

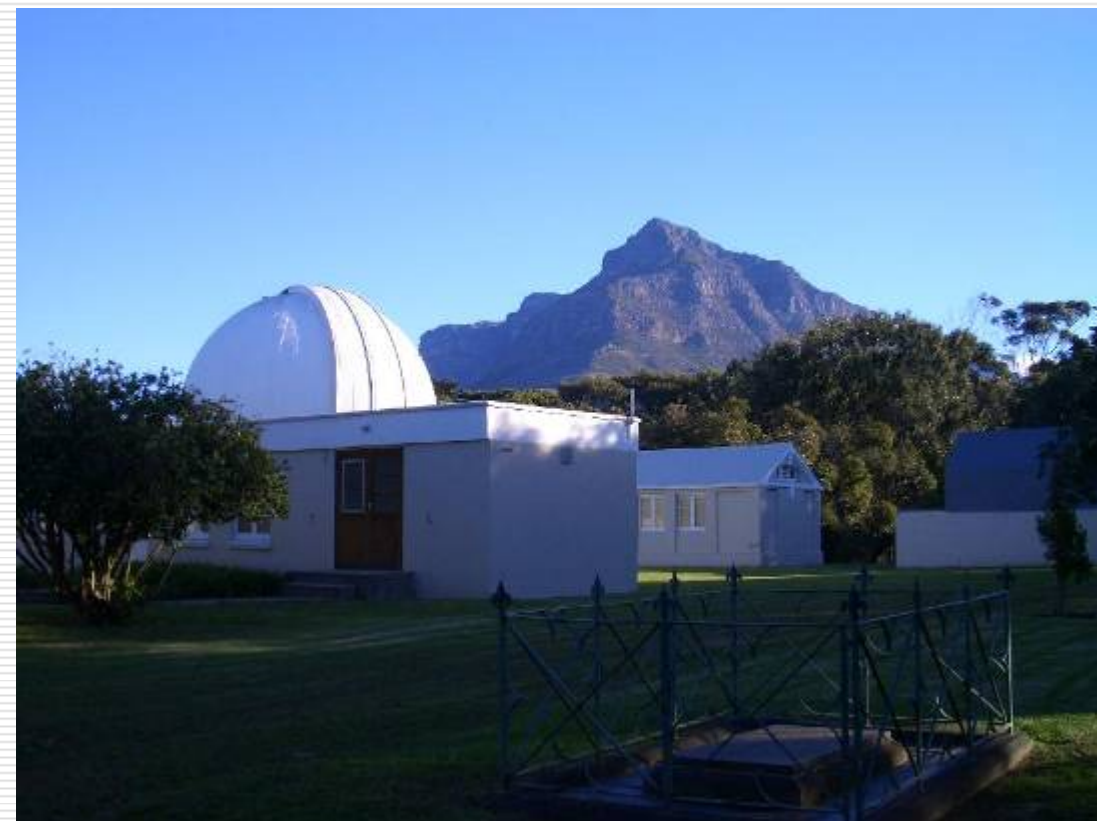
# Flux較正と位置較正

---

西山正吾

# 自己紹介

南アフリカ天文台 赤外線望遠鏡  
IRSF/SIRIUS (JHKs 撮像・偏光)



# 標準測光システム

---

すべての装置には、固有の測光システムがある

大気の吸収、望遠鏡、フィルター、検出器、etc.

...すべて装置、サイトごとに異なる

大気の吸収...観測日ごとに異なる

→ 観測者ごとに固有の測光システム?

自分と他人の観測結果をどう比較するか

→ 標準測光システム

# 標準測光システム

---

1950年代

H. L. Johnson...UBVRI

G. E. Kron...RI



彼ら"固有"のシステムで測光標準星を  
観測、等級と色を決定

1. 他の観測者が同じ星を観測
2. 観測者の等級と色、Johnsonのそれらの間の  
変換式を求める
3. 他の(Johnsonらのリストにない)星にも同じ式

# 標準測光システム

---

1960年代

H. L. Johnson...JKLM

I. S. Glass...H

1970年代

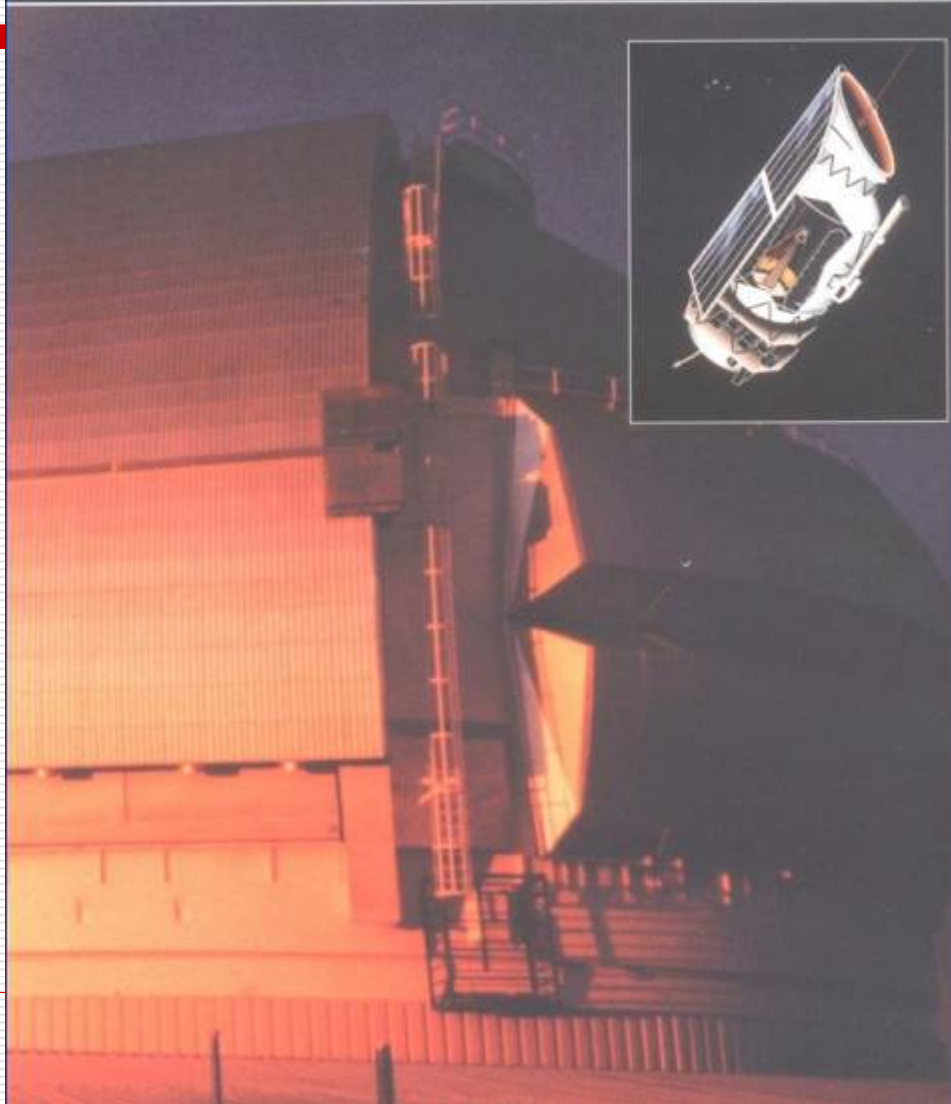
A. W. J. Cousins...RI  $\rightarrow R_c, I_c$

