

# 2-3

## ピクセルオフセットによる白瀬氷河の流速推定

### Ice flow velocity estimation of Shirase Glacier derived from pixel offset technique using JERS-1 SAR and ALOS PALSAR

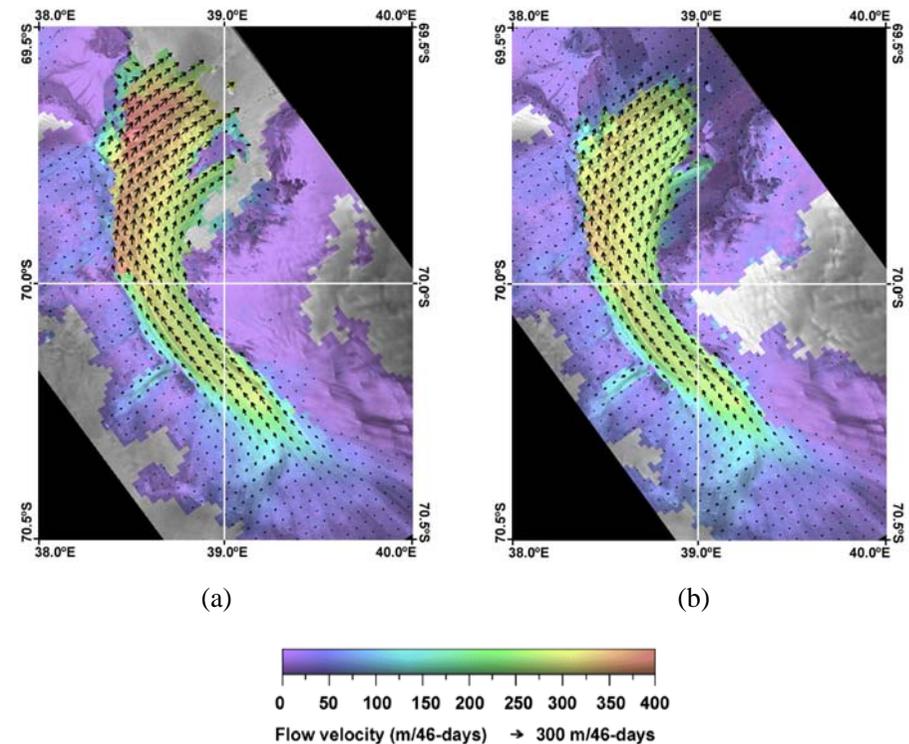
中村和樹(日本大学)

Kazuki Nakamura (Nihon University)

南極の白瀬氷河は流動速度の速い氷河として知られている。このような氷河を対象として流動速度を求める場合は、SAR インターフェロメトリの適用が多くの場合に困難であり、SAR の振幅画像のペアに画像相関法を適用することが有効である。本研究では 15 年間の白瀬氷河の流速変動について知見を得るため、JERS-1 と ALOS 衛星搭載の L バンド SAR で観測したデータを使用して、1 回帰周期だけ離れたペアにピクセルオフセット法を適用して流動速度を求めた。

2007 年から 2010 年に取得された ALOS PALSAR 画像により求められた白瀬氷河の流速プロファイルから、上流から GL へと向かって流速が急激に速くなり、GL を挟む幅 20 km の領域において一定となり、GL から下流、浮氷舌へと再び流速がなだらかに速くなる傾向が見られた。これは、1996 年から 1998 年に取得された JERS-1 SAR 画像により求められた流速プロファイルと同様な傾向を示し、氷流中心における GL での流速は 2.26 km/a (2.33 km/a (JERS-1 SAR)) であった。この結果は、Rignot(2002)により ERS のタンデムミッションにより SAR インターフェロメトリを適用して流速を求めた結果である 2.3 km/a と調和的である。

一方、年々変動を調べた結果から、上流部における氷流中心においては、15 年間に最大 0.6 km/a の流速差が見られた。今後、この変動の詳細と原因について、さらに研究を進める必要がある。



白瀬氷河の流動速度ベクトル図。(a) 冬季の流動速度分布例:2007 年 12 月と 2 月のペア。(b) 夏季の流動速度分布例:2008 年 7 月と 8 月のペア。

# ピクセルオフセットによる 白瀬氷河の流速推定



自主創造  
日本大学

あなたとともに  
100万人の仲間とともに

日本大学工学部 中村和樹

リモートセンシング技術センター 山之口勤  
国立極地研究所 土井浩一郎・澁谷和雄・野木義史・青山雄一

# はじめに

---

## ■ 南極大陸は陸水の約7割を氷床として保存

- 多くは氷河により流出し、氷床の涵養と融解の差が海面の変動に大きな影響を与える

## ■ 南極地域の氷河・氷床の消耗と涵養を調べることは大変重要

- 南極地域は気象環境やクレバス等により現地踏査が困難
  - » 継続的広域的な観測は衛星リモートセンシングが有効

## ■ 白瀬氷河は東南極域の氷流の1つ

- 昭和基地の南西およそ150 kmに位置
- 氷河の末端部はリュツォ・ホルム湾に浮氷舌として存在
  - » 浮氷舌周辺はリュツォ・ホルム湾の定着氷に囲まれており直接的な流失が抑制 (Fujii and Kusunoki, 1982)
  - » 浮氷舌の動態はリュツォ・ホルム湾の定着氷の安定および不安定に関連 (Ushio et al., 2006)

