



**鹿島宇宙技術センター 50周年記念集合写真（OB等含む）**

撮影場所：鹿島宇宙技術センター展示館前

2014年8月30日撮影

# 鹿島宇宙技術センター 50周年記念誌

## CONTENTS

## 目次

### 鹿島宇宙技術センター50周年記念誌 巻頭にむけて

一期一会	情報通信研究機構理事	富田二三彦	6
------	------------	-------	---

### 鹿島宇宙技術センター50周年によせて

鹿島50周年これまでもこれからも	ワイヤレスネットワーク研究所長	矢野 博之	7
鹿島50周年記念誌発行にあたり	電磁波計測研究所長	山中 幸雄	8
これからの鹿島宇宙技術センターに期待すること	宇宙通信システム研究室長	豊嶋 守生	9
鹿島50周年記念誌発行に際しての御挨拶	時空標準研究室長	花土ゆう子	10
鹿島宇宙技術センター50周年記念誌 発刊にあたって	鹿島宇宙技術センター長	平良 真一	11

## 1 回想録

### (1) 鹿島25周年以降の主な出来事 (研究関連)

鹿島センター25周年記念事業の思い出	手代木 扶	14
鹿島25周年記念事業の思い出	田中 邦治	15
鹿島と内田さんと私	杉浦 行	16
TRMM衛星と鹿島在籍時の思い出	岡本 謙一	17
1980年頃の鹿島支所	中村 健治	19
鹿島センターの思い出	平山 昭一	22
南極VLBI実験の思い出	栗原 則幸	24
南極VLBI実験の思い出：写真集	栗原 則幸	28
鹿島の思い出	井口 俊夫	30
TRMM BBMを用いた地上実験	佐竹 誠、花土 弘	31
CAMPRIについて	高橋 暢宏	33

航空機搭載雲レーダSPIDERの観測開始	熊谷 博	34
鹿島のアンテナの思い出	川瀬成一郎	36
すべては鹿島から始まった	吉川 真	37
COMETSの思い出	若菜 弘充	38
COMETS打ち上げ失敗から準天頂衛星へ	田中 正人	40
鹿島での思い出	山本 伸一	41
雲レーダとライダーによる雲の同時地上観測からEarthCARE衛星へ	岡本 創	43
長野オリンピック 世界初立体ハイビジョン衛星伝送実験	井口 政昭	45
準天頂衛星の立ち上げ	田中 正人	47
鹿島での貴重な経験と今後への期待	三浦 周	48
日韓共催ワールドカップでのサテライトスタジアムに参画して	田中 健二	50
昔は良かったとは言いたくないけど	佐藤 正樹	52
技術試験衛星VIII型を用いた移動体衛星通信実験	平良 真一	54
ETS-VIIIの軌道上不具合への対応	田中 正人	55
鹿島の思い出	大川 貢	56
西太平洋電波干渉計計画	雨谷 純	57
パルサータイミング計測に関する思い出	花土ゆう子	58
パルサー観測	岳藤 一宏	60
鹿島と首都圏広域地殻変動観測計画（KSPプロジェクト）の思い出	近藤 哲朗	65
鹿島26mアンテナについて	高橋 幸雄	67
ギガビットVLBI	中島 潤一	70
リアルタイム地球姿勢観測	小山 泰弘	71
鹿島34mパラボラアンテナ	川合 栄治	72
VLBI周波数比較プロジェクト	関戸 衛	73
次世代のアンテナ開発	氏原 秀樹	75
鹿島の天象地象集	氏原 秀樹	76

## (2) 鹿島の思い出（東日本大震災関連）

鹿島の思い出	河野美智子	80
鹿島での思い出	川崎 和義	81
外部から見た（見えなかった？）鹿島での震災	久保岡俊宏	82
行幸啓と東日本大震災	佐藤 公彦	83
鹿島の思い出	織笠 光明	85
センターの歴史の1/10を共に歩ませていただきました	布施 哲治	86
東日本大震災に消防車で「出場」したこと	秋岡 眞樹	87
WINDSに携わって	高橋 卓	88

### (3) 鹿島の思い出

鹿島の思い出	浜 真一	92
鹿島の思い出 ～私のルーツ：鹿島～	木内 等	93
本当は怖い平井浜	日置 幸介	94
ワールドカップに向け34mパラボラに日本誘致のアピール	大森 慎吾	95
鹿島の思い出	増子 治信	96
鹿島の思い出	堀江 宏昭	97
犬とわたし	中村 浩二	98
鹿島の思い出	関戸 衛	101
鹿島の思い出	藤村 克也	102
鹿島50周年によせて ―鹿島での思い出―	鈴木 健治	103
はじめての一人暮らし	金田 昌蔵	104
衛星通信とチームワーク	岡本 英二	105
鹿島50周年記念おめでとうございます	高橋富士信	106
わきあいあい	飯草 恭一	108
準天頂衛星の中央政府への構想説明から実現迄を支えた私の高仰角衛星可視率評価新手法	高橋 正人	110
鹿島支所での思い出	高橋 勝見	112
鹿島の思い出	高橋 和夫	113
鹿島のおもいで	藤田 智	114
鹿島での濃密な時間	藤野 義之	115
W杯開催年の着任（2度目の鹿島センター）	吉野 泰造	116
思い出の鹿島宇宙通信研究センター	中條 涉	118
鹿島50年のある5年間	瀧口 博士	120
鹿島	森谷 茂美	121
研究所の激動（独法化、統合）の時代と宇宙通信研究の未来	富田二三彦	122
鹿島宇宙技術センター50周年記念行事と、鹿島の思い出	高橋 靖宏	123

## 2 資料編

(1) 鹿島宇宙技術センター年表	126
(2) 思い出の写真集	128
(3) 鹿島関連記事など	144
(4) 組織名変更、歴代センター長等一覧、鹿島宇宙技術センター在職者名簿	154



## 一期一会

－鹿島 50 周年記念誌 巻頭にむけて－

富田 二三彦

「鹿島」に関連してさまざまな業績を上げられてきた諸先輩を差し置いて冒頭に拙文をしたためさせていただくのは、本当にたまたまこのタイミングに最長老で現役であるというだけの理由ですが、僣越ながら「はじめに」寄稿させていただきます。

まず記念としてこのタイミングを列挙いたします。2014 年は郵政省電波研究所鹿島支所開設 50 周年、郵政省通信総合研究所関西支所開設 25 周年、独立行政法人情報通信機構発足 10 周年です。2015 年は通信省電気試験所平磯出張所開設 100 周年で、通信省電気試験所による標準電波 JJY 開局 75 周年です。ちなみに 2016 年は通信省電気試験所が無線通信の研究を開始してから 120 周年となります。

重ねるだけの齢により、国内外に勝手に師と仰がせていただく諸先輩がおられますが、その中のお一人で宇宙科学研究所の小田稔先生から「研究というのはアメーバのようなモノだ」という話を伺いました。つまり研究の核を持ちながら、常に外界との交流や内部の流動により各方面に仮足を出したり引込めたりしながら、次第に核自身も変化し進化していくというモデルです。私は研究にはそのような面があり、外界のさまざまな養分を取り込んだり不要なものを排泄したり、実際のアメーバには無いかもしれませんが、他の研究と合体したり分裂しながら進化していくモノだと思っています。そういう意味で「宇宙 ICT に関する研究には終焉はなく永遠」です。

30m パラボラから始まった鹿島の歴史は国際的な宇宙通信から始まりました。宇宙通信には当然衛星の精密測位と宇宙電波監視が必要で、研究開発の成果は総務省関東総合通信局三浦電波監視センターにおける宇宙電波監視にも活かされています。NICT 自前の正確な周波数・時計技術とのコラボは電波干渉計 VLBI による地球の測位や宇宙観測に発展し、電波干渉計技術は国立天文台のアルマ望遠鏡に、精密測位は準天頂衛星「みちびき」にも受け継がれています。一方、宇宙通信の地上局は航空機、船舶、自動車などにも展開され、通信が更に高速大容量になると伴に宇宙光通信が始まっています。究極のセキュリティを保証する量子通信技術にもチャレンジ中で、一方では光（レーザー）を用いた周回軌道・静止軌道上の宇宙デブリの監視も進展中です。

次世代の研究者の皆さんが宇宙 ICT に対してどんな新しい未来を提案してくるのか楽しみですが、個人的には（まったく新しい概念の）時空を超えた通信のようなものが誕生することに期待しています。最後にひとことメッセージです。ひと研究も歴史も一期一会です。－みなさま歴史をしっかりと記録・記憶しつつ、新しい未来を創造していきましょう－



国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事（研究および研究戦略担当）

## 鹿島50周年これまでもこれからも

矢野 博之

鹿島 50 周年。私が研究所の紹介をする中で鹿島にふれるときはいつも「50 年ほど前の東京オリンピックでアメリカに映像を衛星中継した際に使ったアンテナがあったのが、私たちの鹿島センターです」と説明をしています。この時に使った今は無きパラボラアンテナや現在も VLBI の研究開発で活躍する 34m アンテナを始めとして、NICT の大型パラボラアンテナはほぼ鹿島に集まっています。この点から、鹿島は大型パラボラアンテナで宇宙とつながるところとも言えると思います。

私の実質的な鹿島との係わりは、企画戦略室で電磁波計測研究部門を担当した平成 18 年頃からになります。研究所の過去の研究成果をまとめる際に、34m アンテナでの VLBI による宇宙測地技術の研究成果を始め、鹿島での研究開発があったからこそ現在の CS や BS による衛星通信のサービスを受けることができるようになったことも分かり、先輩方の活躍を大変誇らしく思いました。

その後、一時的に鹿島に関連する業務から離れるものの、最近ではワイヤレスネットワーク研究所のメンバーとして鹿島と係っています。その間には鹿島第三宿舍の返還や東日本大震災での被災、最近では CB 庁舎のシンボルであった CS 用アンテナと BS 用アンテナの撤去など少々寂しい話題が続きました。しかし、次期の技術試験衛星の計画が宇宙基本計画に記載され現実のものとなり、これまでも増して鹿島での業務の重要性が求められています。また、最近では宇宙光通信用の地球局も鹿島に整備され、衛星軌道観測用の望遠鏡と合わせて、光学のアンテナも充実してきています。

このように宇宙と地上という超遠距離の通信を専門とする鹿島ですが、私が鹿島を訪問した際にいつも感じるのは、メンバーのコミュニケーションの近さに基づくと思われる鹿島のアットホームな雰囲気です。これは鹿島センターがそれほど大きな組織ではないために、メンバーがみんな顔見知りであり、昼食時や休憩時などでのコミュニケーションの近さゆえに、みんなが組織として一体感を持って業務に取り組んできているからだと思います。施設一般公開などの地域密着型の取組みや、施設一般公開終了後のバーベキューパーティなどでも連帯感を十分に感じることができます。このように相互に理解して連帯感をもって組織一丸となって業務を進めるところに、それぞれの個人が持っている力を超えて全体として大型のプロジェクトを成功させる秘訣があると考えられます。今後ますます活躍の期待がかかる鹿島から、皆さんの手で新しい歴史が創られていくことを期待しています。

(ワイヤレスネットワーク研究所 研究所長)

## 鹿島50周年記念誌発行にあたり

山中 幸雄

平成 27 (2015) 年 4 月 1 日付で電磁波計測研究所長を拝命しました。当研究所に所属する 5 研究室の一つに日本標準時の開発・提供を所掌する時空標準研究室があり、その中に鹿島 VLBI を含む「次世代時空計測プロジェクト」があるということで、この機会を頂きました。

我が国の VLBI 研究の歴史を紐解けば、1971 年に米国 NASA からの VLBI による国際共同観測の提案が鹿島の電波天文グループに届いたことにより始まりました。その後の紆余曲折を経て、1975 年に研究所内の予算による VLBI システム (K-1) の開発が決定、1977 年の国内基礎実験の成功で大きな一歩を踏み出しました。さらに、1979 年には衛星プロジェクトの予算を活用してリアルタイム VLBI システム (K-2) が完成し、これらの経験と実績を元に、同年に初めて「大蔵予算」を獲得し、日米国際観測に向けてさらに高精度のシステム (K-3) を NASA と協力して独自開発することになりました。K-3 は 1983 年には完成して、米国と実験を開始、翌年の 1984 年にハワイが日本に近づいていることを実証して、関係者のみならず社会全体に大きなインパクトを与え、その後の VLBI 技術の発展に弾みをつけました。私が当時の郵政省電波研究所 (RRL) に入所したのが 1983 年で、新設となったばかりの電磁環境研究室に配属された新人にとっては、鹿島 VLBI グループ (3 研) の活躍は本当にまぶしく映りました。

その後も日本の VLBI 技術開発の先頭に立ってきた同グループは、1990 年には国際地球回転事業評議会から「VLBI 技術開発センター」の指名を受け、さらにはコンパクトな K-4 システム開発、首都圏広域地殻観測 (KSP)、衛星とのスペース VLBI 観測等々と新たな成果を出し続けるとともに、その技術を広く国土地理院や大学等に展開してきました。2011 年から 2015 年までの今中期計画期間では、原子標準の高精度国際比較への応用を目指して超広帯域化・高精度化の研究を続けており、目標達成まであと一歩のところまで来ています。

今後も、これまでの歴史に学びながら、栄えある VLBI 技術開発の遺伝子を絶やすことなく、さらなる技術の発展と新たな活動分野への展開を目指して、研究所関係者一同、努力して参りたいと考えております。NICT 内外の関係の皆様方のご指導・ご鞭撻を引き続きどうぞよろしくお願い申し上げます。

(電磁波計測研究所 研究所長)

## これからの鹿島宇宙技術センターに期待すること

豊嶋 守生

鹿島宇宙技術センターの50周年記念誌発刊に当たり、宇宙通信システム研究室長として一言述べさせていただきます。これまで、鹿島宇宙技術センターにおける東京オリンピックの衛星通信実験の成果をはじめ、数々の衛星通信実験の多数の成果については、諸先輩方が多くを語られておられるところですので、筆者からは、これからの鹿島宇宙技術センターに期待することについて述べたいと思います。

鹿島宇宙技術センターは、1970年代の衛星通信の黎明期から、様々な衛星通信・放送技術の研究開発に取り組んできました。その成果はCS/BSやヘリサット等に代表されるように実用化され、これまで大きな役割を担ってきました。衛星通信の役割は、宇宙から広域に地球上をカバーできるため、日本全土を結ぶ通信網を構築する手段として、大変大きなものでした。現在では、海外とは異なる日本特有の事情として、光ファイバが日本の隅々まで敷設されるに至り、衛星通信の役割は地上に置き換えられ、衛星通信の研究開発は、一旦優先度を下げるべき状況であるかに思われました。

しかしながら、東日本大震災の際には、実際に被災地において航空自衛隊や気仙沼市の緊急消防援助隊指揮支援本部へのWINDSを用いたブロードバンド回線接続の提供等で、実際の復旧活動や緊急援助活動等に貢献できたことで、災害時における衛星通信の重要性が計らずとも再認識され、可動性の高い非常時通信手段として、災害対応における衛星通信の利活用が期待されている状況です。さらに、近年の社会経済活動のグローバル化に伴い、空や海といったより広範な活動領域におけるブロードバンド環境へのニーズが増大しています。特に、世界第6位の広い排他的経済水域を有する日本にとって、海洋資源調査、海洋産業の高度化、海洋安全保障等は重要課題であり、メタンハイドレートやレアアース等の海洋資源の調査や開発に衛星通信が注目され、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代海洋資源技術」では府省庁間連携の国家プロジェクトが進められています。

最近の海外動向としては、世界中でKA-SATやViaSat及びInmarsat-5に代表されるハイスループット衛星（HTS）と呼ばれる総合伝送容量50～140Gbpsという大容量の衛星計画が台頭してきています。国として安全・安心で豊かな社会の実現のため衛星通信は必要であり、我が国の安全保障及び宇宙産業の国際競争力の強化の双方の観点から衛星通信は重要で、国家的に獲得・保有していくべきとして「宇宙基本計画」にも明記され、衛星通信の大容量化を実現するための次期技術試験衛星（いわゆるETS-IX）の計画が進行中です。そう、鹿島宇宙技術センターは、このETS-IXの開発に向けて、衛星通信の研究開発拠点として活躍していくことを目指すという使命の元に、さらに発展させていく必要があります。

鹿島宇宙技術センターでは今年、東日本大震災で被害を受けたCS/BS実験で活躍した直径13mのアンテナ2基が撤去され、高速バスから何時も見慣れていた鹿島宇宙技術センターの風景も大きく変わり、新しい次の時代へ対応していく必要があることを示唆しているようです。宇宙通信システム研究室では、人類の安心・安全な生活につながるための衛星通信の研究開発に関して一層の努力をしていく所存ですので、関係各位のご理解、ご協力を合わせてお願い致します。

最後に、多くの関係省庁、鹿嶋市をはじめとする地元の関係者、関係機関の研究者や技術者のご尽力により、鹿島宇宙技術センターは50周年を迎えることが出来ました。これまでの全ての関係各位のご努力に敬意を表し、感謝を申し上げます。

（ワイヤレスネットワーク研究所 宇宙通信システム研究室 室長）

## 鹿島50周年記念誌発行に際しての御挨拶

花土 ゆう子

鹿島50周年記念誌の発行に際しまして、VLBIに関する鹿島の研究グループを含む研究室長としてご挨拶を申し上げます。

鹿島は、日本におけるVLBI技術発祥の地であり、国内におけるVLBI研究のパイオニアとして技術開発の先端を走り続けてきました。この50年を振り返りますと、1980年代初頭に米国システムと互換性のある国産のK3-VLBI観測システムを開発することにより測地学・天文学を含めた国際VLBI観測に日本が参加できる基礎を作り、1990年代に自動テープ交換機能を含むK4システムを開発してリアルタイムの無人自動観測を世界で初めて実運用し、さらに2000年に開発したK5システムではハードディスク記録と汎用コンピュータを用いたソフトウェア相関処理を世界に先駆けて実現し、以後このソフトウェア相関器が国際的な主流処理系となるなど、世界をリードするVLBI技術を多々実現してきました。これらは国土地理院や国立天文台、各大学との研究協力も含めて展開し、日本におけるVLBI観測技術の礎を築き数々の成果を生み出してきております。

VLBIグループは名称や所属部門が何度も変更されてきましたが、現在は電磁波計測研究所・時空標準研究室の所属となっております。最盛期に比べるとやや規模を縮小しましたが、研究開発にかける情熱とポテンシャルは衰えておりません。現在、世界に先駆けて6-14GHz帯での4GHz帯域幅観測が可能となる超広帯域観測システム（カセグレンアンテナに搭載可能な広帯域フィード、高速データ取得システム、相関処理・広帯域バンド幅合成システム）の開発を進めております。国際VLBI事業における技術開発センターとしての責務を果たしつつ、最先端の技術を引き続き鹿島から世界に展開していきます。

もう一つ、鹿島の研究者の大きな財産は関係者の結束の強さと思います。2014年に行われた鹿島センター50周年記念講演会には多数の歴代OB・OGを含む皆さまに御出席を頂き、先達の思い入れの深さを強く感じる機会がありました。

50年という歴史は、先輩諸氏の御尽力、および地元の皆さまをはじめ関係機関の皆さまの御理解・御協力無しには紡がれ得なかったものと思います。時に厳しいご意見も含みながら数々のご支援を頂いて来たことを深く感謝いたしつつ、今後ご指導・ご鞭撻を頂けますよう、よろしくお願い申し上げます。

(電磁波計測研究所 時空標準研究室 室長)

## 鹿島宇宙技術センター50周年記念誌の発刊にあたって

平良 真一

2014年（平成26年）は、「郵政省電波研究所鹿島支所開設から50年」という、現在の鹿島宇宙技術センターにとっては節目の年でした。

8月には、30日（土曜日）に施設一般公開を実施し、その翌日の31日（日曜日）に50周年記念行事として、記念講演会が鹿嶋市及び鹿嶋市教育委員会の協力のもとに開催されました。そして、時間的に若干遅くなりましたが、関係者の尽力により、本50周年記念誌が発刊される運びとなりました。

過去に25周年誌が発刊されていることから、本誌では、26年目から50年目、すなわち、1990年（平成2年）から2014年（平成26年）の25年間について主に記述されています。

第1部では、まず、鹿島での研究及びプロジェクトに関係した主な出来事についての回想録を掲載しており、ここ25年間での研究活動の変遷の様子が見えるような構成になっています。また、2011年3月11日には、東日本大震災が発生し、鹿嶋市においても、14時46分の本震時に震度6弱の、その約30分後の15時15分には茨城県沖を震源とする余震により、震度5強の大きな揺れが観測されました。太平洋岸では、2メートルを超える津波もあり、ライフラインに大きな影響が出て、鹿島宇宙技術センターでも施設への被害があり、約1年半後ようやく復旧工事が終了しています。この震災は、鹿島宇宙技術センターにとってもこの25年間での大きな出来事であることから、関連した回想録をまとめて掲載してあります。そして、鹿島での思い出について、各々の方々が、各々の観点から執筆頂いており、鹿島という地域が多面的に表現されています。

第2部の資料編では、過去50年にわたるセンター年表、組織の変遷表、並びに職員名簿が掲載してあります。また、CRLニュースやパラボラ通信等、過去に発表した節目での原稿を再掲しました。今回、多くの皆様から貴重な写真を提供頂き、充実した資料内容となっています。

原稿を執筆頂いた方々をはじめ、資料編の作成に当たり情報を下さった方々に厚く御礼申し上げます。

最後に、編集委員長をはじめとして、本誌の編集委員会のメンバーの労に感謝します。

（鹿島宇宙技術センター センター長）

2012年4月1日 - 2015年10月31日



# 1 回想録

(1) 鹿島25周年以降の主な出来事 (研究関連)

## 鹿島センター25周年記念事業の思い出

手代木 扶

私が鹿島宇宙通信センターの第11代センター長として赴任した翌年の1989年は、鹿島支所創立から25周年に当たる年であった。鹿島町には長い間お世話になっていながら、あまり地域に貢献することもなく、周囲から「特殊部落」とみられているように感じていたので、何か恩返ししなければということも常々考えていた。それに鹿島支所創設のころの中心メンバーである元電波研所長の上田弘之さんや初代鹿島支所長の尾上通雄さんなど多くの方々のご高齢になられ、いつまでご健在でおられるかもわからない。生き証人の話をきいておくのにあまり時間は残されていない。そんなこともあって25周年というのはあまり切りのいい数字ではないが、組織の歴史を振り返り一度整理するにはいい時期だと思うようになった。

こうして25周年の記念事業をやることにしたが、それには核となるものが必要である。私は鹿島の子供達に電波研のパラボラをより身近に感じてもらう、宇宙に興味を持ってもらうことが町への恩返しの一つであると思った。それには宇宙飛行士に来てもらって講演や子供達との交流をしてもらえれば素晴らしい、そんなことを夢想していた。

当時宇宙開発事業団で電波研の先輩の船川謙司さんが副理事長をしておられたので、恐る恐るこの構想をお話しした。一発で断られるのではないかと心配していたが、「それは面白いんじゃない。ただ彼らは訓練で多忙だから時期を上手く選ばないと」という返事に私は心の中で快哉を叫んだ。その後船川さんのお世話で毛利衛さんを推薦していただき、浜松町で直接お会いし、話をするようになった。

毛利さんは物腰の柔らかいジェントルマンだが、宇宙に対する情熱と強い信念をお持ちの人であった。特に子供達に宇宙の魅力を伝える「宇宙伝道師」の自覚を強く持っておられ、われわれの企画に全面的に賛成してくれた。当方から25周年記念行事の共通テ-

マを「宇宙にかけの夢」にしたいと提案したのに対し、「とてもいいですね。私の講演テーマもこれにしましょう」と言ってくれた。その後色々な話をしたが、どんどん盛り上がり、本当に楽しかった。あのときの興奮は今でも忘れられない。この時点ではまだ日本最初の宇宙飛行士が誰になるかは決まっていなかったが、1990年3月3日の25周年記念講演会から約2ヶ月後、毛利さんが選ばれたというニュースを聞いた。私はそれを確信していたので安堵すると同時に、心から彼のミッション遂行の成功を祈った。

鹿島には我々の良き理解者・サポーターがいろいろいた。鹿島駐在のNHKの池上記者もその一人で、折に触れて鹿島センターに出入りしていた。彼の人脉を使い25周年記念講演会の司会を「イブニングネットワーク」レポーターの青山佳世さんをお願いすることにした。才色兼備の女性であるが、大変な努力家で、昼食後我々が休んでいる時も一人舞台の片隅で台本を声を出して読んでいた。あの姿が今でも思い出される。

このイベントは、構想から企画・実行まで全てセンターの職員で行った。特に、毛利さんの講演が決定してからの皆の団結力と頑張りはすごかった。講演の後に行った「宇宙クイズ」や「宇宙質問教室」、或いは「宇宙グッズ」のプレゼントなどのアイディアは大森君や長谷君など主に2研の連中が出したものだ。会場の設営・照明・音響なども全てセンターの職員が行った。音響を担当した平良君は黒ジャンにサングラス・ヘッドセットといういで立ちだったので青山さんをして「プロが来ているのかと思った」と言わしめた程だった。

求心力となる核があり、ベクトルがそろえば若い人たちは想像を超えるパワーを発揮し、大きな仕事を成し遂げるものだ。今考えても25周年記念事業は本当に懐かしく、また楽しい思い出である。

## 鹿島25周年記念事業の思い出

田中 邦治

鹿島は2回経験し通算10年を過ごした。

1回目は、鹿島の開所式直前の昭和39年4月赴任し、それから8年間在籍したが、この時のことは25周年記念誌『パラボラと共に』に思い出を書いています。

2回目は、鹿島25周年の節目の平成元年の7月に、本省の係長から管理課長としての赴任でした。25周年記念事業のこの印象が強烈で、その他の仕事のことは良く覚えていません。管理課の職員の皆様に任せておけば事務がスムーズに進み、仕事の流れをただ見ていれば良かったのだと思います。

記念式典の司会を受け持ち、何回かリハーサルを行って、何とか無事に終わらせたことを今でも思い出します。

その後、回想録『パラボラと共に』を出版することとなり、その取りまとめの窓口として対応や編集等を行いました。当時はまだパソコンは普及しておらず、ワープロが主体であり、組織毎に使うソフトが相違し、操作に困ったものでありました。鹿島はキャノワードであったと思います。それまでは違うソフトであったので、慣れるまでに若干の時間がかかりましたが、自分で機械を購入し編集作業を職場でも宿舎でも行えるようにしていました。特に写真の貼り付けのレイアウトには苦勞した記憶があります。年表、職員録、思い出の社誌等を編集し、今でも時々見ては当時のことを思い出しています。

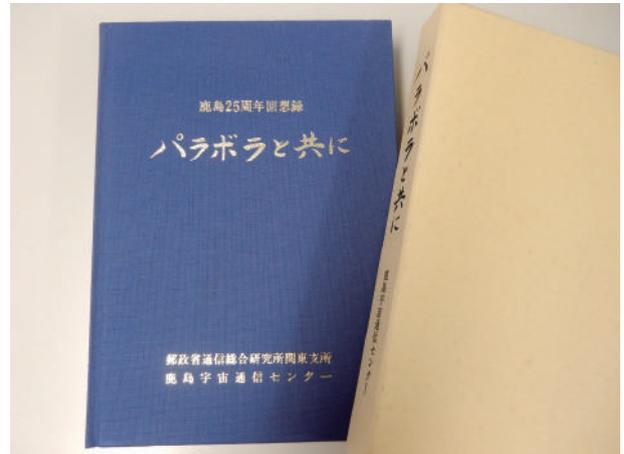
赴任した当時は、当然25周年の行事は済んでいるものと思って、気楽に時期が石持釣りのシーズンのため、夕食後に毎日平井や下津の堤防に行き、釣り三昧で過ごしていました。ポーズの時も大漁の時もありましたが、釣れた時には刺身にして酒の肴にしたり、開いて一夜干しにしたりで、週末自宅に帰るときの土産にしていました。

