

©Kagaya

宇宙の測量

今井 裕 (いまい ひろし)

鹿児島大学 大学院理工学研究科物理・宇宙専攻

/理学部物理科学科宇宙情報講座

<http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/~imai>

講義内容

- 自己紹介:
 - 天文学者として
 - 大学教員として(鹿児島大学理学部物理科学科)
 - 父親として
- 宇宙を語るための時空(=時間・空間)の尺度
- 宇宙測量の実際
 - 年周視差法
 - 星々の真の明るさと見かけの明るさ
 - 宇宙測量を支える: 高精度時空計測
- 人類と宇宙スケールの時空計測
- 鹿児島からの新たなチャレンジ

背景: アンドロメダ銀河

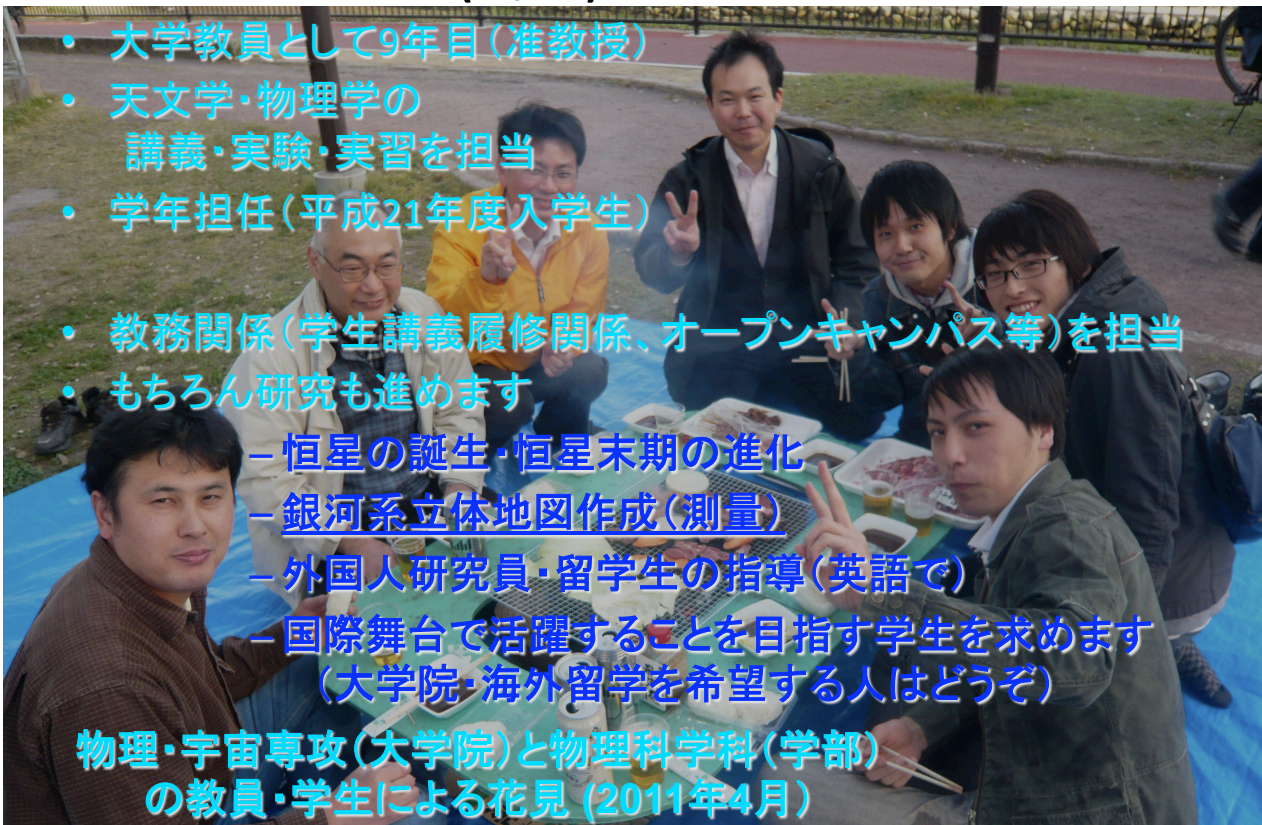
自己紹介 (1/3): 研究者として



- 愛知県出身、千種高校卒業
- 東北大学理学部天文及び地球物理学科第一 卒業
- 東北大学大学院理学研究科天文学専攻 博士課程修了
- 国立天文台とオランダで研究者修行(ポスドク)
- 2003年より鹿児島大学に着任
- イチローの少年野球チームと一緒にいた
- 20カ国を訪問
(新婚旅行以外は出張旅行)
- 来年はオーストラリアで10カ月滞在予定

