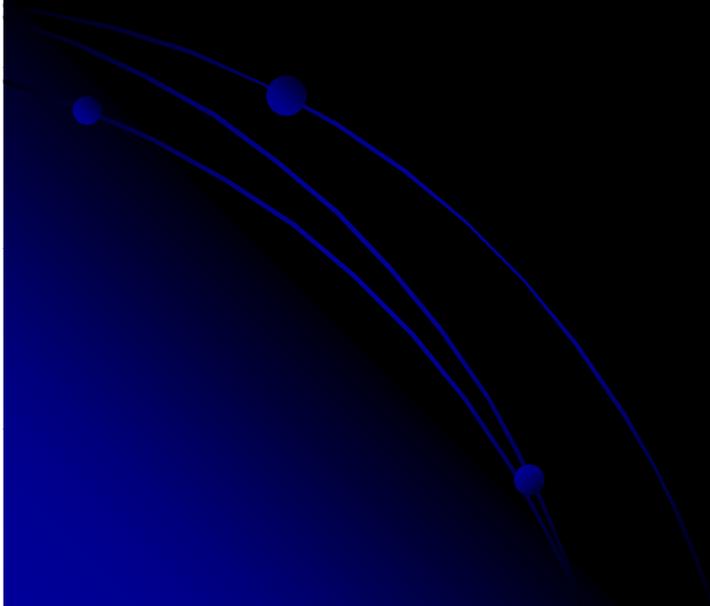


# アジアの氷河・氷河湖と温暖化

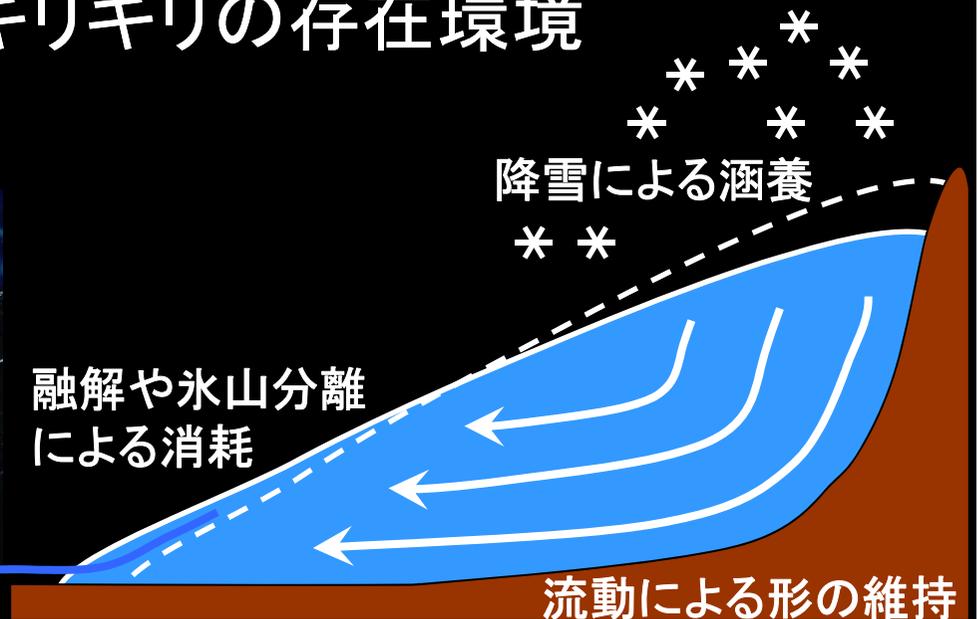
藤田耕史

名古屋大学



# 氷河とは？

- 常に「流れている」氷の固まり
  - 日本の雪渓は「常には」流れてない
- 上流で積もり、**下流で融ける**
  - 氷の出入り＝「質量収支」
- 氷河＝氷にとってはギリギリの存在環境
- **気候変動に敏感**



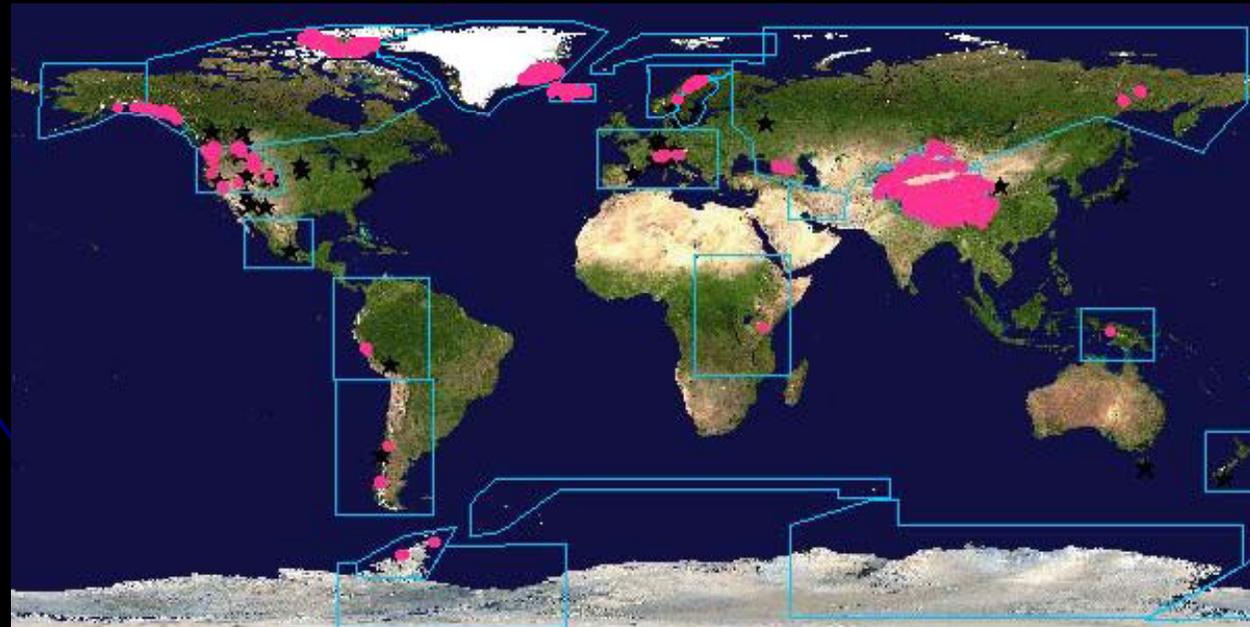
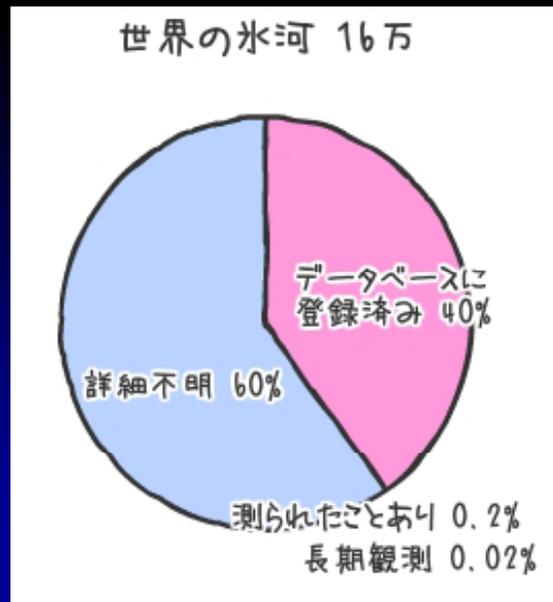
# 大いなる誤解 その1

