

PHD2 ガイド結果の分析 – 基本学習

はじめに

画像処理者の多くは、ある時、自分たちが得ているガイド性能を分析したいと思うようになります。そのような場合、特定の問題を特定して解決しようとしたり、あるいは単に最高のパフォーマンスを得ようとしたり。その設定からできる限りのことをします。いずれにせよ、PHD2 のガイドログは最高のデータソースであり、リアルタイムでガイドグラフを見るよりも、それらを使った方がはるかに良いです。

後者は、状況をすばやく確認するのに役立ちますが、重大な問題の診断や調整には、リアルタイムグラフで利用できる時間枠よりも長い時間枠が必要です。この文書では Andy Galasso の PHD ログビューア アプリケーションで、よくある問題やガイドを表示する方法としての挙動を確認することができます。これは、PHD2 ユーザーを支援するために最も頻繁に使用するツールであり、あなたのお役に立てる可能性があります。

この文書で説明する内容は、私自身の個人的な経験と研究にすぎません。私は望遠鏡のマウントのメカニズムに詳しいわけではありませんが、それでも説明のつかないガイド動作に遭遇することがあります。

しかし、私は 2006 年からいくつかのバージョンの PHD を使用しており、その後何年にもわたって、私自身と他の PHD2 ユーザーからのものの両方で、何百ものガイドログを分析してきました。私が学んだことが、ガイドの結果を理解するのに役立つか、少なくとも学習曲線を少し加速するのに役立つことを願っています。

全体像の見方

統計の概要

これらのグラフと統計を見るときは、秒角(a-s) の単位で測定値を確認する必要があります。これが明らかでない場合は、付録の「画像スケールと秒角での計測」を参照してください。ガイドの全体像を把握するには、まずグラフの右下に表示される RMS 数値を確認します。



PHD ログビューアがガイド全体を読み込むとき、「RMS」値はその全体のすべての星の動きの標準偏差です。この例では、動きの約 68%が 0.59 a-s 未満で、残りはそれより大きかったです。ただ、大まかな出発点として、おそらくは、あなたのは 1a-s 以下でご使用ください。どれだけ低くなるかは、多くのことに依存します。特にあなたの条件とマウントの品質を確認します。次に、赤経と赤緯の個々の RMS 値を見て、それらがどのように比較されるかを確認します。私が見たほとんどのマウントでは、赤経値が赤緯ギアシステムが作動していないときに赤経ギアシステムが常に作動しているためと考えられます。また、見ることに関連する傾向があるものもいくつかあります。赤経変位を少し大きく、より頻繁にします。ただし、赤経と 赤緯 RMS の値が大きく異なる場合 (たとえば 2 ~ 3 倍)、画像に細長い星が表示される可能性があります。では、この 2 つの値がほぼ等しくても、かなり大きい場合はどうなるのでしょうか。それは、画像の星が肥大化し、解像度と鮮明さが損なわれる可能性が高いです。星が丸く見えるだけでは十分ではありません。星が小さくて丸いことが必要です。"小さい"とは、ガイド エラーではなく、光学系によって決定されます。「30 分の露出でも完全に丸い星が得られる」という人々のフォーラム投稿を時々目にする必要があります。それはおそらく良いことですが、これらの星の画像はどのくらいの大きさで、10 ~ 20 秒の短い露出で得られるものと比べてどのくらいの大きさなのでしょう。

私たちの多くにとって、ガイドが何らかの不具合なしに一晩中実行されることはめったにありません。全体的な統計を見ると、多くの場合、これらの事象を除外する必要があります。おそらくいつかそれらに対処する必要がありますが、これらの異常な事象によって数値が汚染されることなく、全体的なガイドのパフォーマンスを把握することは良いことです。ガイドログの次の部分を検討してください。



22:47 の少し前に何か問題が発生しました。赤経が大幅に変動し、示された期間の合計 RMS が 2.6 a-s に達しました。しかし、そのイベントの前後のガイドははるかに良く見えます。PHD ログビューアを使用してこれらの領域を分離し、状況を確認できます。このデータでそれを行ったところ、統計ははるかに良く見えました。異常な事象の前後の合計 RMS は 0.5 秒角でした。これは、全体的なガイドがうまくいっていることを示していますが、この大きな 赤経の原因を突き止める必要があります。これについては、「機械異常」の章で説明します。

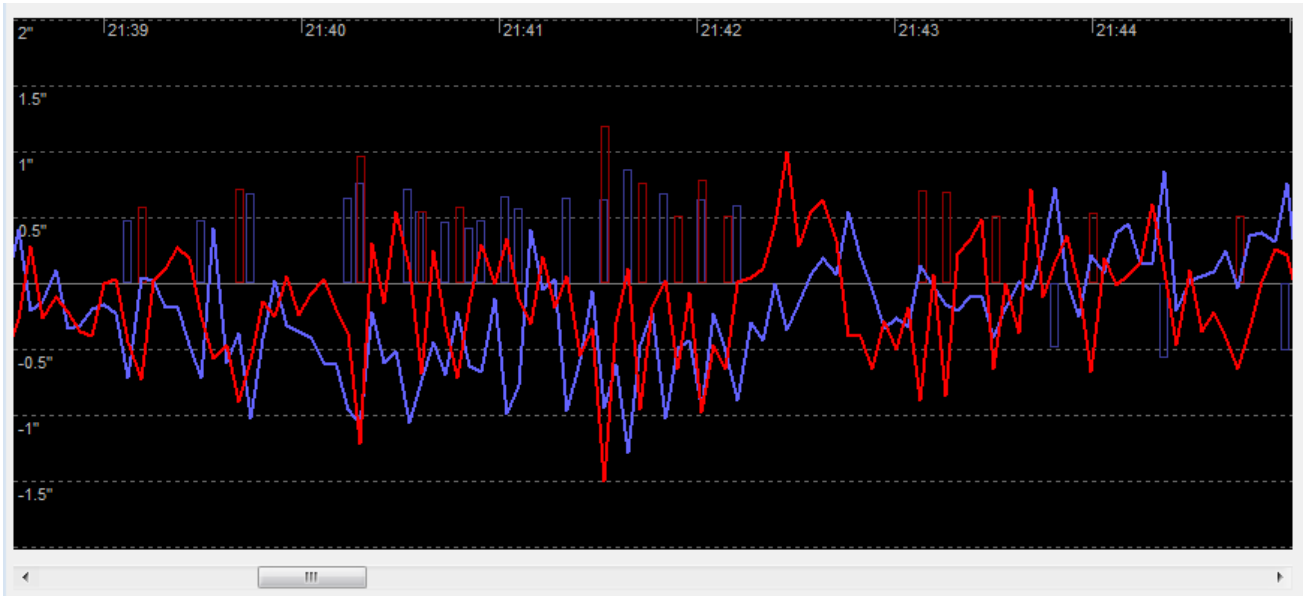
シーイング

ガイドグラフを見ると、急激な星の動きが見えるのは、ほとんどがシーイングによるもので、どうすることもできません。これがあなたにとって身近なテーマでないなら、付録の「天体観測とガイド」の項をご覧ください。急速な動きが大きい場合は、使用されている露出時間を確認する必要があります。露出時間を長くすると、あなたが見るたわみのモーション（付録を参照）。これらの急速な暴走は RMS 統計に反映されており、RMS の主な要因である可能性さえあります。ガイドアシスタントを定期的に行うと、あなたのサイトでの一般的な表示条件を把握すると役立つ場合があります。視界の悪さはガイドによって修正することはできず、できる限り最善を尽くす必要があります。時間をかけて見ることで、ほとんどの夜が期待できるようになり、その効果をすぐに認識することができるでしょう。しかし、貧乏ゆすり「シーイングを追いかけている」のであればガイドパラメータを選択すると、シーイングによる星の移動が多すぎるのがわかります。ガイドコマンドをトリガーにすると、グラフがのこぎり歯状になることが多いようです。特定するそのような問題については、後ほど説明します。

グラフの内容

ガイドグラフに表示される詳細を見るときは、通常、次の 2 つのことから始めます。露出から次の露出までにガイド星がどれだけ移動したか、および PHD2 がどのように反応したかです。

以下は、詳細を表示するために拡大されたガイドグラフの典型的な部分です。



星の動きは、赤経を青、赤緯を赤で繋いだ線で表しています。長方形は PHD2 が生成したガイドコマンドを示し、その高さはガイドパルスの相対的な大きさを示しています。ガイドパルスのサイズを表示するための上下の規則を過度に分析しないでください。この向きは、乱雑さを軽減するために選択されたものであり、より直感的であるためです。コマンドで、見かけの動きとは反対の方向に星を「押す」必要があります。よく見ると、PHD2 が前の露出で見られた動きに反応しているため、長方形は常に星の動きに少し追従しています。ここに表示されているのは非常に典型的なものです。順序を復元するのに 1 つのガイドパルスしかない場合もあれば、複数のガイドパルスが必要な場合もあります。パルスを同じ方向にガイドします。星の位置が変わっても、何も起こらないものがあることがわかりいただけだと思います。ガイドパルスが全く出ません。これは通常、その軸の「最小移動量」の設定によるものですが、ガイドアルゴリズムに意図的な減衰がある場合もあります。状況を把握するために、左端のスケールにも注意を払う必要があります。初心者の方は、このグラフを見て、動きが多いように見えるので、ガイドがひどいと思われることが多いようです。しかし、ここに見える動きは ± 1 秒の範囲であり、この部分の RMS 誤差は合計で約 0.6 秒です。この例では、ガイドはシーイング条件が許す限り良好でした。

