

第21回島津賞を受賞して

深尾 昌一郎*

去る2月6日、島津科学技術振興財団より『島津賞』を受賞させて頂いた。日本気象学会の推薦によるもので学会関係者のご支援に紙面を借りて厚く御礼を申し上げます。

受賞の対象は、私がこれ迄携わってきたMUレーダーをはじめとする「大気観測用レーダーの開発と地球観測の研究」に関するものである。何れも大掛かりな観測設備を伴う研究である。当然その成果には、私が学生時代から師事している加藤 進京都大学名誉教授はじめその周辺にいる関係者の夥しい貢献がある。呈される賛辞の些かでも私一人に帰せられるべきでないことは自ら重々自覚しているつもりである。それだけに今回の受賞は望外の喜びであり大きな励ましと感じている。この機会に受賞の対象となった自らの研究を振り返りながら私を長らく支え続けてくれた関係者に改めて謝意を表したい。なお拙稿は執筆依頼の趣旨を推して随想風にさせていただいた。前以てお断りしておく。

1975年を我が国大気レーダー研究「元年」と呼んでよかろう。大型の大気レーダーを建設する構想が加藤先生を中心にスタートした年である。私はその前年、学位論文を仕上げた後の数か月間を米国コロラド州ボルダー市の米国大気物理研究センター（NCAR）で過ごすチャンスを得た。ホストは当時地磁気日変化の研究で国際的に著名であったSadami Matsushita博士（故人）であった。私はその機会を捉えて何としても自分の生涯の研究課題を見つけたいと考えていた。私のそれまでの研究はコンピュータによるプラズマの理論的研究であった。それはそれなりにとても面白い研究であったが、一方で私にはもっと大掛かりな観測的研究をやってみたいという漠然とした、しかし強い憧れに似た想いがあった。Matsushita博士は大型レーダーの多くの優れた専門家の傍におられ、御自身でも一時

同種のレーダーの建設に強い意欲を示されたこともあり、大型レーダーの威力を熱心に話して下さった。また同博士の紹介でいろいろな人達に出会って、京都へ帰ってから取り組む課題はこれだという強い想いに捉えられた。

翌年、加藤先生が文部省（当時）から科学研究費を得られたことが本構想推進の大きな契機となった。研究班を組織し大気関係の研究者以外にレーダーやアンテナの専門家にも班員となって貰った。私達はその中に小さな作業グループを作って様々なレーダーシステムの検討を始めた。加藤先生は流星レーダーと呼ばれる小型システムの製作と外国の既存大型レーダーにおける研修から始めるのが適当と考えられた。それに応じて麻生武彦氏（現国立極地研究所）や津田敏隆氏（京都大学宙空電波科学研究センター）といった俊英がこれらの研究を担当し次々と成果を出していった。

一方、私は新しいレーダーシステムの構想を様々に描いていた。周波数は50 MHz 近傍で、送信出力1,000 kW（ピーク電力）、アンテナ開口径約100 m という大規模なシステムが必要であった。当時未だレーダーの素人ばかりであった私達がまず心掛けたことは、仕様を利用者の立場から提案することであった。南米ペルーの砂漠にあるヒカマルカ（Jicamarca）・レーダーや、カリブ海に浮かぶ島プエルト・リコの山中にあるアレシボ（Arecibo）・レーダーを訪れ様々な観測を試みたのもこの目的を達成するためであった。

これらの検討から私達が到達した結論は、新しい大型大気レーダーは、大気運動を3次元的に観測するためにアンテナビーム方向を素早く変え得ること、アンテナ面を幾つかに分割して干渉計として使えること、しかもそれらをコンピュータで自在に制御出来ることが必要である、ということであった。早速この仕様を具体化するために私達は数社のよく知られたレーダー専門メーカーに照会を掛けた。しかし度々の照会にどのメーカーからも前向きな返事は返ってこなかった。そのような大気レーダーは当時世界中何処にも存在し

* 京都大学宙空電波科学研究センター。

なかったからである。私達は独自にシステムを開発しなければならなかった。

そんなある時、三菱電機(株)で無線通信機器を作っている人達と議論している際に「分散型送信(アクティブ・フェーズド・アレイ)方式」はどうかという案が浮上した。それは当時一般的であった巨大な送信機を用いるシステムとはせず、テレビアンテナに似た八木アンテナの1本1本に小型送信機を接続、それらを位相を揃えて同時に働かせようというものであった。それは上手く行けば私達の要望する機能をしっかり備えたものであった。しかしあくまでも“上手く行けば”の話である。送信機の数には実に500台近くになる。何分これだけの個数の送信機(TR モジュール)をそれぞれ位相を揃えて作動する必要があることから、当時その困難さを「幼稚園児に整列を強いるようなもの」と喻えて酷評する電子工学専門家もいた。

