

ルーリン彗星(C/2007N3)の核近傍の光度変化

The Magnitude Variation Nearby Nucleus of C/2007N3(Lulin)

篠田知則(栃木県佐野市)

秋澤宏樹 (姫路市宿泊型児童館『星の子館』)

Tomonori Shinoda (Sano-shi Tochigi-ken)

Hiroki Akisawa (Himeji City “Hoshinoko-Yakata”)

Abstract

We had observed comet C/2007N3 (Lulin) at 3 places of Sano, Ageo, and Himeji in 4 nights of Feb. 20, 21, 23, and Mar. 1, 2009(UT), and, we got 438 images. At the time of the observations, the comet was at geocentric distances, $\Delta = 0.43, 0.42, 0.41,$ and 0.46 AU. We did photometric measurements of nearby nucleus, and we got light curves. In Feb. 23 and Mar. 1, 2009, we found slight variations. So the Period Dispersion Minimization technique was tried out on these curves, but we could not get significant period.

1 はじめに

C/2007N3(Lulin)は 2009 年 2 月下旬頃に地球に約 0.4AU まで接近した。またこの際、彗星はほぼ衝の位置にいて長時間に渡り観測できた。このため核近傍が狙いやすく、核近傍の狭い範囲の測光観測を継続して行えば、核の自転によるジェットに伴う光度の変動が捉えられることが期待された。核の自転状態が詳しく分かっている彗星は以外と少なく(Lamy ら, 2004)、核の構造を理解する上で

自転パラメーターが決定できれば意義は大きい。

あいにく地球最接近の頃、安定した晴天が長続きせず目標としていた継続観測は果たせなかったが、栃木県佐野市(以下佐野)、埼玉県上尾市(以下上尾)、兵庫県姫路市(以下姫路)の3か所で行われた観測を取りまとめる形で解析を試みたので紹介したい。

2 観測

前述の通り、観測は3か所で行われた。それぞれ

観測地	光学系	CCD カメラ (波長域)	画素分解能["] 視野[']
栃木県佐野市 (E139° 34' 6" N36° 18' 41" 標高約 30m)	20cmF4 ニュートン	Meade DSI-PRO (R バンド)	2.48×1.93 21.0×15.8
埼玉県上尾市 (E139° 33' 58" N35° 57' 23" 標高 22m)	25cmF5 ニュートン	SBIG ST-9E (C バンド) [†]	3.30×3.30 28.2×28.2
兵庫県姫路市宿泊型児童館「星の子館」 (E134° 37' 42.5" N34° 51' 10.5" 標高 70m)	15cmF12 屈折	SBIG STL-1001E (C バンド) [†]	2.753×2.753 46.983×46.983

表. 1—観測データ

†:ノーフィルター

の観測データの詳細は表.1 にまとめた。撮像方法もそれぞれ違いがある。

佐野:①彗星を 30 秒露出で 6 フレーム、②彗星用ダークフレーム 6 フレーム、③標準星を 30~60 秒で 3~6 フレーム、④標準星用ダークフレームを 3~6 フレーム、という一連の流れで得られた画像をそれぞれ中央値でコンポジットしたものを 1 観測とした。オブジェクトフレーム撮像直後にダークフレームを取得したのは、撮像に用いた CCD カメラが温度制御機構を持たない為、外気温の変動の影響を最小限にするためである。

上尾:10 秒露出で約 2 時間の連続撮像。

姫路:60 秒、240 秒露出で高度 10° 以下になり望遠鏡が追尾できなくなるまで彗星核追尾にて約 7 時間の連続撮像。途中で彗星は南中を迎え、ドイツ式赤道儀を使用しているため望遠鏡の反転などがあり、中断を余儀なくされた。

これらの観測で得られた合計 438 枚の画像の詳細を表. 2 に示した。また観測画像のサンプルを



図. 1—取得画像サンプル

DATE(UT)	r[AU] †	Δ[AU] ‡	平均 FWHM["]	画像数	観測地
2/20/09	1.37	0.43	3.2	19	佐野
			?	2	姫路
2/21/09	1.38	0.42	2.9	6	佐野
			?	5	姫路
2/23/09	1.39	0.41	4.0	292	上尾
3/1/09	1.44	0.46	5.0	114	姫路

