



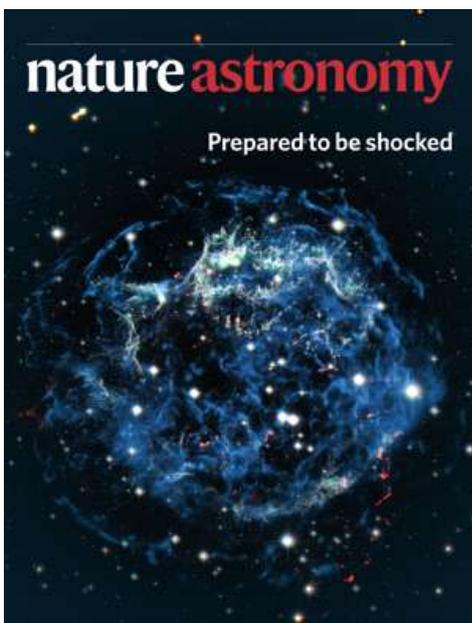
2020. 6. 19.(금)

: 담당자 연락처(02-880-6623)
연구책임자 물리천문학부 구본철 교수(02-880-6623) / 교신저자
공동연구자 물리천문학부 윤성철 교수(02-880-6627)

초신성 폭발 이전의 흔적 발견

- 초신성의 잔해에서 원형 그대로의 별의 내부 물질을 발견하다. -

- 국내 연구진이 약 340년 전 폭발한 초신성의 잔해에서 원형이 그대로 보존된 별의 잔해를 발견했다. 초신성으로 폭발하기 전 별의 내부 깊은 곳에서 방출된 물질이 폭발 충격파에 의해 훼손되지 않은 채 원형 그대로 발견된 것은 이번이 처음이다.
- 서울대학교 물리·천문학부 구본철 교수(제1저자 및 교신저자)가 주도하고 국내외 연구진이 참여한 이번 연구 결과는 네이처 아스트로노미 (Nature Astronomy; <https://www.nature.com/natastron/>) 6월호(6월 15일)의 표지논문으로 게재되었다.



Nature Astronomy 6월호의 표지. 표지의 천체는 약 340년 전에 폭발한 초신성의 잔해 카시오페이아 A의 엑스선, 광학 합성 이미지로, 붉은 색의 작은 덩어리들이 폭발 전 별의 내부 깊은 곳에서 방출된 물질이다. 구본철 교수 연구팀은 이들 중 하나에서 폭발 충격파에 의해 훼손되지 않고 본래 모습을 간직한 별의 내부 물질을 발견했다. [이미지: 구본철(서울대), 이용현(한국천문연구원), 김현정(경희대). 표지 디자인: Allen Beattie]

- 초신성 잔해에서 원형이 그대로 보존된 별의 잔재를 발견한 것은 화마가 휩쓸고 간 숲에서 아직 불에 타지 않은 나무를 발견한 것에 비유할 수 있다.
- 발견이 이루어진 카시오페이아 A(Cassiopeia A) 초신성 잔해는 우리 은하의 가장 젊은 초신성 잔해 가운데 하나로, 초신성 폭발 연구에 매우 중요한 천체이나 폭발 전 별의 본질은 아직 불확실하다.
 - 카시오페이아 A는 지구로부터 약 11,000광년 떨어져 있으며, 태양 질량의 15배에서 25배 정도 되는 별이 폭발한 것으로 알려져 있음.
- 연구팀은 미국 로웰 천문대 4.3미터 망원경(Lowell Discovery Telescope)에 설치된 근적외선 고분산 분광기 IGRINS를 이용하여 별 잔재 물질의 스펙트럼을 얻었으며, 스펙트럼을 분석하여 잔재 물질에 있는 철(鐵, Fe) 원자가 대부분 기체 상태로 존재함을 밝혔다.
 - IGRINS(Immersion Grating Infrared Spectrograph)는 한국천문연구원과 텍사스 대학교(오스틴)가 공동개발한 근적외선 고분산 분광기임.
- 이번 연구결과는 별 내부 깊은 곳의 화학 조성을 가진 물질에서의 티끌 생성 이론과 일치하며, 초신성 폭발 이전 별의 진화 상태가 청색 초거성인 이론적 모형을 지지한다.
- 이번 연구는 한국연구재단의 중견연구자지원사업의 지원을 받았다.

