

2010年度夏の学校 観測機器23a

アタカマ1m望遠鏡 中間赤外線カメラMAX38による 30 μ m帯skyの観測

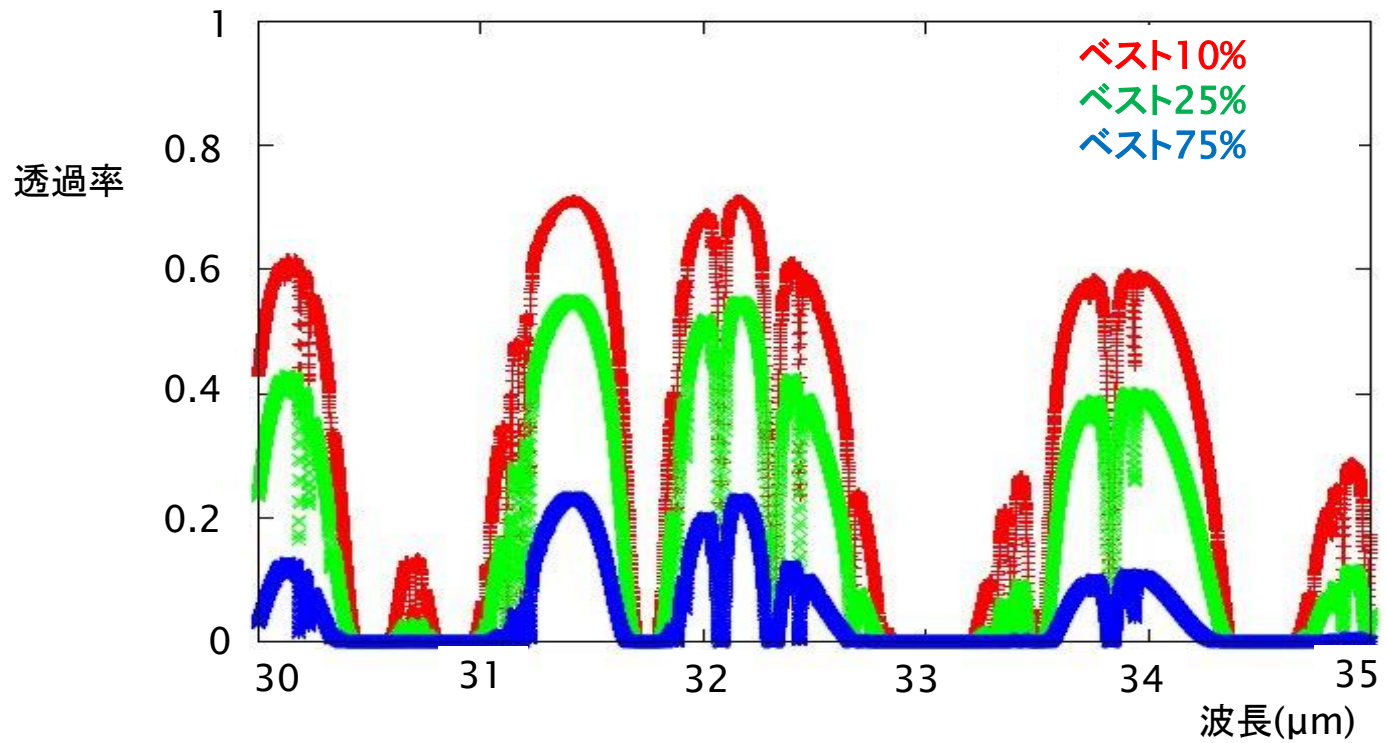
内山瑞穂(東京大学理学系研究科天文学専攻 M1)

目的

- ▶ 東大アタカマ6.5m赤外線望遠鏡(TAO)計画にて初めて30 μ m帯を含む中間赤外線装置の開発・運用
 - 30 μ m帯が地上で観測できるのはアタカマサイトのみ
 - 今まで地上観測のなされていない波長帯なので観測条件がわからない
 - 中間赤外線では天体以上にskyが明るい
 - 可能な限り正確に除去するために現地のskyの詳細な観測データと解析情報が必要

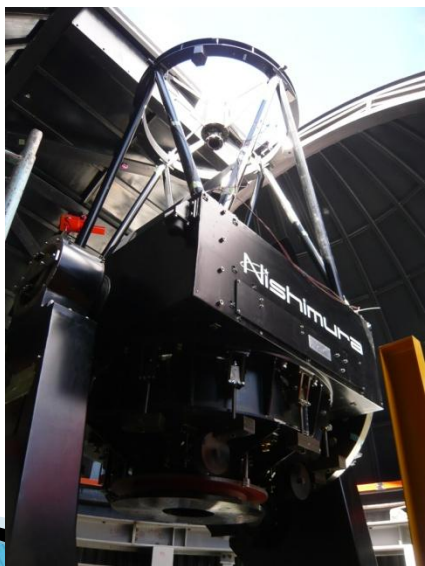


- ▶ アタカマ1m望遠鏡(miniTAO)にて自作カメラMAX38による地上初の30 μ m帯を含む観測
⇒ 30 μ m帯skyの明るさの主要因の特定
& chopping周波数の算出



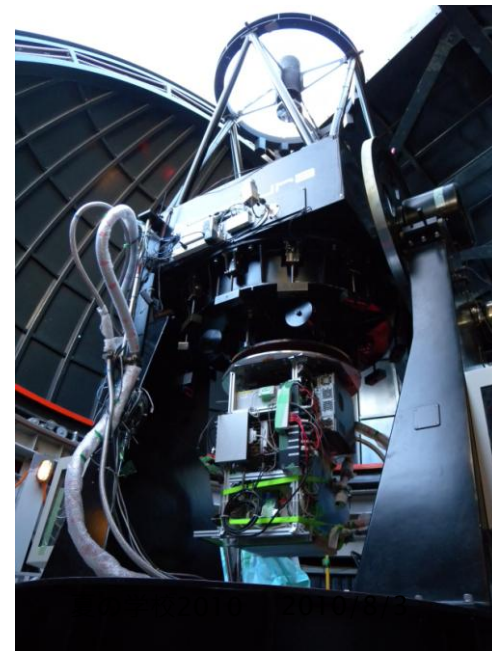
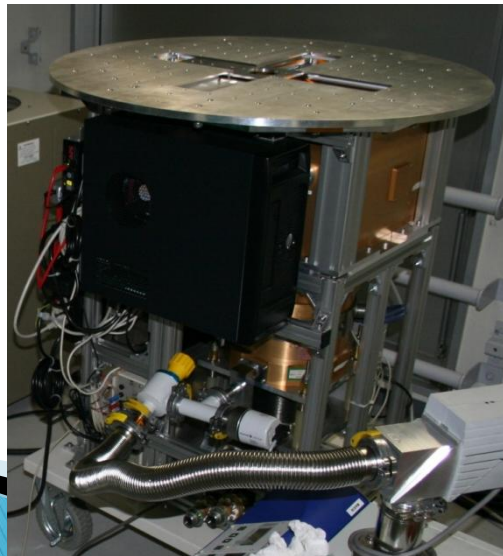
アタカマ1m望遠鏡(miniTAO)

