第3回ALOS-2ワークショップ
2011-11-17 13:00-15 @つくば国際会議場

地震・火山監視（地殻変動観測）に有効なSAR観測

1. なくてはならない衛星SAR
   ー 利用実証から実利用へ ー
2. 地殻変動観測における検討事項
   ー 水蒸気・電離圏など ー

国土地理院
飛田 幹男，小林知勝，山中雅之，野口優子，
鈴木啓，宮原伐折羅，石原操

引用：飛田幹男(2011)：地震・火山監視に有効なSAR観測，ALOS-2ワークショップ

科学技術・学術審議会建議「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」におけるSAR(抜粋)

なくてはならない
衛星SAR

1　地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1)地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ア．日本列島域

○火山活動が活発化した場合には，火山周辺での機動的観測，航空機や無人測量船等による観測，衛星搭載SAR(合成開口レーダー)などの人工衛星によるリモートセンシング技術を活用し，陸域，海域での火山観測体制の強化を図る。

イ．地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

○日本海溝・千島海溝沿いの地域や糸魚川－静岡構造線北部において，GPS及びSARによる観測を実施し，地殻変動分布を明らかにする。

○活動的な火山を優先して地球観測衛星，航空機によるSAR等を利用して高精度な地殻変動の測量を実施する。

ウ．東海・東南海・南海地域

○SAR及びGPSを用いて，定常的な地殻変動とその揺らぎを面的にモニターする。

(2)地震・火山噴火に至る準備過程

○地震，SAR,GPS，海底地殻変動，重力等の観測を充実させてプレート境界の滑りと固着の状態の把握に努める。

○GPS，水準測量，光波測距，干渉SAR等の地殻変動解析から，マグマ供給系を含む火山体の構造や状態及びそれらの時間的変化を明らかにし，マグマの上昇や蓄積を把握する。

科学技術・学術審議会建議「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」におけるSAR (抜粋)

(3)地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程　(3-1)地震発生先行過程

イ. 先行現象の発生機構の解明

○兵庫県南部地震前後の地殻変動や地震活動の変化の原因を理解するために，地震活動やGPS,SAR等の測地データを新たな手法により再解析する。

なくてはならない
衛星SAR

3　新たな観測技術の開発

(2)宇宙技術等の利用の高度化

○GPSや衛星搭載SAR等の宇宙技術は，地震及び火山活動を深く理解するとともにそれらの活動を的確に把握するための観測手段として重要な役割を果たしている。それらのデータを利用した解析技術の高度化を図ることにより，より高精度な測地手法の実現や様々な地震や火山活動をより高い精度で把握するリモートセンシング手法の実現を目指す。特に，「だいち」などによる衛星観測は，国内国外の地震・火山現象の解明に有用なデータを提供しており，地球観測衛星が継続して打ち上げられることが極めて重要である。

○「だいち」等による衛星SAR干渉解析による地殻変動把握技術の高度化のため，永続散乱体干渉手法，GPS等との統合解析手法，大気伝播誤差補正手法及び干渉データの位相連続化手法の拡張や改良を進める。

地震像，火山活動を把握するための基本ツールとなっている。

利用実証から実利用へ

利用実証：時々良い成果が遅れて得られる.

↓

実利用：必要とされているタイミングで，期待された情報が得られる.

ALOS-2基本観測計画（日本域）の「災害用ベースマップ」観測は，極めて重要.

特に重要な要件

1. 日本は高分解能3mモード中心

   Critical Baselineが長く，内陸地震に強い.

2. 世界はScanSARと高分解能10m中心

   観測資源を節約しながら，東西両方向からの観測を実現.

3. 高精度軌道情報

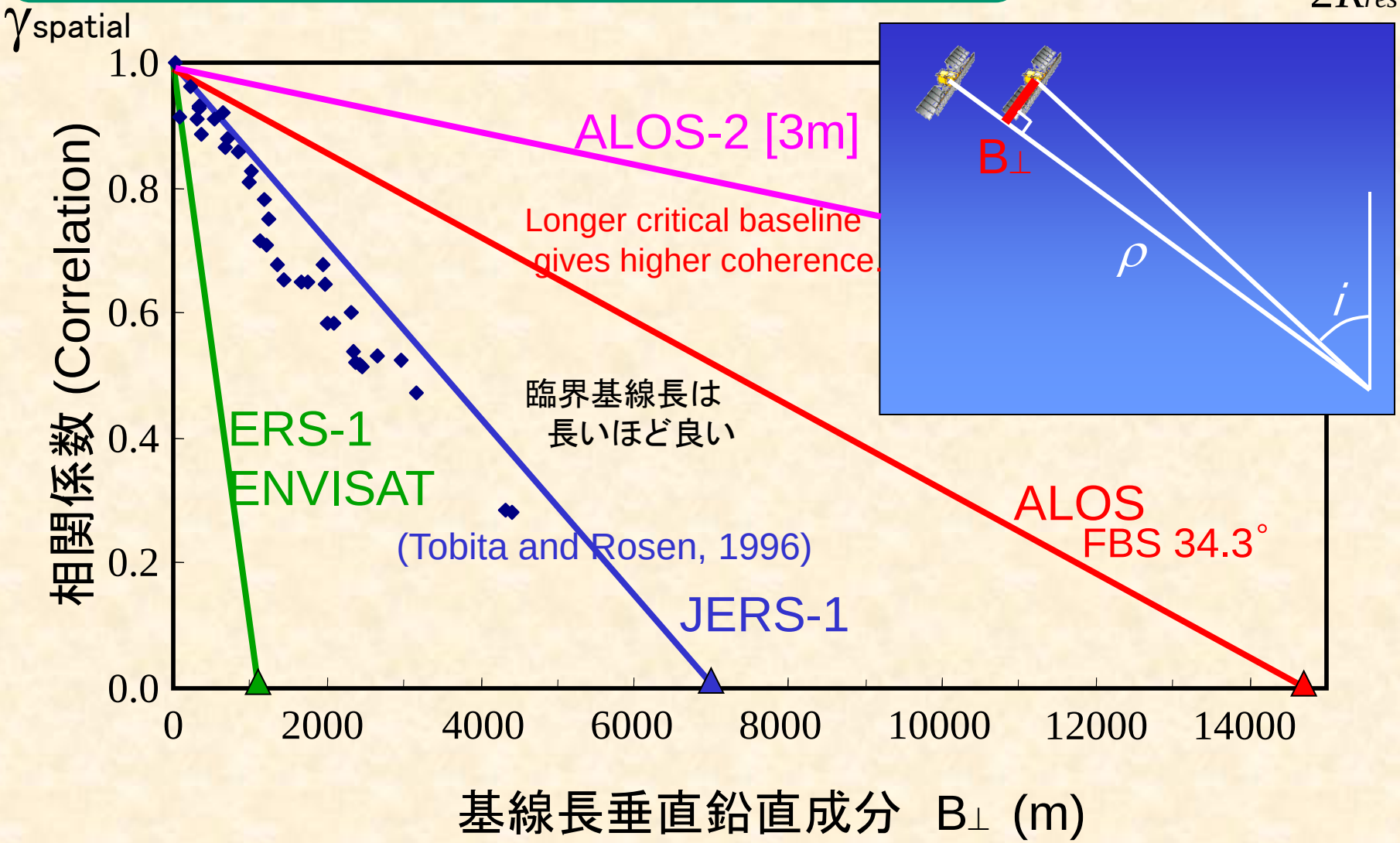
   軌道情報が高精度であればあるほど，SARデータの価値が高い.

