

近年の日本の天候と十年規模変動の関連

ト部佑介・前田修平（気象庁 地球環境・海洋部 気候情報課）

1. はじめに

1999年以降、世界の平均気温の上昇が鈍化し、地球温暖化の停滞(Hiatus)として注目を集めている(図1)。また、この時期には太平洋中緯度で負のPDO(太平洋十年規模振動)が概ね継続し(図2)、これに対応して太平洋熱帯域では東西方向の海面水温傾度や大気循環(ウォーカー循環)が平年より強いラニーニャ現象側の傾向となっている。一方、日本における気温の経年変動を見ると、暖候期については上昇傾向、寒候期については横ばいもしくは下降傾向となっており、ラニーニャ現象発生時に見られる天候の特徴が現れやすくなっているものと考えられる。

本発表では、主に1999年から2012年までの平均データを用いて、上記のような近年の日本の天候と、十年規模変動に伴う大規模な循環場の特徴を統計的に確認し、さらに両者の関連について考察する。

2. 使用データ

今回使用したデータは以下の通り。

○大気循環場

JRA-55(気象庁)

○OLR

衛星観測データ(NOAA)

○海面水温

COBE-SST(気象庁, Ishii et al. (2005))

○表層水温

MOVE-G(気象庁・気象研究所による海洋同化データ。観測値の変化(衛星データの有無)等により、データの均質性が低下している場合がある。)

○日本の月平均気温偏差

気象庁による国内17地点¹の地上観測データ

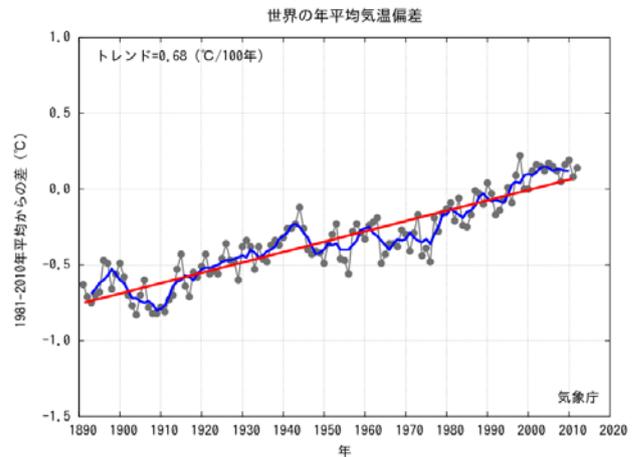


図1 世界の年平均気温偏差(気象庁)

細線(黒): 各年の平均気温の基準値からの偏差、太線(青): 偏差の5年移動平均、直線(赤): 長期的な変化傾向。基準値は1981~2010年の30年平均値。

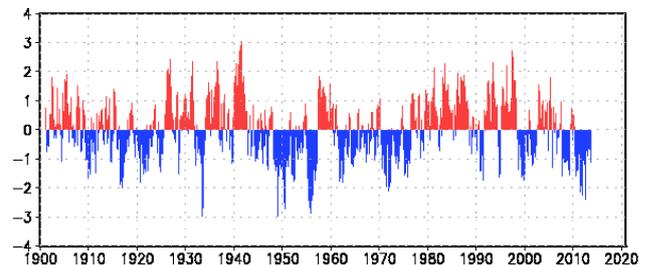


図2 COBE-SSTより算出した月毎のPDO指数(気象庁)

PDO指数は、北太平洋の20°N以北における海面水温偏差の経験的直交関数(EOF)第一モードの時間係数で定義(地球温暖化の影響を取り去るため、EOF計算を行う前にそれぞれの地点の月平均海面水温偏差から全球平均海面水温偏差を除いている)。

1 1898年以降観測を継続している気象観測所の中から、都市化による影響が少なく、特定の地域に偏らないように選定された以下の17地点の月平均気温。

網走, 根室, 寿都, 山形, 石巻, 伏木(高岡市), 長野, 水戸, 飯田, 銚子, 境, 浜田, 彦根, 宮崎, 多度津, 名瀬, 石垣島

3. 日本の気温

日本の年平均気温は、図1に示した世界の年平均気温と同様、長期的な上昇傾向があるものの2000年前後からは上昇傾向が不明瞭となっている。(図略)

図3に日本の月平均気温偏差(4月、9月)の時系列を示す。1990年代後半から4月は下降傾向となる一方で9月は上昇傾向が強まっており、季節間で異なる特徴が表れている。

