

2020年代の天文学 恒星分野その2

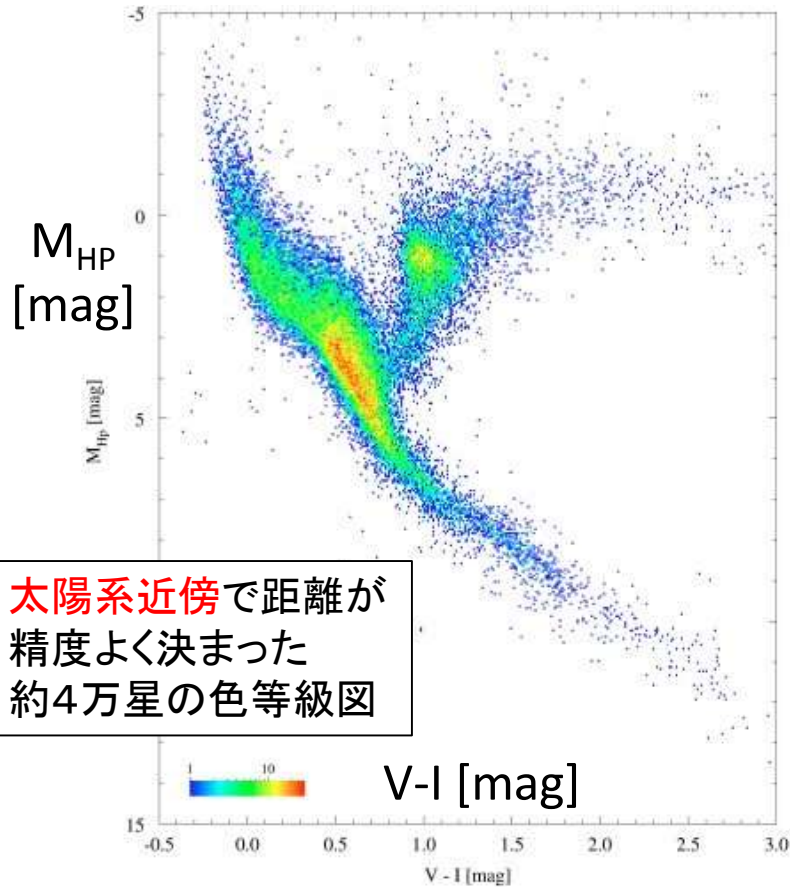
松永典之(東大・本郷)

2020年代に向けての期待

- Gaiaの距離を利用した恒星進化・種族の研究
- 恒星を太陽のように理解するための研究
 - 星震学の進展
 - 古典的な仮定からの脱却した恒星大気取り扱い
- 質・量ともに全く異なる観測データに基づく恒星の理解の再構築