Baseline Decorrelation

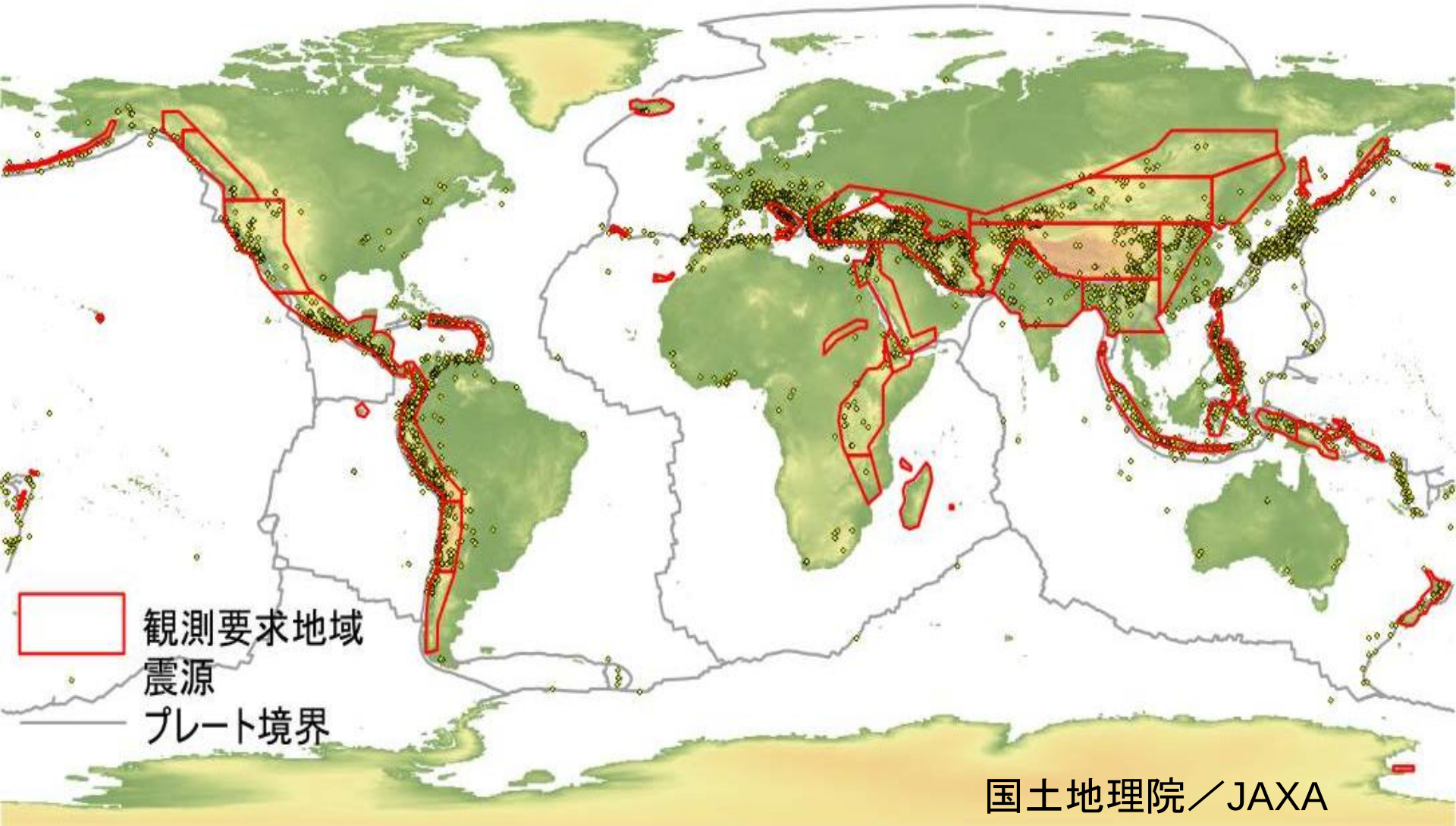
ALOS-2の臨界基線長は長く，高度な軌道制御技術もあり，ほとんどのペアが干渉することが期待される．

臨界基線長
Critical Baseline

$$B_{\perp c} = \frac{\lambda \rho \tan i}{2R_{res}}$$



世界の地殻変動帯のALOS PALSAR観測要求地域

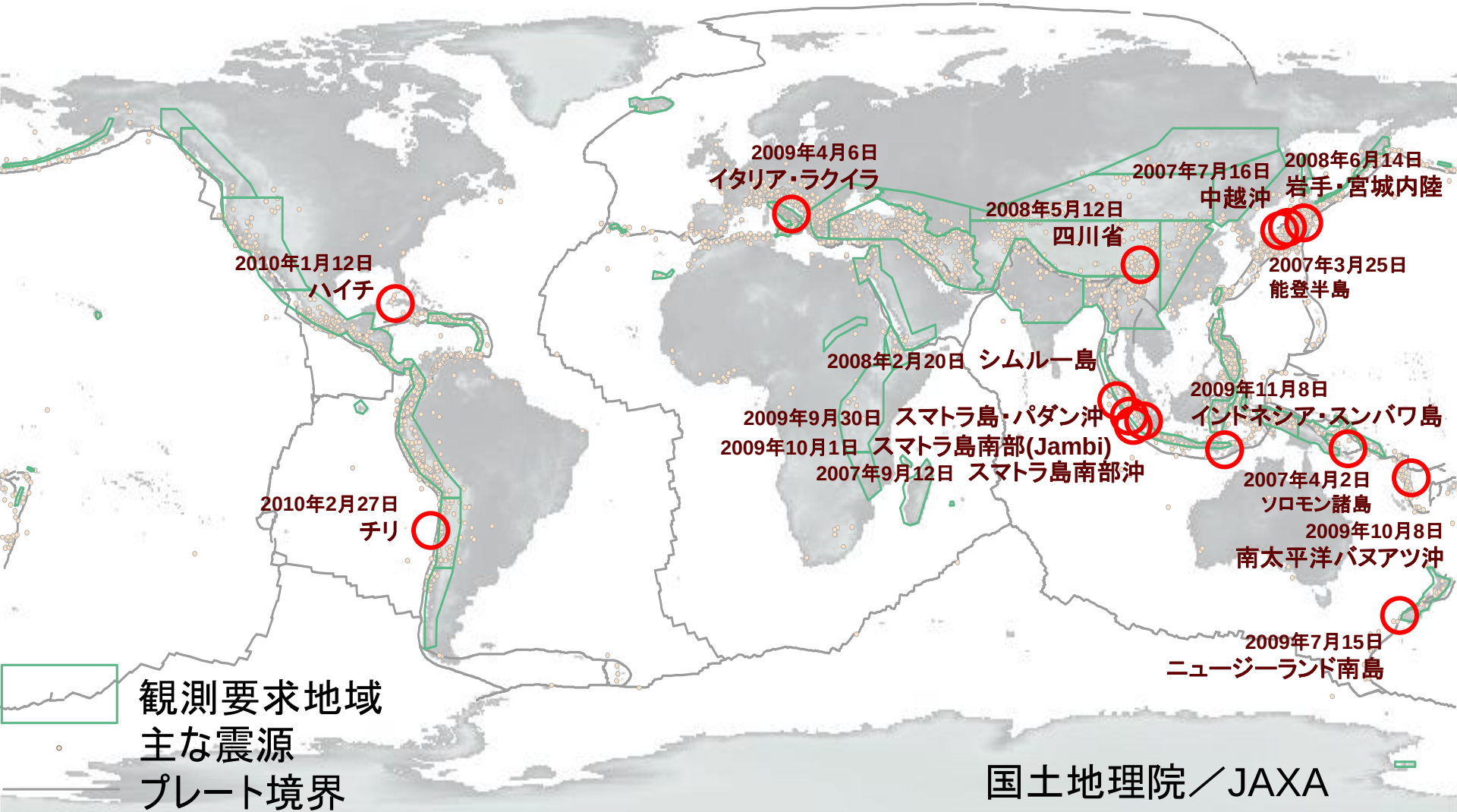


国土地理院／JAXA

世界の地殻変動帯のALOS PALSAR観測要求地域

これをRefineして観測資源を有効利用しましょう

⇒宿題（A/I）になっていた



地殻変動観測検討事項 1

検討事項:「地殻変動」の要求領域について、ALOS時のものをベースに見直しを行うべきでは？

※ALOS-2では観測データサイズが大きいため、要求領域が大きいと観測頻度が少なくなる等の影響が考えられる。必要最低限の領域だけとするよう**スリム化**が望ましい。

