

超高速ネットワークによる e-VLBI 研究最前線

Forefront of e-VLBI Technology with Super High Speed Network

情報通信研究機構

関戸 衛* 小山 泰弘* 近藤 哲朗** 竹内 央*
木村 守孝* 平原 正樹***

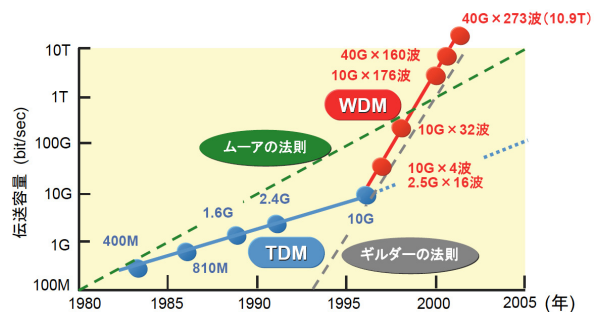
Mamoru Sekido, Yasuhiro Koyama, Tetsuro Kondo, Hitoshi Takeuchi,
Moritaka Kimura, Masaki Hirabaru

あらまし 高速ネットワークの登場とコンピュータの高速化・小型化により VLBI 研究は大きく進化している。超高速ネットワークとクラスタ計算技術の発展が VLBI 技術と結びついて、宇宙空間における地球姿勢の即時決定や飛翔体の位置計測に大きな貢献が見込まれている。NICT は、高速 VLBI データ伝送の国際プロトコル標準化に貢献し、高速ネットワークで相互接続されたソフトウェア相関処理で VLBI 技術の最先端をリードしている。本稿では日本国内や米国との実験報告を交えて e-VLBI 研究の最前線を報告する。

Abstract Owing to the appearance of high speed network and rapid evolution of computing power of small PC, VLBI research has been drastically changing. VLBI technology connected with the high speed network and distributed computing environment is expected to give a great contribution to real-time measurement of earth orientation in the space and near real-time orbit determination of the spacecraft. The NICT is participating and contributing to the standardization of real-time VLBI data transport protocol. And we are at the leading-edge on the technology of high speed software correlation processing with cluster computers mutually connected with high-speed network. This paper reports on e-VLBI technology in state of art.

1. はじめに

超高速ネットワークの登場により、従来考えられなかったような膨大なデータを遠隔地点間で瞬時にやり取りすることが可能になりつつある。VLBI (超長基線電波干渉計) は微弱な天体の電波を干渉させて高分解能の電波源像を得るために開発された技術である。自然の天体電波源の電波は、人工衛星などの人工電波源の電波に比べて極めて微弱であるため、高い感度を得るためにより広い周波数帯域の電波を記録する必要がある。しかし、記録できる周波数帯域幅は主に記録媒体(磁気テープ)の記録速度により制限されていた。ところが、1990年代後半からのネットワーク伝送速度の劇的な向上によって、その制限は取り払われ、電波天文観測は、必要なだけの観測帯域を手に入れることができるようになった。同時にハードディスクの小型化・高速化・大容量化が進み、PC (パ



ムーアの法則 : インテルのゴードン・ムーア前会長が唱えた法則。
【半導体の集積度(能力)は、18ヶ月で2倍に向上するという半導体業界の経験則。】
ギルダールの法則 : 経済学でハイテクの詳細の第一人者であるジョージ・ギルダール氏による予測。
【通信容量の爆発的拡大(半導体で約2倍)と、単位あたりの通信コストの急激的な低下】という内容。

図1. CPUの演算能力とネットワークの伝送速度の発展法則
(http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/yubikitasu_n/pdf/030520_2_3_1.pdf)

ーソナルコンピュータ)が一世代前のスパコンにと並ぶ計算能力を発揮するようになって、電波天文観測、特に VLBI の技術環境は革命的な進化をしつつある。超高速ネットワーク、クラスタ計算機とソフトウェア相関処理技術、及び高速小型大容量記録の HD 技術が VLBI を進化させ、逆に VLBI の大容量デー

