

3. 1 K-3の歴史と概要

(米国 Mark-III と互換性を持つ超高精度 VLBI システム:K-3 の開発)

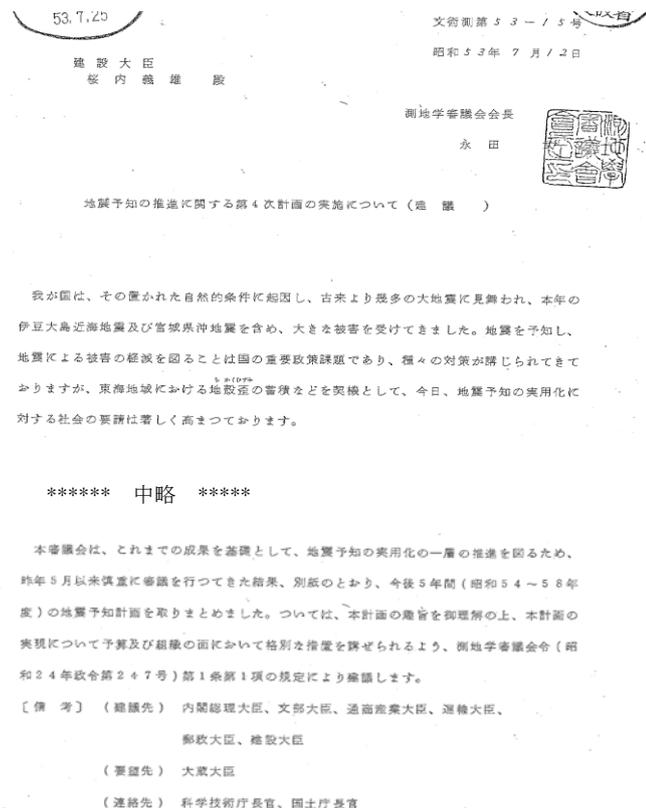
河野宣之

K-3 の開発は 1979 年に予算化され、当初、日本独自の超高精度システムの開発を目標にスタートしました。ところがその直後、日米両国が協力して国際 VLBI 実験の実施を掲げた日米科学技術協力協定が結ばれました。この実験に使用できる装置にするため、大幅な仕様や予算計画の変更を経て、日米の研究者の協力による日本のシステムの開発が行われました。第 3 部では K-3 のシステム開発までが記述されます。K-3 システムを利用した日米実験によるプレート運動の実証や日米実験以外の各種実験については第 4 部で述べられます。

3.1.1 第 4 次地震予知計画の建議が日本の超高精度 VLBI システムの開発を可能にした

1977 年 1 月の VLBI 国内基礎実験の成功後、第 3 宇宙通信研究室（以後 3 研）は ECS 計画に参加して K-2 システムの開発に専念していました。その開発も 2 年目を迎え、高精度 VLBI システムの壁である 10 分の数ナノ秒の精度に対して見通しが立ってきた 1978 年 7 月、文部大臣の諮問機関である測地学審議会から「第 4 次地震予知 5 カ年計画」の建議 (1.1 図) が提出されました。この中で、宇宙技術を含め、測地測量の基礎技術の研究の進展を図ることが指摘 (1.2 図) されました。そして、建議先に新たに郵政大臣が付け加えられたのです。郵政省はこれを受けて、電波研究所の概算要求に「超高精度電波干渉計システムの開発研究」を加え、予算化して 1979 年度から K-3 の開発研究が開始されることになりました。このことについては K-2 の開発中であり、第 2 部の 8) でも述べられています。

1972 年から始まった鹿島支所の 4 人の研究者（川尻、橋本、尾嶋、河野さん）による勉強会から 7 年後、年中行事にもなった VLBI システム開発の大蔵予算要求はようやく日の目を見ることになりました。このころ 3 研に対して「苦節 10 年」という言葉がよく言われていました。良い意味に取れば、「長い間苦勞して勝ち取った予算なので成功を期待します」、ですが、悪い意味に取ると、“こ



1.1 図 測地学審議会の第 4 次地震予知 5 カ年計画 (建議)

んな長い間成果を出さず、他人のふんどしで相撲を取ってきた、今後、成果を出す実力があるのか不安だ”とも取ることができます。しかし、やっている3研にしてみると、野球でたまたまバットを出してホームラン打ったのとは違って、しっかり勉強し、国内で基礎実験をやり、ECS 衛星計画の中でも成果が出せるレベルに達した上での予算獲得でした。予算額は衛星計画には遥かに劣りますが、将来性では負けない可能性を秘めており、飛ぶ鳥を落とす勢いの衛星計画と張り合える多少の自信（過信？）は持っていました。このように、日本の本格的な高精度 VLBI システムの開発を真の意味で後押ししたのはこの建議であり、日本の VLBI 開発において最大の出来事(第2部8)と9)を参照してください)であったことは間違いありません。開発のための力量も K-1、K-2 の開発を通して次第に培われていました。

建議が出されて約2ヵ月後の1978年9月11日に東京新聞に記事が掲載されました。“星から来る電波を観測して地震を予知しよう—という風変わりな計画が進んでいる。郵政省電波研究所が来年度から5カ年計画で研究に取り

