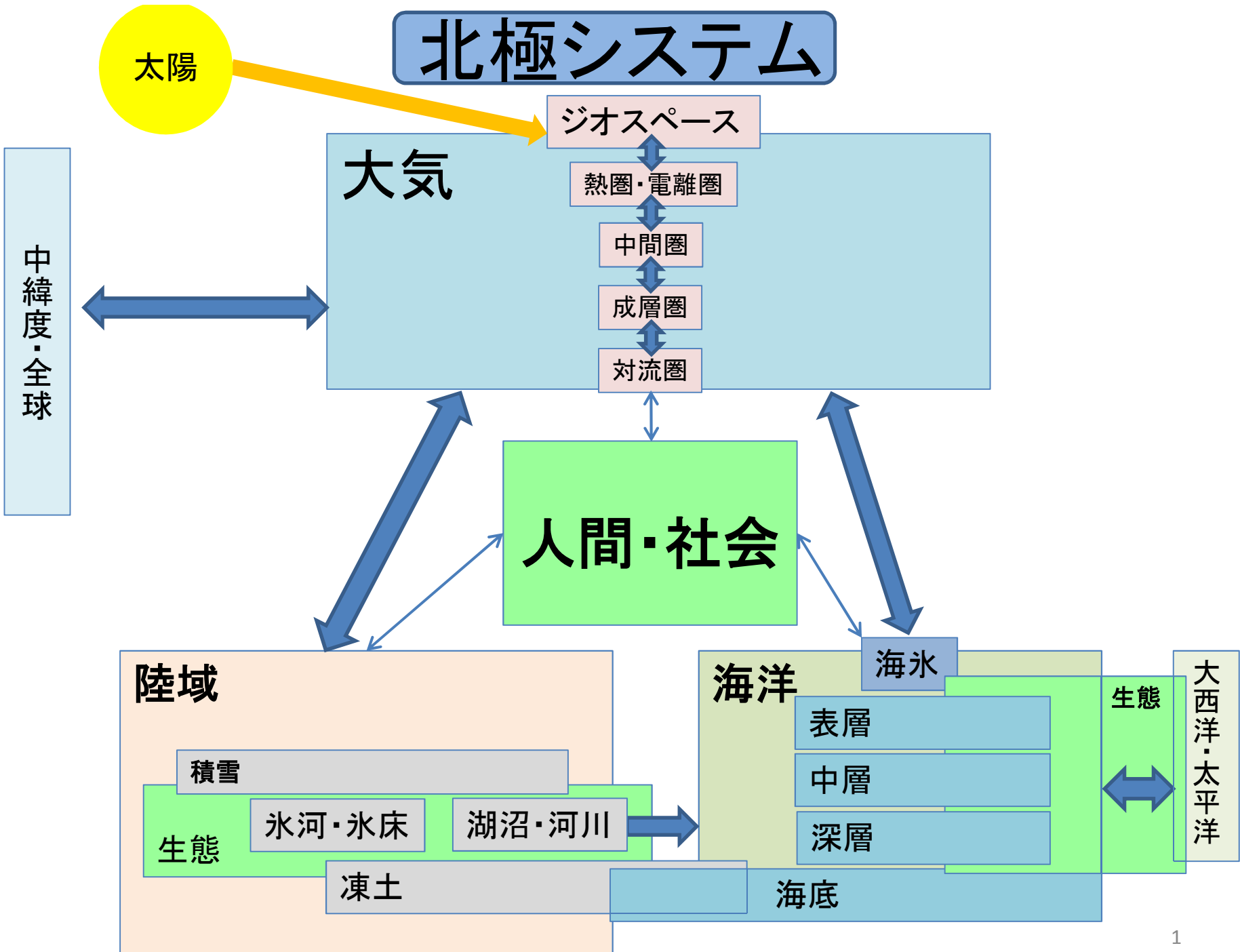


我が国における北極研究の取組状況

国立極地研究所 榎本 浩之

平成28年7月5日



我が国の北極研究における課題

「北極環境研究の長期構想」(JCAR)に基づく課題抽出

1. 急激な環境変化

1. 1 北極温暖化増幅
1. 2 北極-中緯度連鎖、北極-全球との相互作用
1. 3 物質循環と生態系
1. 4 海洋・海氷変動
1. 5 雪氷圏・水循環
1. 6 古環境から探る現在の環境変化
1. 7 環境変化の社会への影響

