

「インドネシア域における赤道大気観測に関する第3回国際シンポジウム」の報告*

津田 敏隆^{*1}・塩谷 雅人^{*2}・中村 健治^{*3}
宮原 三郎^{*4}・竹内 謙介^{*5}

1. シンポジウム開催の背景と経過

1.1 赤道大気と地球環境変化

現在、大きな社会問題となっている地球環境変化は、季節進行の様に周期的な変化に非同期なゆらぎが自然発生することによる異常気象、あるいは自然界の定常状態が人類の産業活動に起因する変動を被ることによる気候変化に大別できる。赤道大気はこれらの変化を解明する上で大変重要な働きをすることが広く認識されるようになった。

赤道を中心とした緯度 $\pm 30^\circ$ の領域は、緯度範囲では地球全体の 1/3 であるが、面積では 1/2 であり、太陽放射の受光断面積では実に約 2/3 ともなる。この例から分かる様に赤道大気は太陽放射エネルギーを受け取る上で地球大気のうちでも最も重要な部分であり、大気大循環の動力源となるばかりでなく、積雲対流で代表される大気擾乱が活発に励起されている。さらに、赤道域ではコリオリ力による運動の減衰効果が小さいため大気擾乱は波動として容易に上方や経度・緯度方向に伝搬し、これらは最終的には赤道域で与えられたエネルギーを広く全地球に輸送する役割を果たしている。赤道域のなかでもとりわけ海洋と大陸が複雑に共存し、かつ水蒸気が豊富なインドネシアを中心とした西太平洋域では大気擾乱の励起が活発かつ流動的である。インドネシア域において積雲活動が大きく年々変動することが代表的な異常気象現象であるエルニーニョを引き起こしていると考えられてい

る。

地球大気の最下層に位置する人類の生存環境は厚い大気層によって何重にも保護されている。つまり、強烈な太陽放射はまず超高層大気（高度 100~1,000 km）によって受けとめられX線等が吸収され、さらに中層大気（高度 10~100 km）中のオゾン層等によって有害な紫外線が取り除かれ、生物にとって有益な浄化された太陽光のみが地表に降り注いでいる。一方、地表からの再輻射や、対流圏において雲を介在する水循環により放出された熱エネルギーは、大気中に有効に蓄積されている。

こうして太陽放射をエネルギー源とする地球環境システムには微妙なバランスが自然界においては維持され、人類の環境は快適に保たれてきた。しかし、人類の産業活動がこの自然界のシステムに狂いを生じさせ始めている。人類が生成する物質やエネルギーは、依然として自然の力に比べれば取るに足りないが、これらが大気の状態を制御する因子に関与する場合には地球規模の環境変化を引き起こし得る。

ところで、産業活動により排出された炭酸ガスやフロンといった化学物質は生成された場所に停滞するならば局所的な環境汚染を起こすに留まる。しかし、実際にはこれらは子午面循環により対流圏内を赤道方向に輸送され、各種の波動や積雲対流により赤道域の対流圏界面を通して中層大気中に持ち上げられ、大気大循環によりグローバルに輸送されている。とりわけインドネシア域赤道大気は化学物質を対流圏から中層大気に吹き上げる煙突領域であり、物質循環を詳しく調べる上で重要な役割を果たすとされている。

1.2 ICEAR 計画

赤道大気は太陽エネルギーや化学物質をグローバルに輸送する動力源であり、自然発生的あるいは人工的な地球環境変化を解明する上で鍵となる最も重要な地域であるにも拘らず、赤道域での総合的な研究体制が十分に整

* Report on the Third International Symposium on Equatorial Atmosphere Observations over Indonesia (Jakarta, 14-15 May 1991).

*1 Toshitaka Tsuda, 京都大学超高層電波研究センター。

*2 Masato Shiotani, 京都大学理学部。

*3 Kenji Nakamura, 郵政省通信総合研究所。

*4 Saburo Miyahara, 九州大学理学部。

*5 Kensuke Takeuchi, 北海道大学低温科学研究所。

備されていないために赤道大気の種類々の物理化学現象は未解明の部分が多い。

地球規模の現象を対象とするには国際共同研究が重要な研究手段であることは言うまでもないが、従来、受け入れ体制が不十分な発展途上国との共同研究は定期的には行われてこなかった。この結果、地球大気の上観測は先進諸国が分布する中高緯度で主に行われており、赤道域の研究がなおざりにされてきた事実は否めない。

いま正に、赤道域に集中している発展途上国との共同研究が差し迫った国際的要請である。近年、ヨーロッパとアメリカがそれぞれアフリカと南米域における国際協同研究に着手している。日本の経済力あるいは日本人研究者の国際的な影響力を考慮に入れれば、日本はアジアにおける先進国としてインドネシア赤道域に研究活動を支援する研究組織を設立し、観測拠点を維持することで、東南アジアの発展途上国との国際共同研究体制を確立して地球環境問題に取り組む責務があると考えられる。

