

京都大学がインドネシア赤道上に大型レーダーを建設した経緯

深 尾 昌一郎*

1. 概要

京都大学超高層電波研究センター⁽¹⁾が1984年に完成した大型大気レーダー『MUレーダー』は大気観測に極めて有効であることが多くの研究実績により証明されつつある。一方赤道域は、グローバルな気象・気候変動の根源域であり、いわば地球大気大循環のエンジンである。しかも地表付近から高度数100 kmに至る広大な高度域が上下にしっかりと結びついているらしい。赤道域こそ大気レーダー観測の格好の場である。1980年代半ばから、同センター研究者を中心に、この重要で未知の地に日本の出資および技術投入により、『赤道レーダー』を建設する構想が進められていた。大型の大気レーダーで地表から高度約1,000 kmまでの大気を一気に精密科学しようというわけである。「赤道上に大型レーダー建設」を目指したこの計画は強い国際的要請に支持され、なかでもインドネシア政府は計画推進を熱く求めた。同国西スマトラ州プキティンギ市付近に広大な建設候補地も提供した。一時期、当計画はそのまま順調に実現に至ると期待されたが、その後迷走を極めた。90年代後半になるとこの計画はもう死んだと言って憚らない人達も出てきた。多くの支持者が去っていった。だが我々が諦めることは決してなかった。

1990年代半ばになって赤道レーダーを建設する前に、まず少し規模の小さい『赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)』を建設するのが現実的ではないかと考えた。文部省(当時)の中にこの構想に理解を示してくれる人もいた。その後

紆余曲折を経て、思いがけず1999年秋、補正予算によりEARの予算化が決まった。翌年夏から現地で建設工事が始まり、2001年6月に完工式を迎えた。

EARのアンテナ開口径はMUレーダー並みではあるが、送信電力はその10分の1の100 kWである。当然レーダーの感度は著しく劣る。しかしEARには我々がMUレーダーで培った独自の分散型送受信システムを採用している。これにより地表付近から下部成層圏までの全高度域の風速ベクトルをはじめ、高度100 km以上の電離圏擾乱なども高分解能・高精度で時間的に連続に観測しうる。EARの運用はインドネシア航空宇宙庁(LAPAN)と協定に基づき共同で行われている。我が国の大学が海外で運用する初めての準恒久的な大型観測設備で、先駆的な学術的知見はもとより、新しい形態の国際共同研究としてその将来が期待されている。

本稿をとりまとめる機会は偶然に訪れた。2008年京都大学地球物理学教室が創立100周年を迎え、先般記念誌『京大地球物理学研究の百年』が編集出版された。そこには同教室が係わったプロジェクト研究の報告もいくつか包含された。「赤道域に大気レーダーを建設」する我々の計画もそのひとつに選ばれ、同計画に初期から終始関与していた筆者(深尾)が執筆を委嘱された。たまたま今夏EARは設立後10年目を迎えていた。関連の出来事を整理し記録に留めておくのに良いタイミングでもあった。本稿には、散在していた

* 京都大学名誉教授。fukao@fukui-ut.ac.jp

—2010年11月10日受領—

—2011年1月6日受理—

⁽¹⁾ 英語名はRASC (Radio Atmospheric Science Center)。同センターは2000年に宙空電波科学研究センター (Radio Science Center for Space and Atmosphere; 省略形は同じくRASC) に改組拡充された。その後2004年、京都大学木質科学研究所と併合して生存圏研究所 (Research Institute for Sustainable Humanosphere; RISH) となった。

資料を収集・整理し計画の意義と経緯を編年体で出来るだけ忠実に記した。先の記念誌に掲載されている『赤道大気レーダー建設の意義と経緯』は本稿をさらに数分の一の長さにまとめた直したものである。

「赤道上に大型レーダー建設」を目指した当計画は実に多くの人達に支えられて、未だ道半ばではあるが、一応の形をなすことができた。それぞれの立場からこの計画を支え続けてくれたこれらの人達に感謝したい（敬称略）。

2. 赤道大気と大気レーダー

2.1 大気を測るレーダー

レーダーを知る人は多くてもレーダーが大気の観測に使われていることを知っている人はそれほど多くないだろう。希薄な大気中の、目にも見えない小さな乱れ（乱流）による散乱を捉えるレーダーがある。乱れは大小の渦になって背景の大気の流れ（つまり風）に乗って移動するので、この動きを測って背景風速を推定することができる。超大型のレーダーだと宇宙空間の手前の電離した超高層大気（高度100 kmから約1,000 km）までを捉えることができる。一般にこれらのレーダーは、観測する対象に応じて大気レーダーとかプロファイラーとか非干渉性散乱（IS）レーダーなどと呼ばれている（例えば、深尾・浜津 2009）。

近年世界各地で大気を測る大気レーダーや、風を専らに観測するプロファイラーの活躍はめざましく、既に大気気象計測の強力なツールのひとつとして定着している。我が国でも気象庁が既に2001年4月から小型大気レーダー31台（当初は25台）で構成されたwindプロファイラ網『WINDAS (Wind Profiler Network and Data Acquisition System)』の運用を開始し、天気予報業務に用いている。

大気レーダーの標的が大気そのものであることから、当然その散乱強度は極めて微弱である。このため高層の大気を観測する大型の大気レーダーには、アンテナ開口径100 m、放射電力数百 kW 以上という大規模な設備が必要となる。アンテナの大きさは同程度で送信出力を数 MW（メガワット）くらいにすると超高層大気までが観測可能となる。ちなみに京都大学超高層電波科学センター（RASC；現 RISH）が開発した MU レーダー（第1図；Middle and Upper atmosphere radar の略称；MUR とも呼ぶ）の場合、放射電力は1,000 kW（キロワット；= 1 MW メガワット）という巨大なもので、高度数100 km の超高層大

気までが観測可能である。

2.2 いま赤道大気を測る意義

『赤道レーダー』計画は文字通り赤道に超大型の大気レーダーを設置して、赤道大気の解明を図ろうとするものである。ではいま何故赤道なのか？赤道域でとくに活発な積雲対流は海陸分布や湿潤大気を持つ特性によって、個々の雲の寿命や広がりより遥かに長い時間かつ大きい空間スケールに組織化される。赤道域ではこのような雲に伴う気象変動が殆ど専一の観測対象となるので、そのための観測器は時間的に高分解能でかつ連続して観測できるものでなくてはならない。また中高緯度のように気圧・気温場から風速場を推定することもできない。そのような難しさがあるにも拘らず、赤道域は途上国や海洋が大部分を占めており気象観測の密度は中緯度に比べて空間的にも時間的にも極めて低い。またたとえ各観測が十分に高精度で行われたとしても天気図にプロットできるような代表性のあるデータとなり得ない。気象衛星は確かに赤道域の雲分布や雲頂高度を毎時観測できるが、これにもとづく風速場の推定には高度分解能や精度面で本質的に限界がある。これらが赤道域の気象学、ひいてはそこに端を発する様々な気候・大気環境変動を多く未解明としてきた最大の原因であり、赤道レーダーのような大気レーダーを用いて精密観測することにより初めて打破できるものと言える（深尾・山中 1996）。

特に、西太平洋域からインドネシアにかけての「海洋大陸（あるいは海大陸）」と称される領域は積雲対流の励起が地球上で最も活発である。そこでは激しい上昇気流によって大気が成層圏に噴水のように噴き上げている（吸上げられている）とされている。一般に互いに混じりにくい対流圏と成層圏の大気がインドネシアの上空で混じり合っているわけである。オゾン層を破壊するフロンもここから入り込み成層圏内に広がって南極まで運ばれ、オゾンホールを作っていることがわかっている。またこの対流活動は、地表面の熱エネルギーを対流圏上層に輸送する熱エンジンの役割を果たしており、全地球規模の気候とその変動に大きな影響を与えている。そのためこの地域での積雲対流活動を理解することはインド洋モンスーンやエルニーニョ・南方振動（ENSO）などの地球規模の気候・気象変動の解明に極めて重要な意味を持っている。

一方、対流圏における積雲対流により多種の大気波動が励起される。周期が数日～約20日の赤道波（ケルビン波、混合ロスビー重力波など）、周期が1日およ

び半日の大気潮汐、および周期が数分から数十時間に分布する大気重力波などである。また赤道上ではコリオリ力の効果が消失するという特異性から、赤道域では上方伝搬可能な大気波動の周期帯域が極めて広がることが特徴である。またこれらの大気波動は空間スケールでも数 km から数万 km という極めて幅広いスペクトル帯に分布している。赤道域は大気波動が最も豊富な領域であると言ってよいのである。

これらの大気波動は鉛直ならびに水平方向に伝搬し様々な過程を経て消滅する。その結果、波動エネルギーと運動量が励起源から遠く離れた場所と高度に輸送されることになる。その途上で異なる大気波動が互いに影響しあい、また大気波動と背景風が相互に作用しあって赤道域特有の振動現象が生成されることが知られている。代表的なものとして平均東西流の半年周期振動や準2年周期振動などがある。近年これら主として中層大気（高度約10~100 km の領域）内で知られた変動が対流圏内の気候変動とも密接に関係していることが予想されている。

