

2011年夏の世界の天候と大気循環

田中 昌太郎・大野 浩史・萱場 互起（気象庁・気候情報課）

1. はじめに

2011年の夏（6～8月）は、米国南部の高温・少雨、ヨーロッパ中部や朝鮮半島付近の多雨等が異常天候¹に類する現象だった（第1図上）。日本やロシア西部の記録的な高温をはじめとして世界各地で異常天候が発生した2010年夏（第1図下）と比較して、2011年夏の異常天候の発生地域は少なかった。

以下、第2章で利用データを示し、第3章で2011年夏の海面水温と大気循環場の特徴を概観する。第4章では米国南部の高温・少雨について解析した結果をまとめる。

2. データ

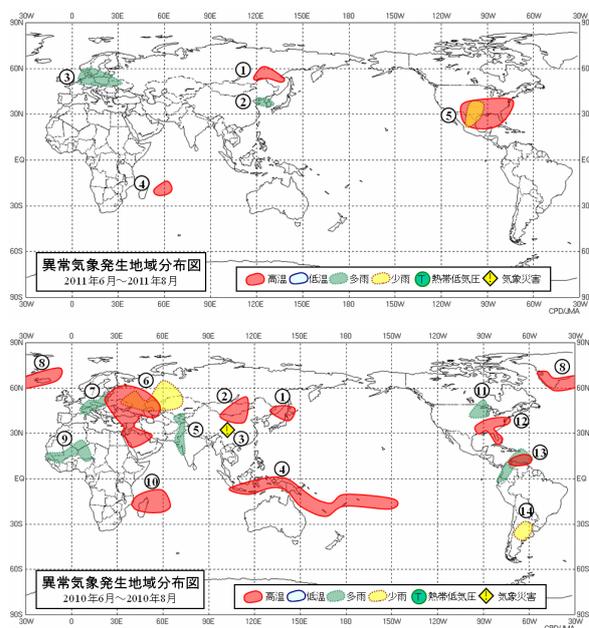
地上観測値は、CLIMAT 報及びSYNOP 報のデータを用いた。海面水温はCOBE-SST（気象庁 2006）、大気循環場はJRA/JCDAS（Onogi et al. 2007）データを利用した。また、対流活動の指標として、米国海洋大気庁（NOAA）から提供されている外向き長波放射量（OLR）を用いた。平年値は、いずれも1981～2010年の平均値である。

3. 2011年夏の循環場

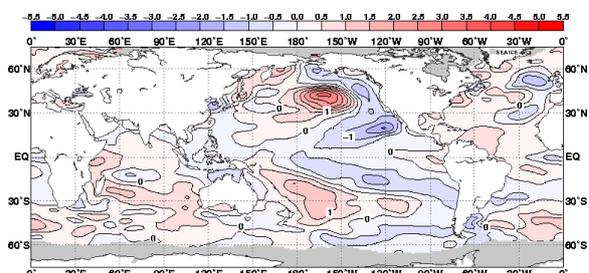
3.1 海面水温

2010年夏に発生したラニーニャ現象²は2011年春に終息し、2011年夏はエルニーニ

ョ／ラニーニャ現象は発生していなかったが、中部から東部太平洋熱帯域の海面水温は東部の赤道域の一部を除いて平年より低かった（第2図）。インド洋熱帯域の海面水温は、西部の赤道域で平年より高かったが、熱帯域全体で平均すると平年並だった。大西洋熱帯域の海面水温は、南米の北海上を中心に平年より高かった。



