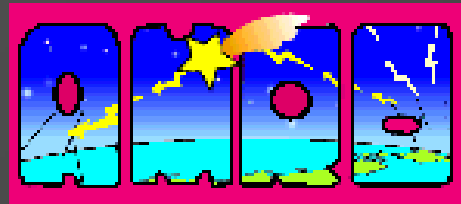


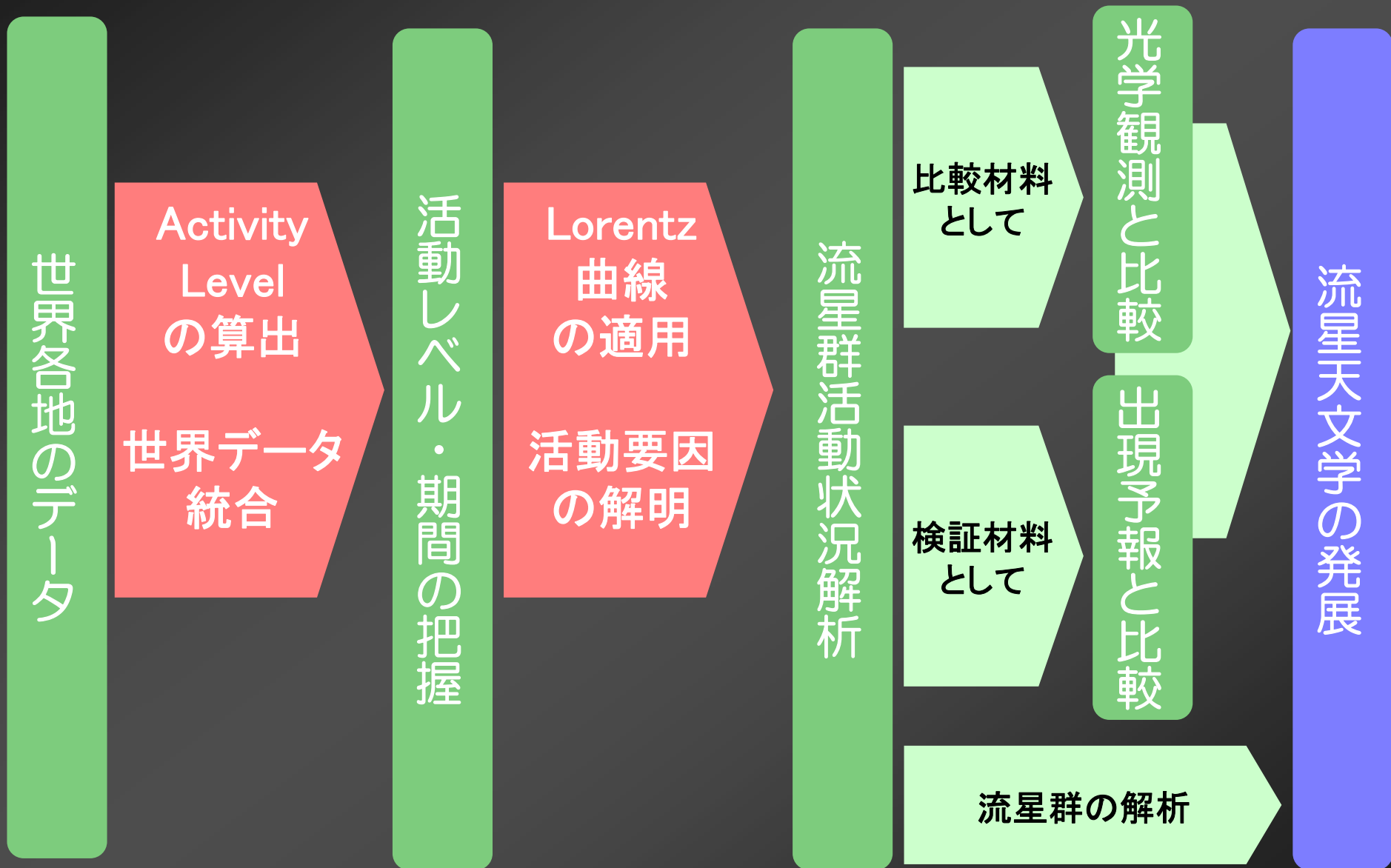
流星電波観測のさらなる有用性を目指して Season3

～流星電波観測でみる経年変化～



日本流星研究会 小川 宏
h-ogawa@nms.gr.jp

機械的に実施される世界のデータの集約



流星活動度を示す Activity Level

受信環境の違い

観測機器の違い

観測できる
エコー数に
差が生まれる

世界
ダメ!

Activity Levelの採用

相対値(次元のない数値)を用いる!

$$A(t) = \frac{H(t) - H_0(t)}{D_0}$$

$$A'(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N A(t)_n$$

$H(t)$: 観測エコー数
 $H_0(t)$: バックグラウンド
 D_0 : 日平均
 N : 観測サイト数

より精度を高める考慮事項の追加

各地点のデータを集計し全観測地点を統合

$$A(t) = \frac{H(t) - H_0(t)}{D_0}$$

$$A'(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N A(t)_n$$

流星群解析の場合

通常活動解析の場合

輻射点高度 (θ) の補正

$20 \leq \theta \leq 70$ 範囲のデータを使用
 $A(t)$ に対し、 $\sin\theta$ で割り戻す

$A'(t) - n\sigma < A(t) < A'(t) + n\sigma$
正常範囲 $A(t)$ を使用する

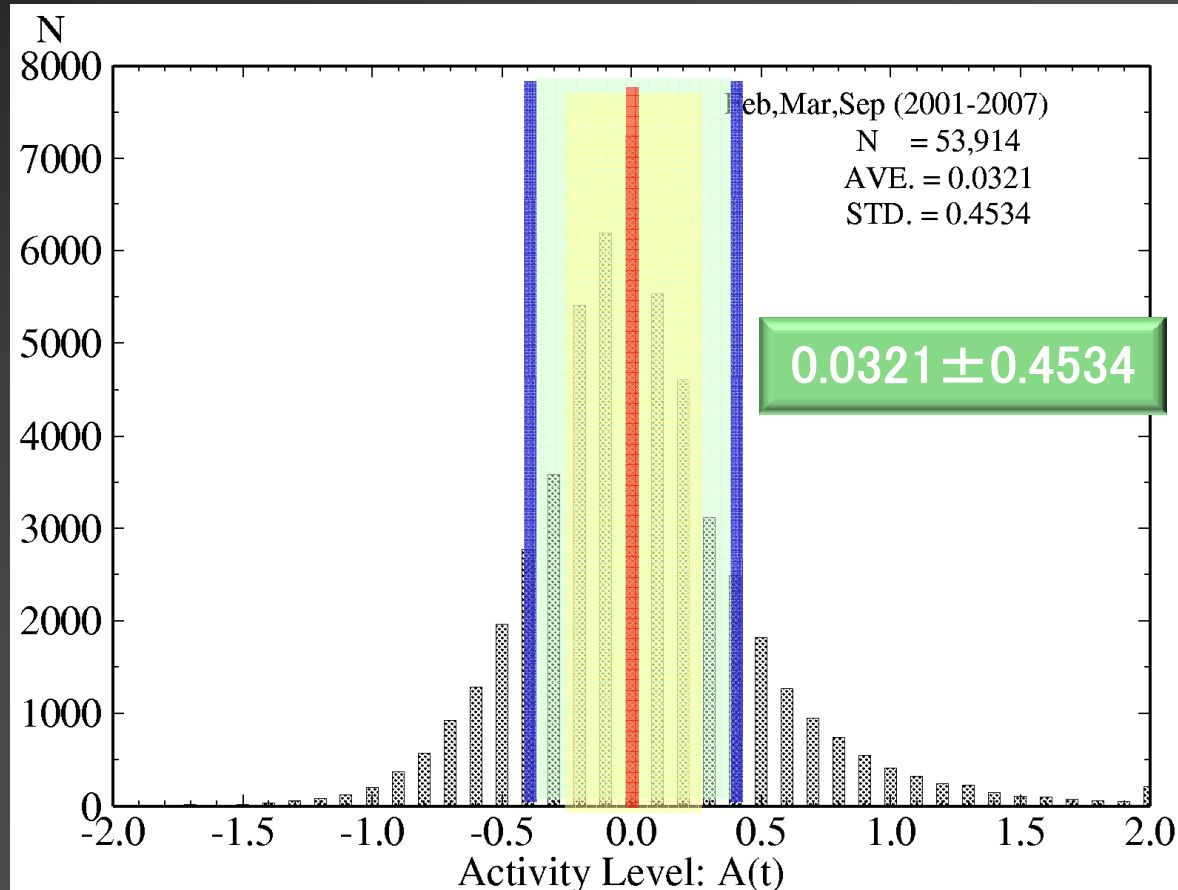
異常値のカット

σ は $A(t)$ の標準偏差

再集計し、 $A(t)$ と $\sigma(t)$ を導き最終結果とする

いわゆる通常レベルの分布

正常値の定義: $A'(t) - n\sigma < A(t) < A'(t) + n\sigma$ n : パラメータ



データ元:

2001年～2007年の
2月、3月、9月のデータ

通常範囲 “n” の定義

流星群解析時

$n = 0.75$

通常活動解析時

$n = 1.00$

見かけの活動は一体？

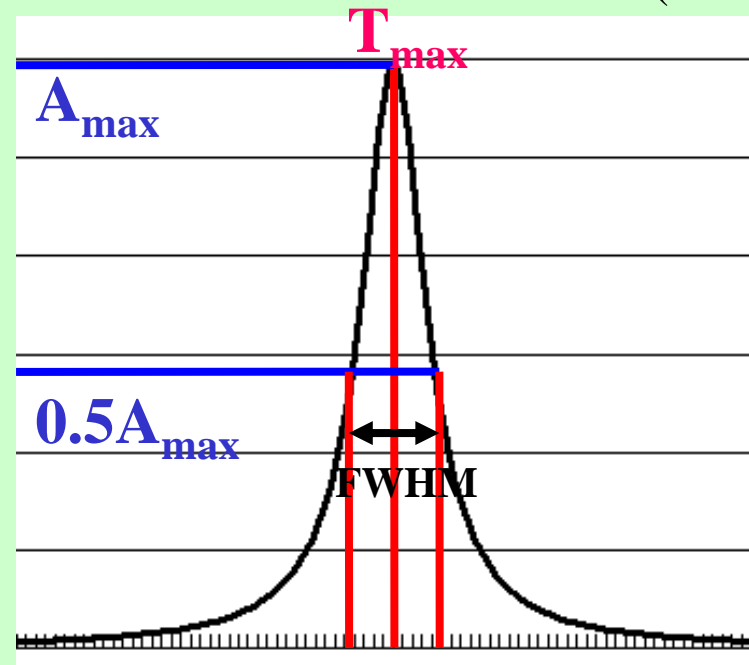
Lorentz曲線

$$A(T) = \frac{A_{\max} W_h^2}{(T - T_{\max})^2 + W_h^2}$$

W_h^2 : FWHMの半分

極大前 : Ascending Branches
極大後 : Descending Branches

Jenniskens et al. (2000)



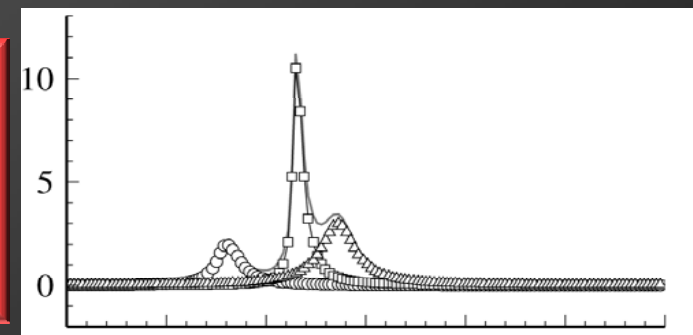
活動レベル半値幅

ある時刻T

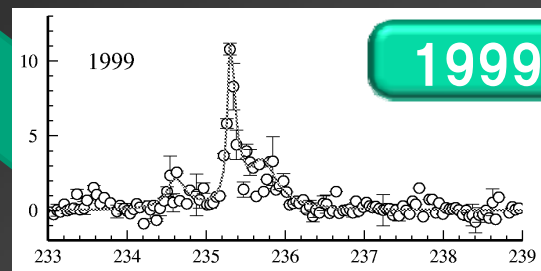
極大時刻

極大活動レベル

ある時刻T
における
活動レベル



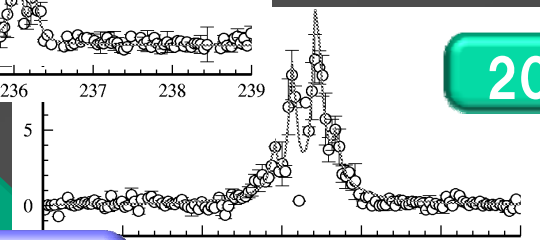
しし座流星群は一段落(詳細は資料参照)



