

# 歴史的文献から見る恒星の変動現象

藤原智子 (九州大学基幹教育院)

〒819-0395 福岡市西区元岡 744

E-mail: tomokof@artsci.kyushu-u.ac.jp

## Abstract

近代の天文学は、大型望遠鏡や人工衛星など、最先端技術の粋を集めた高性能観測装置により、目覚ましい進歩を遂げている。技術の進歩のお陰で、より遠くの天体をより詳しく調べることが可能になった一方、その時間変化や、過ぎ去ってしまった現象を調べることは難しい。天体の変動現象は様々なメカニズムで起こり、数百年以上の長いタイムスケールで起こるものも少なくない。そのような現象を検出するため、7つの歴史的星表と4つの歴史的星図に残された天体の等級記録を調査した。その中でも特に Bayer の「Uranometria」の星図と現代の恒星カタログを対照したところ、15個の未同定天体があることが分かった。このうち3天体は超新星等の変動天体(または候補)であることが分かったが、残りの12天体については未知の天体である可能性が高い。

更に中小質量星の進化の最終段階にある AGB(Asymptotic Giant Branch)星を対象に、歴史的文献の記録を調査した結果、57 Peg (GZ Peg, HD 218634)に数百年に亘る増光の傾向があることが分かった。本論文の後半では、Tc I 吸収線を対象に行った可視光分光観測の結果と併せ、57 Peg の進化について議論する。

## 1. はじめに

天体の変動現象は、理論、観測両面で精力的に研究が行われているが、長期的な変動を調べるためには、長期間に亘る観測データの蓄積及びその解析が必要である。技術の進歩により、大型望遠鏡や人工衛星などの観測装置の空間分解能は飛躍的に向上したが、それだけでは現象の時間変化を捉えることは不可能である。

天体の変動現象は様々なメカニズムで起こり、長時間に亘る観測で初めて検出されるものも少なくない。変動天体としては変光星が代表的であるが、新星や超新星など突発型天体、彗星や小惑星など太陽系天体の出現も考えられる。これまで、恒星の変動現象(変光星や突発現象)については、数日から数年という(恒星進化のタイムスケールと比べると)短期間のみが研究の対象となってきた。しかし長期的(数十年～数百年以上)な変動は、天体の特性や進化を知る上で大変重要であることは明らかである。写真乾板を使った近代的な測光観測が始まったのは19世紀後半のことであり、それだけでは100年を超えるタイムスケールでの変動は検出困難であるが、それ以前の歴史的文献に残されている観測記録(眼視観測)を用いれば、長期的な変動現象を発見できる可能性がある。

歴史的な天文記録を使った変動現象発見の例としては、藤原定家(1162-1241)による日記「明月記」(1180-1235)が挙げられる。「天喜二年四月中旬以降、丑時客星出觜参度、見東方、孛天関星、大如歳星」(天喜2年(1054年)4月中旬以後、丑の刻(午前1時～3時)、客星が觜宿(オリオン座)λ

星)・参宿(オリオン座の三ツ星)に現れ、東方に見え、天関星(おうし座(星)の傍らで輝き、明るさは歳星(木星)の如くであった。)と、藤原定家は自ら聞き知った客星の存在を書き残し、それが後世、超新星残骸として知られている「かに星雲(NGC 1952)」の1054年に起こった超新星爆発の記録であることが判明した。このように、歴史的文献の記録は、最先端技術の粋を集めた現在の観測装置を以てしても不可能な発見ができる可能性を秘めている。

## 2. 歴史的文献の調査

歴史的な天体の観測記録は、星表(カタログ)または星図という形で残されている。様々な時代に、様々な地域で天体の記録が残されているが、本研究では現存する最古の天文学書である「Almagest」をはじめとする、次の7つの星表と4つの星図を調査した。

### ・歴史的星表

1. Almagest (C. Ptolemaios, 127-142)
2. صور الكواكب *Ṣuwar al-Kawākib* (الصوفى, 986)
3. Ulugh Beg's Catalogue of stars (Ulugh Beg, 1437)
4. Astronomiae Instauratae Progymnasmata (Tycho Brahe, 1602)
5. Uranometria (J. Bayer, 1603)
6. Historia Coelestis Britannica, Tome III (J. Flamsteed, 1725)
7. Uranometria Nova (W. A. Argelander, 1843)

