

NIC から 2MASS の測光システムへの変換係数の導出

小野里 宏樹

兵庫県立大学 天文科学センター 西はりま天文台
〒679-5313 兵庫県佐用町西河内 407-2

Determination of color transformation coefficients from NIC to 2MASS photometric system

Hiroki ONOZATO

*Nishi-Harima Astronomical Observatory, Center for Astronomy, University of Hyogo,
407-2 Nishigaichi, Sayo-cho, Hyogo 679-5313, Japan
onozato@nhao.jp*

(Received 2020 November 23; accepted 2020 November 25)

概要

異なった望遠鏡、観測装置で取得された測光データを高精度に比較する際には、得られた等級を同一の測光システムに変換する必要がある。この論文ではなゆた望遠鏡のカセグレン焦点に搭載されている Nishiharima Infrared Camera (NIC) で観測した等級を近赤外線での事実上の標準システムとなっている Two Micron All Sky Survey (2MASS) のシステムに変換するための色変換式の変換係数を導出した。銀河面の星間減光の強い領域の観測データを含めることで、非常に赤い天体までを含んだ幅広い色指数の天体を用いて変換係数を導出することができた。その結果、変換係数は小さく、NIC と 2MASS の測光システムは似ていることが確認できた。

Abstract

Accurate comparison of photometric data acquired by different telescopes and instruments requires the transformation of the magnitudes to the same photometric system. In this paper, I derived color transformation coefficients to convert the magnitudes observed with the Nishiharima Infrared Camera (NIC) equipped on the Cassegrain focus of the Nayuta telescope to the Two Micron All Sky Survey (2MASS) system, which has become the de facto standard system in the near-infrared. I was able to derive the color transformation coefficients using sources with a wide range of colors since the sample contains very red sources affected by strong interstellar extinction in the Galactic plane. As a result, the conversion coefficients are small, and it is confirmed that the NIC and 2MASS photometric systems are similar.

Key words: instrumentation: detectors — instrumentation: photometers

1. Introduction

Nishiharima Infrared Camera (NIC) は兵庫県立大学天文科学センター西はりま天文台のなゆた望遠鏡のカセグレン焦点に搭載されている近赤外線撮像装置である。 J 、 H 、 K_S の近赤外線の3バンドを一度の露出で取得できることが特徴である。

長期間にわたる観測データが必要な場合、あるいはキャンペーン観測を行った場合などには複数の望遠鏡、観測装置で得られた結果を組み合わせることがある。このとき、同じ種類のフィルターでの観測であっても望遠鏡、観測装置、フィルターといった光学系の効率や観測サイトの大気透過率の違いにより得られる等級には系統誤差が乗ってくる。したがって、他の観測システムで得られる等級との比較を高精度に行いたい場合には、この系統誤差を補正する必要がある。本論文では、NIC で得られる器械等級を近赤外線での事実上の標準システムとなっている Two Micron All Sky Survey (2MASS; Skrutskie et al. 2006) システムに変換する係数を導出する。

2. データと解析

色変換係数を求めるため、2020年10月時点で Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso-Archive system (SMOKA) でデータが公開済の2019年4月までのデータのうち自動解析スクリプトで世界座標システム (World Coordinate System, WCS) の貼り付けまで成功しているデータを使用した。複数回データが取得されている場合には観測ログや画像を確認し、天候が良いものの中で星像の半値全幅 (full width at half maximum, FWHM) が最も小さいものを使用した。加えて近赤外線でも赤い天体をカバーするために $OH\ 53.6 -0.2$ と $OH\ 77.9 +0.2$ を中心座標とする観測を2019年10月28日に行った。使用した観測データの一覧は表1に記されている。観測領域には銀河面の赤化の影響を強く受けた領域も含まれるため、 $-0.1 \lesssim J - H \lesssim 4.0$ 、 $-0.3 \lesssim H - K_S \lesssim 2.0$ までの幅広い色指数の星が含まれている。

取得データの一次処理は、自動解析スクリプトによって行った。自動解析スクリプトで行われる処理は、ダーク引

き、フラット補正、バッドピクセル補正、スカイ引き、縦縞パターン除去、画像重ね合わせ、WCS貼り付けである(詳細は石黒 et al. 2011 を参照)。

天体の測光は開口測光で行った。開口の半径は各画像の星像の FWHM の平均とし、スカイを差し引くための円環領域の内径は FWHM の4倍、外形は内径 +3ピクセルとした。各天体の等級のゼロ点補正は 2MASS Point Source Catalog (PSC; Cutri et al. 2003) との比較により行った。開口測光により得られた NIC の器械等級と 2MASS PSC の差分を取り、測光誤差で重みを付けた加重平均を求め、その値を足すことでゼロ点補正を行った。

