

δ Sco の D_{34} 振動

藤井 貢 (FKO)

2025/10/20

可視低分散分光観測 ($R \sim 500-1000$) において Be星 δ Sco の $D_{34} = F(H\alpha) / F(H\beta)$ をモニターしていると、周期振動と思われる現象を示した。この振動の要因は？

観測装置:

低分散分光器 (R~500, R~1000) + 0.28m SCT, 0.4m SCT

観測期間:

2000/07/22 - 2025/09/27

観測期間を含む全スペクトル一覧:

https://otobs.org/FBO/fko/gcas/del_sco_all/del_sco.htm

D₃₄ 算出法:

$$D_{34} = F(H\alpha)/F(H\beta) = G\alpha \times W_E(H\alpha)/W_E(H\beta)$$

ここで $W_E = W_s - W_{ob}$

W_s : 光球吸収線の等価幅 W_{ob} : 観測される等価幅

W_s の算出は次のサイトの図8による:

https://otobs.org/FBO/mutter/B-type_star_balmer_ws_g_obs_model.pdf

$$W_s(H\beta) = 0.0159X^2 + 1.1206X + 2.2518$$

$$W_s(H\alpha) = 0.0198X^2 + 0.572X + 1.7354 \quad X \text{ は B 型の分光サブクラス}$$

また $G\alpha = 0.333 + 6.67 \times 10^{-3} X$ ¹⁾ X は B 型の分光サブクラス

W_{ob} は IRAF の splot タスクを用い、 $H\beta$ 輝線は 'e-e' コマンド (2 点間を積分した等価幅)、 $H\alpha$ 輝線は 'k-v' コマンド (フォークト関数フィッティング) による等価幅を採用。

