

고대 역법에 나오는 日食既의 의미 MEANING OF 'EXHAUSTED ECLIPSES' IN ANCIENT EPHEMERIDES

안상현

한국천문연구원 국제천체물리연구센터

SANG-HYEON AHN

Korea Astronomy and Space Science Institute, 61-1 Hwaam, Yusong, Taejon 305-348, Korea

E-mail: sha@kasi.re.kr

(Received December 2, 2008; Accepted December 22, 2008)

ABSTRACT

It has been considered that 'exhausted eclipses' (日食既) were total eclipses. However, modern precise calculations show that a significant fraction of such records are not realized to be total. Thus we doubt that the two concepts are equivalent. Here we investigate the meaning of 'exhausted eclipses' in the east-Asian history. We first find that eclipses of magnitude greater than 0.8 were regarded as 'exhausted eclipses' by a Korean astronomer of the 18th-century Choson dynasty. His notion was based upon the definition of 'exhausted eclipses' in the ephemerides of pre-modern Chinese dynasties. According to those ephemerides, the 'exhausted eclipses', whose magnitude is greater than 0.8, have the first contact at the western part of the solar disk and the fourth contact at the eastern part of the solar disk. A simple geometrical calculation shows that such cases really occur when the magnitude of eclipse is greater than 0.7. We pointed out that such an ancient definition might not be impractical for ancient astronomers, because the uncertainty of eclipse magnitude estimated by ancient Chinese ephemerides was 10% and the human sight has a spatial resolution of 1.2 arcmin, which is approximately one twentieth of the Sun's angular diameter.

key words: history of astronomy, eclipses, ephemerides

1. 서론

역사서에 나오는 일식 기록은 지구의 자전을 변화를 측정하는데 이용된다. 지구의 자전 속도가 변하는 이유는 주로 달과 해가 지구에 미치는 조석 작용과 그 밖의 비조석 효과 때문이다. 비조석 효과에는 지구의 계절별 대기의 분포 변화 및 극지방 빙하의 양적 변화, 지진, 대륙의 이동, 조수 간만의 변화, 지구 내핵의 변화 등 다양하다. 이러한 효과는 계산하기도 어렵고 너무 복잡하기 때문에 우리는 ΔT 를 단지 측정을 통해 경험적으로 알 수 밖에 없다. 오랜 옛날의 ΔT 값을 측정하는데 일식, 월식, 달가림 현상(lunar occultation of stars) 등이 사용된다(Stephenson & Morrison 1984, 1995; Stephenson 1997; Morrison & Stephenson 2004). 여기서 ΔT 는 지구의 자전 속도가 느려지는 것을 나타내는 척도인데, 지구자전과 무관한 지구시 TT(Terrestrial Time)에서 지구 자전으로 정의되는 세계시 UT(Universal Time)를 뺀 값이다(Meeus 1998; Dickey 1995).

일식 기록들 가운데 실제로 ΔT 를 구하는데 유용한 것은, Stephenson & Yau(1992)의 예와 같이 관측 날짜

와 장소를 정확하게 알 수 있는 개기일식 관측 기록이다. 전세계 여러 문명권이 남긴 일식과 월식 기록들을 분석하면 ΔT 의 시간적 변화를 구할 수 있다(Stephenson & Morrison 1984, 1995; Stephenson 1997; Morrison & Stephenson 2004). 한국사의 고려시대(AD 918-1392)에 대한 기본 사료인 고려사에는 日食既 기록이 다섯 개 있다. 이 다섯 개의 日食既 기록들은 고려시대 500년 동안의 ΔT 변화를 알아내는데 일정한 정도는 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 Stephenson(1997)은 이 기록들을 ΔT 측정에 특별히 유용한 자료로 분류하지 않았다. 그 까닭은, 현대 천문학적인 정밀 역법 계산으로 고려의 日食既 기록들을 재현해 본 결과, 고려의 日食既 기록들 사이에 상호 불일치성이 존재했기 때문이었다. 안상현(2008)은 AD 1000년 이전 중국의 漢나라부터 唐나라에 이르는 시기의 개기일식 기록을 분석하여 日食既는 식분이 $\mu = 0.96 \pm 0.04$ 인 일식을 말함을 알아냈다. 이와 같이 日食既는 현대의 개기일식과는 다른 점이 발견되므로, 우리는 고대 동아시아의 역사서에 기록되어 있는 日食既가 무엇을 뜻했었는지를 규명해 볼 필요가 있다.

본 논문의 2장에서는 조선시대 천문학자가 日食既에 대해 어떻게 인식하고 있었는지 알아보고, 그것이 어떤 문헌을 바탕으로 했는지를 추적하여 중국의 고대 역법에 日食既가 어떻게 정의되어 있는지 고찰해 본다. 3장에서는 그러한 고대 역법의 정의가 실제로 어떤 의미인지를 수학적으로 점검해 보고, 마지막으로 4장에서는 결론을 제시하고, 고대 역법의 계산 정확도와 관측 정밀도를 고찰해 볼 때, 고대의 日食既에 대한 개념이 현대의 개기일식의 정의와 비교해서 약간 느슨해 보이지만 당시에는 실용적인 문제점은 없었음을 지적한다.

