

北極域の海氷と温暖化

北見工業大学 社会環境工学科 榎本浩之

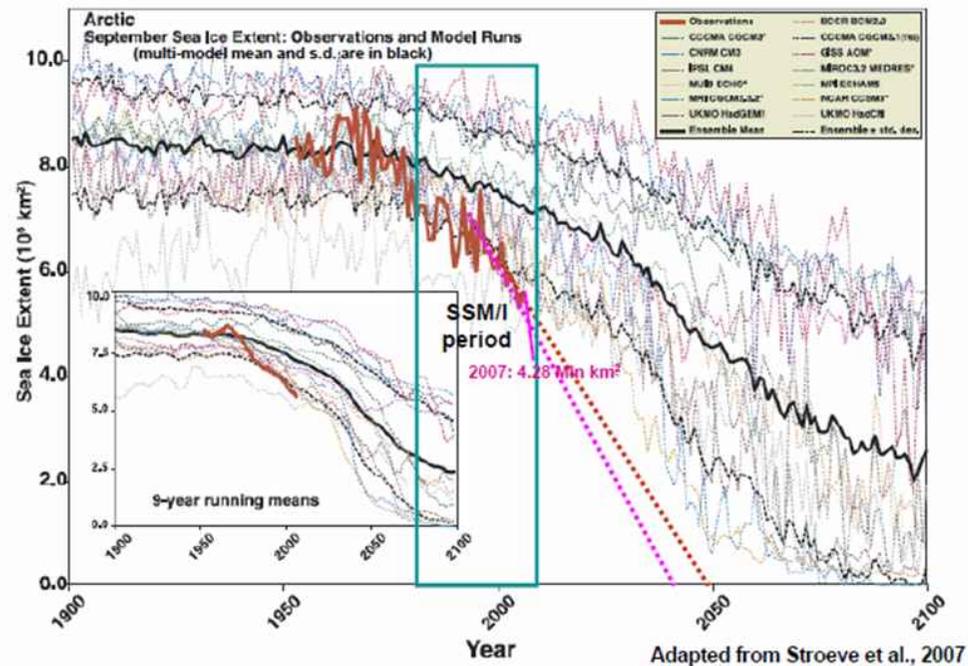
1. これまでに調べられていたこと
2. 2007年夏北極海で何が起きたか
3. これからの観測推進

近年北極海の海氷面積の減少が著しく、夏期の消耗が加速して起きている。

2007年8月には北極海の海氷面積が過去30年間に
およぼ衛星観測史上最小となった。

これは気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が2007年2月に発表した見解「北極海の晩夏における海氷は21世紀後半までにほぼ完全に消滅するとの予測もある」を大幅に上回る速いペースでの減少だった。北極海では何が起きているのか？

Observed rate of loss of Arctic ice extent is faster than IPCC AR4 predictions

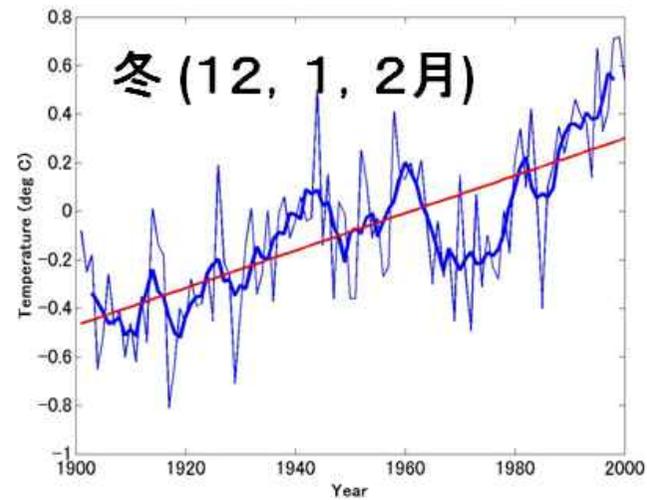
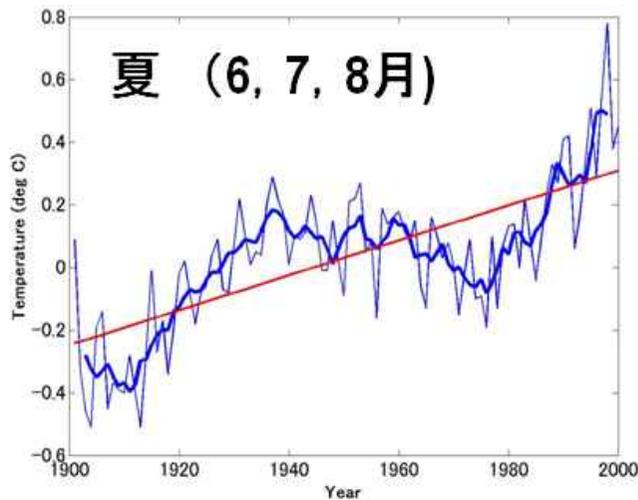


IPCC 2007 and Maslowski, 2008

これまでに調べられていたこと

- 北極圏の気温は上がってきている
- 海氷は減ってきている

北半球の気温上昇



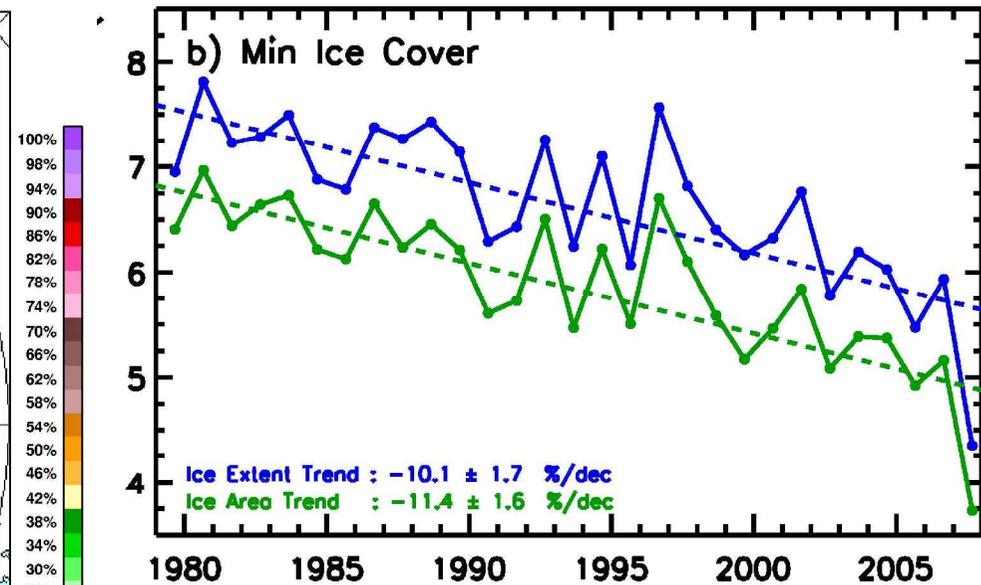
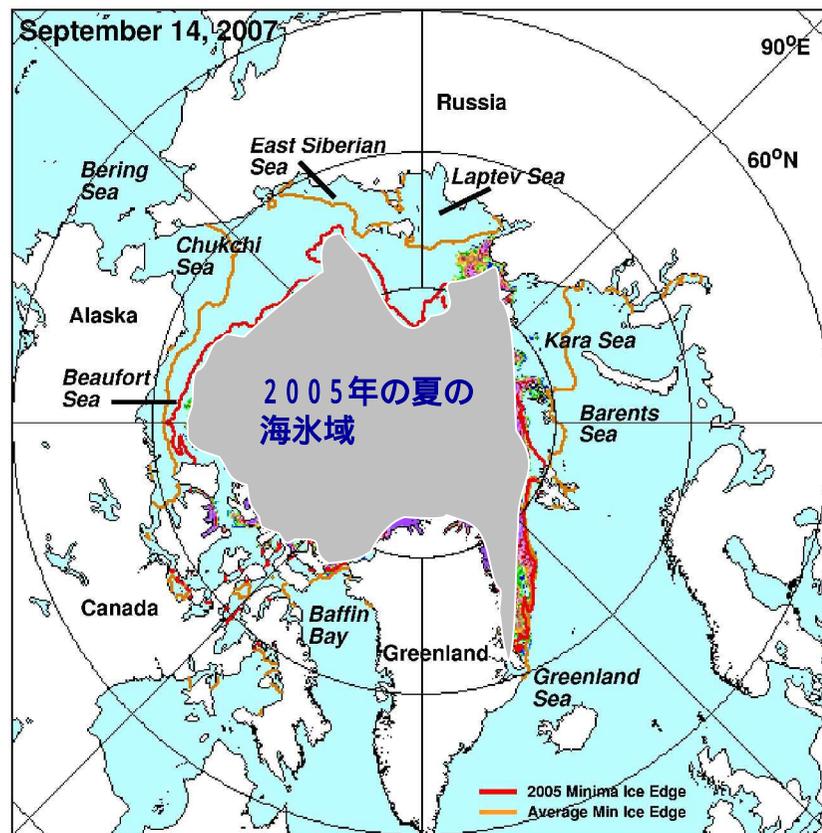
- 注意: いろいろな変化の混在 (数年、20年、60年...)。
- 場所によっては冷えているところもある。

Data: Jones at UEA

海水面積は減ってきていた

2000年以降になってから、毎年のように最低記録更新していた。(毎年9月に新記録発表)

2007年これまでとは違う変化



Comiso et al., 2008

どうして氷が減ったのか 融けた？ 流れ出した？ 破壊？

大気に原因あり

- 2007年が特殊だった？
- 2007年夏の好天(日射増加)
- 2007年夏の気圧配置
- 大気の長期変化傾向の現れ？
- 夏の気圧配置の長期変化

海に原因あり

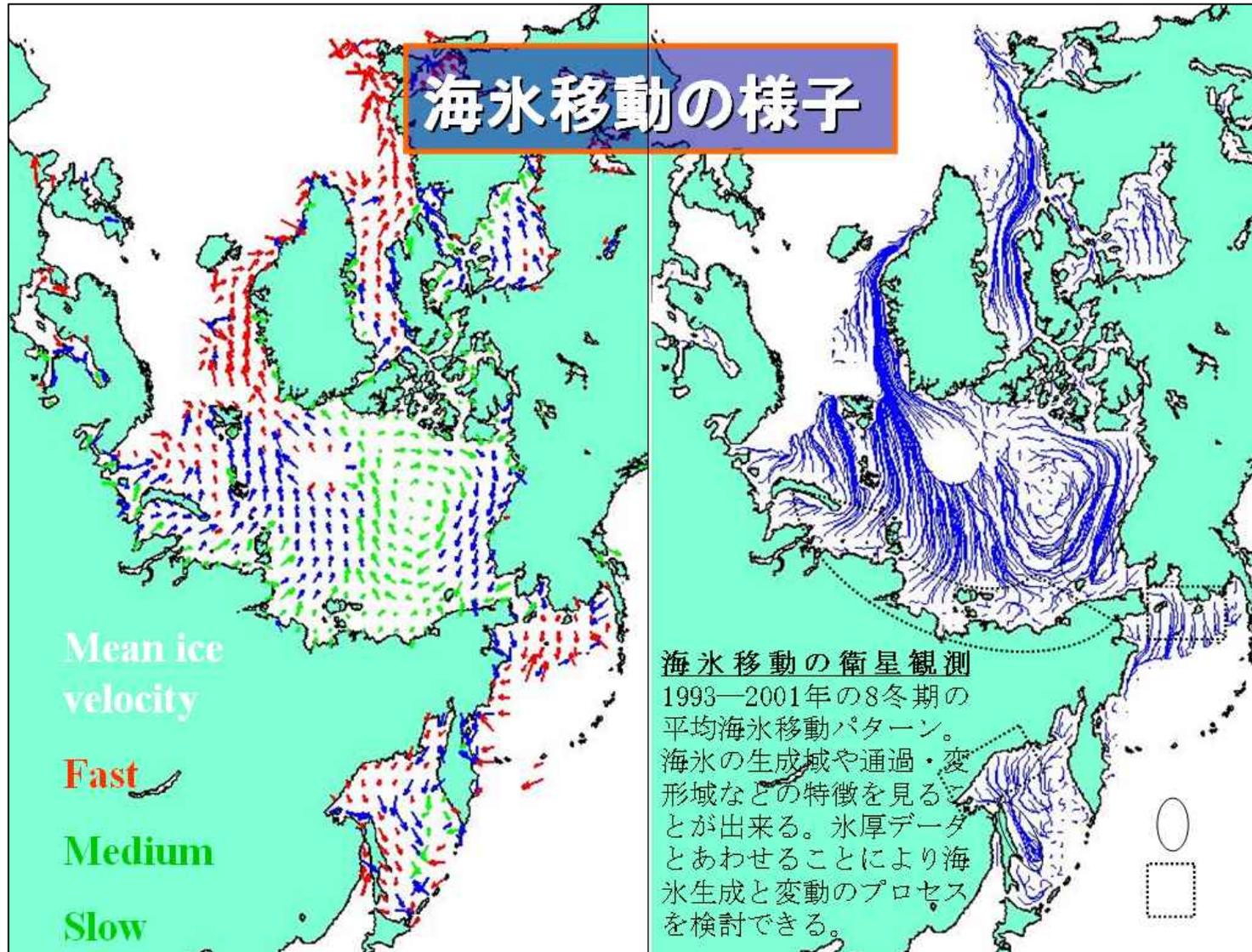
- 太平洋から流入する暖水？
- 北極海内での循環？
- 大西洋から流入する暖水？

氷に原因あり

- 氷が動きやすくなっている？
- 融けやすくなっている？



- ・季節海氷域： オホーツク海、ベーリング海など
- ・多年氷域： 北極海中央部。5年から8年程度で北大西洋に流出



どうして氷が減ったのが融けた？ 流れ出した？ 破壊？

大気に原因あり

2007年が特殊だった

2007年夏の好天(日射増加)