単身赴任で、埼玉の自宅には毎週車で帰っていましたが、利根川の川沿いの一般高速道（車両が少な

く対向車が来るとライトですぐ分かり相当のスピードで走れるので自称そう呼んでいました。)を通り、取手の手前を我孫子に出て流山、三郷、越谷、岩槻等なるべく混んでいない道を選んで帰りました。(昔の道筋は竜ヶ崎経由で国道6号が一般的でありました。)また、当初は隔週休2日制でありましたが、そのうち完全週休2日制となり、毎週早く帰ることができ大変便利になりました。

回想録の編集が終わり一段落したので、さあ次のことを考えようとしていましたところ、次の異動の発令があり鹿島を離れることとなりました。

2年間の鹿島の思い出、楽しくもありその後の仕事に生かした事業を経験でき、充実した期間でありました。



25周年誌『パラボラと共に』

## 鹿島と内田さんと私

杉浦 行

私が鹿島に勤務したのは1993.7-1995.6です。その前の所長が内田国昭さんで、私は彼の後を追って、較正検定課長、標準測定部長、関東支所長を務めました。私にとって内田さんは親しい友であり、ライバルでした。でも頻繁に彼とは情報を交換し合っていました。

内田さんの鹿島時代の最大の御功績は、「鹿島支所に高速バスを止めた」ことだと私は思っています。そのお陰で、鹿島支所への交通は随分便利になりました。内田さんは畚野所長の指示を受けて、研究プロジェクトとは全く異なる特別プロジェクト「高速バスを止める」の指揮を執られ、最後まで大変苦労されました。何しろ、東京・千葉・茨城の3都県を走るJRバス・京成バス・関東バスを相手にした交渉ですから、最初は何から手を付けて良いか判らなかつたと思います。でも、周辺地域のアンケートを取り、鹿島町役場や議会に陳情を繰り返し、3バスの了解を獲得して、関東運輸局にも出向かれて、「高速バスを止める」ことに成功されました。勿論、宮田課長さんをはじめとして支所職員や関係者の御尽力無しでは実現できませんでしたが、プロジェクトの責任者である内田さんの御苦労と精神的な御負担は大変だったろうと思います。お陰で私は、鹿島在任中にも国分寺の自宅まで毎週往復することができ、内田さんに心から感謝しました。

私の鹿島時代はもう20年も昔なので記憶は不確かですが、私が1993年7月に支所長の辞令をもらい転勤の用意をしていたとき、突然、鹿島の関課長さんから「支所長、支所の前庭に鹿島アントラーズの旗が立っています」との電話があり、ビックリ仰天しました。この年にJリーグが始まり、アントラーズが前期優勝したお祝いの旗でしたが、研究部長と支

所長の仕事の違いを認識させられました。すぐに赴任して官舎に住みましたが、官舎の床が低く雨戸などが無い無防備さに、またビックリ仰天でした。さらにビックリしたのが、汚水の排水路が雨水の排水路と同様に地面に出ており、その掃除を定期的にすることでした。このような状態を見て、「環境整備」の必要性を実感しました。

高速バスを止める大事業を果たした内田さんの後任として、当初、私は鹿島で如何なる貢献をするかに大いに悩みました。そこで思い付いたのが前述の「環境整備」でした。最初に取り掛かったのが図書室の整理、つぎに、官舎の防犯対策、独身寮の建替え、最後に支所本館の建替えでした。本館建替えは吉村所長の了解を得て予算を確保したところで、残念ながら小金井本所に転勤になりました。このような環境整備ができたのも、関課長さんをはじめとする職員の皆様の御尽力によるもので、今でも心から感謝しています。

鹿島での楽しい思い出の中で、研究職員と事務職員の距離が非常に近かったことが大変良かったと思います。私が単身赴任だったせいもあり、管理課の皆さんとは良く飲み歩きました。そこでビックリしたのが、街路沿いの飲み屋に駐車場が有り、多くの車が止まっていることでした。また、飲み屋には外国人の女性が多かったように思います。そのほか、色々楽しかったのですが、もう忘れてしまいました。ゴメンナサイ！

最後になりましたが、一昨年逝去された内田国昭さんの御冥福を心からお祈り申し上げます。

合掌

## TRMM衛星と鹿島在籍時の思い出

岡本 謙一

熱帯降雨観測衛星（TRMM）は、2015年6月16日午後0時55分に南インド洋上空で大気圏に再突入して、その寿命を終えた。TRMM衛星は、1997年11月28日午前6時27分にH-II6号機で打ち上げられ、17年以上も熱帯・亜熱帯降雨の観測を続け多くの優れたデータを取得した。私は、TRMM衛星とは、搭載された降雨レーダのハードウェア、ソフトウェアの開発等を通して、1987年1月以来現在に至るまで関わることになり、TRMM衛星は、私のライフワークになってしまった。私は、電波研究所鹿島支所第一宇宙通信研究室（以下、一研と略称する）に1984年3月1日から1986年3月31日までの約2年間在籍したが、初めてTRMM衛星の名前を聞いたのは、鹿島支所在籍中の1985年7月のことであった。

私が赴任した当時の一研のメンバーは6名と他研究室と比べても最少人数であった。その中でさらに阿波加君が1984年10月に本所電波部超高周波伝搬研究室へ移動した後、中村君が1985年2月より米国NASA/GSFCに2年間長期出張し、一研メンバーは、岡本、福地、峯野、奥山の4人になり寂しくなってしまった。1985年5月に大崎（旧姓宮川）君が新規採用として一研に配属された。

1985年2月に中村君がNASA/GSFCに長期出張したのは、その年から始まった日米共同の航空機からの降雨観測実験（共同研究名＝宇宙からの降雨観測の実現可能性のための研究）に参加するためであった。実験では、NASAの航空機に電波研究所が開発した航空機搭載用雨域散乱計／放射計を取り付けて降雨観測実験を実施した。同装置は、もともと、将来の宇宙からのレーダによる降雨観測の第一歩として航空機実験用の二周波レーダと補助センサである二周波のマイクロ波放射計を組み合わせで開発したものであった。国内で1980-1981年に降雨観測を100時間程度実施した後、海面散乱実験、擬似油汚染観測実験、冬場の日本海での降雪観測実験、鹿島支所

での多周波降雨レーダによる地上降雨観測実験などを経験しており、装置も老朽化し始めており、中々機嫌よく動いてくれず、そのメンテナンスが大変であった。従って、中村君の米国での苦労は並大抵ではなかった。

1985年7月14日から8月3日まで、シアトルで開催された第一回コスパス・サーサット運営委員会に出席すると共に、米国NASA/GSFCとワロプス飛行実験場に出張した。中村君を支援するためであった。このときに、米国での中村君の受け入れ先の上司だったNASA/GSFCのMicrowave Sensors and Data Acquisition BranchのBranch HeadだったTom Wilheitに初めて出会った。彼は、1972年に米国が打ち上げたNimbus 5搭載のマイクロ波放射計ESMRのPrincipal Investigatorとして、初めて定量的に宇宙からマイクロ波放射計で降雨観測を実施したことでその当時既に著名であった。Tomとの会談中に、彼は、「日米共同航空機降雨観測実験は、米国が考えているTRMM計画に到る道筋の一里塚に過ぎない」と述べた。この時、初めてTRMMという単語を耳にした。NASAが将来ミッションとして、マイクロ波放射計や降雨レーダを搭載して宇宙から降雨観測を行うTRMMという衛星計画を持っていることがわかった。当時、電波研究所では、宇宙ステーションのミッションとして、将来の宇宙機搭載の降雨レーダの実現を模索していたので、まさか将来TRMM計画に巻き込まれるなどとは当時は思ってもいなかった。

同出張の出迎えに成田空港まで来てくれた奥山君から、1985年8月1日付で井口（俊）君が新規採用として一研に配属されたことを聞かされて、ほっとした。

当時、NASAは、将来の地球観測ミッションとして大型地球観測プラットフォームを用いるEOS計画を抱えており、予算事情が厳しく、米国といえども一国でTRMM衛星を実現するのは困難であった。こ

のため、1985年末あたりから日米協力による TRMM 実現についての非公式な接触が NASA からあった。結局、翌年(1986年)6月に開催された第4回 SSLG(宇宙分野における日米常設幹部連絡会合)において、TRMM 計画は、日米共同の衛星計画になった。そしてその第一歩として1987年1月から日米共同の Feasibility Study が実施され、電波研究所は降雨レーダを担当することになった。

在籍当時の一研メンバーのうち、後日 TRMM 計画に深く関わるようになったのは、阿波加 純君(現東海大学)、中村健治君(現獨協大学)、井口俊夫君(現 NICT)であった。鹿島出身者で TRMM 計画に最も貢献したのは、古津年章君(島根大学名誉教授)であるが、古津君は、二研出身者であるので、ここでは割愛する。阿波加君は、その後電波部大気圏伝搬研究室で私と再会し、1987年に実施された TRMM 降雨レーダの Feasibility Study に参加して、BBM モデル開発に携わった後、TRMM 降雨レーダのデータ処理アルゴリズムのうち、降雨タイプを分類する標準アルゴリズムを一人で完成させてくれた。中村君は、TRMM 降雨レーダの Feasibility Study に参加後、TRMM と同期して観測実験を行うための航空機搭載降雨レーダ CAMPR の開発を担当した。名古屋大学に移ったあとは、国内 TRMM サイエンスチームの取りまとめ責任者の TRMM Project Scientist としてその重責を果たした。井口君は、TRMM 降雨レーダアルゴリズムの心臓部ともいうべき、降雨強度を算出する標準アルゴリズムを一人で完成させてくれ、現在も TRMM 衛星を継承する GPM(全球降水観測計画)衛星搭載二周波降雨レーダのアルゴリズム開発のための日米共同チームのリーダーとして活躍している。大崎君は、TRMM 降雨レーダで用いられる降雨の有無の判定アルゴリズムの有効性をシミュレーションと TRMM 統計データを用いて確認するなど TRMM 降雨レーダアルゴリズムに対して貢献してくれた。

TRMM 計画は、国内の宇宙開発委員会の審議において、1987年に研究要望した後、郵政省、科学技術庁の合意ができず、開発研究段階に移行できない時期が暫く続いた。1989年ごろ丁度、科学技術庁の宇宙国際課に奥山君が出向していた。宇宙国際課の課長は郵政省から出向していた田中征治氏であり、ODA 予算を使って TRMM を実現できないか大変努力して下さった。奥山君は田中課長の下でこの案件を担当して頑張ってくれた。何回か、打ち合わせのために宇宙国際課を訪問し、TRMM 実現に向けて一番苦しい時期を互いに励まし合ったことを覚えている。

私が本所に移動した後、一研に在籍した、故藤田君、井原君、中村君(二回目)、熊谷君、井口君(二回目)、花土君、佐竹君、堀江君、佐藤(健)君、高橋(暢)君、黒岩君などが、TRMM BBM による降雨観測実験、ARC による校正実験、標準アルゴリズムの開発と検証、航空機実験などの多方面において TRMM 計画を支えてくれることになった。特に、宇宙開発事業団に出向した佐竹君、高橋(暢)君、黒岩君は、電波研究所と宇宙開発事業団の間に挟まれて苦勞が絶えなかったことと思う。これらの方々の献身的な協力無くしては TRMM 計画は、このような多くの成果を挙げることはできなかったと思う。この場を借りて皆さんにお礼を申し上げたい。

## 1980年頃の鹿島支所

中村 健治

私が鹿島支所に赴任した頃の昔の話をしたい。私の色眼鏡のフィルターがかかった話ではあるが当時の雰囲気は少しにせよ残せれば、と考える。

私は大学院から1977年4月に電波研に入所し、6月には鹿島支所配属となった。何となく国分寺で研究生生活を送れるものと思っていたが、鹿島支所第一宇宙通信研究室勤務となり、いささか動揺した。当時の鹿島支所はISS、ETS-II、ECS、CS、BSといくつもの衛星計画が同時進行という異常事態で、ごった返していた。静かな研究所とはとても思えない作業現場であった。後に小金井に異動した時、研究所とはこんなに静かなところなのか、と思った。現場にはメーカーの人も多く出入りしていた。ECS計画ではメーカーのソフトウェアの担当者が連日徹夜になっておりノイローゼ状態であり、横で見ていると大変だなあ、と思っていた。

当時の支所では納入物品は次々とあり、また検査の連続であったが、実物の完成は遅れており、その一方で物品の会計検査があった。会計検査では中身はともかく外見だけでも納入したことにしなければならぬということ、装置の筐体や取扱説明書などが納入された。小金井の本所の会計担当者も含めて立派な大人がスーツにネクタイで何人も検査に来て、中身の無い装置の筐体の銘板や表紙しかない取説のファイル等を確認していた。何とバカバカしいことをやるのか、と思った。今であれば、役所はそんなものである、と何も思わないところである。

仕様により製作された大型高額の装置群などとともにHPの当時で1台数百万円もする測定器なども次々納入されていた。PCはその黎明期であり、CS、BSを担当していた隣の第二宇宙通信研究室にCommodoreのPETが入ってきて皆がワイワイと触っていた。第二宇宙通信研究室の研究員はだいたいが電子関係であり、組み立てなどが好きである。井口政昭氏だと言うが、ものは忘れたが部品組み立

て型のものを購入して皆にみせびらかしたところ、皆に勝手にたちまち組み立てられてしまっていた。電子回路の製作も得意とする人間が多かった。回路を組み立てると動くのは確かであるが、仕上がりには人により大きな差があった。きれいにつくる者は実にきれいに仕上げている。

実験計画書を作れ、ということで、私の分担は気象レーダの利用、地上気象測器類、また放送衛星の信号の質の確認、などであった。気象関係はまだしも、放送衛星の信号については全く何も知らなかったのが実験計画書の作成には往生した。書けないので夜12時頃まで研究室にはいたものの、同じように書けない同僚とけん玉ばかりやっていた。けん玉の火元は確か私からは一年遅れで小金井から異動してきた鈴木良昭氏であったと思う。「飛行機」は簡単だ、「灯台」や「うぐいす」は心を静かにしなければできない、「裏拳」は難しいが中々面白い、などと言いながらやっていた。お蔭でけん玉はうまくなった。実験計画書は、結局、確かNHKの人の書いた本の丸写しのようなものを作った覚えがある。それでも何も言われなかったのが不思議ではある。この時に信号の包絡線のリングング、オーバーシュートなどの言葉を覚えた。計画書を書きながら、これは研究なのか、仕様に沿って作ったものがその性能を持っているかを確認しているだけではないのか、と思った。ECSのミリ波実験の実験計画書ではIF帯の中間点での信号の確認、折り返しでのベース信号での確認、RF帯での折り返し確認などがあったが、ほとんどが仕様性能の確認である。これらの確認の上に研究がある筈である。実験計画書ではなく「実験装置性能確認手順書」ではないか、と思った。なお私の入所する前は、小金井では仕様書作成が大変で、「仕様書書いてハワイへ行こう」などというような言葉が流行っていたそうである。

けん玉の次はインベーダゲームがあった。NECのPCにインベーダゲームが載り、皆でやっていた。こ

んなことで随分の時間をつぶしてしまっているが、そうでもしないと持たないような現場であったということであろう。当時はこんなものか、と思ったが、今振り返ってみると鹿島の状態はかなり厳しかったと言えるのではないかと思う。研究本体ならば研究者は勝手にいくらでも働くが、そのような状態ではなかった。このような状態なので忘年会は大量の酒を飲んでの大騒ぎとなっていた。また支所の組合集会是長引いた。議長をさせられた時、議論が紛糾し結論が得られなかったことがあり、次の日、当時の吉村室長に、どうだったかと聞かれ「これが議論になり、ごちゃごちゃになった」と言ったところ、その議論の内容が重要なのだ、と怒られたこともあった。組合の本集会是もちろん小金井であったが、ここでも鹿島が意見と要求がもっとも多い状態であった。

研究室では毎週1回朝に打合せがもたれた。室長は林理三雄氏である。林氏は通信総合研究所から鹿島大に異動され、その後残念なことに亡くなられた。林室長は定期的に怒り出すので、そろそろ危ないな、と思っていると案の定怒り出したりしていた。私は、私の仕事のレベルが怒るレベルに達していなかったためか、余り怒られなかったが同僚が順番に怒られていた。

ETS-IIは成功であったが、ご存じのとおりECSは2回ともアポジキックモーターの不具合で静止軌道投入に失敗し、当時の林理三雄室長は後始末に追われた。Site diversity 実験は目玉であったが、代替実験を行う、として乗り切ったようであった。林室長の後任には吉村室長が来られた。吉村室長は衛星無き第一宇宙通信研究室の運営に苦労されたようであった。吉村室長からETS-II、ECS計画で整備されたCバンドドップラ降雨レーダを使った何々のような実験提案を明日までに出せ、とのことで徹夜して努力したが、どうにも筋が悪く書けなかった。「書けませんでした」と報告したところ、書けなくても書

くのだ、と怒鳴られた。なおこの降雨レーダは我が国では当時最先端の装置であった。振り返ると、大きなチャンスが与えられており、それを私は全く生かすことができなかったと言える。似たようなことでは畚野氏と岡本氏が開発された雨域散乱計/放射計による観測実験を後に行ったが、これも今から振り返ると解析テーマは数多くあったが何もやらず生かすことができなかった。

研究面では私は大学院で行っていたこととは全く異なったことを始めたと言ってよい。外から見た人は、降水の電波観測をやっていたのだから本望であろう、と思ったであろうが、本人はそうではない。元々、降水現象はややこしい現象であり好きではなかった。むしろ電波伝搬の方が面白かった。ECSが失敗し今後不安があり、全く興味の無い通信系に配属されたらいやだ、などと思っており、外部へ出ることも考えたが、結局は降水の電波リモートセンシングに落ち着いた。

生活面についても少し記そう。鹿島では随分前に撤去されたが独身用の第一宿舎の入居であった。2階建てで上下で一人ずつ、それが左右にあり4人で一軒であったと記憶している。私は1階で上は佐藤正樹氏であった。第一宿舎はもちろん独身男の若者ばかりであり、夜、酒を飲んだりしていた。第一宿舎は普通の日の昼間は基本的に無人なので泥棒も何回か入った。少し木の陰になっている部屋がよく狙われるとのことであった。私自身は第一宿舎では被害にはあわなかったが、後に車を買って鹿島神宮駅に置いて出かけて夜戻ってきて、エンジンをかけたところ、エンジンはかかるものの動かない。ヘンだと思ってみたところ、タイヤを盗まれていた。当時の鹿島はいささかすさんだところがあったのかもしれない。もっともずっと後で名古屋に異動してからバイクを盗まれたこともあり、世の中、泥棒はどこでもいるものだといえよう。

夏に神幸祭という鹿島神宮のかなり大きな祭りがある。竹に飾りをつけて神宮の焚火に奉納するという行事である。それぞれの団体が飾りつけた竹を持って神宮の前の参道を行進していく。飾りつけた竹を振り回し、しかし倒れないように持っていくのであるが、周りは竹竿を引き倒そうとする。現在はどのようなになっているのか知らないが、当時は結構荒っぽい祭りであった。鹿島支所はこれには毎年参加していた。祭りの運営部が配慮して鹿島支所は大人しい、ということで前後も大人しいグループが置かれていた。乱暴な団体は周りを殴りながら走っていく。私も目のところを殴られた。目を殴られると、目の周囲が本当にマンガにあるように丸く黒くなるということを知った。悔しくて、その後、鹿島の海岸の幼稚園でやっていた少林寺拳法の道場に通った。少林寺拳法はその後も少し続けて、少拳士2段にまではなった。

この祭りのように鹿島支所は鹿島町の行事にはいろいろと参加していた。鹿島町の軟式野球大会や町内駅伝大会なるものもあった。それぞれ、支所内に頑張って音頭をとる人間がおり、強くはないが、決して弱くもなかった。私は誘われて参加しただけであったが、私も楽しみ、かつぜいぜいと苦しませてもらった。テニスは年がら年じゅうやっていた。また夏には盆踊り、クリスマス時期にはダンスパーティーもあった。

当時を思い返すと、こちらは何とも思わずに勝手なことを言っただけでかつ行動していたわけであるが、上司にとって私は扱いにくい部下で苦勞されたのではないかと思う。また同僚にも失礼かつ無礼なことをたくさん言っていたに違いないと思う。当時の言動を少し思い返しても恥ずかしく、思い出すことをすぐにやめてしまう状態である。それでも鹿島在住の時に結婚し、娘と息子ができ、いろいろな思い出がある。2度目の鹿島赴任では子供も少し大きくなり、

夏には毎日昼休みに町営プールに子供二人をつれて1時間泳がせた。時には海にも連れて行った。職住接近なのでそのような事もできた。

昨年、鹿島支所50周年記念式典がある、とのことで参加した。約20年振りであった。バスで行ったが、神栖から鹿島への道路沿いに郊外型店舗が立ち並んでいて驚いた。支所からは風力発電所が遠くに見えた。支所のそばにプランナーという喫茶店があり、家族と何回も行った覚えがあり、そこにも立ち寄った。夜、酒のせい気持ちは良いので町の宮中のホテルに歩いて行ったが信じられないことに途中で迷ってしまった。このように道も随分と変わっていた。翌日の朝、神宮にも寄ってみた。大震災で被害を受けたと聞いていたが痕跡はほとんど無かった。神宮の参道にはエミールという鉄道模型が皿を運ぶ喫茶店があり、家族で行った覚えがある。探したところ健在であった。本屋もオカミ書店がこれも健在であり、寄ってみた。

昔話をさせて頂いた。上司、同僚、部下、また宿舎の方々等、沢山の人にお世話になり、またそれぞれに思い出があるがとても書ききれない。私は65歳となっており、このような年になると、現在が過去の歴史の上で作られていることを実感する。以前は、現在の状態、そしてそれを踏まえての将来が問題である、過去は二の次である、と考えていたが、今は、現在を理解し将来の見通しを持つためには過去を知ることが必要である、と思うようになっている。最前線で働いている人は過去に目を向ける余裕は無かるうが、一つの歴史を50周年記念誌のような形で残すことは意義のあることと考える。拙文を書かせて頂いて感謝する次第である。

## 鹿島センターの思い出

平山 昭一

私は、鹿島センターに三度にわたり勤務いたしました。宮仕えにとって避けられぬ転勤生活の序章でもありました。

一度目が、昭和54年10月～62年6月（7年余り）、20代後半から30代始めの青春時代を管理課の会計係、庶務係に所属し、住まいは第一宿舎でした。物品、出納、契約、宿舎、広報等幅広く経験を積むことができ、後にこの経験が大いに役立つこととなりました。仕事だけではなく、青年部や分会、サークル（サッカー）、地域の行事（神幸祭、盆踊り（30mアンテナ跡地開催））等色々な活動に駆り出されました。また、当時は、CS・BS実験やVLBI実験等で職員数が最も多く、職務や年代に関係なく、色々と交流の機会があり、お叱りやアドバイスを受け、この間に友人や知己を得ることができました。

二度目は、平成元年4月～4年3月（3年間）、30代後半、庶務係長として第三宿舎住まい。職員の健康を支える食堂の運営が重要課題の一つであり、大文字給食センターの社長様には大変お世話になりました。

毛利 衛氏を迎えての25周年記念行事において、限られた予算の中、色々なアイデアや工夫を盛り込み、センターが一丸となって取り組んだことも忘れられません。

予てからの懸案事項であった高速バス鹿島線（平成元年4月開通）のバス停誘致に関して、内田支所長と宮田課長のご尽力により、用地のセットバックが認められ、方針が確定したのもこの時期（設置は5年3月）でした。関鉄営業所や市役所等の関係機関に通ったことが思い出されます。バス停設置により、センター職員をはじめ近隣住民の方々の交通の便が格段に向上し、地域に貢献するパラボラとなりました。

三度目は、平成13年7月～17年8月（4年間）の40代後半、管理GLとして、今度は宿舎ではなく

初めて自宅からマイカー通勤をすることができました。毎夏恒例の一般公開、ワールドカップ開催時における庁舎警備（フーリガン対策：14年6月）、二度のサイエンスキャンプ（14年7月、17年8月）、高速バスの停留所に待合所設置（平成15年3月）等、通常業務とは別の取組みがあり面白かったです。



高速バス停留所の待合所

最も印象深かったのは、天皇皇后両陛下下行幸啓です。平成17年6月5日（日）、天皇皇后両陛下が潮来市で開催された第56回全国植樹祭にご臨席後、鹿島センターを1時間15分に亘って麻生総務大臣、長尾理事長の案内でご視察されました。

同年2月2日の茨城県知事公室からの視察候補に

上った旨の電話連絡に始まり、6月の本番までに約20回の視察・下見、5回のリハーサル（宮内庁、県警、県、機構）が行われ、万全な受入・警備体制が構築されました。5月初めの正式発表までは、関係者以外不公表となり、NICT内では、「SVIP対応」、「Mプロジェクト」の呼び名で秘密裏に進められました。

当日は、晴天に恵まれ、上空にヘリが飛び、センター全体が警察関係者（100人体制）や警備車両に占領された状態となりました。これ以外にも両陛下お付きの供奉随従員20名、報道関係者40名がおられ、本当に物々しい限りでした。

私の任務は、連絡要員であったため、両陛下のご様子を拝し、お声も拝聴することができましたが、唯無事に進行していくことを祈るばかりでした。裏方の中では、両陛下にお茶を出した管理Gの河野さん、江部さんが一番長く至近距離で接し、しかも直接お声をかけていただき感激も一入のようでした。日曜早朝から19時までの勤務となりましたが、緊張感が途切れることもなく、本当に一番長い日でした。

滞りなく無事終了し、後日両陛下から御下賜品（和三盆糖菓子）をいただくことができましたが、この4箇月間の厳重な警備要請への対応や多種多様な機関とのやり取りは、その後も経験できるものではなく、栄誉でもあり貴重なものでした。鹿島センターとしては、「Mプロジェクト」により、職員の一体感が培われただけでなく、予算事情の厳しい中、展示室の充実化を図ることができ、やり甲斐のあるものでした。

三度目の奉公を終えると、次の勤務先は九州の熊本となり、私にとっての鹿島立ちであり、更なる単身赴任生活の始まりとなりました。

これらの鹿島勤務を通算すると14年余りですが、勤続期間の3分の1に達し、この経験がバックボーンとなったように思います。

研究現場と直に接し、センターが一体となる業務

に取り組むことで、研究支援の立場を肌で感じることができ、有意義な経験でした。もちろん、業務の終了後は、本館の中庭や日本間、厚生棟において、交流を深めたこともその中に含まれております。

私は、間もなく還暦を迎え、来春には卒業となりますが、この時期に鹿島での充実した生活を振り返ることができた今回の企画に感謝するとともに、鹿島50周年を支えられた皆様方のご苦勞に敬意を表させていただきます。ありがとうございました。



天皇皇后両陛下からの御下賜品

## 南極VLBI実験の思い出

栗原 則幸

### 【あらすじ】

当時の郵政省通信総合研究所南極 VLBI 実験グループは、平成2年1月に日本と南極との間で史上初の南極 VLBI 実験を成功させました。厚い雪と氷のペールに覆われた『白い大陸』は、初めて他の文明大陸に直接結びつけられ、日本から1万 km 以上離れた南極昭和基地までの距離が、 $11,391,620.78\text{m} \pm 0.20\text{m}$ と決定されました。

これまで、南極大陸と他の大陸との位置関係がセンチメートルの精度で測定された例は無く、天文測量や人工衛星を利用した従来の技術との比較でも、1桁以上も高い画期的な測定精度でした。

当時の固体地球科学では、平均氷厚 2,000m の氷床に押しえつけられた広大な南極大陸は1枚の『南極プレート』上にあると解釈されていました。しかし、多くのプレート運動が次々と実測される中で、正確なプレート位置及びその運動の実測例が無い唯一のプレートが南極プレートで、日本以外にも西ドイツ(当時は東西に分かれた2つのドイツが存在していた)を中心とした欧州グループや NASA を中心とした米国グループによる南極プレートの精密位置測定が計画されていました。

そうした中で、通信総合研究所南極 VLBI 実験グループは、南極で初めての VLBI 実験を昭和基地で実施しました。厳しい南極の自然環境、限られた状況下での観測準備、砕氷船による観測機器輸送、オーロラ直下帯での観測への影響、膨大な量の観測データの処理及び解析など、多くの困難がありました。