2. 変動時間スケールの比較的長い分野

2. 1 ジオスペース・超高層・中層大気
2. 2 生物多様性
2. 3 凍土
2. 4 固体地球

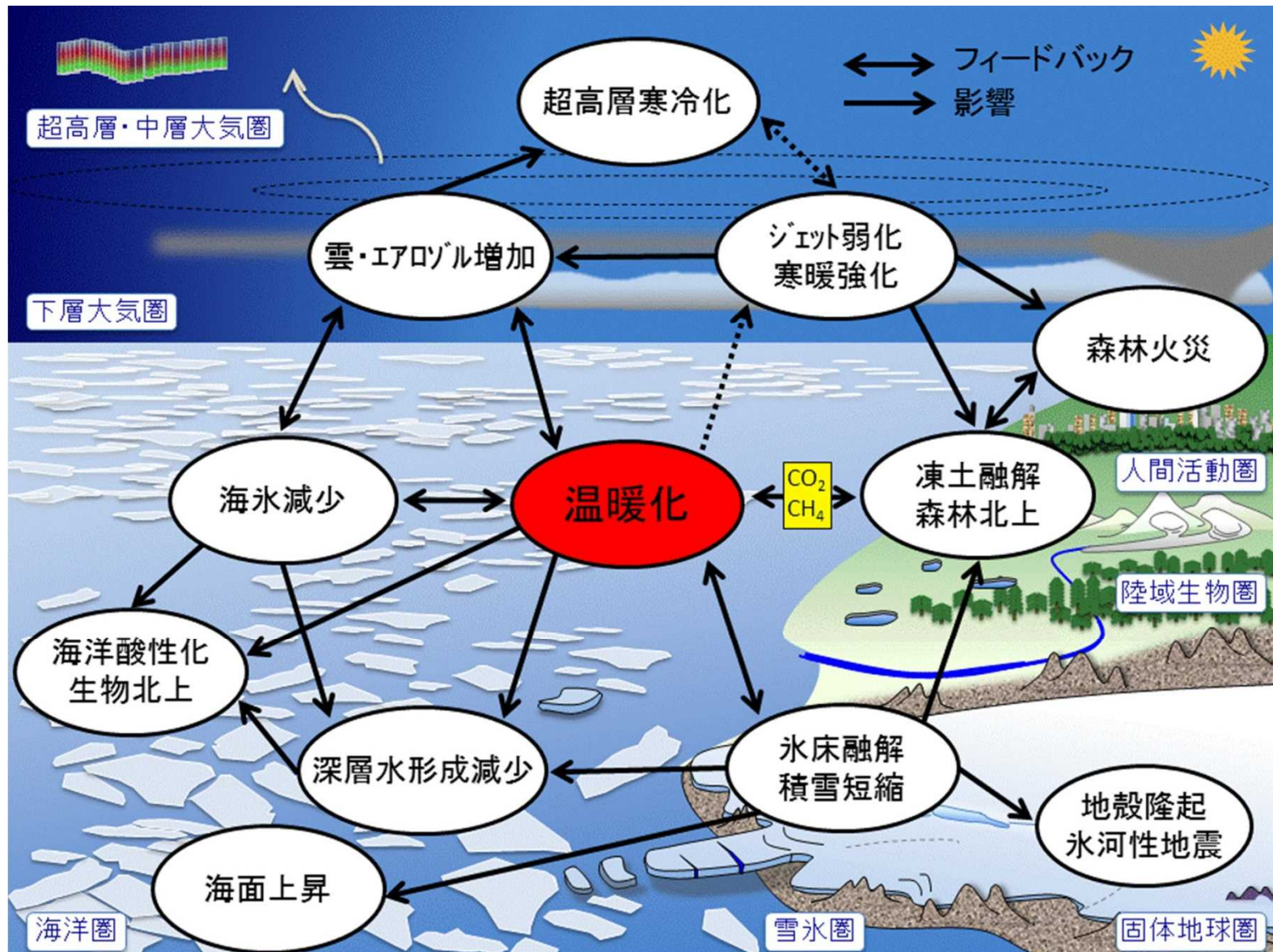
3. ブレークスルーを可能にする手法

3. 1 モニタリング
3. 2 モデリングとデータ同化

4. 基盤整備

4. 1 観測プラットフォーム
4. 2 研究設備
4. 3 データ
4. 4 体制
4. 5 人材育成

北極温暖化と主要な因子と影響



1. 急激な環境変化

1.1 北極温暖化増幅

—北極域の急激な温暖化メカニズムの理解・予測・対応への指針

①フィードバックの役割

赤字:主に用いられる手法、基盤

1 季節変化過程 **スーパーコンピュータ**

2 BC・エアロゾル・雲等の放射強制力の評価 **衛星、航空機、海外観測拠点、研究船等**

3 大気と陸・海面の相互作用。GRENEでモデル研究として実施 **海外観測拠点、データアーカイブ、研究船等**

②成層圏-対流圏結合

4 大気の下層・上層間における水平鉛直熱輸送 **スーパーコンピュータ**

③陸域雪氷圏の役割

5 積雪・凍土・植生・氷床 **衛星、海外観測拠点**

④将来予測

6 モデルの改良、大気海氷海洋相互作用の重要過程の確認、国際プログラムとの協働

スーパーコンピュータ、同化データ



1.2 北極－中緯度気象連鎖、全球との相互作用

－北極域の温暖化が中緯度・全球の気象・気候に与える影響・その社会影響・対策

①大気役割

- 1 北極海の海水縮小が中緯度の気象に与える影響 赤字:主に用いられる手法、基盤
スーパーコンピュータ、同化データ
- 2 極端気象の予測可能性 スーパーコンピュータ、同化データ
- 3 大気テレコネクションパターン(AO,PDO,NAO,PNA等)及びその変動の理解:北極振動は強まるか?などの海水変動と大気大循環、極渦とロスビー波応答、ENSOとの関係、等 スーパーコンピュータ、同化データ、モデル

②海洋役割

- 4 海水変動に伴う海洋循環の変化 研究船等、係留系
- 5 グリーンランド海における北大西洋深層水形成 研究船等、係留系
- 6 温暖化に伴う太平洋水の流入の変動:その原因と影響 研究船等、係留系
- 7 中緯度大気海洋大循環を介する北極へのフィードバック スーパーコンピュータ、同化データ、モデル