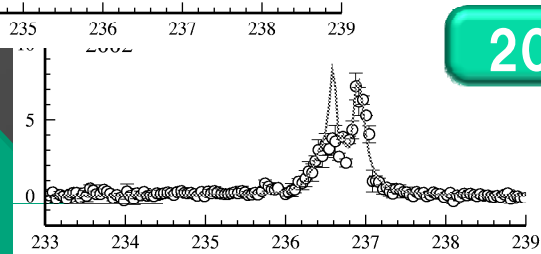
1999



2000

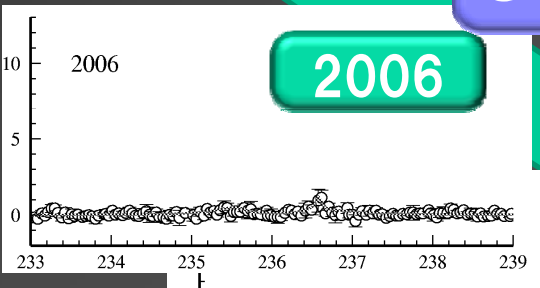


2001



2002

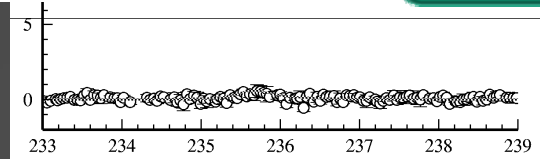
しし座流星群経年変化



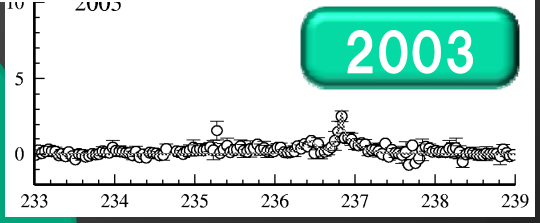
2006



2005

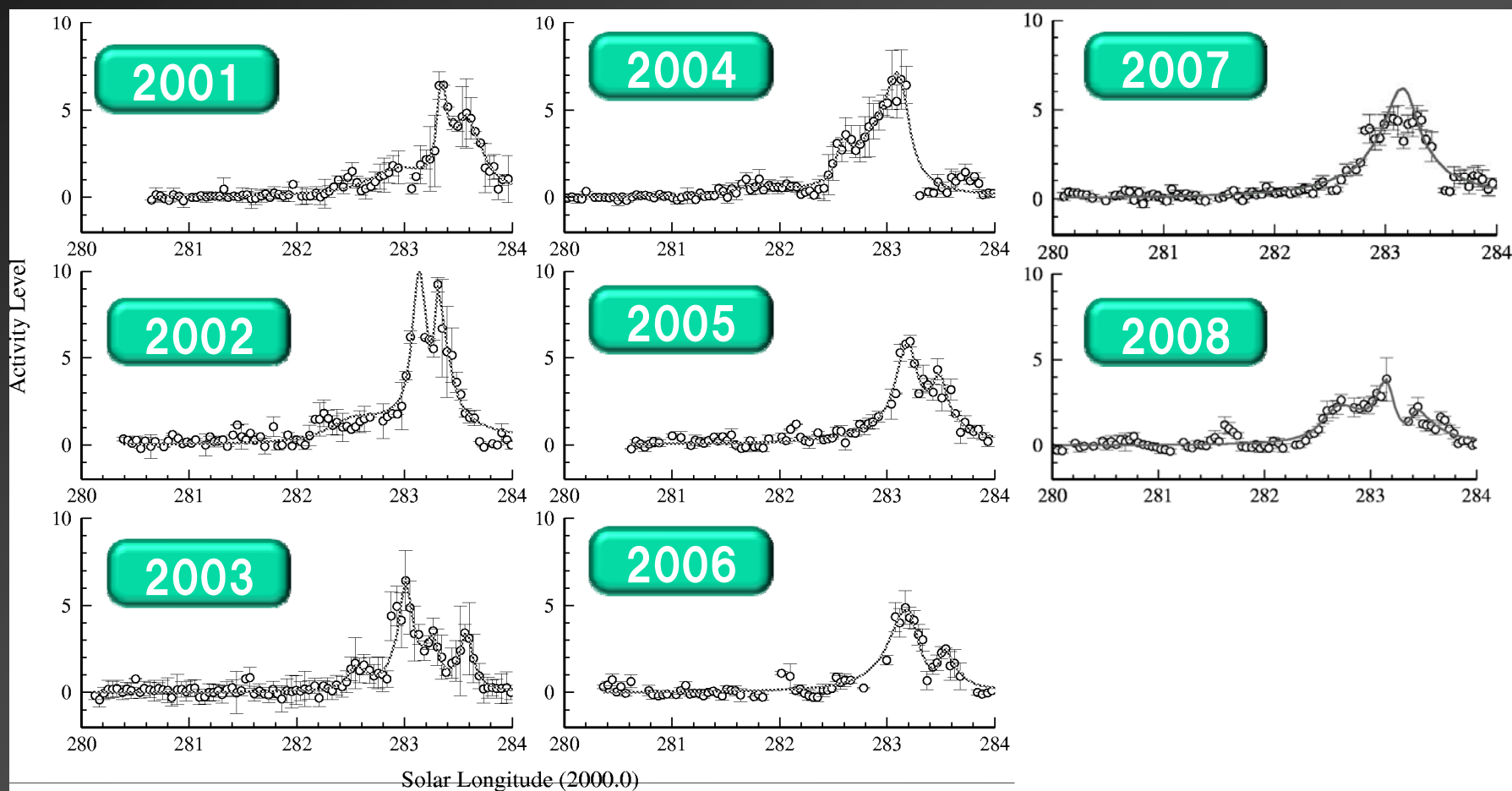


2004



2003

しぶんぎ座流星群の極大は鋭い？ほんど？



しぶんぎ座流星群の極大は鋭い？ほんど？

結果から見ると数時間レベルの活動ではない様子

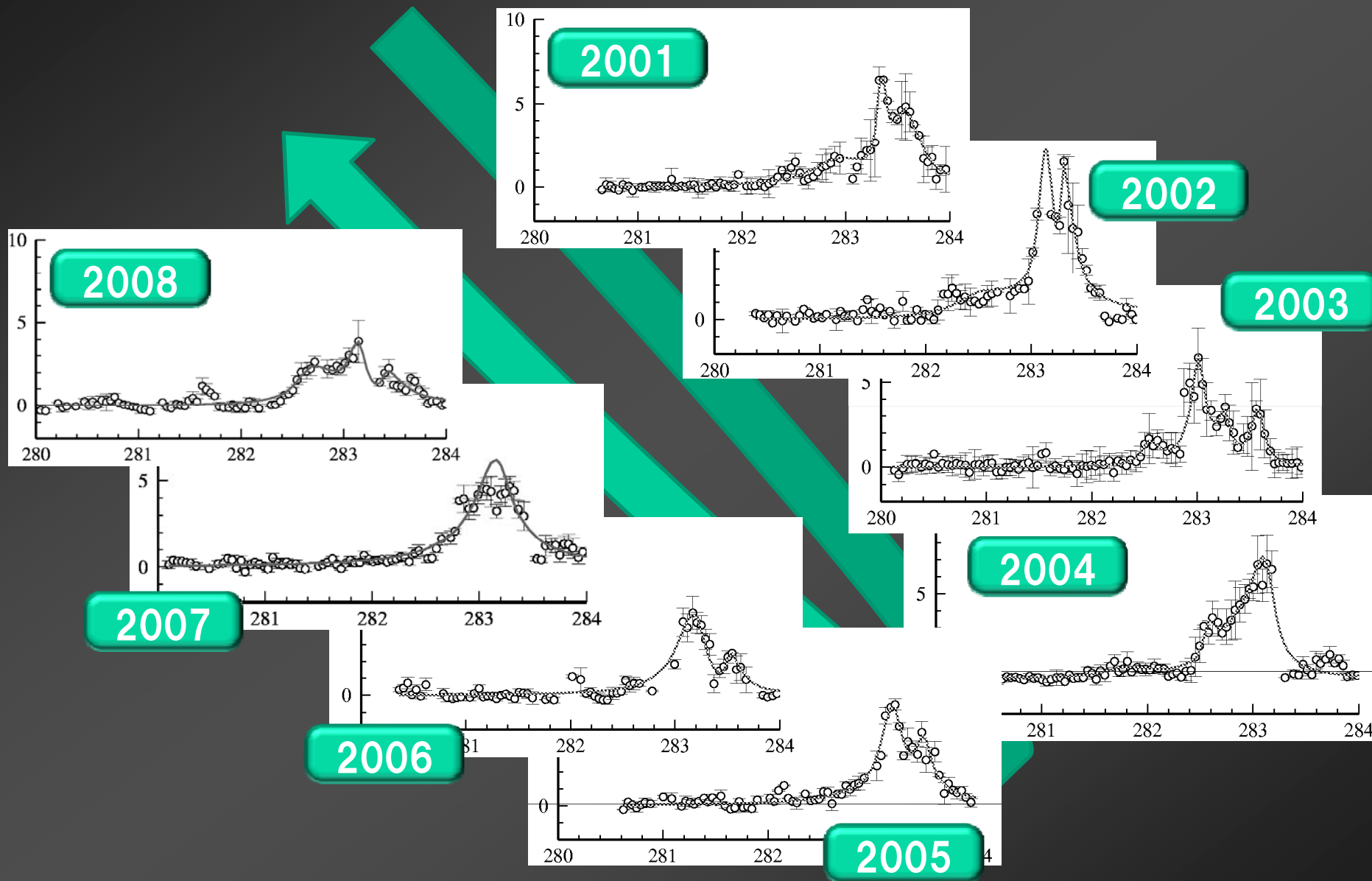
Year	Trail	Time (UT)	$\lambda_{\odot} (^{\circ})$	$A_{(max)}$	FWHM
2001	Q01T1	Jan. 03 06 ^h 30 ^m	282.94	1.5	-8.0/+8.0
	Q01T2	Jan. 03 16 ^h 00 ^m	283.35	5.5	-1.1/+1.5
	Q01T3	Jan. 03 21 ^h 30 ^m	283.58	4.0	-3.0/+4.0
2002	Q02T1	Jan. 03 03 ^h 30 ^m	282.55	1.5	-7.0/+24.0
	Q02T2	Jan. 03 17 ^h 30 ^m	283.15	9.0?	-1.8/+1.5
	Q02T3	Jan. 03 21 ^h 30 ^m	283.32	7.0	-1.0/+2.5
2003	Q03T1	Jan. 03 09 ^h 30 ^m	282.55	1.3	-2.0/+3.0
	Q03T2	Jan. 03 20 ^h 30 ^m	283.01	6.0	-2.0/+2.0
	Q03T3	Jan. 04 02 ^h 30 ^m	283.27	2.5	-2.0/+1.5
	Q03T4	Jan. 04 10 ^h 00 ^m	283.59	3.3	-2.0/+1.5
2004	Q04T1	Jan. 03 22 ^h 30 ^m	281.82	0.5	-6.0/+6.0
	Q04T2	Jan. 03 16 ^h 30 ^m	282.58	2.0	-1.2/+2.0
	Q04T3	Jan. 03 23 ^h 30 ^m	282.88	2.0	-6.0/+6.0
	Q04T4	Jan. 04 05 ^h 00 ^m	283.11	6.0	-4.0/+2.5

