平成 22 年度 卒業論文

南北両半球間を横断する水蒸気輸送と 降水量との関連性

Inter-hemispheric polarization of the precipitation in association with inter-hemispheric moisture transport

三重大学 生物資源学部

共生環境学科 自然環境システム学講座

地球環境気候研究室 507389

宮本 守

指導教員:立花 義裕 教授

要旨

第1章 序論......4 1-1 研究背景 1-2 研究目的 第2章 海洋と大気の気候偏差パターン.....5 2-1 エルニーニョ / ラニーニャ現象 2-2 エルニーニョ・南方振動 (ENSO) 2-3 PNA (Pacific / North American) パターン 第3章 使用データ......8 3-1 NCEP/NCAR 再解析データ 3-2 GPCP データ 2-3 NOAA ERSST V3 2-4 J-OFURO 第4章 研究手法.....12 4-1 赤道上での水蒸気フラックス 4-1-1 赤道上における水蒸気フラックスインデックスと降水量との関係性 4-1-2 赤道上における水蒸気フラックスインデックスとエルニーニョとの関係性 4-1-3 南北成分水蒸気フラックスの一周合計インデックスの上位と下位での傾向 4-1-4 SST 偏差 4-1-5 地上気圧偏差 4-2 北緯 20 度と南緯 20 度ラインでの水蒸気フラックス 4-2-1 北緯 20 度, 南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスと赤道でのインデックスとの関係 性 4-2-2 北緯 20 度, 南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスの上位の年の SST の傾向 4-2-3 上位の年の水蒸気の収束発散と地上気圧と降水量の関係性と応答 4-3 北緯 20 度から南緯 20 度までの全体で見た時の水蒸気フラックス 4-3-1 北緯20度+南緯20度の水蒸気フラックスインデックスから見た水蒸気の経路 4-3-2 北緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスと SST との相関 4-3-3 北緯20度+南緯20度の水蒸気フラックスインデックスと降水量,潜熱フラックス,500hPa ジオポテンシャル高度との相関図とその応答

第5章 解析結果......17

5-1 赤道上水蒸気フラックスと全球降水量

- 5-2 赤道通過時の水蒸気の経路
- 5-3 赤道通過時の水蒸気フラックスとエルニーニョ南方振動
- 5-4 赤道と北緯 20 度と南緯 20 度での各ラインの水蒸気の流れとその時の気候場との関係性
- 5-5 帯状全体の水蒸気の流れの経路と SST との相関関係
- 5-6 帯状全体の水蒸気の流れと降水量,潜熱,500hPaジオポテンシャル高度との相関関係と対応

謝辞

引用文献

要旨

赤道は熱的中心であることから、赤道を境として対称的に半球毎に閉じた水蒸気循環が起こっ ていると考えられる.しかし、水蒸気が赤道をまたいで北半球から南半球、もしくは、南半球か ら北半球に移流することも十分考えられる.その場合、降水量や海水塩分濃度の南北半球間の非 対称性を生み出すことになり、両半球でのコントラストが激しくなり、大気だけでなく海洋にも 大きな影響を与えることが考えられる.そのことから、両半球でのそれぞれの水蒸気の循環を見 るのではなく、両半球を行き来する水蒸気の流れを知り、そして、そのメカニズムを理解する必 要がある.そこで、本研究では両半球間を横断する水蒸気の流れと赤道から中緯度にかけての降 水量との関係を明らかにすることを目的とし、解析を行った.

解析結果から,赤道上で水蒸気が北向きに多く通過する時は太平洋東部,南向きに多く通過す る時は太平洋の中央から西部で通過し,水蒸気の経路が違うことがわかった.一方,水蒸気が赤 道から中緯度までの帯状で多く輸送される時は日本の南から南中央太平洋にかけての経路で,北 向きと南向きで同じ経路をたどることがわかった.つまり,比較的狭いスケールで見た時は複数 の水蒸気の経路をたどるが,広いスケールで見た時は,狭いスケールの複数の経路の存在が薄く なり,特定の経路が強く見られた.

