

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」

1. 研究組織

研究代表者：津田 敏隆(京大大学生存圏研究所・教授)

研究分担者：中村 卓司(京大大学生存圏研究所・准教授)

研究協力者：堀之内武(京大大学生存圏研究所・助教)

(京大生存研・客員教授) : S. Gurubaran, G. Dutta, D. N. Rao,
A. de la Torre, W. Ward

(PDF研究員、大学院生) : 古本淳一、磯田総子、

M.V. Ratnam, S. Sridharan, S.P. Alexander,

M. Fernandes, H.-F. Tsai, C.-M. Wrasse, J. Du

(豪・アデレード大学) : R.A. Vincent,

A. McKinnon (DAWEX、Pontianakレーダー関係)

2. 研究目的

赤道域における活発な積雲対流によって励起される各種の大気波動の時間・高度構造および水平分布特性(四次元構造)を、EAR、MLT レーダーネットワーク(流星レーダー、MFレーダー)、ラジオゾンデ・キャンペーン観測、ならびに衛星データ(TIMED, GPS 掩蔽, TRMM-PR)の解析によって明らかにする。観測結果の解釈に数値モデルを活用する。波動のエネルギー・運動量の分布、および輸送過程の定量的解明を目指す。立案した具体的な課題は「(1) 積雲対流による大気波動の励起特性」、「(2) 大気波動の水平・鉛直伝搬と平均風との相互作用」、「(3) 大気波動の減衰と乱流層生成」、「(5) 衛星観測との協同による大気波動のグローバル構造の解明」、および「(5) 数値モデルによる観測結果の解釈」である。

3. 主な成果

(1) ラジオゾンデ観測キャンペーン(A03 班、A01 班等と共同)

ラジオゾンデ(VAISALA 製 GPS ゾンデ)による大規模な集中観測を計 3 回実施した。(a) 2001 年 10-12 月に北オーストラリアの Darwin を中心に、孤立型巨大積乱雲(Hector)に関して日・豪・米等の共同で行われた DAWEX(Darwin Area Wave Experiment)において、大気波動の励起状況を観測した。(b) CPEA-I キャンペーン:2004 年 4-5 月の 1 ヶ月間に 3-6 時間間隔で気球観測を行った。(c) CPEA-II:2005 年 11-12 月の 1 ヶ月間に 6 時間間隔で放球しつつ、約 3 日間ごとに 18-32 時間にわたり 1 時間間隔のラジオゾンデ集中観測を行なった。(b)では周期 2-3 日、鉛

直波長 3-5 km の下方位相伝搬する大気重力波が対流圏上部から成層圏にかけて顕著にみられ、その構造を多地点のゾンデ観測結果で明らかにした[Ratnam et al., JMSJ, 2006]。衛星観測の長波放射データ(OLR)で検出された対流活動を励起源とする、東進する重力波が見出された。(c)では世界でも珍しい高時間分解能ゾンデデータから大気重力波の微細構造、一日周期潮汐波の特性が明らかになった。一方、2004-5年にマレーシアで得られた定常ゾンデ観測網データを解析することで、大気重力波と平均風との相互作用や季節変化などを明らかにした。

(2) MLT 領域(高度 70-100km)のリージョナルネットワークレーダー観測

インドネシアジャカルタ郊外(6S,107E)で 1992 年以來 2000 年まで流星レーダー観測を続けた。その後、2002 年 11 月にはスマトラの赤道大気レーダー(EAR)サイト Kototabang (100E, 0S)で流星レーダー観測を開始し、またジャワ島 Pameungpeuk (7.5S, 107.5E)で 2004 年 3 月から MF レーダー観測を開始した。一方、アデレイド大と共同で 1995 年からカリマンタン島 Pontianak (0N, 109E)で観測を行ってきた MF レーダーを改良し、2002 年より観測を行なった。これら 3 点で約 1000km スケールのリージョナル MLT レーダーネットワーク観測を行ない、MLT 領域の大気波動の構造を解析した。

(3) 赤道大気レーダーでの対流圏の重力波の解析 (A01 班、A03 班と共同)

データ取得率の高い高度 12km までの EAR 観測を用いて(2002-6 年)、大気重力波の季節変化、年々変化などの気候学的特性を解析した。重力波活動度が半年周期で変動し、特に短周期の風速変動(<2h, <24h)が卓越することが示された。TRMM 衛星による降雨データと比較した結果、統計的には整合性があるが、EAR 周辺の対流は地形の影響を受けており、衛星による広域データと異なる場合があることも示唆された。また、EAR 観測から運動量フラックスも明らかにした。同様の解析をインド Gadanki の MST レーダーにも適用し、重力波の季節変化や運動量フラックスを解析した。対流活動が大気重力波の重要な励起源であることを明らかにした。

(4) 成層圏のケルビン波の構造と長期変動の解明(A03 班と共同)

CPEA-I、II の 2 回のラジオゾンデキャンペーンデータ、さらにグローバルな CHAMP 衛星による GPS 掩蔽観測データの長期の観測結果からケルビン波の構造とその変動が研究された。ラジオゾンデで観測された鉛直波長 6-7km, 周期 10-12 日のケルビン波は、波数 1-2 のケルビン波と成層圏ではほぼ同じであるが、対流圏では波数が大きいものの影響が見られる。QBO に伴ってケルビン波の振幅は変動し、また北半球の冬にピークになる年周変化がみられる。ケルビン波

振幅と対流圏界面高度の変化がよく対応している。

(5) 赤道域中層大気の 5-8 日周期の波動の伝搬

インドネシアでの MLT レーダー観測、CPEA-I ゾンデデータ、各地の定常ゾンデ観測、OLR による雲量データ、それに TIMED 衛星 SABER による温度データなどを解析した。対流活動には周期 5-8 日の東進・西進する成分があり、それらが東進ケルビン波と西進ロスビー波を励起している。これらの波動は上方伝搬し、中層大気下部ではケルビン波が、それより上の MLT 領域ではロスビー波が顕著になった。地上・衛星観測の組み合わせで、励起源から MLT 高度での全高度で波動の高度構造を解明することに成功した。

(6) GPS 掩蔽観測による成層圏での大気波動の活動

CHAMP、SAC-C、COSMIC 衛星などによる GPS 掩蔽観測による温度プロファイラデータを解析し、大気波動エネルギー(E_p)を高度 12-33km で統計的に解析した。CHAM による 2002-2006 年の長期データを解析した結果、12-2 月に赤道域で E_p が最大で、大気重力波およびケルビン波的擾乱が成層圏で増大していた。一方、アジアモンスーンに伴う積雲対流がインド・ベンガル域で活発になる 6-8 月にはインド北部・東南アジア域で E_p が増大した。これらを TRMM 観測や NCEP による背景風と比較したところ、対流活動による波動励起と QBO との波動・平均流相互作用が E_p の気候学的特性を定めていることが分かった。

(7) MLT 領域の年々変動および長期変動の解析

ジャカルタでの流星レーダー観測およびインドの Tirunelveli (8.7N, 77.8E)での MF レーダー観測から、低緯度 MLT 領域でもっとも顕著な 1 日周期大気潮汐波の年々変動を明らかにした[Gurubaran et al., GRL, 2005]。MLT 領域の 1 日潮汐の南北風振幅の年々変動と、経度 120 度付近の OLR(対流活動)との間に強い対応関係があり、1997 年の El Nino の影響が認められた。MLT 高度の潮汐変動に対流活動の(ENSO などによる)不規則変動が強く関わっており、潜熱・水蒸気分布の変動が原因と示唆された。さらに 1993 年-2006 年の Tirunelveli MF レーダーによる長期観測結果を解析した。平均南北風(子午面循環)には 1 年周期変動があるが、年々変動が現れた。また、特に、夏季の南北風に 10 年以上の長期トレンドが認められた。また東西風には半年周期振動があり、その西向き位相が 2 年ごとに増大する。これが約 3 年に延びたケースがあるが、その時期に成層圏 QBO も 3 年に延びており、相互の関係が示唆された。

(8) MLT 領域短周期(<60 min)重力波の伝搬特性と対流活動との関係(A06 班と共同) 西ジャワ Tanjungsati での大気光イメージャ観測から、短周期重力波は中緯度(信

楽) と異なりほぼ年中南向き伝搬が卓越することが分かった。数値モデル (レイレーシング) により、対流活発域の分布が波動伝搬方向に関係することを見出した。これは Kototabang でのイメージャ観測でも確認された。

(9) MLT 領域風速と電離圏プラズマ及び金属原子層の相互作用の研究(A05, A01, A06 班と共同)

EAR による E 層低高度コヒーレントエコー、金属共鳴散乱ライダーによる Na, Fe などの金属原子層の突発的増大(Fes, Nas)と流星レーダーによる風速との比較を行った。低高度エコーと中性風速の類似性が示された。金属原子層の変動は中緯度と違って風速シアとの相関が低いことが示された。

上記をまとめると、積雲対流による大気波動の励起・伝播の 4 次元構造(時間・高度、空間分布)を種々の地上・衛星観測で明らかにし、また、5-15 年にわたる長期観測データ(EAR、MLT レーダー、衛星観測)により赤道大気の様々な力学過程の長期変動を明らかにしたことが特に重要な成果として注目される。

4. 達成度と波及効果

ラジオゾンデやレーダー観測を実施して、衛星観測データやこれまでのレーダー観測データベースを併用することで、対流圏の対流活動から中層大気、超高層大気への波動を介した結合の詳細、さらにその長期変動の詳細が明らかになり、達成度は 100%以上である。特に、GPS 掩蔽などの衛星観測データが波動の励起域から伝搬域にかけてのグローバルな特性を捉える上で予想以上の貢献を果たした。また、インドネシアは当然ながら、インド、オーストラリアなどとの国際共同研究が飛躍的に進展し、今後も先端課題に関する研究協力体制維持が期待できる。さらに、6 年間の研究からレーダーネットワーク観測などの長期連続観測が、複雑に変動する地球大気の詳細を捉える上で重要であり、今後も観測を継続する必要があることを強調したい。

