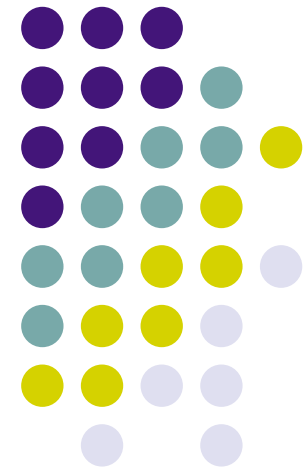
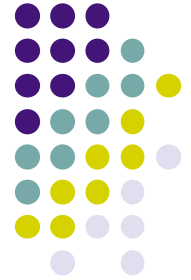


KWFCを使った、 RR Lyr型変光星を含む 食連星の探査

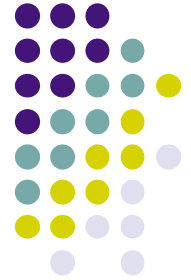
板 由房
東北大学 天文学専攻





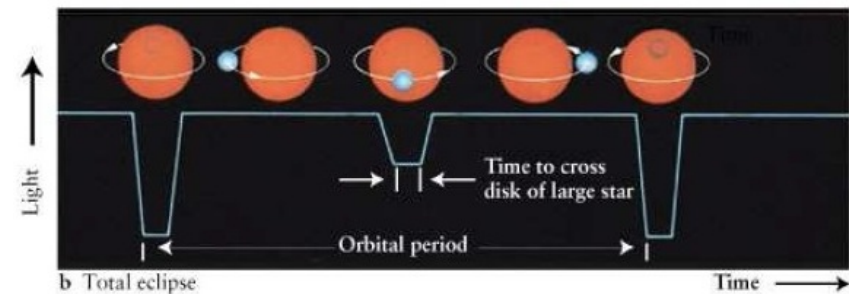
Index

- 何故、**食連星**なのか？
- 何故、**RR Lyr型星**なのか？
- 何故、**KWFC**だといいいのか？
- まとめ



何故食連星なのか？

- 軌道
 - エッジオンに近い
 - $\sin i \sim 1$
- 測光&分光
 - Time series
 - Light curve
 - Velocity Amplitude
 - 両方の星の↓がわかる。
 - 質量
 - 直径
 - 温度





RR Lyr型星とは その1

- 0.8~2Msunの星が進化したもの。
 - RGBの頂点
 - 縮退コア
 - ヘリウムフラッシュ
 - ヘリウムフラッシュ後
 - ヘリウムコア膨張
 - 理想気体の性質に近くなる
 - 安定なヘリウム燃焼開始
 - ↑水平分枝

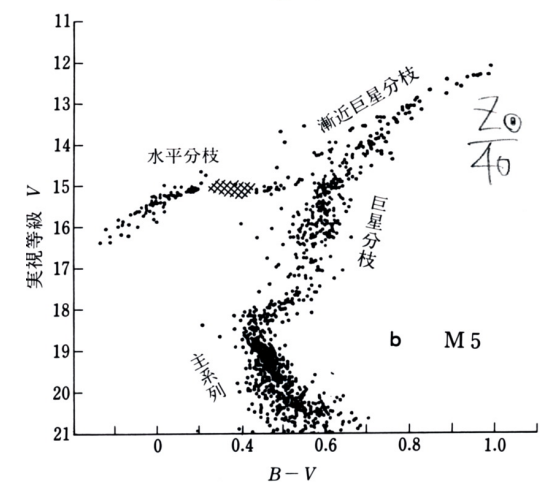
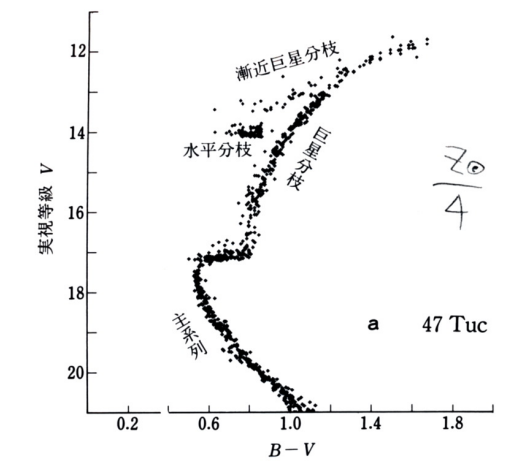