水蒸気が帯状全体で北向きに多く輸送されるときを考える.その時の水蒸気の経路の上流であるオーストラリア大陸北東部での潜熱フラックスが激しいことから,この領域が水蒸気の供給源である可能性がある.また,北向きに多く輸送されるときの海面水温と 500hPa ジオポテンシャル高度を確認すると,エルニーニョと PNA パターン (Pacific / North American)が形成されやすい傾向があることがわかった.エルニーニョ現象が起こることによって,PNA パターンが形成されやすいと Horel and Wallace, 1981 で言われている.さらに、ラグ相関をとることにより,エルニーニョが起こると,その1年後に水蒸気が北向きに輸送されるというラグ関係が得られた.さらに、降水量を見てみると,水蒸気の経路の下流域である日本の南部と,PNA パターンの影響が出やすいアメリカ大陸北東部で降水量が多くなっている.以上,流れをまとめると,エルニーニョ現象が起こると,その一年後に水蒸気が北向きに多く輸送されやすい.また,PNA パターンも形成されやすい傾向にある.この PNA パターンと北向き水蒸気輸送が合わさることにより、日本の南部とアメリカ大陸北東部で降水量が多い可能性が示唆された.

1章 序論

1-1 研究背景

赤道は熱的中心であることから、年間を通して受ける太陽エネルギーは北半球と南半球で赤道を 中心にほぼ等しいと言える.また、それに伴い、赤道帯から極にかけての熱エネルギーの供給量 の差から、図-1のように赤道を境として対称に大気循環していることは知られている.この時、大 まかには各々の半球毎に閉じた水蒸気循環が起こっていると考えられる.しかし、水蒸気が赤道 をまたいで北半球から南半球、もしくは、南半球から北半球に移流することも十分考えられる. その場合、降水量や海水塩分濃度の南北半球間の非対称性を生み出すことになり、両半球でのコ ントラストが激しくなり、大気だけでなく海洋にも大きな影響を与えることが考えられる.このこと から、両半球間の水蒸気の移流は大気だけでなく海洋にも大きな影響を与えることが予測される. しかしながら、局所的な水蒸気の移流による影響の研究は多いが、このようにラージスケールで 水循環を考える研究は比較的少ない.そのことから、両半球でのそれぞれの水蒸気の循環を見る のではなく、両半球を行き来する水蒸気の流れを知り、そのメカニズムを理解する必要がある.



図-1 大気大循環の模式図

1-2 研究目的

本研究は南半球の中高緯度から赤道,そして,北半球の中高緯度にかけて,どれだけ水蒸気が 輸送されているのか,また,その時に水蒸気がどのような領域を通過しているのかを確認する. そして,両半球での水蒸気の移流が顕著に見られる原因とメカニズムを探り,両半球の中緯度か ら高緯度にかけての降水量の応答を見る.つまり,グローバルな両半球の水蒸気の移流がどのよ うな原因によって,中高緯度の降水に影響を与えるのかを探ることを本研究の目的とする.

2章 海洋と大気の気候偏差パターン

2-1 エルニーニョ / ラニーニャ現象

エルニーニョ現象とは、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米のペルー沿岸にかけての広い 海域で海面水温が平年に比べて高くなり(図-2の左),その状態が1年程度続く現象のことを言 う.逆に、同じ海域で海面水温が平年より低い状態が続く現象(図-2の右)はラニーニャ現象と 呼ばれている.ひとたびエルニーニョ現象やラニーニャ現象が発生すると、日本を含め世界中で 異常な天候が起こると考えられている.



(気象庁より)

図-2 1997年11月の月平均海面水温平年偏差(左)及び,1988年12月の月平均海面水温平年 偏差(右)

2-2 エルニーニョ・南方振動 (ENSO)

海面気圧が南太平洋東部で平年より高い時はインドネシア付近で平年より低く,南太平洋東部 で平年より低い時は,インドネシア付近で平年より高くなるというシーソーのような気圧の変動 をしており(図-3),南方振動と呼ばれている.南方振動は貿易風の強弱に関わることから,エル ニーニョ/ラニーニャ現象と連動して変動しることが知られている.このため、南方振動とエルニ ーニョ/ラニーニャ現象を大気と海洋の一連の変動として見るとき,エルニーニョ・南方振動 (ENSO) と一般的に言われている.



(気象庁より)

図-3 ダーウィンと世界各地の年平均海面気圧偏差の相関係数

2-3 PNA (Pacific / North American) パターン

図-4 に示したように冬季の赤道太平洋の海面水温の異常がはるか北米大陸に及んで寒冬をもた らす大規模なテレコネクションである.この波動は定在性波動であり,高気圧と低気圧が互いに 幾つか連なったもので,中・高緯度であれば偏西風強風帯の位置の変化をもたらす.PNAの発生 源が熱帯太平洋上の海面水温にあることから,ENSOとの関係も深いと考えられる(Horel and Wallace, 1981).熱帯太平洋での海面水温の異常が赤道上の対流活発域の移動を引き起こし,そ れによって生じたロスビー波のエネルギー伝播によって北アメリカに達するテレコネクション PNA が形成される.



