

研究機関

VLBIの世界が生み出した汎用科学インターフェースの開発

独立行政法人 通信総合研究所
鹿島宇宙通信研究センター 宇宙電波応用グループ
主任研究員 中島 潤一

進歩するデジタル技術に伴って、科学計測における機器の高速化が進んでいます。電波星を観測するVLBI(超長基線電波干渉計)もそのひとつで、高感度に詳細なデータを宇宙の彼方から取得するために、ギガビット/秒(Gbps)の伝送記録を行います。しかし、この伝送記録では、各国間の観測システムで互換がとれず、全世界的な宇宙観測網への発展に困難な状態が長く続きました。ここに紹介する汎用科学インターフェース(VSI)は、世界の望遠鏡をつなげようという理想を持った科学者たちが集まり2000年に制定したものです。この試みに対しリモートセンシングや高エネルギー物理など他の科学分野からも期待が寄せられています。

Gbps級科学データにおける共通インターフェースの必要性

VLBI (Very Long Baseline Interferometer; 超長基線電波干渉計) 観測は、複数の電波望遠鏡で同じ天体を観測し、その干渉縞からターゲットとなる電波天体の性質を明らかにしようとする観測手法です。VLBI観測では、宇宙初期など原始銀河の詳細な構造などを明らかにすることができます(天文VLBI)。また点源とみなせる既知の電波星を観測することにより、地球の回転姿勢や地球上のアンテナ位置をミリメートルで決定することもできます(地球回転・測地VLBI)。またVLBI観測からは、うるう秒の決定の元データ、地殻変動の情報なども提供されています。

VLBIでは、数十億光年という彼方の微弱な天体を受信観測するために、高速・広帯域でのデータ取得を必要とします。観測する天体の多くはブラックホール候補天体などで、白色のノイズをマイクロ波からミリ波にわたって放射しているので、広帯域にすることによって感度を向上させることができます。そして電波星からの雑音電波を検波せずそのまま記録保存するため、最低でも64Mbps、最近では256Mbps~1024Mbpsの速度でデータを取得し、磁気記録します。対象はS/Nの著しく低い天体雑音電波なので、量子化を1

~2ビットとし、帯域と積分時間を使って受信感度を向上させます。GbpsのVLBI観測はデジタル技術が可能とした宇宙の果てを探求する方法です。

このVLBI装置のインターフェースは過去に苦い経緯を経ています。観測装置や実験装置というのは科学者や技術者が、よりよいデータを取るために日々作り変える性質のものです。従って、作った国や機器の世代によって装置もインターフェースも、長らく仕様が別々なものとなっていました。

インターフェースは各観測機器でローカルに取り決め、整合性があればよく、VLBI黎明期はそれで充分でした。この結果、データを保存する磁気テープは、オープンリール(米国方式)、VHSカセット(カナダ・オーストラリア方式)、D1/D6カセット(日本方式)、など各種メディアに分かれました。またインターフェースも並列度やクロック、コネクタの形状もまったく互換性がありませんでした。

これでは他国の望遠鏡で観測したデータを使用する際に問題が生じてしまいます。それでも、データの伝送速度は数10Mbps程度だったので、他国の機械を輸入し、結線の変更や簡単な変換装置、オシロスコープ眺めながらのデータ変換などにより何とか問題を解決してきました。

しかし、データがGbpsになるとデータ、クロックとともに高速化し、もはや付け焼刃的な現場対応では済まなくなり、また、装置の開発費も著しく高価になります。メディアの統一は過去の資産もありすぐには難しいのですが、最小限、国際間で共通して使える安定したGbpsのインターフェースはどうしても必要になりました。

科学データ(VLBI)の性質とインターフェースの制定

多くの科学機器同様、VLBIでもフロントエンドに高速のADコンバータを配置し連続的にデータを取得、伝送しています。連続的であるという点は、パケット化やエラー修正などのために多くの冗長度を与えられた通信系のインターフェース規格と大きく異なる部分です。データ取得や伝送における僅かなエラーや測定ミスは観測原理や、データの処理のプロセスで取り除くことが可能です。