さらに赤道域電離圏（高度100 km 以上）では、プラズマバブル（泡）と呼ばれる電子密度構造の巨大な乱れなど赤道域を特徴付ける多様な電離擾乱が発生する。これが発生すると、例えば GPS 電波の伝搬に異常が生じることが知られている。しかしこの励起機構はまだ解明されていない。下方から伝搬してくる大気重力波が励起の引き金を引く、と指摘する研究者もいる。また電離圏は熱圏と重なって存在しており、太陽活動の変動を直接受ける領域であることから、まだ未解明の太陽変動・大気応答過程を理解する上でも極めて重要な高度領域である。

このように赤道域は地球大気全体にわたる諸現象の根源域であり、しかも地表付近から高度数百 km にわたる広大な高度域が上下方向に強く結びついている。しかしながら上述のスケールに対する観測的困難さと、そもそも赤道大気観測の歴史が中緯度に比べて格段に浅いことが相俟って、現在でも数多くの問題が未解決のまま残されている。赤道大気は我々大気科学者にとって依然として魅力あふれる研究課題の宝庫なのである。

3. プロローグ

3.1 構想の誕生

1982年2月、真冬の早い日暮れどき、完工間近の RASC 信楽 MU 観測所の窓外からは大型大気レー

ダー『MU レーダー』の追い込み工事の槌音（つちおと）が聞こえていた。しかし会議室は熱気に包まれていた。加藤 進（RASC センター長・教授）は「次期大計画は組織の活動が登り坂で勢いのある間に推進するべき。組織が衰退してからでは遅すぎる」と MU レーダー完工前の段階での次期計画着手の事情を説明していた。もとより出席していた深尾昌一郎（助手、後 RASC 教授）はじめ若手の関係者に異論はなかった。加藤がこの会を開催した背景には、米国の WCRP（World Climate Research Program）の副計画 TOGA（Tropical Ocean - Global Atmosphere）に合わせて、アラスカ/ポーカーフラットで運用している高層大気観測用の巨大大気レーダー（アンテナ開口200 m×200 m）を、100 m×100 m のものに4分割して太平洋上の島嶼に並べてネットワークする構想（Trans-Pacific Profiler Network；TPPN）があった。日本が同規模のレーダーを、例えば西太平洋上ナウル島に建設して同ネットワークに参画することが、加藤の胸のなかにあった。その日の会の落としどころであったかもしれない。しかしその形態では日本が計画を主導することにはならない。近々に MU レーダーが完成すれば間違いなく世界のトップランナーになれることが見えていた。自信を深め始めていた我々に、米国の片棒を担ぐ気などさらさらなかった。次は我々の手で「赤道域に世界一大きな大気レーダーを作ろう」と意気が上がった。

同年5月には SCOSTEP の MAP 国際運営委員会（MAPSTC）に小委員会 MSG-6 が発足。そこで国際赤道観測所（IEO）の議論が開始された。米国の上記計画を支援することが目的であった。加藤が MSG-6 の委員長になり、米国案に沿って国際的な議論を取りまとめ、同会は1984年11月に散会した。

確かに太平洋上の楽園ナウルは魅力的であった。しかしなんと言っても大気研究者が皆無の島で学術研究を行うことに一抹の不安があった。ナウル政府は加藤の度重なる照会に何ら関心を示さなかった。それと前後して、インドネシアはどうかという提案があった。東大地球物理研究施設の小川利紘（教授）らと10年以上も協同研究をやっていて、日本と日本人を良く知っている人がいるという。インドネシア航空宇宙庁（LAPAN）付置研究センター所長のスギオ（J. Soegijo）で、身上の身軽さで直ぐに京都大学を訪問、協力可能性の議論を始めた。LAPAN は約700名の研究者を擁するインドネシアの代表的な国立研究所であ

る。スギオは程なく本計画推進について LAPAN 上層部の承認を得た。これに伴い1985年9月には同長官スナリオが、11月には副長官ヴィラントが、翌年10月には長官イスカンダールが RASC に加藤を訪ねた。LAPAN が赤道レーダー計画の将来性を見越して、これに組織の発展を掛けている意気込みが感じられた。

我々はこの巨大レーダーを『赤道レーダー (Equatorial Radar)』と呼ぶことにした。1982年4月にはシステム設計に取り掛かった。これは筆者(深尾)や佐藤亨(助手、後京大院情報学研究所教授)ら若手の研究者の最も得意とするところであった。しかし早々にシステムの検討を開始した理由は他にあった。MUレーダーで我々は世界で初めて独自方式の分散型送受信システムを開発し、その成功が間近であった。赤道レーダーでさらに革新的なことが出来ないか、とくに散乱が超微弱で観測が困難な高度30~60 km 域の「観測の谷間」を埋める技術を開発することが目標にあった。

MUレーダーを建設した三菱電機株式会社とも具体的な検討を始めた。ざっと見積もって我々の構想どおりのものを作るには100億円くらい掛かりそうだという。いよいよ巨大プロジェクトのスタートである。なおMUレーダーは1984年11月に完工し、信楽MU観測所の開所式に引き続いて、京都で国際MAPシンポジウム(議長加藤)が開催された。

1985年になって、SCOSTEPはIEOの後継組織「新赤道観測所(NIEO)」小委員会を発足。加藤が委員長となり、日本の赤道レーダー案を中心とした議論を始めた。とくに途上国との協同研究はSCOSTEPが高く評価するところであり、国際的な支持を広げることになった。

3.2 始動した建設計画

一方、筆者(深尾)は途上国で事業を推進する上での留意点について、日本技研(株)Yに助言を求めた。Yは深尾の(滋賀県立)彦根東高等学校同窓生で、インドネシアほかの東南アジア諸国で土木コンサルタントとして手広く事業を展開していた。しかし当時、彼の助言がその後の本計画の進路に大きな影響を与えることになるとは思いもよらなかった。インドネシアで日本の財政援助(当時JICA/OECF)が関わる大規模な技術開発事業はすべて技術評価応用庁長官(研究技術担当国務大臣)が事前評価しており、彼が承認しないと採択されない、というのである。大臣の

名はハビビ(B. J. Habibie; 第2図)。彼をインドネシア側議長とする日本・インドネシア科学技術フォーラム(JIF)があり、日本側議長は元外務大臣大来佐武郎が務めていた。Yの紹介で程なくしてJIF事務局長所澤仁からアプローチを受けた。1988年のことであった。

JIFには所澤を中心とした梁山泊の感があった。大学教授はじめ政界、商社、建設会社やメーカー、いろいろな職種の人達が集まっていた。商売は二の次という「夢追い中年」が大勢いた。赤道レーダー計画は彼らに格好の課題と思われた。

加藤は文部省とも精力的に接触、担当官から建設地を決めることがまず議論の出発点だと伝えられていた。我々の照会に対してLAPANが有力候補地としてカリマンタン島ポンティアナ(Pontianak)市郊外とビアク(Biak)島をあげてきた(第3図参照)。いずれの近辺にもLAPANは電離層観測所を運営していた。早速1985年6月には現地調査を実施した。電波環境・立地状況・生活環境などは実際に現地を見ないとわからない。赤道レーダーにはまず巨大なアンテナ面と観測棟を建設するため500 m×500 mの平坦地が必要である。そのほか様々な条件が充足されねばならない。ビアク島はその殆どの条件が満たされており、最適な場所のひとつと思われた。しかしなんといても広さが足りなかった。せいぜい100 m×100 mのアンテナを設置できる程度であった。後日、米国がTPPNネットワークを建設する際、請われてこの場所を提供した。また地盤がしっかりしていることも求められる。島の西岸に位置するポンティアナは2つの大河の合流点に出来た沖積地で深さ数十mにも及ぶ堆積物の上に広がる街であった。地盤は極めて脆弱であった。郊外はとくに軟弱な地盤で飛び跳ねると地面が大きく揺れた。しかしこれは地盤改良工事で何とか解決できるらしい。スカルノ・ハッタ国際空港ももとはそうであったとスギオは語っていた。計測を重ねて電波状況は良好と結論した。市街地や空港などのアクセスも良い。商用電源も赤道レーダー用に特別に給油をすれば何とかかなりそうだと判明した。ここを第一候補地と決定した。

すぐ測量に掛かる必要があった。ブッシュ状の樹木が一面に茂っており、毒蛇(グリーン・スネイク)もいるらしい。地面はいたるところ水に浸かっていた。しかし起伏の殆どない土地で地図を作るなど何の困難もないと思われた。スギオによると実務は軍にやらせ

る、ということであった。いろいろな書面を交わした後に、青焼き紙に、ちろちろとした等高線が引かれた測量図が届いた。その直後に送られてきた請求書を見てまげた。約1億ルピア（当時の日本円で130万円）とあった。これは当時の現地の貨幣価値からすれば法外な金額であった。このことは素人が途上国で大きな事業を進める上での難しさを教えてくれるひとつの教訓になった。同年暮にはスギオの働きかけで西カリマンタン州知事から赤道レーダー用地を無償貸与することに同意する旨の公文書が届いた。後日ポンティアナの広大な土地はMFレーダーに適していることが判明した。1996年末、津田敏隆（助手、後RASC教授、現RISH所長）が豪アデレード大学教授ヴィンセントと協同で同レーダーを建設、観測を始めた。