- [붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명
 4. 연구진 이력사항

연구결과

Detection of Pristine Circumstellar Material of the Cassiopeia A Supernova

저자: 구본철(서울대), 김현정(서울대/경희대), 오희영(한국천문연구원), John Raymond(미국 하버드-스미소니언 천체물리연구소), 윤성철(서울대), 이용현(서울대/한국천문연구원), Daniel Jaffe(미국 텍사스주립대학)

카시오페이아 A(이후 Cas A)는 약 340년 전 폭발한 초신성의 잔해로서 1943 발견된 이후 전과장 영역에 걸쳐 많은 연구가 이루어졌다(그림 1). 폭발 당시 초신성은 매우 얇은 최외각 수소층을 가지고 있었음이 알려졌으나, 폭발 전 선조성(progenitor)의 진화 단계는 불분명하다. 본 연구진은 성변물질(circumstellar medium) 덩어리 가운데 하나인 QSF 24에 대한 고분산 근적외선 분광 관측을 수행하였다(그림 2). QSF 24의 철(Fe) 방출선 스펙트럼은 초신성 잔해 스펙트럼에서 흔히 관측되는 넓은 선폭의 방출선과 더불어 이전 연구에서는 관측된 바 없는 좁은 선폭의 방출선을 보여준다. 이들의 공간적 분포를 허블 우주 망원경 이미지와 비교해보면 좁은 선폭의 방출선이 충격파로 둘러싸인 안쪽 지역에서 방출됨을 알 수 있다. 즉, 좁은 선폭의 방출선은 충격파의 영향을 받지 않은 ‘순수’ 성변물질로부터 방출된 것이다. 우리는 방출 스펙트럼을 분석하여 QSF 24의 대부분의 철 원자가 기체 상태로 존재한다는 것을 밝힐 수 있었다. 이 결과는 일반 성간물질에서 1% 미만의 철 원자가 기체 상태에 있는 것과는 매우 다른 결과로서, CNO 순환을 겪은 별의 내부 물질에서의 티끌 생성 이론과 일치한다. 따라서 본 연구 결과는 이들 성변물질 덩어리들이 선조성의 수소 껍질(H-envelope) 아래에 있는 질소가 풍부한 영역(N-rich layer)에서 기원하였고(그림 5) 나아가 Cas A의 선조성이 청색 초거성(blue supergiant)이었을 가능성을 지지한다.

용 어 설 명

1. 초신성의 선조성(progenitor star)

- 초신성으로 폭발하기 이전의 별을 의미한다.

2. 성변물질 및 ‘순수’ 성변물질

- (circumstellar material): 주변의 물질을 뜻한다. 별들, 특히 질량이 큰 별들은 진화하면서 대부분의 질량을 방출하며 이들 방출된 물질은 성변물질로 별 주변에 존재한다.
- ‘순수’ 성변물질(pristine circumstellar material): 별로부터 방출된 후 물리적·화학적 변화를 겪지 않은 성변물질을 뜻한다. Cas A 초신성 잔해에 있는 성변물질의 존재는 일찍이 1950년대 광학관측을 통해 알려졌지만, 모두 초신성 폭발로 발생한 충격파에 휩쓸린 것이다. 충격파는 티끌을 파괴하기 때문에 기존 물질의 기체 상태의 화학 조성을 알 수 없다. 따라서 순수 성변물질의 발견은 폭발 전 선조성에서 방출된 물질 본연의 상태, 특히 기체의 화학 조성을 추적할 수 있다는 점에서 그 의미가 있다.

3. CNO 순환

- 탄소, 질소, 산소를 촉매로하여 수소를 헬륨으로 융합하는 핵융합과정. 질량이 큰 별, 적색 거성, 혹은 점근거성가지 별 내부에서 진행된다.

4. 청색 초거성(blue supergiant)

- 태양보다 매우 크고 밝은 고온의 별. 온도는 10,000 K~50,000 K, 광도는 태양의 약 10,000배에서 100만배에 이른다. 최신 이론에 따르면, 일부 무거운 별들은 마지막 단계에서 청색 초거성이 되어 Cas A와 같이 매우 얇은 최외각 수소층을 가지고 있는 초신성으로 폭발할 수 있다.