通信総合研究所は、国際天文連合や国際測地学連合などの下に研究を推進する国際VLBI事業といった科学者の集まりに参加しています。1999年からは、米国(NASA、MIT)やカナダ、オーストラリアのVLBI研究者と、多種の高速インターフェースの検討を開始しました。当初は、適当なパラレルデ

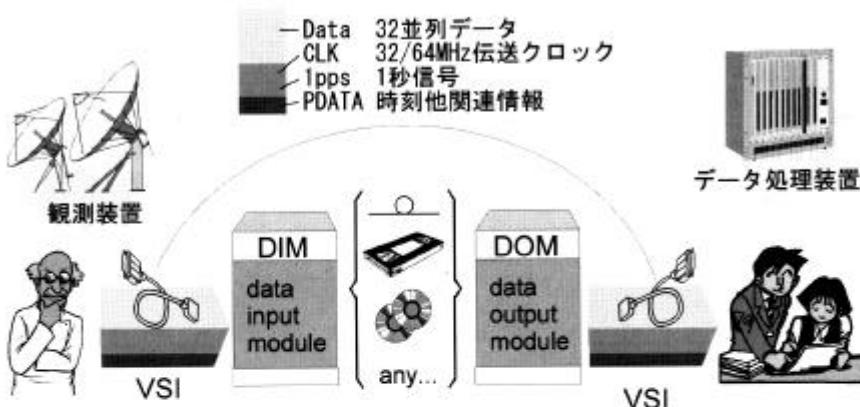


図1 VSIのコンセプト

ータ伝送バスを市場で調査し選定することも選択肢でした。しかし既存の高速インターフェースについてファイバチャネル、SCSI3-UltraからIEEE1394まで、最先端の仕様を検討しましたが、どれもがコンピュータ周辺機器やバス用に設計されたインターフェースであり、科学目的には適合しにくいと判断しました。科学機器は、一度作った後は連続して10年以上観測を行うことが要求されます。そこで、最初は大変でも科学者自身が最適と考えるインターフェースを作ってしまおうという機運が高まりました。

1年間の議論の末に完成したのが、誰でも利用できる“汎用科学インターフェース（Versatile Scientific Interface、またはVLBI Standard Interface以下VSI）”です。図1にコンセプトを示します。本来VLBI用のインターフェースとして開発されたものですが、リモー

トセンシングや、高エネルギー物理の分野などでも使用したいということで、Versatile（汎用）を冠しています。

今後、ギガビット級のデータ伝送や取得をする場合にVSIインターフェースを使用すれば、ADコンバータ、伝送装置、記録装置などはVLBIで開発済みのものを流用、利用することができます。VSIの利用により、科学データの伝送や記録システムの開発にかかる手間を省き、低コストで各分野の科学者たちが目的のデータ取得と解析に専念できるようになるとともに、他分野からの知見も得られるようになると思います。

なお、VSIの仕様は、世界で通信総合研究所だけが成功しているギガビットVLBIにおける32並列、32MHzクロックの実績データを元に構成されました。世界のVLBIの技術開発において、日本は先導的立場にあります。

汎用科学インターフェース（VSI）とは

日記を付けるとき一連の出来事を書いてしまい、あとから日付や時間を苦労して順に付けたという経験はありませんか？ 科学データも日記と同じようなもので、“いつ、何処で、何が起こった”、ということがデータの本質です。

図1を参照して説明すると、DATA、CLKの部分が大量のデータ本体で、1pps以下の部分で付随する時刻や観測状況などの関連情報が伝送されます。まず、この付随する、“いつ、何処で”、という部分が重要なわりに、世界中でそれぞれ勝手に取り決めていたので、非互換となる原因でした。VSIでは32対のデータ線に合わせて、時刻を精密に決める1秒パルス信号1pps、1秒パルスの属性（年日時分秒）や測定関連情報を毎秒送出するシリアル信号PDATA、その他の科学データ一般を伝送するのに便利な機能が盛り込まれています。VSIではまず具体的なハードウェアに対する規定VSI-H（Hardware）が制定されました。