# 目 的

---

## ■ 現在の南極地域における氷河・氷床の質量収支の変動を把握

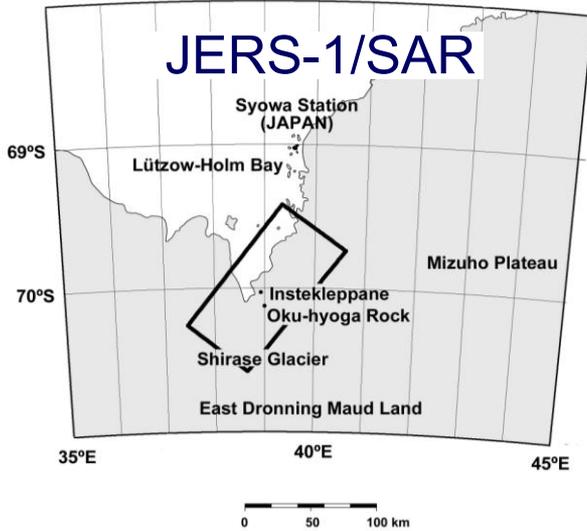
- 白瀬氷河は南極の他の氷河と比較しても流動が速い
  - » 南極氷床の質量収支を把握する上で白瀬氷河の流動監視は重要

本研究では東南極域において流動速度の速い白瀬氷河を対象としたGrounding lineからの氷の流出量を推定

## ■ ALOS PALSARとTerra ASTERデータを使用

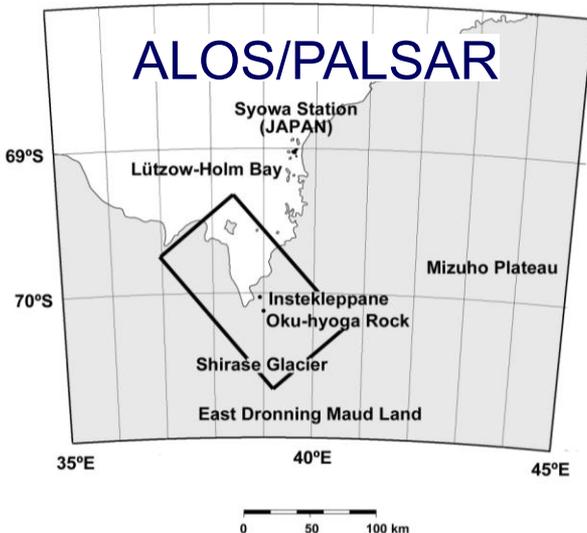
- ALOS PALSARによる振幅画像に画像相関法を適用して流動速度を推定
- Terra ASTERによる直下視と後方視による立体視画像から得られるDEMを用いてGrounding lineを検出
  - » 表面高度変化についてもDEMの利用を検討

# SARデータ取得日



1996.04 Des	1997.07 Des	1998.01 Des
1996.06 Des	1997.08 Des	1998.02 Des
1996.07 Des	1997.10 Des	1998.04 Des
1996.09 Des		1998.05 Des
1996.10 Des		1998.07 Des
1996.12 Des		
1997.01 Des		

12 pairs



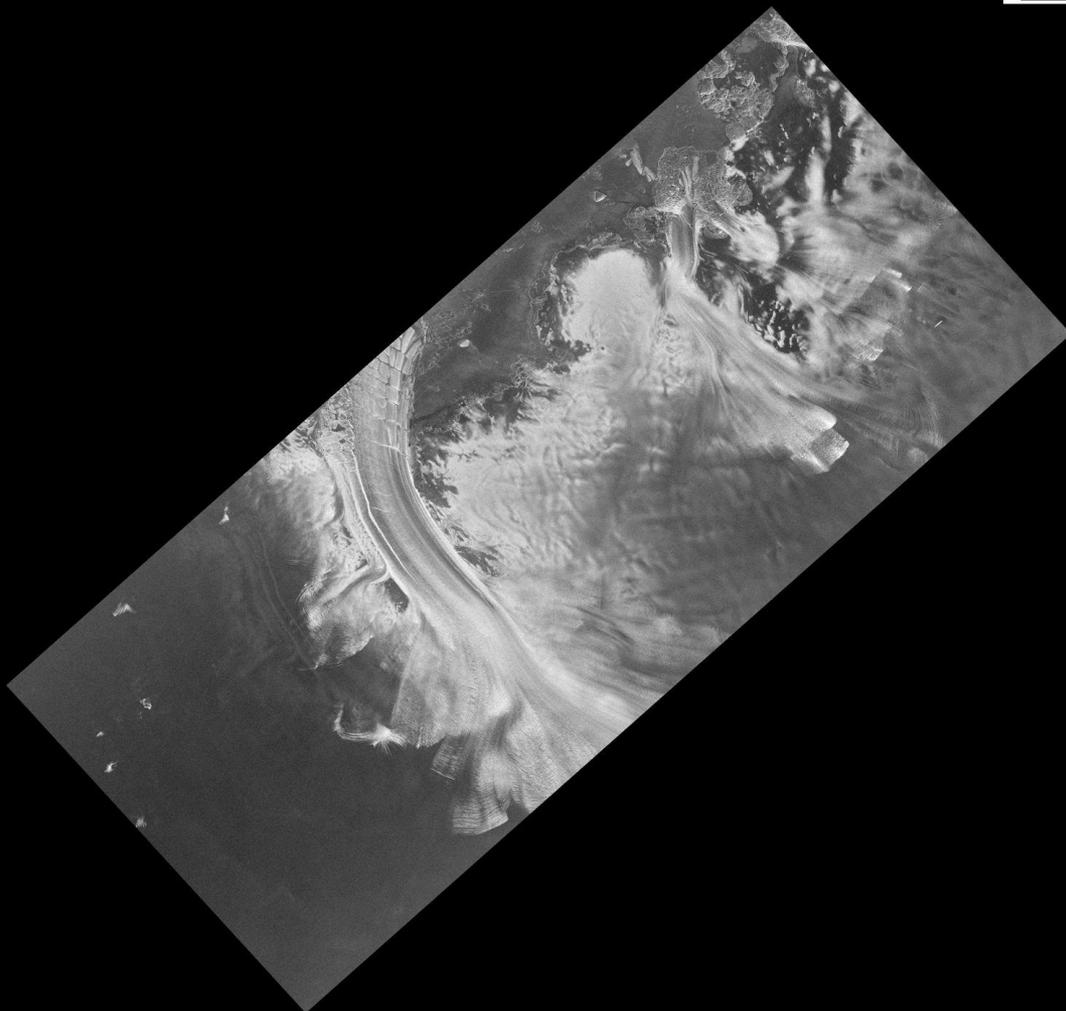
2007.09 Asc	2008.08 Asc	2009.10 Asc
2007.11 Asc	2008.09 Asc	2009.11 Asc
2007.12 Asc	2008.11 Asc	2010.01 Asc
2008.02 Asc	2008.12 Asc	2010.05 Asc
2008.03 Asc	2009.02 Asc	2010.07 Asc
2008.04 Asc	2009.05 Asc	2010.08 Asc
2008.06 Asc	2009.07 Asc	2010.10 Asc