(気象庁より)

図-4 12,1,2月の冬平均 500hPa 高度偏差との回帰係数(線)と相関係数(陰影)を示しており, PNA パターンの典型例を示している.

3章 使用データ

3-1 NCEP/NCAR 再解析データ

再解析データとは長期の気候変動研究などを目的として,作られる格子点気象データで,過去 数十年間の気象観測データを入力し,同一の数値気象モデルを使って格子点化したものである. NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) 再解析データは 1948 年から現在までの1日6時間ごと (UTC00,06,12,18) のデータで ある. 解像度が 2.5°×2.5°で,物理量は多数あるが,今回,本研究では地上気圧,500hPa ジオポ テンシャル高度と(Tachibana et al., 2008), (Oshima, K., and K. Yamazaki, 2006) で使用され, NCEP/ NCAR 再解析データ I のデータで作成された水蒸気フラックスデータを使用した. 期間は 1979 年 から 2007 年の期間で年平均のデータを使用している.例として,1979 年から 2007 年までの地上 気圧平均を示す (図-5).



(unit : hPa)

3-2 GPCP データセット

GPCP (Global Precipitation Climatology Project) データセットは多種類の衛星観測データと地上 の雨量計データとを組み合わせた降水量の格子点データセットであり、1979 年から現在までの月 平均データとして公開され、解像度は 2.5°×2.5°ある.現在のバージョンはバージョン 2 である. 今回、本研究では NCEP/NCAR 再解析データと同じく 1979 年から 2007 年の間の期間で年平均 のデータを使用した.例として、1979 年から 2007 年までの降水量平均を示す (図-6).



(unit : mm/day)

3-3 NOAA ERSST V3

NOAA ERSST V3 (National Oceanic and Atmospheric Administration Extended Reconstructed Sea Surface Temperature Version 3) はアメリカ合衆国商務省の機関のひとつであり,海洋と大気の 状態を専門としている国立海洋大気圏局 (NOAA) が公開している気象データである. 解像度が 2.0°×2.0°で, 1954 年から現在まで,月平均データとして公開されている. 今回,本研究では NCEP / NCAR 再解析データと同じく 1979 年から 2007 年の間の期間で年平均の海面水温 (SST) データ を使用した. 例として, 1979 年から 2007 年までの SST 平均を示す (図-7).



図-7 1979 年から 2007 年までの SST における年平均の気候値

(unit : ℃)

3-4 J-OFURO

J-OFURO (Japanese Ocean Flux Data sets with Use of Remote Sensing Observations) は顕 熱フラックスや潜熱フラックスなどの熱フラックスだけでなく、東西運動量フラックス、南北運 動量フラックスといった運動量フラックスの地表面データが公開されている. 解像度は 1.0°×1.0° であり、また、1988 年から 2006 年まで月平均データとして公開されている. 今回、本研究での 対称期間は 1979 年から 2007 年の間の期間を対象としているが、1988 年から 2006 年までしか公 開されていないため、その期間の潜熱フラックスデータを使用した. 例として、1988 年から 2006 年までの潜熱フラックス平均を示した (図-8).



図-8 1988 年から 2006 年までの潜熱フラックスにおける年平均の気候値 (unit:kg/m/s)

4章 解析手法

4-1 赤道上での水蒸気フラックス

4-1-1 赤道上における水蒸気フラックスインデックスと降水量との関係性

水蒸気フラックスの年平均を赤道上でのラインで一周合計する.その値を 1979 年から 2007 年 までの 29 年の期間で標準化する.また,このインデックスは北向きを正とした.このインデック スにより,どの年に水蒸気が南北に赤道を通過したかを確認することができる.

次に,降水量の年平均を北半球と南半球それぞれで領域平均する.そして,北半球から南半球 を引いた値を 1979 年から 2007 年までの 29 年の期間で時系列にして表す.北半球と南半球の差を とることで,両半球の降水量の増減が顕著に表れるようにした.

この水蒸気フラックスインデックスと降水量の時系列とで相関をとり、赤道を通過し、水蒸気 が北半球から南半球、または、南半球から北半球へ移流するとき、全球の降水量がどう変化する か確認する.

