

# 熱帯太平洋における海洋平均構造と ENSO特性の将来変化

安田 珠幾

(気象研究所気候研究部)



本研究は環境省地球環境研究総合推進費(S-5-2)  
の支援により実施された。



## はじめに

- ・大気海洋結合モデルを用いて全球規模の気候変化を予測するためには、熱帯の気候及び変動特性を再現することが重要である。
- ・IPCC-AR4で報告された各研究機関の大気海洋結合モデルでは、再現されるENSO (El Niño/Southern Oscillation) の特性(周期・振幅)がモデルによって異なることが報告されている(Merryfield 2006; Guilyardi 2006など)。
- ・ENSOの特性(周期・振幅)の将来変化予測は、モデルによって異なり、マルチモデル平均するとENSO特性は変化しない(Yeh and Kirtman 2007 など)。
- ・熱帯太平洋における海面水温(SST)の将来変化トレンドは東部で昇温が大きく、亜表層では水温が低下しており、その影響はENSOの特性に影響を与える可能性がある(An et al. 2008 など)。
- ・本研究では、WCRP CMIP3マルチモデルデータセットの20世紀再現実験(20C3M)及びSRES A1Bシナリオによる将来気候の予測実験結果を使用して、熱帯太平洋における海洋平均構造とENSO特性の現在気候再現性及び将来変化を調べた。

# データ

## WCRP CMIP3マルチモデルデータセット(22モデル)

- ・20世紀: 20世紀再現実験(20C3M)
- ・21世紀: A1Bシナリオ予測実験

F: フラックス調整有

Model		Modeling Group	AGCM	OGCM near Eq.
BCCR-BCM2.0		BCCR (Norway)	T63L31	1.5x1.5L35
CGCM3.1(T47)	F	CCCMA (Canada)	T47L31	1.85x1.85L29
CGCM3.1(T63)	F	CCCMA (Canada)	T63L31	1.4x0.49L29
CNRM-CM3		Meteo-France/CNRM (France)	T63L45	2x0.5L31
CSIRO-Mk3.0		CSIRO (Australia)	T63L18	1.875x0.84L31
CSIRO-Mk3.5		CSIRO (Australia)	T63L18	1.875x0.84L31
ECHAM5/MPI-OM		MPI (Germany)	T63L31	1.5x0.5L40
FGOALS-g1.0		LASG/IAP (China)	T42L26	1x1L33
GFDL-CM2.0		GFDL (USA)	2.5x2L24	1x0.33L50
GFDL-CM2.1		GFDL (USA)	2.5x2L24	1x0.33L50
GISS-AOM		NASA/GISS (USA)	4x3L12	4x3L16
GISS-MODEL-E-H		NASA/GISS (USA)	5x4L20	2x2L16
GISS-MODEL-E-R		NASA/GISS (USA)	5x4L20	6x4L13
INGV-ECHAM4		INGV (Italy)	T106L19	2x1L31
INM-CM3	F	INM (Russia)	5x4L21	2.5x2L33
IPSL-CM4		IPSL (France)	2.5x3.75L19	2x0.5L31
MIROC3.2(hires)		CCSR/NIES/FRCGC (Japan)	T106L56	0.28x0.1875L47
MIROC3.2(medres)		CCSR/NIES/FRCGC (Japan)	T42L20	1.4x0.5L23
MRI-CGCM2.3.2	F	MRI (Japan)	T42L30	2.5x0.5L23
NCAR-CCSM3		NCAR (USA)	T85L26	1.125x0.27L40
NCAR-PCM1		NCAR (USA)	T42L18	0.66x0.5L32
UKMO-HadCM3		Hadley Center (UK)	3.75x2.5L19	1.25x1.25L20

# 熱帯太平洋における海洋平均構造の再現性

20世紀再現実験における熱帯(赤道)太平洋の再現性の指標(メトリック)

●解析格子 : 水平:2.5度x2.5度 (Kosaka et al. 2009) 鉛直:モデル鉛直格子

●解析期間 : 1979-1999年 (年サイクル気候値)

●観測データ: World Ocean Atlas 2005 (水温データ気候値)

●解析変数

①SST: 海面水温

②T150: 150m深水温 (≡赤道太平洋西部における水温躍層水温)

③VAT300: 表層300m平均水温(貯熱量)

④Z20: 熱帯水温躍層深度(20°C深度)

⑤MLD: 混合層深度(海面水温-0.5°Cとなる深度)

●解析領域

・熱帯太平洋(120E-90W, 20S-20N)

・赤道太平洋(120E-90W, 2.5S-2.5N)

●計算方法(Gleckler et al. 2008)

1. 各解析変数(n=1~5)に対して、RMSE(E)を計算する

$$E(n)^2 = \frac{1}{\sum_{i,j} w_{ij}} \sum_{i,j,t} w_{ij} (M_{ijt} - O_{ijt})^2$$

i,j: 解析領域, t: 月平均気候値x12  
M<sub>ijt</sub>:モデル, O<sub>ijt</sub>:観測, w<sub>ij</sub>:領域重み