### ・歴史的星図

1. Uranometria (J. Bayer, 1603)
2. Prodrum Astronomiae (J. Hevelius, 1690)
3. Atlas Novus Coelestis (J. G. Doppelmayr, 1742)
4. Atlas Céleste (J. Flamsteed, 1776)

このうち、Almagest と *Ṣuwar al-Kawākib*、Ulugh Beg の星表についてはオリジナルがないため、現存する写本を元に行った文献学的研究の成果を参考にした(Toomer 1998 ほか)。天体の同定は、現代の恒星カタログである「Sky Catalogue 2000.0 (Hirshfeld et al. 1991)」を参考にした。また、古い文献には、先代の観測データをそのまま写したり、補正のみを加えるなど、自らの観測に基づいていないデータも含まれるため、文献が書かれた歴史的背景も考慮し、観測の独立性と信頼性の評価及び等級システムの検証を行った(Fujiwara et al. 2004; Fujiwara & Yamaoka 2005)。

## 3. 等級データの解析

歴史的文献に記録された観測データのアーカイブからは、既知の天体の過去の情報を知ることができると同時に、未知の天体の検出をすることも可能である。前者の例としては、変光星や超新星残骸、惑星状星雲、AGB(Asymptotic Giant Branch; 漸近巨星分枝)星が挙げられ、後者の例としては未知のタイプの変光星や超新星、彗星などが挙げられる。歴史的文献と現代の恒星カタログ及び星図を比較した結果、同定ができない天体が見つかった。ここでは特に、詳細な解析を行った Bayer の「Uranometria」星図について記述する。

Uranometoria には星図が 51 枚あり、48 のプトレマイオス星座は各 1 枚、南天は 12 星座併せて 1 枚、加えて北半球と南半球の空が各 1 枚描かれている。全 60 星座 1500 余りの天体が星座の図像上に黄道座標系で記録されている。星図上の天体の位置を測定し、座標の変換を行った後、現代の恒星カタログのデータと対照した結果、恒星として同定できなかったものが 15 天体あった。

表 1: Bayer 「Uranometria」 の星図に記録された未同定天体

番号	星座	バイエル記号	座標			
			$\lambda$ (deg) 1600.0	$\beta$ (deg) 1600.0	$\alpha$ (h:m:s) 2000.0	$\delta$ (deg) 2000.0
1	UMi		97.0	72.9	16 05 37.4	+82 17 22.8
2	Cyg		316.0	55.3	20 17 27.2	+37 48 41.1
3	Cas		36.8	53.8	0 22 45.2	+64 00 21.8
4	Leo	i	142.5	2.1	10 04 03.0	+09 41 32.6
5	Sco	$\phi$	237.8	5.2	16 09 30.9	-15 46 28.3
6	Cap		319.1	2.9	21 43 59.8	-10 34 50.7
7	Eri	$\sigma$	31.0	-22.6	02 46 19.5	-07 38 35.5
8	Cen	b	219.0	-43.6	13 21 24.6	-56 38 00.1
9	Cen	$\delta$	217.2	-42.9	13 15 57.2	-55 21 28.5
10	Cen	q	213.2	-43.9	12 55 02.2	-54 40 44.4
11	Lup	$\tau$	222.9	-32.1	14 13 30.9	-47 45 18.8
12	Ara	$\eta$	261.8	-36.3	17 43 17.8	-59 45 15.3
13	PsA	$\kappa$	317.6	-22.5	22 17 23.4	-34 51 29.0
14	PsA		304.8	-14.8	21 10 05.2	-31 51 11.2
15	PsA		304.9	-16.1	21 12 24.7	-33 03 39.5

表 1 の 2 番の天体は PCyg、3 番は SN 1572 であり、12 番は V839 Ara (PN G331.3-12.1) の可能性がある。その他 12 天体については正体不明である。



図1 : Bayer 「Uranometoria」 に描かれたカシオペア座の超新星(SN 1572)(表1の3番)  
 右は現代の星図(ステラナビゲーターより)

