

気象庁55年長期再解析(JRA-55) における 大気循環および気候変動の表現性能

気候研究所 原田やよい

2016年2月16日 波と平均流の相互作用に関する研究会、第2回打ち合わせ
(等温位/等密度座標に基づく大気/海洋大循環の解析)

本日の内容

- ▶ 前半（前回の研究会の続報）
質量重み付き等温位面上帯状平均（MIM）法を用いた
JRA-55における大気の流れの整合性の評価について

- ▶ 後半（残り時間で）
観測データセットおよび他機関作成の再解析との比較

MIM方による角運動量収支の計算

- ▶ MIM法 (Iwasaki 1989, Tanaka et al. 2004) について
成層圏のブリューワ・ドブソン循環や対流圏中高緯度の直接循環を適切に表現できること、**角運動量収支が対流圏下層でも定量的に取扱い可能**であることなどが挙げられる。このため大気大循環全体の整合性評価に同法を用いる。 岩崎2009 より抜粋

MIM 法

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

带状平均東西風 水平移流 鉛直移流 コリオリ EPflux 重力波抵抗+乱流拡散
加速・減速 () () () () () ()
() () () () () () ()

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

数値予報モデルの積分では左辺の带状東西風加速・減速と右辺の各強制項の合計がバランスするはずだが、データ同化サイクルにおいては、観測データ利用による解析インクメントが解析値に加えられるため、解析値の力学的整合性が厳密には保たれる保証はない。

角運動量収支の一致率の計算について

- ▶ 角運動量収支の整合性を統計的に把握するため、東西風の時間変化傾向 ($DUDT$)、強制項合計値 ($FSUM$) を以下の通り定義して6時間毎、格子点毎に計算し、それらの一致率も併せて求めた。
- ▶ ここでの一致率とは、ある時刻の $DUDT$ と $FSUM$ の誤差 **5%以内** の場合を収支が一致したものを一事例とカウントし、全事例数で割ったものと定義する。

12時間中の東西風変化傾向
(単位はm/s/day)

$$\underline{DUDT}_{t=t_0} \equiv 2.0 \times (u_{t=t_0+6h} - u_{t=t_0-6h})$$

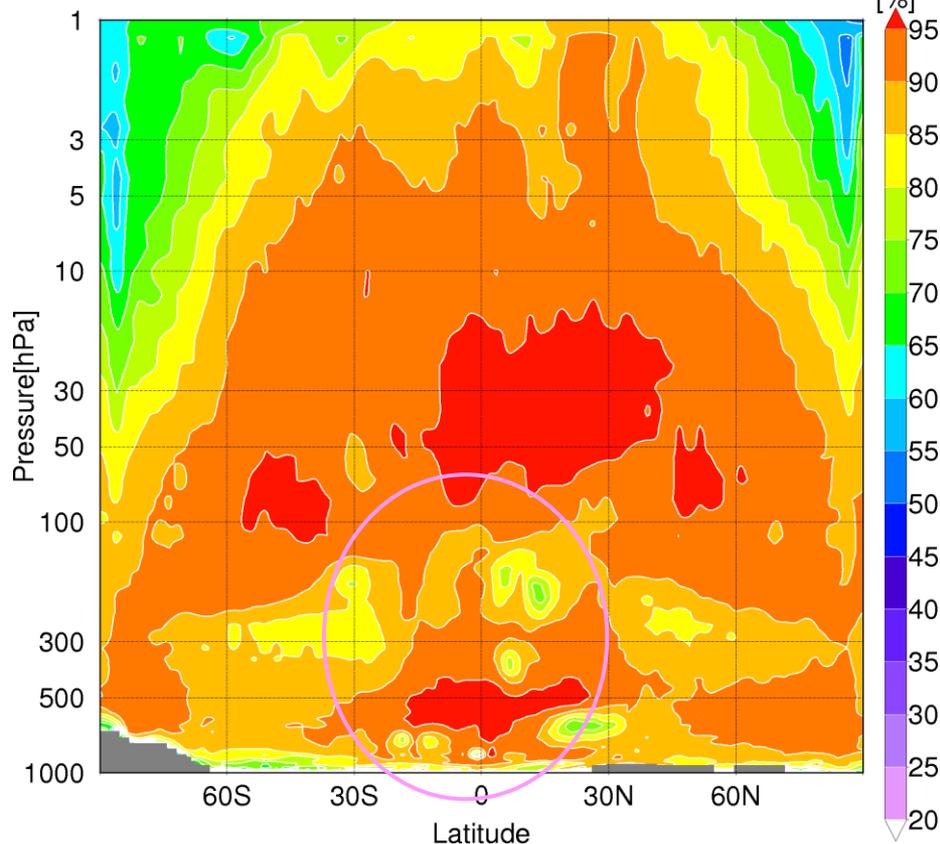
$$fsum_{t=t_0} \equiv -\frac{\bar{v}^*}{a \cos \phi} \frac{\partial \bar{u}^* \cos \phi}{\partial \phi} - \bar{w}_\dagger^* \frac{\partial \bar{u}^*}{\partial z_\dagger} + f \bar{v}^* + \frac{\nabla \cdot F}{a \rho_0 \cos \phi} + \bar{X}^*$$

$$\underline{FSUM}_{t=t_0} \equiv 0.25 \times fsum_{t=t_0-6h} + 0.5 \times fsum_{t=t_0} + 0.25 \times fsum_{t=t_0+6h}$$

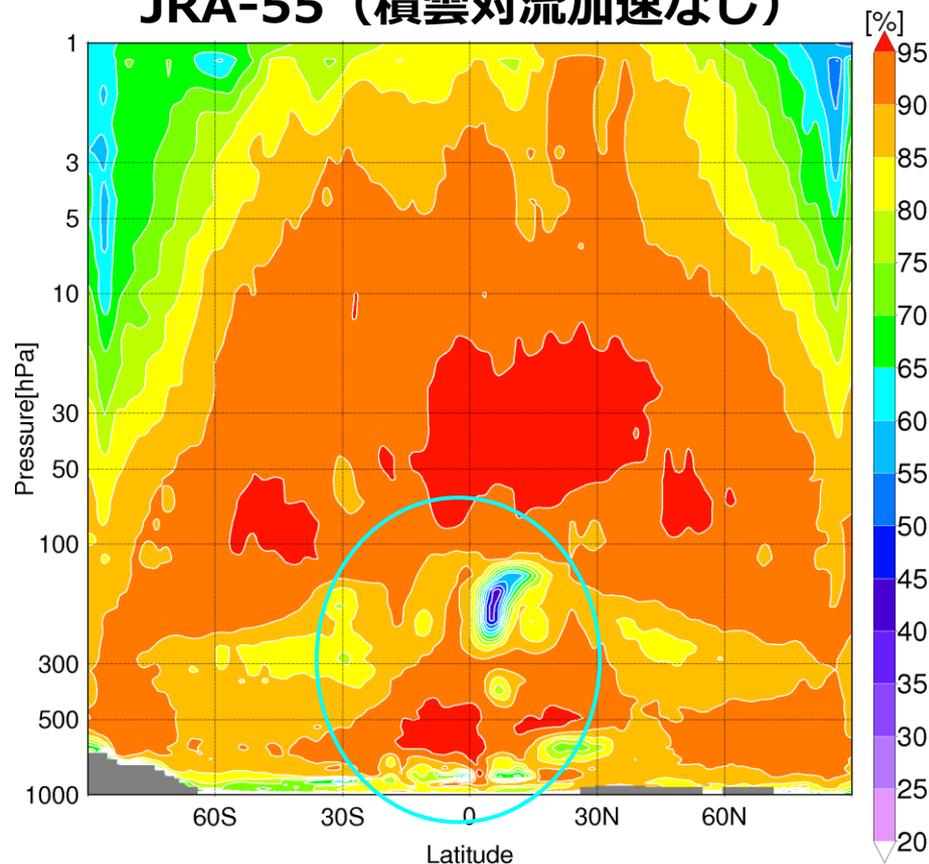
12時間中の強制項合計値

1979~2012年（夏平均）の期間で計算した角運動量収支一致率の緯度-高度断面図（JRA-55積雲対流加速なしの場合との比較）。単位は%。

JRA-55



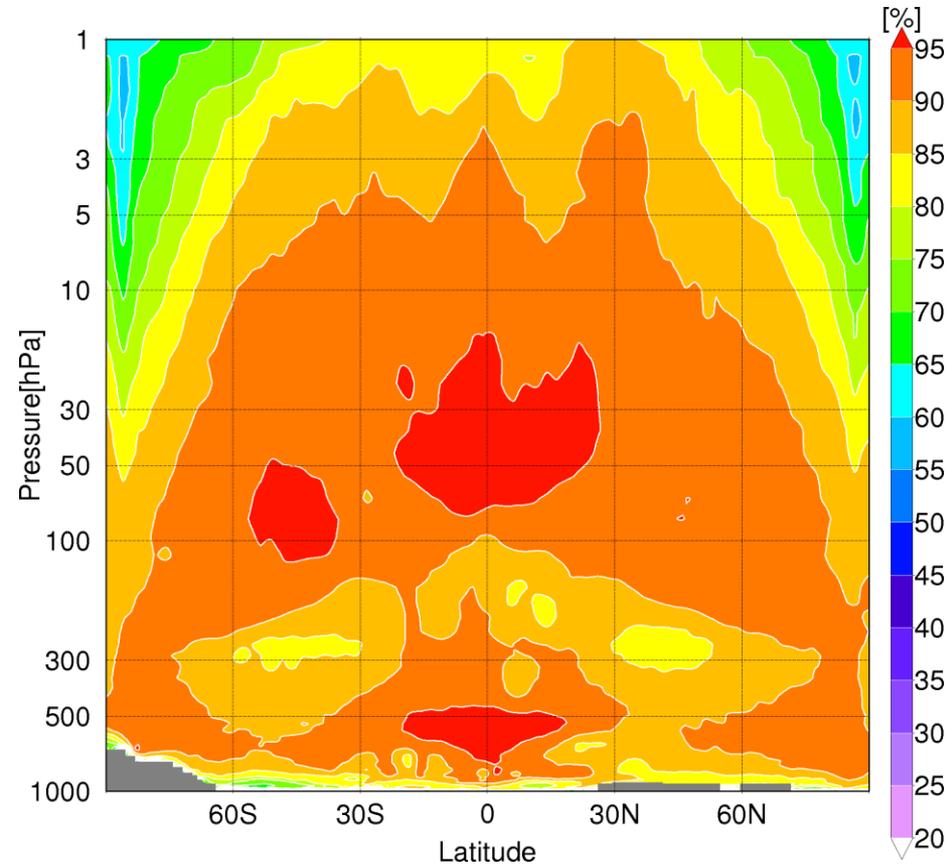
JRA-55（積雲対流加速なし）



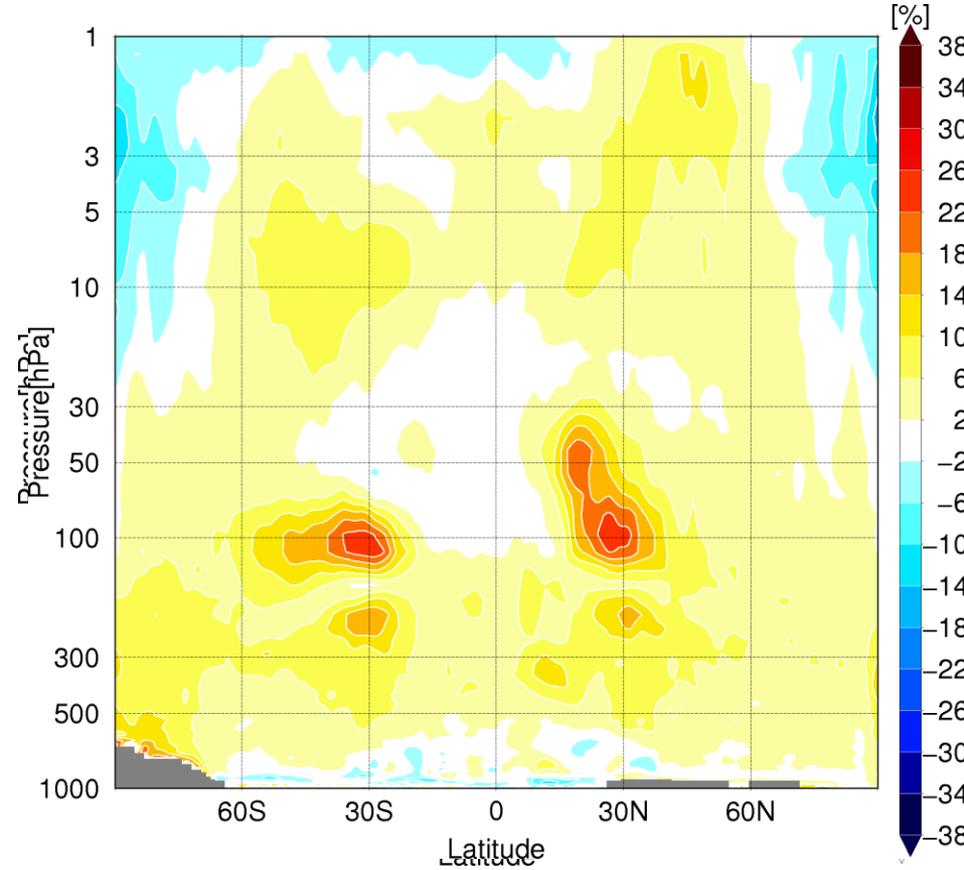
積雲対流加速の項を追加することによって対流圏上層10N付近の極端な低一致率は解消された。同緯度対の対流圏下層の一致率も改善が見られる。

