

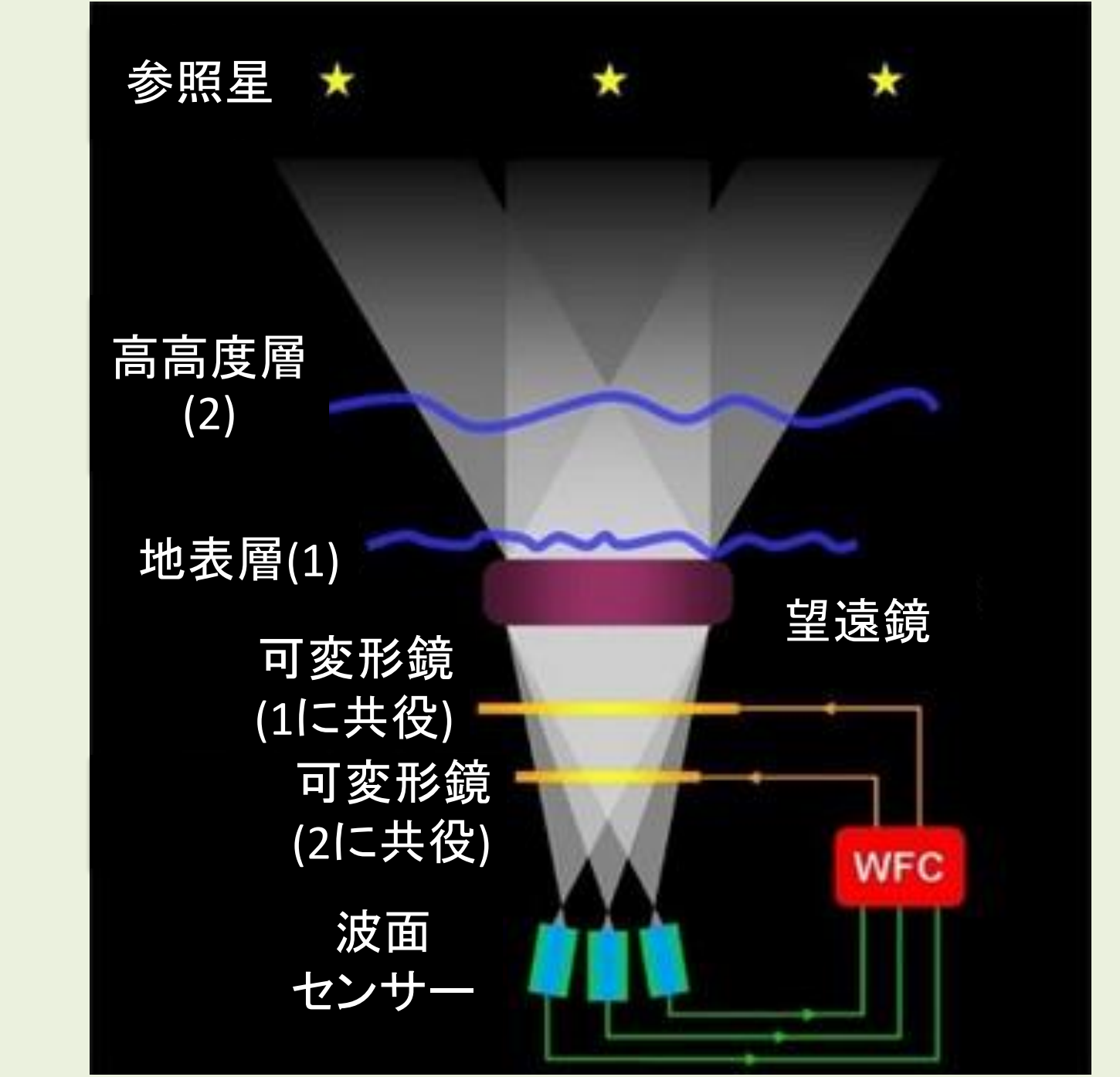
Abstract

北海道大学では、北海道名寄市に設置した北大1.6mピリカ望遠鏡に搭載するための太陽系惑星観測用大気ゆらぎ補償光学系を開発している。本補償光学系では、木星サイズ程度の視野(約50秒角)で可視光で約0.4秒角の分解能の達成をするために、多層共役補償光学系(MCAO)の構成を検討している。MCAOの可変形鏡の最適な共役高度を決定するために、2013年9月からMASS-DIMMを用いて天文台上空の大気擾乱高度プロファイルの測定を行ってきた。2014年10月までの約1年間の測定結果から、名寄のシーイングは中央値で2.01秒角であり、全大気揺らぎの51%が地表層に、17%が高度0.5kmに、15%が高度2kmに、残り15%が高度4–16kmに存在していることが明らかになった。半分以上が地表層に集中しており、他サイトと似た結果が得られた。更に自由大気揺らぎ以外のAOで補正すべき波面誤差の大きさを見積もるために、ピリカ望遠鏡の可視スペクトル撮像装置MSIとMASS-DIMMでシーイングの同時測定を行い、ドーム及び望遠鏡シーイングの見積もりを行った。その結果、ドーム内外の温度差を ΔT_d 、ミラーとドーム内の温度差を ΔT_m とすると、ドーム及び望遠鏡シーイングはそれぞれ $0.24\Delta T_d^{1.2}$ 、 $0.43\Delta T_m^{1.2}$ 秒角であることが明らかになった。

1. Introduction

北海道大学では、北海道名寄市に設置した北大1.6mピリカ望遠鏡に搭載するための、**惑星観測用大気揺らぎ補償光学系**の開発を行っている。性能は、木星の視直径サイズの視野(**約50"**)で、 $0.5\mu\text{m}$ より長波長側で**約0.4"**の分解能を達成を目標としている。

本補償光学系では多層共役補償光学系(MCAO)の構成を検討しており、補正視野の拡大を試みる。MCAOは、複数の波面センサーで大気揺らぎの3次元推定を行い、特定の高度に共役な複数の可変形鏡で補正する。従ってMCAOの構成を検討するためには、サイトの高度ごとの大気揺らぎの統計情報が必要となる。