2. 日食既

조선 시대에는 일식이 일어나면 왕이 구식례(求食禮)를 거행하였다. 다음은 승정원일기 영조27년(1751년) 음력 5월 1일자에, 영조(英祖)가 친히 구식례를 거행하는 도중에 신하들과 나눈 대화이다. 여기에 日食既의 의미가 나온다.

영조: 우리나라에도 역시 日食既가 있는가? 既란 글자의 뜻은 무엇인가?

조운규¹: 좌전주(左傳註)에 따르면 既는 盡이라 합니다². 전부 다 식한 것(食盡)을 일컫는 것이옵니다.

김태서³: 8분이상을 既라고 합니다.

영조: 既는 몇 년에 있었는가?

장집성⁴: 乙卯年(1735년)에 日食既가 있었습니다.

영조: 8분이상이 既라는 설명이 무슨 책에 있는가?

김태서: 천문서에 있습니다.

영조: 월식에도 또한 既일 때가 있는데, 8분이상을 既라고 하는가?

모두들: 그러하옵니다.

영조: 8분이상이면, 식분이 8분보다 큰 때도 있는가?

모두들: 식분이 8분이상에 이르면, 아래에서 보면 마치 전부다 식한 것 같습니다.

우선 우리는, 영조의 질문에 대해서, 문신인 조운규는 추상적인 답변을 한 반면, 전문 천문학자인 김태서와 장집성은 훨씬 구체적으로 대답했음을 알 수 있다. 김태서는 승정원일기 영조23년 음력 20월23일자에 영조가 “관상감의 김태서는 비상한 인물이다.”라고 평가할 정도의

실력있는 천문학자였고, 장집성은 김태서보다 20년이나 나이가 많은 경험이 풍부한 인물이었으므로 1735년에 日食既가 일어났음을 영조에게 보고하고 있다.

위의 대화를 정리해 보면, 日食既의 既는 좌전주에 따르면 ‘다한다(盡)’는 뜻이고, 구체적으로는 식분이 8분이상인 경우를 말하는데, 식분이 8분이상이면 해나 달이 전부 가려진 것처럼 보이게 된다는 것이다. 여기서 사용된 식분에 대한 정의는 고대 중국 역법에서 사용된 것으로 식분(magnitude of a solar eclipse)에 대한 현대의 정의와 같은 것이다. 즉 해의 지름에서 달에 의해 가려진 부분의 비율을 뜻한다. 따라서 조선의 천문학자들은 식분 $\mu \geq 0.8$ 인 일식을 日食既라고 인식하고 있었다는 결론을 내릴 수 있다.

김태서의 日食既에 대한 인식은 당시 조선에서 표준으로 삼고 있었던 칠정산 내편⁵과 칠정산 외편⁶에서 찾을 수 있을 것이다. 칠정산 내편에는 ‘일식이 시작되는 부분의 방위를 구하는 방법’이 다음과 같이 기술되어 있으며, 그것은 칠정산 내편의 근본이라고 할 수 있는 중국 정통 역법의 결정판인 수시력(授時曆) 또는 그 연장선상에 있는 대통력(大統曆)에도 똑같이 수록되어 있다⁷.

“일식이 양력(陽曆)에서 있을 때, 일식은 처음에 (해의) 서남쪽에서 일어나고, 정남쪽에서 식심을 이루고, 동남쪽에서 복원된다. 일식이 음력(陰曆)에서 있을 때, 일식은 처음에 (해의) 서북쪽에서 일어나고, 정북쪽에서 식심을 이루고, 동북쪽에서 복원한다. 8분이상을 食하는 경우, 일식은 처음에 정서쪽에서 일어나고, 정동쪽에서 복원한다”

이와 비슷한 내용이 아라비아의 회회력을 기반으로 한 칠정산 외편에도 마찬가지로 나온다.

“식심이 보일 때의 달의 황위를 기준으로, (달이) 황도의 북쪽에 있는 경우에는, 초휴는 (해의) 서북쪽에서 일어나고, 식심은 정북에서 일어나며, 복원은 (해의) 동북쪽에서 일어나며, 황도의 남쪽에 있을 경우에는 초휴는 (해의) 서남쪽에서 일어나고 식심은 정남쪽에서 일어나며 복원은 동남쪽에서 일어난다. 8분이상을 食하는 경우에는 초휴는 정서에서 일어나고 복원은 정동에서 일어난다.”

이것은 일식 과정에서 초휴(初虧)와 식심(食甚)과 복원(復圓)이 해 원반의 어느 방향에서 일어나는지를 설명하는 것이다. 현대의 용어로 표현하자면, 초휴는 부분식이 시작되는 순간인 1차접촉(first contact)를 뜻하고, 복원

¹趙雲達 1714-1774, 조선 후기의 문신. 본관은 양주(楊州). 자는 사형(士亨). 당시 그는 우승지(右承旨)였다.

