

MRI-AGCMによる2010年夏の再現実験

遠藤 洋和¹⁾ 尾瀬 智昭¹⁾、水田亮¹⁾、松枝未遠²⁾

1) 気象研究所 気候研究部, hendo@mri-jma.go.jp

2) 海洋研究開発機構

1. はじめに

2010年夏(6~8月)は、日本の記録的な高温をはじめとする世界各地の異常天候——ロシア西部の高温、北米東部の高温、パキスタンの大規模洪水、インドネシア南部の多雨など——(気象庁、2010)がマスコミで広く報道され、話題となった。また、2010年の北西太平洋の台風発生数は1951年の統計開始以来最小の14個を記録した(気象庁、2010)。このような比較的長期間継続した異常気象について、熱帯域およびその周辺域では、海面水温異常に伴う降水偏差と循環偏差を通してある程度理解できることが多い。

2010年夏の熱帯の海面水温(SST)は、熱帯太平洋では2009年夏に発生したエルニーニョ現象が2010年春に終息し、2010年夏以降はラニーニャ現象が発生していた。また、熱帯インド洋と熱帯大西洋では平年より高く、特に熱帯大西洋の偏差は顕著だった。すなわち、2010年夏の海面水温は全球的に平年からの偏差が大きかった。そこで、2010年夏の気候偏差に対するSST偏差の影響について調べる目的で、全球大気モデルに観測されたSSTを与える再現実験を行った。その結果を報告する。

2. 2010年夏の海面水温

図1は2010年夏の観測された海面水温偏差と規格化偏差である。熱帯太平洋ではラニーニャ現象が発生しており、中部~東部赤道太平洋では1℃を超える負偏差だった。これ以外の熱帯海域では正偏差域が分布している。海洋大陸周辺や熱帯大西洋の正偏差は標準偏差の2倍以上である。

3. モデルと実験設定

使用した大気モデルは、気象研究所で開発された20km格子大気大循環モデル(Mizuta et al. 2011)の低解像度版(T95・鉛直64層)である。観測された海面水温と海氷密接度の気候値(1979~1998年平均)を大気モデル与える実験(Exp-CLIM)、2010年の海面水温と海氷密接度を大気モデルに与えるいわゆるAMIPタイプ実験(Exp-AMIP)、特定海域の海面水温を観測値、他の海域および海氷密接度を気候値とする実験(Exp-IND、Exp-PAC、Exp-ATL)の計5セットの実験を行った。実験リストを表1に示す。観測データにHadISST1(Rayner et al. 2003)を使用し、月平均値を時間内挿して大気モデルに与えた。2010年の4月1日から8月31日の期間で積分し、初期値の異なる10メンバーのアンサンブル実験を行った。大気と陸面の初期値には、別途実施したAMIPタイプの長期積分における任意年の4月1日のデータを与えた。大気中の温室効果気体濃度は、二酸化炭素を391ppm、メタンを1.871ppm、一酸化二窒素を0.324ppmとして全球一様に与えた。

検証に用いたデータセットは、JRA-25(Onogi et al., 2007)、ERA-Interim(Dee et al., 2011)、CMAP(Xie and Arkin, 1997)、TRMM-3B43(Huffman et al., 2007)である。

4. 結果

4. 1 AMIPタイプ実験

図2は2010年夏の観測(再解析)およびモデルの偏差分布である。モデル偏差は、観測されたSSTと海氷密接度を与えた実験(Exp-AMIP)のExp-CLIMからの偏差で、10メンバーの平均値である。モデルがシミュレート

した降水偏差は、観測された特徴—太平洋赤道域の負偏差、海洋大陸から熱帯インド洋およびカリブ海から熱帯大西洋の正偏差などを良く再現している。また、観測されたパキスタン付近の正偏差も良く再現している。モデルはベンガル湾からフィリピン東海上にかけて負偏差を示すが、観測データ：CMAP および TRMM3B43（図 3 の左中）と比べると大きな偏差である。