京都大学超高層電波研究センターの研究グループは、地球環境の鍵を握る重要な領域であるインドネシア赤道域における研究の中核組織として、ICEAR (International Center for Equatorial Atmosphere Research) をインドネシアに設立する計画を推進してきている。具体的には、ICEAR 計画の主要設備として赤道大気観測所を西スマトラに建設し、大気観測用大型レーダー（赤道レーダー）を中心に電波・音波・光を用いた各種のリモートセンシング装置、あるいは気球等を用いた直接測定装置を駆使し、多種多様な現象についての観測・研究手法を有機的に組み合わせ、赤道大気の振舞いを長期間・連続的に総合観測することで赤道大気研究に貢献することを目指している。

以上のような背景をもとに、赤道大気研究の現状と今後の問題点を議論し、さらに ICEAR 計画の推進を図るために標記の国際シンポジウムが過去2回インドネシアにおいて開催されてきている。今回、第3回シンポジウムが1991年5月14～15日にジャカルタのグランドハイヤットホテルにおいて開催された。シンポジウムの企画・運営は京都大学とインドネシア技術応用評価庁(BPPT)、インドネシア航空宇宙局(LAPAN)および日本インドネシア科学技術フォーラム(JIF)が担当した。(なお、1990年3月6～7日に開催された第2回シンポジウムについては1990年7月発行の「天気」第37巻41～46頁に報告がある。)

シンポジウムには、日本・インドネシア・米国・フランス・オーストラリアから百余名が参加し、地球環境問題を研究対象としている国際共同研究計画(STEP: Solar Terrestrial Energy Program (太陽地球系エネルギー国際協同研究)、IGBP: International Geosphere Biosphere Program (地球圏-生物圏国際協同研究計画)、TOGA/COARE: Tropical Ocean Global Atmosphere Program (熱帯海洋全球大気研究計画)/ Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment (大気海洋結合系研究計画) TRMM: Tropical Rainfall Measurement Mission (熱帯降雨観測衛星計画))について、特にインドネシア赤道域に関連した話題を日本や欧米の専門家が講演し、さらにインドネシア人研究者がこれらの国際共同計画への貢献について発表した。こういった一連の研究交流を通じて、インドネシア国内に地球環境問題に関する専門家あるいは先端的科学技術開発を推進する人材が今後とも数多く育成されていくことが期待されている。

2. 開会式

開会式では、BPPTのH. Wiryosumarto次官の開会挨拶、シンポジウム議長である京大・超高層電波研究センターの加藤教授の歓迎挨拶の後、J. T. Lutz駐インドネシア米国大使館付科学技術担当参事官からスピーチをいただいた。また出張のためやむを得ず欠席された国廣駐インドネシア日本国特命全権大使の挨拶が代読された(国廣大使からは二日目のパーティにて直々にスピーチをいただいた)。引き続きB. J. Habibieインドネシア科学技術担当国務大臣が開会の辞を述べられた。シンポジウムの趣旨を的確に示す演説は参加者に深い感銘を与えただけでなく、インドネシアが地球環境問題に関わる姿勢が明確に示された。

2.1 Habibie大臣の演説要旨

このシンポジウムに多くの研究者が参加していることは、まさに地球環境変化を語るにはインドネシア赤道域の研究が不可欠であることを意味している。世界各地に干ばつや洪水を同時に引き起こすエルニーニョの発生を予測する上でインドネシア域の観測が最も重要であることは、既に研究者の間で広く認識されており、STEP, IGBP, TOGAあるいはTRMMといったインドネシア域に注目した国際共同研究が既に始まっている。このシンポジウムにはこれらの計画に深く関与している研究者が集まってきており、興味深い議論が行われると期待される。

もし、地球環境変化を正確に理解することができれば、気候変動予測をもとに農業生産計画を初めとする人類の産業活動をより効率良く実行することができる。今、重要なことは国際協力をもとにまず精密な観測を行うことであり、さらに得られたデータが効率良く解析され、通信網により遅滞なく情報提供され、数値予報モデルに有効に組み込まれるシステムを構築することである。

世界の研究者が独自のアイデアをもとに近年の先端技術を応用した結果、各種の観測機器の開発はめざましい進展を遂げた。これらによりグローバルな衛星観測が行われるとともに、地上の最も重要な拠点において観測が長期間にわたって継続される必要がある。インドネシアが地球上で地理的にユニークな位置を占めていることを考慮すればこの領域の精密観測無くして地球環境変化を解明することは不可能である。

インドネシアの研究者はこのシンポジウムを機会に、国際研究機関と連絡をさらに深め、国際的な動きに呼応してインドネシア域が地球環境問題の中に置かれた特殊性を十分に理解する努力をしなければならない。また、世界各国の研究者はインドネシアを研究の舞台として十分活用されることを希望する。

