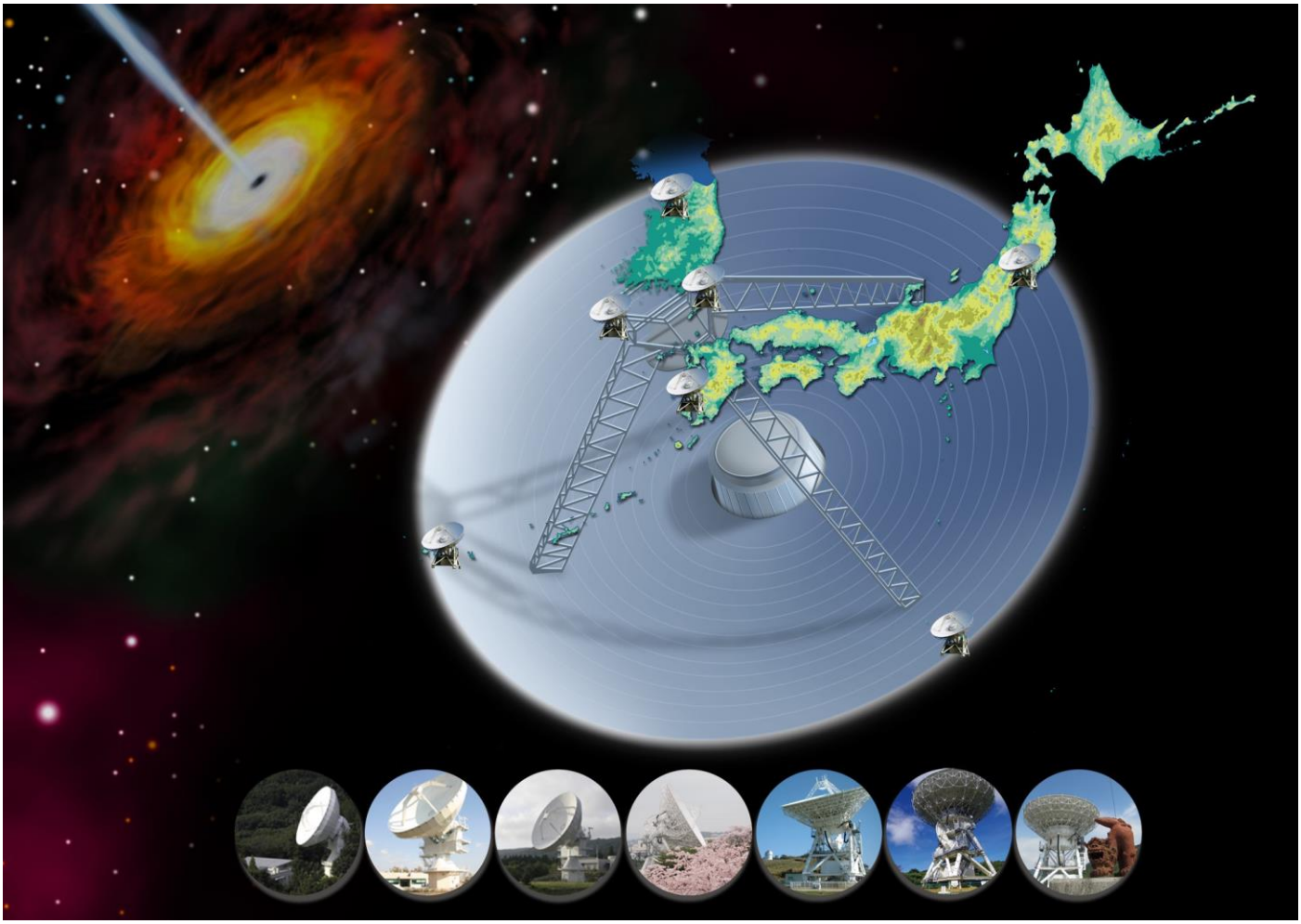
한일공동전파망원경으로 들여다본 초대형블랙홀 ‘초광속 플라즈마 방출’의 현장



크레디트: 한국천문연구원/일본국립천문대/AND You

개요

한국천문연구원과 일본 국립천문대의 연구자를 중심으로 구성된 국제연구팀은 타원은하 M87 의 중심에 있는 초대형블랙홀로부터 분출하는 고에너지 플라스마 ‘제트’의 움직임을 ‘한일공동 VLBI 관측망(KaVA; KVN and VERA Array 의 약칭)’을 이용하여 약 6 개월 기간에 걸쳐 평균 2 주 정도의 유례없이 짧은 시간간격으로 정밀 관측하였다 (연구책임자: 하다 카즈히로 박사). ‘한일공동 VLBI 관측망(KaVA)’은 한국과 일본에 위치하는 7 기의 전파망원경을 합성해서 높은 해상도와 감도를 실현하는 가상의 거대 망원경을 구성하는 한일공동 프로젝트이다. 연구팀은 겉보기 운동속도가 빛의 속도를 넘는 제트의 ‘초광속운동’을 블랙홀에서 5 광년에 이르지 않은 거리에서 검출하는 것에 성공하였다. 이 결과는 현재까지 알려진 것보다 10 배 이상 블랙홀에서 가까운 거리에서 제트가 이미 빛의 속도에 가깝게 가속되어 있는 것을 시사하며, ‘블랙홀의 강한 중력을 뿌리치기 제트가 어떻게 분출되는가?’라는 오래된 천문학계의 난제를 풀 단서가 될 것이 기대된다.

