

産業技術史講座

海域氷工学の系統化調査

2021年度産業技術史資料情報センター主任調査員

中澤 直樹

(システム工学研究所株式会社)

調査の内容

北極探検から始まった氷との戦いは、現在では北極海での石油や天然ガス開発のための工学的研究、地球温暖化と海氷減少に対する科学的研究へと展開している。

本調査では、主として、**冬季結氷する海域に設置される構造物**の設計・建造・施工のために1960年代から活発に行われた海氷の力学的研究と建造・建設の現場を産業技術の視点から展望する。



「海域氷工学の系統化調査報告書」（2021年3月刊行、全92頁）

<https://sts.kahaku.go.jp/diversity/document/system/pdf/127.pdf>

報告書の目次

1. はじめに
2. そもそも「氷」とは
3. 海域氷工学の目的とその変遷
4. 雪氷研究の先人達
5. 海氷の力学的研究
6. 氷海水槽
7. JOIA 氷荷重研究プロジェクト
8. 氷海構造物
9. 日本の砕氷船
10. おわりに

海域氷工学の系統図

1. 海域氷工学、氷海って何？、どこ？

北極海



出典：国立極地研ホームページ

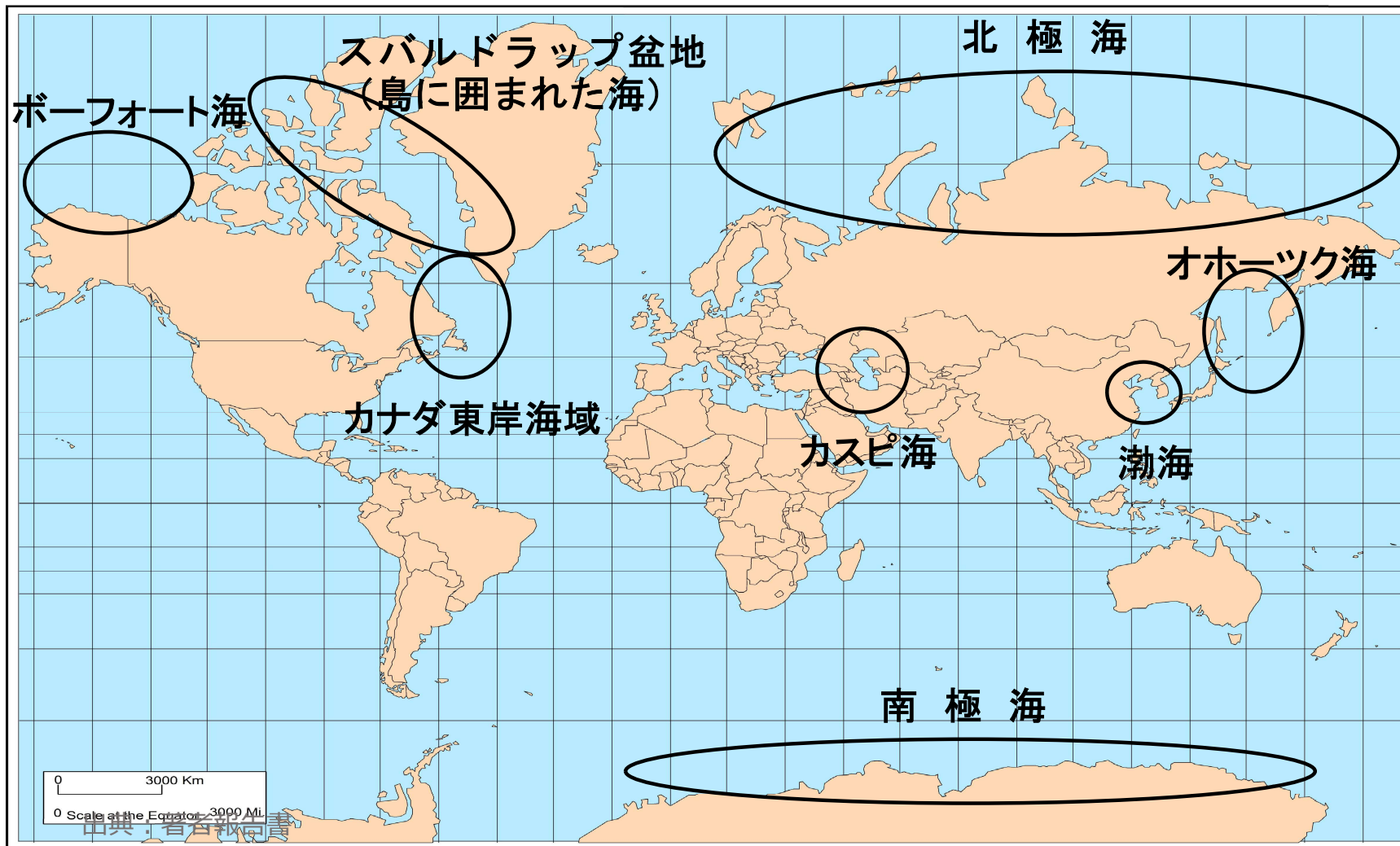
オホーツク海網走沖



出典：日本財団「海と日本」ホームページ

1.1 冬季に凍る海はどこ？

MERCATOR PROJECTION OF THE WORLD



北極海航路実船航海試験：日、加、口共同研究：1995/8/1-8/28

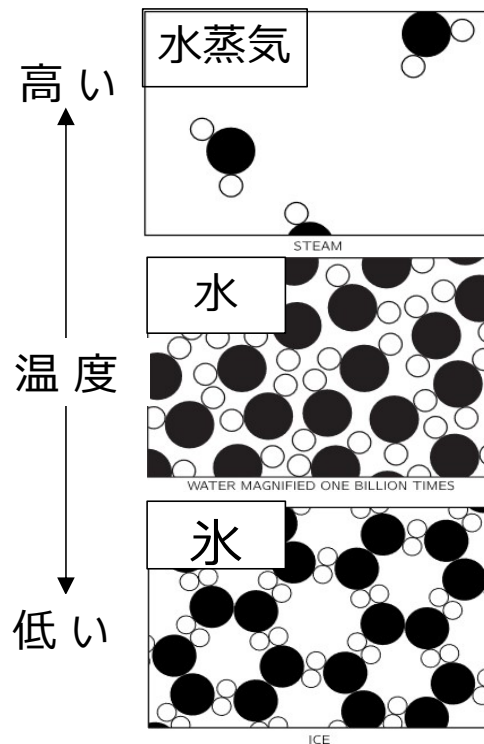


2. そもそも「氷」とは

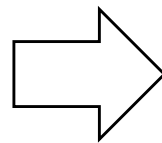


2.1 そもそも「氷」とは：水に浮く

通常、物質は気体から液体、液体から固体になると、粒子どうしのすき間が狭くなり、体積が小さくなる。ところが、水が固体になる、つまり氷になるときは、粒子どうしのすき間が広がる。従って、他の物質とは違って体積が大きくなり、密度が 1000kg/m^3 以下になることにより水に浮く。もし、重くなって沈んだら．．．．．。



出典：著者報告書



出典：国立極地研究所HP

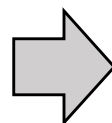
2.2 そもそも「氷」とは：雪氷の分布と量

地球上の雪氷の場所と種類	質量比 (%)
南極大陸の氷床	89
グリーンランドの氷床	10
北極域の凍土	0.8
海氷、積雪、氷山、大気中、他	0.2
合計	100
雪氷の場所と種類	質量 (ton)
南極大陸の氷床 (2013年値)	2385×10^{13}
北極海の年平均海氷 (2020年値)	1.228×10^{13}
北極海の家氷量は南極大陸氷床量の約1/2000	

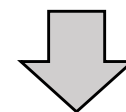
海域氷工学は、地球上の雪氷総量の0.2%以下の海氷を対象としている。

3. 海域氷工学の目的とその変遷

1800年代末：北極海航路の開拓



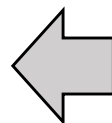
1950年代：軍事的研究



1970年代：工学的研究



2000年代：科学的研究



3.1 海域氷工学の目的とその変遷：北極探検と北極海航路

ノルデンショルド
の北東航路
1878-79年



アムゼンの
北西航路
1903-06年



北東航路を開拓したヴェガ号 (357トン)



北極海の科学的・工学的調査を行ったナンセン隊とフラム号 (400トン)



北西航路を完全航海したアムゼンのユア号 (47トン)

3.2 海域氷工学の目的とその変遷：東西冷戦と北極海の氷

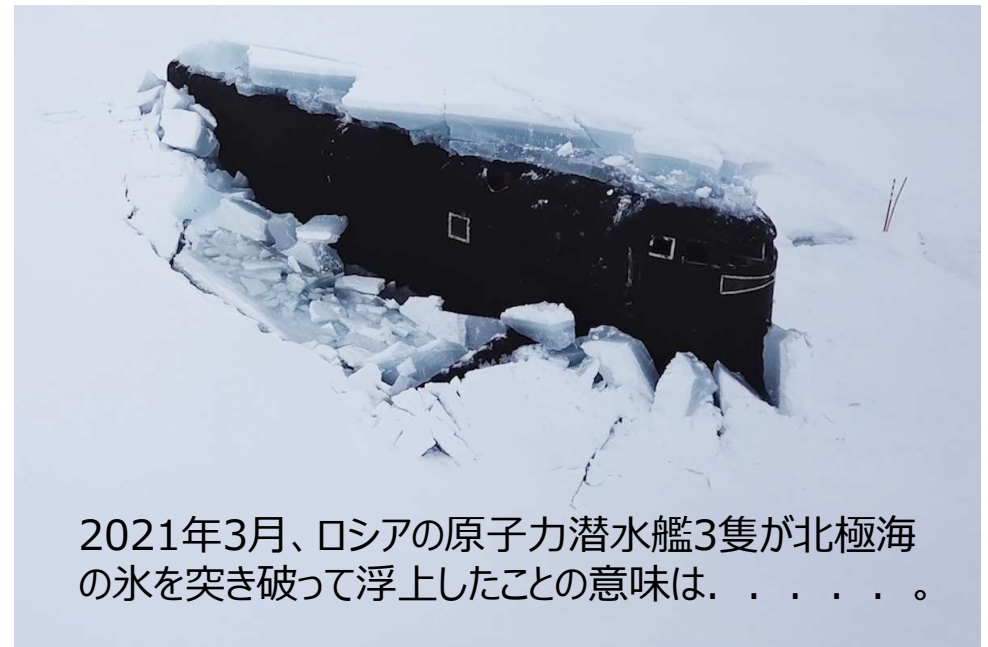
第二次世界大戦後、北極海を挟んだ隣国である米ソは東西冷戦期に北極海を舞台に軍事的研究を行った。以下米国の軍事行動：

