TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

北太平洋における海面水温変動に対する温帯低気圧の役割に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-11-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 齋藤, 俊輔 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2257

修士学位論文

北太平洋における海面水温変動に対する温帯低気圧の役割に関する研究

2021 年度

(2021 年 9 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海運ロジスティクス専攻

齋藤俊輔

修士学位論文

北太平洋における海面水温変動に対する温帯低気圧の役割に関する研究

2021 年度

(2021 年 9 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海運ロジスティクス専攻

齋藤俊輔

目次

1. はじめに……1

1.1 研究背景……1

2. データと処理……3

2.1 大気再解析データ……3

2.2 爆弾低気圧情報データベース……4

2.3 人工衛星観測データ……6

2.4 海洋再解析データ……7

2.5 低気圧に伴う SST 変化の抽出……8

3. 結果……9

3.1 低気圧について……9

3.2 衛星観測に見られる SST 変化……10

3.2.1 事例解析……10

3.2.2 統計的解析……12

3.3 海洋再解析に見られる SST 変化……13

3.3.1 事例解析……13

3.3.2 統計的解析……14

3.4 海洋再解析における海洋構造の変化……15

3.4.1 事例解析……15

3.4.2 混合層変化の統計的解析 ……16

4. まとめ ……17

謝辞……21

参考文献 ……22

図表……23

1.はじめに

1.1 研究背景

大気と海洋は密接な相互作用の関係にある。地球表面の 7 割を占める海洋は、海面を通して、熱、水、運動量の活発な交換を行っている。例えば、エルニーニョ現象のような熱帯域の変動や、大陸内部に大量の降水をもたらすモンスーンなどの現象は大気海洋相互作用が大きく関わる特徴的な事例である。

大気から海洋への影響という点については、低気圧の通過が海洋表層に影響を及ぼすことが知られており、台風の通過により海面水温(Sea Surface Temperature : SST)が低下することは過去の海洋観測などによりよく知られており、多くの研究がなされている。しかし温帯低気圧による海洋への影響に焦点を当てた研究は熱帯低気圧を対象にしたものに比べ、未だ少ない。

温帯低気圧とは、寒冷前線や温帯前線などを伴い中緯度の偏西風帯で発生する低気圧のことである。東アジア地域は世界的に見ても温帯低気圧が多く発生することが知られており、日本周辺においても温帯低気圧は東シナ海周辺で多く発生し、日本の本州南岸域を通過することが多い。そのため日本は温帯低気圧の影響を受けやすく、水害、風害など多くの災害が発生している。つまり日本の気象、海象の理解、予測のためには、温帯低気圧の理解が必要不可欠である。

Kobashi et al.(2019)では北太平洋の北緯 25 度から 30 度付近に位置する SST 勾配が大きい海域である亜熱帯前線帯において、温帯低気圧通過による SST の著しい低下を検出

し、低気圧の雲帯による短波放射の減少、潜熱の増加、低気圧と高気圧の間の北風の強まりに伴う混合層下の海水の取り込みによる影響などを指摘した。Kawai and Wada (2011) では熱帯低気圧や温帯低気圧の通過後にクロロフィル a(植物プランクトンの量を表す)が急激に増加し、SST が急激に減少する事例を検出した。日本の南側、オホーツク海、そして特に北緯 35 度から 45 度の黒潮親潮続流の海域で多く発生することも指摘している。これらの研究は日本周辺を中心に北太平洋海域で、熱帯低気圧だけでなく、温帯低気圧も海洋表層に影響を及ぼすことを示している。

本研究でも、温帯低気圧による海洋表層や鉛直構造の変化のメカニズムの解明を目指し、温帯低気圧の中でも急速に発達し、強い風雨をもたらすことで、より顕著な信号を確認することができると考えられる「急発達性低気圧」を対象に解析をする。なお本研究では急発達性低気圧を、その通称である「爆弾低気圧」という表現で呼称する。

2.データと処理

2.1 大気再解析データ

爆弾低気圧の風速や気圧などの物理量を解析するために大気再解析データを使用した。大気再解析データとは様々な観測データを数値モデルに取り込み、解析し全球大気の物理量を再現したものである。本研究では気象庁と電力中央研究所が公開している JRA-55 (Japanese 55-year Reanalysis; Koabayashi et al. 2015)を使用した。水平分解能は 1.25 度× 1.25 度である。時間間隔は要素によって異なる。使用した要素は、海上風(地上から 10m の風速)、及び等圧面風速の東西成分と南北成分、海面更正気圧の地上面解析値で、時間分解能は 6 時間毎である。また風応力の東西成分、及び南北成分の予報平均値も使用した。風応力の時間分解能は 3 時間毎である。全要素の対象期間は 2001 年 12 月から 2016 年 12 月である。

2.2 爆弾低気圧情報データベース

本研究では、九州大学の川村隆一研究室の爆弾低気圧情報データベース(http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/meteorol_bomb/)で公開されている爆弾低気圧を対象として解析した。ここでは爆弾低気圧として抽出された温帯低気圧の発生位置、移動経路、中心気圧、最大発達率などの情報を提供している。爆弾低気圧の抽出に使用したデータは気象庁と電力中央研究所が公開している長期再解析プロジェクト(Japanese long-term reanalysis project: JRA-25)で提供されている大気再解析データ(1979 年から 2004 年)を使用し、JRA-25 提供の海面更正気圧を基に抽出とトラッキングを行っている。2005 年以降のデータは気象庁気候データ同化システム（Japan Meteorological Agency Climate Data Assimilation System: JCDAS）提供の同様なデータを使用している。

抽出とトラッキングのアルゴリズムは、北緯 20 度から北緯 60 度まで、東経 110 度から東経 180 度までの領域の海面更正気圧データから半径 300 ㎞の範囲で最小の気圧の位置を探り、周囲よりも 0.5hPa 以上低ければ、低圧部として抽出をする。発生から 6 時間後の位置を東西に各 9.0 度、南北に 6 各 6.0 度の範囲で次の低圧部を探索し、その後も低圧部が移動すると仮定した位置から同様の範囲で次の低圧部を探索、トラッキングし、24 時間以上持続したものを対象としている。トラッキングされた低気圧に対し、以下の式を用い発達率(ε)を計算し、 ε の最大値が 1(hPa/hr)を超えた場合に爆弾低気圧として定義している。

$$\varepsilon = \left[\frac{p(t-6) - p(t+6)}{12}\right]\frac{\sin 45°}{\sin \emptyset}$$

ここで p は海面更正気圧(SLP)、t は時刻(hour)、ϕ は低気圧中心の緯度を示し、発達率は 12 時間でどの程度 SLP が低下したかを評価している。

本研究で対象とした期間は 2002 年から 2016 年に発生した爆弾低気圧である。使用した要素は、低気圧の発生から 6 時間毎の位置、気圧と、最大急発達率及び最低気圧、それらを記録した位置である。

2.3 人工衛星観測データ

温帯低気圧が SST に及ぼす影響を調べるために人工衛星により観測された SST データを用いた。複数の衛星のマイクロ波放射計で測定した SST のデータを最適内挿法により融合したもので、SST は3日の時間スケールで平滑化されている。アメリカの Remote Sensing Systems のウェブサイト(https://www.remss.com/)から取得した。マイクロ波放射計では海氷や陸上付近の格子の観測が困難ではあるものの、雲を透過して観測することできるので、赤外線放射計などに比べ、均質なデータを使用することが出来る。データの水平格子間隔は 0.25 度×0.25 度であり、 1 日毎の観測値を使用した。

2.4 海洋再解析データ

爆弾低気圧に伴う海洋表層、及び海洋内部の変化のメカニズムを調べるために海洋再解析データを使用した。海洋再解析データとは、船舶や衛星観測などの様々な観測データを海洋モデルに取り込み、時間的、空間的に欠測のないデータとして海洋を再現したものである。本研究では、国立研究開発法人海洋研究開発研究機構(JAMSTEC)及び気象庁気象研究所によって作成された、北太平洋海洋長期再解析データセット FORA-WNP30 (Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pazific; Usui et al. 2017)(以下、FORA)を使用した。水平分解能は東経 117 度から東経 160 度かつ北緯 15 度から北緯 50 度までの海域を 0.1 度格子、東経 160 度から東経 200 度または北緯 50 度から北緯 65 度までの海域を 0.16 度格子間隔という高分解能で再現されている。鉛直分解能は 0.5ｍから 6000ｍまでの、33 層であり、時間分解能は 1 日である。この水温データは各月の 1 ～ 3 日、11～13 日、23～24 日の期間は、1 カ月の時間スケールで平滑化された海面水温データが同化されているので、この期間は低気圧に伴う水温低下の信号が不明瞭になる可能性がある。本研究では 2001 年 12 月から 2016 年 12 月までの期間のポテンシャル水温、塩分のデータを使用した。

2.5 低気圧に伴う SST 変化の抽出

SST 時系列には、季節変動などによる低周波の SST 変化の成分が含まれている。これらの成分と、爆弾低気圧の通過のような短期間の現象に伴う SST 変化を区別するために、SST 変化の高周波成分を抽出する。まず SST 時系列各格子に 15 日間の移動平均をかけて平滑化し、低周波成分を計算した。この低周波成分を SST 時系列から差し引くことで高周波成分を求めた(図 2.1)。 このフィルターにより、およそ 30 日未満の周期をもつ高周波な信号を抽出することが出来るため、本研究が対象とする数日程の周期をもつ爆弾低気圧に伴う信号を取り出すことが出来る。

本研究ではこの高周波成分が負の時、爆弾低気圧のような短期間の現象による SST 低下とみなし、このフィルターで抽出した高周波成分をハイパス成分と呼び、SST の場合はハイパス SST と呼ぶ。

3.結果

3.1 爆弾低気圧について

爆弾低気圧の発生場所や時期による特性を見つけるために、まず各月に発生する爆弾低気圧の数について、表 3.1 に示した。対象期間中の 6 月、7 月、8 月にその発生は見られなかった。その後 9 月から爆弾低気圧の発生が見られ、秋から冬にかけて多くの爆弾低気圧が発生し、特に 12 月から 3 月にかけて、対象の 15 年間の各月で 50 個前後の爆弾低気圧が発生した。その後、春にかけて急速に発生が見られなくなる。

2002 年から 2016 年の間に発生した爆弾低気圧を月ごとに、その経路を図 3.2 から図 3.1 の上段に表示した。また下段に発生地点、最大発達率を記録した地点、最低気圧を記録した地点を表示した。爆弾低気圧の発生しなかった 6 月から 8 月は除外している。これらの図において上段の図は各月における対象期間に発生した爆弾低気圧の発生地点(〇印)とその後の低気圧の経路を示している。同時に最大発達率を記録した地点(☆印)、最低気圧を記録した地点(＊印)を示している。

爆弾低気圧の発生数の多い 11 月から 4 月の期間の発生地点に注目すると、東シナ海、黄海、日本海、本州の南の海上から本州の東の海上にかけて東経 150 度以西の海域に多く発生していることが確認された。また 11 月から 4 月にかけて、最大発達率を記録した地点について、そのほとんどが北緯 35 度から北緯 50 度の間かつ東経 160 度以西の範囲で散見され、特に 1 月及び 2 月は日本の本州の東の海上に集中していることが確認された。

3.2 衛星観測に見られる SST 変化

3.2.1 事例解析

爆弾低気圧が多く発生する 11 月から 3 月の期間の中から事例として、2005 年 11 月 10 日 18 時(UTC)に東シナ海で発達した爆弾低気圧を示す。図 3.11 に 2005 年 11 月 11 日 0 時の地上天気図を、図 3.12 に爆弾低気圧の経路図を示す。この経路図において、発生地点から 6 時間毎の通過地点を丸印(○)で表示する。最大発達率を記録した地点を星印(☆)、最低気圧を記録した地点をアスタリスク(＊)示す。

衛星観測による SST データについて 2005 年 11 月 10 日から 15 日にかけて、各日の SST 分布と、低気圧発生日の SST 分布、及びその両日の SST の差の分布を図 3.13 から図 3.18 に示した。ここで発生日の 10 日と 12 日の SST の差(図 3.14)をみると、12 日 0 時(第 6 番の通過点)に爆弾低気圧が通過した地点である房総半島沖からやや南の海域を中心に広い範囲で、大きな水温低下が起きたことが確認された。ここで 12 日 0 時の地上天気図を図 3.19 に、JRA-55 データの相対渦度と、海面更正気圧を図 3.20 に示した。この時爆弾低気圧は東経 145 度、北緯 35 度付近の点にいる。正の相対渦度の分布から、大気圧の中心とそれに伴う前線が伸びていることが、地上天気図との比較から確認され、この時爆弾低気圧による海水の混合や海面の冷却があったことを示唆している。同様に翌 13 日においても発生日の SST と比較し爆弾低気圧が通過したと思われる海域で大きな水温低下が確認できた。

ここでこの事例の各通過点における SST 変化を調べるために 2.5 節で説明したフィル

ターを掛け、図 3.21 に爆弾低気圧の経路と 6 時間毎の各通過地点、及びそれらの通過地点における前後 15 日間の SST 時系列とハイパス SST 時系列を示した。

図中の横軸に通過地点番号、縦軸に日にちを示している。東経 145 度、北緯 35 度付近の点(12 日 0 時、経路図中 6 番)から東経 159 度、北緯 44 度付近の点(13 日 0 時、経路図中 10 番)の間で SST 低下が通過後 3 日から 7 日ほどの周期で最大 2℃近い SST の低下が見られた。

3.2.2 統計的解析

事例の解析により爆弾低気圧の通過により SST の低下が起こることが確認された。これらの結果を踏まえ、2002 年から 2016 年の季節ごとの爆弾低気圧の各通過点で、通過前後 5 日間での低気圧の通過による SST 低下の最小値を計算する。爆弾低気圧は春季(4~6 月)と夏季(7~9 月)においては発生数が少なくなるので、統計的解析は冬季(1~3 月)と秋季(10~12 月)を対象に行う。図 3.22、3.23 に 2002 年から 2016 年までの各季節のすべての爆弾低気圧の通過点における SST 低下の最小値と、その最小値を通過前後 5 日間でいつ記録したかを示す。一つの通過点に対して複数の爆弾低気圧の通過があった場合、その平均値を示し、等値線には対象期間の平均の SST を示す。冬季、秋季の両方において、日本の東北沖を中心に北緯 35 度から 45 度の範囲で SST 低下が起きている。この海域は SST の南北方向の水温勾配が大きくなっている海域であるため、水温勾配が大きい海域では SST 低下が大きくなることが示唆された。また最小値を記録する時期について何かしらの傾向などを見出すことは出来なかった。

