

木曾Tomo-e Gozenカメラの観測スケジューリング

池田 思朗 数理・推論研究系

共同研究者: João Pedro Pedrosa (ポルト大), 諸隈智貴, 酒向重行 (東京大学)

1 観測スケジュール

東京大学の木曾観測所では、高感度CMOSイメージセンサによって構成される Tomo-e Gozen カメラを開発し、これを口径105cmのシュミット望遠鏡に搭載することによって20平方度(満月84個分)の広い空を一度に動画で観測できるようになった。東京大学天文学教育研究センターでは、この世界初の超広視野高速CMOSカメラを用いた様々な観測が行われている。

そうした観測の目的のひとつに、爆発したばかりの超新星の発見がある。爆発した直後の、劇的に明るさの変化している超新星を見つけるためには一晩の間に2～3時間の間隔を空けて、天球上の同じ位置を複数回観測することが有効である。同じ位置の異なる時間の画像の差を取ることによって超新星を発見できるからだ。

この観測のためには望遠鏡のスケジューリングが重要である(図1)。特にTomo-e Gozen のCMOSカメラは、読み出し時間が無視できるほど短いため(CCDカメラではデータの読み出しに10秒以上かかっていた)、スケジューリングの良し悪しが観測の効率に直接影響する。本研究では、一晩で天球上をどの順番で観測するか、Tomo-e Gozen の観測スケジュールを考える。