③陸域役割

- 8 北極－全球相互作用における陸域プロセスの影響:積雪・植生変動による陸面-大気エネルギー輸送および水収支の変化、非一様な陸面状態の広域的な把握 スーパーコンピュータ、同化データ、モデル

④超高層大気役割

- 9 北半球大気循環場・成層圏大気を通じての極域・中緯度大気変動連鎖 スーパーコンピュータ、同化データ
- 10 極域超高層大気の全球超高層大気への影響 レーダ系

⑤多圏相互作用

- 11 大気海洋結合系、大気陸面結合系などの多圏相互作用の解明 レーダ系、モデル



1.3 物質循環と生態系

- 北極域での温室効果気体の発生、輸送、BCなど不純物の発生と輸送・社会影響と対策
- 森林域、ツンドラの植生、陸上動物

赤字: 主に用いられる手法、基盤

① 大気微量成分の濃度変化

- 1 BC, GHG、短寿命気体、エアロゾル等の大気微量成分の時空間変動 衛星、航空機、海外観測拠点、雲レーダ、研究船等
- 2 定点観測点、航空機観測、衛星データのインバージョン計算、地上観測との比較 衛星、航空機、海外観測拠点
- 3 観測手法開発と評価指標の検討、複数地域サンプリング 海外観測拠点、航空機、研究船等

② 陸域生態系の影響

- 4 二酸化炭素の陸域生態系による発生・吸収 衛星、航空機、海外観測拠点
- 5 森林火災による大気微量成分発生 の把握 海外観測拠点、境界層タワー
- 6 湖沼からのメタン放出 海外観測拠点
- 7 植生・土壌と温室効果気体の放出・吸収評価 海外観測拠点

③ 海洋生態系に関わる物質循環

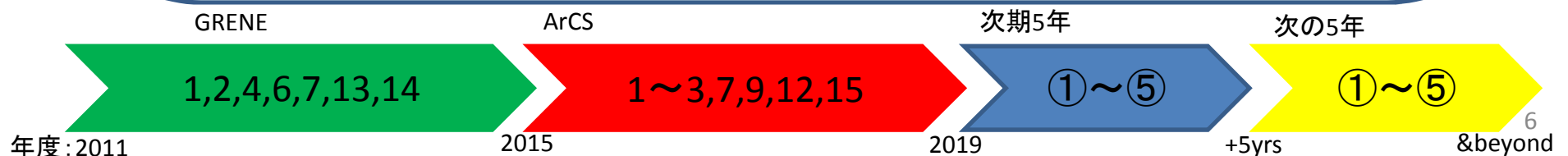
- 8 温室効果気体と吸収・放出に関する海洋の影響 研究船等、係留系
- 9 海氷・海洋変動に伴う大気微量成分循環の変動 衛星、研究船等、AUV

④ 陸から海への物質輸送

- 10 陸から海への物質輸送 海外観測拠点
- 11 北極における淡水収支メカニズム 衛星、研究船等

⑤ 生態系変化

- 12 温暖化と環北極陸域生態系の変化 海外観測拠点
- 13 表層湿潤化と植生変動: GRENEで実施 海外観測拠点
- 14 環北極森林調査: スカンジナビア、カナダ、シベリアの森林の成長状況調査実施 海外観測拠点
- 15 ツンドラ生態系: スバルバルで実施、カナダなど環北極の観測域拡大 海外観測拠点



