

ALOS/PALSARに基づくPerito Moreno 氷河(パタゴニア)の三次元変位の推定

北海道大学 理学部 地球科学科 宇宙測地学研究室 4年 武藤 みなみ

1.はじめに

Perito Moreno氷河は非常に速い流動速度を示すが、その流動メカニズムの詳細はよくわかっていない。本研究では、ALOS(だいち)に搭載されている合成開口レーダー-PALSARの観測データを用いてPixel Offset解析を行い、Perito Moreno氷河の流動を検出した。Perito Moreno氷河に関するSARを用いた研究はこれまでにいくつか報告されているが、いずれの研究においても流動方向の決定にSARデータ以外の補足的な情報が用いられた。それに対し本研究では、異なる2種類の軌道の解析結果を用いることにより、地形情報を用いることなく氷河の三次元変位を推定した。

2.観測地域と使用したデータ

Perito Moreno氷河は南パタゴニア氷原から溢流する氷河で、その末端は湖へと流れ込んでいる。年間500 mを超える非常に速い速度で流動している。

今回は、以下の3組のデータについてPixel Offset解析を行った。

Pair	A/D	Path_Frame	Master data	Slave data	Mode	B _{perp} (m)
A1	A	130_6150	20100605	20100721	FBD_FBD	-129.3
D1	D	410_4650	20071104	20071220	FBD_FBS	-72.84
D2	D	411_4650	20071121	20080106	FBD_FBS	-295.1

表1 使用したデータ

AはAscending(昇交軌道)、DはDescending(降交軌道)、B_{perp}は基線長のRange方向に垂直な成分を表す。観測期間はいずれも最短の46日。

