

세계의 측지 e-VLBI 기술의 개발방향

김두환¹⁾ · T. SASAO¹⁾ · 이진우¹⁾ · 곽영희¹⁾ · 이원국¹⁾

¹⁾ 아주대학교 대학원 우주측정정보공학과(E-mail : thkim@ajou.ac.kr)

Abstract

We have performed an investigation about the present geodetic VLBI observation problems and a study about the trend of technical development in the future. Especially, I will present the research results about the present status of the technical development and the feasibility for e-VLBI which is recently highlighted.

1. 서론

VLBI (Very Long Baseline Interferometry ; 초장기선전과간섭계)는 지구측측에 있어서 최고의 精度와 천문학에 있어서는 최고의 각도 분해능을 실현한 「인류 최강의 눈」으로 불리고 있는 관측 장치이다. 그러나 종래에는 지구규모의 대 관측망을 직접 傳送 cable로 연결하는 것은 곤란했기 때문에 얻은 데이터를 일단 磁氣 테이프 등의 매체에 기록해서 그것들을 相關處理局에 수송해서 처리하지 않으면 안 되었다.

이것은 매체, 수송, 인력 등에 경비가 들 뿐만 아니라 관측 후 적어도 며칠을 경과하지 않으면 물리적으로 의미 있는 결과를 얻을 수 없기 때문에, 장치의 결함 등의 신속한 발견과 그에 따른 대처라든지, 관측·해석 시스템의 완전자동화를 불가능하게 하는 등 커다란 문제를 안고 있었다. 또한 이것은 深宇宙探査機의 궤도 결정 등에 불가결한 UT1 (地球自轉角) 정보의 속보 등 VLBI에 기대되고 있는 역할을 원만하게 수행하는 데 있어서도 곤란하게 하였다.

그러나 최근에 와서 이러한 상황이 크게 변하고 있다. 그것은 전 세계를 뒤 덮고 있는 고속 digital 回線網의 급속한 발전에 의해 VLBI 관측 데이터를 즉시로 전송할 수 있게 되었기 때문이다. 이 회선을 통한 직접 데이터 전송으로 위에서 언급한 종래의 VLBI의 여러 가지 문제를 거의 해소시키게 됐을 뿐만 아니라, 현재의 磁氣매체의 한계를 넘은 廣帶域·大容量 傳送을 가능하게 하고, VLBI에 있어서의 한층 더 高精度化와 高感度化를 기대할 수 있게 되었다.

이 새로운 기술을 「e-VLBI」라 부르고 있으며, 현재 세계 각국에서 활발한 연구개발이 진행되고 있다. e-VLBI Workshop 형태로 국제연구집회가 제1회는 2002년 4월에 미국 Haystack 천문대에서, 제2회는 2003년 5월에 화란의 JIVE (Joint Institute for VLBI in Europe)에서, 그리고 제3회가 금년 10월에 일본의 동경 Makuhari (幕張)에서 개최되었다.

이 Workshop에서 e-VLBI와 함께, 고속 PC 내지 PC Cluster를 이용한 VLBI의 데이터 취득과 상관처리를 범용 PC 상의 SW로 실행하는 기술 등을 다루고 있다. 그리고 지금까지 각국에서 개발된 VLBI 데이터 취득 시스템간의 공유·교환을 곤란하게 했던 비호환성의 문제를 극복하는 표준화 기술을 포함해서, VLBI 관측시스템 가격의 저렴화, 고정도·고감도화, 고신뢰성, 속보성, 그외 여러 가지 관측 needs에 대응한 유연성 등의 각 분야에서 획기적인 향상을 도모하고자 IVS (International VLBI Service) 차원에서 계속해서 Workshop을 진행하기로 하고 있다.

2. 측지 VLBI의 신기술 개발방향

2.1 현 시스템의 문제점

중래의 국제관측 시스템의 문제점으로 다음과 같은 사항이 지적되고 있다.

(1) 精度向上의 정체

MK-3 시스템의 완성에 의해 대륙간에서 cm대의 획기적인 精度가 달성된 이후, 장치와 해석 SW의 양면에서 정도개선의 노력이 계속됐으며 착실히 전진해 오고 있다. 그러나 아직까지 1회의 관측정도는 1cm를 전후한 수준에 머무르고 있는 실정이며, 질적인 비약을 이루었다고는 할 수 없다. 그 동안 수신기의 저잡음화와 기록 대역폭의 상승으로 열잡음 오차는 크게 개선되었기 때문에, 문제는 대기의 흔들림 등 다른 오차요인을 극복하지 못한데 있는 것으로 생각된다.