- 1950年代初頭、グリーンランド北部チュレ（Thule）に米空軍基地を建設
- 1958年、潜水艦スケート号が北極点で氷を割って浮上
- 1958年、最初の本格的な作戦行動を実施
- 1962年、北極圏で最初の氷海戦闘演習を実施

1958年、冬季に北極点で氷を割って浮上した米軍スケート号



出典：NavSource Online



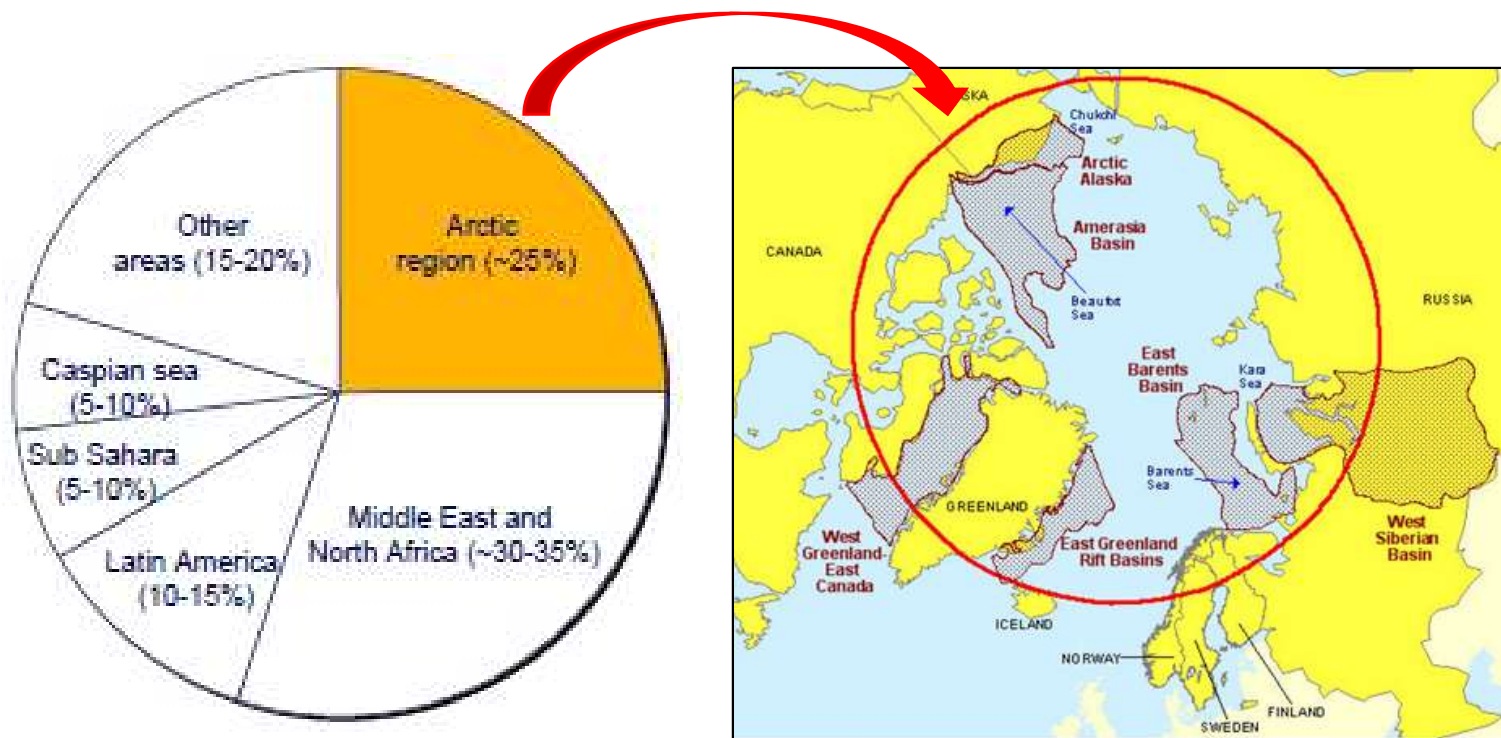
2021年3月、ロシアの原子力潜水艦3隻が北極海の氷を突き破って浮上したことの意味は.

出典：Naval Post Homepage

3.3 海域氷工学の目的とその変遷：北極域の石油・天然ガス

氷海での大規模な油ガス田の発見：海氷の工学的研究が急速に発展

- 1960年代、ロシアの北極海沿岸、アメリカとカナダの最北海のボーフォート海で大量の石油と天然ガスが発見
- 1970年代、サハリン北東部大陸棚、カナダ東岸、カスピ海
- 1980年代、バレンツ海（Barents Sea）、グリーンランド沖