しぶんぎ座流星群の極大は鋭い？ほんと？

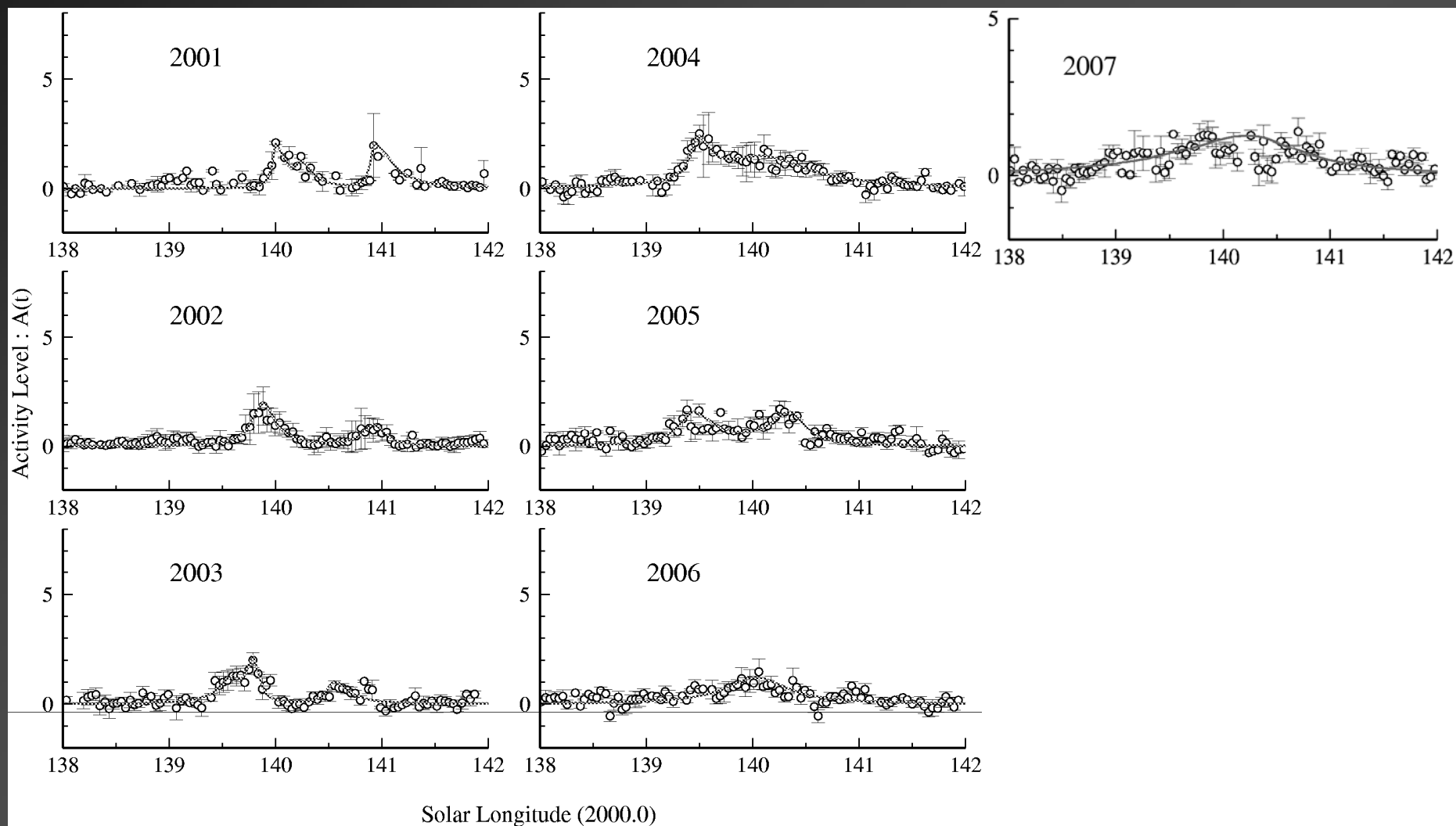
Year	Trail	Time (UT)	$\lambda_{\odot} (^{\circ})$	$A_{(max)}$	FWHM
2005	Q05T1	Jan. 03 13 ^h 00 ^m	283.19	4.7	-3.0/+2.5
	Q05T2	Jan. 03 15 ^h 00 ^m	283.28	1.0	-12.0/+12.0
	Q05T3	Jan. 03 20 ^h 00 ^m	283.49	2.8	-2.0/+2.0
2006	Q06T1	Jan. 03 19 ^h 00 ^m	283.19	4.8	-5.0/+3.0
	Q06T2	Jan. 04 03 ^h 00 ^m	283.53	2.0	-1.0/+3.0
2007	Q07T1	Jan. 04 00 ^h 00 ^m	283.14	1.5	-12.0/+12.0
	Q07T2	Jan. 04 00 ^h 30 ^m	283.16	4.7	-5.0/+4.0
2008	Q08T1	Jan. 03 20 ^h 00 ^m	282.72	2.2	-4.5/+8.0
	Q08T2	Jan. 04 06 ^h 30 ^m	283.15	3.0	-2.5/+2.0
	Q08T3	Jan. 04 13 ^h 00 ^m	283.45	1.5	-1.0/+5.0

- FWHMが6時間を超えるものが毎年存在
- ピーク構造は想像よりも複雑（天頂効果時間帯は除去済み）
- 極大は、283.1~283.2
- 総合的には2002年、2004年が例年よりも活発
- 2008年の活動は解析期間中では一番弱い出現レベル。

毎年確実に記録を重ねている流星群



対地速度が速いのは手強い(ペルセウス群)

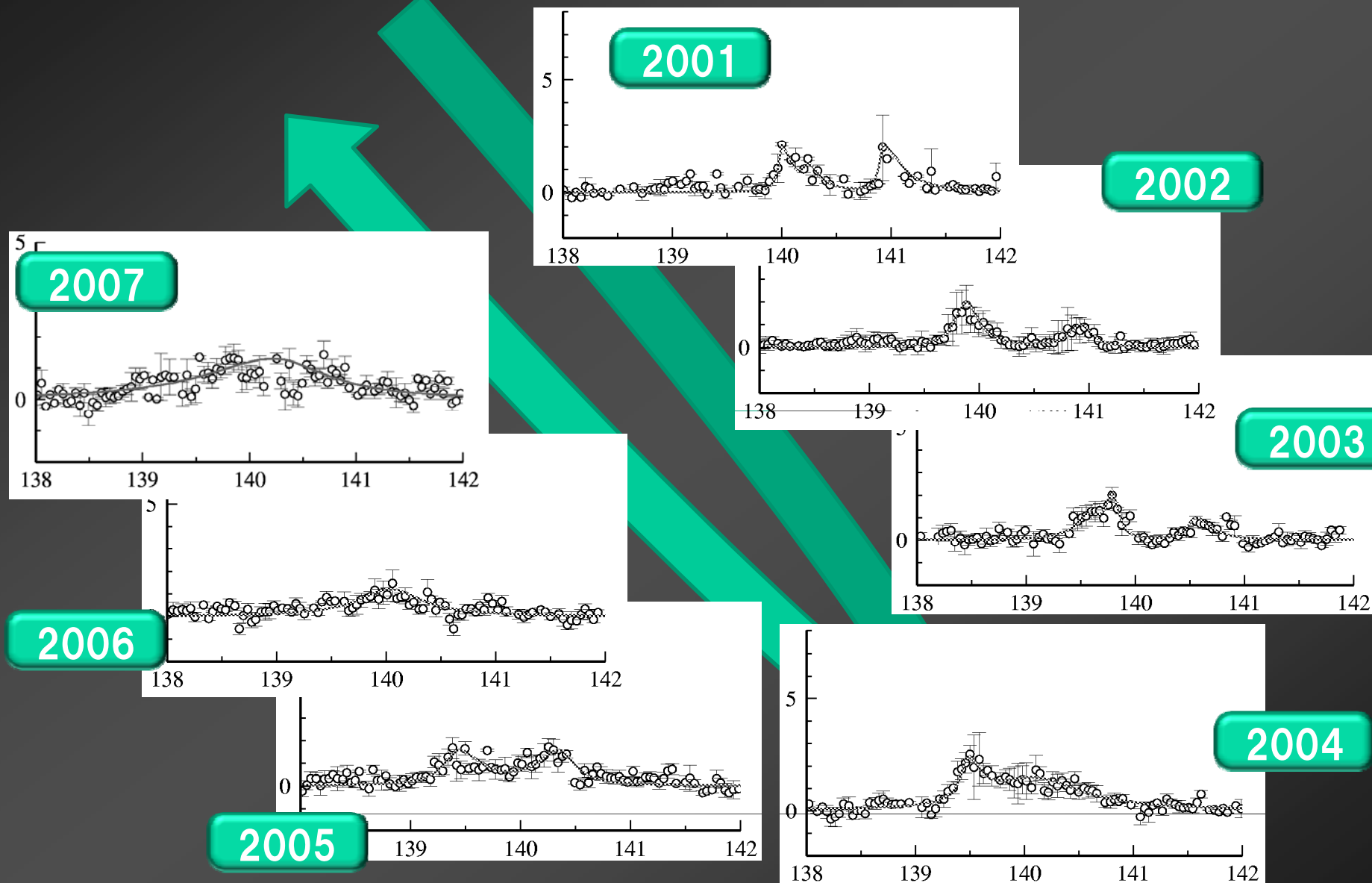


複数ピークは怪しいが、極大太陽黄経は意外と？

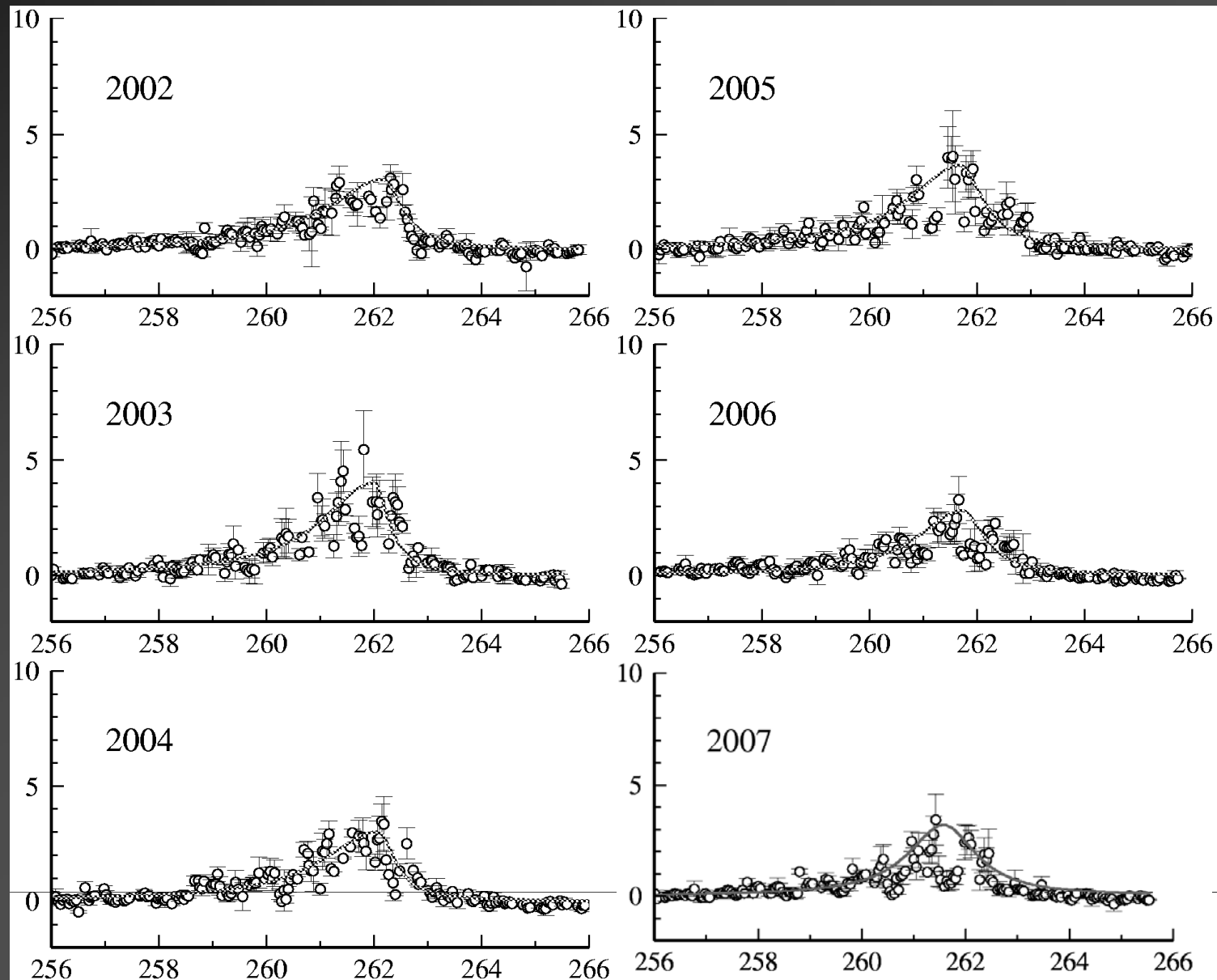
Year	Trail	Time (UT)	$\lambda_{\odot} (^{\circ})$	$A_{(max)}$	FWHM
2001	P01T1	Aug. 12 16 ^h 30 ^m	140.01	2.0	-1.0/+2.5
	P01T2	Aug. 12 22 ^h 30 ^m	140.25	1.0	-1.5/+3.0
	P01T3	Aug. 13 15 ^h 30 ^m	140.93	2.0	-1.0/+5.0
2002	P02T1	Aug. 12 19 ^h 30 ^m	139.88	2.0	-3.0/+3.5
	P02T2	Aug. 13 21 ^h 30 ^m	140.92	1.0	-3.0/+3.0
2003	P03T1	Aug. 12 18 ^h 30 ^m	139.60	1.0	-4.0/+2.0
	P03T2	Aug. 12 23 ^h 30 ^m	139.80	2.0	-2.0/+1.5
	P03T3	Aug. 13 18 ^h 30 ^m	140.56	1.0	-2.0/+4.0
2004	P04T1	Aug. 11 22 ^h 00 ^m	139.49	1.9	-2.0/+3.5
	P04T2	Aug. 12 13 ^h 00 ^m	140.09	1.4	-12.0/+14.0
2005	P05T1	Aug. 12 03 ^h 00 ^m	139.44	1.5	-4.0/+6.0
	P05T2	Aug. 13 02 ^h 00 ^m	140.36	1.5	-6.0/+4.0
2006	P06T1	Aug. 13 00 ^h 00 ^m	140.04	1.2	-9.0/+9.0
2007	P07T1	Aug. 13 11 ^h 00 ^m	139.29	1.3	-20.0/+15.0

