

気候力学II(2021年度A Semester)

担当教員 渡部雅浩(東京大学大気海洋研究所気候システム研究系)
hiro@aori.u-tokyo.ac.jp

2021年10月4日(月)～2022年1月17日(月) (全11-12回)

講義予定および講義ノート(pdf)はITC-LMSに掲載(パスワード制限あり)
#但し、直前に更新する可能性あり

公式シラバス

主として中高緯度で観測される気候変動の実態と、それに関与する様々な時空間スケールを持つ現象の間の相互作用について議論する。具体的に採り上げる現象は、北大西洋振動や北太平洋の10年規模変動に伴う中緯度での大気海洋相互作用とストームトラックの役割、ENSOの遠隔影響に伴う北太平洋水温偏差の形成における大気海洋相互作用、北太平洋10年規模変動における海洋波動や海洋前線帯の役割、南北半球の環状モード変動におけるストームトラックや惑星波変動の役割などである。

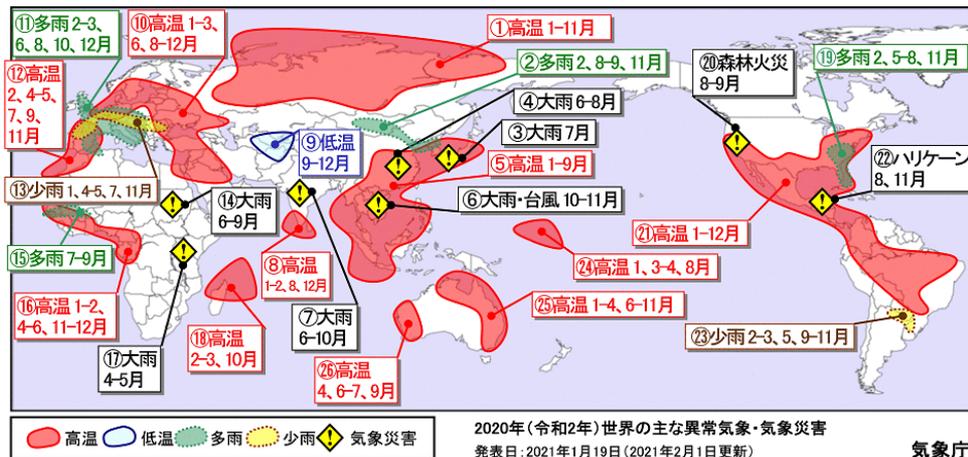
ココロ

大規模な大気循環の変動を中心に、気候変動研究に必要な知識と素養を身につけるための基礎を講義する。現在のトピックもまぜる。

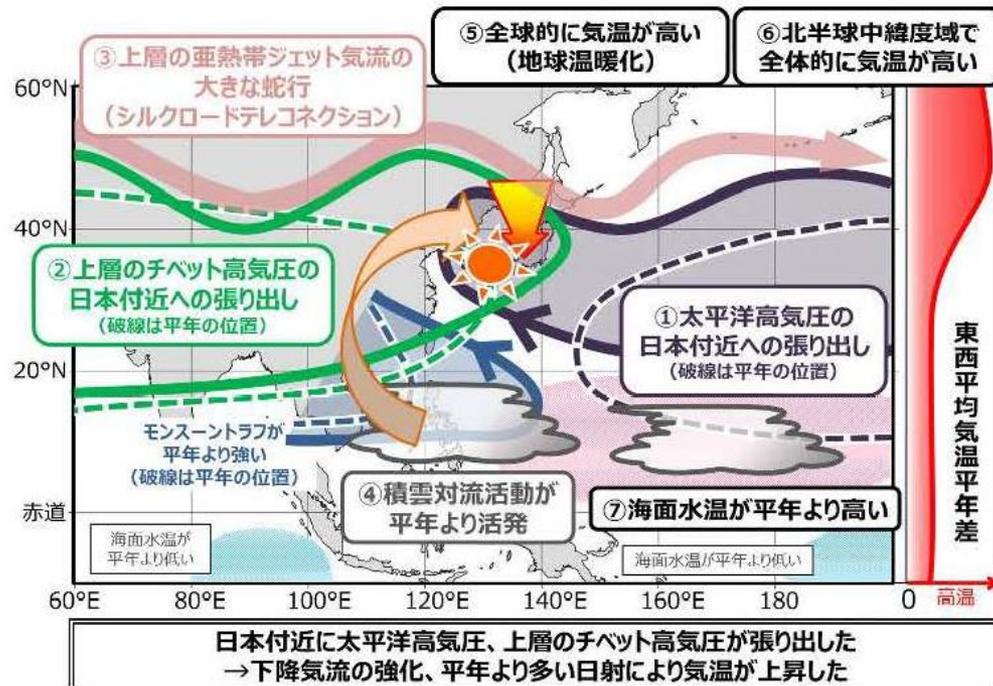
成績評価 出席とレポート(ITC-LMSで行います)

大規模大気循環変動の知識をどう活かすか？ 異常気象要因分析の例

2020年の主な異常気象・気象災害の分布図



2018年8月猛暑の要因分析



一般向けの説明には
ロスビー波も
テレコネクションも
出てこないが…

内容

1. Preparation (1 week)
 1. Quasi-geostrophic motion
 2. Basic statistical analysis (EOF etc)
2. Storm track dynamics (3-4 weeks)
3. Atmospheric low-frequency variability (4 weeks)
 1. Basic
 2. Exercise using a barotropic model
 3. Application
4. ENSO teleconnection (1 week)
5. Extratropical air-sea interaction (1 week)
6. Decadal climate variability (1 week)
 1. PDO
 2. AMO and others

スケジュール

第1回 10/4

第2回 10/11

第3回 10/18

第4回 10/25

11/1 休講

第5回 11/8 △(博士論文審査会)

第6回 11/15

第7回 11/22

第8回 11/29

12/6 休講(気象学会)

第9回 12/13

第10回 12/20

1/10 祝日→振り替え講義あるかも？

第11回 1/17

演習

大気長周期変動(ロスビー波の力学)の章で、線形順圧モデルを用いた定常応答問題を解いてみる

時期： 11月頃

各自の環境：

- ・ 講義室でWiFiに接続できるノートPC
- ・ リモートアクセスできる、あるいはローカル環境にあるLinux

パッケージはそれまでに準備して配布します

成績評価

出席とレポート

レポート課題1.

演習で行った線形順圧モデルを用いた定常応答問題で(以下略)

レポート課題2.

講義でとりあげたトピックから一つを選び、関連する論文を1本読んで内容をまとめること。

⇒ 渡部が読むだけだともったいないので、皆さんでシェアしよう

成績評価

出席とレポート

レポート課題1.

演習で行った線形順圧モデルを用いた定常応答問題で(以下略)

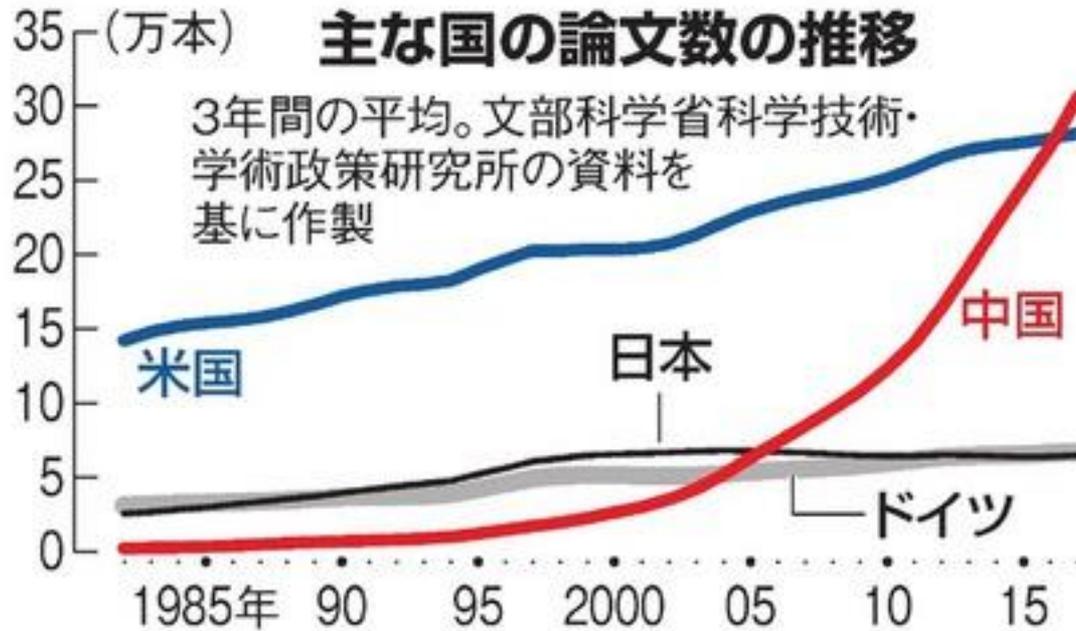
レポート課題2.

講義でとりあげたトピックから一つを選び、関連する論文を1本読んで内容をまとめること。

⇒ 渡部が読むだけだともったいないので、皆さんでシェアしよう

* 最近の論文は多すぎて渡部も追えていない

論文増えすぎ。。。



朝日新聞(2020.08.07)

トピックの例

2. ストームトラック

Q. 温暖化で変化しているのか？

3. 大気長周期変動

Q. 日本の猛暑はなぜ起こる？

4. ENSOテレコネクション

Q. 海盆間相互作用とは？

5. 中緯度大気海洋相互作用

Q. 中緯度海面水温(気候値、変動)の気候における役割

6. 10年規模変動

Q. 温暖化の停滞(ハイエイタス)は何だったのか？

成績評価

出席とレポート

レポート課題1.

