

2-1

ALOS/PALSAR, Envisat/ASAR でとらえた 南パタゴニアの氷河における流動速度の時空間変化 Spatial and Temporal Glacier Flow Velocity Changes in Southern Patagonia Icefield, Inferred from ALOS/PALSAR and Envisat/ASAR

武藤みなみ, 古屋正人

Minami Muto, Masato Furuya

パタゴニア氷原は世界最大の温暖氷塊であり、その中の多くの氷河では近年急激な後退が報告されている。しかし、アクセス困難な環境から連続的かつ広範囲な観測は行われておらず、氷河の流動の詳細は一部を除いてほとんど明らかになっていないのが現状である。そこで本研究では、合成開口レーダーを用いて南パタゴニア氷原の 8 つの氷河の流動速度を測定する。さらに、強度画像から氷河の末端変動を読み取り、流動速度の測定結果と合わせて考察する。

本研究では、ALOS/PALSAR と Envisat/ASAR のデータを用いて Pixel offset 法を適用し、8 つの氷河の流動を検出した。そして、氷河が地形勾配に沿って流動しているという仮定のもと流動速度を測定した。地形データには SRTM4 の数値標高モデルを用いた。氷河の末端変動を見るためには、UTM 座標へと変換した強度画像（分解能 40 m）を用いた。末端の位置は目視により決定した。

8 つの氷河全て (Perito Moreno, Grey, Upsala, Viedma, O'Higgins, PioXI, Occidental, Jorge Montt) について流動速度を測定することができた。中でも PioXI 氷河 (図 1), Upsala 氷河, Jorge Montt 氷河では大きな時間変化が見られた。特に PioXI 氷河の変動は季節変化だけでは説明できず、他の 7 つの氷河のふるまいとも大きく異なっていた。末端変動を調べたところ、PioXI 氷河では南側・北側両方の末端において前進・後退が見られた。一方、Upsala 氷河, Jorge Montt 氷河では流動速度の増加とともにそれぞれ 4 km, 2 km ほどの大きな後退が見られた。

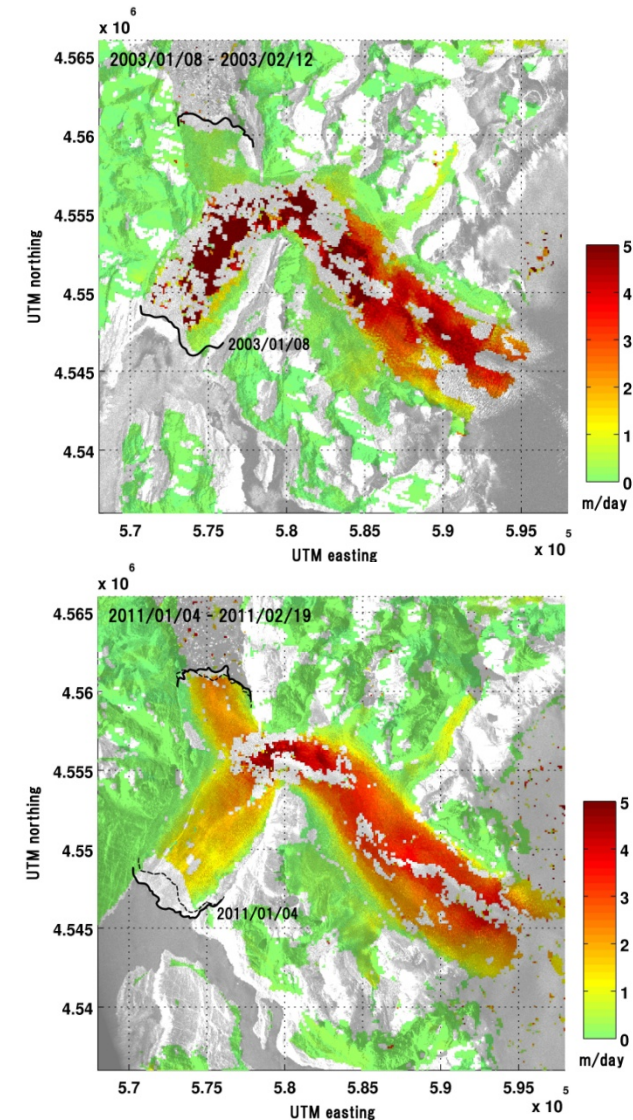


図 1. 2003 年(上図)と 2011 年(下図)の 1 月～2 月における PioXI 氷河の流動速度と末端位置。背景には先の日付に観測された強度画像を用いている。下図中の破線は 2003 年での末端位置を示している。

ALOS/PALSAR, Envisat/ASARでとらえた 南パタゴニアの氷河における 流動速度の時空間変化

Spatial and Temporal Glacier Flow Velocity Changes in Southern
Patagonia Icefield, Inferred from ALOS/PALSAR and Envisat/ASAR

武藤みなみ, 古屋正人
北海道大学 理学研究院 宇宙測地学研究室

2012/09/13 研究集会@京都大学防災研究所

Hokkaido University
SPACE GEODESY 

Patagonia Icefields

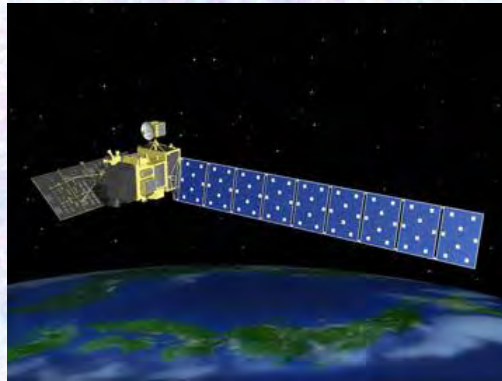
- 南半球で最大の温暖氷河群
- 多くは末端が海や湖に流れ込むカービング氷河
- ほとんどの氷河は近年後退している
- 多くの氷河の流動速度分布は明らかになっていない

氷河の後退と流動速度の関係を明らかにするためにも、流動速度の時空間変化を求めることが重要



Synthetic Aperture Radar (SAR)

ALOS/PALSAR



Jaxa (<http://www.jaxa.jp>)

Envisat/ASAR



ESA (<http://www.esa.int/>)

運用期間

2006年1月24日～2011年5月12日

2002年3月1日～2012年4月8日

軌道高度

約690 km

約800 km

回帰日数

46日

35日

軌道傾斜角

約98°

約98.6°

波長

Lバンド(23.6 cm)

Cバンド(5.6 cm)

入射角

39°

15～45° (I1～I7)

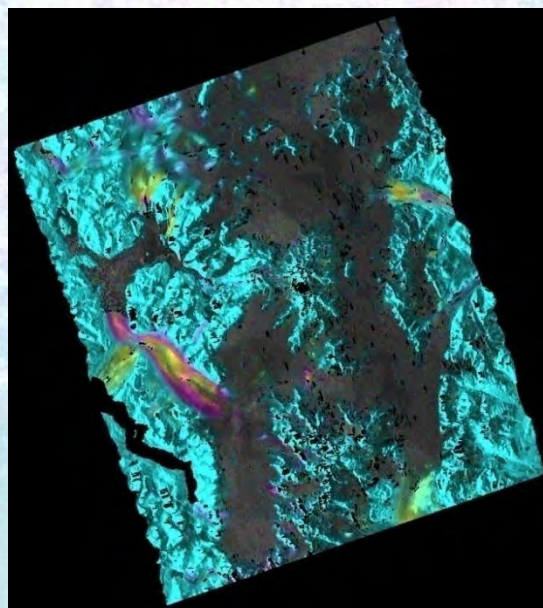
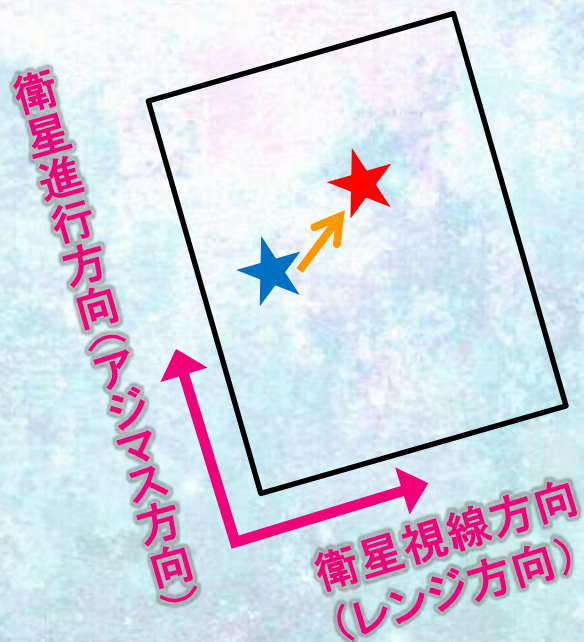
地上分解能