図4は1998~2012年の期間について求めた月平均気温のトレンドである。全体として寒候期には気温が低下傾向、暖候期には上昇傾向となっており、これは気温の季節変動が強まっていることを意味している。特に4月、5月の春季における気温の低下傾向が有意となっている。

前田(2013)で示された地域毎の日本の月平均気温とNINO.3指数の相関係数は、全国的に11月~5月に正、7月~9月に負となっており、特に4~5月と8~9月の相関が有意となっている地域が多い。図4の月毎のトレンドはこれと逆符号の傾向となっており、ラニーニャ現象時に見られる特徴と類似している。このことから、近年の日本の気温に見られる傾向には熱帯太平洋域の海面水温が影響を与えている可能性が考えられるため、次節では同じ期間における海面水温及びそれと関連する循環場の状況を確認する。

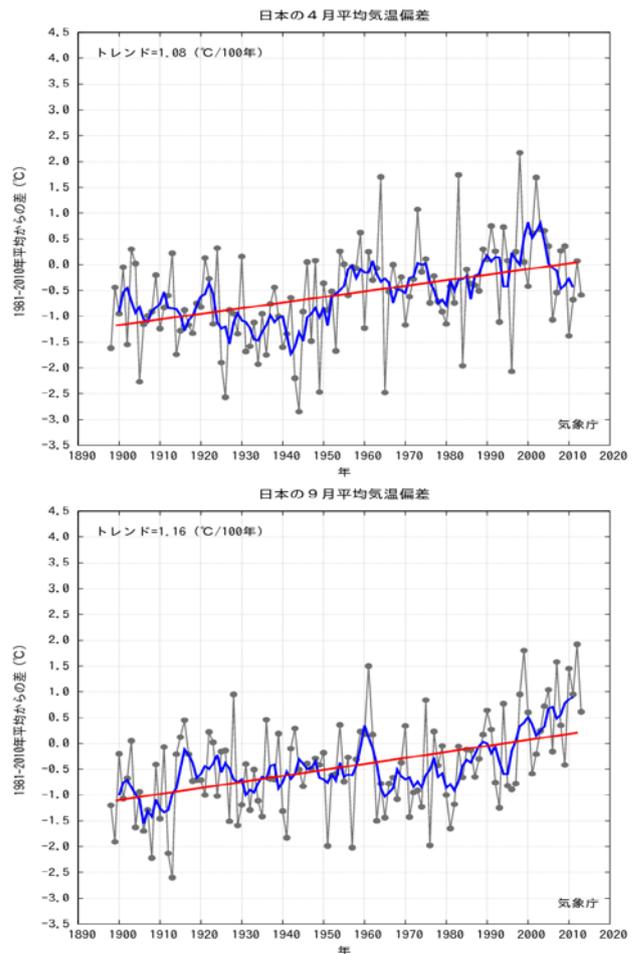


図3 日本の月平均気温偏差(気象庁)

各線種が示す物理量は図1に同じ。上: 4月、下: 9月。

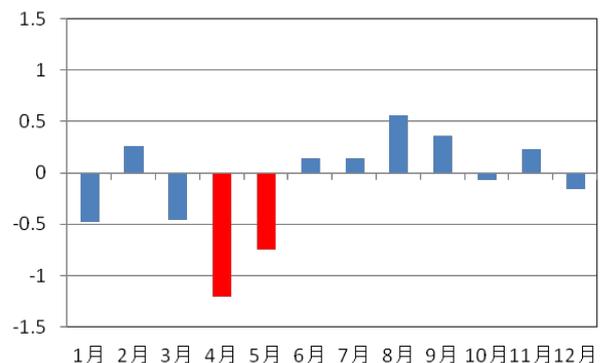


図4 日本の月毎の平均気温のトレンド(°C/10年) 期間は1998~2012年)

赤塗はt検定(95%水準)でトレンドが有意な月

4. 海面水温と熱帯の循環場

図5に1999～2012年で平均した海面水温偏差の分布を示す。なお、特に断りのない限りこれ以降も同じ期間の平均偏差を「期間平均」として示す。太平洋熱帯域では西部で正偏差、中部及び東部で負偏差が明瞭に見られ、この期間は海面水温が平均的にラニーニャ現象側の傾向となっていたことが分かる。また、北太平洋では負のPDOに相当する偏差分布が見られ、それと南北対称に近い分布が南太平洋にも存在している。

