

極域の氷床と温暖化

東久美子(国立極地研究所)

2010年 1月29日

極域の氷床研究の重要性

現在の地球上に存在する氷床：南極とグリーンランドの2つ

◎氷床変動と海水準変動の関わり

◎氷床の存在自体が気候に影響

光の反射率が高い→太陽放射の吸収に影響

氷床の存在→大気循環に影響

氷床変動→海洋循環変動

◎氷床は温暖化や地球環境変動を検知する
センサー

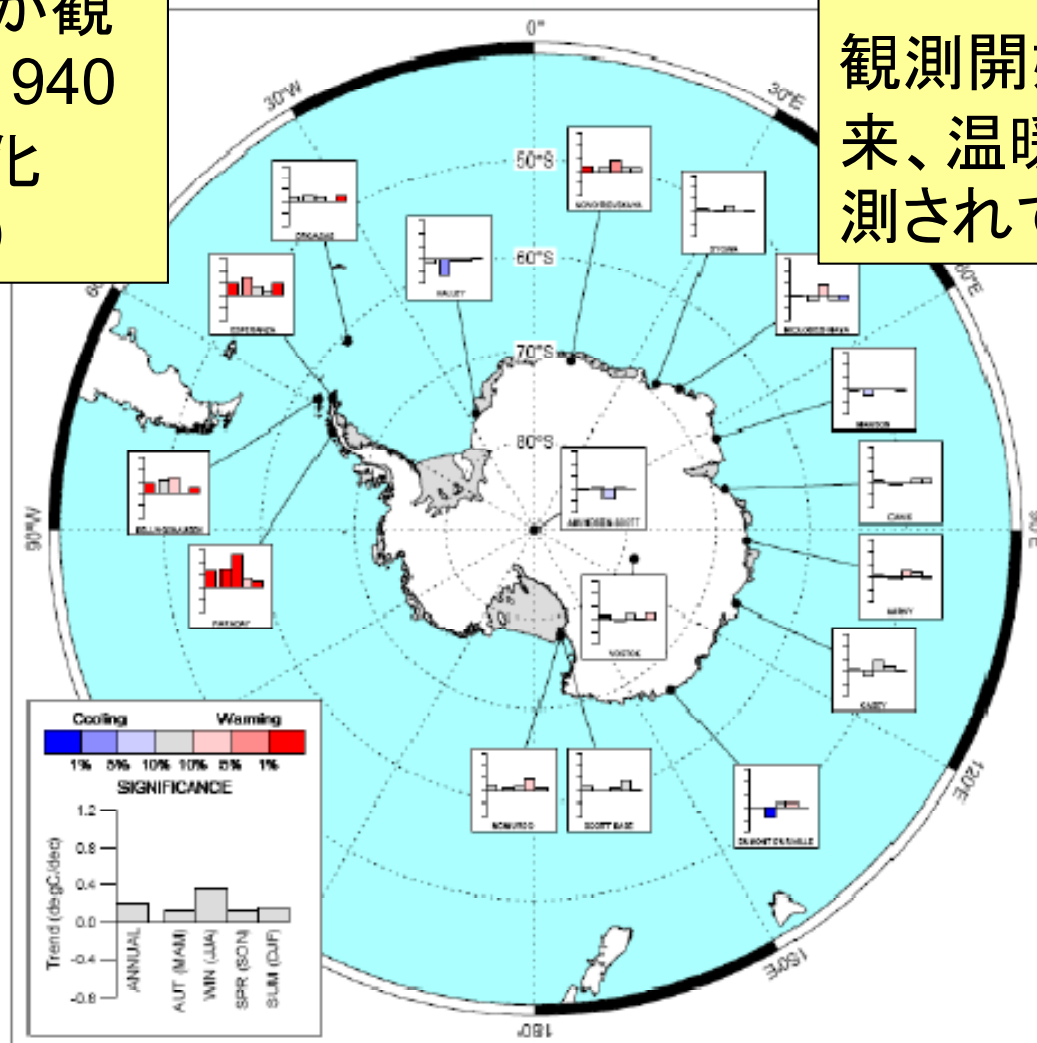
◎氷床は過去の気候・環境変動を記録する
媒体→将来予測に重要な情報を提供

南極は温暖化しているのか？

＜南極半島＞

顕著な温暖化が観測。少なくとも1940年代から温暖化($0.5^{\circ}\text{C} / 10\text{年}$)

Antarctic near-surface temperature trends 1951-2006
(Minimum of 35 years' data required for inclusion)



＜昭和基地＞

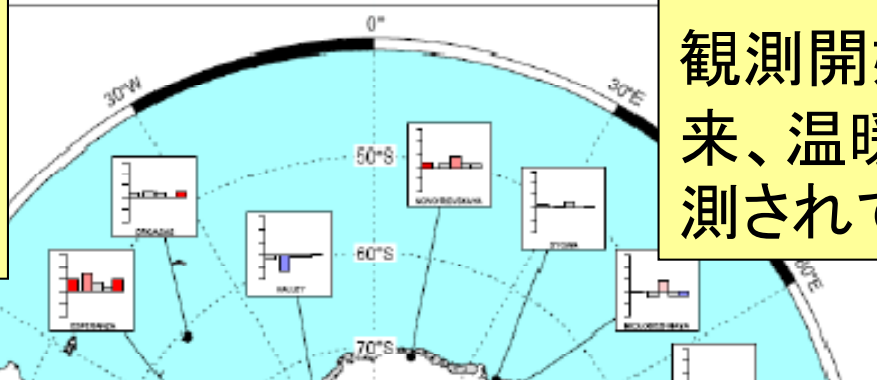
観測開始(1957年)以来、温暖化傾向は観測されていない。

南極は温暖化しているのか？

＜南極半島＞

顕著な温暖化が観測。少なくとも1940年代から温暖化（ $0.5^{\circ}\text{C} / 10\text{年}$ ）

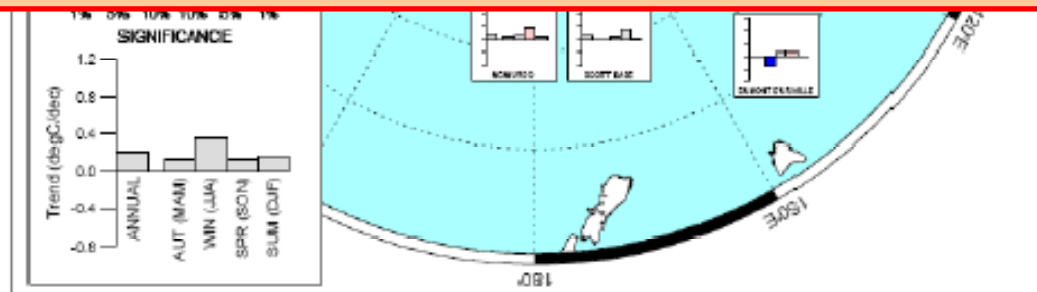
Antarctic near-surface temperature trends 1951-2006
(Minimum of 35 years' data required for inclusion)



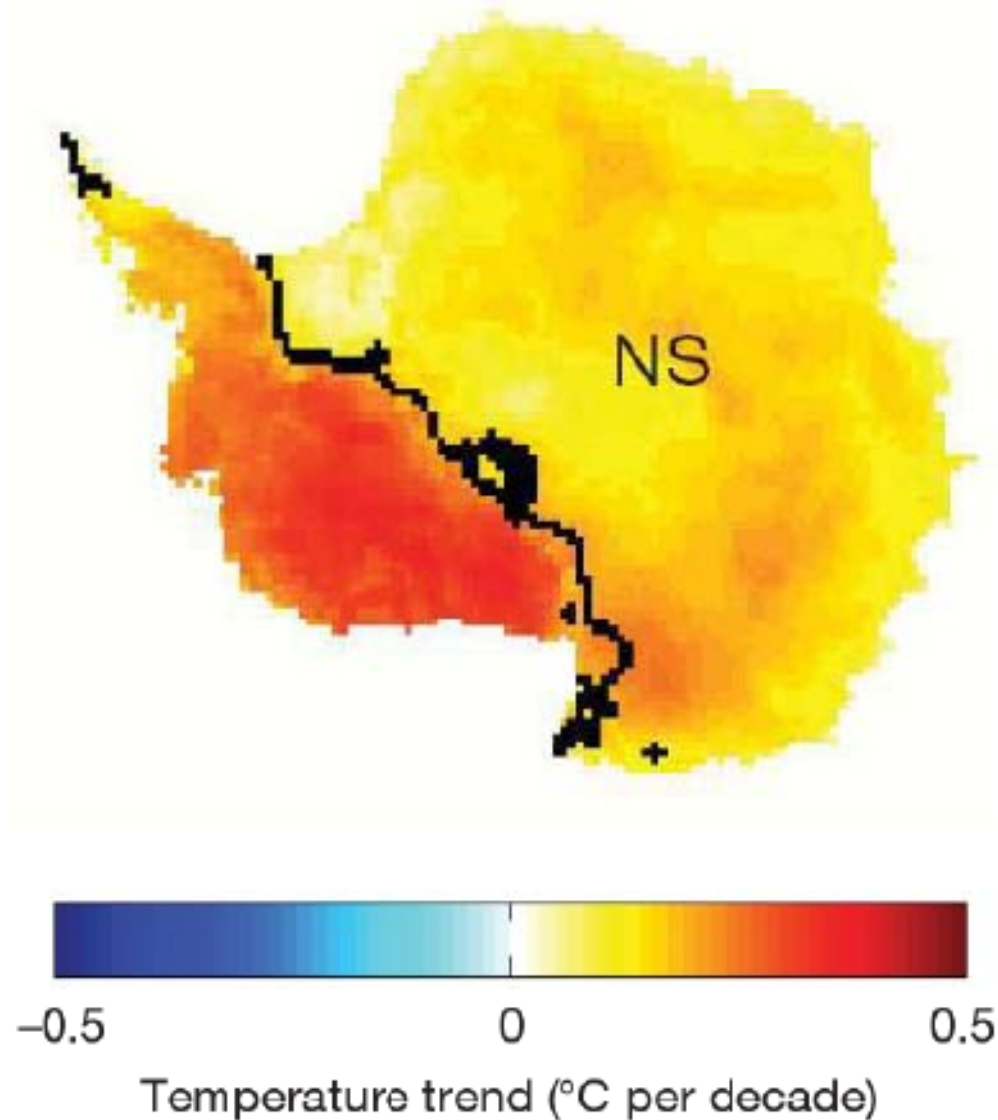
＜昭和基地＞

観測開始（1957年）以来、温暖化傾向は観測されていない。

数年前までの認識：南極半島以外では顕著な温暖化は進行していないと考えられていた。



南極は温暖化しているのか？



Steig et al., Nature,
2009

冬期の気温トレンド
(衛星の赤外線セン
サーのデータを使用)