- ▶ TAO望遠鏡に向けた現地パイロット望遠鏡
- ▶ 観測波長:近赤外線及び中間赤外線
- ▶ 場所:チリ チャナントール山頂(5640m)
- ▶ 2009年3月 運用開始



中間赤外線カメラMAX38 (Mid-infrared Astronomical eXplorer)

- ▶ 地上初の30 μm 帯の観測を行うカメラ
- ▶ 観測波長:8-40 μm
- ▶ フィルター:8.9,9.8,10.6,12.2,18.7,30,37 μm
- ▶ chopping&noddingによりskyからの放射を除去
- ▶ 2009年11月8日ファーストライト



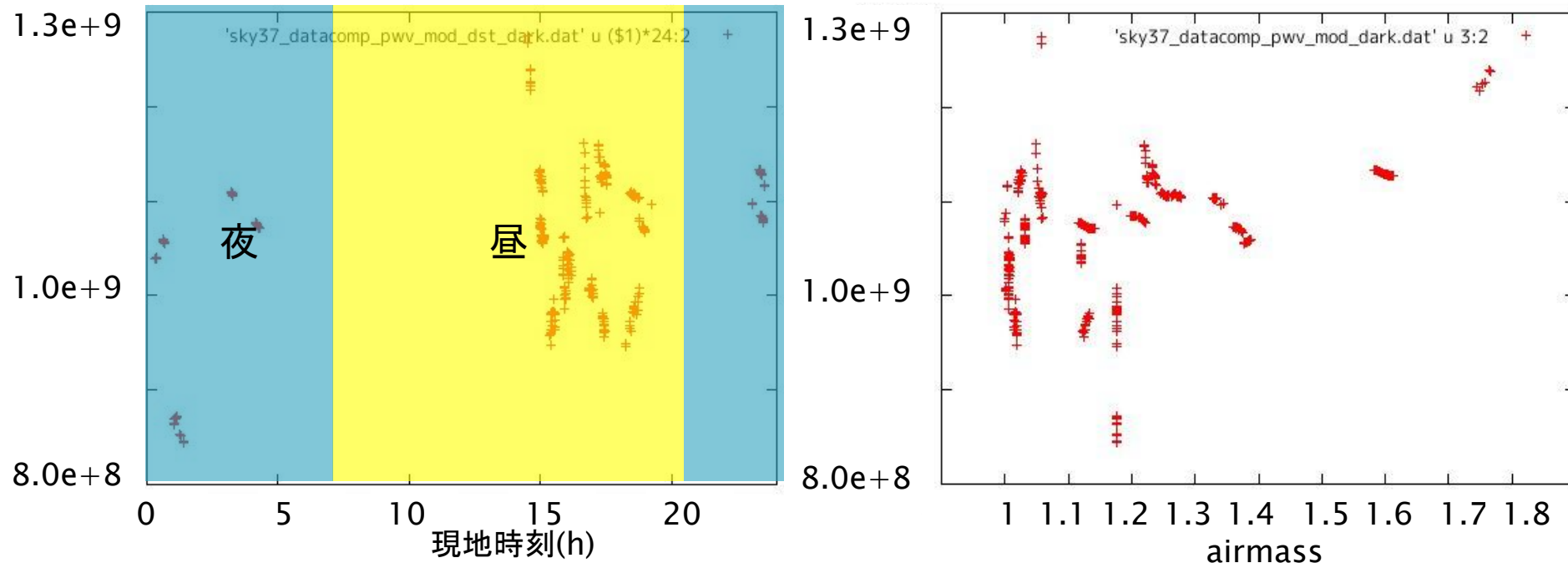
skyの明るさの主要因の特定

- ▶ 初の30 μ m帯skyの観測
 - 可視光のように、airmassや時刻がskyの明るさに支配的なのだろうか？或いは電波のように水蒸気量が効くのだろうか？
⇒ skyの明るさが何に支配されているか調べる
- ▶ 撮像データの概要と解析手法
 - 日時:2009/11/8-26
 - 観測装置:miniTAO MAX38
 - 観測天体:sky(天頂)及び天体を撮像した際のsky
 - 観測波長:30 μ m

 - 1Frameあたりの積分時間:53-453msec
 - 全部で409個のfitsデータを解析

airmass&時刻との比較

photo current
($e^-/s/\mu m$)

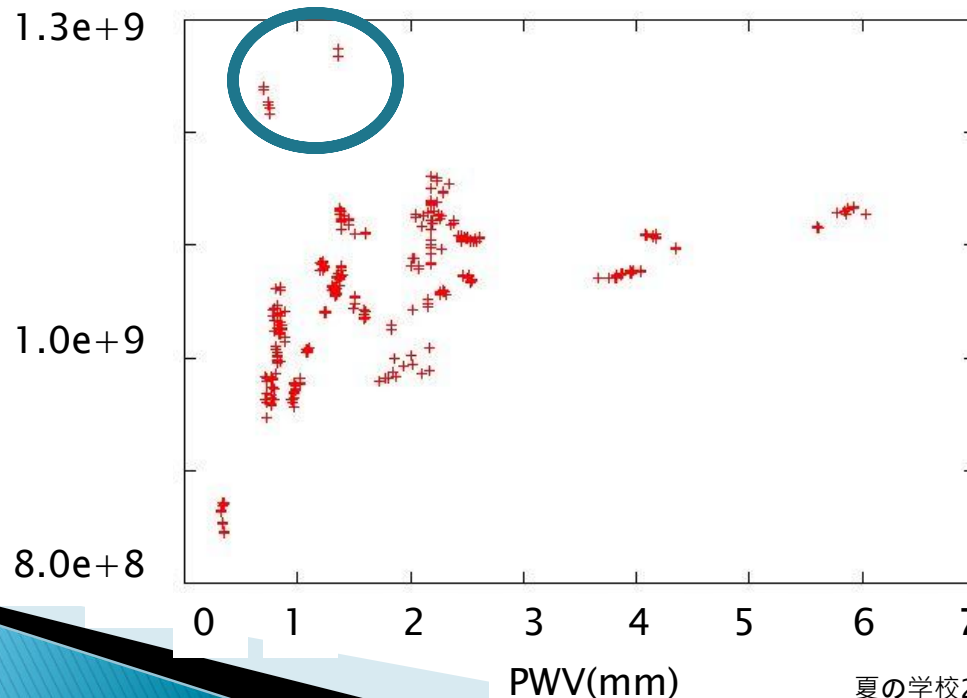


- ▶ $30\mu m$ 帯では昼夜の差はskyの明るさにほとんど影響しない
- ▶ airmassはある程度の相関を持つが、可視光よりは弱い
⇒ 主要因はPWVか

PWVとの比較

- ▶ PWVとは相関があるように見える
 - PWV(可降水量):地表のある面よりも上空の大気柱に含まれる水蒸気が全て凝結し降水した時の降水量。ESO APEXの183GHzの観測から得たチャナントール標高5,104m地点のPWVを入手

photo current
(e⁻/s/um)

