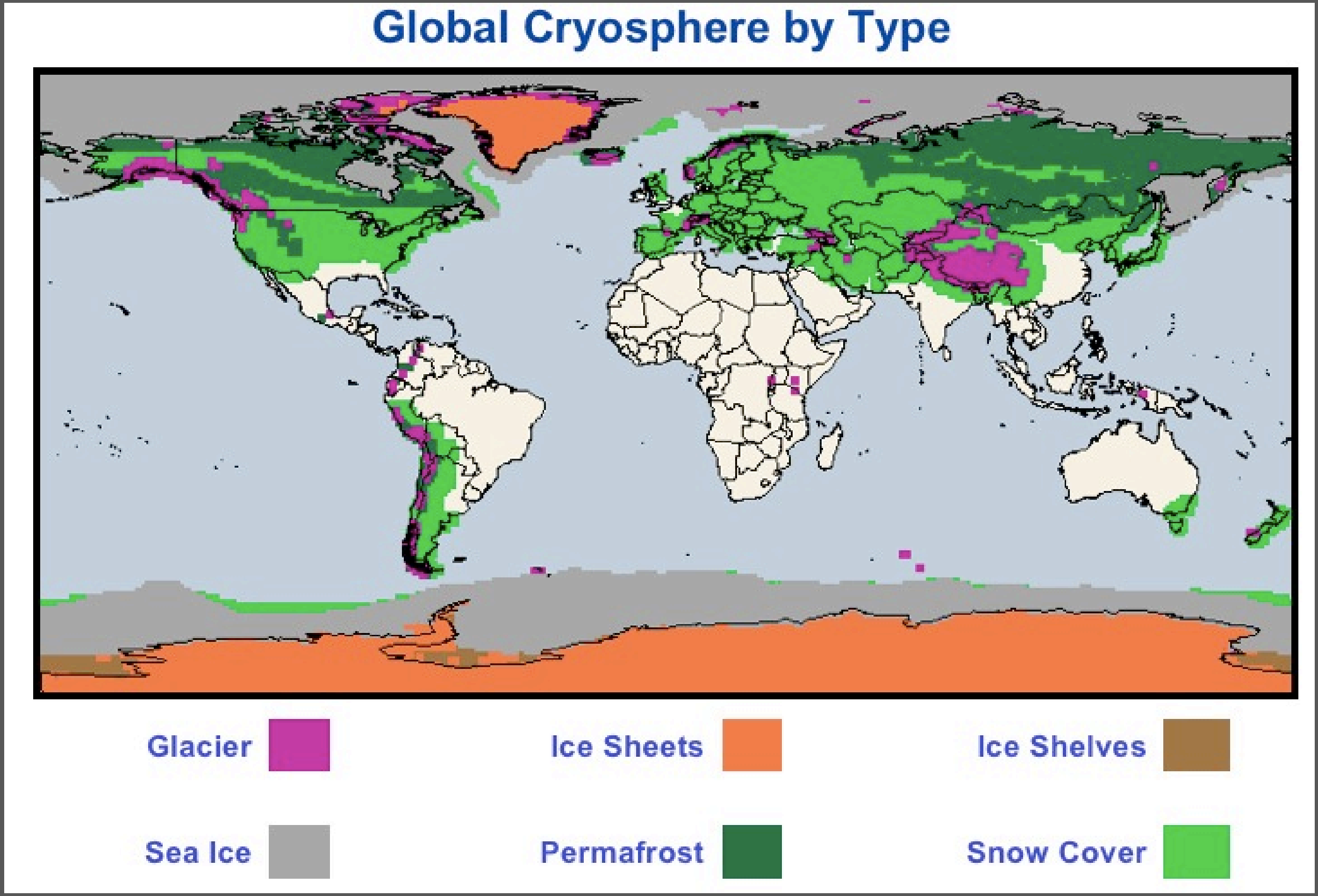
