

Environmental change in Greenland
and new research initiative
グリーンランドの環境変化と新たな研究の取組

Hiroyuki Enomoto

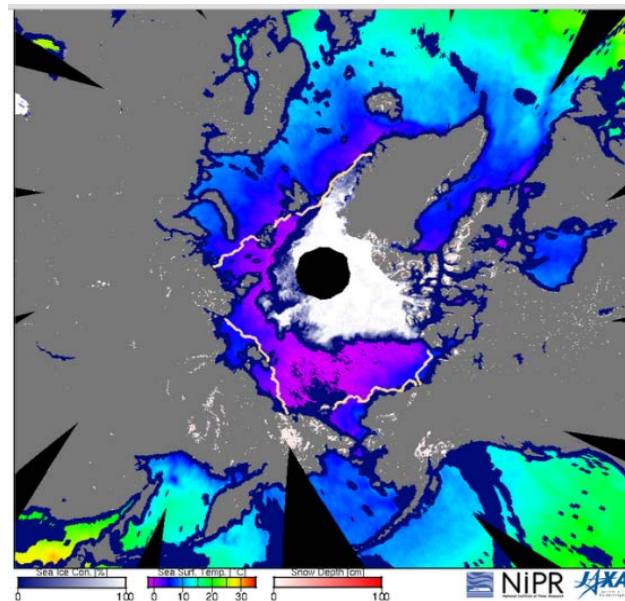
*Arctic Environment Research Center,
National Institute of Polar Research*

榎本浩之

国立極地研究所、国際北極環境研究センター

Rapidly changing Arctic Environment and its influences

- **Global warming and Arctic**
- 地球温暖化と北極域
- **Understanding climate system**
- 北極温暖化の原因
- **Forecast of future climate change**