簡単な問題

ウォームアップするために、診断する簡単な問題をいくつか見てみましょう。最も簡単なものの 1 つは、次

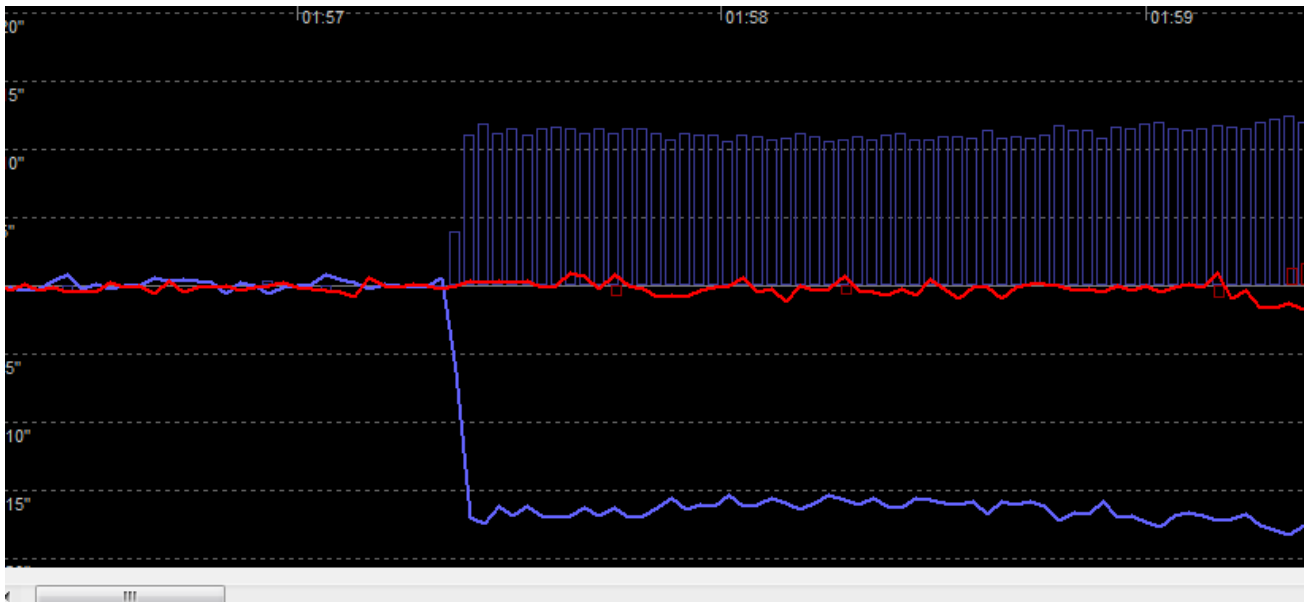
のようなものです。



おお！絶対に完璧な追跡、ガイド星は動かなかった！いいえ。これは、ホットピクセルをガイドしているときに起こることであり、まったくガイドしないのと同じです。これはほとんど発生しないはずですが、発生した場合は次のことを試してください。

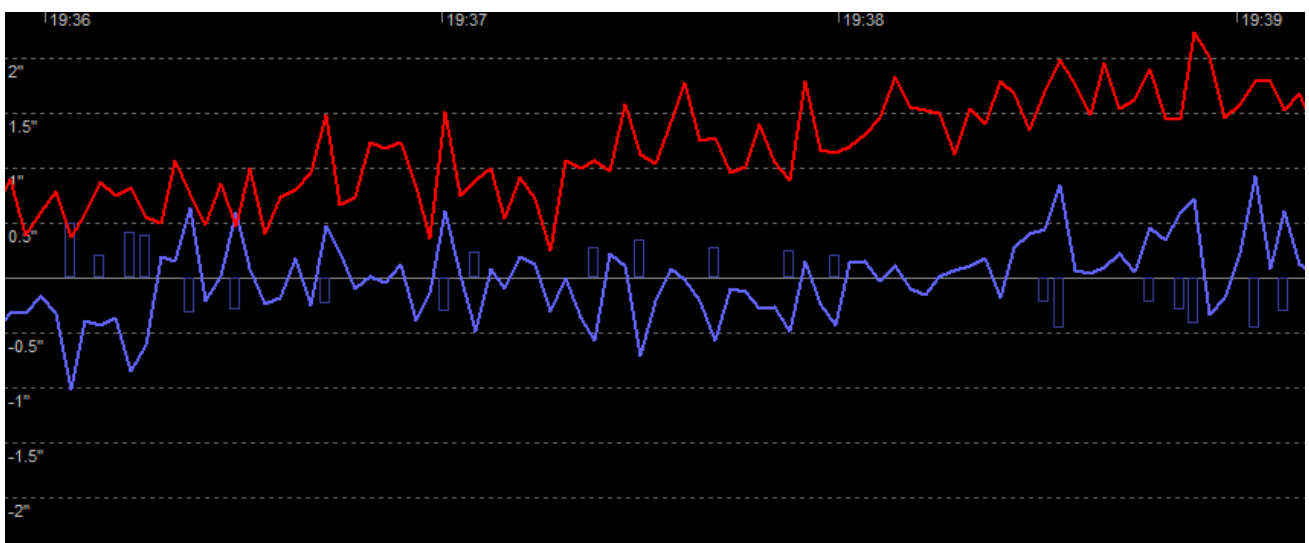
1. PHD2 にガイド星を自動選択させます (Alt-s)。画面をじっと見ているだけでは、ホットピクセルとかすかなガイド星を視覚的に区別するのは難しい場合があります。
2. ダークライブラリまたは不良ピクセルマップを使用していることを確認してください。
3. 2x2 または 3x3 のノイズ除去フィルターを適用します (脳ダイアログ/カメラタブ)。

カメラに取り付けられたガイドケーブルとマウントの ST-4 ガイドインターフェイスを使用している場合に発生する可能性が高い別の問題を見てみましょう。



星が西（下）に大きく傾くまで、ガイドのスタートは順調だったようです。しかし、この場合、PHD2 が回復することはありませんでした。その後 2 分間、連続して送信された「east」ガイドコマンドをご覧ください、何も起こりませんでした！その後、ガイド星は元の位置に戻ることはなく、むしろ時間の経過とともに西へと流れていきました。ガイドケーブルが不良で、東のガイドコマンドがマウントに受信されない状態だったのです。ガイドケーブルを交換することで問題が解決しました。これが唯一の考えられる説明ではありませんでしたが、ST-4 ガイドケーブルはよくある障害点であるため、試してみることは明らかでした。

