

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17599

研究課題名（和文）数値風況解析によるドーム風況制御システムの開発と実証的研究

研究課題名（英文）A CFD study for the development of wind control system on a telescope enclosure

研究代表者

小西 真広（KONISHI, Masahiro）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・特任助教

研究者番号：50532545

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：望遠鏡やドームといった天文観測施設周辺で生じる乱流や気流の淀みは、波面の乱れとして観測性能の悪化を引き起こすことが知られている。本研究は、観測施設の風況を体系的に制御し、観測性能の安定的向上を図る仕組みを確立するために、都市計画等の風工学分野において多数の実績を有する非定常数値風況解析技術を用いた。数10cm～数10mという幅広い空間分解能を扱うアルゴリズムを組み込むことで、望遠鏡ドーム内外の風況場の時間変化を精密に予測することが可能となり、この手法の有用性を示すことが出来た。

研究成果の概要（英文）：We performed the computational fluid dynamics (CFD) numerical simulation for unsteady and non-linear air flow, which is suitable to analyze the air turbulence in the telescope enclosure. The CFD analysis with spatial resolutions of several tens of cm to meters has successfully depicted complex air flows surrounding the telescope. This study suggests that our approach using the unsteady, non-linear CFD analysis is powerful and useful to control and stabilize the air flow in a telescope enclosure.

研究分野：赤外線天文学

キーワード：光赤外線天文学 数値流体計算 非定常流 数値風況予測 CFD チリ アタカマ

1. 研究開始当初の背景

望遠鏡の大型化や光学素子製作・金属加工技術の進歩により、望遠鏡の観測性能は年々向上しているが、様々な要因から理論的な性能限界には届いていない。製作誤差や組立誤差といった機械的な要素を除くと、その主な要因は望遠鏡周辺の空気であると考えられている。空気の流れが引き起こす観測性能への影響はドームシーイングと呼ばれており、構造物と周辺空気との間に発生する乱流（温度差・密度差すなわち屈折率の差）による波面の乱れとして研究されてきた。それらの研究成果から、ドームシーイングを抑制するには「望遠鏡の鏡に 1--2 m/s の低速風を当て続ける事」、「望遠鏡ドーム内の換気を 1 時間に 30 回程度行う事」といった対処方法が有効であることが知られている。

空気の流れを適切に制御するためには、刻一刻と変化する風向・風速・風量、つまり非定常な風況を精度良く把握することが不可欠であるが、現在のほとんどの観測所においては望遠鏡オペレータ等の判断によって経験的に対処されており、必ずしも効果的にドームシーイングを抑制出来ているとは言えないのが現状であった。より定量的・体系的に非定常な風況を評価することが可能となれば、安定的にドームシーイングを抑制し、観測データの質を向上させることに繋がると期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、都市計画等の風工学分野において多数の実績を有する非定常非線形数値風況解析ソフトウェア Airflow Analyst® (AFA) を観測的天文学に導入して、観測施設内外の風況を適時・適切に制御することによってドームシーイングとその時間変動を抑制し、望遠鏡の観測性能を高い水準で安定させる仕組みを確立することを目標とした。

これまでの多くの望遠鏡建設計画でも、その設計フェーズにおいて風況解析が用いられることはあったが、時間的に安定した気流（定常流）を対象として建物形状の考察に主眼が置かれていた。本研究はそこからさらに踏み込み、局所的に発生しては消えるような空間的にも時間的にも小さなスケールでの非定常流を扱うことで、高精度な風況制御の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) 風況データの実測

数値解析との比較に用いる風況データの取得のため、H27 年度に TAO 山麓滞在施設（チリ、サンペドロ・デ・アタカマ市、標高 2400m の平地）、H28 年度に TAO 建設地（チリ、チャントール山、標高 5640m の山頂部）において測定を行った。地形の影響によって風速が高度によりどの程度変化するかを確認するため、風況計測器 3 台を地面から 2m 置きに設置して 24--48 時間の連続計測を行った。