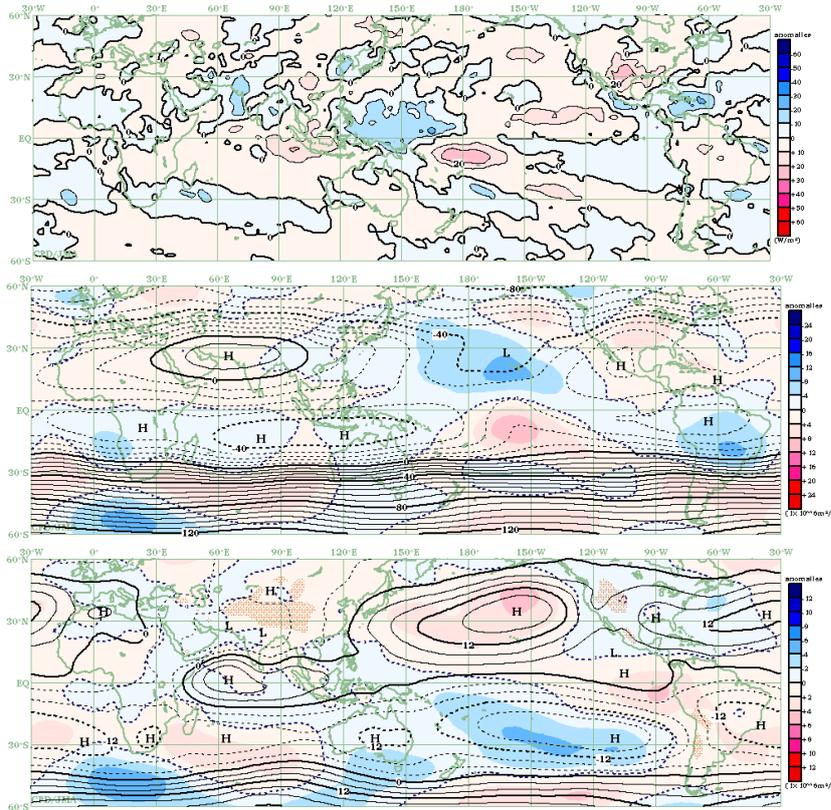
第1図 2011年6～8月(上)と2010年6～8月(下)の異常気象発生地域分布



第2図 3か月平均海面水温平年偏差（2011年6～8月）
等値線間隔は0.5°C。灰色ハッチは海水域を表す。

¹ ここでは、30年に1回程度の割合で発生する現象を指す。

² 気象庁では、NINO.3（5°S-5°N, 150°W-90°W）をエルニーニョ監視海域とし、NINO.3の海面水温の基準値（前30年間の平均値）との差の5か月移動平均値が6か月以上続けて+0.5°C以上となった場合をエルニーニョ現象、-0.5°C以下となった場合をラニーニャ現象と定義。



第3図 3か月平均外向き長波放射量 (OLR) 平年偏差 (2011年6~8月)

等値線の間隔は $10\text{W}/\text{m}^2$ 。熱帯域では、負偏差 (寒色) 域は積雲対流活動が平年より活発で、正偏差 (暖色域) は平年より不活発と推定される。

第4図 3か月平均200hPa流線関数・平年偏差 (2011年6~8月)

等値線は実況値を表し、間隔は $8 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ 。陰影は平年偏差を表し、北半球 (南半球) では、暖色は高気圧 (低気圧) 性循環偏差、寒色は低気圧 (高気圧) 性循環偏差を示す。

第5図 3か月平均850hPa流線関数・平年偏差 (2011年6~8月)

等値線は実況値を表し、間隔は $4 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ 。陰影は平年偏差を表し、北半球 (南半球) では、暖色は高気圧 (低気圧) 性循環偏差、寒色は低気圧 (高気圧) 性循環偏差を示す。

3.2 熱帯の対流活動と大気循環

熱帯の対流活動 (第3図) は、太平洋西部、中米からカリブ海で平年より活発、インド洋東部と太平洋中部から東部で不活発だった。アジアモンスーン域ではベンガル湾やアラビア海東部で平年より活発だった。

対流圏上層 (第4図) では、太平洋中部で顕著な低気圧性循環偏差が見られ、ミッドパシフィックトラフが明瞭だった。チベット高気圧は西側で平年より強かった。対流圏下層 (第5図) では、太平洋の高気圧性循環が平年より強かった。インド洋北部のモンスーン偏西風は平年より強く、フィリピン付近のモンスーントラフは明瞭だった。太平洋西部から中部のウォーカー循環は平年より強かった。

