

MASS-DIMMによる名寄の大気擾乱高度プロファイルの測定

合田周平; 渡辺誠; 仲本純平[1]; 大屋真[2]; 渡部重十[1]

[1] 北海道大学; [2] 国立天文台

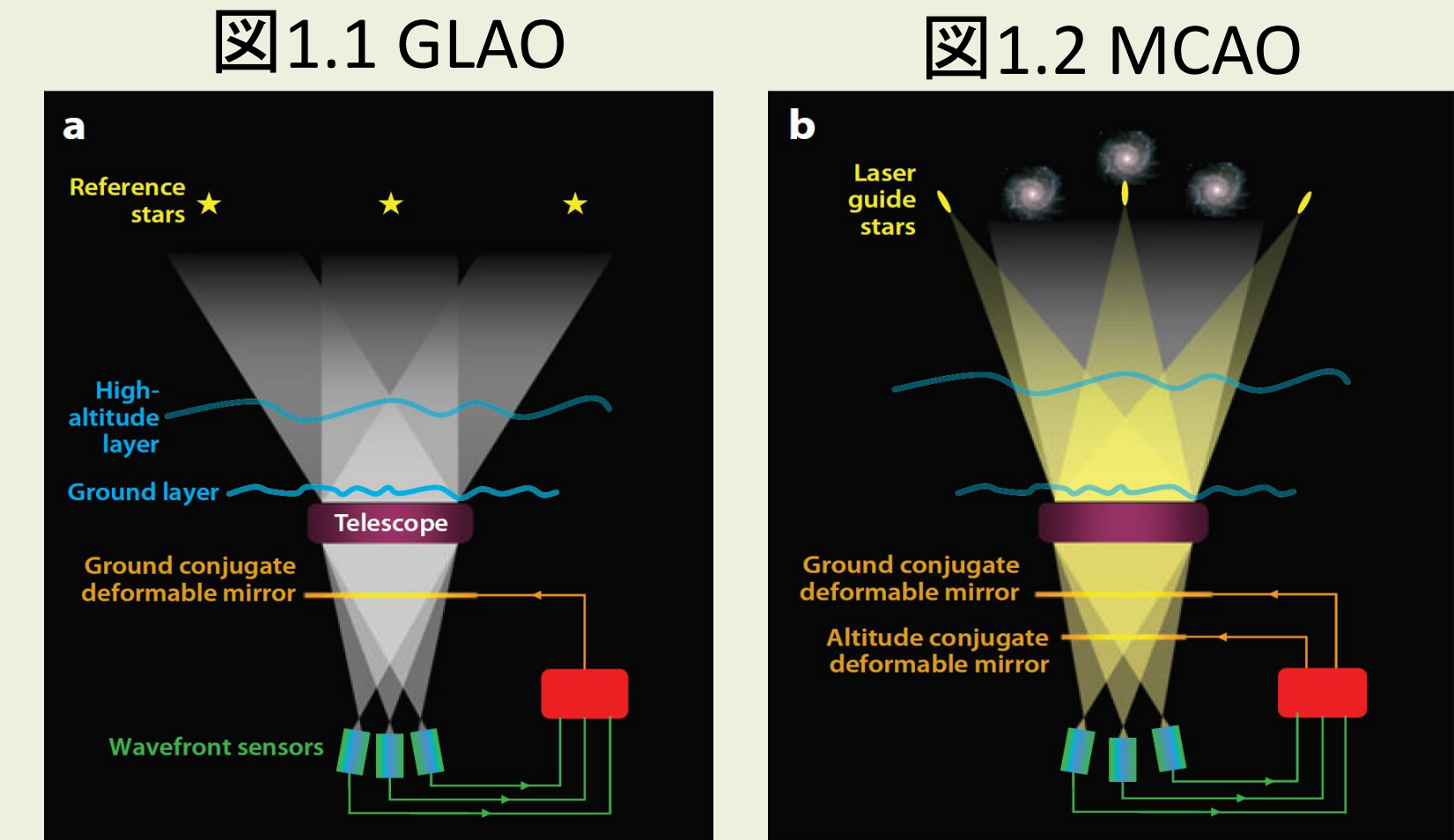
Abstract

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、補正視野を広げることのできるMCAOもしくはGLAOの構成を検討している。その検討・設計には大気擾乱高度プロファイルの情報が必要であり、そのため本研究では、MASS-DIMM(Multi-Aperture Scintillation Sensor with Differential Image Motion Monitor; Kornilov et al. 2007)による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いる。MASSは、サイズの異なる複数の開口を用いて1つの星のシンチレーションを測定することで、地表面付近を除く高度0.5km-16kmの大気擾乱高度プロファイルを得る。またDIMMは、1つの星を2つの離れた開口を通して観測したときの2つの星像の相対的な重心揺らぎから大気擾乱の大きさ(シーイング)を測定する。MASS-DIMMはこの2つの装置から構成されており、1つの明るい恒星光で同時測定を行う。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、これからMASSで得られた大気擾乱の大きさを減算することで、地表面から16km上空までの高度ごとの大気擾乱の大きさを求めることが可能である。MASS-DIMM装置本体は国立天文台がCerro Tololo天文台に依頼して製作したものを借用した。測定は2013年9月から2014年2月にかけてほぼ1か月おきに行い、夜毎の大気擾乱高度プロファイルとその時間変化を測定した。その結果9月から2月までの平均的な大気プロファイルは、地表面付近で52%、高度0.5kmで17%、高度2kmで16%の寄与が明らかになった。

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、0.5μm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。名寄の典型的なシーイングは**約1.8"**であり、十分な解像度の向上が見込まれる。

従来の補償光学系は、補正視野サイズが惑星視直径よりも十分に小さい問題がある。そこで本補償光学系では、広視野な補償光学系システムである**MCAO**(多層共役補償光学系)、もしくは**GLAO**(地表層補償光学系)の構成を検討している。補償光学系の性能の見積もりのためには、大気揺らぎの有効高度を知る必要がある。



[Richard and Markus, 2007]

GLAOは大気揺らぎの大部分が集中しているGL(Glound Layer)の大気揺らぎのみを補正し、MCAOは複数の高度の大気揺らぎを補正する。

<本研究の目的>

特定の高度の乱流強度(大気揺らぎの強さ)は **C_n^2** (屈折率構造定数)で表される。高度ごとで **C_n^2** の値は異なり、季節、月、更には分単位で値が変化するので、補償光学系システムの性能の検討のためには、天文台の高度ごとの大気揺らぎの統計値が必要になる。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モニタリング観測を行う。