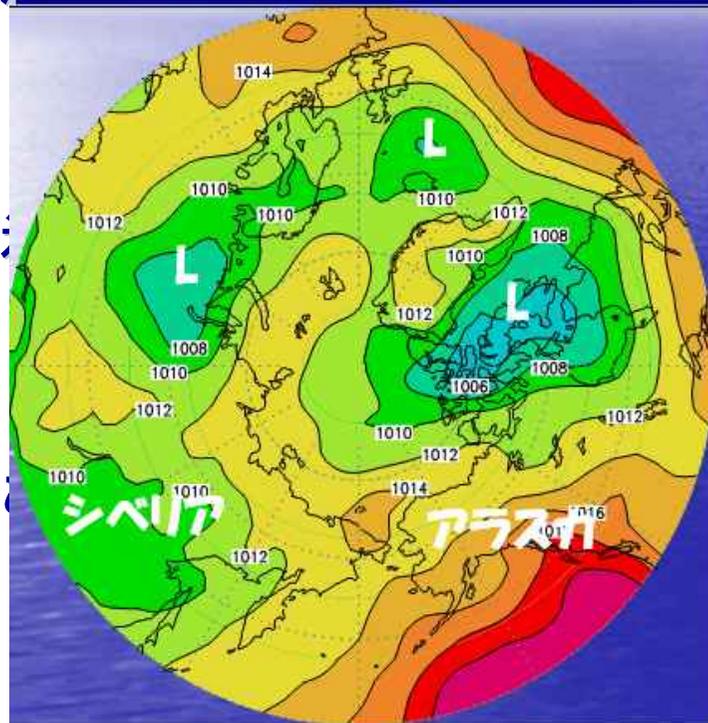
2007年夏の気圧配置

大気の長期変化傾向の現れ

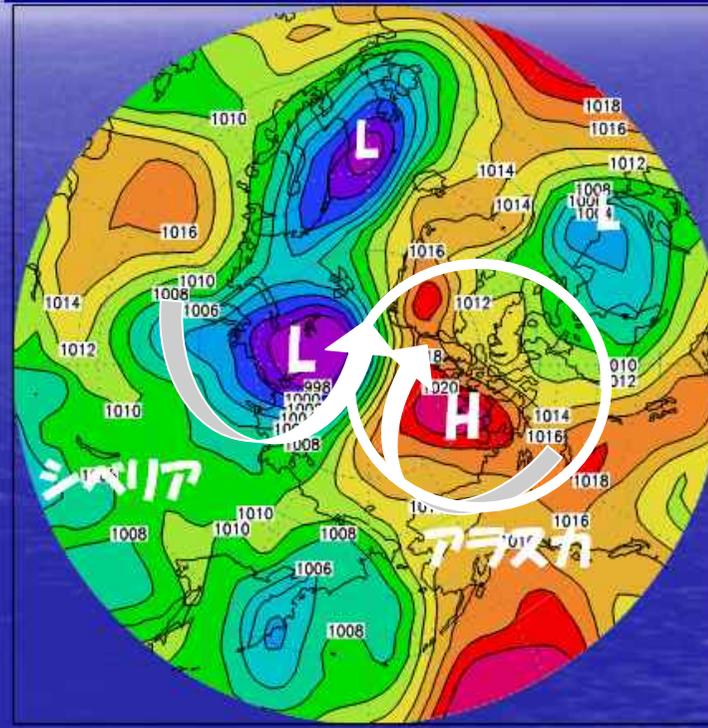
夏の気圧配置(カナダ側の高気圧)が強化



長期平均 (8月中旬)



2007年8月12日~18日の地上気圧



どうして氷が減ったのか 融けた？ 流れ出した？ 破壊？

大気に原因あり

- 2007年が特殊だった？
- 2007年夏の好天(日射増加)
- 2007年夏の気圧配置
- 大気の長期変化傾向の現れ？
- 夏の気圧配置

海に原因あり

- 太平洋から流入する暖水？
- 北極海内での循環？
- 大西洋から流入する暖水？

氷に原因あり

- 氷が動きやすくなっている？
- 融けやすくなっている？



どうして氷が減ったのか 融けた？ 流れ出した？ 破壊？

大気に原因あり

2007年が特殊だった？

2007年夏の好天(日射増加)

2007年夏の気圧配置

大気の長期変化傾向の現れ？

夏の気圧配置

海に原因あり

太平洋から流入する暖水？

北極海内での循環？

大西洋から流入する暖水？

氷に原因あり

氷が動きやすくなっている？

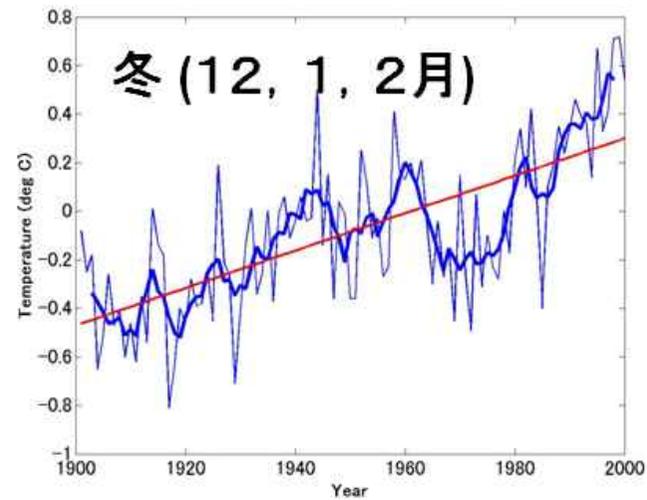
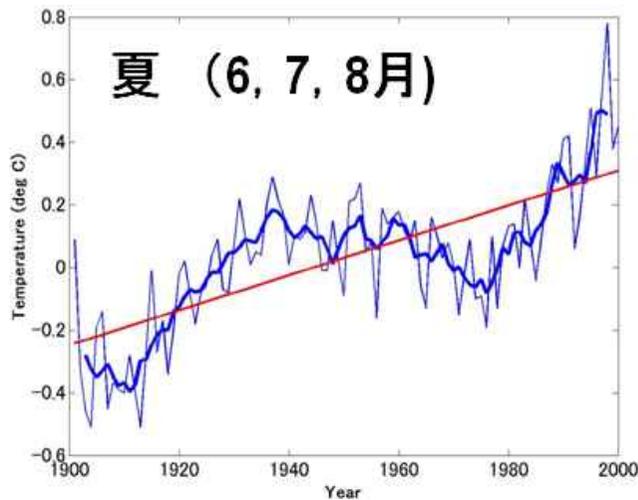
融けやすくなっている？



これまでに調べられていたこと

- 北極圏の気温は上がってきている
- 海氷は減ってきている

北半球の気温上昇

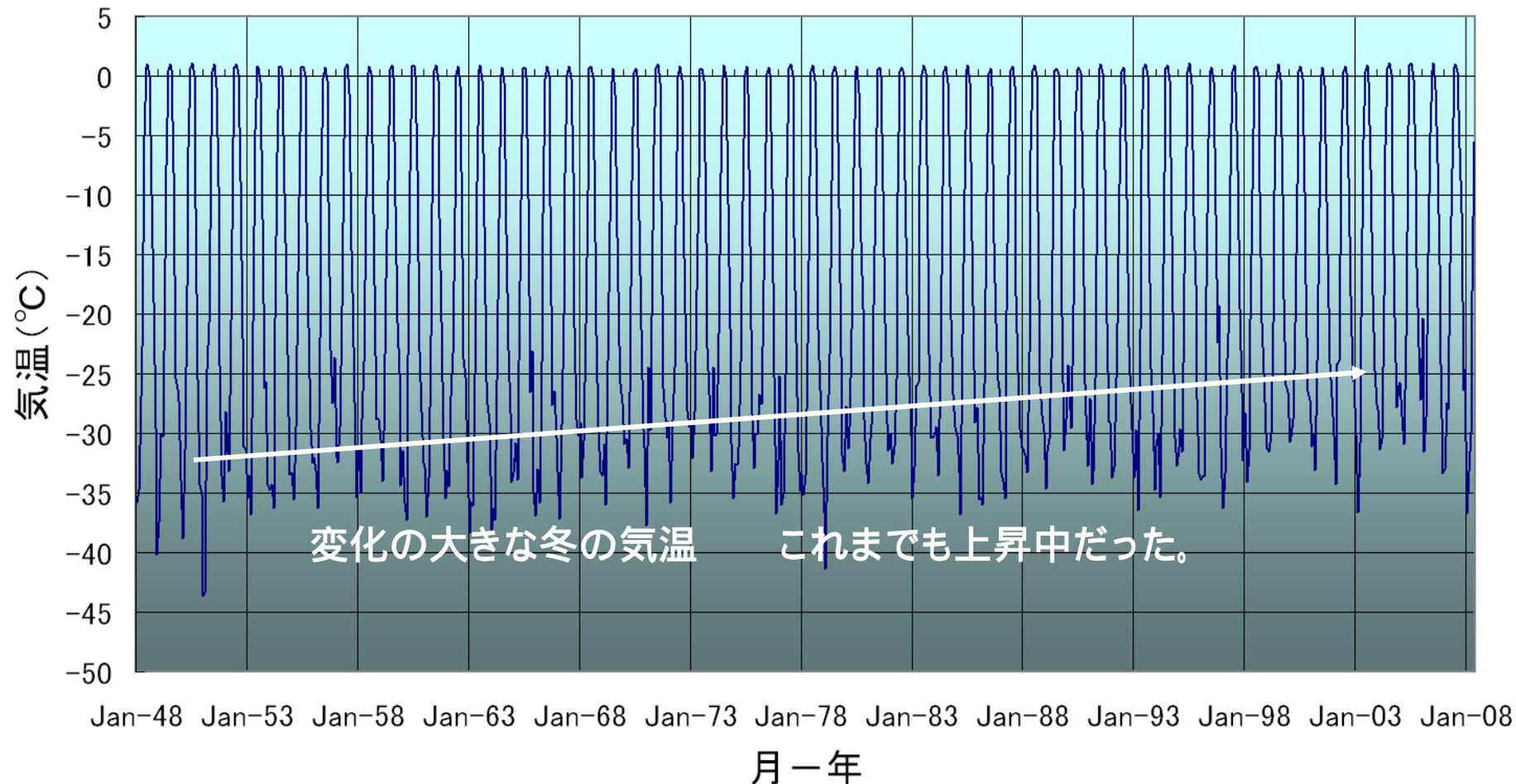


- 注意: い
- 海氷上ではどうなっていたか。
- 客観解析データから

Data: Jones at UEA

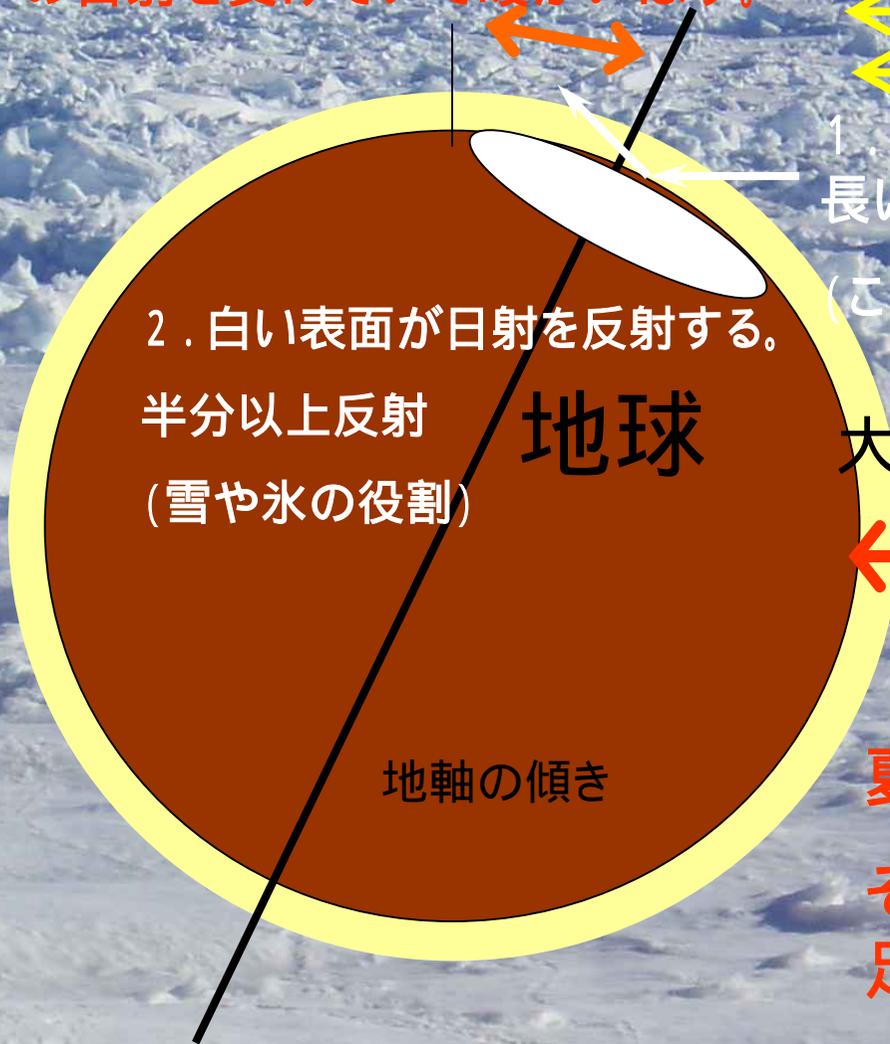
北極点の気温

変わらない夏の平均気温 ほぼ0 を維持。夏の北極圏でどのようなことが起きているか？



北極圏の気候：夏も気温が0より上がらない？

夏の北極圏は日が沈まない。大量の日射を受けていて暖かいはず。



1. 大気の中を通ってくる距離が長いので地表に届く日射が弱まる。
(ここまでは良く知られている)