図 3.24 と図 3.25 に冬季と秋季の水温の南北勾配と SST 低下の最小値を示した。SST の南北勾配は東経 130 度から 160 度、北緯 15 度から 60 度の領域を対象に-2℃から 2℃ずつの範囲で計算した。秋季においては水温勾配が大きくなると SST 低下の最小値も大きくなる。冬季においては水温勾配が大きくなると SST 低下の最小値も大きくなる傾向が見られたが SST が 12℃から 16℃の海域においてはその限りではない。

3.3 海洋再解析に見られる SST 変化

3.3.1 事例解析

海洋の内部構造を解析するために海洋再解析データを使用する。まず、衛星観測の事例で見られたような爆弾低気圧の通過による SST 低下が FORA でも見られるかどうか調べた。FORA データの最も浅い深度である 0.5m深度のポテンシャル水温を SST として扱う。衛星観測での事例と同様に 2005 年 11 月 10 日 18 時に発生した爆弾低気圧の事例について解析する。FORA で 2005 年 11 月 10 日から 16 日にかけて、各日の SST 分布と、低気圧発生日の SST 分布、及びその両日の SST の差の分布を図 3.26 から図 3.31 に示した。ここでも衛星観測ほどの広範囲に及ぶものではないが、爆弾低気圧の通過後に SST の低下が見られた。

FORA の SST データにおいても衛星観測と同様のフィルターを掛け、6 時間ごとの通過地点における前後 15 日間の SST 及びハイパス SST の時系列を図 3.32 に表示した。各通過点における FORA の SST の値について、衛星観測データは 0.25 度の格子間隔であるのに対して FORA は 0.1 度(一部 0.16 度)なので、衛星観測の 1 格子あたりの領域に近づけるために FORA では中心の格子を取り囲む 8 点を含めた領域平均の値を採用した。FORA においても東経 145 度、北緯 35 度付近の点(12 日 0 時、経路図中 6 番)から東経 159 度、北緯 44 度付近の点(13 日 0 時、経路図中 10 番)にかけて、低気圧の通過後にハイパス SST が最大で-1.7℃前後低下していることが確認された。以上の結果から FORA による SST の低下は、衛星観測と整合し、同様の信号を捉えていると言える。

3.3.2 統計的解析

FORA のデータにも衛星観測と同様の統計処理を行い、図 3.33、図 3.34 に示した。東北の沖を中心とした海域における水温低下は衛星観測より顕著となった。これは衛星観測の SST データは 3 日間の期間で内挿されているため、これよりも短い期間の信号が弱くなっていることが原因と考えられる。一方で、FORA の高緯度帯では、衛星観測の SST 低下に比べて変化が小さく、高緯度帯において FORA では低気圧の通過による SST の低下を過小評価している可能性を示唆している。

また図 3.35 に冬季の、図 3.36 に秋季の FORA における水温の南北勾配と SST 低下の最小値を示した。FORA においても水温勾配が大きくなると SST 低下の最小値も大きくなる傾向が見られた。

3.4 海洋再解析における海洋構造の変化

3.4.1 事例解析

低気圧の通過による海洋の鉛直構造への影響を調べるために FORA の水温、塩分の鉛直構造、及び混合層深度を調べた。なお混合層深度は水温、密度のデータを線形補完し、水深 10ｍの水温、密度に対し、水温に対しては閾値 0.4℃変化する深度を等温度層深度、密度に対しては閾値 0.05(kg/m^3)変化する深度を等密度層深度とし、そのどちらか浅い深度を混合層として定義した。図 3.37 に東経 145 度、北緯 35 度付近の点(12 日 0 時)の前後 10 日間の水温を等値線に、ハイパス水温をカラースケールで表した時間深度断面図を示す。青い太線は混合層深度を示している。12 日の爆弾低気圧の通過後、水深 70ｍより下の水温が大きく低下している。14 日の水深 100ｍから 300ｍ近くの水温は最大で-3℃近く低下しておりその後 16 日から混合層の水温低下と混合層深度の深化が確認できる。同様に図 3.38 に東経 145 度、北緯 35 度付近の点(12 日 0 時)の塩分及びハイパス塩分の時間深度断面図を示した。塩分は爆弾低気圧通過直後から表層から水深 350ｍ付近まで低下が見られ、その後塩分は深さ方向に減少が遷移している。また、17 日頃、水温同様塩分も表層付近で低下している。混合層下の塩分は、混合層の塩分に比べて高塩であるため、混合層塩分の低下は、混合層下からの海水の取り込みでは説明できない。おそらく降水や水平移流など別の要因が混合層の水温塩分の変化に寄与していると考えられる。

3.4.2 混合層変化の統計的解析

事例解析により、爆弾低気圧の通過により混合層の深化が確認された。これらの結果を踏まえ、2002 年から 2016 年の各季節のすべての爆弾低気圧の通過点で、通過前後 5 日間での低気圧の通過によって混合層がどの程度深化したかを解析する。各通過点で爆弾低気圧の通過時の混合層の深さと、前後 5 日間で最も深い混合層の深さの差を取り、その差を通過時の混合層深さで割ることで混合層の深化率(%)を計算し図 3.39 から図 3.40 に示した。上段の図ではその季節の平均 SST を、下段の図では平均の混合層深度を等値線で示している。

各季節において、混合層の深化は東北沖を中心とした海域では他の海域に比べ特に高い深化率が見られた。衛星観測及び、FORA による SST 最小値の分布でも同様の海域で比較的大きな SST 低下が見られた。そこで、各通過点における混合層深化率と SST 低下の最小値の関係を図 3.41 から図 3.42 に示した。この図からも SST 低下が大きい通過点では混合層もより深くなることが示唆された。各季節において相関係数を計算すると、冬季は「-0.56」、秋季は「-0.48」であった。次に SST 低下の最小値と混合層の深化率の関係における外れ値の分布を調べた。冬季は、混合層深化率の 0.06 倍の値と SST 低下最小値の和が、-1 より小さいか、1 より大きい時を外れ値とし、秋季は、混合層深化率の 0.1 倍の値と SST 低下最小値の和が、-1 より小さいか、1 より大きい時を外れ値とした。冬季の外れ値は日本の周辺と南の海上に散見され、秋季においては日本の東の海上を中心に外れ値が見られた。

4.まとめ

本研究では、爆弾低気圧データベースから得られた低気圧の情報を中心に、人工衛星観測、海洋再解析、大気再解析のデータを用いて北太平洋北西部海域の爆弾低気圧に着目し、温帯低気圧が海洋表層に及ぼす影響を調べた。まず爆弾低気圧の発生場所や時期による特性を見つけるために、月ごとに、発生地点、経路、最大発達率を記録した地点、最低気圧を記録した地点を調べた。6 月から 8 月の間、爆弾低気圧は見られず、9 月ごろから徐々に発生が見られ、特に 12 月から 3 月にかけて対象の 2002 年から 2016 年の間に各月で 50 個近い爆弾低気圧の発生を確認した。爆弾低気圧の発生数の多い時期の発生場所に着目すると、東シナ海、黄海、日本海、本州の南の海上から本州東の海上にかけて多く分布していることが確認された。また最大発達率を記録した地点については、そのほとんどが、北緯 35 度から 50 度の間かつ、東経 160 度以西の範囲に見られ、特に 1 月及び 2 月は本州の東方沖の海上に集中していたことが分かった。

続いて、爆弾低気圧の通過による SST 低下の事例として、2005 年 11 月 10 日 18 時に東シナ海で発生した爆弾低気圧を選び、発生日の SST の 1 日毎の SST との差を表示し、SST 低下が見られた日の中から 11 月 12 日の SST について海面気圧と相対渦度を図示した。爆弾低気圧は 11 月 12 日 0 時（UTC)に東経 145 度、北緯 35 度付近の点を通過しており、正の相対渦度が確認され、爆弾低気圧によって海水の混合が起きたことが示唆された。

SST の高周波成分を抽出し、ハイパス SST を求めたところ、東経 145 度、北緯 35 度付近の点(12 日 0 時)から東経 159 度、北緯 44 度付近の点(13 日 0 時)にかけて通過後 3 日か

ら 7 日ほどの周期で最大で 2 ℃近い SST の低下が見られたことで、低気圧の通過後に SST が低下することが確認された。これらの結果を踏まえ、2002 年から 2016 年の期間で、爆弾低気圧の発生が少ない春季(4~6 月)と夏季(7~9 月)除いた、冬季(1~3 月)と秋季(10~12 月)のすべての爆弾低気圧の各通過点で、通過前後 5 日間での低気圧の通過による SST 低下の最小値とその最小値をいつ記録したかを計算した。冬季、秋季の両方において、日本の東北沖を中心に北緯 35 度から 45 度の範囲で SST 低下が起きていた。この海域は SST の南北方向の水温勾配が大きくなっている海域であるため、水温勾配が大きい海域では SST 低下が大きくなることが示唆された。一方で最小値を記録する時期については、何かしらの傾向などを見出すことは出来なかった。

南北方向の水温勾配(東経 130 度から 160 度、北緯 15 度から 60 度の領域を対象に-2℃から 2℃ずつの範囲)と最小値の関係を調べたところ、水温勾配が大きくなると SST 低下の最小値も大きくなることが示されたが、冬季においては SST が 12℃から 16℃の海域においてはその限りではない。

続いて、海洋内部の構造を調べるために FORA を解析した。まずは FORA と衛星観測のデータの整合性を検証した。FORA においても同様の事例で解析したところ、衛星観測ほどの広範囲では無いが SST 低下が見られた。6 時間ごとの通過地点における前後 15 日間の SST 及びハイパス SST の時系列を計算したところ、FORA においても衛星観測同様、東北沖の北緯 35 度から 45 度の領域で、低気圧の通過後にハイパス SST が最大で-1.7℃前後低下していることが確認された。

FORA のデータにも衛星観測と同様の統計処理を行ったところ、東北の沖を中心とした海域における水温低下は衛星観測より顕著となった。これは衛星観測の SST データは 3 日間の期間で内挿されているため、これよりも短い期間の信号が弱くなっていることが原因と考えられる。一方で、FORA の高緯度帯では、衛星観測程の SST 低下が見られなかった。これは高緯度帯において FORA では低気圧の通過による海面水温の低下を過小評価している可能性を示唆している。また、FORA においても水温勾配が大きくなると SST 低下の最小値も大きくなる傾向が見られた。これらの結果から FORA による SST の低下は、衛星観測と整合し、同様の信号を捉えていることが示唆された。

低気圧の通過による海洋の鉛直構造への影響を調べるために FORA の水温、塩分の鉛直構造、及び混合層深度を調べた。11 月 12 日 0 時(UTC)に低気圧が通過した東経 145 度、北緯 35 度付近の点において、FORA で水温、塩分及びそれらのハイパス成分の前後 10 日間の鉛直構造調べると、低気圧の通過後、ハイパス水温、塩分ともに深さ方向に大きく低下している確認され、通過から約 4 日後に、表層付近でハイパス水温、ハイパス塩分の低下と混合層の深化が見られた。混合層下の塩分は、混合層の塩分に比べて高塩であるため、混合層塩分の低下は、混合層下からの海水の取り込みでは説明できない。おそらく降水や水平移流など別の要因が混合層の水温塩分の変化に寄与していると考えられる。各通過点で爆弾低気圧の通過時の混合層の深さと、前後 5 日間で最も深い混合層の深さの差を取り、その差を通過時の混合層深さで割ることで混合層の深化率(%)を計算したところ、衛星観測、FORA においても大きな SST 低下が見られた東北沖の海域で高い混合層の深化率が

見られた。SST 低下の最小値と混合層の深化率の相関係数を計算したところ、冬季は「-0.56」、秋季は「-0.48」となった。以上から SST 低下が大きい海域では混合層が大きく深化することが示唆された。一方で、SST 低下の最小値と混合層の深化率の関係における外れ値の分布を調べたところ、冬季は日本の周辺と、日本の南の海上に散見され、秋季は日本の東の海上に多く見られた。

本研究では、温帯低気圧の中でも特に風雨の強い「爆弾低気圧」の通過が SST の変動及び混合層深さに及ぼすことを明らかにした。この爆弾低気圧による SST の変化が、平均 SST の分布や年々変動にどのような影響を与えるか解明することが、今後の課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、最後までご指導いただきました岩坂直人教授と、小橋史明教授に心より御礼申し上げます。

また、環境科学研究室の皆様、観測船「白鳳丸」、「新青丸」でご一緒させていただいた皆様にも厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

Kobashi, F., Doi, H., & Iwasaka, N. (2019). Sea surface cooling induced by extratropical cyclones in the subtropical North Pacific: Mechanism and interannual variability. Journal of Geophysical Research: Oceans, 124. https://doi.org/10.1029/2018JC014632

Yoshimi Kawai & Akiyoshi Wada (2011): Detection of cyclone-induced rapid increases in chlorophyll-a with sea surface cooling in the northwestern Pacific Ocean from a MODIS/SeaWiFS merged satellite chlorophyll product, International Journal of Remote Sensing, 32:24,9455-9471

土井 晴貴(2018) 西部北太平洋表層に及ぼす温帯低気圧の影響について. 東京海洋大学大学院　海洋科学技術研究科 海洋環境保全学専攻 平成２９年度 修士論文

図・表

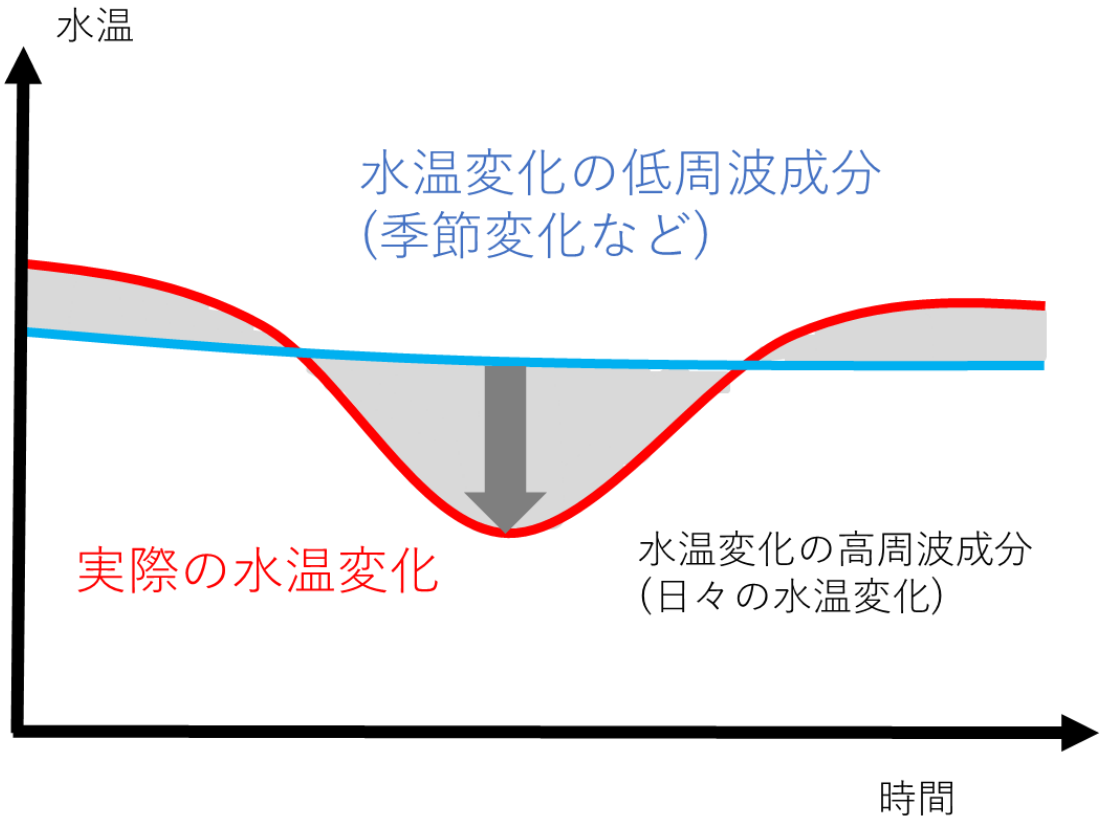


図 2.5 低気圧に伴う SST 変化の抽出

実際の水温変化に 30 日間の移動平均を差し引くことで、低気圧のような短期間の現象による SST 変化を抽出した。

月	発生した爆弾低気圧［個］
1 月	47
2 月	53
3 月	46
4 月	22
5 月	3
6 月	0
7 月	0
8 月	0
9 月	5
10 月	12
11 月	32
12 月	53