연구 그룹

하다 카즈히로 (일본국립천문대 미즈사와 VLBI 관측소 조교수; 연구 책임자)
키노 모토키 (Motoki KINO, 한국천문연구원 전파천문본부 선임연구원; 프로젝트 책임자)
박종호 (Jong-Ho PARK, 서울대학교 자연과학대학 대학원생)
노현욱 (Hyunwook RO, 천문연-연세대 학연대학원 대학원생)
니이누마 코타로 (Kotaro NIINUMA, 야마구치대학 이공학연구과 부교수)
손봉원 (Bong Won SOHN, 한국천문연구원 전파천문본부 선임연구원; 프로젝트 책임자)
기타 한일공동 VLBI 관측망 사이언스 워킹그룹

관련 문의

손봉원 박사 (한국천문연구원)
전화 : 042-865-2173 (연구실)
010-5870-8327 (휴대전화)
이메일 : bwsohn@kasi.re.kr

배경

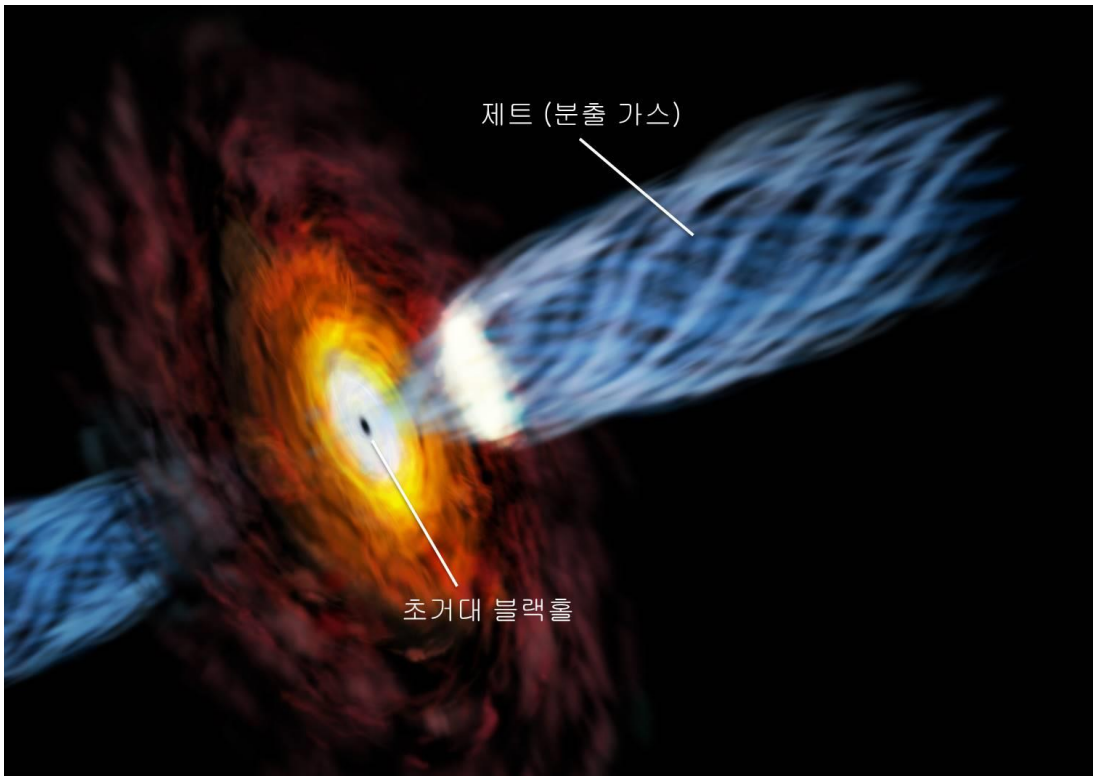


그림 1. 활동성은하핵 초대형블랙홀 주변의 상상도 (크레디트: 일본국립천문대/AND You Inc.)

현대천문학은 대부분의 은하의 중심에는 태양 질량의 백만 배 이상에서 수 억 배까지의 초대형블랙홀이 존재함을 밝혔다. 블랙홀은 강한 중력으로 주변물질을 끌어드리고, 빛도 빠져나갈 수 없는 천체로서 잘 알려져 있다. 블랙홀 자체는 빛나지 않지만 끌려오는 물질의 중력에너지를 연료로 빛을 내도록 활성화 될 수 있고, 다양한 활동적인 현상이 발생한다. 이 현장을 직접 관측하는 것은 블랙홀의 성질이나 활동성을 규명하는 데 직접 관련 있기 때문에 천체물리학의 가장 중요한 주제 중의 하나로서 활발히 연구가 진행되고 있다.

일부 초대형블랙홀은 그 활동성이 극히 강력하고, 물질을 끌어들이는 동시에 강력한 '방출'도 하고 있는 것이 밝혀지고 있다 (그림 1). '제트'란 현상은 전리한(전자가 떨어져나간) 가스(플라스마)의 좁은 길목을 통해 분출되며 빛의 속도에 극히 가까운 속도(광속의 99%를 초과하는 것도 있음)로 몇 천 광년에서 몇 만 광년 이상까지 뻗어 나아가는 우주최대규모의 고에너지 현상이다. 우주에 존재하는 초대형블랙홀의 약 10%가 이런 강한 제트를 가진 것으로 알려져 있다.