図 10 球状星団 47 Tuc と M5 の HR 図
[Hesser, J. E. et al: PASP 99(1987)739]
[Arp, H.: Ap. J. 135(1962)311]



RR Lyr型星とは その2

- 水平分枝星
 - 質量はおよそ
 - 0.5~0.6Msunに散らばっていない。
 - 水平分枝の長さを説明するために
 - 星の外層の質量と重元素量で水平分枝の位置が決まる。
 - 外層の
 - 質量が大きい程
 - 重元素量が多い程

星の表面温度が低く、星の半径が大きい。
13-14/July/2011 Kiso Symposium 2011

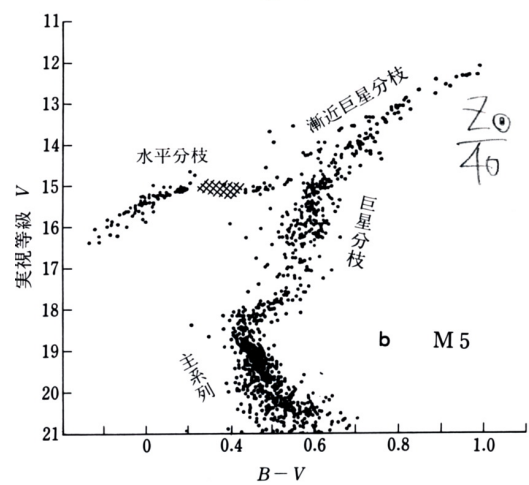
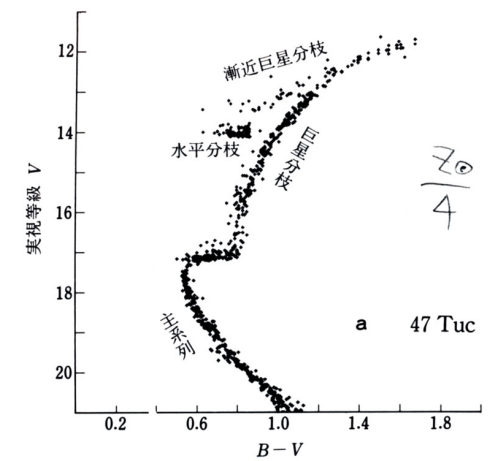


図 10 球状星団 47 Tuc と M5 の HR 図
[Hesser, J. E. et al: PASP 99(1987)739]
[Arp, H.: Ap. J. 135(1962)311]



RR Lyr型星とは その3

- RR Lyr型星
 - 水平分枝星のサブグループ
 - 水平分枝が不安定帯と交わる所に存在する「**変光星**」
 - P ~ 0.4 day
 - $\Delta V \sim 0.1-1.5$ mag
 - Sp type ~ early A
 - R ~ 4~6 R_{sun}
 - age $10^9 - 10^{10}$
 - $M_v \sim 0.43 \pm 0.12 \sim 0.78 \pm 0.12$ mag
 - 周期光度関係が存在

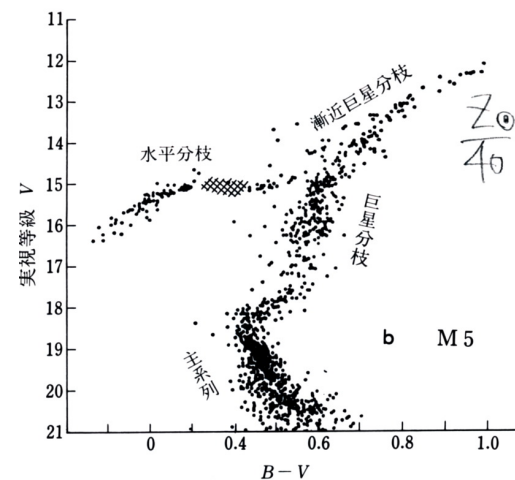
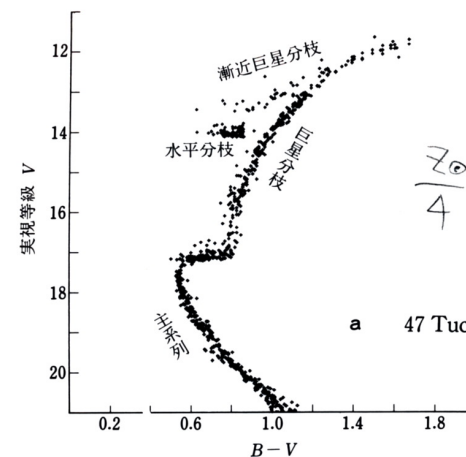


