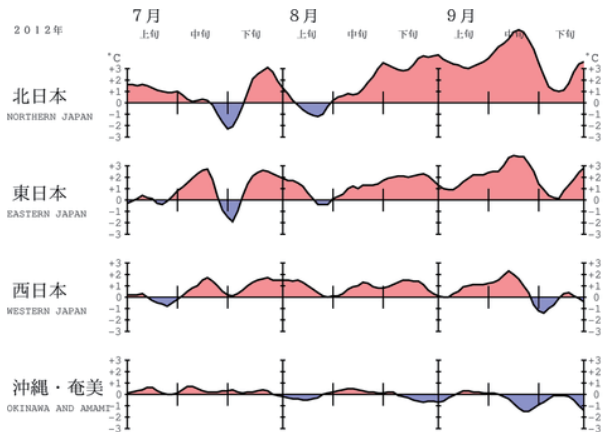


3 2012年の北・東日本の厳しい残暑の解析¹

2012年夏季は、太平洋高気圧の勢力が日本の東海上で強く、本州付近に張り出したため、北日本から西日本では高温となった。高温のピークは、7月中旬、7月下旬中頃から8月上旬中頃、及び8月後半から9月中旬に見られた（第3.1.1図、第3.1.2図）。本節では、上記の3つの高温のピークのうち、北日本を中心に厳しい残暑となった8月後半から9月中旬における北・東日本の気温と大気循環の特徴について報告する。

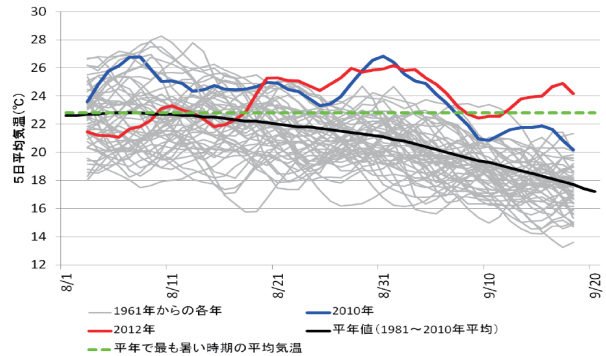
3.1 8月後半～9月中旬の気温

北日本と東日本では8月中旬から9月中旬にかけて晴れて暑い日が多く、気温のかなり高い状態が続いた（第3.1.1図）。札幌では、連日高温となり、日平均気温が平年の盛夏期の気温を上回る状態が続いた（第3.1.3図）。北日本の旬平均気温は、



第3.1.1図 地域平均気温平年差の5日移動平均時系列（2012年7～9月）

8月下旬から9月中旬までの3旬続けて、統計を開始した1961年以降で第1位となり、東日本の旬平均気温は、8月下旬と9月上旬は第2位、9月中旬は第1位（2011年とタイ記録）だった（第3.1.1表）。

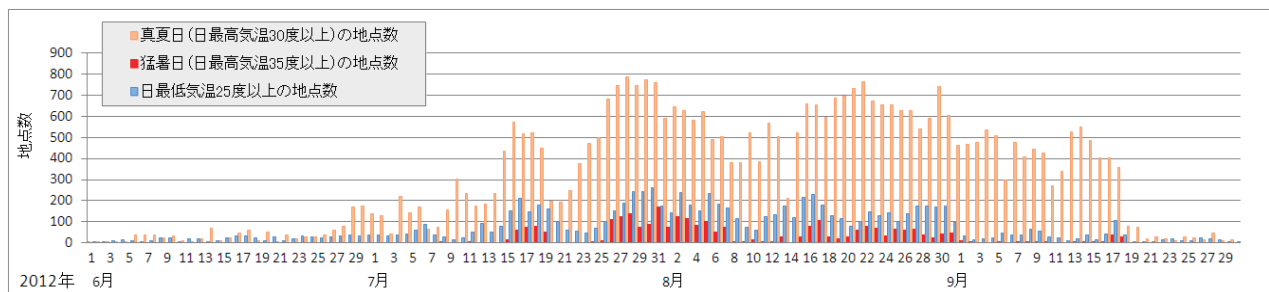


第3.1.3図 1961年以降の各年の8月3日～9月18日における札幌の5日移動平均気温（°C）の推移
赤線は2012年、青線は全国的に記録的な高温となった2010年、灰色線は1961年以降の各年（2010年と2012年を除く）、黒線は平年（1981～2010年の平均）の推移を示す。緑破線は、日平均気温平年値が年間でもっとも高い時期の値を示す。