約7～44 m (FBS)

約30 m

Pixel offset (Feature tracking)

- 画像マッチングから派生した手法
- InSARではとらえられない
大きな変動(1 m以上)に有効。



Pixel offset画像(azimuth成分)



Tobita et al. (2001)

Convert to flow velocity

- ① AscendingのPixel Offsetデータ(A_{ran} , A_{azi})と
DescendingのPixel Offsetデータ(D_{ran} , D_{azi})から
三次元変位 (U_E, U_N, U_Z) を測定。

$$\begin{pmatrix} A_{ran} \\ A_{azi} \\ D_{ran} \\ D_{azi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos H_A \sin I_A & -\sin H_A \sin I_A & -\cos I_A \\ \sin H_A & \cos H_A & 0 \\ \cos H_D \sin I_D & -\sin H_D \sin I_D & -\cos I_D \\ \sin H_D & \cos H_D & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_E \\ U_N \\ U_Z \end{pmatrix}$$

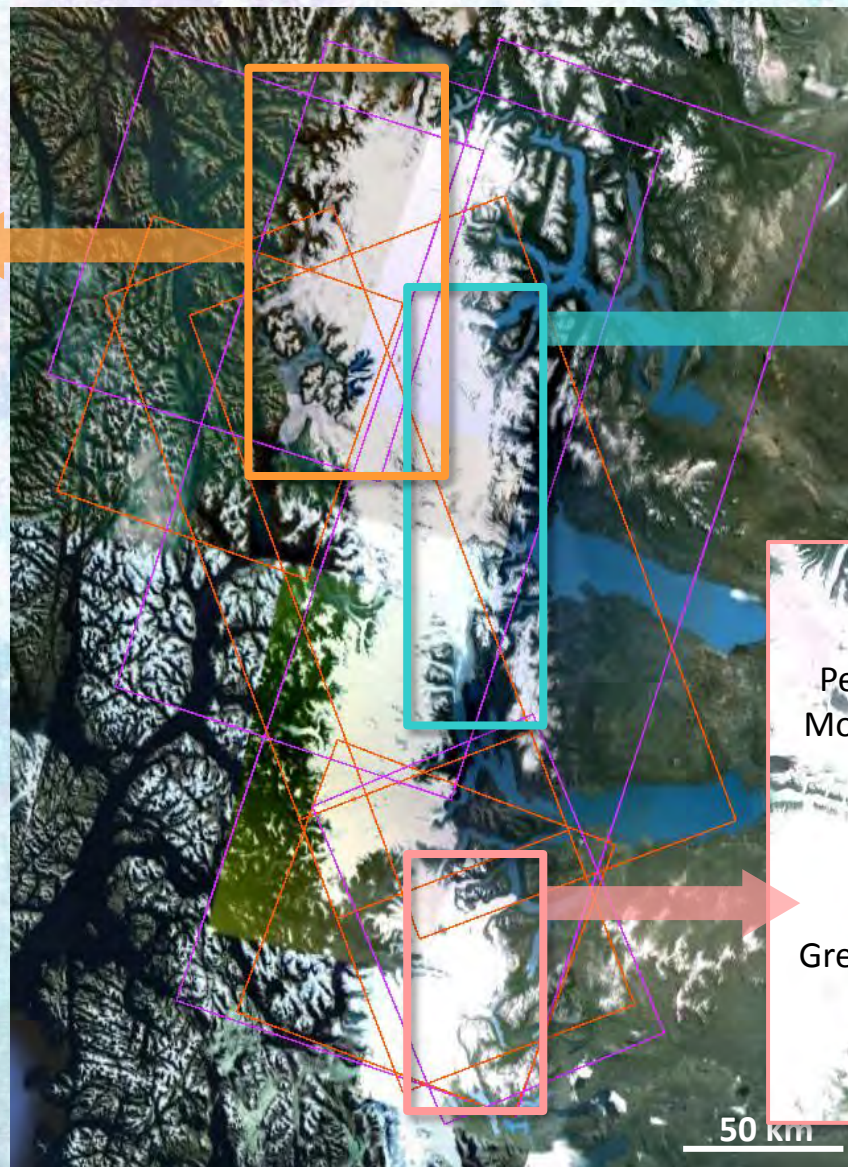
H : Heading angle

I : incidence angle

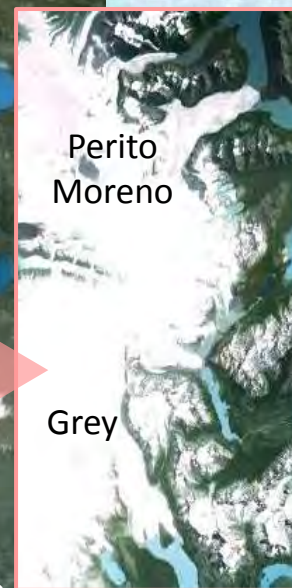
- ② 1組のPixel OffsetデータとDEMから流動速度を測定。
勾配の最も大きい方向へ氷河が流動すると仮定。