(2) 한정된 觀測局의 수와 분포의 편향(偏向)

국제 VLBI 사업 IVS는 global 관측망을 구성하고 있다고는 하지만, 지구를 cover하는 最高精度의 기준점 관측망 견지에서 보면, 아직 관측국 수는 충분하다고 볼 수 없으며, 더욱이 그 분포가 歐美에 편중돼 있다. 이것은 天球 및 지구기준좌표계의 구축이나, 물리적 parameter의 분리·추정에 있어서 문제를 일으키게 된다.

(3) 장치의 노후화(老朽化)

국제측지 VLBI 관측에 사용되는 많은 기기는 1970년대, 80년대에 개발된 것으로 내용한계(耐用限界)에 가까워지고 유지경비도 많이 들게 된다. 그리고 많은 관측국에서 사용되고 있는 오래된 안테나는 이동속도가 늦고 全天을 끌고 cover하는 관측을 수행하는데 있어서 장애가 되고 있다.

(4) 경비와 인원

대형전파망원경 안테나, digital data 취득 시스템, 고속대용량기록 시스템, 수소 maser 주파수표준 등 VLBI를 구성하는 기기는 모두 高價의 첨단기술장치이다. 그리고 관측국의 운용에는 그 나름대로의 인원이 필요하게 된다. 또한 상관처리를 위해서도 장치, 시설, 인원 등이 필요하며, 기록용 대용량 磁氣tape의 구입비라든지 수송비를 포함한 운영비도 무시할 수 없다. 따라서 측지 VLBI의 관측을 담당할 수 있는 것은 국가기관이나 대규모의 국립연구소에 한정돼 있으며, 대학 등이 관측에 참가하는 일은 거의 없는 실정이다.

(5) 결과가 나오기까지의 시간

관측해서 결과가 나오기까지는 아직 週단위의 시간이 걸리고 있다. 이것은 tape 등의 수송, 상관처리에 시간이 걸리고, 해석의 자동화가 충분히 이루어지지 않고 있기 때문이다.

(6) 인공전파에 의한 간섭

세계적으로 유행한 휴대·이동통신, 무선통신망 등의 급속한 보급과 함께, 인공전파에 의한 간섭이 관측을 위협하고 있다. 특히 S대는 混信의 영향이 심각하게 됐으며 이대로는 관측의 성립 자체가 곤란해 질 수 있다.

2.2 신기술 개발방향

한편 그 동안 일관해서 지속돼 온 기술개발의 노력과, digital 신호처리 및 고속 data통신기술의 급속한 발전으로 지금까지 보지 못했던 새로운 가능성이 열리고 있다.

신기술 개발의 가능한 사항들을 요약하면 다음과 같다.

(1) 국제 VLBI 표준 interface (VSI) 규격의 책정

VLBI 분야에서는 각국에서 개발된 여러 가지 VLBI 기록시스템 간의 직접적인 호환성이 없고, 다른 시스템으로 기록된 데이터의 혼합 상관 등에 문제가 발생돼 왔었지만 최근 수년간, 각국의 연구자들의 협력에 의해 이 분야의 통일규격 VSI (VLBI Standard Interface)가 만들어진 획기적인 진전이 있었다. 이것은 여러 觀測局의 데이터 취득시스템 (Data Acquisition System,)과 磁氣테이프 기록장치나 hard disk 기록장치 등의 데이터 전달시스템 (Data Transmission System), 그리고 데이터 전달 시스템과 데이터 처리시스템 (Data Processing System, 즉 여러 가지 상관처리장치) 간을, pin 數와 분배, data rate 등을 정한 공통의 connecter로 연결해서, 이 규격에 맞으면 각국의 觀測局에서 얻은

데이터를 임의의 기록장치에 기록해, 임의의 상관처리장치에서 처리할 수 있게 한 것이다. 이미 HW Interface 규격 VSI-H 그리고 SW Interface VSI-S가 정해져 있으며, 각국에서 이 규격에 맞는 장치가 계속해서 개발되고 있으며 상호상관에 성공하고 있다. 더 나아가서 이규격을 고속통신망 경유의 VLBI에 적합할 수 있도록 통신규격 VSI-E가 검토되고 있다.