第3.1.1表 8月下旬～9月中旬の(上)北日本と(下)東日本の旬平均気温平年差の順位表（°C）
統計開始年は1961年。赤字は2012年の記録を示す。括弧内の数字は西暦年を示す。

北日本	第1位	第2位	第3位
8月下旬	+3.5 (2012)	+3.1 (2010)	+1.9 (2000)
9月上旬	+3.3 (2012)	+3.1 (2010)	+2.5 (2011)
9月中旬	+5.5 (2012)	+2.0 (2000)	+1.8 (2007)

東日本	第1位	第2位	第3位
8月下旬	+2.7 (2010)	+2.1 (2012)	+1.7 (2000)
9月上旬	+2.9 (2010)	+1.5 (2012)	+1.5 (1961)
9月中旬	+3.1 (2012)	+3.1 (2011)	+2.3 (2003)



第3.1.2図 全国の猛暑日（赤色）、真夏日（橙色）、及び日最低気温25°C以上（青色）の地点数
アメダス地点も含む全921地点を対象とする。

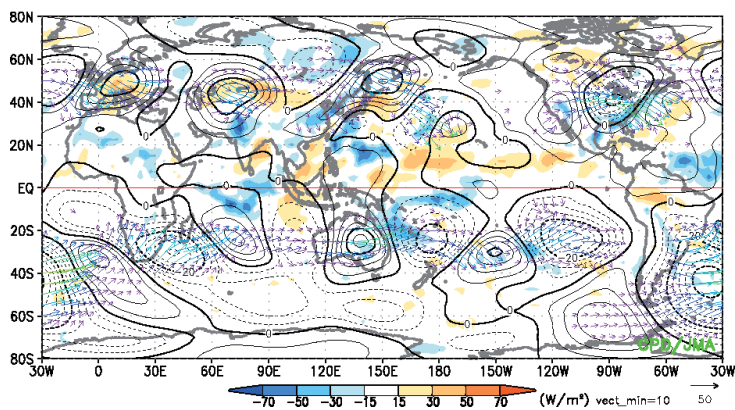
¹ 竹村 和人

3.2 8月後半の大気循環の特徴

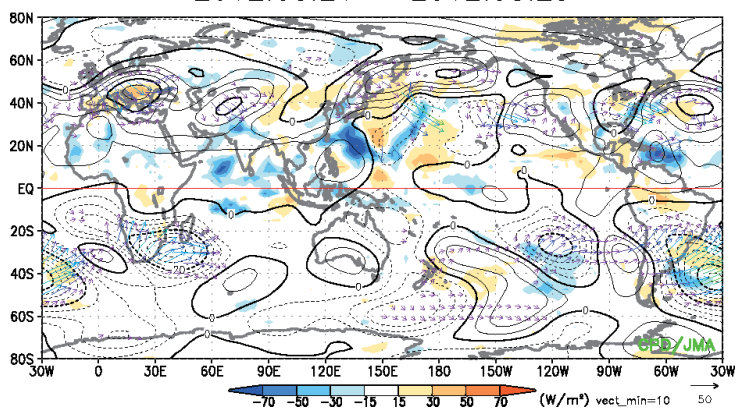
8月中旬から下旬はじめにかけて、ユーラシア大陸の40°N~60°N帯の対流圏上層では波列パターンが見られた(第3.2.1図(a))。この波列パターンは、準定常ロスビー波束の伝播に伴うものと考えられる。下旬頃には、ユーラシア大陸の波束伝播は次第に不明瞭になるが、東アジアでは南東向きの波束伝播が明瞭であり、日本の北で高気圧性循環偏差、日本の南東海上では低気圧性循環偏差となった(第3.2.1図(b))。対流圏上層の350K面の渦位を見ると(第3.2.1図(c))、日本付

近では渦位の南北勾配が逆転しており、これはロスビー波が砕波していることを示している。ロスビー波の砕波と対応して南下した高渦位域が30°N帯で西進し、その南側で対流活動が活発化した。8月下旬頃は、対流圏下層においてフィリピンの北東海上における対流活発域と本州付近における高気圧性循環偏差が明瞭となった(第3.2.1図(d))。これは、Pacific-Japan(PJ)パターンと呼ばれる、夏季の日本付近に高温をもたらす偏差のパターン(Nitta 1987, Kosaka and Nakamura 2006)に対応している。

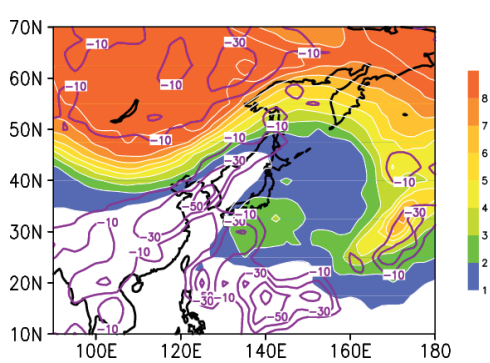
(a) 200hPa 流線関数平年差, 波の活動度フラックス
2012.08.18 - 2012.08.22