²春秋左氏傳의 “桓公3년 가을 7월, 壬辰朔, 日有食之, 既.”에 붙여 있는 “既者盡也.”라는 주석을 언급한 것이다.

³金兌瑞 1714-?, 조선 후기의 천문학자. 자는 여진(汝珍). 본관은 선산(善山). 1735년 증광시에 합격하여 관상감에 들어감. 1741년 天文正에 임명됨. 품계는 자헌대부까지 올랐으며, 삼력관 구임, 첨절제사, 현감을 역임하였다.

⁴張集成 1695-?, 조선 후기의 천문학자. 자는 성숙(聖叔). 본관은 직산(稷山). 1740년 증광시 합격, 1742년 天文正에 임명됨. 삼력관, 훈도, 교수 역임. 승정원일기에는 集을 執으로 잘못 썼다.

⁵세종실록 칠정산내편, 下卷/第5, 交食/日食/求日食所起. 이 문헌의 역주는 유경로, 이은성, 현정준(1973)을 참고하기 바라며, 칠정산 내편에 대한 자세한 분석은 이은희(1996)을 참고하기 바란다.

⁶세종실록 칠정산외편, 中卷/第3, 交食/日食/求日食方位. 이 문헌의 역주는 유경로, 이은성, 현정준(1974)을 참고하기 바라며, 칠정산 외편에 대한 자세한 분석은 안영숙(2004)을 참고하기 바란다.

⁷元史, 卷55, 志第7, 曆4/授時曆經下/步交會 第6:求日食所起

은 부분식이 끝나는 4차접촉(fourth contact)를 뜻한다. 여기서 양력(陽曆)은 달이 해의 남쪽을 가리면서 지나가는 경우이고, 반대로 음력(陰曆)은 달이 해의 북쪽을 가리면서 지나가는 경우이다. 이것을 예루 추차이(耶律楚材, 1190-1244)가 1216년에 완성한 경오원력(庚午元曆)은 다음과 같이 서술하고 있다.

“일식이 既의 앞[既前]에서 있을 때, 일식은 처음에 (해의) 서남쪽에서 일어나고, 정남쪽에서 식심을 이루고, 동남쪽에서 복원한다. 일식이 既의 뒤[既後]에서 있을 때, 일식은 처음에 (해의) 서북쪽에서 일어나고, 정북쪽에서 식심을 이루고, 동북쪽에서 복원한다. 8분이 상을 식하는 경우, 일식은 처음에 정서쪽에서 일어나고, 정동쪽에서 복원한다⁸.”

수시력의 양력(陽曆)은 경오원력의 기전(既前)에 해당하고, 수시력의 음력(陰曆)은 경오원력의 기후(既後)에 해당한다. 당연히 陽曆도 陰曆도 아닌 경우는 ‘식분이 8분이상인 경우’이고, 또한 既前도 既後도 아닌 경우도 ‘식분이 8분이상인 경우’이다. 既前도 既後도 아닌 경우는 既일 수밖에 없으므로, 既는 ‘식분이 8분이상인 경우’이다. 고대 역법이 서술한 내용은 ‘식분이 8분이상인 既일 때는 일식의 1차접촉이, 8방위상으로 말해서, 해 원반(solar disk)의 정서쪽에서 일어나고, 복원은 해 원반의 정동쪽에서 일어난다.’는 사실이다.

이러한 既의 개념은 언제까지 거슬러 올라갈까? 여러 중국 역법들 중에서 일월식 계산법을 본격적으로 다룬 것은 237년부터 200여년간 사용된 경초력(景初曆)이다. 경초력에는 ‘일식이 맨처음 시작되는 각도를 구하는 방법’을 이렇게 설명하고 있다.

“달이 외도(外道)에 있을 때, (해와 달이) 교점을 먼저 지나고 회합이 나중에 일어나는 경우, 일식은 (해의) 서남쪽에서 먼저 일어나며, (해와 달이) 회합을 먼저하고 교점을 나중에 지나는 경우, 일식은 (해의) 동남쪽에서 일어난다. 달이 내도(內道)에 있을 때, (해와 달이) 교점을 먼저 지나고 나중에 회합하는 경우, 일식은 (해의) 서북쪽에서 먼저 일어나며, (해와 달이) 회합을 먼저하고 교점을 나중에 지나는 경우, 일식은 (해의) 동북쪽에서 일어난다. 식분의 많고 적음에 따라, 위와 같이 15로써 분모를 삼는다. 회합과 교점이 일치하는 것은 일식이 다 되었다[蝕盡]고 한다. 월식은 해가 충(衝)의 위치에 있을 때 일어나는데 그 일어나는 방향은 위와 반대이다⁹.”