循環偏差についても、熱帯域では観測された特徴が良く再現されており、北西熱帯太平洋の強い亜熱帯高気圧や貿易風が再現されている（図 2）。カリブ海付近では、大西洋の対流活発偏差に対応して対流圏下層の低気圧循環および上層の高気圧循環が再現されているが、観測と比べるとやや強い。北半球の中高緯度を見ると、観測された日本付近の明瞭な高気圧偏差は十分に再現されていないものの、太平洋中緯度（30～40N）で東西に伸びる 500hPa 高度の正偏差が定性的に再現されている。これは太平洋上の亜熱帯ジェットの前線に対応する。また、北米の偏差パターンが良く再現性されている。一方、ロシア西部で発達した高気圧はほとんど再現されていない。

4. 2 海域別実験

観測された SST で駆動したモデル中の 2010 年夏の対流活動や循環の偏差は、熱帯域を中心に観測された特徴を再現していた。そこで、地域的な SST 偏差のインパクトを調べるため、大気モデルに与える観測 SST を特定の海域に限定し、他には気候値 SST を与える実験を行った。海域区分は、熱帯インド洋、熱帯太平洋、熱帯大西洋とした。海水分布はいずれの実験でも気候値とした（図 1、表 1）。

図 3 は降水量偏差と 850hPa 風偏差である。熱帯域では再解析（降水量）データセット間の差異が小さくないため、降水量は CMAP と TRMM3B43、循環場は JRA-25 と ERA-Interim を示す。平年値期間は、JRA-25 と CMAP は 1979～1998 年、ERA-Interim は 1989～1998 年、TRMM3B43 は 1998～2010 年とした。Exp-IND では、インド洋の正 SST に対応して降水量がインド洋や南アジアで増加している。一方、フィリピン東海上では降水量が減少し、対流圏下層では高気圧性循環が卓越している。また、北西インドからパキスタンに正の降水偏差が再現されており、Exp-AMIP で再現されたこの地域の正偏差の多くを説明する。Xie et al. (2009) や Chowdary et al. (2011) は、観測データ解析やモデル実験から、インド洋の SST 正偏差が北西熱帯太平洋に降水減少と下層の高気圧循環をもたらすことを示しており、Exp-IND の結果と整合的である。Exp-PAC では、海洋大陸から太平洋赤道域の降水偏差が明瞭で、140° E をはさんで西側で正偏差、東側で負偏差が卓越している。SPCZ（南太平洋収束帯）が活発化している。これら降水偏差に対応して赤道付近の貿易風が強化されている。また、フィリピンの北で降水増加が見られる。興味深いのは Exp-ATL の結果である。大西洋に与えた正の SST 偏差に応答してその付近の対流活動が強まり、対流圏下層では低気圧循環が卓越している。これに加えて、気候値 SST を与えている太平洋からインド洋の広範囲で遠隔応答が見られる。特に、北西熱帯太平洋における亜熱帯高気圧と貿易風の強化、海洋大陸付近の降水増加が明瞭である。全般的に Exp-AMIP で再現された偏差の多くの特徴を有している。ただし、観測された偏差と比較すると、大西洋における降水や循環の応答が過大にシミュレートされる傾向があるため、インド洋や太平洋への影響の程度は割り引いて考える必要があるかもしれない。いずれにしても、本実験結果は大西洋の正 SST 偏差が 2010 年夏の全球的な降水・循環偏差に影響を及ぼした可能性を示唆する。

図 3 は 200hPa 面の速度ポテンシャルおよび発散風成分と水平発散の偏差である。水平発散量は速度ポテンシャルの水平 2 階微分に相当する。再解析では、大規模発散偏差が熱帯インド洋から海洋大陸および熱帯大西洋に、大規模収束偏差が熱帯太平洋に広く分布する。平年では大規模発散中心がフィリピン付近に、大規模収束中心が熱帯東部太平洋に存在することから（図略）、大規模な発散域および収束域は平年よりも南西に偏っている。また、大規模発散・収束中心の速度ポテンシャルの示度は平年より大きく（図略）、太平洋の貿易風は平年より強いことから（図 2、図 3）、ウォーカー循環は平年より強かったと考えられる。このような観測された特徴は Exp-AMIP で良く再現されている。海域別 SST 実験を見ると、Exp-IND ではインド洋の発散偏差とフィリピン東海上の収束偏差、Exp-PAC では海洋大陸および SPCZ の発散偏差と太平洋赤道域の収束偏差がシミュレートされている。また、Exp-ATL では赤道太平洋東部および南アジアからフィリピン東海上で収束偏差、海洋大陸で

