

黒潮^{研究者}から見た地球温暖化現象

地球フロンティア研究システム 気候変動予測研究領域

宮澤 泰正

黒潮の変動予測について研究しています。

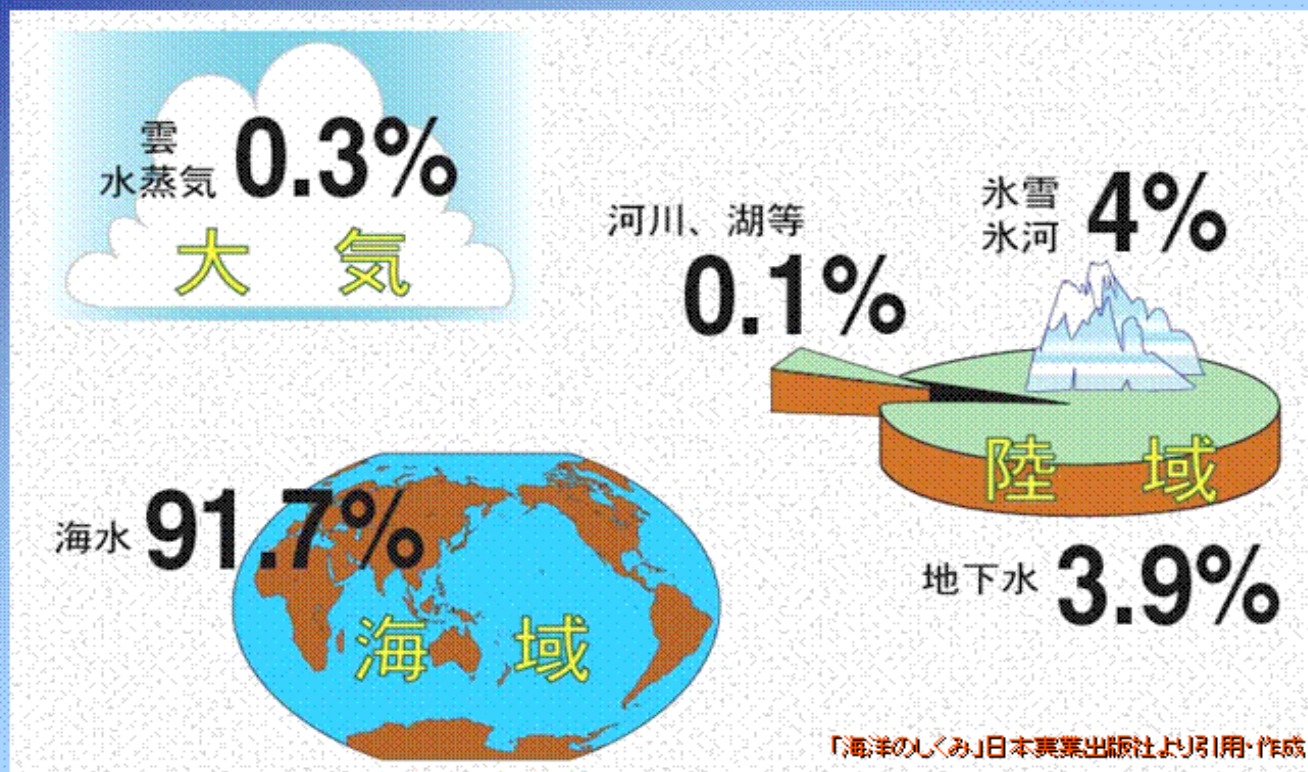
温暖化についてはまったく素人ですが、
温暖化研究と自分の研究の紹介を通して、
気候とその予測について考えてみたいと
思います。

本資料 <http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/miyazawa/030614.ppt>

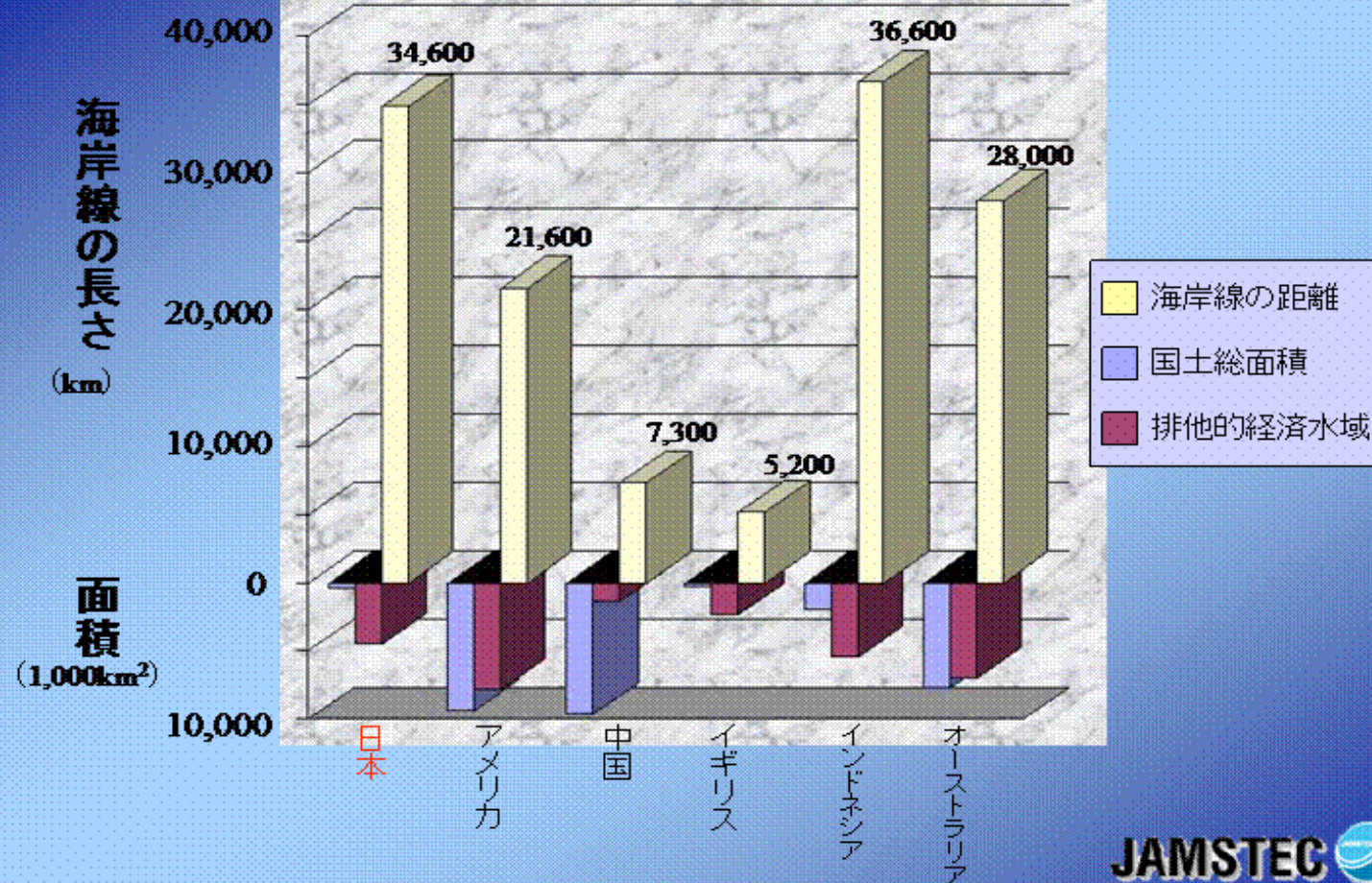
お話をさせて頂く内容

1. 海洋科学術センター・地球フロンティア
研究システムについて
2. 地球温暖化は本当に起こっているのか？
3. 黒潮変動予測研究の紹介

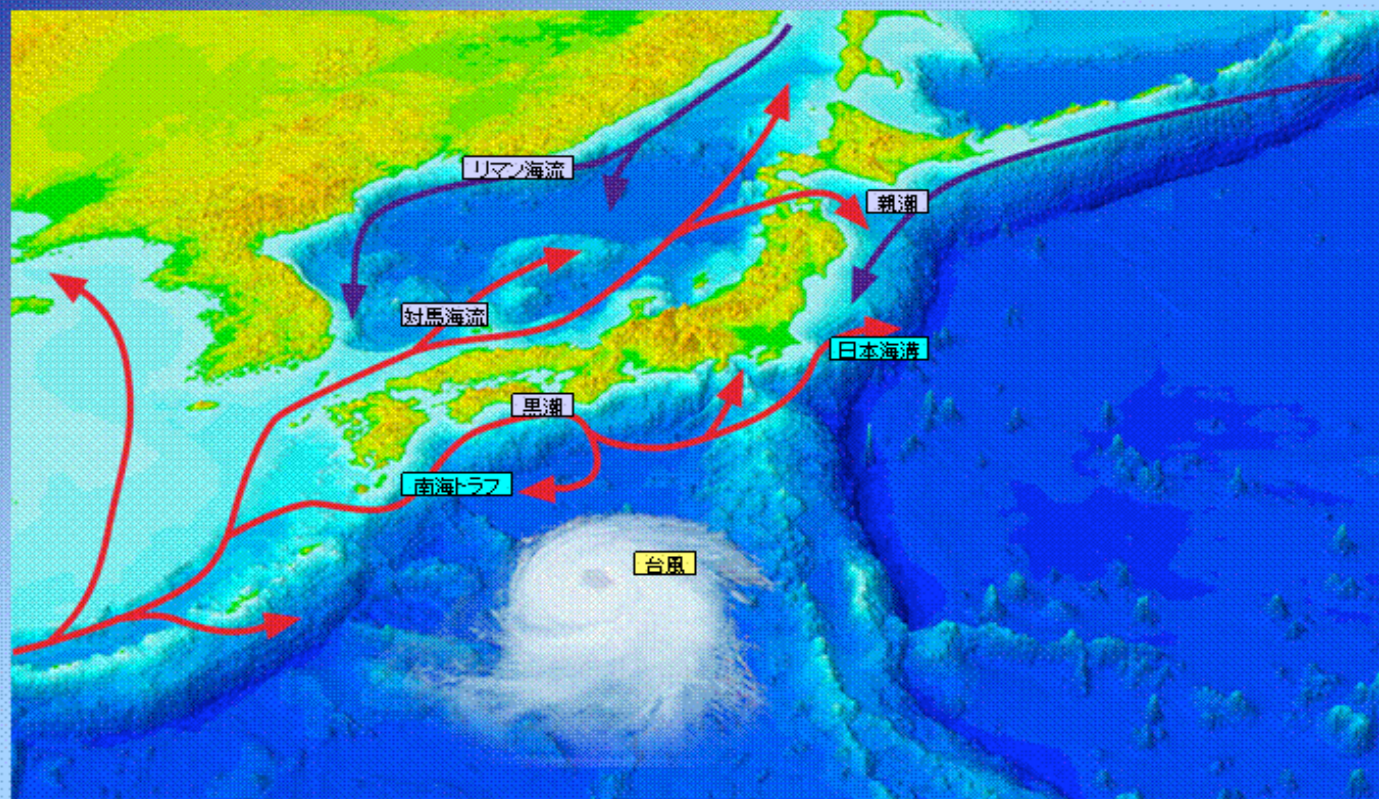
地球上にある水の存在比率



各国との比較



海洋学・気象学・地球科学



海洋科学技術センターの活動と役割

日本での海洋科学技術の総合的な試験研究を行う機関として
1971年に設立

3つの目標

- ・未踏領域への挑戦を通じ、人類の知的資産の増大に貢献し、国民に夢を
- ・地球規模問題の解決と国民への還元
- ・中核的研究拠点を構築し、海洋科学技術の牽引力となるとともに、人材育成に貢献

5つの領域

- (1) 海洋底ダイナミックスと地震発生プロセス
- (2) 海洋と気候の変動
- (3) 生態系及び環境の理解
- (4) 全球的な地球システムの理解
- (5) 新たな海洋技術開発基盤の確立

海と地球の探究を通して人類の夢と課題に挑戦するために

陸域における観測

- ・水循環観測
- ・熱循環観測

沿岸・浅海域研究

- ・サンゴ礁観測研究
- ・海洋深層水
- ・カキ・アワビの養殖

海洋・大気の大気変動現象観測

- 観測：エルニーニョ現象、ラニーニャ現象
- ダイオールモード現象、海洋物質循環
- 観測技術：トライトンブイ、水圏観測用小型津波ブイ
- 海洋音響トモグラフィ

本部（横浜質市） ちつ研究所（青森県むつ市）

気候変動のモデル化とシミュレーション

- ・海洋・大気の大気相互作用のモデル化
- ・地球シミュレーターによるコンピュータシミュレーション

国際太平洋研究センター（ハワイ） 国際気候観測センター（アラスカ）

技術開発、情報サービス、教育、研修

技術開発

- ・深海作業技術：飽和潜水（He-O₂、N₂-O₂）
- ・観測技術：画像・デジタルデータの伝送、海洋音響トモグラフィ
- ・映像技術：深海用超高度ハイビジョンカメラ
- ・海中動力源：深海用リチウム電池・燃料電池
- ・深海探査機：「うらしま」