組み、実用化をめざしているもので、地震予知ばかりでなく、世界の大陸が大昔から現在に至るまでに移動しているという「大陸移動説」や「海洋底拡大説」を実証することにも役立ち、成果が期待されている“。今から考えると予算の大筋がまとまるのは年末なのに9月はチョット早すぎる気もしますが、このときには郵政省が既に次年度の大蔵予算で確保すると決断していたと思われます。米国はこの予算化にすぐに対応しました。1978年末、日本で開催された「日米合同調査計画の宇宙分野における日米専門家会議」での議論がスタートしています。米国の計画に日本を取り込もうというのでしょうか、2)で述べるように会議は難航しました。

3.1.2 日本の VLBI の方向を決めた日米実験用 K-3 システムの開発計画

次年度から「超高精度 VLBI 技術の開発研究」が認められる見通しになった1978年末に「日米合同調査計画の宇宙分野における日米専門家会議」で VLBI における日米協力の議論がなされました。米国にとっては、自国で開発し、ほぼ完成している Mark-III システムを持ち込めば、最も簡単に、目的である日本を含む国際 VLBI 網を手に入れることができることは明白です。しかし、日本にとって2号機である K-2 の目標達成の見通しが立ってきて、本番の K-3 の予算化がなされる状況で、Mark-III の導入は受け入れがたいことでした。この会議には前衛星研究部長であった村主特別研究官と川尻3研究室長が参加しました。なかなか折り合いがつかず、結局、半年以上経った1979年6月の3回目の会合で米国 Mark-III システムと“互換性のあるシステム”を電波研が開発することになったのです。

このときは、3号機である本格的な K-3 システムの開発5カ年計画が既にスタートしていた時期であり、また3ヵ月後(9月)には K-2 システムの本格運用が開始される時期で

Ⅱ 計画の内容

1. 長期予知に有効な観測研究の充実強化

**** 中略 ****

(7) 長期的予知のため開発を行う技術

人工衛星や電波星を利用して長距離基線を高精度で測量する技術が各国で開発されつつある。将来、この技術が確立されれば広域地殻変動の観測は飛躍的進歩を遂げることになる。この方面の技術を、地震予知の立場から推進しようとする試みが国際的に提案されている。このような世界的な予知を踏まえ、電波研究所、国土地理院、海上保安庁水路部、国立防災科学技術センター、計量研究所等は、上記の宇宙技術を含め測地測量の基礎技術の研究を一般と進展させる。

**** 以下略 ****

1.2 図 建議の中の“計画の内容”の抜粋

もあり、さらに VLBI システム開発本部が発足する 4 ヶ月前でした。このような時期に日本が超高精度システムの開発を急遽取りやめることはありえず、一方米国は前に述べたように近い将来グローバルな VLBI 観測網を展開する計画は譲れない。このような状況を考えると、日米両国が受け入れられる解は他には見当たらなかった、というのが真相でしょう。

サー、大変です。スタートしたばかりの 5 カ年計画を 1 年も経たないうちに大変更しなければなりません。それも、どういうものかはっきり分からない外国システムと互換性を持たせたシステムを開発すると言うのですから。以下に「宇宙分野における日米専門家会議」に出席した川尻室長と 1 年目にして計画の大変更を余儀なくされた佐分利 VLBI システム開発本部（3）で説明します）本部長の回顧録を記しておきます。

“その後（国内 VLBI 基礎実験の後：河野注）、次世代システムとして、・・・実時間相関システム（K-2 と後に命名）を開発する一方、昭和 53 年末（1978 年末）「日米合同調査計画」の話がスタートすることになります。・・・。上記計画に基づく日米 VLBI 実験の申し込みは黒船来航にも似て電波研側の態度を決めかねさせるに十分なものでした。まがりなりにも電波研側で VLBI システムを開発した後だったので、どのような形で協力関係を結ぶかについては色々と議論のあるところでした。結局 3 回目（1979 年 6 月）の会合で村主特別研究官（当時）による米国側との打ち合わせの結果、電波研は米国側開発の MARK-III VLBI システムと“Compatible”なシステムを 5 年間（昭和 54 年～58 年）で完成させる・・・。”
（川尻：パラボラと共に）

“最初は測地学審議会「第 4 次地震予知計画」建議を根拠に基礎技術開発の内容で 1979 年に予算化され、次年度（1980 年度）には NASA との国際共同プロジェクトへの計画改訂を何とか認めてもらったが、予算額は極めて厳しいものであった。・・・」（佐分利：電波研・通信総研の思い出集）

上に述べたような 1978 年から 1980 年にかけての 3 年間の動きが日本の VLBI の方向を決めたといっても過言ではないでしょう。長年の悲願であった予算化が達成され、当初、基礎技術開発に位置づけられていた K-3 の開発の方針は、Mark-III と同等の機能・性能を持ち、互換性を持つシステム開発の方針に大きくレベルアップされました。このような変更は日本にとって得策だったのでしょうか、評価してみる必要があります。

すでに述べましたが、米国の圧力があつたにせよ、Mark-III の導入は受け入れがたいことでした。しかし、日本が独自の高精度システムをたとえ開発しても、K-3 を世界に展開するには、当時、電波研の開発グループの実力はまだまだ不足していたと思われます。一方、「本当に超高精度システムの開発をやり通せるか」の不安に対しては、K-2 の開発で高精度 VLBI システム開発には少しの自信と開発グループである 3 研の電波研における存在感が後押ししてくれたと思われます。結果論ですが、開発期間であった 5 年で NASA からの資料と議論で我々の技術レベルは格段に上がりました。またその性能ばかりでなく機能や使いやすさは十年以上の経験を基にしており、とても歯が立たないほど優れていたと思います。もう一点、考慮しなければならないことがあります。すなはち、米国・NASA の外圧です。当初の予算額は 5 カ年で 5 億円あまりでしたが（6）で詳しく説明します）、日米実験に使用するための互換性を持たせるための追加要求は決して小さくは（ほぼ倍増）ありませんでした。また、開発後のグローバルな観測計画のための予算化も大蔵への説明に大変な苦勞がありました、かなりの部分が受け入れられました。