表 3.1 2002 年から 2016 年の間に各月で観測された爆弾低気圧の個数

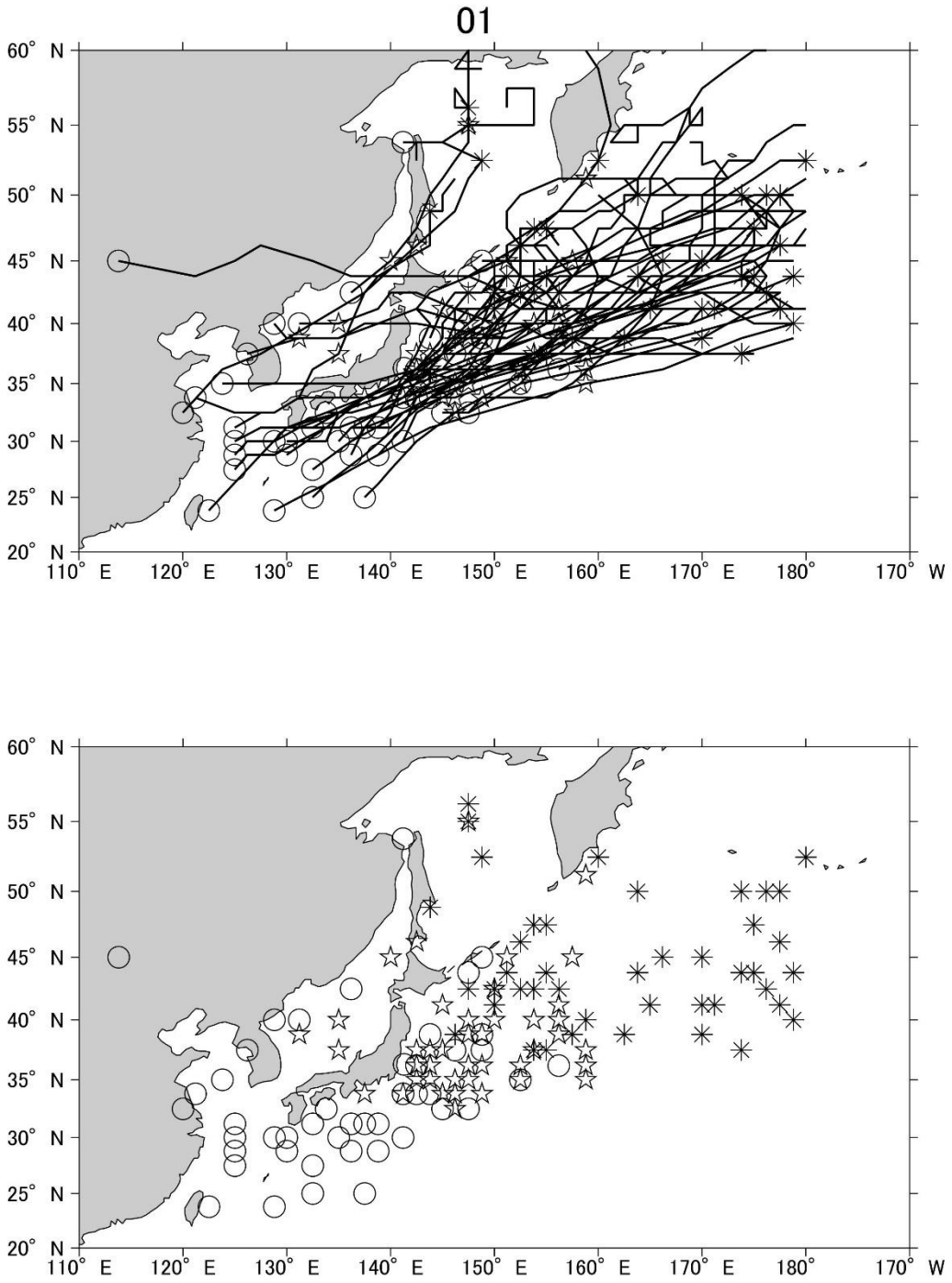


図 3.2　2002 年から 2016 年の 1 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

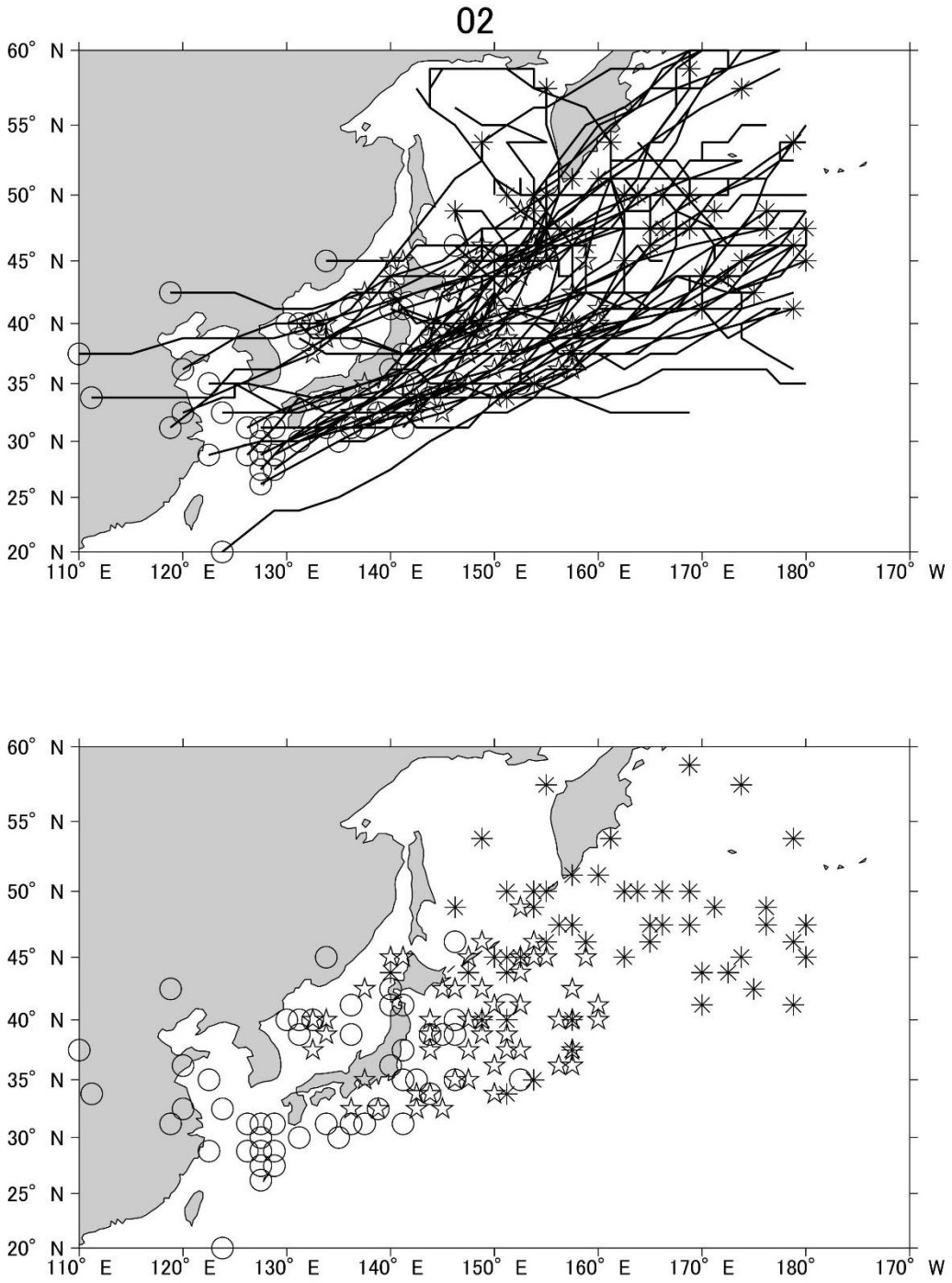


図 3.3　2002 年から 2016 年の 2 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

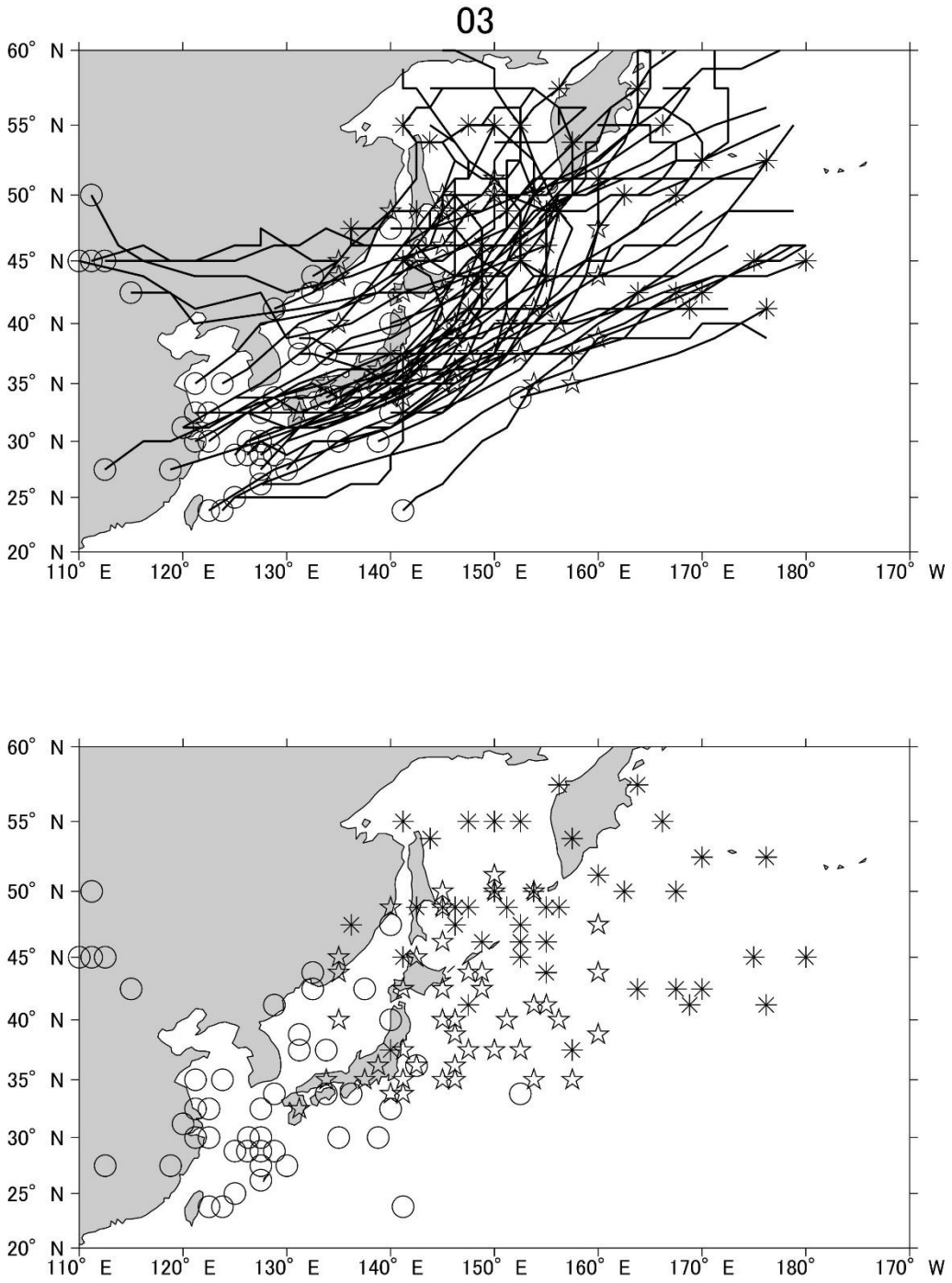


図 3.4　2002 年から 2016 年の 3 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

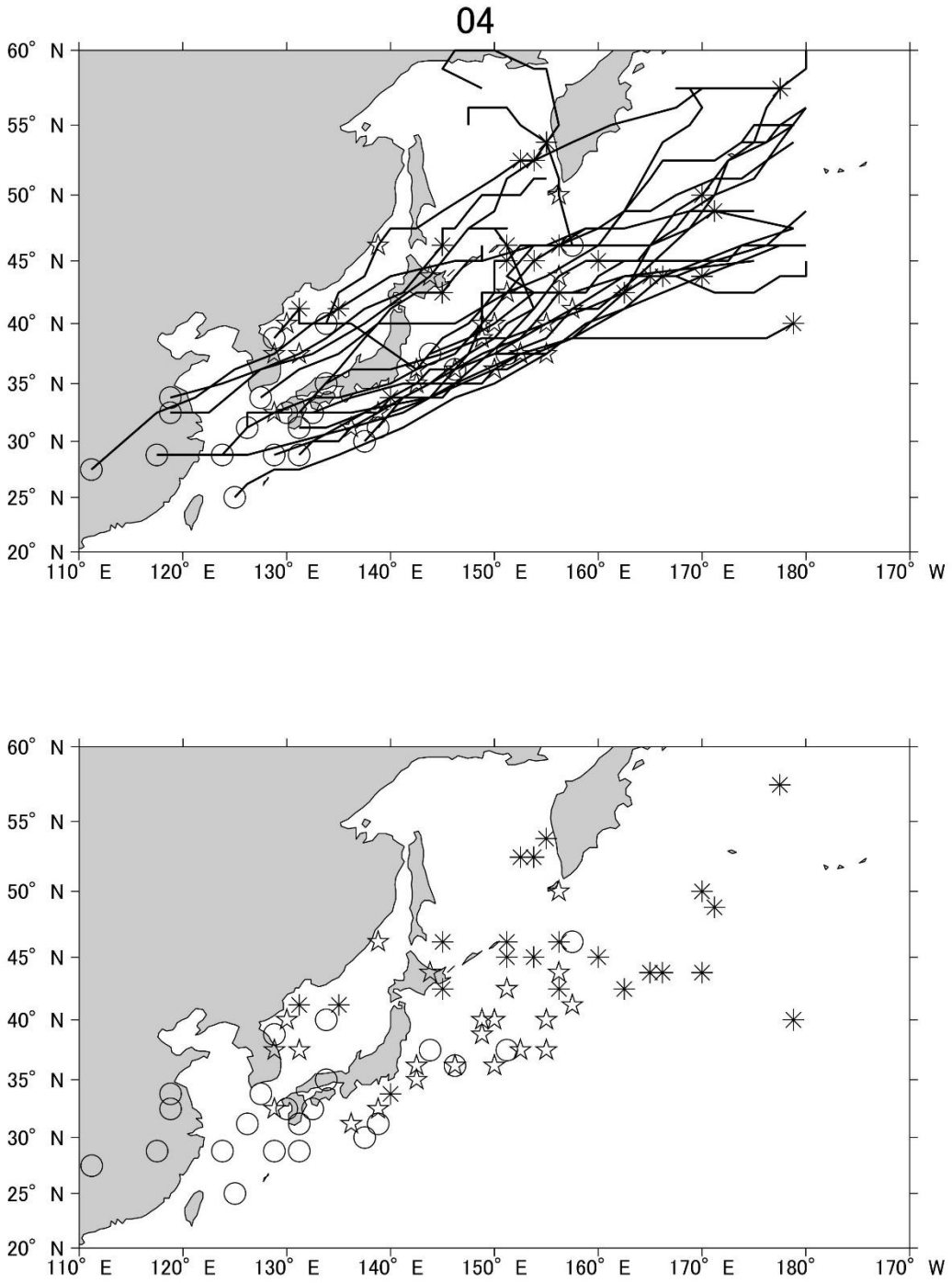


図 3.5　2002 年から 2016 年の 4 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