情報サービス

- ・海底地形図データベース
- ・深海画像情報データベース
- ・海洋観測データベース
- ・出版、インターネット

教育、研修

- ・全国の夏期講習、海洋士の潜水研修
- ・青少年のための海洋科学研修

深海研究

深海微生物の研究

- ・分離・培養と機能解析
- ・ゲノム解析

深海生物の研究

- ・生態系観測研究
- ・化学合成生物の研究

固体地球科学研究

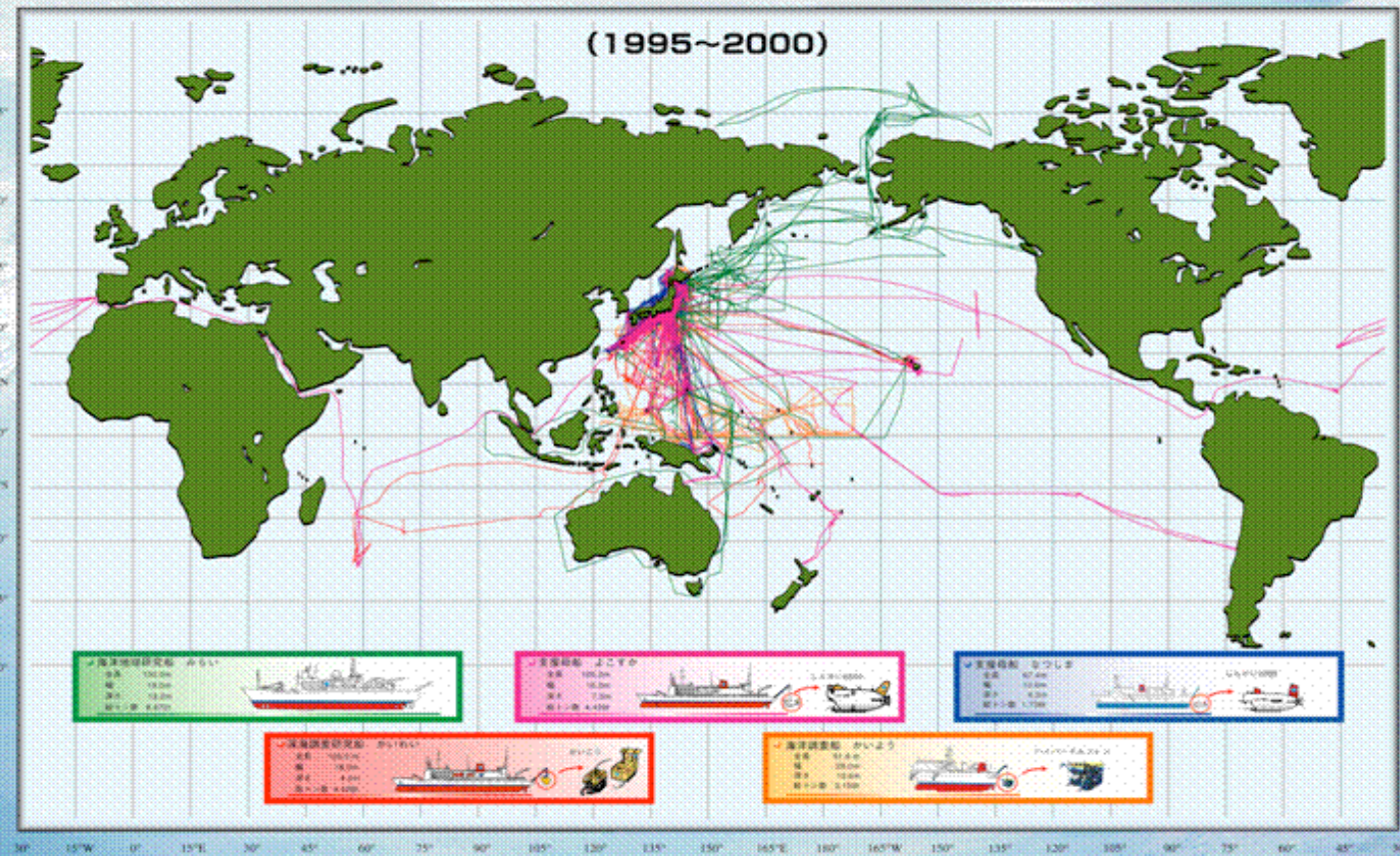
- ・熱水・冷水噴出の研究
- ・海溝部・海底火山の研究
- ・プレートテクトニクスと地震の研究

深海探査

- 国際統合深海探査計画
- ・地球内部物質のサンプルの取り出し
- ・地球環境変化の研究
- ・地下生物圏と生命の起源の研究
- ・探査孔による地殻の長期連続観測
- ・地震の機構解明

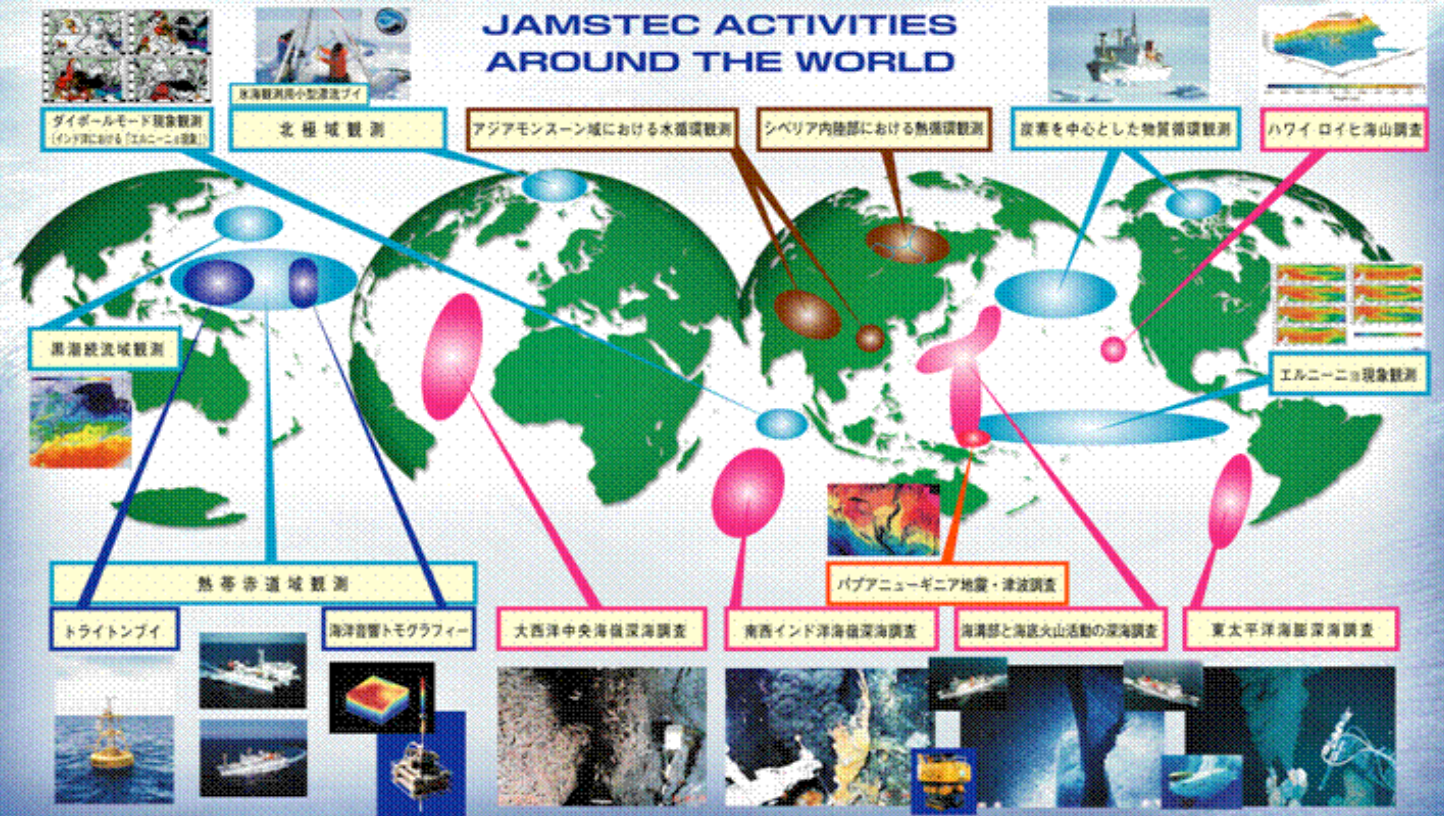
海洋科学技術センター研究船航跡

(1995~2000)

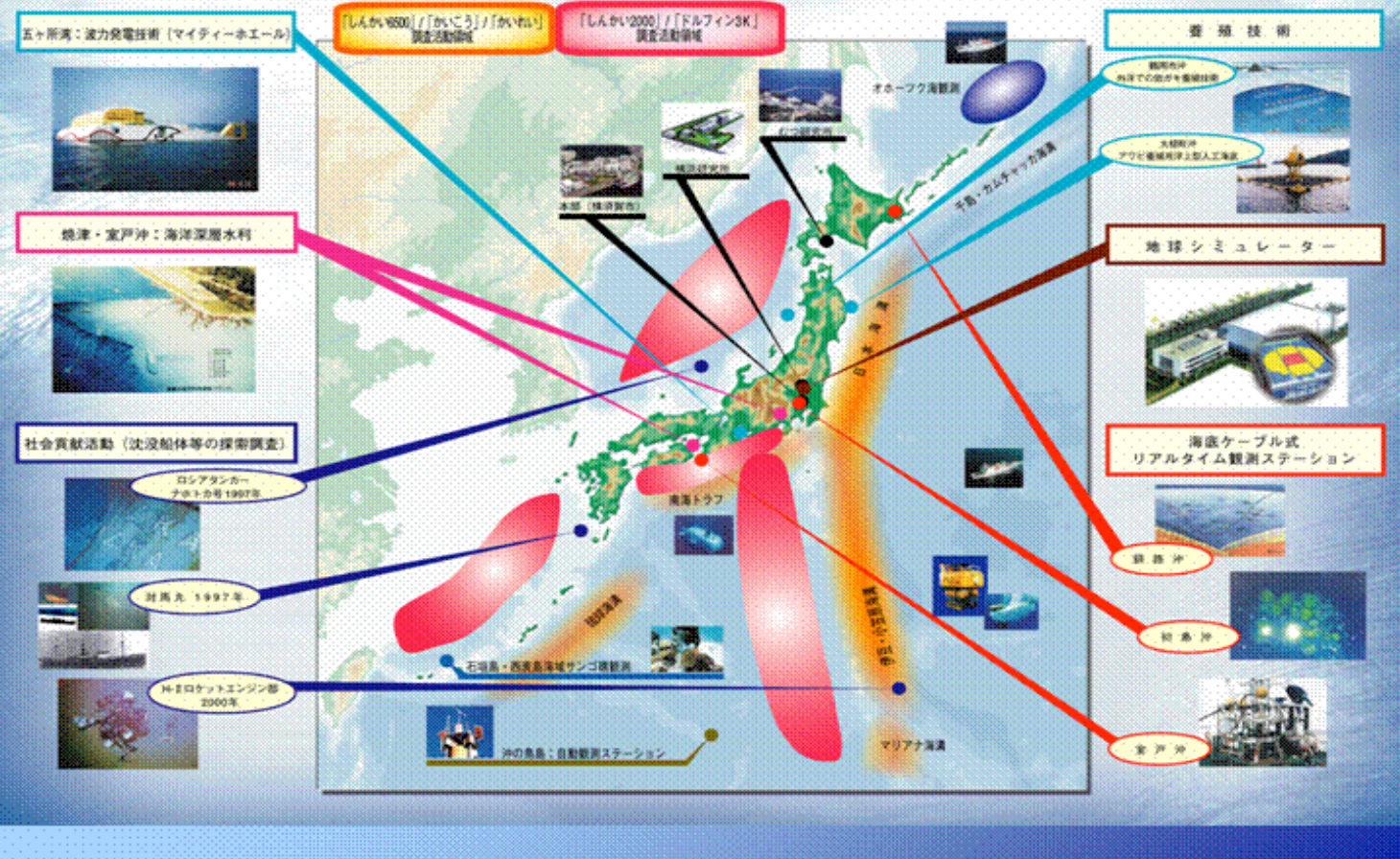


世界における海洋科学技術センターの活動

JAMSTEC ACTIVITIES AROUND THE WORLD



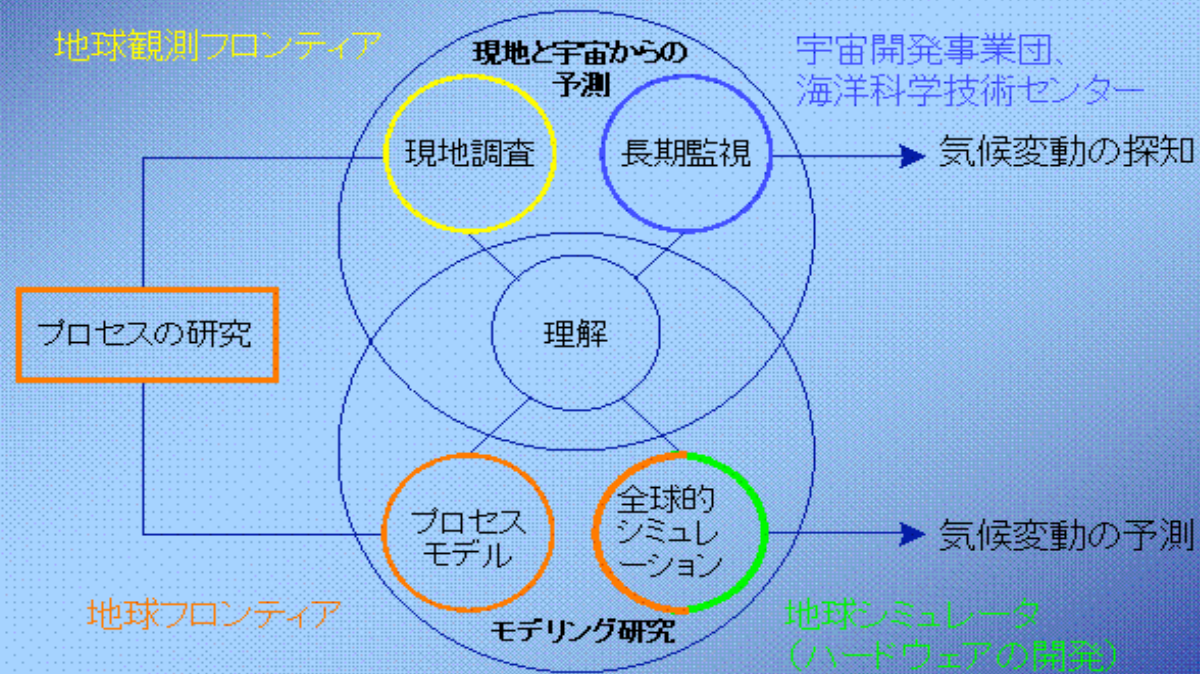
日本周辺における海洋科学技術センターの活動



地球フロンティア研究システム

- ・宇宙開発事業団と海洋科学技術センターの 共同研究
- ・目的：地球変動のプロセス研究と地球シミュレータの為に
モデルを開発し、高精度な地球変動予測に資すること
- ・平成9年10月発足
- ・6研究領域体制
 - 気候変動 水循環
 - 地球温暖化 大気組成変動
 - 生態系変動 モデル統合化
- ・研究拠点
 - 地球変動研究所(IGOR, 横浜)
 - 国際太平洋研究センター(IPRC, ハワイ)
 - 国際北極圏研究センター(IARC, アラスカ)