여기에는 ‘식분이 8분이상인 경우’라고 명시하지는 않았지만, “해와 달의 회합이 교점과 적중하면 식진(蝕盡)¹⁰ 된다.”라고 既의 개념을 설명하고 있다. 여기서

외도(外道)라는 것은 달의 황위(ecliptic longitude)가 음수(negative)인 경우이고, 반대로 내도(內道)는 황위가 양수인 경우이다. 또한 교점(交)은 황도(the ecliptic)와 백도(Moon's path)의 두 교점을 말하는데, 달의 황위가 증가하면서 교차하는 경우를 현대 천문학에서는 승교점(ascending node)라고 하고, 반대로 달이 황위가 줄어들면서 황도를 지나치는 경우를 강교점(descending node)라고 한다. 여기서 회합[會]이란 표현은 해와 달의 황경이 같아지는 현상, 즉 황경상의 회합(conjunction in ecliptic longitude)을 말한다. 다른 하나는 적경상의 회합(conjunction in right ascension)인데, 이 경우에는 두 천체가 한 자오선 상에 위치하게 된다. 경초력에서 나는 네 가지 경우들은 두 교점들과 해와 달의 회합 위치 위치에 따른 네 개의 조합이다.

경초력 이후 나온 중국의 역법들 중에서 1차접촉 방향을 구하는 방법에 관해 서술한 것들을 표 1에 정리하여 놓았다. 몇 가지 사용된 용어가 다르긴 해도 대동소이한 내용들이다. 일식이 일어날 무렵에 달의 황위가 음수일 때를 外道·陽道·陽曆으로 표현하고, 반대로 달의 황위가 양수일 때를 內道·陰道·陰曆으로 표현하고 있다. 이러한 용어들은, 천상열차분야지도와 같은 전통적인 천문도에서 황도원의 내부와 외부에 각각 달이 위치할 때를 생각하면, 쉽게 이해할 수 있다.

시대별로 대표적인 것을 골라 몇 가지만 소개하면 다음과 같다. 우선 619년부터 46년간 사용되었던(이은성 1983, 藪内清 1990) 당(唐)의 무인력(戊寅曆)에서는 “만약 달이 외도(外道)에 있으면, 처음에 일식은 (해의) 서남쪽에서 일어나고 식심은 동남쪽에서 일어난다. 만약 달이 내도(內道)에 있으면, 처음에 일식은 서북쪽에서 일어나고 식심은 동북쪽에서 일어난다. (식분이) 13도 이상이면, 일식은 정서쪽에서 일어난다¹¹.”라고 되어 있다. 무인력에서 정의한 일식의 식분은 15도를 단위로 했으므로, 13도 이상은 현대의 식분으로는 $\mu \geq 0.87$ 이다. 다른 역법들에서 8분 이상이라고 되어 있는 것과 크게 다르지 않은 값이다. 무인력에 이어 사용된 대연력(大衍曆)에는 “식분이 12분이상이면, 일식이 (해의) 정서쪽에서 일어나고 정동쪽에서 복원된다¹².”라고 했다.

오대(五代) 시대의 왕박(王朴, 905-959)이 만들어 956년부터 963년 사이에 쓰였던 흠천력(欽天曆)에도 “일식은 해의 서쪽에서 초휴가 일어나고 월식은 달의 동쪽에서 초휴가 일어난다. 식분이 작은 경우는, 달이 양도(陽道)를 지날 때라면 일식은 해의 남쪽으로 치우치고, 월식은 북쪽으로 치우친다. 달이 음도(陰道)를 지날 때라면 일식은 해의 북쪽으로 치우치고, 월식은 달의 남쪽

⁸元史, 卷57, 志第9, 曆6/庚午元曆下:步交會術

⁹晉書, 卷18, 志第8/律曆下:求日蝕虧起角術

¹⁰위의 영조27년 대화 내용에도 나오듯이, 좌전의 주에 따르면 蝕은 既와 같은 뜻이다. 또한, 秋左傳正義에 “食既라는 것은 햇빛이 소

진된 것이다. 그러므로 기진(既盡)이라고 일컫는다[食既者謂日光盡也. 故云既盡也.]”라고 되어 있다.

¹¹舊唐書, 卷32, 志第12/曆1/戊寅曆經:推日蝕所起術

¹²舊唐書, 卷34, 志第14, 曆3/開元大衍曆經:求日蝕所起

표 1. 일식의 초휴(初虧), 식심(食甚), 복원(復圓)이 일어나는 방향. 고대 중국의 역법들에 기술되어 있는 내용을 요약 정리한 것이다.