하지만, 초대형블랙홀의 강력한 중력을 뿌리치고 어떻게 제트가 형성되고 최종적으로 빛에 가까운 속도까지 가속되는지, 그 자세한 과정은 아직 해명되지 않았다. 초대형블랙홀에서의 제트 분출은 현대 천문학의 가장 어려운 난제 중 하나로서 알려져 있다. 이론 연구와 컴퓨터 시뮬레이션을 발전으로 블랙홀 자체의 회전(스핀)과 그 주변에 존재하는 자기장과의 관계가 주목 받고 있는데, 초대형블랙홀의 제트에 관한 논쟁은 반세기 넘기고 있다. 이 문제를 해명하기 위해 블랙홀 주변과 제트가 분출된 직후의 현장에서 제트의 움직임을 명확히 관측하는 것이 매우 중요하다.

M87 (처녀자리): 지구에서 가장 가까운 초대형블랙홀 제트

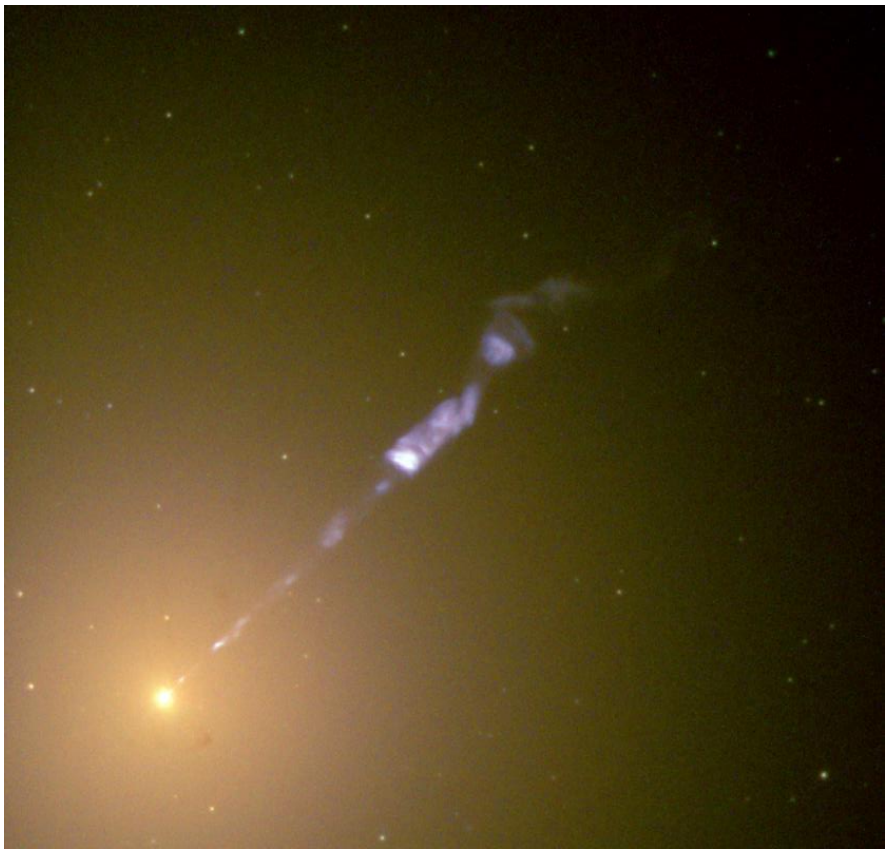


그림 2. 허블우주망원경(가시광선)으로 촬영한 M87 의 제트 (영상 크레디트: Nasa and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA))

우리는 이번 지구에서 5440 만광년의 거리에 있는 타원은하 M87 에 주목하였다. M87 은 처녀자리 은하단의 중심부분에 위치하는 거대 전파은하이고 그 중심에는 태양 질량의 60 억배란 우주 최대급의 초대형블랙홀이 존재하는 것이 알려져 있다. 현재까지 허블 우주망원경 등을 이용해서 중심핵에서 약 5 천광년의 길이에 이르는 제트가 빛의 98% 이상의 속도로 운동하는 모습이 관측되었다(그림 2). 최근 VLBI 관측(아래 설명)의 발전으로 인해 M87 제트의 뿌리 부분의 구조를 블랙홀 지름의 10 배 정도 보다 좋은 분해능으로 볼 수 있게 되어, 세계 블랙홀 연구자들이 지금 가장 주목하고 있는 '초대형블랙홀 제트 연구의 로제타 석'이라고 부를 만한 천체이다. M87 은 약 100 년전(1918 년)에 인류가 처음 우주에서 제트 현상을 발견한 기념비적인 천체로도 잘 알려져 있다.