赤道季節内振動は、一か月より短い周期で東進する変動が季節を通して明瞭だった。また、太平洋西部では2~3週間周期の季

節内変動が卓越した (大野ら 2011)。

3.3 北半球中・高緯度の大気循環

海面気圧 (第6図) を見ると、ユーラシア大陸や北米大陸は低気圧偏差、太平洋は高気圧偏差となり、海陸のコントラスト (太平洋は高気圧、大陸は低気圧) が平年より強かった。フィリピン付近からの波列パターン (PJパターン) (第11図) やアジアジェット気流に沿った波列パターン (シルクロードパターン) に伴って、日本付近の高気圧がしばしば強まった。

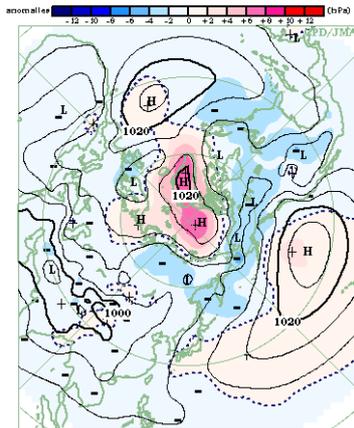
500hPa 高度場 (第7図) は、北極域で正偏差となった。北半球規模で波列状の偏差パターンが見られ、特に、ユーラシア大陸では7月と8月に、太平洋から北米にかけては6月と7月に明瞭だった。

対流圏下層の気温 (第8図) は、上層の波列パターンに対応して、ロシア西部と中

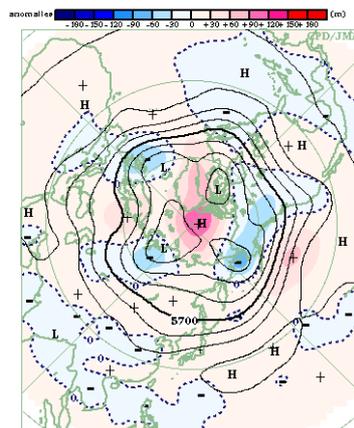
央シベリアで高温偏差、ヨーロッパ西部と西シベリアで低温偏差だった。北米は、西岸を除いて高温偏差となり、特に米国南部で顕著だった。

対流圏上層の偏西風（第9図）は、北半球規模で南北蛇行が大きかった。北米のジェット気流は平年より強かった。

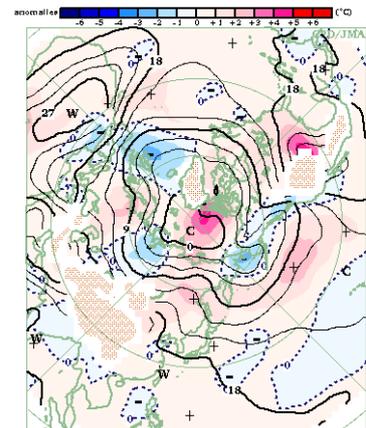
北極域では、季節を通して北極海で高気圧、シベリアで低気圧が分布した（第10図）。また、対流圏下層の気温は季節を通じて平年より高かった。北極海の海氷域面積は過去最小レベルで推移し、年最小値（9月9日）は1979年以降で2番目に小さい記録となった（最小記録は2007年）。



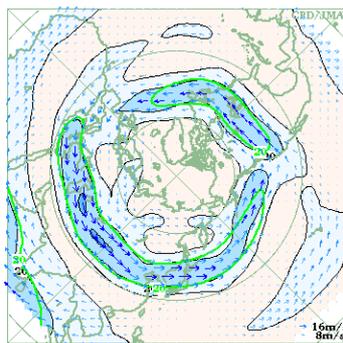
第6図 北半球3か月平均海面気圧・平年偏差（2011年6～8月）等値線は海面気圧を表し、間隔は4 hPa。陰影域は平年偏差を表す。



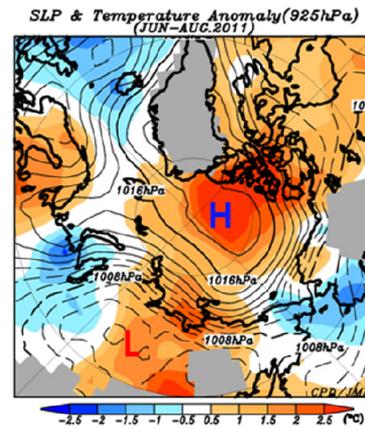
第7図 北半球3か月平均500hPa高度・平年偏差（2011年6～8月）等値線は500hPa高度を表し、間隔は60m。陰影域は平年偏差を表す。