- 氷河末端の崩落 ≠ 温暖化
  - 寒冷化していてもどこかで必ず崩落はある
  - 崩落が無い状態 = 「スノーボールアース」



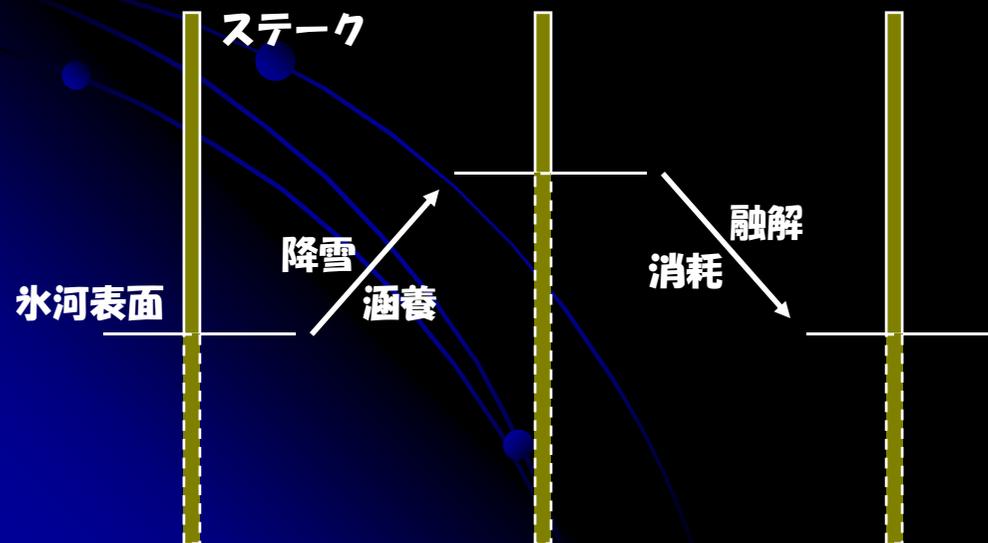
# 世界の氷河分布

- 全部で16万あると言われている
  - データベースに登録されているのは約7万
  - 測られたことがあるのは300程度
  - 40年以上測られているのは39！