역법	사용시작	사용기간	西南→正南→東南	西北→正北→東北	正西→正東
景初曆	237	208	月在外道	月在内道	會交中者, 蝕盡.
大業曆	608	11	月在外者	月在内者	$\frac{12}{15} = 0.8$
戊寅曆	619	45	外道	内道	$\frac{13}{15} = 0.87$
麟德曆	665	64	外道	内道	$\frac{12}{15} = 0.8$
大衍曆	729	33	月在陽曆	月在陰曆	$\frac{13}{15} = 0.8$
欽天曆	956	8	月行陽道	月行陰道	日食起虧自西, 月食起虧自東.
儀天曆	1001	22	日在陽曆	日在陰曆	8分 = 0.8
崇天曆	1023	42	日在陽曆	日在陰曆	8分 = 0.8
觀天曆	1092	11	日在陽曆	日在陰曆	8分 = 0.8
紀元曆	1106	21	日在陽曆	日在陰曆	8分 = 0.8
重修大明曆	1137	43	食在既前	食在既後	8分 = 0.8
統元曆	1135	32	〃	〃	〃
乾道曆	1167	9	〃	〃	〃
淳熙曆	1176	15	〃	〃	〃
會元曆	1191	8	〃	〃	〃
紹熙曆	1135	32	〃	〃	〃
統天曆	1135	32	〃	〃	〃
開禧曆	1135	32	〃	〃	〃
成天曆	1135	32	〃	〃	〃
庚午元曆	1216		食在既前	食在既後	8分 = 0.8
授時曆	1280	88	食在陽曆	食在陰曆	8分 = 0.8
大統曆	1368	262	陽曆	陰曆	8分 = 0.8

으로 치우치게 된다.¹³⁾”라고 설명되어 있다. 또한 중국 송(宋)나라에서 사용된 관천력(觀天曆, 1094-1102년 사이에 사용)과 송천력(崇天曆, 1024-1064년 사이에 사용)에는 “해가 양력(陽曆)에 있을 때는 초휴가 해의 서남쪽에서 일어나고 정남쪽에서 식심을 한 다음, 동남쪽에서 복원한다. 해가 음력(陰曆)에 있을 때는 초휴는 서북쪽에서 일어나고, 식심은 정북쪽에서 일어나고, 복원은 동북쪽에서 일어난다. 그 식분이 8分 이상인 경우는 모두 초휴는 정서쪽에서 일어나고 복원은 정동쪽에서 일어난다.”¹⁴⁾는 같은 맥락의 내용이 실려 있다.

3. 수학적 검증

위에서 제시한 승정원일기의 기록과 여러 중국 역법의 설명은 ‘일식의 식분이 $\mu \geq 0.8$ 인 경우를 ‘日食既’라고 하며, 이때 1차접촉은 해 원반의 정서쪽에서 일어나고 4차접촉은 해 원반의 정동쪽에서 일어난다.’로 요약 정리된다. 이번 장에서는 이것을 수학적으로 검토해 보기로 한다.

그림 1은 일식 진행 과정 중에서 1차접촉과 4차접촉을 나타낸 그림이다. 강교점과 승교점 각각에 대해 회합이 교점의 앞뒤에서 일어날 수 있으므로 모두 네 가지 경우가 생긴다. 이것은 경초력의 구분에 네 가지 경우들이다. 즉 달의 황위가 양수일 때는 내도(内道) 음수일 때는 외도(外道)로 구분하고, 교점과 회합의 상대적인 위치에 따라 ‘회합을 먼저하고 교점을 나중에 통

과(先會後交)’하거나 ‘교점을 먼저 통과하고 회합을 나중에(先交後會)’의 두 경우로 구분하여, 그 조합이 네 가지가 된다. 그림 1은 경초력의 구분에 따르면, ‘달이 内道에 있고, 先會後交인 경우’에 해당한다. 이 그림을 x -축에 대해 대칭으로 뒤집으면 ‘달이 外道에 있고, 先會後交인 경우’에 해당한다. 그림 1을 y -축에 대해 대칭으로 뒤집으면, ‘달이 内道에 있고, 先交後會인 경우’이다. 또한 원점에 대해 대칭으로 뒤집으면 ‘달이 外道에 있고, 先交後會인 경우’이다. 물론 달은 항상 서에서 동으로 움직인다. 네 가지 경우들은 모두 합동(congruent)이므로, 본 논문에서는 그 중 하나에 대해서만 생각하기로 한다.

그림 1에서 B 는 강교점이면, 달은 A 에 왔을 때 1차접촉이 일어나고 D 에 왔을 때 4차접촉이 일어난다. 여기서 황도와 백도의 경사각 $\alpha \equiv \angle ABO$ 라고 정의하자. 황도와 백도의 경사각은 5° 이다. 또한 해의 원반(solar disk)에서 1차접촉이 일어나는 점의 x -축에 대한 위치각을 $\beta \equiv \angle AOE$ 라고 정의하자. 이 β 값에 따라서 최대 식분이 어떻게 변하는지 알아보자. 해의 중심 O 에서 \overline{AD} 에 내린 수선의 발을 C 라고 하자. 또한 해의 원반 반경과 달의 원반 반경을 각각 R_S 와 R_M 이라고 하자. 이런 경우, 최대 식분은 다음과 같이 구해진다.