2. 各解析変数に対して、Eを22モデルの中央値で規格化する

$$E'(n) = \frac{E(n) - \bar{E}(n)}{\bar{E}(n)}$$

3. 5個の解析変数のE'の平均をメトリック(M)として定義する

$$M = \sum_{n=1,5} E'(n) / 5$$

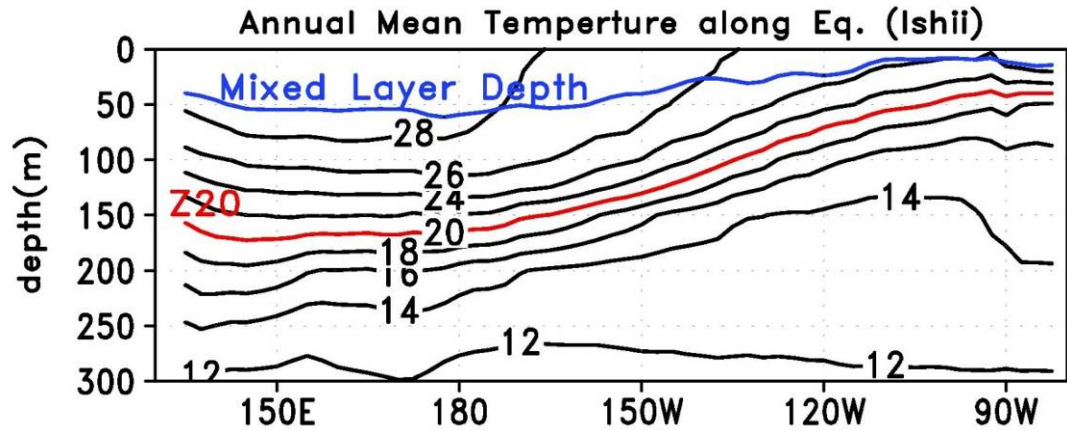
# 赤道太平洋水温気候値

観測

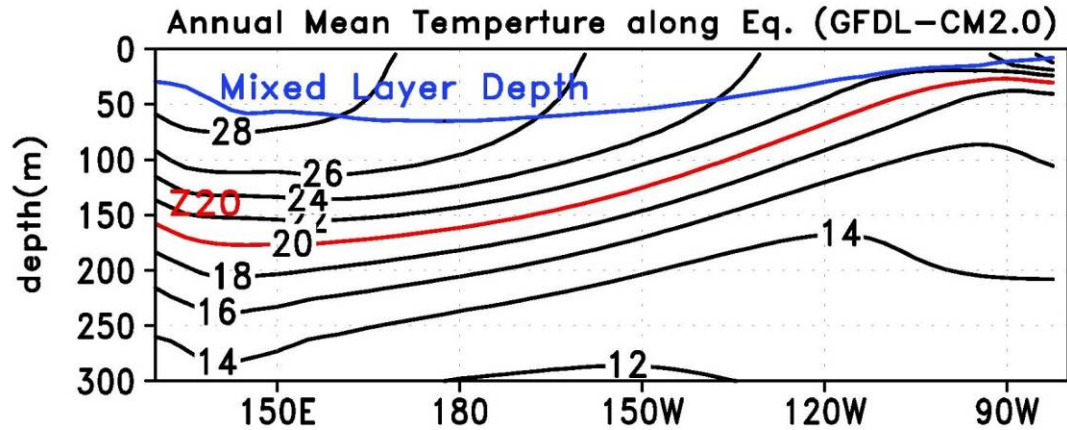
黒: 水温(°C)

赤: 20°C深度(Z20)

青: 混合層深度(MLD)

