

雪氷圏における温暖化影響研究の今後

大畑哲夫

プログラムディレクター

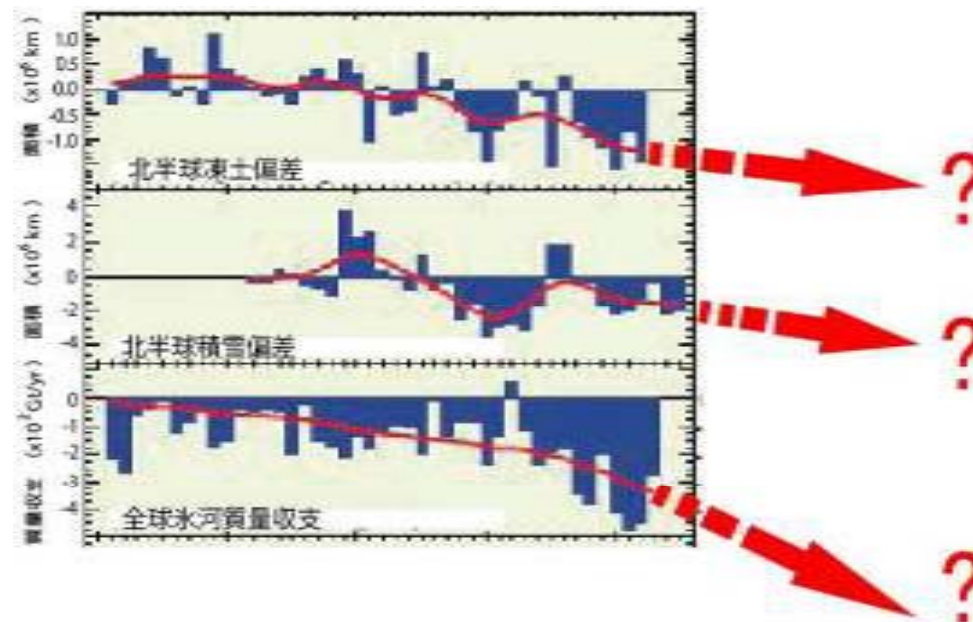
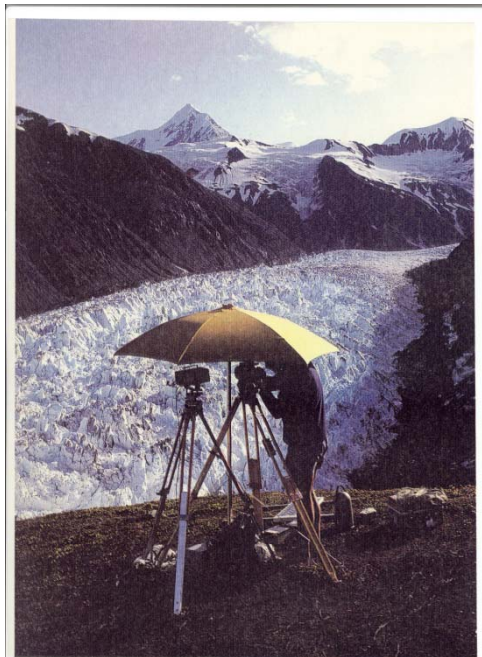
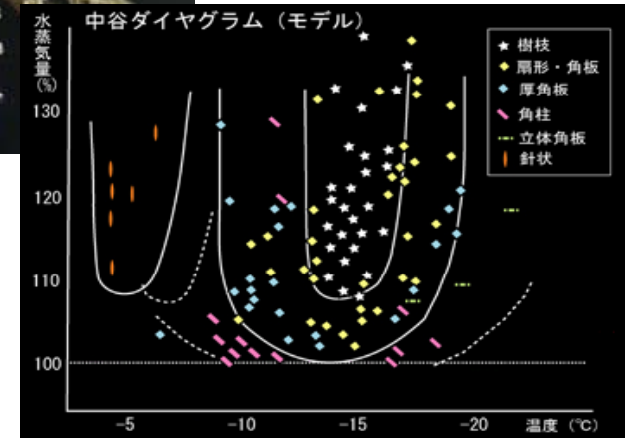
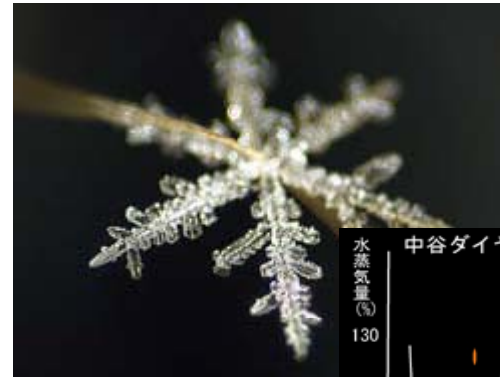
海洋研究開発機構・地球環境変動領域

北半球寒冷圏研究プログラム

雪氷圏における観測の最前線、2010年1月29日、東京

日本における雪氷研究の流れ

- (1) 応用物理の時代(1930~)
- (2) 地球雪氷学の時代(1970~)
- (3) 全球・地域的規模の雪氷監視・変動予測の時代(2000~)





