

執筆等一覧 (本報告書全体版作成に携わった者、50音順)

北極環境研究長期構想作成ワーキンググループ (2013年2月～)

池田元美 (北海道大学)
伊勢武史 (京都大学)
大畑哲夫 (海洋研究開発機構/国立極地研究所)
川合美千代 (東京海洋大学)
兒玉裕二 (国立極地研究所)
杉山慎 (北海道大学)
藤井理行 (総合研究大学院大学/国立極地研究所)
山内恭 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
吉田龍平 (東北大学)
吉森正和 (北海道大学)
渡邊英嗣 (海洋研究開発機構)

執筆者、査読者

1～4章、10章

北極環境研究長期構想作成ワーキンググループ

5～8章

テーマ1: 地球温暖化の北極域増幅

代表 青木輝夫 副代表 阿部彩子、榎本浩之、吉森正和

青木一真 (富山大学)	鈴木力英 (海洋研究開発機構)
青木輝夫 (気象庁気象研究所)	須股浩 (アルフレッドウェゲナー研究所)
阿部彩子 (東京大学)	竹村俊彦 (九州大学)
阿部学 (海洋研究開発機構)	富川喜弘 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
池田元美 (北海道大学)	羽角博康 (東京大学)
石井正好 (気象庁気象研究所)	廣田渚郎 (国立極地研究所/東京大学)
猪上淳 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)	藤原均 (成蹊大学)
榎本浩之 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)	堀正岳 (海洋研究開発機構)
大石龍太 (国立極地研究所/東京大学)	本田明治 (新潟大学)
岡本創 (九州大学)	三好勉信 (九州大学)
小川泰信 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)	山崎孝治 (国立極地研究所/北海道大学)
小端拓郎 (ベルン大学)	山内恭 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
小室芳樹 (海洋研究開発機構)	芳村圭 (東京大学)
坂野井和代 (駒澤大学)	吉森正和 (北海道大学)
佐藤正樹 (東京大学)	渡部雅浩 (東京大学)
塩原匡貴 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)	

査読 藤井理行 (総合研究大学院大学/国立極地研究所)

テーマ2：海水減少のメカニズムと影響

代表 渡邊英嗣 副代表 大島慶一郎

池田元美 (北海道大学) 豊田威信 (北海道大学)
猪上淳 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 西岡純 (北海道大学)
大島慶一郎 (北海道大学) 二橋創平 (苫小牧工業高等専門学校)
小野純 (国立極地研究所／東京大学) 野村大樹 (北海道大学)
川口悠介 (ワシントン大学) 平野大輔 (国立極地研究所)
木村詞明 (国立極地研究所／東京大学) 溝端浩平 (東京海洋大学)
田村岳史 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 渡邊英嗣 (海洋研究開発機構)
豊田隆寛 (気象庁気象研究所)

査読 菊地隆 (海洋研究開発機構)

羽角博康 (東京大学)

テーマ3：物質循環と生態系変化

代表 鈴木力英 副代表 原田尚美

青木周司 (東北大学) 永田俊 (東京大学)
石川守 (北海道大学) 西岡純 (北海道大学)
伊勢武史 (京都大学) 西野茂人 (海洋研究開発機構)
内田雅己 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 原田尚美 (海洋研究開発機構)
大石龍太 (国立極地研究所／東京大学) 朴昊澤 (海洋研究開発機構)
大畑哲夫 (海洋研究開発機構／国立極地研究所) 早坂洋史 (北海道大学)
川合美千代 (東京海洋大学) 原圭一郎 (福岡大学)
久万健志 (北海道大学) 原登志彦 (北海道大学)
小島覚 (北方生態環境研究学房) 平譚享 (北海道大学)
斉藤和之 (海洋研究開発機構) 松浦陽次郎 (森林総合研究所)
三瓶真 (広島大学) 松岡敦 (ラヴァル大学)
杉本敦子 (北海道大学) 森下智陽 (森林総合研究所)
鈴木力英 (海洋研究開発機構) 山内恭 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
知北和久 (北海道大学) 渡邊豊 (北海道大学)

査読 三枝信子 (国立環境研究所)

佐々木洋 (石巻専修大学)

