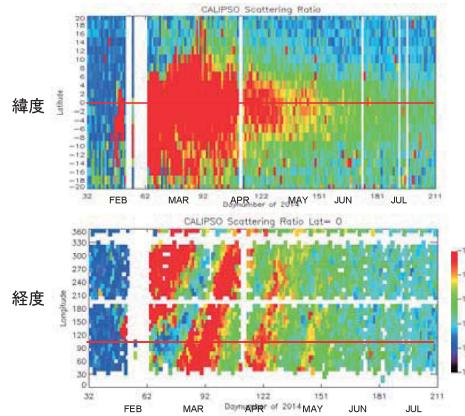
ケルート火山噴火(2014/2/13)



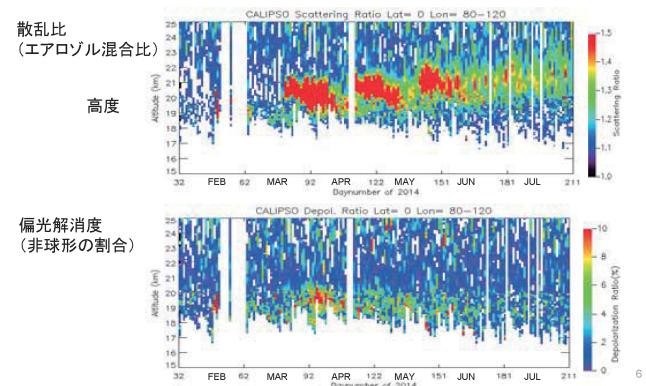
CALIOPデータ解析法



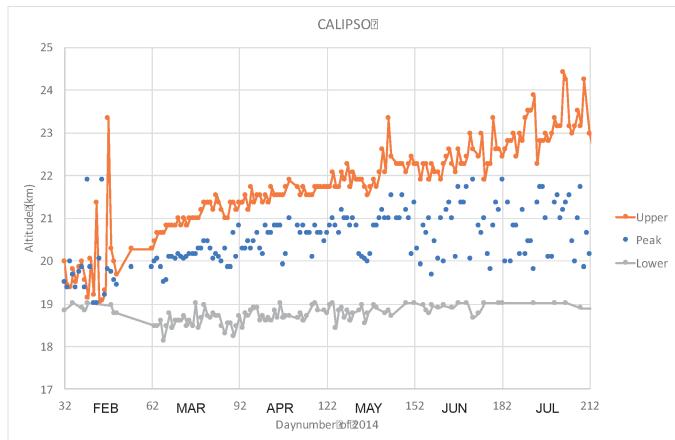
CALIOPによる赤道上空 散乱比の時間-緯度／時間-経度分布



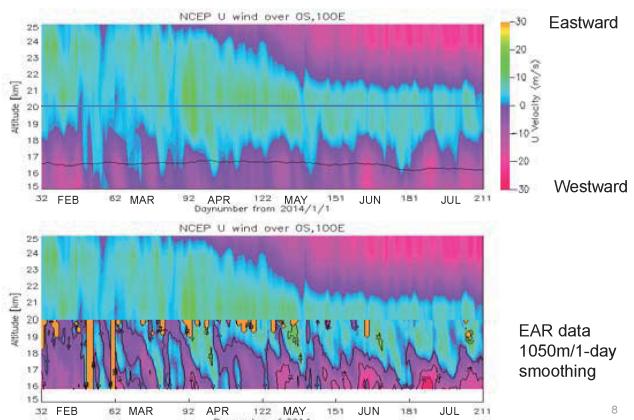
CALIOPによるインドネシア上空観測 時間-高度プロット(散乱比／偏光解消度)



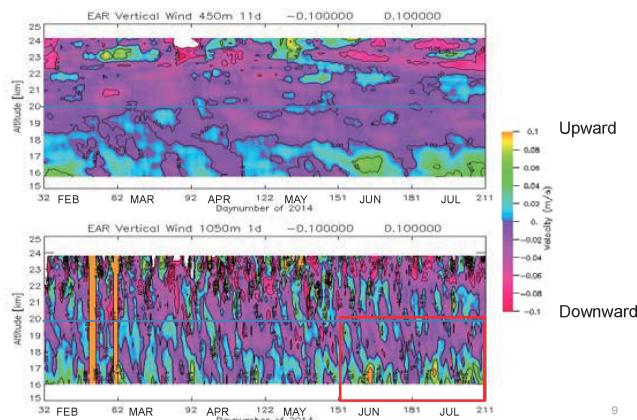
赤道上空の散乱比の拡散高度範囲



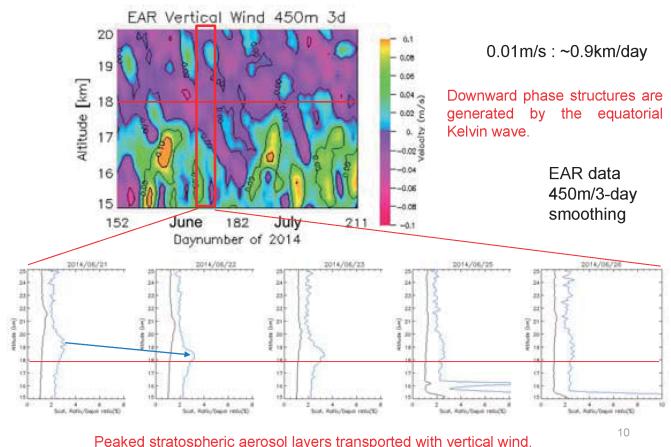
インドネシア上空東西風の時間高度分布 上:NCEP、下:NCEP+EAR



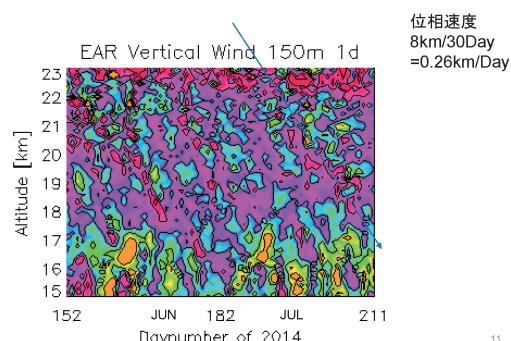
EARによる鉛直風の時間高度分布 上:450m/1日 下:1050m/1日



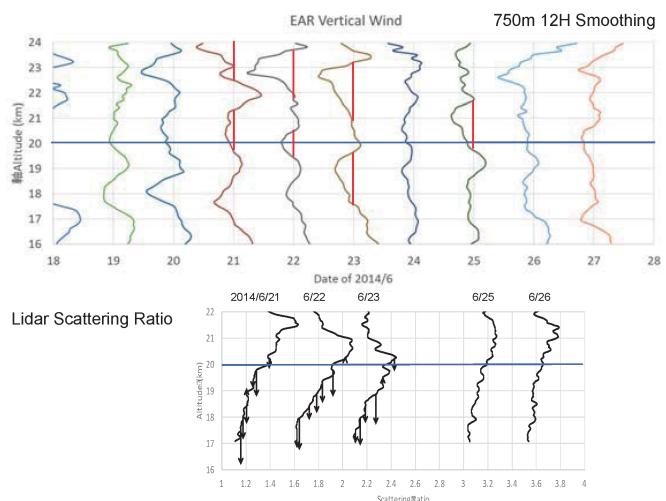
下向き鉛直風とエアロゾルの動きの関係



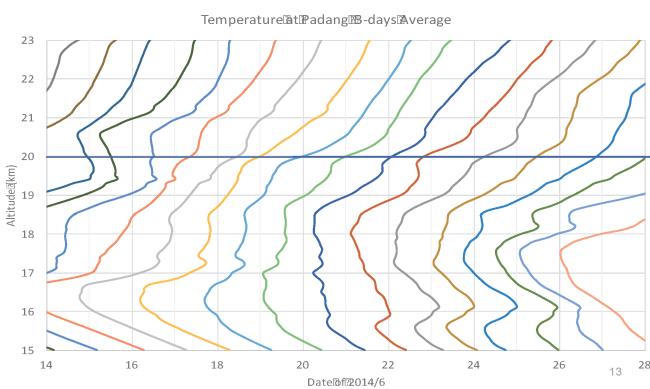
鉛直風に見られる波動の位相



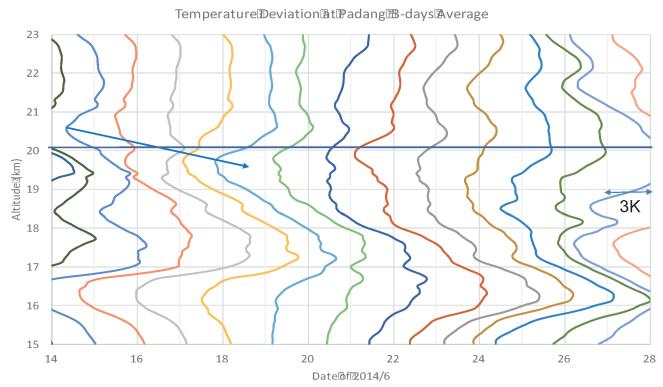
11



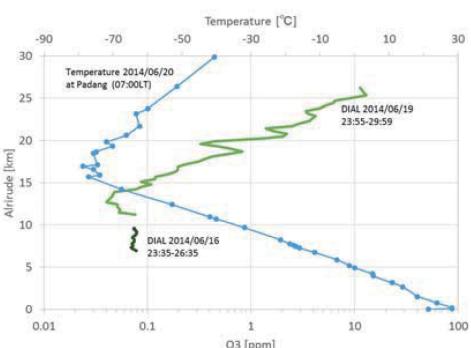
気温プロファイル



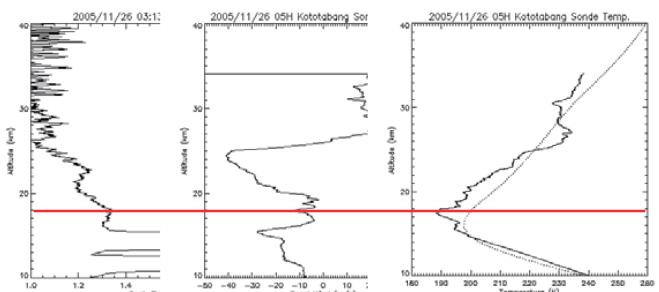
気温偏差プロファイル



オゾンライダー観測

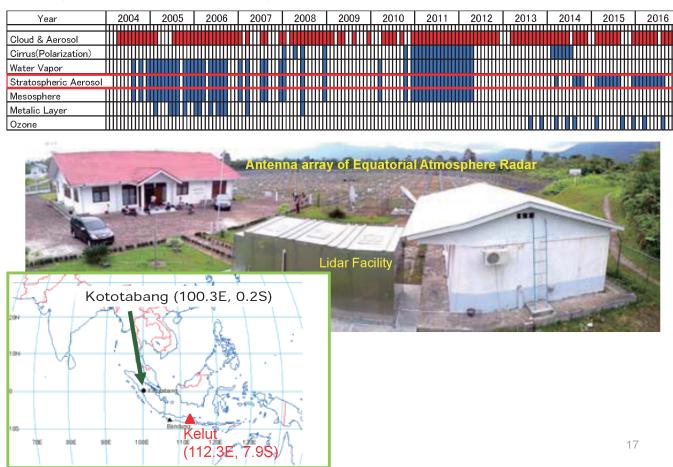


CPEAデータの洗い直し(今後)



15

赤道ライダーの観測状況(そろそろ限界か?)



まとめ

- 衛星ライダーであるCALIOPデータの解析の結果からは、Kelut火山起源のエアロゾルが噴火後緯度方向に広がり、その後赤道上空ではQBOによる顕著な東向きの風により経度方向に輸送され、約1ヶ月で地球を1周する様子が見られた。6月になると東向きの風が弱まり経度方向の動きは明瞭になくなった。
 - この時期にEARの鉛直風観測結果から、この時期に赤道ケルビン波により下向き鉛直風領域高度が下がっていく様子が見られた。
 - これはケルビン波に伴う下降流による成層圏から対流圏へのエアロゾルの鉛直輸送を地上ライダー及び赤道大気レーダにより観測したものと考えられる。
 - 衛星ライダー、赤道ライダー、レーダを組み合わせることにより、火山エアロゾルをトレーサとした赤道域の成層圏-対流圏物質交換の直接観測が今後も期待出来る。
 - 対流圏-成層圏領域の大型ライダーと赤道大気ライダーによる同時観測が今後も重要である。

航空機監視レーダ(SSLモードS)から得られる 気象観測情報の信頼性検証と活用

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
電子航法研究所(ENRI)
吉原貴之・瀬之口敦・毛塚敦・齋藤享・古賀祐
京都大学生存圏研究所(RISH)
古本淳一

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

1

内容

- 背景
 - 4次元航法と気象
- SSL(二次監視レーダ)モードS
 - DAPs(Downlink Aircraft Parameters)の概要
- 気象情報の検証と活用
 - 推定アルゴリズム
 - MUレーダーデータとの風速の比較検証
 - 長期データの解析状況
 - 気象学的な活用に向けて
- まとめ

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

2

トラジェクトリ管理に向けて 4次元航法に基づく運航と気象

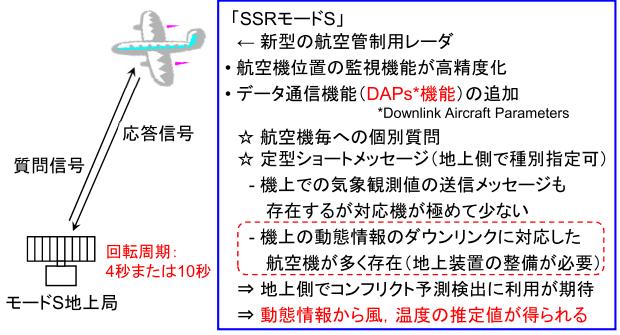
- GNSS航法の普及
 - 従来は地上航行支援装置を利用した航法(経路設定に制約)
 - GNSSにより航空機が3次元位置、時間を正確に把握可能
 - 時間を使ったGate-to-Gateの最適な飛行経路(トラジェクトリ)に基づく運航
 - 他の航空機との調和
- 気象はトラジェクトリ管理に基づいた運航に重要な要素**
- <ナウキャストの利用>
航空機がもつてた気速度、対地速度等から推定される風情報等の気象情報を参考に30分程度先の交通流制御等に利用
- <数値モデルによる予測精度の向上>
観測の高度化 → 予測精度向上 → 高度化した気象予測情報をトラジェクトリ予測に利用

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

3

SSLモードSのDAPs機能



第12回MUR/EARシンポジウム

4

地上局の整備状況

第3-1図 航空路監視レーダー配置及び面域図



図: 内閣府 平成23年版交通安全白書、「http://www8.cao.go.jp/koutai/brisaku/h23kou_hakuzenbun/genkyo/h3/h3s2_1.html」

5

メッセージ種別と機上装置の整備状況

義務化範囲 - ELS(基本監視): 欧州, EHS(拡張監視): 欧州の一部空域

番号	メッセージ種別(255個, 56bit長)	義務化	
		ELS	EHS
05	拡張スキッタ・位置	*いわゆるADS-B	
10	データリンク能力通報	○	○
17	主要BDS能力通報	○	○
20	航空機便名	○	○
40	選択垂直方向意図(MCP/FCU選択高度、気圧設定値など)	○	
44	気象通報・基本情報		
45	気象通報・ハザード情報	対応機極めて少ない	
50	経路および旋回通報(ロール角、真打球角、対地速度、真打球角変化率、真対気速度)		○
60	機首方位および速度通報(機首磁方位、指示対気速度、マッハ数、気圧高度変化率、慣性垂直速度)		○

ダウリンク情報から風向・風速、温度を推定可能

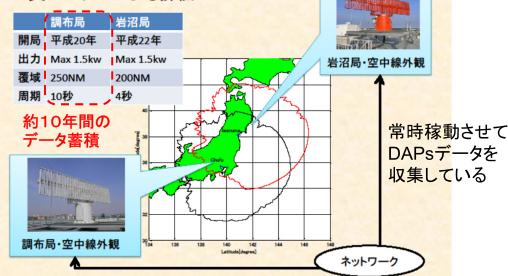
(日本では義務化されていないが、通過機含め9割程度の航空機がEHSに対応している)
種別詳細は「ICAO, "Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter", Doc 9871, Second Edition, 2012」を参照
2018/09/05 第12回MUR/EARシンポジウム

6

SSRモードS実験局(ENRI)

4. モードS実験ネットワーク

・実システムによる評価



古賀他.“SSRモードSのネットワーク技術について”, 第12回電子航法研究所研究発表会, 2012年

第12回MUR/EARシンポジウム

7

気象情報(風向・風速、温度)の検証と活用 気象データの推定アルゴリズム

● 気象データの推定

(1) 外気温

マッハ数と真対気速度から、外気温を得る

$$T = \frac{1}{\gamma R} \left(\frac{V_{TAS}}{M} \right)^2$$

赤字のパラメータ: 取得率が高い

(2) 東西風速・南北風速

① 国土地理院の磁気偏角の近似式を用いて磁方位を真方位に補正する

$$\Psi_{HDG} = \Psi_{MAG} - D2015$$

$$D2015 = 7^{\circ}57.201' + 18.750' \Delta\phi - 6.761' \Delta\lambda$$

$$- 0.059' \Delta\phi^2 - 0.014' \Delta\phi\Delta\lambda + 0.579' \Delta\lambda^2$$

※今回、D2010からD2015に修正

ただし、 $\Delta\phi = \phi - 37^{\circ}\text{N}$, $\Delta\lambda = \lambda - 138^{\circ}\text{E}$

② 対地速度から真対気速度を差し引くことで、東西風速・南北風速を得る

$$W_v = V_{GS} \cdot \sin \Psi_{TRU} - V_{TAS} \cdot \sin \Psi_{HDG}$$

$$W_u = V_{GS} \cdot \cos \Psi_{TRU} - V_{TAS} \cdot \cos \Psi_{HDG}$$

東富他.“SSRモードS監視データを用いた気象予報データの評価解説”, 第51回飛行機シンポジウム, 2013年11月。

高橋他.“磁気図2015:0年版の作成”, 国土地理院技術レポートNo.130, 2018年2月。

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

8

気象情報の検証と活用 MULレーダーとの風速の比較検証

- 品質向上のためのスクリーニング・補正手法の開発を目的とする
 - 巡航、旋回、上昇、下降の各フェーズでの誤差評価
 - 四季を通じた特性変化の把握等
- 前回までの内容
 - 信楽上空(MURから水平100km以内)の航空機データの特性確認
 - 航空機観測点の水平及び高度分布とそれらの季節依存性、取得頻度等
 - MULによる風速観測結果との比較(2016年)
 - 東西風、南北風ともに良い相関が得られた
 - ただし、東西方向に2m/s程度のバイアス成分が存在
 - 上記バイアス成分の原因として考えられる事項
 - 磁気偏角補正における誤差の影響(国土地理院D2010の近似式を使用)
 - 航空機の高度換算誤差(地上気圧補正ありの気圧高度)、比較すべきMUR高度と空間差が生じている可能性→鉛直シグマが存在する状況で乖離大
 - 今回の内容
 - 2016年について国土地理院D2015の近似式による磁気偏角補正で再解析
 - 解析事例を増やす: 2014年、2015年の観測データも追加解析

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

9

気象情報の検証と活用 MULレーダーとの風速の比較検証(2)

- 磁気偏角補正に国土地理院のD2015を使用
- MULレーダー(MUR)
 - 対流圈・成層圏観測(標準)

月日	
冬季(12~2月)	1月21~31日、2月01,15~19日、12月02,12~16日
春季(3~5月)	3月14~18日、4月11~15日、5月16~20日
夏季(6~8月)	6月14~17日、7月25~29日、8月22~26日
秋季(9~11月)	9月26~30日、10月24~28日、11月21~29日

・ 比較手順(前回と同様)

- 水平方向:MURから半径100km以内のSSR-Sデータを対象
- 高さ方向:SSR-S風情報に近接する高度2点のMURデータの内挿(MUR風観測データの近接高度2点が欠損の場合は比較せず)
- 時刻: SSR-S風情報に近接する時刻のデータ(±5分以内)と比較
- SSR-Sの風速推定値が150m/sを超えたデータは異常値として排除

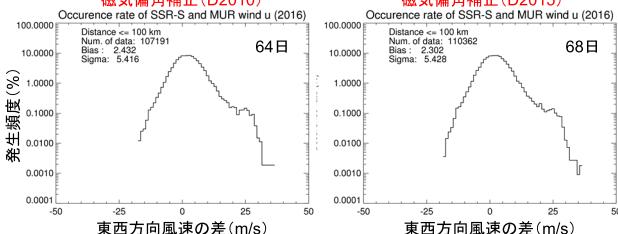
2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

10

気象情報の検証と活用 MULレーダーとの風速の比較検証(3)

2016年(前回解析)
磁気偏角補正(D2010)



磁気偏角補正に2015年のデータを使用しても東西方向風速のバイアス成分は除去できなかった

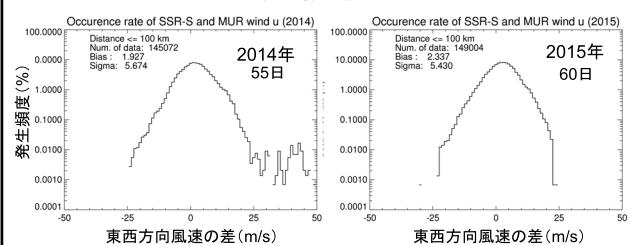
2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

11

気象情報の検証と活用 MULレーダーとの風速の比較検証(4)

・ 2014年、2015年にも同様な解析を適用



2014年、2015年ともに同程度(約2m/s)のバイアス成分が存在

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

12

気象情報の検証と活用 MUレーダーとの風速の比較検証(5)

- 3年間について発生頻度分布を比較

	東西方向		南北方向	
	Bias	Sigma	Bias	Sigma
2014	1.927	5.674	1.545	5.467
2015	2.337	5.430	1.369	5.266
2016	2.302	5.428	0.521	5.207
2016(前回)	2.432	5.416	0.029	4.996

単位:m/s

南北方向についても、2016年は比較的小さかったが
バイアス成分が存在している

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

13

気象情報の検証と活用 MUレーダーとの風速の比較検証(6)

- 気圧高度から幾何学高度への変換誤差は気象擾乱(逆転層等)が存在する時に大きくなる
- 季節によって風速の鉛直プロファイルは異なる
- 発生頻度分布を構成するデータの季節別の割合が年によって異なっている

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

14

気象情報の検証と活用 今後の指針と気象学的な活用

- 長期データによる風情報の比較検証
 - 数値モデル(再解析データ)、GNSS高度等を用いたより信頼性の高い航空機高度を用いた検証
 - 最終的には約10年間の蓄積データによる統計解析
- 気象学的な活用
 - 数値予報モデル
 - データ同化実験(瀬古他, 2015, 2016)
 - より予測結果に影響を与える領域の航空機観測データを優先的にダウンリンクする等
 - 気象予測情報の信頼性
 - ナウキャスト的な利用(リアルタイム検証)

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

15

まとめ

- 4次元航法の実現には信頼性の高い気象予測情報が重要
- SSRモードにより得られる気象情報
 - ダウンリンク情報から高頻度な風、温度情報が得られる
- MUレーダーデータとの風速の比較検証
 - 前回実施した2016年の観測データについて、より適切と考えられる磁気偏角補正データを用いて再解析したが東西方向風速に見られるバイアス成分は改善されなかった
 - 新たに2014年、2015年の観測データを比較検証したところ、南北方向にもバイアス成分が存在が認められた
 - これらバイアス誤差の原因としては、気圧高度から幾何学高度への変換誤差に伴う可能性が高いと考えられるため、今後は数値モデル(再解析)、GNSS高度等を用いた航空機高度の算出と検証を行いたい
 - 最終的には約10年間の蓄積データを用いた統計解析を実施する予定
- 気象学的な活用
 - 数値予報モデルへの同化
 - 気象予測情報の信頼性など

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

16

参考文献

- 重富他(2013), SSRモードS監視データを用いた気象予報データの評価解析, 第51回飛行機シンポジウム 3C03, 高松市, 2013年11月
- 瀬古他(2015), 航空機からのSSRモードSダウンリンクデータの同化実験(その1), 日本気象学会2015年秋季大会, 京都市, 2015年10月
- 瀬古他(2016), 航空機からのSSRモードSダウンリンクデータの同化実験(その2), 日本気象学会2016年秋季大会, 名古屋市, 2016年10月
- 高橋他(2018), 磁気図2015.0年値の作成, 国土地理院時報No.130, 2018年2月

2018/09/05

第12回MUR/EARシンポジウム

17

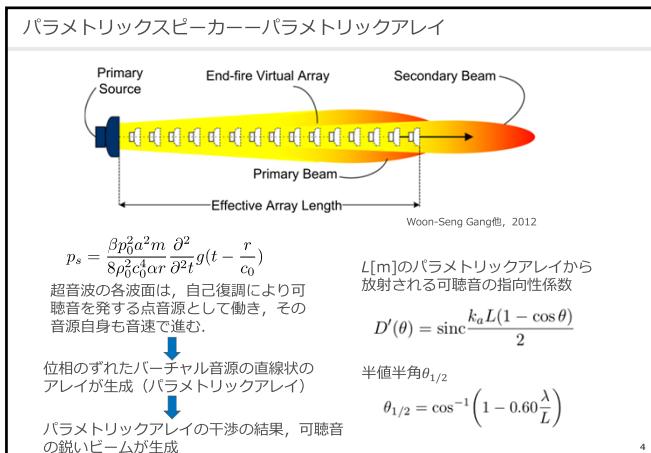
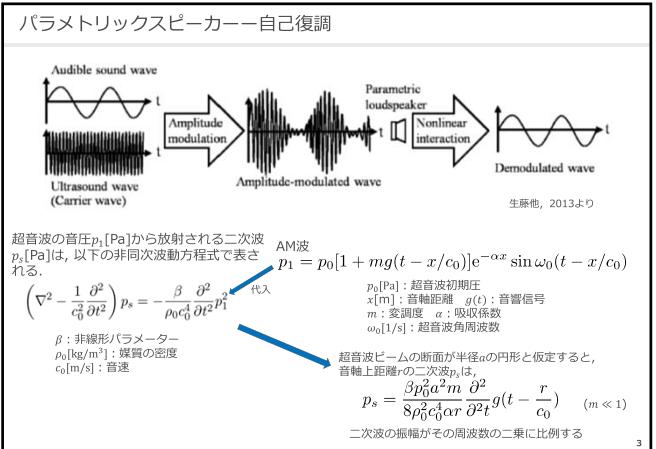
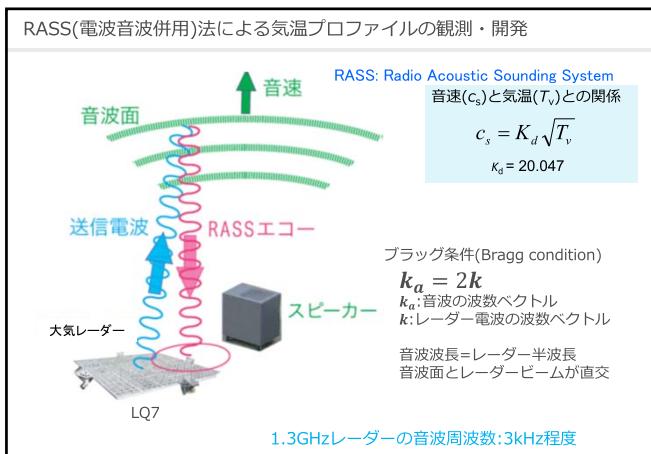
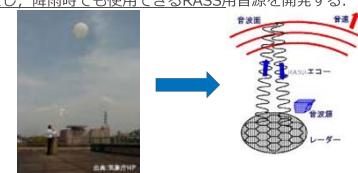
パラメトリックスピーカーを用いた低騒音型RASS用音源の開発

2018.09.05 14:50-15:10
第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム

京都大学生存圏研究所 六車 光貴, 橋口 浩之

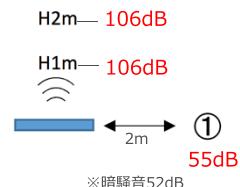
研究の背景・目的

- 上空の気温高度分布を高分解能で観測することは重要である。
→気象現象などの理解が進み、気象の短期予報がより正確となり、ひいては航空機の安全運航などにも寄与すると考えられる。
- RASS(Radio Acoustic Sounding System)を用いた観測はラジオゾンデに比べて高時間分解能で気温の高度分布を測定できるが、騒音問題があり、観測場所が制限される。
- パラメトリックスピーカー（超指向性スピーカー）を使うことで、騒音問題を解決できる。
- 反射型とし、降雨時でも使用できるRASS用音源を開発する。



予備実験一反射板なし(1458素子)

素子数 : 1458素子 (650×650×160mm)
防水性 : IPX3相当 (スピーカー表面に撥水メッシュ、スピーカ一面を下に向かた場合)



6

反射板材質



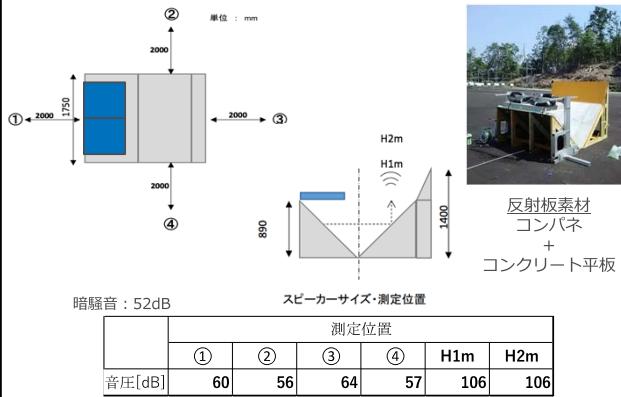
合板のみ



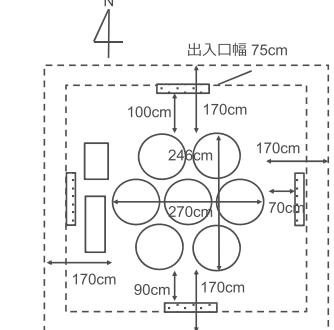
コンクリート平板

7

予備実験一反射板あり(1458素子×2=2916素子)



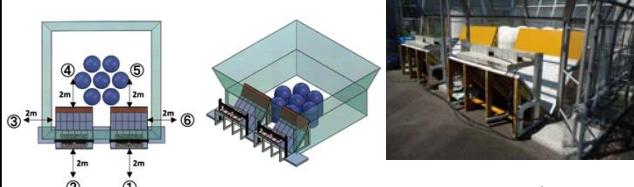
ルネベルグレンズ下部対流圈レーダー(LQ-7)



7

騒音測定一LQ7に設置

1458素子×2=2916素子×2=5832素子



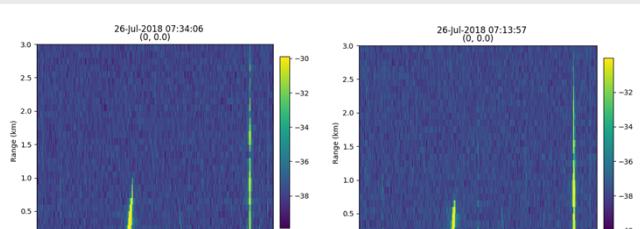
暗騒音 : 52dB

	測定位置	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
音圧[dB]	68	61	66	67	66	65	44	

10

RASS観測結果例

7/26 ; ほぼ無風



- 音波周波数のスイープ範囲を狭めて、今考えられる一番S/Nを稼げるパラメータでの観測
- 音圧的には1kmまで届いているようだが、安定的に取れるのは500~600m
- 風の状態によって直交条件が崩れているため風が吹くと観測は厳しいものとなる。

今後の課題・まとめ

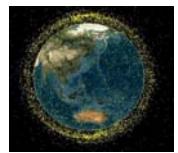
- 反射板により防水性のないパラメトリックスピーカーに防水性を持たせることができた。
- 実際にLQ7にスピーカーを設置したところ、音漏れが大きくなつた。
←フェンスに音が反射している可能性大。
- 好条件だと高度1kmまで工コーが観測できる。
←気温による適切なスイープ範囲を定める必要あり。
- 風速・気温・スイープ範囲とRASS工コー観測最大高度の関係を調べる。
- スピーカーの最適配置を考える必要もある。
- スピーカーセルの数を減らして、観測高度がどう変わるか見る。
- コントロールとして反射板なしでのRASS観測を行う。


RISH

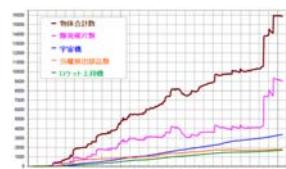
MUレーダーを用いた スペースデブリの3次元形状推定 に関する研究

上埜(RISH) 山川(JAXA) 橋口(RISH) 山本(RISH)

研究背景



スペースデブリの分布(出典: NASA)



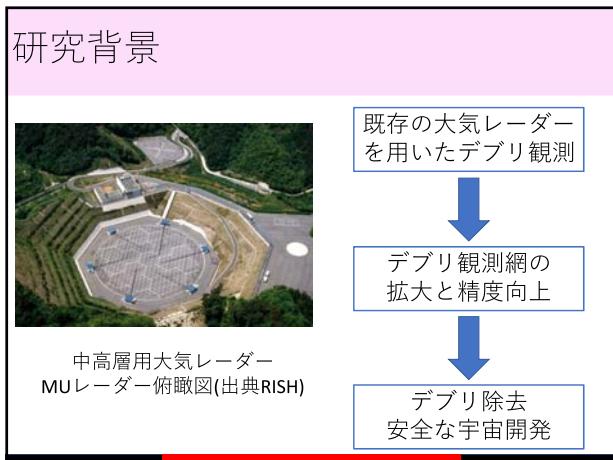
地球周囲の物体数の推移(出典: NASA)

スペースデブリ

20,000個のデブリが存在
速度 3~7 km/s

デブリの急激な増加

通信衛星とデブリの衝突事故
ミサイル破壊実験



MUレーダーを用いた観測の概要

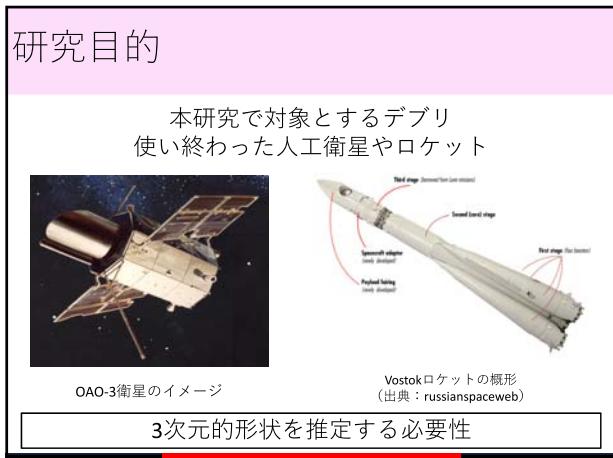


MUレーダー俯瞰図(出典RISH)

特徴

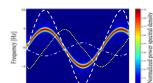
- 天気の影響を受けずに観測が可能
- 高度1000 km程度までは観測可能
- 距離分解能が低い

大型大気レーダー(MUレーダー)専用の
スペースデブリの形状推定手法を考案する必要



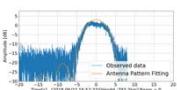
形状推定手法

時間周波数解析を用いた形状推定(SRDI法)



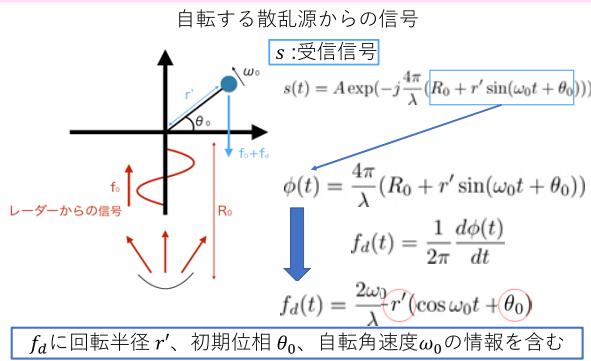
デブリの自転によって生じるスピンドップラーを利用する

散乱断面積変動解析を用いた形状推定(RCS法)



デブリの自転によって変化する散乱断面積の変動を利用する

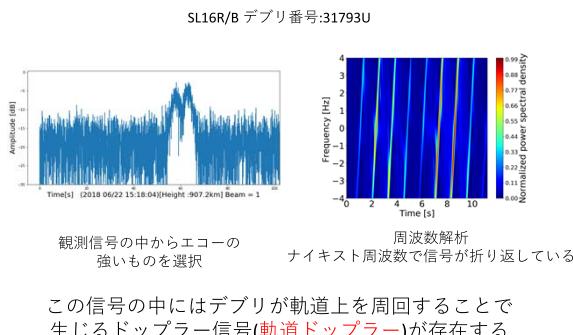
SRDI法の原理



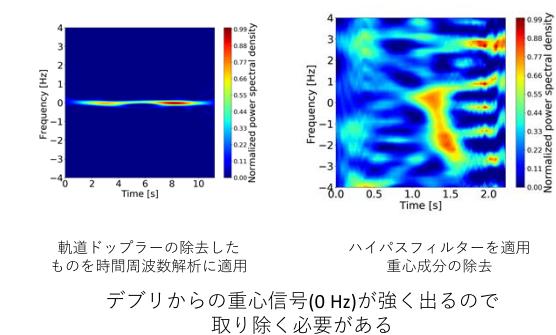
SRDI法の解析手順

- 受信信号である複素時系列信号を時間周波数解析(SPWD法)にかけてドップラー周波数 f_d を抽出
- 自転周期を決定し、Migration法を用いて2次元イメージングを行う

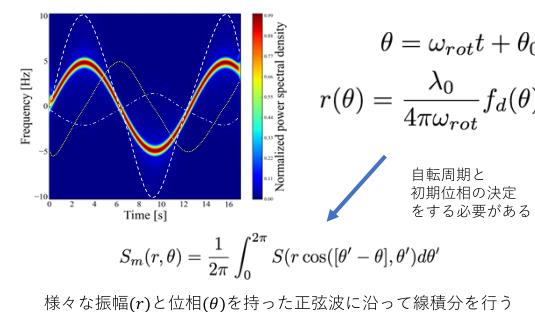
SRDI法による形状推定



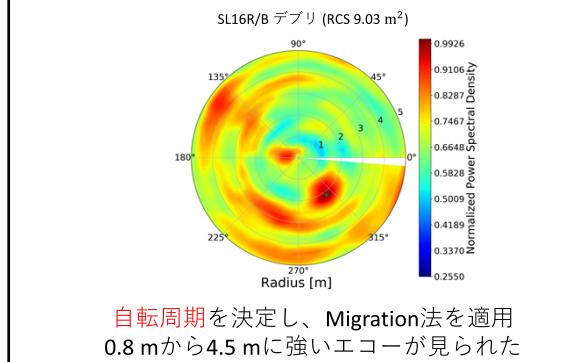
SRDI法による形状推定



Migration法



SRDI法による推定結果



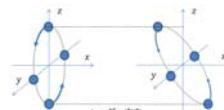
SRDI法での推定値差の要因

- 2次元イメージングにはMigration法を適用しているが、これには観測データから自転周期を決定する必要
- SRDI法は観測データの位相値をFFTにかけて、スペクトルの大きな値を自転周期としている
- 観測時間が10秒程度で、周波数分解能が0.2 Hz程度

自転周期を補正し、正確な値を決定する必要がある

SRDI法での推定値差の要因

- SRDI法で解析するドップラー周波数はレンジ方向(視線方向)の速度の変化が原因
- 同じドップラー周波数を持つが、回転方向、回転軸が異なる場合を区別することはできない



回転方向に対する補正を行う必要がある

RCS法の原理

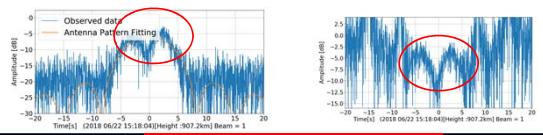
標的からのエコーは変化している

→標的が回転することで散乱断面積(RCS)の変動が原因

RCS変動の情報には

- 自転周期
- 物体の大きさ が含まれている

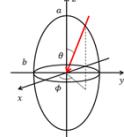
RCS変動を解析することで物体の大きさを推定可能



RCS法の解析手順

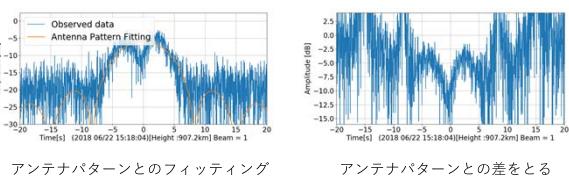
- 観測信号を散乱断面積に変換し、変動を抽出
- 理想的な散乱断面積の式とフィッティングすることで大きさを推定する

$$\sigma = (4\pi R^2)^2 \frac{P_r}{P_t A_r^2} \frac{\lambda^2}{4\pi}$$



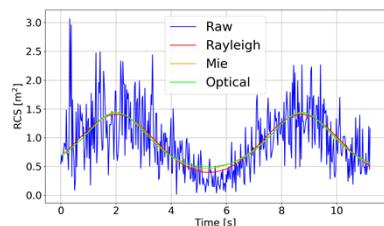
- 観測信号のエコーを散乱断面積に変換する式
- 扁長楕円体モデルをフィッティングに利用