4-1-2 赤道上における水蒸気フラックスインデックスとエルニーニョとの関係性

SST の年平均を西経 70 度から西経 90 度, 南緯 3 度から南緯 9 度の範囲 (ペルー沖) で領域平均 する. その値を 1979 年から 2007 年までの 29 年の期間で時系列にして表す. そして, このエルニ ーニョインデックスと南北成分水蒸気フラックスの一周合計インデックスとの相関をとり, 前後 一年のラグ相関を求める. このことで, 水蒸気の南北の流れとエルニーニョとの関係性を導く.

4-1-3 南北成分水蒸気フラックスの一周合計インデックスの上位と下位での傾向

まず、上で述べた赤道における南北成分水蒸気フラックスの一周合計インデックスの上位5年 (1979,2002,2003,2004,2006) と下位5年 (1983,1984,1985,1992,1998) を抽出する (図-9参照). そ して、このインデックスの標準偏差が±0.5 以内の年 (1986,1987,1990,1993,1994,1995,

1996,1997,1999,2000,2001) を平均とする.

次に、上位5年から平均を引くことにより上位5年の傾向を見る. つまり、水蒸気が赤道を北 向きに多く通過する時の水蒸気の流れの世界分布を見る. また、下位5年から平均を引くことに より下位5年の傾向を見る. つまり、水蒸気が赤道を南向きに多く通過する時の水蒸気の流れの 世界分布を見る.

4-1-4 SST 偏差

前で述べた水蒸気フラックスと同じように,SSTでもインデックスの上位5年から平均を引く ことにより上位5年の傾向を見る.つまり,水蒸気が赤道を北向きに多く通過する時のSSTの傾 向を見る.また,下位5年から平均を引くことにより下位5年の傾向を見る.つまり,水蒸気が 赤道を南向きに多く通過する時のSSTの傾向を見る.

4-1-5 地上気圧偏差

前で述べた水蒸気フラックスと同じように,地上気圧でもインデックスの上位5年から平均を 引くことにより上位5年の傾向を見る.つまり,水蒸気が赤道を北向きに多く通過する時の地上 気圧の傾向を見る.また,下位5年から平均を引くことにより下位5年の傾向を見る.つまり, 水蒸気が赤道を南向きに多く通過する時の地上気圧の傾向を見る.



図-9 1979 年から 2007 年の間での赤道上における南北成分水蒸気フラックスの一周合計し,標準 化したインデックス

4-2 北緯 20 度と南緯 20 度ラインでの水蒸気フラックス

赤道を流れている水蒸気はどの経路をたどって流れてきたのか,また,流れていくのかを確認 する必要がある.赤道周辺という狭いスケールから少し視野を広くして,北緯20度と南緯20度 のラインまでスケールを大きくして見てみる.

4-2-1 北緯 20 度, 南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスと赤道でのインデックスとの 関係性

水蒸気フラックスの年平均を北緯 20 度と南緯 20 度のラインでそれぞれ一周合計する.その値 を 1979 年から 2007 年までの 29 年の期間で標準化し、インデックスを作成する (図-10 参照).そ して、この 2 つのインデックスと 4-1-1 で述べた赤道でのインデックスとでそれぞれ相関をとり、 関係性を探る.



図-10 1979 年から 2007 年の間での北緯 20 度の水蒸気フラックスの一周合計し,標準化したイン デックス (左図) と南緯 20 度の水蒸気フラックスの一周合計し,標準化したインデックス (右図)

4-2-2 北緯 20 度, 南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスの上位の年の SST の傾向

4-2-1 で述べた北緯 20 度と南緯 20 度のラインでの水蒸気フラックスインデックスの上位 5 年の年 (北緯 20 度:1981,1983,1998,1999,2005 南緯 20 度:1980,1983,1993,1994,1998) をそれぞれ抽出する. そして,このインデックスの標準偏差が±0.5 以内の年 (北緯 20 度:1979,1980,1982,1985,

1987,1992,1994,1997,2001,2002,2003,2006,2007 南緯 20度: 1979,1982,1984,1986,1987,1990,1995, 2006) をそれぞれ平均とする (図-10参照).

次に,SSTにおけるインデックスでの上位5年の年から平均の年を引くことにより,上位5年のSSTの傾向を見る.つまり,水蒸気が北緯20度と南緯20度をそれぞれ北向きに多く通過する時のSSTの傾向を見る.