以上で得られた1316天体の測光結果をもとに色変換式の変換係数を導出した。色変換式は

$$m_{J, \text{NIC}} - m_{J, 2\text{MASS}} = a_J(J - H)_{2\text{MASS}} + b_J \quad (1)$$

$$m_{H, \text{NIC}} - m_{H, 2\text{MASS}} = a_H(J - H)_{2\text{MASS}} + b_H \quad (2)$$

$$m_{K_S, \text{NIC}} - m_{K_S, 2\text{MASS}} = a_{K_S}(H - K_S)_{2\text{MASS}} + b_{K_S} \quad (3)$$

のように色指数の1次式を仮定した。同様に色指数についても

$$(J - H)_{\text{NIC}} - (J - H)_{2\text{MASS}} = a_{J-H}(J - H)_{2\text{MASS}} + b_{J-H} \quad (4)$$

$$(H - K_S)_{\text{NIC}} - (H - K_S)_{2\text{MASS}} = a_{H-K_S}(H - K_S)_{2\text{MASS}} + b_{H-K_S} \quad (5)$$

の形で変換係数を導出した。フィッティングは最小二乗法を用いて以下の手順で行った。まず、全ての点を用いてフィッティングを行い、変換係数を導出する。その結果、得られた変換式と各データ点の残差を計算しその標準偏差を求める。次に、変換式との残差が求めた標準偏差よりも小さいデータ点のみを使用して変換係数を計算する。ここで得られた変換式を使い再び標準偏差を求め、さらに新たな変換式との残差が標準偏差よりも小さいデータ点を全データから選び直して再度フィッティングを行う。このイタレーションを収束するまで繰り返し変換係数を導出した。

3. 結果

2MASSの色指数に対するNICのゼロ点を補正した等級と2MASSの等級の差は図1に、2MASSの色指数に対するNICと2MASSの色指数の差は図2に示されている。これらを図にはイタレーションを繰り返した後の最終的なフィッティング結果も示されている。また得られた変換式は、等級の差については、

$$\begin{aligned} m_{J, \text{NIC}} - m_{J, 2\text{MASS}} &= (-0.002 \pm 0.065)(J - H)_{2\text{MASS}} \\ &\quad + (0.030 \pm 0.065) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} m_{H, \text{NIC}} - m_{H, 2\text{MASS}} &= (0.009 \pm 0.062)(J - H)_{2\text{MASS}} \\ &\quad - (0.004 \pm 0.064) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} m_{K_S, \text{NIC}} - m_{K_S, 2\text{MASS}} &= (-0.002 \pm 0.114)(H - K_S)_{2\text{MASS}} \\ &\quad + (0.012 \pm 0.050) \end{aligned} \quad (8)$$

であり、色指数の差については、

$$\begin{aligned} (J - H)_{\text{NIC}} - (J - H)_{2\text{MASS}} &= (-0.044 \pm 0.067)(J - H)_{2\text{MASS}} \\ &\quad + (0.043 \pm 0.065) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} (H - K_S)_{\text{NIC}} - (H - K_S)_{2\text{MASS}} &= (-0.024 \pm 0.125)(H - K_S)_{2\text{MASS}} \\ &\quad - (0.004 \pm 0.052) \end{aligned} \quad (10)$$