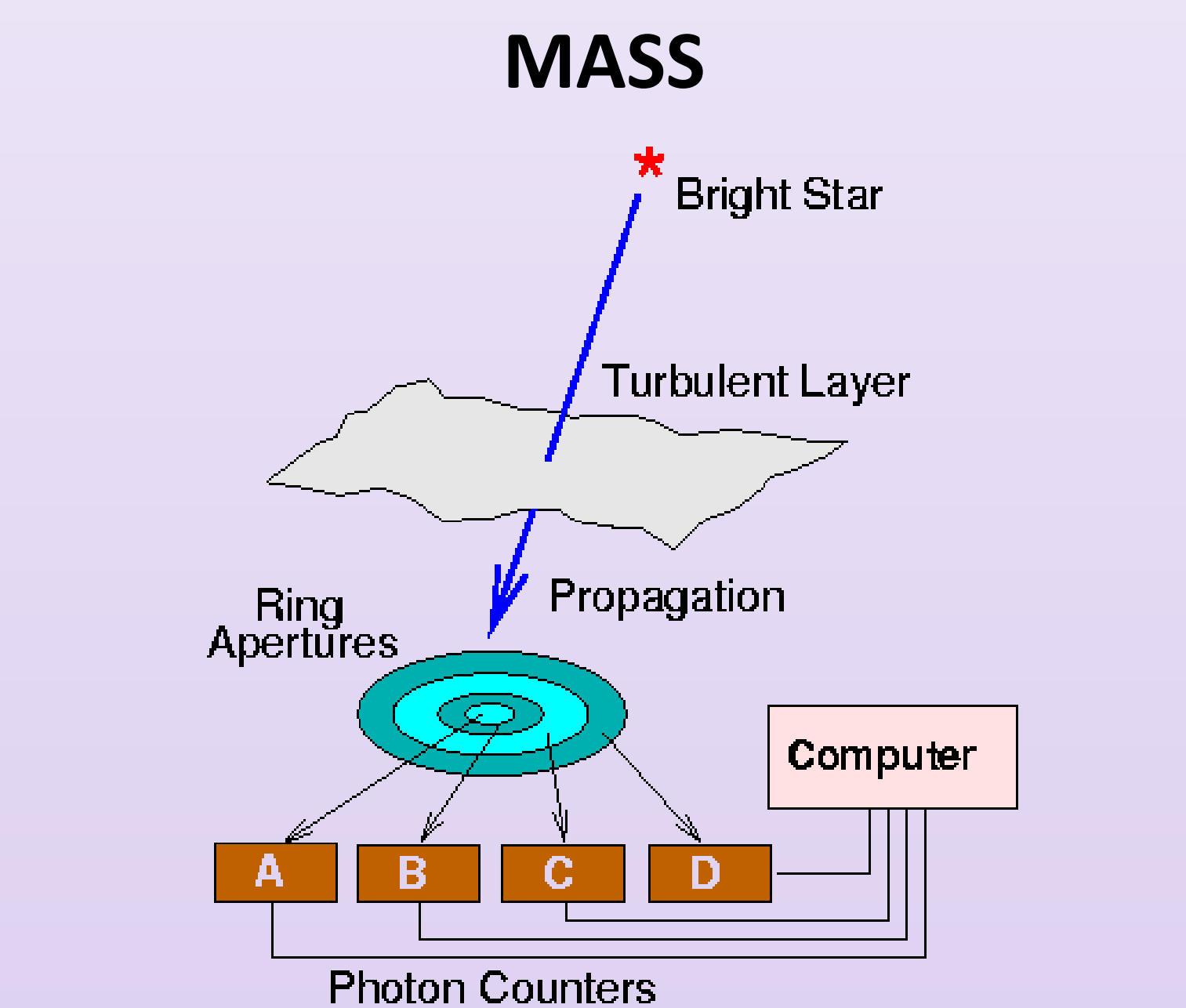


<本研究の目的>

本研究では、MASS-DIMM(Multi-Aperture Scintillation Sensor and Differential Image Motion Monitor)を使用して、天文台上空の大気擾乱高度プロファイルの測定を行った。またピリカ望遠鏡の可視スペクトル撮像装置MSIとMASS-DIMMでシーイングの同時測定を行い、ドーム及び望遠鏡シーイングの見積もりを行った。

2. Instrument

MASS-DIMMは、地表層を含む7つの高度(0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16km)の大気揺らぎの強さ(C_n^2)を測定する装置であり、MASSとDIMMの2つの装置で構成される。



シンチレーションの空間スケールは、伝搬距離によって変化する。よって恒星のシンチレーションをサイズの異なる複数のアパーチャーで測定することで、高度ごとの C_n^2 を求める。ただし伝播距離がほぼ0である地表層(GL)の大気揺らぎは測定できない。

C_n^2 を高度方向に積分した乱流積分Jは、シーイングの5/3乗に比例する(式1)。DIMMで得られるシーイングは大気擾乱の全高度に渡る積分値に相当し、MASSで得られた乱流積分を減算することで、MASSでは測定できないGLの大気揺らぎの大きさを求めることが可能である(式2)。

$$J = \int C_n^2(z) dz \propto \epsilon^{5/3} \quad \cdots(式1) \quad \epsilon \dots \text{シーイング}, z \dots \text{高度}$$
$$J_{GL} = J_{DIMM} - J_{MASS} \quad \cdots(式2)$$

測定では、小口径(25-30cm)のカセグレン式望遠鏡を使う。また参照星は**明るい恒星(>2mag)**である。

本測定に使用したMASS-DIMM装置は、国立天文台がCerro Tololo天文台に依頼して製作したものを借用した。また測定に使用した望遠鏡は、名寄市からCelestron C11を借用した。