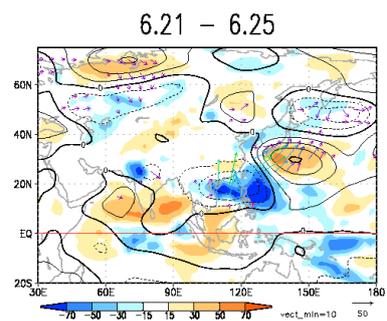
第8図 北半球3か月平均850hPa気温・平年偏差（2011年6～8月）等値線は850hPa気温を表し、間隔は4°C。陰影域は平年偏差を表す。波状の陰影域は標高が1600m以上の領域を表す。



第9図 北半球3か月平均200hPa風速・風ベクトル（2011年6～8月）等値線間隔は20m/s。平年の40m/sの等値線を緑色で表す。



第10図 北極域における3か月平均地上気圧及び925hPa気温平年偏差（2011年6～8月）等値線は地上気圧を表し、間隔は2hPaで1012hPa以上（未満）を実線（点線）で示す。陰影は気温平年偏差。



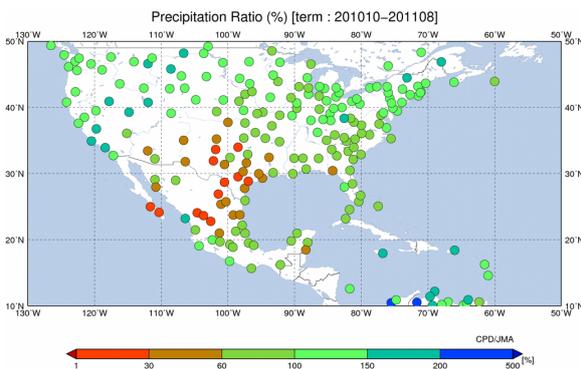
第11図 5日平均850hPa流線関数平年偏差、OLR平年偏差、及び850hPa波の活動度フラックス（2011年6月21～25日）等値線は流線関数平年偏差を表し、間隔は $2.5 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ 。陰影はOLR平年偏差（単位： W/m^2 ）を示す。ベクトルは波の活動度フラックス（単位： m^2/s^2 ）を表す。

4. 米国南部の高温・少雨

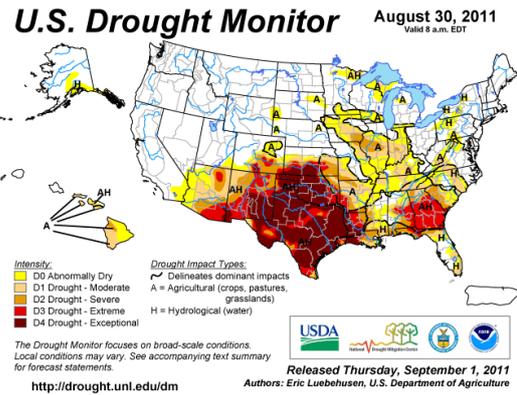
米国南部は、2011年夏に顕著な高温となった。また、2010年秋以降、少雨の状態が継続し、顕著な干ばつに見舞われた。本章では、高温・少雨の状況と関連する大気循環の特徴を述べるとともに、要因の考察を行う。

4.1 天候の特徴

米国南部では、テキサス州を中心に2010年秋から2011年夏にかけて降水量の非常に少ない状態が続き（第12図）、記録的な干ばつとなった（第13図）。2011年秋になると、南部の州の多くは平年並あるいは平年より多い降水量となったが、テキサス州は平年より少なく、顕著な干ばつが続いた。2011年夏は、テキサス州を中心に記録的な高温となり（第14図）、ダラス/フォートワースでは、7月2日～8月10日の40日間続けて、日最高気温が100°F（37.8°C）以上となった（NOAA 2011）（第15図）。このため、穀物生産や家畜に大きな損害が生じるとともに、各地で森林火災が発生し、家屋の焼失など大きな被害が生じた。