- 北極気候の将来予測
- **Warming and impact to nature and society**
- 北極温暖化の自然・社会への影響

➤ Marine transport, industry

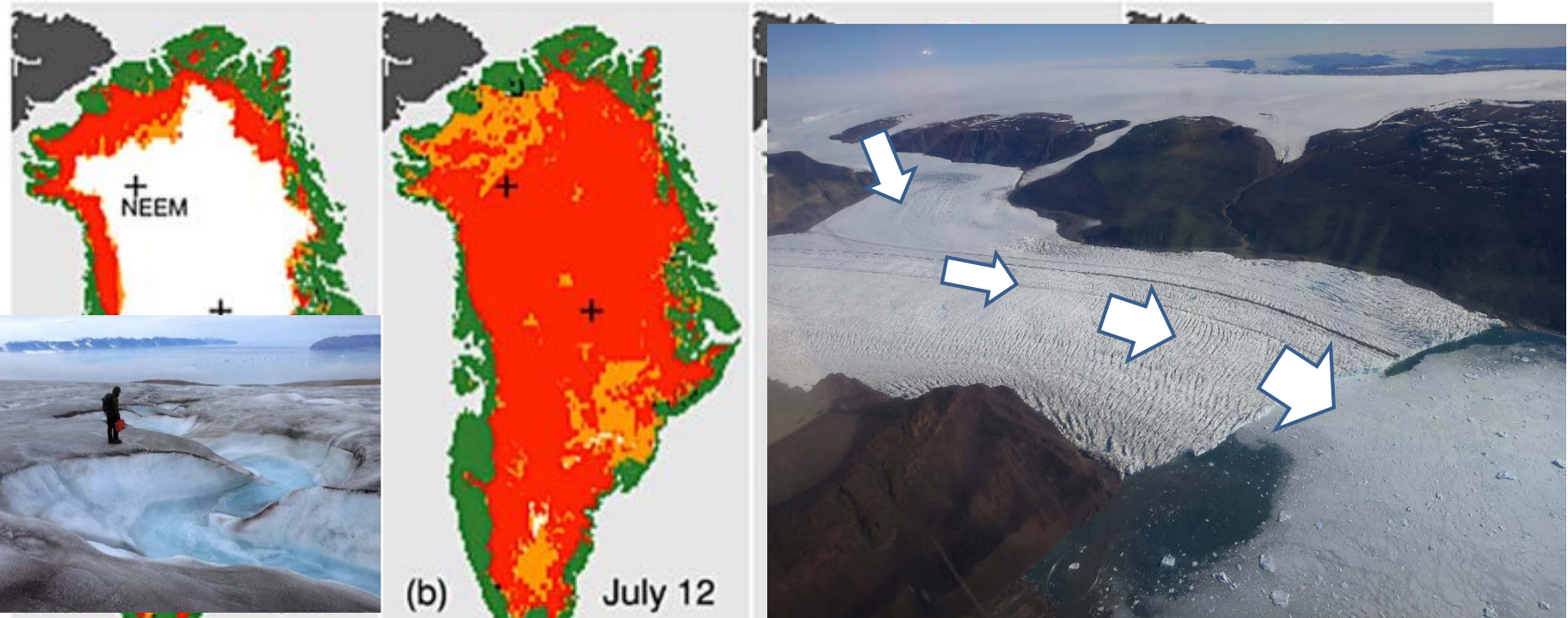
- 海氷と海上交通・産業

➤ Environment monitoring

- 北極の環境監視



Melting of entire surface area of Greenland Ice Sheet in 2012, and ice flow

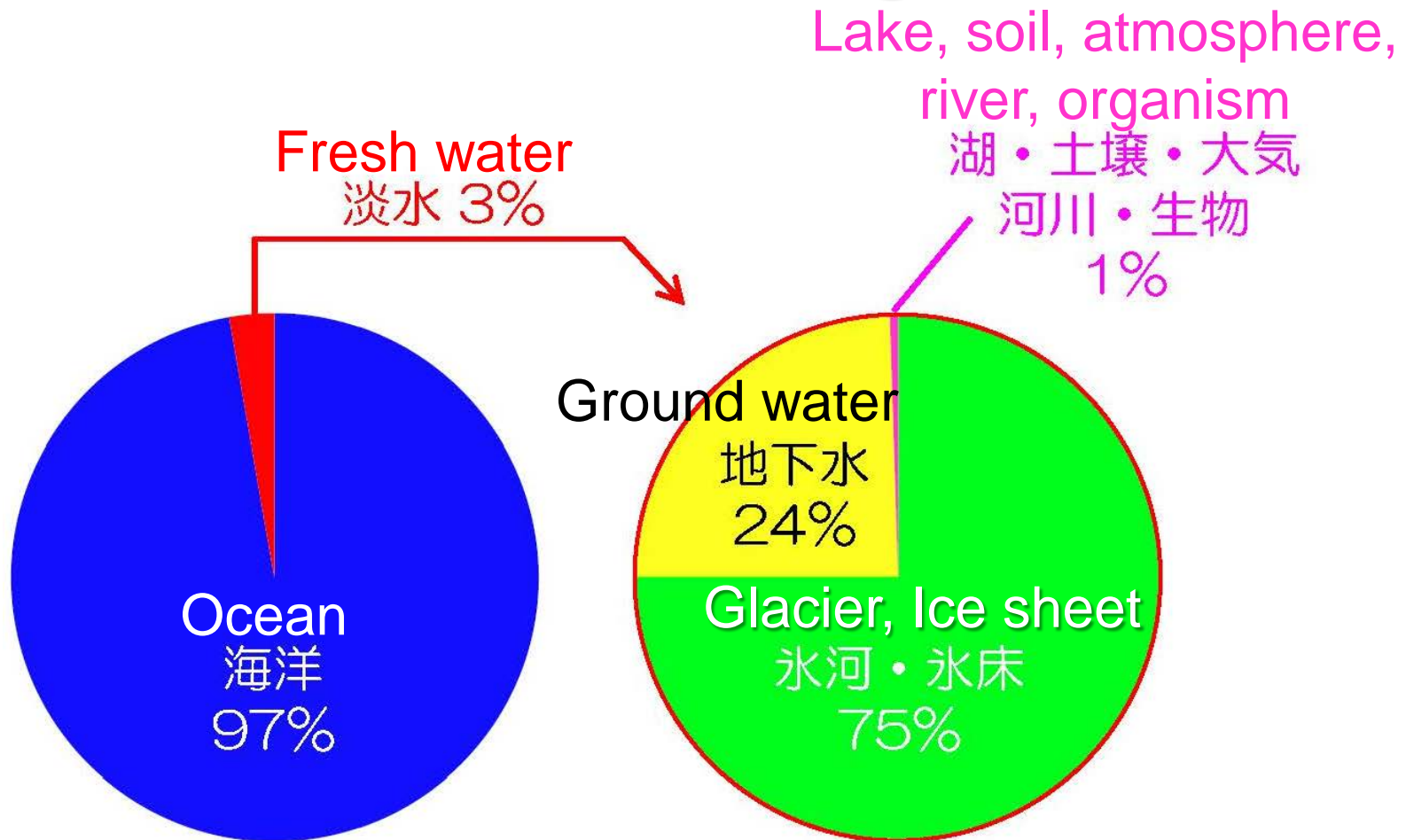


Jakobshavn glacier retreat



Rapid retreat

75% of fresh water is in the ice sheet and glacier



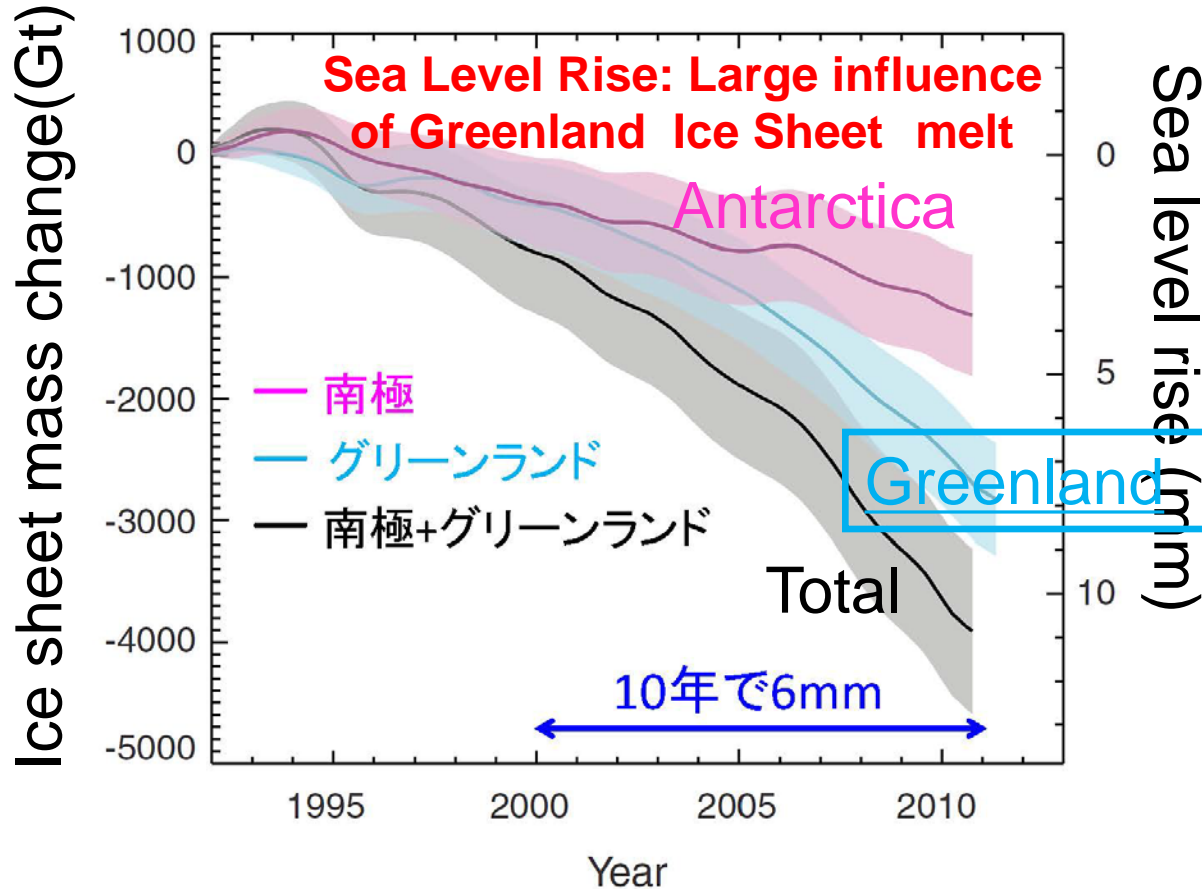
- Fresh water discharge, sea level rise, global impact

淡水供給 海水準上昇 グローバル影響

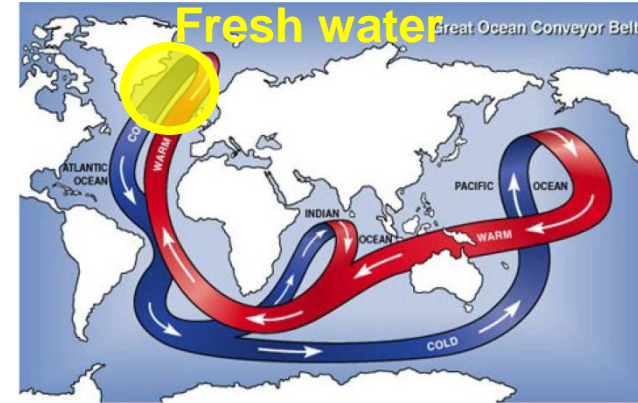
Greenland Ice Sheet and Glacier/Ice cap Changes and Influences on the Ocean