하지만, 아직 제트 뿌리 부분의 분출속도를 정확히 측정하지 못하고 있는데, 현재까지 주로 미국 VLBI 관측망 VLBA 를 이용하여 실시된 M87 제트의 연속 관측 결과에서는 제트 뿌리에 가까운 곳의 속도는 빛의 10 ~ 30% 이하의 느린 속도라는 결과가 보고 되었다. 그러나 이 연구는 석 달에서 반년에 이르는 긴 시간 간격을 가지고 있으며 거친 품질의 관측 영상에 근거를 두고 있다. 따라서 각 관측시기 사이의 제트의 움직임을 정확히 추적 못하여 실제 제트의 속도를 제대로 측정하지 못한다는 문제가 제기되었다. 이 문제를 해결하기 위해서는 제트 뿌리의 움직임을 보다 자주, 그리고 균일한 높은 품질로 관측할 필요가 있었다.

한일공동 VLBI 관측망: The KVN and VERA Array

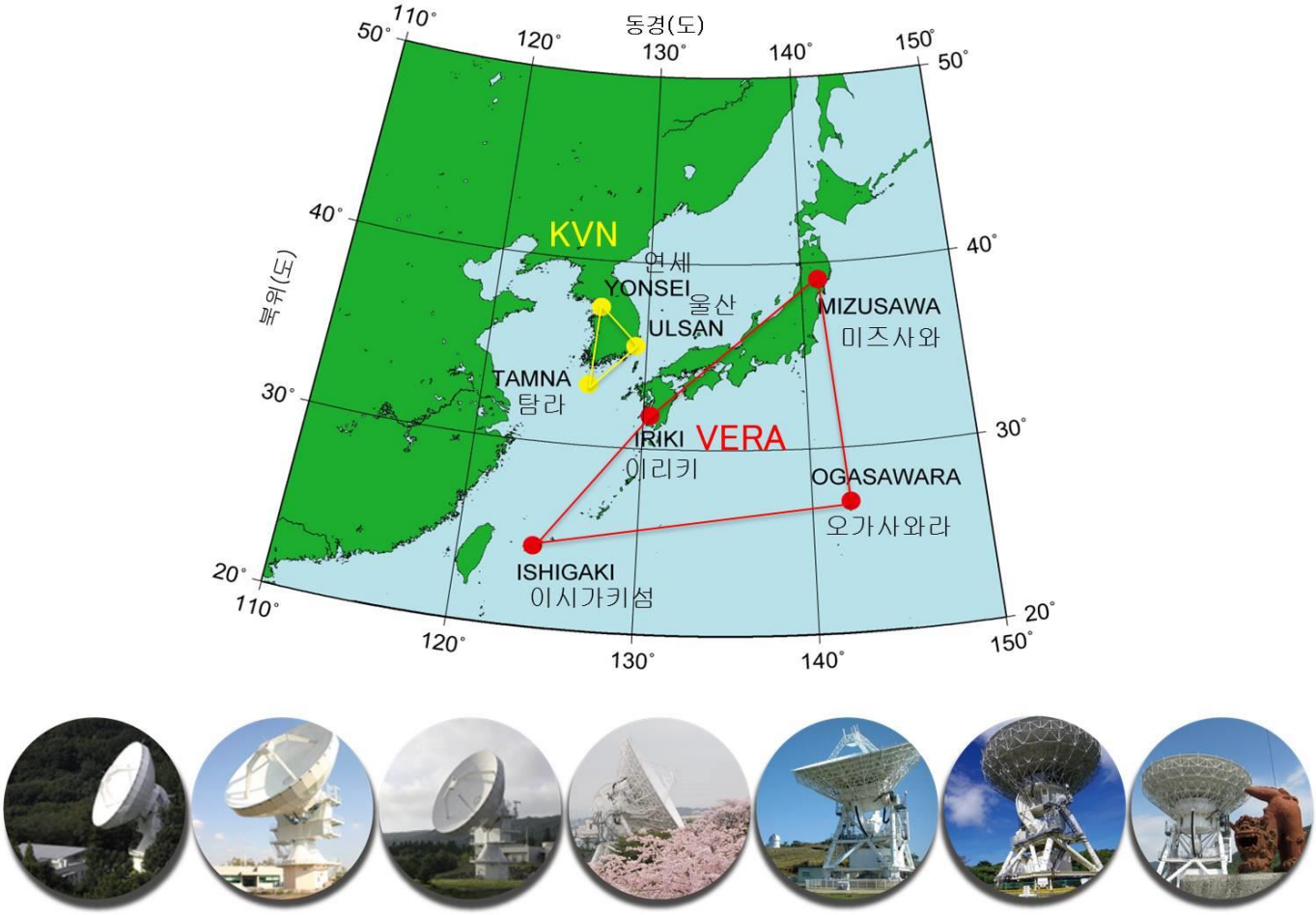


그림 3. 한일공동 VLBI 관측망 (KaVA). (위) KaVA 의 망원경 배치도. (아래) 각 지점의 전파망원경. 좌쪽에서 연세국, 울산국, 탐라국, 미즈사와국, 이리키국, 오가사와라국, 이시가키국. (화상 크레디트: 일본국립천문대/한국천문연구원)

우리는 '한일공동 VLBI 관측망 (KaVA; 그림 3)'을 이용해여 이 문제에 도전하였다. VLBI (Very Long Baseline Interferometer: 초장기선 전파간섭계)란 지구 각지에 있는 다수의 전파망원경의 데이터를 합성해서 각 망원경의 거리와 같은 지름을 가지는 가상의 거대 전파망원경을 만드는 기술이다. 한국천문연구원은 VLBI 전용관측망인 KVN 를 운영 중이며, 일본 국립천문대는 2000 년대 초반부터 일본 VLBI 관측망 VERA 를 운영하고 있다.

