

日本気象学会誌 気象集誌
(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第84A巻 2006年7月 目次と要旨

論 文

Preface	i
Contents	iii
深尾昌一郎：赤道大気上下結合：プロジェクト概要	1-18
柴垣佳明・古津年章・下舞豊志・森 修一・村田文絵・藤吉康志・橋口浩之・ 深尾昌一郎：CPEA-I 期間中にインドネシア海洋大陸で観測された スーパークラウドクラスターの evolution とそれに対応した風速場	19-31
川島正行・藤吉康志・大井正行・本多哲也・古津年章・下舞豊志・橋口浩之： CPEA 第一次国際観測キャンペーン (CPEA-I) 期間中に行われた スマトラ島における降水系のドップラーレーダー観測の概要	33-56
Simon ALEXANDER・津田敏隆・古本淳一・下舞豊志・古津年章・川島正行： 第一次 CPEA 集中観測期間中の積雲対流の統計的特性の解析	57-93
Tri Handoko SETO・山本真之・橋口浩之・深尾昌一郎・阿保 真・古津年章・ Mahally KUDSY：赤道大気レーダーを用いたインドネシア・スマトラ島に おける西風バーストに関する研究—第一次 CPEA キャンペーンにおける 事例解析—	95-112
森 修一・濱田純一・山中大学・児玉安正・川島正行・下舞豊志・柴垣佳明・ 橋口浩之・Tien SRIBIMAWATI：赤道大気レーダー (EAR) で観測された インドネシア西スマトラにおける降水雲システム内の鉛直流特性について： 第一次 CPEA キャンペーン期間中2004年4月23~24日の事例解析	113-131
児玉安正・徳田弥夏・村田文絵：雷活動と Q1・Q2プロファイルにより評価された CPEA-I 期間中のインドネシア海洋大陸の対流活動	133-149
高薮 縁・横森淳一・米山邦夫：熱帯西部太平洋とインドシナ半島における 大気大規模場と積雲対流との相互作用に関する診断的研究	151-169
荒木龍蔵・山中大学・村田文絵・橋口浩之・奥勇一郎・Tien SRIBIMAWATI・ Mahally KUDSY・Findy RENGONO：インドネシア西ジャワ州スルボンで 観測された局地風と雲活動の日周期に関する季節変化と経年変化	171-194
古津年章・K. Krishna REDDY・森 修一・Merhala THURAI・J. Teong ONG・ D. Narayana RAO・下舞豊志：アジアモンスーン域における 雨滴粒径分布の季節・日周変化特性	195-209
前川泰之・藤原 正・柴垣佳明・佐藤 亨・山本 衛・橋口浩之・深尾昌一郎： 赤道大気レーダー観測所の Ku 帯衛星通信回線に対する熱帯降水現象の影響	211-225
西村耕司・後藤英公・佐藤 亨：マルチスタティック赤道大気レーダーによる 高分解能 3次元風速場観測	227-238
M. Venkat RATNAM・津田敏隆・柴垣佳明・古津年章・森 修一： CPEA キャンペーンのラジオゾンデ多点観測による赤道域の	

大気重力波の特性解析	239-257
Sundararajan SRIDHARAN・津田敏隆・中村卓司・古津年章・森 修一・ James M. RUSSELL : CPEA 集中期間中の熱帯域における 7日周期ケルビン波の特性	259-275
津田敏隆・M. Venkat RATNAM・古津年章・森 修一 : CPEA 集中観測 (2004年4~5月) のラジオゾンデと CHAMP/GPS 掩蔽データによる 10日周期のケルビン波の解析	277-293
Sundararajan SRIDHARAN・津田敏隆・Robert A. VINCENT・中村卓司・ EFFENDY : 赤道域の MLT 領域における 5~8日周期波動のレーダー観測	295-304
塩川和夫・鈴木 臣・大塚雄一・小川忠彦・中村卓司・Martin G. MLYNCZAK・ James M. RUSSELL III : 赤道域中間圏におけるフロント構造の総合観測	305-316
柴田泰邦・長澤親生・阿保 真・斎藤 享・丸山 隆・中村卓司 : 赤道域における 中間圏界面近傍のスポラディック Fe 層およびスポラディック Na 層の ライダー観測	317-325
小川忠彦・大塚雄一・塩川和夫・齊藤昭則・西岡未知 : インドネシア上空の電離圏擾乱と その擾乱が対流圏大気重力波によって誘起される可能性について	327-342
大塚雄一・塩川和夫・小川忠彦 : GPS 三点観測によって得られたインドネシア上空の 電離圏シンチレーションと東西ドリフト速度	343-351

.....◇.....◇.....◇.....◇.....

深尾昌一郎 : 赤道大気上下結合 : プロジェクト概要

Shoichiro Fukao : Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA) : A Project Overview

赤道域は強い太陽放射のため積雲対流活動が地球上で最も活発であり、これによって励起される各種大気擾乱が対流圏から成層圏・中間圏を経て熱圏・電離圏に至る広い高度域に強い上下結合を引起している。しかしながらこれまで観測の欠如または未蓄積のため多くの重要な物理過程が未解明のまま残されてきた。特定領域研究『赤道大気上下結合 (Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere ; 略して CPEA)』(2001~2006年度) は、赤道域でも特にこの上下結合が顕著に発現すると考えられる海洋大陸・赤道インドネシア域でその観測的解明を目指すものである。

CPEA の全体計画は「1. 機器開発フェーズ」, 「2. 個別研究フェーズ」及び「3. 総合研究フェーズ」からなる。これまでにインドネシア共和国スマトラ島コトタバン (Kototabang ; 0.20°S, 100.32°E) にある『赤道大気レーダー (Equatorial Atmosphere Radar ; EAR)』の周辺に、順次、Xバンド気象ドップラーレーダー、MF レーダー、大型高機能ライダーなどの各種観測装置の現地設置を進める一方、EAR

など当初から展開されてきた一部観測装置による長期観測も並行して開始した。これに加えてインドネシア、マレーシア、シンガポールの計7か所にラジオゾンデ打ち上げ拠点を整備した。機器開発フェーズと個別研究フェーズの一つの集大成として、2004年3~5月に第一次国際観測キャンペーン (CPEA-I) を成功裡に実施した。