Fresh discharge and Climate

氷床の縮小による海水面上昇



Shepherd and others, 2012 Science



Climate stabilization

By oceanic conveyor belt

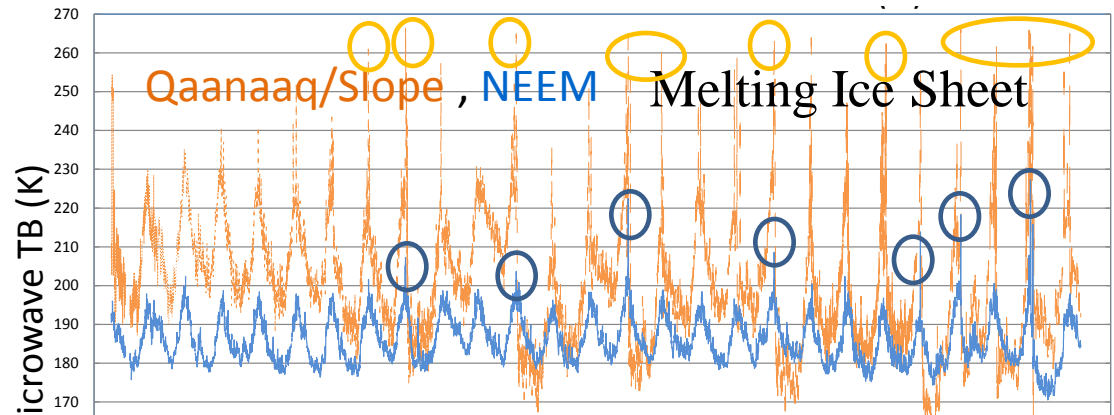
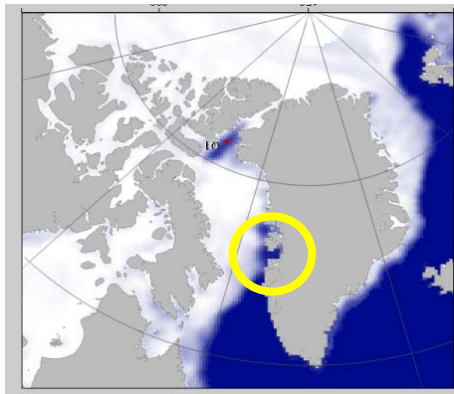
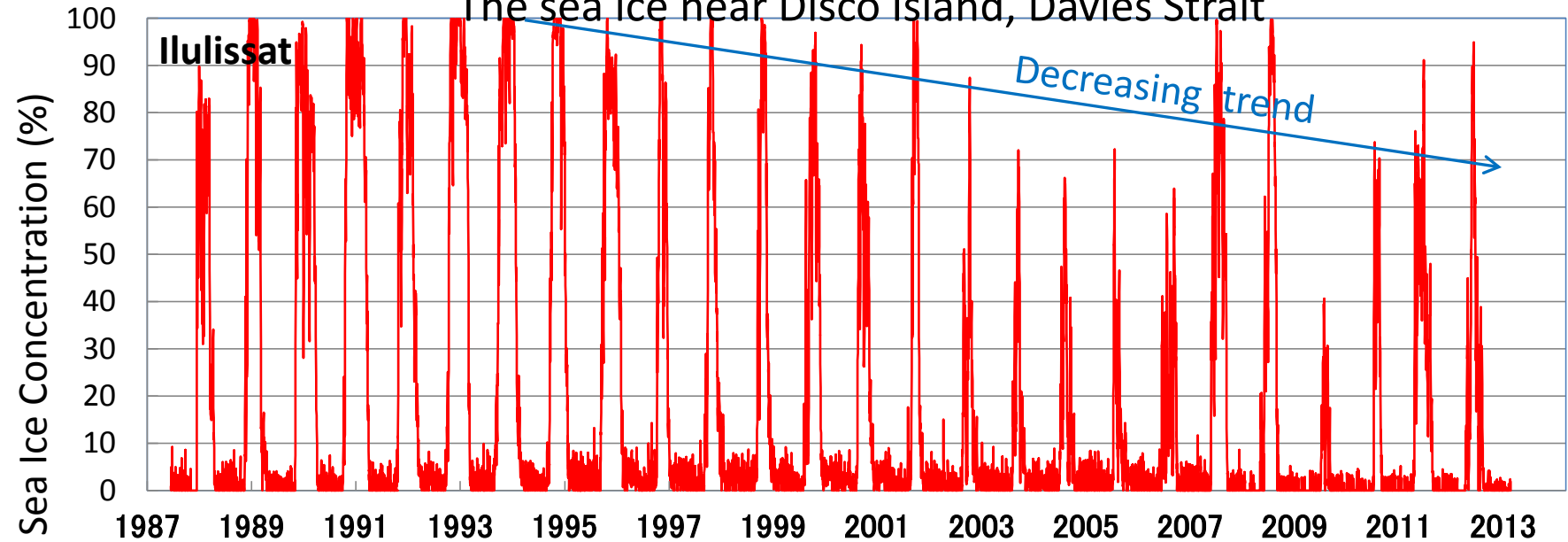
↓↑
Dansgaard-Oeschger event
Abrupt change $\sim 8^{\circ}\text{C}/40\text{yr}$

海洋コンベヤーベルトによる
気候安定

↓↑
D - Oイベント
気温急変 $\sim 8^{\circ}\text{C}/40\text{yr}$

Sea Ice and Ice Sheet

The sea ice near Disco Island, Davies Strait



IPCC 2013 focused this area as the glacier retreat is significant.
Relationships with ocean condition is interesting