図 10 球状星団 47 Tuc と M5 の HR 図
[Hesser, J. E. et al: PASP 99(1987)739]
[Arp, H.: Ap. J. 135(1962)311]



何故RR Lyr型星なのか？

- 星の進化に関する大問題
 - RGB段階でどの程度質量放出をするのか？
 - RR Lyr型星は、RGB終了直後。
 - 初期質量(0.8 ~ 2Msun) - RR Lyr型星の質量
= RGB段階での質量放出量
- 脈動理論、恒星進化理論のキャリブレーション
 - 変光周期と、質量の関係

RR Lyr型星の質量を知りたい



食連星中のRR Lyr型変光星探し

- これまで数多くされてきた。が、結果は、
 - これまでたった1例しか見つかっていない！！
 - Soszinski et al. (2011) astro-ph 1105.6126

人類の宝

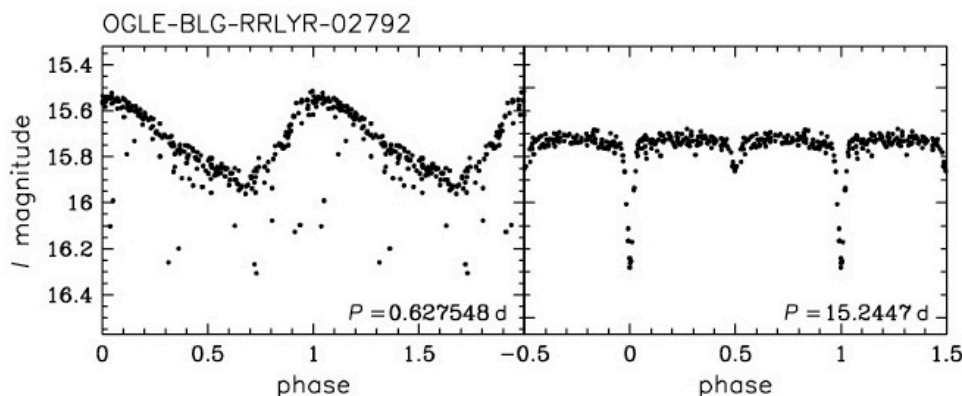
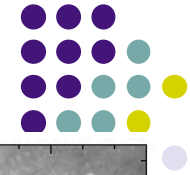


Fig. 6. Light curve of the RR Lyr star with additional eclipsing variability. *Left panel*: the original photometric data folded with the pulsation period. *Right panel*: eclipsing light curve after subtracting the RR Lyr component.

- ちなみに
 - 食連星中のCepheid, δ Scuti等は見つかっている。

食連星中のRR Lyr型変光星探し



- Soszinski et al (2011)
 - LCOに設置した1.3mOGLE-IIIシステムで、バルジ方向の、68.7平方度をサーベイ。
 - **16836個**のRR Lyrを見つけたが、その中に、**たった1個**だった。

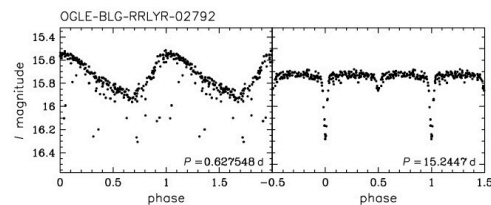


Fig. 6. Light curve of the RR Lyr star with additional eclipsing variability. *Left panel:* the original photometric data folded with the pulsation period. *Right panel:* eclipsing light curve after subtracting the RR Lyr component.