5. 研究成果公表の状況 (論文数など、博士号取得者数、受賞状況、新聞発表)

学術誌論文： 65 件 (A04 班が主体となって発表したもの)

13 件 (他班の発表に協力したもの)

博士号取得者： 3 名 (古本淳一、Tri Wahyu Hadi, 磯田総子)

受賞： 2003 年度気象学会賞 (津田敏隆)

11th MST radar workshop, Young Scientist best paper award

(S. Sridharan, S. Alexander, 古本淳一)

新聞発表: MST レーダーワークショップ関係 2 件

DAWEX キャンペーン関係 1 件

A04班: 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

研究組織

研究代表者: 津田 敏隆(京都大学・生存圏研究所)

研究分担者: 中村 卓司(京都大学・生存圏研究所)

研究協力者: 堀之内武(京大・生存研)

研究協力者(RISH・客員教授): S. Gurubaran, G. Dutta, D. N. Rao, A. de la Torre, W. Ward

研究協力者(PDF研究員、大学院生): 古本淳一、磯田総子、M.V. Ratnam, S. Sridharan、

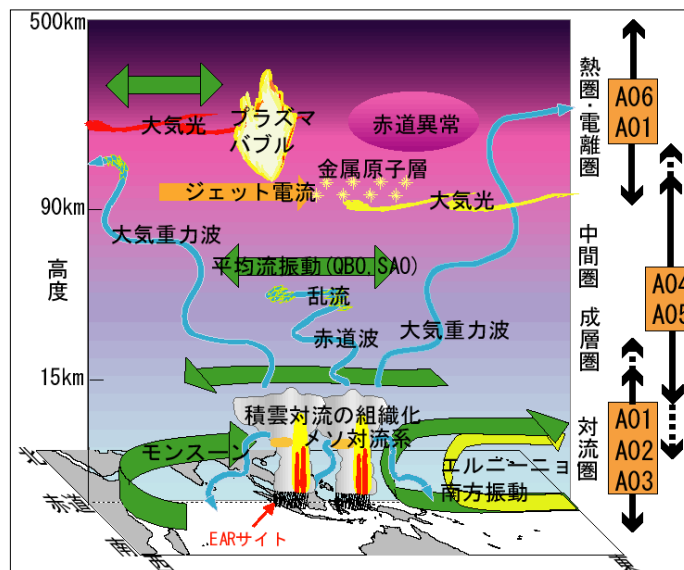
S.P. Alexander, M. Fernandes, H.-F. Tsai, C.-M. Wrasse, J. Du

研究協力者(インドネシア): Effendy, Slamet, Timbul, Sri Kaloka, Thomas, Gatot, Tri Wahyu

研究協力者(豪・アデレード大学): R.A. Vincent, A. McKinnon (DAWEX, Pontianakレーダー)

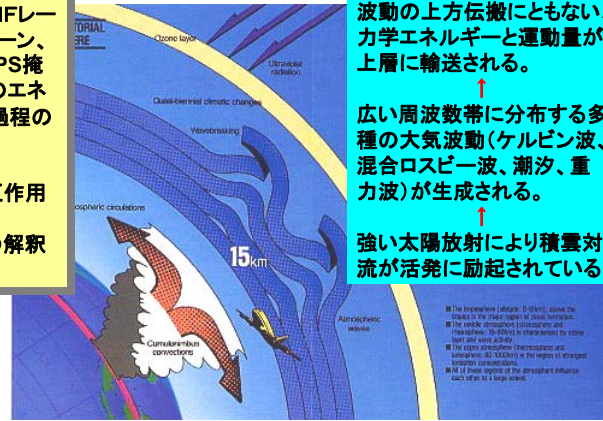


特定領域研究「赤道大気上下結合」 H113-18年度 Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA)



研究目的: 赤道域の活発な積雲対流で励起される各種の大気波動の時間・高度構造および水平分布特性(四次元構造)を、EAR、MLTレーダーネットワーク(流星レーダー、MFレーダー)、ラジオゾンデ・キャンペーン、ならびに衛星観測(TIMED, GPS掩蔽, TRMM-PR)し、大気波動のエネルギー・運動量の分布、輸送過程の解明を目指す。

- (1) 積雲対流による波動励起
- (2) 波動の伝搬と平均風との相互作用
- (3) 波動の減衰と乱流生成
- (4) 数値モデルによる観測結果の解釈
- (5) 衛星観測との協同観測



波動-波動、波動-平均流相互作用により、半年・準2年周期振動などを駆動。

波動の上方伝搬にともない、力学エネルギーと運動量が上層に輸送される。

広い周波数帯に分布する多種の大気波動(ケルビン波、混合ロスビー波、潮汐、重力波)が生成される。

強い太陽放射により積雲対流が活発に励起されている

Ground-Based Observations

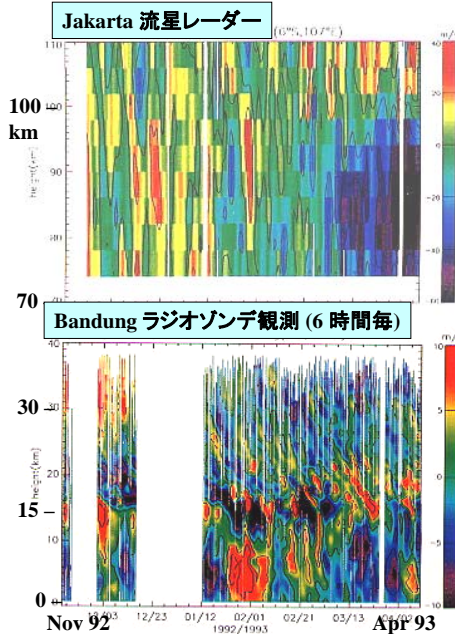
EAR (1-12km)
Radiosonde (0-30 km)

Meteor and MF
radars (70-100 km)

Satellite Remote-sensing
(GPS Occultation)
TIMED, TRMM-PR

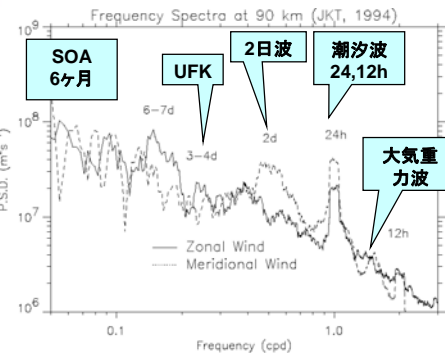
Humidity, Temperature and Spordic E
(0-10km) (5-40km) (80-120km)

対流圏・成層圏(下図)および中間圏・熱圏下部(MLT領域)(上図)における東西風変動



MLT領域での東西風の周波数スペクトル

- 半年周期振動 (SAO)
- ケルビン波 (Ultra-Fast Kelvin) (3-6 d)
- 大気潮汐波 (24, 12 時間)
- 大気重力波、など



(1) ラジオゾンデ集中観測、MLT (流星・MF)レーダー観測ネットワー クの建設・運用

(a) ラジオゾンデ観測キャンペーン(A03班、A01班等と共同)

ラジオゾンデ(VAISALA製GPSゾンデ)による大規模な集中観測を計3回実施した。

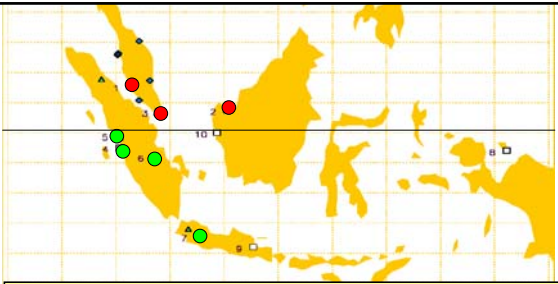
- (1) 2001年10-12月に北オーストラリアのDarwinを中心に、孤立型巨大積乱雲(Hector)に関して日・豪・米等の共同で行われたDAWEX(Darwin Area Wave Experiment)において、大気波動の励起状況を観測した。
- (2) CPEA-I キャンペーン:2004年4-5月の1ヶ月間に3-6時間間隔で気球観測を行った。周期2-3日、鉛直波長3-5kmの下方位相伝搬する大気重力波が対流圏上部から成層圏にかけて顕著にみられ、その構造を多地点のゾンデ観測結果で明らかにした[Ratnam et al., JMSJ, 2006]。衛星観測の長波放射データ(OLR)で検出された対流活動を励起源とする、東進する重力波が見出された。
- (3) CPEA-II:2005年11-12月の1ヶ月間に6時間間隔で放球しつつ、約3日間ごとに19-32時間にわたり1時間間隔のラジオゾンデ集中観測を行なった。世界でも珍しい高時間分解能ゾンデデータから大気重力波の微細構造、一日周期潮汐波の特性が明らかになった。
- (4) 2004-5年にマレーシアで得られた定常ゾンデ観測網データを解析することで、大気重力波と平均風との相互作用や季節変化などを明らかにした。

* 上記以外に数日～数週間のラジオゾンデ集中観測を随時実施した。

CPEA-I, II Campaigns

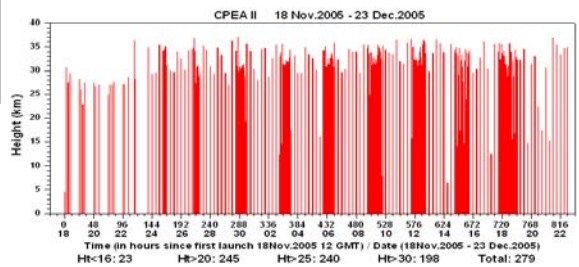
- (5) Koto Tabang
- (6) Jambi
- (7) Bandung
- (8) Biak
- (9) Watukosek
- (10) Pontianak
- Routine observation sites
- 5.30, 100.27, Penang (M)
- 6.17, 102.28, Kota Bharu (M)
- (2) 1.48, 110.33, Kuching (M)
- 3.20, 113.03, Bintulu (M)
- 5.93, 116.05, Kota Kinabalu (M)
- (1) 2.44, 101.42, KL (M)
- 4.27, 117.88, Tawau (M)
- 4.93, 114.93, Brunei
- (4) -0.88, 100.35, Padang (I)
- 6.12, 106.65, Jakarta (I)
- 1.53, 124.92, Menado (I)
- 0.68, 119.73, Palu (I)
- 5.07, 119.55, Ujung Pandang (I)
- (3) 1.22, 103.59, Singapore

CPEA-II: Nov 18–Dec 23, 2005
 ① 6 hourly at (5)EAR (background)
 ② Hourly launches for 19-32 times during 9 IOP



CPEA-I: Apr 10–May 8, 2004 (30 days)

- ① 6 hourly at (5)EAR, (7) Bandung and (6) Jambi, and 2-4 launches/day at (4) Padang.
- ② Enhanced routine soundings of 3-4/day at (3) Singapore and (1) KL and (2) Kuching in Malaysia.
- Intensive Radiosonde Campaign (ITM5)**
 3 hourly for 5 days from 00Z on April 18 at (5), (4), (6) and (1).