1979~2012年の期間で計算した角運動量収支一致率の緯度-高度断面図（JRA-25との比較）。単位は%。

JRA-55

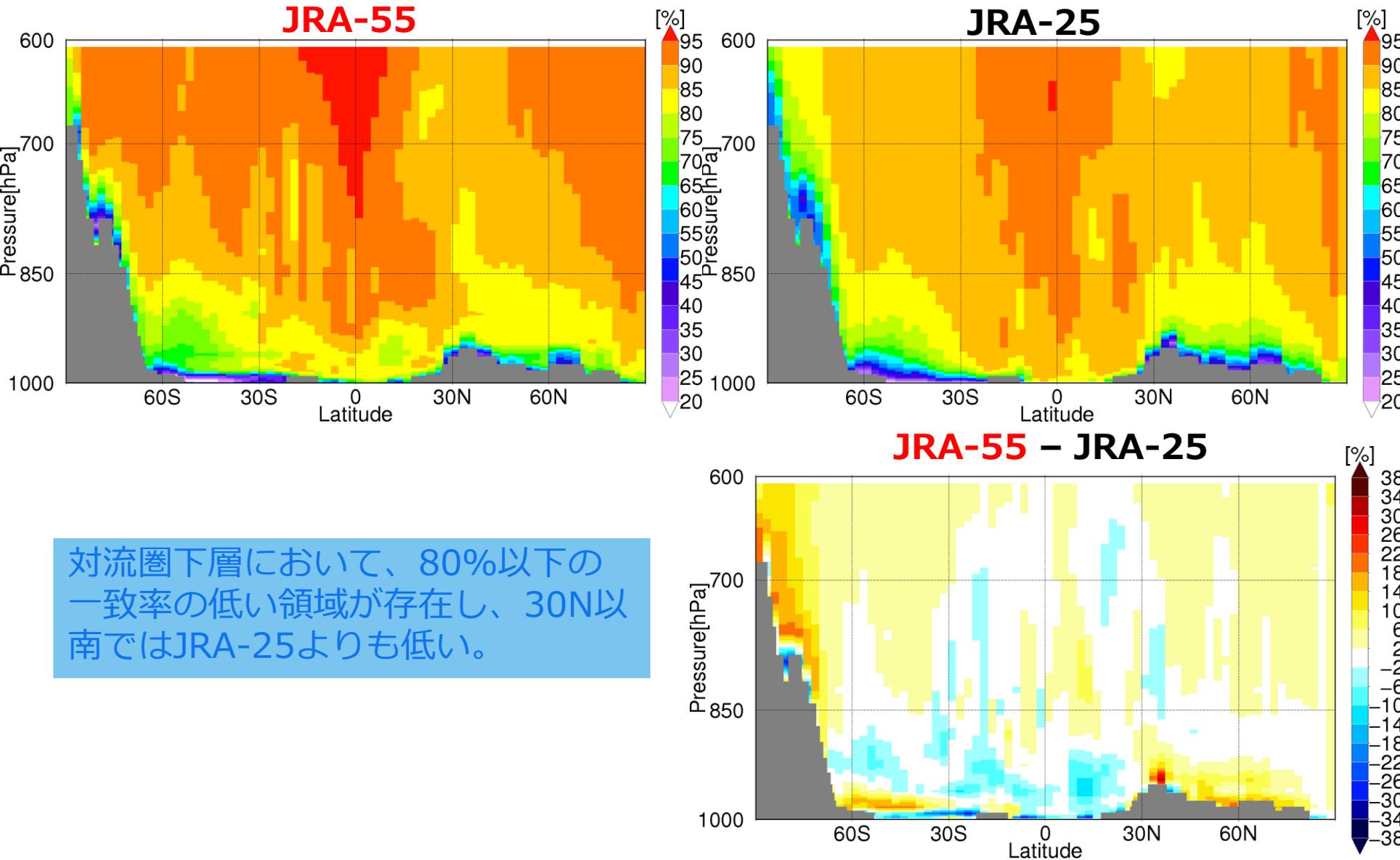


JRA-55 - JRA-25



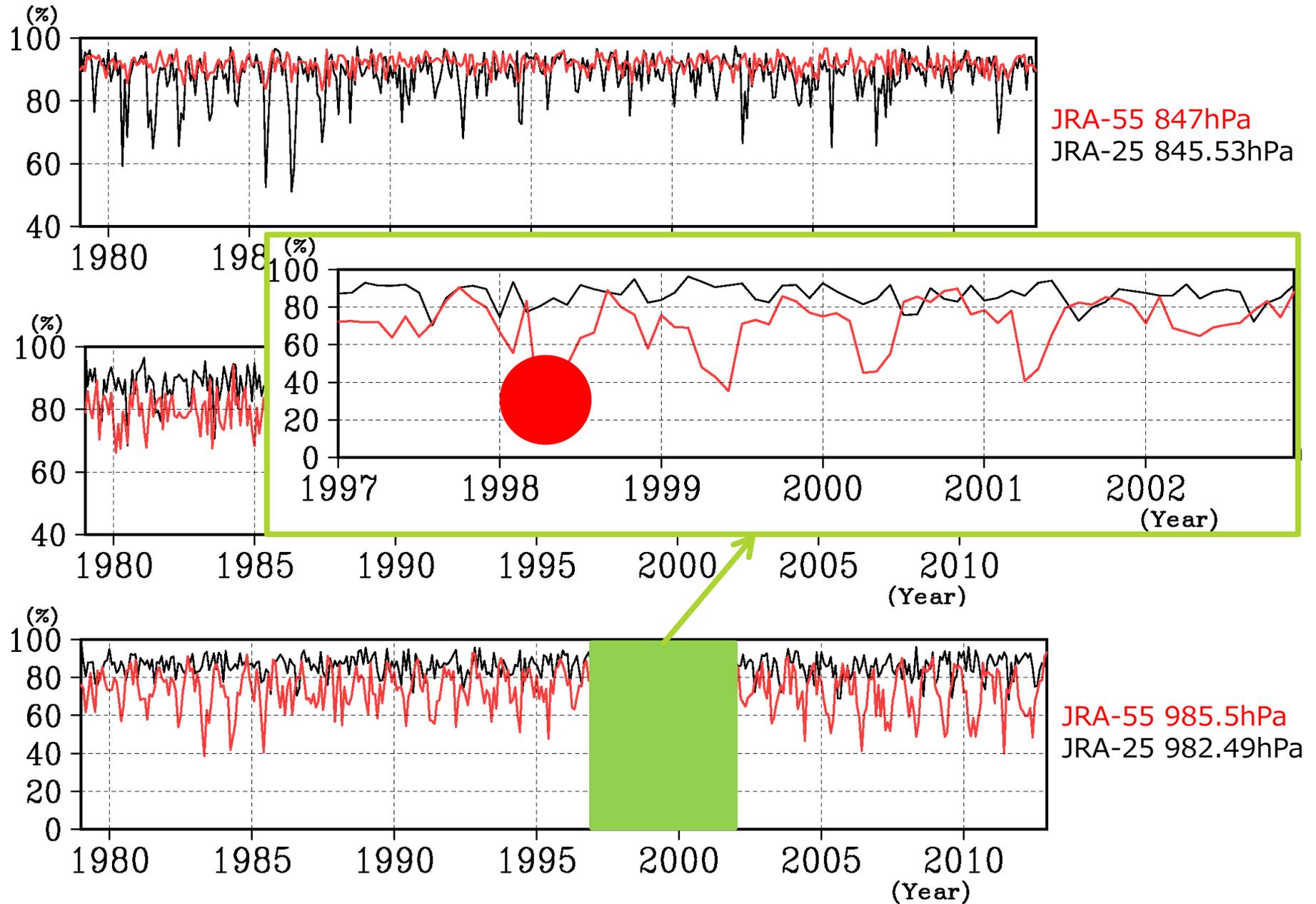
対流圏圏界面付近の両半球30度付近での改善が顕著
成層圏でも極域上部成層圏をのぞき明瞭な改善が見られる。

1979~2012年の期間で計算した角運動量収支の一致率の緯度-高度断面図 (JRA-25との比較、対流圏下層のみ) .



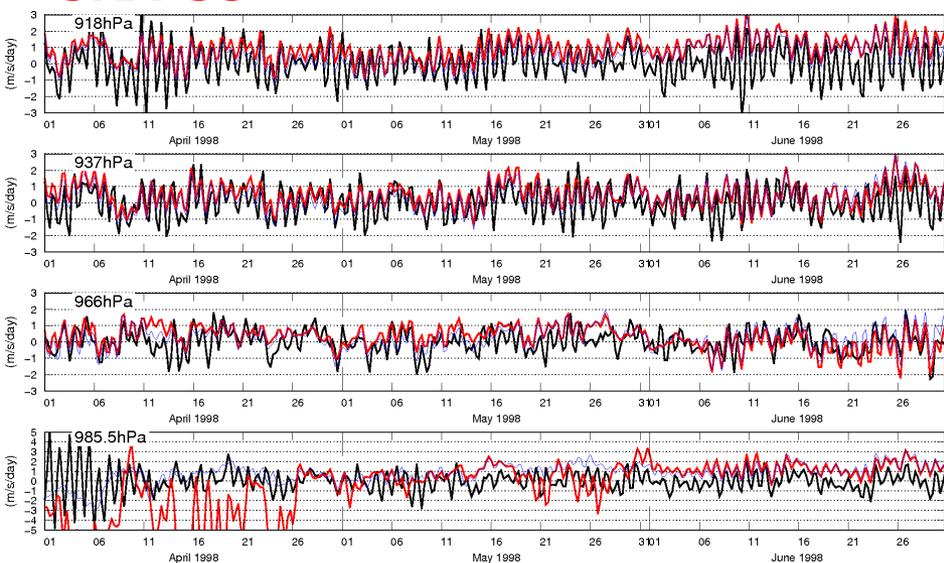
対流圏下層において、80%以下の一致率の低い領域が存在し、30N以南ではJRA-25よりも低い。

10-20N帯対流圏下層における一致率の経年変化



1998年4~6月の角運動量収支の例 (10~20N平均、対流圏下層)

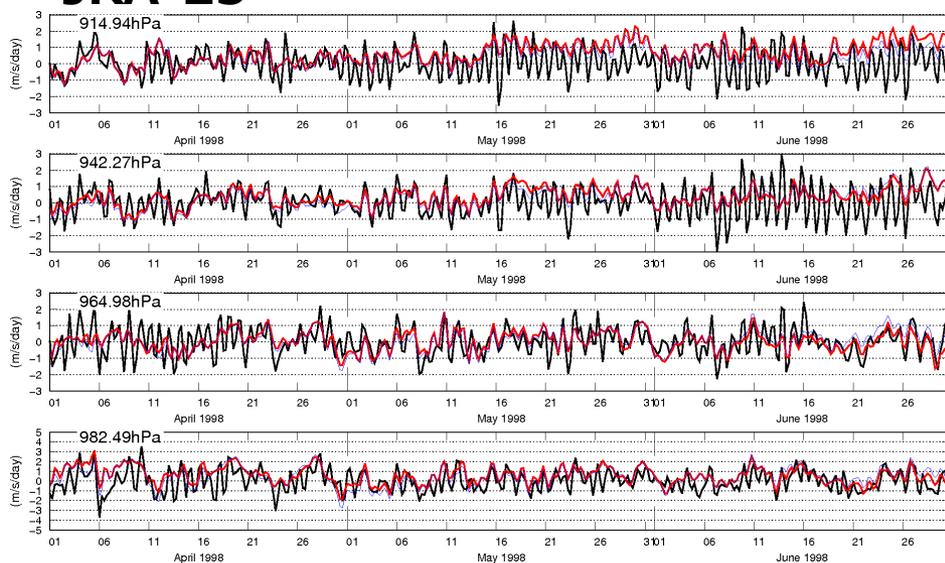
JRA-55



- 帯状平均東西風加速
- 移流項合計
- コリオリ強制 + EPflux収束・発散
- EPflux収束・発散合計

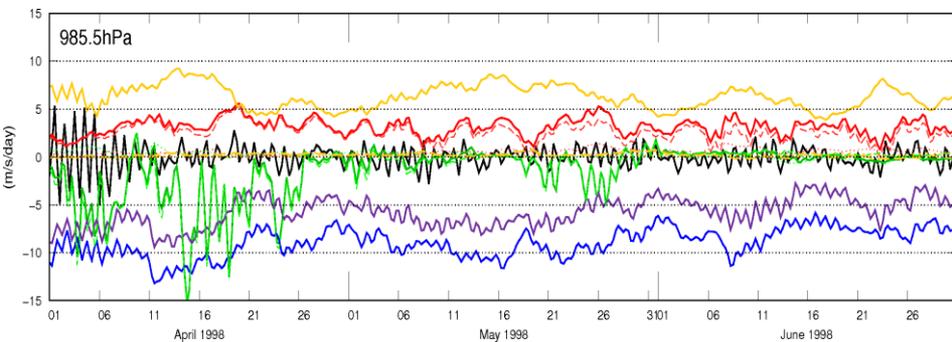
JRA-25

- ※単位は全てm/s/day
- 帯状平均東西風加速
- 移流 + コリオリ強制
- + Epflux収束・発散 + その他

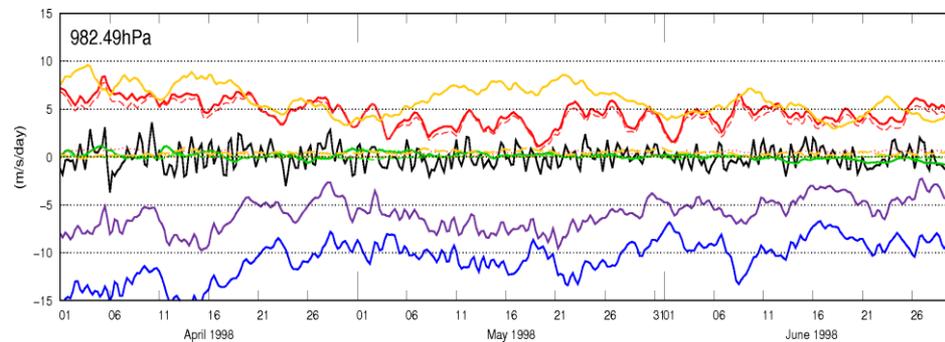


- コリオリ強制
- その他強制項 (実線;鉛直拡散、破線;対流加速、点線;重力波抵抗)
- ※点線が水平成分、破線が鉛直成分を示す。
- ※単位は全てm/s/day

JRA-55

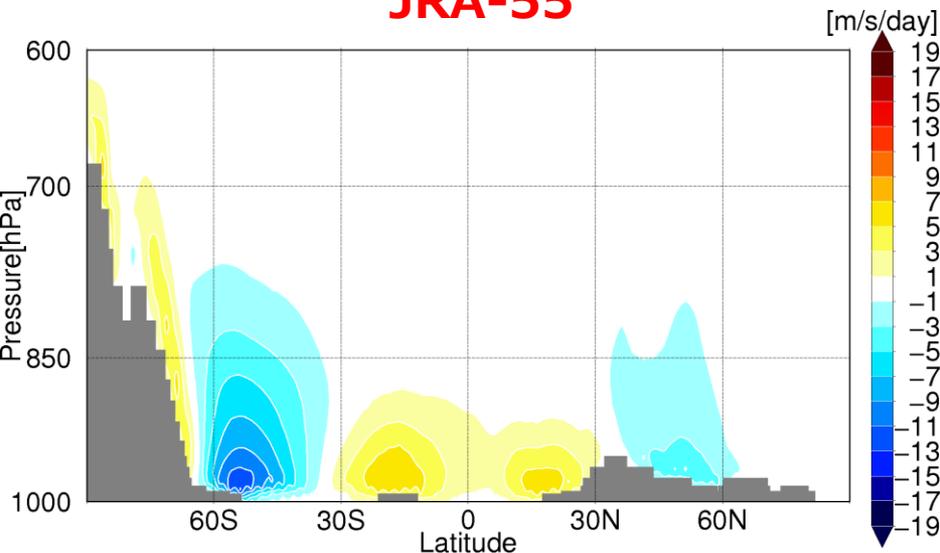


JRA-25

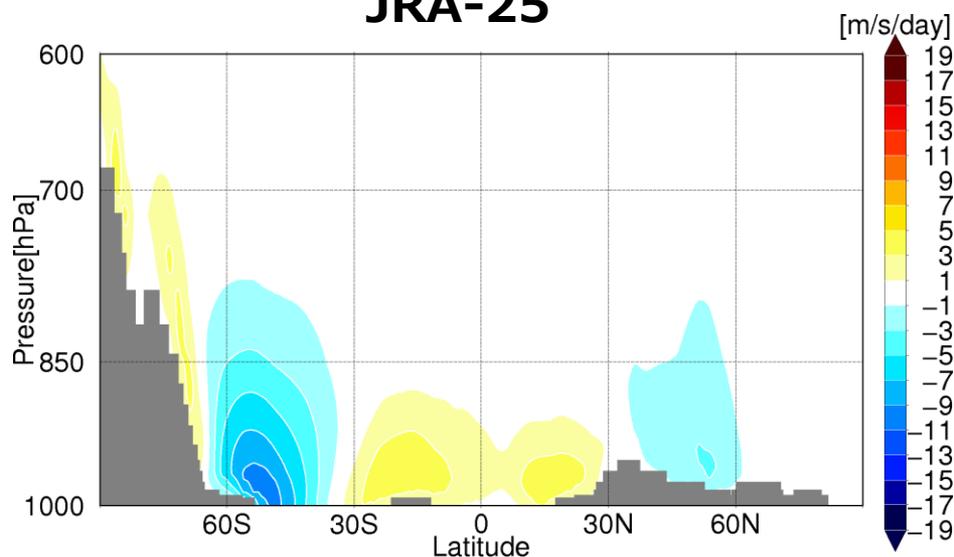


1979~2012年の期間で計算した鉛直拡散による東西風加速の緯度-高度断面図（JRA-25との比較、対流圏下層のみ）。

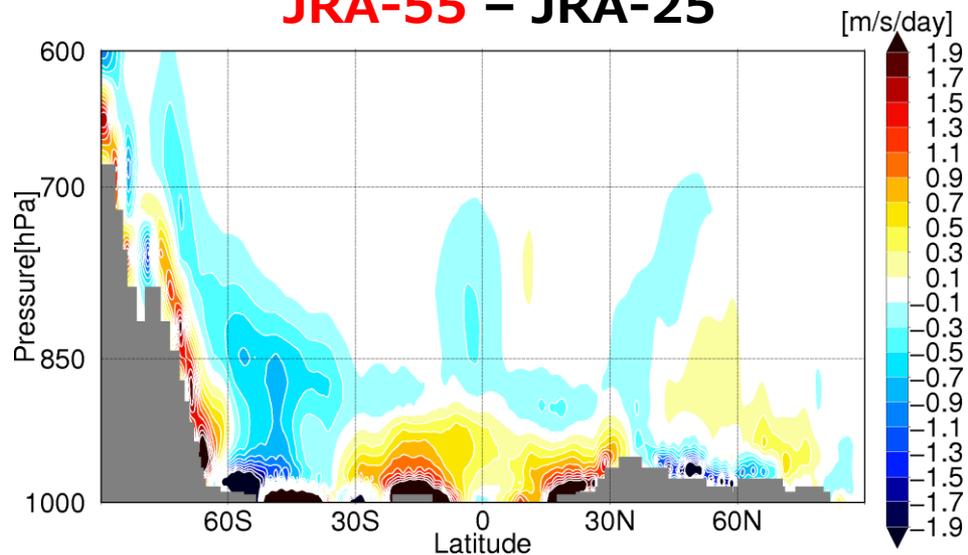
JRA-55



JRA-25



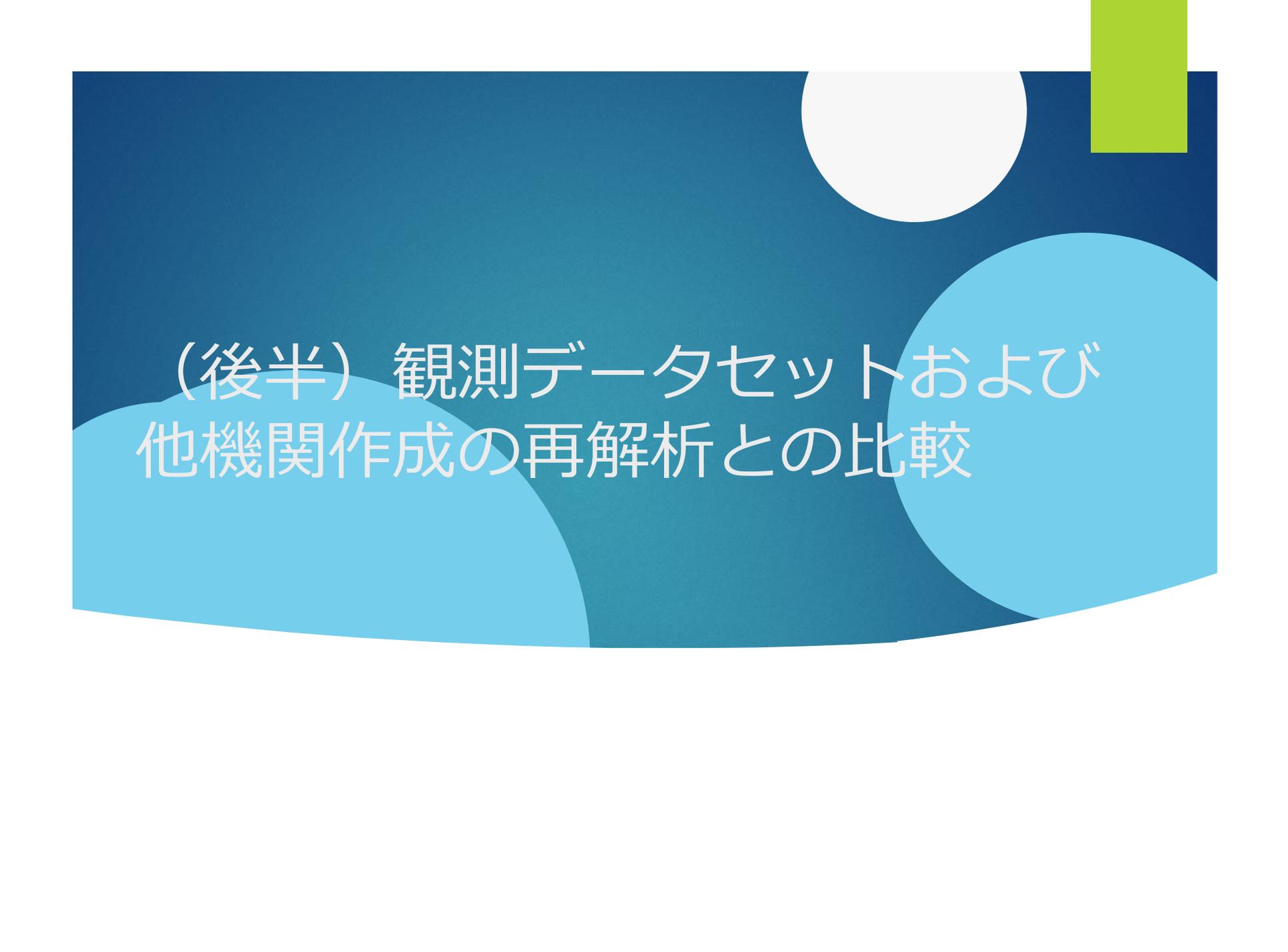
JRA-55 - JRA-25



熱帯域の対流圏下層においては、鉛直拡散による東西風加速がJRA-25よりも大きくなっている。

(前半) まとめ

- ▶ 角運動量収支の一致率は対流圏界面付近や成層圏冬半球において概ね増加（対JRA-25、ただし極域上部成層圏や対流圏下層を除く）。
- ▶ 北半球夏季～秋季にかけて10N付近で角運動量収支一致率の極端に低い領域が存在したが、対流の加速効果を追加することで収支が改善
- ▶ 対流圏下層の30N以北では収支が改善したが、30N以南では改悪した領域が見られている。10～20N帯については、暖候期に鉛直拡散による加速が強化され、加速の正バイアスが見られている模様。