그림 설명

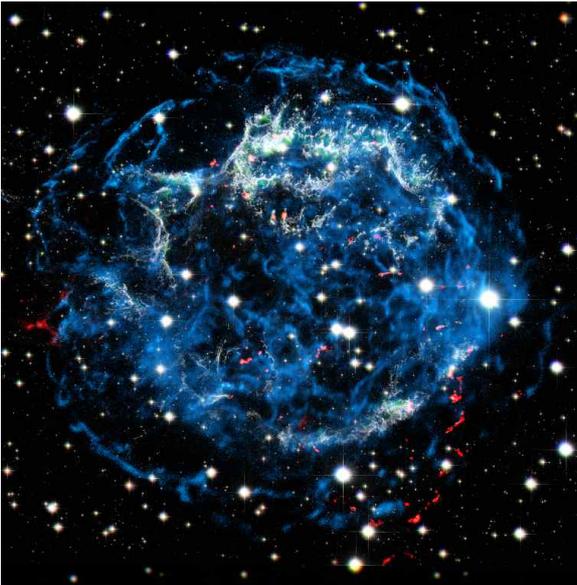


그림 1. 초신성 잔해 Cas A의 엑스선, 광학 합성 이미지. 푸른색은 초신성 충격파에 의해 가열된 기체와 상대론적 전자들의 분포를, 붉은색은 폭발 전 별로부터 방출된 성변물질의 분포를 보여준다. 초신성 폭발 직전과 직후의 격렬한 현장을 잘 보여준다. 이 천체까지의 거리는 11,000 광년이다. [이미지 - 구본철(서울대), 이용현(한국천문연구원), 김현정(경희대)]

푸른색: 찬드라(Chandra) X-선(4.20-6.40 keV) 이미지, 붉은색: 제미니(Gemini) 망원경 수소방출선($H\alpha$) 이미지, 흰색: 허블 우주 망원경(HST) 광학 이미지, 바탕: Second Generation Digitized Sky Survey 광학 이미지

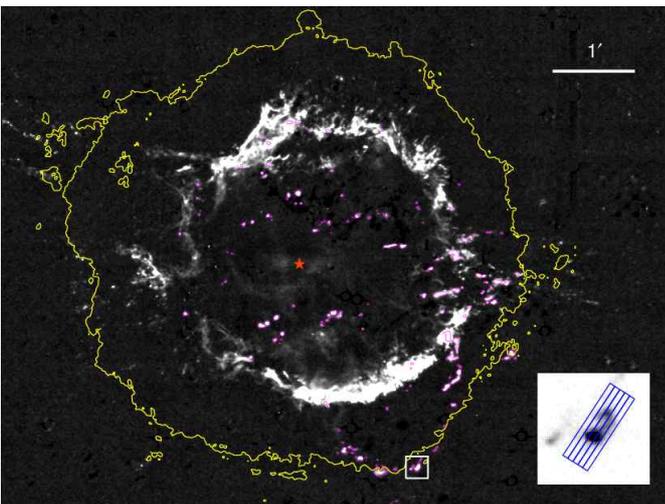


그림 2. Cas A의 $[Fe II] 1.644 \mu m$ 선 이미지 (Koo et al. 2018). 붉은 별표시는 폭발 중심 위치를 나타내고, 바깥쪽의 노란색 선은 전파에서 보이는 초신성 잔해의 경계를 나타낸다. 보라색으로 표시된 덩어리들이 선조성에서 방출된 고밀도 성변물질 덩어리들이다. 남쪽(하단)의 흰 박스로 표시된 천체가 본 연구에서 순수 성변물질이 발견된 QSF 24이다. 오른쪽 아래 박스는 QSF 24의 확대 사진으로 IGRINS 관측 슬릿의 위치가 표시되어 있다.

시된 천체가 본 연구에서 순수 성변물질이 발견된 QSF 24이다. 오른쪽 아래 박스는 QSF 24의 확대 사진으로 IGRINS 관측 슬릿의 위치가 표시되어 있다.

