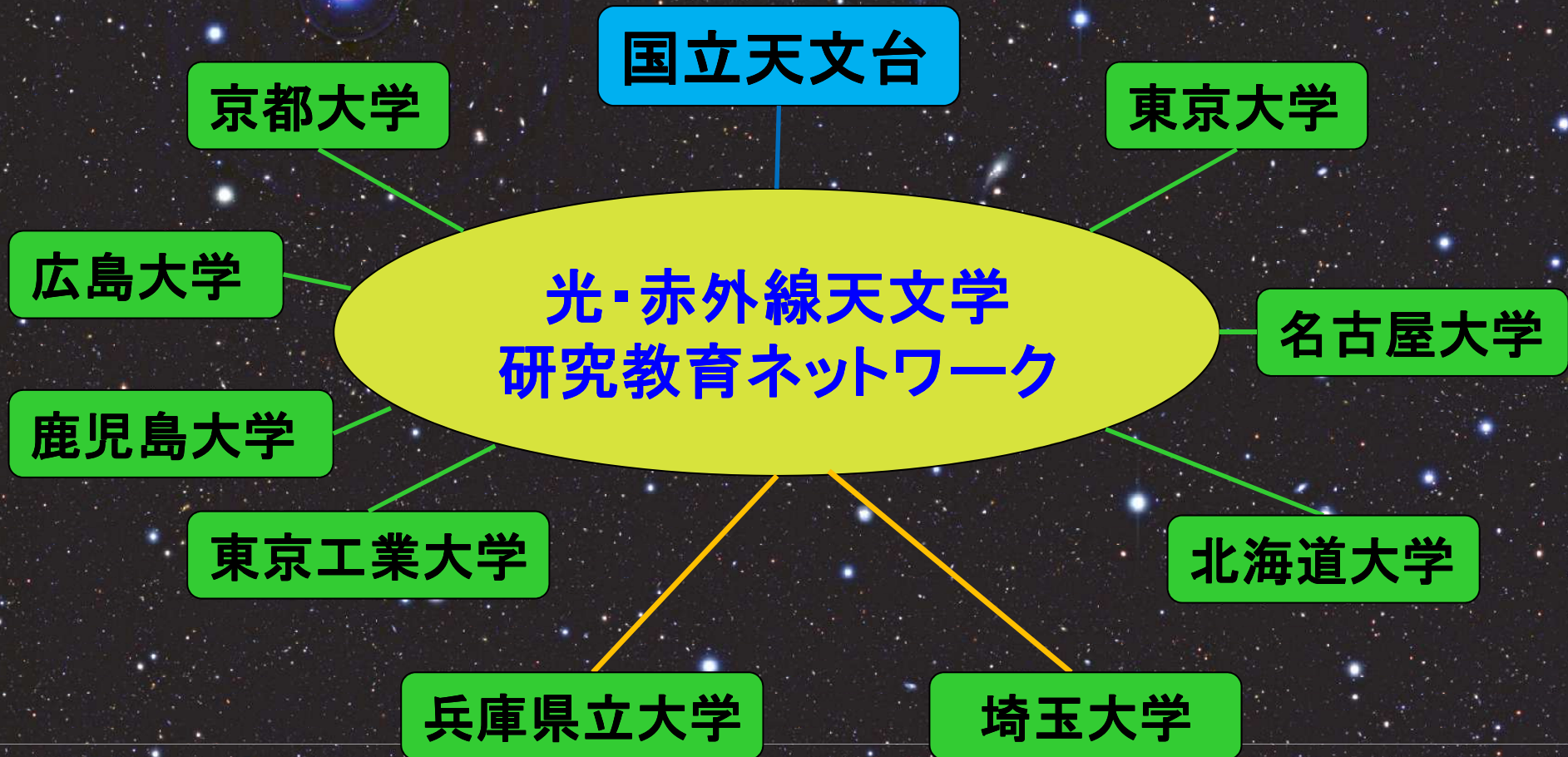


大学間連携による光・赤外線天文学研究教育ネットワークの構築

最先端の天文学課題解決に向けた
大学との研究・教育協力の強化





内容

- ・お題目
 - 構成、目的、経緯
- ・背景、ねらい
 - 支配的パラダイム
 - これからの天文学
 - 中小口径望遠鏡のサイエンス
- ・観測成果例

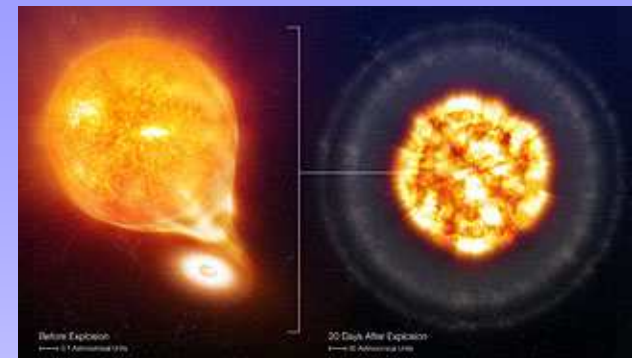
大学間連携による光・赤外線天文学研究教育ネットワークの構築

【背景・課題】

・今日の観測天文学は、衛星および地上からの大規模サーベイ観測データを利用することにより、今まで非常に困難であったガンマ線バーストの起源天体の解明や、超新星、ブラックホールX線新星、新星、矮新星等の突発天体の詳細な研究を可能とした。

・サーベイ観測では、多くの突発天体を発見し、瞬時にその情報を世界に伝える。その情報を生かして、即時に追観測出来るかどうか、ガンマ線バーストなどの、今だに解明されていない突発現象の物理的過程を解明する鍵となる。

・しかし突発天体の発生時期・発生場所はまったく予測不可能なため、貴重な早期観測データ取得のためには全地球的な地上観測網を敷き、サーベイ情報を用いてすばやく地上からの可視光・近赤外線でのフォローアップ観測を実施することが必要である。



超新星爆発等の突発現象の解明はすばる望遠鏡など、既存の大望遠鏡だけでは難しい。



広島大学1.5m望遠鏡:ガンマ線バースト等の情報をインターネットで受信し、即時に追観測するシステムを備える。

【目的・ねらい】

- ・日本の大学が国内外に持つ中小の望遠鏡を有機的に結びつけて、世界に先駆けて突発天体のフォローアップ観測の地球規模ネットワークを構築する。
- ・そして、それを使って宇宙の爆発現象等の解明を主目的とした最先端研究を行うことにより大学での教育と研究を促進する。
- ・バーストの放射機構や爆発機構に迫ることで、ガンマ線バースト発生時に原始中性子星が形成されブラックホールへと崩壊するときの高密度核物質の状態方程式や一般相対論の検証など、極限状況の物理法則の研究に重要な情報が得られる。

【効果】

- ・個々の大学グループが独自に進めていた活動天体研究を集約し、今までになかった共同での研究を促進し、日本が当該分野において国際的リーダーシップを維持するための基盤となる。
- ・大学・共同利用研究所の連携体制により、大学の垣根を越えて広く人的交流や大学教育に有効利用が期待され、また国内における若手研究者の育成に寄与する。
- ・宇宙の爆発現象を解明することは多くの人の興味・関心を引き、その成果は人類共通の知的財産となり、世界観および地球観といった人類の精神的バックボーン形成に重要な影響を与える。

平成23年6月22日、事業への協力について、参加8機関の総長、学長および機構長が合意。参加機関は；北海道大学，東京大学，東京工業大学，名古屋大学，京都大学，広島大学，鹿児島大学、および自然科学研究機構国立天文台の8機関。



なゆた望遠鏡

さらに平成24年度から新たに：

・兵庫県立大学

日本国内最大の
口径2メートル「なゆた望遠鏡」

・埼玉大学

口径0.55メートル望遠鏡と、
ぐんま天文台1.5メートル望遠鏡
が連携事業に参加。



県立ぐんま天文台1.5m望遠鏡

大学間連携による光・赤外線天文学研究教育ネットワークの構築



地球経度にそった観測点

- 近赤外線による世界初の多地点24時間観測体制の構築
⇒ 超遠方ガンマ線バースト検出

より広い波長帯、偏光、タイムスケール

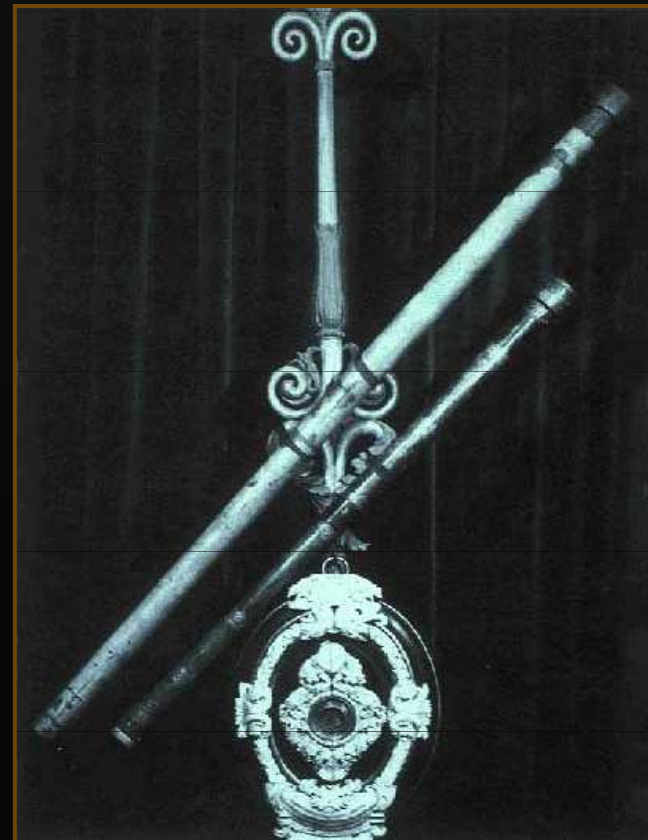
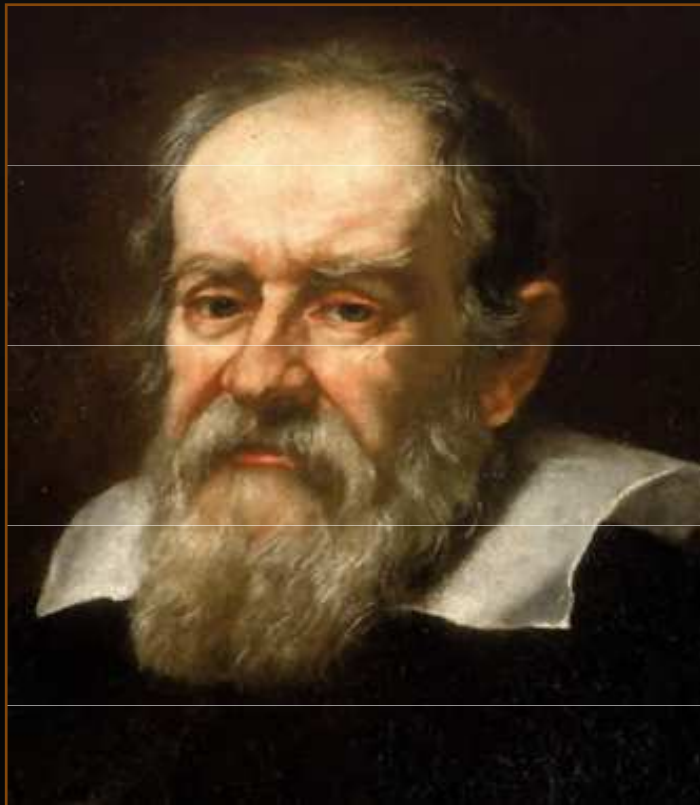
- これまでになかった多波長多モード連携観測
⇒ 未知の物理に迫る
 - 偏光観測 ⇒ 磁場によるジェット構造の形成
(ブラックホール周辺の物理)
 - 高速測光 ⇒ 極短時間スケールの変動現象の検出
(降着円盤の物理)

活動

- **24時間体制近赤外線即応観測ネットワーク**
 - 突発的な現象を直ぐに観測、重要な初期観測が可能
 - 連続観測で重要な変化を逃さない
- **ガンマ線、X線衛星との連携**
 - 今なら直ぐにMAXI等の既存の衛星との連携が可能
- **多機能協調観測による研究**
 - 重複をなくし、お互いの足りない部分を補い合う
- **中小口径望遠鏡を使った最先端研究で学生の教育**
 - 世界レベルで活躍できる若手人材育成
- **大学共同利用研究所と大学間の双方向研究者交流**
 - 研究教育活動を活発化