1) 小暮智一 著「輝線星概論」 P.231 (5.3.4) 式

図1に全期間(2000/07/22 - 2025/09/27) の D_{34} と $H\alpha$ (EW) 及び伴星の近星点²⁾を示す。

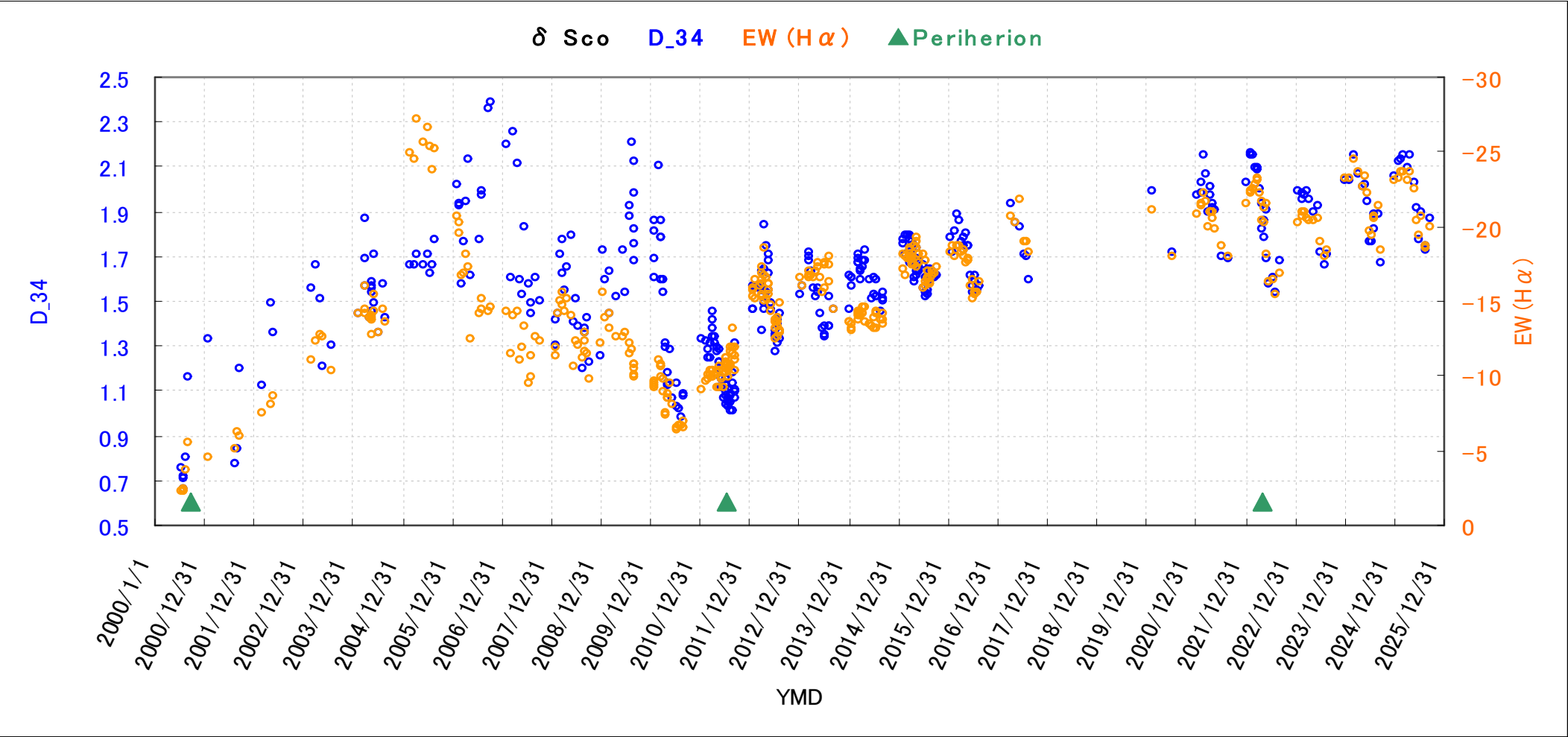


図1 全期間(2000/07/22 - 2025/09/27) の D_{34} と $H\alpha$ (EW) 及び伴星の近星点(▲)を示す。
2018年から2019年の2年間データが得ていないが、 D_{34} を見ると2012年～2017年、
また2023年以降周期的な振動が見える。

2) Tycner et al. (2011)

図2は図1で D_{34} の周期振動が見受けられる2011年以降を示す。
また周期解析の為、観測していないギャップの前と後の PDM 1(2011/01/20 - 2017/08/24) と PDM 2 (2020/02/23 -2025/09/27)の2区間を \leftrightarrow で示す。