(b) 200hPa 流線関数平年差, 波の活動度フラックス
2012.08.21 - 2012.08.25

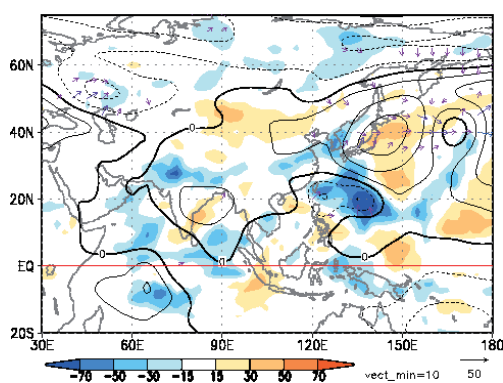


(c) 350K PV, OLR 平年差
2012/08/18 - 2012/08/22



(d) 850hPa 流線関数平年差, 波の活動度フラックス

2012.08.20 - 2012.08.24



第3.2.1図 8月後半の大気循環と対流活動

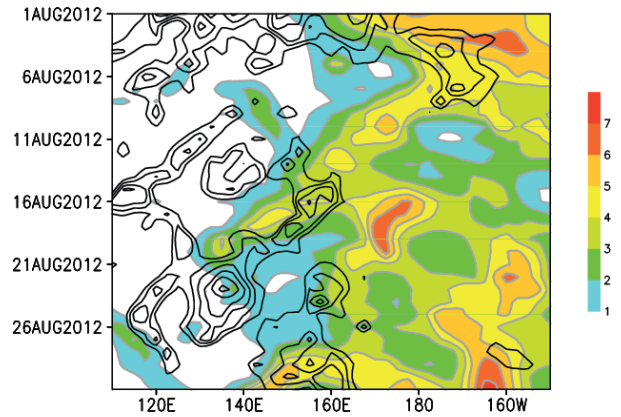
(a)2012年8月18~22日平均の200hPa流線関数平年差(等値線、点線:負の値、間隔: $5 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$)、OLR平年差(陰影、単位: W/m^2)、及び200hPa波の活動度フラックス(矢印、単位: m^2/s^2 、Takaya and Nakamura 2001)の分布、(b) (a)と同じ、ただし同年8月21~25日平均、(c)同年8月18~22日平均の350K面渦位(陰影、単位: PVU)とOLR平年差(紫線、間隔: $20 \text{W}/\text{m}^2$ 、負偏差のみ描画)、(d) (a)と同じ、ただし同年8月20~24日平均の850hPa流線関数平年差(間隔: $2.5 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$)と波の活動度フラックス。

ここで、第 3.2.1 図(c)に示した高渦位域の西進と対流活発域の時間発展を見る(第 3.2.2 図)。8 月中旬後半に、160°E 付近から高渦位域が西進し、これに数日遅れて対流活発域が西進した。その後、8 月下旬前半にかけて、対流活発域は 130°E 付近まで西進し、PJ パターンの強化に寄与したと考えられる。高渦位域の侵入と対流活動の活発化との関連については、過去に報告されている。例えば、Sato et al. (2005)は、中緯度帯における対流圏上層の寒冷低気圧の南下と南鳥島付近の収束帯に着目し、寒冷低気圧と対応する高渦位域の南下が太平洋西部の熱帯・亜熱帯域における対流活発化と関連する可能性を示している。この時期に見られた高渦位域の西進と対流活発化は、彼らの示した結果と整合する。

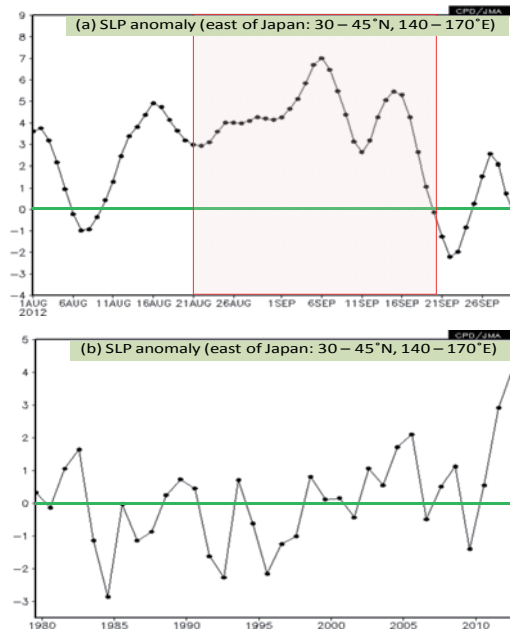
以上の解析結果より、ユーラシア大陸上におけるロスビー波の波束伝播が、日本付近におけるロスビー波の砕波を通して、PJ パターンの強化に寄与し、北・東日本を中心とする高温の一因となった可能性が考えられる。