北極海の石油・天然ガス埋蔵海域：図中の網掛け部分が埋蔵域、丸線は北緯66度33分の北極線（これ以北が北極圏）。

出典：U.S. Geological Survey

3.4 海域氷工学の目的とその変遷：石油・天然ガスと海氷

海氷からの氷力、極低温などに耐え得る構造物の設計・建造・建設技術が必要となる

- 耐氷型石油・天然ガス掘削および生産用施設
- 耐氷型港湾施設
- 砕氷型油ガス輸送船



耐氷型石油・天然ガス掘削および生産用施設



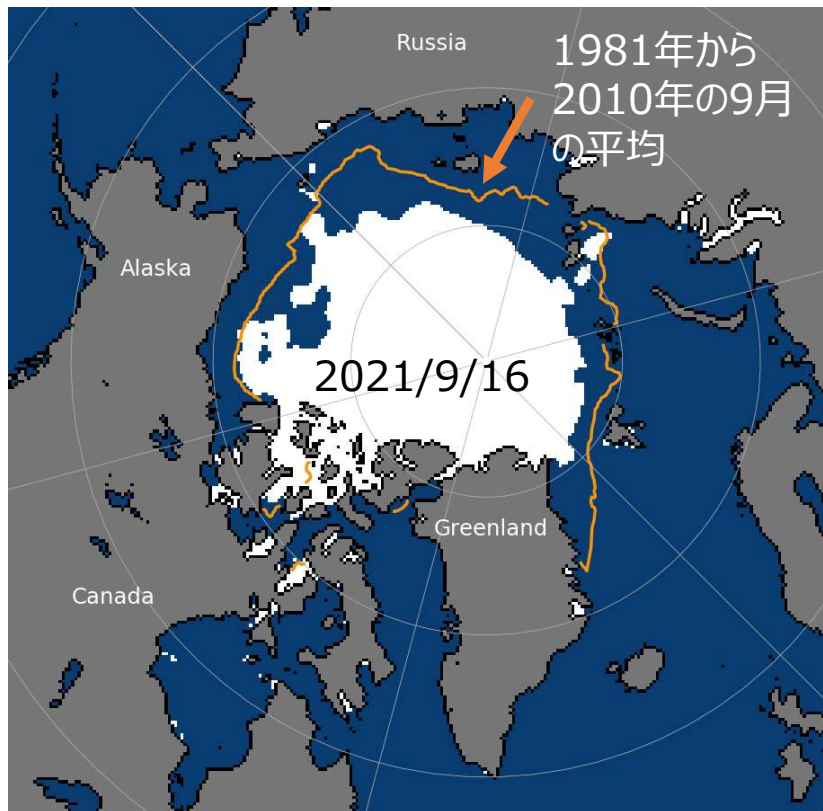
耐氷型港湾施設



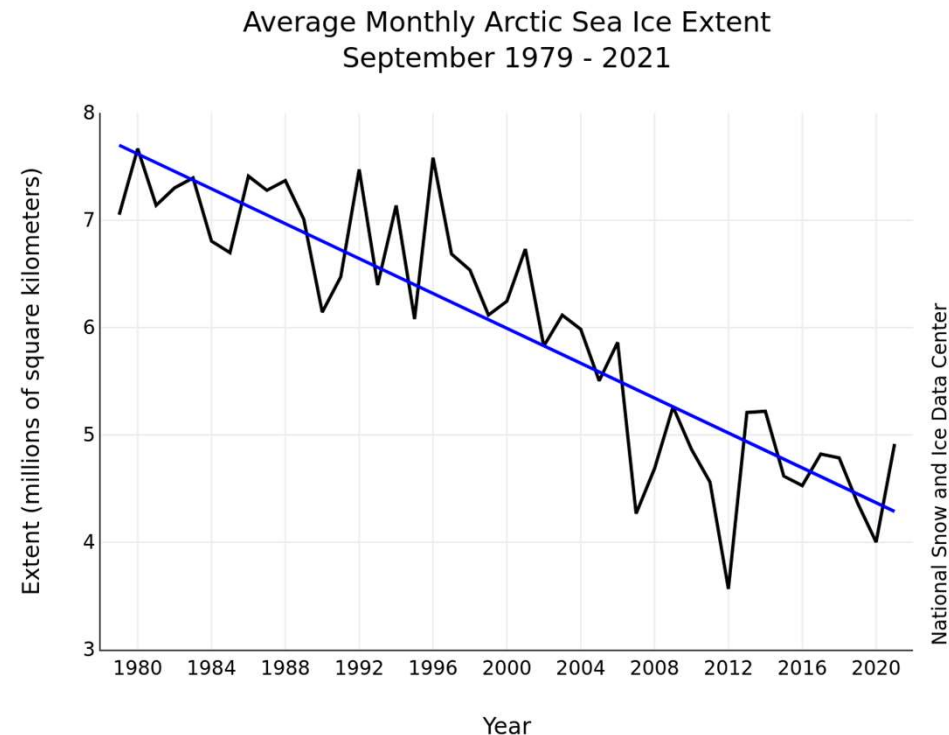
砕氷型油ガス輸送船

3.5 海域氷工学の目的とその変遷：気象変動と北極海の氷

2000年代に入り地球温暖化とともに北極海の氷の急激な減少が注目され、海氷に対する研究は地球物理学・科学的研究へと変化してきた。



2021年9月16日の北極海の氷：1981-2010年の平均よりも大幅に減少している。



北極海の1979年から2021年までの9月の月平均の海氷面積の推移：42年間で3,490,000km²（アラスカ州面積の約2倍）の海氷が減少した

4. 雪氷研究の先人達

世界に先駆けたパイオニア的研究

- 中谷宇吉郎
- 久保義光
- 田畑忠司

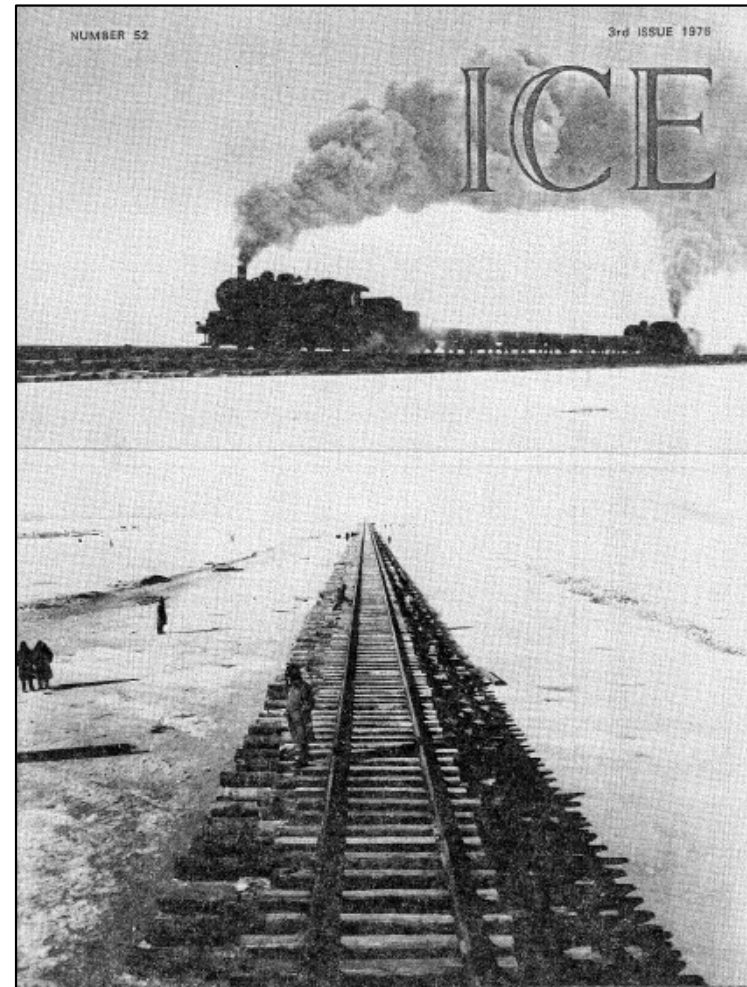
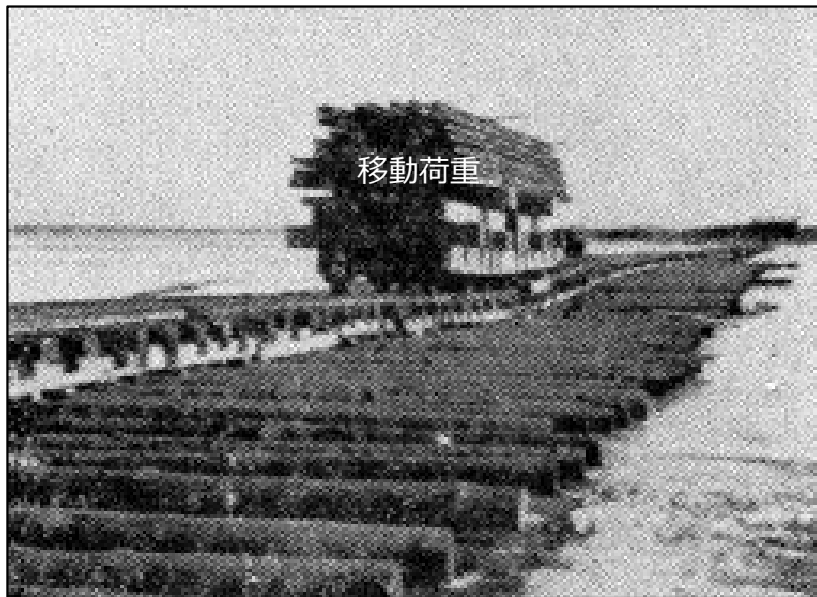
4.1 雪氷研究の先人達：中谷宇吉郎

- 1932年：北海道帝国大学教授、十勝岳で天然雪の結晶の研究を開始。
- 1936年3月：低温実験室で世界初の人工雪結晶の製作に成功。
- 1952年：米国雪氷凍土研究所(SIPRE)の研究員に招聘され、研究所の基礎を築く。
- 1954年：雪の結晶分類図（中谷ダイアグラム）
- その他、航空機への着氷、凍上、随筆、絵画、科学映画などにも優れた作品を残した。



4.2 雪氷研究の先人達：久保義光

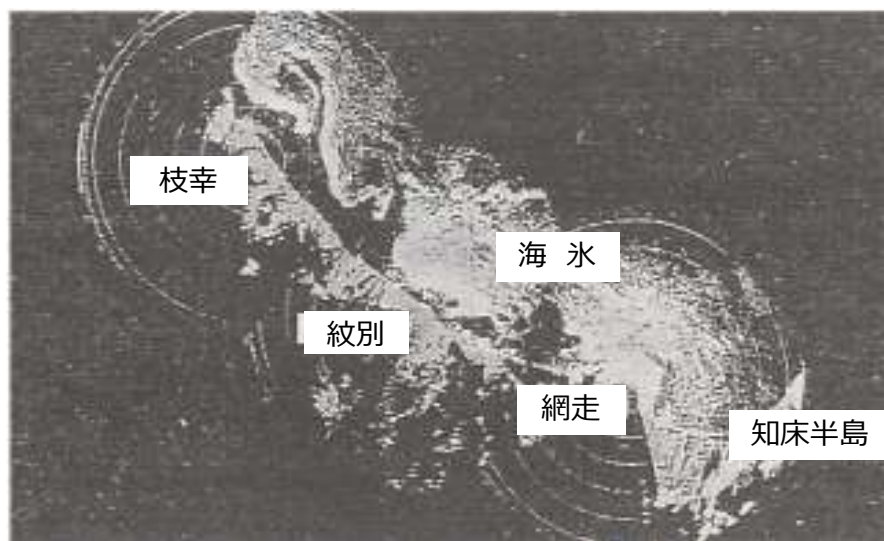
- 南満州鉄道(株)鉄道局技師
- 1939～41年：北満州の第二松花江で氷上軌道列車運転試験を実施。
- 氷盤の耐荷力研究のパイオニア。
- 1976年：国際雪氷学会会報の表紙となる。



1976年：国際雪氷学会会報の表紙

4.3 雪氷研究の先人達：田畑忠司

- 北海道大学教授
- 1965～81年：北大低温科学研究所附属流氷研究施設施設長
- 氷縁海域において、レーダー情報は、船舶の交通や漁業の安全のために利用され、地域経済や海の安全に大きく貢献した。
- アラスカ、カナダ、バルト海にも流氷レーダーが設置され、世界的な流氷レーダー網の構築に尽力し、指導的役割を果たす。



- 中谷宇吉郎、
 - 久保義光、
 - 田畑忠司、
- 共通するのは現場での観察や実験による研究、言わば研究の現場主義である。

そして、研究成果を広く社会に還元し、かつ国際性を持っていた。多くの後進を育てた教育者であった。

1970年代以降、日本の雪氷技術者・研究者が欧米の機関で研究を行う礎を築いた先人達であった。

5. 海氷の力学的研究



1985年5月21日23時、アラスカ州ユーコン川での橋脚に衝突する移動氷盤



5.1 海氷の力学的研究：構造物の設計に必要な情報

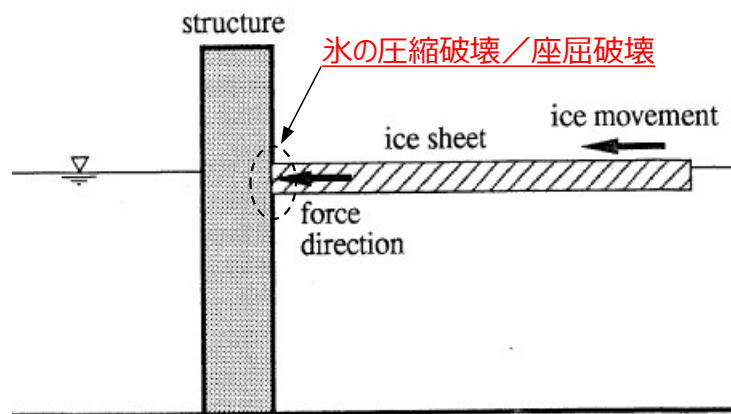
冬季に結氷する海域に設置される海洋構造物や海岸・港湾構造物（氷海構造物）の設計には、以下に示す外力を組み合わせる必要がある。氷力が構造物設計の支配外力、つまり最も大きな外力となる。

- 氷力 (Ice force)
- 風力 (Wind force)
- 潮流力 (Current force)
- 波力 (Wave force)
- 地震力 (Seismic force)

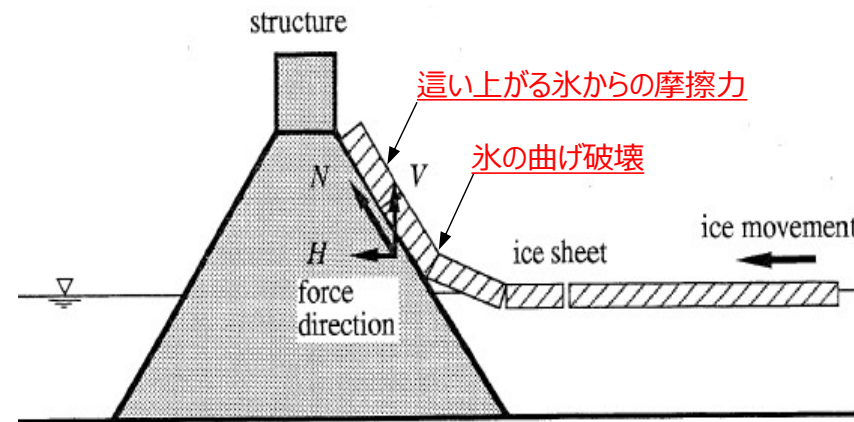
- 氷の物理的性質：弾性係数、ポアソン比
- 氷の力学的性質：圧縮強度、せん断強度、曲げ強度、引張強度
- 氷と構造物材料間の力学的相互作用：凍着強度、摩擦係数
- 氷と構造物の相互作用による氷の破壊形式
- 低温下での構造物材料の性状・性能
- 寒冷地での建設・建造・設置法