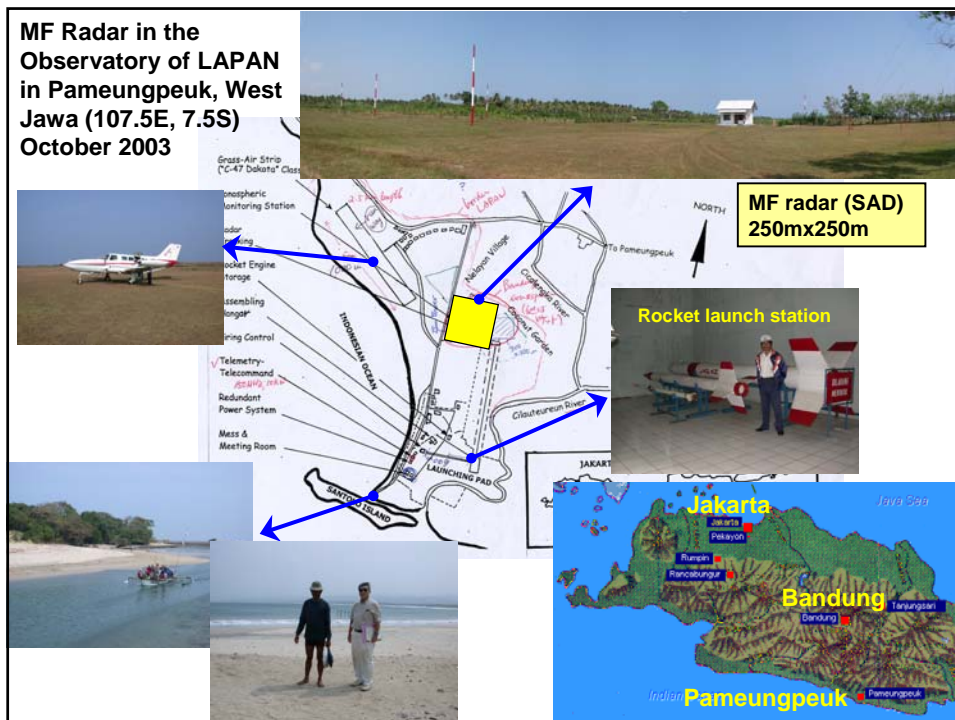
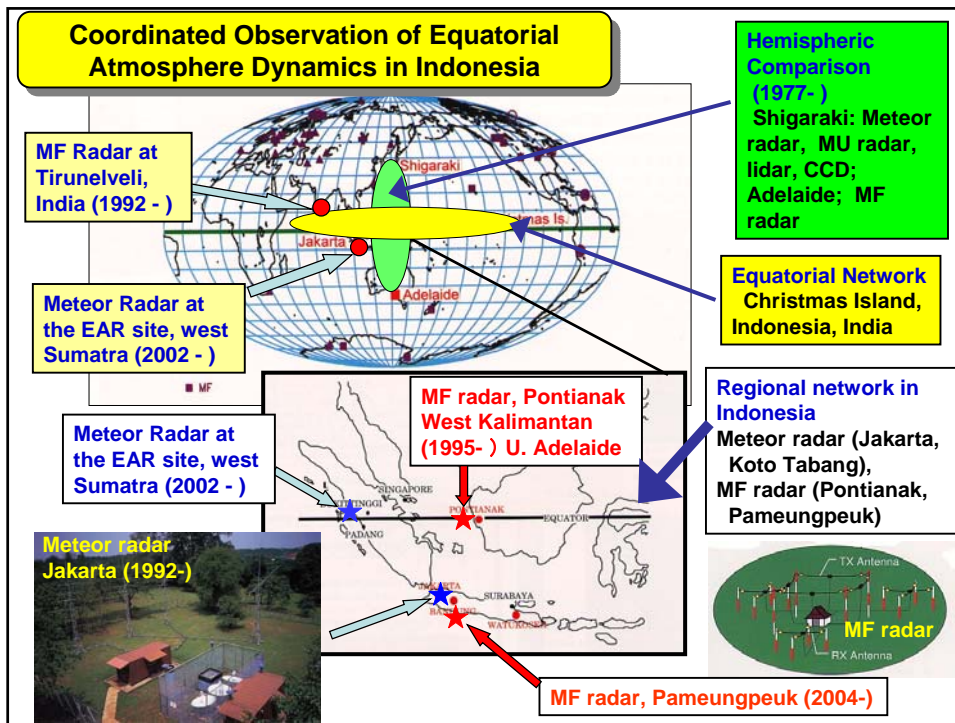


(b) MLT領域(高度70–100km)のリージョナルネットワークレーダー観測

- ジャカルタ郊外(6S,107E)で1992–2000年に流星レーダー(MWR)観測を継続。
 - 2002年11月にはEARサイト(100E, 0S)で流星レーダー観測を開始。
 - ジャワ島Pameungpeuk(7.5S, 107.5E)で2004年3月にMFLレーダー(MFR)観測を開始。
 - アデレード大と共同で1995年からカリマンタン島Pontianak (0N, 109E)で観測を行ってきたMFLレーダーを改良し、2002年より運用を再開。
- これら3点で約1000kmスケールのリージョナルMLTレーダーネットワーク観測を行ない、MLT領域の大気波動の構造を解析した。

	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07
Jakarta MWR																
Koto Tabang MWR																
Pamengpeuk MFR																
Pontianak MFR																
Tirunelveli MFR																

CPEA



(2) 積雲対流による大気波動の励起・伝播の4次元構造(時間・高度、空間分布)の解明

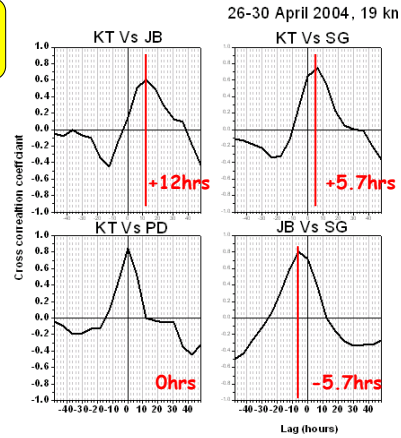
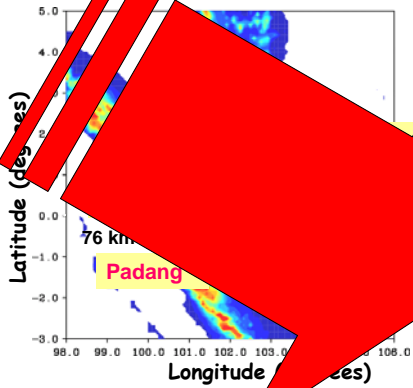
(a) ラジオゾンデ観測キャンペーン(A03班、A01班等と共同)

ラジオゾンデ(VAISALA製GPSゾンデ)による大規模な集中観測を計3回実施した。

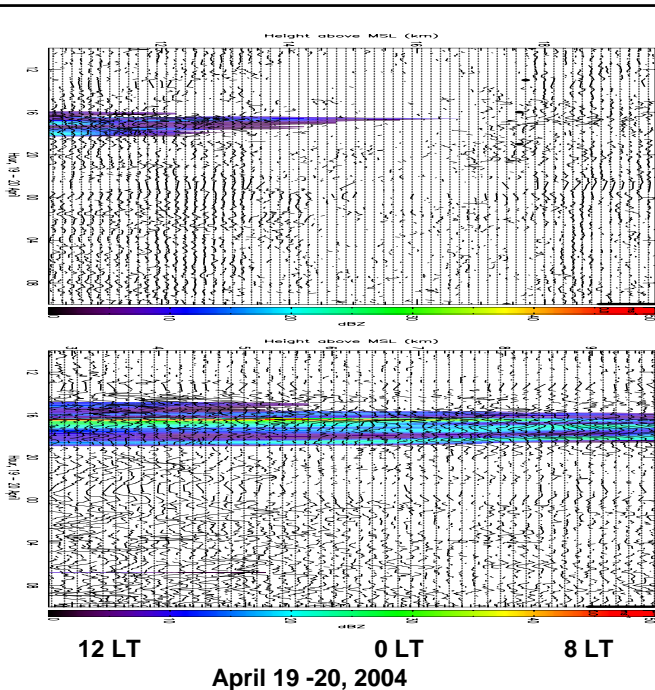
- (1) 2001年10-12月に北オーストラリアのDarwinを中心に、孤立型巨大積乱雲(Hector)に関して日・豪・米等の共同で行われたDAWEX(Darwin Area Wave Experiment)において、大気波動の励起状況を観測した。
- (2) CPEA-I キャンペーン:2004年4-5月の1ヶ月間に3-6時間間隔で気球観測を行った。周期2-3日、鉛直波長3-5kmの下方位相伝搬する大気重力波が対流圏上部から成層圏にかけて顕著にみられ、その構造を多地点のゾンデ観測結果で明らかにした[Ratnam et al., JMSJ, 2006]。衛星観測の長波放射データ(OLR)で検出された対流活動を励起源とする、東進する重力波が見出された。
- (3) CPEA-II:2005年11-12月の1ヶ月間に6時間間隔で放球しつつ、約3日間ごとに19-32時間にわたり1時間間隔のラジオゾンデ集中観測を行なった。世界でも珍しい高時間分解能ゾンデデータから大気重力波の微細構造、一日周期潮汐波の特性が明らかになった。
- (4) 2004-5年にマレーシアで得られた定常ゾンデ観測網データを解析することで、大気重力波と平均風との相互作用や季節変化などを明らかにした。