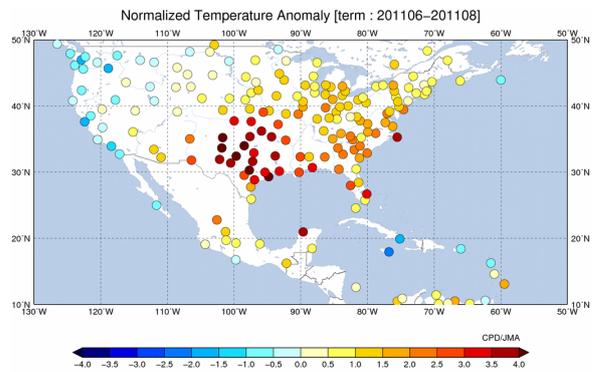


第12図 2010年10月～2011年8月の降水量平年比(%)

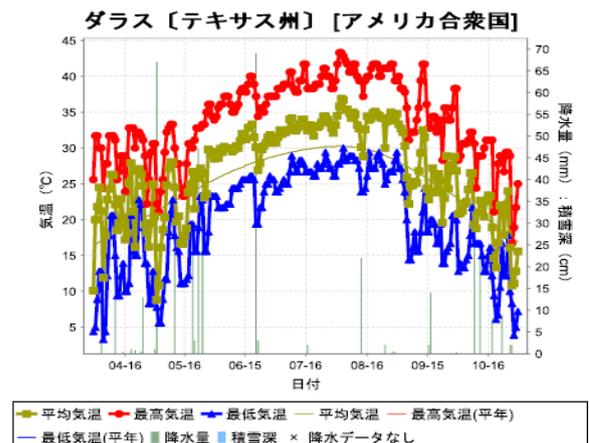


第13図 米国の干ばつの状況（2011年8月30日現在）

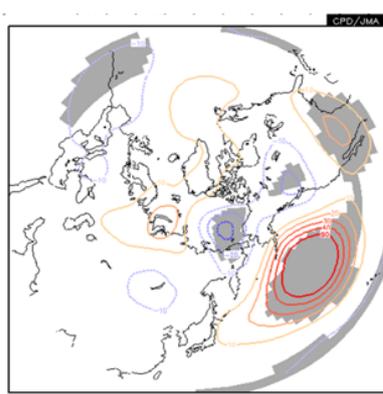
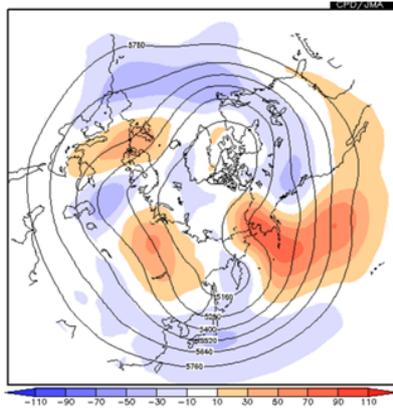
米国南部は、テキサス州を中心に顕著な干ばつとなった。（National Drought Mitigation Center ウェブサイトより引用）



第14図 2011年6～8月平均気温規格化平年差(°C)

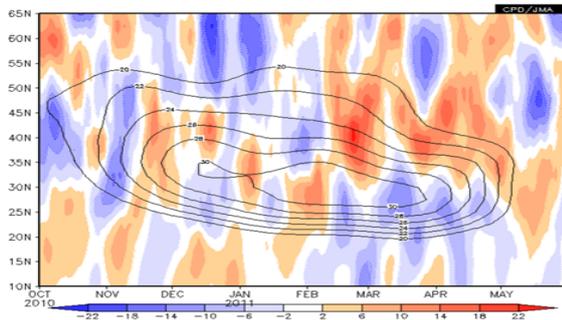


第15図 ダラス/フォートワースにおける日別値の推移（2011年4月1日～10月31日）



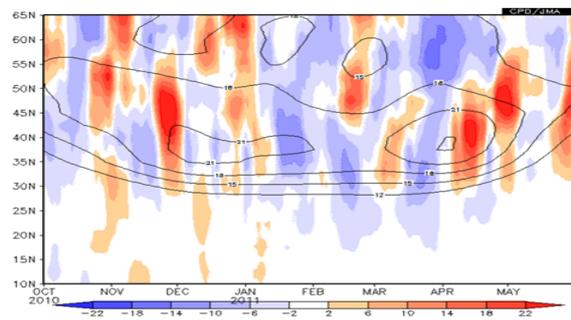
第 16 図 北半球 3 か月平均 500hPa 高度・平年偏差 (左) と ラニーニャ合成図 (右)

