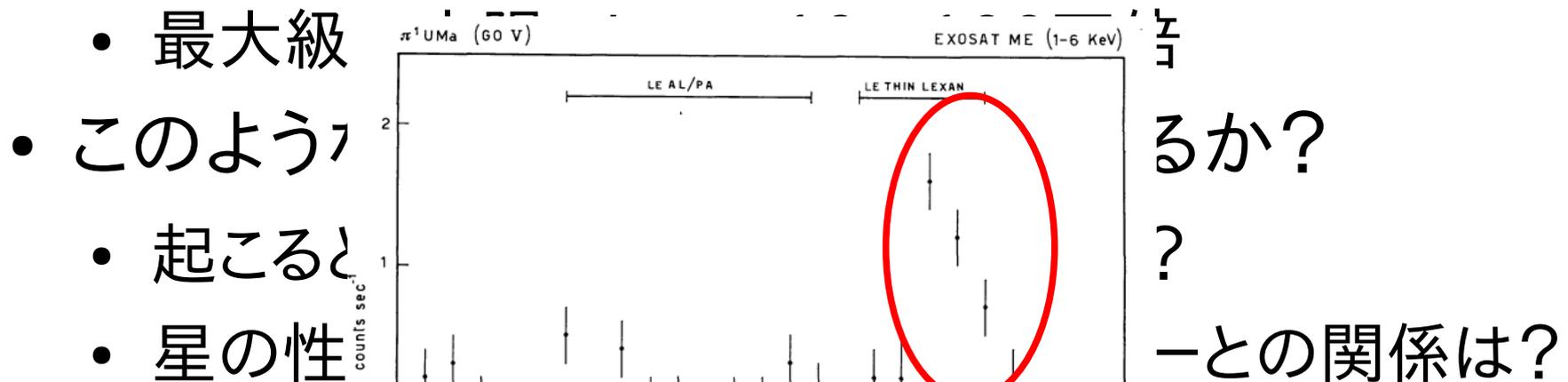


ケプラー衛星のデータを用いた G,K,M型星スーパーフレアの統計解析

前原裕之

太陽型星の「スーパーフレア」

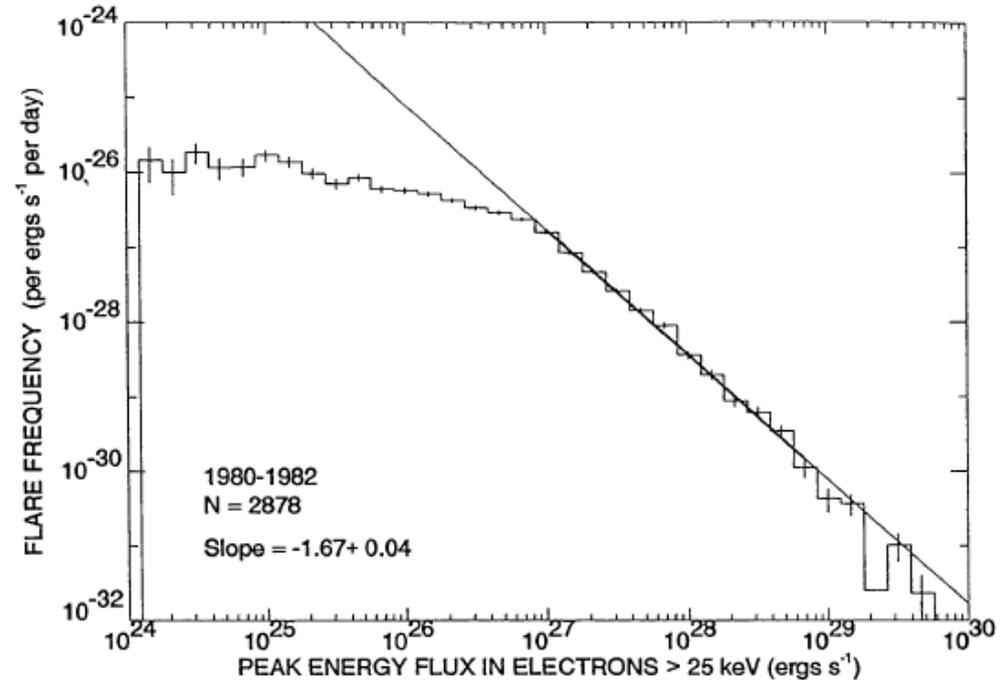
- Schaefer et al. (2000)
 - 太陽型星: 過去の文献から可視やX線でのフレアを9例報告し、エネルギーを見積った
 - フレアで解放されるエネルギー: $10^{33} - 10^{38}$ erg



π 1 UMa (G0V)のフレア
Landini et al., A&A, 157, 217 (1986)

太陽フレアの発生頻度分布

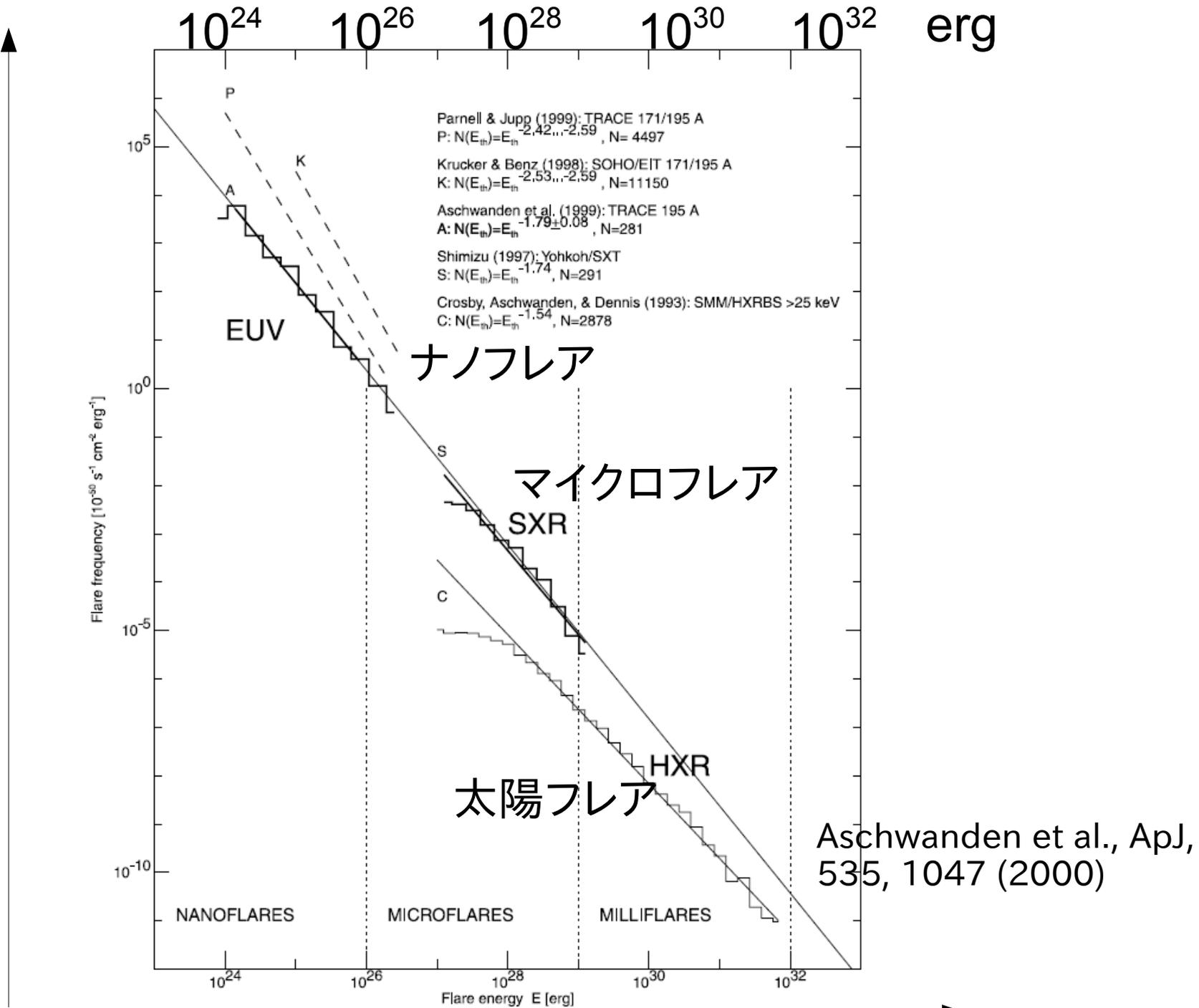
- 太陽フレアは大きなエネルギーを持つフレアほど発生頻度が低い
- エネルギーごとの発生頻度はベキ型分布になっていることが知られている
- $dN/dE \propto E^{-1.5 \sim -1.9}$



