



— 海を測れば地球が分かる？ —
気候変動を捉える
海洋観測技術の紹介
～どうやって測るの？ いま何が起こっているの？～

石原 靖久

海洋研究開発機構 [JAMSTEC]
研究プラットフォーム運用開発部門 技術開発部
(兼務)北極環境変動総合研究センター

JAMSTEC 概要

- 海洋・地球・生命・人類の統合的な理解の推進 -

2021年7月20日



国立研究開発法人
海洋研究開発機構



2021年は50周年 JAMSTECの沿革

特殊法人（認可法人）
1971年～2004年

独立行政法人
2004年～2014年

国立研究開発法人
2015年～

海洋科学技術センターとして発足

第1期
中期計画

第2期
中期計画

第3期
中期計画

第4期
中長期計画

1971年～1980年
JAMSTECの黎明期
潜水技術開発の時代

設立から10年間
中心課題は潜水技術開発
飽和潜水実験
「シートピア」計画開始
深海を目指した
本格的な有人潜水調査船
「しんかい2000」建造

1981年～1995年
技術発展期
深海探査機関としての
地位確立

有人潜水調査船
「しんかい6500」完成
(世界最高深度)
深海曳航探査調査システム
や無人探査機等の開発
深海極限環境下の微生物研究
に関するプログラム発足

1996年～2008年
科学研究発展期
科学と技術を融合させた
研究体制の確立

研究体制（組織）の確立
「みらい」「ちきゅう」
「うらしま」等が完成
「地球シミュレータ」が世
界最高の演算性能達成
海外トップクラスの研究機
関と肩を並べる組織に
地球フロンティア開始

2009年～
国・世界の中核機関へ

東日本大震災に関する地
震・津波調査等への対応
科学技術の新展開
イノベーションの重要性
“海洋立国”を意識した
組織運営に
社会的課題への対応

日本・世界の動き

高度経済成長時代
地球科学や海洋科学分野
の画期的発展（プレート
テクトニクス理論の確立、
熱水噴出孔と化学合成生
物群集の発見等）

バブル経済とその崩壊
地球温暖化、海洋汚染等の
環境問題が注目されはじめ、
気候変動枠組条約、生物多
様性条約等が提起された

新興国の台頭、世界経済、
物流、人口構造等の社会
経済構造が激変
イノベーションの重要性
が強調され始める

東日本大震災が発生
世界各地で異常気象が頻発、
新興国の急速な成長による
資源獲得競争激化、再生可
能エネルギーへの注目

3



本部及び事業所



むつ研究所

青森県むつ市（平成7年開設）



国際海洋環境
情報センター（GODAC）
沖縄県名護市（平成13年開設）



高知コア研究所

高知県南国市（平成17年開設）



東京事務所

東京都千代田区内幸町



横浜研究所

神奈川県横浜市（平成14年開設）

横須賀本部

神奈川県横須賀市
海洋科学技術センター設立（昭和46年）
（独）海洋研究開発機構発足（平成16年）
国立研究開発法人海洋研究開発機構発足
（平成27年）

4



役員と人員構成

役員

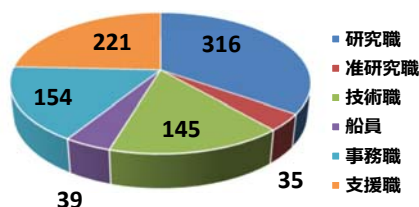
理事長	松永 是健
理事（研究担当）	河野 真一
理事（開発担当）	倉本 周一郎
理事（経営管理担当）	板倉 幸久
監事	鷲尾 裕子
監事（非常勤）	前田 裕子

事業規模

令和3年度予算収入額	320億円
うち運営費交付金（SIP除く）	297億円
うち船舶建造費補助金	23億円

人員構成

人員総数：910名



令和3年4月1日現在

組織

<研究・開発・運用部門>

地球環境部門

海洋機能利用部門

海域地震火山部門

付加価値情報創生部門

超先鋭研究開発部門

研究推進部

研究プラットフォーム運用開発部門

企画調整部

技術開発部

運用部

北極域研究船推進室

【戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）】

革新的深海資源調査技術プロジェクトチーム

<経営管理部門>

経営企画部

海洋科学技術戦略部

総務部

人事部

経理部

安全衛生監理室

監査室



JAMSTECの船舶の概要

機構は、中長期計画に定められた取組を通じて海洋調査プラットフォームの効率的な運用を実現しつつ、各研究開発課題と連携し、計画達成に必要な最適な研究船の稼働に努める。

また、共同利用・共同研究拠点である東京大学大気海洋研究所と協働し、学術研究船等の効率的な運航・運用を行う。

海底広域研究船 **かいめい**

5,747トン



2016年建造・研究者38名、船員27名
全長100m・喫水6.0m

地球深部探査船 **ちきゅう**

56,752トン



2005年建造・研究者50名、船員150名
全長210m・喫水9.2m

海洋地球研究船 **みらい**

8,706トン



1997年建造・研究者46名、船員34名
全長128m・喫水6.9m

深海調査研究船 **かいてい**

4,517トン



1997年建造・研究者22名、船員38名
全長106m・喫水4.7m

深海潜水調査船支援母船 **よこすか**

4,439トン



1990年建造・研究者15名、船員45名
全長106m・喫水4.7m

東北海洋生態系調査研究船 **新青丸**

1,635トン



2013年建造・研究者15名、船員26名
全長66m・喫水5.0m

学術研究船 **白鳳丸**

3,991トン



1989年建造・研究者35名、船員54名
全長100m・喫水6.0m



JAMSTECの無人探査機・潜水船の概要

深海底の多様な海洋環境をより詳しく探査・調査するための有人/無人探査機の開発・運用を実施

有人潜水調査船 しんかい6500



1989年建造・最大潜航深度 6,500m
搭乗可能人員3名 全長9.7m・幅2.7m
速力 0~2.7ノット

ASV 洋上中継器



2017年運用開始、速力 3 ノット
全長4.45m・幅1.95m・1.5トン
稼働時間:48時間

自律型無人探査機 じんべい



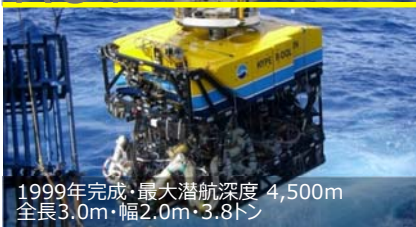
2012年完成・最大潜航深度 3,000m
最小探査高度 10m・全長4m・幅1.1m
最大速力3ノット

自律型無人探査機 うらしま



2000年完成・最大潜航深度 3,500m
航続距離 300km以上・全長10m・幅1.3m
速力 3ノット

無人探査機 ハイパードルフィン



1999年完成・最大潜航深度 4,500m
全長3.0m・幅2.0m・3.8トン

無人探査機 かいこうMK-IV



2013年完成・最大潜航深度 7,000m
全長3m・幅2m・6トン 海底での重作業が可能

深海曳航調査システム ディープ・トウ



最大潜航深度 6,000m
6KカメラDT、6Kソナー-DT、「よこすか」DT
全長約4m・幅約1.3m



ー 海を測れば地球が分かる？ ー

気候変動を捉える

海洋観測技術の紹介

～どうやって測るの？ いま何が起きているの？～

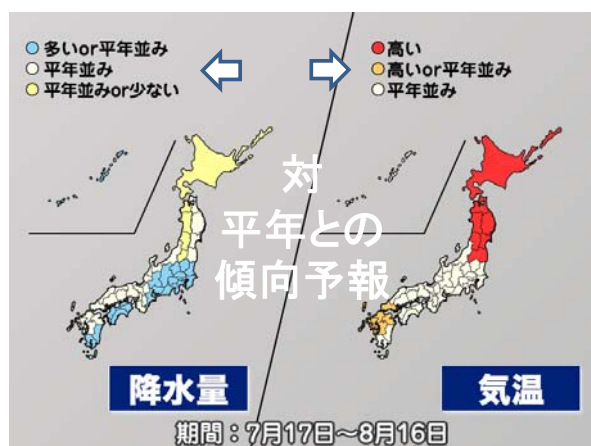
石原 靖久

海洋研究開発機構 [JAMSTEC]
研究プラットフォーム運用開発部門 技術開発部
(兼務)北極環境変動総合研究センター

ナニがちがうのか？ 天気予報と長期予報



- 実用的な天気予報ができるのは、週間レベル
- いっぽう、1ヶ月や3ヶ月予報もあり、そこでは天気の傾向が予報される



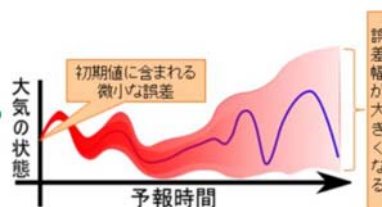
大阪の天気予報

(7/12 Weather News より)

1時間ごと	今日明日	週間(10日間)		
日 (曜日)	天気	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	降水確率 (%)
13 (火)		31℃	25℃	60%
14 (水)		32℃	25℃	60%
15 (木)		30℃	24℃	30%
16 (金)		30℃	24℃	30%
17 (土)		30℃	24℃	30%
18 (日)		32℃	24℃	30%
19 (月)		32℃	25℃	30%
20 (火)		32℃	26℃	40%
21 (水)		33℃	26℃	40%
22 (木)		32℃	25℃	20%

11

海が鍵となる長期予報



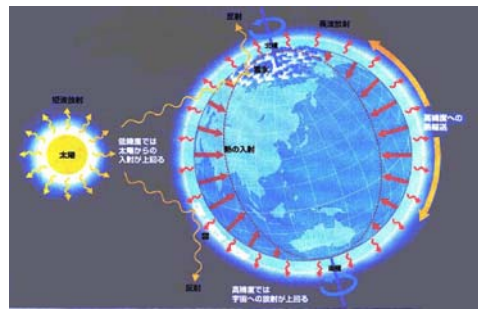
<天気予報では>

- 大気の振る舞いのカオス性(初期値鋭敏性)
→ 今日を初期値として予報しても、初期値のわずかな差が、1週間後には大きな差に！

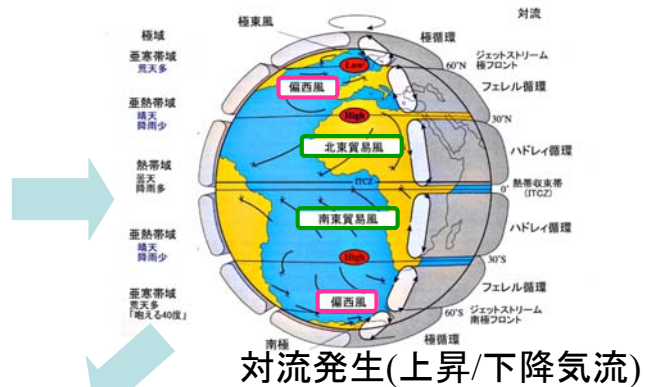
<長期予報では>

- いっぽう、海の熱容量は大気に比べて大変大きく、熱しにくく、冷めにくい(変化も緩やか)
→ 日本では、海が大気の大まかな動きを支配するためこの関係を長期予報で利用

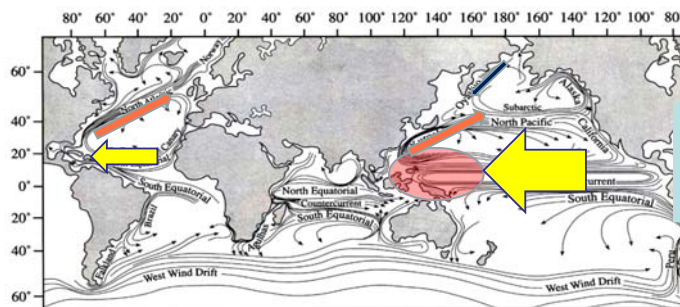
海とわたしたちの関係を知ってもらう上で・・・ 海と大気の大まかな関係



日射と緯度による熱収支



対流発生(上昇/下降気流)

