

文部科学省科学研究費補助金  
特定領域研究「赤道大気上下結合」  
(平成 13～18 年度)

研究組織

総括班「赤道大気上下結合」

研究代表者：深尾昌一郎（東海大学総合科学技術研究所  
／京都大学名誉教授）

計画研究項目 A01「赤道大気レーダー長期連続観測による赤道大気波動の解明」

研究代表者：山本 衛（京都大学生存圏研究所）

計画研究項目 A02「赤道大気レーダー高度利用技術と環境計測の研究」

研究代表者：佐藤 亨（京都大学大学院情報学研究所）

計画研究項目 A03「赤道域における対流雲発生機構と降水システムの研究」

研究代表者：古津年章（島根大学総合理工学部）

計画研究項目 A04「赤道域の大気波動の四次元構造とエネルギー輸送の研究」

研究代表者：津田敏隆（京都大学生存圏研究所）

計画研究項目 A05「大型高機能ライダーの開発と赤道大気鉛直構造の観測」

研究代表者：長澤親生（首都大学東京大学院システムデザイン研究科）

計画研究項目 A06「赤道大気エネルギーによる熱圏変動の研究」

研究代表者：小川忠彦（名古屋大学太陽地球環境研究所）

総括班

研究代表者(領域長)：深尾 昌一郎（東海大学・総合科学研究所・教授  
／京都大学名誉教授）

研究分担者：山本 衛、佐藤 亨、古津 年章、津田 敏隆、長澤 親生、  
小川 忠彦（それぞれ計画研究項目 A01～A06 の研究代表者）

評価委員： 大家 寛（福井工業大学・教授／東北大学名誉教授）  
畚野 信義（株式会社国際電気通信基礎技術研究所・相談役）  
廣田 勇（京都大学名誉教授）  
加藤 進（顧問：京都大学名誉教授）

1. 研究の概要

赤道域では地球上で最も活発な積雲対流活動により各種の大気擾乱(大気振動や波動)が励起され、これらを介して大気が地表付近から高度数百 km に至る広い高度域で上下に強く結びついている。本特定領域研究『赤道大気上下結合 (Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere : CPEA ; 平成 13～18 年度)』は、赤道インドネシア域に設置された赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar: EAR)を基幹設備とする観測所を構築し、地表近くから高度数百 km に至る赤道大気圏全域に見られる上下結合過程の観測的解明を目的としたものである。その特色は、赤道大気上下結合というユニークな課題の解明を、赤道イン

ドネシア域というユニークな地域で、我が国の独創的技術で開発された EAR その他のユニークな観測装置で目指すところにある。

## 2. 研究組織と進捗状況

本研究領域に 6 つの計画研究項目(研究班)を設置し、総括班による調整のもと相互に緊密に連携し、赤道大気上下結合を研究領域全体として解明すべく研究計画を遂行した。その進展は当初計画に沿ってほぼ順調であったと言ってよい。足掛け 6 ヶ年の研究期間は「1. 機器開発フェーズ」「2. 個別研究フェーズ」「3. 総合研究フェーズ」に 3 分され、開発された観測装置が順次現地に投入された。第 3 および 5 年次には本研究領域の総力を挙げて大規模な第一次及び第二次国際観測キャンペーン (以下ではそれぞれ CPEA-I, CPEA-II と略記)を実施し大きな成果を挙げた。

総括班は計 22 回の総括班会議を主宰し、常に各研究班の進捗状況を把握、調和の取れた研究計画推進の舵取りを行った。また EAR 観測計画の調整を行ったほか、諸外国との協同観測のための対応の窓口となった。

## 3. 総括班の主要成果

### (1) 学術成果

詳細は各班の報告に譲るが、以下のような特筆すべき学術成果が得られており、赤道域に集中する太陽輻射エネルギーが赤道域固有の大気波動となって上方輸送されることにより、赤道大気は上下に強く結合した巨大なシステムとなっていることが明らかとなった。

(a) **赤道インドネシア域における対流活動の特異性**: スマトラ島で 1000 km 以上の水平スケールを持つ組織的な対流雲の日変化があること、ならびに局地的積雲対流の強化が MJO 不活発期におこることを発見した。

(b) **大気重力波・ケルビン波の励起**: 積雲対流による大気重力波ならびにケルビン波の励起を定量化し、成層圏内のこれらの大気波動と対流活動との対応を明確に検証した。

(c) **熱帯圏界層における赤道ケルビン波**: 対流圏・成層圏間の気塊の非可逆的交換にかかる赤道ケルビン波の対流圏界面付近における砕波を初めて観測により捉えた。また砕波するケルビン波が波数 3 以上の高調波であることを明らかにした。

(d) **中間圏界面から熱圏下部にまで及ぶ対流活動の影響**: 積雲対流活動の影響が中間圏界面、さらに熱圏下部高度域の力学にまで及んでいる数々の証拠を発見した。またスマトラ沖大地震の際、地殻振動が音波として上方伝搬し電離圏

に大きな非等方性擾乱をもたらすという、典型的な大気上下結合も捉えられた。

(e) **赤道電離圏を介した南北中緯度電離圏の結合**：赤道電離圏を貫く地球磁力線を介して南北半球の電離圏が電磁氣的に強く結合している事実を初めて明らかにした。

(f) **赤道プラズマバブルの発生**：磁力線を通じた中緯度に達する巨大プラズマバブルの南北半球対称性を始めて観測により提示、バブル発生に中規模大気重力波が強く関わることを明確に示した。

## (2) EAR の観測計画の調整

総括班は EAR の観測モードや観測日時・観測時間長について、各研究班の多様な要望を調整し、ほぼ連続観測に成功した。

## (3) 観測データの公開

EAR を基軸に諸観測装置の全データをホームページ上に公開し国際的な利用に供した。

## (4) 国際協力の推進

本領域研究の一枢軸である米・豪・印大気レーダーとの有機的な共同観測を推進するため、緊密な国際協力を推進した。また、観測衛星との協同観測を推進するための対応にも当たった。本研究領域は国際太陽地球系物理学・科学委員会(SCOSTEP)が 2004 年より実施中の国際協同研究プログラム CAWSES (Climate And Weather of the Sun-Earth System ; 2004-2008)との協力関係が正式に認められ、CPEA-I および-II は CAWSES 強化観測として幅広い国際協力のもとに実施された。さらにインドネシア、マレーシア、シンガポール、インド、台湾、オーストラリア、ペルー、米国等との観測研究協力を推進した。

## (5) ワークショップ・シンポジウムの開催

本領域研究の初年次(2002年3月)に EPIC 国際シンポジウムを開催し本領域研究の計画と展望を論じた。また本領域研究の進捗状況と成果を発表するため、毎年一回公開ワークショップを開催した。さらに内外の国際会議においてこれまで約 10 件の関連セッションを企画し本領域研究の成果を問うた。最終年次(2007年3月)には本領域研究のとりまとめとして「赤道大気上下結合国際シンポジウム」(京都大学百周年時計台記念館)を開催した。なお本年9月には文科省科学研究費にかかる公開シンポジウムを開催し、研究の意義と成果について一般に広く紹介する予定となっている。

## (6) 成果の公表

本研究領域の学術成果は国際学術誌への論文投稿や、国際・国内シンポジウム等で多数発表されている。例えば査読付国際学術誌に 200 余編の論文が発表された他、CPEA-I の成果をとりまとめた特別号 *Journal of Meteorological Society of Japan*, 84A, 351pp., 2006. が発刊された。現在 CPEA-II と CPEA 国際シンポジウムの成果に関して *Earth, Planets, and Space Sciences* 誌に特集号が編集されているところである。さらに公開ワークショップのプロシーディングが毎年発行されている。2008 年度には上記公開シンポジウム講演をもとに一般の人を対象とした平易な研究領域紹介冊子を発刊する予定である。