RCS法による形状推定



RCSの変動はメインロープに沿って表れる
アンテナパターンとの差を取ることで導出が可能

RCS法による形状推定



レイリー領域、ミー領域、光学領域の3パターンでの
楕円体モデルの理論式とフィッティングを行う

RCS法による形状推定

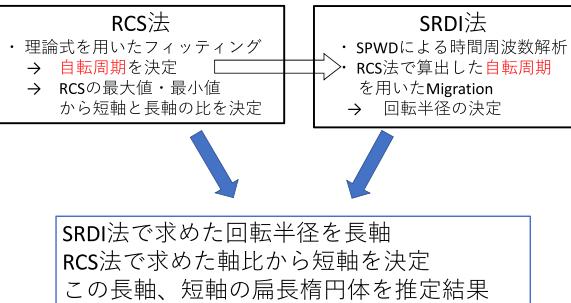
	レイリー領域	ミー領域	光学領域
長半径(m)	1.2	0.87	0.68
短半径(m)	0.40	0.49	0.52
軸比	3.0	1.8	1.3
自転角速度 (rad/s)	0.47	0.47	0.47
推定RCS(m ²)	1.5	1.3	1.1

NORADが公開しているRCS 9.03 m²とは
大きく離れた値を示す

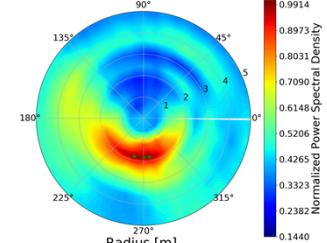
RCS法の推定誤差の要因

- 1周期の回転時間以上の観測時間を取れておらず、フィッティングが正しく取れない場合
- SRDI法と同様に回転軸の影響が出る場合

2つの手法を組み合わせた形状推定



2つの手法を組み合わせた形状推定



半径2.0 m 程度の回転半径を持つと推定

2つの手法を組み合わせた形状推定

	レイリー領域	ミー領域	光学領域
長半径(m)	1.9	1.9	1.9
軸比	3.0	1.8	1.3
自転角速度 (rad/s)	0.47	0.47	0.47
推定RCS(m ²)	3.8	6.3	8.7

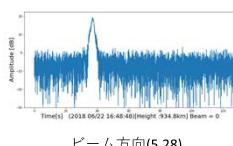
NORADが公開しているRCS 9.03 m²と近い値を示す結果となった

推定誤差の要因

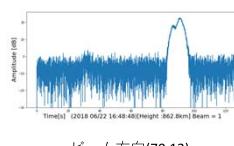
- 回転軸の影響が出る場合
- 自転周期を決定する上で、十分な観測時間を得ることができない場合
- RCS変動が小さく、フィッティングが難しい場合

1つのビーム方向から得られた観測データで
標的の形状を求めるることは困難
複数点方向からの観測を行う必要がある

複数点観測



ビーム方向(5,28)



ビーム方向(70,13)

入射方向によって、異なる観測波形を示す

観測波形がなだらかな程、散乱断面積変動が小さい程
回転軸に近くに電波が入射していると考えられる
(70,13)の方が(5,28)よりも回転軸に近いと考えられる

入射角度の差の導出



レンジ距離、天頂角、方位角から
レーダー中心を原点とする直交座標系に
変換したビーム方向ベクトル
の成す角度から入射角度の差を導出する

複数点観測 準備

観測日時	デブリ名	cording	Range km	方位角	天頂角	エコーが十分な時間得られたか	エコーが取れた時間(s)
2017.01.10	H2A_2760U	13bit	805.2	100	5 Yes		8
2017.10.13	SL3_05118U	13bit	546	85	13 Yes		7
2017.12.15	SL8_11574U	13bit	766.8	285	8 No		6
2018.06.22	COSMOS1812_17295U	No	577.2	280	24 No		6
	SLRRB_08459U	No	793.2	265	7 Yes		8
	SL16RB_22220U	13bit	934.8	5	28 No		3
			862.8	70	13 Yes		8
	SL16RB_31793U	No	936	290	26 No		3
			907.2	250	20 Yes		10
			921.6	220	24 Yes		3
			130	7 Yes			5
2018.08.20	SERT_2_04327U	13bit	1054.36	45	12 Yes		3.5
			165	13 No			3.5

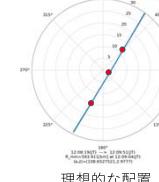
最近の観測でのエコー時間について

8~10 秒程度の観測時間は欲しい

複数点観測 準備

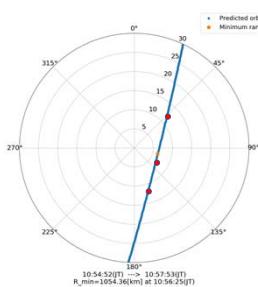
十分なエコー時間が取れていたものは

- 天頂角 15 度以内
- レンジ距離 800 km 以上
- TLE との天頂角のズレが 0.1 ~ 0.2 度以内のもののが多かった



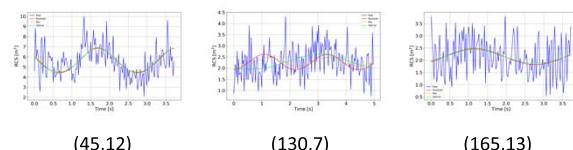
理想的な配置

2018年8月20日での3点観測結果



(45,12) (130,7) (165,13)
3方向で観測

2018年8月20日での3点観測結果



2件については自転周期はおよそ一致したが、
RCS変動が小さく、観測時間も短かった(165,13)
については自転周期は他のものと異なった値を示した

まとめと今後の予定

まとめ

- 2つの手法を組み合わせた手法によって精度の良い形状推定を可能にする
- 回転軸の影響を考慮する必要性

今後の予定

- 複数点観測をすることで回転軸を決定する
- 考慮する必要があるならば、RCS法に用いる橜円体モデル以外のモデルについても考慮する

MUレーダーを用いた観測による 未知デブリの軌道推定手法 に関する研究

○鳥居拓哉、山川宏、橋口博之、山本衛、佐藤亨
(京都大学生存圏研究所 宇宙圏航行システム工学研究室)

本日の発表内容

1. 研究背景と目的
2. 軌道推定手法の概要
3. 観測結果
4. まとめと今後の予定

本日の発表内容

1. 研究背景と目的
2. 軌道推定手法の概要
3. 観測結果
4. まとめと今後の予定

研究背景

・低軌道上(高度800km程度)には多数の**スペースデブリ**が存在
↳ 運用を終えた人工衛星やその破片等

問題点
非常に高速で移動している
衛星との衝突の危険性



[ESA Website]
http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2008/03/Debris_objects_m..._mostly_debris_in_low_Earth_orbit_LEO_view_over_the_equat...

継続的な宇宙利用のため
デブリの観測・除去は重要な課題である

研究目的

・本研究室では、信楽MUレーダーを用いたデブリ観測を行っている



MUレーダー鳥瞰図 [出典: RISH]

メリット

- ・天候や時間の影響を受けにくい
- ・既存の施設が活用できる

デメリット

- ・デブリ観測用レーダーと比べて分解能が低い為、専用の観測手法について検討する必要がある

MUレーダーを用いた観測による
未知デブリの軌道推定手法の確立を目指す

研究目的・背景

MUレーダーによる実際の観測値から
デブリの軌道6要素を推定する

ケラリアン軌道6要素 $(i, \Omega, e, \omega, M_0, n)$

1対1に対応している

カルテシアン軌道6要素 (x, y, z, v_x, v_y, v_z)

NORADのTLEの一例

0AO 2
1 03597U 68110A 17036.19051322 .00000019 00000-0 10643-4 0 9998
2 03597 34.9947 44.0930 0006201 265.3578 94.6404 14.45760621538792
軌道傾斜角 昇交点赤経 離心率 近地点引数 平均近点角 平均運動

[出典: NORAD Two-Line Elements Sets Current Date, <https://www.celestrak.com/NORAD/elements/>]

本日の発表内容

1. 研究背景と目的
2. 軌道推定手法の概要
3. 観測結果
4. まとめと今後の予定

軌道推定手法の概要

エコーの算出



位置の時系列データの取得



軌道のフィッティング

軌道推定手法の概要

エコーの算出



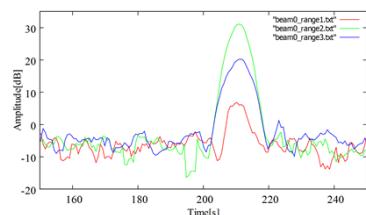
位置の時系列データの取得



軌道のフィッティング

エコーの算出

- MUレーダーを用いた観測では、各ビームの各レンジにおける複素時系列信号が得られる。



軌道推定手法の概要

エコーの算出



位置の時系列データの取得



軌道のフィッティング

位置情報の取得の概要

算出したエコー情報からデブリのMUレーダーからの

- 距離の時間変化を推定する。
- 方向(天頂角・方位角)の時間変化を推定する。



距離と方向が同時に推定できた時刻における
データを地心座標系に変換し、取得する。

位置情報の取得～距離の推定～

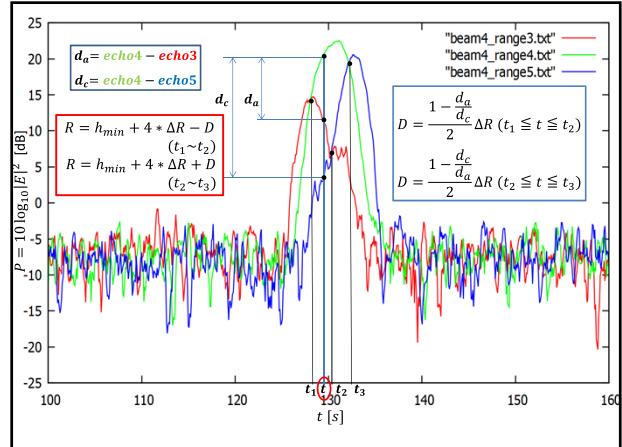
- MUレーダーの観測ではレンジ分解能 ΔR ごとの信号が取得可能であるため最大強度が得られるレンジからデブリの距離を概算することができる。

$$\text{レーダーからの距離 } r = h_{min} + N \times \Delta R$$

- しかし、デブリが通過する高度(約800km)と観測パラメータの制約から ΔR は約5kmとなり、単純な推定手法では誤差が大きくなる。

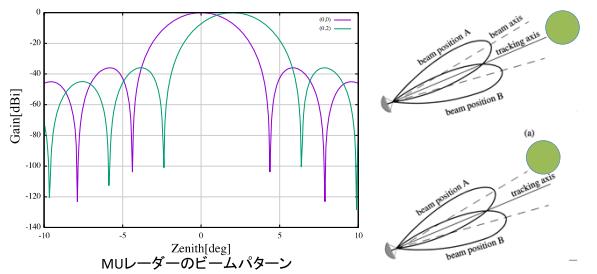


最大強度が得られるレンジの前後のエコーも利用し距離推定の誤差を補正する



位置情報の取得～方向の推定～

- 複数のビームから得られたエコーの差を利用する。
- MUレーダーのアンテナパターンから理論的に計算されるエコーの差と最もよく一致するような方向(天頂角・方位角)を算出する。



軌道推定手法の概要

エコーの算出

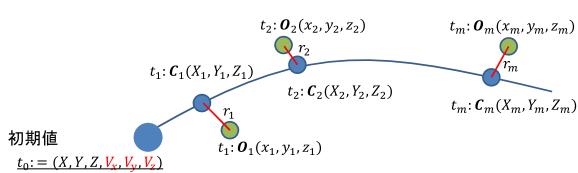
位置の時系列データの取得

軌道のフィッティング

軌道のフィッティングの概要

算出した位置の時系列データを用いて

- ある時刻における速度を推定(初期推定値の決定)
- 観測位置に最もよくフィットする軌道の決定(最適化)



ある時刻における速度の抽出

Herrick-Gibbs法を用いて速度を計算

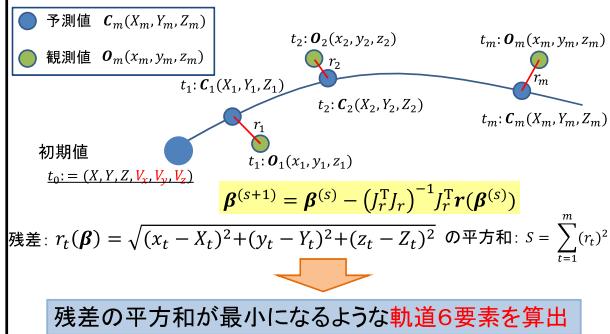
3つの異なる時刻 t_1, t_2, t_3 における位置ベクトル r_1, r_2, r_3 より t_2 における速度をテイラー近似により求める手法

$$v_2 = -\Delta t_{32} \left(\frac{1}{\Delta t_{21} \Delta t_{31}} + \frac{\mu}{12r_1^3} \right) r_1 + (\Delta t_{32} - \Delta t_{21}) \left(\frac{1}{\Delta t_{21} \Delta t_{32}} + \frac{\mu}{12r_2^3} \right) r_2 + \Delta t_{21} \left(\frac{1}{\Delta t_{32} \Delta t_{31}} + \frac{\mu}{12r_3^3} \right) r_3$$

ある時刻における速度を取得することにより初期推定値としてカルテシアン軌道6要素 (X, Y, Z, V_x, V_y, V_z) が決定

軌道の最適化

• Gauss-Newton法を用いた反復計算を行う

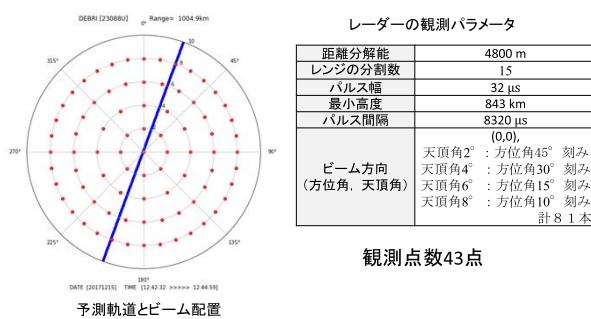


本日の発表内容

1. 研究背景と目的
2. 軌道推定手法の概要
3. 観測結果
4. まとめと今後の予定

MUレーダーによる観測条件

SL-16 R/Bデブリについて観測 (2017年12月15日)



観測結果(軌道推定結果)

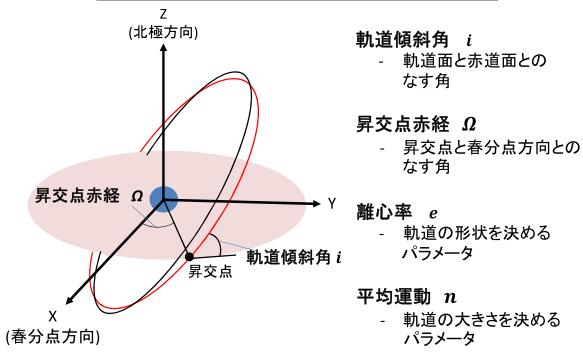
軌道6要素	軌道傾斜角 i [deg.]	昇交点赤経 Ω [deg.]	離心率 e	近地点引数 ω [deg.]	平均近点角 M [deg.]	平均運動 n
TLE (真値)	71.0011	264.3201	0.0004279	218.7962	141.2854	14.1466
観測値	72.3252	263.8157	0.0059726	168.2605	230.5305	14.9498

- これらの推定した軌道要素をもとに計算したデブリの位置とTLEをもとに計算した位置との観測時における距離の誤差は約3878kmとなった。

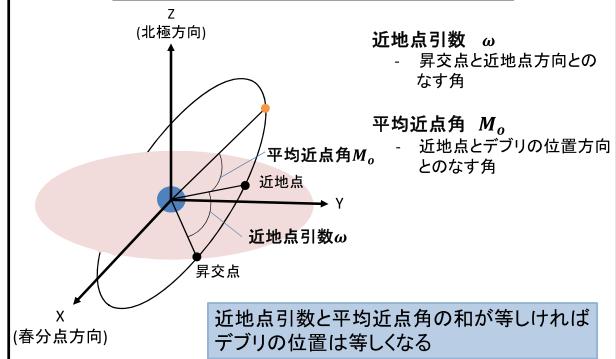


近地点引数と平均近点角の誤差が大きな要因

軌道傾斜角と昇交点赤経



近地点引数と平均近点角



誤差評価

- 観測により推定した軌道要素をもとに計算したデブリの位置とTLEをもとに計算したデブリの位置との距離誤差は約3878kmであった。(前述)
- しかし、デブリが地球を1周したのちの位置誤差は約3882kmであるため、デブリが地球を周回することにより生じる位置誤差は約4kmであることが分かる。
- これは高度800kmにおけるMUレーダーの観測可能範囲に収まる値となっている再観測が可能かという点においては十分な精度であると考える。

本日の発表内容

- 研究背景と目的
- 軌道推定手法の概要
- 観測結果
- まとめと今後の予定

まとめ

- 未知のデブリを仮定し、MUレーダー上空をどの方向からデブリが通過しても観測が行えるようなビーム配置により観測をし、軌道要素の推定を行った。
- 推定した軌道要素に対して、再観測可能かどうかという観点から、近地点引数と平均近点角以外の要素についての評価を行った。

今後の予定

- 新たな距離推定手法の検討
- 多チャンネル受信信号の解析(位相情報の利用)
- 新たな観測手法の検討

Ku 帯衛星回線の台風接近時における降雨減衰特性

前川泰之・山田修稔、柴垣佳明（大阪電気通信大学）

1. はじめに

近年衛星通信や衛星放送に対して、Ku 帯(14/12GHz) やさらに高い Ka 帯(30/20GHz)の利用が進んで、そのためにはこれらの周波数帯で大きくなる降雨減衰の発生時間率等を正確に把握する必要がある [1]-[3]。降雨減衰予測に対しては、降雨強度累積時間率 0.01% 値から求める方法が通常用いられるが [4]、降雨強度の年変化等に伴って生じる長期間の統計的な降雨減衰の変動を明確する必要がある。

本研究では、Ka 帯通信衛星電波(19.45GHz、右旋偏波、仰角 49.5°:以下 CS と称す)と Ku 帯放送衛星電波(11.84GHz、右旋偏波、仰角 41.4°:以下 BS と称す)の降雨減衰を過去33年間(1986–2018)大阪電気通信大学寝屋川実験局で1分降雨強度とともに連続的に測定したデータを用い、それらのデータに長期にわたって見られる統計的な変動について議論する。各年の降雨強度と降雨減衰の累積時間率分布の間に差異が生じる原因として、まず平均雨域等価通路長の年変化を指摘し、さらに各年の降雨時平均地上気温や各種降雨タイプが及ぼす影響について述べる[5]。また台風等と熱帯性降雨が等価通路長の年変化に及ぼす影響を明らかにし、台風接近時に特徴的に現れる降雨減衰特性の特徴について述べる。

2. 長期測定結果

本研究では、まず 1986~2011 年の25年間に大阪寝屋川局(大阪府寝屋川市)で測定された Ka 帯の CS 衛星電波と Ku 帯の BS 放送電波の降雨減衰について長期の年間累積時間率分布の計算を行い、同時に測定された 1 分降雨強度の累積時間率分布の 0.01% 値($R_{0.01}$, mm/h)を用いて、ITU-R 法による予測値[4]との比較を行った。

図1に寝屋川局における(a)Ka 帯(19.45GHz、1986 年 4 月～2007 年 3 月)と、(b)Ku 帯(11.84GHz、1988 年 5 月～2011 年 4 月)の測定値と、ITU-R 予測値との比較をそれぞれ示す。予測に用いた降雨強度の 0.01% 値は、それぞれの測定期間の実測値より得た値として、60.75mm/h と 61.56mm/h が用いられている。

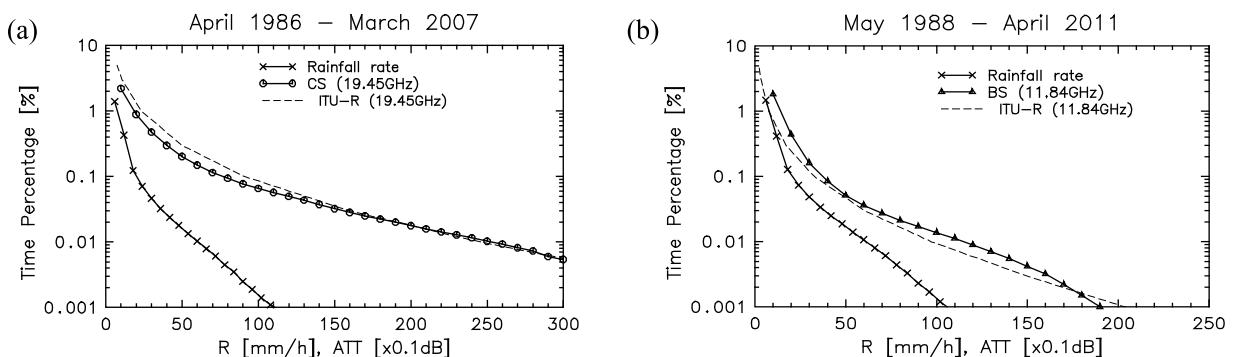


図1. (a)Ka 帯(19.45GHz、1986 年 4 月～2007 年 3 月)と、(b)Ku 帯(11.84GHz、1988 年 5 月～2011 年 4 月)の測定値と、ITU-R 予測値との比較

図1よりこれらの降雨減衰長期測定値は、大阪府の寝屋川局において最新のITU-R法による予測値と、1~0.001%の累積時間率の範囲においてほぼ1dB以内の精度でよい一致を示すことが分る。なお予測で用いた雨域高さ h_r は同予測法の世界地図上において日本付近で推奨されている値として 4.36km (0°C高度 4.0km+0.36km) を用いている。

3. 降雨減衰統計の年変動

次に図2は寝屋川局で測定されたKu帯降雨減衰の0.1~0.01%の累積時間率値と降雨減衰の同累積時間率値、および年間降水量の年変化を1986年から2010年の25年間にわたって示したものである。図3(a)は年間降水量であり、(b)は降雨強度、および(c)はKu帯降雨減衰、および(d)はKu帯降雨減衰の累積時間率をそれぞれ示し、時間率は0.1%(○印)、0.03%(△印)、および0.01%(×印)である。

図2より、降雨強度およびKu帯降雨減衰の年毎の各時間率値はいずれも年間降水量とかなりよい相関を示し、特にその傾向は降雨強度の場合に強い。従って基本的に降雨強度と各周波数帯の降雨減衰の年間時間率統計の大小はその年の年間降水量に左右され、その年に雨が多いか少ないかでこれらの大勢は決まるといえる。しかし0.01%値に關しても、例えば1988年、2000年、あるいは2008年のように、降水量や降雨強度に比べてKu帯とKa帯の降雨減衰値が相対的に大きくなる年もあり、必ずしもこれらの各年間時間率統計はその年の降水特性のみで一律には決まらないといえる。またこれらの年間時間率はいずれも2006年以降最近の5年間、全般的に増加の傾向にあることが明らかであるが、この傾向は特にKu帯降雨減衰値に対して著しいことが示される。

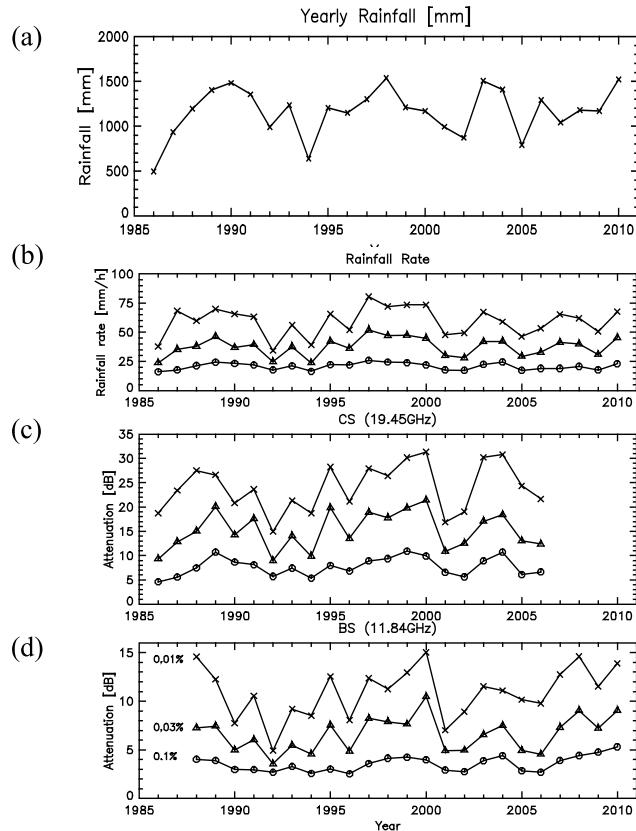


図2. 寝屋川局で測定された(a)年間降水量と(b)降雨強度、(c)Ku帯および(d)Ka帯降雨減衰の等累積時間率値の年変化。時間率はそれぞれ、0.1%(○印)、0.03%(△印)、および0.01%(×印)で示してある。

4. 雨域等価通路長の年変動

前章で明らかになった様に、各年の降雨強度に比べて降雨減衰の等累積時間率値により著しい変動が見られる現象は、年間の各降雨強度に対する減衰係数 α dB/km [4]には極端な差異がないと仮定すれば、各年の平均雨域等通路長の変動に起因すると考えられる。そこで図3は各年の 20mm/h 以上の降雨強度に対する降雨減衰の等時間率値とそれらの減衰係数との比を用いて求めた平均雨域等価通路長の年変動を、(a) Ka 帯減衰量と(b) Ku 帯減衰量について示す。降雨強度 20mm/h 以下では大気や雲によると思われる減衰のため 等価通路長が非常に長く算出される場合があるので除いた。また同図(c)に各年の5月から10月の降雨が集中する期間に得られた降雨時の地上気温の平均値を示す。また図4には(a) Ka 帯減衰量と(b) Ku 帯減衰量の雨域等価通路長と地上気温との間の相関図を示す。

図4より、各年の雨域等価通路長と降雨時地上気温の間には明らかに正の相関があり、その相関係数は 0.6 程度となることから、両者の間にかなり深い関連性があることが示される。一般に地上気温の増加とともに雨域高さがそれにほぼ比例して上昇することは、レーダによるブライトバンド高度の測定等によってよく知られており[6]、本測定による 25 年間の統計結果においても、地上気温に伴う雨域高さの変化の影響がまず考えられる。

ここで、年間の雨域等価通路長の平均値が地上気温に伴う雨域高さのみで決まり地上気温にほぼ比例するならば、図4においての地上気温が 20°C から 25°C まで上昇したときに雨域等価通路長はちょうど $5/4 = 1.25$ 倍に増加するはずである。ところが図4(a)と(b)の回帰直線から Ku 帶の減衰量の雨域等価通路長はこの間約 1.5 倍の増加傾向を示すことが分り、雨域高さの上昇効果だけではこれの半分程度しか説明できない。

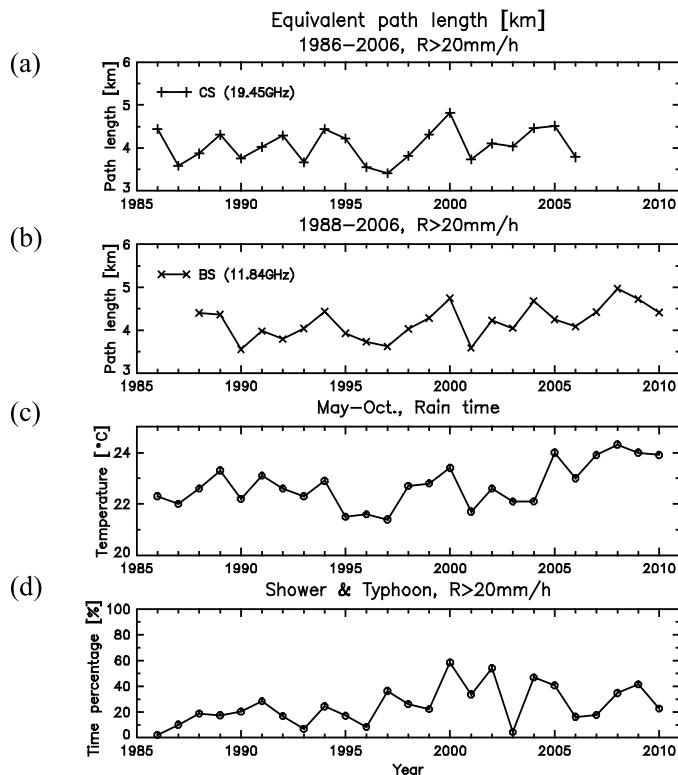


図3. 寝屋川局で測定された(a) Ka 帯降雨減衰および(b) Ku 帯降雨減衰の平均雨域等価通路長と、(c) 降雨時平均地上気温の年変化。(d)は各年の夕立と台風による減衰発生時間率を示す。

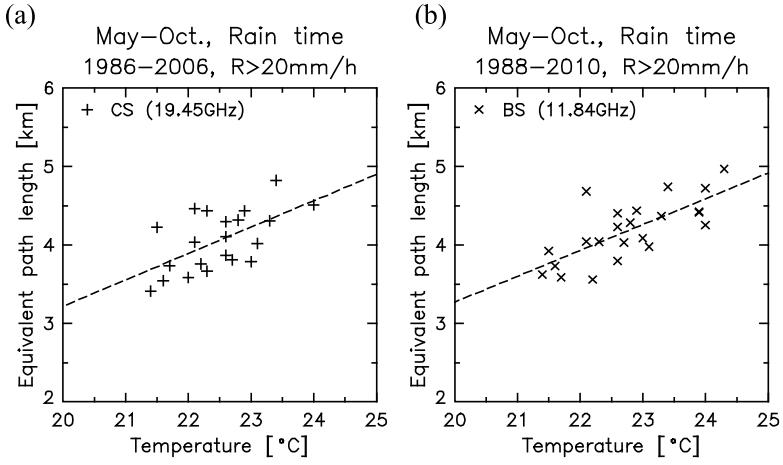


図4. 寝屋川局で測定された(a)Ka 帯および(b)Ku 帯降雨減衰の平均雨域等価通路長と、降雨時平均地上気温の年変化との相関図。

5. 降雨タイプと雨域等価通路長の関係

地上気温が高くなる夏季に多く発生する降雨タイプといえば、まず夕立等による雷雨が挙げられる。また夏季に特徴的なもうひとつの降雨タイプとしては、台風の襲来も夏季を中心に増加することが挙げられる。そこで、これらのいわば夏季特有の熱帯性降雨によって各年に発生した降雨の時間的割合を図3(d)に20mm/hの降雨強度をしきい値としてカウントした場合について示した。また図5に同様にこの時間的割合と(a)Ka 帯および(b)Ku 帯減衰量の雨域等価通路長との間の相関図を示す。

図3と図5より、各年の夏季に夕立や台風により降雨が発生する時間的割合と年平均等価通路長の間にはやはり高い相関があり、これらの熱帯性降雨の発生率の増加が雨域等価通路長を 4km から 5km に向かって増大させる原因であるといえる[5]。また 2006 年以降の最近の 10 年間に關しては全般的に雨域等価通路長がさらに増加傾向にあるが、このことはかえって降雨時の平均地上気温が各年とも上昇していることが原因と考えられる。

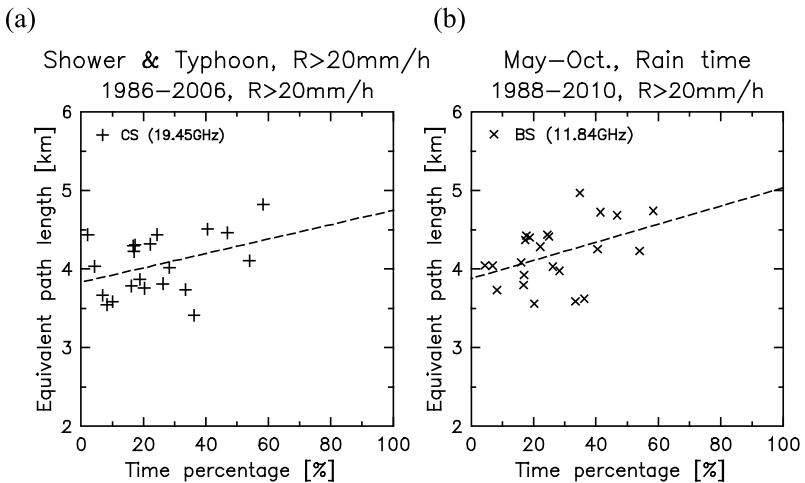


図5. 寝屋川局で測定された(a)Ka 帯および(b)Ku 降雨減衰の平均雨域等価通路長と夕立や台風により発生した 20mm/h 以上の降雨強度の年間時間率との相関図。

6. 台風接近時の降雨減衰特性

前章で述べたように、夕立や台風のような対流性の熱帯性降雨では等価通路長が長くなり、年間の発生割合が降雨減衰特性の年統計にも大きな影響を及ぼすことが明らかになったが、最後に本章では、昨年(2017年)の夏季に台風が実際に接近したときの降雨強度と降雨減衰の時間変化の例を示す。図6は2017年の8月7日に台風5号が寝屋川局に接近したときの(a)降雨強度、Ku帯降雨減衰、および局舎から台風の中心までの距離と、(b)台風5号の経路をそれぞれ示す。図6(a)より、降雨強度と降雨減衰は台風の接近とともに増大するが、特に19LT頃に最接近する直前の14–18LTの間に、降雨強度と比べて降雨減衰の割合が著しく増加し、等価通路長の増大につながっていることが分かる。また図6(b)より、このときの台風の経路は局舎のわずかに東側と通過しており、衛星電波の伝搬経路には強い北風(南向の風)が吹き付けており、このことが降雨減衰特性に何らかの影響を与えたものと考えられる。

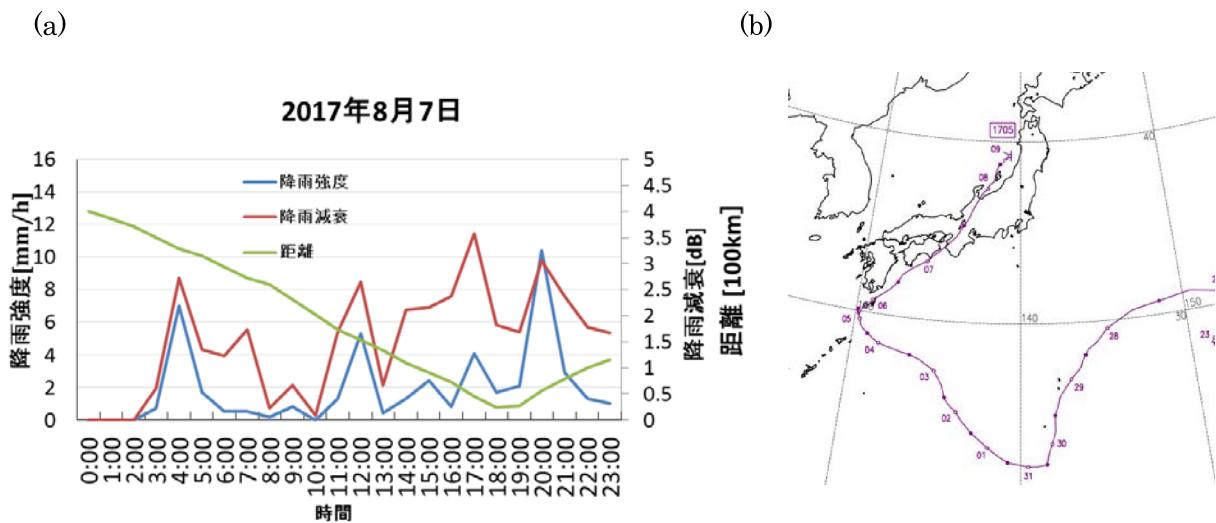


図6. 台風接近時の(a)降雨強度、Ku帯降雨減衰、および局舎から台風の中心までの距離と、(b)台風の経路

7. おわりに

1986年から2011年にかけて大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市)において20年間以上にわたって測定されたKa帯(CS)およびKu帯(BS)衛星電波の降雨減衰特性について、主に累積時間率分布を用いてそれらの長期統計結果について調査した。ITU-R勧告による予測値等と比較すると長期統計の平均値に関しては、同勧告による降雨強度0.01%を用いた予測値とよい一致が見られ、各年の0.01%値には約20%程度の変動があることが分かった。この変動には、各年の降雨強度の他に雨域等価通路長も関与しており、さらに雨域等価通路長は、地上気温に単純に比例せず、むしろ夏季に発生する夕立や台風等の熱帯性降雨による降雨減衰の年間発生時間率と密接な関係があることが分かった。また最近のKu帯BS電波の台風接近時の降雨減衰特性を詳しく調べた結果、台風の中心が近づくにつれて等価通路長が著しく増加する傾向が見られ、この特性は台風の経路やそれに伴う強風の風向とも関連することが指摘された。

参考文献

- [1] H. Fukuchi, T. Kozu, K. Nakamura, J. Awaka, H. Inomata, and Y. Otsu, "Centimeter wave propagation experiments using the beacon signals of CS and BSE satellite," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-31, no.4, pp.603-613, July 1983.
- [2] Y. Karasawa and Y. Maekawa, "Ka-band earth-space propagation research in Japan," Proc. IEEE, vol.85, no.6, pp.821-841, June 1997.
- [3] S. Nakazawa, S. Tanaka, and K. Shogen, "A method to transform rainfall rate to rain attenuation and its application to 21 GHz band satellite," IEICE Trans. on Commun., vol.E91-B, no.6, pp.1806-1811, 2008.
- [4] "Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems," Geneva, ITU-R Recommendation P618-8, 2005.
- [5] Y. Maekawa, A study on long-term rain attenuation characteristics in Ka and Ku band satellite communications, Proc. of The 29th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2011), ICSSC-17-1, Nara, Nov.-Dec. 2011.
- [6] M. Fujita, K. Nakamura, T. Ihara, and R. Hayashi, "Seasonal variation of attenuation statistics in millimetre-wave earth-satellite link due to bright band height," Electron. Lett., vol.15, pp.654-655, 1979.