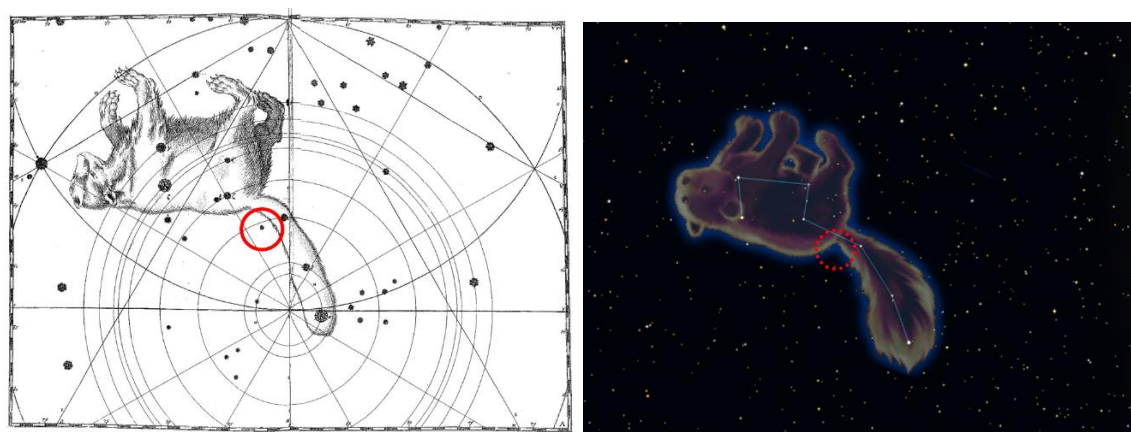


図2 : Bayer 「Uranometoria」 に描かれた正体不明の天体(こぐま座付近)(表1の1番)  
 右は現代の星図(ステラナビゲーターより)

#### 4. AGB 星の等級変動の検出

歴史的記録の調査で検出が期待される天体は多岐に亘るが、本章では恒星進化に関連し、本研究手法でのみ検出が期待される AGB 星の変動について議論を行う。

AGB 星は中小質量星( $0.8 \sim 8M_{\odot}$ )の進化の最終段階である。中小質量星の進化は、HR 図上で主系列を離れた後、赤色巨星列(RGB; Red Giant Branch)を上方向に上がり、増光していくことが理論的に予想されている。AGB 星はその進化の最終段階にあり、最期の姿である惑星状星雲と白色矮星へと向かっていく。表2は、特に明るい AGB 星とその特性を表したものである。眼視観測ができるのは等級が6等より明るいものに限られるが、AGB 星は数が少ないことと変光の特性がよく分かっていないものが多いことを考慮し、若干暗い天体も挙げている。

表 2: 明るい AGB 星 (Ref. Simbad Database, GCVS)

天体	変光 タイプ	$V_{\max}-V_{\min}$	周期 (日)	スペクトル 型	距離 (pc)
o1 Ori	SRb	4.65-4.88	--	M3S	166
BL Ori	Lb	8.5-9.7	--	C6,3	595
UU Aur	SRb	8.20-10.00	235	C5,3	415
U Hya	SRb	7.00-9.20	450	C7,3	175
Y CVn	SRb	8.20-10.00	158	C5,4	260
$\chi$ Cyg	Mira	3.30-14.20	407	Se	106
57 Peg	SRa	4.95-5.23	93	M4S	234
19 Psc	Lb	6.90-7.70	--	C7,2	290

表 2 の 8 つの AGB 星を対象に歴史的文献の等級記録を調べた結果、57 Peg(GZ Peg, HD 218634)に、ここ数百年間で増光傾向が見られることが分かった(図 3)。この天体が初めて文献に記録されたのは 1680 年代で、眼視観測の限界である 6 等星とされていた。それ以前には等級の記録が見られないことから、57 Peg は元々眼視観測ができない 6 等より暗い星であった可能性がある。