5.2 海氷の力学的研究：氷力と氷の破壊

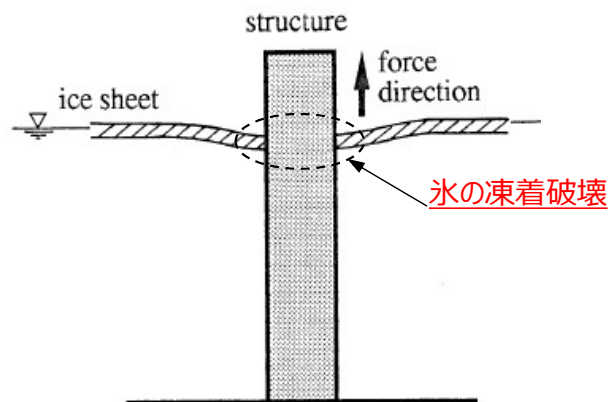
a) 水平氷力：氷盤が鉛直構造物に衝突



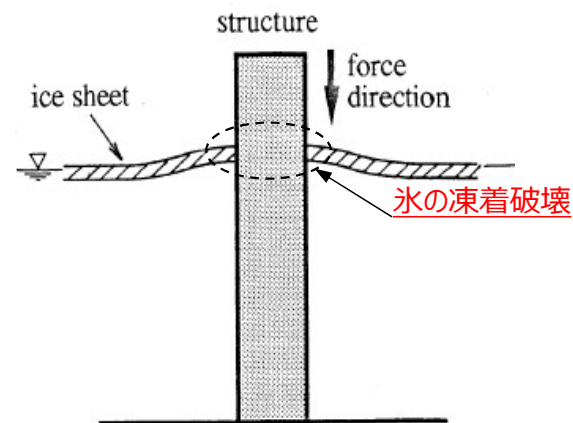
b) 傾斜構造物への氷力：氷盤の曲げ破壊と摩擦力



c-1) 鉛直氷力：水位の上昇により上向き



c-2) 鉛直氷力：水位の低下により下向き



5.3 海氷の力学的研究：例えば、氷の摩擦係数の実験

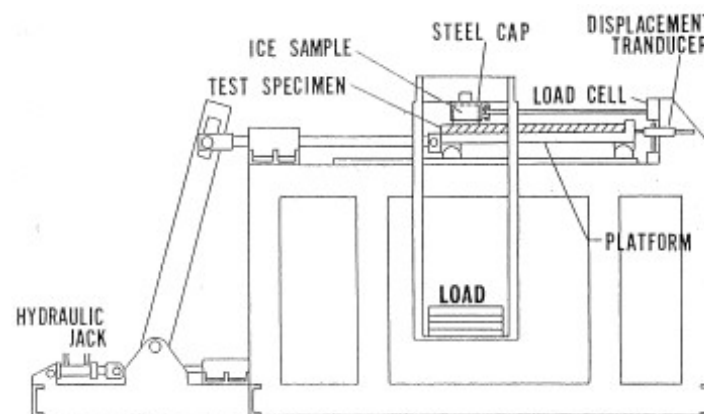
北大教授 佐伯 浩博士の研究

海氷と構造物材料表面間の摩擦係数の特性を理解するためには、下記のような因子の影響が明らかにしなければならない。

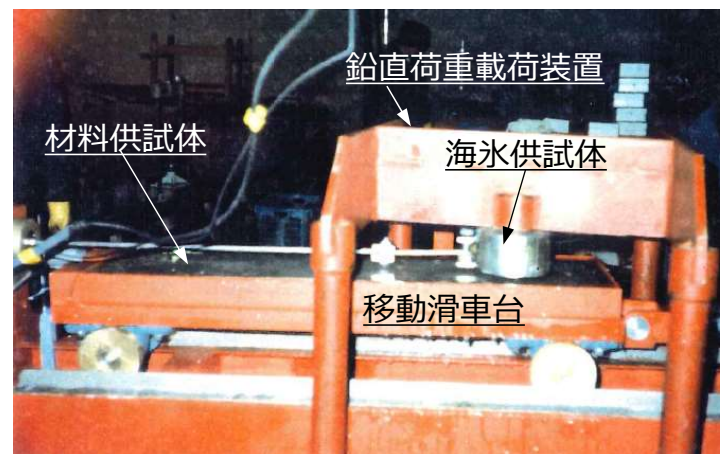
- 氷と材料の接触面積
- 接触面における鉛直応力
- 氷の成長方向に対する移動方向
- 氷と材料間の相対速度（移動速度）
- 接触面における水膜の存在
- 氷温
- 構造物材料の表面粗さ

米国機械学会から“Arthur Lubinski Award of Excellence”（1984年）を受賞

研究開発では試験装置の開発が非常に重要となる。

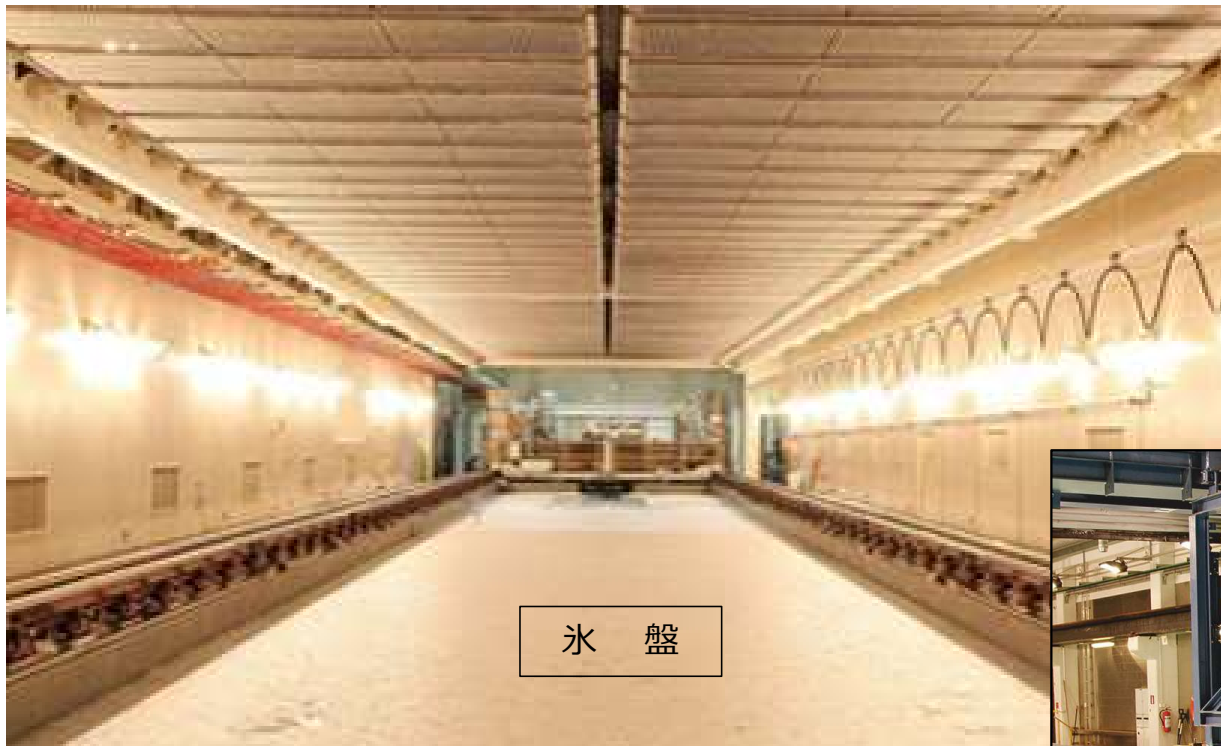


海氷の摩擦試験機の構造



6. 氷海水槽

巨大な冷蔵庫の中のプール



6.1 氷海水槽：氷の条件を変えて模擬試験を行う

- 氷海域では、氷力や低温の影響に耐え得る仕様の機材が必要となる。また、運搬には砕氷能力のある船舶が必要となる。
- 製氷機能と高度な実験機能を備えた大型の水槽（ice tankまたはice basin）で研究開発を行う。

世界の代表的な氷海水槽

設置年	所在国	機関名	長 (m)	幅 (m)	水深 (m)
1955	USSR	北極南極研究所 (AARI)	13.4	1.85	1.10
1969	Finland	Wartsila Helsinki Shipyard	50.0	4.80	1.15
1970	USA	Arctec Inc.	18.1	2.40	1.20
1971	Germany	ハンブルグ船舶研究所(HSVA)	30.0	6.00	1.20
1974	USA	Arctec Inc.	30.5	3.66	1.52
1978	USA	陸軍工兵隊寒地理工学研究所(CRREL)	36.6	9.14	1.52
1980	USA	アイオワ大学	19.8	4.88	1.22
1981	三鷹市	運輸省船舶技術研究所 (建設当時名称)	35.0	6.00	1.80
1982	津市	日本鋼管(株)津研究所 (建設当時名称)	20.0	6.00	1.80
1983	Finland	Wartsila Helsinki Shipyard	60.0	6.00	2.30
1984	Germany	ハンブルグ船舶研究所(HSVA)	60.0	10.00	2.50
1985	Canada	National Research Council (NRC)	90.0	12.00	3.00
1986	長崎市	三菱重工業(株)長崎研究所	28.0	9.00	2.30
2006	Finland	Aker Arctic Technology Inc.	75.0	8.00	2.10
2009	Korea	韓国船舶海洋研究所(KRISO)	42.0	32.00	2.50
2014	Russia	Krylov State Research Centre	100.0	10.00	2.00
2016	China	China Ship Research Center	8.0	2.00	1.00

世界の砕氷船研究をリード、日本との交流

中谷博士以来、日本の研究者が多く滞在

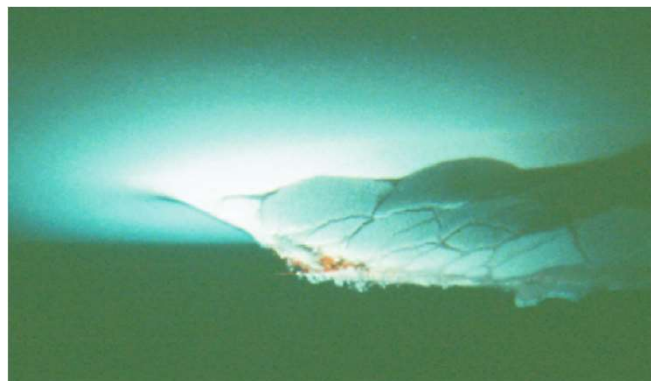
日本初、カナダやドイツと共同研究

日本の南極観測船を建造

日本で3番目。掘削リグの研究にも対応

6.2 氷海水槽：技術開発

氷海水槽は、氷海域の氷象を供試模型の尺度に応じて再現させ、その中で氷海構造物に作用する氷荷重や氷海航行船舶の性能を試験。



平坦氷盤中の船舶推進実験：観測窓から氷片の挙動を観察（海上技術安全研究所）



氷海資源開発構造物の実験（三菱重工業）

平坦氷 (Level Ice)



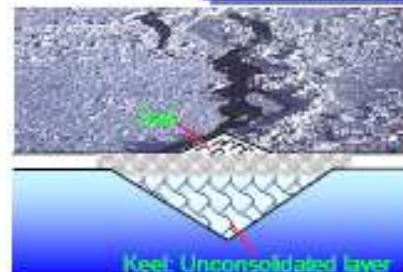
流水 (Pack Ice)



乱氷帯 (Hummocked Ice Field)



氷丘脈 (Ridged Ice)



自然の海氷の状況を模擬した各種模型氷による実験
(ジャパンマリンユナイテッド)