$$\mu = \frac{R_S + R_M - \overline{OC}}{2R_S} = \frac{R_S + R_M}{2R_S} [1 - \sin(\beta - \alpha)]. \quad (1)$$

이제 4차접촉이 일어나는 방향, 즉 달이 D 의 위치에 왔을 때 $\beta' \equiv \angle DOB$ 를 구하자. $\triangle AOC$ 와 $\triangle DOC$ 는 합동이므로,

$$\beta' = \beta - 2\alpha \quad (2)$$

¹³⁾新五代史, 卷58, 司天考第1/顯德欽天曆:虧食所起

¹⁴⁾宋史, 元 脫脫 等, 卷78, 志第31 律曆十一, 觀天曆:求日食所起; 宋史, 卷73, 志第26/律曆6/崇天曆:求日食所起

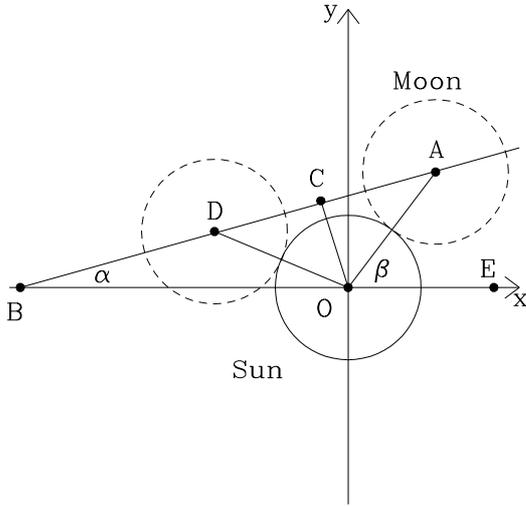


그림 1.— 일식의 1차접촉과 4차접촉. B가 강교점이면 달은 \overrightarrow{AB} 방향으로 진행하며, B가 승교점이면 달은 \overrightarrow{BA} 방향으로 진행한다.

임을 알 수 있다.

수시력(授時曆) 등에는 “일식이 음력(陰曆)에서 있으면, 일식은 처음에 서북쪽에서 일어나고, 식심은 정북쪽에서 일어나며, 동북쪽에서 복원한다.”라고 되어 있다. 여기서 음력이란 달의 황위가 양수인 경우를 말한다는 사실은 앞에서 살펴 보았다. 이 문장을 현대적으로 해석하면, “달의 황위가 양수이고 해와 달의 회합이 달의 강교점 통과보다 먼저 일어나게 될 때, 일식의 1차접촉은 해 원반의 서북쪽에서 일어나고 4차접촉은 동북쪽에서 일어난다.”가 된다. 1차접촉이 해 원반의 서북쪽에서 일어날 조건은 $\frac{\pi}{8} < \beta < \frac{3\pi}{8}$ 이다. 4차접촉이 해 원반의 동북쪽에서 일어날 조건은 $\frac{\pi}{8} < \beta' < \frac{3\pi}{8}$ 인데, $\beta' = \beta - 2\alpha$ 이므로 이 조건은 $32^\circ.5 < \beta < 77^\circ.5$ 이다. 따라서 1차접촉 방향과 4차접촉 방향을 모두 만족하려면, $32^\circ.5 < \beta < 62^\circ.5$ 이고, 이에 해당하는 식분은, $R_S \approx R_M$ 일 때, $0.16 < \mu < 0.54$ 이다.

또한, 수시력에서 “그 일식이 8분이상인 것은 일식이 정서쪽에서 시작되어 정동쪽에서 복원된다.”라고 하였다. 이것은 $-\frac{\pi}{8} < \beta < \frac{\pi}{8}$ 이고, $-\frac{\pi}{8} \leq \beta' < \frac{\pi}{8}$ 임을 뜻한다. $\beta' = \beta - 2\alpha$ 이므로, 이 두 조건을 공통으로 만족시킬 조건은 $-12^\circ.5 < \beta < 22^\circ.5$ 이다. 따라서 $0.7 \leq \mu \leq 1$ 이다.

이 계산은 ‘일식의 1차접촉이 해 원반의 서쪽에서 일어나고 4차접촉이 해 원반의 동쪽에서 끝나려면 최대 식분이 $\mu \geq 0.7$ 이어야 함’을 확인한 것이다. 이것은 고대

중국 역법의 설명과 대체로 일치하는 것이다.

4. 결론

본 논문에서 우리는, 최대 식분이 $\mu \geq 0.8$ 인 일식을 日食既라고 함을 확인하였다. 즉 영조 27년의 대화 내용에서 김태서가 설명한 “일식의 최대 식분이 $\mu \geq 0.8$ 인 경우를 日食既라고 한다.”는 설명, 또한 경초력 이후 고대 중국 역법들에서 언급하고 있는 “최대 식분이 $\mu \geq 0.8$ 인 경우를 既라고 하고, 이 경우 일식의 1차접촉이 해 원반의 서쪽에서 일어나고 4차접촉이 해 원반의 동쪽에서 일어난다.”는 사실을 확인한 것이다.