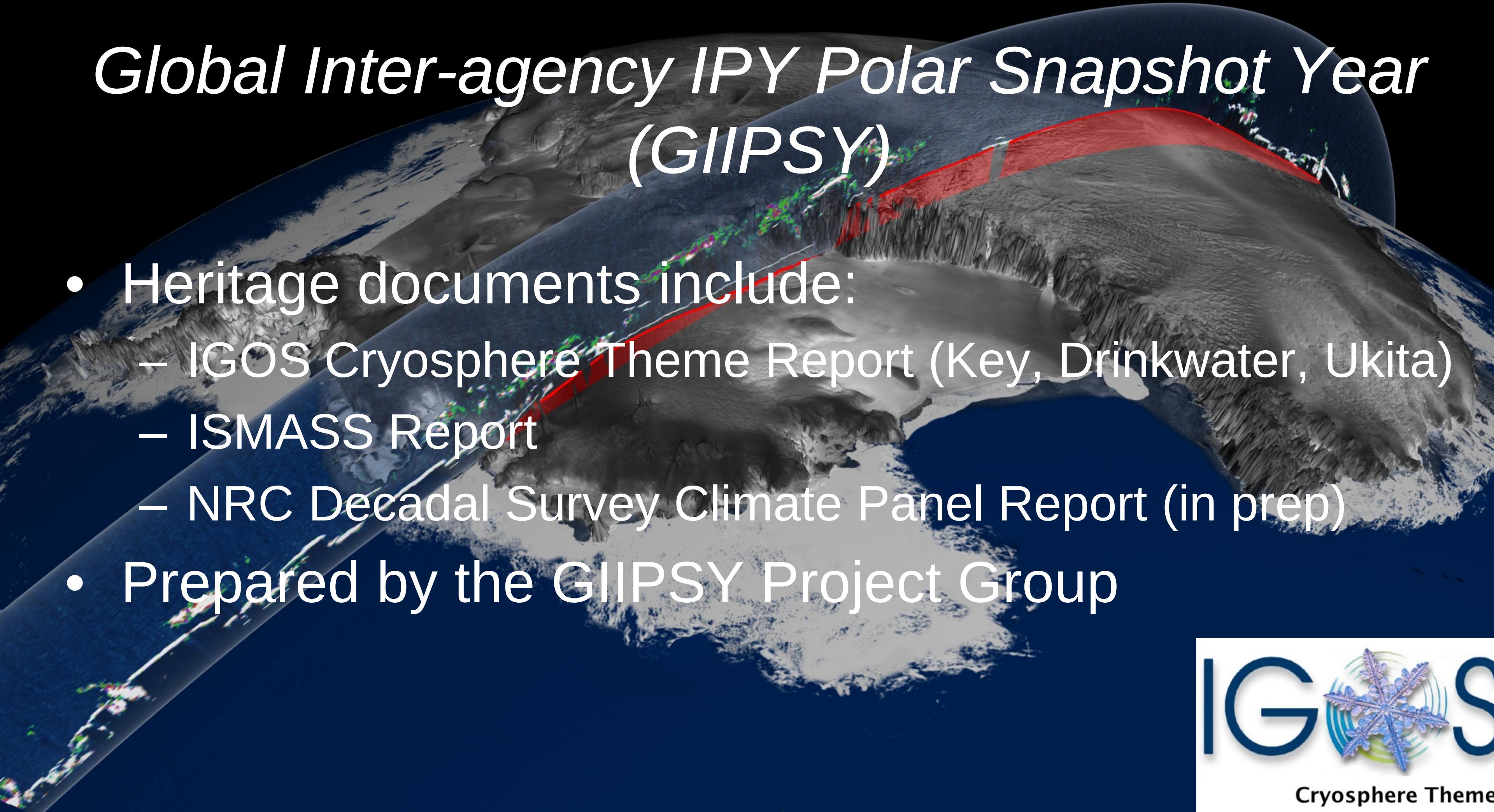
陸域観測衛星による気候変動研究への期待