KaVA 는 KVN 과 VERA 를 공동 활용하여 더욱 높은 성능을 가지는 거대 망원경을 만드는 한일공동프로젝트이다. 두 관측망의 공동활용으로 각 관측망을 개별로 쓰는 경우보다 월등히 뛰어난 성능을 얻을 수 있다 (그림 4). 공동관측망을 구현하기 위해서는 장치 개발, 성능 시험, 관측망 운영, 과학 연구 등 모두 과정에서 한일 연구자들의 긴밀한 협력과 강한 신뢰관계가 필요하다. 우리는 2011 년부터 약 3 년 동안 실시한 시험적인 관측망 운영을 통해여 공동관측망의 안정화에 성공하고, 2014 년부터 과학관측을 위한 정상적인 운영을 시작하였다.

KaVA 의 가장 큰 장점은 안정적인 관측을 자주 수행할 수 있다는 점이다. VLBI 로 천체를 정기적으로 관측하는 것은 다른 VLBI 관측망으로도 가능하지만, 이러한 관측망의 경우, 제공되는 관측시간은 필요한 최소한도 혹은 그 이하로 제한되는 것이 일반적이다. 한편

KaVA 는 우리가 보유한 관측망이어서 난이도가 높고 야심적인 연구에 집중적으로 관측시간을 배정하여 도전할 기회를 가질 수 있다. KaVA 는 고속으로 움직이는 제트의 속도 측정 등 빈번한 관측이 요구되는 연구에 매우 강한 경쟁력을 지닌 연구시설이다.

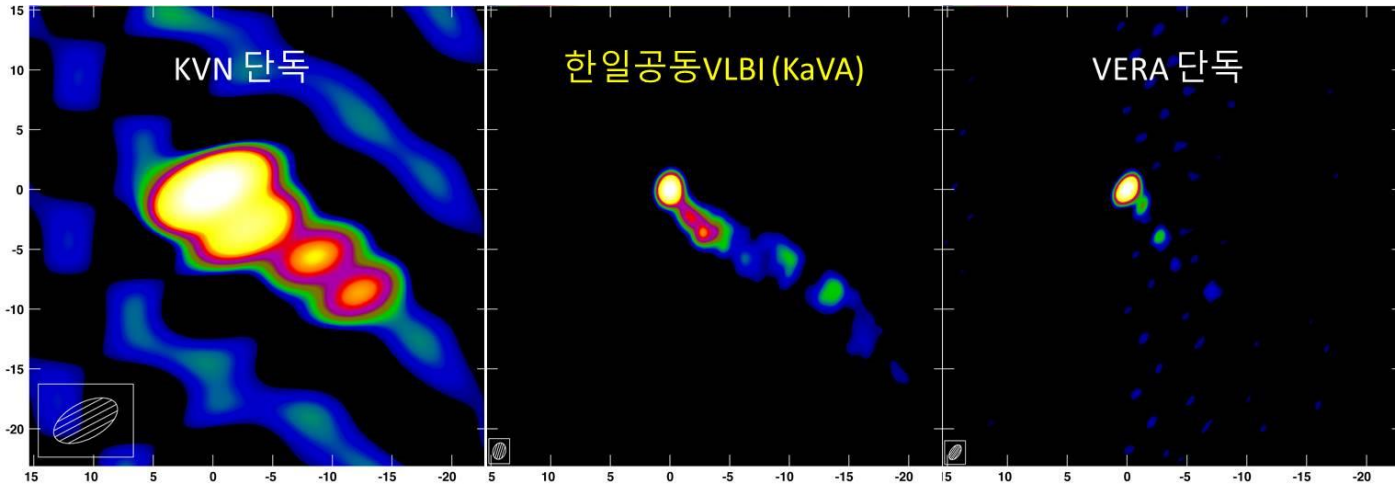


그림 4. VLBI 전파 영상 비교(밝은 활동은하핵인 3C 273 관측으로 검증). (왼쪽) KVN 로 관측한 영상. (오른쪽) VERA 로 관측한 영상. (가운데) KaVA 공동관측 영상. 각 영상 왼편 아래의 타원은 각 관측망의 해상도를 나타낸다. 공간 스케일의 단위는 밀리초각 (1 도의 360 만분의 1)이다. KVN 만을 이용한 경우 해상도가 거칠기 때문에 영상의 선명도가 떨어지며, VERA 만을 이용한 경우 감도가 나쁘기 때문에 천체의 중심부분밖에 검출 못한다. KaVA 를 이용한 경우에는 높은 해상도와 감도로 멀리 뻗어나가는 제트의 어두운 부분까지 선명히 촬영할 수 있다.