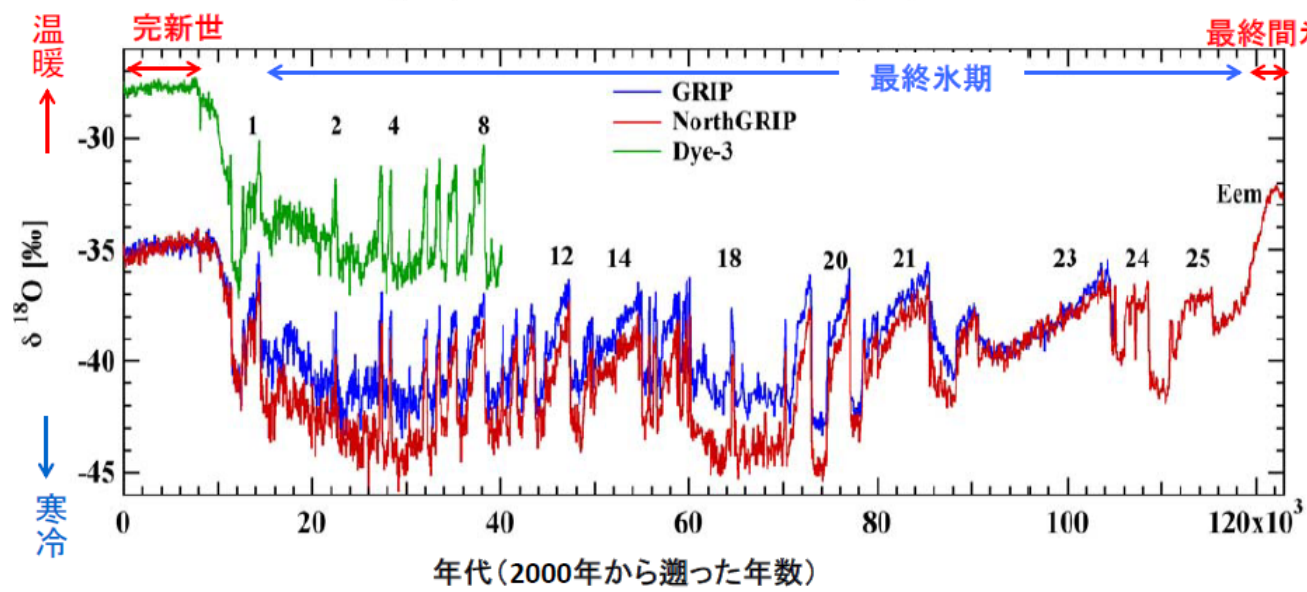
グリーンランドの特徴と研究アプローチ

- グリーンランド氷床を持つ、周辺に多数の氷河・氷帽を持つ。
 - 氷床内陸、下流域、周縁部のゾーン
 - 周辺の氷のない地域に6万人弱の人々が住む。
 - 研究の取組：A自然科学、B人文科学、C産業の側面から
 - A:氷床変動、長期の記録を持つ。近年、融解と不安定化、海水準上昇、過去の変遷と将来の変化
 - B:独自の文化、自治
 - C:産業：観光、水産、資源
- どの課題にどう取り組むか

これまでの成果から

I : グリーンランドにおける気候・氷床変動

- 氷床コアの物理、力学、化学、気体、生物研究に関する最先端の解析手法を開発
- 流動則の改良、氷床中の再結晶とコア解析データを用いた流動状態推定法の開発
- 最終間氷期の気温と氷床高度の復元、最終間氷期における顕著な氷床融解の発見、最終氷期や最終退氷期における急激な気候変動の発見、最終氷期における大気循環変動の復元
- 世界最先端のGIAモデルの開発により、最終退氷期におけるグローバルな海水準上昇に対する南極氷床変動の寄与を推定

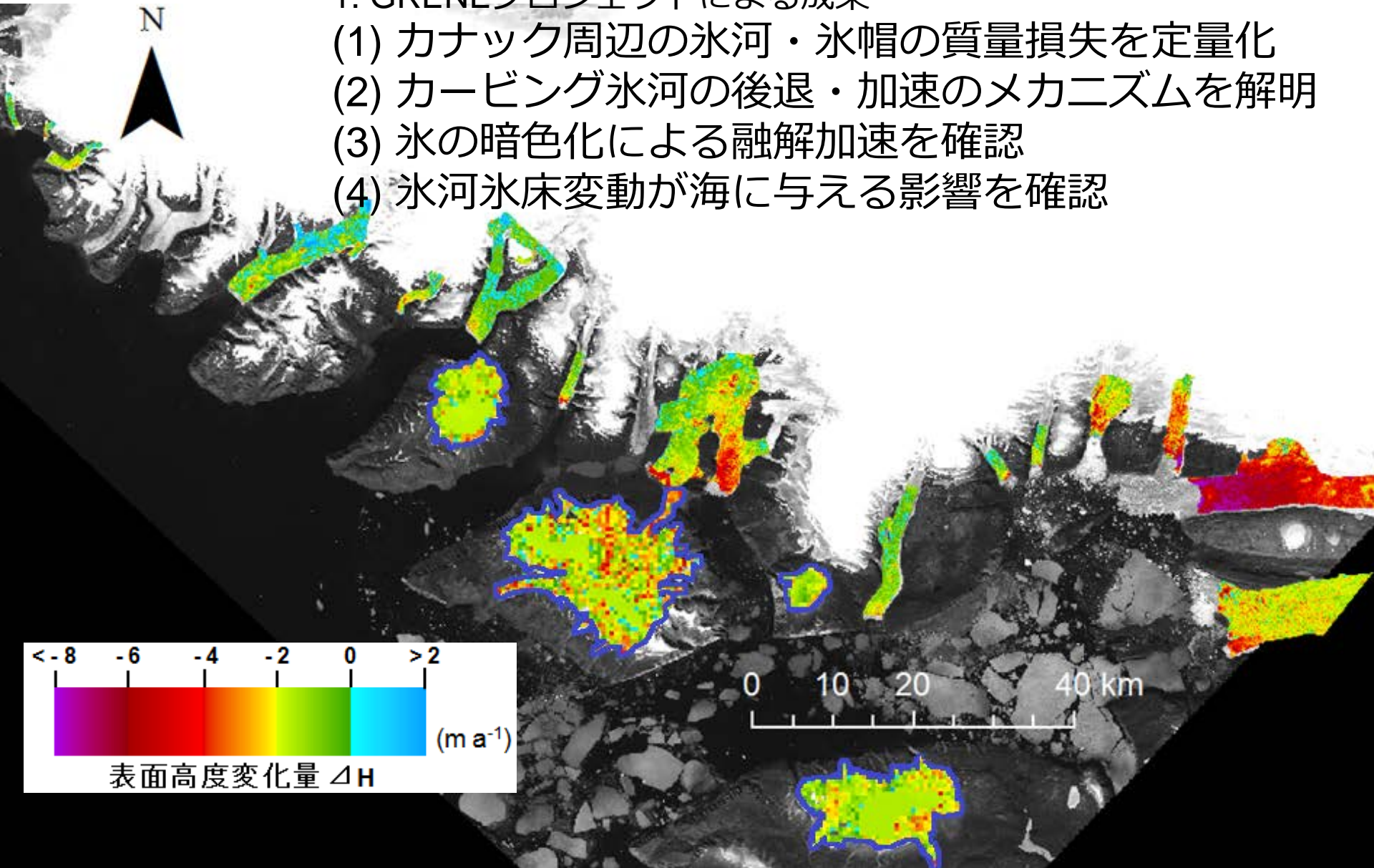


グリーンランドでは過去10万年間に25回以上の急激な気候変動(気温が数十年で10度近く上昇。14,700年前にはわずか3年で10度上昇)が発生した。
→氷床から北大西洋に大量の氷が流入したことによる海洋循環の変化が原因