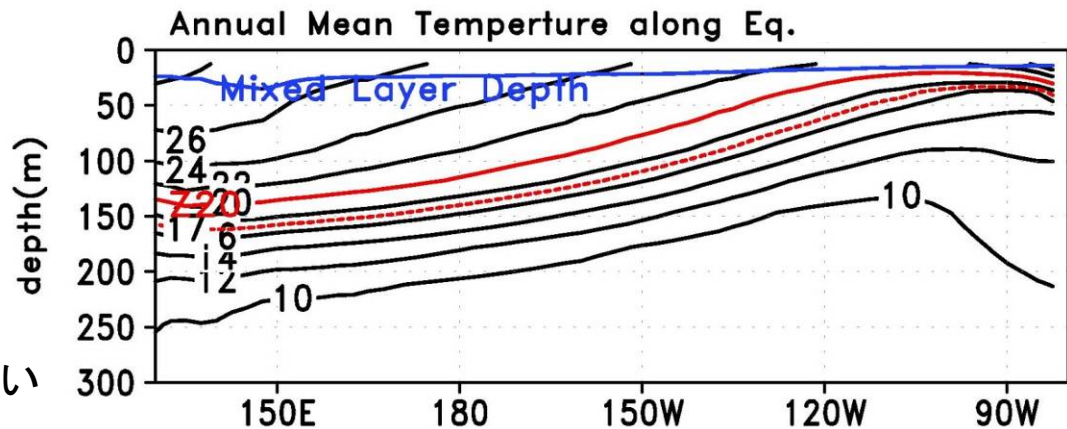


再現性の良いモデル例



再現性の悪いモデル例

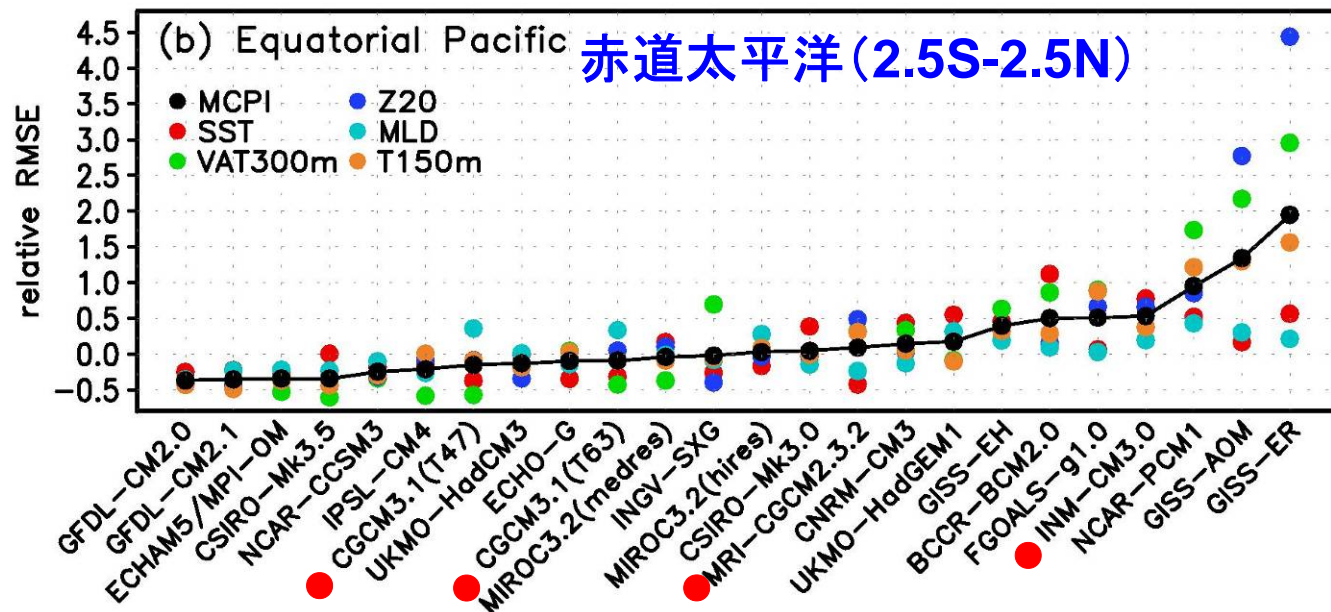
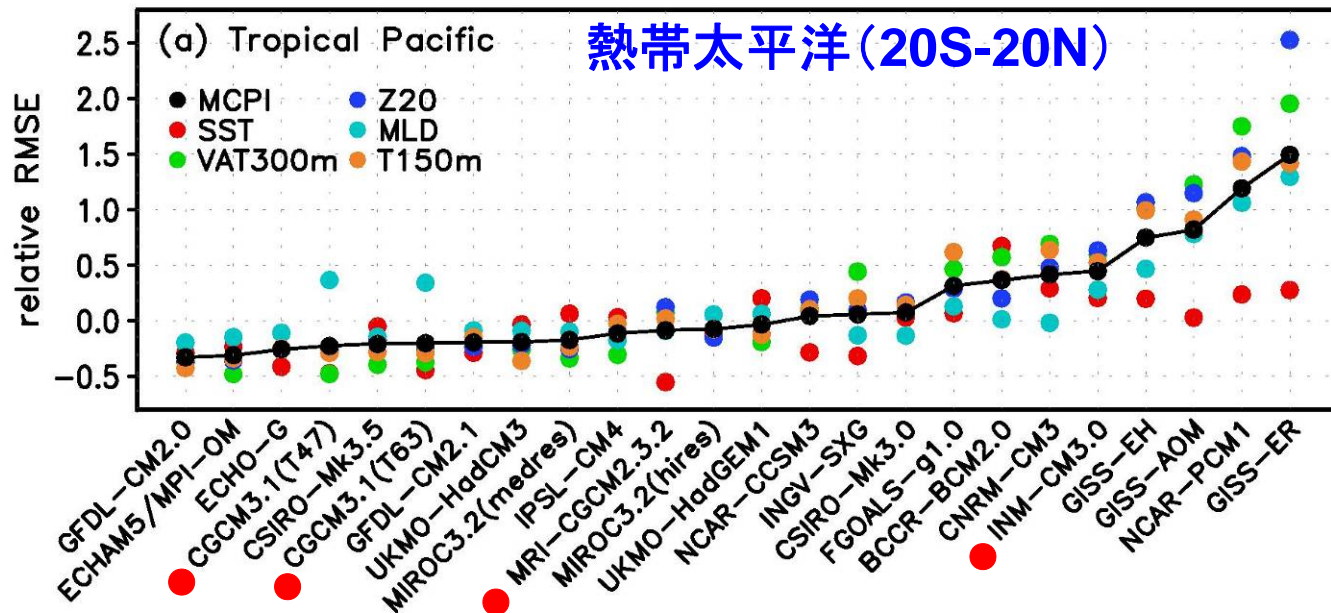
- ・混合層が浅い
- ・水温躍層水温(点線)が低い