15 pairs

# 1996.04

JERS-1

SAR



Backscattering coefficient (dB)

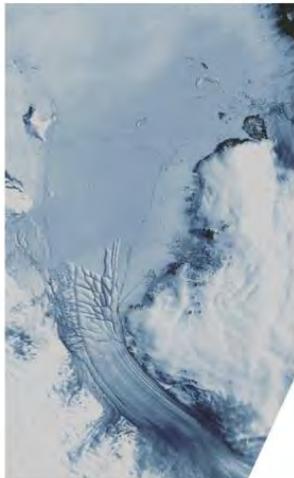
© 1996-1998 MITI/NASDA/NIPR

Produced by GEO Grid/AIST

# 浮氷舌の延伸



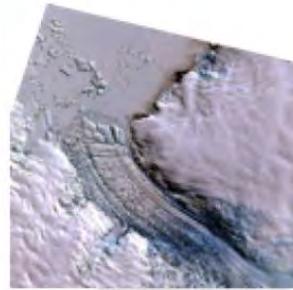
1973 - LANDSAT



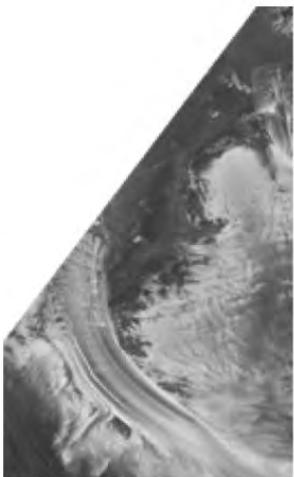
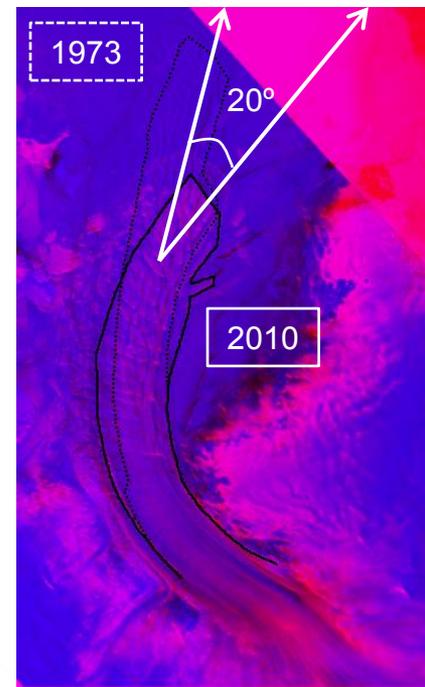
1984 - LANDSAT



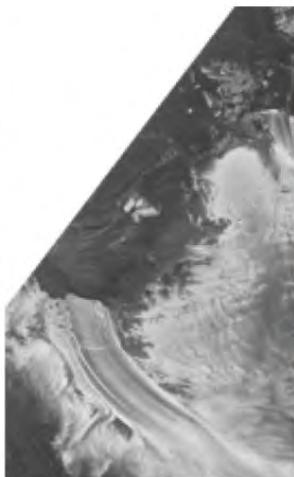
1988 - LANDSAT



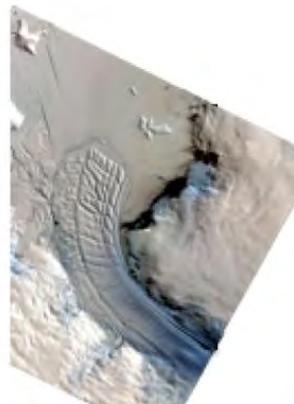
1990 - SPOT



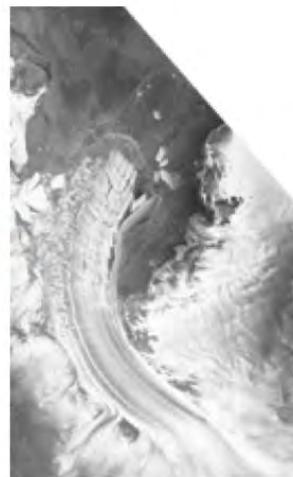
1996 - JERS-1



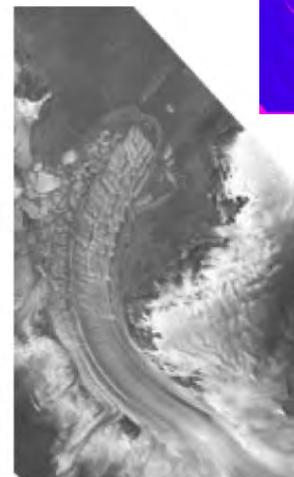
1998 - JERS-1



2003 - TERRA



2007 - ALOS



2010 - ALOS

# ピクセルオフセット法の例

## ■ 残差逐次検定法 (SSDA)

- 小領域の一致を差の絶対値の総和の差が最小となる位置として検出

$$s = \sum_i \sum_j \|X(i,j) - Y(i,j)\|$$

- » 相互相関法よりも探索精度は劣るが  
計算時間が短く計算機の負担が少ない → 昔の方法

## ■ 相互相関法 (MCC)

- 小領域の一致を相関係数が最大となる位置として検出

$$R = \frac{\sum_i \sum_j [X(i,j) - \bar{X}][Y(i+u, j+v) - \bar{Y}]}{\sqrt{\sum_i \sum_j [X(i,j) - \bar{X}]^2 \sum_i \sum_j [Y(i+u, j+v) - \bar{Y}]^2}}$$