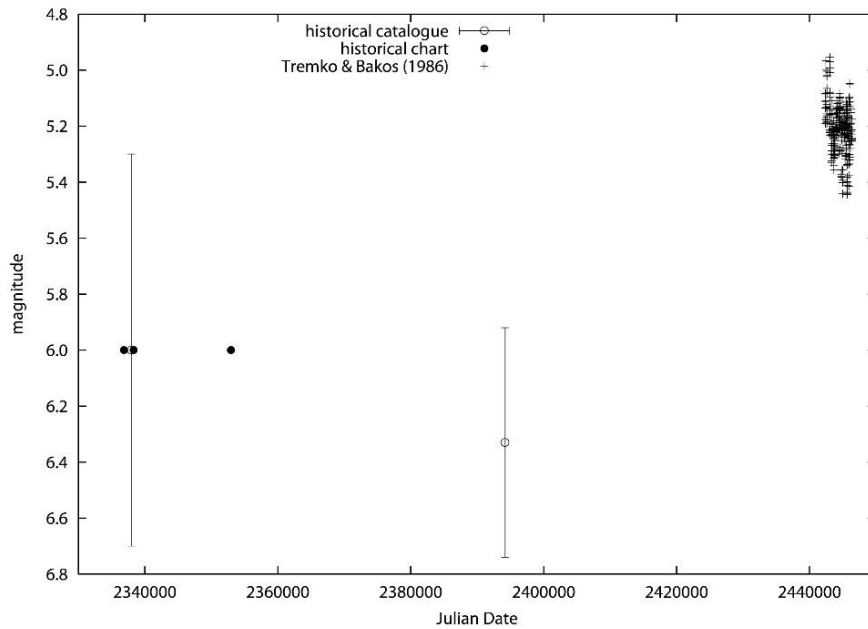


図 3: 57 Peg の等級変化

現代の観測データは Tremko & Bakos (1986)による。

現在、57 Peg は 4.95~5.23 等を周期 93 日で変動する SRa 型変光星と分類されているが、数百年に亘る増光はこの変光現象とは別で、進化過程を反映した結果と考えられる。

## 5. 可視光スペクトル観測

歴史的文献から分かった 57 Peg の長期的増光が、星の進化に起因するものであるかどうかを議論するためには、この恒星の進化段階を別の切り口からより詳細に調べる必要がある。AGB の段階で、恒星は光度が増すのみならずその内部構造に大きな変化が起こる。そのためスペクトル観測を行うと表面に様々な元素を確認することができる。AGB 段階後半では Helium shell flush (thermal pulse) に起因し、恒星内部で生成された元素(s-process 元素)が表面まで汲み上げられる現象(3DUP; third dredge-up)が起こる。s-process 元素の一つである  $^{99}\text{Tc}$ (Lebzelter & Hron 1999)は半減期が  $2 \times 10^5$  年と短いため、その吸収線の存在は Thermal pulse が起こった証拠として星の進化段階を決める重要な指標になっている。本研究では西はりま天文台と県立ぐんま天文台で 57 Peg の可視分光観測を行い、Tc I(4238.19 Å、4262.27 Å、4297.06 Å)波長値付近にある元素の吸収線を合成スペクトル法で再現した。

### ① 西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡

波長域：4300-6700 Å (1.3 Å/pixel) 低分散モード

4150-4600 Å (0.2 Å/pixel) 中分散モード

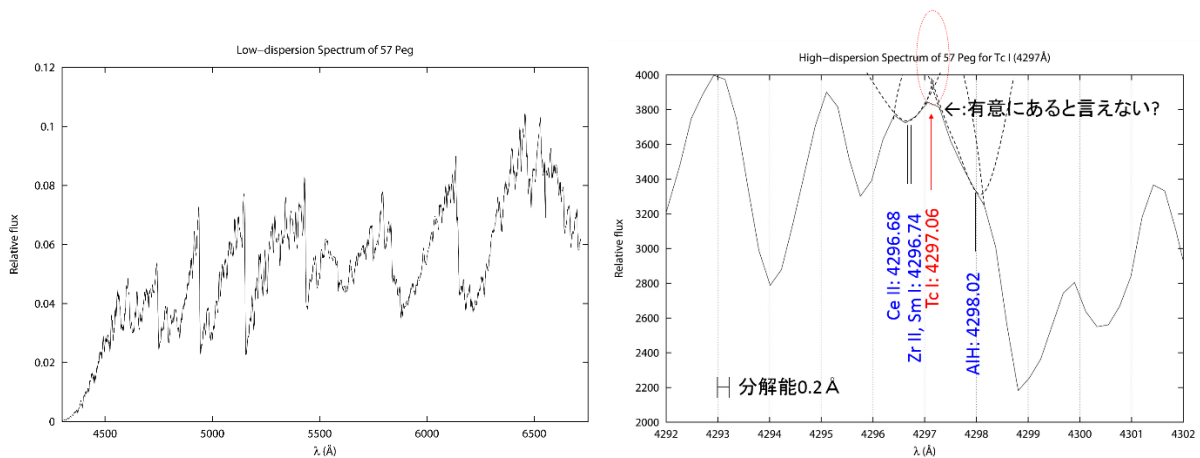


図 4: 低分散スペクトル(左)と 4297 Å 付近の中分散スペクトル(右)