13-14/July/2011

Kiso Sympo:

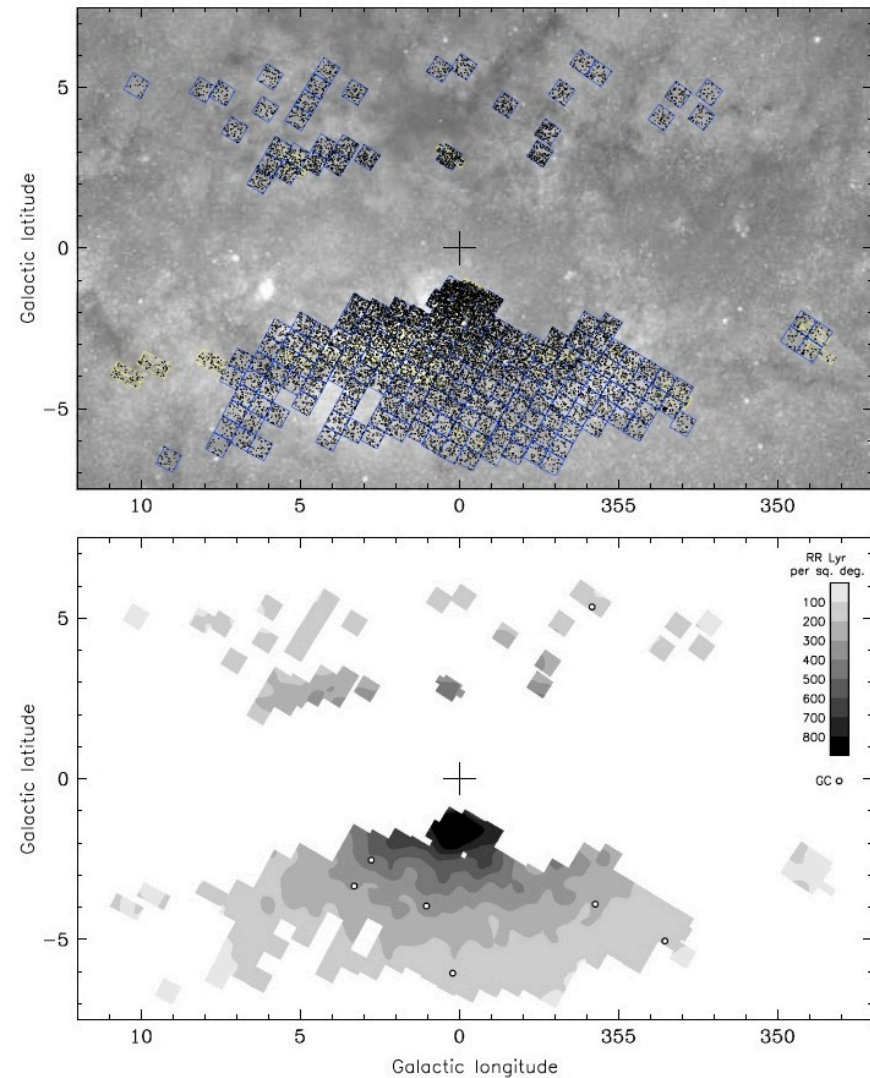
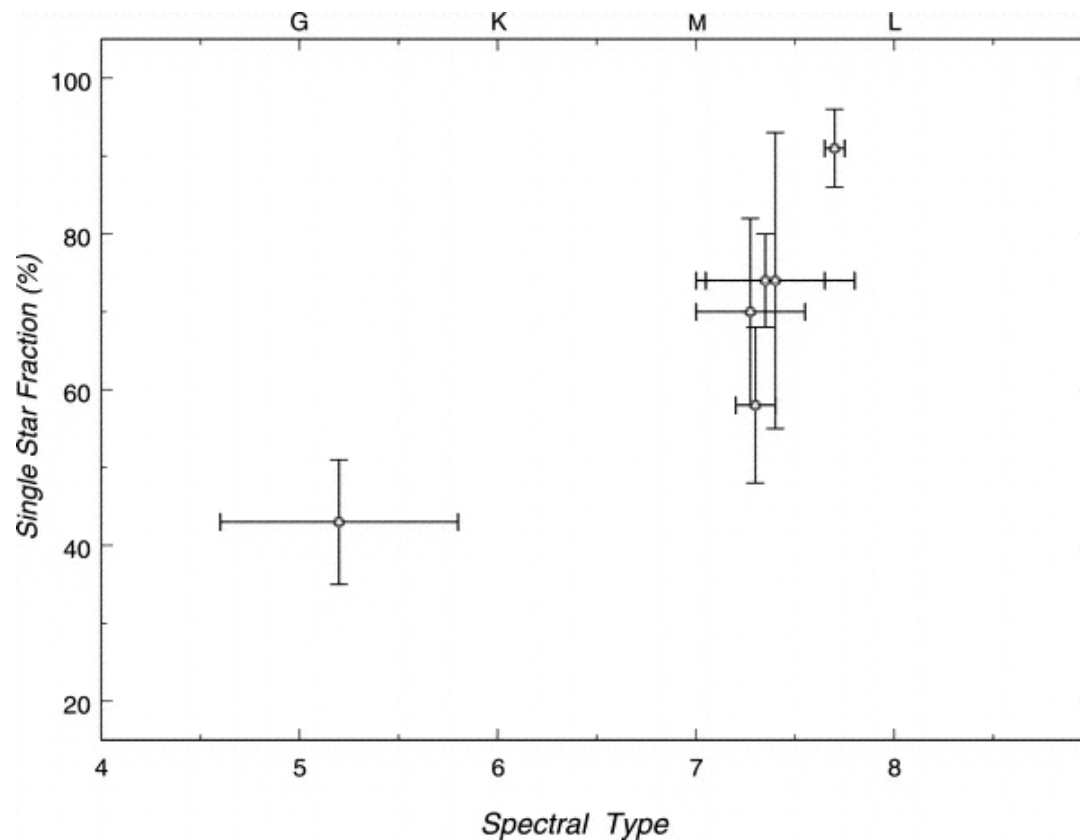