## ■ FFT相関法・位相限定相関法 (POC)

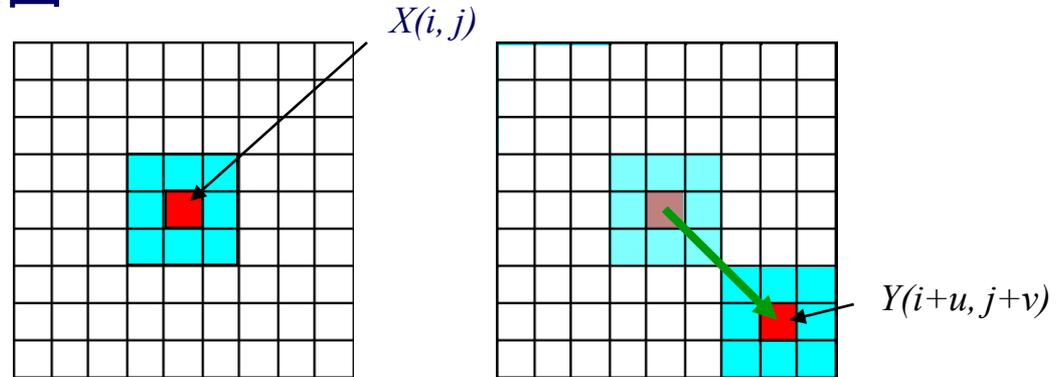
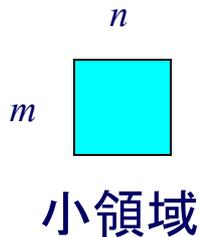
- 相互相関の計算に高速フーリエ変換 (FFT) を応用
- 形状情報が含まれない振幅を使わずに位相情報のみを用いる → POC

$$\begin{aligned} X(i,j) &\mapsto x(i,j) \\ Y(i,j) &\mapsto y(i,j) \end{aligned}$$

$$R \leftarrow x_p \otimes y_p^*$$

# 相互相関法

- 画像ペアの両画像から取り出した小領域の一致を相関係数が最大となる一として検出



- 32×32 (JERS)
- 64×64 (ALOS)

