



北半球夏季季節内振動と大気大循環変動との関係

原田やよい

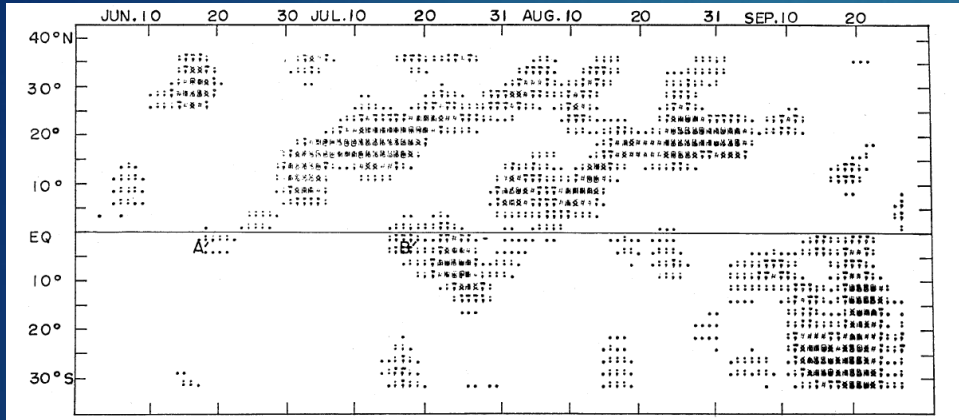
波と平均流の研究会

24 February 2017

研究目的

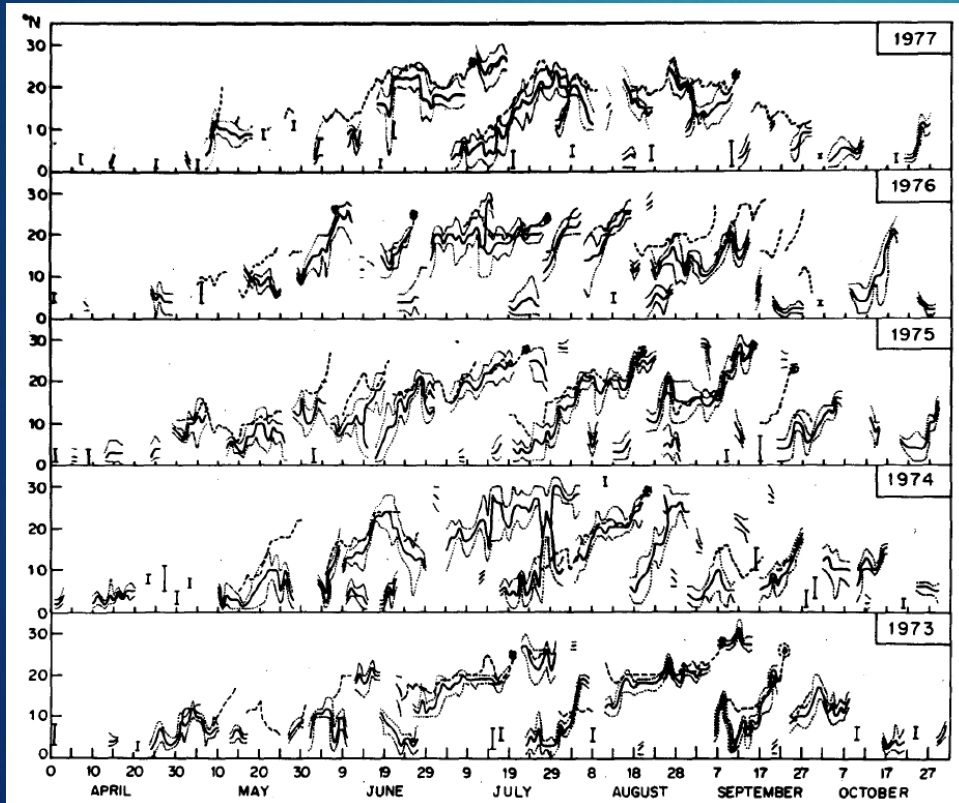
- ▶ BSISO明瞭時もしくは顕著時に見られる大気大循環変動の特徴を明らかにする。
 - ▶ BSISO顕著時に対流圏に見られる南北両半球対称的な西風偏差の極向きへの拡大について
 - ▶ BSISO明瞭時に見られる上部成層圏の東風偏差について
 - ▶ 成層圏準2年周期振動(QBO)やENSOの位相とBSISO振幅との関係について

北半球夏季季節内振動 (BSISO) について#1



Yasunari 1979 :

NOAA気象衛星から得られた1973年6-9月期間の可視域の輝度データをもとに東半球域の雲量変動を解析. 約40日周期の変動がアジア南西モンスーン域で顕著に北上することを指摘.

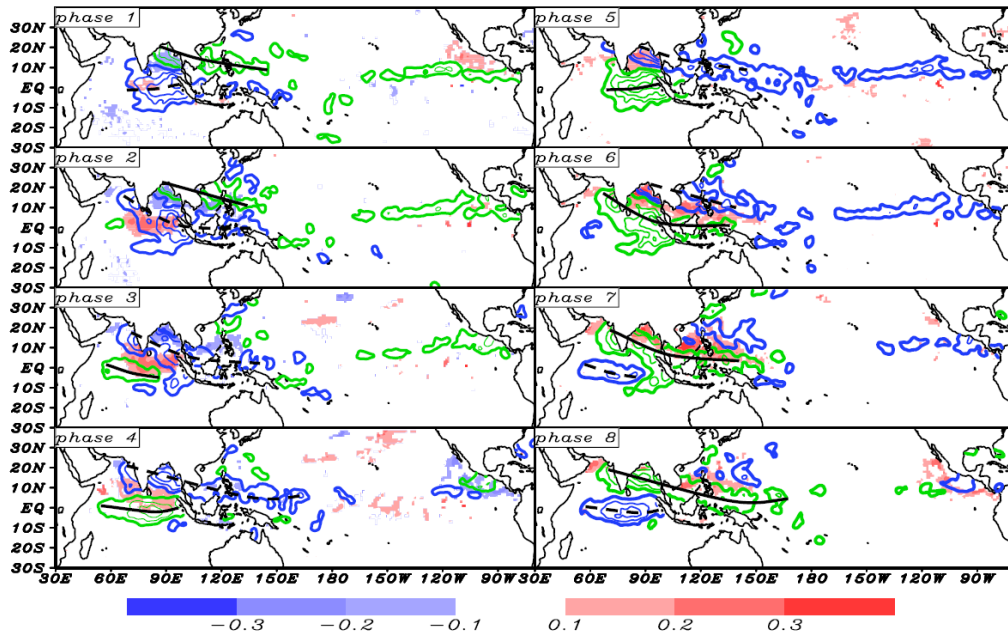


Sikka and Gadgil 1980 :

NOAA気象衛星から得られた可視域の輝度データをもとに解析. 対象期間を1973-1977年に拡大.

北半球夏季季節内振動 (BSISO) について#2

Composite life cycle of QMO rainrate (contour) & SST (shading)



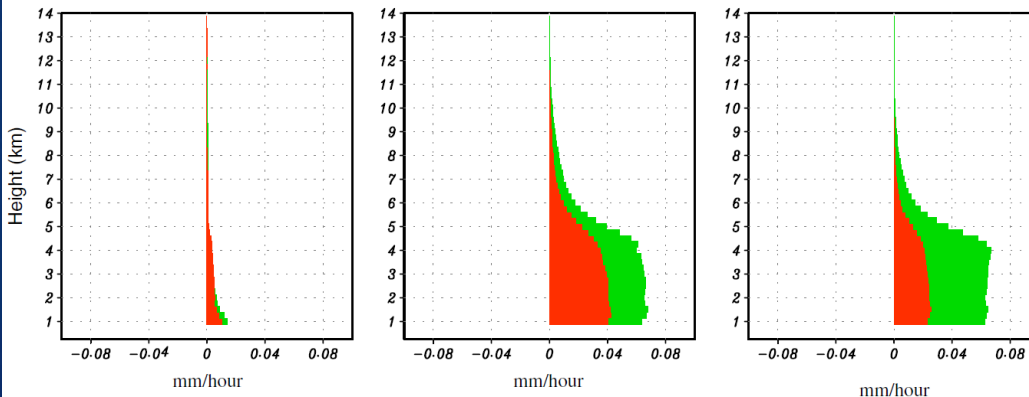
Wang et al. 2006 :

TRMMから得られた降水量, SSTを解析し, 正降水量偏差域 (緑線) の北東象限には高SST偏差 (赤陰影) を伴うことを示し, 大気海洋相互作用の重要性を指摘した.

(a) Phase 1

(b) Phase 2

(c) Phase 3



西部インド洋赤道域で対流活動活発域が励起される時の降水量鉛直プロファイルを作成し, 初めは対流性降水 (赤色陰影) が卓越するが, 次第に層状性降水 (緑色陰影) の割合が増加することを示した. 浅い対流から層状性降水への発達過程の重要性を指摘.

データおよび解析手法

- ▶ BSISO index (Kikuchi et al. 2012) OLR-daily CDRを使用
- ▶ 気象庁55年長期再解析(JRA-55) 解析期間は1979-2012年
モデル面解析6時間値(anl_md1)
モデル面物理量平均6時間値(fcst_phy3m)
- ▶ 等温位面解析値6時間値(anl_isentrop125)
- Mass weighted Isentropic zonal Mean (MIM) method (Iwasaki 1989)に基づいて帯状平均場の要素（東西風, EP flux など）を計算
- Lanczos filter (Duchon 1979)を使って周期帯別の特徴を調査
 - ・ 25 – 90 day band pass filter -> BSISOと同じ周期帯の変動を比較
 - ・ 90 day low pass filter -> QBOなどより長周期の変動と比較
 - ・ No filterも使用
- Composite analysis based on BSISO index
BSISO のPhase毎にBSISOの規格化した振幅が明瞭な事例（ 1.0σ 以上）もしくは顕著な事例（ 2.0σ 以上）を抽出し作成

Mass weighted Isentropic zonal Mean (MIM) method (Iwasaki 1989)

MIM 法

$$\frac{\partial \overline{u^*}}{\partial t} = - \frac{\overline{v^*}}{a \cos \phi} \frac{\partial \overline{u^*} \cos \phi}{\partial \phi} - \overline{w_{\dagger}^*} \frac{\partial \overline{u^*}}{\partial z_{\dagger}} + \underbrace{f \overline{v^*}}_{\text{Coriolis forcing}} + \frac{\nabla \cdot \mathbf{F}}{a \rho_0 \cos \phi} + \overline{X^*}$$