2009年3月
国際研究会での
研究者仲間の集合写真
@ソウル

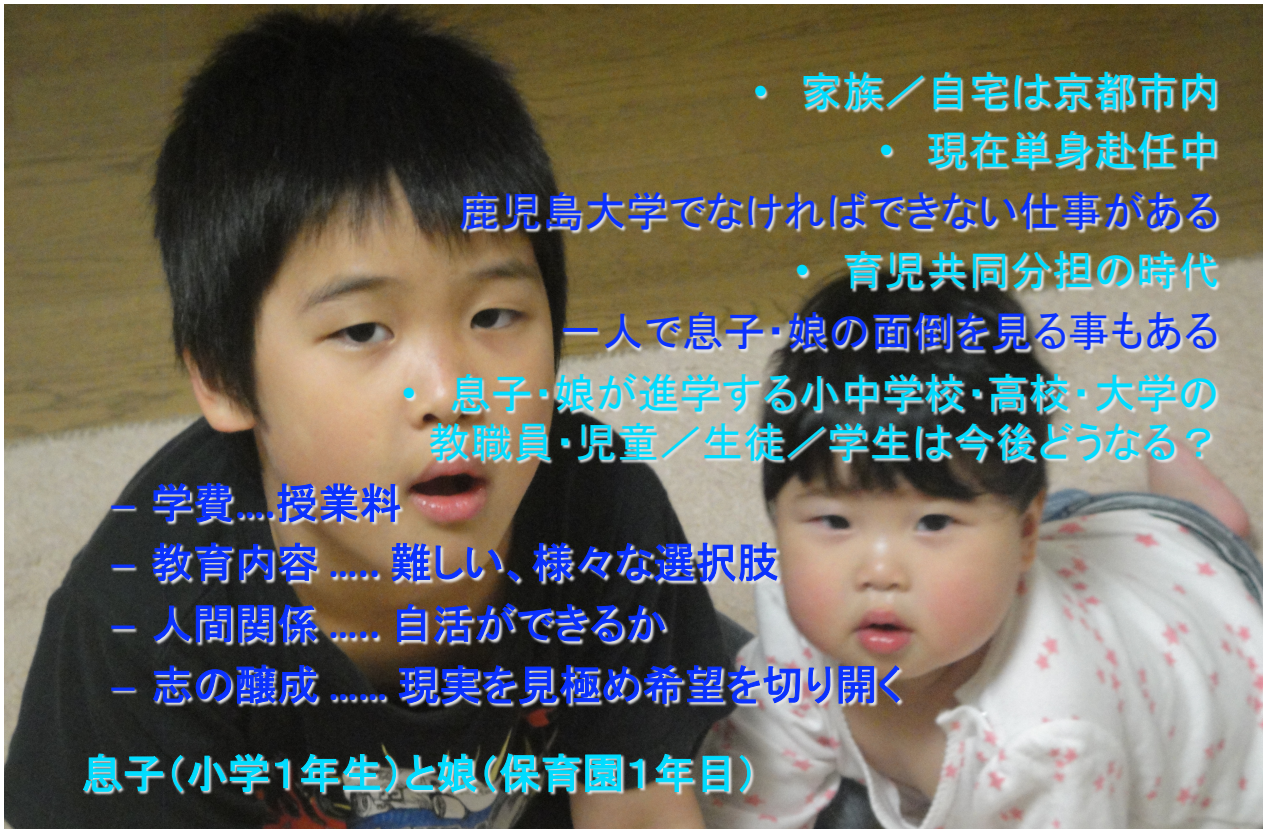
自己紹介 (2/3): 大学教員として



- 大学教員として9年目(准教授)
- 天文学・物理学の
講義・実験・実習を担当
- 学年担任(平成21年度入学生)
- 教務関係(学生講義履修関係、オープンキャンパス等)を担当
- もちろん研究も進めます
 - 恒星の誕生・恒星末期の進化
 - 銀河系立体地図作成(測量)
 - 外国人研究員・留学生の指導(英語で)
 - 国際舞台で活躍することを目指す学生を求めます
(大学院・海外留学を希望する人はどうぞ)

物理・宇宙専攻(大学院)と物理科学科(学部)
の教員・学生による花見(2011年4月)

自己紹介 (3/3): 父親として



宇宙を語るための時空尺度

- 宇宙の代表的な時間尺度
 - 歴史書に残る天体現象の時間尺度: 1000年
 - 人類誕生からの経過時間: 500万年
 - 太陽の年齢: 46億年
 - 宇宙の年齢: 137億年
- 宇宙の代表的な距離尺度
 - 太陽の直径: 138万km
 - 太陽—地球間の距離: 1.5億km
 - 1光年: 10兆km
 - 天の川銀河の大きさ(円盤部): 10万光年

プレアデス星団

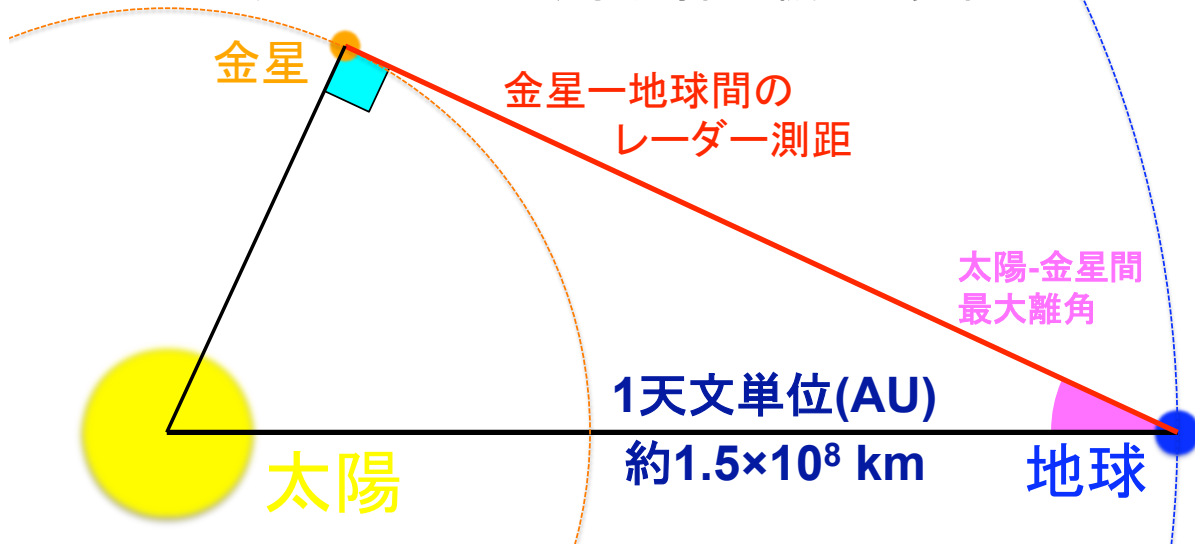
宇宙の時空尺度を例えるならば...

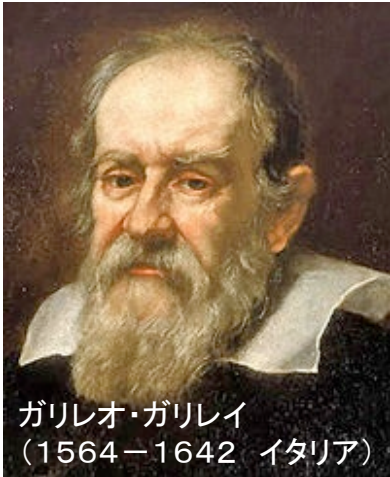
- 宇宙の代表的な時間尺度
 - 歴史書に残る天体現象の時間尺度: 1.3日
 - 太陽の年齢: 18年 (高校3年生)
 - 宇宙の年齢: 54年
 - 人類誕生からの経過時間: 1週間
- 宇宙の代表的な距離尺度
 - 太陽の直径: 直径1cmの電球
 - 太陽-地球間の距離: 108 cm (保育園児)
 - 1光年: 約70 km (唐津市-北九州市間)
 - 天の川銀河の大きさ: 720万km (地球180周)

プレアデス星団

宇宙測量の実際

- 光速は有限(30万km/s、毎秒地球を7周半)
 - 天体へ送った信号は
天体に届かない/地球へ戻って来ない ($F \propto r^{-2}$)
- 例外: 月・金星・火星、宇宙探査機(太陽系内)





ガリレオ・ガリレイ
(1564-1642 イタリア)

天動説の壁

- オランダのめがね屋さんで発明された「望遠鏡」を参考にして人類発の「天体望遠鏡」を自作
- 400年前に木星とその衛星をその天体望遠鏡で観測



宗教裁判の風景

- 「太陽が地球の周りを回る」のではなく「地球が太陽の周りを回る」と唱えた (地動説)

- 宗教裁判、判決後の台詞「それでも地球が動いている」

でも... 空の方が回ってみえるよ！

400年前の常識

- 神様は、地球を全宇宙の真ん中に作ったんだよ。
- 太陽も月も星も、同じ方向に毎日少しずつ動いているよ！
- 変な動きをする星があってもいいじゃないか！

年周光行差の発見 (1727年 by ブラッドレー: 30秒角/年)