図2は、VSI-H仕様書より抜粋した機能説明図ですが、データの生成から処理まではDAS（Data Acquisition System；データ取得装置、任意設計）、DIM（Data Input Module；VSIデータ入力ボックス、インターフェース、プロトコル規定）、DOM（Data Output Module；VSIデータ入力ボックス、インターフェース、プロトコル規定）、DPS（Data Processing System；データ処理システ

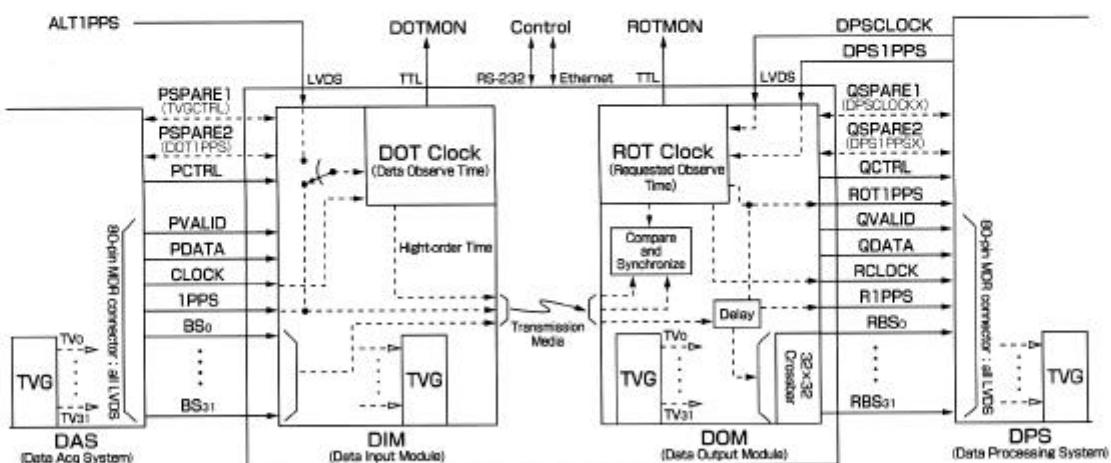


図2 VSI-H仕様書の接続概念図

表1 VSIコネクタのMDRコネクタにおけるピンアサイン

DAS-DIM VSIデータ 入力名	DAS-DPS VSIデータ 出力名	Pin(+) ピン番号	Pin(-) ピン番号	Comments
BS0	RBS0	1	2	
BS1	RBS1	3	4	
*	*	*	*	
*	*	*	*	
BS14	RBS14	29	30	32並列データ、 このうち 16, 8並列だけを 使うことも可能。
BS15	RBS15	31	32	
BS16	RBS16	42	41	
BS17	RBS17	44	43	
*	*	*	*	
*	*	*	*	
BS30	RBS30	70	69	
BS31	RBS31	72	71	
1PPS	R1PPS	33	34	1秒1バ尔斯信号
-	ROT1PPS	35	36	再生1秒バ尔斯信号
PVALID	QVALID	37	38	データ有効ビット
CLOCK	RCLOCK	39	40	クロック (4.8, 16, 32, 64, 128MHz)
PCTRL	QCTRL	74	73	前段へのコントロールビット (拡張仕様)
POATA	QDATA	76	75	シリアル情報115Kbps
PSPARSE1	QSARE1	78	77	スペア情報1(拡張仕様)
PSPARSE2	QSARE2	80	79	スペア情報2(拡張仕様)