演習で行った線形順圧モデルを用いた定常応答問題で(以下略)

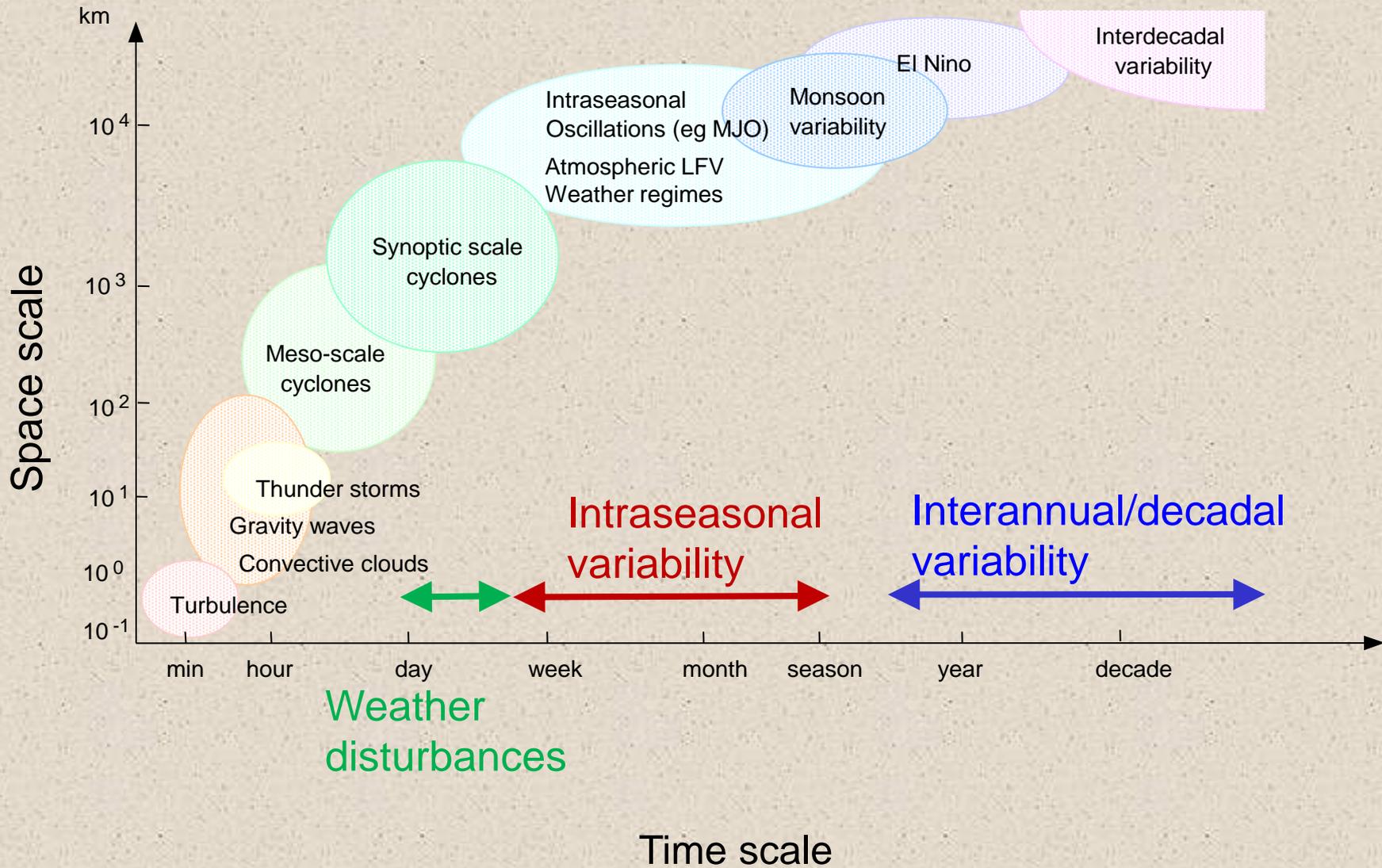
レポート課題2.

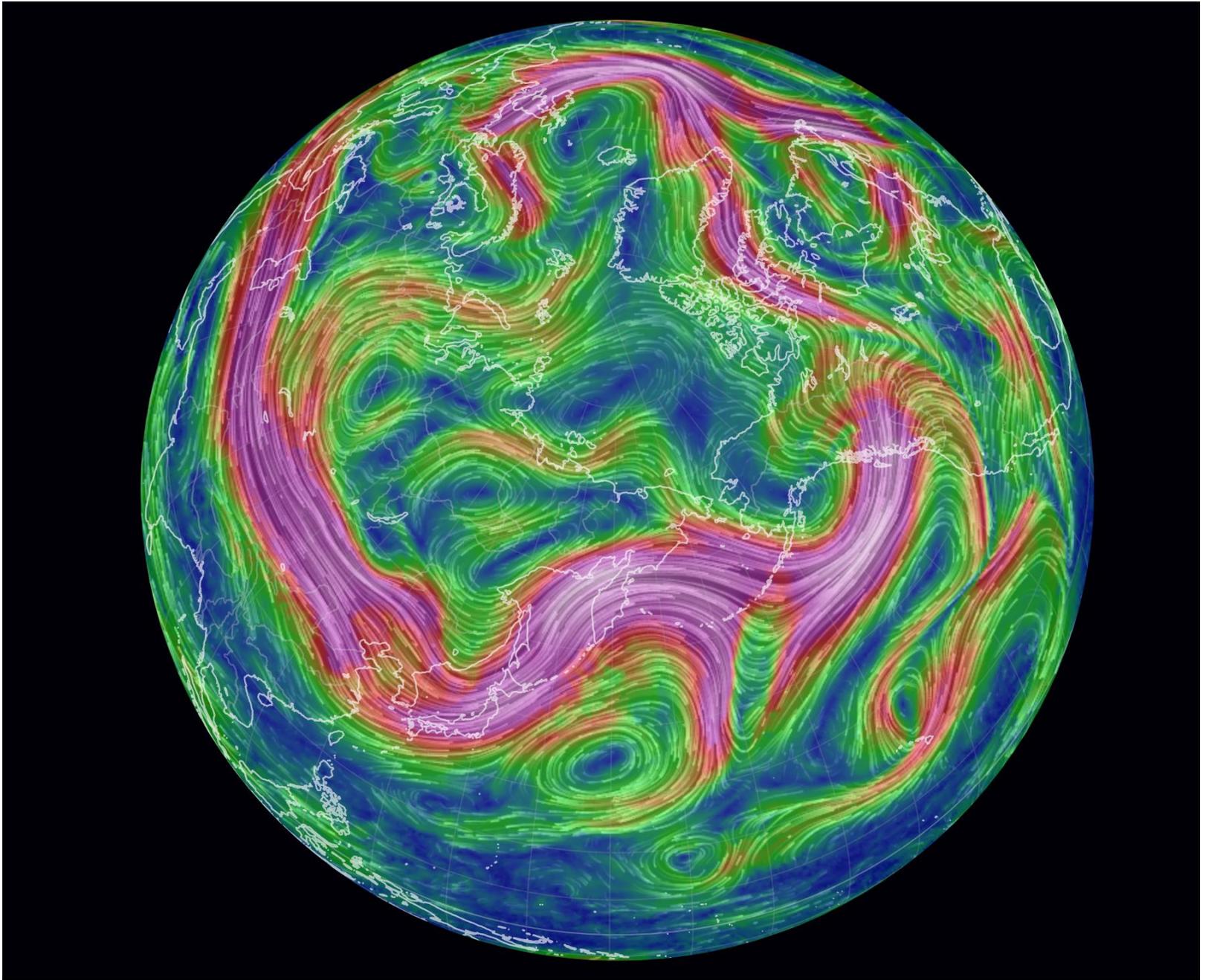
講義でとりあげたトピックから一つを選び、関連する論文を1本読んで内容をまとめること。