Crosby et al. 1993, Solar Physics, 143, 275

- 太陽フレアでは $10^{24} \sim 10^{32}$ ergの範囲でベキ型分布になっていることが分かっている

発生頻度



フレアのエネルギー

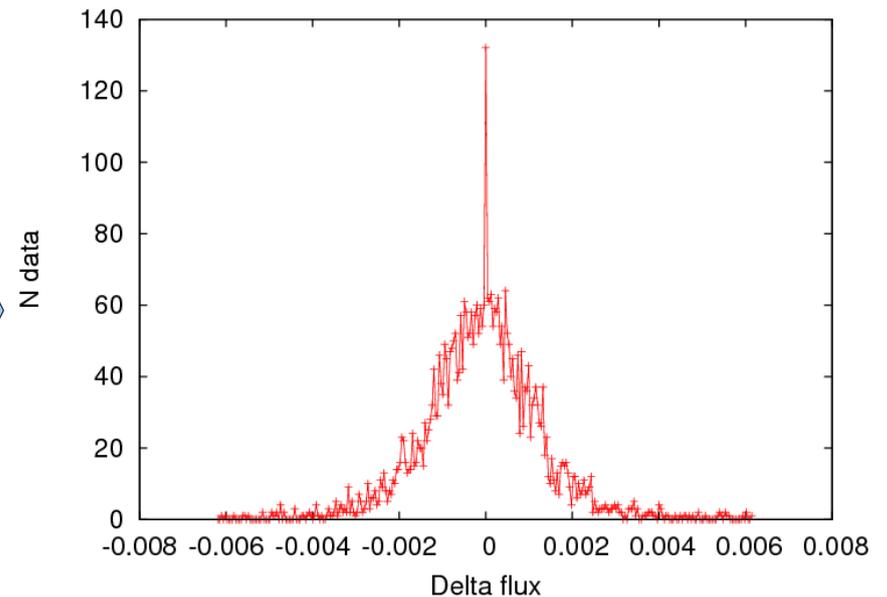
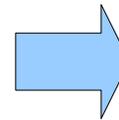
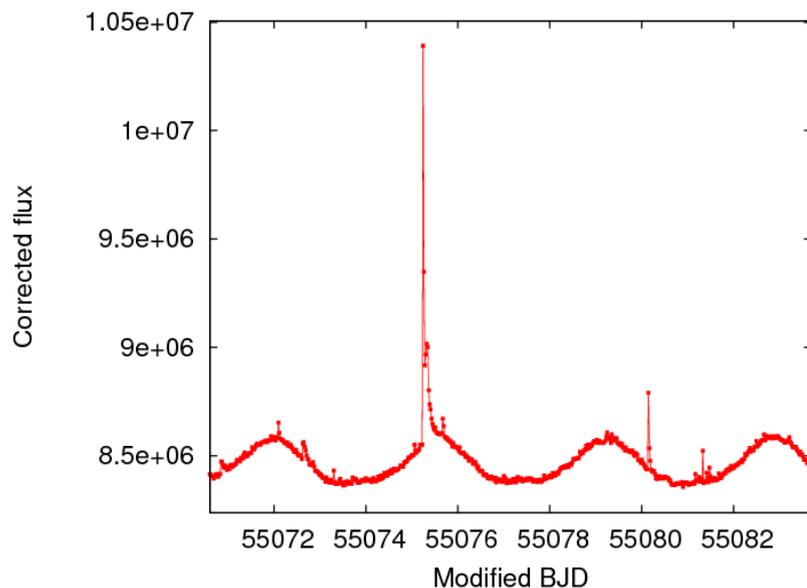
恒星フレアの発生頻度

解析に用いたデータ

- フレアの検出
 - Kepler衛星のlong cadence dataのうち、PDC pipelineで処理された“corrected flux”
 - 時間分解能は約29.4分
- フレアの検証
 - Pixel level data
 - 個々の天体のphotometric aperture内にある各pixelごとのデータ (pixel countなど)

フレア検出方法

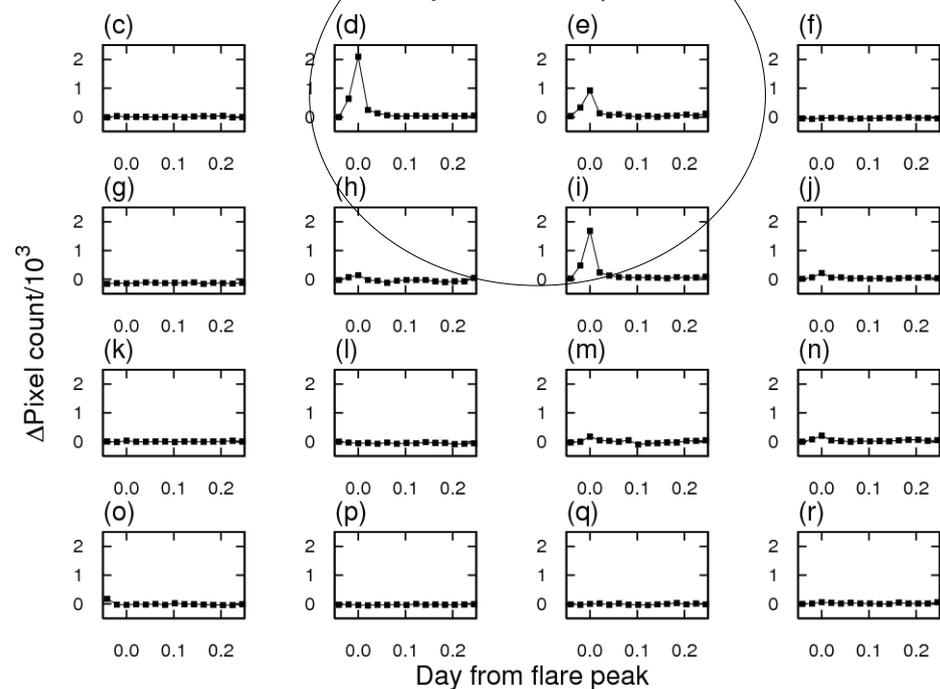
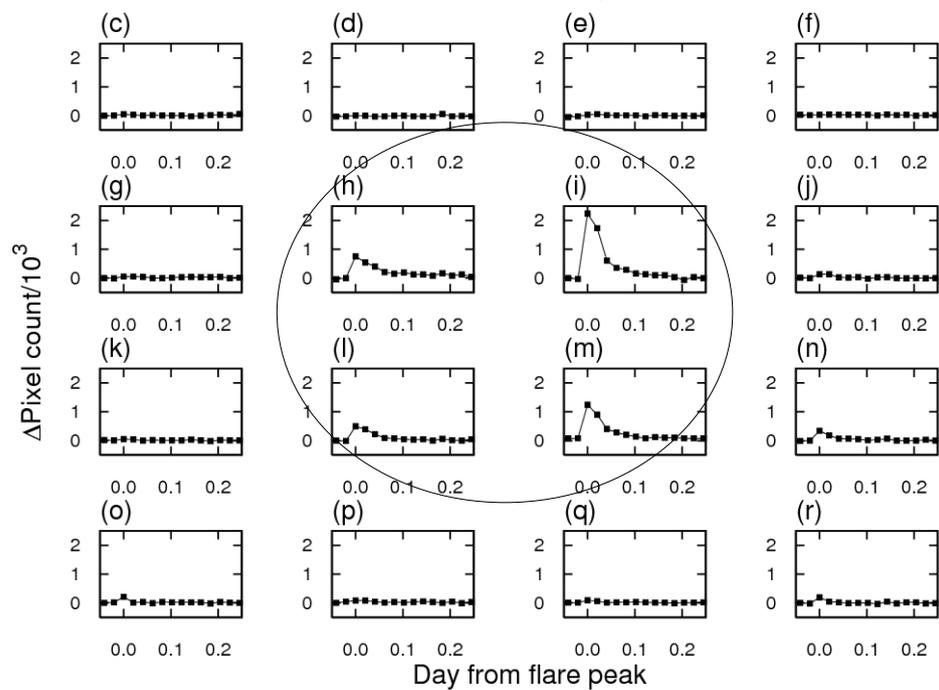
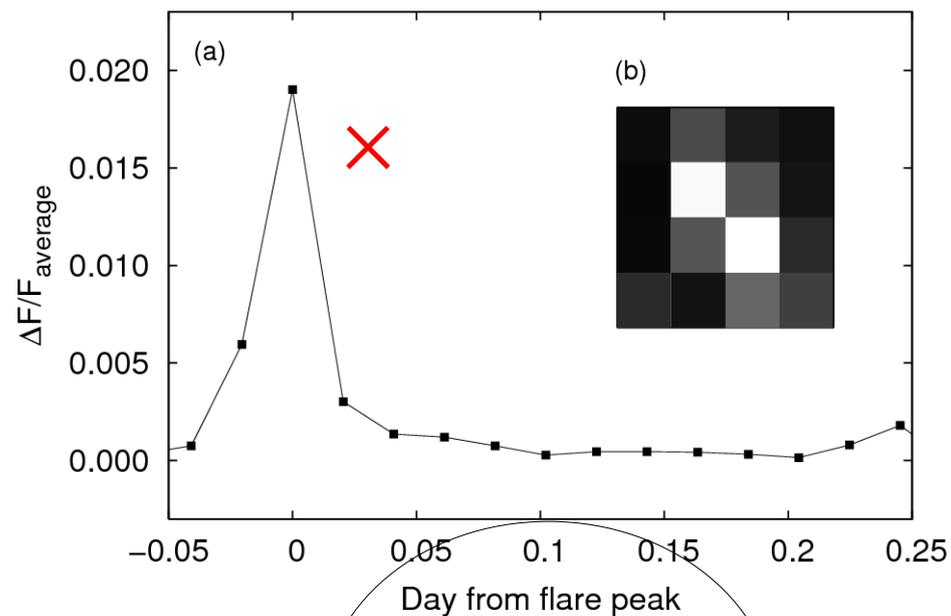
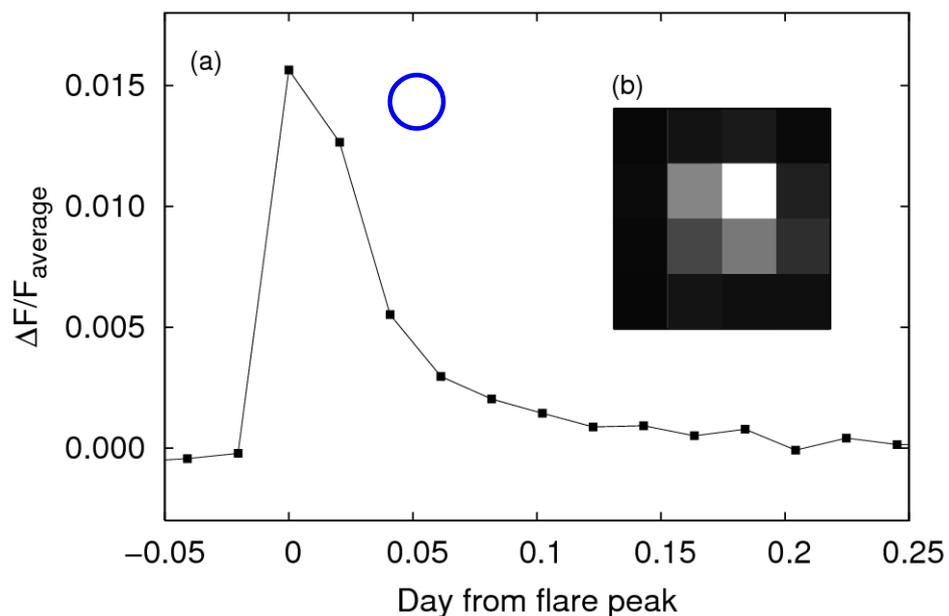
- LLC dataの連続する2点のfluxの差分を利用
 - 全ての連続する2点間のfluxの差の分布を求める
 - Δf の大きい方から1%に相当する差分値 $\times 3$ を閾値として設定
 - 閾値を越える変動をフレア候補と判定