テーマ4：氷床・氷河、凍土、降積雪、水循環

代表 飯島慈裕 副代表 杉山慎

青木輝夫 (気象庁気象研究所) 齋藤冬樹 (海洋研究開発機構)
東久美子 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 末吉哲雄 (国立極地研究所／海洋研究開発機構)
阿部彩子 (東京大学) 杉浦幸之助 (富山大学)
飯島慈裕 (海洋研究開発機構) 杉山慎 (北海道大学)
石川守 (北海道大学) 鈴木和良 (海洋研究開発機構)
岩花剛 (アラスカ大学) 竹内望 (千葉大学)
榎本浩之 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 坪井誠司 (海洋研究開発機構)
大島和裕 (海洋研究開発機構) 朴昊澤 (海洋研究開発機構)
太田岳史 (名古屋大学) 平沢尚彦 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
大畑哲夫 (海洋研究開発機構／国立極地研究所) 藤井理行 (総合研究大学院大学／国立極地研究所)
金尾政紀 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 的場澄人 (北海道大学)
川合美千代 (東京海洋大学) 山崎剛 (東北大学)
川村賢二 (国立極地研究所／総合研究大学院大学／
海洋研究開発機構) 芳村圭 (東京大学)

査読 高橋修平 (北見工業大学)

檜山哲哉 (名古屋大学)

テーマ5：北極・全球相互作用

代表 高谷康太郎 副代表 高田久美子

池田元美 (北海道大学) 中村尚 (東京大学)
猪上淳 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 羽角博康 (東京大学)
浮田甚郎 (新潟大学) 廣田渚郎 (国立極地研究所／東京大学)
小川泰信 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 藤原均 (成蹊大学)
坂野井和代 (駒澤大学) 堀正岳 (海洋研究開発機構)
鈴木力英 (海洋研究開発機構) 本田明治 (新潟大学)
高田久美子 (国立極地研究所／国立環境研究所) 溝端浩平 (東京海洋大学)
高谷康太郎 (京都産業大学) 三好勉信 (九州大学)
立花義裕 (三重大学) 山崎孝治 (国立極地研究所／北海道大学)
田中博 (筑波大学) 吉田龍平 (東北大学)
富川喜弘 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 渡部雅浩 (東京大学)
豊田隆寛 (気象庁気象研究所)

査読 市井和仁 (海洋研究開発機構)
江尻省 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
川村隆一 (九州大学)
菊地隆 (海洋研究開発機構)

テーマ6：古環境から探る北極環境の将来

代表 川村賢二 副代表 山本正伸、芳村圭

東久美子 (国立極地研究所／総合研究大学院大学) 末吉哲雄 (国立極地研究所／海洋研究開発機構)
阿部彩子 (東京大学) 菅沼悠介 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
飯塚芳徳 (北海道大学) 関幸 (北海道大学)
岩花剛 (アラスカ大学) 原田尚美 (海洋研究開発機構)
植村立 (琉球大学) 藤井理行 (総合研究大学院大学／国立極地研究所)
大石龍太 (国立極地研究所／東京大学) 的場澄人 (北海道大学)
奥野淳一 (国立極地研究所／海洋研究開発機構) 三浦英樹 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
川村賢二 (国立極地研究所／総合研究大学院大学／
海洋研究開発機構) 山本正伸 (北海道大学)
小端拓郎 (ベルン大学) 芳村圭 (東京大学)
齋藤冬樹 (海洋研究開発機構) 吉森正和 (北海道大学)

査読 高橋孝三 (北星学園大学)
堀内一穂 (弘前大学)

テーマ7：北極環境変化の社会への影響

代表 池田元美 副代表 高倉浩樹

荒木田葉月 (理化学研究所) 立澤史郎 (北海道大学)
池田元美 (北海道大学) 坪井誠司 (海洋研究開発機構)
大塚雄一 (名古屋大学) 早坂洋史 (北海道大学)
齋藤誠一 (北海道大学) 松村寛一郎 (関西学院大学)
佐藤篤司 (防災科学技術研究所) 三好由純 (名古屋大学)
高倉浩樹 (東北大学) 山口一 (東京大学)

査読 岸上伸啓 (国立民族学博物館)
北川弘光 (海洋政策研究財団)

テーマ8：陸域生態系と生物多様性への影響

代表 原登志彦 副代表 伊勢武史

荒木田葉月 (理化学研究所)
伊勢武史 (京都大学)
大畑哲夫 (海洋研究開発機構/国立極地研究所)
小島 覚 (北方生態環境研究学房)
鈴木力英 (海洋研究開発機構)
高橋英樹 (北海道大学)
立澤史郎 (北海道大学)