赤道レーダーの技術的な検討は順調に進んだ。1985年11月LAPANは政府から正式に赤道レーダーの電波の割り当てを受けた。我々もアンテナアレイの設計や回路の暴露試験などできることを片端から手掛けた。これらの成果は次々広報パンフレットにして出版した。1986年3月には京都で「大型レーダーの発展と将来」（議長加藤）という小さな国際ワークショップを開催し、内外の関係者と赤道レーダー計画推進の方策を練った。

1986年には日本学術会議地球電磁気学研究連絡委員会STP専門委員会MAP/MAC小委員会発足。赤道レーダー建設計画の議論を開始。翌年2月には事業主体を京都大学RASCにすることを承認した。国際的にはMAPSTCが仏トゥルーズの会合で日本案推進を正式決定した。

4. ハビビ大臣の支援

4.1 ハビビとの遭遇

来訪者はハビビのオフィスに導かれると、長さ数mもある平机の上に溢れんばかりに並べられた無数の航空機模型を見て驚く。ハビビは机の向かいにあって、いたずらっ子のような小さな目をくりくりと輝かして夢中になって語りだす。西独（当時）ミュンヘン工科大学で航空工学の学位を習得し、30代半ばでメッサーシュミット社の副社長にまで上り詰めた秀才である。既に米国工学アカデミー外国人会員でもあった。スハルト大統領の側近として厚い信頼を受けて、永らく技術評価応用庁（BPPT）長官（研究技術担当国務大臣）を務めていた。後にスハルト大統領が失脚した

際、後継者（副大統領、後第3代大統領）に指名され、約1年半その職にあった。しかし本人は大統領などにならずに、BPPT長官を長く勤めていたかった、と周辺に語っていたそうである。

ハビビは常々、途上国が先進国に追い付くには最先端技術の開発こそが必要と主張していた。それは先進国から使い古した技術の援助を受けているだけでは何時まで経っても追いつくのは無理で、最先端技術を自らのものにして初めて可能になる、という考えであった。赤道レーダーがそのような技術のひとつと考えた彼は私たちに力強い支援を惜しまなかった。

1987年半ばには既に赤道レーダー計画は所澤を通じてハビビのもとに届いていた。1988年5月、加藤は直接ハビビに面談し当計画を説明した。あわせて彼を信楽MU観測所へ正式に招待した。9月には当計画をハビビが、また翌年1月にはインドネシアの多数の閣僚が容認した、と知らされた。

1988年11月加藤の招待を受けて、ハビビは同庁次官ワルディマン、ハルソノ、LAPAN長官サブプロトラ随員25名を引き連れて信楽を訪問した。筆者（深尾）が大阪の同じホテルに前泊し、翌日バスで信楽へ向かう道中で大気レーダーの講義を行った。車中でレーダー技術に関する突っ込んだ質問をいくつも受けた。信楽でMUレーダーの実物を目にして、さすがのハビビも強い感銘を受けた様子であった。

1989年3月、ハビビの提案で「インドネシアと世界の気候」シンポジウムをジャカルタで開催することになり、日米イ（イ：インドネシアの略）から約100名が参加した。日本からは主として赤道レーダーが、米国からはTOGAに関する話が出た。その後このシンポジウムは「インドネシア地域における赤道大気観測に関する国際シンポジウム」（通称ハビビ・シンポジウム）と名前を代えて、ジャカルタやバンドンで、1990年3月、1991年5月、1992年11月、1993年12月、及び1996年3月に、都合6回開催した。なおこの会は毎回世界各国から著名な研究者が多数出席し、水準の高いシンポジウムと評価された。例えばP. Webster（第1回）、C. H. Liu, A. Ebel, K. S. Gage, J. Roettger, M. A. Geller, M.-L. Chanin（第2回）、K. Wyrтки, K. D. Cole, B. B. Balsley（第3回）、T. Beer, J. McBride, P. T. May, S. Pawson, K. S. Gage, P. E. Johnston, S. K. Avery, C. R. Williams, R. A. Vincent（第4回）、柳井迪雄, K. Labitzke, D. C. Fritts, I. M. Reid, R. T. Tsunoda,

A. Matthews, P. Price (第5回)ら、国内からも山形俊男(東大)ら多くの研究者の労を煩わせた。資金面では科学研究費補助金などの支援を受けた。毎回ハビビは気候変動や、インドネシアの産業振興、人材育成などについて1時間程の精力的な基調講演をしてくれた。

また1990年4月にハビビは米国ホワイトハウス主催の「気候変動に関する科学と経済研究」シンポジウムに出席、NOAA(米国海洋大気庁)を訪ねてインドネシア地域の気候海洋が大気のグローバルな循環を通して地球の天気や気候の変動に大きな役割をもつことを改めて認識した、と述懐していた。

4.2 急展開した計画

ハビビの信楽訪問を機にインドネシア側の受け入れ態勢は一気に進んだようであった。彼は我々に赤道レーダー建設用地をインドネシア国内で自由に探すことを許可してくれた。もちろん無償で使用できるという条件である。これを受けて現地調査と測量を中心としたフィジビリティ調査を2~5次(1988年10月; 1989年6-7月; 同7-8月; 同9-10月)にわたって実施した。これには廣田 勇(京大)、田中 浩(名大)、住明正(東大)、福西 浩(東北大)、近藤 豊(名大)、山中大学(RASC助教授、現JAMSTEC 上席研究員、兼神戸大教授)、その他の関係者が寸暇を惜しんで参加してくれた。私たちはBPPTやLAPANの研究者や技術者と各地を歩き回り、漸く西スマトラ州ブキティンギ市郊外コトタバ(Kototabang; 南緯0.2°, 東経100.32°)の丘陵地に辿り着いた(第3図参照)。電波環境調査のため、山本 衛(助手、現RISH 教授)・中村卓司(助手、現国立極地研究所教授)らは院生とともに、山の中に小さな掘っ立て小屋を建てて2~3週間籠り続けた。これには日産科学振興財団や科学研究費補助金/国際学術研究の資金にお世話になった。

1989年8月に京都でBPPT・LAPANとの合同現地調査取りまとめの会合を持った。9月にジャカルタでハビビにその結果を報告した。その後、恒例のJIFの運営委員会が同地で開催され、そこでの議論を踏まえて、同年10月にインドネシア政府が赤道レーダー設立の支持を日本政府に正式に伝達した。なお土地の無償使用に関する正式認可は1991年2月にハビビから井上 裕(文部大臣)宛の書簡ほか2通の文書に表明されている。現地の測量はJIFと日本の大手総合建設会社T社やO社により1991年央に行われた。

赤道レーダーのシステム検討は順調に進んだ。1987年8月にはRASC外の関係者を入れた赤道レーダー懇談会を発足させ、技術細部や運用方式の検討を開始した。5年計画として年次計画も策定した。設備費はたびたびの見直しにもかかわらず略一定であった。どこかを無理に引込ませれば膨らむ、という具合であった。建設期間が5年の場合、総額170億円、維持費は年数億円であった。詳細な計画案は毎年RASCから京都大学本部経理部に提出された。

1989年、ハビビ大臣・大来 JIF 日各議長の尽力でスハルト大統領も赤道レーダーに少なからぬ興味を示したらしい。1990年5月、訪イする海部首相にスハルト大統領は赤道レーダー建設のための資金協力を直接要請するという話が聞こえてきた。要請があれば日本側は動かねばならない重みのある発言、とのことであった。その直前には深尾は外務省東南アジア2課に呼ばれて赤道レーダー計画の説明を求められた。程なく海部首相が訪イ、スハルト大統領が赤道レーダー建設の協力要請、と日イのマスコミが報じた。同大統領は7月にジャカルタを訪れた自民党文教部会長(当時、後首相)麻生太郎らにも計画推進を要請した。我々には予算化決定が間近に感じられ、緊張して時の経過を待った。しかし何も起こらなかった。事態は翌年も変わりなかった。

1988~89年は学術面でとくに収穫の多い年であった。88年11-12月にかけて、京都で、大型レーダー国際ワークショップ(議長加藤)並びに第1回国際大気レーダー学校(International School on Atmospheric Radar 通称ISAR; 校長深尾)を開催した。さらに89年には台湾チュンリで「レーダーによる亜熱帯大気研究」に関する国際ワークショップ(共同議長山中)を台湾の中央大学と共同開催した。

1989年夏 IAGA・IAMAS が英国で開催され、加藤・深尾ら関係者がほぼ全員出払って留守の間に、文部省が科学研究費補助金創成的基礎研究費(いわゆる新プロ)を立ち上げることになり、そのひとつの計画として大気・海洋・生態分野で「アジア・太平洋域を中心とする地球環境変動の研究: 地球環境科学の総合的展開」が取り上げられることになった。田村三郎(東大名誉教授)が研究代表者になった。唯一人留守番をしていた山中が奔走して、松野太郎(東大; 気候グループ)・住(同)・高井康雄(東大名誉教授、当時東京農大教授; 生態グループ)らと渡り合って枠組みを確定した。赤道レーダー関連研究も加藤(2002年か