図6に、OLRの期間平均年偏差を示す。太平洋熱帯域西部及び海洋大陸周辺で負偏差（対流活発）、太平洋熱帯域中部で正偏差（対流不活発）の傾向が明瞭である。図7で示す上層200hPaの速度ポテンシャルの期間平均偏差は太平洋西部で負偏差（上層発散）、東部で正偏差（上層収束）となっており、図は省略するが下層850hPaの偏差分布はほぼ逆符号の分布となっている。これらはいずれも4. で示した海面水温偏差の分布と整合的であり、ラニーニャ現象時に見られるウォーカー循環や海洋大陸付近での対流活動の強化傾向として理解できる。

図8に上層200hPaにおける4月及び9月の期間平均の流線関数偏差を示す。いずれも海洋大陸周辺における対流活発と概ね整合的な分布となっており、日本付近のジェット軌道は4月に南偏、9月に北偏している。図9は、ラニーニャ現象時の日本の天候（夏の高温・冬の低温傾向）に影響を与えているフィリピン海における対流活動に対する上層200hPaの流線関数の回帰係数分布で、日本付近を含め、図8に近い分布となっている。従って、本節で示してきた1999年前後から続いている海面水温や大規模な循環場の傾向と日本の天候の特徴は、概ねラニーニャ現象時に見られるような海洋大陸～フィリピン海付近での対流活動の強化とそれに伴う大気循環場の変動という熱帯域からの影響で生じている可能性が高い。