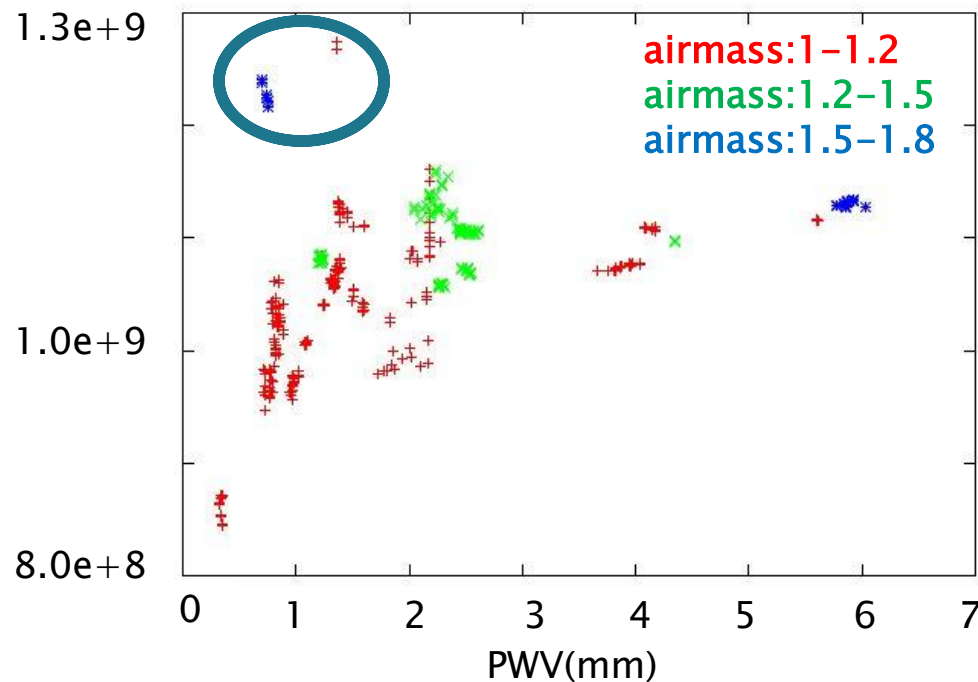


⇒外れ点の検証を
した上で
推算値と比較

外れ点の検証

- ▶ 先ほどのグラフをairmassで色分け

photo current
($e^-/s/\mu\text{m}$)



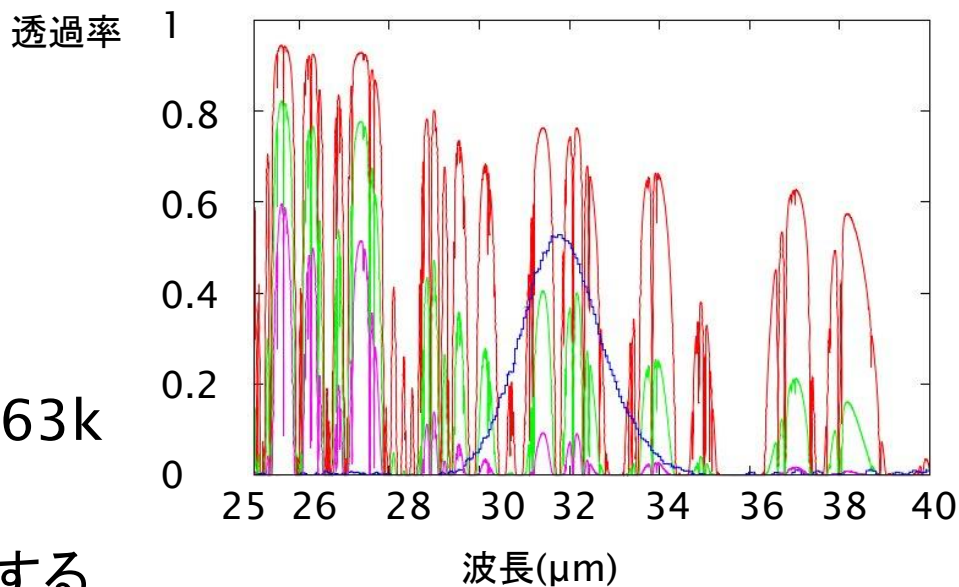
- ▶ 外れ点は比較的airmassが大きいことがわかった

大気モデルからの透過率の推算

- ▶ 観測値が各PWVの値から予想されるskyの明るさにどれくらい一致しているのか比較・検証

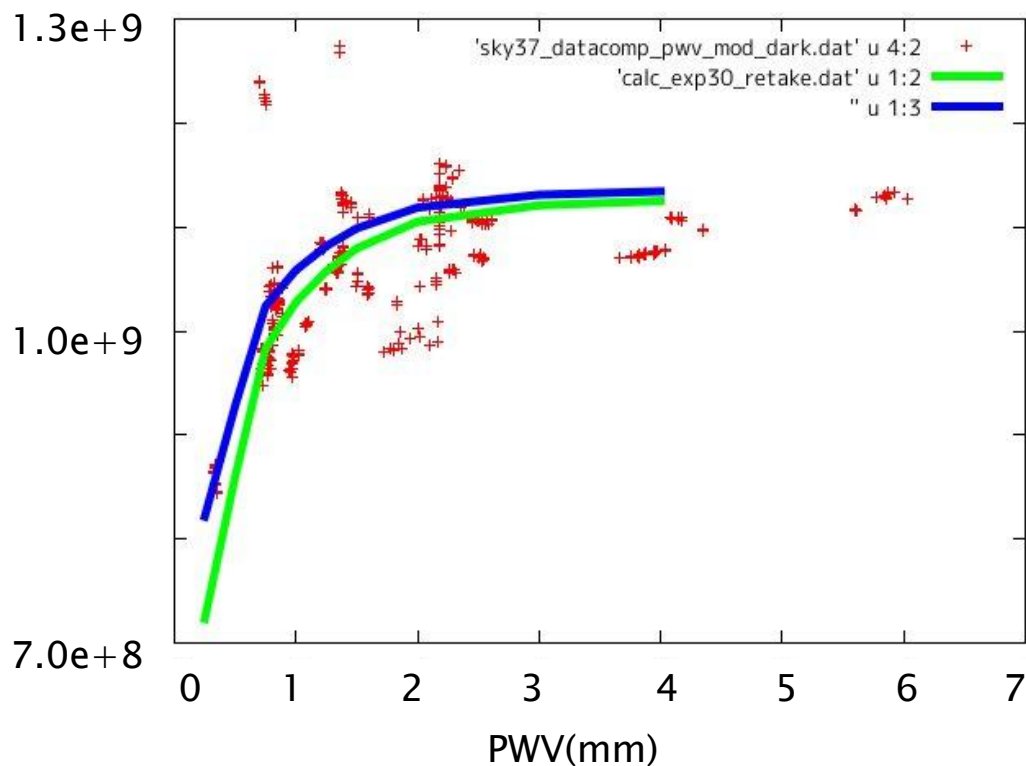
- 仮定

- 実験室の温度:300K
- チリの背景大気温度:263k
- 望遠鏡温度:273k
- 実験室の放射率は1とする
- チリの大気透過率は大気モデルからの計算値を使用
- フィルター透過率は実験での測定値を使用