* 上記以外に数日～数週間のラジオゾンデ集中観測を随時実施した。

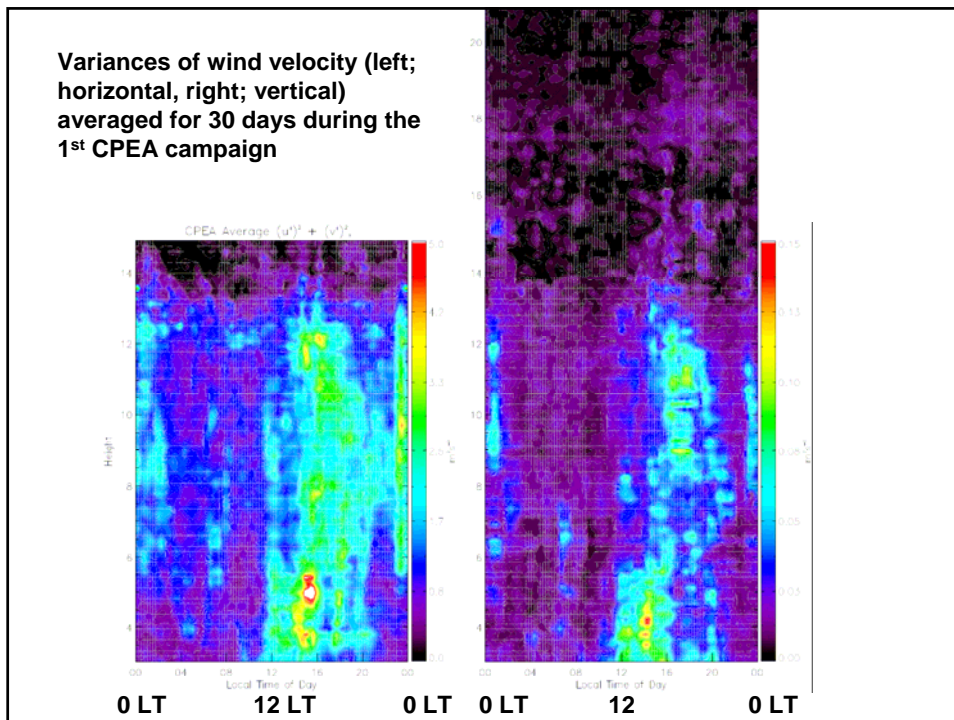
Cross Correlation Analysis of Wind Velocity Perturbations on April 26-30



- From time variations, the dominant wave period is estimated as 48 hrs.
- A CCF analysis between two sites provides a phase delay, then, an apparent horizontal wave length can be inferred.
- Using all combination of the CCF analysis among the 5 stations, we determined the horizontal propagation direction as -30 deg from East and the horizontal wave length as 1,700 km.

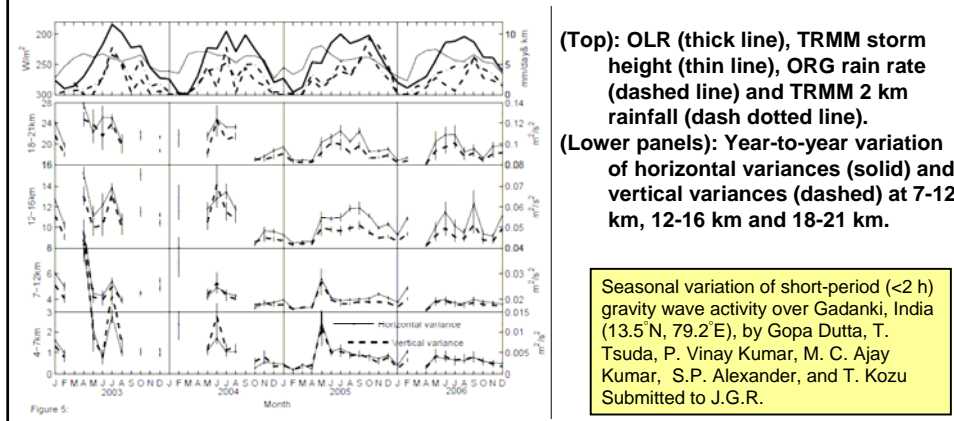


Contour plot of X-band radar reflectivity at EAR site with vertical wind fluctuations overplotted. The bottom figure shows heights below 10 km MSL, while the top figure shows heights above 10 km MSL. The time period for both graphs is from 1000 LT 19 April until 1000 LT 20 April. Cold point tropopause heights are displayed in the upper graph as solid circles. These were calculated from radiosondes (when available).



(c) 赤道大気レーダーでの対流圏の重力波の解析 (A01班、A03班と共同)

- データ取得率の高い高度12kmまでのEAR観測を用いて(2002-6年)、大気重力波(GW)の季節変化、年々変化などの気候学的特性を解析。
- GW活動度が半年周期で変動し、特に短周期の風速変動(<2h, <24h)が卓越。
- TRMM-PR(降雨)データと比較した結果、統計的には整合性があった。EAR周辺の対流は地形の影響を受けており、衛星による広域データと異なる場合がある。
- EAR観測から運動量フラックスを明らかにした。
- 同様の解析をインドGadankiのMSTレーダーにも適用し、GWの季節変化や運動量フラックスを解析。対流活動が大気重力波の重要な励起源である。



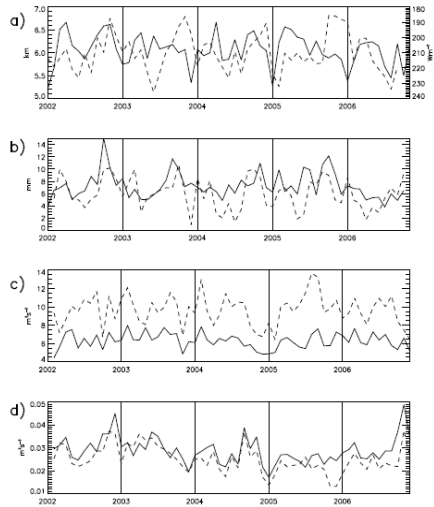


Figure 5. Outgoing long-wave radiation (dashed line, inverted scale to the right) and TRMM monthly storm height (solid line, scale to the left) in (a). The TRMM 2 km altitude rainfall (solid line) and EAR surface rainfall (dashed line) are in (b). Monthly mean $\overline{w^2 + v^2}$ averaged over 2 - 7 km (solid line) and 7 - 12 km (dashed line) are shown in (c). The corresponding $\overline{w^2}$ are shown in (d), with 2 - 7 km marked by the solid line and 7 - 12 km marked by the dashed line. Vertical lines in each panel represent the start of the year.

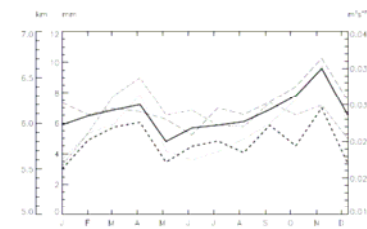
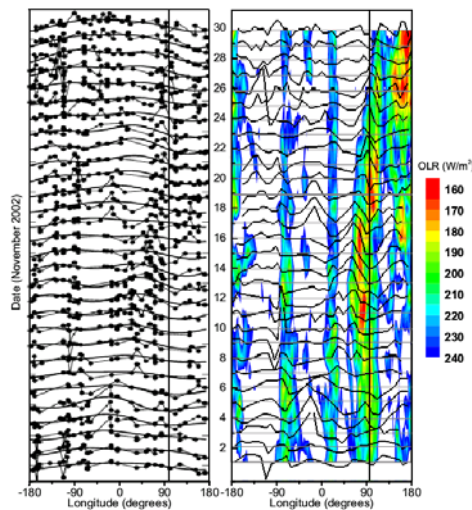


Figure 8. Direct comparison between monthly averaged radar $\overline{w^2}$ at 2 - 7 km (thick solid line), $\overline{w^2}$ at 7 - 12 km (thick dashed line), TRMM storm height (dash-dotted line), TRMM rainfall (long dashed line) and surface rainfall data (dotted line). The $\overline{w^2}$ scale is to the right, the TRMM and surface rainfall scale on the left and the storm height scale on the far left.

Seasonal Gravity Wave Activity
Observed with the Equatorial
Atmosphere Radar (EAR) and its
Relation to Rainfall Information
from the Tropical Rainfall
Measuring Mission (TRMM)
by
S. P. Alexander, T. Tsuda, Y.
Shibagaki and T. Koizu
Submitted to J.G.R. (in revision)

(d) 成層圏のケルビン波の構造と長期変動の解明(A03班と共同)

- CPEA-I、IIのラジオゾンデデータ、CHAMP衛星によるGPS掩蔽観測データ
- 鉛直波長6-7km、周期10-12日のケルビン波は、波数1-2であるが、対流圏では波数が大きいケルビン波が積雲対流に結合して東方伝播していた。
- QBOに伴ってケルビン波の振幅は変動し、また北半球の冬にピークになる年周変化がみられる。ケルビン波振幅と対流圏界面高度の変化がよく対応している。



LEFT

Time-longitude variations of T' (dotted thin line) and TF' (smoothed curve) at 16 km (left panel) in November 2002.