積雪



河川・湖水



海水



氷河・氷床



凍土

見た目は異なるが、すべて、固相の水でできていて共通性がある

雪氷の種類と存在している国々

できる原因

降雪が地上にたまる。

地表・地中・海に存在している水が凍結

・95ヶ国に存在し、雪氷圏は地球規模で存在している

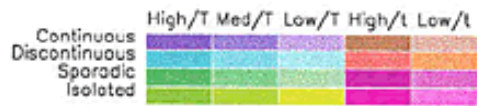
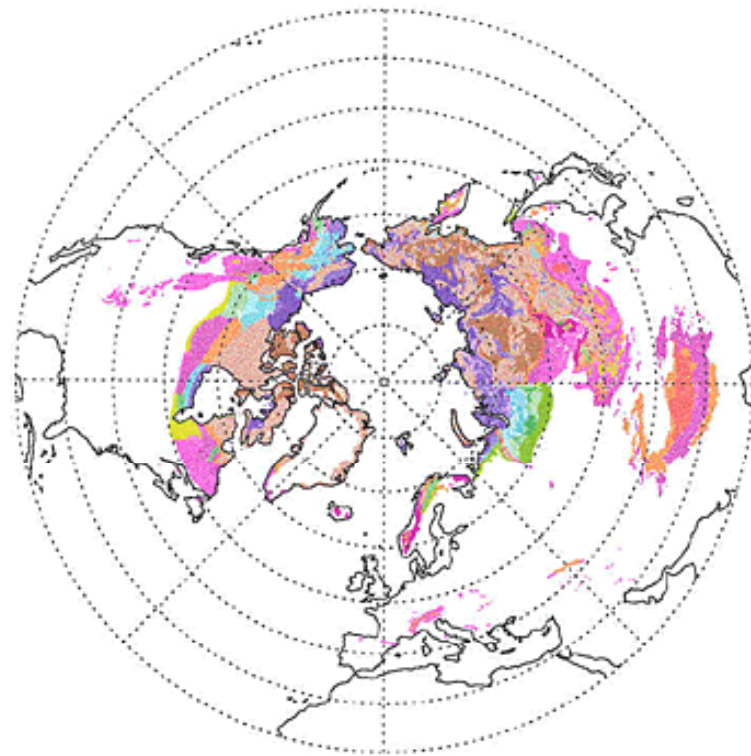
・異なる顔をしている雪氷を含む地域を雪氷圏 (Cryosphere) として総合的・統一的に捉えようとする、動きが強い。



凍土

永久凍土・季節凍土

- ・凍土は陸地の20%近くを占める。
(IPA より) 広い範囲に分布。



連続
不連続
島状

・場所によっては氷の塊もある。 シベリア



Ice wedge, 氷楔

4.25 Ice wedge at Kurankh, right bank Aldan River, 170 km above junction with Lena River, Yakutia, USSR
(Washburn, 1979)



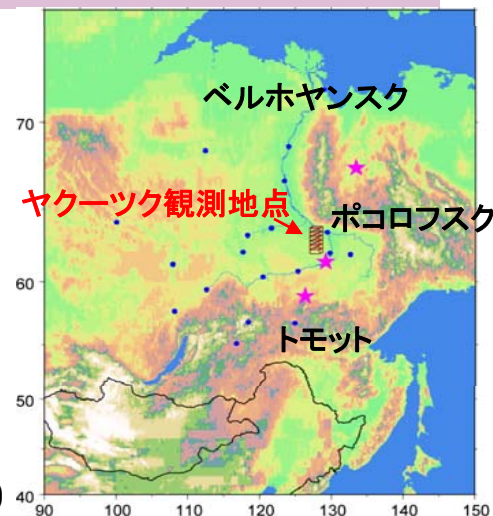
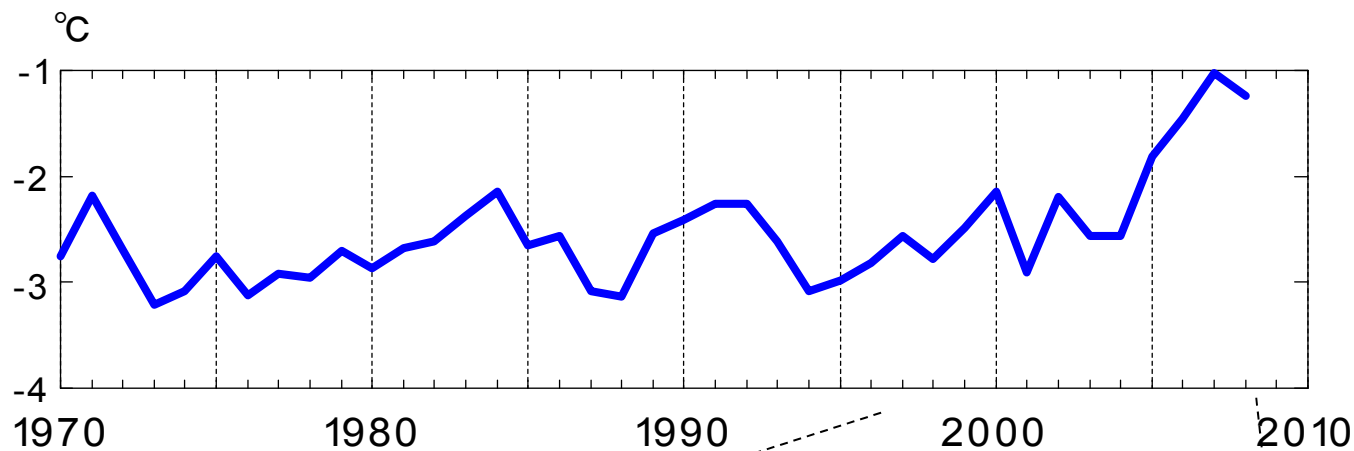
活動層