図2.1 MASS-DIMMの外観

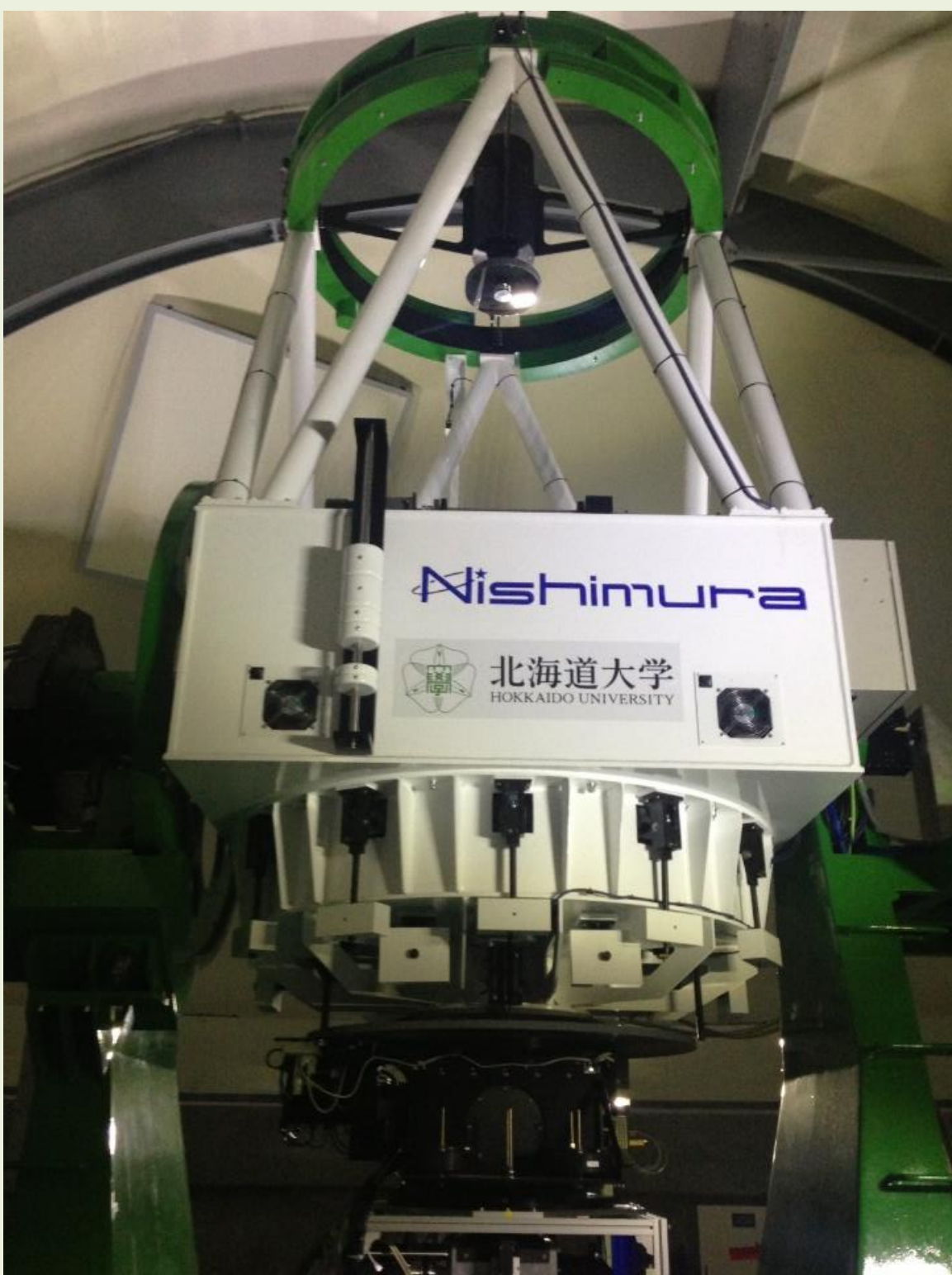