平成2年6月、データ処理・解析が終了した段階で、南極プレート位置が初めて明らかになり、南極 VLBI 実験は初期の目的以上の大きな成果を生みました。

本実験の成功は、新しい電波応用技術としての VLBI の有効性を実証したとともに、通信総合研究所の実力を日本のみならず世界に知らしめました。

そして、私たちの地球をくまなく計測する地球科

学にとっても、大きな一歩を踏み出したと国内外から高く評価されました。

### 【実験の背景】

当時の固体地球科学では、平均氷厚 2,000 m の氷床に押しえつけられた広大な南極大陸は1枚の『南極プレート』上にあるとされていました。しかし、地球表面を覆う多くのプレートの動きが次々と実測される中で、正確な位置及びその運動の実測例が無い唯一のプレートが『南極プレート』でした。プレートは、厚さ約 100km で、地球内部の熱で発生したマンテル対流で移動しますが、その速度は年間数センチメートル程度と極めて遅いものです。そのため、プレート上にある大陸の動きをモニターするには、高い精度での距離測定や、測定希望位置が地球規模座標系で精密に決定できる『VLBI 技術』が特に有効とされています(した)。

通信総合研究所の VLBI グループは、ハワイ諸島が年間 6 ~ 7cm の速度で日本に近づいている事実や、南鳥島(マークス島)までの距離が1年間で 4cm 縮まった測定結果を発表し、国内外から大きな注目を集め、VLBI 技術に関するパイオニアとしての地位を国際的にも確立していました。

一方、『南極大陸』の精密位置測定に関しては、我々日本のグループのほかに、西ドイツのボン大学研究者を中心とした欧州グループや、NASA を中心とした米国グループによる実験計画が練られていました。しかし、自然環境が厳しい南極には VLBI に不可欠な大型アンテナが無く、地球科学に携わる多くの研究者からも VLBI に利用できる大型アンテナの建設が切望されていました。そうした中で、日本の南極地域観測隊が南極で最も大きな直径 11m パラボラアンテナを昭和基地に建設し、完成後のアンテナが VLBI に利用可能か、否かの機能・性能試験を通信総合研究所の南極 VLBI 実験グループ員(栗原則幸)が担

当することになりました。

こうして、南極 VLBI 実験の下地ができ、初めての実験が昭和基地、通信総合研究所鹿島宇宙通信センター（鹿島局）、そして豪州キャンベラ近郊の米国 NASA 深宇宙追跡網局（チドビンビラ局）にも参加を要請して、3つの観測局で同時に実験を行いました。

しかし、南極という特殊な極限環境（自然、限られた状況下での観測準備、砕氷船による観測機器輸送、オーロラ直下帯での観測への影響、限られた人員、情報の伝達など）での観測、データ処理・解析過程など、実験全体を通して多くの困難が待ち受けていました。

#### 【実験までの経緯】

第30次南極地域観測隊は、昭和63年11月14日東京晴海埠頭を『しらせ』にて出港しました。昭和基地到着後は、南極の短い夏を利用して南極域で最大の直径11mパラボラアンテナ、それを暴風雪から守るための直径17mの大型球形レドームの建設に取りかかりました。

アンテナ・レドームの完成後は、当初計画どおり昭和基地上空を通過する科学衛星（EXOS-D：あけぼの）や海洋観測衛星（MOS-1：もも1号）からの衛星データを受信する『多目的衛星データ受信システム』として使用されましたが、通信総合研究所から派遣された VLBI 担当隊員（栗原）は天体電波源クエーサーや電波銀河から放射される微弱電波をキャッチする電波天文及び VLBI 実験のためのアンテナとしても利用できるように、アンテナ受信系を含むシステム全体の性能・機能評価・各種調整等を連日続け、歴史的 VLBI 実験に備えました。

一方、日本国内のグループは、南極越冬中の同隊員との連絡を密にし、南極との VLBI 実験を平成2年1月に実施することを決めました。この決定により、国内外の VLBI 実験で豊富な実績を持つ鹿島局

が所有する VLBI 観測機器やその他必要機器の準備、すでに予定されていた他の国内実験スケジュールを変更するなど努力を重ね、VLBI 実験に必要な最低限の観測機器を昭和基地に搬出（平成元年11月）しました。

こうした準備段階でも、昭和基地への物資輸送が年1回『しらせ』に限定されること、観測装置に故障が発生した場合の保守要員派遣が不可能であること、限られた隊員による短時間セットアップが要求されることなど、VLBI 観測ハードウェアの観点からも多くの難問が残されていました。

また、本実験への参加を豪州国に要請し、観測局間のこまかな調整や南半球高緯度域に位置する昭和基地を考慮した観測スケジュールの作成も行いました。

こうして、南極実験グループ全員が一丸となって実験成功に向けて周到な準備を進めました。

#### 【実験】

実験は3段階に分けて実施しました。いずれの実験時にも、昭和基地内では電源事情や電磁環境の保全など、基地滞在者に対しても多くの協力を要請しました。昭和基地内発電機の出力アップ、アンテナ上空の航空機（観測隊保有の小型飛行機及びしらせ搭載の大型ヘリコプター）の飛行対策、高出力電波レーダを用いた基地内観測の中断など、細心の注意を払いました。

最初の実験は、『テスト観測』と呼び4日後に予定していた『第1回24時間観測』の運用リハーサルを目的として、昭和基地と鹿島局との2局が参加しました。南極を相手とする歴史的な VLBI 実験は、平成2年1月16日09:00:00（協定世界時、以下同様）にスタートし、およそ1時間で終了しました。くしくもこの日は、VLBI 実験担当者の誕生日でもありました。

次の実験は、『第1回24時間観測』と呼び、20数種類の天体電波源を順次切り替えながら連続観測す

る実験で、平成2年1月20日03:00:00にスタートしました。

最後の実験は、『第2回24時間観測』と呼び、先の『第1回24時間観測』の実験結果との再現性を確認することを目的とし、平成2年1月25日19:20:00にスタートしました。

現地では、これら3回の観測を予定通り実施し、実験結果に影響を与えるような機器のトラブルや大きな障害も無く、南極で初めてのVLBI実験を成功裡に終えました。

#### 【実験の成果】

昭和基地で取得した観測データは、平成2年4月『しらせ』で鹿島局に持ち帰り、直ちにデータ処理(相関処理)及びデータ解析を開始しました。昭和基地に搬出したセシウム(Cs)原子周波数源とクリスタルとを組み合わせた周波数基準の安定度、地磁気擾乱の有無、実験時の気象状況、アンテナの電波源追尾状態等、データ解析にあたっては観測と同じように細心の注意を払いました。

その結果、平成2年1月期に行われた2回の『24時間観測』から、南極大陸の昭和基地位置が決定され、鹿島局・豪州国チドビンピラ局との位置関係が図(7)のように決定できました。

当時の実験では、観測局相互間の電波源共通可視域の制限、観測時間帯の制限、通常のVLBI観測局が備えている水素メーザ原子周波数基準という高精度周波数基準源や補正を行うための補助観測装置を昭和基地に搬入できなかったことによる影響などの悪条件もありましたが、それでも当初の予想をはるかに上回る良い結果を得ました。

また、将来に対する貴重な基礎データ(低温度環境での機器の動作、昭和基地での電磁環境、電波干渉問題、アンテナ駆動が及ぼす基地内発電機への影響、日本との時刻同期法の確立等)も取得できました。

こうして、地球上でのVLBIの限界とも言える南極VLBI実験は見事成功し、『南極プレート』位置が初めて明らかとなりました。

これまで述べてきたように、通信総合研究所の南極VLBI実験グループは、極限の地『南極』での実験を精力的に進めることによって、新しい電波応用技術としてのVLBI技術の有効性を実証し、かつ、私たちの地球をくまなく計測する地球科学にとっても大きな一歩を踏みだしたと国内外から高く評価されました。

最後に、本実験を支えてくださった南極VLBIグループの皆様方、第30次・第29次・第31次の南極観測隊、国立極地研究所、そして豪州CSIROのDr. David Jaunceyをはじめ、本当に多くの方々にあらかじめ感謝申し上げます。

#### 【こぼれ話】

##### (1) 報道発表とヘリコプター

南極VLBI実験成功は、郵政省と文部省とで同時に報道発表しました。リリース直後に、取材のためのヘリコプターが鹿島のアンテナ上空に飛来し、関係者をびっくりさせました。翌日には、多くの新聞に掲載されました。

##### (2) 郵政大臣表彰と天皇陛下謁見

南極VLBI実験グループが果たした功績は極めて顕著であると認められ、平成3年4月の通信記念日に郵政大臣表彰(代表者:栗原則幸)を受けました。さらに、皇居で行われた天皇皇后両陛下拝謁(謁見)の機会にも恵まれ、「恩賜煙草」と菊のご紋が入った「どら焼き」とを賜りました。早速鹿島に持ち帰り、みんなで少しづつ味わいました。

### (3) 米国地球物理学連合 (AGU) での発表

実験成果は、平成3年4月に米国ワシントンDCで開催された米国地球物理学連合 (AGU) チャップマン会合で発表しました。発表後、セッションチェアマンから「偉業を大いに称えます」の言葉と同時に会場内参加者から大きな拍手を受けました。壇上で涙がこぼれました。なお、渡米旅費等はすべてAGUが負担してくれました。このAGU発表機会を全面支援してくださったのがVLBIグループ重鎮の近藤哲朗さんでした。

### (4) 國森夫人の新聞投稿記事

毎日新聞 全国版「女の気持ち」コーナー (平成元年1月29日付) に、「頑張れ南極観測隊」の見出しで、NICT 國森裕生さんの奥様 (伸子さん) の投稿文が掲載されました。主人と同じ研究所の方を乗せた観測船「しらせ」を見送る小さな女の子二人を連れてずっとかなたの船を見つめる若い奥さんの姿が忘れられません…という内容で、私たち家族のことも含め、とても胸を打つ内容でした。仕事を続けながら家族を守った家内がこの記事を見つけ、1年後、越冬中の私に届けてくれました。

### (5) 豪州国に対する協力要請

昭和基地と日本鹿島とはあまりにも遠く離れ過ぎ、同じ天体電波源を同時に観測することが困難になります (共通可視域が少ない)。そこで南半球におけるVLBI実験パートナーとして白羽の矢を立てたのが、豪州国キャンベラ郊外にあるNASA 深宇宙網 (DSN) チドビンビラ局 (Tidbinbilla Station) です。しかし、それまでCRL関係者の同局訪問機会はまったく無く、窓口の顔さえも分からぬ状況でした。そうした中で、当時の川口則幸3研究室長は、①豪州国と鹿島との間で24時間VLBI初実験を行うこと、②日本 (CRL) が主導する南極VLBI実験への豪州国参加約束を取

りつけてくることを、私に命じました。秋の南極出発準備が始まりかけた昭和63年2月、一人心細い中でキャンベラに出張しました。豪州側パートナーを引き受けてくれたCSIROのDr. David Jaunceyの優しい人柄に助けられながら、川口室長厳命2つを無事果たしました。この時の初VLBI実験で得られた豪州—鹿島間の基線長が7436721.49+/-4cmでした。

### (6) 鹿島町 (鹿嶋市) と南極とのつながり

筆者が初めて南極観測に関わったのは、昭和55年秋に出港した第22次南極観測越冬隊 (電離層観測担当) でした。当時は若く、有り余るパワーの解放口が見当たらず、2~3年前から鹿島の若者が集まるサークル活動や中央公民館が主催する青年活動に熱をあげていました。ちょうどその頃、鹿島町の町民憲章を制定しようという動きがあり、憲章制定委員会及び起草委員会を構成するメンバーの若者代表として筆者が指名されました。各界各層から選ばれたメンバーと多くの会合や、先進自治体視察等を経て、昭和55年秋に鹿島町民憲章と町の木 (マツ)・花 (ヤマツツジ)・鳥 (キジ) が制定されました。それを契機に当時の事務局 (鹿島町広報広聴課) と憲章制定委員とが、筆者の南極行き (第22次隊) を盛り上げてくださり、現代版「鹿島立ち」と称し、神宮本殿でのご祈祷、南極観測越冬隊全員分の御守りと鹿島神宮御神酒の寄贈などをしてくださいました (公費ではなかったと思います)。

時は大きく流れましたが、我が家には当時いただいた木製年輪型の置時計 (写真8) が残っています。その裏面には“1980年10月26日鹿島町民憲章制定委員会”と金文字で記されています。鹿嶋で市民憲章を目にするたびに、「南極」に夢を抱いた当時を思い出します。今も当時のメンバーとの親交が続いています。

(注：現在の鹿嶋市民憲章は平成17年9月17日に再制定されたものです。)

## 南極VLBI実験の思い出:写真集

栗原 則幸



写真(1) 南極 11m アンテナの組み立て

1年前に第29次隊が建設した基礎の上に、私たち第30次隊がアンテナ機構部・主鏡パネル・駆動系等を組み立てました(昭和64年1月2日から)。この時期は、基地周辺に雪も無く砂煙が舞い上がる周辺環境です。組立手順どおりに部材をきちんと並べ、大型クレーン車で吊り上げながら順次組み上げました。この作業開始まもなく昭和天皇崩御の緊急ニュースが届き、私たちは平成時代の幕開けを昭和基地で迎えました。

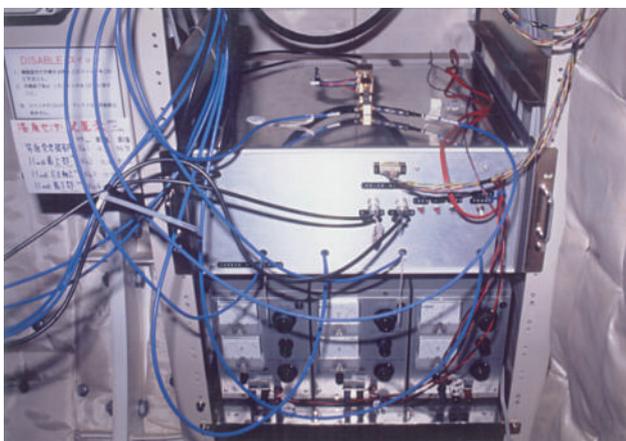
写真(2) 大型レドームの組立作業と完璧な足場

最大瞬間風速60m/秒を超える強烈なブリザード(雪嵐)からアンテナを守る直径17m球形レドームの組立開始直後です。正真正銘の「とび職」隊員の経験と感が見事に活かされ完璧な足場を構築し、21種類のアルミフレーム付きゴム引布パネル570枚を見事組み上げました。パネル接合面やボルト周りを外側からシリコンで埋めるコーキング全作業を終えたのは1月24日で、白夜の季節を終える頃でした。



写真(3) 南極 VLBI 実験用のSバンド・Xバンド周波数変換器

各種パーツを日本から持ち込み、昭和基地越冬中に自作・調整したSバンド(2GHz)・Xバンド(8GHz)の周波数変換器です。これを11mアンテナ背面の受信機室内ラックに組み込みました。ケース上部面に基準位相発生器(Pcalunit)も見えます。これら機器を制御・モニターするためのラインも衛星受信棟まで自力で敷設しました。



写真(4) 南極 VLBI 実験用バックエンド機器と  
24時間実験時の様子

アンテナから約200m離れた衛星受信棟内の一角を確保し、日本から一時搬入してセットアップしたセシウム(Cs)周波数標準器&クリスタル、K4型バックエンド、制御用PC類です。この時期は越冬明けの帰国準備と重なることから、徹夜状態が連続していました。眠い目をこすりながら観測ログを作成する筆者です。



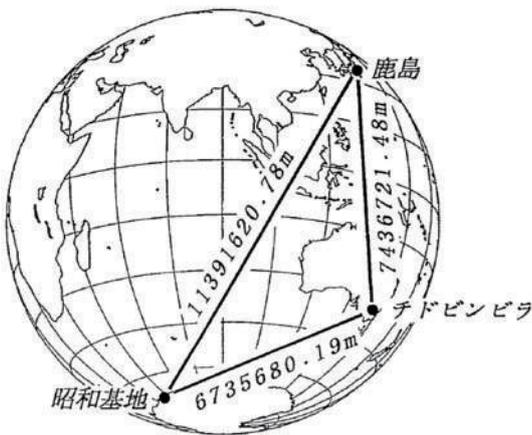
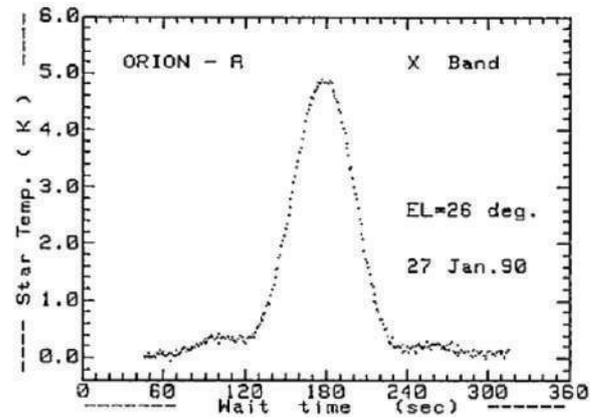


写真(5) 真冬の大型アンテナ(レドーム)と筆者

昭和基地周辺は積雪が少なく、年間をとおして赤茶けた露岩がいつも見えます。それでも冬季は、建物や大型施設の風下側に「ドリフト」と呼ばれる深い積雪が生じます。大型レドームの風下にできたドリフトの上で記念撮影しました。普段の昭和基地周辺での行動では上下羽绒服・雪靴などの重装備は不要です。南極らしい雰囲気を楽し出すための「やらせスタイル」の記念写真です。

図(6) オリオン星雲観測例  
(完成後のアンテナの特性評価)

天体電波源が放射する自然界の電波を受信することによって、受信したアンテナの性能・特性(利得・ビーム角等)を把握することが可能です。筆者は、そうした研究を長年続けていたことから、昭和基地で組み立てた11mアンテナを使って「月」や「オリオン星雲」を受信して、衛星受信やVLBI実験への適否評価等を行いました。この図は、オリオン星雲の軌道を予測計算し、その方向にアンテナを向けて固定して、オリオン星雲が通過したときの受信強度変化を示しています。待ち時間180秒のところを受信強度のピークが現れ、その強度も期待値どおりで、かつビームの形も良好でした。こうした観測を繰り返し、昭和基地で完成した11mアンテナは当初設計どおりの性能・機能が発揮できていることを確かめました。



図(7) 南極 VLBI 実験で得られた昭和基地-鹿島-豪州国チドピンビラ間の直線距離

平成2年(1990年)1月に実施した2回の南極VLBI実験で得られた3つの観測局間の直線距離です。これで昭和基地と鹿島間、1万キロメートルを超える直線距離を推定誤差20cmの精度で決定しました。この初実験成功は国内外から高く評価されました。



写真(8) 第22次南極観測越冬隊への壮行を記念して鹿島町民憲章制定委員会から寄贈を受けた木製年輪タイプの置時計

裏面には「記念第22次南極観測越冬隊 1980年10月26日 鹿島町憲章制定委員会」の金文字が記されている。

## 鹿島の思い出

井口 俊夫

私は1985年に電波研究所に入所し、8月に鹿島支所の第一宇宙通信研究室(1研)へ異動になった。当時、研究室の室長は岡本謙一さんで、与えられた研究課題は鹿島に当時あったC帯の降雨レーダを用いて取得した海面からの散乱信号を解析することであった。強度だけでなくドップラー信号なども計算し、海上に浮かべたブイにより得られた波高や風向風速などとの関連を調べたのを覚えている。C帯レーダの運用システムは、最初に穿孔された紙テープを走らせてプログラムをロードするという今では考えられないようなシステムであった。取得されたデータはすべてオープンリールの磁気テープに記録されており、それを付け替えながら解析プログラムを走らせた。この時に学んだのは、入射角が90度近くの海面すれすれでのレーダ反射に関しては、問題自体が難しく、意外と詳しい研究が未だなされていなかったということである。

当時、鹿島は若手が最初に赴任させられたところともいえ、鹿島の職員の平均年齢が確か20歳代であったと聞いたような気がする。私のように30歳を超してから入所したものも少なく、鹿島支所全体が、若さでみなぎっていたともいえる。特に2研には若い職員が多かったように思う。レクリエーションとしてソフトボール大会や運動会などが開かれたが、1研は人数が少なく他の研究室から助っ人を頼みこした行事に参加していた。研究室間の垣根もそれほど高くなく、談話会での質疑や自主的勉強会などでいろいろ議論した。川瀬さんや西垣さんらのカルマンフィルターの勉強会に参加し、何もよく理解できなかったのを覚えている。3研にいらっしゃった川口さんもよく面白い話をされていた。宿舎での生活もそうであったが、研究室の仕事もみんなで協力して行うことが多々あった。当時鹿島にあった10mのミリ波用のアンテナの保守(グリース塗布など)を奥山さんらとオーバーオールを着て行った。

海からの散乱の研究をしていたせいかどうかは分

からないが、当時沖縄で上滝さんが始められた短波海洋レーダの開発を行えということで、私はわずか2年で鹿島から沖縄に異動になってしまった。その後実現する熱帯降雨観測衛星(TRMM)の具体的な検討グループが作られたのは確か私が鹿島を離れる少し前だったと思うが、沖縄に異動になりほぼ完全に私とは関係がなくなった。しかし、私が鹿島にいたときにはすでに始まっていたNASAのゴダード宇宙飛行センターとの航空機搭載降雨レーダを用いた共同研究による電波研からNASAへの研究者の派遣は続いており、1991年から私はNASAに長期滞在することになった。こうして、TRMM計画に深く関係することになったが、TRMMの打ち上げ前の1997年7月から再び鹿島に異動になり、TRMM搭載の降雨レーダデータの処理アルゴリズムの開発や航空機搭載雲レーダの開発にかかわることになった。このころには支所名も関東支所鹿島宇宙通信センターと変更になっていた。研究庁舎も新しいものとなっており、ゆったりとしていたが、職員数も減っており、平均年齢も高くなっていた。

2度目の鹿島勤務は1度目と違って、単身赴任であったので、生活感は少なかった。1度目の時のように子供の通う幼稚園を通じた交流などもほとんどなかった。1度目のころは東京との行き来のための公共交通機関は鉄道しかなかったが、2度目のころには高速バスが通っており、非常に便利になっていた。1度目の時に完成した町の立派な図書館には子供向けの映画上映会などに何度か出かけたが、2度目の時は一度も足を運ばなかった。この間に町から市になった行政は図書よりもサッカーに力を入れるようになったと聞いてますます足が遠のいたのかもしれない。

最近、何年かぶりに鹿島を訪れたが、発電用風車が林立しているなど、ずいぶん景色が変わっていた。娘の幼稚園での行事で参加した平井浜での地引網などが懐かしく思い出された。

# TRMM BBMを用いた地上実験

佐竹 誠、花土 弘

## 1. CB 庁舎前の TRMM 小屋

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission, 熱帯降雨観測衛星) 搭載の降雨レーダ (PR: Precipitation Radar) は通信総合研究所が開発し、1997年に打上げられた世界初の衛星搭載降雨レーダであり、2015年4月に運用を停止するまで長期に渡り全球降水データを産出しました。1980年代後半から1990年代の鹿島支所第1宇宙通信研究室(後に地球環境計測技術研究室)では全員がTRMM/PR開発に関わっていたのです。TRMM/BBMはPRの機能確認モデル(Breadboard Model, BBM)として製造された8素子の導波管スロットアレイレーダであり、BBMとしての機能確認の試験の後、1993年に鹿島支所CB庁舎前の小屋にて第2の人生を開始したのです。

## 2. 共同火力の煙突を使った実験

BBMとPR用レーダ校正機(Active Radar Calibrator, ARC)を対向させ送受信し、BBMのレー



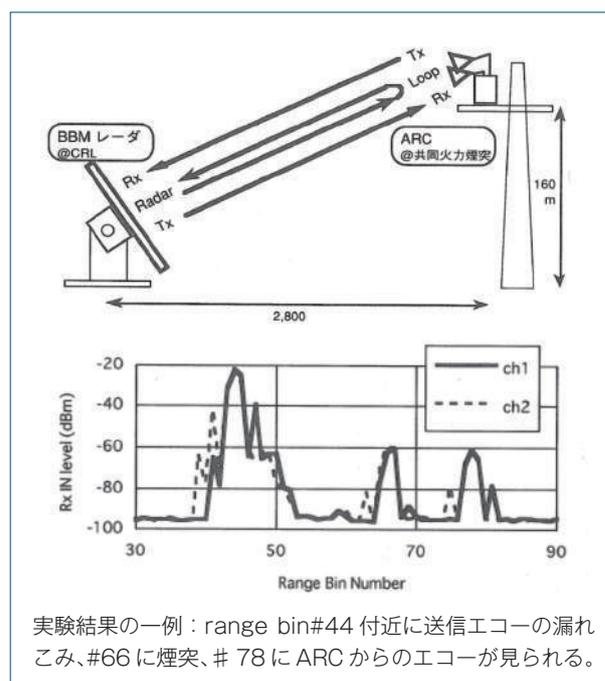
共同火力煙突に設置された TRMM ARC: アンテナが無ければ洗濯機のように見えます。



ダ機能を確認しました。BBMに対して十分な距離を持ちながら見通せる場所として南側の鹿島臨海工業地帯の一角、共同火力の煙突上にARCを設置することにして、同社の協力を得ました。1993年6月に(BBM側)中村健治、佐藤健治、佐竹誠、(ARC側)花土弘、堀江宏昭、ベン・ローレンスが参加し、対向実験を実施しました。BBMにて煙突からのエコーとともにARCからの反射信号(遅延を付加)を確認することができました。中村室長をはじめ当時のメンバーはみ



CB 庁舎前の TRMM BBM: 前方に2本見える紅白の煙突の右側にARCを設置。



な若く（ほとんど20代!）、このようなフィールド実験を楽しんでいました。なお、ベンはオーストラリア出身のポスドクであったが、我々に感化され(?)本実験後間もなくスリランカで仏門に入ったのです。

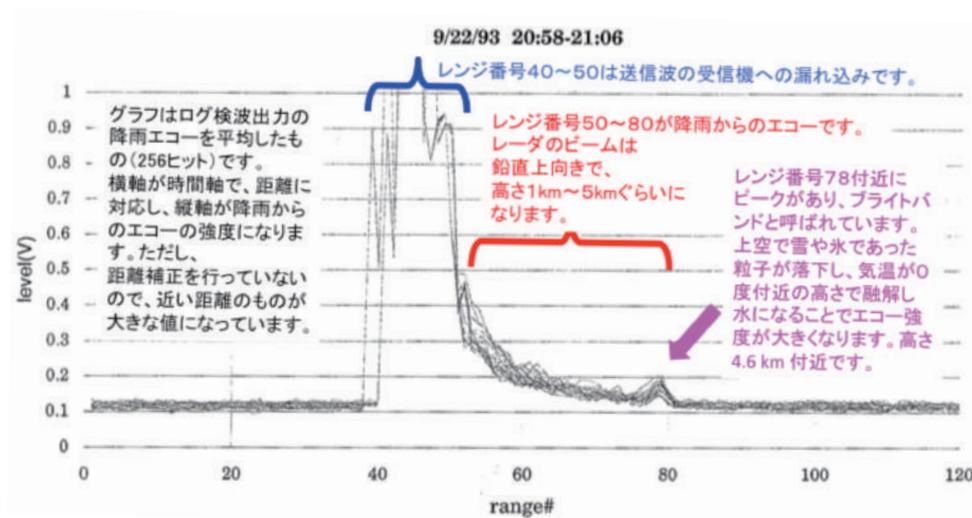
### 3. 初の降雨観測エコー

BBMは8素子のフェイズドアレイレーダで、8本の導波管スロットアンテナと、8台ずつの送受信器と移相器、周波数変換部とビデオ信号収集部から構成されていました。ただし、5bit移相器の位相量の調整は、パネルスイッチのON/OFFで変更するもので、電子走査ではありますが、ビームを切り替えるのはパネルスイッチを手動で切り替えますから、とてもとても瞬時というものではありませんでした。

降雨観測は屋根の低く狭いTRMM小屋の中で行うのですが、レーダから真上に向けて電波を出すため、天井はうっすらとしか光を通さないレドームのみで照明がなく、足元に作業用のライトを持ち込むものの暗い状態で、実験中にアンテナに頭をぶつけて痛い思いをした記憶があります。