Data

C



A



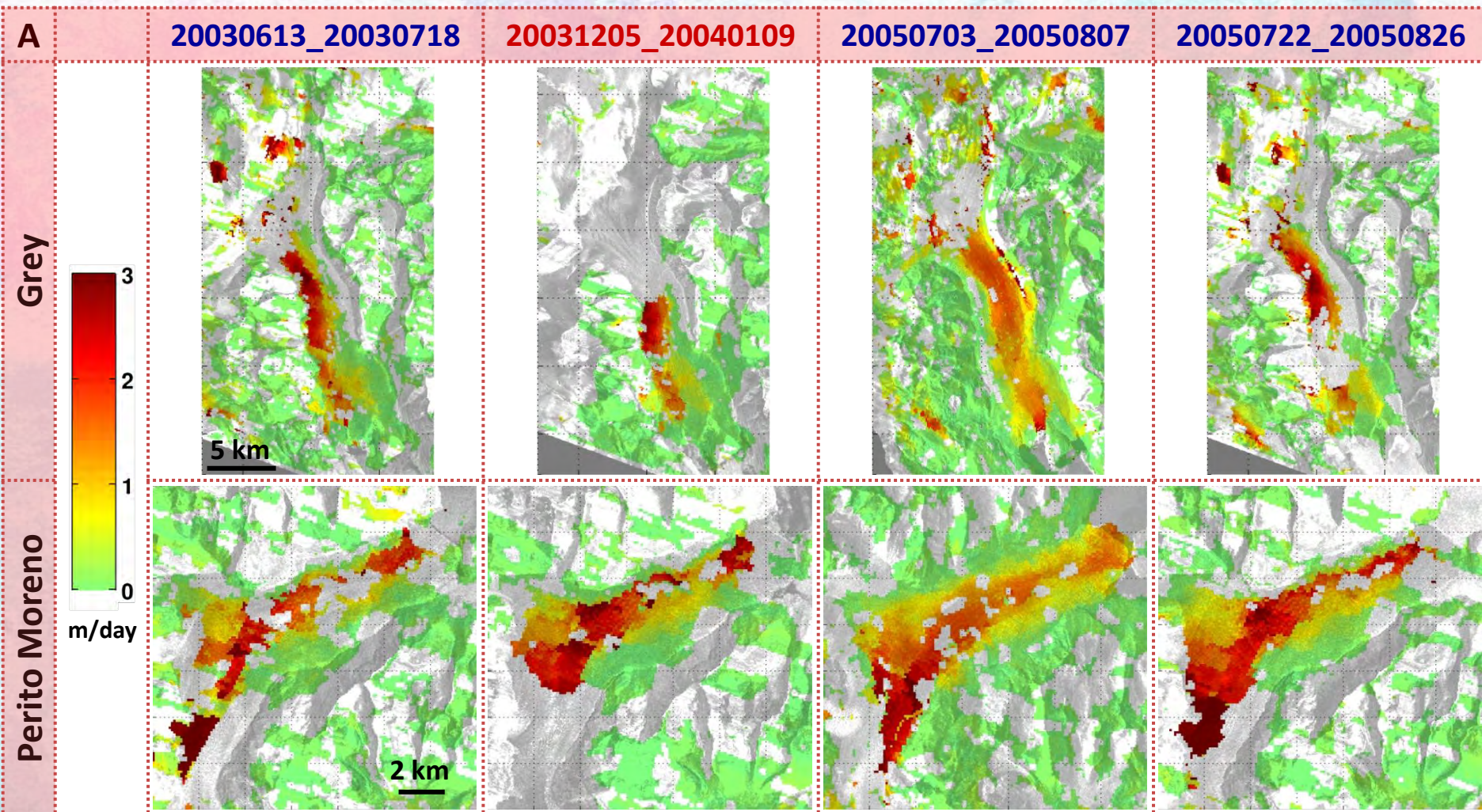
B

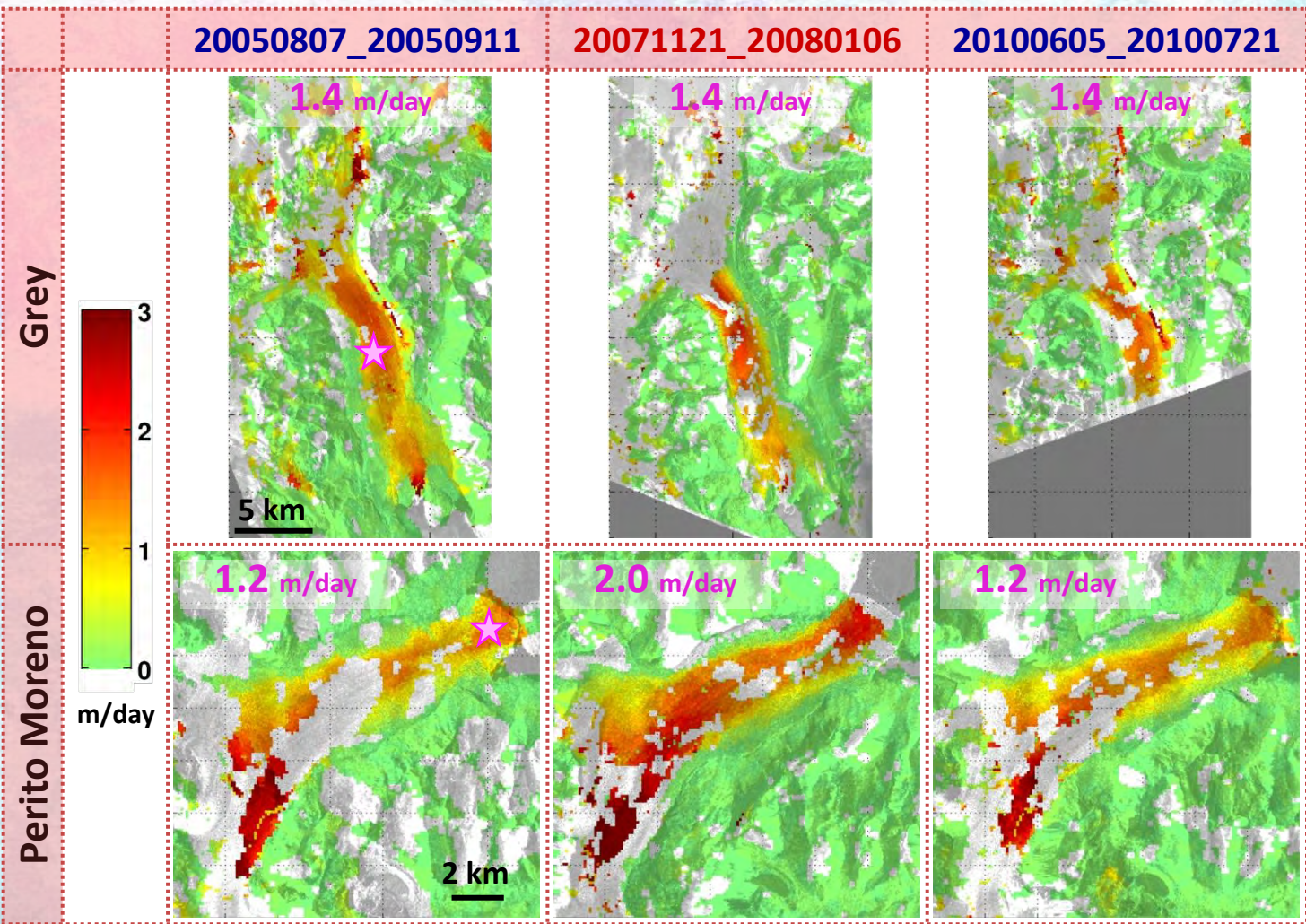


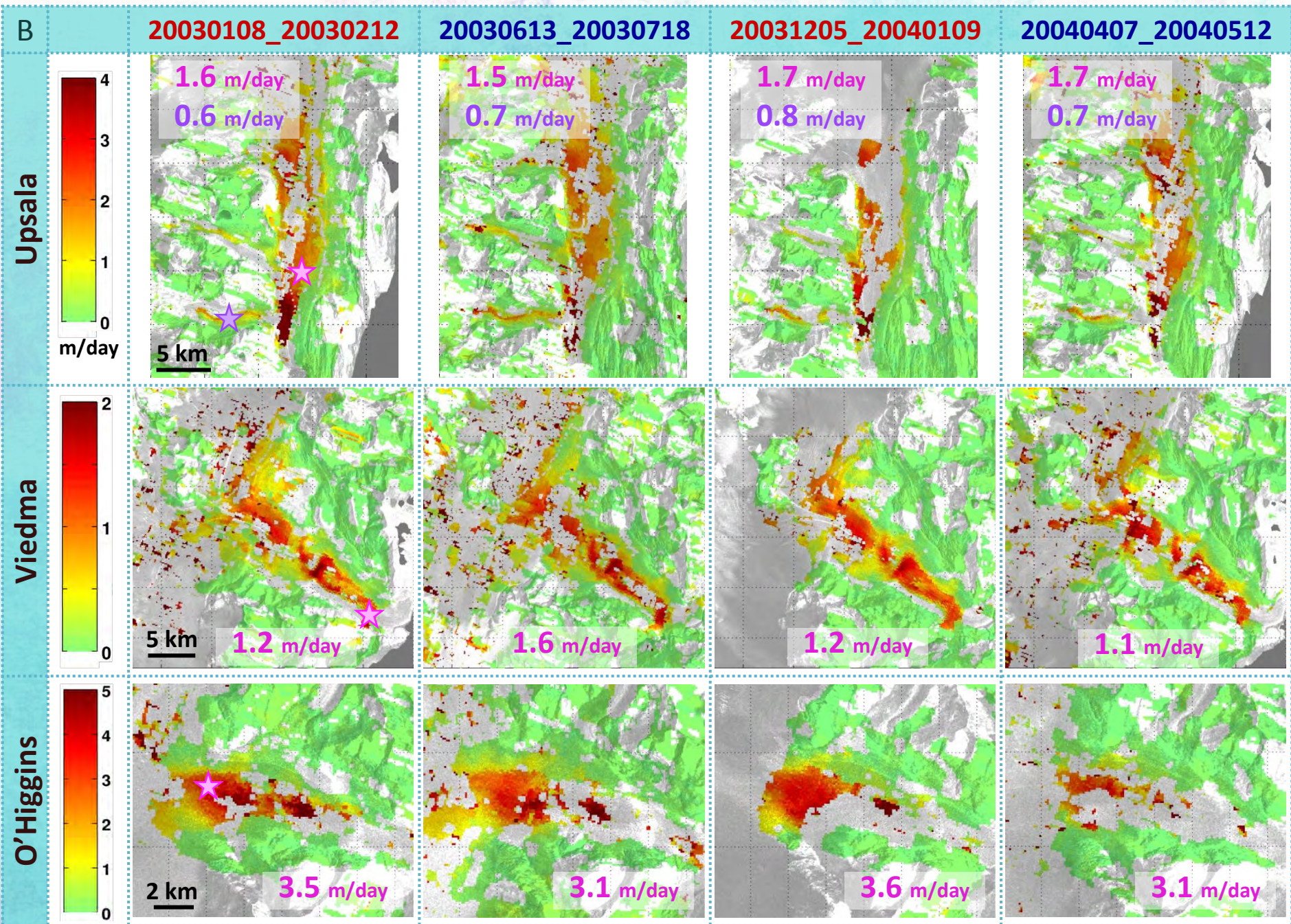
Results

赤字:夏 青字:冬

背景にはMasterの日付の強度画像を用いた







20050722_

1.8 m/day
0.8 m/day

5 km

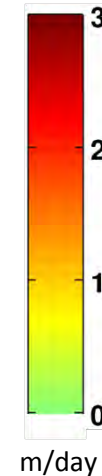
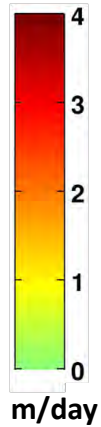
2003年1～2月と2011年
1～2月の流動速度比較
(2011年－2003年)

最大で約138%の
流動速度増加

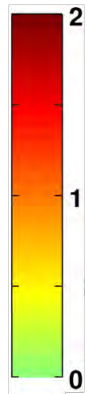
20110104_20110219

3.1 m/day