浮田甚郎（新潟大学）

ブータン氷河・氷河湖研究チーム、アルゼンチン氷河研究チーム


Global Cryosphere by Type
Glacier
Ice Sheets
Ice Shelves
Sea Ice
Permafrost
Snow Cover

Spaceborne Observations of the Polar Regions



Global Inter-agency IPY Polar Snapshot Year (GIIPSY)

- Heritage documents include:
  - IGOS Cryosphere Theme Report (Key, Drinkwater, Ukita)
  - ISMASS Report
  - NRC Decadal Survey Climate Panel Report (in prep)
- Prepared by the GIIPSY Project Group

IGOS Cryosphere Theme

GIIPSY – IGOS Cryosphere Strategy

- For each element list requirements
- Shortcomings
- Recommendations
- Common factors in recommendations
- List them in timeline and observational types
- Short-term (IPY period) and space-borne observations => GIIPSY
- All included in IGOS-Cryosphere

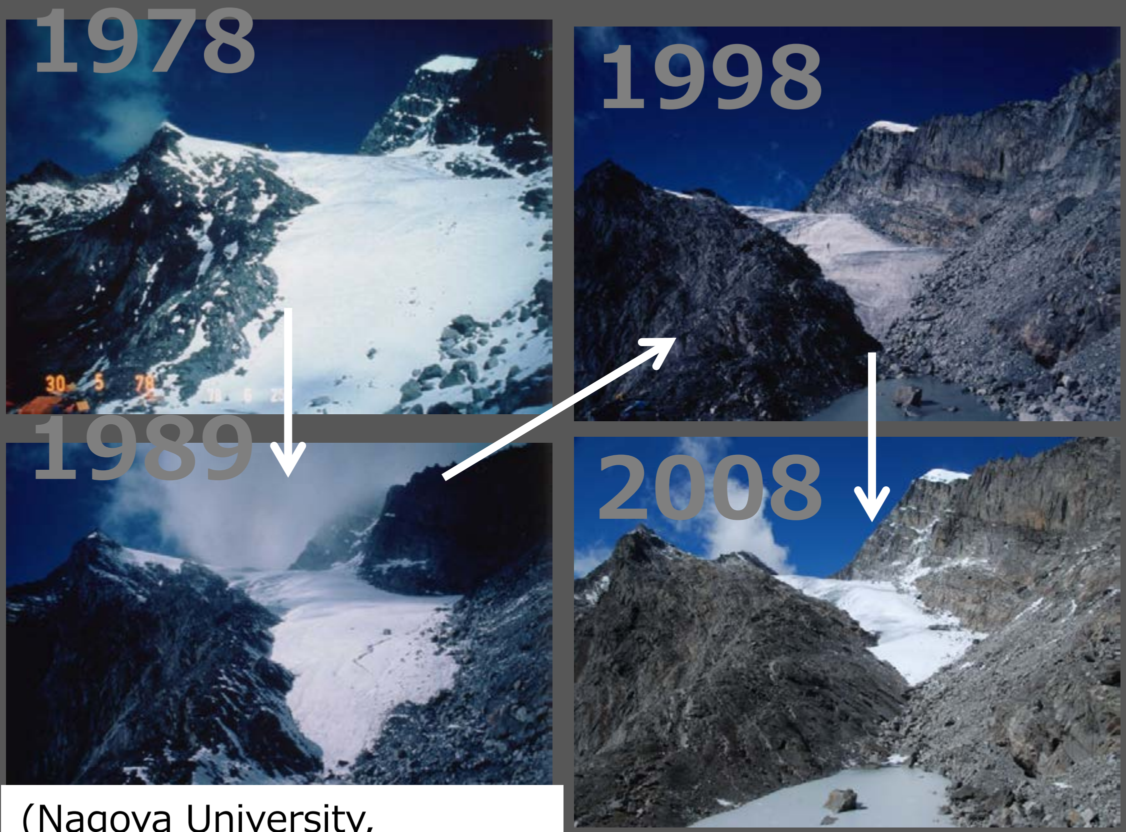
Observation Requirements: Sea Ice

Geophysical Variable	Intermediate Product	Obs Interval	Spatial Scale	Instrument Type	Wavelength	Spatial requirement	Potential System
Ice Extent Concentration Ice Type/Age Melt Onset	Microwave Radiance Radar backscatter	Dailly	Arctic ocean and marginal seas; Southern Ocean	Microwave Radiometer	L-Ka band		AMSR-E SSMI QuikScat ASCAT, SMOS Oceansat-2 (Scatt)
Surface Temperature	IR Radiance	Daily	“”	IR Imager`	IR		MODIS AVHRR A-ATSR
Ice Motion Surface Albedo	High and Moderate Resolution Images	Daily	“”	SAR and Optical Images	L, C, X band Optical		MODIS, AVHRR RADARSAT-2 Envisat ASAR TerraSAR-X RISAT, ALOS
Leads and ridge distribution; Melt pond coverage	High Resolution Imagery	Daily	“”	SAR amd Optical	L, C, X band		SPOT, ASTER LandSAT ALOS, RISAT Envisat TerraSAR-X Radarsat-2
Snow Cover Thickness	Microwave Radiance	Daily	“”	Microwave Radiometer	C-Ka Band	25 km`	AMSR-E SSM/I
Sea ice biology	Visible imagery	Dailry	“”	Ocean color imager	Optical		Oceansat-2 OCM MODIS
Ice thickness from freeboard	Signal travel Time	Daily	“”	Laser and Radar Altimeters			ICESat Cryosat