発散偏差がみられる。

先に述べたように、観測された日本付近の明瞭な高気圧偏差は十分に再現されていないものの、太平洋中緯度の 500hPa 高度場の上昇は Exp-AMIP である程度再現されている。これは亜熱帯ジェットの前縁に相当する (図 5)。海域別実験別の 200hPa 東西風偏差を見ると、Exp-PAC では太平洋の亜熱帯ジェットは北偏し、Exp-IND と Exp-ATL では南偏している (図 5)。すなわち、ラニーニャ現象が太平洋の亜熱帯ジェットの前縁に寄与した可能性がある。地上気温偏差では (図略)、Exp-AMIP ではヨーロッパ～アフリカ北部～中央アジアに分布する正偏差域が定性的に再現された。また、Exp-AMIP における北米の偏差パターンの再現性が良い。

2010 年夏の北西熱帯太平洋の強い亜熱帯高気圧と貿易風に関して、さらに解析を行った。1979 年～2010 年を対象に AMIP 型の 3 メンバー初期値アンサンブル実験を追加実施し、過去の年々変動の再現性を調べた。この実験における温室効果気体の濃度は、2005 年までは観測値、2006 年以降は SRES-A1B シナリオの値を与えた。AMIP 型実験の過去の年々変動と 2010 年の再現実験結果を図 6 に示す。2010 年夏の亜熱帯高気圧と貿易風は 1979 年以降で最も強く、第 2 位は 1998 年夏である。AMIP 型実験において過去の年々変動は良く再現されており、2010 年夏の異常偏差は定量的にも良く再現されている。2010 年夏の海域別の寄与を見ると、いずれの海域も同じ符号のインパクトを与えており、中でも大西洋の寄与が大きいことが分かる。今後、大西洋の高 SST の遠隔影響プロセスについて詳しく調べる必要がある。

5. まとめ

2010 年夏の AMIP 型実験では、熱帯域では観測された降水・循環偏差がおおむね良く再現され、北西熱帯太平洋で強かった亜熱帯高気圧や貿易風が再現された。日本付近に異常高温をもたらした強い高気圧は十分に再現されなかったが、太平洋の亜熱帯ジェットの前縁傾向は再現された。また、北米の循環や地上気温の偏差分布は定性的に良く再現された。一方、ロシア西部で発達した高気圧はほとんど再現されなかった。

海域別に SST 偏差を与えた感度実験では、ラニーニャ現象が太平洋の亜熱帯ジェットの前縁に寄与していた。また、インド洋の高 SST 偏差がパキスタン付近の多雨に寄与していた。そして、ラニーニャ現象、インド洋の正 SST 偏差、大西洋の正 SST 偏差のいずれも、北西熱帯太平洋の亜熱帯高気圧と貿易風の強化に寄与していた。

一連のモデル実験から、2010 年夏は大西洋の高い SST が熱帯インド洋から熱帯太平洋の降水量や循環場に遠隔影響を及ぼした可能性が示唆された。その影響プロセスの一つとして、大西洋の対流活発化に伴う対流圏上層の発散風が太平洋中部～東部の下降流を強め、ウォーカー循環全体に影響を及ぼした可能性が考えられる。また、Kucharski et al. (2009) は熱帯大西洋の降水偏差がケルビン波応答を通してインドモンスーンに影響を与え得ることを示している。今後、大西洋の高 SST の遠隔影響プロセスについて詳しく調べる必要がある。

謝辞

本研究は文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」のもと行われた。

引用文献

Chowdary J.-S., S.-P. Xie, J.-J. Luo, J. Hafner, S. Behera, Y. Masumoto, and T. Yamagata 2011: Predictability of Northwest Pacific climate during summer and the role of the tropical Indian Ocean. *Clim. Dyn.* 36, 607-621.

Dee et al. and Coauthors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 137, 553-597.

Huffman, G. J., R. F. Adler, D. T. Bolvin, G. Gu, E. J. Nelkin, K. P. Bowman, E. F. Stocker, and D. B. Wolff, 2007: The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *J. Hydrometeor.*, 8, 38-55.

気象庁, 2011, 気候系監視年報 2010. 144pp.

Kucharski F, A. Bracco, J. H. Yoo, A. M. Tompkins, L. Feudale, P. Ruti, and A. D. Aquila., 2009: A Gill-Matsuno-type mechanism explains the tropical Atlantic influence on African and Indian monsoon rainfall. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 135, 569-579.

Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki and A. Kitoh, 2011: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, submitted.

Onogi, K. and Coauthors, 2007 : The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 85, 369-432.

Rayner, N. A., D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander, D. P. Rowell, E. C. Kent, and A. Kaplan, 2003: Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, 108(D14), 4407, doi:10.1029/2002JD002670.

Xie, P. and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558.

Xie S.-P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and T. Sampe, 2011: Indian Ocean capacitor effect on Indo-Western Pacific climate during the summer following El Nino. *J. Clim.*, 22, 730-747.

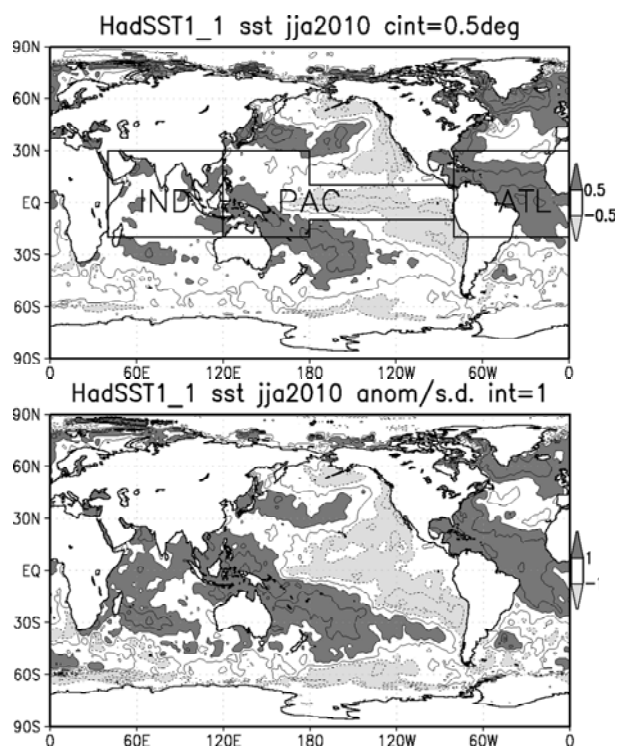


図1 2010年6～8月のSST偏差（上図、線間隔0.4℃）および規格化偏差（下図、線間隔1.0）。平年は1979～1998年。

表1 海域別実験の一覧。気候値は1979～1998年平均。領域区分を図1に示す。

実験名	境界条件	メンバー数
Exp-CLIM	気候値SST、気候値ICE	10
Exp-AMIP	観測値SST、観測値ICE	10
Exp-IND	熱帯インド洋のみ観測値SST、他は気候値	10
Exp-PAC	熱帯太平洋のみ観測値SST、他は気候値	10
Exp-ATL	熱帯大西洋のみ観測値SST、他は気候値	10