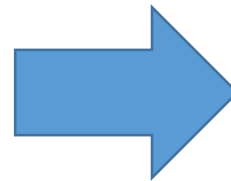
HipparcosからGaiaへ

Hipparcos



© ESA

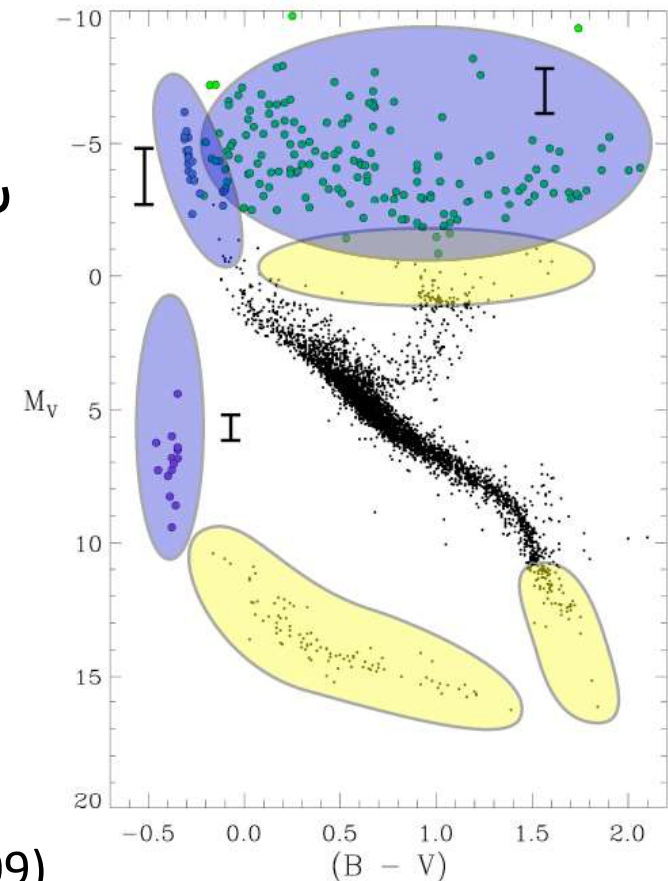
Gaia



数キロパーセクの様々な星のグループに対する色等級図

Gaiaによる飛躍

- 多種多様な数多くの星のHR図が描ける。
 - ハローまで含めて、様々な金属量・年齢の恒星種族
 - (球状星団など)古い星の正確な年齢→宇宙年齢の下限
- 数の少ない天体もHR図にプロットされる。
 - 大質量星
 - AGB星、惑星状星雲、他
- Hipparcosでは見えなかった暗い天体も
 - 褐色矮星
 - 白色矮星
 - G=20 magまでで40万個の白色矮星を検出
- 各種距離指標の較正
 - RGBチップ
 - 変光星の周期光度関係

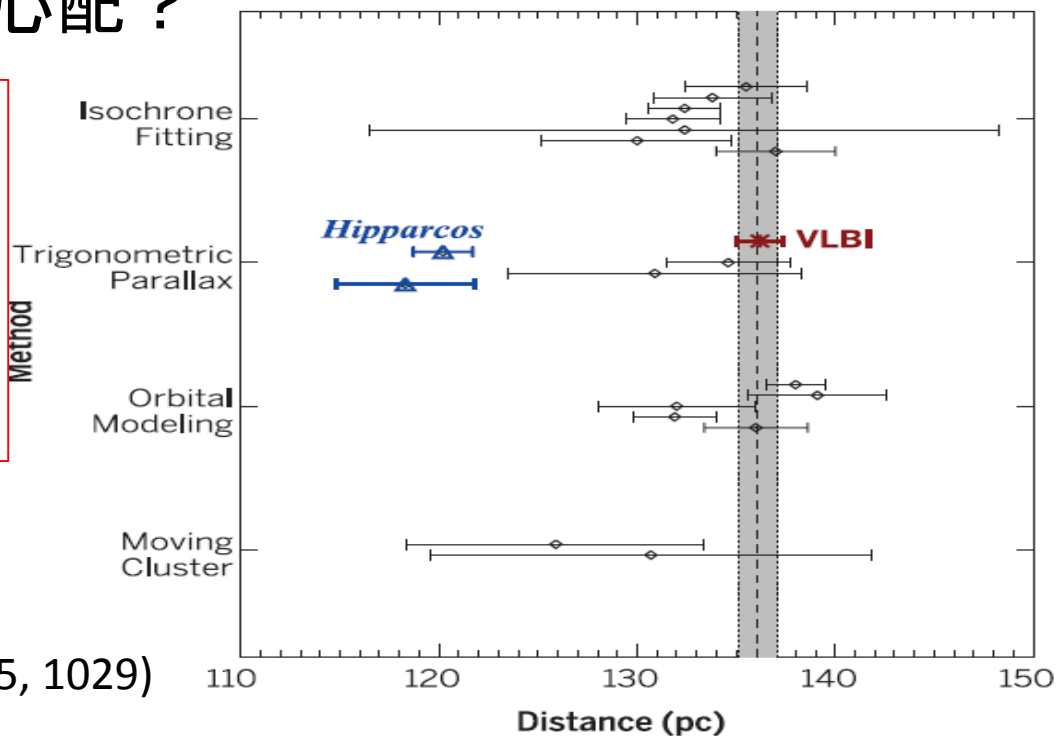


Benedict et al. (2009)