Johnson-Cousins-Glass  
UBVRIJHKLM システム



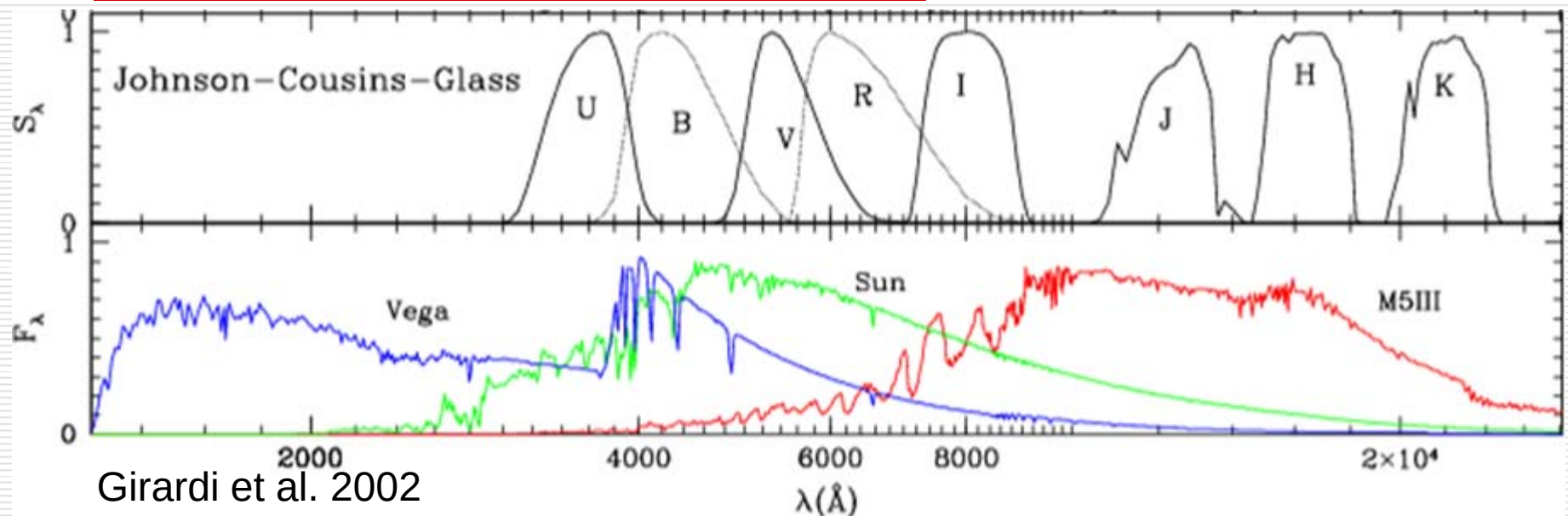
# Handbook of Infrared Astronomy

I. S. Glass





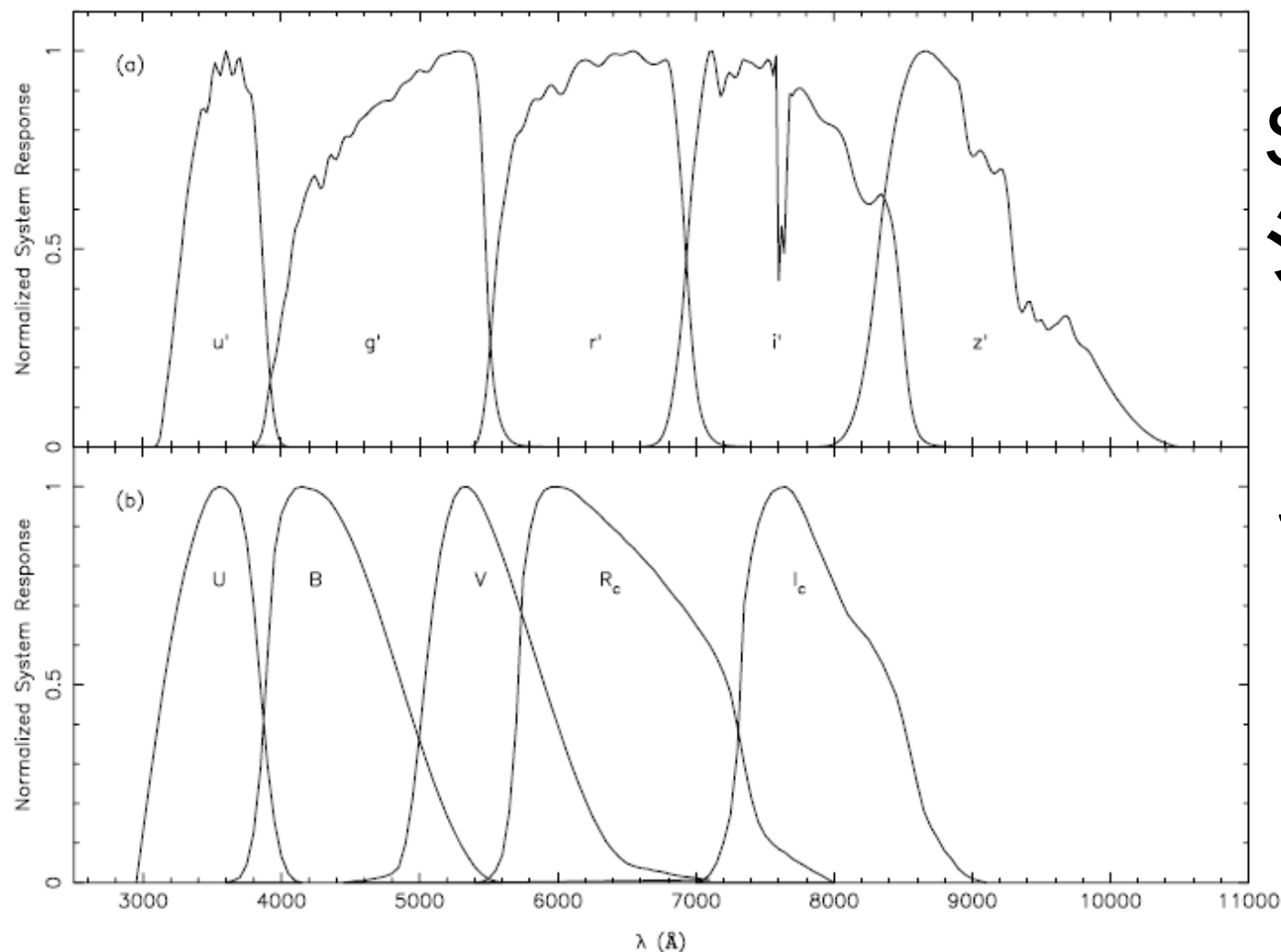
# 標準測光システム



## その他多数の測光システム

Washington, Stromgren, DDO, Hipparcos, HST,  
etc.

# 標準測光システム



SDSS  
システム

Johnson-  
Cousins  
システム



# 測光標準星カタログ (可視光)

---

- "UBVRI photometric standard stars around the celestial equator"  
Landolt 1983, AJ, 88, 439, UBVRI,  $7 < V < 12.5$
- "UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator"  
Landolt 1992, AJ, 104, 340, UBVRI,  $11.5 < V < 16$
- "Homogeneous Photometry for Star Clusters and Resolved Galaxies. II. Photometric Standard Stars"  
Stetson 2000, PASP, 112, 925, UBVRI,  $8 < V < 22$
- "The u'g'r'i'z' Standard-Star System"  
Smith et al. 2002, AJ, 123, 2121, u'g'r'i'z'  $8 < r' < 14$

# 測光標準星カタログ (赤外線)

---

- "JHKLM standard stars in the ESO system"  
Bouchet et al. 1991, A&AS, 91, 409, JHKLM,  $1 < K < 7$
- "A New System of Faint Near-Infrared Standard Stars"  
Persson et al. 1998, AJ, 116, 2475, JHKs,  $10 < K < 12$
- "JHK standard stars for large telescopes: the UKIRT Fundamental and Extended lists"  
Hawarden et al. 2001, MNRAS, 325, 563, JHK,  $9.4 < K < 15$
- "JHK observations of faint standard stars in the Mauna Kea Observatories near-infrared photometric system"  
Leggett et al. 2006, MNRAS, 373, 781, JHK,  $9 < K < 15$