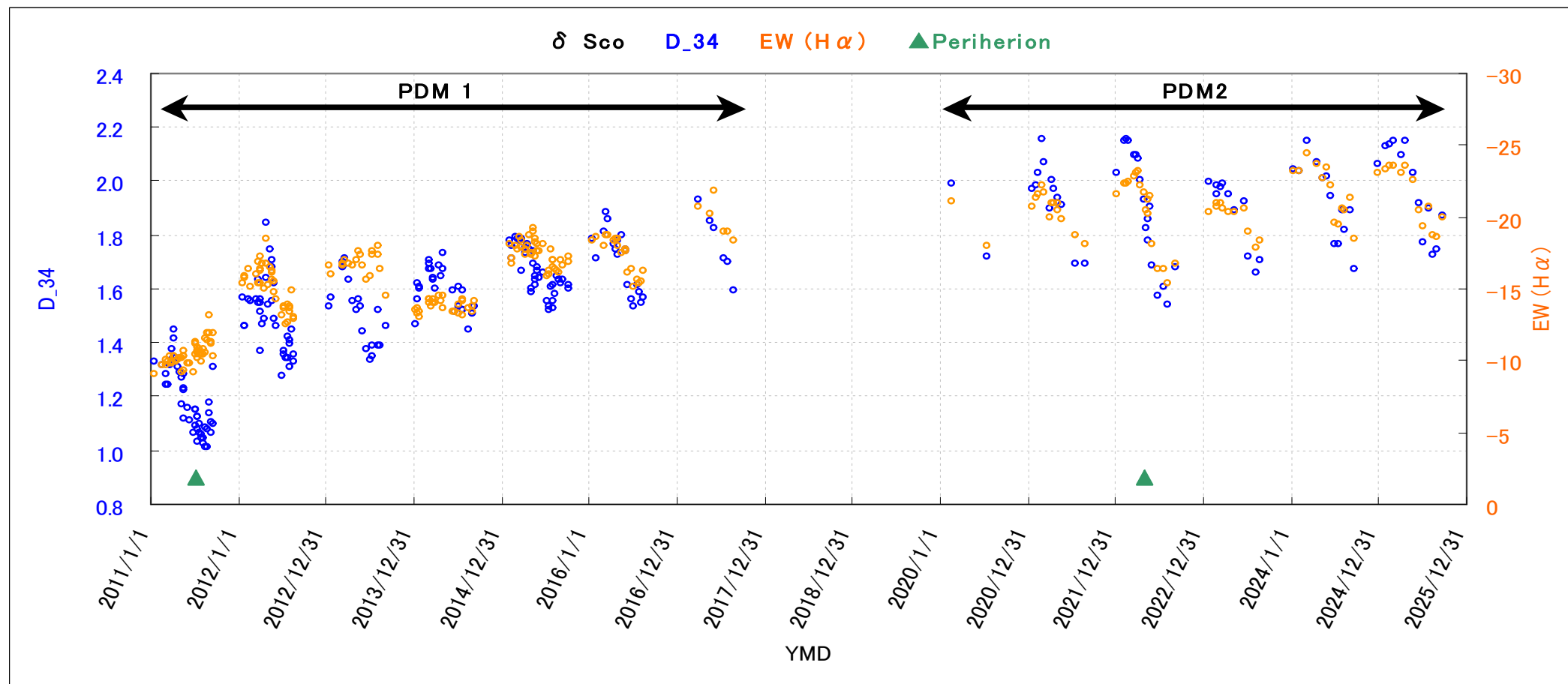


図2 図1 のズームアップで、 D_{34} の振幅0.2程度の周期的変動が見受けられる区間をPDM 1、PDM 2 と2区間に分け \leftrightarrow で示す。 D_{34} と合わせて $H\alpha$ 等価幅(オレンジ色)を示しているが両者の相関は強い。