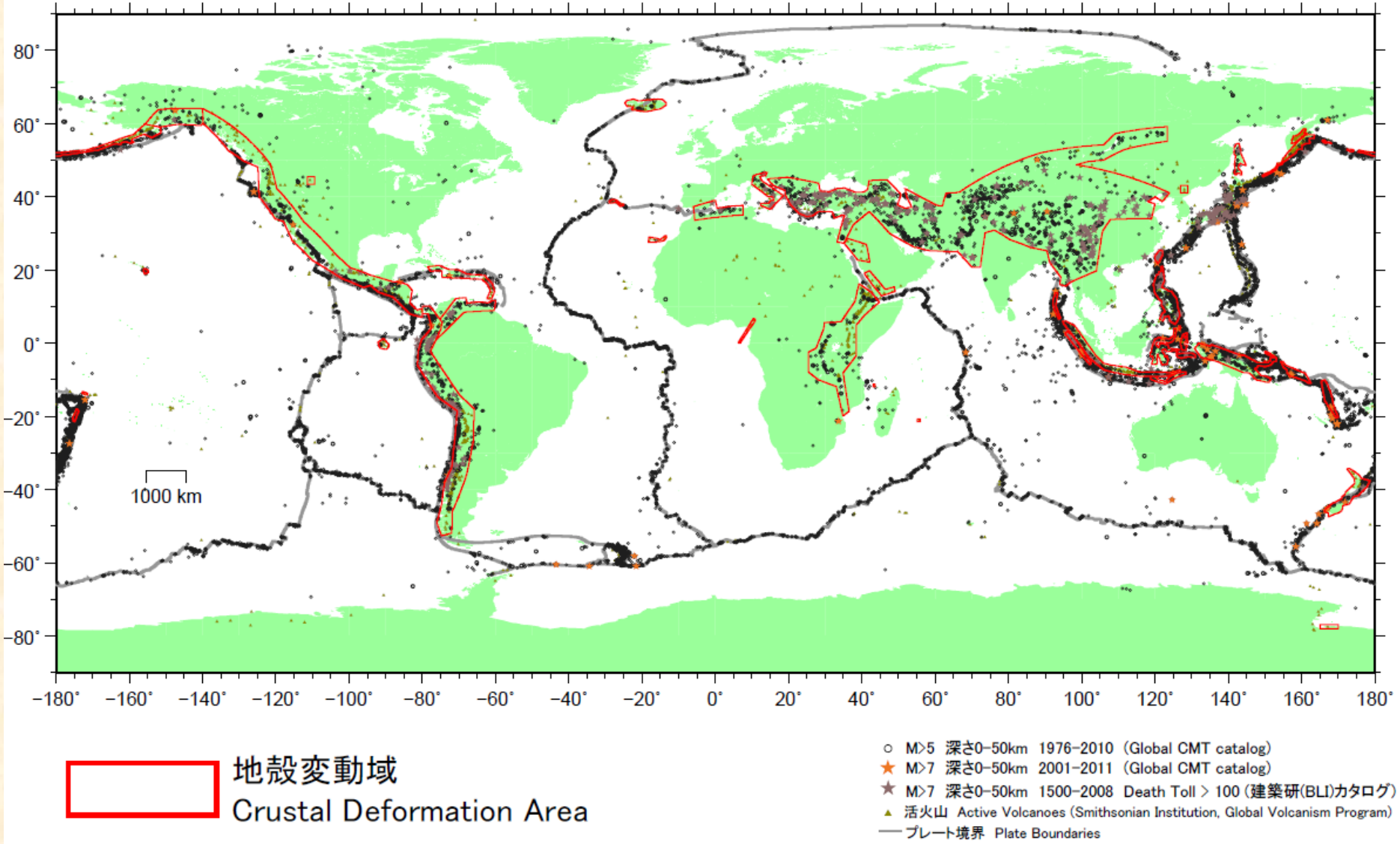
回答:ポリゴンのスリム化を行いました。旧ポリゴンデータによる総面積から18.6%減になっています。

詳細⇒次のプレゼンで

世界の地殻変動帯のALOS-2観測要求地域

国土地理院による世界の地殻変動帯に関するALOS-2 観測要求地域 （案）

Requested areas of ALOS-2 observations for monitoring crustal deformation by GSI, Japan