本稿では、CPEA の概要と CPEA-I を中心にこれまでに得られた主な成果を概観する。例えば、(1) OLR と対流活動の対応について、一般に衛星高度から観測される OLR は背の高い活発な積雲対流活動の指標とされている。しかし地上に設置された Xバンド気象レーダー観測との対比により、OLR はインドネシア海洋大陸域では必ずしも背の高い降水システムの指標になっていないことが判明した。(2) ラジオゾンデや GPS 観測により各種の波動が見出された。また EAR 観測により赤道ケルビン波が圏界面で碎波し、乱流が強化される様子が捉えられた。(3) さらに積雲対流活動の影響が中間圏界面高度域の力学にまで

及んでいることなど、対流シグナルが中間圏・熱圏現象に多数見出された。(4) 南北地磁気共役性が際立ってよい中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) が、地磁気共役の位置関係にある日本 (佐多) とオーストラリ

ア (ダーウィン) に設置した全天大気光カメラ (高度 250 km 付近からの放射光を撮像) で初めて捉えられた。その実態が中性大気と電離圏プラズマ間の強い結合を示唆するものであることが判明した。

柴垣佳明・古津年章・下舞豊志・森 修一・村田文絵・藤吉康志・橋口浩之・深尾昌一郎：CPEA- I 期間中にインドネシア海洋大陸で観測されたスーパークラウドクラスターの evolution とそれに対応した風速場

Yoshiaki SHIBAGAKI, Toshiaki KOZU, Toyoshi SHIMOMAI, Shuichi MORI, Fumie MURATA, Yasushi FUJIYOSHII, Hiroyuki HASHIGUCHI, and Shoichiro FUKAO : Evolution of a Super Cloud Cluster and the Associated Wind Fields Observed over the Indonesian Maritime Continent during the First CPEA Campaign

CPEA 第 1 次キャンペーン (CPEA- I) 期間中の 2004 年 4 月 10 日～5 月 9 日に対流圏特別観測が実施され、スマトラ島およびその周辺の 7 地点では高層観測が、西スマトラのコタバナン (KT ; 100.32°E, 0.20°S, 865 m) では気象レーダー・ウインドプロファイラ観測が行われた。5 月 4～7 日には、西風バースト (WWB) を伴うスーパークラウドクラスター (SCC) がインドネシア海洋大陸を東進した。本研究では、GOES-9 赤外データと CPEA 観測データを用いて、SCC の evolution とそれに対応した風速場を詳しく調べた。

この解析期間、東インド洋で発達した SCC は、スマトラ到着時に急速に衰弱し、カリマンタンで再発達した。SCC の東進はメソスケールクラウドクラスター (CC) の連続的な形成の結果起こり、SCC の変

移はその CC の evolution に関係していた。スマトラで形成された CC 領域は、WWB が西スマトラの山脈に到着と同時に減少し始めるが、それは約 9 時間の間山脈付近で卓越した。

赤道に沿って並んだ高層観測データから、スマトラでの WWB の移動速度はインドネシア海洋大陸の地形に影響されスマトラ・カリマンタン間の海上よりも半分近く遅くなっていた。また西スマトラでは、山脈での WWB のピーク高度はその風上側よりも 1.5 km 上昇していた。これは WWB の東進が山脈によって阻止されたことを示し、この WWB に対する地形の影響はその周辺で CC がみられる間、持続したと考えられた。さらに KT でのレーダー観測から、山脈での WWB に対応した地形性降雨の特徴や SCC 内の詳細な風構造が明らかになった。

川島正行・藤吉康志・大井正行・本多哲也・古津年章・下舞豊志・橋口浩之：CPEA 第一次国際観測キャンペーン (CPEA- I) 期間中に行われたスマトラ島における降水系のドップラーレーダー観測の概要

Masayuki KAWASHIMA, Yasushi FUJIYOSHII, Masayuki OHI, Tetsuya HONDA, Toshiaki KOZU, Toyoshi SHIMOMAI, and Hiroyuki HASHIGUCHI : Overview of Doppler Radar Observations of Precipitating Cloud Systems in Sumatra Island during the First CPEA Campaign

2004 年 3～5 月にインドネシアのスマトラ島で CPEA 第一次国際観測キャンペーン (CPEA- I) が行われた。本研究では CPEA- I の 4 月 10 日～5 月 9 日に行った X バンドドップラーレーダー (XDR) 観測で捉えられた降水系の特徴と、MJO の位相との関係について調べた。

まずレーダー反射強度で 40 dBZ 以上の強い対流性エコーと 10～40 dBZ のエコーに分類し、各々のエコーの占有面積と高度分布について調べた。MJO の対流不活発期 (4 月 10～22 日)・活発期 (4 月 23 日～5 月 6 日) を通し降水には顕著な日変化が見られ、強い対流性エコーの占有面積は現地時間の 16 時頃最大

となり、40 dBZ以下のエコーの面積は夕刻に最大となった。対流不活発期の降水は、観測範囲内の山岳域で正午頃発生し、夕方にかけて深い対流システムに発達する降水系によりもたらされた。それらの降水系は多くの場合は南西に進行したが、2つに分裂後南西と北東の両方向に進行するものも観測された。一方、対流活発期の降水はスーパークラウドクラスター (SCC) を構成する既存の雲システムが発達することによりもたらされた。40 dBZ以下のエコー面積は不活発期に比べ大きくなったが、強い対流性エコーについては不

活発期よりも面積は小さく、エコー頂高度は低くなった。このようなMJOの対流活発期・不活発期での降水系の違いをもたらす環境要因について高層観測データをもとに議論を行った。

また、複数の事例を選んで降水系の構造と発達に関し解析を行った。このうち、5月5～6日のSCC通過時の事例の解析からスマトラ島の地形がSCCに伴う降水系と下層の西風域の東進を一時的に妨げる働きをもつことが示唆された。