地球変動の理解と予測(シミュレーション)を目指す研究戦略



出典：観測とモデリングにおける協力関係(IPCC,1990)より抜粋

IARC(国際北極圏研究センター)

Alaska

- ・ 海洋・海氷・大気結合システムグループ
- ・ 複合分野グループ



IPRC(国際太平洋研究センター)

Hawaii

- ・ インド洋・太平洋気候の研究
- ・ 地域海洋の影響に関する研究
- ・ 地域環境変動の影響に関する研究
- ・ アジア・オーストラリアモンスーンシステムの研究



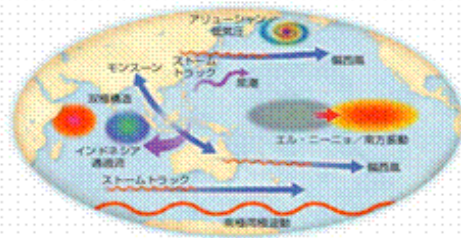
JAMSTEC



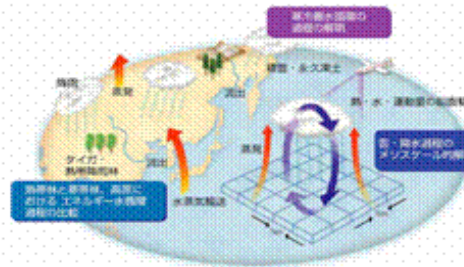
Japan Marine Science & Technology Center

地球フロンティア研究システム

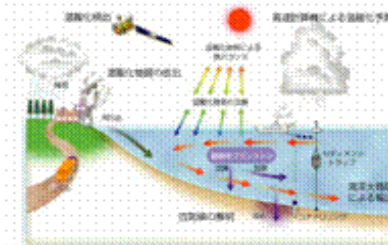
気候変動予測
研究領域



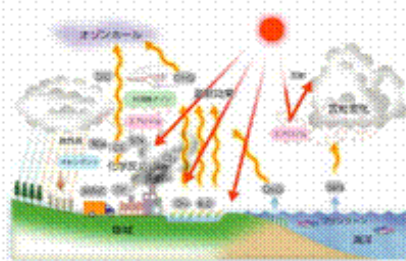
水循環予測
研究領域



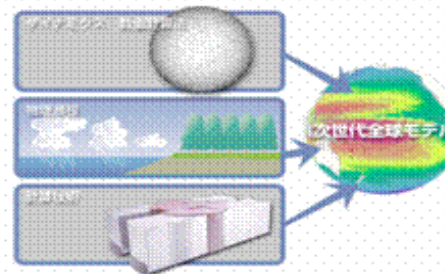
地球温暖化予測
研究領域



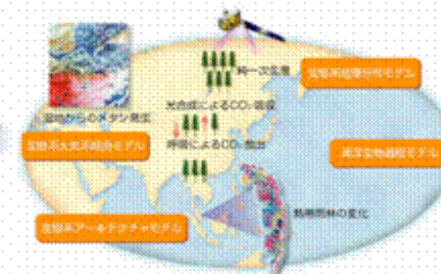
大気組成変動
予測研究領域



モデル統合化領域



生態系変動予測
研究領域



地球温暖化論に対する疑問

1地球は本当に温暖化しているのか？

の都市化による局所的な現象ではないのか？

1温暖化は人間が引き起こしているのか？

の自然の気候変動ではないのか？ 1970年代には「氷河期の到来か」と騒がれたではないか。

1気候モデルによって気候を予測することは可能なのか？

の天気予報にも限界があるのに100年後の平均気温の予測なんてできるのか？

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)

1992年: IPCC第1次報告:

1996年: IPCC第2次報告: 「人間活動の影響による地球温暖化
が起こりつつある」

京都議定書: 各国は2008-2012年までに温室効果気体の排出
量を6-8%削減する。

激しい論争、アメリカ離脱

2001年: IPCC第3次報告: 「近年得られた、より強力な証拠によると、
最近50年間に観測された温暖化の
ほとんどは人間活動によるものである」

マラケシュ合意: 京都議定書の発効へ

IPCC第3次報告書を読む

IPCCウェブサイト <http://www.ipcc.ch/>

報告書がダウンロードできる

過去1000年にわたる観測データの収集

海洋

珊瑚化石

氷床コア

年輪

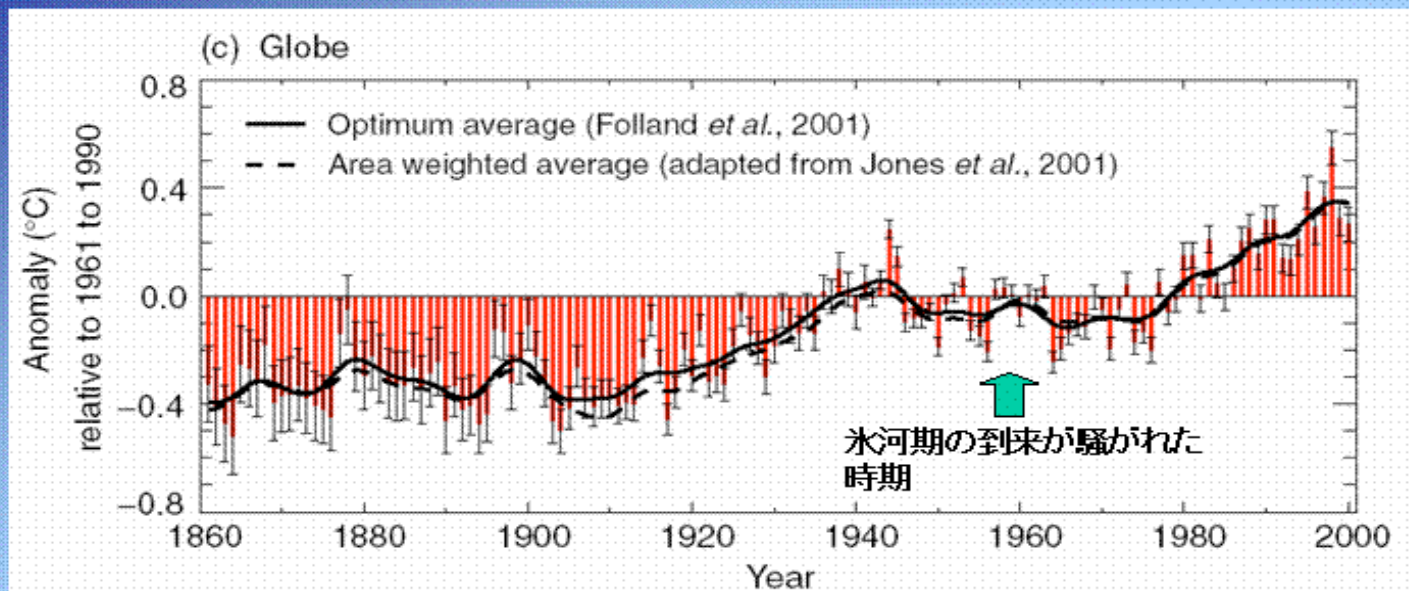
気候モデルの改良

大気・海洋・氷床結合モデル

特徴の異なるたくさんのモデルを使う

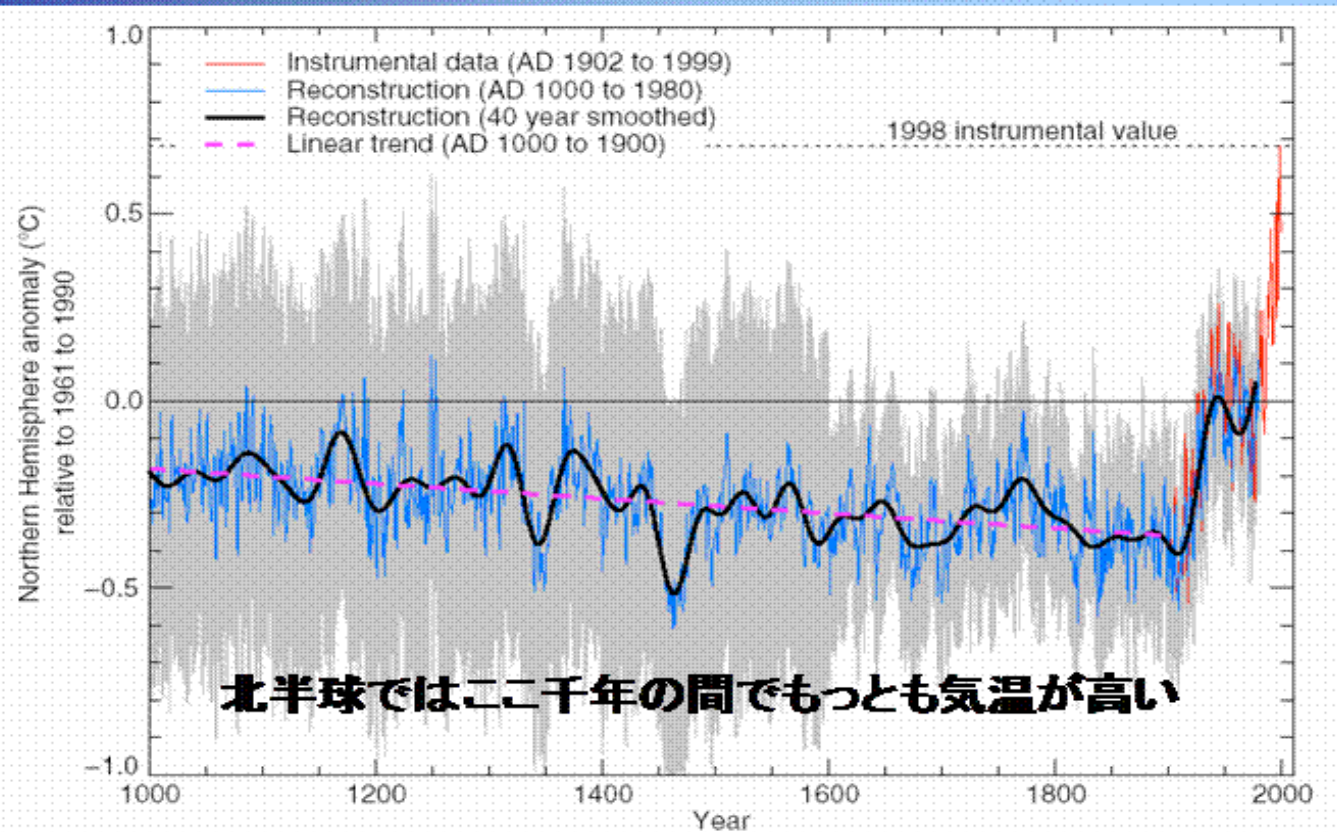
自然の気候変動が再現できるモデル

本当に地球は温暖化しているのか？



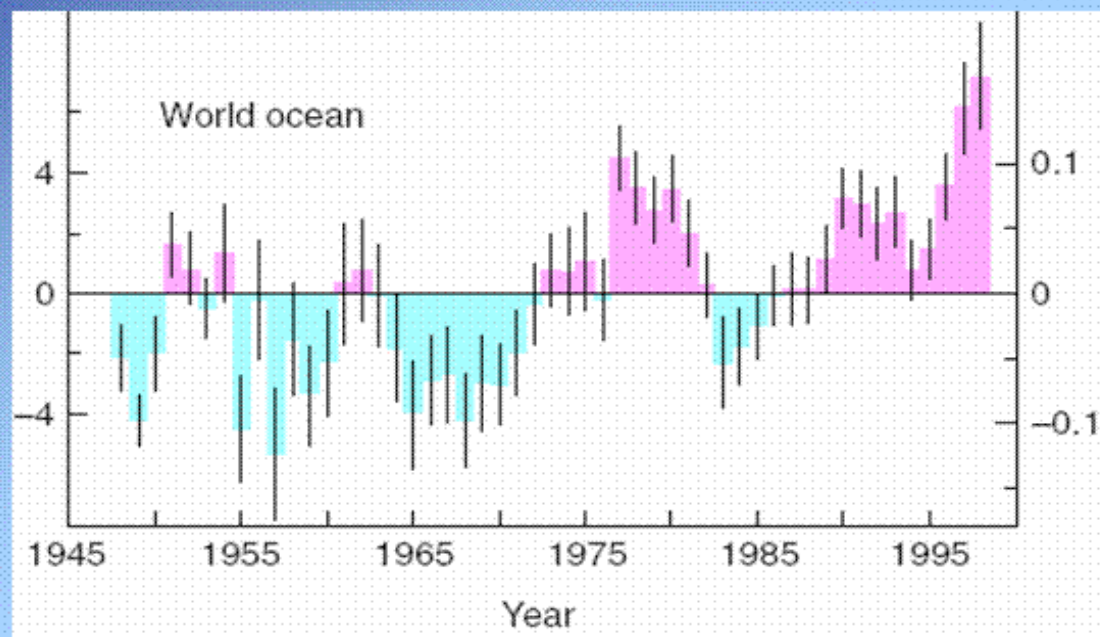
1980年代以降平均気温は上昇している

本当に地球は温暖化しているのか？



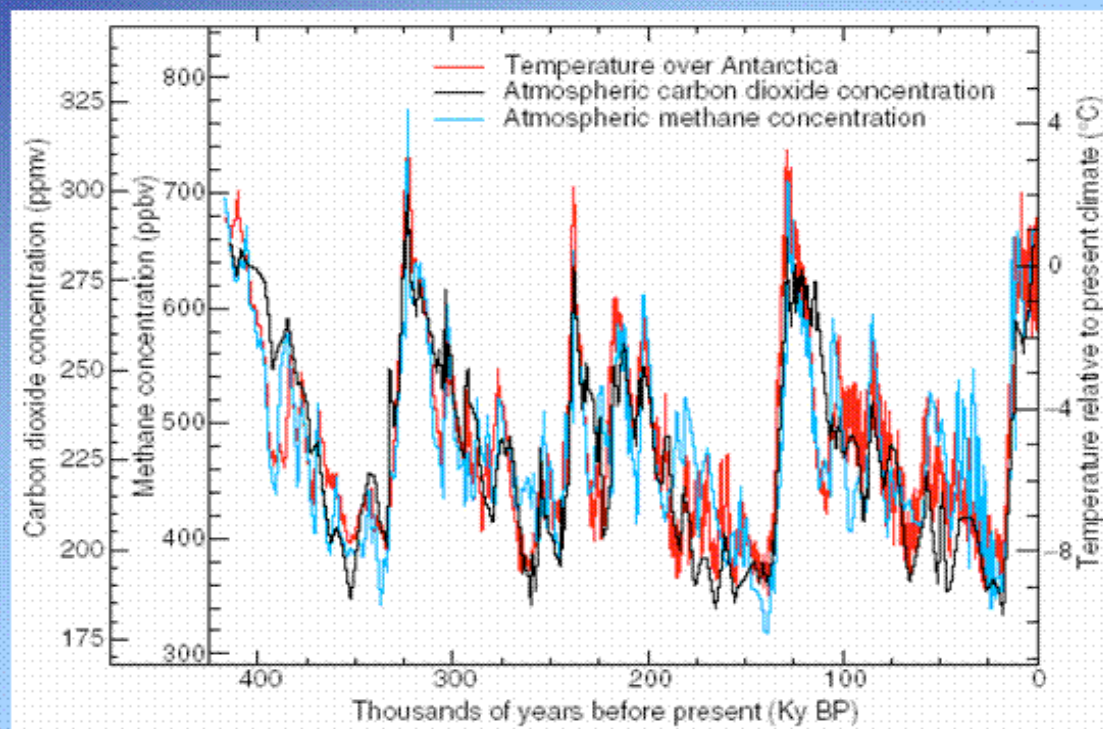
海も温暖化しているのか？

表層の熱量
($10^{22} J$)



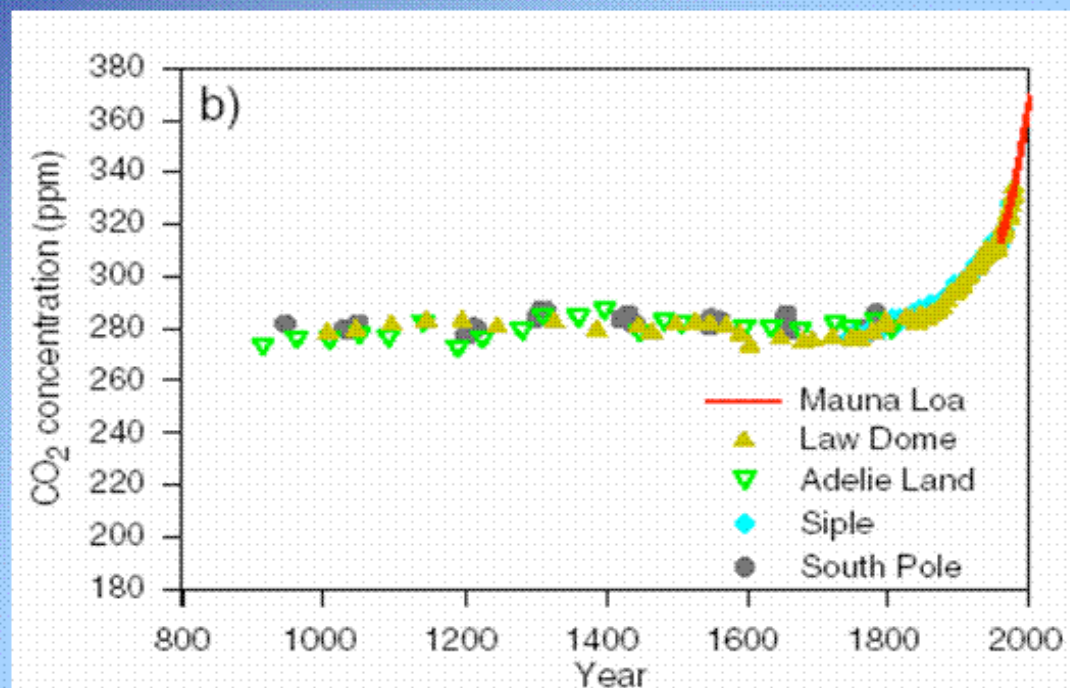
1980年代から温暖化している

温暖化は人類が引き起こしているのか？



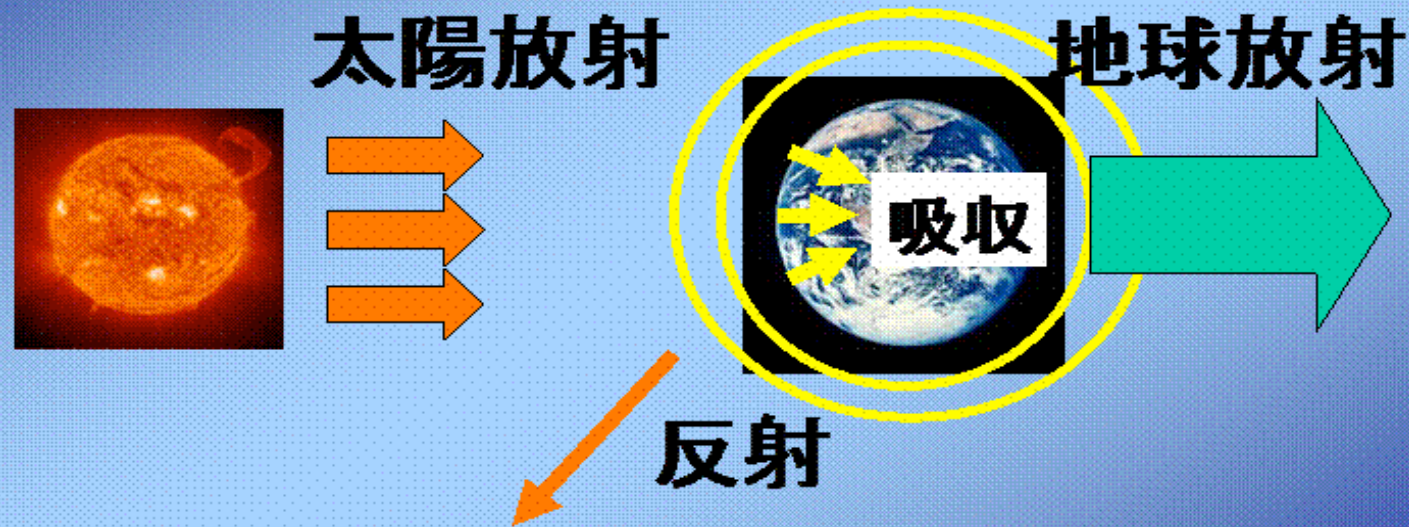
過去40万年間において、温室効果気体の濃度が
上がると気温は上昇していた

温暖化は人間が引き起こしているのか？



CO₂濃度は19世紀以来上昇を続けている

気候バランスとは何か



地球の吸収するエネルギー＝地球の放射するエネルギー

気候バランス

$$S_0 \times (1 - A) \times \pi R^2 = (a + bT) \times 4\pi R^2$$

S_0 : 太陽定数 = $1370 \text{ W} / \text{m}^2$

A : 反射能(アルベド) = 0.3

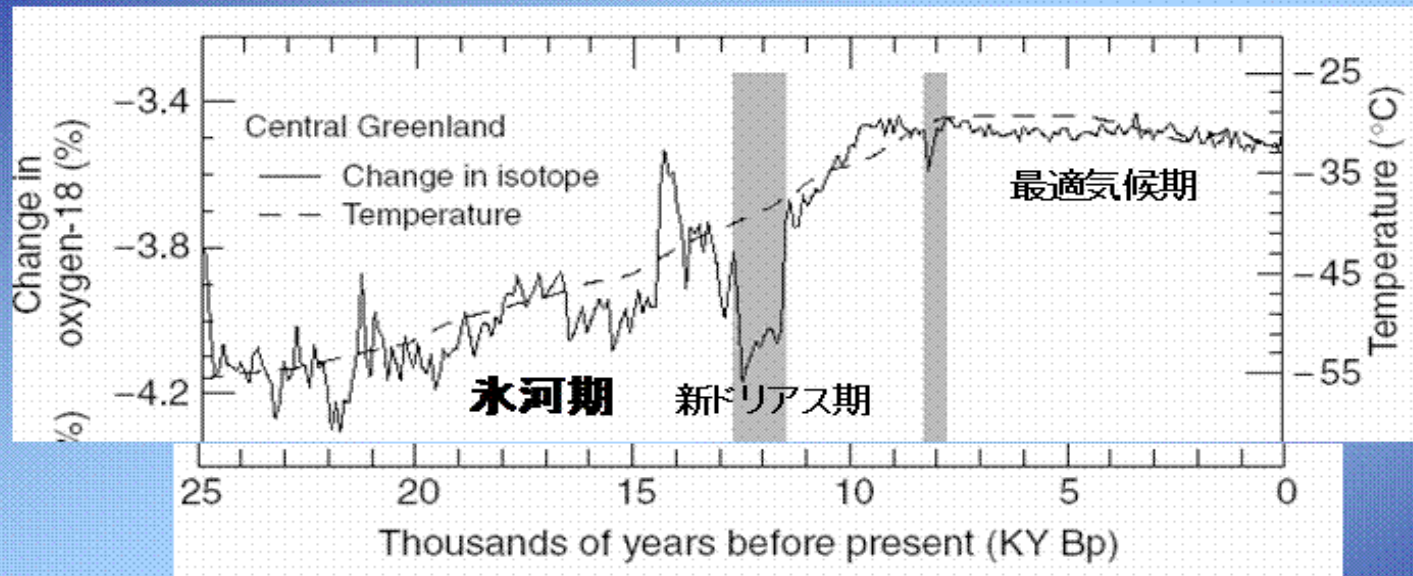
$a = -363 [\text{W} / \text{m}^2]$, $b = 2.1 [\text{W} / \text{m}^2 \text{K}]$: 大気の吸収効果(温室効果)

πR^2 : 地球の断面積、 $4\pi R^2$: 地球の表面積、 R : 地球半径



T : 平均気温 = 約14度c

過去に生じた気候変動



人類は安定した気候のもとで文明を発達させてきた。

気候モデル

気温の時間変化 $\frac{dT}{dt}$ を予測する

$$C \frac{dT}{dt} \times 4\pi R^2 = S_0 \times (1-A) \times \pi R^2 - (a + bT) \times 4\pi R^2$$

C : 熱容量

(時間変化) = (吸収するエネルギー) - (放射するエネルギー)



物理としてほぼ明らかな
仕組みが働く

人間が排出する二酸化炭素等が増加する(a, b が変わる)と
気温が上がる

$\frac{dT}{dt} > 0$ 平均的な傾向は予測できそうだ

気候モデルのエッセンス

気温の時間変化 $\frac{dT}{dt}$ を予測する

$$C \frac{dT}{dt} \times 4\pi R^2 = S_0 \times (1 - A) \times \pi R^2 - (a + bT) \times 4\pi R^2$$

S_0 : 太陽定数 : 太陽活動の変化

A : 反射能 : 氷や雲が多いほど大きい

$a + bT$: 地球放射 : 温室効果、火山灰

C : 熱容量 : 温度変化のスピードを決める
大気は小さく、海は大きい

気候モデルに働くフィードバック

$$C \frac{dT}{dt} \times 4\pi R^2 = S_0 \times (1 - A) \times \pi R^2 - (a + bT) \times 4\pi R^2$$

「氷のフィードバック」

温度が上がれば、氷が減る→反射が弱まる→ますます温度が上がる

温度が下がれば、氷が増える→反射が強まる→ますます温度が下がる

「水蒸気のフィードバック」

温度が上がれば、水蒸気が増える→雲が増えて反射が強まる

→温度が下がる

→温室効果

→温度が上がる

気候の「多重性」

$$C \frac{dT}{dt} \times 4\pi R^2 = S_0 \times (1 - A) \times \pi R^2 - (a + bT) \times 4\pi R^2$$

「氷のフィードバック」を

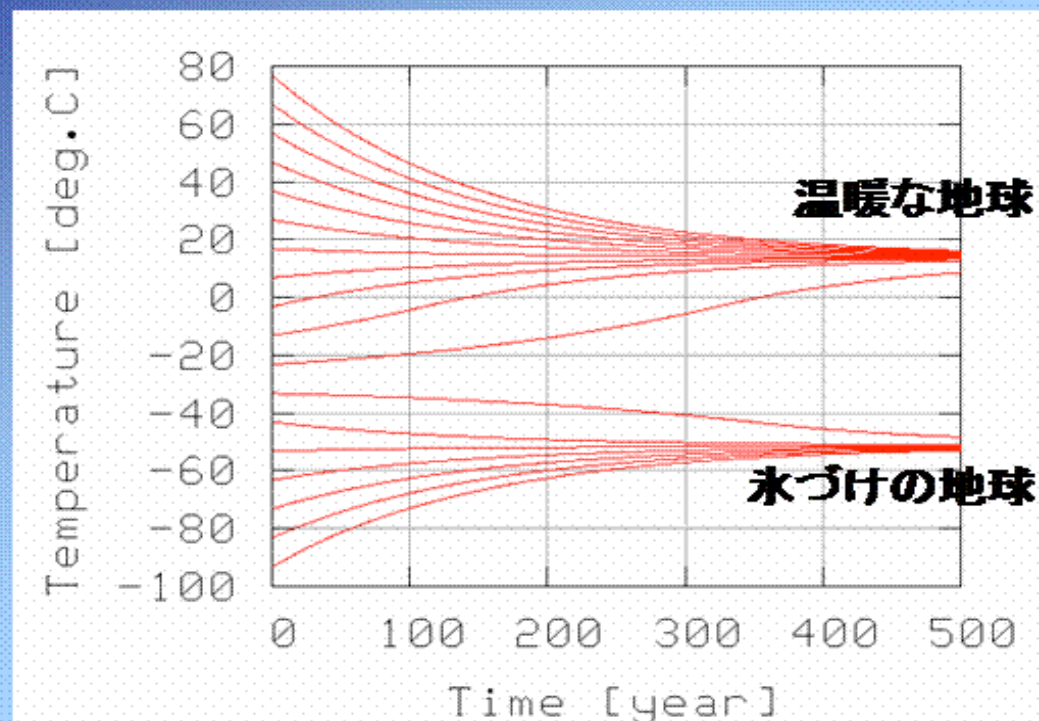
$$A(T) = \begin{cases} 0.7 & (T < 230K) \\ 0.7 + (0.3 - 0.7) \times \frac{T - 230}{270 - 230} & (230K \leq T < 270K) \\ 0.3 & (T \geq 270K) \end{cases}$$