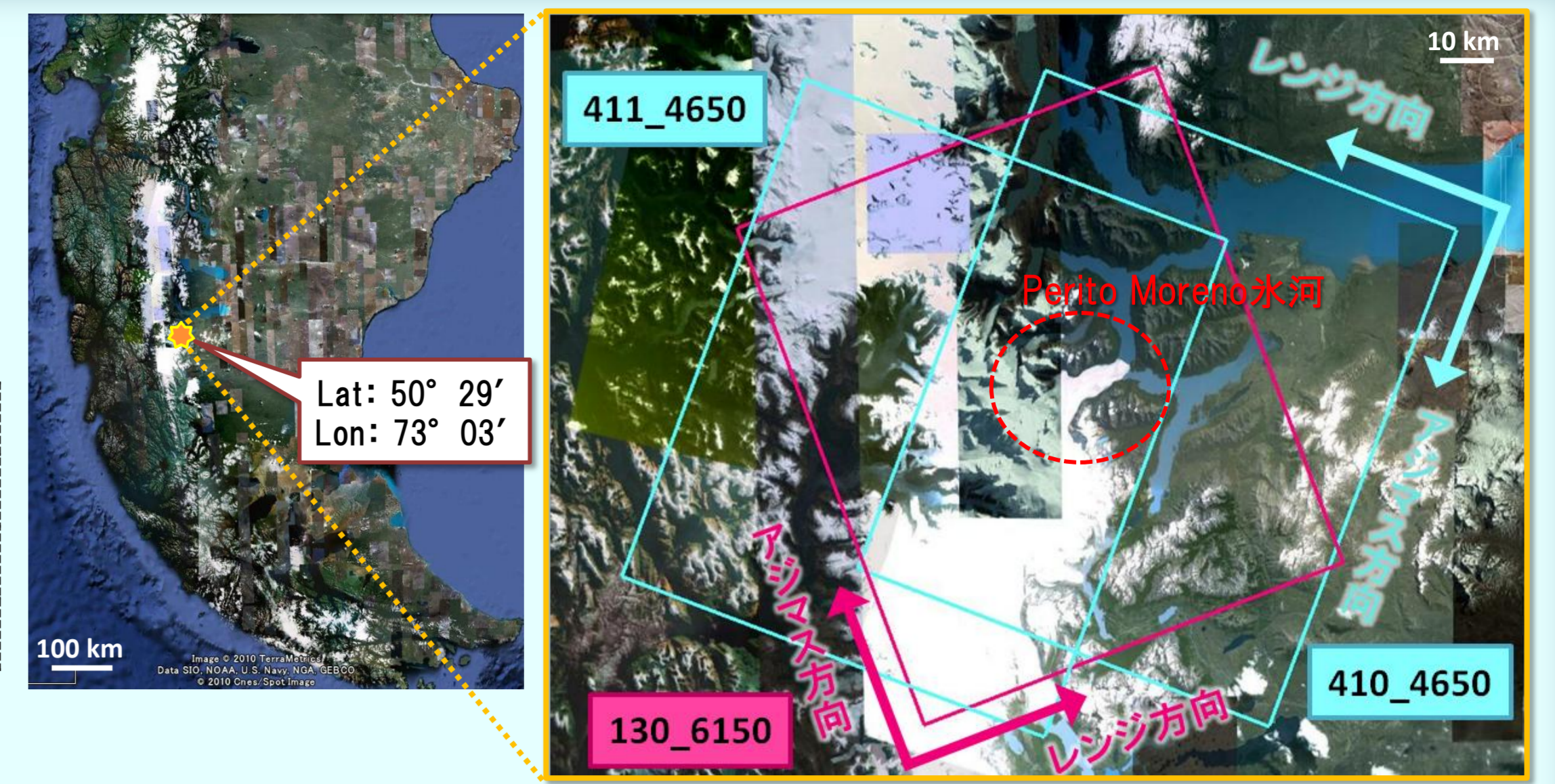


図1 観測地域

レンジ方向は衛星の視線方向、アジマス方向は衛星の進行方向を表す。

3.Pixel Offset法により検出された氷河の流動

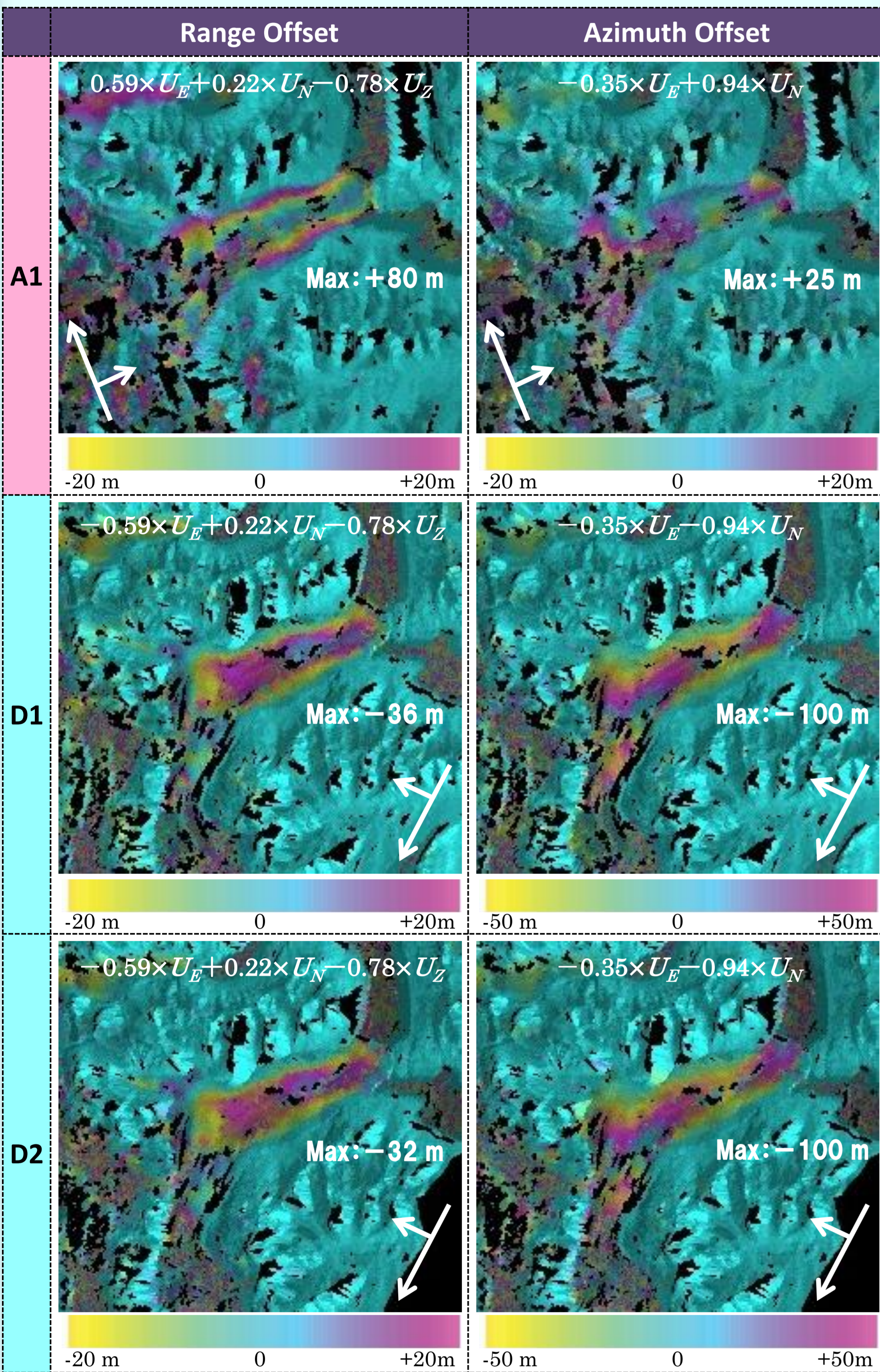


図2 Pixel Offset解析の結果

4.三次元変位の推定

三次元変位(U_E, U_N, U_Z)は、Ascendingの解析結果(A_{ran}, A_{azi})、Descendingの解析結果(D_{ran}, D_{azi})、Heading角 H 、入射角 I を用いて以下の式で表せる。

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

	H	I
Ascending	-20.6°	39°
Descending	-159°	39°

表2 各軌道のHeading角と入射角

上式より氷河の三次元変位を求めることができる。ただし、今回使用したデータの観測時期はいずれも一致していないので、今回は氷河の流動速度が常に一定であると仮定して三次元変位の推定を行った。A1-D1, A1-D2の2つの組み合わせについて三次元変位を推定し、観測期間の46日で割って1日あたりの変動量に換算したところ、図3の結果が得られた。