表. 2—取得画像データ

†r=日心距離[AU]、‡Δ=地心距離[AU]

細を表. 2 に示した。また観測画像のサンプルを図.1 に示す。

尚、上尾のデータは門田健一さんに提供していただいた。

これらの取得画像についてダーク、フラット処理を行った。画像処理には佐野と上尾のデータについては Makali'i、姫路のデータは MSB ソフトウェア社製 AstroArt を使用した。

3 測光

測光には Makali'i を使用した。標準星には佐野のデータでは Landolt カタログを使用した。彗星と標準星の高度差は 4 度以内であったが、大気減光補正を行った。補正方法は彗星観測ハンドブック 2004(福島、2004)に従った。上尾のデータでは写野内の GSC-ACT を、姫路のデータは写野内の Tycho-2 カタログの V 等級をそれぞれ使用した。上尾と姫路データは彗星と標準星の距離は 1 度以内であり、大気差補正は省略した。

まず、観測画像の星像の半値幅(FWHM)を求める。直接半値幅を求めることはできなかったが、アストロアーツ社製ステライメージにて平均PSFを求めることができた。PSFとは星像のプロファイルをガウス分布に近似した時の分散(σ)にあたり(ステライメージのヘルプより)、ガウス分布の式を使って半値幅が求められる。

次にアパーチャ径について考える。核近傍の変動を観測するには、アパーチャ径が広すぎると変動がぼやけてしまい、狭すぎるとシーイングの影響を受け、正確な変動が

キャッチできない。今回はアパーチャ半径を半値幅の 2 倍を目安に設定した。測定に用いたアパーチャ半径は、それぞれ 11.6" (2 月 20~21 日、佐野)、8.3" (2 月 20~21 日、姫路)、9.9" (2 月 23