Simon ALEXANDER・津田敏隆・古本淳一・下舞豊志・古津年章・川島正行：第一次CPEA集中観測期間中の積雲対流の統計的特性の解析

Simon ALEXANDER, Toshitaka TSUDA, Jun-Ichi FURUMOTO, Toyoshi SHIMOMAI, Toshiaki KOZU, and Masayuki KAWASHIMA : A Statistical Overview of Tropospheric Convection during the First CPEA Campaign

CPEAキャンペーン中の2004年4～5月に、赤道大気レーダー (EAR) にRASSを加えて、風速3成分、気温、水蒸気の時間変動を観測した。対流圏の積雲対流が活発な午後に、下部成層圏では、水平風の分散値は $1.5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ に、鉛直風の分散は $0.03 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ にも達した。また、気温と比湿の分散も午後に増大した。積雲対流にともなう運動量フラックスの振幅は成層圏下部 (18～20 km) において東西、南北成分とも平均で $0.7 \sim 0.9 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ と見積もられた。ただし、東西運動量フラックスはわずかに西向きで、南北成分は非常に小さかった。CPEAキャンペーン中に現れた4つの積雲対流イベントと3つのスーパークラウドクラスターを詳細に解析し、水平・鉛直風分散が平常時の5

～10倍になり、特に、強い対流の直上の成層圏では擾乱が増大することを示した。成層圏における鉛直風の振幅は、積雲対流が無い場合には $0.05 \sim 0.1 \text{ ms}^{-1}$ であったが、積雲対流時には $0.1 \sim 0.4 \text{ ms}^{-1}$ に急増した。もっとも、積雲対流が通過するとすぐに背景値まで小さくなった。一方、気温変動の振幅は、平常時は 0.5 K だったが、積雲対流がある場合には $1.0 \sim 2.0 \text{ K}$ となった。なお、4つのイベントのうち2回では、積雲対流が通過した後数時間にわたり気温擾乱は増大したままであり、鉛直風擾乱とは特性が異なっていた。積雲対流が通過するほとんどの場合、高度4 km以下で水蒸気量が大きく増えた。強い積雲対流時には比湿が50%も増えるケースがあった。

Tri Handoko SETO・山本真之・橋口浩之・深尾昌一郎・阿保 真・古津年章・Mahally KUDSY：赤道大気レーダーを用いたインドネシア・スマトラ島における西風バーストに関する研究—第一次CPEAキャンペーンにおける事例解析—

Tri Handoko SETO, Masayuki K. YAMAMOTO, Hiroyuki HASHIGUCHI, Shoichiro FUKAO, Makoto ABO, Toshiaki KOZU, and Mahally KUDSY : Observational Study on Westerly Wind Burst over Sumatra, Indonesia by the Equatorial Atmosphere Radar—A Case Study during the First CPEA Observation Campaign—

インドネシア・スマトラ島西側の山岳部に位置するコタバン (0.2°S , 100.32°E) に設置された赤道大気レーダー (EAR) の鉛直データ等を用いて、第

一次CPEAキャンペーンの西風卓越期における風速及び雲の変動を調べた。東進するスーパークラウドクラスターの通過に伴い5月5日以降高度5.5～6.0 km

以下で西風が強化された。高度2.5~4.0 kmで10 m s⁻¹以上に達する西風（西風バースト）は、インド洋から相対湿度60%以下の乾燥大気を輸送し5月7日以降コトタバンの対流活動を抑制した。対流活動が抑制された7日以降には、ミーライダーにより非降水の雲が高度5~8 kmに観測された。

5月7日以降に、周期約12時間の鉛直流変動が高度2.5~5.5 kmで観測された。同様の周期を持つ変動は高度1.5~2.5 kmの東西風にも観測された。また、数100 kmスケールのラジオゾンデ観測では下降流となる一方、コトタバンにおける高度2.5~4.0 kmの日平均鉛直流は、西風が10 m s⁻¹以上となる5月7~8日

には7~8 cm s⁻¹の上昇流であった。これらの観測結果はスマトラ島西岸の急峻な山岳と西風がコトタバンでの鉛直流変動に影響した可能性を示唆している。

周期約12時間の鉛直流変動は、高度3.0~5.5 kmに存在していたリチャードソン数 (Ri) が0.45以下となる、あるいは西風が東風となる領域を上端としていた。0.45以下の Ri は、西風域上部の10 m s⁻¹ km⁻¹以上の大きい東西風鉛直シアと3 K km⁻¹以下の小さい温位勾配により発生していた。これらの事実は、シア不安定あるいは東西風の風向の変化が鉛直流変動の上方伝搬を抑圧した可能性を示唆している。

森 修一・濱田純一・山中大学・児玉安正・川島正行・下舞豊志・柴垣佳明・橋口浩之・Tien SRIBIMAWATI : 赤道大気レーダー (EAR) で観測されたインドネシア西スマトラにおける降水雲システム内の鉛直流特性について : 第一次 CPEA キャンペーン期間中2004年4月23~24日の事例解析

Shuichi MORI, HAMADA Jun-Ichi, Manabu D. YAMANAKA, Yasu-Masa KODAMA, Masayuki KAWASHIMA, Toyoshi SHIMOMAI, Yoshiaki SHIBAGAKI, Hiroyuki HASHIGUCHI, Tien SRIBIMAWATI : Vertical Wind Characteristics in Precipitating Cloud Systems over West Sumatra, Indonesia, Observed with Equatorial Atmosphere Radar : Case Study of 23-24 April 2004 during the First CPEA Campaign Period

様々な熱帯降水雲中の力学的、熱力学的構造を探るため、赤道大気上下結合 (CPEA) 第一次国際観測キャンペーン (CPEA-I) 対流圏特別観測期間 (2004年4月10日~5月9日) に赤道大気レーダー (EAR) および X バンド ドップラーレーダー (XDR) を用いてインドネシア海洋大陸スマトラ島西部における降水雲中の鉛直流プロファイル (VWP) 特性を調べた。XDR 同時観測により同定された層状性および対流性の降水雲内における鉛直流の詳細が EAR により直接観測された。ケーススタディとして季節内変動 (ISV) のオンセットに対応するスーパークラウドクラスター (SCC) が詳しく調べられた。SCC は3つのクラウドクラスター (CC) から構成され、各 CC は XDR 観測の反射強度場から層状性および対流性の雲領域に分割された。反射強度場の変動に対応して鉛直流も時間および高度方向に大きな変動が現れるものの、鉛直流プロファイルの構造は対応する XDR 観測10 dBZ エコー頂高度 (H_{10dBZ}) に強い関連