# 氷河の変化をどう測る？

- ステーク法
  - ステークの高さの変化から、雪・氷の増減を求める
  - 氷河上にたくさんばらまき、氷河全体の質量変化を計算



# 氷河の変化をどう測る？

- 測量法（光波測距儀や高精度GPS）
  - 時代の異なる2枚の地図を比較して、氷河の高さ変化を求める



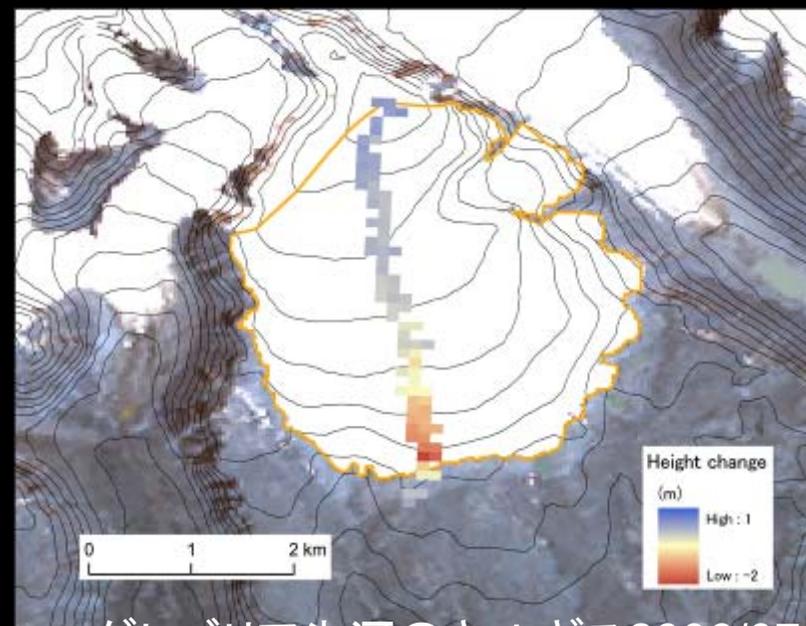
ランタン・ヤラ氷河  
2008年10月



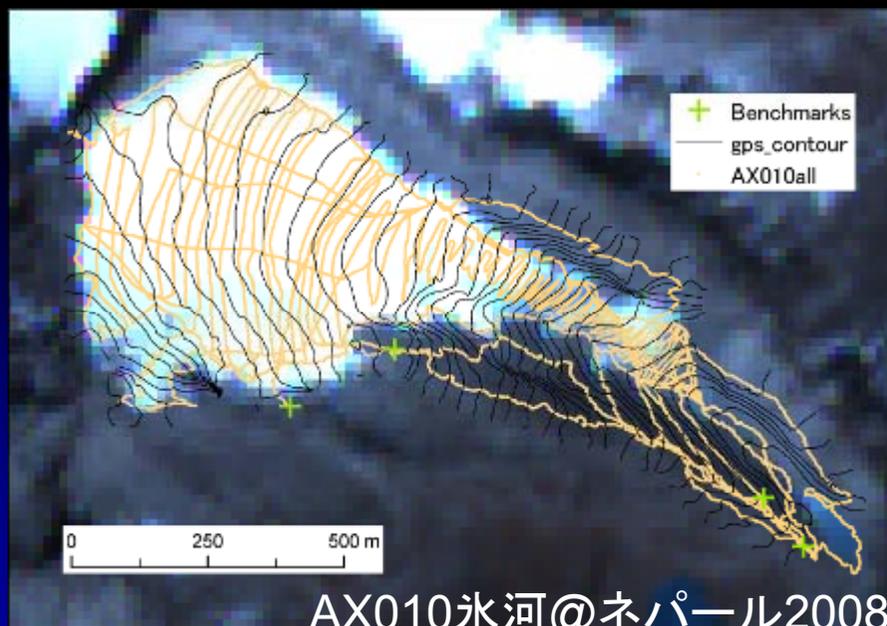
ブータン・ガンジュラ氷河  
2004年10月

# 「ど根性」氷河学

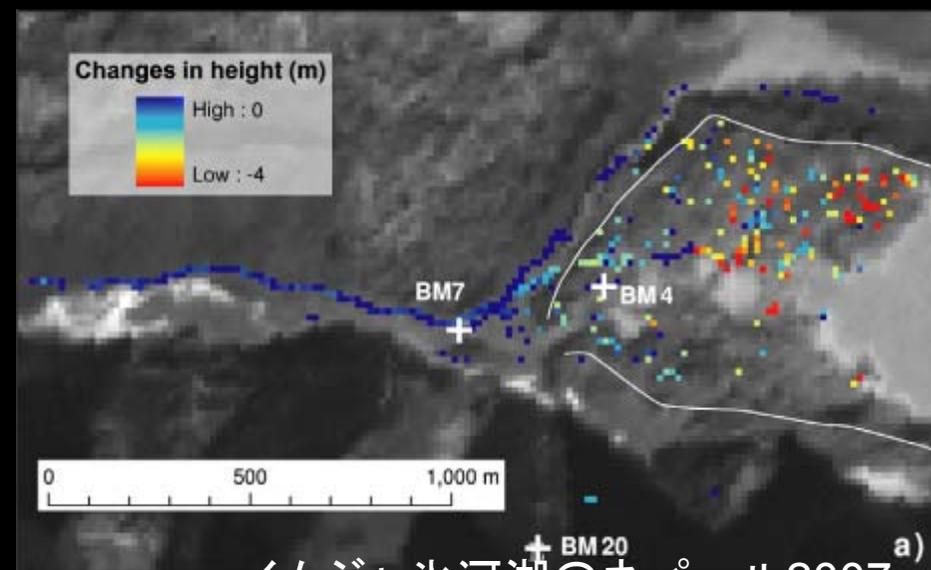
- 氷河とその周辺を「ひたすら歩く！」
  - ただし、標高4~6千m
- 過去の測量データや衛星標高データと比較



グレゴリア氷河@キルギス2006/07



AX010氷河@ネパール2008

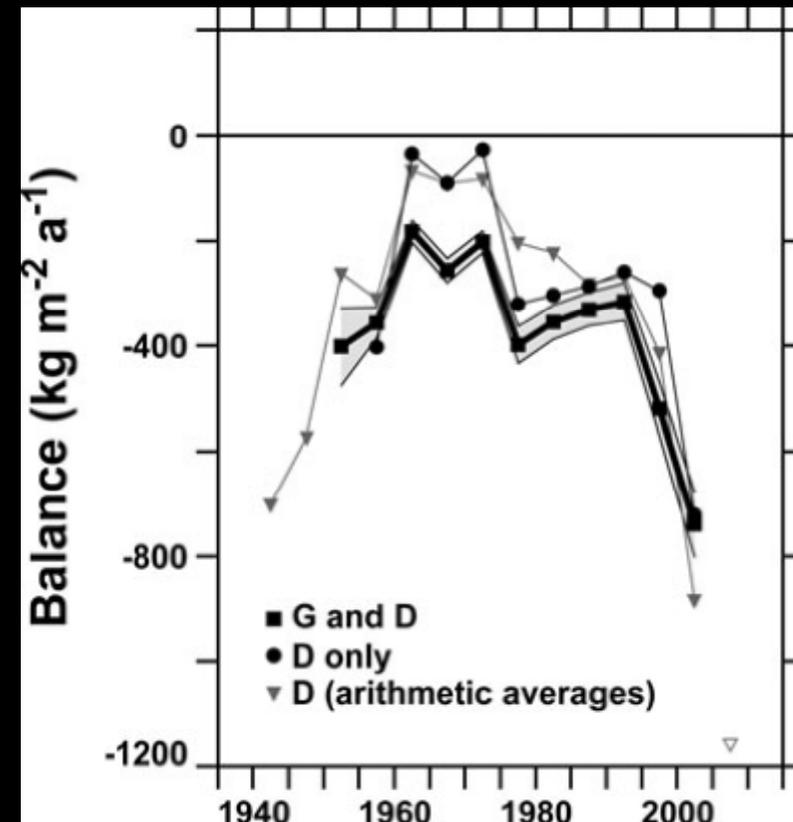
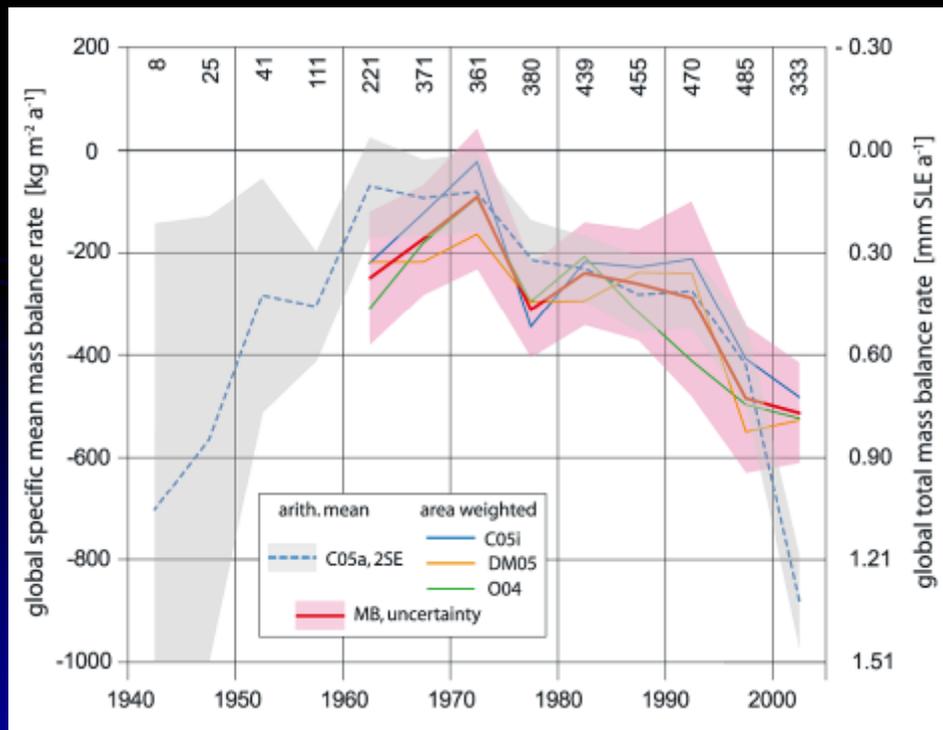