1.6 m/day

Upsala



Viedma



5 km

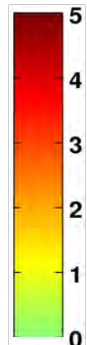
1.5 m/day

1.0 m/day

速度が約2倍に

1.0 m/day

O'Higgins

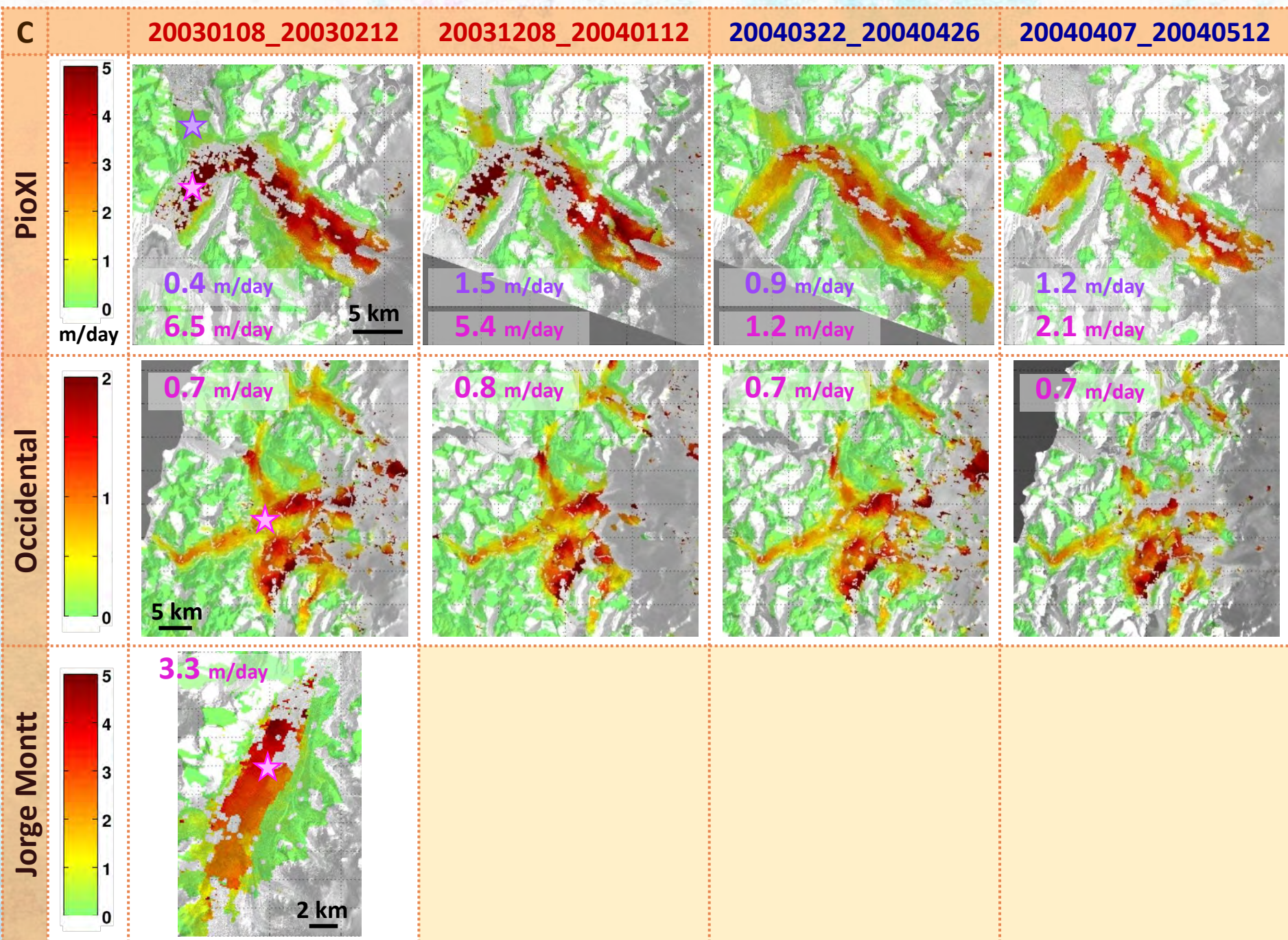


2 km

3.1 m/day

2.5 m/day

2.9 m/day



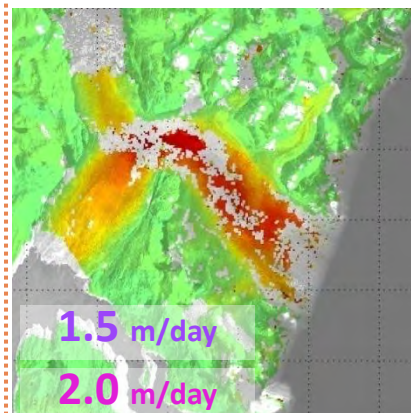
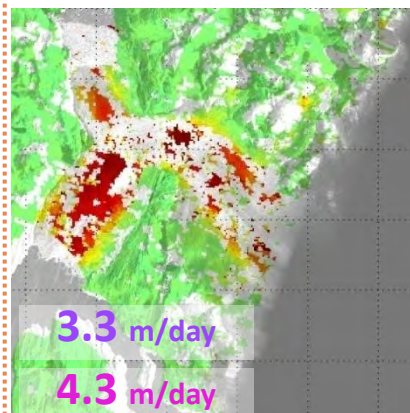
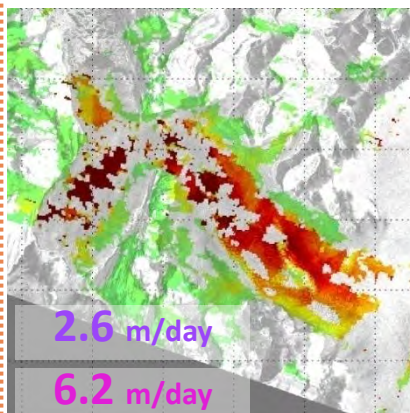
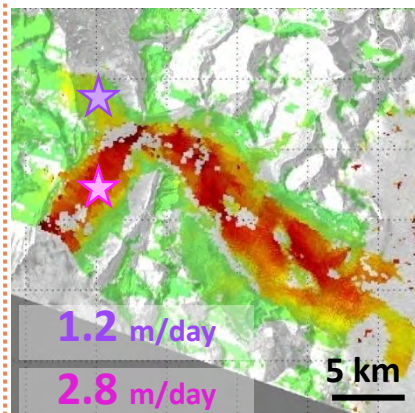
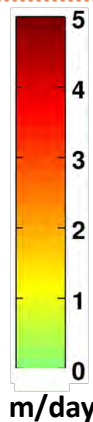
20040426_20040531