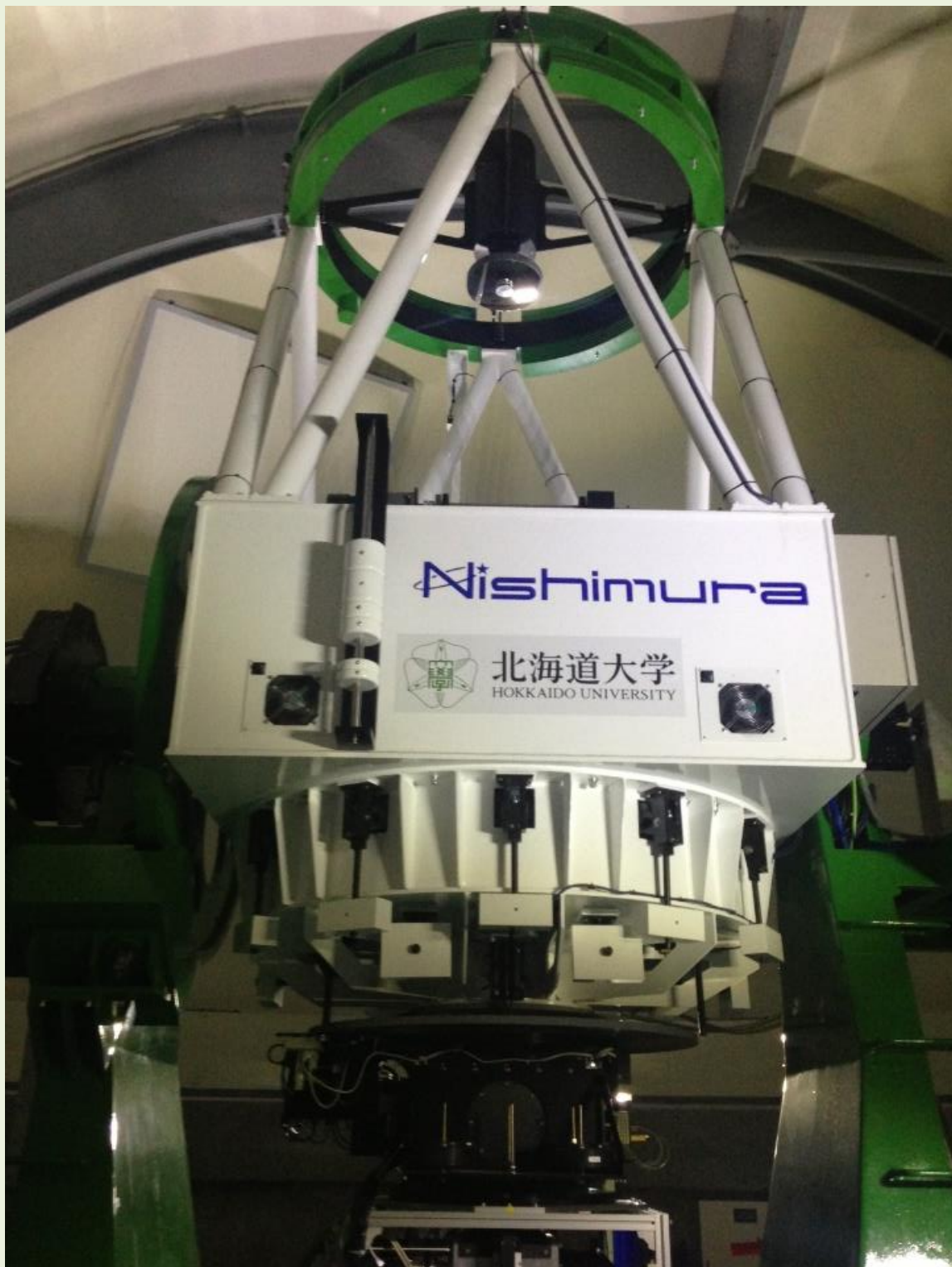