ら深尾)を代表者とした副計画「西太平洋域における大気・海洋結合系のダイナミックスの観測」が認められた。

1990年、ICSUはIGBP(International Geosphere-Biosphere Program)を始めた、1991年央IGBPの事業、とくにSTART(System for Analysis, Research and Training)のRegional Research Center(RRC)のひとつを、ICEARと連携してインドネシアに誘致する構想などが議論されたが途中で立ち消えとなった。また1990年パリで加藤と深尾はIGBP関係者と面談、赤道レーダー/ICEARは当面独立に推進することで合意した。

この頃赤道レーダー事業の受け入れ機関を巡って、BPPTの直接の傘下ではなかったLAPANに焦りが見えてきた。赤道レーダーを後発のBPPTにもっていかれるのではないかと、いうわけである。現地での詳細な電波環境や土質、気象環境などの調査(第1次フィジビリティ調査)をRASC-LAPANの二者でやることを勧めてきた。またRASCと推進合意書を交わすことを求めてきた。後日、LAPANが自ら現地会社に赤道レーダー設備の設計を依頼した形跡もあった。しかし有力大臣を戴くBPPTが次第に計画推進の主導権を握ってきた。ハビビは科学技術省を新設し、BPPTのほかLAPANもその傘下に置いた。また程なくBPPT次官ワルディマンを文部大臣に、ハルソノをLAPAN長官に据え、スリ・ヲロ(Sri Woro)を次期長官含みでBMG(インドネシア気象・地球物理庁)へ異動させた。

1992年、加藤は京都大学を定年退官して、JIFの副議長になった。

5. 余儀なくされた路線変更

5.1 計画の挫折

文部省はもちろん、外務省ほかでも赤道に我が国の研究施設を作ることの意義は充分理解された。しかし巨大な予算について大蔵省を如何に説得するかが当然ながら大問題であった。所澤と加藤は当初文部省枠内の特別会計でやれないかと考えていた。しかし赤道レーダー計画のために特別な予算枠があるわけでもなし、文部省が受け入れねばならない特別の政策的理由を見つけることはもっと困難な状況であった。また同省はハワイの望遠鏡計画も抱えていた。当時としても我が国が海外で巨大プロジェクトを2つ同時に走らせることは無理であった。

大蔵省の考え方も漏れてきた。途上国援助JICA予算は赤道レーダーには小さすぎる(当時文部省枠200億円は留学生分)。ヨーロッパ6カ国が共同出資しているEISCAT(European Incoherent Scatter)レーダー方式についてはEISCAT科学協会(EISCAT Scientific Association)評議員を努めていた筆者(深尾)がよく調べていた。しかし外務省は、我が国の主体性が保てない国際機関による運用は認められない、という立場であった。議論はいつも、京都大学が文部省・外務省と協議し予算を作成するのがよい、という正論に戻る繰り返しであった。いずれにしても文部省に京都大学から早く概算要求を挙げる必要があるであった。

前後して赤道レーダーの運営形態についても大略が固まった。建設とその後当分の間の組織運営は京都大学が面倒を見る。その間に文部省共同利用機関『国際赤道大気研究センター(International Center for Equatorial Atmosphere Research; ICEAR)』を新設し、そこへ設備と組織を移す。また現地の運営にはインドネシアの外に国際機関の代表が参画する、というものであった。しかしやはり概算要求は京都大学からする必要があった。我々の努力にも拘らず、赤道レーダー計画が京都大学概算要求書に盛り込まれ文部省に上げられたのは漸く1989年であった。

加藤と所澤の働きかけで本邦政治家のなかにも支持者が出てきた。彼らが文部省内部にいろいろな働きかけをしてくれたようであった。JICAのOECF(大規模な資金貸与による援助)が検討されたこともあった。しかしダムや橋といった国民の生活・福祉に直結した案件を差しおいてまで赤道レーダー計画を推進することは当時のインドネシアの民力では到底無理な相談と言うべきであった。また当然のことながら担当の部局は官房に予算化を迫るまでには至らなかったようである。1992年に科学研究費補助金総合研究(A)を交付されたが、文部省はこれをもって赤道レーダー計画を静かに終焉させることにしたようであった。一方支持政治家には表向き「調査費をつけた」と釈明したらしい。

この前後、さすがのJIFや所澤にも行く手を大きな壁に阻まれている様子が見られた。万策尽きた感があった。1994年に加藤はJIF副議長を辞す決意をした。我々は大きな挫折を見たのだ。それでも文部省内にはまだ声援を送り続けてくれる人たちがいた。「いつ動き出すか分からないから十分な備えは必要です



第1図 京都大学超高層電波研究センター（現：生存圏研究所）が1984年に滋賀県甲賀市信楽町に建設した MU レーダー。（左）中央の略円形部がアンテナ面。周辺の6棟の水色屋根の小屋に送受信モジュールが収納されている。右手の建物が観測棟。（右）アンテナ面で見えた林立する八木アンテナ群。



第2図 JIFの運営委員会で演説をするインドネシア研究技術担当国務大臣ハビビ（左端）。

よ」という。

1993年7月地球科学関連学界の100名以上の有志により「赤道大気研究センター（仮称）」設立要望書を取りまとめて文部省学術国際局長宛に届けた。負けてはならない、と我々は思った。

加藤は国際的な支持を広げていった。SCOSTEPとURSI（国際電波科学連合）が赤道レーダー建設を支持する旨の勧告をそれぞれ1990年及び1993年に決議した。RASC客員教授であった独ケルン大学教授A. イーベルの働きかけで独科学技術大臣リーゼンフー

パーもICEARに強い関心を示し、有償使用のため予算化を図る旨ハビビに連絡してきた。

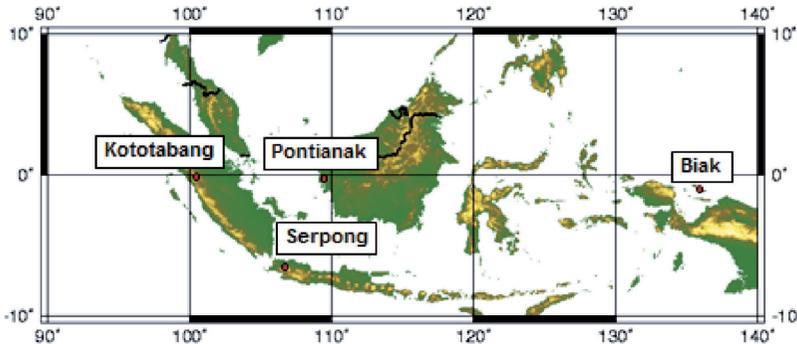
1990年前後、米NSFも赤道レーダー/ICEARに無関心ではなかった。同超高層部門プログラムマネジャーのR.ベンキらはしきりに進捗状況を聞いてきた。1992年8月加藤のもとに同大気科学部門長ビエルリから、NSFは有償でICEAR運用に参画しても良い旨の手紙が届いた。

加藤は1990年SCOSTEP副会長に就任した。SCOSTEPは国際共同研究Solar-Terrestrial Energy Program (STEP; 1990-97) 事業を立ち上げ

た。日本学術会議にSTEP特別委員会（委員長東北大理教授大家寛）がつくられ計画推進の調整に当たった。1992年、そのなかに国際赤道大気研究センター(ICEAR)ワーキンググループが設立されICEARの早期実現の方策を論じた（委員長加藤）。我々は新プロにありながら、求められてSTEPの大気関係課題も担当した。

5.2 文部省新プログラムの発足

新プロは1990年から1994年にかけて5年間実施された。我々も初めて赤道域で本格的な研究ができることから力が入った。1992年深尾と津田は、ジャカルタ郊外スルポン（Serpong）の国立研究科学技術センター・プスピテク（PUSPIPTEK）の敷地内にレーダー観測所を開設し、大気最下層を対象とする境界層レーダー（BLR）と上部中層大気を観測する流星レーダーを稼働させた。開所式典では田村のほか、日本側代表（RASCセンター長）松本 紘（現京都大学総長）とイ側代表（文部大臣）ワルディマンから祝辞を受けた。また津田はLAPANと共同で多数の気象気球を集中的に放球する研究で成果を挙げた（Tsuda *et al.* 1995）。これはSTEPやTOGAにおける国際的観測強化期間にインドネシア地域をカバーしただけでなく、準恒久設備としての赤道レーダー/



第3図 インドネシアの主な島と本稿に関連する諸施設の設置場所。

ICEAR を実現するため、現地研究者・技術者育成の一環としても意義が大きかった。1992年5月加藤・住らは新プロを大気・海洋・生態を研究する恒久的な総合研究センターに収斂させるべき、と考えて各方面に働きかけたが進展は見られなかった。

人材育成は当初から日伊共通の目標であった。学部学生や大学院生のほか BPPT/LAPAN の技術者も短期で頻繁に RASC へ招請した。その間にインドネシア人の京都大学博士も4名誕生した。しかし学位取得直前に急逝した LAPAN 女史イブクとその家族には深い同情を禁じえない。なお加藤は JICA の専門家派遣プログラムで、1994年と95年にそれぞれ10月から翌年1月まで ITB (バンドン工科大学) の客員教授を務めた。また1995年7月には、インドネシアが自らの努力で大気研究者グループ (Pembentukan Kelompok Peneliti Dinamika Atmosfer) を結成した。実質的な学会の結成である。BPPT, LAPAN, BMG, ITB など10以上の研究所、大学の主だった研究者を糾合したもので委員長はハルソノが努めている。