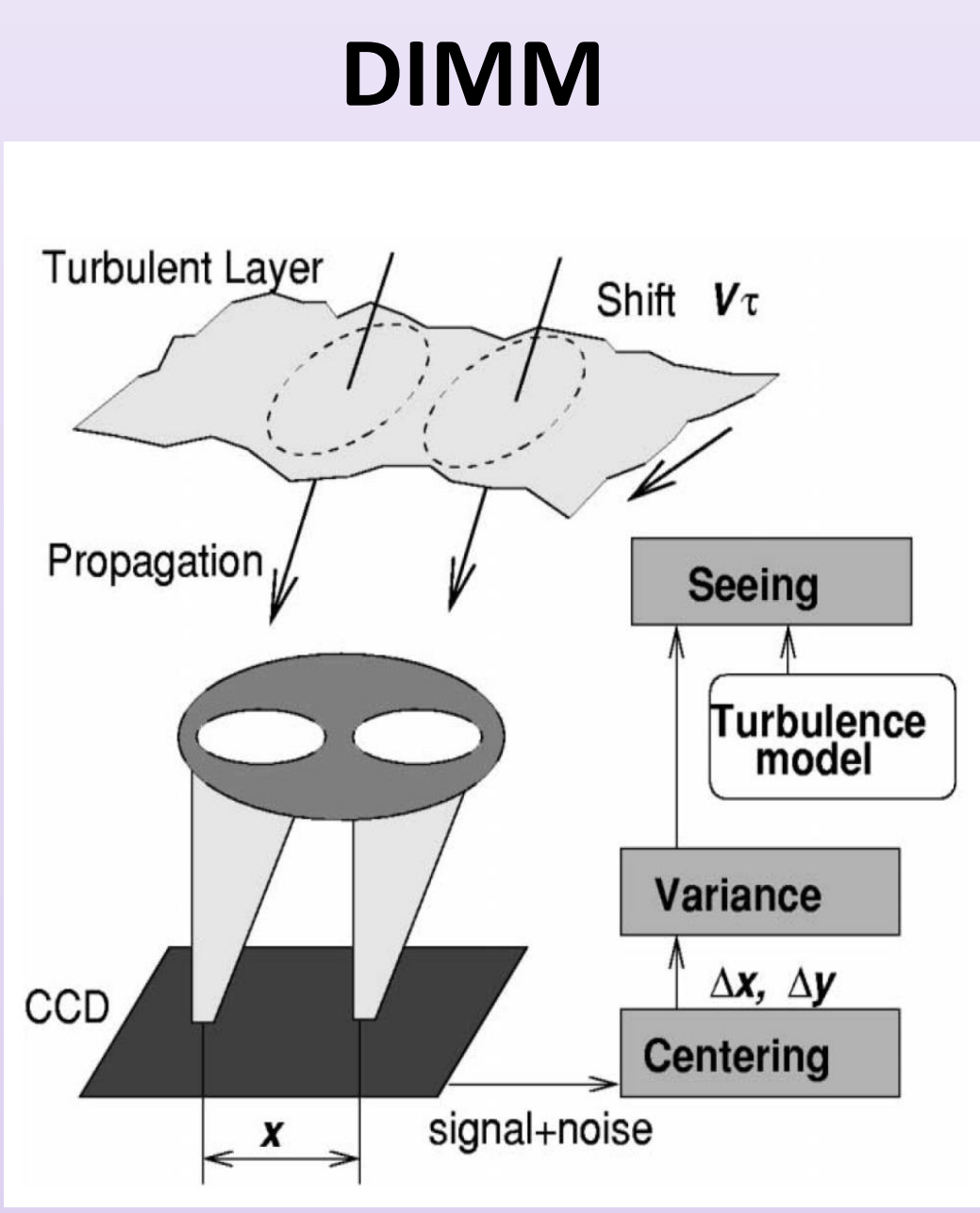