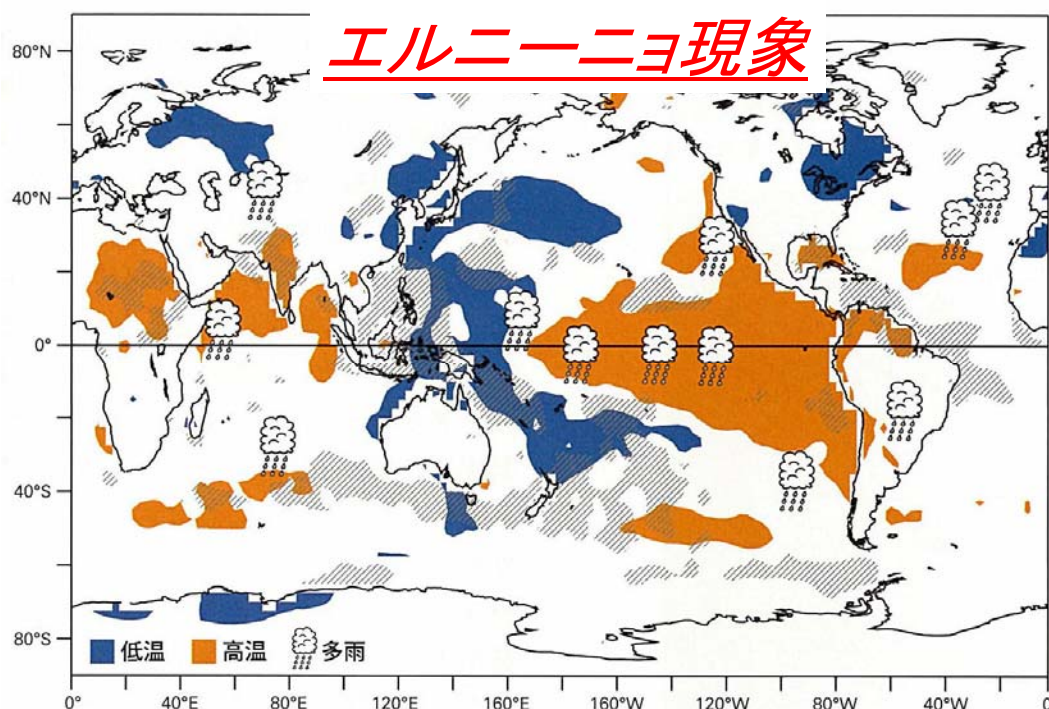


風成循環による海流

全球の循環



海が鍵となる季節異常例(日本の冷夏) 太平洋赤道付近の影響が全球にまでおよぶ



北半球: 夏

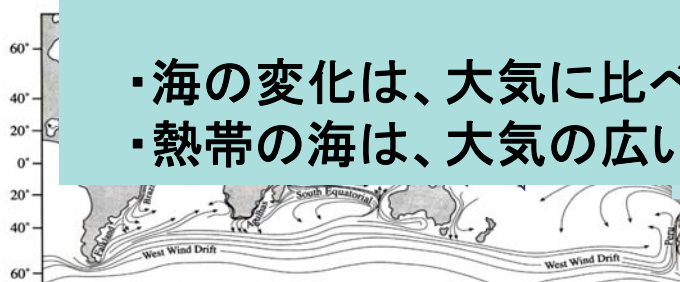
南半球: 冬

海が鍵となる季節異常例 エルニーニョ現象



例えば半年後・・・
(6ヶ月後の1月20日の天気は分からないけど・・・)
**熱帯の”海“を見れば、
1月が暖冬かどうか傾向が分かる**

- ・海の変化は、大気に比べて穏やか
- ・熱帯の海は、大気の広い範囲に影響を及ぼす



風成循環による海流



海洋循環がもたらすもの・・・



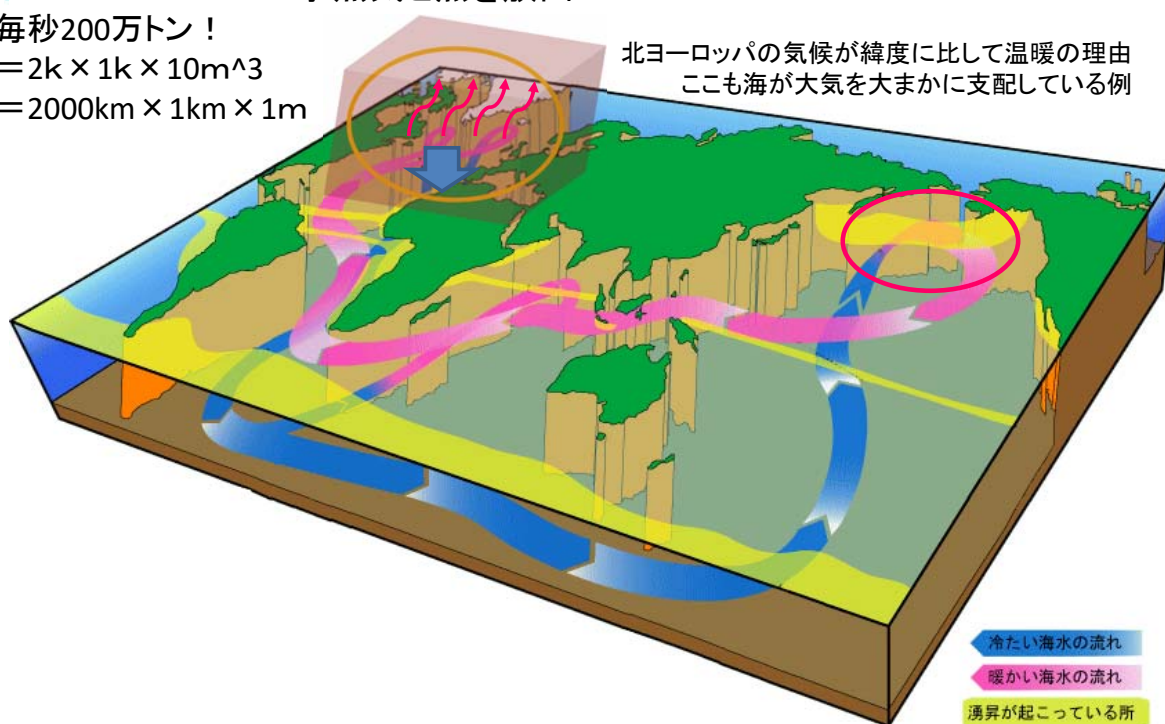
水蒸気と熱を放出

毎秒200万トン！

$= 2\text{k} \times 1\text{k} \times 10\text{m}^3$

$= 2000\text{km} \times 1\text{km} \times 1\text{m}$

北ヨーロッパの気候が緯度にして温暖の理由
ここも海が大気を大まかに支配している例

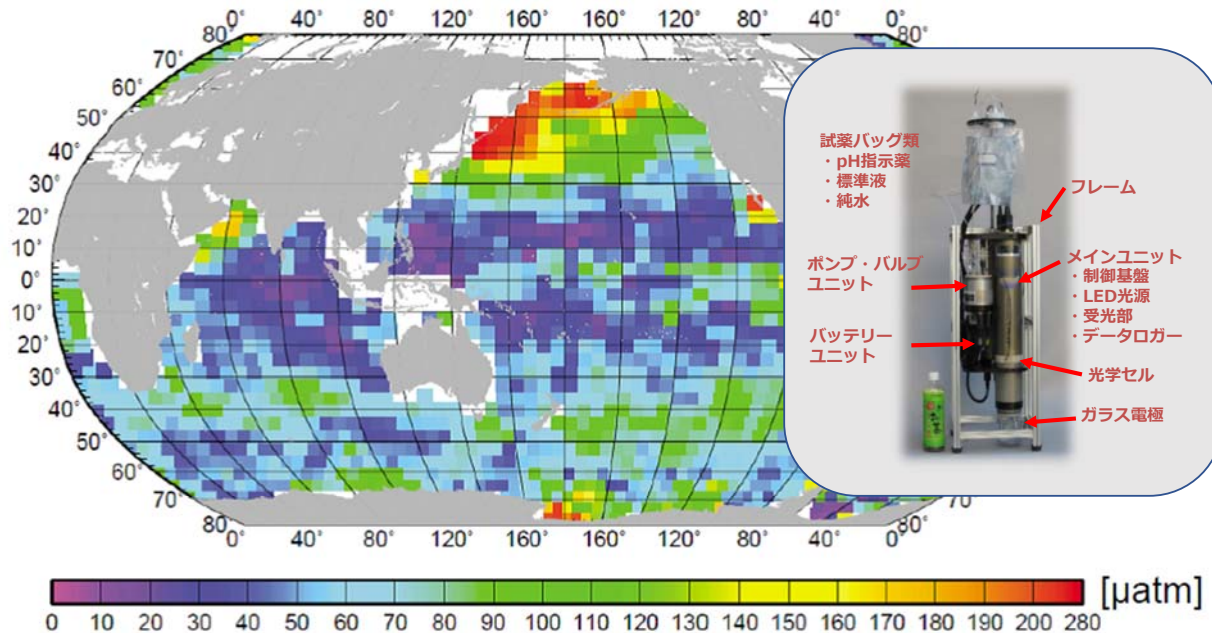


冷たい海水の流れ
暖かい海水の流れ
湧昇が起こっている所

日本周辺海域・西部北太平洋の重要性

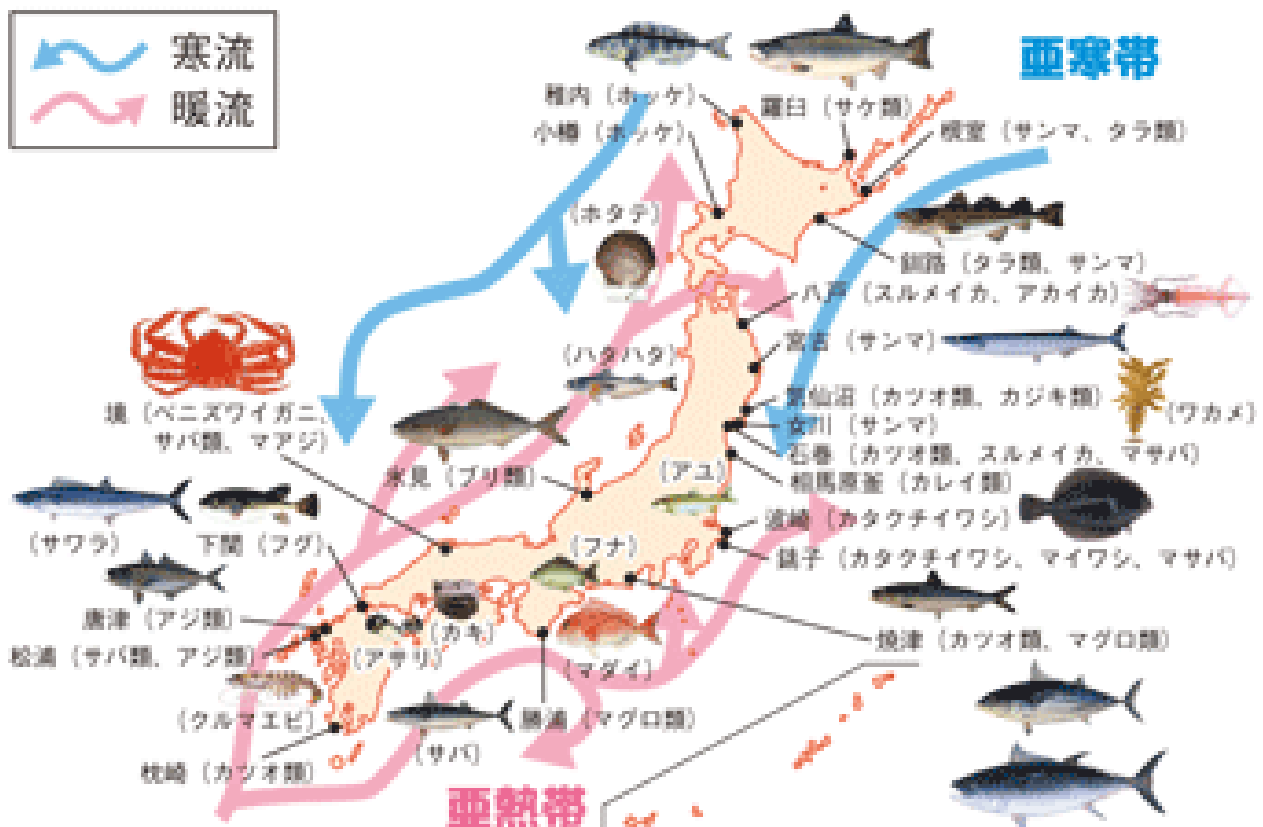
西部北太平洋・日本周辺海域：高い生物生産
世界最大の生物CO₂吸収、6%の面積で26%の漁獲量

生物による二酸化炭素吸収量の分布 (Takahashi et al. 2002)



課題：豊かな生物生産・CO₂吸収・水産資源(海の恵み)をもたらす仕組み？

文科省新学術領域研究「海洋混合学の創設」東京大学 大気海洋研 安田一郎教授スライドより

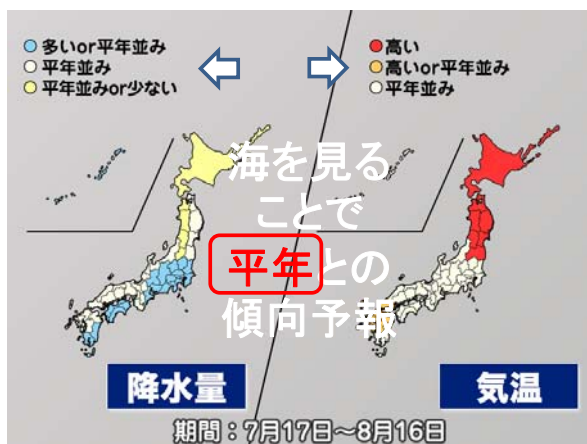


資料：農林水産省「水産物流通統計年報」及び「漁業・養殖業生産統計」に基づき水産庁で作成

閑話休題 天気予報と長期予報



- 実用的な天気予報ができるのは、週間レベル
- いっぽう、1ヶ月や3ヶ月予報もあり、そこでは天気の傾向が予報される



大阪の天気予報

(7/12 Weather News より)

1時間ごと	今日明日	週間(10日間)		
日 (曜日)	天気	最高気温 (℃)	最低気温 (℃)	降水確率 (%)
13 (火)		31℃	25℃	60%
14 (水)		32℃	25℃	60%
15 (木)		30℃	24℃	30%
16 (金)		30℃	24℃	30%
17 (土)		30℃	24℃	30%
18 (日)		32℃	24℃	30%
19 (月)		32℃	25℃	30%
20 (火)		32℃	26℃	40%
21 (水)		33℃	26℃	40%
22 (木)		32℃	25℃	20%