False eventの判定

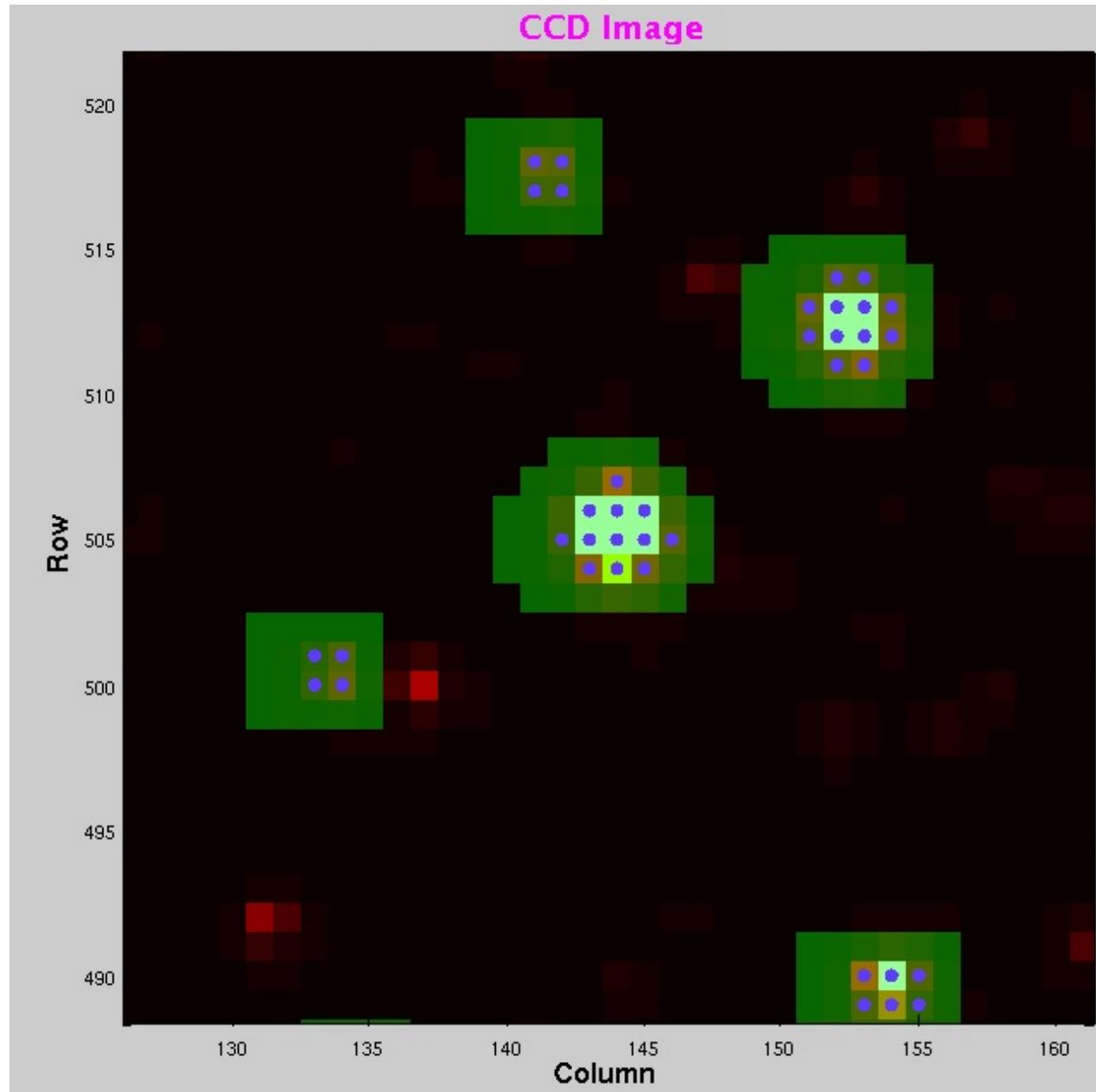
- 12”以内に別な天体があるもの
- 24”以内に同時にフレアが起きているもの
 - 4”/pixel、12等星の場合のaperture: 30pixel
- 星の重心とフレア成分の重心が一致しないもの
 - 隣りの星や装置の影響