1.4 海洋・海氷変動

—北極海観測・モデル計算、気候変動と北極海の将来予測

赤字:主に用いられる手法、基盤

- ①海氷減少のメカニズムの解明:GRENE/ArCSで実施、同化データ、モデル
海氷・積雪のアイスアルベドフィードバックの役割と海洋・雲を通じての季節変化過程
- ②海氷の熱的減少過程 研究船等
- ③大気(雲・低気圧等)に与える影響
 - 大気-海氷・海洋相互作用:モデル研究として実施 研究船等、係留系、モデル
- ④海洋(成層・深層循環・物質循環・生態系など)に与える影響
 - 1 北極海の循環と海氷変動およびその物理過程モデリング 衛星、同化データ、モデル
 - 2 北極海の淡水収支の変動 衛星、モデル
 - 3 海氷生産量のマッピング、メルトポンドの実態、季節ごとの氷状・氷厚の観測、沿岸観測 衛星、研究船等
 - 4 陸棚斜面での湧昇、渦形成、陸棚水輸送による二酸化炭素吸収や海洋酸性化への影響 研究船等
 - 5 北極海における物質循環・生物生産の変化の定量的な理解 研究船等、係留系、AUV
 - 6 北極海の一次生産力と海洋循環(氷縁ブルームと海氷後退/融解の影響等) 衛星、研究船等、AUV等
 - 7 北極海からのメタン放出・海底永久凍土の融解によるメタン放出 研究船等、AUV等
 - 8 陸域からの淡水及び物質供給が海洋生態系に与える影響 研究船等、係留系、AUV等
- ⑤海氷変動予測
 - 短期・中期・長期気候予測研究:国際気候変動プログラムとの協働 研究船等、AUV等



1. 急激な環境変化

1.5 雪氷圏・水循環

- 20世紀後半から急激に縮小する山岳氷河。21世紀に入って急激な縮小が進行するグリーンランド氷床。今後100年の氷融解が海水準上昇に与える影響、その結果生じる環境変化と社会への影響
- 北極温暖化増幅に果たす役割、陸域環境への影響、淡水流出と水循環の変化が陸・海的环境・生活に与える影響

赤字:主に用いられる手法、基盤

①氷河氷床

- 1 北極における氷河の縮小傾向把握と予測: 広域氷河変動予測、雪氷微生物 **衛星、海外観測拠点**
- 2 グリーンランド氷床の変動メカニズムと将来予測: 氷損失定量化、氷暗色化などのプロセス解明、氷床・海洋の相互作用、氷河地震、長期氷床変動予測、氷床・気候・海洋結合 **衛星、海外観測拠点、スーパーコンピュータ**
- 3 気候と氷床流動・不安定化: アイスコアによる長期の環境復元および氷床流動場変動の再現 **掘削**

②永久凍土

- 4 永久凍土域における物質循環(氷・炭素)の定量的な解明: 融解に伴うメタン放出、有機炭素蓄積量の推定精度向上、凍土温度と活動層深分布の把握、植生・水循環へのインパクト、エドマ氷 **衛星、データアーカイブ**
- 5 永久凍土の気候システムにおける役割・フィードバック解明: 陸面モデルの改良、将来予測 **スーパーコンピュータ、データアーカイブ**

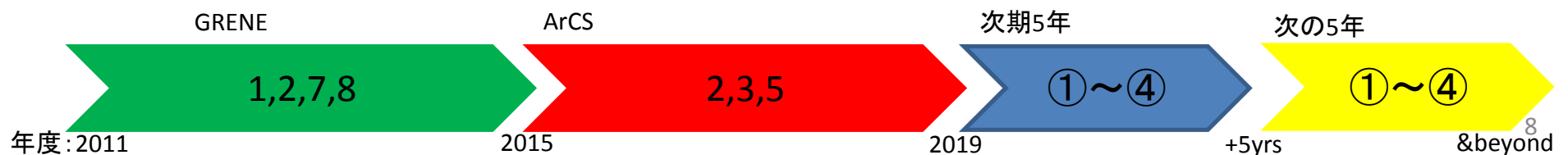
- 6 海底永久凍土およびその融解による海洋への影響(メタン放出) **研究船等、AUV**

③降積雪

- 7 陸域変動モデルによる再現及び予測: 植生・積雪凍土を含んだ地表面過程のモデル比較GTMIP実施 **衛星、データアーカイブ**
- 8 温暖化と陸域関連変動: 陸域雪氷被覆と温暖化増幅 **衛星、モデル**