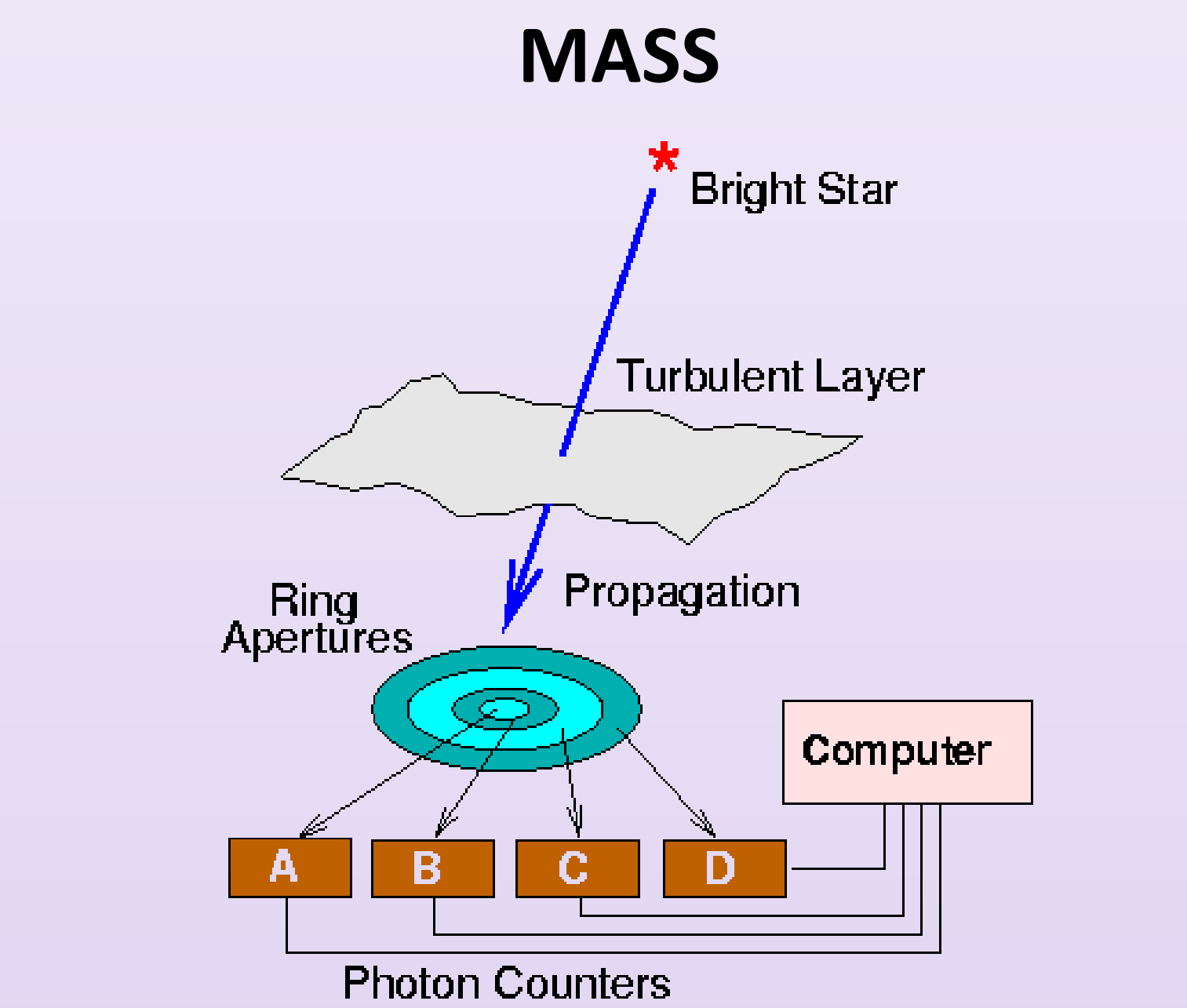