大気

← 大気の中を通ってくる距離が短い。

夏の北極の低温気候：

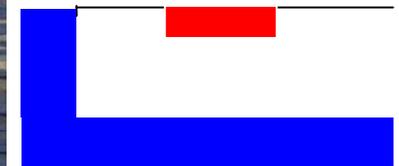
それでも低温である理由が足りない。

海水融解の潜熱が使われる。融けきるまで温度は上がらない。

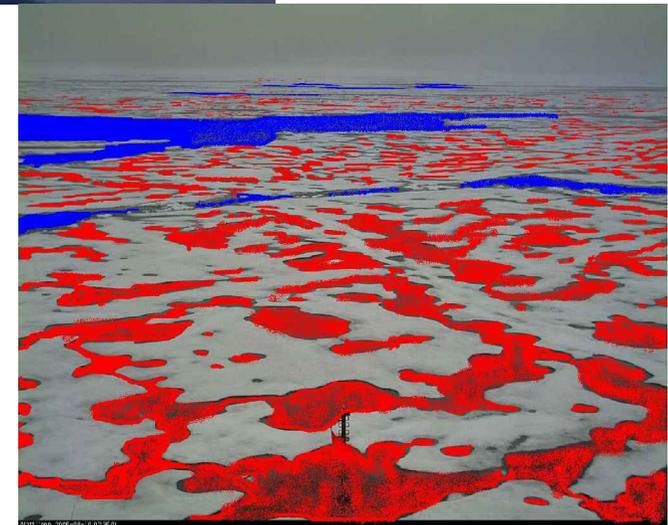


Melt Pond

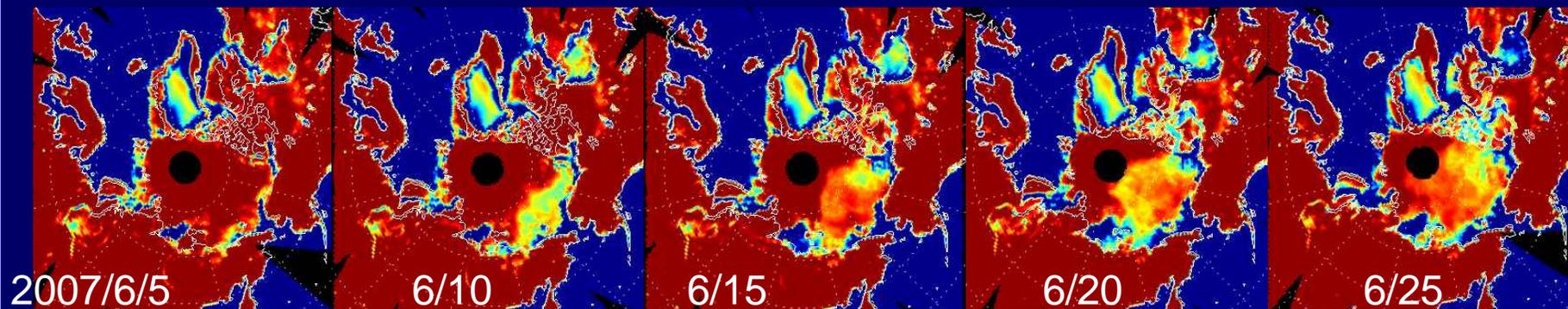
Open water



日射に対する反射率が
地表面でもっとも反射率の高い雪と氷
逆に最も低いのが海水面。
海水融解でこの切り替えが起きる。
ポンド さらに底なしへ



氷に変化がおきている？



暖気：表面融解が急速に広がる

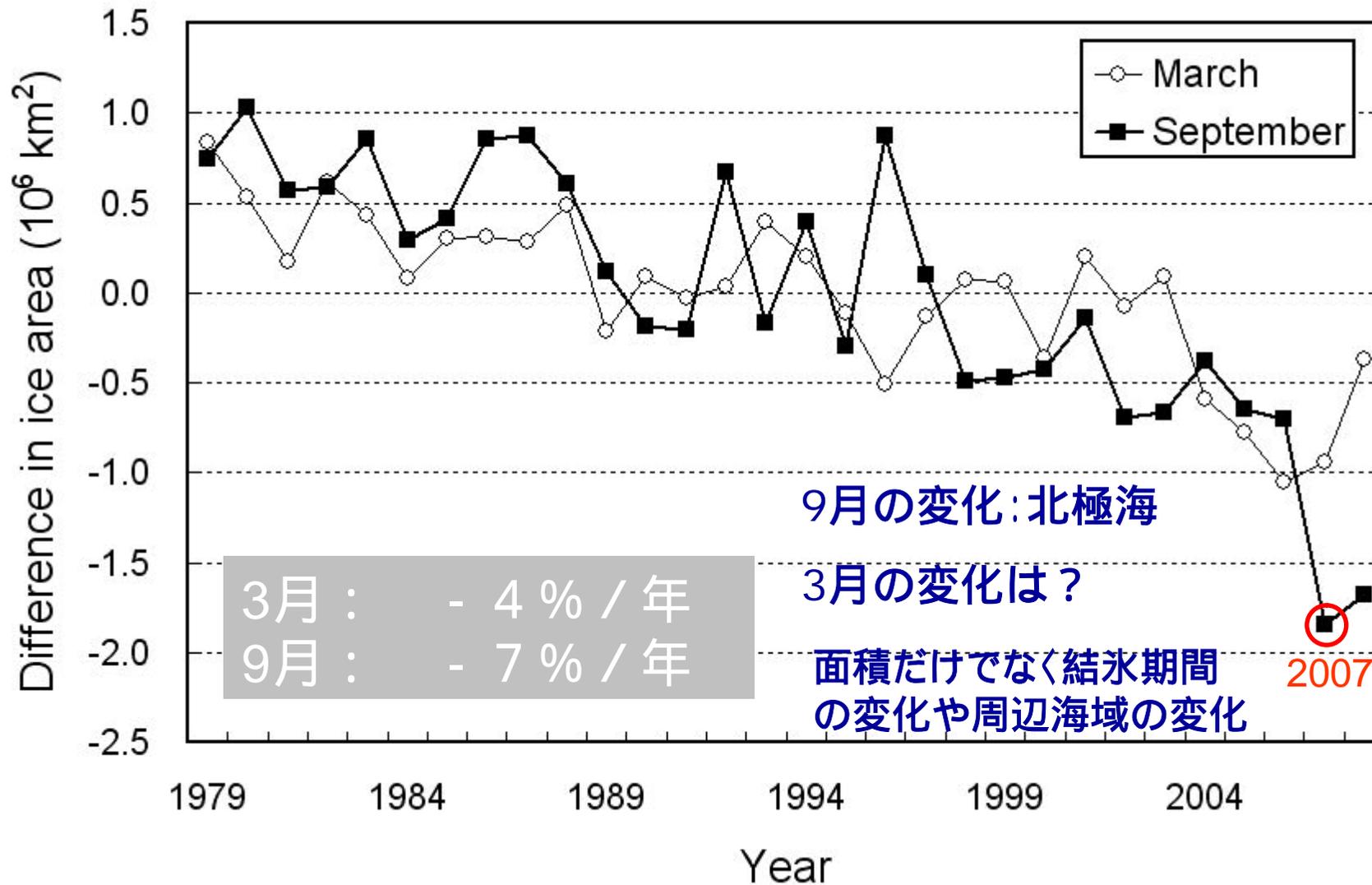


海と大気と氷の変動が相互に関与している可能性

- 冬には海氷面積回復
- 海氷減少と言っても、北極海は冬期には全面結氷している。
- 冬の変化はおきていないのか？

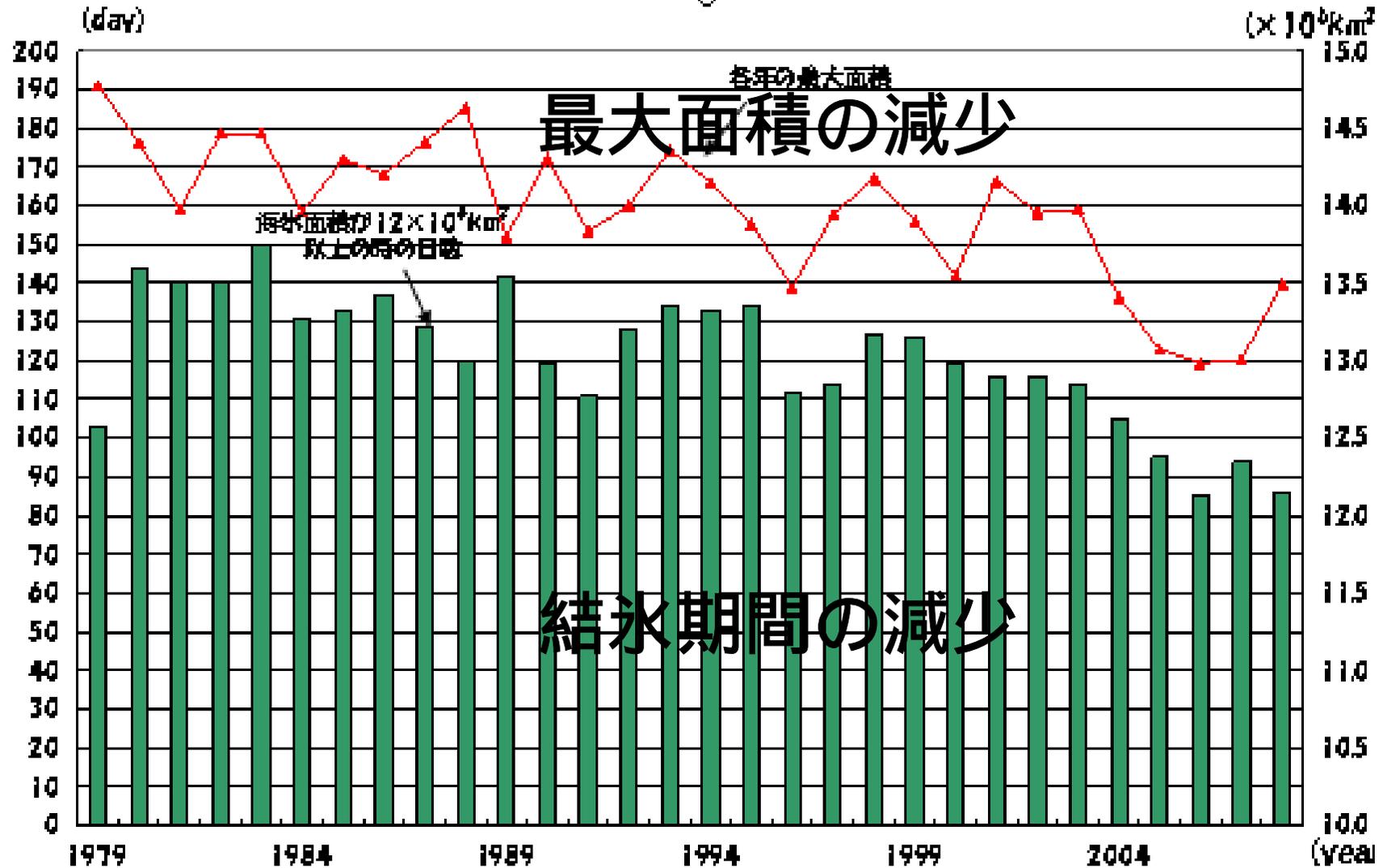
過去30年間の海氷面積の変動

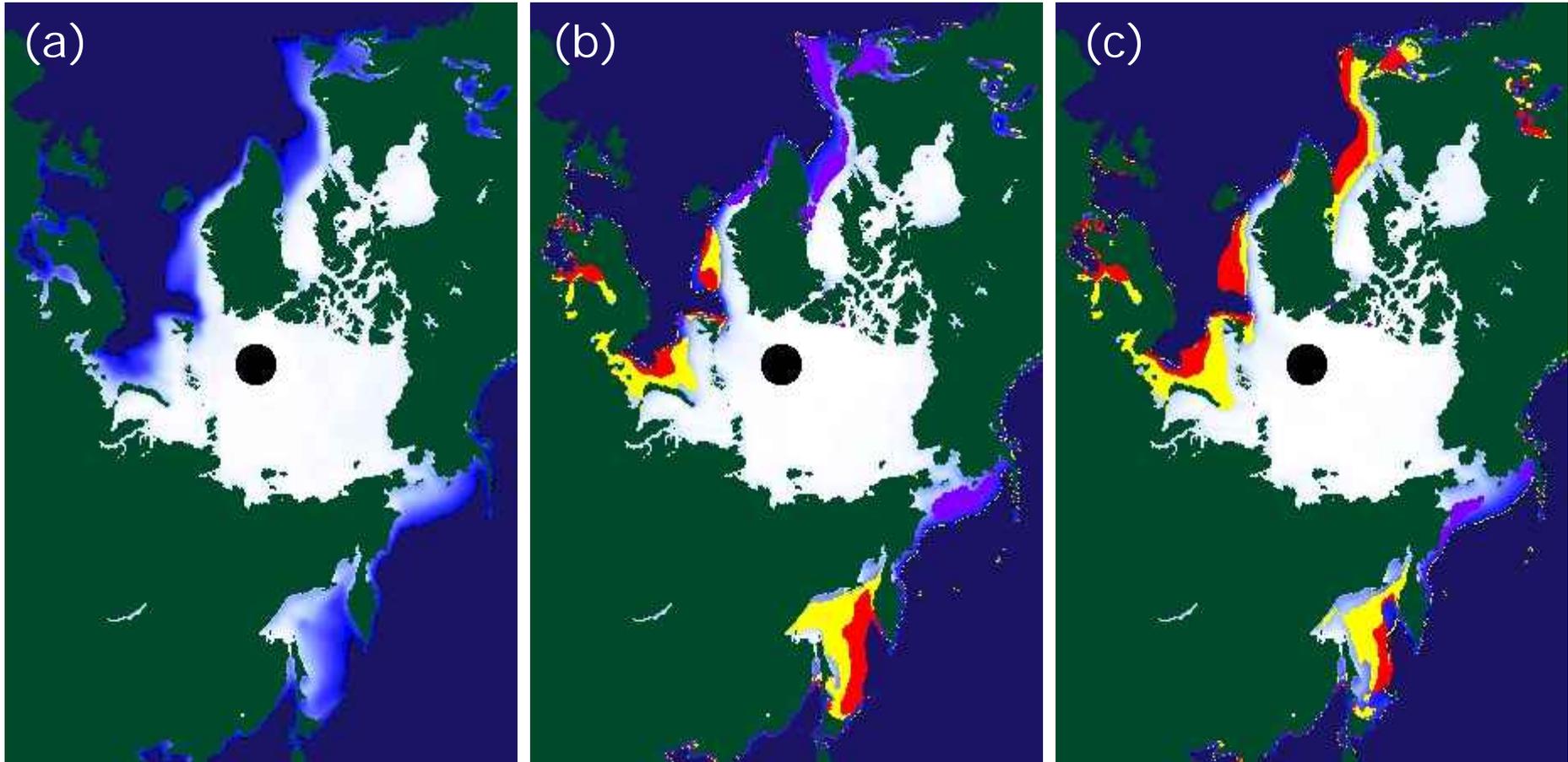
(1978年から2008年までの9月, 3月) SMMR, SSM/I



夏季の海氷減少が注目されているが、冬期の海氷変動は
どうなっているのか。

北半球全体での海氷量の減少傾向が見られる。どこが
減っているのだろうか。最大面積だけでなく期間にも注意。





平均海氷分布(1月～4月)