振り返ってみれば、かなり危ない橋を渡ってきたように思えます。K-2 システムの開発がなく、あるいは K-3 システム開発のスタートがもう 1 年遅れて、また、日本の実績がありあわせの装置の K-1 の成功だけであつたら、僅か 6 人のメンバーで Mark-III と同等のシステム開発の勇気が持てたかどうか、Mark-III の導入がありえたのではないかと。そして、もし Mark-III を導入していたら、その後の日本での VLBI 技術の大きな発展はなかったのではないのでしょうか。当時の建議を作成された方々、郵政省の方や電波研の幹部の先見の明に新ためて敬服の念を抱く次第です。

尚、K-3 と Mark-III システムを用いた実験の実施については、1980 年 2 月、ワシントンにある米国国務省及び NASA 本部で非エネルギー分野における日米科学技術協力に関する議論がなされました。郵政省を代表して田尾電波研所長が出席し、日米実験の合意がなされ、55 年 5 月 1 日協定が締結されました。この協定に基づき、1983 年から日本（電波研究所）と米国（航空宇宙局）との間で VLBI 実験によりプレート運動などを調べることが合意されました。これを報道する記事が電波タイムスの 1980 年 5 月 9 日に掲載されました。

3.1.3 日米実験用 K-3 システムの開発は社会や関係機関へ大きな反響を呼ぶ

国内実験が報道された後、VLBI に関する記事は少なく、1978 年 7 月に第 4 次地震予知計画の建議を根拠に、郵政省が VLBI システム開発の予算化に動き出してから、ぼつぼつと新聞などで報じられていました。ところが、日米協力による実験が計画されてから、社会的な注目度が急激に上がりました。新聞や放送だけでなく、色んな雑誌にも取り上げられるようになりました。例えば、毎日新聞などが 1980 年 2 月 18 日前後に日米実験計画を報じました。

当初計画の K-3 システムは米国システムと肩を並べる超高精度を目標にし、プレート運動や広域地殻変動の測定などに利用できるものとしていました。使いやすさや機能の面で大きな差があったものの、性能の面では日米実験のための仕様変更後も大きな変化はなく、また応用や成果についても新たに加わったことはありません。にも拘わらず、日米実験計画が公表された途端に、社会的に大きな反響を呼び始めたことは、熟考に値します。いくつかの原因は考えられます。まず、“日本の装置が国際実験に参加し、殆どの国民が知っている大陸移動説やプレート運動を国際協力で実証する”、という夢のような話、これに加えて、“数十億光年より遠い星の電波を受信して日米間の距離を数 cm で求める、というちょっとやそつとでは想像できない、奇妙・キテレツな装置を使う実験”、が多くの人々の関心を呼んだと考えられます。前者は当初の K-3 の開発計画と変化はないので、前者と後者の相乗効果が生んだ反響と考えるべきでしょう。

プロジェクトを展開する際に、社会的反響は予算獲得など、プロジェクトの実現や成功に深く関わります。特に科学プロジェクトには子供たちだけでなく大人も耳を傾けて関心を持つような目的、あるいは夢と結びつけることが強調されるべきでしょう。

このころ、測地や位置天文分野での新技術の議論も活発になっていました。国土地理院は 1981 年に VLBI 開発プロジェクトチームを発足させ、近い将来、測地網の規制に VLBI 技術を利用する計画を明確にし、また、超高精度 VLBI システム完成後には国内の VLBI による測地観測に関する協力をする、との覚書を電波研究所と交換しました（詳細については 3.22 を参照してください）。

3.1.4 VLBI システム研究開発推進本部発足

K-3 を開発する 3 研を取り巻く当時の鹿島支所の状況はどうだったのでしょうか、4.1 表にこの頃の VLBI と宇宙通信の関連事項を年表にまとめて示します。CS と BS の通信実験が 1978 年に始まり、1979 年に ECS-a が静止衛星軌道投入に失敗はありましたが、ETS-II を使った伝播実験で衛星計画は最も華やかな時期でした。これらの衛星計画に加え、VLBI システム K-3 の開発も徐々に本格化していき、予算化に続き、組織の強化が図られました。