3. 各セッションの内容

3.1 (I) 地球大気と生物圏

フランスの CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique (国立科学研究センター)) の M.-L. Chanin が前回のシンポジウムに引き続いて出席し IGBP の一つのプロジェクトとして推進されている STIB (Stratosphere-Troposphere Interactions and the Biosphere (成層圏・対流圏相互作用と生物圏研究プロジェクト)) 計画について講演した。STIB は生物や人類の産業活動により排出された化学物質が成層圏の組成・放射・運動をどのように変化させるか、逆にこれらの変化が生物圏に与える影響は何かを明らかにすることを中心課題としている。さらに、名大・水圏科学研究所の田中が STIB において重要な課題となる対流圏と成層圏の力学的結合や物質循環について講演し、赤道域の特殊性を強調して ICEAR 計画に対する期待を述べた。

筑波大の安成がアジア・モンスーンの活動とエルニーニョとの間に密接な関係があることを示した。水循環を動力源としたユーラシア大陸-太平洋の大きなスケールでの大陸・大気・海洋の結合過程であるアジア・モンス

ーンの変化は、赤道域に影響を与えるに留まらず、大気波動を介して中高緯度の気候変動に影響を与えており、アジア・モンスーン域がグローバルな気候システムのなかで非常に重要な位置を占めていることを述べた。

バンドン工科大学 (ITB) の Soenaryo がインドネシアにおける気象および生物圏の研究の現状を紹介し、従来十分には行われてこなかった地上観測を科学・技術にする国際協力によって整備し、未解明なインドネシアの関赤道大気の研究を進めたいと講演した。

3.2 (II) 大気と海洋

ハワイ大学の K. Wyrski が海洋・大気相互作用が気候に与える影響の重要性を述べた。良く知られている様に、大規模な海流は太平洋の暖かい上昇流が極域において沈み込むことで駆動されているが、この際暖流は太平洋からインドネシア域を通過し、インド洋を経て北大西洋へと流れていることからこの地域での観測の重要性を強調した。

インドネシアを中心とした西太平洋域に作られる暖海域において活発に励起される積雲対流の変動がエルニーニョの原因であるとされており、これがインドネシア域における海洋研究の重要性を特徴付けていることを北大の竹内がレビューした。さらに海洋の混合層や大規模海流の振舞いによって影響される海水面温度の変動の機構を解明し、大気・海洋結合過程を研究する必要があることを強調した。一方、東大の住が、研究観測船による海洋の観測計画や可搬型の小型レーダーをインドネシアに持ち込み、対流圏の大気運動を同時にモニターする計画を示した。これらの大規模でかつ複雑な大気・海洋結合現象を解明するには、大量のデータを収集し総合的に解析する必要があるにも拘らず、インドネシア周辺での観測が欠けているために研究の進展ははかばかしくない。このため TOGA/COARE プロジェクトで代表される国際共同研究にインドネシア国内の研究者も積極的に参加することが要請された。

インドネシア気象局 (BMG) の P.A. Winarso が1990年7月と1991年1月にジャワ島、シンガポールおよびマレーシア領ボルネオでラジオゾンデを用いて行われた観測結果を解析し、北半球の冬季の方が夏季に比べて海洋から大気へのエネルギーの供給が大きいと報告した。またボゴール農大の J. Pariwono はオーストラリアのフリランダース大の R.J. Allan と共同でオーストラリアからインドネシアさらにフィリピンに分布する観測点の結果をもとに1964~83年におけるエルニーニョの時期の海面

温度と海面高度についての結果を示した。

太平洋からインド洋へ抜ける海流はインドネシア域では Arlindo と呼ばれているが、これが西太平洋における暖海域分布の変動に大きな影響がある点をインドネシア科学院 (LIPI) の A. G. Illahude が強調した。インドネシアの島の分布が複雑であることから海流も多く枝別れしており、それぞれの海流の強さや深さも様々であることから、直接測定によって特性を明らかにしていかなければならないと講演した。

3.3 (Ⅲ) 中層・超高層大気

京大・理学部の塩谷はニバス7号衛星に搭載された TOMS によるオゾン全量の観測データベースをもとに赤道域における長期変動を解析した。経度変化を調べたところ、一年を通してインドネシア上空でオゾン量が最低となる分布をしており、これがこの地域特有の活発な積雲対流と関連があることを示した。またオゾン全量にもエルニーニョや準二年周期振動 (QBO) の影響が反映されていることが報告された。

ITB の S. Hadi がインドネシア国内に分布する12ヶ所の観測点で1960~1988年に収集された温度と降雨量のデータを解析したところ、1~2の観測点を除いてそれぞれ $0.001 \sim 0.051^\circ\text{C}/\text{年}$ および $0.034 \sim 3.331 \text{ mm}/\text{年}$ の率で上昇傾向を示していることを報告した。ここで降雨量の上昇が最大であるのはインド洋に面した西スマトラのパダンであった。また1982~83年のエルニーニョの事例解析を行い、平年に比べて全体に降雨量が減少することを示したが、この傾向はインドネシアの西部ほど顕著であった。