(2) 光結合 VLBI (e-VLBI)의 실현

각 관측국에서 수신된 천체 전파원의 신호를 磁氣매체에 기록하는 대신에 1Gbps를 초월하는 초고속 광통신회선으로 상관처리국에 보낸 즉시 상관결과를 얻을 수 있는 광결합 VLBI의 시험관측이 각국에서 연달아 성공하고 있다. 이 시험에서는 통신회사와의 공동연구 등의 형태로 해서, 초고속의 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 전용회선 등을 사용해서 많이 이루어지고 있었으나, 이 경우 회선 비용이 비싸고, network에의 접속이 한정되는 등 누구나 사용할 수 있는 상황이 아니다.

그러나 최근에 와서 cost의 대폭적인 절감과 network에의 용이한 access를 가능하게 한 획기적인 Internet Protocol (IP)을 바탕으로 한 e-VLBI의 실험도 진행되고 있다. 이것은 VLBI의 관측운동이나 상관처리의 경비·인원 양면에서의 부담을 획기적으로 줄일 수 있고, 동시에 대역폭 확대에 의한 감도 향상 등의 진전으로 이어질 것으로 기대되고 있다.

(3) SW 相關 등 PC-VLBI의 발전

한편, 전용의 digital 회로를 이용한 HW에 의해 실시돼 온 VLBI의 데이터 취득 및 상관처리를 최신의 고속 CPU를 탑재한 Personal Computer에 의한 고속연산 (SW 처리)으로 대체할 움직임이 급속도로 진행되고 있다. 이로 인해, 磁氣테이프를 대신해서 hard disk를 기록매체로 한 Mark 5나 K5 시스템의 진전, 그리고 e-VLBI와의 결합 등에 의해, VLBI의 데이터 취득장치 및 상관처리장치 자체의 현저한 가격의 저렴화와 柔軟性, 확장성의 향상을 보게 될 것이다.

(4) 「VLBI의 발전 = 기록 시스템의 발전」 시대의 종말

Mark III, Mark IV 등의 종래의 VLBI 시스템의 명칭이 데이터 기록장치의 진전에 따라 붙여지는 것처럼, 기록시스템의 발전은 VLBI의 가장 중요한 요소였다. 그러나 hard disk의 이용이나, 기록 자체의 의미를 副次的인 것으로 하는 e-VLBI의 등장으로 인해 그러한 시대는 끝나려 하고 있다.

앞으로의 VLBI 기술개발은, 저렴하고 고성능 중형 안테나의 개발·보급, 그리고 관측망의 충실화, 여러 천체의 동시관측을 가능하게 하는 「multi beam VLBI」와 같은 새로운 관측법의 개발 등, 기록 시스템 외의 요소에 중점을 두게 될 것이다.

(5) 관측망의 새로운 확충

관측망의 충실화 문제에 있어서 새로운 움직임이 동아시아를 중심으로 일어나고 있다. 우리나라에서는 국토지리정보원이 수원시에 측지 VLBI 안테나를 설치하는 측지 VLBI 도입계획을 추진하고 있으며, 천체물리 관측을 주목적으로 하는 한국천문연구원원의 mm과 VLBI 관측망 KVN (Korean VLBI Network)도 서울, 울산, 제주도의 3곳에 신 구상의 21 m 안테나를 설치하기 위해 건설을 시작하였다. 앞으로 양 기관의 협력에 의해 우리나라의 측지 VLBI와 천문 VLBI는 급속도로 발전할 것으로 기대되고 있다.

일본에서는 국토지리원의 측지 VLBI 관측망, 情報通信機構의 VLBI 관측망과 더불어, 국립천문대의 천문 VLBI 관측망 VERA의 4 局이 활약하고 있으며, 그 외 몇 몇 대학이 중형, 대형의 안테나를 가지고 측지 VLBI를 비롯한 VLBI 관측에 참가하고 있다.

중국에서는 종래부터 활약해 온 上海, 우루무치의 25 m 안테나와 더불어 쿤민의 이동국 안테나가 관측을 개시하고 있다. 그 외 북경 교외에 50 m급 안테나를 건설하는 계획이 추진되고 있다. 이와 같이 歐美에 비해 관측망의 정비가 늦었던 동아시아는 지금은 세계에서 가장 밀집된 관측망을 보유한 지역으로 변모하려고 하고 있다.

이 외에도 觀測局이 적은 남미의 칠레에 측지 VLBI 안테나, SLR 장치, GPS 수신기, 초전도 중력계 등의 기기를 설치하는 이동 종합측지 관측국을 구비한 TIGO (Transportable Integrated Geodetic Observatory) 계획 등이 추진되고 있다.