Zonal mean zonal wind acceleration = **Zonal advection** $-\frac{\overline{v}}{a} \left[\frac{\partial \overline{u}}{\partial \phi} \right]_{z_{\dagger}}$ **Vertical advection** $-\overline{w_{\dagger}^*} \frac{\partial \overline{u^*}}{\partial z_{\dagger}}$ **Other forcings** $\left[\text{II} \right]$ **EPflux divergence** $\frac{\nabla \cdot \mathbf{F}}{a \rho_0 \cos \phi}$ **Other forcings** $\overline{X^*}$

$$\mathbf{F} \equiv \rho_0 a \cos \phi \left[- \overline{(u'v')^*}, - \overline{(u'w_{\dagger}')^*} + \frac{1}{\rho_0 a g \cos \phi} p \left[\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} \right]_{z_{\dagger}} \right]$$

$$\overline{A(\phi, \theta, t)^*} \equiv \frac{1}{2\pi} \int A(\lambda, \phi, \theta, t) \left(\frac{\partial p}{\partial \theta} / \frac{\partial \bar{p}}{\partial \theta} \right) d\lambda$$

$$p_{\dagger} \equiv \bar{p}.$$

$$z_{\dagger} \equiv -H \log(p_{\dagger}/p_0).$$

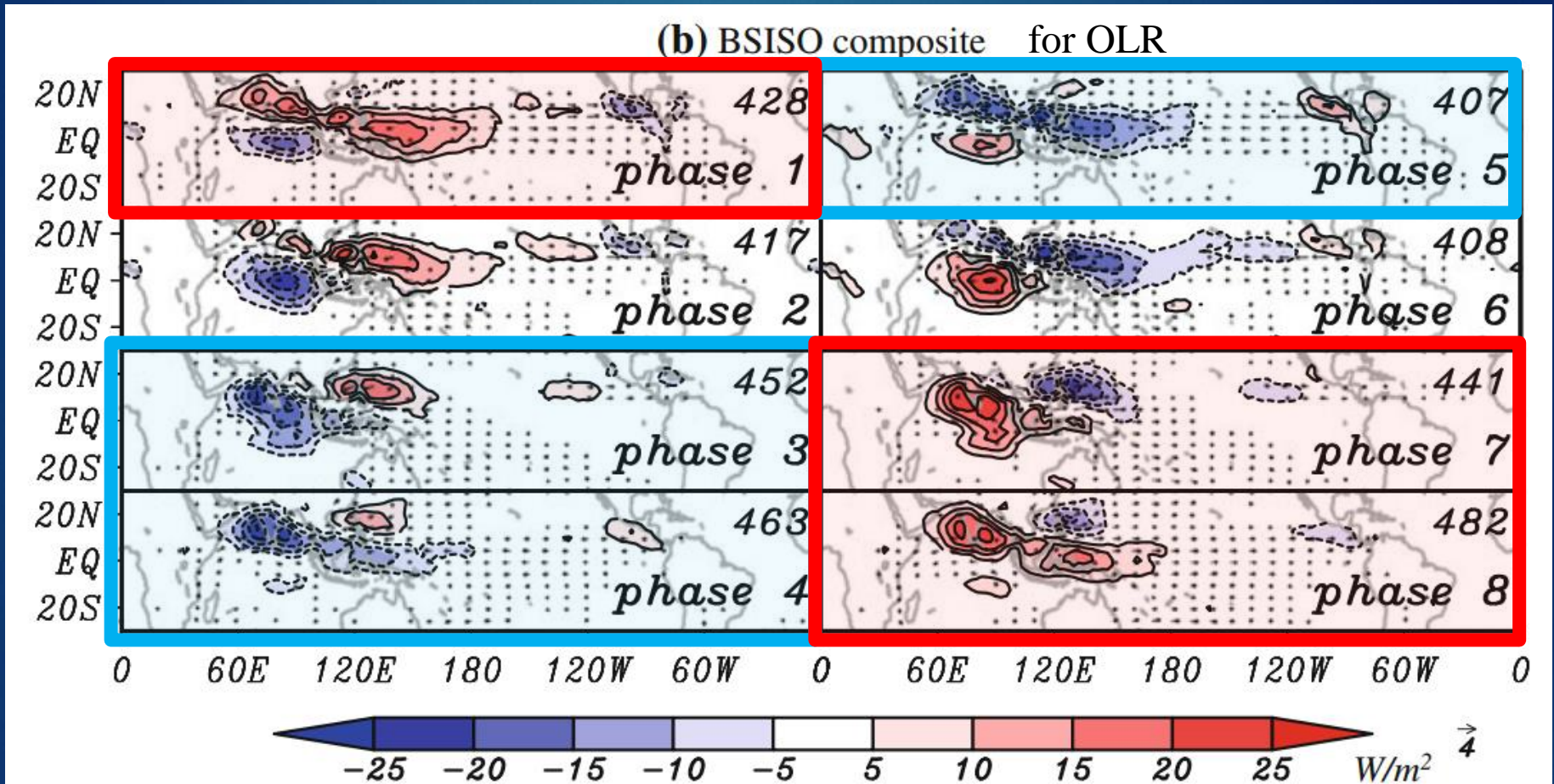
Overbar: isentropic zonal mean

Asterisk: local mass weight normalized by its zonal mean


Dagger: isentropic zonal mean

- Vertical coordinate is defined by isentropic zonal mean pressure
- All variables are zonally averaged with normalized weights proportional to the air mass between two isentropic surfaces

BSISO index (Kikuchi et al. 2012)



- Phase 3-5 (7-1) ... 対流活動活発域 (不活発域) が北進
- Phase 2 (6) ... 赤道上で対流活動が最も活発 (不活発)

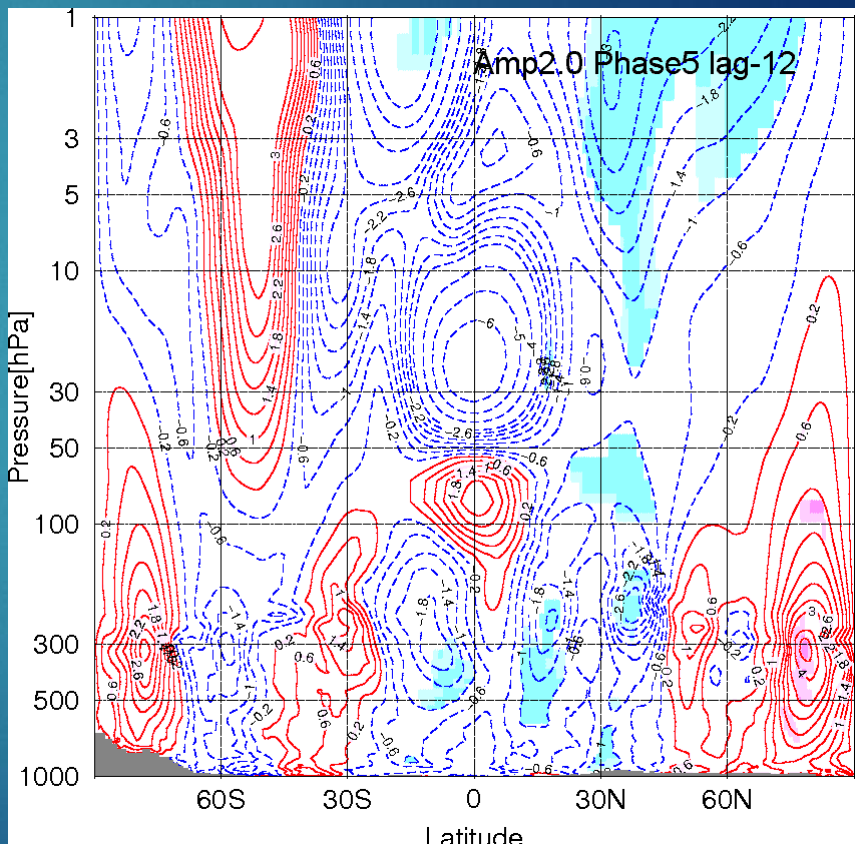
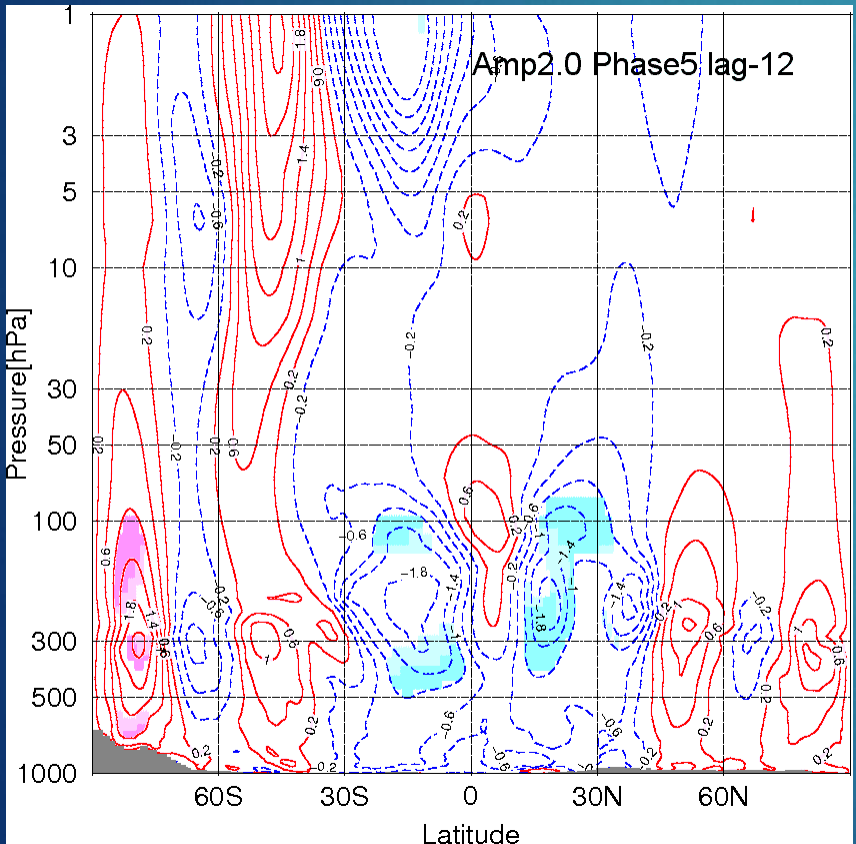


BSISO顕著時に対流圏に見られる
南北両半球対称的な西風偏差の
極向きへの拡大について

対流活動活発域北進明瞭後の帯状平均東西風偏差 のラグコンポジット (振幅 2σ 以上)

バンドパスフィルター使用
(25-90日周期)