初めての降雨観測エコーは1993年9月22日の夜間の実験だったようです。

前頁にありますように、正直しょぼいエコーなわけですが、このBBMで得られた降雨エコーが1997年～2015年の17年にもわたるTRMM衛星搭載降雨レーダの降雨観測につながったと思うと中々感慨深いものではあります。



# CAMPRについて

高橋 暢宏

CAMPR は CRL Airborne Multi-parameter Precipitation Radar の略で熱帯降雨観測衛星 (TRMM) に搭載する降雨レーダ (PR) の検証用として開発されました。私が CRL に入所したときには既に開発が進んでおり、私は観測実験から参加しました。私は 1994 年 (平成 6 年) に CRL に入所し鹿島の地球観測技術研究室 (熊谷室長: 当時) に配属となりましたが 1996 年 6 月に堀江さんの後任として NASA/GSFC へ派遣されましたので、所属は鹿島のままでしたが実質的には 2 年弱の鹿島勤務でしたが初任地ということもあり、公私共に楽しく過ごすことができました (アントラーズもおりますし)。

話がそれましたが、CAMPR は TRMM/PR の検証用ということもあり Ku 帯のレーダで、水平偏波と垂直偏波の導波管スロットアンテナを前後に並べて配置し、アンテナ全体をアンテナ取り付け軸周りに回転させることにより、飛行機の進行方向に直行する方向に走査するものでした。アンテナは外目には魚雷にしか見えないレドームの中に格納され、飛行機 (ビーチクラフト) の胴体の下に取り付けられました。観測実験のない時には機材は鹿島においてあり、多くの結線などは外した状態で保管されており、実験準備として配線や部品に名前をつけて、うまく収まるように工夫をしていたことを覚えています。また、TWTA は輸入品だったようで、導波管接続部のネジがインチタイプだったので使い易い六角レンチを秋葉原まで探しに行きました。

個人的には航空機観測は初めてであり、当然データ解析も初めてでしたので解析手法などの工夫も必要でした。多分 CAMPR の初飛行 (観測) は 1995 年 2 月 (北陸方面) であり、同年 3 月の飛行 (伊豆方面) では比較的良い降水エコーを観測しました。解析において、最初に取り組んだのはドップラー速度の補正手法の開発でした。雨雲内の雨粒の動きを計測したい訳ですが飛行機の姿勢などの影響でドップラー

速度に飛行機の世界成分が含まれることが問題となっていました。実際には海面のエコーのドップラー速度データを用いることにより、その影響は除去できました。さらには飛行機の持つ姿勢情報 (この計器の位置とアンテナの位置関係も問題となるのですが) を用いた除去方法とも比較して、アンテナの取り付けの傾きも推定できました。もう一つの取り組みとしてマルチパラメータ機能の利用がありました。特に水平偏波 (H) と垂直偏波 (V) の間の相関があることが必要でしたが、実際のデータ解析では大きな相関が得られず、偏波間の位相などを用いた解析は行いませんでした。実際、CAMPR のアンテナはその後レンズアンテナに取り替えられました。

余談になりますが、レーダを開発するときに悩むのはネーミングです。NICT のレーダも様々な面白い名前がついていますが、CAMPR も幾つか候補があった中で決まったときいています。CAMPR と最終的に決める時も、井口さんが NASA/GSFC の D. Short さん (CRL, NICT にも滞在していました) にネイティブから見ておかしくないか聞いたとのことです。CAMPR の響きはハッピーキャンパー (楽しくキャンプをする人) がイメージできて良かったようです。



ビーチクラフトに搭載された CAMPR。胴体の下に見える赤い部分がアンテナレドーム。

## 航空機搭載雲レーダSPIDERの観測開始

熊谷 博

TRMM 衛星搭載降雨レーダの研究開発が一段落し、NASDA（当時）において、衛星搭載モデルの開発が行われていた時期であるが、私は雨の次は雲、ぜひ雲のレーダ観測をしたいと考えていた。当時、世界的には 90GHz 帯の送信管が使われ始め、雲粒を実際にレーダで見ることができるようになっていた。多くの気象研究者からは、雲の観測は非常に重要であり、まだ技術的に実現していない長年の夢であるということを知った。さらに、地球温暖化問題においても雲が非常に大きな役割を果たしており、雲の影響は温暖化予測における大きな誤差要因として未解決な問題であることを知った。このため、CRL では世界に先駆けて、航空機搭載の雲レーダを実現したいと考えた。これは、1980 年頃から、航空機搭載の降雨レーダが当時の電波研究所で開発され、その研究成果が TRMM 衛星の実現につながったことに倣い、何とかして航空機観測システムの開発を通じて、衛星搭載雲レーダを実現したいと思った。この目論見は、その後、多くの後輩諸氏の多大なご努力により、日欧協力による EarthCARE 計画として実現に近づいている。

雲レーダ開発は、1995 年（平成 7 年）から着手し、1997 年（平成 9 年）に一応の完成を見た。レーダは、95GHz 帯で、航空機搭載と地上でも両方で使えると

いう欲張ったデザインのせいもあり、なかなか順調に動かなかったことを覚えている。飛行機に搭載して離陸しても、全くデータがとれなかったことが何度かあった。また送信管はカナダ製で、その電源装置の故障等で送り返したり、大変な経験をした。このレーダの愛称は、佐藤健治氏の発案により、当然のように SPIDER と決まった。図 1 は、航空機搭載用のポッドに格納した状態の外観である。図 2 には、航空機（ガルフストリーム 2）に搭載した SPIDER を示す。図 3 に、地上から真上に向けて巻雲を観測した例を示す（a）。この観測は、2000 年 10 月に行われたものである。同時帯に撮影した空の写真（b）を載せているが、青空が透けて見えるような雲であるが、レーダではしっかりしたエコーが高さ 6 km から 8 km の間に見える。高さ 8 km でも、感度は -30dBZ 程度あることが分かり、通常的气象レーダに比べると約 1000 倍高感度である。この頃からは、SPIDER もかなり順調に動作したようで、長時間の航空機実験や JAMSTEC の観測船「みらい」に載せ、大洋上の雲・エアロゾルの長期観測にも活躍した。「みらい」の航海では、SPIDER は赤道から北極海まで旅をしており、航空機観測では、パラオ島へのキャンペーンも実施した。また、インドネシアの赤道レーダサイトに輸送し観測を行ったこともあった。



図 1：SPIDER ポッド（地上設置）



図 2：航空機に装着した SPIDER

雲レーダの観測では、同時にライダー観測で同じ雲を見ることにより、雲粒の大きさを推定することができる。これにより、雲とエアロゾルの相互作用を解明する重要なデータを得ることができる。このような観測データを示すことにより、雲レーダ+ライダー観測の有効性と得られるデータの重要性が認識された。これら活動をもとに、地球全体の雲・エアロゾル・放射観測のための日欧協力による衛星計

画である EarthCARE 計画が提案され、ESA により採択された。また同衛星では、我々が実施してきた雲レーダ+ライダーの組み合わせが搭載センサとして決定された。EarthCARE 計画の成立と実現のために、SPIDER の果たした役割は大変大きいものがある。SPIDER の運用や修理に、さらに EarthCARE 搭載レーダ開発に従事された皆様に心から感謝を申し上げます。

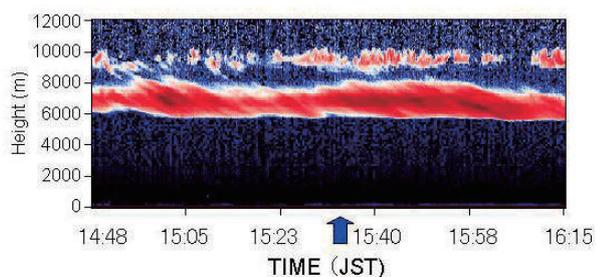


図3a：地上から真上向きに SPIDER で観測した巻雲

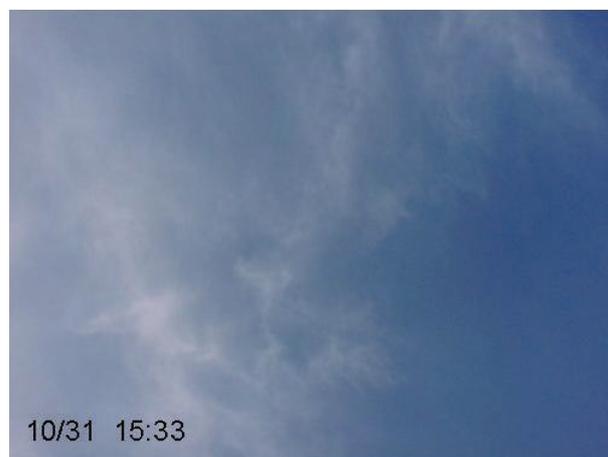


図3b：同時刻の空の写真（図 a の矢印の位置に対応）

## 鹿島のアンテナの思い出

川瀬 成一郎

鹿島の13mパラボラアンテナがこのたび撤去になるとの報せをいただき、懐かしいアンテナに改めて思いを馳せました。鹿島灘の塩風によくここまで耐えたと思います。その昔、新採用で鹿島に赴任してまだ駆け出しだった頃に13mアンテナができたのですが、そのときの光景が昨日のように浮かびます。パラボラ主鏡が地上で組み上がり、それを大型クレーンが高くつり上げて3階屋上のマウントに載せたのですが、それはまるでUFOが空へ舞い上がるかのようでした。そのアンテナを通じてCSやBSの管制実験に取り組んだことを懐かしく思い出します。

アンテナの撤去といえば、もうひとつ思い出す件があります。敷地の南端にあった10mアンテナを撤去したもので、1998年度の末のことでした。新しいプロジェクトが立ち上がった関連で、設備を置く場所が必要になったためです。それで、当時もう使われなくなっていた局舎を再利用しようと、10mアンテナを片付けました。

片付け工事は目立たないように、ひっそりと控えめに行われました。10mアンテナは試験衛星ECSによるミリ波の通信実験を目的としていました。しかしECS衛星は、初号機と2号機が相次いで軌道到達の前に失われます。そして後年、ミリ波ミッションを載せた試験衛星も、目的軌道に到達できない不運に見舞われます。ミリ波の衛星にまつわる因縁が、いつしか語られるようになっていました。おりしも10mアンテナを撤去する時期に、新たな試験衛星の打ち上げが予定されていて、その衛星はミリ波ミッションを載せていました。なので撤去はできるだけ目立たないように、工事現場は網で囲ってひっそりと行われたので、アンテナがひとつ減ったことに気付かなかった方もあるでしょう。やむを得ないとはいえ、特色あるアンテナを片付けることには憚りの念をいだいたものでした。

アンテナを片付けた後の局舎には、旋回アーム式

の電波干渉計というものを設けました。それは、衛星電波を受けて到来方向を測る装置で、衛星の軌道位置を割り出すことが目的でした。到来角の測定には電波伝搬の影響が関与してくるので、ある意味これは先代の10mアンテナの趣旨を引き継いだといえるかもしれません。

電波の到来方向を正しく測るには工夫を要します。温度環境による旋回アームの伸び縮みを補正したり、局舎の変形を防ぐ熱シールドを設けたり、色々な措置を講じました。それは過去に13mアンテナでの実験において、角度追尾の測定にさまざまな誤差が生じるのを学んでいたことから、誤差を避ける措置がおのずと浮かんだ結果でした。13mアンテナでの実験が、10mアンテナ局舎につたわって新しい設備になった、という流れが結果としてあったことになります。

もうひとつ、今はない18mアンテナも思い出に残ります。それは低高度の観測衛星を追尾して管制するアンテナで、衛星は真上を走り抜けるという都合からXY型マウントにした特殊なアンテナでした。アンテナを北の地平線に向けて衛星を待ち構え、ほんの二、三十分ほどで走り抜けたときアンテナは南の地平線を指します。衛星はこんなに速く動くものかと、理屈では分かったつもりでも実際に運用を体験するのは新鮮な驚きでした。思えば駆け出しだったころ、いろいろなアンテナに教え育ててもらったことになります。

鹿島センターの活動は50周年を迎えました。宇宙や衛星というテーマを貫いて、半世紀にわたる活動を成し遂げたのは偉大な歴史といえましょう。そういう歴史のなかにかつて自らも居合わせたことを、いま改めて感謝しつつ喜びに思います。

## すべては鹿島から始まった

吉川 真

鹿島で生活を始めたのは、1991年の夏前、今から24年も前のことです。博士を取得後、2年間の学振特別研究員を経て就職したのが通信総合研究所。当時の関東支所鹿島宇宙通信センターの宇宙制御技術研究室に配属になりました。当時はまだ鹿島町。ちょうどサッカーのJリーグがスタートする前で、鹿島アントラーズやサッカースタジアムがホットな話題でした。その後、鹿嶋市となりましたが、1998年3月で鹿嶋を後にし、17年が経ちました。

昨年（2014年）の8月末、鹿島宇宙技術センターの50周年記念講演会があり、光栄なことにその講演



1994年7月2日に行われた「パラボラ 30周年記念」講演会の資料

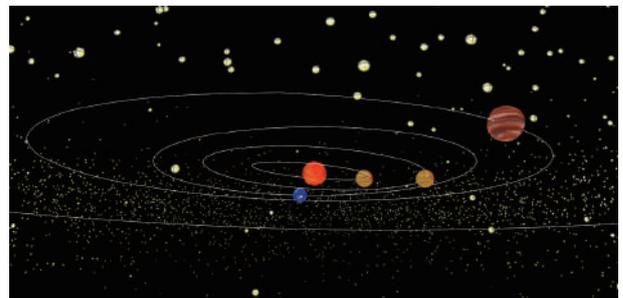
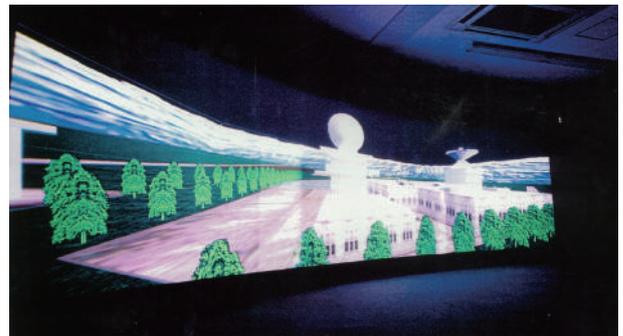
会でお話をさせていただきました。もう一人の講演者は日置さんです。講演会後かなり経ってから、たまたま研究室の戸

棚の資料を片付けていたら、鹿島宇宙通信センター時代の資料があり、その中から「パラボラ 30周年記念」の講演会のポスターやチラシがでてきました（写真右）。当時（1994年7月）は、ちょうどシューメイカー・レビー第9彗星が木星に衝突する直前で世の中でもかなり話題になっており、そのことを鹿島勤労文化会館で話したという記憶もよみがえってきました。ちなみに、そのときのもう一人の講演者も、日置さんでした。20年前は二人とも若手研究者でした。

さて、当時、研究の半分は、天体の衝突問題や小惑星の軌道解析関連でした。まだおおらかな時代で、通信に直接関係ない研究も気兼ねなくできたのです。これだけではありません。もう一つ関わっていたことは、バーチャルリアリティーです。まだかなり高価でしたが、コンピュータ・グラフィックス、それ

も三次元の立体視が手元でできるシステムを鹿島で購入し、太陽系天体の軌道運動を立体視するようなことをやっていました。3面の大きなスクリーンの前で液晶めがねをかけて見ると、多数の小惑星がまさに目の前に浮かんでいるかのように見えます（写真下）。1996年頃のことです。残念なことに、このシステムは試験としての目的を果たした後はなくなってしまったのですが、しばらくしてから国立天文台で似たようなシステムが稼働して非常に人気があるのを見ると、鹿島ではちょっと時代を先取りしすぎてしまっていたようです。

現在は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）において、小惑星探査、探査機・人工衛星の軌道決定、天体の地球衝突問題（スペースガード）などに関わっていますが、その原点はすべて鹿島にあったと言えます。さて、次は70周年記念講演会。それまでは元気にしていきたいですね。でも、講演は次の人に譲ることにして。



鹿島に設置した3面のバーチャルリアリティーシステム（上）とそこに映し出された惑星・小惑星の映像のイメージ（下）。スクリーンには、鹿島宇宙通信センターの3Dの画像が表示されている。

## COMETSの思い出

若菜 弘充

平成10年2月21日(土)17時25分、宇宙開発事業団(NASDA)筑波宇宙センターで「衛星分離」のアナウンスを聞いた。拍手があった。通信総合研究所(CRL)が移動体通信実験機器と放送実験機器の一部を開発した通信放送技術衛星「かけはし」(COMETS)がH-IIロケット5号機から分離された瞬間だった。中央管制室で表示された衛星速度は秒速8kmほどで止まったままだった。表示盤の故障かと思った。その前に音声系のトラブルがあり何かいやな予感が残っていた。分離する速度にしては低い。そのうち、第二段ロケットの燃焼停止が予定より早く行われたため、衛星の軌道高度がかなり低いとの情報が入った。NASDA追跡管制隊が招集され海外局の支援も受けてようやく衛星の捕捉に成功した。実に見事な連携プレーと技術の高さと確かさを実感した。その結果、太陽電池パドルは正常に展開されており、搭載機器も正常に機能していることがわかった。この時、遠地点高度1,902km、近地点高度246kmとかなり低い軌道であった。とてもその後に通信実験に使える軌道ではない。通信放送実験を行うためには軌道高度をかなり上げる必要がある。連日連夜の検討会議が筑波宇宙センターでスタートした。田中正人室長と木村和宏主任研究官とともに、鹿島センターから車で筑波宇宙センターまで往復した。深夜鹿島・筑波間、何度も車を運転した。木村主任研の軌道変更に関する数々の優れた提案と計7回の非常に困難な軌道変更により遠地点高度17,700km、近地点高度500kmの準回帰軌道へ投入され、7月23日にCOMETSは定常運用段階に入り、通信放送実験が開始された。

鹿島宇宙センターで、COMETS実験用に整備した地球局は静止衛星相手のため、移動していく衛星を追尾する機能を持っていない。そもそもアンテナの指向方向はさほど変えることができない。まずはCOMETSを追尾しつつ実験ができる機能をすべてのアンテナに追加した。一部は研究者自らの手作りだ。

さらに様々な工夫が必要だった。定常運用は平成11年1月まで続き、その間もCOMET搭載通信機器類は正常に動作し、移動体通信実験、衛星放送実験では計画していた半数以上の実験データを取得することができた。静止軌道に到達することはできなかったが軌道変更後のCOMETS実験では十分な成果を得ることができた。利用実験を計画していた大学や企業は衛星を追尾できないため単独での実験をあきらめざるを得なかった。ただ、NASDAにおいて、軌道制御技術、運用技術に関して得られた経験は極めて大きいものだったと思う。この間の事情に関しては宇宙開発事業団小澤啓佑著『蘇った人工衛星 - かけはし100日の記録 -』(松香堂)に詳しい。

本題はその後である。平成11年2月COMETSは後期利用段階に移行した。遠地点は南半球に移動し、通信実験は衛星が遠地点付近にいる南半球でしかできない。日本では実験ができない期間が数か月以上続く。それならば車載地球局(自動車に衛星通信機器を搭載した地球局)をまるごと南半球へ運んで実験をするしかない。残された時間はとても短いに違いない。2度とこのような貴重な機会は巡ってこない。実験場所をオーストラリアのシドニーとした。これは、私が技術試験衛星V型(ETS-V)の共同研究のため1年間滞在した経験があるためだ。まずは実験を行うためにNASDAに全面的な協力をいただいた。実験時間中は、衛星の姿勢を制御して衛星のアンテナをシドニー方向に向ける必要がある。これは本来の静止軌道位置での運用中には必要のないチャレンジングな制御技術だ。さらに1名の研究者がこの実験に参加して管制局との間の連絡を一手に引き受けてくれた。次にオーストラリアの科学産業研究機構(CSIRO)、シドニー工科大学の協力を得るために単身シドニーに乗り込み実験室の提供や実験に協力を得るための交渉を行った。両機関とも快く応じてくれた。両機関の研究者、大学の先生方も大

変興味を持っていただき研究発表会や共同実験など行うことができた。CSIRO の研究者の結婚式に出席する機会も得た。

この実験の最大のテーマは、COMETS が仰角 80 度以上を移動する際に走行実験が可能だということだ。もう一つは Ka バンド、ミリ波という通常の衛星通信より高い周波数を使っている点だ。本稿を執筆している 2015 年（平成 27 年）頃になってようやく諸外国の Ka バンド衛星が多数軌道上でサービスを開始するまでになった。これまで日本国内で自動車走行中に衛星通信実験を行うと、道路に沿って存在する樹木、電柱、建物によって電波の経路が遮蔽され通信断が頻繁に起こる。そのような道が国内には結構多く、そこでは衛星通信には使えない。障害物のない場所に停車して車載アンテナを衛星方向に向けないと通信が行えない。ところが、道路は狭く、両側に高層ビルが立ち並ぶシドニーの道路を走行中に

もかかわらず、衛星通信回線は一切遮断されない。衛星が真上にいるので想像できて当たり前かもしれないが、実体験としてはかなり衝撃的な出来事であった。どこへ行っても衛星通信ができる。そのような実感だ。鹿島宇宙センターではこのような高仰角衛星を「準天頂衛星」と名付けて、衛星の実現に向けて様々な活動を行った。最終的に通信サービスは後退したが、測位衛星として実現したのが準天頂衛星である。COMETS は静止軌道への投入には失敗したが、多くの技術者、研究者の総力により、開発した衛星の機能確認や衛星通信の実証実験を行うことができた。実現困難なチャレンジを次々に乗り越えてきたように思える。相当運がよかったのだろうか。鹿島宇宙通信センターの実験庁舎の前に立つと、その時風景が昨日のように思い出される。その時の努力の跡が刻まれているように思える。



シドニーハーバーブリッジを背景に実験準備をする車載地球局



実験を行ったシドニーの道路

## COMETS打ち上げ失敗から準天頂衛星へ

田中 正人

1998年12月、COMETSが打ち上げられましたが、H-IIロケットの不具合により静止軌道への投入に失敗しました。私は、打ち上げ当日に記者対応のために種子島におり、そこで打ち上げ失敗を知りました。控室で打ち上げの様子をモニターで一緒に見ていたNASDA職員が、衛星が切り離された瞬間に、「切り離しの予定高度に達していないのが変だ」、「テレメトリの間違いでは」などと話していましたが、NASDA種子島宇宙センターでは「無事衛星が切り離されました」との放送がありました。ただ、中央管制室の様子をみると、NASDA打ち上げ責任者の様子がおかしい、拍手がなく首をひねっているようでした。それから少し間をおいて、NASDA職員から打ち上げが失敗したことを告げられました。私の頭をよぎったのは、「また失敗か」という思いでした。4年前に、ETS-VIを、アポジエンジンの不具合で、やはり静止軌道投入に失敗し、私たちCRLは多大な迷惑をこうむったわけですが、よもやCRLが開発に参加した2つの実験用静止衛星の静止軌道投入に立て続けに失敗するとは思っていませんでした。

打ち上げ失敗から1～2日して、筑波宇宙センターでNASDAとCRLが参加して対策会議を行いました。CRLからは、若菜第3研究チーム長と木村宇宙制御研究室研究員と私が参加しました。NASDA側からは吉村理事(元CRL所長)が責任者としてきていて、初日にたまたまトイレで吉村理事にお会いしたら、「またお前がきたのか。今度もよろしく頼む」と言われました。NASDAからは事前に、中途半端な軌道に投入されたCOMETSであるが可能な限り実験計画の項目をこなすように求められていて、これに対してCRLからは、いくつかの条件を提示していました。提示条件の中で重視したのが、衛星の軌道でした。COMETSが投入された軌道は、軌道傾斜角が約30度と比較的大きく、うまく軌道変更をすれば、準天頂衛星の高仰角を関東地域で実現できる可能性

がありました。このためCRLからは、準天頂衛星の高仰角を部分的に実現できる軌道へCOMETSを軌道変更するように提案しました。NASDAは、CRLに全面的に協力するとして、CRLの提案を受け入れてくれました。ただ、最終的な軌道を決めるまでは、CRLの木村君が軌道計算して、いくつかの候補を選定し、筑波宇宙センターでNASDAと打ち合わせるということをして、約10日間行いました。筑波宇宙センターでの打ち合わせの終わりが夜で、それから鹿島に戻って、木村君が軌道計算して、翌日計算結果を筑波宇宙センターへ持ち込んで打ち合わせするというのを繰り返しました。その間鹿島とつくばの間を車で移動していて、私は運転手役でした。すごいと思ったのは、CRLは鹿島とつくばの間の移動時間約5時間(往復)で、時間的にも不利な状況で、木村君はパソコンを使った軌道計算をした結果を筑波宇宙センターへ持ち込みました。対するNASDAは大型計算機を使用して、同じような軌道計算をした結果を持ってくるのですが、木村君の計算結果のほうが先に進んでいるのです。これにはNASDAもびっくりしていました。

COMETS打ち上げの以前に、宇宙制御研究室と私の所属する宇宙通信技術研究室は、8の字衛星(後の、準天頂衛星)の研究を共同で進めていました。準天頂衛星は日本の上空で高仰角になる軌道の衛星で、私は衛星による自動車向け移動体通信の切り札になると考えていました。上記のように、COMETSの軌道を関東地域で高仰角となるように軌道変更して、高仰角電波伝搬特性測定を行いました。結果は、想定どおり高層ビルが林立する東京都市部であっても衛星からの電波がビルでブロッキングを非常に受けにくいことがわかりました。この測定結果は、準天頂衛星プロジェクトを発信するのに非常に役立ちました。これらの成果が、日本の準天頂衛星開発のきっかけになったと思っています。

## 鹿島での思い出

山本 伸一

鹿島センターでは、これまでに多くの衛星を使って通信実験が行われてきました。

平成2年、私が小金井本部から3度目の鹿島宇宙技術センター（当時は鹿島宇宙通信センター）に赴任した先は、衛星通信を研究していた第二宇宙通信研究室でした。当時は技術試験衛星V型（ETS-V）を用いて移動体衛星通信の実験を行っていました。私は自動車に高利得アンテナを取り付けたときのアンテナ追尾の開発をすることになり、色々なアイデアを試すために実験車で鹿島の町中を走ることが多かったのですが、ワンボックスカーの屋根にキャリアを取り付け、そこにアンテナが入った透明のドームがある車は、科学戦隊ものの特車みたいで、道行く人には異様な感じだったと思います。子供には人気だったのかも知れませんね。

実験車を使った移動体衛星通信実験は、その後の技術試験衛星VI型（ETS-VI）やCOMETS、そして技術試験衛星VIII型（ETS-VIII）でも行われましたが、ETS-VIとCOMETSは衛星が静止しなかったため、実験に制約はありましたが、COMETS実験では衛星が高仰角になるため、特にビル街で有意義なデータを取得できました。

多分、ETS-Vの実験だと記憶していますが、沖縄に走行実験に行ったとき、面白い(?) ことがありました。ちょうど米軍基地の横を走っていたときです。どこからともなく現れたパトカーがピタッと併走してこちらを伺っていました。その時、アンテナは衛星方向から米軍基地の方を向いています。多分…というか、絶対に怪しい車だと思われていたと思います。走行実験中は、データを収集しながら走っているのに、止められて職務質問でもされたら嫌だなあ、と思い、あまりパトカーの方を見ないように走っていたら（そのときの運転手は私だった）ほどなくして離れていきました。きっと無線で車のナンバー照会をやって疑いが晴れたのでしょう。私は、

運転手が誠実そうな人だったから、と今でも思っています…（笑）。また、ETS-Vの走行実験では、北海道から九州まで、日本各地の高速道路を走って伝搬特性を取得しました。その頃の実験車は、測定器の電源にバッテリーからAC100Vを作って使用しており、このため宿泊先の宿で夜間にバッテリーの充電が可能であるか、充電するときの料金などの条件を交渉することが必要でした。充電は夕方から朝まで行く必要があったので、宿泊するホテル間の距離や所要時間を考えて宿泊先を決めました。まあ、美味しいものが食べられる、という条件も多少(?) 考慮したかな…（笑）。現在の実験車は発電機を搭載しているため、この様なことが無く、自由に実験場所やスケジュールを立てられるようになりました。