イムジャ氷河湖@ネパール2007

Fujita et al. [2009ERL]

# 世界の氷河の現状

- 0.8~1.3 mm yr<sup>-1</sup> sea level eq.
  - 25~40% of total (3.2 mm yr<sup>-1</sup>, 1993-2005)

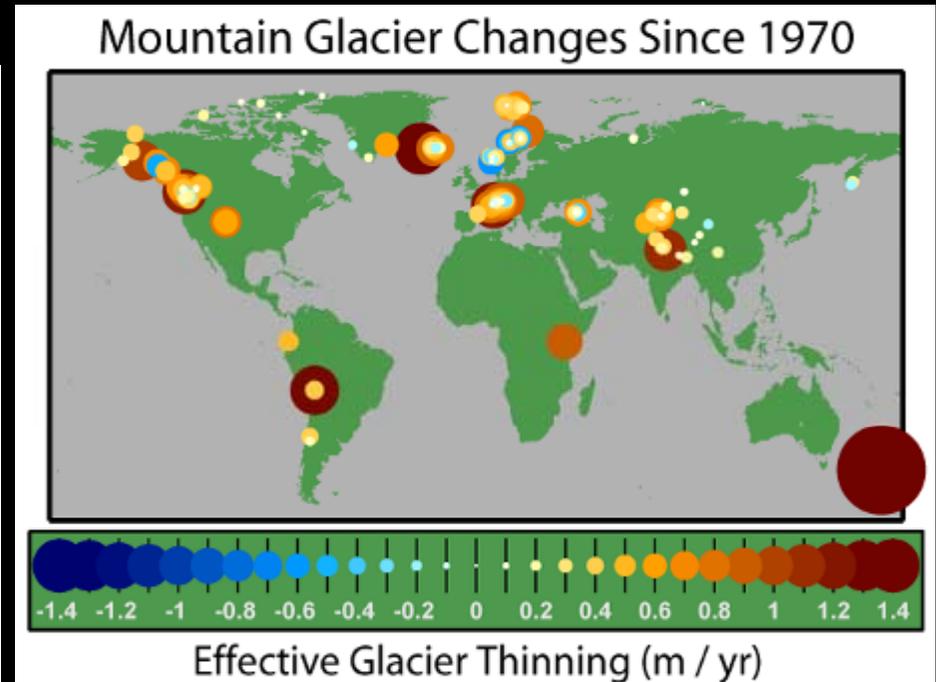
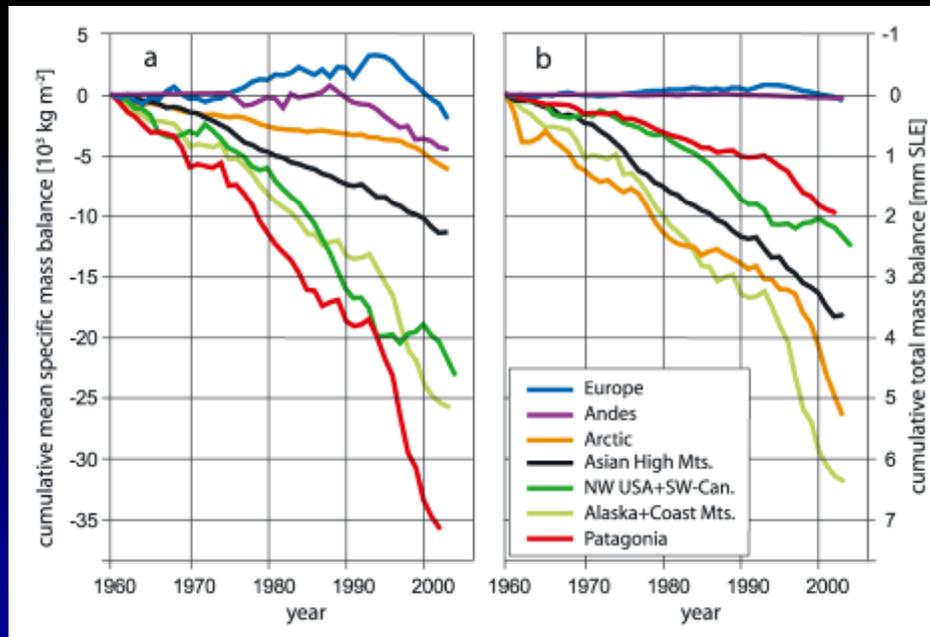


# 現在話題になっている問題

- 測られているのは「easy glaciers」
  - 大きな氷河、急峻・危険な氷河は測られていない
  - 小さな氷河は大きな氷河よりも気候変化に敏感
    - 氷河縮小を多めに見積もっている？
- 長期観測されている多くの「小さな氷河」は近い将来消失
  - 今から大きめの氷河での観測を開始すべき！
    - でも、誰が？