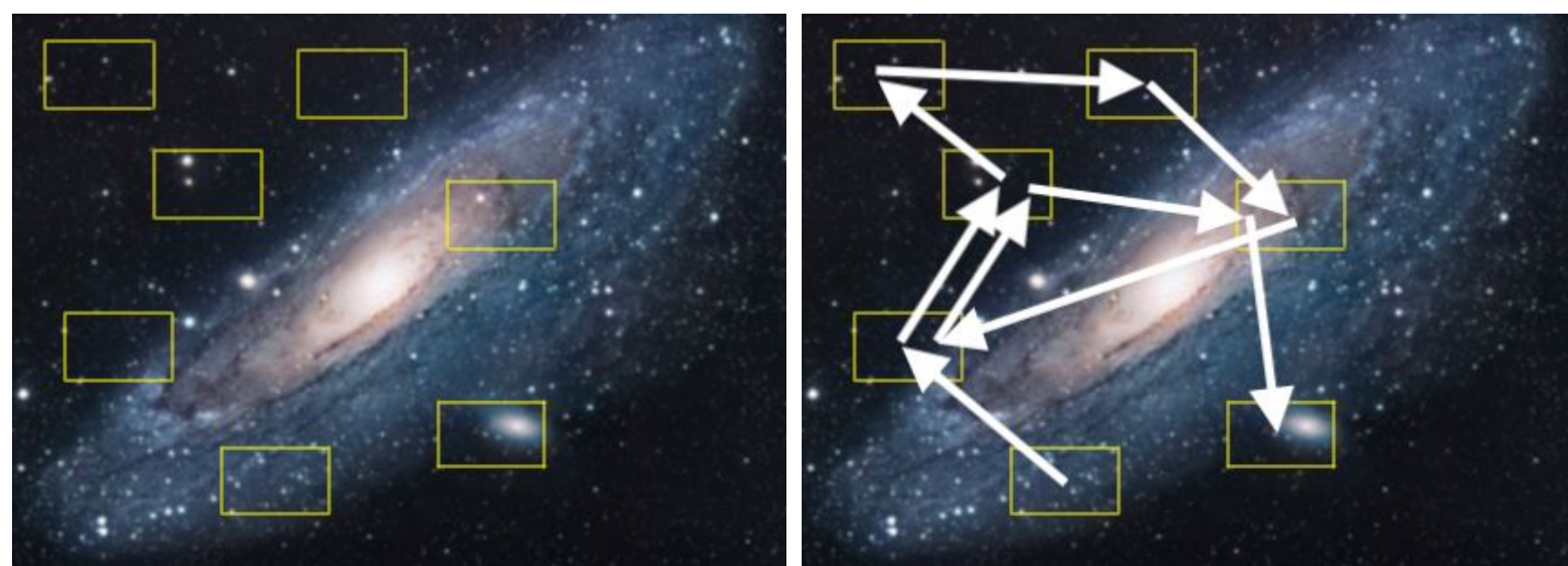


図 1: 望遠鏡のスケジューリング。

この問題は複数の都市を効率良く訪問する順番を決める巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem: TSP) と類似している。しかし、同じ点を時間を空けて再び観測することや、天球上の点が時々刻々移動するため、TSPより難しい(図2)。