# Fluxの較正

---

$$m_{\text{inst}} = m_0 + c_1 + c_2 F(z) + c_3 (m - m')$$

$m_{\text{inst}}$  : 機器(instrumental)等級

$m_0$  : 天体本来の等級

$F(z)$  : エアマス

$m - m'$  : 星のカラー

---

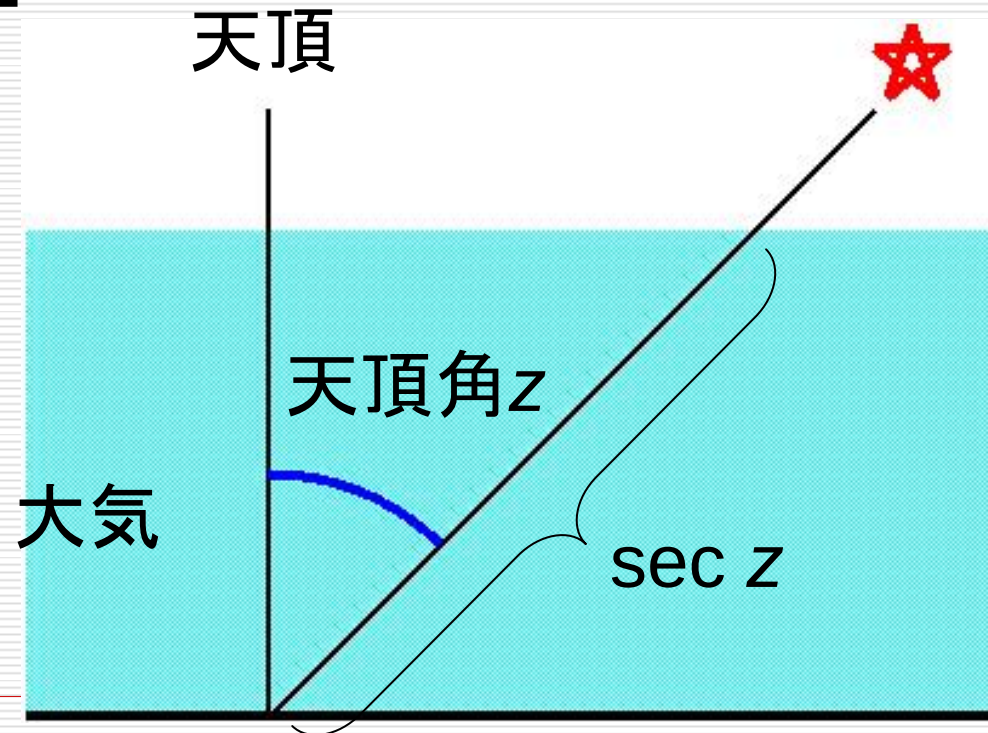
$c_1, c_2, c_3$  : 係数 ( $c_1$  : ゼロ点)

# Fluxの校正

エアマス  $F(z)$  ... 天体の光の、大気中での光路長に対応する値

- $z$  (天頂角)  $< 60^\circ$   
 $F(z) = \sec z$  良い近似

- $z > 60^\circ$   
地球が球体であることを考慮する必要あり



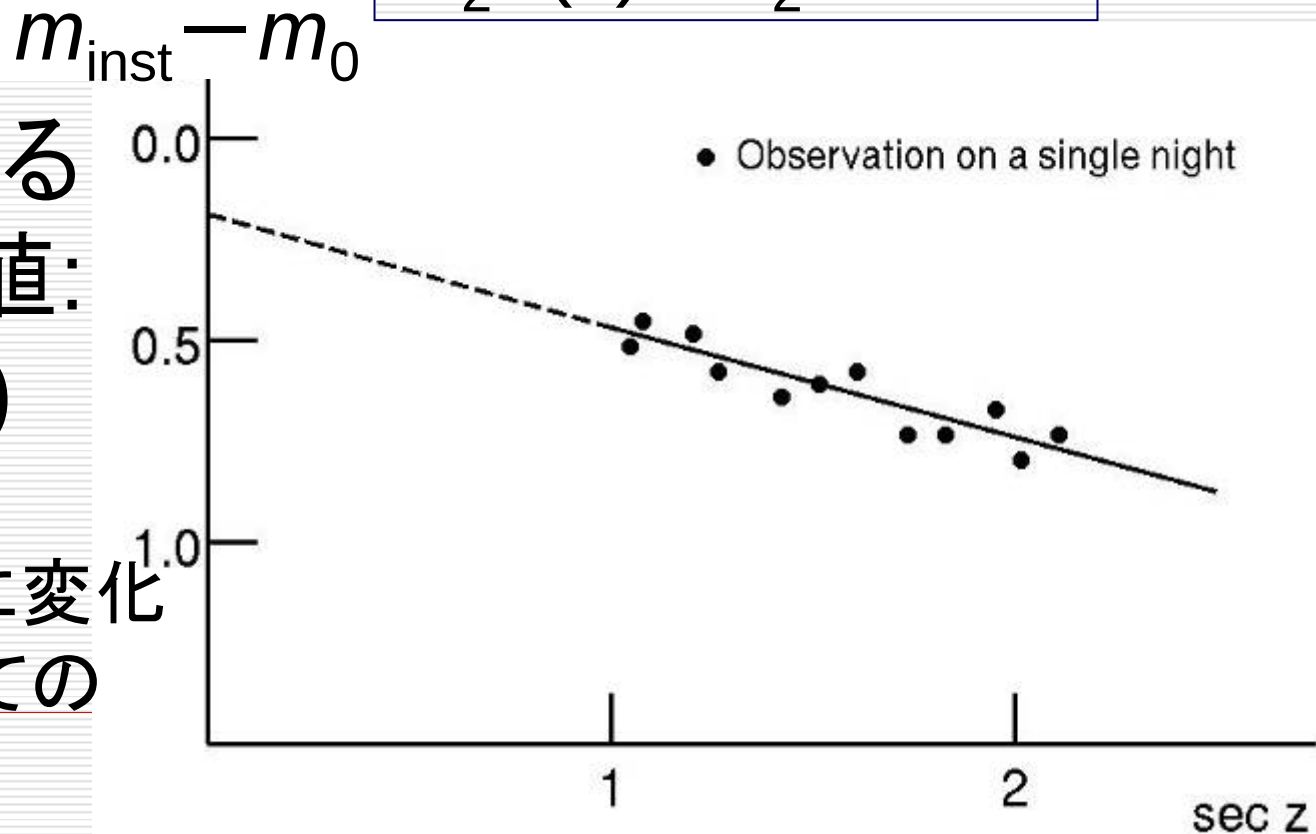
ある測光標準星をいろんなエアマスで観測

$$m_{\text{inst}} - m_0 = a \sec z + b$$

$c_2 F(z)$  の  $c_2$  に対応

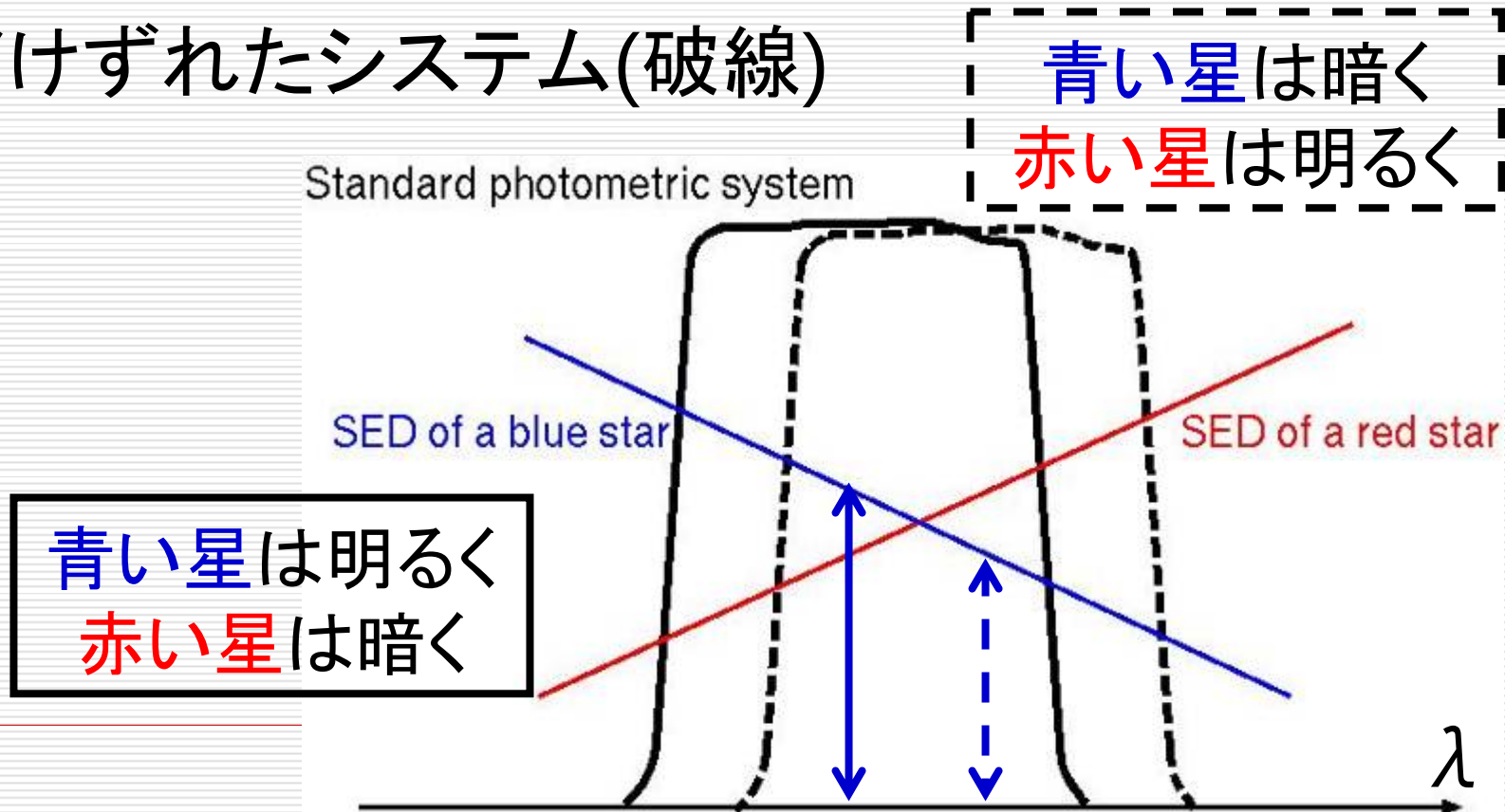
天頂角  $z$  にある  
天体の補正值:  
( $a \sec z + b$ )