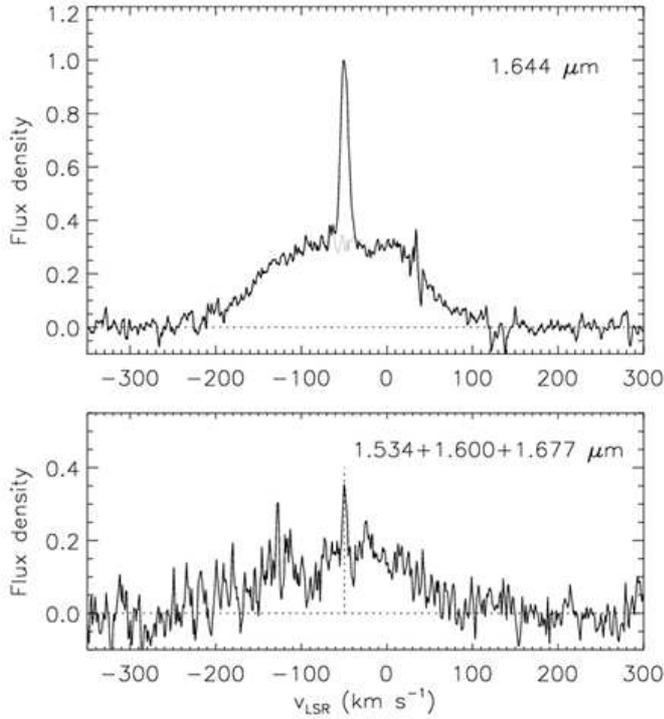


그림 3. Cas A의 남쪽에 위치한 고밀도 성변물질 덩어리 QSF 24의 [Fe II] 선 스펙트럼. 매우 넓은 선폭을 가진 선(BLC)과 더불어 $v_{\text{LSR}} = -50$ km/s 근처에 중심을 둔 좁은 선폭의 선(NLC)을 볼 수 있다.

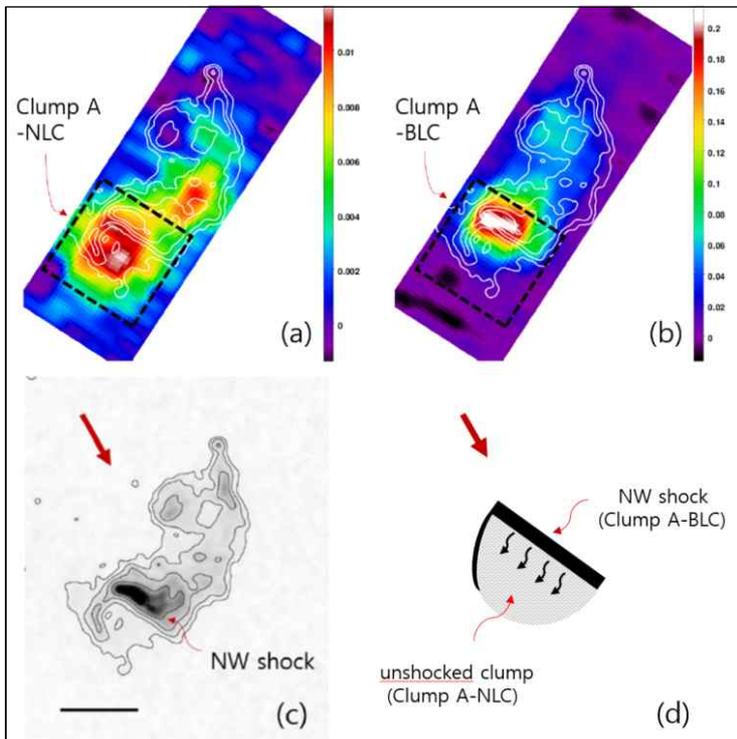


그림 4. QSF 24의 [Fe II] 선 이미지: (a) NLC, (b) BLC. (c) 허블 우주 망원경 WFC3/UVIS F625W 이미지. 아래쪽의 크기 척도는 2" (0.033 pc; 1pc=3.26광년)를 나타낸다. 굵은 붉은색 화살표는 폭발 중심 위치로부터 바깥쪽 방향을 나타낸다. (a)와 (b)에 걸쳐 그린 등고선은 허블 우주 망원경 이미지의 밝기를 나타낸다. (d) QSF 24에서 [Fe II] 선이 가장 밝은

영역 Clump A의 구조를 보여주는 도해.

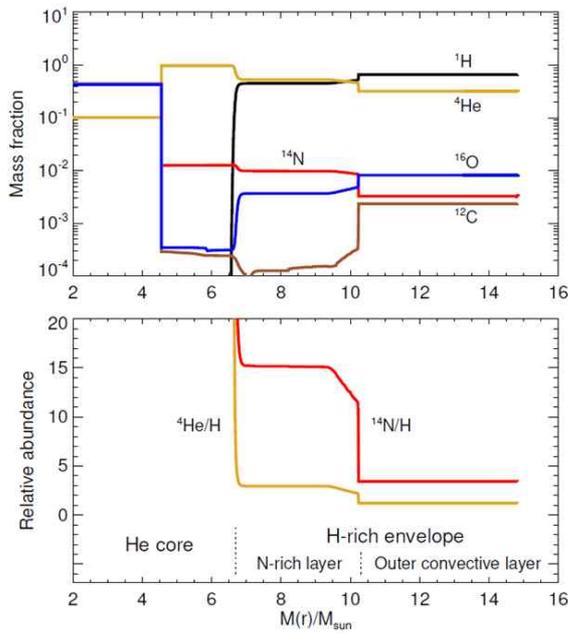


그림 5. 초기 질량이 태양 질량의 20배인 적색초거성(red supergiant)의 내부 화학 구조. CNO 과정과 연관된 원소들의 질량 비율을 보여주고 있다. 가로축은 별의 중심으로부터 거리 r 안에 있는 질량을 나타낸다. 폭발 전 2×10^5 년 전 내부 구조로서 수소 껍질(H envelope) 바깥쪽이 대부분 방출되는 시점이다. 이후 질량 손실이 진행되면서