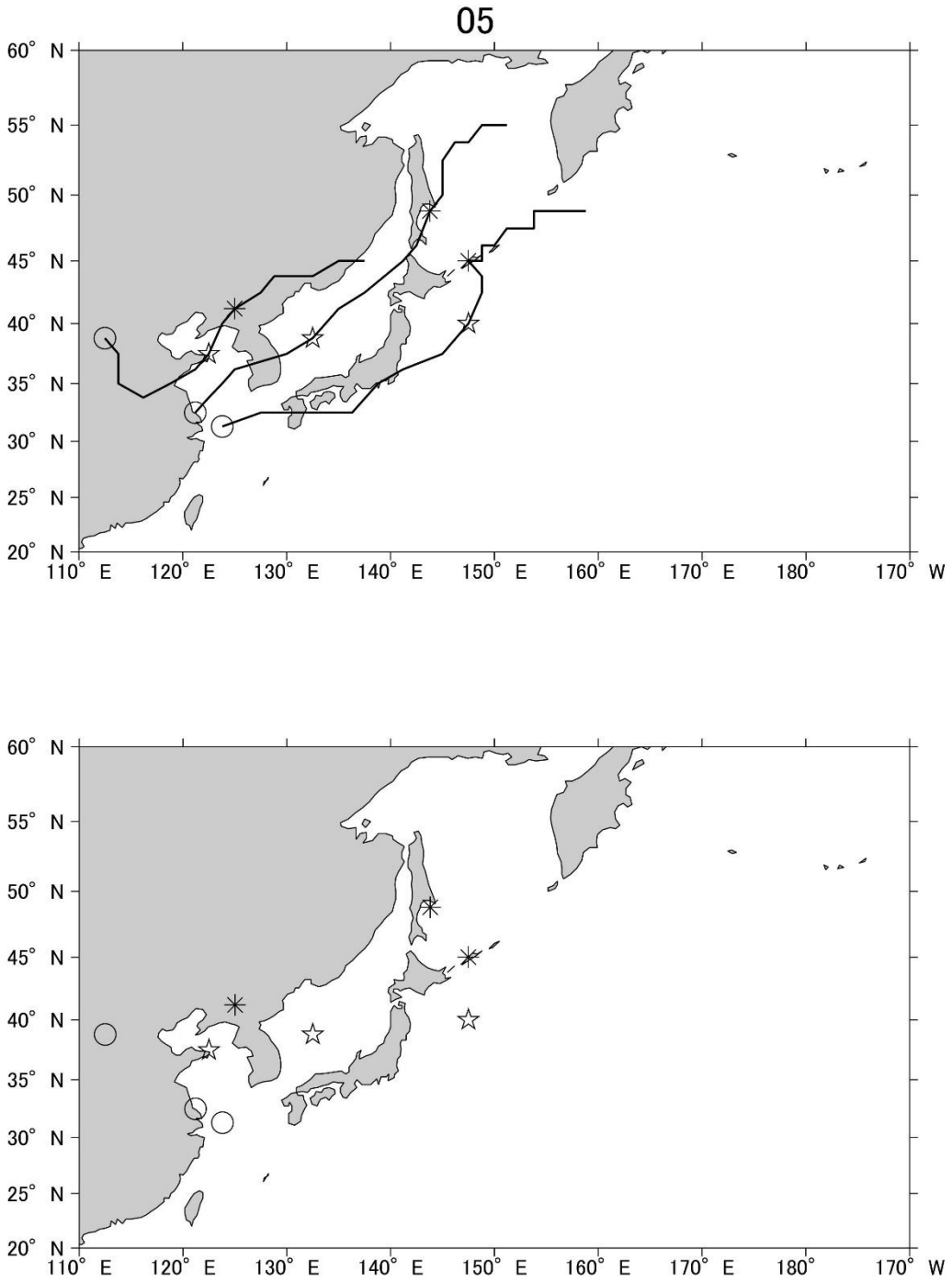


図 3.6　2002 年から 2016 年の 5 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

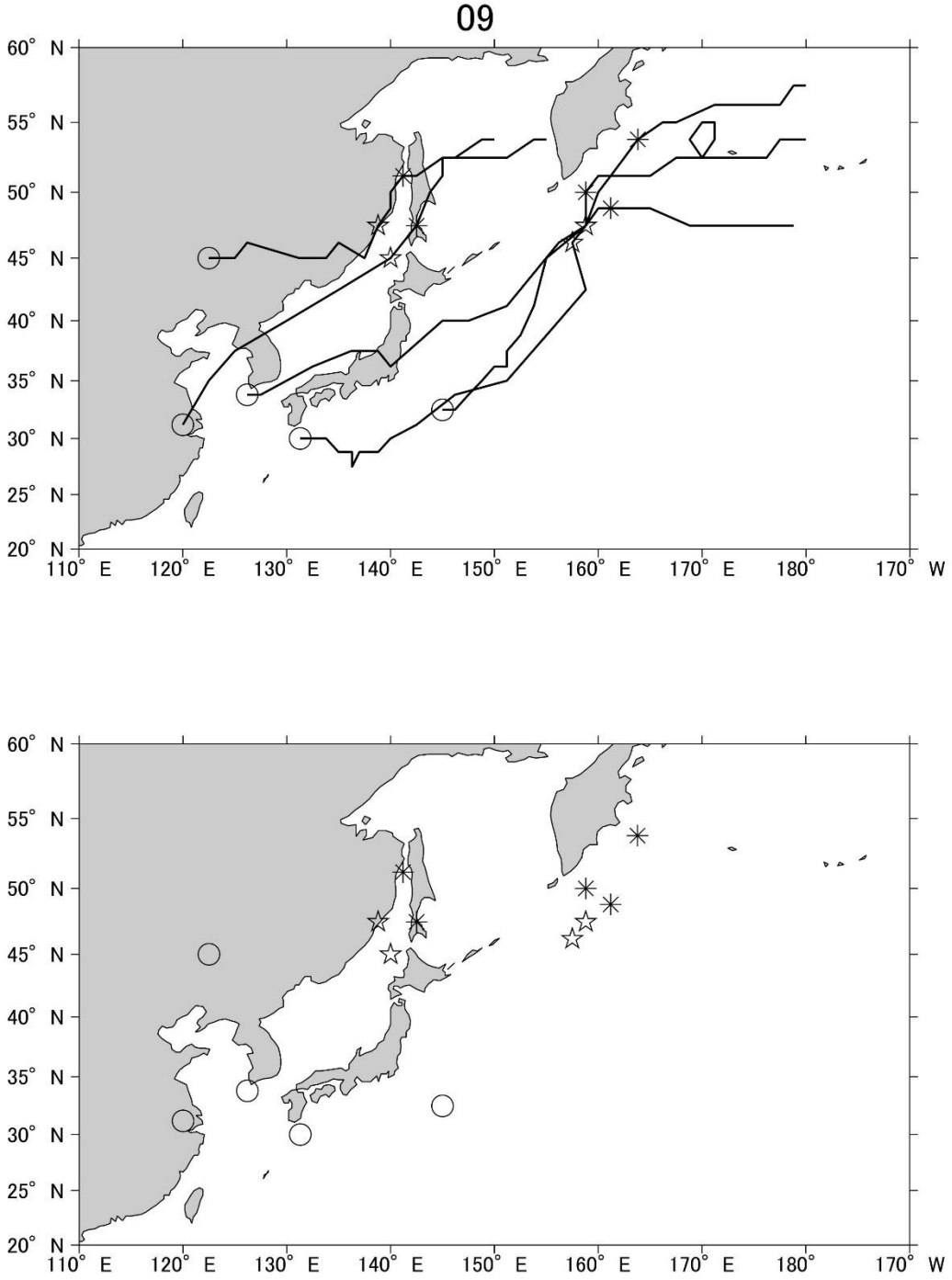


図 3.7　2002 年から 2016 年の 9 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

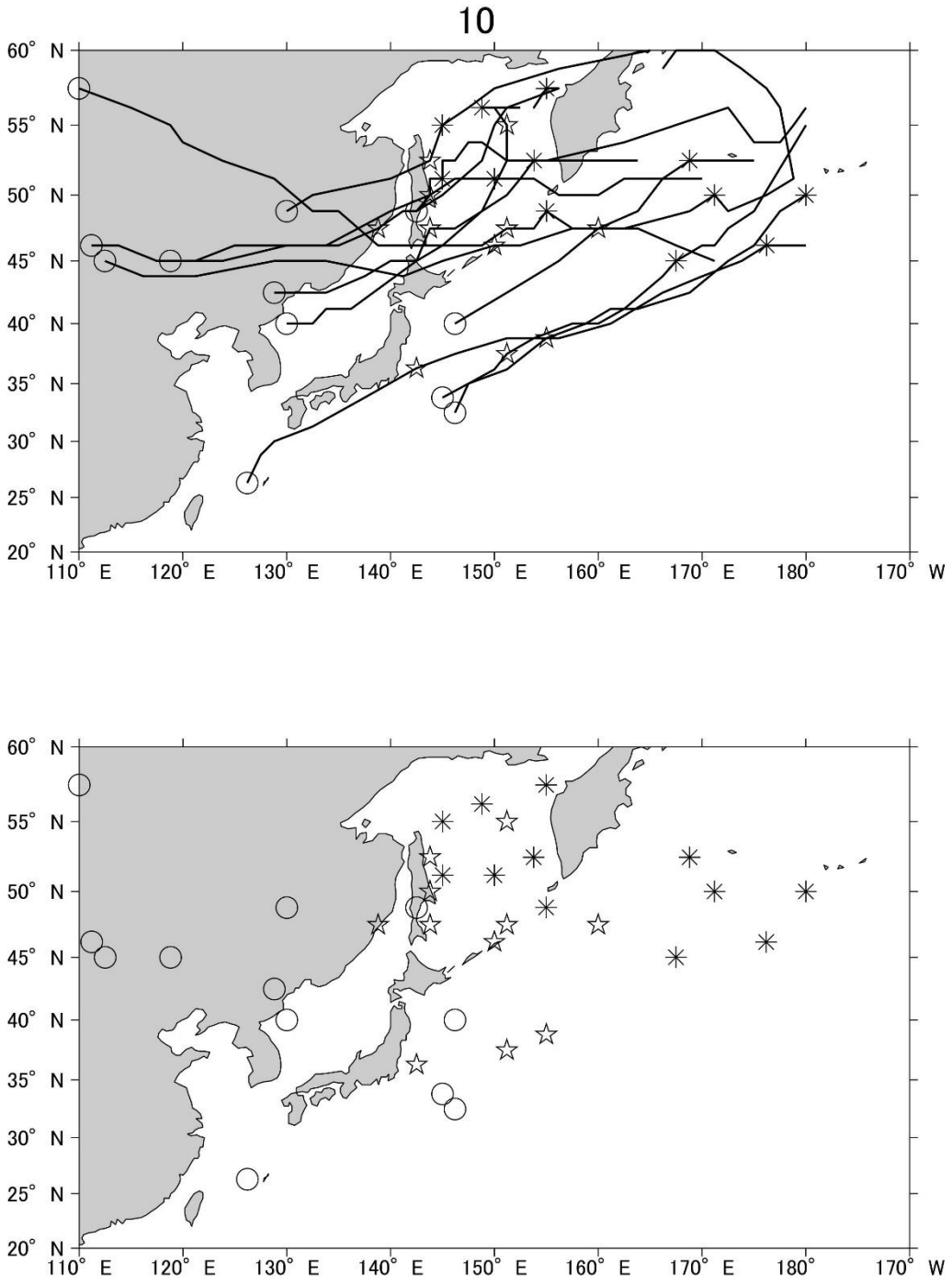


図 3.8　2002 年から 2016 年の 10 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

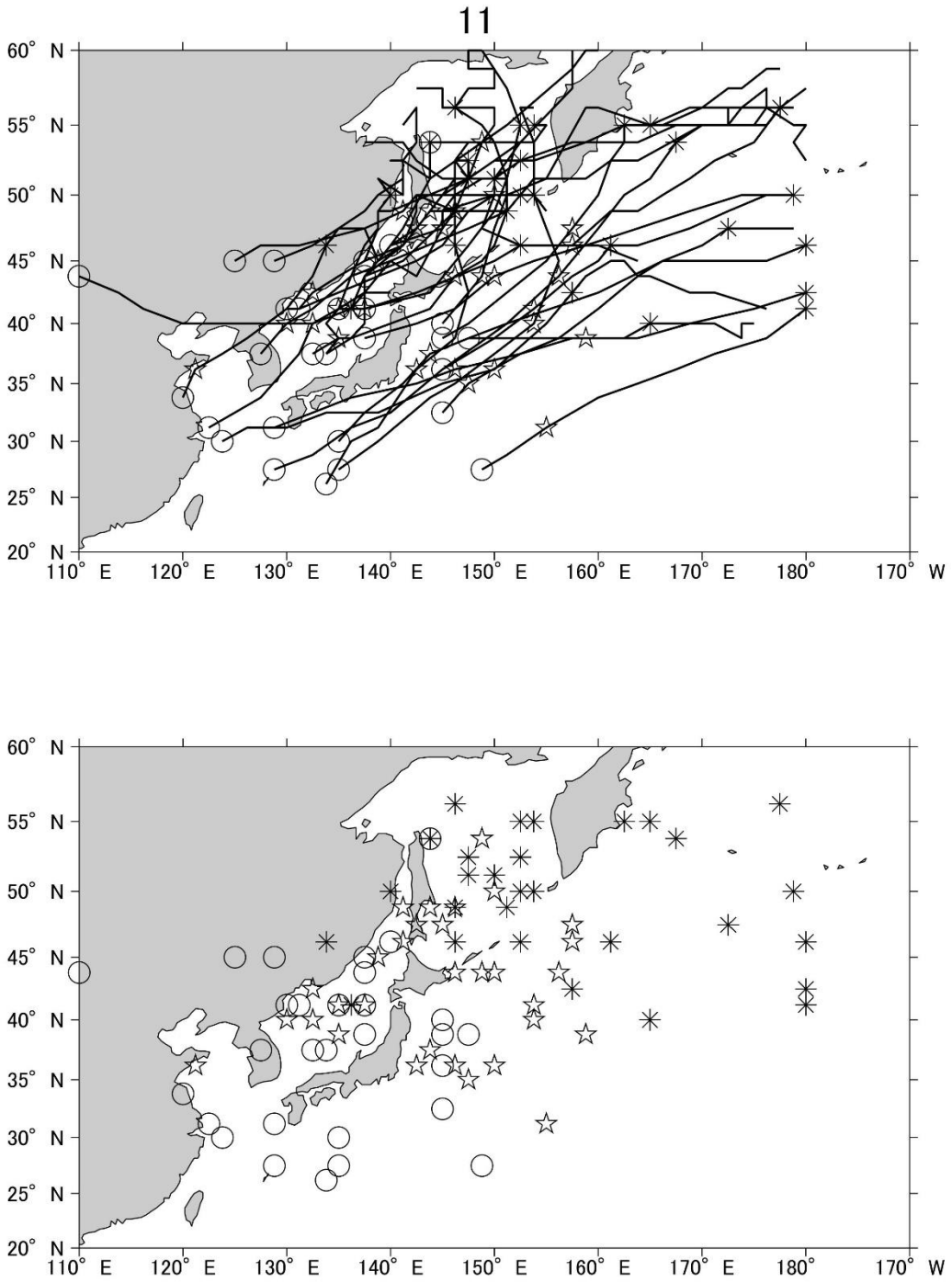


図 3.9　2002 年から 2016 年の 11 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