図1.3 1.6 mピリカ望遠鏡

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

2. Instrument



<http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/profiler/index.html>

サイズの異なる複数のアパーチャーで1つの明るい恒星のシンチレーションを測定して、特定の高度の **C_n^2** を求める。大気揺らぎの高度が低いほど、地表面でのシンチレーションの空間スケールが小さくなるので、低い高度の揺らぎ(**GL:Glound Layer**)には感度が無い。

DIMMで得られるシーイングは大気擾乱の全ての高度に渡る積分値(式1)に相当し、MASSで得られた大気擾乱の大きさを減算することで、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)。多くのサイトでは、全大気揺らぎの半分がGLに集中しているので、GLの大気揺らぎは補償光学系の性能の見積もりに必要な大気パラメータである。

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

MASS-DIMM

MASSデータとDIMMデータを高い精度で減算するために、同じ光路を使う必要があるので、MASSとDIMMの装置を1つの装置に合体する。小口径(25-30cm)のカセグレン式望遠鏡を使う。参照星は明るい恒星(>2mag)である。MASSでは、6つの高度の層の **C_n^2** を測定する。

→0.5km,1km ,2km ,4km ,8km ,16km

本測定に使用したMASS-DIMM装置本体は、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。

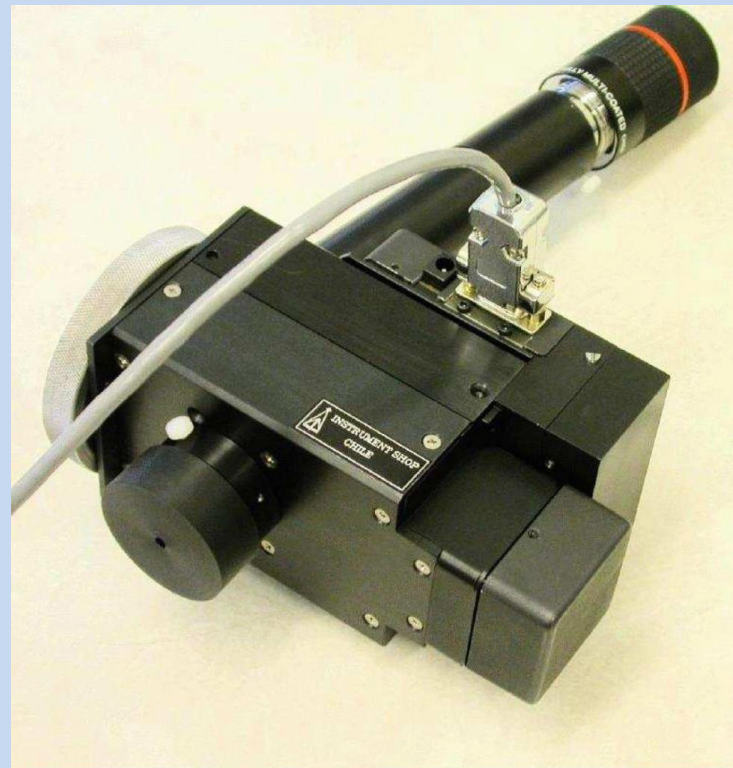


図2.1 MASS-DIMMの外観

3. Observation data

2013年09月から2014年02月にかけて、ほぼ1ヶ月おきに約10日間の測定を行った。

測定期間	測定成功日	全成功日
09/13 - 09/22	17, 18, 19, 20, 21, 22	6日
10/15 - 10/25	16, 17, 18, 19, 21, 22, 23	7日
11/05 - 11/15	05, 11, 13, 15	4日
12/09 - 12/17	16	1日
02/03 - 02/12	04, 05, 07, 08, 12	5日