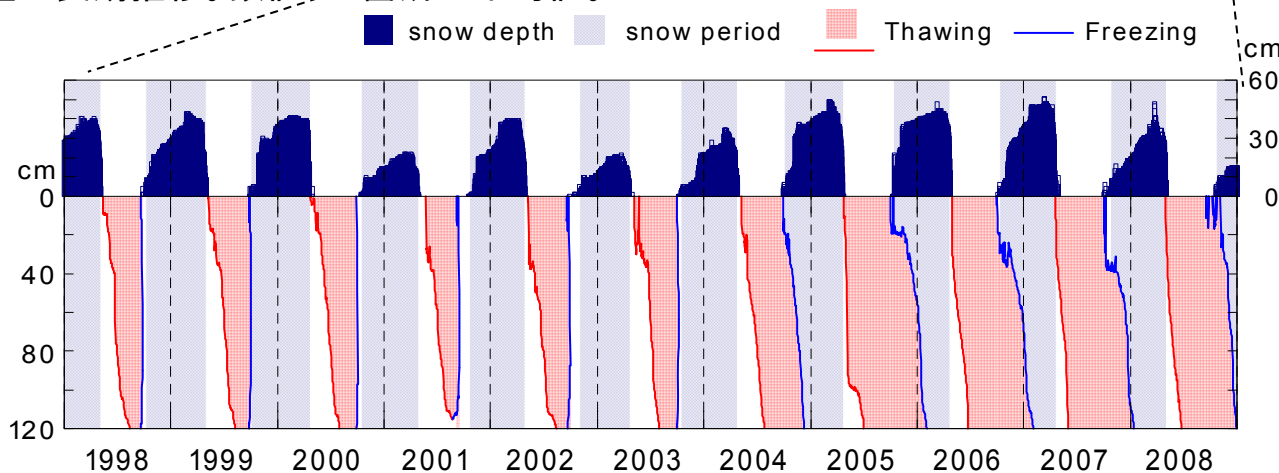
集塊氷

シベリアの凍土の温度(地温)が高くなっている。

近年の東シベリアにおける急激な地温、活動層の厚さの増加



■シベリア3地点(ベルホイヤンスク、ポコロフスク、トモット)での3.2m 深の年平均地温の長期推移。数値は3箇所の平均値。



■各観測点の位置。ヤクーツク観測地点は地球環境観測センターの観測地点であり、それ以外は、ロシア連邦水文気象環境監視局の測候所。

■ヤクーツク観測点での融解深、積雪深の長期変化。

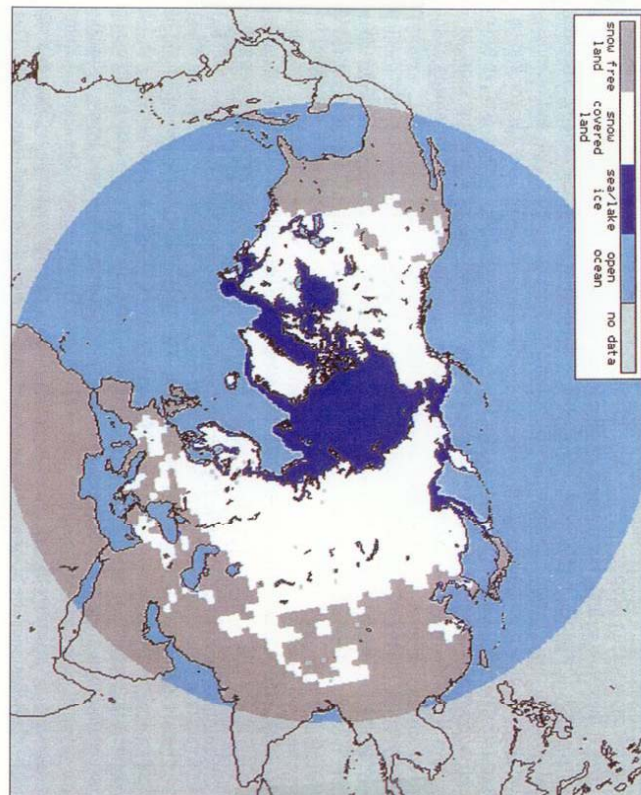
(Iijima et al., 2009)、他

季節積雪

Seasonal Snow Cover

北半球の積雪分布と海氷分布
(1984年1月23-29日)

ユーラシア大陸の広い面積が冬期には積雪に覆われ
季節凍土、永久凍土の存在する範囲もこれに近い。



- ・分布
- ・量
- ・質

積雪は層構造を持ち、層により雪質が異なる。温暖化で変化。



世界各地の3～4月の積雪被覆率の増減。 (1988-2004年)－(1967-1987年)