Pleiades (すばる) の距離

- Hipparcosの距離120pcは、それまでの様々な距離と異なり、主系列の明るさで0.25 magの違いを生む。
 - 例えば、0.25 magの違いをHe組成に押し付けると、2~4割増やさないとはいけない。
- VLBAでの年周視差では、 136.2 ± 1.2 pc。
- Hipparcosの誤差の原因はわかっておらず、Gaiaで同じ系統誤差が混入しないか心配？

他の多くの星団についても距離がわかるので、恒星進化理論のテストを直接行える。



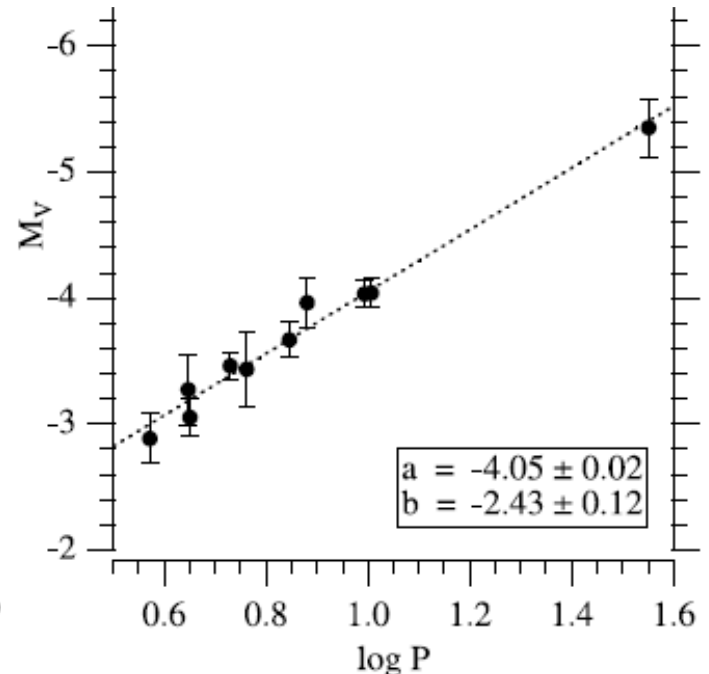
Melis et al. (2014, Science, 345, 1029)

変光星の周期光度関係

- 非常に多くの変光星が発見・観測され、多くの天体の年周視差が測定されて、周期光度関係の較正が行える。
 - 数千個のセファイド
 - 数万個のRRライリ
 - 10万個以上のミラ
 - Eyer & Cuypers 2000; Windmark et al. 2011
- 銀河系内外の距離指標の基礎が確立されるだけでなく、変光星自身の性質を探るチャンス。