Fig. 7. *Upper panel:* spatial distribution of RR Lyr stars toward the Galactic bulge. The background image of the bulge originates from the Axel Mellinger's Milky Way Panorama (Mellinger 2009). Yellow and blue contours show OGLE-II and OGLE-III fields with the number of observations exceeding 30. *Lower panel:* surface density map of RR Lyr stars toward the Galactic bulge obtained by blurring the upper map with the Gaussian function. White circles show positions of globular clusters which contain RR Lyr stars.

何故少ないのか、本当に少ないのか？



- 小質量星のバイナリ率はそもそも低い？



Lada, 2005, AJ, 640, L63

The **single star fraction** increases significantly with spectral type, reaching values of 75% for M stars, the most populous stars in the IMF and the field.

何故少ないのか、本当に少ないのか？



- $10^9 - 10^{10}$ 年の間にコンパニオンが進化して白色矮星になっていて、観測にかからない程度のOccultationしかない？
 - Depth of the occultation $\propto (R_2/R_1)^2 * (F_{\lambda 2}/F_{\lambda 1})$
 - R_1, F_1 : primaryの半径と明るさ
 - R_2, F_2 : companionの半径と明るさ

とにかく、サンプルを増やす。それにつきる。

RR Lyr型星が見つかった主な大規模変光星サーベイ



- Northern Sky Variability Survey (NSVS)
 - $\delta > -38^\circ$ を、 $V < 15$ 等の深さでサーベイ。
 - 北天で3000星のField RR Lyr型星をIDした
 - Wils et al. 2006, MNRAS, 368, 1757
- Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE)
 - MCs, バルジ方向
- The All Sky Automated Survey (ASAS)
 - $\delta < 28^\circ$ を、 $V < 15$ の深さでサーベイ。