Sensor types	Laser altimeter	Radar altimeter	High-res Radar (SAR)	Low-res radar (Scat)	High-res vis/IR	Mid-res vis/IR	Passive Microwave	Gravity
Satellites and Sensors	IceSat	ERS-2, Envisat, CryoSat-2, GMES-Sentinel-3	ERS-2 SAR, Envisat ASAR, Radarsat1-2, ALOS-PALSAR, TERRASAR-X, COSMO-SKYMED, RISAT, GMES-Sentinel-1	ERS2-Wind Scat, QuikScat, METOP-ASCAT, OCEANSAT-2, HY-2A Scat	SPOT 1-5, Landsat, ASTER, GMES Sentinel-2 ALOS	AVHRR, Landsat-TM/ETM+, DMSP-OLS, MODIS, VIIRS, HY-1,	SSMI, AMSR-E, Windsat, SMOS, HY-2A	GRACE, GOCE
Ice Sheets	Elevation/ Thickness	Elevation/ Thickness	Motion, Extent	Extent, Snow/Ice Facies		Extent	Melt/Freeze onset	Mass change
Glaciers and Ice Caps	Elevation/ Thickness	Elevation/ Thickness	Motion		Extent	Extent		Mass change
Sea Ice	Freeboard/ Thickness	Freeboard/ Thickness	Motion, Extent, Floe Size Distribution	Extent, Melt/Freeze Onset, Motion	Floe Size Distribution, Melt Ponds	Extent	Extent, Concentration, Snow thickness	Geoid
Snow	Accumulation	Accumulation	Accumulation	Accumulatinn		Extent	Extent, Thickness	Mass Loading
Solid Precip and SWE								Mass Loading

GIIPSY

ネパール･ヒマラヤのAX01氷河変化


1978
1998
30 5 78
1989
2008

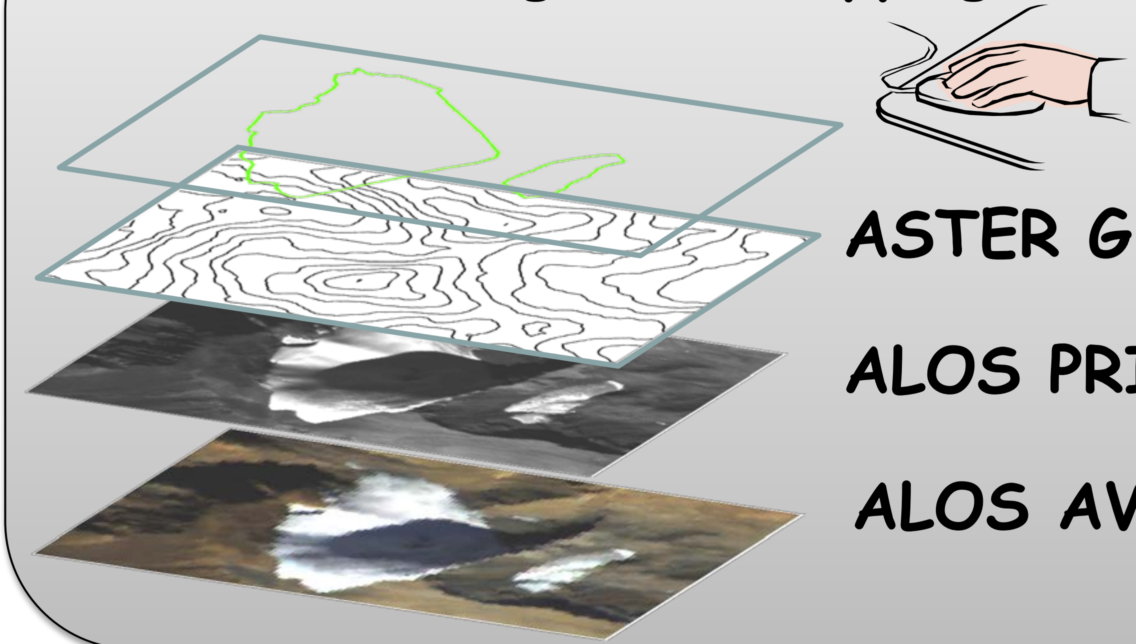
(Nagoya University, Cryosphere Group)

- 2100年にはヒマラヤ～パミールの氷河面積は42～82%まで減少、モデルによる予測（Böhner and Lehmkuhl、2005）
- 第3の極域である中央アジアの氷河の変動･変化の詳細な把握が必要（IPCC/AR4）、GLIMS、ICIMOD