セファイドの周期光度関係の較正

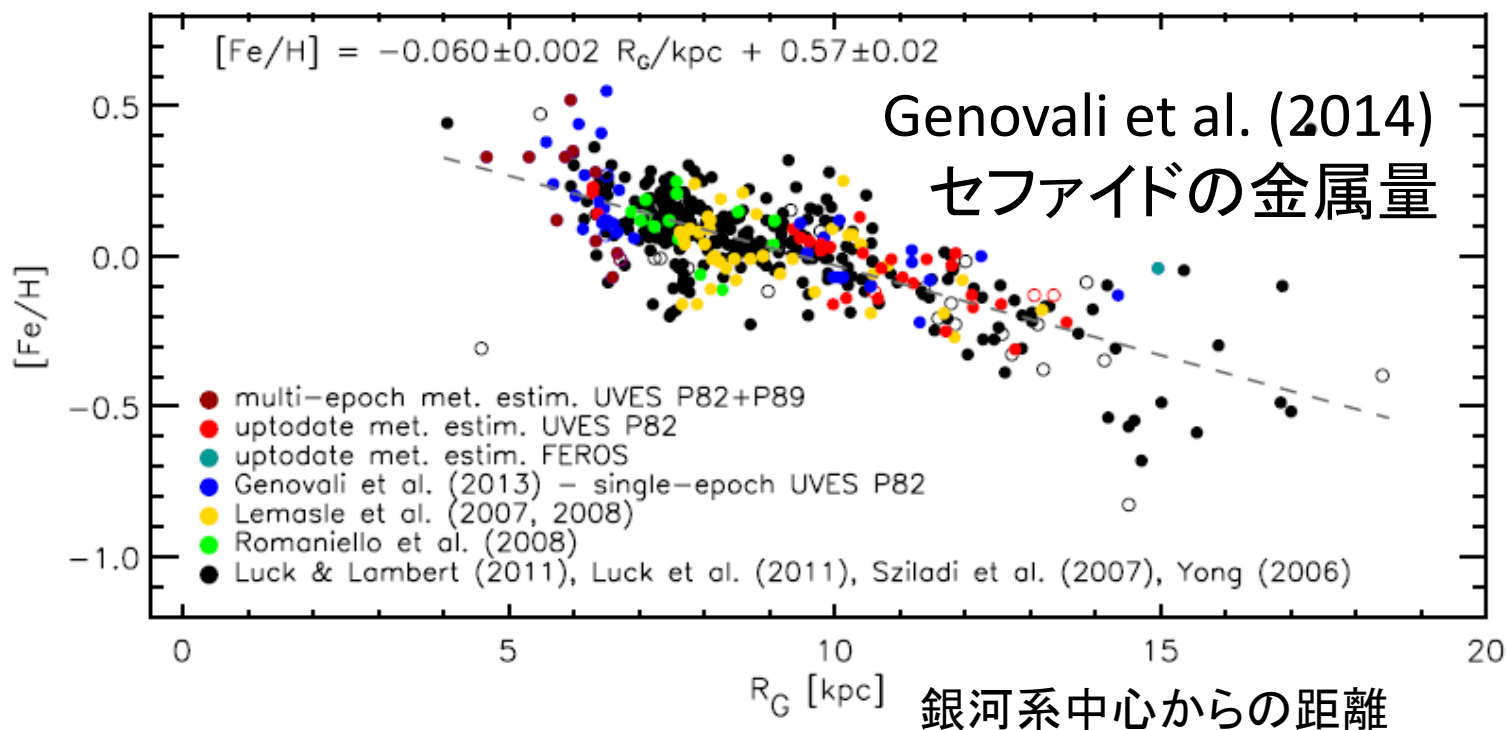
- Hipparcosで $\pi/\sigma_\pi > 10$ の測定ができたセファイドは、1天体のみ (α UMi = Polaris = 北極星)
 - Polarisは1st overtone pulsatorのセファイドで、この星についても論争あり (van Leeuwen 2013; Turner et al. 2013)。
- 現在利用される近傍のセファイドの較正は、HSTで観測された10天体によるもの (Benedict et al. 2007)



Benedict et al. (2007, AJ, 133, 1810)