Latest progresses in ShUREX* (2015-2017) data analyses

(Estimation of kinetic energy dissipation rates from Pitot, CWT and radar data)

Hubert LUCE, Hiroyuki HASHIGUCHI, Lakshmi KANTHA, Dale LAWRENCE

1. MIO Toulon University, France
2. RISH Kyoto University, Japan
3. Colorado University, USA

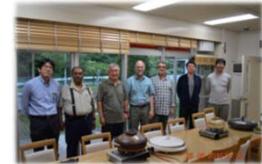


*ShUREX: Shigarakı- UAV – Radar Experiment

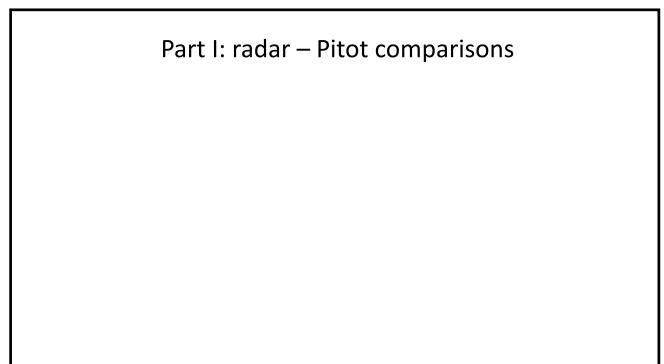
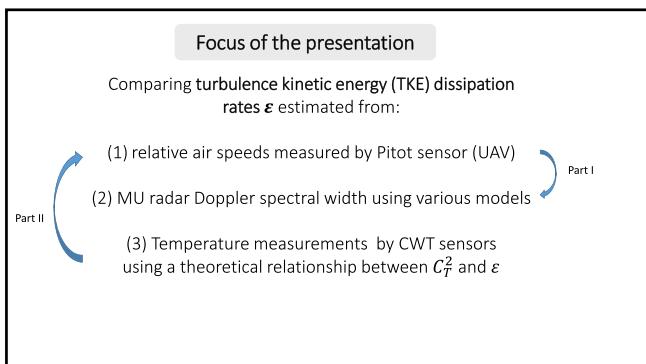
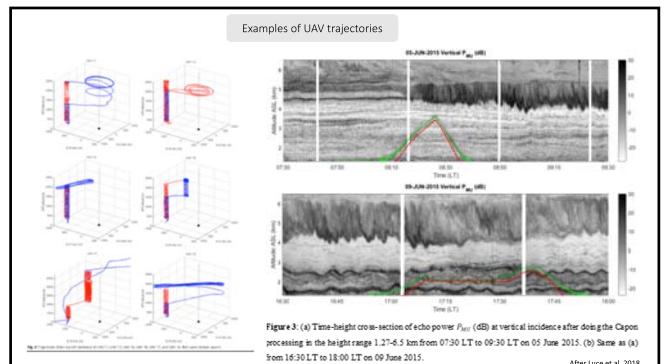
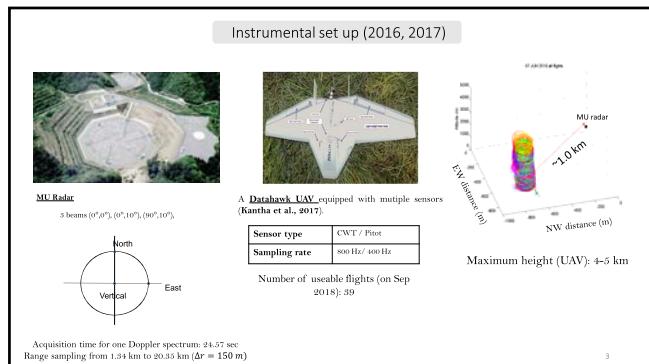


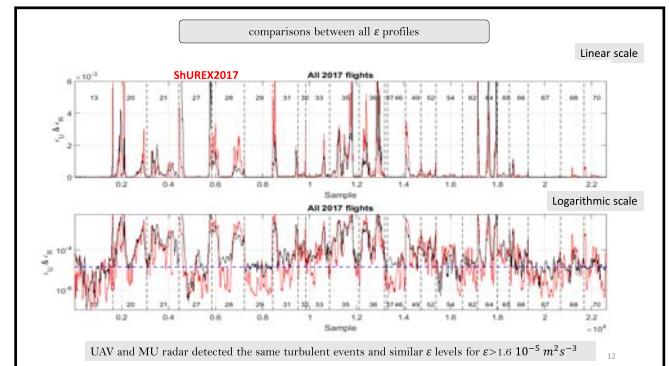
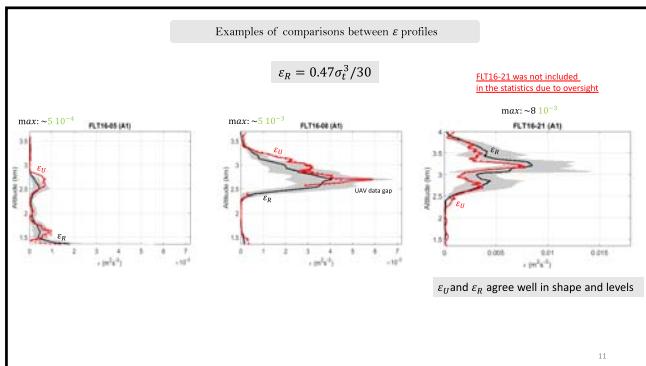
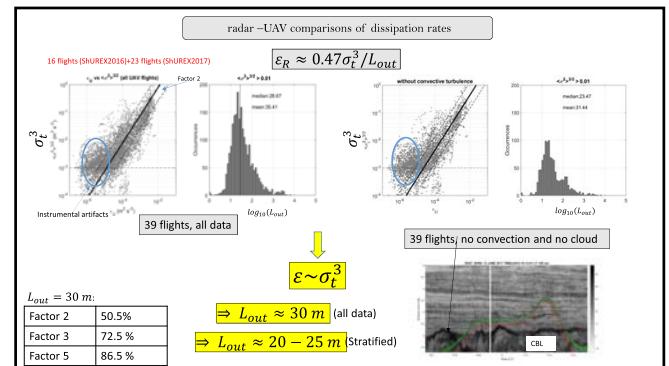
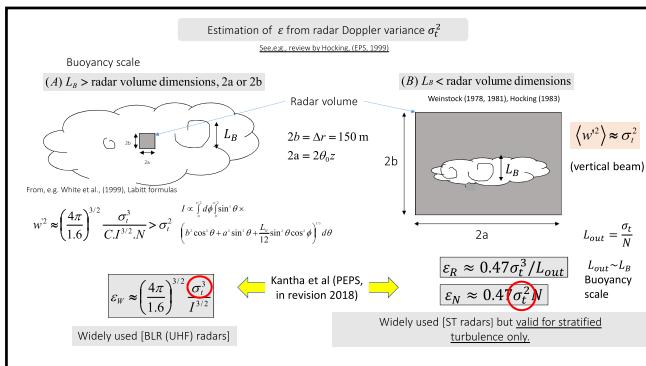
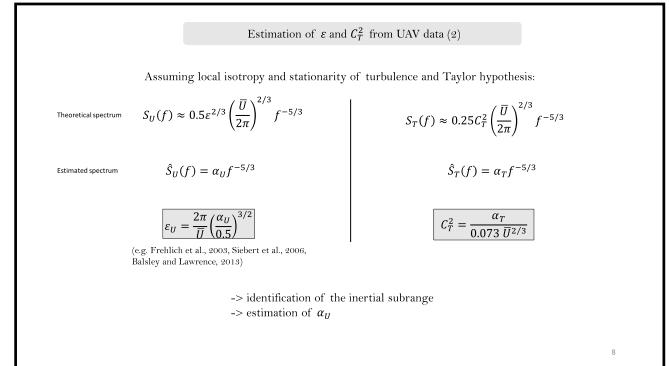
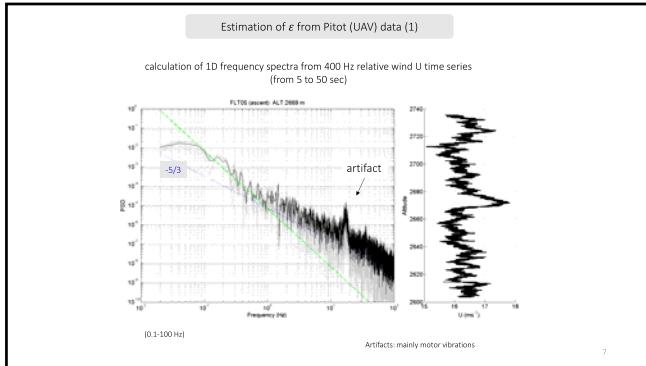
Introduction to ShUREX campaigns

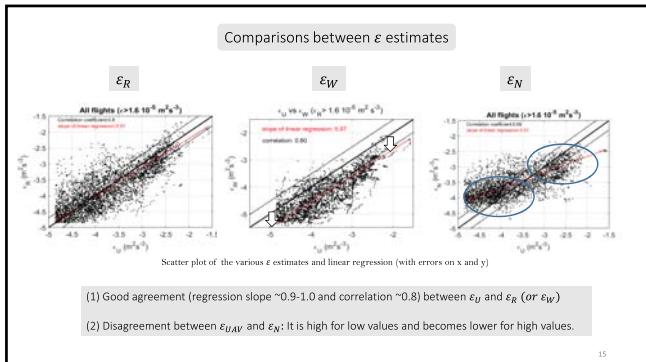
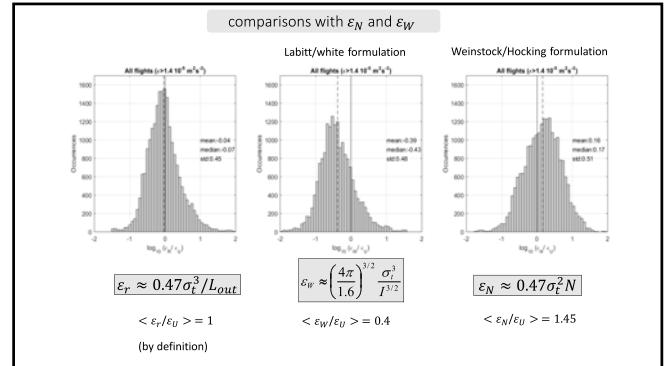
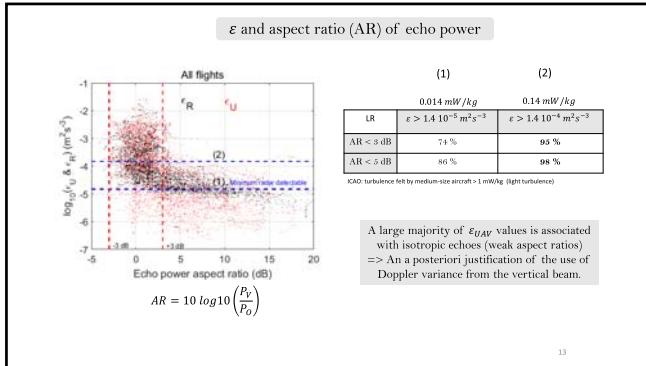
P.I.: Prof. Lakshmi Kantha (Colorado University, USA)



The ShUREX dream team!



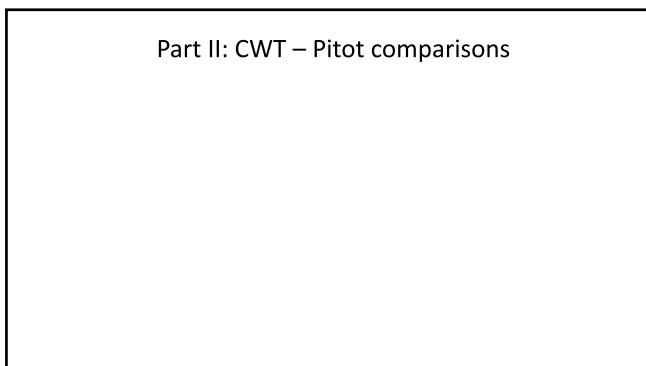




Conclusions of part I

- a) The UAV and radar captured the same turbulent events with peaks of ε and σ_t at the same altitudes and times. \Rightarrow quantitative comparisons could be made.
- b) $\varepsilon_{UAV} \approx \sigma_t^3 / L_{out}$ with $L_{out} \approx 30 \text{ m}$. Energy dissipation rates can be estimated from the sole Doppler variance, at least in the lower troposphere
- c) The asymptotic models ε_W and ε_N provide quite consistent levels:
 $\varepsilon_W \sim 0.4 \varepsilon_{UAV}$, in average, slight underestimation but no bias,
 $\varepsilon_N \sim 1.45 \varepsilon_{UAV}$, in average, BUT overestimates for low values and underestimates for high values ($> 0.3 \text{ mW/kg}$)
- d) In addition, since ε_R and ε_W are relevant for turbulence generated by convections or shear flow instabilities but ε_N is applicable to stratified turbulence only, the Weinstock model may not be suitable at least for tropospheric data.

16



Estimation of ε from C_T^2

For stratified turbulence (e.g. Ottersten, 1969; Gossard, 1982; Gavrilov et al. 2005):

$$\varepsilon_{CT2} = \left(\gamma \frac{g^2 C_T^2}{T^2 N^2} \right)^{3/2}$$

Valid for dry or moist (unsaturated) air

$$\gamma = \frac{1}{\beta_\theta} \frac{P_f - Rf}{Ri} = \frac{1 - Rf}{\beta_\theta \cdot Rf} \quad \beta_\theta = 3.2 \text{ (universal constant)}$$

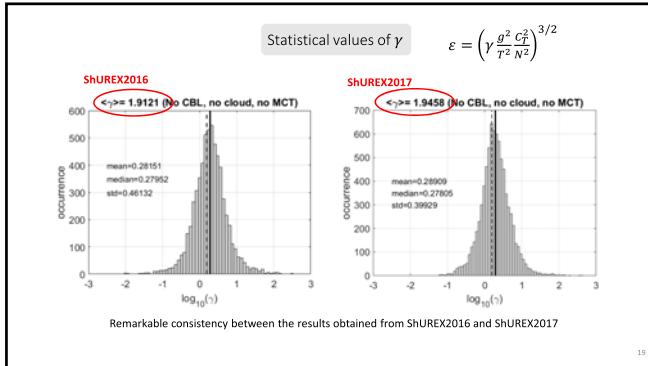
Ri : Richardson number, P_f = Turbulent Prandtl number
 Rf : Flux Richardson number

Mixing efficiency coefficient: $\gamma_{Rf} \equiv R_f / (1 - R_f)$

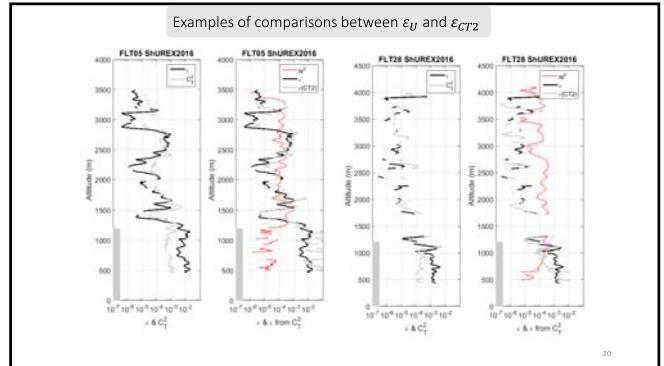
Change in background potential energy due to mixing
Energy expended

1. It has long been understood that mixing efficiency is unlikely to be constant, but, because K_f from tracers and microstructure evaluated with $\gamma_{Rf} = \gamma_{Kf} = 0.2$ agree better than do coefficients and efficiencies from simulations and experiments. Reasons for this agreement are not understood, particularly in view of the loss of po-

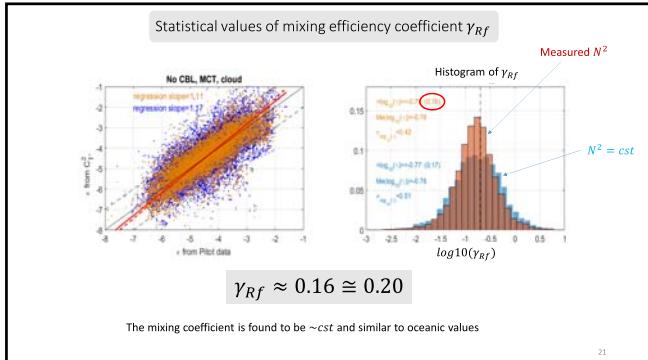
Gregg et al., 2018
Oceanic turbulence



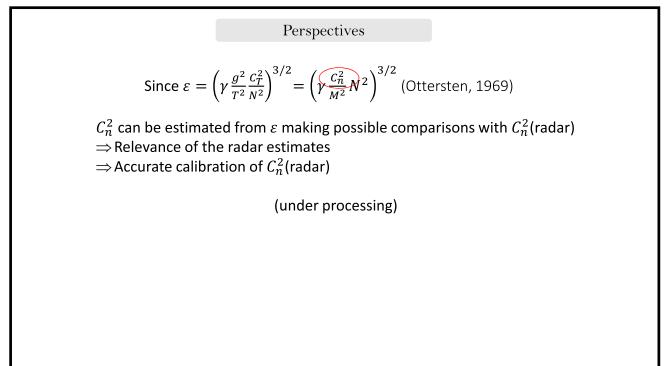
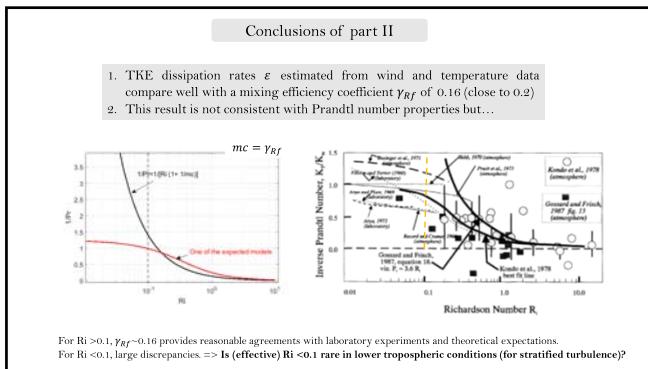
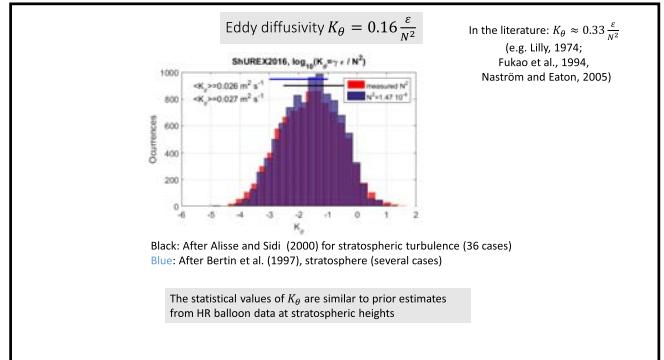
19



20



21



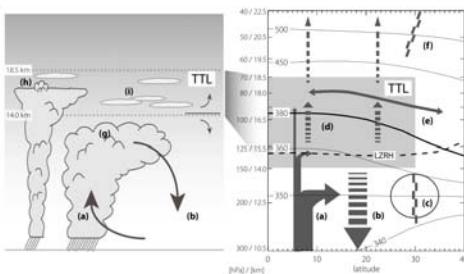
Variation of Turbulence Kinetic Energy in the Tropical Tropopause from Long-term Observation of Equatorial Atmosphere Radar (preliminary results)

Noersomadi^{1,2} and Hiroyuki Hashiguchi¹

¹RISH – Kyoto University

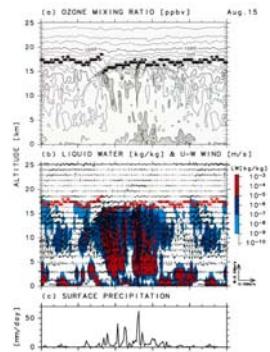
²Center of Atmospheric Science and Technology (LAPAN)

Introduction



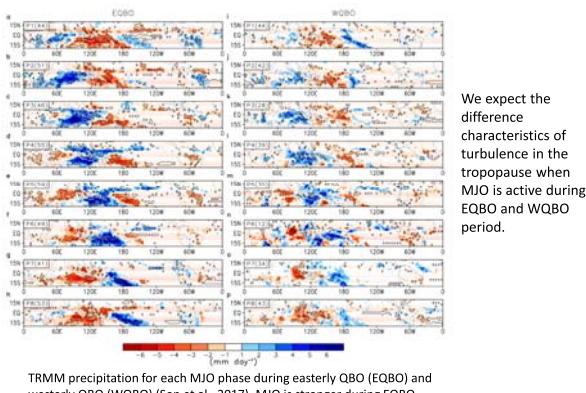
The dynamics and radiative processes in the tropical tropopause are received much attentions in the past decades because the tropical tropopause play an important role as the gate of stratosphere-troposphere exchange (STE) (Feuglistaler, 2009).

- The exchange of air mass between troposphere and stratosphere occur when the turbulence, which is generated by convectively coupled planetary scale waves breaking, exist in the tropopause (Fujiwara et al., 2001; 2003).
- The organized deep convections in the tropics are related to the active phase of Madden Julian Oscillation (MJO) (Zhang et al., 2005).
- Here, we are motivated to investigate the long term observation of Equatorial Atmosphere Radar (EAR) during the active phase of MJO to identify the characteristic of turbulence kinetic energy in the tropical tropopause.



MJO phase propagation during December – January – February from Outgoing Longwave Radiation (OLR) and 850 hPa wind anomalies (Wheeler and Hendon, 2004 / WH04). By definition of WH04, during Phase 3 and Phase 4 convective activity were passing trough over Indian Ocean and Maritime Continent.

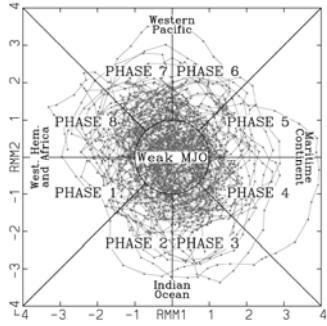
Quasi Biennial Oscillation (QBO) and MJO interaction



Data Analysis

- We use EAR dataset version 02.0212 in NetCDF format from July 2001 to June 2018 (<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/data/>).
 - Following Fujiwara et al (2003), we investigate the turbulence kinetic energy (s_{turb})² from the observed spectral width data (s_{obs}) in the northward beam (0° and 10° for azimuth and zenith angles, respectively).
- $$(s_{\text{turb}})^2 = (s_{\text{obs}})^2 - (s_{\text{beam}})^2$$
- where (s_{beam}) is the beam broadening effect (Fukao et al., 1994).
- $$(s_{\text{beam}}) = d^* |\mathbf{U}|$$
- d equal to 2.4° (≈ 0.042 rad) for EAR and $|\mathbf{U}|$ is the daily mean horizontal wind.
- We also use routine radiosonde data from Singapore (downloaded from <http://www.geo.fu-berlin.de/en/met/ag/strat/produkte/qbo/index.html>) to confirm the QBO signal in the monthly zonal wind observed from EAR.

We use Real-time Multivariate MJO indices to identify the date when MJO is active.



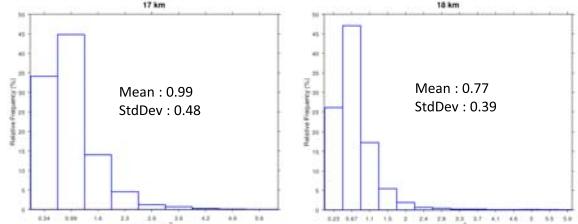
MJO Phase Diagram (Wheeler and Hendon, 2004)

RMM indices are a pair of principle components from the combined field of averaged 850 hPa zonal wind, 200 hPa zonal wind, and Outgoing Longwave Radiation (OLR) in the equator.

The active phase of MJO is defined when the amplitude $RMM \geq 1$.

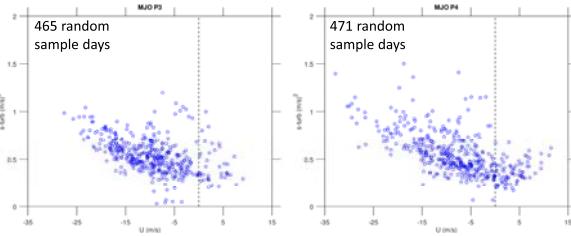
Results

Frequency distribution of Turbulence Kinetic Energy (s_{turb}) near the tropical tropopause at 17 km and 18 km did not follow Gaussian distribution.



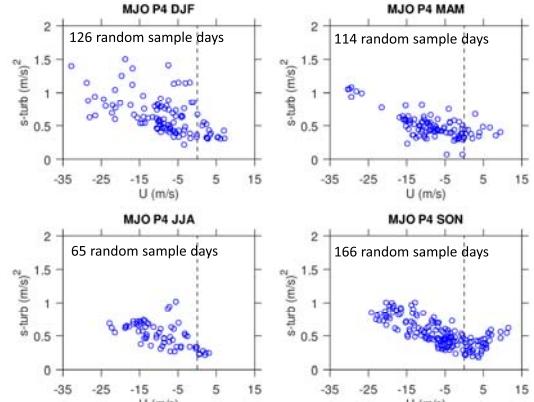
The mean s_{turb} at 17 km is larger than at 18 km. It shows the turbulence becomes weaker at higher altitude.

The scatter diagram of turbulence kinetic energy versus zonal wind at 17 km during the MJO active Phase 3 (P3) and Phase 4 (P4).

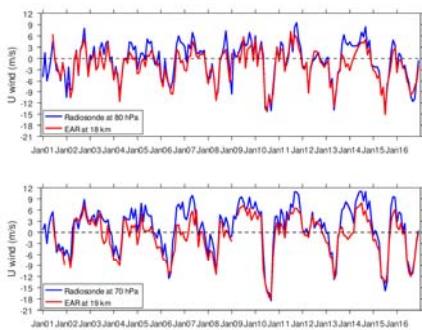


The turbulence associated with easterly are relatively higher than associated with westerly wind. Some samples showed stronger turbulence during P4. It seems the stronger easterly wind correlated with stronger turbulence.

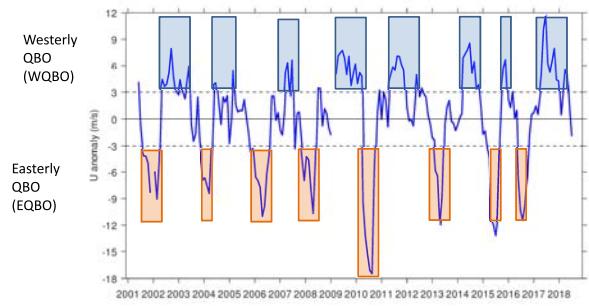
Seasonal variation



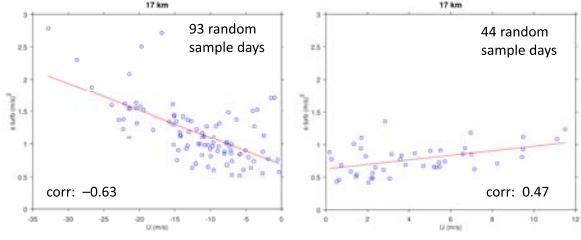
Monthly mean zonal wind retrieved by EAR at 18 km and 19 km and radiosonde launched in Singapore at 80 hPa and 70 hPa. The QBO signal is seen more clearly at 19 km.



We refer to zonal wind anomaly at 19 km calculated from the monthly mean series subtracted by the average of all data. We define ± 3 m/s as the threshold for WQBO and EQBO period.



The scatter diagram of turbulence kinetic energy versus zonal wind at 17 km during EQBO (left) and WQBO (right) when MJO is active (P4).



The turbulence is stronger during EQBO than WQBO as the MJO more active during EQBO (Nishimoto and Yoden, 2017; Son et al., 2017).

Summary

- We have utilized the long term dataset from EAR to investigate the characteristics of turbulence kinetic energy in the tropical tropopause during the MJO active period.
- More turbulence occurred associated with easterly wind.
- Seasonal variation indicated strong turbulence in SON and DJF when MJO is active at P4.
- Stronger turbulence is shown during EQBO than WQBO. The correlation between the turbulence and both easterly wind and westerly wind is -0.63 and 0.46 , respectively. This means the strong zonal wind potentially will increase the turbulence kinetic energy.

Retrieval of Temperature Profiles using Radio Acoustic Sounding System (RASS) with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) in West Sumatra, Indonesia

Ina Juaeni¹, Hiraku Tabata², Noersomadi^{2,1}, Halimurrahman¹, Hiroyuki Hashiguchi² and Toshitaka Tsuda²

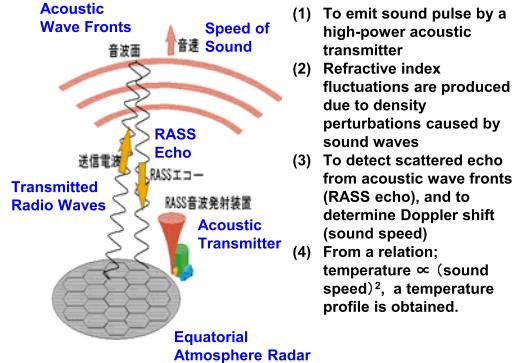
1: National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Indonesia
2: Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University

Earth, Planets and Space, 70:22, doi:10.1186/s40623-018-0784-x, 2018.



We carried out eight campaign observations in 2016, testing the performance of EAR-RASS.
We intensively analyzed the RASS results from August 29 to September 3, 2016, when radiosondes were launched 12 times from the EAR site.

RASS (Radio Acoustic Sounding System)



- (1) To emit sound pulse by a high-power acoustic transmitter
- (2) Refractive index fluctuations are produced due to density perturbations caused by sound waves
- (3) To detect scattered echo from acoustic wave fronts (RASS echo), and to determine Doppler shift (sound speed)
- (4) From a relation; temperature \propto (sound speed)², a temperature profile is obtained.

RASS Observations

advection by wind

$$C_a = C_s + v$$

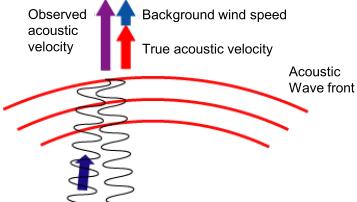
C_a : Apparent sound speed

$$C_s$$
: True sound speed

v : Wind speed

$$T_v$$
: Virtual temperature (K)

$$K_d = 20.047$$



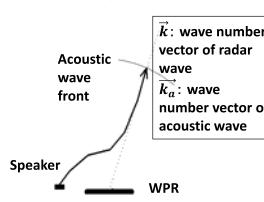
Bragg condition

Bragg condition of RASS :

$$2\vec{k} = \vec{k}_a$$

$$(1): 2|\vec{k}| = |\vec{k}_a|$$

$$(2): \vec{k} // \vec{k}_a$$



Condition (1)

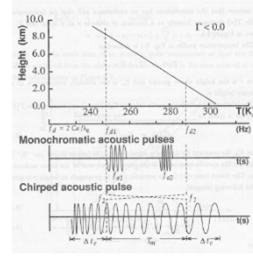
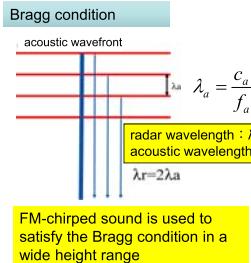
Because the temperature decreases along altitude, we need to select appropriate acoustic frequency that satisfies the condition (1).

We employ the FM chirped signal that sweeps from 85 to 115 Hz to cover up to 20 km.

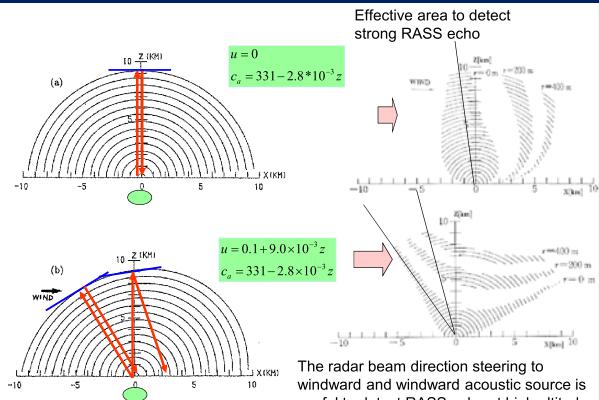
Condition (2)

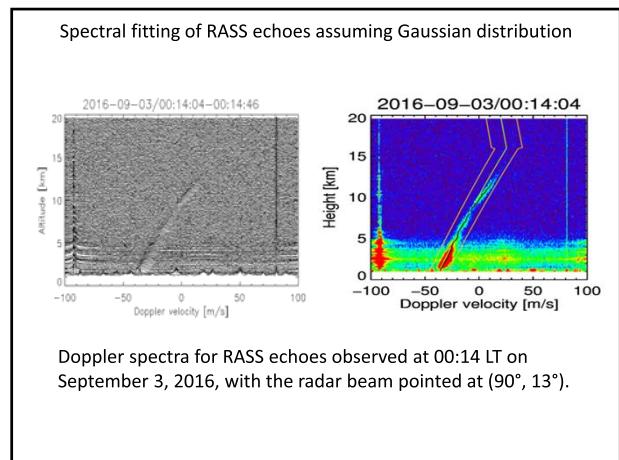
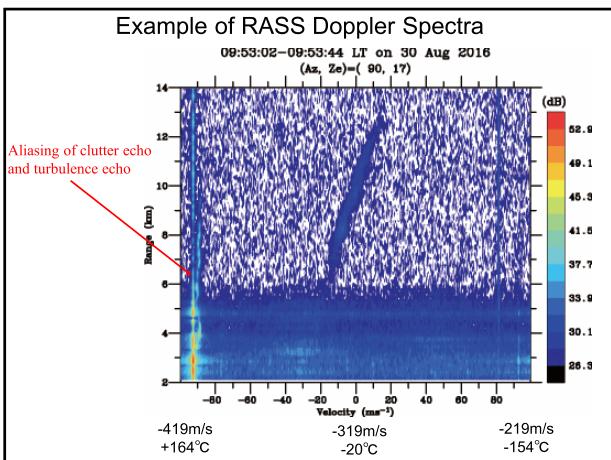
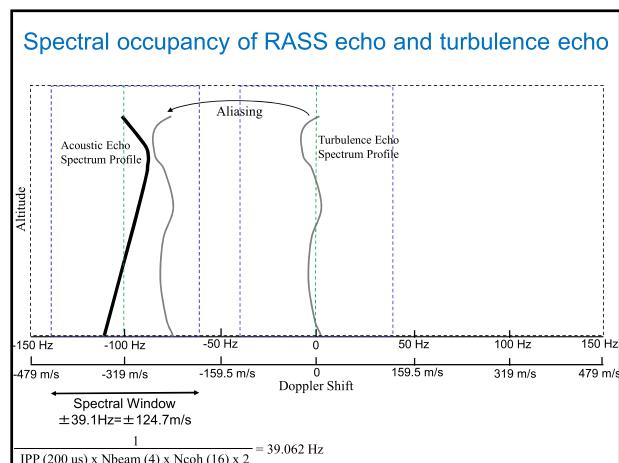
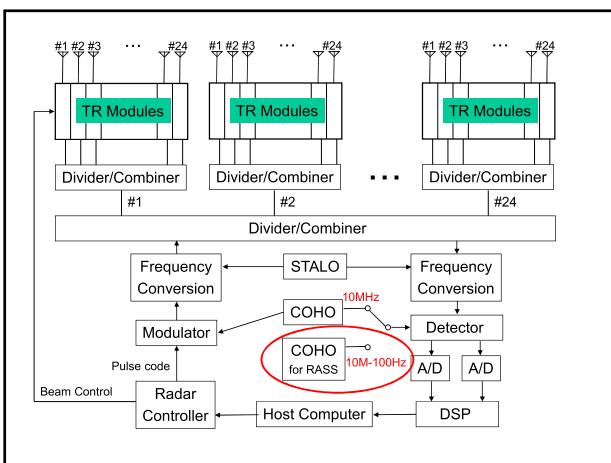
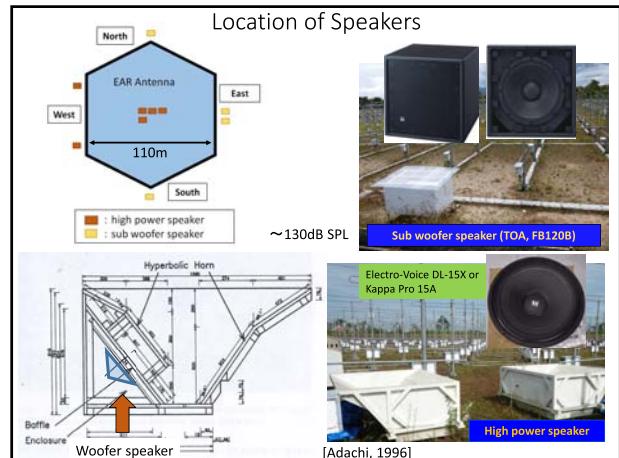
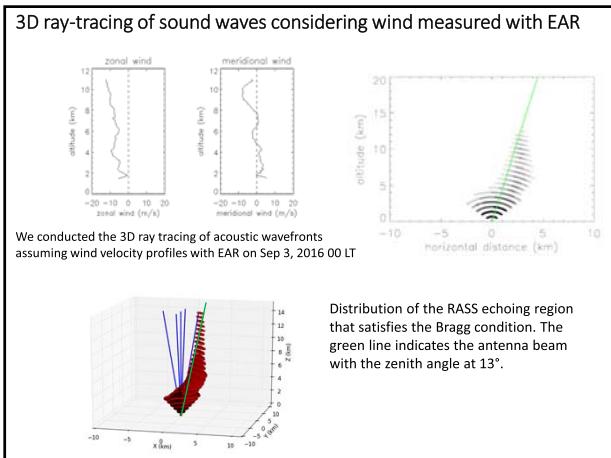
- As the acoustic propagation is affected by the background wind velocity and temperature, k_a varies accordingly.
- We apply a ray-tracing technique to know the variation of k_a .
- Antenna beam is steered into appropriate direction, considering the results of the ray-tracing

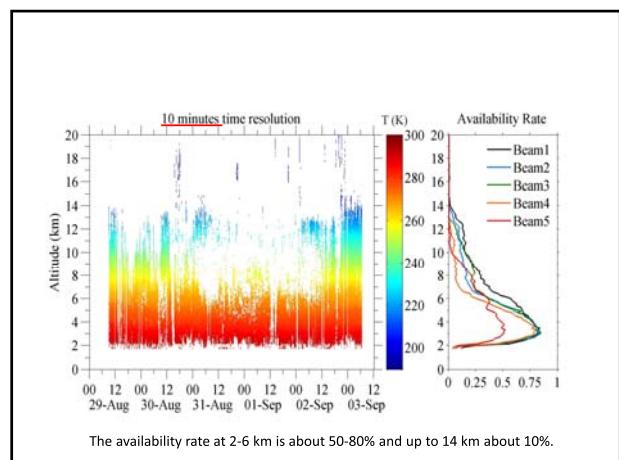
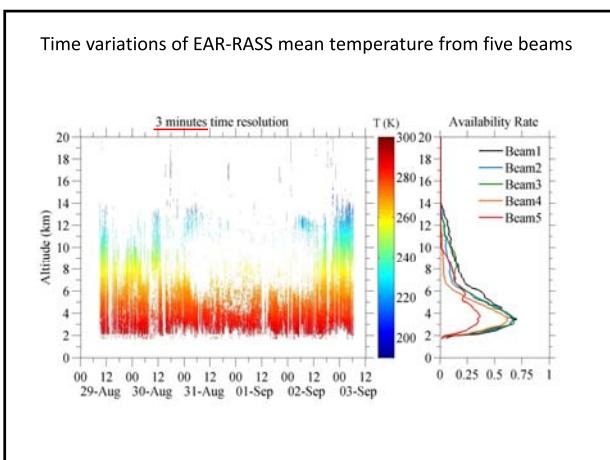
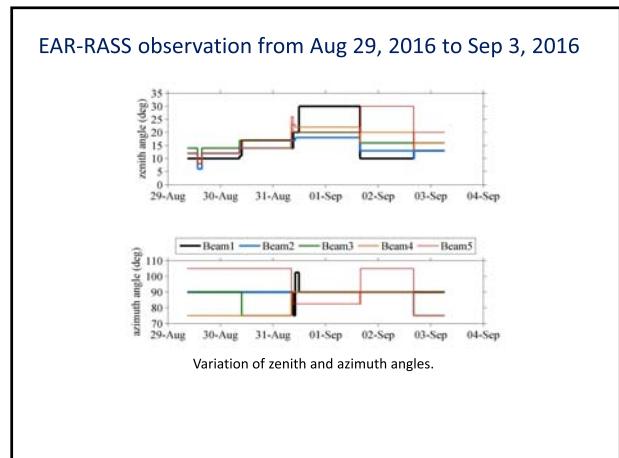
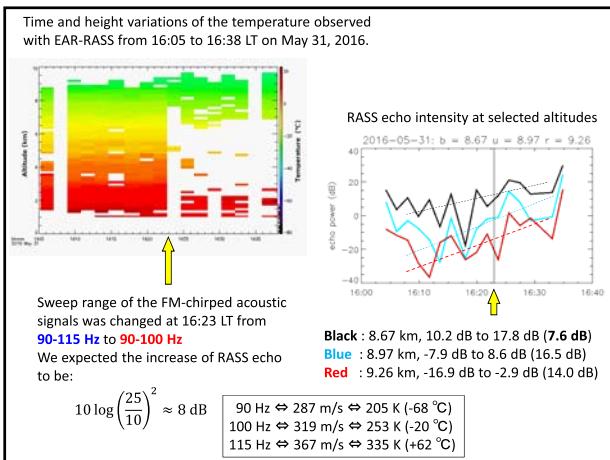
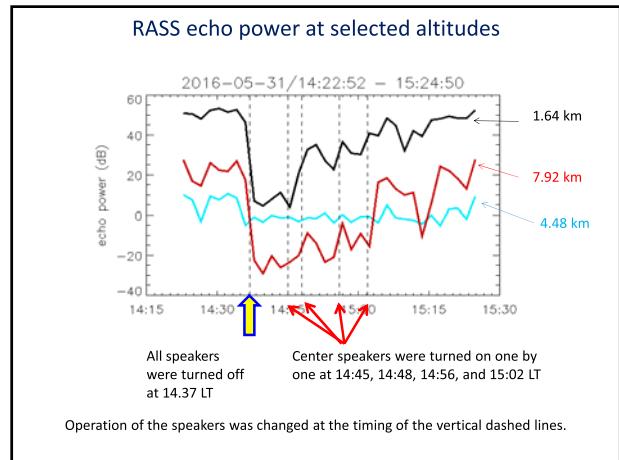
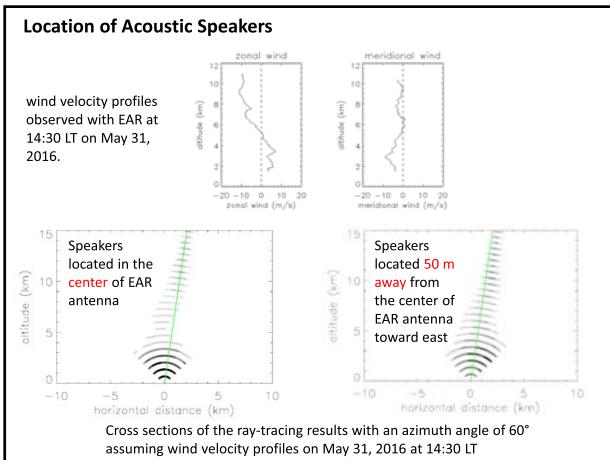
Bragg condition to obtain strong RASS echoes