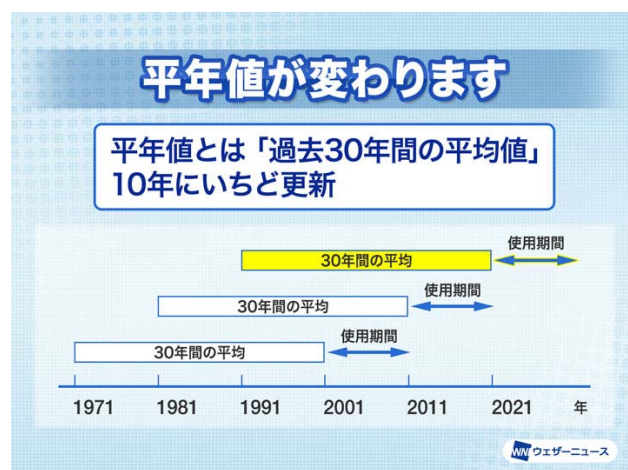
19

<用語>“平年”について



- **平年値**とは(Wikipediaより)
→ 気温や降水量などの気象要素(気候要素)の長期平均の値のことで、ふつう30年間の平均。**気候値**とも言う

↓
気候変動



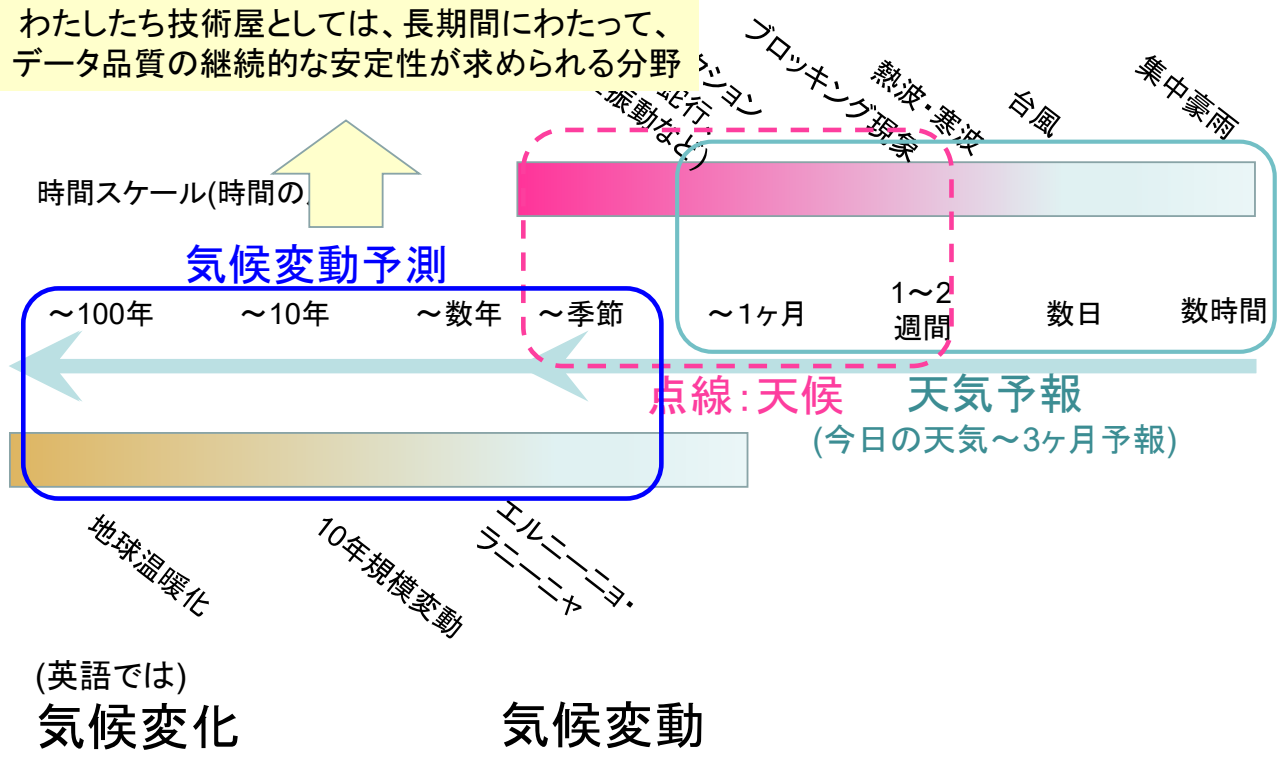
2021年5月19日(水)より、平年値更新(ウェザーニュース Webより)²⁰

気候と気象

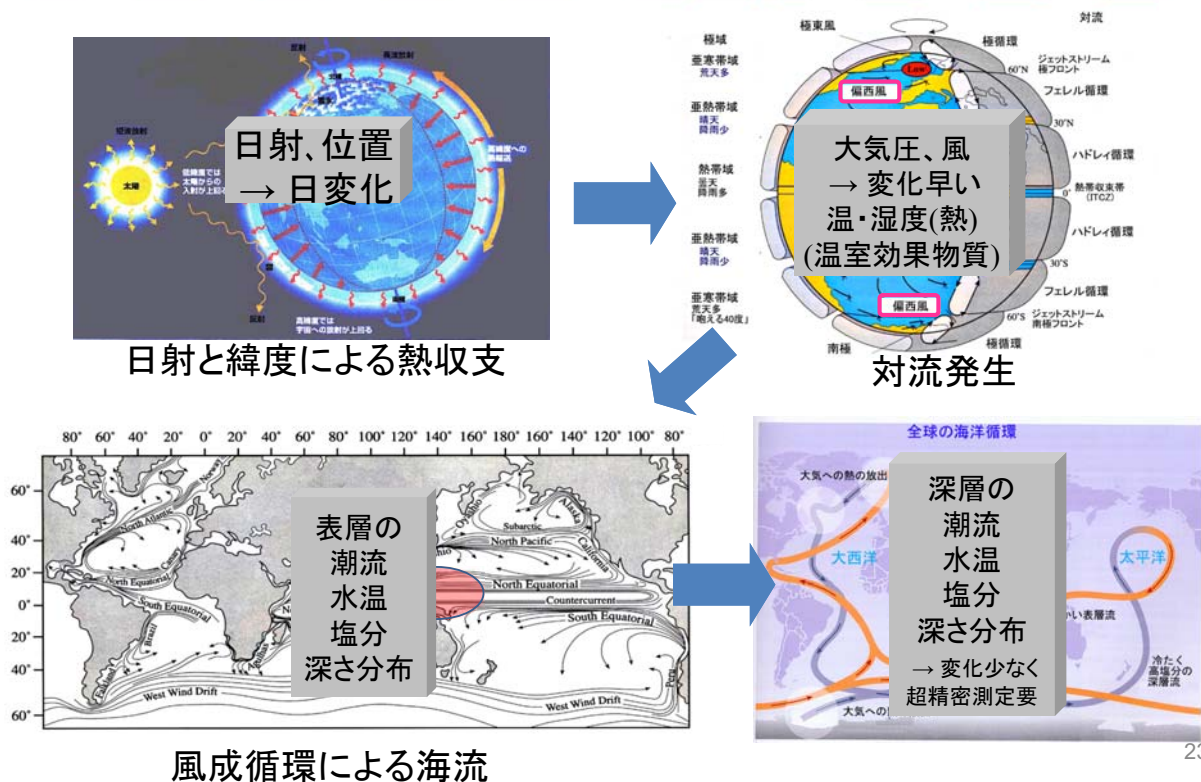
気候変動観測は・・・

わたしたち技術屋としては、長期間にわたって、データ品質の継続的な安定性が求められる分野

天候変動(異常気象)



地球の大気・海洋循環と 気候変動の基本観測項目

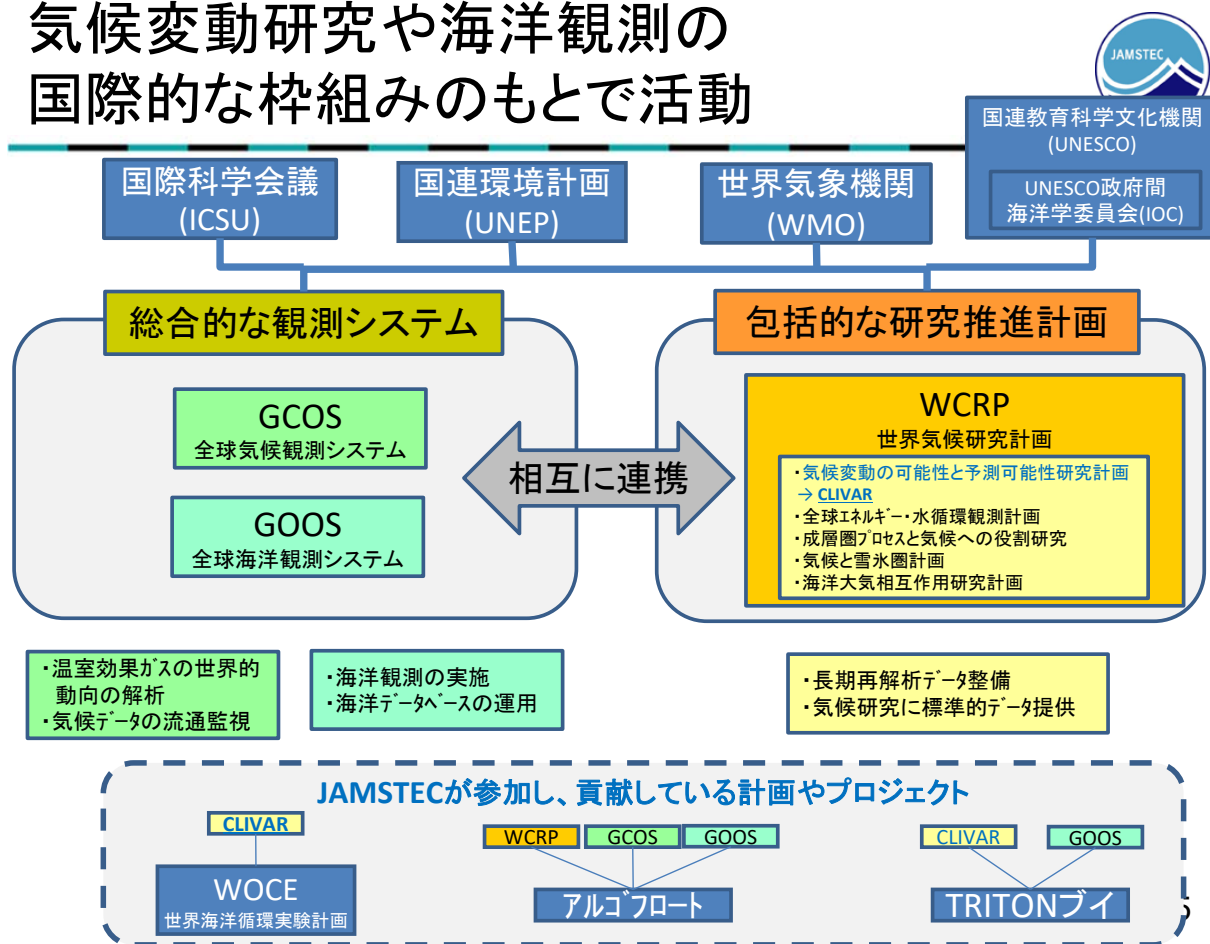


つまり、海洋の表層を測定したとき

- 日本の結果が 20.01°C
- 同じ場所を他国が測定したら 20.00°C
→ わずか $1/100^{\circ}\text{C}$ の差！
- 大気換算では大きな違いが出てしまう！
- 気候変動観測では、
 - ☆広い範囲を、
 - ☆長期にわたり、
 - ☆世界で足並みを揃えた精密観測が必要！



気候変動研究や海洋観測の 国際的な枠組みのもとで活動



CLIVAR/GOOSにおける測定要求仕様 (全球熱帯観測ブイ網の例)

(全球熱帯観測ブイは気候変動研究のための国際的な枠組みで運用)

	Parameter	精度	分解能	Range
水中センサ	水温	0.02	0.001	0-40
	塩分	0.02‰	0.002‰	0-40‰
	潮流 流速 流向	5cm/sec 5°	0.1cm/sec 0.1°	0-250cm/sec 5°
	水圧	±0.25% full scale	0.3dbr	0-1000 dbr
気象センサ	風 風向 風速	5° 0.3m/s or 3%	1.4° 0.2m/s	0-359° 0-35m/s
	気温	0.2	0.01	0-40
	相対湿度	2%	0.4%	0-100%
	雨量	0.4mm /h	0.2mm /h	0-500mm /h
	短波放射	±1%	0.4W/m ²	0-1600W/m ²
	大気圧	0.1hPa or 0.01%	0.1 hPa	800-1100 hPa

気候変動観測におけるトレーサビリティ確保

2010年にWMO-BIPM協同ワークショップを開催

第24回国際度量衡総会(CGPM)決議2
「気候変動モニタリングのための測定をSIトレーサブルな基準に基づいて行うための国際協力の重要性」を採択。

<内容>

・気候調査観測の測定値をSIトレーサブルにすること・・・などが勧告された。

BIPM

(国際度量衡局)

世界気象機関

(WMO)

包括的な研究推進計画

WCRP

世界気候研究計画

- ・気候変動の可能性と予測可能性研究計画
→ CLIVAR
- ・全球エネルギー・水循環観測計画
- ・成層圏プロセスと気候への役割研究
- ・気候と雪氷圏計画
- ・海洋大気相互作用研究計画

GCOS

全球気候観測システム

GOOS

全球海洋観測システム

相互に連携

- ・温室効果ガスの世界的動向の解析
- ・気候データの流通監視

- ・海洋観測の実施
- ・海洋データベースの運用

- ・長期再解析データ整備
- ・気候研究に標準的データ提供

JAMSTECが参加し、貢献している計画やプロジェクト

CLIVAR

GO-SHIP
世界海洋循環実験計画

WCRP

GCOS

GOOS

アルゴフロート

CLIVAR

GOOS

TRITONブイ
RAMAブイ

27

国家標準トレーサブルな大型検定水槽の開発と運用



MarE3

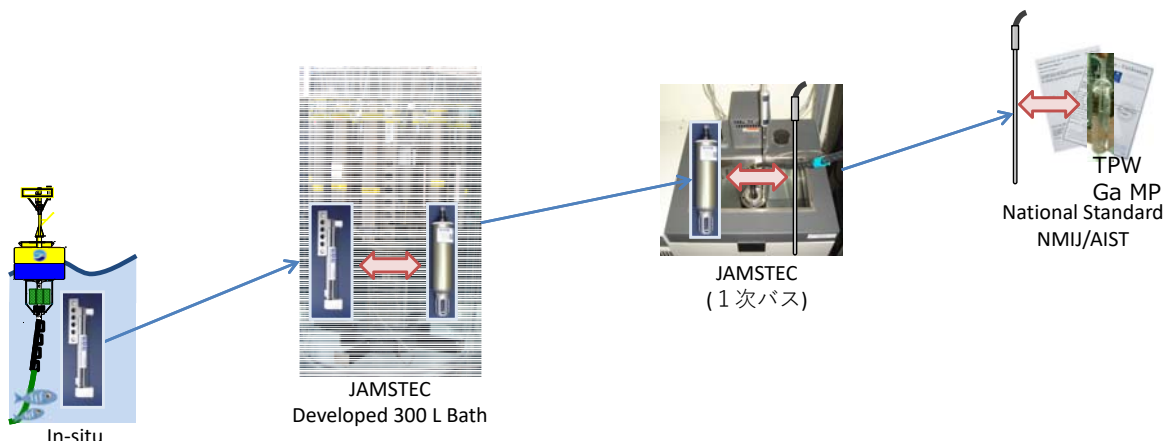
研究プラットフォーム運用開発部門

○水温センサの検定で、高精度（±10mk以下）かつ、

○国家計量標準へトレーサブルであることを担保できる比較校正の連鎖を構築

○海洋研究用途に限り、計量法校正事業者登録制度（JCSS）への登録不要で、外部提供可能（計量標準総合センター）

○塩分計測の標準化に着手 → ご興味ある方は、是非、お声かけ、お力添えを！



プロジェクト概要
(国家標準から実海域まで校正の連鎖の構築)

気候変動を捉える 海洋観測技術の紹介



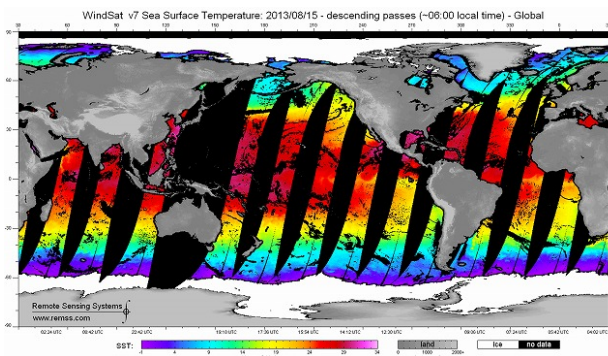
- 広大な海について
- どのように測っているのか？
- 宇宙から:リモセン

29

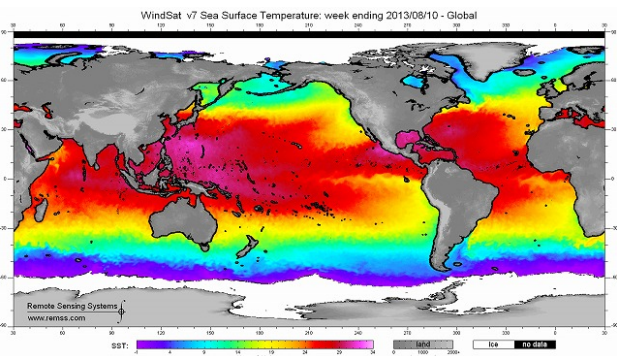
遠隔観測(人工衛星観測)



- | | |
|---------|-------------------|
| • 雲 | 「ひまわり」(静止気象衛星) |
| • 海面水温 | GCOM-W (水循環観測衛星) |
| • 海面高度 | Jason-2 (海洋観測衛星) |
| • 海面風 | GCOM-W (水循環観測衛星) |
| • 海面塩分 | Aquarius (地球観測衛星) |
| • 降雨 | GPM (全球降雨観測衛星) |
| • 海水密度度 | GCOM-W (水循環観測衛星) |



WindSat 海面温度 (2013/8/15 1日)



WindSat 海面温度 (2013/8/10~16 1週間平均)

メリット

全球を一様に観測が可能

デメリット

精度が高くない(水温 1/100°Cなんて無理)
海中(深い場所)は観測できない
観測頻度が不十分(1日1回~2回)

気候変動を捉える 海洋観測技術の紹介



- 広大な海について
- どのように測っているのか？
- 宇宙から:リモセン
- 現場に出向いて観測
- JAMSTECが関わる観測技術紹介

31

現場観測



- 海洋調査船による観測 → 海洋地球研究船「みらい」
メリット:現象に応じた広範で多項目観測が高密度・高精度で可能
デメリット:船舶を占有しない限り、時間、空間的に限定的
費用が高価

