

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 13 日現在

機関番号：11301  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23740140  
 研究課題名（和文）次世代多天体補償光学系に向けたトモグラフィック波面推定の高速化、高精度化  
 研究課題名（英文）Accurate and Fast Tomographic Wavefront Reconstruction for Next Generation Multi Object Adaptive Optics System  
 研究代表者 秋山 正幸 (Masayuki Akiyama)  
 東北大学・大学院理学研究科・准教授  
 研究者番号：50425401

研究成果の概要（和文）：次世代超大型地上望遠鏡での広視野多天体の同時補償光学観測を可能にする大気揺らぎの高さ構造のトモグラフィーを用いた推定について、高精度化と高速度化を目指した検討を行った。広視野における高精度化については、風による大気移動によって時間変動が起こることを考慮した新しいアルゴリズムで推定精度を大きく向上できることがわかった。高速度化についてはグラフィックボードを用いた並列計算 GPGPU を導入し、共役勾配法の収束を良くするために推定の初期値の改良を行う、並列計算の並列数を上げる、により達成可能である。

研究成果の概要（英文）：In order to realize simultaneous adaptive optics (AO) corrections for multiple objects in wide field view of next generation large ground based telescopes, we examined new methods of tomographic wavefront reconstruction. We found a new algorithm, which uses measurements from previous time step as additional information, can significantly improve the accuracy of the tomographic estimation and significantly widen the available field of view. For faster tomographic estimation with parallel processing with GPGPU, it is suggested that the necessary speed can be achieved by changing the initial guess for the conjugate gradient method used in the tomographic reconstruction and by increasing the number of parallel processing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：光学赤外線天文学、観測装置開発

## 1. 研究開始当初の背景

すばる望遠鏡などによる観測は宇宙誕生から 7 億年という宇宙初期に銀河を見つけることに成功しているが、宇宙初期の銀河の詳細を調べ、銀河進化をドライブする物理過程を明らかにするにはすばる望遠鏡の性能を大幅に超える望遠鏡が必要となっている。これを達成するために日本とアメリカ・カナダ・中国・インドの連携のもとに口径 30m の

望遠鏡の計画 (Thirty Meter Telescope) が推進されている。この望遠鏡のすばる望遠鏡の 1.6 倍の高い集光力と 4 倍の高い空間分解能により遠方宇宙にある銀河の内部構造を明らかにすることができると期待される。我々は観測効率を最大化するため、視野の中の多数の銀河を同時に回折限界に近い高空間分解能で観測する観測装置の検討を進めている。このような観測を実現することは既存の補償光学系では不可能であり、我々は多

天体補償光学系という次世代の補償光学系を用いることを提案している。多天体補償光学系では複数のレーザーガイド星を複数の波面センサーで測定し、トモグラフィックの手法を用いて大気揺らぎの構造を高さ方向に分解して推定する。こうして推定した大気揺らぎの構造をそれぞれのターゲット方向の経路に対して計算機上で積分することでそれぞれのターゲットに最適化した波面補正量を求める。これをそれぞれのターゲットの光路に取り付けた個別の変形鏡を用いて独立に補正する。それぞれのターゲットについて個別に最適化した補正をすることで広い視野の中の多数の天体について回折限界に近い高い空間分解能の像を得る。

多天体補償光学系は次世代超大型望遠鏡で有効となる観測手法として注目されているが、技術的な問題があり、まだ実現していない。まず一つめはこれまでの補償光学系では波面の揺らぎを補正した後の残差を波面センサーで測定し補正する「閉」ループで制御を行うが、多天体補償光学系では波面センサーは変形鏡で補正される方向とは違う補正されない方向の波面の揺らぎを絶対量として測定し、それに基づいてトモグラフィックな推定をし補正するという「開」ループの制御が必要であり、波面センサーの測定が絶対量で高精度で校正されている、波面の推定が高い精度で達成される必要がある。二つ目は必要となる計算量が大きく、実時間での補正が困難であることである。たとえば5台の波面センサーで得られた波面推定をトモグラフィックに推定して天体の方向の補正に直す計算過程は30m望遠鏡の補償光学系に必要な素子数(64x64)でかかると各ターゲットの天体について現在の普通の計算機の計算速度を桁で上回る130GFlopsという計算速度が必要とされる。