ム、任意設計) というように概念化されています。今後現われる記録メディアや、ネットワークなどにも対応可能となっています。また、VSI-Hに対応する制御プロトコルはVLBI用にVSI-S (Software) として制定中ですが、他分野のユーザはこれに縛られること無くVSI-Hのみを使用することも可能です。

VSIがインターフェースに採用されればユーザは特定時間のデータを箱に入れるように記録保存し、解析するときに精密なタイミングで、タイムマシンから取り出すようにそのデータを同期再生することができます。また、リアルタイム伝送においては、送信局で送るデータは透過的に受信局にて利用でき、ネットワークで受け取る遅延も、時間差を10n秒単位で吸収するように工夫されています。

VSIでは、LVDS (低電圧差動) により雑音に強く長いケーブルで機器間をつなぎ、32MHz、64MHz、128MHzといった伝送クロック周波数で安定して動作し、その速度は1024Mbps、2048Mbps、4096Mbpsとなります。コネクタはMDR80 (ミニDリボン80ピン) というものを用いており、そのピンアサインは差動信号間のスキーを考慮した配置になっています (表1)。

図3は、通信総合研究所が世界に先

VSIデータを数10Km以上伝送する光ファイバへのアダプタも開発しています。

VSIでつながる世界の観測機器

インターネットでは世界のコンピュータがつながり、今までできなかった情報交換が人類社会に利便性や可能性をもたらしました。VSIによって世界の機器がつながるようになれば、科学データの世界でも同じことが起こると考えています。

今まで高速の科学データは特定の研究グループだけのものでしたが、今



図3 VSI-H専用ADコンバータ

駆けて完成させた2GbpsのVSI-Hに準拠したADコンバータです。32MHzクロックではメタルケーブルで20m程度の伝送が可能です。また

後世界で共有できる可能性がでてきました。例えば汎用科学インターフェース (VSI) と高速ネットワークデータ伝送を組み合わせれば、世界中の電波望遠鏡を一齊に同じ星に向かって、今までにない高感度な観測を行い行方不明の宇宙探査機を探すといったことが可能になります。人類の持つ観測リソースの集結と国際協力が可能になります (図4)。

通信総合研究所では実際のVSIインターフェース機器などのシステムを製作中であり、2001年度中にはデモンストレーション実験を行う予定です。またNTTとの共同研究による日本国内電波望遠鏡の結合実験 (GALAXY) にもVSI機器が使用されます。科学者達の理想と夢がつまつたVSIインターフェースの今後が期待されます。なお、VSIに関する詳細な情報は、同研究所のWeb (<http://www.crl.go.jp>) をご覧下さい。

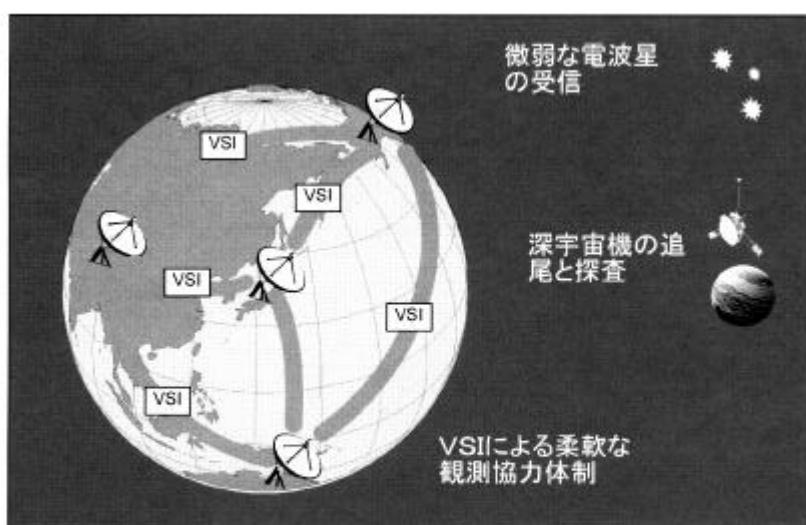


図4 VSIによる柔軟な観測協力体制