本研究領域の研究成果や最新の活動状況などはホームページで公開されており (<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/cpea/>)、ニュースレターも随時編集して掲載されている。

## (7) 研究評価の実施

総括班に 3 名の評価担当者をおき、ほぼ隔年に計 3 回、公開ワークショップ後研究評価委員会を開催、本領域研究の企画・実行・取りまとめについて評価と助言を受け本領域研究推進に反映させた。

## (8) その他の成果

本特定領域研究から 13 名の博士（内インドネシア人 3 名）が誕生し、若手育成の観点からも意義は大きかった。また欧米のみならず東南アジア諸国にも研究者ネットワークが広がり、国際研究協力体制が確立した。さらに平成 17 年度より地球観測システム構築推進プラン「海大陸レーダーネットワーク構築 (HARIMAU)」(独立行政法人海洋研究開発機構)が発足し、インドネシア国内に大気レーダーネットワーク網の構築が進められていることは特筆されるべき波及効果と言える。

## 4. 成果の発表状況

総括班が主催したシンポジウム・ワークショップ：10 件

内、国際シンポジウム・ワークショップ：3 件

EPIC 国際シンポジウム（2002 年 3 月）

CAWSES mini-workshop, Theme3 (CPEA) session (2005 年 5 月)

赤道大気上下結合国際シンポジウム（2007 年 3 月）

総括班が主体となった学術誌論文：3 編

総括班からの国際会議発表：9 件

総括班からの開設記事・一般講演等：13 件

研究領域のホームページ：<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/cpea/>

文部科学省科学研究費補助金特定領域研究

## 赤道大気上下結合

Coupling Processes in the  
Equatorial Atmosphere (CPEA)

### 総括班の成果

研究領域代表者

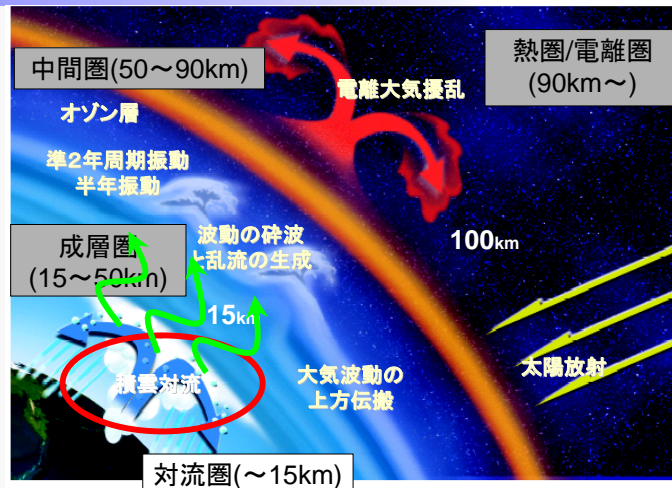
深尾昌一郎

京大大学生存圏研究所



### 『赤道大気』の特徴

太陽放射  
最大

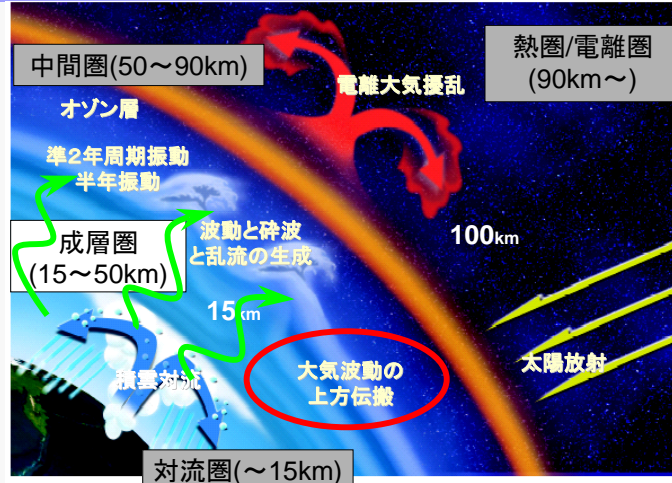


積雲対流の組織化と  
赤道域特有の大気波動生成

## 『赤道大気』の特徴

コリオリ力  
効果最小

太陽放射  
最大



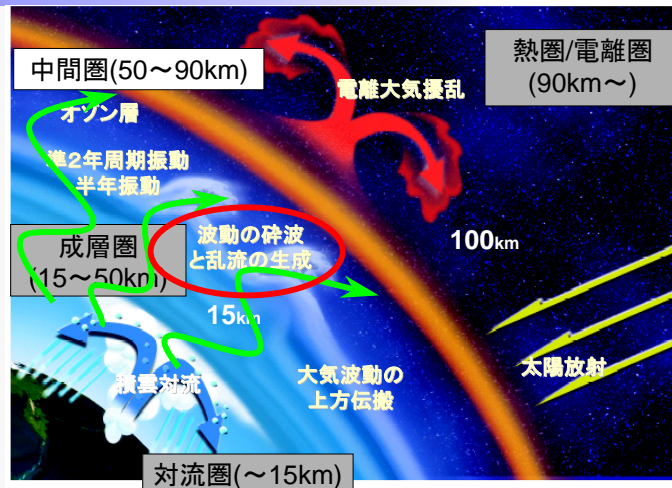
大気波動によるエネルギーと  
運動量の上方輸送

4

## 『赤道大気』の特徴

コリオリ力  
効果最小

太陽放射  
最大



大気波動の不安定化(碎波)による  
背景風加速と乱流生成

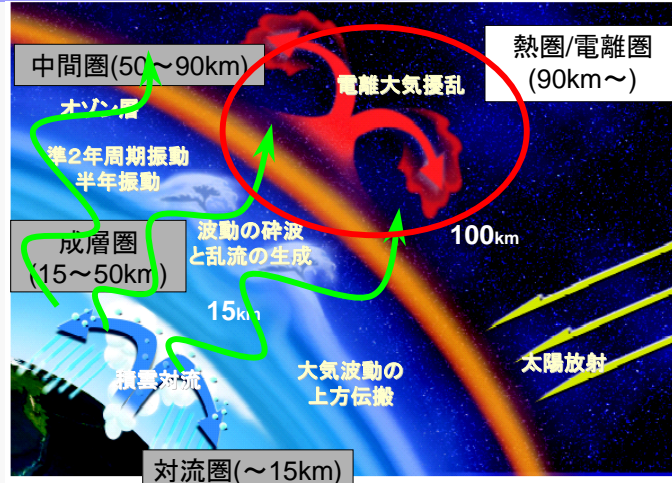
5

## 『赤道大気』の特徴

磁力線  
水平

コリオリ力  
効果最小

太陽放射  
最大



熱圏/電離圏まで大気波動が伝搬、  
赤道域特有の電離大気擾乱を生成

6

—申請時のスライドから—

赤道域に集中する太陽輻射エネルギーが、  
赤道域固有の大気波動となって  
上方輸送されることにより、  
赤道大気は上下に強く結合した  
巨大なシステムとなる

