JRA-55とCMIP5温暖化実験にみる低緯度エネルギー輸送とハドレー循環強度の関係

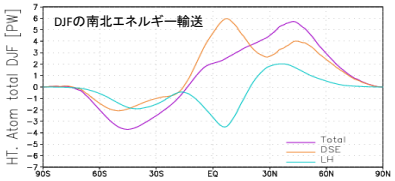
上杉康貴　指導教官:村上茂教

はじめに

大気のエネルギー輸送は気候系の形成・維持にとって重要な役割を果たしているが、現在進行中の地球温暖化に伴い大気のエネルギー輸送がどう変化しているかは必ずしも十分に分かっていない。特に、低緯度南北エネルギー輸送は平均子午面循環であるハドレー循環によって担われているが、一部の再解析で北半球冬季(DJF)の循環強度の増大が報告されている一方、地球温暖化実験では循環の弱化を示すモデルが多く、輸送量の変化傾向を見極めることは難しい。
そこで本研究では、気象庁による新しい再解析であるJRA-55及び気象研究所の結合モデルMRI-CGCM3によるCMIP5地球温暖化実験の結果を用いて、大気によるエネルギー輸送量の経年変化を調べ、特に低緯度における乾燥静的エネルギー輸送の変化傾向をハドレー循環強度の変化とともに議論する。

乾燥静的
エネルギー(DSE)
潜熱(LH)
エネルギー形態

非定常擾乱(TE)
定常擾乱(SE)
平均子午面循環
(MMC)
輸送形態



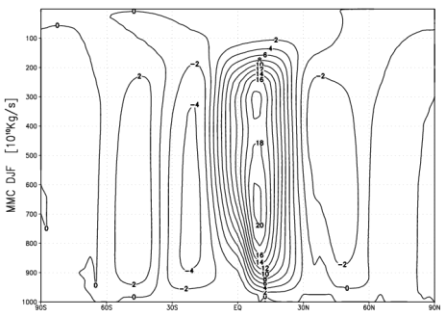
使用データ

・JRA-55 (データ期間:1958年～2012年)
水平解像度1.25° × 1.25°
鉛直37層等圧面
6時間毎瞬間値:気温、風速、高度、
地表面気圧
月平均値:風速、大気加熱

・MRI-CGCM3によるCMIP5実験
歴史実験　1850年~2005年
rcp8.5 シナリオ実験　2006年~2100年
水平解像度320× 160Gauss格子
鉛直23層等圧面
月平均値:気温、高度、風速、
地表面気圧、放射、降水

輸送量と循環強度の指標

ハドレー循環:質量流線関数極値(図1左)
低緯度DSE輸送:DJFにおける鉛直積分した北向きDSE輸送の緯度分布におけるMMC成分の極大値(図1右)



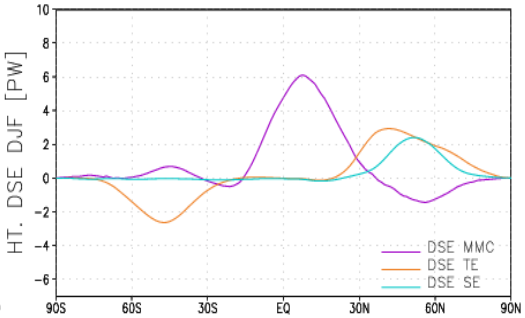
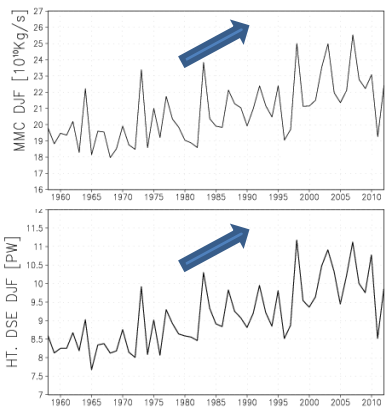


図1.JRA-55気候値(DJF)
左:ハドレー循環の質量流線関数(10^{10}Kg/s)　右:過程別北向きDSE輸送(PW)

結果

再解析と温暖化実験ではDSE輸送及びハドレー循環の応答は異なる(図2)



