

〈2013年度日本天文学会天文功労賞 長期的な業績〉

# 眼視による木星面模様的位置測定について

堀川 邦 昭

CMT (Central Meridian Transit) 観測は、惑星の自転を利用して模様を経度を目視で見積もる観測方法です。木星の場合、海外では100年以上にわたってデータが蓄積されていますが、日本ではスケッチ偏重の時代が長く、普及したのは1970年代になってからでした。私は1974年に木星の観測を始め、これまでに12,000個以上のCMTデータを得て、大赤斑をはじめとするいろいろな模様の運動を追跡してきました。今回、天文功労賞受賞にあたり、CMT観測の概要とともに、私の観測データの中から近年の大赤斑が経度増加方向に加速していることと、著しく縮小が進んでいることを紹介させていただきます。

## 1. 私と木星とのかわり

昔の人が光陰矢のごとしと形容したように歳月の経つのは早いもので、私が木星の観測を始めてから今年の6月でちょうど40年になりました。1971年の火星の大接近がきっかけとなり、惑星に興味をもつようになったのですが、当時は惑星観測と言えば、表面模様をスケッチで記録するのが主流でした。私も街の本屋に並ぶ天文雑誌に掲載されていたベテランの観測者たちによる美しい惑星スケッチに心を動かされ、10 cmの反射望遠鏡でいろいろな惑星のスケッチを始めました。

その後、大学天文連盟の一員として木星観測に専念するようになり、現在は月惑星研究会と東亜天文学会というアマチュア団体で、相変わらずスケッチとCMTによる観測を続けています。この間、16 cm反射を使っていた期間が最も長いのですが、2009年以降は知人を通して譲り受けた30 cmニュートン反射を使用しています。主鏡は鏡面研磨で有名な故・木辺成磨氏によるたいへん

高精度な鏡面で、切れ味鋭い木星像にはとても満足しています(図1)。これまでに積み上げた木星スケッチは4,396枚、CMT観測は12,338個となり、われながらよくもこんなに…と感じています。

今回、天文功労賞の受賞理由となったCMT観



図1 現在使用している30 cm反射赤道儀。かなり古風な外観ですが、シーイングが良ければ、たいへんシャープな像を結んでくれます。

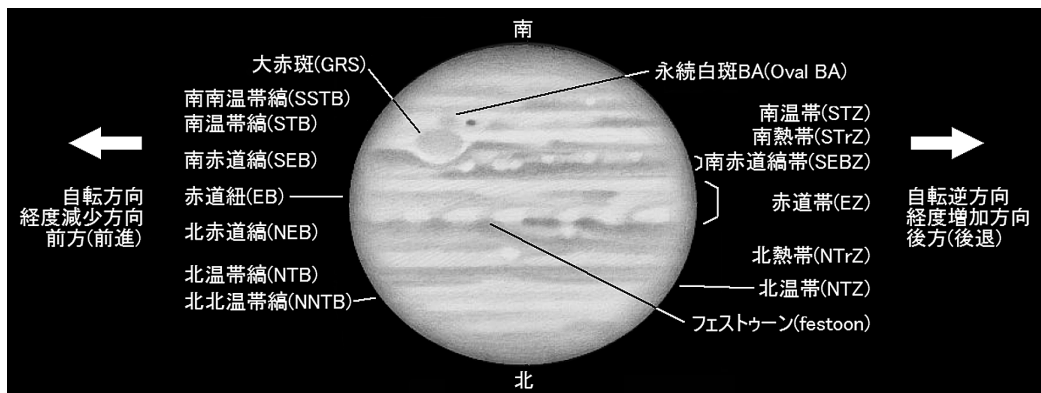


図2 木星面のベルトやゾーンと主な模様の名前。アマチュアの慣例に従い、南を上にしてあります。2012年9月9日17時20分(UT)のスケッチを使用しました。

測は大学天文連盟時代に習得したのですが、伝統的なスケッチに比べると少々なじみが薄いので、この誌面を借りて紹介させていただこうと思います。

## 2. 木星の模様や用語の説明

本題に入る前に、まずこの記事の中で出てくる木星面の縞模様や用語<sup>1)-3)</sup>について簡単に説明します。木星面の縞模様は暗い部分を縞(Belt, 以下ベルト)、明るい部分を帯(Zone, 以下ゾーン)と呼び、図2のような名称がついています。おおむねベルトの赤道側の縁(ゾーンの極側)には東向き(自転方向)のジェットストリームが、反対側には西向き(自転と逆方向)のジェットストリームが流れています。そのため、ベルトは低気圧的、ゾーンは高気圧的な循環をもっています。