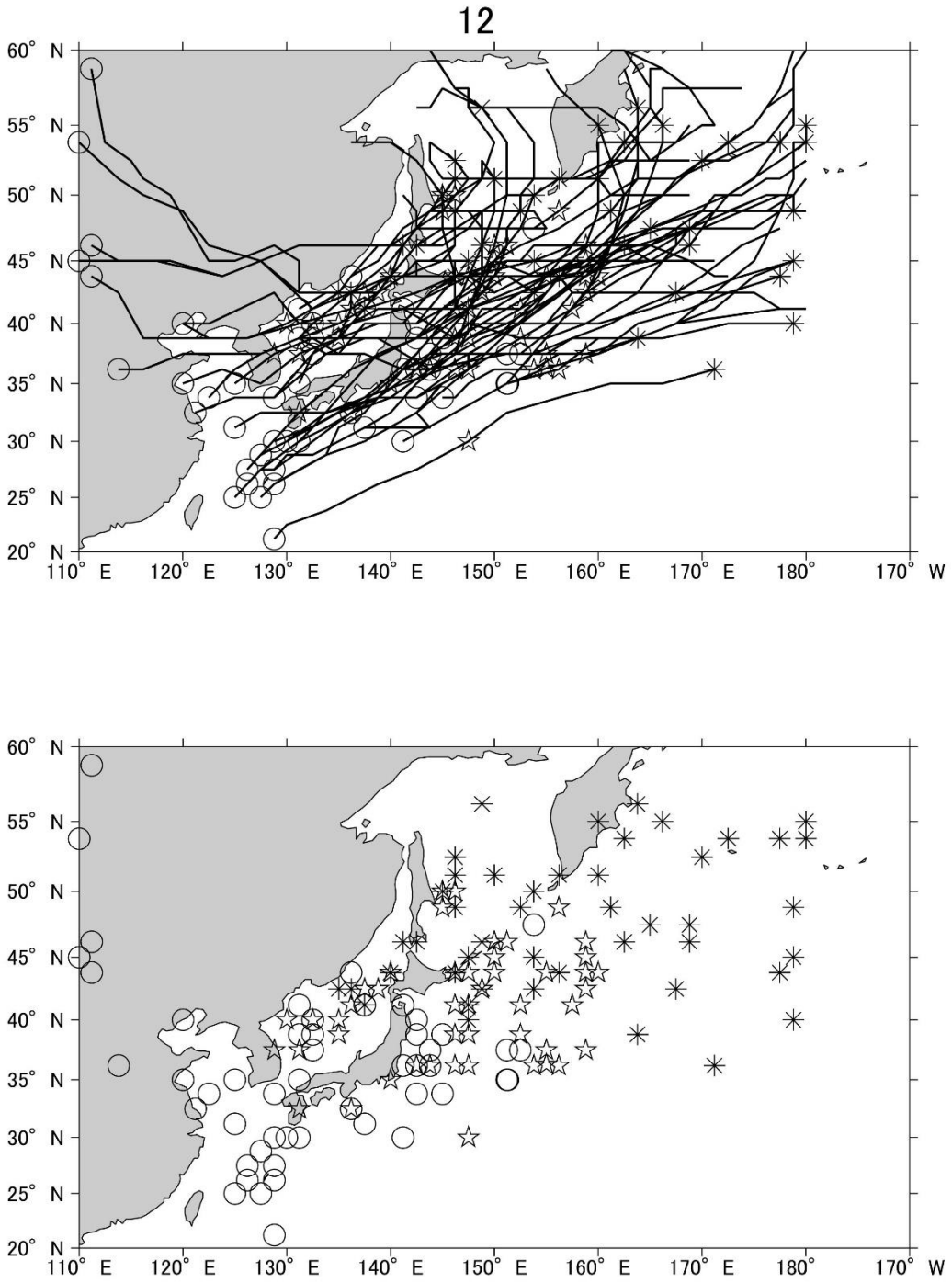


図 3.10　2002 年から 2016 年の 12 月に観測された爆弾低気圧の経路と、発生地点(○印)、最大急発達率地点(☆印)、最低気圧地点(＊印)。

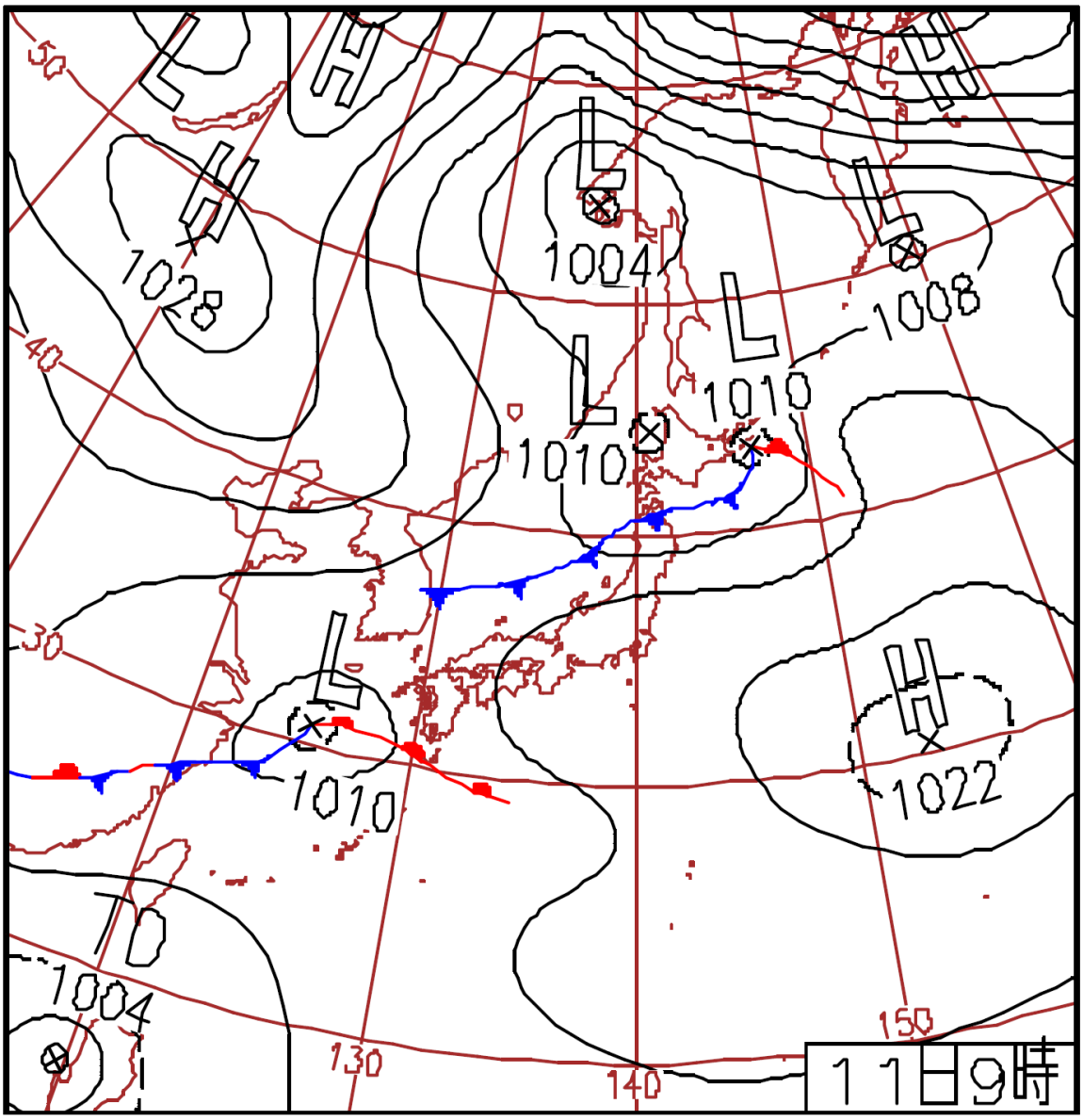


図 3.11　対象の爆弾低気圧の発生から 6 時間後である、11 月 11 日 0 時(UTC)の地上天気図である。対象の爆弾低気圧は九州の西の海上にいる。

(引用: 気象庁 https://www.jma.go.jp/jma/index.html)

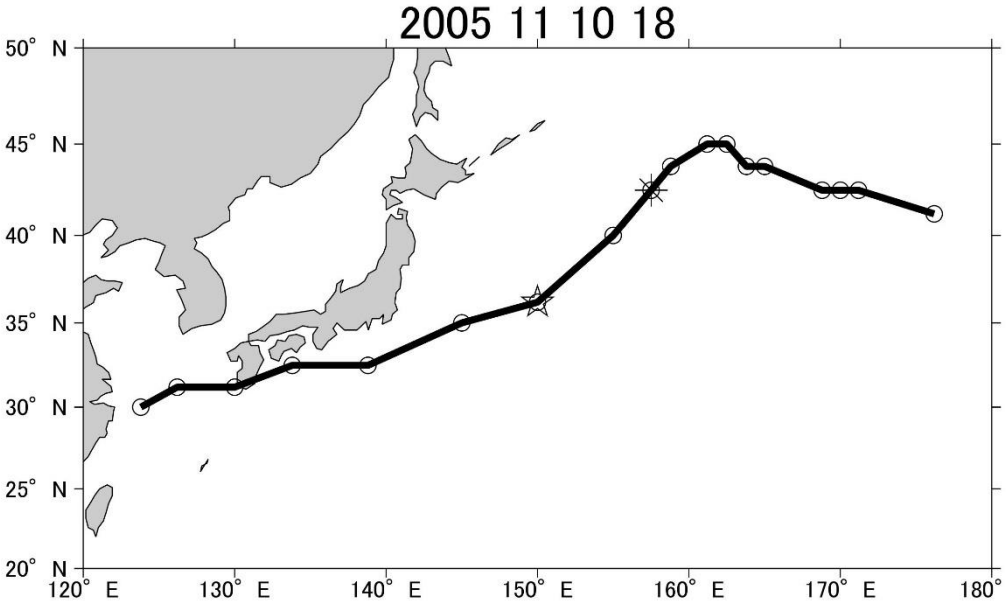


図 3.12　2011 年 11 月 10 日 18 時発生の爆弾低気圧の経路。東シナ海で発生後、緩やかに北上しながら本州の南を進み、12 日 6 時ごろ東経 150 度、北緯 35 度付近で最大急発達率を記録。その後も北上を続け、12 日 18 時ごろ東経 158 度、北緯 43 度付近で最低気圧を記録した。