20050829_20051003

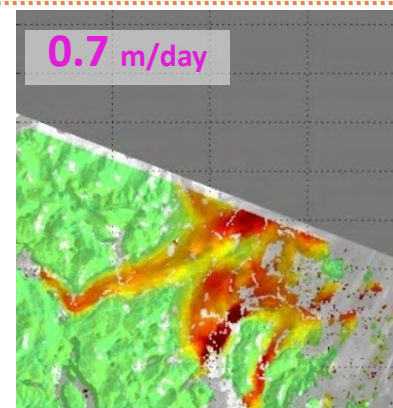
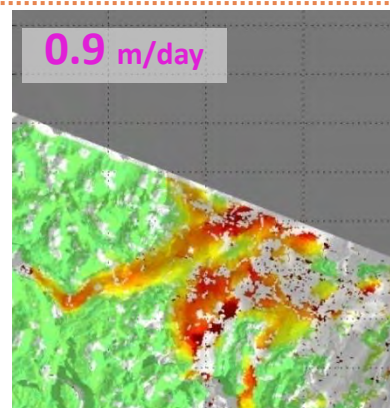
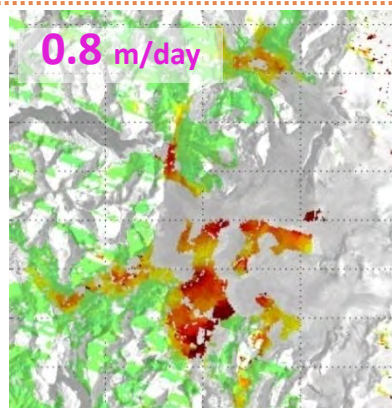
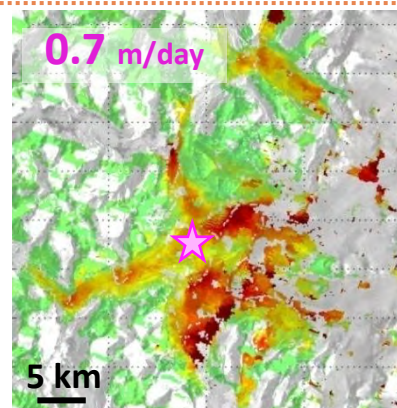
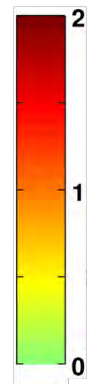
20070826_20071011

20080111_20080226

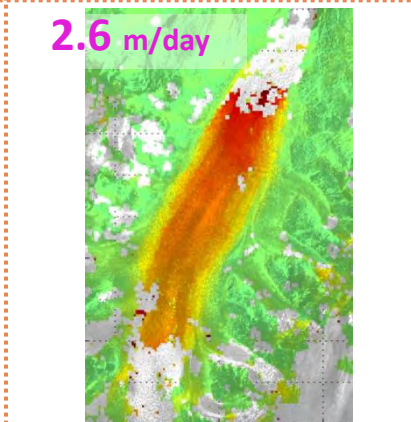
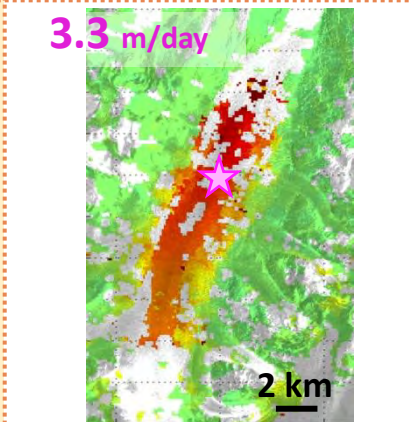
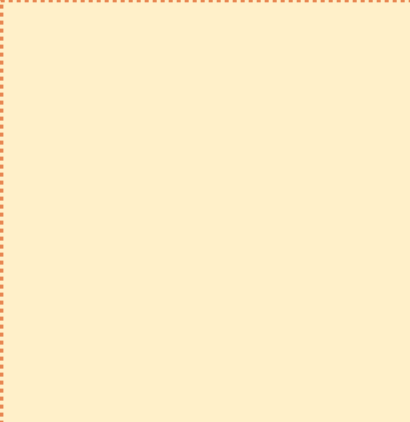
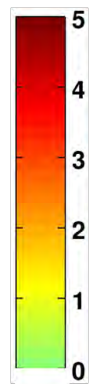
PioXI



Occidental



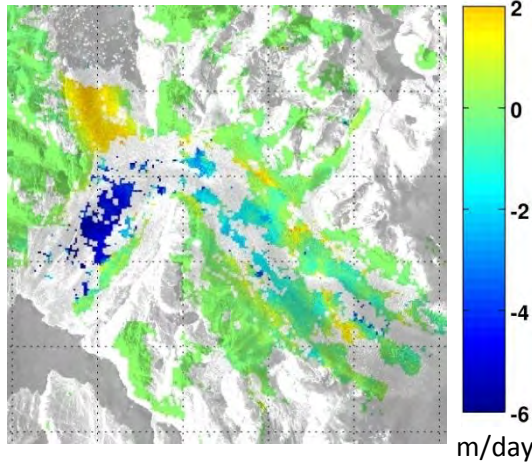
Jorge Montt



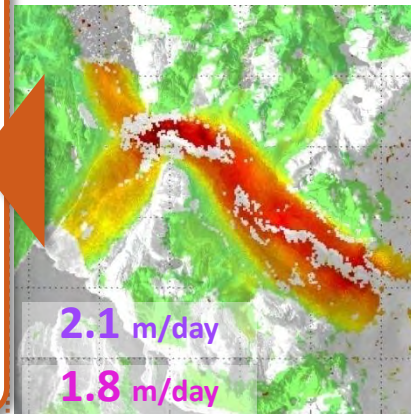
PioXI

2003年1～2月と
2011年1～2月の
流動速度比較
(2011年－2003年)

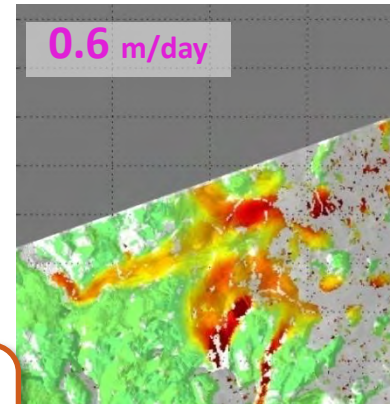
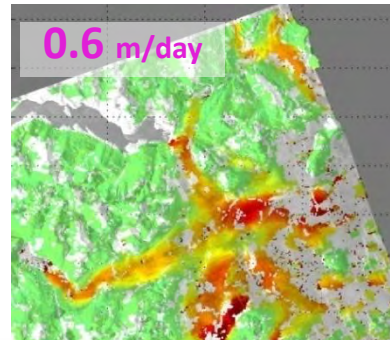
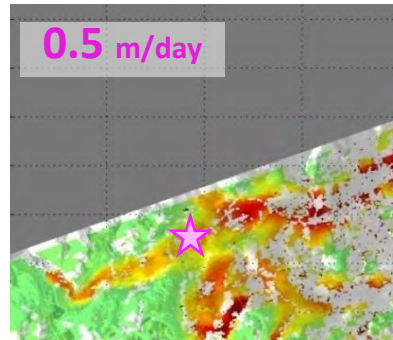
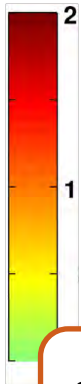
南側末端で
約78%の流動
速度減少