3. 측지 VLBI 사업의 새로운 전개

3.1 VLBI 2010

국제 VLBI 사업 (IVS)의 이사회는 측지 VLBI가 새로운 발전단계를 필요로 하고 있다는 공통인식 아래 2003년 9월 28일에 「VLBI 2010」으로 명명된 Working Group을 발족시켰다. 이것은 문자 그대로 2010년 그리고 그 이후의 측지 VLBI의 나아갈 방향 등을 연구하는 Working Group이다.

이 Working Group은 세계의 측지 VLBI 연구의 최첨단에서 활약하고 있는 우수한 member를 모았으며, 다음 4가지 목표를 세웠다.

- ① 最高精度的 측지 및 천체위치의 計測成果
- ② 저비용의 건설
- ③ 저비용의 운용
- ④ 최종 결과의 신속한 산출

등이다.

이러한 목표아래 다음 사항들에 대한 검토를 실시하였다.

- 高安定, 高信賴, 광대역, 저가격을 위한 VLBI 데이터 취득 시스템의 쇄신
- 소형이면서 저가격으로 신속히 움직이는 안테나
- 새로운 관측전략
- 최적이면서 실제적인 관측주파수대의 선택
- 완전자동관측과 원격감시
- 고속통신망에 의한 데이터 전송 (e-VLBI)
- 상관기 갱신강화의 가능성
- 안테나, 상관기로부터 최종 해석까지의 데이터의 완전 pipe line화에 의한 시간단축

등의 과제들에 대해서 검토한 후 기본방침을 작성해서 그 보고 문서를 이번 가을에 제출할 예정으로 있다. 금년(2004년) 2월에 캐나다의 오타와에서 제3회 IVS 총회가 개최됐으며, VLBI 2010 Working Group은 활발한 논의를 가졌으며, 이 때 IVS의 이사회 의장인 독일의 Wolfgang Schluter는 다음과 같은 간결한 이야기를 하면서 VLBI 2010 보고 문서의 중요성과 필요불가결한 이유를 강조하고 있다.

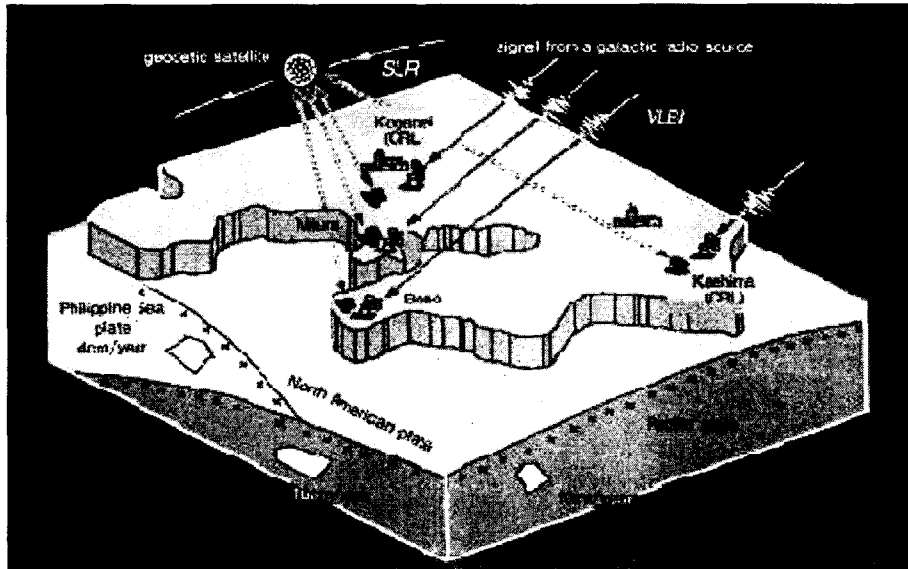
- 장기계획을 세우기 위함
- 지원 모체인 관련 기관의 예산계획을 위함
- 한정된 자산을 조정하고 최적의 이용을 꾀하기 위함
- 새로운 개발을 시작하기 위함
- 시스템을 기술적 (건고, 고신뢰, 고정도), 경제적 (건설, 운용의 양면)으로 개량하기 위함
- 지원 동기를 부여하기 위함
- 새로운 지원 모체를 얻기 위함
- 젊은 연구자들의 관심과 의욕을 고취하기 위함

3.2 e-VLBI와 PC-VLBI

앞으로 IP protocol을 기초로 한 e-VLBI와 PC-VLBI는 VLBI 시스템의 방향을 크게 바꿀 것으로 예상되고 있다. 데이터 해석에 있어서도 철저한 pipe line화에 의해 신속하게 최종 결과를 산출하는 등 이에 상응한 변화가 따라야 하고, 나아가서는 자동관측시스템 개발이 이루어져야 할 것이다.