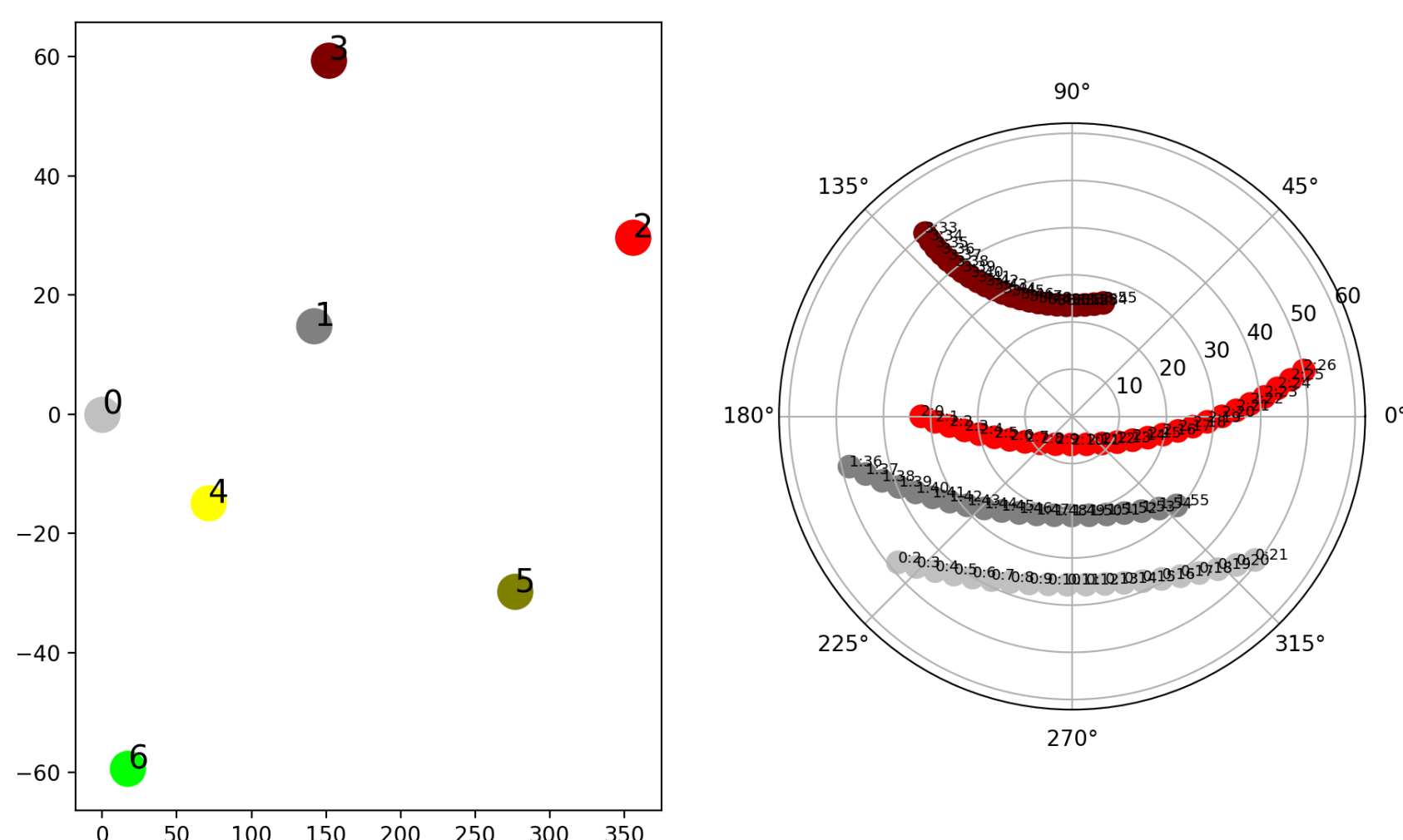


図 2: 観測点(左)は時々刻々移動する(右)。

2 提案方法

この望遠鏡のスケジューリングの問題はTSPよりも難しいことから、すばやく最適解を求めることは難しいと考えられる。そこで、“良い”解を実効的に早く計算することを目的として、以下の2つの方法(heuristic methods)を提案する。

Nearest-neighbor (NN) 法

- 全ての初期点から以下の方法で観測計画を作り、最も良いものを選ぶ。
- 以下を観測時間の範囲で繰り返す。
 - 最も近い到達できる点を選ぶ。

- 「望遠鏡の移動 + 露光時間」を計算する。
- 次に到達できる点の集合を更新する。
- それぞれの到達できる点までの距離を計算する。

Rolling-horizon (RH) 法

- 現時点を出発点とする。
- いくつ(N)先の未来まで計画するかを決める。
- 以下の最適なスケジュールを求める。
 - 天球の各2点間の運動を近似する。
 - 現時点からの移動時間を計算する。
 - TSPの最適化を使って、最適値なパスを計算する。
- そうして求めたパスから最初の移動先だけを採用する。