とモデル化すると、同じ太陽定数であっても

最初の温度が243Kより小さければ→「氷づけの地球」

最初の温度が243Kより大きければ→「温暖な地球」

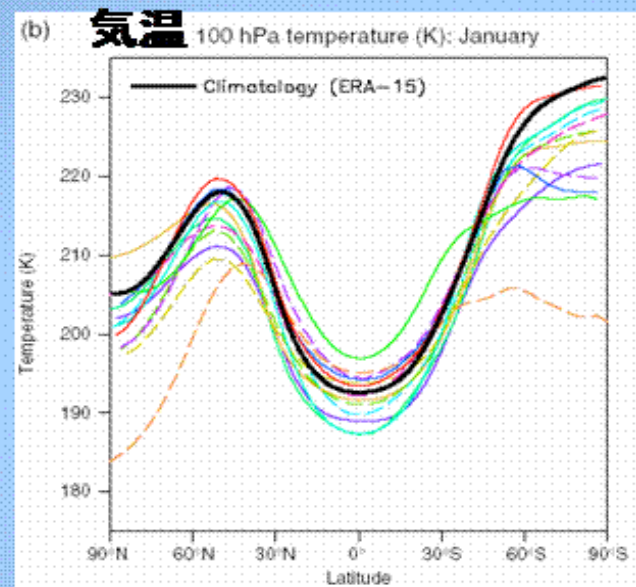
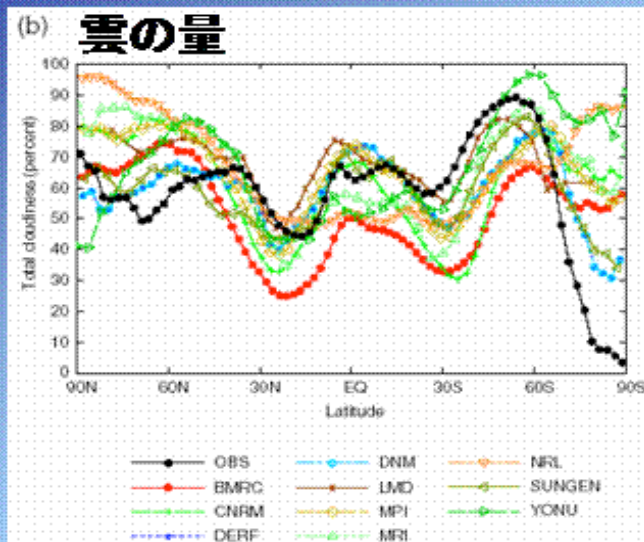
気候モデルを動かしてみる



http://www.jamstec.go.jp/fmsg/research/d1/miyazawa/climate_model.prl

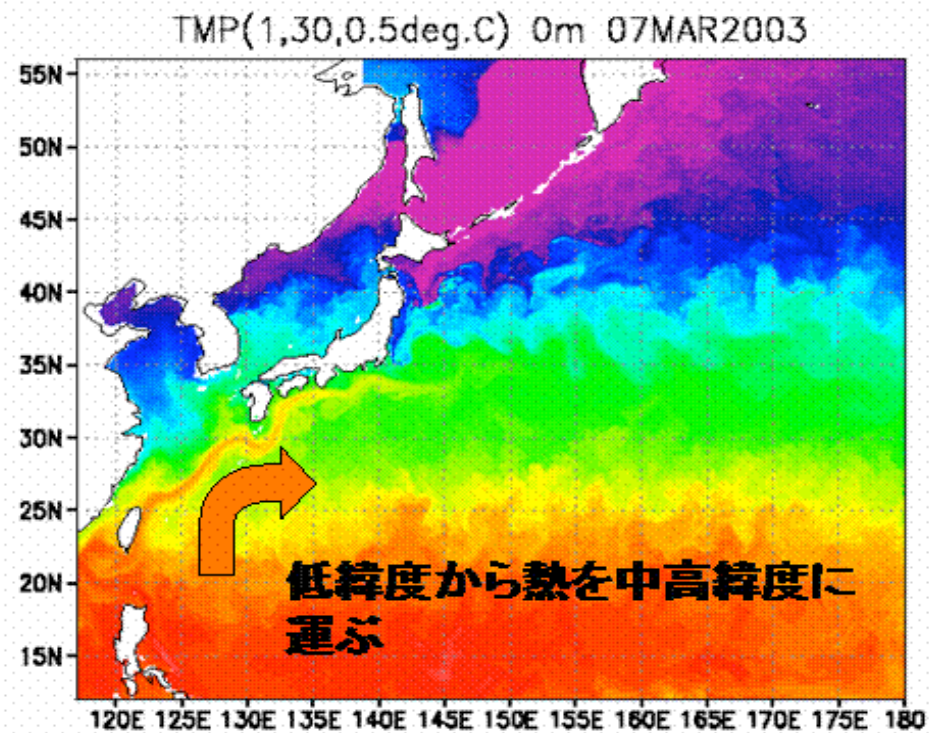
(Linuxを使えば、モデルを動かしてグラフを描けます)

気候モデルの開発



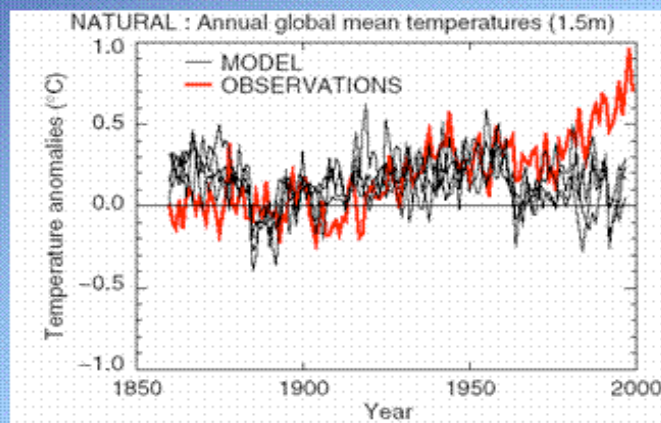
大気・海洋・氷・陸域結合モデルの開発が各国で進められている

気候における黒潮の役割

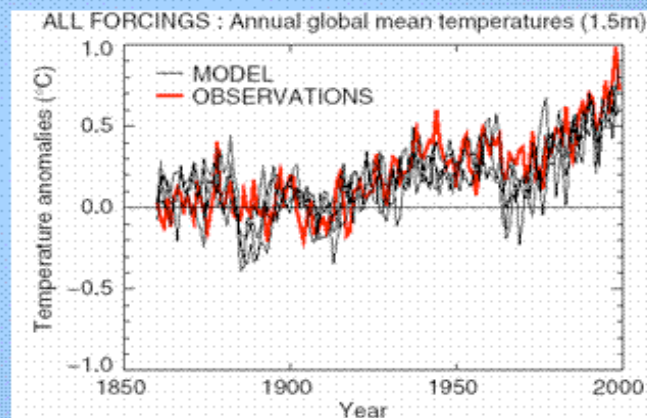


温暖化は人間が引き起こしているのか？

人類起源の温暖化ガス
なし



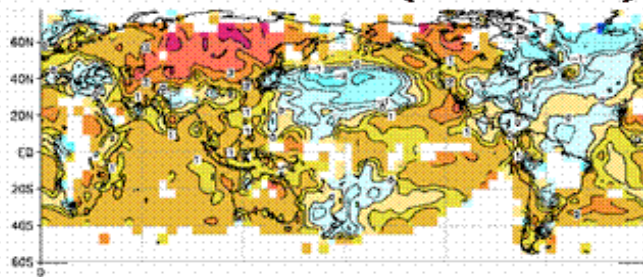
人類起源の温暖化ガス
あり



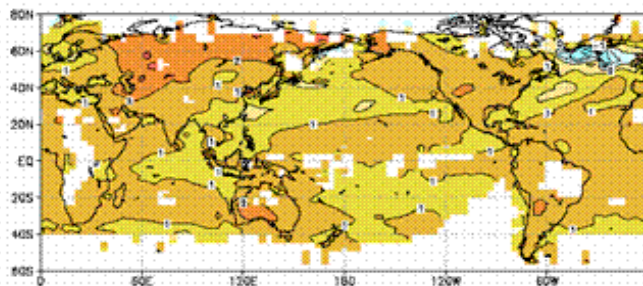
気候モデルによる気候再現実験では、人類起源の温暖化気体を入れなければ気候変動を再現できない

温暖化は人間が引き起こしているのか？

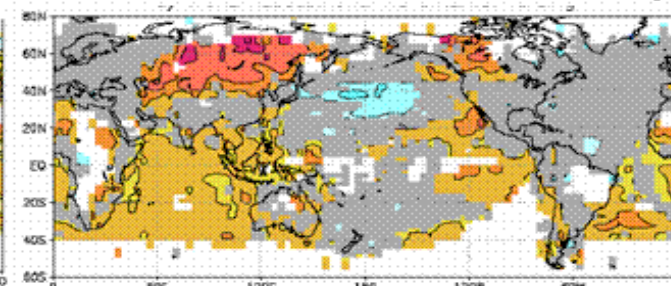
観測されたトレンド(1949-1997)



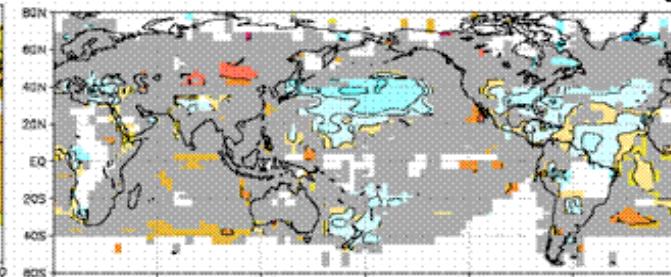
気候モデルによるトレンド



人為温室効果ガスなしで説明できる場所(灰色)

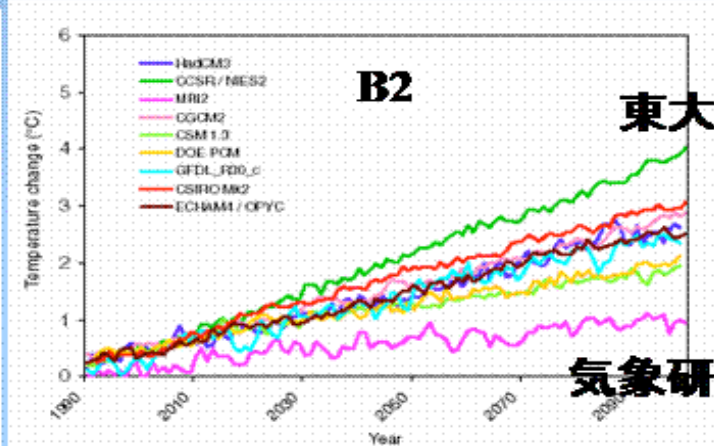
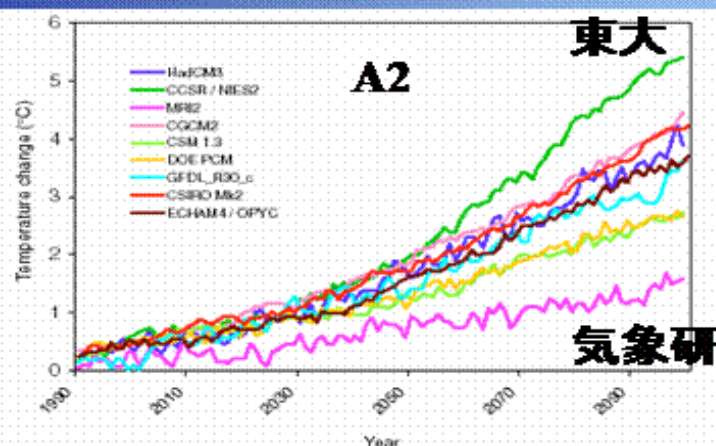


人為温室効果ガスありで説明できる場所(灰色)



気候モデルによる気候再現実験では、人類起源の温暖化気体を入れなければ気候変動を再現できない

気候モデルによる温暖化の見通し



シナリオA2: ほぼこのままの世界

シナリオB2: 持続可能な経済-社会-環境を目指す世界

日本の温暖化見通し実験への貢献:

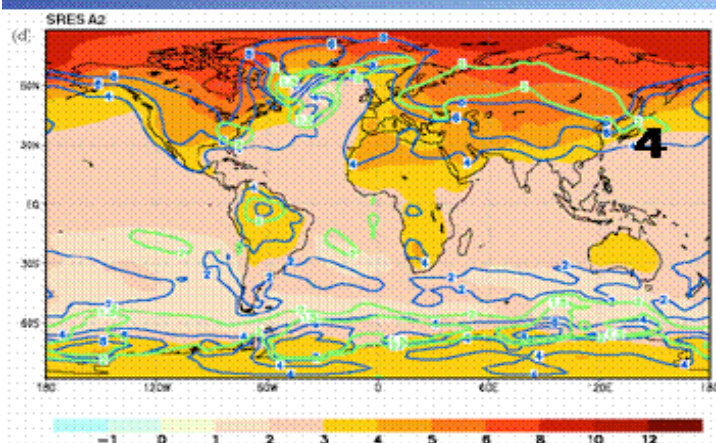
両極端のケースを実践することで不確実性

(水蒸気のフィードバックに関係する)を見積もる

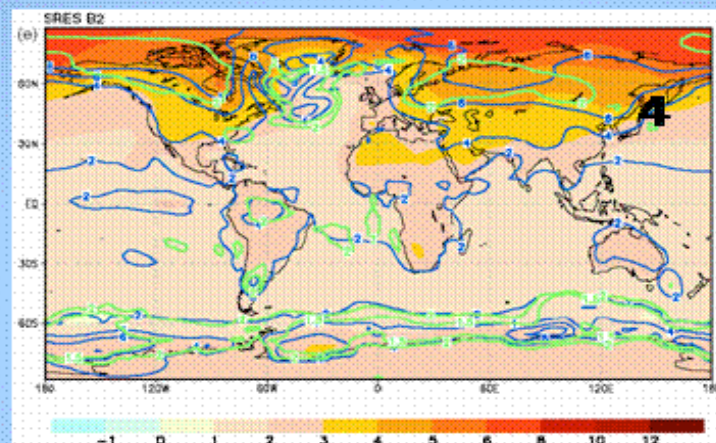
気候モデルによる温暖化の見通し

(1961-1990年→2071-2100年)

気温A2



気温B2



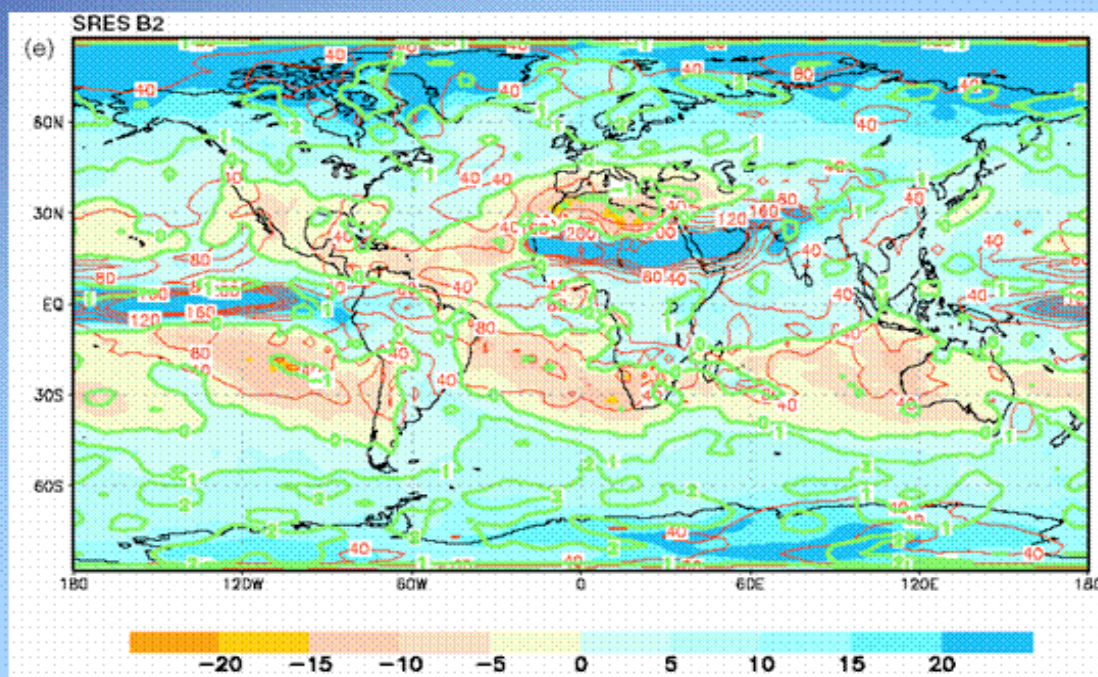
高緯度で気温上昇が高いのは、「氷のフィードバック」によるものである

多くのモデルの結果を平均している→ばらつきを減らす

気候モデルによる温暖化の見通し

(1961-1990年→2071-2100年)

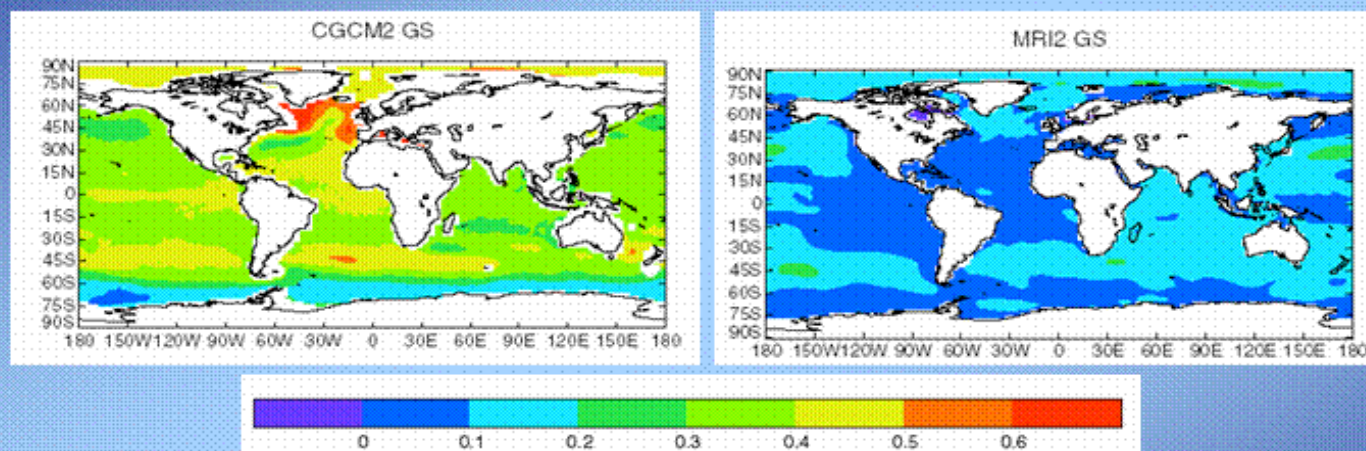
降水量 B2



気候モデルによる温暖化の見通し

海面上昇 IS92a

(2001年→2100年)



氷の融解と、水の熱膨張が原因となる

モデルによってばらつきが大きい

気候モデルによる温暖化の見通し

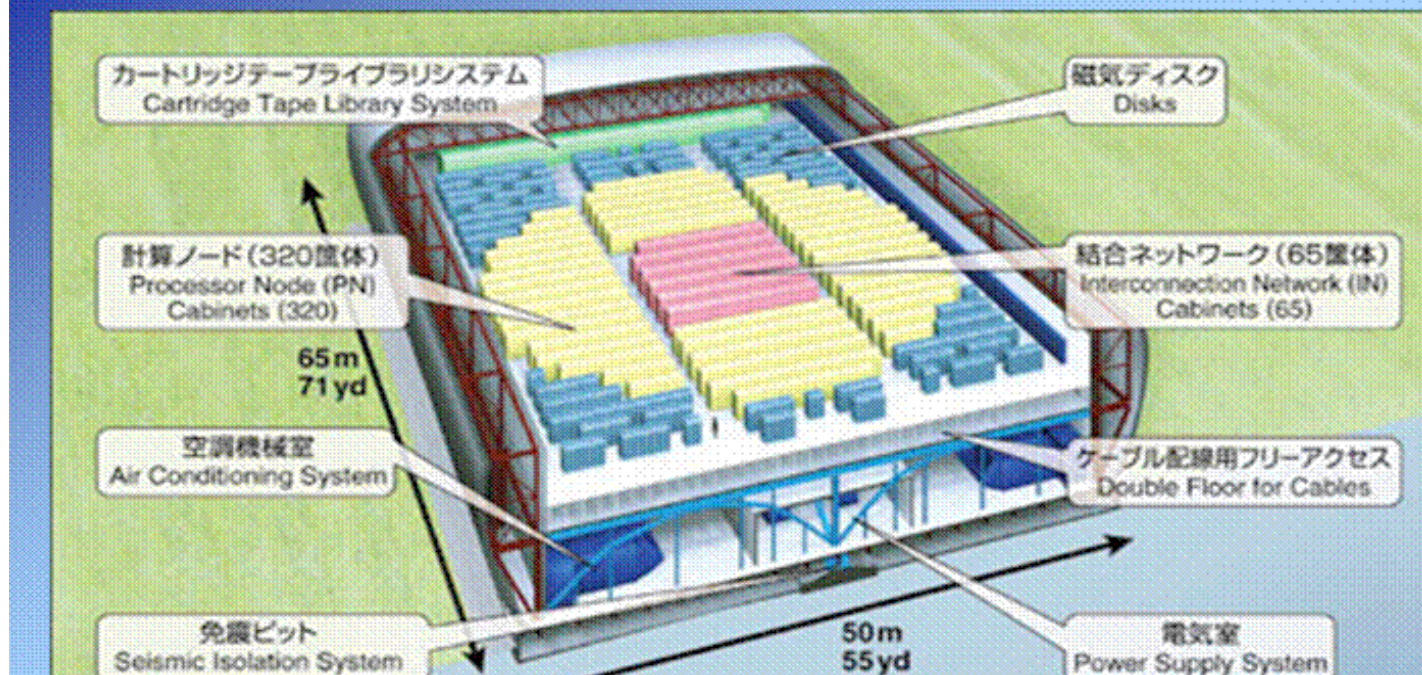
黒潮はどうなるのか

黒潮の幅: 50km

モデルの空間解像度: 200km

温暖化見通し実験で用いられている
海洋モデルの空間解像度が粗すぎる
ため、よくわからない

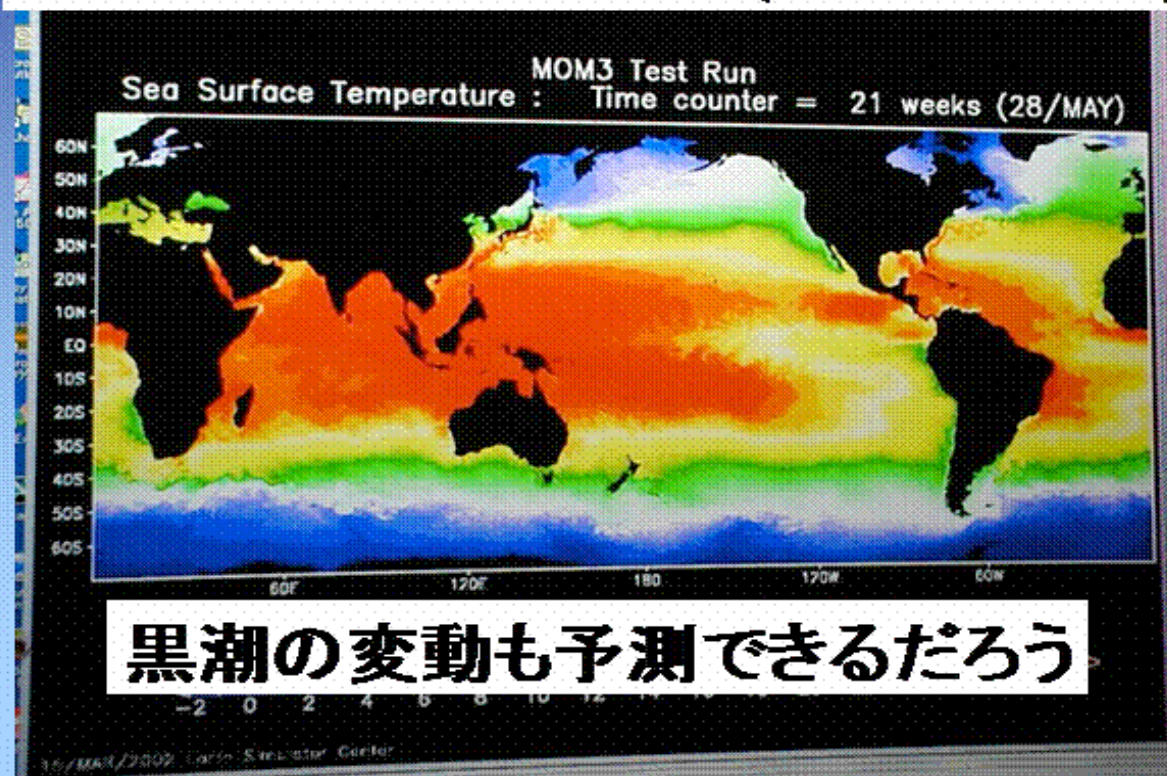
地球シミュレータへの期待



日本独自の技術によって第2位(アメリカ)を
5倍以上の差で引き離す世界最高速の計算機

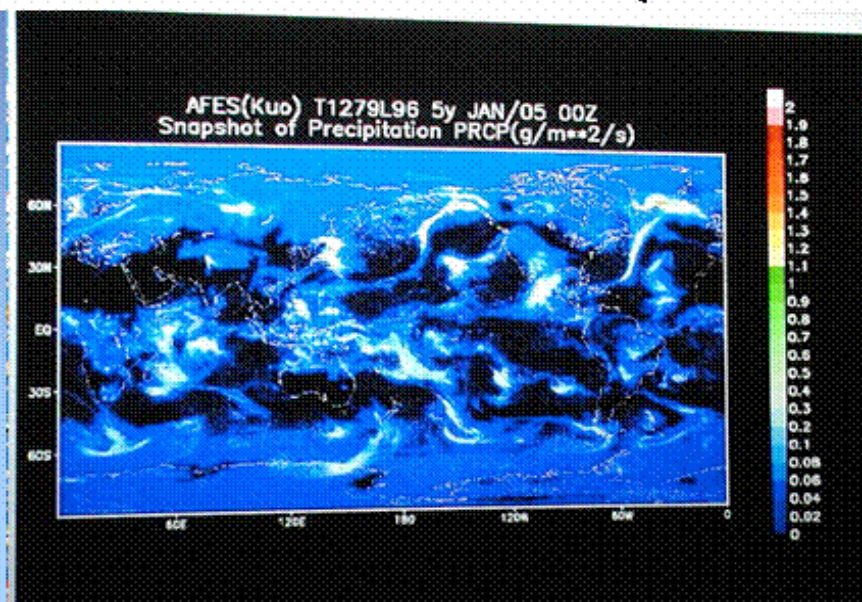
地球シミュレータへの期待

全球海洋大循環モデル(解像度10km)