地動説への決着:

年周視差の発見(1842年 by トーマス・ヘンダーソン)

(ケンタウルス α 星, 0.742秒角)

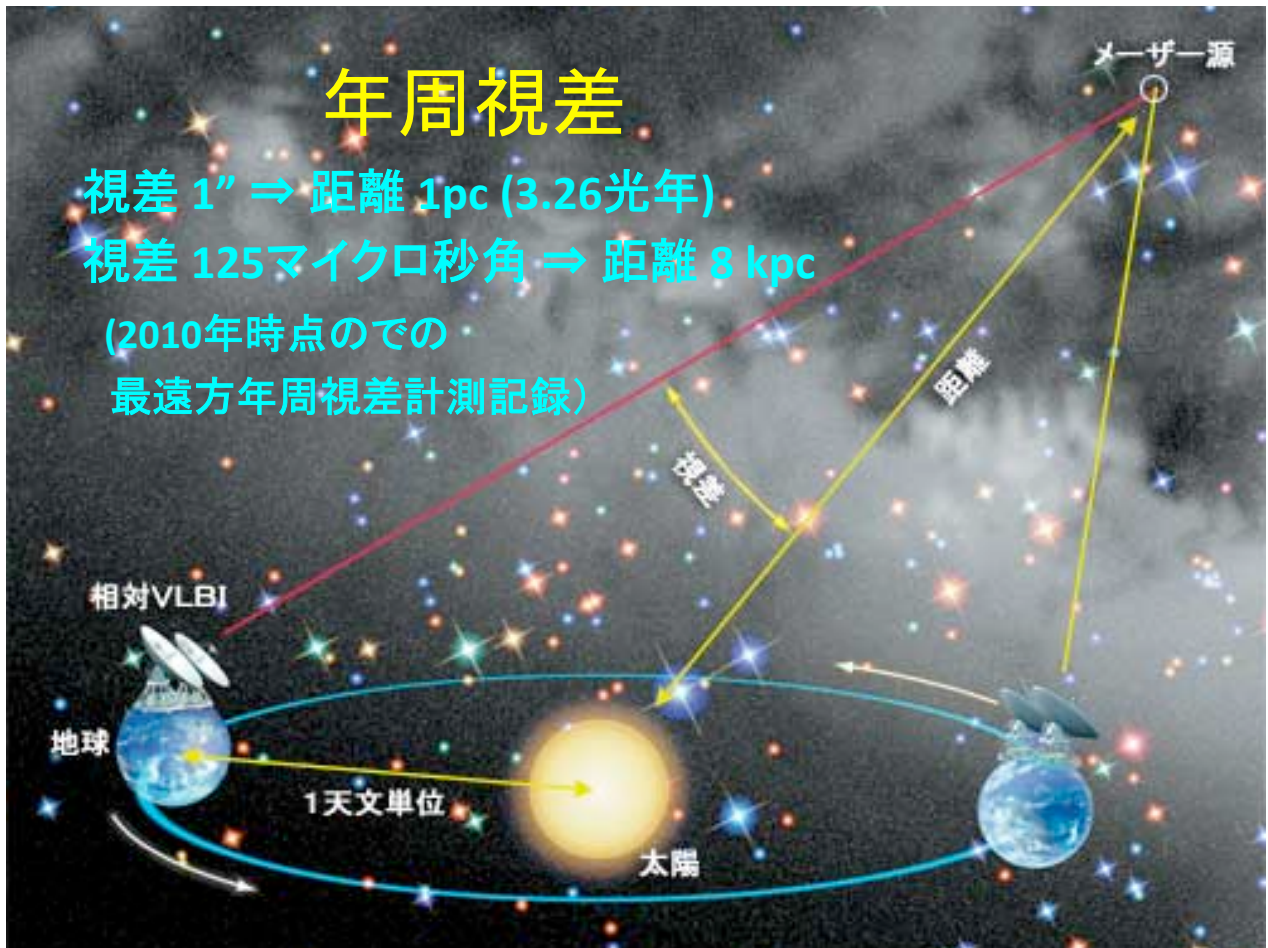
太陽系から最も近い恒星

年周視差

視差 1" \Rightarrow 距離 1pc (3.26光年)

視差 125マイクロ秒角 \Rightarrow 距離 8 kpc

(2010年時点での
最遠方年周視差計測記録)