ブータンにおける氷河台帳の作成

Satellite data	Date of acquisition	Spatial resolution	Scenes
ALOS PRISM	Jan. 2007 - Mar. 2011	2.5 m	66
ALOS AVNIR2	Jan. 2007 - Dec. 2010	10 m	20
ASTER GDEM	1999 - 2010	30 m	6

Manual glacier mapping using satellite images



Manual Delineation

ASTER GDEM/ 20m

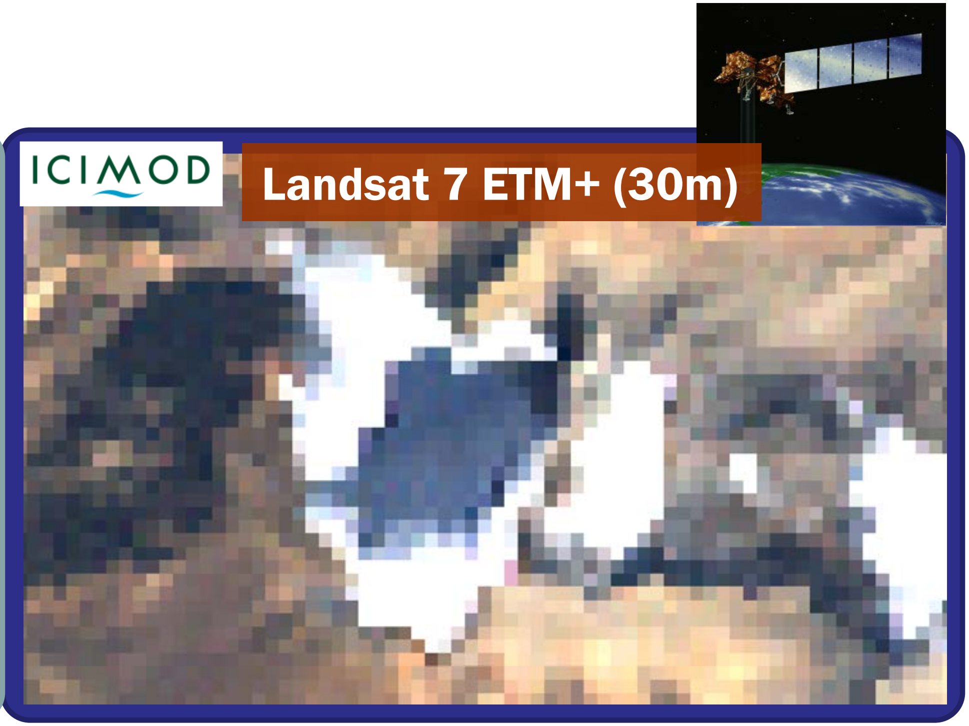
ALOS PRISM/ 2.5m-precise