⇒ 渡部が読むだけだともったいないので、皆さんでシェアしよう

提案： 一人10分くらいで、課題2.に相当する内容を講義期間中にプレゼンする。できるだけ最近の、興味のある話題から論文を探す。

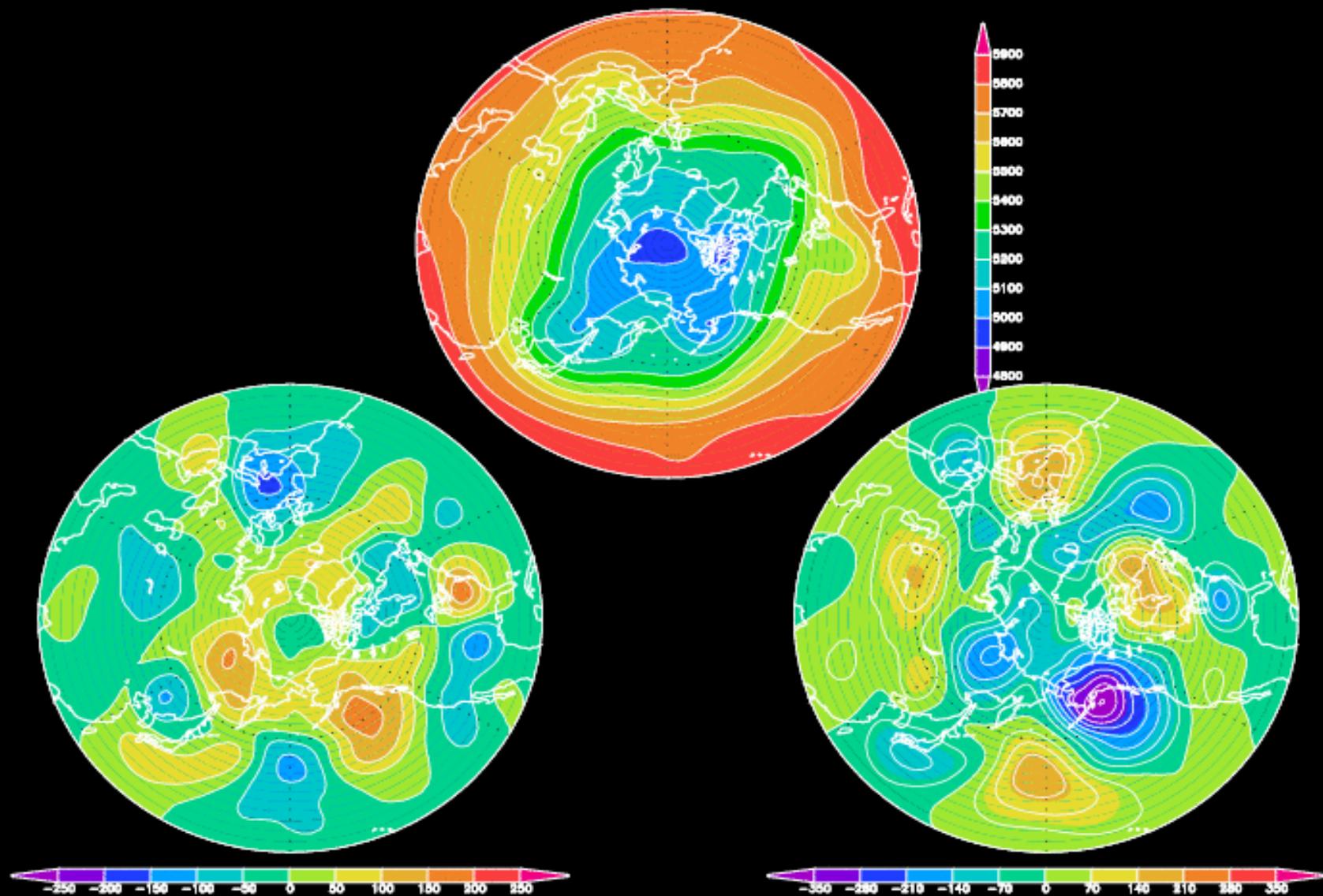
⇒ 期末レポートに転用してくれればOK



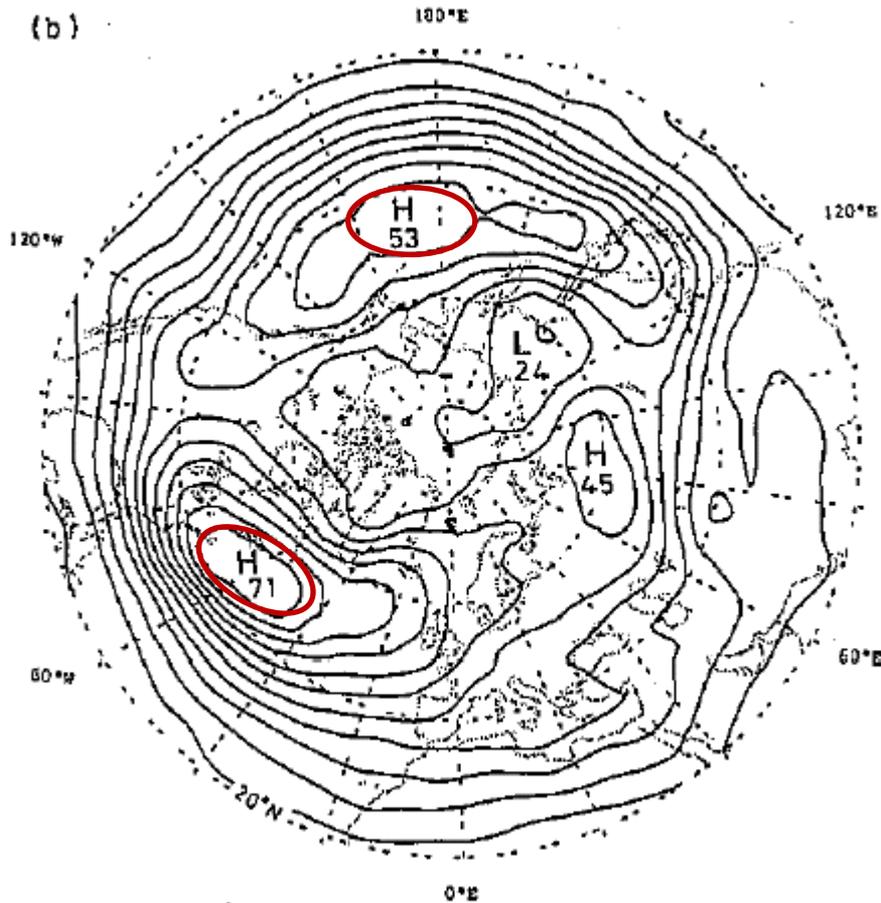


<https://earth.nullschool.net/jp/#current/wind/isobaric/250hPa/orthographic=-199.06,69.99,361>

Z at 300 hPa day 01 hour 00Z

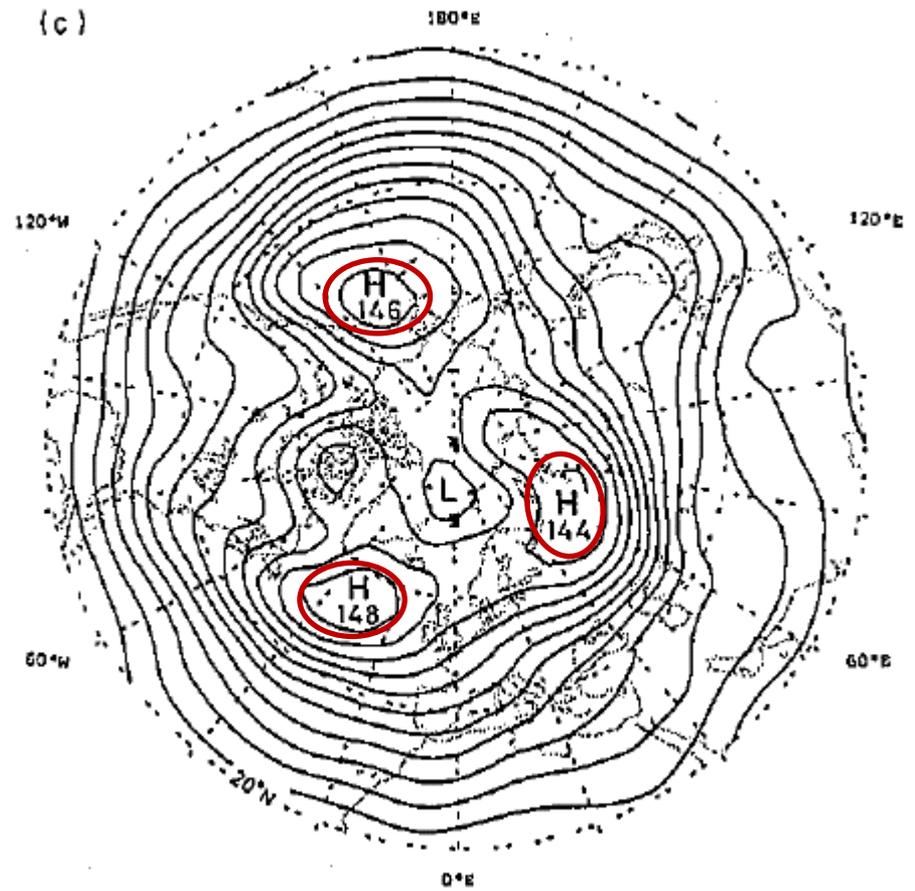


Z500 variance maps



2.5-6 day bandpass
(c.i.=5m)

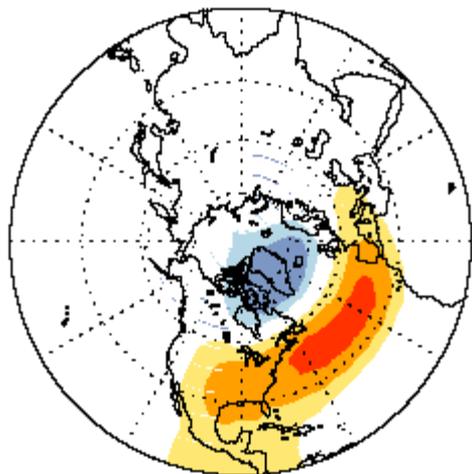
<



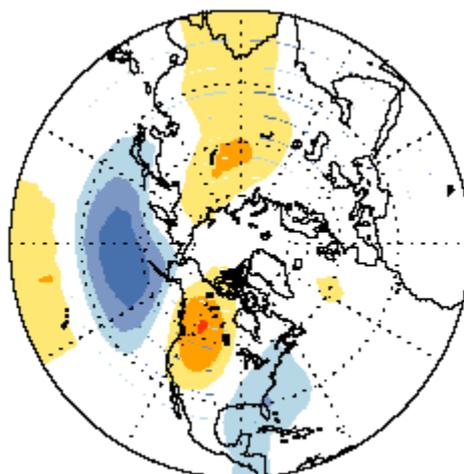
10-day lowpass
(c.i.=10m)

Well-known teleconnection patterns (northern winter)

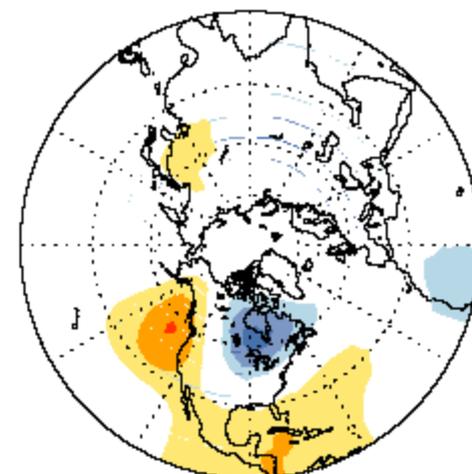
North Atlantic Oscillation (NAO)



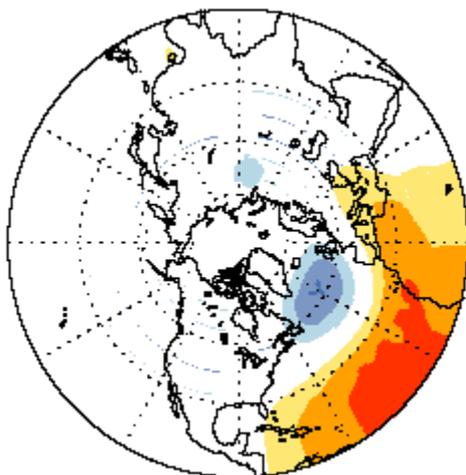
Pacific/North American Pattern (PNA)



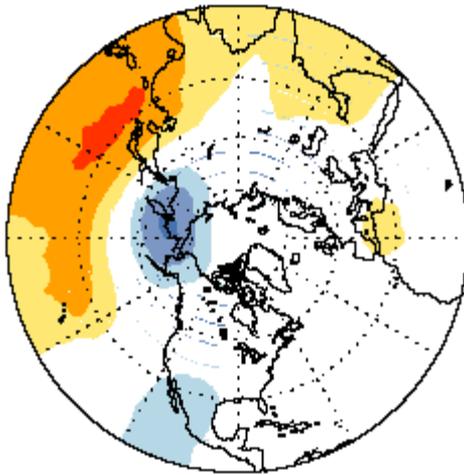
Tropical/Northern Hemisphere Pattern (TNH)



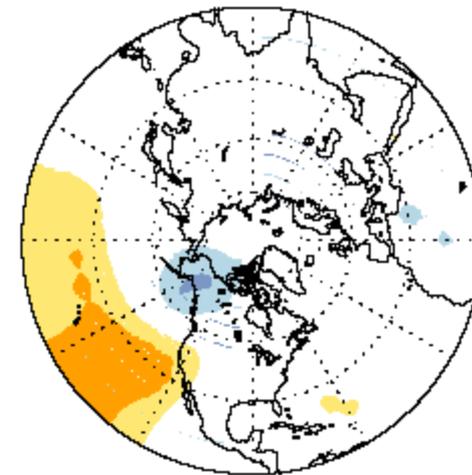
East Atlantic Pattern (EA)



West Pacific Pattern (WP)



East Pacific Pattern (EP)

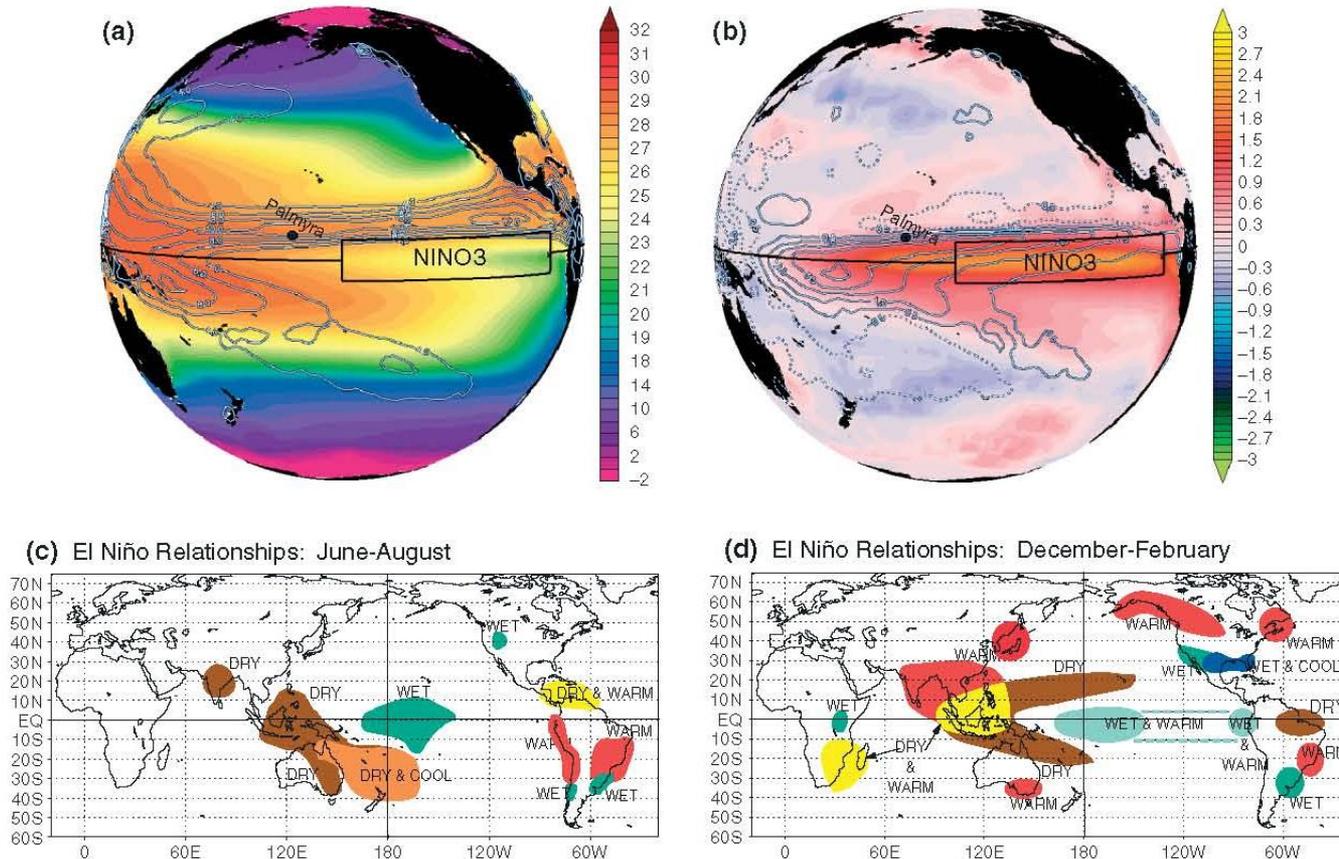


数日～1週間

週間～季節

What's the heck is ENSO?