	VLBI	宇宙通信など
1977	01月:国内基礎実験 10月:3研発足 位相シンチレーション実験はECS実験計画に参加承認	2月:技術試験衛星II(ETS-II)きく2号打ち上げ ECS実験計画概念書承認、12月CS打ち上げ ECS地上局設備(4)+レーダ(2)整備開始、10月:新1研
1978	7月:測地学審議会第4次地震予知5ヵ年計画 12月日米合同調査計画スタート日米実験話題に上る	ETS-II成果発表、4月BS打ち上げ CS,BS通信実験・運用完成開始
1979	4月:VLBI技術開発5ヵ年計画(K-3)開始(5) 6月:日米合同調査専門家会議VLBIの日米実験使用 10月:VLBIシステム研究開発推進本部発足 12月:	2月: ECS-a 失敗
1980	1月:川尻室長米国でK-3&Mark-III互換性を調査 2月:非エネルギー分野における日米科学技術協力第2回会合(田尾所長)@ワシントン、5月締結 6月:K-2成果発表、ヘイスタック訪問K-3&Mark-III互換性の調査	地上施設を利用した伝播実験 2月:ECS-b失敗、ミリ波衛星通信実験開始 6月 BSのTV中継器故障
1981	5月:NASA一行鹿島へ(K-3&Mark-III互換性) 12月VLBI実験庁舎完成	
1982	5月 上海天文台 叶、銭氏来所、日中VLBI実験希望 11月K-3のMark-IIIとの適合性試験成功	1月 BS放送実験・運用完成終了
1983	11月日米システム互換性確認実験成功	2月 CS-2a打ち上げ、ISS-b電離層観測終了 12月 18mアンテナにS&Lバンド受信機能追加
1984	1月第1回日米システムレベル実験成功 2月第2回日米システムレベル実験成功 6月 ΔVLBI法により精密軌道決定 7月国際VLBI実験開始日米間の距離を2cmの精度 10月 VLBIによる日米時刻同期実験	10月 スペースシャトル合成開講レーダー実験
1985	9月 日中VLBI実験開始 11月 日米VLBI実験解析プレート運動の実証	1月ETS-V/EMSS海岸・開発センター設置 9月DE-1テレメトリ受信開始 11月CS静止軌道外へ

4.1 表 K-3 の開発スタートのころの VLBI と宇宙通信関連の実施項目

このような状況は鹿島支所に留まらず電波研究所全体が対応しなければ、5 つもの大・中のプロジェクトを遂行できない事態になっていました。そこで、電波研究所の研究目標を新たに各研究部に対応させて 5 つの柱が立てられました。その中の 1 つとして、周波数標準部の“周波数標準に関する研究”が定められ、世界規模の時刻比較などが研究目標に掲げられました。これに加えて、VLBI は将来の大きなプロジェクトになることが期待されるとして、周波数標準部の研究項目に K-3 システムの一部である水素メーザ原子周波数標準の開発が組み込まれました。このような経緯があつて、本部長は K-1 や K-2 の開発で原子周波数標準や時刻比較を指導してきた佐分利周波数標準部長、K-3 で欠かすことのできない水素メーザ周波数標準を開発してきた同部の小林室長が副本部長、現場の鹿島の川尻 3 研室長が主幹となってプロジェクトを引っ張っていくことになりました。わずか 6 人の鹿島 3 研もプロジェクトに対応できるよう、状況が大きく変わりつつありました。川尻室長は対外関係や本部とのやり取りで手一杯になり、河野さんはこの年からお金の計算と

各部装置（サブシステム）の製作が遅滞なくできるようケアすることが本職（最初は飲み会を企画する役も分担しましたが、その後飲み会の回数が多くなり輪番制にした）になりました。一応、高橋富士信さんが解析ソフト関係、吉野さんがバックエンド、新しく入った川口さんがフロントエンドの担当、小池さんが ECS 計画の一部分担と原子周波数標準の開発で周波数標準部との橋渡しになったのですが、実のところ全てを全員が担当するようなものでした。

本部の最初の仕事は日本独自のシステムから Mark-III システムと互換性を持つシステムの開発への計画変更を大蔵省に説明、納得してもらって予算を増やすことでした。しかし予算増は困難を極めました。これについては 3.6 で述べます。本部の苦労はほんの始まりで、その後、鹿島から、予算増の合唱・人員増・分担の改変など次々に出される要求に対応する苦しい毎日が 4 年間続きました。

3.1.5 米国システムとの互換性は不平等条約であったか？

日本は米国のシステム Mark-III と互換性のあるシステムを開発することになりましたが、互換性とはどういうことでしょうか。簡単に言うと、2 つの異なる装置を取り換えても同じ動作をするとき、2 つの装置は互換性があるといえます。K-3 は 10 以上の装置で構成されているので、装置によって多少異なりますが、基本的にはそれぞれの装置が取り換え可能でないと完全な互換性があるとはいえません。チョット長くなりますがもう少し具体的に言うと、日米それぞれ開発したシステムを使って観測するが、それぞれが観測データを同じフォーマットで同じ内容を記録し、テープを相互に送りあって記録データを再生でき、相関処理・解析を行って遅延などの量から距離など推定でき、結果も一致するハードウェアとソフトウェア、ということになります。数億円もする 2 式 1 組の VLBI 装置のハードと処理解析ソフトウェア両方に渡って外国が作ったものと互換性のある装置を作ることがいかに困難であるか、だれにも分かってもらえると思います。米国が“アメリカの作ったシステムと同じものを作れるものなら自分で作ってみなさい、必要な情報はあげます、但し 1984 年予定の日米共同実験で使用できなければなりませんよ、自分で作れなければその金で米国システムを買いなさい”といっているのと同じことだ、と思いたくもなります。おそらく、米国も日本がそのうち音を上げて、購入に変更するという予想がなかったとはいえないでしょう。(2 年後の 1982 年 5 月、互換性を主要なテーマにして NASA チーム 10 人と 3 研メンバーが鹿島支所で議論しました。このとき、互換性の影響が大きい装置の担当者が「Mark-III を受け入れればこんな無駄な議論はしなくて済むのに」との発言があったことを付け加えておきます)。