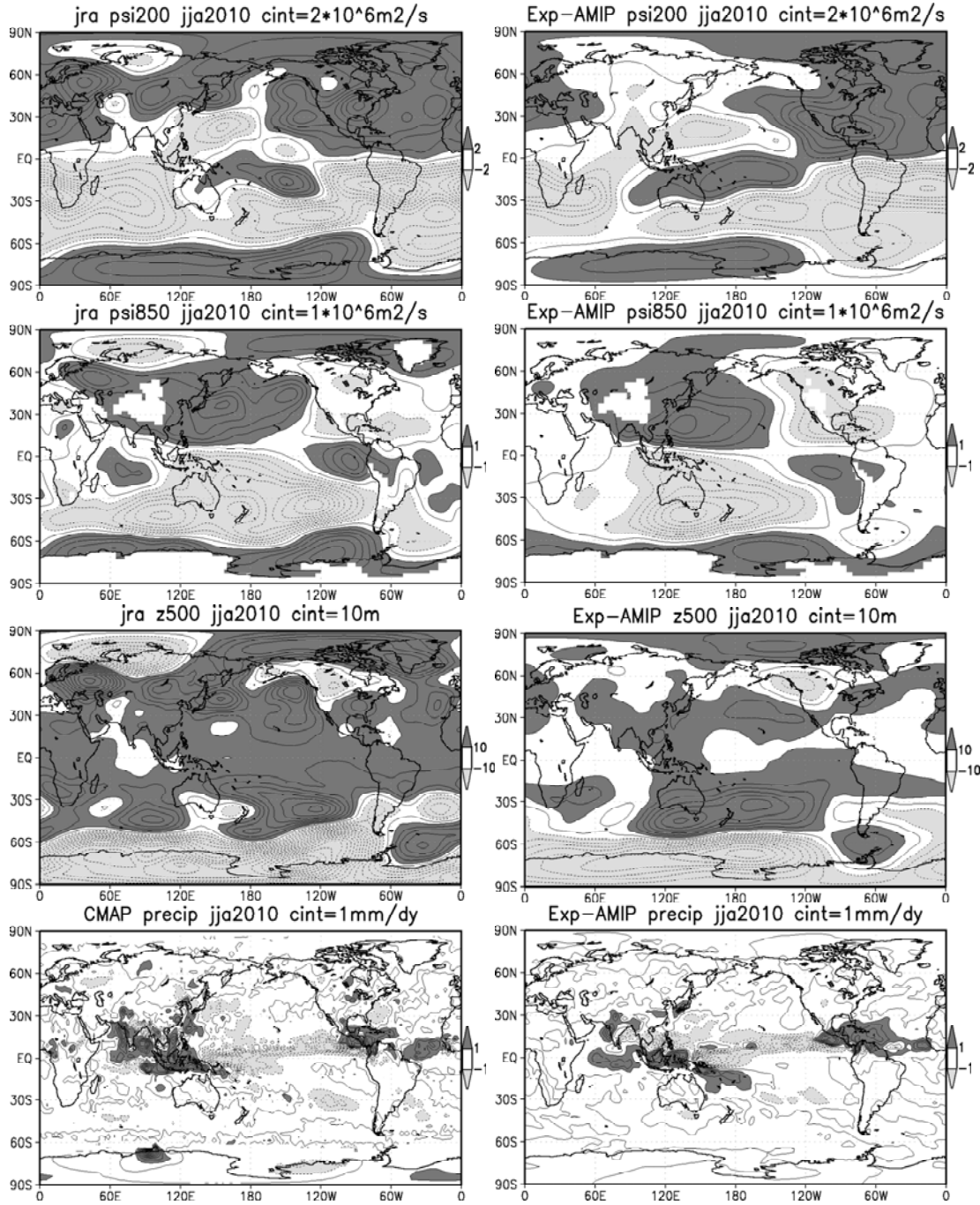


図2 2010年6～8月平均偏差。左列は観測値（JRA-25とCMAP）の平均偏差、右列はモデル実験のExp-AMIPとExp-CLIMの差。上図：200hPa流線関数（線間隔 $2 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ）、中図：850hPa流線関数（線間隔 $10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ；標高1500m以上は描画せず）、下図：降水量（線間隔 1 mm day^{-1} ）。