T' and TF' are constructed every three adjacent days and are vertically shifted to the middle date daily.

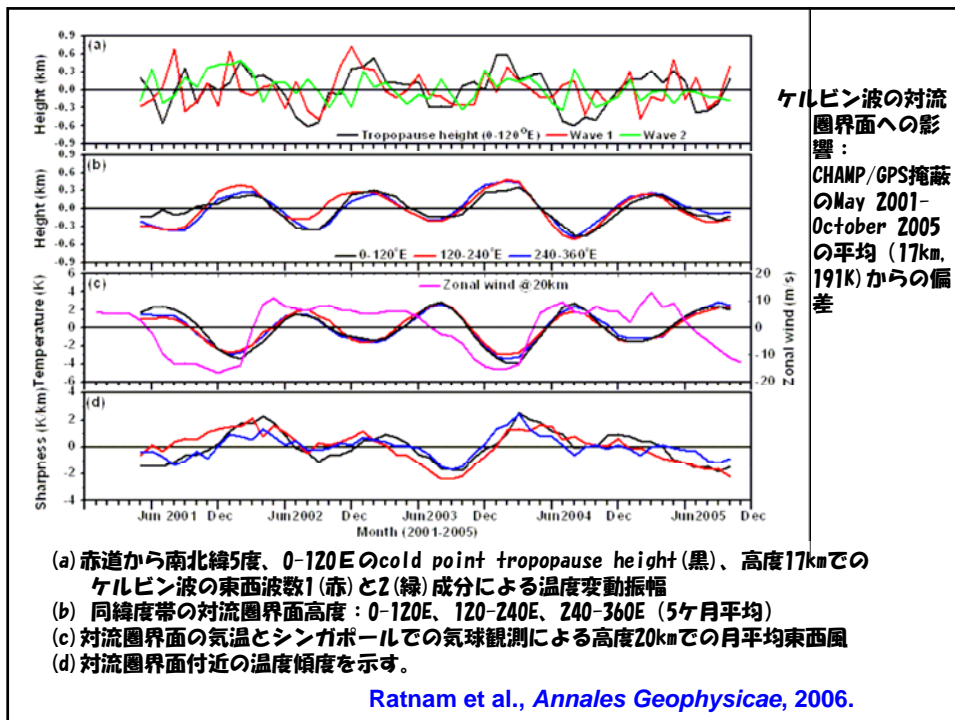
Each curve is shifted 4 K vertically. The vertical line at 100E (EAR).

RIGHT

(contour): Time-longitude section of OLR over 10N-10S

Time-longitude variations of the deviation from the TF' ($TF' - T' = TR'$) at 16 km.

Ratnam et al., JMSJ, 2006



(e) 赤道域中層大気の5-8日周期の波動の伝搬

- MLT(流星・MF)レーダー、CPEAゾンデ、定常ゾンデ観測、OLRによる雲量データ、TIMED衛星SABER、TIDIによる温度・風速データなどを解析。
- 対流活動には周期5-8日の東進・西進する成分があり、それらが東進ケルビン波と西進ロスビー波を励起すると思われる。これらの波動は上方伝搬する。
- 中層大気下部ではケルビン波が、その上のMLT領域ではロスビー波が卓越。
- 地上・衛星観測複合で、励起源からMLT高度まで波動の高度構造解明に成功。

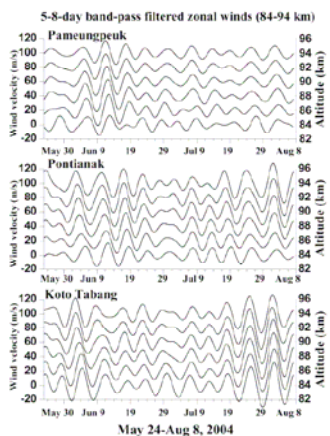


Fig. 4. 5-8-day band pass filtered zonal winds at 84-94 km over Pameungpeuk (top panel), Pontianak (middle panel) and Koto Tabang (bottom panel).

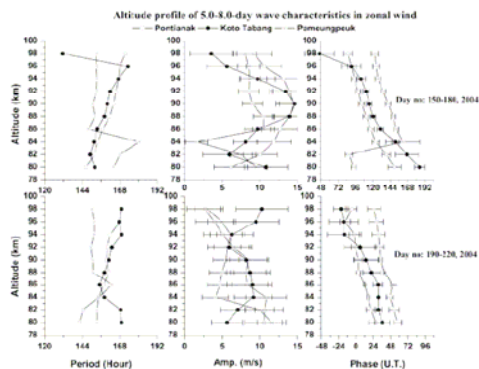
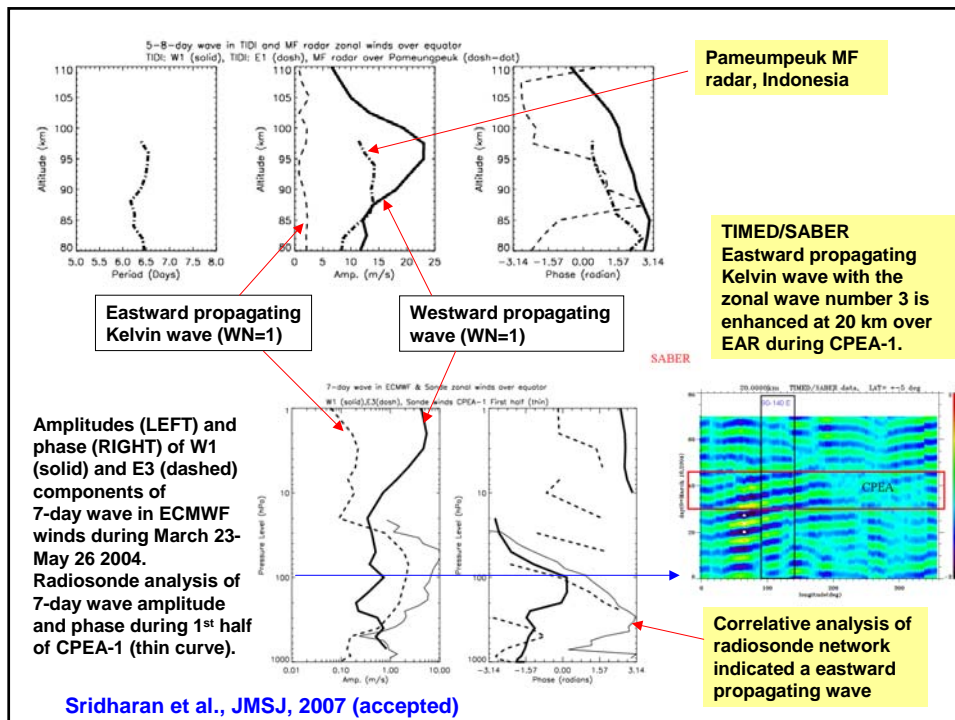


Fig. 5. Altitude profile of period of the wave in zonal wind estimated by residual sum of squares method (left panels); Amplitude of the wave corresponding to dominant period at each site (middle panels); Phase of the wave determined by fixing period of the wave equal to 156 hours (6.5-days) (right panels).

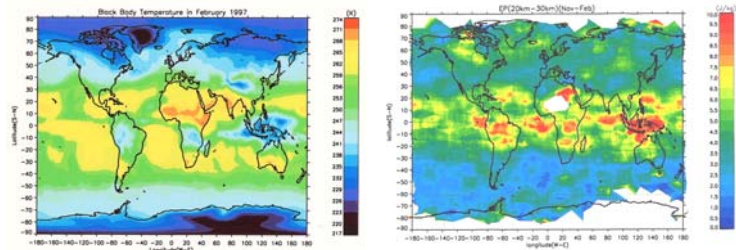


(3) 長期間データ(EAR、MLTレーダー、衛星)で赤道大気の気候学的特性を解明

(f) GPS掩蔽観測による成層圏での大気波動の活動

- CHAMP、SAC-C、COSMIC衛星などによるGPS掩蔽観測による温度プロファイルデータを解析し、大気波動エネルギー(Ep)を高度12-33kmで統計的に解析した。
- CHAMによる2002-2006年の長期データを解析した結果、12-2月に赤道域でEpが最大で、大気重力波およびケルビン波的擾乱が成層圏で増大していた。一方、アジアモンスーンに伴う積雲対流がインド・ベンガル域で活発になる6-8月にはインド北部・東南アジア域でEpが増大した。これらをTRMM観測やNCEPによる背景風と比較したところ、対流活動による波動励起とQBOとの波動・平均流相互作用がEpの気候学的特性を定めていることが分かった。

大気重力波のエネルギーは赤道域で大きく、積雲対流が活発な領域と対応する。特にインドネシア域で波動が強い。 Tsuda et al. (2000)



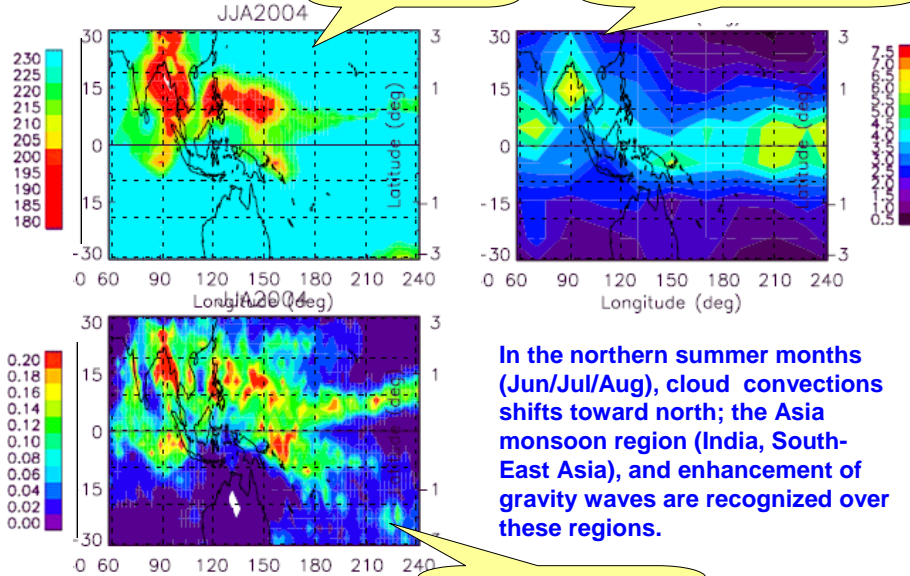
1997年2月の雲頂輝度温度(OLR)