$a, b$  は波長ごとに変化  
... 観測するすべての  
波長で必要



# 色補正 ... 測光システムの違いによる 色の変化を補正

- 標準測光システム(実線)
- 少しだけずれたシステム(破線)

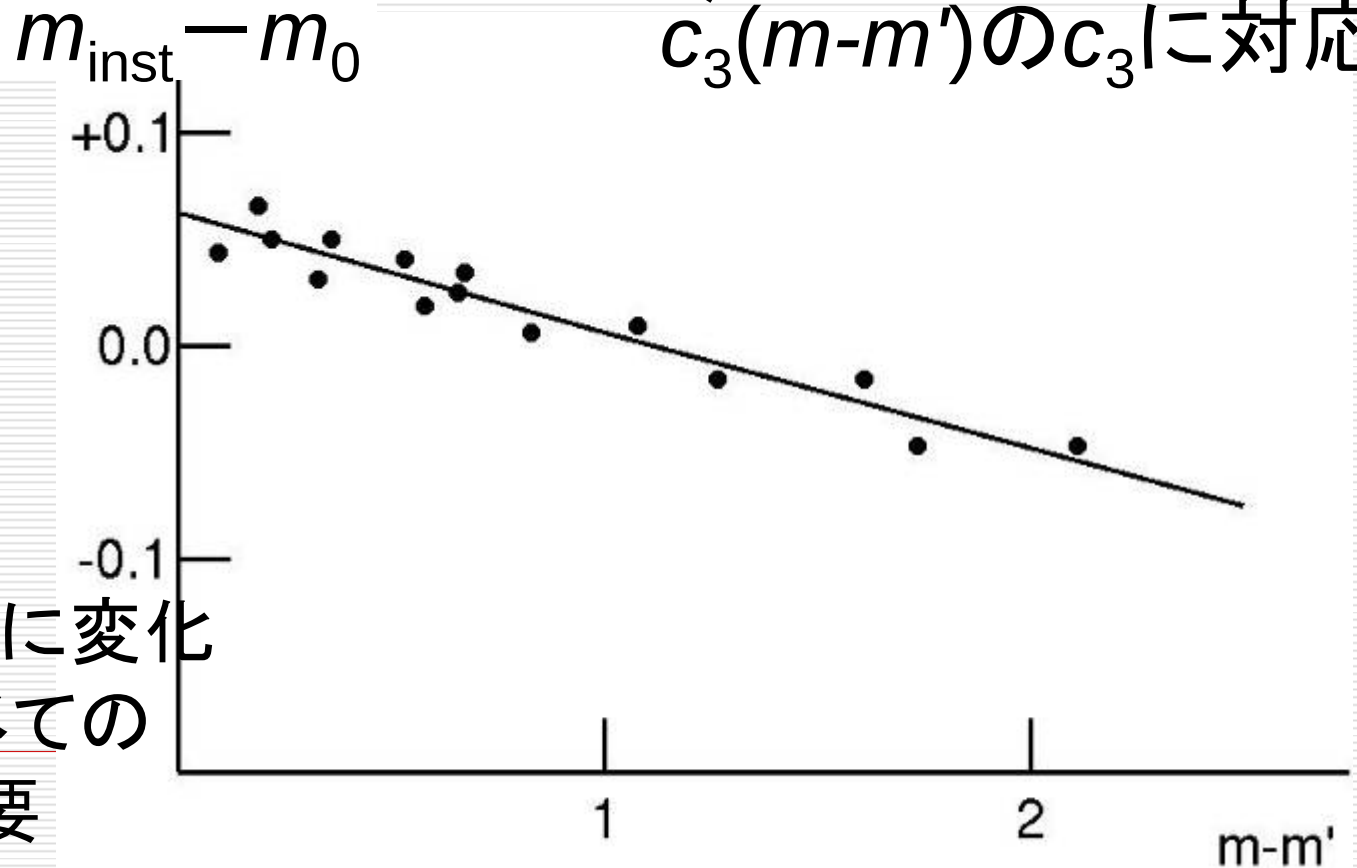




色補正 ... 装置の透過率による等級の変化を補正

$$m_{\text{inst}} - m_0 = d + e(m - m')$$

$c_3(m - m')$ の $c_3$ に対応



$d, e$  は波長ごとに変化  
... 観測するすべての  
波長で必要

---

$$m_{\text{inst}} = m_0 + c_1 + c_2 F(z) + c_3 (m - m')$$

すべての係数を一度に決めるタスク

IRAF : noao.digiphot.photcal.fitparams

入力ファイル ...