### ② ぐんま天文台 1.5m 望遠鏡/GAOES(Gunma Astronomical Observatory Echelle Spectrograph)

波長域: 3550-4600 Å

波長分解能 R: 60,000@4200 Å (0.07 Å/pixel)

S/N: ~100

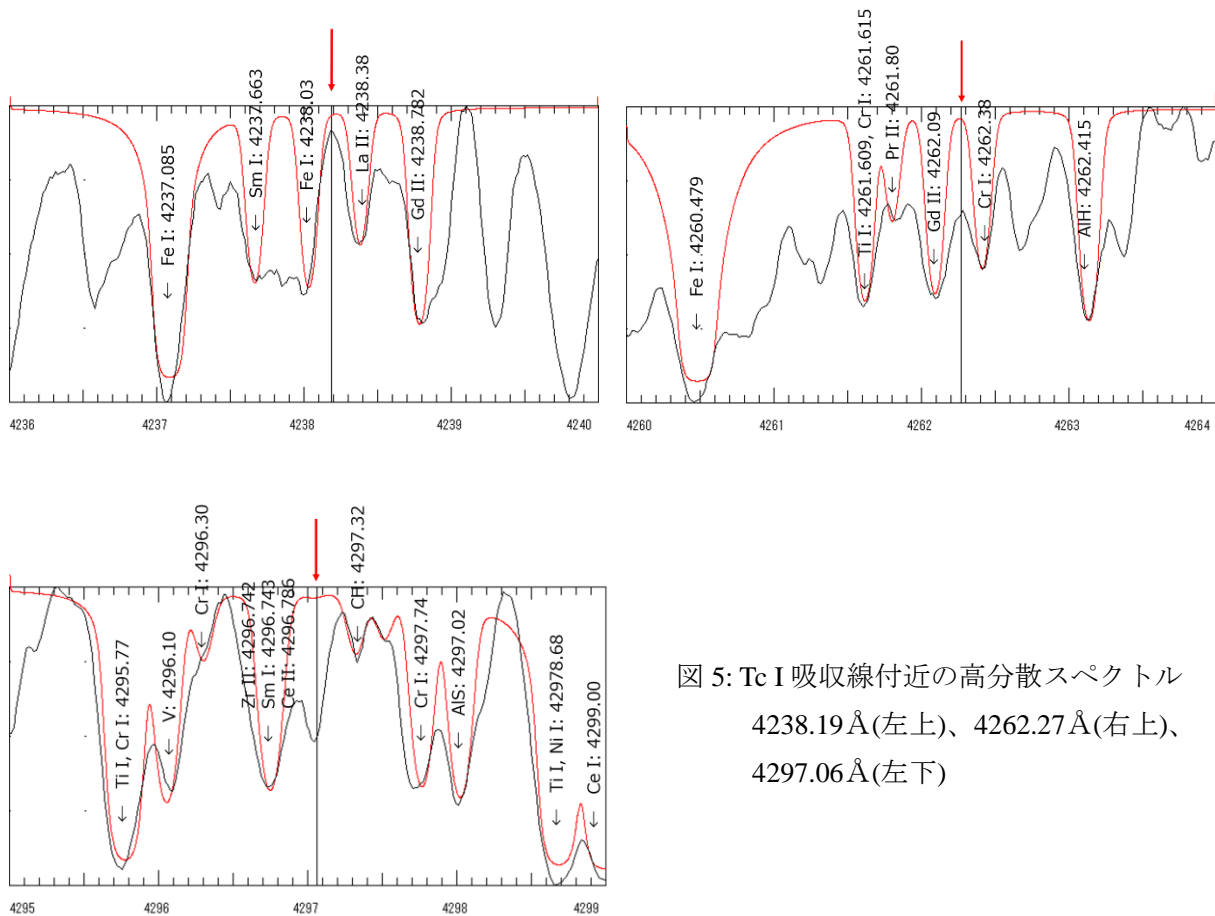


図 5: Tc I 吸収線付近の高分散スペクトル  
 4238.19 Å(左上)、4262.27 Å(右上)、  
 4297.06 Å(左下)

2 回の観測の結果、いずれも Tc I の吸収線を明確に検出することはできなかった。S 型星で Tc I 吸収線が見えなければ、AGB 段階のかなり初期にあるか、3DUP で汲み上げられた後に Tc が消滅した状態であると考えられる。しかし、観測で得られたスペクトルは、同じ波長域に現れる別の元素の吸収のみでは再現することはできないことから、57 Peg に Tc が全くないと断定することも不可能である。今後の追観測が必要である。