西南極全域にわたって
急激な温暖化が進行。
東南極でも温暖化が進
行。

南極は温暖化しているのか？

＜南極半島＞ 顕著な温暖化が観測。

少なくとも1940年代から温暖化(0.5°C / 10年)

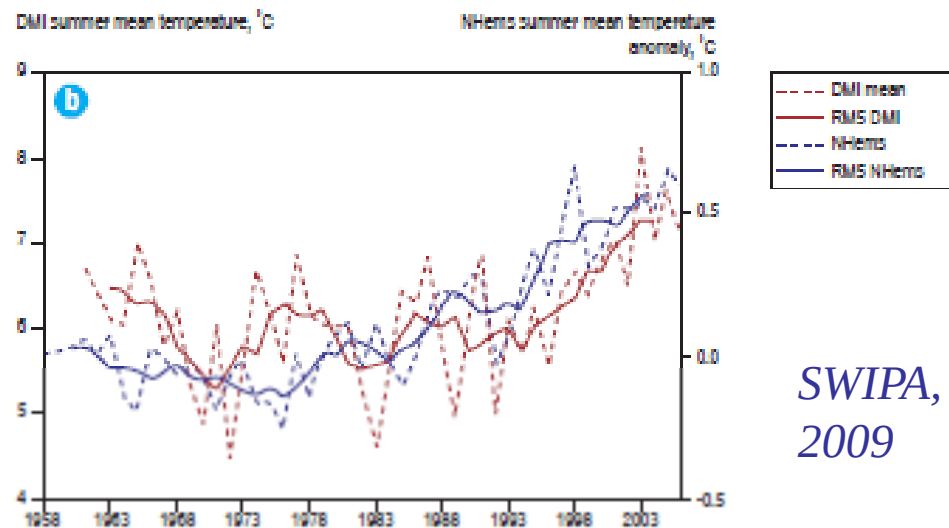
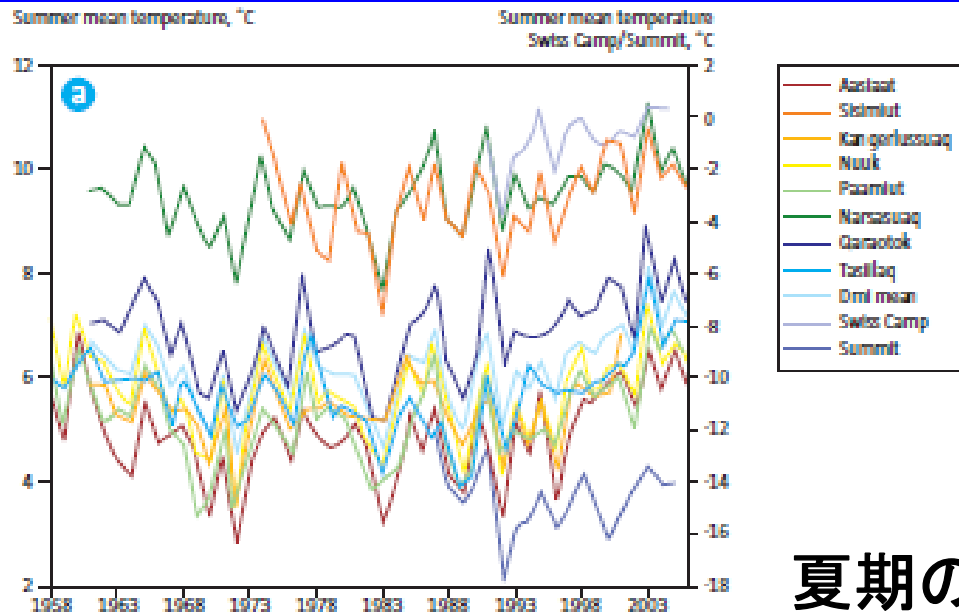
＜昭和基地＞ 観測開始(1957年)以来、温暖化傾向は観測されていない。

数年前までの認識：南極内陸部で顕著な温暖化は進行していないと考えられていた。

最近の報告：西南極内陸部で融雪が観測

Steig et al., (Nature 2009)：西南極全域にわたって急激な温暖化が進行。東南極でも温暖化が進行。

グリーンランドは温暖化しているのか？



夏期の
気温

SWIPA,
2009

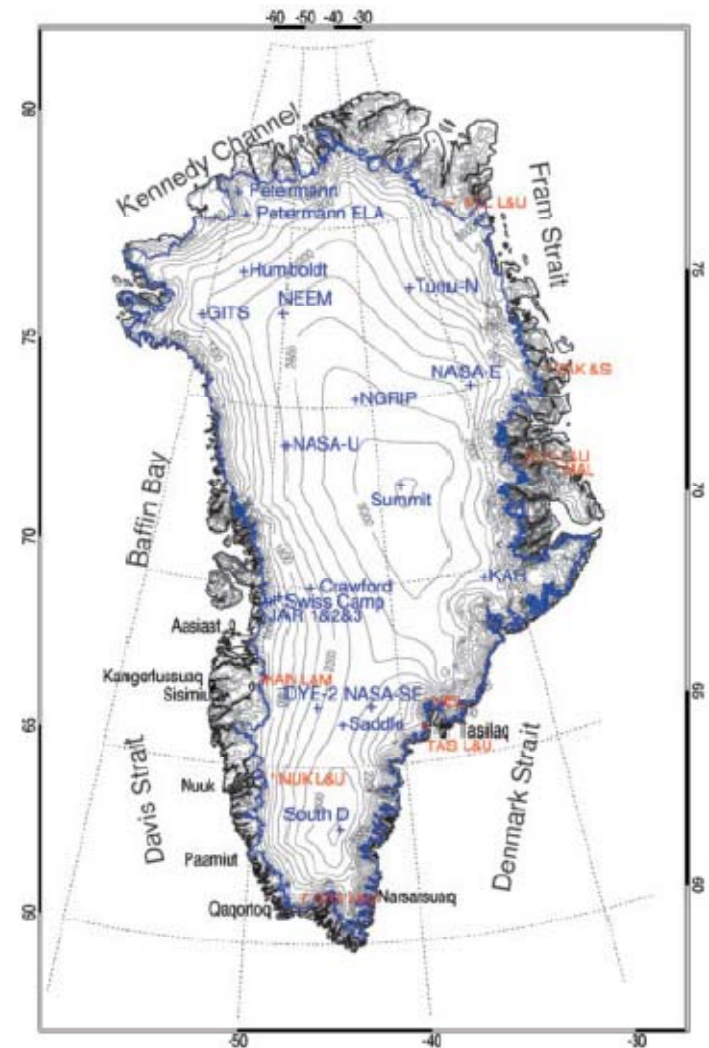
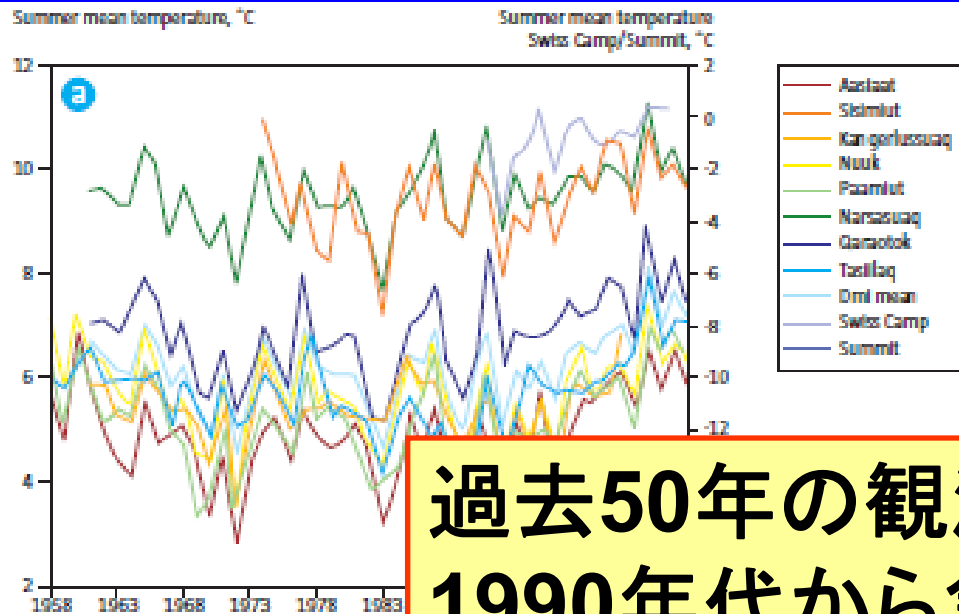
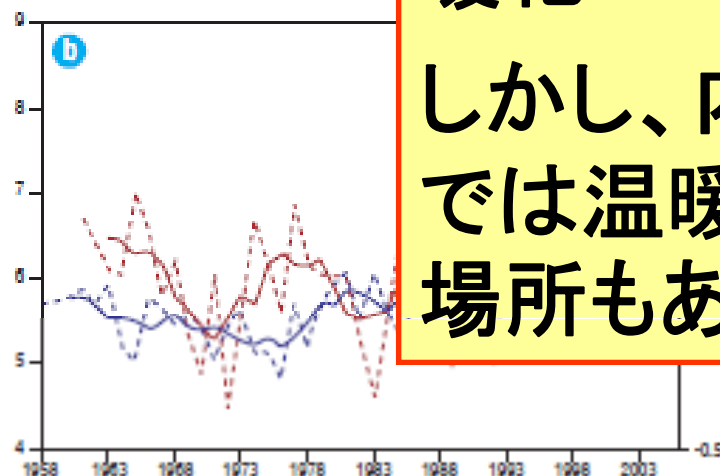


Figure 2.1 Greenland Ice Sheet elevation map and location of WMO climate stations along the coast and Greenland Climate Network (GC-Net) automatic weather stations [blue] in the Ice sheet interior and the climate stations from the Geological Survey of Denmark and Greenland [red]. Source: Konrad Steffen, CIRES, University of Colorado.