ALOS AVNIR2/ Visible-NIR

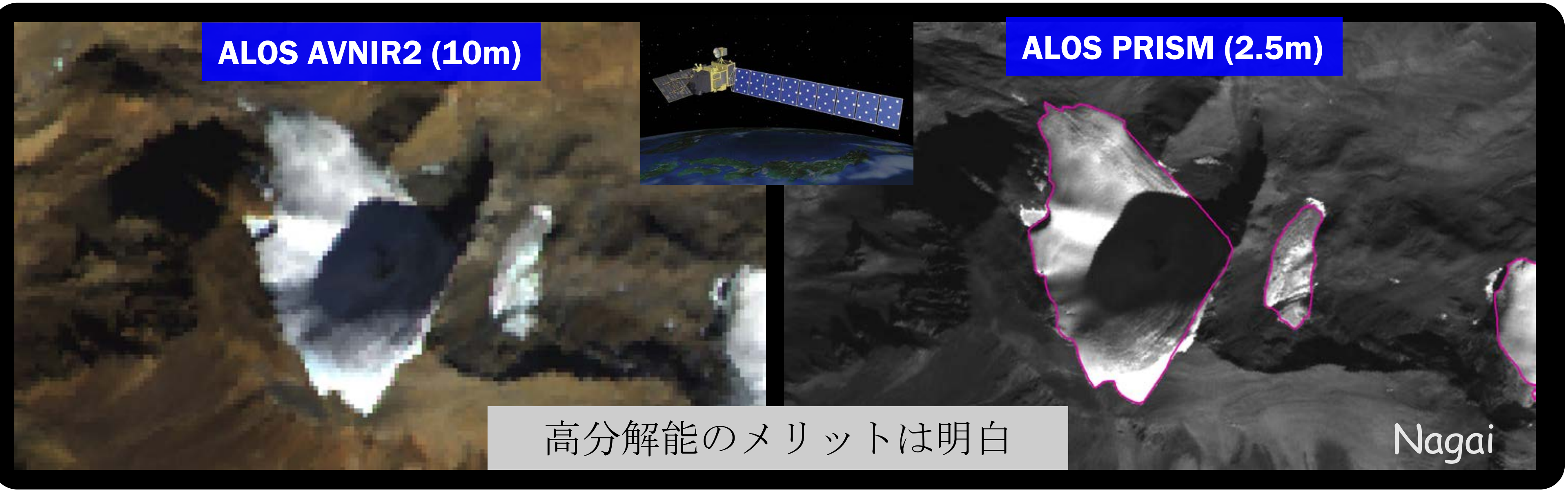
Nagai

Satellite Data

GLIMS
ASTER VNIR (15m)


ICIMOD
Landsat 7 ETM+ (30m)

↓ ↓ ↓ More precise images available in the Bhutan Himalaya ↓ ↓ ↓


ALOS AVNIR2 (10m)
ALOS PRISM (2.5m)

高分解能のメリットは明白

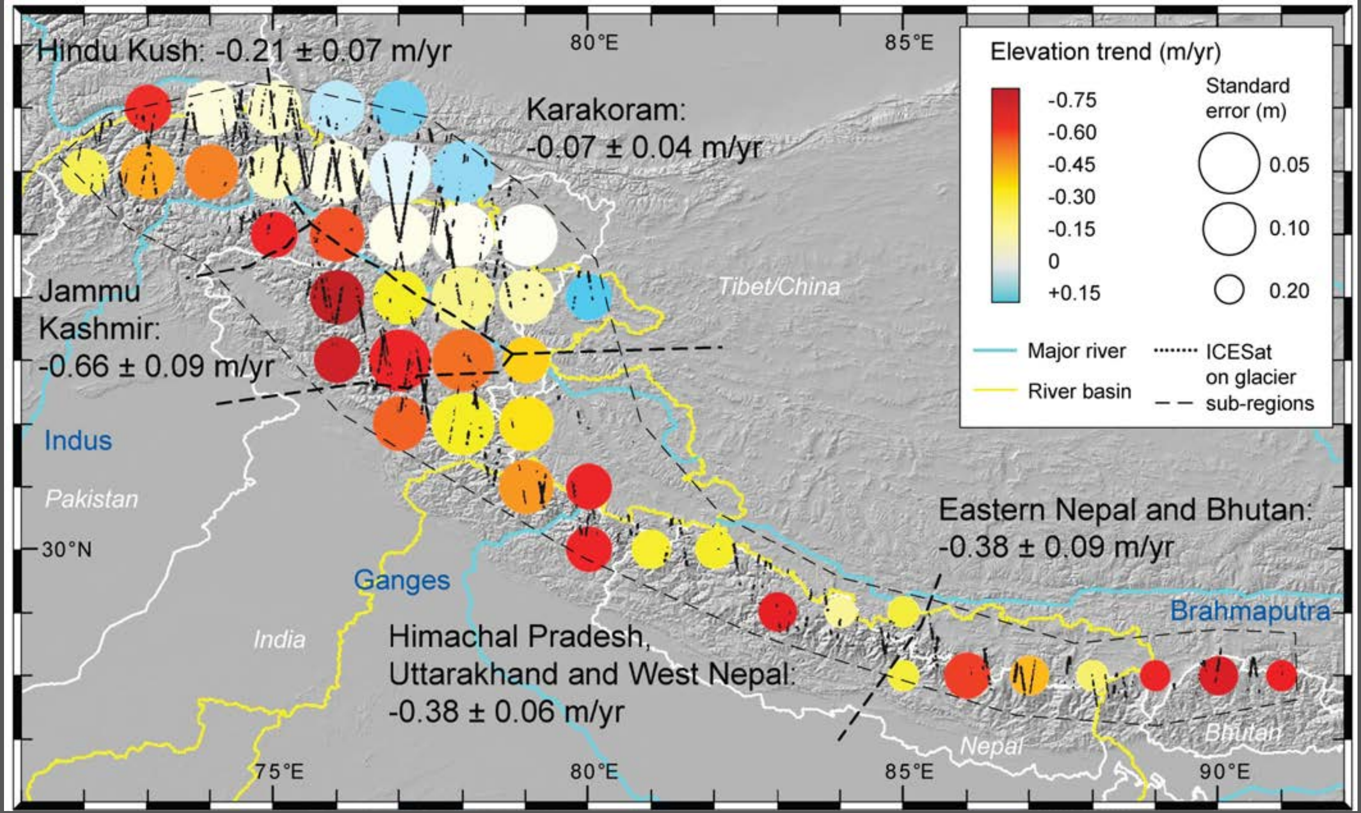
Nagai

How many debris-covered/-free glaciers?