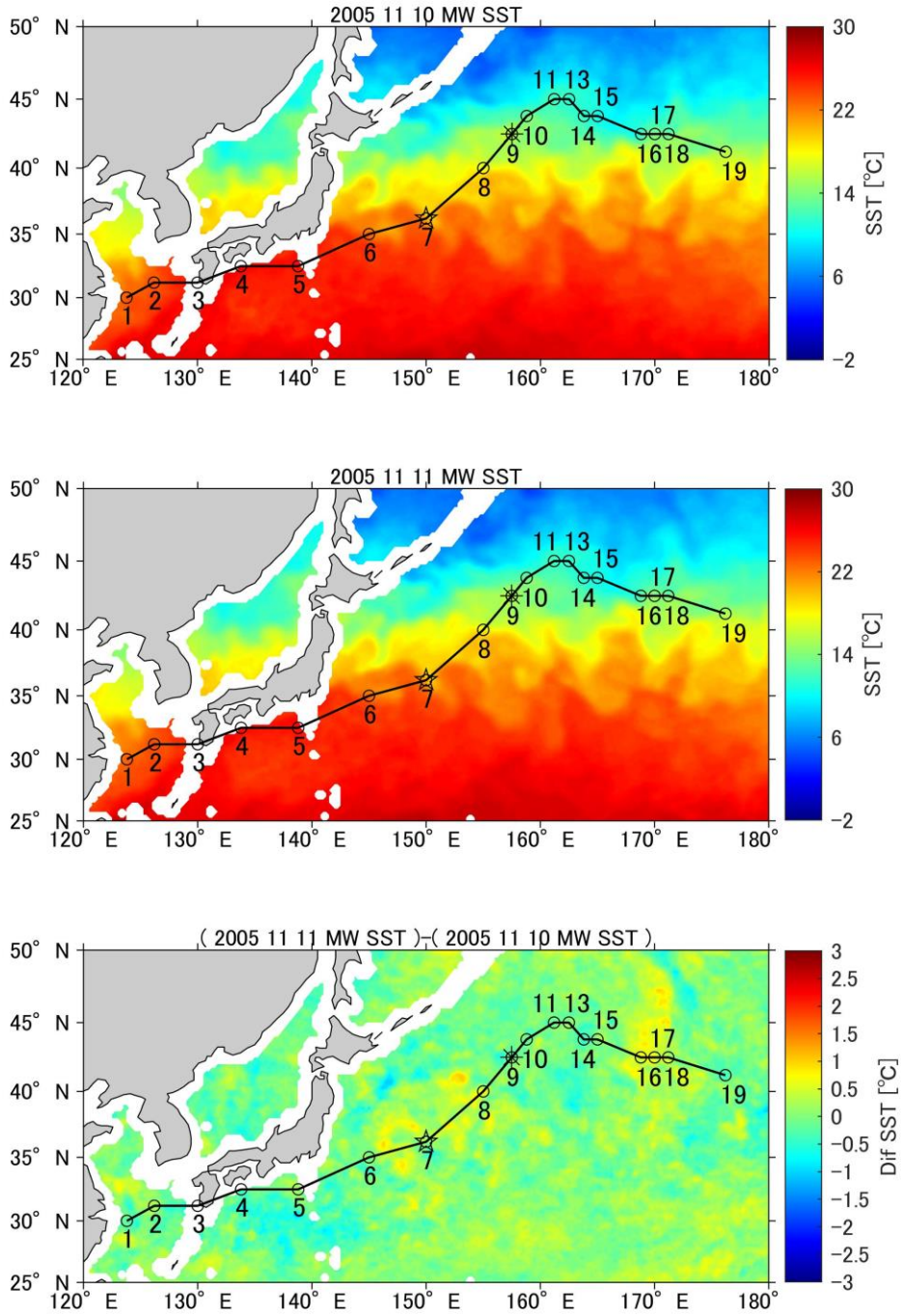


図 3.13　11 月 10 日と 11 月 11 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、○印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

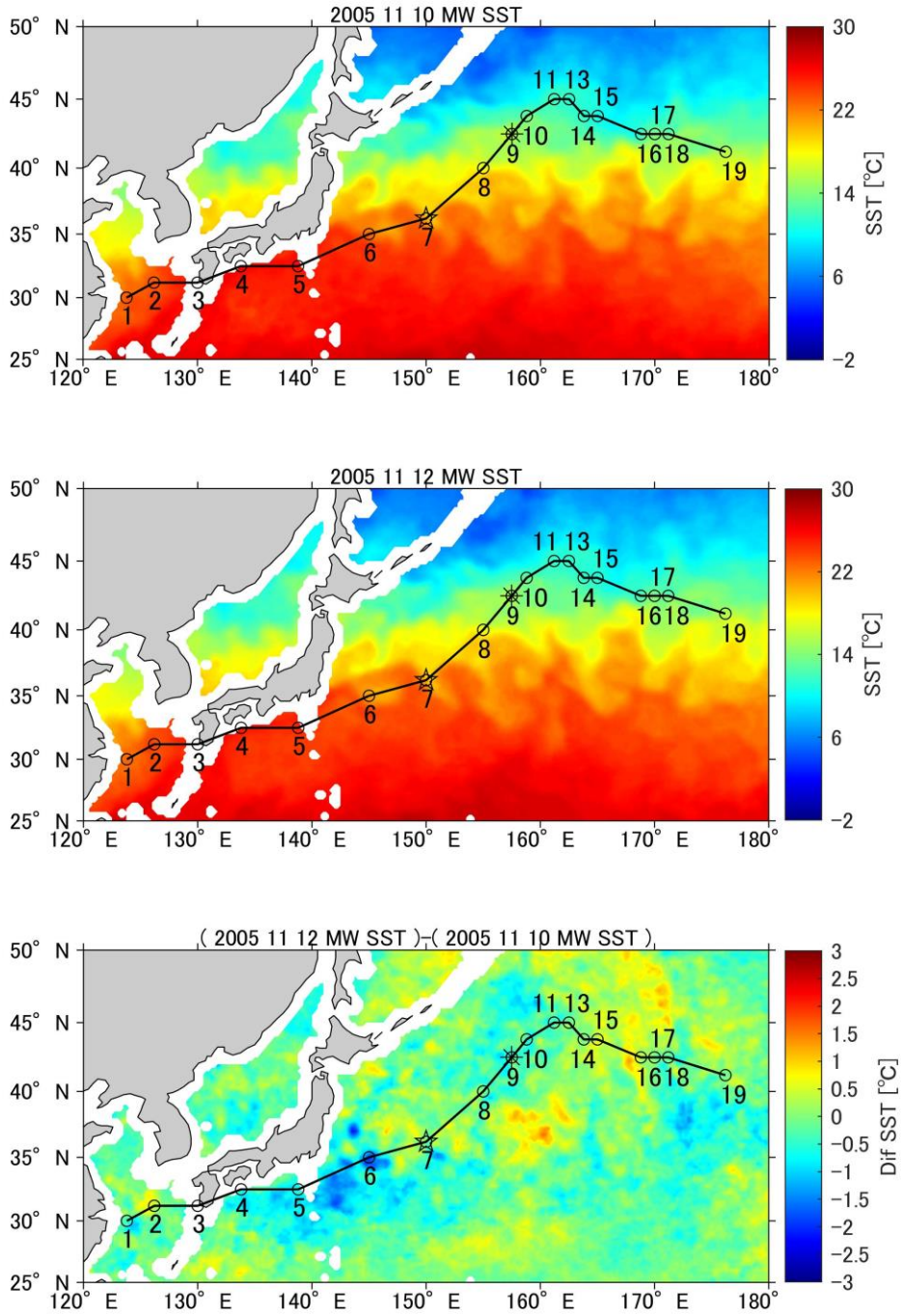


図 3.14　11 月 10 日と 11 月 12 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、〇印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

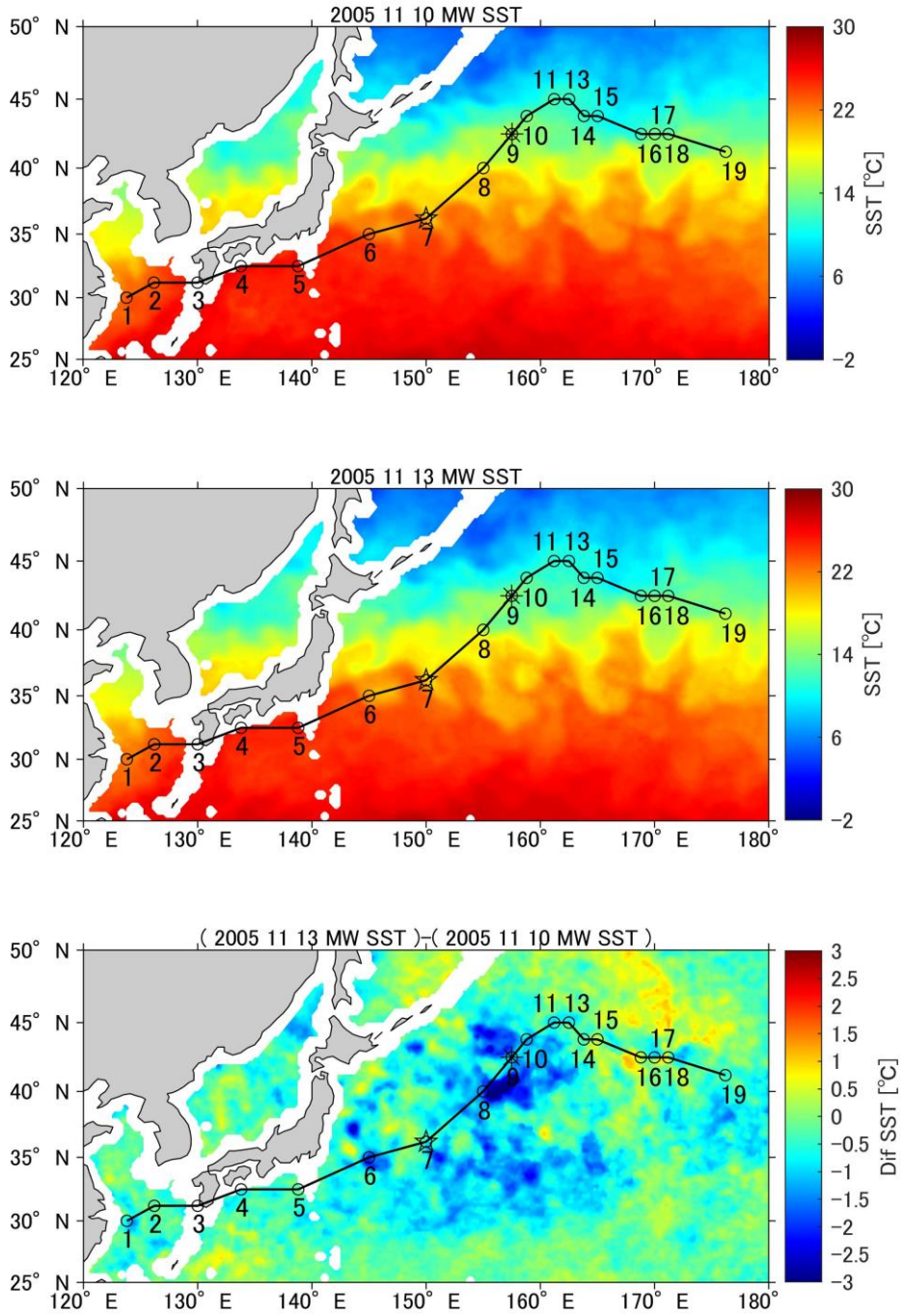


図 3.15　11 月 10 日と 11 月 13 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、○印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

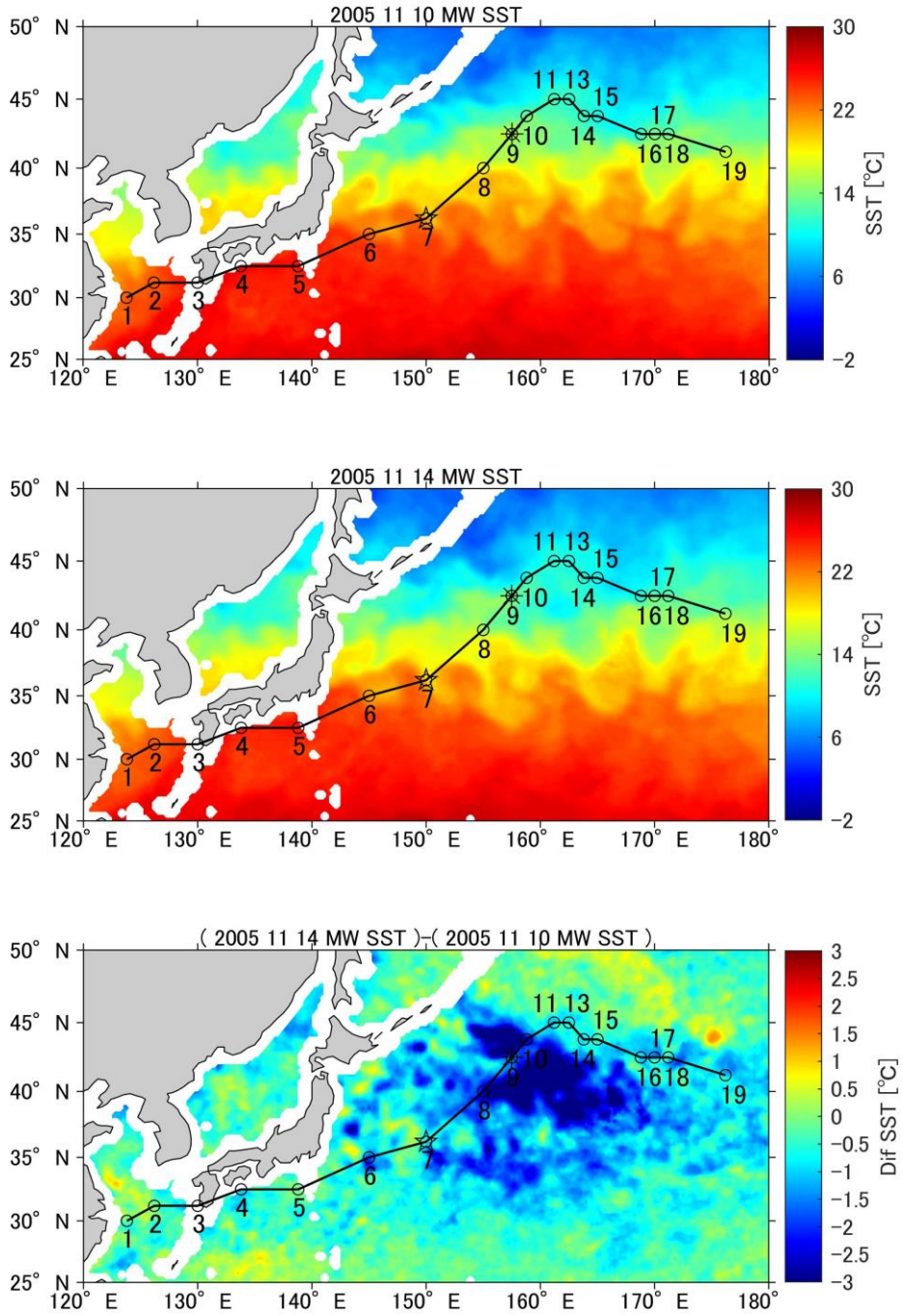


図 3.16　11 月 10 日と 11 月 14 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、○印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