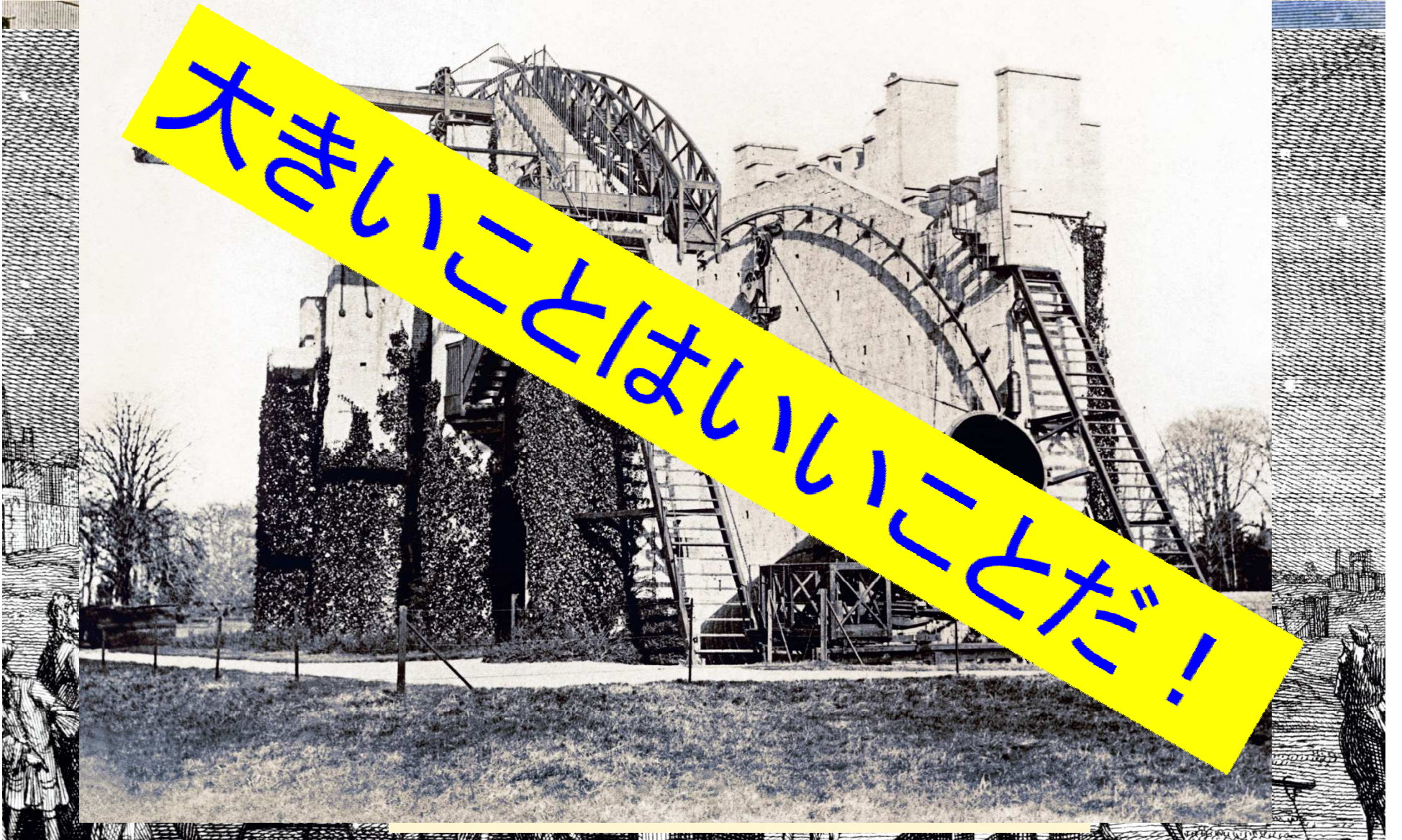
支配的パラダイム

1609年にガリレオ・ガリレイが初めて望遠鏡を使って宇宙を観察しました。



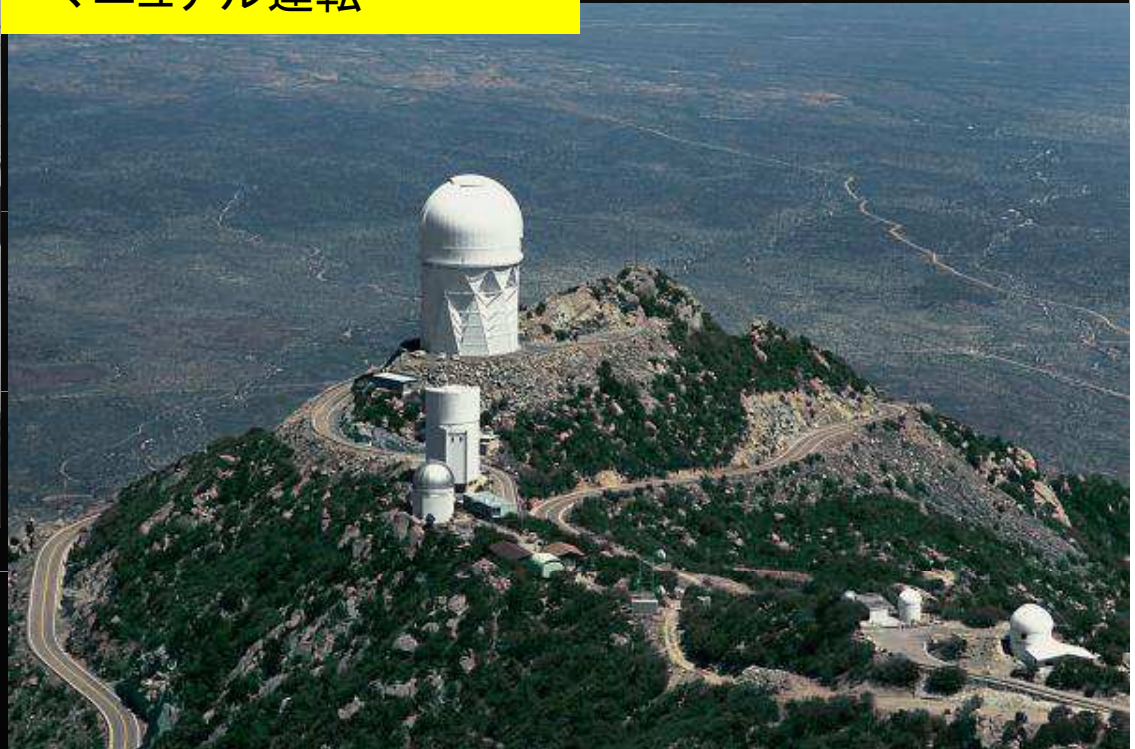
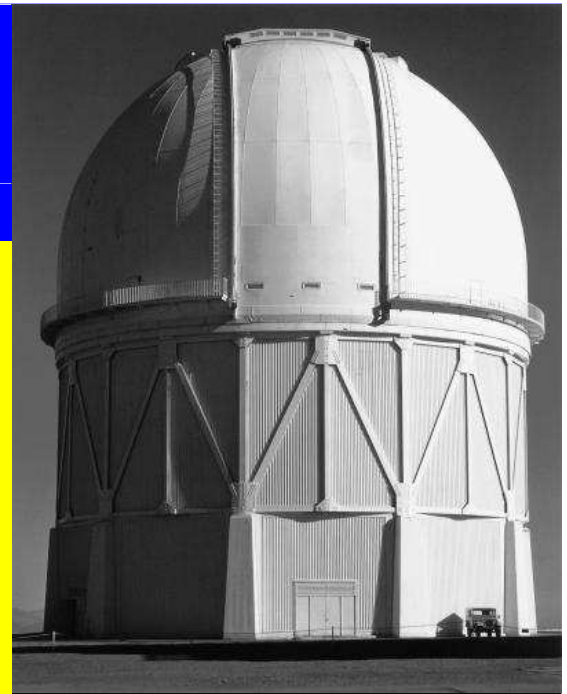
今日までの天文学のパラダイム

大きいことはいかにむだ!



「大望遠鏡」 の時代

- 1970's
- 4m ~ 5m クラス
- 共同利用
- 高価
- マニュアル運転



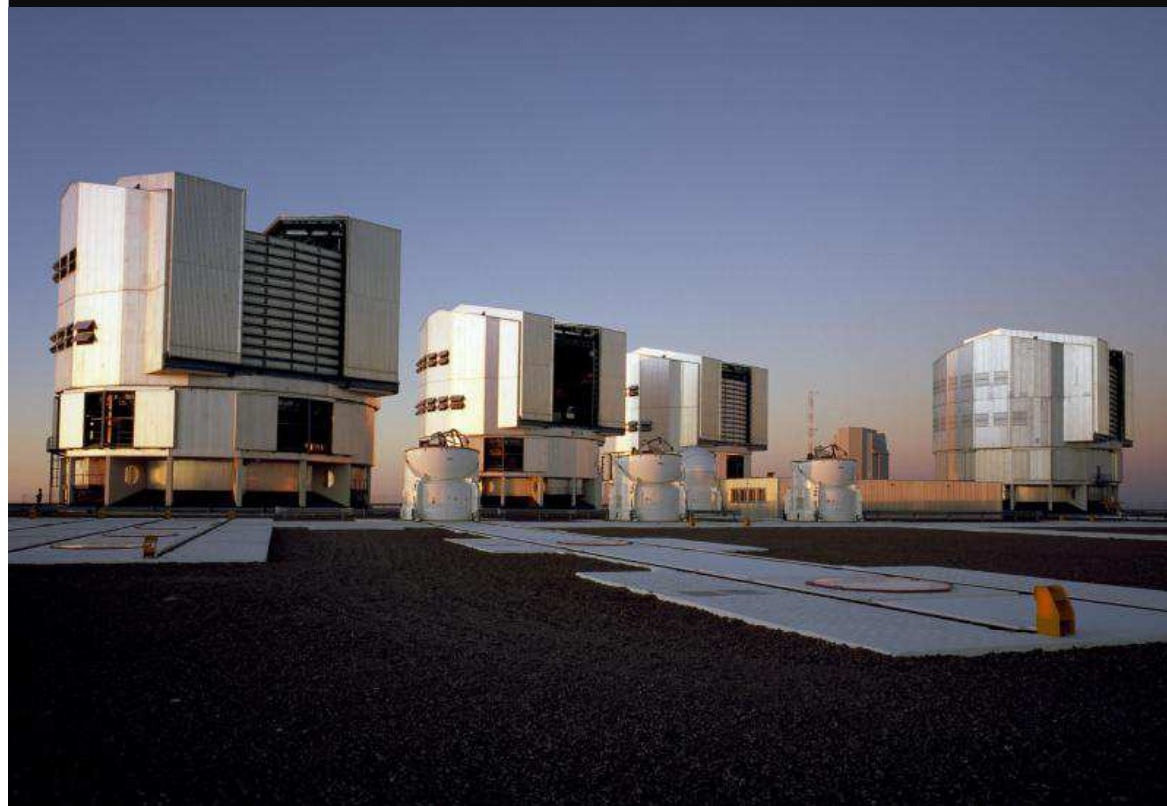
Courtesy NOAO

現状

- 15+ 8m-10m クラス望遠鏡
- 何台かの専門望遠鏡 (VISTA, PanSTARRS)
- 宇宙望遠鏡
- 高い競争率と高価な運用経費



Gemini N (NOAO)



VLT (ESO)