$X$ : マスター画像     $Y$ : スレーブ画像

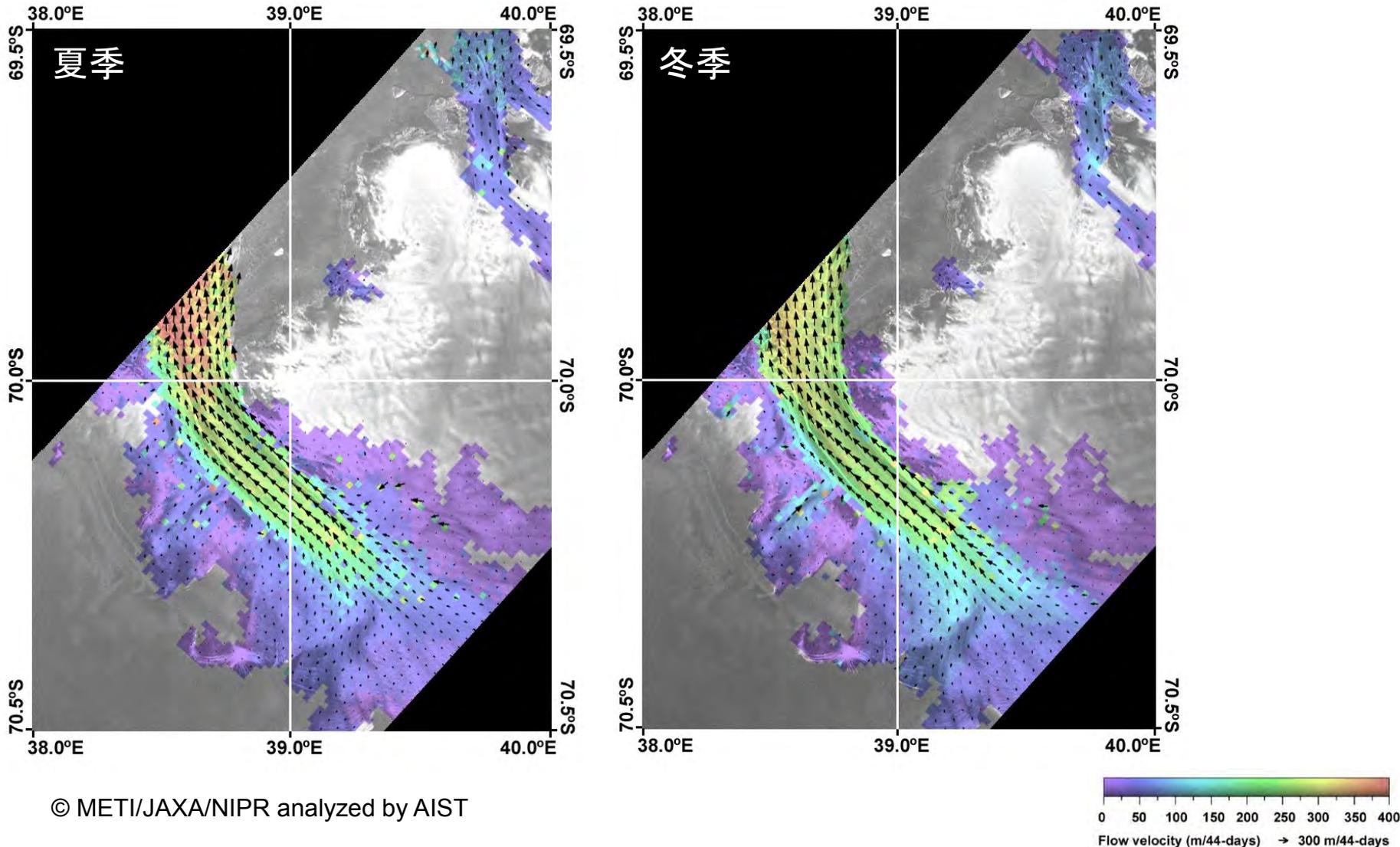
変位ベクトル → 流速ベクトル

- 流速推定誤差は±1ピクセルの誤推定とみなした場合

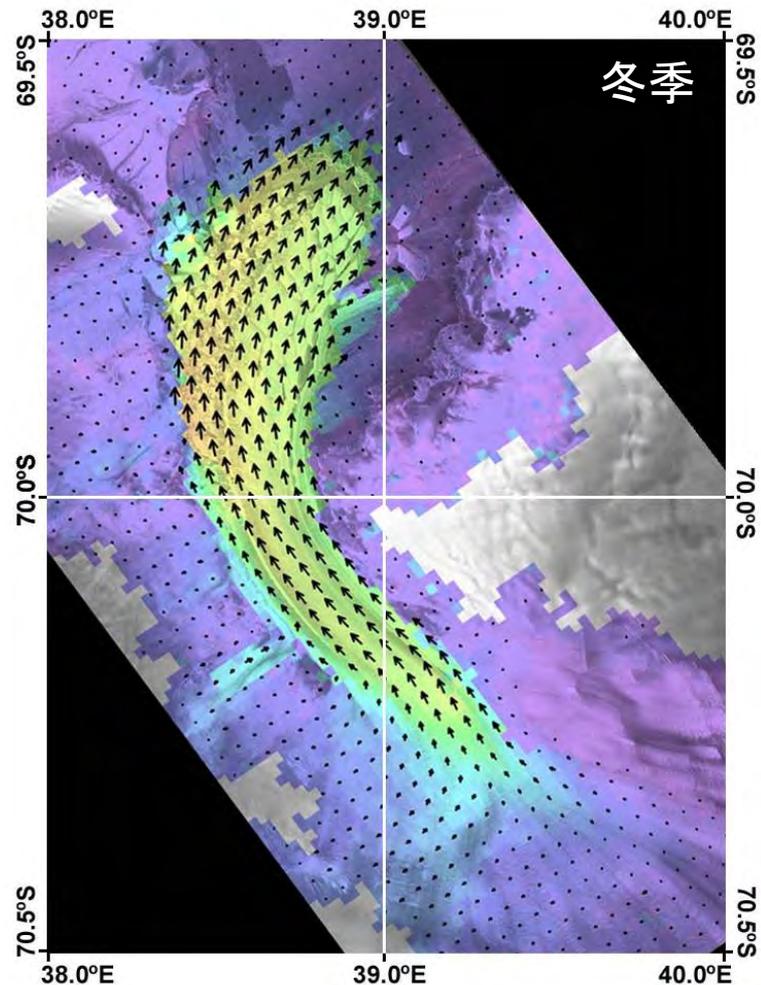
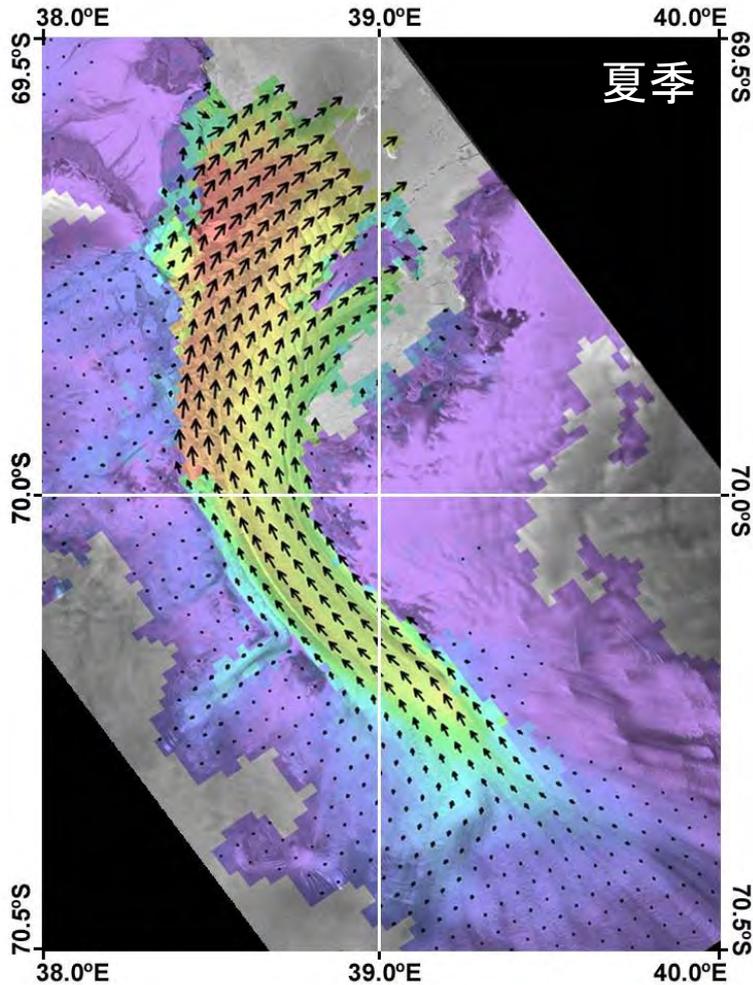
- JERS-1 SAR    ±33.6 m/44-days (±0.28 km/a)
- ALOS PALSAR ±18.6 m/46-days (±0.15 km/a)