標準測光システムでの等級、  
観測値(測光結果、エアマス)のリスト、  
configurationファイル

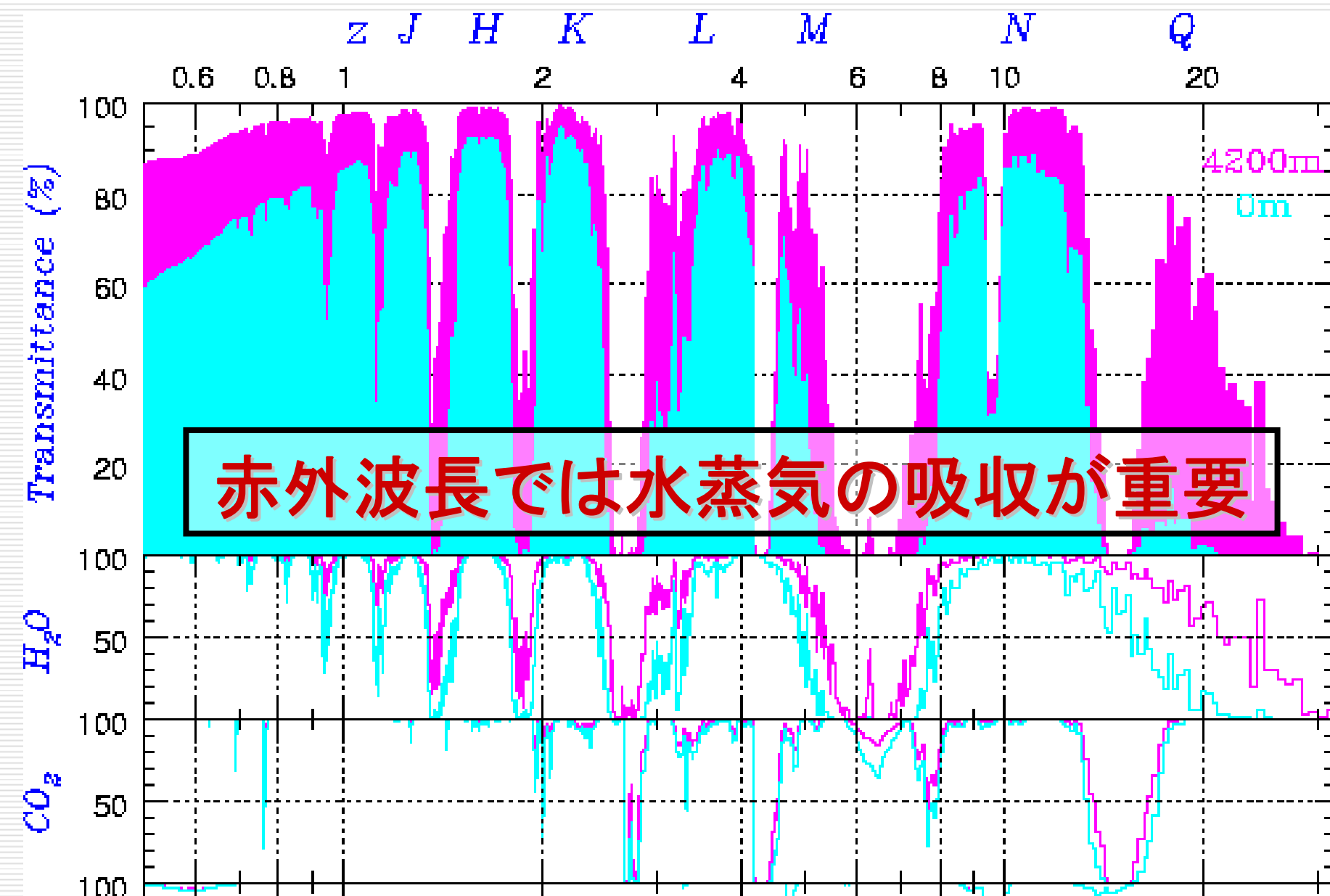
---

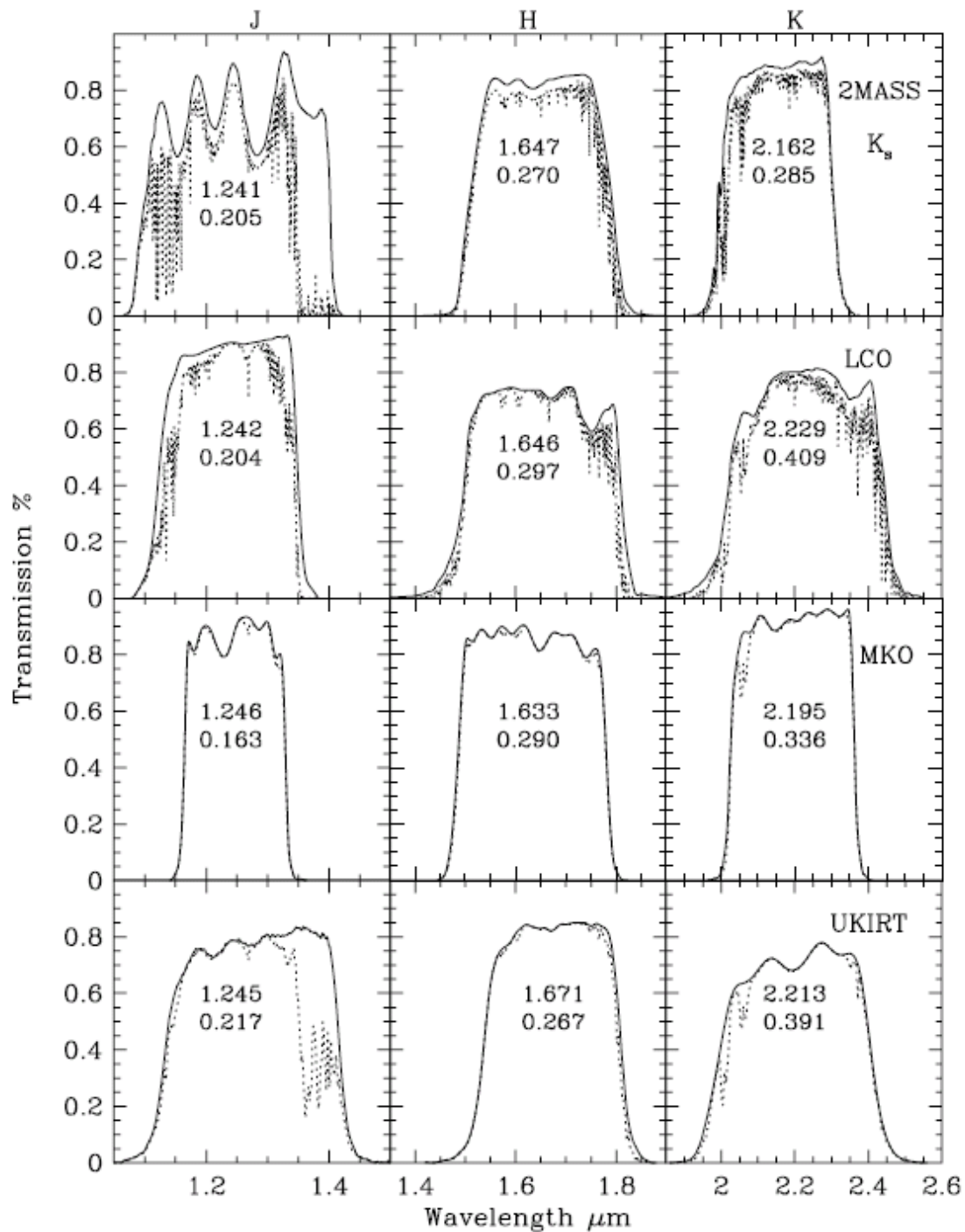
# 実際の観測では...

---

標準星をたくさん観測する余裕はない

1. 目的天体のすぐ近く(エアマス・時間)の標準星を観測  
→ フィッティングはせず、 $m_{\text{inst}} - m_0$ を補正值
2. 色補正の係数はすでに決まっている  
場合が多い(?)  
→ 観測者はエアマス補正だけ
3. 相対測光はお得(同じ視野内に等級の分かる星)