관측결과

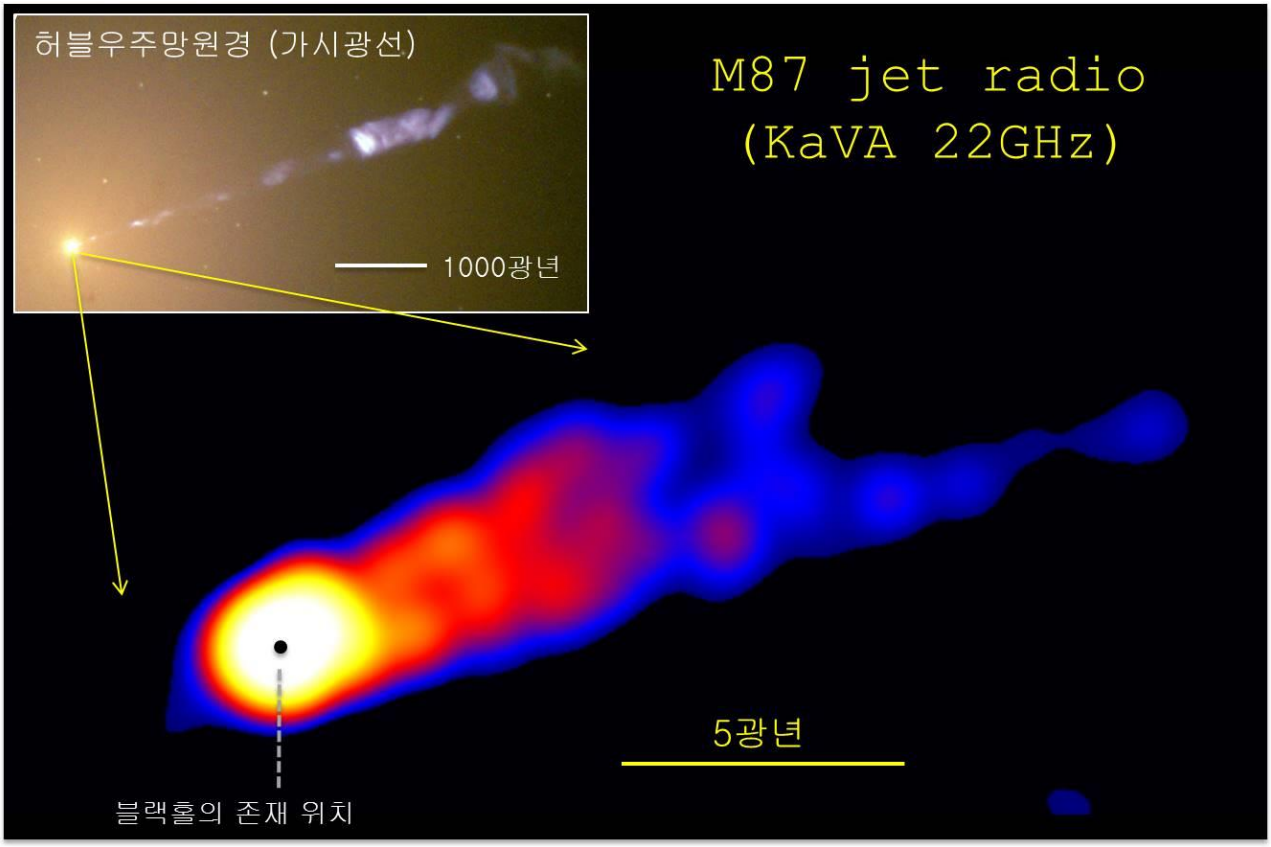


그림 5. KaVA 를 이용해서 관측한 M87 제트 뿌리 부분의 전파사진(주파수 22 GHz, 파장 13 밀리미터). 허블우주망원경의 100 배 이상의 해상도로 블랙홀 주변에서 분출한 직후의 제트의 모습을 선명히 볼 수 있다.

우리는 2013 년 12 월부터 2014 년 6 월까지 KaVA 를 이용해여 M87 제트의 뿌리를 2 - 3 주일에 한번씩 총 13 번의 VLBI 관측을 실시하였다. 이것은 현존하는 최고 빈도의 관측입니다. 이 관측 결과, 제트 분출구 주변에서 지금까지 알려져 있지 않았던 제트의 자세한 움직임이 밝혀졌다.

우리는 제트가 블랙홀에서 분출한 후 5 광년에 이르지 않는 위치에서 '초광속운동'을 보이는 것을 확인하였다(그림 6). '초광속운동'이란 제트가 관측자의 방향으로 극히 빠른 속도(빛의 속도의 70% 이상)에서 움직이고 있는 경우, 관측자에게는 제트가 겉보기로 빛보다 빠르게 움직이는 것처럼 보이는 현상이며, 블랙홀에서 수십 - 수백광년 떨어진 지점의 제트에서는 몇몇 천체에서 보고된 바 있다. M87 에서도 100 광년을 넘는 제트의 '하류'에서는 초광속운동이 과거 관측에서 확인되었지만, 블랙홀에서 5 광년 밖에 떨어지지 않은 분출구 부근에서 초광속운동 현상을 검출한 것은 이번 연구가 최초이다.

이번의 관측에서는 광속의 약 1.1 배를 넘는 초광속운동이 확인되었다. 이것은 제트가 시선 방향에서 20 도의 방향으로 분출하는 경우, 실제로는 광속의 80% 이상의 속도로 제트가 움직이고 있는 것을 의미한다. 따라서 이번의 관측 결과는 현재까지의 예상보다 10 배 이상 블랙홀에 가까운 위치에서 제트가 벌써 빛의 속도에 가까운 '상대론적' 속도로 가속되어 있는 것을 보여주는 중요한 발견이다.