이런 분야에서 세계에서 처음으로 일본의 通信情報機構(이전의 통신종합연구소, CRL)에서 우수한 자동관측시스템을 만든 실적이 있다. 이 시스템은 동경 주변의 지각변동 관측을 목적으로 만든 KSP (Key Stone Project)의 4개의 VLBI 관측국을 光 fiber 회선으로 연결한 완전 실시간 측지 VLBI 관측 시스템이다 <그림 1>.

이 시스템에서는 관측 生데이터는 real time으로 相關處理局에 전송되고, 즉시에 상관처리가 이루어진다. 그런 후, 하나의 관측 session이 종료할 때마다 해석 SW가 자동으로 실행되고, 최후의 scan이 종료한 후 2~3분 후에는 해석결과가 정리되어 보고 된다.



<그림 1> KSP의 개념도

자동해석 SW는 IERS가 발표하는 지구자세 parameter 속보치 Bulletin-A를 E메일로 수신할 때마다 지구자세 모델을 갱신해서 재 해석하는 기능까지 구비하고 있다. 이렇게 해서 얻어진 해석결과는 1σ 값에 관측국 위치의 수평성분에서 2 mm, 수직성분에서 9 mm 정도를 실현하고 있다 (Koyama, 2004).

이러한 자동해석 시스템은 앞으로의 국제측지 VLBI 관측망에 있어서의 해석시스템을 강구하는 데 있어서 크게 참고가 될 것이다. 다만 전 관측망이 고속 데이터 통신회선으로 연결되는 것은 아직은 시간이 걸리는 일이기 때문에, 당분간은 磁氣기록매체의 수송이 상당한 weight를 차지한다고 봐야 할 것이다.

이에 따라 e-VLBI와 磁氣記錄 VLBI가 병행하는 시기의 상관처리와 해석 시스템을 고려하는 한편, 앞으로 점차로 완전 e-VLBI로 이행해 가는 길을 강구하게 될 것이다. 이미 이러한 논의는 VLBI 2010 Working Group에서 활발하게 진행되고 있다.

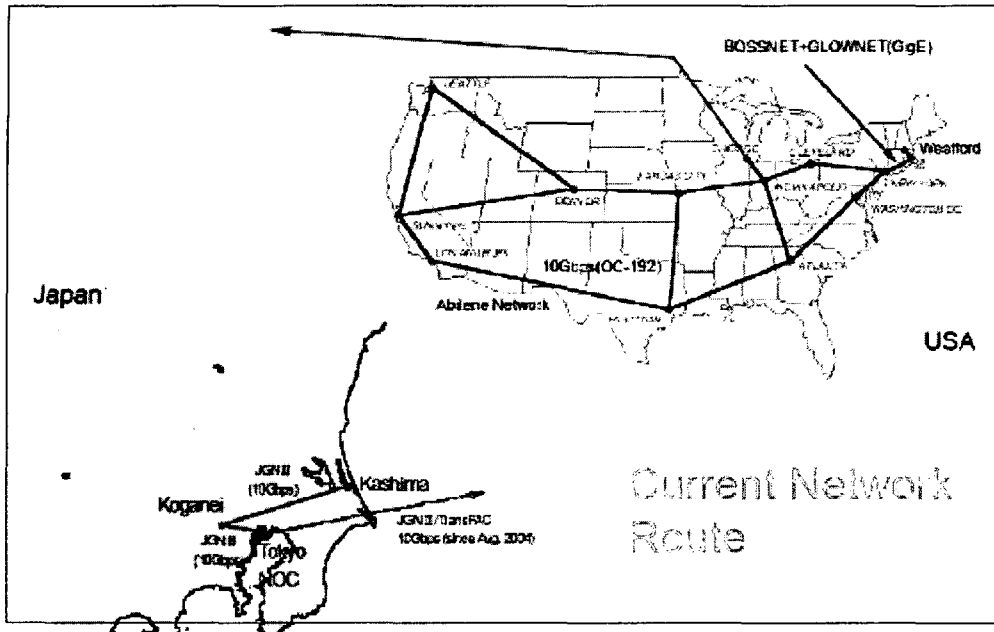
4. 고속 인터넷을 이용한 e-VLBI

일본의 NICT (정보통신기구), 미국의 Haystack 천문대, 유럽의 EVN (유럽 VLBI 관측망)에 참여한 유럽 각국에서 1Gbps 급의 통신속도를 가진 고속 인터넷 회선을 사용해서 IP (Internet protocol) 방식에 의한 e-VLBI를 실현하는 기술개발이 진행되고 있다.