3.3 8月下旬～9月中旬の気循環の特徴

8月下旬から9月中旬にかけては、太平洋高気圧の勢力が日本の東海上で平年より強い状態が続いた(第 3.3.1 図、第 3.3.2 図(a))。この期間の日本の東海上における太平洋高気圧は、1979 年以降で最も強かった(第 3.3.2 図(b))。日本付近の対流圏上層では、ジェット気流が大きく北へ蛇行し(第 3.3.3 図)、これに対応して、北日本の北東海上を中心とする明瞭な高気圧性循環偏差が分布

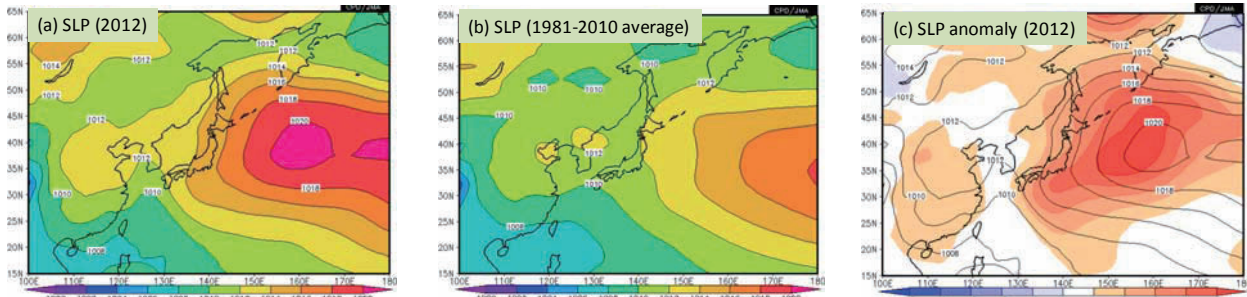


第 3.2.2 図 上層の渦位と対流活動の経度-時間断面
等値線は 15°N~25°N 平均 OLR 平年差 (単位: W/m^2 , 負偏差のみ描画)。等値線間隔は $20W/m^2$ 。陰影は 25°N~35°N 平均 350K 等温位面渦位 (単位: PVU) を示す。



第 3.3.2 図 日本の東海上における太平洋高気圧の
(a)2012 年の推移と (b)経年変化

(a)日本の東海上(30°N~45°N、140°E~170°E)で領域平均した 5 日移動平均の海面気圧平年差 (単位: hPa) の推移。赤線で囲った期間は 2012 年 8 月 21 日~9 月 20 日を表す。(b)同領域で平均した 8 月 21 日~9 月 20 日平均の海面気圧平年差の経年変化 (1979~2012 年)。

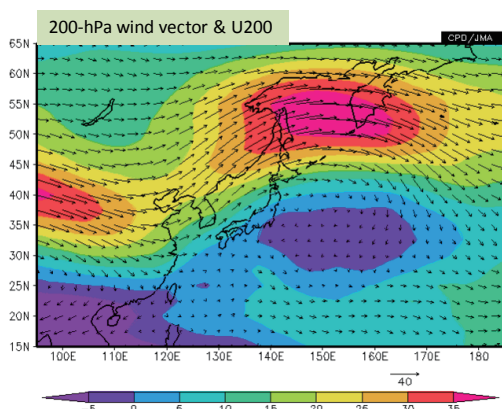


第 3.3.1 図 日本付近の海面気圧 (8 月 21 日~9 月 20 日平均)
(a)2012 年、(b)平年、(c)等値線は 2012 年、陰影は平年差。等値線間隔は 2hPa。