グリーンランドは温暖化しているのか？



Dmi summer mean temperature, °C



過去50年の観測データ：
1990年代から急速な温
暖化

しかし、内陸の氷床コア
では温暖化が見られない
場所もある。

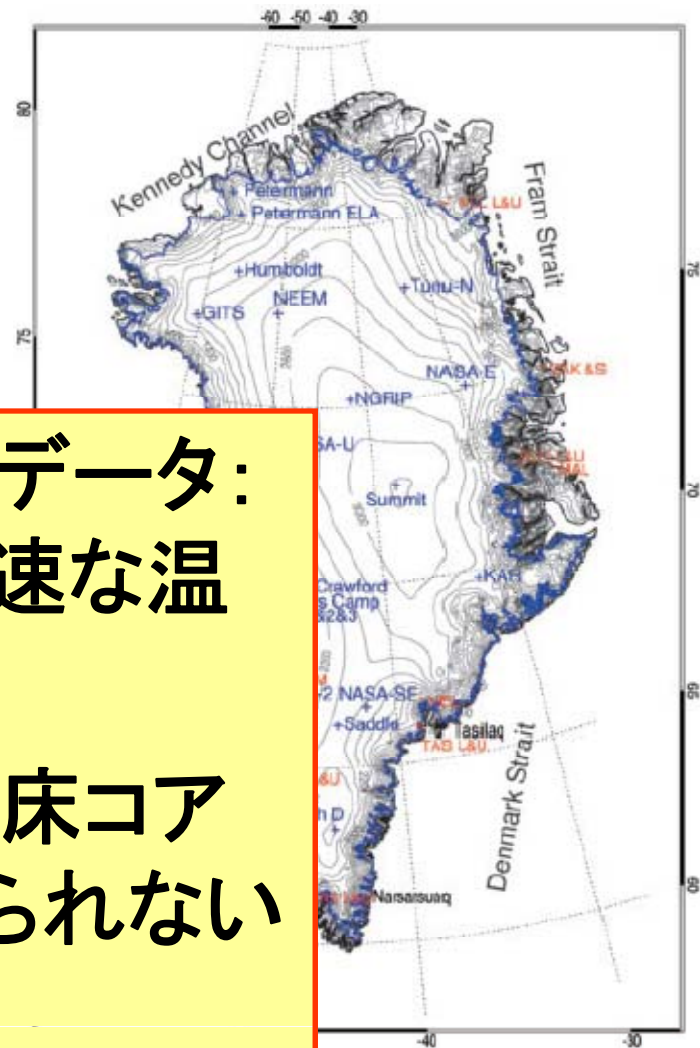


Figure 2.1 Greenland Ice Sheet elevation map and location of WMO climate stations along the coast and Greenland Climate Network (GC-Net) automatic weather stations [blue] in the Ice sheet interior and the climate stations from the Geological Survey of Denmark and Greenland [red]. Source: Konrad Steffen, CIRES, University of Colorado.

グリーンランドは温暖化しているのか？

＜グリーンランド＞

- ・1990年代から顕著な温暖化。
- ・過去200年では、1930～1940年代の温暖化が最も顕著。
- ・過去数年では、融雪域の拡大が観測。
- ・氷床内陸部では温暖化が見られない地点もある。

グリーンランドは温暖化しているのか？

＜グリーンランド＞

- ・1990年代から顕著な温暖化。
- ・過去200年では、1930～1940年代の温暖化が最も顕著。
- ・過去数年では、融雪域の拡大が観測。
- ・氷床内陸部では温暖化が見られない地点もある。

南極・グリーンランドともに観測データが少ない。



長期・広域にわたる観測が必要！

世界平均海面水位

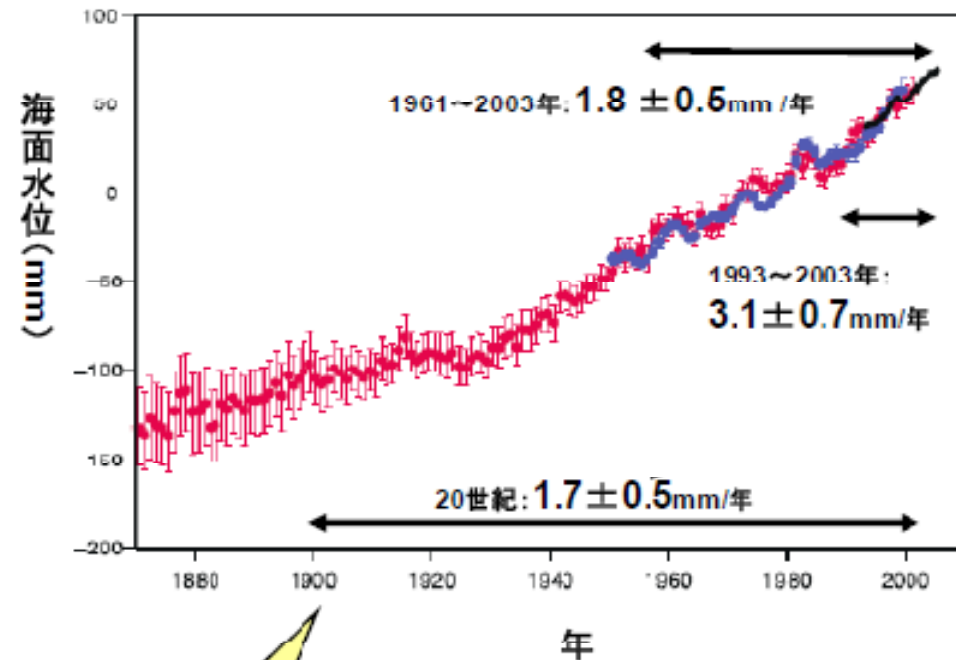
- 世界平均海面水位は、熱膨張や、氷河や氷帽の融解、極域の氷床融解により、1961年以降で年間1.8mm、1993年以降で年間3.1mm上昇した。