고대의 개기일식 기록은 지구의 자전을 변화를 나타내는 ΔT 을 구하는데 상당히 중요한 연구 자료이다. 이때 그 일식 기록이 개기일식임이 확실해야만 그 일식 기록으로부터 구한 ΔT 가 신뢰성을 갖게 된다. 지금까지 일반적으로 고대 동아시아의 역사서에 수록되어 있는 日食既 기록들은 개기일식($\mu \geq 1$)이라고 인식되어 왔다. 그러나 현대 천문학적인 정밀 역법 계산으로 과거의 日食既 기록들을 재현해 보면, $\mu < 1$ 인 경우가 日食既로 기록되어 있거나, 지구상의 어느 지역에서는 실현되었지만 그 역사 기록의 관측지에서는 볼 수 없었던 경우도 있다(김동빈, 이용복, 이용삼 2008). 전자의 경우라면, 日食既라는 기록과 함께 ‘밤처럼 어두워졌다’거나 ‘별들이 보였다’와 같은 관찰 기록이 덧붙여져 있다면, 식분이 $\mu > 0.99$ 인 개기일식으로 판정할 수 있을 것이다(Können & Hinz 2008; 안상현 2008). 후자의 경우는, 그 일식을 실제로는 관측하지 못했으나 일식을 예보를 위한 계산 결과만이 역사 기록에 기입된 것으로 볼 수 있다. 부연 설명이 전혀 없이 단지 日食既라고만 적혀 있는 경우, 예를 들어 고려사의 日食既 기록들과 같은 경우는 그 日食既 기록이 실제로 개기일식이었는지 판정하기 곤란하였다. 고려사에 기록되어 있는 다섯 개의 日食既 기록들을 예로 들 수 있는데, Stephenson(1997)은 그 기록들이 ΔT 를 구하는데 별 도움을 주지 못하는 자료로 분류하였다. 본 논문은 日食既 기록이 현대의 개기일식과 일치하는 개념은 아니었음을 보였다. 따라서 앞으로 동아시아의 고대 日食既 기록을 분석하여 ΔT 를 구하는 등의 연구를 할 때, 이러한 사실을 고려하여 분석 작업을 해야할 것이다.

마지막으로 언급해야할 사항은 고대 일식 기록에 나오는 식분의 정확도(accuracy)에 관한 것이다. Stephenson & Fahooti(1995)에 따르면, 세계의 여러 문명권의 월식 예측에 있어 식분의 정확도는 10% 정도였다. 또한 인간의 눈은 공간 분해능이 1'.2 정도이며(Russ 2006), 이것은 식분으로는 $\mu \approx 0.04$ 정도이다. 중국 역법의 경우, 일식의 식분은, 대체로 AD 1000년을 전후로, 그 이전에는 15分으로, 그 이후에는 10分으로 나누었다. 이것은 현대 식분으로는 $\delta\mu = 0.07$ 과

$\delta\mu = 0.1$ 에 해당하는 값이다. 여기서 우리는 인간의 맨눈이 갖는 분해능의 한계 때문에 고대 중국 역법에서 식분의 단위가 대체로 $\delta\mu = 0.1$ 로 주어진 것임을 짐작할 수 있다.

고대에 맨눈으로 일식을 관찰할 때, 특별한 관측 도구를 사용하지 않더라도, 안개나 구름이 적당히 끼었을 때나 해가 뜬 직후나 해 질 무렵에 햇빛이 약해진 틈을 타서 해의 원반(disk)을 맨눈으로도 관찰할 수 있었을 것이다. 그러나 로마, 중국, 아랍의 천문학자들은 강렬한 햇빛으로부터 눈을 보호하면서 안전하게 해를 관찰할 수 있는 방법들을 고안하였다.

중국의 고대 천문학자들이 해를 관찰할 때 사용한 방법은 다음과 같다(“中國天文學史”整理研究小組 編 1981). 전통적으로 중국 천문학자들은 물동이 또는 기름동이[油盆]에 해를 비추어 봄으로써 강렬한 햇빛에 눈이 상하는 것을 방지하였다. 7세기에 편찬된 開元占經(瞿曇悉達 撰 726)에는 기원전 1세기의 인물인 징광(京方)의 일식점(日蝕占)을 인용하여, “해가 장차 일식을 일으키려할 때는 해 옆에 다섯 용(龍)이 먼저 나타난다. 이 용들을 추후하고 일식을 보는 방법은 물동이[盆水]를 뜰 안에 놓고, 동틀 무렵[平旦]으로부터 해질녘[暮]에 이르기까지 관찰한다.”라고 설명하고 있다. 점술과 관련된 내용이기도 하지만, 일식을 관찰할 때 물동이를 사용했던 것은 분명하다. “宋代 淳熙3년 3월 병오삭(즉 서기 1176년 4월 11일)에 개기일식이 일어났는데, 당시 동이에 기름을 담아 해를 관찰했다. 그 좁먹은 것이 약하여 1분에 미치지 않았다. (程大昌(1123-1195), 演繁露 제1권)”라는 기록이 있다. 당시 카이펑(開封)에서는 일식의 식분이 $\mu \lesssim 0.1$ 로 관측되었다는 사실을 설명하고 있는 것이다. 해를 안전하게 관찰하는 중국식 방법은 최소한 조선시대에도 사용되었다. 조선왕조실록 선조36년(1603년) 조의 조선왕조실록에는 구식례를 하는 도중에 대야에 물을 받아 놓고 해를 관찰했음을 나타내는 구절이 나온다. 이밖에도 많은 구식례 기록들이 물동이를 사용했음을 보여준다.