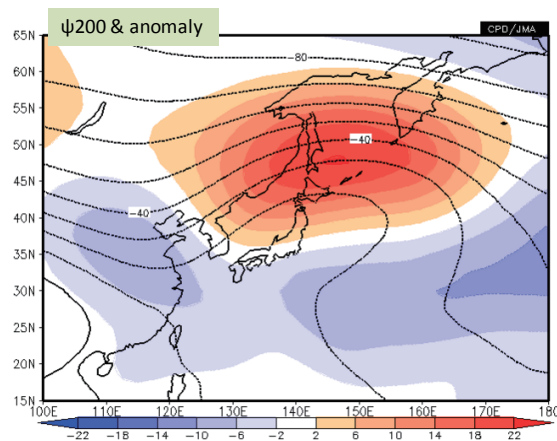
し(第3.3.4図)、顕著な負の渦位偏差が見られた(第3.3.5図)。日本の東海上の高気圧は上層に循環偏差の中心を持つ等価傾圧構造の暖かい高気圧であり、高気圧の軸は対流圏下層から上層に向けてやや北に傾いていた(第3.3.6図)。日本の東海上の太平洋高気圧の強化には、対流圏上層の負の渦位偏差が寄与していたと考えられる(Hoskins et al. 1985)。

対流圏上層では、アジアジェット気流に沿って準定常ロスビー波束が東向きに伝播し、波列パターンが分布した(第3.3.7図)。夏季アジアモンスーンに伴う対流活動は、アラビア海、パキスタン、インド、及びベンガル湾で活発だった(第3.3.8図)。統計解析によると、8月下旬から9月中旬に上記の領域で対流活動が活発な場合、2012年と同様に(第3.3.7図)、アジアジェット気流に沿って波列パターンが現れ、日本の北は高気圧性循環偏差となる傾向がある(第3.3.9図)。この波列パターンはシルクロードパターン(Enomoto et al. 2003; Enomoto 2004; Kosaka et al. 2009)と類似している。統計解析及び先行研究の結果より、南アジア周辺における活発な対流活動が、アジアジェット気流に沿った準定常ロスビー波束の東向き伝播を通して日本付近の高気圧の発達に寄与した可能性が考えられる。

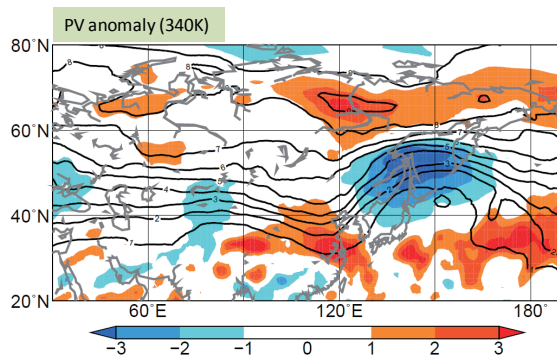
2012年8月下旬と9月中旬は、フィリピンの北東海上で対流活動が活発となった(第3.3.8図)。



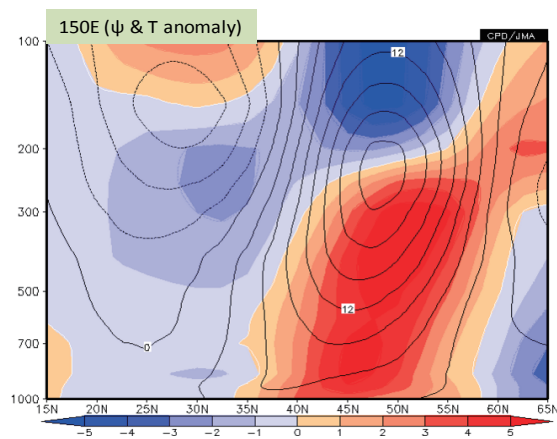
第3.3.3図 200hPa 風ベクトル及び東西風速(2012年8月21日～9月20日平均)
矢印は風ベクトル(単位:m/s)、陰影は200hPa 東西風速(単位:m/s)を表す。



第3.3.4図 200hPa 流線関数及び平年差(2012年8月21日～9月20日平均)
等値線は流線関数を示し、間隔は $10^7 \text{m}^2/\text{s}$ 。赤(青)色の陰影は高(低)気圧性循環偏差を表す。



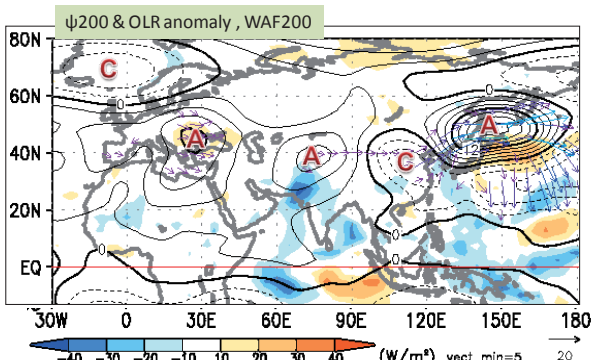
第3.3.5図 対流圏上層の渦位(2012年8月21日～9月20日平均)
等値線は340K 面渦位を示し、間隔は1PVU。陰影は規格化平年差。