出典：AR4 SYR SPM

氷床の寄与の可能性

- 氷床の融解による融け水量増加
- 氷床からの氷の流出量の増加

世界平均海面水位の年平均値



19世紀から20世紀にかけての上昇率の値の信頼性は高い。

赤 : 推定された1870年以降の海面水位
青 : 1950年以降の沿岸潮位計測
黒 : 衛星高度測量

出典：AR4 WG1 第5章 図5.13に一部加筆

地球温暖化により氷床は縮小するのか？

南極及びグリーンランドの氷が全部消失すると、海面水位が、それぞれ57m及び7m上昇。

実際はどうか？

降雪量増加？→氷の体積増加？ ↑

降雪量増加？→氷の流速増加？ ↓

融解促進→氷の体積減少 ↓

融解促進→氷床底面の摩擦減少

→氷の流出が加速 ↓

融解促進→棚氷の崩壊、氷の流出が加速？

→大量の氷が海に流出？ ↓

氷床からの氷の流出

温暖化の影響は？

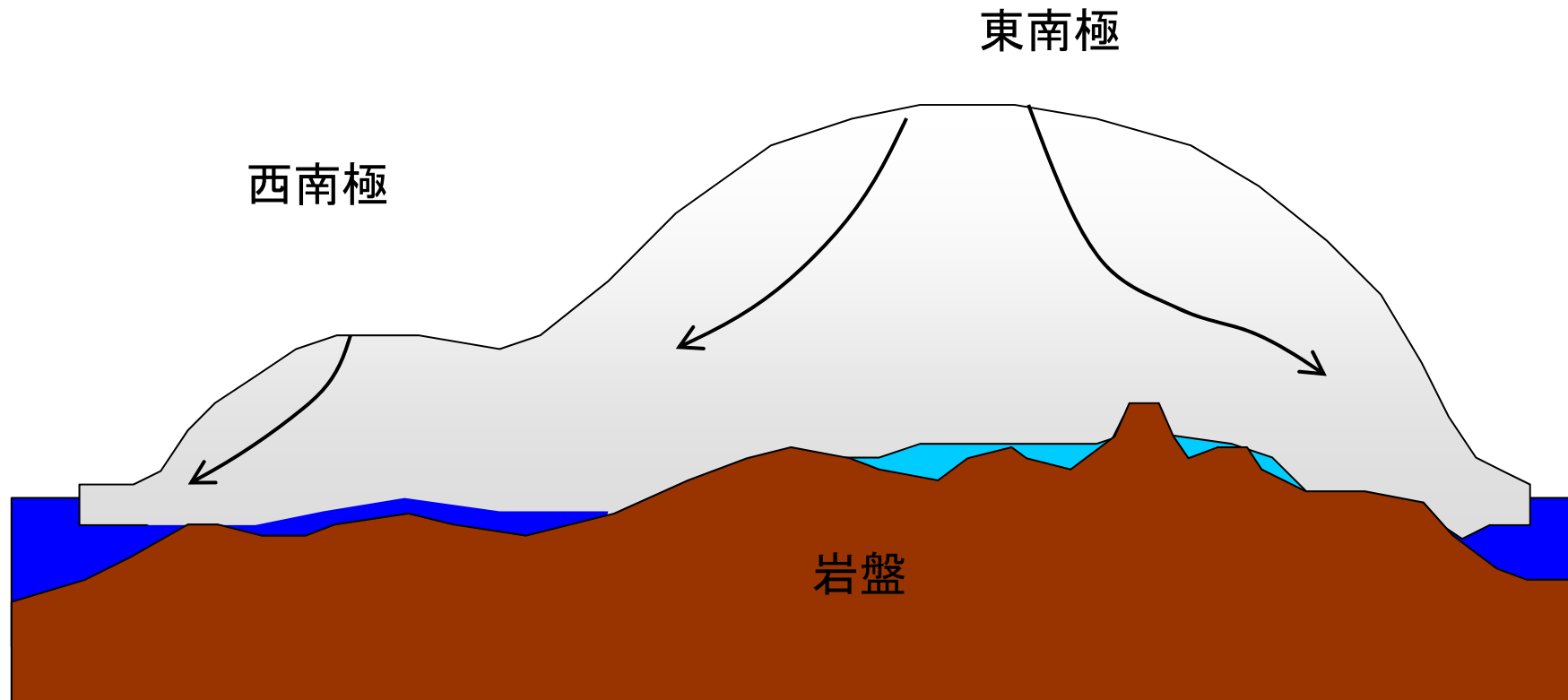
棚氷の底面融解が促進し、
棚氷厚が減少、棚氷の崩
壊が加速？

棚氷という、つかえ棒がな
くなり、氷の流出が加速？

融け水が氷床底面の潤
滑油となって氷の流出が
加速？

★西南極は不安定→岩盤高度が海面より低いため

一度流れ出すと、温暖化によって流出が加速される？



南極及びグリーンランドにおける最近の氷床変動

◎南極半島LarsenB棚氷の急激な崩壊→崩壊直後は、氷の流速が2～8倍に増加(Rignot et al., Geophys. Res. Lett., 2004; Scambos et al., Geophys. Res. Lett., 2004)

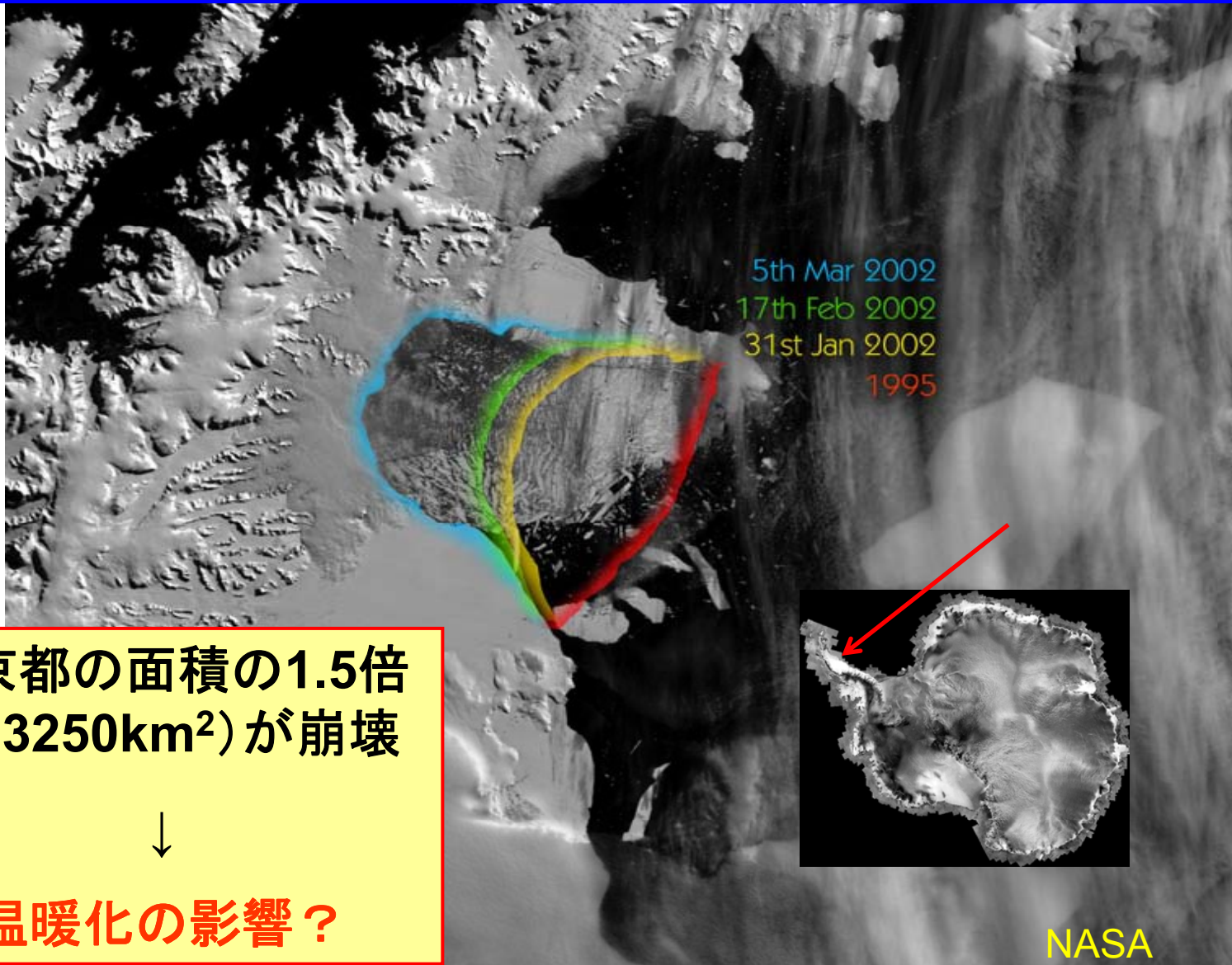
◎南極半島で氷の流速が増加(Pritchard and Vaughan, J. Geophys. Res., 2007)→融け水による氷床底面の潤滑油効果ではなく、氷床先端の後退と氷厚減少による力学的効果による。

◎西南極アムンゼン海区における氷床流動の加速が観測(Rignot, Geophys. Res. Lett., 2008)

◎グリーンランドにおいても、融解増加による潤滑油効果で、氷の流出加速が観測(van de Val et al., Science 2008)

南極の棚氷の急激な崩壊

南極半島のLarsen B棚氷 2002年1月31日～3月7日



東京都の面積の1.5倍
(約3250km²)が崩壊



温暖化の影響？

南極及びグリーンランドにおける最近の氷床変動

◎南極半島LarsenB棚氷の急激な崩壊→崩壊直後は、氷の流速が2～8倍に増加(Rignot et al., Geophys. Res. Lett., 2004; Scambos et al., Geophys. Res. Lett., 2004)

◎南極半島で氷の流速が増加(Pritchard and Vaughan, J. Geophys. Res., 2007)→融け水による氷床底面の潤滑油効果ではなく、氷床先端の後退と氷厚減少による力学的効果による。

◎西南極アムンゼン海区における氷床流動の加速が観測(Rignot, Geophys. Res. Lett., 2008)

◎グリーンランドにおいても、融解増加による潤滑油効果で、氷の流出加速が観測(van de Wal et al., Science 2008)

南極とグリーンランド氷床の高度変化

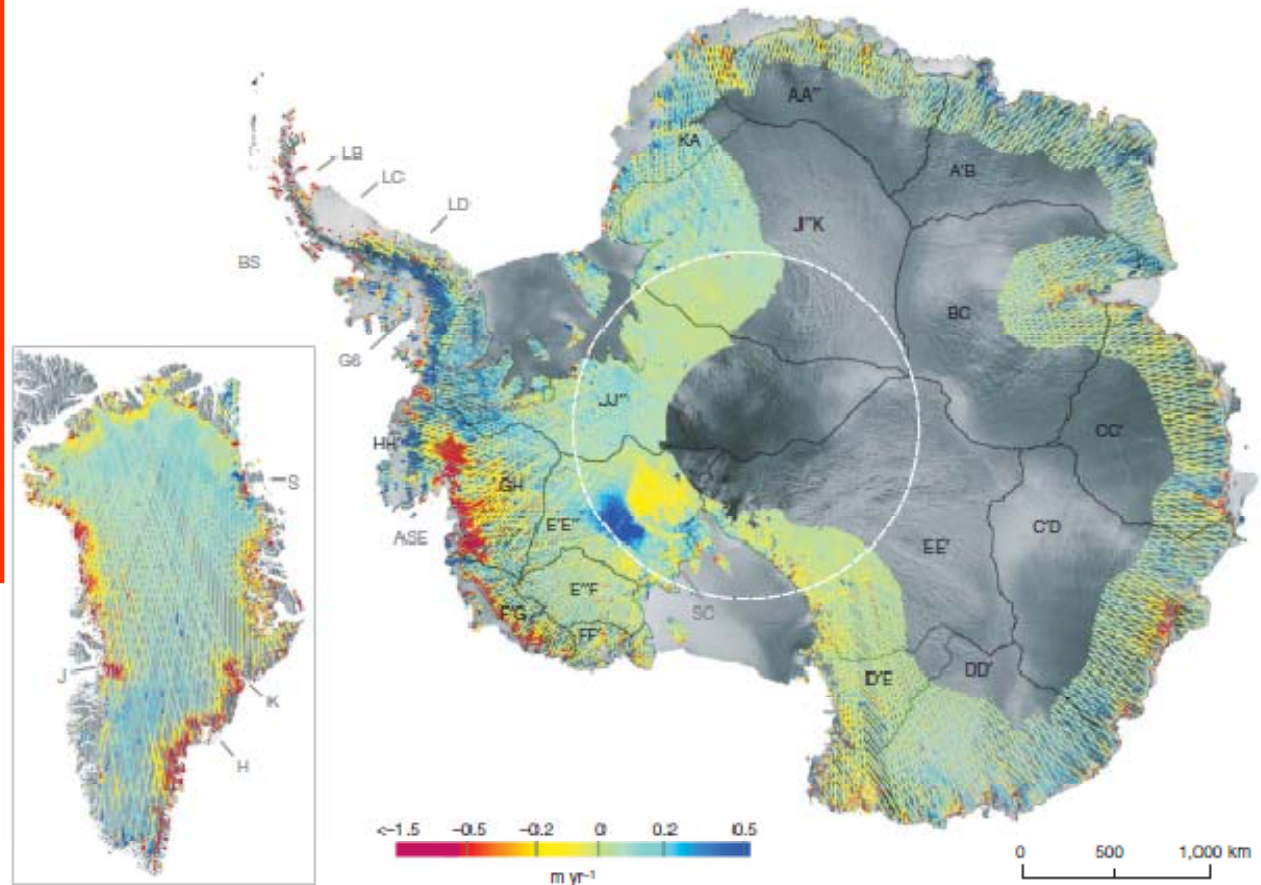
2003-2007年(高精度ICESatのレーザー高度計)