小林知勝作成　国土地理院／JAXA

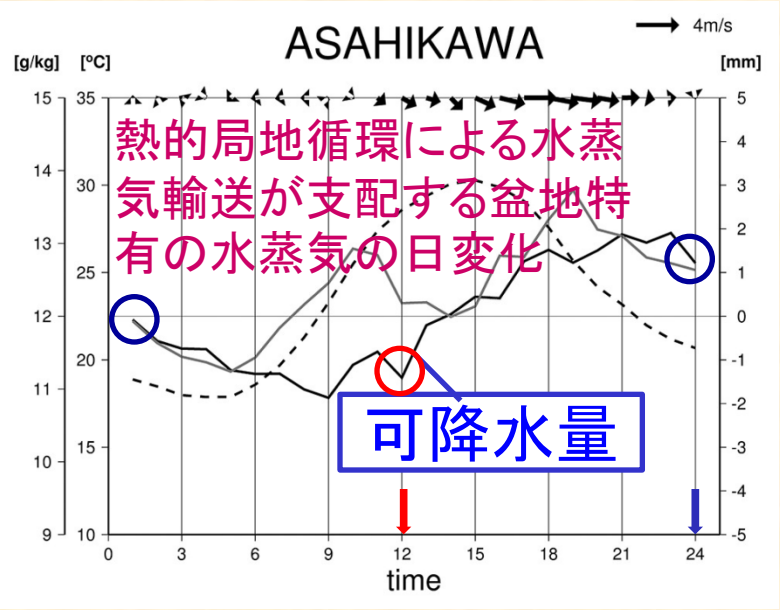
地殻変動観測検討事項 ２－１

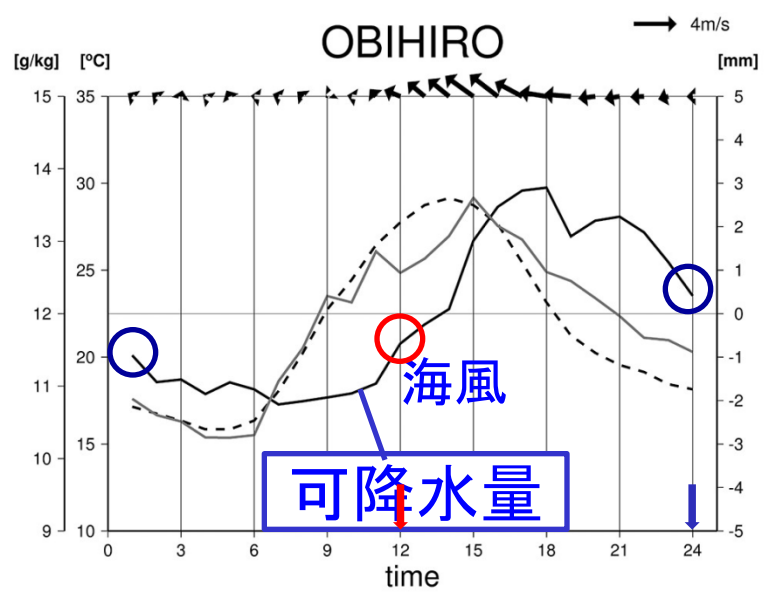
－ 東西両側からの観測方法 －

検討事項：水蒸気、電離層の影響を考慮すると、「昇交と降交の両方で片方向（右or左)観測」と「昇交・降交のいずれか一方で両方向（右and左）観測」のどちらがよいか？

回答：a)昇交降交右方向、b)降交軌道左右方向視 それぞれに長所短所があり、はっきりと優先順位は付けられないが、選択可能である場合、夜間の電離層擾乱の影響を考慮してb)（つまり昼の観測）を希望する。ただし、これは今後の議論で変わる可能性がある。
昇交降交左方向及び昇交軌道左右方向視は希望しない。

水蒸気の影響　GPS可降水量の日変化の研究





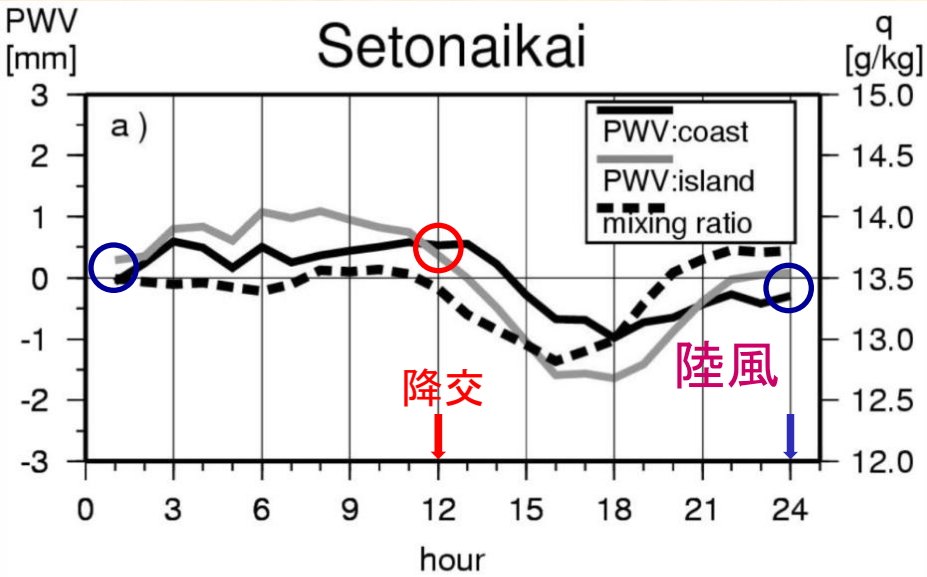
気圧傾度力による風によって生じる水蒸気輸送はさておき．．．

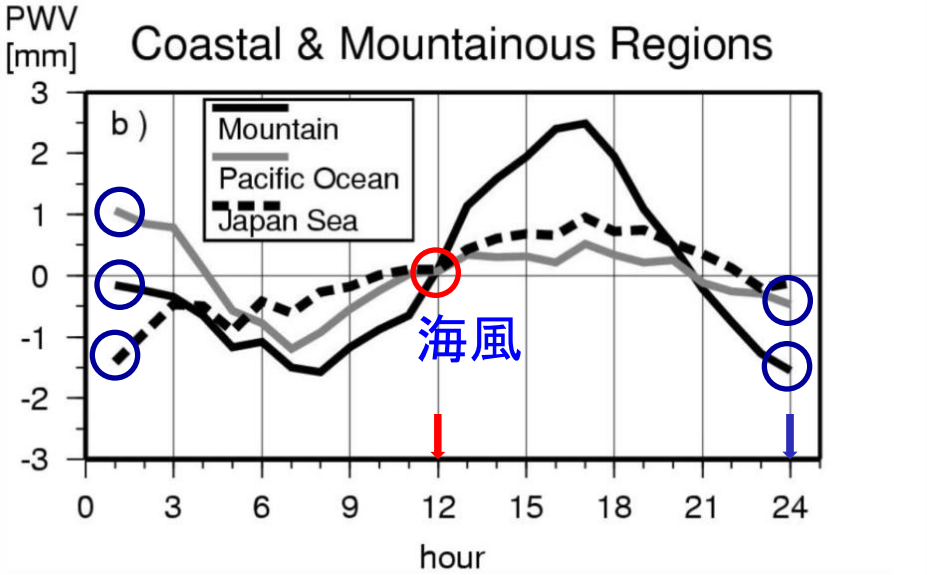
澤田・河村（2010）によれば，夏季，北海道におけるGPS可降水量は熱的局地循環と，北海道上空で終日卓越する北西寄りの一般風の影響で，朝に極小，夜に極大となる．

12時と24時の可降水量の差は小さい．

澤田岳彦・河村隆一(2010)：北海道の夏季静穏日におけるGPS可降水量の日変化，天気，57.

水蒸気の影響　GPS可降水量の日変化の研究





糟谷・河村（2011）によれば，夏季，瀬戸内地域におけるGPS 可降水量は陸風時に増加傾向を示した．

山岳部では，日中に海風や谷風による水蒸気輸送によって可降水量が大きく増加する．

12時と24時の可降水量の差は小さい．

糟谷司・河村隆一(2011)：中国・四国地方と瀬戸内海の夏季静穏日におけるGPS 可降水量の日変化と熱的局地循環，天気，58.

水蒸気の影響　GPS可降水量の研究

佐々木・木村（2001）によれば,
関東地方の山岳域では日中に可降水量が増加し，日没後に減少すること，沿岸部では海風が侵入する日中は内陸とは逆に可降水量は減少傾向を示す.