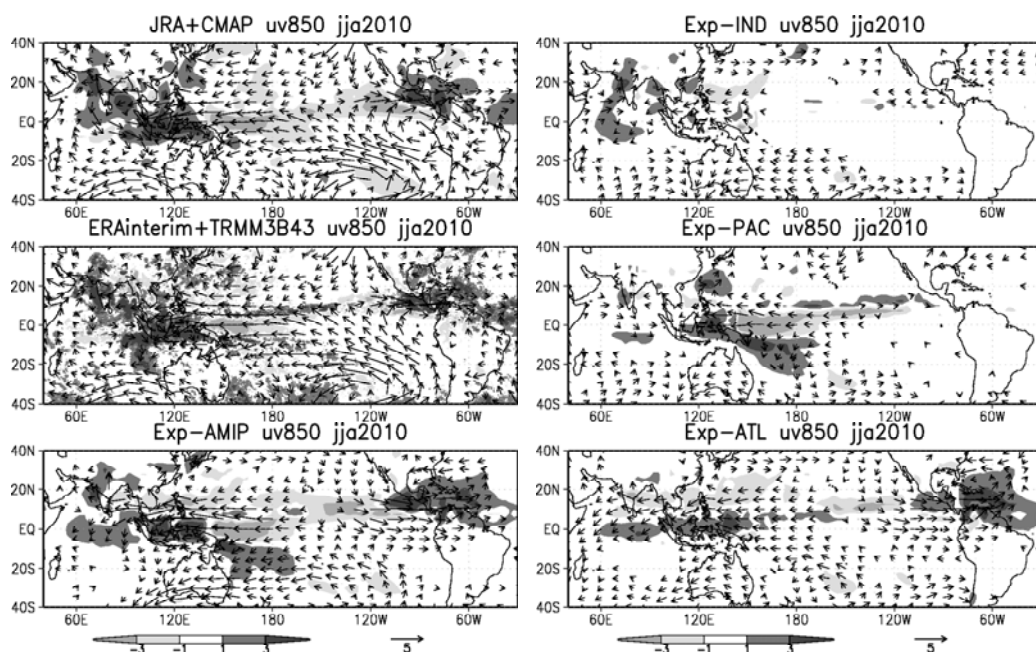


図3 2010年6～8月平均の降水量偏差（陰影、 mm day^{-1} ）と850hPa風（ベクトル、 m s^{-1} ）。左上：JRA-25とCMAP、左中：ERA-InterimとTRMM3B43、左下：Exp-AMIP、右上：Exp-IND、右中：Exp-PAC、右下：Exp-ATL。風速 0.5 m s^{-1} 以下の描画を省略。平年値は、JRA-25とCMAPは1979～1998年、ERA-Interimは1989～2010年、TRMM3B43は1998～2010年。

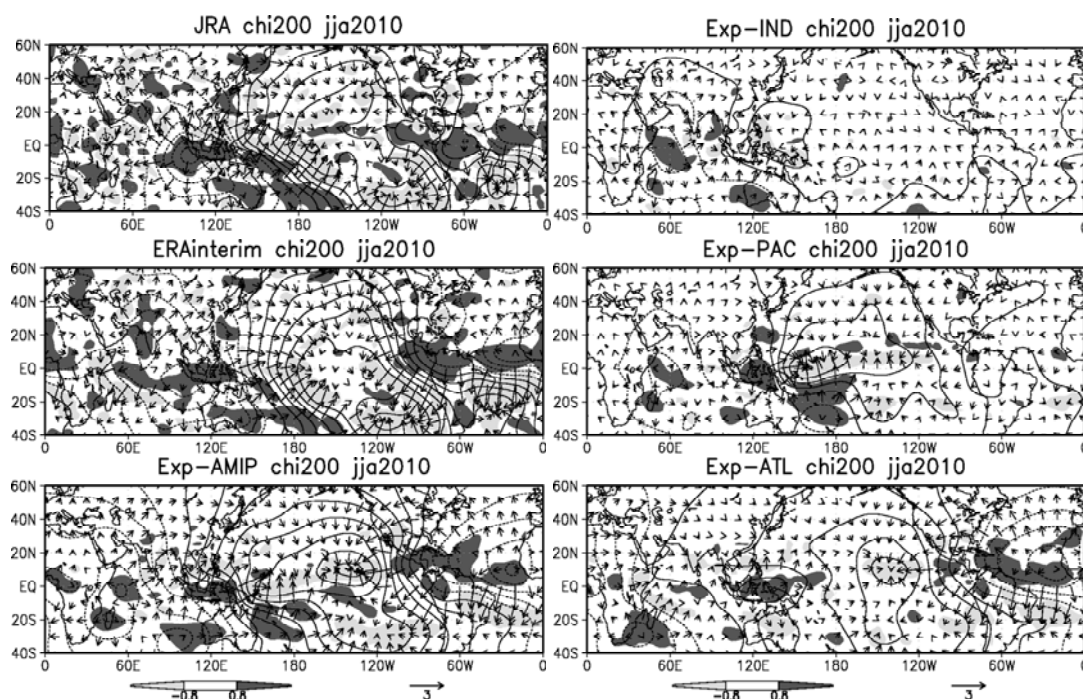


図4 200hPa面の速度ポテンシャル偏差（等値線、線間隔 $2 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ）、発散風（ベクトル、 m s^{-1} ）、水平発散（陰影、 10^{-6} s^{-1} ）以外は図3と同じ。