当初、私もその実現性をはっきりと認識できなかった。総てのレーダー専門家が出来ないとするものを無線通信機器の専門家で作れるのか、といった不安もあった。その後、この新方式について三菱電機(株)の関係者と私の狭いオフィスで月2回程度約2年間にわたって勉強会を重ね、MUレーダーの仕様を固めた。現在京都工芸繊維大学にいる若杉耕一郎氏や佐藤 亨氏(現京都大学大学院情報学研究所)が勉強会の常連であった。レーダー各部で斬新な技術的工夫を多く考案した。日本の電子技術レベルが著しく向上した時期であることも幸した。結果的にメーカー関係者の多くも私達も大気レーダーの素人であったことが幸いしたのか、“レーダーらしくないレーダー”として様々な斬新な機能を持つ大気レーダーが実現するに至ったのである。このレーダーは、当初の主な観測対象が高度10~100 kmの中層大気(Middle atmosphere)とその上層の超高層大気(Upper atmosphere)であることから、それらの頭文字を取って『MUレーダー』と呼ばれることとなった。

MUレーダーは1984年秋に滋賀県南部の「狸の焼物」で有名な信楽町で本格稼働を始め、爾来17年間、設計仕様通りの性能を発揮し我々の期待に見事に応えてきている。例えば、上部中間圏・下部熱圏における風速・大気重力波・乱流を始め電離圏における電子・イオン密度・それらの温度・電場・電離擾乱、或いは対流圏・下部成層圏での大気擾乱・降雨などに関する多くの観測研究が私を含む大勢の研究者によってなされてきた。なかでも津田・佐藤両氏の他、MUレーダー

で育った世代の山本衛・中村卓司両氏(いずれも京都大学宙空電波科学研究所)・佐藤 薫氏(現国立極地研究所)らの活躍には目を見張るものがあった。彼らとの共同研究の成果は既に国際学術誌に260余編の論文となって結実している。常々私は奔流のように展開する研究の渦中であって物言わぬMUレーダーに自然について教えられている、という幸せな思いに浸っている。

一方、加藤 進先生はその慧眼を以って早くから大気レーダー観測の大きな可能性を見通しておられた。まだ信楽の山中にMUレーダー建設の槌音(つちおと)が止まない間に、早くも赤道域に大型大気レーダーを建設する構想を打上げられた。地球規模大気諸現象の根源域であり、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密に結びついている赤道域こそ、大気レーダー観測の格好の場というわけである。ちょうど米国海洋大気庁(NOAA)の研究者を中心に赤道太平洋域に大型大気レーダーネットワークを構築しようという気運が盛り上がっていた時期でもあった。今度は世界最大の赤道レーダーを作ろう——私達はおおいに燃えた。MUレーダーでは信号が弱くて観測不可能な上部成層圏の観測も可能とする超大型レーダーを目指した。MUレーダーの規模の10倍以上もある巨大なシステムである。前川泰之氏(現大阪電気通信大学)はその可能性をヒカマルカ・レーダーを用いた実験で実証してみせた。また1985年からインドネシアの政府機関である航空宇宙庁(LAPAN)や技術応用評価庁(BPPT)と本レーダー建設を前提に共同研究を開始した。1990年代初頭、加藤先生始め関係者の努力で赤道レーダープロジェクトは急速に広範な支持を得た。私達には赤道レーダーが明日にでも実現する情勢かと思われた。しかしながらこのプロジェクトはその後迷走を極めた。多くの支持者も去っていった。だが私達が諦めることは決してなかった。

1990年代半ばになって私は超大型の赤道レーダーを実現する前に、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はじめていた。これには文部省(当時)の中に同調してくれる人もいた。その後紆余曲折を経てEARが予算化されたのは1999年秋であった。2000年夏から建設が始まり翌年3月に完成、2001年6月から本格観測が始まっている。EARのアンテナ開口径はMUレーダーより若干大きい。送信電力はその10分の1の100 kWである。当然感度