32

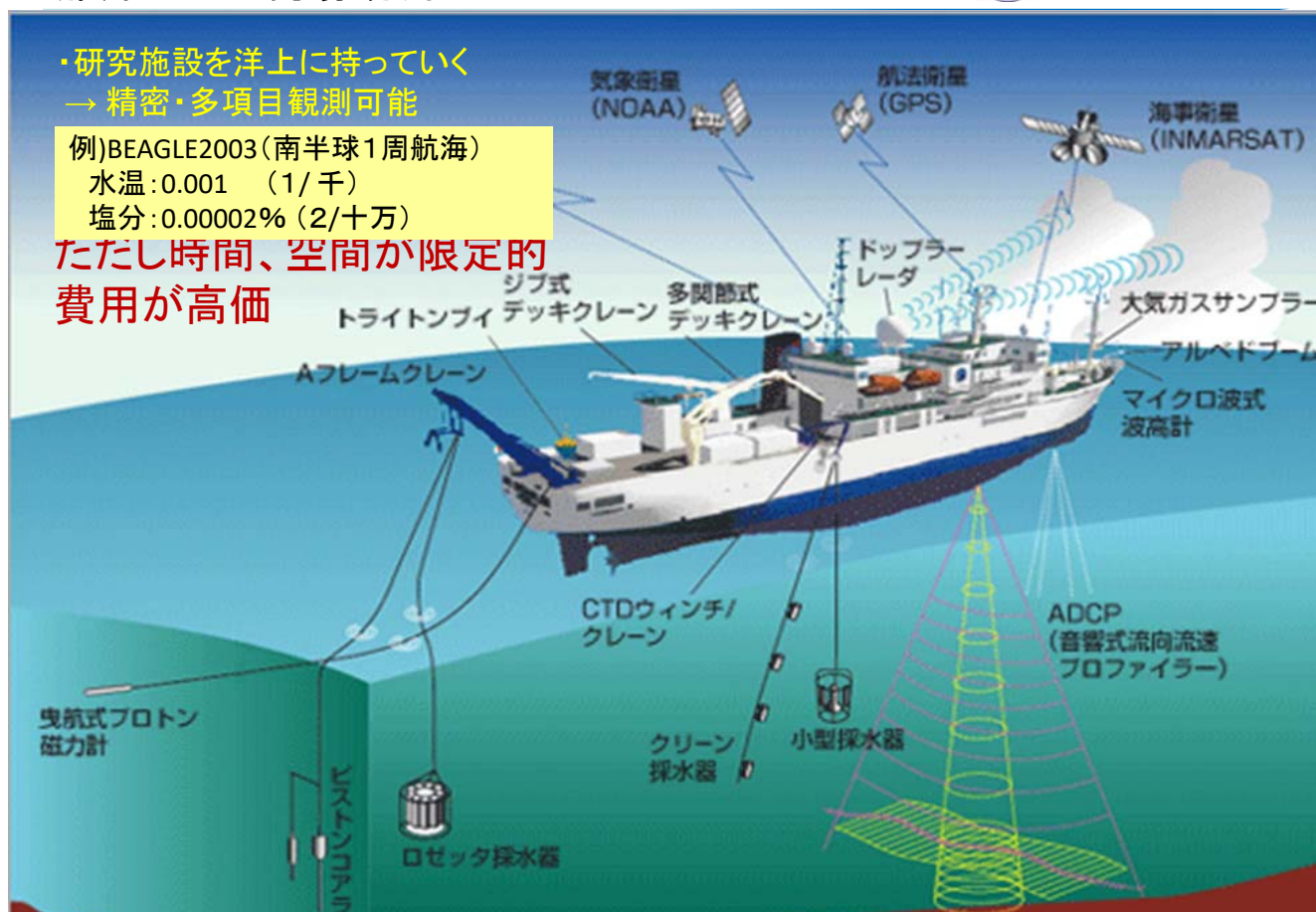
- ・研究施設を洋上に持っていく
→ 精密・多項目観測可能

例) BEAGLE2003 (南半球1周航海)

水温: 0.001 (1/千)

塩分: 0.00002% (2/十萬)

ただし時間、空間が限定的
費用が高価

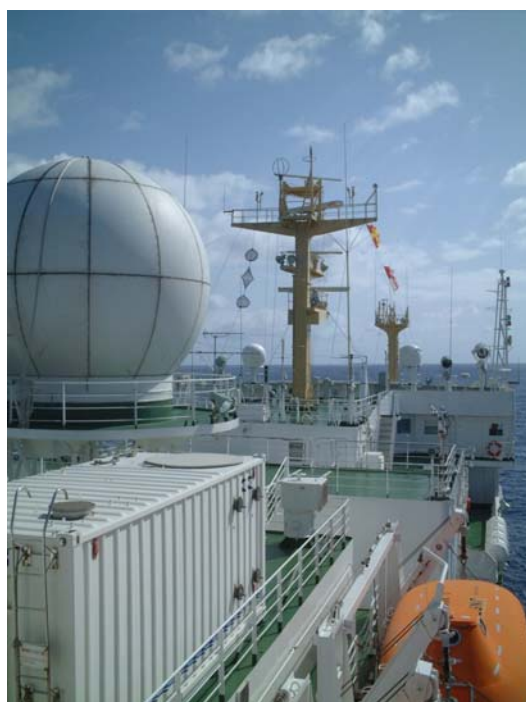


ドップラーレーダー

Doppler Radar

(資料提供「GODI(株)」)

雨(降水分布)を観測



アンテナレドーム



アンテナ



送信機・受信機



処理・制御・表示端末



気象レーダーが装備されている船舶は、日本では「みらい」のみ。

現場観測



- 海洋調査船による観測 → 海洋地球研究船「みらい」

メリット: 現象に応じた広範で多項目観測が高密度・高精度で可能

デメリット: 船舶を占有しない限り、時間、空間的に限定的
費用が高価

BEAGLE2003 (南半球1周航海)
水温: 0.001 (1/千)
塩分: 0.00002% (2/十萬)

- 専用の観測装置による自動観測
海洋観測ブイシステム
漂流型海洋観測フロート
グライダー

メリット: 広範囲で長期にわたり観測可能

デメリット: 船舶ほど、多項目・高精度の観測は不可能

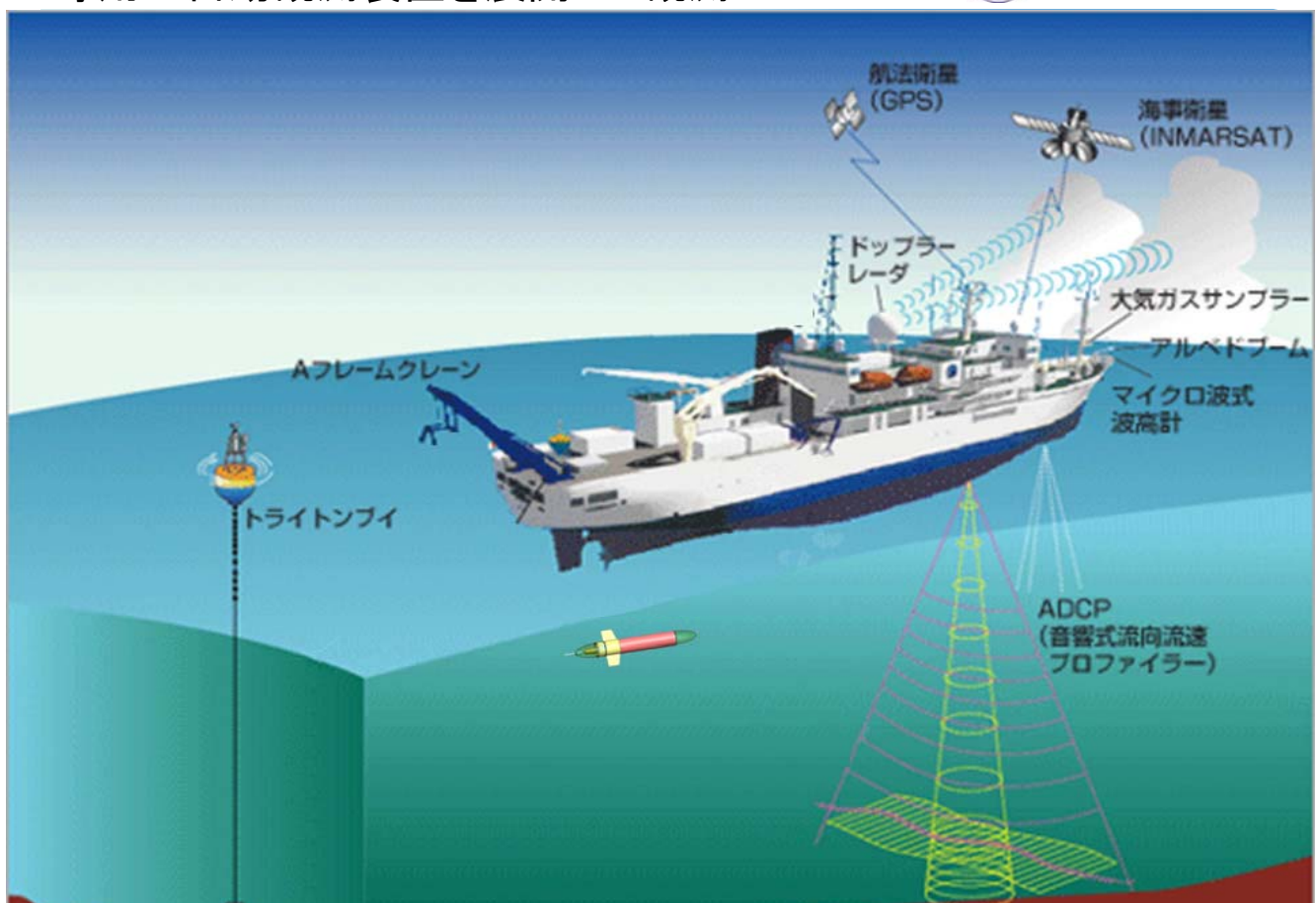
35

専用の自動観測装置を展開して観測



MarE3

研究プラットフォーム運用開発部門

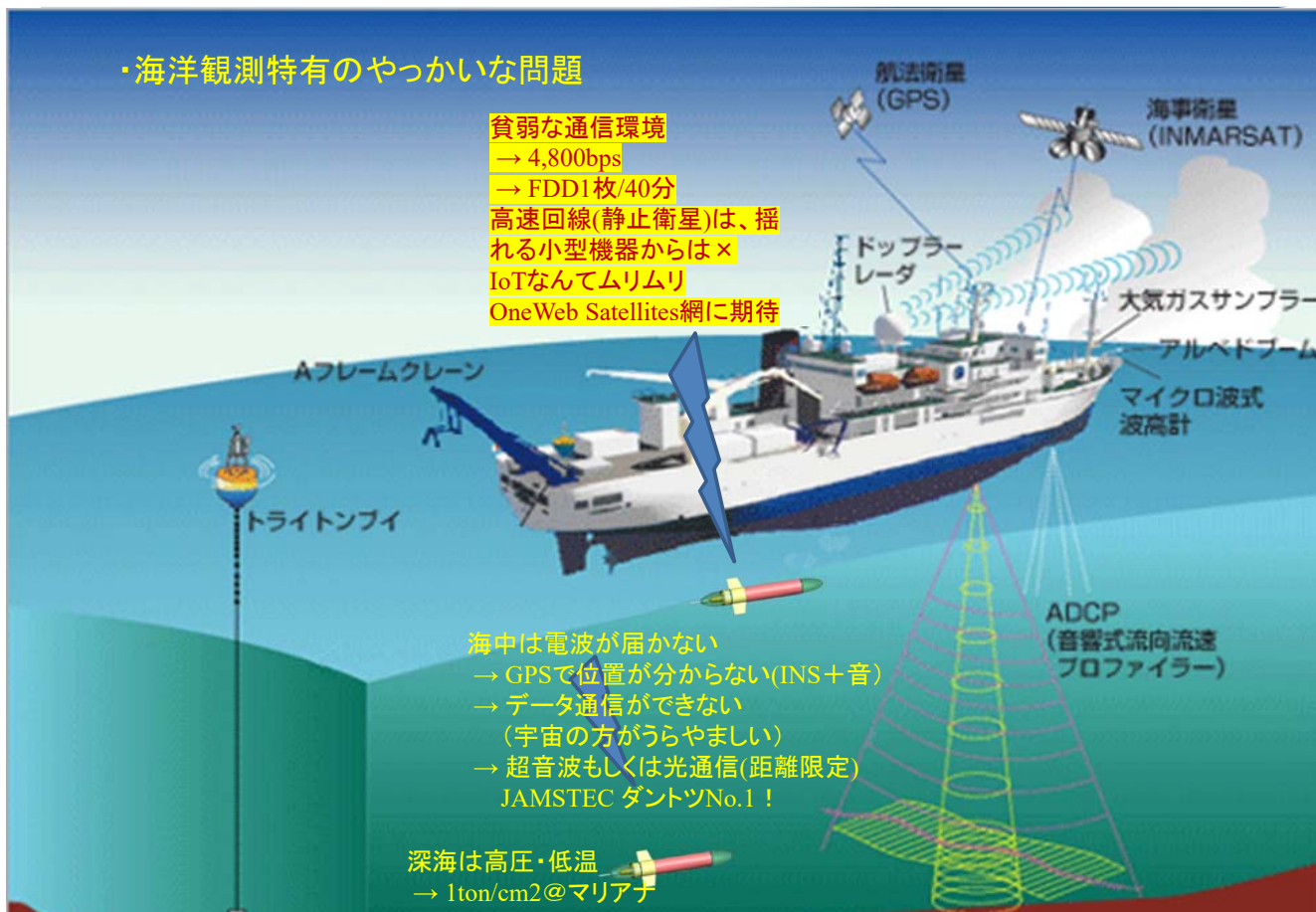


・海洋観測特有のやっかいな問題

貧弱な通信環境
 → 4,800bps
 → FDDI 枚/40分
 高速回線(静止衛星)は、揺れる小型機器からは×
 IoTなんてムリムリ
 OneWeb Satellites網に期待

海中は電波が届かない
 → GPSで位置が分からない(INS+音)
 → データ通信ができない
 (宇宙の方がうらやましい)
 → 超音波もしくは光通信(距離限定)
 JAMSTEC ダントツNo.1!