どうしてこのような不平等条約とも思える取り決めに合意したのでしょうか。2)で少し述べましたが、重要なことなのでもう少し詳しく述べます。最初に、この取り決めで、米国と日本それぞれのメリットとデメリットを明確にしておきましょう。米国にとっては、「自国で開発した装置と“同じもの”を日本のお金で作ってくれ、予定通りのスケジュールで日本を国際観測網の中に入れて米国主導にすれば大きなメリットが期待できる」と考えたことははっきりしています。もちろん、米国製を買ってくれるともっとよいと考えていることは明らかです。デメリットとしては 10 年の経験の差がある技術力を日本に提供しなければならないことでしょう。しかし学術研究の装置開発では商品の開発とは異なり、開発後に大量生産で大きな利益を生むものではなく、むしろ開発後の例えば世界観測網運

用の負担を両者で持つことになって軽減でき、逆にメリットと考えられ、NASA はむしろ後者を期待していたと考えられます。(また実際に 1988 年からこれを国際地球回転サービス事業 (IERS) に発展させていきました。)

一方、日本は VLBI の経験で 10 年近く経験の差があり、米国の技術習得は世界のトップレベルへ達するには不可欠であり、また日本が国際観測に乗り出すには NASA の外交手腕は有効であろう、と考えたのです。このようなメリットがある一方、デメリットとしては米国システム購入と較べると数倍の費用と約二十人の多分野の研究・技術者が 5 年以上をかけなければならないことでしょう。しかし、前者のメリットが後者のデメリットを遥かにしのぐことは 1990 年以降に日本が VLBI 技術の応用として K-3 開発後に 4 つの世界トップレベルの研究プロジェクト(K-4 と KSP の開発と日本周辺広域地殻変動の測定、VSOP による宇宙 VLBI、VERA による天の川銀河の地図作り、SELENE による月の測地学)を実施・成功させたことでも明らかです。また、これらの成果は日本の科学者だけのものでなく、世界の科学者に提供され、研究に利用されました。VLBI 分野における国際協力は、この日米の協力が発端になったことも記しておきます。

互換性をどう実現させたか、K-3 が完成する 1983 年までの経過のあらましをまとめて述べておきましょう。1979 年 6 月の専門家会議で合意されてからすぐに、互換性の項目と内容(5.1 表)、そしてそれをどう実現するか、文献調査から始められました。まず、米国 NASA

本部 GSFC から Mark-III システムマニュアルが送られてきて、この資料から主要な機能・性能を明確にすることでした。これと並行して、1980 年 1 月に川尻室長が、1980 年 6 月には河野主任研究官が NASA を始めとする米国関連機関からいろんな技術資料を集め、互換性の項目の確認を行ってきました。技術資料については 1980 年 7 月に GSFC から Mark-III Documentation という米国システム全体を詳しく説明した資料の改訂版が届き、これを完全に理解することが互換性を持った超高精度 VLBI システムの開発の第一歩と考え、各装置の担当者が分担して当りました。開発後にはそれぞれが互換性を持つかどうかのテストは吉野さんや杉本さんが米国に行ってテストしました。また NASA とのやり取りをスムーズにしたのは、高橋富士信さんが NASA・GSFC に 1982 年から 1 年間在外研究員と滞在したことでした。日本側にとっては NASA の技術的な情報がどんどん入ってくるし、質問や Mark-III について理解不可能なことを高橋さん経由で NASA に気軽に質問できる。逆に、NASA にとっては日本の進捗状況が手に取るように見えます。このように、高橋富士信さんは日米間の橋渡しとして役割をはたしました。

互換性の項目	内容
1. 観測モード	観測モードの指定、観測モードの切り替え、観測モードの保持、観測モードのリセット
2. 観測時間	観測時間の指定、観測時間の延長、観測時間の短縮、観測時間のキャンセル
3. 観測位置	観測位置の指定、観測位置の変更、観測位置の保持、観測位置のリセット
4. 観測速度	観測速度の指定、観測速度の変更、観測速度の保持、観測速度のリセット
5. 観測精度	観測精度の指定、観測精度の変更、観測精度の保持、観測精度のリセット
6. 観測エラー	観測エラーの検出、観測エラーの報告、観測エラーの修正、観測エラーのキャンセル
7. 観測データ	観測データの取得、観測データの保存、観測データの削除、観測データの検索
8. 観測ログ	観測ログの取得、観測ログの保存、観測ログの削除、観測ログの検索
9. 観測制御	観測制御の取得、観測制御の保存、観測制御の削除、観測制御の検索
10. 観測監視	観測監視の取得、観測監視の保存、観測監視の削除、観測監視の検索

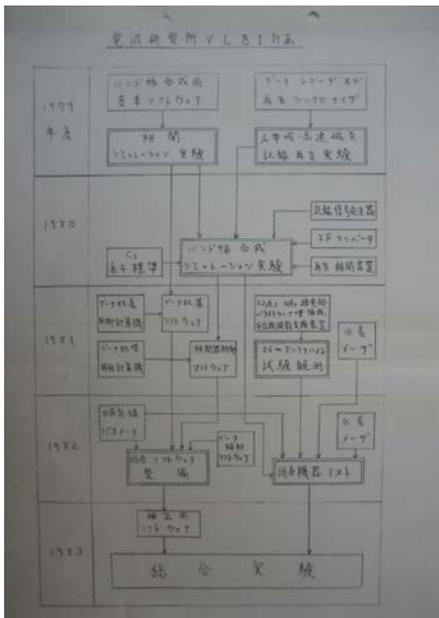
5.1 表 米国システム Mark-III との互換性の項目

であると、自分なりに納得しました。しかし、収穫は当面何もなく、鹿島のスタッフのみんに、明日どう説明しようかと考え込んだまま、列車は鹿島についてしまいました。ひょっとして、「本部長はスタッフへの説明を私にさせようとしたのかなあ・・・」。結論から言うと、増額はかなり認められました。大蔵省の主査も当初の計画から突然2倍以上を要求され、更に毎年毎年、増額要求では頭に来るのも、後から思えばある程度理解できます。また大蔵省の職員が皆、上記のような人ばかりでなく、極めて特別な例であったことも述べておきます。