日)、8.3” (3月1日)で、彗星核の位置ではそれぞれ

直径約 7200~7100km、5100km、5900km、5500km の範囲に相当する。

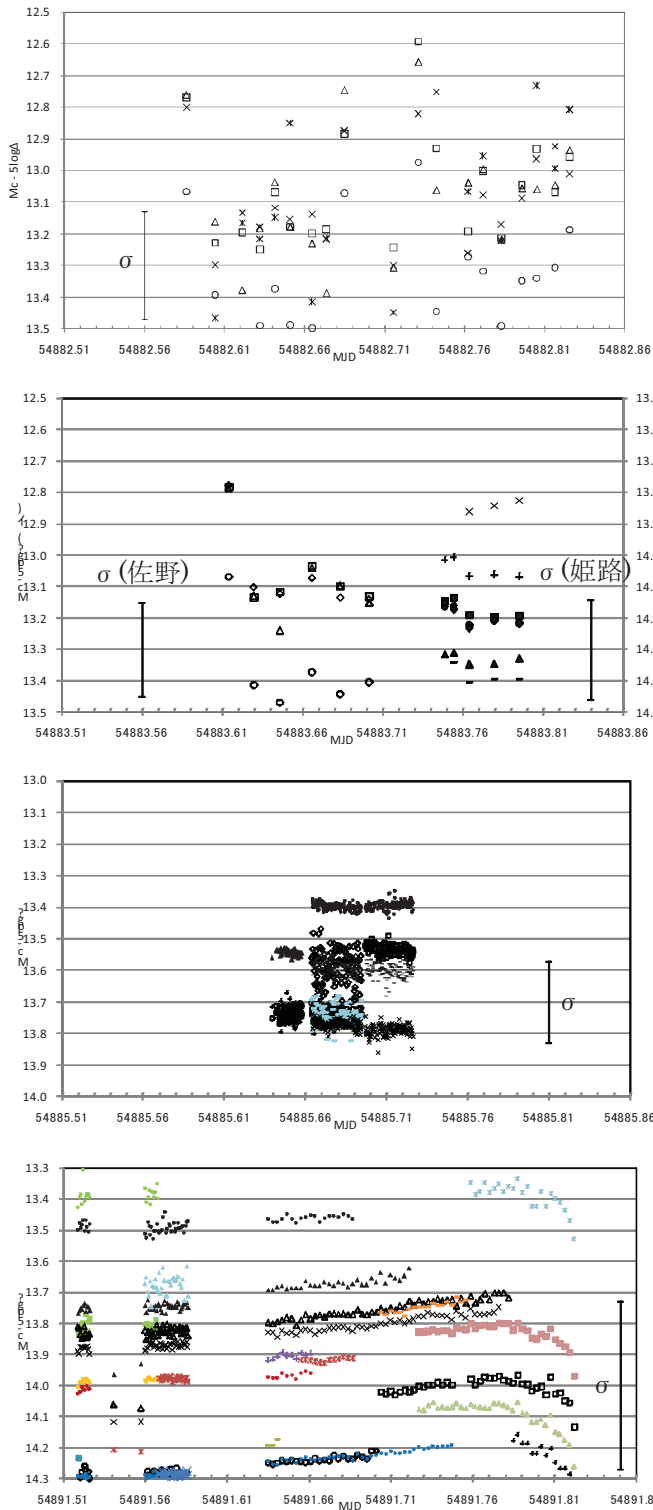


図.2—測光結果。(上)2月20日、(中上)2月21日、(中下)2月23日、(下)3月1日(いずれもUT)。横軸は準ユリウス日(MJD)、縦軸は地心距離を補正し、直径1000kmあたりの明るさに換算した光度。2月21日は前半が佐野観測で左側の目盛、後半が姫路観測で右側の目盛である。

4 結果

(1) 測光結果

測光結果を図2に示した。地心距離を補正し、直径1000kmあたりの明るさに換算した。地心距離の計算にはHORIZONS Web-Interfaceを使用した。ライトカーブは用いた標準星毎に凡例分けされ、コマによるコンタミの恐れのあるもの、S/Nの悪いものは省いている。3月1日は、彗星の南中を挟んでフラットフレームの傾きによると思われる段差ができてしまい、応急的に南中前後別に線形で近似し、切片の差分をシフトする処理を施した。

こうしてできたライトカーブからは2月20、21日ははっきりした傾向が読み取れないが、23日はやや減光傾向、3月1日は増光傾向が見られる。また3月1日は彗星が沈む直前に減光傾向が見られるが高度25度以下になっており、おそらく大気の影響によるものであろう。

(2) 周期解析

これらのライトカーブの内、長時間観測されていてS/Nが良く、大気減光の影響部分を省いたものを選択し周期解析を試みた。具体的には2月23日、3月1日の南中前後全体、3月1日の南中前のみ、3月1日の南中後のみ、2月23日と3月1日南中前後全体を足したもの、について解析を行った。

周期解析方法はいくつかあるが、位相分散最小法(Phase Dispersion Minimization: 以下PDM) (Stellingwerf, 1978)を用いた。PDMとは、試験する周期で折り畳んで重なったデータを幾つかのブロックに分け、ブロック内の分散が最小になる試験周期を最も有意な周期と考える方法である。この際、最も有意な周期でStellingwerf (1978)によって定義された量: “ Θ ” が極小値を

持つ。この計算には Stellingwerf Consulting 社の S-Tran を使用した。計算パラメーターはデータ数が 100 点以上のものについては Nb=10、Nc=1、100 点未満は Nb=5、Nc=2 である。尚、「2 月 23 日+3 月 1 日南中前後全体」のデータでは時間軸にギャップがあるので、S-Tran のマニュアルに従いデータの区分化を行った。