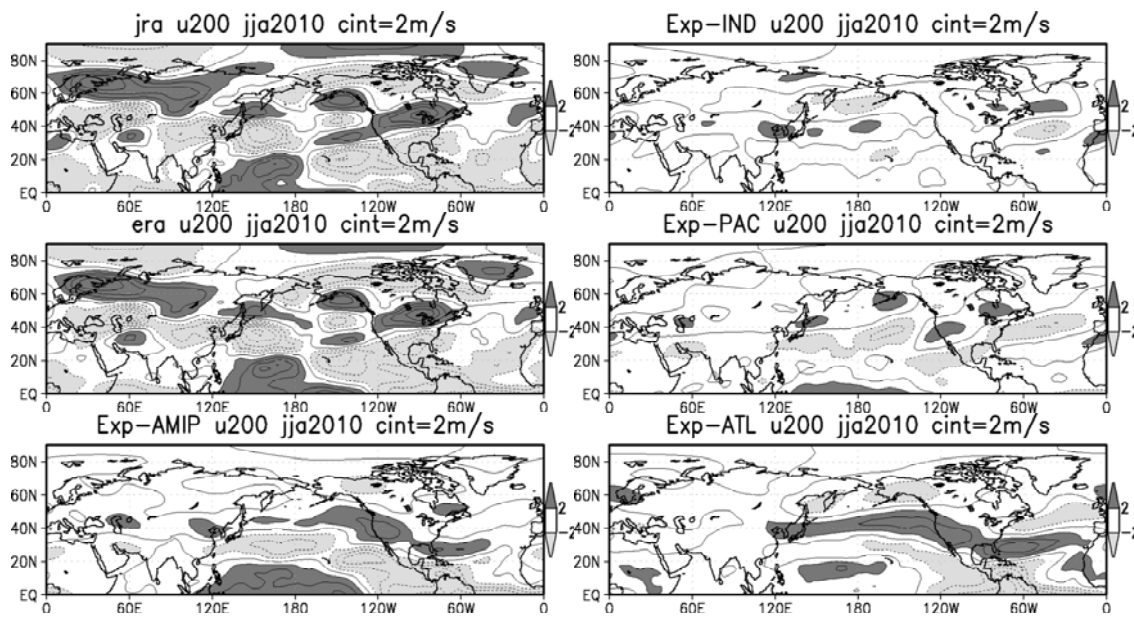


図5 200hPa 東西風速偏差、線間隔 2 m s^{-1} 以外は図3と同じ。

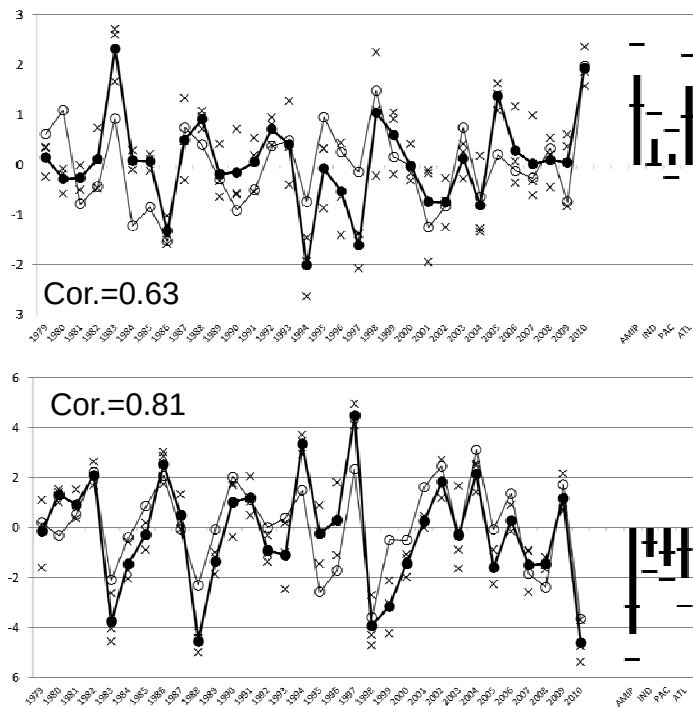


図6 北西熱帯太平洋の海面更正気圧偏差（上図、hPa）と850hPa風偏差（下図、 m s^{-1} ）の年々変動（線グラフ）および2010年夏の各種感度実験の結果（棒グラフ）。細線はJRA-25、太線はAMIP型実験の3メンバー平均、×印は各メンバー。図中に示された値はJRA-25と3メンバー平均値のアノマリー相関係数。棒グラフは10メンバー平均、バーの範囲が10メンバーの標準偏差。棒グラフは左からExp-AMIP、Exp-IND、Exp-PAC、Exp-ATL。