図1.2 1.6 mピリカ望遠鏡

北海道大学・大学院理学研究院・附属天文台
東経 +142:28:58.0, 北緯 +44:22:25.1,
標高 161m

[A.Tokovinin, 2002]

1つの星を2つの離れた開口を通して観測した時の2つの星像の相対的な重心揺らぎから、シーイング(FWHM)を測定する。



3. Results

大気擾乱高度プロファイル

2013年9月から2014年10月の観測で**計45日**のデータを取得した。これらの測定データから、名寄の平均的な大気擾乱高度プロファイルを求めた。

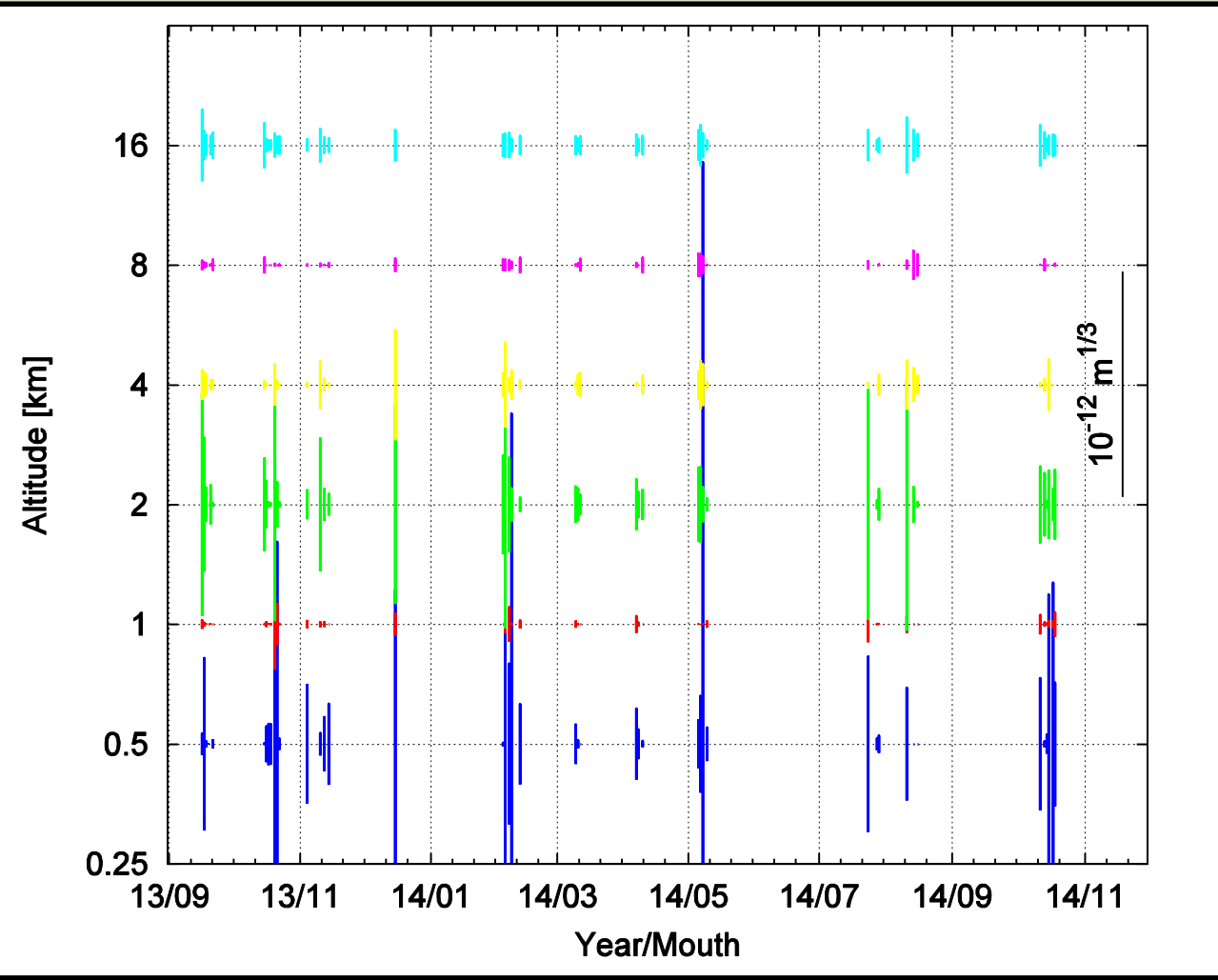


図3.1 日毎の大気プロファイルの変動

図3.1は、日毎で各高度ごとの C_n^2 の中央値をプロットした。

DIMM	median=2.01"±0.76"
MASS	median=1.12"±0.74"
GL	median=1.34"±0.53"

表3.1 全測定日のシーイングの中央値

乱流強度の積分値である J_{DIMM} と J_{GL} の比から、全大気揺らぎ中のGLの大気揺らぎの割合がわかる。表3.1の値を使用する。

$J_{GL}/J_{DIMM} \sim 0.51$

そして図3.1で表されている各高度の C_n^2 の中央値から、高度ごとの比率を求める。

高度	大気揺らぎの比率[%]
16km	8.4
8km	1.6
4km	5.3
2km	14.9
1km	2.5
0.5km	16.8
GL	50.6
GL – 16km	100

表3.2 高度ごとの大気揺らぎの比率
(16kmより上空は大気揺らぎがないと仮定)

ドーム・望遠鏡シーイング

ドーム内とドーム外の温度差を ΔT_d 、望遠鏡ミラーとドーム内の温度差を ΔT_m とすると、望遠鏡で測定されるシーイングは以下のように表される。 $(\epsilon_0$ はナチュラルシーイング、 ϵ_{abe} は望遠鏡収差成分、 α_d と α_m は係数[秒角/ $^{\circ}\text{C}^{1.2}$])

$\epsilon^{5/3} = \epsilon_0^{5/3} + (\alpha_d \Delta T_d^{1.2})^{5/3} + (\alpha_m \Delta T_m^{1.2})^{5/3} + \epsilon_{abe}^{5/3} \quad \cdots(式3)$

$\alpha_d \Delta T_d^{1.2}$ はドームシーイング、 $\alpha_m \Delta T_m^{1.2}$ は望遠鏡シーイングである。 ϵ_0 はMASS-DIMMで測定することができるので、ピリカ望遠鏡のMSIで ϵ を測定して α_d と α_m を求めた。

2014年5月と10月に同時測定を行った。測定対象はMASS-DIMMと同じ対象を使用した。またMASS-DIMMで使用しているCCD(Prosilica GE-680)の感度中心波長は約500nmなので、フィルターはMSIの液晶波長可変フィルター(LCTF)を500nm波長に改変した。(バンド幅は約10nm)