* 電磁波計測部門
** 無線通信部門
*** 情報通信部門

タ伝送の要求が、高速ネットワークの新たな進展をもたらす、相乗効果が生まれている。NICTは世界に先駆けてPCとソフトウェア相関をVLBIへ本格的に導入し、世界最高水準の技術でこの分野をリードしている。以下の各節ではVLBIの進化を生み出したそれぞれのキーテクノロジーを紹介し、最後に今後の展望を述べる。

2. 超高速ネットワーク

インターネットが一般に普及し始めた1990年代中頃はローカルエリアネットワーク(LAN)では一部100Mbpsが利用され始めていても広域ネットワーク(WAN)では数Mbpsの帯域もない時代であった。日本の大学と国立研究機関を結ぶSINETが128kbps、大学、国立研究機関、一部企業を結ぶWIDEプロジェクトの最大バンド幅は1.5Mbpsであった[1]。1994年にCRL(現NICT)が開始したKSP(首都圏地殻変動観測)プロジェクトは、NTTとの共同研究によりATM専用線を使って、256Mbps/局×4局でトータル1024MbpsのVLBIデータをリアルタイムに相関処理し、観測から数十分後には、100km以上離れた各局の位置を数ミリメートルの精度で計測することを定常的に行った画期的なプロジェクトであった。しかし高価な専用線を引いた特定の観測局に閉じたネットワークという限界は当時としては避けられないものであった。

21世紀に入ると日本国内ではJGN, GEMNET, SuperSINET, JGNII, 米国内ではAbileneといったギガビット級の高速回線が整備され、JGN II 国際回線やTransPACなどによって日米間も数G~10Gbpsの回線で結ばれるようになった。これによって、世界の電波望遠鏡で観測したVLBIデータをインターネットを通じて相互にやり取りする土台が準備されていった。

3. K5/VSSP・VSIの開発~HDへの高速記録

ネットワーク速度が上がっても、それまで磁気テープに記録していたVLBIデータを、いきなりネットワークに流し、記録はしないという選択はありえなかった。インターネットは「ベストエフォート」を基本とする通信であり、専用線のように確実に所望の帯域を保障するものではないからである。大型アンテナを使って十数時間観測したデータが時々理由もなく大量に失われるということ

は、VLBI観測としては受け入れがたいものである。

一方でPCの処理能力の向上に呼応して、HDの小型化・大容量化・高速化が進み、それまでHDではとても扱えないほど膨大であったVLBIの観測データをHDに記録することが視野に入ってきた。

NICTでは、データのHD記録をVLBIのハードウェア標準規格(VSI)に準拠したギガビットデータ記録用インタフェースボード(K5/VSI) [2][3]と、PC上で32MHzまでのサンプリングでレートを持つデータサンプラ(K5/VSSP) [4][5]を開発した(図2)。これらシステムはOS(Linux, BSD, Windows)のファイルシステムとしてデータを記録するため、ネットワークと、ソフトウェアによる相関処理との親和性が極めて高い特徴を持つ。

一方、同じ時期に、米国MITのヘイスタック観測所でもHD記録型のVLBI装置(Mark-V)を開発したが、こちらはHDのファイルシステムの概念を捨て、従来の磁気テープと同じ視点から見た独自のフォーマットでデータを記録する。このため、直接にはコンピュータ間のファイル転送(FTP)などが使えず、記録データの伝送には、一旦ファイル化する手続きが必要となっている。

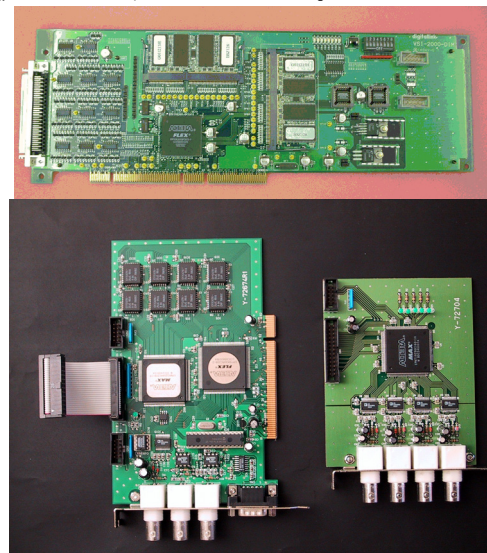


図2. K5/VSIのインタフェースボード(上)とK5/VSSPのサンプラボード(下)