# 熱帯(赤道)太平洋海洋メトリック(●)

小 誤差 大





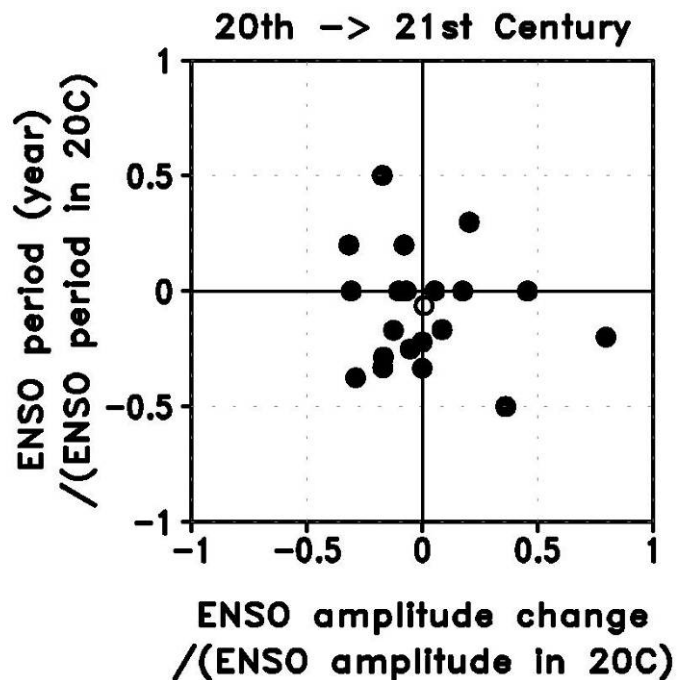
# ENSO再現性と赤道太平洋気候場再現性の関係

モデル	振幅・構造 メトリック	周期 メトリック	ENSO メトリック	熱帯太平洋 メトリック順位	赤道太平洋 メトリック順位
INGV-ECHAM4	0.862	1.000	0.931	13	11
UKMO-HadCM3	0.803	0.967	0.895	8	8
NCAR-PCM1	0.822	0.967	0.885	21	20
GFDL	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;">                     海洋熱帯気候場(年サイクル)の再現性が良いモデルは、                      ENSOの再現性が良い                 </div>				
GFDL					
ECHAM					
BCCR_BCM2.0					
CSIRO-MK3.5	0.632	1.000	0.816	4	4
CSIRO-MK3.0	0.733	0.894	0.813	14	13
MIROC3.2(medres)	0.570	0.967	0.769	9	10
IPSL-CM4	0.803	0.722	0.763	10	6
MRI-CGCM2.3.2	0.683	0.807	0.745	11 (F)	14 (F)
INM-CM3	0.553	0.894	0.724	18 (F)	19 (F)
NCAR-CCSM3	0.784	0.640	0.712	11	5
CNRM-CM3	0.433	0.894	0.664	17	15
CGCM3.1(T47)	0.433	0.894	0.663	3 (F)	7 (F)
CGCM3.1(T63)	0.511	0.778	0.644	5 (F)	9 (F)
FGOALS-g1.0	0.354	0.894	0.624	15	18
GISS-MODEL-E-R	0.221	0.967	0.594	22	22
MIROC3.2(hires)	0.355	0.778	0.566	12	12
GISS-AOM	0.077	0.951	0.514	20	21
GISS-MODEL-E-H	0.550	0.450	0.500	19	16



# ENSO周期・振幅の将来変化

[1949-1998]→[2049-2098]



	22モデル平均	20世紀ENSO再現性 上位10モデル平均
周期	-0.39年 (-6.3%)	-0.11年 (-2.7%)
振幅	-0.017°C (-0.1%)	-0.043°C (-4.4%)

(カッコ内:各モデルの20世紀の値で規格化してから平均)