エルニーニョ(El Niño)/南方振動(Southern Oscillation) = ENSO



Vecchi & Wittenberg (2010)

数日～1週間

週間～季節

年～数年

“The Atmospheric Bridge”

“大気の橋”

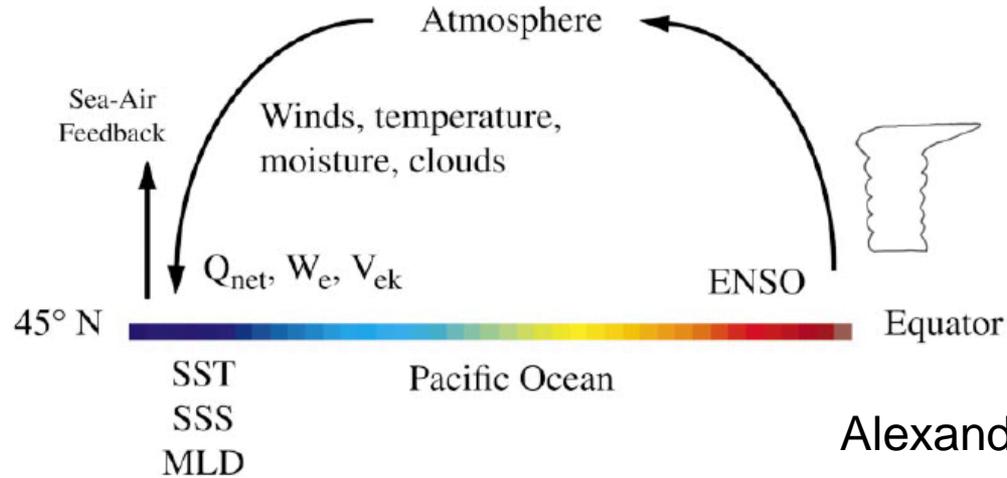
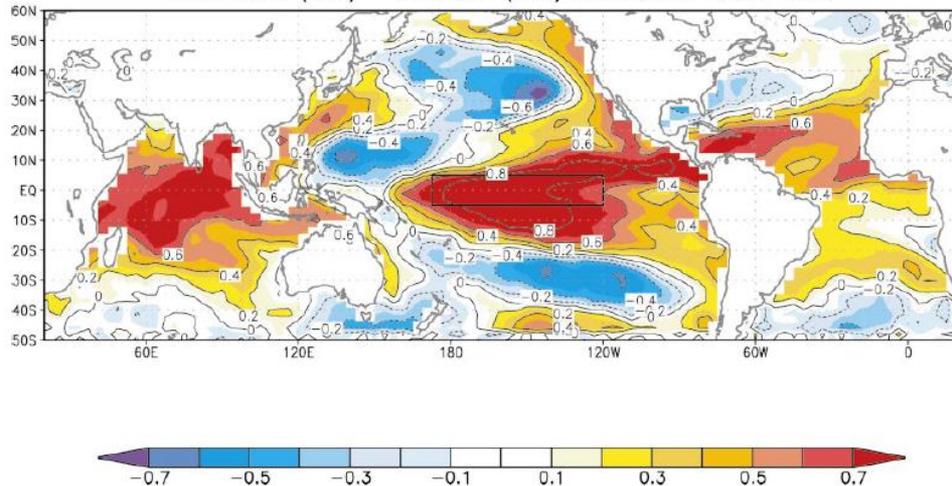


FIG. 1. Schematic of the “atmospheric bridge” between the tropical and North Pacific Oceans. The bridge concept also applies to the Atlantic, Indian, and South Pacific Oceans. The bridge occurs through changes in the Hadley and Walker cells, Rossby waves, and interactions between the quasi-stationary flow and storm tracks (see Trenberth et al. 1998). The Q_{net} is the net surface heat flux; w_e the entrainment rate into the mixed layer from below, which is primarily driven by surface fluxes; SST the sea surface temperature; SSS the sea surface salinity; and MLD the mixed layer depth.

Nino Index (NDJ) – Obs SST (FMA) Correlation 1950–1999



Ensemble mean of NDJ ENSO w/ FMA SST correlation (16 MLM runs)

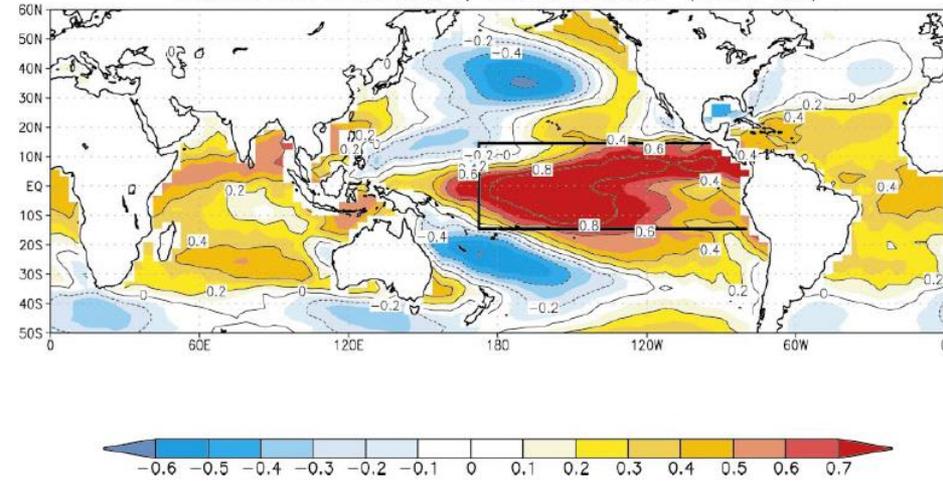


FIG. 2. Correlation between SST anomalies in the ENSO region (indicated by the box in the equatorial Pacific) in NDJ with global SST anomalies in the subsequent FMA for the period 1950–99 [shading (contour) interval is 0.1 (0.2)]. The gridded SST fields were constructed from EOFs (Smith et al. 1996) prior to 1982 and optimum interpolation of surface and satellite data (Reynolds and Smith 1994) for 1982–99.

FIG. 3. As in Fig. 2 but for the ensemble average correlation in the MLM between the NDJ ENSO index and FMA global SST anomalies for the period 1950–99 [shading (contour) interval is 0.1 (0.2)]. To properly weight the ensemble members, the gridpoint correlations from the individual simulations are first transformed into Fisher’s z statistics, averaged together, and then transformed back to correlation values.

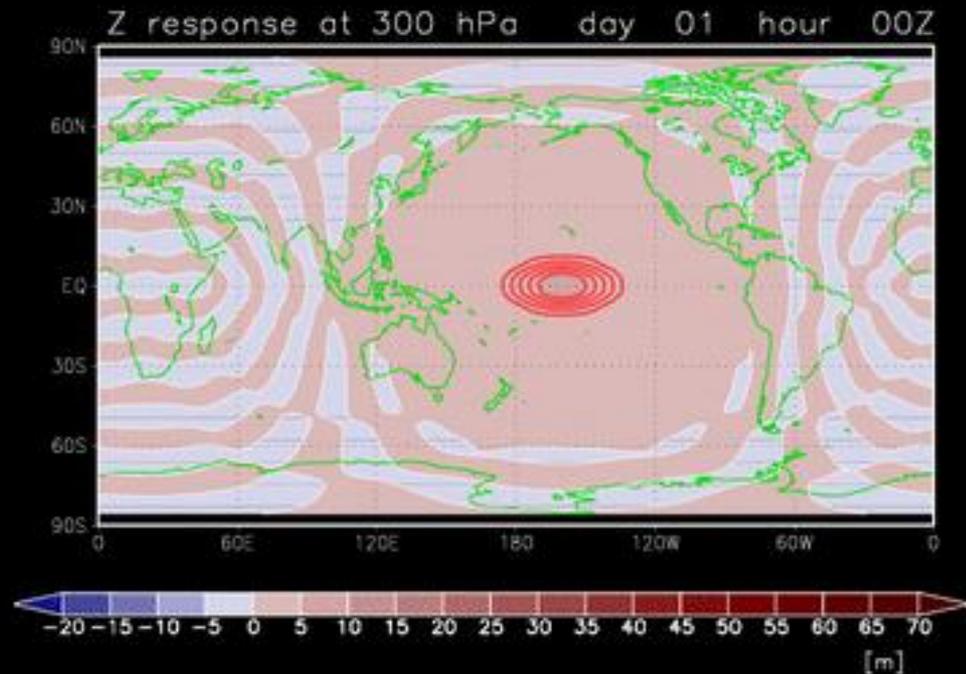
Cor(NDJ Nino, FMA SST) Obs.