Pritchard et al., Nature, 2009

沿岸部で氷の流出
加速による氷床厚
の減少が顕著



海洋との境界にお
ける氷床の力学が
重要

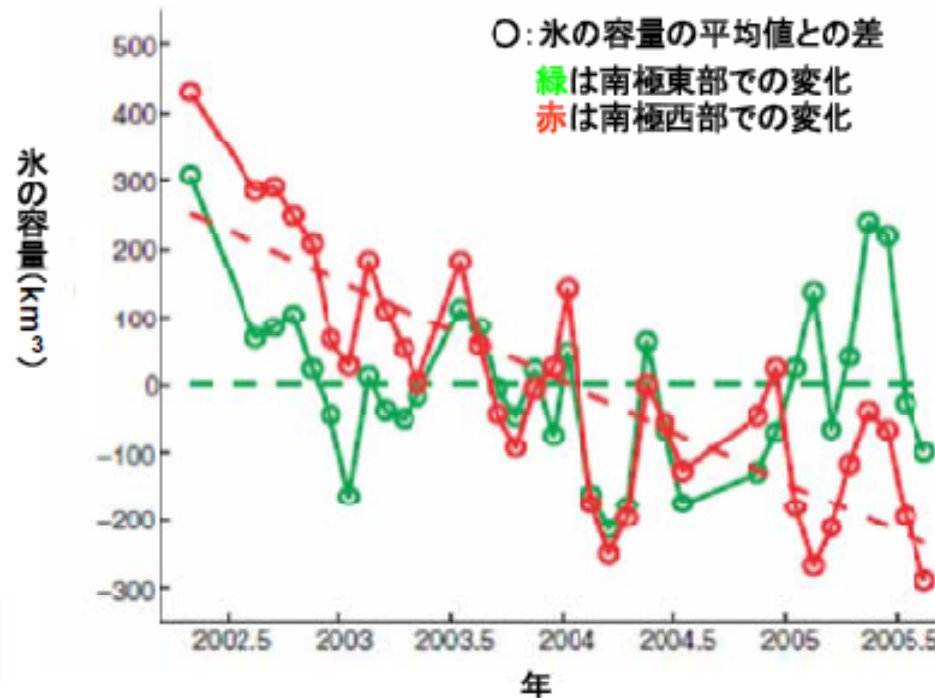


南極氷床の質量変化 (IPCC AR4 報告 環境省版)

- 南極の氷床は、寒冷であるため広範囲に表面が溶けることはなく、むしろ降雪の増加により、容量の増加が予測される。
- しかし、力学的な氷の流出が氷床の容量収支を左右しているとすれば、氷床の容量の減少が生じるかもしれない。

出典: AR4 WG1 SPM

2002年から2005年までの南極の氷容量の変化



特に南極西部で氷が減少しており、全体で年間約152立方キロメートルが消失した。これは0.4mmの海面上昇に寄与したと考えられる。

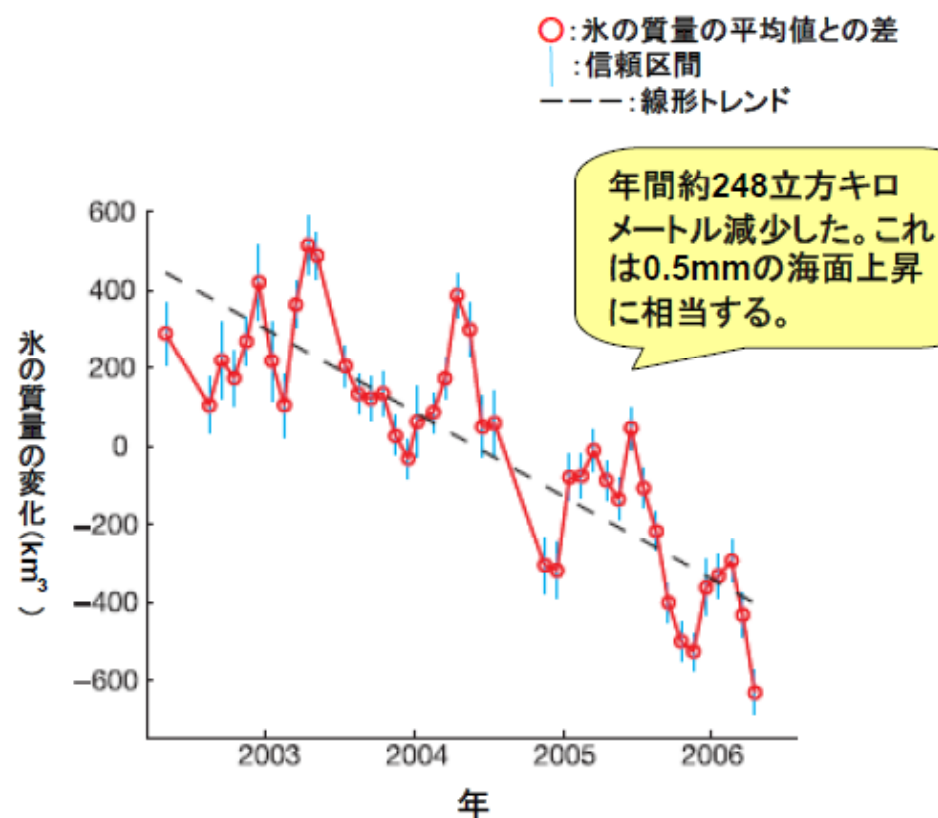
出典: Vekicigta, I. and Wahr, J., 2006. Measurements of Time-Variable Gravity Show Mass Loss in Antarctica, Science 311, 1754-1756. Reprinted with permission from AAAS. Readers may view, browse, and/or download material for temporary copying purposes only, provided these use are for noncommercial personal purposes. Except as provided by law, this material may not be further reproduced, distributed, transmitted, modified, adapted, performed, displayed, published, or sold in whole or in part, without written permission from the publisher.

グリーンランド氷床の質量変化 (IPCC AR4 報告 環境省版)

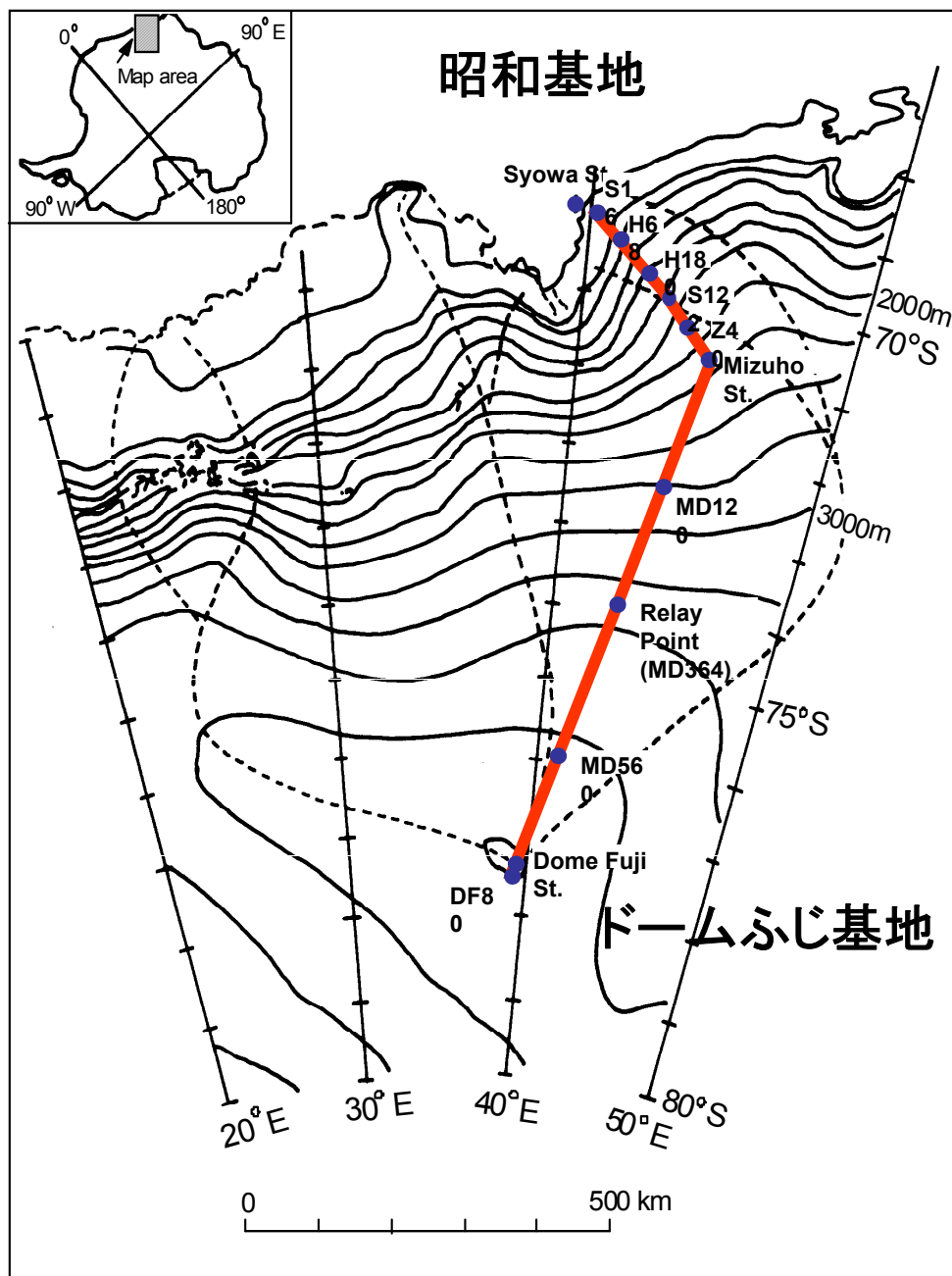
- 最近の研究によって、グリーンランド氷床の気候変化への反応が従来考えられていたより早いことが明らかとなった。
- 重力データによれば、グリーンランドの氷床は、この4年間で明らかに質量が減少している。
- グリーンランドの氷質量の減少は1年で248立方キロメートルであり、これは0.5mmの海面上昇に相当する。