性を示していた。H_{10dBZ}で階層化した累積反射強度プロファイルおよび累積鉛直流プロファイルは次の特徴を持つ。1) 対流雲の累積プロファイルは H_{10dBZ} = 10 km にて2グループに分割でき、背の低いグループは最下層に大きな上昇流を示す強い反射強度構造を持つ。一方、背の高いグループは H_{10dBZ}付近に顕著な上昇流と高度8 km以下に明らかな下降流を持つなど明らかな反射強度プロファイルを示す。2) 層状雲の累積プロファイルは H_{10dBZ} = 6 および10 km で3分割できる。最も背の低い浅い層状雲以外の2グループでは H_{10dBZ}高度増加と共にブライトバンドがより明瞭になり、同時にブライトバンドより上層における上昇流が強化される。これらの累積反射強度プロファイルは熱帯降雨観測衛星 (TRMM) による全球累積降雨プロファイルと、鉛直流プロファイルは高層ゾンデ網同時観測データから計算された鉛直流プロファイルと各々比較、議論された。

児玉安正・徳田弥夏・村田文絵：雷活動と Q1・Q2プロファイルにより評価された CPEA-I 期間中のインドネシア海洋大陸の対流活動

Yasu-Masa KODAMA, Mika TOKUDA, and Fumie MURATA : Convective Activity over the Indonesian Maritime Continent during CPEA-I as Evaluated by Lightning Activity and Q1 and Q2 Profiles

2004年4月10日～5月9日の期間、CPEA第1次キャンペーン（CPEA-I）で得られた多地点の高層ゾンデ観測のデータ、および、熱帯降雨観測衛星（TRMM）に搭載されている雷観測装置（LIS）で観測された雷活動のデータを用いて、インドネシア海洋大陸西部の対流活動を調べた。MJO活発期が始まるまでの間、活発な雷活動と背が高く水平スケールの小さい積雲を伴うOLRの低い領域が大きな島にみられた。MJO活発期には、3つのスーパークラウドクラスター（SCC）を含む1つのMJO雲システムがインドネシア海洋大陸の西部を通過した。MJO雲システムの東端に存在するSCC（SCC1）は活発な雷を伴っていた。SCC1の通過後、OLRの低い領域が島だけでなく海上にも広がり、大きな島の雷活動は弱まった。その後通過したSCCは、SCC1に比べて雷活動は弱かった。スマトラ島中部（以下、陸域）とスマトラ島とカリマンタン島間の海（以下、海域）を対象として、それぞれの領域を取り囲む高層ゾンデ観測データ

を用いて、大気の成層、鉛直流、見かけの熱源（Q1）、見かけの水蒸気シンク（Q2）の解析を行った。MJO活発期の前には、海域から陸域にむけての鉛直循環があり、陸域の対流不安定度が大きかったが、これらは、MJO活発期が始まると弱まった。陸域のQ1とQ2の正のピークの高さの差は、活発期開始前は大きく、開始後は減少した。これは、開始前に対流性の降水、開始後には層状性の降水が卓越することを示し、前述した大きな島の雷活動の変化と整合する。過去に西太平洋域のMJO雲システムを対象に行われた研究で、雲システムの東側では背の高い対流が、西側では層状性の降水が卓越することが指摘されていた。今回のCPEA-I期間中のMJO雲システムは、海洋大陸のプロッキング効果をメソスケールや総観規模スケールにおいて受けたことが指摘されているが、降水特性でみた大規模スケールの構造には、西太平洋域と共通する特徴が見られることがわかった。

高薮 縁・横森淳一・米山邦夫：熱帯西部太平洋とインドシナ半島における大気大規模場と積雲対流との相互作用に関する診断的研究

Yukari N. TAKAYABU, Jun'ichi YOKOMORI, and Kunio YONEYAMA : A Diagnostic Study on Interactions Between Atmospheric Thermodynamic Structure and Cumulus Convection over the Tropical Western Pacific Ocean and over the Indochina Peninsula

本研究では、積雲対流活動と大気の熱力学的構造との関係を目的として、高層ゾンデ観測データの解析を行った。海上のデータにはJAMSTECの観測船「みらい」、「かいよう」、「なつしま」による熱帯西部太平洋上の高層ゾンデデータ、陸上のデータにはGAME-tropics観測におけるチェンマイ、ノンカイ、ウボンラチャタニの三つの観測点における高層ゾンデデータを用いた。

まず、GMS赤外TBBデータを積雲対流活動の指標とし、高層ゾンデデータから5個の成層の指標を定義した。それぞれの指標の特徴および統計的関係を解析した。積雲対流活動は下層600～800 hPaの平均相対湿度と最も相関がよく、CAPE、CINとの有意な

相関はなかった。

次に、積雲対流活動のデトレインメントと成層との関係を調べるために、雲診断モデルを用いた。その結果、基本的に下層（900 hPa付近）、中層（450 hPa付近）、上層（150 hPa付近）の3レベルにデトレインメントのピークが出やすいことを示した。また海上においては、対流圏下層が乾燥した成層は、同時に中・下層の安定層を伴う傾向があった。そのような場合は、対流圏中下層での積雲対流活動のデトレインメントが強められ、対流圏上層でのデトレインメントが弱められる。

最後に、逆に積雲対流活動の大規模場への影響を調べるために、ITCZ域の南北で子午面風をコンポジッ

トした。その結果、熱帯西太平洋域では、ITCZを中心とした子午面循環には、下層収束・上層発散のハドレー循環に加え、対流圏中層の融解層レベル付近（約550 hPa）の有意な子午面発散成分と、350~400 hPa付近の有意な子午面収束成分があることが分かった。

