

研究進捗報告

INTH98 の水惑星灰色大気設定による大気海洋海氷結合計算 part2

河合 佑太

海洋モデルミーティング (2017/02/02)

短中期的な計画と現在位置

1. INTH98 再試実験の大気モデル設定による結合計算

- INTH98 大気設定でも結合系が統計的平衡状態に至れるかを確認
 <--- part 1 にて報告

part 2 の話題

- 標準ケース(太陽定数 1366 W/m^2)において, 海洋大循環が水惑星の気候状態に与える影響を考察する.
- 氷アルベドフィードバックの考慮

2. 結合モデルを用いた水惑星の気候の太陽定数増減実験

概要

• 目的

- 水惑星結合計算の標準ケース(太陽定数 1366 W/m^2)において, 海洋大循環が水惑星の気候にどのような影響をもたらすかを考察する.
 - 海洋を swamp ocean や slab ocean にした場合の結果と比較する.
 - 氷アルベドフィードバックを考慮した場合の, 海洋大循環の効果も検証する.

• 分かったこと

- 海洋大循環の考慮により, 変化したこと
 - (特に)低緯度域の表面温度の南北温度勾配の減少
 - 子午面循環の強度の減少
 - 低緯度域の降水分布は南北に幅広くなり, 赤道での極大は減少
 - 氷アルベドフィードバックが働く場合には, ????????????????
- 海洋大循環の考慮しても, 変化しなかったこと
 - 氷アルベドフィードバックがなければ, SST の全球平均値は影響を受けない.

実験設定

実験ケース	海洋モデル	海氷モデル	結合手法	備考
DynOcnAxisym	軸対称 dynamic ocean	熱力学モデル	周期的結合 (2年, 50年)	part 1 の CTRL と同じ 結合モデルの概要については part 1 を参照
SlabOcnAxisym	軸対称 slab ocean	N/A	純結合	
SlabOcn2D	2次元 slab ocean	N/A	純結合	DCPAM のみ利用
SwampOcn	熱容量 0 の 2次元 slab ocean	N/A	純結合	DCPAM のみ利用

- DynOcnAxisym と SlabOcnAxisym の比較
 - 海洋大循環の効果を検証
- SlabOcnAxisym と SlabOcn2D の比較
 - 表面温度を東西平均する影響を検証
- SlabOcn2D と SwampOcn の比較
 - 惑星表面の熱容量の効果を検証

- slab ocean の深さはどの場合も 60 m
- 積分時間
 - dynamic ocean の場合: 約 3 万年
 - slab ocean, swamp ocean の場合: 約 300 年

実験設定

- 大気
 - 初期条件: 静止状態, 等温 (280 K), 比湿一様 ($1e-3$ kg/kg)
 - 境界条件:
 - 大気上端: 地球の年平均日射を与える(太陽定数 1366 W/m²)
 - 惑星表面: 海洋海氷モデルで計算された表面温度, 表面アルベドを与える.
- 海洋
 - dynamic ocean の場合
 - 初期条件: 静止状態, 等温 (280 K), 塩分一様 (35 psu)
 - 境界条件:
 - 海面: 大気モデルで計算された風応力, 熱フラックス, 淡水フラックスを与える.
 - 海底: 滑りなし条件, 断熱条件を課す
 - swamp, slab ocean の場合
 - 初期条件: 等温 (280 K)
- 海氷
 - 初期条件: 氷なし
- 海洋海氷表面のアルベド
 - 氷アルベドフィードバックなしの場合: 常にゼロに設定 (INTH98 と同じ)
 - 氷アルベドフィードバックありの場合: 表面温度が 263 K 以下の場所で 0.5 , それ以外はゼロ (Budyko, 1965 や INTH07 と同じ)

1. 氷アルベドフィードバックなし(IAFOff)
の場合

統計的平衡状態の比較 (IAFOff)

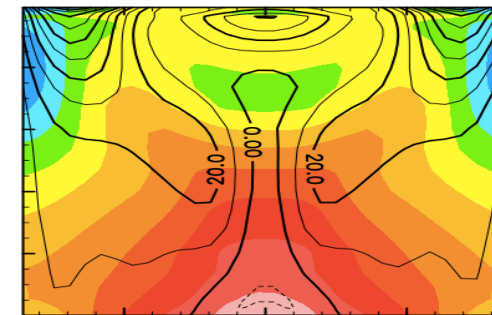
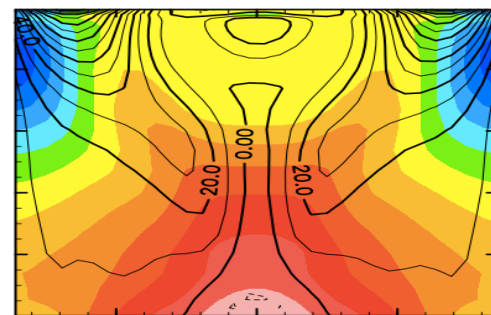
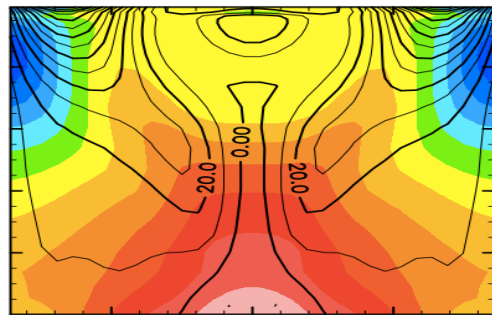
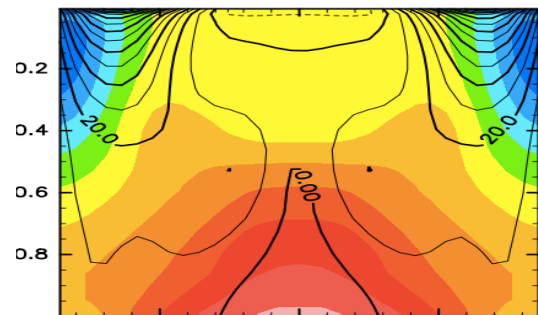
DynOcnAxisym

SlabOcnAxisym

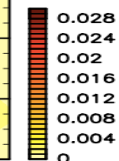
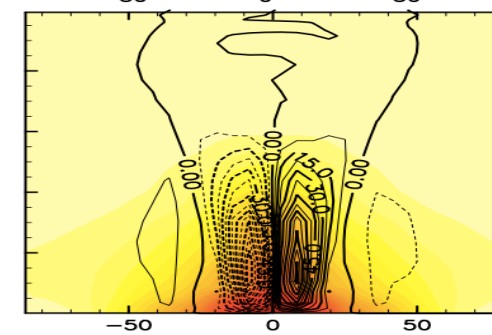
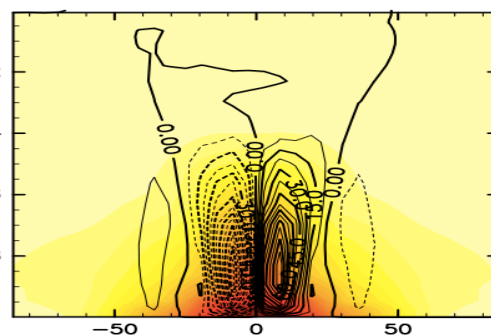
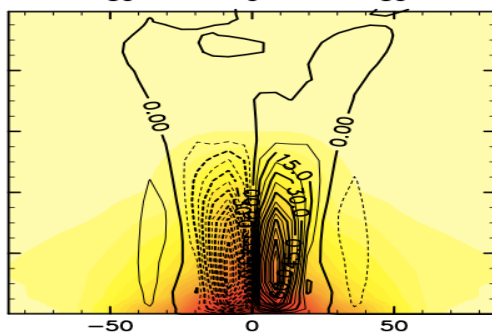
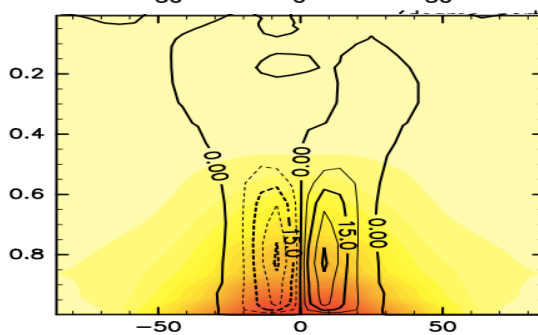
SlabOcn2D