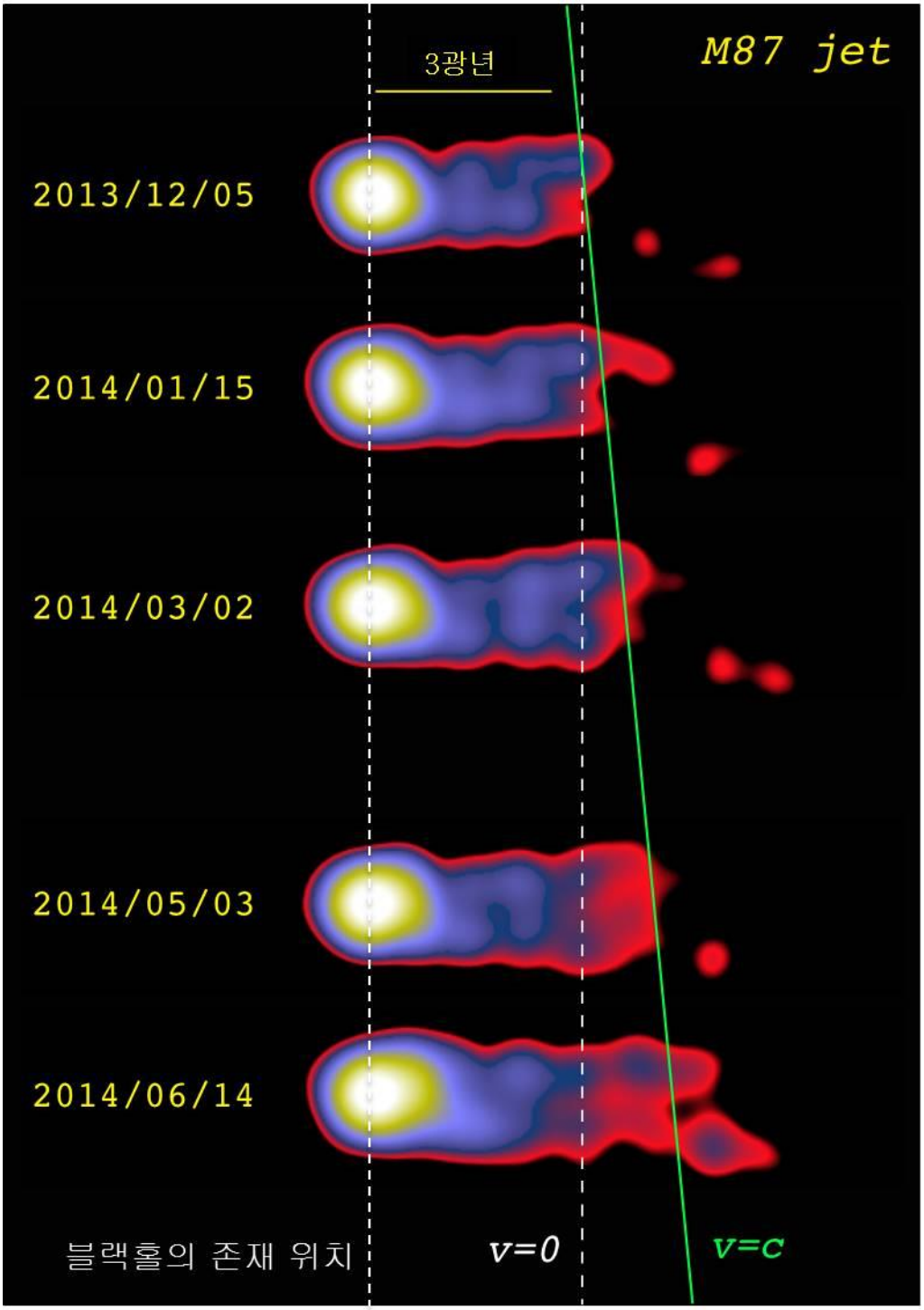


그림 6.: KaVA 를 이용한 M87 제트 뿌리의 관측 결과. 2013 년 12 월부터 2014 년 6 월까지의 기간 에 실시한 관측 중 5 개 관측의 데이터를 활용. 가장 밝은 위치에 제트 분출구가 있고 그 조금 왼쪽에 초대형블랙홀이 위치(그림에는 표시되어 있지 않음)하고 있다. 거기에서 4 광년 정도 오른쪽 하류의 위치에서 제트가 시간에 따라서 바깥쪽(오른편)으로 움직여가는 모습이 보인다. 참고로 빛의 속도와 같은 움직임을 녹색의 직선(v=c)으로 나타내었다. M87 의 제트는 분출한 후 얼마 안된 위치에서 이미 겉보기로 빛의 속도보다 빠른 속도의 초광속 운동하고 있다는 것을 이 연구가 최초로 밝혔다.