本当の「天の川」の姿を求めて



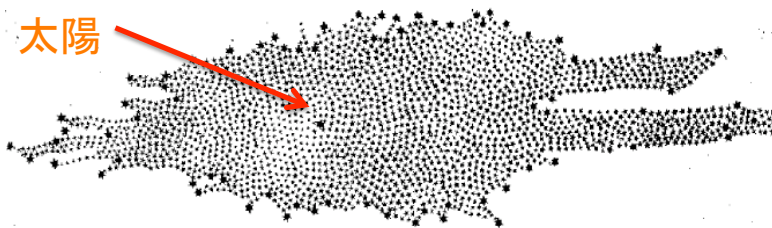
私たちの太陽系は宇宙のどこにあるの？

- これらの星々は太陽系のなかま？
- まったく違う故郷から生まれた星々？
- 遠くにあるの？ 近くにあるの？

太陽系は星々の「川」の中にあるらしい

- 「天の川」は多数の星々からなる円盤だ！
(ウィリアム・ハーシェル)
- 太陽系は天の川の中心にあるの？

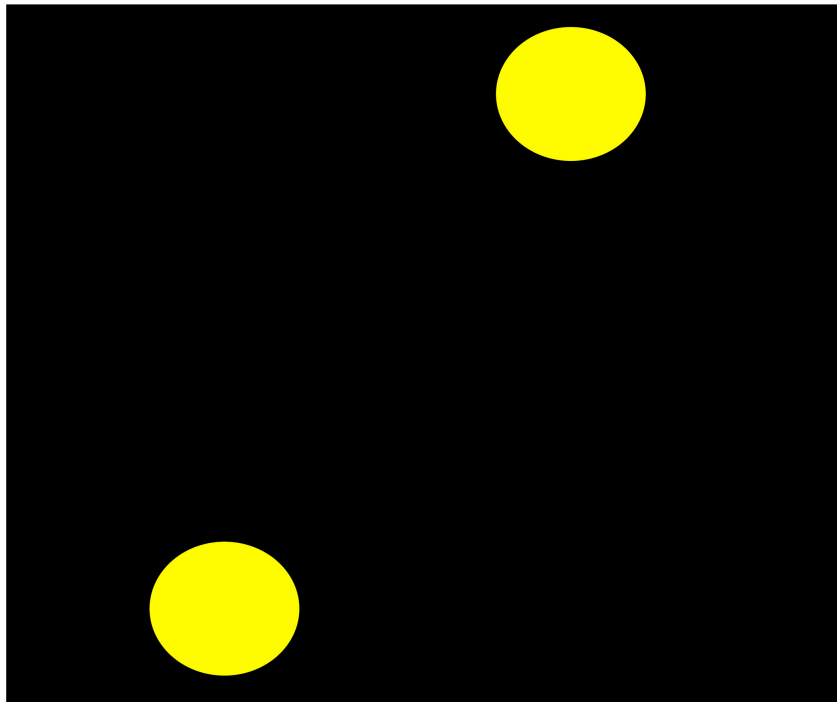
太陽



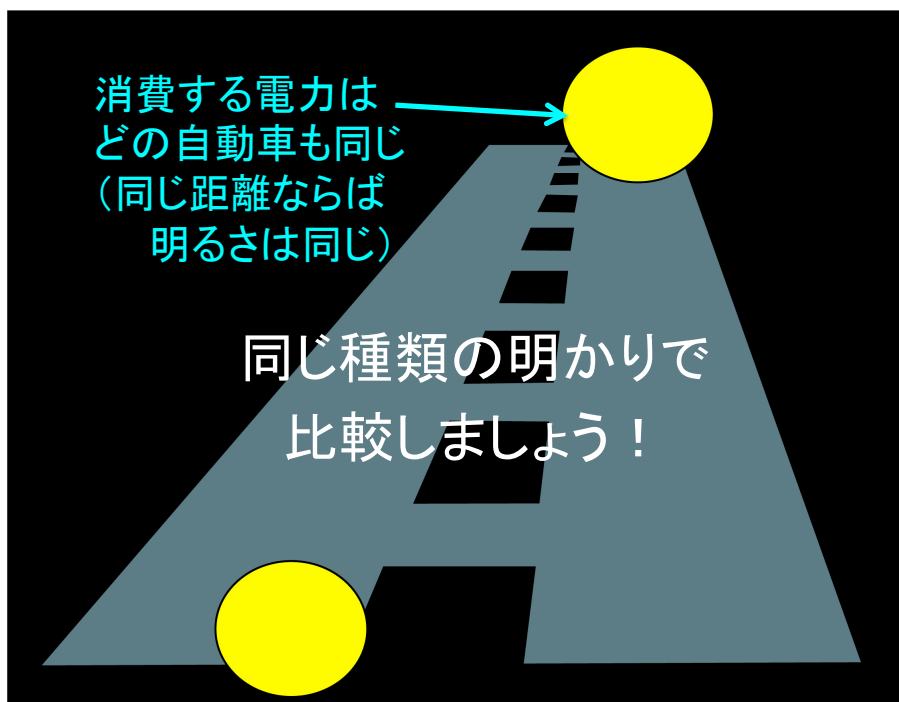
星間物質に
邪魔されて
奥行きが
見えない方向

電波ならば天の川の向こう側まで遮られることなく見渡せる！

遠くにある自動車のライト
近くにある豆電球

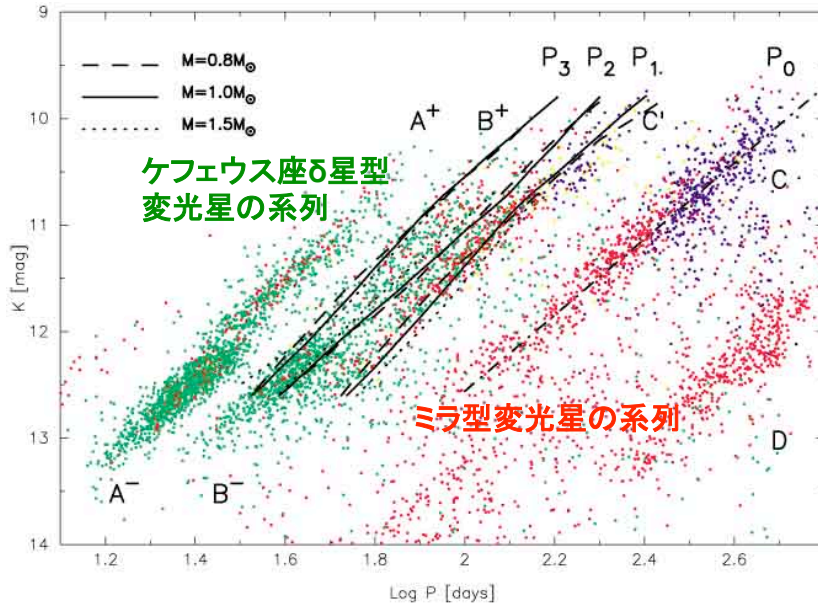


遠くにある自動車のライト
近くにある豆電球



変光星の周期一光度関係の発見

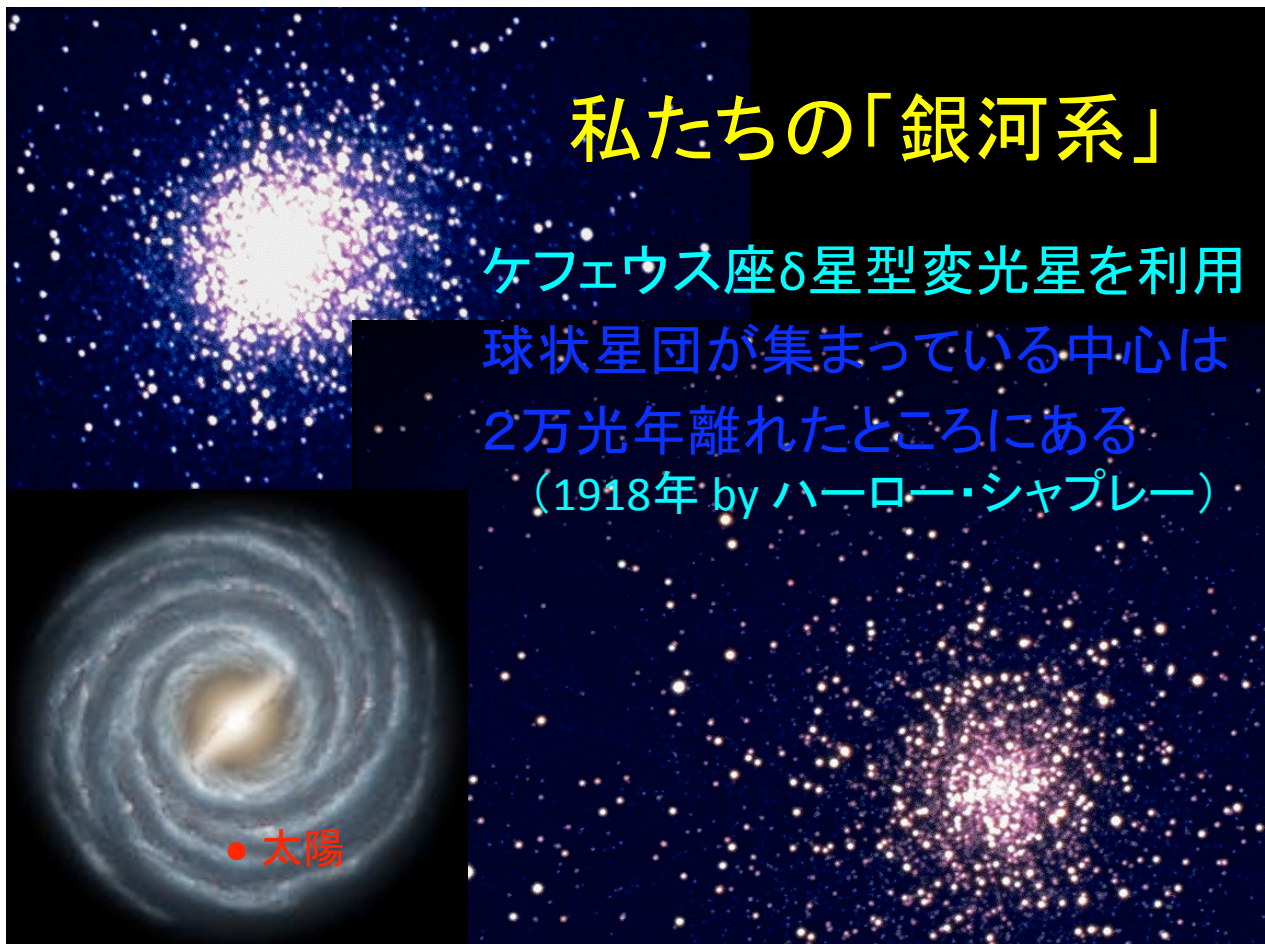
- 明るく光る星ほど変光周期が長い
- 銀河系内の同種の変光星と見かけの明るさ(実視等級)を比較する⇒変光星群を含む天体(銀河)の距離を推定できる