WMO (世界気象機関) が全世界に十数ヶ所の大気組成測定拠点を選定し、標準的な自動観測機器を設置する全球世界大気監視 (Global Atmosphere Watch ; GAW) 計画を発表した。既に我が国の気象庁は、綾里と南鳥島に測定拠点を建設済みで、データセンターのひとつも日本が引き受けることになっていた。ついてはそのためにコトタバンの赤道レーダー建設予定地の一部を使いたいということであった。ハビビ、ハルソノやスリ・ヨロはじめ各方面の了解は取れているとのことであった。1993年中に完成すべく既に予算化もしているとのことであった。赤道レーダー実

現の見通しがまったく立っていない当方としてはこれ無条件で了解する他なかった。しかしこれが後に問題となった。

なお当時タイなどと比べて、インドネシアの政情不安が話題になることがあった。せっかく設置したアンテナが翌朝村人の庭で物干しなどになっているのではないかと茶化す人もいた。これに対して JIF 運

営委員白石 隆 (当時コーネル大学教授；後京都大学教授、現総合科学技術会議議員・政策大学院大学副学長) はわざわざ反論を執筆、赤道レーダー計画が、インドネシアの政治体制のレベルでも政権・政策のレベルでも何ら不安のないプロジェクトであることを論じた文書を作ってくれた。これはその後各方面で活用させて貰った。同氏のこの前後のインドネシア政治に関する論文を読むとその確かな見通しに改めて感心させられる。

6. 計画の新展開

6.1 計画の縮小

我々は落胆こそしたが決して絶望していなかった。赤道レーダー計画の「筋の良さ」を自負していたし、信楽の MU レーダーからは次々と新しい成果が出ていた。安心して大計画に打ち込めた。しかし JIF がやったような組織的な取り組みはもはや望むべくもなかった。むしろ空いた時間を地味な研究活動に注げたことは幸いであった。IAMAS や COSPAR, IAGA, IUGG などの国際会議でたびたび関連シンポジウムやセッションを開催した。また1995年3月にはほぼ4年に1度毎に開催されてきた「赤道超高層物理学に関する国際シンポジウム (ISEA)」の第9回をバリ (Bali) 島で開催した (議長深尾)。約200人の出席者の9割以上が外国人参加者で、常夏の赤道を満喫したものである。

一方、SCOSTEP は大規模な国際共同研究を終えると、次の大規模研究をスタートするまでの間、小規模な国際プロジェクトを走らせてきた。1997年に STEP を終了すると、5つの小プロジェクトを稼動したが、深尾が提唱した「赤道大気結合過程

(EPIC)」をそのひとつに採択し、1998年から2002年にかけて実施に移した。

1996年、暫定的に MU レーダーをインドネシアに移転したらどうか、と唐突に言い出す識者がいた。古くなる大型設備の再生という意味で面白い構想であった。急いで様々な問題を検討した。しかし経費面では余り節約にならなかった。財源捻出にも赤道レーダー新営と同じ困難を伴うことが判明した。また設備の移設には途方もない手間が掛かる。跡地の利用や人材育成の観点からも大きな問題があった。地元の一部には「MU 観測所が閉鎖される」という風評が流れた。議論が複雑化する前に早々と鎮火できたのは幸いであったと思っている。

1998年初、中古の境界層レーダー (BLR) を関西電力の関係会社より無償で借り受けることが出来た (後に譲渡)。同年 8 月、橋口浩之 (助手、現 RISH 准教授) はこれをインドネシア・コトタバンの赤道レーダー建設予定地に設置した。赤道域境界層を BMG と共同で観測することが目的であった。その開所式に出席した加藤が、これは赤道レーダーへの確かな一歩ではあろうが前途は余りに遠い、と慨嘆したのを筆者 (深尾) は風の便りに聞いた。

1997年頻発する森林火災に頭を抱えたスハルト大統領が、日本側に何の告知もせず突如、地球環境変動に関する国際会議を主催したことがある。そこで米国主導で ENSO 予測センターの設立が提案されるという。その趣旨と概要は実は我々が従来から提唱している赤道レーダー/ICEAR をそのままコピーしたもののようで、緊張が走った。つまり、地球規模変動の発信地としてのインドネシア西太平洋域の地理的重要性を認識して、インドネシアに先進国 (この場合米国) 主導の国際研究センターを設立する計画であった。米国は我々の計画はもはや絶望的と踏んでいた節がある。しかし幸いこの構想は上手く行かなかった。

米国の TPPN は順調に成果を出しているものと思っていた。後年 NOAA の支援でレーダーが 2 台追加されてもいた (元々 4 台、計 6 台)。しかし NOAA の設備でありながら NSF の TOGA 関連の予算で運用されていたことが災いした。1996年初め、TPPN は TOGA 研究には貢献しないとみなされ、その予算が削減されることになったのだ。担当の K.ゲージや S.エーボリ (米コロラド大学部長、現ウッズホール海洋研究所長) は ICEAR と連携して延命することを考えて、しきりに接触を求めてきたが、手許に何も無い

我が方としては手の出しようがなかった。黙って同プロジェクトの終焉を見るほかなかったことに今も忸怩 (じくじ) たる思いである。

筆者 (深尾) は非公式に ICEAR が教育機能も持つべきと主張していた。伊トリエステの国際理論物理研究センター (ICTP; ユネスコと伊政府が運営) に講義に行くことがあった。同センターでは、公募で採択されたテーマについて毎年数十件のスクールを開催している。テーマの分野は問わない。対象は主として途上国の研究者である。深尾と親しい教授ラディチュエラは、地球科学関係のスクールの一部を ICEAR と分担できないか、と期待していた。深尾は ICEAR に気候変動や生物多様性などに関するスクールを開講できる機能を持たせれば我が国の国際貢献にもなる、と思ったものである。

そもそも赤道レーダー計画は地理的特異点における準恒久的な観測という意味では我が国の南極事業と似ており、基礎科学としての最先端に行く大型観測施設の建設という意味では国立天文台のハワイ大型望遠鏡「スバル」と似ている。しかし研究基盤や保安などが脆弱な途上国への建設という点が根本的に異なっており、これまでにないユニークで難しい計画であった。これを JIF の手を借りずに大学だけでやるにはいかにも大き過ぎた。この際身の丈にあった計画に縮小して、少し規模の小さいレーダーを建設するのが現実的ではないか。まず赤道域に我々の足跡の第一歩を画すべきではないか、と我々は考えた。

文部省 (当時) によると設備を地面に固定して不動産化するのはいずれらしい。我が国が国外に持つ不動産は在外公館とフィリピンの慰霊碑だけという。それ以外は万が一の際、急ぎ取払って回収できるものでなければならないのだろう。移動式でなくてよいが、『可搬型 (Portable)』を標榜すべきという。また数億円規模のものなら文部省の独自判断で実行できることは既に承知していた。早速技術的な検討を始めた。筆者 (深尾) は三菱電機部長 W とはいつも連絡を取っていた。W の見積もりによると測風機能に特化した大気レーダーなら、その程度の額でも MU レーダーと同方式のシステムでアンテナ径 100 m、送信出力 100 kW が充分可能だという。その規模であれば対流圏上部と電離圏の一部が視野に入る。何とか学術的な成果も出せそうである。しかし『観測の谷間』を埋める研究は先送りしなければならない。我々は当面この実現を目標とした。これに『可搬型プロファイラー

(Portable Atmospheric Sounding System ; PASS)』と名付けた。PASSとしたのはできれば赤道以外へも持って行きたいという願いが込められていた。赤道域に設置されるPASSには『赤道大気レーダー』と名付けるつもりでいた。英語名はEquatorial Atmosphere Radar 略してEARであった。赤道大気の鼓動を謙虚に聴く「耳」の意である。見積もり額は約8億円。

PASSに関する10頁くらいの小冊子を作成して暇があれば文部省ほかの関係者を訪ねた。しかし何も起こらないまま、いたずらに、日が過ぎていった。

6.2 ミレニアム補正予算

1999年夏、首相（当時）小渕恵三は景気振興策として情報化、高齢化、環境対策の「ミレニアムプロジェクト」を打ち上げた。経済新生特別枠を増額して要求ベースで5,000億円とする大型補正予算であった。文部省は科学技術庁（当時）と共同して「全球的地球環境総合プロジェクト」計画を提出する準備を急いでいた。地球環境問題を広く網羅した大計画であった。このなかの副計画「グローバルレーダーネットワーク観測網の構築」にPASSが取り上げられたという。久方ぶりの好機到来と期待させられたがこの大計画は残念ながらヒアリングに残らなかった。しかしチャンスは思い掛けないところにあった。

10月中旬、文部省学術国際局国際学術課（当時）より突然の電話でPASSが補正で取上げられる見込みだという。同課は大計画が潰れた後も、密かにPASSを死守してくれたらしい。ついてはインドネシアでの受入れ態勢はどうかという確認であった。もとより準備万端整っており、些かの懸念もないと答えたことは言うまでもない。また本年度補正予算であるから納期は来年3月末だが間に合うか、という返答に窮する問いかけにも「勿論です」と答えた。後日京都大学は遅れの出たEAR工事の完工期日を2度にわたって先へ延期してくれた。文部省の担当者はEARの原理や背景などについてよく理解していた。頻繁に文部省に出掛けてはPASSの説明をして廻ったのは決して無駄ではなかった。補正予算が内示されたのはその年の11月29日であった。金額は5億3000万円強。