現状



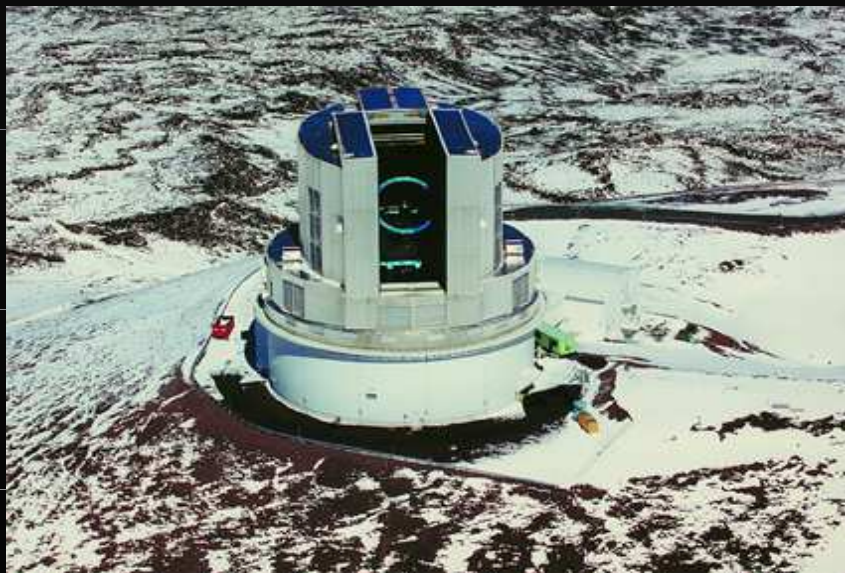
XMM-Newton



HST



Spitzer



SUBARU



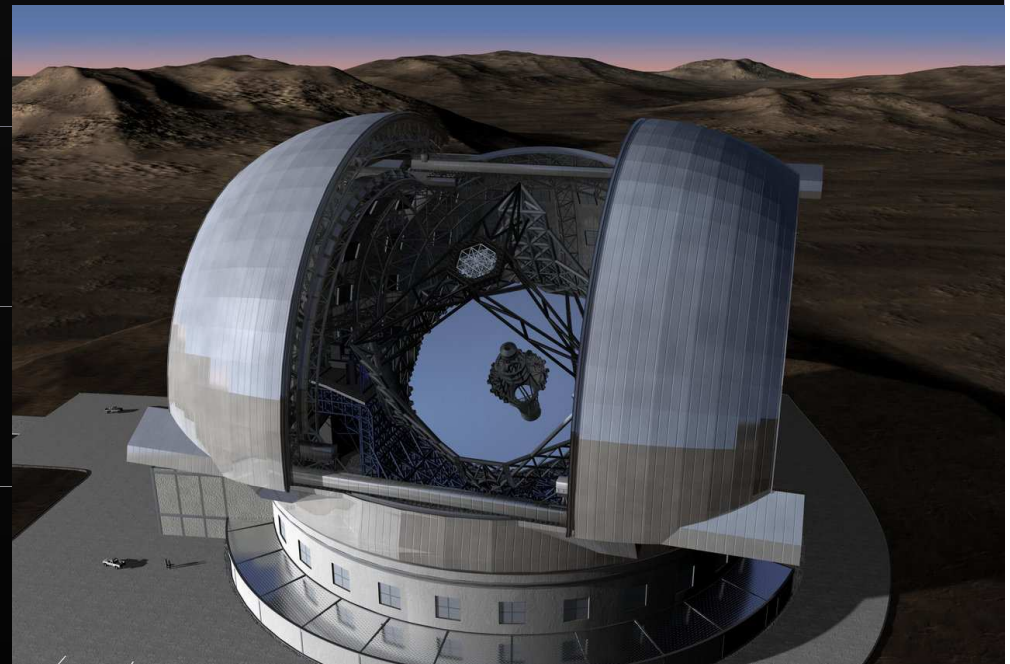
ALMA



これからの観測天文学 *Professional Directions*

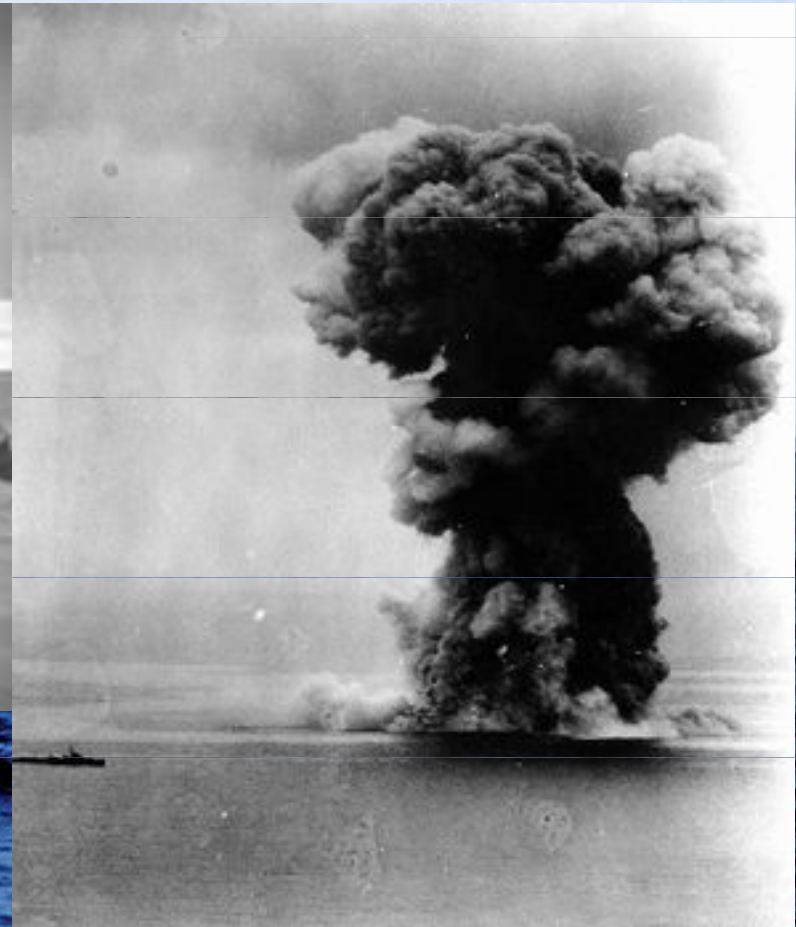
- より大口径
- 高価な観測装置
- 限られた地上でのサイト
- 高価な運用経費
- 1台当たり1,000億円超!

Courtesy Magellan, TMT, ESO

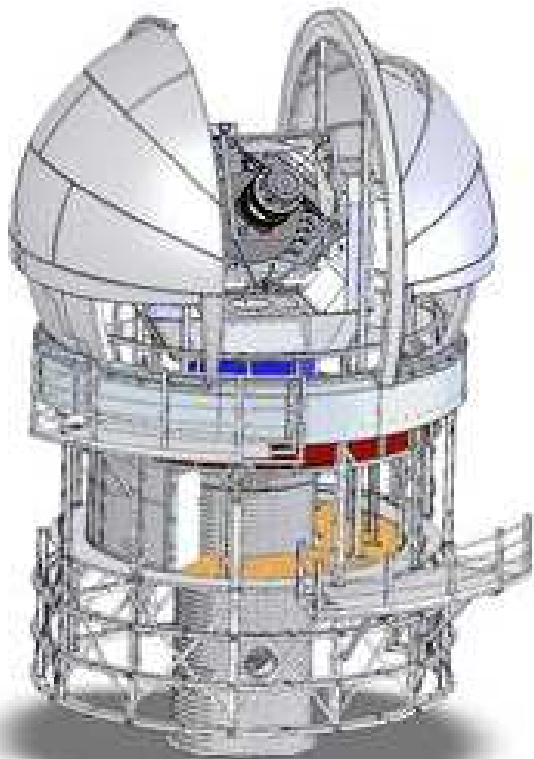


これからの観測天文学も、

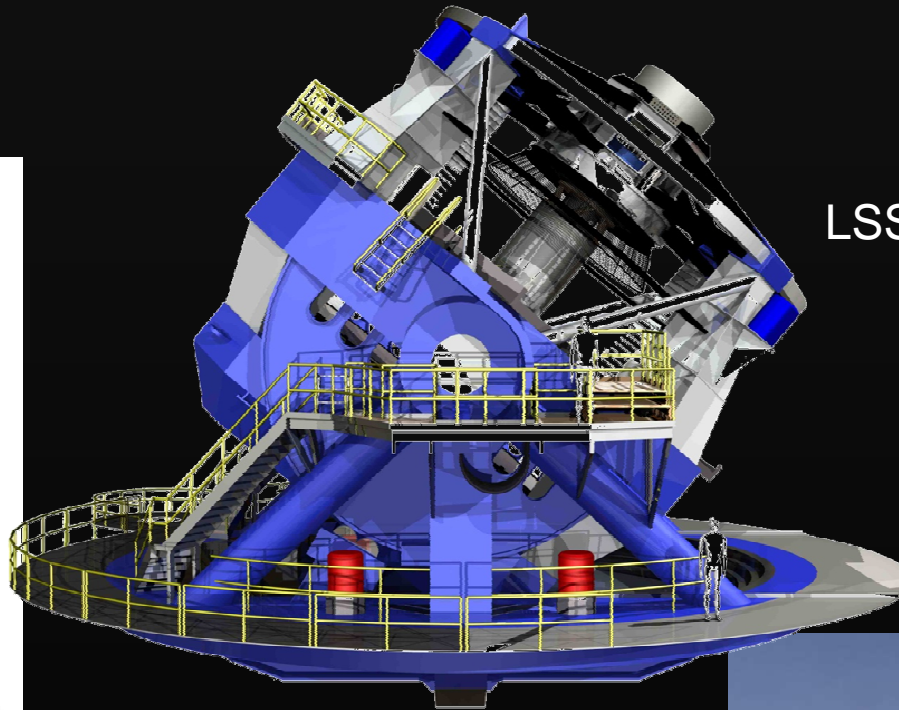
大艦巨砲主義？



もうひとつは、
全天または広い領域を対象にしたサーベイ観測：
の2つに分化する。

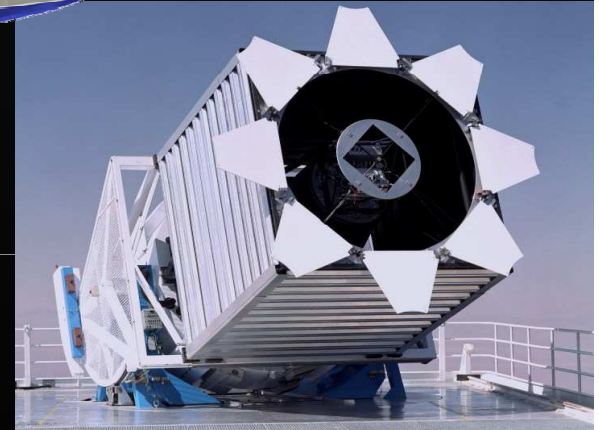


Pan-STARRS



LSST

SDSS2





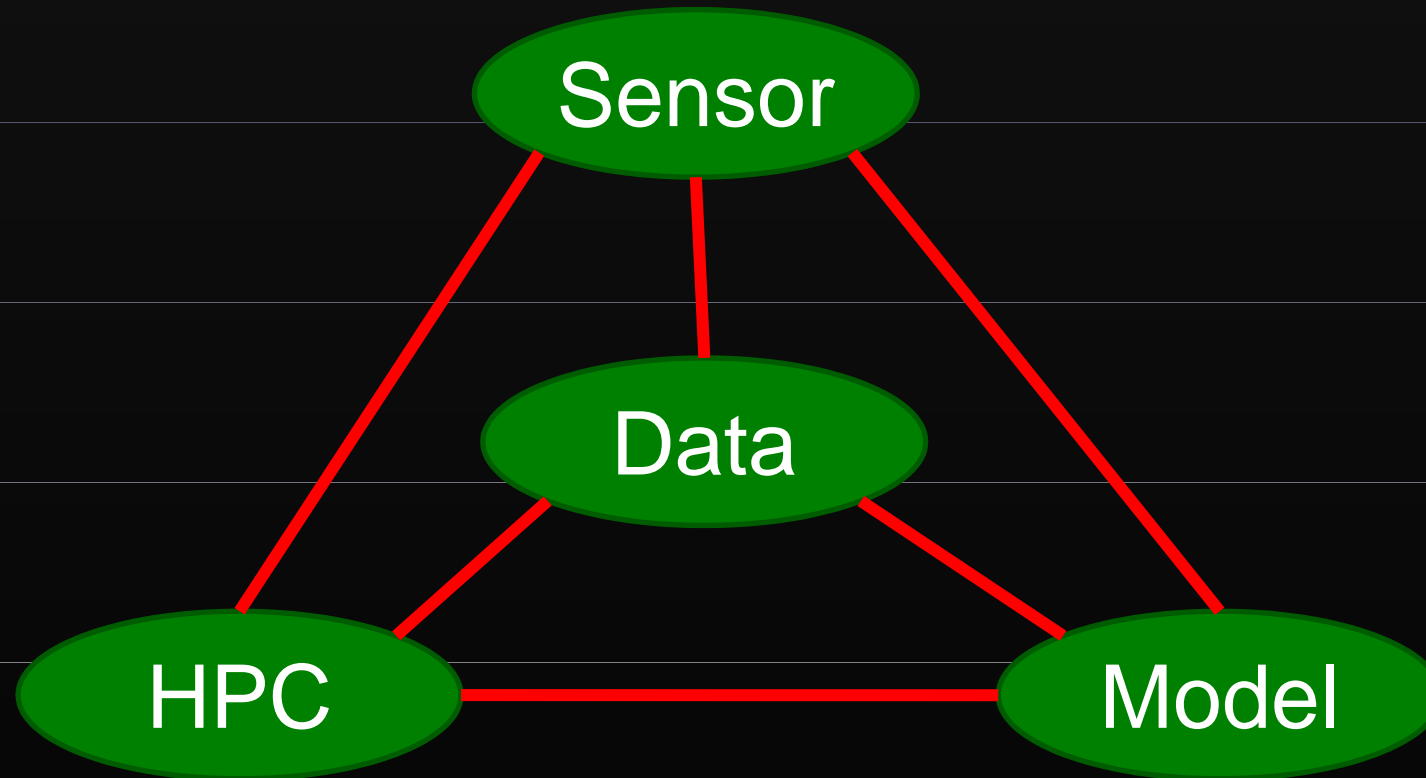
これからの天文学

天文学の分野では、**望遠鏡**、**検出器**、**計算機**の3つの技術分野の進歩により、観測データの量が飛躍的に増大した。


データにより導かれるモデル形成と発見の過程は新しいパラダイムを迎えようとしている。

Data-Sensor-Computing-Model

Data-Sensor-Computing Model



データから知識を導く



計算処理能力は18カ月ごとに2倍になる
(Moore's Law)

->10年で100倍になる。

I/Oのバンド幅は1年で10%増加する

->10年で3倍になる。

データの量は1年で2倍になる

->10年で1,000倍になる。



Data Intensive Astronomy

特に掃天観測の分野では、口径2.5mの専用望遠鏡によって全天のほぼ1/4を2000年から8年間かけて観測したSDSS (Sloan Digital Sky Survey) は、40TBの観測データと5TBの天体カタログデータを生み出した。

現在観測中の、Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System) では、その計画の第一段階が終了となる2013年には、全体の1%に当たる30TBの観測データを公開する予定である。