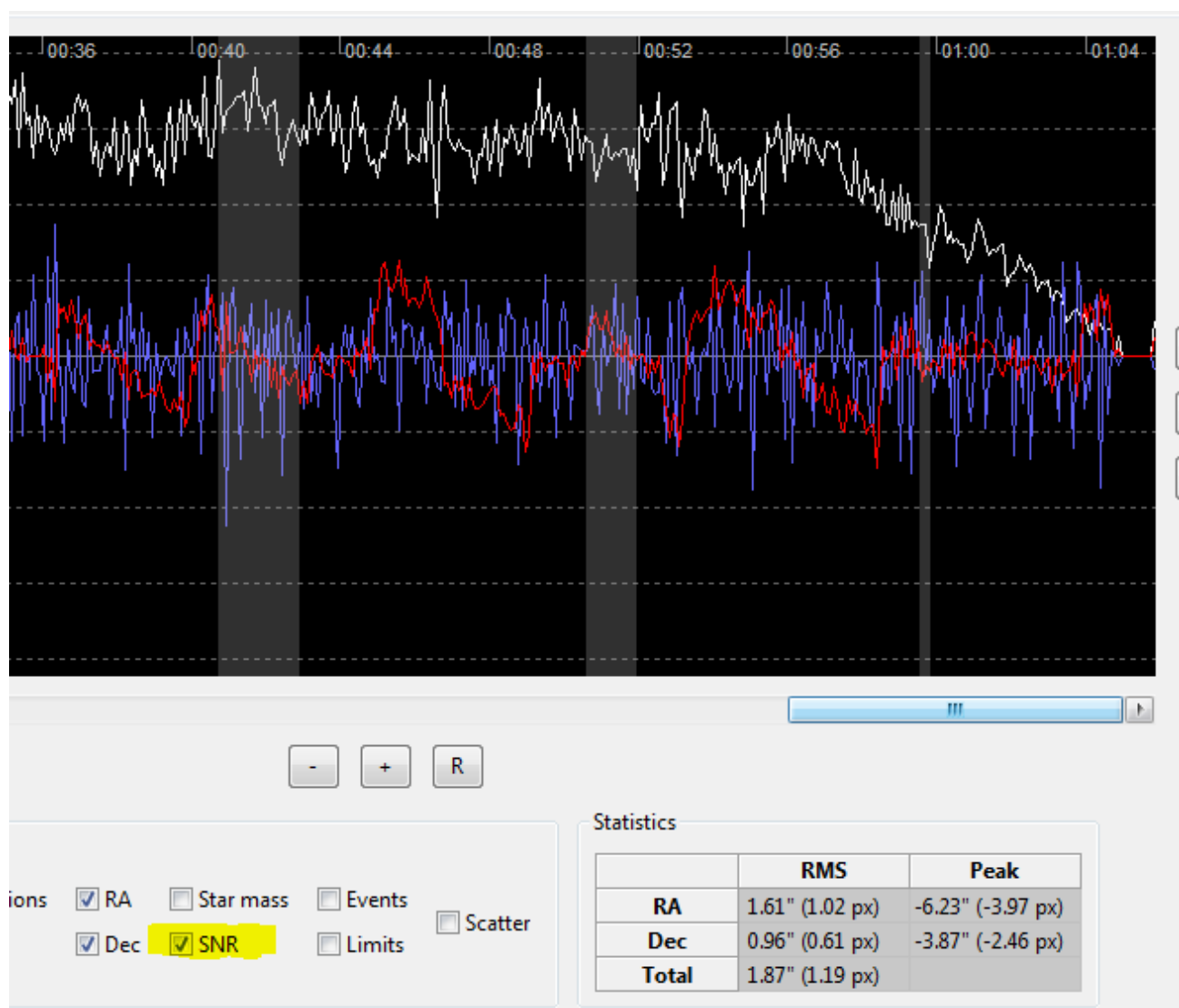
これも簡単なもので、見ることはないかもしれませんが、ご紹介します。



ここでも、セッションは正常に開始され、ガイド結果は 赤経（青）にとってかなり良好に見えました。しかし、ガイド星は北（赤緯、赤）に流れてしまい、元に戻りません。これもケーブルが悪いのでしょうか？ 赤い長方形が表示されていないのは、PHD2 が星の位置を復元するためのガイドコマンドを生成していないことを

意味します。なぜこのようなことが起こったのか？ なぜなら、ユーザーが選んだ赤緯ガイドモードは「北み」であり、PHD2には南ガイドコマンドを生成しないように指示されているからです。ガイドモードを「自動」または「南」に変更すると、問題が解決しました。というのも、ユーザーには赤緯方向に誘導する正当な理由があり、それがどの方向であるべきなのかがまだわかっていなかったからです。しかし、このような例もあり、ユーザーが脳内ダイアログを操作して、うっかり「赤緯ガイドモード」を変な値に設定してしまうケースを数多く見てきました。

ウォームアップの最後に、もう1つ例を挙げましょう。ポイントになります。

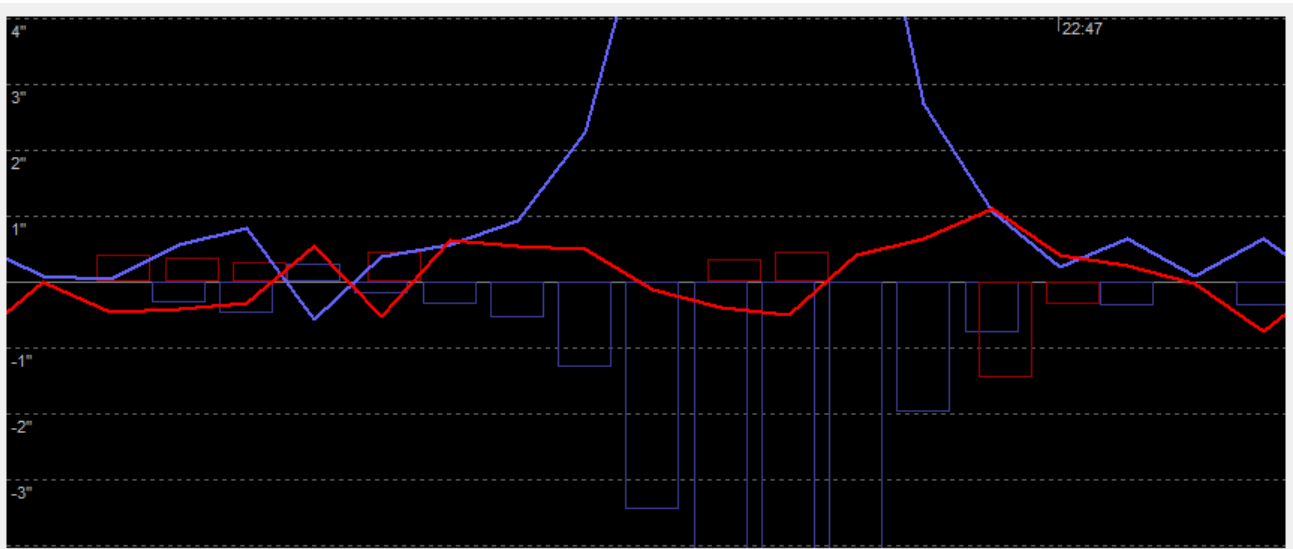


今回は、星のS/N比を見るために、画面の下側にある「SNR」にチェックを入れています。それがグラフ上部の白線で示されています。この場合、0:56あたりからSNRが下がり始め、雲の影響か、どんどん悪くなっています。これはしばしばガイド結果の悪化にもつながるため、問題の調査を開始する場合は常にチェックしておくといでしょう。

このような簡単な例は、グラフを見ることに慣れ、「センサー上でガイド星がどのように動いていたか」「その結果、どのようなガイドコマンドが生成されたか」「そのコマンドに対してマウントはどのように反応したか」という基本的な質問をするためのものです。もちろん、このような簡単な問題は見られないかもしれませんが、質問と基本的な方法論は、より複雑な状況に適用できます。

突然の大脱走 - 「機械異常」

いずれかの時点で、ほとんどの人はガイド星の突然の大きな動きに直面するでしょう - 前のグラフはそのような例の 1 つを示しています。まず、初心者の方がよく聞かれるのが、「これは今起きたことなのか、それとも PHD2 の不正なガイドコマンドのせいなのか」という鶏と卵のような質問です。私が見てきたすべてのケースで、答えは前者であり、この「機械異常」の原因を突き止める必要があります。鶏と卵の問題に答えるのはでも簡単なことですが、私の保証を受け入れる必要はありません。PHD2 のガイドグラフを拡大して、大きな動きのすぐ近くの領域を調べてみてください。それは途方もなく大きなガイドコマンドで始まったのでしょうか、それとも、PHD2 がマウントを元の位置に戻そうとすると、それに続く一連のガイドコマンドがあるだけなのでしょうか？ 先ほどの例をもう一度見てみましょう、今回は拡大します、赤経のガイドが「狂った」ときに何が起こったのかをよくみてください。



大きな上昇スパイクの前に、グラフの左側でガイドが正常に進んでいたことがわかります。特に、星をセンサー上でこれほどまでに移動させる巨大なガイドパルスはありませんでした。その代わりに、PHD2 はガイド星が目標から外れた後、9~10 個の赤経ガイドパルスを逆方向へ送ることで反応するのがわかります。つまり、この問題を引き起こす「何かが起こった」のであって、PHD2 が引き起こしたのではなく、ある種の機械的な事象が全体を始めたのです。残念ながら、特に天文台に常設されていないセットでは、この問題は非常によくあることなのです。さらに悪いことに、ガイドログは、元のたわみの原因を突き止めるのにあまり役に立たず、可能性は無限にあるようです。特に長い焦点距離の設定を使用している場合、これらの事象を引き起こすために必要な動きがどれだけ少ないか、精神的なキャリブレーションを行うことが一つの助けになることがあります。望遠鏡の近くから見えるようにモニターを配置し、星のループを開始します。次に、ガイドスコープ

各製品のさまざまな部分をそっと押し、さまざまなケーブルをそっと引っ張ります。通常、少しの作業で大きな効果が得られることがわかります。大きなガイド星を作成するのは非常に簡単です。

ここでは、その中でも特に多い原因を紹介します。

1. マウント、三脚、架台、スコープの各製品に何らかの緩みがある場合
2. ケーブルの引き直し
3. 突風
4. スコープの近くを動き回るなど、スコープ、カメラ、架台、または三脚を激しく揺さぶるもの

ケーブルの引き直しは特に一般的な問題です。そのため、経験豊富な方はケーブルの配線と固定に注意を払っています。特に寒い天候では、これらのケーブルは硬くなり、曲がらないため、静止した表面に触れたりこすったりすると、ガイドの問題が発生する可能性があります。

明らかに、可能性のリストは無限です。報告された原因のいくつかは、もちろん、それが他の誰かの問題であると仮定すると、かなり面白いものになる可能性があります。以下に、実際の例をいくつか示します。