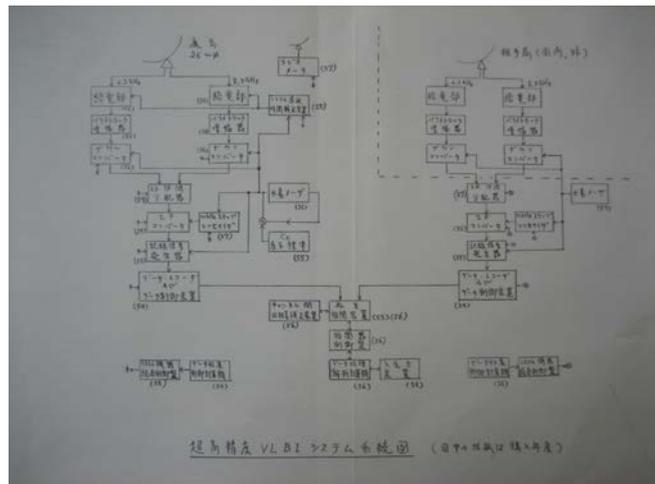
3.1.7 どの装置から開発するか：開発スケジュールの検討

多数の装置からなる大きなシステムの開発に当っては、どのような順序で開発していくかはその成否を左右する重要なポイントです。予算は各年度に、ある程度分散させ、機能・性能テストをするために製作・完成させる順序を明確にしなければなりません。また、K-3システムの特徴である米国システムとの互換性を持たせ、研究・技術者の構成を考慮しつつ、K-1やK-2で経験していない装置の開発に時間を要すると考えられるものを早く手懸けしなければなりません。考慮すべきファクターが多く、実際には大変難しい課題です。そこで、最も重視すべき2点、つまり米国システムとの互換性、K-1やK-2の開発で経験していないため開発に時間を要すると予想されるものに重点を置いて、スケジュールを組み、これに他の考慮すべき点を加えてゆくことにしました。解決できそうにない問題が生じると、一旦戻って考え直すという方法を基本に、各担当のメンバーが議論に議論を重ね開発スケジュールを組み上げました。

互換性を持たせる装置として最も重要で、K-2でも開発しておらず、時間がかかりそうなのは、全員、データレコーダーで一致しました。数十Mbpsの当時日本では最高速のデータを記録する装置であり、このデータが記録された磁気テープが日米で交換され、処理・解析されて例えば日米間の距離が求められるのですから、技術面と互換性の両方の面で重



7.1 図 テスト・スケジュール



7.2 図 K-3 システムのブロック図と構成する装置の開発年度 (吉野氏編)

要であり、問題なく最初に手をつけるべき装置でした。初年度の1979年から早速、開発に着手しました。この装置が完成すれば、米国で記録されたデータを再生したり、記録内容やフォーマットが一致しているか、などの互換性にきわめて重要な多くの項目がチェックできます。次にテストデータでもよいので日本で記録したデータを米国で再生テストをする。その次は米国データを処理して見るために、関連器の開発と言った具合に開発順序が決められて行きます。そして、これを遂行するための研究・技術者の確保ができるか、テストをするための米国出張計画など、次々にスケジュールに組み込まれて、全体スケジュールとして可能か議論されました。最終的に決められた装置テストのスケジュールと K-3 システム構成と開発年度を 7.1 図と 7.2 図に示します。

3.1.8 製作を統括する会社がない：サブシステムごとに約 10 社と契約

K-3 システムの開発はスタートしたものの、当初から大変大きな問題を抱えていました。それはシステムの統括を 1 社も引き受けてくれるところがなかったのです。K-3 システムのような多数の装置（サブシステム）からなる複合装置を作るとき、一般にひとつの装置は独立したものでなく他のいくつかの装置から信号を入力したり、逆に他の装置へ信号を出力します。これらの信号のやり取りは電圧、波形とか信号の内容（インターフェースを取る）に齟齬があるとたちまち全体としては動作しなくなります。この理由から多くの場合、1 社（主契約者）が全体をまとめ、調整する役割を引き受けます。ところがその役割をしてくれる会社がないのです。電波研究所も面子があるので幹部がいろんな会社に頼みに行きましたが、結局ダメでした。引き受けてくれない理由は明らかでした。先ず①予算が少なすぎて会社側はインターフェースを調整する人を確保できない、②装置が 10 種以上に別れ、しかもいずれも特殊で高度な技術を必要とし、1 装置だけでも多くの技術者と費用が必要なのに、10 以上の装置をカバーすることは負担が大きすぎる、③開発した後、大量に売れる装置でない（私たちはこのような装置を一品料理といいます）ので赤字で開発したら永久に採算がとれない、です。結局、主契約会社なしで製作する以外なくなりました。10 を越える装置についてそれぞれ競争入札で一番安い会社が製作し、装置間のインターフェースは全て電波研の研究者がやる、という大型装置としては前代未聞の開発方法になってしまいました。このことは、極端に言えば、ピン 1 本に至るまで正確に 3 研のスタッフが把握しなければならないという覚悟を初めにしなければなりませんでした。