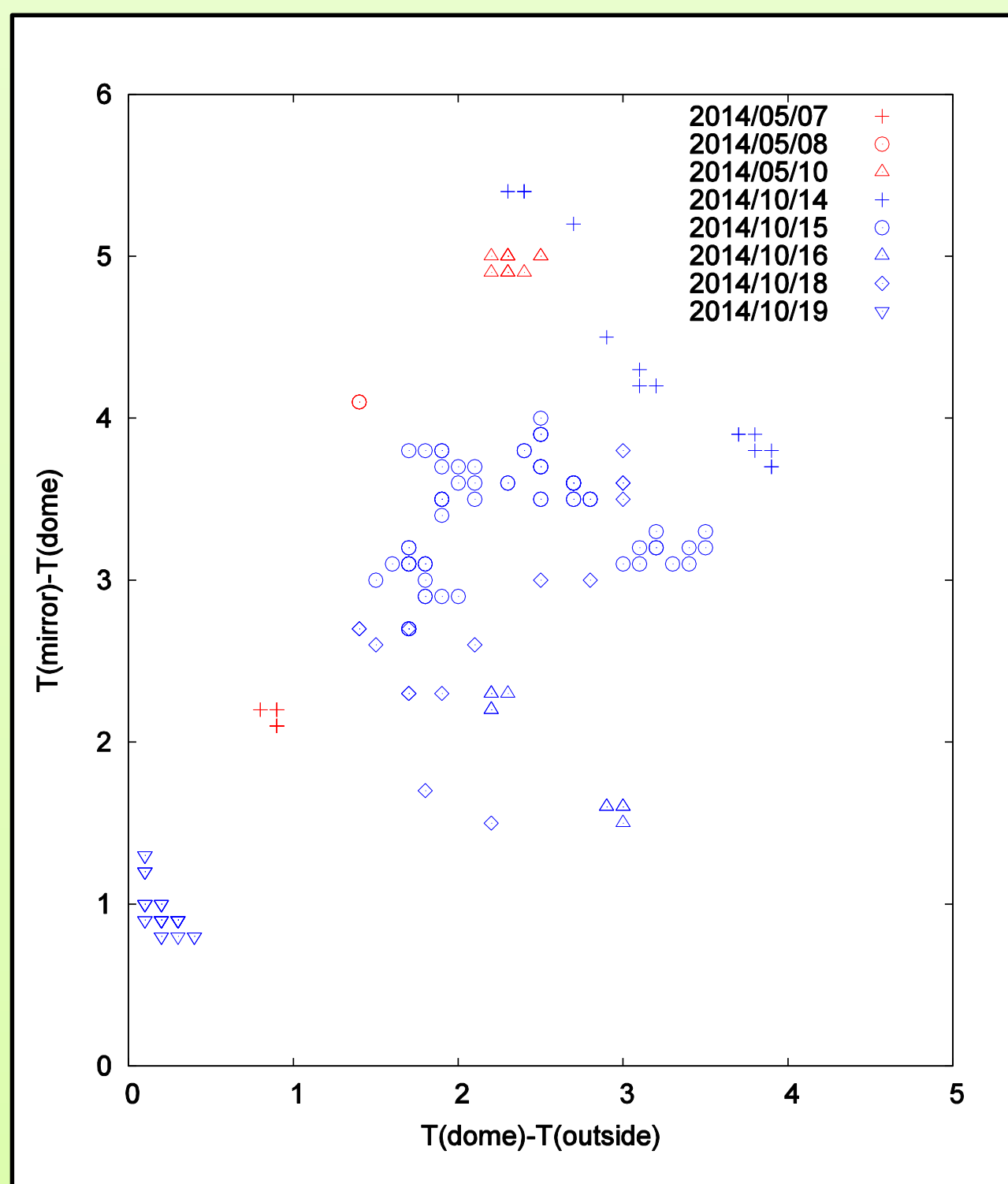