(後半) 観測データセットおよび 他機関作成の再解析との比較

Dataset used for the comparison

Reanalyses

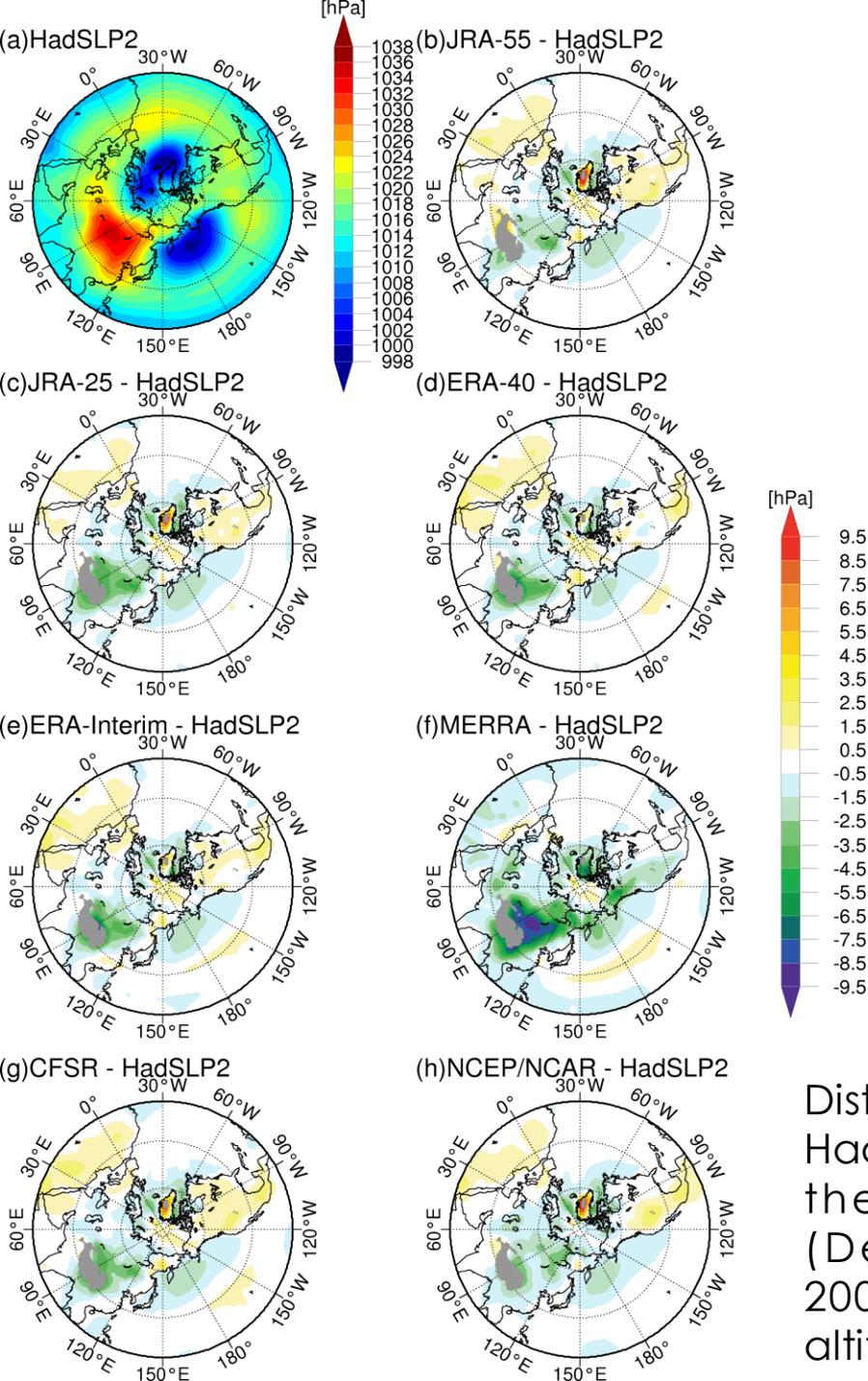
Name	Organization	Reanalysis period	Resolution	Data assimilation method
JRA-55	JMA	1958 to present	TL319, L60 up to 0.1 hPa	4D-Var
JRA-25	JMA/CRIEPI	1979 to Jan. 2014	T106, L40 up to 0.4 hPa	3D-Var
ERA-40	ECMWF	Sep. 1957 to Aug. 2002	TL159, L60 up to 0.1 hPa	3D-Var
ERA-Interim	ECMWF	1979 to present	TL255, L60 up to 0.1 hPa	4D-Var
NCEP/NCAR	NCEP/NCAR	1948 to present	T62, L28 up to 3 hPa	3D-Var
CFSR	NCEP	1979 to present	T382, L64 up to 0.266 hPa	3D-Var (Coupled forecast system)
MERRA	NASA GMAO	1979 to present	$(2/3)^\circ \times 0.5^\circ$, L72 up to 0.01 hPa	3D-Var

Observational dataset

Name	Reference	Period	Valuables
HadSLP2	Allan and Ansell 2006	1850 to 2004	Sea level pressure
GSSTF ver. 3	Shie et al. 2012	1987 to 2009	Surface turbulent fluxes
GPCC	Schneider et al. 2011	1901 to 2010	Monthly precipitation over land
TRMM3B42	Huffman et al. 2007	1997 to present	Daily precipitation
NOAA OLR	Liebmann and Smith 1996	1979 to present	Daily outgoing longwave radiation

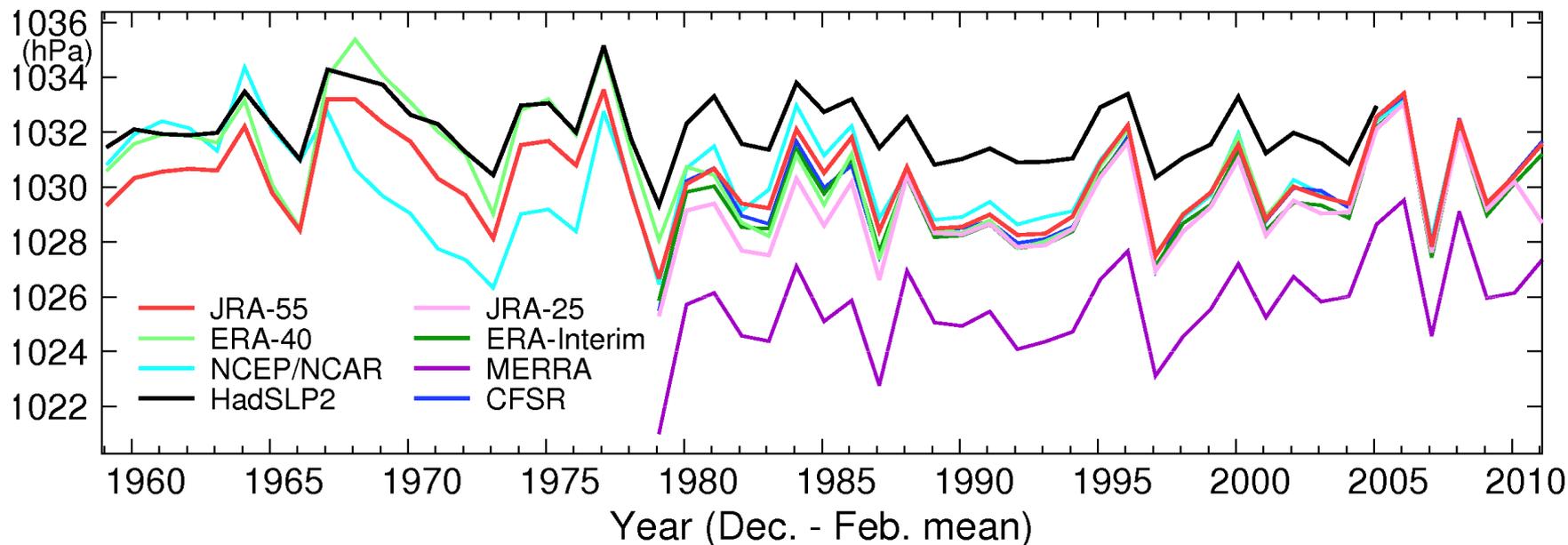
#Dataset are regridded into common grid cells with horizontal resolution of 2.5° or 5° .

北半球冬季 (12-2月) 海面更正気圧比較 (对HadSLP2)

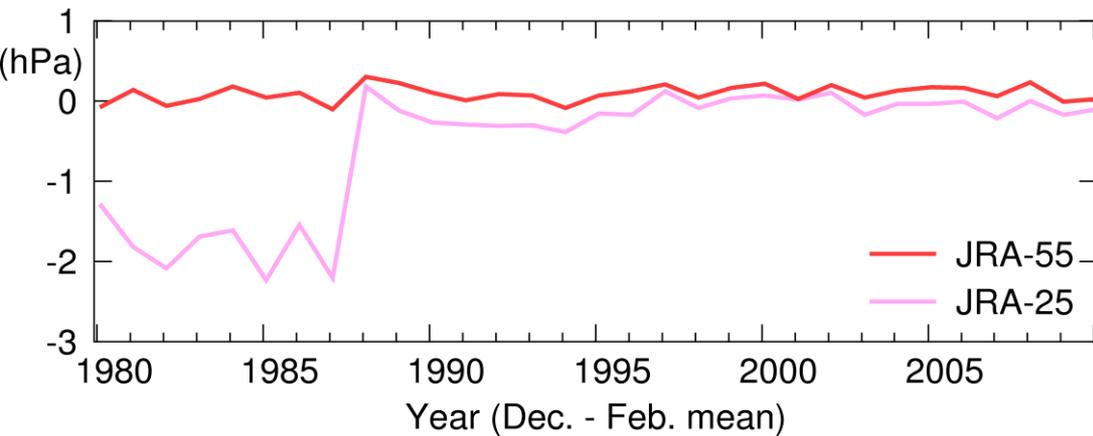


Distributions of (a) sea level pressure (hPa) from HadSLP2 and (b-h) that subtracted from each of the reanalysis products during NH winter (December-February) from 1980/1981 to 2000/2001. Gray shadings indicate areas with altitudes exceeding 3,000 m.

シベリア高気圧圏内で領域平均した海面更正気圧の経年変化

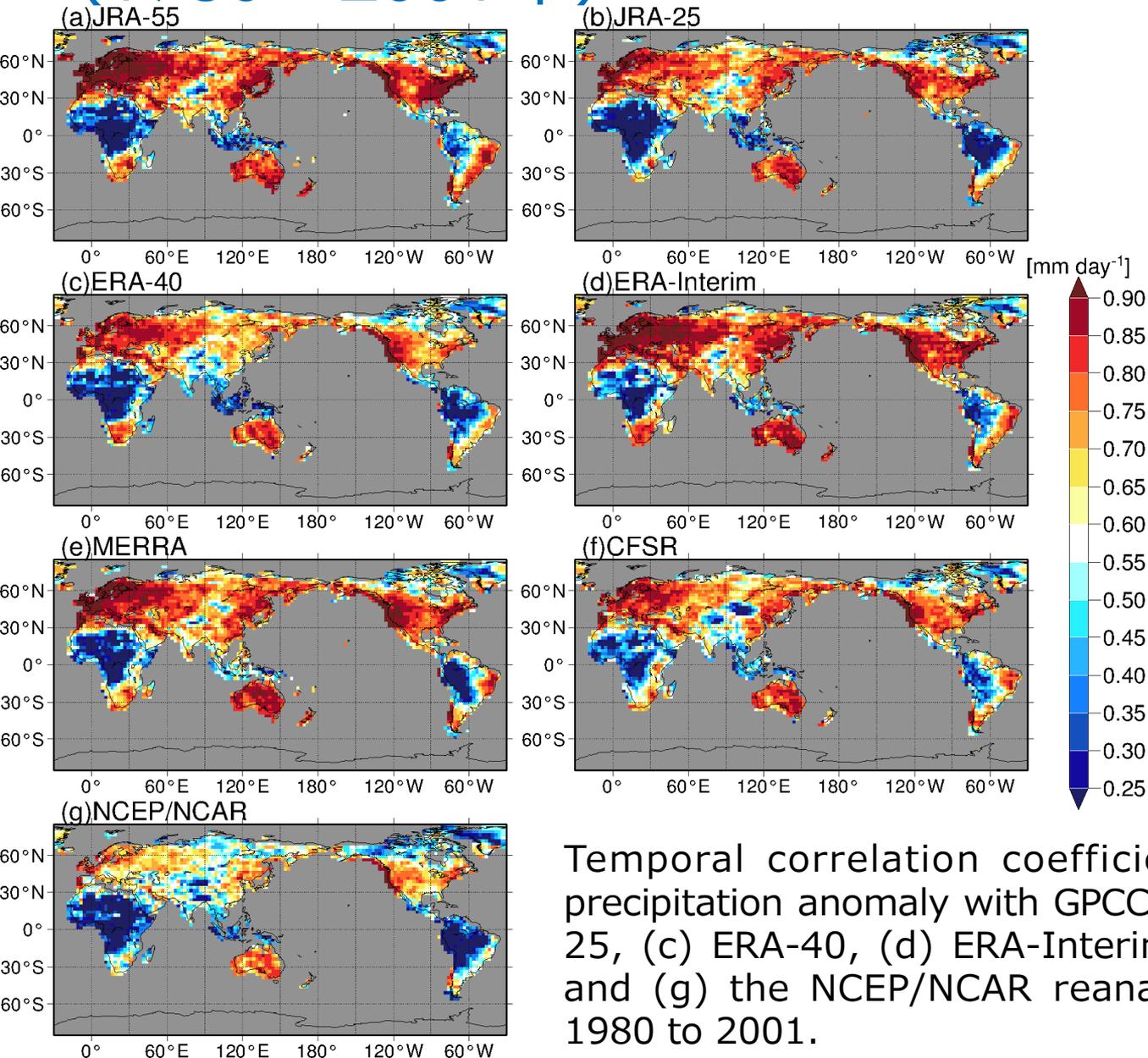


Time series of NH winter (December–February) mean sea level pressure (hPa) averaged over 40–60°N, 80–120°E.



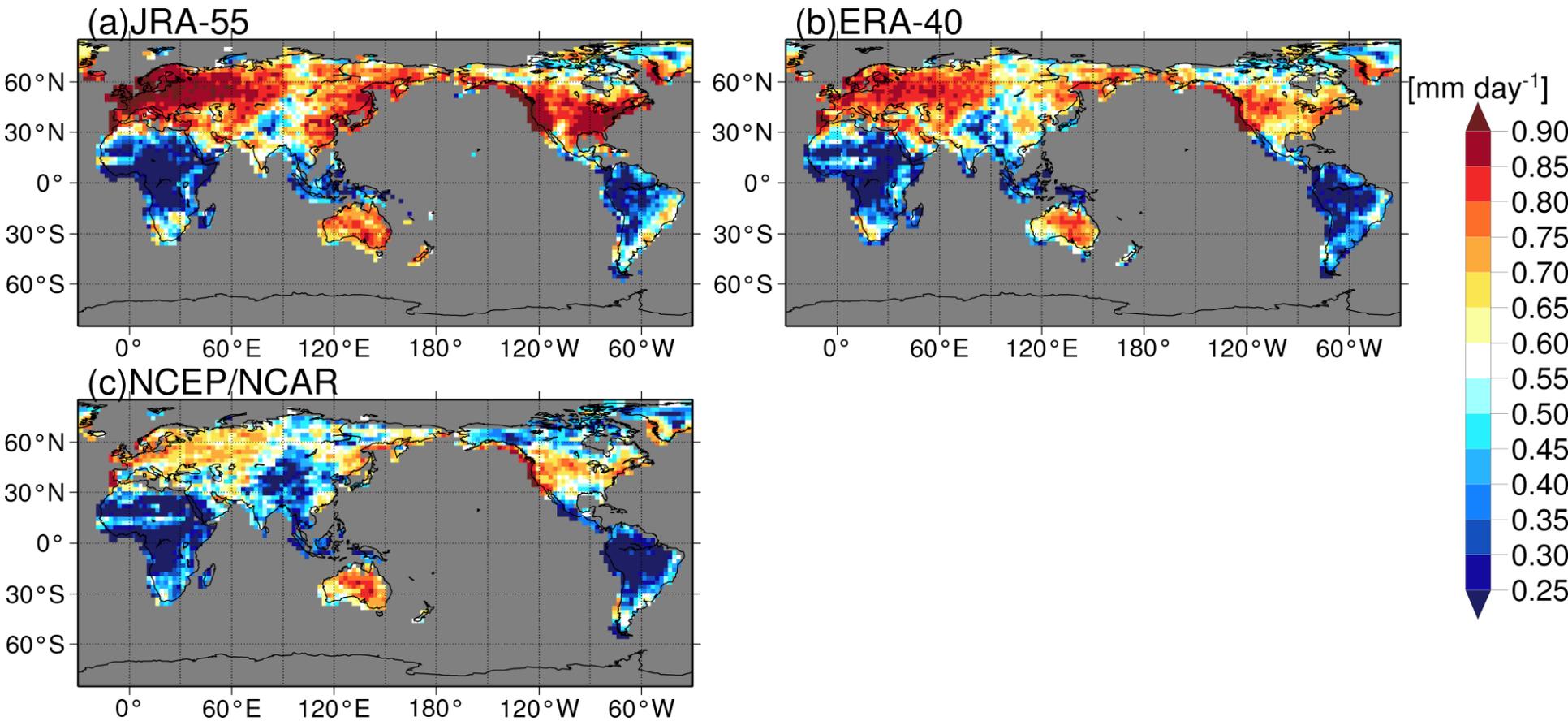
Time series of winter (December–February) mean sea level pressure analysis increments (hPa) averaged over 45–55°N, 90–105°E.