- ・ P04T1は、Lyytinenの突発出現予報と同時刻
- ・ 半値幅は眼視観測ほど広くない。(ハイトシーリングの影響だろう)

周波数が高い流星群の解析は難しい



メスをいれてみた ふたご座流星群

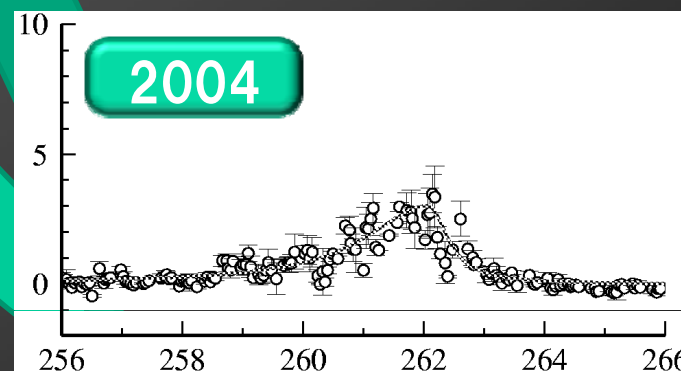
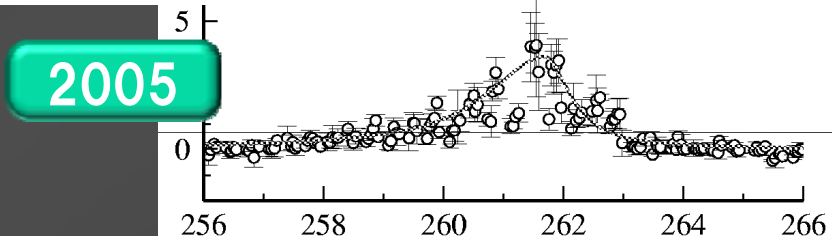
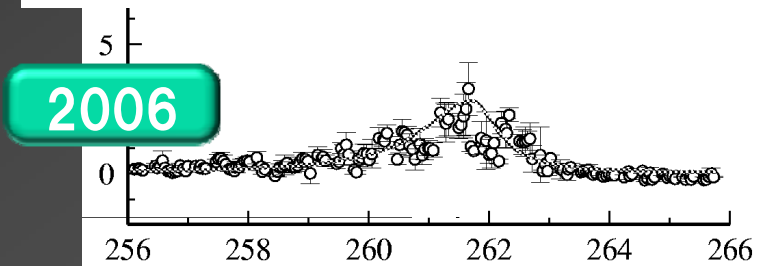
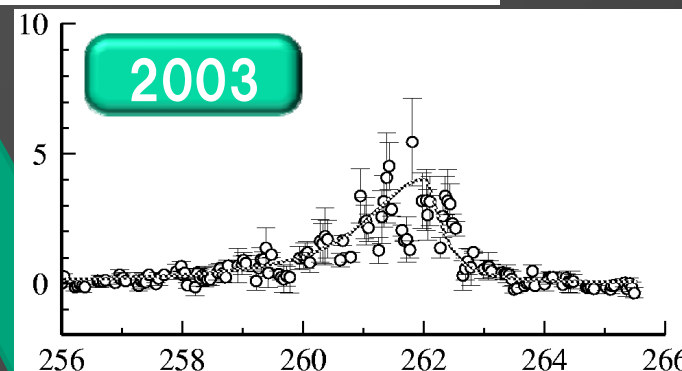
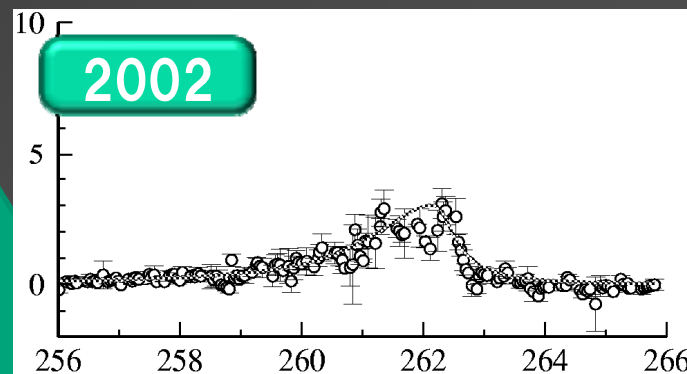
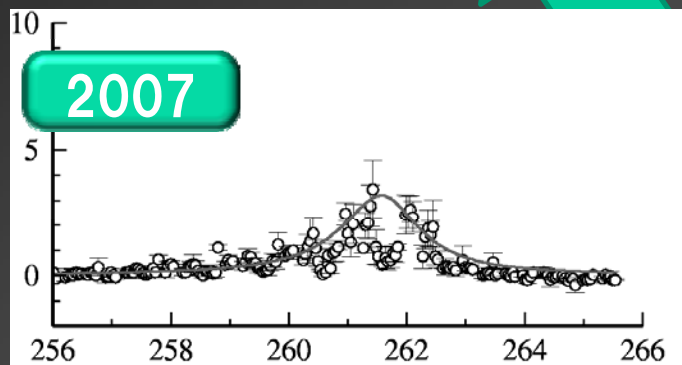


半値幅の前幅はなんと30時間前後！

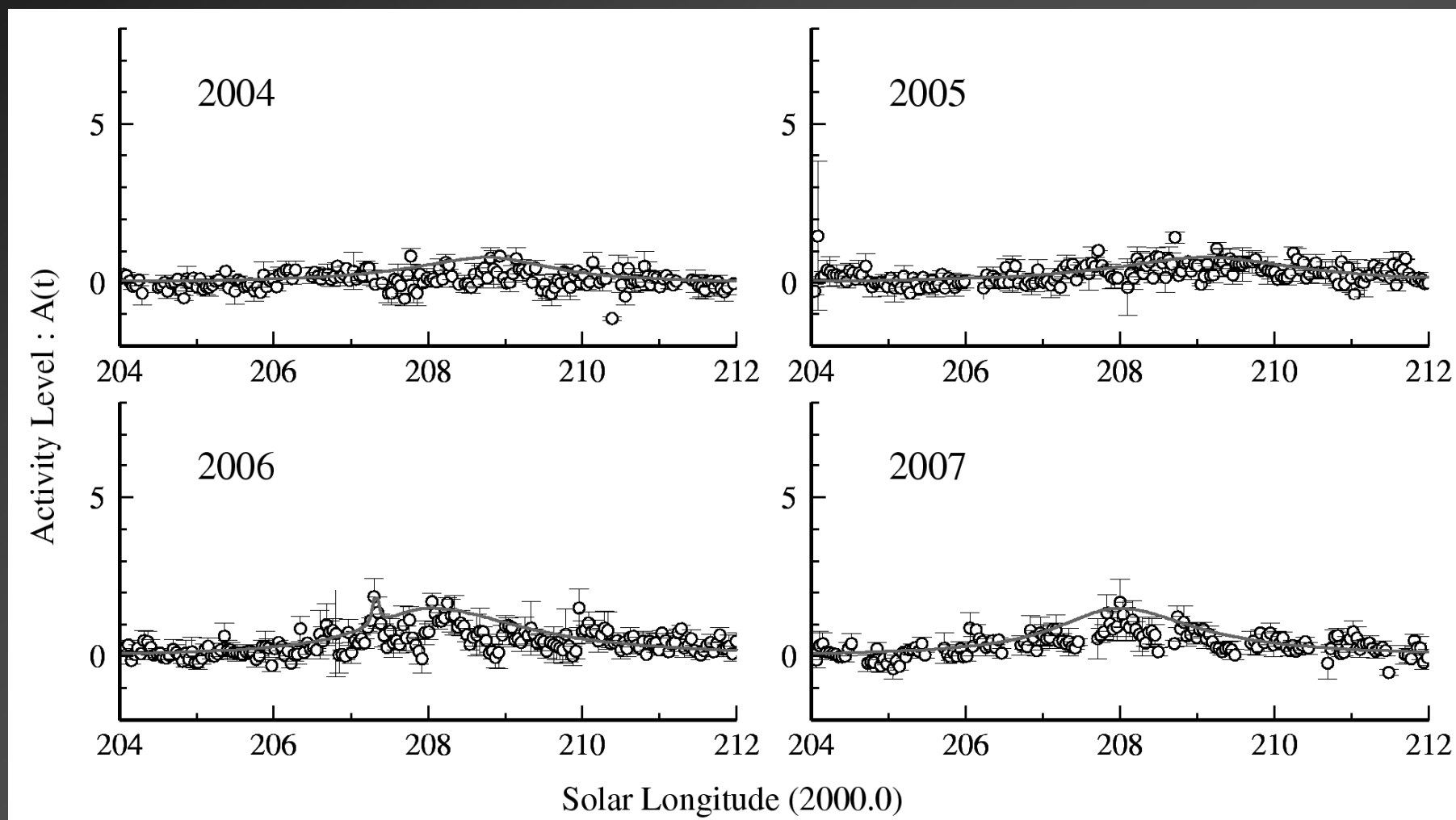
Year	Trail	Time (UT)	$\lambda_{\odot} (^{\circ})$	$A_{(max)}$	FWHM
2002	G02T1	Dec. 14 10 ^h 00 ^m	262.20	3.0	-30.0/+10.0
2003	G03T1	Dec. 14 12 ^h 00 ^m	262.02	4.0	-28.0/+8.0
2004	G04T1	Dec. 13 20 ^h 00 ^m	262.11	3.0	-30.0/+9.0
2005	G05T1	Dec. 13 17 ^h 00 ^m	261.72	3.6	-28.0/+12.0
2006	G06T1	Dec. 14 00 ^h 00 ^m	261.75	2.8	-24.0/+12.0
2007	G07T1	Dec. 14 02 ^h 00 ^m	261.60	3.2	-20.0/+18.0

- 眼視観測同様、極大前の活動は緩やかに上昇。極大後は急降下
- 極大は261.7~262.1付近
- 2006年の活動がここ数年では低いのは本当？
- 細かな変動もあるが、今回は1プロファイルで近似
細かな変動がリアルな可能性もあるが、現時点では断言できない

使用周波数、観測緯度等に大きく左右される



最近話題のオリオン座流星群



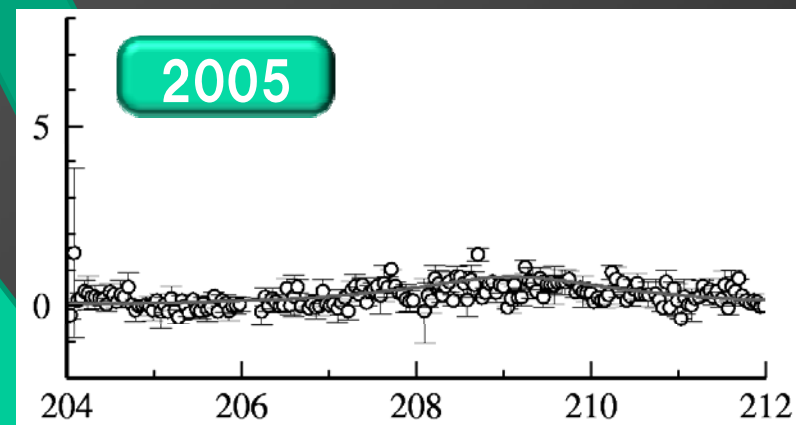
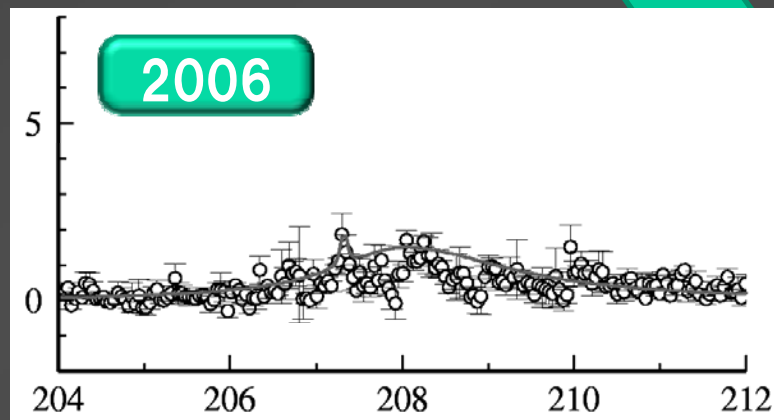
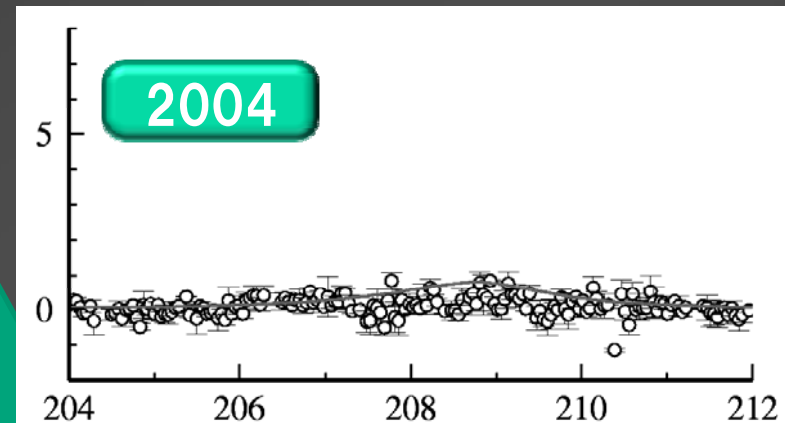
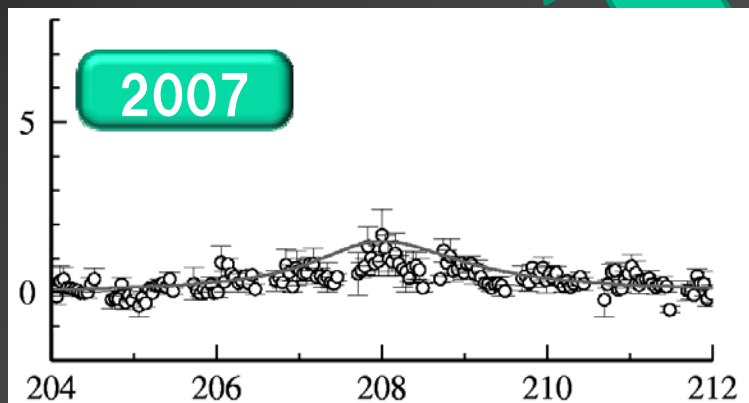
とりあえず、2004年以降を解析。2006年、2007年の活動は見えるが・・・

2004年、05年の活動はほぼ捉えられない...