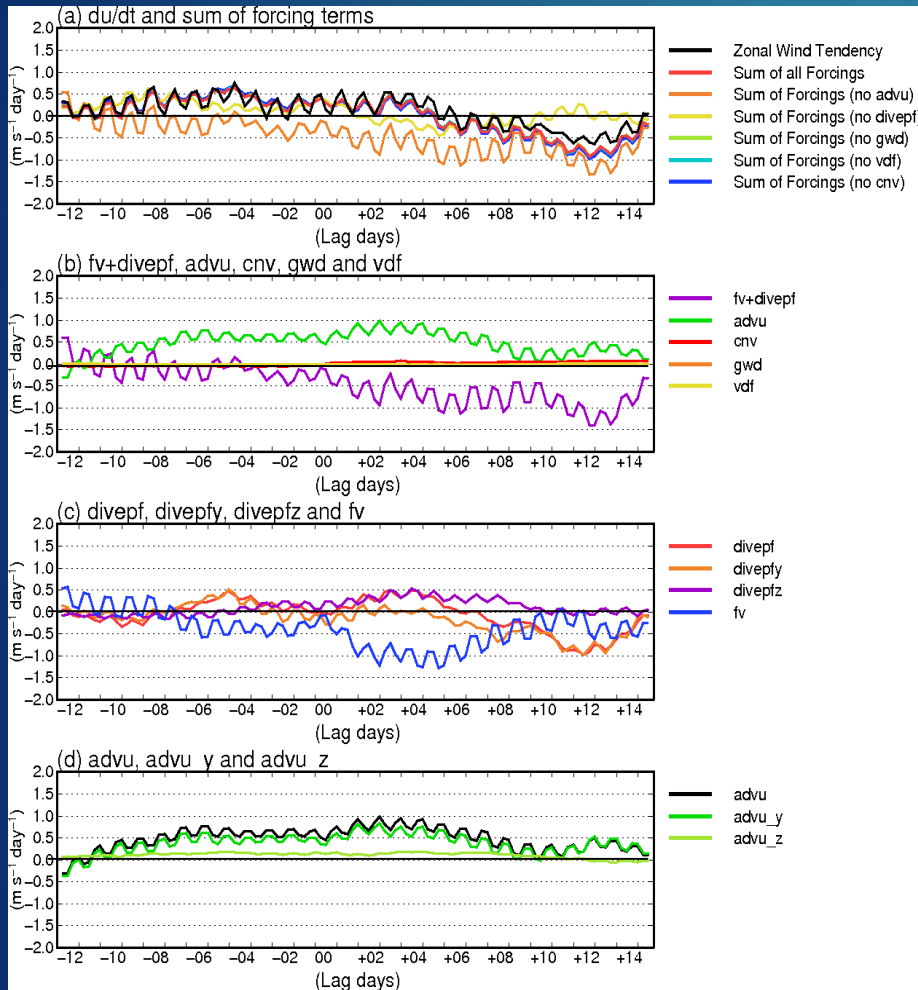
フィルターなし



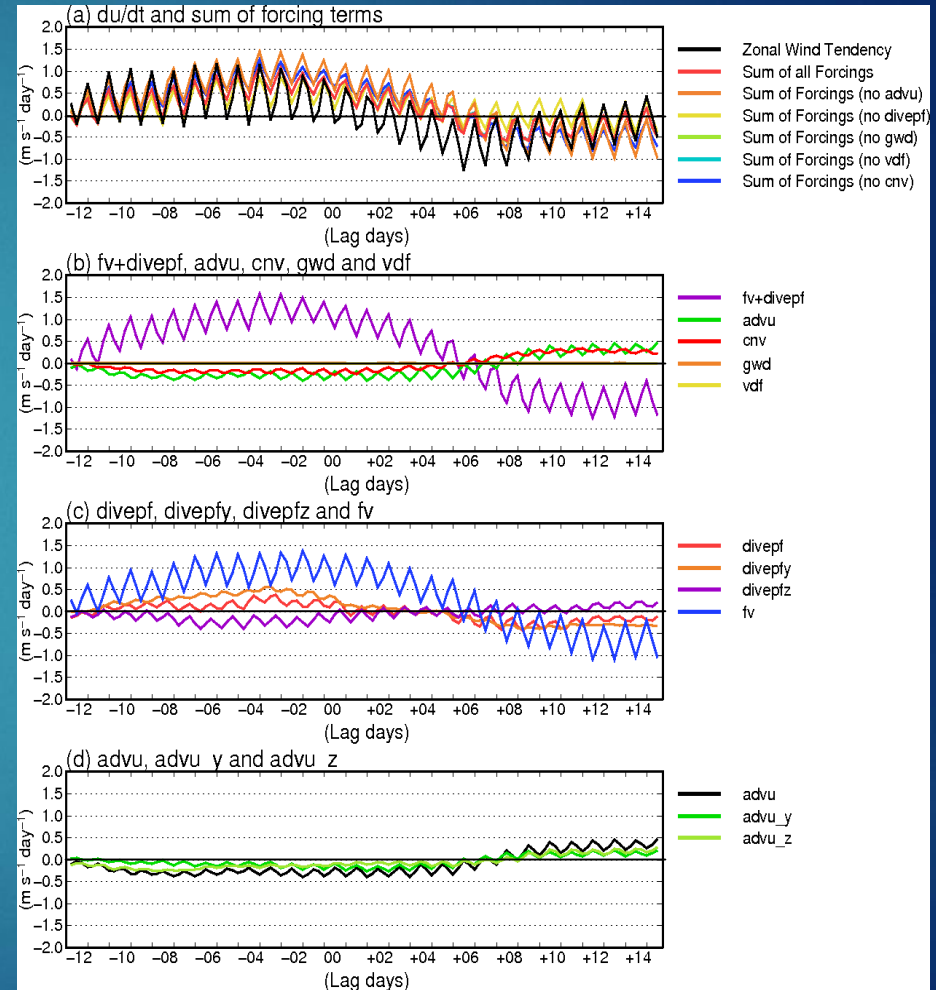
濃い桃色 (水色) 陰影は危険率5%で統計的有意、
薄い桃色 (水色) 陰影は危険率10%で統計的有意を示す。

対流活動活発域北進時の角運動量収支コンポジット (振幅 2σ 以上)

202hPa, 17.5-12.5S



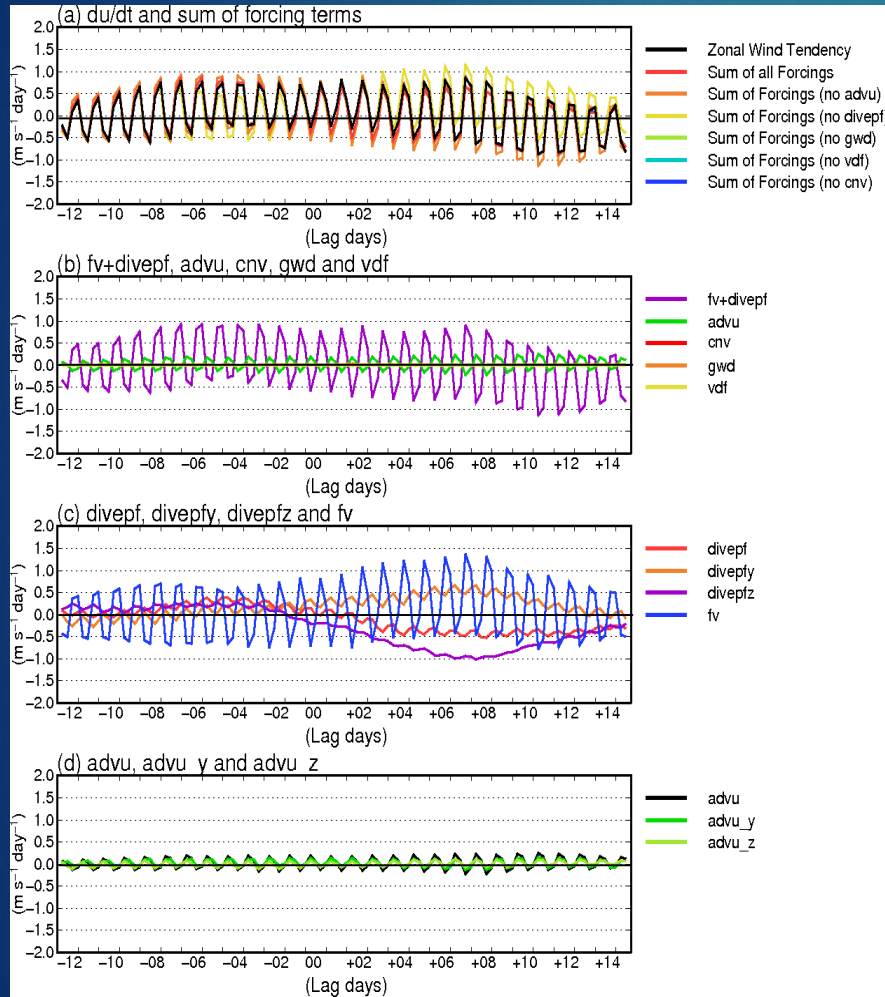
202hPa, 12.5-17.5N



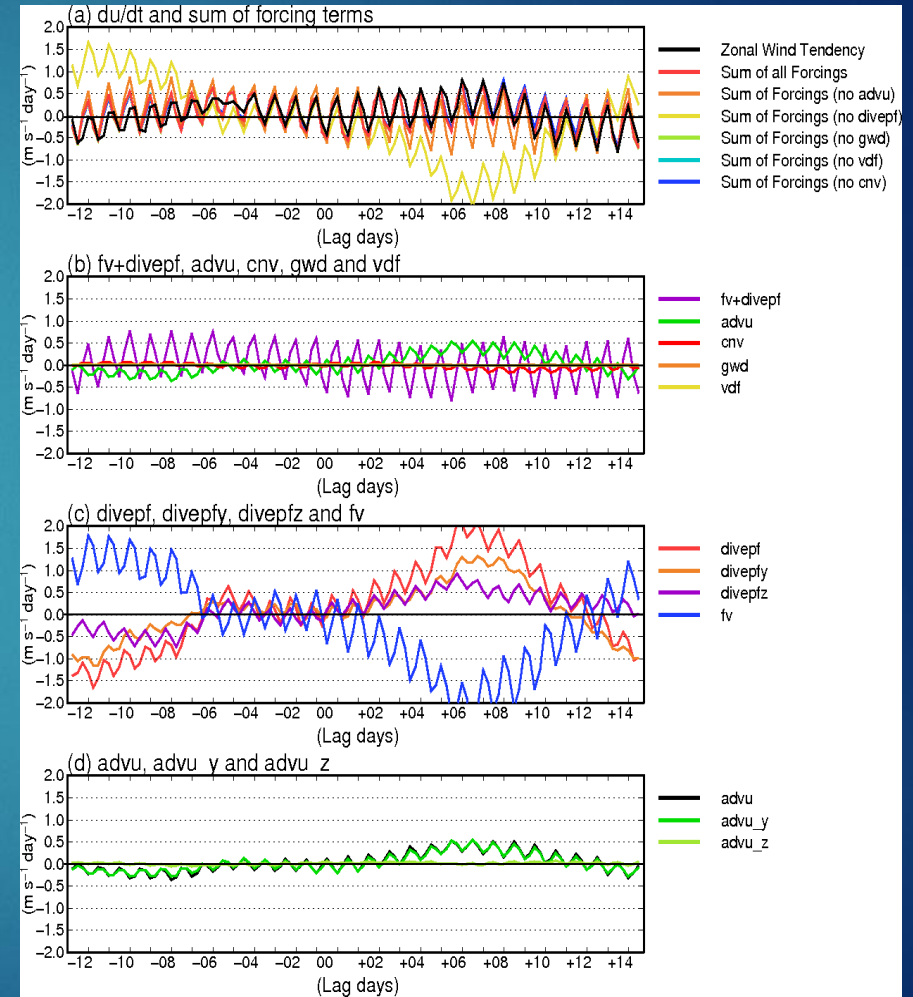
角運動量収支で見ると北半球側ではコリオリ強制が南半球側では水平移流が支配的。
北半球では西風加速減少時に収支が悪化傾向。

対流活動活発域北進時の角運動量収支コンポジット (振幅 2σ 以上)