연구의 의의와 앞으로의 전망

이번의 연구로 이전의 예상보다 10 배 이상 블랙홀에 가까운 위치에서 제트 분출류가 빛의 속도의 80%를 넘는 속도까지 가속되어 있는 것이 처음 밝혀졌다. 블랙홀에서 가까운 제트 분출류의 뿌리 부근에서는 플라스마의 상태(자기장의 구조와 강도, 플라스마의 밀도 등)의 변화에 따라 제트 분출류의 상태(흐름의 속도나 밝기) 역시 변화한다고 예상되며 앞으로 지속적인 집중 관측으로 이를 규명하고자 한다.

한국천문연구원의 손봉원 박사는 '우리는 2016 년 봄부터 KaVA 의 두 파장(13 mm 및 7 mm)를 이용한 M87 의 집중 관측 프로젝트를 시작하여 기존의 관측보다 블랙홀에서 더 가까운 영역부터 더 먼 하류까지 제트 분출류가 시간에 따라서 어떻게 변화하는지를 자세히 관측하기 시작합니다. 이 프로젝트에서는 서울대와 연세대(천문연-연세대 학연대학원)의 대학원생이 중심적인 역할을 맡고 있어 연구팀의 분위기는 전보다 더 젊고 활기에 차 있습니다.'라고 말하고 있다.

앞으로 한일공동연구팀은 KaVA 를 이용한 제트 분출류의 관측과 최첨단 컴퓨터 시뮬레이션을 자세히 비교, 분석하여 오래된 난제인 블랙홀 분출류 형성 과정 규명에 도전할 계획이다.

용어 설명

- 활동은하(또는 활동성은하): 은하의 중심부에 초대형블랙홀을 가지고 있으며 그 주변에서 태양의 1 조배를 넘는 에너지 방출을 하고 있는 천체. 이 중심영역의 에너지가 은하 전체의 복사를 초과하기도 한다.
- 슈바르츠실트 반지름: 블랙홀의 강한 중력 때문에 빛이라도 탈출할 수 없는 영역의 반지름. 자전하지 않는 블랙홀의 경우, 슈바르츠실트 반지름이 블랙홀의 크기를 정의한다.
- 한국우주전파관측망 (KVN: Korean VLBI Network): 한국천문연구원(KASI)이 보유한 한국의 VLBI 관측망으로 한국 내 3 개 관측소(연세(서울), 울산, 탐라(제주))에 지름 21 m 의 전파망원경이 배치되어 있다. 각 망원경의 거리는 305 km – 478 km 이며, 밀리미터 영역의 4 개 주파수의 전파를 동시에 관측할 수 있는 세계 유일의 VLBI 관측장치입니다.
- VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry): 일본 국립천문대가 보유하는 일본의 VLBI 관측망 이다. 일본 내 4 개 관측소(미즈사와(도호쿠 지방), 오가사와라(태평양), 이리키(가고시마 지방), 이시가키지마(오키나와 인근)에 지름 20 m 의 전파망원경이 배치되어 있다. 이들 4 대의 전파망원경을 동시에 사용해서 전파망원경의 최대 거리에 상당하는 지름 2,270 km 의 망원경과 같은 해상도를 얻을 수 있다.
- 한일공동 VLBI 관측망 (KaVA: KVN and VERA Array): KVN 과 VERA 합계 7 대의 전파망원경을 이용하면 짧은 거리(기선)부터 긴 기선까지 동시에 활용하여 관측할 수 있다. 이러한 관측을 실시하면 KVN 이나 VERA 만 이용한 관측과 비교해서 더 높은 품질의 전파영상을 얻을 수 있는데, 공동망 구성으로 얻게 되는 관측성능의 향상은

단순한 산술적합을 크게 초과한다.

- 초광속 운동: 초대형블랙홀 제트의 실제의 속도가 빛의 속도(c)에 아주 가까운 속도('상대론적 속도')에서 관측자의 방향으로 움직일 때에 관측되는 겉보기의 운동이다. 실제의 속도(v)와 겉보기 속도(v_{app}) 사이에는 아래의 관계가 있다.

$$v_{\mathrm{app}} = \frac{v \sin\theta}{1-(v/c)\cos\theta} \quad , \quad (\theta = 20\mathrm{deg})$$

예를 들어, 제트가 관측자의 시선방향에서 20 도 기울어 움직이고 있는 경우, 실제의 제트가 빛의 속도의 62%(빨간색), 78%(녹색), 99%(주황색)의 빠른 속도로 움직이면, 겉보기 속도(특수상대론 효과로 우리가 보는 속도)는 빛의 속도의 50%, 100%, 500%로 보인다(그림 가로축: 실제의 제트 속도, 세로축: 관측될 겉보기의 제트 속도. 겉보기 속도는 파란색 선으로 표시). 초광속 운동은 1970 년대부터 많은 활동은하 제트에서 발견되었는데, 이러한 빛보다 빠른 겉보기 운동은 이들이 빛의 속도에 가까운 속도로 움직인다는 증거이며 아인슈타인의 상대성이론으로 설명할 수 있다.

관련링크

- 한일공동 VLBI 관측망 (KaVA)
  http://radio.kasi.re.kr/kava/main_kava.php
- 한국천문연구원 한국우주전파관측망(KVN)
  http://radio.kasi.re.kr/kvn/kvn.php
- 일본 국립천문대 VERA 관측망
  http://www.miz.nao.ac.jp/
- 한국천문연구원
  http://www.kasi.re.kr/
- 일본 국립천문대
  http://www.nao.ac.jp/