④水文過程

- 9 温暖化に伴う水循環の変動: 降水・蒸発の変化、北極海における河川流出のやくわり、衛星による凍土融解水の貯留と流出の推定 **衛星、データアーカイブ**



1.6 古環境から探る現在未来の環境変化

— 急激な気候変動の発生要因の解明と影響評価

赤字: 主に用いられる手法、基盤

① 温暖化に伴う氷床表面質量収支変動・氷床流動メカニズムの解明

- プロキシデータと地球システムモデル結果との比較 **スーパーコンピュータ、国内拠点**

② 過去の北極温暖化増幅の現在との違い及びその要因

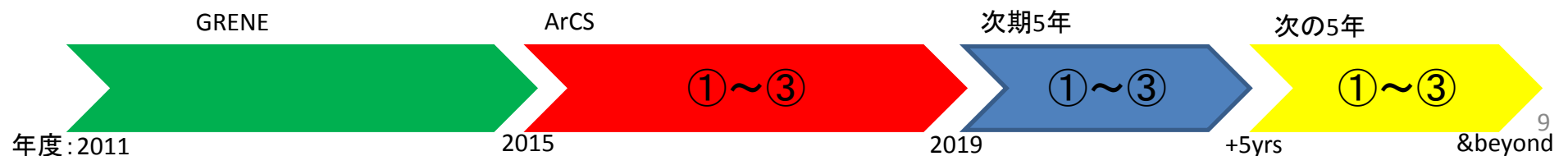
スーパーコンピュータ、国内拠点

- 氷床変動卓越周期の解明
- 海水準変動と氷床変動
- 大規模氷山流出
- 温暖化時の大気組成、特に温室効果気体濃度

③ 過去のグリーンランド氷床の変動とその要因

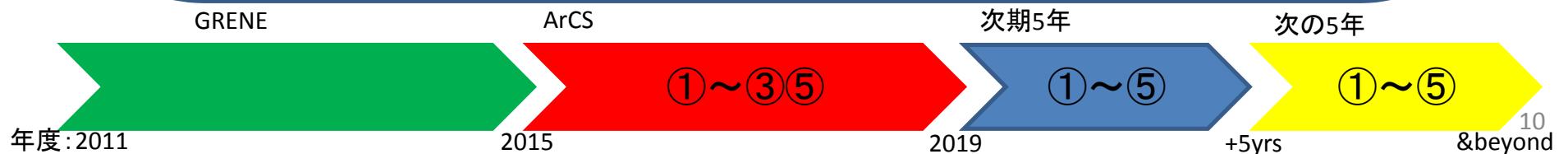
レーダ系

- 過去のグリーンランド氷床変動メカニズム



1.7 環境変化の社会への影響

- ①気候変動による影響：異常気象、森林火災、農業生産等 赤字：主に用いられる手法、基盤
-BC発生インベントリ 海外観測拠点
- ②陸域変動による影響
-凍土融解およびそれに依る炭素放出、植生変化 衛星
-野生動物・家畜への影響 衛星
-氷河変動が周辺海域及び住民に与える影響：グリーンランド沿岸の氷床・海洋・生態系の変化と、地域社会への影響を調査解析 衛星、海外観測拠点
- ③海洋変化による影響：一次生産量への影響、水産業進出、生態系劣化、開発による汚染 衛星、研究船等
- ④太陽活動や超高層大気の変動の影響：停電対策、衛星運航等への影響回避 レーダ系
- ⑤人間社会の対応
-先住民への影響、政策決定への影響、
-開発と汚染・健康問題・水問題、
-先住民文化の保全、都市化への対応
-北極の経済開発とその評価：短期・中期・長期海氷予測、航行支援モデルの開発、北極海航路の経済性評価、冬季海氷成長の予測：衛星観測および情報公開、海氷縮小後の沿岸・航路域の海況把握：波浪増加、沿岸浸食などの予測と対策 衛星、スーパーコンピュータ、データ同化、データアーカイブ
-経済開発と環境・住民社会文化の保全
-経済開発におけるルール作り(政策決定)の検討 専門家派遣
-BC対応、国際ルール策定に向けての活動 専門家派遣
-北極海及び周辺海域の漁業資源の評価 衛星