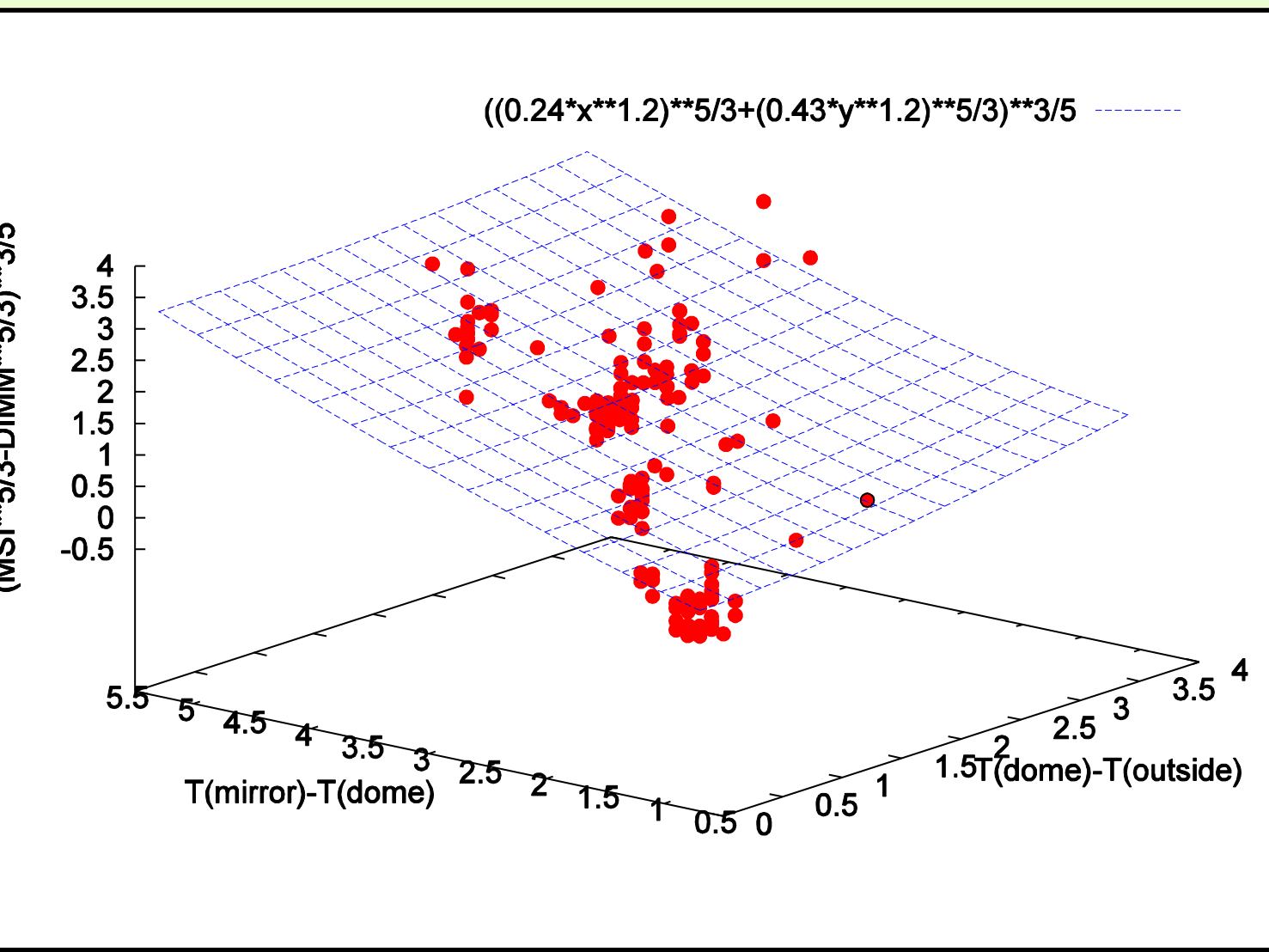