False eventの判定

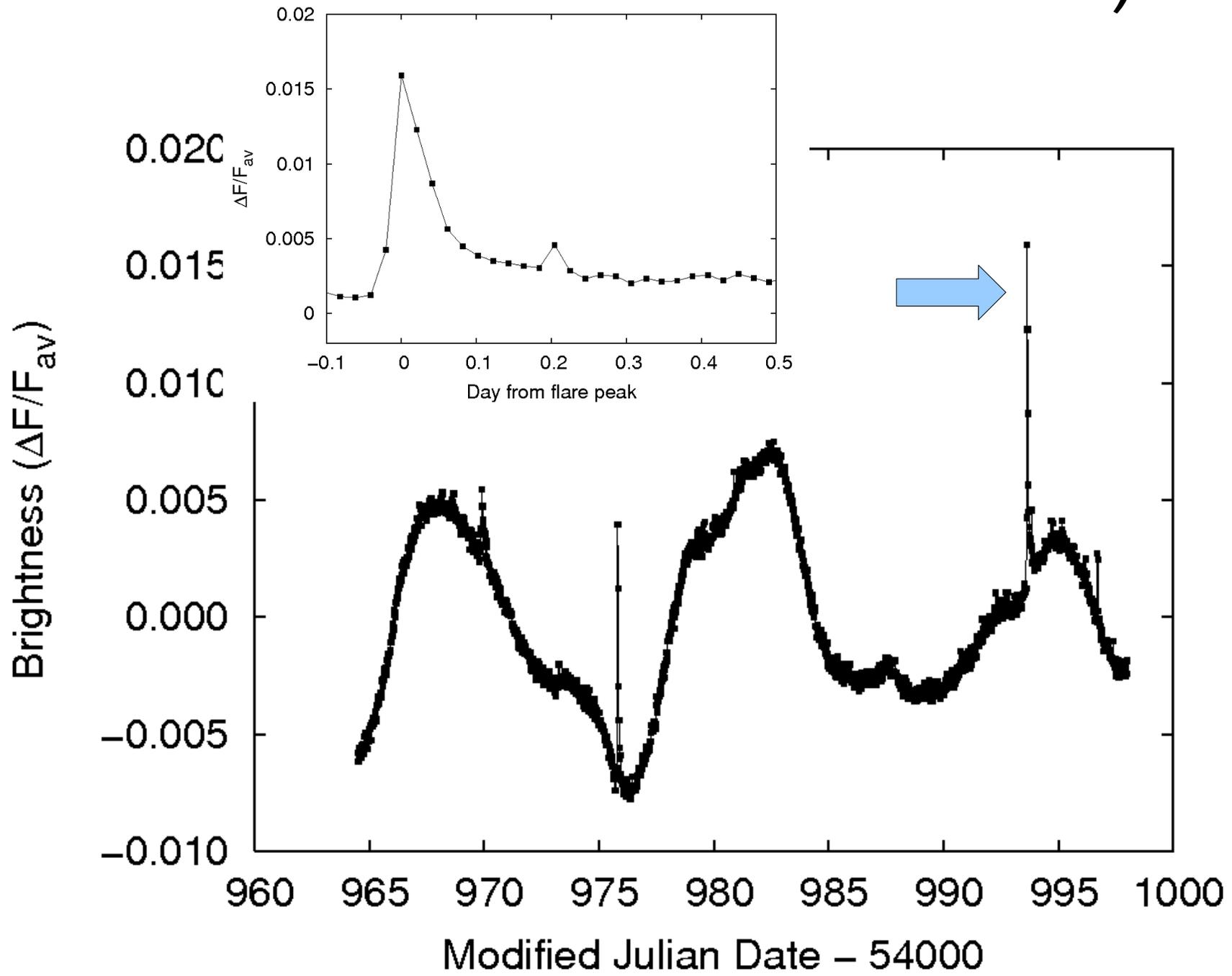


Aperture

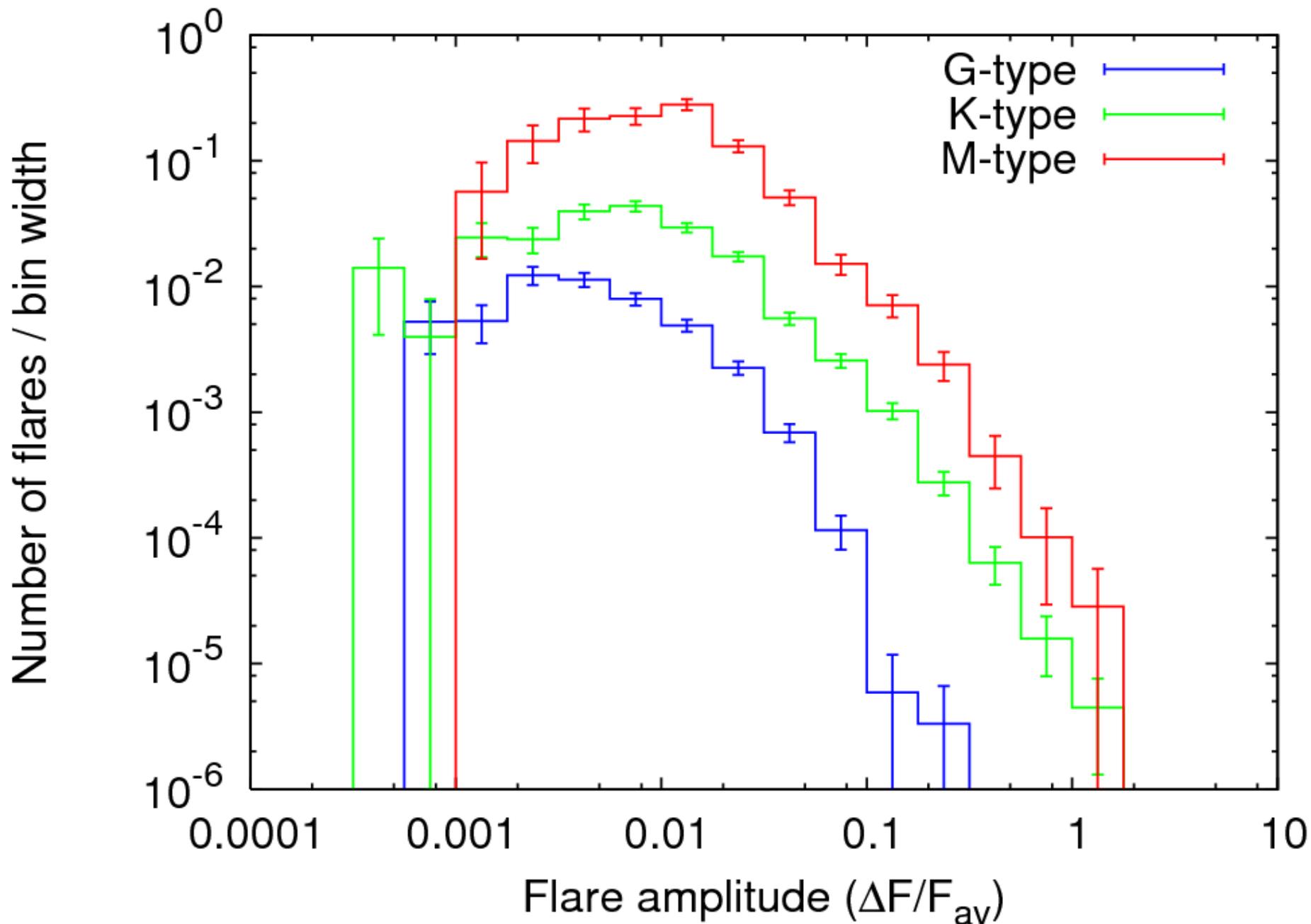
- 1pixel=4”
- Kp mag=12では
平均30pixel
→ $r \doteq 3$ pixel



フレアの例 (KIC 9459362)

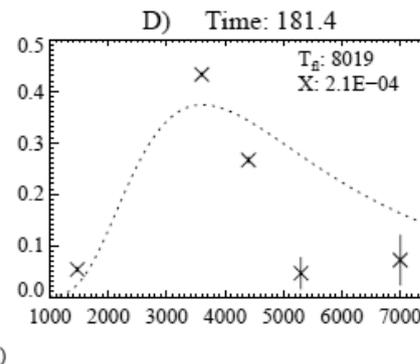
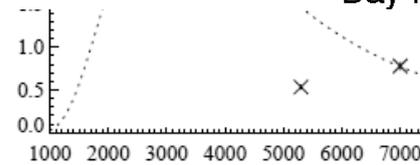
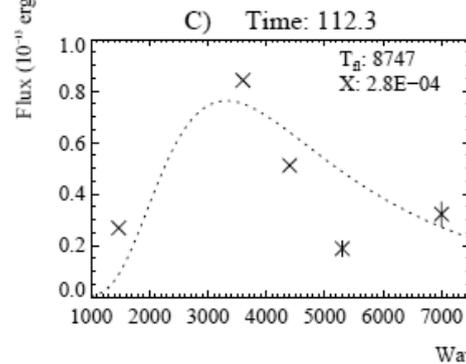
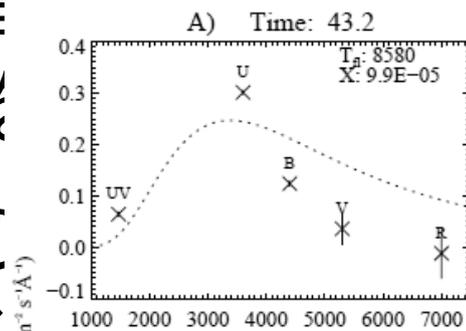
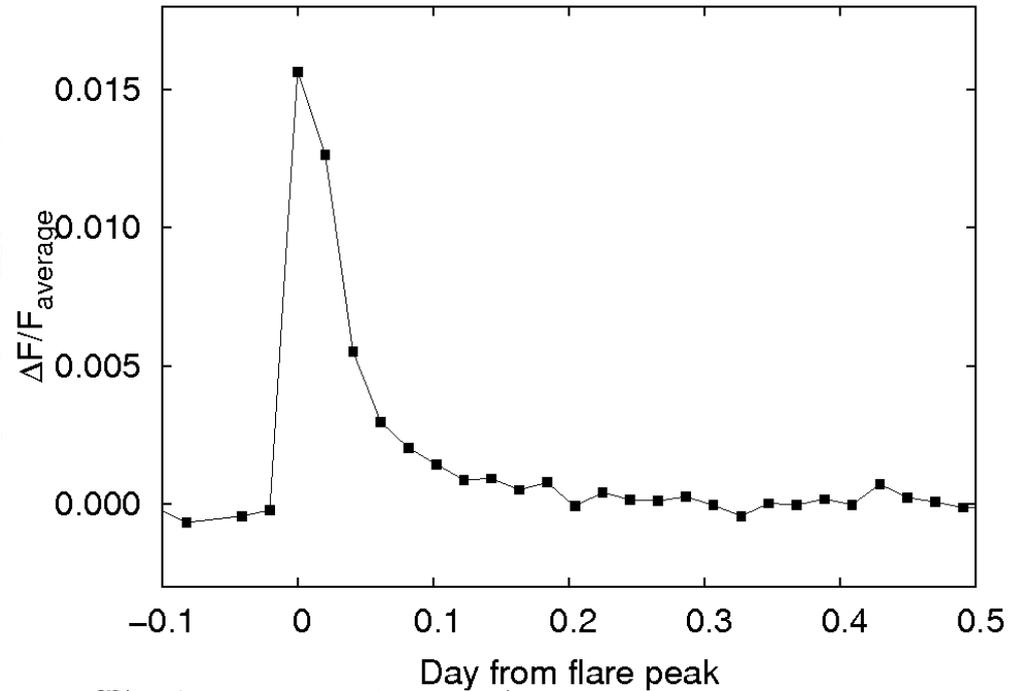


フレアの発生頻度分布(振幅)



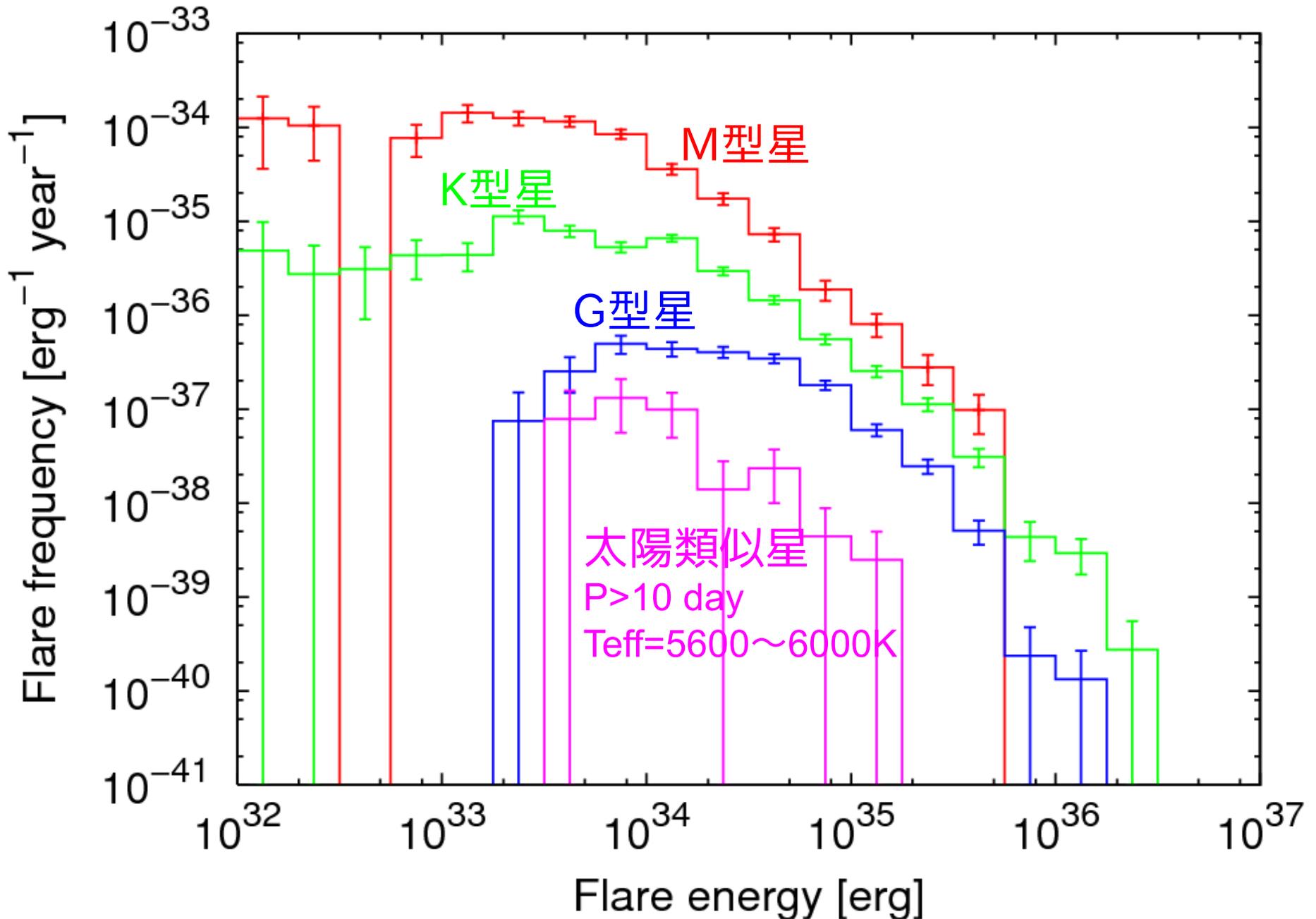
フレアのエネルギーの見積り

- フレア成分を10000Kの黒体放射として見積り、
 • 太陽の白色光フレアおよび金星の紫外線フレアは、
 可視域ではフレア成分の黒体放射と合う (Hawley et al. 2003)
- 各天体のフレア成分を求め、fluxを求め、
 • 各時間でのフレア成分の全エネルギーを求め、