Figure not available

Work in progress, Nagai et al. at Nagoya U

アジアの氷河の質量収支(Kääb et al., 2012, Nature)


Hindu Kush: -0.21 ± 0.07 m/yr
Karakoram: -0.07 ± 0.04 m/yr
Jammu Kashmir: -0.66 ± 0.09 m/yr
Himachal Pradesh, Uttarakhand and West Nepal: -0.38 ± 0.06 m/yr
Eastern Nepal and Bhutan: -0.38 ± 0.09 m/yr
Tibet/China
Indus
Pakistan
Ganges
India
Brahmaputra
Nepal
Bhutan
75°E
80°E
85°E
90°E
30°N
Elevation trend (m/yr)
-0.75
-0.60
-0.45
-0.30
-0.15
0
+0.15
Standard error (m)
0.05
0.10
0.20
Major river
River basin
ICESat on glacier
sub-regions

- 2003年から2008年までの6年間について、ICESatのデータをもとに緯度経度2度ごとに平均した高度変化
- より長期間の過去からの変化(履歴)を見る為にはまず面積から
- マニュアルで線引きすることを考えると、なるべく高分解能、出来れば同期観測によるDEMが必要

ブータンにおける氷河湖分布と拡大速度

Figure not available

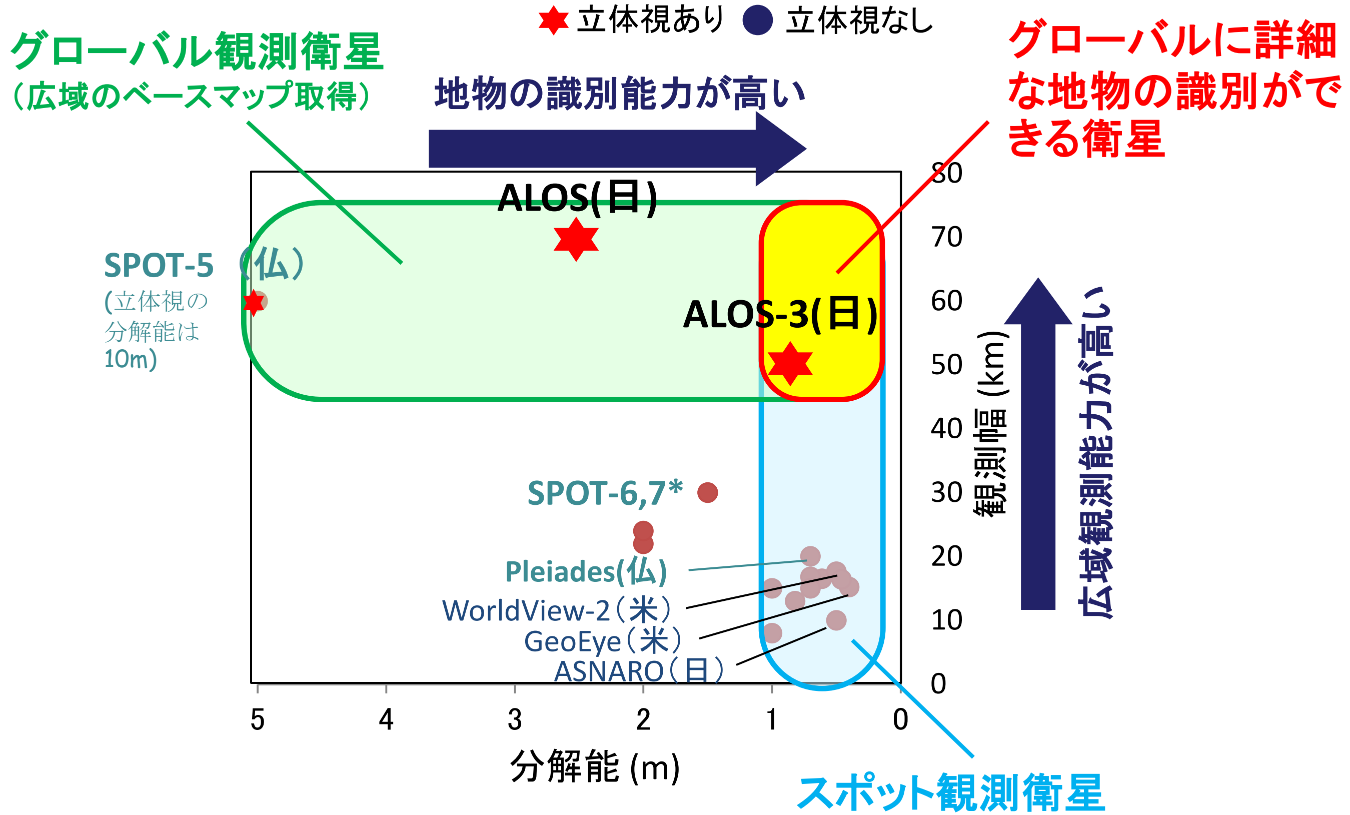
- 東ヒマラヤでは氷河湖が顕著に存在し、決壊による洪水被害
- 氷河システムのハイドロジーにおいて重要
- 現状評価、危険評価、変動・変化について情報が不足