左図は、2011 年 1~3 月の平均図で、等値線は 500hPa 高度 (120m 間隔)、陰影は平年偏差を表す。右図は、ラニーニャ現象発生年 (1985, 1989, 1996, 1999, 2000, 2006, 2008, 2009 年) の 500hPa 高度平年差 (10m 間隔) の合成図で、陰影は信頼度水準 90% で統計的に有意な領域を示す。



第 17 図 11 日移動平均した米国中南部 (105°W-90°W) の偏西風 (2010 年 10 月~2011 年 5 月)

等値線は 300hPa 東西風速の平年値 (2m/s 間隔、20m/s 以上を描画)、陰影は平年偏差で、暖色 (寒色) は平年より西風が強い (弱い) ことを示す。



第 18 図 11 日移動平均したの米国中南部 (105°W-90°W) の高周波擾乱の活動度 (2010 年 10 月~2011 年 5 月)

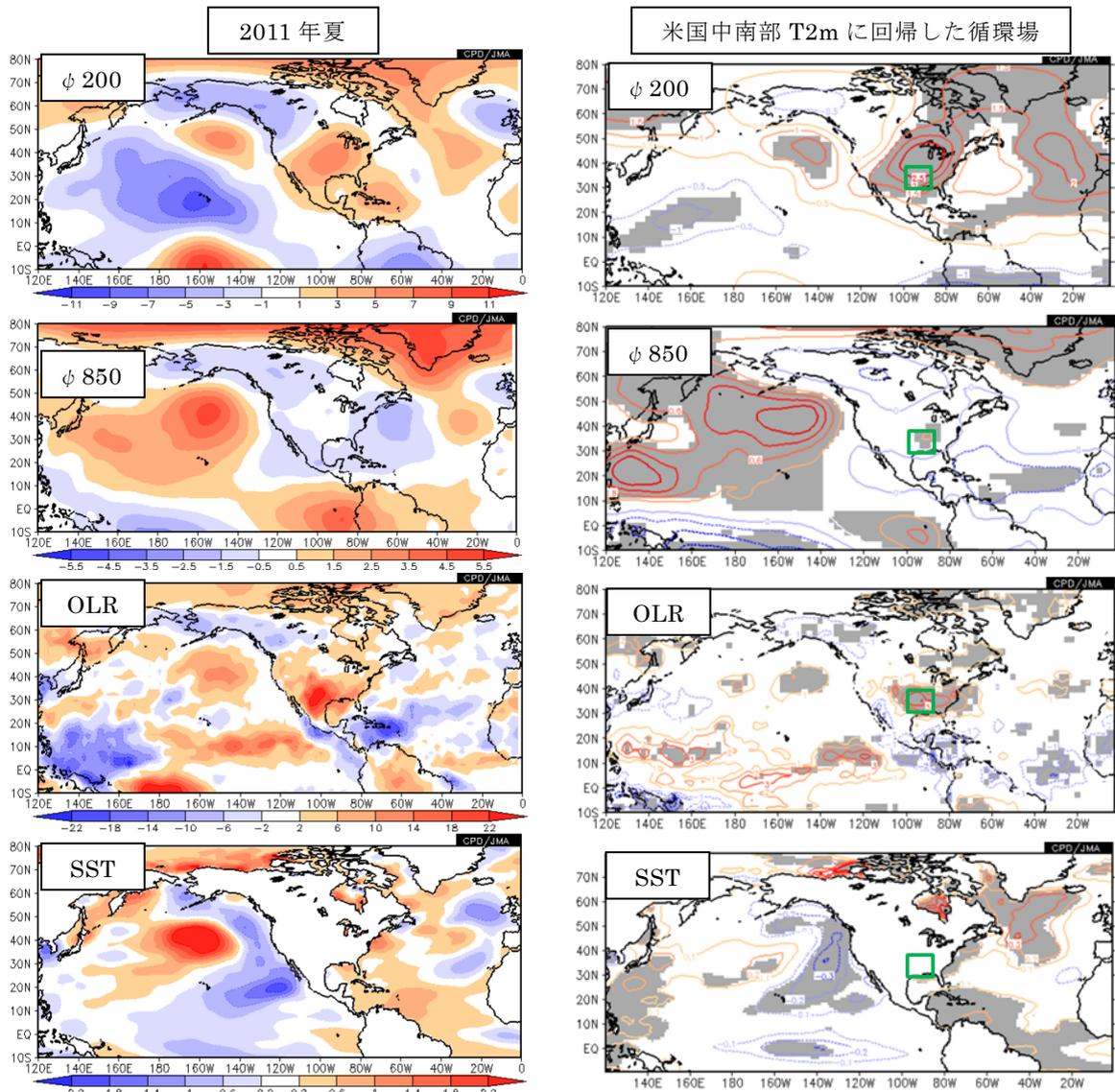
等値線は 700hPa 高周波擾乱 (2~8 日周期成分) の単位質量当たりの運動エネルギーの平年値 (3 m²/s² 間隔、12 m²/s² 以上を描画)、陰影は平年偏差を表す。暖色 (寒色) は高周波擾乱の活動が平年より活発 (不活発) なことを示す。

