

LMA 계획이란 ?

한국표준과학연구원천문대 정 현 수

1. 서론

10년전, 일본의 전파천문학은 노베야마의 45m망원경과 밀리미터파 간섭계의 건설에 의해 세계의 제일선으로 큰 비약을 하였다. 이 두 장치는 차츰 그 관측능력을 향상시켜 나가면서 세계를 선도하는 많은 성과를 배출해 왔다. 그리고 지금은 전파헬리오그래프(직경 80cm망원경x84기)의 완성에 의해 또 다시 세계에 자랑할 수 있는 획기적인 관측장치를 가지게 되었다. 특히 밀리미터파 영역에 있어서, NMA(Nobeyama millimeter array)는 세계수준급의 성능을 자랑하고 있으며, 지금까지 커다란 성과를 쌓아 왔다. 그러나, 세계의 밀리미터파 간섭계의 그 어느 것이나 현재 확장작업을 진행중이며, 밀리미터파와 서브밀리미터파영역에서의 고분해능 관측의 천문학적 성과를 올리기 위해 서브밀리미터파 간섭계의 건설계획을 추진하고 있고, 미국의 NRAO에서도 MMA(Millimeter array)계획을 발표하여 그 준비가 착착 진행되고 있다. 이들에 대해, NRO에서도 NMA확충계획을 진행시키는 한편, 대형밀리미터파 간섭계(Large Millimeter Array)계획을 발표하고 있다. 따라서 일본 내부에서는 SUBARU망원경건설 이후의 천문학분야에서의 차기 대형장래계획으로서 LMA가 자리잡아 가고 있다.

그러면, 일본에서 이와 같이 전파천문학의 발전을 지탱해 온 힘은 어디에 있는가? 일본 사회내에서도 천문학에 대한 사회의 이해도는 높다고 볼 수는 없다. 다시 말해서 천문학을 발전시키기 위해서는 끊임없이 천문학의 시설에 대한 사회의 무이해와 싸우지 않으면 안되는 것은 우리와 마찬가지로 여건이라고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 지금까지 거듭되어 온 발전의 원동력은 과연 무엇일까? 그것은 늘 새로운 가능성에 시선을 향하며, 빈약하면 빈약한대로 그것을 전파천문학에 도입해 온 결과라고 생각된다. 안테나의 고정밀도화, 수신기의 저잡음화, 분광계의 대규모화, 위상제어기술의 고도화, 신호처리의 고속화 등등, 무수한 예를 들 수 있을 것이다. 이러한 혁신적인 전통은 오늘날의 관측을 지탱할 뿐만 아니라, 장래를 열어나가기 위한 원동력으로도 되고 있다고 볼 수 있다.

이웃 일본의 노베야마 우주전파관측소는 올해로 11주년을 맞이하며, 그리고 다음 10년간을 향하여 여러 가지 계획이 준비되고 있다. 45m 망원경과 밀리미터파 간섭계의 증강, VSOP(VLBI Space Observatory Programme)위성을 포함한 VLBI네트워크의 정비, 서브밀리미터파를 향한 관측영역의 확대, 그리고 차기 프로젝트로서의 대형 밀리미터파간섭계인 LMA계획 등이 그것이다. 따라서, 이들을 종합적으로 추진하여 새로운 천문학으로써 개화시키려는 장대한 실험을 시작하고 있다. 비단 일본 뿐만이 아니라, 전파천문학을 한다는 세계 각국에서도 여러가지의 중장기계획을 수립하여 추진하고 있음을 우리는 알고 있다. 그러므로, 세계의 이러한 추세 속에서 무엇이 우리의 실정에 가장 적합한 천문학인지를 검토하기 위한 한 방편으로, 일본의 차기 장래계획인 LMA계획을 다음과 같은 제목으로 2차례에 걸쳐 분석 소개하고자 한다.