SwampOcn

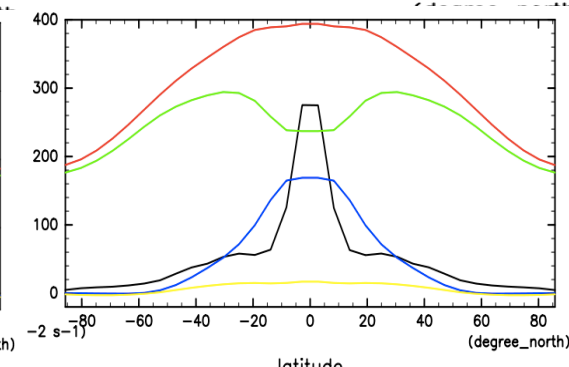
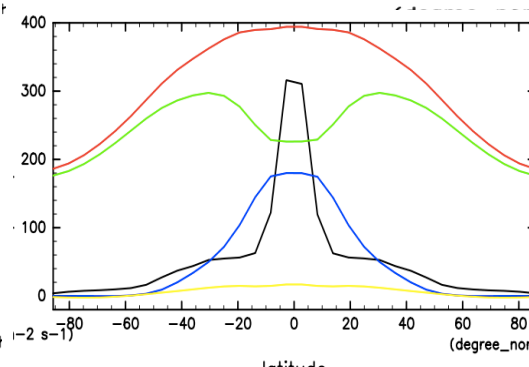
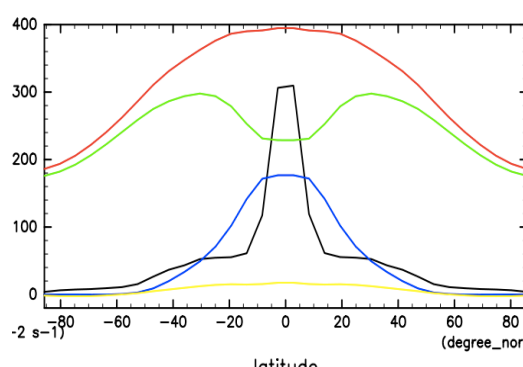
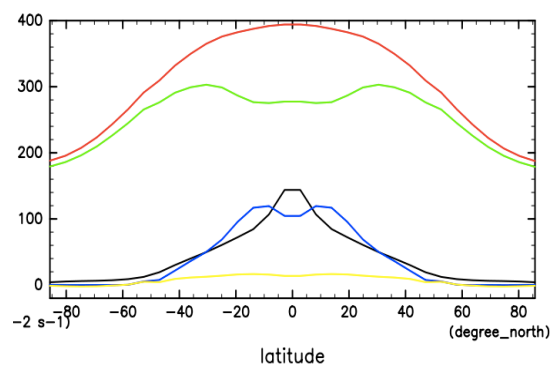
東西風, 温度



質量流線関数, 比湿



エネルギーフラックス



降水フラックス

OLR
SLR
潜熱フラックス
顕熱フラックス

- 海洋大循環を考慮した場合の特徴
 - 子午面循環の強度が 1/4 ほどになる。
 - 低緯度域の降水域の幅が広がり, 赤道のピークは小さくなる

- この実験では, SST の東西平均の影響は小さいようである。

統計的平衡状態の比較(IAFOff) ~ 惑星表面場

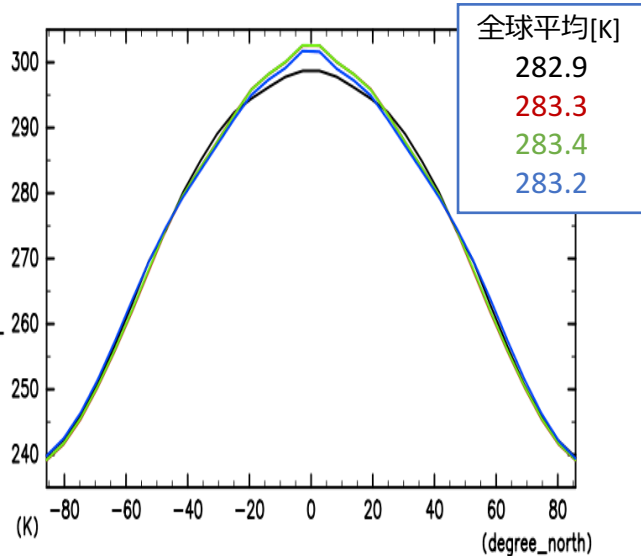
DynOcnAxisym

SlabOcnAxisym

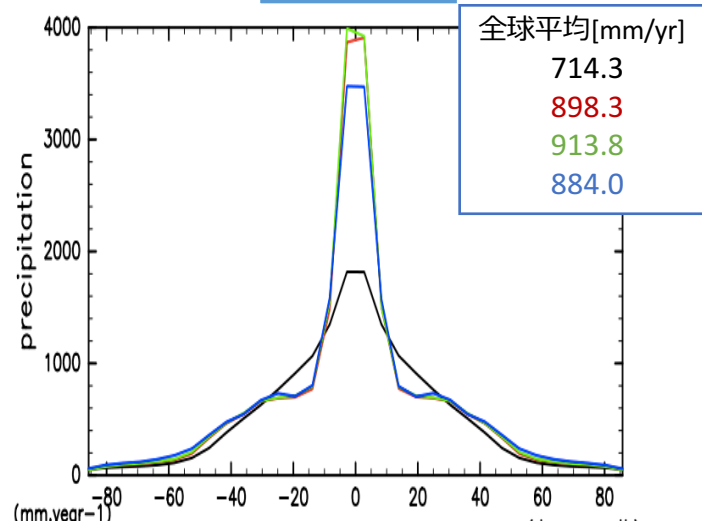
SlabOcn2D

SwampOcn

表面温度

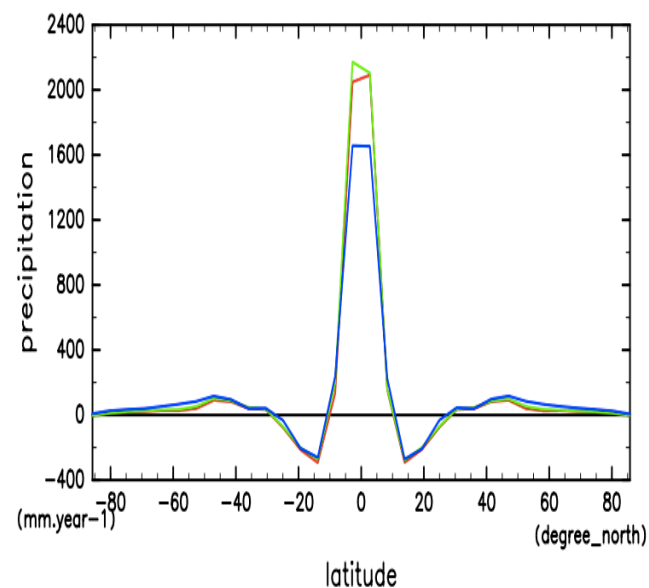
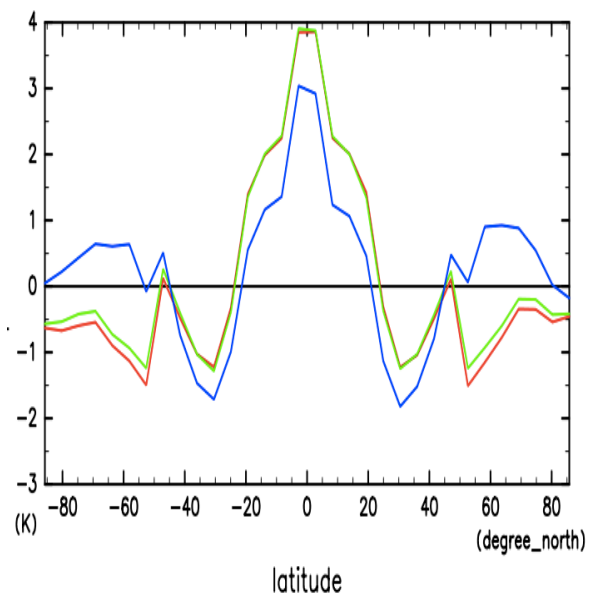


降水量



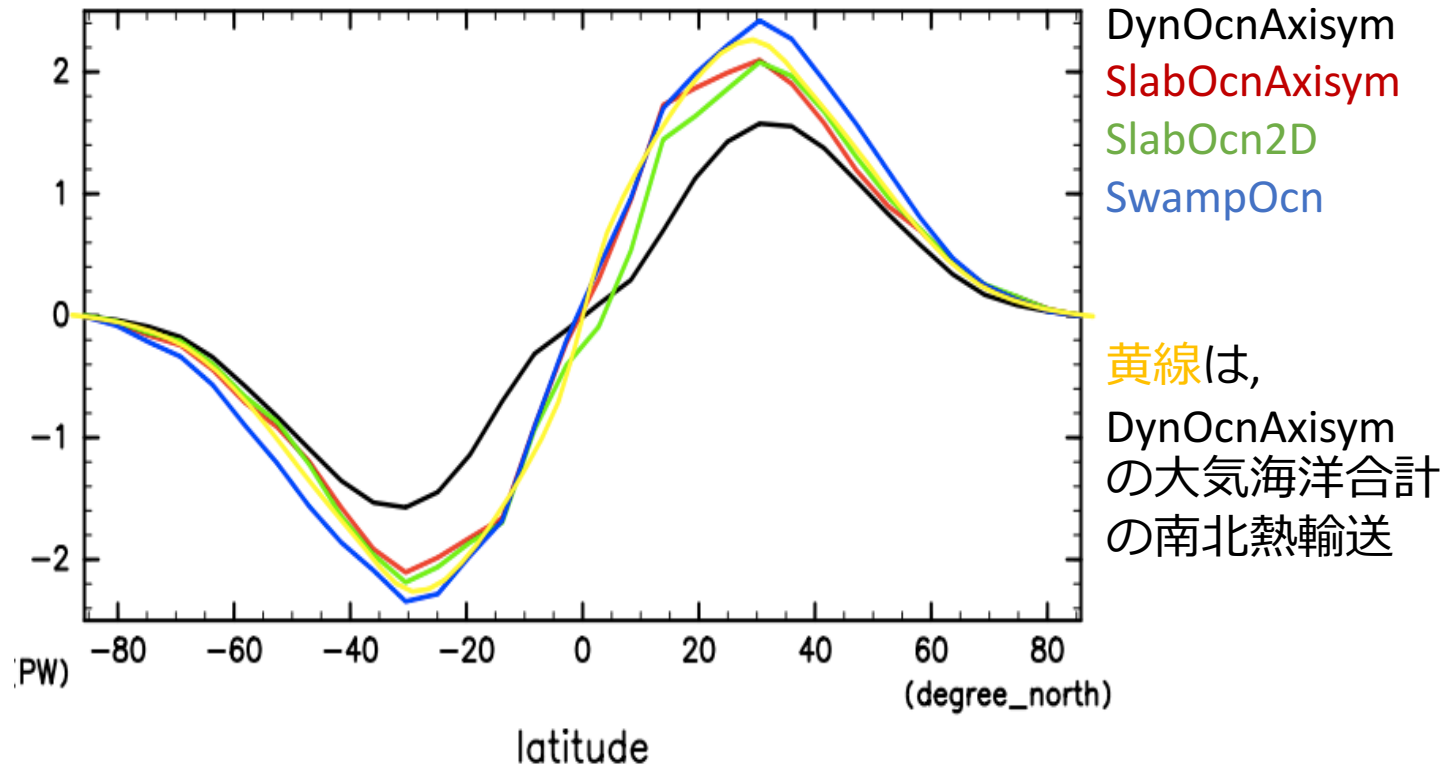
- 海洋大循環を考慮した場合の特徴
 - 低緯度域の表面温度はより低く, 中緯度域はより高くなる.
 - 全球平均表面温度は, 変わらない
 - 氷アルベドフィードバックが入るとどうか?