九大・理学部の宮原は大気大循環モデルを用いた結果をもとに赤道域に特徴的な半年周期振動 (SAO) とケルビン波や重力波の関係についてレビューし、赤道域で活発に励起されていると考えられる小規模の重力波による運動量輸送の効果の重要性を示した。一方、赤道域に大きな振幅を持つ伝搬性の一日周期大気潮汐波が中層大気上部において減衰することで、赤道域の西向き平均帯状風を生成し得ることを示唆した。

STEP の課題3「電離層・熱圏結合とエネルギー・運動量流入に対する応答 (Ionosphere-Thermosphere Coupling and Response to Energy and Momentum Inputs)」の責任者である豪州ラ・トロブ大学の K. D. Cole が赤道域における熱圏と電離層の結合過程に関する諸問題を包括的にレビューし、これに取り組む国際共同研究グループやプログラムを披露した。また、これら

の研究成果は自然科学の分野だけでなく、衛星通信を初めとする電気通信といった実用面にも応用されることを強調した。

超高層大気研究についてはインドネシア側から2件の発表があったが、まず LAPAN の Koeswadi は1989年3月にイリアンジャヤのピアク島で行われた電離層観測装置による強化観測の結果を報告し、太陽活動度との関連を議論した。また、ITB の L. Hendradjaya は赤道レーダーによって得られる超高層大気における電離層プラズマの諸パラメータの観測方法についてレビューした。

3.4 (Ⅳ) 赤道大気観測

赤道域における大気観測の穴を少しでも埋めるべく、STEP と TOGA/COARE の国際協同観測に呼応して、文部省科研費・創成的基礎研究 (新プログラムあるいは新プロと通称されている) の一つである「アジア・太平洋域を中心とする地球環境変動の研究」の経費を用いてインドネシアにおいて小型レーダーやラジオゾンデを用いた対流圏および中層大気の観測が計画されている。京大・超高層電波研究センターの津田がこの計画の概要を説明し、インドネシアの研究者や技術者がこれらのレーダー設置・観測の実施・データ解析に積極的に参加するように呼びかけた。また、1990年3月に東ジャワにおいて行われたラジオゾンデを用いた赤道波、大気潮汐波あるいは大気重力波の特性に関する予備実験の結果を報告した。

米国コロラド大の B. B. Balsley が、TOGA/COARE の期間に米国海洋大気庁 (NOAA) が中心となって行っている太平洋域のウインドプロファイラー観測網 (南米ークリスマス島-ボナペーサイパン-ピアク) について説明し、初期の観測結果を発表した。また、この観測網を ICEAR 計画によるスマトラの赤道レーダーに結合して赤道沿いの観測チェーンを構築し、共同研究する構想を提案した。さらに、新たな興味深い観測法として凧に測定器を搭載して対流圏の大気の状態をモニターする方法を紹介した。

BPPT の T. Sribimawati がインドネシアにおける積雲対流の研究経過と現状を示し、地球環境変化に関する研究に取り組む方法について示すとともに、ICEAR 計画に対する期待を述べた。また、通総研の中村が TRMM による熱帯降雨の観測計画を説明した (後節参照)。BMG の H. Harjanto はインドネシアの4大島であるスマトラ、ジャワ、スラウェシそれにイリアンジャヤにある観測点でラジオゾンデを用いて得られた対流圏と下部

成層圏の温度プロファイルを統計解析した結果を報告した。

4. ICEAR 計画に関するパネルディスカッション

上記の4つのセッションで行われた研究発表や議論を経た結果、赤道大気を研究するには(a)総合観測所を赤道域に設置し対流圏から中層・超高層にいたる大気の状態の時間・高度変化を長期間・連続的に精密観測すること、(b)人工衛星観測等により現象の水平分布を解明すること、更に(c)数値モデルを活用して物理化学過程を定量的に理解することが必要であることが参加者の共通の認識として再確認された。さらに(b)、(c)に係る事項は赤道域における現地調査が不要であるため、先進諸国で既に多くの研究が進められているのに対して、(a)は観測体制が整備されていなかったため研究がきわめて不十分であったことが痛感され、ICEAR 計画の早期実現が要請された。

こうした状況を踏まえて最後のセッションでは、ICEAR 計画をより具体化するためのパネルディスカッションが行われた。パネリストとしてはB.B. Balsley, K.D. Cole, M.-L. Chanin, K. Wyrтки, インドネシア側からH. Wiryosumarto, LAPAN 次官のB. Hidayat, インドネシア環境庁次官のA. Sugandhi, また日本からは加藤、深尾が参加し、住の司会のもとで活発な議論がなされた。