I. LMA를 둘러싼 상황

II. NMA에 의한 성과와 LMA에 대한 Science의 요구

2. LMA를 둘러싼 상황-일본 국내외의 움직임

1) 제3세대의 NMA로부터 제4세대의 LMA로

제1세대의 밀리미터파 간섭계에 해당하는 Hat Creek(BIMA: 6m)와 Owens Valley(OVRO: 13m)의 3소자 간섭계는, cm파에 있어서의 Cambridge의 1마일 망원경에 해당하는 능력을 가지고 있다. 그후에 NMA(일본)의 10m×5소자의 간섭계와 IRAM(유럽)의 15m×3소자의 간섭계가 등장하여 밀리미터파 간섭계로서 제2세대를 맞이하였다. 그리고 최근에는, 제1세대의 것도 포함하여 보다 다소자화, 고감도화, 관측파장의 고주파수화 등의 확충계획이 진행되어 제3세대에 돌입하고 있다. BIMA의 6m×3소자가 9소자로, OVRO의 10m×3소자가 5소자로, 그리고 IRAM의 15m×3소자가 4소자로 각각 증설공사가 진행중이다. 또, 하와이의 Mauna Kea 산정에는 스미소니안천문대의 SMA(6m×6소자의 서브 밀리미터파 간섭계)의 건설이 시작되었다. 한편, 이웃 일본의 NMA는 세계 최초로 150GHz대에서의 5소자의 간섭계관측이 시작되고, 또 6소자제의 안테나가 건설중이며, 앞으로 230GHz 수신기와 2GHz 상관기를 합쳐서 제3세대의 밀리미터파 간섭계의 세계를 이끌어 나갈 수 있는 선두 위치에 서 있다. 한편, 제4세대의 간섭계에 대한 전망으로는, cm파에서의 VLA(미국)에 필적하는 대형의 Array시대가 될 것으로 보인다. 이러한 대형의 밀리미터파 서브밀리미터파 Array로서는, 일본의 LMA계획 이외에도 미국의 MMA가 제안되고 있다. 또, 유럽에서는 ESO와 스웨덴을 중심으로 남반구의 칠레에 밀리미터파 서브밀리미터파의 간섭계를 건설하는 계획을 세우고 있으며, 일본의 LMA 계획과의 협력을 구하는 움직임이 있다. 이것은 이와 같은 국제협력으로 미국의 MMA를 몇 배나 넘는 것을 건설하려고 하는 계획으로, 15m×40소자 또는 10m×100소자 정도의 규모로 추진되고 있다.

2) NMA의 확충

안테나수가 적은 간섭계에서는, 감도가 낮고 시야가 좁기 때문에 대규모의 탐색관측에는 적합하지 않다. 그러나, 그 고분해능(1" 정도)과 위치결정에 대한 높은 정밀도(전파가 강한 천체라면, 0.1" 정도)를 살려서, 이미 검출된 천체에 대한 고정밀도의 위치결정이라든지, mapping에 그 위력을 발휘한다. 가령, 큰 구경의 단일망원경이라든지 IRAS등으로 흥미있는 천체가 발견된 경우에는 이러한 장치와의 협동관계가 중요하다고 하겠다. NMA에서 LMA완성까지의 당면의 과제로서 다음과 같은 계획을 추진하고 있다. 그리고, LMA건설착수까지 시간이 걸린다고 한다면, NMA에 대한 10소자 정도의 증기계획이 필요할지도 모른다.

2-1) 10m안테나의 1소자 증설과 높은 표면정밀도화

높은 표면정밀도의 10m안테나를 1소자 증설하여 NMA의 간섭계 소자수를 6소자로 함으로서, 동시에 관측가능한 상관(Fourier성분)수가 현재의 10에서 15로 늘어난다. 즉, 관측시간이 현재보다 1.5배 빨라지며, 또 같은 관측시간이라면 구경합성(aperture synthesis)상의 화질을 향상시킬 수 있다. 6소자제의 안테나는 전파의 통로가 되는 부

분의 기계적 정밀도를 향상시키어, 전체로서는 40 μ m rms이하의 안테나 표면정밀도를 목표로 하고 있다. 완성은 1993년말 정도의 예정이다. 최근 안테나 패널의 형상 절삭작업이 완료되어, 6 μ m rms이하의 정밀도가 얻어짐으로, 고정밀도 패널의 개발에 있어서 커다란 도움이 되고 있다.