1979～1988

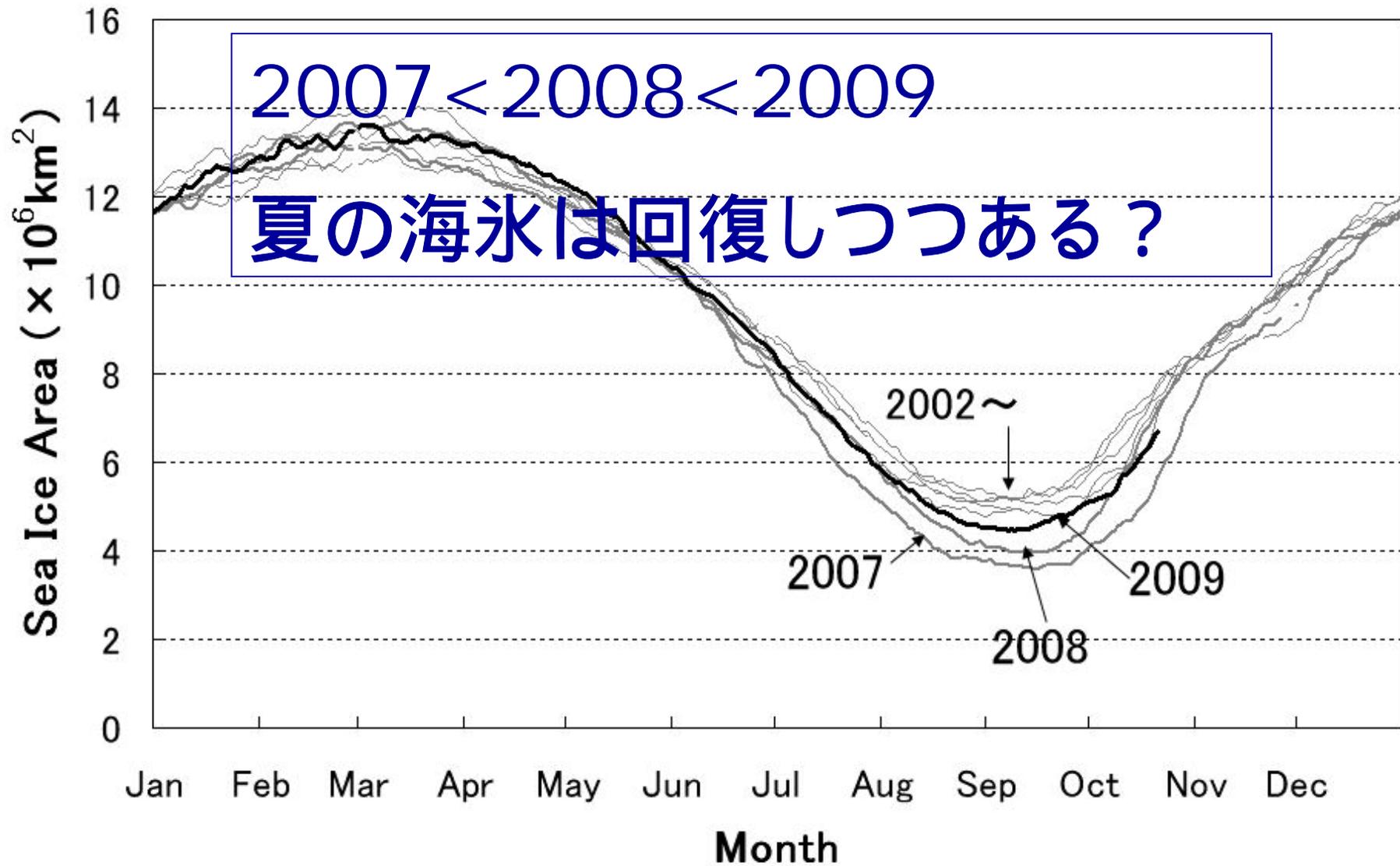
1989～1998

1998～2008

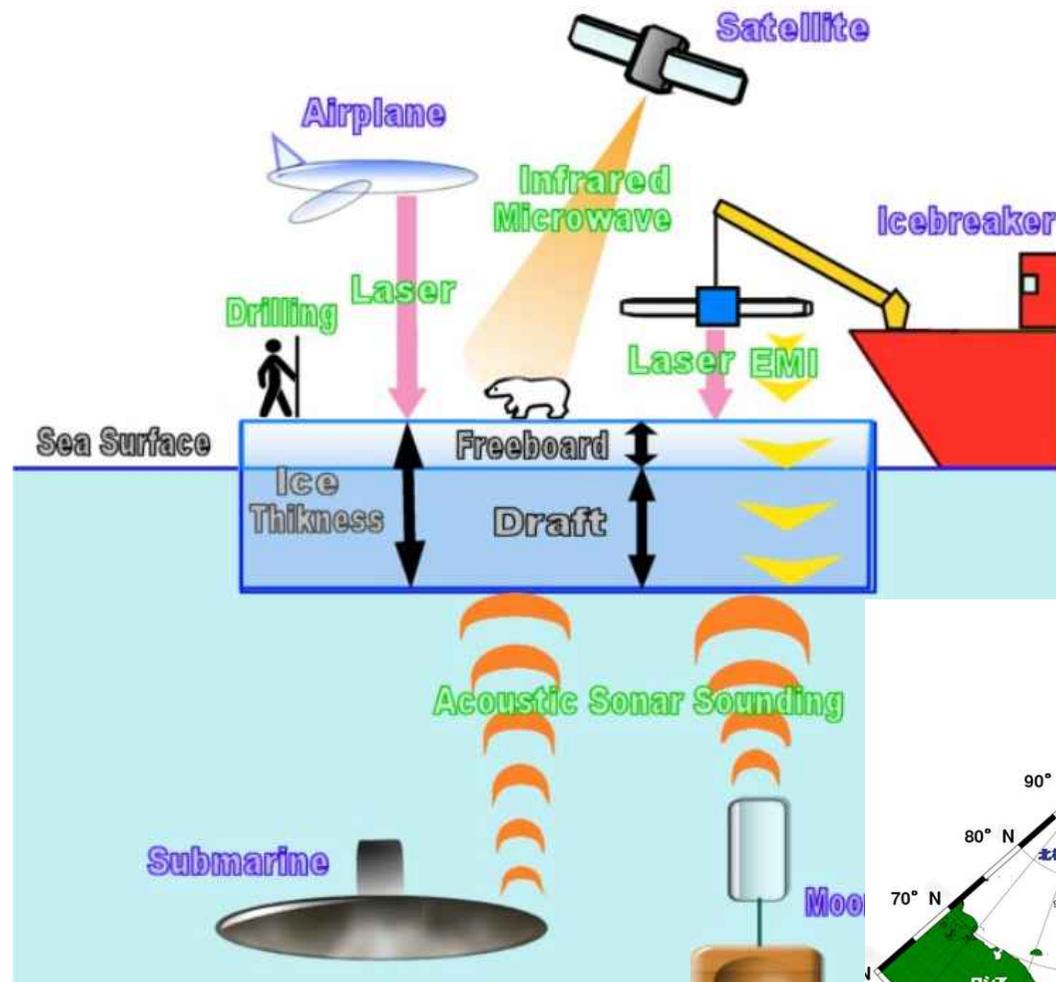
左から、(a)1979～1988年の1～4月における海氷面積の平均。
(b)(a)に対する変化。

冬期の、北極海を囲む周辺地域では変化がおきている。

海氷面積の変動（2002年から2009年まで） AMSR-E



氷の厚さを測る

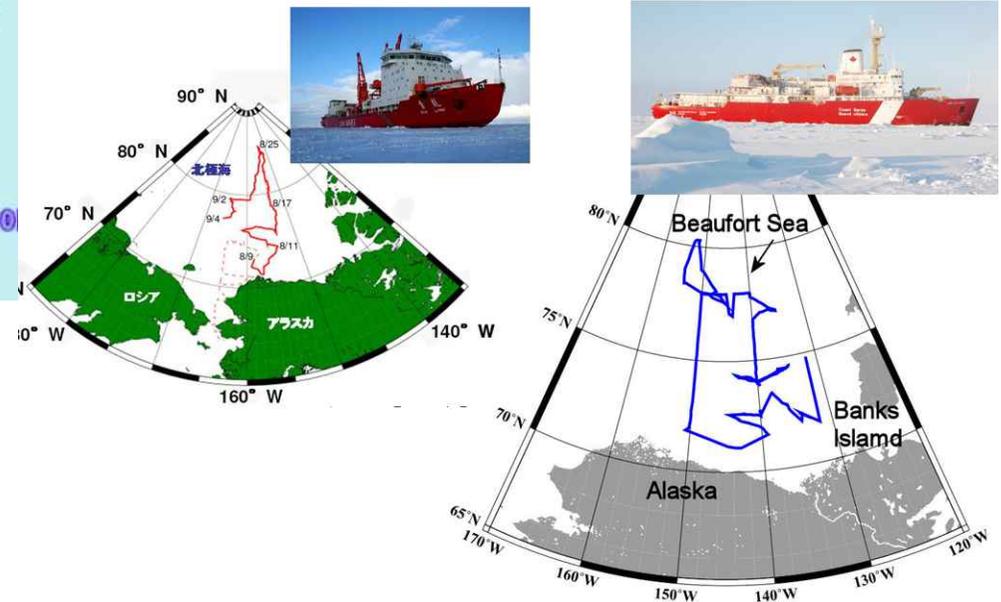


面積の回復

厚さは？

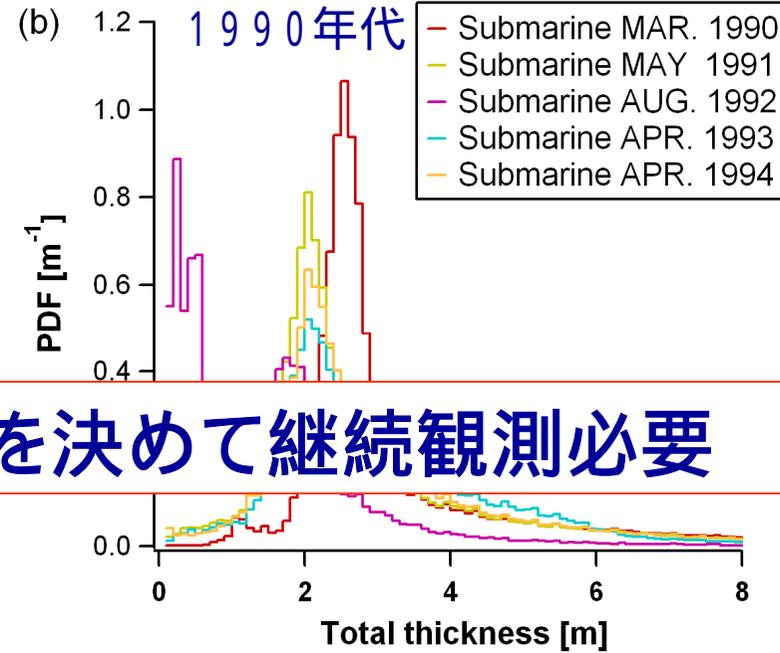
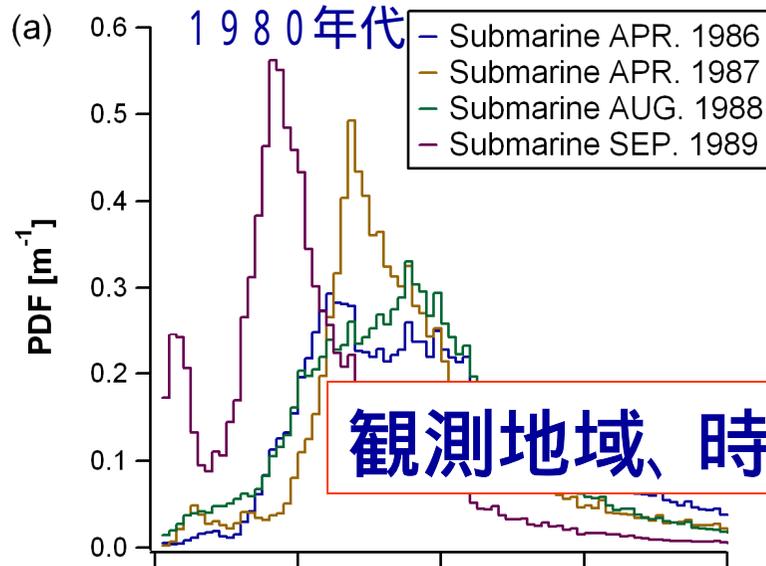
一度消えた多年氷