인터넷은 범용 회선이며, 이용요금도 저렴하고 세계의 구석구석까지 도달하고 있다. Gbps 급의 고속 회선은 아직 많지는 않지만 현재와 같이 정보통신기술의 발전·보급하는 모습을 보면 가까운 장래에 많은 VLBI 觀測局에도 깔릴 것으로 보고 있다. 이와 병행해서 IP 傳送에 적합한 데이터 취득 시스템 등이 개발되어, 국제간의 실험이 계속해서 이루어지게 되었다.

2003년 6월 27일과 6월 29일 양일간에 수행된 (일) NICT의 Kashima 관측국과 (미) Haystack천문대의 Westford 관측국을 인터넷 회선으로 연결한 실험(그림 2)에서는 획기적인 짧은 시간에 종래의 국제 관측망에 의한 측지 VLBI 관측결과와 일치하는 양호한 결과를 얻고 있다.

특히 2004년 6월의 실험에서는 1시간의 관측 종료 후, 데이터 전송, 21대의 PC cluster에 의한 상관처리와 해석을 거쳐서 1σ 레벨이 22 μ sec의 UT1 값을 얻기까지 단지 4.5시간 밖에 걸리지 않았다. 이것은 e-VLBI에 의한 UT1 속도관측이 실용 가능한 단계에 들어서고 있다는 것을 나타내고 있다. 이러한 측지 e-VLBI관측의 성공을 기자들은 「지구규모의 인터넷 망원경」의 성과로 소개하고 있다.



<그림 2> (일) NICT의 Kashima 관측국과 (미) Haystack천문대의 Westford 관측국을 인터넷 회선으로 연결한 실험

5. 결론

IP 방식에 의한 e-VLBI는 전용회선을 사용할 때와 비교하면 몇 가지 문제가 있는 것도 사실이다. 인터넷은 기본적으로는 누구나 사용할 수 있는 범용 데이터 회선망이고, 항상 독립적인 다수의 데이터가 평행해서 흐르고 있다. 따라서 회선의 혼잡에 따른 전송속도는 항상 변화한다. 또한 전송경로는 자동적으로 선택되기 때문에 이것도 시시각각으로 변화한다. 따라서 같은 양의 데이터를 전송해도 소요 시간이 변동해서 경우에 따라서는 데이터의 분실도 일어날 수 있다. 이것은 VLBI와 같이 정밀관측을 안정적으로 수행하는 데 있어서 큰 문제가 될 수 있다. 특히 완전 실시간의 관측을 목표로 하고 있기 때문에 더 문제가 된다.

이러한 문제는 e-VLBI에 있어서 중대한 일이지만, 동시에 고속 대용량 통신기술 그 자체에 있어서도 극복하지 않으면 안 되는 문제인 것이다. 현재는 VLBI가 이 문제에 직면하고 있지만 가까운 장래에는 대용량 동화상, 음성 등의 정보가 같은 문제에 봉착하게 될 것이다.

이러한 상황에서 IP 방식에 의한 VLBI 데이터의 전송은 정보통신기술의 최전선에 있어서의 귀중한 실험재료가 될 수 있다. 지난 10월에 Makuhari에서 개최된 제3회 e-VLBI Workshop에서도 이 문제에 대해서 논의하기 위해 세계 각국의 대학, 정보관련 연구기관, 통신회사로부터 많은 연구자·기술자가 참가하였다. 이러한 지속적인 노력에 의해 가까운 장래에 관측 데이터가 고속으로 원만히 흐를 수 있도록 하기 위한 Network 감시, 전송속도의 최적 제어 등의 새로운 첨단 기술이 태어날 것으로 본다.

국토지리정보원이 측지 VLBI 구축 사업을 추진할 경우 이러한 최첨단 VLBI 기술의 흐름을 잘 파악함으로써 21세기의 IT 시대에 부응한 측지 VLBI 觀測局을 건설할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. IVS 총회, "VLBI 2010 Working Group" 2004년, 2월, 캐나다
2. VLBI 차세대 상관계 Workshop 연구보고서, 2004년 8월, 일본
3. IVS의 제3회 e-VLBI Workshop 연구보고서, 2004년 10월, 일본