» サブピクセルで位置合わせしているため実効誤差は  
一桁小さい → JERS-1 ±0.03 km/a; ALOS ±0.02 km/a

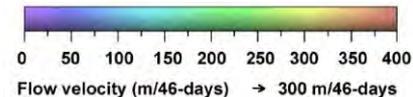
# 1998年における流速の季節変動



# 2008年における流速の季節変動

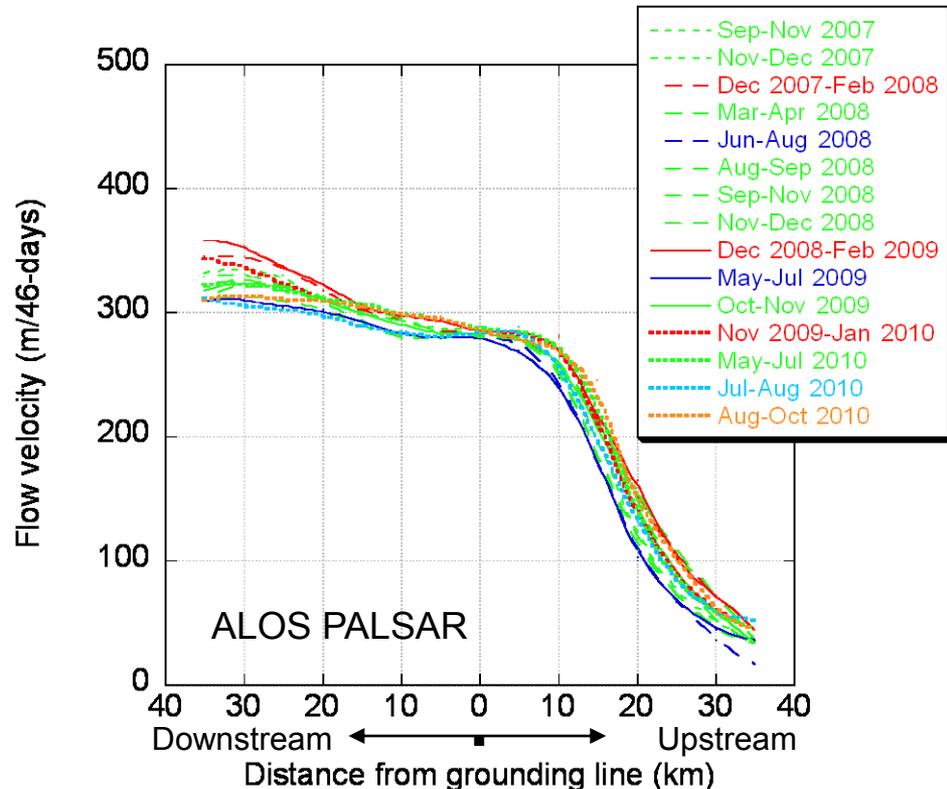
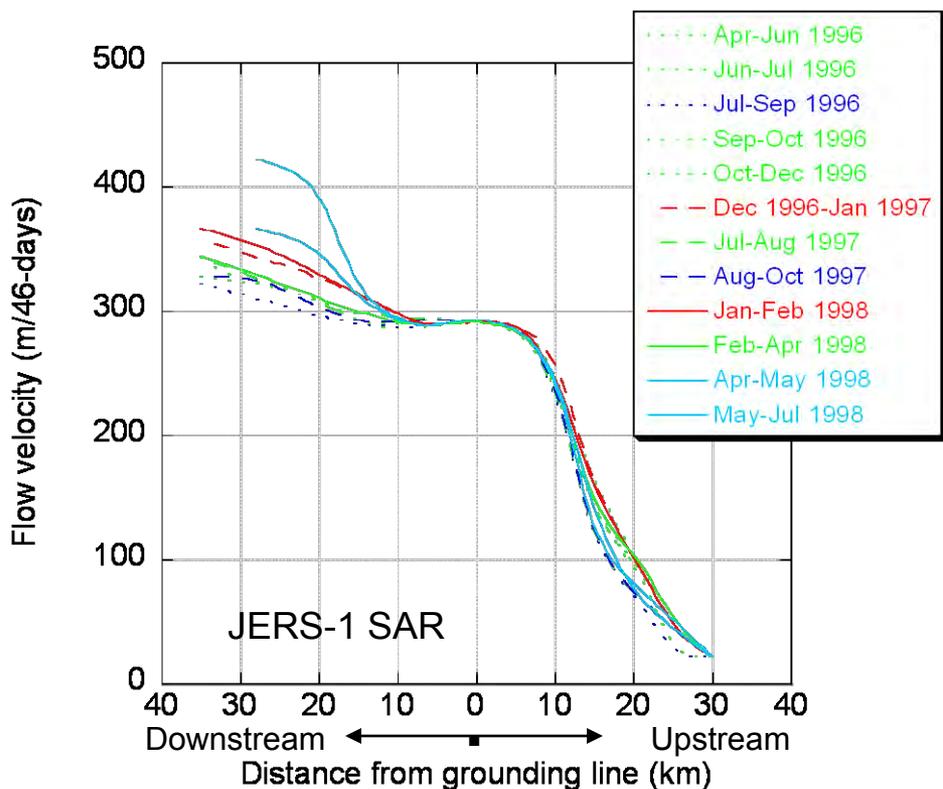


© METI/JAXA analyzed by AIST



# 流速の推定結果

- GL付近の流速は一定
- 上流からGL・GLから浮氷舌へと流速が加速
  - 夏季と冬季で流速差が見られる -> 季節変動
    - » 1996年から現在まで同様な傾向