97hPa, 27.5-32.5N



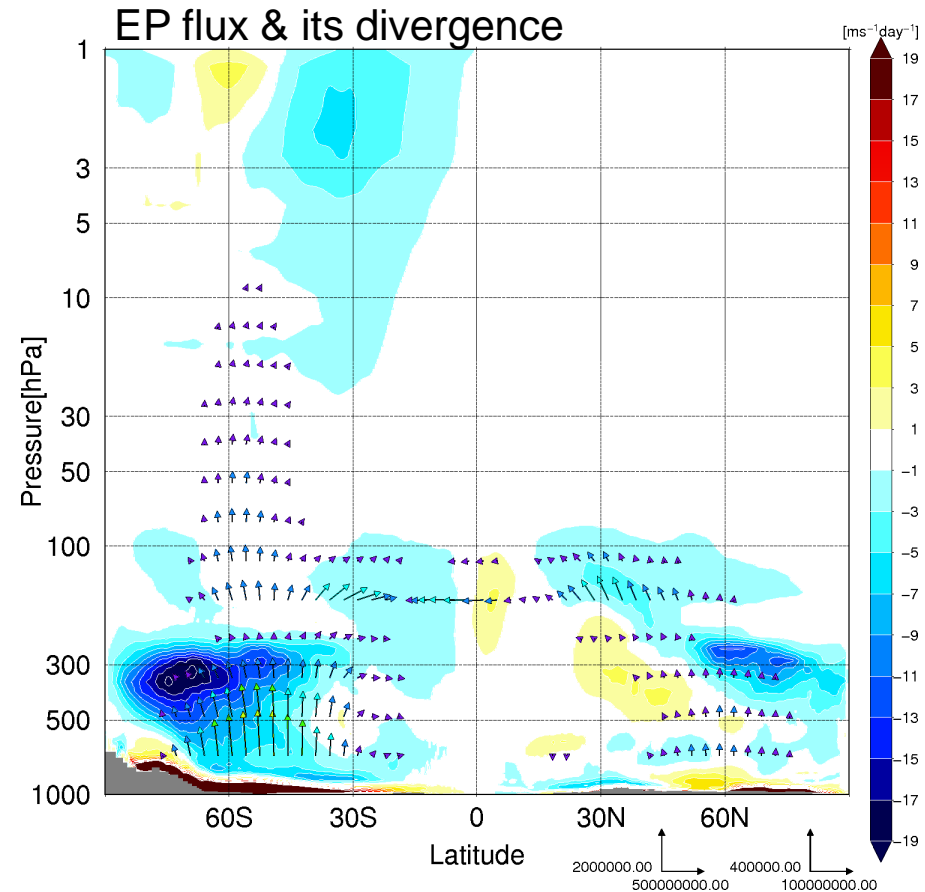
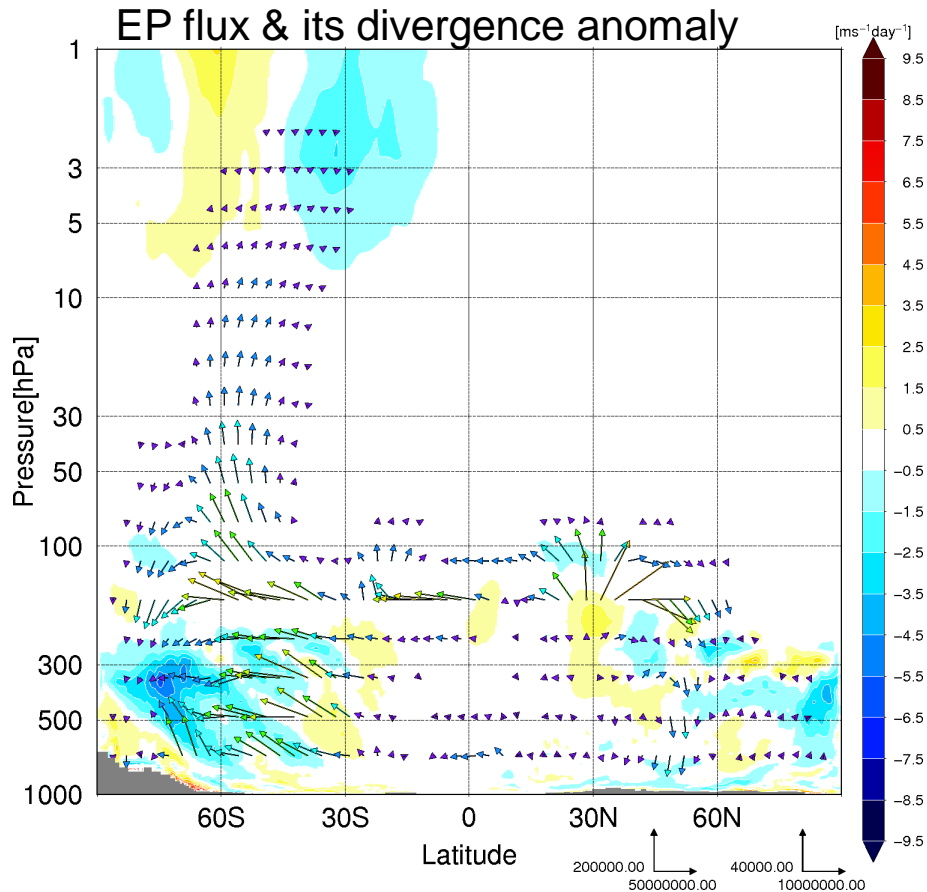
177hPa, 27.5-32.5N



上層ほど日内周期変動が卓越。EPfluxの収束・発散の寄与が2つのレベルで異なる。

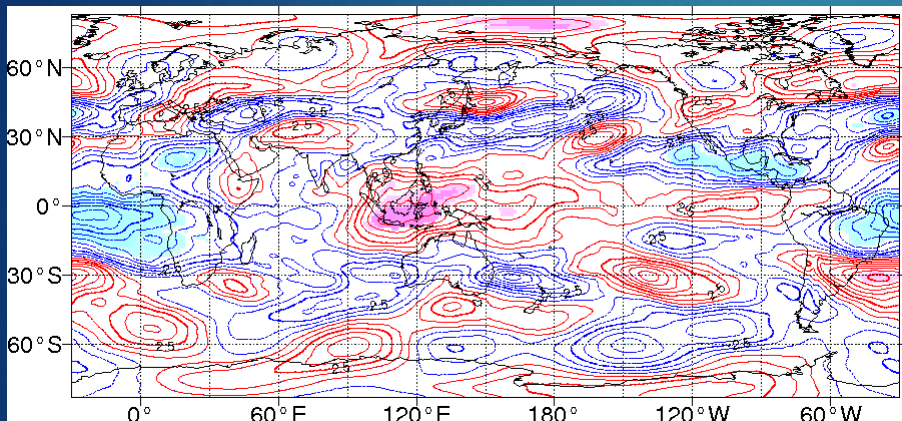
対流活動活発域北進明瞭後(phase5)のEP fluxおよびその収束・発散の7日後ラグコンポジット

※フィルターは不使用。

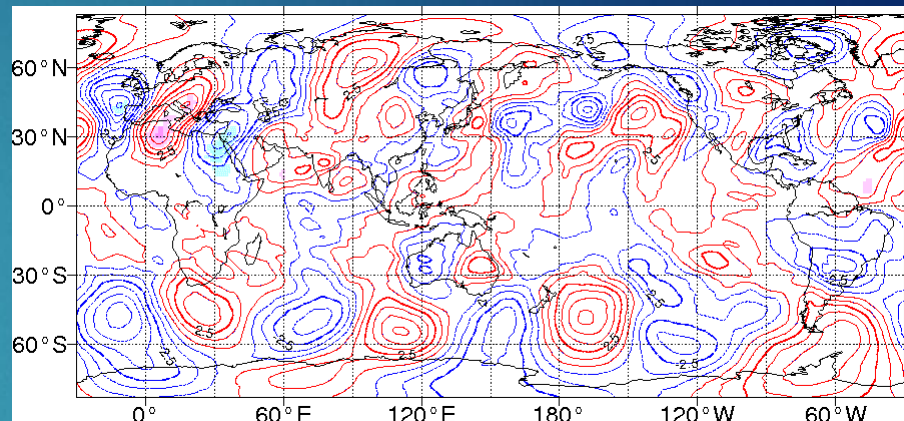


対流活動活発域北進明瞭後のラグコンポジット (振幅 2σ 以上)