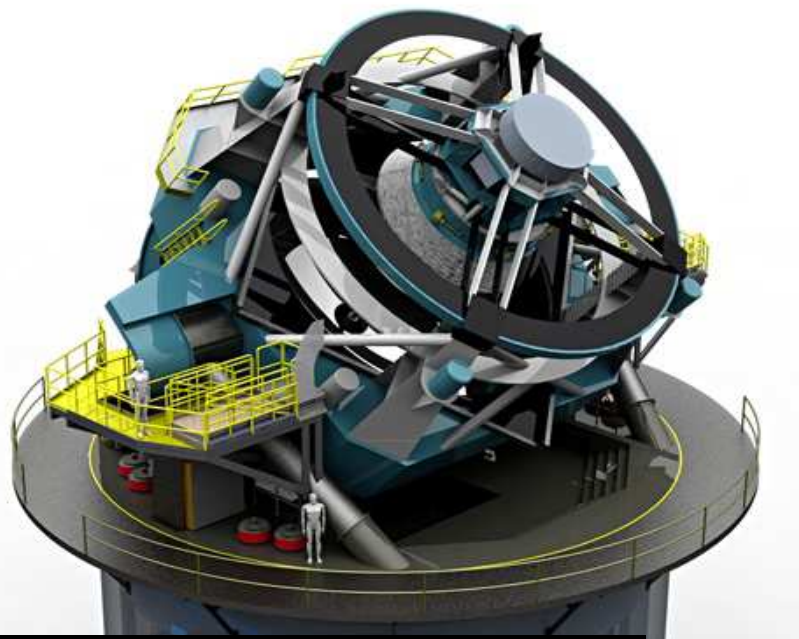
Data Intensive Astronomy

これからのサーベイ観測では、観測領域を広げるだけでなく時間軸方向のサーベイも実質的に可能になってきた。これは、データ量の爆発的増加を意味する。

LSST (Large Synoptic Survey Telescope)は、口径8.4mの望遠鏡と、約10平方度の視野を一度に撮影出来る30億ピクセルのCCDカメラを使って全天のほぼ半分を4夜に一度の割合で繰り返し観測する。毎夜30TB近い観測データをその運用期間の10年間にわたり作り出すため、LSSTのデータベースの総量は約200PBに達すると予想される。

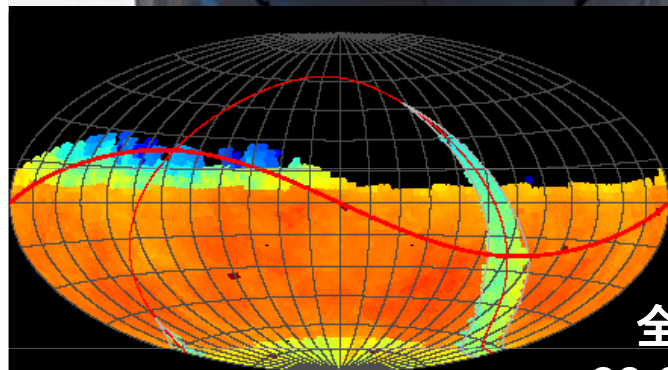
データの量と種類の増加が新たな”data-oriented”研究手法を必要とし、そのパラダイムを”Data Intensive Astronomy”という。

LSST : (Large Synoptic Survey Telescope) 大型シノプティック・サーベイ望遠鏡



LSSTは、南米チリに建設が予定されている、
口径8.4mの可視光赤外線望遠鏡

3.2ギガピクセルの巨大なカメラを使い、9.6平方度
という超広視野を撮像する



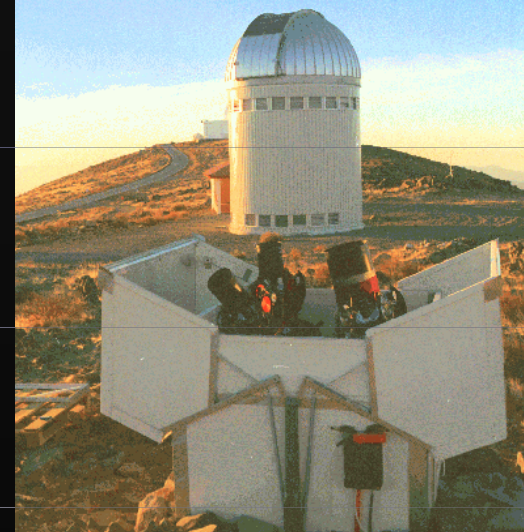
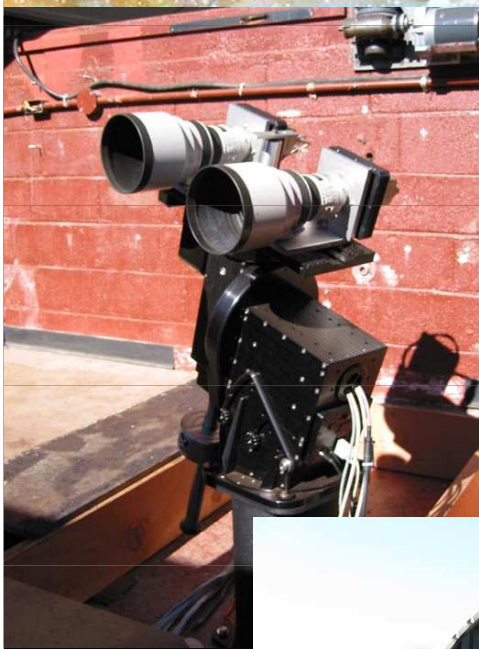
全天の約半分(南半球)
~20,000平方度をサーベイする



大学所有の中小口径望遠鏡でのサイエンス Small Telescopes, Big Astronomy (Science)

大口径望遠鏡の対極

- 小口径
- 広視野、明るい天体
- 安価
- 自動化



Courtesy XO, KELT, ASAS



大口径を必要とする研究

- 宇宙論 (dark energy, dark matter, supernovae at $Z=2$)
- 遠方銀河
- 暗い天体の時間変動
- 高分散分光
- Adaptive optics

大口径の利点

大きいことがいいこともある

- 大きな（重い）観測装置が使える
- 観測装置予算がたくさんもらえる
- より充実した観測サポートが得られる
- 良いサイトで観測できる



Credit: Gerhard Hüdepohl

The VLT and VISTA

ESO Press Photo 04c/07 (17 January 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.





大口径の短所

- 高価である！
- サイトが限られる
- 観測時間が限られる
- 中小望遠鏡への予算が削られる

小望遠鏡？ *Small Telescopes?*

2-6m = “small”

小さな望遠鏡は閉められる！

ReSTAR Renewing
Small
Telescopes for
Astronomical
Research

[COMMUNITY INPUT](#) [RESOURCES](#) [MEETING NOTES](#)

[FINAL REPORT](#) [RESTAR SUMMARY HANDOUT](#)



The Senior Review report urged NOAO to ensure that community access to facilities remains scientifically balanced over all apertures. To accomplish this, NOAO has charged this committee, ReSTAR (Renewing Small Telescopes for Astronomical Research), to develop a prioritized, quantitative, science-justified list of capabilities appropriate to telescopes with apertures less than 6 meters, together with estimates of the number of nights needed. The committee must both address current needs and uses of such telescopes and attempt to predict how these needs will evolve over the next ten years — into the era of Pan-STARRS, LSST, JWST, ALMA, GSMT, and the NVO.


大学が持つ小望遠鏡（口径2m以下） の利点

- 安価（大口徑に比べて）
- 専用望遠鏡
- 世界中のいろいろな場所にある
- 明るい天体の観測には問題なし
- 高時間分解能、長時間観測も可能
- 高精度な市販観測装置が使える
- 自動化が比較的容易



小口径の短所

- 壊れたら自分で修理する必要がある
- あまり良いサイトではない
- 決して安いことはない
- ハードウェアの詳細は企業秘密
- 小さい（軽い）観測装置しか使えない
- 60cm以上の望遠鏡を作るメーカーは限られる



大学所有の小口径望遠鏡

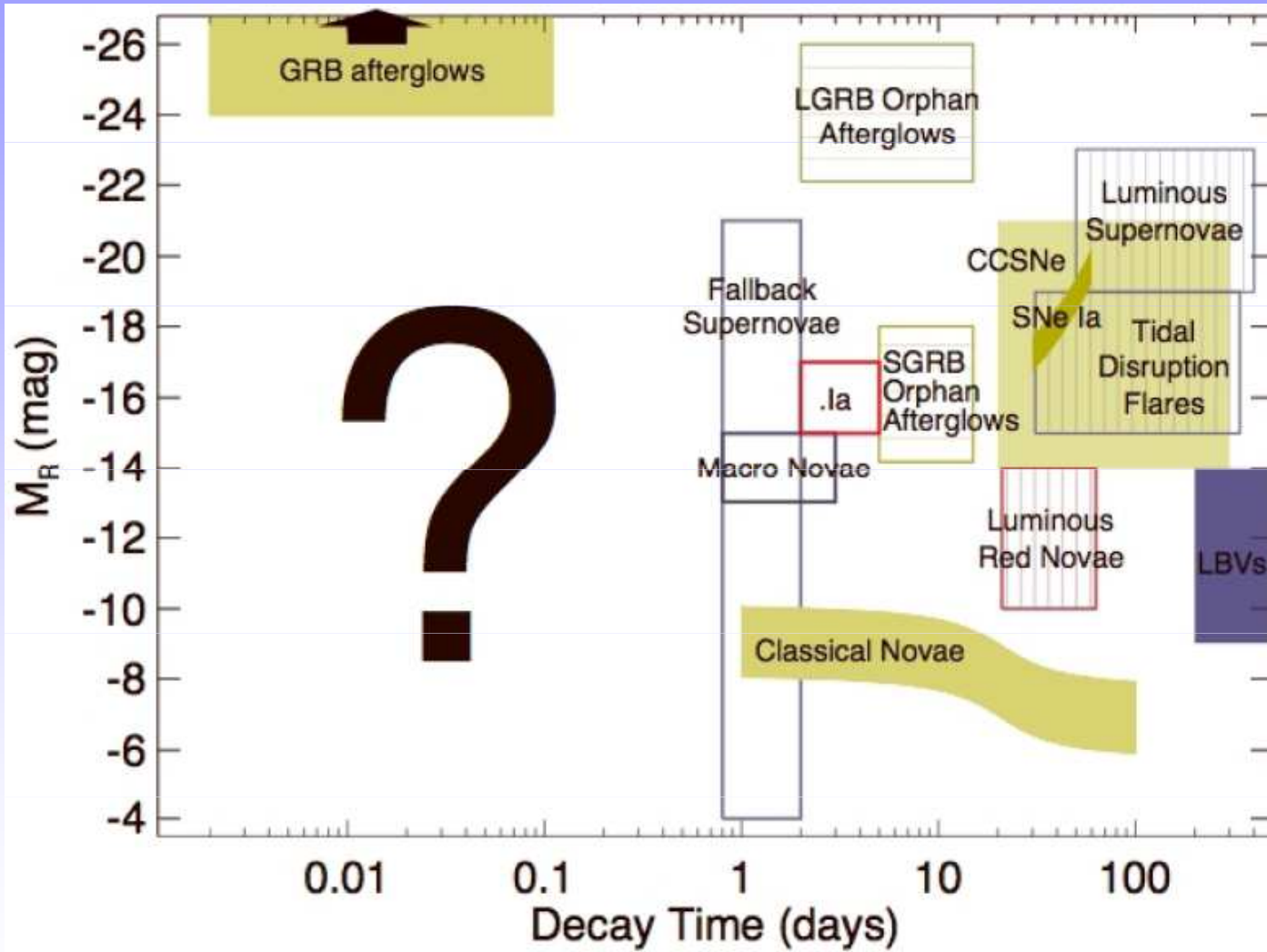
- 自分たちの専用で使える
- 身近にあって使いやすい
- 通常メンテナンスされている
- ハードウェアの専門家が必要
- なるべく市販品を使う；規格品のドライバーとか



小口径望遠鏡のサイエンス

- 突発天体: GRB, SNe, Novae, etc. (ToO)
- 小惑星 (Asteroids)
- 系外惑星 (Exoplanets)
- 変光星 (Variable Stars)
- 他

時間変動天体の Sciences: Transients

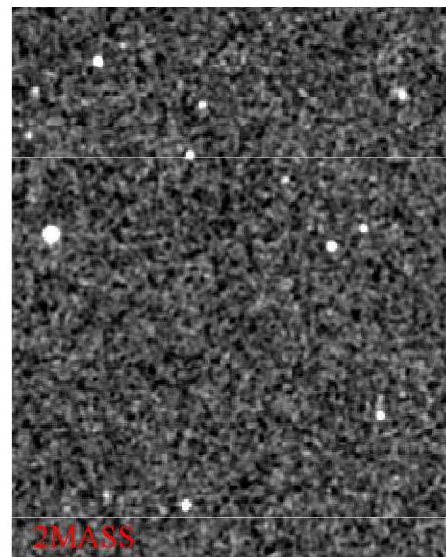
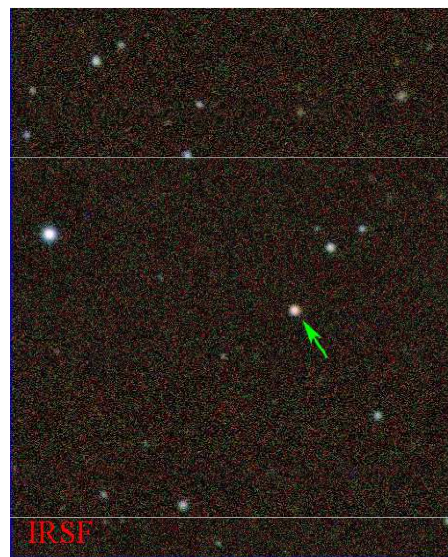


OISTER-GRBのアラート観測例

名古屋大学IRSFでは、本事業により整備されたアラート配信により $z \sim 5.9$ のGRBの検出に成功した。

ガンマ線バースターGRB130606A

名大IRSFにて、GRBトリガーから30分後に観測開始
(Takahiro Nagayama, 2013, GCN Circular 14784, 14793)

