

NANTEN2 100GHz 帯マルチビーム受信機の光学系設計

加藤 千晴 (名古屋大学大学院 理学研究科)

Abstract

我々は、4m ミリ波・サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を用いた超広域分子雲サーベイ (NASCO: NAnten2 Super CO survey) を計画している。NASCO 実現のためには 4 ビーム同時受信を可能とする受信機が必要である。これに対応するため、ピラミッド型ミラーを用いてビームを 4 つに分離する光学系モデルが考案された。そこでこの光学系のシミュレーション評価を行ったところ、望遠鏡の仰角が 50 度以下になると一部鏡面でエッジレベルが -6dB となり、開口能率が 50% 代に低下することが判明した。ピラミッド鏡モデルは、既存の受信機室の空間的制約を考慮し設計されており、複数並ぶビームの間隔が広がってしまったことが原因である。問題解決のため、ビーム間隔をよりコンパクトにできるよう冷却ミラーを採用した新たな光学系を考えている。

1 Introduction

我々は南米チリ・アタカマ高地に設置している 4m ミリ波・サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を用いて、一酸化炭素の回転遷移輝線 ^{12}CO 、 $^{13}\text{CO}(J=1-0, J=2-1)$ の観測を行っている。空間分解能はそれぞれ 2.6 分角と 1.3 分角に相当し、さまざまな領域の分子雲データを取得することにより星間現象の解明が進められている。さらに、全天の 70% を観測し広大な分子雲マップを作成するという、超広域分子雲サーベイ (NASCO: NAnten2 Super CO survey) を計画している。分子雲マップを作成することで、他望遠鏡・他波長観測による全天データとの比較が可能となり、さらなる解析に貢献できると期待されている。

現在 NANTEN2 ではシングルビーム観測を行っているが、小口径の NANTEN2 でマルチビーム観測が可能になれば、さらに効率よく広範囲を観測することができるようになる。加えて多遷移輝線を観測することで分子雲の温度や密度を見積もることができるため、115GHz 帯 (^{12}CO 、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線) を 3 ビーム以上、230GHz 帯 (^{12}CO 、 $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線) を 1 ビーム以上同時に受信することを目標としたマルチビーム受信機の開発が進められている。これに対応するため、ビームをピラミッド型ミラーでビームを 4 つに分離する光学系モデルが設計された。本発表ではピラミッド鏡モデルの評価結果について報告する。

2 Design

光学系への要求は次の通りである。100GHz 帯 3 ビームと 200GHz 帯 1 ビームの計 4 ビームの光学系とし、すべてのビームにおいて開口能率 65% 以上、エッジレベル -30dB を達成することを目標とする。また、NANTEN2 にはケルン大学が運用する SMART 受信機も搭載されており、主鏡と副鏡を共通で使用しているためこの 2 つは変更しない。第 4 鏡で名古屋受信機と SMART 受信機の切り替えを行っているため、この配置も変更することはしない。

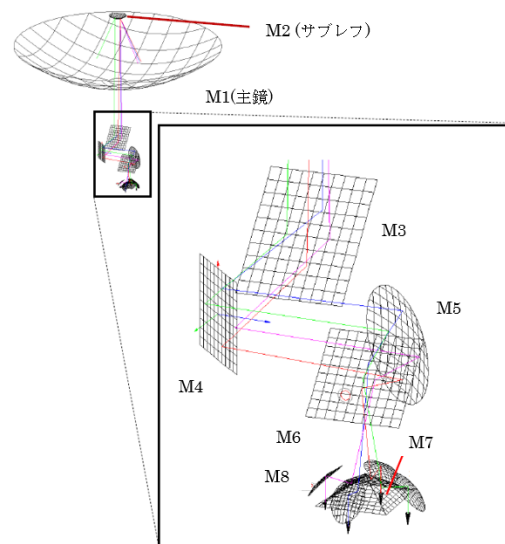


図 1: ピラミッド鏡モデルの概観

これらを満たす光学系として、ピラミッド型ミラーを採用した光学系モデルが設計された。(図 1)。物理光学シミュレーションソフト GRASP を用いて光学系の性能を確認したところ、100GHz 帯ビームは開口能率 65%、200GHz 帯ビームは 58% となった。200GHz 帯は対応する M7(ピラミッドの一側面に当たる)の角度を変えることで光軸に寄せることができ、単独観測時には開口能率 68%にまで上げることができるとされた。またこのときのアンテナビームパターンを図 2、図 3 に示す。