対GPCC降水量相関係数の再解析値間比較 (1980~2001年)



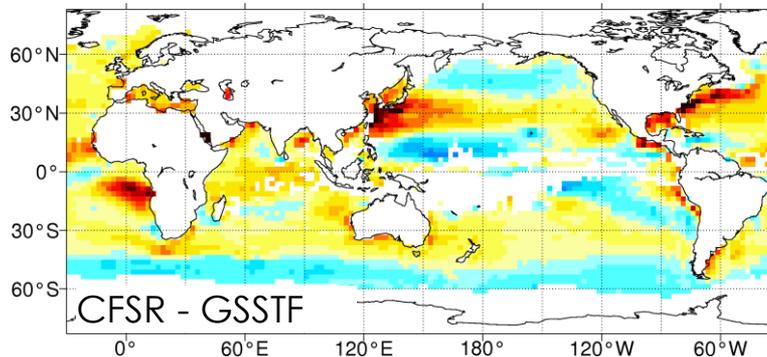
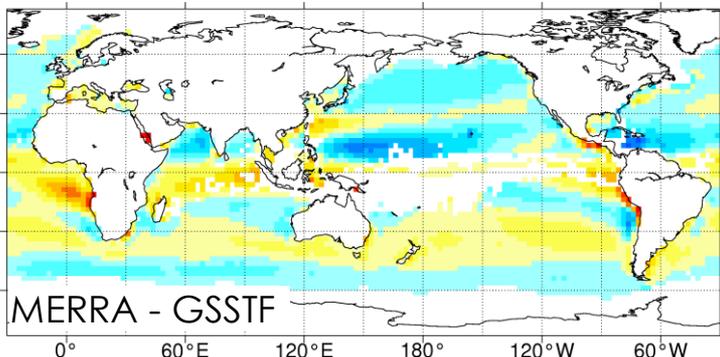
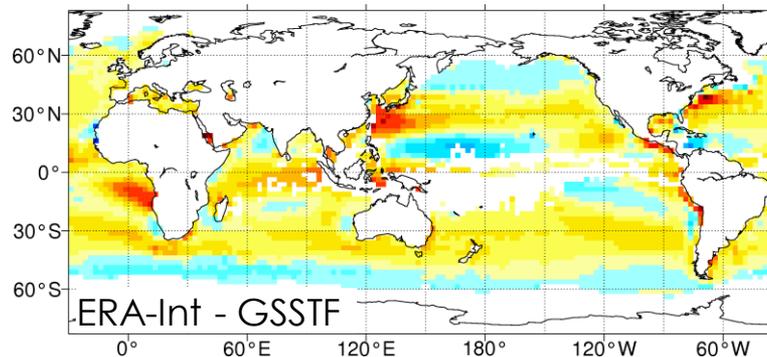
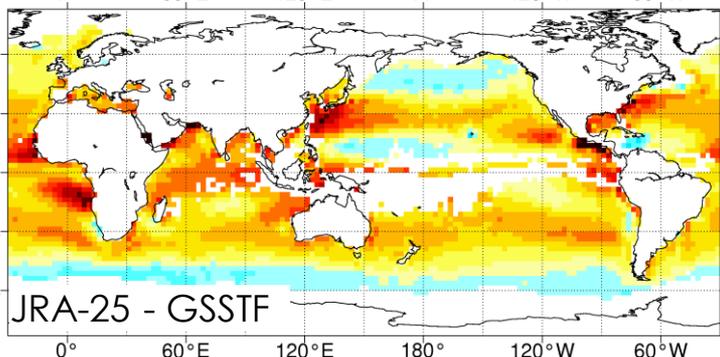
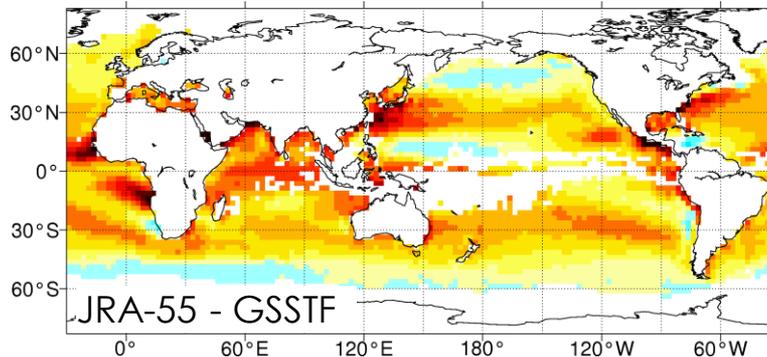
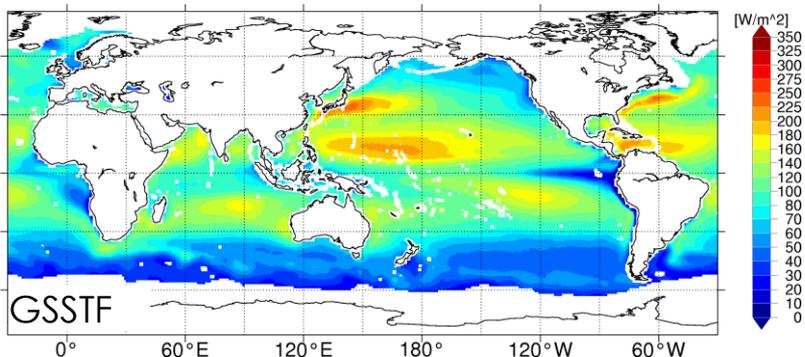
Temporal correlation coefficients of monthly mean precipitation anomaly with GPCC for (a) JRA-55, (b) JRA-25, (c) ERA-40, (d) ERA-Interim, (e) MERRA, (f) CFSR and (g) the NCEP/NCAR reanalysis during the period 1980 to 2001.

対GPCC降水量相関係数の再解析値間比較 (1958~1979年)



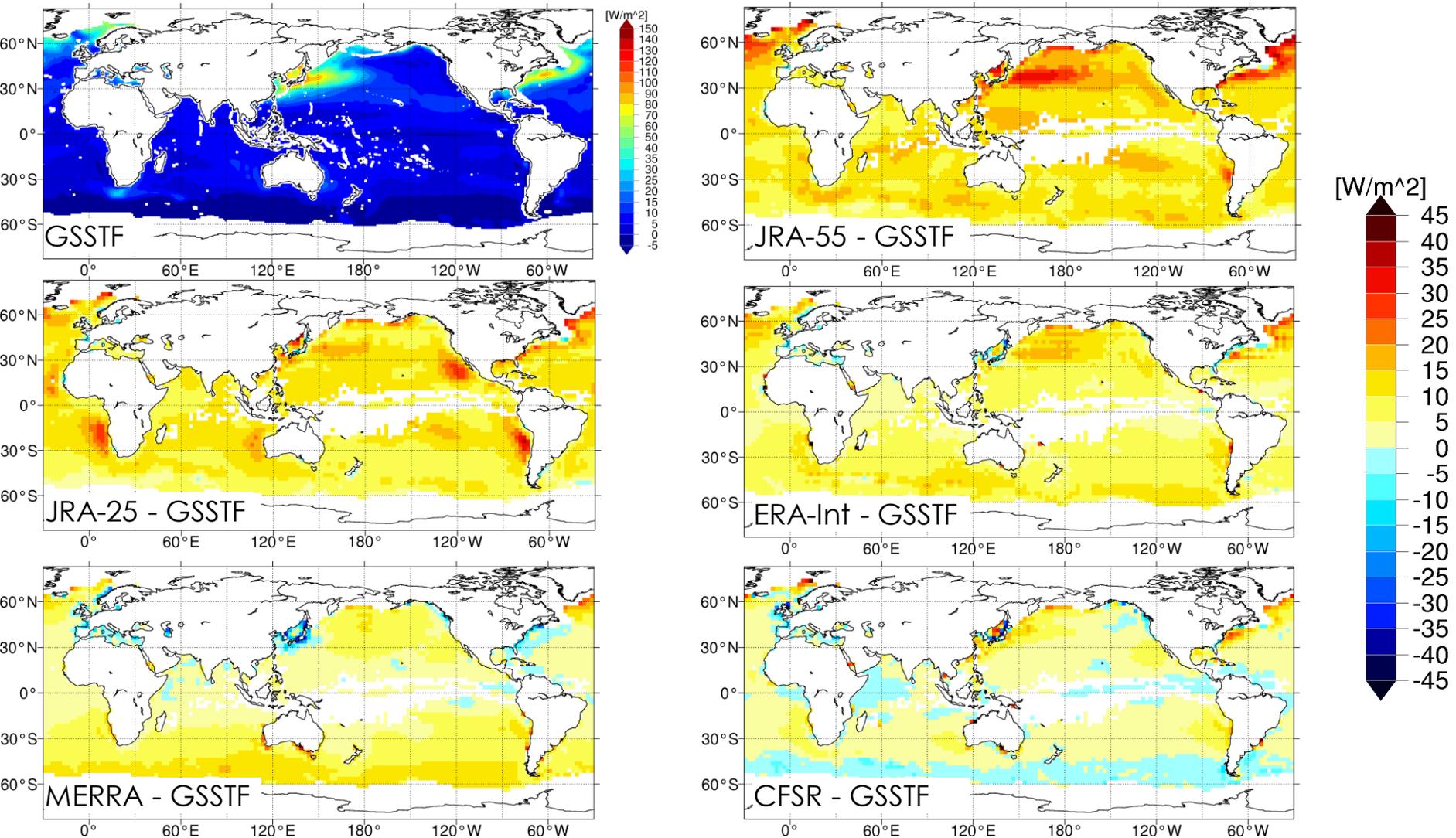
As in the previous slide, but for the period from 1958 to 1979 for (a) JRA-55, (b) ERA-40 and (c) the NCEP/NCAR reanalysis.

Comparison of Latent Heat Flux with GSSTF ver. 3 (NH cold season)



Distributions of latent heat flux from GSSTF and that subtracted from each of the reanalysis products during NH cold season (November–March) from 1989/1990 to 2008/2009. Positive values denote a heat flux from the ocean to the atmosphere.

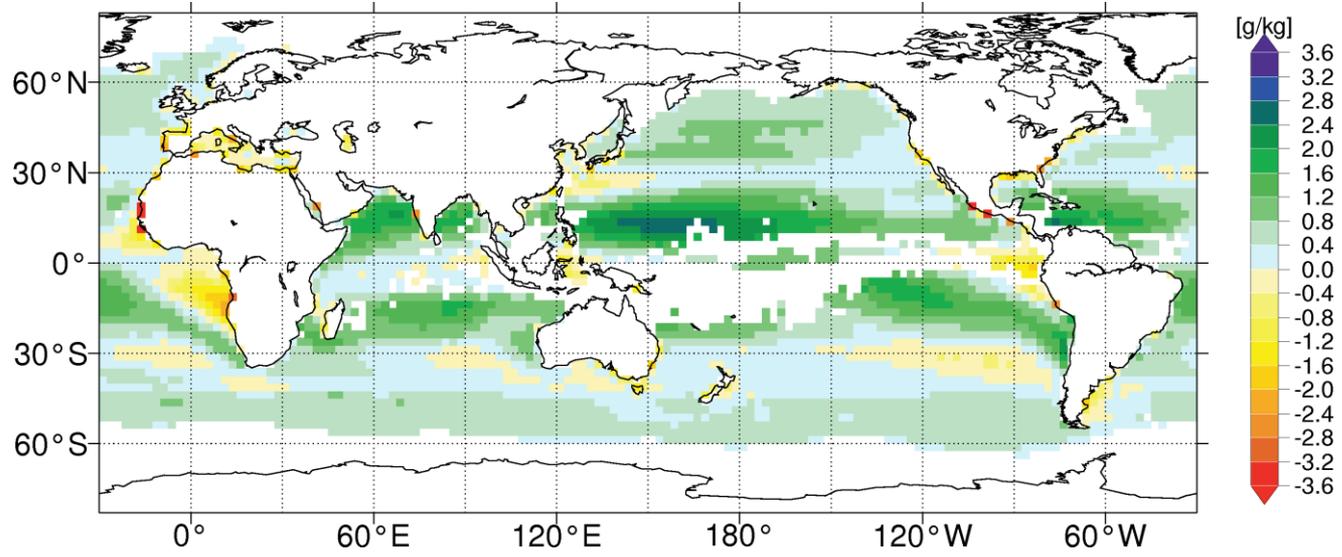
Comparison of Sensible Heat Flux with GSSTF ver.3 (NH cold season)



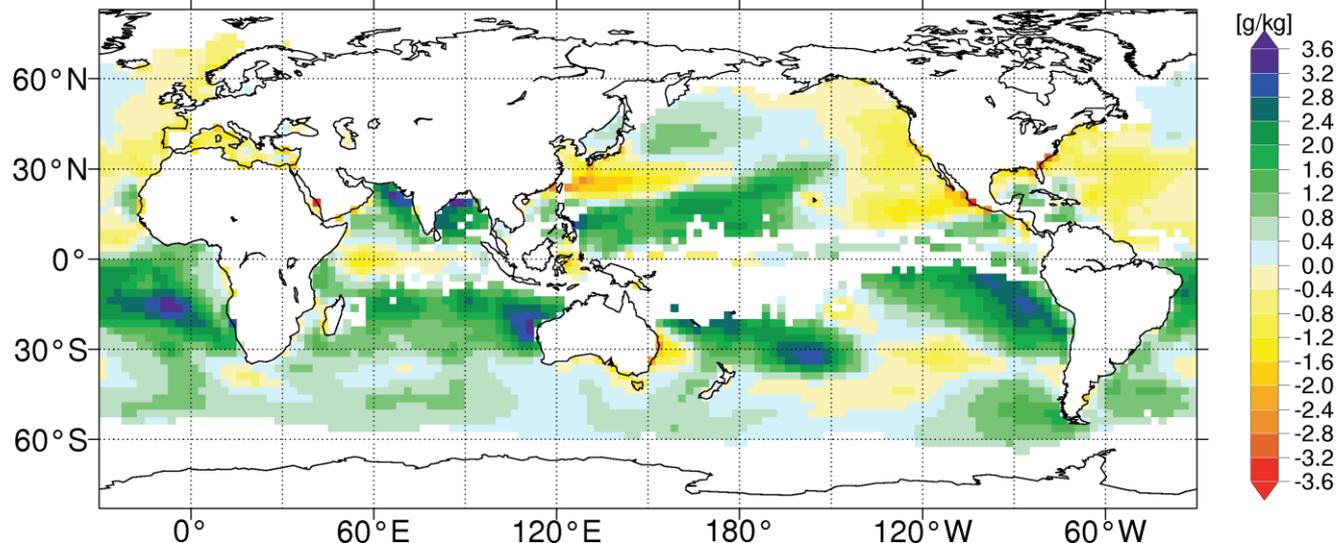
Distributions of Sensible heat flux from GSSTF and that subtracted from each of the reanalysis products during NH cold season (November–March) from 1989/1990 to 2008/2009. Positive values denote a heat flux from the ocean to the atmosphere.