である。結果を見ると色変換係数の値は小さく、NICの測光システムと2MASSの測光システムは非常に似ていることがわかる。一般に近赤外線測光システムは観測装置による違いが小さいと言われており、Infrared Survey Facility (IRSF) の Simultaneous three-color InfraRed Imager for Unbiased Survey (SIRIUS; Kato et al. 2007) や Okayama Astrophysical Observatory Wide-Field Camera (OAOWFC; Yanagisawa et al. 2019) でも似た結果が得られている。ただし、NIC で得られた色変換係数は上記の例と比べてフィッティングの誤差が大きい。この理由は以下のようにフィッティングに利用できた精度の良い天体数の少なさに起因する考えられる。IRSF Magellanic Clouds Point Source Catalog には大小マゼラン雲、マゼラニックブリッジを合わせて1700万天体以上が含まれており、NIC で色変換係数の導出に用いることができた1316天体と比較すると1万倍以上の天体数となる。OAOWFCの色変換係数に用いられた天体数は4300天体でNICの3倍程度であるが、視野の広さを利用して稼いだ天体数で信号雑音比 (signal-to-noise ratio, S/N比) が25より大きい素性の良い天体のみを抜き出している。一方NICでは、NICで得られた測光結果のS/N比は十分大きい、比較に用いる2MASSの測光結果にS/N比が小さいものが含まれてしまっている。特に、ターゲット天体が暗く長時間積分を行った天体では比較星も暗く、2MASSのS/N比が大きい明るい天体のみを抜き出そうとすると、NICの視野の狭さのために十分な天体数を稼ぐことができない。そのために、NICと2MASS等級の差分のばらつきが大きくなり、色変換係数のフィッティング誤差も大きくなってしまっている。

4. まとめ

なゆた望遠鏡のカセグレン焦点に搭載されているNICと2MASSとの間の変換式の変換係数を導出した。銀河面の星間減光の強い領域を含む様々な観測領域の天体を用いることで、 $-0.1 \lesssim J - H \lesssim 4.0$ 、 $-0.3 \lesssim H - K_S \lesssim 2.0$ までの幅広い色指数の星を使用して変換係数を求めることができた。その結果、他の観測装置と同様に色変換係数は小さく、NICと2MASSの測光システムが非常に似ていることが確認できた。

References

- 石黒正晃、高橋隼、禪野孝広、時政典孝、& 黒田武彦 2011、西はりま天文台年報、21、13
 Cutri, R. M., et al. 2003, VizieR Online Data Catalog, II/246
 Kato, D., et al. 2007, PASJ, 59, 615
 Skrutskie, M. F., 2006, AJ, 131, 1163
 Yanagisawa, K., et al. 2019, PASJ, 71, 118