深海は高圧・低温
 → 1ton/cm²@マリアナ



海に係留して 自動計測

Iridium or Argos 衛星通信 4.8kbps

風向・風速, 気温, 湿度,
日射, 雨量, 気圧

スラック係留
流れの強い・インド洋観測

ワイヤロープ 500m

ナイロンロープ
φ17

1mCTD
10mADCM
10mCTD
20mCTD
40mCTD
60mTD
80mTD
100mCTD
120mTD
140mTD
200mTD
300mTD
500mTD

水温
塩分
深度
流速

水中リアルタイム通信

バイ流出時の残置部回収浮力

メンテ航海での係留系の回収

スラック係留 ↔ 緊張係留

係留索全長 : 設置水深
約1.3~1.4 ↔ 約0.85

m-TRITON

緊張係留:
穏やかな
西太平洋

ワイヤロープ 750m

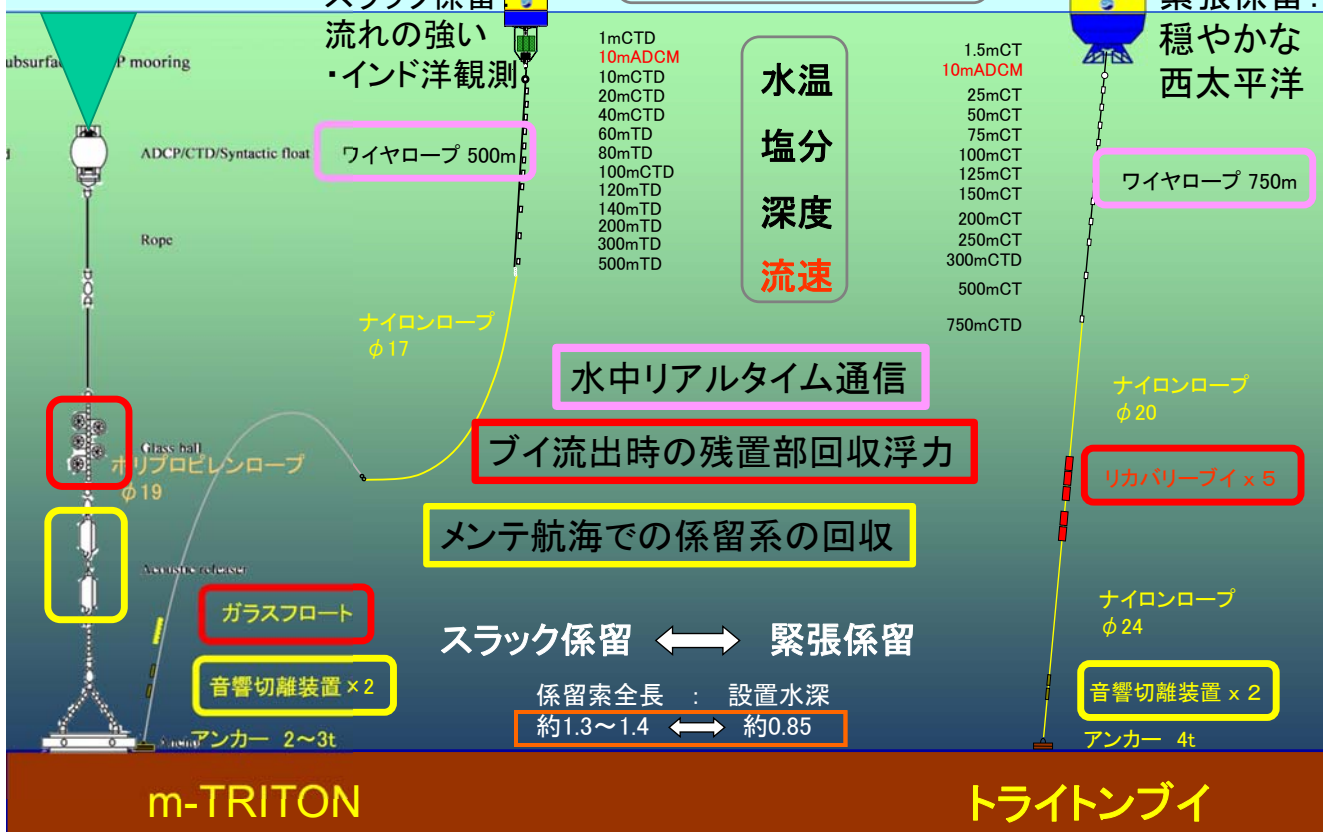
ナイロンロープ
φ20

ナイロンロープ
φ24

音響切離装置 × 2

アンカー 4t

トライトンブイ



・海洋観測特有のやっかいな問題

貧弱な通信環境

→ 4,800bps

→ FDDI 枚/40分

高速回線(静止衛星)は、揺れる小型機器からは×

IoTなんてムリムリ

OneWeb Satellites網に期待

過酷な環境

→ 黒潮 6kt

→ 台風

→ 生物付着

→ そして...

長期連続観測では

高密度なエネルギー源が必要

→ 現状リチウム1次電池

→ 太陽電池は不可！！

腐食

Ti SUS316 タフラム セラミックス...

海中は電波が届かない

→ GPSで位置が分からない(INS+音)

→ データ通信ができない

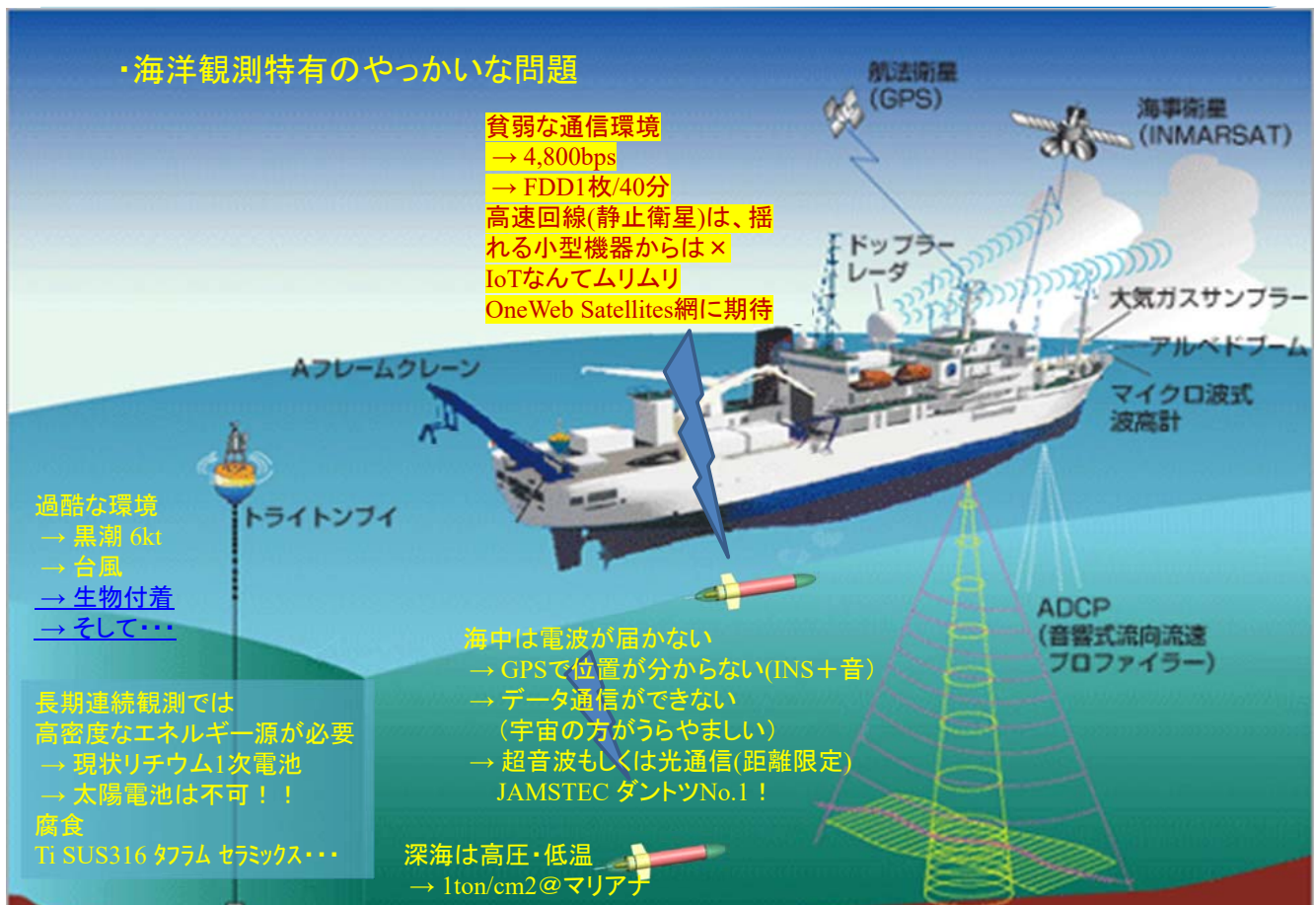
(宇宙の方がうらやましい)

→ 超音波もしくは光通信(距離限定)

JAMSTEC ダントツNo.1 !

深海は高圧・低温

→ 1ton/cm2@マリアナ



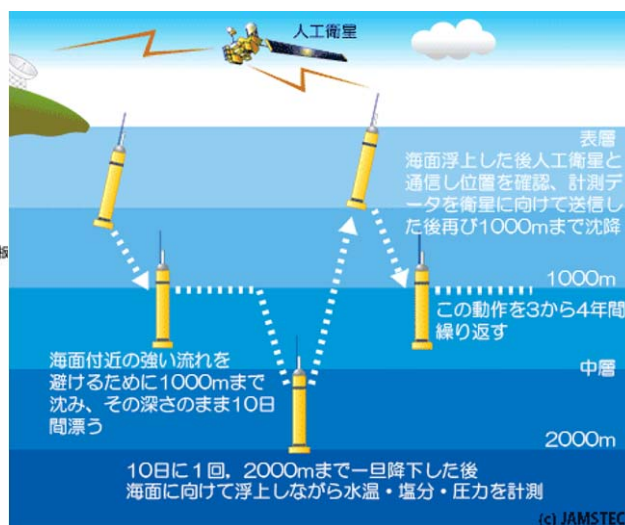
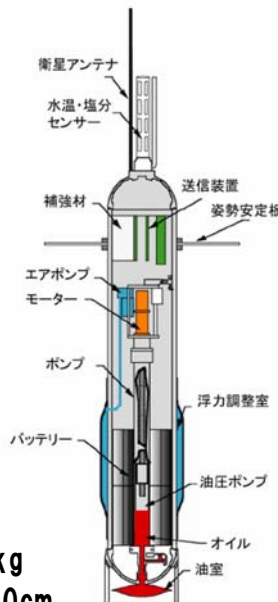
海を漂流して自動計測 アルゴフロート



アルゴ計画での塩分目標精度は0.01‰
水温目標精度は0.005



重量20－40kg
長さ150－250cm



投入後、自動で水温・塩分の観測、浮上後陸上への即時通信までの一連のサイクルを10日毎に4年間行う。

41

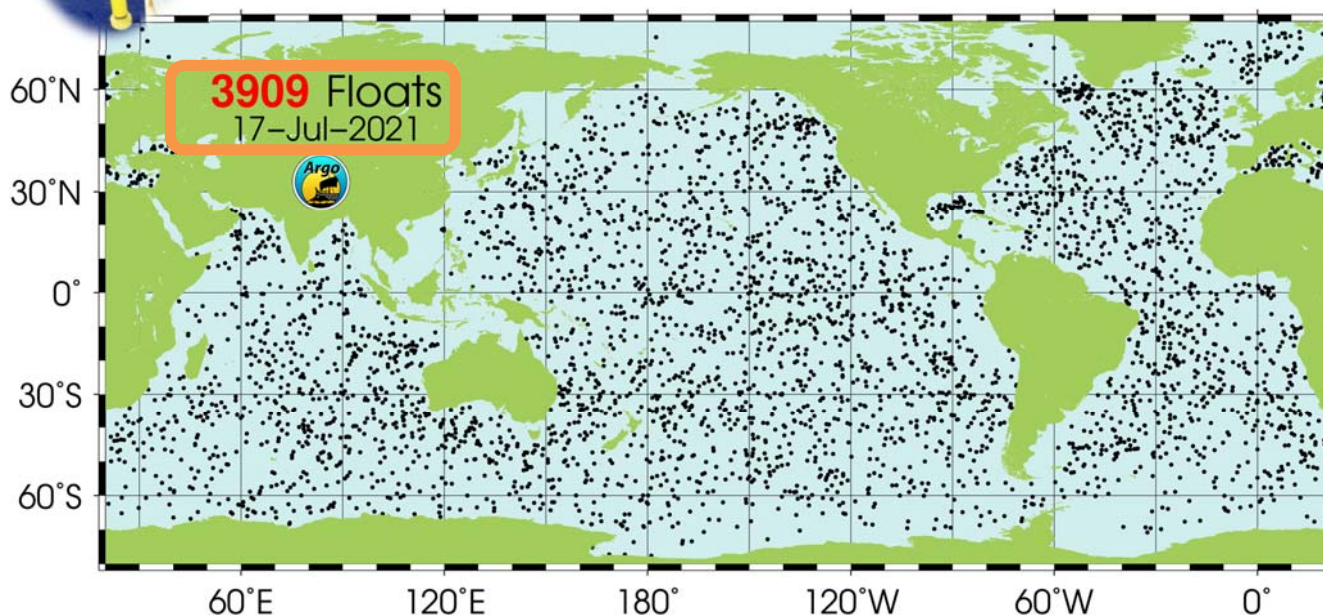
42 漂流ブイ(アルゴフロート)による観測



MarE3

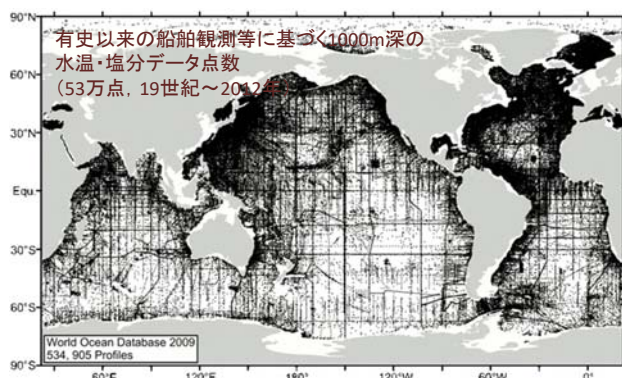
研究プラットフォーム運用開発部門

- 2000年に始まった国際プロジェクト「アルゴ計画」により、海洋全体の変動をリアルタイムに捉えることを目指した。
- 世界中で3000台稼働を目標にした。300km間隔(緯度経度で約3度)で観測可能。
- JAMSTECでは2000年から2021年2月まで1350台のフロート投入を船から行い、およそ16万プロファイルのデータ取得に貢献



42

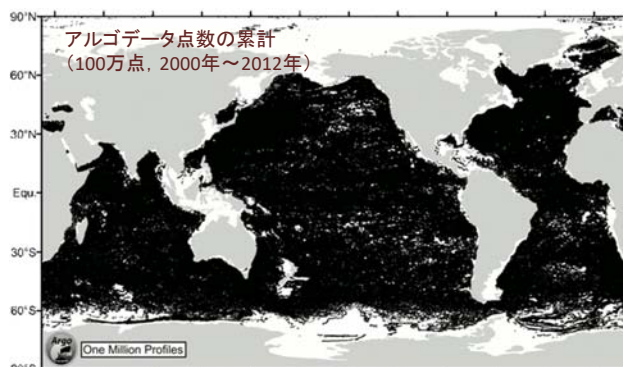
船舶 vs アルゴフロート データ数比較



船舶観測等

19世紀～2012年(約100年)

53万件



アルゴフロート

2000年～2012年(約12年)

100万件

海洋の観測・数値モデルのデータ量が爆発的に増加！
しかし、海中のみ(気象計測は不可)