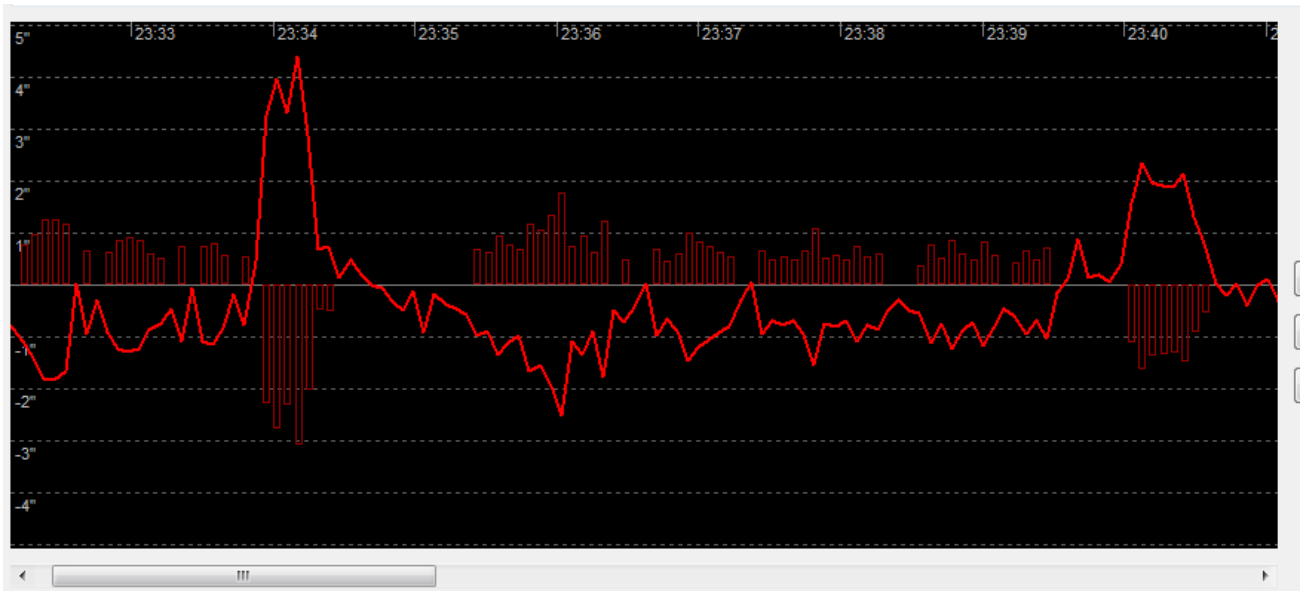
1. 夜中の3時に天文台を覗き込む飼い猫
2. 望遠鏡の筒先に降り立つフクロウたち
3. 赤緯軸の端近くに回転する観測用椅子を置いておく

より難しい問題

これらのかなり単純な例を超えると、もう少し複雑な問題に遭遇する可能性があります。多くの場合、補正不足（遅れている）か補正過剰（振動またはのこぎり歯状のパターンを作成している）かについて最初の判断を下すことができます。この種の問題については次に説明します。

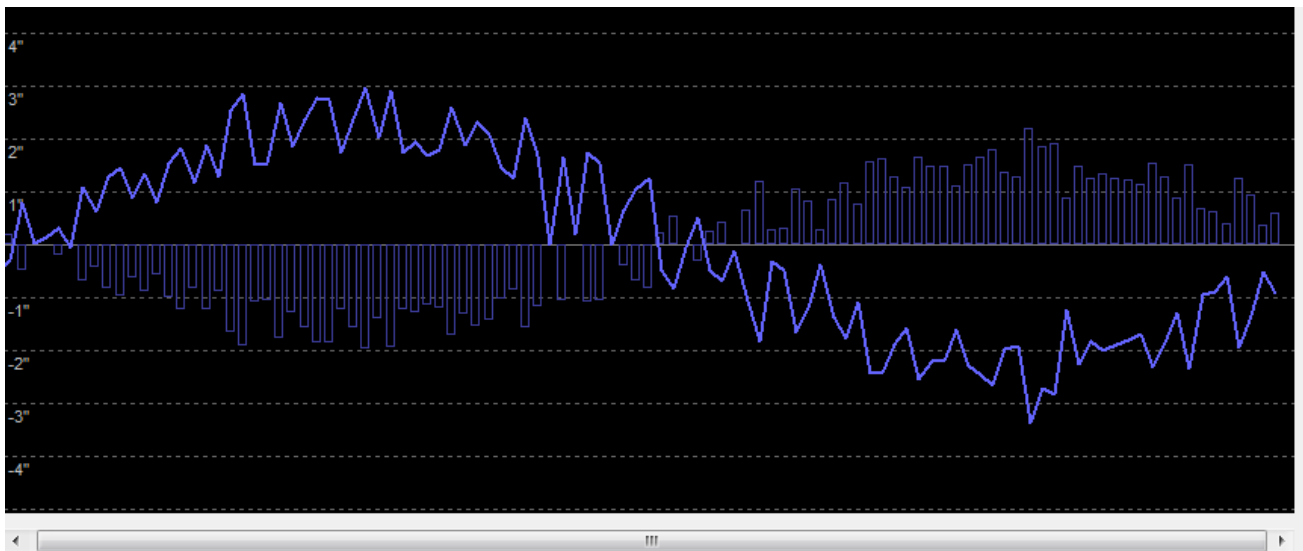
補正不足の問題

補正不足の代表的なものは、皆さんもよく目にする「赤緯バックラッシュ」です。かなり典型的な例を挙げます。



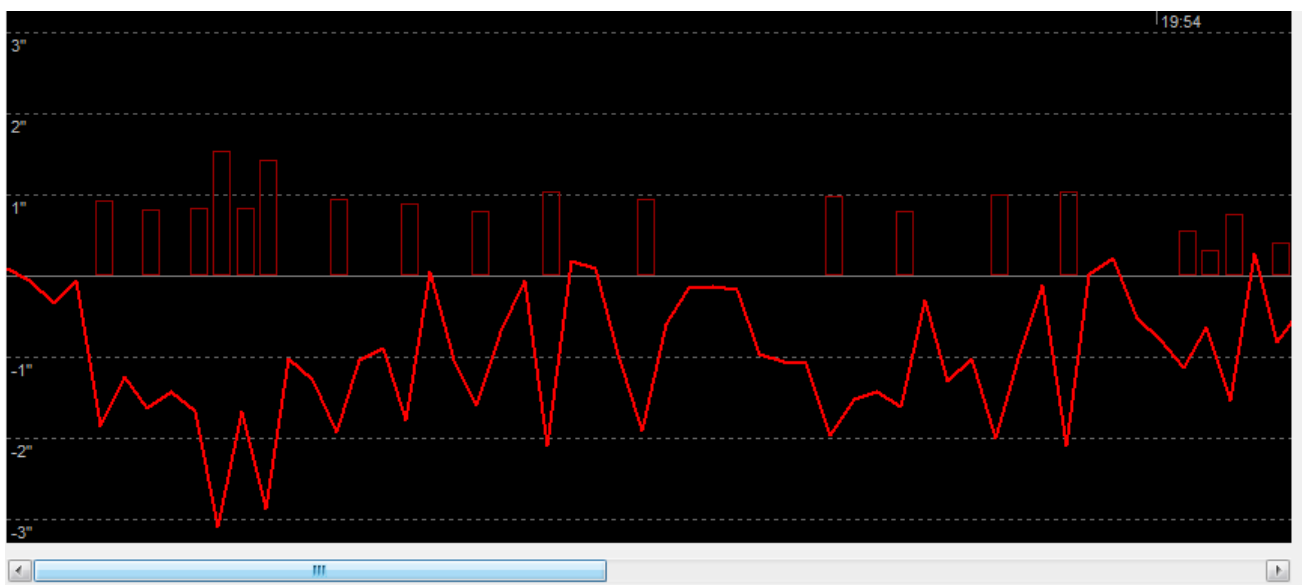
あえて、赤緯の動作のみを表示することで、わかりやすくしています。ガイドコマンドの方向が変わると、マウントがかなり無反応になるのがわかると思います。その際、ガイド星を目標地点に戻すには、逆方向の補正がかなり必要です。これは、バックラッシュのごく普通の症状です。ほとんどのギア付きマウントにはある程度この問題があり、ギアのかみ合いの緩みが原因です。ギアの結合を避けるためにある程度の緩みは必要で、どの程度が過剰なのかが問題になってきます。赤緯のガイドアルゴリズムは、方向転換を最小限に抑えるためにかなり良い仕事をしており、PHD2の赤緯バックラッシュ補正機能は、固有のバックラッシュが大きすぎなければ、それを制御するのに役立ちます。マウントの挙動を改善することは、ギアの噛み合わせを調整する手段があれば、常に最初の一步として有効です。そうでない場合は、PHD2のヘルプドキュメントに記載されているように、赤緯のために一方向のみにガイドする必要がある場合があります。なお、赤経でガイドスピードが1X 恒星以下であれば、この問題はほとんど発生しません。それは、赤経の駆動システムが実際に方向を反転させる必要がなくなるからです。その代わりに、ガイドパルスの長さだけ減速または一時停止して、同じ方向に回転し続けます。