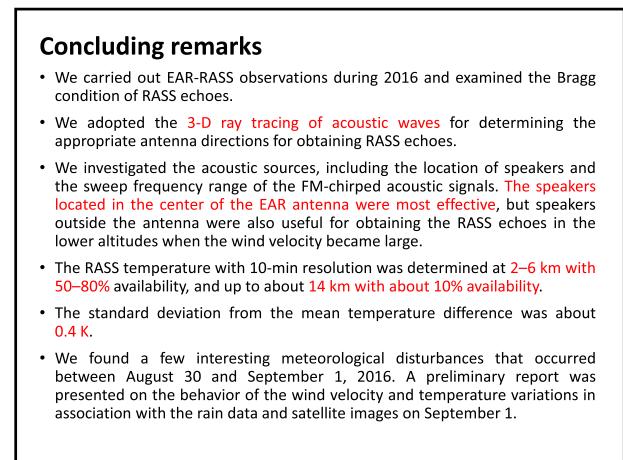
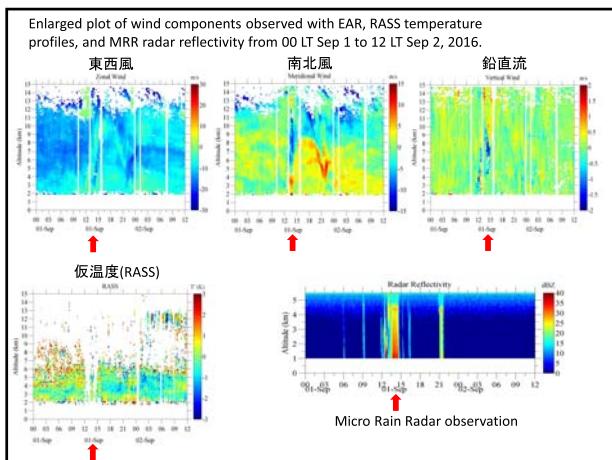
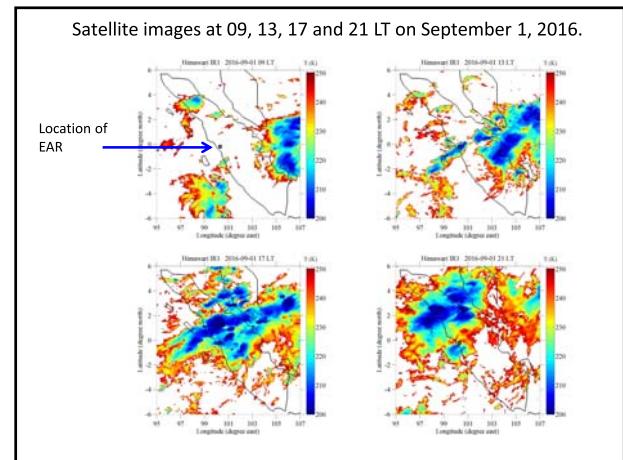
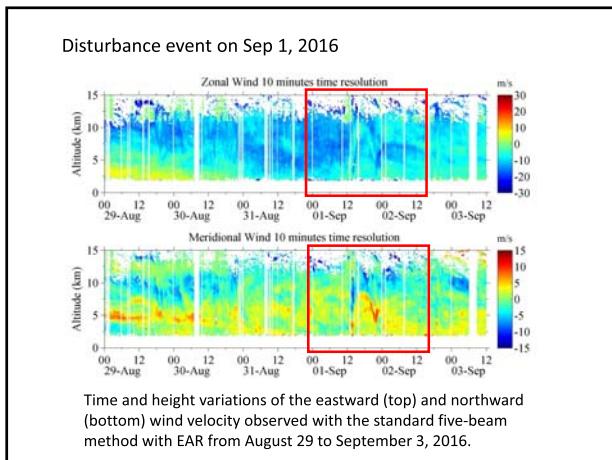
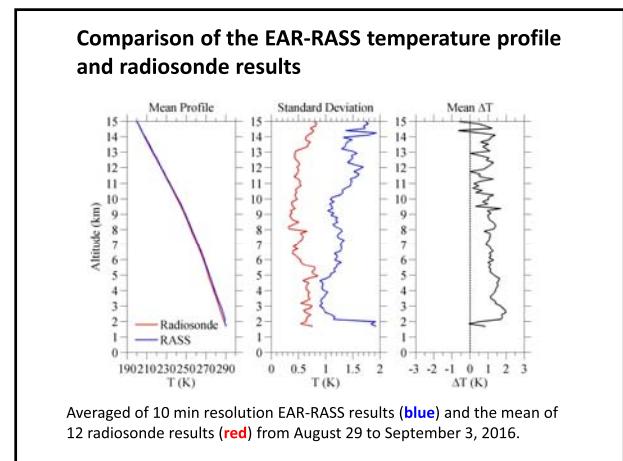
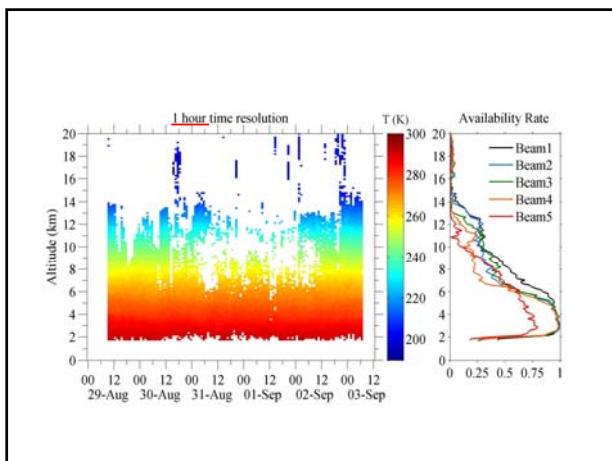


Modulation of acoustic wave front by wind





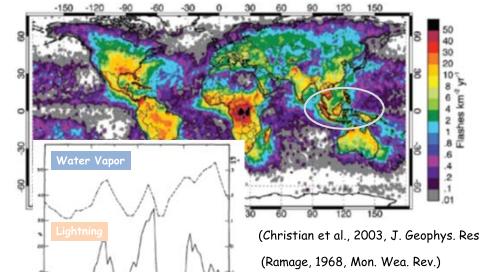




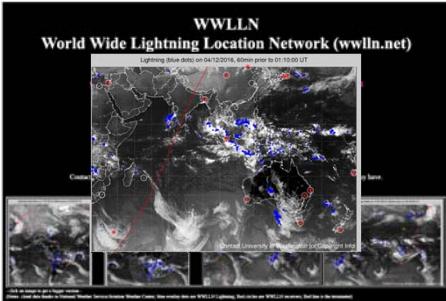
インドネシア西部海大陸における雷活動 の日変化及び季節内変化 - Pre-YMC2015 観測結果 -

浜田純一^{1,2}・森修一²・勝俣昌己²・松本淳^{1,2}
Fadli Syamsudin³・米山邦夫²
(1: 首都大, 2: JAMSTEC, 3: BPPT)

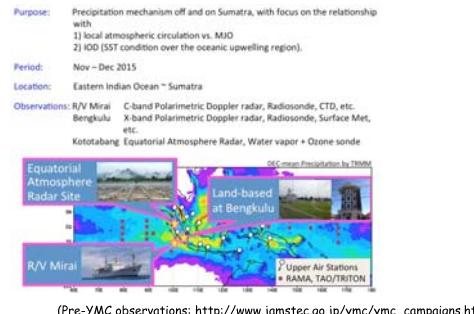
Climatological Lightning Distribution (Annual)



Global lightning observation: Surface



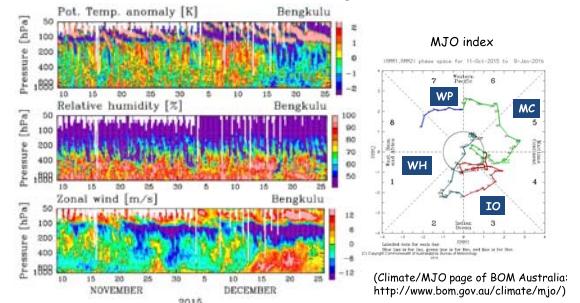
Pre-YMC Observations in 2015

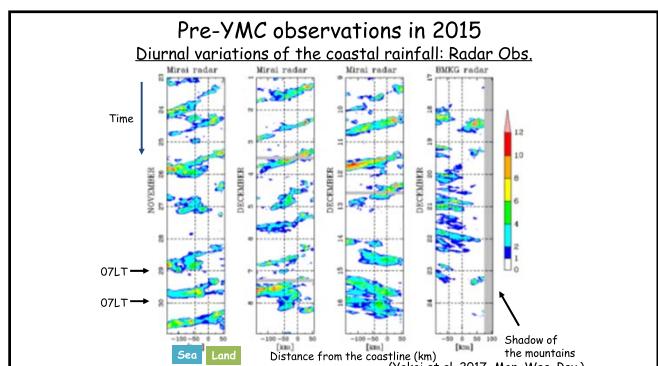
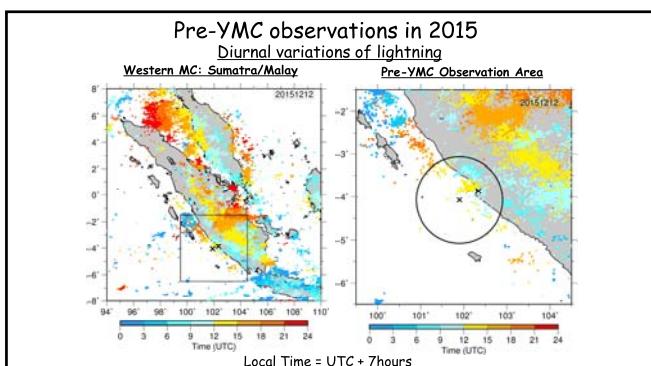
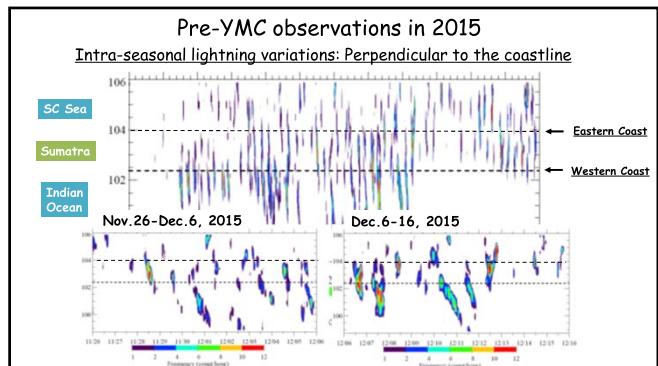
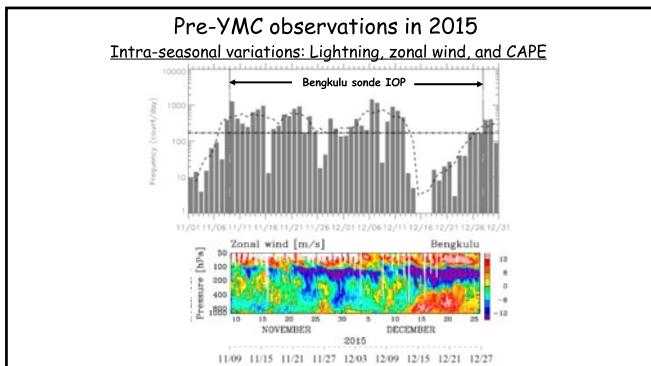
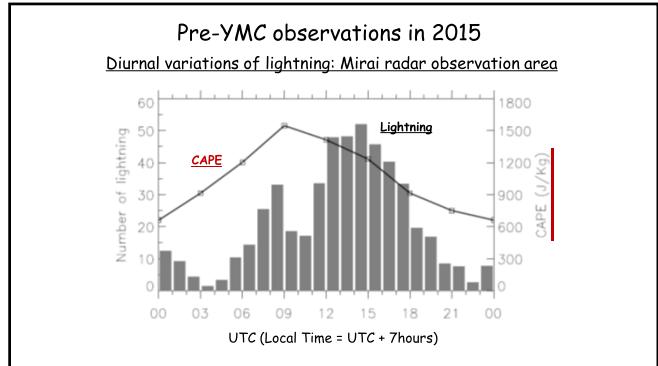
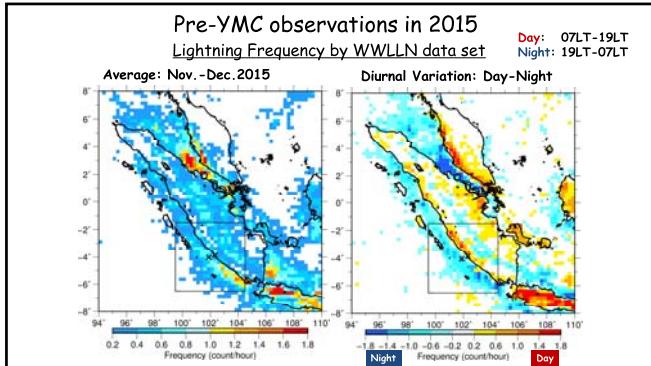


Pre-YMC Observations in 2015 Radiosonde Observation at Bengkulu, Sumatra



Pre-YMC Observations in 2015 Radiosonde Observation at Bengkulu, Sumatra





まとめ

Pre-YMC2015観測期間中の Sumatra 島沿岸多雨域の雷活動の時空間変動について、WWLLN観測データに基づき示した。

- 日変化：沿岸域の海陸コントラストの存在。
- 季節内変化：MJO対流中心域の海大陸域通過に伴う下層風、大気安定度の変化に対応。
→ 降水雲システムと雷/対流活動の詳細な解析
(MJO対流中心通過前後、スマトラ脊梁山脈東西の差異)

Pre-YMC 2015 および YMC-Sumatra 2017 で観られた スマトラ南西沿岸陸域の対流活動の特徴

森 修一, 伍 培明, 城岡竜一, 横井 覚, 米山邦夫 (海洋研究開発機構), 濱田純一 (首都大学東京) Urip Haryoko, Noer Nurhayati (BMKG), Reni Sulistyowati, Fadli Syamsudin (BPPT)

1. はじめに

国際プロジェクト海大陸研究強化年(YMC:Years of the Maritime Continent)における最初の本観測としてYMC-Sumatra 2017(以下, YMC2017)が実施された。YMC2017は、世界有数の沿岸豪雨(帶)が形成されるインドネシア・スマトラ島ベンクル南西沿岸において、海洋地球研究船みらい(MR17-08)と共同した海陸同時キャンペーン観測である。ここでは、同観測のうちベンクル陸上観測点における観測体制および観測結果の概要について報告すると共に、先行研究であったPre-YMC 2015において観測された対流活動との比較検討を行った。

2. ベンクル陸上観測の概要

①観測期間

2017年11月16日～2018年01月15日(61日間)

うち、みらいMR17-084同期観測は

2017年12月05日～2018年01月01日(28日間)

②観測体制

ベンクル陸上観測点は、(a) BMKG(インドネシア気象気候地球物理庁)ベンクル空港測候所、(b) Mess Pemda レーダー観測点、(c) エンガノ島、および(d) BMKG ケハピアン地球物理観測所の4ヶ所(図1)があり、各々下記の観測が実施された。

・ラジオゾンデ観測(a)

Meisei iMS-100 送信機およびTotex TA-350 バルーンを用い、観測期間全体を通じて1日8回(3時間毎)観測を実施(BMKG担当)し、おおむね高度約20kmまでの気圧、気温、湿度、風向、風速を計測。なお、Vaisala RS42 送信機によるMeisei ゾンデ相互比較検証観測を(以下の特殊ゾンデ観測に合わせて)適宜実施。

・特殊ゾンデ観測(a)

ECC オゾンゾンデ、CFH 水蒸気ゾンデ、およびCPS 雲粒子ゾンデ観測を適宜実施。

・BMKG C バンドドップラーレーダー現業観測(a)

観測半径220km、10分間隔でボリュームスキャン(11仰角)観測を実施。

・Xバンド二重偏波レーダー(MPR)観測(b)

Furuno MPR(WR-2100)を用い、観測半径50kmにおける6分間隔のボリュームスキャン(23仰角)観測を実施。

・自動気象ステーション(AWS)観測(a, b, c)

Vaisala MAWS201にて、気温、湿度、風向、風速、降水量、日射量を1分毎に計測。

・ディスドロメータ観測(a)

光学式ディスドロメータ OTT-Parsivel2, Thies-LPM、およびマイクロレインレインレーダーMETEK-MRR2を設置し、雨滴粒径分布を1分毎に計測。

・雷電界強度観測(a, d)

Boltek EFM-100 による地上電界強度観測(0.05 秒毎), および Boltek LD350 による落雷位置標点計測(a のみ).

・全天カメラ観測(a)

Prede Skyview Camera PSV-100 により全天画像を 1 分毎に撮影(昼間のみ).

3. 観測結果の概要(一部)

強いエル・ニーニョ期に対応していた Pre-YMC2015 に対し, YMC2017 は弱いラ・ニーニャ期にあたり, 前回より多量の降水と激しい対流活動を捉えることが期待されていた. OLR ホフメラーダイアグラム(図 2)によると, 陸上観測期間の最初および最後の各 1-2 週間に MJO に対応した大規模擾乱がベンクル上空を通過しており, その他の期間は MJO 不活発期に相当していた. しかしながら, 観測期間を通じてインド洋南東部を中心を持つ Gyre を廻る北西風が強く, 日周期海陸風循環を抑制していた(図略).

その結果, ベンクル(a)における地上降水量(図 3)は明瞭な日変化を示さず, 期間全体(61 日間)の総降水量は 757.6 mm, 平均日降水量は 12.4 mm であり, 前回 Pre-YMC2015 観測の約 8 割程度であった. また, BMKG ベンクル SYNOP 観測(図略)における雷日数も 8 日のみ(Pre-YMC2015 における雷日数:28 日!)であり, 同じ MJO 不活発期中心とはいえ両観測期間における対流活動の特徴は大きく異なっていることが分った.

レーダー観測によると, 午後に内陸山麓域で発生したエコーの大部分はその場で発達するものの, (Pre-YMC2015 とは異なり)組織化されベンクルを含む沿岸域まで広がる例は少なく, 日没と

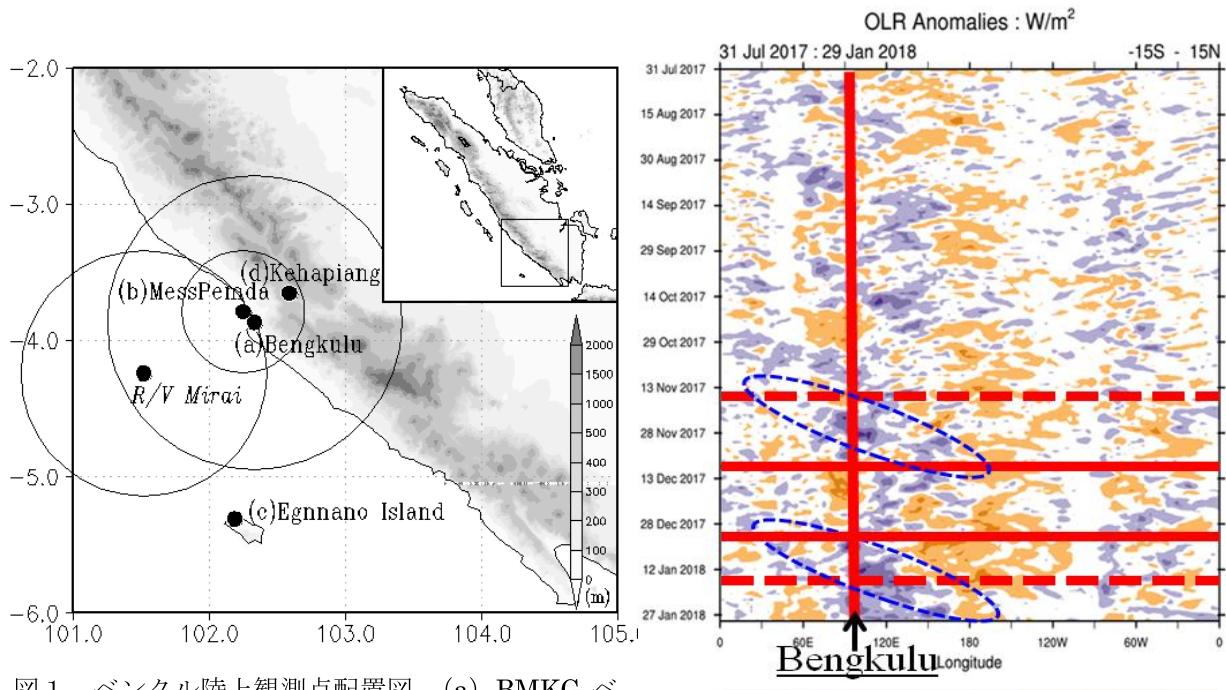


図 1 ベンクル陸上観測点配置図. (a) BMKG ベンクル空港測候所, (b) MessPemda MPR 観測点, (c) エンガノ島, (d) BMKG ケハピアン地球物理観測所を示す. また, 図内の円は各レーダー観測範囲を示す (MPR : 半径 50km, BMKG ベンクル : 半径 220km, Mirai : 半径 100km).

図 2 観測期間における OLR ホフメラーダイアグラム. 縦実線はベンクルの経度, 橫実線(破線)は海上(陸上)観測期間, 破線枠円は観測期間中に通過した MJO 活発域を示す.

共にその場で衰弱するものが多かった。一方で、夜間沿岸海上で発生したエコーが北西風により上陸し、ベンクル付近に降水をもたらす例が数多く観られ、一部は沿岸渦擾乱を形成し激しい風雨（最大降水強度：48 mm/h、最大1分平均風速：14 m/s）をもたらした（図4）。

今後はMJOのスマトラ島通過フェイズや赤道越えモンスーン北風サーボ（CENS）など大規模擾乱の影響や、みらいラジオゾンデ観測との比較、および海陸別レーダー観測データの統計解析を加えることにより、大気・沿岸海洋相互作用を通じたスマトラ島沿岸豪雨のメカニズム解明に繋がる議論を進める予定である。

謝辞

ベンクル陸上観測に御支援頂いた日本海洋事業（NME）、インドネシア技術評価応用庁（BPPT）、気象気候地球物理庁（BMKG）、国立航空宇宙研究所（LAPAN）、ベンクル州政府、ならびに「みらい」同期観測に御尽力いただいたMR17-08乗組員の皆さんに感謝致します。

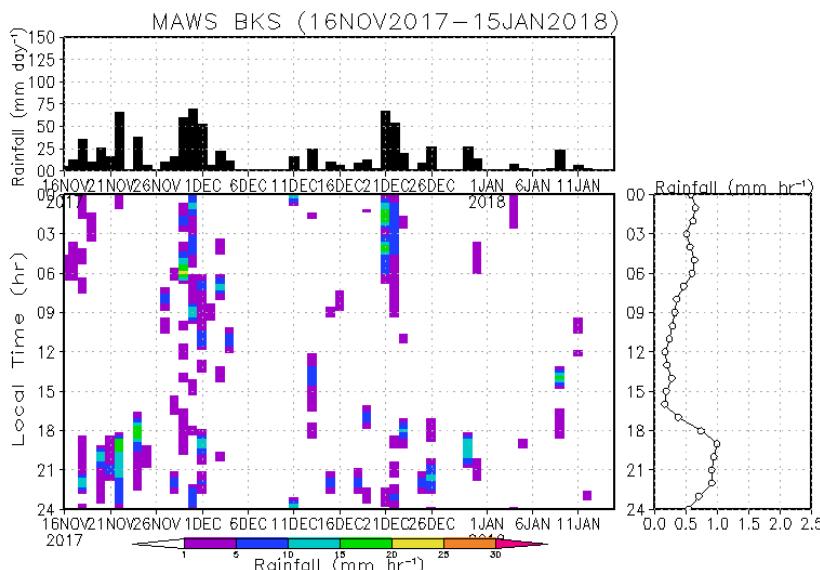


図3 ベンクル(a)における自動気象ステーション(AWS)地上降水量。上図は日降水量(棒グラフ)、下図は降水強度日々変動(陰影散布図)、および右図は期間平均日々変動を示す。

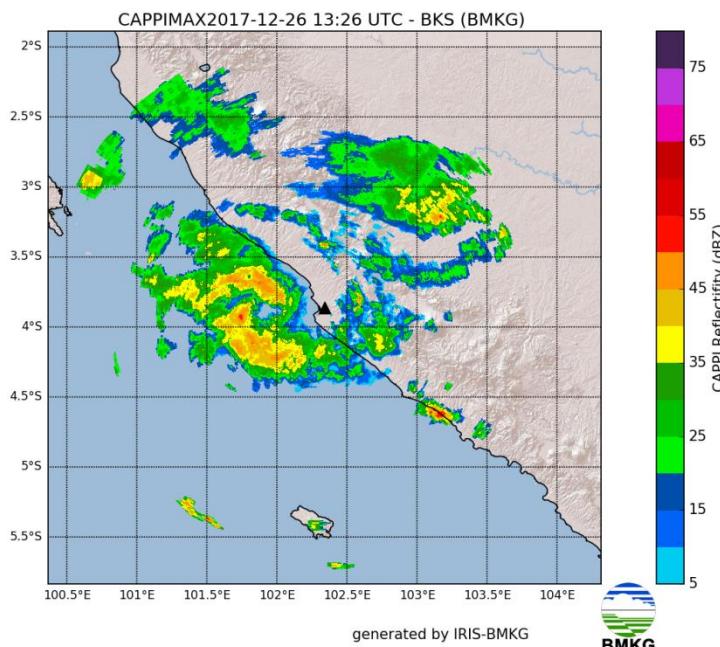


図4 BMKG現業Cバンドドップラーレーダーによる沿岸渦擾乱の観測事例（2017年12月26日2026LT）。沿岸海上に発生した対流エコーが南東進すると共に水平渦を形成し、その一部がベンクル付近に上陸し、激しい風雨をもたらした（最大降水強度：48 mm/h、最大1分平均風速：14 m/s）。

コトタバンにおける水蒸気・オゾン・雲変動 (2018年7月集中観測・速報)

鈴木順子・木下武也・城岡竜一(JAMSTEC)
橋口浩之(京大)・阿保真・柴田泰邦(首都大)
Halimurrahman・Syafrijon(LAPAN, Indonesia)

1. Introduction

・対流圏界面遷移層にみられる巻雲変動

1. 地球放射収支への寄与
2. 成層圏水蒸気変動の解明に寄与
(→成層圏へ流入する水蒸気の脱水の証拠)



・巻雲の出現 (過)飽和水蒸気、氷晶

・オゾン変動

1. 地球放射収支への寄与
変動プロセスの解明が必要

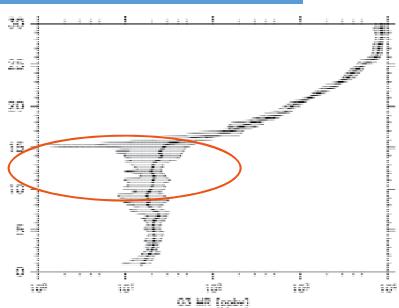
2. Data

- ・Kototabang特殊ソンデ集中観測 (2018年7月14日～27日放球)
(0.2S, 100.32E)
Meisei Radiosonde + CFH Water Vapor sonde + ECC Ozone sonde (6 times)
(風、温度、気圧、相対湿度) + 水蒸気量 + オゾン量
+ CPS Cloud Particle Sonde (4 times)
(雲粒子数、偏光度、他)
- ・Padang Radiosonde (生データ-->z=100mごと、2018年7月)
- ・NOAA CDR OLR (1°x1°、2018年6月～8月)

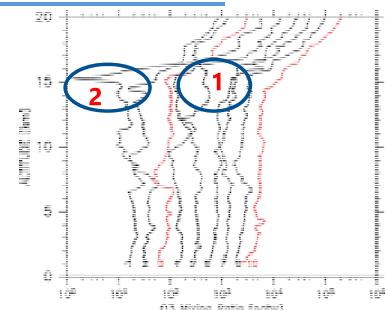
Photos

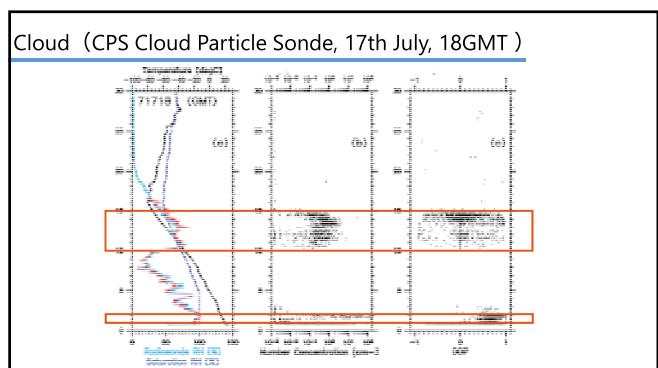
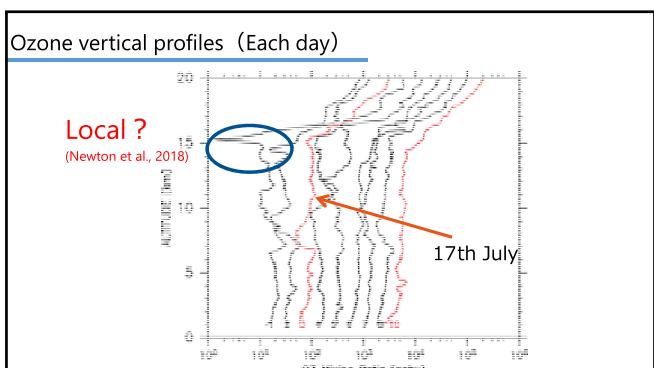
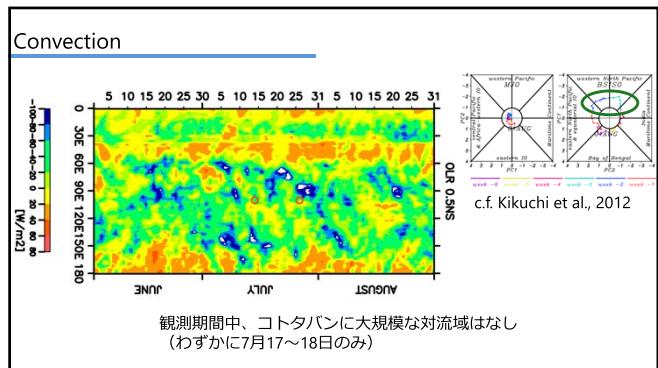
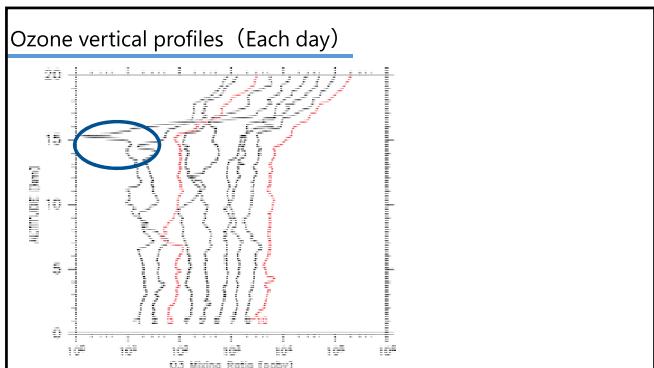
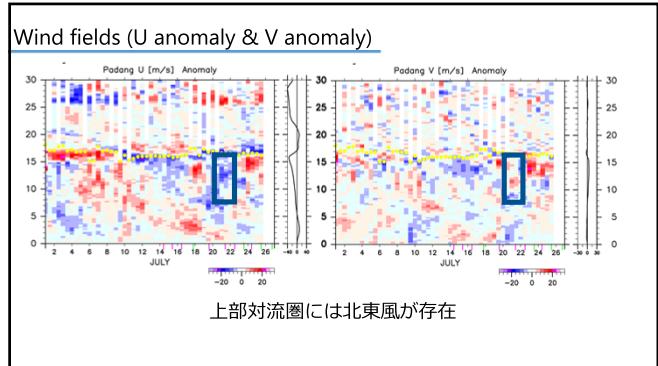
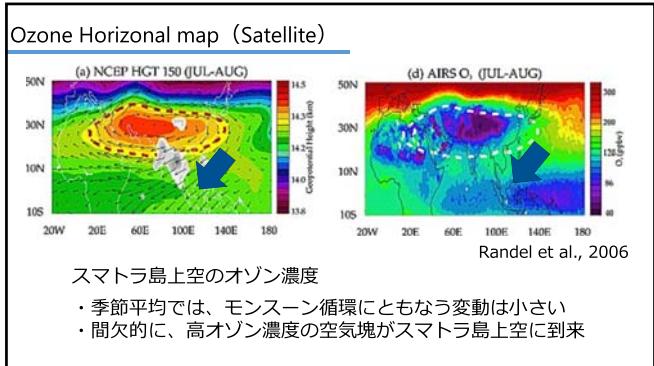


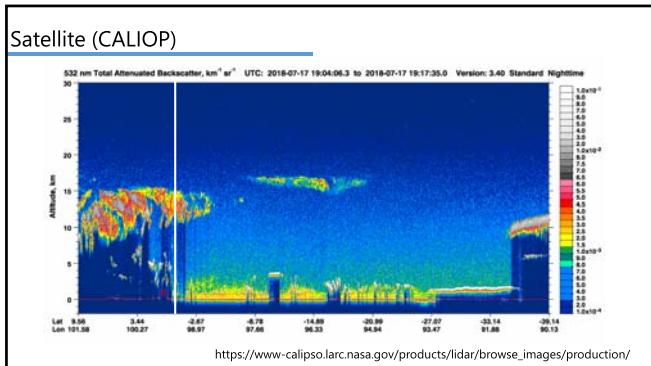
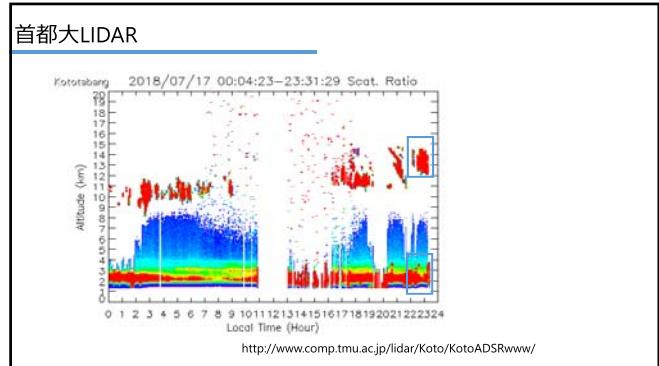
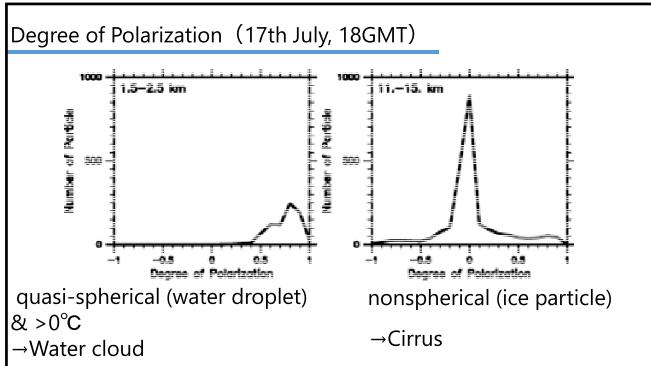
3. Results (Ozone vertical profiles)



Ozone vertical profiles (Each day)







Summary & Future work

1) 観測期間中の上部対流圏～対流圏界面にみられたオゾンの変動

- ・オゾン濃度の増加は、風系の変化から、アジアモンスーンの変動と対応する可能性
→今後、客観解析データや衛星オゾンデータで大規模場の変動を確認

- ・オゾン濃度の減少は、Localな対流活動と対応?
→1時間ごとの対流活動の変動、EARをもじいて鉛直流（鉛直混合）の確認

2) 卷雲の観測

- ・各種データにおいて、卷雲の存在を確認
→雲物理と背景場のパラメータをもちい、卷雲の生成～消滅のライフサイクルを解明

簡易型全天カメラ 2 台を用いた 波状雲の高度推定及び大気波動のパラメータの抽出

森脇亮介・下舞豊志(島根大学大学院)

1. 背景

大気中には大気波動と呼ばれる目では直接認識することのできない空気の波動が存在し、地球上の環境や気候に影響を与えている。励起起源とされている対流圏で発生した小規模な大気波動は、振幅が小さくレーダによる直接観測や航空機を使った現場観測は航空機自体が大気を揺らしてしまうため観測するのが困難である。

2. 目的

本研究では、対流圏内で形成される波状雲に着目した。対流圏内で発生した小規模な大気波動は、条件によっては波状雲を形成することが知られている。この波状雲を全天カメラを用いて撮影し、波状雲の発生高度を推定することにより、波状雲の水平構造を推定する。

簡易全天カメラを 2 台用いて、2 地点からの波状雲の同時観測により観測された波状雲の高度の推定を行う。推定した高度での波状雲の水平構造の推定により、大気波動の間接的な観測を行い、大気波動に関する知見を得ることを目的としている。

3. 観測に使用する機器

本研究では、全天カメラを用いて波状雲を撮影する。全天カメラは、魚眼レンズと防犯カメラなどに使用されるカメラを組み合わせて作成した。図 1 と図 2 にそれぞれ魚眼レンズとカメラを示す。



図 1. 魚眼レンズ



図 2. センサーカメラ

4. 使用したデータ

本研究で使用したデータは、2016年3月～2017年3月の約一年間インドネシアのEAR観測所（南緯-0.204346, 東経100.319926）, GAW観測所（南緯-0.202397, 東経100.317993）の2地点で撮影されたものである。今回は、2016年4月2日に撮影された画像を使用している。

図3にEAR観測所で撮影された全天画像、図4にGAW観測所で撮影された全天画像を示す。

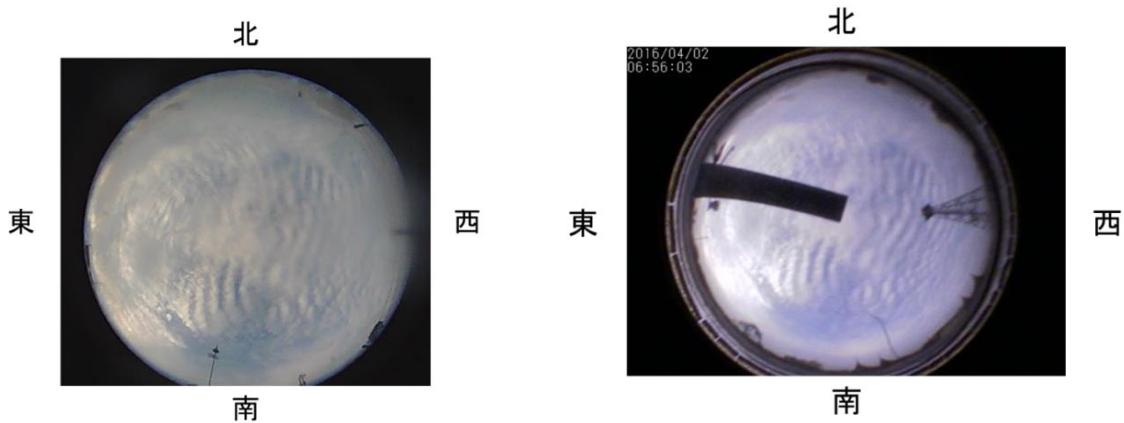


図3. EAR 観測所で撮影された全天画像
像

図4. GAW 観測所で撮影された全天画

5. 波状雲の各パラメータの推定

5.1 波状雲の高度の推定

波状雲の発生高度を仮定し、全天画像をその発生高度に投影することにより、その水平構造を得ることができる。記録されたデータから、輝度値を用いて投影した。ここで、仮定する高度を調整し、2台のカメラの投影画像が一致する高度を推定高度とすることができます。このことを図5に示す。

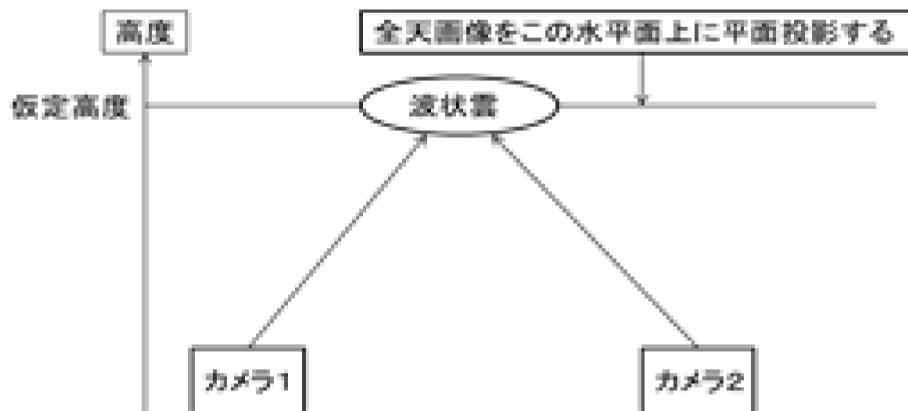


図5. 波状雲の高度推定の概略図

まず初めに、2 地点で撮影した全天画像を 2000m～2500 の各高度の水平面に投影した。このとき、2 地点のカメラ間の距離があるので、その分片方の投影の中心をずらして投影した。しかし、カメラ間の距離をずらして投影しても波状雲の位置が一致しなかったため、目測で波状雲の位置を合わせた。

次に、投影した 2 地点の全天画像の投影図をプリントアウトし、重ねることで波状雲が一致するかを調べ、重なった時の高度を波状雲の高度であると推定した。また、2 地点で撮影された全天画像を高度の仮定を変えて投影し、両方の投影画像に色を付けて表示し、一方は色を反転させて表示した。GIMP というソフトを用いて、この 2 枚の投影図を重ね波状雲が一致すれば色が変化し波状雲の形が明瞭に確認できる。その時の高度が波状雲の高度であるとして推定した。

前述した方法は、目で見て判断するという主観的な方法であったので、客観的にも判断する必要がある。そこで、波状雲が写っている部分の数行分の輝度値をとり、2 枚の画像の各行ごとの相関をとり、推定を行った。今回は 6 行分の相関をとり推定した。例として、図 6 に投影図から輝度値をとる一行を示し、図 7 に 2 つの投影図から一行の輝度値をとりグラフ化したものを示す。