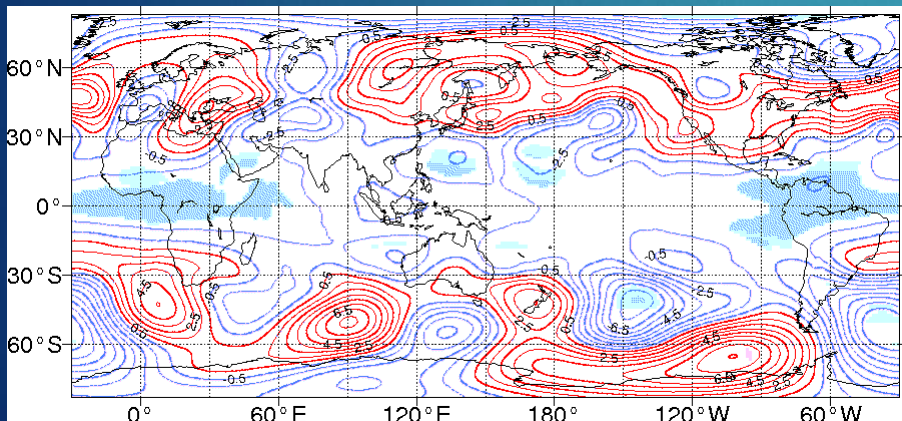
東西風偏差 (m/s) 360K



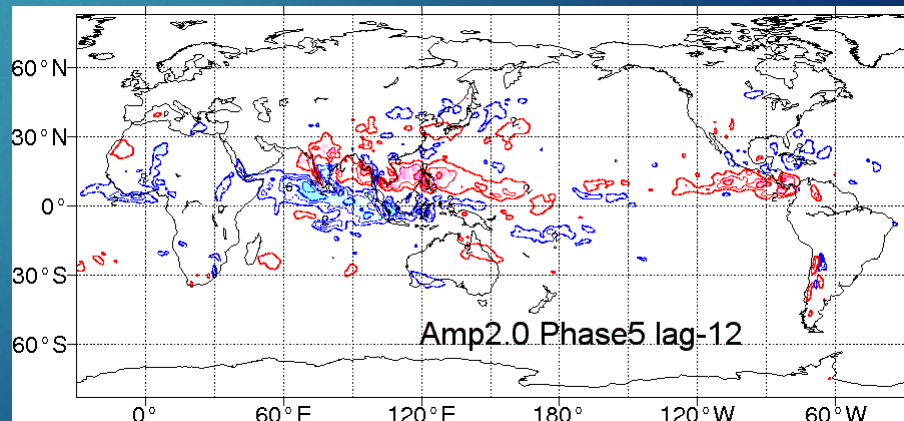
南北風偏差 (m/s) 360K




モンゴメリ流線関数偏差 (m^2/s^2) 360K



鉛直流偏差 (Pa/s) 340K



濃い桃色 (水色) 陰影は危険率5%で統計的有意、
薄い桃色 (水色) 陰影は危険率10%で統計的有意を示す。

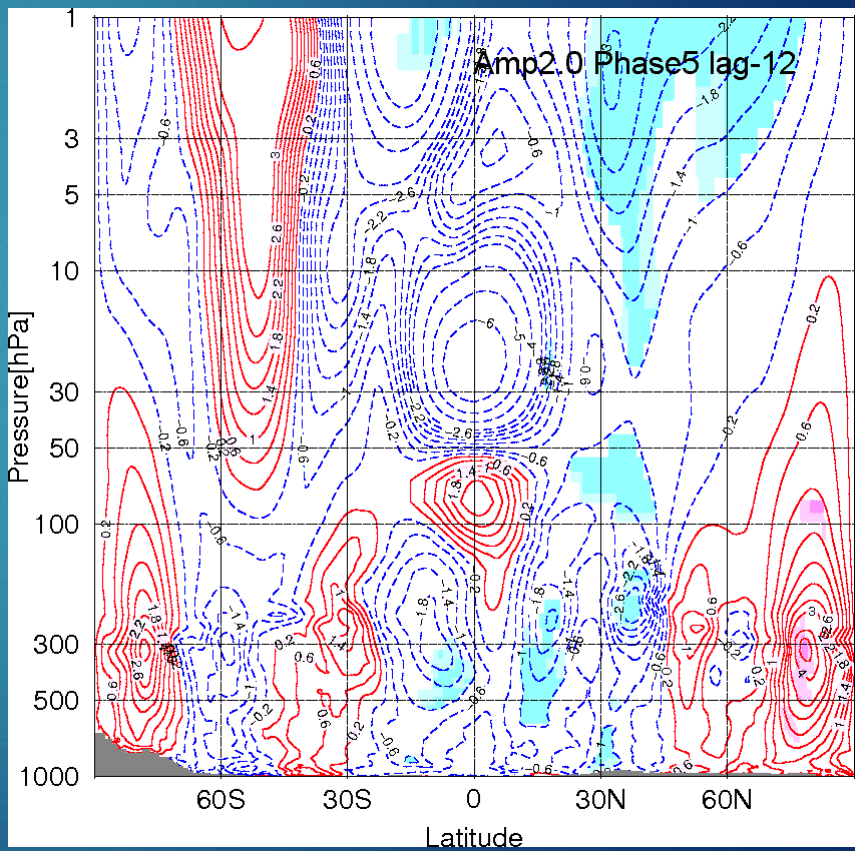
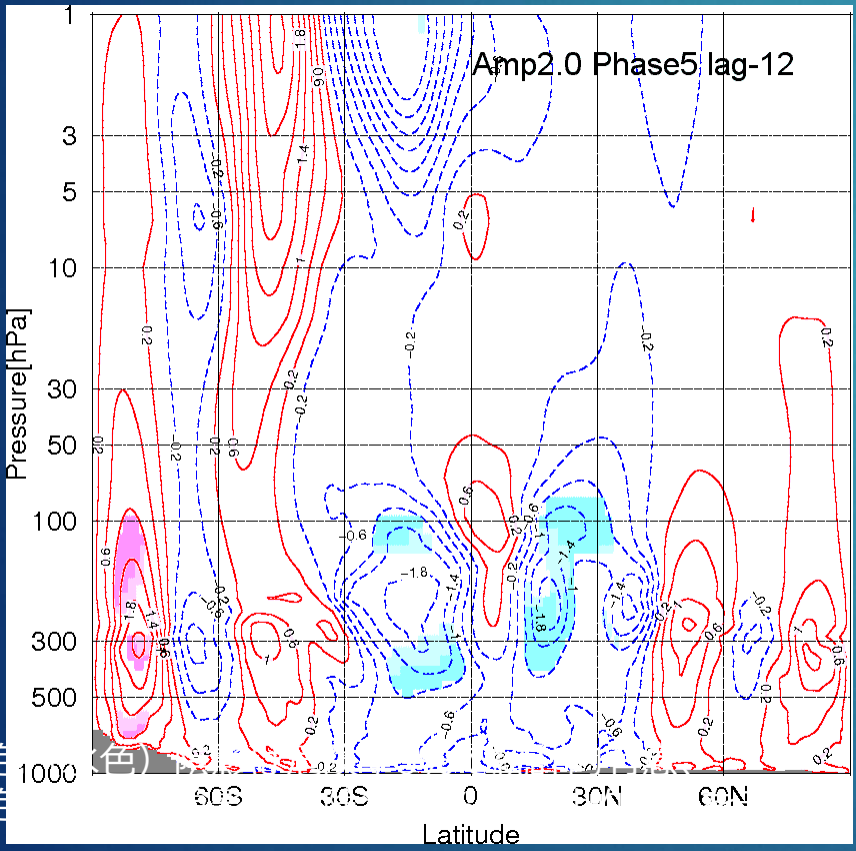


BSISO明瞭時に見られる
上部成層圏の東風偏差について

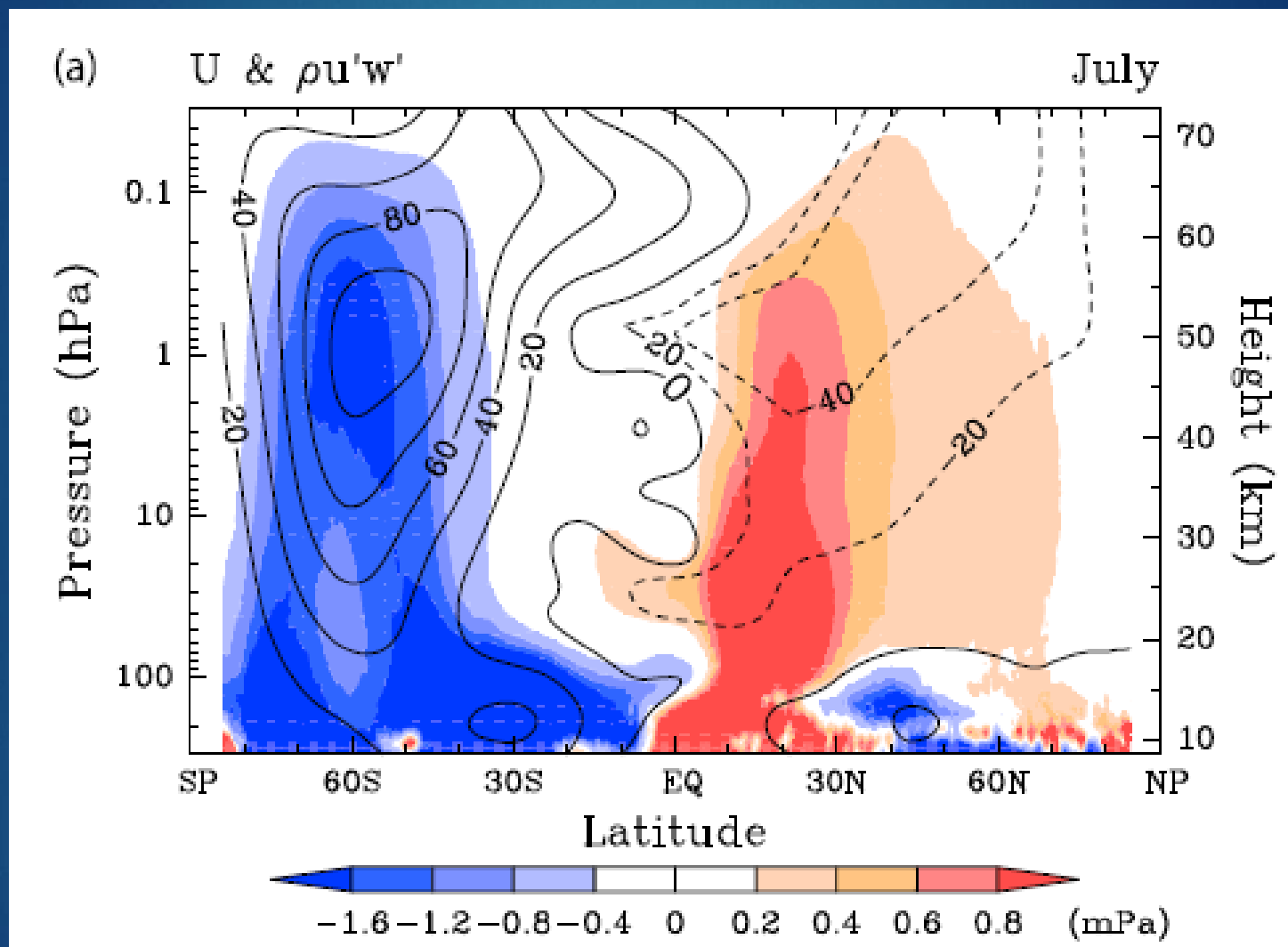
対流活動活発域北進明瞭後の帯状平均東西風偏差 のラグコンポジット (振幅 2σ 以上)

バンドパスフィルター使用
(25-90日周期)

フィルターなし



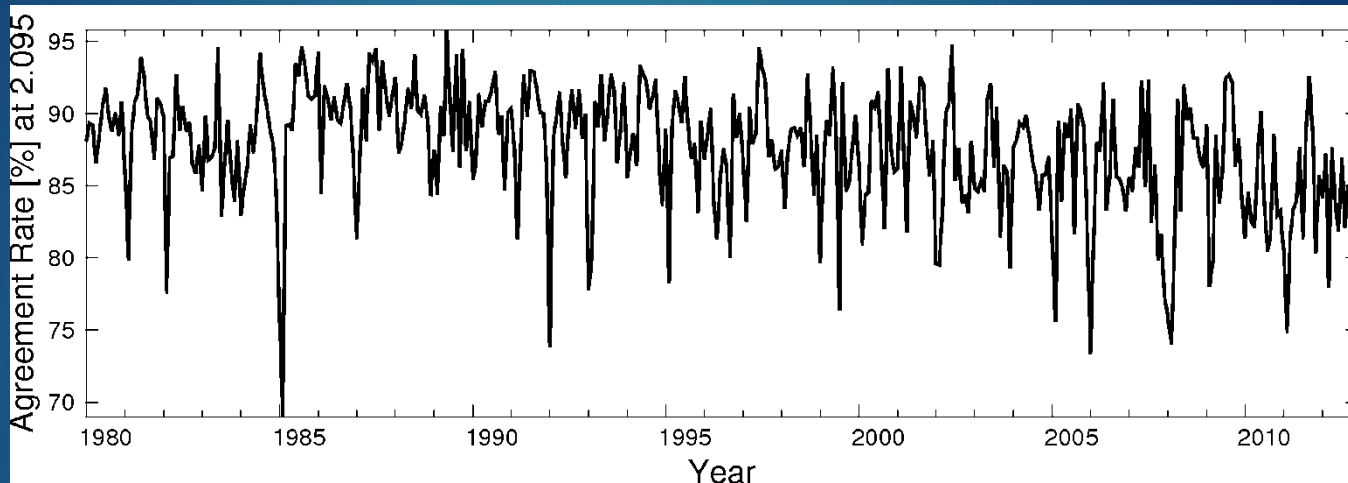
重力波解像モデルにより計算された 重力波による運動量の鉛直輸送 (7月基本場)



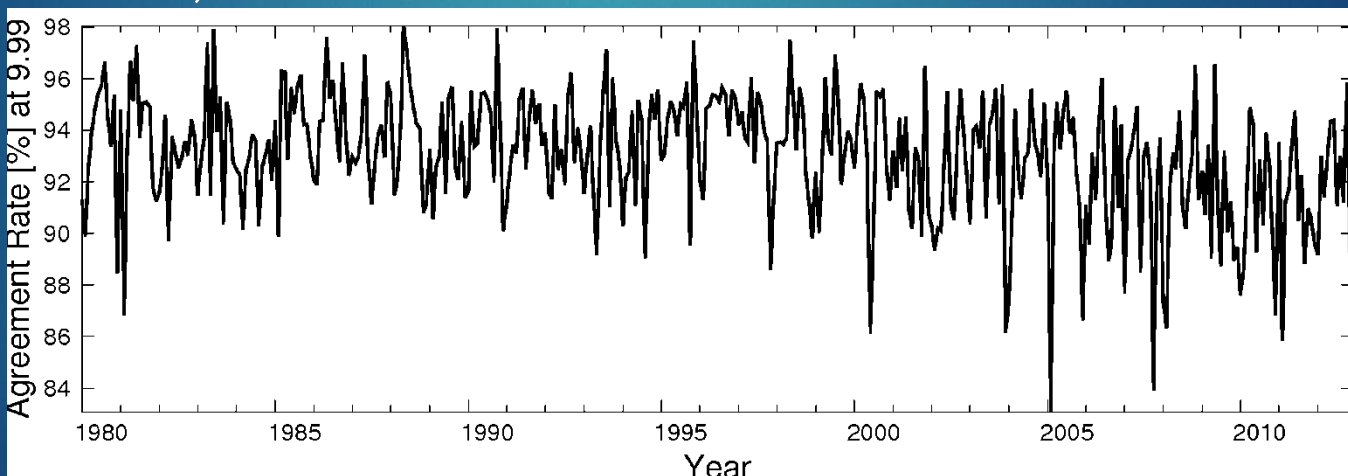
北半球に着目すると、10Nや30N帯では中間圏だけでなく 成層圏でも運動量輸送の収束が見られている。 Sato et al. 2009