DynOcnAxisym
との偏差



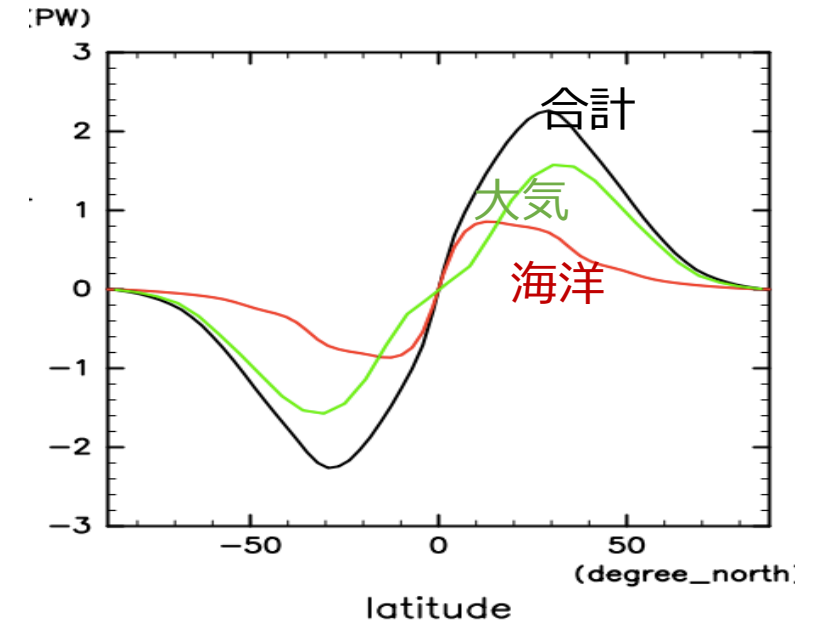
統計的平衡状態の比較 ~ 南北熱輸送

大気による南北熱輸送



参考:

DynOcnAxisym における
大気海洋南北熱輸送の内訳



- swamp, slab ocean の場合は, 大気南北熱輸送は大きくは変わらない.
- 海洋大循環を考慮した場合, 海洋が 1/3 のほどの南北熱輸送を担う.
 - 一方, 大気海洋合計で見ると, 海洋大循環を考慮しない場合とほとんど変わらない.

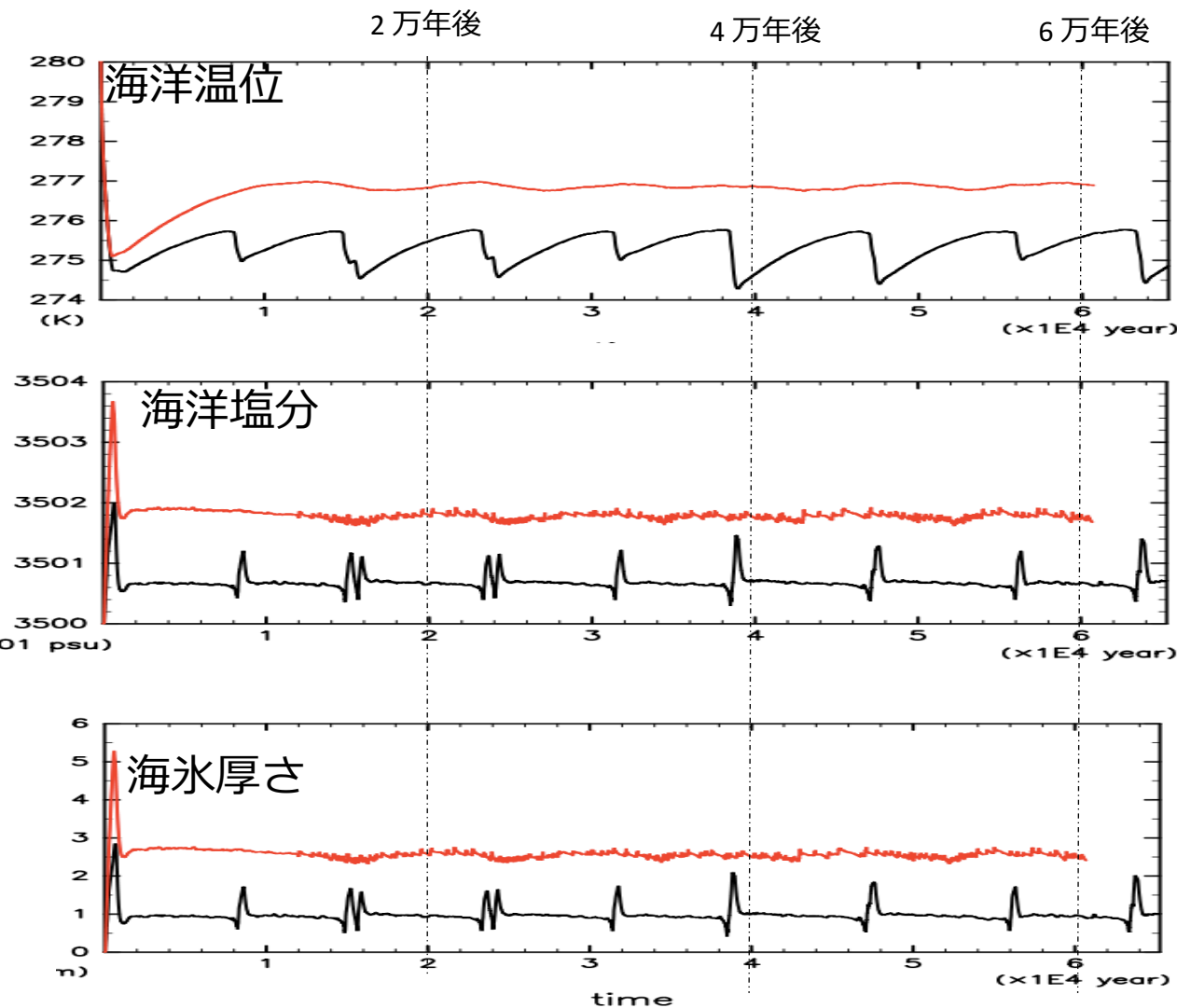
2. 氷アルベドフィードバックあり(IAFO_n) の場合

計算結果(DynOcnAxisym-IAFO_n) ~ 時系列

全球平均値の時系列

赤: IAFO_n

黒: IAFO_{off}



- 氷アルベドフィードバックを考慮すると周期的に起きる海洋の大きな振動が現れなくなった。
 - IAFO_{off} では、極域の海氷が失われる期間がある。
 - IAFO_n では、極域の海氷は常に維持されている。
- 氷アルベドフィードバックがない場合の方が海洋温度は低い。
 - 高緯度開氷域で冷えた水塊が、深い対流によって下層へより運ばれやすいのではないか?