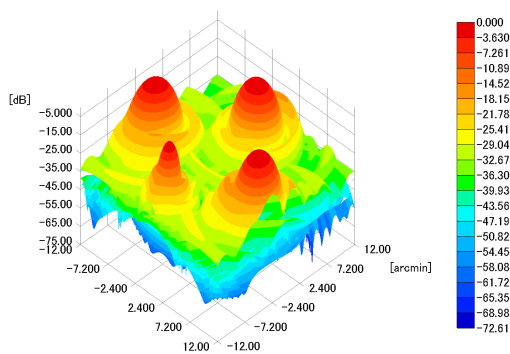


図 2: 3次元アンテナビームパターン

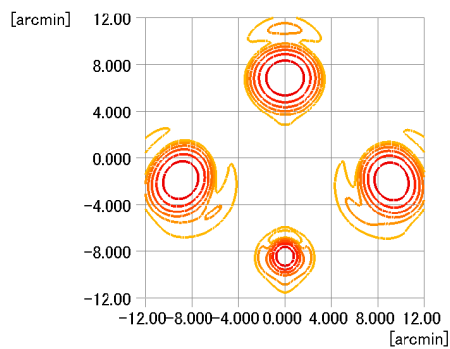


図 3: 2次元アンテナビームパターン

このシミュレーションは、望遠鏡の仰角が 90 度の場合のみについて実施されていた。実際には望遠鏡はさまざまな方向を向き、仰角が変化するとビームが回転することになる。そこで今回は望遠鏡の仰角を振り、同様の性能が出るかどうかを調べた。

3 Results

望遠鏡の仰角を EI=90 から EI=0 まで 10 度ずつ振りシミュレーションを行った結果、EI=50 より低くなると 4 ビームのうち 2 つの開口能率が 59%に低下することがわかった (図 4)。低 EI を向いたとき、望遠鏡の性能は落ちてしまうということである。

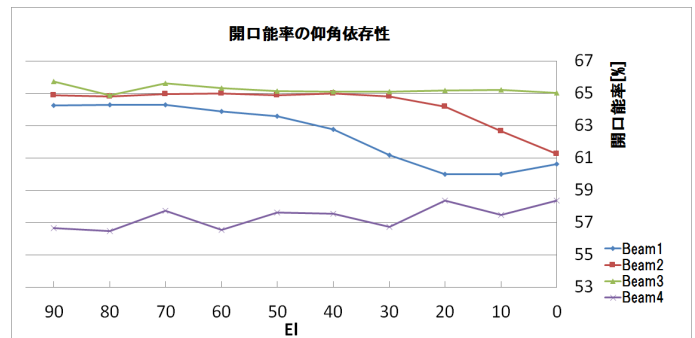


図 4: (開口能率の仰角依存性)

またこのことから、EI の変化によりビームが鏡面に収まらず漏れていることが予想される。ビームが鏡面以外に当たると、定在波が発生するため観測に影響を及ぼす可能性がある。問題箇所を探るために、M2 から M8 までの各鏡面におけるビームの電界分布を計算した。特に開口能率の低下が著しいビームについては、M3 でエッジレベル-6dB のみしか確保されていないことがわかった (図 5)。コントアはビームのピークからのパワーが 3dB 落ちるごとに引いており、破線は M3 の鏡面サイズを示している。これはこの鏡面でビームの 20% を損失していることを意味する。

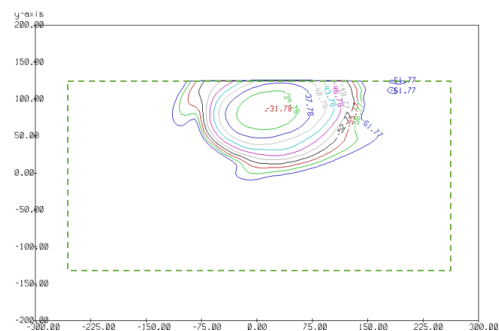


図 5: M3 におけるビームの電界分布

一方、ビームの伝送経路も見直した。M3 からサブプレフに向かう 925mm の位置から 100mm にかけて、通り道が狭くなる部分 (図 6 : 以下 A という) があることが判明した。A の出入口は直径 295mm の円形となっており、主鏡のナスミスホール (直径 334mm) より小さい。この地点でのビームを調べると、ホールに全ビームが収まっておらず、それぞれのビームはエッジレベル-3dB 程度しか確保されていなかった (図 7)。これはここを通過する際、ビームのパワーが 50% の損失を受けることを意味する。