上部成層圏における角運動量収支一致率の 経年変化（1980~2012年）

2.095hPa, 0-30N



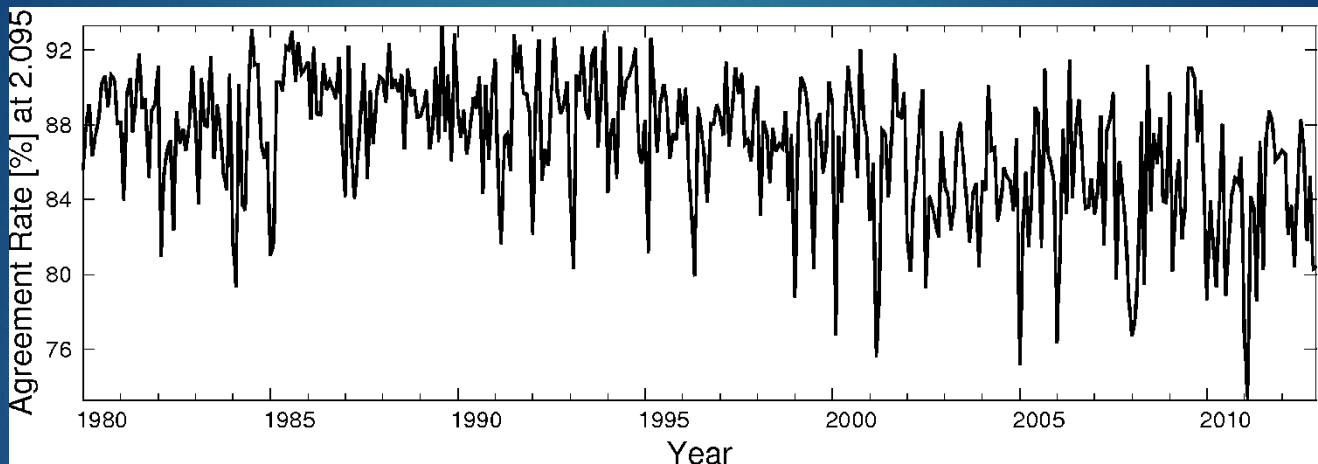
9.99hPa, 0-30N



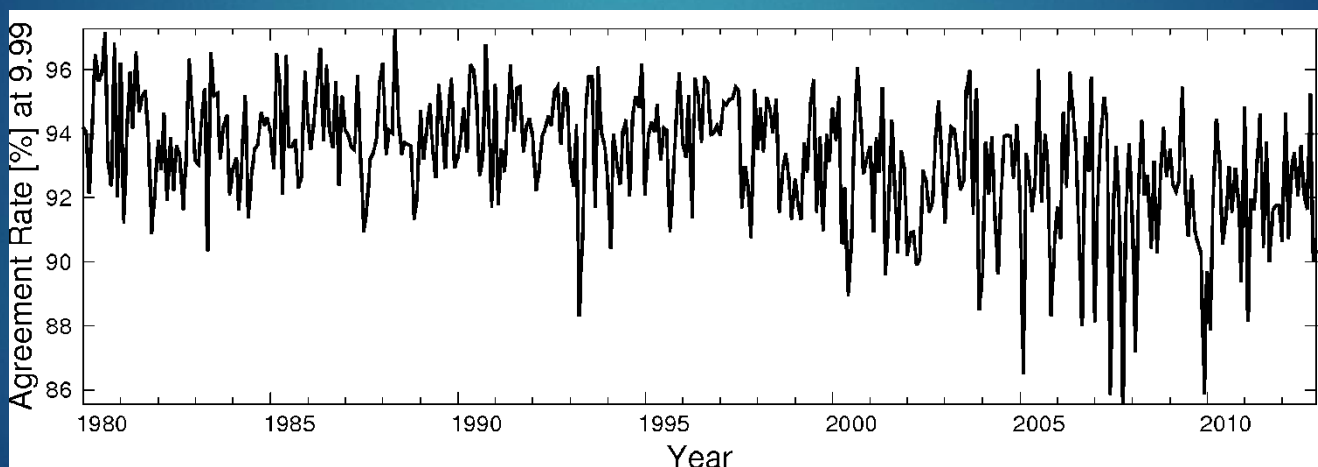
一致率は東西風の加速・減速が強制項の合計値と誤差5%以内の事例を6時間毎にカウントし全事例数で除算した値。

上部成層圏における角運動量収支一致率の 経年変化 (1980~2012年)


2.095hPa, 22S-22N



9.99hPa, 22S-22N



一致率は東西風の加速・減速が強制項の合計値と誤差5%以内の事例を6時間毎にカウントし全事例数で除算した値。



成層圏準2年周期振動(QBO)やENSOの位相と BSISO振幅との関係

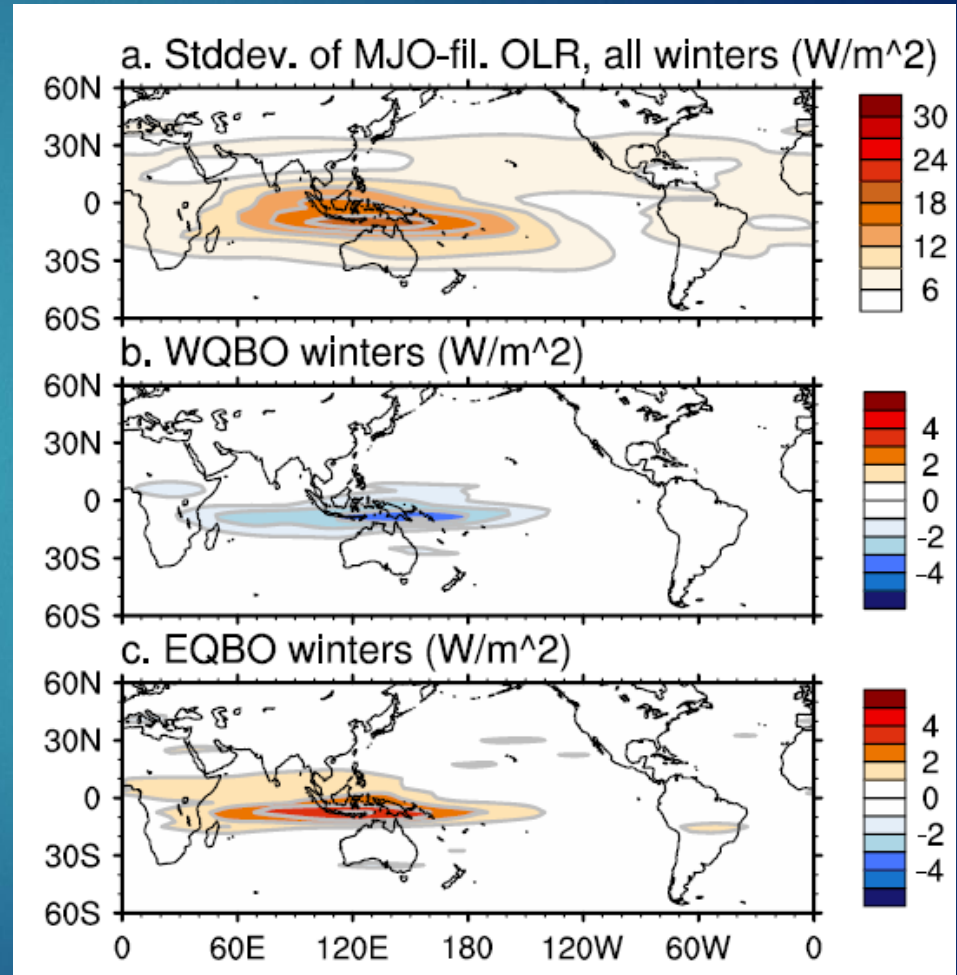
冬季MJOとQBOの関係(Yoo and Son 2016)

Table 1. Correlations Between Seasonally Averaged OMI Amplitude and Various QBO Indices^a

	DJF	DJF-	NDJFM	MAM	JJA	SON
U70	-0.56*	-0.64	-0.49	-0.27	0.10	0.13
U50	-0.59*	-0.61*	-0.49	-0.09	-0.09	0.10
U30	-0.17	-0.08	-0.12	0.19	-0.23	-0.03
U20	0.33	0.53	0.27	0.22	-0.17	-0.18
U10	0.64*	0.72*	0.53	0.20	-0.01	-0.18

^aThe zonal mean zonal wind anomalies at 70 (U70), 50 (U50), 30 (U30), 20 (U20), and 10 hPa (U10) are used for the QBO indices. The correlations are computed for each season: December to February (DJF), March to May (MAM), June to August (JJA), and September to November (SON), along with an extended winter months from November to March (NDJFM). To remove the impact of the ENSO, correlations are also calculated for DJF excluding the ENSO years (denoted as DJF-). The values that exceed the 95% a priori (a posteriori) confidence level are marked in bold (by an asterisk).

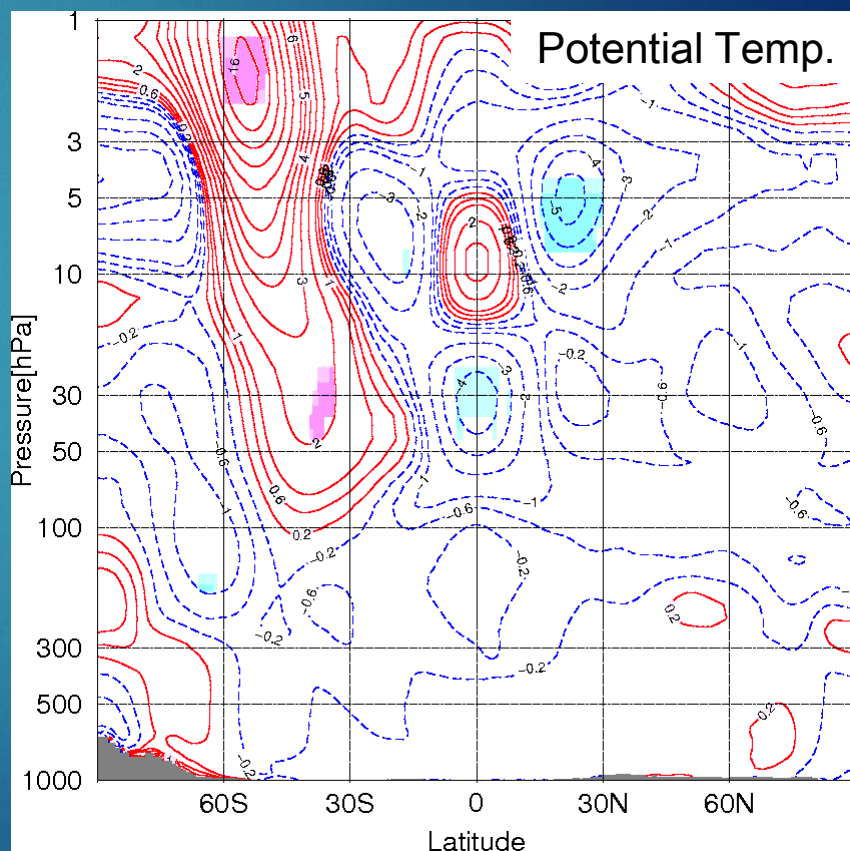
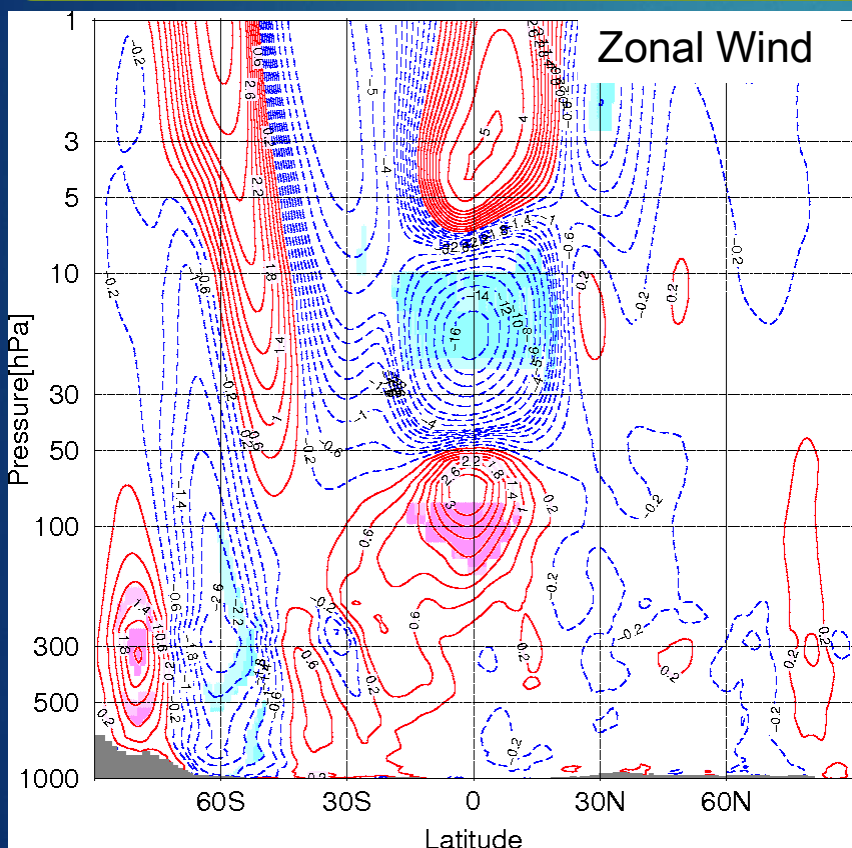
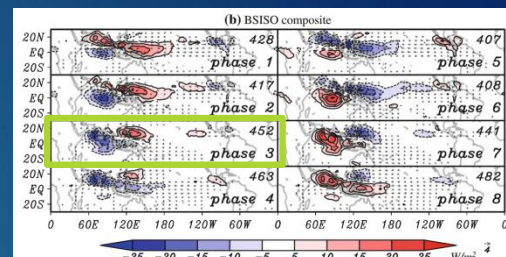
OLR based MJO index (OMI) と成層圏赤道域東西風との相関は冬季に有意。QBOの位相別コンポジットではQBO東風位相にMJOの振幅の強化が見られる。