4-2-3 上位の年の水蒸気の収束発散と地上気圧と降水量の関係性と応答

先ほどと同じように、上位5年と平均の水蒸気フラックスの偏差をとり、上位の年の水蒸気の 南北成分収束発散の傾向を見る.つまり、水蒸気が北緯20度と南緯20度をそれぞれ北向きに多 く通過する時の収束発散する傾向の高い領域を探る.また、その時の地上気圧偏差も確認し、水 蒸気の収束発散と地上気圧がどのように関係しているか確認する.

降水量も同じようにして,水蒸気が北緯20度と南緯20度をそれぞれ北向きに多く通過する時 の降水量の傾向を見て,収束発散している領域との応答を見てみる.

4-3 北緯 20 度から南緯 20 度までの全体で見た時の水蒸気フラックス

先程は北緯 20 度と南緯 20 度の各々のラインで見ていたが、今回は北緯 20 度から南緯 20 度ま での帯状全体で水蒸気が両半球間で移流した時を考える.そのことで、中高緯度まで水蒸気が流 れることによる影響を考えていく.

4-3-1 北緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスから見た水蒸気の経路

4-2-1 で述べた北緯 20 度と南緯 20 度のラインでの水蒸気フラックスの一周合計の二つの時系列 を合計する.その合計した時系列を標準化し、インデックスを作成する.これを北緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスとする (図-11).この北緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラ ックスインデックスと水蒸気フラックスの相関とり、t 検定による有意性を確認する.これにより、 北緯 20 度から南緯 20 度までの帯状全体で多くの水蒸気が移流した時の水蒸気の流れを確認する ことができる.



図-11 1979 年から 2007 年の間での一周合計した北緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスの標 準化したインデックス

4-3-2 北緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスと SST との相関

4-3-1 と同じように緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスと SST の相関をとり, t 検定による有意性を確認する.これにより,北緯 20 度から南緯 20 度までの帯状全体で多くの水 蒸気が移流した時の 500hPa ジオポテンシャル高度の傾向をつかむことができる.また,4-1-2 で 述べたエルニーニョインデックスとこの緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスの 相関と前後一年のラグ相関を求める.このことで,SST と帯状全体の水蒸気フラックスの間にど のような関係性があるのか確認する.

4-3-3 北緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスと降水量, 潜熱フラックス, 500hPa ジオポテンシャル高度との相関図とその応答

4-3-1 と同じように緯 20 度+南緯 20 度の水蒸気フラックスインデックスと降水量, 潜熱フラックス, 500hPa ジオポテンシャル高度の相関をとり, t 検定による有意性を確認する. これにより, 北緯 20 度から南緯 20 度までの帯状全体で多くの水蒸気が移流した時のそれぞれの気候場の傾向 をつかむことができる.また, それぞれの気候場を比較し, 両半球で降水量が移流する時はどの ようなメカニズムで移流して, 降水をもたらすのかを確認する.

5章 解析結果

5-1 赤道上水蒸気フラックスと全球降水量

図は 4-1-1 で作成した赤道水蒸気フラックスインデックス (図-12 の赤線) と降水量の北半球と 南半球の差の時系列 (図-12 の青線) を示している. 両者の間には相関係数が 0.86 という非常に高 い相関が得られた.



図-12 1979 年から 2007 年の間での赤道水蒸気フラックスインデックス (赤線) と 降水量の北半球引く南半球をした差の時系列 (青線)

5-2 赤道通過時の水蒸気の経路

4-1-4 より,赤道を北向きに多く通過する時の南北成分水蒸気フラックス (図-13 の左) を見てみ ると、ペルー沖で多く水蒸気が北向きに流れていることがわかる.また、赤道を南向きに多く通 過する時の南北成分水蒸気フラックス (図-13 の右) を見てみると、太平洋の中央から西部で多く 水蒸気が南向きに流れていることがわかる.このことから、水蒸気が多く赤道を通過する時、北 向きと南向きで、同じ経路を通らないことがわかる.



図-13 赤道での水蒸気インデックスの上位5年から気候値を引いた南北成分水蒸気フラックス偏差 差(左)と下位5年から気候値を引いた南北成分水蒸気フラックス偏差(右)

5-3 赤道通過時の水蒸気フラックスとエルニーニョ南方振動

4-1-2 で述べたエルニーニョインデックス (図-14 の青線) と赤道水蒸気フラックスインデックス (図-14 の赤線) との同時相関をとったところ,良い相関が得られなかったので,前後一年の ラグ相関をとった.そうすると,エルニーニョインデックスを一年遅らせたラグ相関が-0.55 と いう同時相関に比べて高い負の相関が得られた (図-14 参照).