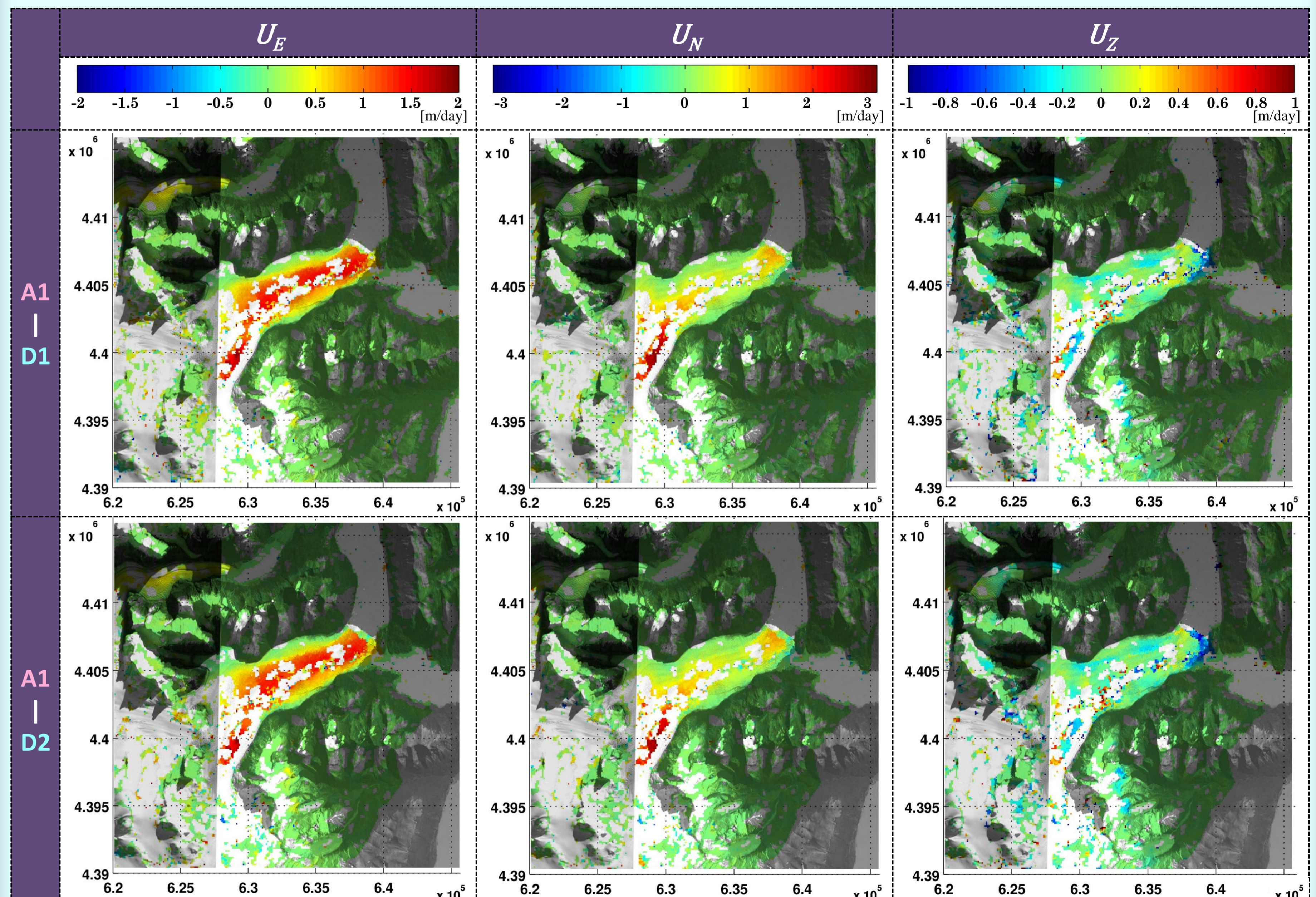


図3 Perito Moreno氷河の三次元変位(座標はUTM座標)

5.考察

図4では、A1-D1から求めた速度ベクトル(U_E, U_N, U_Z)の大きさの分布を色で、二次元ベクトル(U_E, U_N)の向きを矢印で表している。流動速度は氷河の流れの中央部分に近いほど大きくなっている。また、上流部分は3 m/dayという非常に大きな速度で流動しており、これは地形が急勾配であるためと考えられる。

SARを用いた先行研究(Floricioiu et al. 2008)と比較したところ、空間分布はほぼ一致していた。

A1のRange Offsetの結果と、SRTM4のDEMの地形情報からも変位を推定した(図6)。A1-D1からの推定結果と比較したところ、氷河の中流と末端ではほぼ同じ大きさとなっていたが、上流部分では最大で約2 mもの大きな残差が見られた。