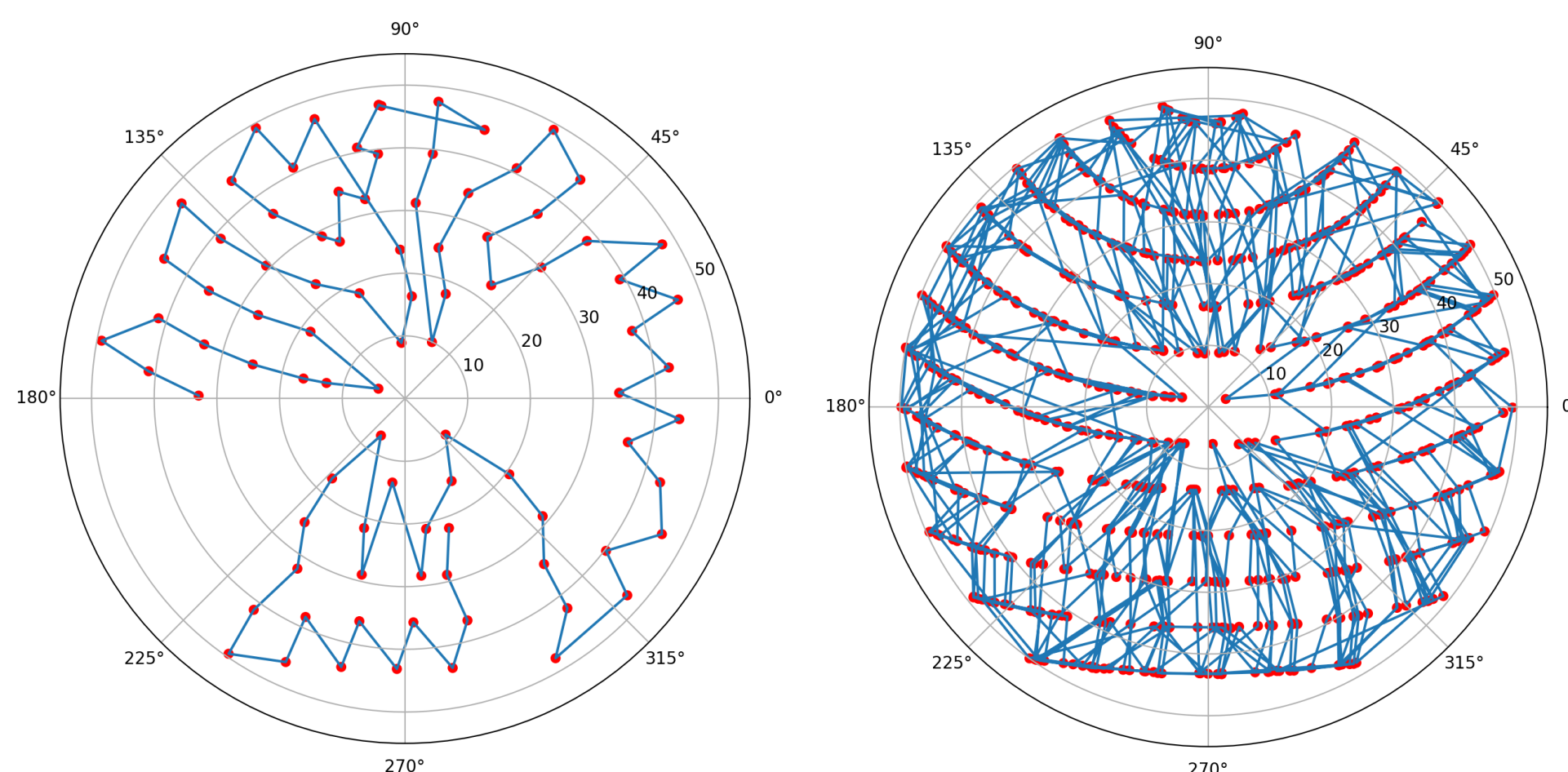


図 3: 観測スケジュールの一部(左)と一晩のスケジュール(右)。

3 結果

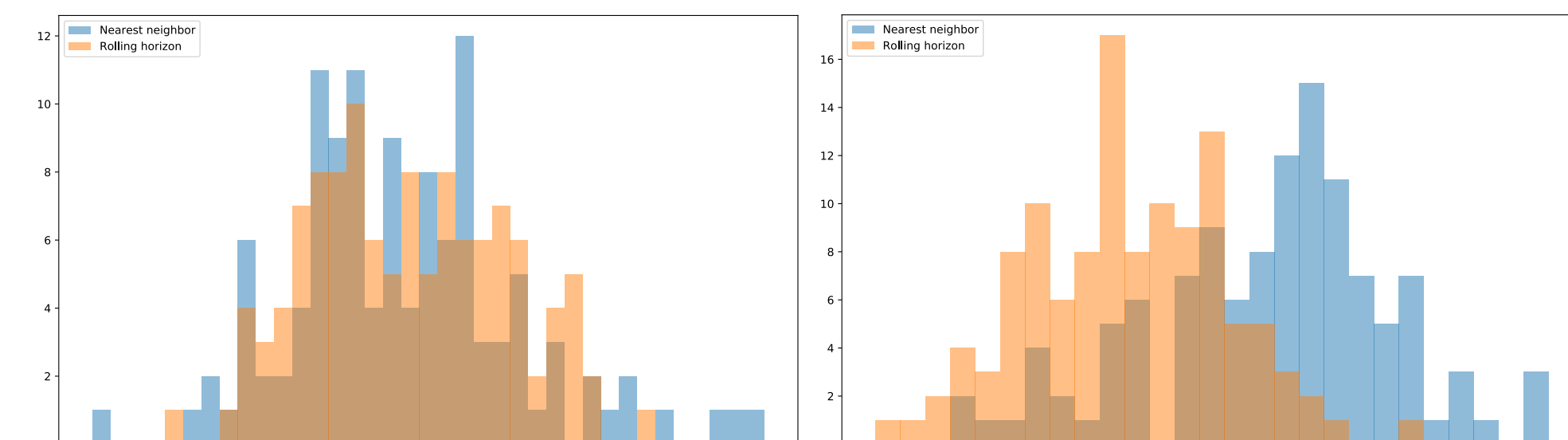


図 4: それぞれの方法で天球上の何点を一晩で観測できるか(左)と、一晩で3回訪れた点の数(右)。

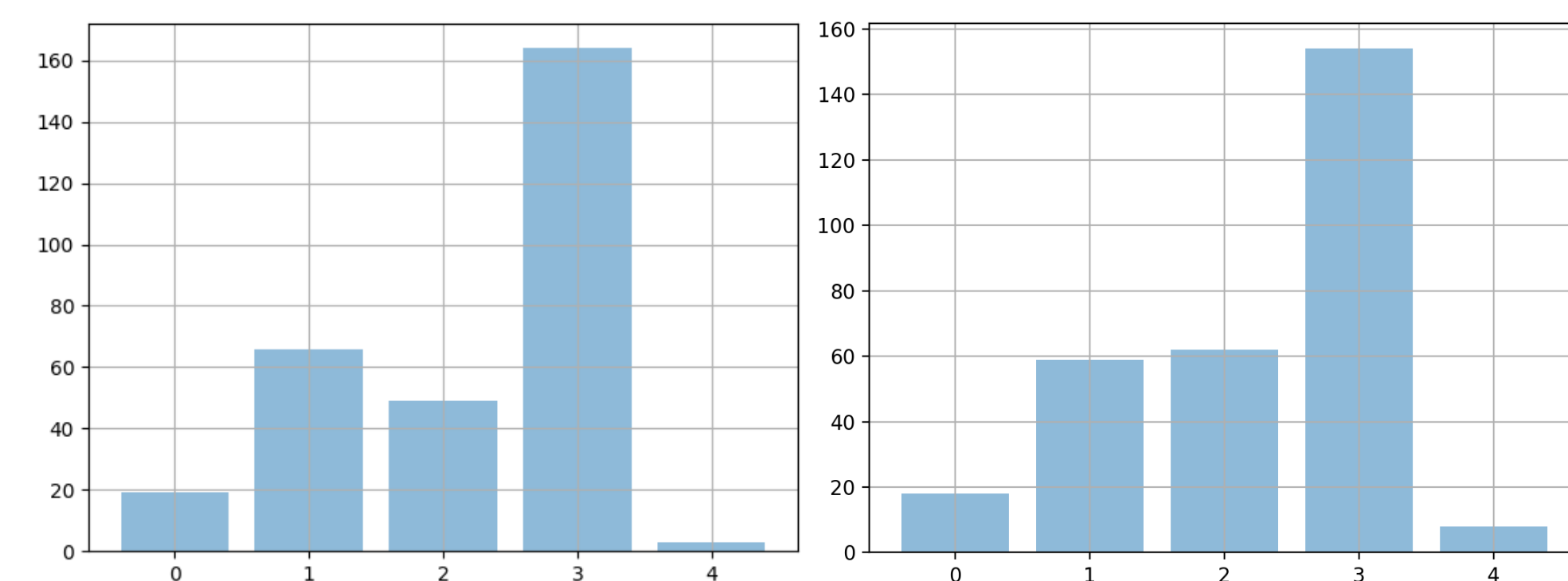


図 5: 天球上の点を一晩で何回観測したか、NN法(左)とRH法(右)の最適解での比較。

NN法とRH法では、NN法の方が良い解を見つけているが、RH法の結果は安定している。一方、NN法の方は数秒で数百の解を探索できるほど計算時間が短く、最適解ではRH法より多くの点を3回観測している。

実際の観測では、天候の変化によって観測の中断が起きるなど、臨機応変なスケジューリングが求められるため、提案した実効的な方法が有効である。ここに示した方法はすでに実装され、木曾観測所の運用に用いられている。

なお、本研究は J. P. Pedrosa がサバティカルを利用して統数研に滞在した間に行われた研究である。