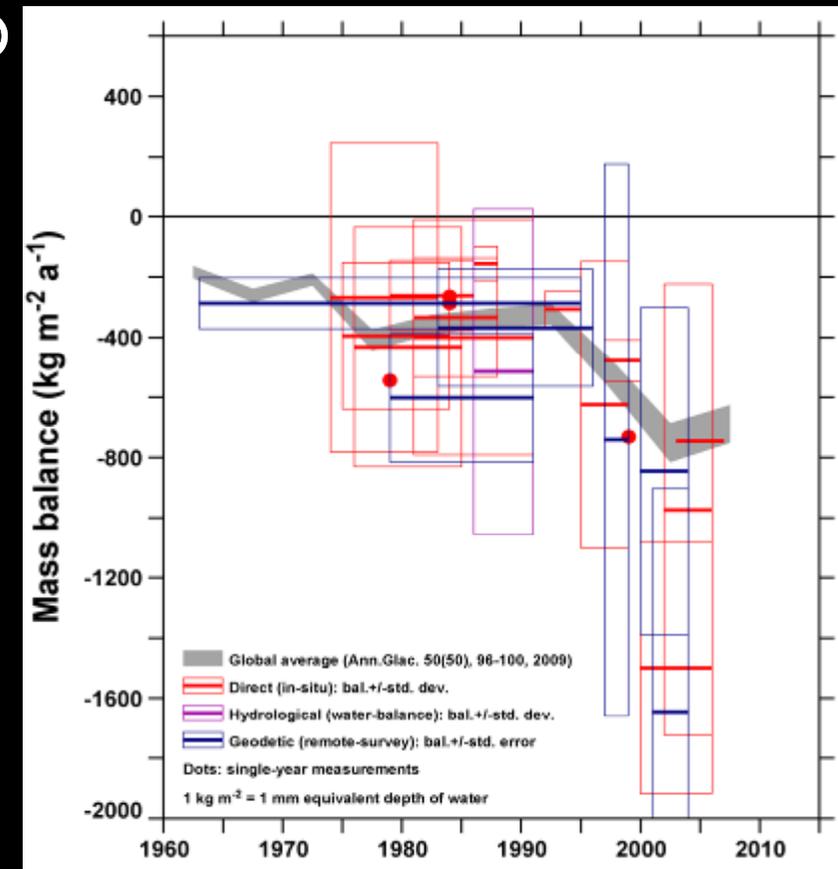
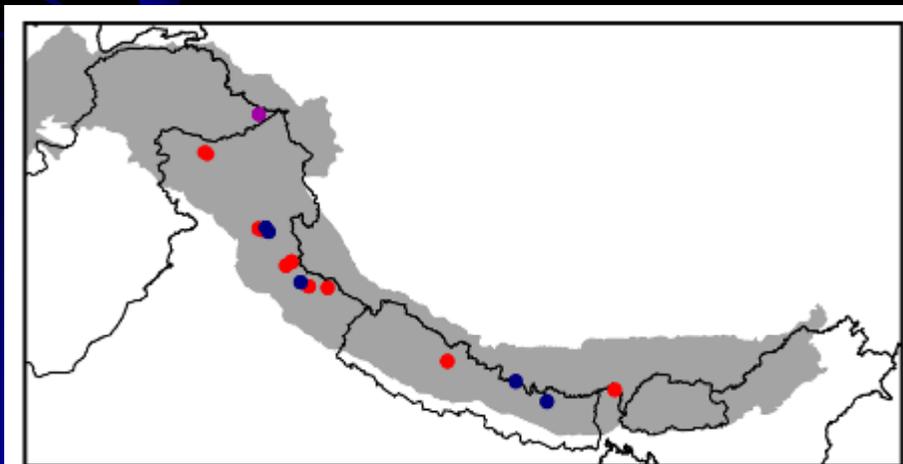
# どこでどれだけ融けているか？

- アジアの氷河の寄与は中程度
- 元データは極めてわずか



# ヒマラヤの氷河縮小

- 2000年以降、急速に縮小
  - 温暖化が進行している？
  - Asian Brown Cloud (ABC)の影響？



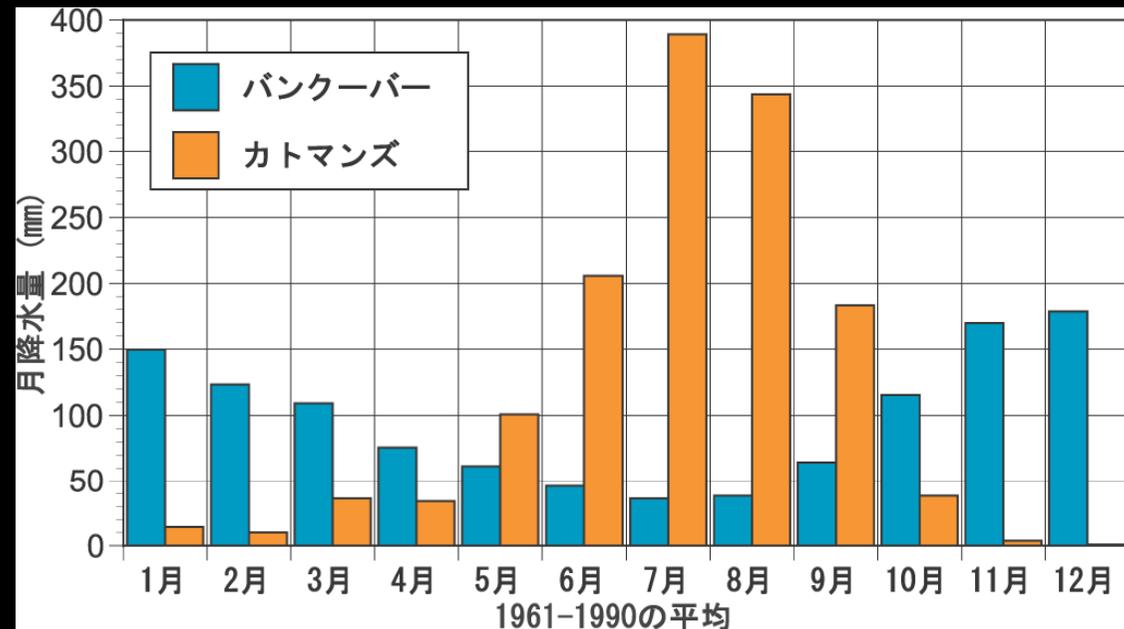
# Example

- ヤラ氷河@ランタン



# ヒマラヤと欧米の大きな違い

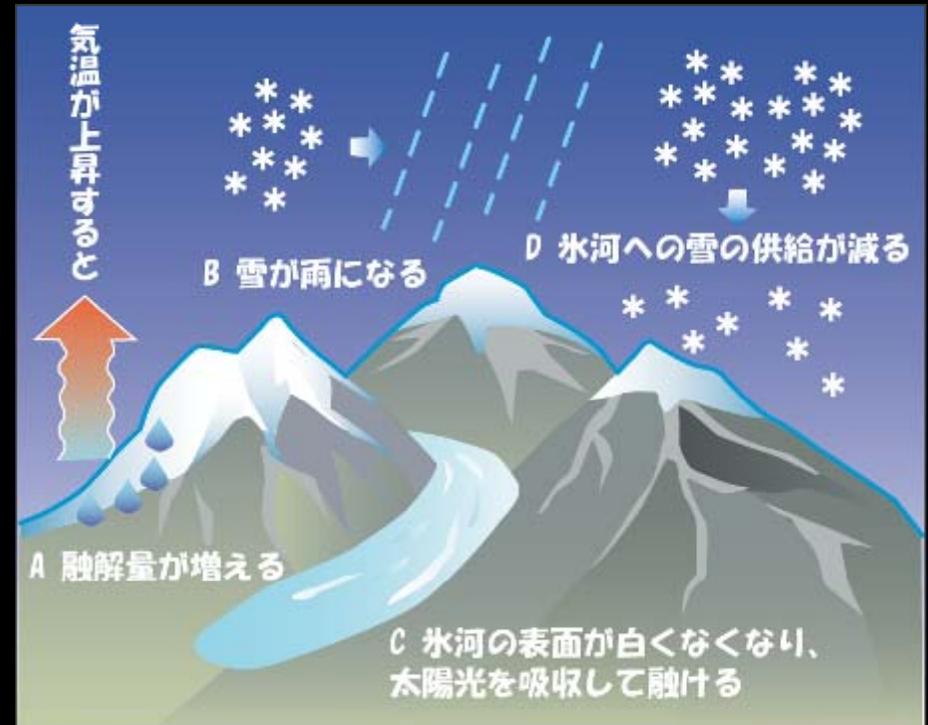
- 欧米では冬に降水が多い
  - 冬に涵養、夏に消耗
- ヒマラヤでは夏に降水が多い～モンスーン
  - 涵養と消耗、どちらも夏におきる