地球シミュレータへの期待

全球大気大循環モデル(解像度10km)



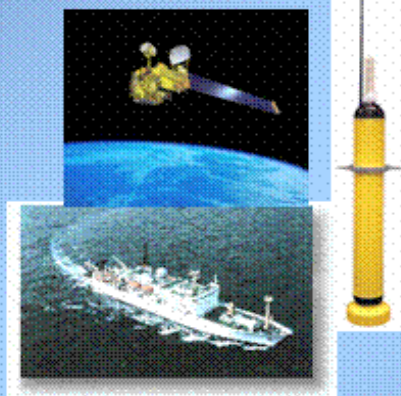
地域の降水量の変動も予測できるだろう

海洋変動予測実験

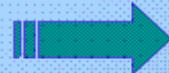
<http://www.jamstec.go.jp/frsgc/jcope/>

衛星、船舶、アルゴフロート等の観測データと海洋大循環モデルを使って、“海中の天気”を予測するシステムを開発している。
ここでは、日本周辺の海流やその周りの渦の動きを“海中の天気”と呼んでいる。

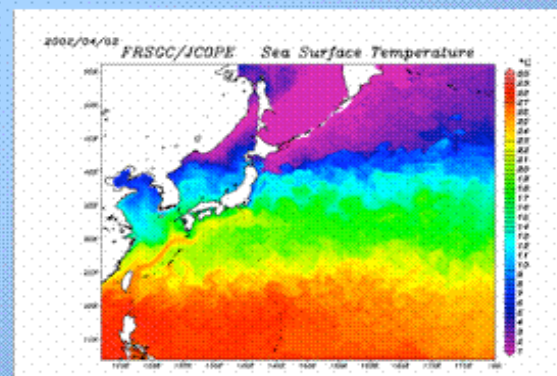
観測データ



海流や渦の
現況配置を
入力



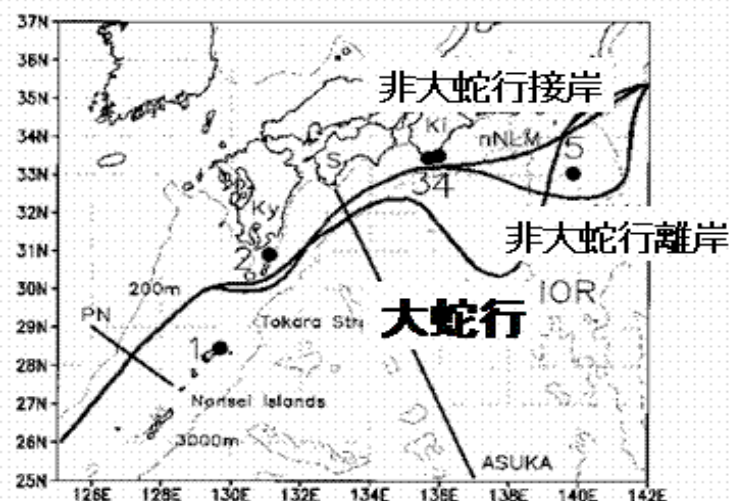
海洋大循環モデル



予測



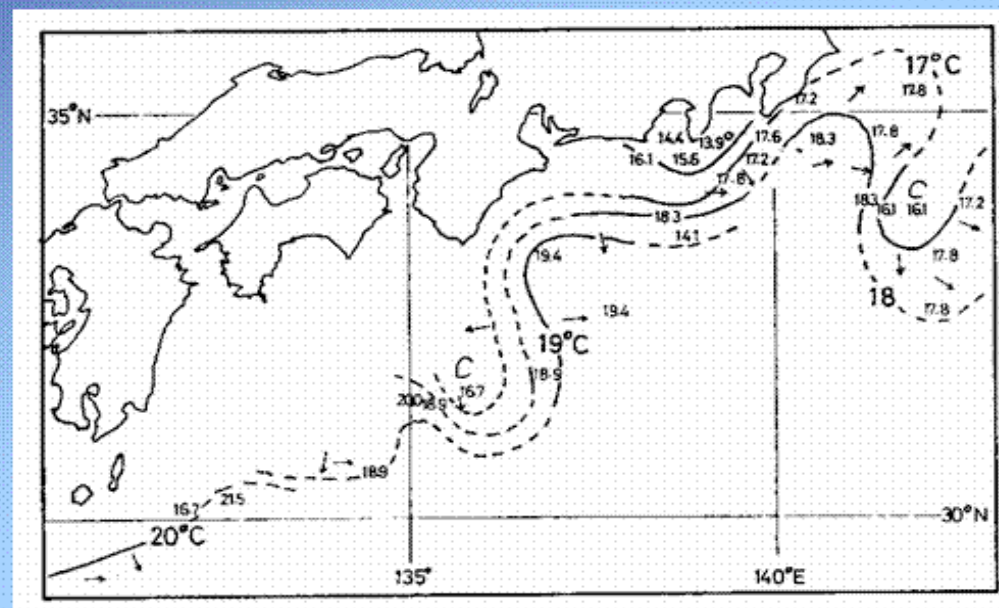
黒潮流路の変動予測



黒潮の安定な三流路

黒潮流路には、典型的な三流路がある。現在は、非大蛇行離岸流路をとっている。短期的にみればかなり変動している。黒潮流路の短期(1-2ヶ月)予測を当面の目標としている。

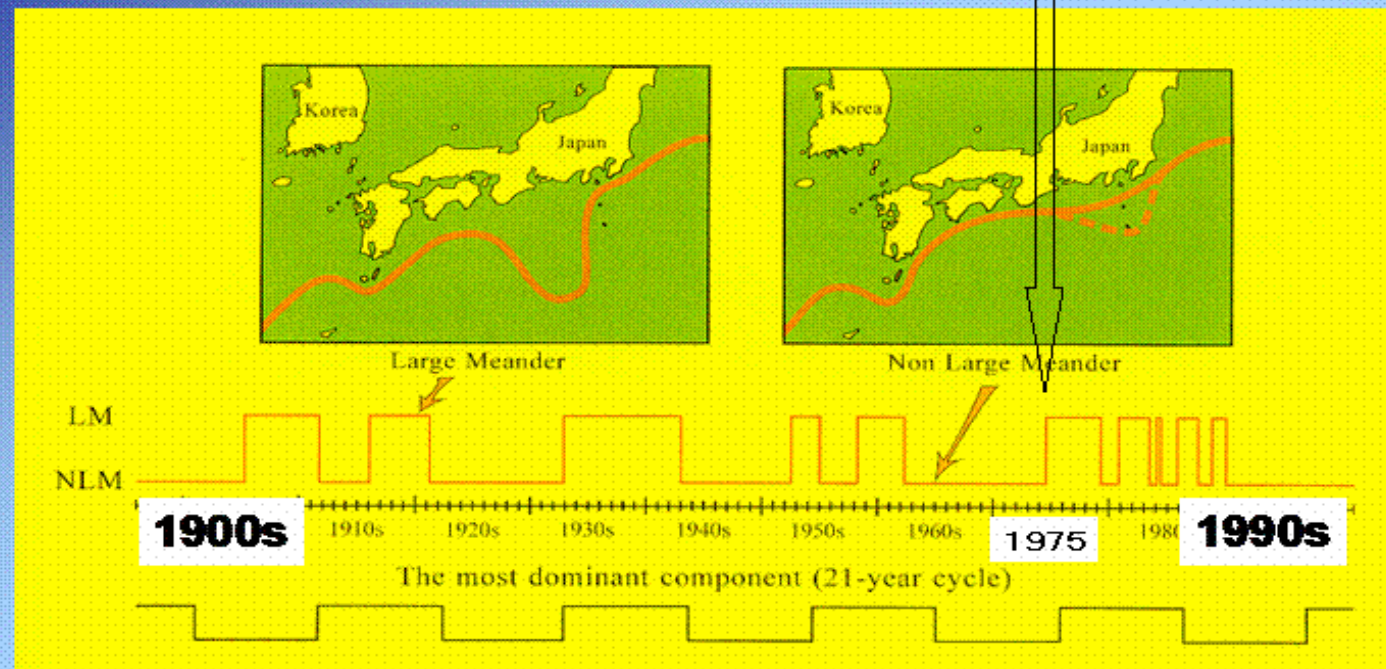
黒潮大蛇行



ペリー艦隊によって1854年2月に観測された大蛇行流路

黒潮大蛇行

(黒潮大蛇行研究の発展開始)



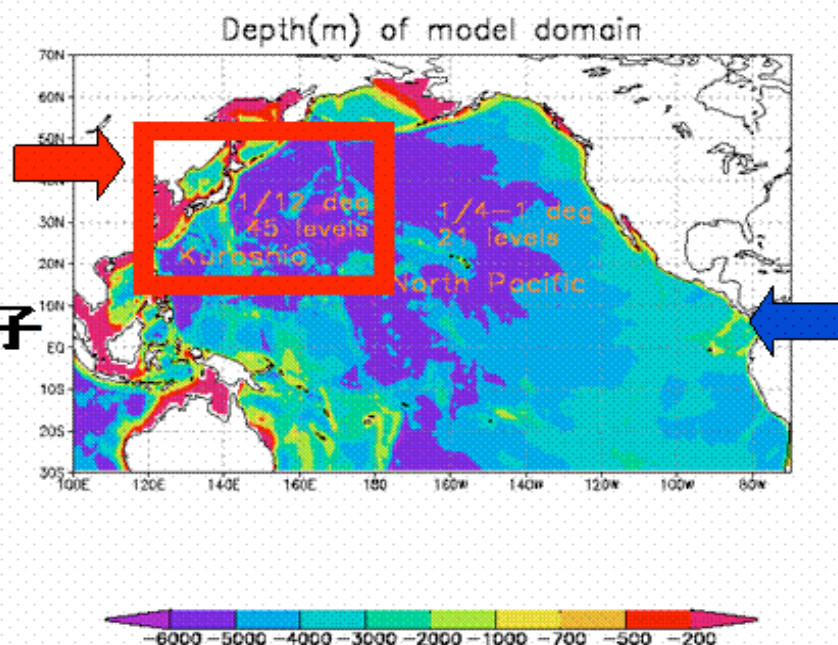
21年の時間スケールで変動すると言われている

海洋大循環モデル

予測に必要な海洋の力学を再現するモデルを計算機上に作り、空の天気モデルで計算された風で動かします。計算資源の節約のため、粗い計算格子のモデルと細かい格子のモデルを同時に動かします。細かい計算格子のモデルの水平境界での流れや水温等は、粗い格子のモデルの計算結果を使います。

高解像度
モデル

1/12 度格子
(10km)

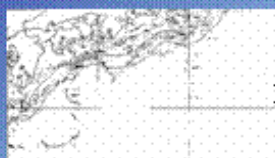


中解像度
モデル

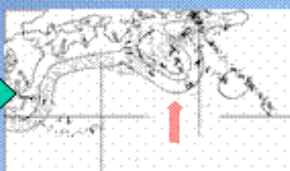
1/4度格子
(30km)

過去の黒潮流路の予測実験例

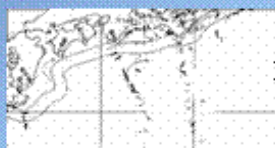
観測 93.01



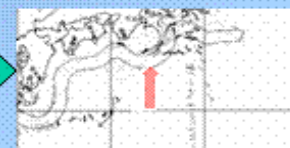
観測 93.04



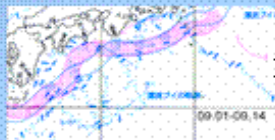
観測 95.01



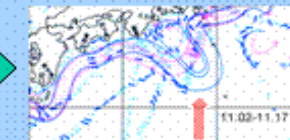
観測 95.04



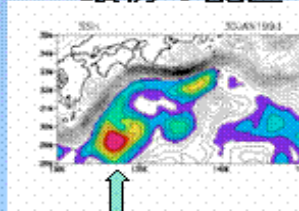
観測 99.09



観測 99.11

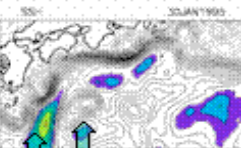
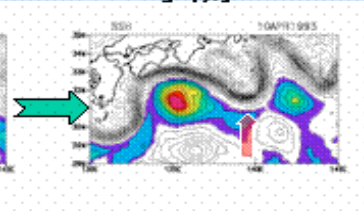


最初の配置

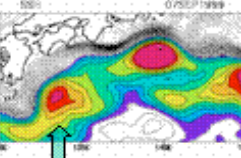
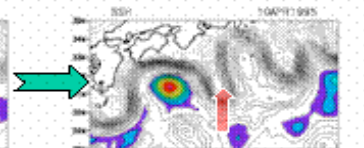