AGCM+ML

ENSO, teleconnection, and Rossby waves

Mechanisms by which climate variability such as ENSO generates teleconnection patterns can be explained using a conventional linear Rossby wave theory

Linear Z_{300} response to equatorial heating



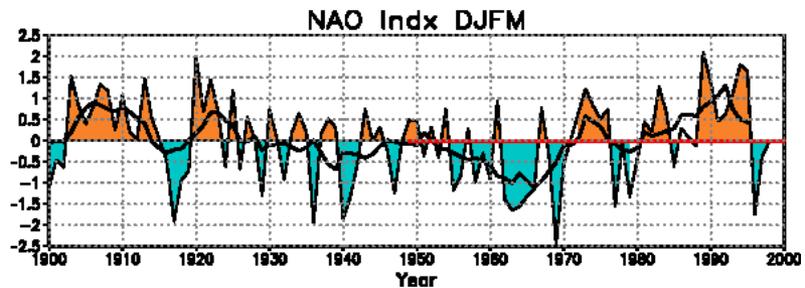
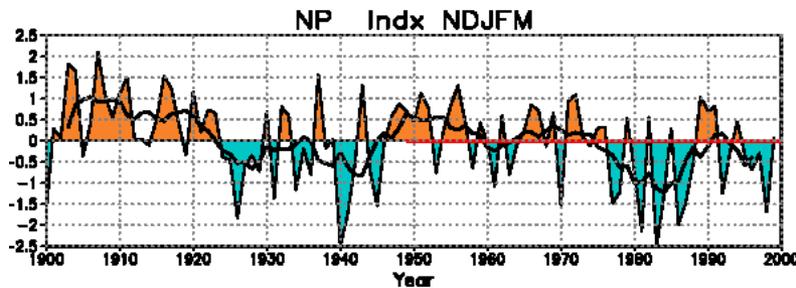
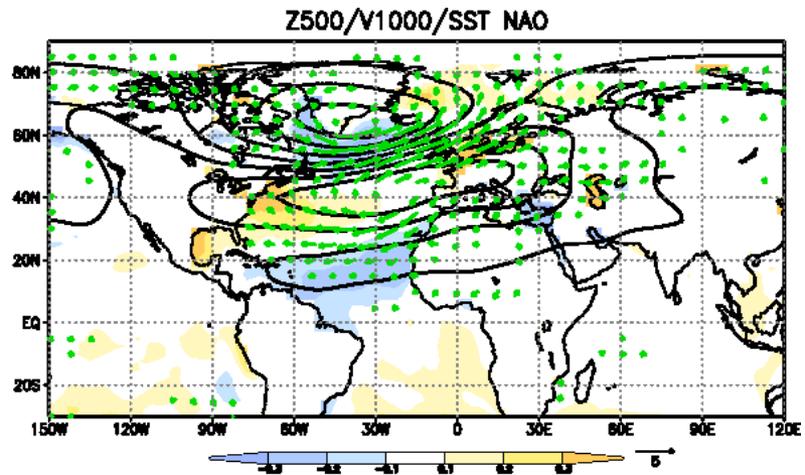
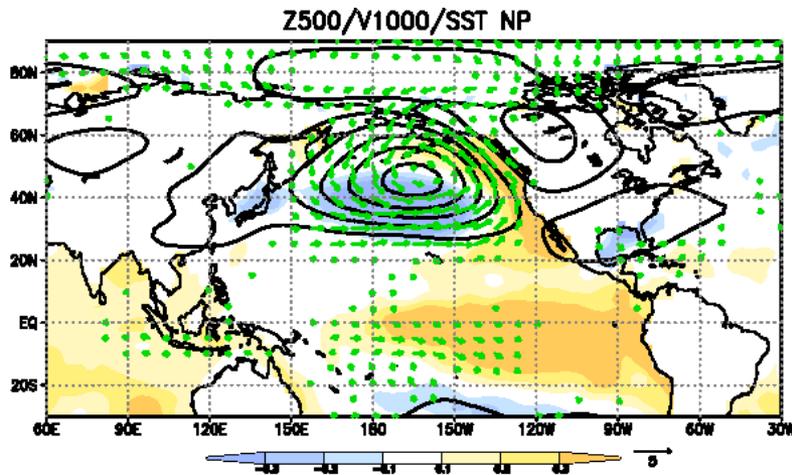
Decadal variability

Pacific domain

Atlantic domain

PDO, IPO, decadal ENSO, NPGO, ...

AMO, AMV, NA tripole, TADV, ...



数日～1週間

週間～季節

年～数年

十年～数十年

準備運動① 準地衡方程式系

基礎方程式(乾燥大気、ブシネスク近似、静水圧近似)

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \right) u - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_x$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \right) v + fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_y$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$

$$p = \rho RT \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \right) \theta = Q$$

準備運動① 準地衡方程式系

鉛直座標(対数圧力系)

$$z = -H \ln \left(\frac{p}{p_s} \right), \quad \therefore p = p_s e^{-\frac{z}{H}}$$

温位

$$\theta = T \left(\frac{p_s}{p} \right)^\kappa = T e^{\frac{\kappa z}{H}}$$

静水圧の式

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{p}{\rho H} = \frac{R}{H} T = \frac{R}{H} \theta e^{-\frac{\kappa z}{H}} \quad (1)$$

準備運動① 準地衡方程式系

中緯度 β 平面近似 $f = f_0 + \beta y$

地衡風(非発散風)定義 $u = u_g + u_a$, $v = v_g + v_a$

温位摂動(以降 θ^* は θ と表記) $\theta^* = \theta - \theta_0(z)$, $\theta_0 = \frac{H}{R} e^{\frac{\kappa z}{H}} \frac{d\phi_0}{dz}$

Rossby number (U/fL) の次数で整理

$O(0)$

$$f_0 u_g = -\frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (2)$$

$$f_0 v_g = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (3)$$

準備運動① 準地衡方程式系

$O(\text{Ro})$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u_g \frac{\partial}{\partial x} + v_g \frac{\partial}{\partial y} \right) u_g - f_0 v_a - \beta y v_g = F_x \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u_g \frac{\partial}{\partial x} + v_g \frac{\partial}{\partial y} \right) v_g + f_0 u_a + \beta y u_g = F_y \quad (5)$$

$$\frac{\partial u_a}{\partial x} + \frac{\partial v_a}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 w}{\partial z} = 0 \quad \left(\frac{\partial u_g}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial y} = 0 \text{ は自明} \right) \quad (6)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u_g \frac{\partial}{\partial x} + v_g \frac{\partial}{\partial y} \right) \theta + w \frac{\partial \theta_0}{\partial z} = Q \quad (7)$$

未知数は $u_g, v_g, u_a, v_a, w, \phi, \theta$ の7つ、式は(1)-(7)で閉じている

準備運動① 準地衡方程式系

準地衡渦度方程式

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u_g \frac{\partial}{\partial x} + v_g \frac{\partial}{\partial y} \right) \xi = \frac{f_0}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 w}{\partial z} + \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \quad (11)$$

$$\text{ここで } \xi = f_0 + \beta y + \zeta, \quad \zeta = \frac{\partial v_g}{\partial x} - \frac{\partial u_g}{\partial y}$$

(7)と(11)から w を消去、ただし以下の関係を使う

$$\psi = \frac{\phi}{f_0} \quad (12) \quad \theta = \frac{f_0 d\theta_0 / dz}{N^2} \frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad N^2 = \frac{g}{\theta_0} \frac{d\theta_0}{dz} \quad (13)$$

$$u_g = -\frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (14) \quad v_g = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (15) \quad \zeta = \nabla^2 \psi \quad (16)$$

準備運動① 準地衡方程式系

準地衡渦位 (QGPV) 方程式

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u_g \frac{\partial}{\partial x} + v_g \frac{\partial}{\partial y} \right) q_g = \frac{f_0}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} \frac{\rho_0 Q}{d\theta_0/dz} + \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \quad (17)$$

準地衡渦位 $q_g = f_0 + \beta y + \zeta + \frac{f_0}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} \frac{\rho_0 \theta}{d\theta_0/dz}$ は、

(13)、(16)を用いて流線関数のみであらわせる

$$q_g = \nabla^2 \psi + f_0 + \beta y + \frac{f_0^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho_0}{N^2} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \quad (18)$$

(17)は右辺および適当な初期条件が与えられれば数値的に解ける。変数は ψ のみ。

準備運動② ミニマム統計解析

□ 相関・回帰

□ EOF解析

準備運動② 相関と回帰

一次線形回帰(最小二乗法)

$$y_i^* = \beta_0 + \beta_1 x_i \quad (i=1,2,\dots,N)$$

回帰の誤差の二乗和S

$$S = \sum_i^N (y_i - y_i^*)^2 = \sum_i^N (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (i=1,2,\dots,N)$$

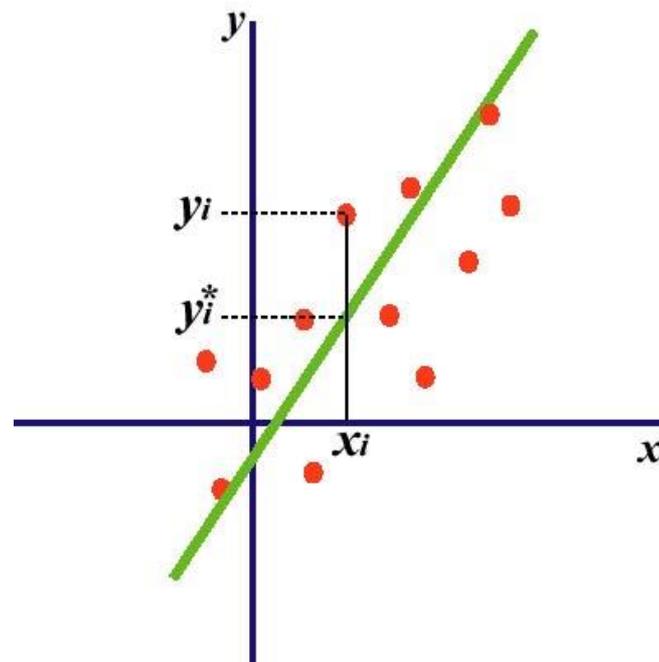
を最少とするように係数を決める。 $\partial S / \partial \beta_0 = 0, \partial S / \partial \beta_1 = 0$ より $y_i = \beta_0 - \beta_1 x_i$

$$\mathbf{X}^T = \begin{pmatrix} 1, & 1, & \dots, & 1 \\ \hat{x}_1, & \hat{x}_2, & \dots, & \hat{x}_N \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Y}^T = (\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_N), \quad \mathbf{B}^T = (\hat{\beta}_0, \beta_1)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{XB}, \quad \mathbf{X}^T \mathbf{XB} = \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$$

$$\begin{pmatrix} N & 0 \\ 0 & \sum_i^N \hat{x}_i \hat{x}_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \sum_i^N \hat{x}_i \hat{y}_i \end{pmatrix}$$

$$\beta_1 = \frac{\sum_i^N \hat{x}_i \hat{y}_i}{\sum_i^N \hat{x}_i \hat{x}_i} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_{xx}}$$



準備運動② 相関と回帰

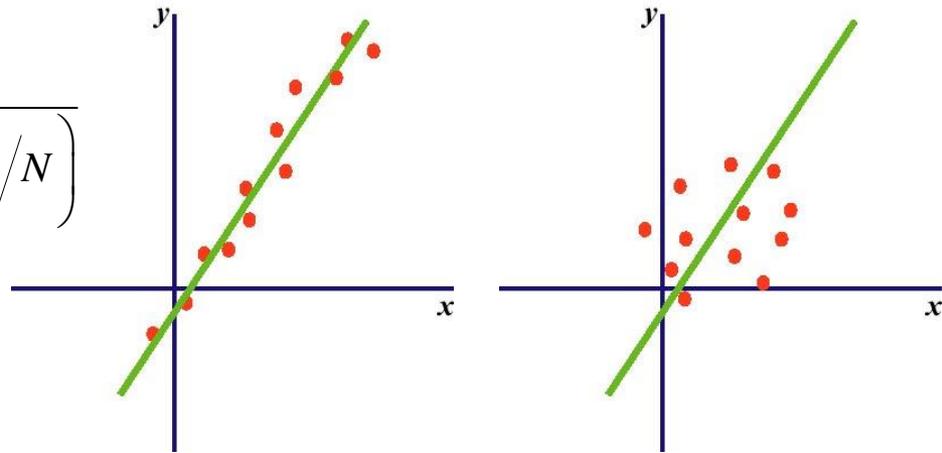
単相関係数

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_{xx}\sigma_{yy}}} = \frac{\sum_i x(t_i)y(t_i) / N}{\left(\sqrt{\sum_i x(t_i)x(t_i) / N}\right)\left(\sqrt{\sum_i y(t_i)y(t_i) / N}\right)}$$