解析結果のサンプルを図.3 に示した。また表.3 には結果の詳細を載せた。Δt は標準星の観測期

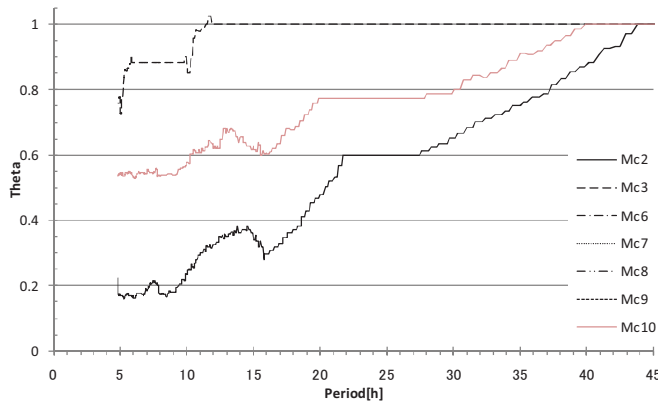


図.3—PDM 解析結果のサンプル(3 月 1 日南中前後全体)。試験周期と Θ の関係を表し、解析に使用した比較星毎に示されている。

間(hours)、Pは周期 (hours)、Θ は前述の通り Stellingwerf により定義された量で、次に信頼性を表す量として 2 つ挙げる。1 つ目は S-Tran が算出した Signif.(危険率)で、信号がノイズによるものである確率を表す。2 つ目に $\Theta \times (N-10)/(N-1)$ という量がある(N:データ数)。これは PDM2 (Stellingwerf, 2004) において、Θ がこの値未満の時信号が有意となりそうだと述べられている量である。

図.3 を見ると極小はかなり幅を持って現れているが、これは想定される周期に対し観測期間が短いためと思われる。

表.1から Signif.が1%未満のものを選択すると、計算された最も有意な周期は 6.5 ± 0.9 時間となった。しかし、PDM2 で述べられている $\Theta \times (N-10)/(N-1)$ という量で判断すると、周期はかなり広範囲にわたって有意となり、周期を決定できなかった。PDM2とPDMは別物ではあるが改良版であるわけだからこの量は判断の目安にはなるだろう。そもそも、観測期間が最長でも 3 月 1 日に 6.3 時間のものがあるだけで、そのデータから 6.5 時間の周期を得るのは疑わしい。少なくとも自転周期以上の

	Δt [h]	P [h]	Θ	Signif.	$0.7 \times (N-10)/(N-1)$		Δt [h]	P [h]	Θ	Signif.	$0.7 \times (N-10)/(N-1)$
2.23	1.2	9.5	0.81	0.13	0.65	2.23 +3.1 ¹	144.9	6.1	0.34	0.00	0.67
	1.2	6.9	0.95	0.57	0.66		141.7	9.5	0.77	0.08	0.66
	1.5	7.1	0.85	0.18	0.67		146.8	7.3	0.15	0.00	0.67
3.1 ¹	4.3	6.1	0.16	0.00	0.60		146.7	7.0	0.12	0.00	0.67
	5.8	7.3	0.08	0.00	0.63		146.0	6.2	0.13	0.00	0.67
	6.3	7.0	0.06	0.00	0.62		145.4	5.7	0.16	0.00	0.67
	5.5	6.2	0.04	0.00	0.61		144.5	8.0	0.75	0.05	0.67
	4.9	6.8	0.07	0.00	0.61		145.5	6.1	0.51	0.00	0.67
	4.0	7.8	0.54	0.00	0.60		142.3	6.9	0.88	0.26	0.67
	3.1 ²	1.6	13.6	0.99	0.93		0.56	147.4	4.8	0.55	0.00
3.1 ³	1.6	12.6	0.98	0.83	0.56		147.3	5.0	0.56	0.00	0.68
	1.6	15.8	0.98	0.87	0.55		146.6	5.0	0.67	0.02	0.68
	3.5	6.9	0.21	0.00	0.58		146.0	5.0	0.80	0.09	0.68
	3.4	6.9	0.20	0.00	0.57		145.1	6.1	0.79	0.08	0.67
	2.7	8.3	0.33	0.00	0.54		144.9	6.2	0.75	0.05	0.68
	2.1	6.9	0.50	0.00	0.49	141.7	7.1	0.80	0.09	0.68	
						146.8	6.3	0.60	0.00	0.68	
						146.7	5.8	0.61	0.00	0.68	
						146.0	7.1	0.67	0.01	0.68	
						145.4	6.5	0.73	0.03	0.68	
						144.5	7.1	0.81	0.09	0.68	