木星には経度系が三つあり、いずれも自転とともに経度が増加する西経です。赤道帯(EZ)では体系1(自転周期: 9h50m30.003s)、その他の領域は体系2(同: 9h55m40.632s)が適用されます。また、体系3(同: 9h55m29.711s)は木星内部の電波源が基になっています。

上記に関連したアマチュア用語になりますが、木星の自転方向を「前方(preceding side)」、逆方向を「後方(following side)」と呼びます。同

様に、模様は自転方向側の縁は前端(p.end)、逆は後端(f.end)となります。また、模様が自転方向に移動することを前進(prograde)と表現します。反対方向は後退(retrograde)です。

木星の会合周期は平均398日なので、衝を挟んだ10カ月程度を一つの観測期間(Apparition)として扱います。Apparitionは元々、彗星などの回帰的な出現を指す言葉ですが、適当な日本語がありません。私たちのグループでは「観測シーズン」などと怪しげな訳を充てています。現在は2014-15シーズンとなります。

## 3. CMT観測とその方法

CMTとは、Central Meridian Transit(中央子午線経過)の略です。木星の自転を利用して、目視で見積もった中央子午線を模様が通過する時刻を1分単位で記録します。たいへん簡便な方法ですが、人間の視覚は中央を見積もる能力に優れているため、熟練すれば2~3分(1~2°)の誤差で模様の経度を得ることができます。アマチュアが特別な機材を用いることなく眼視で行うことのできる唯一の定量的な観測と思われる。

イギリスなどでは、20世紀初頭からアマチュアによる組織的な観測が行われるようになりましたが、日本ではスケッチ偏重の時代が長く、普及

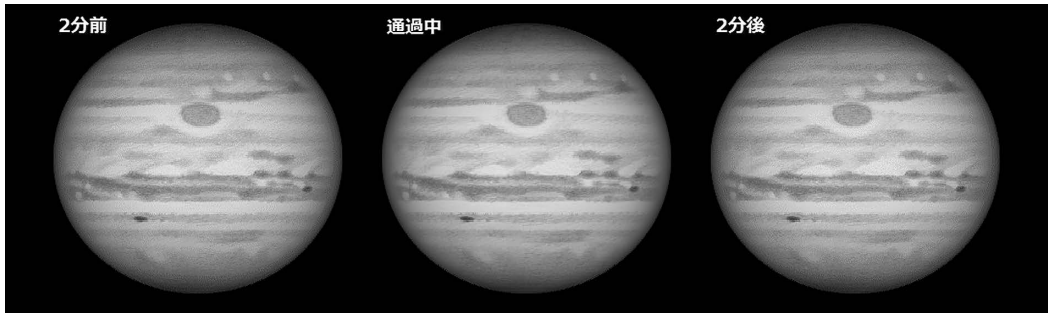


図3 私のスケッチから、大赤斑が中央子午線を通過する前後2分間の見え方を再現しました。違いがわかるでしょうか。実際にはシーイングで木星面が動いていますので、もっと難しいです。

したのは1970年代半ば以降です。1980年代にかけて、月惑星研究会、大学天文連盟、東北惑星研究会などのグループによって膨大な数のCMTデータが残されています。

CMT観測は至って単純な観測方法ですが、実際にはシーイングによって木星像が揺れ動くうえに東西のエッジが鮮明でないことも多いので、中央を見極めるのは容易ではありません。木星は10時間足らずで自転していますので、他の惑星に比べれば時間当たりの模様の変動量は大きいのですが、それでも1分では $0.6^\circ$ に過ぎませんので、中央子午線を通過した瞬間を捉えることは困難です。そこで、狙った模様が中央子午線を通過する前後数分間、数十秒おきに確認して通過時刻を見積もるようにしています。