RR Lyr型星が見つかった主な大規模変光星サーベイ



- QUEST

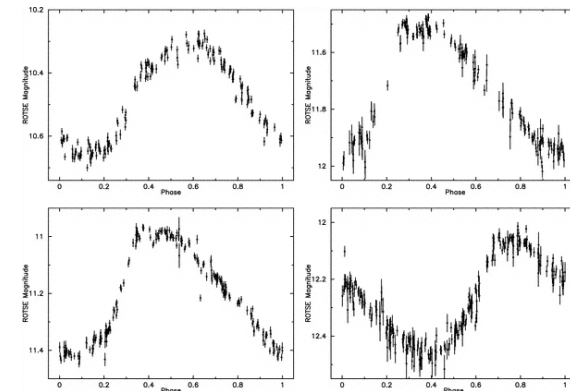
- $\delta = -1^\circ$ を中心とする、 δ 方向の幅 2.3° 、 α 方向は $4.1\text{h}\sim 6.1\text{h}$, $8.0\sim 17.0$ の、合計 380 deg^2 ものバンド状の領域。V:13.5 ~19.7までをカバー。

- Vivas Wils et al. 2006, MNRAS, 368, 1757

- The Robotic Optical Transient Search Experiment (ROTSE)

- North of $\delta=-30^\circ$ V<14等まで。

- Kinemuch et al., 2006, AJ, 132, 1202





何故、KWFCだといいいのか？

- これまでのサーベイのまとめ
 - 浅く、精度が無い。Time resolutionも無い。
 - Binaryがあっても見落としている可能性。
- KWFCの性能
 - 視野が $2^{\circ} \times 2^{\circ} = 4$ 平方度
 - 現在、マゼラン雲、バルジを除いて約8千星のRR Lyrが知られている。RR Lyr型星の期待値は0.2個/平方度
 - 限界等級が(これまでのサーベイに比べて)深い
 - 15分露出でV~21等がS/N=10。S/N=100ぐらい欲しいので、16等ぐらいまで。



最後に、KWFCを使った観測提案

- 一つの視野を、3夜程度、ひたすら観測。
 - 観測時間が許す限り視野の数を増やす。
 - 3夜続けて観測できれば、RR Lyr型星の光度曲線を一周期以上カバー。
 - Light curveを調べ、もしBinaryの兆候があれば、軌道周期30日程度の物までを探すため、モニター期間を延ばす。
 - もし見つければ
 - 人類の宝が2個になる。



おまけ

APPENDIX



近接連星の種類

● Detached

- 連星を構成する2つの恒星が、いずれもロッシュ・ローブの内側に存在する。

● Semi-detached

- 連星を構成する恒星の片方がロッシュ・ローブを満たしており、もう一方は満たしていない。

● Contact

- 連星を構成する恒星が双方ともロッシュ・ローブを満たしている。

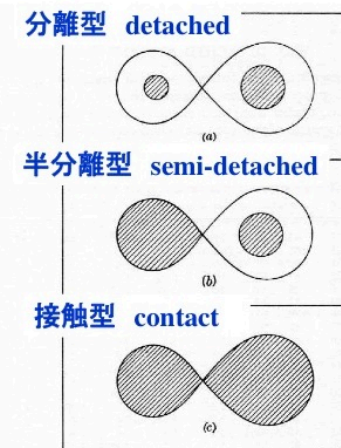
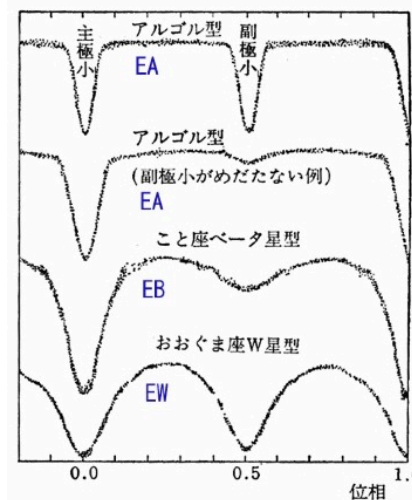


FIGURE 7-1. A SCHEMATIC VIEW OF THE THREE PRINCIPAL TYPES OF CLOSE BINARY SYSTEMS: (a) main sequence systems, (b) semi-detached systems (c) contact binaries.