(2) 非定常数値風況解析技術の観測天文学的用途への最適化

本研究で対象とする風況の解析には、望遠鏡近辺で数 10cm、望遠鏡ドーム上空で数 10m と非常に大きなダイナミックレンジの空間分解能が必要となる。オリジナルの AFA では設定できるグリッドのサイズは 1 種類であり、本研究が要求するレンジのどちらかに合わせると分解能が不足する、もしくは演算時間が膨大になってしまう。そこで対象スケールに合わせて様々なメッシュグリッドを構築するためのアルゴリズムを開発し、AFA に組み込む。並行して、東京大学が現在建設中の東京大学アタカマ天文台 (TAO) 口径 6.5m 赤外線望遠鏡の観測施設の 3 次元モデルを作成する。これらを用いて数値風況解析を行い、アルゴリズムの動作を確認する。

4. 研究成果

(1) 風況データの実測

標高 2400m、5640m でそれぞれ取得した風速と風向のデータを図 1、2 に示す。計測機器のコンパスの動作不良により風向データに欠損が生じてしまったが、風速に関しては連続的に取得することが出来た。風速の高度依存性は、風工学分野でよく用いられる 1/7 乗則よりもやや大きい傾向が見られた。これは山の地形効果によって地面に近いところと離れたところで速度に違いが現れると考えたと説明できる。今後、このデータと数値解析を合わせてドームシーイング抑制の仕組みにつなげていく予定である。

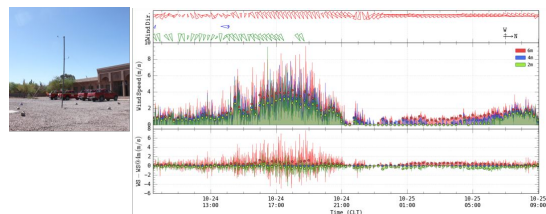


図 1：風況実測結果
チリ、サンペドロ・デ・アタカマ市（標高 2400m）

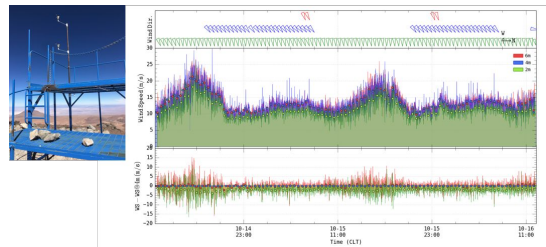


図 2：風況実測結果
チリ、チャントール山山頂（標高 5640m）

(2) 非定常数値風況解析技術の観測天文学的用途への最適化

数 10cm から数 10m という広いダイナミックレンジを可変なスケールでグリッドを切る仕組みを AFA に組み込み、地形 + 観測施設 + 上空という広大な空間に適切なサンプリングを適用することが出来るようになった。これを用いて、TAO 口径 6.5m 赤外線望遠鏡施設の非定常数値解析を行った。天文観測施設において非定常数値風況解析を行ったのはこれが初めての例となる (Konishi et al. 2016, *Proc. SPIE*)。

図 3 は解析に使用した 3 次元モデルを示している。望遠鏡ドーム (右側の円筒形の建物) 屋内は、気流の振る舞いを正しく計算するために、鉄骨や梁などグリッドサイズより大きな構造は全て構築した。

解析結果の一部を図 4、5 に示す。これは望遠鏡 (と望遠鏡ドーム) の指向方向に対して 2 つの風向きでドーム内部の気流 (風況場) がどのように変化するかを示している。1 つ目の大きな成果として、グリッド生成の新アルゴリズム導入により、構造物周辺で数 cm 分解能の風況場を描く事が出来たことが挙げられる。2 つ目の成果は非定常風況解析によりドーム内の風況場の時間変化が詳細に得られたことである。TAO 6.5m 望遠鏡施設は過去の様々な望遠鏡プロジェクトの検討資料を参考に建物形状や換気窓の配置を設計しているが、今回の解析結果ではその期待通りに、どちらの風向きにおいてもドーム内、特に望遠鏡周辺では絶え間なく空気が流れる様子が得られた。