図3.3 測定時の温度分布
(横軸...ドーム内外の温度差 縦軸...ミラーとドームの温度差)

IRAFのimexamタスクでFWHMを調べた。

α_d と α_m を、3次元フィッティングを使用して求めた。この時、 ϵ_{abe} は0と仮定している。



よってピリカ望遠鏡のドーム及び望遠鏡シーイングは以下のように見積もられた。

$\epsilon_d = (0.24 \pm 0.06) \Delta T_d^{1.2}$ [秒角]
 $\epsilon_m = (0.43 \pm 0.02) \Delta T_m^{1.2}$ [秒角]

4. Conclusions & Future Work

MASS-DIMMを使用して、名寄の1年間の平均的な大気プロファイルを測定することができた。その結果全大気揺らぎの51%がGLに、17%が高度0.5kmに、15%が高度2kmに、残り15%が高度4–16kmに存在していることが明らかになった。またピリカ望遠鏡のドームシーイングと望遠鏡シーイングは、それぞれ $0.24\Delta T_d^{1.2}$ 、 $0.43\Delta T_m^{1.2}$ 秒角であることが明らかになった。

今後は今回得られた大気プロファイルを使い、可変形鏡の共役高度を決定する。またシャックハルトマン波面センサーで望遠鏡の収差成分・デフォーカス成分・トラッキングエラーを調べて、可変形鏡に必要なストローク量を見積もる。

< Reference >

• Kornilov, V., A. Tokovinin, N. Shatsky, O. Voziakova, S. Potanin, B. Safonov, "Combined MASS-DIMM instruments for atmospheric turbulence studies," MNRAS, 382, 1268-1278, 2007
• Tokovinin, A., "Differential Image Motion to Seeing," PASP, 114, 1156-1166, 2002
• Sarazin, M., F. Roddier, "The ESO differential image motion monitor," Astronomy and Astrophysic, 227, 294-300, 1990
• Davies, R., M. Kasper, "Adaptive Optics for Astronomy," 2012
• Racine, R., D. Salmon, D. Cowley, J. Sovka, "Mirror, Dome, and Natural Seeing at CFHT," PASP, 103, 1020-1032, 1991