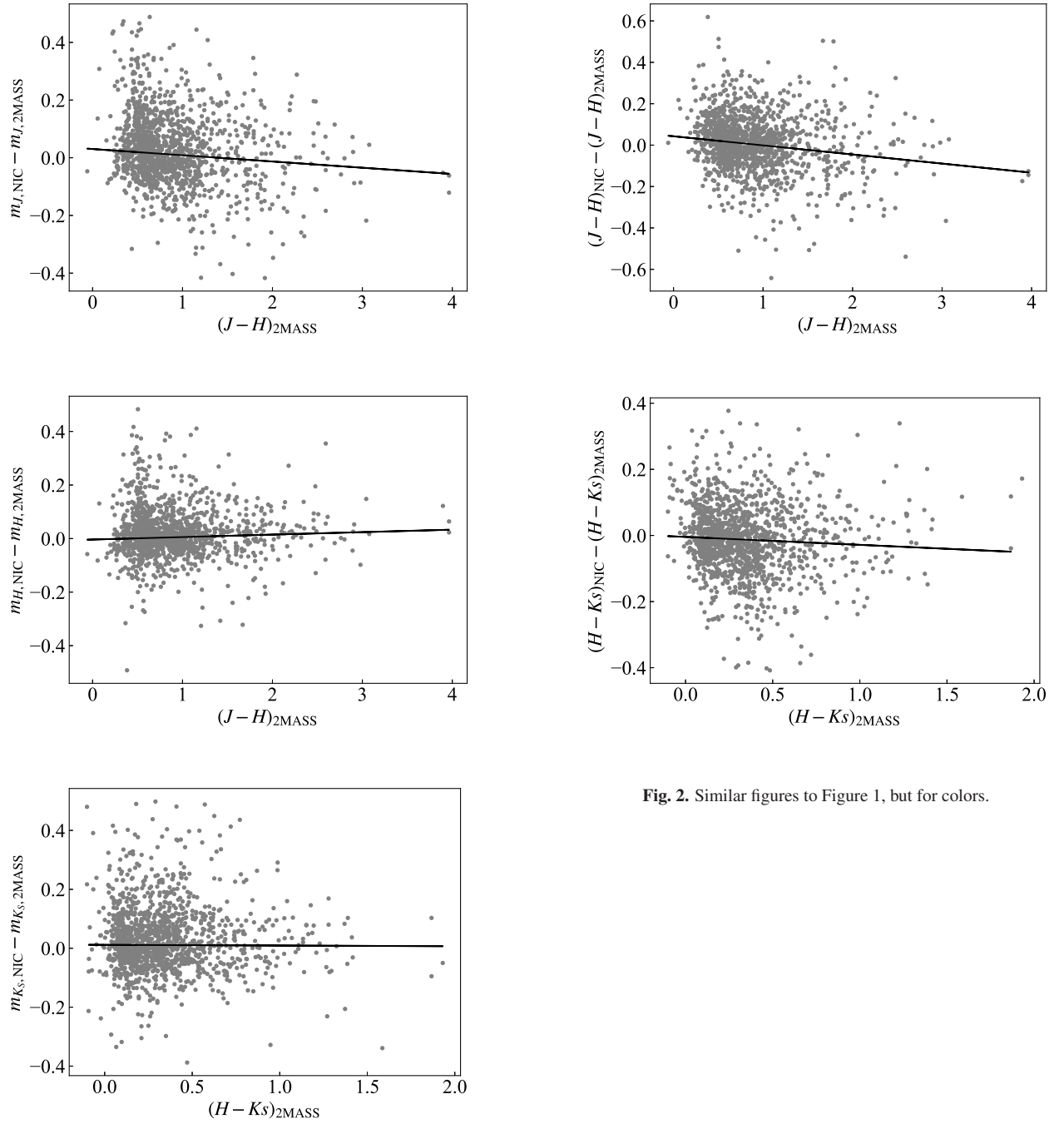


Fig. 2. Similar figures to Figure 1, but for colors.

Fig. 1. Magnitude difference between the NIC zero-point calibrated magnitudes and 2MASS magnitudes. The black solid lines represent the best-fit transformation formula described in equations (6)–(8).

Table 1. Data list used to derive color transformation coefficients.

Object name	RA (J2000.0)	Dec (J2000.0)	Observation date	Total exposure time (sec)
209 Dido	07 ^h 05 ^m 09 ^s .346	+72°21'55".92	2014 Apr 6	1200
[CB88] 105	17 ^h 58 ^m 17 ^s .617	−03°46'27".14	2014 Apr 11	1200
[ETP2005] X 79	18 ^h 43 ^m 29 ^s .806	−03°50'14".99	2014 Apr 25	600
[ETP2005] X 100	18 ^h 43 ^m 32 ^s .687	−04°04'18".88	2014 Apr 25	600
2MASS J12401715−0525419	12 ^h 40 ^m 17 ^s .241	−05°25'42".02	2014 May 2	300
Nova Sco 2014	17 ^h 15 ^m 47 ^s .005	−31°27'52".74	2014 May 5	50
TrES-3	17 ^h 52 ^m 12 ^s .811	+50°33'29".85	2014 May 7	600
[CB88] 128	18 ^h 15 ^m 55 ^s .141	−03°47'12".86	2014 May 8	600
SN 2014bk	13 ^h 53 ^m 58 ^s .470	+20°00'51".00	2014 Jun 13	600
Nova Del 2013	20 ^h 23 ^m 28 ^s .897	+20°46'20".20	2014 Jun 13	25
[LM99] CB 130-1	18 ^h 16 ^m 17 ^s .298	−02°34'08".15	2014 Jun 15	600
[CB88] 190	19 ^h 20 ^m 49 ^s .580	+23°28'46".47	2014 Jul 24	600
Nova Sgr 2014	18 ^h 25 ^m 09 ^s .343	−22°36'16".89	2014 Jul 27	20
MAXI J1910−057	19 ^h 10 ^m 22 ^s .893	−05°47'56".42	2014 Aug 12	300
393 Lampetia	23 ^h 59 ^m 12 ^s .985	+20°26'10".09	2014 Aug 12	600
Nova Cep 2014	20 ^h 54 ^m 23 ^s .972	+60°17'07".50	2014 Aug 12	300
[CB88] 132	18 ^h 19 ^m 36 ^s .052	−06°04'15".60	2014 Sep 5	600
GRB 140907A	03 ^h 12 ^m 35 ^s .099	+46°36'18".11	2014 Sep 7	600
obj1831	18 ^h 31 ^m 58 ^s .113	−07°27'27".01	2014 Sep 8	50
Nova Cyg 2014	20 ^h 21 ^m 43 ^s .895	+31°03'36".23	2014 Sep 15	150
PNV J00432372+4122256	00 ^h 43 ^m 23 ^s .689	+41°22'39".08	2014 Sep 16	600
V517 Cyg	20 ^h 47 ^m 19 ^s .698	+43°44'33".06	2014 Oct 1	600
[CB88] 192	19 ^h 23 ^m 13 ^s .419	+12°23'45".56	2014 Nov 7	600
HD 45314	06 ^h 27 ^m 15 ^s .965	+14°53'46".65	2014 Nov 9	200
GRXE A	18 ^h 43 ^m 31 ^s .861	−03°50'28".24	2014 Nov 23	300
[CB88] 242	23 ^h 12 ^m 09 ^s .446	+61°37'03".41	2014 Dec 2	600
[LM99] CB 22	04 ^h 40 ^m 38 ^s .358	+29°54'58".91	2014 Dec 2	600
[CB88] 214	20 ^h 03 ^m 52 ^s .083	+26°37'34".06	2014 Dec 8	600
[CB88] 222	20 ^h 33 ^m 17 ^s .633	+64°02'52".38	2014 Dec 8	600
[CB88] 26	05 ^h 00 ^m 32 ^s .424	+52°07'44".90	2015 Jan 10	600
V1647 Ori	05 ^h 46 ^m 13 ^s .558	−00°05'56".46	2015 Jan 13	600
Orion-KL	05 ^h 35 ^m 14 ^s .306	−05°22'13".28	2015 Feb 11	20
HAT-P-14	17 ^h 20 ^m 34 ^s .133	+38°13'50".97	2015 Mar 5	300
SW UMa	08 ^h 36 ^m 48 ^s .155	+53°29'00".59	2015 Mar 17	1200
GRB 150323A	12 ^h 50 ^m 28 ^s .327	+50°11'27".72	2015 Mar 23	1200
EBF003	18 ^h 42 ^m 58 ^s .406	−03°53'28".35	2015 Mar 25	600
[CB88] 126	18 ^h 15 ^m 25 ^s .844	−03°47'42".57	2015 Apr 8	600