このような中層の2次的な子午面循環の存在は雲診断モデルに実際に観測された大気成層構造を適用して診断されるデトレインメント構造に対応している。つまり、大規模循環において融解や凍結などの雲微物理が重要な役割を果たしていることを示唆している。

荒木龍蔵・山中大学・村田文絵・橋口浩之・奥勇一郎・Tien SRIBIMAWATI・Mahally KUDSY・Findy RENGONO：インドネシア西ジャワ州スルボンで観測された局地風と雲活動の日周期に関する季節変化と経年変化

Ryuzo ARAKI, Manabu D. YAMANAKA, Fumie MURATA, Hiroyuki HASHIGUCHI, Yuichiro OKU, Tien SRIBIMAWATI, Mahally KUDSY, and Findy RENGONO : Seasonal and Interannual Variations of Diurnal Cycles of Wind and Cloud Activity Observed at Serpong, West Jawa, Indonesia

ジャカルタ近郊スルボン（106.7°E, 6.4°S）における風の日周期とスルボン周辺の雲活動日周期の季節変化及び経年変化について記述した。乾季のスルボン（5~10月）では、海陸風循環に伴った風の日変化が卓越していた。雨季（11~4月）でも海陸風循環に矛盾しない日変化が見られたが、乾季に比べて明瞭ではなかった。雨季のスルボンにおける下層（高度1 km以下）の北風（海風と同じ向き）の卓越時刻は乾季よりも早かった。スルボンの地上気温日変化における最高気温の時刻は、雨季の方が乾季に比べて早かった。雨季では、背景風（日平均風）が弱い程海陸風循環の鉛直構造に似た構造が明瞭であった。これらの結果は、

局地循環が地上気温に依存していることや、背景風が弱い時に卓越するという特徴と一致する。雨季に典型的な風の日変化は、背景風が強い北西から西寄りの風の時不明瞭であった。風の日周期には経年変化が見られ、それは乾季から雨季への遷移期が経年変化をすることに対応していた。西ジャワ州では雨季に雲活動日変化が卓越しており、雲活動は正午から夕方の陸域、特にスルボンの南に位置する山岳域で顕著であった。山岳域で雲活動が活発なときにスルボンにおける高度1 km以下で北風が卓越することは、局地的な雲システムの発達が局地循環に伴っているという特徴に一致する。

古津年章・K. Krishna REDDY・森 修一・Merhala THURAI・J. Teong ONG・D. Narayana RAO・下舞豊志：アジアモンスーン域における雨滴粒径分布の季節・日周変化特性

Toshiaki KOZU, K. Krishna REDDY, Shuichi MORI, Merhala THURAI, J. Teong ONG, D. Narayana RAO, and Toyoshi SHIMOMAI : Seasonal and Diurnal Variations of Raindrop Size Distribution in Asian Monsoon Region

アジアモンスーン域の雨滴粒径分布特性を明らかにするため、ガダンキ（南インド）、シンガポールおよびコトタバン（インドネシア西スマトラ州）において雨滴計により観測された雨滴粒径分布の日周および季節変化を調査した。1年を南西モンスーン前期（4~5月）、南西モンスーン期（6~9月）、北東モンスーン前期（10~11月）、および北東モンスーン期（12~3月）に分類し、また一日を0~6 LT, 6~12 LT, 12~18 LT, および18~24 LTに分けて、雨滴粒径分布の特性を調べた。その結果、各地の雨滴粒径分

布は、対流活動の日周変化や降雨特性の季節変化に影響され、大きく変動することがわかった。ガダンキでは、最も顕著な雨滴粒径分布の季節変化がみられた。これは、夏季の南西モンスーンと冬季の北東モンスーンに伴う降雨特性の明確な違いが雨滴粒径分布に反映しているためと考えられる。コトタバンでは、最も顕著な雨滴粒径分布および降雨量の日周変化がみられた。これは、コトタバンにおいては海陸風や地形の影響により、一般に午後に対流活動が最も活発となることと関連があると考えられる。一方、海陸の降雨の影

響を両方受けるとみられるシンガポールでは、日周変化も季節変化もそれほど明確ではなかった。次にレーダー降雨観測への応用を念頭におき、これらの地域に適用できる Z-R 関係について検討した。マーシャル・パルマーの Z-R 関係式 ($Z=200R^{1.6}$) を用いた場合の降雨強度推定誤差は、季節変化や日周変化の大

きな場合を除いて全般に 1.5 dB 以下であった。この結果は、レーダーによる降雨観測において、降雨が顕著な季節変化や日周変化を示す地域では、雨滴粒径分布 (Z-R 関係) の変動にも注意が必要であることを示唆している。

前川泰之・藤原 正・柴垣佳明・佐藤 亨・山本 衛・橋口浩之・深尾昌一郎：赤道大気レーダー観測所の Ku 帯衛星通信回線に対する熱帯降水現象の影響

Yasuyuki MAEKAWA, Tadashi FUJIWARA, Yoshiaki SHIBAGAKI, Toru SATO, Mamoru YAMAMOTO, Hiroyuki HASHIGUCHI, and Shoichiro FUKAO: Effects of Tropical Rainfall to the Ku-Band Satellite Communications Links at the Equatorial Atmosphere Radar Observatory

本研究では、京都大学生存圏研究所 (RISH) と赤道大気レーダー観測所 (EAR, 0.2°S, 100.3°E) の間をスーパーバード C (軌道位置 144°E) で結ぶ Ku 帯 (14/12 GHz) 衛星回線に対して、赤道域の降雨が与える影響について調査を行った。2003年から2005年の3年間にわたって日本とインドネシアの両方の地球局において受信信号レベルをモニターすることにより、熱帯において初めて上り回線 (地球局から衛星) と下り回線 (衛星から地球局) の電波の降雨減衰測定を行った。まず上り回線と下り回線の減衰量の比率に関しては、10 dB を越える高減衰域において、インドネシア側の EAR 局では日本側の RISH 局よりも幾分か大きくなることが示された。これは赤道域の方が比較的小さな雨滴粒径分布 (DSD) の影響が大きいことを意味し、単一の降水セルをもつ比較的水平スケールの小さな降水雲により多く発生することが X 帯気象