対流活動活発域北進開始時 (phase3) の帯状平均東西風偏差と温位偏差 (90日以上周期) のラグコンポジット (12日前)

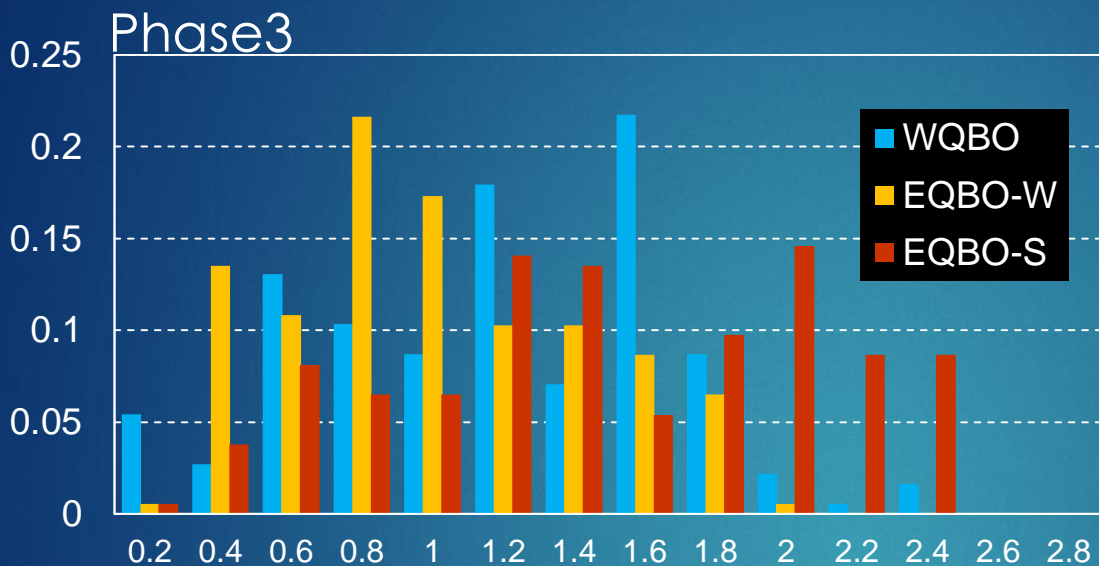
BSISO indexの規格化振幅が 2.0σ 以上, phase3に対する同時コンポジット. 90日周期のローパスフィルターが施されている.

赤道域20hPa付近の東風偏差が有意. 赤道域30hPa付近の低温位偏差も有意で対流圏上層まで低温偏差傾向が見られる.



濃い桃色 (水色) 陰影は危険率5%で統計的有意、
薄い桃色 (水色) 陰影は危険率10%で統計的有意を示す。

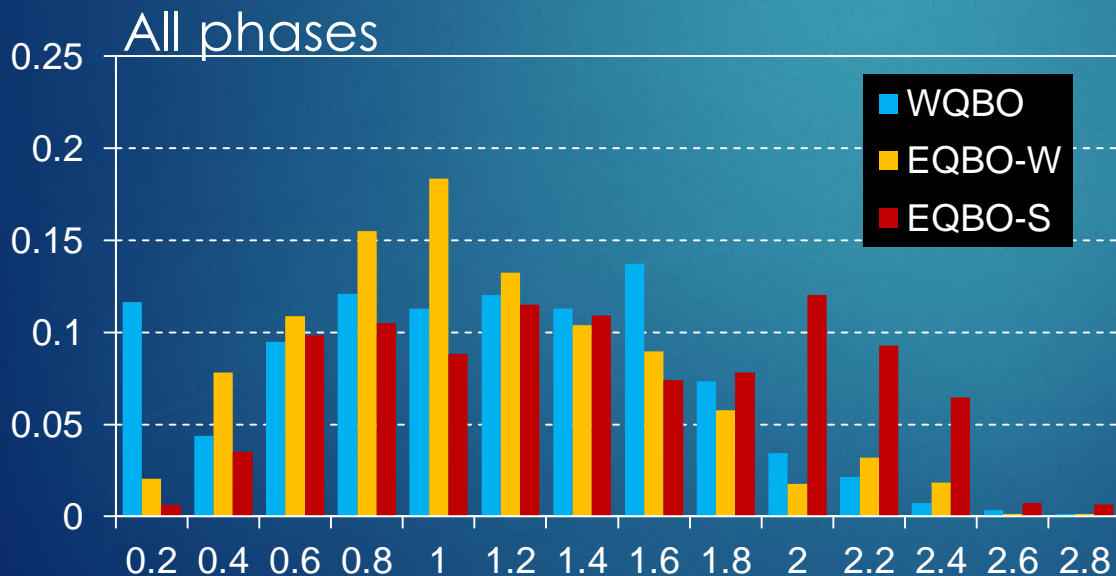
QBO位相別に見たBSISO振幅の規格化した出現頻度分布



19hPa, 10S-10Nで領域平均した東西風を指標としている。

東西風には90日周期のローパスフィルターが施されている。

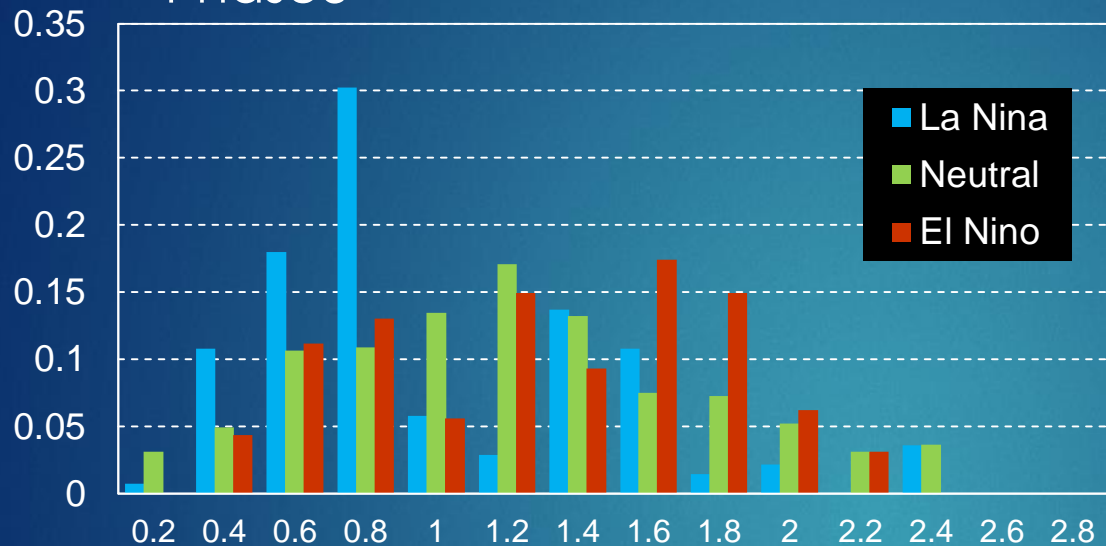
WQBO...19hPa西風
EQBO-W...19hPa弱い東風
EQBO-S...19hPa強い東風