計算結果(DynOcnAxisym-IAFOOn) ~ 統計的平衡状態

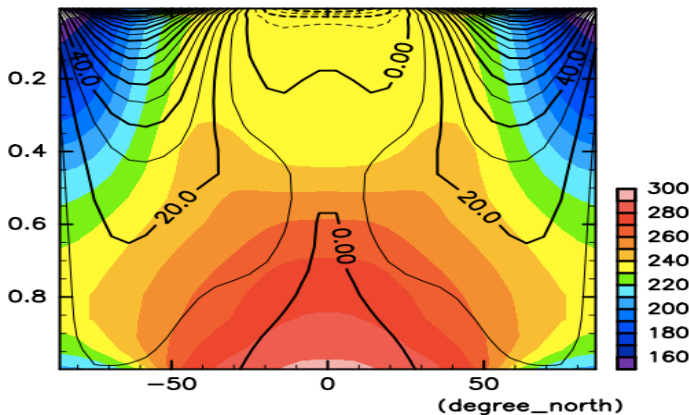
* 最後の1万年間を時間平均

赤線: IAFOOn

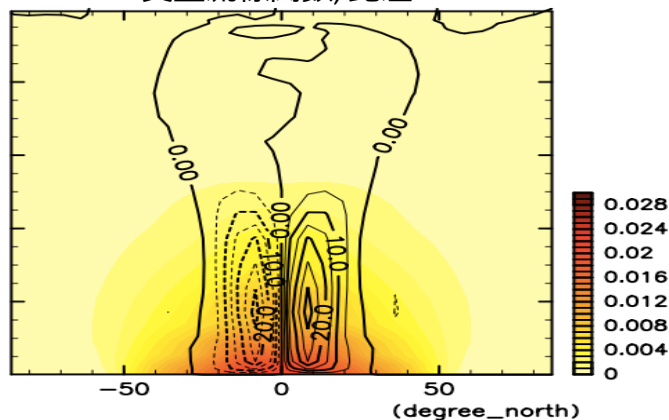
黒線: IAFOff

大気

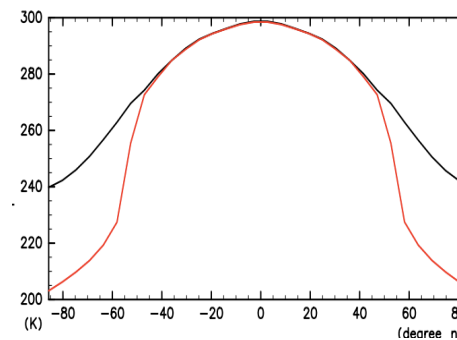
東西風, 温度



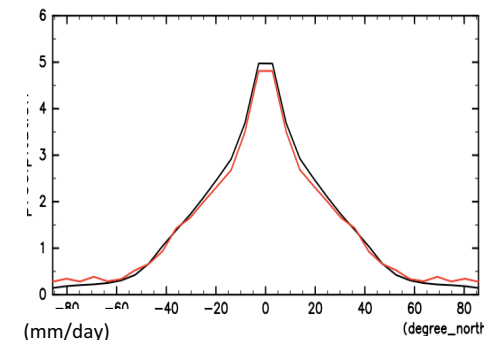
質量流線関数, 比湿



海水面・海水面温度

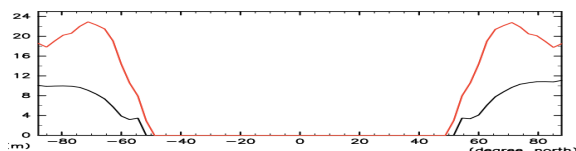


降水量

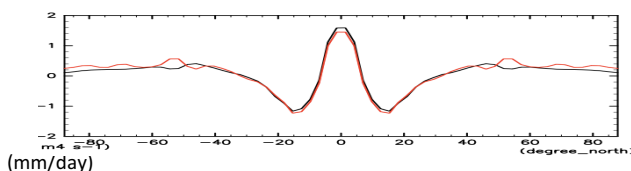


海洋, 海水

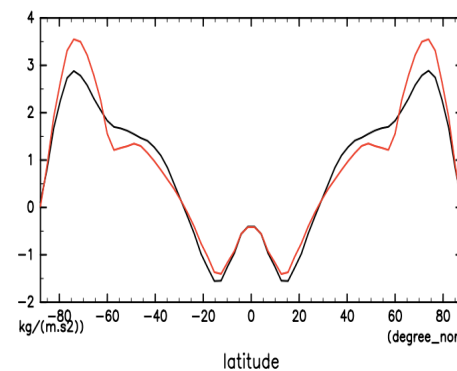
海氷厚さ



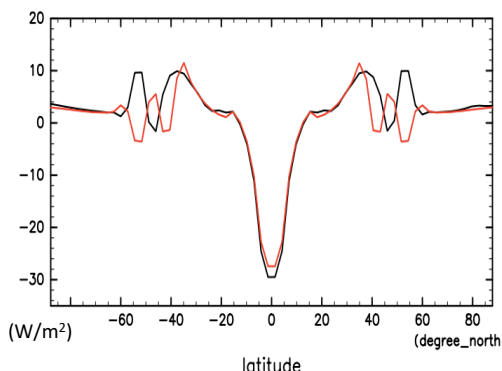
蒸発量-降水量



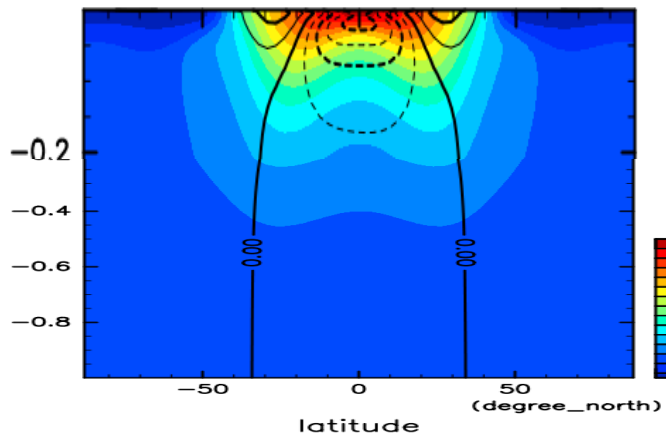
風応力(東西成分)



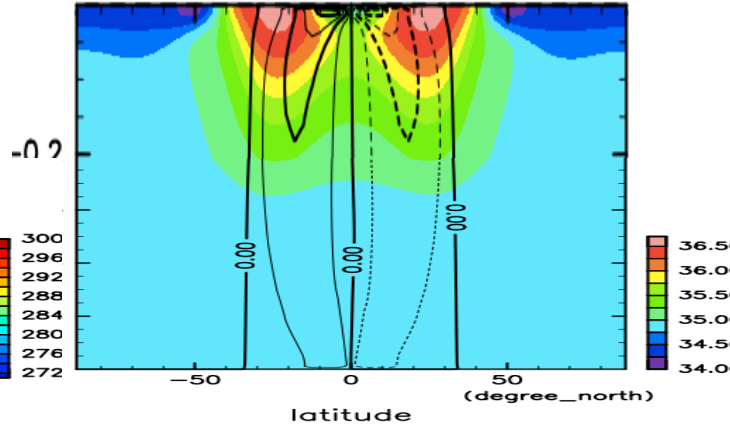
海面熱フラックス



東西流, 温位



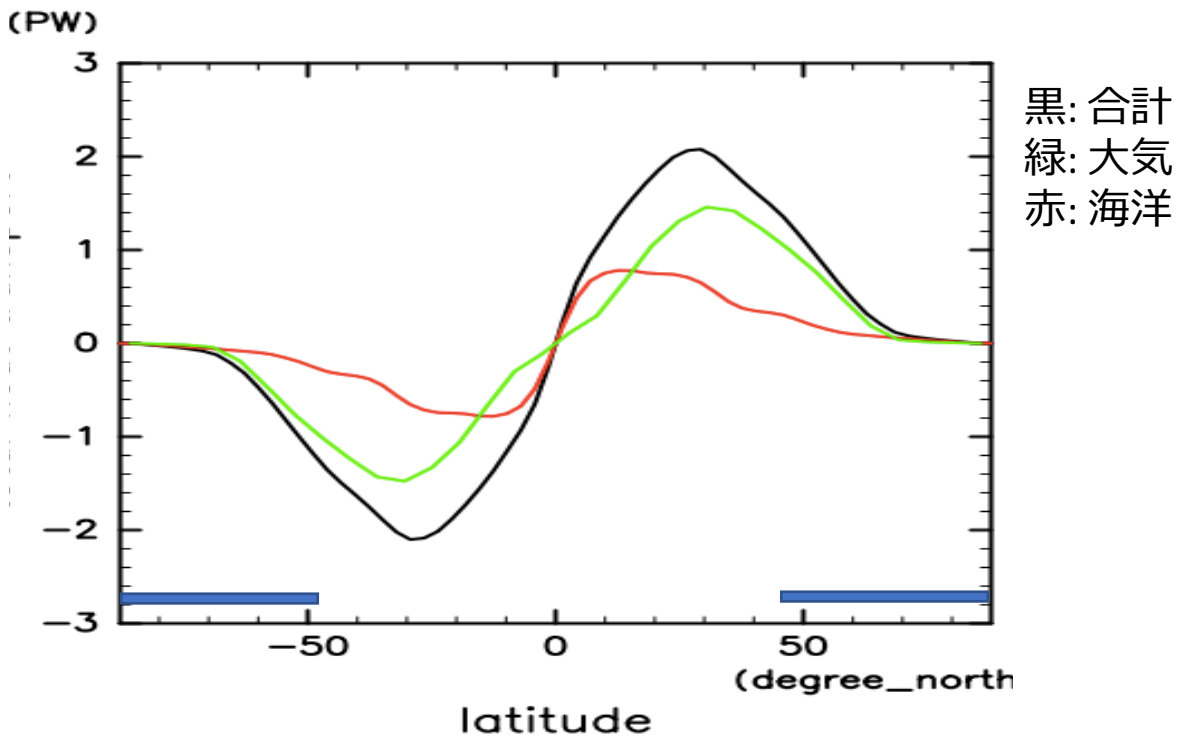
質量流線関数, 塩分



- 氷アルベドフィードバックの効果
 - 高緯度の惑星表面, 大気下層・上層の温度が低下
 - 海氷厚さの増加
- 現在の太陽定数では, 氷アルベドフィードバックを考慮した場合の海氷拡大は小さい
 - 中低緯度域の気候に与える影響は小さいだろう