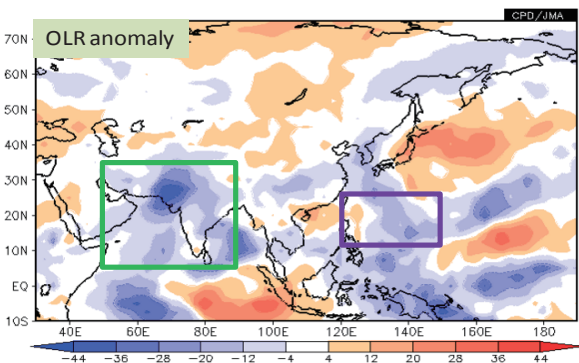
第3.3.6図 150E に沿った流線関数平年差及び気温平年差(2012年8月21日～9月20日平均)
等値線は流線関数平年差を示し、間隔は $3 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ 。陰影は気温平年差を表す(単位:°C)。

また、この領域では台風が数個発生し、沖縄付近や南シナ海へ進んだ。統計解析によると、8月下旬から9月中旬は、フィリピンの北東海上の対流活動に関連して、フィリピンから日本、北太平洋にかけて波列パターンが現れる傾向がある（第3.3.10図）。このテレコネクションパターンは、第3.1.2項で述べたPJパターンに対応する（Nitta 1986；1987）。統計解析及び先行研究の結果から、フィリピンの北東海上の活発な対流活動や台風の発生が、北・東日本における太平洋高気圧の強化に寄与した可能性が考えられる。

以上より、北・東日本に厳しい残暑をもたらした大気循環の特徴は、第3.3.11図のようにまとめられる。

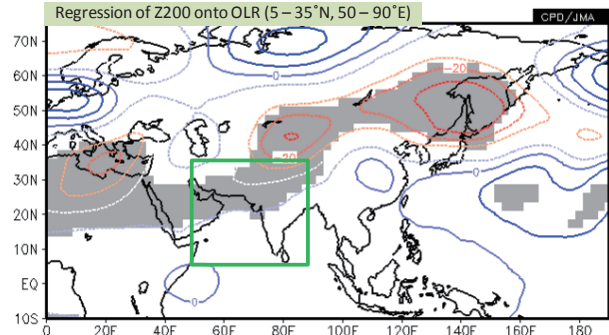


第3.3.7図 200hPa 流線関数・波活動度フラックス及びOLRの平年差（2012年8月21日～9月20日平均）等値線は流線関数平年差を示し、間隔は $3 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ 。“A”と“C”はそれぞれ高気圧性循環偏差と低気圧性循環偏差を表す。矢印は波活動度フラックス（単位： m^2/s^2 ）、陰影はOLR平年差（単位： W/m^2 ）を示す。



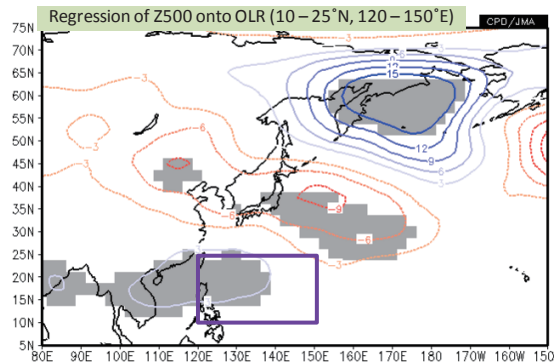
第3.3.8図 OLR平年差（2012年8月21日～9月20日平均、単位： W/m^2 ）

緑と紫の矩形領域は、それぞれ南アジア（ 5°N ～ 35°N 、 50°E ～ 90°E ）とフィリピンの北東海上（ 10°N ～ 25°N 、 120°E ～ 150°E ）の領域を表す。