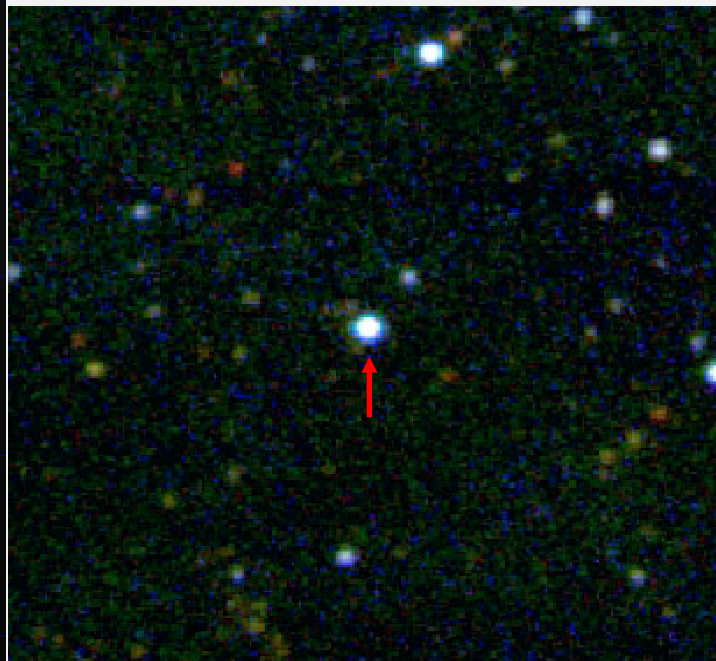


$z \sim 5.9$ (Castro-Tirado et al., 2013, GCNC 14790, 14796)

観測史上最大級の「モンスター」ガンマ線バースト 「GRB 130427A」をとらえることに成功

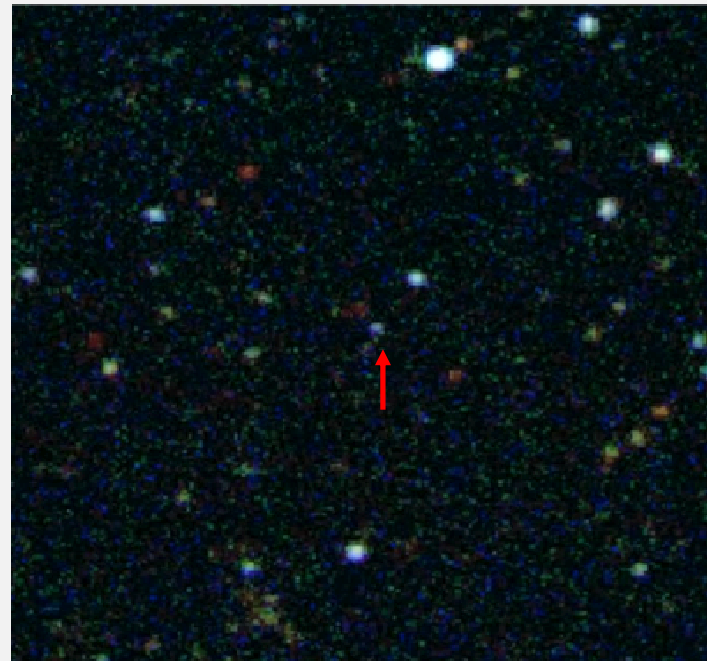
2013年4月27日に過去23年間で最も強いガンマ線バーストを観測

2013年4月27日 (JST)



視野 6'x6'

2013年5月3日 (JST)



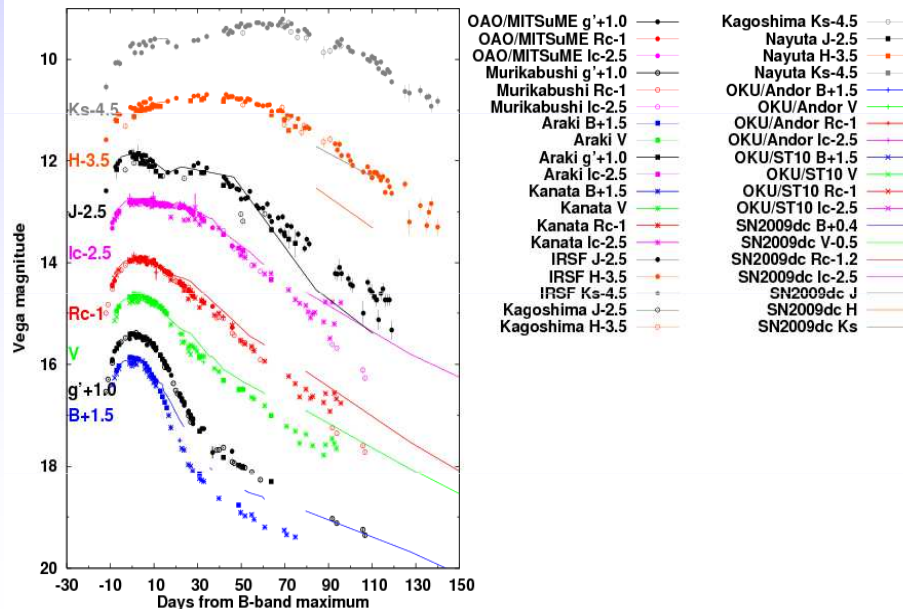
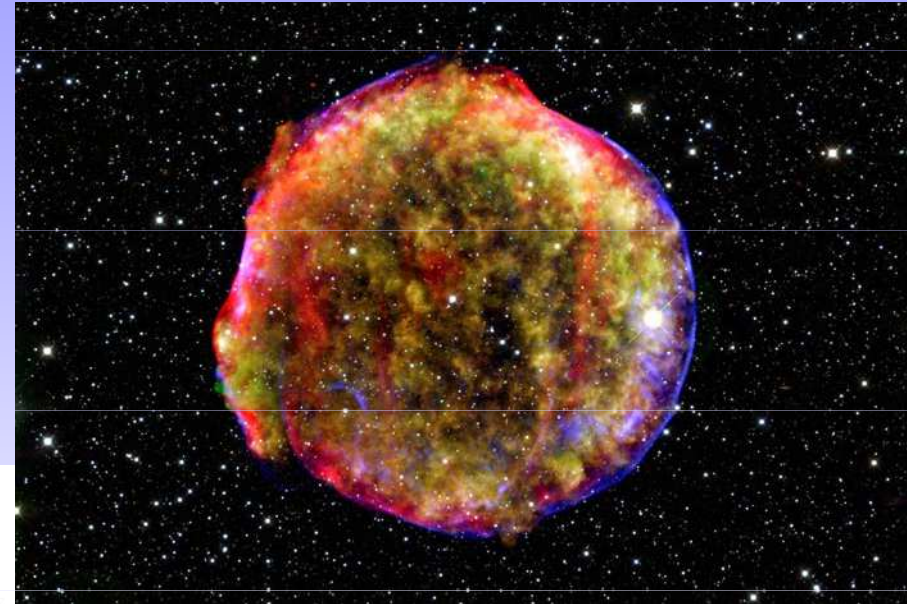
撮影：東京工業大学 基礎物理学専攻 河合研究室
三つ目望遠鏡 明野観測所(山梨県)

ガンマ線バーストとしては“近所”の38億光年の距離で起きたにもかかわらず、その性質は遠方、宇宙初期の「モンスター」と呼ばれるものと変わらない。これは、従来からの標準的なガンマ線放射モデルに疑問を投げかけることになる。

スーパーチャンドラセカール Ia型超新星SN 2012dn

国内外15台の望遠鏡を使用して140日にわたって観側を実施。白色矮星の質量がチャンドラセカール限界質量（1.44太陽質量）を超える天体であった可能性が分かった。 [PI:山中雅之(京都大学)]

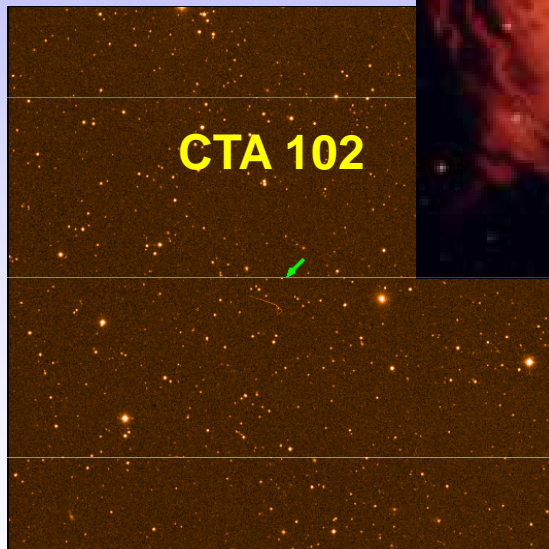
Ia型超新星は、白色矮星が伴星からのガス吸収により質量がチャンドラセカール限界を越えたために超新星化したものと考えられ、質量は一定となり光度も等しくなると考え、見かけ上の明るさから距離を割り出す標準光源として利用されている。



左の観測結果から、SN 2012dnは普通のIa型超新星よりもゆっくりと明るくなり、その極大光度はより明るいことが分かった。
(白色矮星の質量 > 1.44太陽質量)

ブレイザー天体 CTA 102

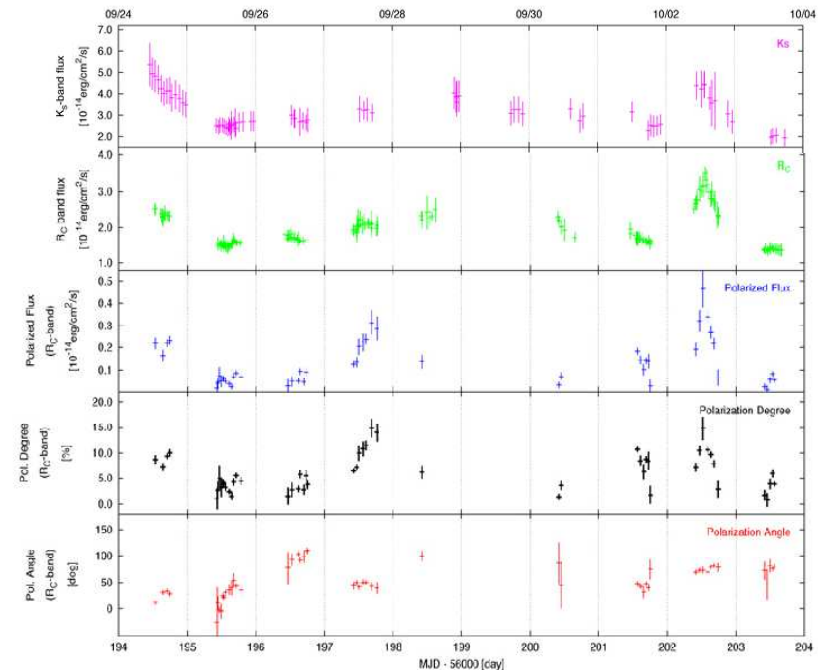
11台の望遠鏡を10夜(9/24-10/3)使用って、巨大楕円銀河の中心にある大質量ブラックホールがエネルギー源となって明るく輝く天体**CTA 102**を観測し、フレアの原因が強い磁場と指向性を持った新たな発光部分の発現であることを解明した。**[PI:伊藤亮介(広島大学)]**



CTA 102

ブレイザーは相対論的ジェットが地球の方向に向かって放出されている活動銀河核であると考えられている。

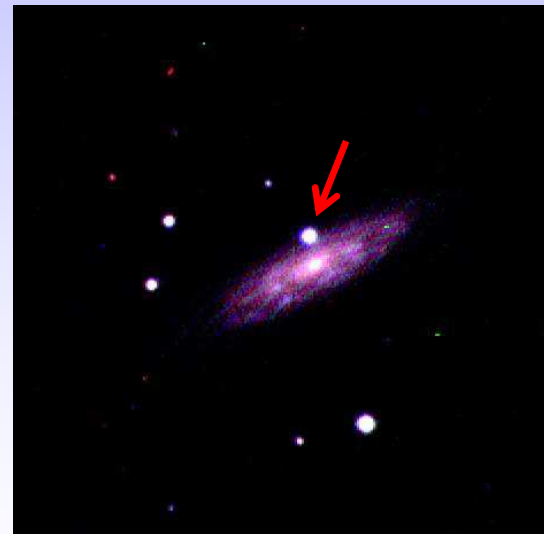
- ・可視光での光度・色・偏光度同時のMicro Variabilityを検出した。
- ・可視増光を伴わない偏光度のみの大きな短期変動を初めて検出した。