レーダーの同時観測により示された。一方降雨減衰発生時間率統計に関しては、年平均では降水量の多い熱帯の EAR 局の方が大きい。年間の季節変化は降水量と気温両方の変動の大きい温帯の RISH 局の方が、逆に大きくなることが示された。また両局におけるこれらの降雨減衰統計の測定値は、降雨強度の実測値に基づいた ITU-R (世界電気通信連合無線通信部門) 勧告による予測値といずれも良い一致が見られた。ただし、インドネシア側の EAR 局では 10 dB 以上の高減衰域の時間率は ITU-R 法による予測値よりもかなり小さくなり、降雨強度が上空でも一定とした場合の雨域等価通路長は強雨時には 2 km 程度となることが示された。この値は局所的な対流性降雨が多い赤道域においてもかなり短い値であり、EAR が標高 860 m の高地にあることや単一セルの降水雲が頻繁に観測される等の特殊事情も考慮する必要がある。

西村耕司・後藤英公・佐藤 亨：マルチスタティック赤道大気レーダーによる高分解能 3 次元風速場観測

Koji NISHIMURA, Eikoh GOTOH, and Toru SATO: Fine Scale 3D Wind Field Observation with a Multistatic Equatorial Atmosphere Radar

従来のモノスタティック大気レーダーでは、原理的に視線方向ドップラー速度の観測のみが可能である。3次元風速ベクトルの推定には、複数の異なる散乱体積における視線方向速度を測定し、風速場が一様であるという仮定の下に推定を行うため、空間分解能が制限される。この仮定は乱流や大きな鉛直運動を伴う対流活動の観測において特に問題となる。マルチスタ

ティックレーダーはモノスタティックドップラー速度の測定に加え、送信を行うレーダーから離れた位置に設置された複数の受信機で観測される側方散乱エコーのドップラー速度を用いて 3次元速度ベクトルを推定するものである。これにより空間一様性の仮定を排除した高分解能な観測が可能である。本研究では、単一のレーダーに加えそれぞれ 10本のアンテナから構成さ

れる2つの受信専用アンテナアレイを用いたマルチスタティックレーダーシステムを構築し、2004年9月に赤道大気レーダー (EAR) において対流圏観測を行った。受信アレイでは、デジタル受信機ボードを利用した各アンテナ独立の受信記録システムを構成した。これにより、ソフトウェア的に所望の方向を観測する事後ビーム走査を可能とし、光速で進行する送信パルス波方向へ受信ビームを追従させることにより高

感度な受信を実現した。また受信アレイでは、サイドローブで受信されるクラッターが非常に強く、微弱な大気エコーの抽出が容易ではないため、適応サイドローブ制御信号処理を導入し、微弱な大気エコーの抽出が可能になることを示した。観測結果の一例として水平断面および鉛直方向における3次元風速場を示し、従来一様性を仮定されていた空間内に有意な摂動が観測されることを明らかにした。

M. VENKAT RATNAM・津田敏隆・柴垣佳明・古津年章・森 修一：CPEA キャンペーンのリジオゾンデ多点観測による赤道域の大気重力波の特性解析

M. VENKAT RATNAM, Toshitaka TSUDA, Yoshiaki SHIBAGAKI, Toshiaki KOZU, and Shuichi MORI : Gravity Wave Characteristics over the Equator Observed during the CPEA Campaign using Simultaneous Data from Multiple Stations

2004年4月10日から5月9日にかけてインドネシア・スマトラの赤道大気レーダー (EAR) 観測所 (0.20°S, 100.32°E) を含む5か所で行われたリジオゾンデ集中観測の結果を用いて、慣性重力波の鉛直構造および時間変動を解析した。EAR以外の4点はEARから75~400 km 離れている。対流圏上部・成層圏下部において卓越した重力波が検出されたが、その周期は2~3日また鉛直波長は3~5 km で高度方向に明らかな下向き位相伝播が認められた。波動エネルギーは高度約20 km で最大となるが、必ずしも連続的に現れるのではなく、間欠的に増大した。重力波の振る舞いは5観測点で良く似ており、位相のずれはわずかであった。このことから、波動の水平スケールは観測点間の距離より大きいことが示唆された。2004年の4月26~30日に現れた重力波の水平伝播特性を、5点

間の相互相関解析したところ、水平波長 (λ_h) が約1700 km で東から南に30°の方向に伝播していたことが分かった。この水平伝播特性はホドグラフ解析でも検証された。4月10~14日および5月5~9日の事例では、 λ_h は2700 km と3250 km、波動伝播方向は東から北へ26°と3°偏っていた。長波放射 (OLR) の衛星データを用いて雲分布の時間・空間変動を調べたところ、スーパークラウドクラスター (SCC) がインド洋からインドネシア海洋大陸に向けて東方伝播し、それらのいくつかは観測点に到達していた。これらのSCCが重力波の励起に関与しており、また大気重力波は観測点のはるか西方で励起されていたことが示唆される。なお、特定の積雲対流活動に対応しない重力波の事例も見つかった。

Sundararajan SRIDHARAN・津田敏隆・中村卓司・古津年章・森修一・James M. RUSSELL : CPEA 集中期間中の熱帯域における7日周期ケルビン波の特性

Sundararajan SRIDHARAN, Tshitaka TSUDA, Takuji NAKAMURA, Toshiaki KOZU, Shuichi MORI, and James M. RUSSELL : Observations of the 7-day Kelvin Wave in the Tropical Atmosphere during the CPEA Campaign

CPEA キャンペーン (2004年4月10日~5月9日) 中にインドネシア域で得られたリジオゾンデ観測の風速と気温データを解析したところ、対流圏上部・成層圏下部に7日周期のケルビン波が、特にキャンペーン前半に顕著に現れたことが分かった。7日波の振幅は

高度20~21 km で大きくなった。相対位相の高度変化から、下向き伝播で鉛直波長が5.5~6.5 km と見積もられた。近接するリジオゾンデ観測点の間の相互相関解析から水平波数はおおよそ3であると推定された。TIMED 衛星搭載のSABER 観測データから、7日波