検定の例 (有意水準 α 、自由度 $\nu=N-2$)

$$t = r\sqrt{\frac{\nu}{1-r^2}}, \quad \therefore r_\alpha = \frac{t(\nu, \alpha)}{\sqrt{\nu + t(\nu, \alpha)^2}}$$

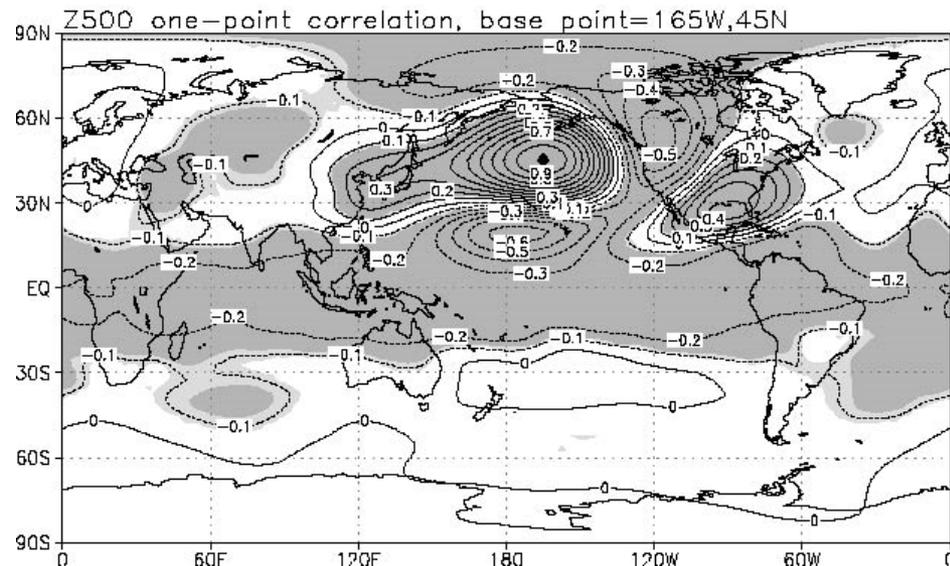
相関と回帰の違い



One-point correlation map

応用

- ✓ラグをとる
- ✓1点回帰
- ✓フィルタと併用



準備運動② 相関と回帰

実行サンプル数 (effective sample size)

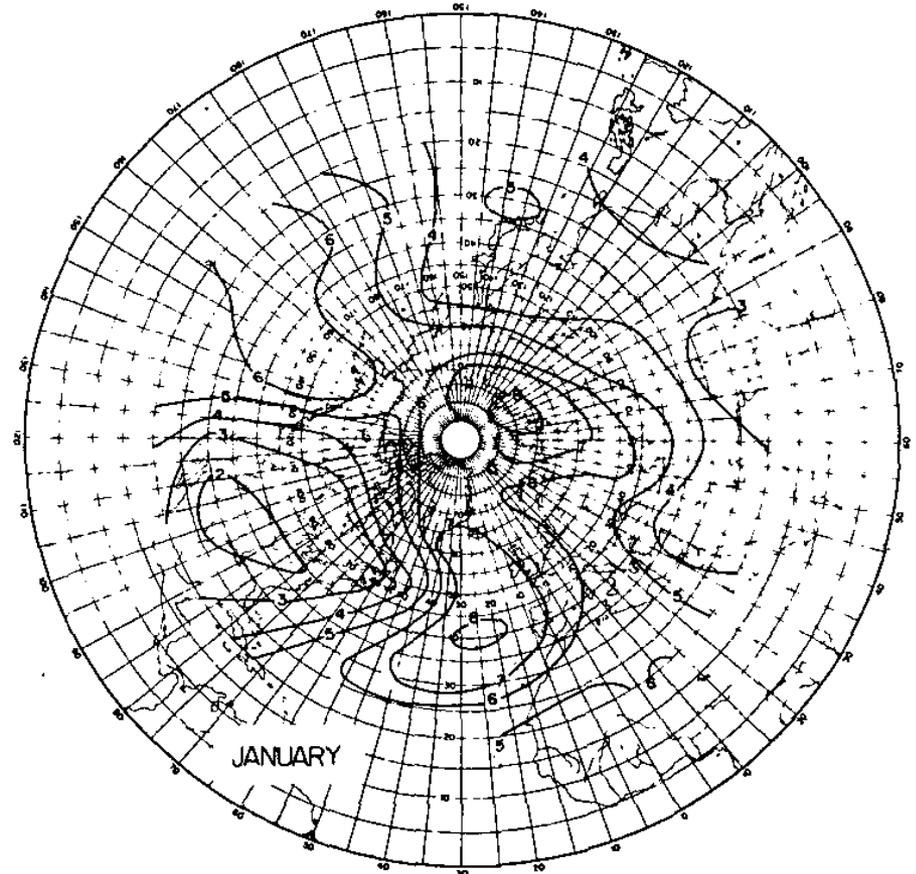
T_0 in sea level pressure

時刻 t と $t+\tau$ でデータに連続性があるとき、自由度は実際のサンプル数よりも小さい

$$N_e = \frac{N}{T_0}, \quad T_0 : \text{characteristic time } (\geq 1)$$

$$T_0 = 1 + 2 \sum_{\tau=1}^N \left(1 - \frac{\tau}{N}\right) \rho(\tau)$$

$\rho(\tau)$: autocorrelation with lag τ



準備運動② EOF解析

経験的直交関数(Empirical Orthogonal Function)解析:

- 統計学では古くから主成分分析(principal component analysis)と呼ばれているものに等しい
- 気象分野に持ち込んだ最初の論文はKutzbach (1967 J Appl Met)

時間 t 、空間 x に依存する場 $\mathbf{X}(x,t)$ に対して、以下の線形のモデルを考える。

$$\mathbf{X}(x,t) = \mathbf{e}(x)\mathbf{f}^T(t) \quad (1)$$

$\mathbf{e}_i(x)$ は i ($\leq N$)番目の基底の空間分布、 $\mathbf{f}_i(t)$ はその時間変化を表す時系列で、

$$\langle \mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j^T \rangle = \delta_{ij} \quad , \quad \langle \mathbf{f}_j^T, \mathbf{f}_i \rangle = \lambda^2 \delta_{ij} \quad (2)$$

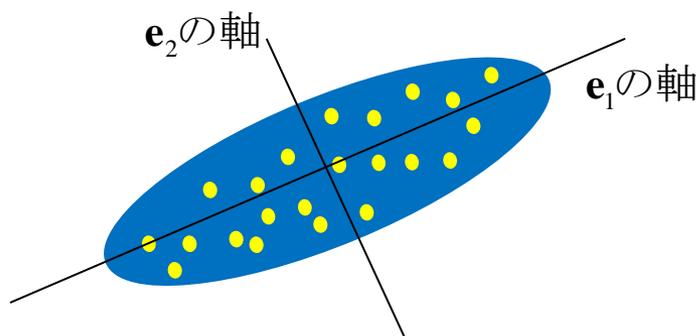
$\mathbf{X}(x,t)$ の転置行列 $\mathbf{X}^T = (\mathbf{e}\mathbf{f}^T)^T = \mathbf{f}\mathbf{e}^T$ を(1)にかけ、(2)の直交性を用いると、共分散行列が以下のような固有値問題であらわされる

$$\mathbf{C} = \mathbf{X}\mathbf{X}^T = \mathbf{e}\mathbf{\Lambda}^2\mathbf{e}^T \quad , \quad \mathbf{\Lambda} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N) \quad (3)$$

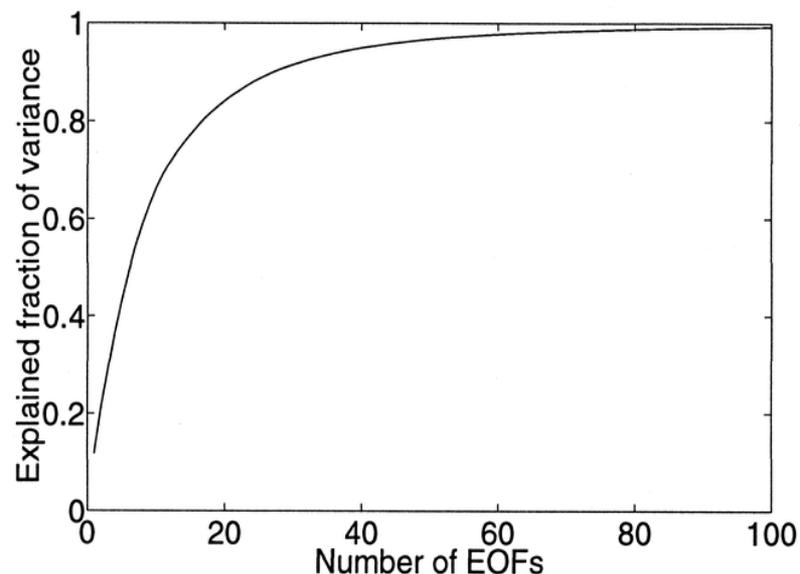
準備運動② EOF解析

(3)より、データ $X(x,t)$ の共分散行列から、 $X(x,t)$ の分散共分散をもっともよく説明する空間構造およびその時間変化が e_1, f_1 として求まり、以下順次直交するような「モード」が得られる

N次元位相空間における点の散布は共分散行列で特徴づけられる



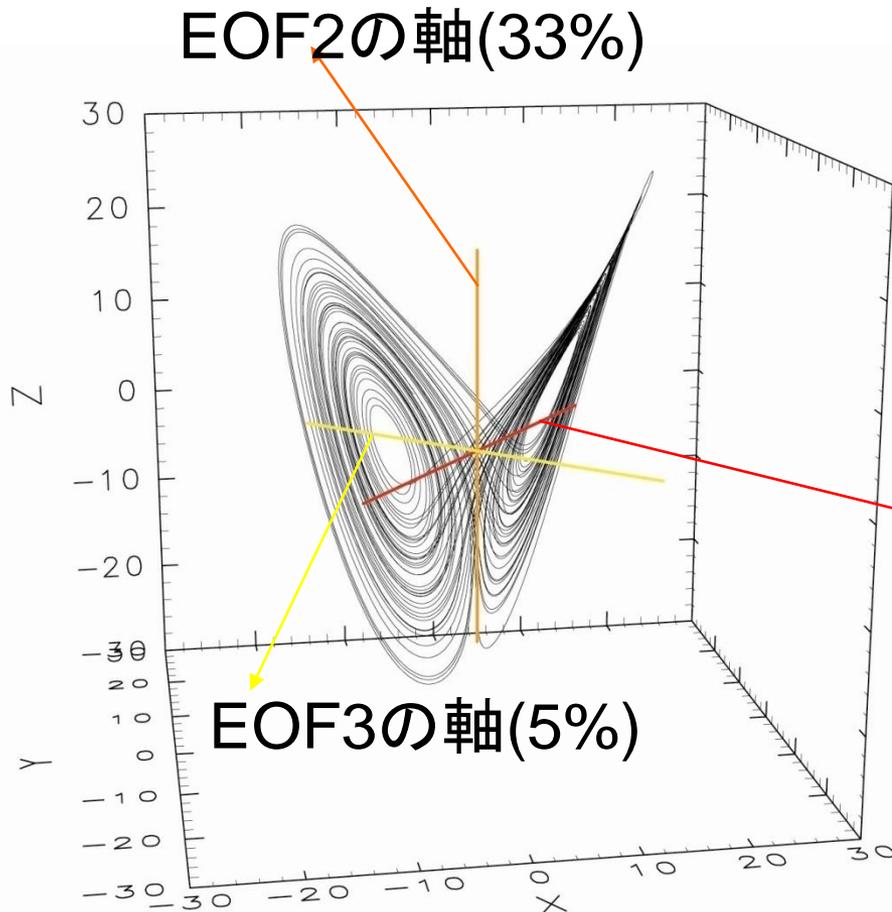
EOF1は、集合のもっとも(線形に)伸びた軸として選択される



Bretherton et al. (2002)