比湿バイアス比較 (NH cold season)

JRA-25 fcst

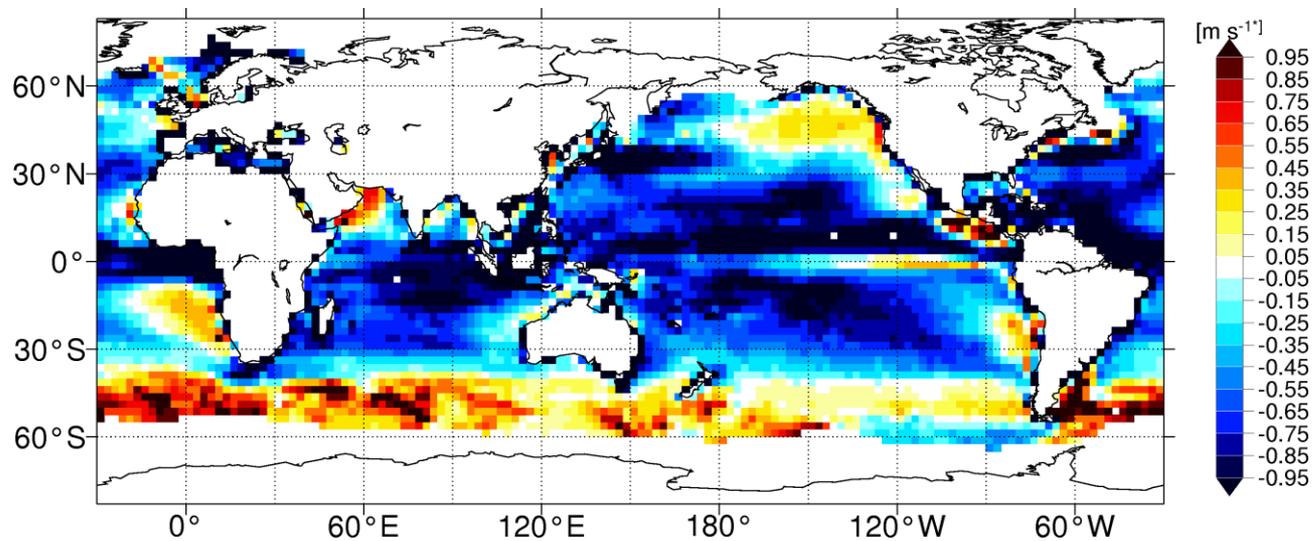


JRA-55 fcst

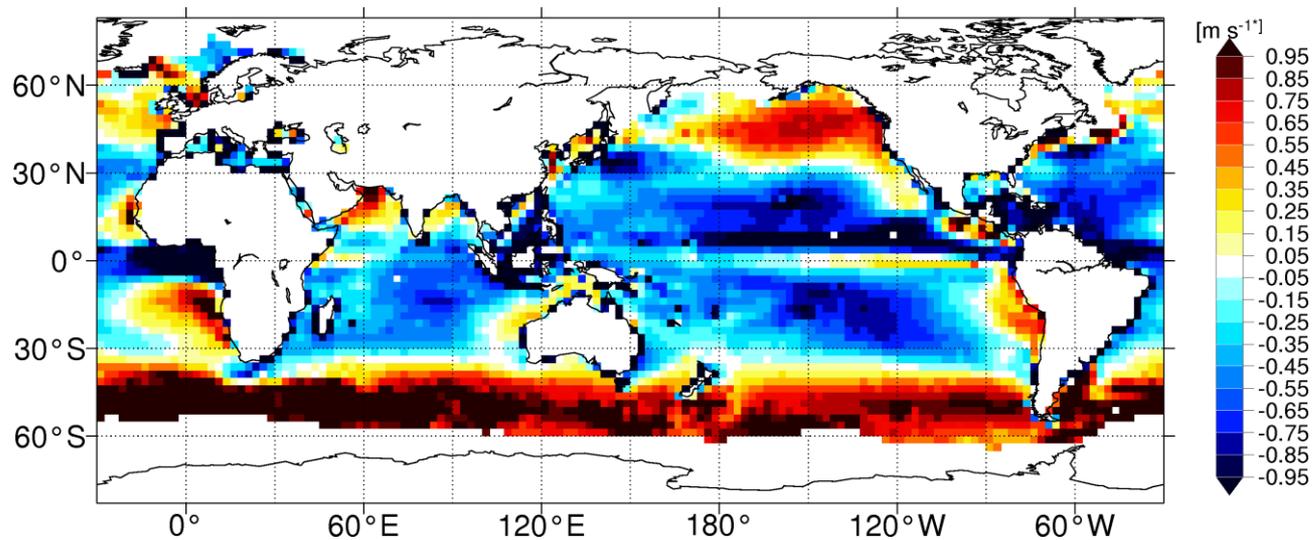


風速バイアス比較 (JRA-25 fcst v.s. JRA55 fcst) (NH cold season)

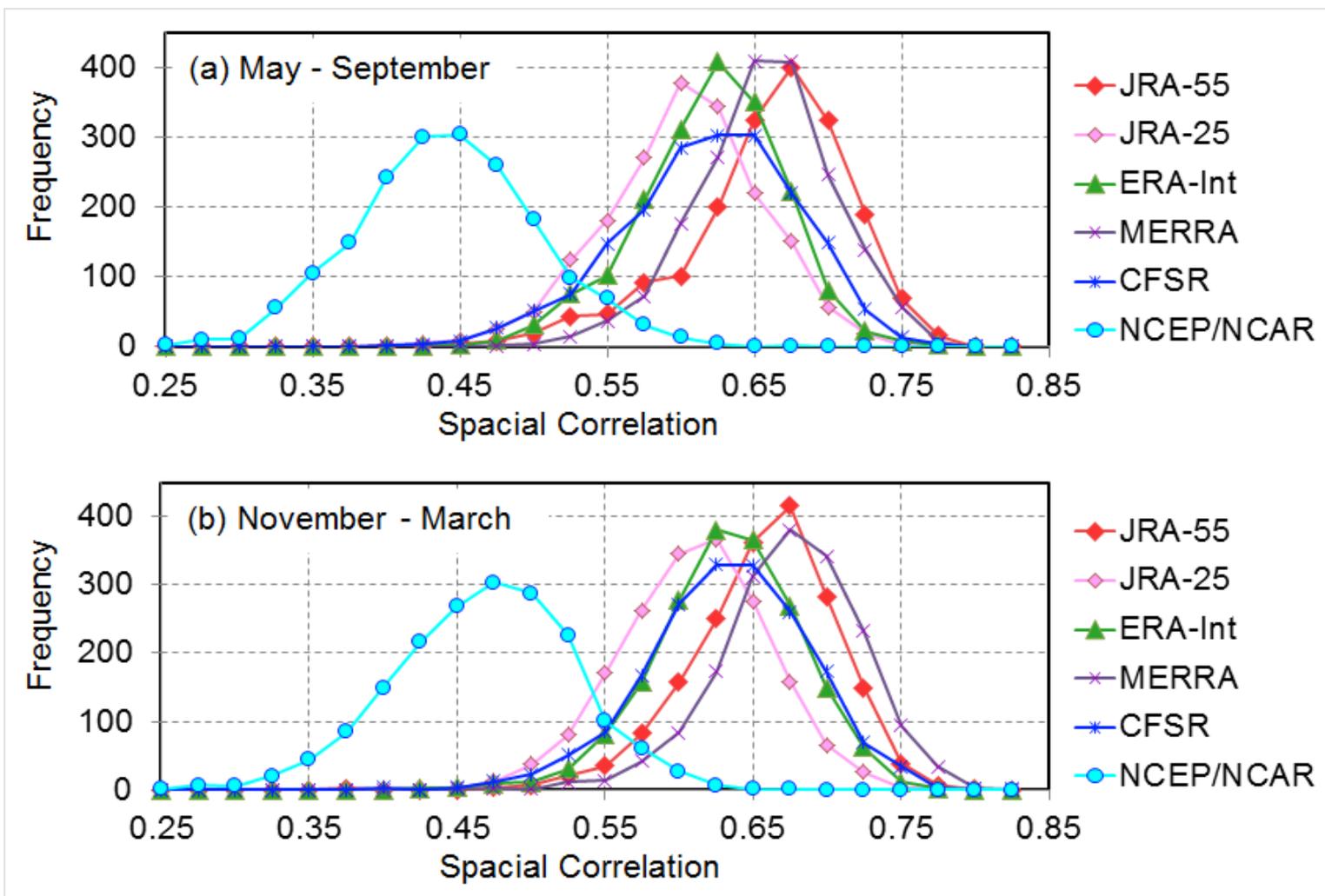
JRA-25 fcst



JRA-55 fcst



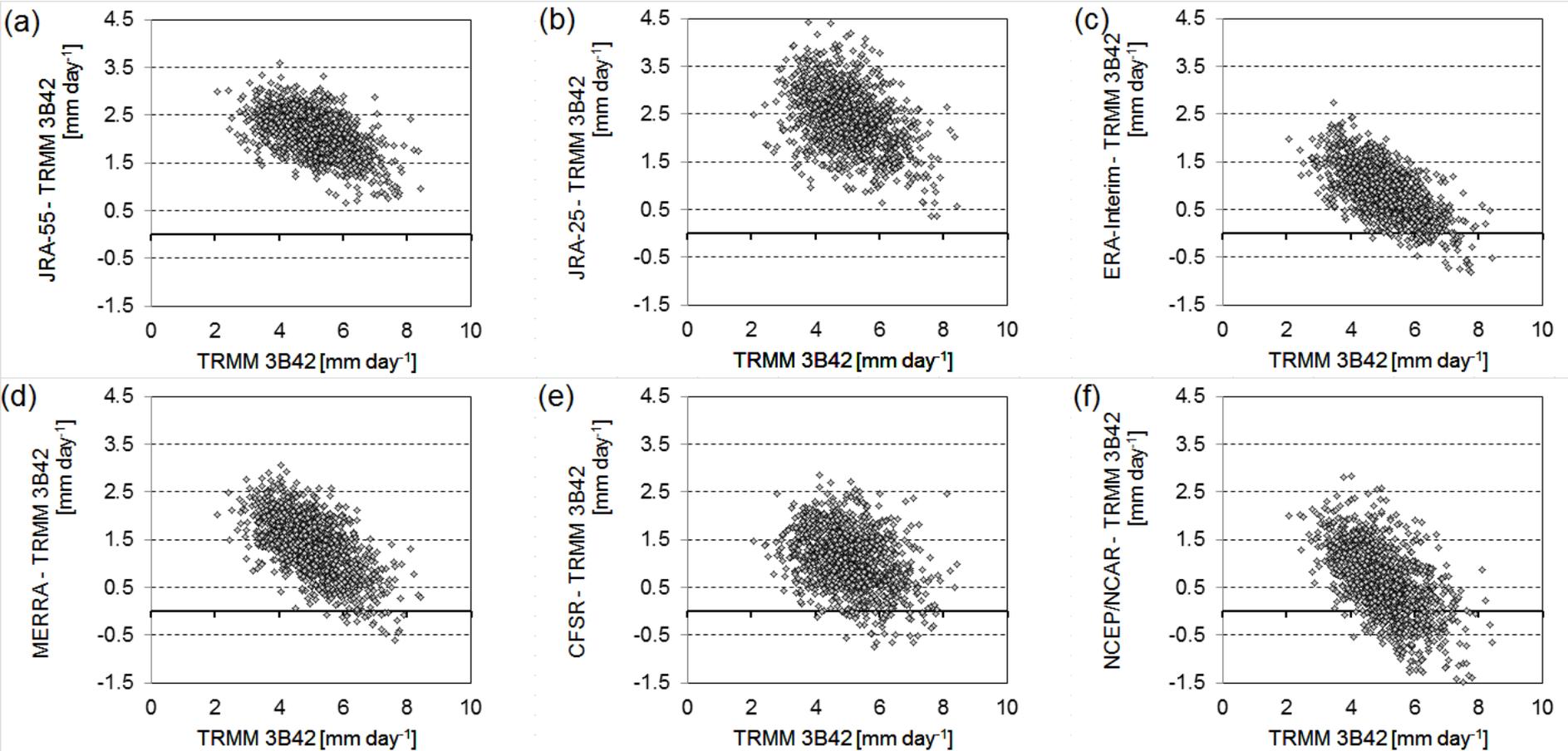
日別降水量空間相関係数の出現頻度分布 (対TRMM、熱帯域)



Frequency of spatial correlation with TRMM of daily mean precipitation over the tropics (22°S–22°N) during the period 1998 to 2009.

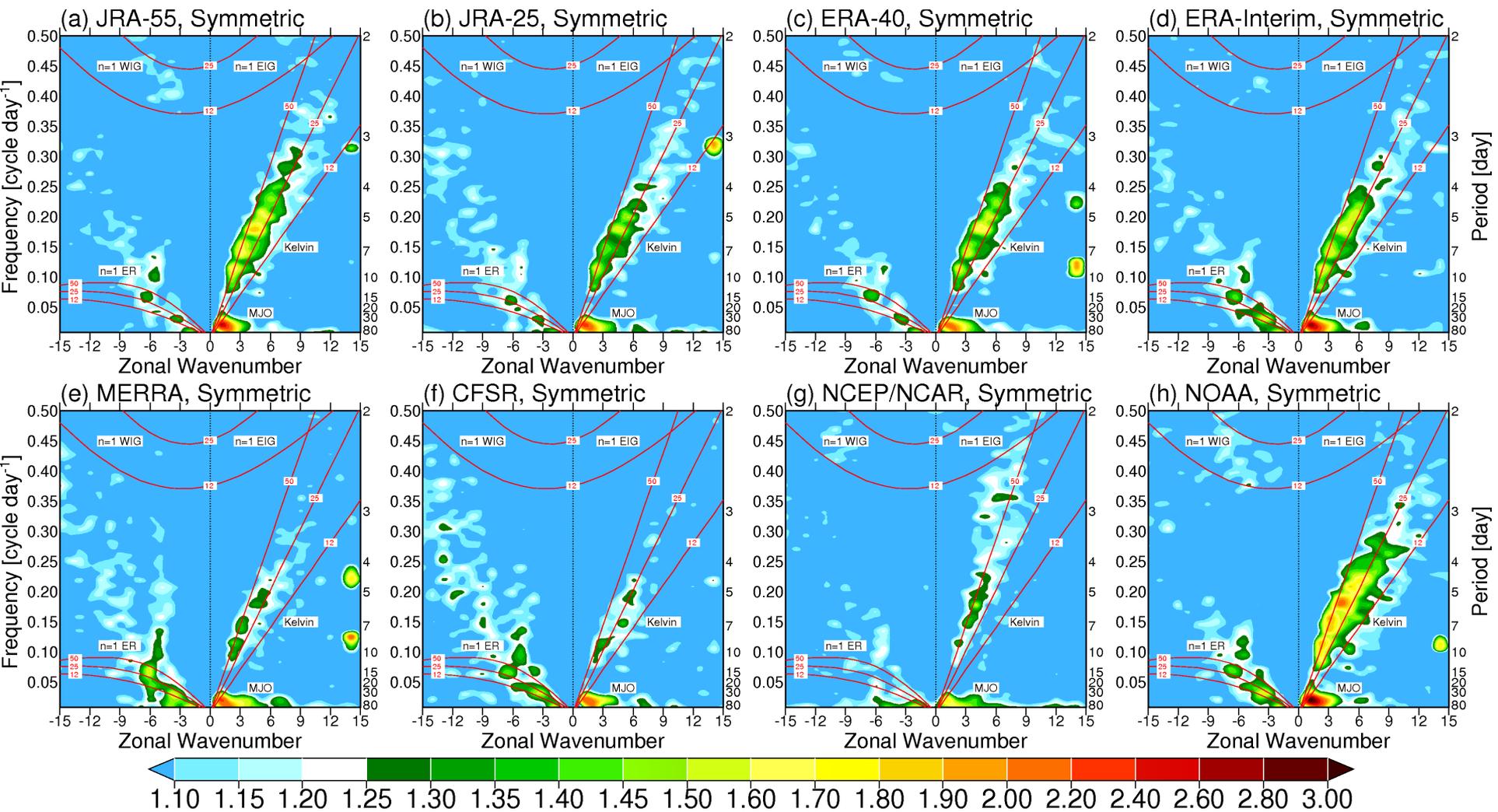
日別降水量散布図

(横軸：TRMM、縦軸：再解析－TRMM)



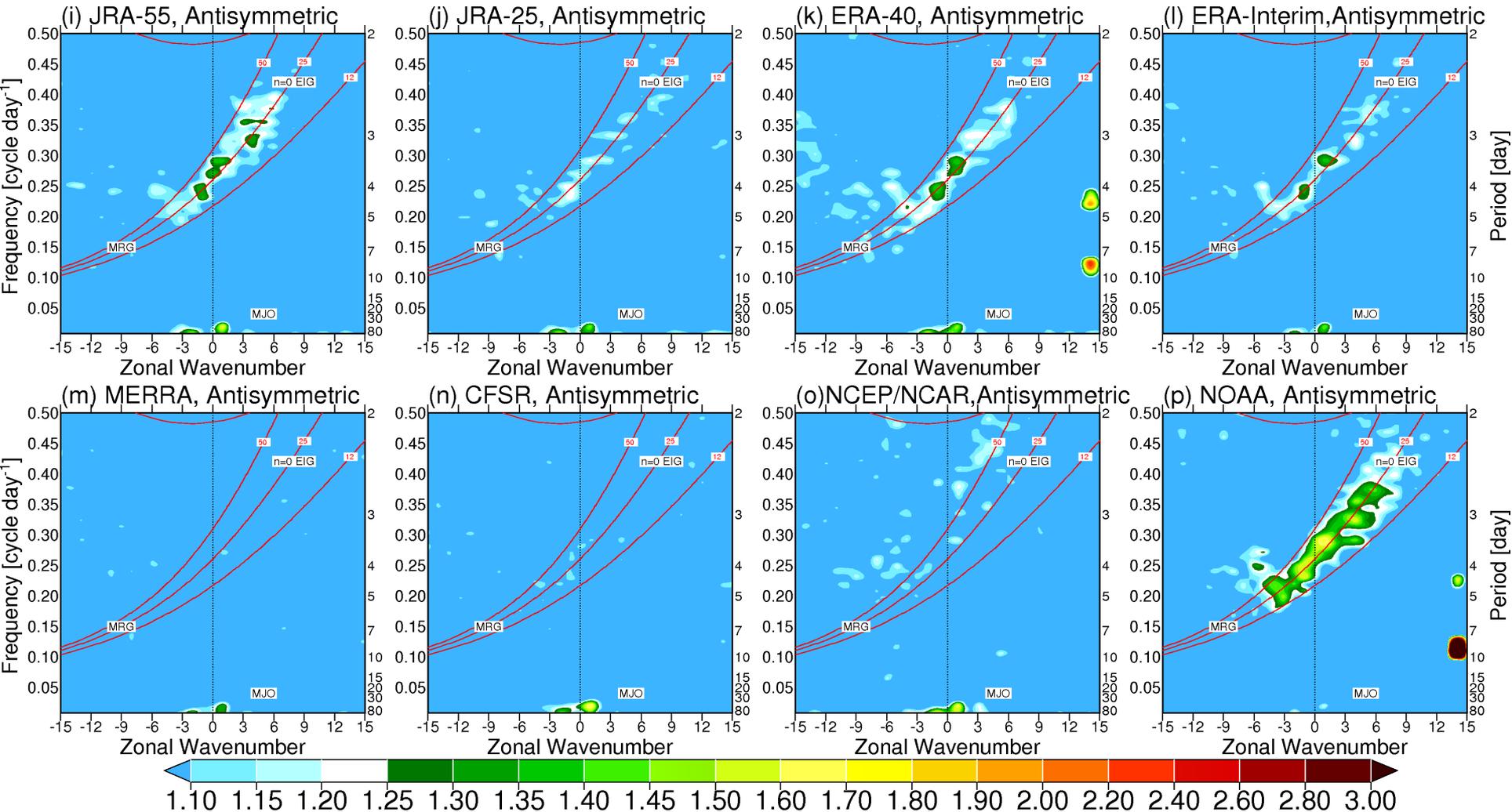
Scatter diagrams of 22°S–22°N, 90–160°E averaged daily precipitation between TRMM 3B42 and the difference between the reanalysis and TRMM 3B42 during the NH warm season (May–September) from 2003 to 2009.