第3.3.9図 南アジアのOLRに回帰した200hPa高度（8月21日～9月20日平均）

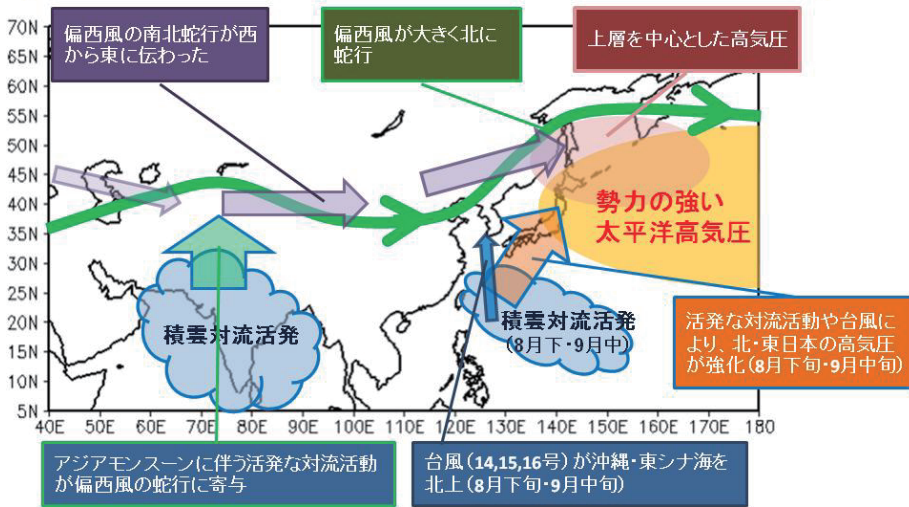
等値線は、南アジア（緑の矩形領域： 5°N ～ 35°N 、 50°E ～ 90°E ）で領域平均したOLRに回帰した200hPa高度を示し、間隔は5m。灰色陰影はt検定による信頼度水準95%で有意な領域。統計期間は1979～2011年。



第3.3.10図 フィリピン北東海上のOLRに回帰した500hPa高度（8月21日～9月20日平均）

等値線はフィリピン北東海上（紫の矩形領域： 10°N ～ 25°N 、 120°E ～ 150°E ）で領域平均したOLRに回帰した500hPa高度を示し、間隔は3m。灰色陰影はt検定による信頼度水準95%で有意な領域。統計期間は1979～2011年。

平成24年8月下旬～9月中旬の大気の流れの模式図



第 3.3.11 図 2012 年 8 月下旬～9 月中旬の北日本・東日本における高温の要因の概念図

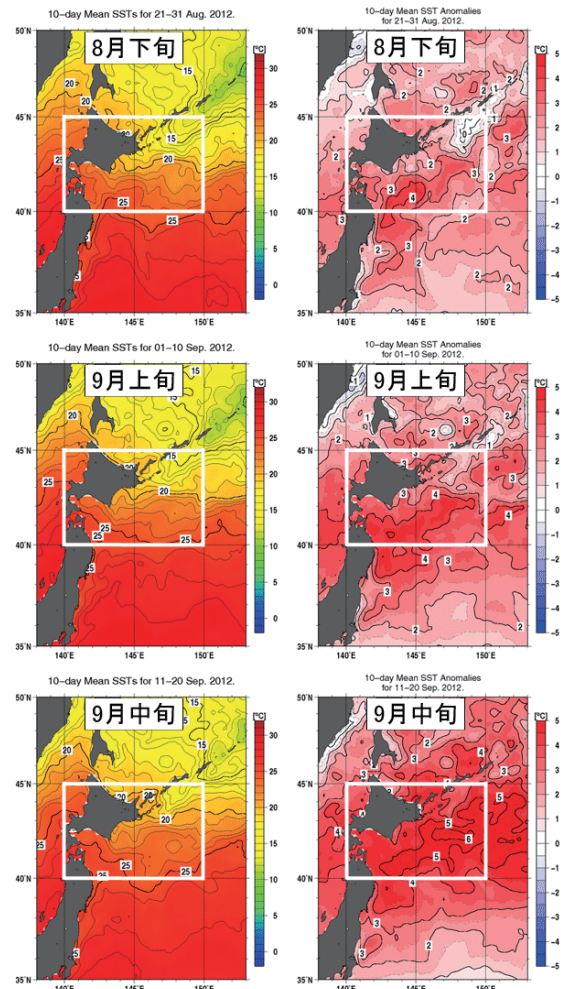
3.4 北海道周辺海域の海面水温

8 月下旬から 9 月中旬にかけて、北海道周辺海域の海面水温は平年と比べてかなり高かった（第 3.4.1 図）。北海道周辺海域（第 3.4.1 図に示した白枠）で平均した 2012 年 9 月中旬の海面水温は 22.5℃で平年より 4.6℃高く、2010 年 8 月下旬の 21.4℃を上回り、1985 年以降の全期間を通じた記録として最も高い旬平均海面水温となった。この海域の海面水温は季節的に 8 月から 9 月にかけて最も高くなるが、9 月上旬及び中旬の平均値は、2 旬続けて、これまでの旬ごとの記録を更新し、1985 年以降で最も高くなった（第 3.4.1 表、第 3.4.2 図）。