再生されているのは1年氷

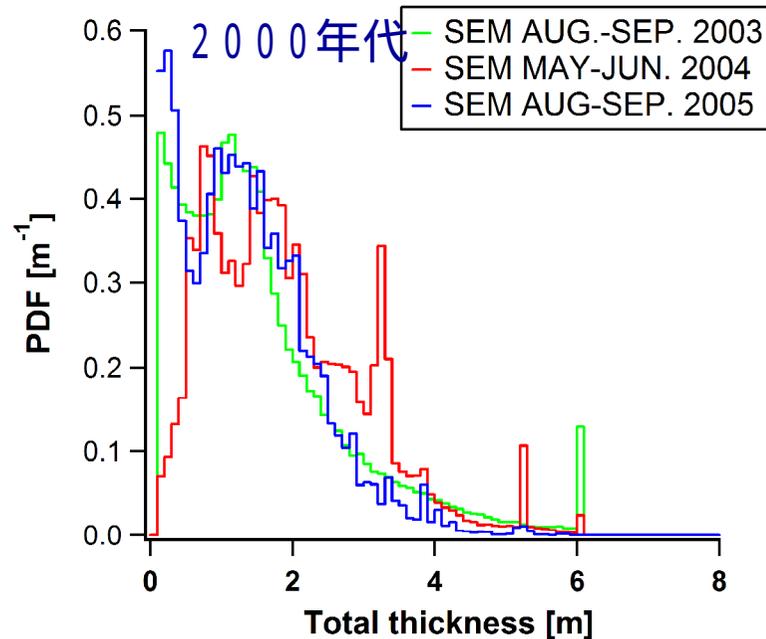


北極海の家氷厚变化 (潜水艦ソナーと船EMより) Tateyama et al., 2009

(a)1980s, (b)1990s (c) 2000s



観測地域、時期を決めて継続観測必要



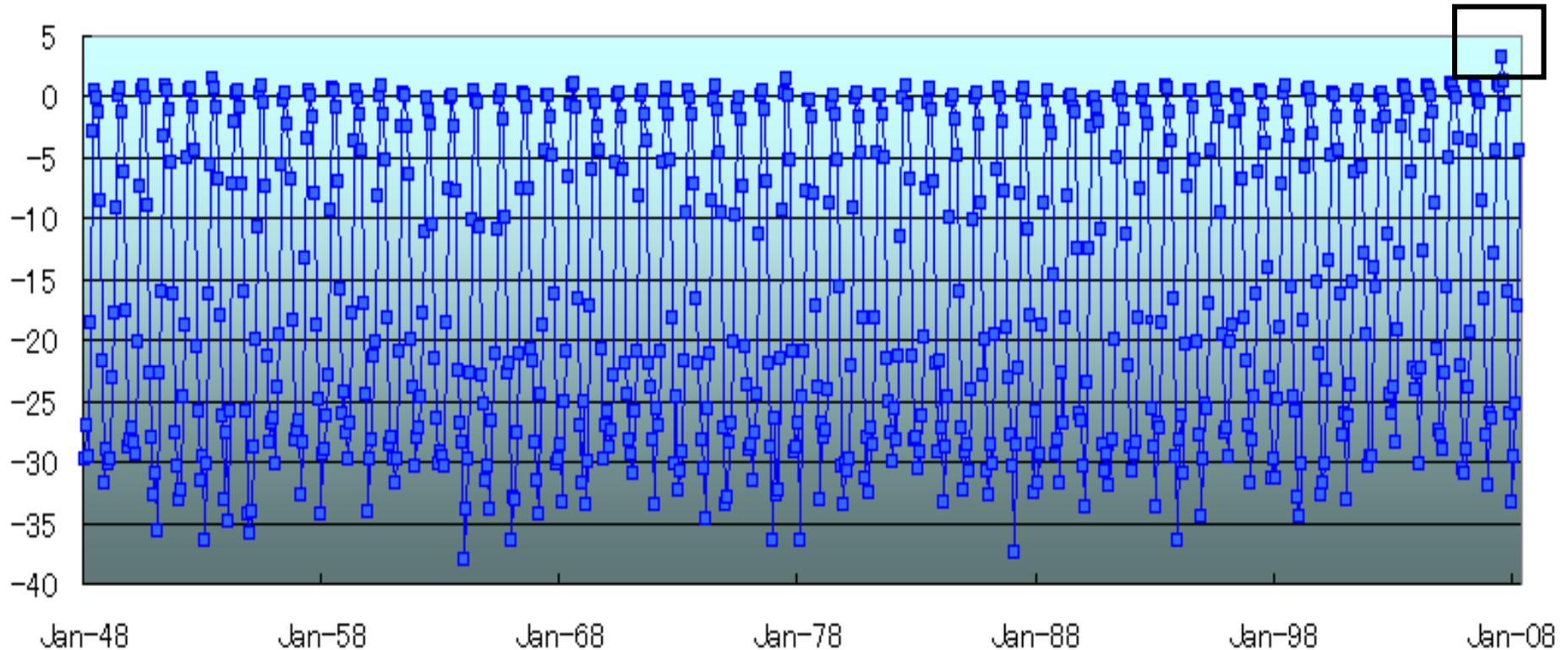
オホーツクのような季節海氷域
薄い氷は破壊、移動が容易、変化
激しくなる？

1. これまでに調べられていたこと
2. 2007年夏北極海で何が起きたか
3. これからの観測推進

- ・海氷の変化を監視する。衛星観測、船舶観測、ブイ観測
面積、厚さの観測。周辺地域との関連。
- ・気象データの精度低下を防ぐ。
ブイデータの偏在をカバー。

2007年海氷が減った地域の気温

シベリア沖の気温変化(170E 72.5N)

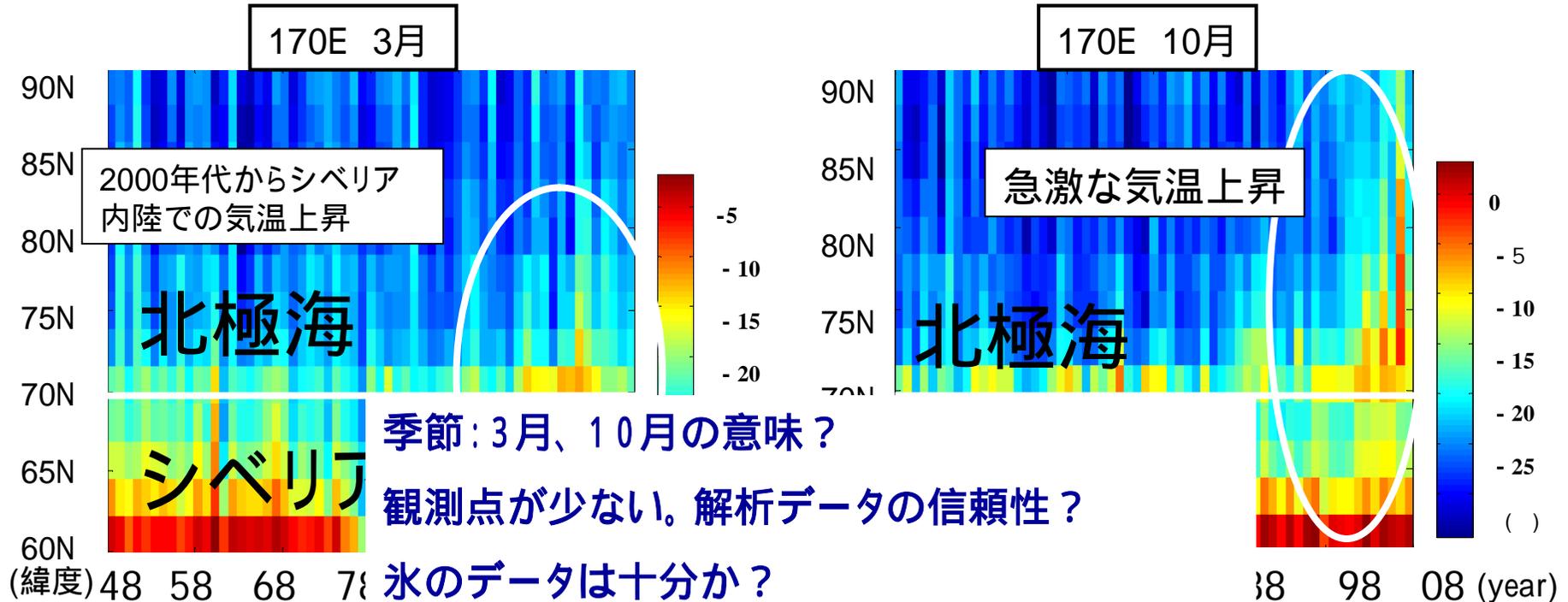


夏期の温度が0にとどまらない状態が起きた。

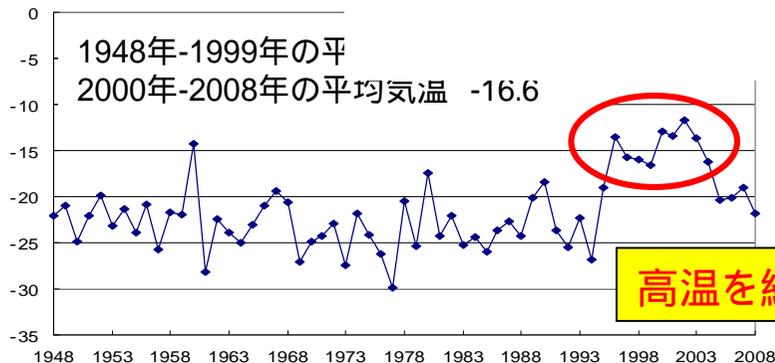
気象データによる変化の監視。

海氷と気温：原因と結果？

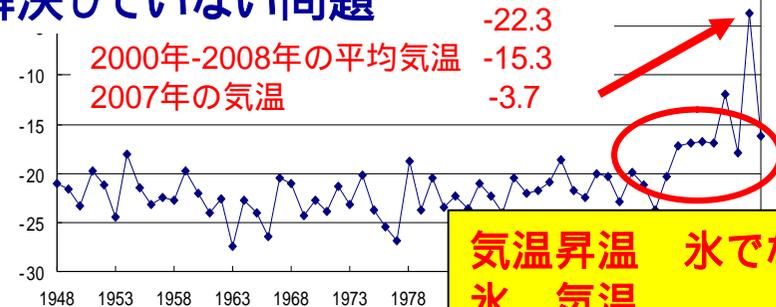
春季，秋季における60年間の気温変動グラフ（NCEPデータ）



7C 相互作用のシステム理解は十分か？



解決していない問題



約19 高い(自然、計算方法?)

気温昇温 氷でなく
水 気温
凍らないから暖かい

北極海海氷(漂流ブイ)観測

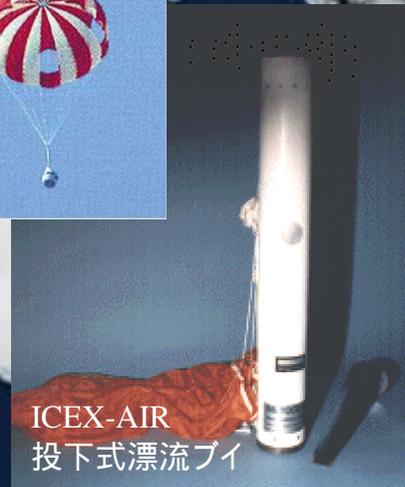
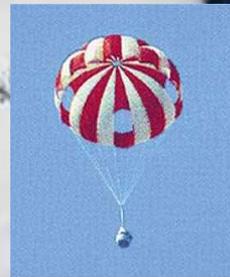
International Arctic Buoy Programme (IABP: 国際北極ブイプログラム)

To maintain a network of drifting buoys in the Arctic Ocean to provide meteorological and oceanographic data for real-time operational requirements and research purposes including support to the World Climate Research Programme (WCRP) and the World Weather Watch (WWW) Programme. (北極海漂流ブイ観測網の維持、研究・現業への貢献)

夏でも海氷に覆われた
そして冬には太陽の光が当たらない
北極海(の海)を
季節・場所を問わずに
長期間継続的に観測する。

- ・北極海の現在の状態をモニターすると共に
- ・そこで起きている様々なプロセス(物理過程)を調べる。

漂流ブイのデータは、
研究活動のみならず、
天気図・再解析データの作成など
北極海の現在の状態を調べるために
使われている(必要不可欠である)。



ICEX-AIR
投下式漂流ブイ



Polar Ocean Profiling System
海洋観測を行う漂流ブイ



Ice Mass Balance (IMB) Buoy
海氷の消長を観測する漂流ブイ

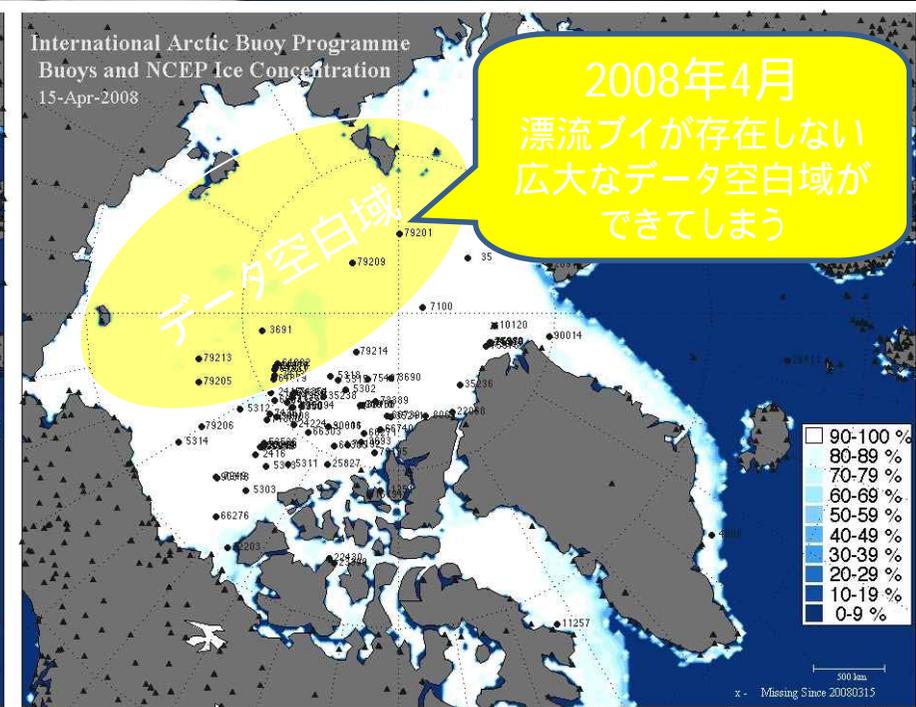
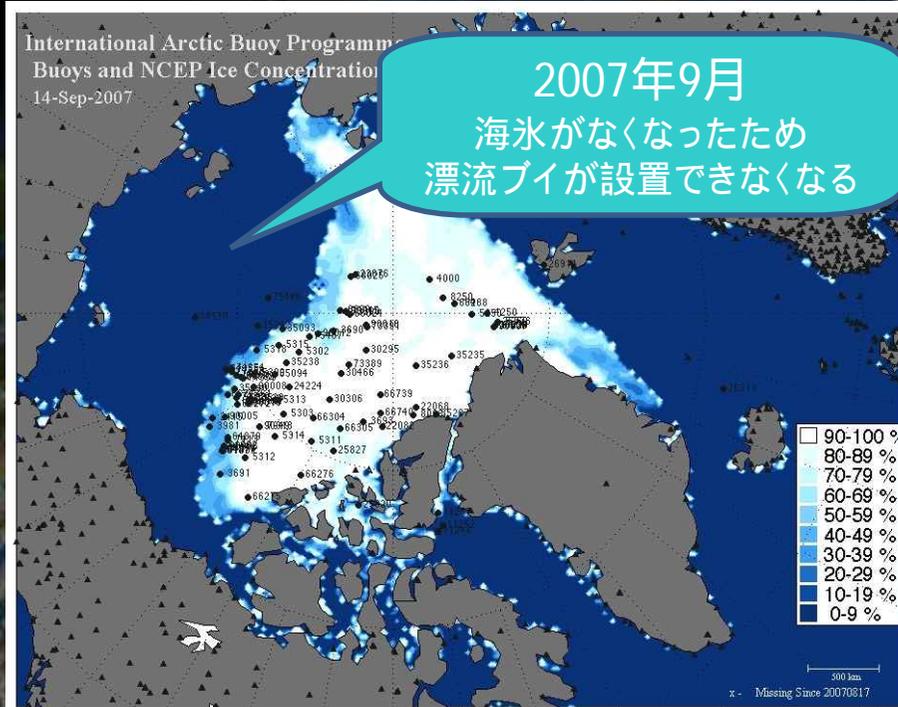