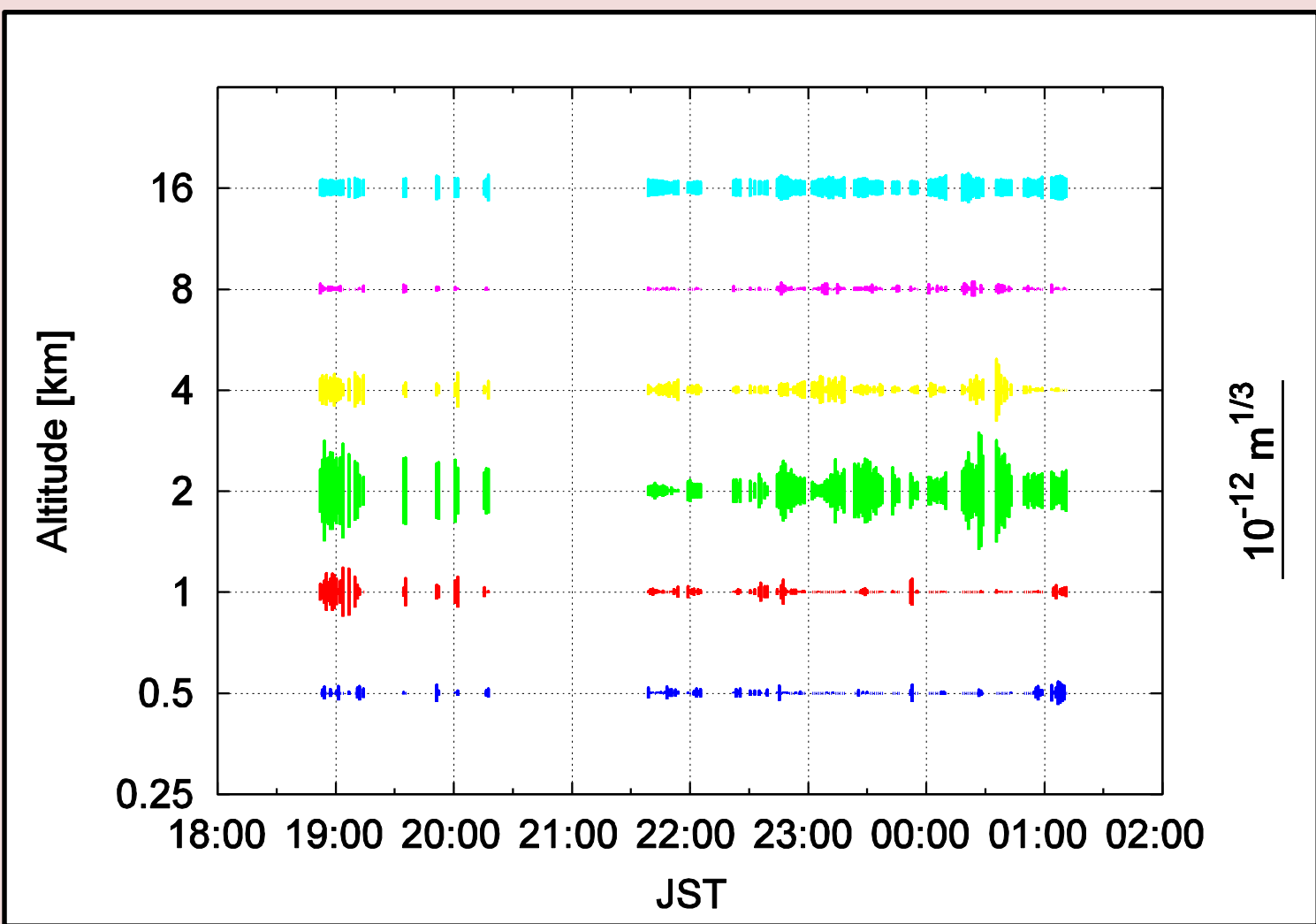


図3.1 09/21の大気擾乱高度プロファイル

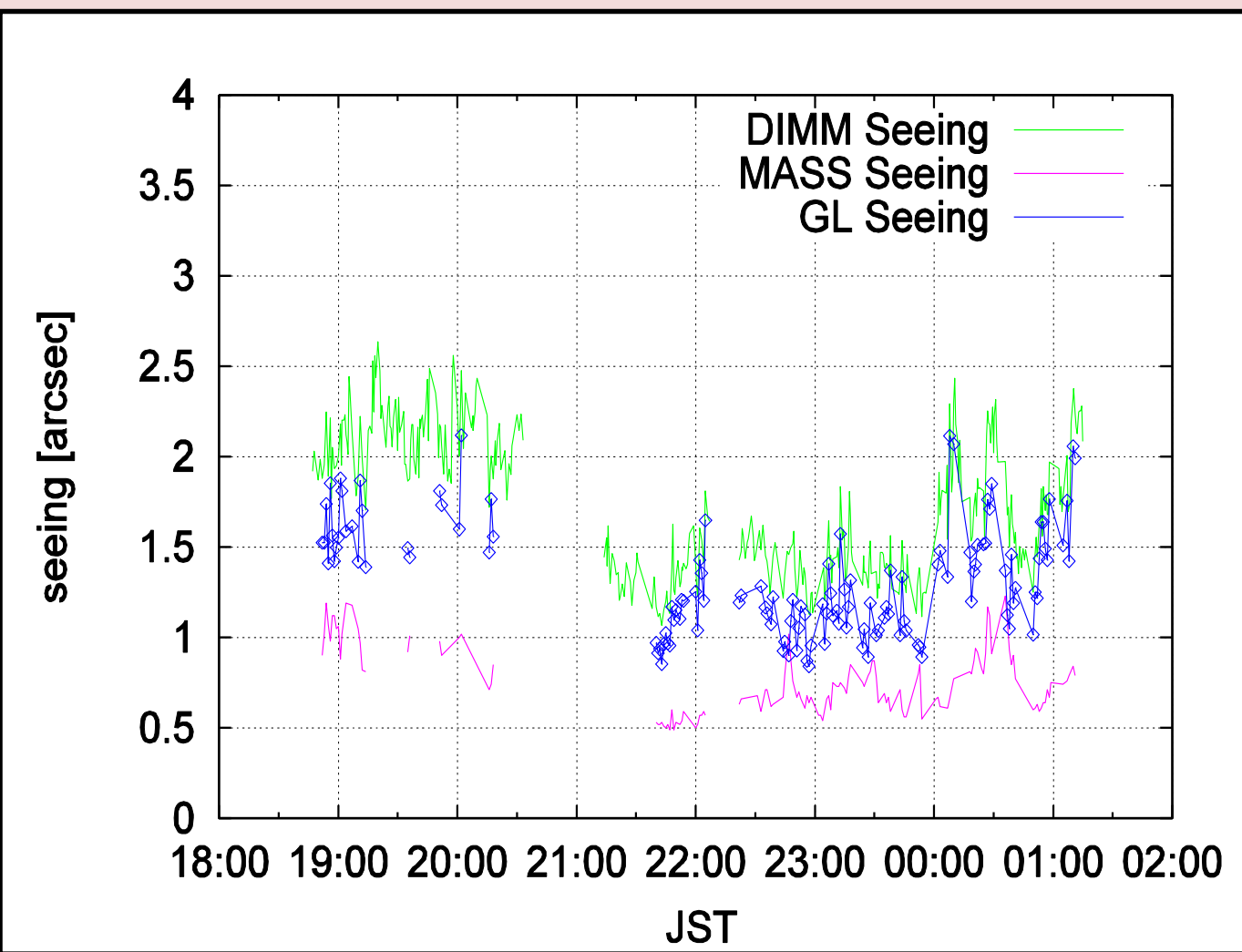


図3.2 09/21のシーイングの時間変動

4. Results

09月から02月の観測で**計23日**のデータを取得した。これらの測定データから、09月から02月の平均的な高度プロファイルを求めた。