茶：減少、青：増加

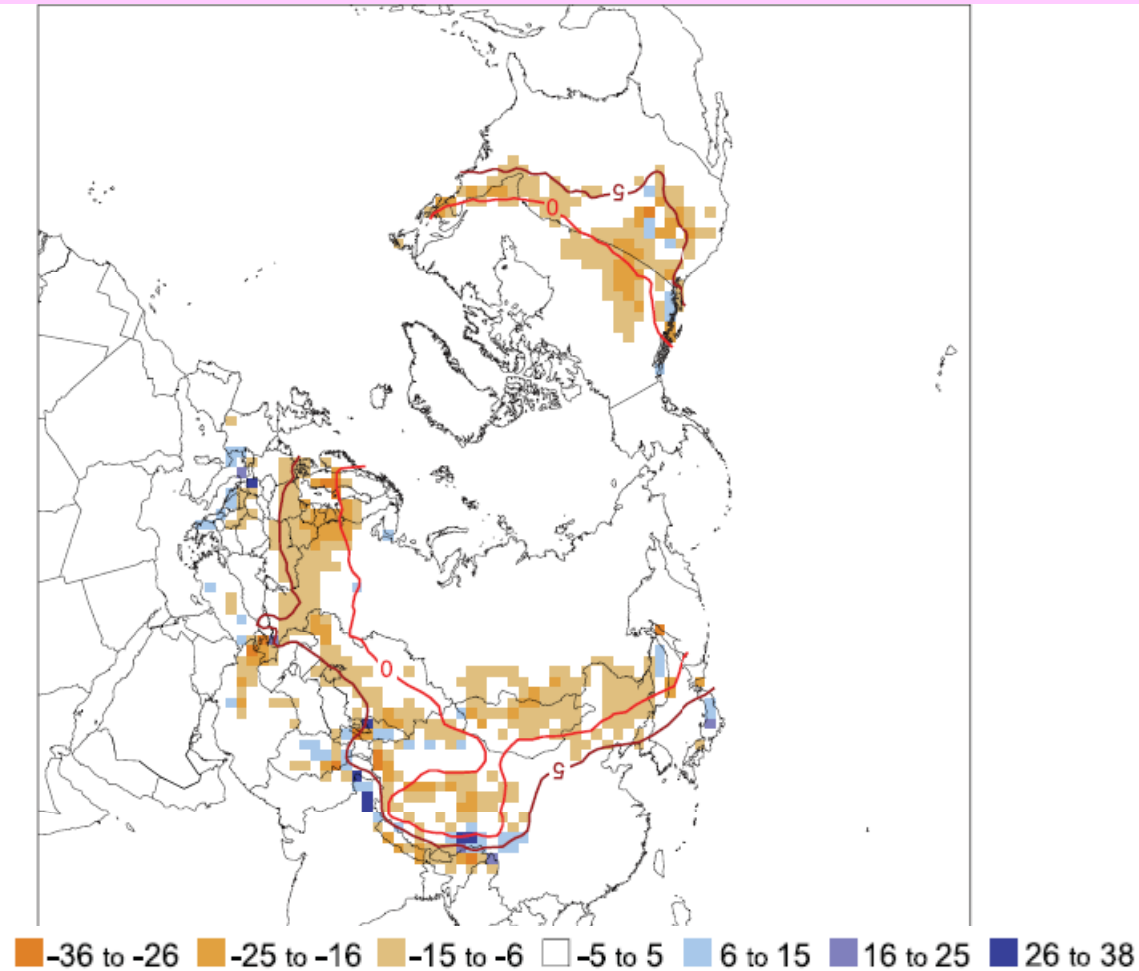


Figure 4.3. Differences in the distribution of Northern Hemisphere March-April average snow cover between earlier (1967–1987) and later (1988–2004) portions of the satellite era (expressed in % coverage). Negative values indicate greater extent in the earlier portion of the record. Extents are derived from NOAA/NESDIS snow maps. Red curves show the 0°C and 5°C isotherms averaged for March and April 1967 to 2004, from the Climatic Research Unit (CRU) gridded land surface temperature version 2 (CRUTEM2v) data.

月別の北半球積雪面積の長期変動のトレンド。(IPCC, 2007)

+: その月の積雪面積が増加、 - : 同じく減少

Table 4.2. Trend (10^6 km^2 per decade) in monthly NH SCA from satellite data (Rutgers-corrected, D. Robinson) over the 1966 to 2005 period and for three months covering the 1922 to 2005 period based on the NH SCA reconstruction of Brown (2000).

Years	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
1966-2005	-0.11	-0.49	-0.80 ^a	-0.74 ^a	-0.57	-1.10 ^a	-1.17 ^a	-0.82 ^a	-0.20	-0.36	0.12	0.19	-0.33 ^a
1922-2005	n/a	n/a	-0.25 ^a	-0.35 ^a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	0.24 ^a	n/a	n/a	n/a

Notes:

^a Statistically significant at the 0.05 level of confidence.

n/a: not available.

現在の地球上の雪氷因子の面積と体積 (IPCC,2007 より)

(日本の面積: $0.4 \times 10^6 \text{km}^2$ 、地球全陸域の面積: $149 \times 10^6 \text{km}^2$ 、全海域: $360 \times 10^6 \text{km}^2$)

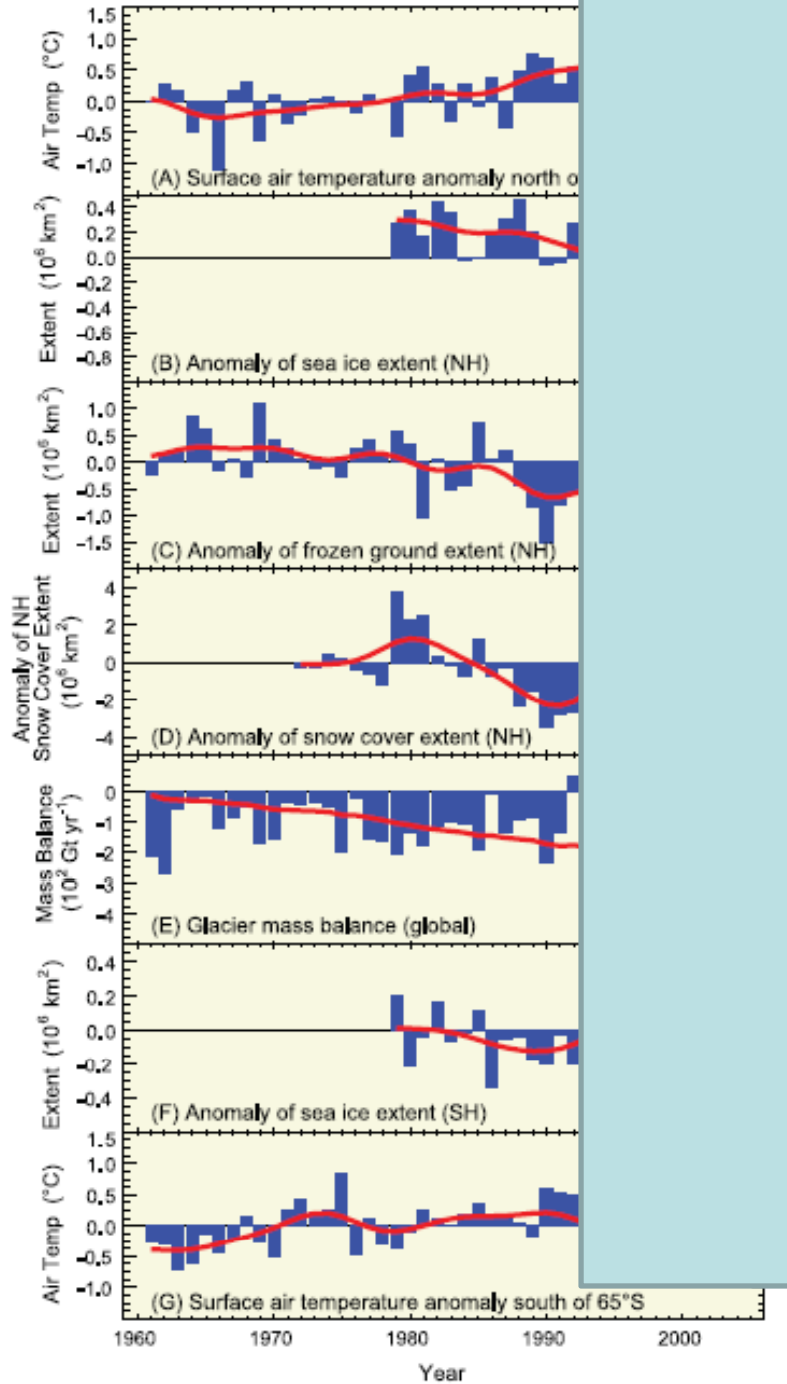
雪氷因子	面積 (10^6km^2)	体積 (10^4km^3)	潜在的海水面上昇 量(m)
積雪	1.9~45.2	0.05~0.5	0.001~0.01
海氷	19~27	1.9~2.5	~0
氷河・氷床	14.0	2700	05.9
グリーンランド	1.7	290	7.3
南極	12.3	2470	56.6
季節凍土	5.9~48.1	0.6~6.5	~0
永久凍土	22.8	1.1~3.7	0.03~0.10