Year	Trail	Time (UT)	$\lambda_{\odot} (^{\circ})$	$A_{(max)}$	FWHM
2004	004T1	Oct. 21 22 ^h 00 ^m	208.81	0.8	-30.0/+24.0
2005	005T1	Oct. 22 12 ^h 00 ^m	209.13	0.8	-36.0/+36.0
2006	006T1	Oct. 20 23 ^h 00 ^m	207.34	1.0	-1.0/+1.0
	006T2	Oct. 21 16 ^h 00 ^m	208.05	1.5	-24.0/+36.0
2007	007T1	Oct. 21 21 ^h 00 ^m	208.00	1.5	-24.0/+30.0

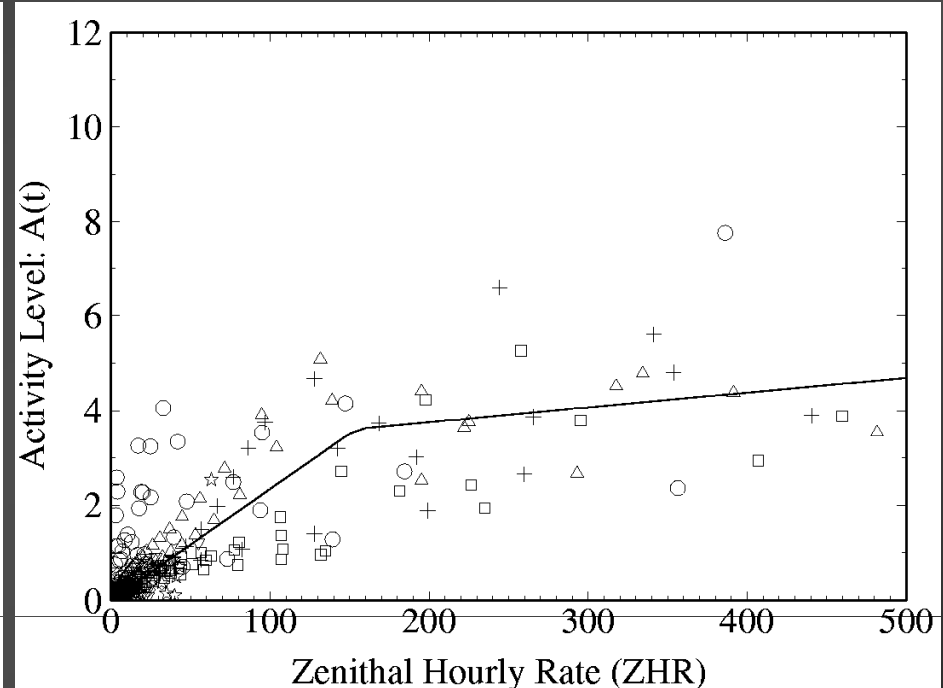
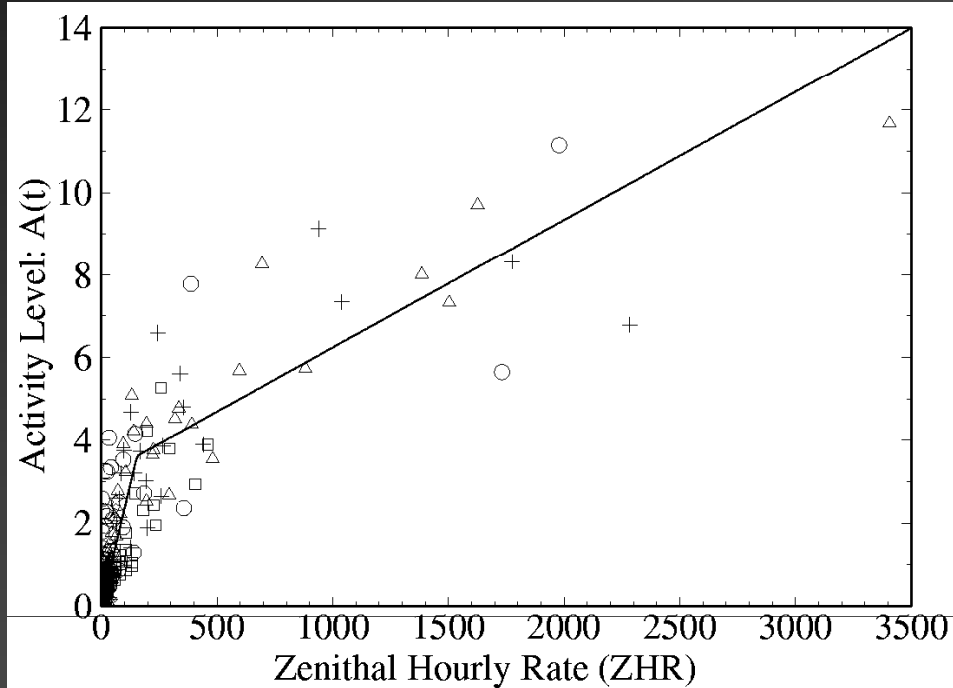
- 2004年と2005年の活動は小さすぎる。(データ数は多いが)
- 2006年の構造は意外と複雑。A(max)を1以上とすると2要素で構成
- 2006年、2007年は太陽黄経208.0度で極大が見て取れる。

活動が捉えられる年とそうでない年があるか？



Activity Level .vs. Zenithal Hourly Rate (1)

しし座流星群

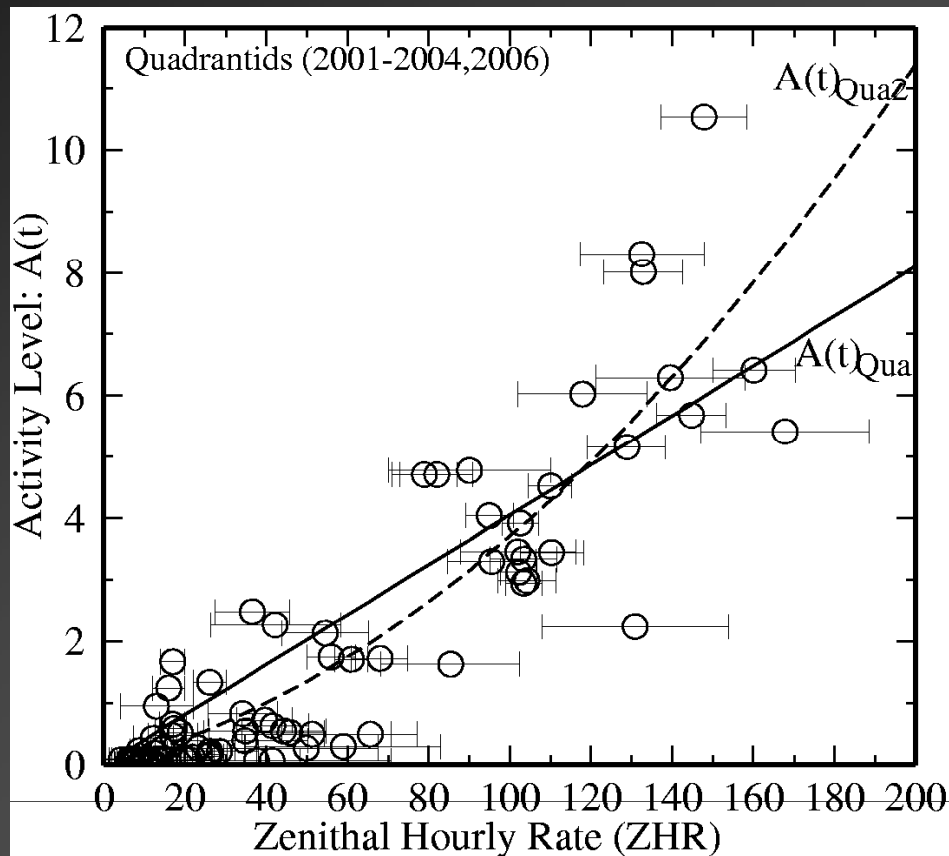


$$A(t)_{\text{Leo}} = \begin{cases} 0.0234 \times \text{ZHR} (t) & (\text{ZHR} \leq 155) \\ 0.0031 \times \text{ZHR} (t) + 3.138 & (\text{ZHR} > 155) \end{cases}$$

この数値は意外と安定。逆検証しても比較的良い一致

Activity Level .vs. Zenithal Hourly Rate (2)

しぶんぎ座流星群



各年極大の推定ZHR

年	極大A (t)	ZHR _{Qua}	ZHR _{Qua2}
2001	6.4 ± 0.8	158 ± 20	141 ± 11
2002	9.2 ± 0.4	227 ± 10	176 ± 5
2003	6.4 ± 1.8	158 ± 42	141 ± 23
2004	6.7 ± 0.7	165 ± 42	145 ± 22
2005	6.0 ± 0.3	148 ± 7	136 ± 4
2006	4.8 ± 1.0	119 ± 25	120 ± 15
2007	4.7 ± 0.6	114 ± 12	115 ± 10

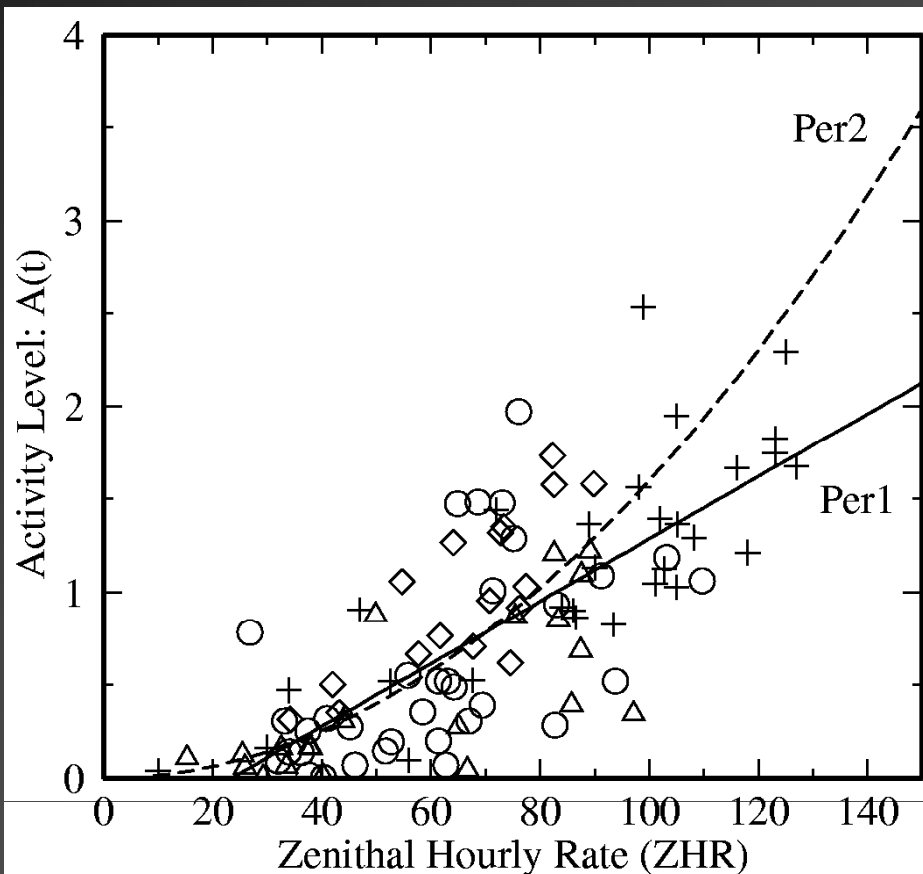
- ZHR_{Qua2}がますますの一致
- ZHR_{Qua}はA(t)が大きいと誤差大

$$A(t)_{Qua} = 0.0405 \times ZHR(t)$$

$$A(t)_{Qua2} = 0.0002 \times ZHR(t)^2 + 0.017 \times ZHR(t)$$

Activity Level .vs. Zenithal Hourly Rate (3)