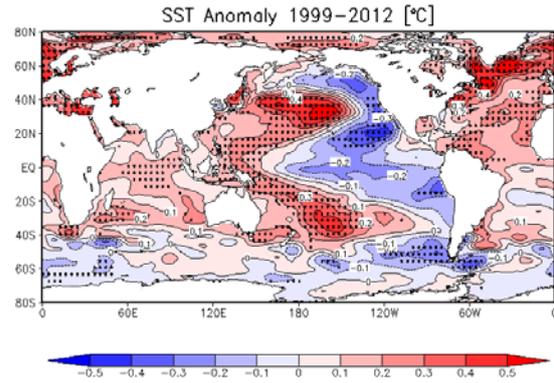


図5 1999～2012年で平均した海面水温偏差。

ドットはt検定（95%水準）で有意な領域

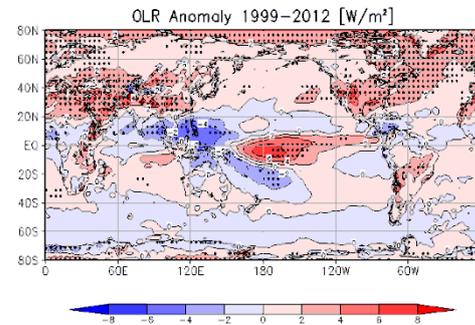


図6 1999～2012年で平均したOLR偏差。

ドットはt検定（95%水準）で有意な領域

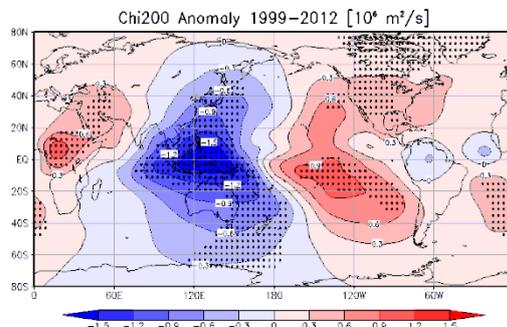


図7 1999～2012年で平均した上昇200hPaにおける速度ポテンシャル偏差。

ドットはt検定（95%水準）で有意な領域

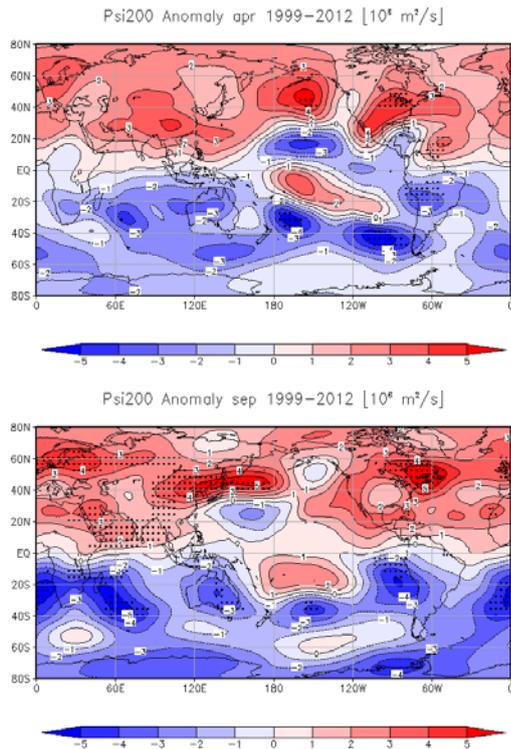


図8 1999～2012年で平均した上層200hPaにおける流線関数偏差。上：4月、下：9月
ドットはt検定(95%水準)で有意な領域

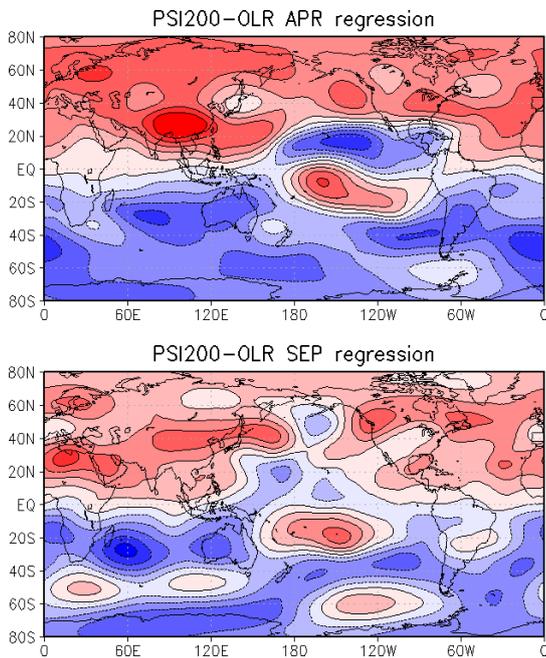


図9 1979～2012年におけるフィリピン海付近で平均したOLRに対する上層200hPaの流線関数偏差の回帰係数分布。上：4月、下：9月。いずれも図8で示した流線関数偏差と近い分布となっている。

5. 議論

(1) 海洋内部の状況(OHC)と変動のメカニズム

図10にMOVE-Gより海面から300m深までの平均水温として求めた海洋表層貯熱量(OHC)の期間平均偏差を示す。海面水温と同様に太平洋熱帯域西部で正偏差、東部で負偏差が明瞭となっているが、海面水温と比べると赤道からやや離れた領域に正偏差の強いピークがある点が異なっている。なお、比較・確認のためにIshii and Kimoto(2009)による客観解析データ(気象庁)から同様にOHCを算出して比較したところ、基本的な傾向に違いは見られなかった(図略)。

図11は正偏差のピーク付近の緯度帯で平均した経度時間断面図である。OHC偏差(左)では約1年かけて暖水ロスビー波が中部から西部へ伝播しており、これは一般的なENSOのメカニズムを成している海洋の赤道波に比べると大幅に遅い伝播速度である。この西進してきた何本かの暖水ロスビー波がフィリピン海で蓄積され、近年の正のOHC偏差を形成していると考えられる。一方、同じ緯度帯で平均した下層の相対渦度偏差(右)は中部付近で負偏差となっている。これは図6で示した太平洋熱帯域中部における対流不活発に対する熱帯大気の影響である。すなわち、赤道付近で中層の凝結加熱が減少して相対的に気圧が低下し、やや赤道から離れた地点で高気圧性の偏差を生じたものと考えられる。この高気圧偏差によって海洋の暖水ロスビー波が励起され、西部における正のOHC偏差とウォーカー循環の強化を引き起こしているとするならば、これら一連のメカニズムは正のフィードバックを形成していることになる。この中では大気場が熱帯の力学に従う一方で海洋は亜熱帯のロスビー波という形で応答しており、十年規模の時間スケールで変動する要因となっている可能性もあるが、詳細はまだ不明である。

北半球及び南半球の正偏差の極大域で平均したOHC偏差の時系列(図12)を見ると、1980～90年代に若干の低下傾向が見られた後、今回注目し

ている期間においては急激な上昇傾向となっており、近年は ENSO に相当する年々規模の変動が相対的に小さく、十年規模での上昇幅が年々変動の振幅と同程度の大きさを持つ状態になっている。従って、4. で期間平均として見てきた状況は現在もより強まる傾向にあり、その規模や影響は年々変動と同程度にまで拡大している可能性も高いと言える。