の水平構造を解析したところ、やはり水平波数が3であることが分かったが、さらにこの7日波は特に経度0~180°Eで大きくなっていた。長波放射 (OLR) にも類似した周期性と水平構造が認められたことから、積雲対流が7日波の励起に関わっていると推定され

る。多点でのラジオゾンデ観測データを用いて、7日波振幅の緯度分布を調べた。最大振幅が現れる緯度が赤道からわずかに北にずれており、また理論予想に比べて緯度分布幅が若干狭くなっていた。これは、東西風シアの影響ではないかと推論される。

津田敏隆・M. VENKAT RATNAM・古津年章・森 修一：CPEA 集中観測 (2004年4~5月) のラジオゾンデと CHAMP/GPS 掩蔽データによる10日周期のケルビン波の解析

Toshitaka TSUDA, M. VENKAT RATNAM, Toshiaki KOZU, and Shuichi MORI : Characteristics of 10-day Kelvin Wave Observed with Radiosondes and CHAMP/GPS Occultation during the CPEA Campaign (April-May, 2004)

赤道大気上下結合 (CPEA) プロジェクトの一環として、ラジオゾンデ集中観測を2004年4月10日から5月9日までの30日間にわたって、西スマトラの赤道大気レーダー (EAR) 観測所 (0.20°S, 100.32°E) を含むインドネシア海洋大陸域の7点で実施した。この時期には準2年周期振動 (QBO) は東向き位相であった。これらのラジオゾンデ観測データを用いて周期が10~12日で鉛直波長が6~7 kmのケルビン波の特性を解析した。また、CHAMP (CHallenging Mini satellite Payload/Global Positioning System) 衛星のGPS掩蔽データ (気温) を用いて、ケルビン波の水平伝播特性を解析した。その際、経度方向波数は1と2のみを仮定している。GPS掩蔽では波動振

幅は若干小さく見積もられたものの、成層圏ではラジオゾンデ観測結果の特性とほぼ一致した。しかし、対流圏界面付近および対流圏上部では両者の解析結果に差異が認められた。これは、GPS掩蔽の解析では表記できない東西波数3以上の波動成分が対流圏で卓越するからではないかと思われる。ケルビン波の振幅は対流圏界面付近および成層圏下部 (17~25 km) で大きく、25 km以上では減衰しており、従来の研究結果と齟齬がない。CPEA強化観測期間の前半では波数1が卓越し、後半では波数1と2が混在していた。なお、ケルビン波により対流圏界面付近の温度構造が変動を受けている様子が明らかになった。

Sundararajan SRIDHARAN・津田敏隆・Robert A. VINCENT・中村卓司・EFFENDY：赤道域のMLT領域における5~8日周期波動のレーダー観測

Sundararajan SRIDHARAN, Toshitaka TSUDA, Robert A. VINCENT, Takuji NANAKMURA, and EFFENDY : A Report on Radar Observations of 5-8-day Waves in the Equatorial MLT Region

インドネシア西スマトラのコッタバン (0.2°S, 100.3°E) に設置された流星レーダー、ならびに西カリマンタンのポンティアナ (0°, 109.3°E) および西ジャワのパンプク (7.5°S, 107.5°E) で運用されている中波帯 (MF) レーダーの観測結果を用いて、中間圏・熱圏下部 (MLT) 領域における5~8日周期の波動の特性を解析した。波動の水平風振幅は東西成分の方が大きく、北半球の春季の前後で卓越した。この大気波動は特に2003年に顕著に現れた。一方、2004年ではこの波動は6~8月に、特に東西風成分に顕著

に現れた。ポンティアナでの位相がコッタバンに先んじており、西向き伝播で波数1であると推定された。赤道上のコッタバンとポンティアナでは卓越周期は6.3~7.0日だったが、パンプクでは6.2~6.4日であり、わずかながら緯度変化があった。なお、波動の風速振幅および位相の高度構造は3つのレーダー点の間で類似していた。CPEA強化観測期間 (2004年4月10日~5月9日) の後半に周期6.4日の波動が増大した。

塩川和夫・鈴木 臣・大塚雄一・小川忠彦・中村卓司・Martin G. MLYNCZAK・James M. RUSSELL
III：赤道域中間圏におけるフロント構造の総合観測

Kazuo SHIOKAWA, Shin SUZUKI, Yuichi OTSUKA, Tadahiko OGAWA, Takuji NAKAMURA, Martin G. MLYNCZAK, and James M. Russell III : A Multi-Instrument Measurement of a Mesospheric Front-like Structure at the Equator

本論文では、2004年8月5日の夜間にインドネシア・コトタバン (0.2°S, 100.3°E) で観測された中間圏のフロント構造を、大気光全天イメージャー、分光温度フォトメータ、流星レーダー、TIMED衛星SABERによって総合的に観測した結果を報告する。このような中間圏のフロント構造は、高度80~100 kmで夜間にごくわずかに発光する大気光の画像中で、1時間程度のスケールで津波のように伝搬する構造として知られているが、その総合的な観測の例はこれまで数例しかなく、赤道域での総合観測はこれが初めてである。今回観測された東西波面を持つフロント構造は、52~58 m s⁻¹の速度で北向きに伝搬しており、その通過後に、水平波長30~70 kmの東西波面を

持つ波動を伴っていた。また、同時に大気光の回転輝線の強度比から見積もられた中間圏大気温度は、フロント構造の通過前から通過後にかけて、約10度減少したことも観測された。このような中間圏大気光画像に見られるフロント構造は、中間圏に存在する温度逆転層の中をダクト伝搬する bore (潮津波) であることが、これまで示唆されてきた。しかしながら今回の観測では、流星レーダーから得られた風速と SABER から得られた温度の高度プロファイルは、温度逆転層によるダクト伝搬のモデルを支持しなかった。むしろ、同時に観測された風速の強い鉛直シアがこの構造の生成に寄与しているのではないかと考えている。