露崎史朗 (北海道大学)
羽島知洋 (海洋研究開発機構)
早坂洋史 (北海道大学)
原登志彦 (北海道大学)
原口 昭 (北九州市立大学)
吉田龍平 (東北大学)

査読 藤巻裕蔵 (帯広畜産大学)

テーマ9：海洋生態系と生物多様性への影響

代表 平譚 享 副代表 綿貫 豊

飯田高大 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
池田元美 (北海道大学)
内宮万里央 (国立極地研究所/東京大学)
小野寺丈尚太郎 (海洋研究開発機構)
帰山雅秀 (北海道大学)
川合美千代 (東京海洋大学)
齋藤誠一 (北海道大学)

三瓶 真 (広島大学)
服部 寛 (東海大学)
平譚 享 (北海道大学)
松野孝平 (国立極地研究所/北海道大学)
山口 篤 (北海道大学)
綿貫 豊 (北海道大学)

査読 原田尚美 (海洋研究開発機構)
三谷曜子 (北海道大学)

テーマ10：ジオスペース環境

代表 小川泰信 副代表 富川喜弘

大塚雄一 (名古屋大学)
小川泰信 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
坂野井和代 (駒澤大学)
塩川和夫 (名古屋大学)
富川喜弘 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)

野澤悟徳 (名古屋大学)
藤田 茂 (気象庁気象大学校)
藤原 均 (成蹊大学)
三好勉信 (九州大学)
三好由純 (名古屋大学)

査読 中村卓司 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
細川敬祐 (電気通信大学)

テーマ11：表層環境変動と固体地球の相互作用

代表 野木義史 副代表 三浦英樹

奥野淳一 (国立極地研究所/海洋研究開発機構)
川村賢二 (国立極地研究所/総合研究大学院大学/
海洋研究開発機構)
菅沼悠介 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
杉山 慎 (北海道大学)

土井浩一郎 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
野木義史 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
藤井理行 (総合研究大学院大学/国立極地研究所)
外田智千 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)
三浦英樹 (国立極地研究所/総合研究大学院大学)

査読 沖野郷子 (東京大学)
福田洋一 (京都大学)

テーマ12：永久凍土の成立と変遷過程の基本的理解

代表 末吉哲雄 副代表 石川 守

石川 守 (北海道大学)

岩花 剛 (アラスカ大学)

大畑 哲夫 (海洋研究開発機構／国立極地研究所)

斎藤 和之 (海洋研究開発機構)

末吉 哲雄 (国立極地研究所／海洋研究開発機構)

原田 敏一郎 (宮城大学)

藤井 理行 (総合研究大学院大学／国立極地研究所)

査読 池田 敦 (筑波大学)

檜山 哲哉 (名古屋大学)

テーマA：持続するシームレスなモニタリング

代表 山崎 剛 副代表 田村 岳史

青木 輝夫 (気象庁気象研究所)

飯田 高大 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)

市井 和仁 (海洋研究開発機構)

大島 慶一郎 (北海道大学)

木村 詞明 (国立極地研究所／東京大学)

紺屋 恵子 (海洋研究開発機構)

末吉 哲雄 (国立極地研究所／海洋研究開発機構)

杉本 敦子 (北海道大学)

杉山 慎 (北海道大学)

鈴木 力英 (海洋研究開発機構)

田村 岳史 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)

豊田 威信 (北海道大学)

二橋 創平 (苫小牧工業高等専門学校)

原 圭一郎 (福岡大学)

原田 敏一郎 (宮城大学)

藤井 理行 (総合研究大学院大学／国立極地研究所)

溝端 浩平 (東京海洋大学)

森本 真司 (東北大学)

山崎 剛 (東北大学)

山内 恭 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)

査読 太田 岳史 (名古屋大学)

テーマB：複合分野をつなぐ地球システムモデリング

代表 阿部 彩子 副代表 小室 芳樹

阿部 彩子 (東京大学)

池田 元美 (北海道大学)

伊勢 武史 (京都大学)

大石 龍太 (国立極地研究所／東京大学)

小野 純 (国立極地研究所／東京大学)

小室 芳樹 (海洋研究開発機構)

齋藤 冬樹 (海洋研究開発機構)

佐藤 永 (海洋研究開発機構)

佐藤 正樹 (東京大学)