本特定領域研究の目的  
『赤道大気上下結合』の総合的理解



大気波動の発生・上方伝搬・成長と碎波が4つの大気圏で  
繰返し起きていることをイメージしたシンボルマーク



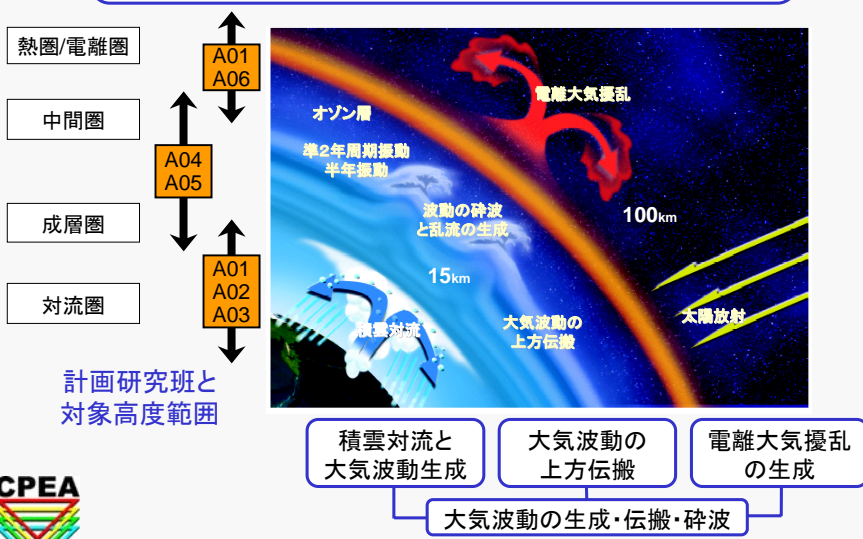
本特定領域研究を特徴付ける  
3つの“ユニーク”性

- **ユニークな課題**: 赤道大気上下結合  
—— 本研究領域グループが発信・主導
- **ユニークな舞台**: 赤道インドネシア域・海大陸  
—— 地球規模大気変動の特異点と目される地域
- **ユニークな手段**: 赤道大気レーダー他  
—— 我が国の独創的技術で開発された先端的な観測器ネットワーク



—申請時のスライドから—

本特定領域研究の組織  
計画研究6班が分担・有機的に連携



—申請時のスライドから—

高度別の研究テーマ



本特定領域研究の年次計画  
観測拠点の構築から観測・総合的な理解へ



1. 機器開発フェーズ

- ✓ 観測装置の開発・現地設置・観測ネットワーク構築

2. 個別研究フェーズ

- ✓ 赤道大気上下結合の各要素過程を個別観測により解明

3. 総合研究フェーズ

- ✓ 国際協同観測(CPEA-I および-II)の実施
- ✓ 赤道大気上下結合の総合的・定量的解明



初年度に“キック・オフ”ミーティング  
EPIC\*国際シンポジウム開催



京都大学宇治構内木質ホール  
2002年3月18-22日

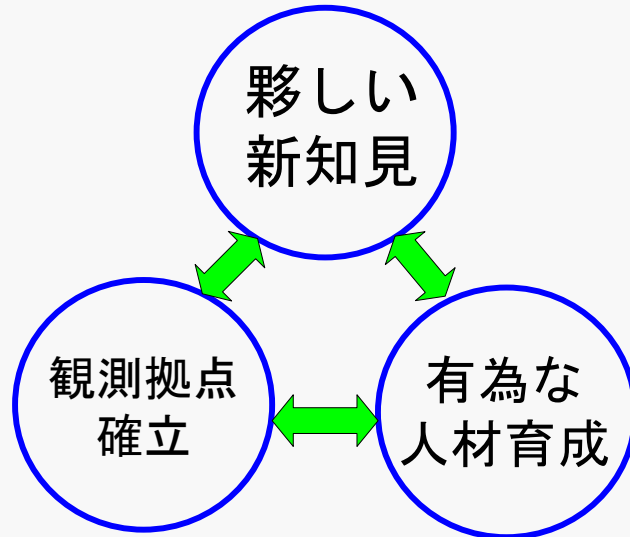


17ヶ国から147名が参加(内、海外から69名)

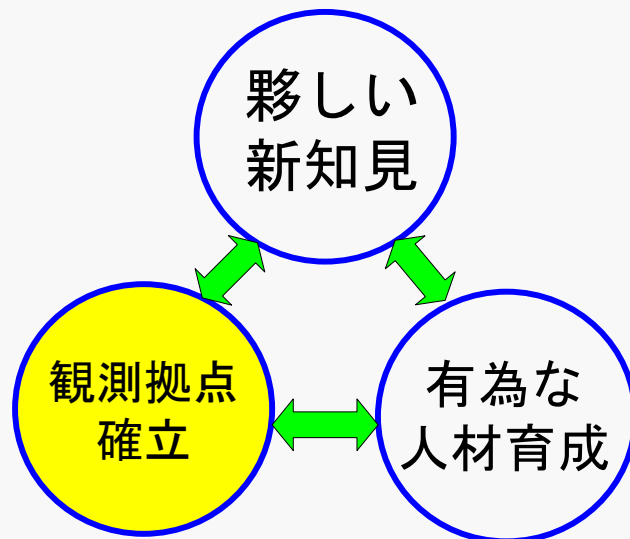
\*EPIC: Equatorial Processes Including Coupling

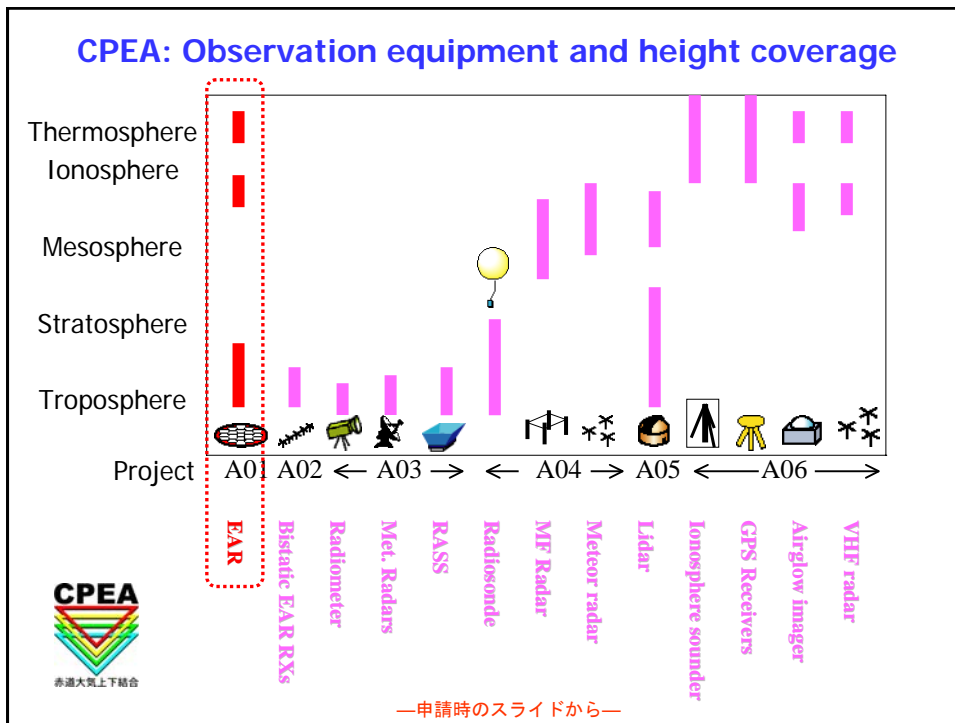


## CPEAでえられた『画期的』成果




## CPEAでえられた『画期的』成果






## Equatorial Atmosphere Radar (EAR)

*operated since July 2001*




**47MHz, Antenna array (110 m in diameter)**

Kototabang, West Sumatra, Indonesia  
(0.20°S, 100.32°E;  
865 m above sea level)



**560 Yagi antennas, 100 kW**

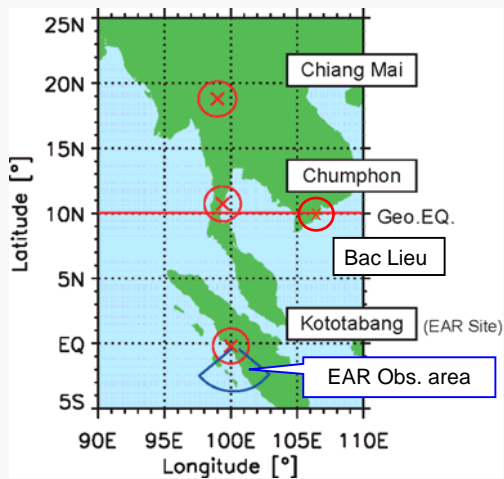
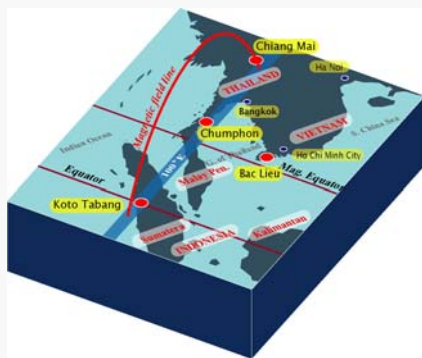