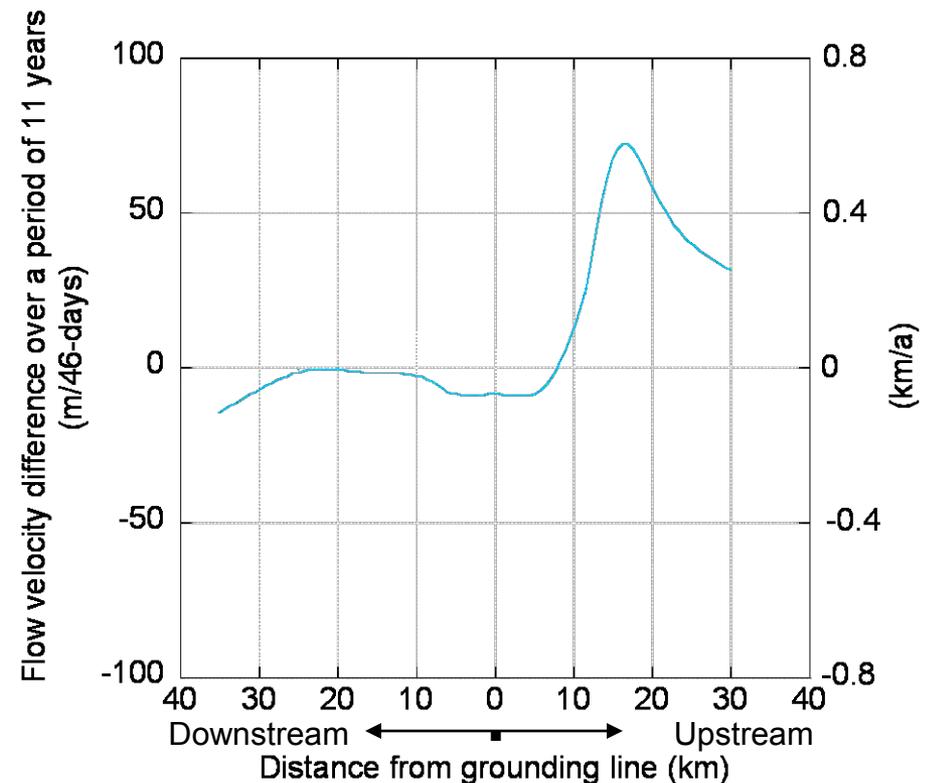
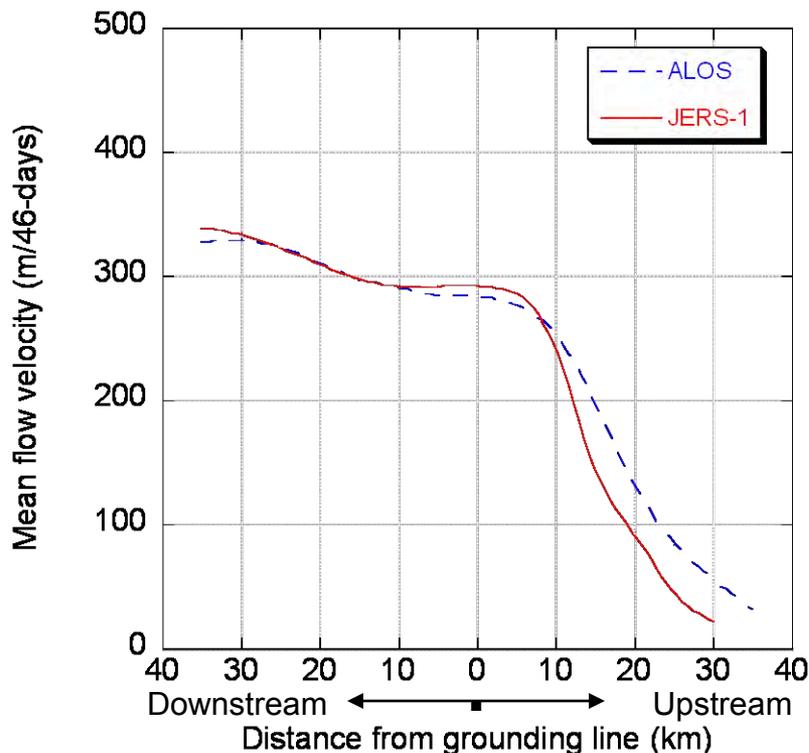
# ALOSとJERS-1による流速比較