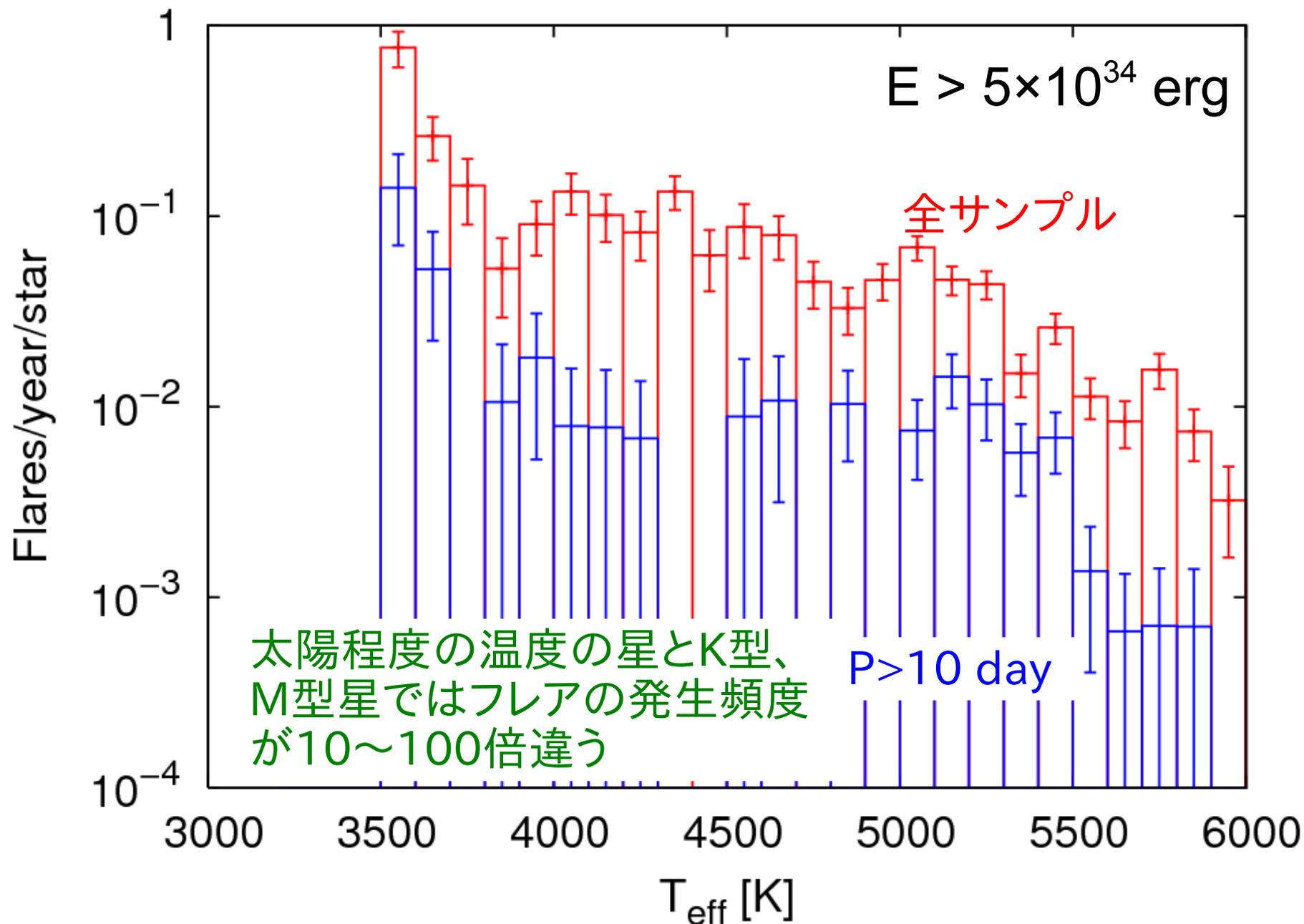


黒体放射としてフレア成分を

フレアの発生頻度分布 (エネルギー)