★ 気候変動解析におけるXは多くの場合他自由度($N > 1000$)であるが、上位10-20程度のEOFで全分散の90%以上を説明できることがままある(縮退している)

EOF: Lorenz system(1)



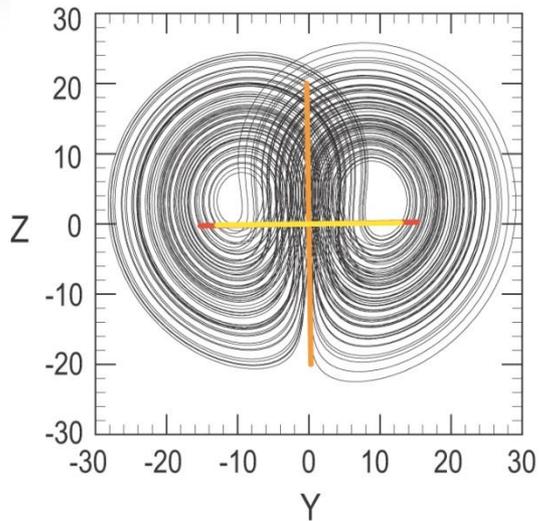
$$d_t x = -\sigma x + \sigma y$$

$$d_t y = -xz + rx - y$$

$$d_t z = xy - bz$$

EOF1の軸(62%)

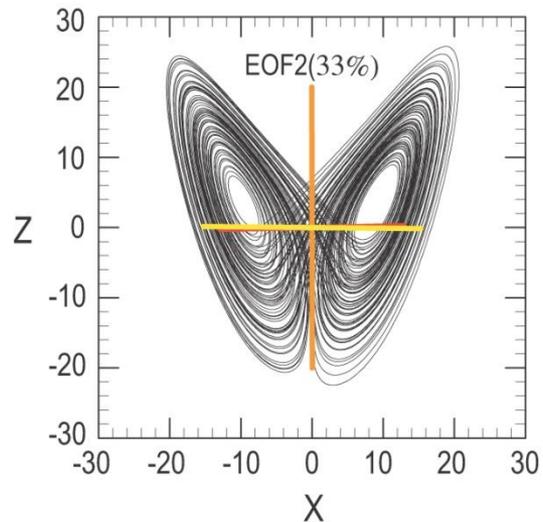
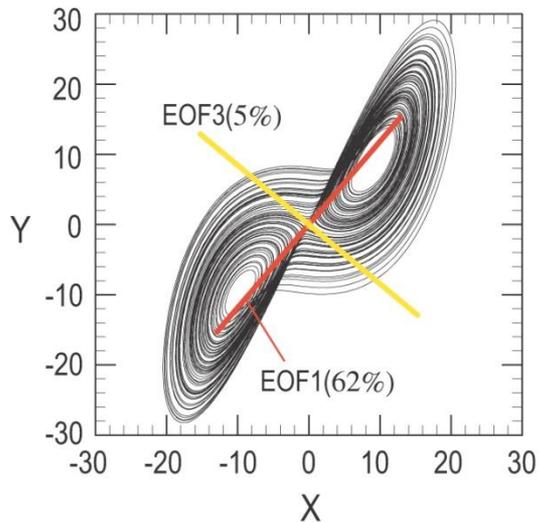
EOF: Lorenz system(2)



$$d_t x = -\sigma x + \sigma y$$

$$d_t y = -xz + rx - y$$

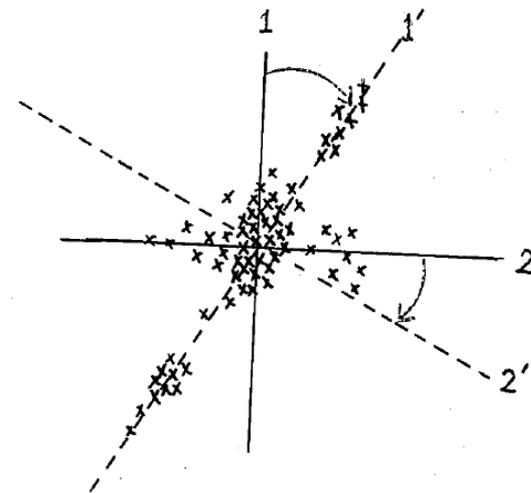
$$d_t z = xy - bz$$



準備運動② EOF解析

EOFの仲間たち

- ✓ Extended EOF
- ✓ Bi-variate EOF
- ✓ Rotated EOF (Richman 1986, J Climatol)
- ✓ Complex EOF (Barnett 1983, Mon Wea Rev)
- ✓ Nonlinear EOF (Monahan 2000, J Clim)
- ✓ SVD (Bretherton et al. 1992, J Clim)



$$\mathbf{e}^* = \mathbf{e}\mathbf{T}^{-1}, \quad \mathbf{T}^T\mathbf{T} = \mathbf{T}\mathbf{T}^T = \mathbf{I}$$

Varimax Criterion:

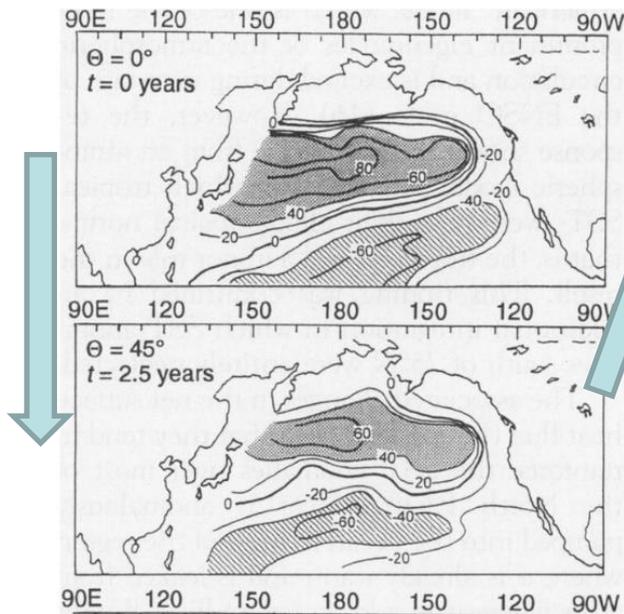
Maximize (by iteration) to obtain \mathbf{e}^*

$$V_k = \left[N \sum_{j=1}^N (e_{jk})^4 - \left(\sum_{j=1}^N e_{jk}^2 \right)^2 \right] / N^2$$

j : mode, k : grid

準備運動② EOF解析

Complex EOF (CEOF)の例



CEOFの利点、欠点

- ✓ 振動している「モード」を取り出せる
- ✓ 無理やり位相のずれた場を作る

結合モデルにおける 海洋蓄熱量(0-300m)に 対するCEO1

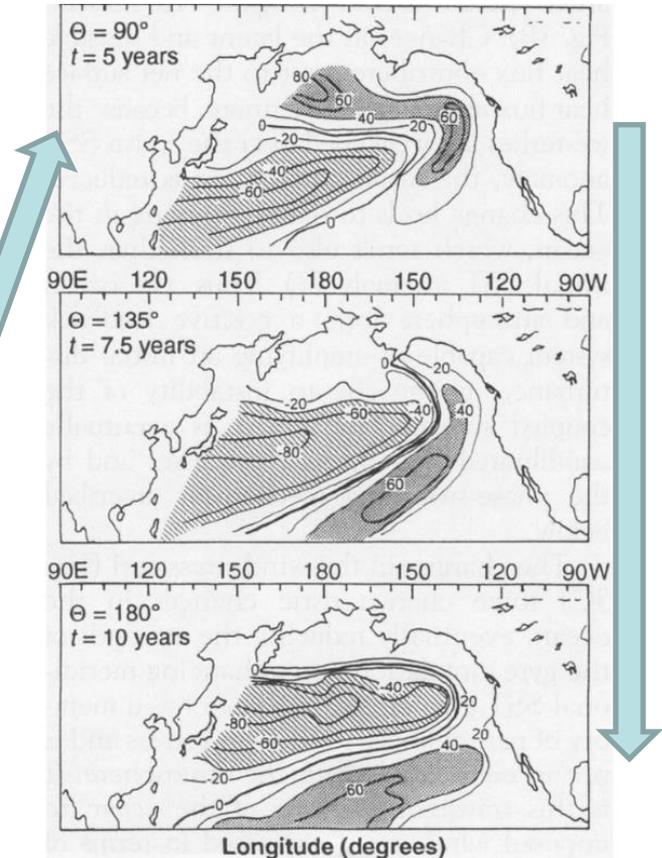


Fig. 2. Reconstruction of anomalous heat content (degrees Celsius · meters) from the leading CEOF mode. The individual panels show the heat content anomalies at different stages of the decadal cycle, approximately 2.5 years apart. The phase angle Θ measures the phase of cycle (full cycle = 360°).