## Equatorial Atmosphere Observatory

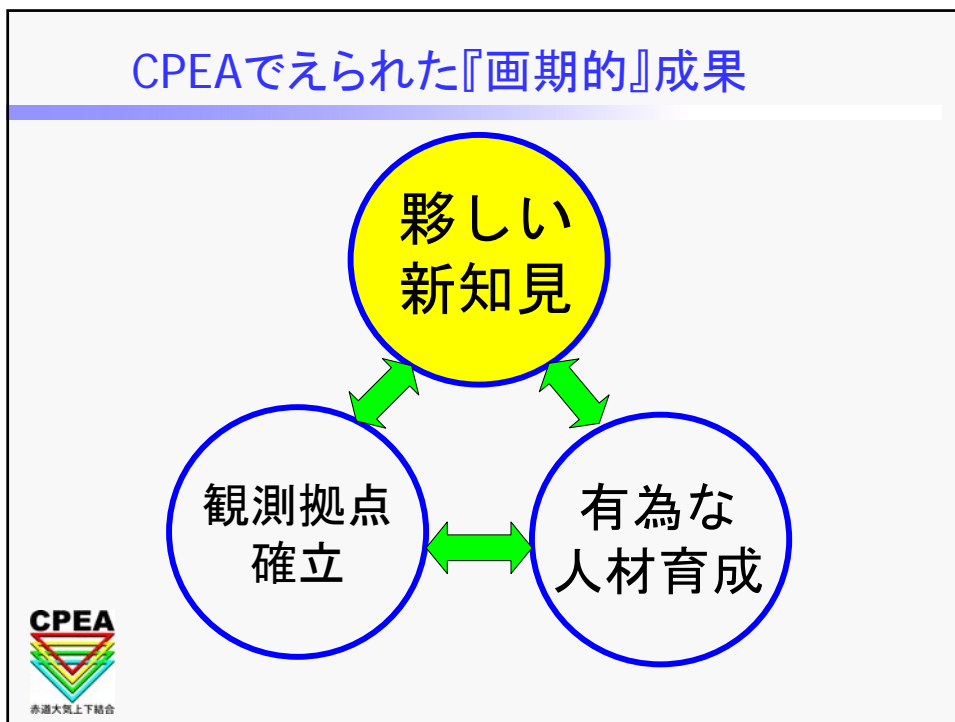
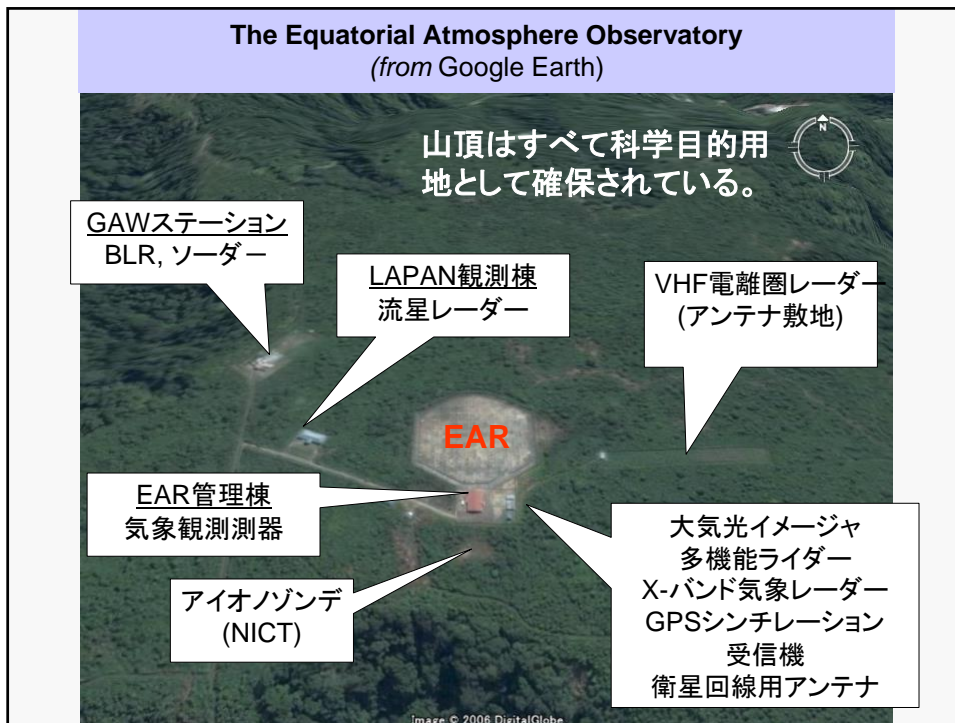
Kototabang, Indonesia



## SEALION: Ionosonde network of NiCT, Japan



Courtesy of Dr. T. Maruyama



## CPEAで得られた主な学術成果

1. 赤道インドネシア域における対流活動の特異性
2. 大気重力波・ケルビン波の積雲対流による励起
3. 熱帯圏界層における赤道ケルビン波の碎波
4. 中間圏界面から熱圏下部にまで及ぶ対流活動の影響
5. 赤道電離圏を介した南北中緯度電離圏の結合
6. 赤道プラズマバブルの発生にかかわる大気重力波