Ⅱ：グリーンランドにおける氷河氷床・海洋相互作用

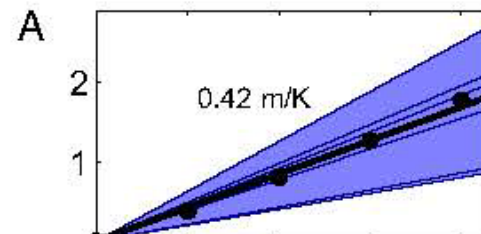
1. GRENEプロジェクトによる成果

- (1) カナック周辺の氷河・氷帽の質量損失を定量化
- (2) カービング氷河の後退・加速のメカニズムを解明
- (3) 氷の暗色化による融解加速を確認
- (4) 氷河氷床変動が海に与える影響を確認

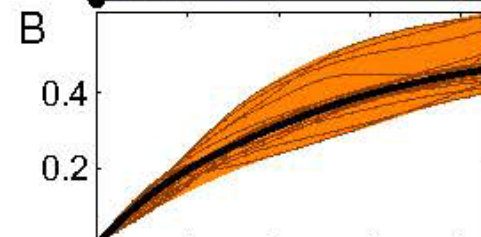


COP21: 温度目標とグリーンランド

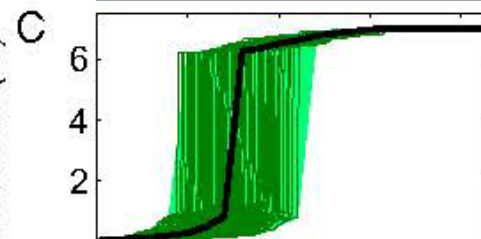
海水膨張



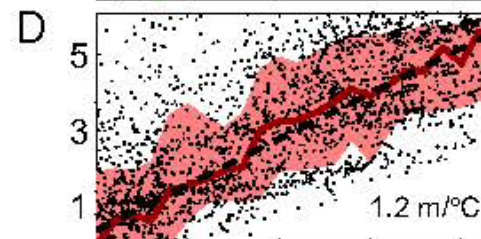
氷河融解



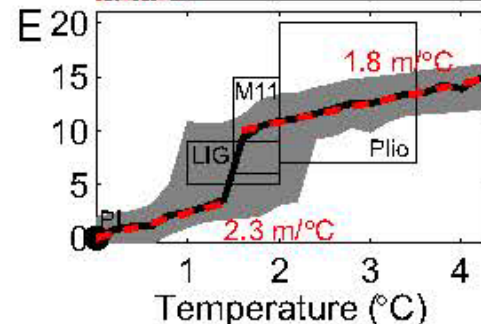
グリーンランド
氷床



南極氷床



合計



The multimillennial sea-level commitment of global warming

Anders Levermann^{a,b,1}, Peter U. Clark^c, Ben Marzeion^d, Glenn A. Milne^e, David Pollard^f, Valentina Radic^g, and Alexander Robinson^{h,i}

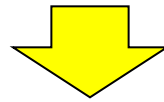
Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming could be dangerous

James Hansen¹, Makiko Sato¹, Paul Hearty², Reto Ruedy^{3,4}, Maxwell Kelley^{3,4}, Valerie Masson-Delmotte⁵, Gary Russell⁴, George Tselioudis⁴, Junji Cao⁶, Eric Rignot^{7,8}, Isabella Velicogna^{7,8}, Blair Tormey⁹, Bailey Donovan¹⁰, Evgeniya Kandiano¹¹, Karina von Schuckmann¹², Pushker Kharecha^{1,4}, Allegra N. LeGrande⁴, Michael Bauer^{4,13}, and Kwok-Wai Lo^{3,4}

¹Climate Science, Awareness and Solutions, Columbia University; Earth Institute, New York, NY 10115, USA

New initiative for the research promotion in the Arctic

- On May 15 2013, Japan was granted observer status at the Arctic Council.

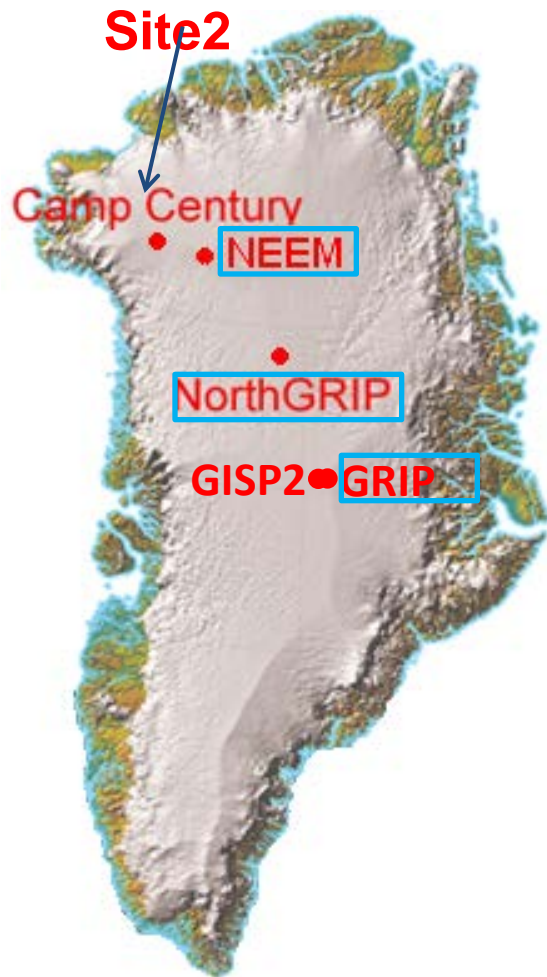


Enhanced contribution to the international community
with Science & Technology

- New project started in Sept. 2015
ArCS (Arctic Challenge for Sustainability)
2015年文部科学省 北極域研究推進プロジェクトの開始
- To deliver **the robust scientific information to stakeholders** (policy makers(incl.AC), industries, users, people, etc) for decision making and problem solving
- **Following points will be stressed;**
 - Proactive international cooperation
 - Stakeholder linkage
 - Trans-disciplinal team(incl. social science)
 - Science communication
 - Data management
 - Inter-link to “global” studies

実施テーマ2:
グリーンランドにおける氷
床・氷河・海洋・環境変動

Understanding past change of Greenland Ice Sheet and Climate, and projection of future



Denmark-Japan collaboration on ice drilling

GRIP : 3029 m (1989-1992)

North GRIP (NGRIP) : 3085 m (1996-2003)

NEEM: 2450 m (2008-2012)

(North Greenland Eemian ice drilling)