## 2. 研究の目的

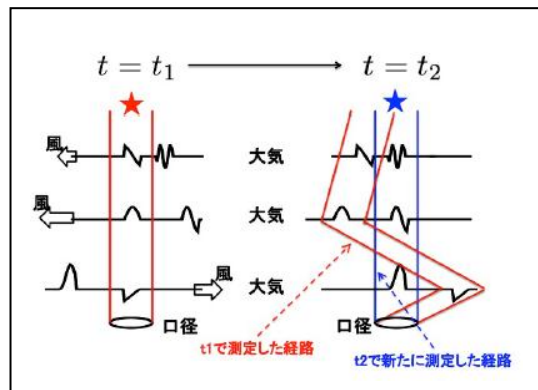
本研究ではトモグラフィック波面推定の高精度化、高速化により上の課題を解決して次世代大型望遠鏡において多天体補償光学系を実現する目途を得ることを目指す。

- (1) 高精度化については計算機上での大気揺らぎとその補正のシミュレーションにより、広い視野に対して高い精度での補償を実現するアルゴリズムについて検証を行う。ここでは特に広い視野で高い精度の推定により良い補正を実現するアルゴリズムの確立を目的とする。
- (2) 高速度化については最近飛躍的な発展

を遂げているグラフィックボードを用いた並列計算(GPGPU)の手法を取り入れてトモグラフィックな波面推定を行い、この計算がGPGPUを用いることで十分に高速に行えるかどうかを評価する。

以上の評価に基づいてトモグラフィックな波面推定に基づく多天体補償光学系の装置提案の基礎を作成する。

## 3. 研究の方法

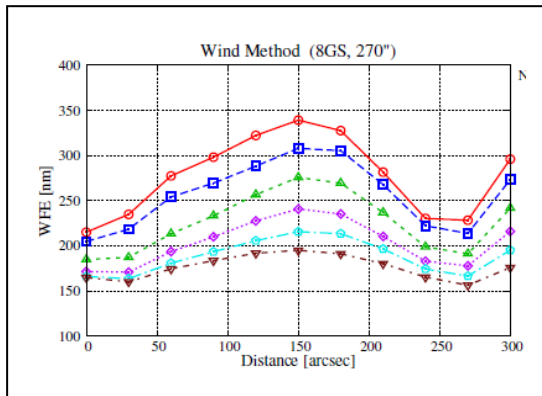


本研究では、トモグラフィック推定の高精度化を達成するために、新しいアルゴリズムとして大気揺らぎの時間変動が風による大気の移動によって起こることを考慮したアルゴリズムを計算機上でのシミュレーションにより検討した。上の図に示すようにこれまで行われていた推定したい時間の情報を用いるだけではなく、1個前のタイムステップの情報も加えることによって、大気揺らぎの情報のサンプリングの点の数を実質的に増やし、このことによってより広い視野の領域に対して精度のよい推定を達成しようというのが新しいアルゴリズムである。

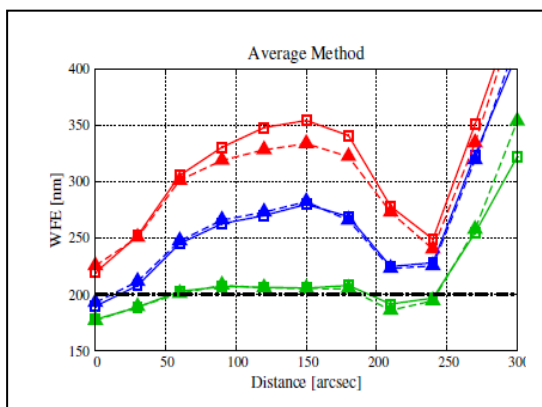
また別のアルゴリズムとして大気揺らぎの地表層の成分と高層の成分を別々に推定する方法についてもシミュレーションを行った。従来のトモグラフィックの手法ではすべての高さの成分について同じように扱って推定がなされているが、実際には地表層の成分の強度が強く、地表層の成分は複数の波面センサーに共通の成分として観測される、ことから地表層の成分のみを高い精度で推定することができればトモグラフィック推定の全体の精度を向上させることができる。そのために、地表層の成分は複数の波面センサーの測定の実測値として推定し、その成分を引き去った後で残りの高層の揺らぎの成分についての推定を行うというアルゴリズムについて検討を行った。