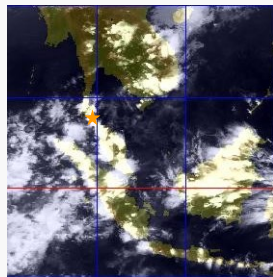


### 1<sup>st</sup> highlight

#### Typical clouds over the Indonesian Maritime Continent

##### MJO Break

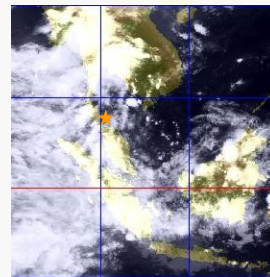
04041411GMT



Deep convections  
over land

##### MJO Active

04050512GMT



Horizontally extended  
stratiform clouds

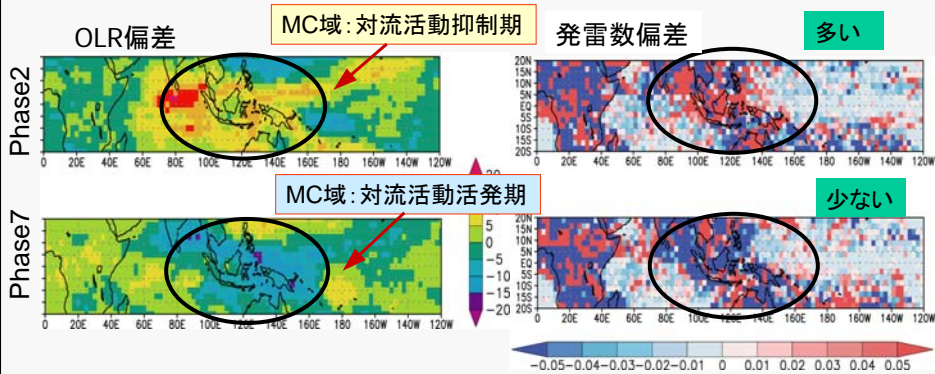
★:EAR



OLRやTBBで表される雲頂高度は、MJO Activeで高く、同Breakで低い。これが海大陸上では"真"ではなかった。



## 季節内振動(MJO)に伴うOLR偏差と発雷数の偏差の関係

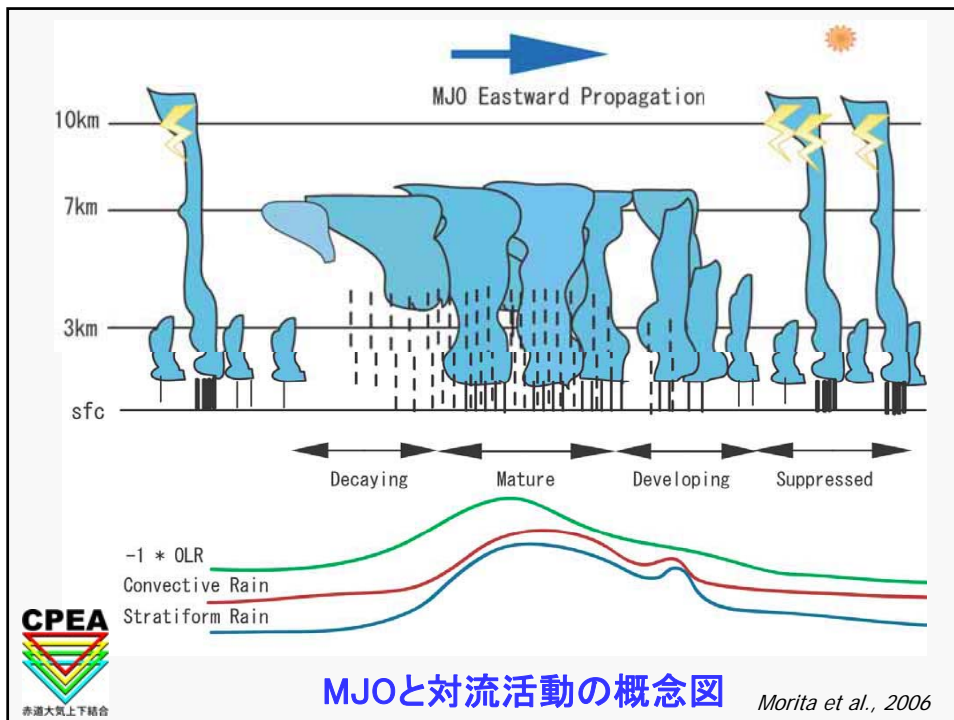


季節内振動(MJO)の雲(OLR)で見られる対流活動抑制(Break)期に雷活動がより活発で、対流活動活発(Active)期には雷活動がかえて少ない。



赤道大気上下結合

Courtesy of Y. N. Takayabu

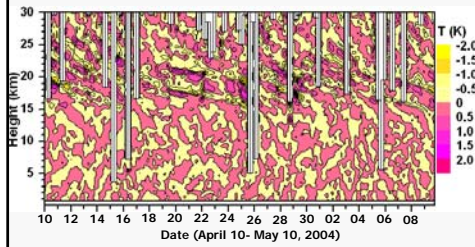




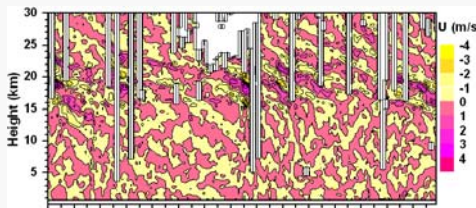
2<sup>nd</sup> highlight

## Inertia-gravity wave observed by CPEA

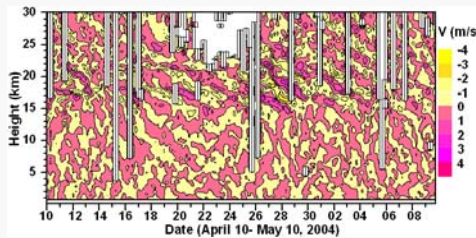
Temperature



Zonal wind



Meridional wind



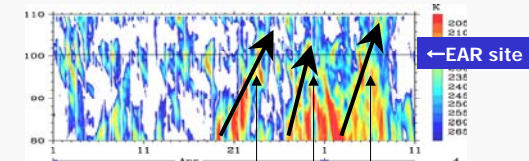
Dominant mode with periods 2-3 days and vertical wavelengths of about 3-5 km shows clear downward phase progression.



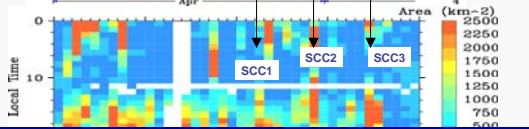
Ratnam et al., 2006

### CPEA-I

Longitude-date diagram of TBB (GOES-9 IR)

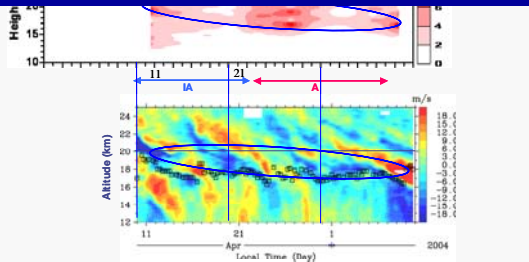


Local time - date diagram of rainfall area over EAR (X-band radar)



*Gravity waves reaching over EAR seem to be generated from eastward advecting SCC at far distance over Indian Ocean.*

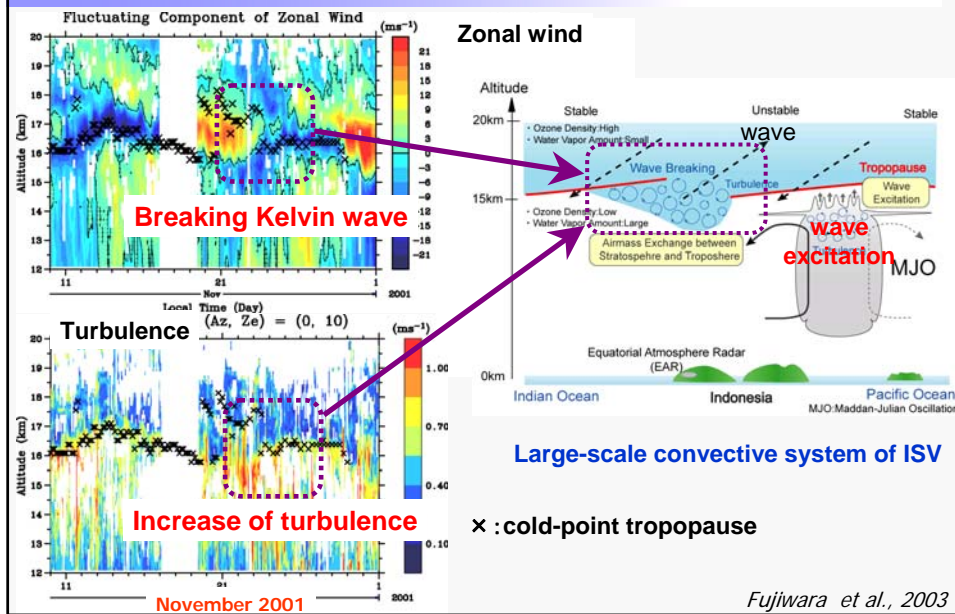
Height-date diagram of zonal wind anomaly over EAR site (radiosondes)