6.3 氷海水槽：日本の研究継続を望む

- 1980年代に入り日本に3施設、さらに中国や韓国にも大規模研究施設が建設され、盛んに研究開発が行われてきた。
- しかし、海外の研究が継続的に行われている中、日本では三菱重工が氷海研究から撤退し（2018年氷海水槽を廃却）、施設として稼働しているのは2施設のみとなった。
- 代わってアジアでは中国と韓国が造船業の隆盛に伴い、氷海研究を進めている。造船業に過日の勢いが無いものの、流氷域のオホーツク海を有する日本、そして地球温暖化と北極海の海氷の減少に対する科学的研究が注目される中、日本の研究を維持発展することが望まれる。

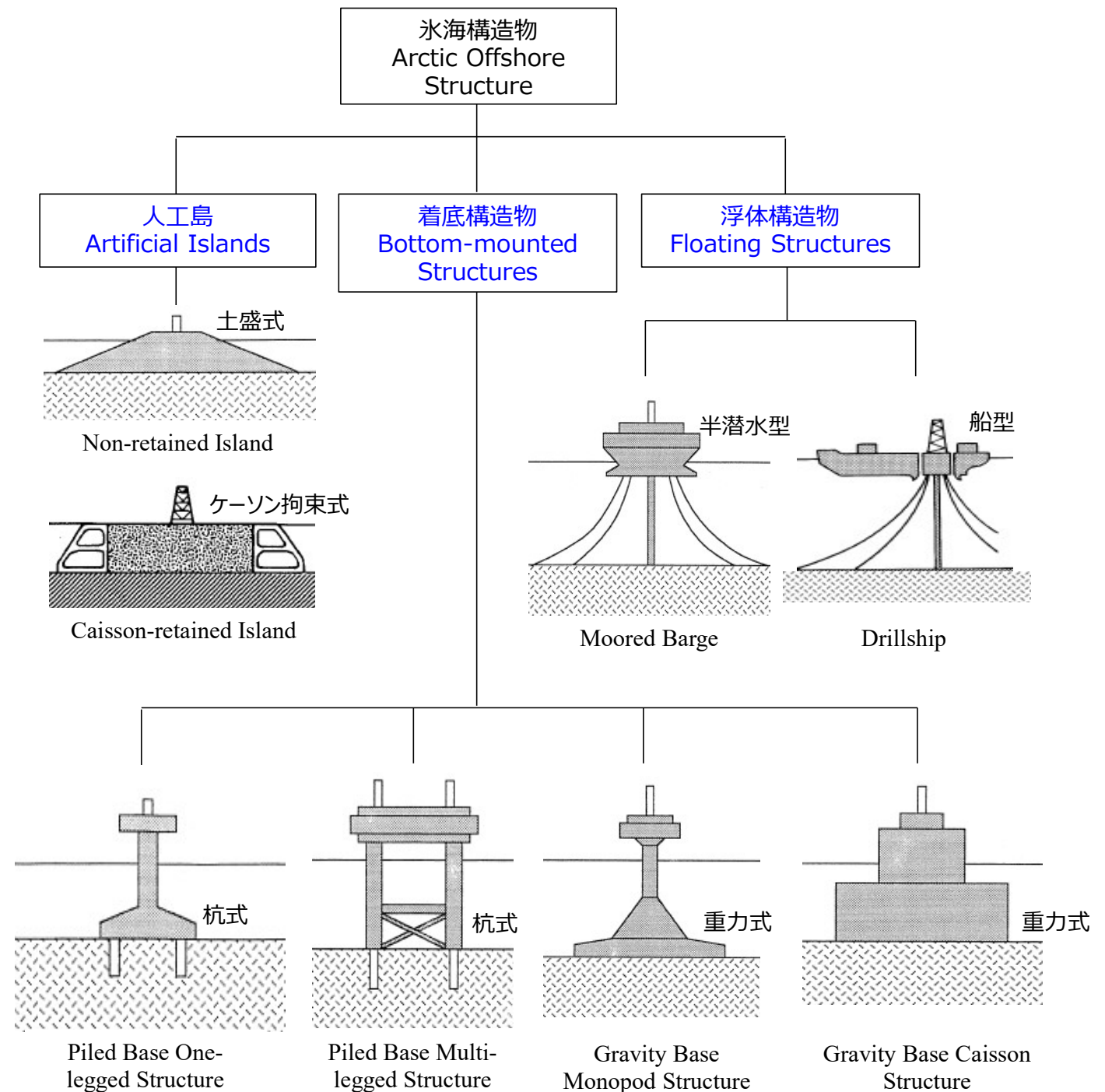
7. 氷海構造物

世界をリードした日本の建造技術
- 石油掘削プラットフォーム -



7.1 氷海構造物

- 氷海用石油掘削リグの構造形式は、概略的に人工島、着底構造物、および浮体構造物に分類される。
- それらは、水深、陸域からの距離、海域の氷の状況、経済性などにより決定される。



7.2 氷海構造物：日本企業が世界初を連発！

1982、世界初のタンカーを改造した氷海掘削装置



1983、世界初の移動式浮体構造



1984、世界初の移動式鋼製ケーソン構造

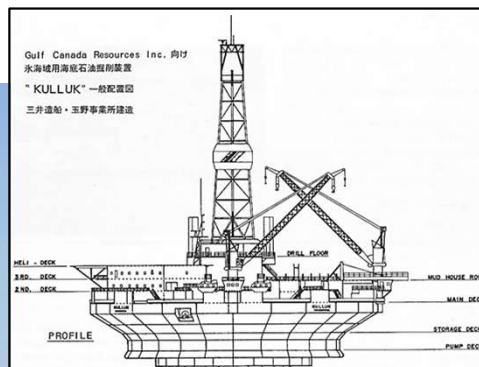
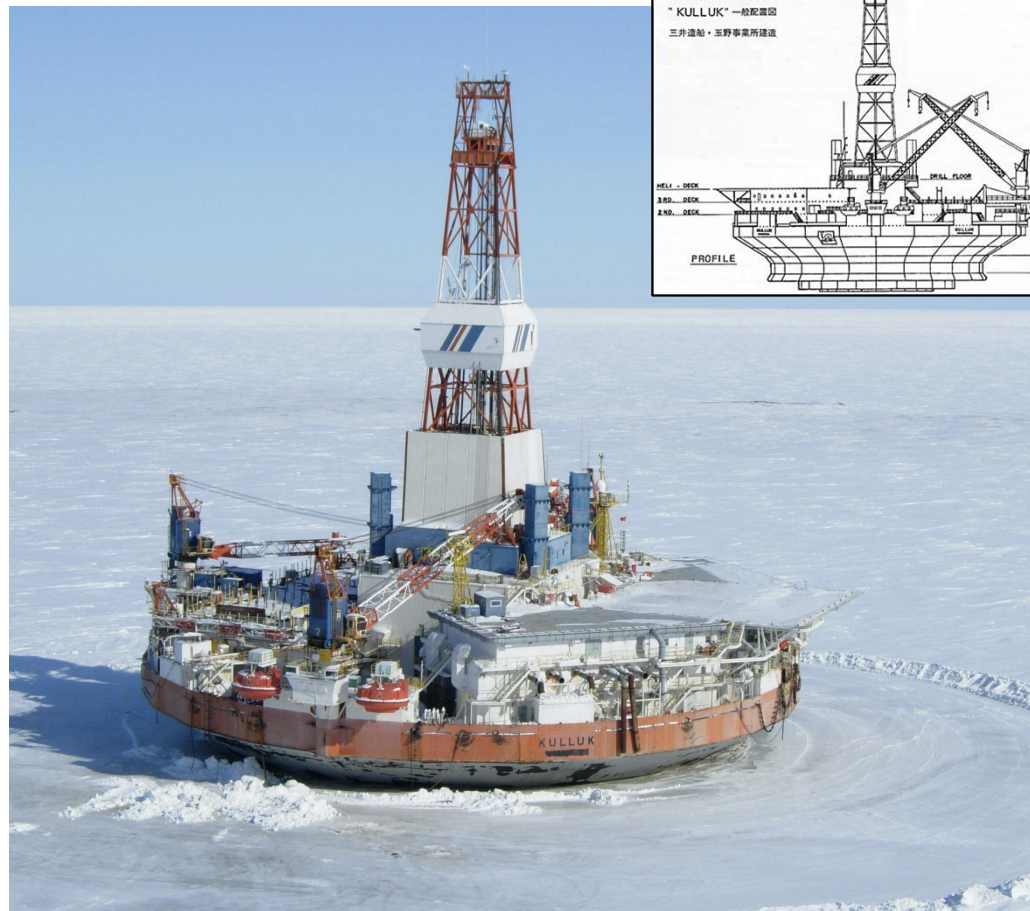


1984、世界初の鋼とコンクリートの複合構造



7.3 氷海構造物：Kulluk、三井造船(株)

1983年4月、世界初の移動式浮体構造



構造形状	横断面形状で逆コーン形 平面形状で24角形
主要寸法	直径約 84 m
深さ	18.50 m
総トン数	29,147 トン
最大搭載人員	108 名
最大掘削深度	6,100 m
移動水深	24~55 m
氷厚	1.2 m
温度	外気：マイナス50℃ 海水：マイナス2℃