22モデル:20世紀に周期の長い・振幅小さい→周期短くなる

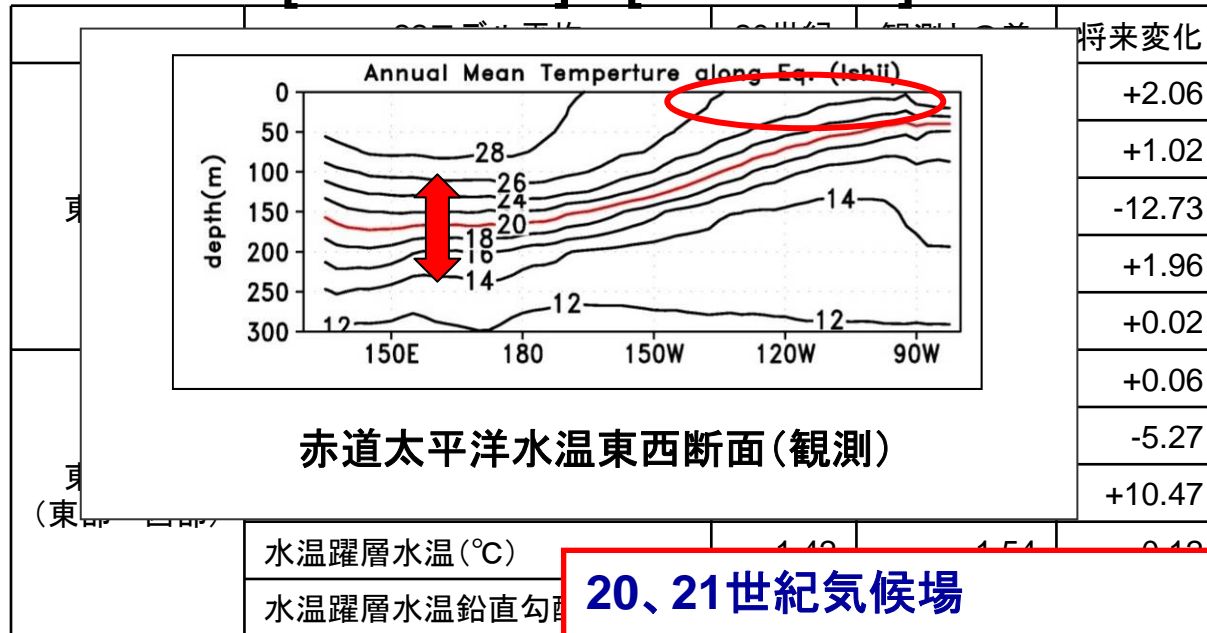
●:モデル

○:22モデル平均

20世紀から21世紀にかけてのENSO周期・振幅の変化は、  
ENSO再現性の良い10モデルの平均でも有意な変化はない

# 熱帯太平洋における海洋平均構造の将来変化

[1949-1998] → [2049-2098]



## 20、21世紀気候場

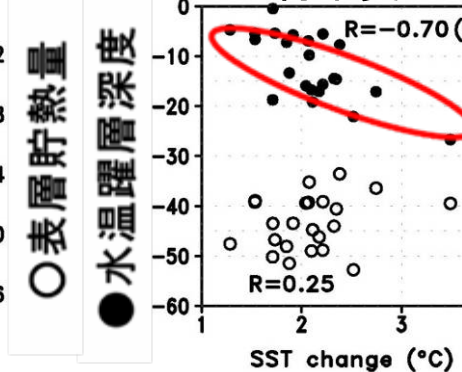
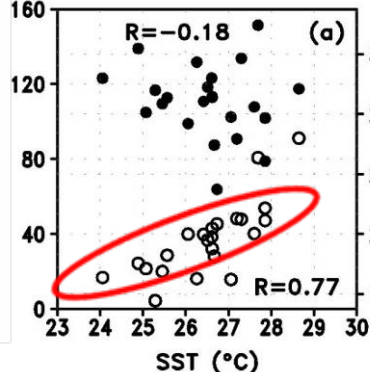
- ・SSTは表層貯熱量とは関係があるが、これらは水温躍層深度とは関係がない。

### 将来変化

- ・SSTは水温躍層深度と関係があるが、表層貯熱量とは関係がない。
- ・SSTが上昇すると水温躍層深度が浅くなり、水温躍層水温も上昇する。海面付近が加熱され、水温躍層水温鉛直勾配が強化。