まず加藤がICEAR 計画の歴史的背景および最近の国際的な動向について報告し、続いて深尾がICEAR の中心設備である赤道レーダーシステムとその運営方針について説明した。一方、A. Sugandhi はインドネシアの環境保全に関連してICEAR の活動に対する期待を述べ、研究結果が実用面にもフィードバックされることを希望した。また、ICEAR 計画が本来の目的である赤道大気研究を進める過程で、その周辺効果としてインドネシア人技術者が電子工学やコンピュータといった先端技術を習得することができることに期待が寄せられた。これに対して深尾が日・イ間での科学者や技術者の交換プログラムの計画を示した。

赤道大気観測所の建設候補地であるインドネシアの西スマトラが観測拠点として重要な理由についても盛んに議論された。アジア・モンスーンや大規模な海流の構造から分かるように、西スマトラは太平洋とインド洋の接点となる重要な領域であることが竹内と K. Wyrтки によって指摘された。K.D. Cole はインドネシア赤道域

に観測拠点を設けることでシベリア東部-日本-台湾-インドネシア-豪州-南極に至る子午面沿いの世界でも最も充実した観測ネットワークが構築できることを強調した。一方、またB.B. Balsley が示した様に、米国が中心となってウィンドプロファイラーを太平洋の赤道に沿った観測点に設置しつつある。この経度方向のネットワークと子午面沿いの観測網が交差するところが西スマトラであり、ここがまさに赤道大気観測の「へそ」となる得難い場所であることが示された。一方、アジアモンスーン域であるインド、東アジア、東南アジアには世界の人口の約半分が集中しており、人類の生存環境の変化を監視する上で最も重要な地域であるとの興味深い意見が出された。

この他パネリストや会場から活発な議論が行われたが、以下に節を改めてM.-L. Chanin と K.D. Cole の意見を示し、最後にこのシンポジウムで勧告されたICEAR の運営方法についてまとめる。

4.1 START 計画とICEAR (M.-L. Chanin)

地球環境変化(Global Change)に関して実施されているIGBPでは、先進国と発展途上国の両方で研究が活発に推進されなければならないとしている。このため、世界の重要な地域における研究を効率よく推進し、また、人材を育成するために教育を行うプログラムとしてSTART (SysTem for Analysis, Research and Training) が提案されている。

IGBP の中心プロジェクトを各地域において実施するため新たに設置が計画されているRRC (Regional Research Center) は、地球環境変化に関する(1)研究、(2)教育、(3)データ管理、(4)モデリングあるいは(5)情報交換を行うことが主要な任務になっている。ここで(1)の研究についてはRRC 自体の成果のみならず、各地域における関連した研究機関や観測所(RRS: Regional Research Site)の活動も重要である。

START では地域の特性を考慮して地球全体を十数カ所に分割し、各地域にRRN (Regional Research Network) を設け、RRC や RRS を有機的に統合することが計画されている。(つまりSTART を模式的に書けば、 $START = \sum RRN$, $RRN = RRC + \sum RRS$ となる。)

ところで、現在提案されているSTART の地域の内、熱帯アジアモンスーン地域(TAM: Tropical Asian Monsoon Region) は、インドネシアを中心とし、ニューギニア、オーストラリア北部、東南アジア諸国とインドを含む領域であり、ICEAR が研究対象としている領域で

あることから、START との関係は今後十分議論する必要がある。

4.2 赤道域の超高層大気研究 (K.D. Cole)

高度約 100 km 以上に広がる超高層大気の研究は、従来この高度領域内で閉じて進められる傾向が強かったが、今や対流圏や中層大気との力学的結合を無視して研究を進められないことが広く認識されており、これらの領域間の結合過程の研究が STEP 計画の中心課題のひとつとなっている。

超高層大気には現在までに実際に明確にされた現象以外に、観測が不十分であり物理化学過程が十分理解できないために検出されずに埋もれている地球環境変化の種がひそんでいるのではないか。高度が高いほど大気密度が薄く、従って人工物質が少量加わるだけで大気の諸過程のバランスが受けるインパクトは大きくなる。地球環境変化の全貌を理解するためには、中層大気や超高層大気の領域におよぶ未解明の変化現象をも視程内の研究対象とし、地表から高度約 1,000 km に広がる各大気層における放射吸収過程、太陽放射に起因する運動の励起機構、化学物質の生成・変化過程、およびエネルギーや物質の輸送を定量的に解明して、大気・海洋・生物圏が相互に影響しあう複合システムとして地球環境を理解する必要がある。

この研究には大型レーダー観測が極めて重要な役割を果たすが、現在のレーダー観測は、主に電磁気現象の特異点である極域や磁気赤道において行われているのが現状である。下層からのエネルギー注入がもっとも盛んである地理赤道域において、地球大気の鉛直構造を明らかにすることが、超高層大気の実像を新たに描き出す上で大変重要であると考えられる。この際、電磁気現象の特異点であり、既に大型レーダーが建設されている赤道ジェット電流域をあえて避けた点（磁気緯度 10°S ）に赤道レーダーを設置することで、電磁気現象について磁気緯度・経度変化が明らかにできるだけでなく、熱圏と電離層の相互関係を明らかにできると期待される。