この朗報は直ぐインドネシア側へも伝えられた。12月上旬、津田は早速LAPAN長官ら首脳部に予算化について直接説明。京都大学RASCは早くから受け入れ機関をLAPANと決めていた。彼らの遠隔地にある観測所維持の豊富な経験をそれなりに評価してい

た。BPPTとLAPANの間に妙な先陣争いが起こる前にこちらの意向を伝えておくべきと考え、科学技術大臣ヒカムと同長官ハリジョノ宛の手紙にその旨明記した。彼らもやる気満々になっているとのことであった。

2000年2月上旬、筆者（深尾）と山本はジャカルタを訪れた。受け入れ機関をLAPANに決めたことにBPPTが不満であるという。不安は的中した。研究技術大臣補佐官になっていたスリ・ヲロはBPPTに固執して譲らなかった。ハビビ以降の経緯から当然と言わんばかりであった。またBPPTはLAPANに比して政策策定能力が格段に優れているし、そもそも建設予定地を管理しているのはBPPTだという。議論は平行線を辿ったまま時間切れとなった。しかし、深尾らは飛行機の出る前までに結論をと再度スリ・ヲロに面談を求めた。LAPANを受け入れ機関として早急に工事を始めたいこと、土地も京都大学がLAPANから直接借り受ける形にしたい旨、繰返し説得に努めた。結局、もともと気象学者であった彼女はRASCがLAPANと交わす合意文書(MOU)にBPPTが研究面で参画することを明記すればよい、と折り合ってくれた。彼女の英断に今も感謝している。

2000年2月末、ヒカムから正式にインドネシアもLAPANを受け入れ機関と認める旨の手紙が届いた。同国内でLAPANを軸にBPPT、BMGその他大学をネットワークするつもりだとあったが、今迄のところこれが有機的に動いている様子はまだない。MOUを策定して、2000年6月にジャカルタで調印式を行った。科学技術大臣ヒカムとRASCセンター長深尾（筆者）が文書にサインをした。直後にLAPANは現地で地元説明会（Silih Jariah）を開催した。地元から金銭だけではなくモスクを建てろという要求もあり当惑させられた。山頂の建設予定地は当時BPPTの管理下になっており、その会ではBPPTから各部族に20万円程度の補償金が支払われた。LAPANと赤道大気レーダーの設置について正式に協定書（Agreement）を交わしたのはしばらく経ってからの2000年9月であった。RASC・京都大学・文部省・LAPANの4者間で条文の詰めには思いのほか時間が掛かった。全13条。そこでは物品破損、負傷あるいは人命喪失と言った民事責任（Civil Liability）についてもきっちり誠意を以って対応することが謳われた。

7. 赤道大気レーダーの建設スタート

7.1 可搬型レーダーの実現

正式に予算化が決まると事務方の出番である。京都大学本部事務局は宇治事務局と合同の対策本部を設置した。京都大学の事務局にすればこの規模の事業などなんということとはなかった。製造業者と契約を結ぶために必要な仕様書の作成など諸手続きが粛々と進んでいった。日本でも起こりうる問題は次々発生したが、ベテランの事務方がてきぱきと片付けてくれた。しかし事業地が外地インドネシアである点少し勝手の違う面もあった。時折我々の助言や助力を求められた。事務方・LAPANと我々との仲介と折衝は山本がスムーズに行った。時期は前後するが例えば以下のような事例があった。

京都大学事務局にはLAPANから無償で土地を借用するために借用書が必要であった。「家賃ゼロ円」の賃貸借契約書であった。我々の求めに応じてLAPANは黙ってこれを作成してくれた。

インドネシアでも学術関連の装置などの持込は原則免税である。しかし高度な電子機器の輸入に関して免税手続をするのは事務方にとっても甚だ厄介であった。インドネシアで調達しない理由は何か、なども聞かれたらしい。しかしLAPANはこれらの煩雑な実務処理に長けていた。

一方、商用電源が停電した際、レーダー制御用コン



第4図 (上) インドネシア西スマトラ州コタババンに建設された赤道大気レーダー (Equatorial Atmosphere Radar ; EAR) の全景。運用周波数は47 MHz、アンテナ口径は110 m、ピーク送信電力は100 kW。(下) 赤道大気レーダーの560本の八木アンテナ群。各アンテナの下部に送受信モジュール (箱状) が設置されている。



第5図 2001年6月26日举行されたEAR開所式典。(上) 挨拶をする京都大学総長長尾。(下) 参列した現地住民の一部。

ピュータを暫時保持するために最低限の容量のディーゼル発電機を設置する必要があった。我々は保安上山頂のEAR近辺に設置したかった。しかしこれにBMG・GAWから注文が付いた。排気ガスは大気標準計測の障害になるという。実は1993年、GAW国際

建設委員会に山中が出席，WMO や GAW の関係者から席上「限られた大気成分の長期間にわたる背景濃度を測定するのであるから発電機の設置は構わない」という公式見解を得ていた。しかし BPPT のスリ・フロは BMG・GAW 側に付いて担当技術者とともに頑なで譲らなかった。度々の交渉の結果，漸く登山口にある取付け道路脇の番小屋を借りてそこに設置することで折り合いをつけた。

建設予定地へのアクセス道路は元々 BMG が建設したもので，BMG は EAR 工事中の共用は困る，とこれにも注文を伝えてきていた。建設工事終了までに道路の拡幅と補修の約束をして利用させて貰うことにしたが，補修にはかなり高額な経費が掛かった。我々は経費の捻出を西スマトラ州政府や我が国 JICA へ働きかけたが何れの結果も芳しくなく，最後になって京都大学事務局と文部省が工面して工事を実施してくれた。

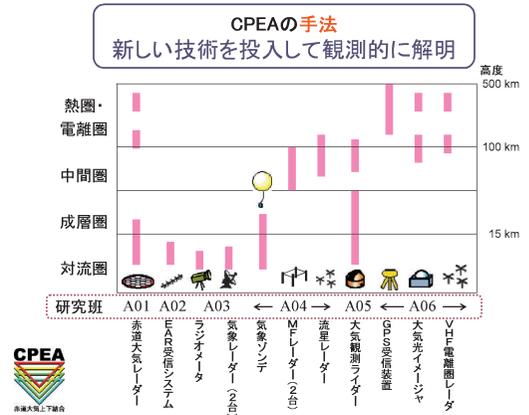
文部省と京都大学の勧めで損害保険を付保したのは賢明であった。盗難・破損・落雷などの被害に備えるためである。毎年10月から翌3月頃はスマトラの雨季で，雷活動がとくに活発である。EAR の各所にアレスタ（避雷器）を設置し充分対策は打っていたつもりでいたが，観測開始から6か月ほどたった2001年12月に EAR 近くに落雷を受けて多くの回路を損じた。復旧まで2か月程を要し被害額は1,000万円にもなったが，なんとか保険で回復できた。しかし翌年から保険料の倍増という代償を払うことになる。

事務方にとって現地検査や打合せがたまにインドネシアで行われることは新鮮であったようである。現地出張は喜んで貰えた。我々はいつも彼らに同行した。

まだ部族社会の色濃く残る現地では地元民対策はとくに重要であった。建設予定地にはもともと3部族が拮抗していたという。LAPAN はその間のバランスを壊さないよう細かい配慮をしてくれた。地元説明会が終わるといよいよ建設工事の開始である。土木工事は（株）大林組部長 S が直々に指揮を執ってくれた。S は当初から赤道レーダー計画を評価してくれていた。日頃からこの仕事は商売抜きです，と笑っていた。またジャカルタから大手業者を連れてこないでくれと，何処かの国と似通った地元からの強い要望も受けていた。S にもとよりそれ程の資金的余裕があるわけではなかった。工事は地元の部族から平等に多数の人夫を雇い上げ人海戦術でやらざるを得なかった，と後日述懐していた。工事現場の治安にも気を遣わねばな

らなかった。工事が始まって程なくの7月，工事現場が2度にわたって盗賊に襲われる事件が発生し，現地建設会社は掘削機部品を盗まれるなど多大の損害（総額約300万円）を被った。特に2度目は車に乗った約10名の盗賊に，山上の2名のガードマンが縛り上げられ，負傷して病院に運ばれた。

LAPAN は現地に独自の観測所を建設，3名のオ



第6図 特定領域研究 CPEA のために赤道大気観測所に設置された主な観測装置。各装置の上の縦太線はその主な観測高度域を示す。



第7図 EAR は Google Earth から見ることもできる。中央の6角形状の土地は EAR のアンテナアレイ。赤屋根の建物が観測棟，散在する建屋の中に各種観測装置が設置されている。なお周辺の緑地はインドネシア政府により我々の地球大気研究のため確保されている。

ペレータを常駐させて EAR の 24 時間連続運転に当てることにした。約 10 名の警備員と清掃員も地元から雇い上げた。

アンテナや室内機器が設置され、EAR が完工したのは 2001 年 3 月 23 日であった (第 4 図; Fukao *et al.* 2003)。技術審査委員長津田が完工検査を担当した。国内では京都大学広報の「EAR のファースト・パルス打上げ」のニュースをマスコミが広く伝えてくれた。