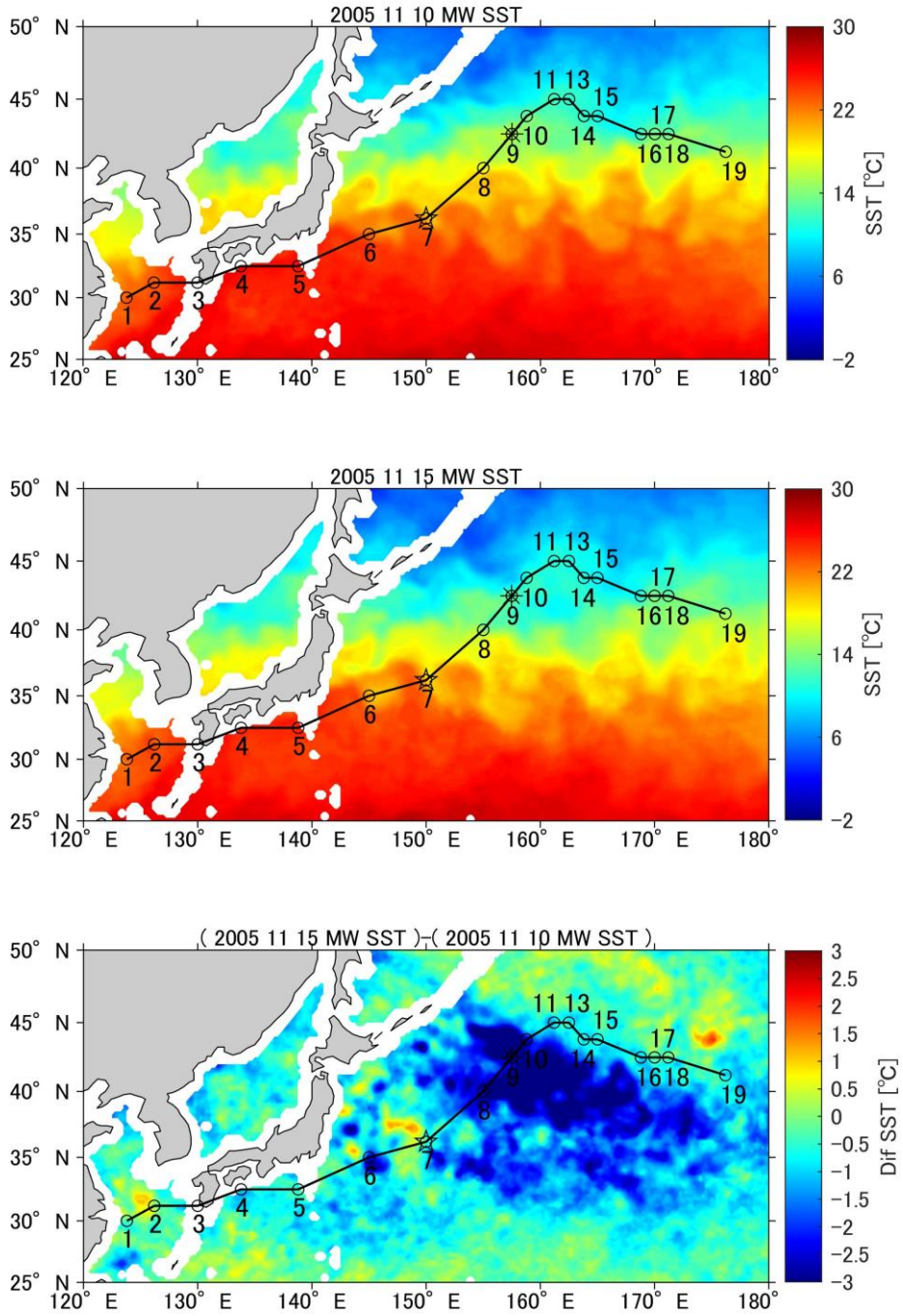


図 3.17　11 月 10 日と 11 月 15 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、○印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

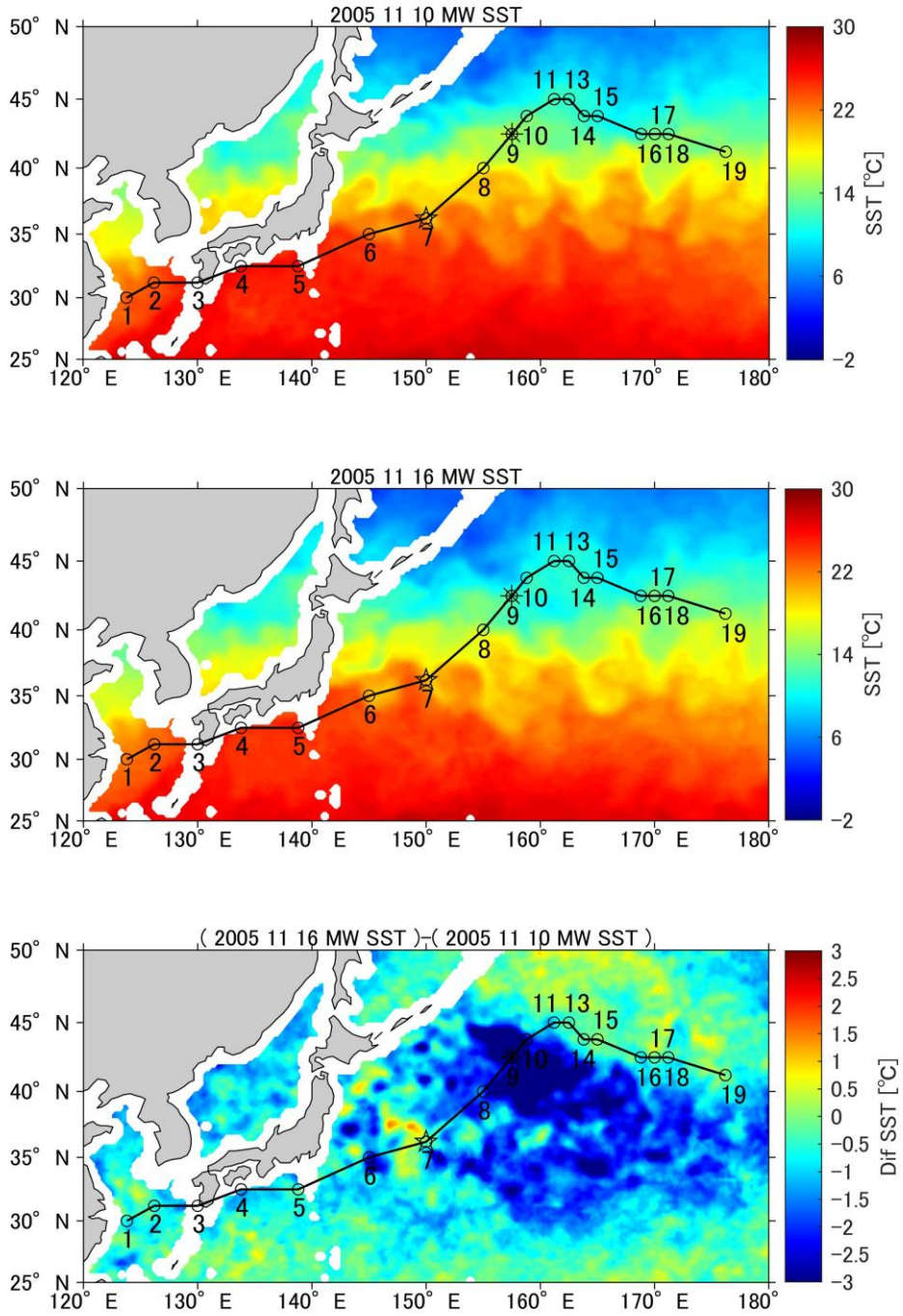


図 3.18　11 月 10 日と 11 月 16 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、○印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

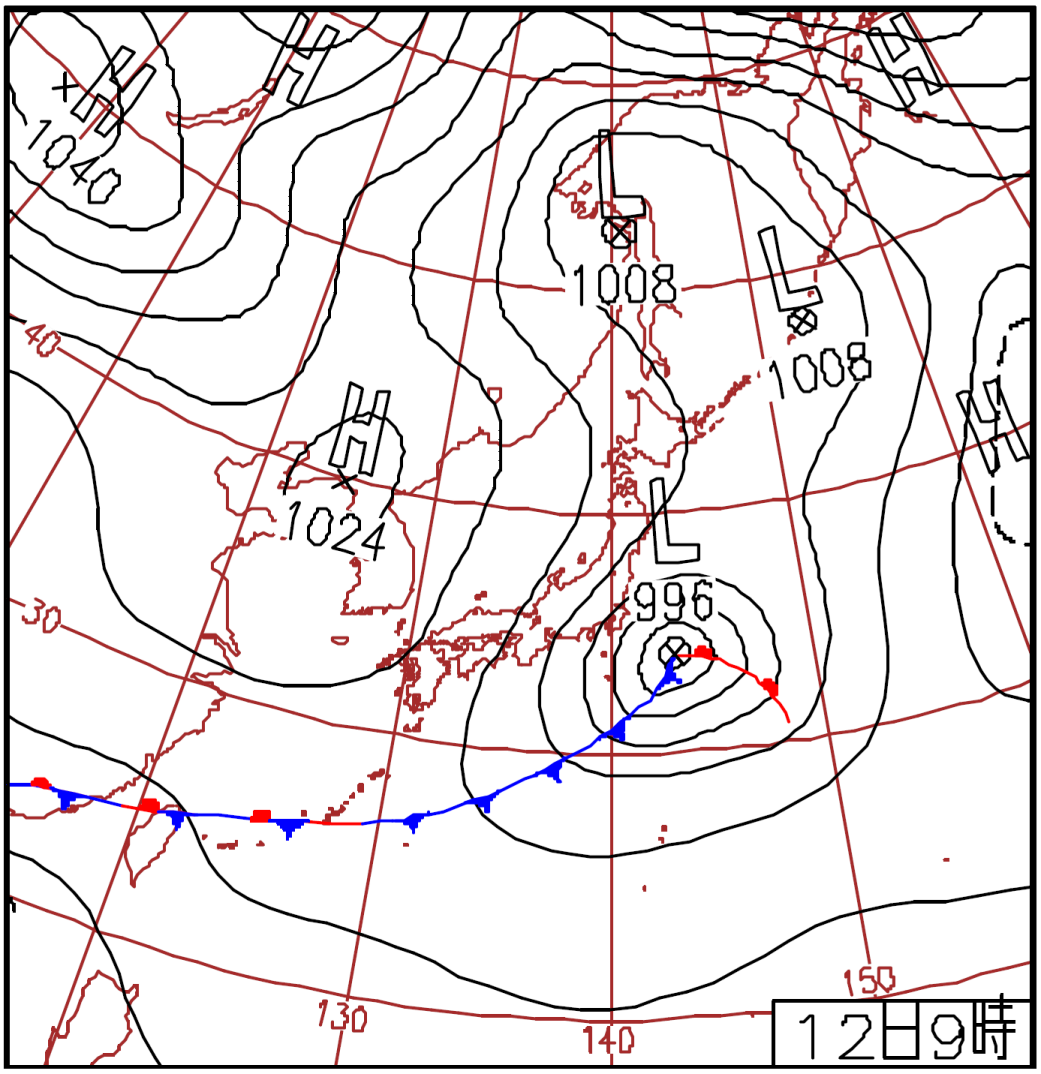


図 3.19　2005 年 11 月 12 日 0 時(UTC)の地上天気図。

(引用: 気象庁 https://www.jma.go.jp/jma/index.html)

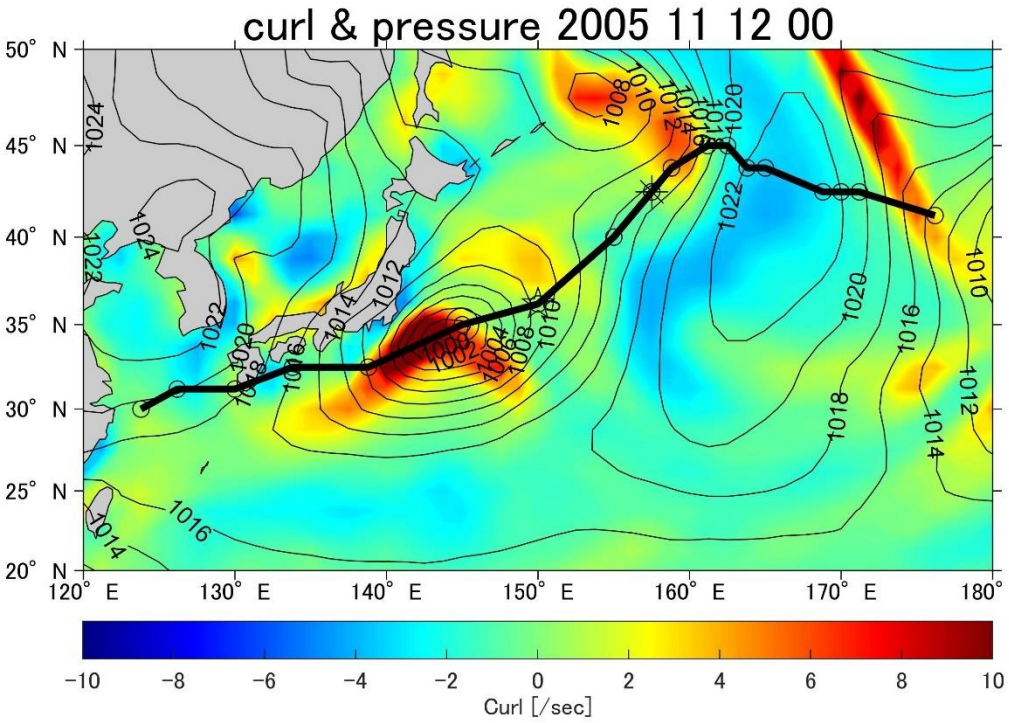


図 3.20　2005 年 11 月 12 日 0 時(UTC)の海面更正気圧(hPa)と海上風の相対渦度。実線は爆弾低気圧の経路。この時爆弾低気圧は北緯 35 度、東経 137 度の位置にいる。