ところで、超高層大気における種々の現象は磁力線に沿って伝搬することが多いが、ここで注意しなければならないのは、極域では磁力線が集束しているのに対して、赤道域では高い高度までふくらんでいるため同じ現象を赤道域で追跡するにはより感度の良いレーダーシステムを用いる必要があることである。

赤道大気観測所において赤道レーダーを中心とし、さらに地磁気観測装置、アイオノゾンデ、あるいは全電子

数計測器や大気光（エアグロウ）を光学測定する装置を付加的に設置し有機的な観測を実施することで、既に活発に行われている研究の成果に立脚した超高層大気の研究課題や超高層大気と下層大気との結合過程の解明に新局面を開くことができると考えられる。

4.3 ICEAR の組織と運営

国外に設立される施設を有効に活用するにはハードウェアの建設だけでなく、運営面を重視する必要があるのは当然であるが、今回のシンポジウムにおいて様々な議論を経て ICEAR の具体的な組織構成について提案がなされた。

(1) ICEAR の本拠を日本国内に設立し、国内の気象・海洋・超高層物理あるいは電波科学の諸分野にまたがる全国共同利用の研究組織とする。また赤道レーダーを主要設備とする赤道大気観測所を ICEAR の海外施設としてインドネシアに設置する。

(2) ICEAR の活動が主としてインドネシアに建設される赤道大気観測所において行われることから、赤道大気観測所の維持管理と実務的な経営に責任を持つ現地組織を ICEAR の支所としてインドネシアに設置する。この組織の目的は、日本とインドネシアが共同で赤道大気観測所の諸設備を長期的に国際共同利用研究に役立て、赤道大気に関連した幅広い研究活動を支援することである。

(3) ICEAR の設立および運営について日本が主たる経費を負担し、インドネシアは観測所敷地を提供し、また現地組織を運営する。

(4) ICEAR に対する国際的要請を反映するように、国際研究組織の代表を ICEAR の顧問に加えることが必要である。現在、国際科学連合 (ICSU) の傘下にある太陽地球系科学委員会 (SCOSTEP) に ICEAR に関する Advisory group が設置されている。また、ICEAR の活動を広く国際的にするために、共同研究を公募し赤道大気観測所の研究開発に関わる客員研究員や共同利用研究者を国内外から採用し派遣する。

5. 日本人参加者の感想

5.1 宝の山—インドネシア：塩谷 雅人

インドネシアのジャカルタで行なわれた第3回 ICEAR シンポジウムに参加する機会を得た。私自身、赤道域に位置する国に滞在したのは初めてであったので、素朴な印象を中心に綴りたい。

まず、行きの飛行機の中で、航空機会社の雑誌に載っ

ている地図を眺めながら、インドネシアを構成する島の大きさと、それらの占める地理的な広さに驚いた。ボルネオ島やスマトラ島といってもそんなに大きい島だとは正直思ってもみなかった。ちなみに帰国後地図帳を広げてみたが、ボルネオ島 736,600 km²、スマトラ島 433,800 km² とどちらも日本の面積をゆうに越える大きさの島とともに大小無数の島々が経度幅 45°、緯度幅 20°ほどの間に点在している。加えて、ジャカルタの空港に降り立った時の熱気にも正直驚いた。単に気温が高いというだけでなく、湿気も非常に高い。インドネシア地域のことを“地球大気の熱機関”とお題目のようにいうが、これはまさにスチームエンジンである。

シンポジウムは、海外からの参加者が主として赤道域における大気・海洋研究の重要性を指摘するレビューの講演が多かったのに対して、インドネシア側は、ICEAR を見据えた将来計画や、この領域ならではの気象観測およびその解析結果の発表が行なわれ興味深かった。またオープニング、およびパンケットにおいてインドネシア科学技術担当国務大臣の Habibie 博士による多岐にわたる熱のこもったスピーチを聞くにつけ、インドネシア側の科学技術を推進しようとする意気込みをひしひしと感じた。

赤道大気観測所をインドネシアに建設するにあたっては、数々の困難もあると思うが、scientific な感覚からいって、赤道域にはわれわれ中高緯度に住む気象学者の全く範疇にない大気現象が、まだ誰にも知られないまま残っているような気がする。事実、過去20~30年以上にわたって赤道域の観測の重要性が叫ばれながら、いまだにオープンになっているデータがあまりにも少ない。ところが一方では、同席していた日本人の研究者などから、インドネシア国内では数多くのゾンデ観測が行なわれているが、他国の研究者の目にふれることもなく眠っているという話を聞いて、まだまだ赤道域は気象学的に宝の山なのではないかという感を強くした。

今回の滞在は、百聞は一見にしかずという諺を身をもって感じさせてくれるものであった。このように刺激的な地域で行なわれたシンポジウムに参加させていただいたことに感謝します。