山崎 剛 (東北大学)

吉森 正和 (北海道大学)

渡邊 英嗣 (海洋研究開発機構)

査読 江守 正多 (国立環境研究所)

時岡 達志 (海洋研究開発機構)

テーマC：モニタリングとモデリングをつなぐデータ同化

代表 若松 剛 副代表 池田 元美

池田 元美 (北海道大学)

猪上 淳 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)

小野 純 (国立極地研究所／東京大学)

須股 浩 (アルフレッドウェグナー研究所)

豊田 隆寛 (気象庁気象研究所)

若松 剛 (海洋研究開発機構)

渡邊 英嗣 (海洋研究開発機構)

査読 石井 正好 (気象庁気象研究所)

中野 英之 (気象庁気象研究所)

9章 研究基盤の整備

- 青木輝夫 (気象庁気象研究所)
阿部彩子 (東京大学)
飯島慈裕 (海洋研究開発機構)
池田元美 (北海道大学)
石川守 (北海道大学)
伊勢武史 (京都大学)
大畑哲夫 (海洋研究開発機構／国立極地研究所)
岡本創 (九州大学)
川合美千代 (東京海洋大学)
川村賢二 (国立極地研究所／総合研究大学院大学／
海洋研究開発機構)
小室芳樹 (海洋研究開発機構)
澤柿教伸 (北海道大学)
塩原匡貴 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
末吉哲雄 (国立極地研究所／海洋研究開発機構)
杉本敦子 (北海道大学)
杉山慎 (北海道大学)
鈴木力英 (海洋研究開発機構)
舘山一孝 (北見工業大学)
- 谷川朋範 (宇宙航空研究開発機構)
田村岳史 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
豊田威信 (北海道大学)
西岡純 (北海道大学)
西野茂人 (海洋研究開発機構)
野木義史 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
野村大樹 (北海道大学)
平譚享 (北海道大学)
藤井理行 (総合研究大学院大学／国立極地研究所)
藤原均 (成蹊大学)
古屋正人 (北海道大学)
堀雅裕 (宇宙航空研究開発機構)
溝端浩平 (東京海洋大学)
矢吹裕伯 (海洋研究開発機構／国立極地研究所)
山内恭 (国立極地研究所／総合研究大学院大学)
山本正伸 (北海道大学)
吉田龍平 (東北大学)
渡邊英嗣 (海洋研究開発機構)

北極環境研究コンソーシアム 運営委員

第1期 (2011年5月～2013年6月、所属は任期中のもの)

青木輝夫 (気象庁気象研究所)	杉山 慎 (北海道大学)
東久美子 (国立極地研究所)	田中 博 (筑波大学)
阿部彩子 (東京大学)	中坪孝之 (広島大学)
五十嵐 保 (リモート・センシング技術センター)	中村卓司 (国立極地研究所)
榎本浩之 (国立極地研究所)	野沢 徹 (国立環境研究所)
大島慶一郎 (北海道大学)	羽角博康 (東京大学)
大畑哲夫 (海洋研究開発機構)	檜山哲哉 (総合地球環境学研究所)
神田啓史 (国立極地研究所)	福田正己 (福山市立大学)
菊地 隆 (海洋研究開発機構)	松浦陽次郎 (森林総合研究所)
齊藤誠一 (北海道大学)	矢吹裕伯 (海洋研究開発機構／国立極地研究所)
島田浩二 (東京海洋大学)	山口 一 (東京大学)
杉本敦子 (北海道大学)	山内 恭 (国立極地研究所)

第2期 (2013年6月～)

青木輝夫 (気象庁気象研究所)	中村 尚 (東京大学)
東久美子 (国立極地研究所)	野沢 徹 (岡山大学)
阿部彩子 (東京大学)	羽角博康 (東京大学)
榎本浩之 (国立極地研究所)	檜山哲哉 (名古屋大学)
大畑哲夫 (海洋研究開発機構／国立極地研究所)	深町 康 (北海道大学)
齊藤誠一 (北海道大学)	福田正己 (福山市立大学)
島田浩二 (東京海洋大学)	堀 雅裕 (宇宙航空研究開発機構)
杉本敦子 (北海道大学)	松浦陽次郎 (森林総合研究所)
杉山 慎 (北海道大学)	矢吹裕伯 (海洋研究開発機構／国立極地研究所)
田中 博 (筑波大学)	山口 一 (東京大学)
中坪孝之 (広島大学)	山内 恭 (国立極地研究所)
中村卓司 (国立極地研究所)	