温室効果ガス削減に貢献する自動観測機器



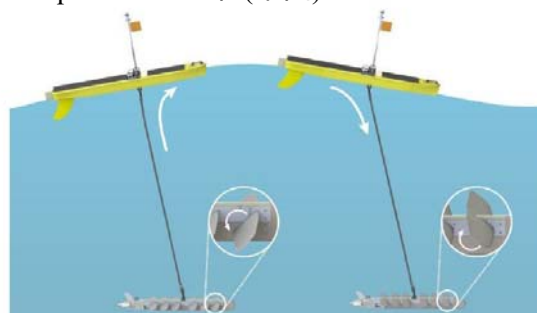
MarE3

研究プラットフォーム運用開発部門



- ・波を利用して航行
- ・衛星で常時監視
- ・小型船で展開可
- ・速度が遅い
- ・ペイロード小

Liquid Robotics社(米国) Wave Glider



Sail drone (米国)

- ・風を利用して航行
- ・衛星で常時監視
- ・小型船で曳航展開可
- ・速度が早い
- ・ペイロード大(多項目)
- ・船舶登録が必要



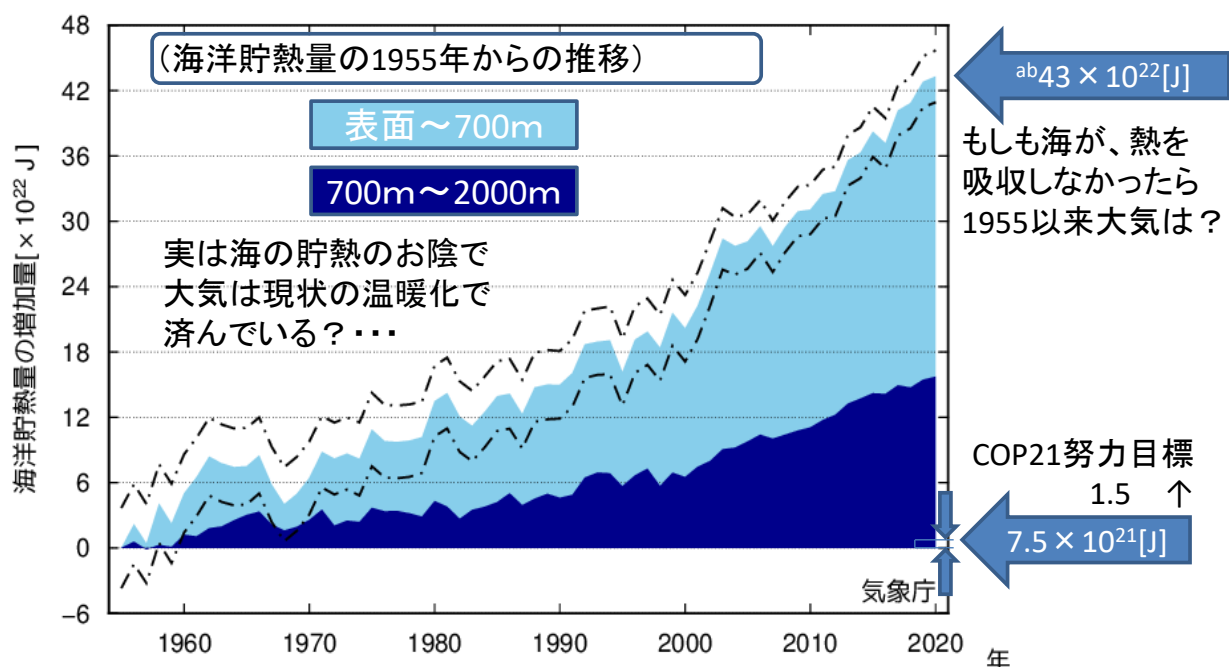
海水面航行時と潜水時のセイル状態

Ocean Aero社(米国) Submaran

こうした自動観測のおかげで 何が分かったのか！？

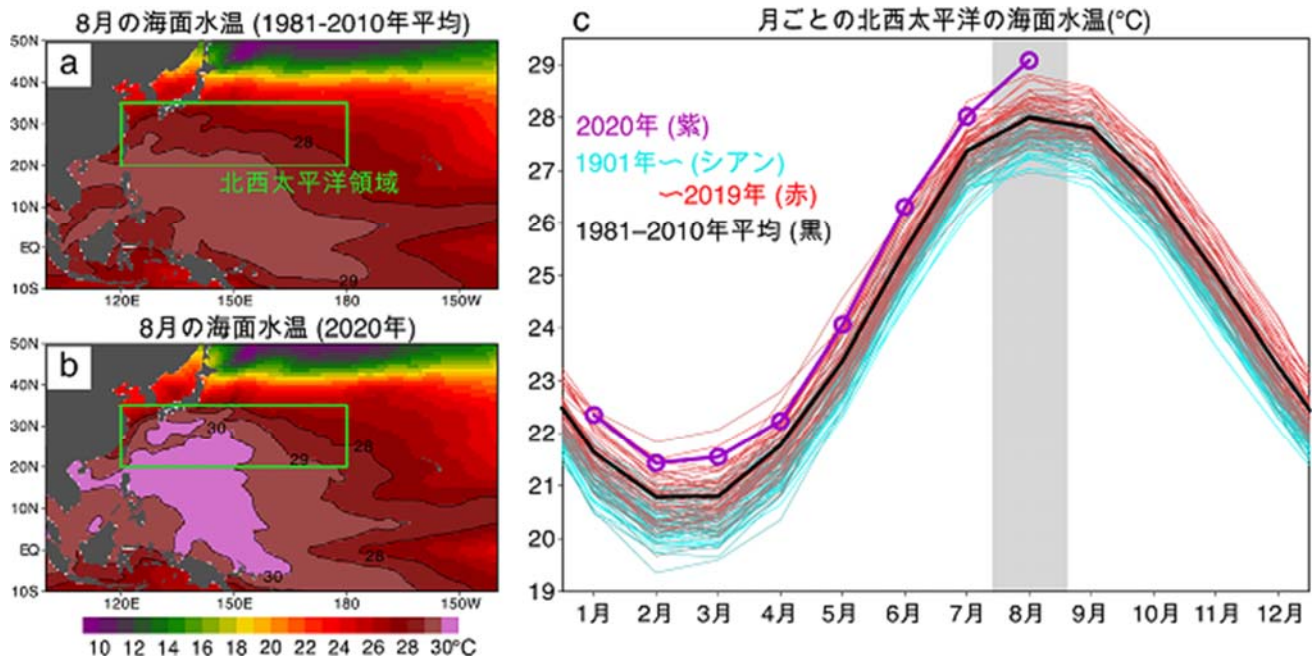
地球表面の7割を占め、その熱容量は大気のおよそ1000倍もある

海全体が温暖化している！！！！



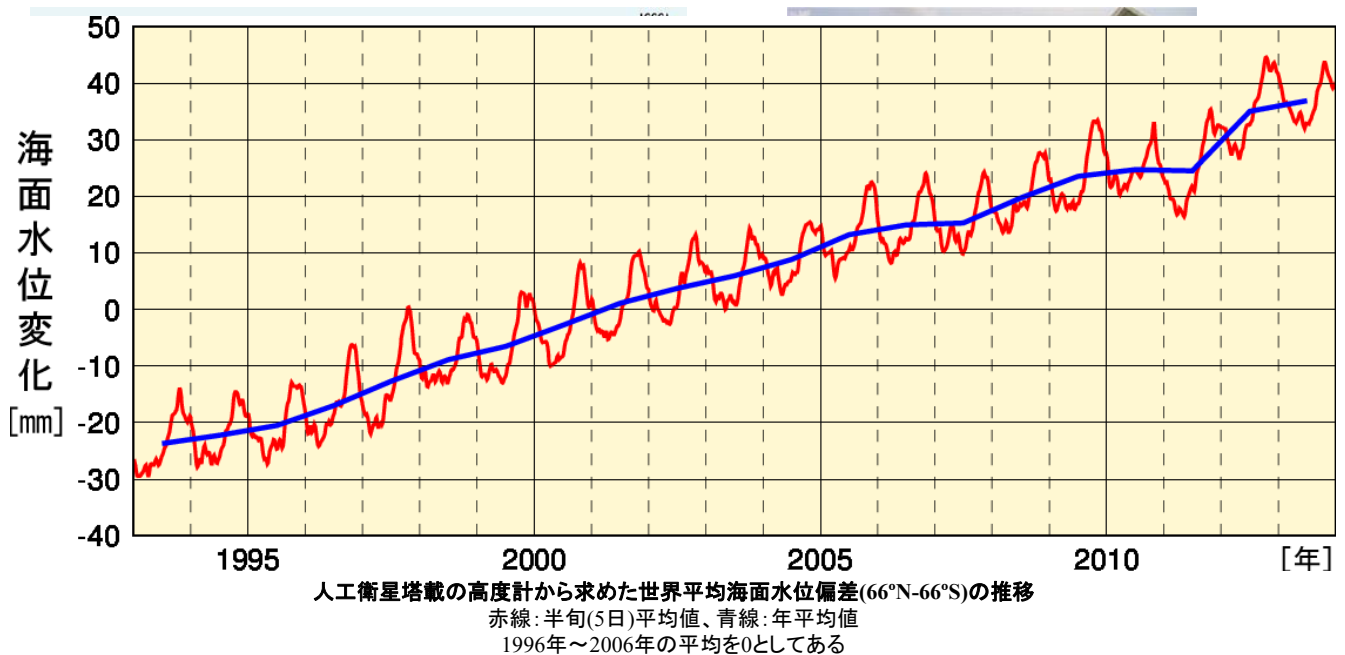
IPCC海洋・雪氷圏特別報告書(2019)において地球温暖化により地球システムに蓄積した熱エネルギーの約90%が海洋に取り込まれていると指摘されるなど、海洋の貯熱量は、地球温暖化の進行を監視する上で重要な指標です。さらにそのうちの約90%が海面から深さ2000mまでに蓄積していると指摘されています (Johnson et al., 2019)。図は海面から深さ2000mまでの貯熱量の1955年からの増加量を示します。海洋貯熱量は1955年以降長期的に増加する傾向にあり、2020年の貯熱量は1955年から約 43×10^{22} J 増加しました。この間、海面から深さ2000mまでの平均水温は約0.15°C上昇しました。

日本周辺では？ 北太平洋の表層水温の変化傾向



過去の人間活動がもたらす日本南方沖の夏季異常高温～2020年8月の記録的北西太平洋高温の要因を分析～
(国立研究開発法人国立環境研究所 2021年01月14日報道発表より)

海の温暖化による身近な問題(1) (海面上昇)



海の温暖化による身近な問題(2)

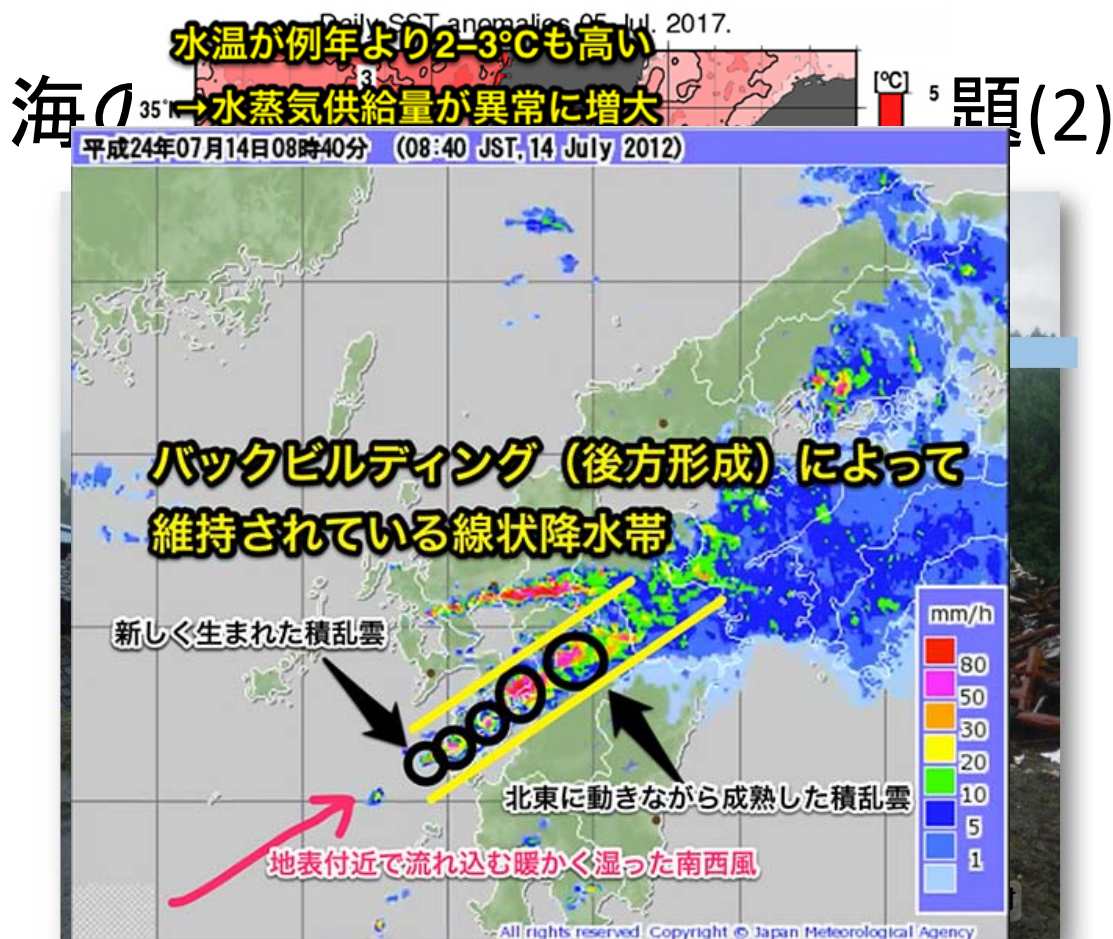


JAMSTECニュース:コラム「頻発する梅雨末期の豪雨は地球温暖化によるものなのか？」(2017年8月より)

特定の豪雨について温暖化との関連付けは(実は)難しい



- 海の温暖化の影響を検証し、確認された豪雨の例
- どのように確認したか？
- ①: 実際に観測された気象条件と海洋条件を全て使ってコンピューター上で再現シミュレーションを実施(再現できれば②へ)
- ②: 気象条件は同じままで、海面水温を低くした条件と高くした条件で、結果を比較し、海面水温による降雨の増減関係を確認(確認できれば③へ)
- ③: 海面水温を温暖化の結果として予測されるいくつかの推定値に置き換え、気象条件は同じままでシミュレーションしてみて、実際の総雨量値と比較



JAMSTECニュース:コラム「頻発する梅雨末期の豪雨は地球温暖化によるものなのか?」(2017年8月より)

特定の豪雨について温暖化 との関連付けは(実は)難しい

- 海の温暖化の影響を検証し、確認された豪雨の例
- どのように確認したか？
- ①:実際に観測された気象条件と海洋条件を全て使ってコンピューター上で再現シミュレーションを実施（再現できれば②へ）
- ②:気象条件は同じままで、海面水温を低くした条件と高くした条件で、結果を比較し、海面水温による降雨の増減関係を確認（確認できれば③へ）
- ③:海面水温を温暖化の結果として予測されるいくつかの推定値に置き換え、気象条件は同じままでシミュレーションしてみて、実際の総雨量値と比較



- 平成24年九州北部豪雨の場合は、「気温の温暖化」ではなく、「海面水温の温暖化」と関係していることが検証された例。
→ どの豪雨についても同じことが言えるとは限りません。

A photograph of a clear blue sky with a bright sun in the upper left. Below the sky is a calm blue ocean. A yellow buoy with a white top is visible on the right side of the horizon.