西部の暖水を減衰させずに留めておくメカニズムが ENSO よりも長い十年規模の時間スケールでの変動を励起していることも考えられるが、この点についても詳細は不明であり、今後一層の調査研究が望まれる。

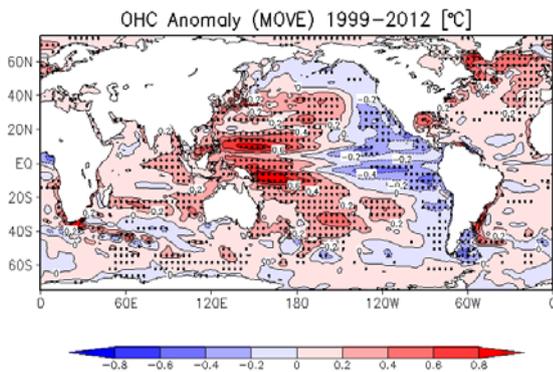


図 10 1999～2012 年における OHC 偏差。
ドットは t 検定 (95%水準) で有意な領域

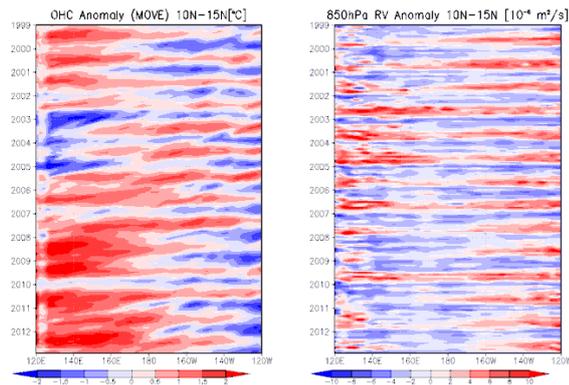


図 11 北緯 10 度～15 度で平均した経度時間断面図。
左: OHC 偏差。西側は図 10 に示した正偏差の極大域に相当する。日付変更線付近から 1 年程度で西部へ正偏差が伝播する様子が数回見られる。
右: 850hPa 相対渦度偏差。日付変更線付近から西方で高気圧性の偏差が見られる。

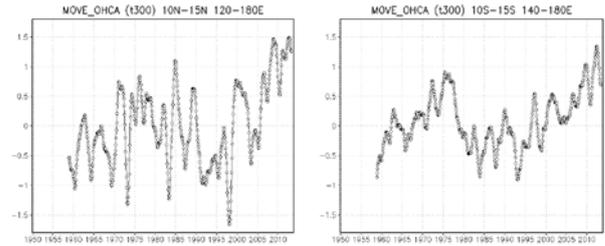


図 12 領域平均した OHC 偏差の時系列。
左: 北半球 10N-15N, 120E-180E の平均
右: 南半球 10S-15S, 140E-180E の平均

(2) 太平洋における南北対称モード

太平洋における十年規模変動としては北緯 20 度以北における海面水温偏差の EOF 第 1 モードで定義される PDO がよく知られているが、日本の天候との関連という観点から、より強い影響力をもつ熱帯まで含んだより広い領域における十年規模変動パターンの検出を試みる。手法は同じく EOF 解析であり、データ、期間等は以下の通りである。領域については Zhang et al. (1997) を参考にした。

データ: COBE-SST による年平均海面水温偏差
期間: 1898 年～2003 年のデータを 7 年移動平均し、1901 年～2000 年を解析対象とする。
領域: 太平洋の北緯 60 度～南緯 30 度

得られた EOF パターンのうち、第 1 モードは温暖化トレンドであったため、第 2 モードを示す。

図 13 に EOF 第 2 モードの空間パターンを示す。北太平洋は正の PDO、熱帯域はエルニーニョに近い分布となっており、基本的には PDO 指数に対する海面水温偏差の回帰と同様な分布であるが、熱帯のシグナルがより強くなっているため、熱帯にも年々変動を超える時間スケールでの変動成分が存在することが示唆されている。このパターンは Power et al (1999)などで示されている太平洋