- ・地球上の雪氷因子の占める面積は
全陸域の41%程度(積雪の最大範囲+氷床の範囲)、
全海域の10%(海氷の最大範囲)
- ・海水面上昇へ影響しうる大きな因子

・氷床除く全陸域の17% ・氷床除く全陸域の最大34%

・地球上の水の2.2%を占める (淡水全体は2.7%)

各雪氷因子の長期変化 (1960-2005) (IPCC,2007)



65° N以北の気温偏差

北半球の海氷面積の偏差

北半球の凍土面積の偏差

北半球の積雪面積の偏差

全球の氷河質量収支の偏差

南半球の海氷面積の偏差

65° S以南の気温偏差

Cumulative values
(10² Gt)

雪氷変化がもたらす影響、フィードバック

温暖化の影響を受けるとともに、進行に強く影響。ここ数百年程度影響

気候変化の指標であり、
変動情報を取得できる

氷河

氷床

海水

積雪

凍土

＜水循環への影響＞

海水面水位を変化させる

水循環(河川流量・時期など)・水資源変化

＜エネルギー循環への影響＞

温暖化を加速させる

＜物質循環への影響＞

温室効果気体・生態系への影響

雪氷は地球水循環の一部であり、その変化はエネルギー・物質循環にも影響。

現在の科学的問題の所在は？

(1) 実態が未把握: 積雪水量、氷河質量、地中氷、氷床雪氷量の現状・変化など地球環境変動に強く関わるが、把握できていない重要要素が多々ある。

例) 地中氷など数値が出ていない。氷河質量推定に2.5倍の差。

(2) 変動プロセスが解明されていない。

例) 南極氷床は安定なのか。温暖化で氷流が加速し、質量が減少するのでは、などの懸念あり。海氷過程のパラメタリゼーション。

(3) モデルの再現性が悪い: 近年の北極海・海氷減少のような急激な変化をモデルは再現できていない。GCMなど将来予測モデルにおける雪氷表現が十分ではない。

→ データ不足(観測・流通)なのか、基本プロセスに関する知見が不足、モデル(我々の理解が不足)が不備なのか……。モデルでは、雪氷のみならず、海洋・陸面などの表現が問題。

課題解決のための動きとしては、国際協力が重要である。
地球規模現象であり、雪氷の挙動には共通性がある。

1. 国際協調による観測、データアーカイブ、モデルの開発の推進。
- 2 観測実施のための各国における体制・インフラ整備。

国際協力・推進のための枠組み

(1) 国際的研究・評価推進組織:

世界気候研究計画 WCRP/CliC(気候と雪氷圏) ← WMO 等
国際測地学・地球物理学連合 IUGG IACS(国際雪氷圏科学協会)
←ICSU
国際北極科学委員会、IASC、北極評議会 (Arctic Council) ←政府間
南極科学委員会 SCAR ←政府間

(2) 各国の機関・プログラムによる推進計画

上記国際組織・計画の国内委員会
各国機関のプログラム・計画。

(3) 国際学会

国際凍土学会 IPA、国際雪氷学会 IGS

国際協力の具体的動き

(1) 海洋観測における船舶を用いた連携。

(船舶観測の場所・時期等の調整。研究者(研究分野)の相互乗入れ)

(2) 陸域観測サイトの相互利用。

- ・現地機関を中心に調整・活用。
- ・各国機関の連携による監視強化。
- ・多分野間の連携もなされている。

(3) データの集約を世界的に行う。

氷河におけるデータの一元化。WGMS

データアーカイブおよびデータセンターへの各種雪氷データの集積。

NSIDC、WDC、Asia-CliC

(4) 戦略的計画の文書作成

衛星観測を中心とした戦略。IGOS-Cryosphere

最近の新しい動きの具体例のひとつ

GCW (Global Cryosphere Watch)