正確なCMTデータを得るには、数多く観測を行って正確な見積もりができるように熟練するのが一番なのですが、私の経験で得た正確に取るためのポイントを三つほど紹介します。

- ① 木星の自転軸と頭の向きを一致させます。人間の眼は水平方向の中央を見積もるほうが得意なようです。自転軸を横向きに見たり斜めにするとう、不正確になりがちなので避けます。
- ② 模様が中央子午線上かどうかだけでなく、東西の縁までの距離を確認します。これは、いわば二重チェックの効果があります。また、後述する「位相効果」による偏差を抑えるう

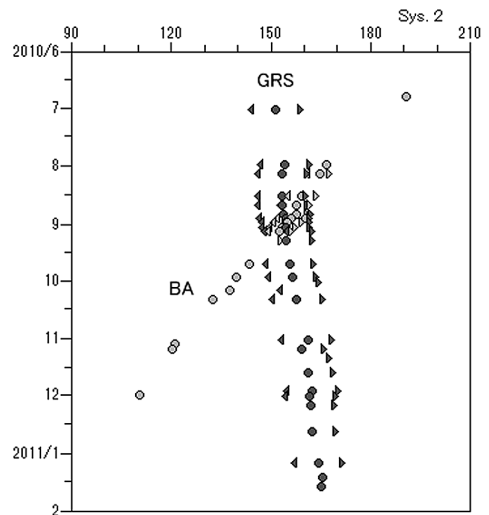


図4 2010-11シーズンにおける大赤斑と永続白斑BAのドリフトチャート。丸いマークは模様中央、三角は前後端を示す。

えでも有効な方法です。

- ③ 通過時刻は必ず模様が中央を通り過ぎたのを確認してから決定します。もう一度見たらアレ？ という経験は何度もありました。

#### 4. CMTデータの利用

木星観測の楽しみは、観測したデータを自分なりにまとめて木星面の変化を明らかにすることにあります。得られたCMTデータは木星面の模様を同定し、動きを追跡するために利用します。CMT観測では緯度の情報を得ることはできませ

んが、木星面の模様は南北方向にはほとんど動かないので好都合といえます。

CMTデータを模様的位置する縞帯ごとに分類し、グラフ上にプロットしたものをドリフトチャートと呼びます(図4)。時間軸を縦に取ったちょっと変わった形式ですが、木星面を東西に展開して時間順に並べたイメージになっていますので、模様の移動を直観的に捉えることができるアマチュア独特の表現方法です。

ドリフトチャートと一緒に取ったスケッチを使って個々の模様を同定して、模様の経度変化量(ドリフト)から自転周期を算出します。複数の観測者のデータを集めれば、より確度の高い結果を得ることができます。緯度の情報がないので、残念ながらCMT観測では風速を求めることはできません。自転周期は各緯度帯(ベルト/ゾーン)ごとにまとめて、その観測シーズン(Apparition)の代表値として記録します。このような記録は過去100年以上にわたって積み上げられており<sup>4)</sup>、木星面の諸現象を理解するのに役立てられています。

### 5. CMT観測における位相効果

CMT観測における誤差の原因には、観測者の熟練度やシーイングなど、さまざまなものがあります。多くはたくさんのデータを集めて統計的に扱うことで軽減できますが、ここで紹介する位相効果はちょっと困った偏差を作り出します。

木星の場合、太陽-木星-地球の位相角はあまり大きくなりません。最大となる東矩や西矩の頃でも±11°程度なので、東西の縁の欠け幅は小望遠鏡の分解能以下です。しかし、木星面の明るさは周辺減光により太陽直下点から離れるにつれて暗くなりますので、位相角が大きい時期は東西で明るさがはっきりと異なって見えます。