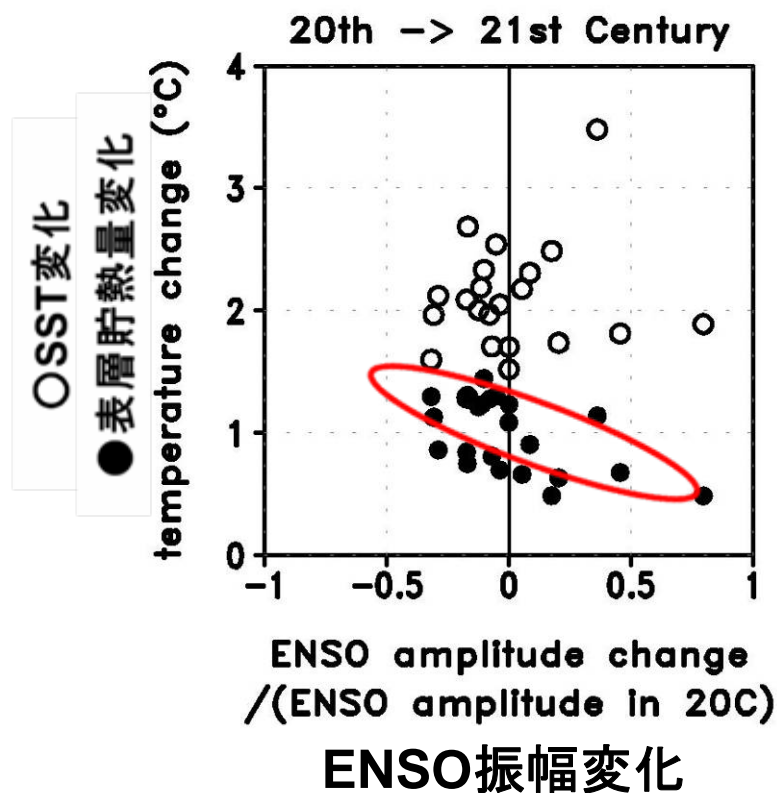
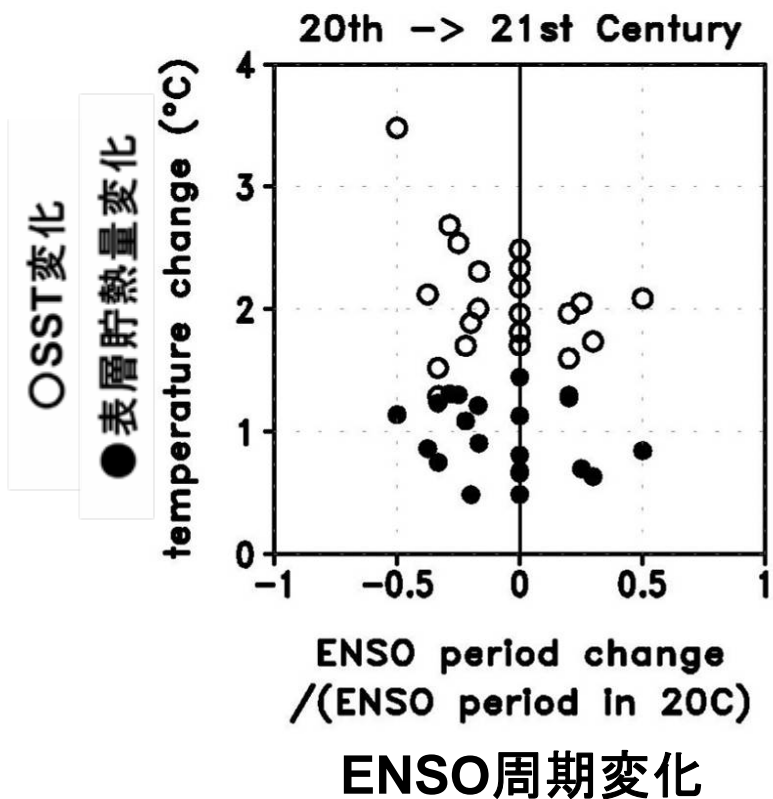
### 20世紀気候場