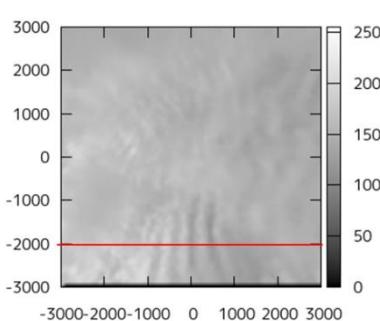


図 6. 投影図

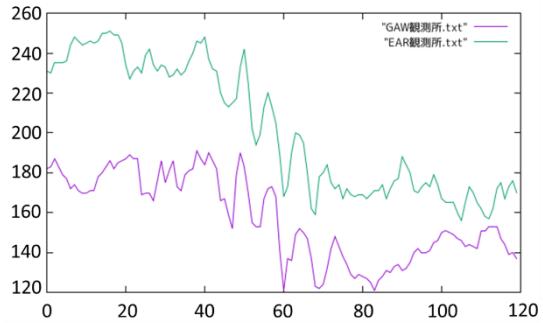


図 7. 2 つの投影図の一行の輝度値

また、推定した結果を雲の高度を測定できるシロメータのデータを用いて比較し、推定結果の妥当性の検証を行った。

5.2 波状雲の波長の推定

今回全天画像を投影する水平面は等間隔に区切っているため、投影図上の距離と推定高度での実際の距離は一致している。よって、波状雲が写っている部分の一行の輝度値をとり、グラフ化し、ピークの間隔を調べることで波状雲の波長を推定することができる。

5.3 波状雲の見かけ上の伝搬方向の推定

伝搬方向は、使用した画像の数分後の画像から雲の移動方向を見るなどで推定することができる。

6. 結果

6.1 2 地点観測による波状雲の高度推定

2 地点の全天画像を高度 2000 m～2500 m と仮定して投影した画像をプリントアウトし重ねてみた結果、高度 2200～2400 m の場合が重なっているように見えた。また GIMP というソフトを用いて 2 地点の投影図を重ねてみた結果も同様の結果となった。GIMP で重ねた図を図 8 に示す。

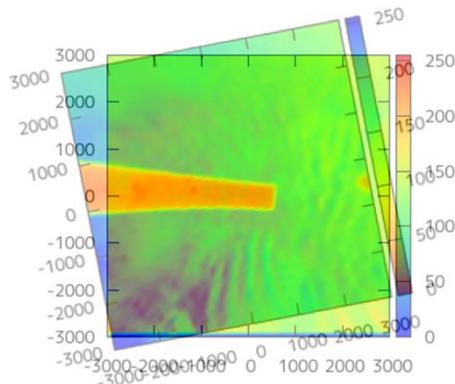


図 8. GIMP で投影図を重ねた図

次に客観的に判断するために波状雲の写っている部分の 6 行分の輝度値をとってきて相関をとり、高度ごとに各行の相関係数をグラフ化したものを図 9 に示す。

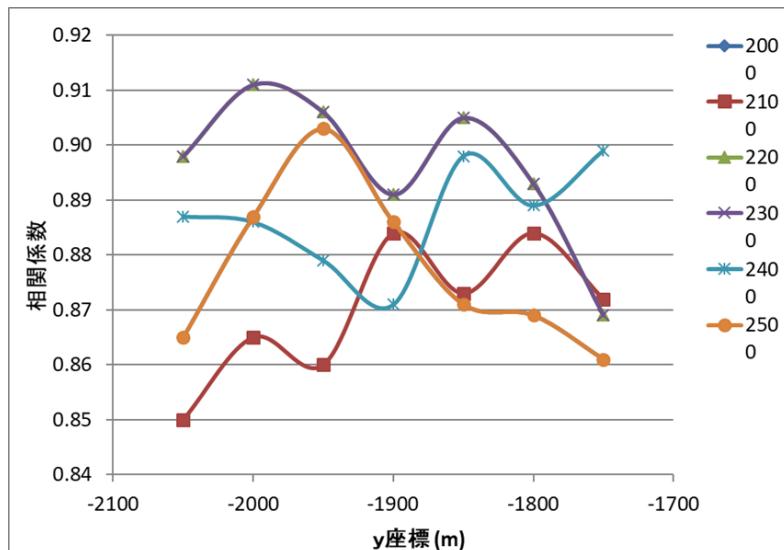


図 9. 高度ごとに各行の相関係数のグラフ

このとき各高度の相関は全体的に良く、差が小さかったが、高度 2300 m の場合の相関が最も良くなつた。よって、主観的な方法と客観的な方法の 2 つの結果から、このときの波状雲の高度は 2300 m であると推定した。

この結果の妥当性を検証するために、今回使用した画像と同じ時間にシーロメータによって観測された高度との比較を試みた。しかし、このときのシーロメータの観測では、雲の高度が検出されていなかった。

6.2 波状雲の波長の推定

図 7 より波状雲が写っている部分のピークの間隔は 10 ピクセル分であった。今回は 1 ピクセルを 50 m としているため、距離は約 500 m である。よって、このときの波状雲の波長は約 500m であると推定した。

6.3 波状雲の伝搬方向の推定

今回使用した、図 3 に示した画像の 5 分後の画像を図 10 に示す。波状雲の動きをみると、西向きに移動していることがわかる。よって、このときの波状雲の見かけ上の伝搬方向は西向きであると推定した。

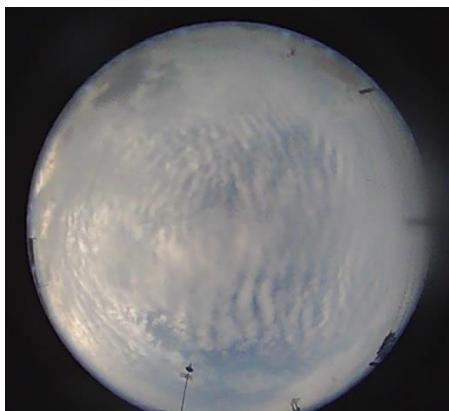


図 10. 図 3 の 5 分後の全天画像

7. まとめ

今回行った推定は目で見て判断する主観的な方法と、相関をとり、数値的に半断する客観的な方法の 2 つを用いて行った。その結果、波状雲の推定高度は 2300 m であった。また、その推定結果をシーロメータの観測結果と比較しようとしたが、同じ時間のシーロメータの観測結果では、雲の高度が検出されていなかった。

波状雲のパラメータの推定では、波長が約 500 m、見かけ上の伝搬方向は西向きとなつた。

8. 今後の課題

今回は、推定結果とシーロメータの観測結果の比較を行うことができなかつたため、まだ見ていない分のデータを処理していき、シーロメータとの比較を行うことで現在行っている推定方法の妥当性の検証を行う。

また、2地点の画像を投影し、雲の形を見ると、2台のカメラの設置されている方角が少しずれているようであった。今後、2台のカメラの方角があつてあるか検証する必要がある。

謝辞

本研究は京都大学生存圏研究所、赤道大気観測所との共同利用研究により実施されました。

また、GAW 観測所のカメラデータは、生存圏研究所から提供していただきました。ここに謝意を示します。

参考文献

- [1] 廣田 勇 「グローバル気象学」 pp.49-52, pp63-68, pp73-79 (1992).
- [2] 佐藤 薫 「中層大気重力波の研究」、1998 年度日本気象学会賞受賞記念講演 pp.3-9, (1999).
- [3] M.K.Ejiri, K.Shiokawa, T.Ogawa, T.Nakamura, R.Maeckawa, T.Tsuda, M.Kubota, 「Small-scale gravity waves near the mesopause observed by four all-sky airglow imagers」 JOURNAL OF GEOPHYSICAL, VOL.106, D19, 22, 793-22, 799, (2001).

EAR 観測から推定された 上空における雨滴粒径分布の高度変化

多田暁智,下舞豊志(島根大学)

1 はじめに

降雨の特性を表す指標のひとつである雨滴粒径分布(DSD),上空におけるその変化を解析することは気象現象の解明に重要となる.降雨が上空から落下するときに外部からの影響をうけながら落下する.落下の過程による雨滴の変化(併合,凝縮,蒸発,分裂)が発生し DSD の形状にも変化が生じることになる.

本研究では,落下による雨滴の変化と DSD の形状の変化における関係を DSD パラメーターと関連付けて考え,DSD パラメーターの変化より DSD の変化についての検討を行う.

2. DSD 推定方法

モデル関数と観測された大気と降雨のスペクトルを非線形最小二乗法で用いてフィッティングさせる.その結果からガンマ関数(式(1))でモデル化した $DSD(N(D))$ のパラメーター(m_6, μ, Λ)を求める^[1].

$$N(D) = \Lambda^{\mu+7} m_6 D^\mu e^{-\Lambda D}$$

式(1)において m_6, μ, Λ, D はそれぞれ規格化 6 次モーメント, 形状パラメーター, スケールパラメーター, 雨滴直徑を表わしている.

3. DSD パラメーター

本研究では DSD の変化を解析するための DSD パラメーターとして $dB R$, D_0, μ に注目する.

$dB R$ は降雨強度のデシベル値を表し, D_0 は雨滴直徑 D の 3 乗で重みづけした DSD スペクトルの中央値を示す(図 1).どの大きさの粒径の数が多いかを表す指標となる. μ はガンマモデルを用いて推定される DSD の形状を決定するパラメーターである.

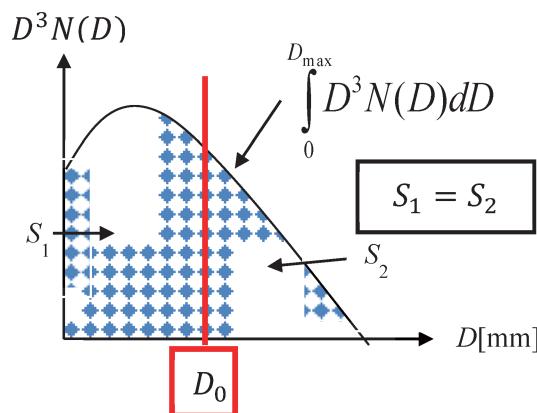


図 1. D_0 の概念図

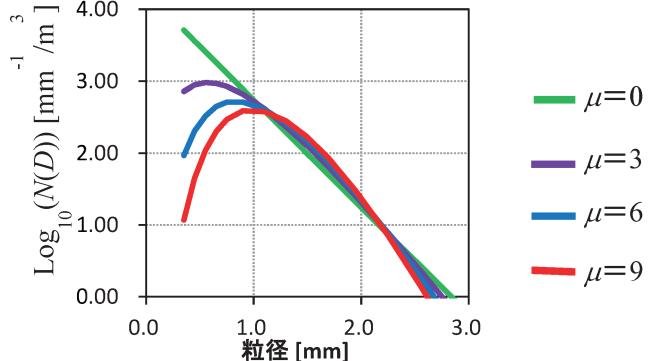


図 2. 形状パラメーター μ の概念図

4. 降雨微物理過程

降雨は上空から落下するときに外部からの影響をうけながら落下し、その結果雨粒の数や大きさにも影響が生じる。DSD の形状が降雨微物理でどのように変化するのか、また DSD パラメーターがどう関係しているのかを調べるために、降雨微物理を 4 つの事象に分けたフローチャート(図 3)^{[2][3]}を参考にする。

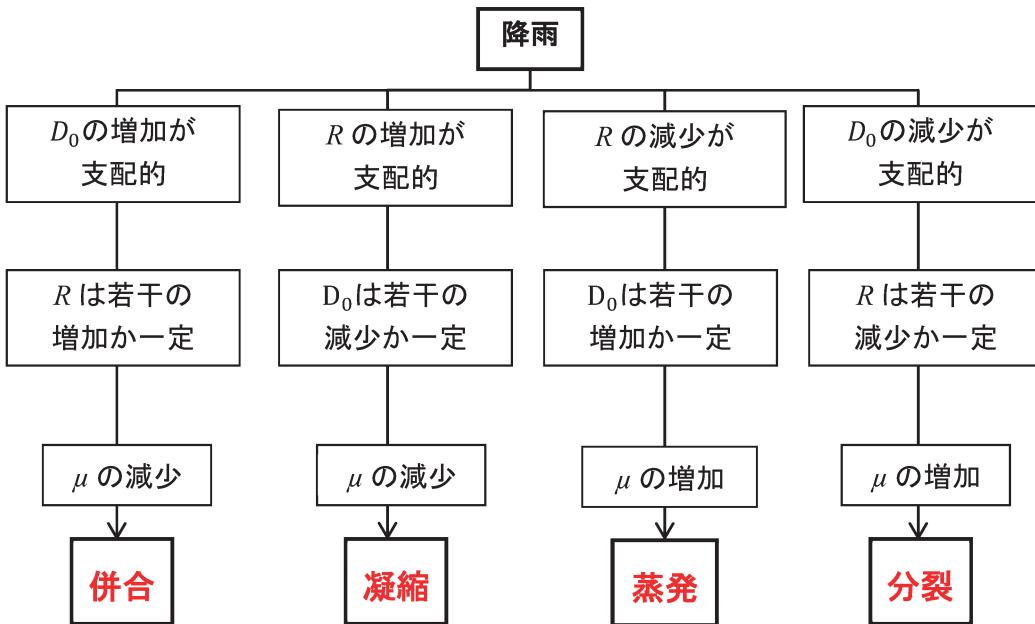


図 3. 降雨微物理フローチャート

5. 観測機器

本研究では、EAR および地上観測機器である ORG とディスドロメーターを用いる。EAR を用いて DSD の推定を行うために EAR を校正する必要がある。今回の研究ではディスドロメーターにより観測されたレーダー反射因子と EAR 観測より推定されるレーダー反射因子が近い値をとるように校正を行った。結果として本研究では校正值 -33.5 dB として EAR による DSD 推定を行った。

6. EAR 使用データ

使用した EAR 観測データを表 1 に示す。今回使用するデータの選定基準として ORG 観測において 30 分以上連続して降雨が観測されていること、降雨強度が短時間で激しく変化していないことを基準としてデータを選択した。また期間内のデータよりスペクトルを目視で確認しノイズ、フィッティングの失敗等が確認された場合はそのデータを除外している。

表 1. EAR 使用データ

EAR 観測時間(LT)
2004 年 2 月 1 日 19:50-21:00
2004 年 2 月 2 日 03:50-05:00
2004 年 2 月 24 日 21:30-22:00
2004 年 2 月 27 日 00:00-00:30
2004 年 2 月 28 日 15:00-15:30
2004 年 3 月 2 日 22:20-23:30

7. 観測結果

使用データより推定された DSD パラメーター μ の度数分布を図 4 に示す。

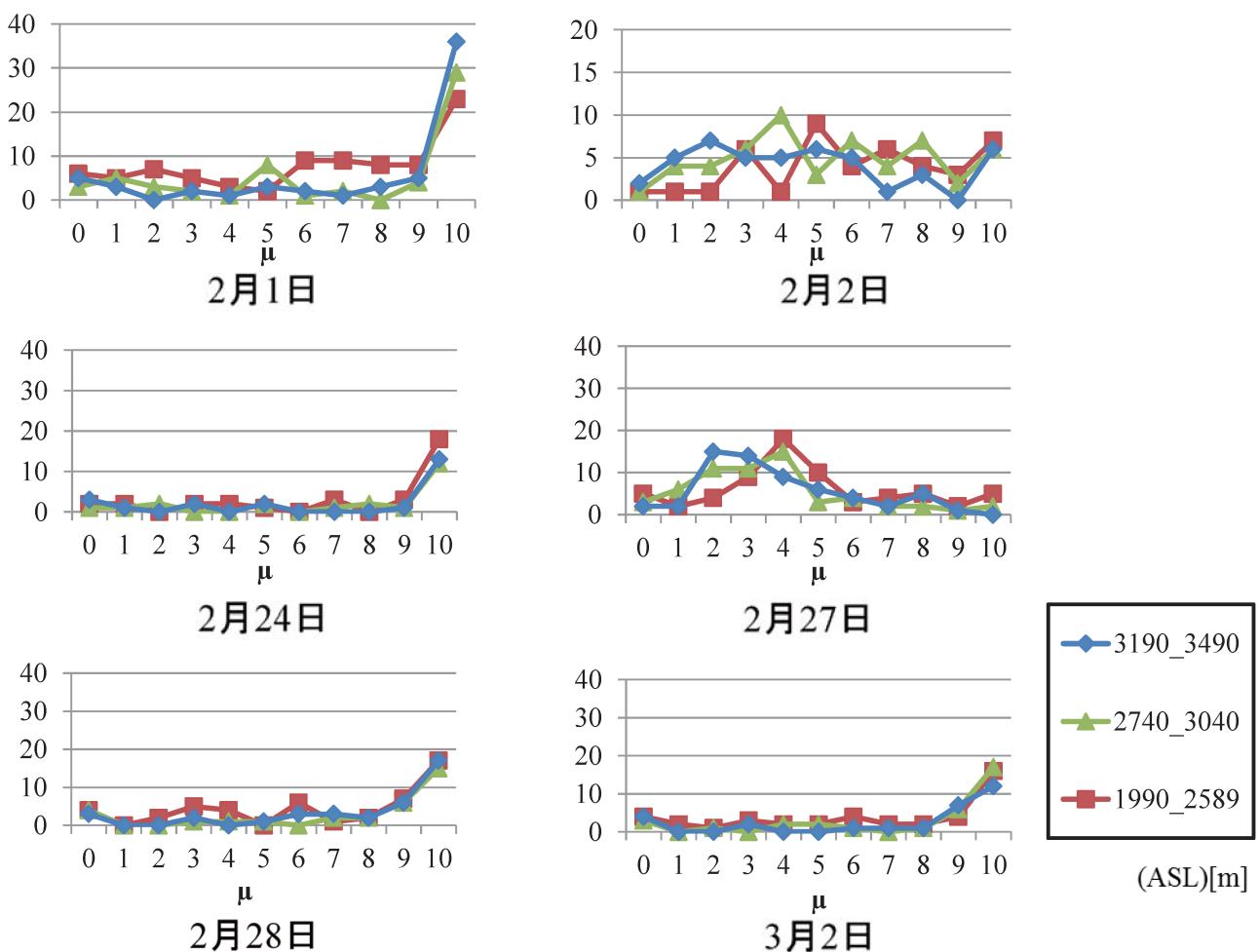


図 4. μ の度数分布

図4より2月1日,2月24日,2月28日,3月2日においては,高度に依存した μ の変化はあまり見られないが μ の値が大きいときに度数のピークをとることがわかり,2月2日,2月27日においては μ の値が2,3,4においてピークをとっている,また落下に伴い μ が増加傾向にあることがわかる.

次に dBR と D_0 の相関関係を図5に示す.

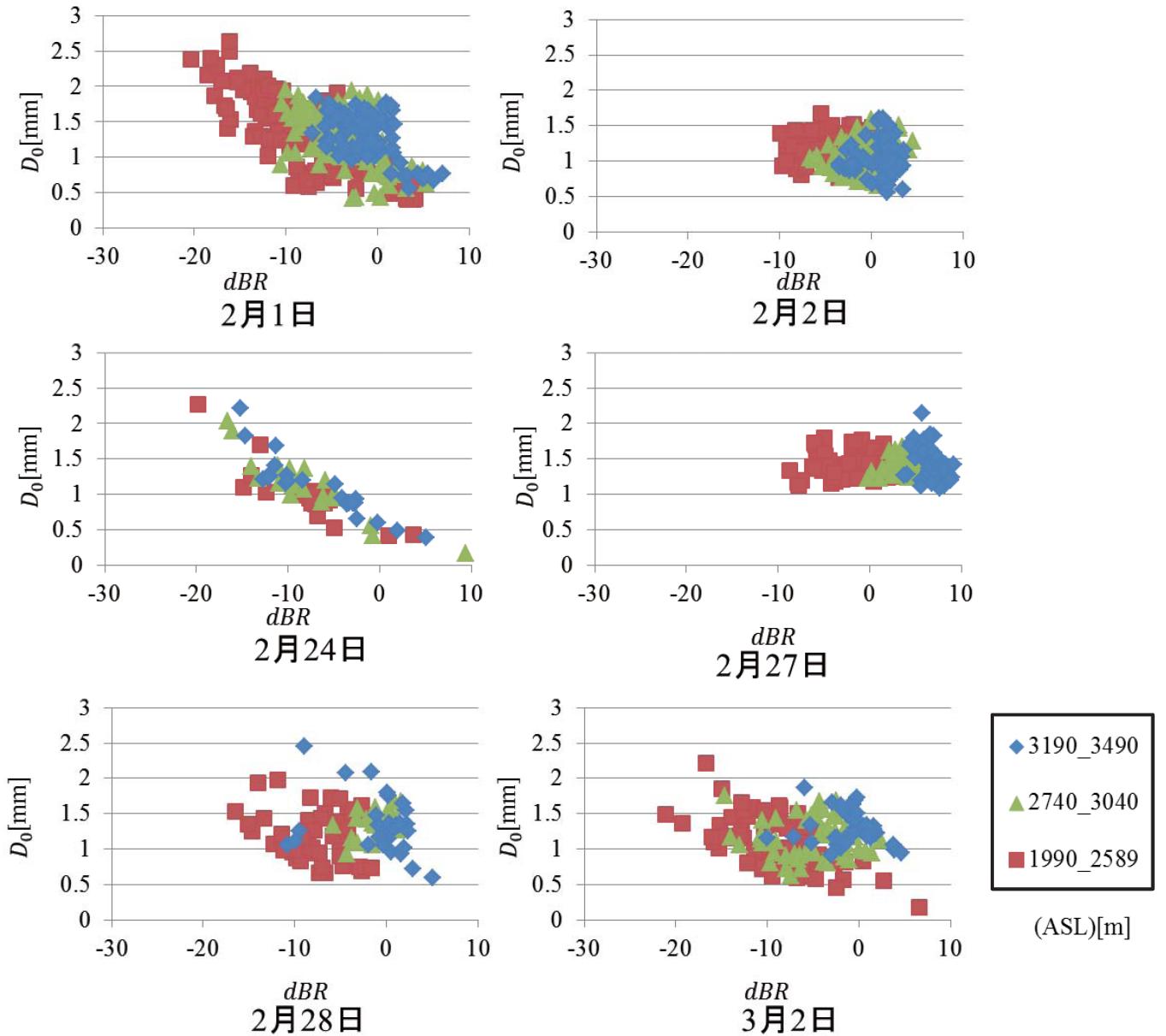


図5. $dBR - D_0$ 相関関係

図 5 より全データにおいて落下に伴い dBR が減少していることがわかり全データにおいて蒸発傾向があると考えられる。また 2 月 1 日, 2 月 24 日, 2 月 28 日, 3 月 2 日においては、落下に伴い dBR が減少し D_0 が増加、2 月 2 日, 2 月 27 日においては落下に伴い dBR が減少するが D_0 はほぼ一定の値をとった。

図 4 および図 5 より 2 月 1 日, 2 月 24 日, 2 月 28 日においては μ が高い値の度数が高く、 dBR の減少に伴い D_0 が増加、対して 2 月 2 日, 2 月 27 日においては μ は 2, 3, 4 程度の値で度数が高くなり高度に依存して μ が増加傾向、 dBR の減少に伴い D_0 はほぼ一定となった。結果として今回の観測データにおいて DSD パラメーターの変化の特徴が 2 つにわかれ μ と dBR と D_0 の間に降雨微物理関係の他にも相互関係が存在する可能性があると考えられた。

8.まとめ

本研究では DSD パラメーターに注目し DSD の高度変化についての検討を行った。今回の観測データにおいては全データにおいて落下に伴い dBR が減少する蒸発傾向がみられたが、 μ が高い値の度数が高く、 dBR の減少に伴い D_0 が増加する場合と、 μ は 2, 3, 4 程度の値で度数が高くなり、高度に依存して μ が増加傾向をとり、 dBR の減少に伴い D_0 はほぼ一定となる場合の 2 つにわかれることで結果となり、 μ と dBR と D_0 の間に降雨微物理関係の他にも相互関係が存在する可能性があり検討の必要がある。

9.今後の課題

今回の研究結果においては比較的 μ の高度変化が小さい結果となつたため μ が落下に伴い增加、減少する場合についても検討が必要であると考えられ。また EAR による長期の観測結果を利用した長期間の DSD 変化についての検討も必要であると考えられる。

謝辞

本研究は京都大学生存圏研究所 MU レーダー・赤道大気レーダー共同利用研究により実施されました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] T.Sato, H.Doji, H.Iwai, I.Kimura, S.Fukao, M.Yamamoto, T.Tsuda, S.Kato : "Computer processing for deriving drop-size distribution and vertical air velocities from VHF Doppler radar spectra", Radio Science, 25, 5, PP961-PP966, 1990
- [2] F. Y. Testik and Ana P. Barros: "Toward elucidating the microstructure of warm rainfall: A survey" American Geophysical Union, 1-22, 2007.
- [3] 卷田将聰, 神田学, 竹内邦良: 飛沫水粒子の蒸発メカニズムに関する基礎的研究, 土木学会第 49 回年次学術講演会, II-18, 36-37, (平 6)

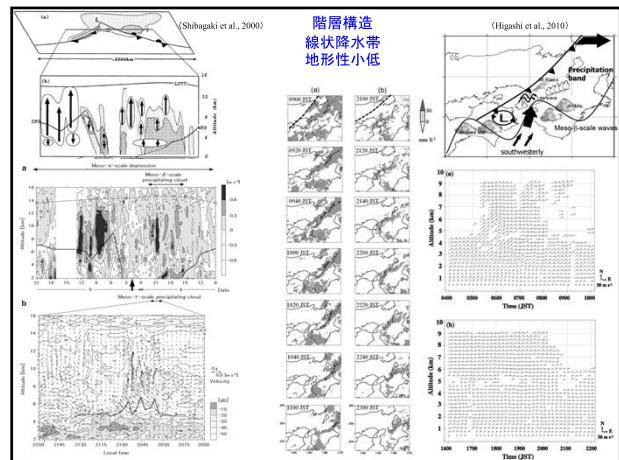
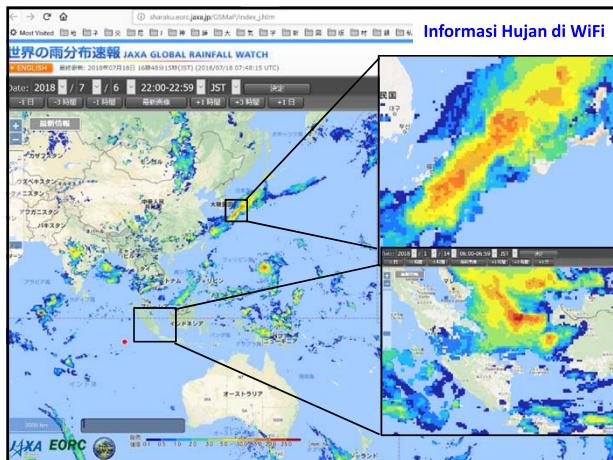
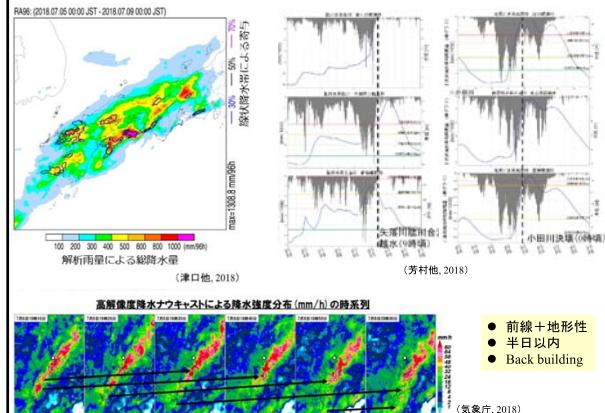
豪雨発生予測への大気レーダー応用可能性: 日本およびインドネシアの場合

中山 大学

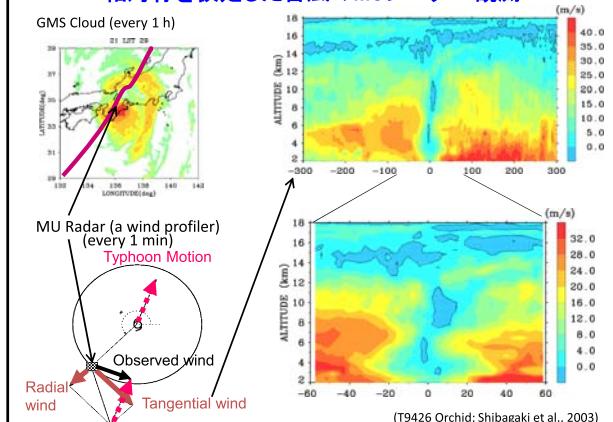
(総合地球環境学研究所研究員、海洋研究開発機構外來研究員、神戸大学名誉教授)

- 日本の(亜)熱帯化 … 大気・気象研究者としての焦り
- 台風は「恐れ」ではなく「見込」として予測できる
- 西日本豪雨も、線状降水帯の広域同時多発の可能性までは予測できた
- しかし雨が降り始めてから(気象レーダー)では遅い
- 単発や個々の降水帯・降水雲の顕著な発達の降雨前察知が課題

2018年7月西日本豪雨



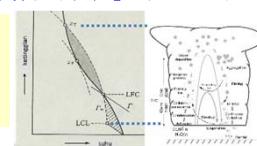
軸対称を仮定した台風のMUレーダー観測



熱帯でも雨は簡単には降らない(「条件付不安定」パラドックス)

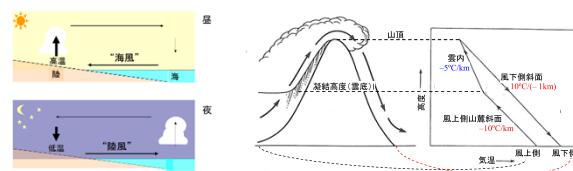
- 乾燥断熱 < 気温減率 < 湿潤断熱
(-10°C/km) < (-6°C/km) < (-5°C/km)
- 乾燥な限り安定、凝結(雲)が起きれば不安定(対流)
- 雲(凝結) ← 湿らす/冷やす ← 上界流(対流)
- 従って「最初の上昇」は強制的に起こさねばならない

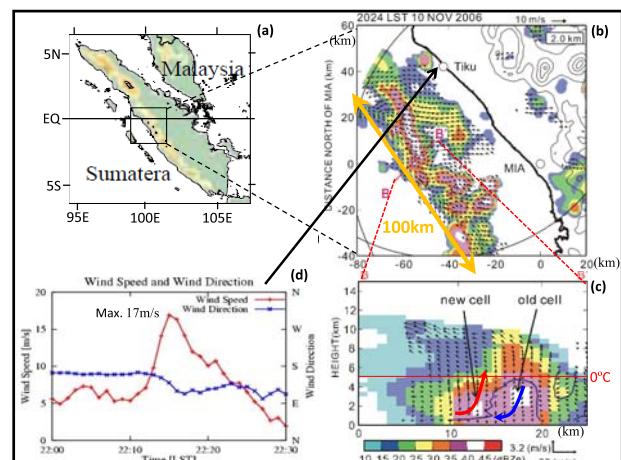
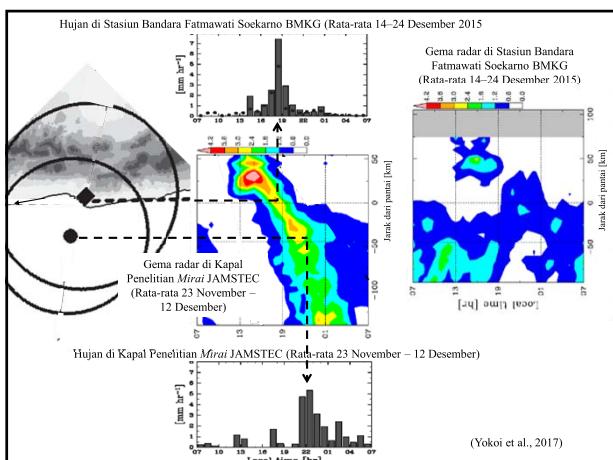
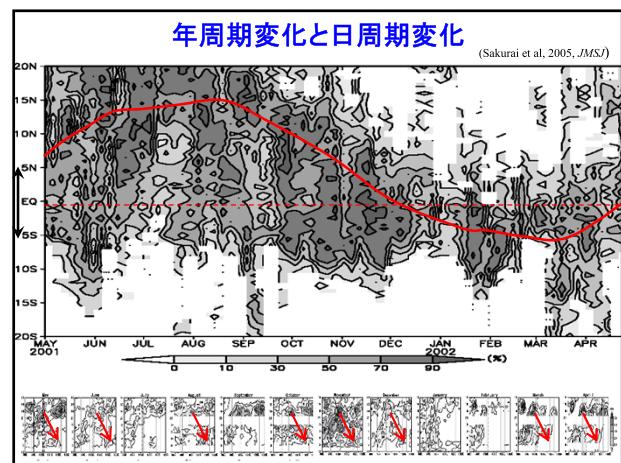
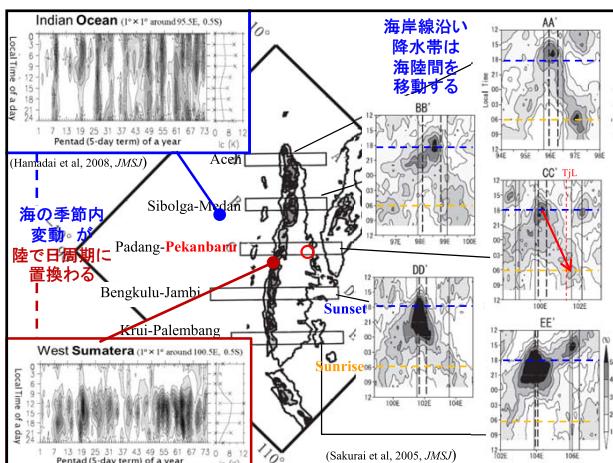
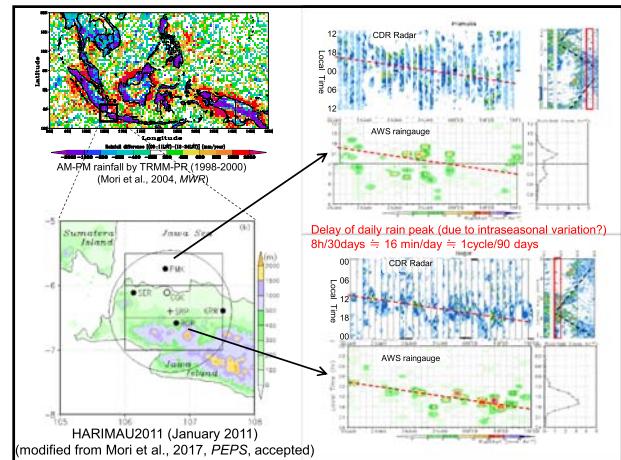
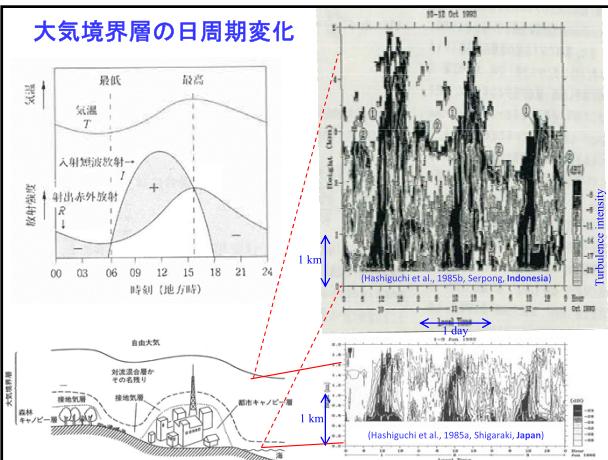
- ① 寒気・暖気の境界(低気圧・前線)
 ② (亜)熱帯洋上の大規模渦(台風)
 ③ 赤道洋上の波動(季節内、MJO)
 ④ 海陸風



赤道陸上では起きない

④ 山岳風上側(風下側はFöhnで高温乾燥)





雨の前に大気レーダーで察知できるか

- 雨量 ← 上昇流(・雲頂高度) ← 水蒸気収束
- 雲の急発達前に必ず起きる水平収束(強風)
- 雨・雲・雷(・モデル?)リアルタイム情報との併用
- 索引全土が「海岸線地帯」としての島嶼国
- 日本の場合：低気圧・前線・台風構造の仮定
- インドネシアの場合：日周期・季節内変動の仮定
- 思考実験的および試行錯誤的な取組？

質疑応答

Q: 予報や情報があっても逃げないと災害はなくならない

A: 教育、特に指導層の教育が(日本でも)重要である

Q: 気象庁でもプロファイルの防災活用は試みられている

A: WINDASの予報計算や事後解析への貢献は勿論であるが、レーダー・アメリカのようにプロファイル観測の実時間一般公開で警戒・減災できないかと思う

Q: 昔は台風でも電車が走っていてひっくり返り、多くの人的被害が出たが、今はそういうことは無くなったということか

A: 今は台風については十分に認識され、運休や出勤停止などの対応が完全に徹底しているが、例えば線状降水帯については今回やっと認識が進んだという段階ではないか

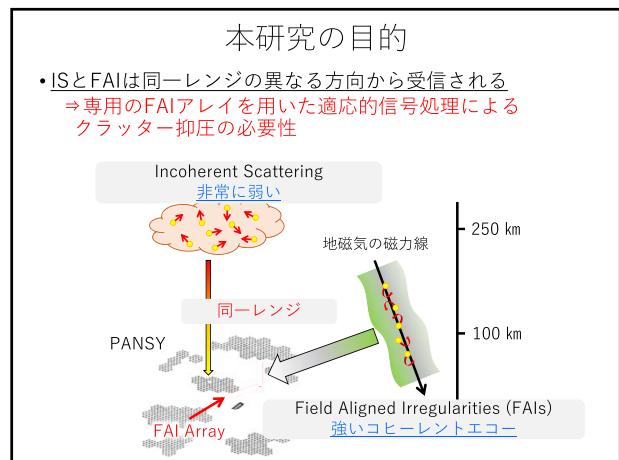
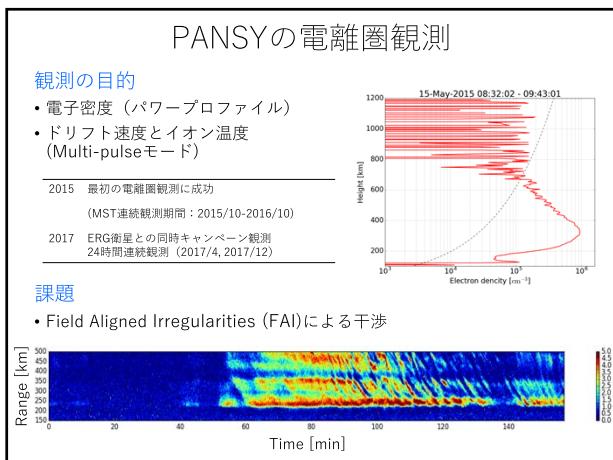
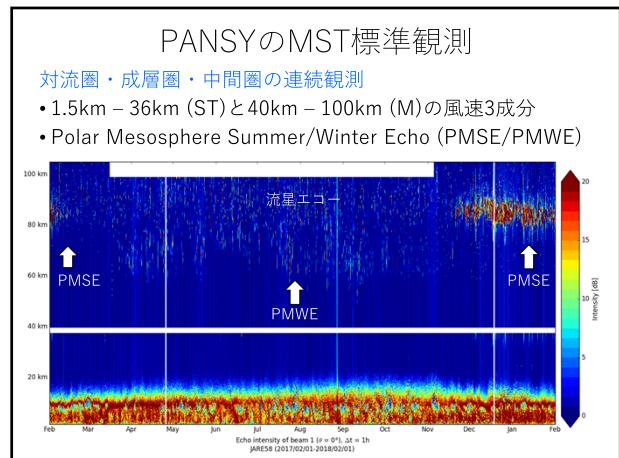
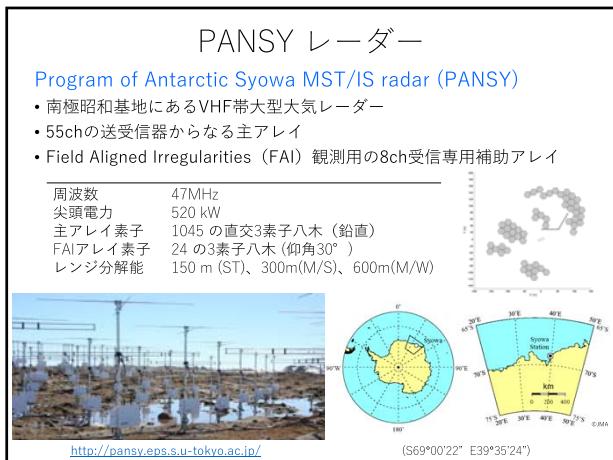
Q: インドネシアではモンスーンはよく認識されているように見えるが？