<現状>

- ・WMO総会(2007年)にてカナダから提案
- ・WMOを中心に検討中

<背景>

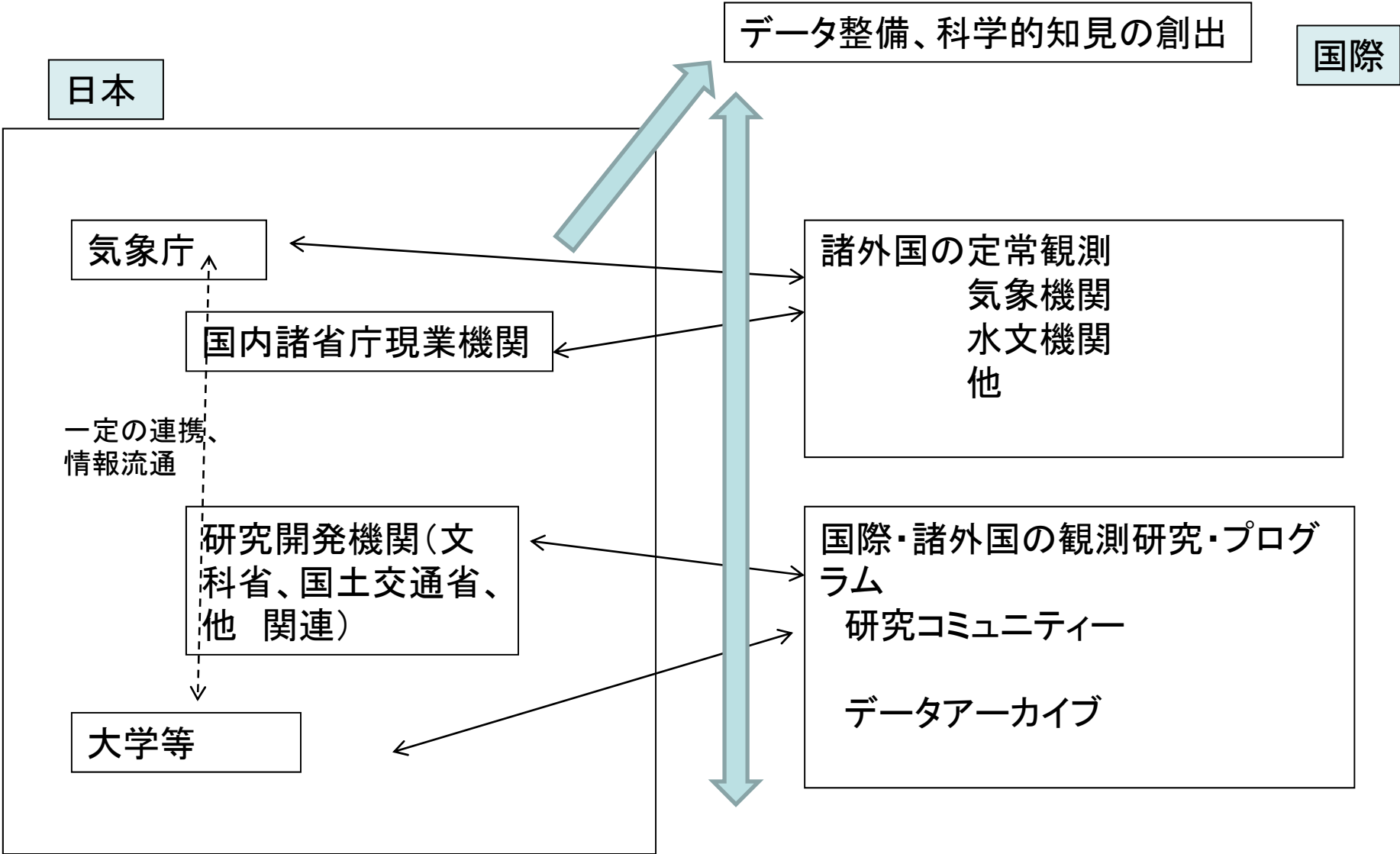
・雪氷情報を中心とした雪氷圏に関しては国際的とりまとめの中核機関がない。そのため、データが分散、そして重要課題の推進力が弱い。社会への適切な情報提供などの問題がある。温暖化進行、雪氷変化が現実化した中で、体制変革が必要。

<施策>

以下を促進する。

- ・雪氷観測の全球的ネットワークの構築。
- ・雪氷情報集約。
- ・データ利活用体制の促進。

国内の雪氷変動観測・研究体制と国際協力



日本社会として、日本の研究コミュニティとしての観点

(1) 日本社会としての雪氷圏変動の見方があり、懸念することがあるであろう。

- ・温暖化はどう進むのか？(雪氷変化がフィードバックする)
- ・北極域雪氷圏の変化は日本にどのような気候学的影響があるか。
- ・国内水資源、災害はどうなるのか？
- ・北極海の海氷はどうなる？船舶の航行は物流に影響を与えるが。
- ・島国として、海水面の変化は気になる。

グリーンランド・南極氷床は崩壊しない？

- ・世界・日本の農業・森林資源、生態系はどうなる？
- ・発展国として国際貢献に活用できないか？

(2) 研究コミュニティとしての見方、戦略があるであろう。

・コミュニティの強みを生かして、世界が“驚く”面白い仕事ができないか？

問題として：(変動が重要なのに)

→データの持続的取得が大変。

→データの蓄積、そして活用できる体制ができていない。

(データが墓場に行ってしまう)

日本における雪氷研究の流れ

(1) 応用物理の時代(1930~)