また、赤道を北向きに多く通過する時の SST 偏差 (図-15 の上) を見てみると、エルニーニョの 影響が見られないのに対して、赤道を南向きに多く通過する時の SST 偏差 (図-15 の下) を見てみ ると、エルニーニョの影響が見られる. その時の地上気圧偏差 (図-16) を見てみると、南方振動 していることがわかった. このことから、水蒸気が赤道を南向きに多く流れる時と ENSO との間 に関係性が見られ、さらに、エルニーニョ発生の一年後に水蒸気が南向きに多く流れるというラ グ関係が確認できた.



図-14 1979 年から 2007 年の間でのエルニーニョインデックス (青線) と赤道水蒸気フラックス インデックス (赤線)



図-15 上図は赤道での水蒸気インデックスの上位5年から気候値を引いたSST 偏差(陰影)と水 蒸気フラックス偏差(矢印)を示している.下図は下位5年から気候値を引いたSST 偏差(陰影) を示している.赤道を北向き(上)と南向き(下)に多く通過する時のSST 偏差(陰影)と 水蒸気フラックス偏差(矢印)



図-16 赤道での水蒸気インデックスの下位5年から気候値を引いた地上気圧偏差(陰影)と水蒸 気フラックス偏差(矢印)

5-4 赤道と北緯20度と南緯20度での各ラインの水蒸気の流れとその時の気候場との関係性

赤道水蒸気フラックスインデックスから北緯20度と南緯20度水蒸気フラックスインデックスの それぞれで相関をとった.赤道水蒸気フラックスインデックスと北緯20度水蒸気フラックスイン デックスの相関が-0.43,南緯20度水蒸気フラックスインデックスの相関が-0.45というそれぞれ 負の相関が得られた.このことから,仮に水蒸気が赤道を南に多く通過した場合は北緯20度では 北に多く通過することになり,赤道から北緯20度の範囲では発散傾向の可能性がある.その時の 南緯20度でも北に多く通過することになり,赤道から南緯20度の範囲では収束傾向の可能性がある.

また、4-2-2より図で北緯20度と南緯20度の各ラインで北向きに水蒸気が多く通過する時のSST の傾向を示した. 北緯20度の方(図-17の上)を見てみると、エルニーニョとラニーニャの移行期 の影響を受けていることがわかる. さらに、太い矢印の方向に特に強く水蒸気が流れていること がわかる. さらに、南緯20度の方(図-17の下)を見てみると、やはり、エルニーニョの影響があ ることがわかる. そして、太い矢印の方向に特に強い水蒸気の流れがみられた. よって、北緯20 度と南緯20度の強い水蒸気の流れに着目して、その領域を詳しく見てみる.

図-18の左の図はその領域での,北緯20度で北向きに水蒸気が多く通過する時の地上気圧と水蒸 気の収束発散を示したものである.インドネシア半島の東部で高気圧偏差が存在し,そのことで, インドネシア半島上で発散傾向があることがわかった.また,図-18の右の図は先ほどの領域での 南緯20度で北向きに水蒸気が多く通過する時のものを示している.インドネシア半島の東部から 南東方向に高気圧,低気圧,高気圧偏差が広がっていることがわかった.このことから,高気圧 から低気圧に水蒸気が流れ込み,南中央太平洋のあたりで収束していることがうかがえた.

図-19の左の図は北緯20度で北向きに水蒸気が多く通過する時の降水量の傾向を示したもので ある.先ほどの発散していた領域で,降水量が少なくなっている.また,図-19の右の図は南緯20 度の時のものだが,収束していた領域で,降水量が多くなっており,北緯20度と南緯20度で,共 に収束発散領域に対する降水量の応答が見られた.



図-17 上図は北緯20度での水蒸気インデックスの上位5年から気候値を引いたSST偏差(陰影) と水蒸気フラックス偏差(矢印)を示している.下図は南緯20度での水蒸気インデックスの上位5 年から気候値を引いたSST偏差(陰影)と水蒸気フラックス偏差(矢印)を示している.太い矢印 はこの領域での強い水蒸気の流れを示している.



図-18 左図は北緯20度での水蒸気インデックスの上位5年から気候値を引いた水蒸気フラックス 偏差の収束発散(陰影)と地上気圧偏差(線)を示している.右図は南緯20度での水蒸気インデッ クスの上位5年から気候値を引いた水蒸気フラックス偏差の収束発散(陰影)と地上気圧偏差 (線)を示している.太い矢印はこの領域での強い水蒸気の流れを示している.