東北自動車道の実験では、行く先々で鳩を放鳥しました。これは当時鹿島の13mφパラボラアンテナのホーンアンテナ内に営巣した鳩が多数いて、出入りする度に信号強度が変化するため実験の障害になっており、これを全部捕獲したのですが、さて捕まえた鳩をどうするか…。近くで放してはまた戻ってきてしまうし…。そこで「遠くで放せば帰って来ないんじゃない?」ということから、東北まで行って放してくる、ということになった次第。でも伝書鳩っていうのもいるくらいだしねえ…。今は、カラスが反射鏡の骨組みに多数巣を作っており、カラスの巣窟になっている感がありますが…。鳩の方が平和的で良かったかも…。

COMETS実験では衛星が静止しなかったため、衛星が高仰角となる時間が長く取れるという特性を生かして、幕張副都心や丸の内のビル街で伝搬測定実験を行いました。実験時間帯が深夜から早朝になる時は車の通行も少なくして良い実験環境になりました。丸の内のビル街では、走行コースを事前に設定し、そこをグルグルと走りました。ちょうど、通信博物館の裏手辺りに屋台が出ていて、そこで明け方まで

飲んでいる方々があり、実験車でその付近を何度も走るの、一斉にこちらを見るんですね。きっと、あれこれと詮索されて酒の肴になっていたんでしょうね。また、COMETS 実験ではオーストラリアに実験車を輸送して走行実験を行いました。衛星の軌道の関係で、その時期にオーストラリアが実験に適した場所だったことが理由です。海外で走行するためのナンバーの取得（その後、日本のナンバーでも走行できることが判明！）、測定器類の輸出の手続き、国際運転免許証の取得など準備を行い、実験車と測定器類は船便で送りました。オーストラリアは日本と同じ左側通行で運転はそれほど困ることはなかったのですが、最近日本でも導入されたラウンドアバウト交差点が既にあり、オーストラリア滞り経験のある若菜さんが一緒になかったら走り方さえ分からないところでした。

オーストラリアに到着して間もない頃、日本の観光客を乗せたバスと並んだときがありました。おばちゃん達が実験車の横に書かれている郵政省通信総合研究所の文字を見て、手を振ってきます。一応、手を振ってご挨拶しましたが…。「は～い、ちゃんとお仕事してますよ！！」(^^)／良い宣伝になったと思います。

技術試験衛星 VI 型 (ETS-VI) も静止しなかった衛星です。衛星のアポジエンジンは不調だったため、その後の軌道制御もあまり行えなかったため、日本の上空を通過するときの時間が短く、実験は非常に難しかった。真冬の夜中に実験があって、ミリ波の通信実験用地球局を屋外にあるアンテナの近くに設置して実験を行ったのですが、寒さのためか装置の動作が不安定で、最終的に側に実験車を停めて車内に装置を置き、暖めながら実験を行いました。それでも安定して実験ができなかった。

私は家が少し遠かったので、前日から衛星実験庁舎の仮眠室に寝袋を持ち込んで、夜中に起こしても

らっていました。眠いし、寒いし、上手くいかないし、と三重苦での実験でした。

最後に技術試験衛星 VIII 型 (ETS-VIII) ですが、最近までこの衛星を使って実験を行っていました。私に関わった最後の衛星になります。この衛星はちゃんと静止してくれましたが、目玉の大型展開アンテナの受信機が LNA の不具合で使えなかったことが残念でした。このため事前に準備した地球局を改修したり、無線局の免許内容の修正や変更などで総務省のご担当の方々から申請内容について頻りに電話があり、しばらく電話恐怖症になっていました。着信の電話番号で分かるんですよ。ああ～総務省からだ！…出たくねえ… (笑)。でもやらないと… (涙)。と、実験開始当初は苦しいこともありましたが、ETS-VIII の実験では、携帯型の端末を使って各地の防災訓練に参加し、普段行くことができない東京都の青ヶ島に行くことができたり、小型地球局を海上に浮かぶブイに設置して津波の早期検出の実験をしたり、非常に有意義な実験に参加することができ、楽しい思い出も多かったこともお伝えしておきます。

これまで、いくつかの衛星を用いて通信実験をやらせて頂きました。今の衛星通信は災害とか防災のための通信手段としての役割が多くなってきていると思います。衛星でしかできないことも多く、今後とも発展していくことと思います。鹿島宇宙技術センターの皆様の今後のご活躍に期待致します。

古い話は、脳細胞が脱落した私の頭では思い出すのに一苦労なこともあり、実験の内容と衛星が間違っているかもしれません。ご容赦ください。このほかにももっと沢山お話することがあると思いますが、鮮明に覚えているところを、つらつらと書いてみました。

実験でお世話になった方々、ありがとうございます。この場をお借りしてお礼申し上げます。

# 雲レーダとライダによる雲の同時地上観測から EarthCARE衛星へ

岡本 創

私が鹿島宇宙通信センターの井口俊夫室長の研究室に配属されたのは1998年7月でした。その年の4月に通信総合研究所に入所し、小金井の古津室長（当時）の研究室で3ヶ月の研修期間を過ごしました。当時所内で若手奨励という研究費の公募があり、「雲レーダとライダによる雲の同時観測」という内容で応募し、幸い500万円の予算が認められました。当時鹿島宇宙通信センターでは、Wバンドレーダ（雲レーダと呼ばれることもあります）が完成した頃でした。この雲レーダを用いた雲の観測と解析をするつもりで入所しました。雲レーダ単独ではなく、それとライダを組み合わせると、氷粒子のサイズや単位体積あたりの質量等をよりよく求めることができるのでは、と考えていました。小金井でライダを研究していた板部室長（当時）、水谷さん、安井さんらに相談し、雲レーダの横に置くライダを製作してもらえることになりました。

鹿島に行ってから、井口室長のグループに入り、雲レーダ SPIDER の航空機観測に参加し、雲レーダ用の散乱計算を、鹿島の計算機を利用して行っていました。熊谷さんが鹿島の支所長として来られ、観測についてよく相談させていただき、勉強になりました。途中井口さんが小金井に移られ入れ替わりで、黒岩室長が来られました。SPIDERの校正等ハードウェアに関する事も教えていただき、また SPIDER の完成度もだんだんと向上していきました。

雲レーダの故障、ライダの開発に時間がかかったこともあり、2000年になって、ようやく本格的な雲レーダ・ライダの同時観測データを得ることができるようになりました。堀江さんにはずいぶんと観測で助けていただきました。また、神戸大の学生だった岩崎君を受け入れていたので、彼には、ライダの観測と解析を一緒にやってもらいました。だいたい朝機械を始動し夕方撤収、それからデータ解析を夜やる、ということが多かったように思います。

また、増子部長に国際ワークショップを何かやるように言われ文科省の予算を獲得し、2000年の1月24日から26日に The First International Workshop on Spaceborne Cloud Profiling Radar を開催することができました。アメリカからは CloudSat (G. Stephens ら) や ARM のチーム (T. Ackerman ら)、CALIPSO ライダのチーム (D. Winker ら)、ヨーロッパの Earth Radiation Mission のチーム、国内からは、技術立証衛星 MDS 搭載ライダ ELISE 参加者、そして MDS の雲レーダ搭載計画参加研究者等が参加しました。ここで初めて ARM では、雲レーダとライダの同時観測を数年前から観測サイトで実施していたこと、CloudSat でどのようなサイエンスを計画しているか、ヨーロッパでも雲レーダとライダの同時観測を実施し、また解析の試み等アメリカやヨーロッパの状況を知ることになりました。またアメリカの CloudSat のサイエンスチームに入れていただくことになり、ミッションの進め方についても勉強させていただきました。

この頃は、レーダとライダを同時に使った氷粒子の解析手法が一応できていたので、サイズや氷水量等の解析結果が初めて出た時は、とても興奮したのを覚えています。また、SPIDER を JAMSTEC の観測船「みらい」に載せた観測を実施することが決まって、そのための準備もしていました。2001年4月から東北大学大学院理学研究科に移ることになりました。「みらい」の5月からの2週間の観測と、9月の20日頃から始めた3ヶ月の熱帯の航海には、私と入れ替わりでポスドクとして神戸大からやってきた亀井君と、郵政省から戻られた大野さんに乗船して SPIDER の観測を実施してもらうことになりました。

結局 HII ロケットの事故の影響を受け、日本の技術立証衛星は見送られ、衛星搭載雲レーダがそのままの形で実現することはありませんでした。その後、CloudSat や CALIPSO といった衛星が2006年に NASA を中心として打ち上げに成功しました。日本

では、その後ヨーロッパと共同で、雲レーダとライダー、さらにイメージャーや放射計を搭載した EarthCARE 衛星計画が立ち上がり、2018年の打ち上げを目指しています。雲レーダはNICTとJAXAで開発しています。現在この計画の日本側のプロジェクトサイエンティストを、ヨーロッパ側との間では EarthCARE

共同議長を務めさせていただいています。この計画でも、大野さんや堀江さん、名古屋大学に移られた高橋さん等、再びNICTの方々の多大なご支援をいただいています。鹿島にいたのは3年弱だけでしたが、この期間は本当に実り多いかけがえのない期間だったと思っています。

# 長野オリンピック 世界初立体ハイビジョン衛星伝送実験

井口 政昭

1998年2月、長野オリンピック競技のライブの立体ハイビジョン映像を東京へ衛星伝送する世界初の実験を、小金井側及び鹿島の衛星通信研究者が多数参加して成功させました。

本実験は、郵政省が呼びかけて結成された衛星アプリケーション実験推進会議が推進した国内アプリケーション実験の最初の実験として実施され、財団法人長野オリンピック冬季競技大会組織委員会が制作したオリンピック競技の立体映像を、衛星回線を介して東京に伝送しました。東京では、成果発表会での展示の後、NHK 渋谷の放送センターに移設し、TV放送でおなじみのスタジオパークの近くのイベントルームで一般の方へ公開され、臨場感あふれるライブ映像に多くの見学者から好評を得ました。ライブの立体ハイビジョン映像を長距離でデジタル伝送するものとしては世界初の実験でした。

衛星回線は、静止衛星であるN-STAR(実運用衛星、CS3後継機、NTT提供)の準ミリ波帯中継器を使用。左右の目用の2つの映像信号は、それぞれ個別に変調し、長野オリンピック国際放送センター(IBC)の傍に設置した2つの可搬地球局(NTT提供)から送信しました。N-STARを介して、東京において、会場近くに駐車した車載可搬局で2波を受信、会場で2波の信号を復調し、さらに立体ハイビジョン映像信号に復号して大画面スクリーンに再生しました。なお、上記の立体ハイビジョン映像は、長野市内に設置された大画面スクリーンにも光ファイバーにより同時並行で配信されました。

東京に設置した車載可搬局は、この実験の後の同月末に打ち上げが予定されたCOMETS高度衛星放送実験用として通信総合研究所が準備していたものです。同車載可搬局は1.8m径アンテナを搭載し、各地に移動して種々のイベントを高精細度映像情報として取得しCOMETSで中継して伝送する高精細SNG伝送実験の中継車として、さらに各地の伝搬特性取

得のために開発したものです。当時、放送技術研究室(小金井)に所属していた筆者は、同車載可搬局の開発を担当した関係で本実験に参加しました。

車載可搬局設置場所は、衛星方向が見通せる場所・屋外の駐車場等に制限され、屋内会場に設置する大画面スクリーンと車載可搬局を結ぶ信号線長は100m以上となる事情があります。スクリーンと立体ハイビジョン復号装置、信号復調器間を接続するデジタル伝送路は短ければケーブルのみで接続する比較的簡易な方法となることから、これらの装置は会場に一括して設置しました。このため、車載可搬局と会場の装置間の信号伝送は、IF伝送としました。IF信号伝送は、現在の一般ケーブルテレビ網でも採用しているアナログE/O変換・O/E変換使用の光ファイバー伝送路を用いて、信号伝送への距離の影響が極力少ない方式としました。

光ファイバー伝送路は、仮設で、駐車場路面や廊下等に敷設して、通路横断箇所等に部分的にケーブルマット(ゴム製)を敷きました。ケーブルマットは、歩行や車両等の安全な通路の確保とファイバー保護のためであり、1枚が1.5m×33cmの広さで信号線を埋め込むための溝を有し、マットを車両等が踏みつけても信号線が圧迫されない機能と頑丈さを持ちます。TAO所属の実験参加者からの提案を受けて準備しました。

長野におけるNTT可搬局の設置を除き、連続12日間に及ぶ長期の運用は、通信総合研究所の研究員が車載可搬局の設置を含めて担うことになり、長野側と東京側の2か所の要員として、放送技術研究室、小金井の衛星通信研究室、鹿島宇宙通信技術研究室から多数の参加を頂きました。

各研究者は、東京側と長野側の運用に期日交替で原則両方に従事しました。長野では、参加した要員全員が「報道関係者」の登録を行い、IDカードを胸に下げ、休憩や昼食等をとるために、IBCに自由に

出入りしてその施設を利用。このことにより、オリンピックという大イベントの裏側を垣間見る機会を得たこと、また、そのIDカードはアイスホッケー会場へ関係者として入場する資格も登録しており、空

き時間を利用して、IBC 近くのアイスホッケー会場であるビッグハットにおいて、生で観戦したことも思い出です。



東京に設置した車載可搬局（実験当時の姿）



ID カードを飾った長野冬季オリンピックのエンブレム

## 準天頂衛星の立ち上げ

田中 正人

私は、CRLに採用され、第3衛星通信研究室（小金井市）に配属になりました。このころは光ファイバーが実用化され、衛星通信は光ファイバーに取って代わられる勢いでした。衛星通信に関しては、移動体を対象とする ETS-V に代表される移動体を対象にした衛星通信の研究が花盛りでした。ただ、ETS-V が対象とする移動体は船舶と航空機であり、自動車は対象外でした。衛星は高価であり、自動車へのサービスを対象としないと生き残れないのではないかと考えていました。

ETS-V（静止衛星）を使った自動車に対する電波伝搬実験の結果から、静止衛星ではビルなどのブロッキングのために都市部の自動車へ電波が遮断されるため使いづらいことが明確に示されました。

鹿島に異動して宇宙通信技術研究室長になって、研究室の研究テーマとして自動車への衛星通信の実用化を模索していて、真上に停留している衛星があればよいのになあと考えていました。

当時の高橋富士信鹿島センター長が、鹿島センターの研究活性化のためにセンター内の各研究室の研究交流会を実施することを提案され、その第1回目に、宇宙制御研究室の川瀬室長（木村研究員？）が日本の上空に8時間停留する衛星軌道の研究を行っていることを紹介していました。私は、「これだ」と思い、以後、宇宙制御研究室と共同して準天頂衛星の研究を進めました。

準天頂衛星の軌道保持方法に関する研究や準天頂衛星の通信分野、放送分野、測位分野、地球観測分野への利用に関する研究を実施し、準天頂衛星の有効性を示しました。特に、1998年に打ち上げられた通信放送技術衛星（COMETS）が静止化に失敗し、このため、日によって衛星を見上げる仰角が変化し、最大で仰角80度以上となることがありました。COMETSからのKaバンドの電波を受信可能なパッチアンテナ（10円玉の大きさ）を飯草くんに頼んで

特急（1日）で製造してもらい、これを実験車に取り付けて、様々な仰角の時に、高層ビルの密集する東京丸の内を走行して、衛星伝搬実験を実施しました。準天頂衛星の特徴である高仰角ではビルなどによるブロッキングが大幅に改善され、回線断の非常に少ない高品質の回線が維持されることを確認し、有利性を証明しました。また、準天頂衛星を測位衛星として活用することを提案しました。GPSと組み合わせると、常に天頂近傍に衛星を配置でき、測位に理想的な配置を実現でき、測位精度の低下を防げることや、準天頂衛星と静止衛星とを組み合わせることにより、GPSとは独立した衛星測位システムを構築できることを示しました。なお、私たちは「準天頂衛星」という名称を提案しましたが、それ以前は、衛星が地球に対して描く軌跡にちなんで「8の字衛星」という名称を使用していました。やはり高橋センター長から、「静止衛星」のようにわかりやすい名称にすべきとの意見があり、命名したものです。

準天頂衛星の提案当時に、TV、新聞、雑誌等に取り上げられました。また、準天頂衛星を紹介するCDを作っているいろいろな場所で配布したり、日本の上空に衛星がとどまる仕組みが直感的にわかる模型を製作して展示会で説明するなど、いろいろなプロモーションを行いました。更には、平成11年8月に「準天頂衛星システム検討委員会」を立ち上げ、準天頂衛星通信システムに必要な技術、サービス、ビジネスプラン、コンソーシアムの実現の可能性、適切な出資者の発掘を調査・検討し、この検討会の成果を広くアピールするために平成11年11月に「準天頂衛星シンポジウム」を開催しました。

これらの努力が実ったのか、総務省宇宙通信政策課長の目にとまり、準天頂衛星に予算が付いて、開発がスタートしました。

## 鹿島での貴重な経験と今後への期待

三浦 周

鹿島宇宙技術センター 50 周年誠にありがとうございます。拙文では、自分の若い頃に鹿島に配属されて貴重な経験を積ませていただいたことへの感謝の気持ちと今後の鹿島への期待を申し上げたいと思います。

私は大学院修了後、平成 10 年 4 月に当時の郵政省通信総合研究所に採用され、その 3 か月後の 7 月に当時の関東支所鹿島宇宙通信センターに配属され、途中の留学期間を含み約 7 年半鹿島に在籍しました。学生時代の研究テーマであった画像処理から衛星通信へ分野が変わり、ほぼ一から仕事をスタートさせることとなりましたが、素晴らしい先輩方と同輩に恵まれて経験を積ませていただきました。

入所してから従事した仕事で印象に残るもののひとつは、航空機による Ka バンド移動体衛星通信実験です。COMETS 衛星での実験（平成 11 年）、それに続く N-STAR 衛星を用いた実験（平成 12、13 年）に参画しました。広帯域を利用可能な Ka バンドを用いて航空機から災害地等の状況の映像伝送を行うことなどが目的でした。名古屋小牧空港を拠点に、実験用航空機（Gulfstream II）に衛星通信用モデムやアンテナを搭載して飛行実験を行いました。実験現場では変わる天候に合わせ、限られたフライト機会の枠内で実験計画を機敏に変更する柔軟さが求められましたが、不慣れな自分にはなかなか機敏な対応が行えず、ご迷惑をおかけしたこともあったかと思います。結果として無事、通信実験に成功し、三宅島の噴火の様子などもとらえることができたことは幸いです。これらの実験を通じて、鹿島で衛星通信の研究に従事するからこそ可能なこうした大規模な実験の仕事の進め方を経験することができました。余談ですが、実験前の航空局の飛行検査では、飛行中に航空機を前後左右上下に振って検査を行いましたのでかなりの乗り物酔いになったことが記憶に残っています。諸先輩方にお話を伺うと、やはり皆

さんも船舶や航空機の通信実験で同じような経験をされており、衛星通信研究に携わる者の通過儀礼のようなものかと思いました。

また、先輩方の尽力で衛星通信電波試験棟（通称電波暗室）が平成 11 年に完成し、この施設も活用して衛星通信用アンテナの研究に従事しました。なかでも、衛星搭載用の大型のメッシュ反射鏡アンテナの研究が興味深いものでした。衛星用のアンテナの高性能化のために、反射鏡を大型化するため、ロケットのフェアリングの中では折り畳んでおき軌道上で展開するタイプのアンテナです。波長の短い Ka バンドでメッシュ反射鏡アンテナが有効かどうかを検証するため、鏡面となるメッシュ材料（金属の編み物）の電気性能の評価を電波暗室を使って行いました。測定に時間がかかるため、電波暗室にこもってパラメータを変えてひたすら実験を繰り返したことが印象に残っています。実験の甲斐あって、メッシュの編み方によって偏波特性が異なるなど貴重なデータを得ることができました。この実験的評価を通じて、電磁波やアンテナの性質について理解が深まり、その後、この研究を発展させて平成 16 年～17 年に米国 UCLA への留学を経験させていただき、自分なりに研究を進めていく自信をつける機会になりました。

鹿島は、自然環境やスポーツ環境が豊かな場所です。よく、昼休みに同僚とウォーキングをしました。テニスやフットサルにも参加し、テニスでは鹿嶋市の大会にも何度か出場させてもらいました。こうして仕事の合間にリフレッシュできたことも、仕事への良い循環になっていたと思います。

以上を振り返りますと、鹿島時代での約 7 年半の在籍中に与えていただいたものが今の自分に大きな影響を持っていると改めて強く感じております。鹿島では、自由な雰囲気の中かで、入りたての自分にも仕事を任せてもらい、困ったときは先輩方にサポートしていただきました。当時のセンター長、室長、

研究員、管理グループの皆様には、お世話になりました。本当にありがとうございました。

衛星通信を含む ICT 分野の変遷はありますが、50周年を迎えた今後も諸先輩方の経験を受け継ぎ、鹿島が継続的に衛星通信研究の拠点としての役割を担

うことを期待しています。次世代の衛星通信のための構想を練り、実験を行いつつ、自分がそうであったように実践的な若手育成を行う場としての役割を期待しています。自分も衛星通信に携わる者として今後とも鹿島に関わっていけましたら幸いです。

## 日韓共催ワールドカップでの サテライトスタジアムに参画して

田中 健二

2002年6月30日午後10時、世界中の視聴者が10億人を超えるとも言われる日韓共催2002FIFAワールドカップTM(以下、「W杯」と言う。)の決勝戦が終了した。その直後、会場の横浜国際総合競技場では、スタジアム中にきらびやかな紙ふぶきが大量に噴出され、グラウンド中央では、優勝したブラジルの選手・スタッフが歓喜の輪を作り、その中央に優勝カップを掲げるキャプテンのカフィーやFWロナウド(大会得点王)がいた。このシーンは、国際映像で放映され、本大会の象徴的なシーンとなっている。この試合の後半、私はサテライトスタジアムの関係者の一人として、グラウンドや観客席等スタジアム全体を俯瞰する特殊カメラ(3HDカメラ:縦横比=9:48、画素数=1080×5760)が設置されたバックスタンド最上段中央で観戦していたが、試合終了後はドイツのGKカーン(大会MVP)がゴールポストを背にしてうなだれる様子を見て、感動していたことを思い出す。

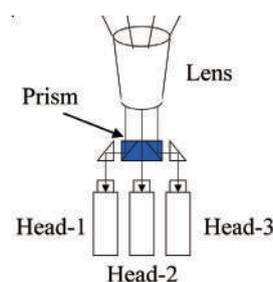
1995年、日本は2002年開催のW杯を招致するために、「バーチャルスタジアム構想(=別スタジアムに超巨大な3次元の映像を映し出し、あたかも観客席に座り、目の前で試合が展開されるような臨場感を大勢で共有可能とするアイデア)」を打ち出した。ところが、紆余曲折があり、翌年6月に日韓2国での共催が決定した後、ハイビジョンを横に3画面繋げた映像(3HD)を撮影し、スタジアム観戦の臨場感を遠隔地に伝送する「サテライトスタジアム」の実現を目指すこととなった。

予算や開発期間等の諸事情でカメラ(ヘッド部)や表示装置(プロジェクタ)は最新の市販品を用いたが、機器開発の一部等を除いて各組織が予算・機材・人材を持ち寄り(合言葉は「手弁当」)、当時、30歳前後から50歳前後だった産官学の関係者が参画し、特殊なカメラレンズやCODEC、画面をつなぎ合わせる装置等の開発や運用に関係各社、伝送路(衛星

回線や地上系ネットワーク)に関する開発や運用をCRL(現、NICT)が担当した。



34m アンテナ特別塗装

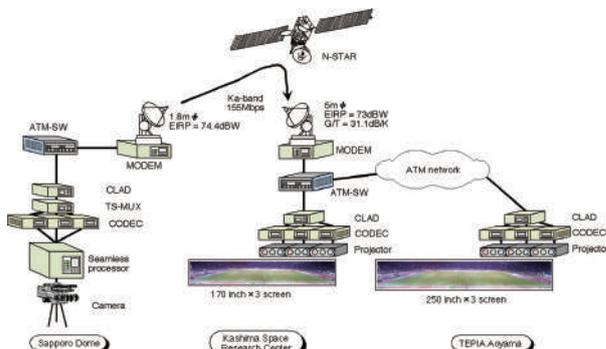


3HD カメラ



3HD 画面イメージ

2001年7月、予備伝送実験として、札幌ドームで行われた日本代表の試合を3HDカメラで撮影し、通信衛星(N-STAR)で鹿島へ伝送。その後、地上ネットワークであるJGN(Japan Gigabit Network)回線を介してTEPIA(青山)に伝送して、機器類の接続試験やコンテンツの評価実験を行った。2002年3月には、仁川(韓国)スタジアムの試合を韓国電子通信研究院(ETRI)経由で通信衛星(KOREASAT-3)にて北九州に伝送。その後、JGN回線でTEPIAに伝送した。



予備伝送実験の構成図(札幌ドーム-鹿島-TEPIA)

そして、W杯期間中、韓国では蔚山と仁川の2会場(3試合)、日本では埼玉と横浜の2会場(7試合)を両国の通信衛星やJGN回線など駆使して、サ



6月9日 日本 vs ロシア戦@横浜 (IMC)

テライト会場（総務省、横浜【IMC：パシフィコ横浜に設置された国際メディアセンター、山下公園】、TEPIA）に伝送して、多くの方に視聴頂いた。梅雨時期に、降雨減衰の影響を受けるKa帯衛星通信を用いるため、予備回線として地上ネットワークを構成していたが、晴天を願ってぶら下げたテルテル坊主の効果か、3試合を除いて衛星回線を用いて伝送することができた。試合開始の5、6時間前にはスタジアム入りし、試合終了後に観客が引き揚げ、機器類の後片付けが終わるまでの10～12時間程度を衛星局周辺で過ごした。炎天下、蒸し暑さや降雨等、梅雨時期特有の大変過酷な環境下であったが、関係者が同じスタッフ弁当（日本会場では、「JAWOC弁当」。JAWOC=【2002FIFAワールドカップ日本組織委員会】支給の弁当）を食べ、マイクロバス横面に貼ったスクリーンに3HD映像を投影し、スタジアムから聞こえる歓声を聞きながら、各国TV中継関係者と共に観戦。試合終了後にビールを飲んで、大変楽しい気持ちでスタジアムを後にして、サテライトスタジアムを実現した。

その後の関連技術の進展は目覚ましく、昨年（2014年）には、ハイビジョンの縦横2倍に相当する4k（画素数=2160×3840）のテレビ放送がCS等で開始さ

れ、同年開催されたブラジルW杯では、ハイビジョンの縦横4倍に相当する8k（画素数=4320×7680）の映像がブラジルから実験的に中継され、来年中にはBSで実験放送が開始される予定となっている。既に、これらを実現する専用のカメラや表示装置が市販されている。このまま推移すると、2020年の東京五輪、さらには、次のW杯日本開催の時には、どのような技術が投入されるか、楽しみである。

JAWOC弁当  
(6月30日=決勝戦当日@横浜)サテライトスタジアム  
シンボルマーク(?)