赤経のバックラッシュが発生する可能性は低いですが、似たような問題がもう1つあります。



今回は赤経のデータのみですが、PHD2 がガイド星の動きについていけなかったことがわかります。しかし、今述べたような理由でバックラッシュでないことは分かっています。そのヒントは、赤経の誤差を非常に感じさせる、曲線の正弦波的な見え方です。この場合、マウントの周期的なエラーは非常に大きく、長時間の露出時間と保守的なガイドパラメータの組み合わせにより、PHD2 は常に遅れていることを意味していました。そのため、マウントに定期的なエラー修正を適用することが推奨されます（オプションがある場合）。それができない場合は、ガイドの露出時間を短くして、遅れをとらないようにする必要があります。診断を確認する良い方法は、PHD2 ガイドアシスタントを実行し、ガイドを無効にしてマウントの動作を測定することです。少なくとも、マウントのワームの周期と同じ時間（通常は 6~8 分程度）、動作させる必要があります。

次のように、赤緯でも同様の問題が見られることがあります。



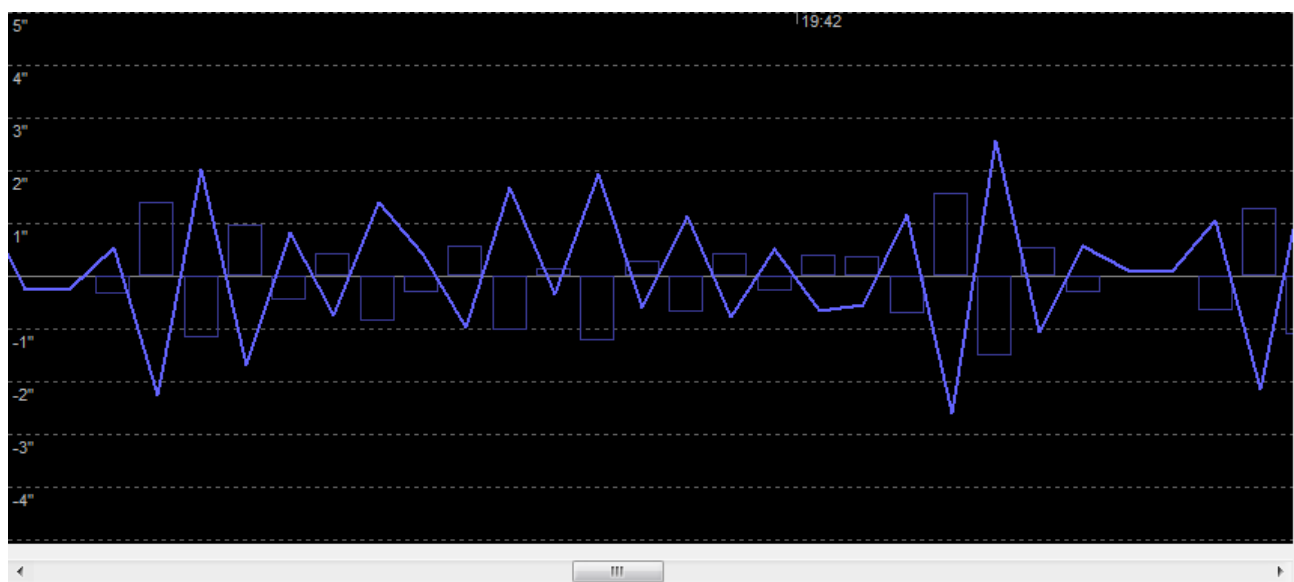
ここでも PHD2 はガイド星を目標位置に近づけることができませんでした。ガイドパルスはすべて同じ方向

だったので、バックラッシュの問題でないことは分かっています。むしろ、これは非常に大きなポーラアライメントエラーを示す症状です。ガイド星を目標にするための補正は大きく、頻繁に行う必要があるのですが、ここではそれができませんでした。赤緯については、ガイド補正をすべて同じ方向にすることは問題ありませんし、むしろ良いことだと思います。しかし、もし補正がうまくいっていないのであれば、何か別の問題があるのでしょうか。大きなポーラアライメントエラーの診断結果を確認するには、PHD2のガイドアシスタントまたはドリフトアライメントツールを使用して、エラーを測定します。少なくともポーラアライメント不良は、簡単に解決できる問題であるはずですが。

その他にも、ガイドの過少補正が発生する可能性があります。これらは通常より複雑であり、ガイドアルゴリズムを十分に理解している必要があります。原則として、マウントの問題が原因でないと完全に確信できる場合は、最小移動量の設定を減らしたり、攻撃性（aggressiveness）の設定を増やしたりすることを検討できます。また、軸に合ったガイドアルゴリズムを使っているのかも確認する必要があります。レジストスイッチ、ローパス、ローパス2アルゴリズムは、多くの減衰を適用するため、赤緯に最適です。しかし、赤経に適用した場合、補正不足になることがあります。逆に、ヒステリシスアルゴリズムは通常赤経に適していますが、赤緯に適用すると方向の反転や振動が多すぎる可能性があります。もちろん、これらは一般論ですが、何をやっているのかがはっきりするまでは、デフォルトのアルゴリズムの選択肢にこだわるのが一番です。

過剰修正の問題

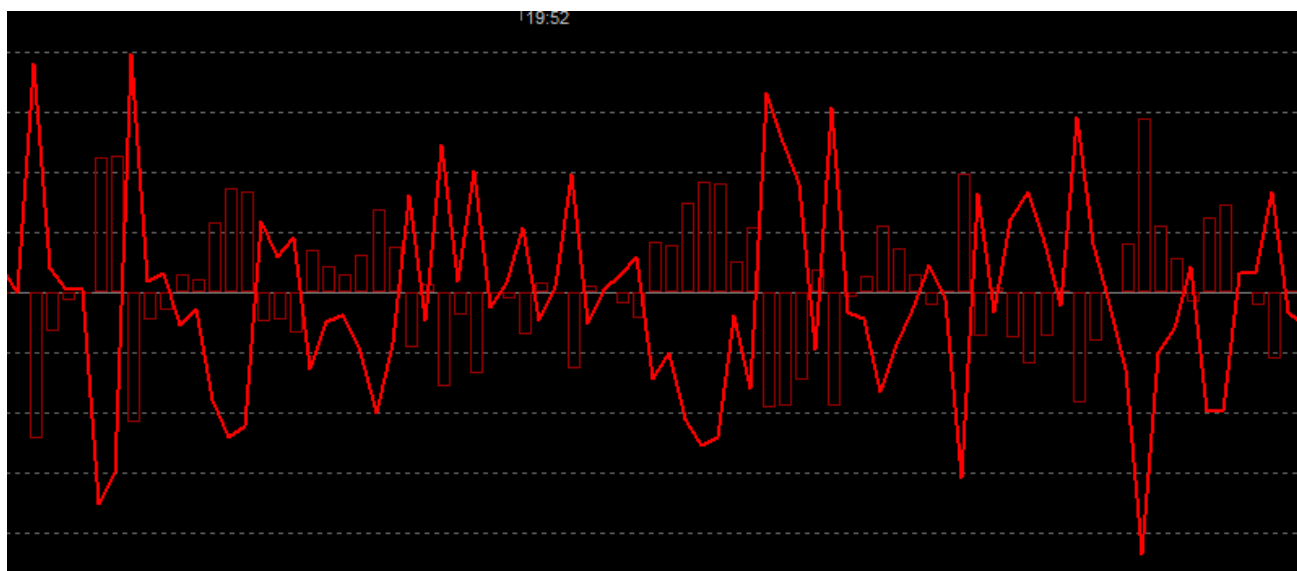
明らかな過修正の最も一般的な原因は、シーイングを追いかけることです。以下に例を示します。



この場合、露出ごとに赤経補正が適用され、頻繁に方向が反転したことがわかります。その結果、ノコギリ状のパターンができ、赤経の本当の安定性が得られなくなったのです。赤経でよくある原因は、その夜のシーイング条件に対して小さすぎる最小移動量設定や、短すぎる露出時間（例：1秒）です。PHD2は、すべてのガイド星のたわみに反応しようとするので、付録で説明されている過小評価の問題に陥っていたのです。最小移動量を増やしたり、露出時間を長くしたりすることで、この状況を改善することができます。また、ガイドアシスタントを数分間実行することで、その夜のシーイング動作の測定と適切な最小移動設定の提案を得るこ

とができます。もし、最小移動の設定が正しいと思うのであれば、赤緯の攻撃性の設定を徐々に下げたり、赤緯のヒステリシスの値を大きくしたりすることができます。しかし、これらの変更には注意が必要で、各変更が何をもたらしたかを評価するのに十分な時間をかける必要があります。この調整作業については、後述します。