中小望遠鏡による共同観測成果の例

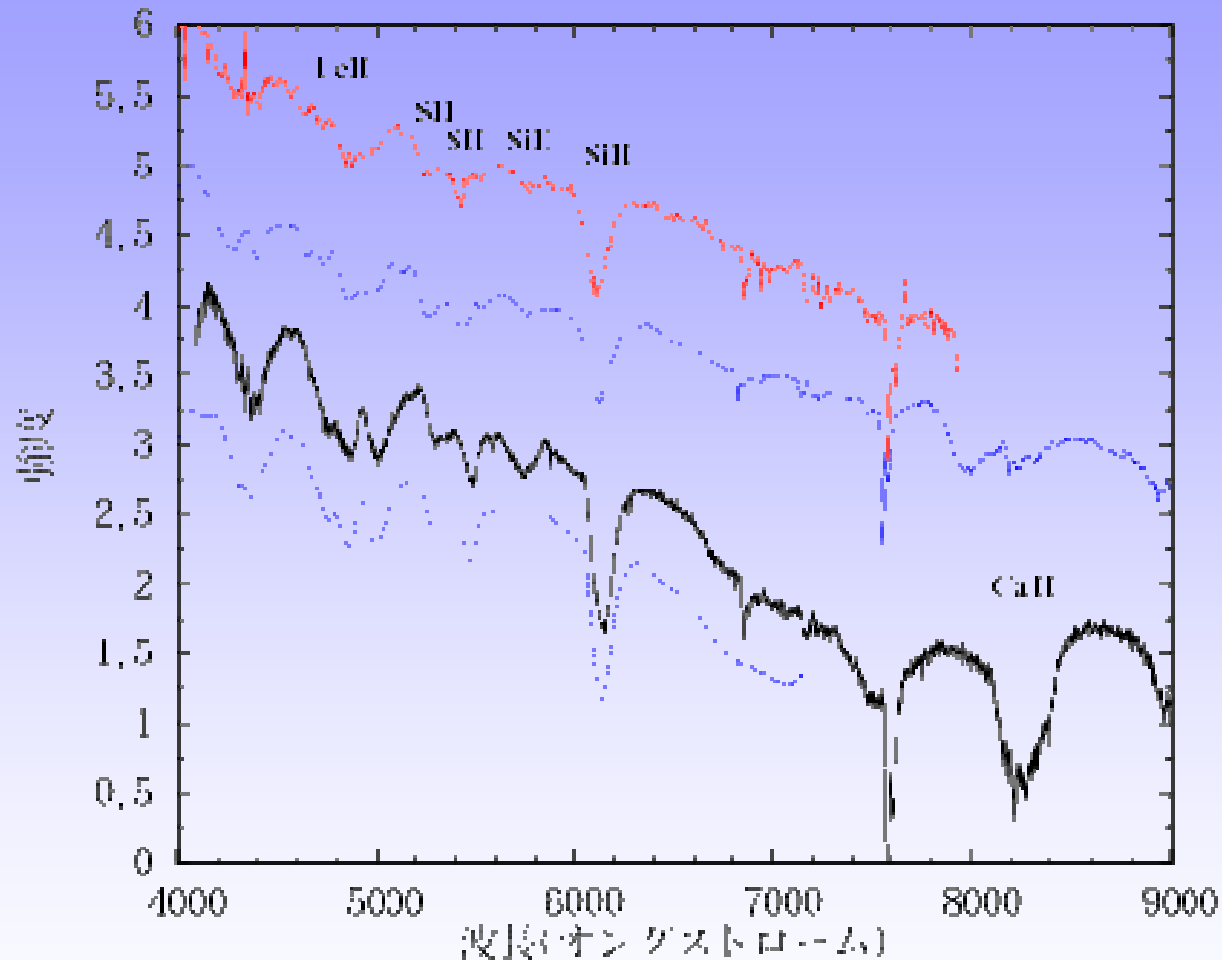
超新星SN 2011by

全国の大学が連携し、それぞれが所有する望遠鏡施設(北海道から沖縄、さらに南米チリ、南アフリカ)を、一つの天体に向けて観測する取り組みは初めてである。この枠組みを利用して、Ia型超新星の中でも見かけの明るさが最も明るいクラスの超新星SN 2011byを発見直後から観測した。またこの超新星は最も明るい日の10日前に発見されたことが判明している。これほどの好条件が揃うことはたいへん珍しく、科学的に価値あるデータが取得できた。特に爆発機構の解明にとって最も有益な情報となるであろう、膨張速度が変化する様子を密な観測で明らかにすることができた。



Ia型超新星 SN 2011by と母銀河NGC 3972。左は、Skyviewによる爆発前の写真。右は、東京大学木曾観測所シュミットカメラによる、3色合成カラー写真。矢印で示されているのが超新星SN 2011by

中小望遠鏡による共同観測成果の例



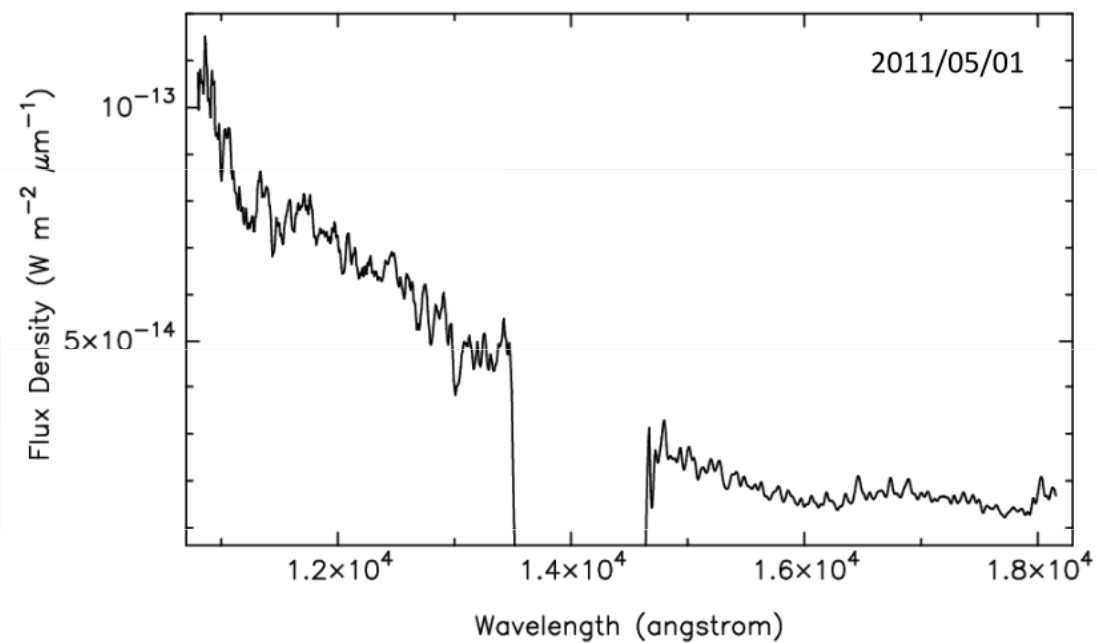
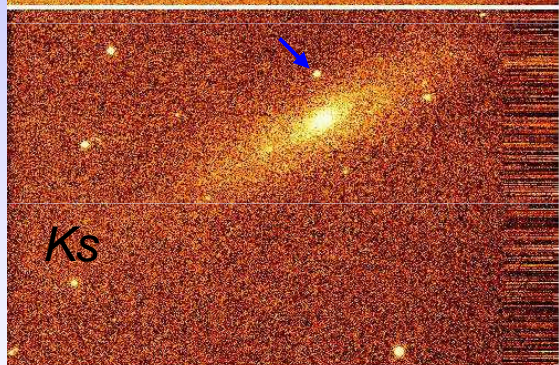
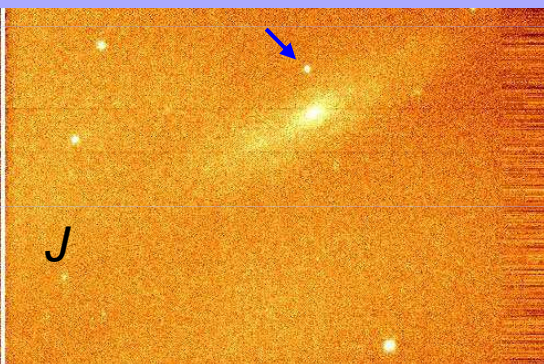
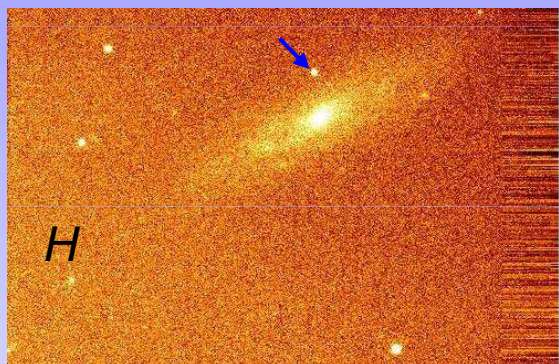
SN 2011byのスペクトル

赤が京都産業大学1.3mあらしき望遠鏡で4/29に取得されたスペクトル

黒が広島大学1.5mかなた望遠鏡で5/17に取得されたスペクトル

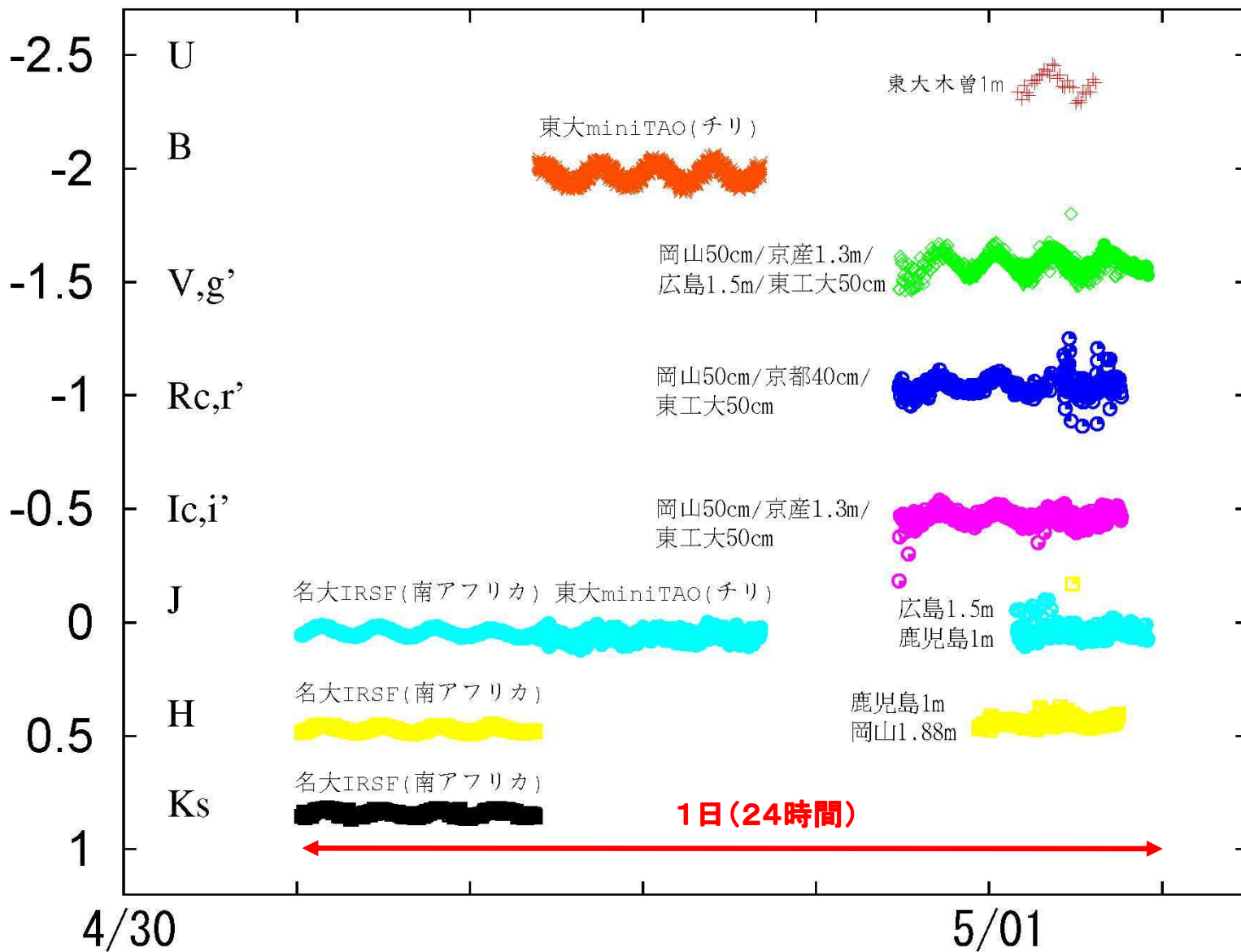
中小望遠鏡による共同観測成果の例

国立天文台岡山天体物理観測所近赤外線撮像・分光装置(ISLE)による
SN2011byの近赤外線画像とスペクトル



たて座デルタ型変光星IP Vir の連続観測例

相
対
等
級

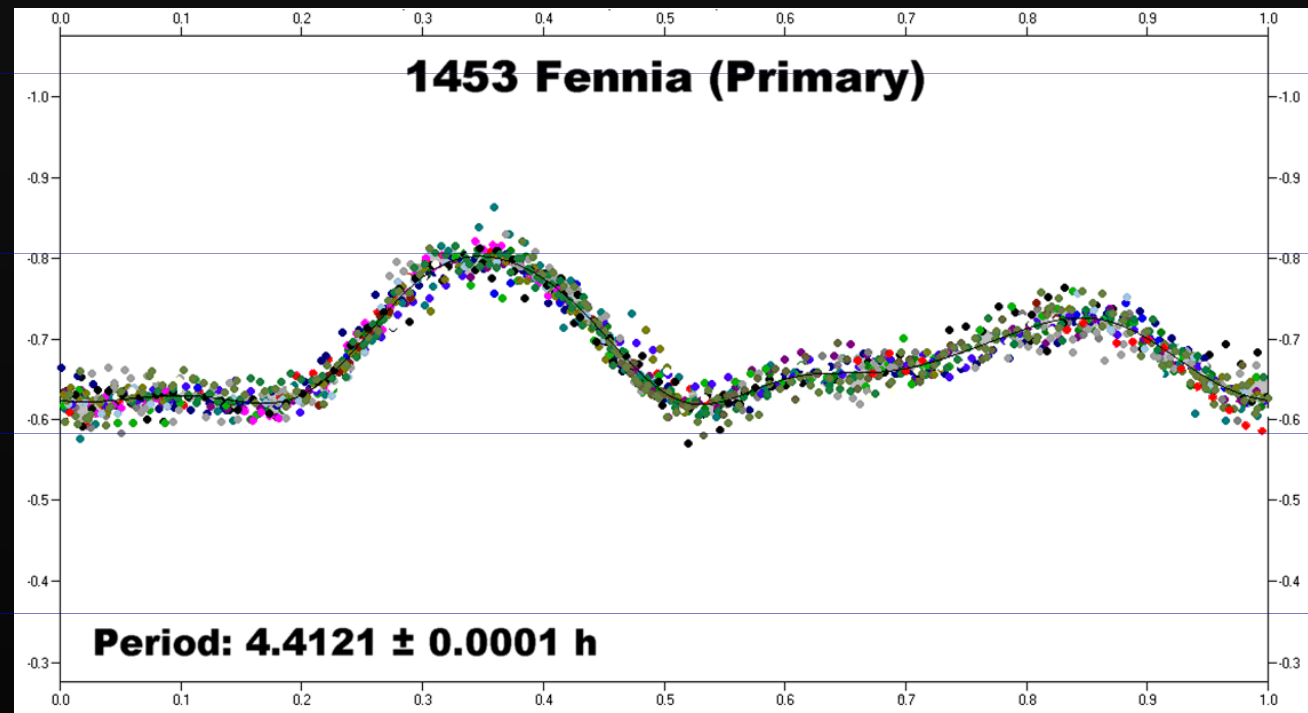


小惑星 (Asteroids)