いずれの研究も,山岳地域に比べて平野部や沿岸部ではGPS可降水量の日変化傾向が地域によって異なる傾向を示すなど,研究対象地域に依存した日変化特性の違いが見出されている.
日本列島における可降水量の日変化特性の全体像を明らかにするためには,他の地域への適用など,更なるデータの蓄積が必要であると考えられる.（澤田・河村，2010）

可降水量の分布は，熱的局地循環，一般風の影響を強く受けている（澤田・河村, 2010）

水蒸気の影響

検討事項：SAR干渉画像は，昼(12:00)と夜(0:00)ではどちらが大気遅延不均質の影響を受けやすいか？

回答：水蒸気については、全国的・一般的に12時と24時でどちらが有利かという普遍的な理由はないと考えられる。

電離圏の影響

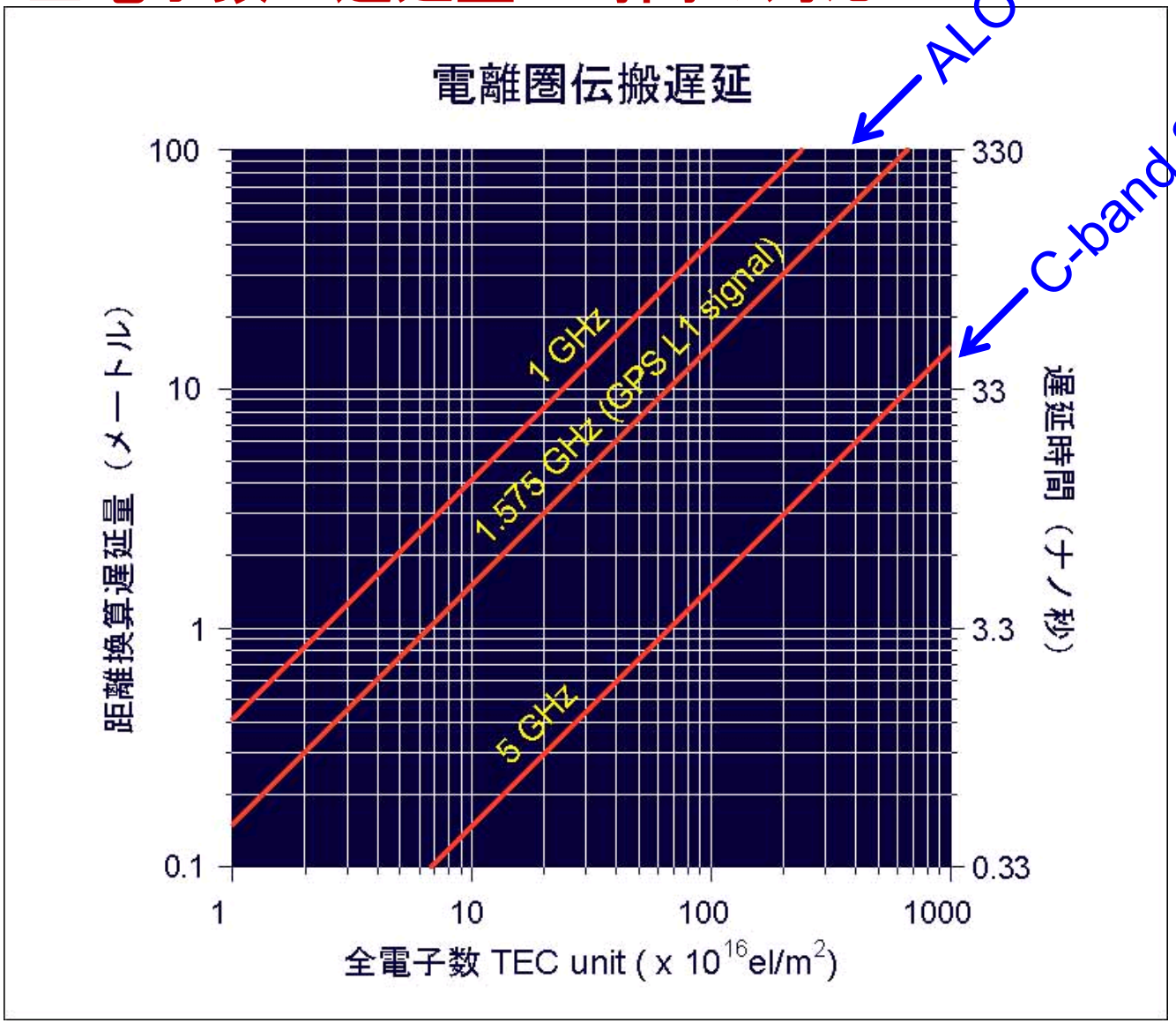
検討事項：SAR干渉画像は，昼(12:00)と夜(0:00)ではどちらが電離圏擾乱の影響を受けやすいか？

回答：「夜の方が影響を受けやすい」

by 津川卓也（NICT） 2011/9/9

この後のppt数枚は，津川さん作成です.
飛田が青で加筆しました.

全電子数と遅延量・時間の対応



http://wdc.nict.go.jp/IONO/

７つの電離圏擾乱現象

- Solar Flare Effect (SFE)
- Storm Enhanced Density (SED)
- プラズマバブル (EPB)
- 赤道異常 (EIA)
- 正相・負相電離圏嵐 (positive/negative storm)
- 大規模伝搬性電離圏擾乱 (LSTID)
- 中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID)

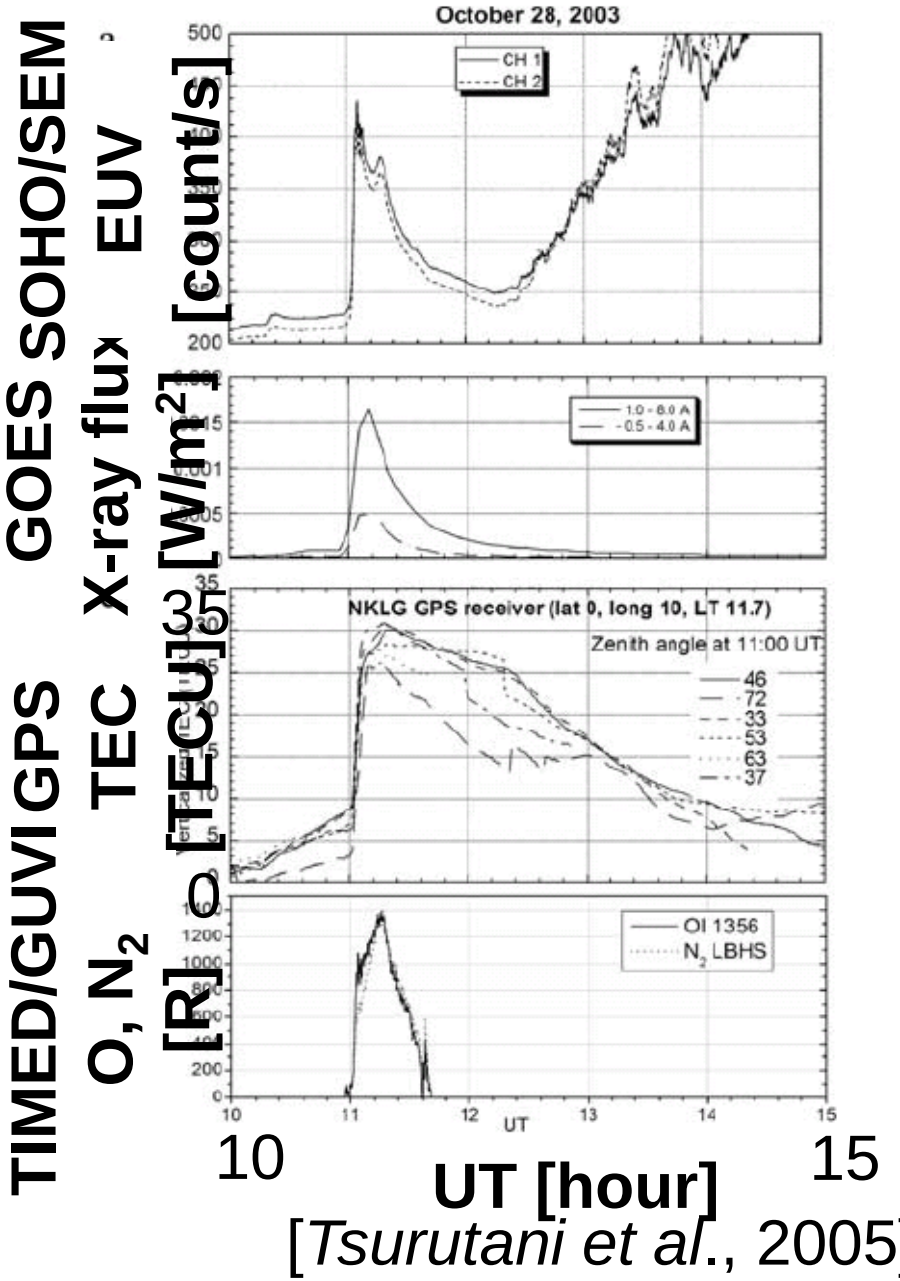
７つの電離圏擾乱現象

- Solar Flare Effect (SFE)
- Storm Enhanced Density (SED)
- プラズマバブル (EPB)
- 赤道異常 (EIA)
- 正相・負相電離圏嵐 (positive/negative storm)
- 大規模伝搬性電離圏擾乱 (LSTID)
- 中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID)