5.2 シンポジウムに参加して：中村 健治

インドネシア領域の大気・海洋研究における重要性はここでいまさら述べるまでもないことである。筆者は特に TRMM 計画における重要性を強調したい。TRMM は大気大循環の大きな駆動源である熱帯域の降雨活動を

宇宙からモニターする衛星でありインドネシア領域の降雨観測はその重要観測項目となっている。ところで、どの地球観測衛星についてもいえることであるが、衛星によるリモートセンシングではグラントルースが重要である。限られたグラントルースにより衛星データの検証、校正を行い、この結果をグローバルな衛星データに当てはめることにより、グローバルスケールで有効なデータを得ることができる。TRMM では熱帯域のグラントルースが特に重要となり、現在、オーストラリアのダーウィン、西太平洋クェゼリン環礁等が熱帯域のグラントルースサイトとして計画されている。しかしインドネシア領域内には現在のところその計画はない。赤道大気観測所には、大型レーダのみならず、通常の降雨レーダ、ウィンドプロファイラ等も整備し、大気観測の拠点となることが期待されており、これが実現されれば、降雨に関する優秀なグラントルースデータが常時入手できることが期待される。さらに特殊な観測、校正実験等にも非常に有効な実験サイトとなり得る。赤道大気観測所の完成は、1997~8年に予定されている TRMM の打ち上げと同時期になりそうな気配であり、大いに期待している。

筆者は TRMM 計画の立ち上げから関与しており、2か国の共同事業として立ち上げるため、シンポジウムを開いたり、セレモニーにおいて政府の要人の挨拶が重要であったりと似たようなことを経験し、また日本側の予算負担も100億円を優に越える規模と TRMM 計画と同等であり、大きな2国間共同事業を実現するための手続きは似ていると感じた。ICEAR 計画以前には接触の少なかったインドネシアとの交渉では、しかるべきルートの開拓から始める必要があったと聞き、関係者のご苦労がしのばれた。熱帯域は初めてでありジャカルタの湿度には閉口した。ジャカルタは既に乾季に入っているとのことで雨は降らなかったが、この湿度で何故雨が降らないのかと思うと同時に、熱帯インドネシア域の強大な潜熱を肌で感じた。

5.3 シンポジウムに参加して：宮原 三郎

地球大気の振舞いに対する理解を深める上で赤道域での観測の充実強化が必要であることは、中層大気力学の分野でも例外ではない。これまでに成されてきた観測や理論的考察に基づいて、中層大気の数値モデル実験が世界の各所で実行されており、準2年振動、半年振動、潮汐波、内部重力波などの研究で新しい結果を提出しつつある。しかしながら、これらの結果を観測の方面から検

証しモデルによる結果の正当性を評価するには、観測が決定的に不足しているのが現状である。たとえば、大循環モデルなどの結果によれば準2年振動や半年振動は、赤道波よりもむしろ内部重力波による運動量輸送にその主な成因がある。しかし、赤道上空での運動量輸送については、赤道波、内部重力波の両者について観測が非常に不十分であり、この結果の是非が判定できる状況ではない。また、潮汐波による平均流生成についても数値モデルの結果に基づいてその可能性が指摘されている。しかし、観測的な裏付けはクリスマス島での観測結果を除いては殆ど皆無である。赤道波、潮汐波、内部重力波等の赤道域での振舞いや、それらに伴う運動量輸送を観測の面から定量的に明らかにすることは赤道域の中層大気力学にとって決定的に重要であり、赤道レーダーに期待する所は大きい。

さて、この様な我々の学問的期待を赤道レーダー建設地の当事国インドネシアと共有することの可能性について考えてみよう。今回のシンポジウムでは当事国側の研究発表もあったが、残念ながらそのレベルは全体としては赤道レーダーを学問的な意味で真に期待する迄には至っていないように思われた。この施設の完成により我々の学問的な期待が実現される一方で、その経済的な波及効果等により当事国にも一定の利益がもたらされることでよしとする考え方も有り得るだろう。しかし、やはりその施設本来の機能を享受してこそ、施設建設の意義が全うされたと考えるべきであろう。現在京都大学超高層電波研究センターで計画されている「インドネシアにおける最先端大気環境計測技術者の養成計画」(JICA 集団研修プログラムの一つ)は、この様な状況を打開する第一歩として非常に意義深いことである。更に将来は一步踏み込んで、技術の伝授に終る事なく、科学という一つの文化としての貢献を考えるべきであろう。このことは、日本が古くは中国からそして近代に入っては西洋から技術としてだけでなく、より広い文化として種々のものを受け入れ、それらを日本固有の文化と融合発展させてきた過程と対比して考えてみる必要がある。現在、日本はアジア諸国から多くの留学生を受け入れているが、文化的な意味で必ずしもうまく機能しているとは言えない。赤道レーダーが外国に建設される事を考えると、留学生の問題以上に深い問題をはらんでいると考えるべきであろう。