---

2MASS

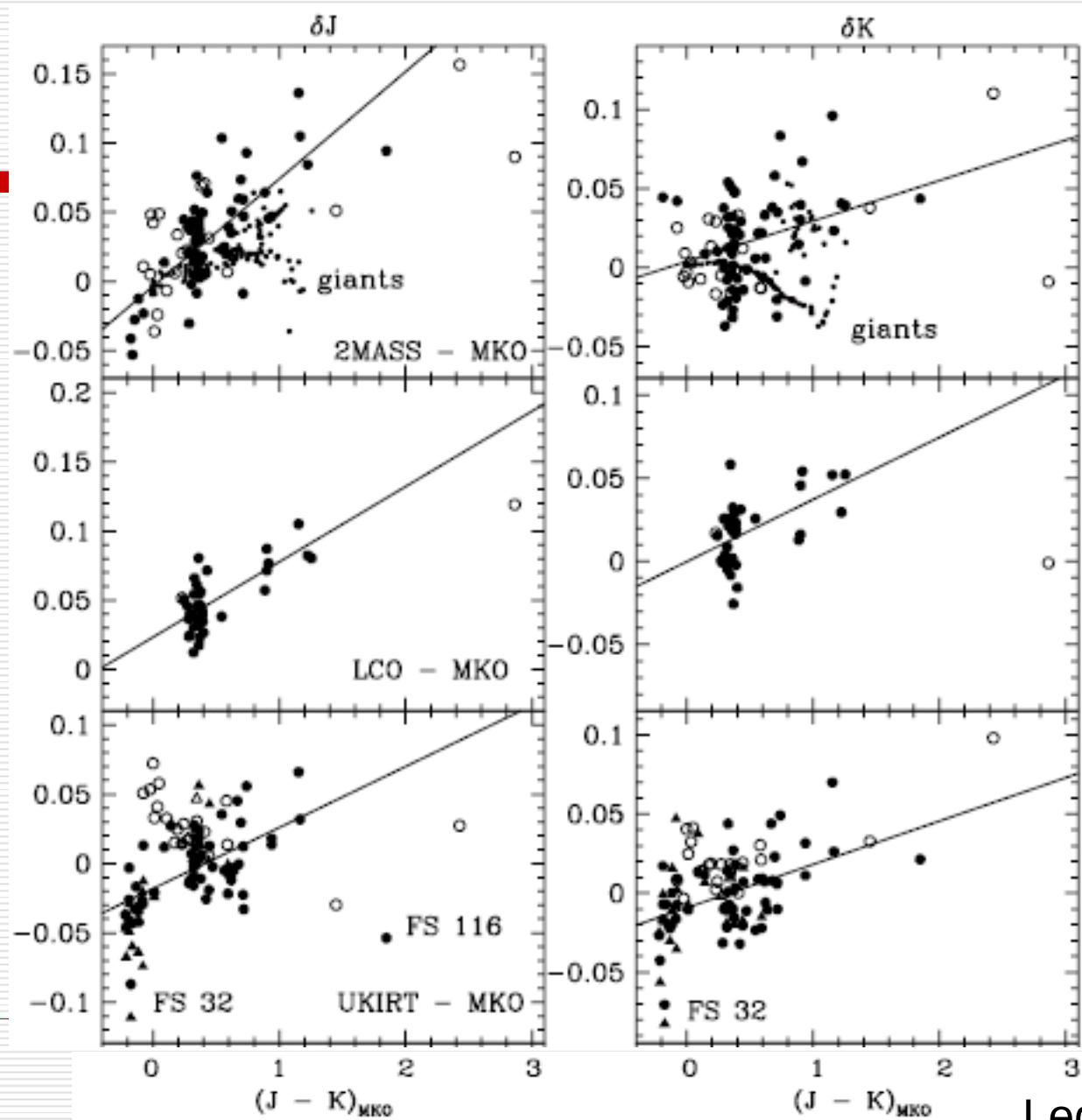
LCO

MKO

---

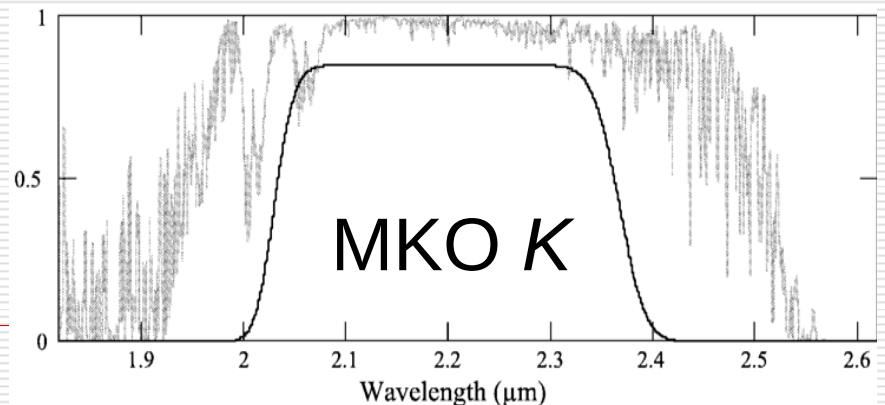
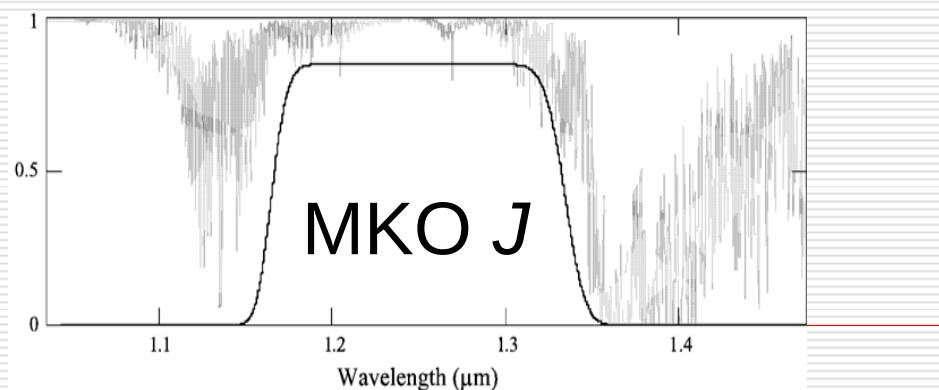
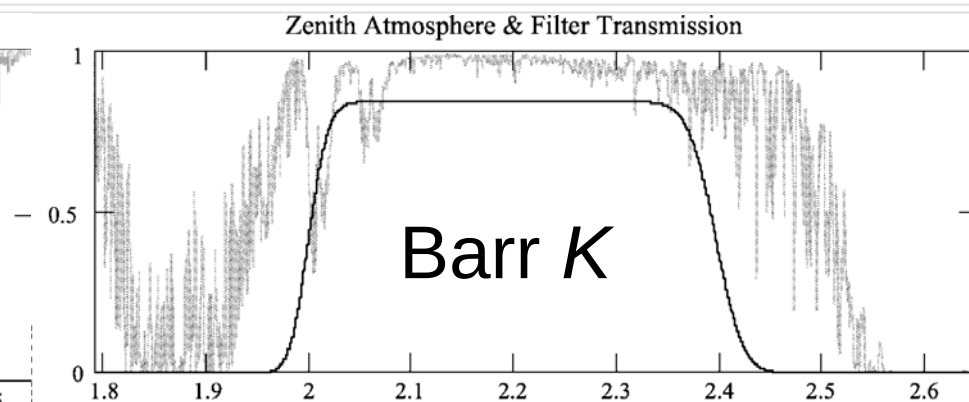
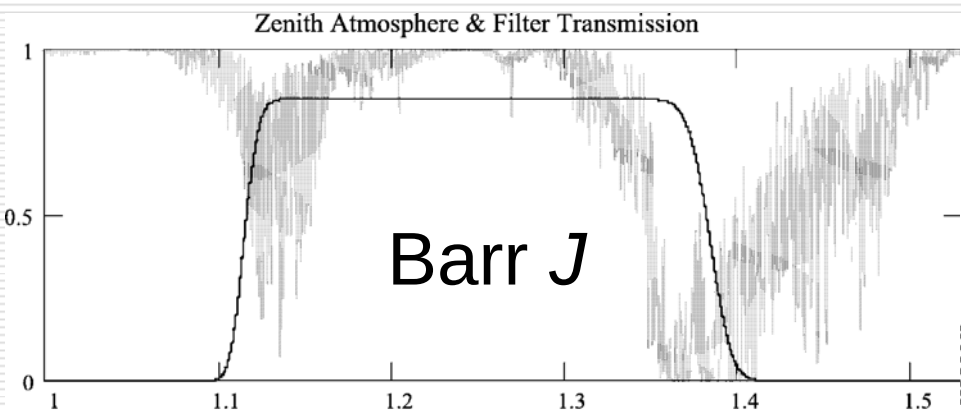
UKIRT

Leggett et al. 2006



# MKO (Mauna Kea Observatories) システム

標高の高いサイト、高スループット、  
高リニアリティ、低バックグラウンド





# 位置標準天体カタログ

## Guide Star Catalog (GSC)

- HSTのオペレーションをサポートするために作成された可視のカタログ
- 最新版 GSC 2.3 (2005年リリース)
- $\sim 10^9$ 個、限界等級 $\sim 20$ 等、位置誤差 $\sim 0.3''$

## United States Naval Observatory (USNO)

- 最新版 USNO-B (2003年リリース)
- $\sim 10^9$ 個、限界等級 $\sim 21$ 等、位置誤差 $\sim 0.2''$



# 位置標準天体カタログ

## Hipparcos / Tycho Catalogue

- アstrometriを目的とした初めての衛星
- $\sim 10^5$ 個、限界等級 $\sim 12$ 等、 $3\text{個/deg}^2$
- 位置誤差 $\sim 1\text{ mas}$ 、  
固有運動 $\sim 1\text{ mas/yr}$

### Tycho-2

- VとBの2色で測光
- $2.5 \times 10^6$ 個、限界等級 $\sim 11.5$ 等
- 位置誤差 $\sim 60\text{ mas}$ 、  
固有運動 $\sim 2.5\text{ mas/yr}$



# 位置標準天体カタログ(?)

## Two Micron All Sky Survey (2MASS)

2MASS Showcase

- 近赤外線(JHKs)の全天サーベイ
- $\sim 5 \times 10^8$ 個(点源)、限界等級Ks $\sim 14$ 等
- 位置誤差 70-80 mas ( $9 < K_s < 14$ )  
位置の基準はTycho-2カタログ

The Infrared Milky Way. This map of the infrared sky includes the light of a half billion stars.