패널은 종래의 알루미늄 허니컴 패널과 마찬가지로 구조이기는 하지만, 형태적으로 높은 정밀도화 및 패널성형시의 온도제어, 단열구조 등에 주의를 기울여, 20 μ m rms이하의 정밀도를 목표로 하고 있다. 또, 전파홀로그래피에 의한 안테나 표면조정을 신속하게 행하기 위하여, 패널의 지지점(약 200점)을 전부 모터구동화할 예정이다. 구동방식은 real time의 조정이 가능하도록 설계되어 있다. 현재, NMA에서는 10m안테나에 대한 전파홀로그래피 시스템의 테스트, 평가시험용 패널의 온도특성의 측정, 빔전송계 미러에 의한 경면수정의 가능성에 대한 검토, 탄산가스레이저에 의한 경면측정법의 검토, 제어계의 설계 등이 진행되고 있다.

광학계의 설계는 100-200GHz대에서 최적화시켜서, 대기가 좋은 때에는 350GHz까지 관측가능한 안테나로 만들고자 생각하고 있다. 그리고 위와 같은 표면정밀도가 달성되면, 230GHz에서는 약 3배, 그리고 350GHz에서는 약 5배의 집광력이 증가하게 된다. 한편, 관측파장이 짧아짐에 따라 지향(pointing)정밀도에 더 한층 정확함이 요구되기 때문에, 광학망원경에 의한 높은 정밀도의 pointing의 해석도 진행되고 있다. 그러나, 안테나 1대만이 높은 정밀도를 가진다고 하여도 간접계 전체로서는 불충분하기 때문에, 기존의 안테나에 대한 정밀도향상에 대해서도 향후 2-3년간에 걸쳐 실시될 예정이다.

2-2) 밀리미터파 서브밀리미터파에서의 저잡음SIS수신기의 개발

1989년-1991년도에 걸쳐서 노베야마 우주전파관측소에서는 서브밀리미터파 간섭계를 위한 소자개발, 특히 파장 1mm부근의 SIS 수신기, 발진기의 위상 안정화등의 개발을 추진해 왔다. 한편, 무조정(tunerless) SIS믹서와 위상 안정도가 좋은 국부발진기의 개발에 성공하여, NMA의 100GHz대 공동이용관측과 150/230GHz대의 시험관측용으로 사용가능한 상태이다. 현재 개발된 100GHz 및 150GHz 무조정 SIS믹서에서는 넓은 주파수대역에 걸쳐서 대단히 좋은 성능이 나오고 있다. 앞으로 230GHz대에서의 관측이 잘 진행된다면, 350GHz라고 하는 전파간섭계로서는 세계최고의 주파수에 도전할 예정이다.

2-3) 초광대역 디지털상관기 및 그 신호전송계의 개발

간섭계관측시의 calibration정밀도를 향상시키기 위해서, NMA에서는 현재 총 대역폭 2GHz의 XF형 상관기시스템의 개발을 추진하고 있다(현재의 FX상관기는 320MHz). 500MHz대역의 상관기를 각 안테나마다 4계통씩, 총 6소자의 안테나에서 24계통을 제작할 예정이다. 또, 광대역의 광화이버 전송계도 필요하게 된다. 이 상관기의 전체시스템이 완성될 때까지는 앞으로 2년 정도 걸리지만, 완성된다면 안테나의 높은 정밀도화에 의한 관측주파수의 고주파수화와 더불어, dust방출에 대한 연속파 관측감도가 비약적으로 향상될 것으로 기대되고 있다. 현재, 이 상관기용의 LSI카드의 설계단계에 있으며, 크록주파수 16-32MHz, lug수 64이상으로, 후린지회전의 기능도 내장되는 대규모의 LSI를 생각하고 있다. 이 LSI에는 VLBI상관기용의 기능도 포함시킬 예정이며, 세계 공통으로 사용되어질 수 있는 것으로서 고안되어 있다.