赤緯でも過剰補正が発生する可能性があり、これも最小移動値が低すぎるのが原因です。



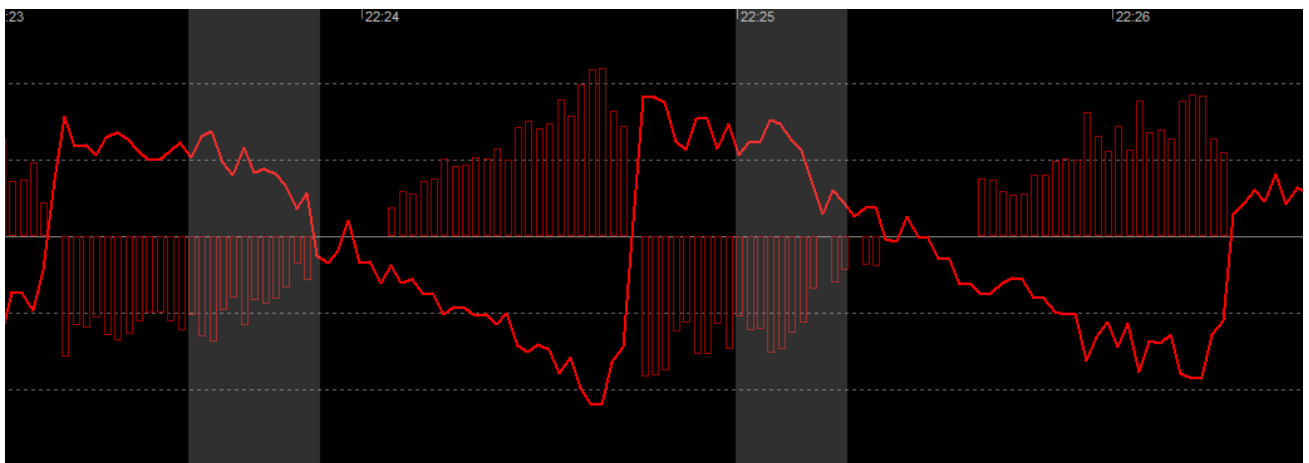
この赤緯の変動には、2つの原因があると考えられています。百聞は一見にしかずを補正することができます。この場合、ユーザーはゼロの最小移動量を指定しました！赤緯モーターはほとんどの場合オフになっていることを忘れないでください。実際には、ゆっくりと着実に変化するためのガイドコマンドのみを発行する必要があります。より大きなシーイングの変動や小さな機械的な問題を修正するために、頻繁にコマンドが必要になることがあります。比較的安全で、この例で見られたような不安定さを引き起こす可能性はありません。前述したように、ヒステリシスのような積極的すぎるガイドアルゴリズムを使用している場合、赤緯の過剰補正を引き起こす可能性もあります。

また、マウントに赤緯のバックラッシュ補正を設定すると、別の形で赤緯発振が発生することがあります。その結果がこちらです。



ここでは2つのことが起こっていた。まず、PHD2 が赤緯ガイドパルスを発行するたびに、大きなオーバーシュートが発生しました。これは、振動が大きくなってシステムが不安定になることを避けるためです。星が自力で戻ってこないと判断したアルゴリズムは、反対方向に再びガイドパルスを出し、このサイクルを繰り返しました。これは、マウントにバックラッシュ補正のパラメーターが設定されていたことが原因でした。これをゼロにすると、発振がなくなる。PHD2 のバックラッシュ補正機能は、このような振動を避けるために自動的に調整するもので、赤緯バックラッシュが控えめなマウントではかなり有効なようです。ガイドをする場合は、マウントのバックラッシュ設定はほとんど機能しません。

赤緯の過剰補正は、ある問題が引き金となり、その後、別の問題によって悪化することがあります。残念ながら、一度に1つの問題しか起こしてはいけないという法律はないのです。この例を考えてみましょう。



PHD2 がガイドの方向を反転させるたびに、マウントが反応して正しい方向に移動するまでに遅れが生じる。これはバックラッシュであることは間違いありません。しかし、マウントが正しい方向に動き出したとき、その後目標をオーバーシュートしていることに注目してください。この動作はバックラッシュではなく、2つ目

の問題である可能性が高い。方向転換の初期段階では、赤緯のギアが方向を変えながら、完全に噛み合っていない時間がありました。これがバックラッシュの部分であり、赤緯の駆動系は事実上デッドゾーンに突入していました。しかし、ギアが噛み合った後も、赤緯モーターの回転は駆動系の抵抗力に打ち勝つことができない。この抵抗力は「スティクション」と呼ばれ、「静止摩擦」の略語です。この時点では、赤緯モーターは正しい方向に回転し続けていましたが、そのエネルギーは赤緯軸全体の望ましい回転に変換されていなかったのです。その代わりに、ギアトレインに他の種類のたわみを生じさせ、その結果、このエネルギーが一時的に蓄積されることになったのです。静止摩擦を克服すると、駆動系の他の部分に蓄積されていたエネルギーが解放され、スプリングバック動作で軸が急激に回転します。

この例では、それがオーバーシュートの原因であったと思われます。バックラッシュをできるだけ小さくすることが、この問題を解決するための第一歩となるでしょう。その上で、12 軸のバランス、潤滑、ギアトレインの締結など、12 軸の静止摩擦や機械的弾性を増加させる可能性があるものを検討する必要があるかもしれません。通常、このようなことはマウントの設計や製造において考慮されているため、どうすることもできないかもしれません。機械的な解決策が見つからない場合は、より低い積極性設定を使用するか、あるいは赤緯の 1 方向のみにガイドする必要があるかもしれません。

適応光学 (AO) 装置に関する考察

一般的に、アマチュア用の適応光学 (AO) 装置は、不完全なガイドを生み出す問題の一部にしか対処できません。AO は通常、性能の低いマウントの挙動を隠したり、少なくとも改善することができます。なぜなら、ガイドの調整には、ほとんどの場合、マウントが必要だからです。小型のチルトミラーを動かすのであって、70 ポンドの望遠鏡の道具ではありません。基本的に、マウントが基本的な追尾以上のことを要求されることはほとんどありません。バックラッシュ、静止摩擦、不完全な恒星間追尾、マウントコントローラソフトウェアの問題は、AO の使用によりほとんど解消されます。さらに、AO は本質的にオフアクシスガイダーであるため、たわみの問題も解消されます。これらは重要な利点であり、多くの本格的な撮影者が AO を使用する理由を説明しています。

AO では、少なくとも通常の条件下では、シーイングによるガイド星の動きを排除することはできません。1/20 秒や 1/50 秒の高速露出で SN 比の良い飽和していないガイド星が見つからなければ、シーイングのサンプリングが不足することになります。ほとんどの AO ユーザーにとって、このような素晴らしい条件は基本的に発生しません。ガイド星の位置測定とその結果の補正は、通常のガイドと同様、本質的に不正確です (付録参照)。そのため、AO のユーザーには、シーイングを追いかけないように 1 秒以上の露出時間を使用するよう勧められています。皮肉なことに、AO 装置のユーザーの多くは、シーイングが非常に良いときや、マウントの性能が低いときに、最高の結果を得たと報告しています。このような場合、マウントの性能がガイドの限界であり、AO はそれを大幅に改善することができるのです。

AO セッションのログを分析することは、以前に説明したこととあまり変わりません。もちろん、バックラッシュなどのハードウェア的なペナルティがないため、ガイドコマンドの割合が高くても、多少の振動やオーバーシュートは許容されます。しかし、シーイングによる過矯正に注意する必要があり、赤経軸と赤緯軸の両方でヒステリシスなどの履歴ベースのガイドアルゴリズムのいずれかを使用して見るべきでしょう。攻撃性とヒステリシスの設定を調整することで、妥当な結果を得ることができるはずです。

ガイドパラメータを変更する - 「ランダム性に惑わされる」

ガイドパラメータに変更を加えてガイドを微調整しようとする、忍耐が必要で、ほとんどの人はごく限られた量しか持っていません。問題は、ガイド星の動きの大部分（あるいは大部分）がシーイングによるものであることです。このシーイングは、私たちがどうすることもできない、ランダムではない物理的な処理なのです。ここで、誰もが経験したことがあるであろう、典型的なパラメータ調整処理を紹介します。

1. リアルタイムのガイドグラフがかなり不安定な感じになっていることに気づきました。良くないですね。
2. その結果、攻撃性を抑え、ヒステリシスのパラメータを上げる必要があると判断しました。
3. ほぼ即座にガイドが改善されます - ほら！この設定をメモしておくと便利です。
4. 5分後にもう一度グラフを見ると、今度はガイドコマンドが少し遅れているような感じで、悪化しています。
5. ガイドパラメータを元の位置に戻しました。
6. ほぼ即座にガイドが改善される--なんだこれ！？

これは、見る条件が変化しているため、ランダムな挙動に近いものを追い求める練習に過ぎません。このようなことを理解する唯一の方法は、もっと長い時間間隔を見て、パラメータを少しずつ調整することです。それでも、1時間ごと、1晩ごと、季節ごとに、見え方に大きな違いが出る可能性があります。私の経験では、ほとんどの人が抱えているガイドの問題は、PHD2のガイドパラメータとはあまり関係がなく、これまで述べてきたような機械的、物理的な問題が大きく関係しています。ガイドの設定を変えてみるのは悪いことではありませんが、パラメータが何をやるものなのか、具体的にどのような動作を変えようとしているのかを明確に理解した上で行う必要があります。問題は何なのか、仮説を立てて、それを裏付けるような調整をすることが大切です。私たちがよく目にする“丸投げ”は、決して良いことではありません。また、シーイングが悪く、いくらじくり回しても良いガイド結果が得られない夜があることを受け入れる必要があります。