同年 6 月 26 日赤道大気レーダー開所式典が現地で行われた (第 5 図)。パダン地方独特のテレポン (Telempong) という楽器がゆったりしたメロディーを奏でていた。野外に設えた大きくきらびやかなインドネシア風テントの下には、廣田 (当時日本気象学会理事長) のほか、京都大学総長長尾 眞 (現国会図書館長)、駐インドネシア大使竹内行夫 (後外務次官、現最高裁判事)、日本学術振興会監事 (当時、元文部科学省宇宙科学研究所長) 西田篤弘、所澤ら約 40 名の日本側参加者の顔があった。インドネシア側には、ヒカムはじめ、マハディ、BMG 長官グナワンら 50 名を超える関係者と優に数百名を超す近郊村民が並んでいた。加えて海外から大型レーダーの原理を初めて提唱した国際電波科学連合 (URSI) 名誉会長 (米国科学アカデミー会員) W. E. ゴードンや、元 EISCAT 所長 J. レッテガーらがわざわざこの式典のために駆けつけてくれた。TPPN を閉じざるを得なかった K. ゲージからもお祝いのメッセージが届いた。開所式典は参列者がそれぞれ、会場横の大口径アンテナを目にして「それぞれの赤道大気レーダー」建設の経緯を懐古しながら感慨に耽った一時であった。

EAR が完成したときハビビは既に失脚していた。開所式にも参列出来なかった。後日東京で行われた JIF のパーティで EAR の写真を見せて完成の報告をすると、変わらぬくりくりした目で満面に笑みを浮かべて喜んでくれた。私たちは長い間辛抱強く支援し続けてくれた彼に対し深い感謝の気持ちを禁じ得ない。

7.2 JICA と科学技術庁

最後に JICA ((独) 国際協力機構) や科学技術庁 (当時) との関係についても簡単に触れておかねばならないだろう。インドネシアでは JICA による無償/有償の政府開発援助 (ODA) 案件は同国家開発企画庁 (BAPPENAS) の審査を受けなければならない。申請は現地の実施機関 (我々の場合 LAPAN) がすることになる。厳しい審査にパスすると漸く青色の

冊子 (ブルーブックと呼んでいる) に記載して貰える。しかもそこに記載されれば直ちに実行に移されるわけではない。採択案件の決定には随分政治的な思惑も入ったという。当時学術関係のものが援助対象になることは稀ではあった。深尾は慎重に申請のタイミングを見計らっていた。1998 年、PASS はブルーブックにリストアップされた。これは我々の熱意を買ってくれた JICA ジャカルタ事務所長 (後理事) S の尽力のおかげであった。1999 年暮、文部省が PASS の予算化を決定した直後に LAPAN から BAPPENAS・JICA との重要面談があると電話してきた。しかし我々にはもうこれ以上欲張る理由などなかった。

我が国の科学技術庁 (科技庁) にも赤道レーダーに理解を示す担当者がいた。時折進捗状況を打診してくれていた。1990 年代半ば、航空・電子等技術審議会地球科学技術部会では、フロンティア方式 (流動研究員により研究チームを時限で作る方式) で気候変動予測プログラムを立ち上げることを計画していた。これに別課題「赤道鉛直エネルギー伝搬フロンティア (仮称)」を立てて、可搬型大気レーダーを実現しようというものであった。これを 5 年間やって実績が出れば巨大レーダー (赤道レーダー) への道も拓かれると期待された。直ぐ簡単な 5 年計画を策定して海洋地球課へ送った。しかし科技庁が示唆してくれた有力研究者はこの案に積極的な関心を示さなかった。残念ながらこの線を進めるのは諦めざるを得なかった。

8. エピローグ

8.1 赤道大気上下結合計画

2001 年 (平成 13 年) 9 月に文部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)』(平成 13~18 年度) が採択された (Fukao 2006)。我々にとって採択は 4 度目の正直であった。今回の申請には初めて EAR という大きな看板があった。審査では海外に精密地球科学の研究拠点を作ること成功したことが高い評価を得たようである。補助金総額は 6 億円強であった。

CPEA では、地球大気変動の根源域である赤道大気を地表から超高層大気 (熱圏・電離圏) まで一体の研究対象として取り扱った。赤道域を中心に地球に降り注ぐ太陽放射エネルギーの再配分に関して、従来は対流圏を中心とした子午面大気循環、および赤道から中高緯度に向かう海流が重要であるとされてきたが、

CPEA ではこれらに加えて、赤道域の大気圏全高度域で普遍的に見られる各種大気波動による三次元輸送が重要であることに着目した。高高度の大気状態に直接影響を与えるのは、高度方向に伝搬する大気波動のみだからである。これは異なる高度層を個別に研究した従来の手法では解明できないプロセスであり、我々がEARで取り組む意義と必然性があった。アプローチの特色は、第6図に示すように、EARを中心として多様な観測装置を集積し、全高度域を一気に観測する観測ネットワークを構築、赤道大気の力学的上下結合の定量的理解を得ることにあった。これによって地球大気環境全体の変動の根源と想定される赤道大気について、新しい統一的研究法と解釈の確立を目指した (Fukao 2009)。

幸い、所期の狙いどおりCPEAはインドネシア赤道域大気上下結合に夥しい新鮮な知見をもたらした。積雲対流の影響は遠く高度100 km近傍の下部熱圏大気にまで様々なかたちで届いていることが分かった。種類が特定された大気波も沢山ある。一般には混じり難い対流圏と成層圏大気が混合するメカニズムのひとつを初めて直接に捉えることにも成功した。また赤道超高層大気中に中緯度起源らしい擾乱があり、しかもそれが南北対称になっていて赤道に向かって伝搬しているらしいことが判明した。赤道大気は予想以上にしっかりとしかも大規模に結合していることが明らかとなったのだ。これらの成果の一部は *Journal of the Meteorological Society of Japan* (Ed. Fukao *et al.* 2006) や *Earth, Planets and Space* (Ed. Fukao *et al.* 2009) などの特集号に掲載されている。

2007年3月20~23日には、CPEA研究の集大成となる国際シンポジウム『International Symposium on Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA Symposium)』を京都大学本部構内で開催、内外から約200名が参加した。さらに同年9月20~21日にはお台場の東京国際交流館・プラザ平成で、文部科学省科学研究費補助金(研究成果公開促進費)研究成果公开发表(A)公開シンポジウム『地球環境の心臓赤道大気の鼓動を聴く—私達の挑戦—』を好評開催した(文部科学省科学研究費特定領域研究「赤道大気上下結合」総括班編 2009)。

幸いCPEAは2007年央の最終ヒアリングで『A+』の評価を得ることができた。現在山本が新基軸のプログラムを実施中で、EAR活動の中核は既に新しい世代に移っている。なお筆者(深尾)は同年3

月末をもって京都大学を定年退職した。

8.2 期待される成果と将来展望

赤道大気の統一的理解には基本的に個々の小規模変動を分解しかつそれらが組織化した結果の大規模変動を俯瞰しうる観測が求められる。このためこれまでともすれば単地点観測が中心であった大気レーダーを多国間国際協力によりネットワークする必要がある。この観測のスケールの制約は我々のEARを赤道域太平洋上からインド最南部にある米・豪(オーストラリア)・印(インド)の既存の大気レーダー網とネットワークすれば克服できるはずである。

この多国間国際協力にはインドネシアは勿論周辺の東南アジア諸国も含まれる。赤道レーダー提案当初からEAR設置までの雌伏十数年の時間は、それらの諸国に気象学・大気科学の研究者が育ったという意味では十分に意義のある時間であった。またEAR設置場所には、東南アジア域唯一の全球大気監視(GAW)拠点が設置されており、日本や豪が様々な観測を既に行っている。従ってEARは、単に大気レーダー観測の中核基地のみならず、過去にない本格的な地球科学の国際的・学際的交流の拠点ともなると期待される。なお最近ではEARをGoogle Earthからも概観することができる(第7図)。

EARと従来から赤道域で個別に展開されてきた各種観測との国際的な連携を図ることにより、謎の多かった赤道大気諸変動の実態と生成機構が明らかにされるものと期待される。またこれらの変動を下層から超高層に至る全高度域の上下結合という視点で捉えることは我々が発信し、最近10年来独自に温めてきたものである。これによって赤道大気の統一的理解が進めば間違いなく関連研究分野の発展に大きなインパクトを与えるだろう。

なお、EARは我が国の地球科学分野で初めて赤道域で長期間運用に供される大型観測装置である。従来の科学研究費補助金などによる短期間に限られたキャンペーン的観測とは質的に異なった充実した継続観測が期待できる。EARという半恒久的な設備を中核とする研究は、間違いなく我が国が今後目指すべき本格的な海外観測の新しい形態を提起するものとなるだろう。