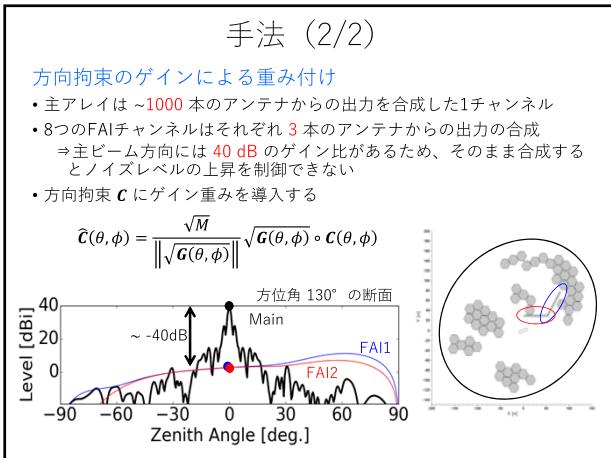
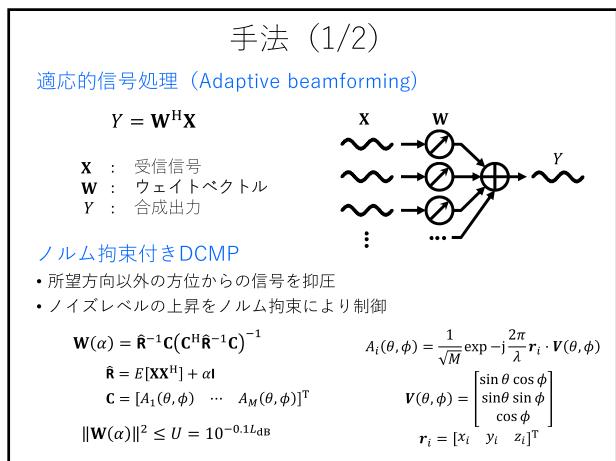
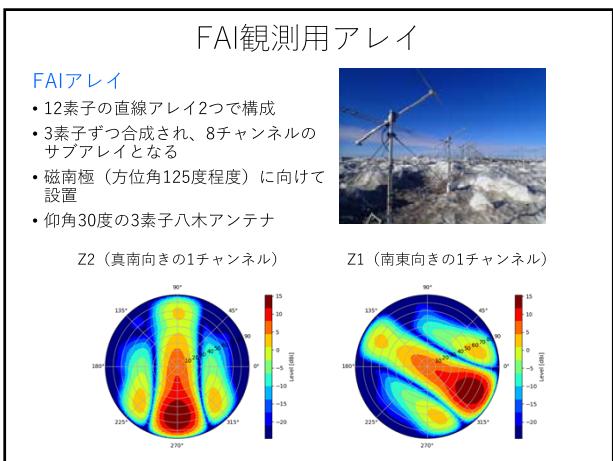
A: それに加えてエルニーニョという語はよく知られるようになったが、それに対応してインドネシアの気候がどう変わるかなどはまだ教育が必要。



Outline

1. PANSYレーダーについて
 1. 装置諸元
 2. MST標準観測
 3. 電離圏観測
2. PANSYレーダーの電離圏観測
 1. FAIによる干渉
 2. サブアレイの詳細
 3. 適応的信号処理の方法
 4. 手法の適用とFAIエコーの抑圧
3. まとめ





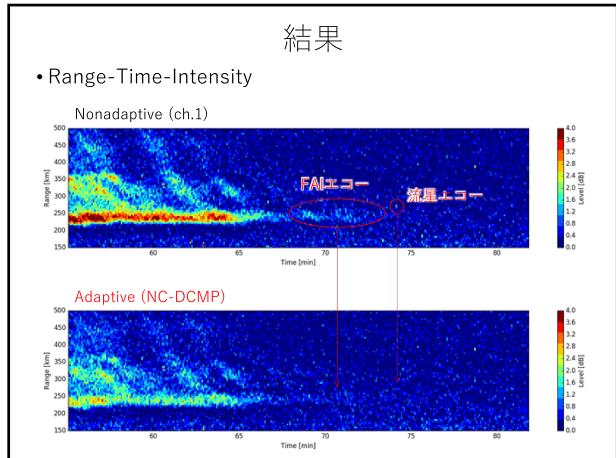
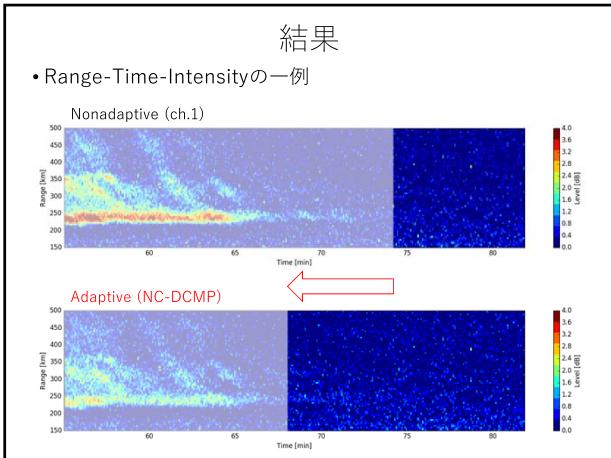
実観測データへの適用

観測諸元

日時	12/18 06:27 – 12/19 11:59 (約29.5H)
レンジ	140km – 1230km, $\Delta r = 9.6\text{km}$
時間分解能	$\Delta t = 51.2\text{ms}$
ビーム	(20°, -5°), (20°, 85°), (20°, 175°), (20°, -95°)
パルス圧縮	7-bit Barker code

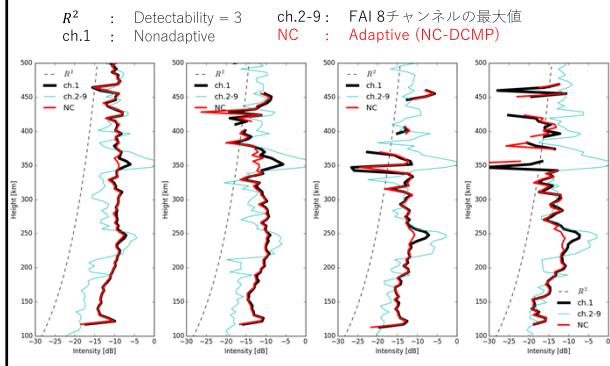
信号処理のパラメータ

ch9は不調のため主アレイを含め8chによる適応的信号処理を適用	
相関行列の時間平均	~21s
ゲイン重み	[0.99 0.054 ... 0.054] ^T
ノルム拘束	1.122 (=ノイズレベル上昇は0.5dB以下)
パワープロファイルの時間平均	15分



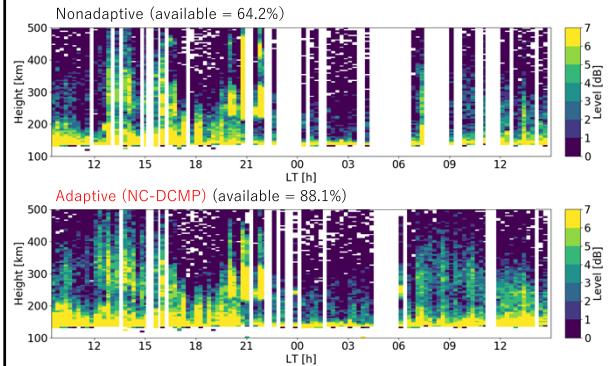
結果

- レンジプロファイルの例 (N, E, S, W の各ビーム)



結果

- レンジプロファイルの時系列 (使用可能なプロファイル)



まとめと今後の課題

まとめ

- PANSYレーダーによる電離圏観測
 - 2015年の初成功に続き、2017年には人口衛星との同時キャンペーン観測や24時間連続観測などを実施
 - FAIによる強いコヒーレントエコーの混入が問題
- FAI観測専用サブアレイを用いた適応的クラッター抑圧
 - NC-DCMPによりFAIは3-5 dB低減
 - 流星除去アルゴリズム適用後に残った使用可能なデータが23%程度増加
 - 平均クラッター抑圧度は2.17dB

今後の課題

- マルチパルスモードによる観測、同手法の適用

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム

Results of joint ionospheric measurements with Kharkiv incoherent scatter and MU radars during near-equinox and solstice periods

Sergii Panasenko^{1,2}, Dmytro V. Kotov, Oleksandr V. Bogomaz, Yuichi Otsuka², Mamoru Yamamoto³, Hiroyuki Hashiguchi³, Leonid Ya. Emelyanov¹, Igor. F. Domnin¹

1. Institute of ionosphere, Kharkiv, Ukraine
2. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan
3. Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Kyoto, Japan

Outline

1. Introduction
2. Operation modes
3. Methods
4. Solar and magnetic conditions
5. Results obtained during near-equinox period
6. Results obtained during near-solstice period
7. Wave processes
8. Next steps
9. Conclusions

[2]

Introduction

The aim is to present comparative analysis results obtained from Kharkiv incoherent scatter and Shigaraki MU radars during two coordinated observation campaigns.

Significant research efforts have been devoted to the identification of ionospheric features in a specific geographic region only. Such approach is very useful for studying investigation of diurnal and seasonal dependences of ionospheric characteristics, including irregular and wave processes. However, to examine ionospheric behavior on a global scale and to separate contributions from global and regional sources, multi-site measurements of ionospheric plasma parameters are needed. In addition, such observations should be conducted under different ionospheric conditions. The important reference periods for magnetically quiet times are the equinox and solstice seasons, where the ionosphere is characterized by different states due to the annual variability of chemical and dynamical processes in geospace. Thus, description of regional ionospheric features during equinox and solstice conditions is of great interest. Such joint observations can reveal longitudinal variability in ionospheric characteristics and improve regional and global ionospheric models.

[3]

Collaborative Research



Kharkiv incoherent scatter (IS) radar
(49.6 N, 36.3 E, $\Lambda = 45.3$)



Shigaraki Middle and Upper Atmosphere (MU) radar (34.9 N, 136.1 E, $\Lambda = 24.9$)

Project:

Coordinated observations of light ions and traveling ionospheric disturbances with Shigaraki MU and Kharkiv IS radars

PI: Dr. Sergii Panasenko,

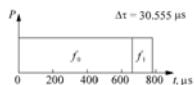
Contact person in RISH: Prof. Mamoru Yamamoto

Dates of joint observations: September 05 – 07, 2017
December 25 – 26, 2017

[4]

Operation Modes

Kharkiv IS radar



Here P is power, t is current time and $\Delta\tau$ is sampling time

Composite two-frequency radio pulse. The first pulse has a length of about 650 μ s (the carrier frequency $f_0 = 158$ MHz) and the second one has the pulse length of about 135 μ s (the frequency $f_1 = (158 + 0.1)$ MHz)

Shigaraki MU radar

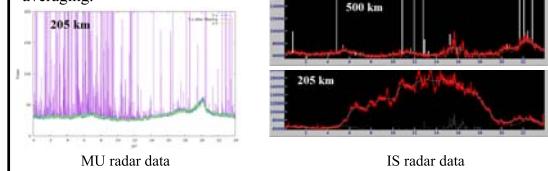
Barker coded four-pulse scheme (1100101) – 5-min interval;
Simple pulse scheme (1000000) – 5-min interval;
Using one beam direction only (tilted towards the south)
(Azimuth angle, Zenith Angle)=(175°, 20°)

We planned to use additional 1000000 scheme for obtaining zero lag (IS signal power) of autocorrelation functions (ACF) under the same conditions as other six lags.

[5]

Methods

1. Removal of coherent echos ("spikes") and interferences followed by data averaging.



2. Calculation of signal-to-noise ratio (SNR) q and raw electron density N_r .

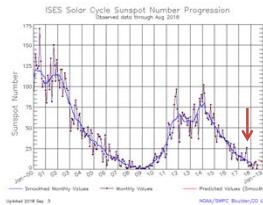
$$q = \frac{P}{P_N}, \quad P = C \frac{N}{h^2(1 + T_e/T_i)}, \quad N_r = qh^2.$$

4. Estimation of experimental ACFs. Retrieving ion T_i and electron T_e temperatures through fitting these ACFs by pre-computed ones using least-squares method.

5. Applying detrending and bandpass filtration procedure as well as spectral analysis for estimation of wave process parameters.

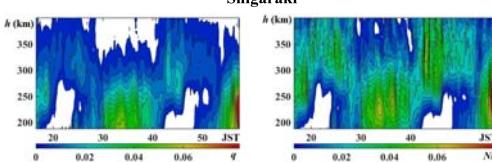
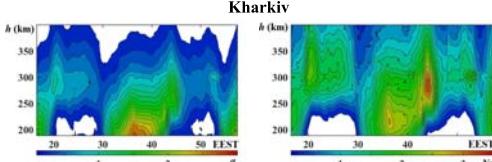
[6]

Solar and Magnetic Conditions



Date	Radio Flux 10.7 cm	Sunspot Number	A_p	K_p	[7]
05.09.17	121	122	12	4 3 3 2 2 3 2 2	
06.09.17	133	79	11	2 2 2 3 3 2 0 4	
25.12.17	76	17	10	3 1 2 3 1 2 3 2	
26.12.17	72	14	11	3 3 1 2 1 1 4 3	

Near-Equinox Period: SNR and Raw Electron Density

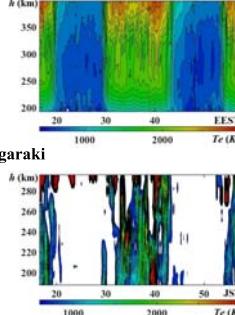
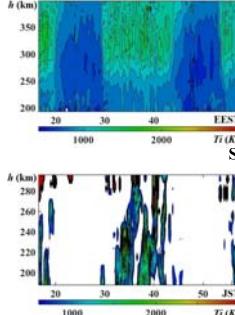


Altitude-time-intensity plots of SNR (left) and raw electron density (right) for September 05 – 07, 2017

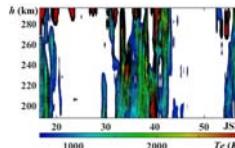
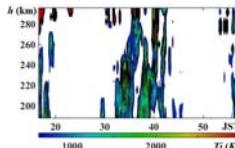
[8]

Near-Equinox Period: Plasma Temperatures

Kharkiv



Shigaraki

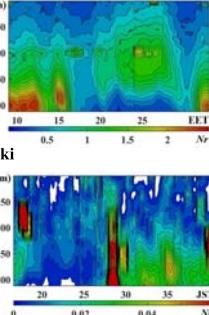
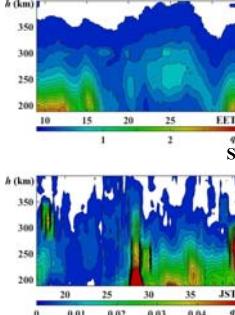


Altitude-time-intensity plots of ion (left) and electron (right) temperatures for September 05 – 07, 2017

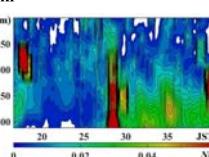
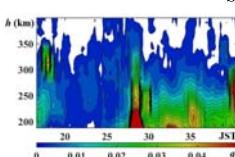
[9]

Near-Solstice Period: SNR and Raw Electron Density

Kharkiv



Shigaraki

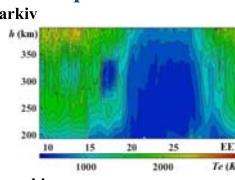
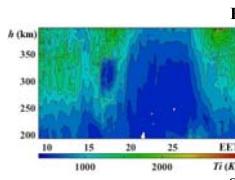


Altitude-time-intensity plots of SNR (left) and raw electron density (right) for December 25 – 26, 2017

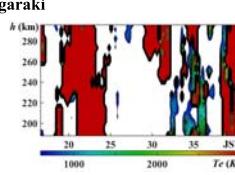
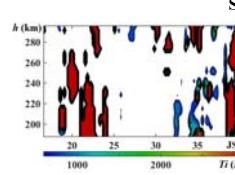
[10]

Near-Solstice Period: Plasma Temperatures

Kharkiv



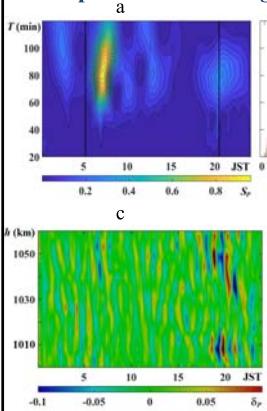
Shigaraki



Altitude-time-intensity plots of ion (left) and electron (right) temperatures for December 25 – 26, 2017

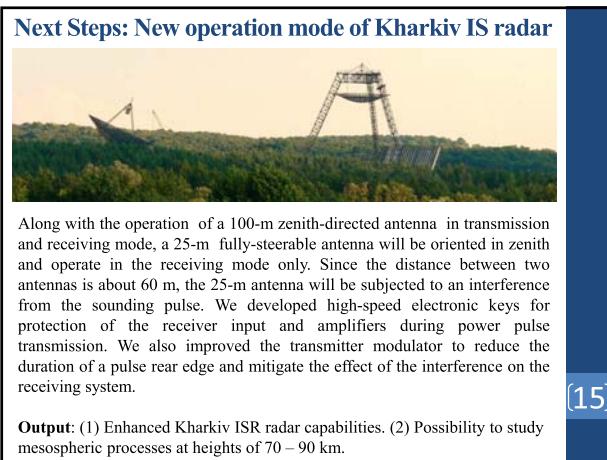
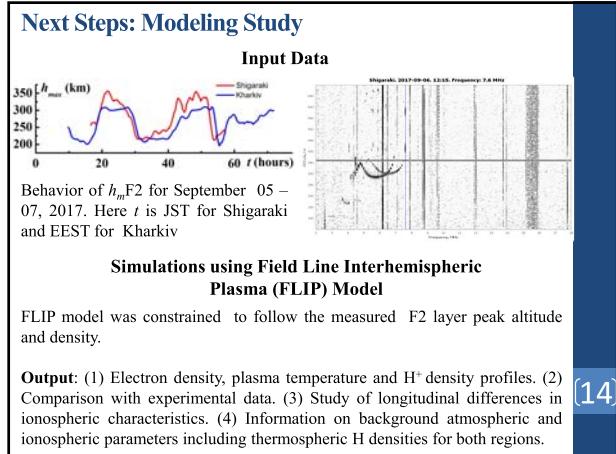
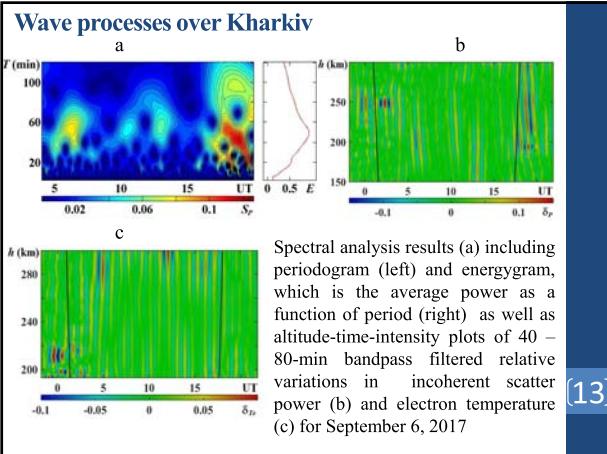
[11]

Wave processes over Shigaraki

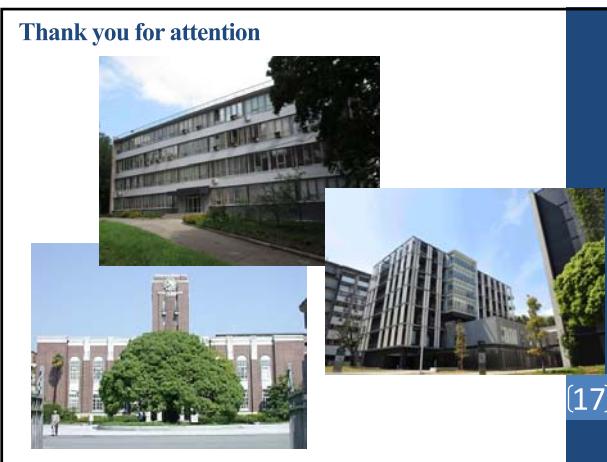


Spectral analysis results (a) including periodogram (left) and energygram, which is the average power as a function of period (right) as well as altitude-time-intensity plots of 60 – 120-min bandpass filtered relative variations in incoherent scatter signal (b) and noise (c) power for September 6, 2017

[12]



- ### Conclusions
- We conducted two joint measuring campaigns near fall equinox and winter solstice periods using Kharkiv incoherent scatter and Shigaraki MU radars.
 - The similar methods were applied for joint data analysis aiming to assure consistency of results for both facilities. The main analysis stages included removal of coherent echos and interferences, retrieving plasma temperatures using precomputed ACFs, spectral analysis, detrending and bandpass filtration procedures.
 - We analyzed the diurnal dependences of raw electron densities over both sites and detected the similarity in their behavior. Due to very low SNR values over Shigaraki, we did not manage to compare the plasma temperatures over Ukraine and Japan. The modeling study using FLIP model will be made for obtaining the missing ionospheric parameters.
 - The TIDs were detected over both sites during September measurements. Their main periods were close to 80 and 50 min over Shigaraki and Kharkiv, respectively. An enhancement in TID amplitude occurred near the sunrise and sunset solar terminator.
 - The modernization of Kharkiv IS radar was made aiming to study mesospheric processes at heights of 70 – 90 km.
- [16]



Role of the evening eastward electric field and gravity wave activity on the sequential occurrence of plasma bubble

P. Abadi¹, Y. Otsuka¹, K. Shiokawa¹, Huixin Liu²,
M. Yamamoto³, and T. Yokoyama⁴

¹Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University, Japan

²Department of Earth and Planetary Science, Kyushu University, Fukuoka, Japan

³Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Kyoto, Japan

⁴National Institute of Information and Communications Technology, Tokyo, Japan

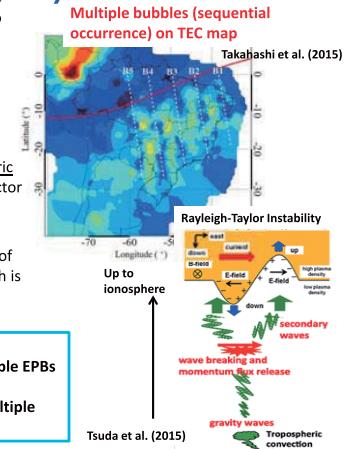
The 12th Symposium on MU Radar and Equatorial Atmosphere Radar
RISH-Kyoto University, Uji, Japan, 5-6 September 2018

Multiple Plasma Bubbles Occurrence and its possible link to gravity wave

Equatorial plasma bubble (EPB) refers to plasma depletion in the nighttime of equatorial F-region, and is generated through the Rayleigh-Taylor Instability mechanism.

Pre-reversal enhancement (PRE)

Enhancement of evening eastward electric field at equatorial region is important factor for EPB generation

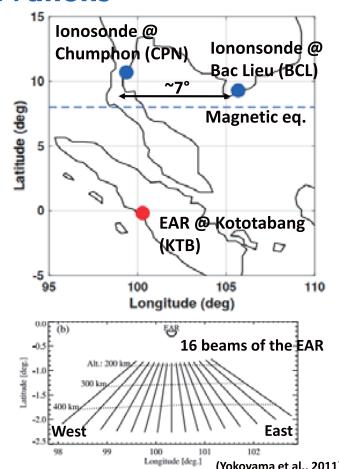


Our questions!

- (1) How does the probability of multiple EPBs event relate to the PRE?
- (2) Is the GW important factor for multiple EPB generation?

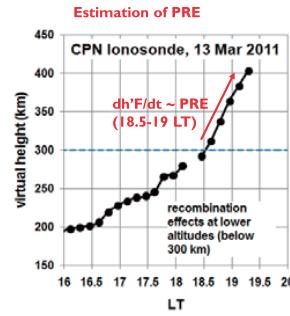
Observations

- Radio instrumentations used in this study (see Fig. 1):
 - Ionosondes in equator → estimating the PRE
 - Equatorial Atmosphere Radar (EAR) → the multiple occurrence of the EPB
- Thermospheric neutral wind at dusk sector from GOCE Satellite which orbits sun-synchronous, at altitude of ~250 km (bottomside of F-region), and meridional direction → investigating gravity wave activity
- Observation period for this study: Mar-Apr 2011-2013

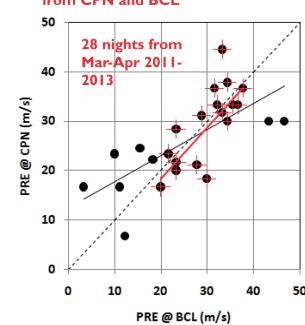


Estimation of PRE using ionosonde

Primary, we use CPN ionosonde



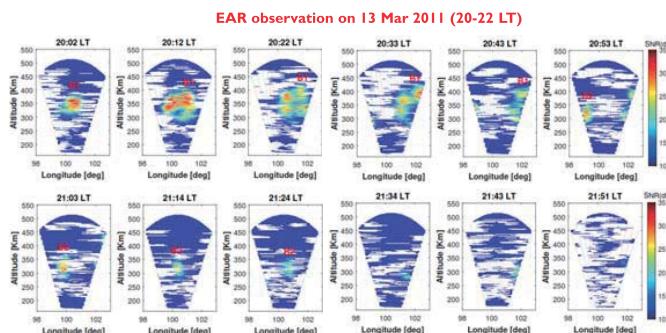
Comparison between PRE estimated from CPN and BCL



From the ionosondes, we obtain the PRE of vertical drift

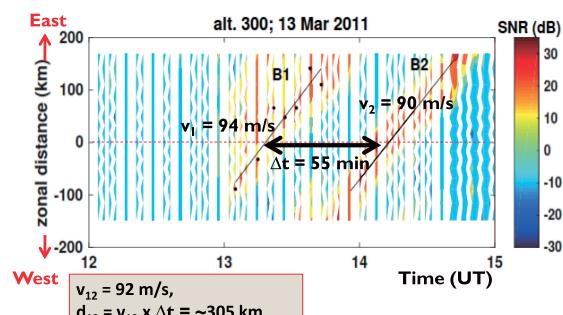
The PRE estimated from BCL ionosonde is comparable with PRE estimated from CPN in the interval 20-40 m/s

Multiple EPBs from the EAR



Multiple EPBs event → 2 or more plasma bubbles in one night from EAR observation (during 20-22 LT)

Estimating zonal spacing between EPBs

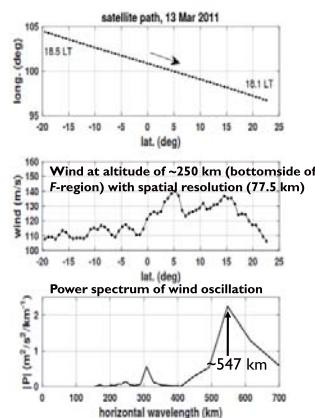


From the EAR, we obtain:

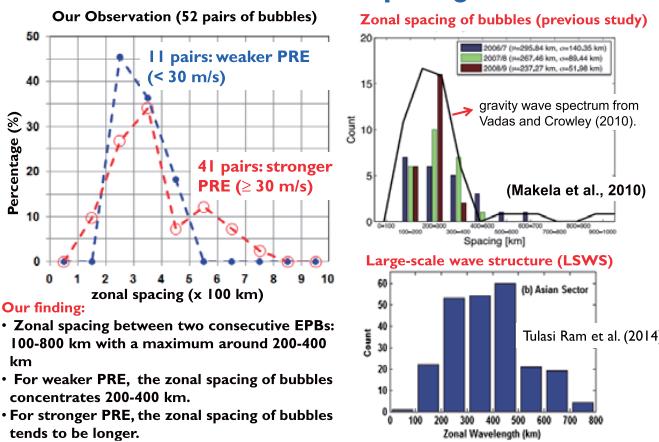
- (1) number of the EPB occurrence (multiple EPBs event)
- (2) the zonal spacing between two consecutive EPBs

Wind data from GOCE satellite

- Collecting the GOCE satellite paths over Southeast Asia(longitude range of 80°–140°E and latitudes from 20°S to 40°N)
- 64 data points of the wind in each path (40° in latitude and 10° in longitude)
- Applying a simple FFT to wind data to obtain the spectrum of gravity wave in the wind data
- Simultaneous observation between multiple EPBs occurrence and gravity wave activity

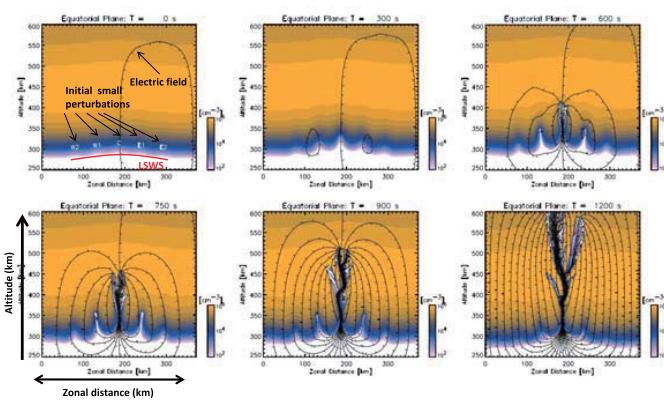


Result 2: Distribution for zonal spacing of EPBs

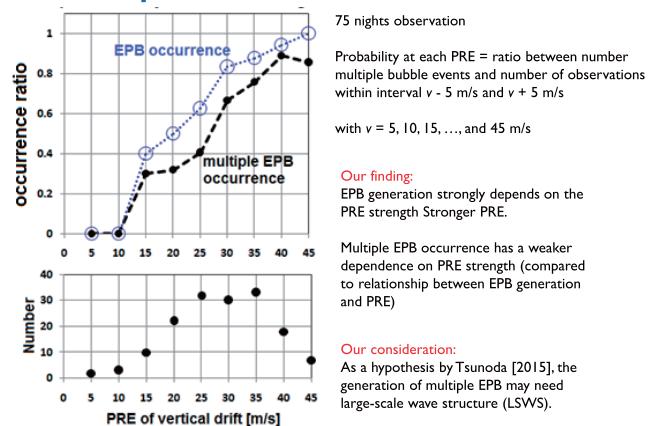


- Our finding:**
- Zonal spacing between two consecutive EPBs: 100-800 km with a maximum around 200-400 km
 - For weaker PRE, the zonal spacing of bubbles concentrates 200-400 km.
 - For stronger PRE, the zonal spacing of bubbles tends to be longer.

Discussion for Result 1 and 2: For stronger PRE, why bubble spacing is longer?



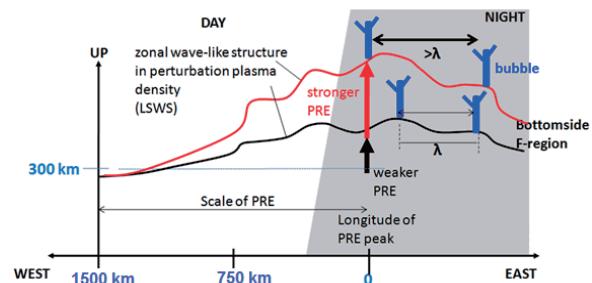
Result 1: Multiple EPB event as a function of PRE



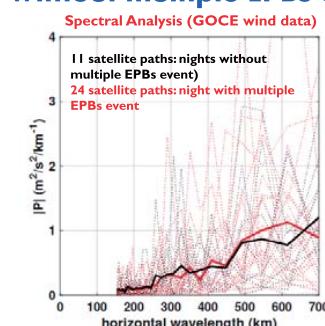
Discussion for Result 1 and 2: the role of PRE on the multiple EPBs event

The multiple plasma bubble occurrence:

- Stronger PRE strength enhances the probability of multiple EPB occurrence. However, EPB generation may need initial seeding process.
- The seeding mechanism could be the LSWS because the distribution of bubbles spacing is similar to dominant wavelength of LSWS.
- The stronger PRE, the distribution of bubbles spacing longer.



Result 3: Gravity Wave Activity at nights with and without multiple EPBs event



- Our finding:**
Gravity wave activities are comparable between nights with and without multiple EPB events

Conclusion

We have used ionosondes and the EAR, and employed the wind data from GOCE satellite to disclose the role of PRE and gravity wave activity on the multiple EPB occurrence.

Our findings:

- (1) The probability of multiple EPBs events increases with the increase of the PRE
- (2) The zonal spacing of the EPBs is similar to the wavelength of LSWS reported by Tulasi Ram et al. (2014)
- (3) The spacing between two EPBs is dominant at 200-400 km. However , in case of the stronger PRE, the spacing of the EPBs is broader.
- (4) The generation of multiple EPBs may not depend on the stronger gravity wave activity in the bottomside *F*-region.

Our discussion:

- Stronger PRE strength and the presence of initial seeding mechanism, i.e. LSWS, could be the important factor for multiple EPBs occurrence.
- The EPBs could be around the crest of LSWS, but the bubble spacing could has a greater distance when PRE is strong

Thank you!

This work is supported by the Project for Solar-Terrestrial Environment Prediction (PSTEP, JP 15H05815) that is funded by a Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas from MEXT/Japan.

Daytime periodic wave-like structures of the ionosphere observed at low latitudes over the Asian-Australian sector using TEC from Beidou geostationary satellites

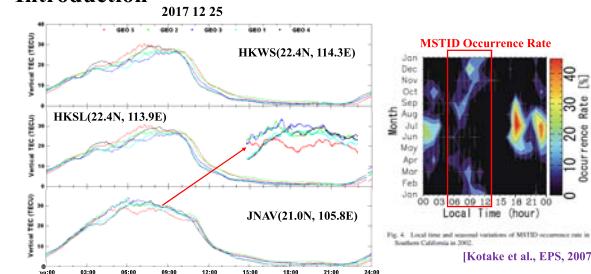
Fuqing Huang^{1,2}, Yuichi Otsuka², Juhou Lei¹, Xiaoli Luan¹, Xiankang Dou¹ and Guozhu Li³

¹CAS Key Laboratory of Geospace Environment, School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, China

²Institute for Earth-Space Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan

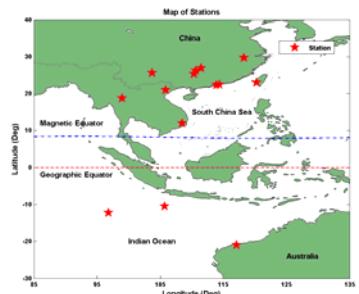
³Key Laboratory of Earth and Planetary Physics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

Introduction



What's the features of daytime periodic wave-like structures at low latitudes?
What cause the daytime periodic wave-like structures at low latitudes?

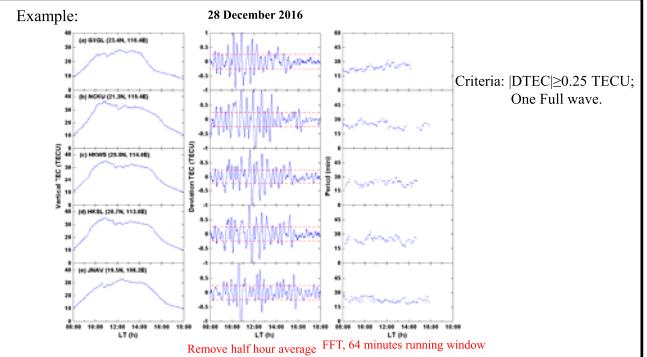
Dataset



14 GNSS Stations at low latitudes over the Asian-Australian sector were used

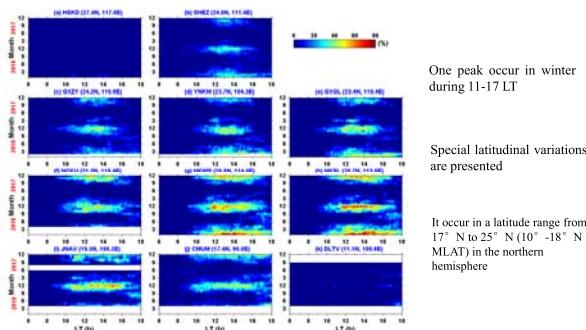
Data: TEC from GEO 3 Satellite
Period: 2016-2017

Example:



Criteria: $|\Delta \text{TEC}| \geq 0.25 \text{ TECU}$;
One Full wave.

Occurrence Rate – Northern Hemisphere

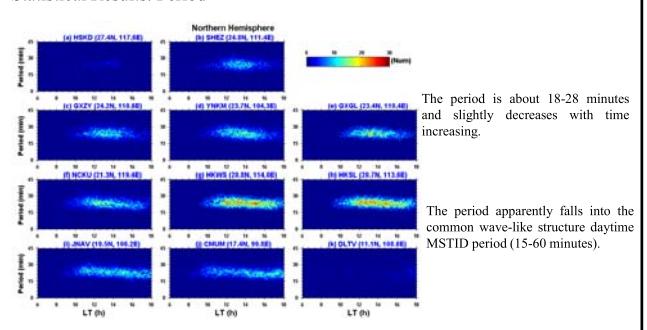


One peak occur in winter during 11-17 LT

Special latitudinal variations are presented

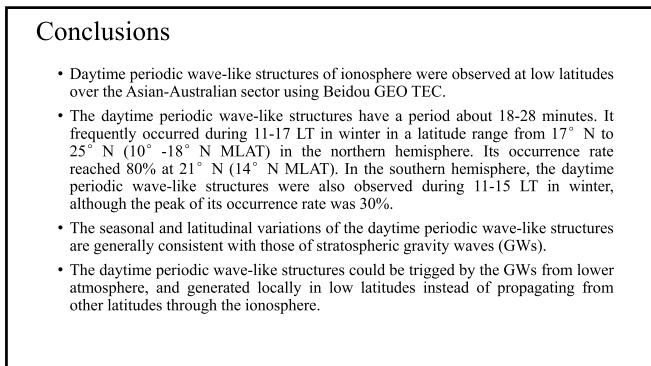
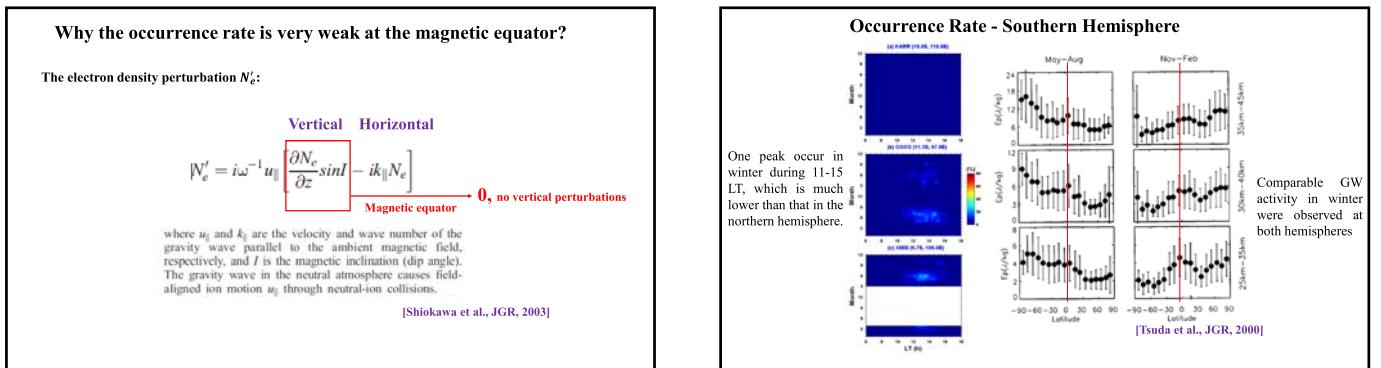
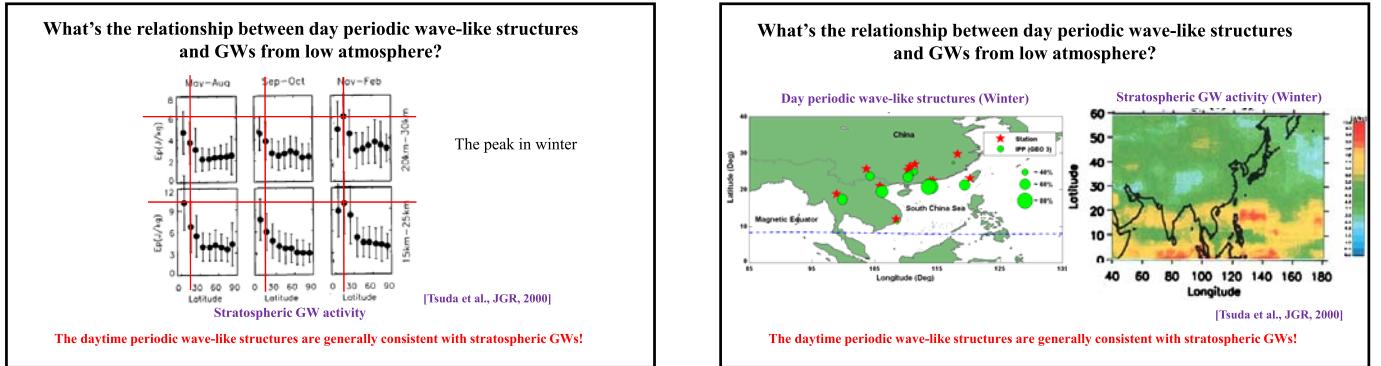
It occur in a latitude range from 17° N to 25° N (10° - 18° N MLAT) in the northern hemisphere

Statistical Results: Period



The period is about 18-28 minutes and slightly decreases with time increasing.