あれから、10数年が経過して、関係者それぞれが歳を重ねても、今でも当時の話を美味いつまみにして楽しい時間を積み重ね続けている。

私の鹿島在勤期間は、1989年7月から1995年7月までですので、本来は、他の方が記述する話題だと思いますが、記念誌編集委員会からのご依頼がありましたので、お引き受けさせて頂きました。

ところで、サテライトスタジアムでも活躍した13mアンテナが今夏、取り壊されました。心が痛みますが、震災でダメージを受けて耐久性が懸念されており、仕方ありません。大変、お疲れ様でした。

最後に、上記の記述内容には、私的な解釈に基づく表現もありますので、ご了承ください。また、W

杯期間中の写真データは、関係各位が撮影し、関係者に配布されたデータを適宜加工しました。

6月9日 日本 vs ロシア戦@横浜（国際総合競技場内関係者駐車場）  
(左：中継ブース 中央：2.4mアンテナ前景 右：各国TVスタッフ観戦中)

## 昔は良かったと言いたくないけど

佐藤 正樹

私は、昭和48年に当時の郵政省電波研究所に採用され、同時に鹿島支所に配属されました。その頃の鹿島町は、道路の多くが砂利道で信号も3~4個しかない田舎町でしたが、鹿島支所には、30mアンテナ及び26mアンテナがそびえ立ち18mアンテナが建設され、初めて訪れた私は本当にここで働くのかと感銘したのと同時に俺なんか役に立つのかなと不安を抱いたのを覚えています。最初は、18mアンテナを使ってカナダ電離層観測衛星（ISIS）のデータを受信しながら、国産の電離層衛星（ISS）の地上システムを整備することでした。その頃はパーソナルコンピュータなど無く、身長ほどのラック3台で構成されるミニコンピュータの機械言語で紙テープリーダを用いて衛星の健康状態（ハウスキーピング）を解析するプログラムを作成しました。その後、CBアンテナ13mが建設され、放送衛星の管制業務に関わり本格的に人工衛星のハウスキーピングを学びました。

生活では、この頃の職員数が急激に増えて80名を超え、組合員もほぼ100パーセントを占め地方の電波監理局支部より多い分会長を務めました。この時にCB庁舎の台地に多数の“ちょうちん”を飾り平井住民の人と盆踊り大会を開きました。我々は、焼き鳥を販売しました。独身寮が足りなくて3畳一間に住んだけど、ほぼ全員の職員や家族と平井浜で潮干狩りや海水浴をしたのも楽しかったです。仕事では、技術試験衛星シリーズに携わり、通信放送機構の放送衛星に5年、南極の関連に2年、宇宙開発事業団でADEOS-IIに5年、ヘリコプター衛星通信に3年そしてETS-VIIIに3年従事しました。

衛星の製作から衛星管制そして衛星通信実験と衛星に関しては全てを経験しましたが、その中で「ヘリコプター衛星通信システム」が結果的には成果の一つと思っています。従来のヘリコプターから撮影した映像をリアルタイムで伝送するシステム「ヘリテレビジョン」は、地上の中継車等を経由すること

からヘリコプターの機動性を十分に生かしていませんでした。我々が開発した「ヘリコプター衛星通信システム」は、最初のプロトタイプモデルの伝送レートは384kbpsと画像が不鮮明であったものの、その後に興味を持った消防庁と共同で1.2Mbpsまで性能を向上させ、今ではM社により10Mbps以上機能を有する製品が商用化され、東京消防庁をはじめ地方自治体及び国土交通省等の多くの防災用ヘリコプターに搭載され災害時等に活躍しています。「ヘリコプター衛星通信システム」は、事情により特許申請しませんでした。それが商用化の壁を低くし結果的に世の中への研究成果の還元に繋がりました。この研究成果は、営利に繋がる可能性は低いものであり、他の研究成果も何でも特許を申請するのではなく、そうでないものと区別するのも重要と思われます。このシステムは、私のアイデアではなく異動で先輩方から引き継いだもので鹿島の功績です。



ヘリコプター衛星通信システムの公開実験の風景

鹿島センターには沢山の大きなアンテナがあり、地域の人から“パラボラ”と親しまれ私の自慢でした。鹿島支所に配属されてから42年の間に、30mアンテナが撤去され、18mアンテナ、26mアンテナ、そして今度は13mCBアンテナの撤去が予定され時代の流れをつくづく感じさせられています。私は鹿島を出

たり入ったりしましたが、延べ25年以上は住んでいて結構長い方だと自負しています。私の仕事のやり方や遊び方などは、鹿島の先輩たちに形成されたと思っており、良し悪しはわかりませんが自分ではそれほど嫌いではありません。鹿島が好きで、地元の人と結婚し家族の拠点でもあることから、定年退職しましたがここに骨を埋めることにしています。

信号機が少なかった鹿島町が鹿嶋市へと立派になり、電波研究所も情報通信研究機構と組織が大きくなりましたが、それに連れだんだん遠い存在も抱い

ています。昔は良かったと言いたくないけど、鹿島センターの人数も減り、先輩の伝統を継続して発展させられなかったのが悔やまれます。これから、衛星計画が実現されて鹿島パラボラの伝統が維持されるのを期待しています。ただ、鹿島で覚えたテニスでは、42年間ずっと地元の鹿島テニス連盟に“パラボラチーム”として継続し、今年の5月にはチーム団体戦Bクラスで優勝しAクラスへ復活し、こちらの伝統は守っています。

## 技術試験衛星VIII型を用いた移動体衛星通信実験

平良 真一

技術試験衛星 VIII 型 (Engineering Test Satellite Eight ETS-VIII, 愛称: きく 8 号) は、平成 18 年 12 月 18 日に H-IIA ロケットにより打ち上げられた 3 トン級の大型静止衛星である。衛星は、次世代における移動体衛星通信システムの宇宙実証を目的の 1 つとして平成 4 年度から研究が進められ、平成 8 年度に 技術試験衛星 VIII 型の研究開発へと移行し、エンジニアリングモデル (EM) の開発、その後、EM をフライトモデルへと改修した EFM の開発を実施した。途中、H-IIA ロケット開発遅延の影響もあり、平成 14 年度までに、搭載交換機、空間電力合成給電部及び大型展開アンテナ給電部等の衛星搭載機器を組み合わせた試験を行なって、これらの機器を宇宙航空研究開発機構へと引き渡した。平成 14 年度から 18 年度にかけて宇宙航空研究開発機構においてプロトフライト試験 (PFT) が実施され、移動体衛星通信ミッション機器が正常に動作し、機能性能も良好であることが確認された。衛星打ち上げ後、平成 19 年 1 月 8 日には東経 146 度の静止軌道に投入され、1 月 30 日から約 3 ヶ月間にわたり、通信系ミッション機器の初期性能確認試験が実施され、大型展開アンテナ受信系を除いた各衛星搭載機器が静止軌道上において正常に動作していることを確認した。平成 19 年度から 21 年度にかけての「定常段階」において、衛星開発機関 (情報通信研究機構、宇宙航空研究開発機構並びに日本電信電話株式会社) による衛星搭載機器の軌道上性能確認試験及び移動体通信システム実験を主とする「基本通信実験」を実施し、各種のデータを取得すると共に、自治体主催の防災訓練にも参加し、衛星通信の非常時における有効性を示した。鹿島宇宙技術センターには、これらの実験の要となる基地地球局が、衛星打ち上げ前までに整備され、基本実験において主要な役割を果たしている。また、総務省の公募により選定された各種機関による「利用実験」も同時期に実施され、開発された衛

星は有効に活用された。

3 年にわたる定常段階終了後、衛星のフェーズは、「後期利用段階」へと移行し、移動体衛星通信基盤技術のための実験を主な目的として、大型アンテナのサイドローブ抑制試験、航空機を使用したデータ伝送や海上ブイからのセンサーデータ伝送等のアプリケーション実験と、定期的に行なう衛星性能確認試験である定期チェックアウトを実施した。

平成 23 年 3 月には、東日本大震災による本震と、その約 30 分後の茨城県沖を震源とする余震の、2 回の大きな揺れに見舞われたが、幸いにも、ETS-VIII に関わる実験用機器にはほぼ影響が無く、地震直後からの停電も夜には復旧し、当日中に、機器の基本動作に支障が無いことの確認も行なった。また、同月末には、ETS-VIII を使った初めての航空衛星通信実験を実施し、成功裏に終了している。

通信機器としては、大型展開アンテナの受信系に不具合があり、計画していた一部の実験は中止に追い込まれたが、関係者の多大な努力により、打ち上げ前に予定していた当初の目的をほぼ達成した。情報通信研究機構による移動体衛星通信実験は、平成 24 年 12 月をもって終了したが、衛星のバス寿命は 10 年で設計されており、順調にいけば平成 28 年末まで運用が行なわれる予定となっている。

本実験実施により得られた結果が、将来の移動体衛星通信システム開発の一助となれば幸いである。衛星搭載機器並びに地球局の開発、そして、移動体衛星通信実験の実施に関わった多くの方々に深謝申し上げる。

## ETS-VIIIの軌道上不具合への対応

田中 正人

2006年12月に打ち上げられたETS-VIIIのミッション機器の最初のチェックのために電源をONした際、メインミッションであるSバンド受信機LNAに不具合が発生し、受信不良という重大な事態に陥った。不具合箇所（Sバンド受信機）はNICT管理部分であったため、不具合原因の究明と対策をNICTが行わねばならない状況になり、暗澹たる気持ちになったのを憶えている。当時、私はETS-VIII通信プロジェクトを所管していた宇宙通信ネットワークグループ長（NICT小金井本部）であり、この不具合に対処することになった。

不具合発生から2日後に宇宙開発委員会へ不具合の報告をし、同じ日にJAXAの記者会見場で記者会見を開いて不具合状況の説明を行った。広い部屋に多くの記者が集まっており、はじめに大森理事から謝罪を行い、次に私から不具合状況の説明を行った。記者からは不具合を起こしたことに対する厳しい非難や、不具合箇所に単一故障点があることが問題であるとの厳しい意見を言われた。記者会見の様子は、BSチャンネル（CSチャンネルかも）で放送されていたようで、記者会見を終えてNICTに帰ってきたら、放送を見ていたNICT広報室から、記者の質問に対して、私があごに肘を立てて回答していたのはいただけないと、だめ出しを受けた。RRLからNICTまでの長い歴史の中で、このような謝罪会見を行ったのは初めてであったようで、広報室は記者会見放送を録画し、今後の参考のために保管すると言っていた。

不具合原因の究明作業は、外部有識者、JAXA、NICTの関係者による対策チームを設置し、関係製造メーカーとともに不具合原因の推定調査と復旧の可能性について検討を開始した。はじめに着手したのは、不具合箇所の受信機に関する資料を集めて、設計上の問題を調査することであった。ETS-VIII開発に関する資料はほとんどが鹿島にあったため、段ボール約20箱分の資料を車で小金井まで運んでもらったが、

まるで、TVニュースでよく見る警察による関係先の資料押収のような状況であった。

衛星からのテレメトリ情報、地上シミュレーション試験、回路解析等により、約1年をかけて不具合原因を特定した。特に、衛星テレメトリでの測定には限界があり、不具合原因を直接的に計測するテレメトリが準備されていなかったことから、原因究明作業は長時間を要した。鹿島には、少ないテレメトリを使ったLAN電源部の出力電圧の測定やSバンドアップリンク試験（各LNAの動作状況のチェック）を実施してもらった。最終的な不具合原因は、DCDCコンバータからの電流を各LNAへ分配する手前に挿入されていたダイオード取り付け部に導電性異物が入り込み短絡したと結論づけた。導電性異物による短絡が原因であったことから、復旧はできなかったのが非常に残念であった。

## 鹿島の思い出

大川 貢

鹿島宇宙技術センター 50 周年おめでとうございます。私が、鹿島宇宙技術センターに赴任したのは、1984 年で今から 30 年以上前になります。電波研究所 (RRL)、通信総合研究所 (CRL)、情報通信研究機構 (NICT) を通して、3 回の赴任期間で、計 16 年間となります。その間、CS2、ETS5、COMETS、WINDS 等の通信衛星に関連するプロジェクトに係わらせていただきました。

13m アンテナが 2 つ並ぶ CB 庁舎のもとで様々な実験を行いましたが、これらのアンテナが諸般の事情で撤去されると聞き、感慨深く、少しさみしさも感じます。

COMETS では衛星の静止化がうまくいかず、地球局アンテナで衛星を追尾しながら実験を行なうという事になり、制約のある中、当時では、まだ普及していないハイビジョン伝送を行い、成功した思い出があります。また、WINDS では、硫黄島より皆既日食の高画質ハイビジョン映像伝送を行いましたが、NHK の

番組の生中継が予定されている中、本番前日より回線の通信品質が不安定になり、厳しい調整が続きました。天候も酷暑の中でも雨模様が多くなり、車載局のアンテナ制御の不調、回線品質劣化等、多くの困難が生じました。日食本番まで、夜通し調整が続き、回線状態がある程度、回復したと思ったのもつかの間、スコールのような大雨で衛星回線が切れ、天候が回復して、衛星回線を再確立できたのは、皆既日食の数十分前のことではなかったかと思います。

東日本大震災の時には、鹿島宇宙技術センターも多大な被害を受ける中、緊急運用として WINDS を使用し、自衛隊、消防等に通信回線を供給するという支援を実施しました。赴任期間の中で、鹿島の方々には、困難があっても克服し、良い方向に導くということを学ばせていただきました。

現在、私は鹿島宇宙技術センターを離れておりますが、鹿島宇宙技術センターの皆様のこれからのご活躍をお祈りいたします。



硫黄島での皆既日食実験中の車載局（この車載局は、COMETS、WINDS を通して使用され、十数年間、実験に供してきました。）

# 西太平洋電波干渉計計画

雨谷 純

西太平洋電波干渉計計画では、昭和 62 年度補正予算により、日本周辺の 4 つのプレート、北米プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレート、ユーラシアプレートの上に VLBI 観測局を整備し、各プレート相互の動きの測定を行った。

北米プレート上に位置する鹿島には開口径 34 m の大型パラボラアンテナが、太平洋プレート上の南鳥島には開口径 10m のパラボラアンテナが、それぞれ新設された。フィリピン海プレート上の南大東島には既に開発されていた開口径 3m の小型局が移設され、ユーラシアプレートは上海天文台の開口径 25m のアンテナを利用させていただいた。

昭和 63 年（1988 年）に完成した鹿島 34m アンテナについては、別項にゆずる。

南鳥島は、小笠原諸島の東方 1200km に位置する一辺約 1.5km の三角形の小島で、我が国唯一の太平洋プレート上の領土である。本計画実施当時は、気象庁、自衛隊の職員に加え、ロラン C 施設を管理する米国沿岸警備隊員が常駐していた。10m アンテナは、米国 Scientific Atranta 社（以下 SA 社という）製で、鹿島支所（現鹿島宇宙技術センター）に仮設置され試験を行った後、平成元年（1989 年）春に南鳥島の気象庁・自衛隊庁舎の東側に移設された。運用時には、海上自衛隊の飛行機で職員が島に渡り、我々の施設専用の発電機で電力を供給して実験が行われた。なお、南鳥島 11m アンテナは、平成 7 年（1995 年）3 月に撤去された。

南大東島には、当初 11m アンテナを設置することが予定されていた。そのため、南鳥島用 10m アンテナとともに、SA 社製 11m アンテナが関東支所内に建設された。しかしこのアンテナは結局、南大東島に設置されることはなく、各種宇宙局の軌道・周波数の監視に利用され、後に小金井に移設され電離層観測衛星等のデータ受信に利用された。南大東島には、超小型 VLBI 局として開発された開口径 3m の

アンテナを利用したシステムが移設された。超小型 VLBI 局は、X バンド（8GHz 帯）のみ通常のほぼ倍の帯域で装備され、電離層補正のための S バンド（2GHz 帯）は装備していなかった。そのため、電波研究所が開発した TEC メータを設置し、電離層状態を実測しその観測値を使って電離層遅延の補正が行われた。

VLBI 観測は平成元年（1989 年）7 月の南鳥島を皮切りに、平成 5 年（1993 年）6 月まで年 1 回程度行われ、日本周辺のプレートの動きを測定した。観測装置の制限から、南鳥島と南大東島は同時には参加できなかったため、これらのうちの 1 局と鹿島、上海の 2 種類の 3 基線実験が実施された。また、当時は可搬型の水素メーザがなかったため、南鳥島局および南大東島局では、セシウム原子標準にロックさせて長期安定度を改良した高安定水晶発信器が原子標準として用いられた（1989 年の 1 回目の南大東島実験には固定型水素メーザを移設したが、データレコーダの不調で失敗に終わっている）。

## 参考文献

特集号「西太平洋電波干渉計システムの開発」通信総合研究所季報, Vol.36, 特 8, pp.1-171, 1990(1990 年)



南鳥島に設置された 10m 口径アンテナ



南大東島に設置された 3m 口径アンテナ



南大東島の電離層補正に使用された TEC メータ



## パルサータイミング計測に関する思い出

花土 ゆう子

鹿島3研(当時)は就職して最初の赴任部署でした。大学での専攻(希土類磁性体)とは全く別分野なのですが、企画部長だった畚野さんへの直訴が効いたのか、希望通りの配属でした。当時(H元年)の3研は室員のほとんどが20~30代という(今では信じられない)グループで、そこで木内氏(現在 NRAO)の指導のもと水素レーザーのお世話担当となりました。その後、今江室長が始めたミリ秒パルサータイミング計測システムの開発が主な研究テーマとなり、自分の仕事自体は周波数標準器のお守りとシングルディッシュ観測ということで、VLBIにはあまり関与していませんでした。

ミリ秒パルサーとは、非常に正確な周期でパルス状の電波が観測される天体です。この周期を時計の刻みに利用できないか、というのが研究の目的でした。信号が非常に弱い(数 mJy)が dispersion の影響により狭帯域で観測しないとパルスタイミング計測精度が落ちる、またマイクロ秒でタイミング同定したいが当時の汎用機器では融通が利かない、等の理由から、専用ハードウェアで計測装置から開発、という方向となりました。画像処理装置を流用した初号機を経て、本格的な観測装置として開発したのが AOS(音響光学分光器)を利用したシステムです。当時 AOS を用いた分光装置が野辺山にありましたが、小型かつ多チャンネル化が必要ということで、(株)野川通信機製作所の土田力氏に原理を説明し、共同開発を行いました。(土田氏にはハードウェア初心者に根気強くお付き合い頂き、またプロの仕事とは何かを教えてくださいました、心より感謝いたします)。

AOSによる観測システムを立ち上げシングルディッシュ観測を開始しました。観測パルスが微弱なので観測周期にぴったり合った周期で何万パルスもの積算が必要ですが、観測周期は太陽系の動きや惑星の重力場による相対論的效果などなどにより周期が変動します。AOSシステムは、この観測

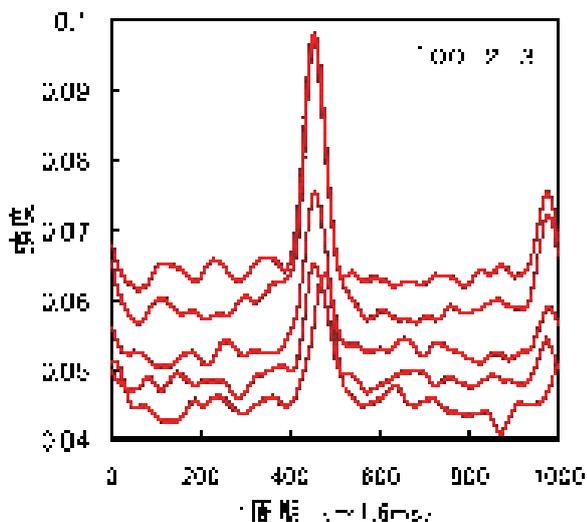
周期に合わせて変動する同期信号を与えてサンプリングする方式でした。変動周期計算には米国チームが公開していた予測周期計算ソフト(POLYCO)を入手しましたが、当時はマニュアルが整備されておらず開発者への質問もスルーされ、ソース読みとオーストラリアチームの助言でなんとか計算にこぎつけました。それでも数年ほどはパルス検出ができず、フロントエンドからバックエンド、AOS計測装置、POLYCO計算、観測データ処理部など、どこに要因があるのかの調査で悶々とした時期を延々と過ごしました。いろいろ試した挙句にパルスが出たのは確か正月休みだったように記憶します。一人「よっしゃー」と黙って天に叫びました。実験の神様はみてなさる、がその時からの座右の銘です。パルスが検出できてからも新たな問題が現れ(連続するはずのパルス位相が収束しない)、2ndステージでの悶々がまた続きましたが、原因はプログラムの単純ミスでした(何度も見直したはずの個所で見落としが)。修正後の解析により蓄積した観測パルス位相がグラフ上で一気に収束した時の喜びは忘れられません。

なんとか安定してパルス検出ができるようになった頃に小金井への異動が決まり、毎週末鹿島(場合によっては白田)に通い観測を行いました。夕方から車で移動し夜の観測に突入して仮眠して戻ってくるといった事も多く、当時はつくづく体力があったなあと思います。途中からは渋谷さん・中川さん・田淵さんが観測助っ人に入ってくれるようになり随分楽になりました。関戸さんにもいろいろ助けて頂きました。成果としては、ロシアとの協同観測により PSR1937+21 の dispersion Measure 変動(=星間物質の密度変動)を検出した論文が集大成として出たのですが広く認知されず、数年後に欧米チームが同様の論文を出した際にも引用されていなかった、という残念な思い出があります。

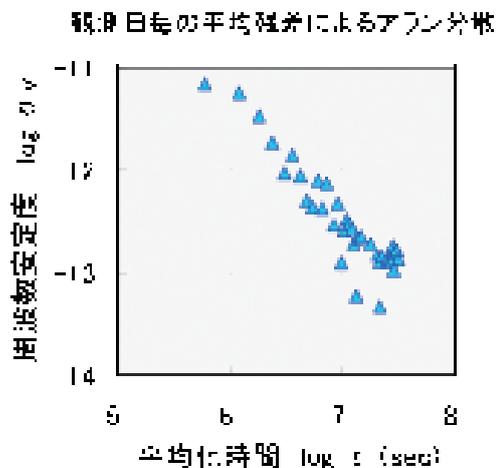
パルサー観測については VLBI でも良い成果がい

ろいろ出ていますが、タイミング計測に関しては、自分しか知らない内容もあり且つもう触れることもないかと思い、本稿では思い出記ということで書かせて頂きました（研究内容に関する報告については、

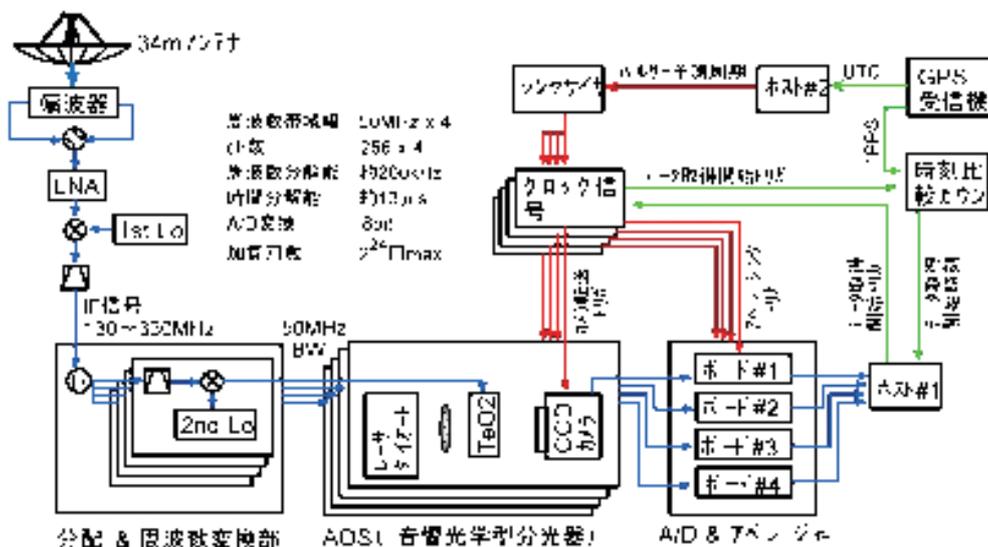
標準電波 75 周年誌の方で書いています）。小金井では標準時三昧となり、パルサーに没頭した時代の記憶が曖昧なところもあるので、間違いなどありましたらお許しください。



ミリ秒パルサー PSR1937+21 の観測波形  
 ・パルス周期：1.6msec、  
 ・パルス強度：3.3mJy @ 2GHz 帯  
 ・S-band, RHCP, 0.2MHzBW x 256 ch



PSR1937+21 パルス周期の周波数安定度



AOSを用いたミリ秒パルサー観測システム

## パルサー観測

岳藤 一宏

ここでは鹿島宇宙技術センターの巨大な電波望遠鏡をもちいて行われている最新のパルサー観測と研究について記述する。鹿島宇宙技術センターにある34m電波望遠鏡は2015年7月現在、周波数の低いほうからLバンド、Sバンド、Xバンド、Gala-V (6.4-14GHz、将来的に3.2-14.1GHz)、Kバンド、Qバンドを受信することができる。パルサーは周波数が高くなると、指数的に強度が下がるため、低い周波数帯域を観測に用いることが多い。

パルサーは超高密度な中性子星が回転していると考えられる天体であり、磁場や重力、その磁気圏などの物理状態が強烈な状態にある究極の天体である。そのため、電波だけでなく、赤外線、X線、ガンマ線、可視光などの多波長で観測が行われている。

われわれは頻繁にCrabパルサー（日本語で“かにパルサー”）の観測を行っている。Crabパルサーは、超新星「SN 1054」が爆発を起こしたあとに中心で誕生した中性子星である。この超新星残骸は“かに星雲”と呼ばれている。超新星(SN 1054)は藤原定家の日記『明月記』に記録がある(Wikipedia:“かに星雲”より抜粋)。

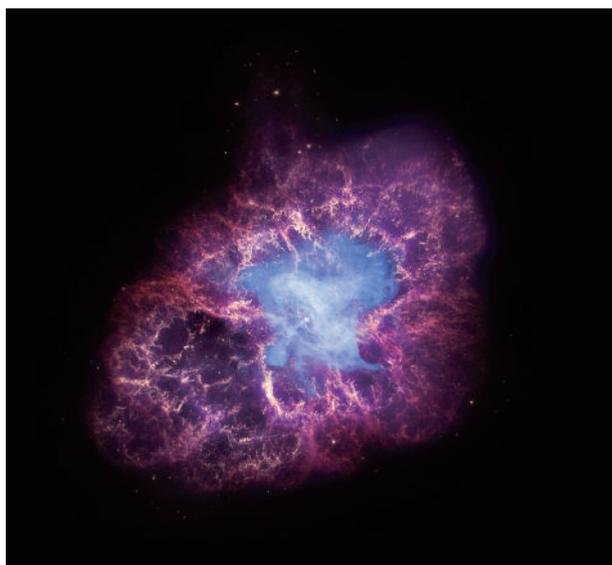


図1 X-Ray: NASA/CXC/J.Hester (ASU) ; Optical: NASA/ESA/J.Hester & A.Loll (ASU) ; Infrared: NASA, JPL-Caltech, R.Gehrz (Univ. Minn.)