4.2 高温・少雨をもたらした大気の流れの特徴と要因

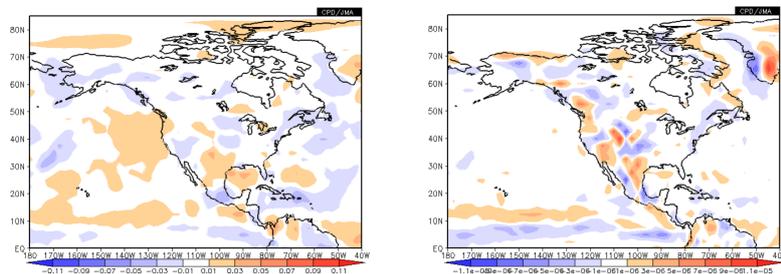
(1) 2010 年秋~2011 年春

この期間、ラニーニャ現象 (2010 年夏に発生し、2011 年春に終息) が発生しており、中部から東部太平洋熱帯域の海面水温は平年より低かった。一方、大西洋熱帯域の海面水温は平年より高い状態が続いた。500hPa 高度では、太平洋から北米にかけて波列状の偏差パターン (PNA パターン) がしばしば現れ、米国南部は正偏差となりやすかった (第 16 図)。降水量が特に少なかった米国中南部 (テキサス州付近) では、

偏西風が平年と比べて北偏し、弱い傾向だった (第 17 図)。これに対応して、高周波擾乱の活動も弱い傾向だった (第 18 図)。これらの大気循環の特徴は、ラニーニャ現象発生時に現れやすいものであり (Seager et al. 2005)、米国南部の少雨の背景になったとみられる。Kushnir et al. (2010) は、寒候期に北大西洋熱帯域の海面水温が高い場合、米国南部は少雨傾向になることを示した。このことから、ラニーニャ現象に加えて、北大西洋熱帯域の海面水温が高かったことも、少雨に関連した可能性がある。



第 19 図 2011 年 6~8 月平均循環場の平年偏差 (左列) と米国中南部 (図中の緑枠: 30°N-40°N, 100°W-90°W) の 6~8 月平均した地上 2m 気温に回帰した循環場 (右列)
 上から順に、200hPa 流線関数、850hPa 流線関数、外向き長波放射量 (OLR)、海面水温 (SST) を示す。右列の灰色領域は信頼水準 90% で統計的に有意な領域を表す。回帰分析の統計期間は 1979~2010 年。



第 20 図 3 か月平均 500hPa 鉛直流平年偏差 (左) と 925hPa 発散 / 収束平年偏差 (右) (2010 年 6~8 月)
 左図では暖色 (寒色) は下降流 (上昇流) 偏差 (Pa/s) を表し、右図では暖色 (寒色) は発散 (収束) 偏差 (1/s) を示す。