図2において、PDM 1 と PDM 2 の区間について、それぞれ周期解析(AAVSO VStar)を試みた。結果を図3, 図4に示す。

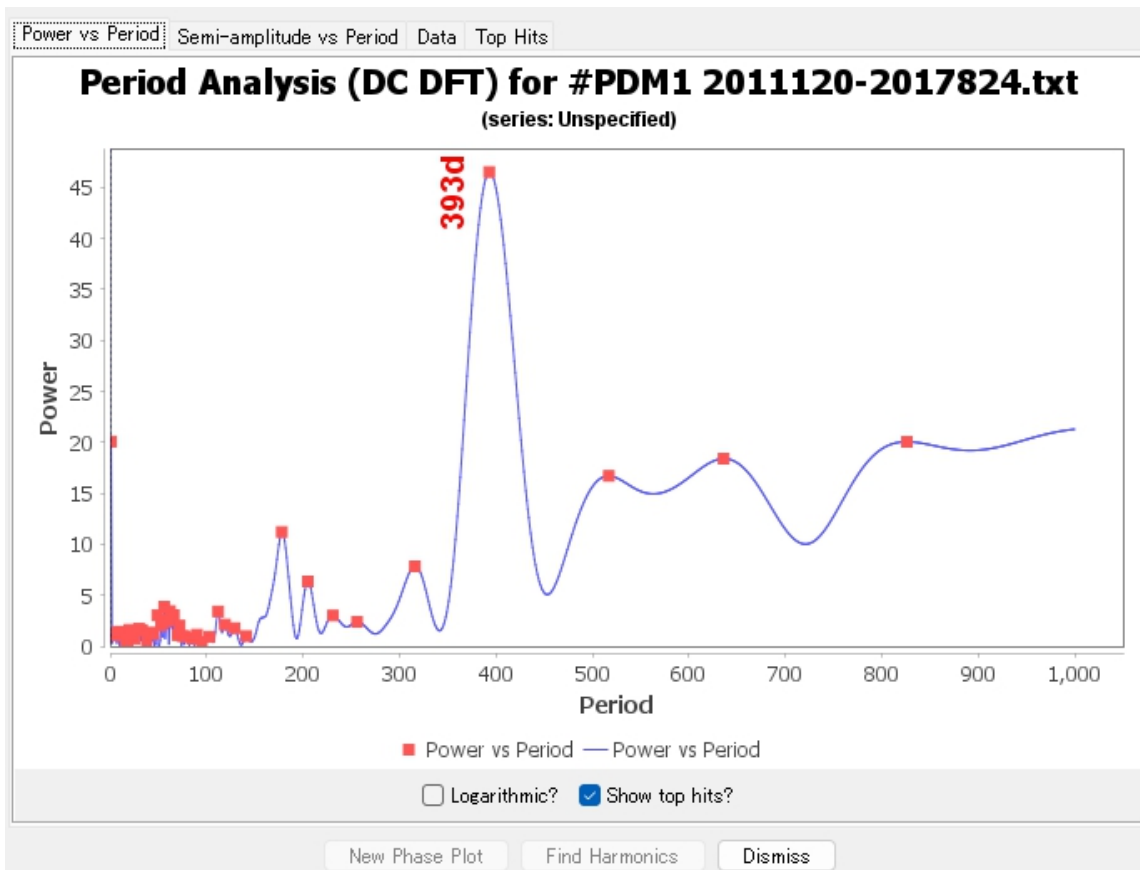


図3 PDM 1 (2012/01/20-2017/08/24)の区間は周期393日

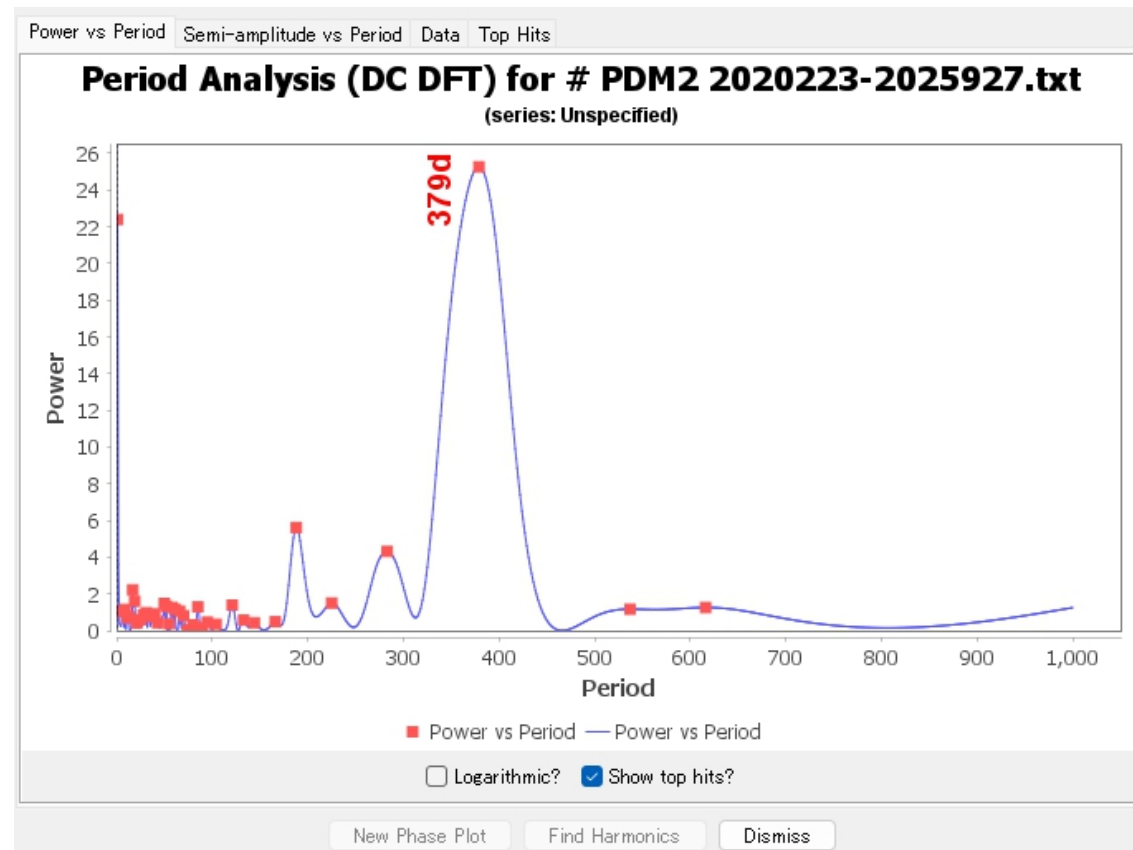


図4 PDM 2 (2020/02/23-2025/09/27)の区間は周期379日

両区間共に400日弱の周期を示す。

この400日程度の D_{34} 周期は何を意味するのだろうか？
ChatGPTに尋ねると以下のような見解が：

1. 伴星との軌道運動による摂動(ビネリ効果)

伴星通過による星周円盤への潮汐的影響が円盤構造を周期的に変化させる(擾乱波の伝搬など)。

2. 星周円盤の自励振動(1-Armed Density Wave: 一腕構造)

多くのBe星では、非軸対称な一腕構造(density wave)が星周円盤に形成され、これが円盤内をゆっくりと歳差運動します。この運動が視線方向に対する光学的深さや輝線形成条件を変化させるため、以下のような観測的影響が出ます：

$H\alpha$ や $H\beta$ の強度比(D_{34})に周期的変化が現れる。

等価幅やバルマー系列のプロファイルの非対称性が変化する。

この「一腕密度波」モードは、Be星円盤に典型的に見られるもので、数百日～数年の周期を示すことが知られています。400日という周期はまさにこの自励振動に該当する可能性が高いです。

可能性の高いメカニズム

メカニズム	寄与の可能性	備考
星周円盤の自励振動 (1-Armed Mode)	★★★★☆	Be星に典型、400日は現実的な周期
潮汐摂動による周期的変化	★★★★☆	δ Scoは連星系なので影響ありうる