推算値との比較

photo current
($e^-/s/\mu m$)

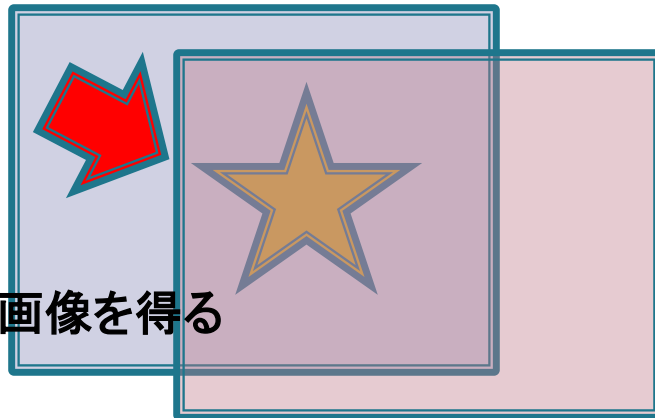


- ▶ おおよそ良い一致を示す
 - (緑:望遠鏡透過率0.9、青:同0.7)
- ⇒ skyの明るさの主要因はPWV

最適chopping周波数の算出

- ▶ 中間赤外線での観測では、skyが天体よりも明るい
⇒ choppingを行いskyを可能な限り除去

視野を動かし二回撮像
⇒ 画像処理(引き算)で天体画像を得る



- ▶ 可能な限り正確にskyを取り除きたい
- ▶ Skyの明るさの変動よりも早くchopすればよい
⇒ 周波数を調べるため、短い間隔でskyを沢山撮る

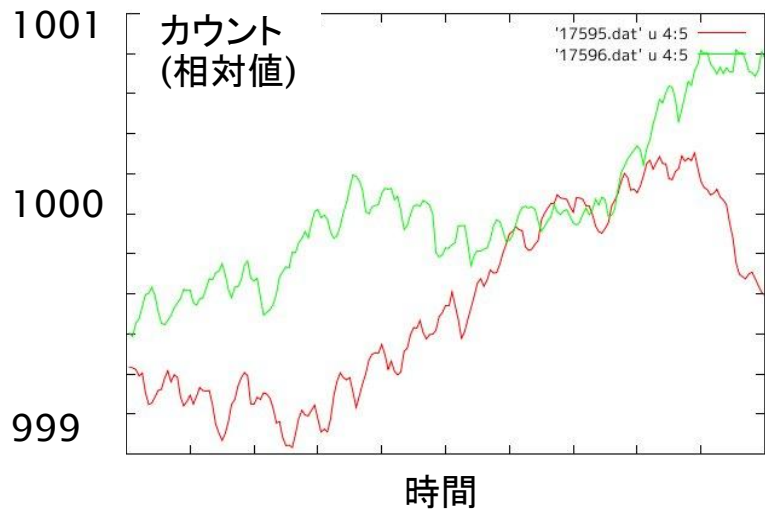
観測概要と解析手法

▶ 撮像データの概要

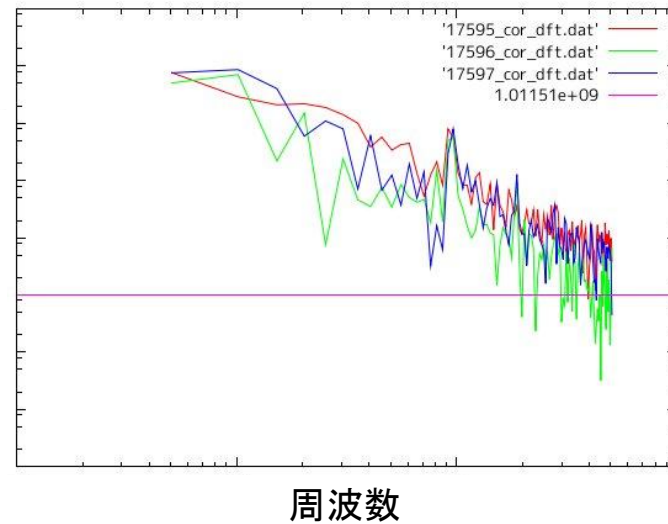
- 日時:2009/11/9,12,15,17,22,25
- 観測装置:miniTAO MAX38
- 観測天体:sky(天頂)
- 観測波長:12.2 μm ,18.7 μm ,30 μm
- 1Frameあたりの積分時間:164msec,98msec,65msec

▶ 解析手法

- 各画像のsky領域を平均化し、時間対カウント相当の関係を取得
- 解析可能な周波数成分よりも長波長である成分を除去
- 一次元離散フーリエ変換を用いて、時間対カウント関係を周波数対パワースペクトル関係に変換