1995-1997年の11月-2月に得られたGPS掩蔽による温度プロファイルを用いて解析された成層圏(20-30km)での波動エネルギー

Jun-Jul-Aug, 2004

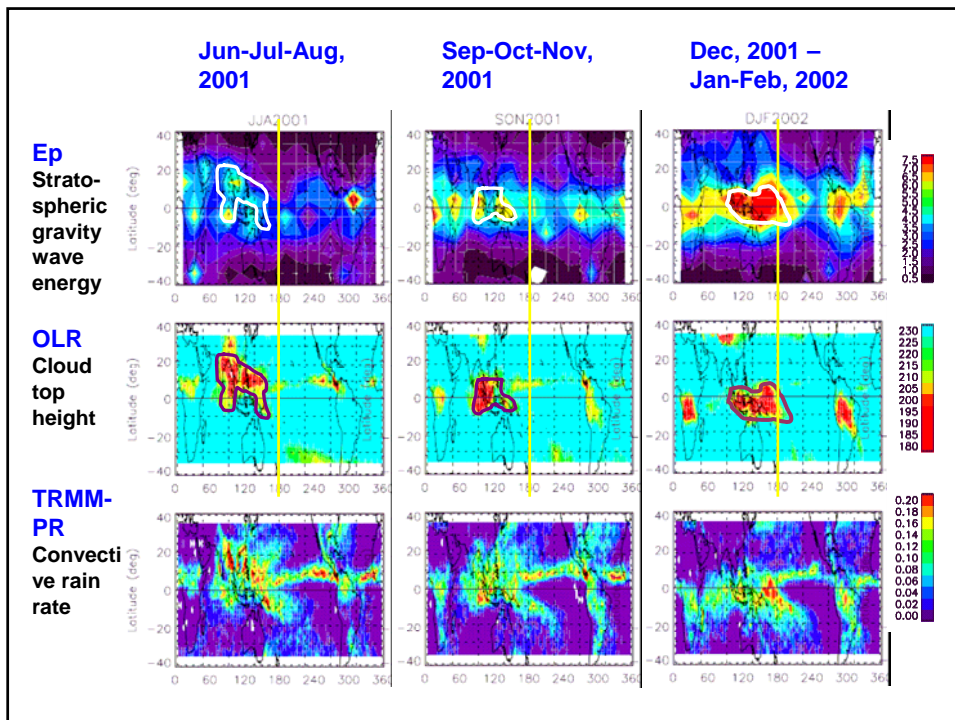
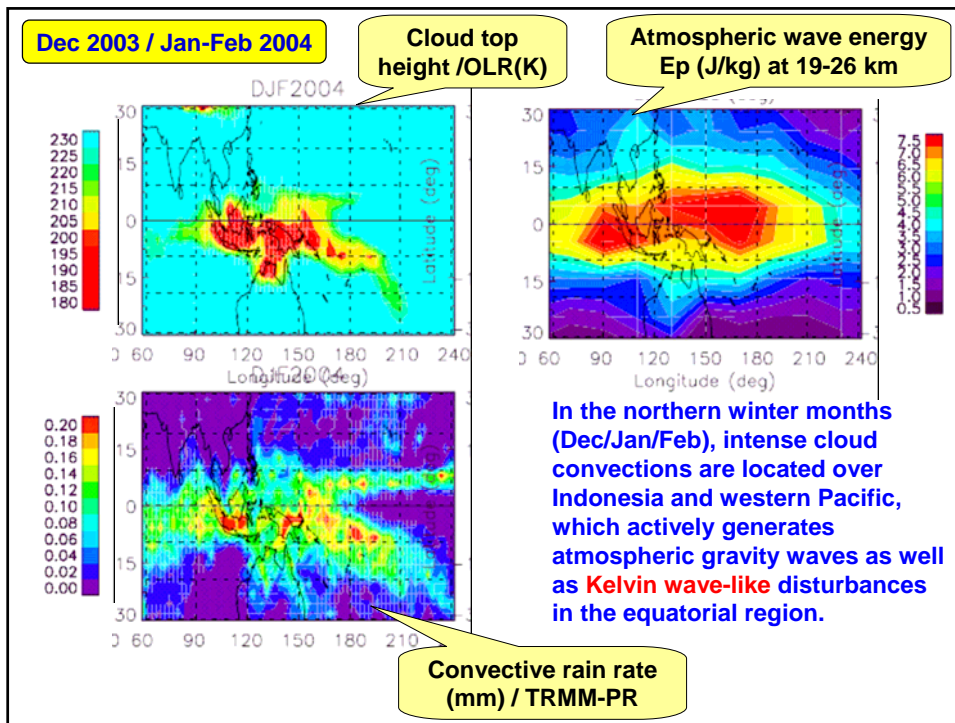
Cloud top height / OLR(K)

Atmospheric wave energy Ep (J/kg) at 19-26 km



In the northern summer months (Jun/Jul/Aug), cloud convections shifts toward north; the Asia monsoon region (India, South-East Asia), and enhancement of gravity waves are recognized over these regions.

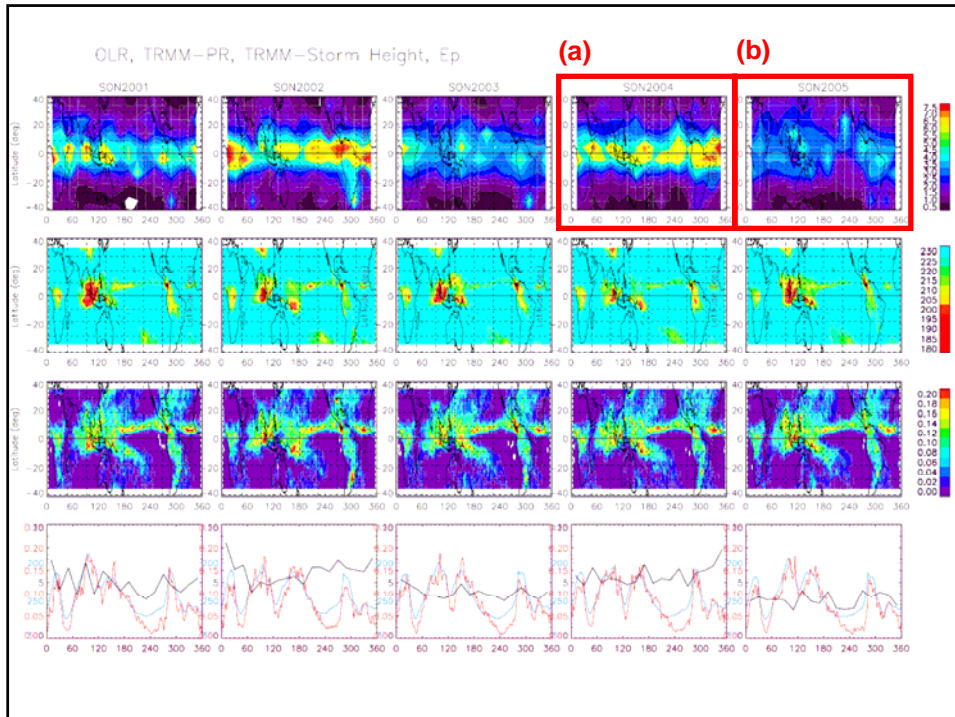
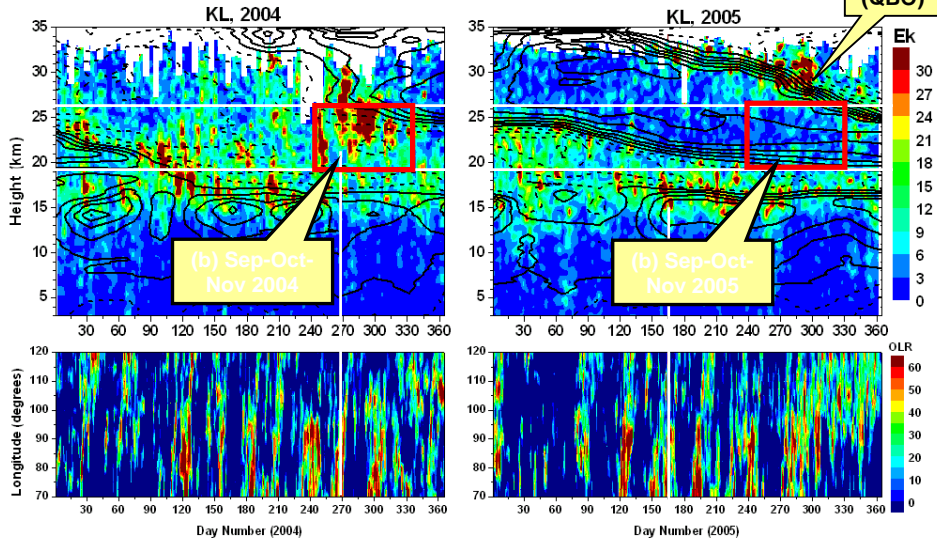
Convective rain rate (mm)/TRMM-PR