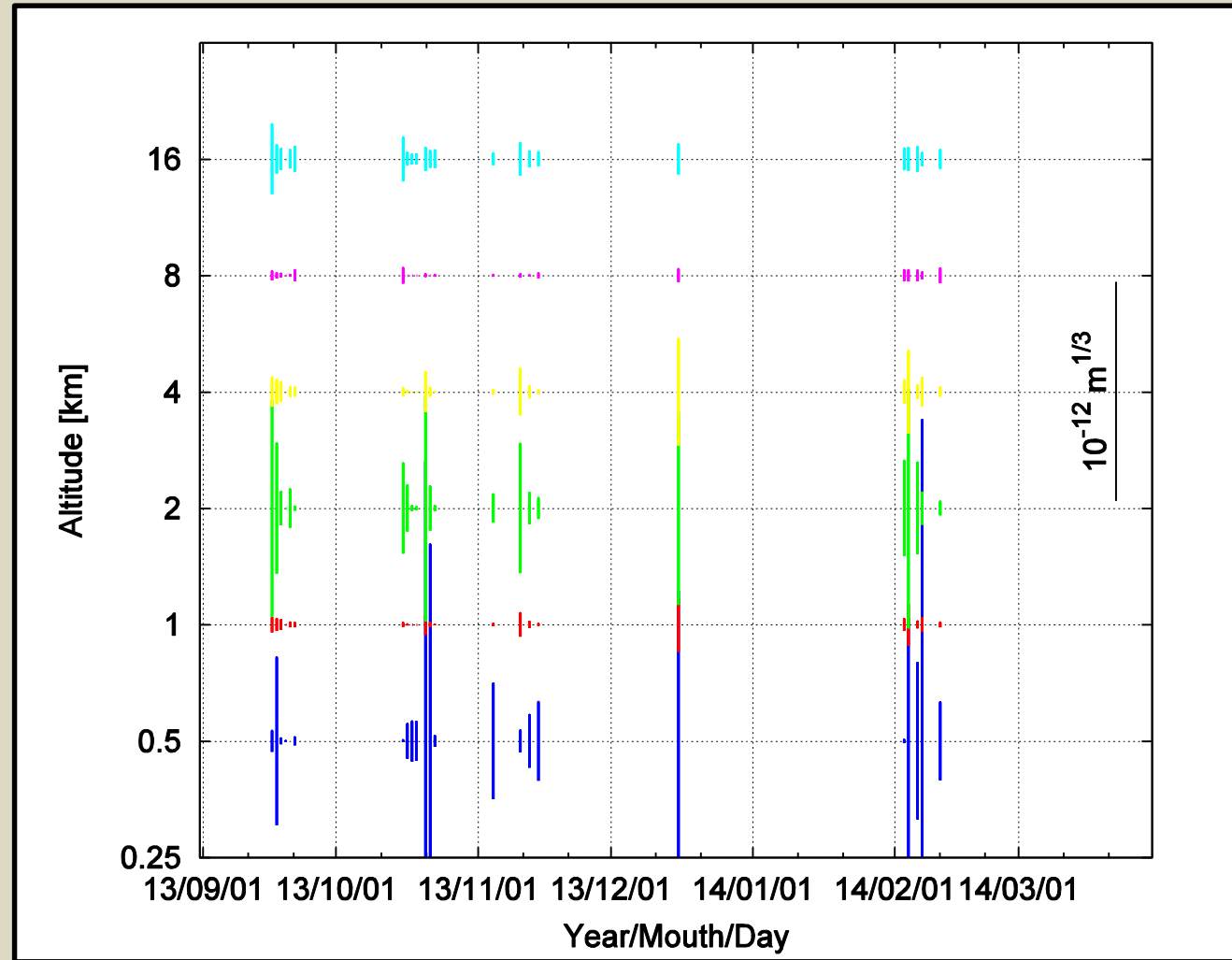


図4.1 日毎の大気プロファイルの変動

図4.1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=2.13"
MASS	median=1.13"
GL	median=1.40"

表4.1 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4.1の値を使用する。

$$J_{GL}/J_{DIMM} \sim 0.52$$

そして図4.1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	0.08
8km	0.01
4km	0.04
2km	0.16
1km	0.02
0.5km	0.17
GL	0.52
GL – 16km	1