パワー
スペクトル

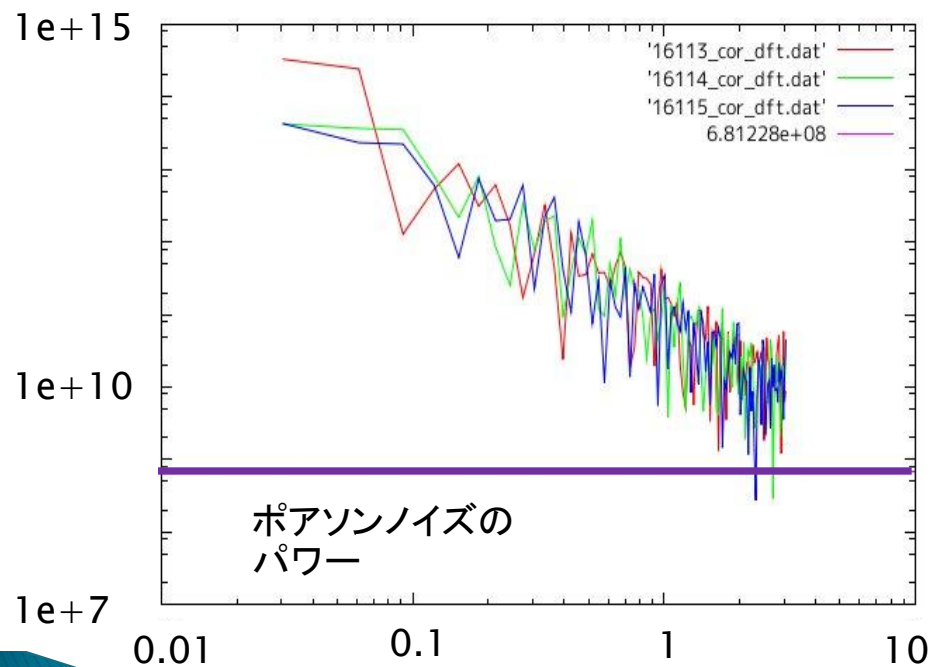


解析結果1

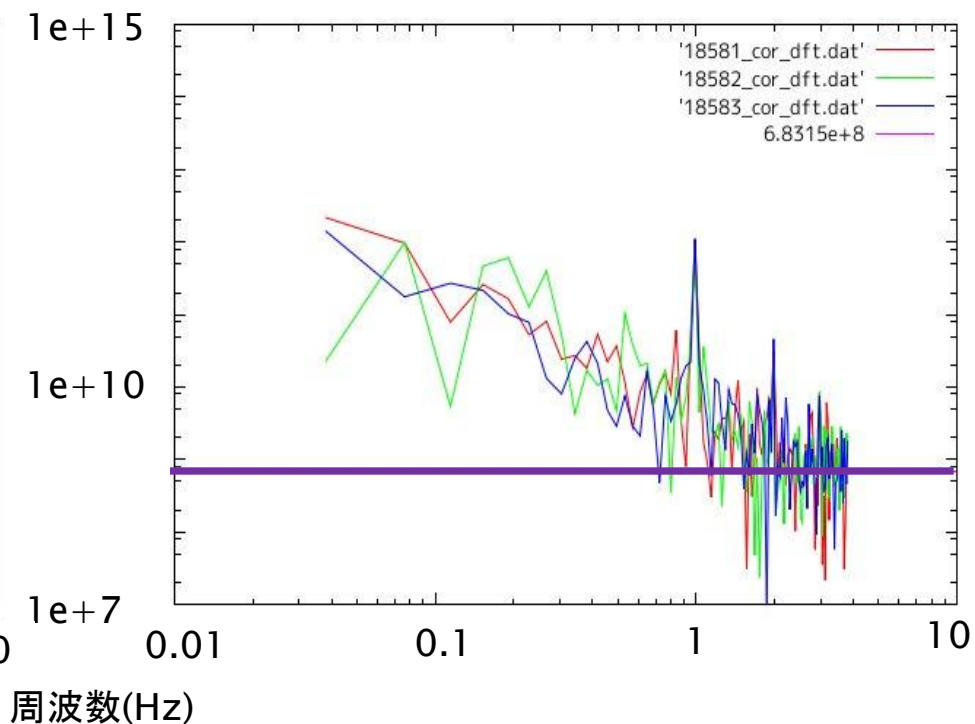
▶ 12 μm

パワースペクトル
($(e-/s)^2/\text{Hz}$)

曇り&夕方



晴れ&深夜

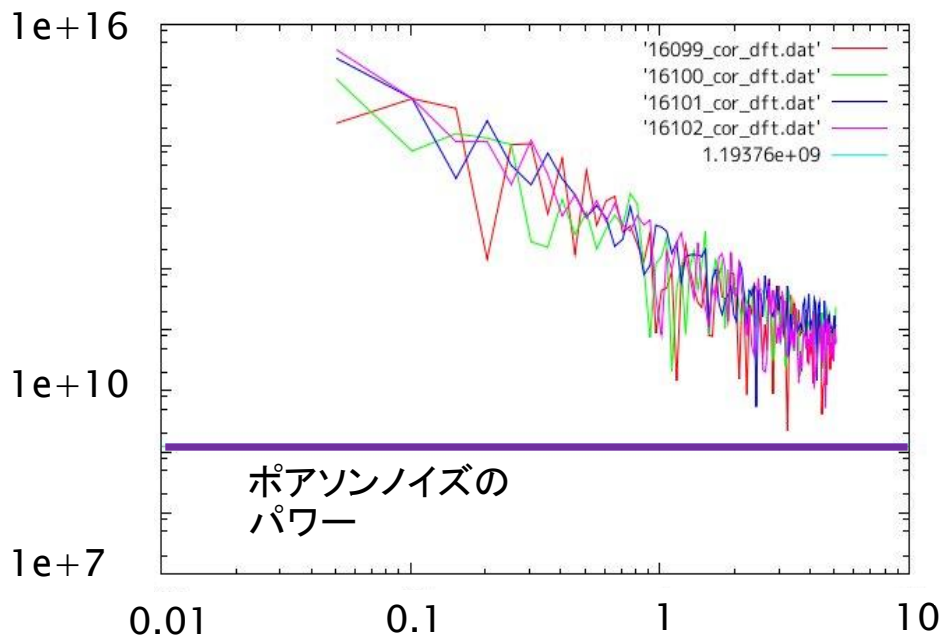


解析結果2

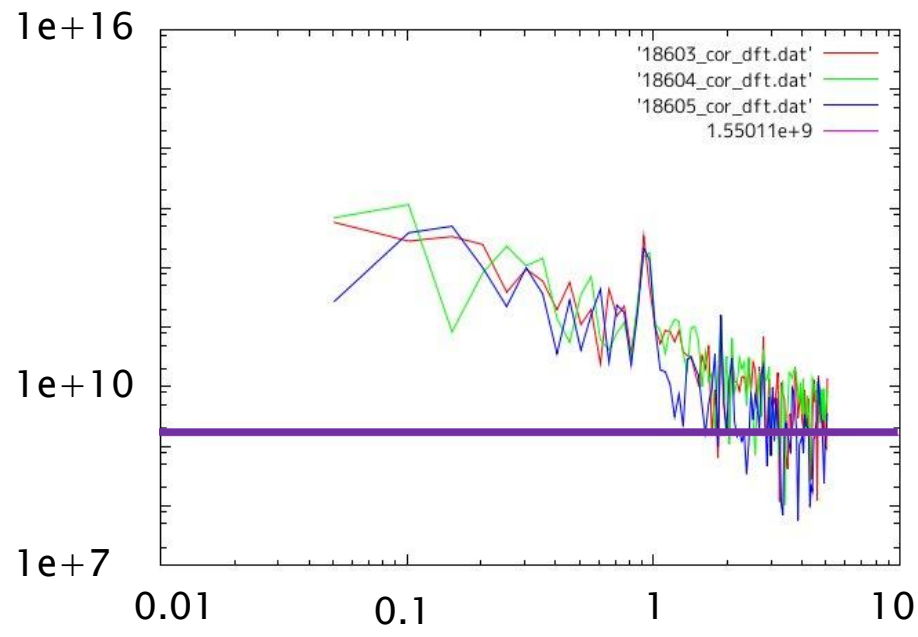
▶ 18μm

パワースペクトル
($(e-/s)^2/Hz$)

曇り&夕方



晴れ&深夜



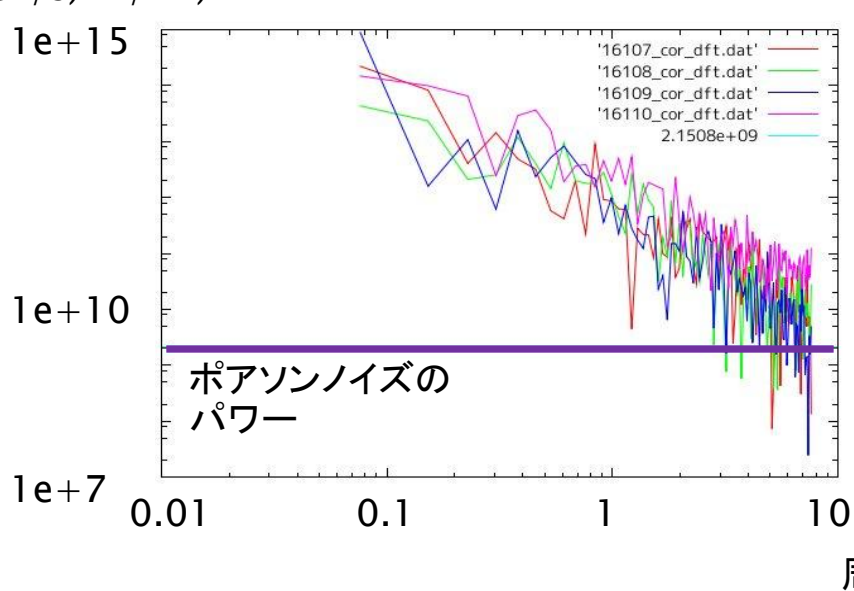
周波数(Hz)