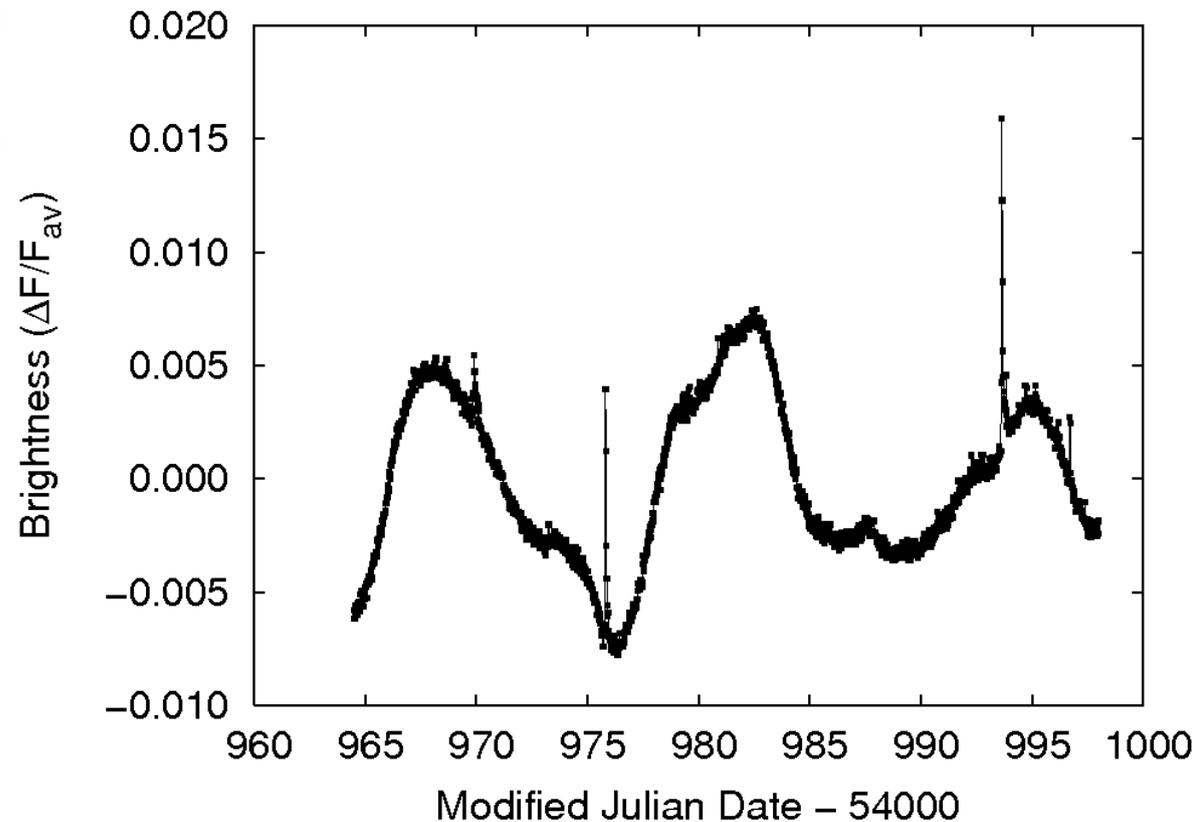


フレアの発生頻度と星の温度

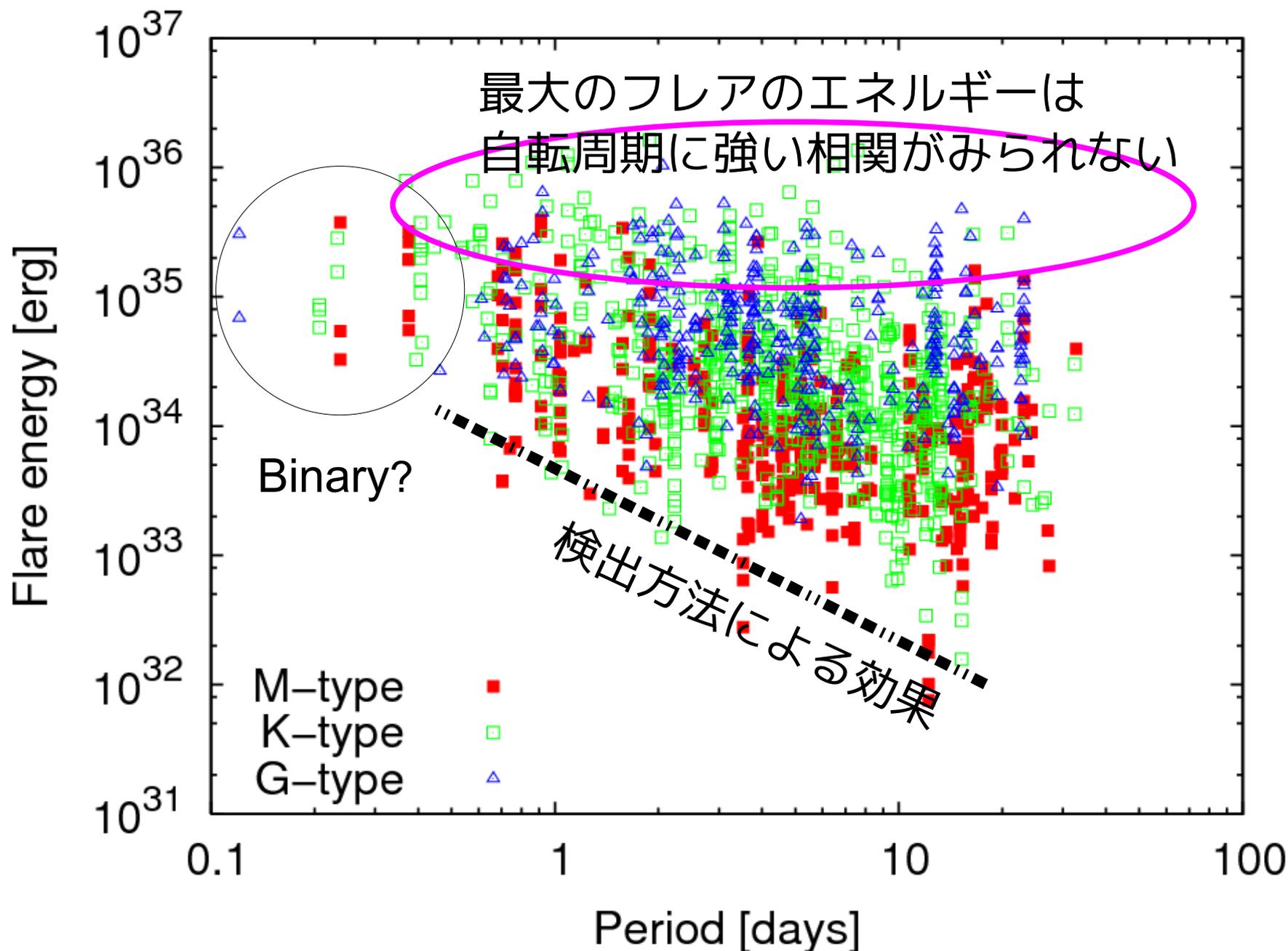


フレアと星の自転速度

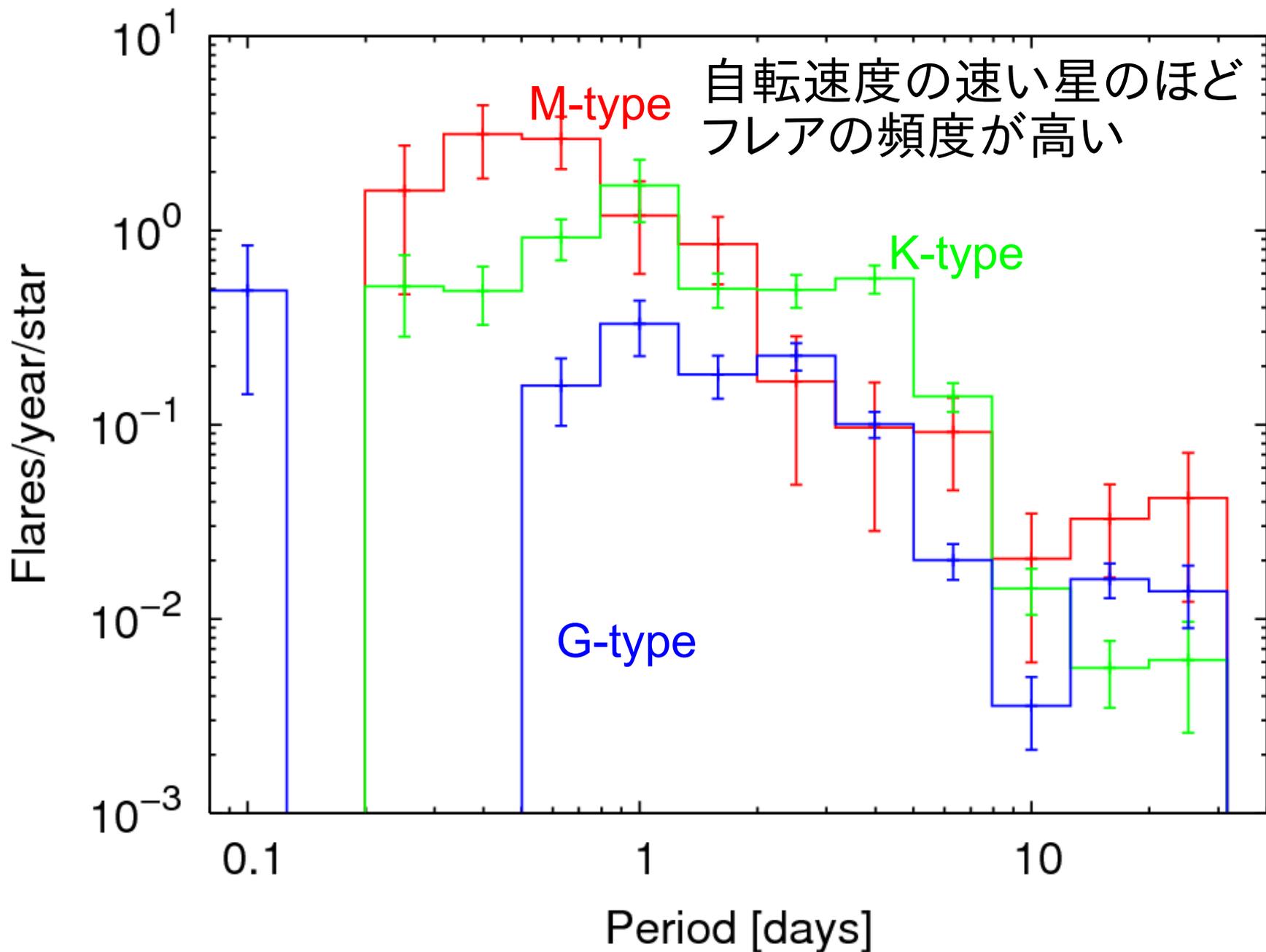
- フレア以外にも準周期的な変動がみられる
 - 周期: 数日~数十日
 - 星の脈動 → × (周期が長過ぎる)
 - 星の自転 or 連星の
 - 光度曲線の形状が異なり
→ 星の自転によって
- 変光周期は自転周期