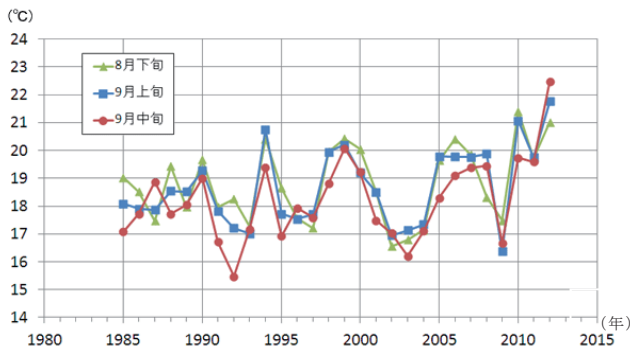
このような記録となった要因として、北日本に高温をもたらした太平洋高気圧に覆われた影響で、北海道周辺海域では風による下層の冷たい海水との混合が少なくなり、晴天下の日照を受けて深さ 10 数 m 前後までの海面付近を中心に熱が蓄積されたことが考えられる（第 3.4.3 図）。

第 3.4.1 表 9 月上旬と中旬の北海道周辺海域（第 3.4.1 図の白枠）の海面水温（単位：℃）の記録

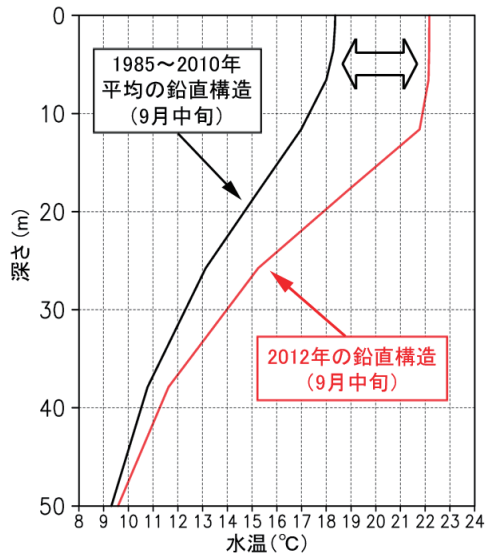
期間	海面水温 (旬平均)	平年差	これまでの記録
9 月上旬	21.8	+3.3	21.1 (2010 年)
9 月中旬	22.5	+4.6	20.1 (1999 年)



第 3.4.1 図 8 月下旬、9 月上旬及び 9 月中旬における旬平均海面水温（左列）と平年差（右列）
単位は℃。白枠は北海道周辺海域の範囲（40°N～45°N、140°E～150°E）を表す。



第 3.4.2 図 北海道周辺海域 (第 3.4.1 図の白枠) の旬平均海面水温の経年変化 (1985~2012 年)
 緑線、青線及び赤線はそれぞれ 8 月下旬、9 月上旬及び 9 月中旬の値を示す。



第 3.4.3 図 北海道周辺海域 (第 3.4.1 図の白枠) における海水温の鉛直構造
 北海道周辺海域における 2012 年 9 月中旬 (赤線) と長期平均 (黒線、1985~2010 年の平均値) の海水温の鉛直構造。海水温が長期平均より特に高い範囲 (図中の⇔) は海面から 10 数 m に限られており、深さ 50m では長期平均との違いは小さい。

3.5 まとめ

2012 年の夏季は、日本の東海上で太平洋高気圧が非常に強まり、北・東日本で厳しい残暑となった。特に、北日本では 8 月下旬から 9 月中旬にかけて記録的な高温となった。本項で記述した高温の要因は、これまでの研究や統計解析の結果と整合するが、完全に説明するものではない。他の要因や詳細なメカニズムについては、さらなる調査・研究が必要である。

参考文献

Enomoto, T., B. J. Hoskins, and Y. Matsuda, 2003: The formation mechanism of the Bonin high in August, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **587**, 157-178.

Enomoto, T., 2004: Interannual variability of the Bonin high associated with the propagation of Rossby waves along the Asian jet. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1019-1034.

Hoskins, B., M. E. McIntyre, and A. W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 877-946.

Kosaka, Y., and H. Nakamura, 2006: Structure and dynamics of the summertime Pacific-Japan teleconnection pattern. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **132**, 2009-2030.

Kosaka, Y., H. Nakamura, M. Watanabe, and M. Kimoto, 2009: Analysis on the dynamics of a wave-like teleconnection pattern along the summertime Asian jet based on a reanalysis dataset and climate model simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 561-580.

Nitta, T., 1986: Long-term variations of cloud amount in the western Pacific region. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 373-390.

Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 373-390.

Sato, N., Sakamoto, K., Takahashi, M., 2005: An air mass with high potential vorticity preceding the formation of the Marcus Convergence Zone. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L17801. doi:10.1029/2005GL023572.

Takaya, K., and H. Nakamura, 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.