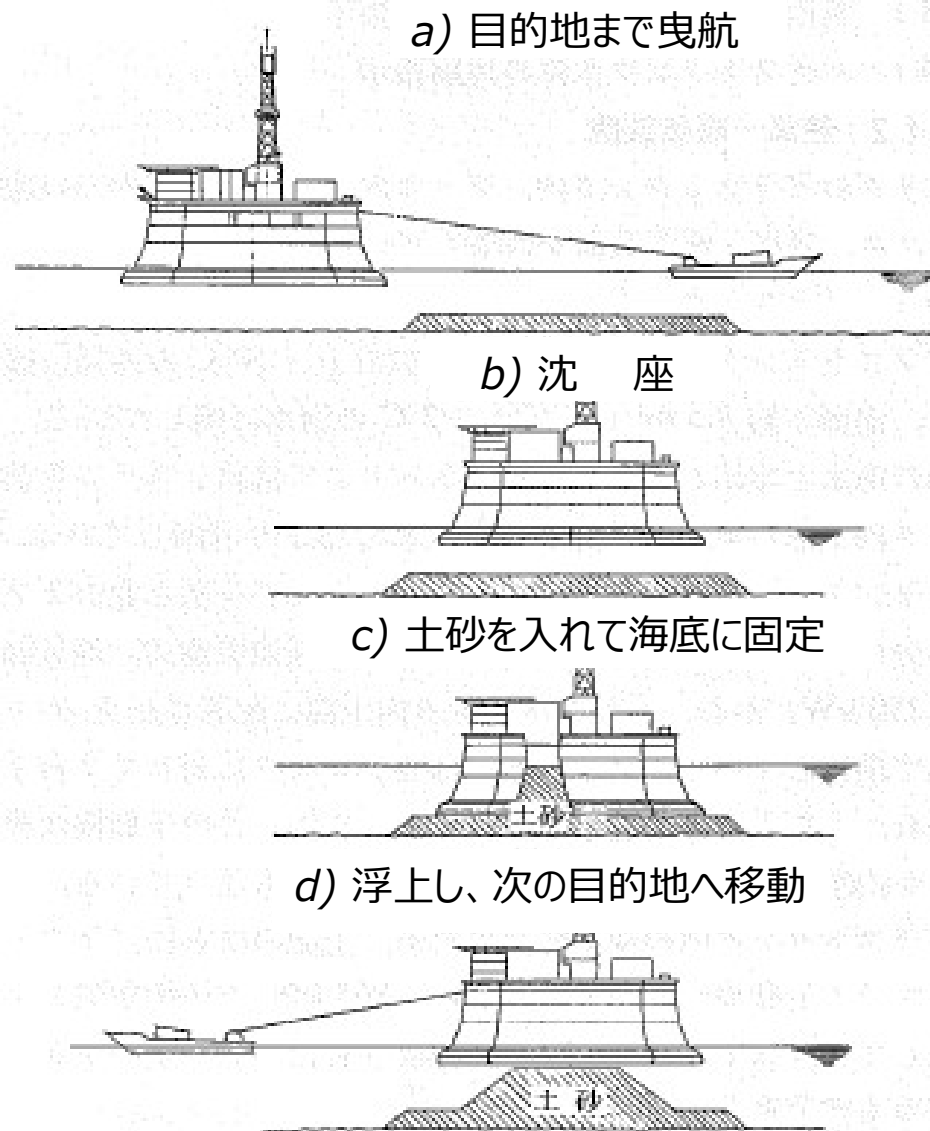
カナダボーフォート海の海氷中で稼働するKulluk

7.3 氷海構造物：Molikpaq、IHI(株)

1984年4月、世界初の移動式鋼製ケーソン構造



底部長	111.00 x 111.00 m
トップデッキ長	86.60 x 86.60 m
高さ（深さ）	29.00 m (トップデッキまで)
総トン数	42,317 ton
バラスト水容量	106,250 m ³
居住人員数	100名
最大掘削深度	6,000 m
稼働水深	15~40 m
船級	ABS A1 Caisson Drilling Unit



Molikpaqの移動と据付けの概念図

7.4 氷海構造物：SuperCIDS、日本鋼管(株)

1984年5月、世界初の移動式ハイブリッド構造
(鋼とコンクリートの複合構造)

- 日本鋼管：全体管理、鋼構造
- 五洋建設・清水建設：コンクリート構造



アラスカ、ボーフォート海で稼働中の移動式人工島
Super CIDS

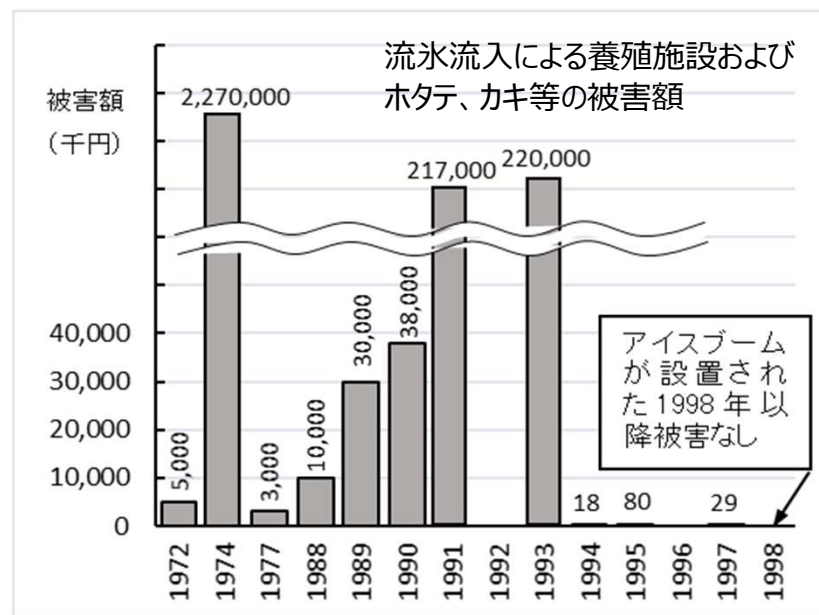
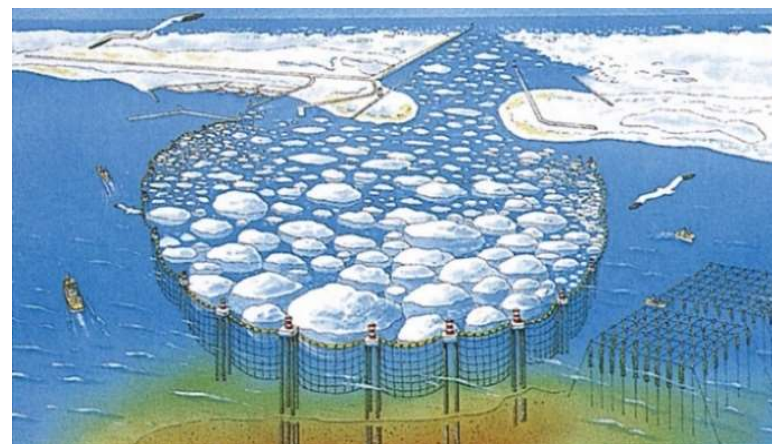
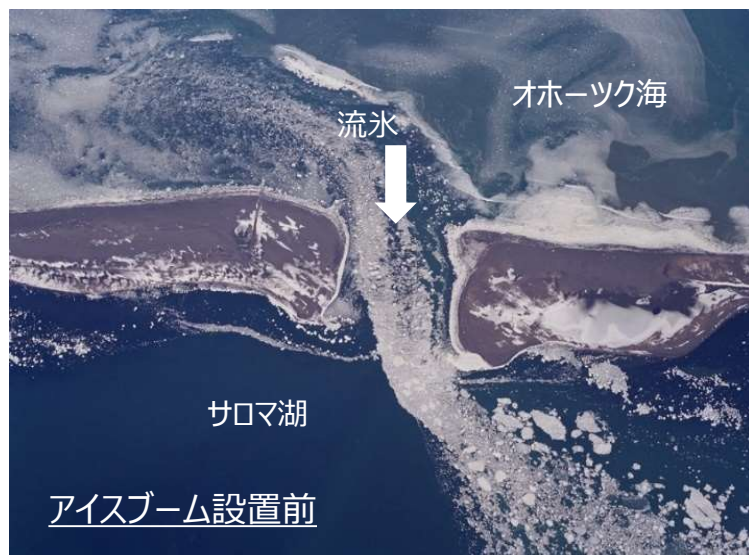


ハニカム構造の施工写真（上空から）

主要寸法	94m x 89m x 30m
総重量	約56,000 ton
設計条件	外気温度：マイナス50～+26℃
	海水温度：マイナス3℃
	氷厚：1.95m（冬期一年氷） 7.5m（夏期多年氷）
	水深：10.5m～16.5m
	波高：5.1m（有義波）
	風速：70knots（36m/秒）

7.5 氷海構造物：サロマ湖のアイスブーム（流氷流入制御施設）

1998年、世界初の流氷（海氷）制御を目的とした大規模アイスブーム



7.6 氷海構造物：世界をリードした日本であったが．．．．

- 1956年：日本が世界一の造船建造量となる
- 1973年10月：第一次オイルショック
- 1979年1月：第二次オイルショック（造船不況）→海洋構造物への進出
- 1982年3月：世界初のタンカーを改造した氷海用石油掘削装置
- 1983年4月：世界初の移動式浮体構造Kulluk
- 1984年4月：世界初の移動式鋼製ケーソン構造Molikpaq
- 1984年5月：世界初の移動式ハイブリッド構造Super CIDS（鋼とコンクリートの複合構造）
- 1985年9月：プラザ合意による急激な円高（価格競争力の低下）
- 1988年：新造船竣工量で韓国とほぼ並ぶまでに減少
- 1998年：世界初の流氷（海氷）制御を目的とした大規模アイスブーム

日本の造船業は、品質の高さ、高度な研究開発力、工期厳守など世界から高い評価を得ていたにもかかわらず、氷海構造物への進出時期が世界の政治経済の激動期と重なったことは不運であった。