フレアのエネルギーと星の自転速度

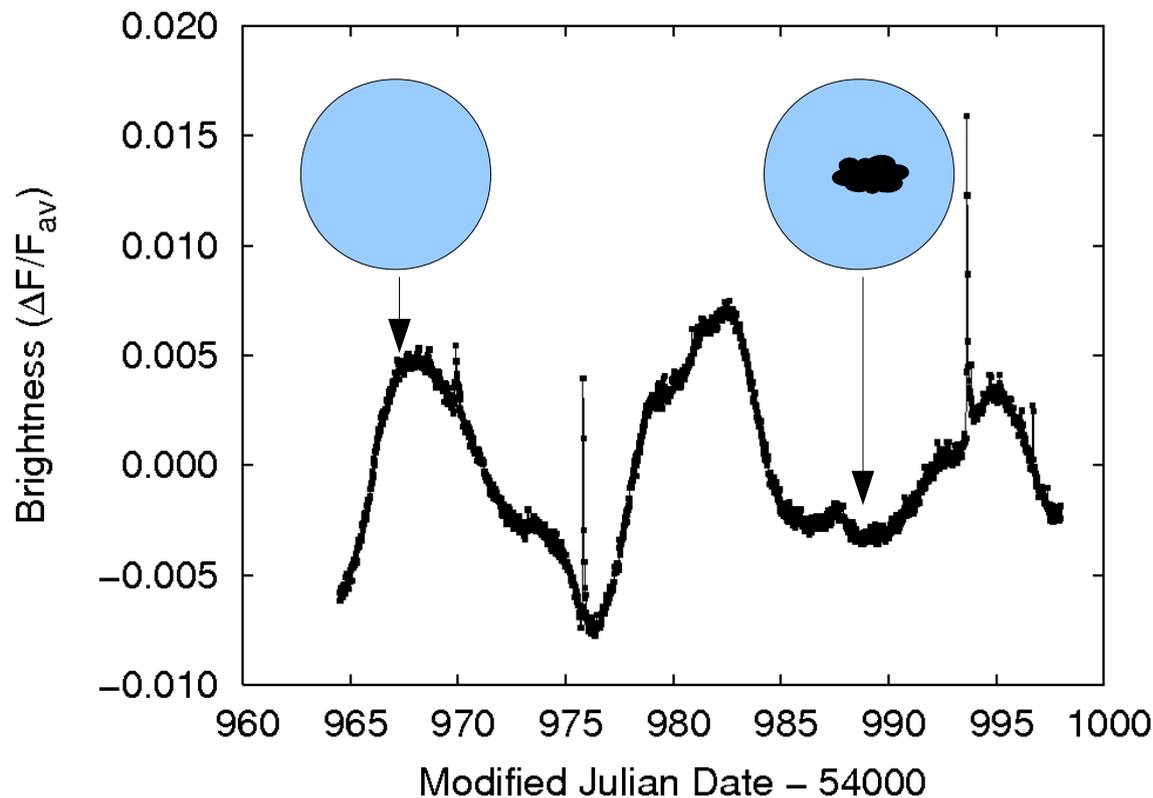


フレアの発生頻度と星の自転速度

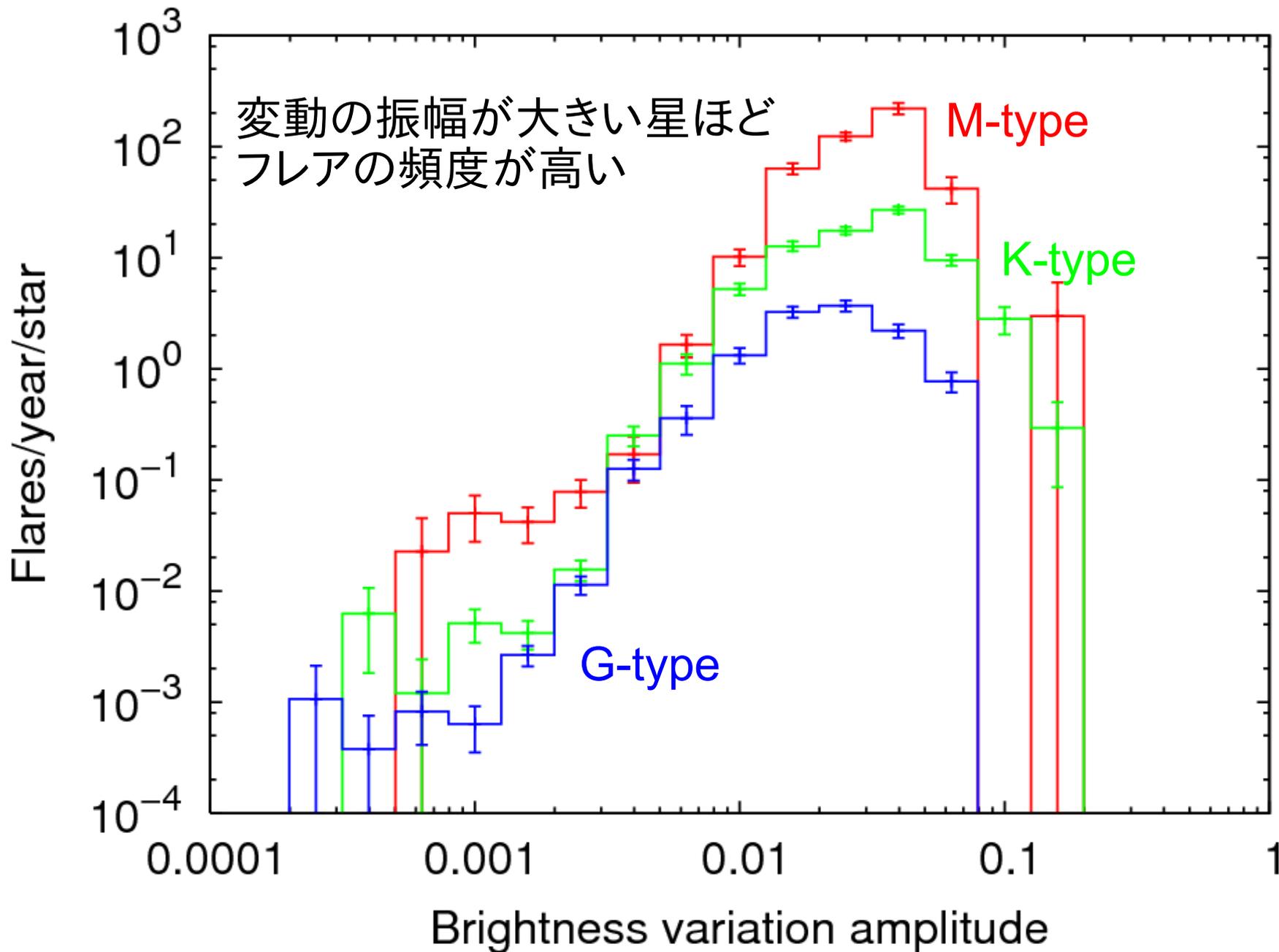


光度変化の振幅とフレア振幅

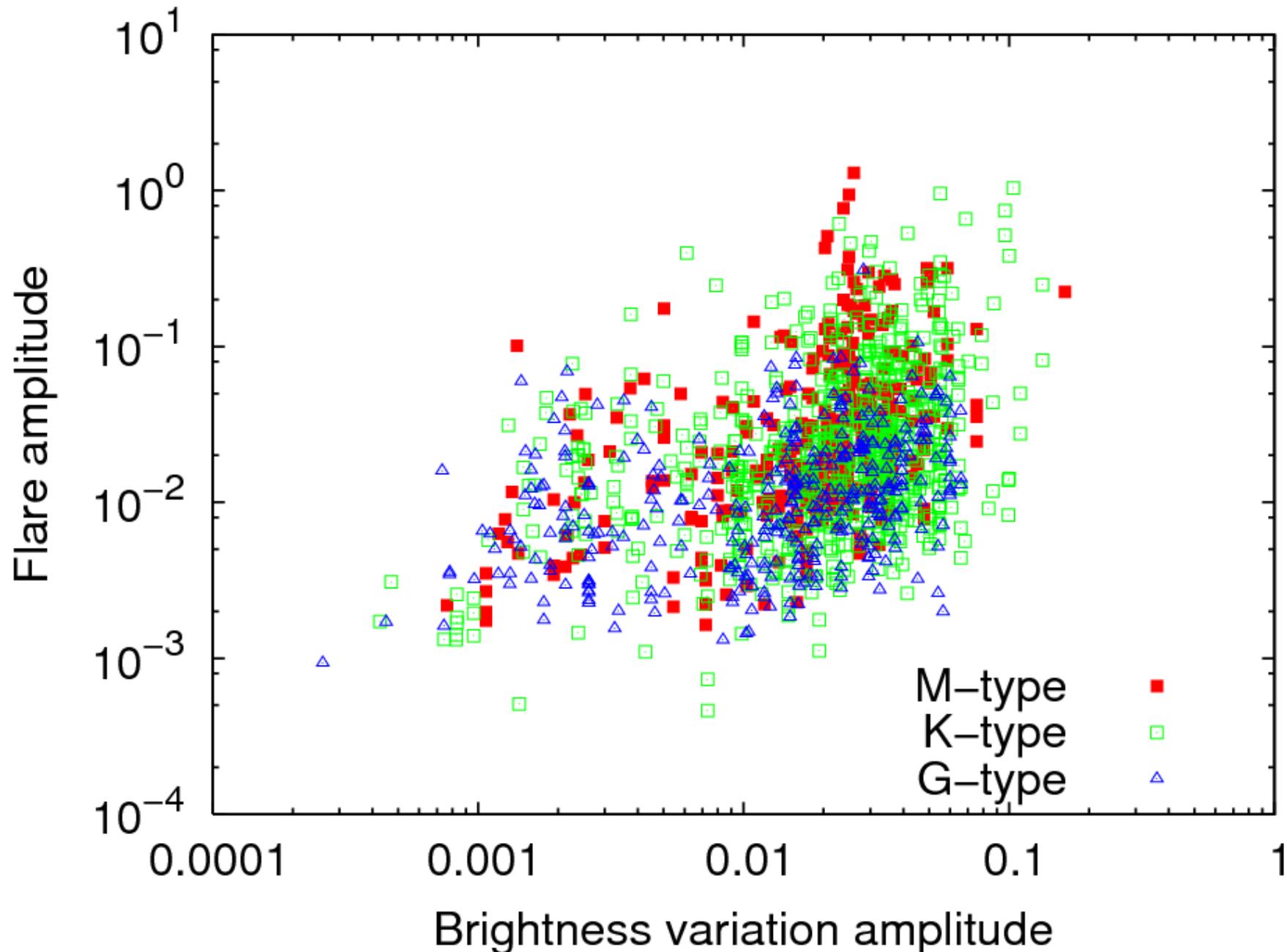
- 変動 = 黒点のある星の自転で生じていると仮定
- 変動の振幅 → 黒点の面積を反映