は著しく劣っている。しかしEARには我々がMUレーダーで独自に培った分散型送信方式を採用している。柔軟な運用が可能なシステムが実現したのである。これにより既に、地表付近から下部成層圏迄の全高度域の風速ベクトルをはじめ、高度100 km以上の電離擾乱など様々な物理量が高分解能・高精度で時間的に連続に観測されている。我が国の大学が海外で運用する初めての大型設備で、今後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もその成果が期待されている。

大型大気レーダーの黎明期にその開発に携わった研究者の殆どはその威力を実感しながらも、一方でそれが多くの場合興味ある大気現象の発生場所がないことにもどかしさを感じていた。私もそんな1人であった。大気レーダーで台風や集中豪雨を観測してみたい—そんな思いに駆られて、1980年代半ばに大型大気レーダーの風を測る機能に特化した小型可搬式レーダーを提案した。小規模アンテナで必要な利得を得るために周波数は1,350 MHz帯を用いることにした。送信出力1 kW、アンテナ開口径2 mもあれば高度1,500~2,000 m迄の大気境界層の観測が可能であることも分かった。しかしながら開発のための予算にはなかなか目処が立たなかった。その間にも、米国のNOAAのグループは、大型レーダーの先端に915 MHzのアンテナと送信機を取り付けて境界層の観測に成功していた。方式を異にするMUレーダーで同様の試みが出来ない私達は当初から独立したシステムを目指していたが、その開発も1988年になって彼らに先を越されてしまった。

同年秋、本学会の第1回堀内基金奨励賞(現堀内賞)を頂戴した私はその記念講演で自らの将来目標として赤道レーダーとこの『境界層レーダー(Boundary Layer Radar: BLR)』について紹介した。その直後の懇親会で浅井富雄理事長(当時)からBLRは可能性が大きい、是非実現して下さい、と励まして頂いた。その後1990年度になって漸く科学研究費を頂くことが出来て、私達もこのレーダーの開発に取掛かることとなった。三菱電機(株)との共同開発である。ちょうど橋口浩之氏(京都大学宙空電波科学研究センター)が院生として私の研究室に配属され本テーマを担当、この分野に進む契機となった。2年後に完成した1号機はその直後にインドネシアに設置され、赤道域大気境界層の大気擾乱の精密な観測に成功した。

1989年に私の研究室に講師として赴任してきた山中大学氏(現神戸大学大学院自然科学研究科)が早くからBLRの学術的な意義を見通してその開発を支援してくれたのは心強かった。その後私達が2号機、3号機と性能を向上できたのは彼の励ましによるところが大きい。この間に住友電気工業(株)とも共同研究を開始した私達は1998年に初めて車載型境界層レーダーを開発した。これは周波数が3 GHz帯で、1 kWの半導体送信機と直径1 mのアンテナを備えたもので、その優れた機動性を活かして各地の様々な観測キャンペーンで活躍している。

三菱電機(株)と私達は1999年に新しいアンテナ素子を用いた一辺4 mの矩形アレイを開発し送信出力を2 kWとしたレーダーを試作した。これは高度5 km程度迄の下部対流圏の風速ベクトルが観測可能なことから『下部対流圏レーダー(Lower Troposphere Radar: LTR)』と呼ばれている。LTRはその後、我が国気象庁が構築した大気レーダーネットワーク「局地的気象監視システム(WINDAS)」の構成レーダーとして採用され全国25か所に設置された。気象庁の調達が国際入札で行われたことから図らずもこの種のレーダーとしては世界最高性能と折り紙が付けられたわけである。得られた風速データはCOSMETS(気象資料総合処理システム)へ伝送され、集中豪雨など局地大気現象の予報のためのデータとして用いられている。WINDASは2001年度に予報業務に試験導入されており、既に予報精度の著しい向上を示す成果が得られている。私は(京都大学)工学部で学んだこともあり大学の研究室で生まれた新技術がこうして実用に供されていることにもささやかな感慨を覚えている。

これ迄如何に多くの人達に支えられてきたか—今自らの研究を振り返ってみて改めてまざまざと思い知らされている。間違いなく私の研究は彼らの力がなければ成り立たなかったのである。また学際領域で成果を挙げて行く上で異なる分野研究者との有機的な協力が如何に重要かも身を以って学んできた。なかでも廣田勇京都大学名誉教授(現本会理事長)には私がこの分野に参入する前から終始御指導を賜った。

島津賞の賞牌には「源遠流長(源遠く流れは長し)」と刻まれている。これからも過去の知見をしっかり踏まえてさらに遠く先に広がるフロンティアを目指して頑張りたいと期している。会員各位に重ねて御礼を申上げる。