20110104_20110219



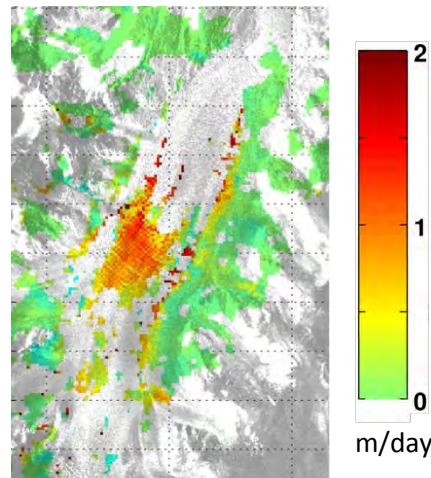
Occidental



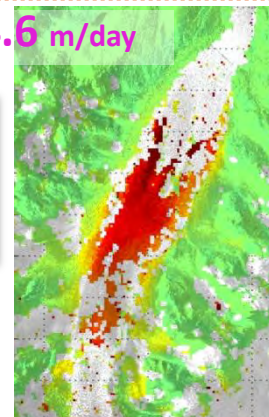
Jorge Montt

2003年1～2月と2011年
1～2月の流動速度比較
(2011年－2003年)

最大で約46%の
流動速度増加



4.6 m/day



流動速度についてのまとめ

末端位置の変化を調査

- **Upsala**

2003-2005年と2010-2011年を比べると速度が約2倍に増加

- **PioXI**

2003, 2005, 2007年に南側末端を中心に急激な加速
季節変化では説明できない、他の氷河とも異なるふるまい

- **Jorge Montt**

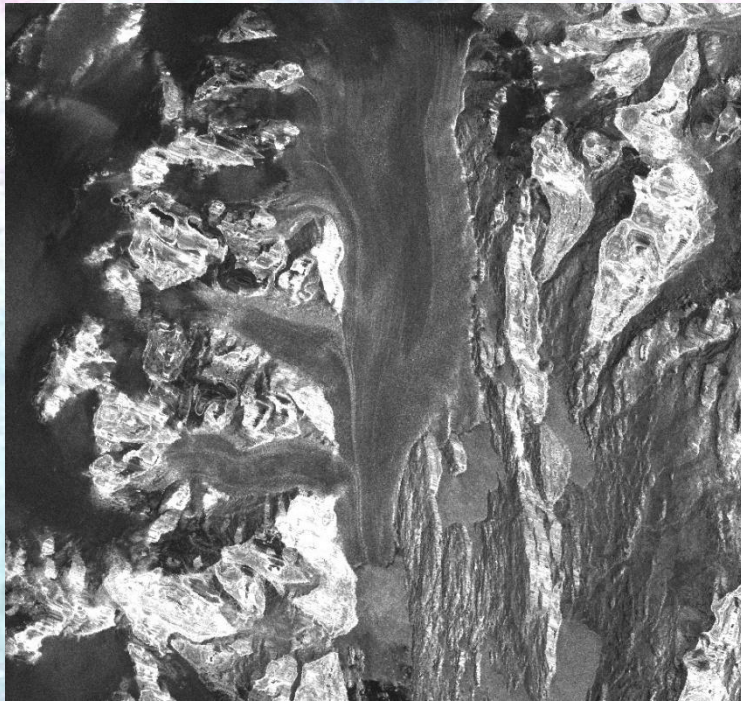
2003年と2011年を比べると約46%速度が増加

- **Grey, Perito Moreno, Viedma, O'Higgins, Occidental**

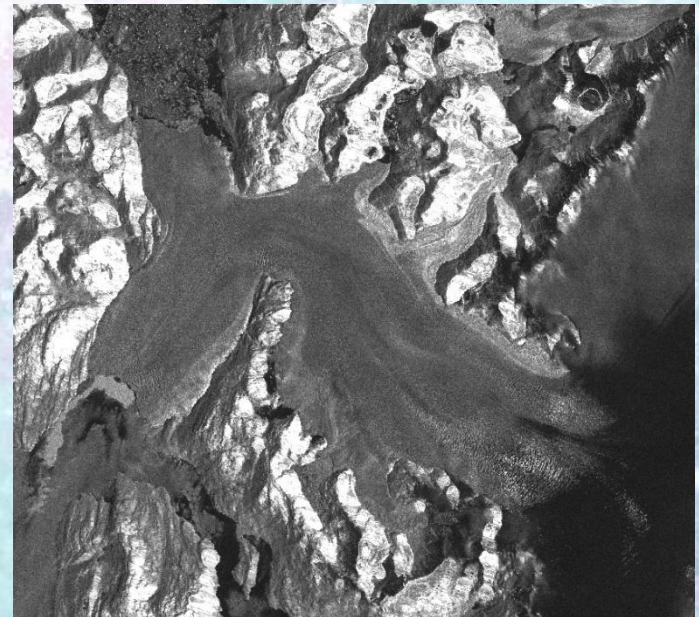
目立った時間変化は無し

Method

- UTM座標に変換したSARの強度画像(分解能40m)を利用
- 末端の位置を目視により測定



Upsala glacier



PioXI glacier

Upsala glacier

2002/12/23 2004/05/12

2003/01/08 2004/08/25

2003/02/12 2004/09/10

2003/03/28 2005/07/22

2003/04/23 2005/08/26

2003/06/13 2008/08/15

2003/07/02 2008/09/03

2003/07/18 2010/05/19

2003/09/26 2010/06/05

2003/10/15 2010/07/04

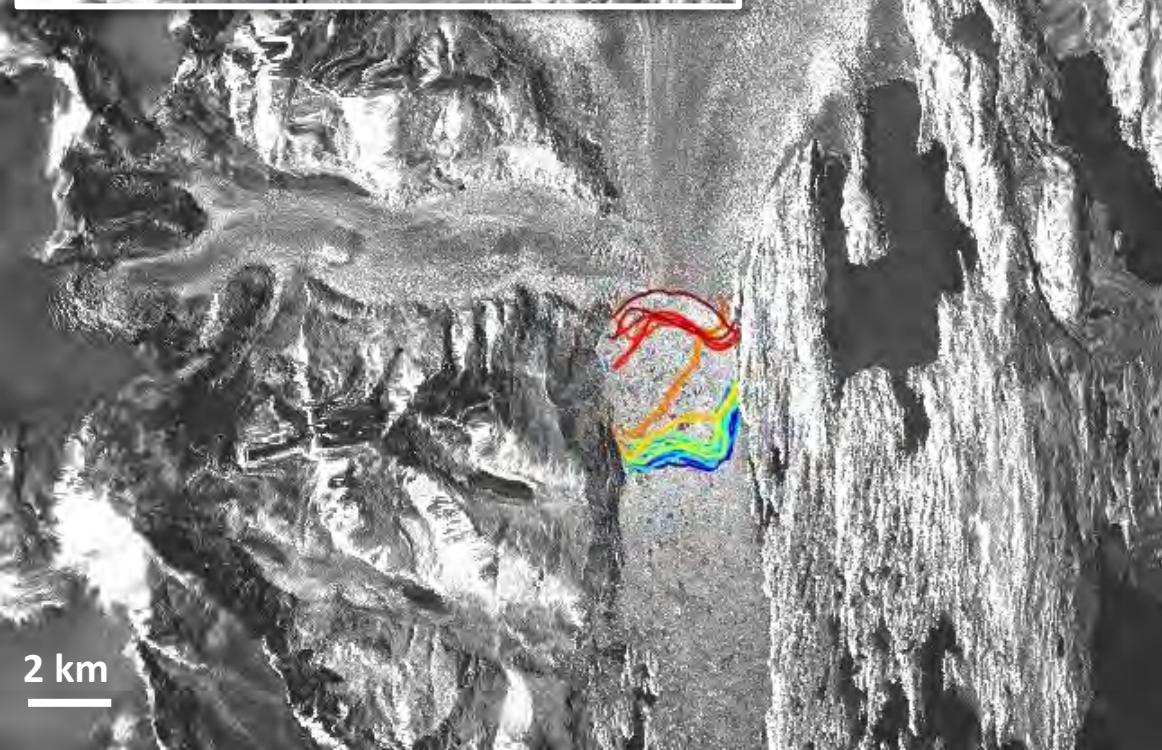
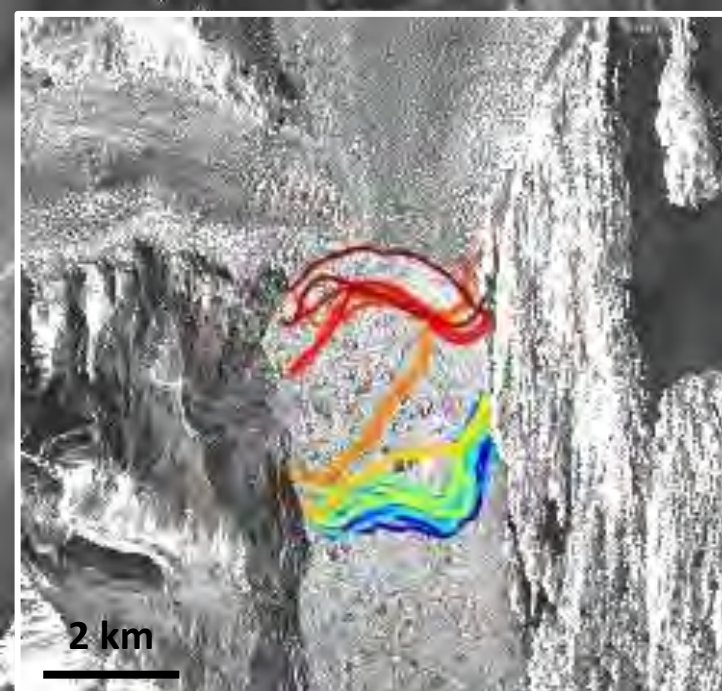
2003/12/05 2010/07/21