解析結果3

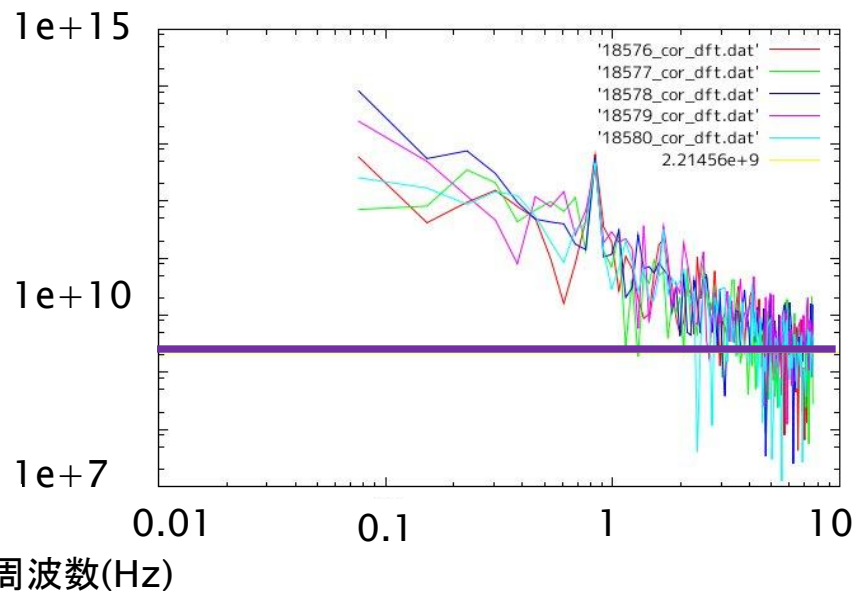
▶ 30 μm

パワースペクトル
(e^-/s)²/Hz

曇り&夕方



晴れ&深夜



- ▶ いずれの波長も「晴れ&深夜」の方が好条件？
⇒ 更に詳しく比較

chopping周波数の算出

12 μ m

日付	観測時間	天候	算出したchopping周波数
11/9	19:00	曇り	7.89Hz
11/12	18:40	曇り	9.67Hz
11/15	16:45	山頂晴れ周田曇り	9.30Hz
11/17	17:15	曇り	9.19Hz
11/25	23:40	山頂晴れ周田曇り	3.26Hz

▶ 先ほどのグラフを
 $y=a*x^b$ の関数にfitting

18 μ m

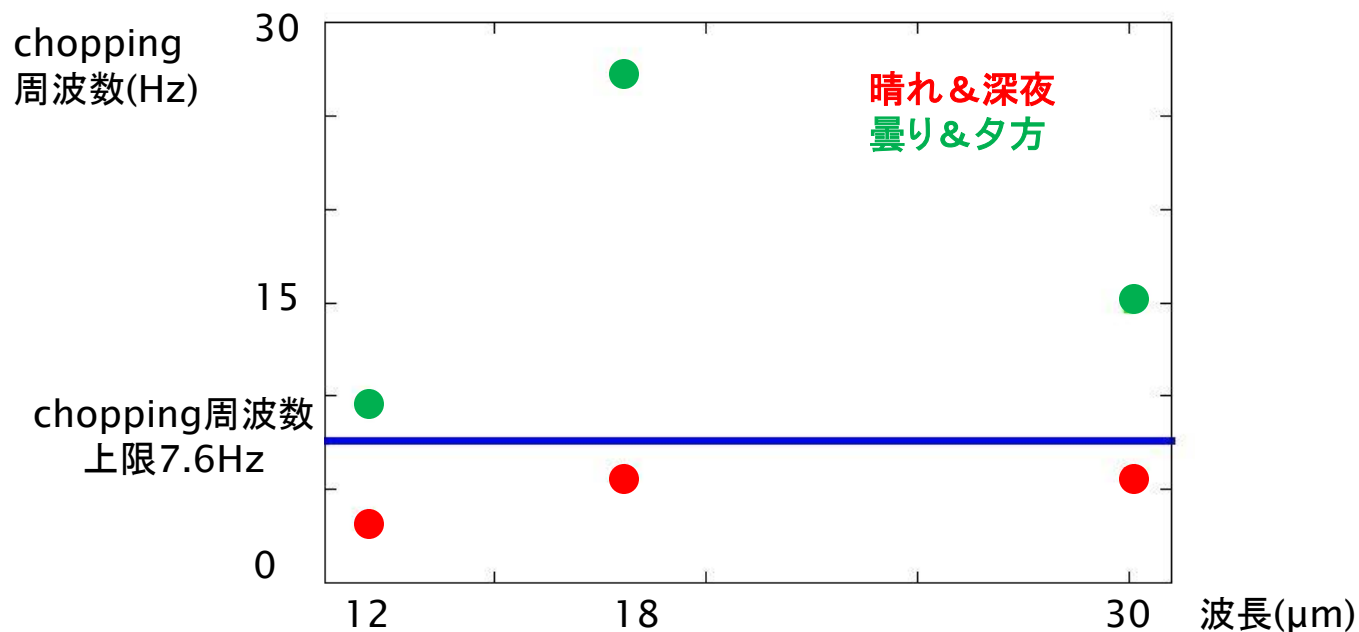
日付	観測時間	天候	算出したchopping周波数
11/9	19:00	曇り	34.7Hz
11/12	18:40	曇り	27.4Hz
11/15	16:45	山頂晴れ周田曇り	9.98Hz
11/17	17:15	曇り	27.4Hz
11/22	0:20	山頂晴れ周田曇り	9.20Hz
11/25	23:40	山頂晴れ周田曇り	5.82Hz

◦ ポアソンノイズのパワーとの交点を
求めchopping周波数とする

30 μ m

日付	観測時間	天候	算出したchopping周波数
11/9	19:00	曇り	37.2Hz
11/12	18:40	曇り	14.7Hz
11/15	16:45	山頂晴れ周田曇り	14.1Hz
11/17	17:15	曇り	8.01Hz
11/22	0:20	山頂晴れ周田曇り	5.91Hz
11/25	23:40	山頂晴れ周田曇り	6.48Hz