별 안쪽 부분이 점차 표면에 노출되며 별 표면의 헬륨(He)과 질소(N) 함량이 증가한다.

연구자 이력사항(구본철)

1. 인적사항

- 소속 : 서울대학교 천문학부 교수
- 전화 : 02-880-6623
- E-mail : koo@astro.snu.ac.kr
- 홈페이지 : astro.snu.ac.kr/~koo/



2. 학력

- 1980 서울대학교 학사
- 1982 한국과학기술원 물리학 석사
- 1990 미국 U.C. Berkeley 대학 천문학 박사

3. 경력사항

- 1982 ~ 1985 : 국립천문대 연구원
- 1990 ~ 1992 : 미국 Harvard-Smithsonian; Center for Astrophysics CfA fellow
- 1992 ~ 현재 : 서울대학교 교수
- 2005 : 일본 항공우주연구소 객원교수
- 2008 ~ 현재 : 한국과학기술한림원 회원
- 2012 : 호주 Australian Astronomical Observatory Distinguished Visitor

4. 기타 정보

- 이달의 과학자상(2013)

연구자 이력사항(김현정)

1. 인적사항

- 소 속 : 경희대학교
- 전 화 : 031-201-3871
- E-mail : hjkim@astro.snu.ac.kr / kim.hj@khu.ac.kr



2. 학력

- 2008 : 서울대학교 천문학 학사
- 2018 : 서울대학교 천문학 박사

3. 경력사항

- 2018 ~ 2019 : 서울대학교 박사후 연구원
- 2019 ~ 현재 : 경희대학교 박사후 연구원

4. 기타 정보

-

연구자 이력사항(오희영)

1. 인적사항

- 소 속 : 한국천문연구원
- 전 화 : 042-869-5802
- E-mail : hyoh@kasi.re.kr



2. 학력

- 2008 : 경희대학교 우주과학 학사
- 2010 : 경희대학교 우주탐사학 석사
- 2016 : 과학기술연합대학원대학교 천문우주과학 박사

3. 경력사항

- 2016 ~ 2017 : 서울대학교 박사후 연구원
- 2017 ~ 2019 : 한국천문연구원 박사후 연구원
- 2019 ~ 현재 : 한국천문연구원 선임연구원

4. 기타 정보

-

연구자 이력사항(윤성철)

1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 천문학부 교수
- 전 화 : 02-880-6627
- E-mail : yoon@astro.snu.ac.kr
- 홈페이지 : astro.snu.ac.kr/~yoon/



2. 학력

- 1993 : 서울대학교 천문학 학사
- 1995 : 서울대학교 천문학 석사
- 1999 : 베르사이유 생 캉땡 대학 응용 물리 및 수치 모의 실험 석사
- 2000 : 프랑스 파리 6 대학 천문학 석사
- 2004 : 네덜란드 위트레흐트대학 천체물리학 박사

3. 경력사항

- 2000 ~ 2004 : 네덜란드 위트레흐트 대학 조연구원
- 2004 ~ 2007 : 네덜란드 암스테르담 대학 포닥 연구원
- 2007 ~ 2009 : 미국 UC Santa Cruz 대학 포닥 연구원
- 2009 ~ 2013 : 독일 본 대학 스태프 과학자
- 2013 ~ 현재 : 서울대학교 물리천문학부 부교수

4. 기타 정보

-

연구자 이력사항(이용현)

1. 인적사항

- 소 속 : 한국천문연구원
- 전 화 : 02-880-6623
- E-mail : yhlee@astro.snu.ac.kr



2. 학력

- 2006 : 충남대학교 천문학 학사
- 2011 : 서울대학교 천문학 석사
- 2017 : 서울대학교 천문학 박사

3. 경력사항

- 2017 ~ 2019 : 서울대학교 박사후 연구원
- 2019 ~ 현재 : 한국천문연구원 박사후 연구원

4. 기타 정보

-