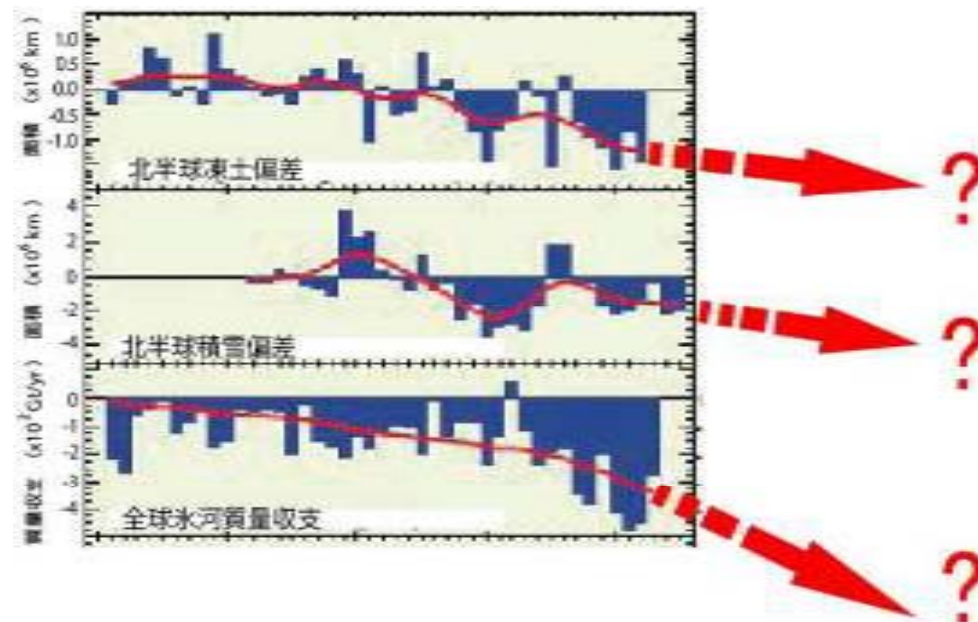
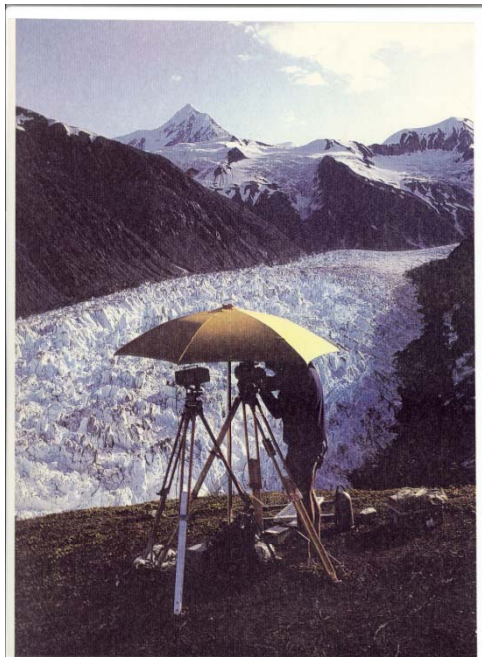
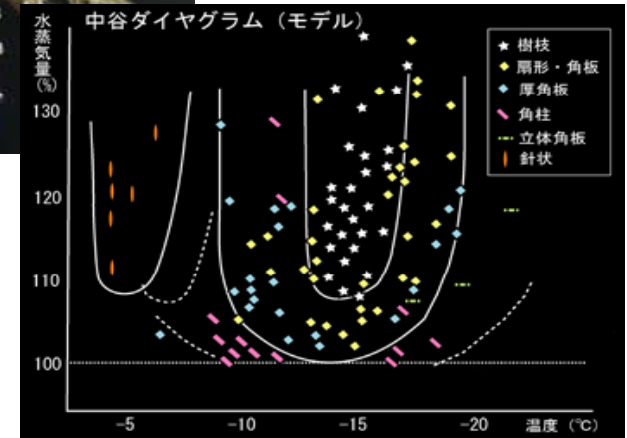
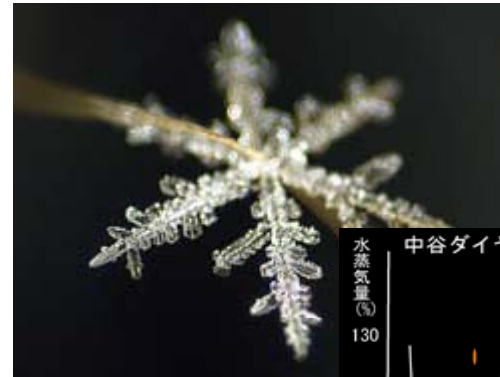
個人研究

(2) 地球雪氷学の時代(1970~)

グループ研究

(3) 全球・地域的規模の
雪氷監視・変動予測の時代(2000~)

組織的な(機関・研究者)連携研究



我々は今、何をしなければいけないか？

(1) 雪氷圏変動監視観測ネットワークを強化、持続的体制を構築。

・連携・推進体制：観測態勢を整備・高度化、共同利用などで連携強化、効率的で安定した体制、

→実態と変動プロセスに関するデータを確実に確保。

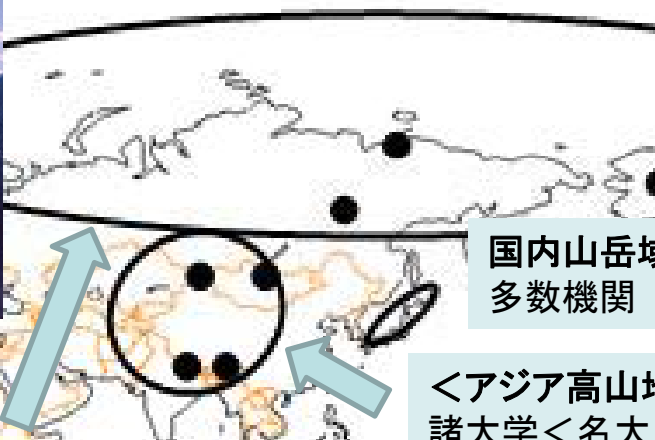
・地域：日本コミュニティー実績があり国際分担の期待がある北極域、ヒマラヤを中心としたアジア高山帯、国内山岳地帯、南米のパタゴニア、それと南極氷床域を中心。

・観測：陸域におけるスーパーサイト・分布型観測網・トラバース観測、海洋における船舶・自動観測などの観測手段・要素の充実と機器開発。

主要方策：

- ・観測実施グループ間の連携。中核組織の形成。
- ・長期的計画の形成と効率的観測実施。
- ・安定的資金の確保。(研究分野予算のプログラム化)
- ・国内資源(砕氷船、専門家)の有効活用。

日本が重点観測・研究推進すべき雪氷圏



国内山岳域等
多数機関



<アジア高山地域>
諸大学<名大、北大>(氷河、凍土、積雪)