サブシステムごとに契約を行うため、2 年目の 1980 年頃は、実際には検討した順序通りに開発・契約が進まず、一部暗礁に乗り上げつつありました。そこで 1981 年に本部の強化がなされ、副本部長は川尻さん、主幹は吉村さんに交代しました。会社との契約は吉村主幹が先頭になって強力に進め、1、2 年で概ね予定の開発スケジュールに載せることができました。契約した会社は驚くなかれ、10 社を超えました。但し、アンテナで受信した信号を磁気テープ装置で記録できる信号にするまでの複数の装置（バックエンド）だけはまとめて（株）アンリツが引き受けてくれました。このような協力がなければ 3 研のスタッフの頭はパンクしていたかもしれません。

3.1.9 急激な増員

K-3 システム開発は米国システムと互換性を持ち、期日までしっかり完成させる、などの国際的な責任を負っていました。またほんの一部を除いてどの装置も国内ではこれまで

経験したことのない高度な技術を駆使しているため、研究・技術者の増員は緊急且つ不可欠になっていました。

このようなシステム全体を構成する装置（サブシステム）が高度な技術を要し、且つ大規模な場合の製作について既に述べましたが、設計する研究・技術者サイドについても、いくつかのサブシステムを取りまとめる役とシステム全体をまとめる役は必ず必要です。また担当者が1名の場合、個人の思い込みや見落としがありうるので、2つ以上を担当する人もいましたが、それぞれのサブシステムには2名以上が担当しました。例えば、プログラムを組んでいるときバグに遭遇しないことは先ずありえません。すぐ原因を発見して修正し、解決するのですが、時々どうしても自分でその原因を発見できないことがよくあります。ほとんどの場合、その人の思い込みが邪魔をしています。もし2人で担当していたらもう一人の人が間違った思い込みを発見できる場合が多いのです。およそ10のサブシステムがあるので、重複して担当する人もいますが、取りまとめ役を入れると20人以上必要になります。このため、鹿島支所の3研のほかに、本所の周波数標準部の1研究室に主要なサブシステムの一つである水素メーザ原子周波数標準の開発を担当してもらうなど、所内での開発体制の工夫と努力がなされました。しかし、K-3の開発で認められた増員はわずか1名でした。上記の水素メーザ原子周波数標準の開発を除いて1名の増員で大きなシステムを開発することは到底不可能なことでした。一方、国立の機関は総定員法という法律で人数が規定されています。従って一時的に大変だからといって職員を増やすことは困難です。VLBIグループはこの難題をどう解決したのでしょうか。

プロジェクトなどの短期あるいは中期的な増員は研究所内で研究テーマを変更して研究室を移動、あるいは退職による補充のための新人を割り当てるなどの“大鉈を振る”わざを得なかったのです。このような要員の確保の仕方は衛星計画の開始とともに既に実行されていました。その頃、4.1表にも示すように、ECS-aとECS-bの静止軌道投入失敗、BS中継機の故障があり、また当時の実験は2、3年後に終了予定で、1980年頃から衛星計画が少し下火になりつつあったため、上記のような対応によるVLBI開発要員の増加は幸い大問題にはなりませんでした。

しかし、人数を揃えれば新しい装置が開発できるわけではなく、それぞれの装置の開発ごとに異なる専門分野の人が必要になります。また、研究者にとって長年続けてきたテーマの変更は一生の問題です。電波研では公式に進路調査をやっていましたが、K-3開発に必要な10人もの人がこれまでの研究テーマを変更して参加することは当然ありませんでした。そこで個別に、よく言えば研究室の移動の希望を聞く、悪く言えば自分のプロジェクトに誘う（当時、このような誘いは「一本釣り」と言われていました）ことが衛星計画などで公然と行われていました。VLBIについても衛星計画と変わりはありませんでした。少し遡りますが、K-1、K-2も含めたVLBIシステム開発全期間の3研の研究・技術者の推移を9.1表に示します。1976年にK-1開発からK-3開発が本格化する1979年まで5~7名でほとんど変わらず、日米実験が決定した1980年に1名増、開発が本格化した1981年4名増、開発に加えて互換性などのテストが始まった1982年に5名が増員になっています。少し違った見方をすると、合計10名もの増員は電波研究所がいかにかVLBIシステム開発に重要性を認め、力を注いだかこの表から明らかでしょう。また、研究所内を説得し増員を指揮した本部長をはじめとする本部の努力に敬服せざるをえません。

年	1975	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
室員数	5	7	7	6	6	7	11	16	16	16	18
備考	K-1 開発 → K-2 開発 → K-3 開発 →										

9.1 表 3 研の室員数の変遷

3.1.10 VLBI 実験庁舎完成

1981 年度に入り、K-3 システムの一部が納入され始めました。26m アンテナ庁舎は ECS-b の失敗はありましたが、ECS 地上施設を使った伝搬実験は継続されており、その後もミリ波通信技術の開発は継続される予定でした。このため、向う 3 年間に K-3 システムが納入されると、26m アンテナ庁舎の一部を陣取って実験を行うには手狭になっていました。また水素メーザ原子周波数標準は厳しい温度管理と無停電化が必要なため、これらを完備した VLBI 用に実験庁舎を建てることになりました。一方、前年まで、26m アンテナは ECS 伝搬実験の 4GHz 帯実験に使用されていました。K-2 の実験もこの中に入っていました。日米実験の実施予定が決まり、宇宙通信の周波数帯 4GHz と 6GHz から 2GHz と 8GHz 帯に周波数変更して、VLBI 専用に利用する予定になりました。このため、26m アンテナへの制御信号を送ったり、逆にアンテナからの受信信号などを受け取るにはできるだけアンテナに近いほうが便利です。そこで