図-19 北緯20度での水蒸気インデックスの上位5年から気候値を引いた降水量偏差(上図)と 南緯20度での水蒸気インデックスの上位5年から気候値を引いた降水量偏差(下図)

5-5 帯状全体の水蒸気の流れの経路とSSTとの相関関係

4-3-1で作成したインデックスと水蒸気フラックスの相関図から、水蒸気が帯状全体で輸送され た時の水蒸気の経路を示している (図-20).帯状全体で輸送された時の水蒸気の経路は日本の南か ら南中央太平洋にかけての経路 (図-20の太い矢印)をとることがわかった.また、SSTとの相関 図 (図-21)から、エルニーニョ/ラニーニャ現象の影響が見られた.また、4-3-2より、エルニーニ ョインデックスと北緯20度+南緯20度水蒸気インデックスを一年早めたものとでラグ相関をとっ たところ (図-22参照),0.70という同時相関に比べ非常に高い相関が得られた.このことから、 エルニーニョ (ラニーニャ)の一年後に帯状全体で水蒸気が北向き(南向き)に多く通過すること が言える.



図-20 北緯20度+南緯20度水蒸気フラックスインデックスと南北成分水蒸気フラックスの相関 図を示している.線が相関係数,陰影が有意性を示している.矢印は北緯20度+南緯20度インデ ックスの上位5年から下位5年を引いた水平水蒸気フラックス偏差を示している.また,太い矢印 は強い水蒸気の流れを示している.



図-21 北緯20度+南緯20度インデックスとSSTの相関図を示している.線が相関係数,陰影が有意性を示している.



図-22 1979年から2006年の間のエルニーニョインデックス (青線) と1980年から2007年の間の北 緯20度+南緯20度水蒸気フラックスインデックス (赤線)

5-6 帯状全体の水蒸気の流れと降水量, 潜熱, 500hPaジオポテンシャル高度との相関関係と 対応

4-3-3で作成した、インデックスと降水量の相関図から、水蒸気が帯状全体で輸送された時の降水量の傾向を示している(図-23参照).まず、熱帯域の正の相関が目につくが、これはエルニーニョそのものの影響だと考えられる.次に目につくのが日本の南部と北アメリカ西海岸領域の正の相関である.この原因を考えるために図の黒の四角で囲んだ領域、つまりは先ほどの水蒸気の経路の上流である領域の潜熱フラックスに着目してみた.その結果、正の相関が得られた(図-24参照).このことから、帯状全体で水蒸気が北向きに多く通過する時は水蒸気の経路の上流(オーストラリア大陸の北東部)が水蒸気の供給部になり、図の水蒸気の経路に沿って流れ、日本の南部に降水をもたらす可能性があると言える.また、インデックスと500hPaジオポテンシャル高度との相関を示した図-25である.確認すると、PNAパターン(Horel and Wallace, 1981)に非常に似た気圧配置をとっていることに気付く.そのことから、帯状全体で水蒸気が北向きに多く通過する時はPNAパターンが形成される場合があり、そのことで等ジオポテンシャル線に沿って水蒸気が流れ、日本の南部と北アメリカ西海岸領域に降水をもたらす可能性を示唆している.



図-23 北緯20度+南緯20度水蒸気フラックスインデックスと降水量の相関図を示している.線が 相関係数,陰影が有意性を示している.流線は北緯20度+南緯20度インデックスの上位5年から下 位5年を引いた水平水蒸気フラックス偏差を示している.



図-24 北緯20度+南緯20度水蒸気フラックスインデックスと潜熱フラックスの相関図を示して いる.線が相関係数,陰影が有意性を示している.



図-25 北緯20度+南緯20度水蒸気フラックスインデックスと500hPaジオポテンシャル高度の相 関図を示している.線が相関係数,陰影が有意性を示している.