Table 1. (Continued.)

Object name	RA (J2000.0)	Dec (J2000.0)	Observation date	Total exposure time (sec)
NGC 3516	11 ^h 06 ^m 54 ^s .639	+72°34'48"18	2015 Jun 9	1200
V404 Cyg	20 ^h 24 ^m 03 ^s .955	+33°52'01"96	2015 Jun 28	100
SKYS8	22 ^h 37 ^m 04 ^s .752	+20°43'13"73	2015 Nov 15	600
[CB88] 44	06 ^h 07 ^m 21 ^s .759	+19°31'33"32	2015 Nov 29	600
SKYS9	02 ^h 03 ^m 48 ^s .607	+19°41'53"23	2015 Dec 8	600
HIP 93664	19 ^h 04 ^m 18 ^s .119	+12°59'47"22	2016 Oct 9	100
V409 Tau	04 ^h 18 ^m 01 ^s .858	+25°19'22"25	2017 Apr 13	300
Cyg X-3	20 ^h 32 ^m 28 ^s .210	+40°56'46"33	2017 Apr 14	300
SN 2017eaw	20 ^h 34 ^m 38 ^s .911	+60°11'53"37	2017 Sep 30	1200
M 56	19 ^h 16 ^m 36 ^s .117	+30°11'00"01	2017 Nov 2	300
GLAB LAE 1	06 ^h 50 ^m 48 ^s .481	+41°16'45"43	2018 Mar 28	1200
TN1338 LAE 4	13 ^h 38 ^m 57 ^s .452	−19°36'07"96	2018 Mar 28	1200
MAXI J1820+070	18 ^h 20 ^m 22 ^s .495	+07°10'03"44	2018 May 14	160
M 3	13 ^h 42 ^m 11 ^s .319	+28°22'31"42	2018 Jul 12	50
TrES-5	20 ^h 20 ^m 55 ^s .635	+59°26'24"00	2018 Aug 1	300
KISS15s	03 ^h 08 ^m 31 ^s .724	−00°51'33"29	2018 Sep 2	1200
3FGL J1804.5−0850	18 ^h 04 ^m 31 ^s .325	−08°50'57"12	2018 Oct 25	600
PSO J338.2298+29.5089	22 ^h 32 ^m 54 ^s .867	+29°31'03"18	2019 Jan 24	2400
OH 53.6 −0.2	19 ^h 31 ^m 20 ^s .678	+18°12'51"33	2019 Oct 28	2400
OH 77.9 +0.2	20 ^h 28 ^m 26 ^s .373	+39°06'59"91	2019 Oct 28	2400