この視覚的効果のため、目測で見積もる中央子午線の位置は木星面の明るい側に偏りやすく、結果としてCMT観測で得られる模様の経度は、衝

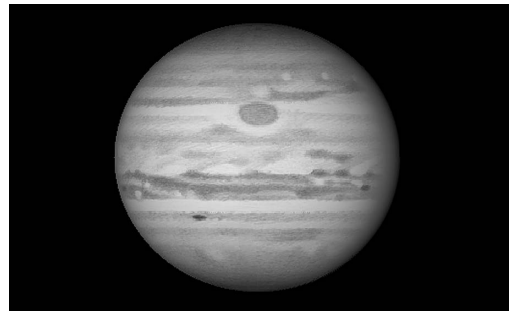


図5 擬似的に再現した東矩の頃の位相効果。大赤斑は中央子午線上にありますが、何となく右に偏っているように見えませんか？

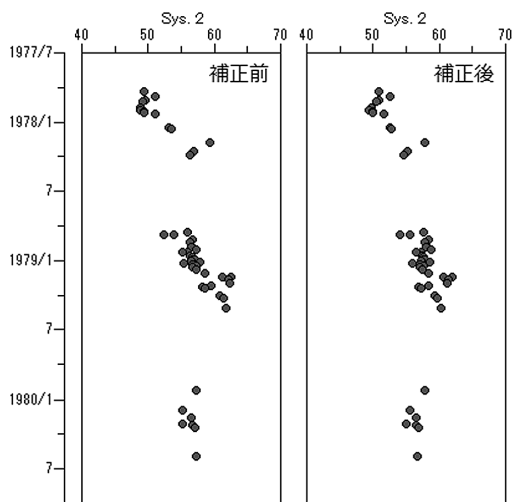


図6 1977-1980年の大赤斑における位相効果の補正。比例係数aは0.24としています。

の前には実際の経度よりも小さく、衝の後には大きくなる傾向があります。これをCMTの位相効果と呼んでいます(図5)。この影響によって、複数シーズンにわたって模様の動きを追跡すると、観測のあるときは遅く、観測のないときは速いという奇妙な結果となってしまいます(図6)。

位相効果によって偏差が生じたデータを補正する方法として、偏差量を位相角に比例すると仮定して数値化する方法が考案されています<sup>5)</sup>。

$$d = a \cdot \nu_i \quad (i: \text{位相角})$$



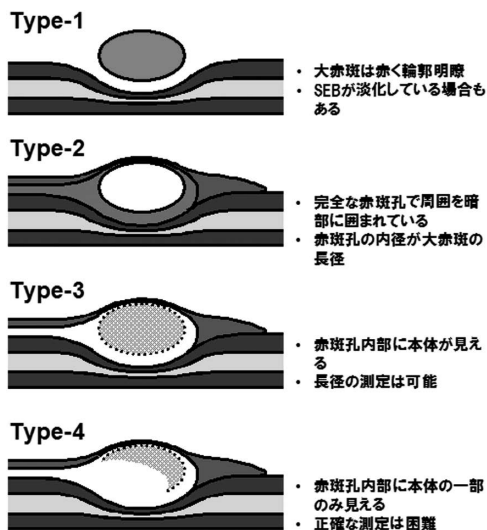


図7 大赤斑の見え方にはいろいろバリエーションがあります。見え方と動きやサイズの変化には、緩やかな関係があるように見えます。

偏差量は熟練度や口径によって変わるので、比例係数 $a$ はデータの母集団ごとに異なります。私の場合は、過去の大赤斑の観測を最小2乗法で処理し、1977-1979年は0.24, 1980年以降は0.12という値を採用しています。

## 6. 大赤斑の経度変化と縮小

ここからは、私のCMTデータから木星で最も有名な大赤斑（Great Red Spot）の動きとサイズの変化について紹介させていただくことにします。

図8は私がCMT観測を始めた1977年以降の大赤斑のドリフトチャートです。前述した位相効果の補正を行ってあります。当初、50-60°（以下、経度はすべて体系2）にあった大赤斑は、1983年から急激に前進して1988年にはこの期間の最小値である15°に達しました。その後はゆっくりと経度増加方向に動き続けています。現在は218°付近に位置しますので、約四半世紀で木星面を半周以上回ってしまったこととなります。特に2009年以降は後退速度が大きく、月平均で +1.3°