10.1 図 VLBI 実験庁舎（右下）と 26m アンテナ

26m アンテナに近い西側（10.1 図）に建設することになりました。アンテナ・フロントエンド以外の関連装置は全てこの VLBI 実験庁舎に設置され、実験などもこの建物で行うことになりました。しかし、この仕事場はプレハブでした。というのは、互換性確保や必要な機能・性能を持つ装置の開発に注力するあまり、他の計画の予定を調査せず、26m アンテナ庁舎全体を VLBI に利用できると思いきり思い込んでいて、あわてて建設したからです。

3.1.11 1981 年 5 月 NASA 一行鹿島へ

来る日も来る日も Mark-III の Documentation の理解に頭を捻ることになりました。しかし、何故こんな回路を作るのかとか、不要ではないかといった多数の疑問点が蓄積されていきました。

この状況は本部も把握しており、一度、日米のシステム開発関係者が集まって議論して一気に多くの疑問を解決しよう、ということになりました。1982 年 5 月、米国の VLBI 研

究・技術者 10 人の一行は電波研本所と鹿島支所を訪問しました (11.1 図)。鹿島支所では日米のシステムを分担する装置ごとに 3 グループに分かれ、並行して議論されました。その様子は凄まじいものでした。とにかく日本側としては互換性を持たせるには Mark-III の中途半端な理解は禁物ですし、逆に、必要ないものを互換性の項目に入れるのは無駄な労力と金をつぎ込むこととなります。ハードウェアでは、回路は勿論、素子まで米国のシステムに合わせれば互換性の問題は少なくなります。日本の会社が製作するのですからそんなことはとてもできません。1.8 でも述べましたが、3 研のメンバー自身が米国システムの完全な理解の下に日本の会社の技術者と議論し、互換性を持たせて製作する、というプロセスを踏まなければなりません。このため、日本側は微に入り細を穿つ議論を



11.1 図 NASA 一行が鹿島支所を訪問

延々と続けました。実際、互換性が主要なテーマの 1 つであったこの会合には日本の担当する会社の技術者は一人も参加していませんでした。

この“団体交渉”は日米の距離を一気に縮めました。アメリカのやることはなんでも正しいという意識 (敗戦の痛手?) が当時の日本人には心の片隅にあって、まして高度なシステムを作った研究技術者を前にすると、心の片隅に埋もれていた意識が首を持ち上げてきましたが、激しい議論はすぐにこれを払拭してくれました。むしろ両者は議論をおおいに楽しむことになりました。その後この議論に参加した人たちと多くの国際研究集会で会い、友達づきあいが続くこととなります。

3.1.12 K- シリーズ VLBI システムの名前の由来

鹿島支所が中心になって開発した VLBI システムには K-O という名前がつけられています。その由来は諸説あって、実のところははっきりしていません。公式の会議などで決められた名前ではなく、短くて便利であったため、誰からともなく使用されて、いつの間にか公式な名前になった、というのが真相でしょう。少し当時使用されていた名前について話しましょう。

1979 年度に「超高精度 VLBI システム」の開発がスタートしました。この装置は鹿島支所で開発する 3 世代目の VLBI システムです。既に述べたように、最初のシステムは「国内基礎実験に使用した VLBI システム」、2 番目は「位相シンチレーション測定システム」、と長い名前を使ってきました。さすがに 3 番目の「超高精度 VLBI (超長基線電波干渉技術) システム」になると呼び名が長すぎて、まるで落語に出てくる「寿限無」のように、3 研のスタッフ自身もうんざりしていました。

NASA が中心になって開発してきた米国システムは 2 号機から Mark-II (マークツー)、3 号機は Mark-III (マークスリー) と呼ばれ、公式の文書にも使われていました。当時、日

本の大メーカーの車にも改良型に **Mark-II** (マークツー) と名前がつけられていて、このような名前の付け方は簡易で短く、しかも改良型とわかりやすいものでした。そこで、日本のシステムもこのような名前をつけたらどうかという意見がそれとなく出て、これまでの長い名前にうんざりしていたスタッフは大いに賛成し、色んな案が出されました。記憶は確かでないのですが、**RRL-O** (**Radio Research Laboratories**:電波研究所) とか **Kashima-O** とか、本所のある地名小金井市の **Koganei-O** が候補に挙がっていたと思います。いずれも長く、簡単に **Kashima** の **K-O** という案が出されました。しかし、当時の3研のメンバーは6人中、川尻、河野、小池、川口の4名も **K** で始まっており、高橋富士信さんと吉野さんの二人が異なっていました。人の名前の頭文字を使うのは良くない、との意見もありました。あれやこれやの議論(少なくとも公式の会議ではなかった)で **Kashima** の頭文字であり、本所と水素メーザ原子標準を開発する周波数標準部のある小金井市の頭文字でもある **K** を冠にした **K-O** にしたらどうかという意見が支配的でした。その後、簡易でしかも3台の区別も明確であったため、みんなが使い始めました。そして1979年度の電波研年報に以下のような文章とともに公になりました。「**VLBI** システム研究開発推進本部：米国 **Mark-III** システムの調査を詳細に行い、これとの両立性及び将来の精度をも考慮した当所システムの構成案 (**K-3** システムと呼ぶ) を作成した」。この年度の米国との会議の資料にも **K-3** 名が使用され、国際的にも **K-O** という名前が使用されることになりました。