Surface Velocity Profiler (SVP)
一般的な漂流ブイ

2007年9月16日の北極海の海氷状況。2007年はこれまでの最少記録を更新した。また2008年も過去2番目に海氷面積が少ない年だった。
NASA Earth Observatory web site <http://earthobservatory.nasa.gov/> より

北極海海氷(漂流ブイ)観測

International Arctic Buoy Programme (IABP; 国際北極ブイプログラム)

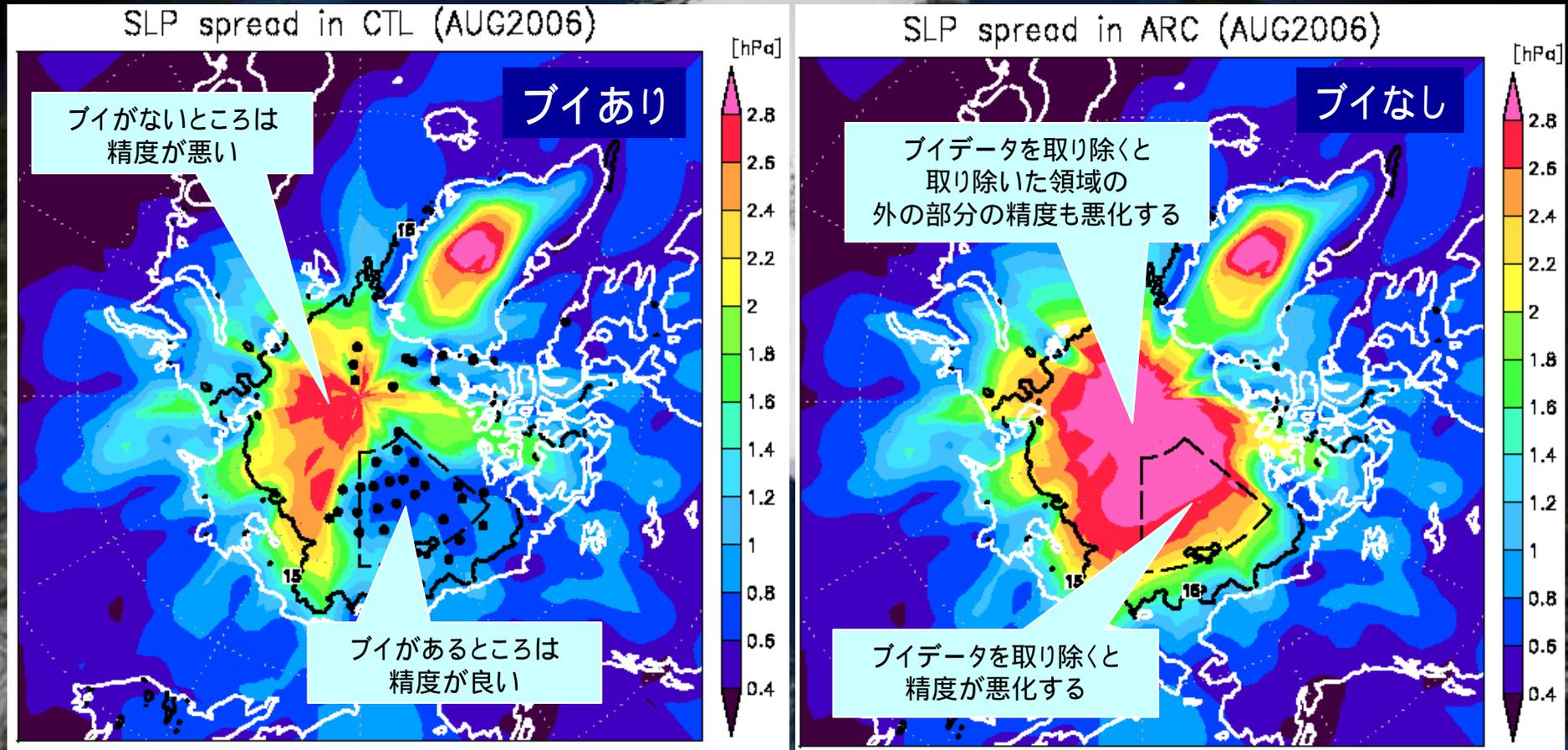


漂流ブイは海氷が存在することを前提として観測を行っているために近年の海氷減少によって季節海氷化した海域がデータ空白域となる。近年の北極海的环境変化に伴うデータ空白をどのようにして解消するか。

2007年9月16日の北極海の家氷状況。2007年はこれまでの最少記録を更新した。また2008年も過去2番目に海氷面積が少ない年だった。NASA Earth Observatory web site <http://earthobservatory.nasa.gov/> より

北極海海氷(漂流ブイ)観測

Inoue et al., 2009 Impact of depleted Arctic drifting buoy network
漂流ブイデータの有無に伴う再解析データの精度評価



- ・漂流ブイによる観測が北極海域における再解析データの精度向上に繋がる。
- ・データ空白が北極海域全体の再解析データの精度悪化に繋がる。

現場から探る
砕氷船で氷海へ



海氷域の広域観測：砕氷船による観測 EMなど

国際観測への参画、持続的な活動の維持、
新しい技術を生かす。



JCG P/V Soya
Sea of Okhotsk
2004-2007



USCG R/V Healy
Arctic Sea
2004-2005



JSDF AGB Shirase
Antarctic Sea
2000-2007



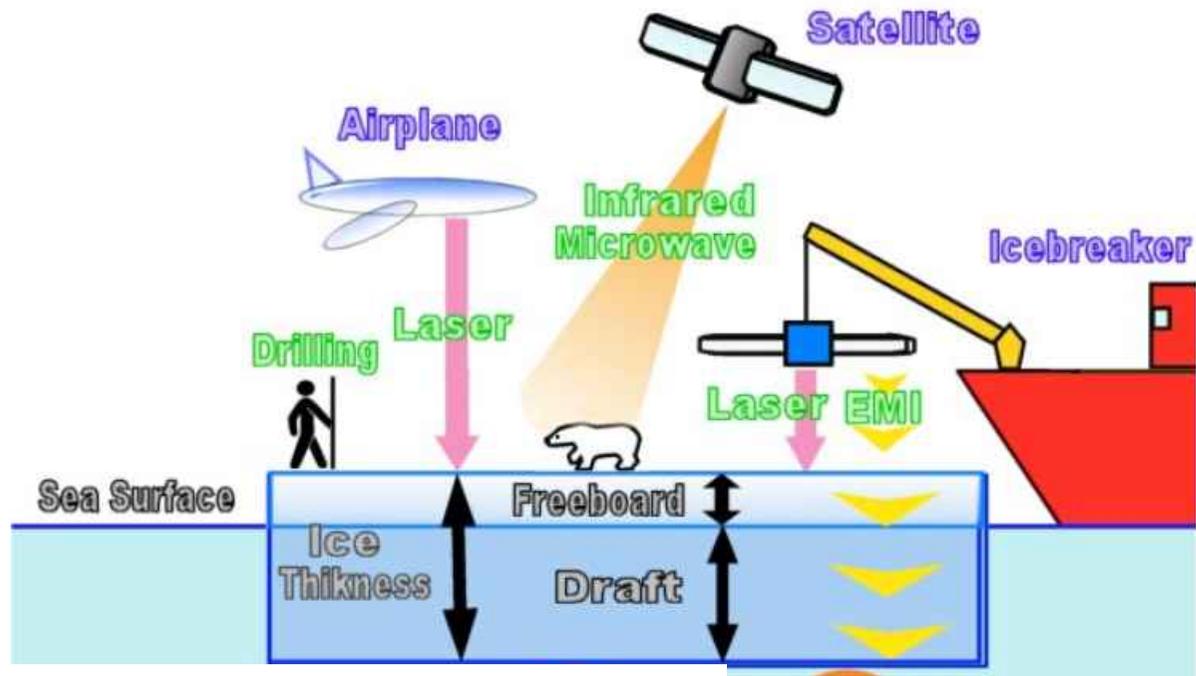
P&O Aurora Australis
Antarctic Sea
2003, 2007



PRIC XueLong
Arctic Sea
2003, 2008



LSSL
Arctic Sea
2009



定点・移動点観測

観測方法

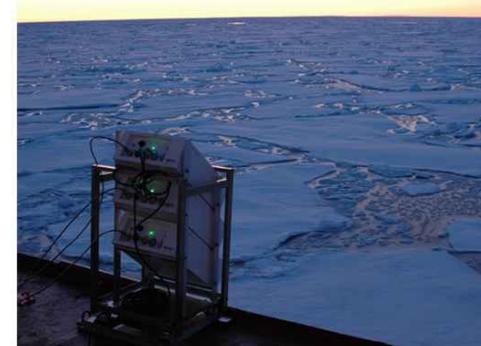
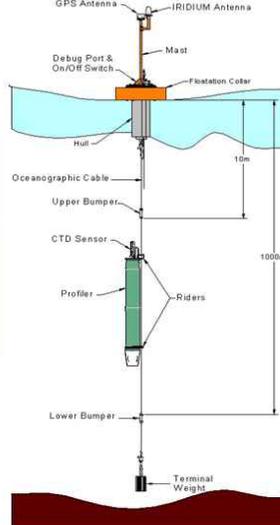
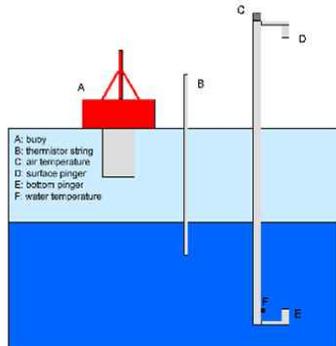
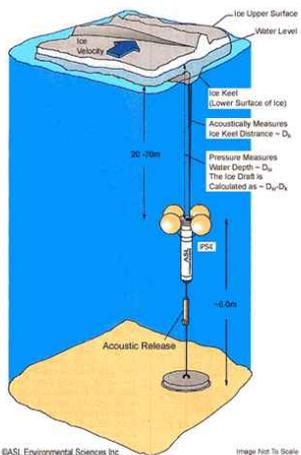
Ice Profiling Sonar