<南極氷床域>
極地研(氷床力学、コア)
気象庁
諸大学

<北極域>
海洋研究開発機構(海水、積雪、凍土、氷河)
極地研(氷河、氷床)
宇宙航空研究開発機構(雪氷の衛星計測)
諸大学<北大など>(凍土、海水、積雪)



<パタゴニア>
大学等



(2)衛星および地上観測のデータ整備・品質管理を通じて統合解析を実施できる体制の確立。

- ・データセット構築：雪氷データは、いわゆる個別のプロセス研究上で扱われることが多く、また担当機関がないため、研究者および一般社会が使える形でのデータセット化が遅れている。
- ・利活用の促進：過去から現在まで取得した衛星および地上観測のデータ・プロダクトをアーカイブ、管理、流通させる機能が必要とされている。その際、と衛星導出手法の改良によるプロダクトの高度化、および統合解析が出来ることが求められている。

主要方策：

- ・データレスキューを行う。
- ・データ整備を行う。
- ・利活用が進むシステムを構築し普及させる。

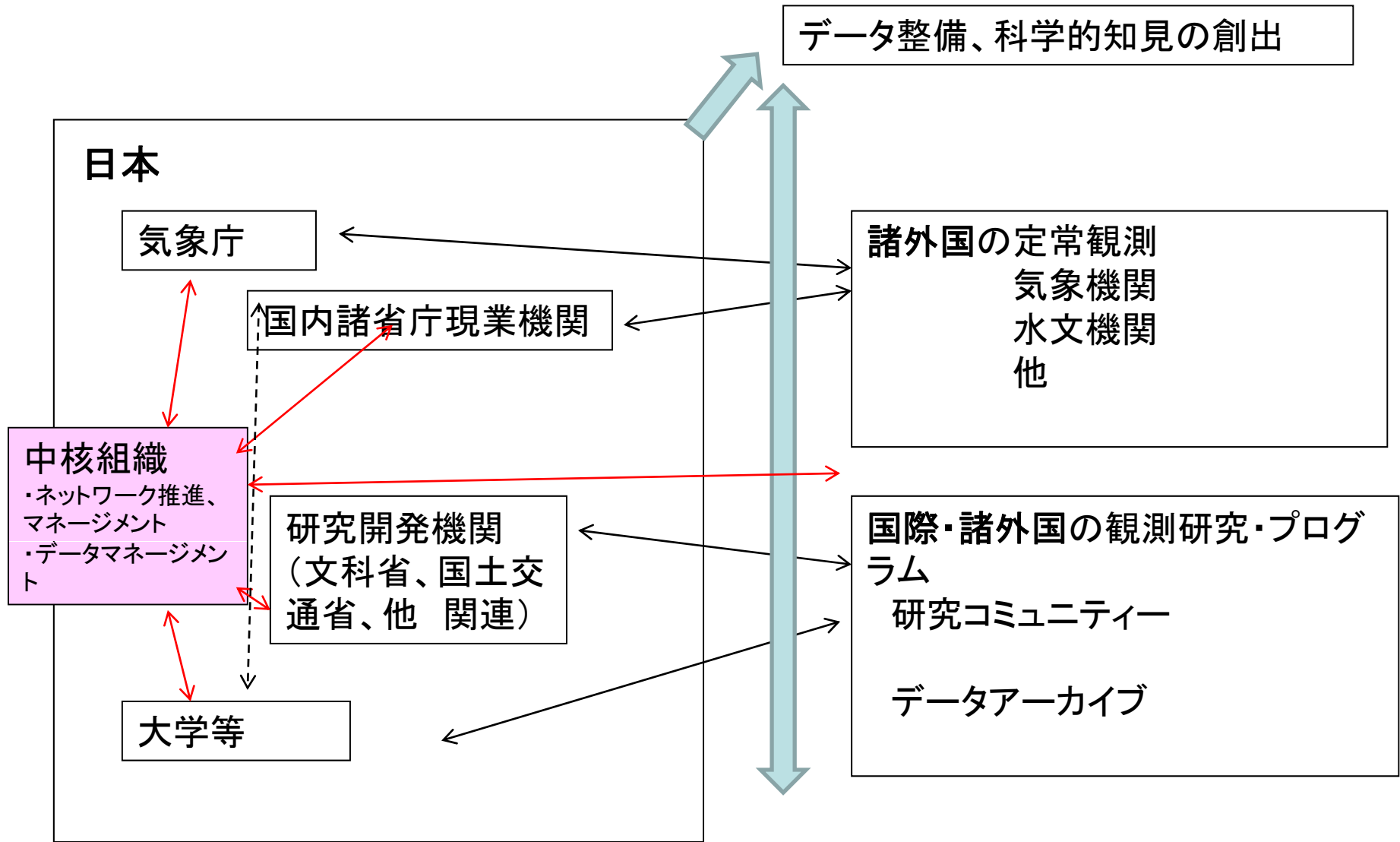
(3)中核組織を形成、雪氷圏の持続的監視を維持、データの利活用を推進し、温暖化影響評価・予測貢献を行う:

- ・実施体制の整備:雪氷因子はデータの蓄積・利活用が遅れ、と持続的観測が困難な状況、温暖化での変化およびその潜在的影響力の事実は、この状況の改善を求めている。
- ・中核組織:このためには、効率的・系統的に雪氷変動を総合的に扱い、他分野との連携を図る中核組織の形成が急務であると言える。

(4)人材確保・育成

国内的に、国外的に。

国内の雪氷変動観測・研究体制の“今後”



結論

(1) 地球温暖化の進行は、温度変化に敏感な雪氷の観測研究、データ管理を新たな段階に移行させることを我々に求めている。

(2) 対応できるよう、国内体制を整備することが必要である。

(3) これは、他分野研究の推進、温暖化による将来気候予測や社会活動変化の評価に不可欠である。