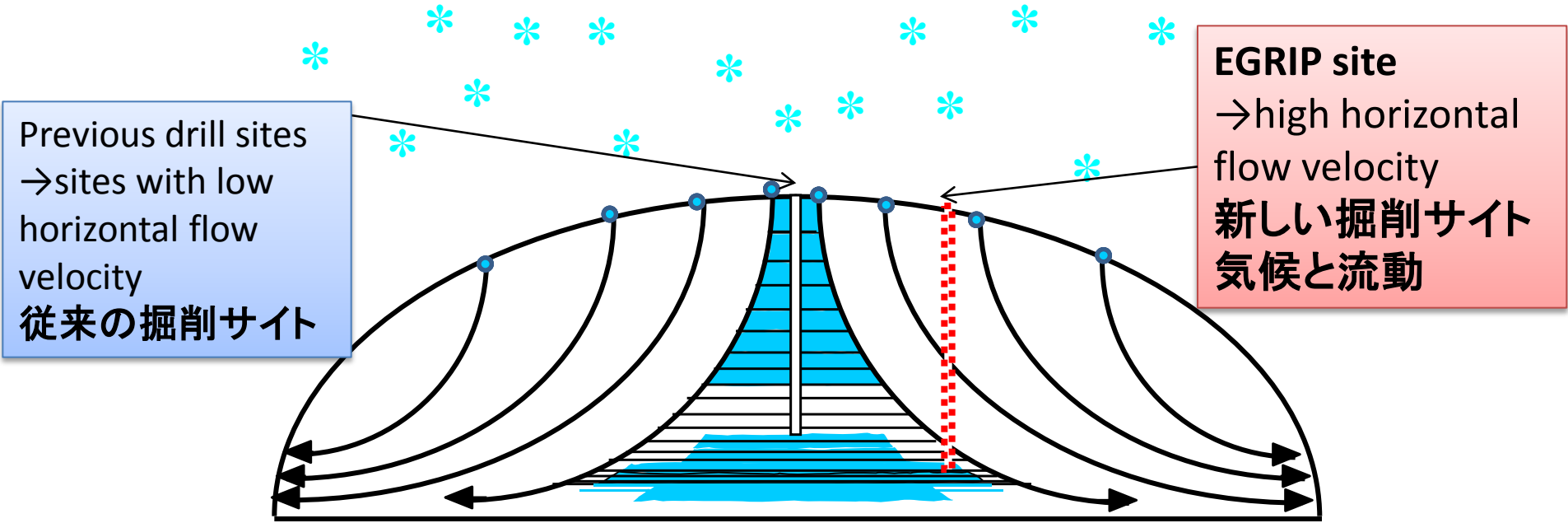
All the past deep ice-core drilling projects have given important insights into the understanding of the climate and ice-sheet variations, such as

○Greenland temperatures increased by 10°C during only 3 years around 14,700 years ago.

○Warmest period(126,000 years ago) was $8 \pm 4^{\circ}\text{C}$ warmer than today and distinct surface melting took place .

○Between 128, 000 and 122,000 years ago : Ice sheet thickness decreased by $400 \pm 250\text{m}$

A new ice-core drilling project on an ice stream



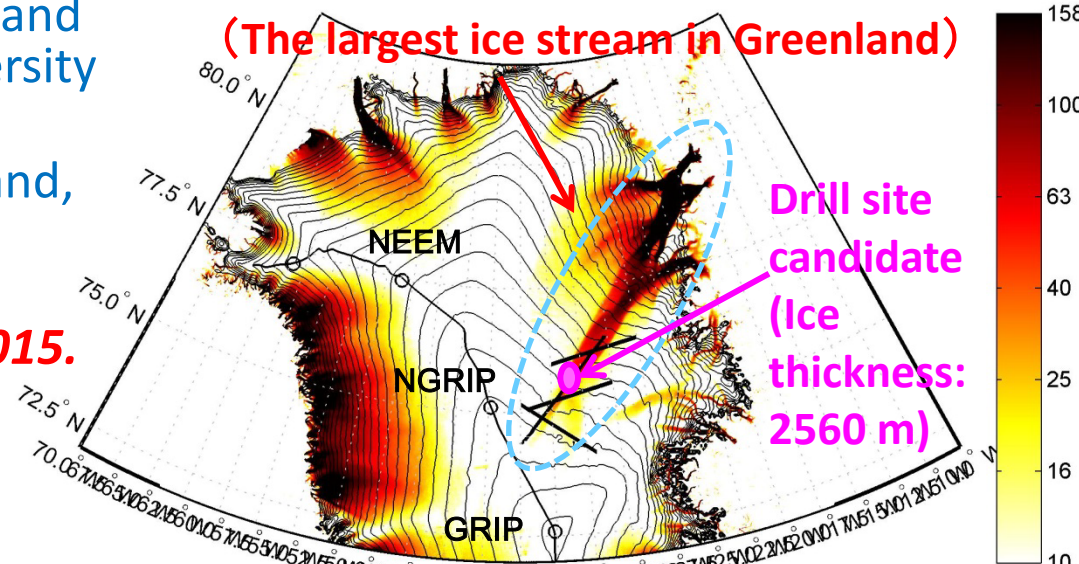
- EGRIP proposed by Centre for Ice and Climate, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen

- Japan, U.S.A., Germany, Switzerland, Norway and France were invited to participate in EGRIP.