屈曲差

あなたがほとんどの人と同じように、おそらくガイドログを分析する理由を探していないでしょう。その代わりに、画像に問題がある場合、例えば細長い星が写っている場合などに、その問題に直面することが多いでしょう。そこで、問題のある画像が撮影された時間を記録し、その時間帯のガイド性能を見るとというのが、論理的な流れになります。そして、本書で説明したようなこと、あるいはその変形が見つかるかもしれません。つまり、ガイドの問題が悪いイメージを引き起こしたという明確な証拠が見つかるかもしれません。メイン撮影スコープを通してガイドしている場合は、通常このようなことが起こります。しかし、14個の独立したガイドスコープアセンブリを使用している場合、注意深くログを分析すると、.....何もわからないかもしれません。

ガイドが非常に良好で、少なくとも長期間にわたって完全に安定しているにもかかわらず、ディープスカイ画像に細長い星が写っていることがあります。これは通常、屈曲差動の兆候であり、歓迎すべき発見ではありません。

機械的な基本はすぐに理解できるはずですが。どんな種類の望遠鏡でも、空のさまざまな場所に移動するときに、少したわんだり、たるんだりするものです。また、スコープ全体が 1 つのユニットとして動作しません。これは簡単すぎます。フォーカサー、チューブ、カメラ、ミラーなど、個々の部品は、その質量や配置場所によって、微妙に異なる量のたわみやたわみが発生します。大型望遠鏡、特に SCT を使用する場合、カメラが通常 3~9 ミクロン（人間の髪の毛は 15 ミクロン以上）の精度で測定していることを考慮すると、たわみの量は相当なものになるでしょう。ここで、ガイドスコープとカメラを別々に取り付けた場合のことを考えてみてください。もちろん、同じ物理学が適用されますが、たわみの量や位置はメインスコープとは異なるでしょう。それが「屈折差動」という言葉の意味するところです。つまり、一方のスコープでガイドし、もう一方のスコープで撮像する場合、ガイドシステムは、メイン画像に現れるのと全く同じ動きを見たり、補正したりすることはできないのです。

2000mm 以上の長い焦点距離で撮影する場合、別のガイドスコープを使って長時間露出ができればラッキーです。しかし、そのようなことはありえませんし、やっている人もいますが、ほとんどの人ができません。そのため、長焦点レンズの撮影にはオフアクシスガイドを使用することが多いようです。そうすれば、メインスコープにどんなたわみがあっても、ガイドシステムには見えているので、補正ができるのです。オフアクシスガイドは複雑でコストもかかるため、苦肉の策ではありますが、他に良い方法がない場合もあります。多くのイメージャーがこのことを否定し、"しっかり固定しているし、何も動いていないのだから、屈曲差であるはずがない"と言っています。そうです、そうなのです。クランプ式、ネジ式、ギア式、止めネジ式など、システム上のあらゆる機械的インターフェースは、何らかの動きの可能性を持っています。そして、数ミクロンの動きで問題が発生するのです。たわみはガイドシステムそのものではなく、メインシステムの一部である可能性もあります。どの光学系が問題を起こしているのかを知る簡単な方法はなく、2 つのアセンブリが異なる速度で異なる量だけ屈曲しているということだけです。

もし、屈曲差動の結果だと思われるなら、それを確認するための簡単な実験ができます。通常通り、ガイドを付けた状態で短時間の露出を連続して行うだけです。各生のフレームの星が少なくとも許容範囲になるような露出時間を選択する。次に、これらの画像を整列させずに積み重ねます。積み重ねた結果は、非常に細長い星を示している可能性が高く、伸びの大きさから、屈曲差がどれだけあるかがわかります。時には、星の中心があるフレームから次のフレームへほぼ等しく移動することがあり、これは生のフレームを素早く「点滅」させることで確認できます。星が細長くなるのは、他の原因も考えられるので、このテストはやっておく価値があります。また、コリメーション不良や管電流などの光学的な問題や、スコープ付近の熱の影響でも星が伸びることがあります。これらは短時間露出で現れることが多いので、機械的な接続をすべて調べる前に、屈曲差動の診断を確認するのがよいでしょう。

このトピックの結論として、別のガイドスコープアセンブリを使用する場合、ある程度の屈曲差、期間が発生します。運が良ければ、使いたい露出時間で表示されないこともあります。これは、比較的短い焦点距離（例えば 1500mm 以下）で撮影する場合にも起こり得ることです。あるいは、締め付けたり調整したりすることで、差動のたわみを画像から実質的に見えなくすることができるかもしれません。しかし、それは重力と物理学が邪魔をしているだけであり、背景に潜んでいるのです。

付録

画像スケールと秒角での計測

ガイドに影響を与える現実的なもの、つまりシーイング不良、機械的な変位、屈曲など。ガイド星の移動は、秒角単位で測定するのが最適です。そのため、PHD2 はカメラのピクセルサイズと焦点距離を知ること、ガイド画像に写ったピクセルサイズの動きを秒角という単位に変換することができるのです。これが「画像スケール」と呼ばれるもので、カメラセンサー上の直線的な計測値が、どのように角度的な計測値に変換されるかを示しています。ちなみに、1 秒角は 1 度の 3600 分の 1 であり、0.004mm の物体を腕の長さにしたときの角度の大きさである。ピクセル数という単位でのガイド性能の議論は全く意味がありませんが、そのようなフォーラムでの議論もよく見かけます。なぜ役に立たないのか？ PHD のフォーラムで定期的に出てくる、簡単な例で考えてみましょう。例えば、焦点距離 300mm のガイドスコープと 5 μ 画素のガイドカメラを別々に使っていたとします。この構成でしばらく作業していると、リアルタイムガイドグラフの星の動きのほとんどが 0.3px の範囲に収まっていることを確認します。それが結構な数に思えるので、ヤフーの掲示板でちょっと自慢したりもするんでしょうかね。しかし、オフアクシスガイド・セットアップを使用するようになり、ガイドスコープの焦点距離は 300mm ではなく、2000mm になりました。突然、リアルタイムグラフに星の動きが表示され、0.3 ピクセルではなく 2 ピクセルの大きな振れ幅になりました。同じマウントなのに、なんだこれ？ きっとガイドソフトが悪いんだ。まあ、そうでもないのですが、画像のスケールを考慮していないのでしょう。ガイドスコープでは、画像スケールが 3.4 秒/px だったので、0.3px の移動は実質 1.02 秒の移動 (3.4 \times 0.3) だったのですね。しかし、新しいオフアクシスガイドのセットアップについてはどうでしょうか？ 画像スケールは 0.52 秒/px で、2px の移動は実際には 1.04 秒の変位で、本質的に以前と同じです。ブレインダイアログ (ガイドタブ) のキャリブレーションステップ計算機で計算し、画像スケールを算出することができます。しかし、肝心なのは、常に秒角の単位で性能を考えることです。もちろん、PHD2 で使用するグラフが常に秒角単位で表示されるのは、そのためです。

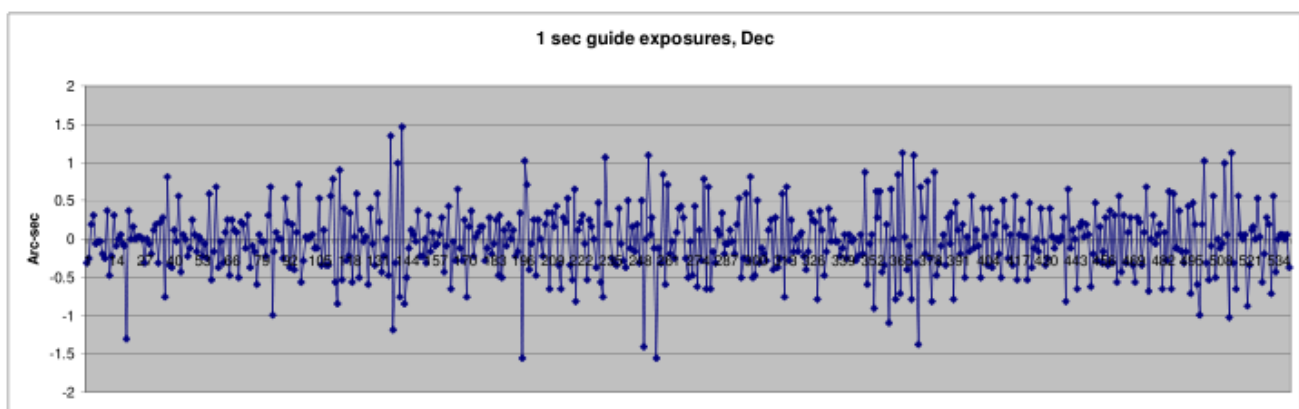
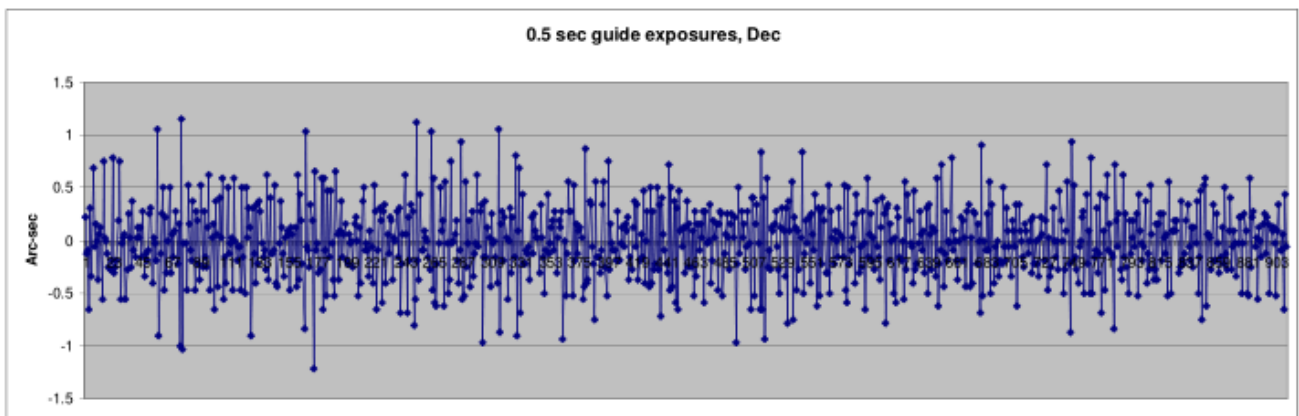
天体観測とガイド