ペルセウス座流星群



各年極大の推定ZHR

年	極大A (t)	ZHR _{Per}	ZHR _{Per2}
2001	2.1 ± 0.1	148 ± 6	115 ± 3
2002	1.9 ± 0.9	136 ± 54	109 ± 27
2003	2.0 ± 0.4	142 ± 24	112 ± 11
2004	2.5 ± 0.4	172 ± 24	125 ± 10
2005	1.7 ± 0.4	125 ± 24	103 ± 12
2006	1.5 ± 0.6	113 ± 36	97 ± 20

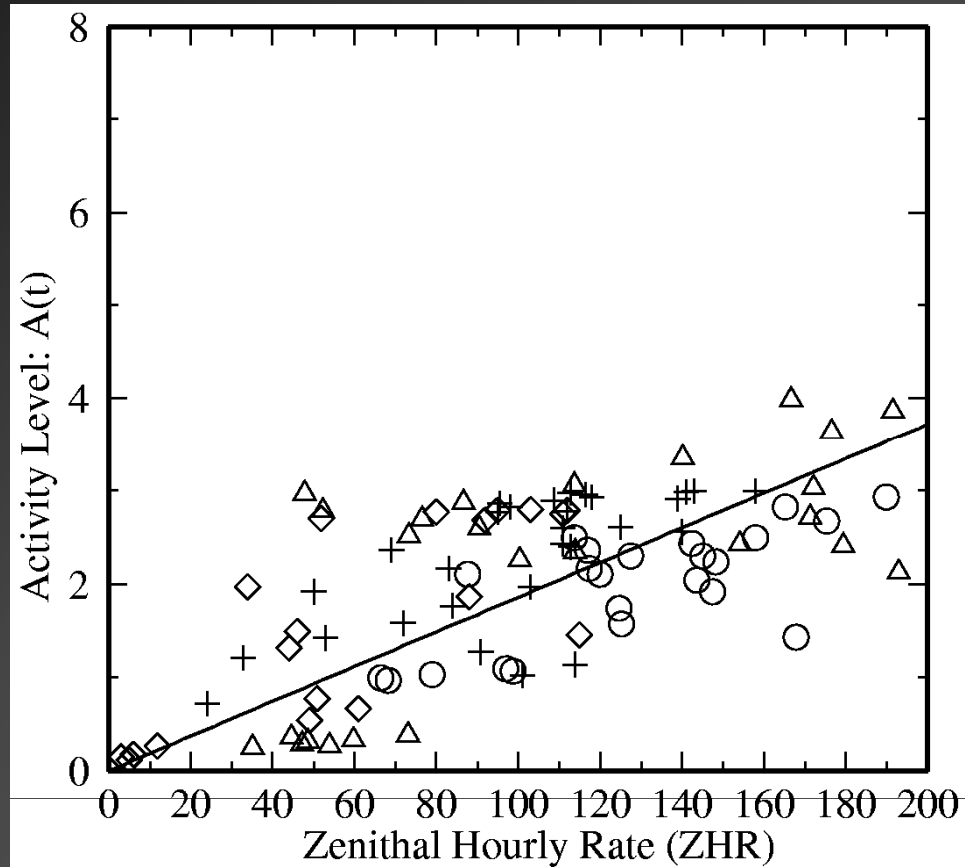
- ZHR_{Per2}の結果はまずまず。
- ZHR_{Per}では、A(t)が0.39 (ZHR20) をこえる必要あり

$$A(t)_{\text{Per}} = 0.0168 \times \text{ZHR}(t) - 0.393$$

$$A(t)_{\text{Per2}} = 0.00016 \times \text{ZHR}(t)^2$$

Activity Level .vs. Zenithal Hourly Rate (4)

ふたご座流星群



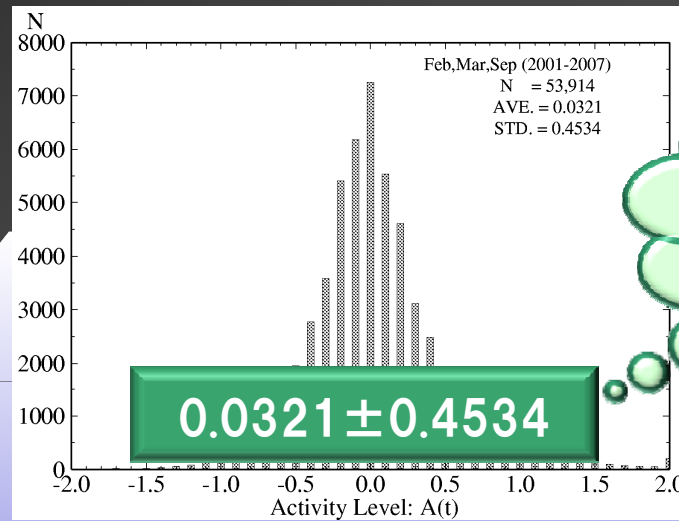
各年極大の推定ZHR

年	極大A (t)	ZHR _{Gem}
2002	3.1 ± 0.6	167 ± 32
2003	5.5 ± 1.7	296 ± 91
2004	3.5 ± 0.7	188 ± 38
2005	4.0 ± 2.0	215 ± 108
2006	3.3 ± 1.0	177 ± 54

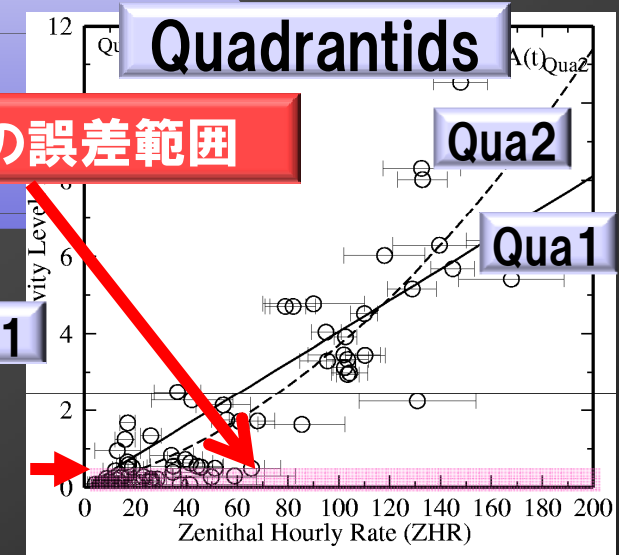
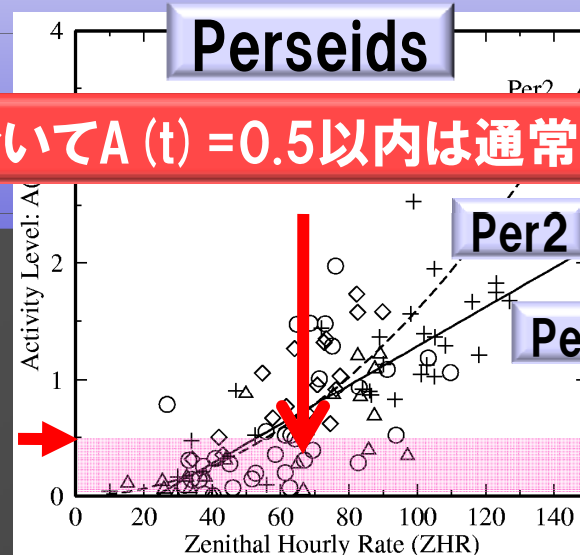
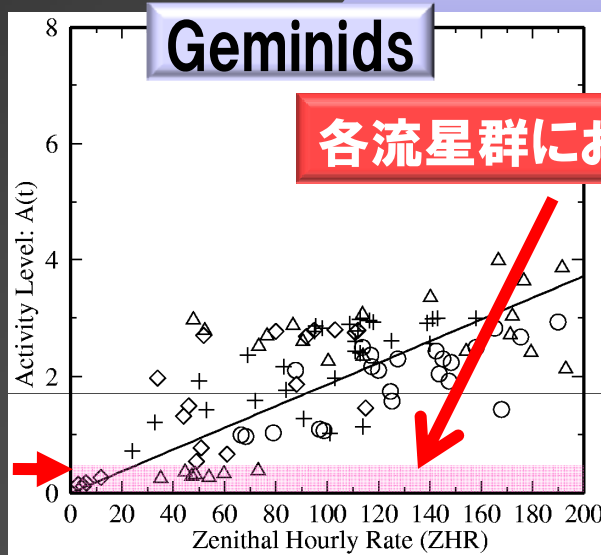
- 傾きが小さいので誤差が大きい
A(t) の誤差を ±0.5 程度に!
- サンプルがもっと必要