2004/01/09 2011/01/04

2004/04/07 2011/02/19

3.1 m/day

1.6 m/day



2011/02/19

George Montt glacier

2003/01/08

2003/02/12

3.3 m/day

2003/07/02

2003/10/15

2004/04/07

2004/05/12

2004/08/25

2007/08/26

2007/10/11

2008/01/11

2008/02/26

2008/09/03

2010/05/19

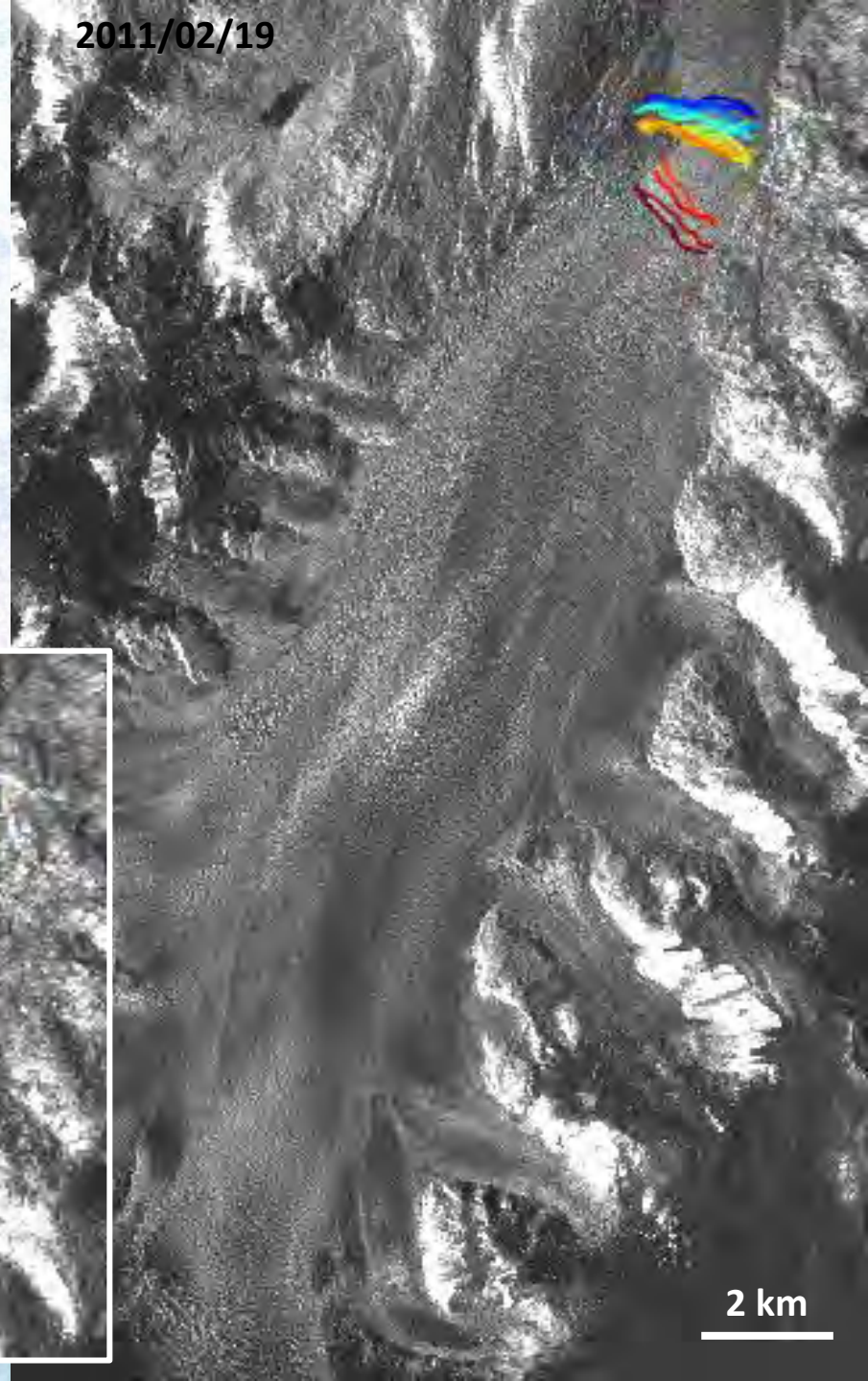
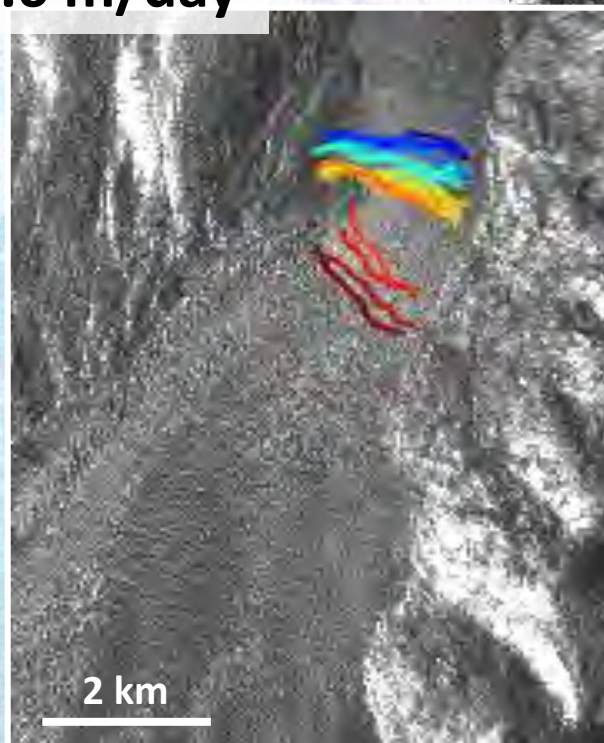
2010/07/04