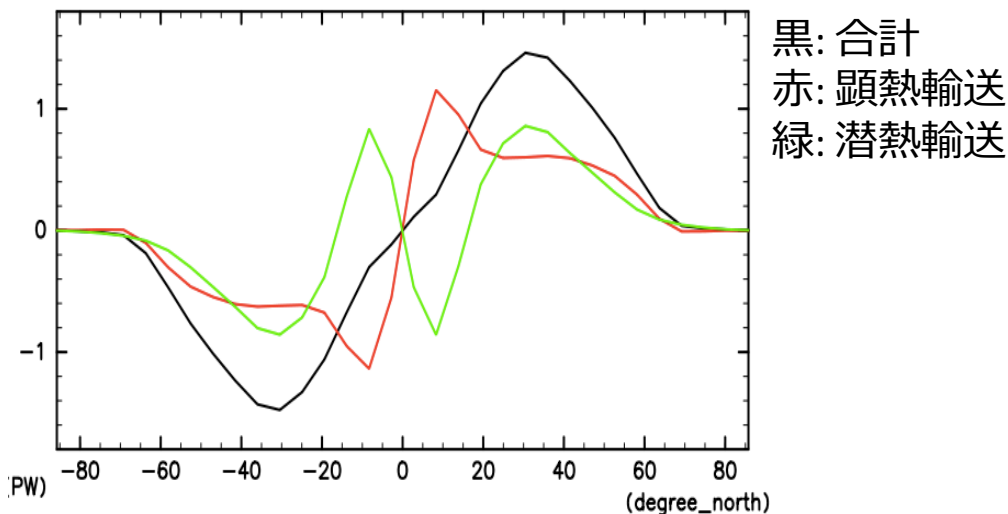
計算結果(DynOcnAxisym-IAFOn) ~ 南北熱輸送

* 最後の1万年間を時間平均

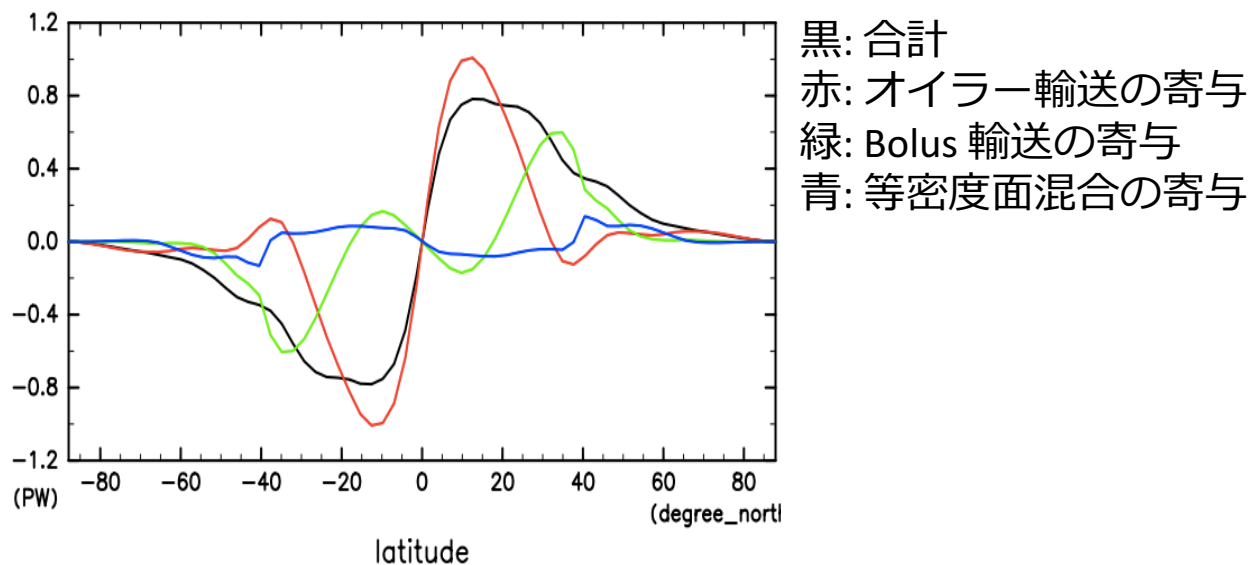


- 氷アルベドフィードバックなしの場合と比べて, 高緯度における大気海洋南北熱輸送が小さくなる.
 - 海氷面積が少し広がったからだろうか?
- 一方で, 南北熱輸送の全体的な分布や大気海洋熱輸送の内訳は, 氷アルベドフィードバック有無で大きく変化しなかった.

大気熱輸送の内訳



海洋熱輸送の内訳



統計的平衡状態の比較 (IAFOn)

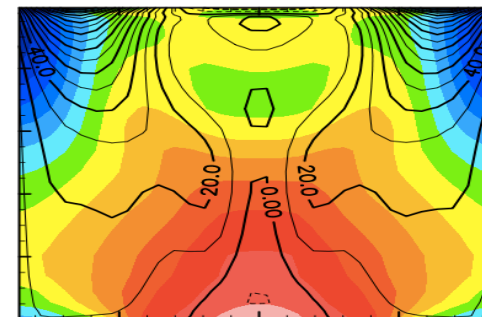
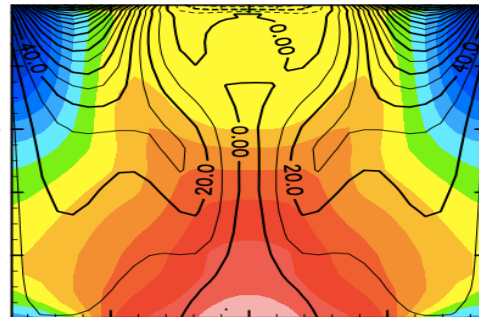
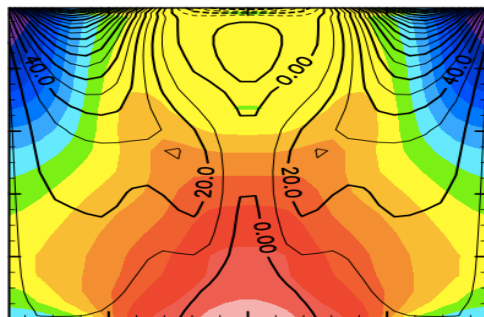
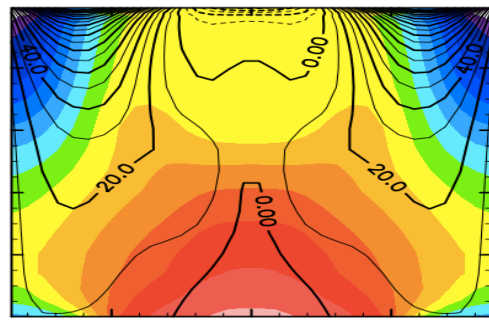
DynOcnAxisy

SlabOcnAxisym

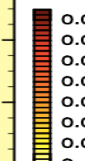
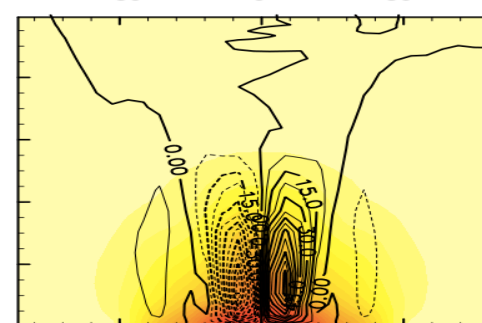
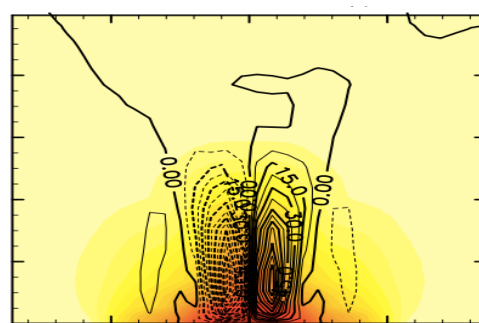
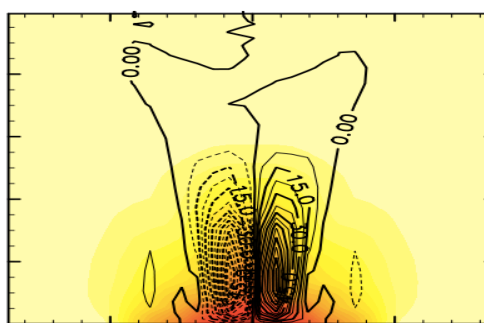
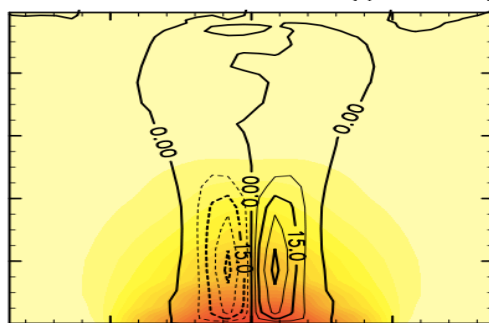
SlabOcn2D