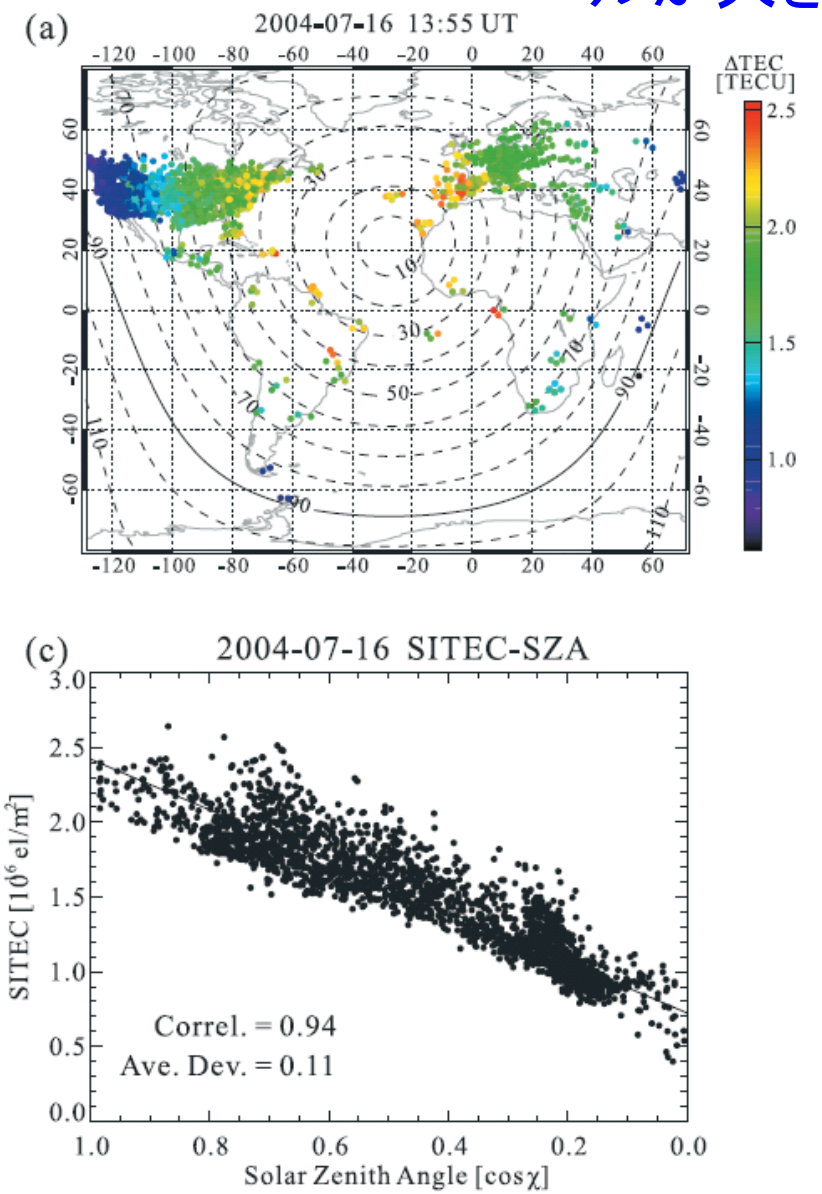
条件：InSAR画像では、特に100km以下の空間スケールをもつ擾乱の影響が大きい.

SFE - Sudden Increase in TEC (SITEC)

空間スケールが大きい



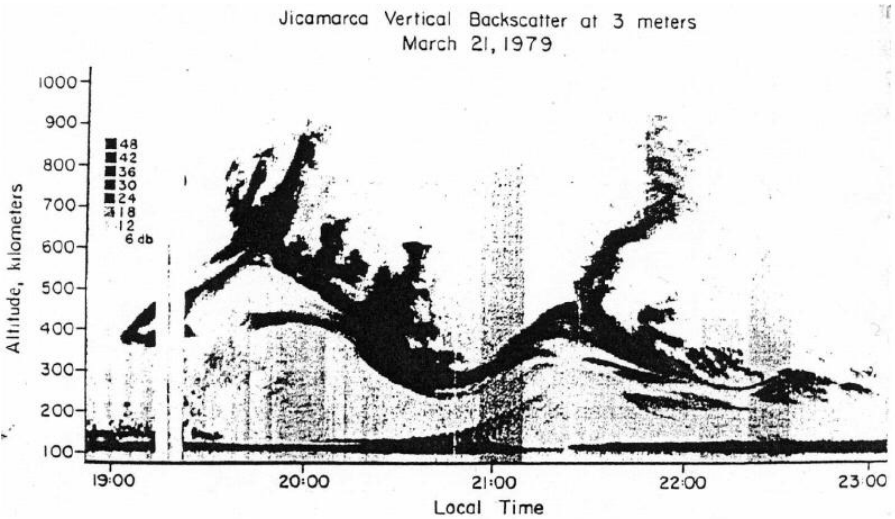
[*Tsurutani et al.*, 2005]



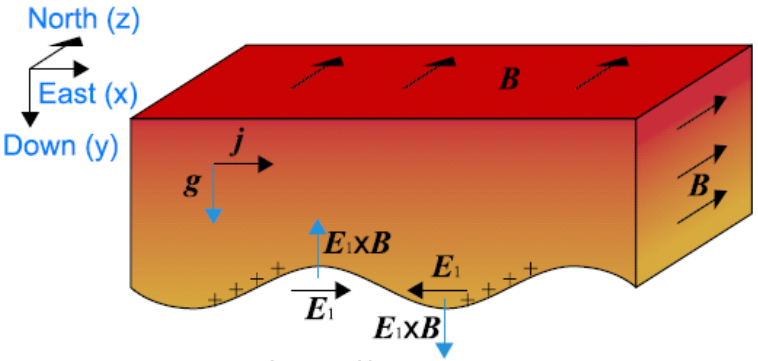
[*Tsugawa et al., 2007*]

プラズマバブル

プラズマバブルは、磁気赤道・低磁気緯度域で**日没後～夜間に発生**する現象で、電子密度が周囲よりも極端に低い領域が上方に発達する。
プラズマバブルは磁力線に沿った構造を持ち、
経度方向の空間スケールは**数10km～数100km、**
緯度方向の空間スケールは数1000kmスケールになる。
季節変化があり、日本の経度域ではequinoxに頻発する。
GPSでは、欠測やサイクルスリップの原因となる。



Rayleigh-Taylor 不安定の模式図 [Kelley et al., 1981]