セファイドの周期光度関係の較正

- Gaiaで距離が求められる範囲内には、様々な金属量のセファイドが含まれている。
 - 周期光度関係の金属量依存性も調べられる。



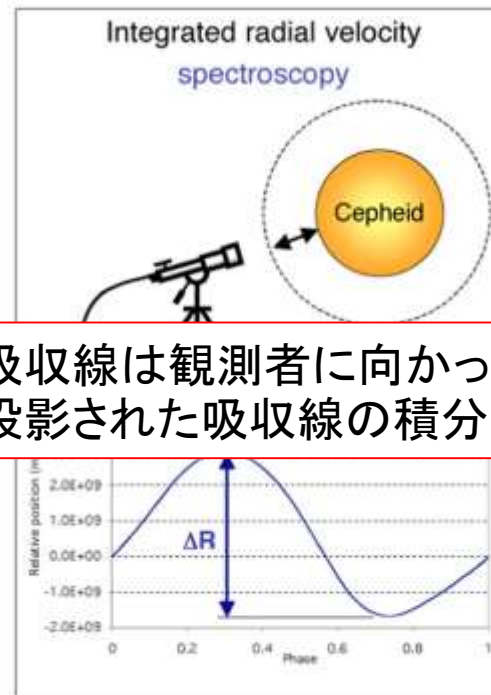
セファイドの projection factor

- Baade-Wesselink法の利用のために必要な吸収線の偏移の補正
 - 吸収線の偏移は、脈動による収縮の7割程度にしか見えない。
- 恒星大気構造を反映
 - limb-darkening
 - dynamic velocity field
- 現在は、p factorを何とか見積もって距離を求めようとしていたが、距離のほうがわかれば大気構造を制限。

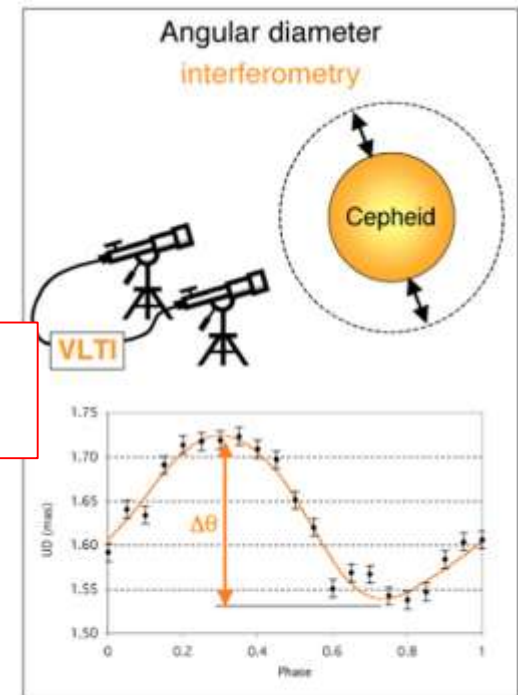
Baade Wesselink法の概要(図はESO)

奥行き方向の振動の大きさは分光で。

横方向の振動は、色と明るさの変化(可能なら干渉計)で。



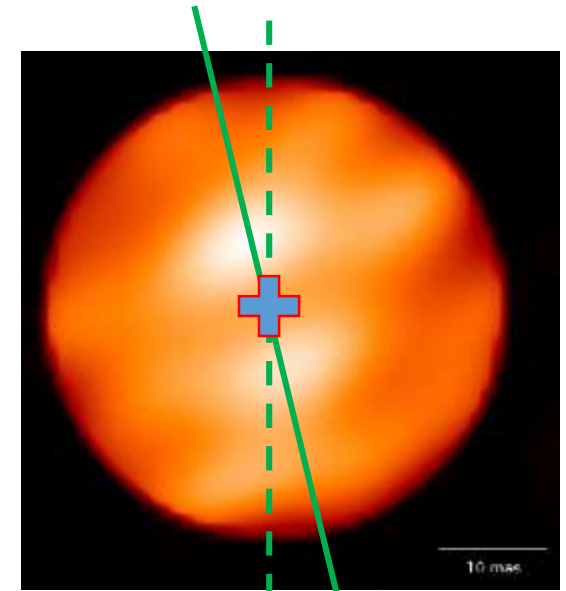
吸収線は観測者に向かって投影された吸収線の積分



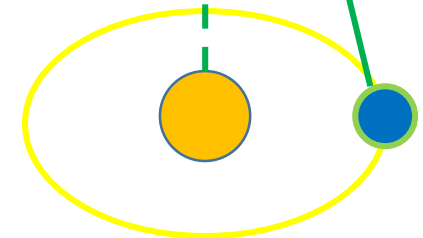
$$d [\text{pc}] = 9.305 \Delta R [R_{\odot}] / \Delta \theta [\text{mas}]$$

ミラの年周視差測定？

- ミラに限らず赤色巨星の表面輝度は一様ではない。
- 中心から2AU離れたところに5%分のフラックスがあると重心が、0.1AUずれる。最悪の場合、年周視差へは±10%の影響。
- ミラの場合は、周期光度関係が較正できる代わりに、恒星表面の変化を探れるかもしれない。