SwampOcn

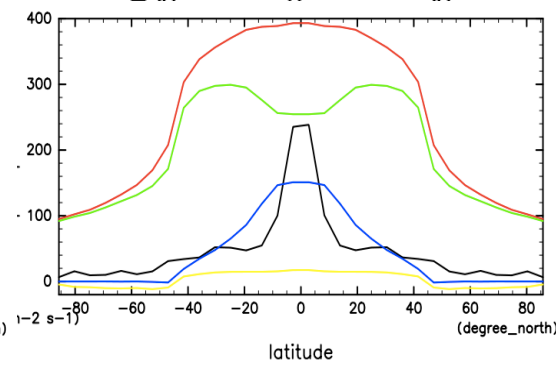
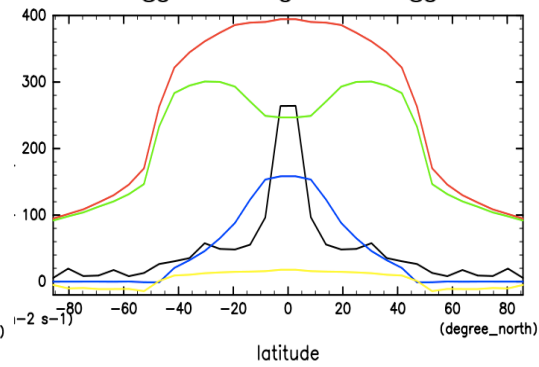
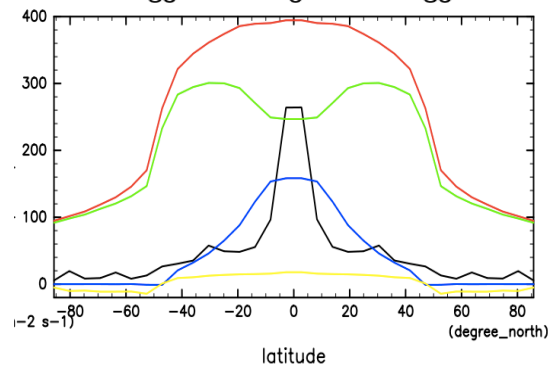
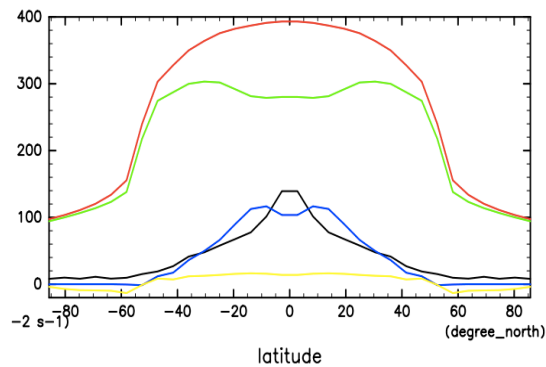
東西風, 温度



質量流線関数, 比湿



エネルギーフラックス



降水フラックス
 OLR
 SLR
 潜熱フラックス
 顕熱フラックス

統計的平衡状態の比較(IAFO_n) ~ 惑星表面場

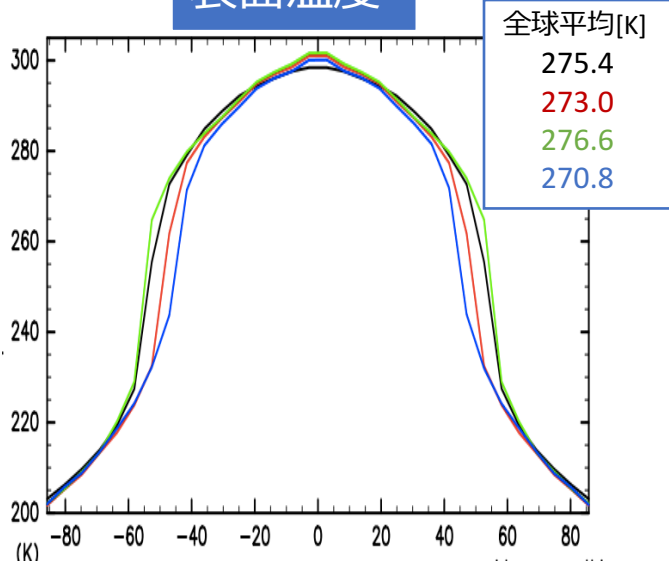
DynOcnAxisym

SlabOcnAxisym

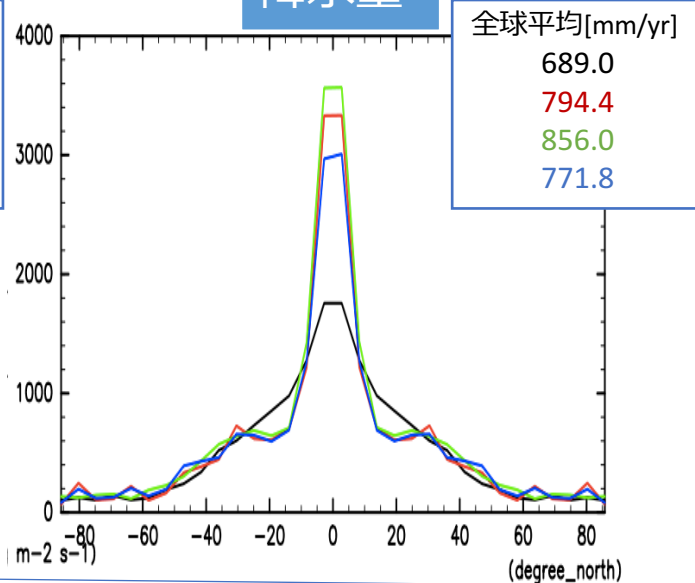
SlabOcn2D

SwampOcn

表面温度

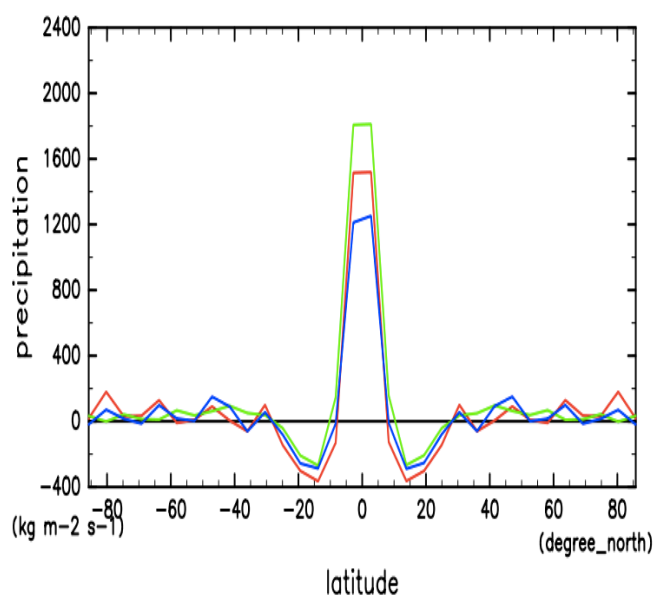
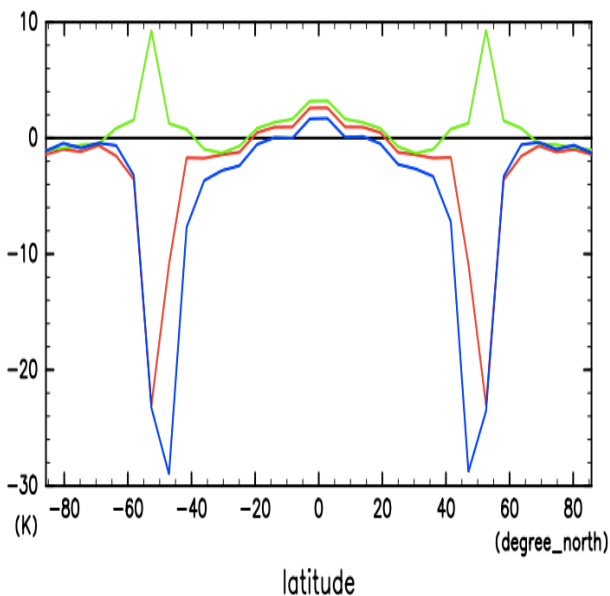