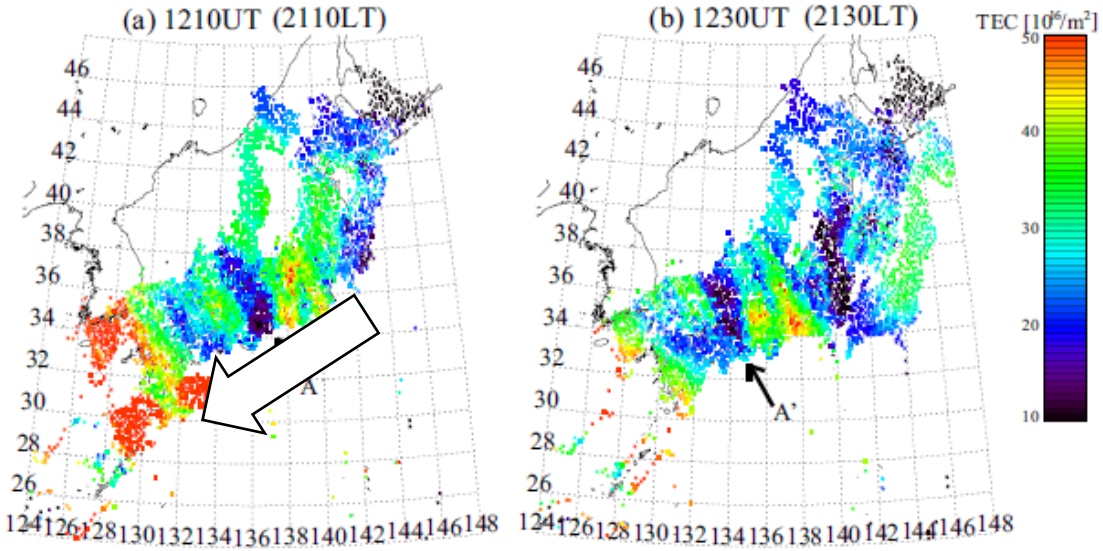


Rayleigh-Taylor 不安定の模式図 [横山、MTI-handbook, 2006]

GPS電離圏観測で捉えたMSTID

MSTID　中規模伝搬性電離圏擾乱
(Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance)

MSTIDは、100km～数100kmの水平空間スケールを持ち、
主に中・低緯度域で夏と冬の夜間に頻発する。
北西－南東の波面を持って南西に伝搬する。
同様の空間スケールを持つMSTIDは冬の昼間にもよく見られるが、電子密度変動の振幅は夜間のものよりも小さくなる。

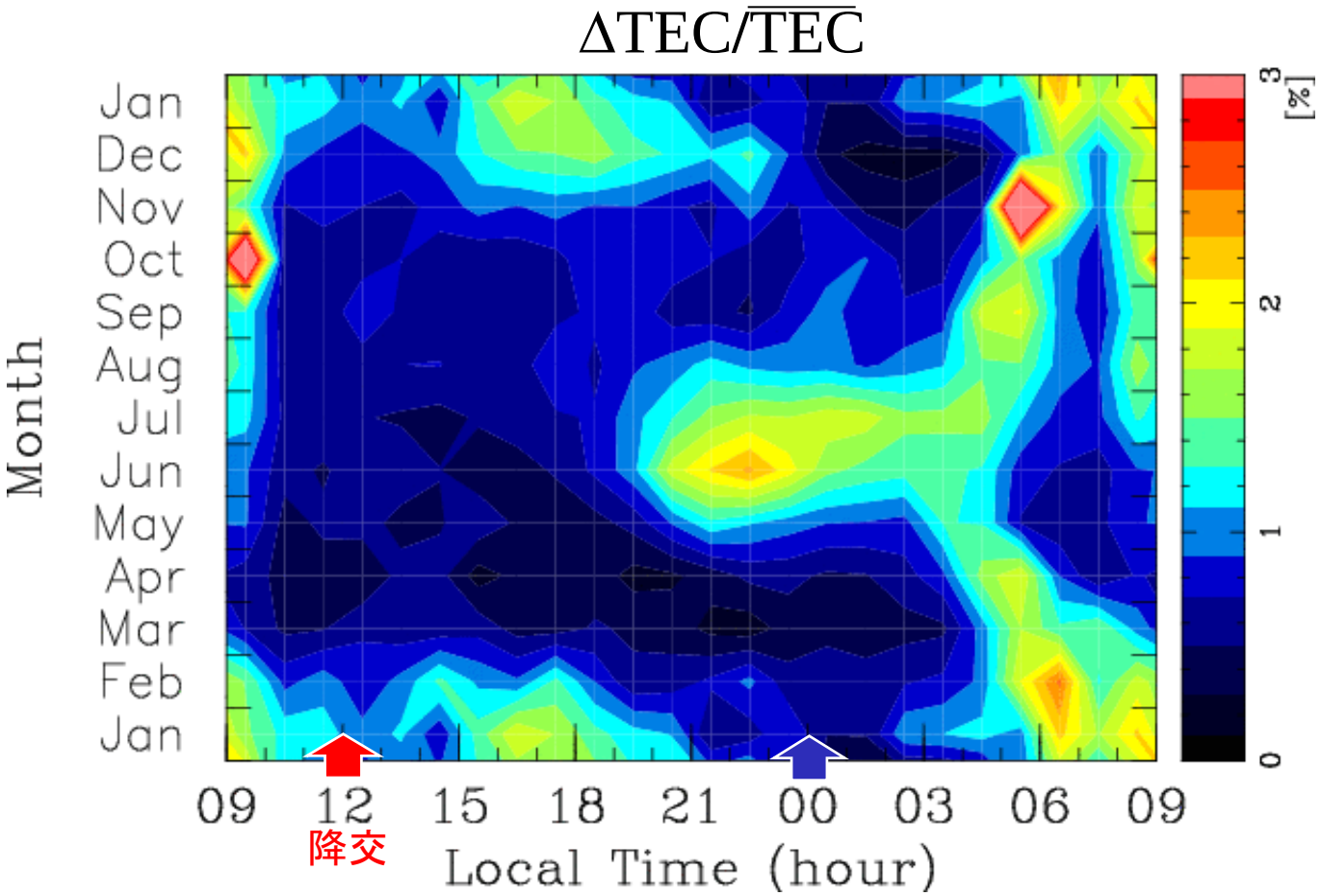


←2004年11月10日の夜間に観測された振幅の大きな中規模移動性電離圏擾乱（Super-MSTID）。

Super-MSTID
[Nishioka et al., JGR, 2009]

MSTIDの時間・季節変化

夏季夜間にMSTIDによるTEC変動が大きい.