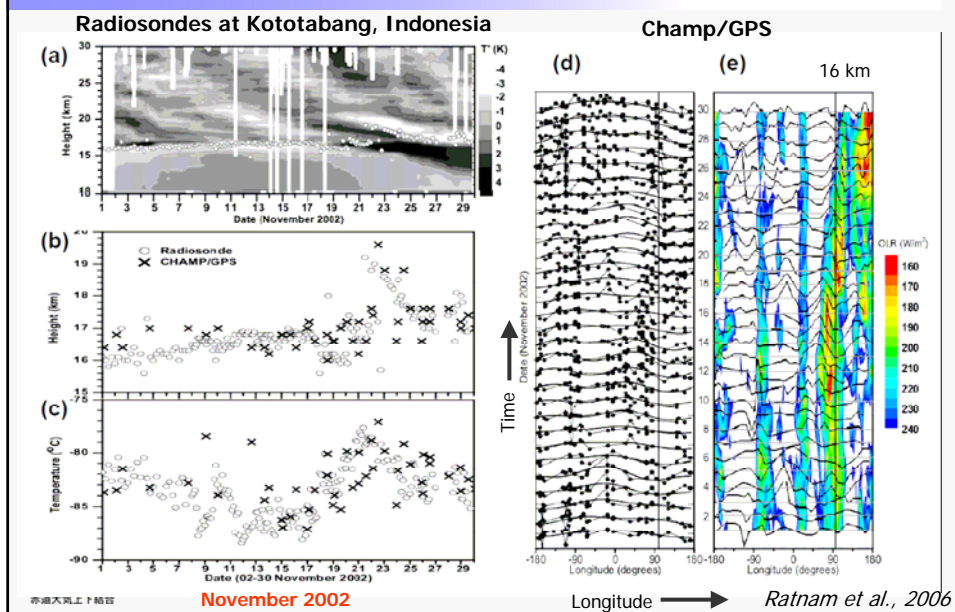
Ratnam et al., 2006

3<sup>rd</sup> highlight

EAR: Breaking of Kelvin wave at the tropopause

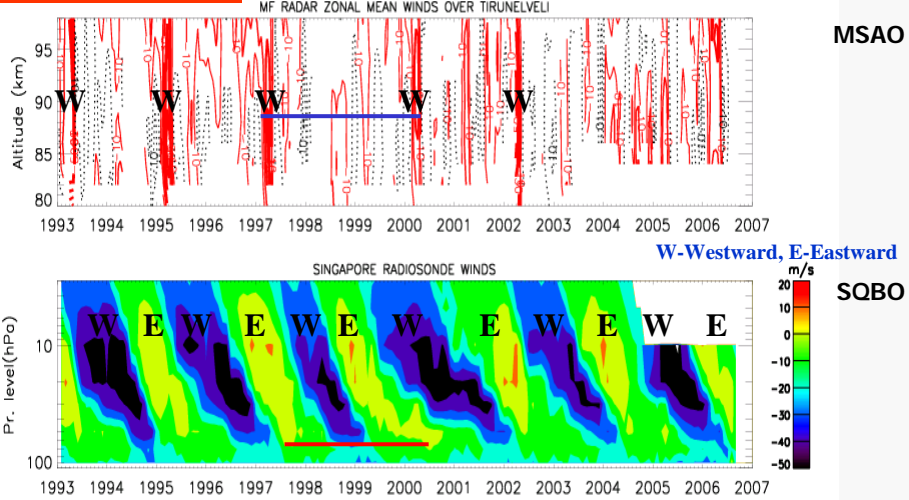


Kelvin waves of higher wavenumbers



4<sup>th</sup> highlight

Sridharan et al., 2007

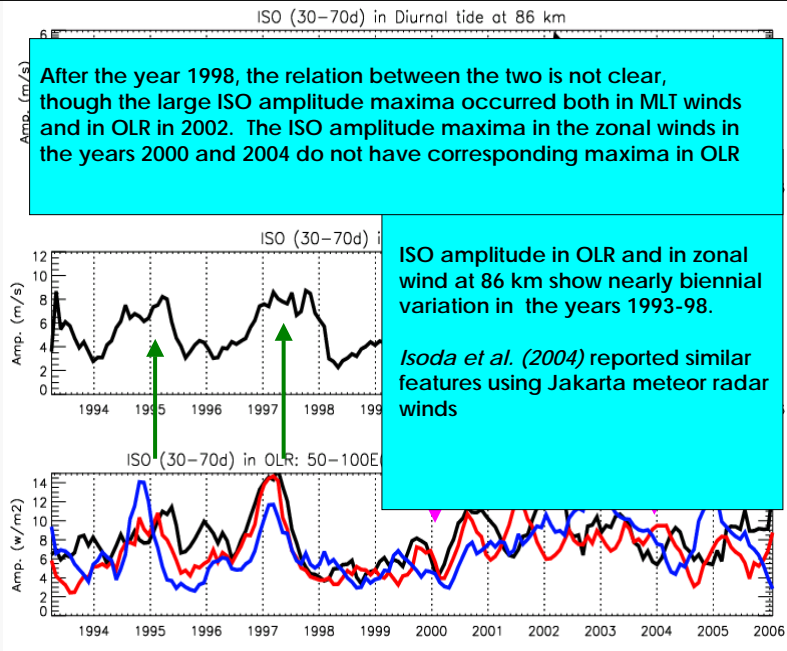


MSAO

W-Westward, E-Eastward

SQBO

- Large westward MLT winds coincide with eastward phase of SQBO at all pressure levels
- SQBO, which usually has ~2 year periodicity, was extended to 3 years in 1998 - 2000.
- Simultaneously, in MLT winds, the large westward winds, which are expected to occur in 1999 occurred in 2000.
- This suggests possible influence of SQBO on MSAO by selective transmission of IGW (Garcia and Sassi, EPS, 1999).



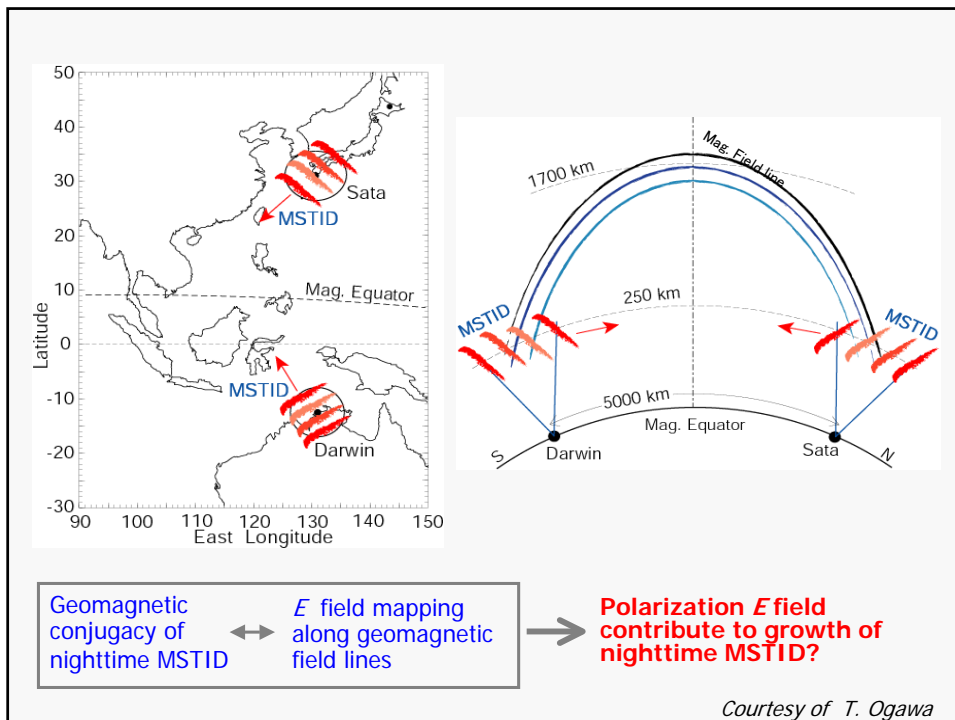
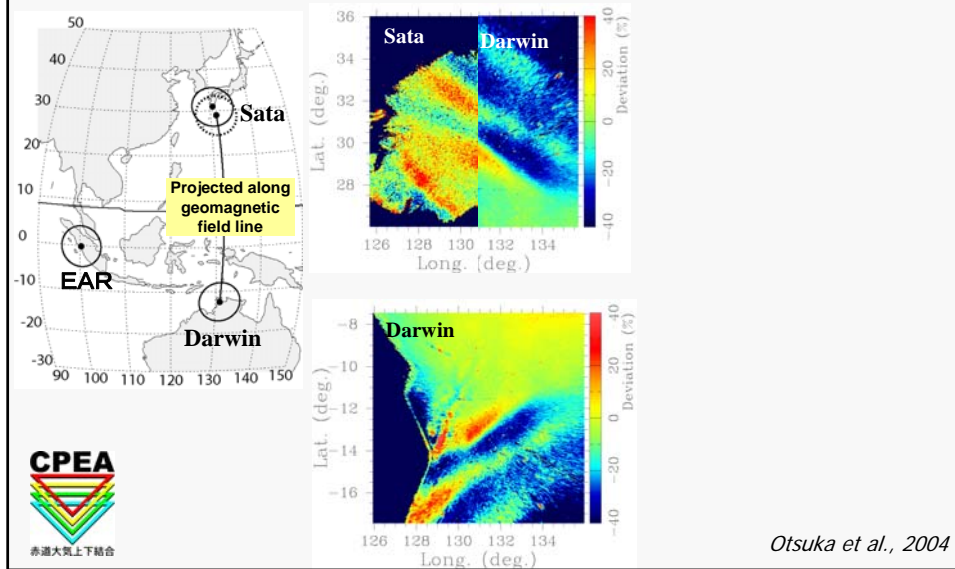
After the year 1998, the relation between the two is not clear, though the large ISO amplitude maxima occurred both in MLT winds and in OLR in 2002. The ISO amplitude maxima in the zonal winds in the years 2000 and 2004 do not have corresponding maxima in OLR