OLR [$W\ m^{-2}$]を用いた赤道波の時空間スペクトル解析 (期間: 1981-2001年、対称成分)



Zonal wave number–frequency power spectrum ratio (Wheeler and Kiladis 1999) of OLR divided by its background (defined as an average of smoothed symmetric and antisymmetric components) within 15°S – 15°N for the period from January 1981 to December.

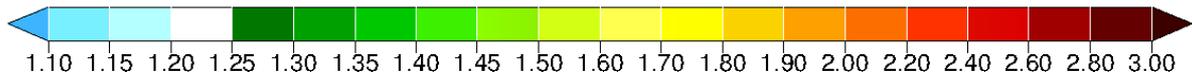
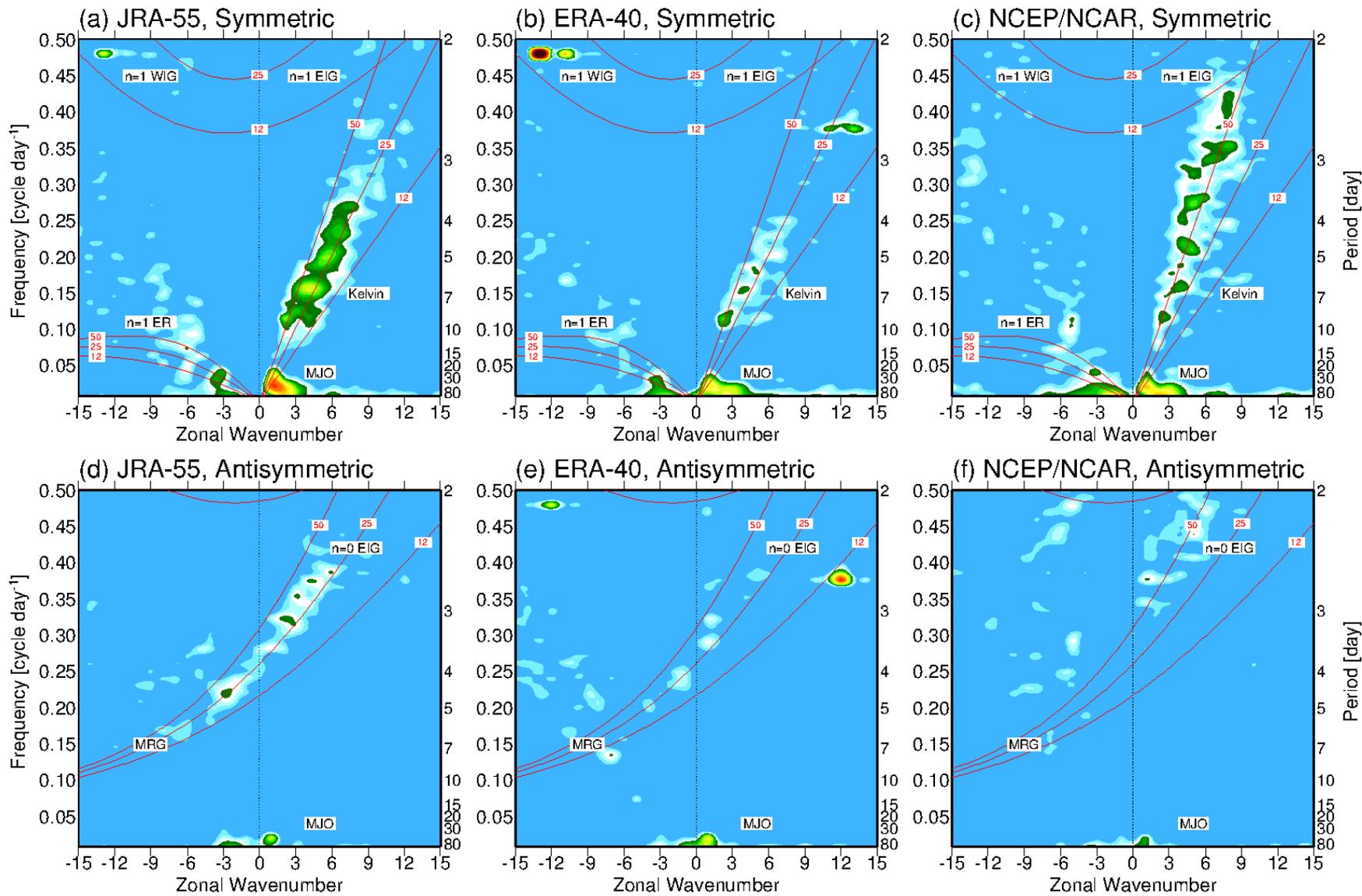
OLR [$W\ m^{-2}$]を用いた赤道波の時空間スペクトル解析 (期間: 1981-2001年、非対称成分)



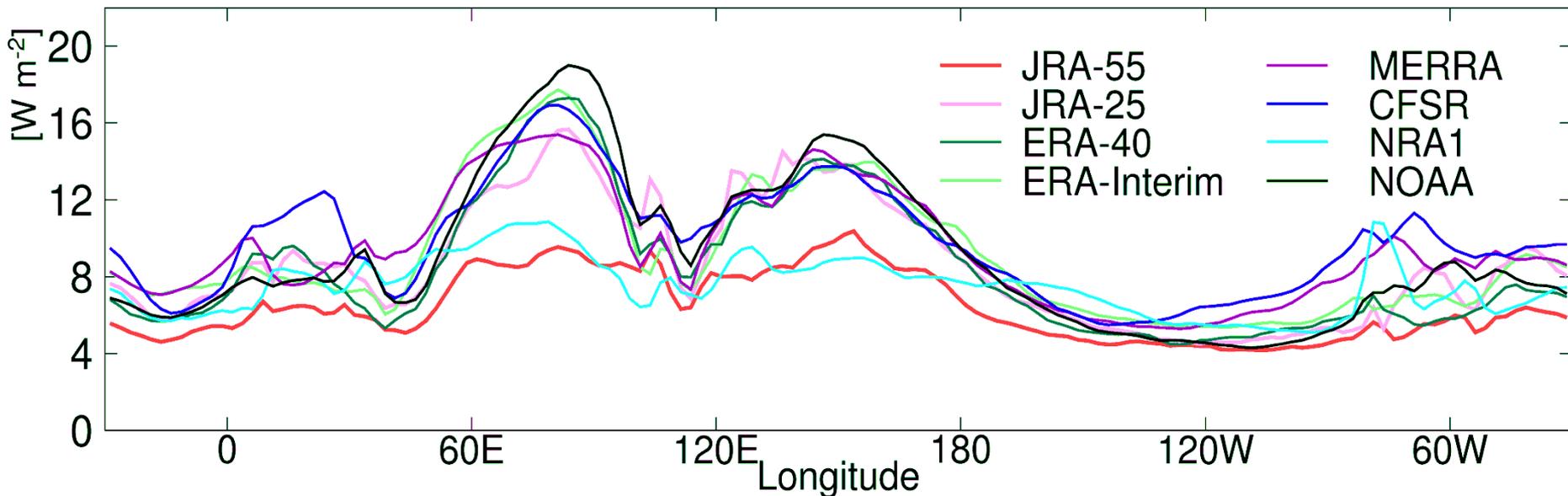
Zonal wave number–frequency power spectrum ratio (Wheeler and Kiladis 1999) of OLR divided by its background (defined as an average of smoothed symmetric and antisymmetric components) within 15°S–15°N for the period from January 1981 to December.

OLR [$W m^{-2}$]を用いた赤道波の時空間スペクトル解析

(期間：1958-1978年、上図：対称成分、下図：非対称成分)



1980~2001年 20~100日周期帯 OLR変動度分布[W m⁻²]



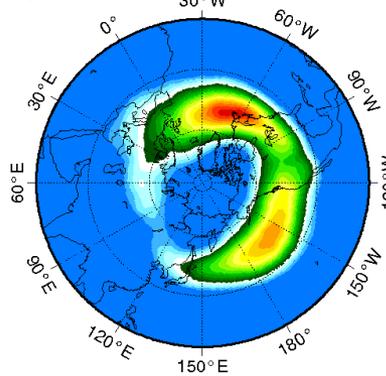
Longitudinal distribution of 20–100 day band-pass filtered OLR variance averaged over 3°S–3°N for the period from 1980 to 2001.

MJOのシグナル自体は再解析の中では明瞭な方だが、MJOに対応する20-100日周期のOLR変動度は再解析の中でかなり弱い方。特にインド洋東部において観測データとの違いが大きい。

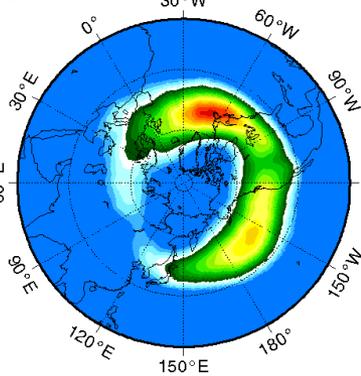
高周波擾乱の運動エネルギー

(2~8日周期300hPa風成分より計算、期間：1980/1981~200/2001寒候期)

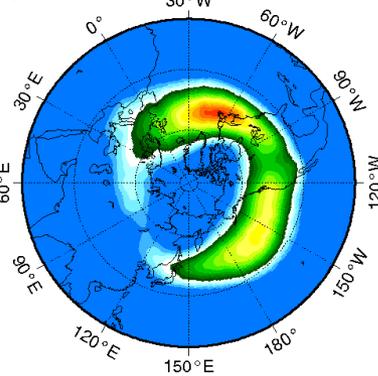
(a)JRA-55



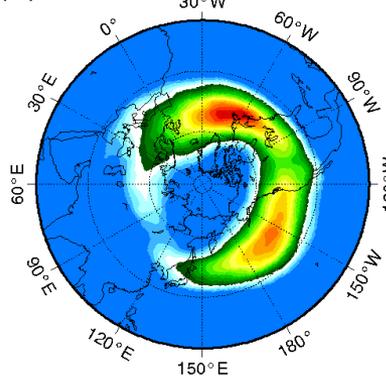
(b)JRA-25



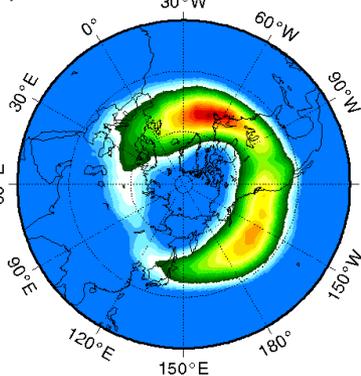
(c)ERA-40



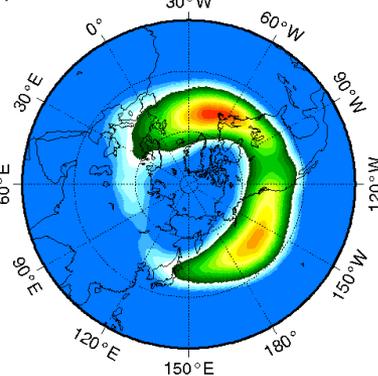
(d)ERA-Interim



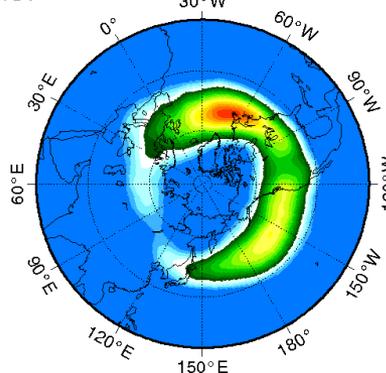
(e)MERRA



(f)CFSR

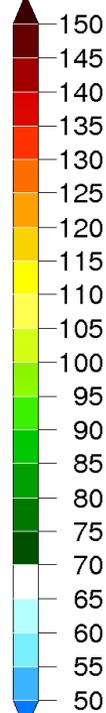


(g)NCEP/NCAR



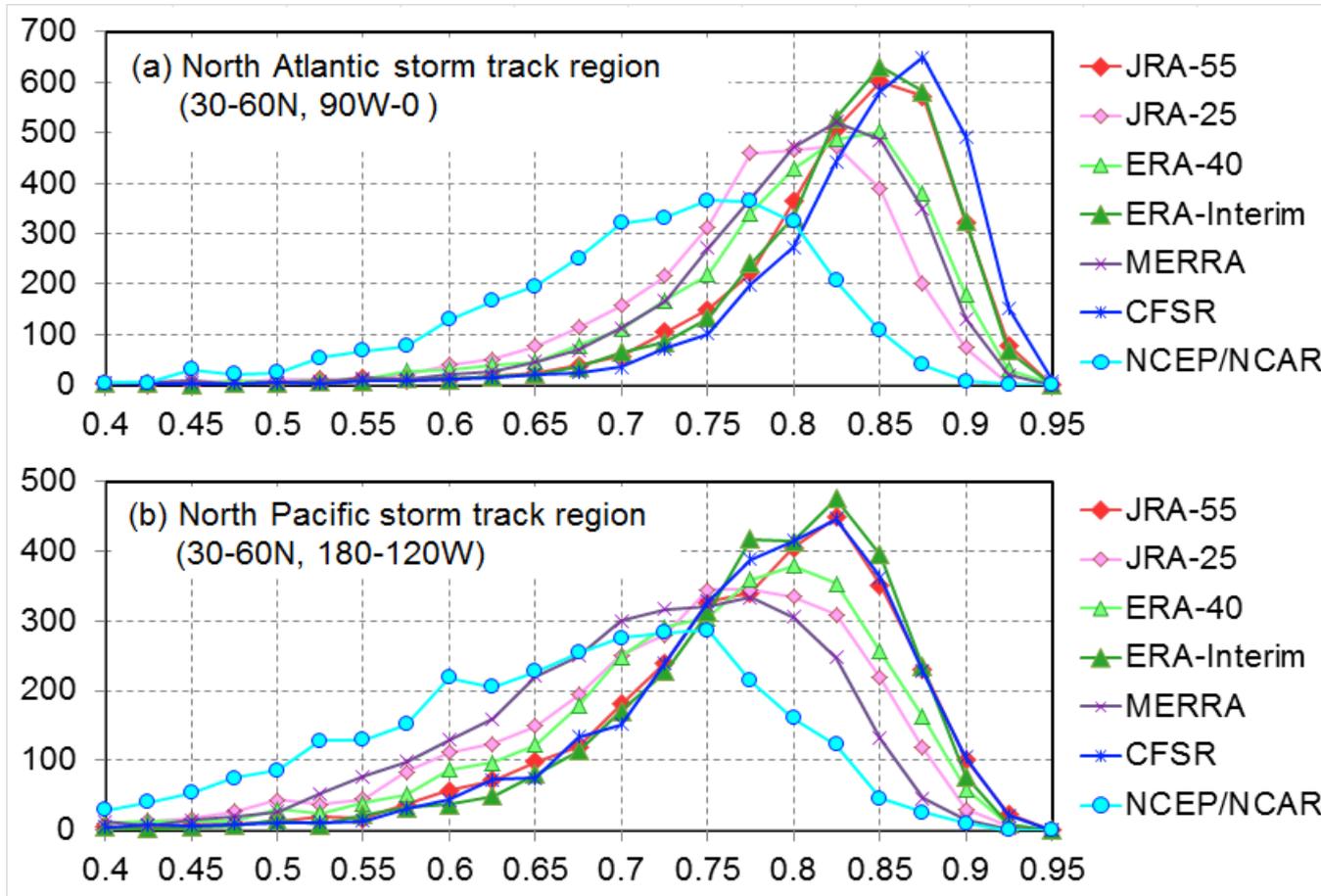
運動エネルギーを見ると、JRA-55の分布はJRA-25より改善されたように見えるが・・・

[m² s⁻²]



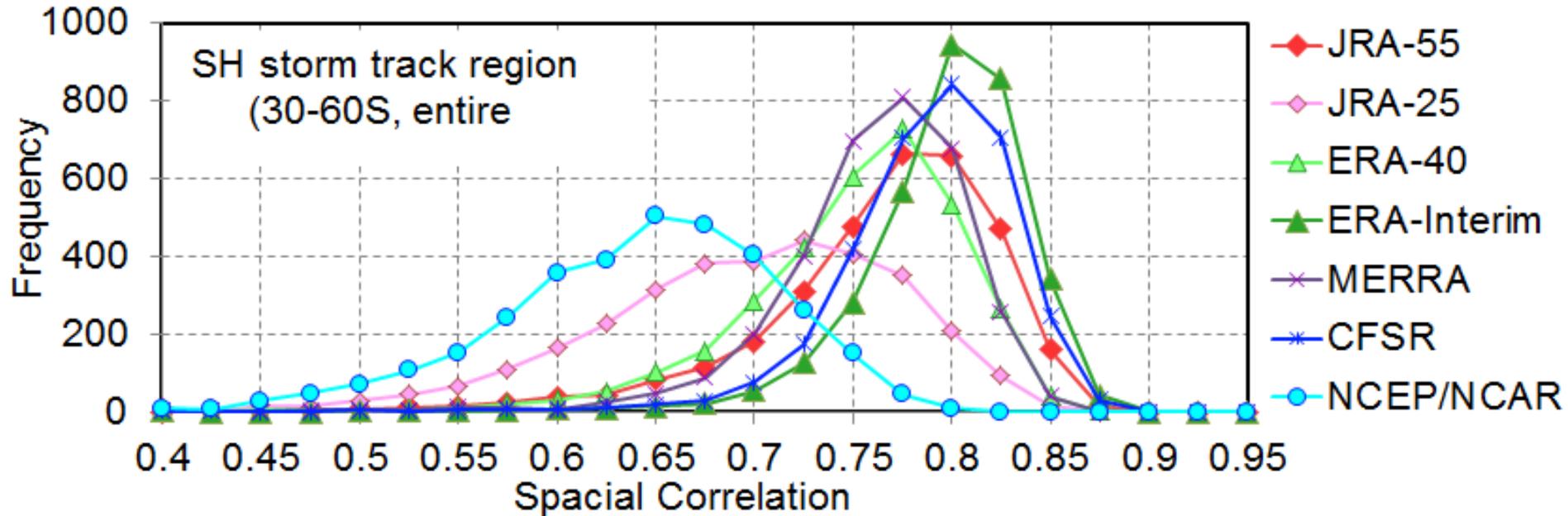
The 2–8 day band-pass filtered transient eddy KE at the 300 hPa level during the NH cold season (November–March) from 1980/1981 to 2000/2001 for (a) JRA-55, (b) JRA-25, (c) ERA-40, (d) ERA-Interim, (e) MERRA, (f) CFSTR and (g) the NCEP/NCAR reanalysis.