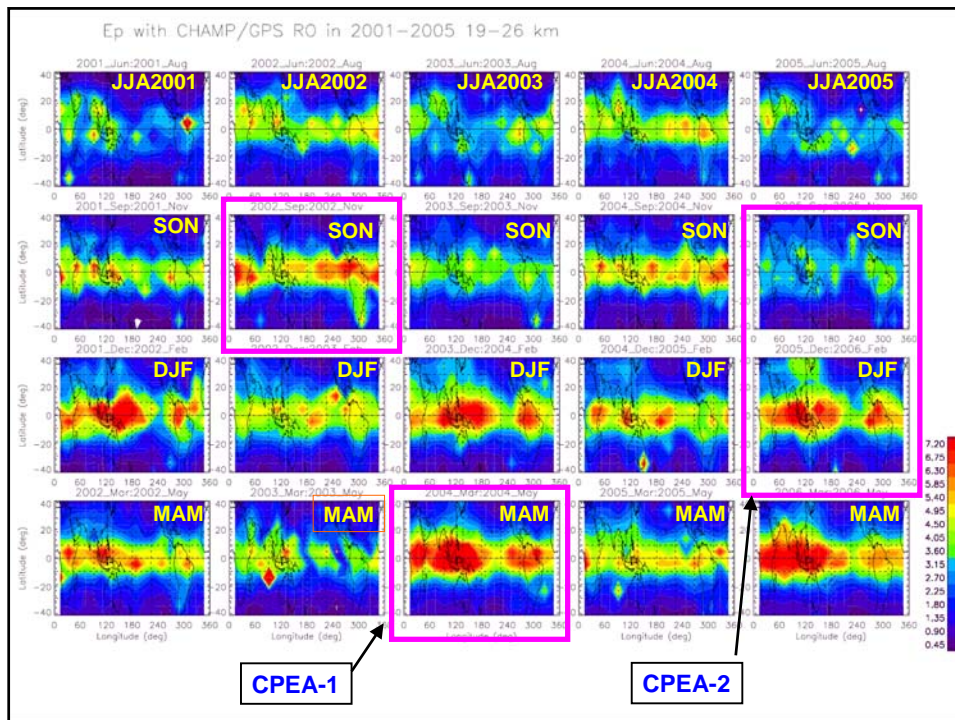


Time height distribution of the gravity wave energy (wind velocity) by using daily radiosondes at Kuala Lumpur (2.7N, 101.7E), Malaysia in 2004-2005 (Top), and longitude-time variations of OLR at 100E (bottom)

Gravity waves in the stratosphere are affected by the generation (convection) and interaction with the background mean winds (QBO)

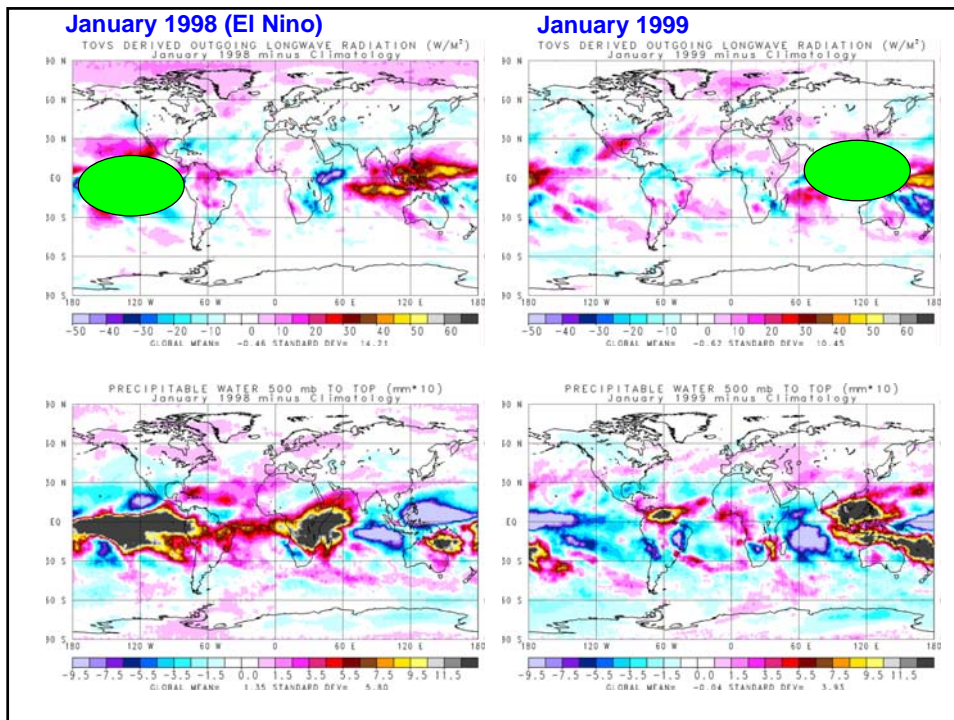
Zonal winds (QBO)



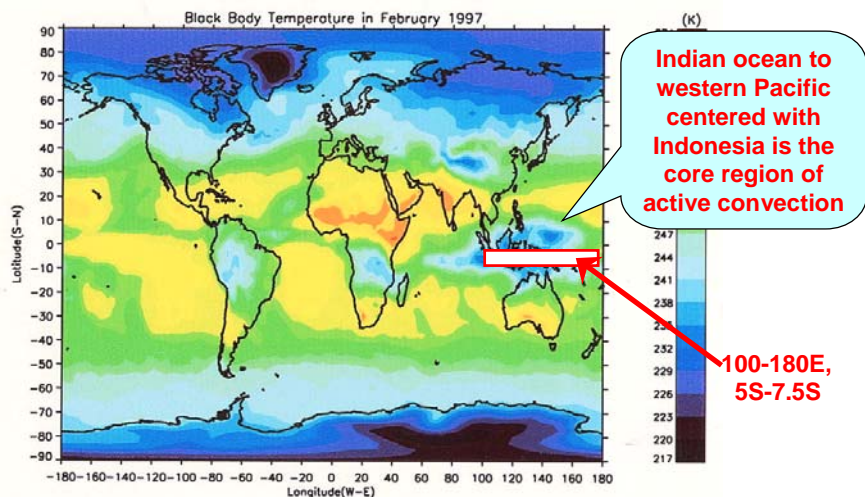


(g) MLT領域の年々変動および長期変動の解析

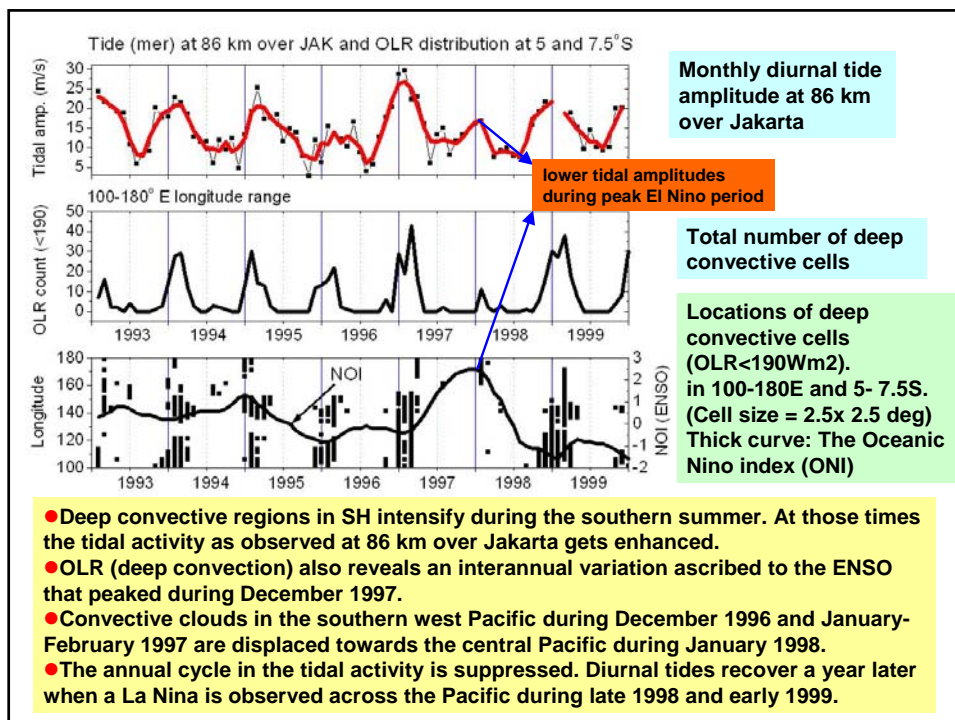
- ジャカルタでの流星レーダー観測およびインドのTirunelveli (8.7N, 77.8E)でのMFLレーダー観測から、低緯度MLT領域でもっとも顕著な1日周期大気潮汐波の年々変動を明らかにした[Gurubaran et al., GRL, 2005]。
- MLT領域の1日潮汐の南北風振幅の年々変動と、経度120度付近のOLR(対流活動)との間に強い対応関係があり、1997年のEl Ninoの影響が認められた。MLT高度の潮汐変動に対流活動の(ENSOなどによる)不規則変動が強く関わっており、潜熱・水蒸気分布の変動が原因と示唆された。
- 1993年-2006年のTirunelveli MFLレーダーによる長期観測結果を解析した。
- 平均南北風(子午面循環)には1年周期変動があるが、年々変動が現れた。
- 夏季の南北風に10年以上の長期トレンドが認められた。
- 東西風には半年周期振動があり、その西向き位相が2年ごとに増大する。これが約3年に延びたケースがあるが、その時期に成層圏QBOも3年に延びており、相互の関係が示唆された。



Distribution of Convective Clouds in Tropics from Satellite OLR Measurements in February 1997

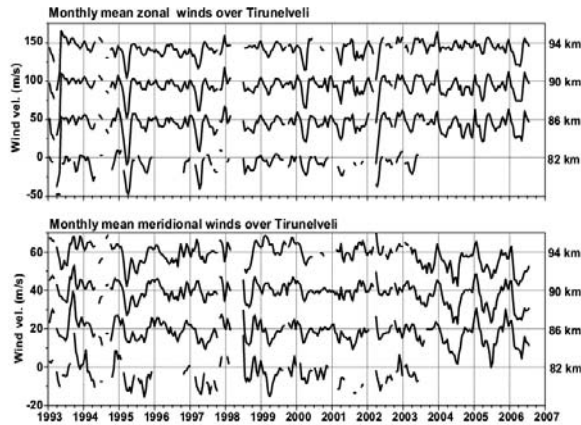


1. The black body temperature inferred from satellite measurements of OLR in February, 1997. (Grid size=2.5x2.5 deg in Lon and Lat.)
2. Active convections are seen over Indonesia, Africa and South America.