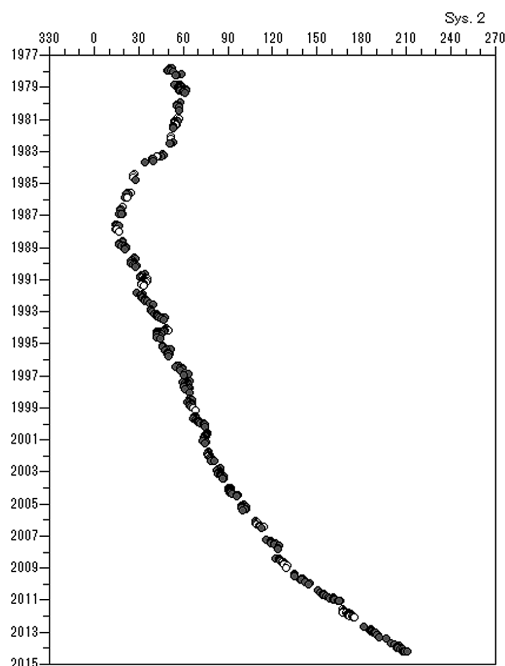


図8 1977年以降の大赤斑のドリフトチャート。位相効果の補正済み。黒丸は大赤斑本体（タイプ1, 3, 4）、白丸は赤斑孔（タイプ2, 4）を表しています。近年は後退速度が大きくなっています。

に達します。これは大赤斑の長い歴史の中でも最大に近い値です<sup>2)</sup>。

大赤斑固有の動きで有名なのは90日周期の振動運動<sup>6)</sup>ですが、振幅がCMTの精度よりも小さいため（1°以下）私の観測で明らかにすることはできません。しかし、ほかにも大赤斑はその外観（図7）と連動して動くことが知られています<sup>2)</sup>。淡化して赤斑孔（Red Spot Hollow）と呼ばれる暗い縁取りで囲まれた明るい領域に変化すると、自転周期が短くなる（経度は減少）傾向があり、逆に濃化して赤みが強くなると自転周期は長くなる傾向が見られます。図8で赤斑孔を示す白丸が多いところで見られる不規則なふらつきは前者に該当し、昨年から今年にかけて鮮やかなオレンジ色になっているのは、後者と対応しています。

最近、大赤斑が小さくなっていることが時々取

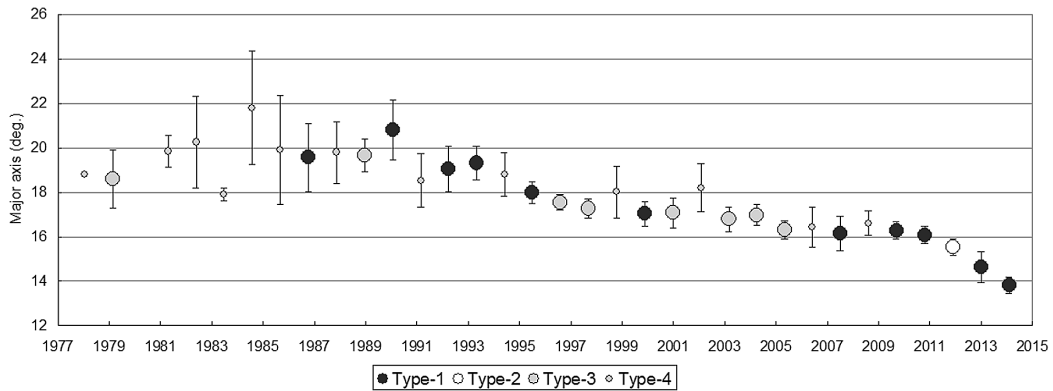


図9 大赤斑の観測シーズンごとの平均長径。縦線は誤差範囲。マーカーの濃淡と大きさで、図7に示した見え方を反映してあります。1990年代前半と2009年以降に縮小が進んでいるのがわかります。この時期に大赤斑が明瞭であることを示すタイプ1が集中していることは注目されます。