## 結論と今後の展望

- Bayer の「Uranometria」の星図に描かれている天体を現代の恒星カタログと対照した結果、15 の未同定天体があった。このうち 3 つは超新星等の突発型天体である可能性が高いが、残りの 12 天体については未知の天体の可能性があり、今後さらなる調査が必要である。
- 歴史的文献の記録を用いて恒星の等級変動を調べた結果、AGB 星の 1 つである 57 Peg に、ここ数百年で増光している傾向が見られた。進化段階の決定のため可視光スペクトル観測を行ったが、s-process 元素の一つである Tc の吸収線を検出することはできなかった。今回の合成スペクトル法で再現したものは主な元素の吸収線のみであるため、今後は別の元素の影響も考慮していく必要がある。またブレンドも激しいため、更に厳密に分離するためには S/N が 1000 以上の観測データを得る必要がある。またこの天体は連星系で質量交換した可能性も考えられるが、現在存在が示唆されている伴星は A3V 型である(Hackos & Perry 1968)。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、可視光スペクトルのデータを取得して下さった西はりま天文台のみなさま及びぐんま天文台の橋本修氏、本田敏志氏(現西はりま天文台)に心から感謝する。

## 参考文献

- Argelander, W. A., 1843, *Uranometria Nova*, Berlin, Berlag von Simon Schropp und Comp.
- Bayer, J., 1603, *Uranometria*, reprinted in 1987, London, British Library.
- Brahe, T., 1602, *Astronomiae Instauratae Progymnasmata*, reprinted in 1969, Bruxelles, Impression Anastaltique.
- Doppelmayr, J. G., 1742, *Atlas novus coelestis*, Nuremberg.
- Flamsteed, J., 1725, *Historia Coelestis Britannica*, Tome III, London.
- Flamsteed, J., 1795, *Atlas c'eleste de Flamst'eed, 3`eme ´edition*, edited by de Lalande, J. J. & M´echain, P., Paris.
- Flamsteed, J., 1989, フラムスチード天球図譜, translated into Japanese, rebind edi., Tokyo, Koseisha.
- Fujiwara, T., Yamaoka, H., & Miyoshi, S. J., 2004, *A&A*, 416, 641–646.
- Fujiwara, T., & Yamaoka, H., 2005, *Journal of Astronomical History and Heritage*, 8(1), 39–47.
- Hackos, W. Jr., & Perry, B. F. Jr., 1968, *Astron. J.*, 73, 504–507.
- Hevelius, J., 1993, ヘベリウス星座図絵, translated into Japanese by Yabuuchi, K., rebind edi., Chijinshokan.
- Hirshfeld, A., Sinnott, R. W., & Ochsenein, F., 1991, *Sky Catalogue 2000.0*, vol.1, 2nd ed., Cambridge, Cambridge U. P. & Sky Publishing Corporation.
- Knobel, E. B., 1917, *Ulugh Beg's Catalogue of stars (1437)*, Washington, The Carnegie Institution of Washington.
- Lebzelter, T., & Hron, J., 1999, *A&A*, 351, 533–542.
- Ptolemäus, C., 1986–1991, *Der Sternkatalog des Almagest Die arabisch-mittelalterliche Tradition Teil I-III (AD 2c.)*, translated into German and edited by Kunitzsch, P., Wiesbaden, Otto Herrassowitz.
- Schjellerup, H. C. F. C., 1874, *Description des étoiles fixes*, reprinted in 1987, Frankfurt am Main, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften.
- al-Šūfī, 986a, *Suwar al-Kawākib*, edited in 1954, Hyderabad, Dāīratu'l-Ma'ārif-il-'Ošmānia.
- al-Šūfī, 986b, *Suwar al-Kawākib*, facs. ed. in 1986, Frankfurt am Main, Publications of the Institute for the History of Arabic-Islamic Science.
- Toomer, G. J., 1998, *Ptolemy's Almagest (AD 2 c.)*, translated into English and annotated by Toomer, G. J., Princeton, Princeton University Press.
- Tremko, J., & Bakos, G. A. J., 1986, *R. Astron. Soc. Can.*, 80, 230–239.
- Werner, H., & Schmeidler, F., 1986, *Synopsis der Nomenklatur der Fixsterne*, Stuttgart Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.