2.1 ジオスペース・超高層・中層大気

—大気上下結合及び緯度間結合のプロセス解明による地球環境変動研究への貢献—

① 下層大気から超高層大気までの大気上下結合過程

- 成層圏—対流圏結合に関するモデル計算研究 スーパーコンピュータ、同化データ

② 温室効果ガスの増大に伴う、中層・超高層大気の寒冷化 レーダ系

- EISCAT(欧州非干渉散乱)レーダー観測から-40°C/30年(高度300km)の寒冷化を検出

③ 下層大気で励起された大気波動による、中層・超高層大気の熱的・力学的構造への影響 スーパーコンピュータ、同化データ、レーダ系

④ 電離圏擾乱現象の有効かつ確実な検出と予測 レーダ系

⑤ 太陽風・磁気圏から北極域への電磁・粒子エネルギー侵入過程 レーダ系

- ジオスペースから超高層大気、下層大気への影響及び、それらの相互作用を評価・予測
- 「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」(マスタープラン・ロードマップ2014重点課題)を構成するEISCAT_3D計画の推進

⑥ 北極域から中低緯度の中層・超高層大気へのエネルギー・物質循環過程

⑦ 中層・超高層大気微量成分変動の下方伝播とオゾン濃度への影響 衛星、データアーカイブ、レーダ系

赤字: 主に用いられる手法、基盤



2.2 生物多様性

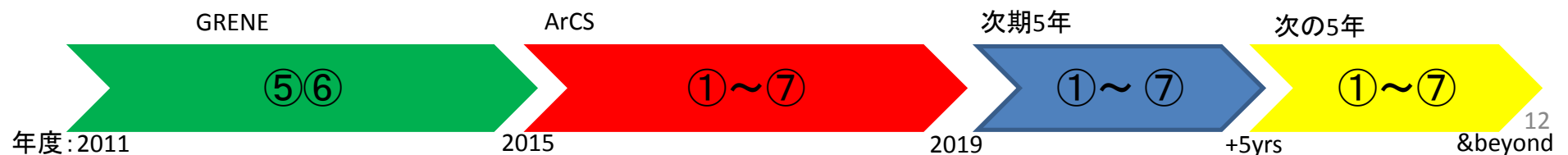
赤字:主に用いられる手法、基盤

○陸域

- ①人間活動の北極陸域生態系への影響 衛星、データアーカイブ
- ②生物多様性への影響
 - 生物多様性の変化、泥炭湿地、応答の多様性 衛星、海外観測拠点、データアーカイブ、AUV
- ③生物多様性の変化が高次動物や気候に与える影響

○海洋 衛星、研究船等、係留系

- ④陸域・大気物質が海洋生態系・多様性へ与える影響
- ⑤低次生態系の物質循環に果たす役割
- ⑥北極海における食物連鎖と生態系変化・多様性との関係
- ⑦気候変動に伴う海洋の成層化・脱酸素・酸性化の生態系・多様性に及ぼす影響



2.3 凍土

— 永久凍土の成立と変遷過程

- 赤字: 主に用いられる手法、基盤
- ① 永久凍土の現状の把握 衛星、海外観測拠点
 - 分布と深さ
 - 推定手法の開発
 - 衛星データ・気候モデルの活用
 - ② 永久凍土の構成物質の不均一性 データアーカイブ
 - 地下氷の分布
 - 炭素含有量
 - ③ 永久凍土の昇温・融解の様態・規模 海外観測拠点
 - 活動層の変化
 - サーモカルスト
 - 温度分布、変化
 - 凍土コアの古環境復元への利用
 - ④ 永久凍土-大気-積雪-植生サブシステムの挙動特性
 - 植生の役割と森林火災 衛星、データアーカイブ
 - 小氷期の影響
 - 最終氷期以降の変遷



2.4 固体地球

— 表層環境変動と固体地球の相互作用

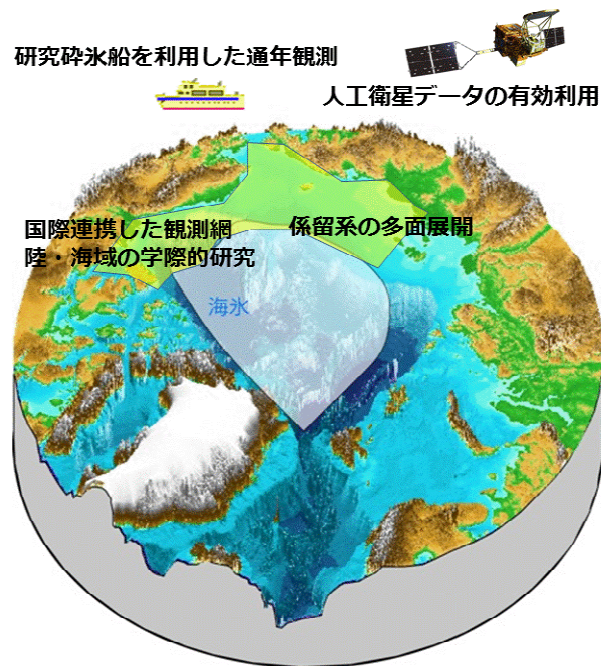
- ①北極海海嶺熱水系の海洋環境との相互作用 赤字: 主に用いられる手法、基盤
衛星、研究船等
- ②氷床変動と地殻変動 衛星
- ③北極海形成過程における大気—氷床—海洋相互作用 研究船等
- ④数千万年~数十億年スケールにおける地球表層環境変動と北極海・周辺大陸の発達過程