暖水渦

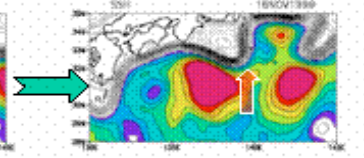
予測



暖水渦 冷水渦



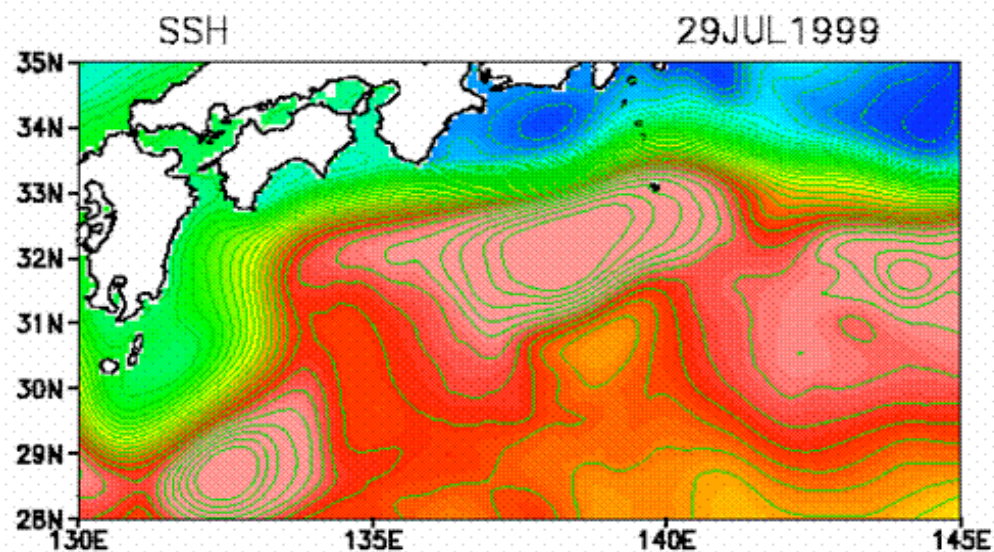
暖水渦



過去の黒潮蛇行の予測実験により、暖水渦や冷水渦が黒潮と相互干渉して蛇行を生じさせていることがわかった。

過去の黒潮蛇行の予測実験

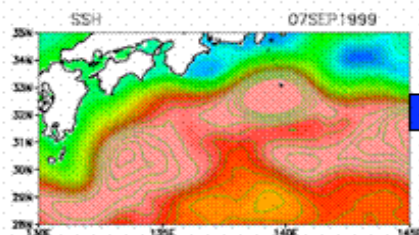
海面高度の変動: 1999.07-1999.11



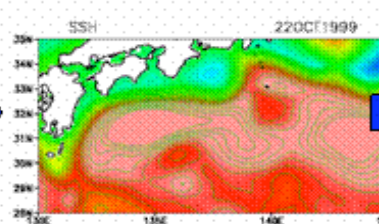
黒潮流路にも「多重性」がある

1999年の蛇行の場合

0日目



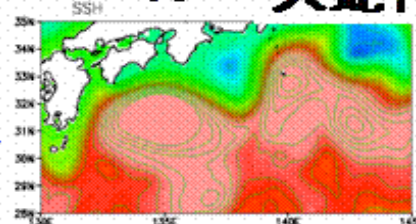
50日目



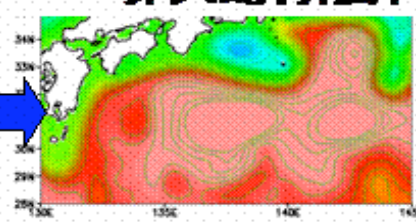
分岐

80日目

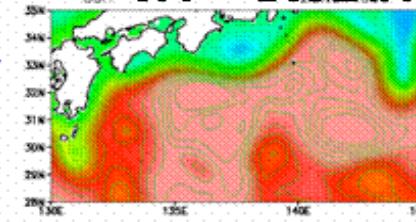
大蛇行



非大蛇行離岸



非大蛇行接岸



分岐

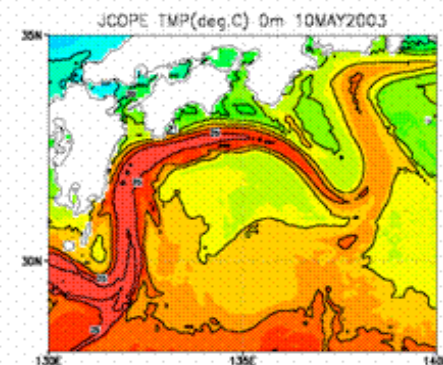
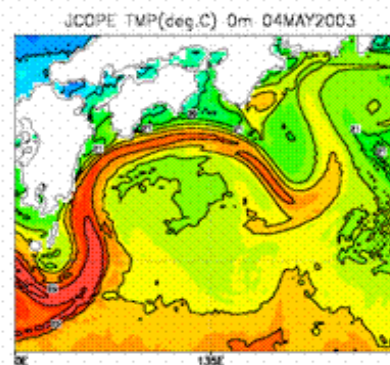
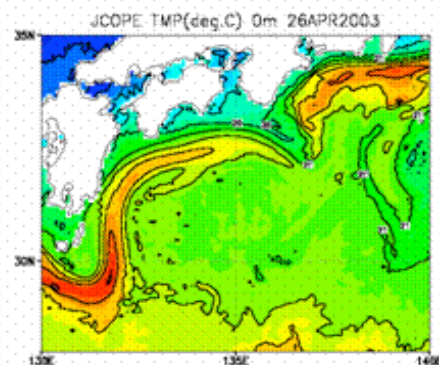
最近の予測 (4月19日初期化)

モデルSST

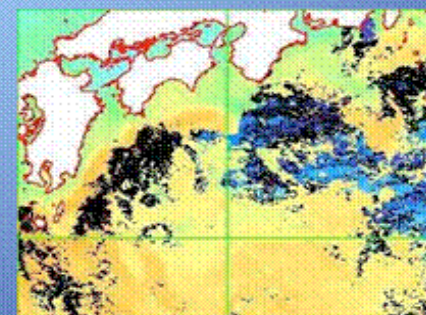
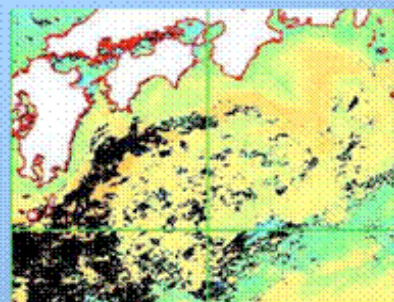
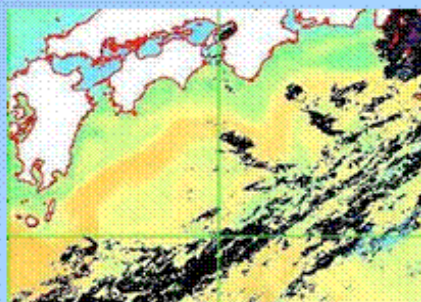
4/26

5/3

5/10

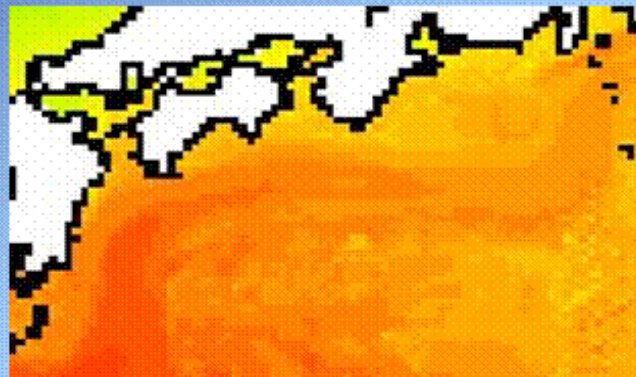


観測SST

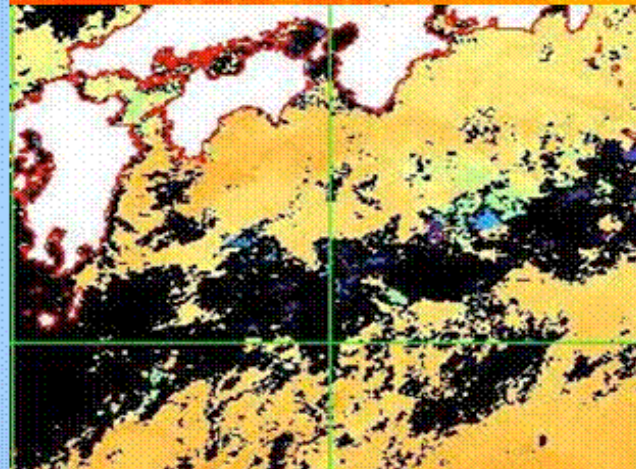


昨日の黒潮 (5月31日初期化)

モデル海面水温
6/13

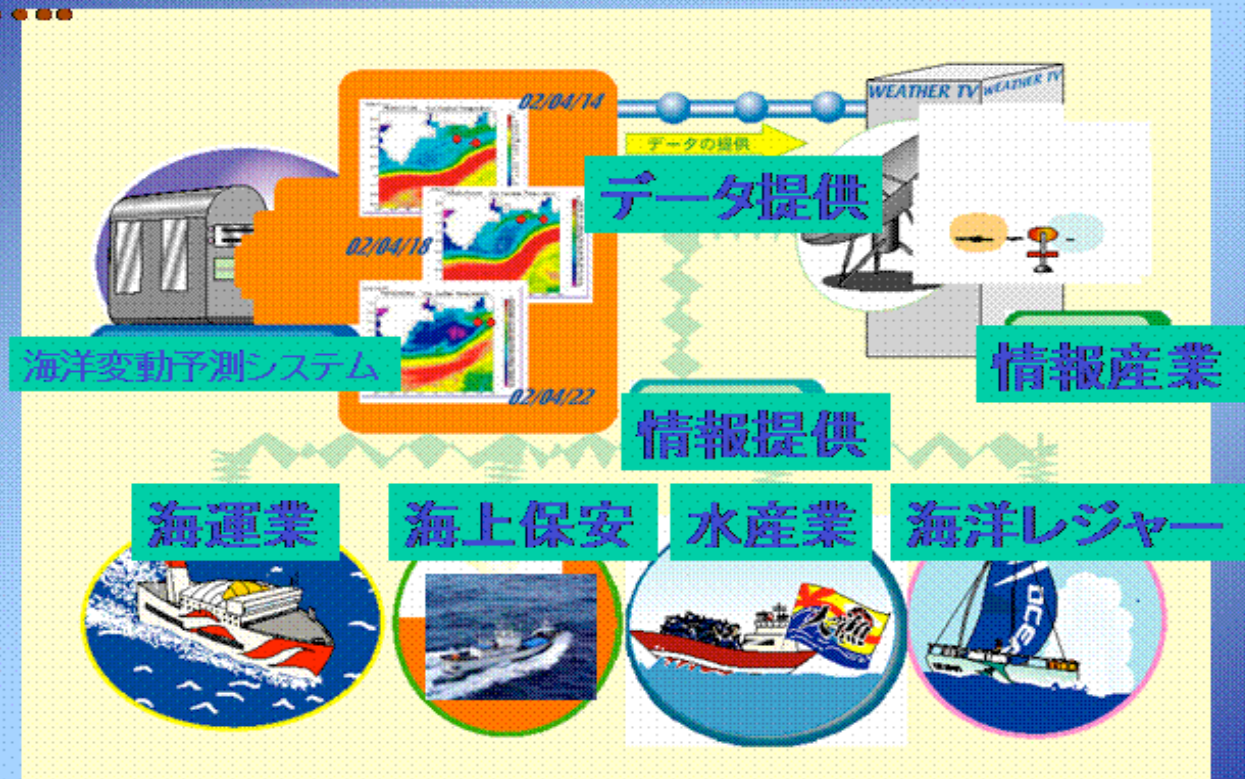


観測海面水温
6/13



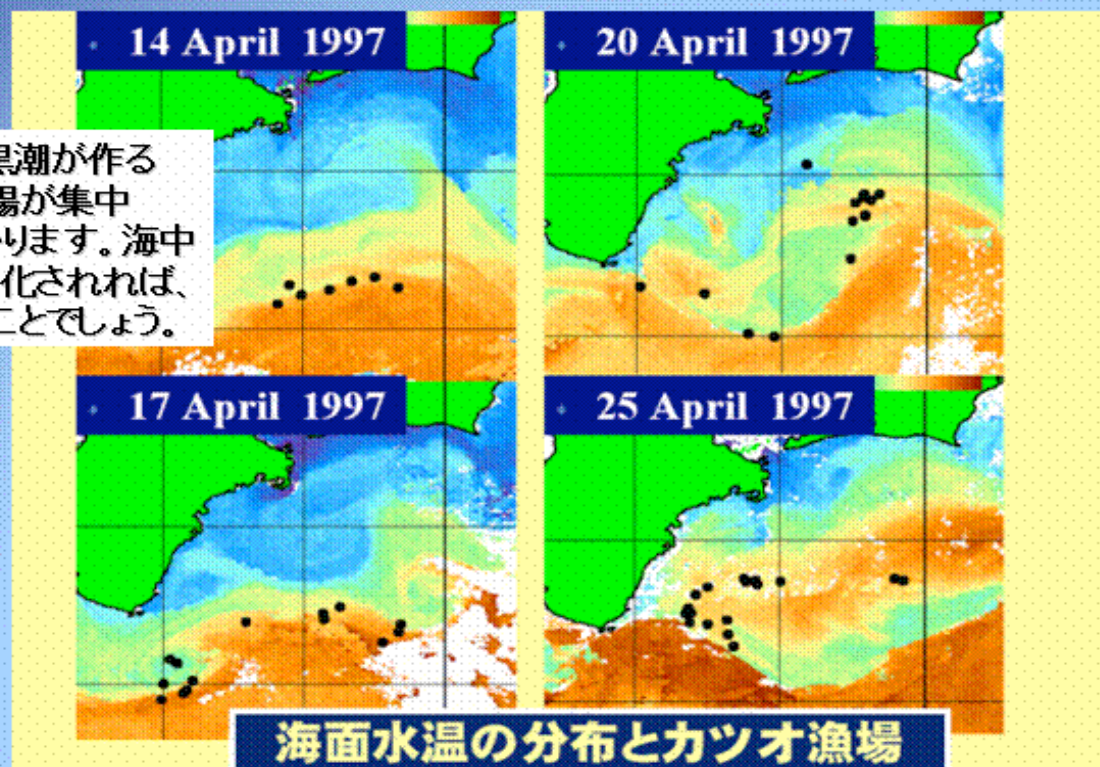
海中の天気予報が実用化すれば

.....



水産業へのインパクト

この観測例では、黒潮が作る潮目にカツオの漁場が集中していることがわかります。海中の天気予報が実用化されれば、水産業にも役立つことでしょう。



三重水産試験場のウェブサイトより