出典: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Isabella, V. and John, W., 2006: Acceleration of Greenland ice mass loss in spring 2004. *Nature* 443, 329–331.), copyright (2006) <http://www.nature.com/>

グリーンランド氷床の融解 (2002年4月～2006年4月)



出典: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Isabella, V. and John, W., 2006: Acceleration of Greenland ice mass loss in spring 2004. *Nature* 443, 329–331.), copyright (2006) <http://www.nature.com/>



＜南極観測＞
昭和基地からドーム
ふじ基地へ至るルート
上で、1993年から、雪
尺による氷床表面質
量収支観測を実施
→年々変動が大きい

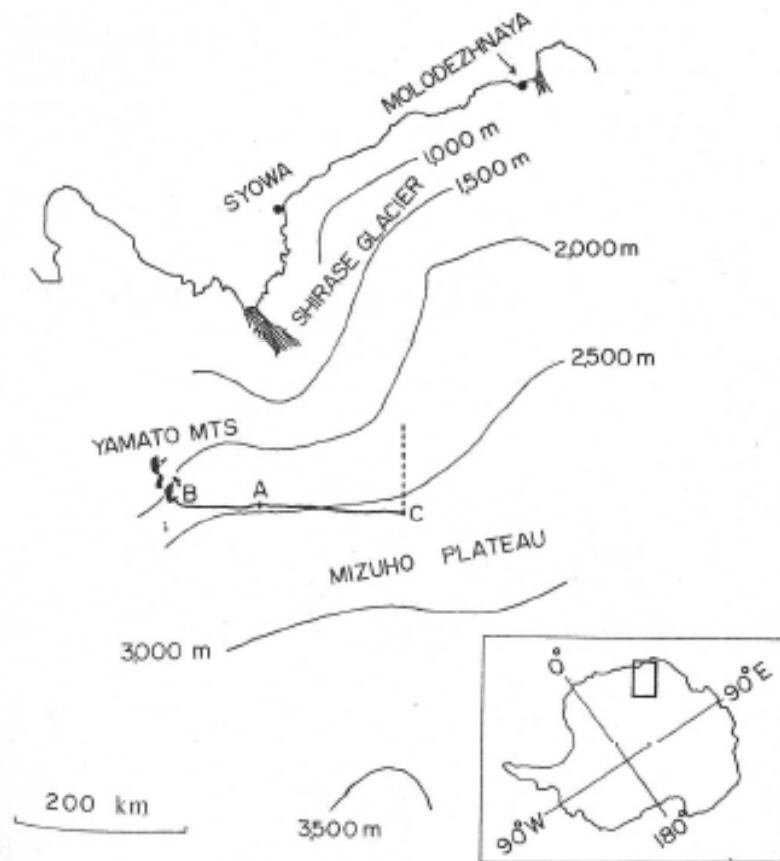
質量収支＝
収入量－支出量

今後、観測を継続する
ことが重要

過去の氷床変動は？

南極の白瀬流域における氷厚減少 (Mae and Naruse, Nature, 1978)

Fig. 1 Map of the Mizuho Plateau. The survey route is represented by a thick solid line. Equal elevation contours are represented by thin lines.



氷床の底面滑りが原因と解釈。最近の温暖化によるものではなく、数千年スケールの現象である可能性が高

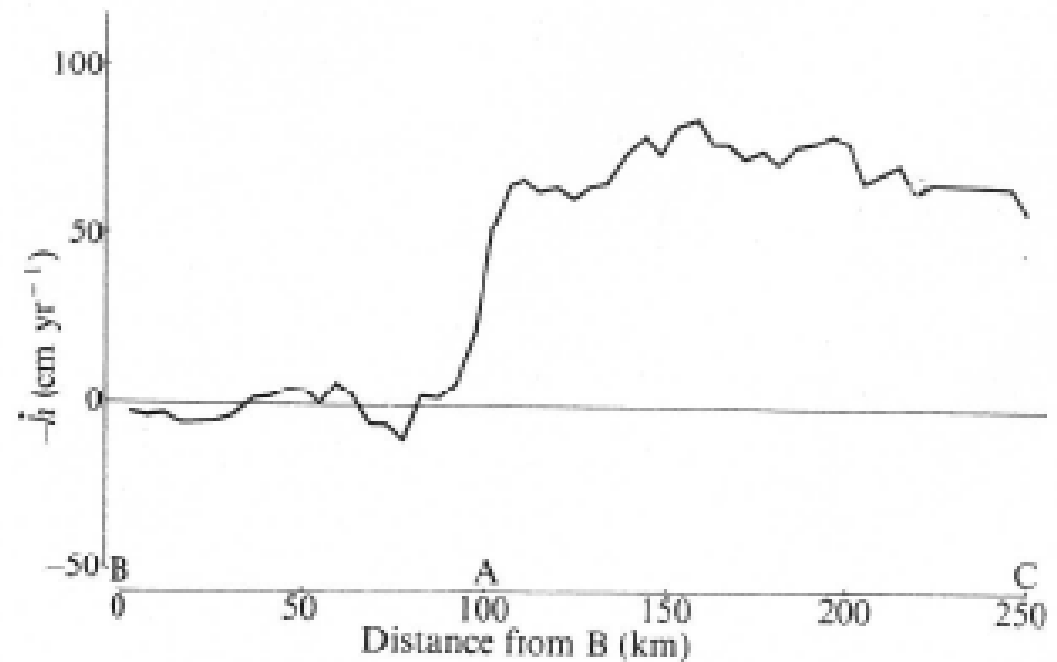


Fig. 2 Rate of change, $\dot{h}$, of the ice thickness, h , along the survey route.

地球温暖化により氷床は縮小するのか？

★大気ー内陸氷床ー氷床末端ー海洋ー海氷から成る複雑でダイナミックなシステムの理解必要

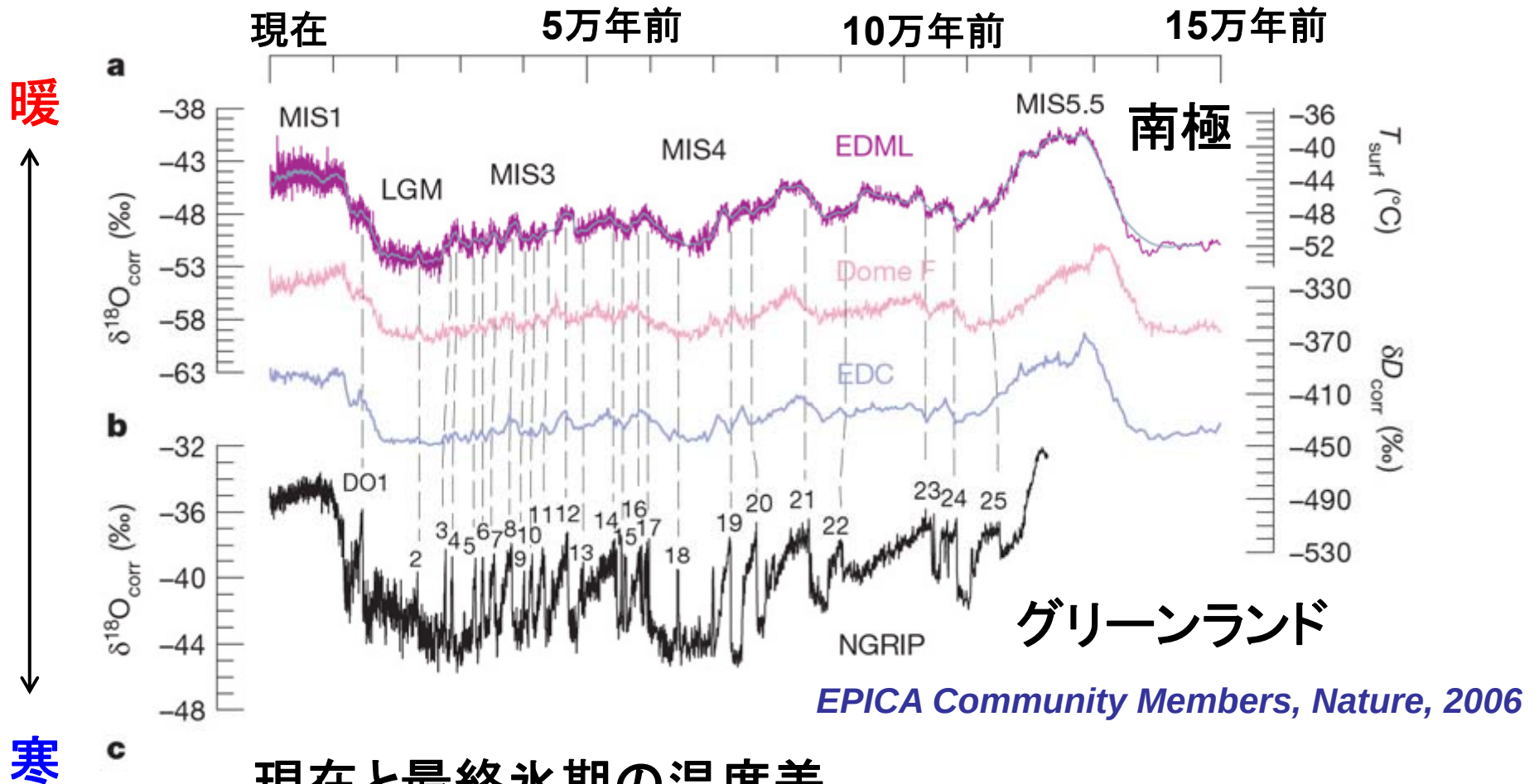
★南極とグリーンランドの氷床ではどの程度温暖化しているのか？降水量、融解量、氷の流出量はどの程度変動しているのか？