謝辞

本稿の各節で加藤進・廣田勇・山中大学各氏と京都大学生存圏研究所関係者に夥しいご教示を賜っ

た。また最終稿について間宮 馨 ((財) 日本宇宙フォーラム理事長)・藤谷徳之助 (元気象庁気象研究所長) 両氏から貴重なご助言を頂いた。謝して記す。

略語一覧

BAPPENAS : インドネシア国家開発企画庁
 BLR : Boundary Layer Radar 境界層レーダー
 BMG : インドネシア気象・地球物理庁
 COSPAR : Committee on Space Research 国際宇宙空間研究委員会
 CPEA : Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere 赤道大気上下結合
 EAR : Equatorial Atmosphere Radar 赤道大気レーダー
 EISCAT : European Incoherent Scatter
 ENSO : El Niño-Southern Oscillation エルニーニョ・南方振動
 EPIC : Equatorial Processes Including Coupling 赤道大気結合過程
 GAW : Global Atmosphere Watch 全球大気監視拠点
 IAGA : International Association of Geomagnetism and Aeronomy 国際地球電磁気学・超高層物理学協会
 IAMAS : International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences 国際気象学・大気科学協会
 ICEAR : International Center for Equatorial Atmosphere Research 国際赤道大気研究センター
 ICSU : International Council for Science 国際科学会議
 ICTP : International Center for Theoretical Physics 国際理論物理研究センター
 IGBP : International Geosphere - Biosphere Program
 IEO : International Equatorial Observatory 国際赤道観測所 (小委員会)
 ISEA : International Symposium on Equatorial Aeronomy 赤道超高層物理学に関する国際シンポジウム
 ITB : インドネシア工科大学
 JICA : (独) 国際協力機構
 JIF : 日本・インドネシア科学技術フォーラム
 LAPAN : インドネシア航空宇宙庁
 MAC : Middle Atmosphere Corporation
 MAP : Middle Atmosphere Program 国際中層大気共同研究計画
 MAPSTC : MAP Steering Committee MAP 国際運営委員会
 MSG : MAP Steering Group
 NIEO : New International Equatorial Observatory 新国際赤道観測所 (小委員会)
 NOAA : 米国海洋大気庁
 NSF : 米国科学財団

RRC : Regional Research Center
 SCOSTEP : Scientific Committee on Solar - Terrestrial Physics 国際太陽地球系物理学科学委員会
 START : System for Analysis, Research and Training
 STEP : Solar-Terrestrial Energy Program
 STP : Solar-Terrestrial Physics
 TOGA : Tropical Ocean - Global Atmosphere
 TPPN : Trans-Pacific Profiler Network
 URSI : Union Radio - Scientifique Internationale 国際電波科学連合
 WCRP : World Climate Research Program
 WINDAS : Wind Profiler Network and Data Acquisition System
 WMO : World Meteorological Organization 世界気象機関

参考文献

- Fukao, S., 2006 : Coupling processes in the equatorial atmosphere (CPEA) : A project overview. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84 A**, 1-18.
- Fukao, S., 2009 : What we have learnt from CPEA (Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere) : A review. *Climate and Weather of the Sun-Earth System (CAWSES) : Selected Papers from the 2007 Kyoto Symposium*, Eds. T. Tsuda, R. Fujii, K. Shibata and M. A. Geller, TERRAPUB, Tokyo, 295-336.
- 深尾昌一郎, 浜津享助, 2009 : 気象と大気のレーダーリモートセンシング. 改訂第2版, 京都大学学術出版会, 502 pp.
- 深尾昌一郎, 山中大学, 1996 : 地球環境科学における大気水圏観測技術. 学術月報 (日本学術振興会), **49**, 1379-1386.
- Fukao, S., H. Hashiguchi, M. Yamamoto, T. Tsuda, T. Nakamura, M. K. Yamamoto, T. Sato, M. Hagio and Y. Yabugaki, 2003 : Equatorial Atmosphere Radar (EAR) : System description and first results. *Radio Sci.*, **38**, 1053, doi : 10.1029/2002RS002767.
- Fukao, S., H. Hashiguchi *et al.*, Eds., 2006 : CPEA - Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84 A**, 351 pp.
- Fukao, S., M. Yamamoto, S. Gurubaran, N. Balan and T. Nakazawa, Eds., 2009 : Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA). *Earth Planets Space*, **61**, 383-549.
- 文部科学省科学研究費特定領域研究「赤道大気上下結合」総括班 (領域代表 : 深尾昌一郎) 編, 2009 : 地球環境の心臓 - 赤道大気の鼓動を聴く -. クバプロ, 184 pp.
- Tsuda, T., S. Fukao, M. Yamamoto, T. Nakamura, M.

- D. Yamanaka, T. Adachi, H. Hashiguchi, N. Fujioka, M. Tsutsumi, S. Kato, S. W. B. Harijono, T. Sribimawati, B. P. Sitorus, R. B. Yahya, M. Karmini, F. Renggono, B. L. Parapat, W. Djojonegoro, P. Mardio, N. Adikusumah, H. T. Endi and H. Wiryo sumarto, 1995: A Preliminary report on observations of equatorial atmosphere dynamics in Indonesia with radars and rawinsondes. *J. Meteor. Soc. Japan*, 73, 393-406.
- その他、本計画関係者が様々な局面で詳しい記録を残している。例えば以下のものがある（発表年順）。それぞれに掲げる参考文献と併せて参照して頂きたい。
- 加藤 進, 1986: 大気上層の乱れを探る—MST レーダーの話—。 *天気*, 33, 73-79.
- 住 明正, 1986: 赤道レーダー観測所計画について。 *天気*, 33, 14.
- 住 明正, 1987: ポンティアナック訪問記。 *天気*, 34, 723-724.
- 山中大学, 1988: ポンティアナ訪問記 (その2)。 *天気*, 35, 687-688.
- 山中大学, 佐藤 薫, 1989: 大型レーダー国際学校 (ISAR) および第4回 MST レーダーワークショップの報告。 *天気*, 36, 269-274.
- 山中大学, 中村卓司, 1989: パダン・ブキティンギ訪問記。 *天気*, 36, 650-652.
- 山中大学, 山本 衛, 廣田 勇, 福西 浩, 近藤 豊, 田中 浩, 1990: ブキティンギ訪問記 (その2)。 *天気*, 37, 308-310.
- 加藤 進, 山中大学, 山形俊男, 上田 博, 岩坂泰信, 高橋 劭, 1990: 「インドネシア地域における赤道大気観測に関する国際シンポジウム」の報告。 *天気*, 37, 477-482.
- 山中大学, 1990: 「亜熱帯大気の大規模レーダー観測に関する国際ワークショップ」の報告。 *天気*, 37, 603-604.
- 深尾昌一郎, 神沢 博, 近藤 豊, 塩谷雅人, 田中高史, 山本哲生, 山中大学, 1991: 中層大気・超高層大気研究: 21世紀への展望。 *天気*, 38, 257-273.
- 津田敏隆, 塩谷雅人, 中村健治, 宮原三郎, 竹内謙介, 1991: 「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。 *天気*, 38, 747-755.
- 深尾昌一郎, 山中大学, 1992: 「中層大気に関する国際シンポジウム」の報告。 *天気*, 39, 669-671.
- 山中大学, 村上勝人, 荻野和彦, 新田 勲, 小川忠彦, 1994: 「インドネシア地域における赤道大気観測に関する第4回国際シンポジウム」の報告。 *天気*, 41, 47-53.
- 山中大学, 柳井迪雄, 松本 淳, 丸山 隆, 1995: 「インドネシア地域における赤道大気観測に関する第5回国際シンポジウム」の報告。 *天気*, 42, 385-392.
- 津田敏隆, 1996: 流星レーダーによる熱圏下部の大気運動の解明—1994年度堀内基金奨励賞受賞記念講演—。 *天気*, 43, 9-23.
- 山中大学, 余田成男, 橋田 元, 鶴田治雄, 1997: 「インドネシア地域における赤道大気観測に関する第6回国際シンポジウム」の報告。 *天気*, 44, 35-41.
- 加藤 進, 1998: バンドゥン工科大学 (ITB) での教師生活。 *天気*, 45, 61-64.
- 津田敏隆, 2000: 中層大気・熱圏下部における長周期波動の観測。 *天気*, 47, 419-432.
- 深尾昌一郎, 2000: 始動した『赤道大気レーダー』計画。 *JIF News*, (27), 日本インドネシア科学技術フォーラム。
- 加藤 進, 2001: 始動した赤道大気レーダー: 1. 長かった夜明け前。 *天気*, 48, 849-851.
- 深尾昌一郎, 2001: 始動した赤道大気レーダー: 2. 期待と展望。 *天気*, 48, 851-856.
- 深尾昌一郎, 2002: 第21回島津賞を受賞して。 *天気*, 49, 433-435.
- 深尾昌一郎, 2007: 赤道大気上下結合。 *天気*, 54, 150-156.
- 深尾昌一郎, 2010: 赤道大気レーダー建設の意義と経緯。 *京大地球物理学研究の百年 (II)* (竹本・廣田・荒木編), 80-83.

The Story that Kyoto University Established the Equatorial
Atmosphere Radar at the Equator in West Sumatra, Indonesia

Shoichiro FUKAO*

* *RISH, Kyoto University, Uji 611-0011, Japan / Fukui University of Technology, 3-6-1 Gakuen,
Fukui 910-8505, Japan.
Email : fukao@fukui-ut.ac.jp*

(Received 10 November 2010 ; Accepted 6 January 2011)