表.3—PDM 解析結果の詳細。

¹:南中前後全体、²:南中前データのみ、³:南中後データのみ

観測期間を持つデータからでない信頼できる周期計算結果は得られないのではないだろうか。

尚「2月23日+3月1日南中前後全体」のデータでは $\Delta t > 140$ ではあるが、計算周期の多くが有意ではない。

Knightら(2009)によれば、CNジェットの観測から自転周期 42.0 ± 0.5 時間を得ている。この結果が正しいとすれば我々の観測期間は短すぎる。複数日に渡る条件の違う観測を一元的に取り扱えるような校正を考えるか、初めから周期解析を行うことを念頭に入れ、観測波長や比較星等を同一条件で観測することが望ましいのではないかと考える。

Reference

Lamy, P.L., Toth, I., Fernandez, Y.R., and Weaver, H.A. (2004), in Comets II, ed. M.C.Festou, H.U.Keller, & H.A.Weaver, 223-264

福島英雄(2004)、冷却 CCD カメラによる観測入門、
in 彗星観測ハンドブック2004、高校生天体観測ネットワーク編

Stellinwerf, R.F. (1978), A.J., 224, 953-960

Stellinwerf, R.F. (2004),

<http://www.stellingwerf.com/rfs-bin/index.cgi?action=PageView&id=29>

Knight, M., Schleicher, D. (2009), IAU Circ. 9025

Navarro Pina, J.P. (2009), Comets ML 15238

謝辞

データの提供を快諾してくださった門田健一さん、Makeli`i、ステライメージ、AstroArt、HORIZONS Web-Interface、S-Tran の開発者の皆様に感謝いたします。

質疑応答(敬称略)

渡部: 彗星を測っている領域はどうやって決めているんだっけ?

篠田: 星像の半値幅の2倍をアパーチャ半径にしています。

渡部: これ結構狭いところ測っているね。

篠田: はい、他の論文を読んでもだいたいこれくらいの範囲を(半値幅の2倍 \Rightarrow アパーチャ半径)測っているのが適当だと思っているんですけど...

秋澤: 核の位置で1000kmくらいでしたか。

篠田: だいたい5000~6000kmだったと思います。

古荘: (測光範囲が)何秒角くらい?

篠田: (3月1日の画像で)16秒角です。

宮地: これってレベル調整するとどの辺までがコマの全体像とか、出てこないんですか?

篠田: 出てくると思いますけど...やってないです。

渡部: まあでもあまり極端な光度変化しなかったんだよね。そういう意味ではターゲットとしてはこういうやり方に向いてなかったかもしれないですね。普通ジュピターファミリーだともうちょっと光度変化あってもいいのにねえ。

古荘: (測光範囲を)あまり大きくすると、フィールドスターが取れなくなっちゃったりする?

篠田: 大きくすると変動がぼやけてしまい良くないと思います。

渡部: 周期解析って結構魔物で、何でも出てきちゃうんだよね、答えがね。それが本当かどうかっていうのはかなり慎重に判断しないとね。

秋澤: 42時間という結果がCNジェットから出てますけど、例えば7時間なら整数倍になりますよね。そういうことはあまり意味はないのですか。

渡部: あるかもしれないよね。

秋澤: 例えば彗星核が自転だけでなく歳差を持っていて、6回に1回太陽方向を向くとか、そんな事もないのかなあと思っていたんですけど。

渡部: その場合には整数倍にはならないかなあ、あんまり。

渡部: これね、1回小惑星でやってみて、そうすると感覚が分かると思うんだよね。小惑星って結構大きく出るので。それで自分の精度とか、周期解析の結果の正しさとか、感覚がつかめると思うんだよね。彗星って結構難物なんですよ、こういうやり方だとどうしてもコマに隠れちゃって。極端なアクティブリージョンを持ってれば出るんだけど。