理科年表

# モンスーンの影響

- 欧米では、
  - 温暖化→融解量増加
- ヒマラヤでは、さらに、
  - →雪が雨になる
    - 氷河の反射率低下
    - 太陽光の吸収増える
  - →涵養量が減る
- 同じだけの温暖化に対してヒマラヤの氷河の方が敏感に応答

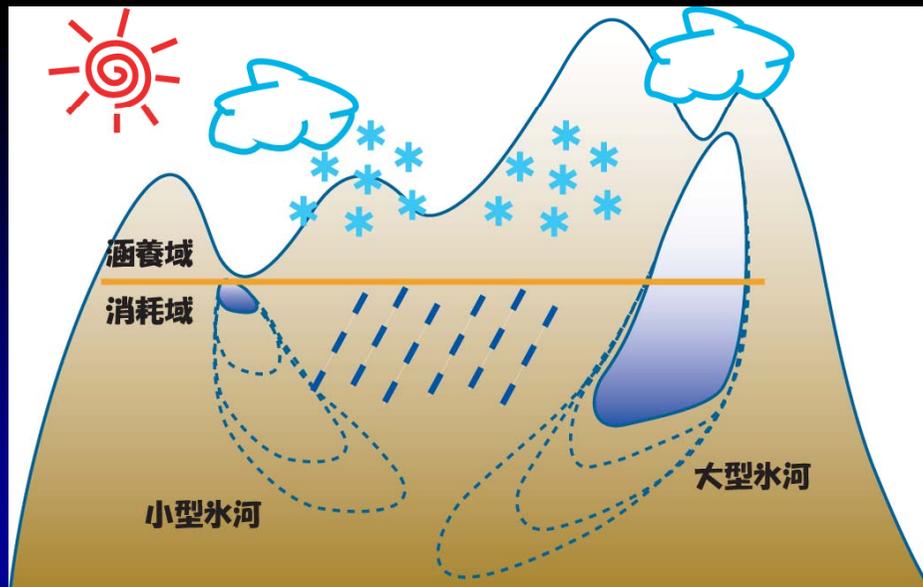


# ヒマラヤ氷河スキャンダル

- IPCC-AR4が出た当初から、問題は認識
  - WWFの無査読レポートを引用
  - 執筆陣、査読陣に、氷河屋がいなかったらしい
- 現実はどうか？
  - ヒマラヤの氷河が急速に縮小しているのは事実
  - 原因は、氷河が持つ「敏感さ」
  - 降水量の減少による後押し
    - 気温上昇だけが原因ではない

# 氷河は無くなってしまおうのか？

- ここでも、質量収支が重要
  - 涵養域の有無で氷河の運命が決まる
  - 小氷河▲、大氷河○



クンブ氷河



ギャジョ氷河

2007年11月

# ヒマラヤの大型氷河

- エベレストのあるクンブ地域では氷河面積の8割が「**デブリ氷河**」
- デブリ(岩屑)に覆われている
  - デブリは断熱材: **氷は融けにくい**



↑2007 クンブ氷河 1974↑

# デブリ氷河の特徴

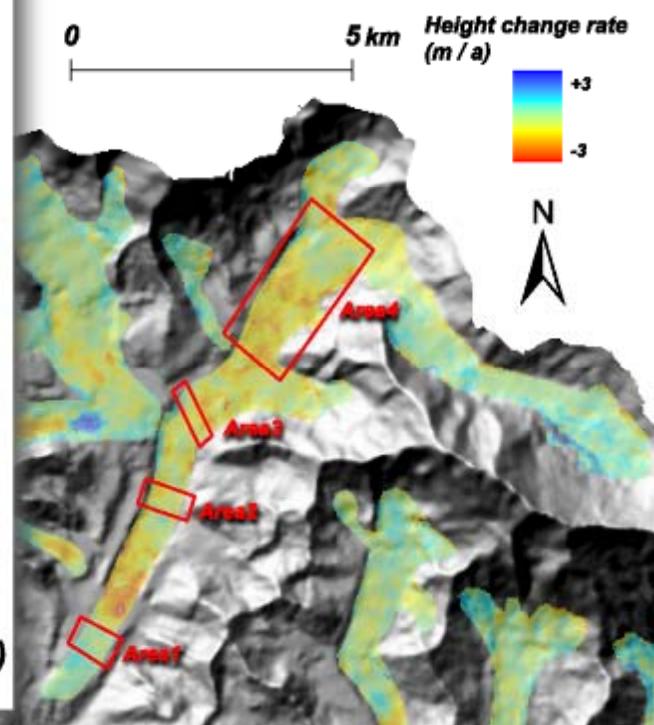
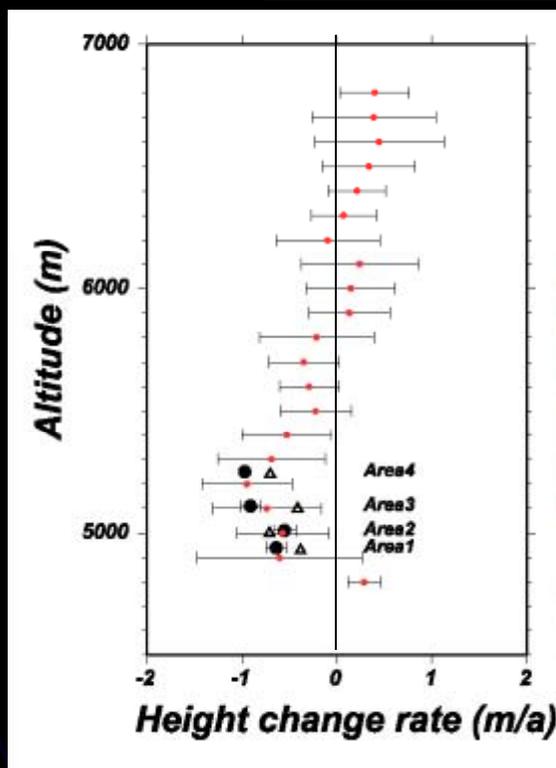
- 本来なら、とっくの昔に氷が無くなっている
- 温暖化に対して、**ゆっくり**と反応