2~8日周期OLRの空間相関係数出現頻度分布 (対NOAA OLR、北半球)



Frequency of spatial correlation of 2–8 day band-pass filtered daily mean OLR over the storm track regions with NOAA OLR during the NH cold season (November–March) from 1980/1981 to 2000/2001 for (a) the North Atlantic storm track region and (b) the North Pacific storm track region, respectively.

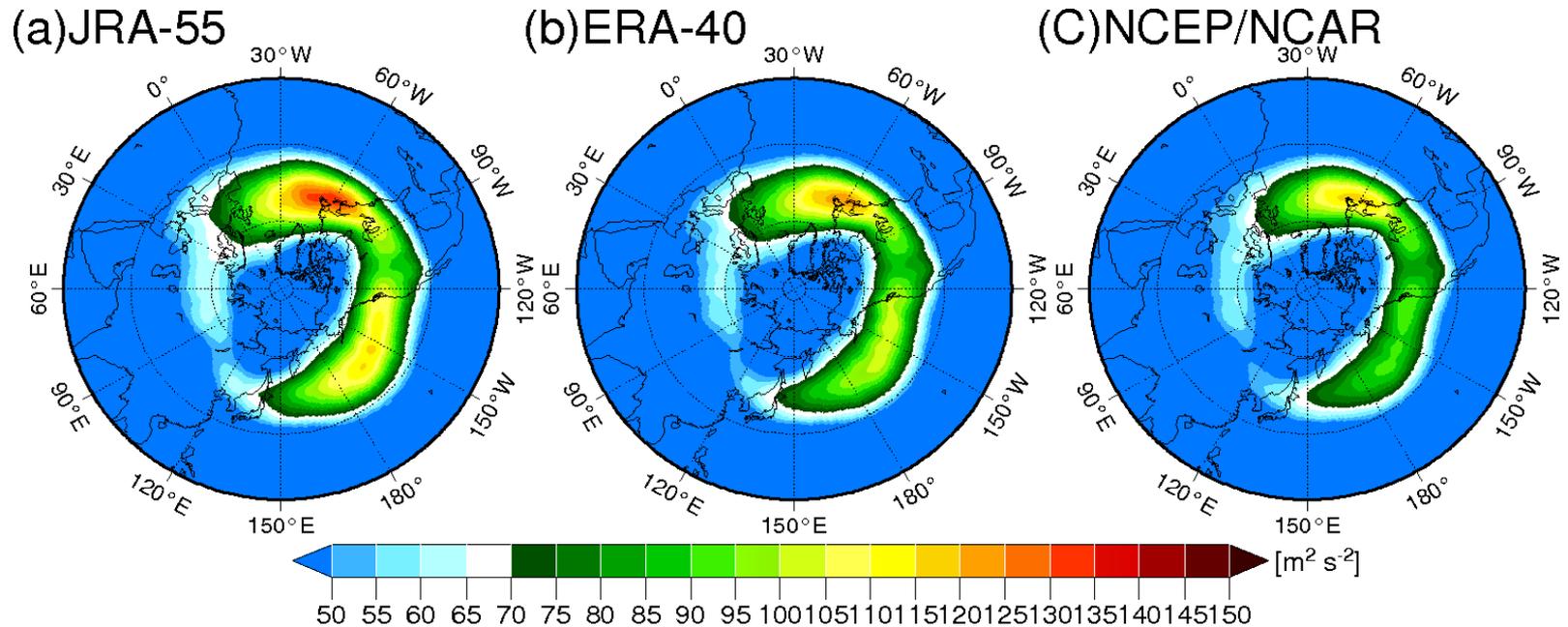
2~8日周期OLRの空間相関係数出現頻度分布 (対NOAA OLR、南半球)



As in the previous slide, but for the SH storm track region (30–60° S, entire zonal) during the SH cold season (May–September) from 1980 to 2001.

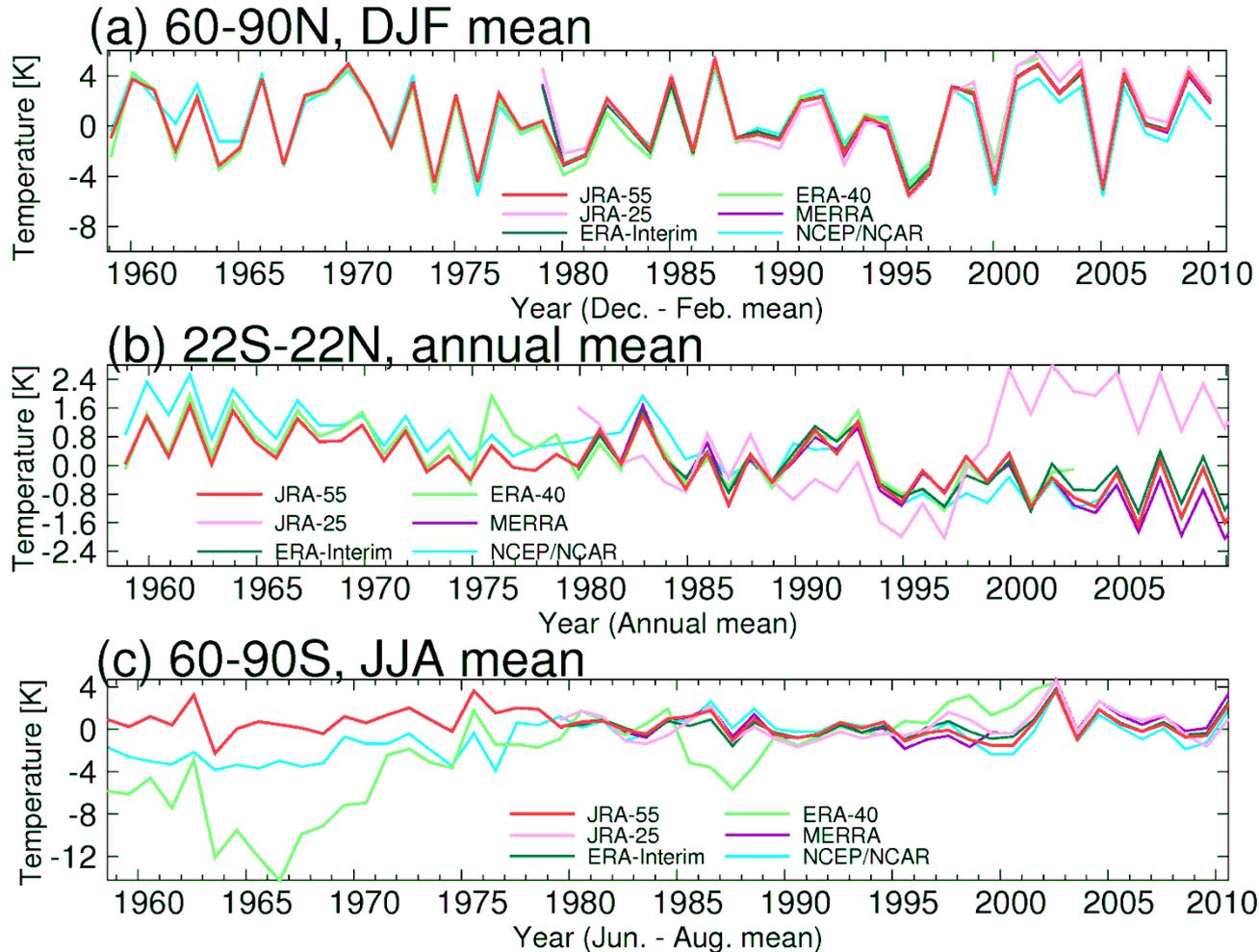
高周波擾乱の運動エネルギー

(2~8日周期300hPa風成分より計算、期間：1959/1960~1979/1980寒候期)



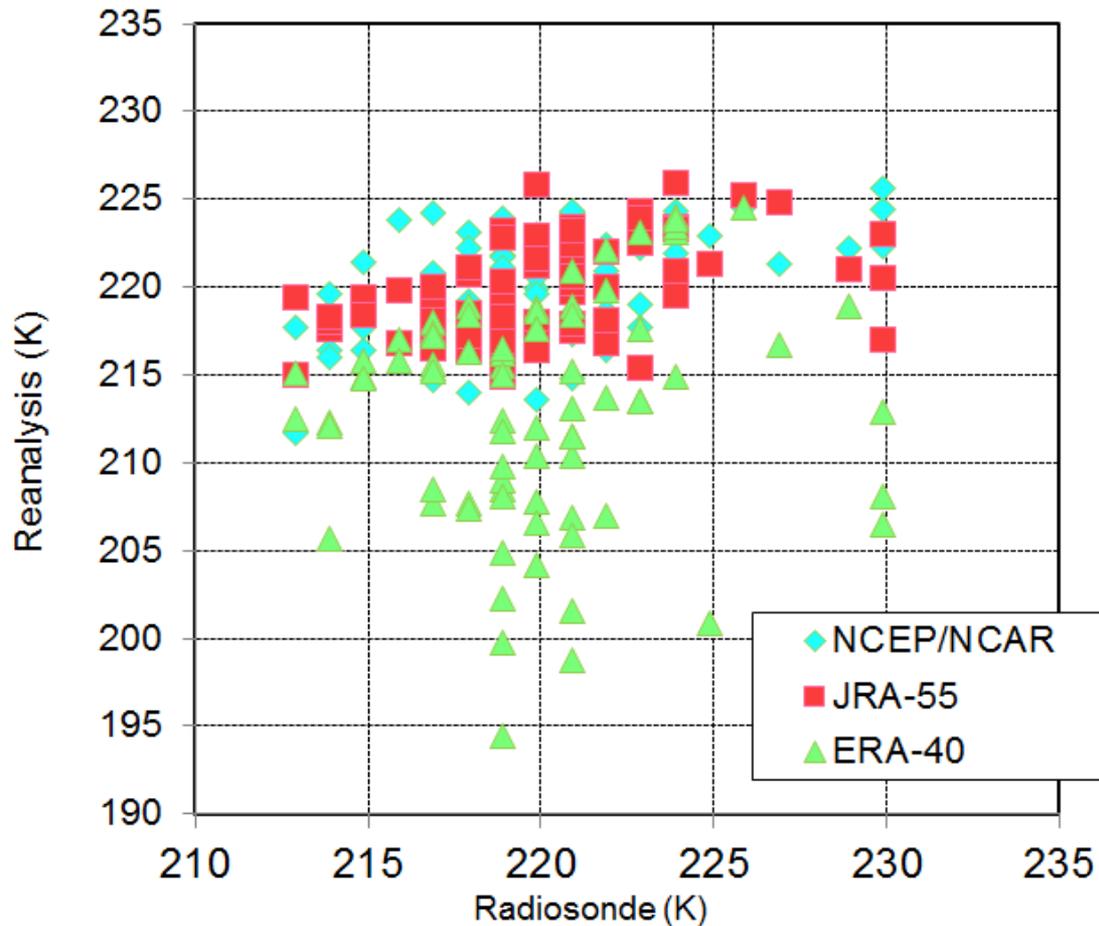
As in the previous slide, but during the NH cold season from 1959/1960 to 1979/1980 for (a) JRA-55, (b) ERA-40 and (c) the NCEP/NCAR reanalysis.

領域別下部成層圏気温の経年変化 (30hPa)



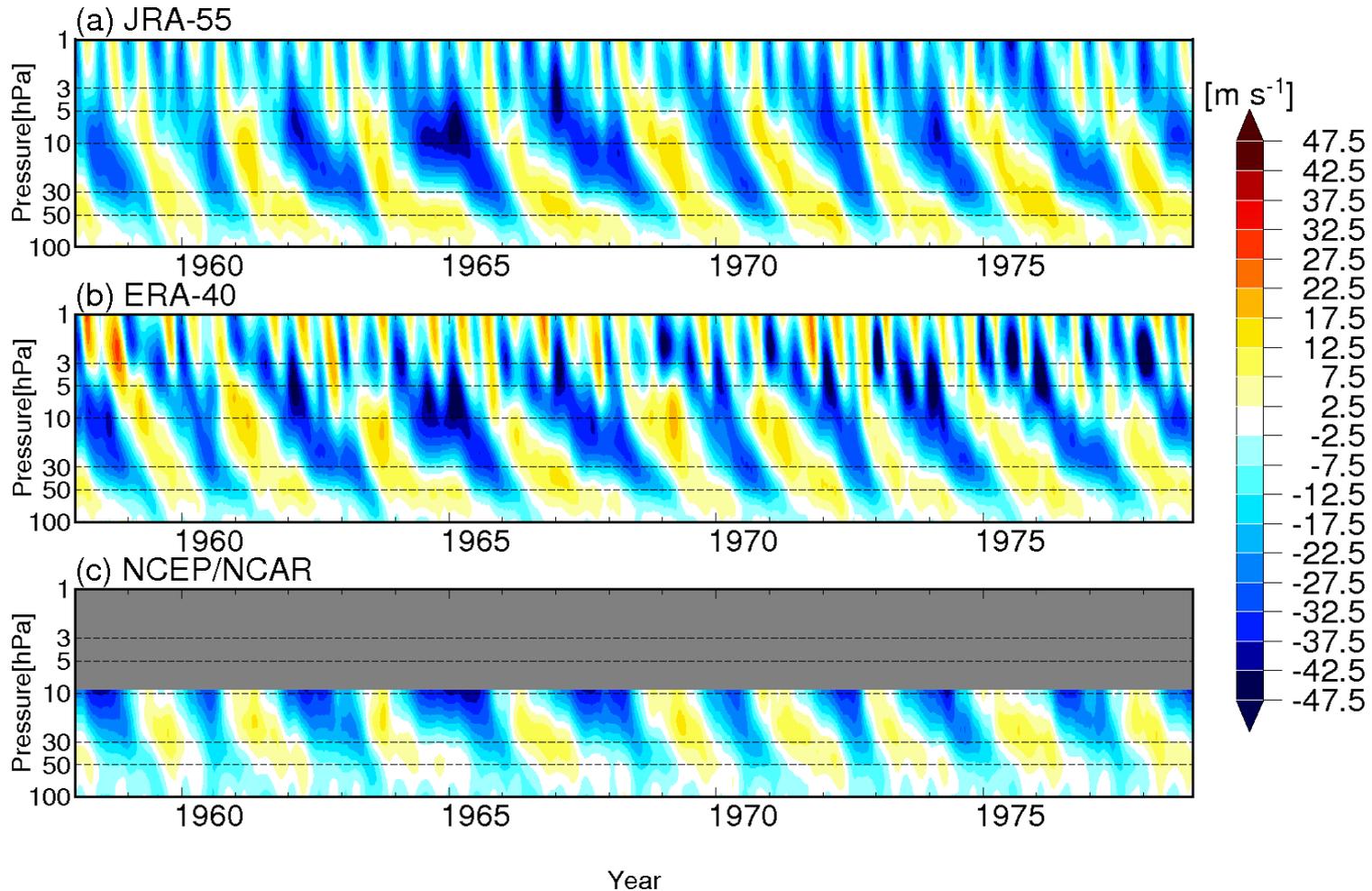
Time series of the 30-hPa level temperature deviations (K) from the climatological mean for the period 1981 to 2001, averaged over (a) 60–90°N, NH winter (December–February), (b) 22°S–22°N annual mean, and (c) 60–90°S, SH winter (June–August).