$$A(t)_{\text{Gem}} = 0.0186 \times \text{ZHR}(t)$$

Activity Level の限界



つまり、
 約0.0 ± 0.5は
 誤差範囲



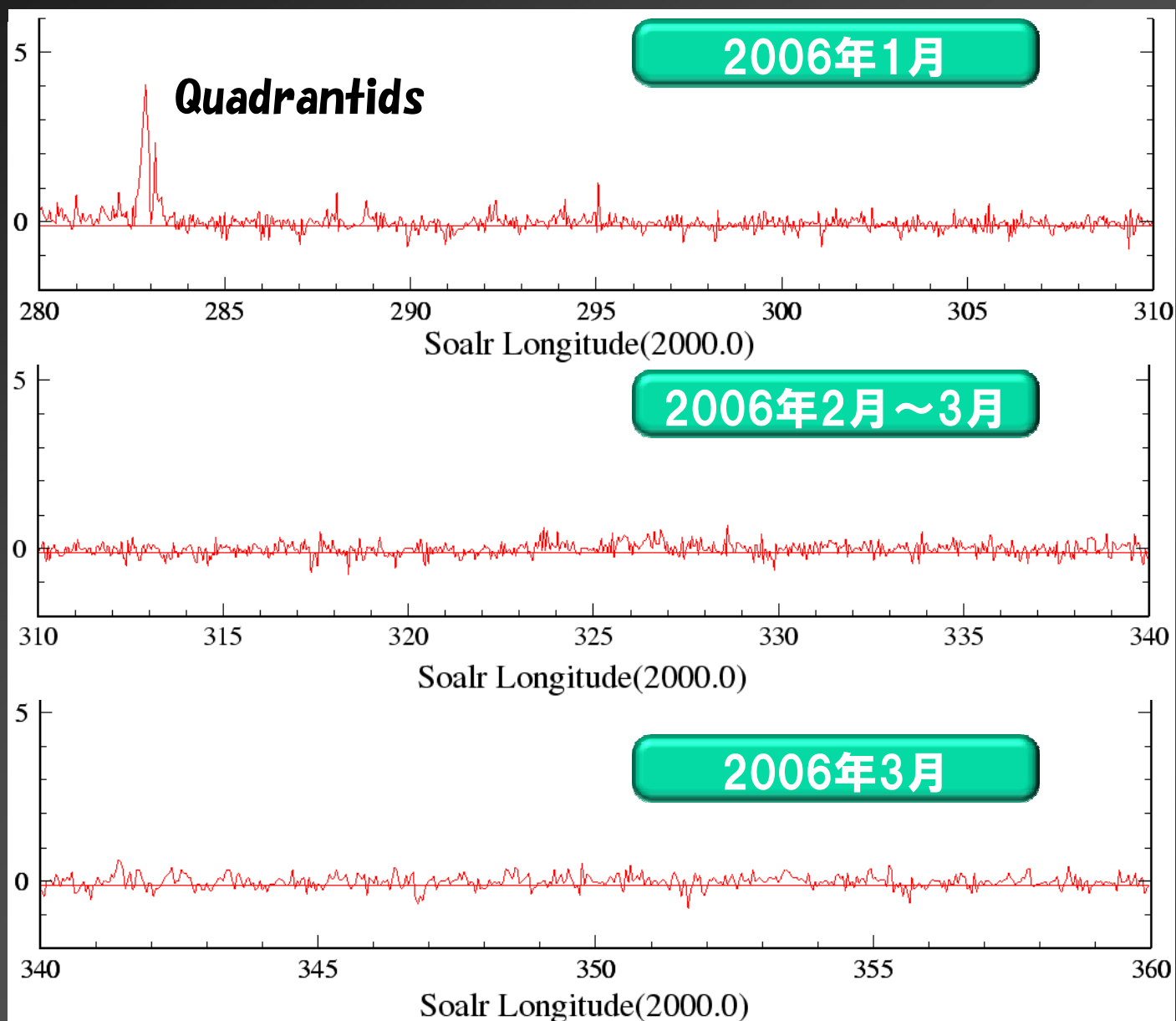
各流星群において $A(t) = 0.5$ 以内は通常の誤差範囲

推定ZHR30以上が条件

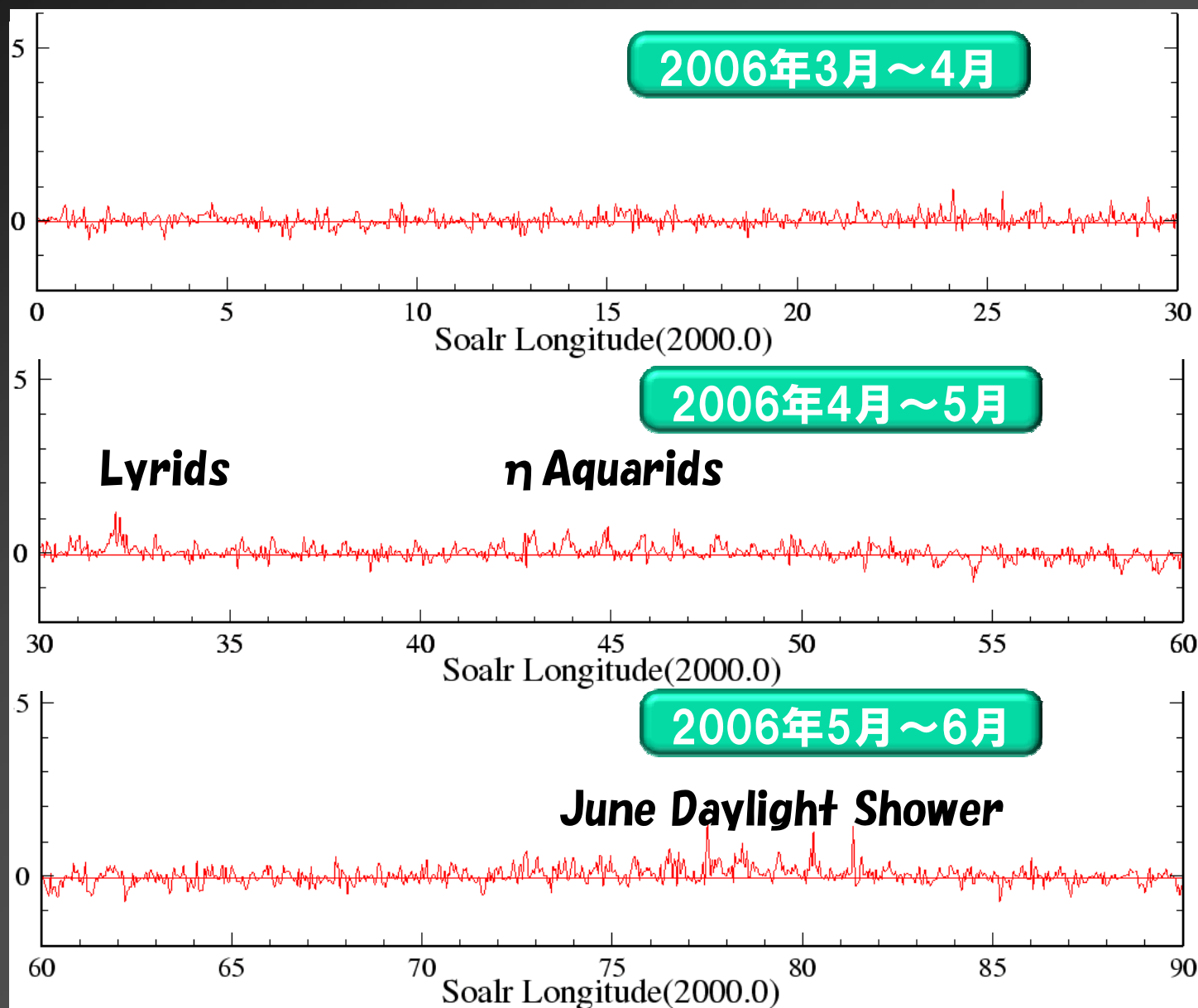
Per1: 推定ZHR50以上が条件
 Per2: 推定ZHR55以上が条件

Qua1: 推定ZHR15以上が条件
 Qua2: 推定ZHR20以上が条件

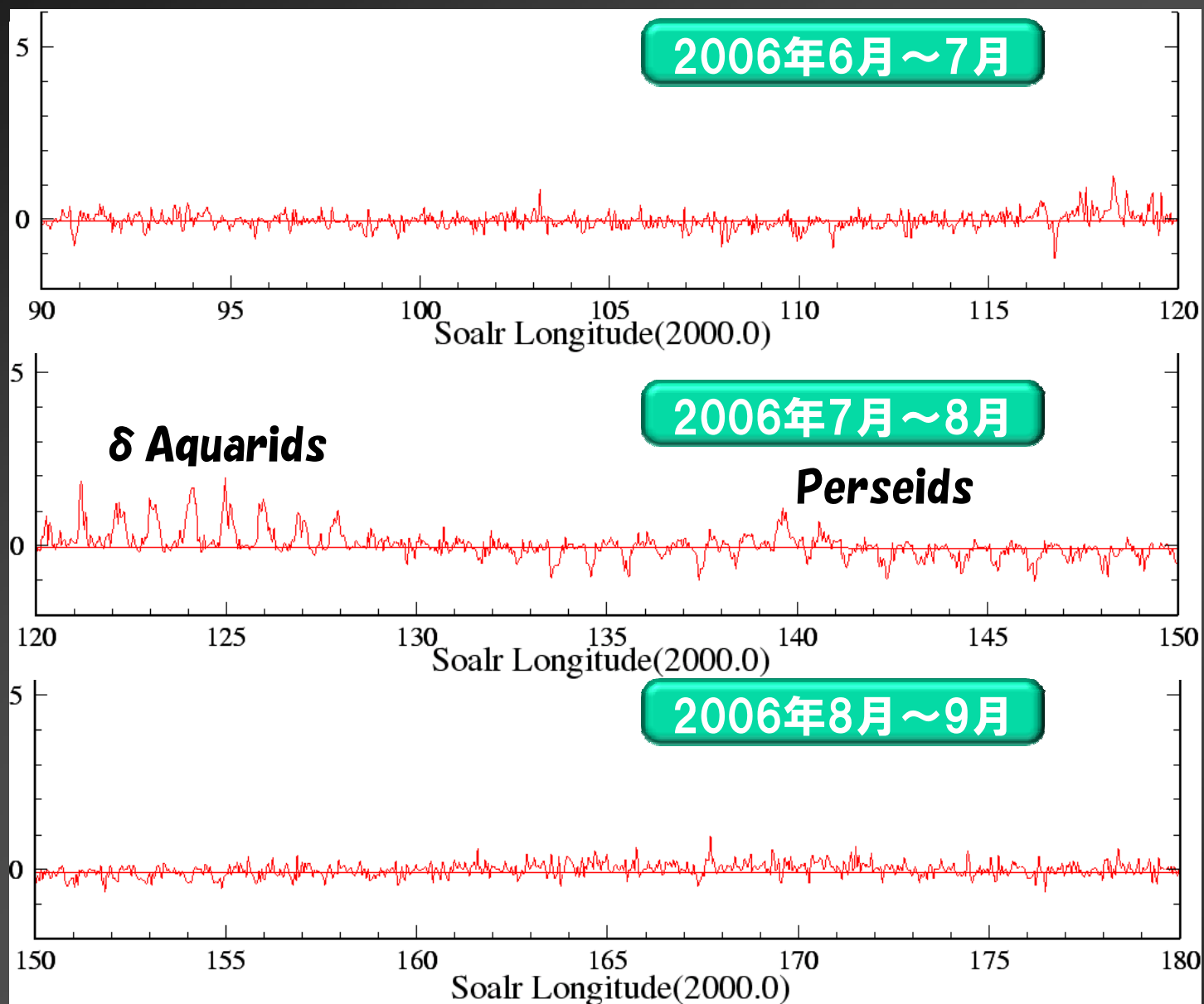
流星活動通常モ二夕一解析結果例(1)



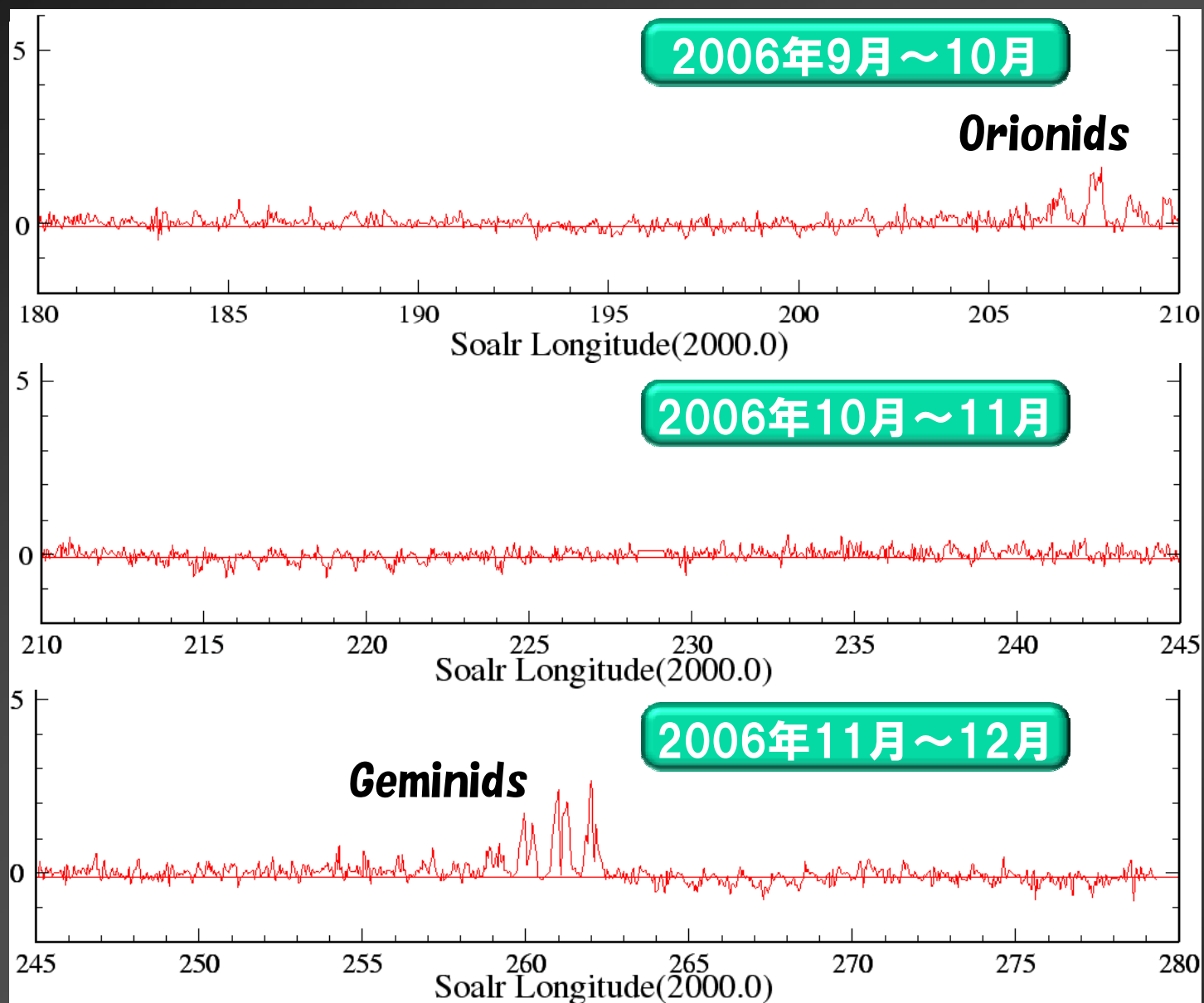
流星活動通常モ二夕一解析結果例(2)



流星活動通常モニタ一解析結果例(3)