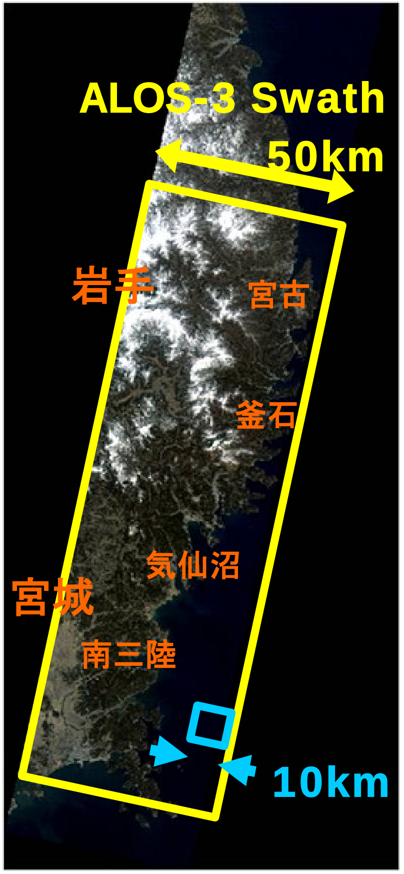
多時期の衛星による面積の比較

Figure not available

ALOS-3の広域・高分解能立体視センサ

ALOSシリーズの広域・高分解能立体視センサ技術は、他の高分解能衛星に対し、サブメートルの分解能で一度に約3倍の範囲を観測可能であり、同時に高精度かつ広域の立体視が可能な唯一のセンサ。




ALOS-3 Swath
50km
岩手
宮古
釜石
気仙沼
宮城
南三陸
10km

* SPOT-6,7は観測幅60kmの実現にセンサ２台を費やし、立体視の機能を失った。

可視域センサーを用いた陸域観測

- 気候変動、温暖化を考えると雪氷圏のモニタリングは必須、とくに可視域センサーで観測する対象は氷河（氷河、氷河湖）が中心
- 世界的に見ると、アジア、アンデスはデータの不備が目立つ（戦略的ターゲット）
- 過去50年の変動履歴を推定するためには、高分解能、広域、標高データ、が必要（特に古い地図との比較を念頭に入れると）
- 現在、ALOSを用いてブータン、アルゼンチン・アンデスを解析
- モニタリングの視点からは、高分解能、広域、標高データの継続的取得が必須（5～10年間隔）

課題、研究体制の構築

- 台帳の作成、維持には大量のデータが必要
- JAXA/EORCとしてのプロジェクト、JICAとの共同研究
- 付加価値、例えば水資源（他のセンサーとの組み合わせ）
- 気候変動メカニズム研究との融合
- 例えば、南米だと気候変動にともなう広域の降水・降雪パターンのシフトを考慮した広域気象モニタリング・システムの一環としての整備および研究（アルゼンチンからのインプット）

Acknowledgements

We are grateful to the people and Government of Bhutan. We also thank JICA, JST, JSPS and JAXA in Japan for their kind support. Special thanks go to the DGM of Bhutan, the IANIGLA of Argentine and an endless amount of enthusiasm and support from our colleagues.