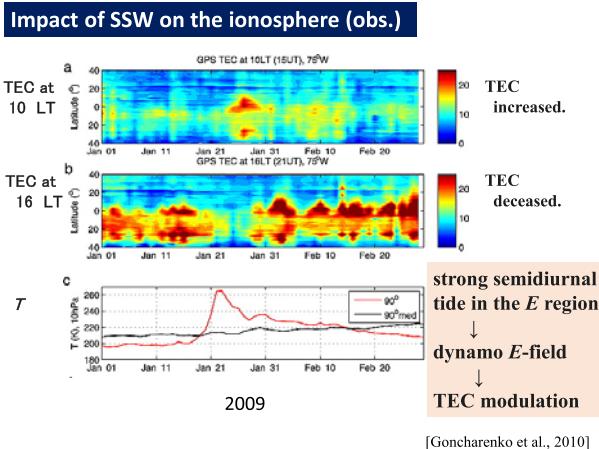
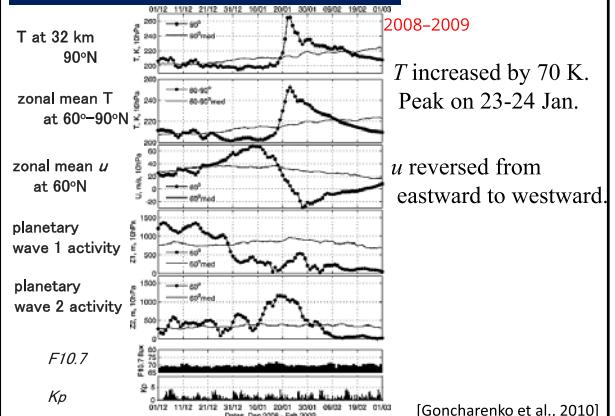
The period apparently falls into the common wave-like structure daytime MSTID period (15-60 minutes).



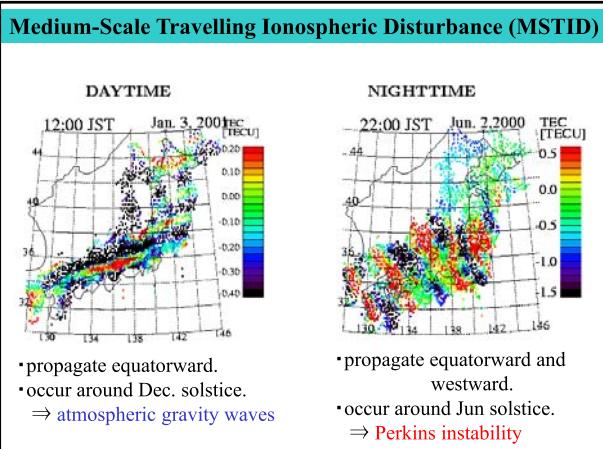
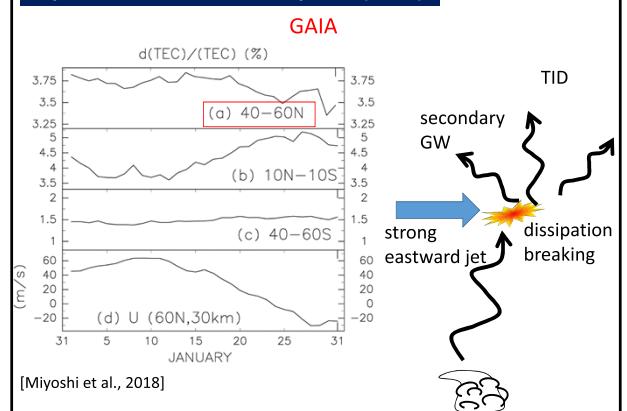
成層圏突然昇温の伝搬性電離圏擾乱への影響 GPS全電子数を使った 2009年の大昇温時の事例解析

大塚雄一、新堀淳樹(名大ISEE)、
津川卓也、西岡未知(NICT)

Sudden Stratospheric Warming (SSW)



Impact of SSW on the ionosphere (GCM)



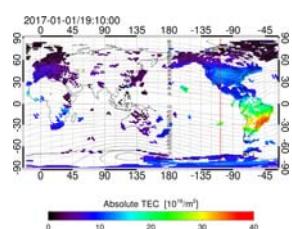
Purpose

Investigate effects of SSW on MSTIDs

Data

Global GPS-TEC data

Zonal wind from MERRA-2
(Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2)



MSTID activity

1. Total Electron Content (TEC) is calculated from dual-frequency GPS data.
2. Perturbation components of TEC (δTEC) are obtained from subtracting 1-hour running average from the original TEC.
3. Slant TEC is converted to vertical TEC.
4. MSTID activity is defined as

$$\text{MSTID activity} = \frac{\sigma_{\delta\text{TEC}}}{\text{TEC}}$$

$\sigma_{\delta\text{TEC}}$: Standard deviation of δTEC

in 1 hour for each satellite-receiver pair.

[Kotake et al., 2006]

$\overline{\text{TEC}}$: 1-hour average TEC

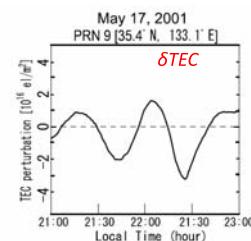
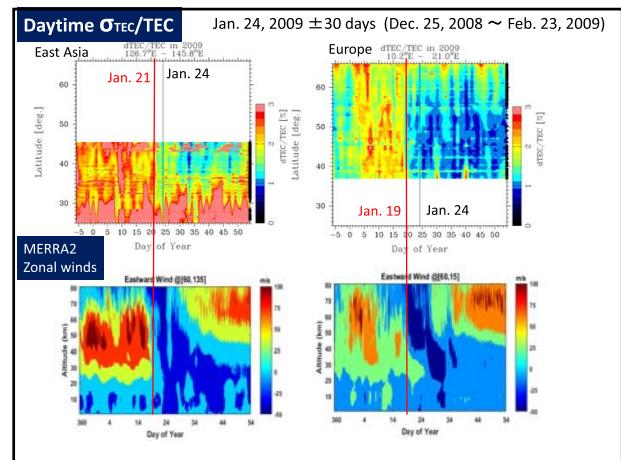
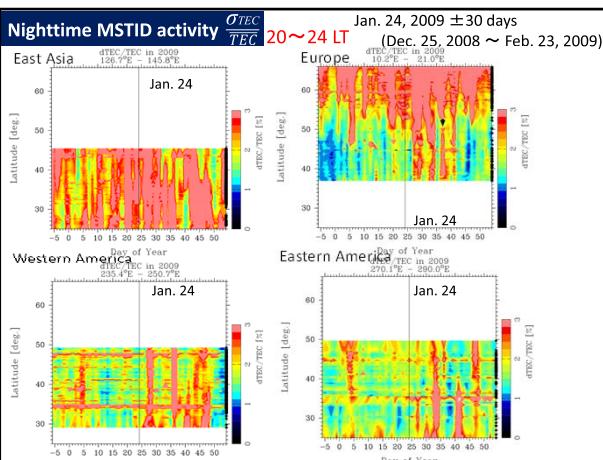
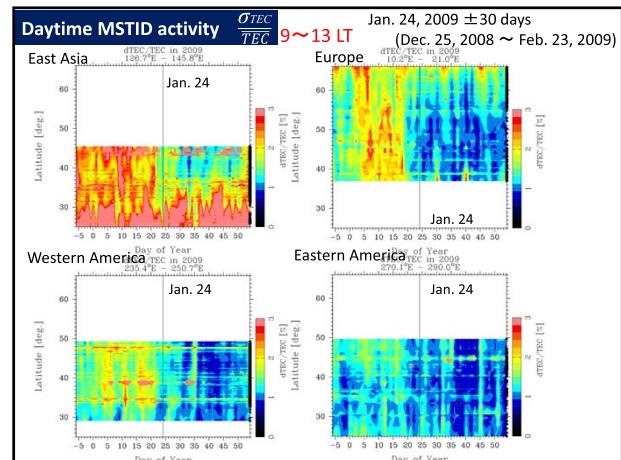
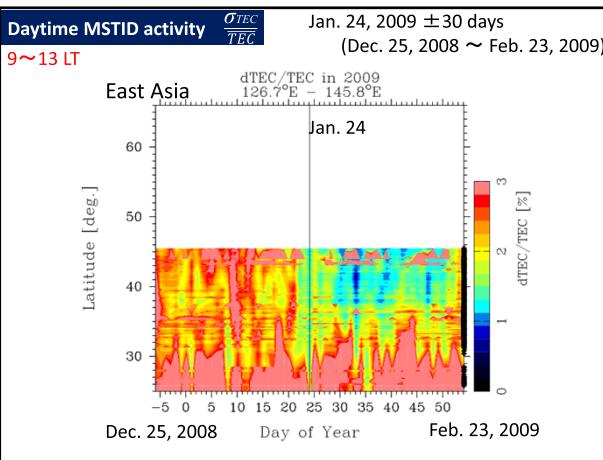
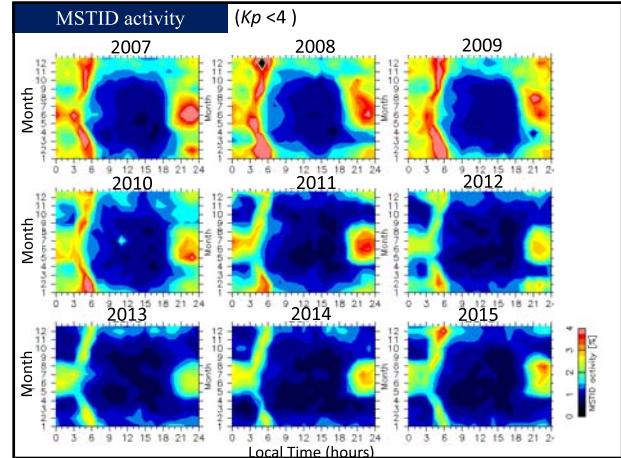
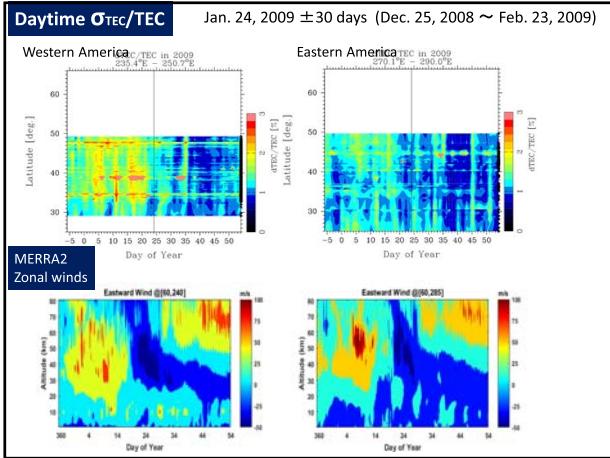


Figure 1. Temporal variation of f along a ray path between a GPS receiver at (35.4°N, 133.1°E) and GPS satellite PRN09, observed between 2100 and 2300 LT on 17 May 2001. f is the TEC perturbation obtained by subtracting the 1-hour running average from the time sequence of TEC for each satellite-receiver pair.





Summary

We have investigated TEC variations caused by MSTIDs using GPS data in the world during SSW of 23-24 Jan. 2009.

- **Daytime MSTID activity decreased after SSW.**
consistent with GAIA [Miyoshi et al., 2018].
← Daytime MSTIDs are caused by GWs propagating from below.
- **Nighttime MSTID activity is not affected by SSW.**
← Nighttime MSTIDs are generated by a plasma instability.
- **Daytime MSTID activity is higher in East Asia than in other longitudes.**
← Eastward mesospheric jet is stronger at East Asia than other longitudes.

Before SSW, strong eastward strato-mesospheric jet generates secondary GWs propagating into the thermosphere, resulting in MSTIDs.
During SSW, weak jet or westward jet make secondary GWs inactive, resulting weak MSTID activities.

電離圏3次元リアルタイムトモグラフィーの MUレーダーによる検証

^{1*}Susumu Saito, ²Mamoru Yamamoto, ³Akinori Saito, and
⁴Chia-Hun Chen

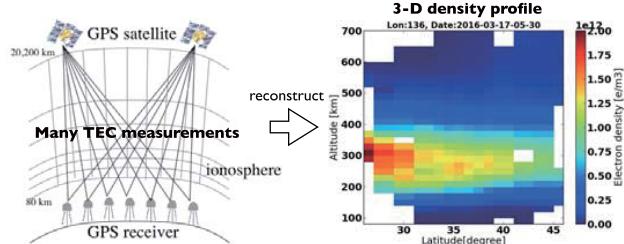
¹Electronic Navigation Research Institute, Japan

²Research Institute of Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Japan

³Department of Science, Kyoto University, Japan

⁴National Chen Kung University, Taiwan

- * GNSS tomography is a powerful technique to reconstruct 3-D ionospheric density profiles from total electron content (TEC) measurements.



1

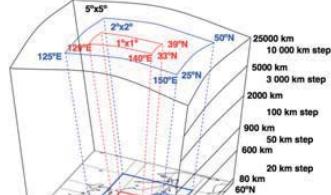
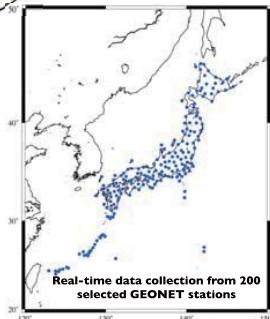
第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

2

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

Real-time tomography

Realtime tomography service



- * Real-time tomography over Japan using GEONET real-time data
 - 15 min cadence, 6 min latency
 - In service since March 2016

[Saito et al., NAVIGATION, 2017]

3

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

4

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

Validation by ionosonde

- * Ratio of peak density (foF2_tomo/foF2_ionosonde), 2015-2016

	All seasons	Feb.-Apr.	May-Jul.	Aug.-Oct.	Nov.-Jan.
	Mean/I- σ				
Wakkai	0.750/0.267	0.863/0.306	0.787/0.233	0.697/0.198	0.610/0.249
Kokubunji	0.975/0.184	1.003/0.241	1.026/0.146	0.969/0.136	0.903/0.168
Yamagawa	1.064/0.186	1.081/0.238	1.101/0.141	1.056/0.151	1.000/0.190
Okinawa	1.032/0.211	1.076/0.268	1.097/0.161	1.013/0.185	0.950/0.204

[Mizuno, Master Thesis, 2018]

- * Best agreement at Kokubunji, and worst at Wakkai.
- * Smaller deviations in May-Oct., Larger in Nov.- Apr.

5

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

6

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

Validation by COSMIC occultation

- * Mean of Electron density ratio (Ne_tomo/Ne_COSMIC) over Kokubunji

Altitude	Ne_tomo/Ne_COSMIC						Peak density ratio	Peak height diff. (km)
	100 km	200 km	300 km	400 km	500 km	600 km		
Feb.-Apr.	0.312	0.597	0.773	1.120	0.926	0.727	0.741	30.93
May-Jul.	0.183	0.774	1.079	1.251	0.934	0.561	1.060	16.30
Aug.-Oct.	0.177	0.571	1.040	1.502	1.122	0.919	0.924	53.74
Nov.-Jan.	0.142	0.349	0.918	1.264	1.551	1.143	0.802	90.18

[Mizuno, Master Thesis, 2018]

* Density

- Best agreement in May-Jul., and Aug.-Oct. next
- Worst in Feb.-Apr., and Nov.-Jan. next

* Peak height

- Best agreement in May-Jul., and Feb.-Apr. next
- Worst in Nov.-Jan., and Aug. Oct. next



Validation by MU radar



Incoherent scatter measurements



- * Ionosonde
 - Bottom-side profile only
 - Conversion from virtual to real heights is not easy.
- * COSMIC occultation
 - Electron densities are smoothed over a wide horizontal area.
- * Incoherent scatter (IS) radar
 - Electron density profile can be observed from bottom-side to top-side.

7

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

8

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

- * Electrons in the ionosphere oscillate due to oscillating electric field of radar wave.

- Oscillating electrons re-emit radio wave at the same frequency with Doppler shift.

- * Echo power is proportional to electron density (plus a function of electron and ion temperature)

- In nighttime ($T_e/T_i \sim 1$), echo power is proportional to electron density.

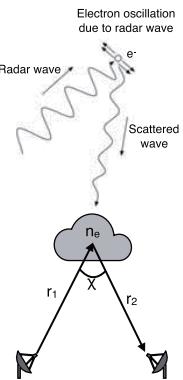
- * Incoherent scatter is very weak

- Long integration (time and range) is necessary.

$$\text{Echo power } P_r(r) = \sigma_0(\chi) \cdot P_t \cdot \frac{G_1(r_1)}{4\pi r_1^2} \cdot \frac{A_{e2}(r_2)}{4\pi r_2^2}$$

$$\sigma_0 \propto \frac{n_e V}{(1 + 4k^2 \lambda_D^2)(1 + T_e/T_i + 4k^2 \lambda_D^2)}$$

$$\sigma_0 \propto n_e V \quad (T_e/T_i \sim 1, k\lambda_D \ll 1)$$



第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

7

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

8

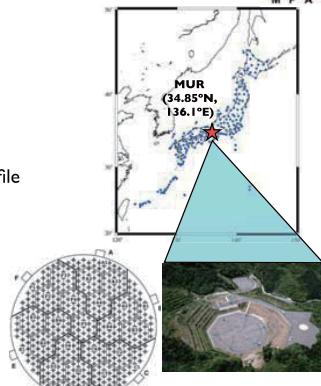
第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日



MUR IS observation



- * MU radar incoherent scatter observation
 - Frequency: 47.0 MHz
 - Peak power: 1 MW
 - Antenna diameter: 108m
 - Mode: single-pulse power profile (power only, no temperature and drift measurements)
 - Number of ranges: 256
 - Height range: 82-1234 km
 - Range resolution: 4.5 km
 - Integration period: 60 min
 - Number of beams: 4 (Az: 85, 175, 265, 355°, El: 70°)



第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

10

Data used

Year	Dates	# of available profiles
2016	May 9-13	24
	Jul. 4-8	12
	Aug. 8-12	4
	Aug. 29-Sep. 2	19
	Oct. 3-7	19
	Oct. 31-Nov. 4	21
	Dec. 26-30	4
2017	May 22-26	12
	Sep. 7-11	9

# of available profiles	Feb.-Apr.	May-Jul.	Aug.-Oct.	Nov.-Jan.
0	0	48	53	23

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

9

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

10

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日



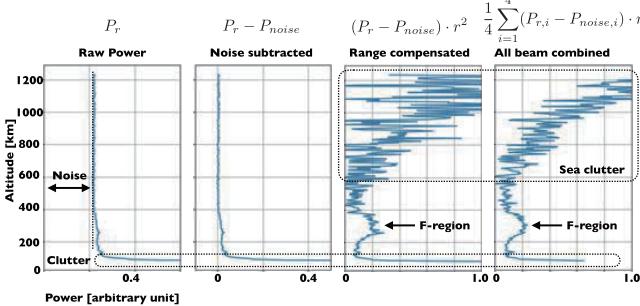
Incoherent Scatter Analysis



Mono-static observation

$$\chi = 0 \\ r_1 = r_2 = r \Rightarrow \sigma_0 \propto \frac{n_e}{r^2} \\ V \propto r^2$$

$$P_r = C \frac{n_e}{r^2} + P_{noise}$$



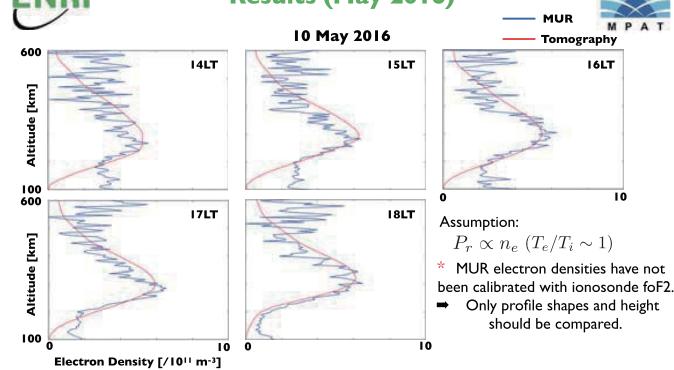
第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

11

12

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

Results (May 2016)



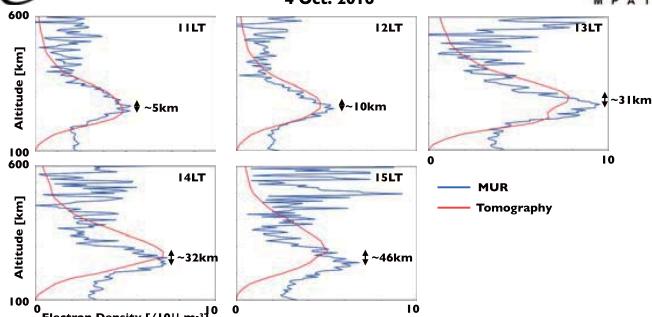
12

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日



Results (Oct. 2016)

4 Oct. 2016



* Electron density variations are followed well.

- Top-side and bottom-side profiles are also well represented when the peak density and heights are well represented.
- * Peak heights are sometimes overestimated by up to 46 km.

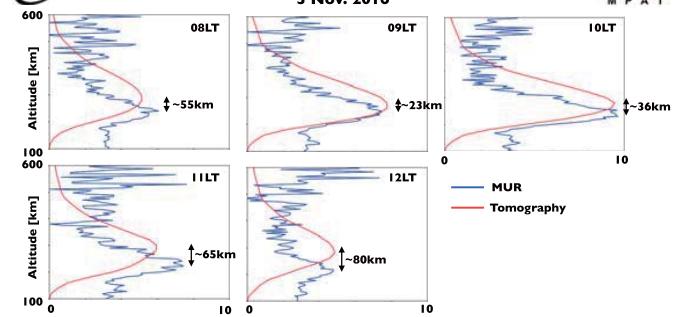
第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

13



Results (Nov. 2016)

3 Nov. 2016



* Electron density variations are followed well.

- * Peak heights are overestimated by 23-80 km.

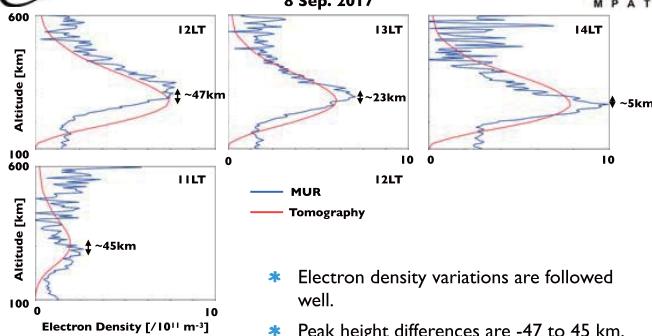
第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

14



Results (Sep. 2017)

8 Sep. 2017



- * Electron density variations are followed well.
- * Peak height differences are -47 to 45 km.

15

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日



Summary

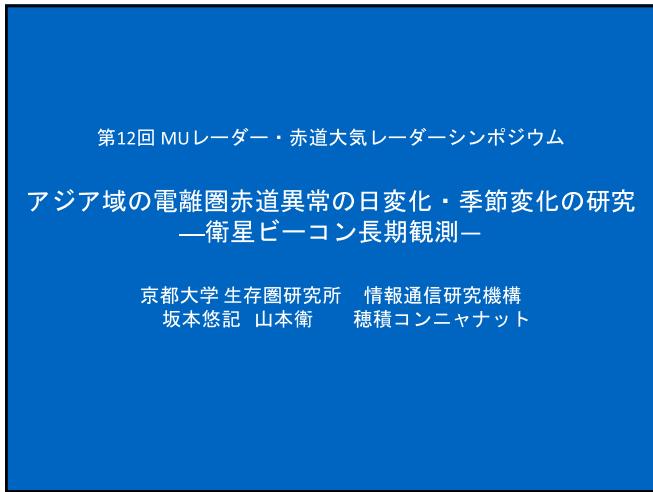


- * Results of a real-time 3-D ionospheric tomography over Japan are compared with the MU radar IS observation results
 - 124 electron density profiles from May 2016 to September 2017 are used.
- * Electron density variations are well followed by the 3-D tomography.
- * Top-side and bottom-side profiles tend to be well represented when the peak density and heights are well represented.
- * Ionospheric peak heights are often overestimated.
- * Good agreement are obtained in the data in May, but more discrepancies in the data in November.
 - Generally in good agreements with the comparison results with ionosonde and COSMIC occultation results.

Acknowledgment: This work is supported by JSPS Grant-in-Aid for Challenging Exploratory Research JP26630182.

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 宇治, 2018年9月6日

16



目次

- 研究背景
- ビーコン衛星によるTEC分布データ解析手法
- 赤道異常の日・季節変化

研究背景

研究背景

- 赤道付近の電離圏では特異な現象がいくつか見られる
- 電離圏全電子数(TEC)を求める手法としてGPSデータを用いる手法が主流、しかし広範囲観測では環境構築が難しくデータの利用認可の問題がある
- 代わりに衛星ビーコン観測によってTEC値の算出を行なった

Watthanasantmechai et al.(2015)は赤道異常と赤道横断風の関係性を研究
→衛星ビーコン観測による計器バイアス推定を手動で行っていたため解析に大きな時間がかかり、2012年3月の夜間についての研究に留まっている

本研究では衛星ビーコン観測によるTEC値算出自動化手法の開発(前半)と、その結果を用いて赤道異常の日・季節変化について調査(後半)を行なった

研究目的

- 衛星ビーコン観測データのみを用いたTEC分布の解析手法の開発
- 赤道異常の日・季節変化の解明

ビーコン衛星観測について

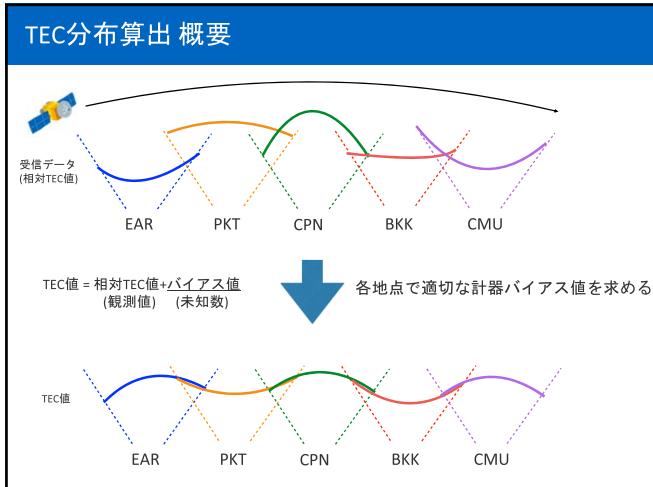
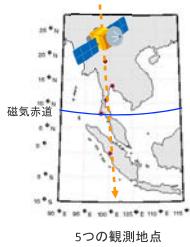
受信環境

- 北緯0-19度 東経100度上の5地点に観測環境を構築 (Kototabang, Phuket, Chunphon, Bangkok, Chiangmai)
- 受信機にはGRBR(GNU Radio Beacon Receiver)を使用

観測衛星

極軌道衛星 : COSMOS 2454, 2429, 2414, 2463, 2407 (ロシア)
RADCAL, DMSP-F15 (アメリカ)
観測範囲 : 南緯8度～北緯27度 東経100度
解析期間 : 2012年3月～2015年9月
有効データ数 : 約8000

COSMOS衛星の5地点間飛翔時間は約23min
→計算の都合上この23minの間はTECの変化がないと仮定



バイアス値の推定の流れ

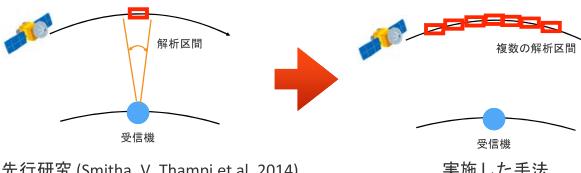
無数にある候補値から、各観測地点での最適なバイアス値の組み合わせを導出することでTEC-緯度分布を求める

TEC-緯度分布の導出手順

- 1観測点法
(解の範囲を限定)
- 粗い多観測点法
(解の範囲から準最適解を導出)
- 多観測点法
(準最適解から最適解を導出)

1. 1観測点法(解の範囲決定)

- 1観測点法
一つの観測点のみを用いたバイアス推定法



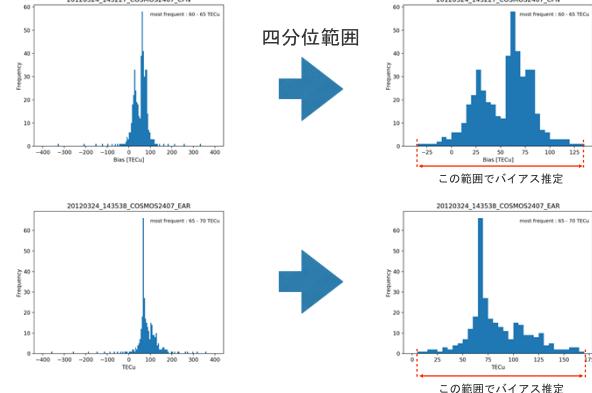
先行研究 (Smitha. V. Thampi et al. 2014)

実施した手法

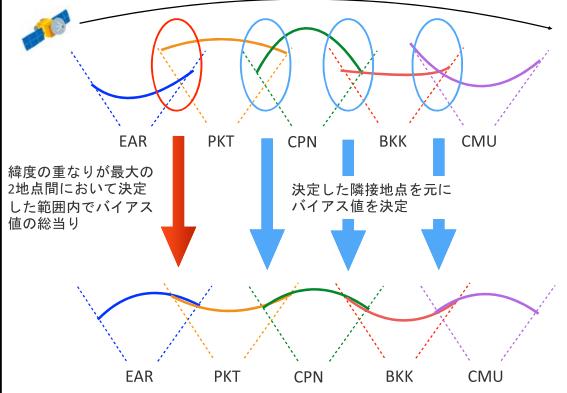
多数のデータを自動解析できるように汎用性の高い手法を実施

- 観測範囲全体を小区間に分ける
- 各小区間(1.28s)でのバイアス値を求める
- バイアス値の頻度分布から解の範囲を決定

1. 1観測点法(解の範囲決定)

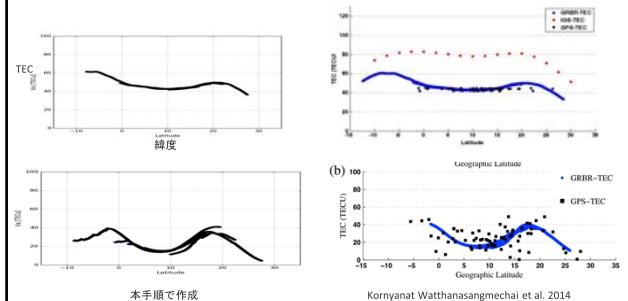


2. 粗い多観測点法(準最適解の決定)



3. 多観測点法(最適解の決定)

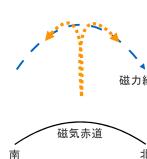
- 各地点のバイアス値の準最適解をベースに、それぞれ ± 7 TECUで総当り
- その後、 ± 0.9 TECUで準最適解導出、 ± 0.5 TECUで総当たり
- 先行研究結果と一致し、正しくTEC-緯度分布が求められていることを確認



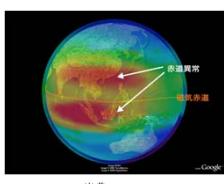
Kornyanat Watthanasangmechai et al. 2014

赤道異常について

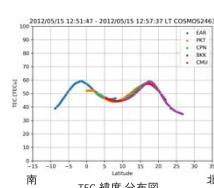
- プラズマファウンテン
星間の東向きの電場と、地球の持つ磁場による効果で赤道上空の電離層が持ち上げられ、磁力線に沿って噴水のように磁気赤道の南北に落ちてくる現象



- 赤道異常
電子密度のピークが磁気赤道の南北両側に存在する領域



出典: NICT



赤道横断風と赤道異常の関係

- 先行研究 (Watthanasangmechai et al. 2015)

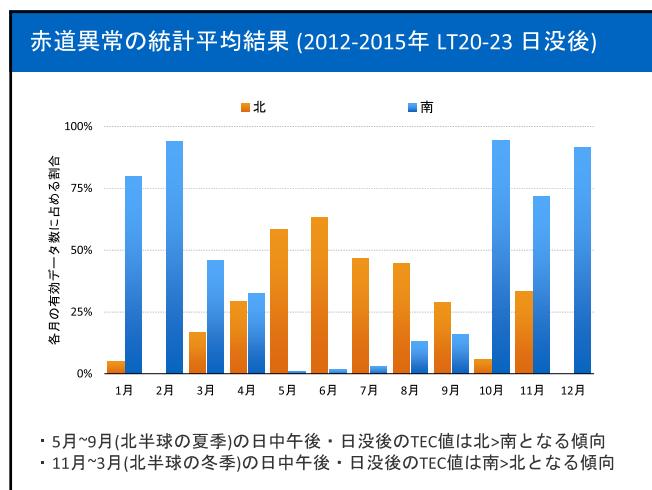
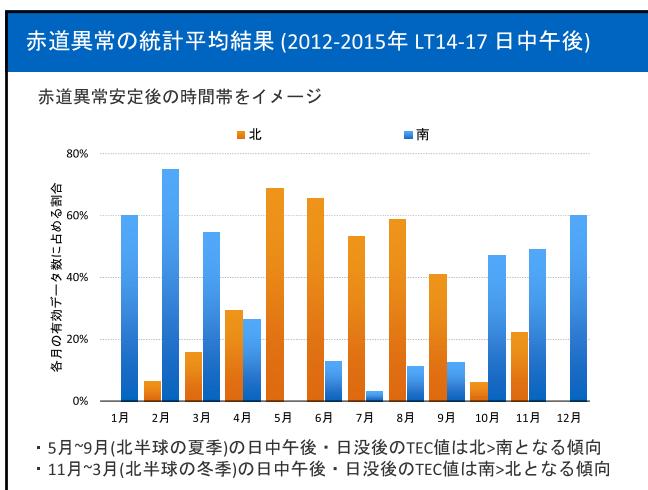
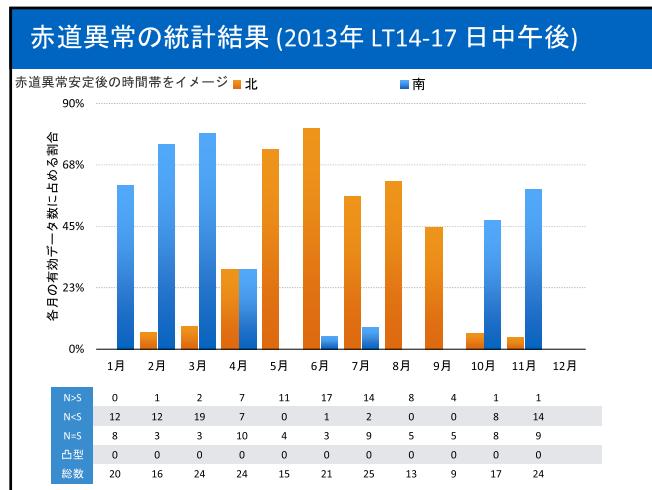
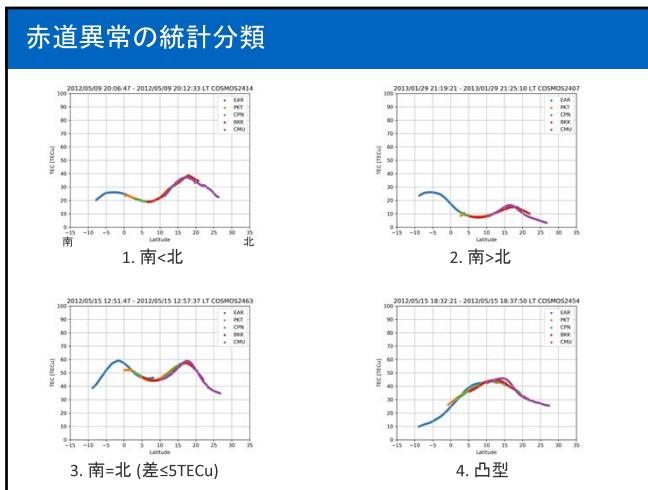
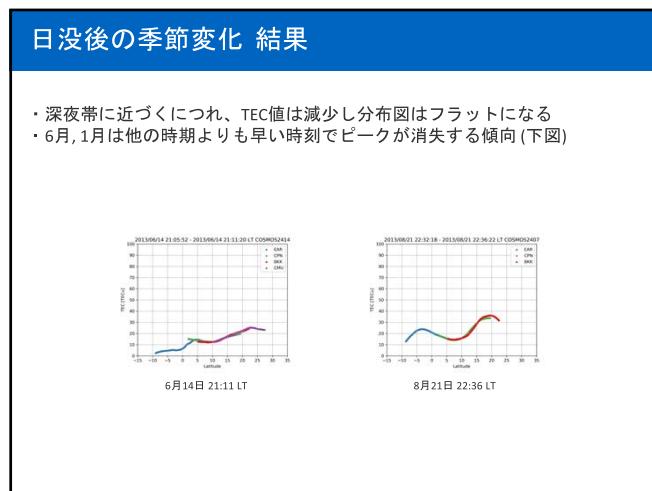
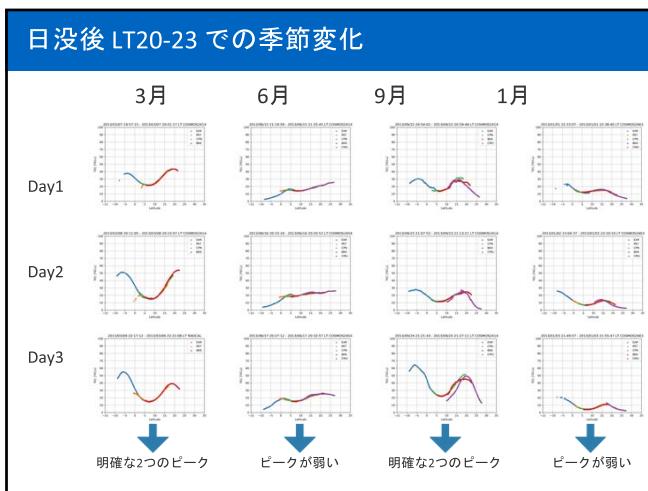
風なし

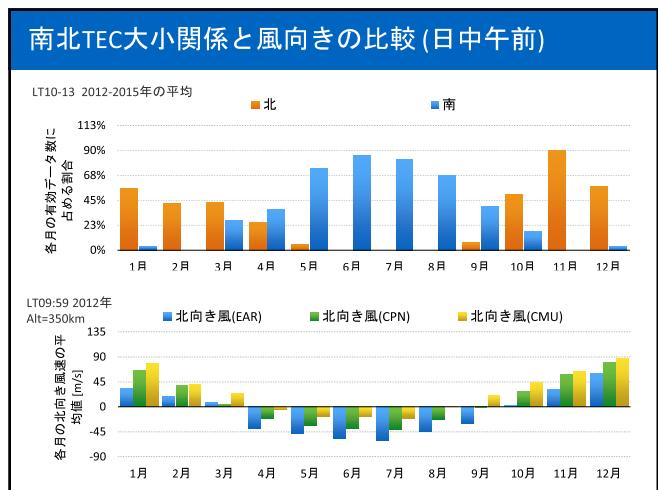
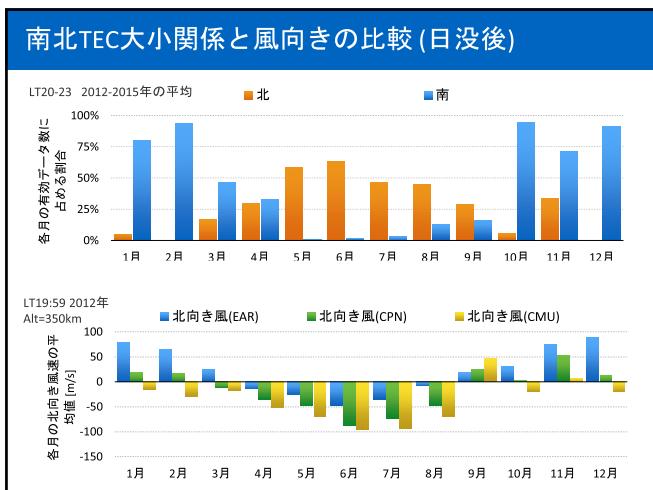
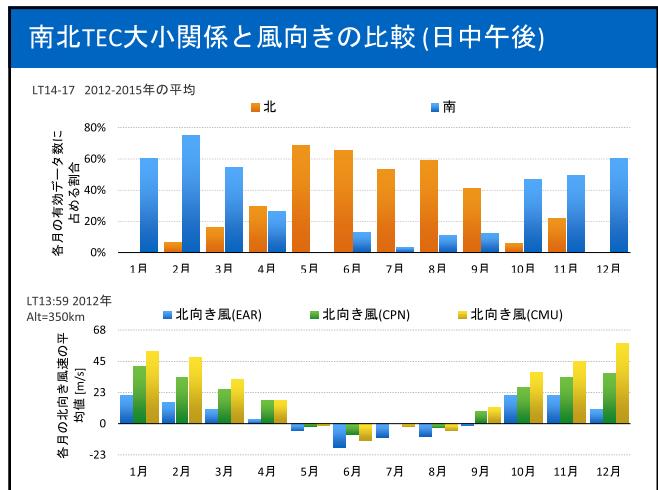
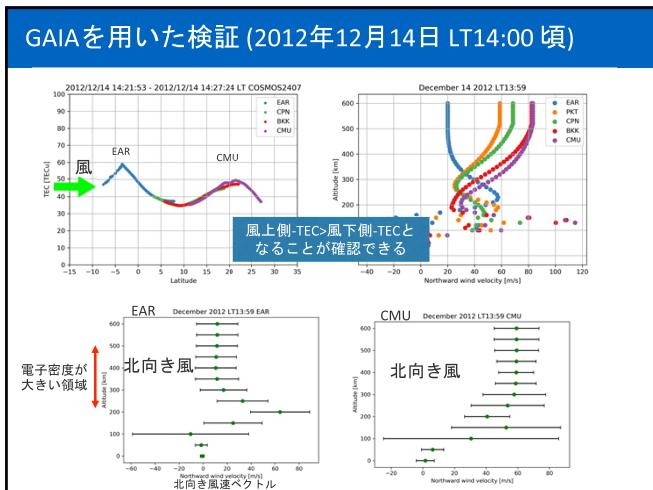
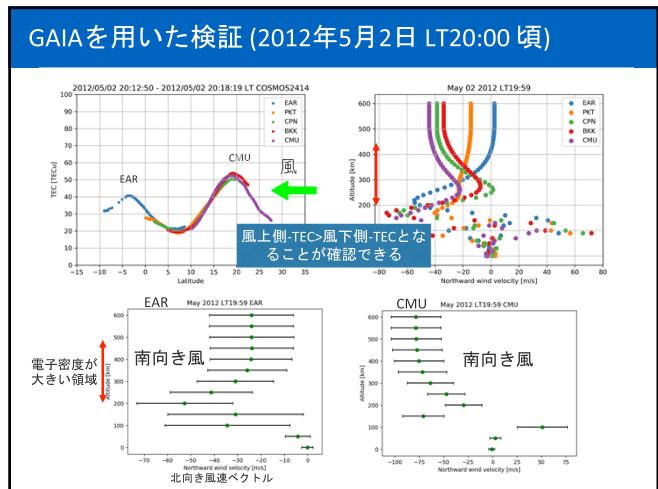
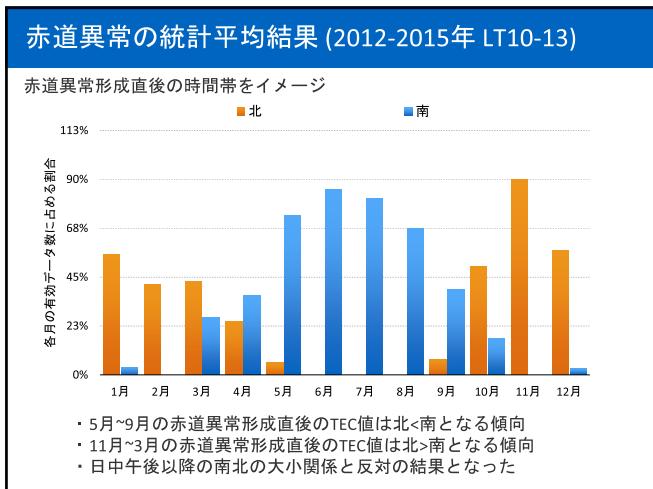