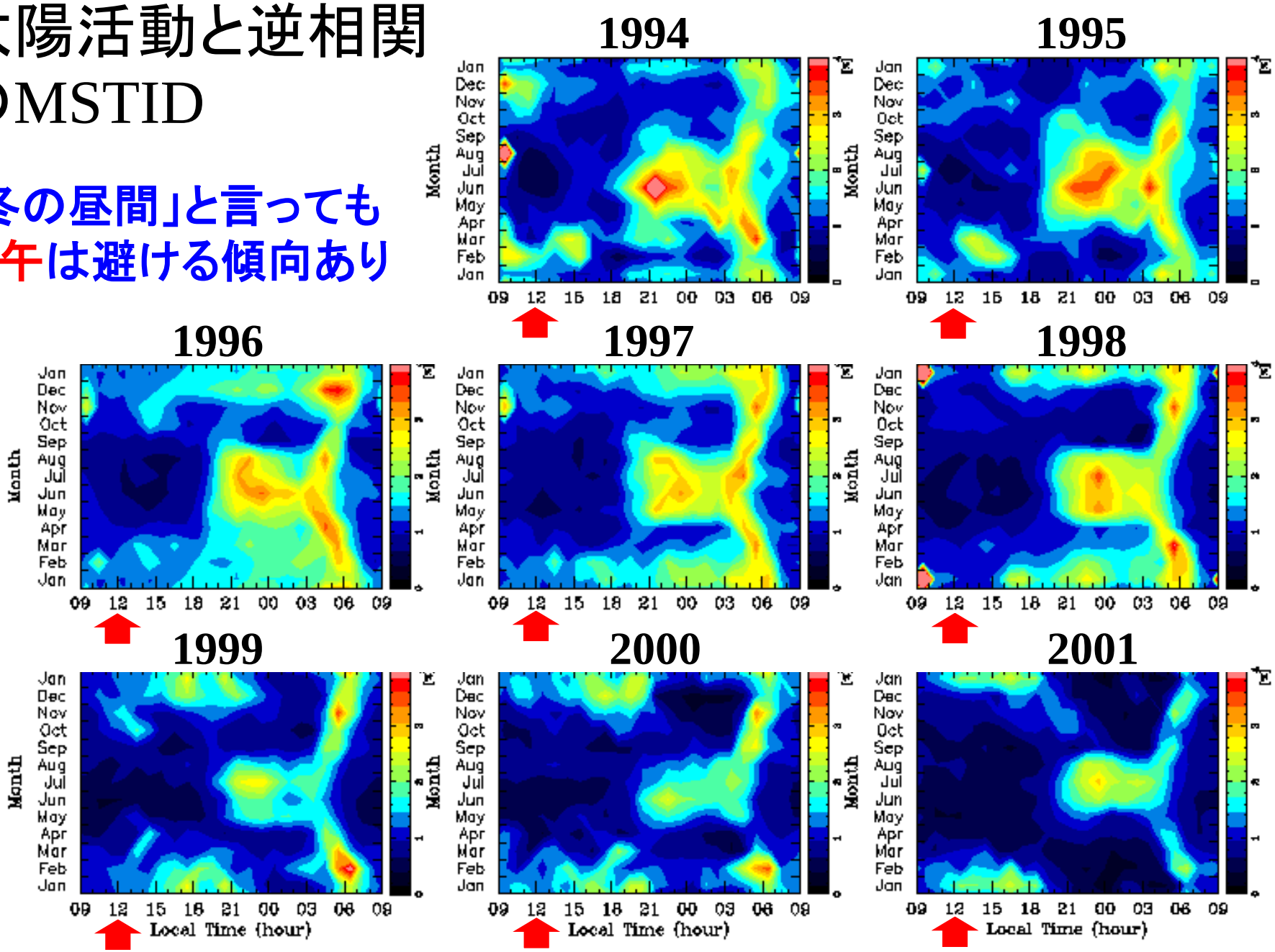


(37°N,140°E)における，背景のTECに対する変動成分の大きさの時間・季節変化．2000年１年間の統計結果.

小野高幸(2005)に加筆

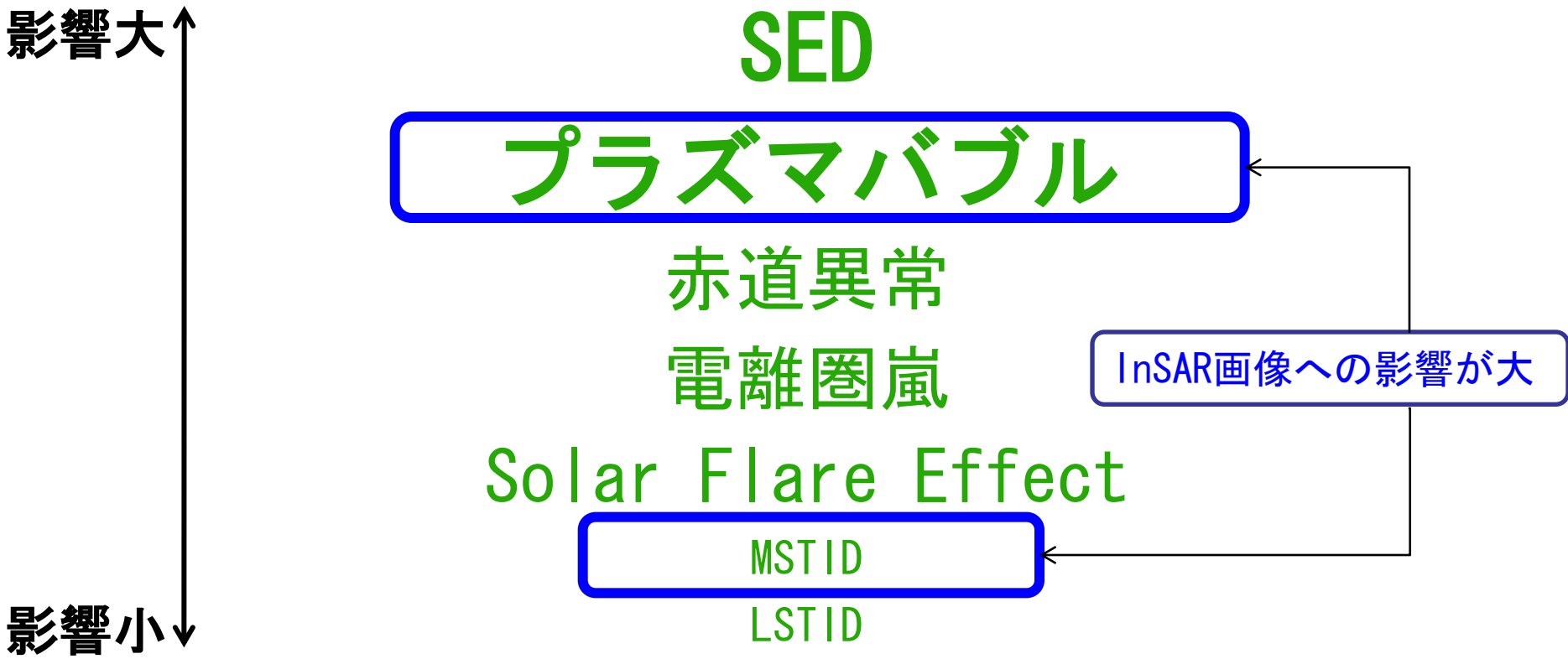
太陽活動と逆相関のMSTID

「冬の昼間」と言っても
正午は避ける傾向あり



小野高幸(2005)に加筆

電離圏擾乱現象とGNSS測位への影響のまとめ



- 中低緯度に位置する日本付近では、SEDよりもプラズマバブルの出現の方が頻度大。
- 高緯度でのオーロラ粒子振込によってもGPSシンチレーションやサイクルスリップは観測されている。

津川卓也(2010)に加筆

地殻変動観測検討事項 2－2 －東西両側からの観測方法－

解説：

水蒸気については、全国的・一般的に12時と24時でどちらが有利かという普遍的な理由はないと考えられるので、aとbどちらでも良い。

電離層については、12時の方が擾乱が少ないので、正午（降交）bが有利。

これらを含め、aとbの長所を列記すると以下のとおり。

a)の長所

aからは2.5次元解析で東西成分が得られる。

過去データとの比較が容易。

ポインティング変更をしなくて良い。

b)の長所

bからは2.5次元解析で上下成分が得られる。

電離層擾乱が少ない。