赤道レーダーの建設により、学問の上で後世に残る研究成果を目指すことはもちろんであるが、同時に当事国

の心ある人々の内に何かを残すことができるであろうか。あたかも、日本文化の発展に寄与した諸外国との交流、そしてそれに貢献した外国人や日本人留学生の名が我々の歴史のなかに明白に刻まれているように。

5.4 インドネシアの観測船：竹内 謙介

シンポジウムに関しては他の参加者からの報告にゆずるとして、私はこの機会に見学に行ったインドネシアの観測船について報告する。というのはこの観測船はかなり重要な意味を持っているからである。インドネシアはここ数年、経済水域内での外国の海洋観測を許していない。例えば気象庁の有名な東経137度線の観測も最近では赤道まで観測が出来ないでいる。ところがちょうどそのころから、インドネシア周辺海域に対する関心が世界的に高まってきた。各国はいろいろな手段でインドネシアに接触し、観測の許可を得ようとしているが、どこに話しを持って行けば良いのかわからずに苦勞しているというのが現状のようである。今のところ、インドネシアが持っている観測船を使用料を払って使うのが一番良さそうなのである。

インドネシアの観測船について初めて知ったのは CC CO (Committee for Climate Changes and the Ocean: 気候変動と海洋に関する委員会 (UNESCO の下部組織)) の太平洋部会でインドネシアの代表がフランスから3隻の観測船の寄贈を受けたことを話した時だった。今年の3月にホノルルであった TOGA/COARE の会議にインドネシアの代表が来て、この観測船について話した。3隻の内、一隻が海洋物理の観測に使われている事、また一日7千ドルの使用料を払えば外国の研究者も使用可能であるとの事である。後で個人的に話した印象によると、インドネシアとしては運航費が不足しており、もっと外国に使って貰って外貨を獲得したいようだ。外国の観測船の経済水域内での観測を拒否しているのもこれが一因らしい。ちなみにこの代表は LIPI (National Institute of Science) の Dr.A.G. Illahude で、今回のシンポジウムにも参加していた。ホノルルの会議では、フランスの研究者から、他のフランス研究者がインドネシアの観測船を使って流速計の係留作業を行ったという話を聞いた。それによると、船の設備には問題が無いが甲板作業はほとんどフランス側がやったそうである。

そのような訳でこの機会にこの観測船を見ておこうと思った次第である。シンポジウムの翌日、LIPI の係員の案内で港に向かった。彼は日本の水路部で研修を受け

たことがあるようだ。観測船は軍港にあり、専用の埠頭がまだ無いので沖泊りしていた。乗組員は海軍から派遣されている。一等航海士と Hydrographic Office (水路部) の観測員が船にいた。二人とも英語は達者で意志の疎通に問題はなさそうであった。観測船は約 700 総トンで 3 隻とも全く同じ構造であり、物理、化学、生物と分けて使っている。見学したのは物理用のものである。船速は 12 ノットと遅い。あまり遠洋に出る事は考えていないのだろう。

観測船はフランス製だそうだが、新しいこともあり、使いやすい設計と感じた。舷側に CTD (海洋中の温度、塩分を測定する装置) と採水用の 2 つのウインチがあり、それぞれに A フレームがついている。CTD、ロゼット採水器もフランス製。後部甲板はまあまあ広さがあり、最後部と横に A フレームがついている。反対側の舷側にはクレーンがあり、作業艇が乗っている。感心したのは倉庫が甲板の下にあり、甲板の一部がハッチになっていて相当な物が収納できるようになっている。研究室も、機材はあまり多くないが、機能的に設計されている。研究者の居室も悪くない。全部で 23 名の研究者が乗ることができるとのことである。

全体として設備に関して問題が無いと感じた。乗組員の質は確かめようもないが、操船に関しては海軍である

からそれ程心配は無かろう。問題は甲板作業である。こればかりはやってみないとわかりそうに無い。それと日本から研究者が乗るとすると食事がやや問題になる可能性がある。LIPI の事務所にあった予定表によると 3 隻とも年間約 160 日運航しているとのことで、運航費が不足しているとは言ってもそれ程深刻ではなさそうだ。

インドネシアの海洋学の関心は沿岸での現象や水産が主で、外洋まではまだ手が回る段階には至っていない。しかし、気候学的には非常に重要な海域にあり、多くの国が高い関心を持って見ている。とりわけ地理的にも日本の役割は大きいはずであると強く感じた。

6. おわりに

多忙な日程を割いてシンポジウムに参加して頂いた Habibi 大臣、国廣大使、Lutz 参事官、さらに多くの参加者各位に深く感謝する次第である。また、シンポジウムの開催には日本インドネシア科学技術フォーラム、在インドネシア日本大使館をはじめジャカルタ在住の多くの日本人の方々の御助力を得たことを紙面を借りて厚くお礼申し上げる。この報告書はシンポジウムの企画・運営に当たった京都大学超高層電波研究センターのグループ (加藤進、深尾昌一郎、津田敏隆、山中大学) を代表して津田がとりまとめた。