大マゼラン雲に見られる変光星の周期一等級図

(板ほか 2004年)

これらの星々は太陽系からほとんど同じ距離にあると見なせる。



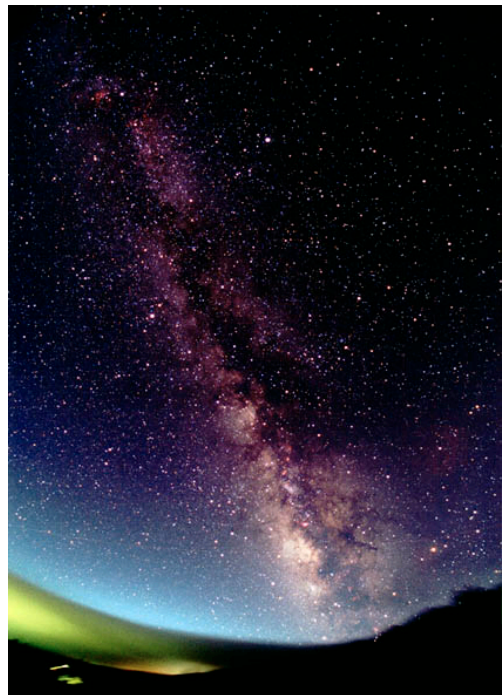
天の川「銀河」の真の姿は？

「アンドロメダ星雲」は銀河系の中の天体？外の天体？



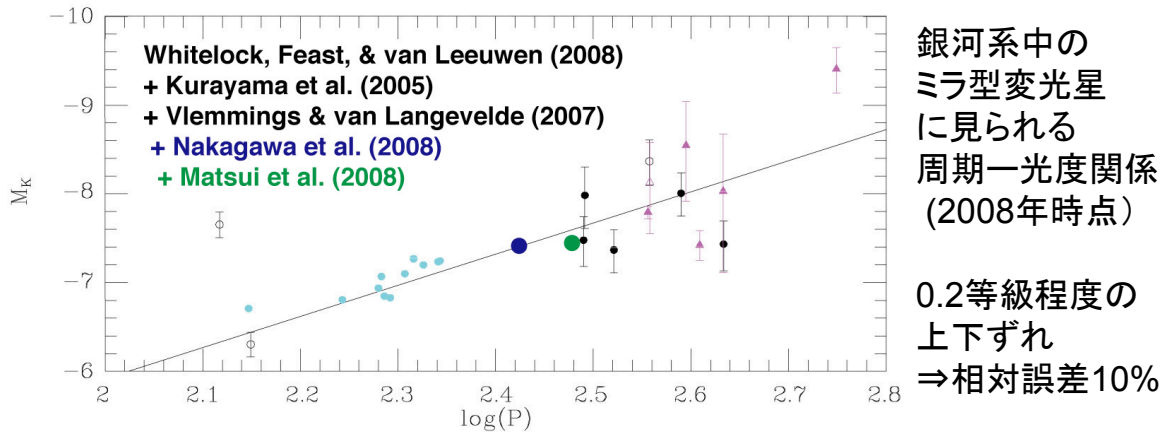
アンドロメダ銀河は天の川銀河の外にあるもう1つの「島宇宙」だった！

ケフェウス座 δ 星型変光星を利用
お隣さん同士だった
(200万光年離れているけれども)
(1929年 by エドウィン・ハッブル)



年周視差こそが「宇宙測量」の基本

- 天体間の遠近関係は正確に測定可能
近い天体の距離を頼りに遠い天体の距離を推定: **距離はしご**
- 天体の距離そのものの推定値は誤差が大きい



- 年周視差を含む幾何学的な手法で直接距離を測定
- 距離梯子の段数を減らす、距離推定の精度を上げる

VERA (天文広域精測望遠鏡)