Ice Mass Balance

Polar Ocean Profiling

電磁誘導式氷厚計EM

マイクロ波放射計



- ・海水厚
- ・密接度

- ・輝度温度 (5ch)
- ・表面放射温度
- ・ビデオカメラ

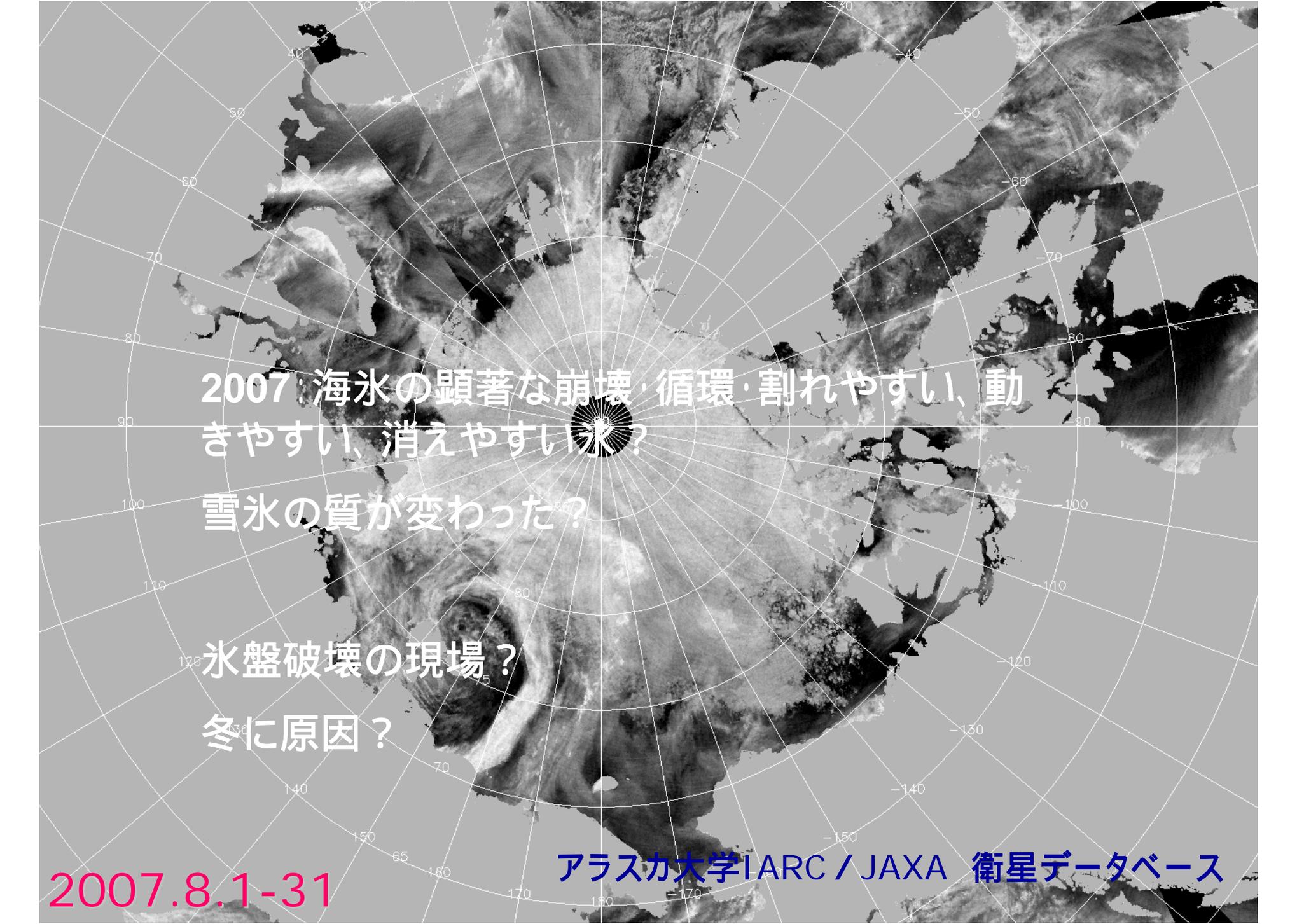
○前方カメラ, ○海水目視観測, ○氷上観測



NASA AMSR-E Product

面積変化から 表面状態、厚さ変化、氷盤の破壊の理解へ

夏の北極海氷域から 時空間拡大: 冬から春、秋、周辺陸地 - 海域との連携



2007: 海氷の顕著な崩壊・循環・割れやすい、動きやすい、消えやすい氷？

雪氷の質が変わった？

氷盤破壊の現場？

冬に原因？

2007.8.1-31

アラスカ大学IARC / JAXA 衛星データベース

北極域の海氷と温暖化

1. これまでに調べられていたこと

北極域の気温上昇(冬期)、夏期海氷面積減少
冬期、周縁域も注目すべき

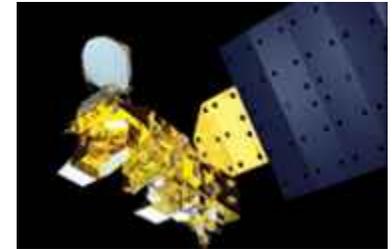
2. 2007年夏北極海で何が起きたか

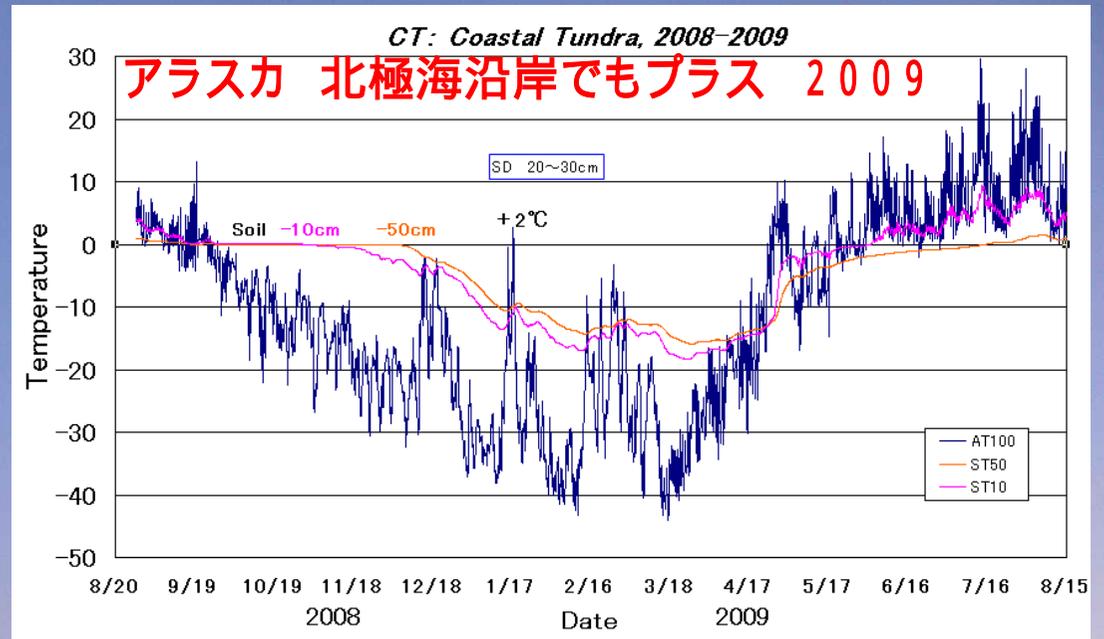
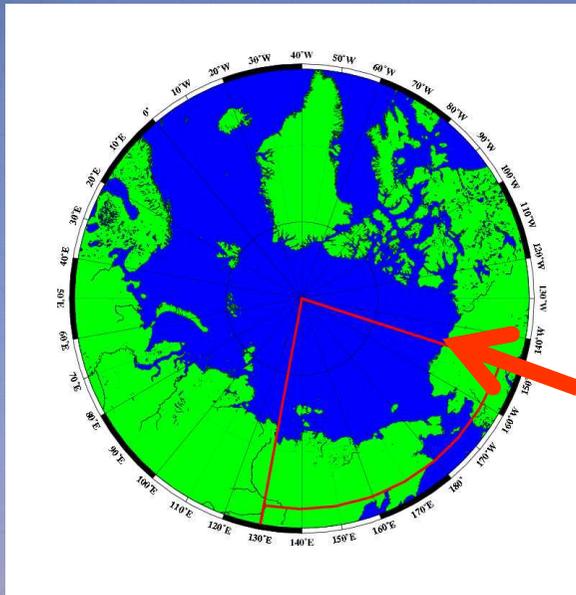
海氷面積急減、大気、海氷、海氷の変化
これらの相互作用

短期/長期、いったん薄くなった氷の消長

3. これからの観測推進

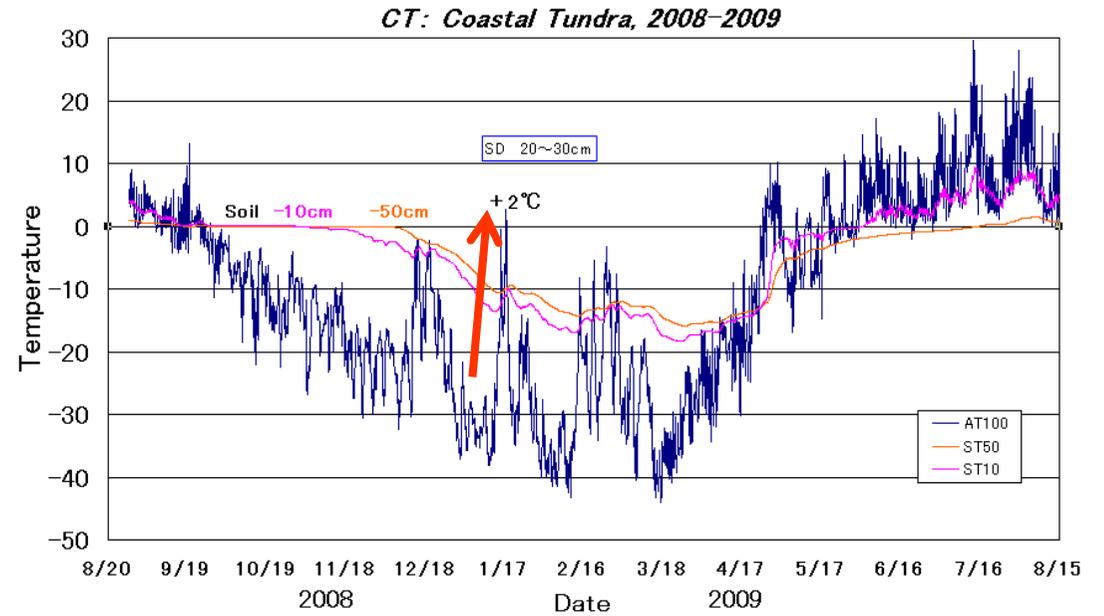
- ・冬期、周縁地域で起きる変化の観測(遠隔モニター)
- ・海氷の面積だけでなく厚さ、表面状態の変化の観測(現場)
- ・海氷動態
- ・雪氷と気象データの取得(精度維持)



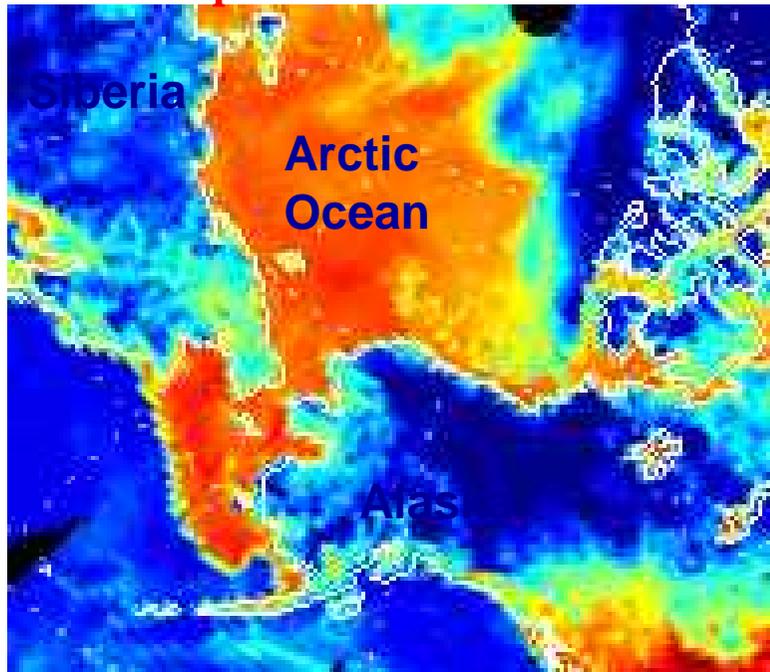


Warming event
passing
over Alaska

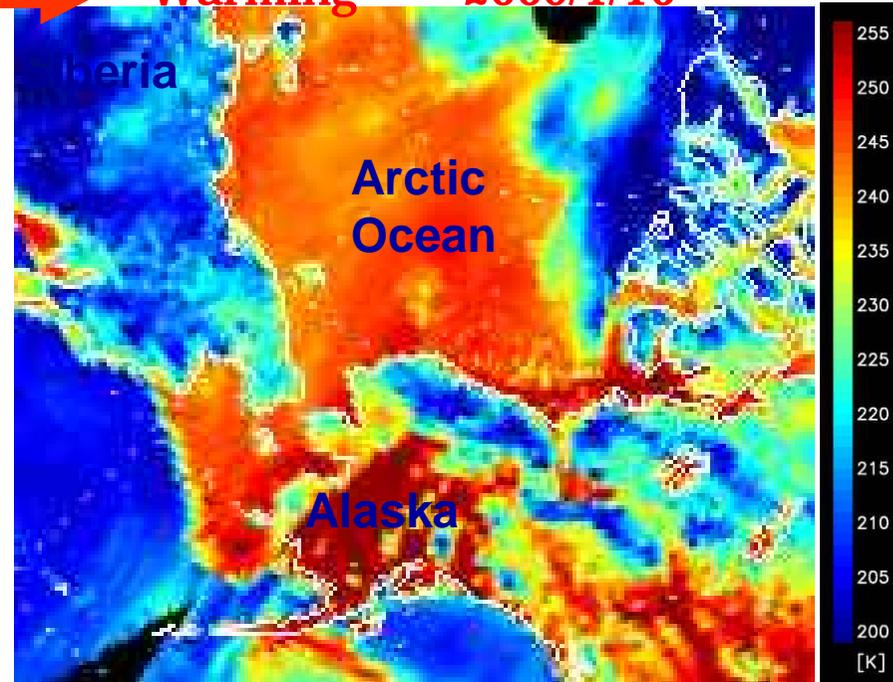
北極海沿岸でもプラスの
温度を記録

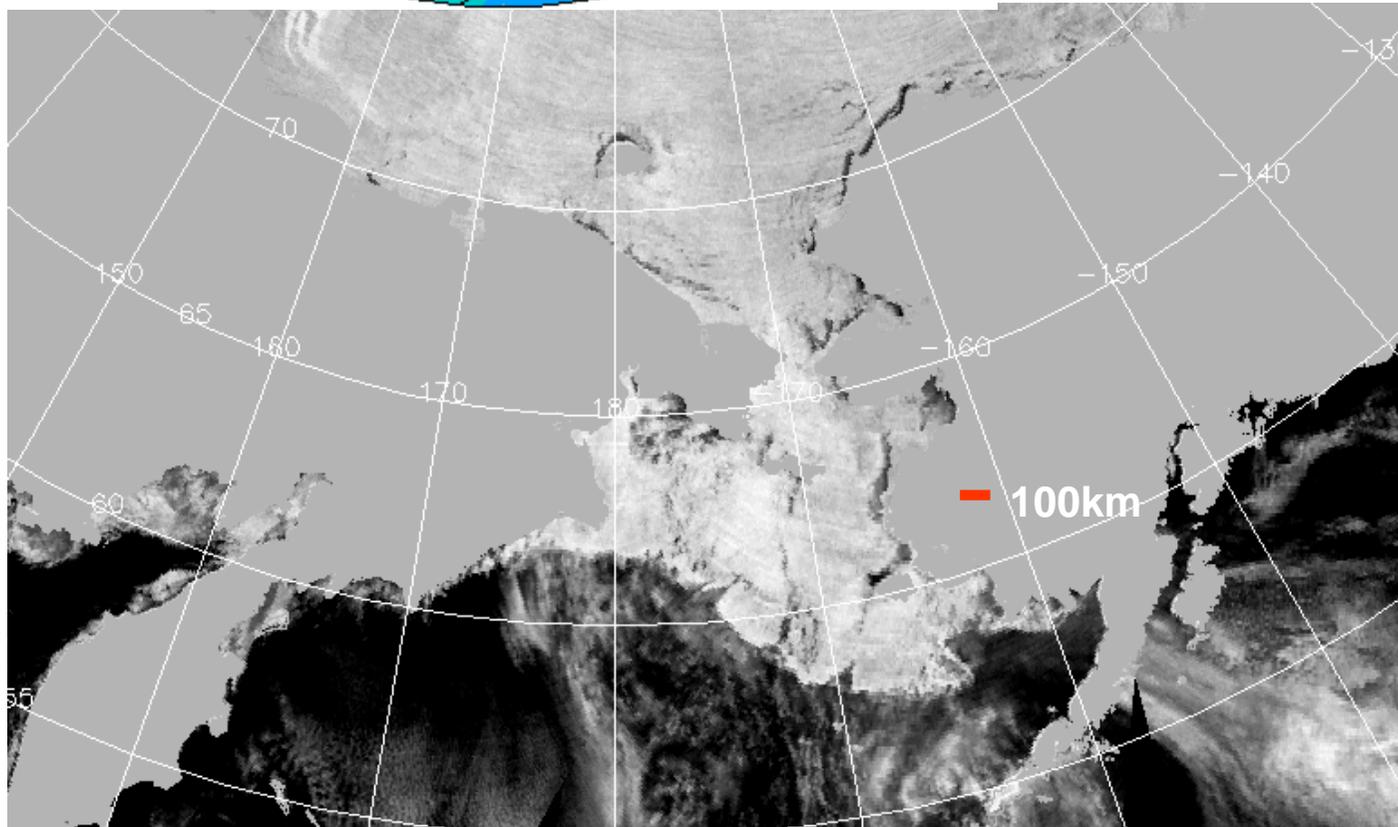
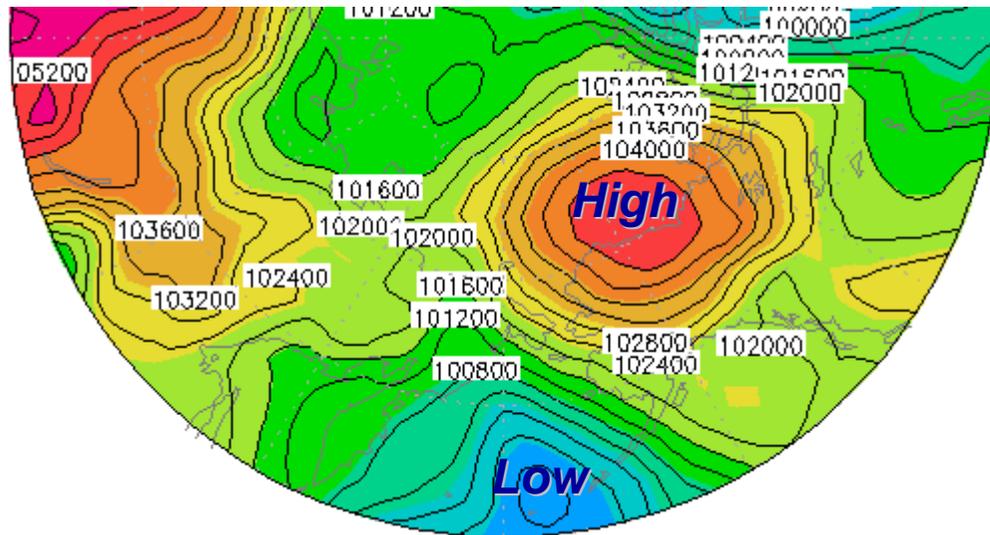