(2) 2011 年夏

第 19 図の左列は、2011 年の夏平均した循環場の平年偏差を示す。記録的な高温となった米国中南部は、上層ほど偏差の大きい等価順圧構造の高気圧に覆われ、下降流

偏差で、下層は発散偏差だった (第 20 図)。米国中南部を中心とする上層の高気圧は、太平洋から北米にかけての波列状の偏差パターンの一部を構成する。下層では、太平洋は北東部 (アラスカとハワイの間) を中

心に広く高気圧性循環偏差となる一方、東部太平洋熱帯域からメキシコ湾、米国の東海上にかけての領域は低気圧性循環偏差（大西洋の亜熱帯高気圧が平年より弱いことに対応）となった。熱帯の対流活動は、中米の西海上を除く太平洋中部から東部で平年より不活発、中米の西海上からカリブ海、大西洋にかけては活発だった。海面水温は、中部太平洋熱帯域から北米の西海上にかけて平年より低く、大西洋熱帯域は高かった。

第 19 図の右列は、米国中南部の夏平均した地上気温が高かった時の循環場を示す。上に示した 2011 年夏の循環場の特徴は、過去の高温時の特徴と一致することから、米国中南部の気温が高い時の典型的な循環場だったと言える。太平洋から北米にかけての波列パターンは、中部太平洋熱帯域を中心とする平年より低い海面水温に伴う不活発な対流活動に関連した可能性がある (Ting and Wang 1997)。

Kushnir et al. (2010) は、暖候期に北大西洋熱帯域の海面水温が高い場合、平年より高い海面水温に対応して活発化した北大西洋熱帯域の対流活動が北大西洋の亜熱帯高気圧を弱め（熱帯の熱源に対する大気の応答 (Gill 1980)）、その結果、米国では水蒸気フラックスの収束の抑制と下降流偏差が生じ、少雨となることを示した。これらの特徴は、2011 年夏の循環場と整合する。また、Sutton and Hodson (2005, 2007) は、夏の大西洋熱帯域の海面水温が高い場合、米国南部は高温・少雨になることを示した。

以上のことから、太平洋から大西洋の熱帯域の海面水温偏差が、それに対応した熱帯の対流活動偏差を通じて、米国南部の大気の流れに影響を及ぼし、その結果として高温・少雨をもたらした可能性がある。

5. まとめ

米国南部では、2010 年秋以降、少雨の状態が続くとともに、2011 年夏は記録的な高温となった。統計的な調査とこれまでの研究結果から、太平洋と大西洋の熱帯域における海面水温偏差が、米国南部の顕著な高温・少雨の一因だったと考えられる。

参考文献

- Gill, A. E., 1980: Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **106**, 447–462.
- 気象庁, 2006: 気候解析用全球海面水温解析データ (COBE-SST) の特徴, 気候系監視報告別冊第 12 号.
- Kushnir, Y., R. Seager, M. Ting, N. Naik, and J. Nakamura, 2010: Mechanisms of Tropical Atlantic SST Influence on North American Precipitation Variability. *J. Climate*, **23**, 5610–5628.
- NOAA National Climatic Data Center, 2011: State of the Climate: Global Hazards for August 2011, published online September 2011, retrieved on November 28, 2011 from <http://lwf.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/8>.
- 大野 浩史, 萱場 互起, 田中 昌太郎, 2012: 2011 年夏の熱帯季節内変動と日本の天候への影響. 第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会報告 (平成 23 年度) .
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **85**, 369–432.
- Seager, R., N. Harnik, W. A. Robinson, Y. Kushnir, M. Ting, H. P. Huang, and J. Velez, 2005: Mechanisms of ENSO-forcing of hemispherically symmetric precipitation variability. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 1501–1527.
- Sutton, R. T., and D. L. R. Hodson, 2005: Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science*, **309**, 115–118.
- , and —, 2007: Climate response to basin-scale warming and cooling of the North Atlantic Ocean. *J. Climate*, **20**, 891–907.
- Ting, M., and H. Wang, 1997: Summertime U.S. precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature. *J. Climate*, **10**, 1853–1873.