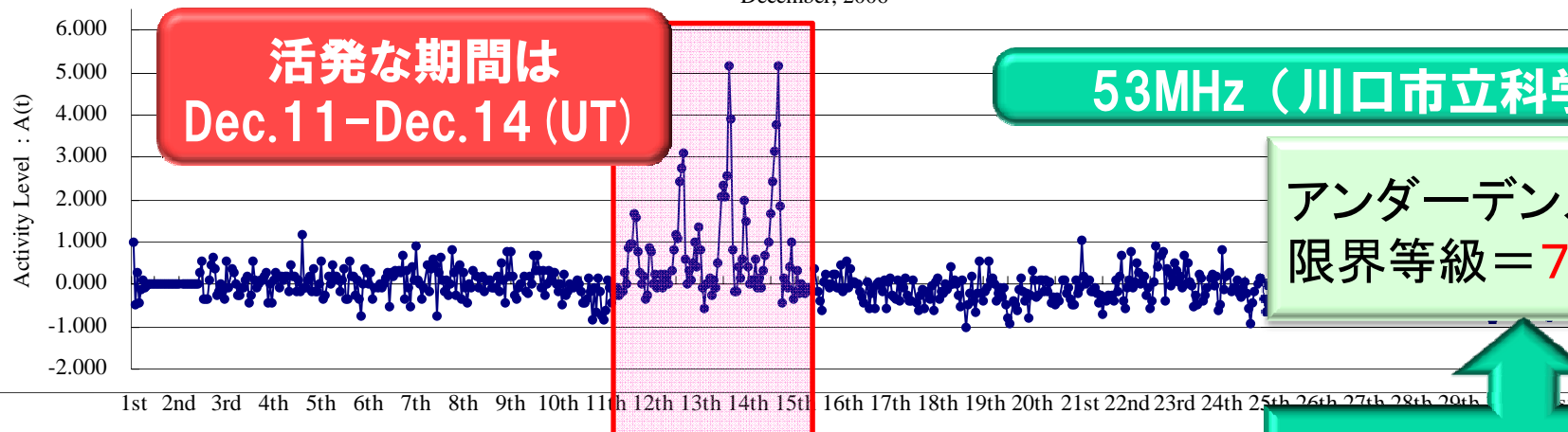
流星活動通常モニタ一解析結果例(4)



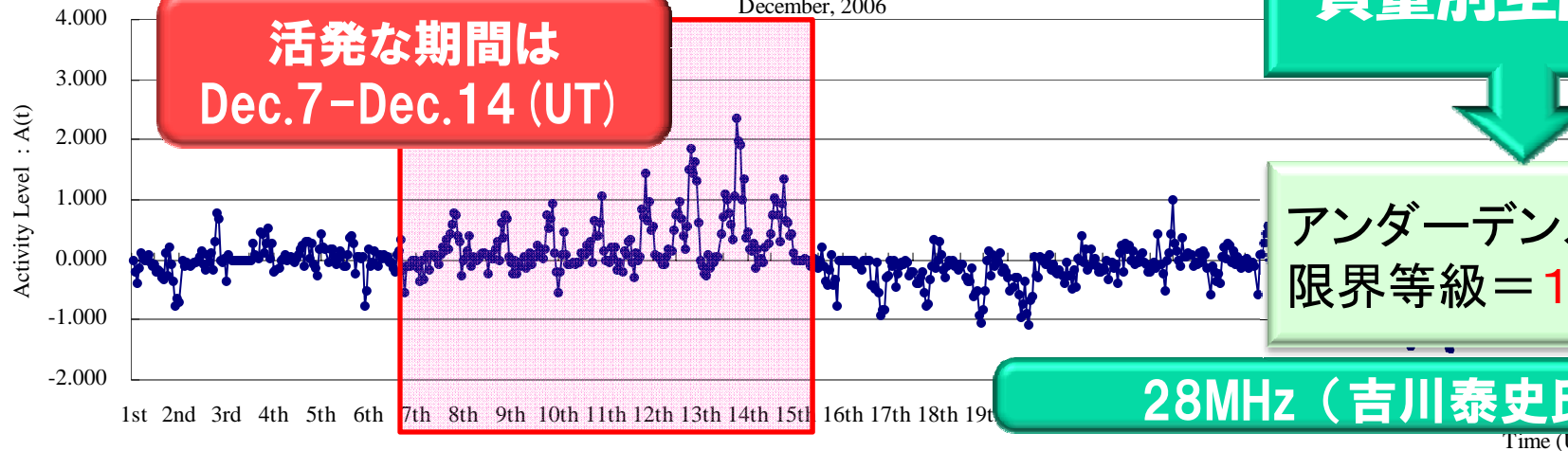
周波数の違いは多くの可能性を含む

使用する周波数が違くと捕らえられる流星の限界等級が変わる

The meteor active monitor (Monthly Result) at Kawaguchi Science Museum, JAPAN
December, 2006



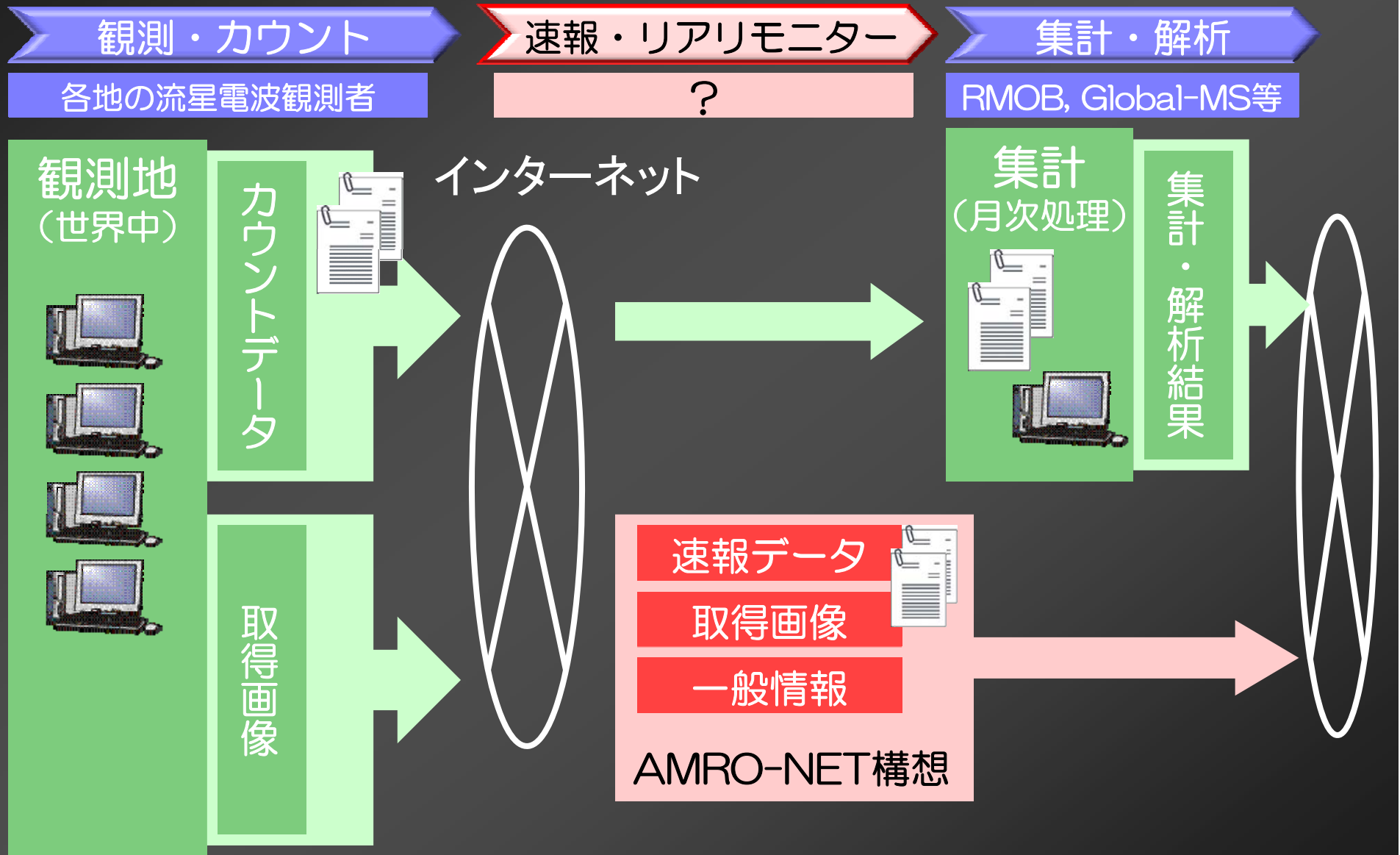
The meteor active monitor (Monthly Result)
December, 2006



質量別空間分布

世界を結んだ流星電波観測国際プロジェクト
AMRO-NET

あるべきもの・・・隙間産業:AMRO-NET



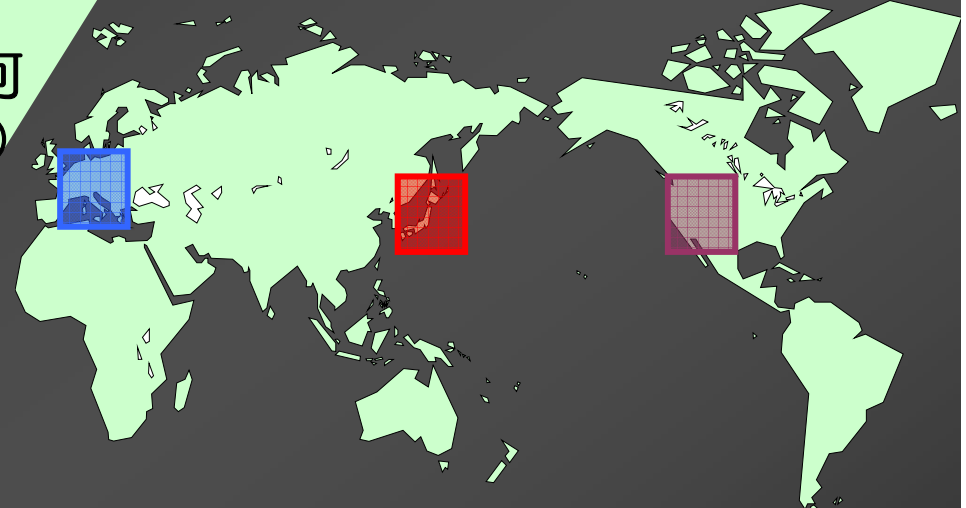
地球全体が流星の検出器

天候の影響なし
(全天候型)

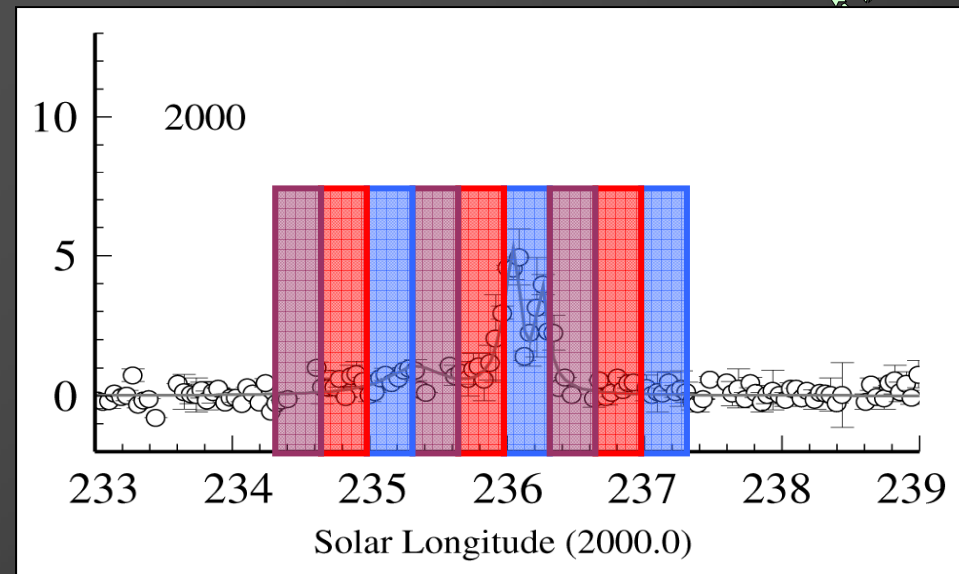
昼間でも観測可
(24時間体制)

流星群
完全監視
体制

輻射点依存なし
(世界規模で
リアルタイム)



すべてを活かした流星検出器の完成



流星電波観測は第四の波へ・・・

第一の波(電波観測確立期) 1971年～1995年

日本で流星電波観測(FRO)が誕生(鈴木和博氏による)→世界へ普及
流星電波観測の有効性を実証し、流星観測のひとつとしての地位を確立

第二の波(HRO確立期) 1995年～2000年

アマチュア無線との融合(前川公男氏・鈴木和博氏ほか)HROの誕生
HROFFTの誕生により(大川一彦氏)HROの爆発的な普及を遂げる

第三の波(グローバル化・多様化)2000年～2005年

流星電波観測国際プロジェクトの発足(世界データの速報化・リアルタイム化)
28MHzの誕生(矢口氏・臼居氏・橋本氏)、多周波数観測(宮尾氏)
反射効率(大西氏・内海氏)、多ch(茨城・高知)、干渉計(大川氏、他)など本格化

第四の波(流星天文学における地位の確立)2006年～ ?

干渉計の完成、多周波数解析の完成(塵の空間分布 & 年周変化)
Activity LevelとZHRとの関係確立、世界の電波観測標準化(?)
エコー補足効率補正(天頂効果の打破・機材補正)

さいごに・・・

TO BE CONTINUED...