柴田泰邦・長澤親生・阿保 真・斎藤 享・丸山 隆・中村卓司：赤道域における中間圏界面近傍のス
ポラディック Fe 層およびスポラディック Na 層のライダー観測

Yasukuni SHIBATA, Chikao NAGASAWA, Makoto ABO, Takashi MARUYAMA, Susumu SAITO, and Takuji NAKAMURA : Lidar Observations of Sporadic Fe and Na Layers in the Mesopause Region over Equator

本論文は、赤道直下のインドネシア・コトタバン (0.2°S, 100.3°E) に設置した2台の共鳴散乱ライダーによって2005年6~8月に観測された中間圏界面領域の Na 層および Fe 層の特性について報告している。層厚2~3 km程度のスポラディック Na 層 (Nas) とスポラディック Fe 層 (Fes) が、ほぼ全ての夜間観測中に出現した。Nas は高度95 km前後のみに出現し、Fes は Nas と同じ95 km 付近以外に中間圏界面高度以下と思われる高度90 km 以下にも出現

した。Nas の出現はイオノゾンデによって同時観測されたスポラディック E 層 (Es) の出現と良い一致が見られた。また、Nas および Fes の出現と流星レーダーによって同時観測されたウィンドシアーには相関が見られなかった。この結果は、中緯度の八王子 (35.6°N) および信楽 (34.9°N) における Na ライダーおよび MU レーダーによる同時観測結果と異なる傾向を示した。

小川忠彦・大塚雄一・塩川和夫・齊藤昭則・西岡未知：インドネシア上空の電離圏擾乱とその擾乱が対流圏大気重力波によって誘起される可能性について

Tadahiko OGAWA, Yuichi OTSUKA, Kazuo SHIOKAWA, Akinori SAITO, and Michi NISHIOKA : Ionospheric Disturbances over Indonesia and Their Possible Association with Atmospheric Gravity Waves from the Troposphere

CPEA プロジェクトの一環として、インドネシアのコタバン、日本及びオーストラリアにおいて夜間大気光と GPS 衛星電波を利用し、赤道電離圏・熱圏内の200~400 km 高度域における擾乱の地上観測を行ってきた。本論文の最初において、100~1000 km の空間スケールを持つ電離圏プラズマ擾乱、すなわち中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) とプラズマバブルに関する従来の研究成果を概説する。コタバン上空の MSTID は波長が700 km 程度で南に伝搬する波動であり、赤道電離圏異常内の電子密度が高い領域で観測される。日没後から真夜中にかけて観測される巨大なプラズマバブルは高度1800 km にも達し、同一の地球磁力線で結ばれた日本とオーストラリアの観測点において相似形を呈する。次に新たな研究成果を述べる。コタバンにおいて GPS 衛星電波を連続受信し、電離圏シンチレーションの研究を行ってきた。2003~2004年のデータを解析し、シンチレーションは春秋期の日没後から真夜中の時刻に発生すること、こ

のような特性はフィリピン、シンガポール、インドネシア上空に出現するプラズマバブルの出現特性とよく一致することを見出した。後者の事実は、バブルに伴う350 m スケールのプラズマ擾乱がシンチレーションを誘発することを意味する。MSTID やプラズマバブルの生成には波長が100~1000 km 程度の大気重力波 (AGW) が重要な働きをすることが示唆されてきたが、AGW が何処で発生し、どのような過程を経て熱圏に伝搬するのかについてはほとんど研究されていない。一つの可能性として、AGW が赤道域の対流活動で発生し、熱圏に上方伝搬してプラズマ擾乱をトリガーすることが挙げられる。これを検証するため、2年間のシンチレーションデータと気象衛星で測定された輝度温度 (雲頂温度) のデータを統計的に比較した。その結果、赤道付近の東経80度~95度 (コタバンの西5度~20度) におけるインド洋上の温度変化とシンチレーション発生との間に有意な相関が存在し得ることが分かった。

大塚雄一・塩川和夫・小川忠彦：GPS 三点観測によって得られたインドネシア上空の電離圏シンチレーションと東西ドリフト速度

Yuichi OTSUKA, Kazuo SHIOKAWA, and Tadahiko OGAWA : Equatorial Ionospheric Scintillations and Zonal Irregularity Drifts Observed with Closely-Spaced GPS Receivers in Indonesia

赤道域電離圏特有の現象であるプラズマバブルは、電離圏中のプラズマ密度が周辺に比べて極端に小さくなる現象である。プラズマバブル内部には、数百 m スケールをもつプラズマ密度の疎密構造が存在する。プラズマバブルの中を通過する電波は、この疎密構造によって回折されるため、電波の受信信号強度が変動する。この現象は、シンチレーションと呼ばれている。バブルの移動速度を測定するため、三台の一周波 GPS 受信機をインドネシア・コタバンの赤道大気レーダー (EAR) サイト (0.20°S, 100.32°E; 地磁気緯度10.6°S) に設置し、2003年1月から連続してシンチレーションの観測を行っている。GPS 受信機は、L1波 (周波数約1.6 GHz) の信号強度を20 Hz で取得

することができる。2003及び2004年に観測されたシンチレーション・データを解析することにより、分点時の地方時20~01時の間にプラズマバブルの発生頻度が高いことが明らかになった。また、9~10月よりも3~4月にプラズマバブルの発生頻度が高いという春・秋非対称性がみられた。一方、三台の受信機で得られた信号強度の相互相関を計算し、プラズマバブルのドリフト速度を求めた。2003, 2004年に得られたドリフト速度の統計解析から、日没直後におけるドリフト速度は9~10月よりも3~4月に大きいことが明らかになった。電離圏プラズマは太陽放射の影響を強く受けることから、従来、太陽天頂角が同じである春と秋では電離圏の現象に有意な差異は無いと考えられてき

た。しかし、本研究の結果は、電離圏現象にも春・秋非対称性が存在することを示している。これらの観測結果に基づき、東向きドリフト速度が東西電場及びプラズマバブル生成に関連していることを本研究で初め

て指摘した。また、プラズマバブルのドリフト速度の春・秋非対称性は、熱圏中性大気風速の春・秋非対称性によるものと考えられ、電離圏プラズマが熱圏中性大気の影響を強く受けていることを示している。