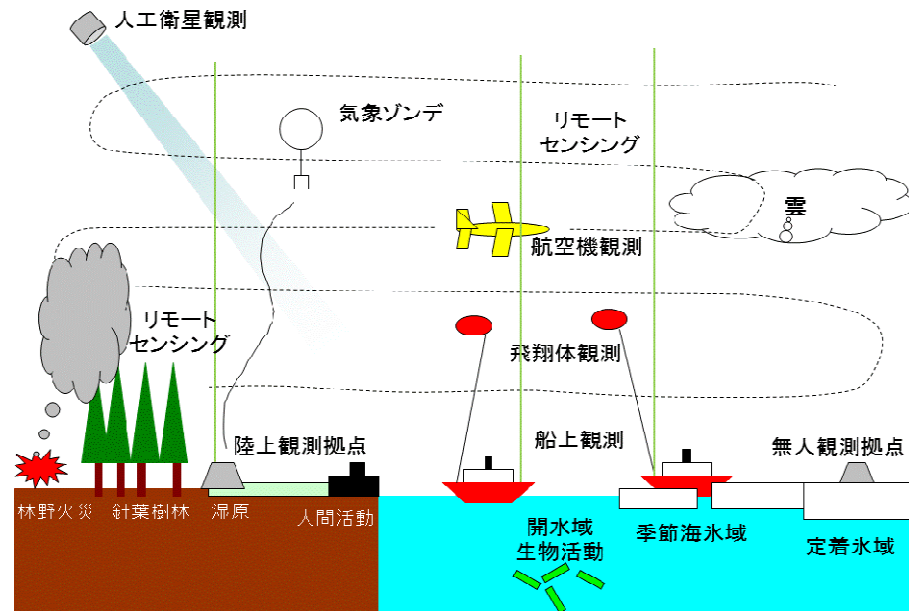
3.1 モニタリング

—シームレスなモニタリング

- ① **海洋圏**: 衛星及び研究船等による通年の海水変動、海洋生態系、物質循環のモニタリング
- ② **雪氷圏**: グリーンランド氷床、環北極圏の山岳氷河の質量収支とそれに関わる所領、凍土の掘削孔管理、融解に伴うサーモカルストや海岸浸食
- ③ **大気圏**: 気候に関わる大気微量成分、雲・降水量の高精度な長期観測とそれに依る時空間変動の把握
- ④ **陸域圏**: 植生変動、陸域生態系のモニタリングと熱・水・炭素フラックスを含む気象・水文観測を行う総合的なスーパーサイトの整備と維持