われわれのCrabパルサーを観測する目的は、Crabパルサーがジャイアントパルス(Giant Radio Pulse)とよばれる強いパルスを放出しているためである。このジャイアントパルスはまったくランダムなタイミングで発生しており、普段のパルスよりも強度が数百倍以上強い。他にも10個ほどジャイアントパルスを放出しているパルサーがあるが(A.D.Kuzmin.2007)、これまでに発見されている2400個ほどのパルサー(ATNF catalogue、2014年11月)に比べると明らかにジャイアントパルスを放出しているパルサーは少ない。実は、かに星雲からパルサーが1968年に発見された経緯も、この“ジャイアントパルス”による。図1はグリーンバンク300ft望遠鏡で観測されたダイナミックスペクトル(Staelin et al. 1968)をみると、時間と周波数のグラフに斜めに分布するCrabパルサーからの信号が複数見える。この信号列のタイミングから周期、また、傾きからディスペーションメジャー(周波数方向の遅延)が計測でき、めでたくCrabパルサーの発見につながった。

現在、われわれと東京大学宇宙線研究所のコラボレーションで電波とX線の領域でCrabパルサーの比較研究をすすめている。これはCrabパルサーが多くの波長で位相が揃っていることがあげられる。図2はそのライトカーブであり、電波から、高エネルギー

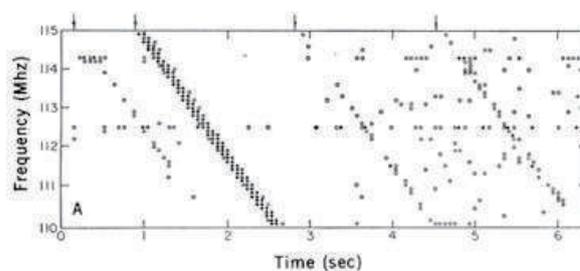


図2 Crab Pulsar 発見時のスペクトル(Time-frequency diagram)である(Staelin et al. 1968)。左下がりに、大きな太い信号と、弱めの信号が3本見られる。これがジャイアントパルスである。斜め状に遅延がかかる理由は、地球への伝播中にプラズマの影響を受け、周波数によってパルスの到着時刻が異なるためである。

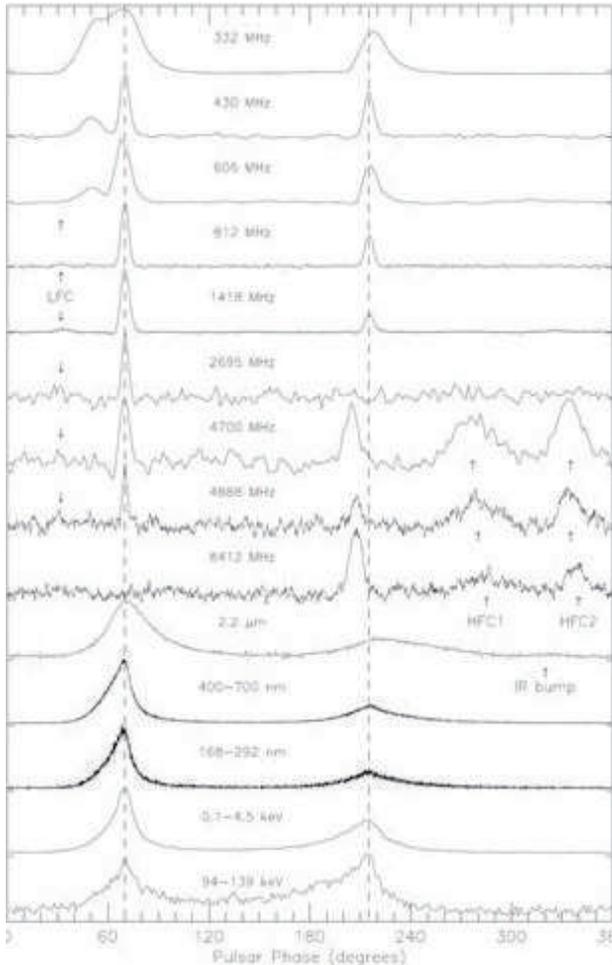


図3 多波長でみたCrabパルサーのプロファイル。多くの波長で位相が揃っているのはCrabパルサーがもつ大きな特徴の一つである (Moffett et al. 1996)。

ギー帯まで位相が揃っていることがわかる。

34m電波望遠鏡の受信システムからのアナログ信号はデジタルサンプラADS3000+でデジタル信号に変換されたあと、16台のハードディスクドライブで構成されたRAIDシステムに記録される。ADS3000+はNICTとJAXAで共同開発したもので、アンテナで受信した信号がダウンコンバート後に最大8bitで最高4GHzのスピードで高速にサンプリングされる。もちろんある程度データを間引いたサンプリングもできる。また内部FPGAでデジタル信号処理を実現しており、例えば、1GHzサンプリングした広帯域信号から、多

チャンネルの狭帯域信号を切り出すことも可能である。

パルサーからの信号は地球まで到達するまでに星間中のプラズマにより周波数方向に分散 (Dispersion) をうける。この遅れは周波数の二乗に逆比例し、低い周波数ほど遅延が大きい。

この遅延量は例えばCrabパルサーを1.4GHz帯で観測すると数ミリ秒と大きく、離散化された時系列データで遅延を補正することは難しい。そこで、通常は一度フーリエ変換を行い、周波数分解能ごとに位相を回すことで滑らかにデイスパージョン補正を実現している。しかしながら、フーリエ変換長は遅延量にサンプリング速度を掛けあわせたもの以上が必要になるため、数百万点以上の大きなフーリエ変換処理が必要となる。図4は鹿島34m電波望遠鏡でCrabパルサーを30分観測した結果である。おおよそ5秒に1個の割合 (Crabパルサーのシンチレーション状態による) でジャイアントパルスを検出できた。

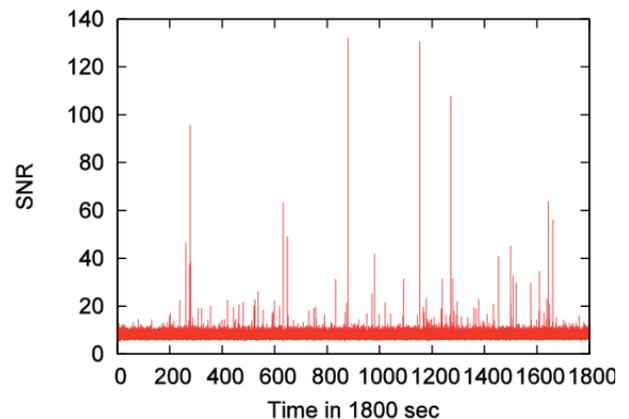


図4 鹿島34m電波望遠鏡の1.4GHz帯で観測されたCrabパルサーのジャイアントパルス。30分の観測でおおくのパルスを検出することができる。観測は2010年12月5日で、0.5マイクロ秒の積分をおこなった。

Crabパルサーの周期やデイスパージョンメジャー (DM) は一月に一回の間隔で英国Jodrell bank observatoryが発行しているCrab Pulsar Monthly Ephemerisで得られる (Jodrell bank ホームページを参照)。2014年10月現在、Crabパルサーの周期は

29.672,427,540,9Hz (33.701,32 ミリ秒) でディスパージョンメジャー (DM) は 56.776 [pc/cm] である。鹿島 34m 電波望遠鏡でも多くのジャイアントパルスが検出されており、これらのジャイアントパルスをパルサー周期でわると、Crab パルサーのジャイアントパルスがメインパルス (MP) とインターパルス (IP) の2つの位相にわかれることが簡単にわかる。図5は1.4GHz帯の観測データをディスパージョン補正したデータにパルサー周期でわったものである。湾曲している曲線が2つ見えるが、これは地球の自転や公転によるドップラー効果でパルサーからの信号の到来時刻が伸縮することによる。中央に位置している曲線はMPと呼ばれ、145度(180度でないことも興味深い)離れた場所にIPが存在する。TEMPO2とよばれるパルサー専用解析ソフトウェアでドップラー補正や周期や周期変化率などのフィッティングなどさらなる処理が可能である。

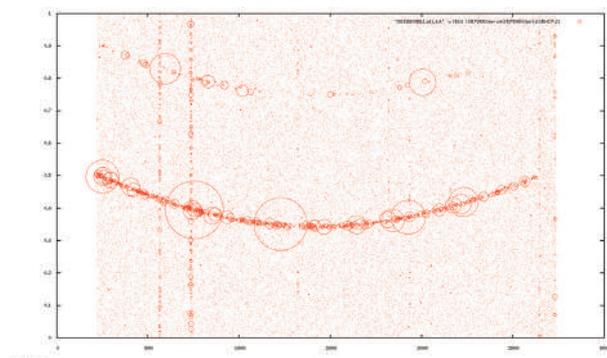


図5 鹿島 34m 電波望遠鏡 1.4GHz 帯の観測。約 6 時間の観測データをディスパージョン補正したあと、1 マイクロ秒間隔でピーク強度をパルス周期にしたがって並べた。縦軸はパルス位相。横軸は秒である。

特に強烈なジャイアントパルスが数日に一回程度の割合で受信される。図6はこれまで鹿島 34m アンテナで観測されたジャイアントパルスのなかでも最強のレベルである。強度は6メガJy(ジャンスキー:電波天文で標準の単位)ほどもあり、他のジャイアントパルスの数十倍以上の強度がある。このジャイアントパルスは細かい数十ナノ秒程度の微細構造があること

がわかり、この構造についてもスクリーンモデルなどマルチパス現象が含まれていないか検討している。

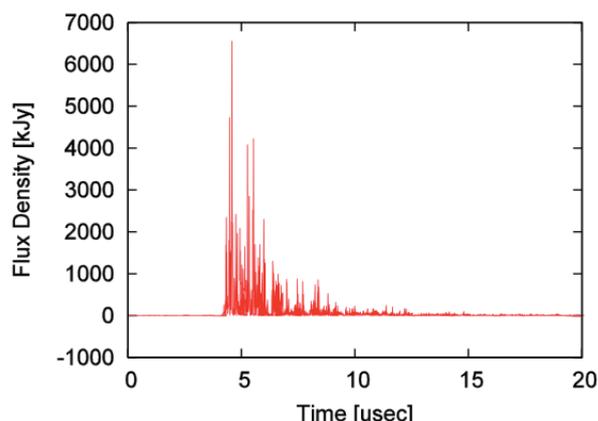


図6 Crabパルサーの特大ジャイアントパルスを検出。このジャイアントパルスはSNRが1000以上の強烈なパルスであり、この強度のジャイアントパルスは数日に一個程度の割合である。

同じような微細構造がより高い周波数でも分解できずに存在する。図7はHankinsらにより報告されているCrabパルサーからのNano-shotとよばれる現象であり、0.4nsの時間分解能でも分解されない超短時間のパルスが検出されている。このような1ナノ秒以下の時間は光速でも30cm以下のきわめて狭い領域で発生していると考えられるのであるが、その発生機構ははまだ不明である。

また近年では、ジャイアントパルスに似たような

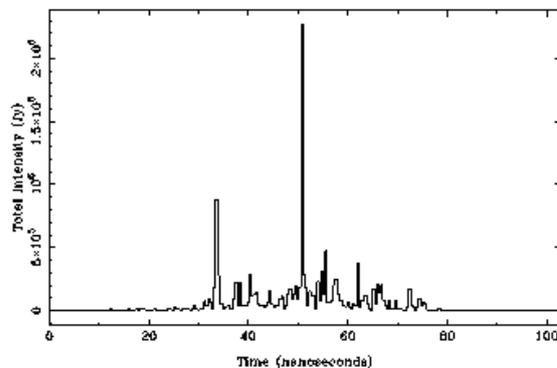


図7 CrabパルサーのNano shotとよばれる放射。9.25GHzセンターで2.2GHzのバンド幅で受信されている(Hankins and Eilek 2007)

現象が報告されている。これはオーストラリアのパークス 60m 望遠鏡で観測されたもので、図 8 のように空のあるところ（左図）から、突然ジャイアントパルスのような信号が受信された（右図）、そこで Crab パルサーと同じように遅延と観測されたエネルギーから距離と発生時のトータルエネルギーを推定することができる。しかしながら結果は非常に驚くもので、我々の銀河の遙か彼方で発生しており、爆発時のエネルギーは宇宙で最も強いと算出された (Lorimer et al, 2000)。まさに天文学上の大問題である。この現象は Fast Radio Burst (FRB) と呼ばれ、これまでに 10 個程度報告されている（うち一つはアレシボ 300m 電波望遠鏡）。しかし、再現性や対象となる天体がまだ見つからないなど謎が多く、人工の雑音ではないかとの疑いがある。

われわれは VLBI をつかって、この現象を追求でき

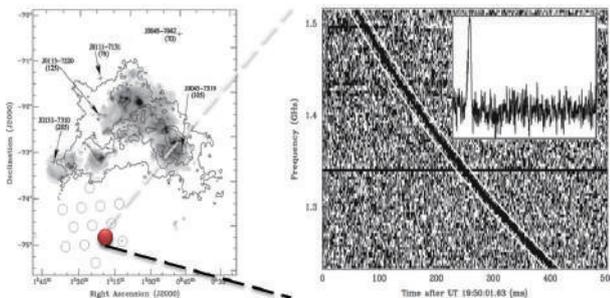


図 8 オーストラリアのパークス 60m 望遠鏡で観測された Fast Radio Burst。右図はパルサーの遅延プロファイルであり、さらに右に遅延を補正して鋭いパルスが現れている。(Lorimer et al, 2000)

るか考えた。VLBI は 2 つのアンテナが離れた位置にあるため、同時に人工雑音が入る可能性が低い。仮に入ったとしても、地球回転によるドップラー効果で空からの現象か、地上から見分けることも可能である。そこで鹿島 34m アンテナと日本で一番大きい JAXA の白田 64m 望遠鏡をもちいて Crab パルサーからのジャイアントパルスの VLBI 観測を試みた。

図 9 は世界で初めて得られたジャイアントパルス

の VLBI のフリンジを時系列で並べたものであり、一つのアンテナで観測したように周波数方向と時間方向に傾斜がみられる。全体で 30 個以上のジャイアントパルスのフリンジが得られ、これからディスパージョンメジャーを計算した。図 10 がその結果で、直近の観測結果と矛盾のないものであった。この技術を使うと、たとえば日本中のアンテナも常時観測していることはないので、アンテナが自由な時間だけ同じところをむけて、VLBI 観測を行えば、FRB 現象をきちんと証明できるかもしれない (Takefuji et al, in prep)。

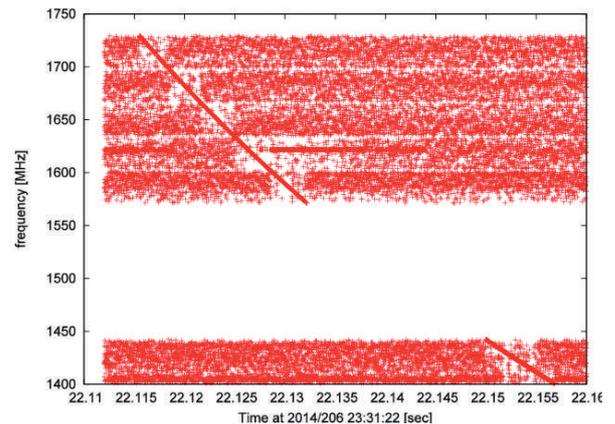


図 9 世界で初めて得られたジャイアントパルスのフリンジを並べたもの。

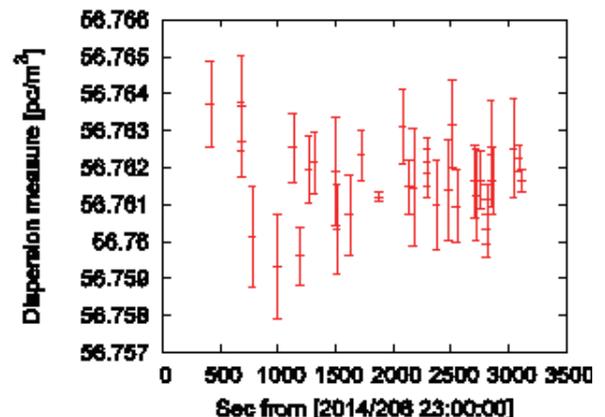


図 10 ジャイアントパルスの VLBI で得られた 34 個の遅延から計算されたディスパージョンメジャーの値。

#### 参考文献

ATNF pulsar catalogue : HYPERLINK "<http://www.atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat/>" <http://www.atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat/>

JODRELL BANK CRAB PULSAR MONTHLY EPHEMERIS : HYPERLINK "<http://www.jb.man.ac.uk/pulsar/crab.html>" <http://www.jb.man.ac.uk/pulsar/crab.html>

TEMPO2 : <http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/tempo2/>

David H.Staelin and Edward C.Reifenstein III. "Pulsating Radio Sources near the Crab Nebula" Science, Vol.162 : 1481-1483, 1968.

A.D.Kuzmin. "Giant pulses of pulsar radio emission" Astrophys Space Sci, Vol. 308 : 563-567,2007.

David A.Moffett and Timothy H.Hankins. "Multifrequency radio observations of the Crab Pulsar" ApJ, Vol.468 : 779-783, 1996.

T.H.Hankins et al. "Nanosecond radio bursts from strong plasma turbulence in the Crab Pulsar" Nature,Vol.422,2003

Lorimer, D. R. ; Bailes, M. ; McLaughlin, M. A. ; Narkevic, D. J. ; Crawford, F. , "A Bright Millisecond Radio Burst of Extragalactic Origin" , Science, Volume 318, Issue 5851, pp. 777- (2007) .

# 鹿島と首都圏広域地殻変動観測計画 (KSPプロジェクト)の思い出

近藤 哲朗

鹿島50周年記念誌編集担当者から鹿島在籍中の思い出と首都圏広域地殻変動観測計画(KSPプロジェクト)についての執筆依頼があり、当時のことを思い出しつつ書いてみました。

鹿島に赴任したのが1981年7月1日、それから途中の抜け(在外研究、転勤、在籍出向、転勤)はありましたが(実は小金井本部での勤務経験はありません)定年までのほとんどを鹿島で勤務することになるとは働き始めた当初は予想もしていませんでした。定年までの鹿島勤務はのべ約25年になるのですが定年後も鹿島で働いているので、その記録は日々更新中です。鹿島で二人の娘が生まれ大きくなり、長女が捨て犬を拾ってきて我が家の愛犬となり、そして子供たちは巣立って行き、愛犬は天国に旅立って、今は東日本大震災で被害を被った家を建て直し家内と二人で暮らしています。過ぎてしまうとまさにあっという間の出来事でした。

鹿島の生活ではほのぼのと思い出されるのはまだ子供が小さかったころの第三宿舎時代です。当時は職員が多く、宿舎には子供があふれかえっていました。夜、子供を寝かせてから大人達が、今日は誰れさん宅、という具合に集まって楽しいひと時を過ごしていたのです。時に誰かのお子さんが外で泣いていることがあり、「誰れさんのお子さんが泣いているよ」と誰かが言うと誰れさんが寝かしつけに一旦帰ったりしたことがあったり。また宿舎総出でどぶさらいに汗を流したり、バーベキューをやったり、お花見に行ったり。今思い出すとゆったりと時が流れていたような気がします。他にもたくさん思い出があるのですが、長くなるので、首都圏広域地殻変動観測計画(KSPプロジェクト)の思い出に移ります。

プロジェクトが開始された1993年度(平成5年度)は、実は数少ない鹿島を離れていた時期で平磯に勤務していました。プロジェクト開始直後のゴールデンスウィーク期間中に何を思い立ったかKSP11mアン



図1. 厚紙と針金で作った手作りのKSP11mアンテナ模型

テナの模型(図1)を手作りしましたが、この模型はまだ鹿島で健在です。KSPプロジェクトは首都圏を囲む4カ所(鹿島、小金井、三浦、館山)のそれぞれにこのようなアンテナを持ったVLBIシステムとSLRおよびGPSシステムという宇宙測位システムを設置し、首都圏での地殻変動の精密計測を行ない地震予知に役立つデータの取得を目指したプロジェクトでした(図2)。

1995年1月17日に発生した阪神大震災は結果的にKSP計画のシステム整備を加速することになりま

したが、KSP(KeyStone Project)の名前の由来となった鹿島神宮の「要石(Keystone)」は2011年3月11日に発生した東日本大震災時には残念ながら効果を発揮せず、鹿島にも大きな被害をもたらしたのは残念なことでした。

さて1994年7月に異動により鹿島に戻ってきましたが、当初は南鳥島のVLBI施設の後始末業務(アンテナ撤去工事など)などをこなしながらKSPプロジェクトに関わっていました。K3 VLBIシステム開発時代と同様にVLBI観測システムのデータ処理ソフト(関連処理および遅延時間の決定ソフト)の開

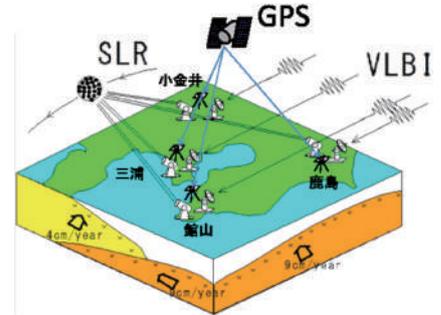


図2. KSPプロジェクトの局配置

発に携わることとなりましたが、K3時代にすでに経験があるソフト群なので開発は容易に進むかと思われましたが、ユーザーインターフェースを含む統合ソフトウェアの開発を契約した会社が倒産の危機に陥ったり、KSPプロジェクト用に新たに開発された相関器を使った処理結果が想定される結果となってくれないなど、今から思い返せば苦難の連続でした。

こうした苦難を乗り越え1994年(平成6年)7月25日にまず整備の進んだ鹿嶋-小金井基線でVLBI初観測が行われフリンジの山と呼ばれる観測成功の証しを得ることができました(図3)。

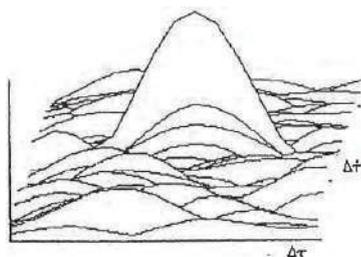


図3. KSP 鹿島-小金井基線での初フリンジ(1994年7月25日。電波源は3C273B、Sバンド)

は続いて整備の進んだ三浦局の初フリンジを検出し、1995年12月からは鹿島、小金井、三浦の3局による

連日観測が開始

されました。そして1996年9月からは館山局を含む4局での無人運用による定常観測が開始されたのです。

KSPプロジェクトではできるだけ速やかに観測結果を得るために測地VLBIとしては当時としては画期的な技術も開発されました。高速データ転送リアルタイムVLBI技術です。各局で観測されたデータは256MbpsのATMネットワークを介して実時間に中央局に伝送され、そこで実時間相関処理が行われました。その後のデータ解析まで全自動に行うシステムが開発されたのです。その結果、従来のテープレコーダへの記録方式では観測後結果を得るまでに早くても数日かかっていたのですが、観測終了後僅か数分でミリメートル精度で決定した各局の位置が得られるようになったのです。更に観測結果のWebでの公開まで自動化されました。

KSPプロジェクトで一番記憶に残るのは三宅島の噴火活動に伴う地殻変動を実時間で捕まえた時です。Webで公開していた観測データの内、鹿島-館山間の距離が想定される縮み方以上にどんどん縮んでいくのです。最初は三宅島の噴火活動がこれほど大きく影響しているとは思ってもよらず、無人観測している館山局の傍で大規模な工事でも始まったのかと急遽館山局の状態を調査すべくIさんに行ってもらいました。その結果、館山局には異常がなく、実際の地殻変動を捕まえたものと確信を持つことができたのです。最終的には三宅島の噴火活動により2ヶ月ほどの間に45mmも距離が短くなる現象を捉えることができたのですが(図4)、こうしたKSPでの観測結果は当時の地震予知連絡会および地震調査推進委員会の資料として提供され、火山活動終息の判断材料の一つとして活用されました。

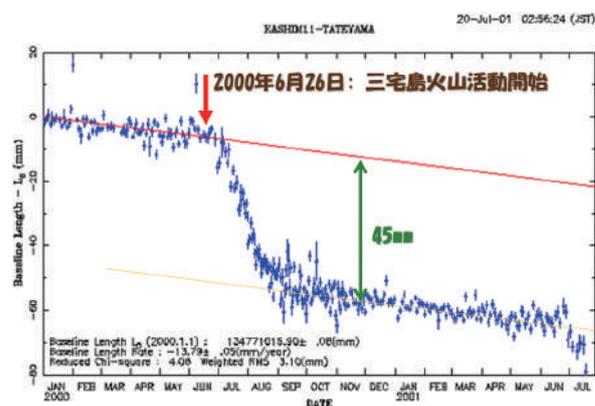


図4. 鹿島-立山間の距離の変化。定常的に約13mm/年で短くなっていたが三宅島火山活動の開始とともに急激に距離が短くなり始め、火山活動が終息するまでの2ヶ月ほどの間に45mmも距離が短くなりました。

このモニター観測を継続するために2000年度に終了予定だったKSPプロジェクトは1年間の延長が決まり2001年度末まで定常観測を実施しました。その後、三浦局と館山局のアンテナは岐阜大学および北海道大学に移管されVLBI観測の他電波天文観測施設として天文学の発展のために貢献しています。

# 鹿島26mアンテナについて

高橋 幸雄

## 1. 鹿島 26 アンテナの建設及び使用

NASA の ATS-1 から -4 までの衛星を用いた宇宙通信共同実験は、鹿島 30m アンテナを用いて行われていたが、ATS-5 (1969 年 8 月打ち上げ) 等を用いた新たな衛星通信実験を、送信 6GHz 帯、受信 4GHz 帯での行うことになり、30m アンテナでは鏡面精度や追尾精度などの性能が不十分であった。また周波数共用時の混信問題対応としてアンテナパターンの広角度特性も問題となった。そのため新たに 26m アンテナが建設されることになり、1967 年 (昭和 42 年) 9 月に着工し、1968 年 (昭和 43 年) 10 月に完成した。鏡面はアルミ製の剛性で、修正副反射鏡を用いて利得並びに雑音特性の向上を図った。当初ニヤカセグレアンテナであったが、その後カセグレアンテナに修正し使用された。アンチバッククラッシュ駆動方式で、当初は汎用計算機 NEAC3100 によるプログラム追尾を行っていた。アンテナ軸は直交式で、しかも構造が剛体であったことが、後で VLBI においてアンテナ基準位置を安定に保持するのに役立った。このアンテナは、受信室等に上がるための茶筒の形状をした螺旋階段を持っており (写真参照)、その後、VLBI 関係者からは、この螺旋階段を「茶筒」と親しみを込めて呼ぶことになった。26m アンテナの建設当初の詳細や宇宙通信実験に関しては、電波研究所 20 周年史などを参考にしてください。

このアンテナは、衛星通信実験で成果を上げたほかに、宇宙空間の研究、特に電波天文の実験にも使われた。26m アンテナ建設までは、東京大学東京天文台 (現国立天文台) の赤羽、森本、海部、平林氏らと電波研究所 (現 NICT) の川尻、尾嶋氏らによって 30m アンテナを使った天の川銀河面のサーベイが行われてきた。この 26m アンテナの完成により、アンテナの性能が向上し、衛星通信実験が行われていない期間に活動銀河や準星あるいは X 線を放射する電波源など個別天体の観測に移行した。観測は東京

天文台の田原、井上、大師堂、昆野氏らと電波研究所の河野氏が加わった天文グループと協力して行われていた。更に高橋富士信、三木氏も加わり、名古屋大学の河鯨、祖父江氏らと天文グループが協力してかに星雲の太陽コロナ掩蔽に伴う偏波面の変化の観測が行われた。このように 26m アンテナは当時、国内唯一の大型アンテナとして、日本の電波天文観測において重要な役割を果たした。



図1 26m アンテナ

その後国立天文台の分子線観測用の 6m アンテナが三鷹に完成、更に 45m アンテナや干渉計の建設が野辺山で開始され、26m アンテナでの準星や活動銀河の観測は 1974 年を最後に行われなくなり、鹿島支所の電波天文グループは 26m アンテナを用いた VLBI (超長基線電波干渉計) システムの開発に専念していった。

## 2. VLBI 観測

VLBI は、電波天体からの信号を、複数の電波望遠鏡で受信し、信号の相互相関から遅延時間を観測

し、アンテナ位置等の測定や電波源を観測するもので、詳細は別項で紹介されるので省略する。1970代からの日本の VLBI の歴史において、鹿島 26m アンテナは VLBI 用電波望遠鏡として大きな役割を果たし、このアンテナがなければ、当時の電波研究所が日本でいち早く観測し、VLBI のパイオニアなることができなかつたと思われる。

鹿島 26m アンテナと VLBI の歴史を簡単に紹介する。VLBI 観測の最初は、K-1 と呼ばれる国内実験で、横須賀に装置を持っていき、1977 年 1 月に横須賀通信研究所の 12.8m アンテナと鹿島 26m アンテナ間でテストを行い、日本で最初の相関を検出し、基礎実験に成功した。

1977 年の後半から開発された K-2 システムでは、47km 離れた平磯の副局の 10m アンテナと 26m アンテナ間でマイクロ回線を使って、4GHz 帯で VLBI 実験が行われた。1979 年 12 月、鹿島支所 26m アンテナ庁舎内に設置された K-2 の相関のモニター画面にきれいな相関関数が表示された。日本での最初のリアルタイム VLBI 実験として重要な役割を果たすと