北極環境研究の長期構想
(Long-term Plan for Arctic Environmental Research)

北極環境研究コンソーシアム
(JCAR, Japan Consortium for Arctic Environmental Research)

2014年9月 発行
2015年3月 改訂

連絡先: 北極環境研究コンソーシアム事務局
〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3
国立極地研究所 内

E-mail: jcar-office@nipr.ac.jp

ホームページ <http://www.jcar.org/>

北極環境研究の長期構想

目次

巻頭言	i
1章 報告書で目指すこと	2
2章 背景と内容	3
3章 北極環境の現在までと近い将来に起こりうる変化	4
4章 北極環境研究の歴史	7
5章 「現在進行中の地球温暖化に伴う北極の急激な環境変化を解き明かす」研究テーマ	9
テーマ 1： 地球温暖化の北極域増幅	9
Q1： 下層から上層の大気における水平・鉛直熱輸送は、北極温暖化増幅にどう影響するか？	10
Q2： 陸域積雪・凍土・植生・氷床の役割は重要か？	12
Q3： 季節変動をもつ海洋の熱蓄積と海氷アルベドの役割はどの程度か？	14
Q4： 雲とエアロゾルがもつ役割を定量化できるか？	16
Q5： 北極温暖化増幅はなぜ起こっているのか？ その予測と不確実性はどれほどか？ 北極域における放射強制力とフィードバック・プロセスはどう変化するのか？	17
テーマ 2： 海氷減少のメカニズムと影響	19
Q1： 風のパターンや海氷の流動性の変化は海氷減少を促進するか？	20
Q2： 海氷の熱的減少はどのように進むのか？	21
Q3： 海氷減少が雲や低気圧に及ぼす影響は？	23
Q4： 海氷減少が海洋内部に及ぼす影響は？	23
10～20年後を見据えた戦略	24
テーマ 3： 物質循環と生態系変化	30
Q1： 大気中の温室効果気体やエアロゾルなどの濃度はどう変化するか？	31
Q2： 陸域生態系にかかわる物質循環はどう変わるのか？	34
Q3： 陸から海への物質輸送の定量的解明には何が必要か？	36
Q4： 海洋生態系にかかわる物質循環はどう変わるのか？	38
テーマ 4： 氷床・氷河、凍土、降積雪、水循環	42
Q1： 氷床・氷河の変化は加速するか？	42
Q2： 永久凍土の変化は気候変動とどう連鎖するのか？	46
Q3： 北極域の降積雪はどう変化しているか？	48
Q4： 環北極陸域の水文過程はどう変化するか？	50
テーマ 5： 北極・全球相互作用	53
Q1： <大気の影響について> 北極振動などの大気変動は強まるか弱まるか？	54
Q2： <海洋の影響について> 大西洋・太平洋間の海水循環は強まるか？ 深層水形成は減るか？ 中緯度海洋大循環は変わるか？	56