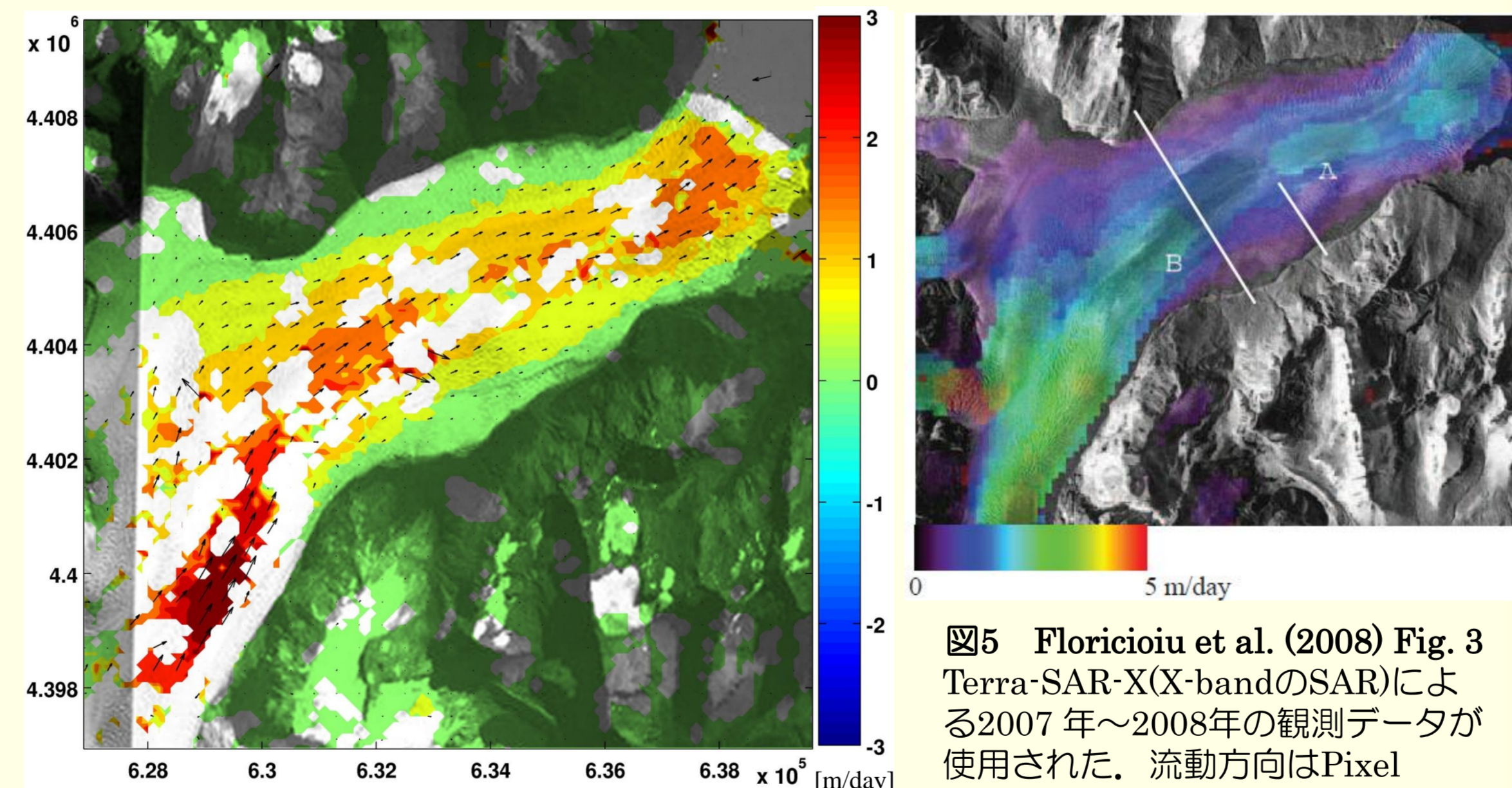


図4 A1-D1から推定した流動速度の分布

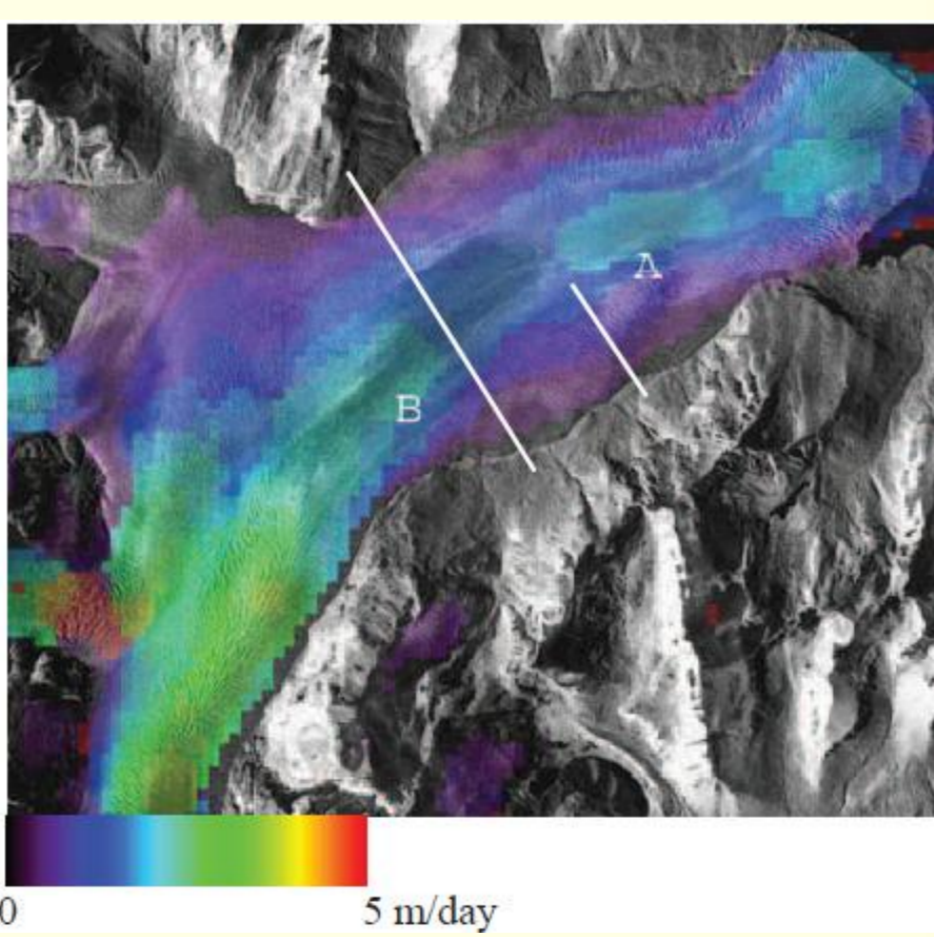


図5 Floricioiu et al. (2008) Fig. 3 Terra-SAR-X(X-bandのSAR)による2007年~2008年の観測データが使用された。流動方向はPixel Offset解析結果(Range・Azimuth)と地形情報から推定された。