# 位置較正の主なステップ

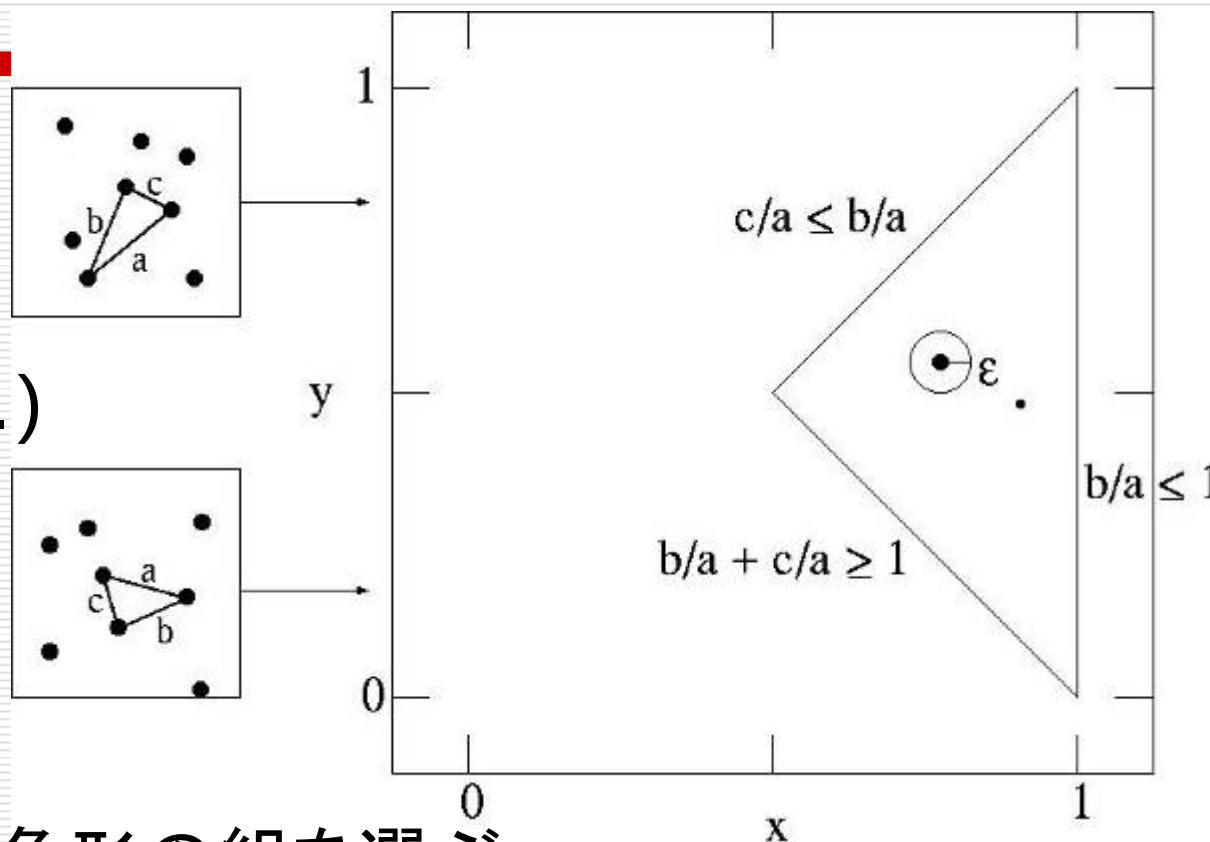
---

1. 観測で得た画像上の天体と位置標準天体との同定
  2.  $(x, y)$  から  $(\alpha, \delta)$  への変換式の決定
  3. 変換式を用いた  $(x, y) \rightarrow (\alpha, \delta)$
-



# 位置標準天体との同定

データ量が少ない、  
星が少ない  
...手作業で星を探す  
(DSS, 2MASS, etc.)



## 三角形マッチング

1. すべての可能な三角形の組を選ぶ
2. 三辺  $a, b, c$  ( $a \geq b \geq c$ ) より  $x = b/a$ ,  $y = c/a$  を求め、 $x$ - $y$  平面上にプロット
3. 平面上の距離からマッチした星の組を探す

# 座標変換

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1(x, y) \\ f_2(x, y) \end{pmatrix}$$

最もシンプルな1次の変換式

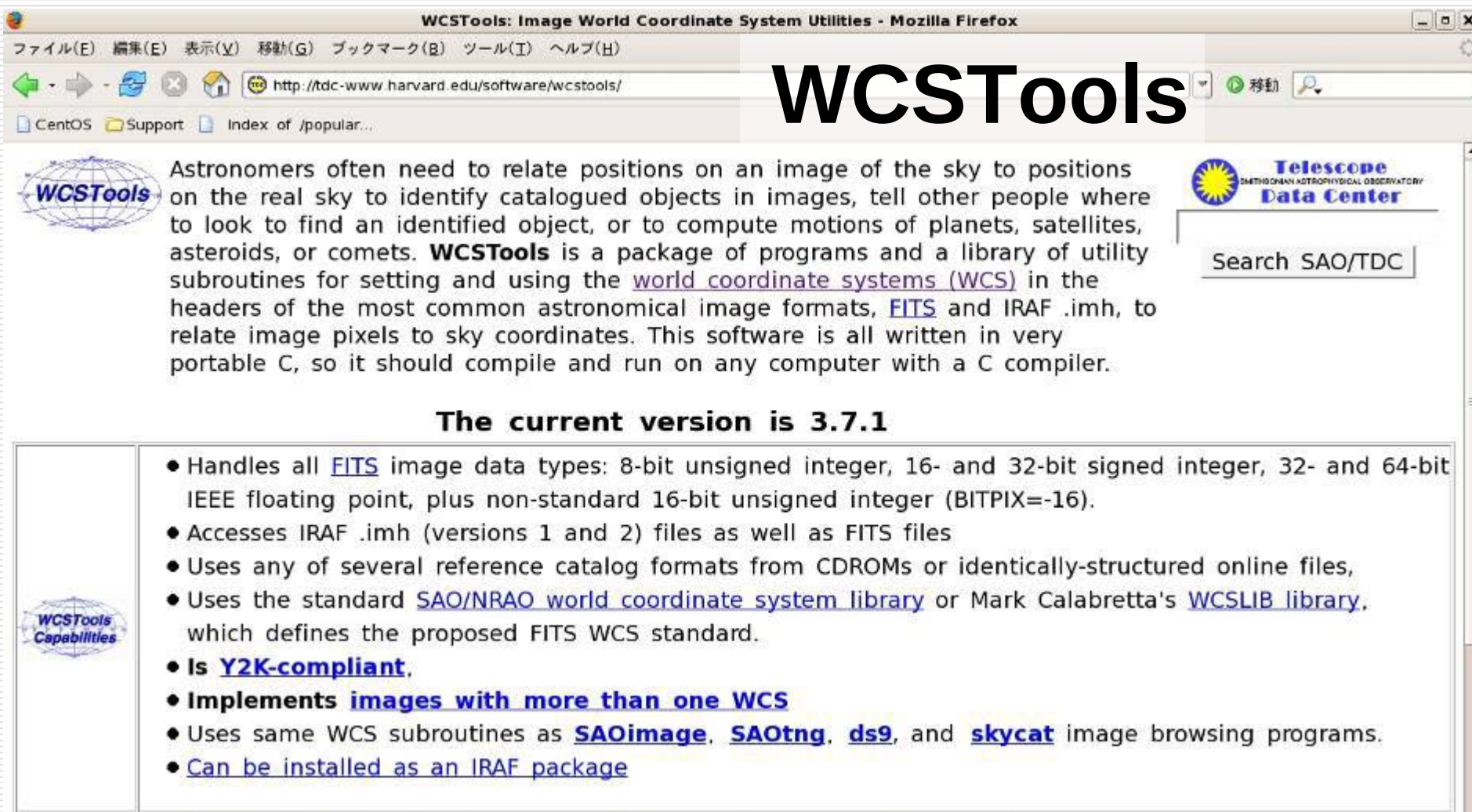
$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 + a_2x + a_3y \\ a_4 + a_5x + a_6y \end{pmatrix}$$

2次の変換式

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 \\ a_7 + a_8x + a_9y + a_{10}x^2 + a_{11}xy + a_{12}y^2 \end{pmatrix}$$

係数を決める、画像にWCを埋め込む、など

IRAF : images.imcoords., immatch. etc.