表4.2 09月から02月までの平均的な、高度ごとの大気揺らぎの比率

GL大気揺らぎの寄与の時間変動

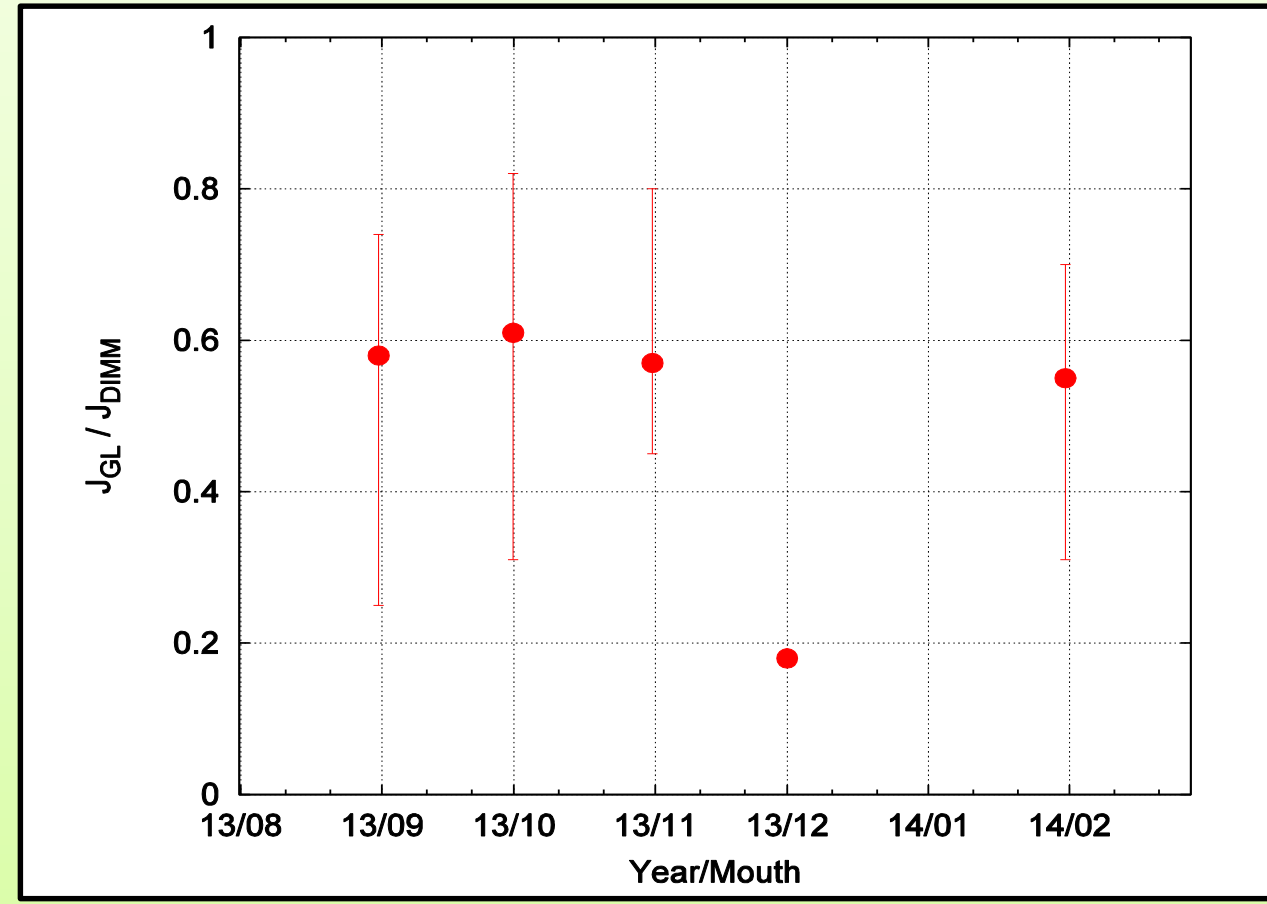


図4.2 月毎のGL大気揺らぎの時間変動

月毎で全大気揺らぎに対するGLの寄与が大きく変動していることが、図4.2から分かる。09月から02月の平均的なGL大気揺らぎは52%という結果だったが、GLだけの補正では、ほとんどシーイングが改善されない日もあることがわかった。

5. Conclusions & Future Work

MASS-DIMM機器を使用して、名寄の09月から02月の平均的な乱流プロファイルを測定することができた。その結果乱流プロファイルは、GLで52%、高度0.5kmで17%、高度2kmで16%の寄与があることが明らかになった。このことから、GLの補正のみでシーイング2.1"を1.1"まで改善することが期待できる。しかし月毎のGLの寄与が大きく変動しており、GLだけの補正では、ほとんどシーイングが改善されない日もあった。今後もモニタリング観測を続けていき、最終的には今回の測定データを含めた1年分のデータから、名寄の典型的な大気擾乱高度プロファイルを求める。そして得られた情報を使い、GLAO、MCAOの性能の見積もりに着手する。

< Reference >

- Kornilov, V., A. Tokovinin, N. Shatsky, O. Vozziakova, 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 Astrophysics, 227, 294-300, 1990
- Davies, R., M. Kasper, "Adaptive Optics for Astronomy," 2012
- Robert, K., "Introduction to adaptive optics," 2000