### 将来変化



22モデルにおける、東西平均SSTと、水温躍層深度(●)及び表層貯熱量(○)との関係

# 海洋平均構造とENSO再現性の将来変化

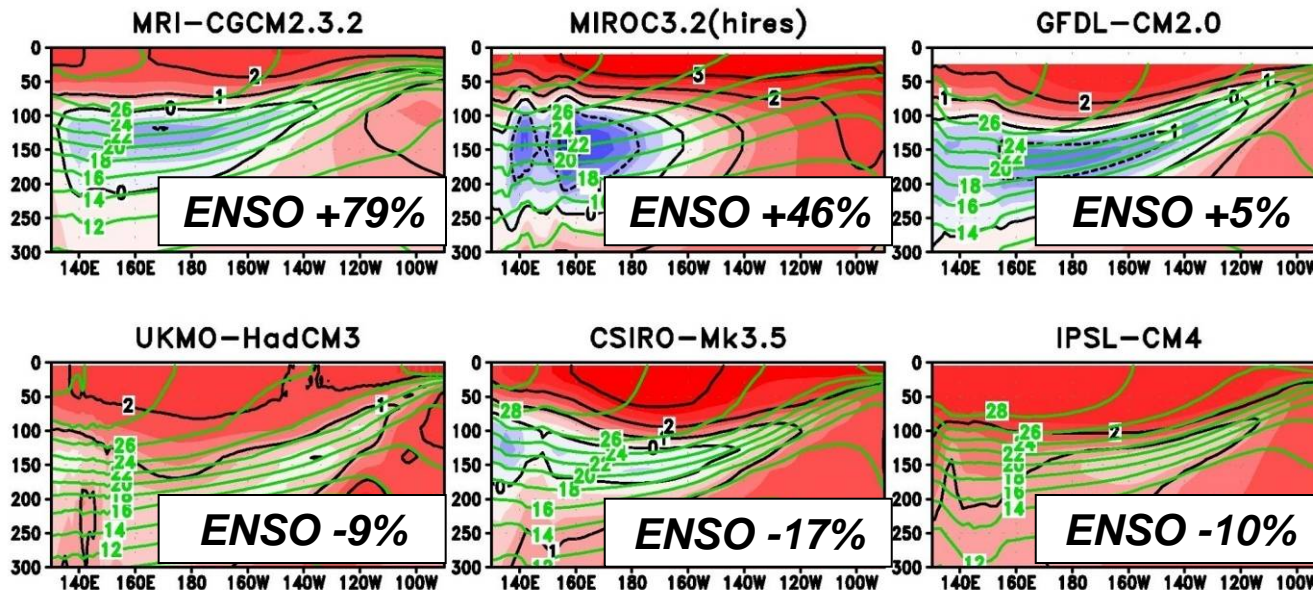


東西平

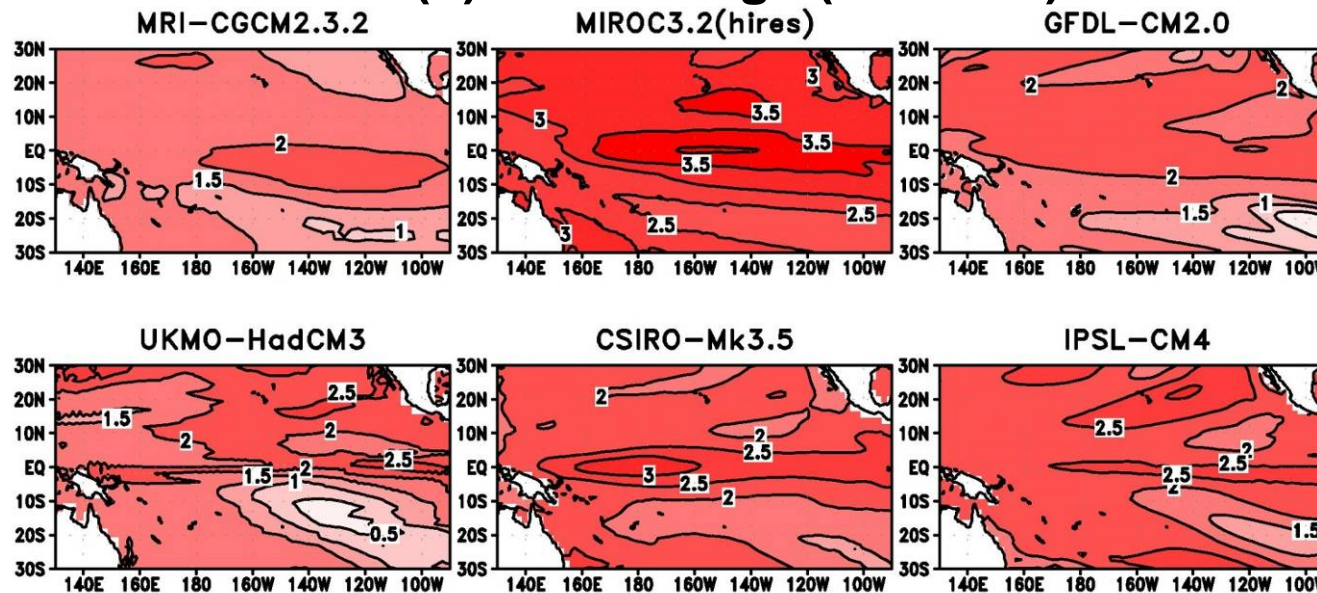
ENSO振幅の将来変化は、  
SSTや水温躍層深度の変化とは関係がなく、  
表層貯熱量の変化と関係がある。

# 海洋平均構造とENSO再現性の将来変化

(a) Temperature change in the equatorial Pacific ( $CI=1^{\circ}C$ )



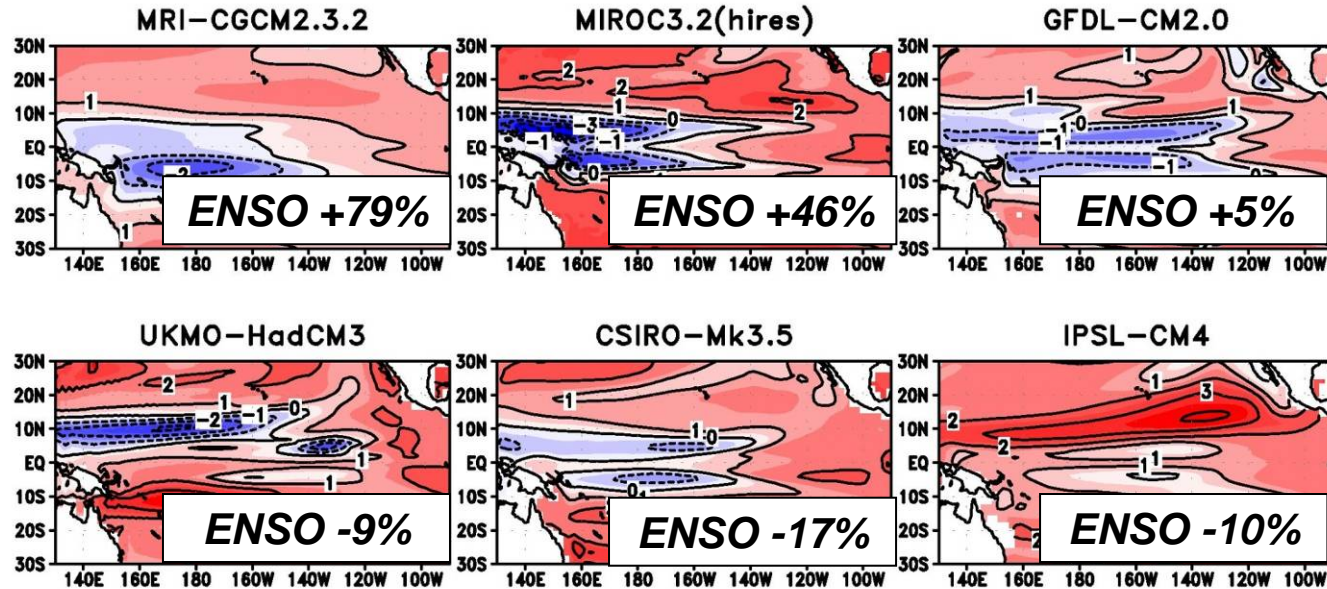
(b) SST change ( $CI=0.5^{\circ}C$ )