◎広大な面積を持つ極域氷床の全域にわたる長期間の観測が必要。

◎氷床コア解析による過去の気候変動・氷床変動の情報が必要

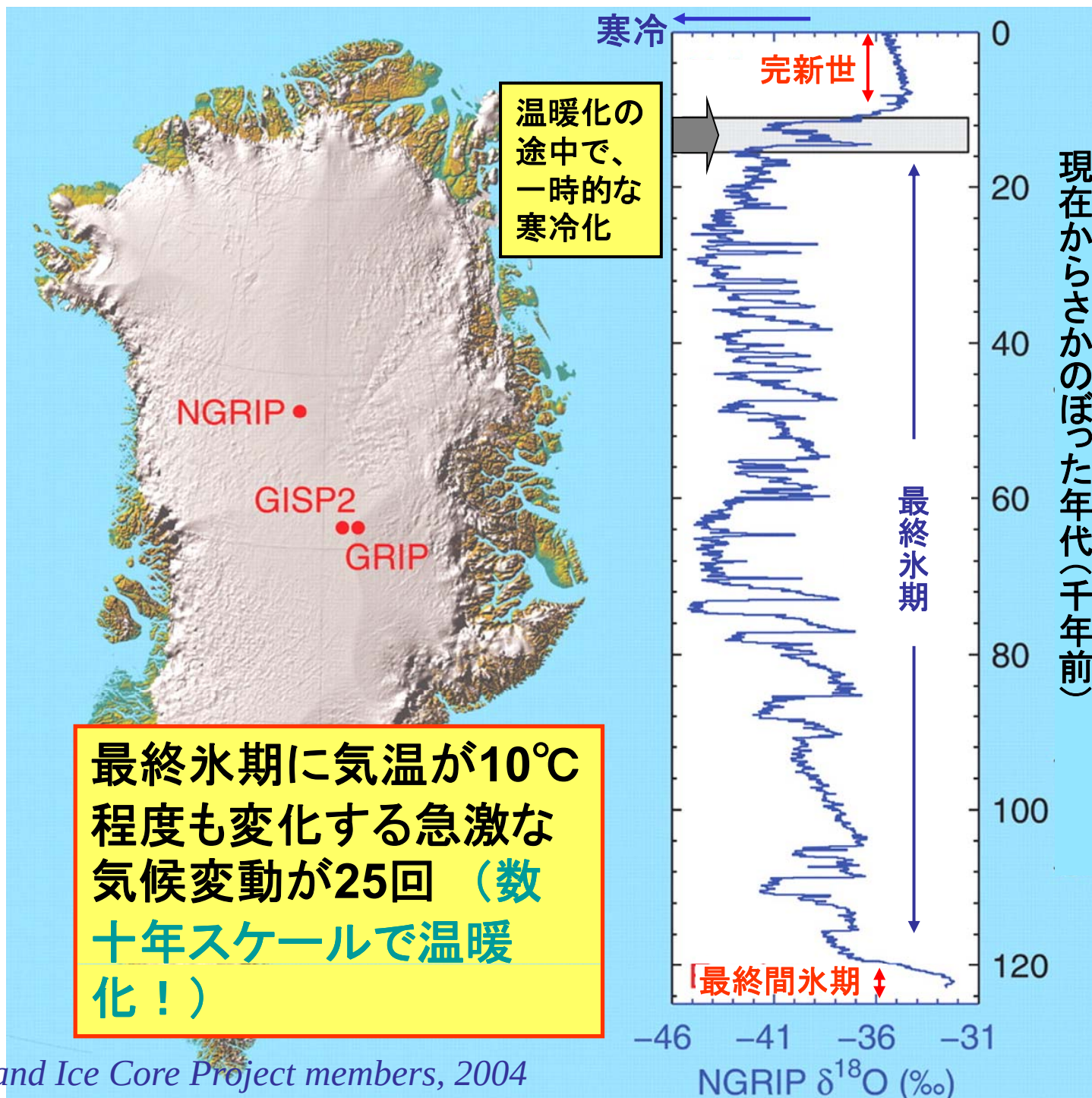
氷床コアの掘削・解析



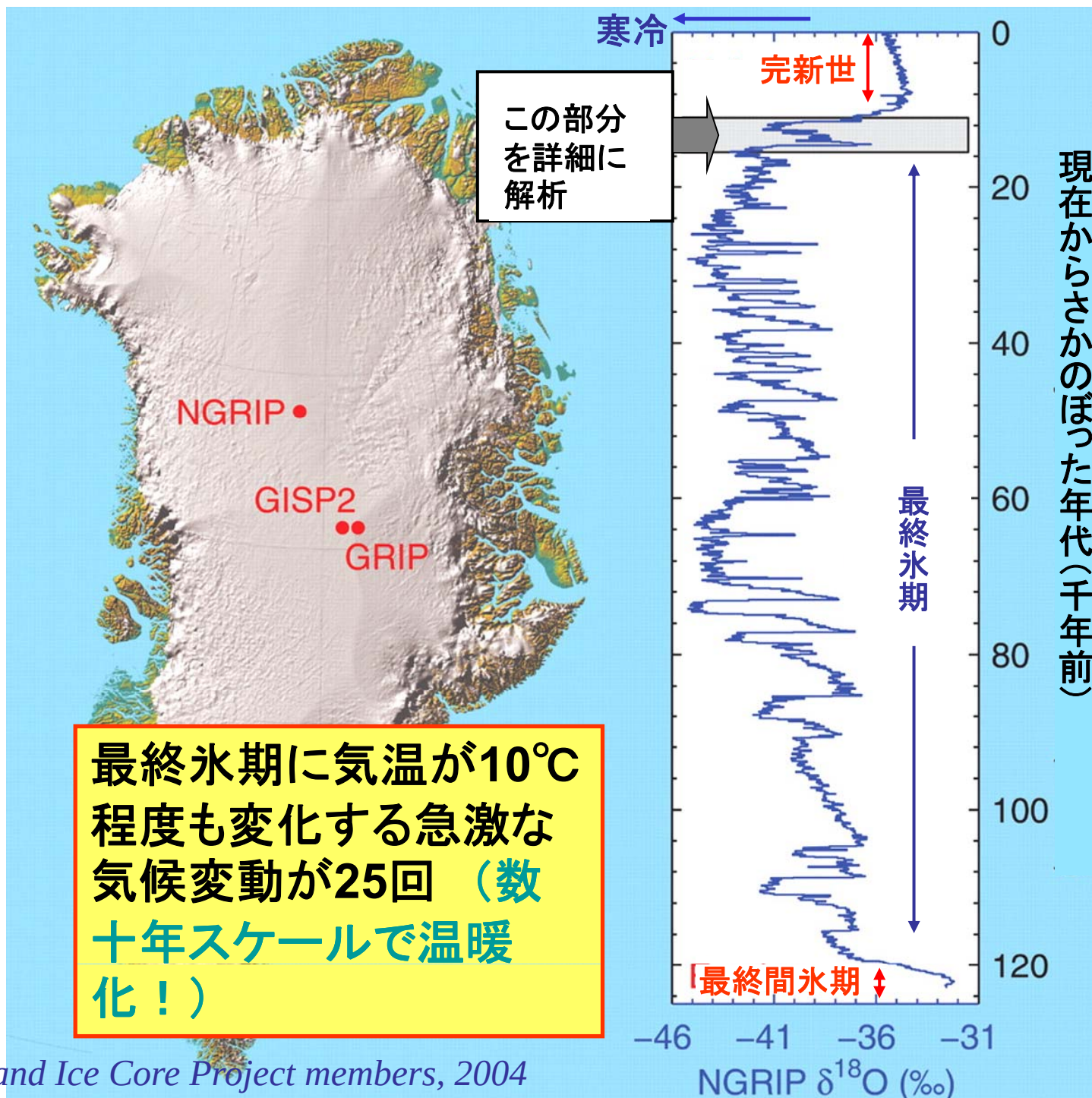


現在と最終氷期の温度差
グリーンランド: 約20 °C
南極: 約10°C

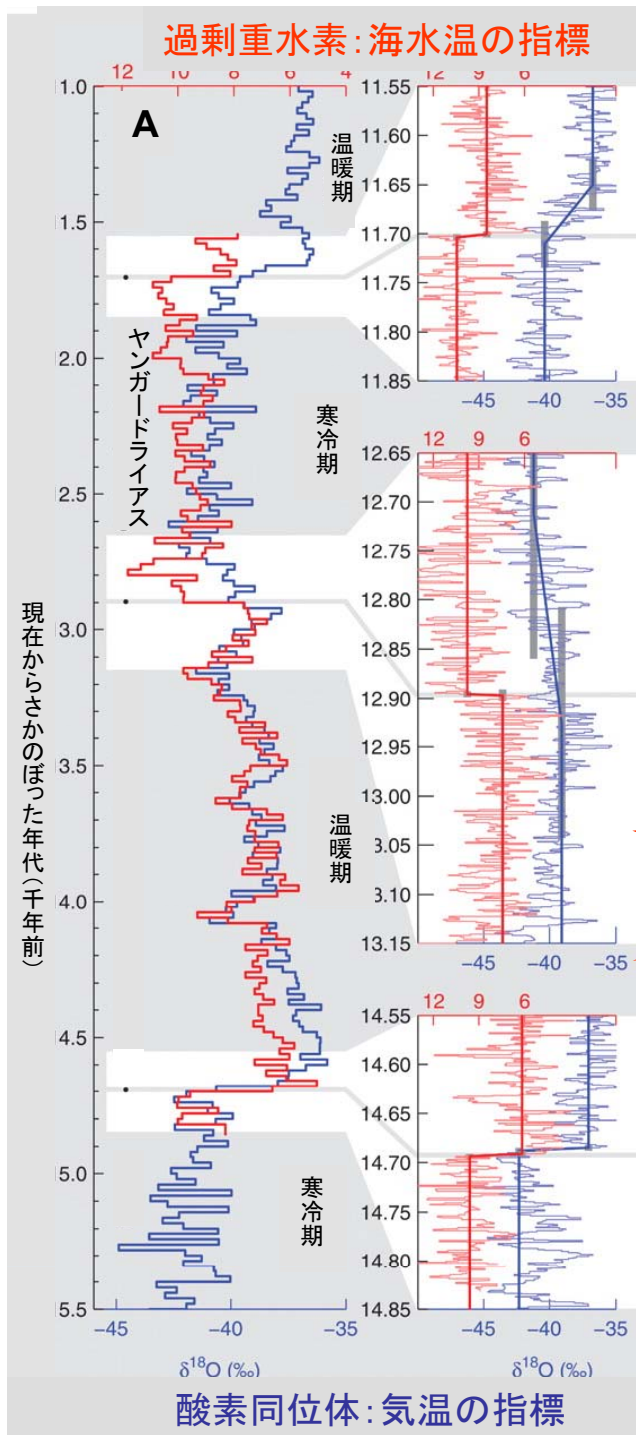
最終氷期に気温が10°C程度も変化する急激な気候
変動が25回 (数十年スケールで温暖化！)



North Greenland Ice Core Project members, 2004



North Greenland Ice Core Project members, 2004



グリーンランドにおける最終 退氷期の急激な気候変動

2回目の温暖化: 50~
60年で10°C上昇!

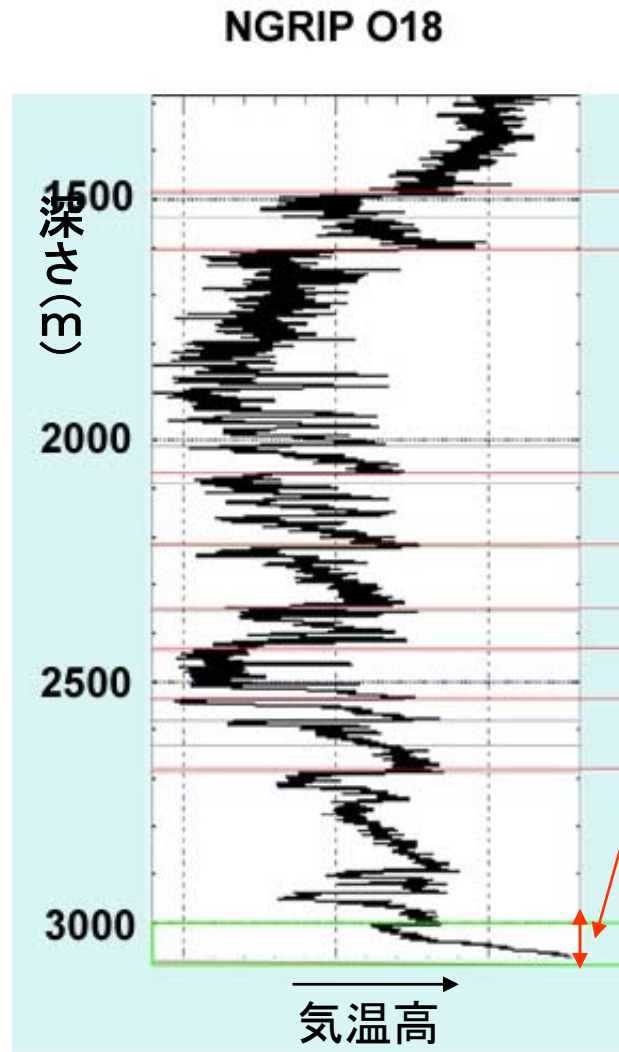
寒冷化

従来の予想を超える急激
な温暖化!

1回目の温暖化: 3年
で10°C上昇!

Steffensen et al., 2008

グリーンランドにおける最終間氷期の 気候変動・氷床変動の研究

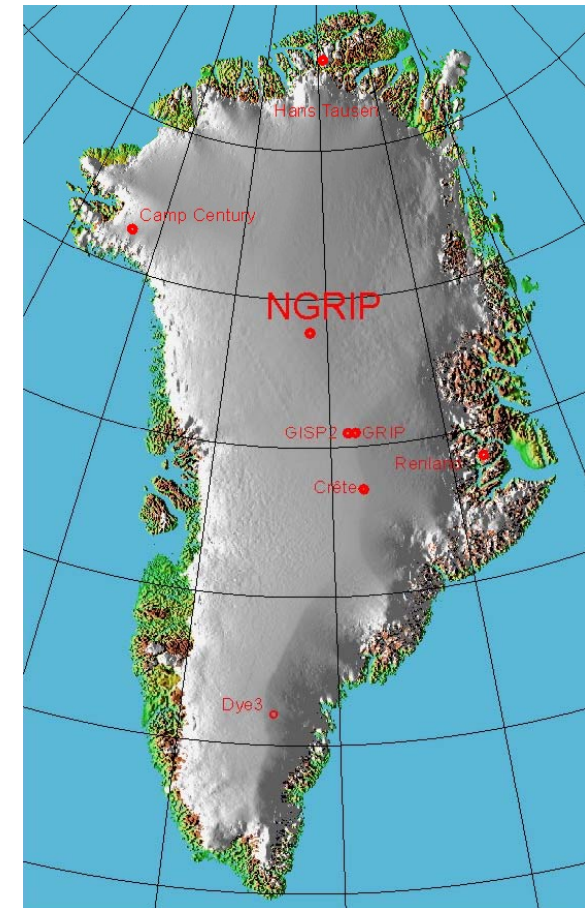


北半球で最終間氷期を完全にカバーする氷床コアはまだ掘削されていない。