■ GLにおいて15年間の流速の変化は見られない

- ALOS PALSAR 2.26 km/a JERS-1 SAR 2.33 km/a

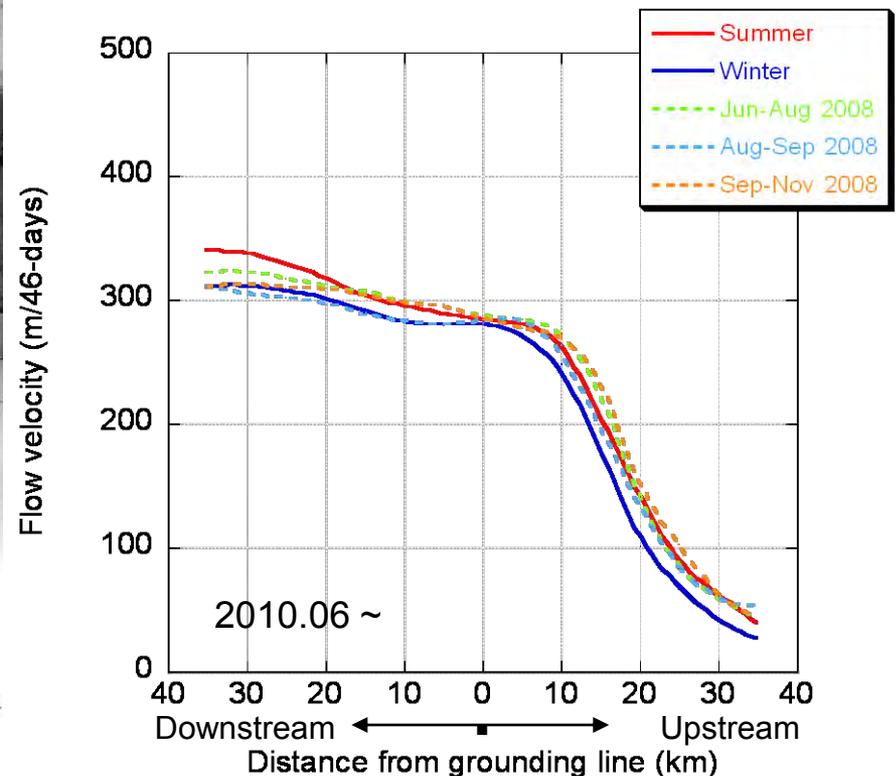
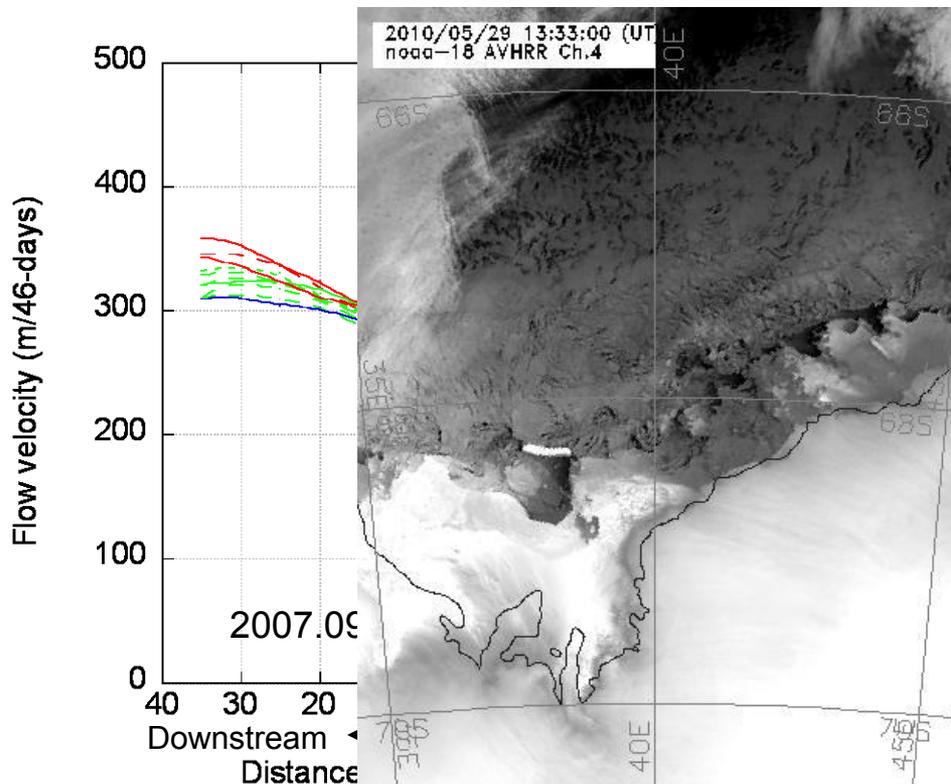
■ 上流部では15年間に於いて最大0.6 km/aの流速差

- 浮氷舌の崩壊を暗示？



# 2010年の流速推定結果

- 上流部での流速は季節変動が小さい
  - 季節に関係なく夏季と同程度の流動速度
- 下流部での流速は季節変動が見られる
  - 2010年のみの一過性の変動かどうか調べたい



# 流速推定のまとめ

## ■ 2007年から2010年の流動速度の傾向

- GL付近の流速は一定
- 上流からGLおよびGLから浮氷舌へと流速が速くなり
- 季節変動も見られる
  - » 1996年–1998年と同様な傾向

## ■ 2007年から2010年の氷流中心におけるGLの平均流速は $2.26 \pm 0.02$ km/a

- 1996年から1998年のGLの平均流速は  $2.33 \pm 0.03$  km/a
  - » 15年間における流速の変化は見られない
  - > Rignot (2002)の結果 2.3 km/a と調和的

## ■ 上流部では15年間において最大0.6 km/aの流速差が見られた

- 氷河と海氷との相互作用について調べていきたい

# ピクセルオフセットの利用

- 高精度な位決定
  - 位置合わせ誤差の低減
- 置バンド幅の広帯域化
  - 空間分解能の向上
    - » より詳細な流速分布を取得可能
    - » 流速分解能の向上
  - 暗いターゲット (=雪氷) のダイナミックレンジの向上
    - » デコリレーションの低減
- アセンディング、ディセンディングによる観測機会の増加
  - 南極地域ではアセンディング軌道の観測がほとんど
    - » ディセンディング軌道のFBS観測はほとんどない
  - ScanSAR観測のため
- ScanSARモードによる観測
  - 画像ペアの位置合わせが容易ではない

# ピクセルオフセットの利用に係わり

## ■ 空間分解能

- より高分解能が望ましい
  - » 1 pixelのspacingが小さいほど、流速の分解能が向上
- 一方で南極氷河は面積が大きい（1シーンで収まらない）
  - » 高分解能モードでは観測幅が小さくなる
    - 妥協点はどこに設定するべきか悩ましい

## ■ 時間分解能

- 流速の速い氷河は高頻度の観測が望ましい
  - » 氷河の流動は連続的ではなく断続的かもしれない...  
ことを理解できるかもしれない
- 継続的な観測が必要
  - » 海洋・海氷と氷河の関連性を明らかにしたい
  - » 夏季と冬季の季節変動の知見を得たい