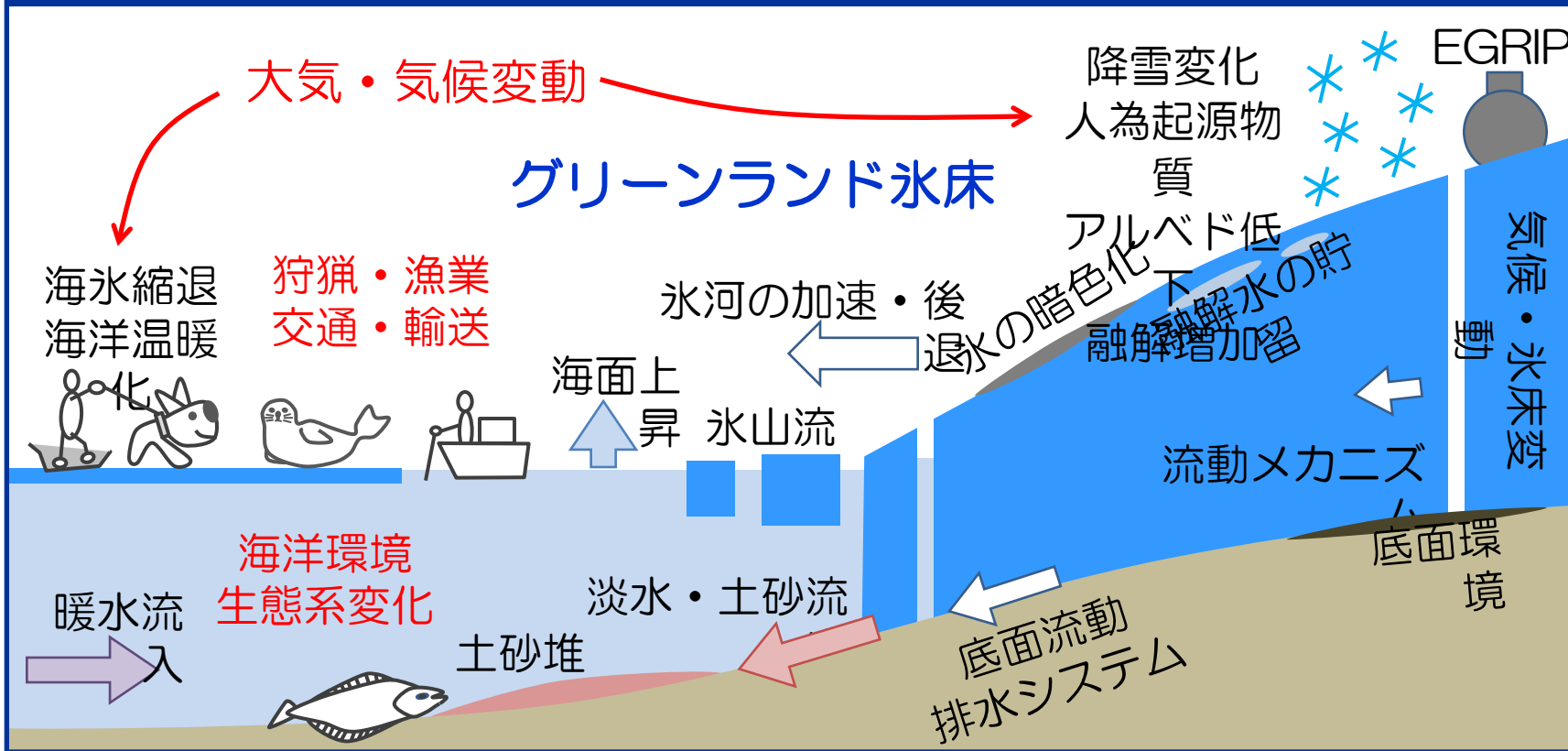
- **EGRIP will be started in spring 2015.**

NIPR and Japanese team are preparing to join EGRIP

**North Greenland Ice Stream: NEGIS
(The largest ice stream in Greenland)**



グリーンランドにおける氷床・氷河・海洋・環境変動



ArCSプロジェクトにおけるグリーンランド研究の目標

1. 近年の急激な気候変動の影響を受けた**グリーンランド氷床、カービング氷河、氷帽**を対象にして、近年および過去の温暖期の氷質量変動を定量化する。
2. 気候・海洋・氷床ダイナミクスに起因した、氷床・氷河・氷帽質量損失のメカニズム、及び質量損失が原因となって生じた気候・**海洋**・氷床変動のメカニズムを解明する。
3. これらの結果に基づいてグリーンランドにおける将来の氷質量変動を予測し、その変動が地球規模の環境変化、およびグリーンランド**住民の社会生活**に与える影響を明らかにし、研究成果を国際研究者コミュニティ、政策決定者、地域住民に提供する。またこの成果をもとに、氷河氷床・気候・海洋の変動に対する**施策の議論と適応策の提案**を行う。

GRENEからArCS

月刊地球 「地球温暖化とグリーンランドの氷河氷床変動」

2015年1月、2月

グリーンランド氷床研究の推進

グリーンランド氷床の質量は過去20年にわたり**減少**しており、氷河はほぼ世界中で縮小し続けている。

氷床融解の影響は単に海水準上昇だけにとどまらない。氷床など陸水からの海洋への淡水供給は、海洋構造と循環の変化、海洋中への二酸化炭素取り込み促進などで海洋にも様々な影響をもたらすものである。**グリーンランドから流出する融解水**は、北極海に注ぐシベリアからの大河川の年間流量にも相当する大きな淡水供給である。この淡水供給がグリーンランド周辺の北大西洋周辺の海洋にでているが、それが急速に増えつつある。

このようなグリーンランド氷床の影響は、北極環境変動の研究には重要な問題である。GRENE北極プロジェクトの中で、グリーンランド氷床の研究活動への取組が開始したが、当初、研究を開始するうえで様々な議論があった。

GRENE北極におけるグリーンランド研究開始

議論1：日本が参加する余地はあるか

議論2：狙う現象は何か

議論3：古環境研究成果の活用は

議論4：氷床内部を探る手段は

議論5：活動場所はどこがよいか

グリーンランド氷床では2012年7月に氷床表面のほぼ全域に融解が起きた。しかし、その翌年の2013年には春までの多降雪と寒冷な夏となった。表面融解は押さえられ、アルベドも高くなった。3年の間に両極端の状況に遭遇したことになる。

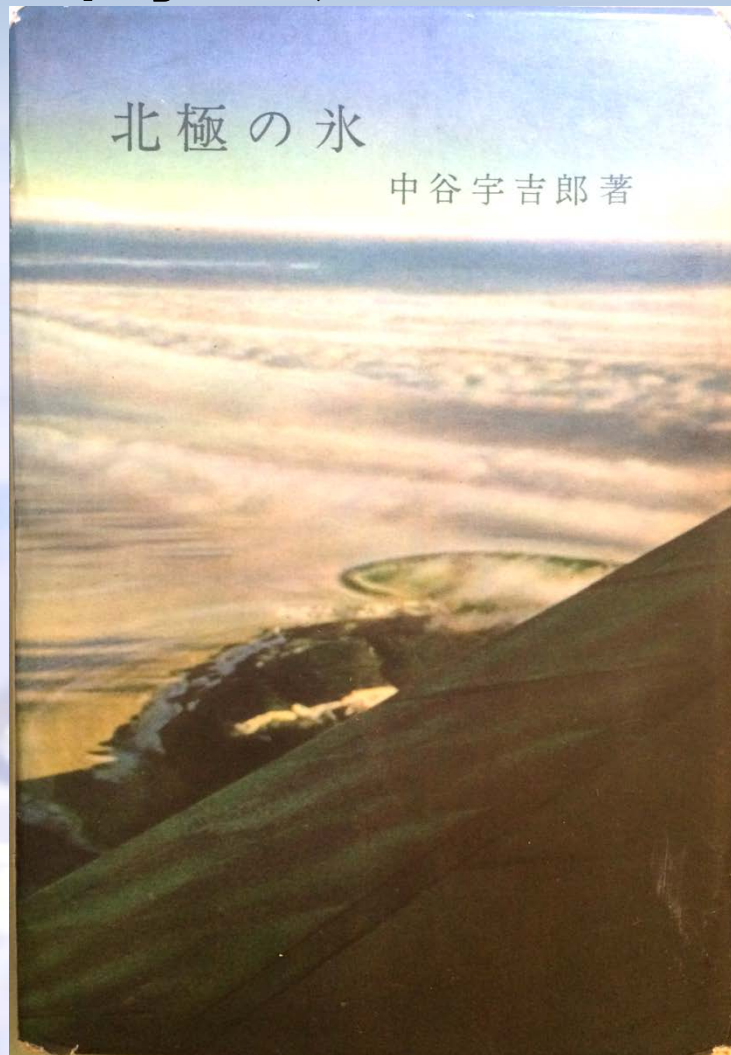
多くの欧米の研究が先行する地域に分け入って、小さな地域でも狙いを定めたモデル域を設定し、北極の気候の構成要素であるグリーンランド氷床で研究を開始した。