質量放出イベントの周期性	★★☆☆☆	証拠あれば裏付けに
視線方向の効果 (非軸対称円盤)	★★☆☆☆	一部寄与の可能性あり

ここで図2の近星点に着目すると、PDM 1及びPDM 2共にこの D_{34} 振動への関連性はないように見受けられる。

そうだとすると星周円盤の自励振動 (1-Armed Mode) は、例えば $H\alpha$ 輝線のV/R変動と相関していないだろうかという思いが強くなり、この期間の $H\alpha$ 輝線の中・高分散スペクトルのV/Rを計測調査してみることにした。

Be星のデータが多いBeSS のデータベース(<http://basebe.obspm.fr/basebe/>)を見ると中分散($R \sim 10000$)は 2019年以降のデータのみで、PDM 1(2012/01/23-2017/08/24) の期間のデータは存在しなかった。

PDM 2(2025/06/18-2025/06/18)の期間はデータがあるが、 $H\alpha$ と $H\beta$ 輝線は全てシングルピークを示しており、 V/R は計測できそうになかった。ただ $H\gamma$ 輝線に着目するとWピークを示していたので、今回この $H\gamma$ の V/R を測定した。

https://otobs.org/FBO/mutter/del_sco_vr.pdf

この $H\gamma$ 輝線 V/R 測定では明瞭な周期性がでなかったもので、 D_{34} 振動周期と V/R 周期の相関は無いのかもしれない。しかし V/R 周期で、 D_{34} 振動周期約400日に近い約450日程度の弱い周期がでていたので、この点は少し気になる。

ただこれらの周期は地球の1年周期に近いので、季節ギャップ(δ Scoの観測高度が低いと日本やヨーロッパにおけるデータは半年間に集中する)によるエイリアスがでている恐れもある。