4基の口径20 m電波望遠鏡
宇宙測量専用望遠鏡群
国立天文台と
鹿児島大学の共同運用



角分解能 **1ミリ秒角**
年周視差決定精度
0.01-0.1ミリ秒角

Mizusawa
Iriki
Ishigakijima
Ogasawara

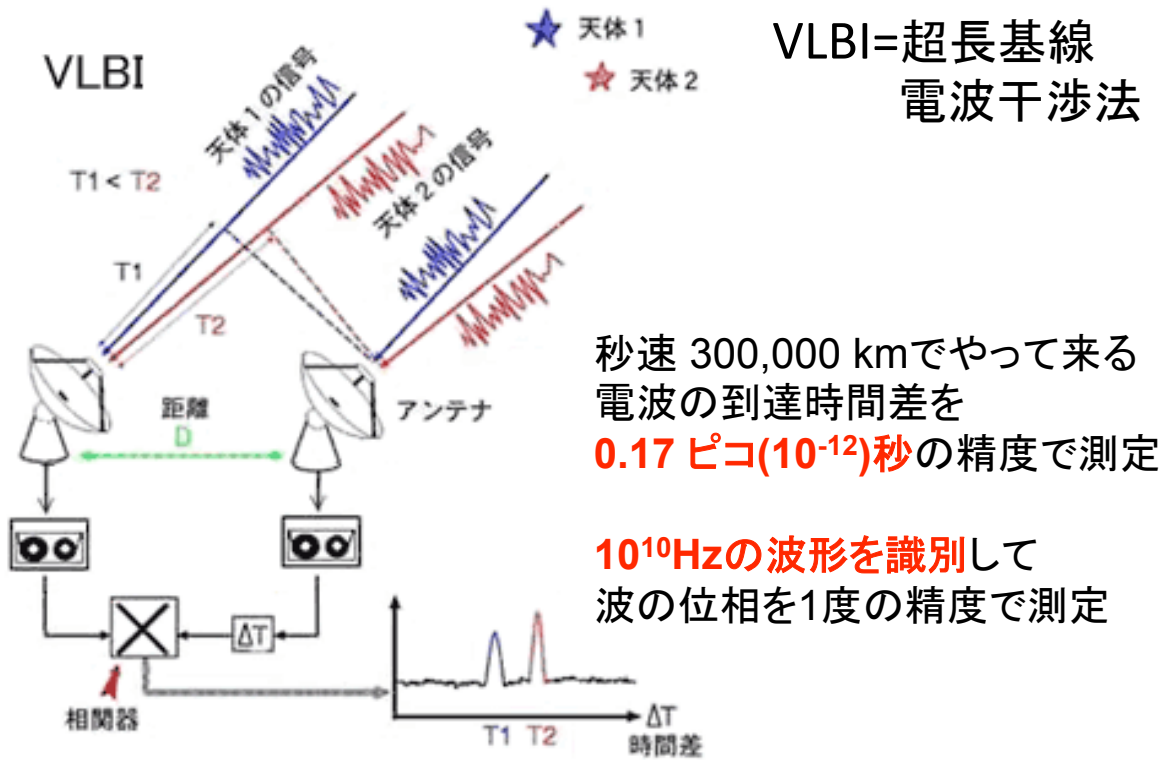
1ミリ秒角とは？

- 1° の36,000,000分の1
- 鹿児島大学から見てそこから10 km離れた桜島頂上に置かれたどれの見込み角とほぼ同じ？
 1. 高校生(入山禁止だけど.....)
 2. 石コロ(1cm程度)
 3. 火山灰(0.1mm程度)
 4. 原子(1 nm程度)

1ミリ秒角とは？

- 1° の36,000,000分の1
- 鹿児島大学から見てそこから10 km離れた桜島頂上に置かれたどれの見込み角とほぼ同じ？
 1. 高校生(入山禁止だけど.....) 
 2. 石コロ(1cm程度)
 3. 火山灰(0.1mm程度) 
 4. 原子(1 nm程度)

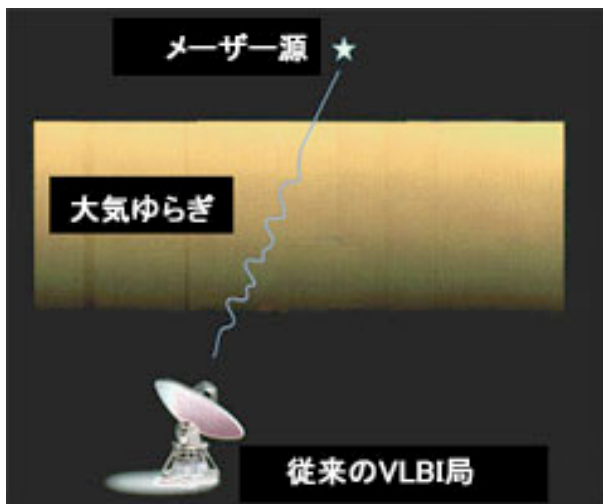
「10マイクロ秒角」を測定する



VERA最大の特長

複視野: 離角0.5—2.0度の範囲ならば、
2天体を同時に追尾・観測できる

大気による天体位置の揺らぎを止められる



その他のVERAの特徴 —最高技術の結晶—

- 高さ30m 重量400tに対する最高0.1mmの工作精度
- 0.1mm (1/1000度)の姿勢制御技術
- 5×10^8 Hzの信号波形を伝送・処理できる情報処理能力
- 1億年で1秒しか狂わない程度の時刻刻み
- 1秒間に128Mバイト記録できる信号記録能力