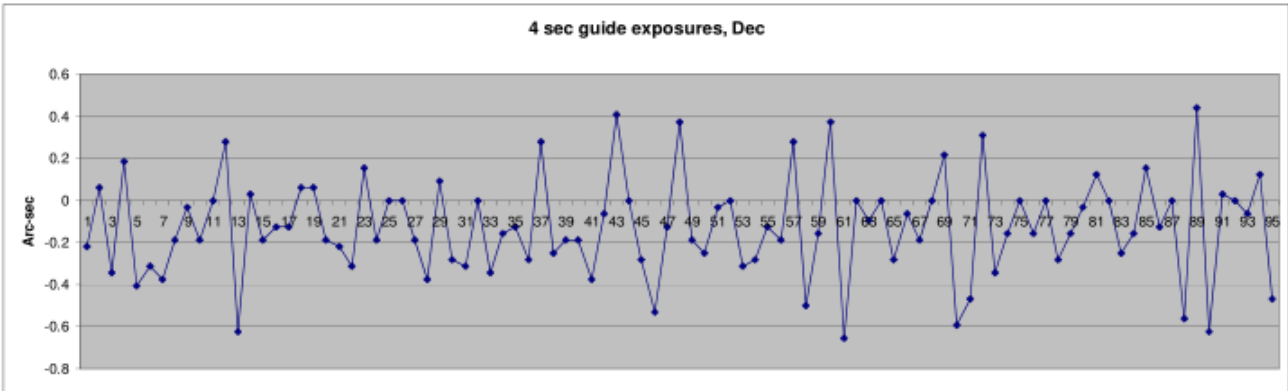
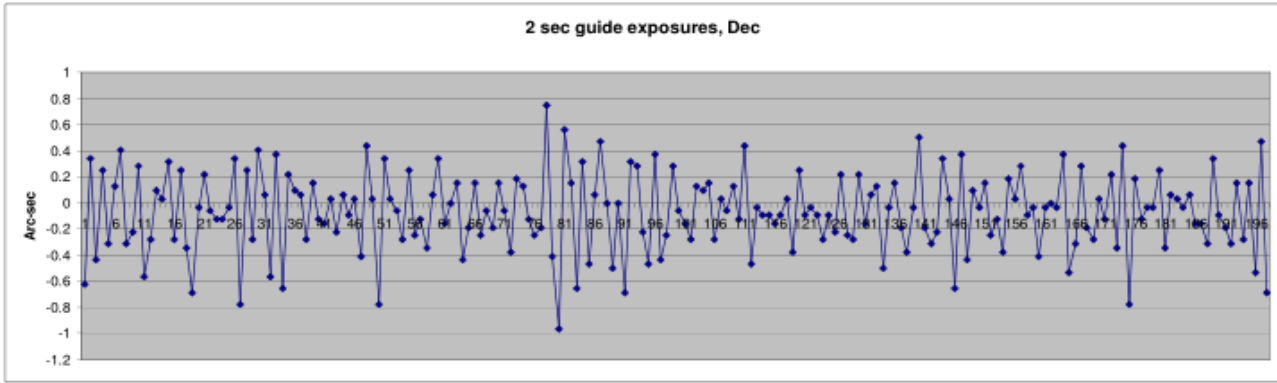
ガイドの性能を見るには、天体の見え方を理解する必要があります。これは複雑なテーマで、ここで扱うべきものではありません。しかし、クリフズノート版では次のようになります。"シーイング"とは、望遠鏡で見る (イメージする) 星の位置の揺れや急激な明るさの変化を指す言葉である。地球大気中の熱細胞の移動によって起こる大気の乱れであり、基本的にはどうしようもないことなのです。つまり、星を見るときは、小さなレンズのような空気の柱を通して見ていることになるのです。各セルによる光の屈折がそのセルの温度に依存し、一般的にセルの温度が異なることを除けば、それは大丈夫かもしれません。もちろん、大気は非常にダイナミックなので、これらの要素はさまざまな速度で動き回り、あなたが見ている空気の柱に入ったり出たりしています。そう考えると、私たちが何かをイメージできることが不思議に思えてきます。特に長焦点レンズでは、この大気シーイングがガイド星の動きの最大の原因であり、私たちはこのシーイングから逃れられないのです。ガイドすることはできないのでしょうか？ 短い答えは「ノー」です。長い答えも「ノー」です。大気中のセルが動くということは、ガイド星の位置が 1 秒間に 10 数回から 100 数十回変化していることを意味します。アマチュア用の OA 装置を使っても、十分な速度で測定し、対応することはできないでしょう。プロの天文台は、非常に高価な測定器や人工の星、鏡を変形させたり高周波で像をずらしたりする機構を採用することで、かなりの程度それを実現しています。それは私たちではありません。

ガイドの観点からすると、私たちは見る行動を「アンダーサンプリング」しています。露出し、画像をダウンロードし、ガイド星の位置を計算し、ガイドコマンドを送信するまでに、センサー上の星の位置は、おそらく10倍から100倍も移動しています。基本的に、ガイド星の位置は常に古い情報なので、ガイドコマンドは本質的に不正確であり、マウントが受け取ったガイドコマンドを正確に実行するための欠点は考慮されていません。本来、ドリフトや周期誤差、大気の屈折など、補正できる星の動きは、シーイング条件が作り出すノイズの海に隠れています。これは、従来のガイドの大きな限界であり、精巧なガイドアルゴリズムやプロセス制御モデルが、より単純なアルゴリズムに比べて大きな改善をもたらすことが困難である大きな理由です。また、非常に短い露出時間と非常に積極的なガイドパラメータを組み合わせると、必ずガイド結果が悪くなるのもこのためです。

シーイングと露出時間

ガイドカメラが見る高周波のシーイングによる星の動きは、ガイドの露出時間の長さに強く影響されます。露出時間を長くしたときのガイド星の動きのプロットを以下に示します。





ガイドの露出を上げると、星が動く範囲が狭くなり、1 秒露出から 4 秒露出にすると、星の動きのモーシオンは 2 倍くらいに低下します。本来、カメラセンサーは、変化する星の光パターンを平均化し、その結果を平滑化しているのです。これらの測定は、サンプリング不足のためまだ不正確ですが、露出時間が長いため、PHD2 は、ガイドによって本当に改善できる低い周波数の誤差を分離・特定することが容易になります。もちろん、露出時間には実用的な上限があり、一般的には、マウントが補正を必要とせず動作する時間の長さ制限されます。周期的な誤差、ドリフト、たわみなどによる小さな誤差は、画像を台無しにするほど大きくなる前に修正する必要があります。適切なバランスを見つけるには、シーイングコンディションと機器の質の両方に常に依存します。PHD2 の出発点として、私たちは通常、2~4 秒の露光時間を使用することをお勧めします。

結論

この学習が、あなたが得ているガイド結果についてよりよく理解し、それを改善するための手がかりになることを期待します。また、問題が解決しない場合でも、サポートフォーラムでより詳しい質問をすることで、得られた回答をより適切に評価することができます。

学習を改善するためのコメントや提案がある場合は、Open-PHD-Guiding フォーラムにメッセージを投稿するか、bw_msg01@earthlink.net までメッセージを送ってください。

-- Bruce Waddington

V 1.0 - 2015 年 12 月

V 1.1 - 2016 年 1 月

翻訳 : 2023 年 5 月、Watanabe Toshihito