図2 26m アンテナ (VLBI 観測使用) 下に VLBI 庁舎が建設された

ともに、VLBI の高精度化に向けた基本的な技術を習得することに役立った。

その後、VLBI 観測は、日米 VLBI 協力として「日米合同調査計画の宇宙分野における日米専門家会議」における合意 (1979 年) を基に、本格的な

VLBI 実験に至ることになる。日本側の主アンテナは鹿島 26m アンテナであり、この日米実験のために、アンテナを改修して使用した。

1983 年 11 月に最初の日米試験 VLBI 観測を鹿島 26m アンテナと米国のカルフォルニア・モハービ局 (Mojave) 12m アンテナ間で行った。その後、1984 年 1 月と 2 月のシステムレベル実験 (本格的 24 時間 VLBI 実験) を行い、初めて cm 単位での日本の位置が観測された。この実験の第 1 回目は 1 月 23 日に鹿島 (26m) —モハービ (12m) の 2 局間で、2 回目は 1984 年 2 月 25 日に鹿島—モハービ—カルフォルニア・ハットクリーク (HatCreek) 26m アンテナの 3 局間で行った。初めて国際測地系と繋がった日本の正確な位置が cm で測定され、その後の日本の測地における基準点として鹿島 26m アンテナの位置が使われるようになる記念すべき実験であった。

1984 年および 1985 年に鹿島 26m アンテナとハワイの位置変化から、初めて鹿島・ハワイの位置変化を cm の精度で測定し、最初の太平洋プレート運動の直接測定に成功した。

国内実験においても、1985 年から国土地理院と協力して、国土地理院が開発した可搬型の 5m アンテナを用いて、鹿島 26m アンテナ間で国内 VLBI 実験を行い、国際測地系とつながる日本国内での基準点を測定してきた。

### 3. 26m アンテナを用いた成果と測地系の基準

26m アンテナを用いた VLBI 実験により、世界測地網における cm 精度での日本の位置測定やプレート運動測定等の測地的な役割の他に、国際地球回転観測においても、国立天文台と協力して、数多くの国際地球回転 VLBI 実験に参加し、地球回転運動の高精度な測定や、世界に先駆けて 1 週間程度の集中連続観測による地球回転の短期変動の測定などに貢献してきた。それ以外にも、VLBI 実験による日本で初めての

高精度な電波位置基準座標系を求めるにも使われた。

#### 4. 通総研から地理院への移管

1988年に、鹿島には34mアンテナが新しく建設され、26mアンテナは通信総合研究所（現NICT）では一定の役割を終えたが、当時国際測地系の日本の基準でもあったことで、国土地理院に移管する検討が1990年から始まった。1992年12月10日に26mアンテナの施設受渡式が行われ、アンテナ財産管理文書が宮崎大和・地理院長と畚野信義・通総研所長との間で交換され、26mアンテナは国土地理院に移管され引き続きVLBI実験が行なわれることになった。

その後1994年から1995年にかけて、国土地理院が26mアンテナの大改修を行ったが、建設されてから26年もたっており、錆などかなり老朽化しており、大掛かりな改修となった。



図3 国土地理院に移管された26mアンテナ（GSIのロゴ）下にVLBI庁舎が建設された

などで、大きな役割を果たしてきた。

国土地理院は老朽化した26mアンテナの建て替えとして、つくばに32mアンテナを新しく建設し、26mアンテナとつくば32mアンテナとの結合観測を十分に行なった後、2003年に享年35歳で解体された。

その後も、26mアンテナを用いた国際測地VLBI実験は継続して行なわれ、日本の測地網と国際測地網の結合や、日本の基準点維持、プレート運動や地殻変動観測

#### 5. 測地成果2000への貢献

1984年の日米共同観測から、長い期間ずっと鹿島26mアンテナを用いた測地VLBI実験が行われてきたことから、この26mアンテナの位置が、国際基準系と繋がる日本の基準点であるとともに、国内VLBI観測によって決められたVLBI観測局の座標として国内測地網の基準となった。そうした状況から、実用の測地成果2000における日本の基準となった。測地成果2000は、VLBI、GPS、SLR（衛星レーザ測距技術）などの高精度な位置測定が可能となった新しい時代に対応できる高精度な測地基準点網で、日本において世界測地系を正式に導入した初めてのものであり、2002年4月から施行された。国際地球基準座標系 ITRF94 での座標値及び速度値が用いられており、元期（epoch）1997.0における鹿島26mアンテナの座標が測地成果2000の基準点となった。また、それが国内VLBI実験の基準点でもあり、国内VLBI局が電子基準点の座標算出の与点となったこともあり、鹿島26m局が、日本の新測地系（測地成果2000）の実質的な原点として、重要な役割を果たした。

#### 6. 最後に

鹿島26mアンテナは、最初は宇宙通信用アンテナとして建設されたが、その後電波天文観測としても重要な役割を果たし、そしてVLBI観測の主局として大きな貢献をしてきた。この26mアンテナがあったからこそ、NICTがVLBIの日本のパイオニアとなれたし、また日本のVLBIが大幅に進んだと言える。また、このVLBIと26mアンテナの出会いによって、初めて国際測地基準と繋がったcm単位での日本の位置実測や、ハワイと日本の位置変化としてのプレート運動を初めて実測するなど、測地における記念すべきかつ重要なアンテナとなった。

# ギガビット VLBI

中島 潤一

鹿島在籍中の思い出として達成感の大きかったものの一つはギガビット VLBIである。入所した1993年当時は64MbpsのK-3式 VLBIのオープンリールの観測も残っていたことを思い起こせば、これを一気に1Gbpsまで向上するのはきわめてチャレンジングであった。1998年7月には、鹿島-小金井基線でギガビット VLBI システムを用いた試験観測を行ない、電波天体のフリンジ検出に成功した。米国、カナダなど世界と VLBI 開発を切磋琢磨する中で我々CRLが立てた金字塔となった。

当初のギガビット VLBI では高速な AD コンバーターが無かったのでテクトロ社のデジタルオシロを改造し東芝の高速データレコーダーに記録する方式を採った。また、国立天文台野辺山のミリ波干渉計のために開発されていたLSIを用いギガビット相関処理装置(GICO)を作り上げた。ちなみにGICOは当時鹿島アントラーズの監督だったジーコにちなんだ愛称である。実証実験では近藤さん、小山さんがK-4システムでの観測も並行して実施し、高速ADの問題点などを洗い出した。この初期の実験成功はその後専用の高速ADコンバーター(ADS1000)の開発やVSI(国際標準化インターフェース)の制定で鹿島が世界に対して大きなイニシアチブをとるきっかけとなり、磁気テープ記録からハードディスクの記録への移行、ソフトウェア相関など数々の先駆的技術につながった。2001年にはレコーダーを並べ2Gbpsの観測まで達成している(図1)。

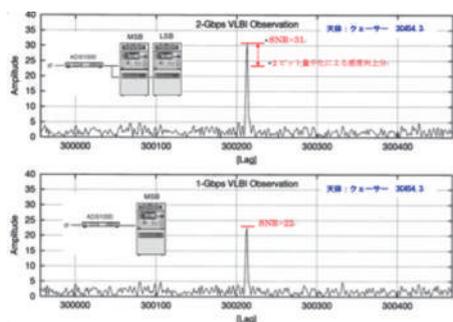


図1 磁気テープ最大となる2Gbps 観測結果

重かったので、毎回実験は腰が抜けそうな思いで運んでいた。そ

んな時、官用車をいつも笑顔のガソリン満タンで用意してくれたのは管理課の小田倉さんであった。そして2002年にはフィンランドに我々のADS-1000を持ち込みインターフェース接続、ネットワーク経由での観測を達成したときは本当に嬉しかった(図2)。

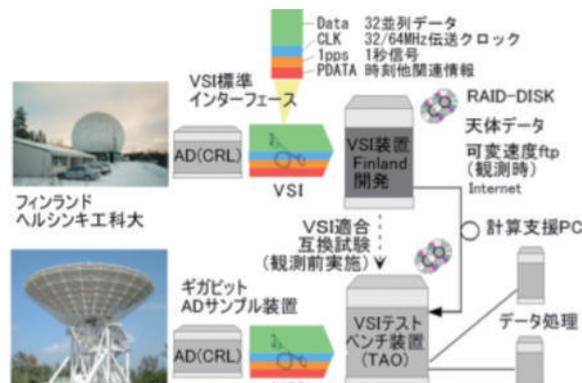


図2 フィンランドと実験成功したときの構成

CRL鹿島は磁気テープVLBIの時代からインターネットVLBIへの大きな礎を作ったのである。世界の最先端を走りトップランナーに世界がついてくるという感覚を体験できたことはその後に及んでも貴重な体験である。

当時自由闊達に研究を許してくれた室長の方々に感謝する一方、予算は不足しギガビット VLBI 計画全体のマネジメントは苦しいものがあった。34mアンテナの不具合はいつも何かしら起こっていたし、補正予算の獲得や、外部資金の獲得・報告書などでも苦労した。また多数のメンバーはKSPプロジェクト優先であったので通常は要員も少なく、任期付研究員の木村守孝さんと仕事の後でよく回転寿司に行っていたのを思い出す。また小金井側との意思疎通や、そもそも話の発端であった天文台の足並みも揃わず、実にばかばかしいことでもあった。

しかしながら、このギガビット VLBI を経緯とし、その後の小型望遠鏡 VLBI、多周波広帯域 VLBI など研究の裾野は広がり、自分が去った後にも技術的な成果が出続けているのは嬉しい限りである。

## リアルタイム地球姿勢観測

小山 泰弘

私が鹿島センターに在籍したのは1988年7月から2008年6月までの20年間。最初のころはK3型VLBIシステムによる国際測地VLBI実験が定常的に行われるようになったところで、まだ1時間に1本のテープ交換をするために徹夜の観測当番があった。その後、高密度記録ヘッドを採用して8時間くらいは無人での観測ができるようになり、西太平洋電波干渉計計画のもとでのK4システムの開発、首都圏地殻変動観測計画のもとでのKSPシステムの開発と進んで、急速に観測の自動化が進んでいくことになる。そして、ついに高速ネットワークでのデータ伝送によってリアルタイムVLBIが実現し、観測からデータ解析、結果の公開までを完全に自動化することに成功するに至って、とくに誰もなにもしないでも毎日勝手にアンテナが動いて観測結果が解析されるといふ究極の自動化が完成した。この結果をまとめた論文を出したのが1998年。いまから振り返ると、このときの10年間の技術開発のスピードは驚くべきものだったのではないだろうか。1980年代、国際測地VLBI実験の最初の目的はプレート運動を実測によって検出して、精密にそれをいろんな基線で測定することにあった。その後このような測定は衛星測位システムでも測地VLBIよりも緻密にできるようになり、ともすると測地VLBIの重要性が薄れたとの誤解を与えることになったかもしれない。ところが、いわゆる地球姿勢パラメータ (Earth Rotation Parameters) を全部独立に測定できるのは測地VLBIだけであり、そこでの重要性はいまでもゆるぎのないものとなっている。これは、天球基準座標系が固有運動の極めて小さいクォーサーを基準とする限り続くものである。鹿島のVLBIチームは、このことにいち早く着目してリアルタイム地球姿勢観測の実現をプロジェクトの目標に置いて、それを実証してきた。そして、このコンセプトが国際VLBI事業 (IVS) の新しい計画であるVGOS (VLBI2010 Global

Observing System) へと発展してきていると考えると、鹿島のVLBIチームが世界のVLBIにおける技術開発を牽引してきた一面があると言っているのではないだろうか。個人的にも、このような技術開発の成果をまとめた論文で博士号を取得させていただいたことに心より感謝をしている。

なお、表題のリアルタイム地球姿勢観測以外にも鹿島での研究生活ではいろいろなものに携わらせていただいた。そのうちでも大きかったのは34mアンテナの立ち上げに携われたこと、小惑星Golevkaのバイスタティックレーダー観測を行ったこと、研究本館前のロータリーに日時計のモニュメントを制作したことだろうか。とくに、小惑星の観測は、その功績から小惑星の名前に鹿島の“ka”が入ったので、自分のした仕事が永く残るものとなるものとして感慨深いものがある。心残りなのは、しばらく鹿島での研究から遠ざかってしまったこと。いつの日かまた研究に打ち込みたいと願いつつ…。



2006年に米国のInternet2からIDEA (Internet2 Driving Exemplary Applications) 賞が日米のe-VLBI実験チームに授与されました。受賞者の代表としてヘイスタック観測所のAlan Whitney氏がスピーチをする横で、今は残念ながら故人となってしまった平原氏がNICTを代表して表彰式に出席されました。

## 鹿島34mパラボラアンテナ

川合 栄治

西太平洋電波干渉計用アンテナシステム本土局用大型アンテナ、通称 34m アンテナは 1987 年度に設置された 2015 年で 27 年目を迎える日本で 3 番目に大きいパラボラアンテナである。34m アンテナは VLBI 観測システム、相関処理システム、広帯域受信系等の各種技術開発に使用されてきた。また単鏡観測でも 22GHz 帯での分子雲観測、2GHz 帯での木星観測等に活躍している。

その 34m アンテナは 1987 年度の補正予算による計画から設置、そして設置初期には AZ レールの摩耗、交換等により先輩方が大変なご苦勞をされた後、定期保守も行われるようになり当初より比較的安定してきた頃の 1996 年からアンテナ担当となった。しかし、まだまだ各種のケアが必要な装置である。各作業を開始した中でもクオドリポッドと呼ばれる副反射鏡を支える支柱頂部での作業は恐ろしいものであった。それは、クオドリポッドのはしごを登り切った高さ約 32m の所で水平になるのだが、そこは足元より上には体を支える部分が何もなく、幅 30cm の構造部の上を恐ろしい思いで歩いていたからである。1997 年 9 月の保守で写真のように手すりを取り付け

たので、それからは多少の恐怖はあるものの手すりを支えに安心して歩けるようになった。

宿舎は 34m アンテナの近くにあったため宿舎の南窓から常時監視している状態であった。34m アンテナ天頂時の耐荷重は積もって圧縮された比重 0.5 の雪で厚さ 2.54cm であるが、天頂状態で積雪、氷結すると太陽に向け融雪して早期にアンテナ使用ができないこと、また落水による損傷も考慮して、何度か勤務時間外にもアンテナを傾斜させた。年末の帰省中に降雪予報があった時は小雪の降る大晦日に鹿島へ戻り傾斜させたことも 1 度あった。主反射鏡表面の汚れが目立つようになったため、2008 年 8 月には高圧洗浄機で研究室員が交代で清掃したこともあった。東北地方太平洋沖地震が 2011 年 3 月 11 日（金）14 時 46 分に発生、東日本大震災が起き、鹿島では震度 6 弱を記録した。足場仮設中の鷹らが大きく降りてきたが、幸い事故はなく安堵した。足場にも異常はなく、仮設ではあるが頑丈な物であると感心した。ただし、塗装工事は大幅に工期延長となり、その後点検、復旧工事を経て 2013 年 4 月から復活して、通常観測に使用できるようになった。



手すりが付き安心して登頂できるようになった。



室員が交代で主鏡面の高圧洗浄を実施した。



ロゴが付けられた 34m アンテナ（2014 年 5 月）

# VLBI周波数比較プロジェクト

関戸 衛

時空標準研究室 VLBI グループは第3期中期計画(2011～2016年度)のテーマとして、VLBI周波数比較技術の開発(GALA-Vプロジェクト)を進めています。そのコンセプトは、図1に示すように、小型の

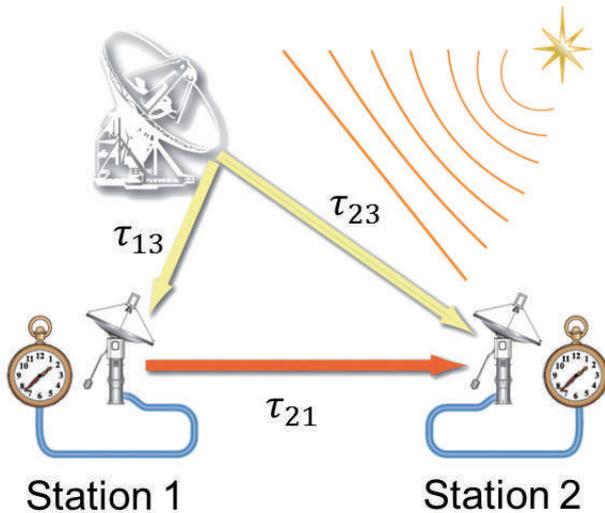


図1 GALA-Vプロジェクト概念図

アンテナを原子時計の開発機関に設置して、遠隔地の原子時計間の周波数差をVLBI観測により比較するというものです。天体の電波を受信する場合、小型のアンテナは集光面積が小さく不利ですが、1GHzの帯域幅を4つ取得する高速データ記録システム(トータル8Gbps)

と大型アンテナとの共同観測によりそれを補完し、原子時計間の周波数比較が可能であることを実証しています。また観測周波数は3.2GHz-14.4GHzの従

来がない極めて広い周波数範囲を対象としており、帯域幅の逆数に比例して遅延計測精度の向上も期待できます。このような広帯域VLBI観測システムは、国際VLBI事業(IVS)が次世代測地VLBIシステムとして進めるVGOS(VLBI2010 Global Observing System)とも共通した技術であり、開発したVLBIシステムは、IVSの国際的なVLBIコミュニティへの技術的・学術的貢献と、世界各国で建設が進んでいるVGOSシステムとの共同観測も視野に入れて開発を進めています。

2014年までに小型アンテナ2局をNICT小金井本部と産業技術総合研究所の計量標準総合センターに設置し(図2)、UTC[NICT]-UTC[NMIJ]の比較を開始しています。広帯域のVLBI観測を34mアンテナで行うためには、焦点位置から副反射鏡の見込み角が小さいカセグレン式光学系の34mアンテナにあわせて、ビーム幅の狭い広帯域フィードを搭載する必要があります。しかし、一般に知られている広帯域フィードは120度程度の広いビーム幅を持つものしかなく、このプロジェクトのために全く新しい3.2-14.4GHzの広い周波数帯域を受信できる広帯域フィード開発する必要がありました。2013年末に試作機1



図2 VLBI周波数比較プロジェクトにおいて広帯域アンテナとして開発している1.6m(産総研)、1.5m(NICT小金井)の小型アンテナと、広帯域フィードを搭載した34mアンテナ

号機を、2015年夏に試作機2号機の広帯域フィードを設計・製作し(担当:氏原氏)、鹿島34mアンテナに搭載しました(図3左写真)。また広い帯域の中から1GHz幅の信号4つを選択して記録する広帯域記録システムには、周波数変換器を使わず電波周波数の信号をそのままA/D変換するダイレクトサンプリング方式を採用しました。この方式は、観測帯域全体をA/D変換したあと、デジタルフィルタによって観測周波数帯域を分けるため、帯域間の遅延が入る余地が少なく、遅延差も安定しているという特徴があります。このため、高精度の遅延を決定するバンド幅合成処理を行う際に、従来のVLBIでは帯域間の位相差を補正するため必要とされていた位相校正信号(P-CAL)を不要とできる可能性があり、現在確認実験を進めています。これが可能となれば、P-CALとそれを更に補正するためのD-CALといった面倒なシステムを省き、受信信号系も簡素化・安定化され、測地VLBIシ

ステムを革新することになります。

測地VLBI観測を定常的に行う国土地理院では、VGOSシステムに対応した新しいアンテナが2014年に石岡に完成し、国内で広帯域VLBI観測が可能な鹿島34m-石岡13m基線が実現しました。我々は新しい広帯域VLBIシステムを両観測局に設置し、6-14GHz(8GHz帯域幅)の信号を一度に取得する世界で初めてのVLBI実験に成功しました。この観測においてバンド幅合成から得られた遅延計測精度は、理論値で約30フェムト秒(60秒積分)を、実測値ではらつきの標準偏差0.6ピコ秒(1秒積分)を達成しました。計測された遅延の変動をプロットすると(図3右)、使用する帯域幅を広げるに従って遅延計測精度が向上し、大気の影響による遅延変動によりとみられる揺らぎが鮮明に捉えられています。小型アンテナを使った観測にもこの広帯域システムを使用し、より精度の高い周波数比較を目指していきます。

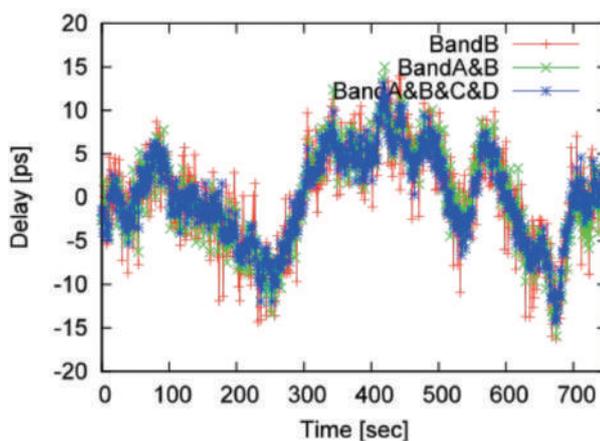
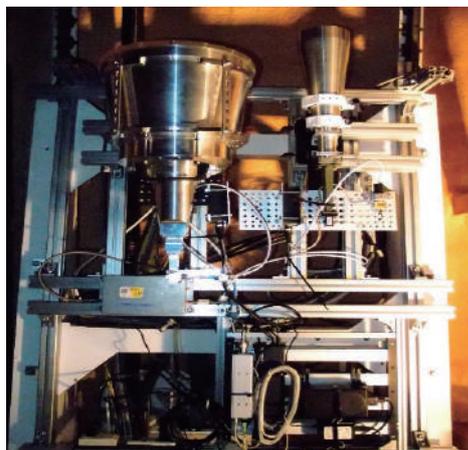


図3(左写真)鹿島34mに搭載した2つの広帯域フィード(IGUANA-H[試作2号機]:6.5-15GHzとNINJA:3.2-14.4GHz)。(右図)鹿島34m-石岡13mのアンテナを使って6-14GHzの周波数でVLBI観測を行い、世界で初めての8GHz幅の広帯域バンド幅合成により求められた遅延の時間変化。異なる線の色はそれぞれ2GHz幅(赤)、4GHz幅(緑)、8GHz幅(青)の信号を合成して求められた遅延を示す。

## 次世代のアンテナ開発

氏原 秀樹

鹿島に来てからは微弱放射の測定の研究や準天頂衛星の運用などいろいろありましたが、ここ数年の私の仕事は34mアンテナを広帯域化するためのフィード・アンテナの開発です。TVに例えると、いままでは周波数の違うUHF、VHF、衛星放送それぞれに違うアンテナが必要だったのが1本で済むような感じ。フィード・アンテナというのはパラボラの焦点に置いて、大きなお皿（主鏡）で集めた電波をこれで拾って受信機に送る要の部品です。最初の広帯域フィードは2013年の年末に搭載され、2本のうち性能の良かったほうが6.5-15GHzで使われています。さらに下限周波数が3.2GHzからの新しいフィードも開発し、2015年の夏に搭載しました。鹿島34mのような大型カセグレンアンテナの広帯域化としては世界で初めてになります。

もともと私はアンテナや電波天文に興味があったわけではなく、学生の頃は物理の実験系、修士では数値シミュレーション、アンテナ開発は博士課程からです。実験系の研究室は力仕事が多く、筋力と体力のある男子に負けてしまうのが難点で、一人でも出来るテーマを探していました。コンピュータの中での「実験」なら私でもできるし、同時並行にいろんな仕事ができる、と思って転向しました。SFが好きで理系へ進んだのですが、研究分野のこだわりはなかったです。自分で観測するよりむしろ自分の開発したアンテナで研究成果を出してくれる人たちを見てるほうが楽しい。SFのなかでは物理法則に忠実なハードSFが好きですが、その中でもロバート・L・フォワードの『竜の卵』って作品が好きでした。中性子星の自転周期（0.2秒が1日）や強大な重力（地球の670億倍）と強い地場、大気組成や地表環境をきっちり現代物理の知識で極力、嘘のない舞台を作り、中性子星上の知的生命体と人類の交流を描くのですが、彼らが人類の文明をすぐに追い抜いてしまうのがおもしろかった。中性子星は灯台のようにパ

ルス上の電波を原子時計のように正確な周期で出しているの、当初は宇宙人の通信かと騒がれたこともありました。鹿島でも34mアンテナを使って観測している人たちがいます。もう一つ、ジェイムズ・ティプトリー Jr.の『たった一つの冴えたやり方』も好きでした。ティプトリーは男性ばかりのSF界で男性風の作風で読者と批評家を長年だまらかしてほくそ笑んでいた(?)尊敬すべき女性。元CIAの職員で、恐らくは作品が不当な評価を受けないための自衛策でしょう。良くも悪くも「女性らしい感性」という言葉が残ってるうちは公正な評価はされないのかもしれないかもしれません。研究者の世界も同じく昔もいまも女性は僅少で、花土さんが室長の時代にエキセントリックなアンテナを作れてよかったですと思います。そういえば地球外の知的生命の通信を探すSETIって計画があります。彼らが通信に使う周波数や通信方式がわからないのが難点ですが、広帯域アンテナなら拾えるかも。ただし第三者の通信内容を漏らすと処罰されるので、もし解読できて内緒にしときます。

(電気通信事業法第4条、第179条、有線電気通信法第9条、第14条、電波法第59条、第109条のそれぞれに罰則があり、宇宙人といえども「通信の秘密」は保護されている…はずです…)



2010年一般公開の打ち上げ  
この年はペットボトルロケットが盛況でした。

## 鹿島の天象地象集

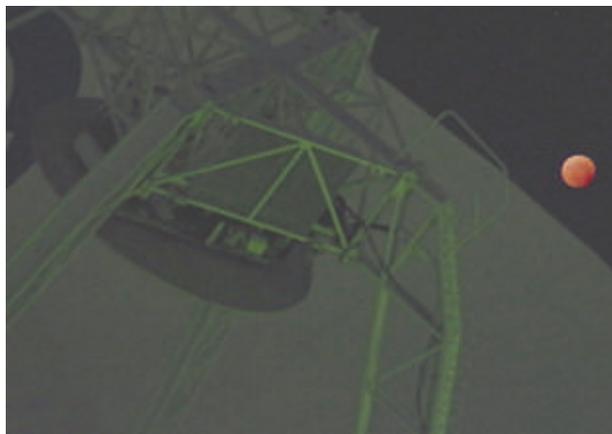
撮影：氏原 秀樹



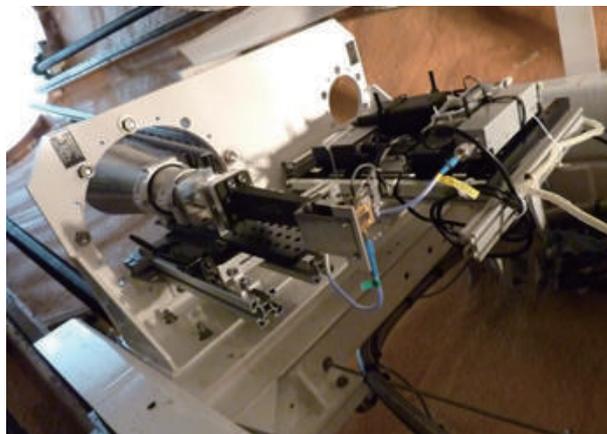
2012/2/18 未明 雪まみれのアンテナ群



内緒のお仕事でライトアップ



34m アンテナ副鏡と皆既月食



34m 用広帯域フィード試作1号機



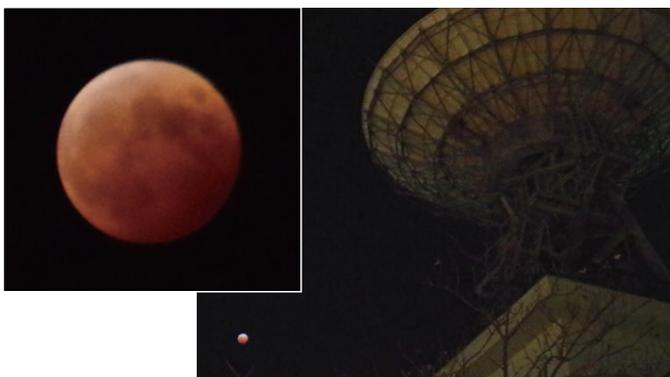
2011/3/11 東日本大震災



日頃は綺麗な部屋が…



2012/6/6 21世紀最後の金星の太陽面通過  
鹿島は曇りだったので、雲の間から  
右下の丸い影が金星



2014/10/8 皆既月食 13m アンテナ↑と 34m アンテナ→