降水量



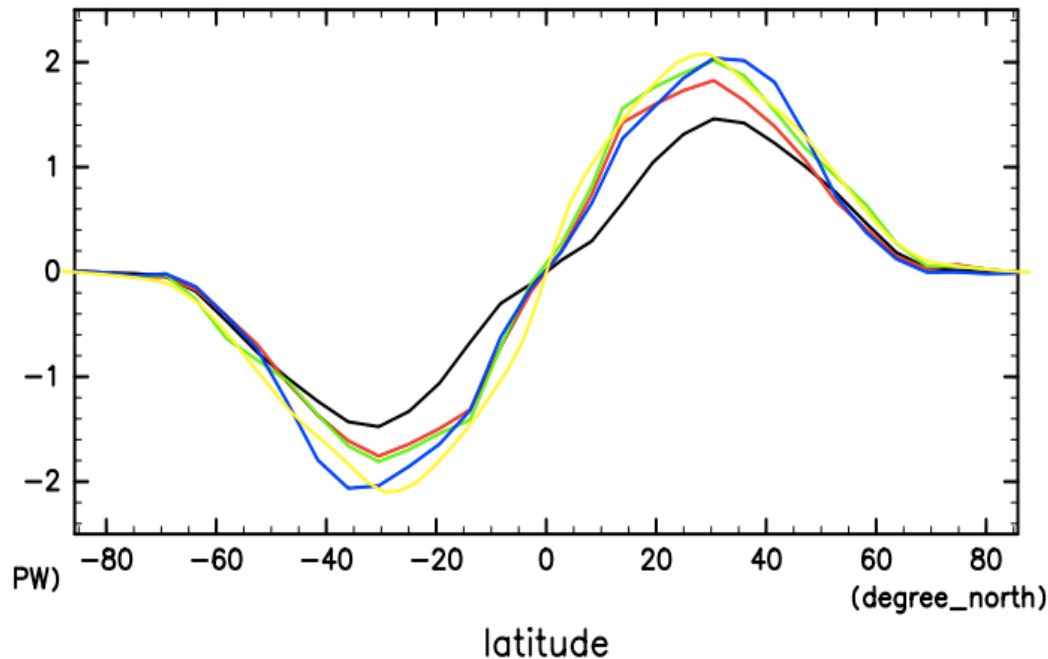
- 全球平均 SST が SwampOcn が最も低い
- 全球平均降水量は DynOcnAxisym が最も少ない
- IAFOff の場合と同様, 海洋大循環の考慮により, 低緯度の表面温度はより低く, 中緯度域はより高くなる。
- 氷線緯度は, 海洋の熱慣性や海洋大循環の有無により, 約 10 度ほど変わる。
 - 太陽定数が小さい設定では, 海氷末端が海洋南北熱輸送の大きい領域に入ってくるので, 海洋大循環の効果がより顕著に見えるように思う。

DynOcnAxisym
との偏差



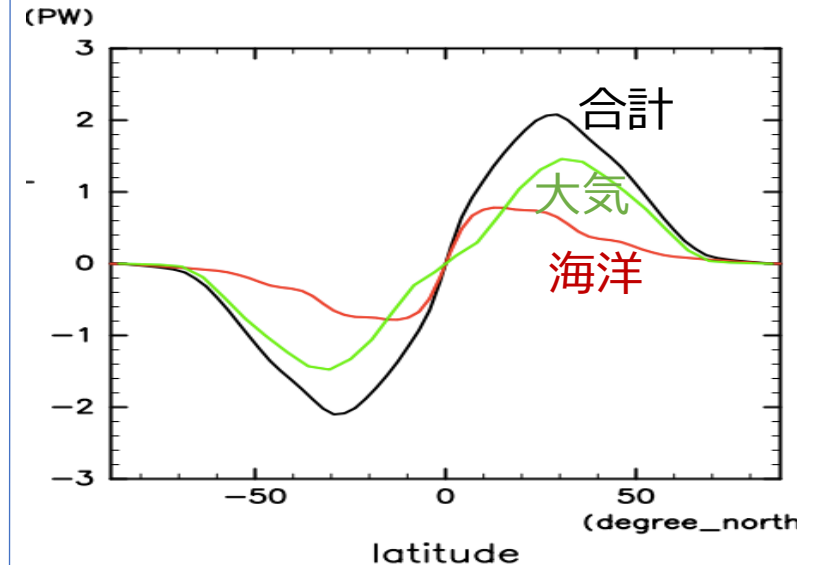
統計的平衡状態の比較(IAFOn) ~ 南北熱輸送

大気による南北熱輸送



参考:

DynOcnAxisym(IAFOn) における
大気海洋南北熱輸送の内訳



- 氷アルベドフィードバックなしの場合と同様に, swamp, slab ocean の場合の大気南北熱輸送と dynamic ocean の場合の大気海洋南北熱輸送の合計は大きく変わらない.
- 氷アルベドフィードバックありの場合に高緯度で南北熱輸送が非常に小さい特徴は, 海洋の熱慣性や海洋大循環の有無に依らないように見える.

まとめ

- INTH98 の大気モデル設定を用いた大気海洋海氷結合水惑星実験における海洋大循環の影響を調べるために, swamp, slab ocean 実験の結果と比較した.
- 海洋大循環の効果は以下であった.
 - 低緯度域の表面温度の南北温度勾配減少
 - 大気の子午面循環の強度減少
 - 低緯度域の降水分布が幅広になり, 赤道の降水ピークは減少
- 氷アルベドフィードバックを入れたときの振る舞いは....