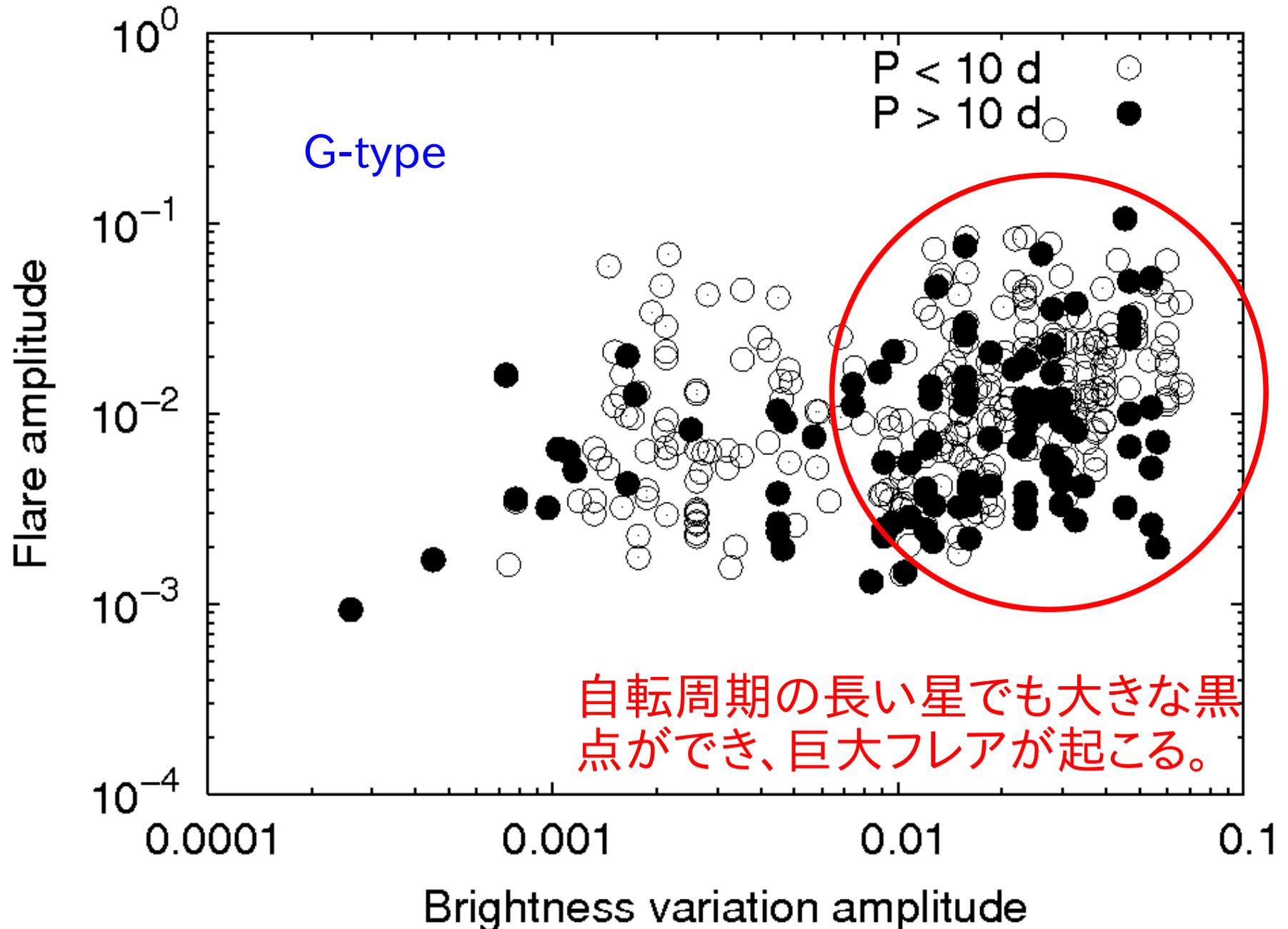
光度変化の振幅とフレアの頻度



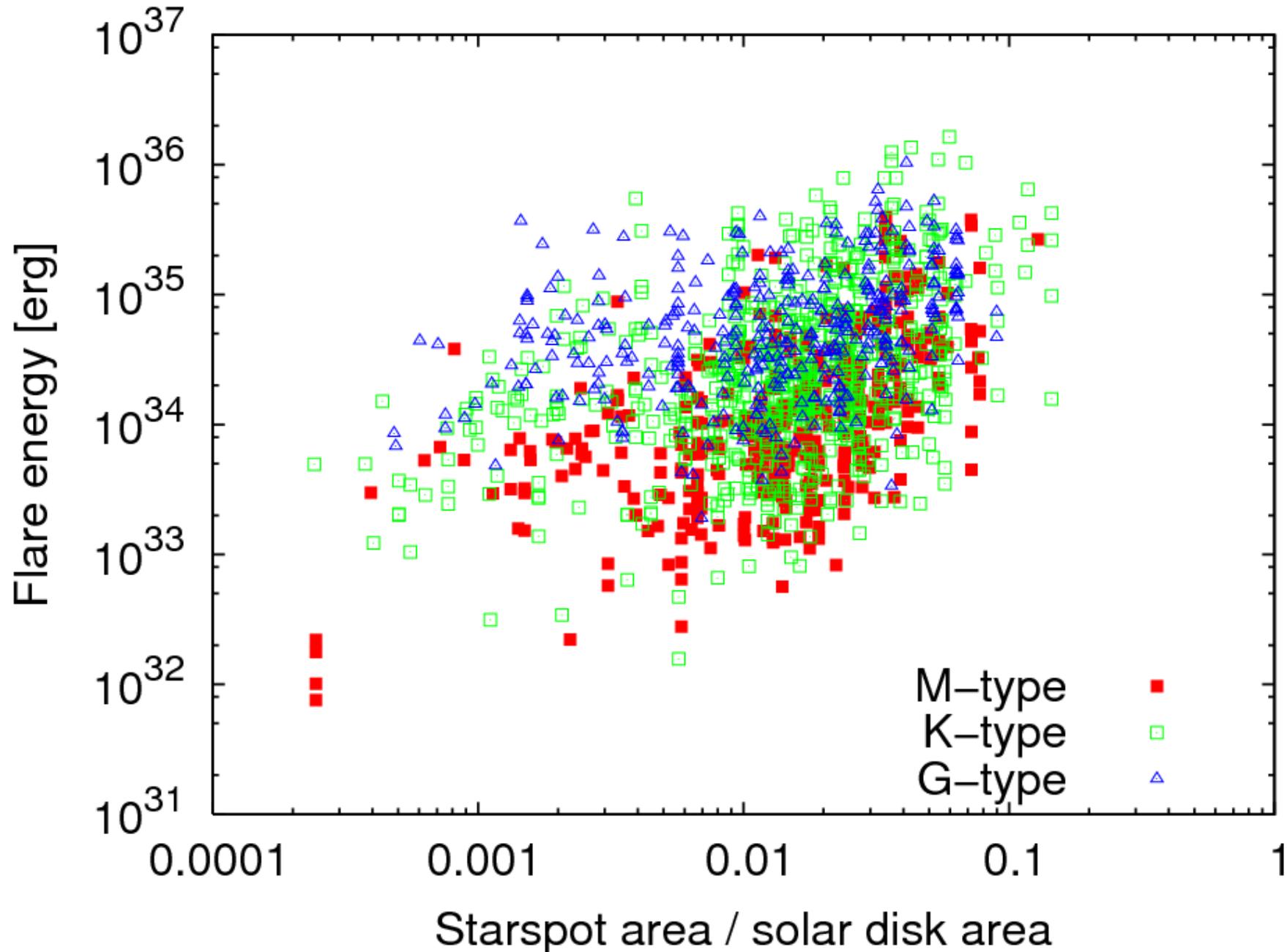
光度変化の振幅とフレア振幅



光度変化の振幅とフレア振幅



黒点の面積とフレアのエネルギー



太陽フレアとの比較

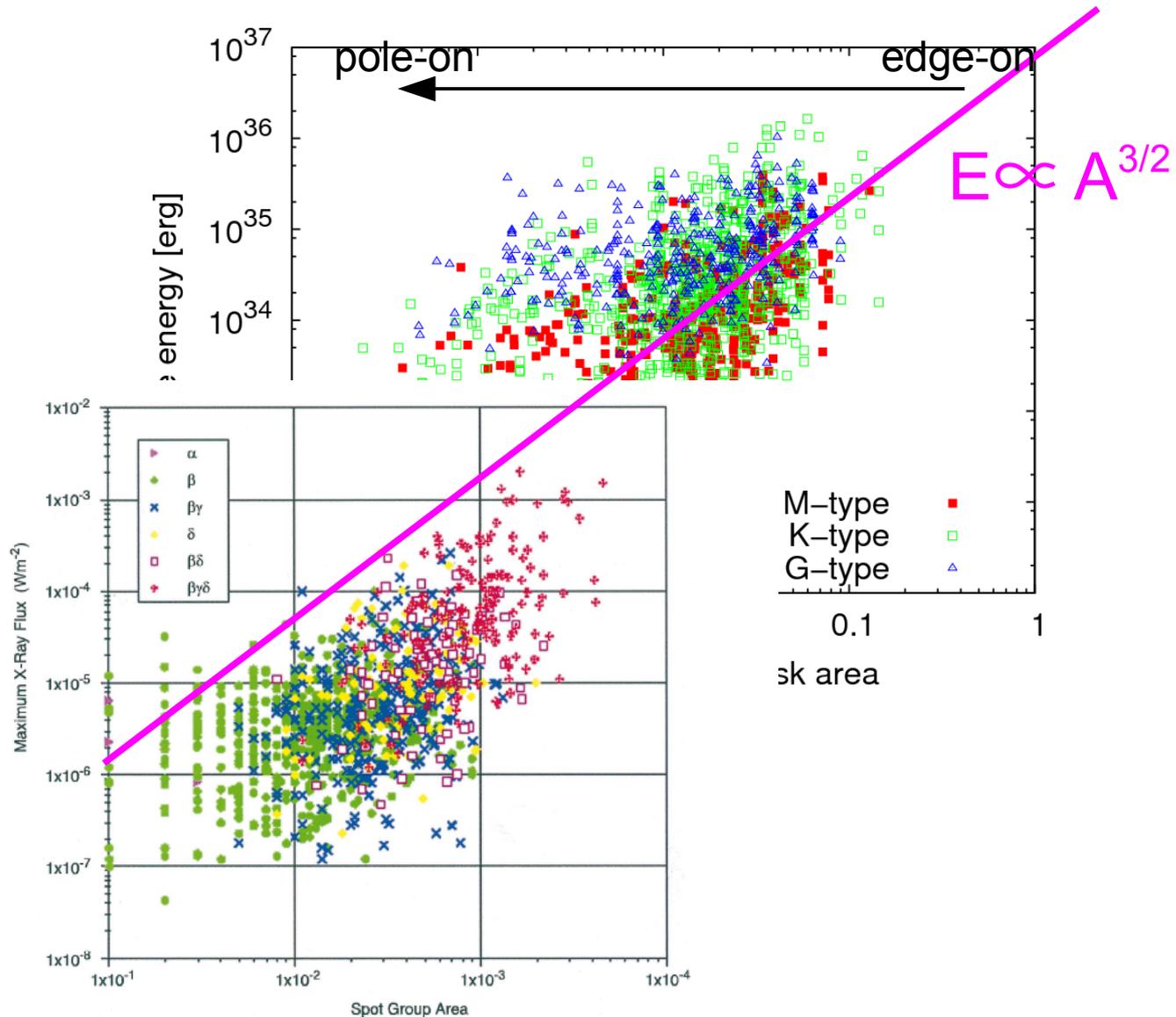


FIG. 2.—Peak flare intensities in W m^{-2} for each spot group as a function of peak area in disk fraction, with each magnetic class plotted separately. Clearly all the big events at upper right occur in δ spots, those classed $\beta\gamma\delta$ by SOON. Regions producing no flares have been omitted.

まとめ

- フレアの発生頻度のエネルギー分布はべき型
 - (power-law index= -1.7~-2.0)
- 最大のフレアのエネルギーと星の自転速度にはあまり相関がない
 - 大きな黒点が出ていれば、大きなフレアが起こる
- フレアの頻度は自転速度、黒点のサイズに強く依存
- 星の表面温度が低くなるとフレアの頻度が高くなる
- 太陽類似星でのスーパーフレア
 - 10^{35} ergで約5000年に1回