風あり



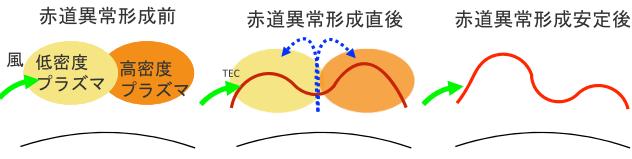
2012年3月 LT20-23のTEC-緯度分布図とイオノゾンデによる電離圏反射高度の結果を用いて、赤道異常のピークの大小は赤道横断風に影響されることを指摘(風上側のTEC > 風下側のTEC)





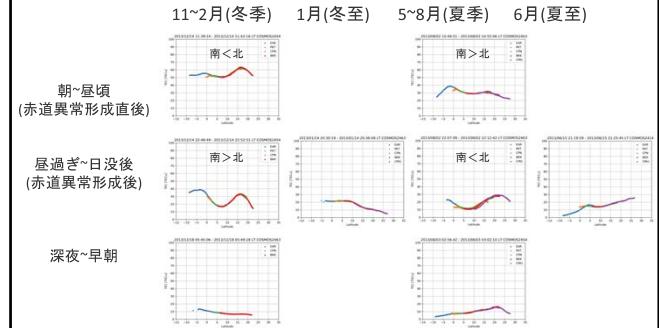
GAIAデータとの比較結果・考察

- GAIAデータによると赤道異常における南北TECの大小関係は風向きと相関関係あり
- 1. 赤道異常安定後(日午後・日没後)
 - 年間を通じて先行研究の結果を支持
- 2. 赤道異常形成直後(LT10-13)
 - 先の時間帯と風向きが同じであるにも関わらず、南北のTEC値の大小関係が反対
 - 赤道異常形成前に気温差由来の風によって、プラズマが移動していることに起因する



日・季節変化 結果

季節毎・時間別の赤道異常でのTEC分布の基本サイクルは以下の通りだと考えられる(3, 4, 9, 10月はデータなし)



まとめ・今後の課題

まとめ

- 2012年-2015年、タイ-インドネシア間の緯度-TEC分布を観測値ベースで算出した
- 複数年の年間を通じたデータによって、赤道異常によるTEC分布は赤道横断風により変化することを支持する結果となった
- 赤道異常によるTEC分布の基本的な日・季節変化サイクルを明らかにした

今後の課題

- 比較する数を増やす必要がある
- 6月、1月が他の時期よりも早い時間でTECの南北ピーク差がなくなる原因を解明する
- CNOFS衛星についてもデータ解析を実施し、東西方向のTEC-経度分布を求める

第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム

二重薄殻モデル(粗トモグラフィー)を用いたGNSSデータからの赤道域電離圏全電子数の高精度導出と電離圏ダイナミクス解釈の試み
丸山 隆(NICT)、穂積 Kornyanat (NICT)、馬 冠一(中国科学院)

Outline

1. 背景と題点
2. 単一層の薄殻近似によるTECの推定
受信機バイアス、衛星バイアスの同時推定
直交関数ニューラルネットワーク
単独受信機および受信機ネットワーク
3. 二重薄殻モデルへの拡張
アーケ毎の総バイアスを推定
4. 二重薄殻モデルの評価と解釈(粗トモグラフィー)

Introduction : radio propagation

Group refractive index : $\mu' = \frac{\text{Light velocity } (c)}{\text{Group velocity } (v_g)}$

GNSS で用いられるLバンドの周波数帯では以下のように近似できる

$$\mu' \approx 1 + A \frac{\text{Electron density } (n_e)}{(\text{Frequency } (f))^2}$$

$$\begin{aligned} \text{Delay time} : \delta t &= \int_s \left(\frac{1}{v_g} - \frac{1}{c} \right) ds \\ &= b \frac{1}{f^2} \int_s n_e ds; \end{aligned}$$

伝搬路に沿ったTEC

$$b = \frac{c^2}{8\pi^2 m \epsilon_0 c} = 1.3446 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Introduction : Inter-frequency biases

電離圏研究において、二つの異なる周波数間の群遅延量の差(differential propagation delay)を測定し、電離圏全電子数(TEC)を求める手法が広く利用されている

$$\tau = \delta t_2 - \delta t_1 = b \left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right) \int_s n_e ds$$

$$\int_s n_e ds = TEC_{sl}$$

$f_1 = 1575.42 \text{ MHz GPS L1 signal}$
 $f_2 = 1227.60 \text{ MHz GPS L2 signal}$

しかし、測定される遅延量(τ)には衛星および受信機に固有な電気的遅延(instrumental inter-frequency biases; b_r, b_s)が含まれる

$$\tau \sim TEC_{sl}^{obs} = TEC_{sl} + b_r + b_s$$

これを取り除くなどの手法で、薄殻モデル(thin-layer model, あるいはthin-shell model)が用いられている

This study : thin-shell approximation

薄殻電離圏と衛星電波伝搬路の交点(ionosphere pierce point)を求める

衛星軌道情報と観測量: γ, η, τ

IPPの座標 (λ, ζ) とローカルな衛星天頂角 (χ)

球面座標 (θ, ϕ)

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \lambda \quad (\text{余緯度})$$

$$\phi = \frac{T}{86400} 2\pi + \zeta \quad (\text{太陽時角})$$

Surface harmonics fitting

一つの受信機で得られた24時間のデータを用いる

鉛直換算TEC (TEC_V) の変化は太陽時角(sun-fixed longitude: ϕ)と余緯度(θ)を用いて球面調和関数で表現できるものとする

$$TEC_V = \sum_{m=0}^M \sum_{n=m}^N (A_{nm} \cos m\phi + B_{nm} \sin m\phi) P_n^m(\cos \theta)$$

係数 A_{nm} と B_{nm} を観測値 ($\tau \sim TEC_{sl}^{obs}$) から決定する

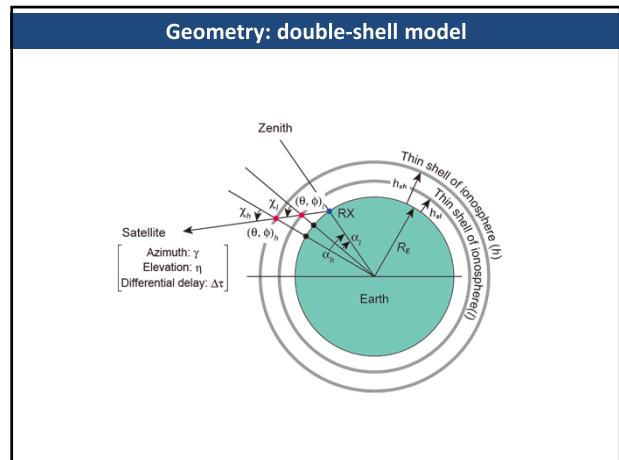
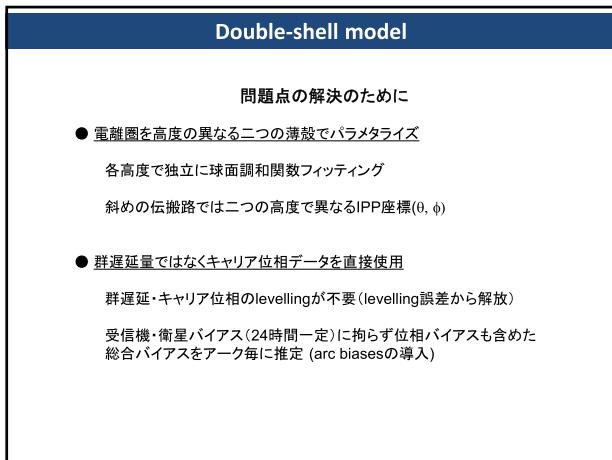
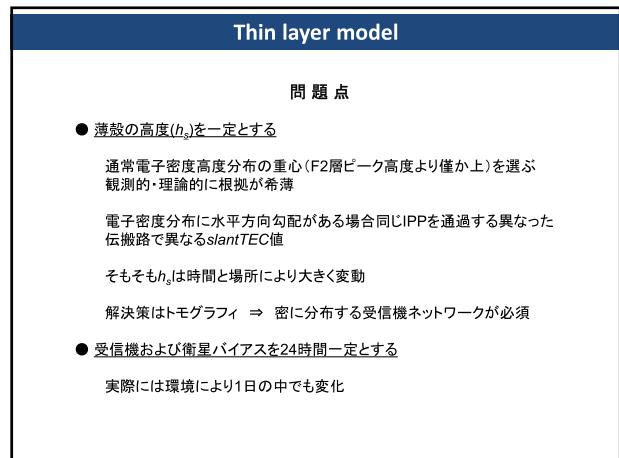
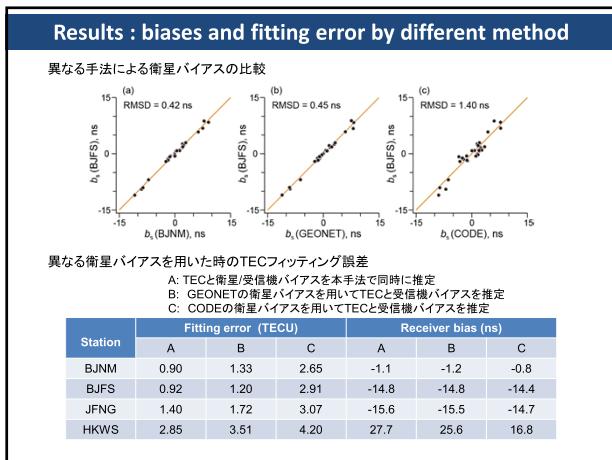
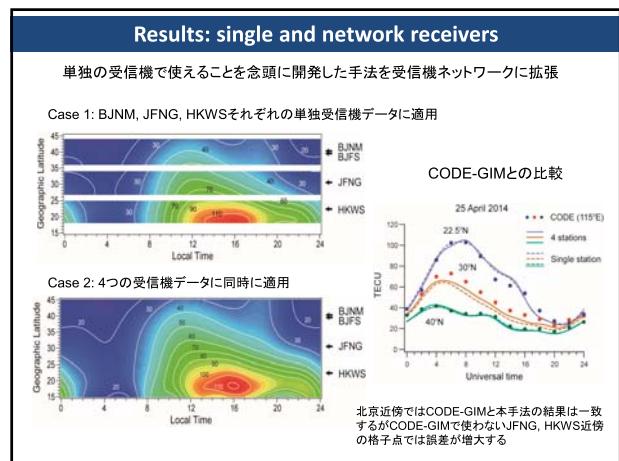
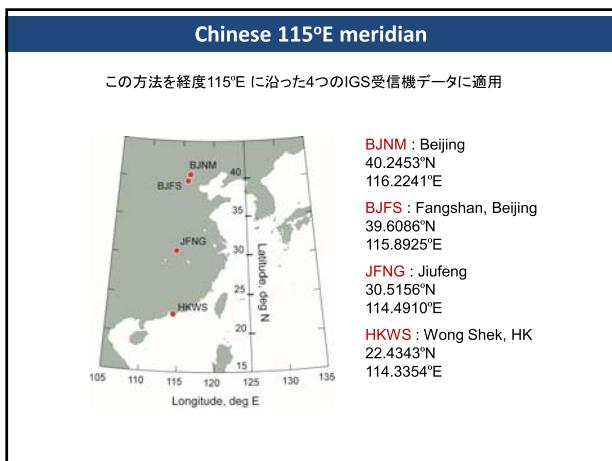
しかし、問題は $TEC_V \neq TEC_{sl}^{obs} \cos \chi$
 なぜなら $TEC_{sl}^{obs} = TEC_{sl} + b_r + b_s$

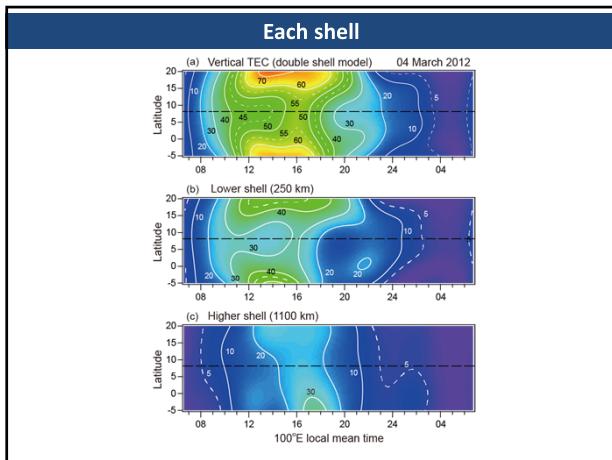
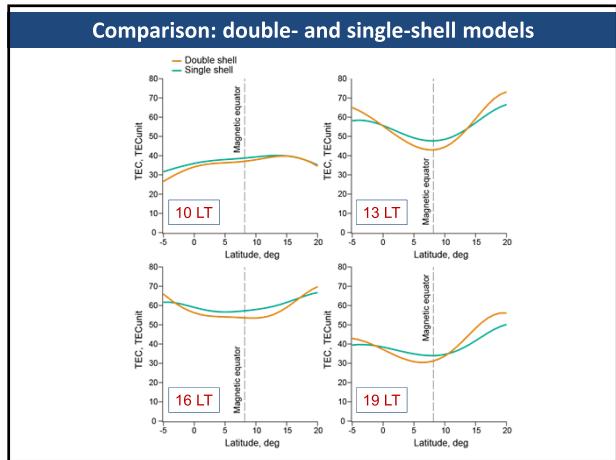
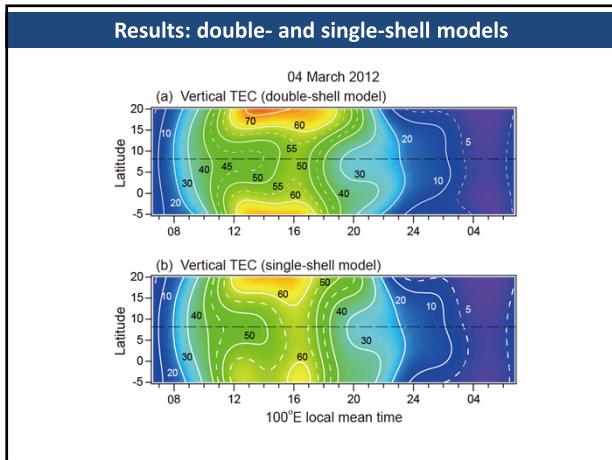
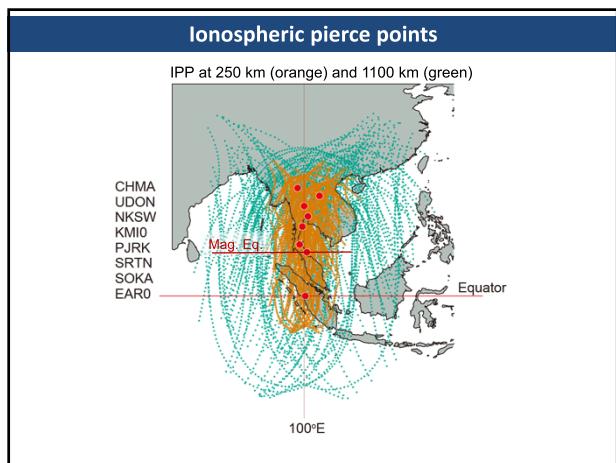
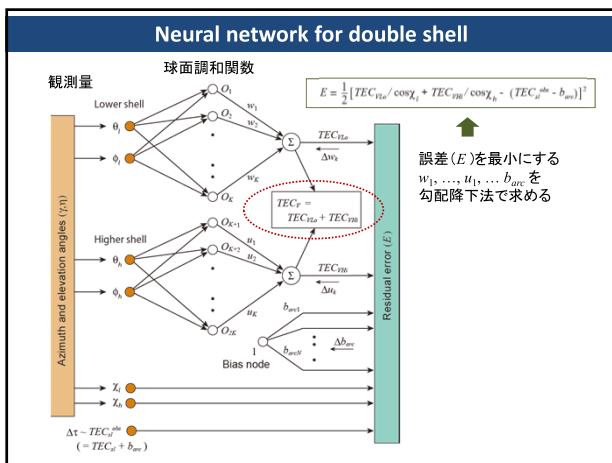
したがって、バイアス b_r と b_s を除去することは TEC_V を求めることと等価

Orthogonal neural network

直交関数ニューラルネットワークでバイアス b_r, b_s と TEC_V (A_{nm}, B_{nm}) を同時に推定する

誤差(E)を最小にするように $w_1, \dots, w_K, b_r^{(0)}, b_s^{(0)}$ を勾配降下法で求める





Conclusions

球面調和関数フィッティングを用いてTECの緯度 - 時間変動を近似し、同時に衛星および受信機バイアスを推定した
単一の薄層モデルではこれまでと同等かそれ以上の信頼性を得た
薄層モデルの持つ欠陥を補うため、高度の異なる二つの薄層で電離圏をバラメタライズ(二重薄殻モデルへの拡張)してTEC推定を行った
このモデルの低緯度電離圏への適用で
⇒ 赤道異常の発達が従来の薄層モデルに比べて高い信頼度で捉えられた
⇒ 二つの高度でTEC変動の振る舞いが大きく異なり、赤道異常や夕方の強い東向き電場によるTECのbite-outが低い高度で顕著に見られた
⇒ TECのピークに達する時間は高い高度で遅くなっていた
⇒ TECの南北非対称は、高度と時間により異なる様相を呈し、赤道を横断する熱圏風による沿磁力線移送を捉えていると考えられる

熱圈鉛直風によるプラズマバブルシーディング

横山 竜宏

情報通信研究機構

研究目的

電離圏のプラズマは、その運動が中性大気との衝突によって強く支配されているため、中性大気と電離大気の相互作用を解明することは電離圏の物理過程を理解する上で非常に重要である。赤道域電離圏においては、赤道スプレッド F/プラズマバブルと呼ばれる現象の研究が古くから行われている。プラズマバブルに伴う局所的なプラズマ密度の不規則構造が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動（シンチレーション）が生じるため、GPS 等による電子航法に深刻な障害を及ぼすことが知られており、その生成機構と発生の日々変化の解明が強く求められている。現象の発見当初から、プラズマバブルは電離圏 F 領域下部における Rayleigh-Taylor 不安定が原因であると予想され、磁気赤道上の 2 次元断面における数値シミュレーションにより、不安定の非線形成長がプラズマバブル生成の主な原因であることが確認された。2000 年代後半以降になると、3 次元でのプラズマバブルシミュレーションが一般的となり、本研究でも、プラズマバブルを非常に高い空間分解能で再現できるモデルの開発を進めてきた(Yokoyama, 2017 他)。一方、これまでのシミュレーションでは、プラズマ密度の初期変動を人為的に与えた状態から計算を開始していたが、プラズマバブルの成長過程はこの初期変動の与え方に強く依存しており、発生の日々変化の主な要因と考えられている。初期変動を作り出す主な要因として大気重力波が古くから考えられてきたが、現在までに明確な証拠は得られていない。そこで、大気重力波による風速変動の鉛直風成分に着目し、簡略化した条件の下で、鉛直風による電離圏 F 領域下部の変動生成、すなわちプラズマバブルのシーディングについて検討を行った。

研究手法

波面が地球磁場に並行な大気重力波に近い条件を考え、経度方向に変化し、ある緯度範囲内で一様な鉛直風変動を考え、高度 200km 以上に一様に印加した。鉛直風により、東西方向の電流が変調を受け、電流の一様性を保つために分極電場が発生し、それがプラズマバブルの初期変動を引き起こす。計算開始から 600 秒後に鉛直風を 0 とし、その後は一様な外部電場のみを与えてプラズマバブルの成長の有無を検討する。シミュレーション手法の詳細については Yokoyama (2017) 他を参照されたい。

結果

図 1(左)に、東西方向の波長 100km、振幅 $\pm 5\text{m/s}$ の鉛直風変動を与えた直後のポテンシャル分布を示す。密度分布は水平一様である。3 か所の鉛直上向き風に対応する箇所で、東向き電流が弱まり、その結果東向きの分極電場が生成する。その後、600 秒後に鉛直風を 0 として計算を続行した結果、図 1(右)のように、3000 秒後には、高度 600km に到達するプラズマバブルとして成長した。図 2 に、鉛直風を印可する緯度範囲を変化させた場合の結果を示す。磁気赤道を中心として ± 3 度の領域に与えた場合で成長したが、それよりも狭い範囲では、成長が途中で止まっている。また、磁気赤道から外れた領域に印加した場合も、シーディングの効率が悪いことが明らかとなった。

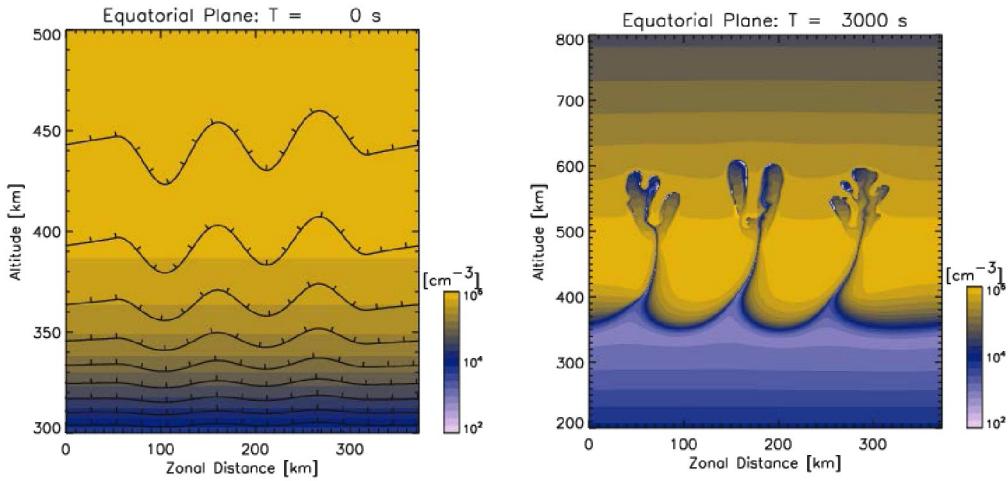


図 1: 波長 100km、振幅±5m/s の鉛直風によるプラズマバブルのシーディング結果

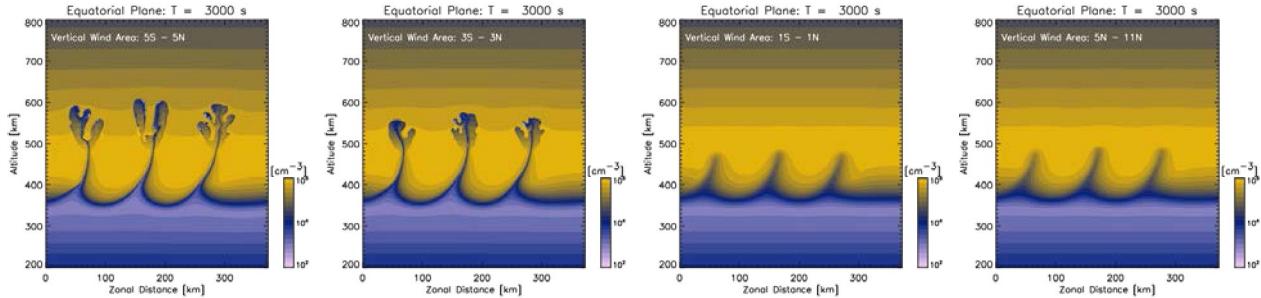


図 2: 鉛直風を印可する緯度範囲を変化させた場合の結果

まとめ

本研究では、熱圈における鉛直風がプラズマバブルのシーディングに果たす役割について、数値シミュレーションを用いた研究を行った。鉛直風変動の振幅、波長、変動を与える緯度範囲に応じて、プラズマバブルの成長速度に差が見られたが、概ね数 m/s の鉛直風変動であっても、プラズマバブルのシーディングとして十分に役割を果たせることが明らかとなった。大気重力波に伴う鉛直風成分が、プラズマバブル発生の日々変動において重要な役割を担っていると考えられる。今後は、より現実に近い重力波パラメータを用いた検討と、全球大気圏モデルの出力を用いた計算を実施する予定である。

参考文献

Yokoyama, T., A review on the numerical simulation of equatorial plasma bubbles toward scintillation evaluation and forecasting, Prog. Earth Planet. Sci., 4, 37, doi:10.1186/s40645-017-0153-6, 2017.

新しい衛星＝地上ビーコン観測用の 4周波ディジタル受信機の開発 一機器構成と試験結果－

山本衛¹⁾ 松永真由美²⁾

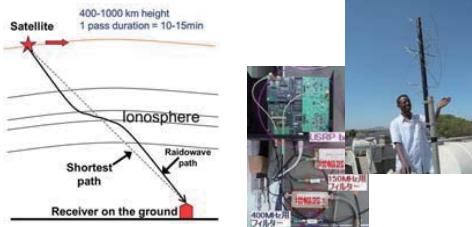
1) 京都大学生存圏研究所
2) 東京工科大学

発表の概要

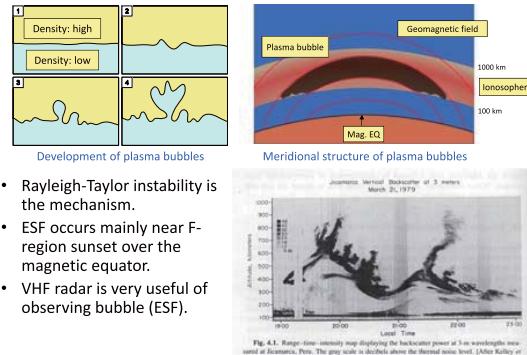
- Dr. R. Tsunoda (米国SRI International) がNASAのLow-Cost Access to Space (LCAS) Programから研究プロジェクト“TBEx: Tandem Beacon Experiment”を獲得し、2機のCubeSatによる低緯度電離圏の衛星＝地上ビーコン観測を実施することになった（2015年）。日本からの協力として、対応する地上の受信機を科研費によって開発してきた。
- TBExと同時に米国・台湾が合同でCOSMIC-2衛星（6機編隊）を低緯度域に打上げる。GPS掩蔽観測を主目的とするが、別の周波数のビーコン送信機が搭載される。開発中の受信機は両方の衛星に対応する。
- 受信すべき周波数は150, 400, 965, 1067 MHzの4波である。TEC観測のため相互の周波数比を厳密に保つ必要がある。従来のGRBRと同様に、ソフトウェア無線の技術を活用して開発した。広い帯域をカバーするアンテナについても、東京工科大学から協力を得ている。
- 現在までに、アンテナからソフトウェア受信機を経てLinux PCまでの全システムを組み上げ、既存の2周波ビーコン衛星からの信号を受信してTEC計測に成功した。さらに開発とテストを進めている。
- 衛星はFalcon Heavyロケット（ミッション名STP-2）で打上げられる。現在のところ、2018年11月30日以降に打上げる予定となっている。これに間に合うように、受信機の配備を急いで行く。

LEO satellite beacon and GRBR

- VHF(150MHz)/UHF(400MHz) beacon signals from LEO satellite are used for ionospheric TEC measurement for long time.
- GRBR (GNU Radio Beacon Receiver) was developed with GNU Radio and USRP-1 board at cost of 2000-3000 USD/system.
- Network of about 30 GRBRs already exist over Japan, southeast Asia, Pacific, etc., and used for studies.



Low-latitude ionosphere Bubble or Equatorial Spread-F (ESF)



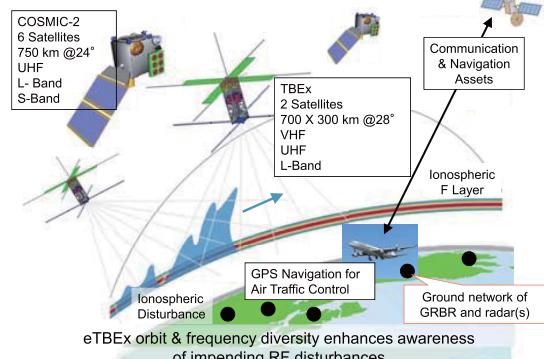
- Rayleigh-Taylor instability is the mechanism.
- ESF occurs mainly near F-region sunset over the magnetic equator.
- VHF radar is very useful of observing bubble (ESF).

TBEx and COSMIC-2 beacon signals

Project Name	Units	Inclination	Beacon frequency	Note
FORMOSAT-7/ COSMIC-2 (USA,Taiwan)	6	24°	383 MHz 400 MHz 965 MHz 2200 MHz	383 MHz modulated Others are CW.
TBEx (USA)	2	28.5°	150 MHz 400 MHz 1067 MHz	Decided launch with COSMIC-2.

- Satellites for 150/400MHz beacon are getting old.
C/NOPS stopped.
- COSMIC-2 and TBEx will be launched in 2018. They fly in the low-latitude region with triple-band beacon TXs.
- We develop a new GRBR system that covers 150/400/965/1067MHz signals for these satellites.

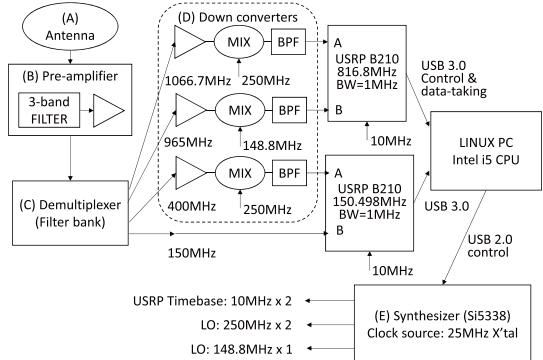
eTBEx: Overall concept of obs. & study



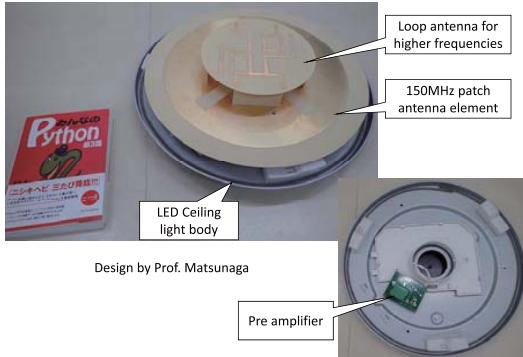
SDR device



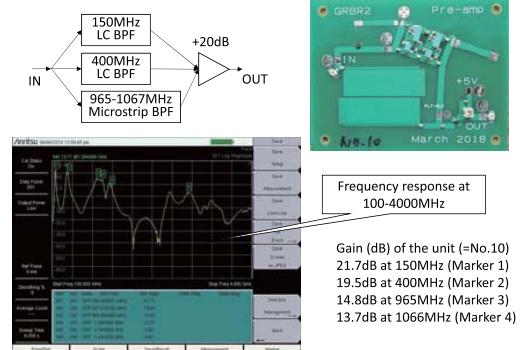
GRBR2 block diagram



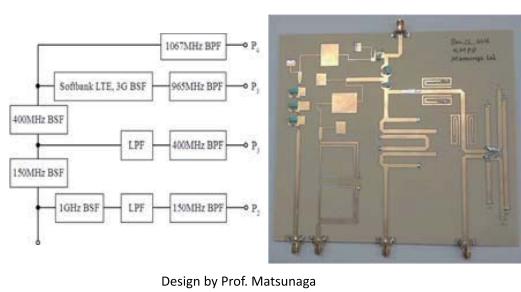
(A) Antenna



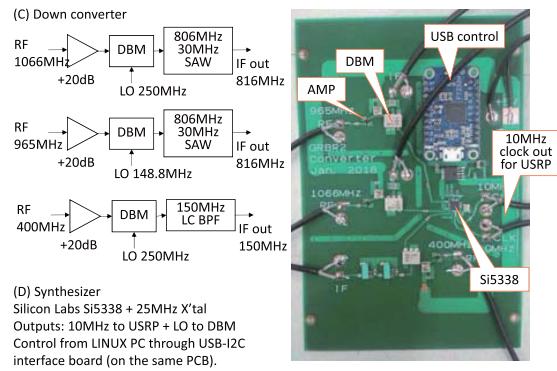
(B) Pre amplifier



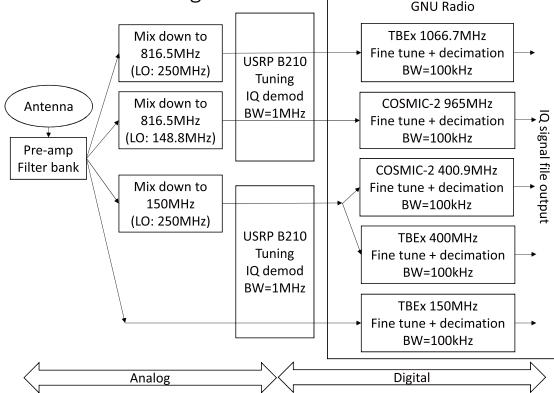
(C) Demultiplexer (Filter bank)



(D) Down converter/(E) Synthesizer



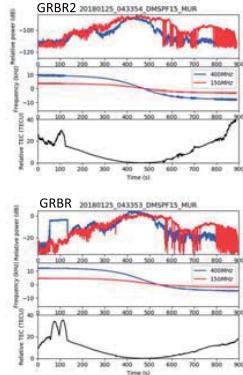
GRBR2 SDR diagram



Results from test experiment

GRBR2 test at Shigaraki on January 25, 2018.

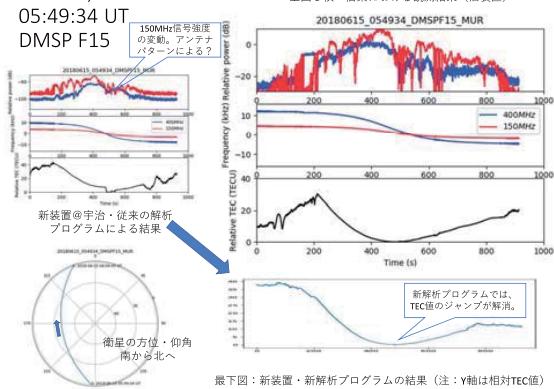
We shared the same antenna and receive same 150/400MHz beacon signal from DMSP-F15 satellite at Shigaraki MU radar site. Right-upper panel is the new result from GRBR2 while Right-lower panel shows the result with the original GRBR.



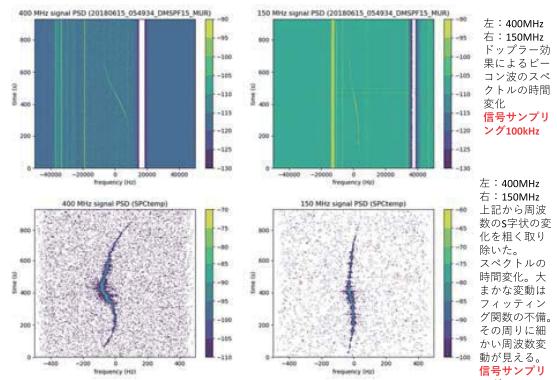
June 15, 2018

05:49:34 UT

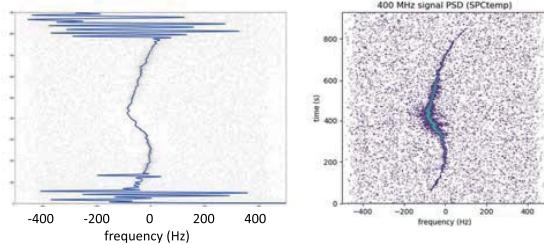
DMSP F15



June 15, 2018 05:49:34 UT DMSP F15



ドップラー周波数のこまかい変動

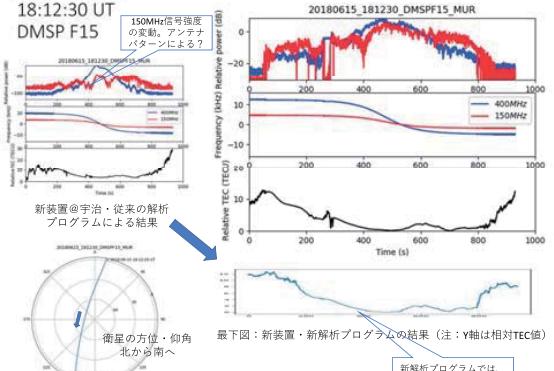


周波数400MHz信号における周波数変動の推定結果。この例ではPeak-to-peak 5Hz程度の変動がある。150MHzでは3/8倍の周波数変動を示す（この図はそれらを400MHz帯で評価して平均した）。中性大気？の細かな密度・湿度変動に伴う位相シンチレーションが見えているらしい。新しい信号処理プログラムでは、このあと、信号サンプリングを10Hzまで下げてから（=信号帯域を制限してから）、信号間の位相差を検出し、TEC値を求めています。

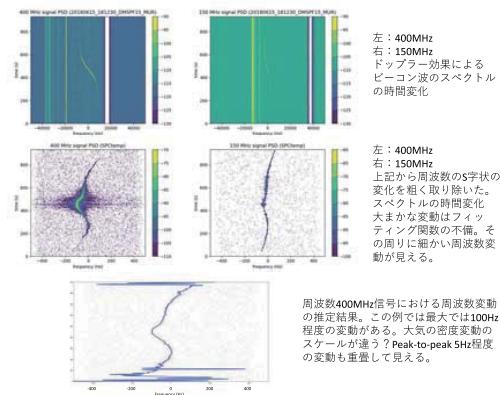
June 15, 2018

18:12:30 UT

DMSP F15



June 15, 2018 18:12:30 UT DMSP F15



衛星打上げについて

SPACEFLIGHT NOW

<https://spaceflightnow.com/launch-schedule/>

Launch Schedule

"NET"
No Earlier
Than

A regularly updated listing of planned orbital missions from spaceports around the globe. Dates and times are given in Greenwich Mean Time. "NET" stands for no earlier than. "TBD" means to be determined. Recent updates appear in red type. Please send any corrections, additions or updates by e-mail to: sclark@spaceflightnow.com.

NET Nov. 30 Falcon Heavy • STP-2

Launch window: TBD

Launch site: LC-39A, Kennedy Space Center, Florida

A SpaceX Falcon Heavy rocket will launch the U.S. Air Force's Space Test Program-2 mission with a cluster of military and scientific research satellites. The heavy-lift rocket is formed of three Falcon 9 rocket cores strapped together with 27 Merlin 1D engines firing at liftoff. Delayed from October 2016, March 2017 and September 2017. Delayed from April 30, June 13 and Oct. 30. [Aug. 28]



webサイト“SPACEFLIGHT NOW”的情報によると、「2018年11月30日以降に打上げ」とされています。今まで何度も延期されてきました。(8月28日掲載)