今後の海洋生態のモニタリングに必要な要素

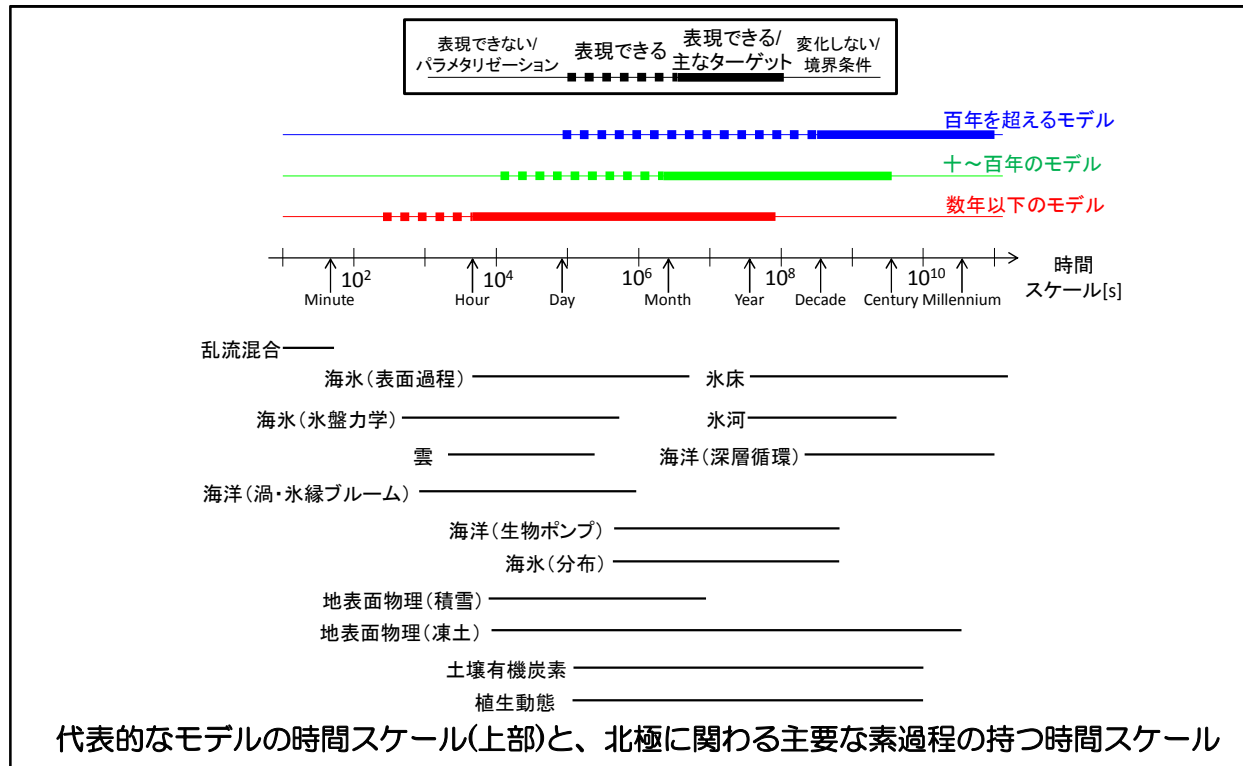


今後の大気微量成分のモニタリングに必要な要素 15

3.2 モデリングとデータ同化

—複合分野を繋ぐ地球システムモデリング、モデルとモデルを繋ぐデータ同化

- ①地球システムモデルの改良: 緻密な領域**モデル**、安定した長期再現**モデル**
- ②大気モデルの改良: 雲の表現と検証
- ③海洋・海氷モデルの改良: 北極海への水塊流や鉛直混合で変質する過程や生態系プロセスのパラメータ化、氷盤スケールでの諸過程や海氷下の混合層過程の改善
- ④陸面・雪氷モデルの改良: 古環境指標を用いた**同化技術**の導入、相互作用の再現性の向上等
- ⑤データ同化「大気再解析」: **衛星及び研究船等**による通年の海氷変動、海洋生態系、物質循環のモニタリング、海洋・海氷**データ同化**システム: 海洋**モデル**—北極海への淡水流入や鉛直混合等の過程の改善、生態系プロセスのパラメータ化、海氷季節予想、大気化学組成の推定、氷床の状態推定



4. 基盤整備

4.1 観測プラットフォーム

- ①研究船：北極海（海氷域）及び周辺海域における様々なフィードバックの役割と季節変化過程の把握など。一定の耐氷・砕氷機能、ムーンプール、ヘリ運用、十分な観測設備
- ②衛星リモートセンシング：北極域から全球まで必要なデータを継続して取得できるシームレスな衛星観測計画
- ③航空機：地上と衛星の中間（下層大気圏等）の観測
- ④海外研究観測拠点：北極域の重点観測サイトの維持運用

4.2 研究設備

- ①大気：放射計、ドップラーレーダー・多波長偏光ライダー、精度の良い雨雪量計
- ②中層・超高層大気：EISCAT-3Dレーダー他
- ③雪氷：氷床氷河掘削機器、コア解析装置、凍土温度融解深計、降雪計、蒸発散量、水文過程
- ④陸域生態系・物質循環：ライダー、ハイパースペクトルカメラ、境界層タワー、移動手段
- ⑤海洋：船上観測機器、水中ロボット、係留系、コアリング、海氷厚測定器
- ⑥数値モデリング：基盤的組織体制（専門研究所、分業）、独自のスーパーコンピュータ

4.3 データ

- ①長期安定したアーカイブ
- ②利便性
- ③データレスキュー
- ④公開流通
- ⑤国際連携
- ⑥標本（サンプル）のアーカイブ

4. 基盤整備

4.4 体制

- ①中核機関の強化：トップダウンとボトムアップの調整、**機関間連携の仕組み強化**
- ②研究基盤の整備・維持体制の確立：**中長期的に安定した研究を可能とする原資確保**
- ③広報の強化：**我が国としての北極研究の必要性の浸透**
- ④コミュニティー（研究者・ステークホルダー）支援：ボトムアップの機能強化
- ⑤国際協力の促進：窓口機関の強化及び透明化、**相互の情報交換・共有**

4.5 人材育成

- ①研究者の育成：インターン制度、サマースクール、キャリアパス開発、フィールドワーク支援制度
- ②国際連携
- ③専門技術の継承と発展
- ④リテラシーの確立とアウトリーチ