ISO amplitude in OLR and in zonal wind at 86 km show nearly biennial variation in the years 1993-98. Isoda et al. (2004) reported similar features using Jakarta meteor radar winds

Sridharan et al., 2007

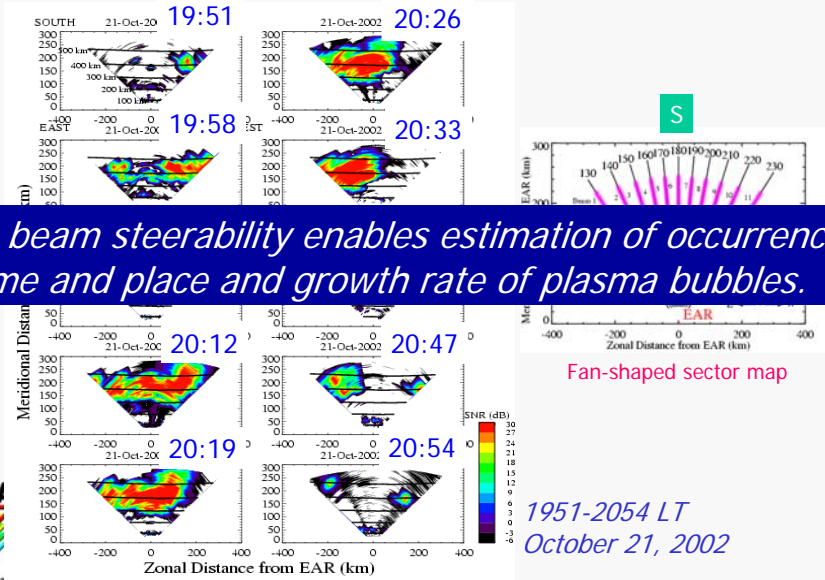
5<sup>th</sup> highlight

Symmetry of MSTID observed with 630-nm airglow imagers at conjugate points

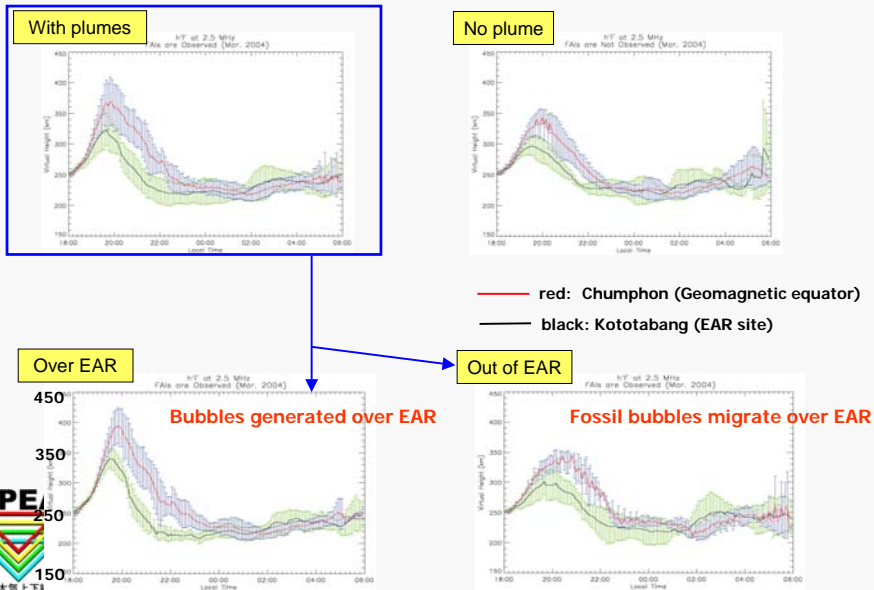


6<sup>th</sup> highlight

## EAR: Spatial structure of plasma bubbles

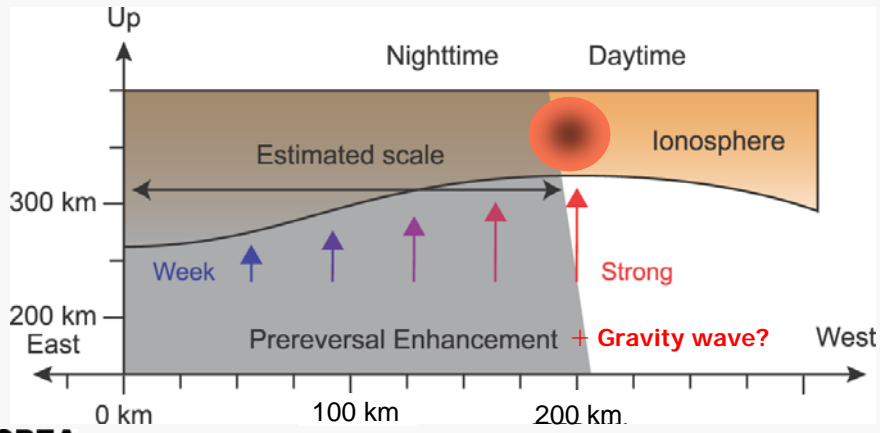


## F-layer 2.5-MHz height observed by ionosondes



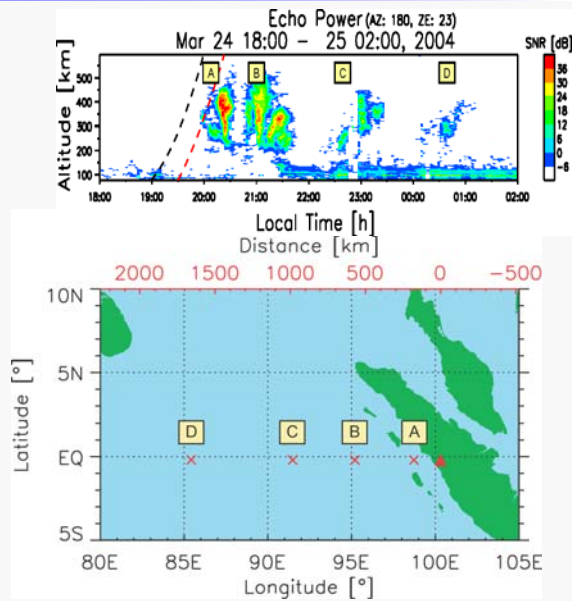


## A model for zonal structure of the ionosphere



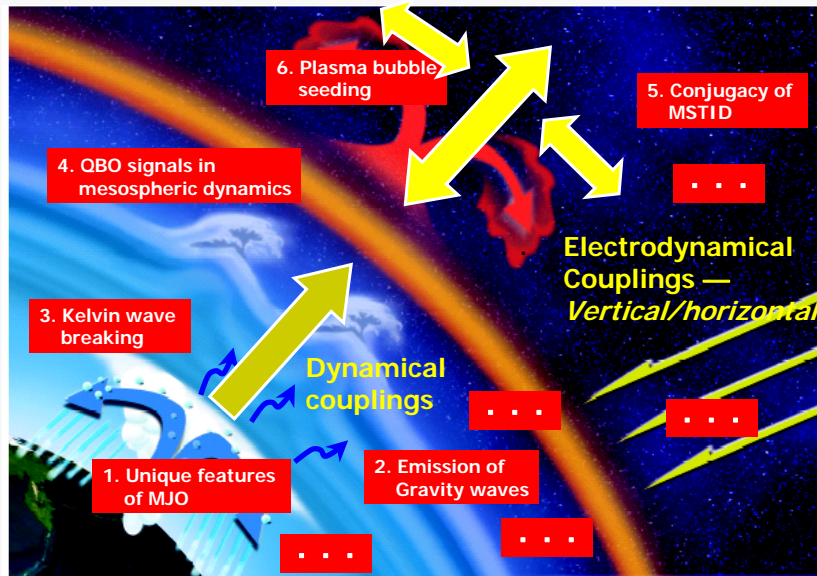
● Plasma bubbles are generated.

## Onset place of the four successive plumes



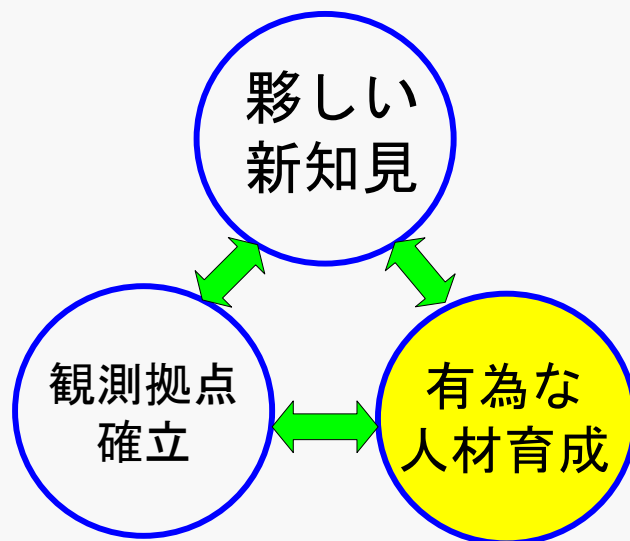
*Fukao et al., 2005*

## 上下に強く結合した赤道域大気



3

## CPEAでえられた『画期的』成果





## 15名のCPEA博士が誕生

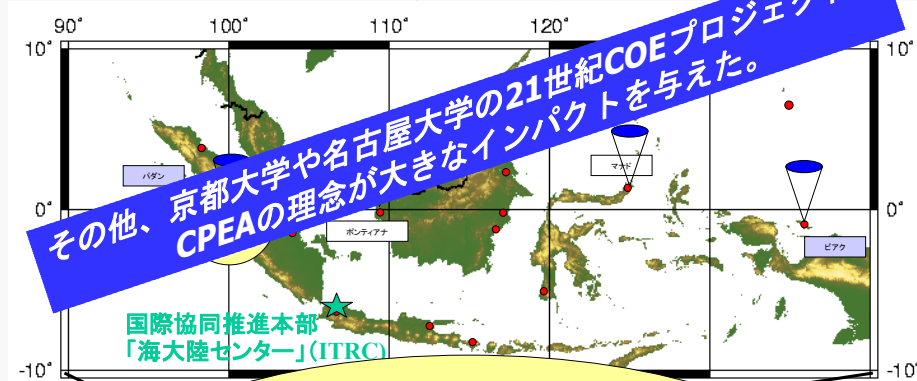
- 西 憲敬(京大大学院理学研究科;同)2007年3月
- 荒木 龍蔵(神戸大学自然科学研究科;応用気象エンジニアリング)2007年3月
- Teguh Harjana(神戸大学自然科学研究科;学振論博;LAPAN)2007年3月
- 鈴木臣(名古屋大学大学院理学研究科;電気通信大学・菅平宇宙電波観測所)2007年2月
- 山本 真之(京大大学院情報学研究所;京大大学生存圏研究所)2007年1月
- 西村 耕司(京大大学院情報学研究所;情報・システム研究機構 新領域融合研究センター)2006年9月
- Haris Syahbuddin(神戸大学自然科学研究科;日本文部省国費留学生;インドネシア農林省ボゴール農業研究所)2006年9月
- Findy Renggono(京大大学院理学研究科;学振論博;インドネシア技術応用評価庁)2006年3月
- 櫻井 南海子(神戸大学自然科学研究科;JAMSTEC)2006年3月