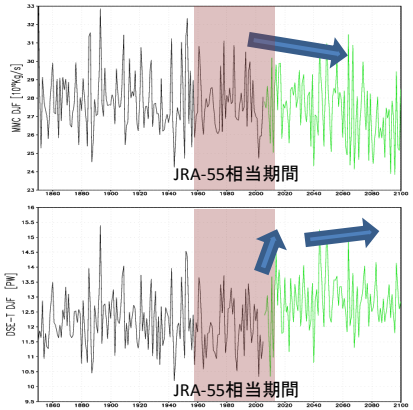


図2.上段:ハドレー循環の強度変化(10^{10}Kg/s)　下段:MMCによるDSE輸送の強度変化(PW)
左:JRA-55　右:温暖化実験(黒:歴史実験　緑:rcp8.5)

考察

JRA-55とMRI-CGCM3で応答が異なる原因を調べるために、ある25年の期間を取り出し、それらの平均値を比較、考察した。

考察3.安定度の変化

ハドレー循環は大気加熱率だけでなく、安定度の影響も受ける(下式)。安定度の変化の指標として熱帯域の温位の鉛直プロファイルを調べた。

$$f^2\frac{\partial^2\psi}{\partial p^2}+\frac{R}{a^2p}\left\{\left(\frac{\partial N^2}{\partial\phi}+N^2\tan\phi\right)\frac{\partial\psi}{\partial\phi}+N^2\frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2}\right\}=\frac{R}{ap}\cos\phi\frac{\partial\alpha_T}{\partial\phi}-f\cos\phi\frac{\partial\alpha_x}{\partial p}$$

JRA55	歴史実験	歴史実験＋RCP
•1958~1982(R1) •1988~2012(R2)	•1950~1974(H1) •1981~2005(H2)	•1958~1982(H3) •2076~2100(W1)

考察1.輸送の変化の分解

DSE輸送の変化をDSE自体の変化による寄与、風速の変化による寄与、及び両者の変化による寄与に分解。 $\Delta([\overline{v}][\overline{DSE}]) = \Delta[\overline{v}]\cdot[\overline{DSE}] + [\overline{v}]\cdot\Delta[\overline{DSE}] + \Delta[\overline{v}]\cdot\Delta[\overline{DSE}]$

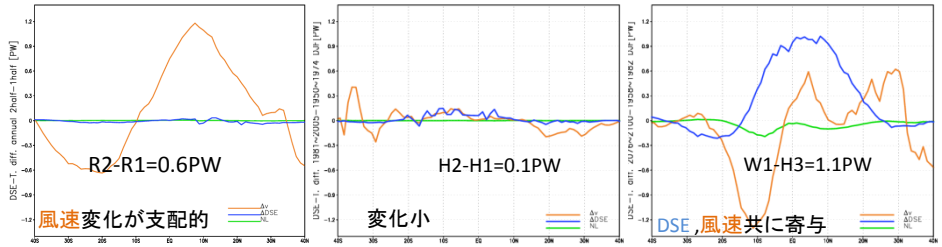


図3:DSE輸送のMMC成分について、ある2期間の年平均値の差をとったものの緯度分布
橙は風速の変化による寄与、青はDSEの変化による寄与、緑は両者の変化による寄与
左:R2-R1　中央:H2-H1　右:W1-H3

考察2.大気加熱率との関係

DSE輸送は大気加熱によって支配される。大気加熱率は降水による加熱と放射による加熱、及びその他に分けられる。 $\frac{\partial}{\partial t}\int_D \langle K + C_pT + \Phi_s\rangle dS + \oint_{\partial D}\langle (K + C_pT + \Phi)\boldsymbol{V}\rangle dl = \int_D \langle \boldsymbol{Q}\rangle dS$