少なくとも、海が温暖化しているのは
間違いなさそう。

それにより、身近な問題も生じてきている。

次に紹介するのは、大気も含めた
全球シミュレーション結果です。

シミュレーションによる温暖化予測



- 温室効果ガスの排出シナリオによりシミュレーション結果が異なる

＜紹介例＞

- 世界がカーボンニュートラルを実現しなかった場合の
1950～2100年のシミュレーション結果
- …その前に準備体操

55

気候変動の要因



- 「海」の状態の変化、ゆらぎ
- 太陽活動
- 火山
- そして…

56

宇宙船地球号

宇宙の温度は？ → マイナス270 (3 K)

太陽が暖めても... → 地球はどんどん冷やされる(計算上の平均気温は-19)

地球の防寒着 → 空気(大気) → 二酸化炭素や水蒸気(温室効果ガス)

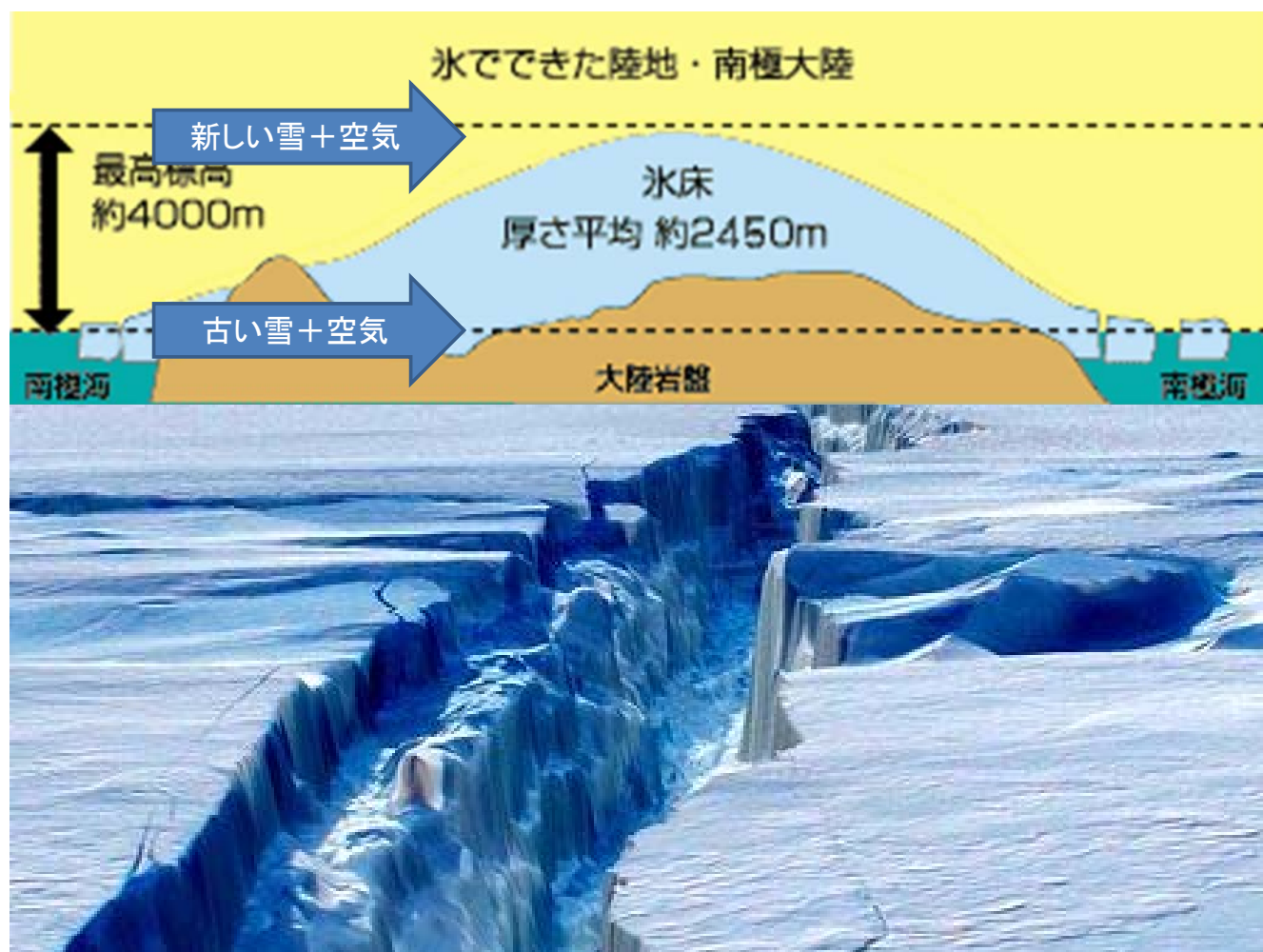


氷とかき氷のちがいは？

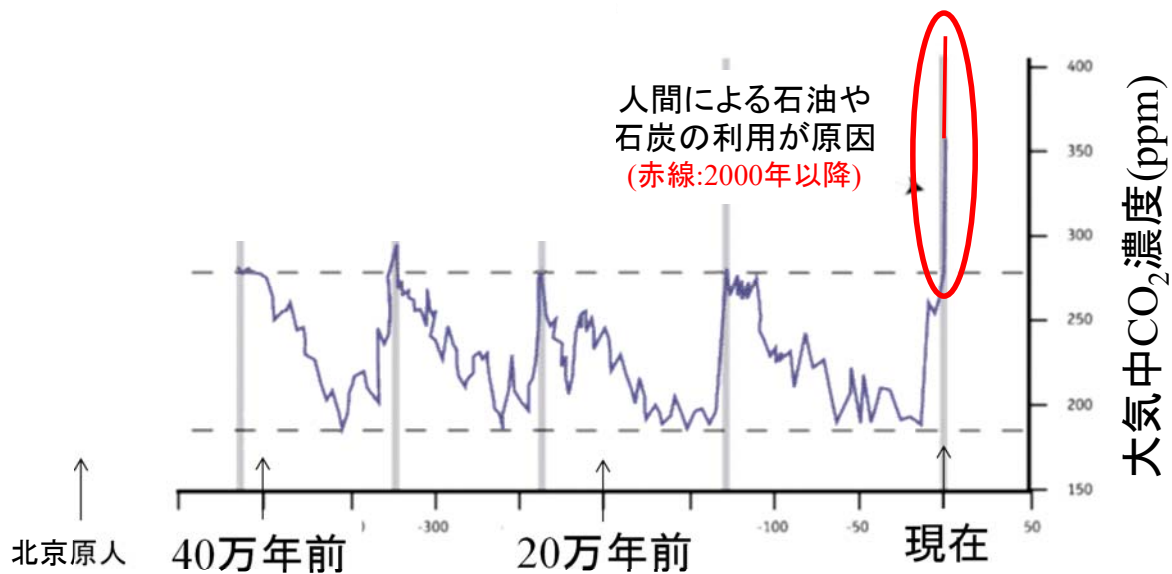


押さえて縮むのは??

特大冷凍庫でかき氷を作り続けると・・・



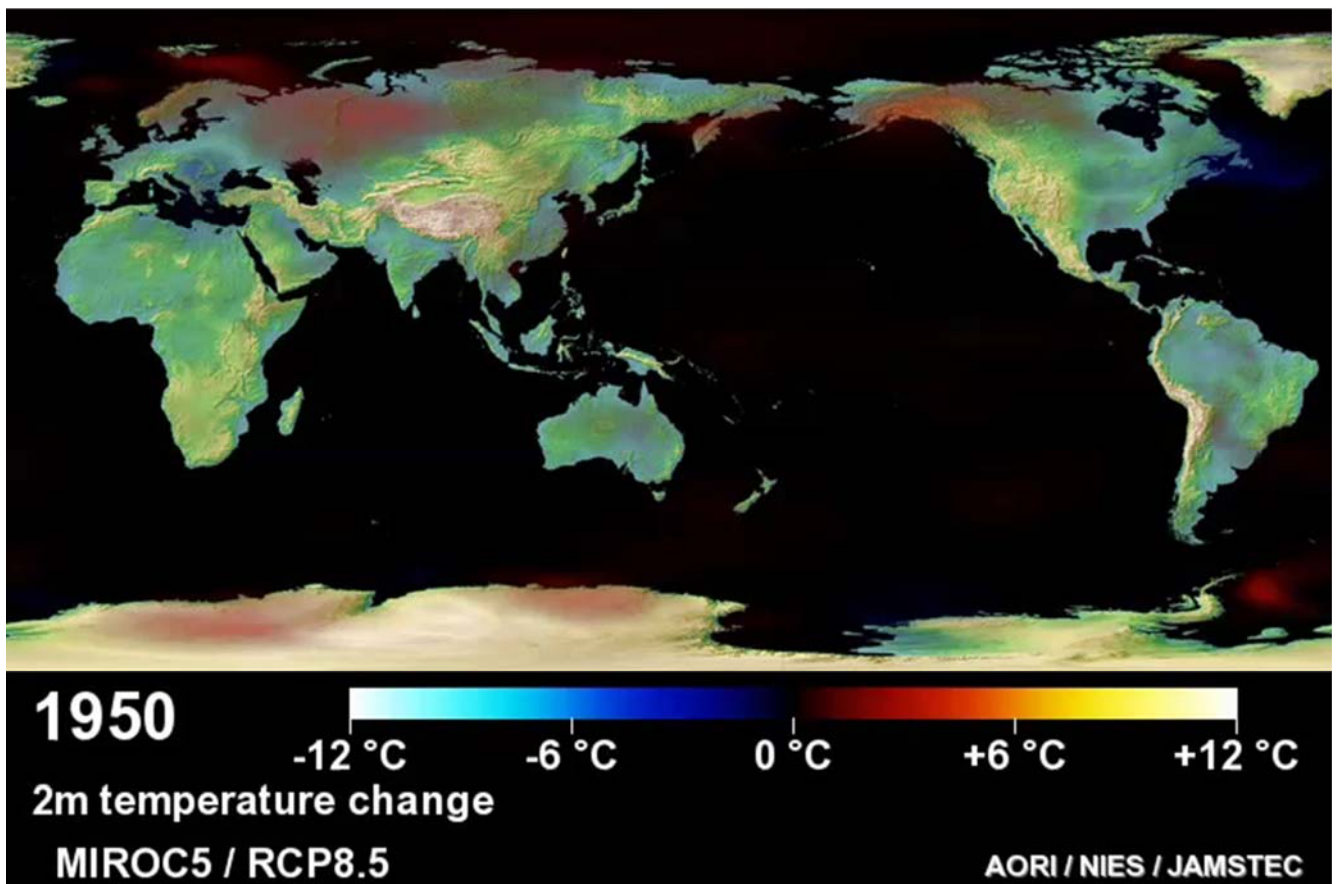
過去42万年の空気中のCO₂濃度と近年の急上昇！



過去42万年に例のなかったCO₂濃度に！

環境省資料(原典 IPCC/AR4)による

スパコンが予測する温暖化のミライ



- カーボンニュートラルを実現しない場合
- 2100年までに地球全体で温暖化が進む
- 特に北極が温暖化する
→ 白い氷が溶けて海が光を吸収するから

でもいま見たのは計算・・・

では、実際の北極は？

63

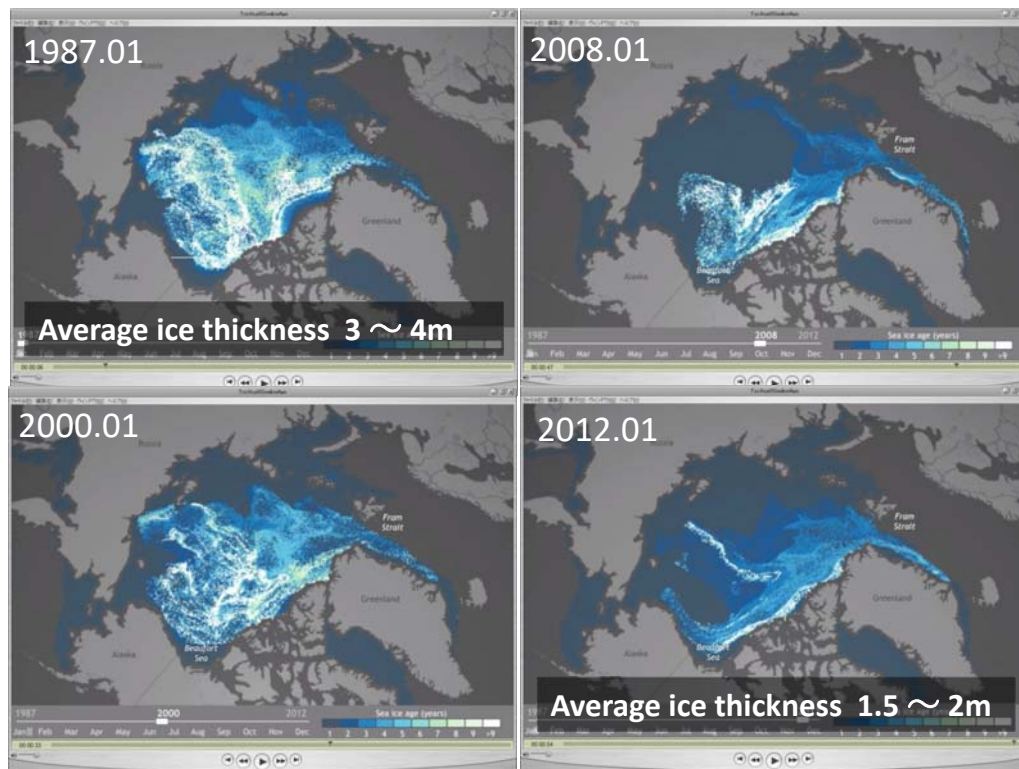
北極は本当に温暖化しているの？
1990～2016の海氷の推移 (回/週)



Animation by NOAA Climate.gov, based on data provided by Mark Tschudi, CCAR/University of Colorado.