7.7 氷海構造物：どこに？ 今話題のサハリン1 & 2で活躍中

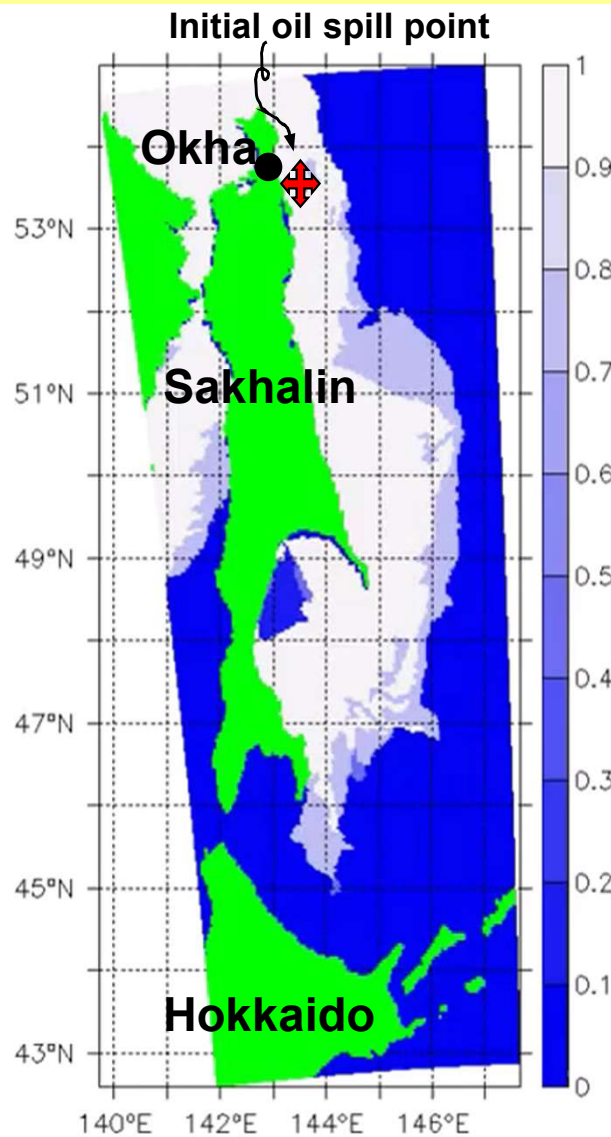
サハリン1：Exxon、伊藤忠、丸紅

サハリン2：Shell、三菱、三井

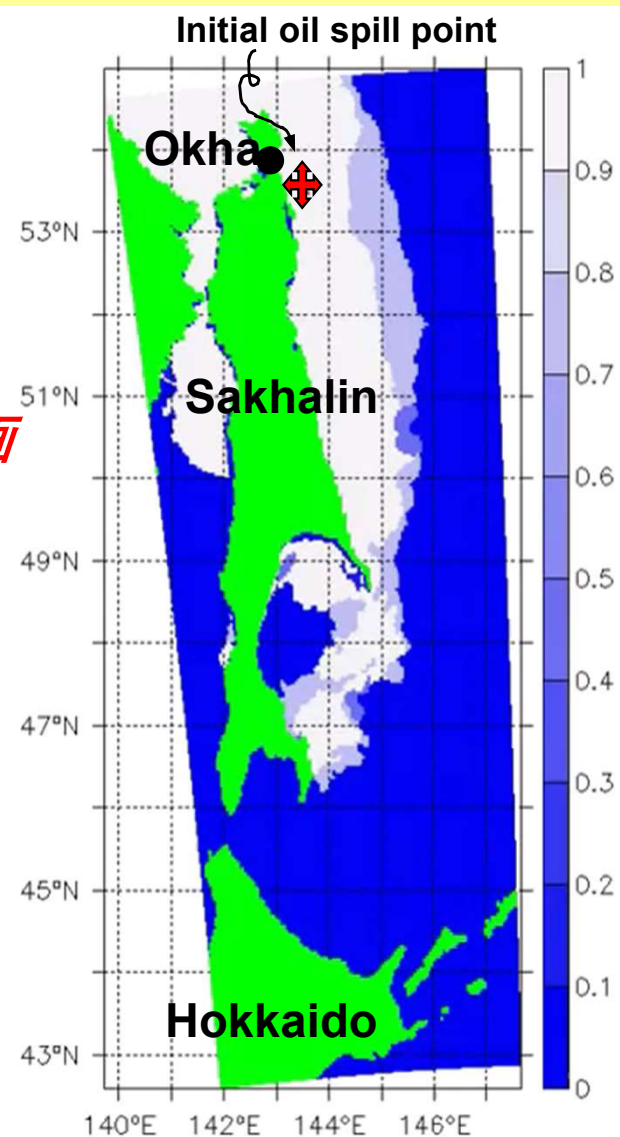


今話題のサハリン1 & 2 に関して
- もし、サハリンで石油が漏れ出したら -

Initial oil spill on Jan.3, 2003



Initial oil spill on Jan.5, 2005



動画

8. JOAI氷荷重プロジェクト

産学官の技術者と研究者が結集したナショナルプロジェクト

－ 1993年から2000年（8年間） －

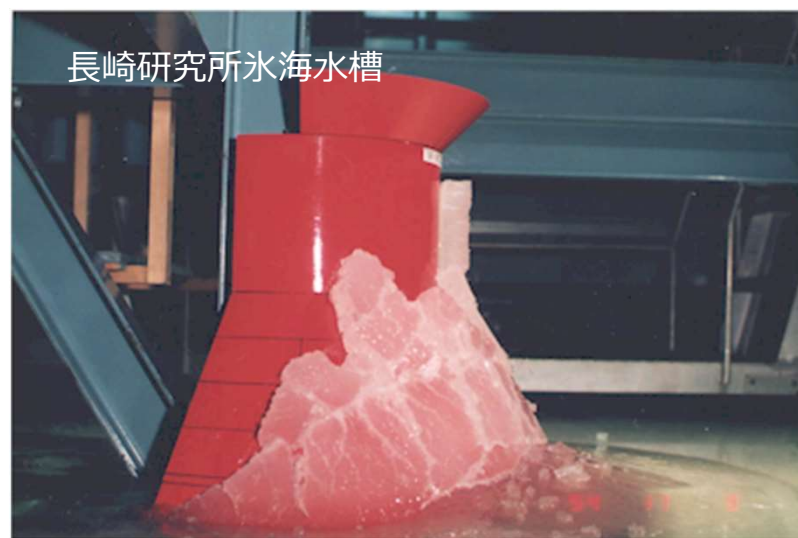
8.1 JOIA氷荷重プロジェクト：独自技術の確立を目指して

- (社)日本海洋開発産業協会（JOIA、現(一財)エンジニアリング協会）は、経済産業省の委託を受けて、1993年から2000年までの8年間、「海洋構造物に作用する氷荷重研究プロジェクト」（通称JOIA氷荷重プロジェクト）を実施した。
- 約50の研究機関や企業、100名を優に超える研究者や技術者が参加した過去に例を見ない氷工学研究のプロジェクト。

JOIA氷荷重研究プロジェクト参加機関名（1996年時点の機関名）

組織名	氏名、参加機関名
委員長	佐伯 浩（北海道大学）
副委員長	平山健一（岩手大学）、兵動正幸（山口大学）
氷海水槽実験WG	日本鋼管(株)、三菱重工業(株)、石川島播磨重工業(株)
中規模野外実験WG	清水建設(株)、大成建設(株)、三井造船(株)、パシフィックコンサルタンツ(株)、島田建設(株)
地震基礎WG	ハイテクリサーチ(株)、五洋建設(株)、(株)大崎総合研究所、(株)三井造船昭島研究所
技術動向調査WG	(有)サカコンサルティング、(株)大林組、千代田化工建設(株)、川崎重工業(株)、東亜建設工業(株)、菱和海洋開発(株)、(株)熊谷組
委員	運輸省船舶技術研究所、サハリン石油ガス開発(株)、鹿島建設(株)、新日本製鐵(株)、深田サルベージ建設(株)、石油公団、石油資源開発(株)、帝国石油(株)、日本海洋掘削(株)、日立造船(株)、三井建設(株)、竹中工務店(株)

8.2 JOIA氷荷重プロジェクト：実海水実験と氷海水槽実験



8.3 JOIA氷荷重プロジェクト：世界最大級の実海氷実験



8.3 JOIA氷荷重プロジェクト：プロジェクトの成果とその後

- 研究開発としての成果

初年度から国内外で注目され、海外からも氷研究者が実験やデータ解析に参加した。実験手法、解析手法、積極的なデータの公表など高い評価を得た結果が国際基準であるISO19906（氷海構造物設計指針）策定への日本の参加へと繋がり、プロジェクトの研究成果が基準に反映されるに至った功績は大きいものであった。

- 日本産業への波及効果

プロジェクトが終了した2000年以降、氷海構造物の建造や氷海域でのインフラ建設への日本企業の貢献は当初の見込みには至らない結果となった。特に、オイルメジャー、ロシア、日本政府と企業が進めていたサハリン石油天然ガス開発プロジェクト(サハリン1 & 2)における氷海構造物の設計段階からの貢献には結びつかなかった。

- 円高の進行による価格競争力の低下
- 造船業そのものの疲弊（韓国、中国造船業の台頭）

9. 日本の砕氷船

南極観測船宗谷から2代目しらせ

そして北極域観測船の建造

9.1 日本の砕氷船：南極観測船

南極観測船の日本特有の必要条件

- リッツォ・ホルム湾の定着氷を突破できる砕氷能力、
- 1,000トンを上回る物資の輸送能力、
- 2機以上のヘリコプターを搭載できる能力
- さらに、観測機能

これらの条件をすべて満たす砕氷船は諸外国にも例を見ない。

船名	宗谷	ふじ	初代しらせ	2代目しらせ
就役	1956	1965	1982	2009
南極観測船運行年数	7年	18年	25年	現役
全長	84 m	100 m	134 m	138 m
最大幅	12.8m	22m	28m	28m
満載排水量 (ton)	4,235	9,120	18,990	20,370
輸送貨物 (ton)	400	400	1,000	1,100
最大速力 (kt)	14	17	19	19
最大出力 馬力	2,400	11,900	30,000	30,000
連続砕氷能力 (3kt時)	1 m	1 m	1.5 m	1.5 m