(Latif and Barnett 1984, Science)

Singular Value Decomposition (SVD) and EOF analyses

1st field

Y $N \times L$ time levels(row): $i=1, \dots, N$
 space coordinates(column); $j=1, \dots, L$

2nd field

Z $N \times M$ time levels(row): $i=1, \dots, N$
 space coordinates(column); $j=1, \dots, M$

Covariance Matrix

$$\mathbf{C} \equiv \mathbf{Y}^T \mathbf{Z} \quad (\text{T: transpose})$$

Singular Value Decomposition (SVD)

$$\mathbf{C} = \mathbf{U} \mathbf{\Lambda} \mathbf{V}^T \quad \mathbf{U} = (\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_{\min(L,M)}), \quad \mathbf{V} = (\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_{\min(L,M)}),$$

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \sigma_{\min(L,M)} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{U}^T \mathbf{U} = \mathbf{V}^T \mathbf{V} = \mathbf{I} \quad (\because \mathbf{U}^T \mathbf{C} \mathbf{V} = \mathbf{\Lambda})$$

Temporal coefficients (Principal Components (PCs) in EOF analysis)

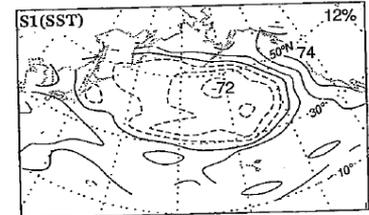
$$\mathbf{A} \equiv \mathbf{Y} \mathbf{U} = (\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{\min(L,M)})$$

$$\mathbf{B} \equiv \mathbf{Z} \mathbf{V} = (\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_{\min(L,M)})$$

$$\mathbf{A}^T \mathbf{B} = (\mathbf{Y} \mathbf{U})^T \mathbf{Z} \mathbf{V} = \mathbf{U}^T \mathbf{Y}^T \mathbf{Z} \mathbf{V} = \mathbf{U}^T \mathbf{C} \mathbf{V} = \mathbf{\Lambda} \Rightarrow \text{Mode 1 gives max. covariance between } \mathbf{Y} \text{ \& } \mathbf{Z}$$

Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis

$\mathbf{Y} = \mathbf{Z}$ in the above. ($\mathbf{V}(=\mathbf{U})$: EOF; $\mathbf{B}(=\mathbf{A})$ principal component (PC))



$r = .81$ 52%

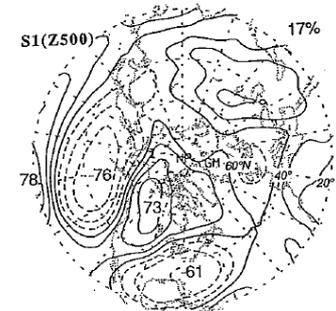
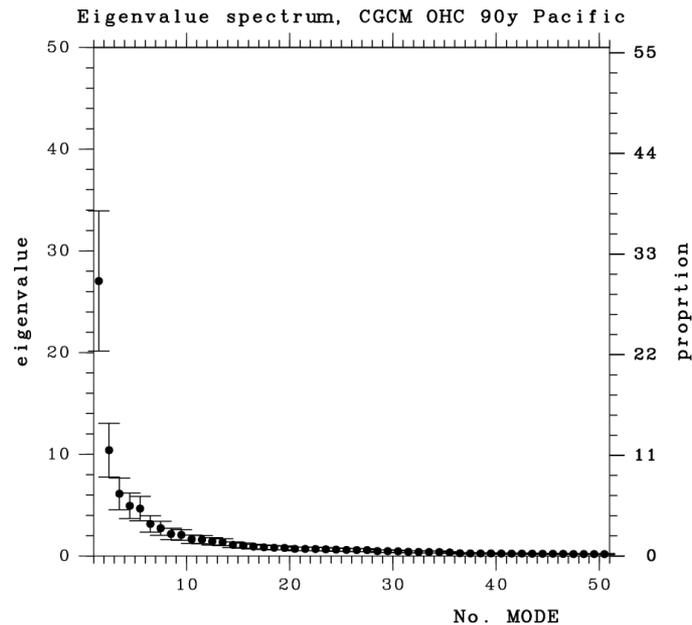


FIG. 6. Heterogeneous correlation pattern for the first mode in the direct SVD expansion. The temporal correlation coefficient between the corresponding expansion coefficients (a_1, b_1), expressed as a decimal, is printed on the left, and SCF, expressed as a percent, is printed on the right. The percentages of the variances of the respective fields explained by the time series of the expansion coefficient of the other field is printed on the upper right-hand corner of each map, in lighter type. Wallace et al. (1992; JC)

準備運動② EOF解析における注意点

1. 固有値 λ_k^2 の標準誤差 $\sim \sqrt{\frac{2}{N_e}} \lambda_k^2$ (North et al. 1982, MWR)



2. 内積 $\mathbf{z}_j^T \mathbf{z}_{j'}$ $\Leftrightarrow \int z_j(x) z_{j'}(x) dS$ とするには、

$$z = z^* \times \sqrt{\cos \varphi} \quad (z^* \text{ は original data, } \varphi \text{ は緯度})$$

とすべし。

準備運動② EOF解析における注意点

3. EOFはたとえ統計的に有意でも、物理的(力学的)に意味のある「モード」とは限らない

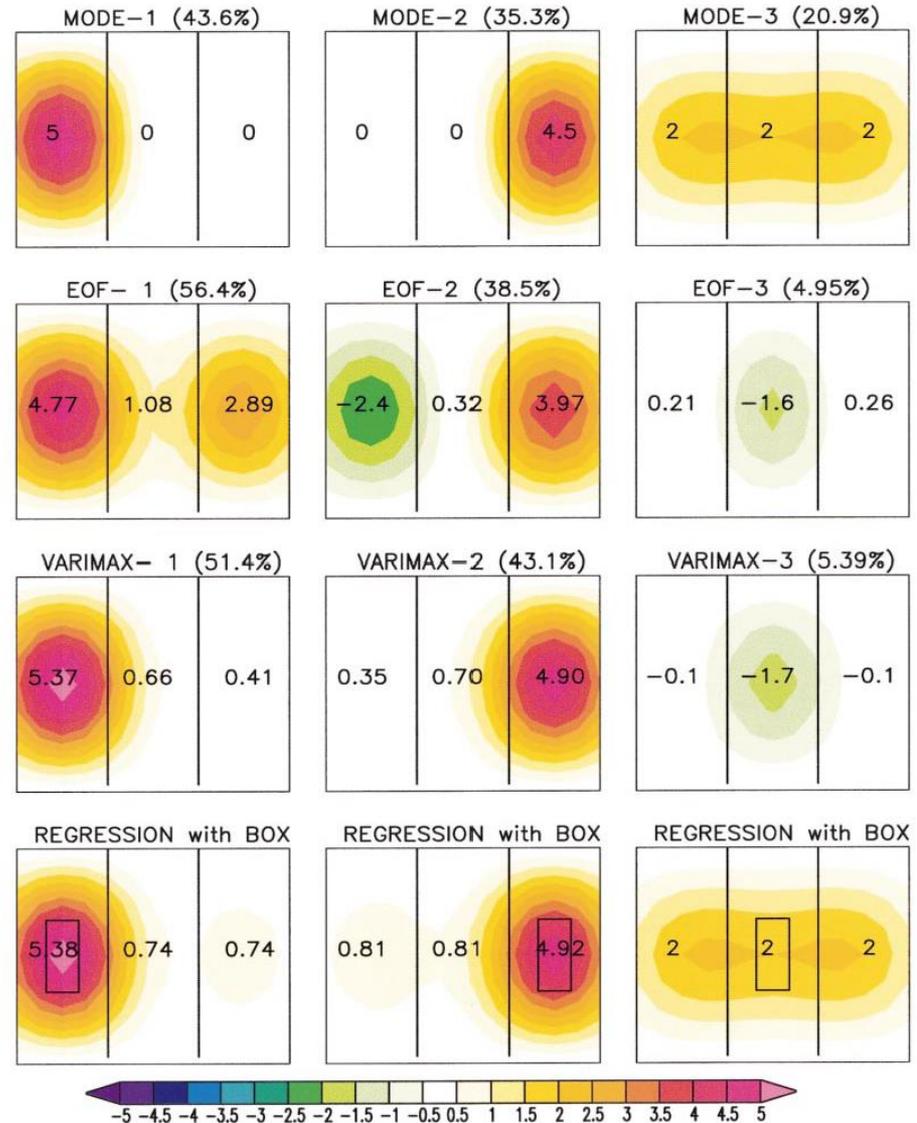


FIG. 4. The physical modes (first panel from top), EOF (second panel from top), VARIMAX (third panel from top) pattern, and the regressions patterns of each coordinate with all coordinates (bottom panel) of the simple low-dimensional example are shown. The values plotted on top of the patterns represent the associated vectors and are identical to the amplitudes of the patterns in the respective region. The amplitudes are in arbitrary units.

準備運動② EOF解析における注意点

3. EOFはたとえ統計的に有意でも、物理的(力学的)に意味のある「モード」とは限らない

实例(熱帯大西洋SST偏差に対するEOF)

議論の対象:

- ✓ Tropical Atlantic Dipole
- ✓ Indian Ocean Dipole
- ✓ Arctic Oscillation
- ✓ El Niño Modoki

どう対応するか?

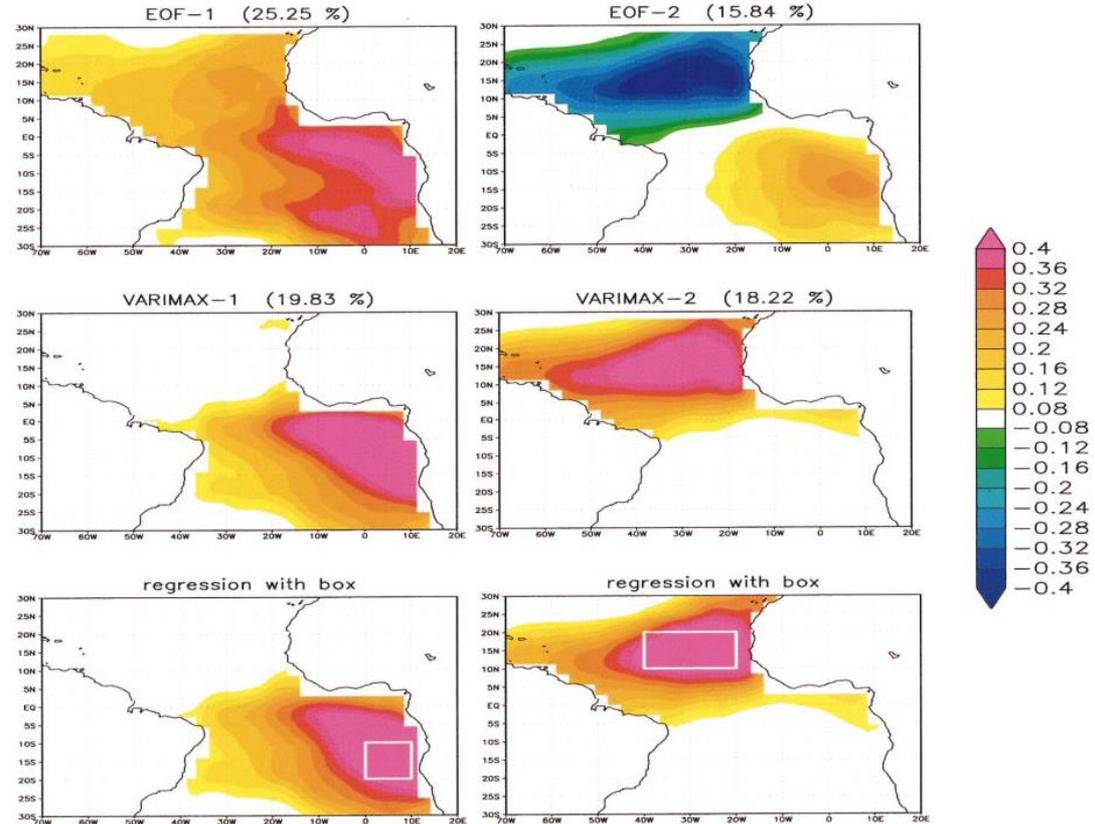


FIG. 1. The EOFs, VARIMAX patterns, and regressions of box averaged monthly mean SST in the tropical Atlantic Ocean. The amplitudes are in kelvins.

Dommenget and Latif (2002)

- ・データ解析: EOFだけに頼らず、力学的な解析を心がける
- ・数值的・理論的研究を活用する