(g) MLT領域の年々変動および長期変動の解析

- ジャカルタでの流星レーダー観測およびインドのTirunelveli (8.7N, 77.8E)でのMFレーダー観測から、低緯度MLT領域でもっとも顕著な1日周期大気潮汐波の年々変動を明らかにした[Gurubaran et al., GRL, 2005]。
- MLT領域の1日潮汐の南北風振幅の年々変動と、経度120度付近のOLR(対流活動)との間に強い対応関係があり、1997年のEl Ninoの影響が認められた。MLT高度の潮汐変動に対流活動の(ENSOなどによる)不規則変動が強く関わっており、潜熱・水蒸気分布の変動が原因と示唆された。
- 1993年-2006年のTirunelveli MFレーダーによる長期観測結果を解析した。
- 平均南北風(子午面循環)には1年周期変動があるが、年々変動が現れた。
- 夏季の南北風に10年以上の長期トレンドが認められた。
- 東西風には半年周期振動があり、その西向き位相が2年ごとに増大する。これが約3年に延びたケースがあるが、その時期に成層圏QBOも3年に延びており、相互の関係が示唆された。

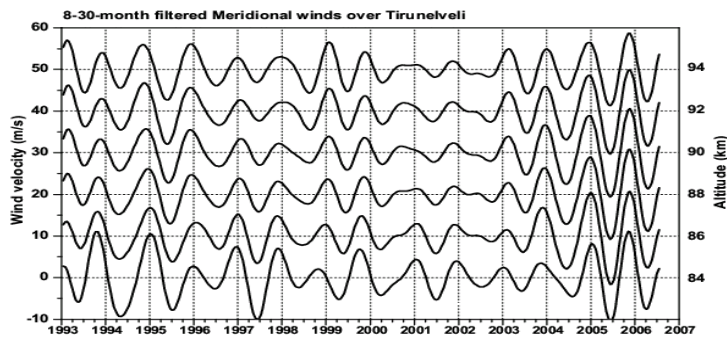


- The first westward phase undergoes interannual variability with large westward winds in the years 1993, 1995, 1997, 2000 and 2002 => MBO (Rajaram & Gurubaran, AG, 1998, Sridharan et al. 2003)

- Mean zonal winds show SAO with westward winds during equinox and eastward winds during solstice. Mean meridional winds show annual oscillation with southward winds in summer and northward winds during winter.

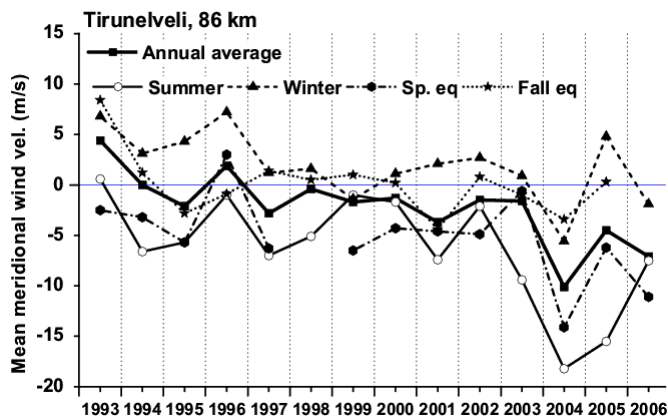
- When MSAO in zonal winds were largely enhanced, the corresponding variations sometimes seem to appear in the meridional winds as well.

- The southward winds during the years 2000-2002 are very weak. However, after the year 2004, the southward winds have become more prominent.



Annual oscillation (AO) is weaker during the years 2000-2002
 AO is again becomes stronger in the years 2002-2006

The irregular behaviour of MLT zonal winds after the year 1999 may be due to weakening of solar driven meridional circulation. However, the connection between the two is yet to be investigated.



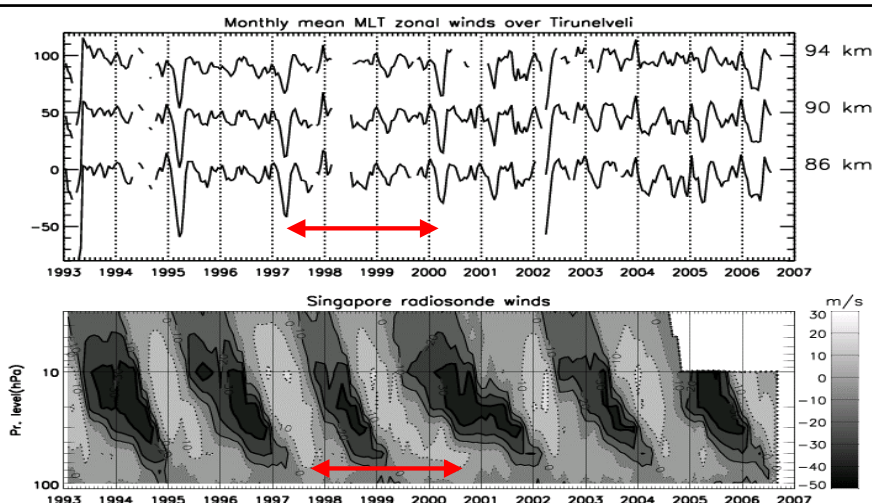
Decreasing tendency of annual mean northward winds observed in the years 1993-2006 (0.7 m/s/year)

In summer, the tendency is much weaker during 1993-2002

In winter and spring equinox: 0.5 m/s/year

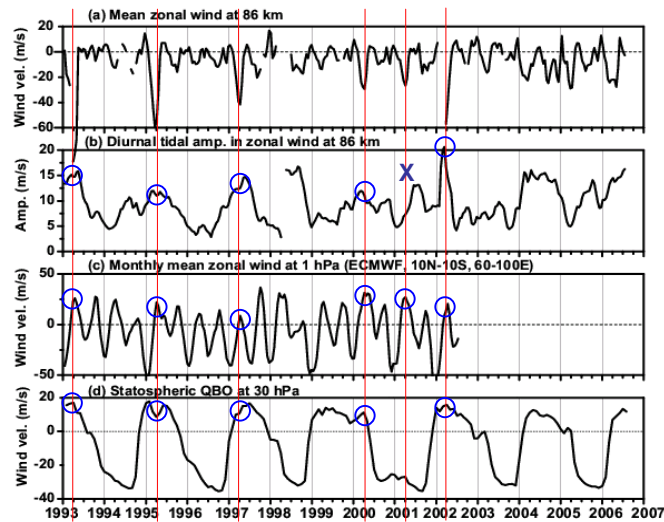
In fall equinox: 0.4 m/s/year

At higher heights (90 and 94 km), the decreasing tendency is clear only during winter (not shown)



Large westward MLT winds, which are **seasonally locked**, coincide with **eastward phase of SQBO** at all pressure levels SQBO. SQBO, which usually has nearly two year periodicity, was extended to three years.

Simultaneously, in MLT winds also, the large westward winds, which are expected to occur during 1999, occur during 2000. This suggests possible influence of SQBO on MSAO (by selective transmission of waves)



- Large westward winds coincide with larger diurnal tidal amplitudes
- Eastward phases of SQBO, SSAO: Large westward winds at MLT heights
- Unlike noted in mesospheric SAO, there is no significant change observed in stratospheric SAO during 2000-2003, when compared to the previous years (1993-1999).

(h) MLT領域短周期(<60 min)重力波の伝搬特性と対流活動との関係(A06班と共同)

- 西ジャワTanjungatiでの大気光イメージャ観測から、短周期重力波は中緯度(信楽)と異なりほぼ年中南方き伝搬が卓越することが分かった。
- 数値モデル(レイレーシング)により、対流活発域の分布が波動伝搬方向に関係することを見出した。これはKototabangでのイメージャ観測でも確認された。

(i) MLT領域風速と電離圏プラズマ及び金属原子層の相互作用の研究(A05, A01, A06班と共同)

- EARによるE層低高度コヒーレントエコー、金属共鳴散乱ライダーによるNa, Feなどの金属原子層の突発的増大(Fes, Nas)と流星レーダーによる風速との比較を行った。
- 低高度エコーと中性風速の類似性が示された。金属原子層の変動は中緯度と違って風速シアとの相関が低いことが示された。

A04班: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

研究成果のまとめ

- インドネシアの3点にMLT(流星・MFレーダー)観測所を設置し、連続運用した。また、ラジオゾンデによる集中観測キャンペーンを実施し、赤道大気の力学過程に関する大量のデータを取得し、解析した。
- 積雲対流による大気波動の励起・伝播の4次元構造(時間・高度、空間分布)を種々の地上・衛星観測で明らかにした。
- 5-15年にわたる長期観測データ(EAR、MLTレーダー、衛星観測)により赤道大気の様々な力学過程の長期変動を明らかにした。

達成度と波及効果

- ラジオゾンデやレーダー観測を実施して、衛星観測データやこれまでのレーダー観測データベースを併用することで、対流圏の対流活動から中層大気、超高層大気への波動を介した結合の詳細、さらにその長期変動の詳細が明らかになり、達成度は100%以上である。
- 特に、GPS掩蔽などの衛星観測データが波動の励起域から伝搬域にかけてのグローバルな特性を捉える上で予想以上の貢献を果たした。
- インドネシアは当然ながら、インド、オーストラリアなどの国際共同研究が飛躍的に進展し、今後も先端課題に関する研究協力体制維持が期待できる。
- レーダーネットワーク観測などの長期連続観測が、複雑に変動する地球大気の描像を捉える上で重要であり、今後も観測を継続する必要がある。