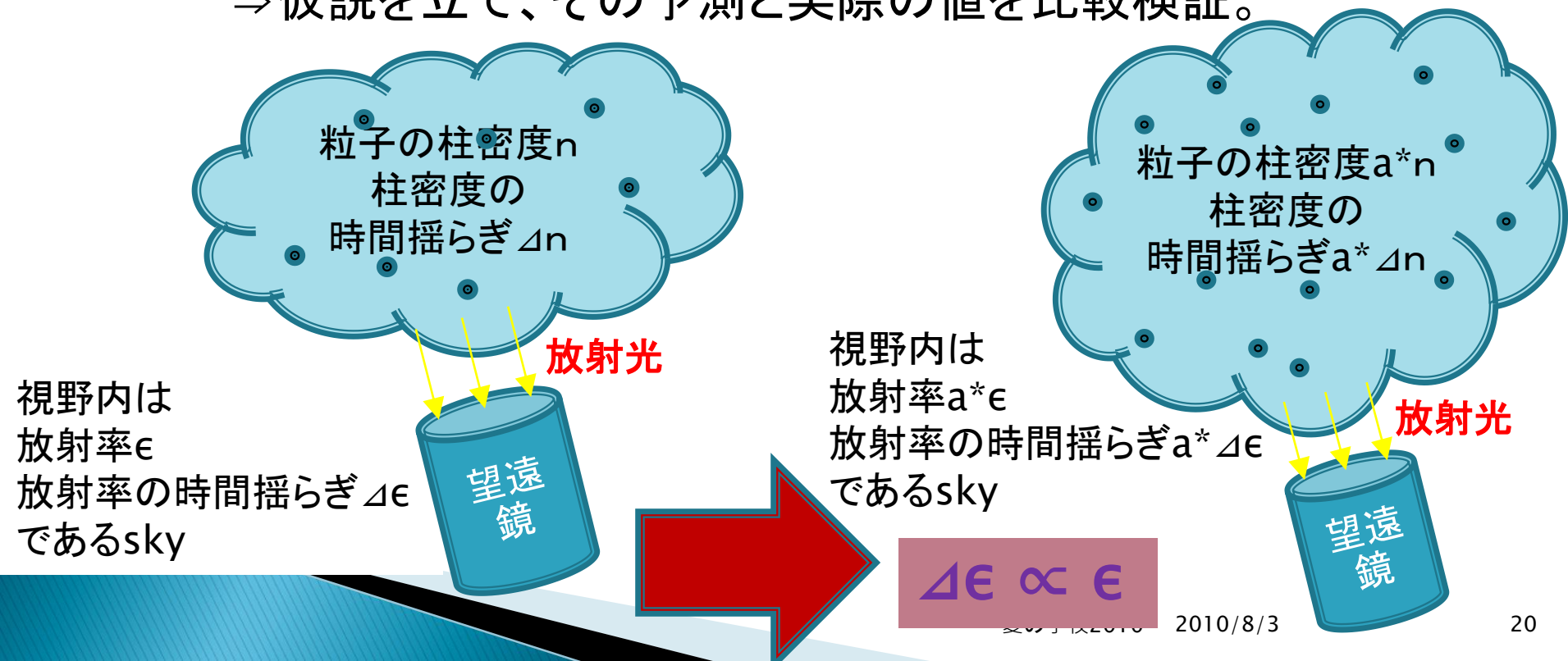
Chopping周波数に関する考察



- ▶ やはり「晴れ&深夜」が好条件
- ▶ 12 μm が最も観測条件がゆるい
- ▶ 30 μm と18 μm は好条件時には同程度にシビア、かつ悪天候の時は30 μm が楽か

ノイズとskyの明るさの関係

- ▶ chopping周波数が観測ごとにかかなり異なる
- ▶ skyの明るさの変化でchopping周波数が変化したのか、skyの時間揺らぎ自体が変化したのか
⇒ 仮説を立て、その予測と実際の値を比較検証。



検証方法と結果

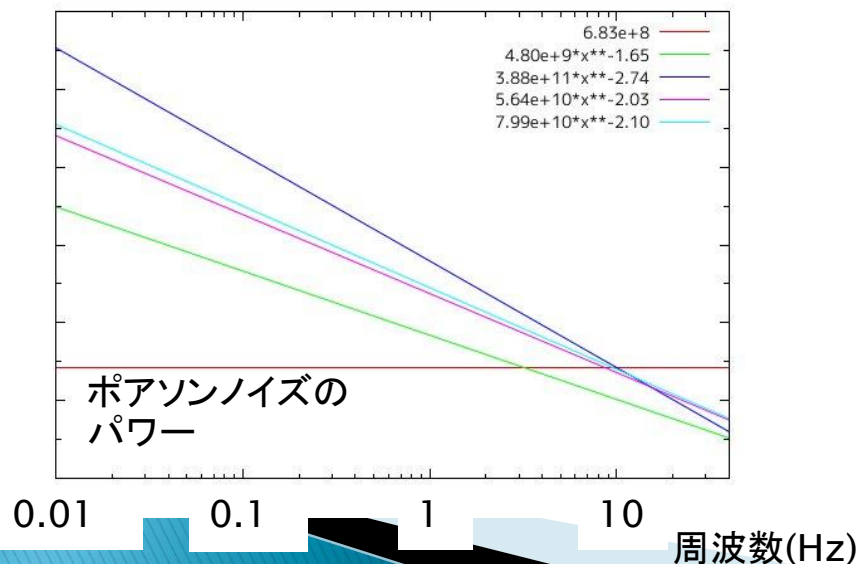
- ▶ skyの明るさ2倍なら、 $\Delta\epsilon$ も2倍になり、結果パワーは4倍に

⇒ 同波長間で、ある日のskyの明るさで全てのfitting関数を規格化し、その一致具合を検証

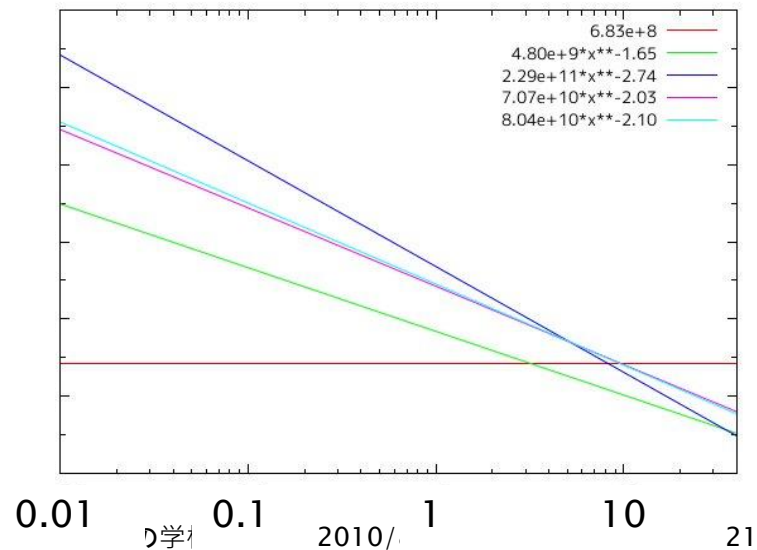
- 12 μm

パワースペクトル
((e-/s)²/Hz)