最終間氷期は現在より気温が5°C高かった？

地球温暖化が生じた場合のアナロジーとして重要

(気温が現在より3度上昇するとグリーンランド氷床は消滅するというモデル計算の結果もある。)



NGRIPは底面融解のため、最終間氷期(Eemian)の氷が一部しかなかった。

北グリーンランド深層掘削計画 (NEEM)

North Greenland Eemian Ice Drilling

(2007-2011)

IPYの国際共同研究プロジェクトの一つ

The Greenland Ice Sheet – Stability,
History and Evolution

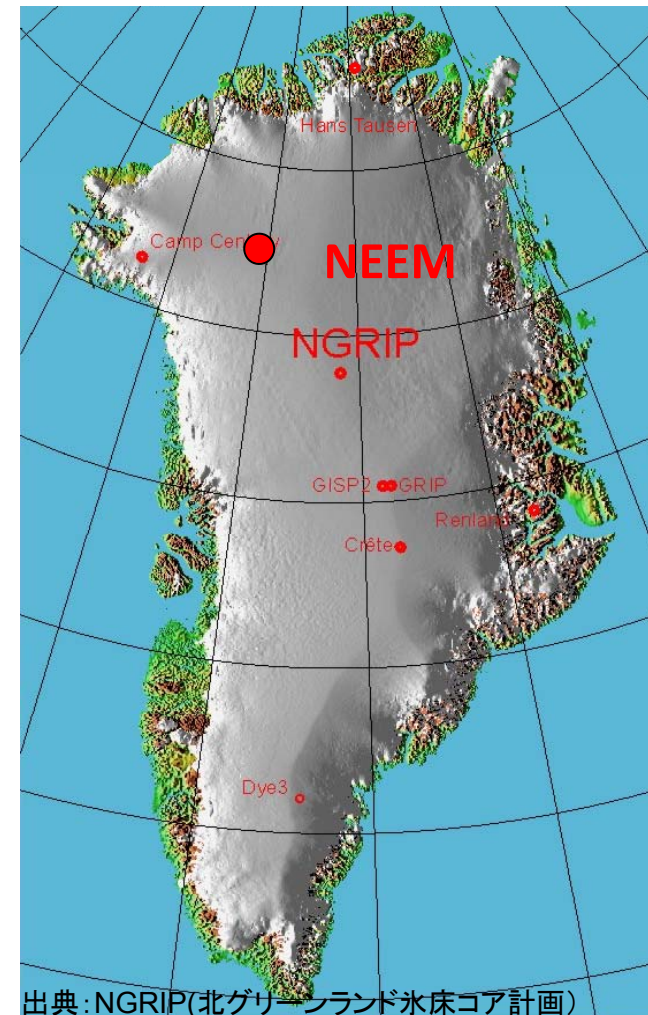
研究代表者: Dorthe Dahl-Jensen (コペン
ハーゲン大)

14ヶ国が参加

研究目的

1. 最終間氷期、さらにそれ以前の時代の気候変動の解明。

2. 南極コアとの比較 (南北比較)
→ 地球規模の気候・環境変動ダイナミクスの解明



出典: NGRIP (北グリーンランド氷床コア計画)

www.glaciology.gfy.ku.dk/ngrip/

まとめ

- 過去数年、南極及びグリーンランドで予想を上回る氷床の融解、流出、氷厚減少が観測
- しかし、データはまだ少なく、温暖化や氷床変動の実態の詳細は未解明
- 広域、長期間にわたる観測が必要
- 氷床コアの掘削・解析により、過去の気候変動、氷床変動を研究することが必要

Thank you!