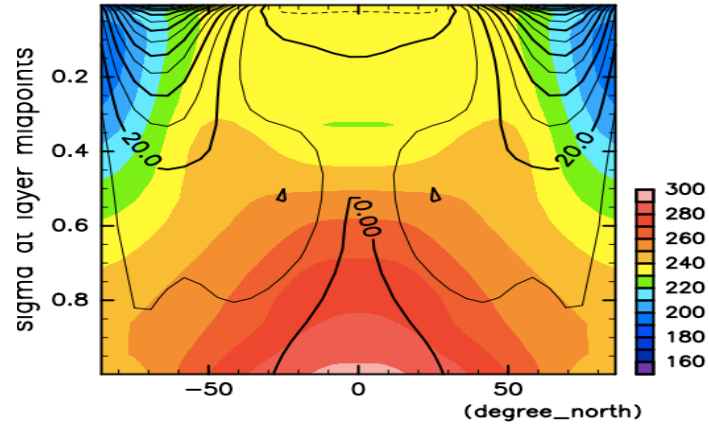
付録

計算結果 (DynOcnAxisym-IAFOff) ~ 統計的平衡状態

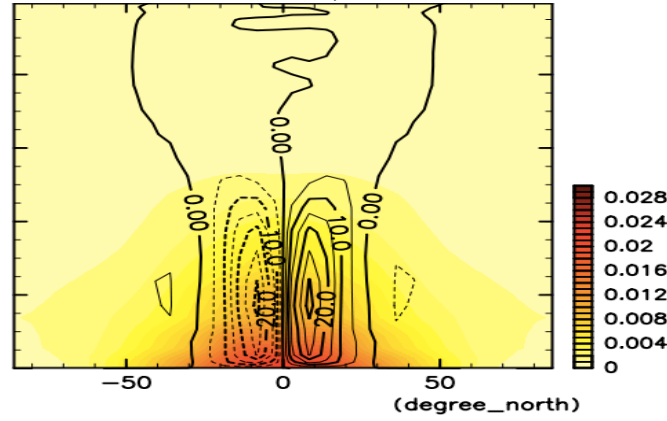
* 最後の1万年間を時間平均

大気

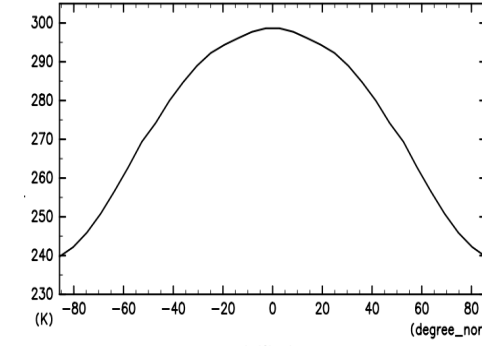
東西風, 温度



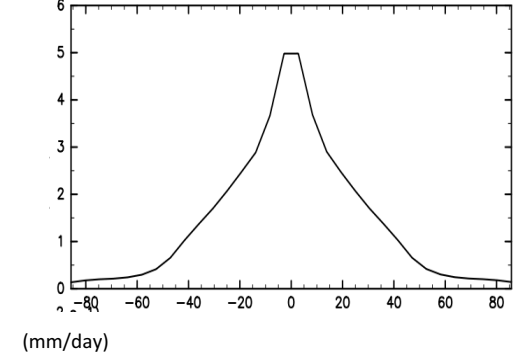
質量流線関数, 比湿



海水面・海水面温度

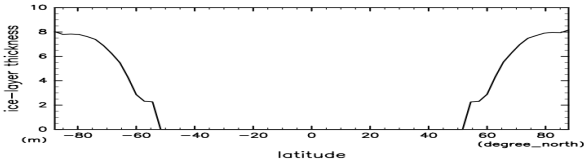


降水量

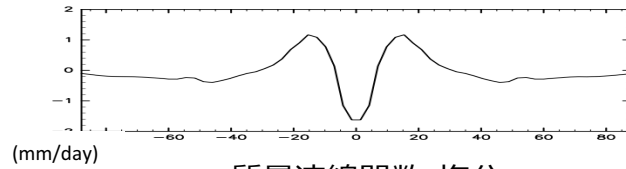


海洋, 海水

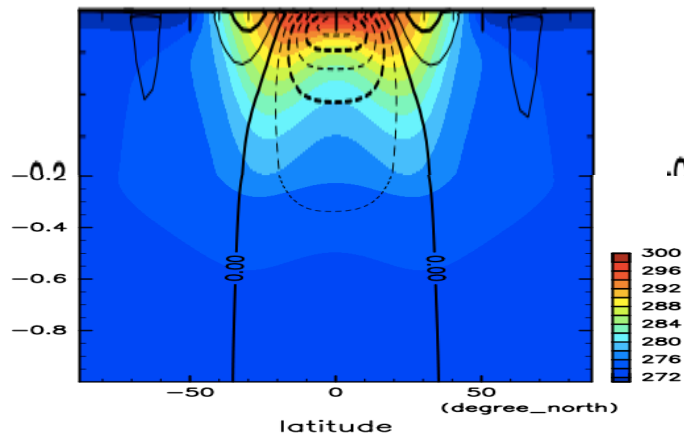
海氷厚さ



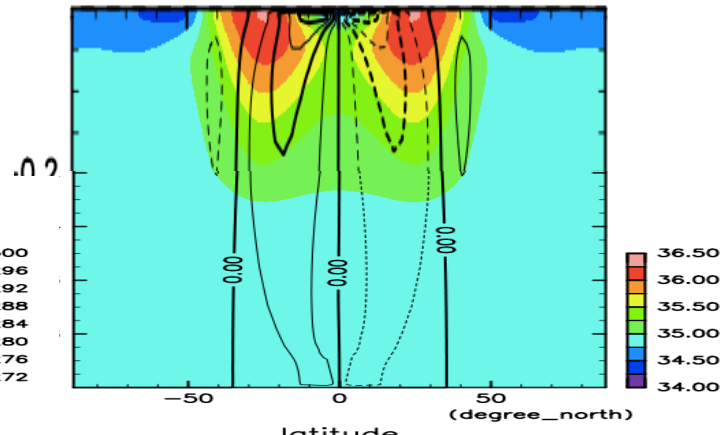
蒸発量-降水量



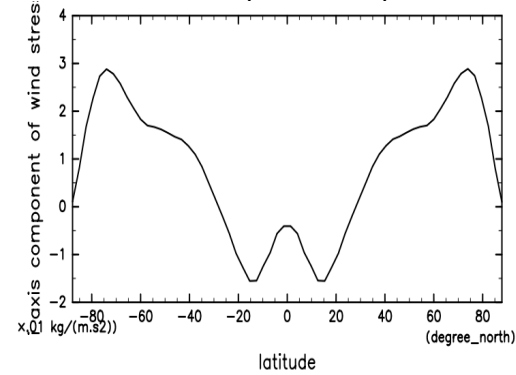
東西流, 温位



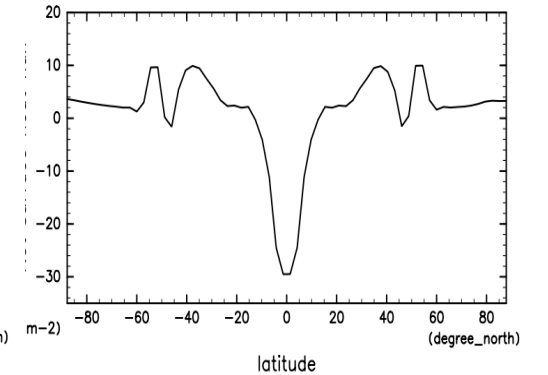
質量流線関数, 塩分



風応力(東西成分)



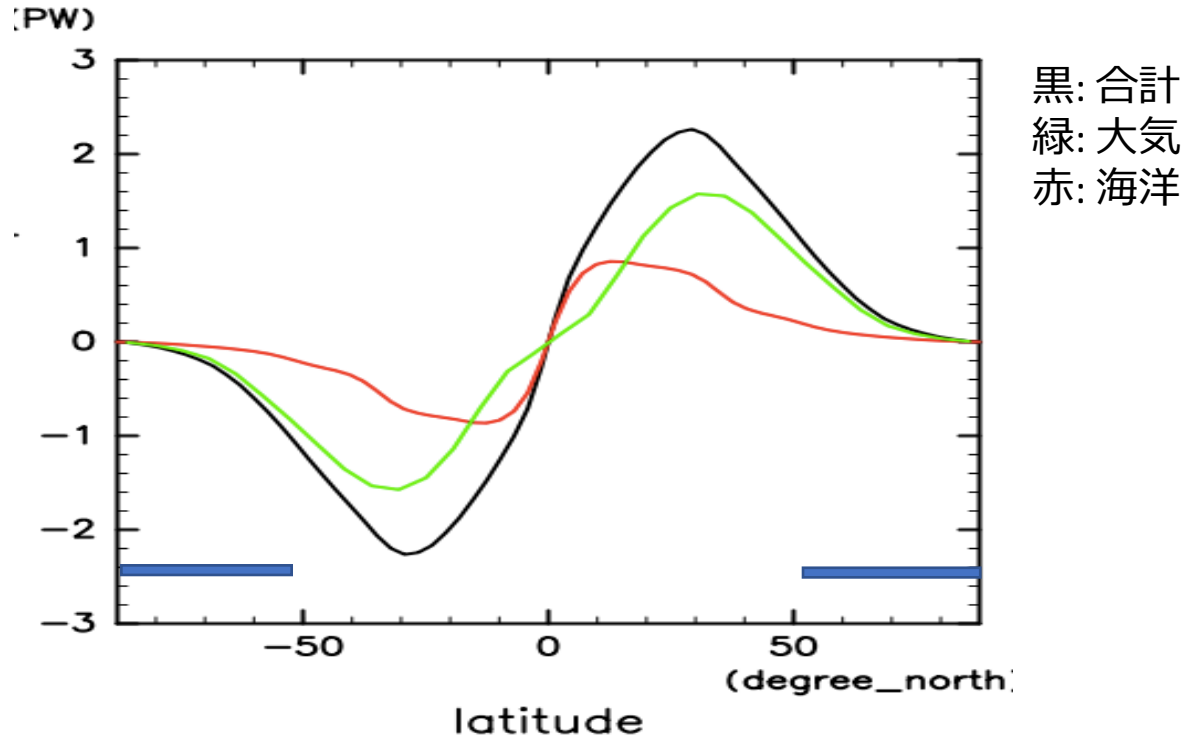
海面熱フラックス



- INTH98 大気設定で得られた結合系の特徴
 - 大気下層の風が弱いため, 海洋大循環よりも循環強度が小さい(Marshall らの計算と比べて 1/4 程度)
 - 亜熱帯の乾燥域が明瞭に現れない.

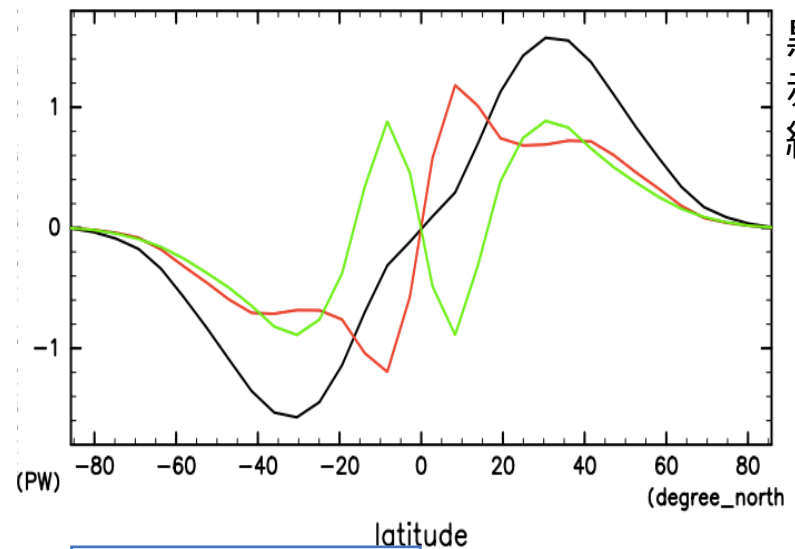
計算結果(DynOcnAxisym-IAFOff) ~ 南北熱輸送

* 最後の1万年間を時間平均



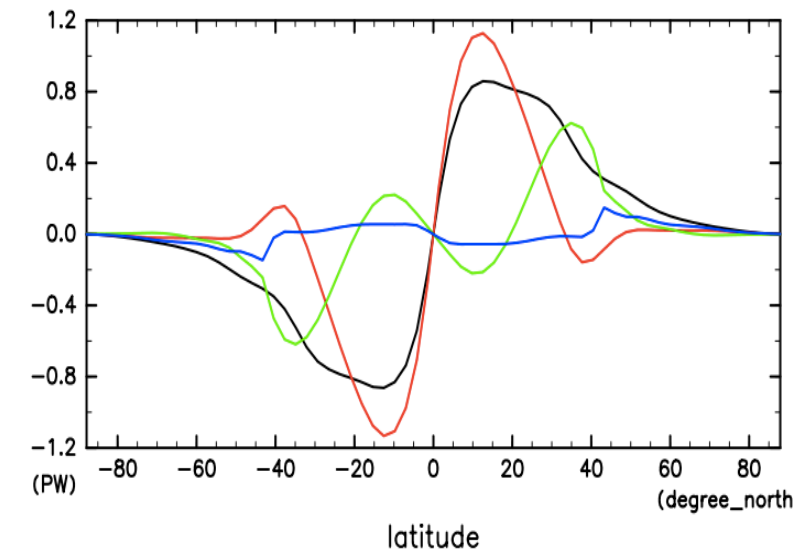
- 大気海洋合計の南北熱輸送の極大は, 2.2 PW で, Marshall たちの水惑星結合計算の 1/3 程度.
 - INTH98 大気設定の特徴?
- 南北熱輸送は, 低緯度では海洋, 中高緯度では大気が主に担う.
 - 海洋は, 大気海洋合計熱輸送の 1/3 程度を担う.

大気熱輸送の内訳



- 低緯度では, 顕熱輸送が極向きに熱を運ぶが, 大部分は赤道向きの潜熱輸送で打ち消される.
- 中高緯度では, 両方が極向きに熱を運ぶ.

海洋熱輸送の内訳



- 低緯度では子午面循環による熱輸送が卓越する一方で, 中緯度では中規模渦パラメタリゼーションによる熱輸送が卓越する,