# WCSTools

Astronomers often need to relate positions on an image of the sky to positions on the real sky to identify catalogued objects in images, tell other people where to look to find an identified object, or to compute motions of planets, satellites, asteroids, or comets. **WCSTools** is a package of programs and a library of utility subroutines for setting and using the [world coordinate systems \(WCS\)](#) in the headers of the most common astronomical image formats, [FITS](#) and IRAF .imh, to relate image pixels to sky coordinates. This software is all written in very portable C, so it should compile and run on any computer with a C compiler.

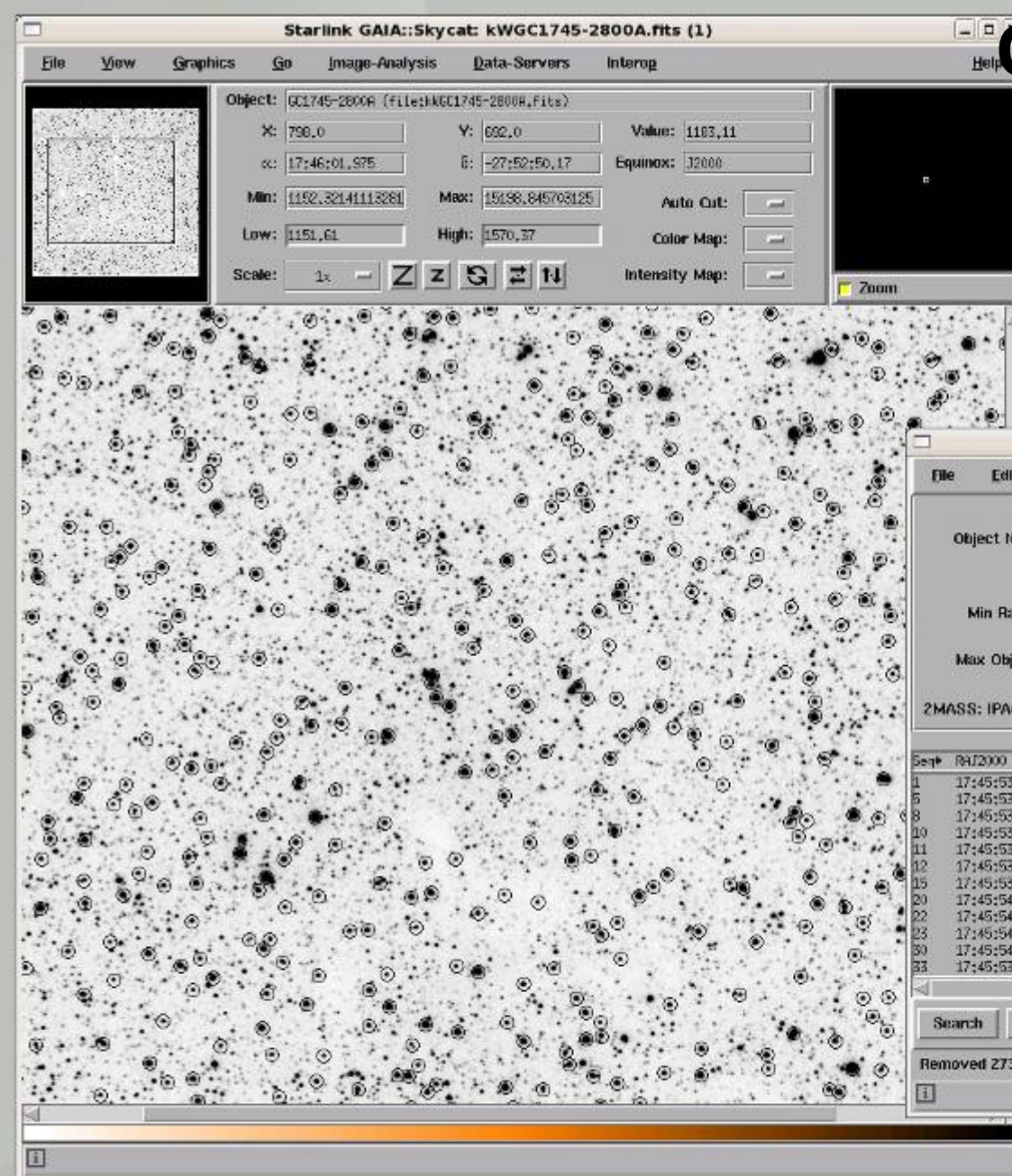
**The current version is 3.7.1**

- Handles all [FITS](#) image data types: 8-bit unsigned integer, 16- and 32-bit signed integer, 32- and 64-bit IEEE floating point, plus non-standard 16-bit unsigned integer (BITPIX=-16).
- Accesses IRAF .imh (versions 1 and 2) files as well as FITS files
- Uses any of several reference catalog formats from CDROMs or identically-structured online files,
- Uses the standard [SAO/NRAO world coordinate system library](#) or Mark Calabretta's [WCSLIB library](#), which defines the proposed FITS WCS standard.
- Is **Y2K-compliant**.
- Implements **images with more than one WCS**
- Uses same WCS subroutines as [SAOimage](#), [SAOtngr](#), [ds9](#), and [skycat](#) image browsing programs.
- [Can be installed as an IRAF package](#)

**WCSTools Capabilities**



# GAIA : Graphical Astronomy and Image Analysis Tool



2MASS Catalog at CDS (1)

File Edit Options Data-Servers Help

Search Options

Object Name:  Equinox: J2000

$\alpha$ : 17:46:10.205  $\delta$ : -27:53:49.81

Min Radius: 0.0 Max Radius: 5.9641

Max Objects: 20000 Select Area... Set From Image

2MASS: IPAC,UMASS,NASA,Caltech on-line at CDS

Search Results (1606\*)

| Seq# | RA/2000      | IC/2000      | Jmag   | e_Jmag | Hmag   | e_Hmag | Kmag   | e_Kmag |
|------|--------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1    | 17:45:53.606 | -27:58:16.50 | 13.774 | 0.099  | 11.302 | 0.108  | 10.193 | 0.045  |
| 5    | 17:45:53.437 | -27:56:59.60 | 15.637 |        | 12.574 |        | 11.260 | 0.041  |
| 8    | 17:45:53.842 | -27:58:20.81 | 14.418 | 0.075  | 11.353 | 0.051  | 9.841  | 0.036  |
| 10   | 17:45:53.156 | -27:56:57.42 | 16.046 |        | 12.782 |        | 12.112 | 0.033  |
| 11   | 17:45:53.227 | -27:57:22.46 | 17.673 |        | 14.337 |        | 11.983 | 0.033  |
| 12   | 17:45:53.290 | -27:57:56.97 | 15.996 | 0.066  | 12.623 | 0.057  | 11.646 | 0.049  |
| 15   | 17:45:53.349 | -27:56:44.10 | 12.964 | 0.022  | 10.140 | 0.021  | 9.105  | 0.019  |
| 20   | 17:45:54.302 | -27:57:35.90 | 15.464 |        | 13.146 | 0.080  | 11.943 | 0.033  |
| 22   | 17:45:54.248 | -27:56:45.64 | 13.267 | 0.040  | 10.489 | 0.034  | 9.195  | 0.027  |
| 23   | 17:45:54.202 | -27:57:14.82 | 15.363 | 0.052  | 12.539 | 0.022  | 11.356 | 0.021  |
| 30   | 17:45:54.033 | -27:56:27.03 | 15.134 | 0.065  | 12.409 | 0.053  | 11.298 | 0.033  |
| 33   | 17:45:53.110 | -27:56:25.46 | 13.324 | 0.053  | 10.413 | 0.040  | 9.032  | 0.029  |

Search Plot Filter More info Preview Stop Close

Removed 2738 objects from the list.