9.2 日本の砕氷船：「宗谷」から「2代目しらせ」



満載排水量 20,370トン

18,990トン

9,120トン

4,235トン

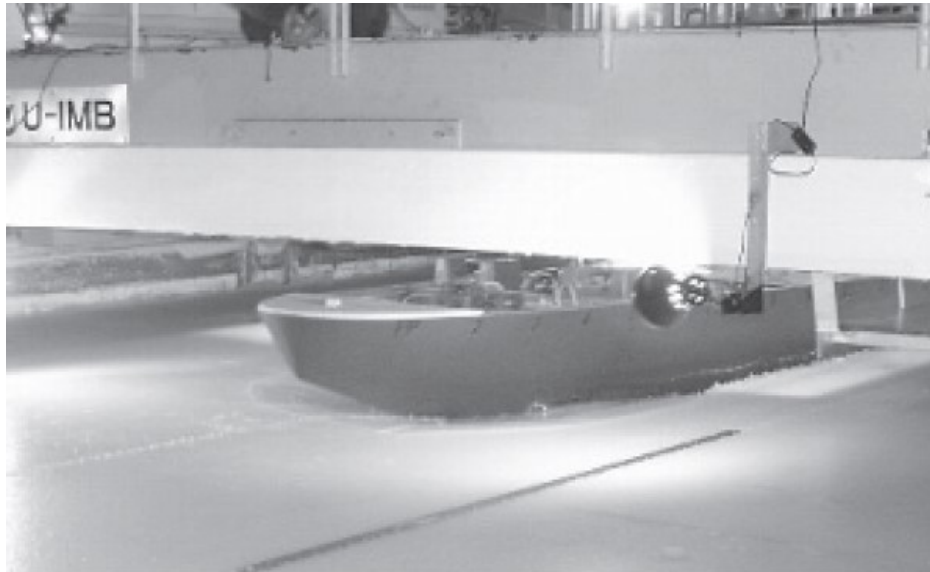
しらせ

旧しらせ

ふじ

宗谷

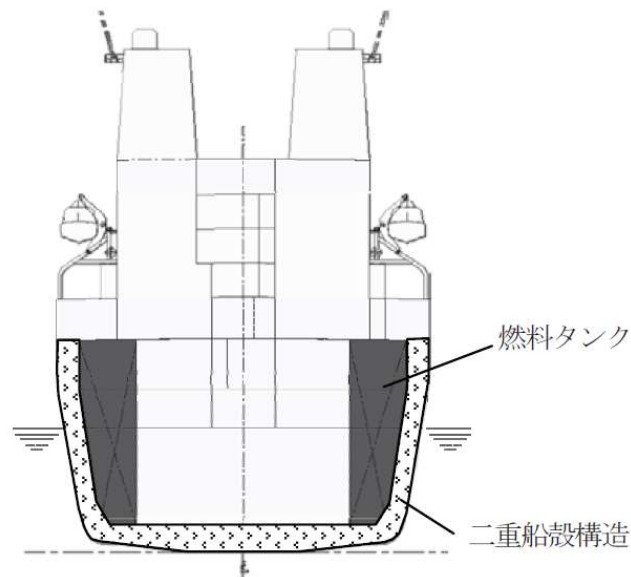
9.3 日本の砕氷船：研究開発、2代目「しらせ」を例として



JMU(株)の氷海水槽での「2代目しらせ」の模型実験



2代目しらせの砕氷補助用散水装置：船首部水面上にあるノズルから氷板へ散水し、積雪や海氷と船体との摩擦抵抗を低減する装置。



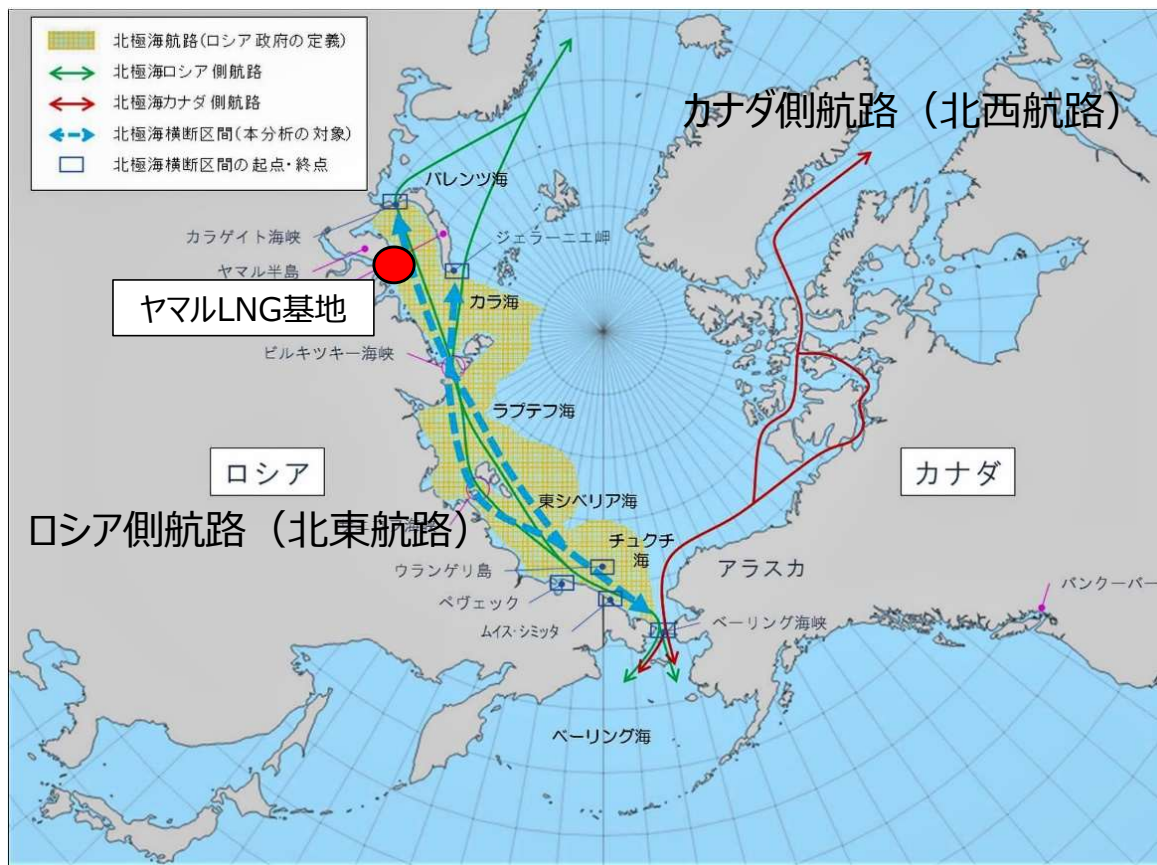
2代目しらせの二重船殻構造：船体外板が破損しただけでは燃料が流出しない構造

9.4 日本の砕氷船：新たな展開、北極域研究船

- 現役の南極観測船「2代目しらせ」とほぼ同規模の船舶
- 建造費340億円、就役2026年。建造JMU(株)
- 地球環境、気象変動問題に対する日本の貢献としての北極域研究
- 資源と絡んだ国際政治の舞台としての北極海
- 中国、韓国の積極的な関与、後れを取る日本



9.5 日本の砕氷船：新たな北極海航路、しかし…



利点として、

- ロッテルダムと横浜間の航行距離がスエズ運河経由に比べて40%短縮
- 航海日数および燃料費が減
- 海賊回避

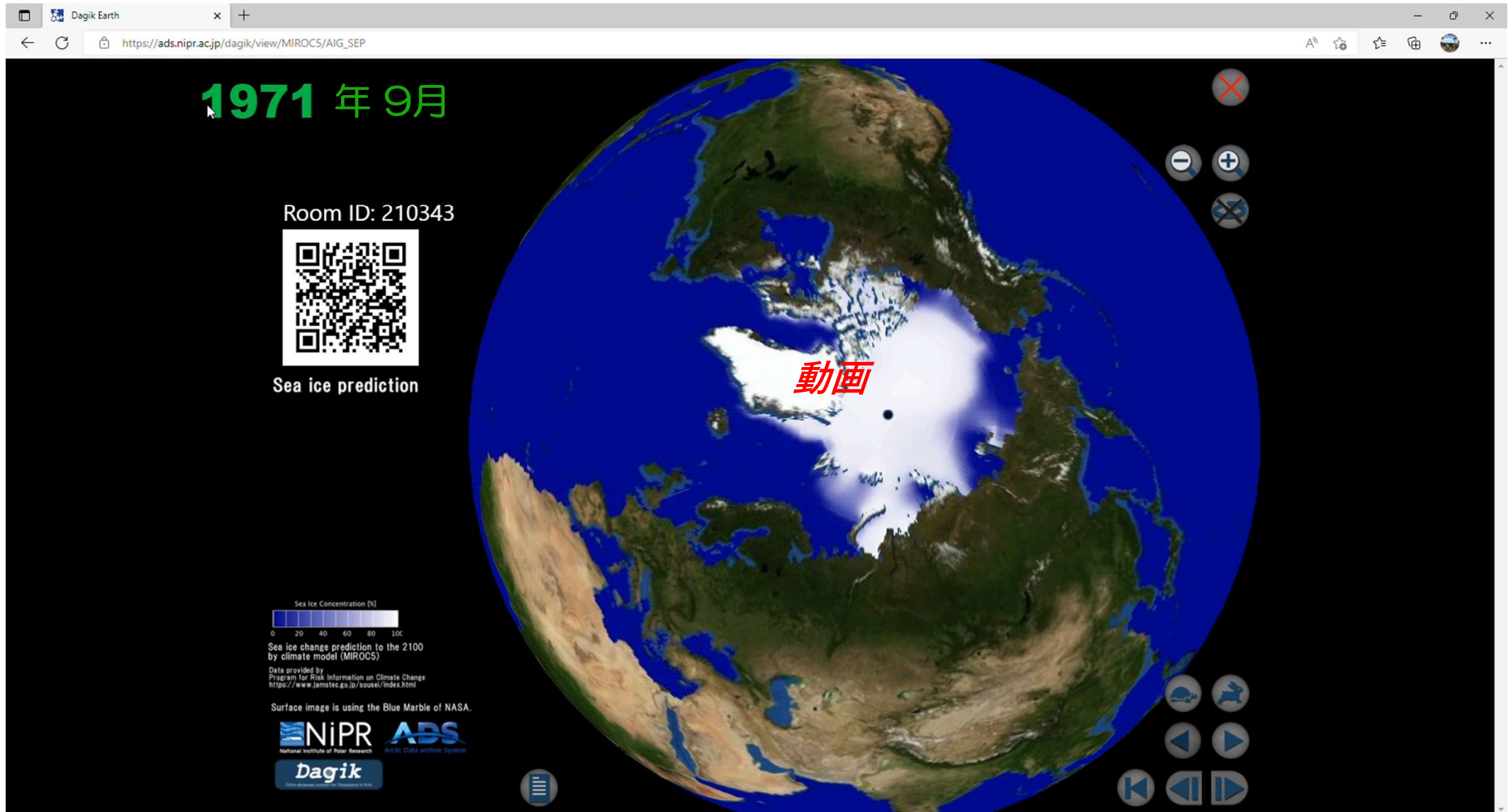
問題点として、

- ロシアの砕氷船による先導、
- 砕氷仕様船舶の必要性
- 船舶航行による北極環境への負荷

ロシアによるウクライナ侵攻の北極海への影響...

西暦		2017年	2018年	2019年	2020年
総航行数		49航行	60航行	87航行	133航行
航行種別	北極海航路内寄航航行	20	31	55	68
	トランジット航行	29	29	32	65
船種別	貨物船, タンカー	32	48	76	109
	タンカーの増加は、ヤマルLNGプロジェクトの稼働による。				


本講義の「まとめ」の前に、氷海域の今後を考える。
地球温暖化ガスの放出をこのまま続ければ.
国立極地研究所の気候モデルMIROC5予測計算より。



まとめとして日本の海域氷工学を概観すると、

- 1930年代：中谷宇吉郎博士による雪の結晶の研究
- 1950年代：南極観測への参加
- 1960年代：北極海での石油・天然ガス資源の発見
- 1970年代：北海道大学、岩手大学、東京大学などにおいて氷の工学的研究
- 1980年代：企業による氷海水槽の建設と研究の本格化（JMU, MHI, MES, 建設会社）
造船会社、建設会社による氷海用石油掘削装置の建造（世界をリード）
プラザ合意による急激な円高（重厚長大産業からの構造転換）
- 1990年代：ナショナルプロジェクトによる氷工学研究の実施（JOIA氷荷重プロジェクト）
造船業の国際競争力の低下
- 2000年代：北極海の海氷の急速な減少
北極海航路の海運が始まる（北東航路：日本～欧州）
- 2017年：北極海海運の増加（北極ヤマルLNG出荷開始）
- 2018年：三菱重工業、氷海水槽を廃却
- 2021年3月：ロシア原子力潜水艦3隻が北極海で氷を突き破って浮上
- 2022年：ロシアによるウクライナ侵攻（北極海航路、北極域研究の後退？）
- 2026年：北極域研究船就役予定（北極域研究の推進が期待されるが...）

- ロシアのウクライナ侵攻により、日本・ロシアの北極域共同研究はほぼ停止状態。
- 西側諸国とロシアとの共同研究も同じ運命か。
- 北極域での研究および経済活動の停滞が、海域氷工学および企業の北極域進出に影響

An aerial photograph of a vast sea ice field. The ice consists of numerous irregular, white and light blue floes of varying sizes scattered across a dark, open sea. The horizon is visible in the distance, where the sky transitions from a deep blue to a soft orange and yellow glow, suggesting a sunset or sunrise. The clouds are heavy and layered, with some light breaking through near the horizon.

産業技術史講座 海域氷工学の系統化調査 終