중세 아랍의 천문학자들도 물에 반사된 모습을 보아 일식을 관찰하곤 하였다. 그러나 바람이 약간만 불어도 태양의 모양이 일그러졌다. 1세기 로마의 저술가인 세네카(Seneca)는 그의 시대에 보다 점도가 높은 용액을 사용했음을 전하고 있다. “일식을 관찰할 때마다 기름이나 핏치(pitch)가 담긴 대야를 들고 나갔다. 왜냐하면 무거운 액체는 잘 일렁거리지 않았으므로 태양의 모양을 잘 보전해 주었기 때문이다.” (Stephenson 1997, pp.54, 463).

결론적으로 고대의 육안 관측으로는 일식 식분의 관측 정밀도(precision)는 $\delta\mu = 0.1$ 정도였고 계산 정확도(accuracy)는 10%였으므로, 고대 천문학자들이 일식의 식분에 대해서 $\delta\mu = 0.1$ 정도의 허용오차를 두었더

라도 실용적인 문제는 전혀 없었을 것이다. 따라서 고대 동아시아 사람들이, 오늘날 우리가 개기일식에 대해 갖고 있는 개념과 동일하게, 日食既라는 것은 달이 해의 원반을 전부 가리는 것이며 백도와 황도의 교점에서 해와 달의 회합이 일어나는 것임을 잘 알고 있으면서도, 일식의 최대 식분이 $\mu \geq 0.8$ 인 경우를 日食既로 취급한 사실은 이해하기 어려운 문제는 아니다.

참고문헌

- 김동빈, 이용복, 이용삼, 2008, 조선시대 일식기록의 신뢰성 분석 및 최적관측지 분석, 한국우주과학회보, 17, 19
- 안상현, 2008, 중국 고대 개기일식으로 구한 일식 관측지, BKAS, 33, 76
- 안영숙, 2005, 칠정산 외편의 일식과 월식 계산방법 고찰, 충북대학교 박사학위논문
- 유경로, 이은성, 현정준, 1973, 세종장헌대왕실록 칠정산 내편, (세종대왕기념사업회:서울)
- 유경로, 이은성, 현정준, 1974, 세종장헌대왕실록 칠정산 외편, (세종대왕기념사업회:서울)
- 이은성, 1978, 한국의 책력(上), (전파과학사: 서울), pp.21-31
- 이은희, 1996, 칠정산 내편의 연구, 연세대학교 박사학위논문
- “中國天文學史”整理研究小組 ed. 1981, 中國天文學史, (科學出版社:北京), pp.123-124
- 藪内清, 1990, 中國의 天文曆法, (平凡社, 東京), pp.388-391
- 程大昌 撰, 演繁露 제1권 (中華書局, 北京, 1991)
- Dickey J., 1995, Earth Rotation Variations from Hours to Centuries, Hist. Astron., 10, 17
- Können G. & Hinz C., 2008, Visibility of stars, halos, and rainbows during solar eclipses, Appl. Opt., 47, 14
- Meeus J., 1998, The effect of Delta T on astronomical calculations, JBAA, 108, 154
- Morrison L. V. & Stephenson F. R., 2004, Historical values of the Earth's clock error ΔT and the calculation of eclipses, Jour. Hist. Astron., 35, 327
- Russ J. C., 2006, The Image Processing Handbook 5th Ed., (CRC Press: Boca Raton, Florida), p.94
- Stephenson F. R., 1997, Historical Eclipses and Earth's Rotation (Cambridge University Press: Cambridge, U.K.)
- Stephenson F. R. & Fatoohi L. J., 1994, Accuracy of Early Estimates of Lunar Eclipse Magnitudes, QJRAS, 35, 81
- Stephenson F. R. & Morrison L. V., 1984, Philosophical Trans. Royal Soc. London, 313, 47
- Stephenson F. R. & Morrison L. V., 1995, Philosophical Trans. Phys. Sci. Engineering, 351, 165

Stephenson F. R. & Yau K. K. C., 1992, The total solar eclipse of A.D. 1221 and the rotation of the Earth, *A&A*, 260, 485