クンブ氷河とロブチェ氷河  
2007年10月

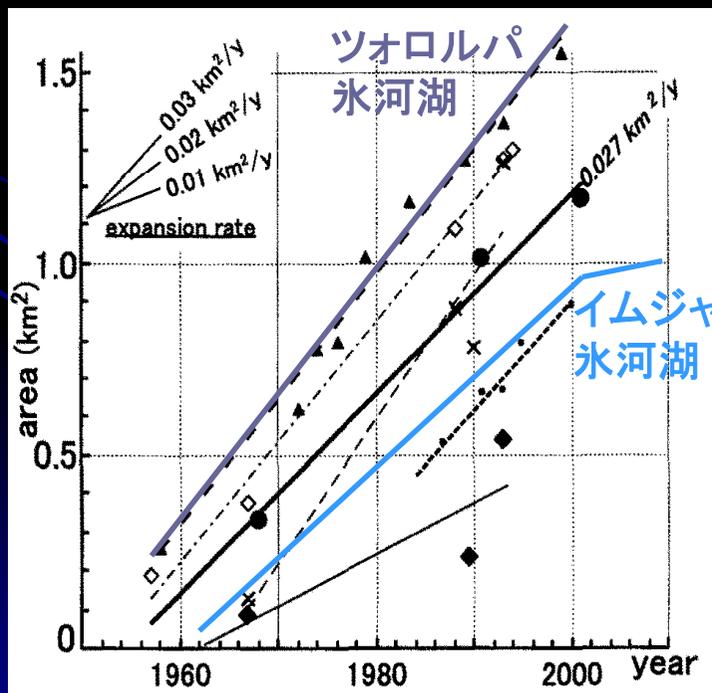
# デブリ氷河の変動

- 現地測量
  - デブリ域は大変だが可能
  - 涵養域は不可能
- 衛星データ解析
  - 精度検証で  
实用レベルに
  - 全体としては、  
それほど激しく  
縮小していない
  - 現地観測は  
不可欠



# では、氷河湖は？

- 衛星画像や地図で解析
  - 多くは1960年頃に発生
  - 拡大速度は**ほぼ一定**

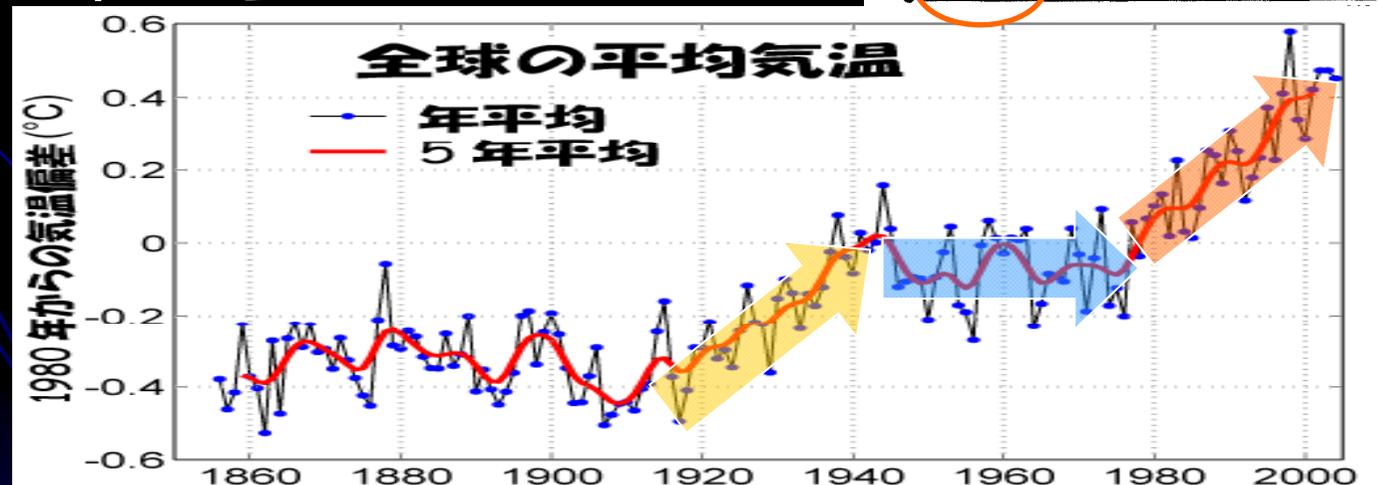
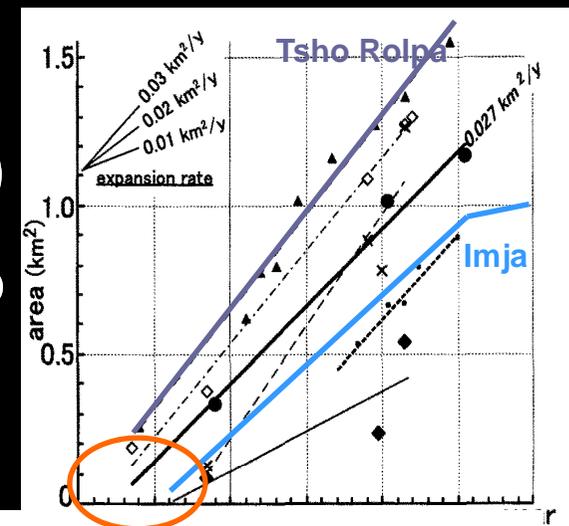