氷床表面、底部の観測、氷床表面の暗色化に対する生物の影響確認、衛星を使った過去の変化の把握、など実績を上げてきた。氷床質量減少の半分は融解で起きており、半分はカービングによるとされている。表面での融解水が氷床内でどのように滞留し、流出するかは未知である。

グリーンランドや北極圏の氷河は海面まで達しているものが多い。氷床が海とどう関係しているか、。氷床と海が接するところは、氷床流動のダイナミクスが敏感に働くところである。さらに、海洋の生態系のかかわるところ、そして人間の生活圏でもある。

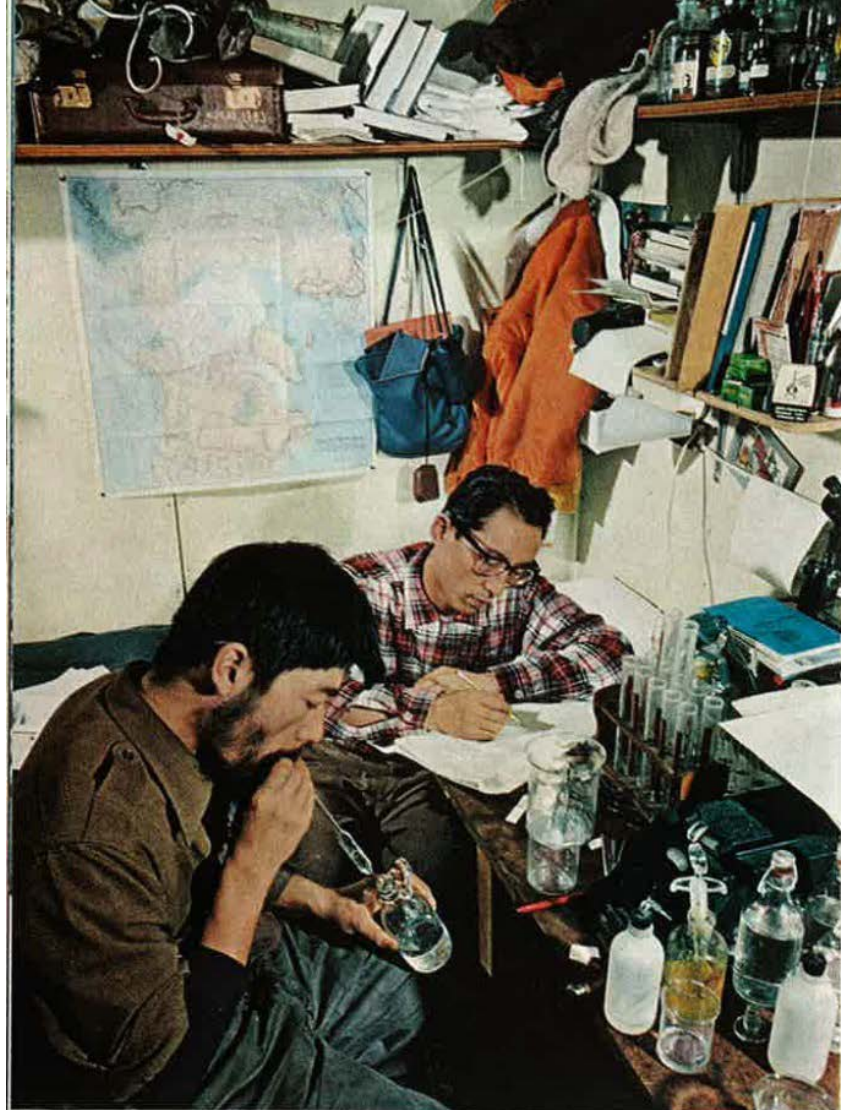
⇒ 新しい活動へ

北極研究のパイオニア



「北極の氷」 1957年グリーンランドの記録
宝文館 昭和33年4月刊

一塊の氷の中に、いくら研究しても、しつくされないほどの神秘が
蔵されている... 昭和33年1月 札幌 (あとがきより)



KODACHROME BY TED SPIEGEL © N.G.S.

Japanese scientists on Arlis II reflect international interest in Arctic research. Dr. Kou Kusunoki of Hokkaido University, right, spent two winters on the ice island. An assistant, Akito Kawamura, measures salinity of Arctic Ocean water. Heaviest salt content lies in a subsurface layer from the Atlantic.

Bob Fischer handed me his earphones and I was amazed to hear the voice of a woman speaking Russian, then a man answering. One of the Soviet Union's ice-floe stations was wandering along a few hundred miles from Arlis.

Later that spring Bob and copilot-mechanic Frank Quates spotted a Russian station, North Pole 11, and circled it. There were men down there waving them in—so they landed!

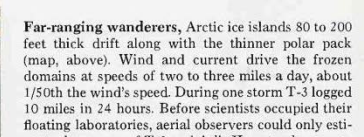
The first time either nation had paid the other a visit at the top of the world did not produce a talkative get-together; neither guests nor hosts knew the others' language. There was much



8000 B.C. After a period of warm climate, the winters steadily become longer and colder. A sheet of ice several feet thick freezes fast to the coast of Ellesmere Island.



4000 B.C. As the cold period continues, accumulating snow and freezing sea water increase the ice shelf's thickness to 100 to 200 feet. Wind action ripples its surface.



Today. With a warmer climate, the shelf thins. Under pressure from the polar ice pack, tidal action, and storms, a portion breaks away and begins its drifting ice island career.

Far-ranging wanderers, Arctic ice islands 80 to 200 feet thick drift along with the thinner polar pack (map, above). Wind and current drive the frozen domains at speeds of two to three miles a day, about 1/50th the wind's speed. During one storm T-3 logged 10 miles in 24 hours. Before scientists occupied their floating laboratories, aerial observers could only estimate the course of T-3 and Arlis II, so tracks appear smooth. Later, when inhabitants charted daily movements, they found the paths to be zigzag.

979

679



Thank you for your attention