- 横山 竜宏(京大大学院情報学研究所;コーネル大学)2004年3月
- 村田 文絵(神戸大学自然科学研究科;高知大学)2003年3月
- 橋口(岡本)典子(神戸大学自然科学研究科;同)2003年3月
- 磯田 聡子(京大大学院情報学研究所;大阪府立大学)2003年3月
- Tri Wahyu Hadi(京大大学院理学研究科;バンドン工科大学)2002年7月
- 古本 淳一(京大大学院情報学研究所;京大大学生存圏研究所)2002年3月



## CPEAの成果の波及効果

- 現地観測推進本部を開設(ジャカルタを予定)
- 気象レーダー・プロファイラー観測点を赤道沿いに設置
- 関連のデータ収集

その他、京都大学や名古屋大学の21世紀COEプロジェクトにCPEAの理念が大きなインパクトを与えた。



### 達成目標

- 「海大陸」観測ネットワーク構築
- 「海大陸」上陸後、東進する「季節内変動」の実態を東西4地域において解明
- 各位相・各地域に特有の天候予測

印度洋ブイ網(並行して)

ARE期に建設済)




## 総括班のその他の成果


- ・ **国際協力の推進**
  - SCOSTEP/ CAUSES (Climate And Weather of the Sun-Earth System; 2004-1008)との連携
  - 米・印・豪や東南アジアとの観測研究協力推進
- ・ **シンポジウムやワークショップを主催**
  - 毎年公開ワークショップ開催
  - 内外で10件、特に
  - 初年度EPIC国際シンポジウム、最終年度CPEA国際シンポジウム
- ・ **学術成果の公表**
  - 査読付国際学術誌に約200編の論文発表、特に
  - CPEA-I特集号 気象集誌 20論文 351頁
  - CPEA-II特集号 EPS誌 約50論文 編集中
- ・ **その他**
  - EAR観測計画の調整
  - 観測データの公開
  - 計22回の総括班会議開催
  - 計4回の評価委員会開催



公開シンポジウム  
開催予定  
東京国際交流館・  
プラザ平成  
2007年9月20-21日



赤道大気上下結合



地球環境の心臓  
赤道大気の鼓動を聴く

参加費無料・事前申込

東京国際交流館・プラザ平成  
国際交流会議場

2007年9月20日(木)・21日(金)

<http://www.kuba.co.jp/cpea/>

## まとめ

本特定領域研究CPEAは当初計画した

- ・ 観測拠点を「The Equatorial Atmosphere Observatory」として確立した。

また当初予想をはるかに凌駕する

- ・ 夥しい新学術的知見が得られた。『赤道大気上下結合』という新パラダイムが確立した。同時に
- ・ 新しい挑戦課題が多く見付った。さらに
- ・ 他分野へのインパクトには大きいものがあった。
- ・ 有意の若手研究者の育成に大きな成果があった。



本特定領域研究推進の中核となった総括班は、  
その役割を十分に果たし、  
目標の達成度は100%に近いと自己評価できる。