↑1976  
ツオロールパ氷河湖  
↓2007



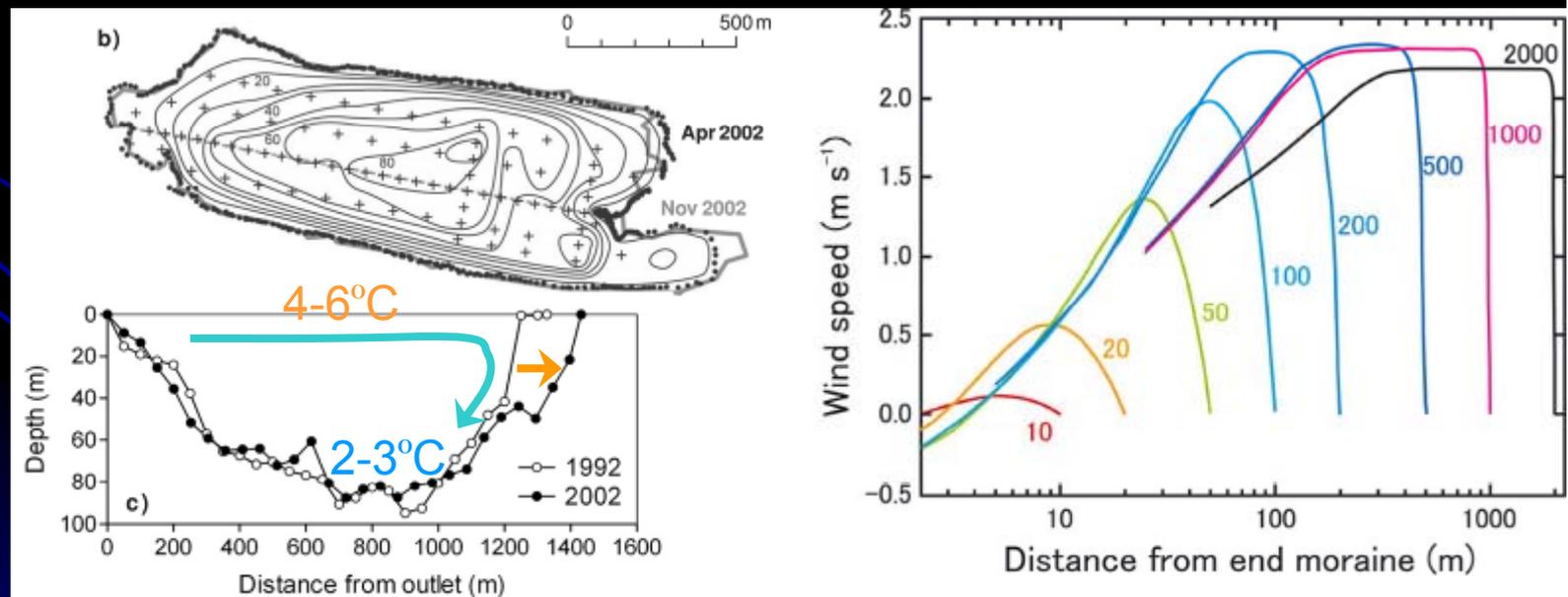
# 大いなる誤解 その2

- 温暖化と氷河湖
  - 氷河湖の形成は、20世紀初めの温暖化が原因(最近のではない！)
  - 氷河湖の拡大速度が加速している証拠はない！
  - むしろ、これから？



# 氷河湖拡大速度はなぜ一定か？

- 氷河湖のスケール効果
  - 表面を吹く風が湖面の温かい水を氷河側に吹き寄せ、氷河を融かす
  - 100m以上の大きさになると、拡大は不可避？

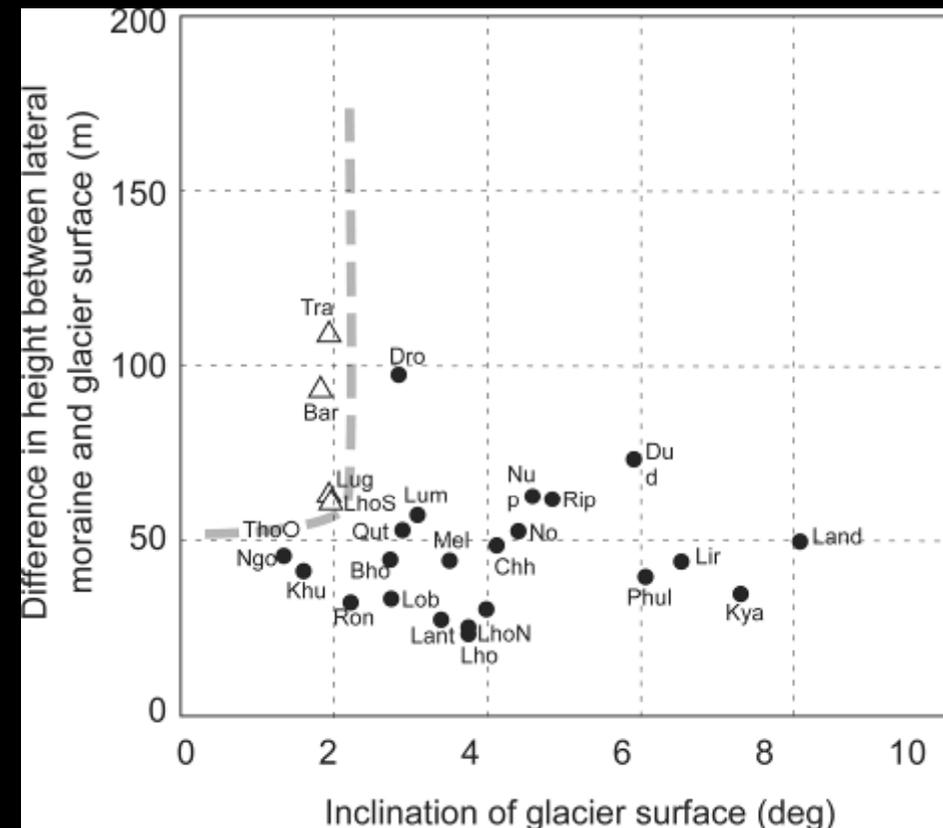


# 氷河湖発生は予測できるか

- 今後、氷河湖ができる氷河は絞り込める！かも？
- 地形が急峻で、土砂の供給が多いヒマラヤでは氷河湖の形成は不可避



写真提供:朝日新聞



# まとめーヒマラヤの氷河

- 氷河の応答もいろいろある
  - 小型氷河はモンスーンの影響で気温変化に敏感
  - 大型デブリ氷河はゆっくりと反応
  - 氷河湖はスケール効果で自律的に拡大
- 小氷河は気候変動の指標として
- デブリ氷河は氷河湖監視のために
- 氷河湖にはGLOF対策を

# まとめー現状と課題

## ● 科学的課題

- インベントリの整備
- 小型氷河モニタリングの継続(現地観測必須)
- 氷河湖モニタリング(衛星データで可、深さは現地観測)
- 大型氷河のモニタリングの開始

## ● 観測体制の現状と課題

- Saying is one thing, doing another!
- すぐに結果の出ない観測、費用対効果が薄い
- 中国◎、モンゴル○、インド○、ロシア△、中央アジア△、ネパール×、ブータン×

おしまい

ナキウサギ@フータン