Cold period 2009/1/10



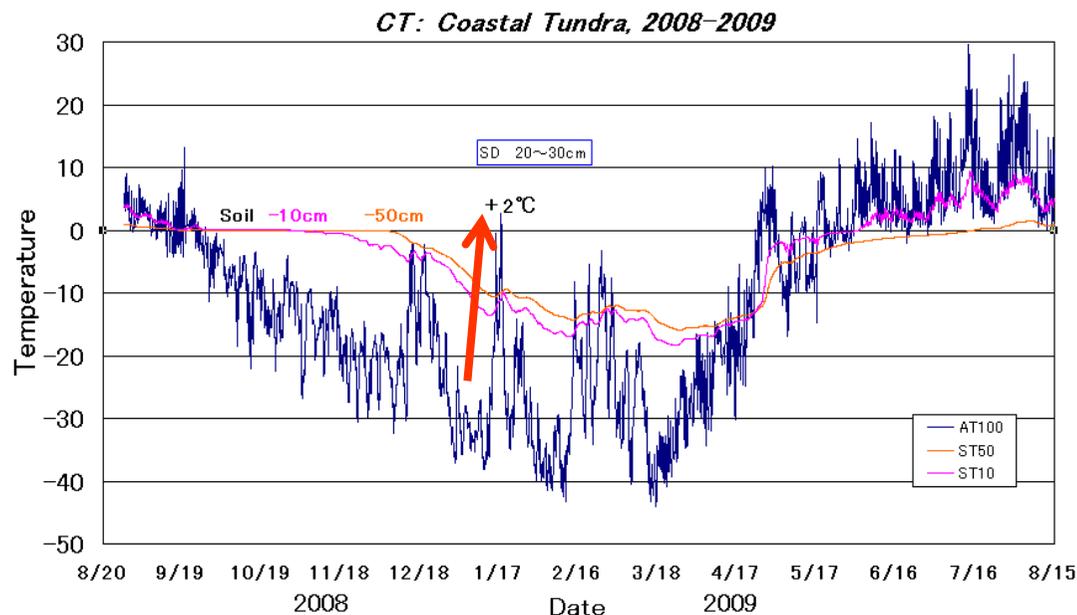
Warming 2009/1/16





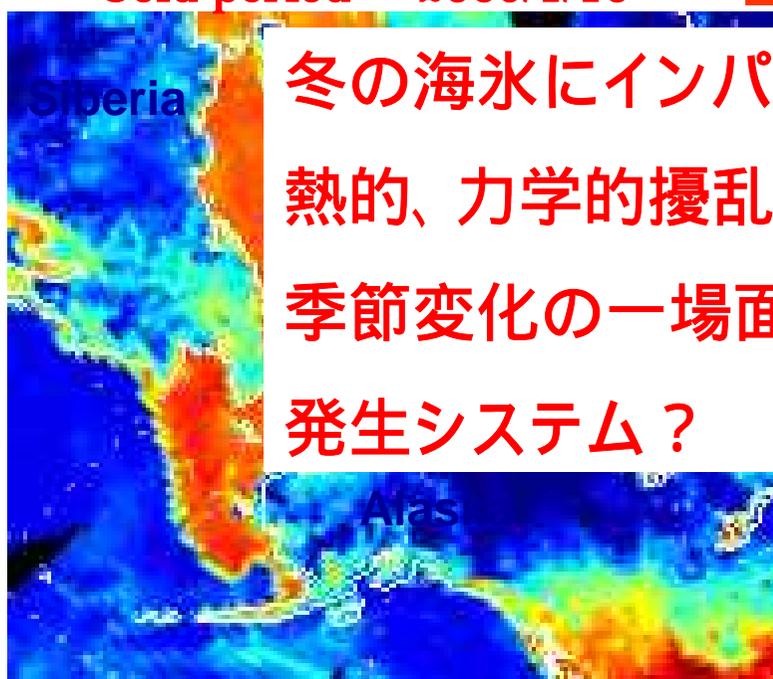
Warming event
passing
over Alaska

北極海沿岸でもプラスの
温度を記録

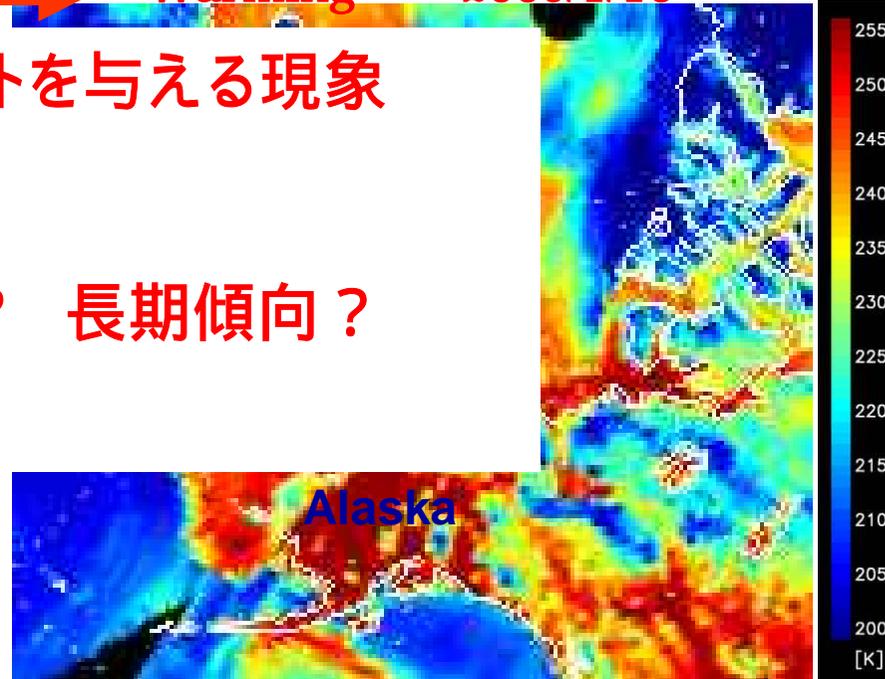


Cold period 2009/1/10

Warming 2009/1/16

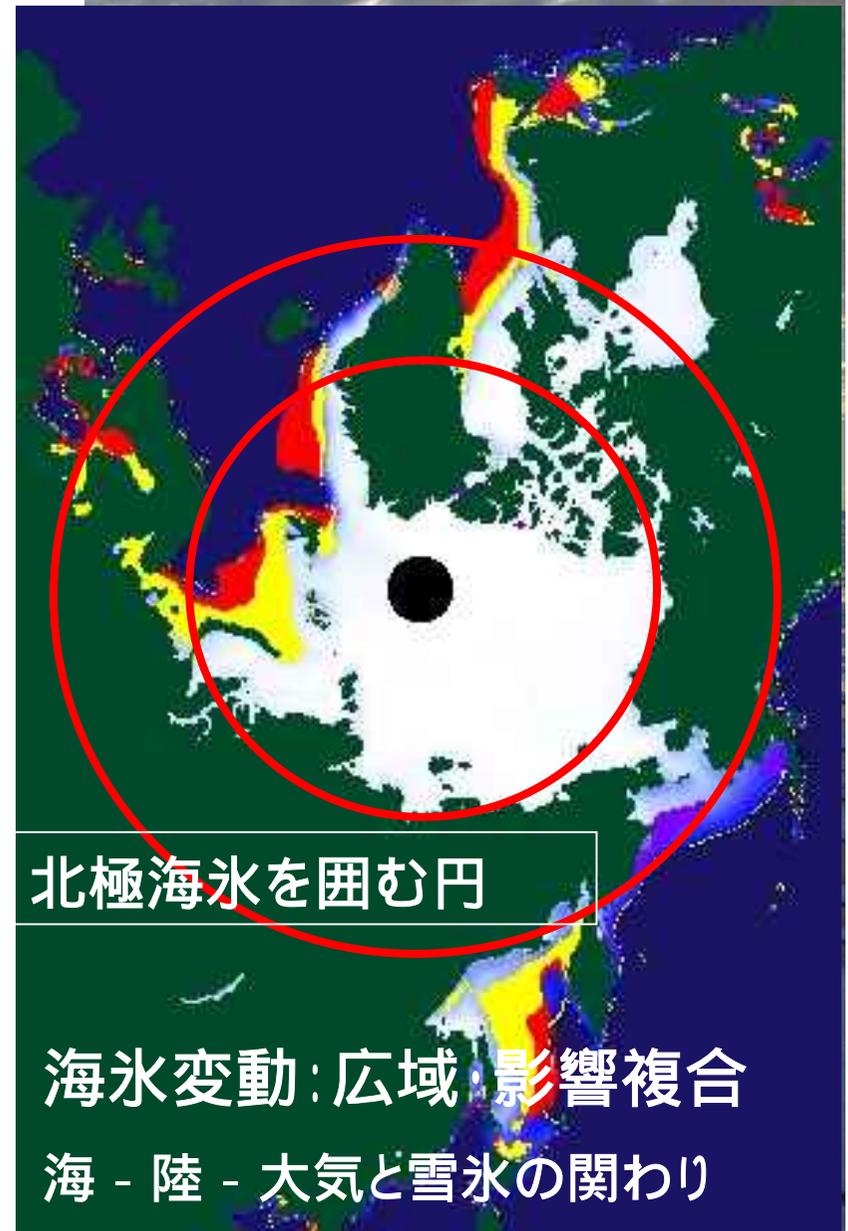
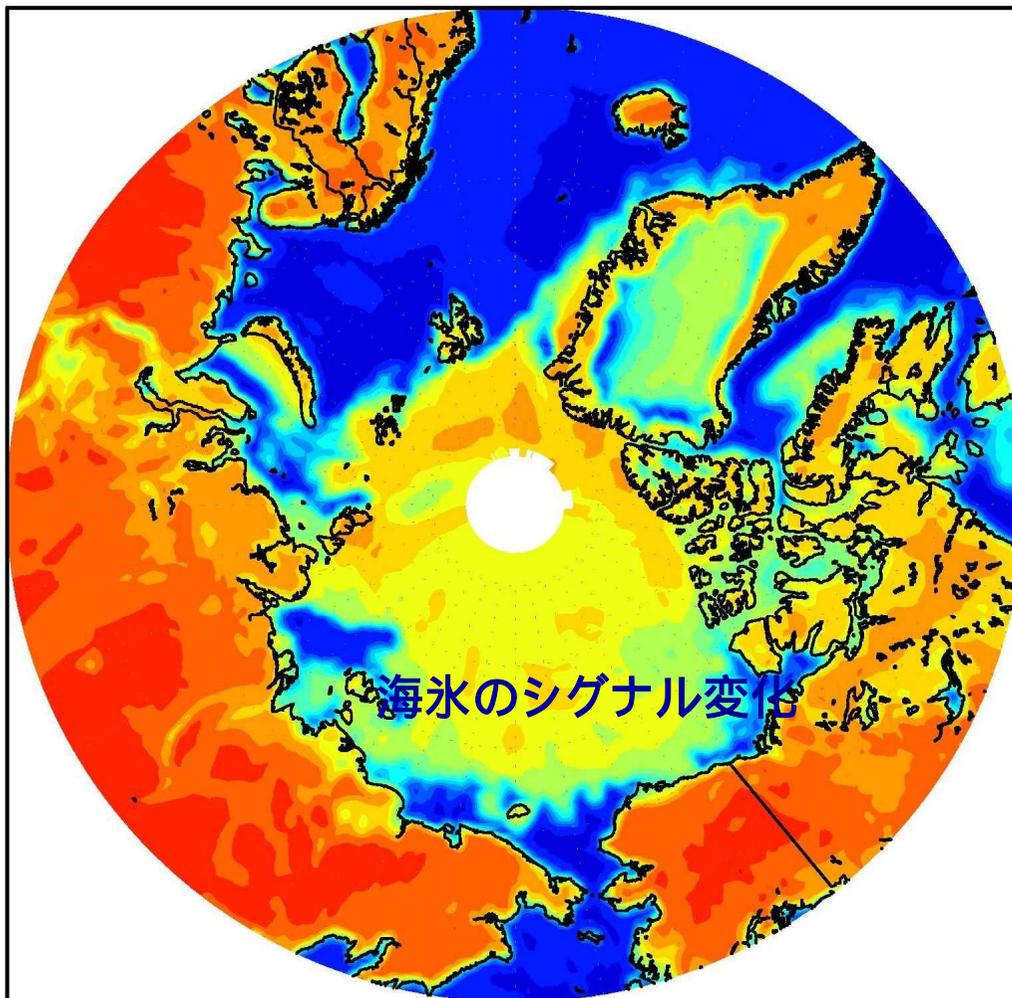


冬の海氷にインパクトを与える現象
熱的、力学的擾乱
季節変化の一場面？ 長期傾向？
発生システム？



海氷を取り巻く季節進行・気候変動

AMSR-E 6GHz V (150K-300K)
2007-06-29 : Ascending : Arctic : 60N-90N



北極域の海氷と温暖化

1. これまでに調べられていたこと

北極域の気温上昇(冬期)、夏期海氷面積減少
冬期、周縁域も注目すべき

2. 2007年夏北極海で何が起きたか

海氷面積急減、大気、海氷、海氷の変化
これらの相互作用

短期/長期、いったん薄くなった氷の消長

3. これからの観測推進

- ・冬期、周縁地域で起きる変化の観測(遠隔モニター)
- ・海氷の面積だけでなく厚さ、表面状態の変化の観測(現場)
- ・海氷動態
- ・雪氷と気象データの取得(精度維持)