高速化についてはグラフィックボードを用いた並列計算(GPGPU)をトモグラフィーの推定に用いた。トモグラフィーの推定の際には共役勾配法で解の推定を行っているが、この計算を並列計算として実装し、十分に高速化できるのかどうかの評価を行った。

#### 4. 研究成果



高精度化について、まず、1個前のタイムステップの情報を用いる場合、シミュレーションによる計算の結果、上空の風速がある程度精度よくわかり大気揺らぎの構造は短い時間の間は変動しない、という理想的な場合には推定精度を大きく向上させることが可能であることがわかった。上の図に示すのはこれまでのアルゴリズムを用いて推定した場合の精度(赤線)とある時間前の情報を足して推定した場合の精度の比較である。横軸は視野の中心からの距離を秒角で示しており、縦軸はトモグラフィー推定した波面の残差をナノメートルで示している。縦軸の値が大きいほど推定の精度が悪いことに対応する。目標とする値は200-250nmの精度を300秒角離れた領域に対しても達成することである。赤線以外はどれだけ前の時間の情報を用いて推定するかを表している。上空では20m/s程度の風が平均的には吹いており、この条件下で0.05秒前から0.5秒前の情報を用いた結果を別の線で示している。この結果を見ると、0.2秒前程度の情報を用いること



が出来れば推定精度の十分な向上が見込めることが期待される。このアルゴリズムではそれぞれの気揺らぎの層の風速がある程度の精度で求まることが要求される。実際の観測装置に用いる場合には上空の風速を推定する方法を確立する必要がある。また大気揺らぎの構造自体は時間変動を起こすので、上で見た0.2秒の間無視できる程度の変動しかしていないかどうかを検証する必要がある。これらの点については今後の検討が必要である。

さらに別のアルゴリズムとして大気の揺らぎの地表層成分と高層成分を分けて推定を行うアルゴリズムについても計算機上でのシミュレーションを行った。この結果を次のページの図に示す。通常トモグラフィーによる結果が白抜き四角で表されており、地表層のみ別に推定するケースが三角で示されている。点の色の違いは推定に用いるガイド星の数の違いになっており、赤では6個のガイド星を用いた場合、緑では10個のガイド星を用いた場合となっている。この結果を見ると、トモグラフィー推定の精度としては地表層を別に推定してもすべての成分を同時に推定を行った場合と大きな違いはないことがわかった。

トモグラフィー推定の高速化についてはグラフィックボードを用いた並列計算GPGPUを導入したシミュレーションで評価を行った。その結果現状の計算方法ではまだ達成すべき計算時間よりも長い時間がかかってしまうことが判明した。この点については

- (1) トモグラフィー推定の際に用いている共役勾配法の収束を良くするために推定の初期値として前の時間ステップでの推定を初期値として用いる、
- (2) 現在のセットアップでは最新のGPGPUは用いられておらず、最新のGPGPUではより並列数の大きいボードが利用可能になっている。これを用いて並列計算における並列数を上げる、

などにより達成可能であると見積もられる。この点については今後確認を進める。

以上の結果に基づいて、次世代超大型望遠鏡に対して多天体補償光学を実行した場合にどの程度の補正性能が得られるのかについて定量的な評価を得ることができた。今後はこれらの結果に基づいて、多天体補償光学系の装置の提案としてまとめていく。

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)

1. Masayuki Akiyama, Yoshito Ono, Shin Oya, Kazuhiro Hane, Tong, Wu, "MOAO test bench in Tohoku University", 2012, Proceedings of the SPIE, 8447, 55 査読無  
<http://spie.org/x1848.xml>

[学会発表] (計1件)

1. MOAO test bench in Tohoku University  
Masayuki Akiyama, Adaptive Optics III. SPIE, 2012/06/30-07/07 アムステルダム、オランダ

[その他]

ホームページ等

次世代装置の開発

[http://www.astr.tohoku.ac.jp/~akiyama/index\\_Res\\_TMTinst.html](http://www.astr.tohoku.ac.jp/~akiyama/index_Res_TMTinst.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 正幸 (AKIYAMA MASAYUKI)  
東北大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号：50425401

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：