- 20Kまでの冷却能力
- 大気による電波行路の屈折や望遠鏡姿勢変化を捉えてその影響を補正する多彩な制御アイデア

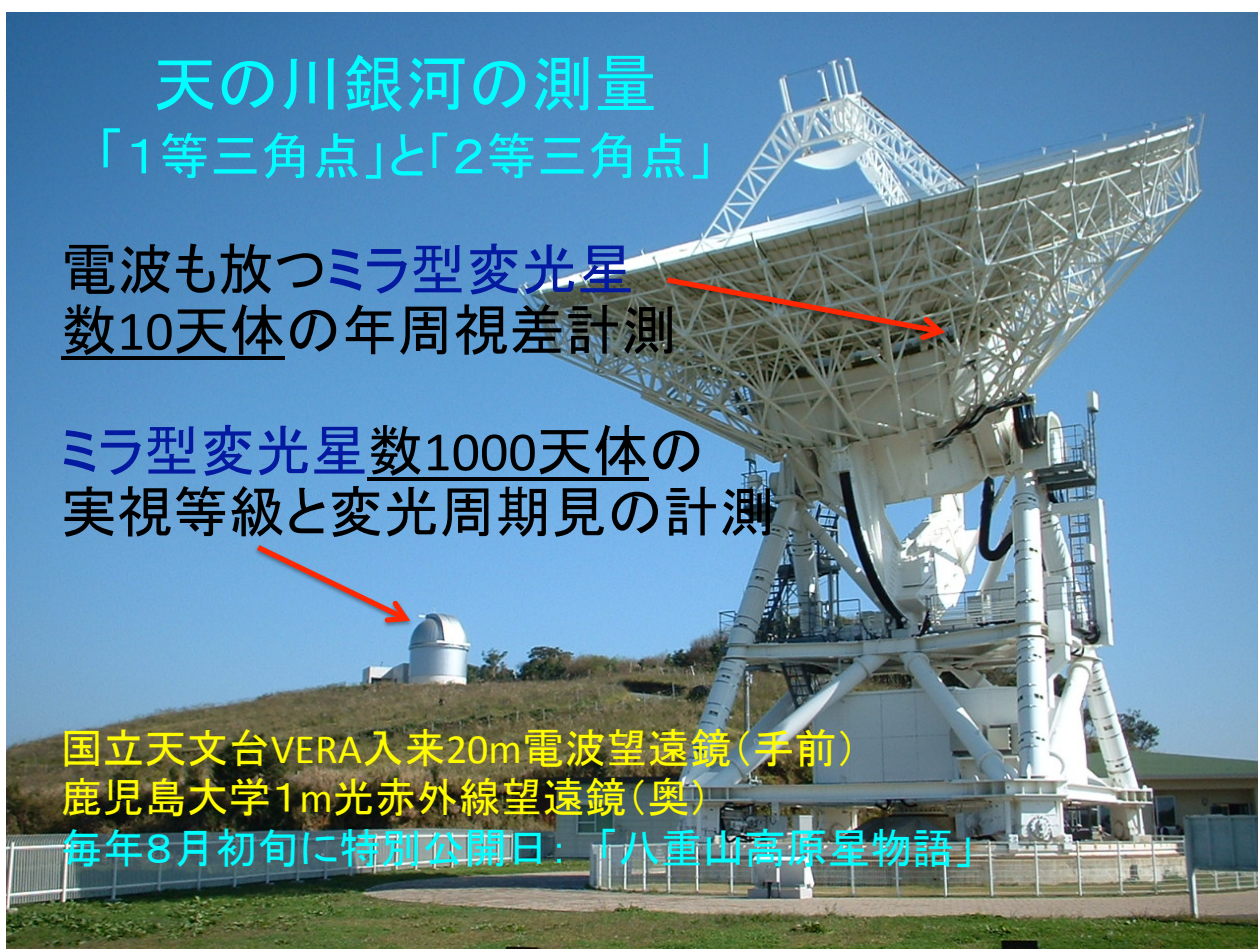
天の川銀河の測量 「1等三角点」と「2等三角点」

電波も放つミラ型変光星
数10天体の年周視差計測

ミラ型変光星数1000天体の
実視等級と変光周期見の計測

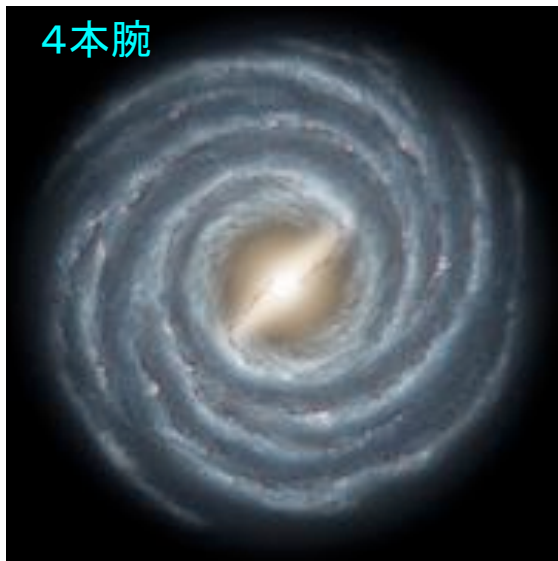
国立天文台VERA入来20m電波望遠鏡(手前)
鹿児島大学1m光赤外線望遠鏡(奥)

毎年8月初旬に特別公開日: 「八重山高原星物語」

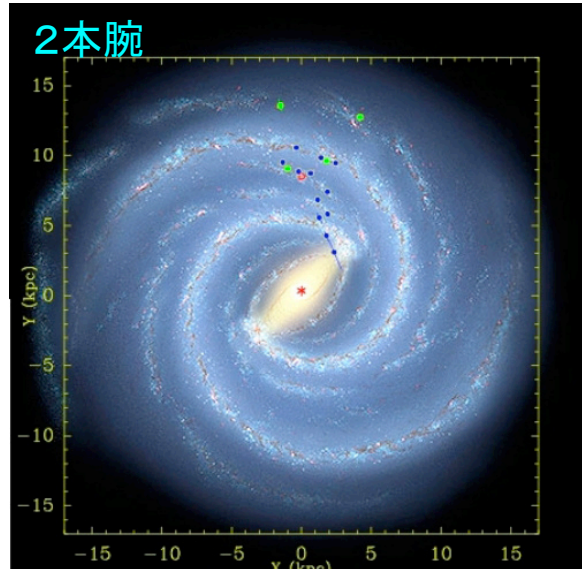


天の川「銀河」の真の姿は？

- その2: 天の川銀河の渦巻き腕の数は？



2005年当時の想像図



最近(2008年)の想像図

宇宙測量を支える：高精度時空計測(1/2)

- 空間と時間の密接なつながり
 - 「1m」と「1秒」の定義: 不変と考えられる光速と原子の物理量
 - これらは宇宙創成からずっと不変？
- 精密空間計測: まずは座標系の定義と構築から
 - 精密な方眼紙や物差し、時計を作るようなもの
 - 遠方クエーサーの位置: 国際天球基準座標系
 - クエーサーの形が変わる..... ジェットの超光速現象
 - 空間の歪み(重力レンズなど).... 一般相対性理論
 - 地球上観測点の位置監視: 国際地球基準座標系
 - プレートテクトニクスによる大陸移動
 - 潮汐などによる短時間位置変化
 - 地球自転の軸と速度の計測
 - 天球座標軸向きの経年変化
 - 暦の決定

VLBIによる精密観測
の役割

宇宙測量を支える：高精度時空計測(1/2)

- 精密時間計測

- 厳密な1秒の刻み(誤差1億年で1秒) **水素メーザー一周波数標準**

- 正確かつ高速な受信電波のサンプリング

- 天然の精密時計：

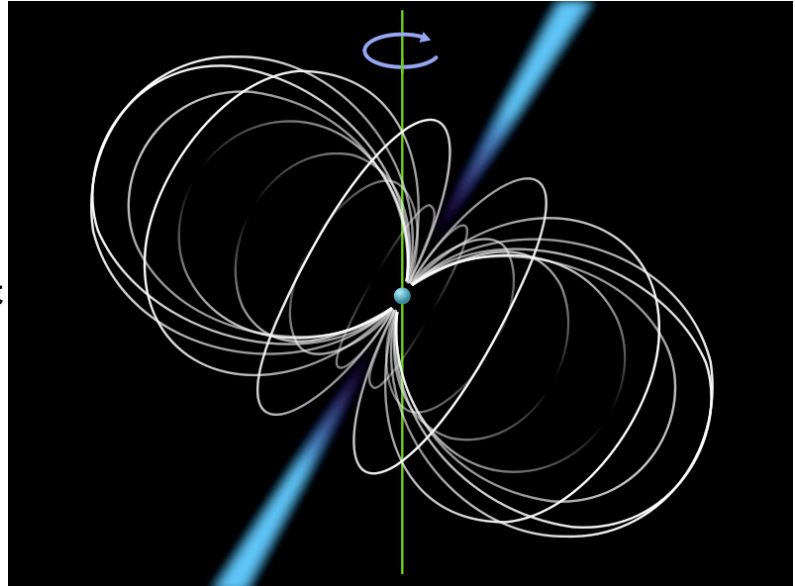
ウィキペディアより

パルサー

(中性子星)

- 誤差要因の研究

- 計測機器の熱膨張
- 大気による屈折
- 星間ゆらぎ
(シンチレーション)
- などなど...