K5/VSSP・VSIは、ボード一式の購入で、VLBIデータ収集装置が実現できるほか、大学の研究室でも高い周波数分解能を持つ電波分光計をソフトウェアで独自に開発できる(北海道大学、鹿児島大学、山口大学)と

いった自由度を生み出し、電波天文の普及・教育に大きなインパクトを与えている。

4. 世界が認めるソフトウェア関連技術

先述の K5/VSSP・VSI は、コンピュータの計算能力の向上を予測し、当初からソフトウェアによる相関処理を念頭に開発が行われてきた。測地 VLBI への利用を念頭に開発された K5/VSSP の「K5 ソフトウェア相関器」[6]は国土地理院の測地 VLBI 定常観測に採用され、2005 年度から運用が開始された。また、ヘイスタック観測所の Mark-V 型データと K5 システムのファイル変換ソフトをあわせて開発したことにより、「K5 ソフトウェア相関器」は欧州の EVN (ヨーロッパ VLBI ネットワーク) にライセンス供与という形で正式採用され、頻繁に使用されるようになってきている。その高い評価は世界の VLBI コミュニティーに知れ渡り、現在では、イギリス・ケンブリッジのジョドレルバンク観測所、ウィーン工科大学、カナダ資源局などから次々とライセンス供与の要望が寄せられている。(http://www.evlbi.org/tog/softw_corr/CR Lcorrelator.html)

一方 K5/VSI はギガビット級の大量のデータを記録するため、その処理にも高速性能が求められる。木村 [2][7] は SIMD (Single Instruction Multiple Data) など CPU の能力を最大限に発揮させるソフトウェア技術を駆使して、500MSPS という驚異的な相関処理能力をもつソフトウェア相関器を開発している。また、PC の処理の能力が向上したとはいえ、VLBI の相関処理では観測局数の 2 乗のオーダーで処理すべき基線の数が増えるため、複数の PC クラスタを使った相関処理も重要な研究課題である。現在サーバ・クライアント型の分散処理スキーム [8][9] (図 3) と観測局の数だけ配置した計算機にデータをおき、PC 間が相互にデータを交換する Peer to peer 型 [2] の相関処理スキームが提案されている。

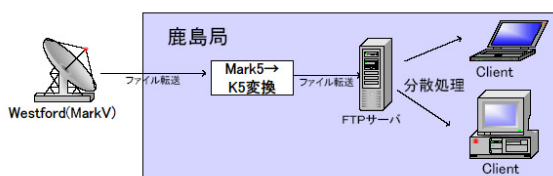


図 3. 分散処理の概念

5. 超高速ネットワークと VLBI

VLBI は超高速ネットワークの恩恵を受けて遠隔地の観測データを短時間に輸送することができるようになった。一方、超高速ネットワークにとっても、VLBI は貴重な大容量データとしてのテストベッドである。

VLBI は基線が長ければ長いほど高い空間分解能を実現でき、また取得サンプル数の平方根に比例して信号帯雑音比 (SNR) が向上する。従って、VLBI は本質的に遠隔かつ大容量のデータ伝送を必要とする。一方、高速ネットワークにとって、大容量・高速のデータを遠距離 (大きな遅延量) で伝送する際のスループットを最適化することは、送信側での伝送レートの調整など、ネットワーク制御において解決すべき研究課題を提起する [10]。その意味で、e-VLBI は VLBI 研究者、及びネットワーク研究者双方にとって大変興味深い研究開発対象となっている。

また、リアルタイムデータ伝送プロトコル (RTP) を用いて VLBI のデータを効率よく伝送するための国際標準化も非常に重要な課題であり、我々は MIT ヘイスタック観測所と協力してこれに取り組んでいる。

5. e-VLBI の応用

準実時間での宇宙空間における地球姿勢の計測は e-VLBI による速報解析のひとつの例である。2002 年 10 月 8 日、2003 年 6 月 27 日、及び 6 月 29 日に鹿島センターの 34m アンテナと Haystack 観測所の 18m アンテナの間でネットワーク高速データ伝送による準実時間 VLBI 観測が実施された。