数十年規模振動（Inter Decadal Pacific Oscillation：IPO）に近いものと考えられる。

この空間分布に対して毎年の年平均海面水温偏差を回帰させた時系列を IPO 指数とする(図 14)。回帰させる海面水温偏差は移動平均していないため、ENSO に相当する年々変動と IPO に相当する長期変動が重なっている様子が分かる。時系列は概ね図 2 に示した PDO と類似しており、1940 年台前半や 1976/77 年に符号が変化している点も共通であるが、1998/99 年前後のコントラストが非常に明瞭であり、今回示したラニーニャ傾向及び負の PDO への変化を良く表している。この結果から、日本の天候に影響を及ぼす十年規模変動を監視していくにあたっては、熱帯域から中高緯度までを含む広い領域での変動を考慮する必要があることが示唆される。

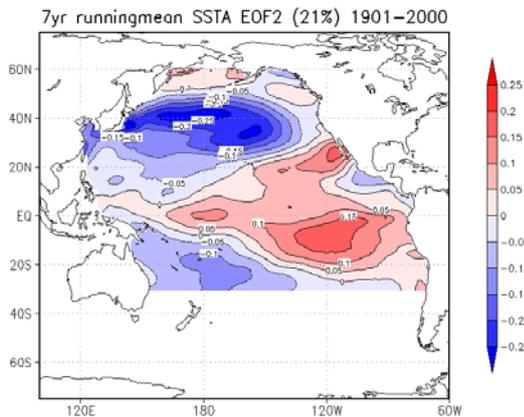


図 13 太平洋北緯 60 度～南緯 30 度の年平均海面水温偏差（7 年移動平均）の EOF 第 2 モードの空間分布。

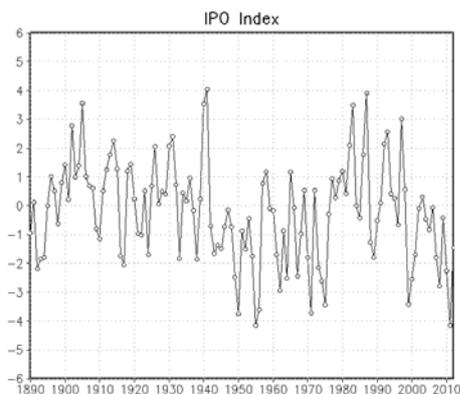


図 14 年毎の IPO 指数の時系列。

6. まとめ

PDO の位相変化や地球温暖化の停滞期への移行等、長期的な時間スケールの気候変化が発生した可能性がある 1999 年以降の状況について、観測・再解析データを用いて調べた。確認された特徴は以下の通りである。

(1) 平均的なラニーニャ傾向

- ・海面水温は太平洋熱帯域において西部で正偏差、東部で負偏差。中緯度は負の PDO。
- ・海洋大陸周辺で対流活発、太平洋熱帯域中部で対流不活発となり、ウォーカー循環が強化。
- ・全球の循環場も海洋大陸、フィリピン海での対流活発を反映した分布。

(2) 日本の天候

- ・日本は暖候期に平均気温が上昇、寒候期に下降、つまり季節変動の振幅が拡大する傾向。前述のラニーニャ傾向と整合的。

(3) 経過とメカニズム

- ・海洋表層貯熱量は太平洋熱帯域西部で正偏差、東部で負偏差。やや赤道から離れた緯度 10 度付近に偏差の極大があり、統計的にも有意。
- ・太平洋熱帯域における大気場の応答と海洋の亜熱帯ロスビー波によって西部に暖水偏差が発生している可能性がある。偏差は直線的に増大しており、増加幅が年々変動の振幅とほぼ同等になってきている。

これらの状況を踏まえると、日本の天候は十年規模の変動にも大きく影響されており、ENSO に代表される年々変動だけでは説明しきれない部分も多くあると言える。十年規模変動について今後一層理解を進め、適切な診断、予測のための体制を整備していく必要がある。

参考文献

- 前田 修平 (2013) : ENSO と日本の天候; 気象研究ノート第 228 号, 第 12 章
- Ishii M., A. Shouji, S. Sugimoto, and T. Matsumoto (2005) : Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection; *Intl. J. Climatol.*, Vol.25, pp.865-879
- Ishii M. and M. Kimoto (2009) : Reevaluation of historical ocean heat content variations with time-varying XBT and MBT depth bias corrections; *J. Oceanography*, Vol.65, pp.287-299
- Power S., T. Casey, C. Folland, A. Colman, and V. Mehta (1999) : Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia; *Clim. Dyn.*, 15, pp.319-324.
- Zhang, Y., , J. M. Wallace, and D. S. Battisti (1997) : ENSO-like Interdecadal Variability: 1900–93; *J. Climate*, Vol.10, pp.1004-1020.