地球温暖化と北極の変化

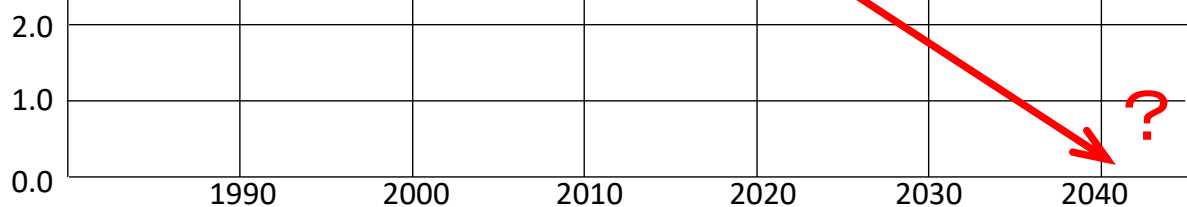
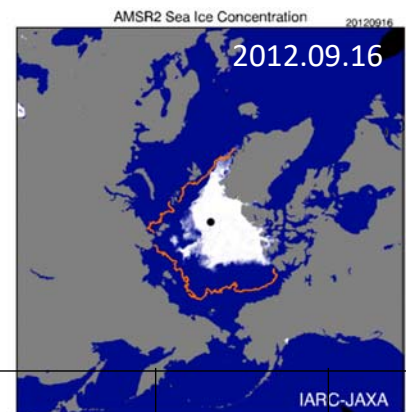
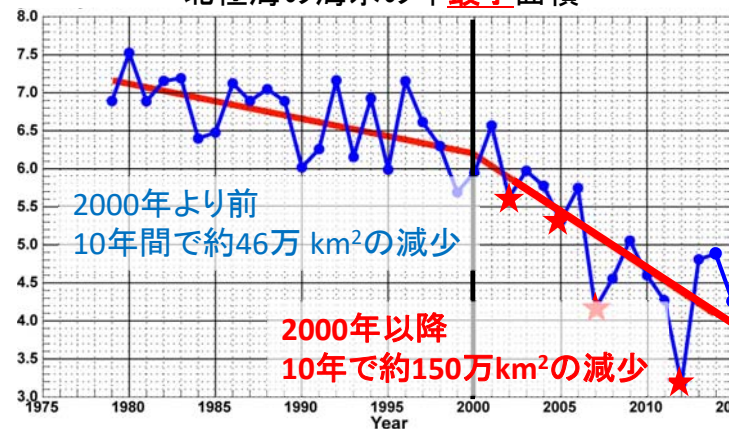
北極の海水の急速な減少



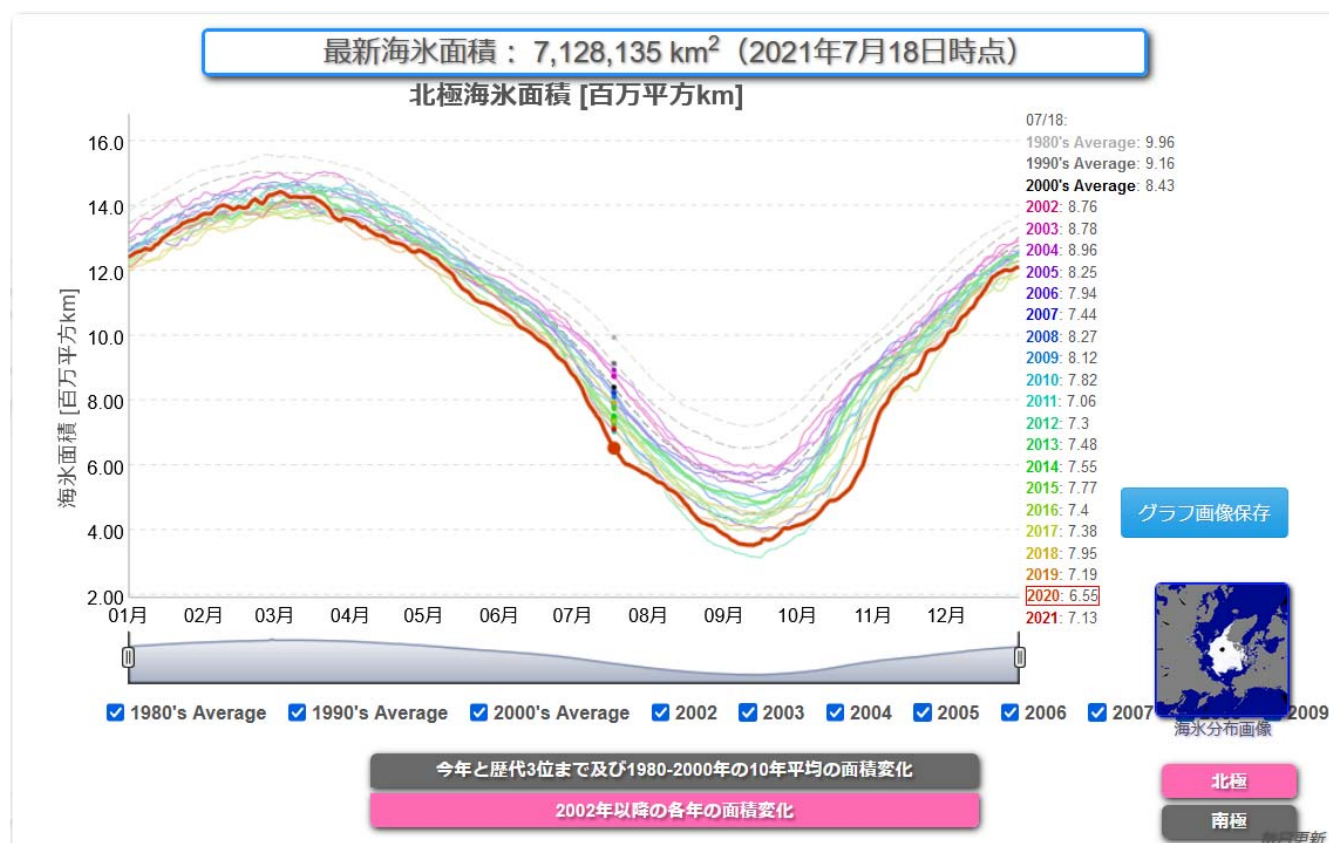
実際の夏場の最小海水面積推移

Q: 北極の夏の氷のゆくえは？

百万km² 北極海の海水の年**最小**面積



現在の北極の海氷は？



北極域研究船の建造

北極域研究の国際 的プラットフォーム

例) 我が国のリードによる北極
海広域観測計画の立案実行

北極海航路の利活 用に係る環境整備

例) 「氷海航行支援シス
テム」の構築と汎用化

国際枠組みやルール 形成への関与

例) 中央北極海漁業
規制協定に係る科学的
調査への参画

さらなる基盤として

氷海船舶建造技術
研究者・技術者・船員教育
市民参加型航海
極域のコンテンツ化



- ◆ 北極海において通年活動可能な能力を獲得することにより、
- ◆ 我が国の強みである研究能力の強化・拡大はもとより、
- ◆ 「国際協力」(協議や交渉含む) における我が国の存在感の向上や優位性の確保に貢献

第3期海洋基本計画における北極政策の推進に広く貢献
我が国全体で活用できる運用・マネジメント体制を構築

海を測れば地球が分かる？



- 海と大気のおおまかな関係を踏まえ
- 気候変動観測について概要紹介
- 観測結果から、海が温暖化していることを紹介
- 温暖化のシミュレーションでは、北極で温暖化が進むことを示唆しており、北極海の海氷は実際に減少していることを紹介

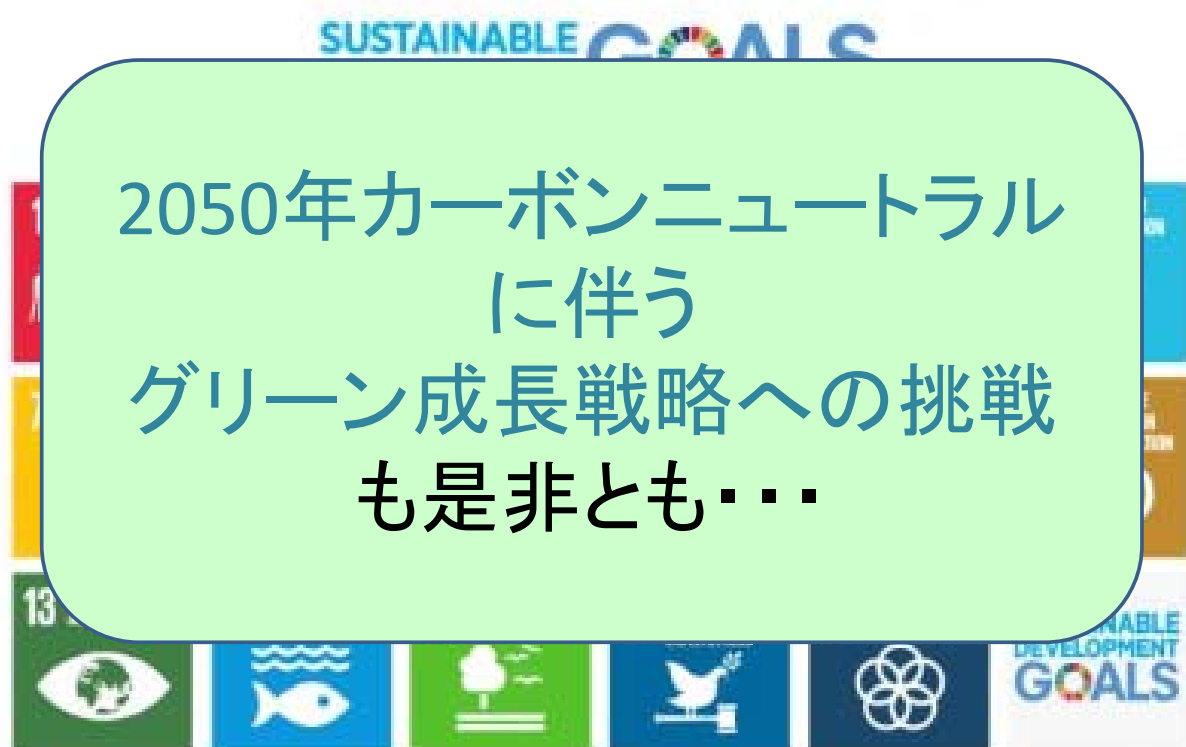
＜紹介できなかった内容＞

- 海洋酸性化
- 海水温の変化と台風の関係
- マイクロプラスチックほか

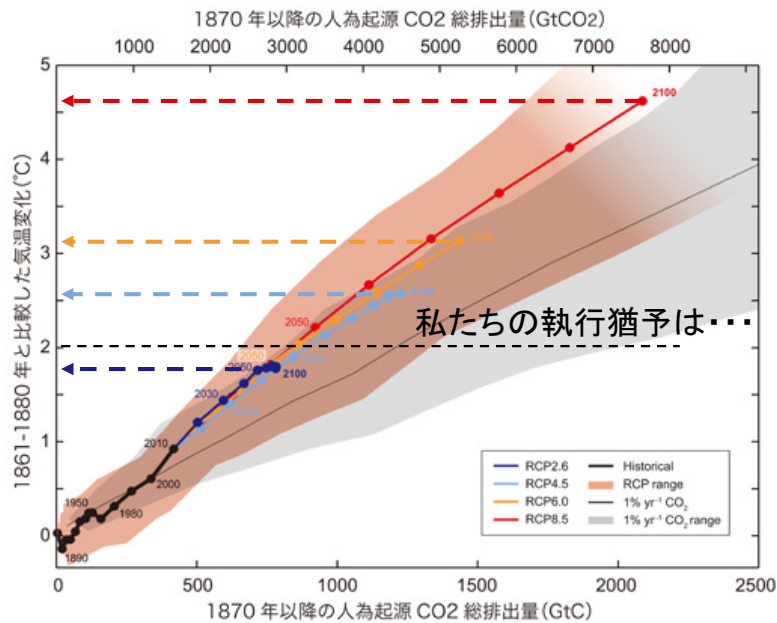
いま取り組むべきは・・・



いま取り組むべきは・・・



様々な種類の証拠から得られた
世界のCO₂排出累積総量の関数としての世界の平均気温上昇量

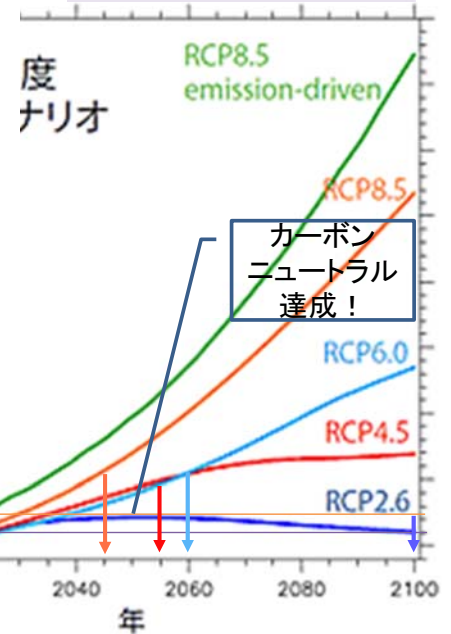


出典) IPCC第5次評価報告書 WGI Figure SPM.10

IPCC第5次評価報告書における
RCPシナリオとは

RCP-Representative Concentration Pathways (代表濃度経路シナリオ)

シナリオ (ラベル) のタイプ	シナリオ (ラベル) のタイプ
RCP 2.6	低炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が2.6 ppmvに達するシナリオ) 将来の気温上昇を2°C以下に抑えるという目標のもとに 開発される排出量の最も低いシナリオ
RCP 4.5	中炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が4.5 ppmvに達するシナリオ)
RCP 6.0	高炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が6.0 ppmvに達するシナリオ)
RCP 8.5	高炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が8.5 ppmvに達するシナリオ) 2100年における高炭素エネルギー排出量の 最大排出量に相当するシナリオ



様々な種類の証拠から得られた
世界のCO₂排出累積総量の関数としての世界の平均気温上昇量
世界の人口予測(億人)

地区	2019年	2030年	2050年	2100年
アフリカ	13	17	25	43
アジア	46	50	53	47
欧州・北米	11	11	11	11
その他	7	7	8	8
全体	77	85	97	109

2019年6月 国連 経済社会局(ARC WATCHING 2019年8月より)

わたしたちだけがカーボンニュートラルを
実現しても意味が無い。

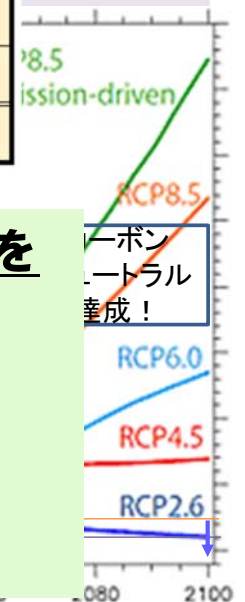
世界で足並みを揃えて実現しなくては！

皆さまがSDGs活動で培った技術の
水平展開が重要！！

IPCC第5次評価報告書における
RCPシナリオとは

RCP-Representative Concentration Pathways (代表濃度経路シナリオ)

シナリオ (ラベル) のタイプ	シナリオ (ラベル) のタイプ
安定化シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が2.6 ppmvに達するシナリオ) 将来の気温上昇を2°C以下に抑えるという目標のもとに 開発される排出量の最も低いシナリオ	安定化シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が2.6 ppmvに達するシナリオ)
安定化シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が4.5 ppmvに達するシナリオ)	安定化シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が4.5 ppmvに達するシナリオ)
高炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が6.0 ppmvに達するシナリオ)	高炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が6.0 ppmvに達するシナリオ)
高炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が8.5 ppmvに達するシナリオ) 2100年における高炭素エネルギー排出量の 最大排出量に相当するシナリオ	高炭素シナリオ (2100年のCO ₂ 濃度が8.5 ppmvに達するシナリオ)





2100
-12 °C -6 °C 0 °C +6 °C +12 °C
2m temperature change
MIROC5 / RCP2.6
AORI / NIES / JAMSTEC

With
Mitigation Measures



2100
-12 °C -6 °C 0 °C +6 °C +12 °C
2m temperature change
MIROC5 / RCP8.5
AORI / NIES / JAMSTEC

Without
Mitigation Measures

SDGsを考える上で

おすすめの研究PJやサイトなど



- 統合的気候モデル高度化研究プログラム
<https://www.jamstec.go.jp/tougou/index.html>
- 北極・南極海氷の様子: VISHOP
<https://ads.nipr.ac.jp/vishop.ver1/ja/vishop-extent.html>