Q3 : <陸域の役割について> 植生と凍土の変化による炭素収支や物質循環への影響は？ 積雪と植生の変動による広域エネルギー水循環への影響は？	58
Q4 : <超高層大気の役割について> 極域超高層大気が下層大気・超高層大気全球変動に 及ぼす影響は？	60
Q5 : <多圏相互作用について> 超高層大気、大気、陸面積雪と植生、海洋のどれを經由 する影響が大きいのか？	61
テーマ 6 : 古環境から探る北極環境の将来	64
Q1 : 過去の北極温暖化増幅は現在とどれほど異なり、その要因は何か？	66
Q2 : 過去のグリーンランド及び大陸の氷床はどう変動し、その要因は何か？ 気候変動 との関係と海面水位への寄与は？	68
Q3 : 過去の北極海の環境はどのようなものであったか。とくに海氷と生物生産について	70
Q4 : 過去の北極陸域環境は現在とどれほど異なり、大気組成や気候とどう関係したのか？ ...	72
Q5 : 過去の北極において、数年～数百年スケールにおける自然変動の強度や時空間 パターンは現在と異なっていたか？そのメカニズムは何か？	74
【ボックス 1】古環境プロキシや年代推定手法の開発と解釈	76
テーマ 7 : 北極環境変化の社会への影響	77
Q1 : 地球温暖化も含めた気候変動による影響は？	78
Q2 : 地球温暖化に起因する陸域環境の変化による影響は？	82
Q3 : 地球温暖化に起因する海洋環境の変化による影響	83
Q4 : 太陽活動と北極超高層大気の影響	85
Q5 : 北極圏人間社会の対応	86
6 章 「生物多様性を中心とする環境変化を解き明かす」研究テーマ	89
テーマ 8 : 陸域生態系と生物多様性への影響	89
Q1 : 人為的な要因で起こる環境変動は北極陸域生態系にどのような影響を及ぼすか？	90
Q2 : 生物多様性はどのような影響を受けるか？	93
【ボックス 2】生物多様性とは？	93
【ボックス 3】学名の不一致問題	94
Q3 : 北極陸域生態系の変化が動物や気候に与える影響はどうなるか？	95
【ボックス 4】トナカイの生息変化	95
【ボックス 5】水鳥のモニタリング	96
テーマ 9 : 海洋生態系と生物多様性への影響	97
Q1 : 陸域・大気物質は北極海の生態系・多様性に大きな影響を与えるのか？	98
Q2 : 北極海の生物は物質をどのように輸送・変質しているのか？	99
Q3 : 北極海食物連鎖と生態系変化・多様性はどうか関係しているか？	101
【ボックス 6】表層-底層生態系のカップリング	102
【ボックス 7】バイオロジカル・ホットスポット	102
Q4 : 成層化、脱窒、および海洋酸性化は北極海の生態系・多様性にどのような影響を 及ぼすのか？	103
7 章 「北極環境研究の広範な重要課題」研究テーマ	105
テーマ 10 : ジオスペース環境	105
Q1 : ジオスペースからの超高層大気や、より下層の大気への影響は？	107

Q2: 超高層大気が下層・中層大気に与える影響は？	108
Q3: 下層・中層大気変動が超高層大気に与える影響は？	110
Q4: 超高層大気を通した極域から中低緯度へのエネルギー流入は？	112
テーマ 11: 表層環境変動と固体地球の相互作用	114
Q1: 現在活動する北極海海嶺熱水系と海洋環境との相互作用は？	115
Q2: 氷床変動に伴い固体地球はどのように変形してきたか？	117
Q3: 北極海が形成されていく過程で、大気-氷床-海洋の相互作用がどのように変化していったか？	119
Q4: 数千万年～数十億年といった時間スケールでの地球表層環境変動に北極海と周辺大陸の発達過程はどのように影響を与えたか？	121
テーマ 12: 永久凍土の成立と変遷過程の基本的理解	124
【ボックス 8】永久凍土の成立と変遷過程の基本的理解	127
Q1: 北極圏の永久凍土はどのような広がりと深さをもって存在しているのか？	128
Q2: 永久凍土を構成する物質はどのような分布を持ち、どの程度の不均一性があるか？	129
Q3: 永久凍土はどのような様態・規模で昇温・融解するのか？	130
Q4: 永久凍土-大気-積雪-植生サブシステムはいかなる構造と挙動の特性をもつのか？	133
8章 「環境研究のブレークスルーを可能にする手法の展開」 テーマ	136
テーマ A: 持続するシームレスなモニタリング	136
海洋圏モニタリング	137
雪氷圏モニタリング	140
【ボックス 9】氷河質量収支の観測	142
大気圏モニタリング	143
陸域圏モニタリング	145
テーマ B: 複合分野をつなぐ地球システムモデリング	148
Q1: 地球システムモデルについて開発課題は何か？	149
Q2: 大気モデルについての開発課題は何か？	153
Q3: 海洋・海氷モデルについての開発課題は何か？	154
Q4: 陸面・雪氷モデルについての開発課題は何か？	158
テーマ C: モニタリングとモデリングをつなぐデータ同化	160
北極圏におけるデータ同化研究の現状	161
【ボックス 10】データ同化技術の解説	162
データ同化を北極環境研究に展開する方針	164
北極圏データ同化研究の実現に向けた環境整備	169
9章 研究基盤の整備	173
砕氷観測船	173
衛星観測	175
航空機	177
海外の研究・観測拠点	178
データおよびサンプルのアーカイブシステム	181
人材育成	183
研究推進体制	185

	分野別研究機器等	187
10 章	長期にわたる方向性と取り組み体制のまとめ.....	195
11 章	資料	198
	引用文献.....	198
	執筆者等一覧.....	209