図 4. Westford-18(左)と Kashima-34(右)

その結果、平均伝送速度 30Mbps で観測データが相互に伝送され、地球姿勢パラメータのひとつである UT1 を、観測終了から解析終了まで最短 4.5 時間、精度 22 マイクロ秒で推定することに成功した。

また、深宇宙飛行体 (火星探査機 NOZOMI や小惑星探査機 HAYABUSA など) の軌道決定において、従来使われているレンジとレンジ変化率 (R&RR) に加えて、高い角度分解能を持つ VLBI データをあわせて解析することによって、軌道決定精度が飛躍的に向上すると期待されてい

る。その際、VLBI の計測遅延量を観測終了後短時間で算出することは、軌道決定と軌道変更の決断を迅速にし、ミッションの成功率や消費燃料の節約に寄与する。

また、国土地理院は、K5/VSSP シリーズを測地 VLBI 定常観測に採用し、Mark-V との変換ソフトウェアを使って、IVS (国際 VLBI サービス) の定常観測に参加している。インターネットを使った日米間のデータ伝送を 2005 年 4 月より定期的に開始した。

以上の例のように、VLBI と高速ネットワークの関係が今後ますます密接になっていく。

6. 今後の展開

現在の e-VLBI の形態は、観測後のデータ記録したファイル群を FTP などにより転送して相関処理を行っている。我々の描く本来の e-VLBI の姿は、「観測と同時にネットワーク経由でデータを地球の裏側の相関処理局に伝送し、リアルタイムに相関処理する」というものである。リアルタイムのデータ伝送制御とクラスタ計算機による分散コンピューティングなど、e-VLBI によって天文・地球科学と情報処理分野の更なる相乗的発展が今後も大いに期待されている。

参考文献

- [1] Kitamura Y., "High Performance Infrastructure for e-VLBI" IVS CRL-TDC News No.25 pp.6-10, 2004.
- [2] Kimura M., J. Nakajima, "The Implementation of the PC based Giga bit VLBI System" IVS CRL-TDC News No.21, pp.31-33, 2002
- [3] Namajima J., M. Kimura, Y. Koyama, H. Osaki, T. Kondo, "VLBI development merge into PC commodity" IVS CRL-TDC News No. 21, pp.34-35, 2002.
- [4] Osaki H., T. Kondo, M. Kimura, "Development of Versatile Scientific Sampling Processor (VSSP)-A Practical Approach, IVS CRL-TDC News No. 20, pp. 7-9. 2002
- [5] Osaki H., "Advancement of Versatile Scientific Sampling Processor (VSSP)" IVS CRL-TDC News No.21 pp.16-17 2002.
- [6] Kondo T., Y. Koyama, H. Takeuchi, M. Kimura, "Current Status of the K5 Software Correlator" IVS NICT-TDC News No.25 pp.23-27, 2004.
- [7] Kimura M., J. Nakajima, H. Takeuchi, T. Kondo, "2-Gbps PC Architecture and Gbps data processing in K5/PC-VSI", IVS CRL-TDC News No. 23, 12-13, 2003.
- [8] Takeuchi H., T. Kondo, Y. Koyama, M. Kimura, "Ongoing e-VLBI Developments with K5 VLBI System", IVS NICT-TDC News No. 23, 20-22, 2004.
- [9] Koyama Y., T. Kondo, H. Takeuchi, M. Hirabaru, K. Tkashima, D. Lapsley, K. Dudevoir, A. Whitney, "Ongoing e-VLBI Developments with K5 VLBI System", IVS NICT-TDC News No. 23, 20-22, 2004.
- [10] Hirabaru M., "Performance Measurement on Large Bandwidth-Delay Product Network", IVS TDC-NICT News No. 25 pp. 11-19, 2004.

研究者一覧

所 属	氏 名
主任研究員	関戸 衛
グループリーダー	小山 泰弘
センター主管	近藤 哲朗
専攻研究員	竹内 央
派遣	木村 守孝
主任研究員	平原 正樹*