20hPa付近で
強東風時にBSISOの振幅が
強化される傾向が明瞭

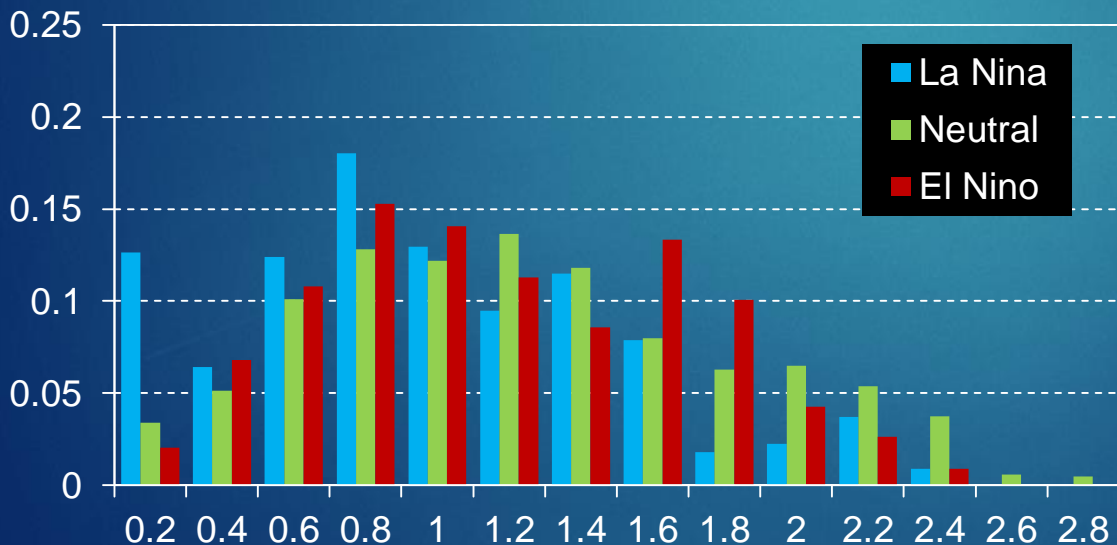
ENSO位相別に見たBSISO振幅の規格化した出現頻度分布

Phase3



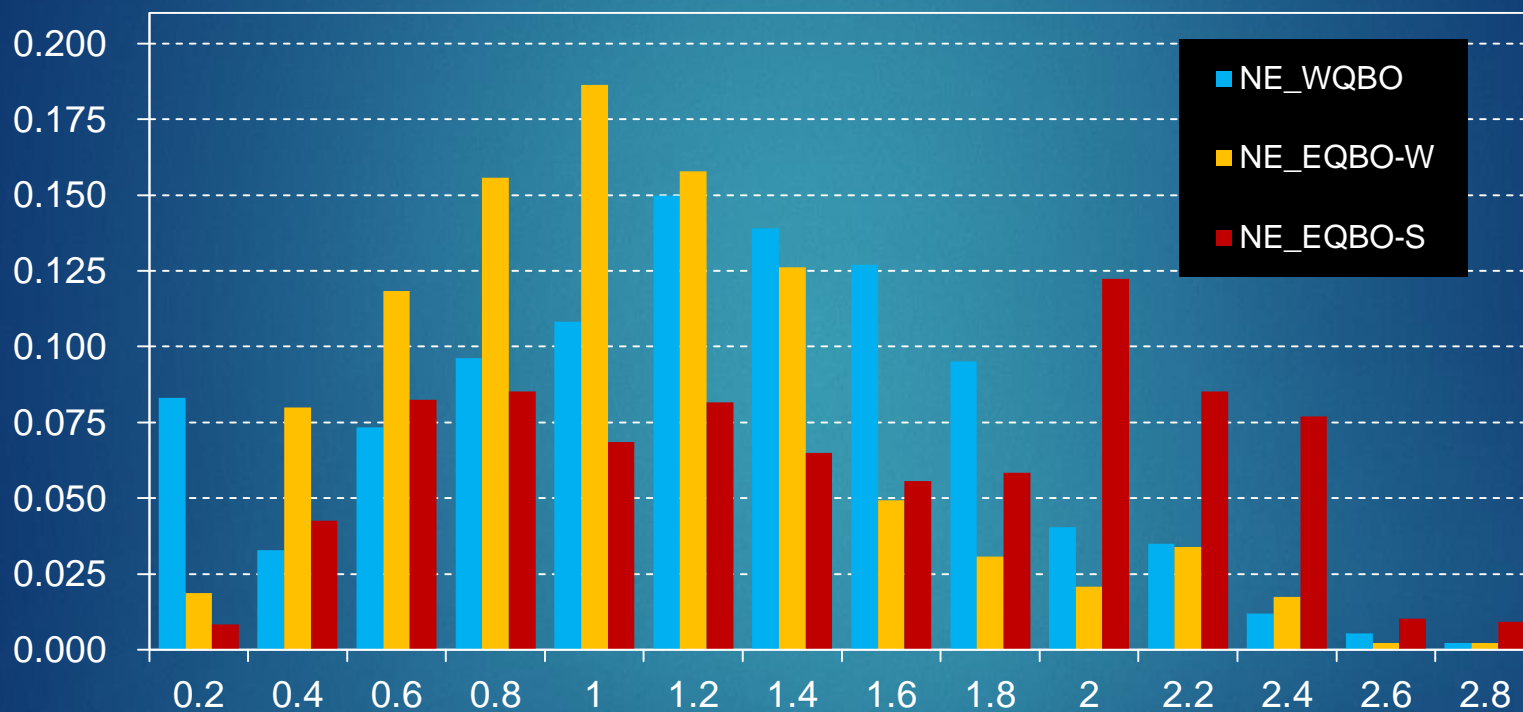
JMA NINO3基準値との差の5か月移動平均値が
 +0.5°C以上→El Niño,
 -0.5°C以上→La Niña,
 それ以外の場合をNeutral
 と定義。

All phases



La Niña時に0.8σ以下の振
 幅の出現頻度が多い傾向、
 El Niño時には1.6σ以上の振
 幅の出現頻度が多い傾向が
 見られるが明瞭ではない

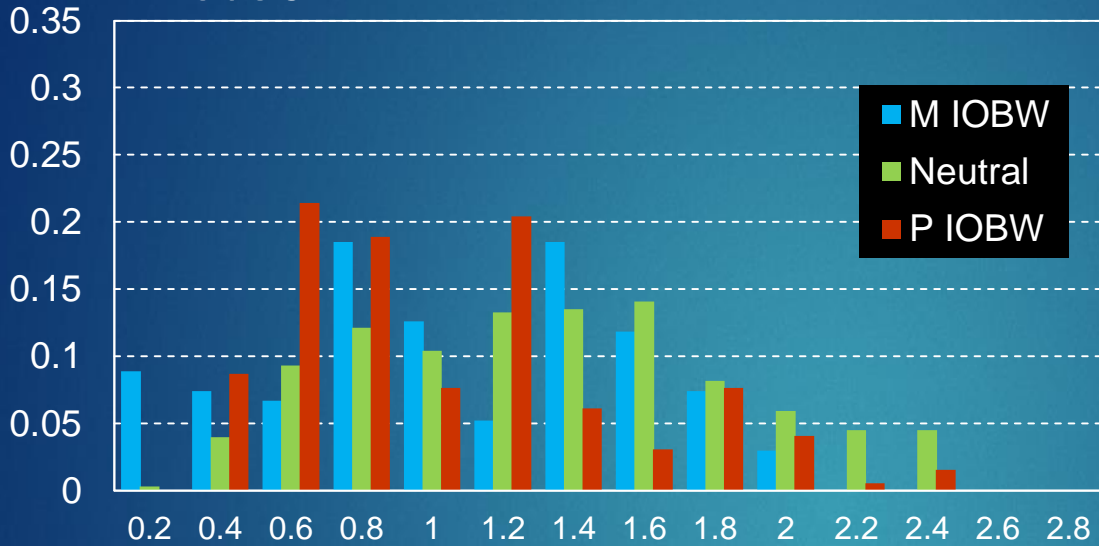
ENSO Neutral時にQBO位相別に見たBSISO振幅の規格化した出現頻度分布



20hPa付近で強東風時にBSISOの振幅が極端に強くなる傾向が更に明瞭

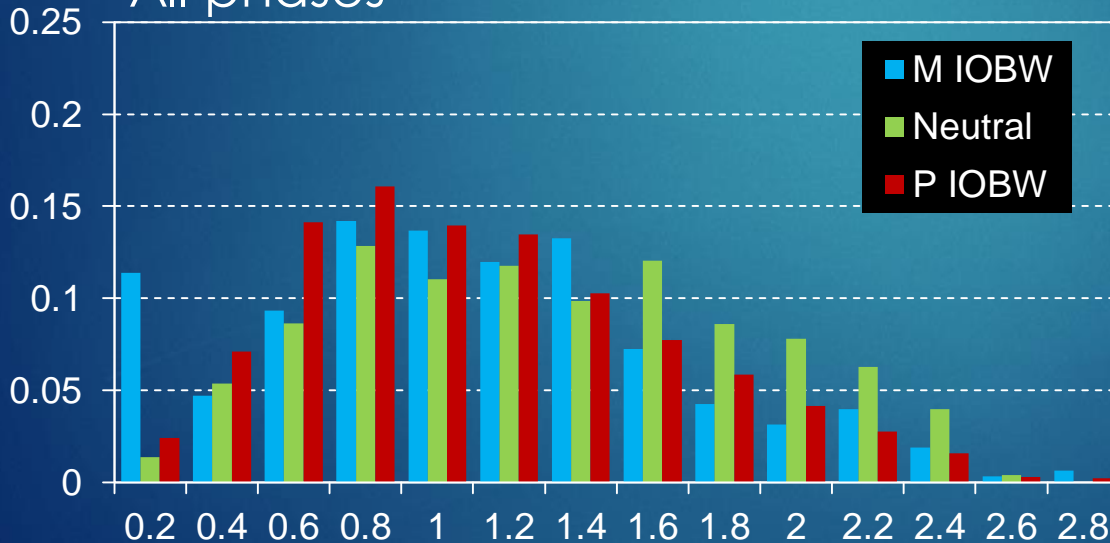
IOBW位相別に見たBSISO振幅の規格化した出現頻度分布

Phase3



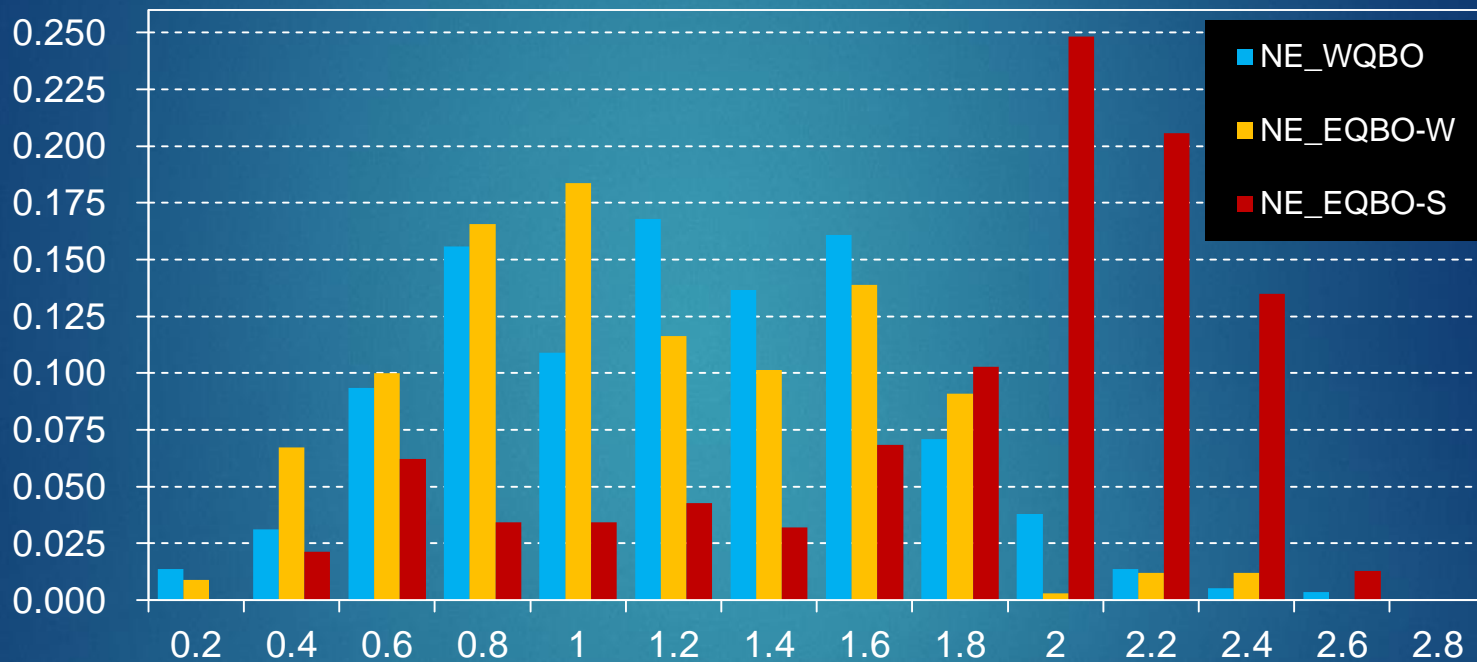
JMA IOBW基準値との差の月平均値が $+0.11^{\circ}\text{C}$ 以上
 →P IOBW,
 -0.11°C 以上→M IOBW,
 それ以外の場合をNeutralと定義。

All phases



IOBW Neutral時にBSISO大振幅の出現頻度が多い傾向が見られる。

IOBW Neutral時にQBO位相別に見たBSISO振幅の規格化した出現頻度分布



20hPa付近で強東風時にBSISOの振幅が極端に強くなる傾向が最も明瞭

まとめと今後の課題

- ▶ 対流圏における偏西風の変動の特徴
対流活動北進後には両半球の熱帯域から30度帯にかけて西風強化偏差の極向きへの拡大が明瞭。角運動量収支でみると北半球側ではコリオリ強制が南半球側では水平移流が支配的。
 - ▶ 上部成層圏にも統計的に有意な東風偏差が見られ、対流活動活発域から射出される重力波による寄与が推察される。JRA-55では同領域で解析期間後半に角運動量収支が悪化する傾向が見られるが、非地形性重力波の表現が数値予報モデルに組み込まれていないことが関連している可能性がある。
 - ▶ QBOやENSO, IOBWとの関係
20hPa東西風が強い東風を示す時にBSISOの振幅が大きくなる傾向が顕著だった。ENSOやIOBWとも一定の関係が示された。
- 帯状平均場→3次元的な解析（3D-MIMの利用）
 - 北半球冬季MJOの調査
 - 1978年以前の期間への延長の検討