規格化前



規格化後

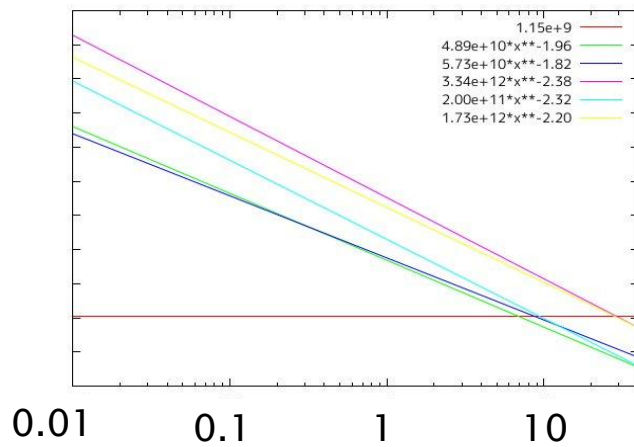


結果の検証

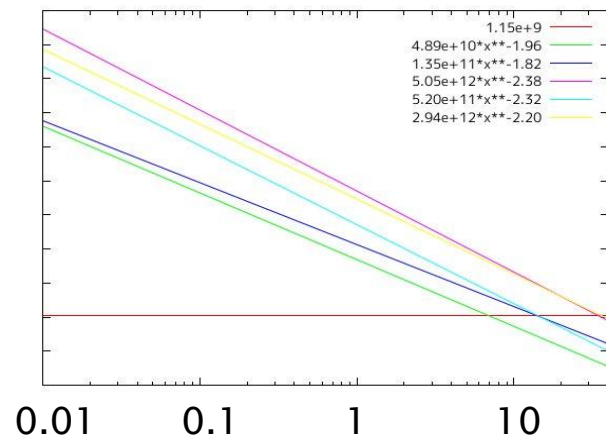
○ 18μm

パワースペクトル
((e-/s)²/Hz)

規格化前



規格化後

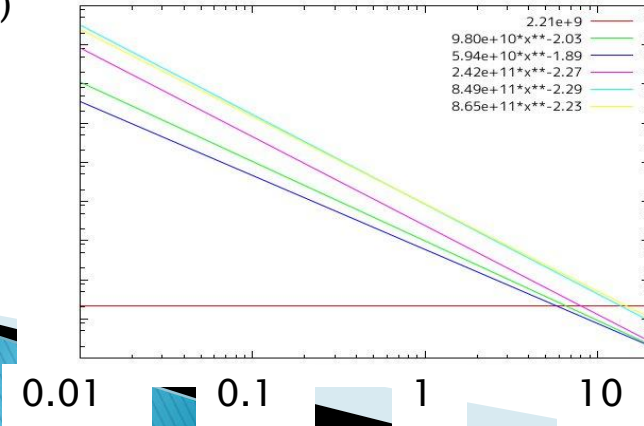


周波数(Hz)

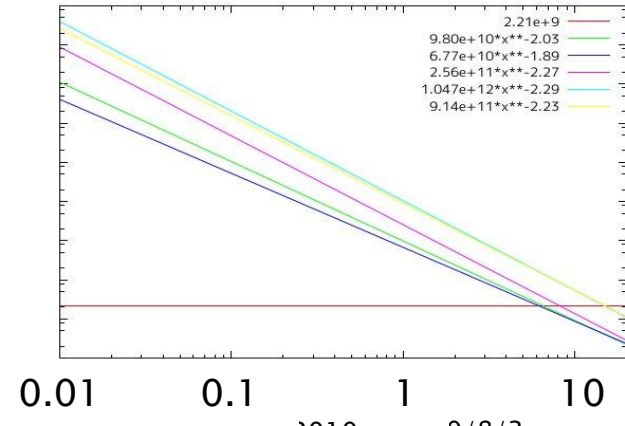
○ 30μm

パワースペクトル
((e-/s)²/Hz)

規格化前

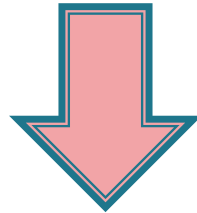


規格化後



周波数(Hz)

関数のばらつきはskyの明るさに因らない。
また、特に規格化によって各関数がより一致するという事はない。
⇒先の仮説は誤り、skyノイズの元である $\Delta\epsilon$ は ϵ に比例するわけではない。



空の明るさとその揺らぎは直接関係するものではない
(明るくなるとより揺らぐわけではない)

先行研究との比較

- ▶ 10 μm 付近までのchopping周波数については先行研究が存在
 - 撮像10 μm で8Hz程度(ESO-site@LaSilla,Chile:2400m)
(Käufl et al,1991)
 - 分光10 μm で0.5Hz程度(UKIRT@Mauna Kea,Hawaii:4200m)
(Miyata et al,1999)
 - 分光10 μm で10Hz程度(VLT@Cerro Paranal,Chile:2600m)
(Absil et al,2004)
 - 撮像9.8 μm で5Hz以上(かなた望遠鏡@東広島,日本:510m)
(Nakamura,2009)
- ▶ miniTAOは撮像12 μm で3Hz、18&30 μm で5Hzを達成
⇒アタカマの観測条件の良さを示す

まとめ

- ▶ 30 μ m帯skyを初めて観測し、定量的に評価
- ▶ 30 μ mでのskyの明るさは時間や見た目の天候でなく、PWVでほぼ説明できる
- ▶ skyノイズはskyの明るさの揺らぎであるが、これはskyの明るさに比例しない。別要因の可能性が高い
- ▶ 「曇 & 日没前」と「晴れ & 深夜」では別々のchopping周波数が必要、波長によっても変化するが、前者はおおよそ10Hz以上、後者は5-10Hz 程度
 - データ数が少なく確実な結論ではないが、chopping周波数の上限は7.6Hz付近までなので、12 μ mなら昼夜観測可能、他の波長は夜間は問題なく、日中は一部のノイズを除けないものの可能
- ▶ 今後の展開として、skyの撮像データを増やし、更に詳細な解析 & 気象理論などからのモデルの構築が必要

参考文献&参考URL

- ▶ O. Absil, E.J. Bakker, M. Schoeller, and P.A. Gondoin. Thermal background fluctuations at 10 micron measured with VLT/MIDI. In *Proceedings of SPIE, volume 5491, pages 1320-1332, 2004.*
- ▶ H. U. Käufl, P. Bouchet, A. van Dijsseldonk, and U. Weilenmann. A sky-noise measurement and its implication for ground-based infrared astronomy in the 10-micron atmospheric window. *Experimental Astronomy, 2:115-122, 1991.*
- ▶ Steven D. Lord. A new software tool for computing Earth's atmospheric transmission of near- and far-infrared radiation . Technical report, NASA Technical Memorandum, 1992.
- ▶ T. Miyata, H. Kataza, Y. Okamoto, T. Tanabe, T. Onaka, T. Yamashita, K. Nakamura, and H. Shibai. MICS: A New Mid-Infrared Camera and Spectrometer for Ground-based Astronomy. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 111(760):750-764, 1999.*
- ▶ 中村友彦.中間赤外線観測装置MAX38 の開発. 東京大学院理学系研究科天文学専攻 修士論文,2009
- ▶ APEXによるPWVデータ
 - http://www.apex-telescope.org/weather/Historical_weather/index.htm
- ▶ ATRANによるアタカマでの大気透過率計算データ
 - <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/internal/handa/sensitivity.6/index.html>

終わり

ご清聴ありがとうございました