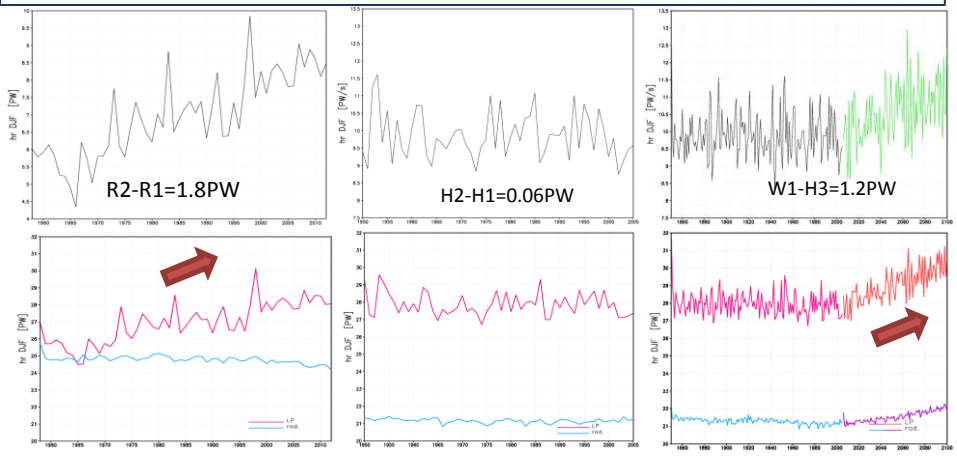


図1.上段:南半球における大気加熱率の変動(PW)
下段:南半球における大気加熱率の変動の内訳　降水(赤)、-1×放射(青)
左:JRA-55　中央:歴史実験(1950~2005)　右:歴史実験+rcp

問題点・課題

・再解析における降水の過大評価及びエネルギー収支の不均衡
・MRI-CGCM3の等圧面出力の下層における粗さによるDSE輸送の計算誤差
→ モデル面解析
・他の再解析及びモデル実験との比較

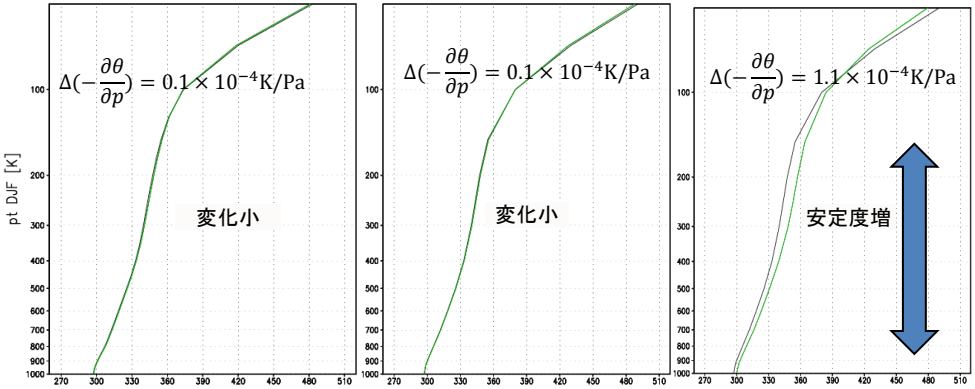


図3:北半球熱帯域における温位の鉛直プロファイル(K)。黒線は古い期間、緑線は新しい期間
左:R2,R1　中央:H2,H1　右:W1,H3

まとめ

JRA-55

・ハドレー循環強度とDSE輸送強度には共に一貫した増加傾向。
・DSE輸送の変化は風速場の変化が支配的。
・DSE輸送の増大は降水の増大に伴う、大気加熱の増大によるもの。
・ハドレー循環強度の増大は、大気加熱の増大に加えて、安定度が変化が小さいため。

歴史実験

・歴史実験内の最後の55年間におけるHadley循環強度とDSE輸送強度にはJRA-55で見られたような明確な変化傾向は見られない。
・大気加熱や降水量にも大きな変化は見られない。
・安定度の変化はJRA-55と同程度。

温暖化実験

・温暖化実験におけるHadley循環は長期的には弱化。
・DSE輸送の変化は風速場の変化に加え、DSE場自体の変化も大きく影響。
・DSE輸送強度は歴史実験に比べ増大しており、これは大気加熱の増大と定性的には矛盾しない。
・ハドレー循環の弱化は、大気加熱増大の影響よりも、安定度変化の影響が大きかったため。

全体

・歴史実験からrcp実験への変化は温暖化における平衡応答として理解できる。
・JRA-55における降水の増加は観測(GPCP)及び歴史実験では見られない。
・DSE輸送の変化が主に速度場の変化に支配されているJRA-55における経年変化は過渡的応答の可能性を示唆するが、その変化の大きさや降水量の増加率は現実的ではない。