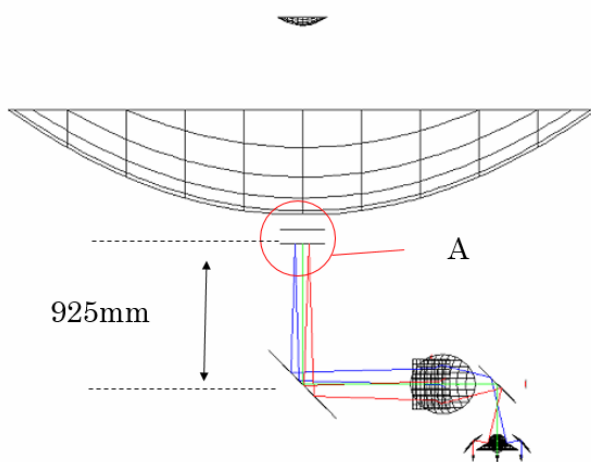


図 6: 副鏡-M3 間の通り穴

4 Discussion

低 EI において M3 でビームが収まらなくなったこと、通り穴 A でビームが大きな損失を受けていることの原因として、4 ビームが並ぶ間隔が広いということが考えられる。このピラミッド鏡モデルは、既存の受信機室に収めるために、M4 の反射角が鈍角になるよう設計されていた。その結果ビーム 1 つ 1 つのサイズと間隔が広がってしまい、通り穴 A での損失が大きくなり、仰角の変化によるビームの回転が加わると M3 をはみ出してしまうことになったと考えられる。

問題解決のためには、(1) ビーム自体のサイズを小さくする、(2) ビームの並ぶ間隔を狭くする必要がある。しかし、初段でビームを絞る役割を持つ副鏡は、

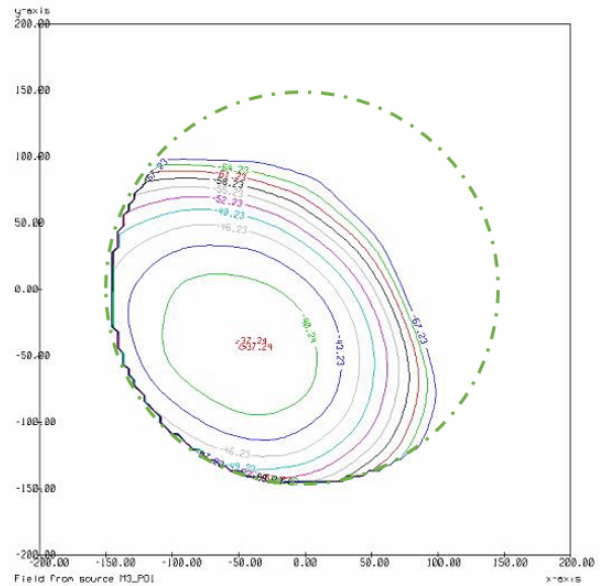


図 7: ホールにおけるビームの電界分布

今回変更することができないため (1) は難しく、(2) のみが可能である。新しい光学系として、M7、M8 をクライオスタットに収納した冷却光学系を考えている。鏡面からビームが漏れてしまったとしても、冷却光学系であれば、常温の場合と比べ損失を小さくすることができるからである。そして M7、M8 のサイズを小さくすることができれば、ビームを配置する間隔も狭めることが可能となる。また、M7、M8 に向かうまでのビームをより絞ることができるよう、伝送経路中の楕円鏡パラメータを見直すことも有効である。これらをふまえて光学系の再設計を行い、全ビームでさらに高い性能、開口率 70% 以上の達成を目指す。

5 Conclusion

NANTEN2 望遠鏡の観測効率を上げるため、マルチビーム光学系モデルの設計が行われた。性能をシミュレーション評価したところ、一部鏡面でビームが漏れており、大きな損失が出ていることが判明した。これは M4 反射角を鈍角にしたことでビームの間隔が広がったことが原因である。今後はビームをよりコンパクトに並べることができるよう、冷却ミ

2015 年度 第 45 回 天文・天体物理若手夏の学校

ラーの採用や楕円鏡の再調整を行い、安定して開口能率 70%を確保することができる光学系を目指し設計を進めていく。

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号 : YITP-W-15-04)
及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

Reference

黒田 豊 修士論文 2012, 名古屋大学