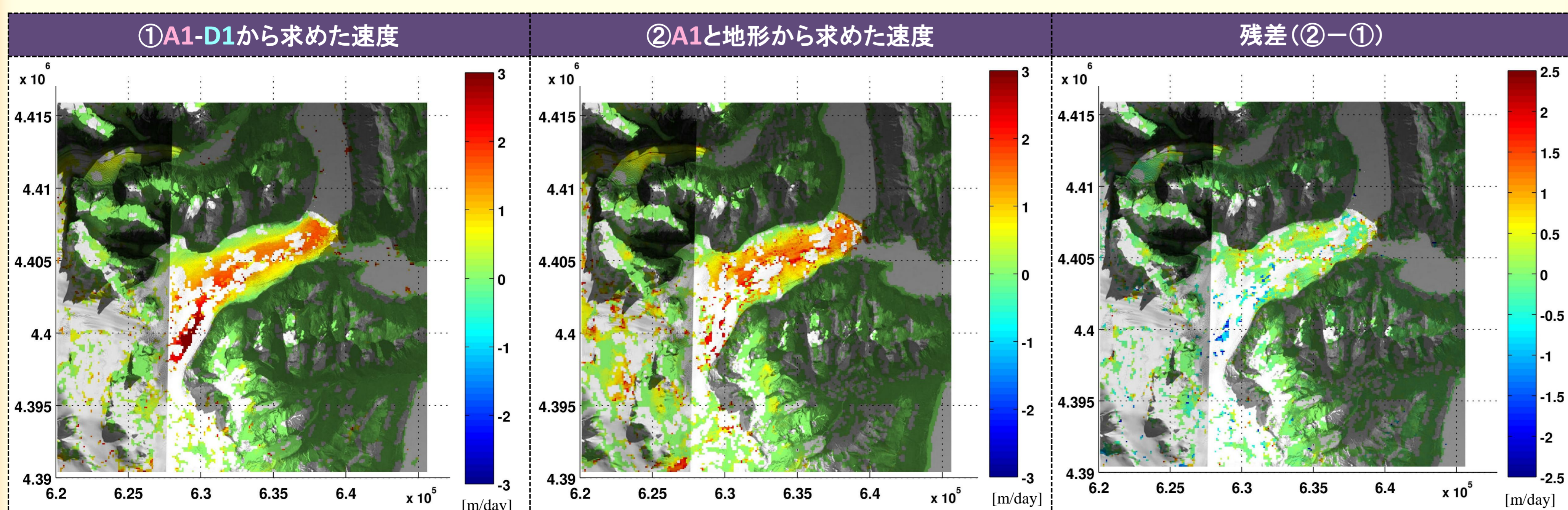


図6 A1と地形から推定した変位との比較

6.まとめ・今後の課題

パタゴニアのPerito Moreno氷河についてALOS/PALSARの観測データを用いてPixel Offset解析を行ったところ、氷河の流動を検出することができた。さらに、氷河の流動速度を常に一定であると仮定した上で、Ascending・Descending両方についての解析結果を用いることにより、地形情報に頼らず氷河の三次元変位を推定することができた。その結果、 U_E は氷河の流れの中央で、 U_N は氷河の上流で、 U_Z は氷河の末端で大きな変位が見られた。

得られた速度ベクトルの大きさの分布を見たところ、氷河の流れの中央部分と氷河上流で速度が大きくなっていった。その空間分布を先行研究と比較したところ、よく一致していた。

また、Ascendingの結果と地形勾配から推定した流動速度とも比較したところ、大まかには一致しているものの上流部分では大きな残差が見られた。

今後は他のデータについても解析を行い、流動速度の空間的な分布だけでなく、時間的な変化を推定したい。また、今回の方法で求めた三次元変位と地形から求めた三次元変位のより詳細な比較をすることにより、Perito Moreno氷河の流動メカニズムの理解を進めたい。

参考文献

- Tobita, M., M. Murakami, H. Nakagawa, H. Yarai, S. Fujiwara, and P. A. Rosen (2001): 3 - D surface deformation of the 2000 Usu Eruption measured by matching of SAR images, Geophys. Res. Lett., 28(22), 4291-4294.
- Floricioiu, D., M. Eineder, H. Rott and T. Nagler. (2008): Velocities of major outlet glaciers of the Patagonia Icefield observed by TerraSAR-X. Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2008 in Boston U.S.A., IV, 347-350.
- Rott, H., M. Saefer, A. Siegel, P. Skvarca and A. Eckstaller. (1998): Mass fluxes and dynamics of Moreno Glacier, Southern Patagonia Icefield. Geophysical Research Letters, 25(9), 1407-1410.
- Michel, R. and E. Rignot. (1999): Flow of Glacier Moreno, Argentina, from repeat-pass Shuttle Imaging Radar images: comparison of the phase correlation method with radar interferometry, Journal of Glaciology, 149(45), 93-100.
- Saefer, M., H. Rott and P. Skvarca. (2007): Glacier Perito Moreno, Patagonia: Climate sensitivities and glacier characteristics preceding the 2003/04 and 2005/06 damming events, Journal of Glaciology, 53(180), 3-16.
- Ciappa, A., L. Pietranera and F. Battazza. (2010): Perito Moreno Glacier (Argentina) flow estimation by COSMO SkyMed sequence of high-resolution SAR-X imagery, Remote Sensing of Environment, 114(9), 2088-2096.