光赤外線干渉計IOTAによる
ベテルギウス (not Mira!) の
表面輝度分布
(Haubois et al. 2009)

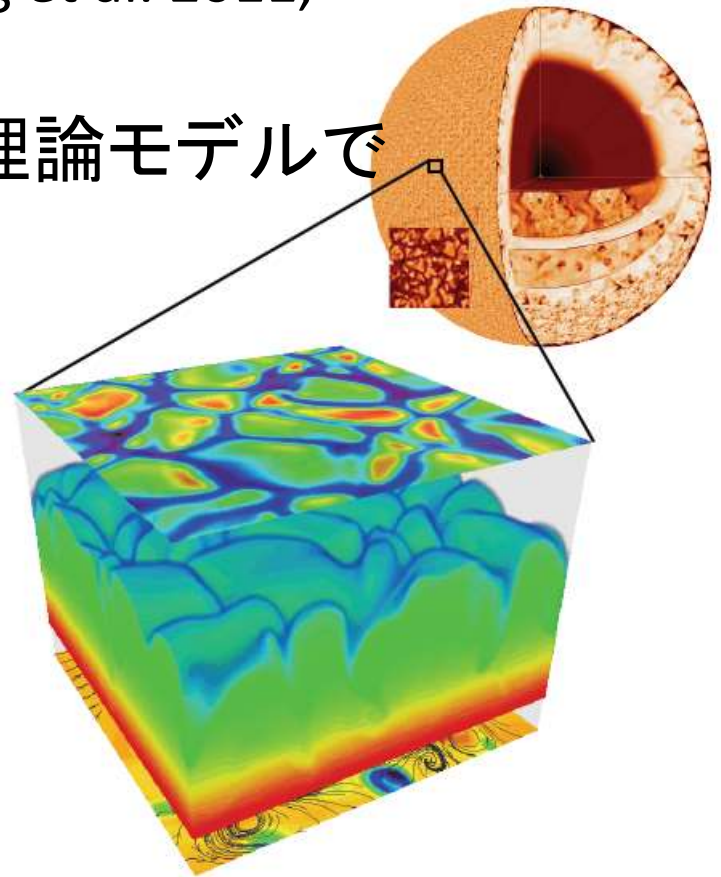


太陽系

Gaiaとは別の観点から:

恒星を太陽のように見る

- 星震学で内部構造を探る。
 - 例) RGB/AGBの区別 (Bedding et al. 2011, Nature, 471, 608)
- 高分散高S/N分光と高度な理論モデルで大気構造を探る。



次世代の恒星大気モデル

- 「恒星分光学の基礎」 竹田さん(2011年)
 - 太陽物理学と恒星物理学の相互交流と将来的展望
- LTEの仮定→NLTE効果
- 平行平面大気の仮定→球状大気効果
- 輻射平衡の仮定(彩層)の無視 → 彩層効果
- ミクロ乱流の仮定 → 線輪郭のモデル計算
- 対流の混合距離理論での取り扱い
- 静的一様大気の仮定

三次元動的
モデルの計算

精密化への期待

- 特殊な天体の化学組成や構造の研究
- 古典的モデルの適用範囲の確立
- 太陽の化学組成(と内部構造)
 - 3次元モデルやNLTE効果の導入によって、0.1dex程度の変化が議論されている。ラインデータにも同程度の不定性(Asplund et al. 2005, 2009)。
- 惑星系との関連
 - 0.01 dexの(相対的)精度によって、凝固温度に応じたdepletionが見えてきている。(Melendez et al. 2012, 2014) ←これは古典的な解析方法でもわかった。

まとめ

- Gaiaは恒星進化、恒星種族のさまざまな研究において中心的な基礎となる。
 - 多様なパラメータの星の距離がわかることが重要
- その基礎と新たな観測や理論モデルが組み合わせられて、恒星についての理解が再構築される。
- たくさんの星に対する統計的な研究と、少数の星に対する精密な研究それぞれの先鋭化がますます際立つだろう。