Discovery space limited;
funded surveys like
LINEAR, CSS, LONEOS

Many opportunities for
light curves

Target of Opportunity,
esp. NEO, PHA



Courtesy B. Warner

系外惑星 (Exoplanets)

XO

4,000+ が見つかっている。(ほとんどが Kepler Mission による発見。)

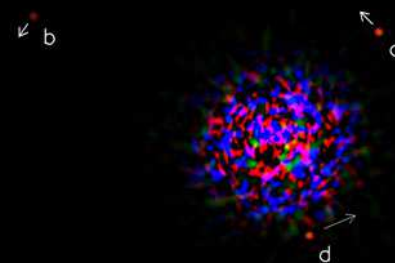
約 3,700 が transiting。

発見に広い視野のシステムが必要 :Kepler, CoRoT。

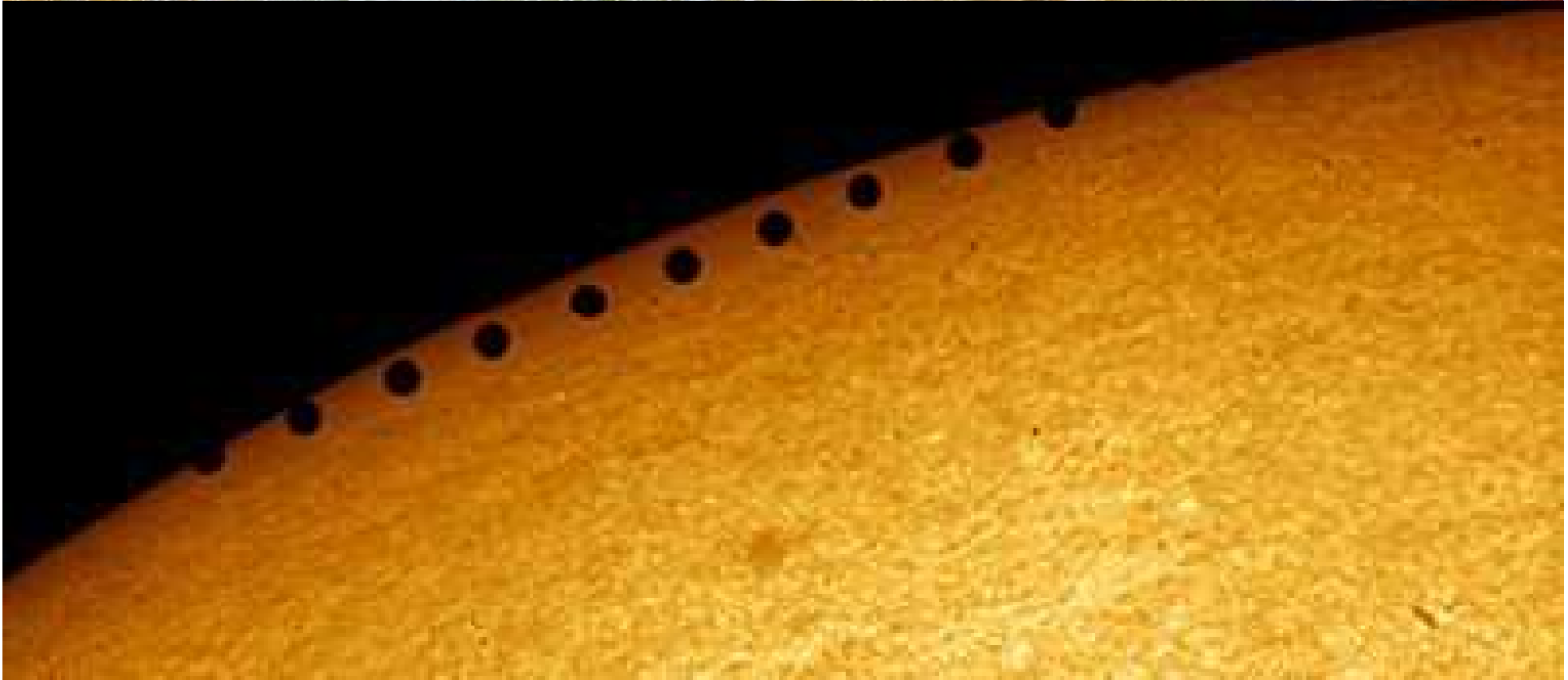
Follow-up は簡単だが多くの観測時間が必要。



HR 8799



0.5"
20 AU



Mercury transit micromag

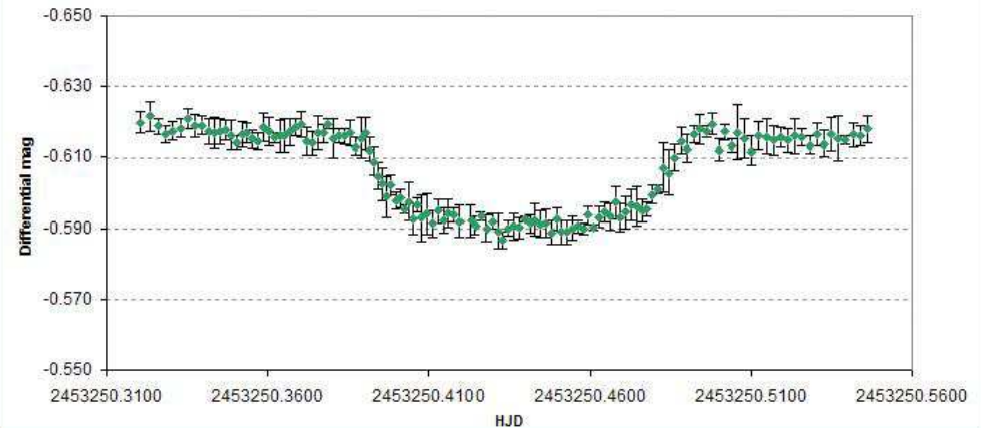
Exoplanet transits (Vanmunster, 2004)

0.02mag, 35cm

Discovered by 10cm
telescopes

TrES-1 Transit Observation - 2004, Sep 01/02

Tony Vanmunster - CBA Belgium Observatory
0.35-m f/6.3 telescope - unfiltered ST-7XME CCD camera

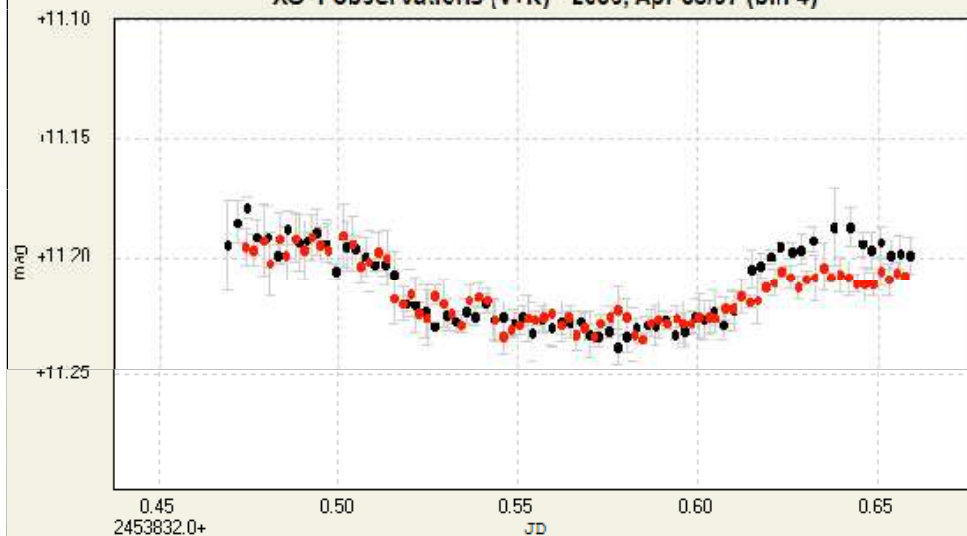


Photometric light curve of the TrES-1 transit observation of Sep 1, 2004
(c) Tony Vanmunster, CBA Belgium Observatory

Based on the improved data, I furthermore derive :

- magnitude drop : 0.025 mag
- time of ingress (heliocentric) : 2004, Sep 1 at 21h23m UT +/- 2 min (about 10 min later than the transitsearch ephemeris)
- time of egress (heliocentric) : 2004, Sep 1 at 23h50m UT +/- 3 min (about 4 min later than predicted)
- duration central transit : 147 min (published value : 152 min)

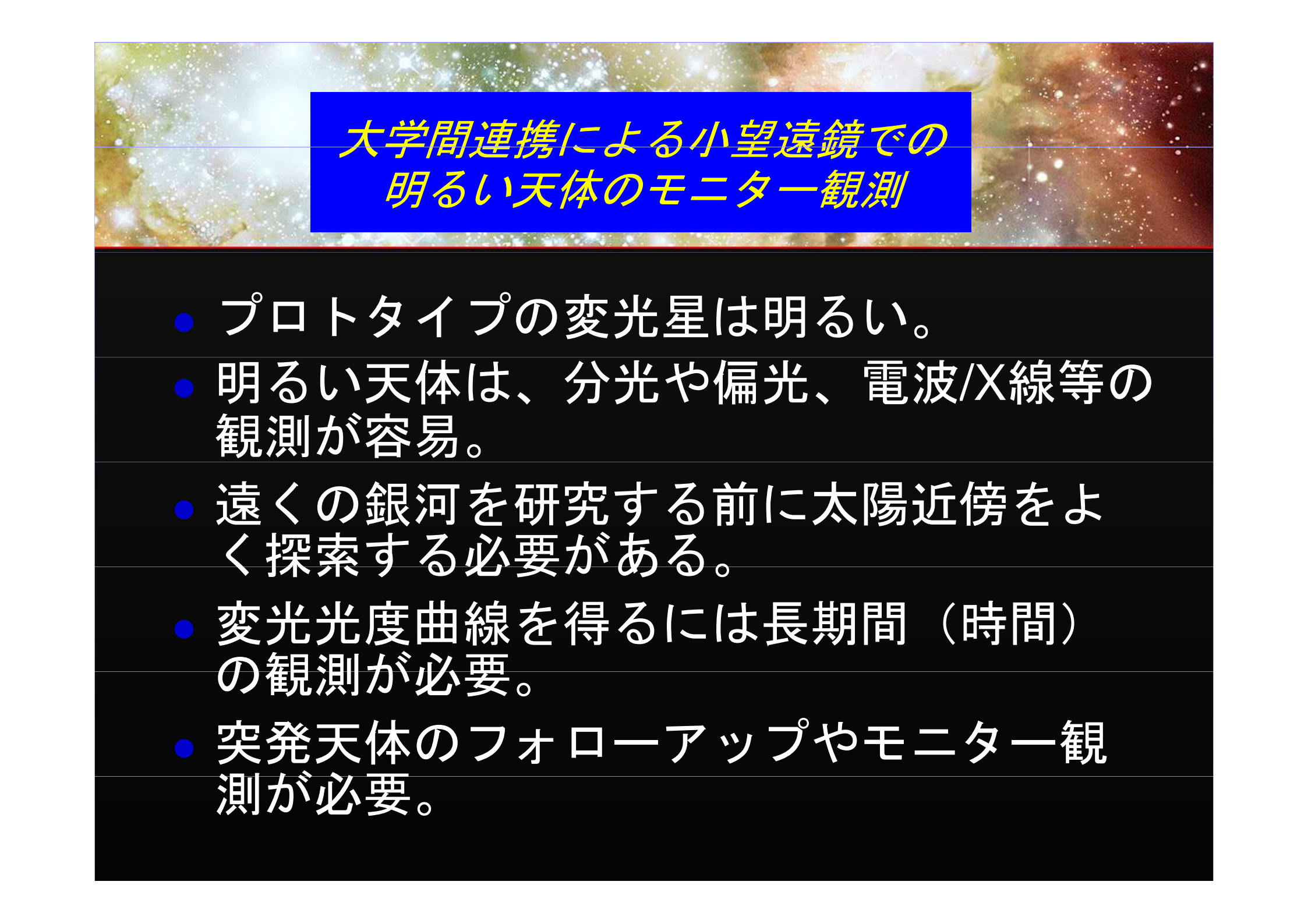
XO-1 observations (V+R) - 2006, Apr 06/07 (bin 4)