ラジオゾンデ観測気温との比較 (1963年6-8月、30hPa)



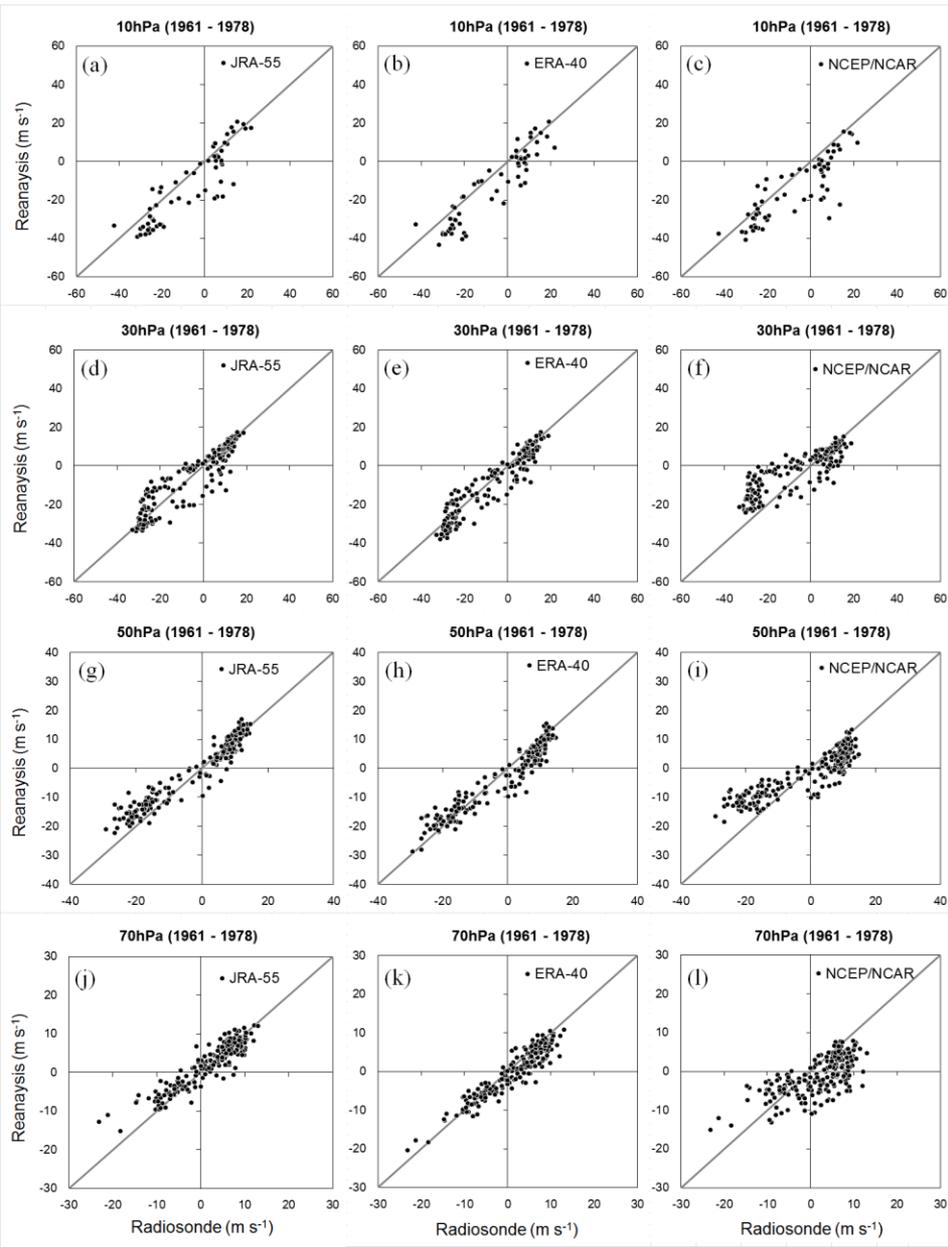
Scatter diagram showing radiosonde temperatures at 30 hPa from stations at Invercargill (New Zealand) and Campbell Island (New Zealand), and values at the analysis grid points nearest to these locations, during SH winter (June–August) 1963. Only quality-controlled radiosonde observations are plotted in the diagram.

(赤道東西風時間-高度断面図、1958~1978年)



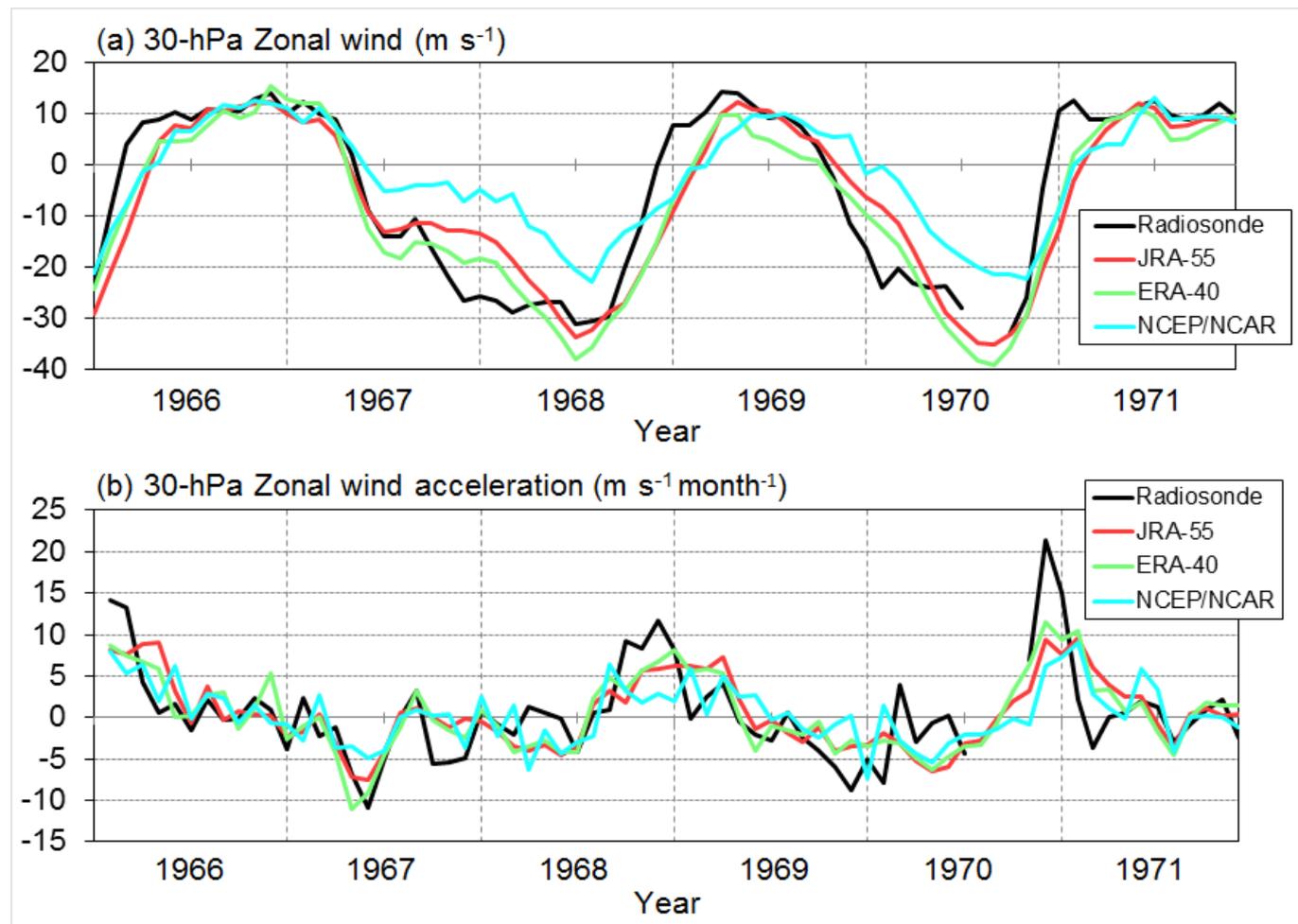
Time–pressure cross-sections of the zonal-mean zonal wind component averaged over 5S°–5°N for the period 1958 to 1978 for (a) JRA-55, (b) ERA-40 and (c) the NCEP/NCAR reanalysis.

ラジオゾンデ風観測との比較その1 (シンガポール月平均東西風、1961~1978年)



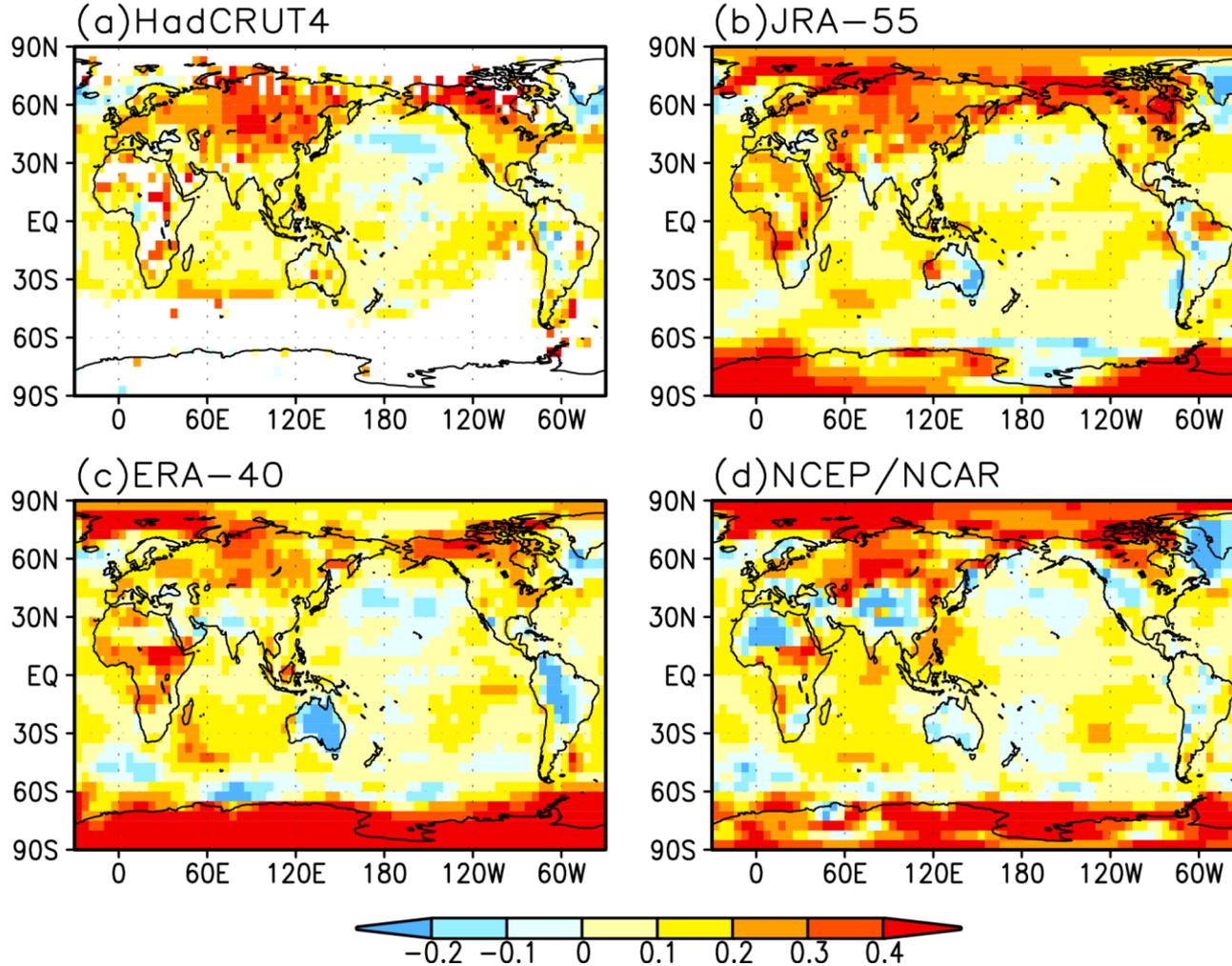
Scatter diagrams showing monthly mean radiosonde zonal winds from the station at Singapore (x-axis) and analyses averaged over 0–2.5°N, 100–105°E (y-axis) for the period 1961 to 1978.

ラジオゾンデ風観測との比較その2 (シンガポール月平均東西風、1966~1971年)



Time series of (a) the 30-hPa zonal wind component (m s^{-1}) and (b) its acceleration ($\text{m s}^{-1} \text{ month}^{-1}$) for reanalyses and radiosonde observations for the period 1966 to 1971. Reanalyses are averaged over $0\text{--}2.5^\circ\text{N}$, $100\text{--}105^\circ\text{E}$ and radiosonde observations are from Singapore.

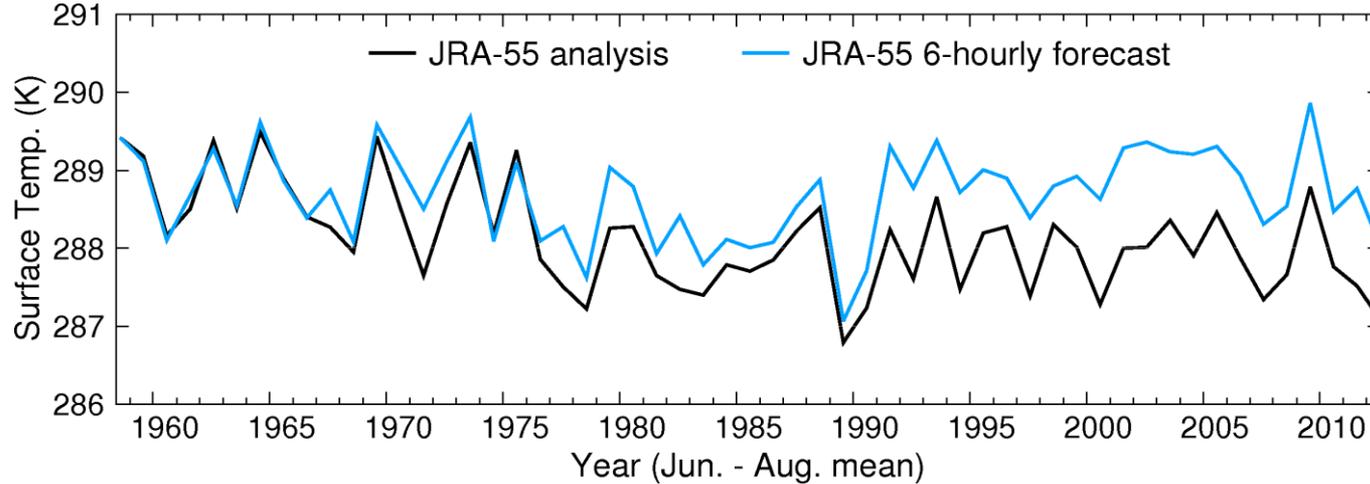
地上気温の長期トレンド（1958～2001年）



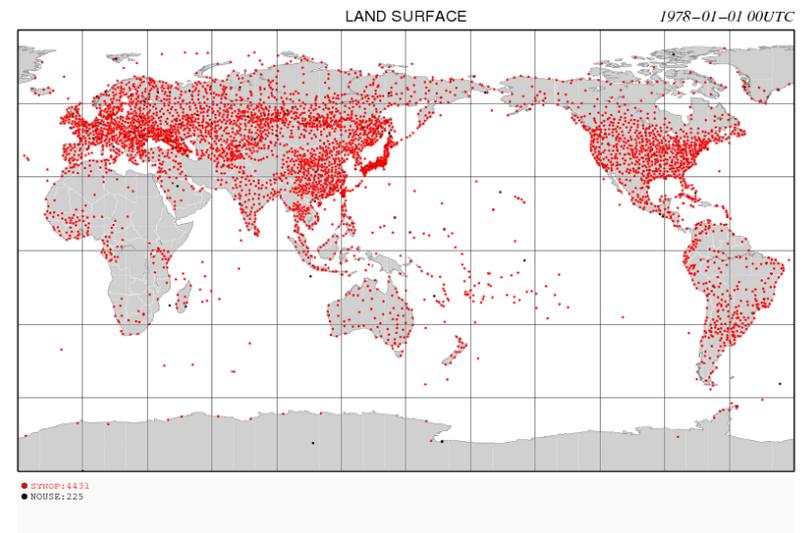
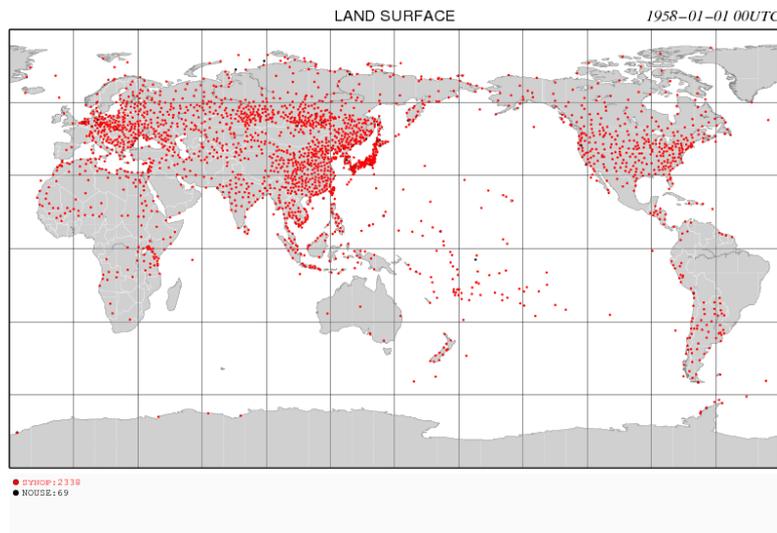
※気候5研
遠藤さんより提供

Global distributions of long-term temperature trends (K decade⁻¹) for the period 1958 to 2001. Reanalysis data were re-gridded to a common 5° × 5° resolution. Trend values for HadCRUT4 were calculated only for grid boxes where data are available for more than 80% of the period.

オーストラリア南東部領域平均気温の経年変化



Time series of surface temperature (K) averaged over 20–35°S, 140–155°E during the SH winter (June–August) from 1958 to 2012. Black and blue lines represent analysis and 6-hourly forecast, respectively.



(後半) まとめ&課題

まとめ

- ▶ 熱帯の日別降水量空間分布や赤道波やMJOのシグナル、北半球ストームトラック域の擾乱表現はJRA-25から大きく改善.
- ▶ ERA-40やNCEP/NCAR再解析と比べて, 時間的均質性が大きく改善. (海面気圧、地上気温、成層圏気温)

課題

- ▶ 熱帯のOLRの変動そのものはかなり弱い (Kobayashi et al. 2015で指摘された正バイアスが関連)
- ▶ QBOの西風加速が特に弱い
- ▶ オーストラリア南東部の負トレンド (第一推定値の高温バイアスに関連)