人類と宇宙スケールの時空計測

- 精密時空計測の意義

- 人類が正確に認識できる空間の拡大
- 人類が安全に移動できる空間の拡大
- 人類が把握できる事象／現象の増加

- 精密時空計測が抱える課題

- 様々な誤差要因の予測／把握／補正
 - 一般相対性理論が絡む効果
 - 長期間(数年以上)にわたる調査と結果分析
- 国力(技術・文化・情報・財政)の集約
 - 関心を引く努力／活動の持続
 - 次世代の担い手の発掘と養成
 - 産業化

鹿児島からの新たなチャレンジ —世界が注目する仕事に如何に関わるのか—



Square Kilometer Array 計画へ向けて

宇宙・自然に関する重要課題への挑戦

- 宇宙最初の星(宇宙再電離の時代)
- 宇宙最初の銀河の形成・銀河の進化
- 惑星形成
- 一般相対性理論の検証: 超精密時空計測
- 地球外知的生命体探査(SETI)

予算2000億円の巨大プロジェクト

- 得られた知見は人類共通の財産
- 新しい産業や雇用機会・新しい技術
- 高度な教育の機会
- 活発になる海外交流 (留学・観光)

口径15m
パラボラアンテナ

VERA 20m
アンテナ

鹿児島から革新的な仕事を行う



鹿児島大学+日本全国の大学／研究機関

学生・研究者の学術交流

民間の観光／文化交流

新しい産業の開発・雇用創出

・ SKA
アンテナ
群の配置



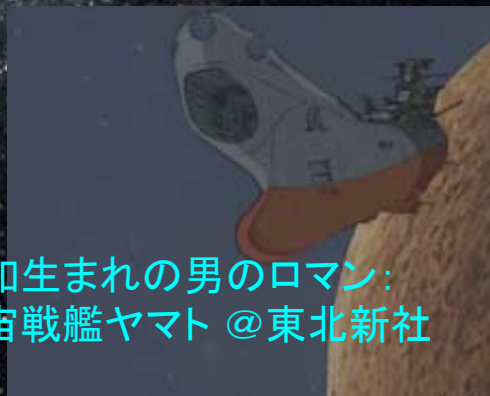
オーストラリアパース市
(鹿児島市の姉妹都市)
西オーストラリア大、など
来年10カ月滞在(予定)



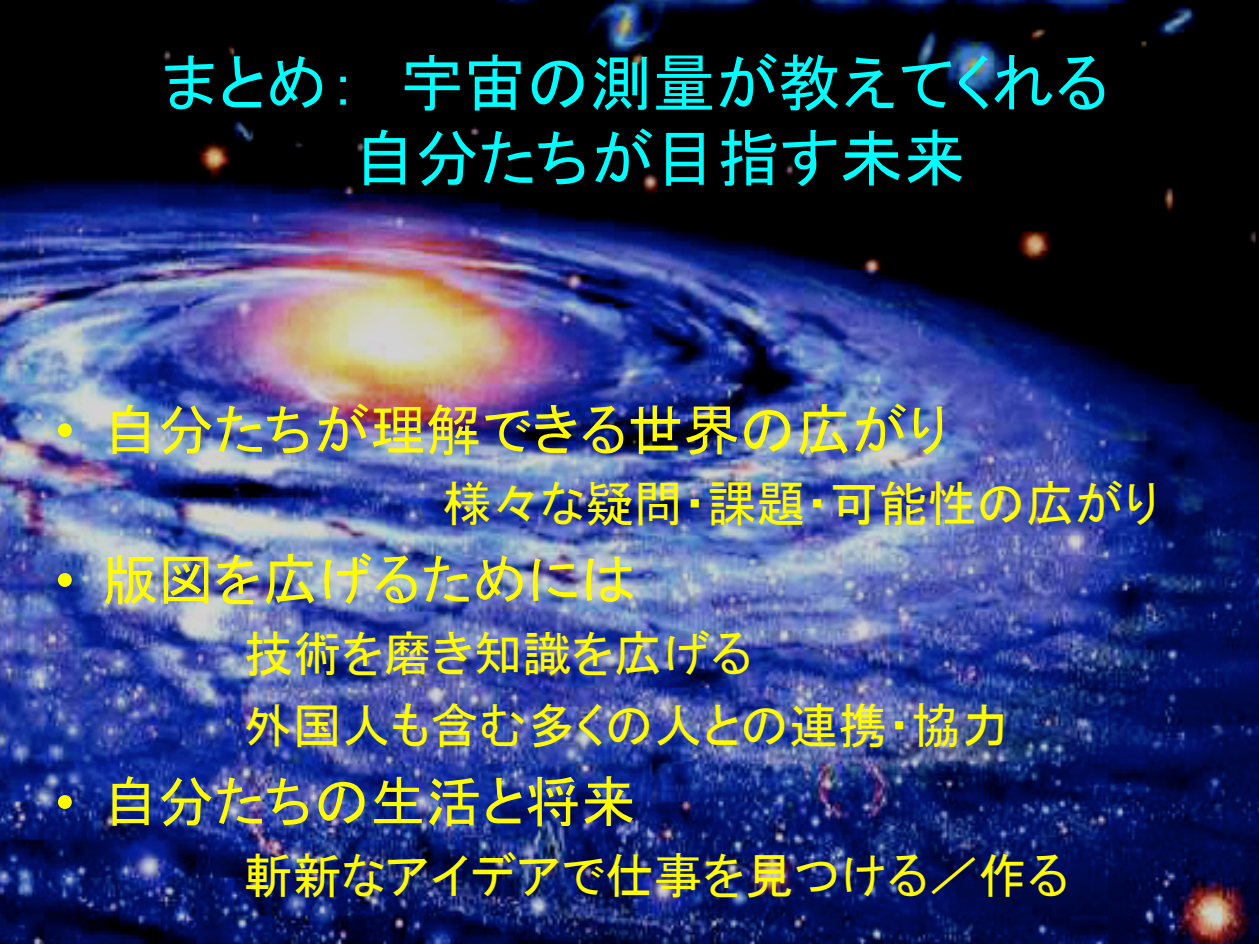
マゼラン雲の年周視差計測

大マゼラン雲

(およそ16万光年=視差20マイクロ秒角)



昭和生まれの男のロマン：
宇宙戦艦ヤマト @東北新社



まとめ： 宇宙の測量が教えてくれる 自分たちが目指す未来

- 自分たちが理解できる世界の広がり
様々な疑問・課題・可能性の広がり
- 版図を広げるためには
技術を磨き知識を広げる
外国人も含む多くの人との連携・協力
- 自分たちの生活と将来
斬新なアイデアで仕事を見つける／作る