3) LMA의 건설장소(best site)에 대해서

3-1) 남반구의 가능성

초기에는(1991년 말) LMA의 후보지로는 노베야마가 가장 유력한 후보지로 고려되어

왔다. 그이유는, NMA에는 이미 30개소의 망원경의 station이 설치되어 있으며, 30소자의 LMA를 만든다면 별도로 site를 개발할 필요가 없으며, 미국의 MMA등의 계획에 비해 노베야마가 지극히 유리한 입장에 있기 때문이다. 그러나, 1"를 넘어서는 고분해능의 실현 및 1mm 이하의 보다 짧은 파장대에서의 관측등에 대한 최근의 밀리미터파 천문학의 요청에 대해서는, 좋은 대기와 넓은 토지의 확보라는 측면에서 볼 때, 노베야마를 포함한 일본 국내의 site에서는 이의 실현이 불가능하며, 해외의 site에 눈을 돌릴 수밖에 없다. 그리하여, 해외에서의 LMA site후보지 조사의 출발점으로, 1992년 2월에 칠레의 북부에 있는 ESO의 VLT(Very Large Telescope: 8m4소자의 광학망원경) site부근에 대한 조사가 행하여졌다. 현재 VLT는 칠레에 있는 해발 2664m의 Paranal 산꼭대기에서 건설이 진행되고 있다. 이 산꼭대기에서 동북동 방향으로 약 1.5km의 지점에 사방 1km정도의 평지(해발 약 2400m)가 있으며, 이곳이 LMA에 가장 적합한 site 후보지 중(그외에도 Mauna Kea라든지 중국등도 고려 중이다)의 하나이다.

3-2) 대기에 의한 위상흔들림(scintillation)의 평가

대기흡수에 대해서는 라디오미터 등으로 비교적 간단하게 측정할 수 있지만, 위상흔들림에 대해서는 그렇게 간단하지가 않다. 이에 대한 평가방법으로, 노베야마에서는 1990년부터 정지위성의 전파(19.45GHz)를 사용한 전파seeing모니터로 대기위상 흔들림에 대한 연속관측을 하고 있다. 한편, 하와이의 Mauna Kea산정에서도 SMA를 위해 Masson들이 마찬가지로 관측을 개시하였다(12GHz). 이들에 대한 비교(1990년 11월 21일부터 1991년 1월 28일까지의 데이터를 사용)결과를 보면, Mauna Kea의 밤은 75 μ m rms, 노베야마의 밤은 325 μ m rms로, Mauna Kea쪽이 4배 정도 좋은 것으로 나왔다. 그러나, 주야의 변화는 Mauna Kea보다도 노베야마쪽이 적다고 할 수 있다. 따라서, 이러한 위상흔들림의 측정을 칠레의 후보지에서도 할 필요가 있지만, 그러나 남미에서는 적당한 위성이 없기 때문에 다른 방법을 강구하여야 한다. 가령, 대기방출의 흔들림이 위상흔들림과 어느 정도 상관관계가 있기 때문에, 휴대용 라디오미터를 사용한 측정이 라든지, 보다 나은 방법으로는 수백m 떨어진 거리에 설치된 2대의 라디오미터로 측정 한 대기방출 흔들림의 상관이라든가, 하늘의 두 방향에서의 대기방출 흔들림의 상관을 조사하는 방법 등이 고려되고 있다. 전자의 방법이 잘 진행된다면, 간섭계에서의 실제 관측에서의 위상보정에도 응용할 수 있는 가능성이 있다고 하겠다. 어쨌든, 앞으로 이와 같은 새로운 방법에 대한 검토가 추진되어 나갈 것으로 보인다.