2011/01/04

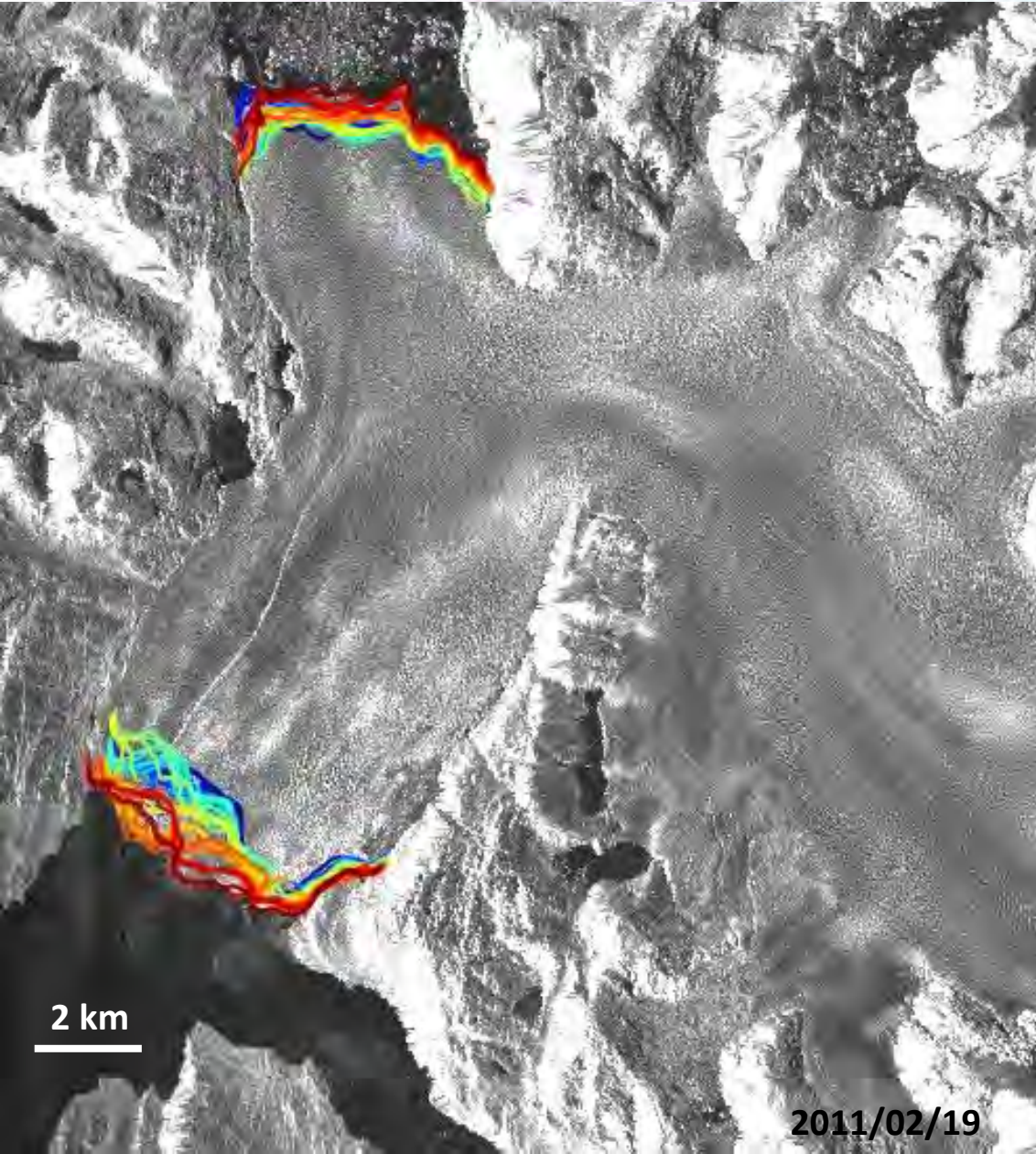
2011/02/19

4.6 m/day

2011/02/19



PioXI glacier



2002/12/23	2005/06/20
2003/01/08	2005/08/29
2003/02/12	2005/10/03
2003/04/23	2007/07/30
2003/06/16	2007/08/26
2003/07/02	2007/10/11
2003/10/15	2008/01/11
2003/12/08	2008/02/26
2004/01/12	2008/09/03
2004/03/22	2010/05/19
2004/04/07	2010/06/05
2004/04/26	2010/07/04
2004/05/12	2010/07/21
2004/05/31	2011/01/04
2004/08/25	2011/02/19
2004/09/13	

PioXI

	北	南		北	南
2002/12/23	-	-	2005/06/20	○	○
2003/01/08	○	*	2005/08/29	○	○
2003/02/12	△	○	2005/10/03	○	○
2003/04/23	*	○	2007/07/30	○	○
2003/06/16	*	*	2007/08/26	○	○
2003/07/02	△	*	2007/10/11	○	○
2003/10/15	△	○	2008/01/11	*	○
2003/12/08	*	○	2008/02/26	*	*
2004/01/12	*	*	2008/09/03	*	△
2004/03/22	△	△	2010/05/19	○	?
2004/04/07	*	*	2010/06/05	*	*
2004/04/26	*	*	2010/07/04	*	*
2004/05/12	*	*	2010/07/21	*	*
2004/05/31	*	*	2011/01/04	○	○
2004/08/25	*	○	2011/02/19	*	*
2004/09/13	*	*			

末端位置の変化

○:前進

*:ほぼ変化なし

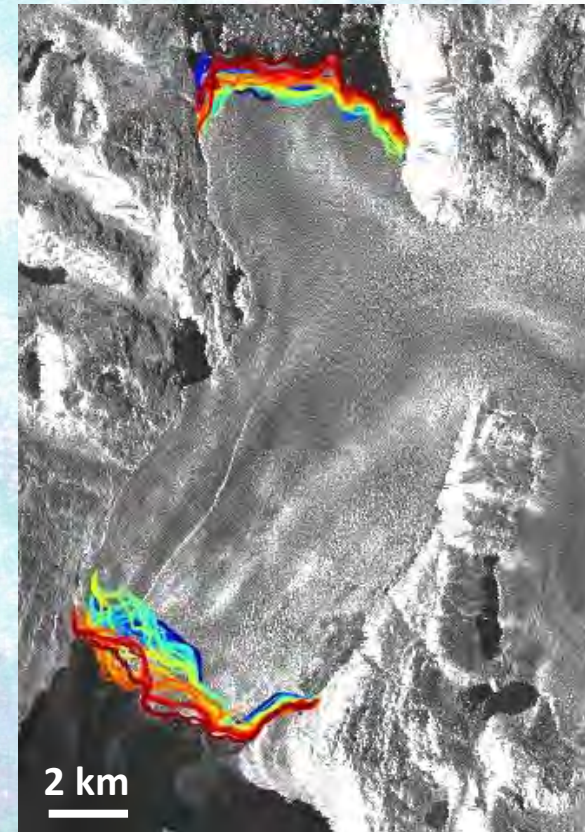
△:後退

流動速度 [m/day]

	北	南
速	2.0～	4.0～
中	1.1～1.9	2.1～3.9
遅	～1.0	～2.0

PioXI

	北	南		北	南
2002/12/23	-	-	2005/06/20	○	○
2003/01/08	○	*	2005/08/29	○	○
2003/02/12	△	○	2005/10/03	○	○
2003/04/23	*	○	2007/07/30	○	○
2003/06/16	*	*	2007/08/26	○	○
2003/07/02	△	*	2007/10/11	○	○
2003/10/15	△	○	2008/01/11	*	○
2003/12/08	*	○	2008/02/26	*	*
2004/01/12	*	*	2008/09/03	*	△
2004/03/22	△	△	2010/05/19	○	?
2004/04/07	*	*	2010/06/05	*	*
2004/04/26	*	*	2010/07/04	*	*
2004/05/12	*	*	2010/07/21	*	*
2004/05/31	*	*	2011/01/04	○	○
2004/08/25	*	○	2011/02/19	*	*
2004/09/13	*	*			



まとめ

- ALOS/PALSAR・Envisat/ASARの観測データ、SRTM4 DEMを用いた流動速度測定
- 強度画像を用いた氷河末端位置(2002-2011年)の測定
- **Upsala** ... 2002-2011年で流動速度が約2倍に**増加**
末端が4 kmほど**後退**
- **Jorge Montt** ... 2003-2011年で流動速度が約40%**増加**
末端が2 kmほど**後退**
- **PioXI** ... 2003, 2005, 2007年に南側末端で急激な**加速**
他のパタゴニア氷河とは異なるふるまい
南北両方の末端で**前進**・**後退**(2002-2011年)

今後の課題

- PioXI氷河の流動速度と末端位置の変動についてさらに詳しく調べる
- 流動速度と氷河の前進・後退の関係の考察
- PioXI氷河における他の氷河とは異なる変動の原因についての考察

ありがとうございました！！