り上げられるようになりました<sup>7)</sup>。大赤斑の両端のCMTが得られると長径を知ることができますので、観測シーズンごとの平均を図9に示しました。1980年代末まではかなりばらついているものの20°前後の大きさでしたが、1990年代前半と2009年以降に大きく縮小し、現在は13°台しかありません。この四半世紀でおよそ3分の2に縮小してしまいましたこととなります。

大赤斑は一般に知られるようになった19世紀末には長径30°以上もある巨大な斑点でしたが<sup>1)</sup>、その後は変動しながらも縮小を続けており、平均の縮小率は $-0.14^\circ/\text{年}$ <sup>2)</sup>です。上記の変化もその傾向を引き継いでいますが、1990年以降の縮小率は $-0.2^\circ/\text{年}$ を超えており、特に2009年以降は $-0.5^\circ/\text{年}$ と、予想を超える短縮が進んでいます。図9では大赤斑の見え方とも関連づけてありますが、大赤斑が明瞭な時期は縮小が進み、不明瞭になると止まる傾向があるように見えます。

大赤斑はどこまで小さくなるのでしょうか。これだけ急速に縮小が進むと大赤斑が消失する可能性が現実味を帯びてきます。大赤斑が南熱帯(STrZ)の南北縁を流れるジェットストリームに挟まれた高気圧的な渦であることを考えると、その幅である8-9°くらいが限界サイズのように思

われます。今の縮小率が続くと、数十年でその時を迎えることとなります。もしかすると近い将来、大赤斑の最後を目撃することになるかもしれないと、個人的には感じています。

## 7. 終わりに

2000年以降、CCDカメラと画像処理ソフトの普及によってアマチュアの惑星観測の主流は眼視から撮像観測に移りました。現在も眼視観測を続けているのは私を含めてもわずかとなり、観測仲間からは「絶滅危惧種」と揶揄されています。画像を使えば、眼視観測に比べて圧倒的な解像度と効率的な位置測定を実現できます。私も木星面の状況をまとめる際には、専ら画像を見たり測ったりしています。眼視観測の出番はたいへん少なくなりましたが、過去の木星面に関する記録はほとんどが眼視によるものですし、眼視観測で得た知識やノウハウは画像を扱ううえでたいへん役に立っています。私としては木星面の現象を追跡するのに最良の方法を選びつつ、今後も木星に取り組んでいきたいと考えています。

## 参考文献

- 1) Peek B. M., 1958, The Planet Jupiter, Faber & Faber
- 2) Rogers J. H., 1995, The Giant Planet Jupiter, Cambridge University Press
- 3) 月惑星研究会(編), 1981, 惑星ガイドブック2, 誠文堂新光社
- 4) JUPOS, <http://jupos.privat.t-online.de/>
- 5) 柿本泰彦, 1981, 木星観測におけるCMTの位相効果について, 第5, 6回 木星観測者会議 研究発表集録, 44-53
- 6) Solberg H. G., 1969, A 3-month oscillation in the longitude of Jupiter's Red Spot, Planet Space Sci. 17, 1573-1580
- 7) Rogers J. H., 2014, Jupiter in 2013/14: Interim report no. 7 The Great Red Spot in 2013/14: Faster shrinkage and evidence for faster wind speed, [http://www.briastro.org/jupiter/2013\\_14reports.htm](http://www.briastro.org/jupiter/2013_14reports.htm)
- 8) 安達 誠(編), 2009, 天体観測の教科書 惑星観測 [編], 誠文堂新光社

## On the Long-term Visual Estimation of Longitude of Jovian Features

Kuniaki HORIKAWA

Abstract: CMT (Central Meridian Transit) observation is a method to estimate visually longitude of markings by utilizing rotation of the planet. I started visual observation of Jupiter in 1974, and I have obtained over 12,000 CMT data, from which I could track motion of famous Great Red Spot (GRS) and other various markings. In this article, I introduce overview of CMT observation, and present westward acceleration and considerable shrinkage of GRS in recent years from my CMT data.