6章 考察とまとめ

全球の降水量の時系列と赤道の水蒸気インデックスから、赤道上での水蒸気輸送によって、全 球の降水量の南北半球の非対称性の全変動の70%以上が説明される.また、赤道で水蒸気が多く 輸送されるときの経路は北向きの時ではペルー沖で、南向きの時では中央から西太平洋を通り、 違う経路をとることがわかった.それに対し、北緯20度から南緯20度の帯状全体で水蒸気が輸送 されるときの経路は日本の南部からオーストラリア沖の南中央太平洋を通過し、北向きと南向き で同じ経路をたどっていると言える.このことから、赤道という比較的狭いスケールで見た時は 複雑な水蒸気の経路が存在するが、帯状全体という比較的広いスケールで見た時は一本の水蒸気 経路に収束することがわかる.そして、仮に水蒸気が赤道を南に多く通過した場合は、赤道から 北緯20度の範囲では発散傾向、赤道から南緯20度の範囲では収束傾向がある可能性を示した.さ らに、絞り込み、赤道から北緯20度の範囲ではインドネシア半島北東部で発散帯、赤道から南緯 20度の範囲では南中央太平洋に収束帯を確認した.まとめると、南緯20度でオーストラリア沖の 南中央太平洋で北向きに水蒸気が多く通過する.その一部は収束帯に収束されるが、残りは赤道 を通過すると考えられる.赤道を通過した水蒸気は発散帯により曲げられながら日本の南部にま で輸送される可能性がうかがえる.

北緯20度から南緯20度の中での降水量の傾向を見てみると,北緯20度の時はインドネシア半島 北東部の発散帯で降水量が少なく,南緯20度の時は南中央太平洋の収束帯で降水量が多くなって おり,収束発散域が降水帯に対して応答していることが確認できた.帯状全体で水蒸気が多く通 過した時の中緯度にもたらす降水量の影響は日本の南部と北アメリカ西海岸領域で確認できた. 帯状全体での水蒸気の経路の上流である領域で水蒸気の供給されており,そして,経路の下流部 の日本南部に降水をもたらす可能性があることを示唆している.また,500hPaジオポテンシャル 高度の相関図より,PNAパターン (Horel and Wallace, 1981) に非常に似た気圧パターンが見られた. そのことから,帯状全体で水蒸気が北向きに多く通過する時はPNAパターンが形成される場合が あり,そのことで等ジオポテンシャル線に沿って水蒸気が流れ,日本の南部と北アメリカ西海岸 領域に降水をもたらす可能性を示唆している.

SSTの傾向に関しては、各ラインでエルニーニョ/ラニーニャ現象の影響が見られた.また、エルニーニョ/ラニーニャ現象と帯状全体の水蒸気輸送ラグ関係が存在した.このことから、エルニーニョ (ラニーニャ)の一年後に帯状全体で水蒸気が北向き (南向き) に多く通過することが言える.

これらのことをまとめると、エルニーニョ/ラニーニャ現象が起こると、PNAパターンが形成される傾向がある (Horel and Wallace, 1981). エルニーニョ/ラニーニャ現象から一年遅れて、水蒸気が帯状全体で北向き (南向き) に輸送される.水蒸気が輸送されることとPNAパターンの影響によって、中緯度帯で降水をもたらす可能性を示唆している.

謝辞

本研究を始めるにあたって、水蒸気フラックスデータを提供していただいき、また、本研究の アドバイスをしていただいた北海道大学博士研究員の大島和裕氏には深く感謝の意を示します.

研究を進めるにあたっては、立花義裕教授には様々なゼミや発表会を通して、気象学に関する 専門的知識だけではなく、解析手法、発表の仕方など細かく丁寧にご指導いただき、大変感謝し ております.自然環境システム学講座の先生方には合同ゼミで、アドバイスをいただいただけで なく、授業等で様々な知識を勉強させていただきましたことを深く感謝いたします.

地球環境気候学研究室の先輩方には、プログラムの組み方や発表のスライドのアドバイスという研究面のことから、ゼミや学会の生活面でも、大変お世話になりましたことを厚く感謝いたします.また、最後に、同級生とは観測や日々の研究で切磋琢磨し、お互いに助け合いながらここまでやってこれたことを嬉しく思います.

引用文献

 気象庁:http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/2005/a3.2.html http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/faq/whatiselnino.html

• Horel, John D., John M. Wallace, 1981, Planetary-Scale Atmospheric Phenomena Associated with the Southern Oscillation, Mon. Wea. Rev., 109, 813–829.

• Tachibana, Y., K. Oshima, and M. Ogi, 2008, Seasonal and interannual variations of Amur River discharge and their relationships to large-scale atmospheric patterns and moisture fluxes, Journal of Geophysical Research, 113, D16102.

• Oshima, K., and K. Yamazaki, 2006, Difference in seasonal variation of net precipitation between the Arctic and Antarctic regions, Geophys. Res. Lett., 33, L18501.