変光星

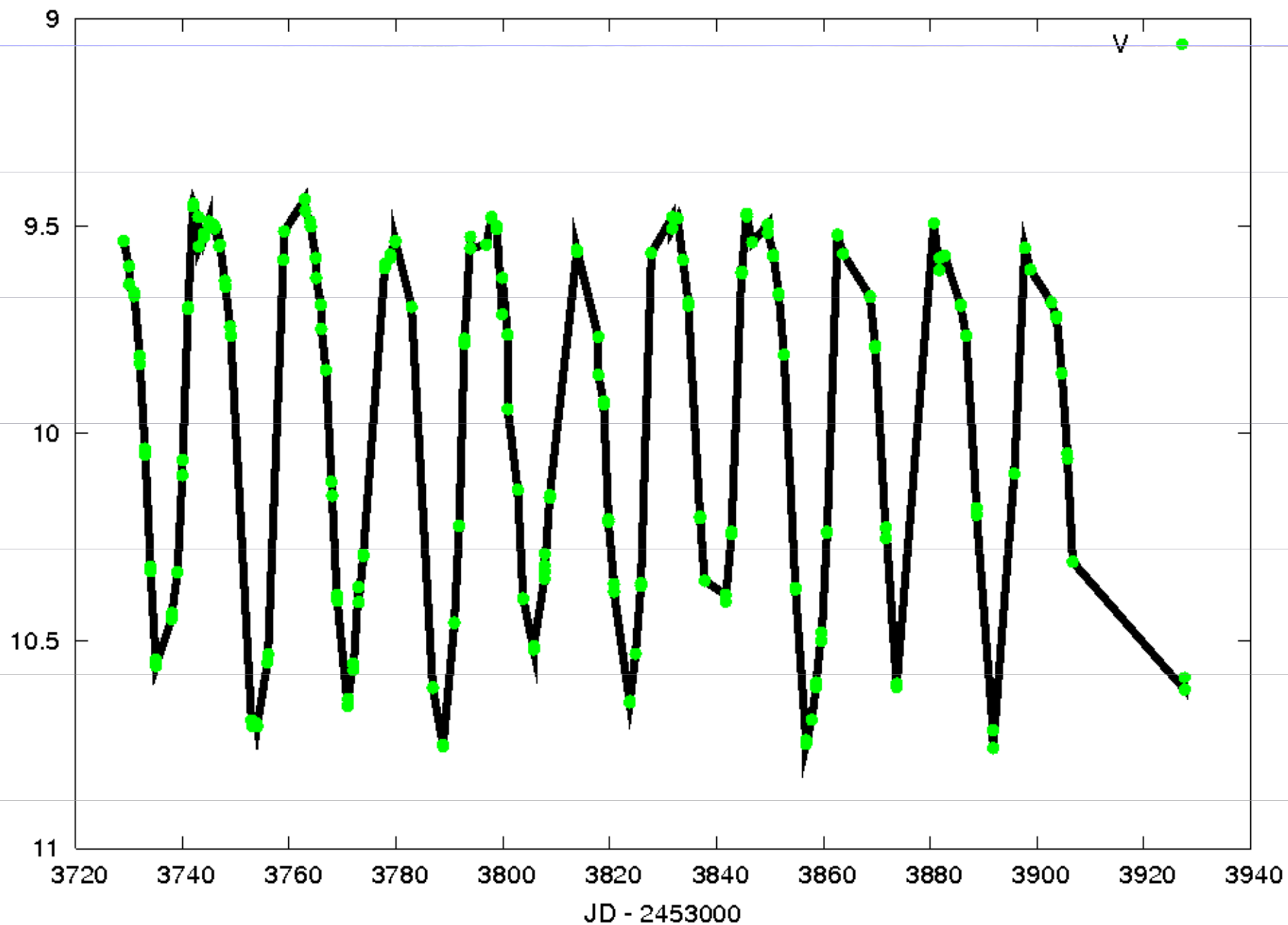
- 全ての星はその一生の間に変光する。
- 物理的な変光 (脈動, スポット) は、星の構造解明の手がかりとなる。
- 幾何学的な変光 (食連星) は、質量、密度、サイズなどが求められる。
- 降着円盤 (Accretion disk) 現象は全てのスケールで観測される。
- 突発現象 (novae, supernovae, gamma-ray bursts) は、星の進化の詳細を伝えている。
- 全ての天文学者は、そのキャリアのどこかで変光星について学ぶ。

A cosmic background image featuring a dense field of stars and nebulae in shades of yellow, orange, and red. A prominent blue rectangular box is centered in the upper portion of the image, containing the title text in yellow Japanese characters.

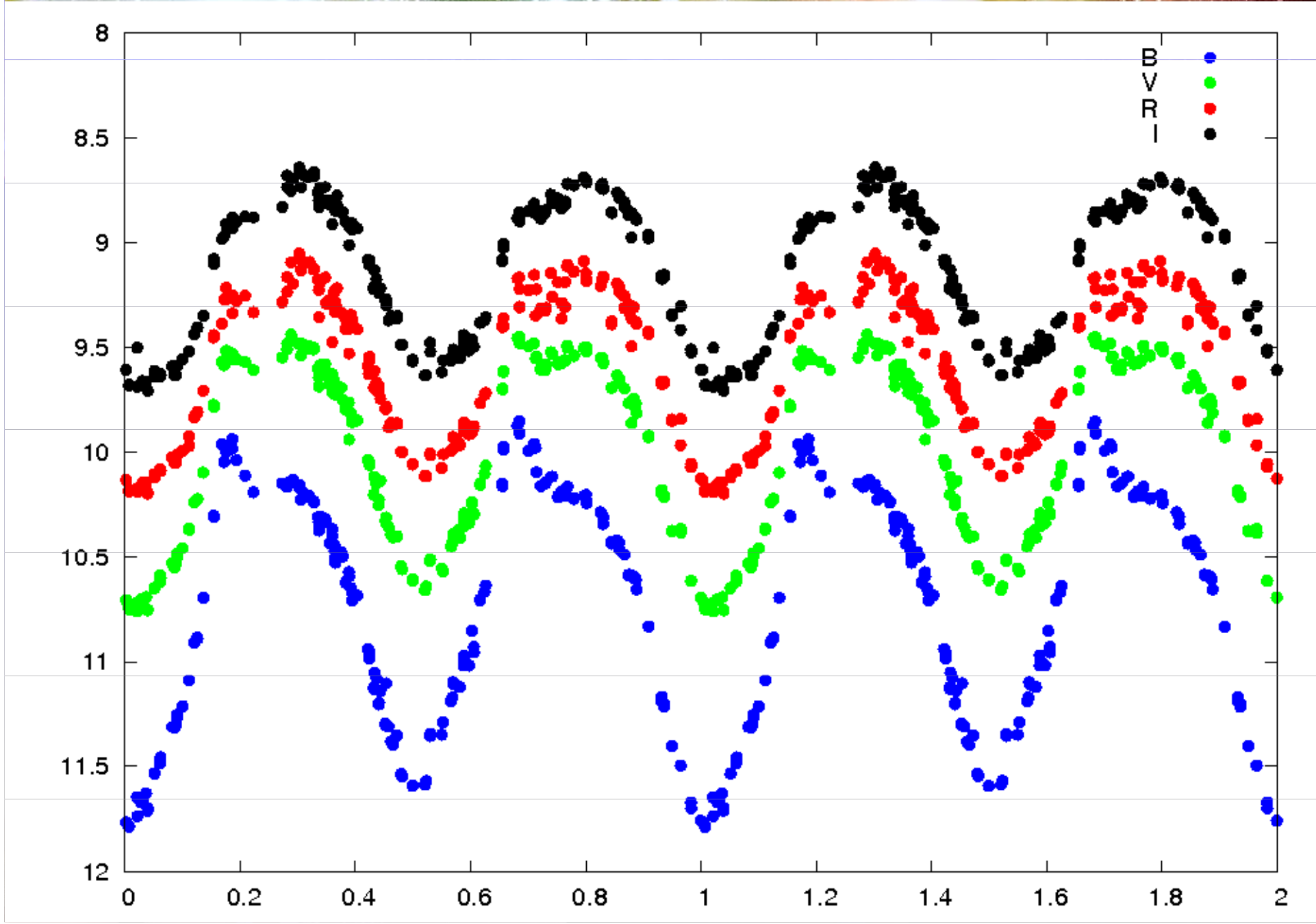
大学間連携による小望遠鏡での 明るい天体のモニター観測

- プロトタイプの変光星は明るい。
- 明るい天体は、分光や偏光、電波/X線等の観測が容易。
- 遠くの銀河を研究する前に太陽近傍をよく探索する必要がある。
- 変光光度曲線を得るには長期間（時間）の観測が必要。
- 突発天体のフォローアップやモニター観測が必要。

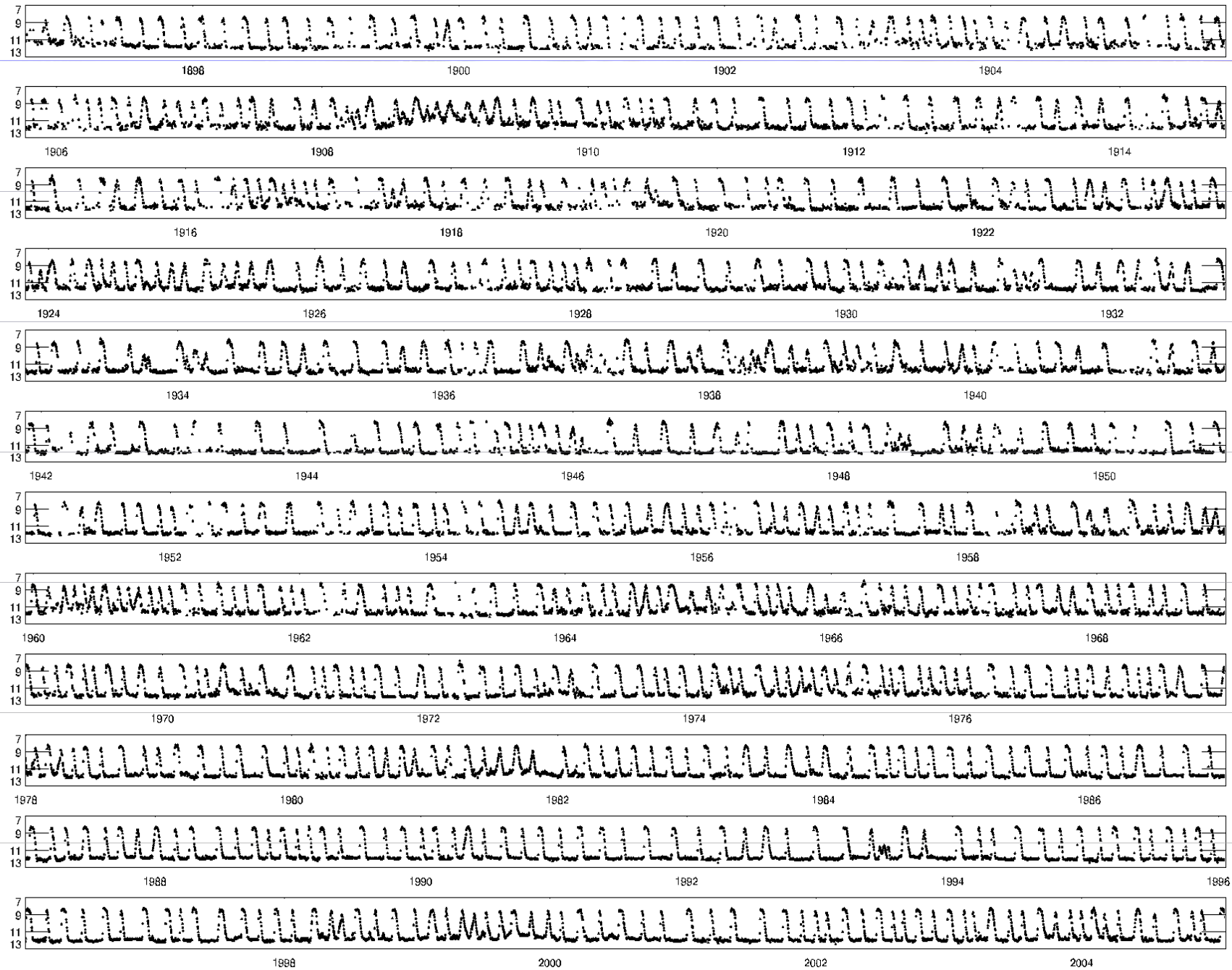
W Virginis coverage from SRO - one season



W Vir phased light curve, BVRI



SS Cyg, 1896-2004



Summary

- 最先端のサイエンスに大口径は必ずしも必要ない
(計画検討委員会のみなさんが理解しているかは不明！)
- 小口径望遠鏡では、必要な部品のほとんどが市販品でまかなえる。ソフトウェアも揃っている。
- 小さな大学でもそのようなシステムを持つことが可能
- 時間変動（変光等）天体の観測には最適

重力波源の同定観測！