また屋外では、地面と空気の温度差によって非定常に発生する陽炎がドームの高さまで到達せずに高床式構造 (図 3 参照) の下を押し流されていく様子や観測運用棟に遮られた気流が滑らかにブリッジ部を吹き抜ける事でドーム周辺の気流を乱さない様子が確認出来た。

本研究の最終目標であるドームシーイングの安定的な抑制に向けて、今後さらにいくつかのケースで数値解析を行い、実測風況データとの比較から最適な換気窓の制御方法を確立していく。

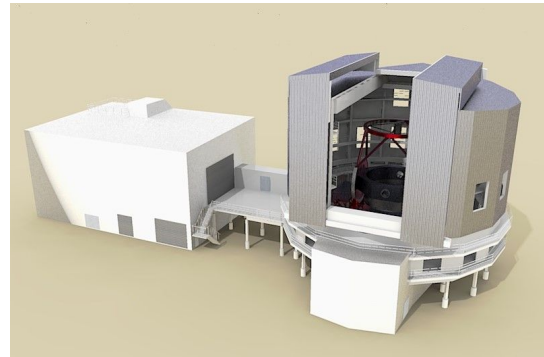


図 3 : 東京大学アタカマ天文台 (TAO) 6.5m 望遠鏡観測施設の 3 次元モデル。左側が観測運用棟、右側が望遠鏡ドーム、中央が両者をつなぐブリッジ。

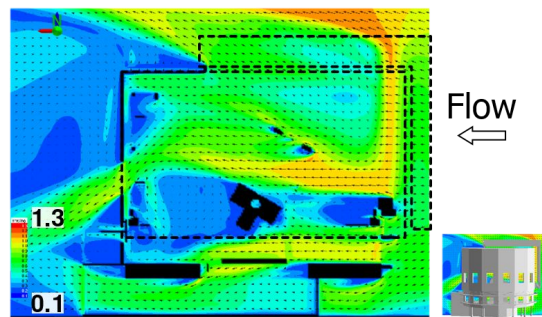


図 4 : 非定常数値風況解析結果 望遠鏡の指向方向に対して正面から風が吹く場合の望遠鏡ドーム断面 (Konishi et al, 2016, *Proc. SPIE*)。

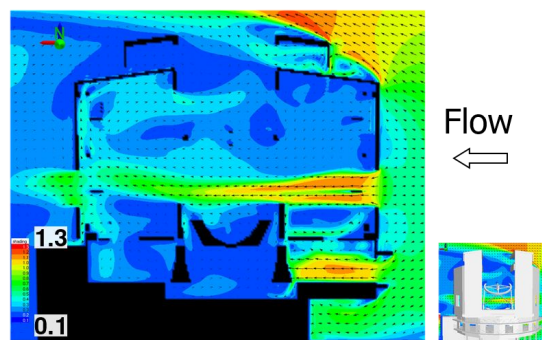


図 5 : 非定常数値風況解析結果 望遠鏡の指向方向に対して真横から風が吹く場合の望遠鏡ドーム断面 (Konishi et al, 2016, *Proc. SPIE*)。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Konishi, M., Sako, S., Uchida, T., Araya, R., Kim, K., Yoshii, Y., Doi, M., Kohno, K., Miyata, T., Motohara, K., Tanaka., M,

(and 10 coauthors)、The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m Telescope: enclosure design and wind analysis、Proceedings of the SPIE、査読無し、9906 巻 (2016) 99062M 頁、DOI: 10.1117/12.2231385

〔学会発表〕(計 1 件)

小西真広, 酒向重行, 吉井讓, 内田孝紀, 荒屋亮, 金高義、TAO 6.5m 望遠鏡エンクロージャー設計における非定常数値風況解析、日本天文学会 2016 年春季年会、2016/03/15、「首都大学東京 (東京都・八王子市)」

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西 真広 (KONISHI, Masahiro)
東京大学・大学院理学系研究科・特任助教
研究者番号：50532545

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：

(4) 研究協力者

なし ()