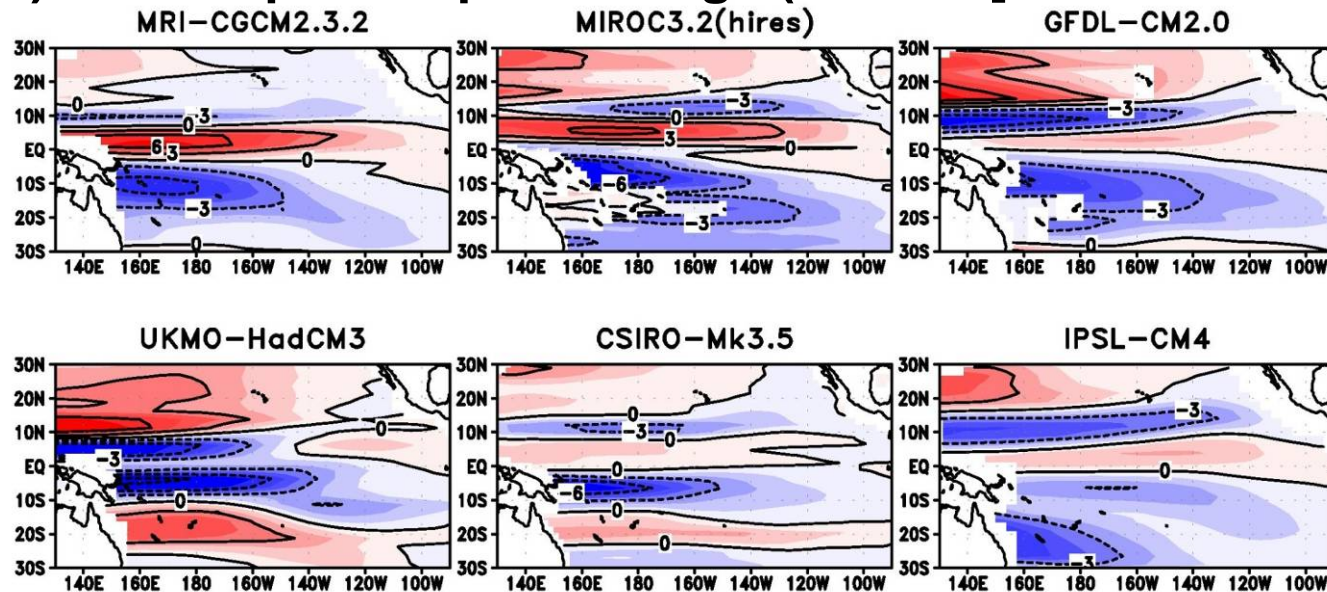


# 海洋平均構造とENSO再現性の将来変化

## (c) Temperature change at 150m depth (CI=1°C)



## (d) Sverdrup Transport change (CI=3Sv [ $1\text{Sv}=10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ])



## まとめ

- ・CMIP3マルチモデルデータセットの20世紀再現実験及び将来気候予測実験結果を使用して、熱帯太平洋における海洋平均構造とENSO特性の現在気候再現性及び将来変化を調べた。
- ・20世紀再現実験における熱帯(赤道)太平洋の再現性の指標(メトリック)を作成した。海洋熱帯気候場(年サイクル)の再現性が良いモデルは、ENSOの再現性が良い。
- ・20世紀から21世紀にかけてのENSO周期・振幅の変化は、ENSO再現性の良い10モデルの平均でも有意な変化はない
- ・20、21世紀気候場では、水温躍層深度はSSTや表層貯熱量とは関係がない。将来変化量に関しては、水温躍層深度とSSTと関係があるが、両者は表層貯熱量とは関係がない。
- ・ENSO振幅の将来変化は、SSTや水温躍層深度の変化とは関係がなく、表層貯熱量の変化と関係がある。