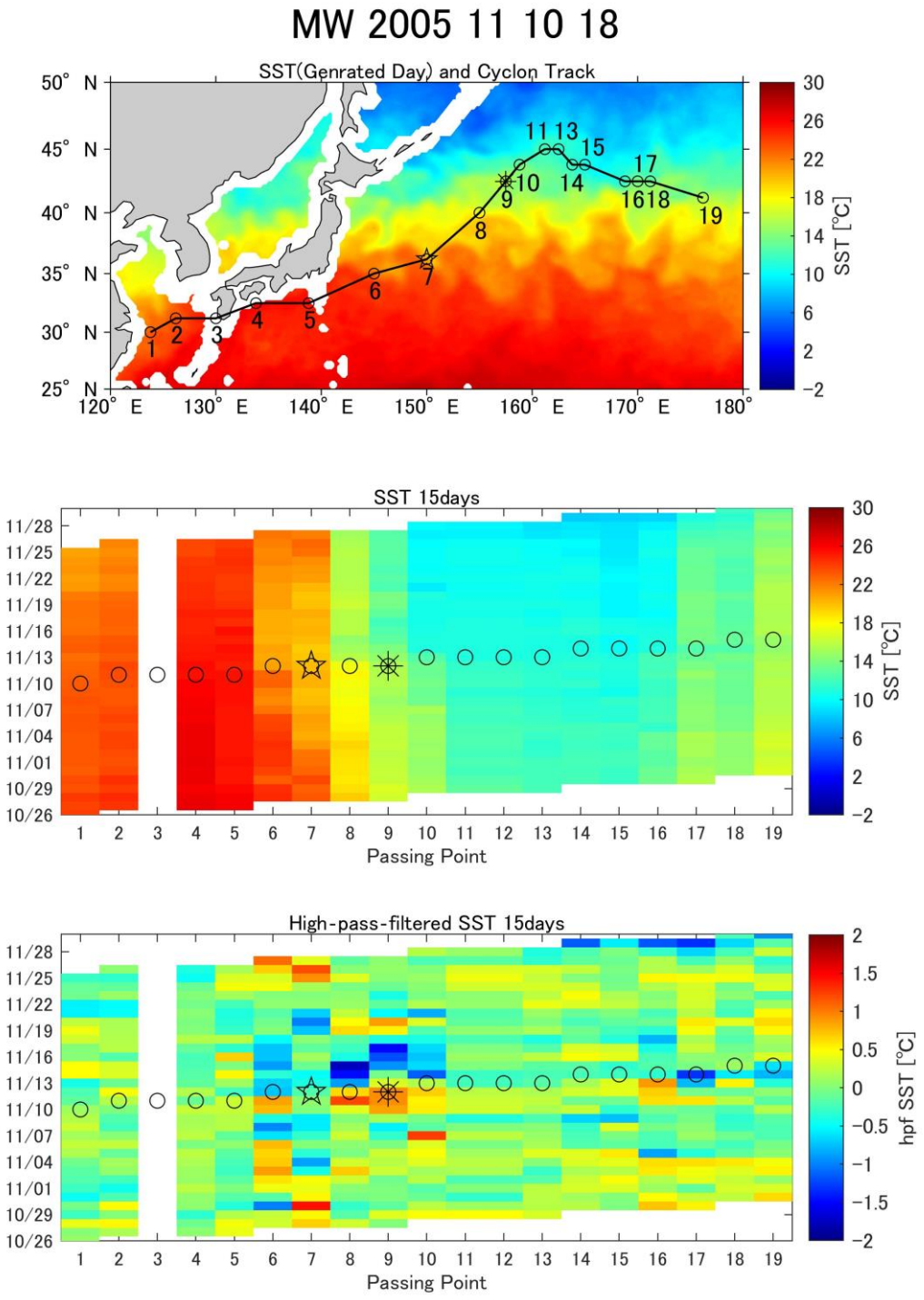


図 3.21　2005 年 11 月 10 日 18 日の衛星観測の SST とその時間に発生した爆弾低気圧とその経路。中段と下段はそれぞれ各通過地点の SST とハイパス SST の前後 15 日変化。

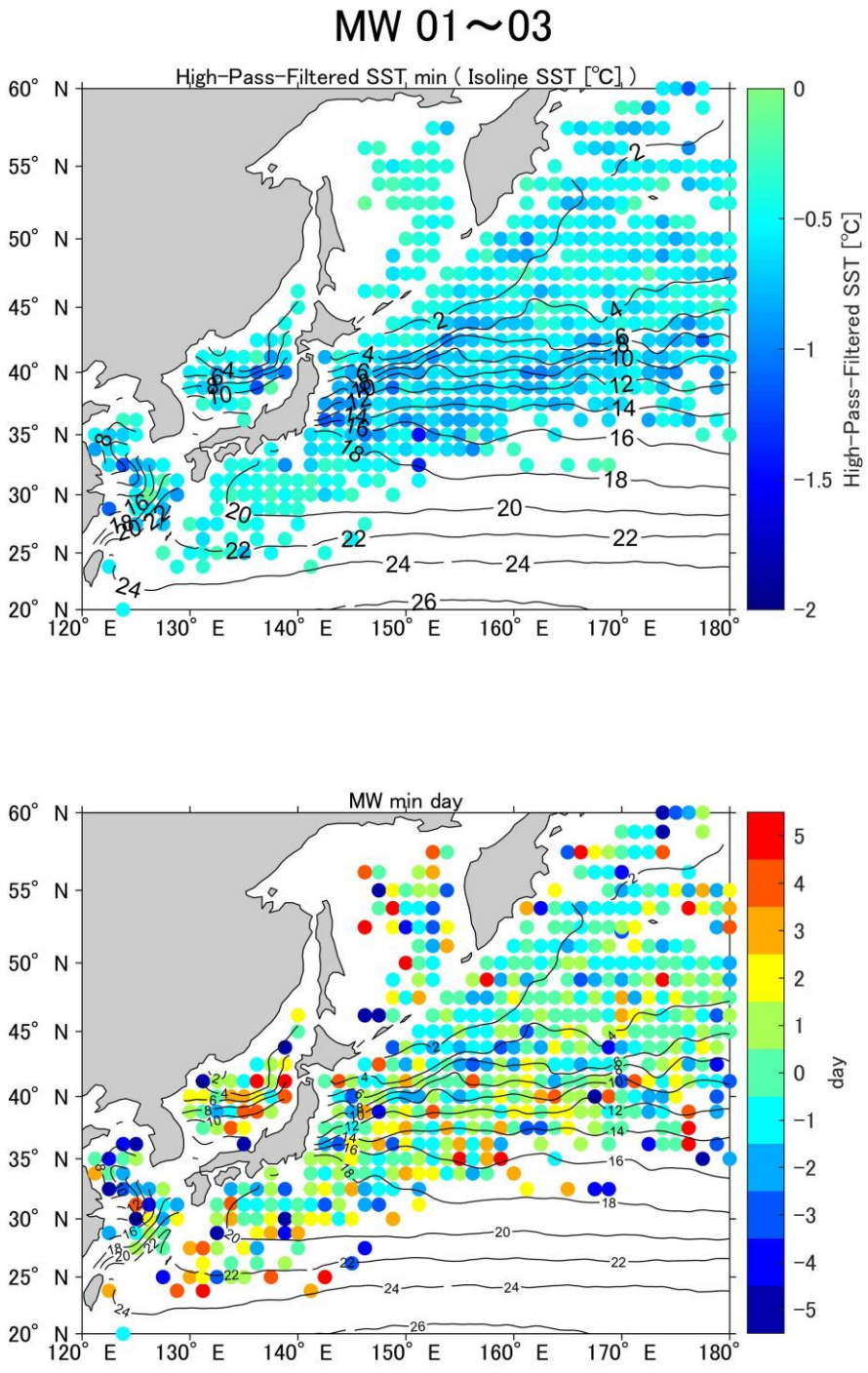


図 3.22　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、各通過点で冬季の衛星観測の SST 低下の最小値(上段)とそれを記録した時期(下段)。

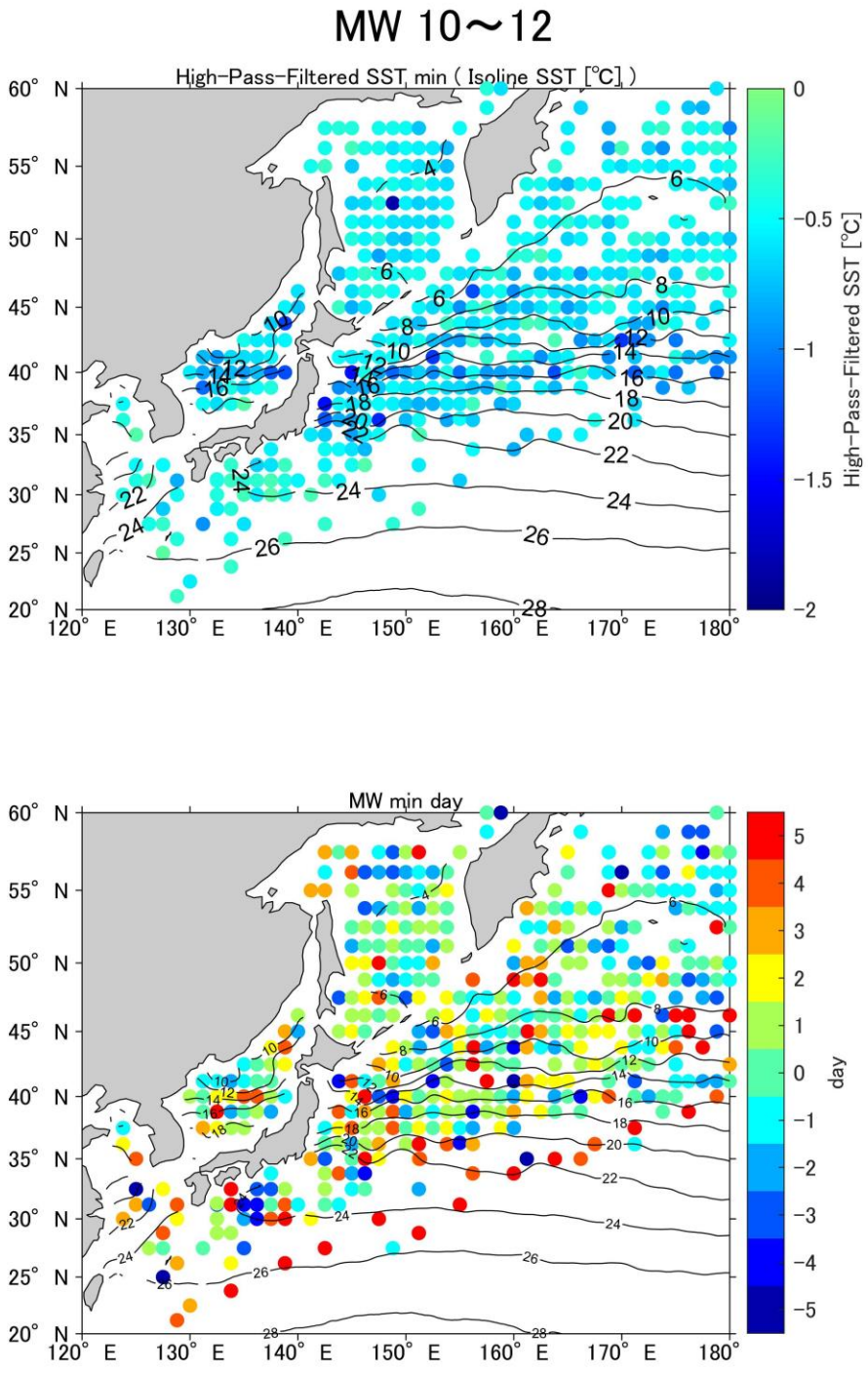


図 3.23　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、各通過点で秋季の衛星観測の SST 低下の最小値(上段)とそれを記録した時期(下段)。

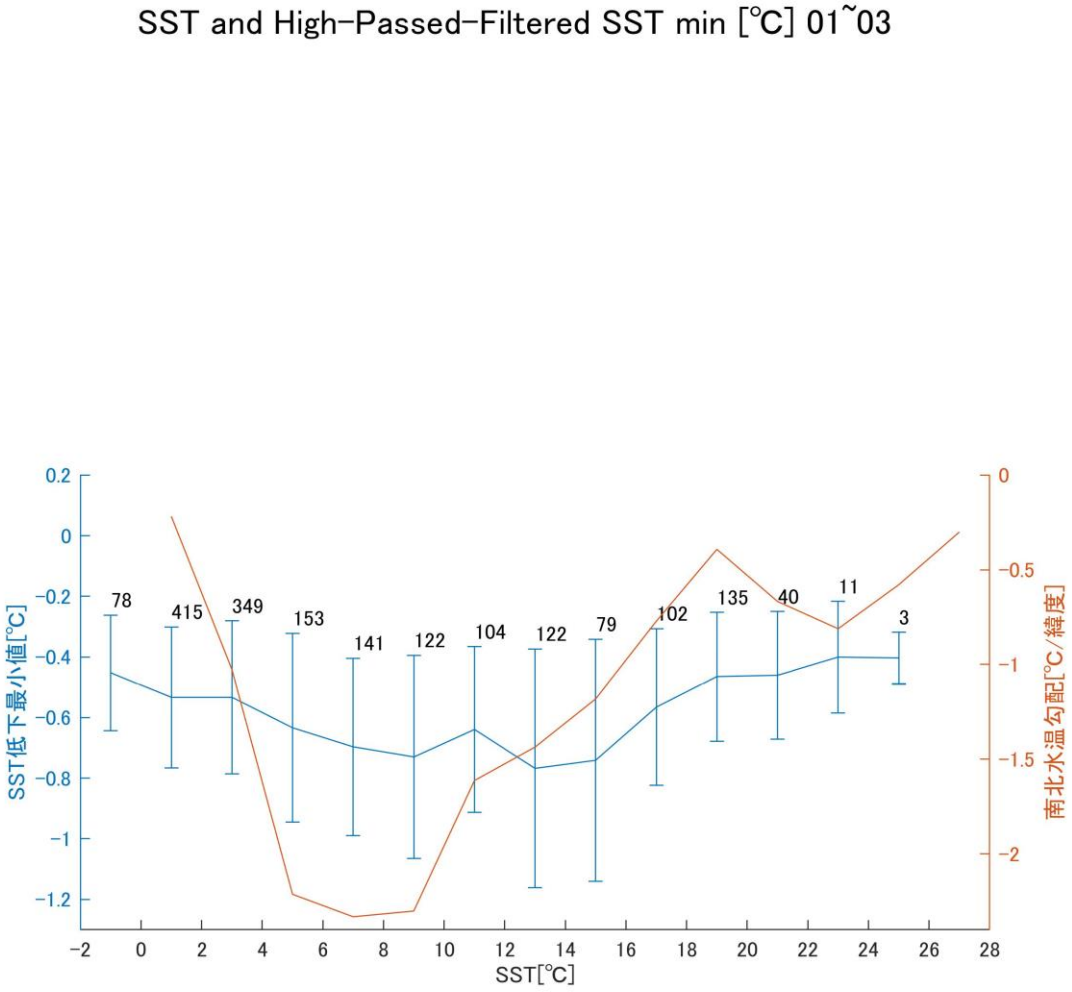


図 3.24　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、衛星観測の冬季における南北方向の水温勾配と SST 低下の最小値の関係。

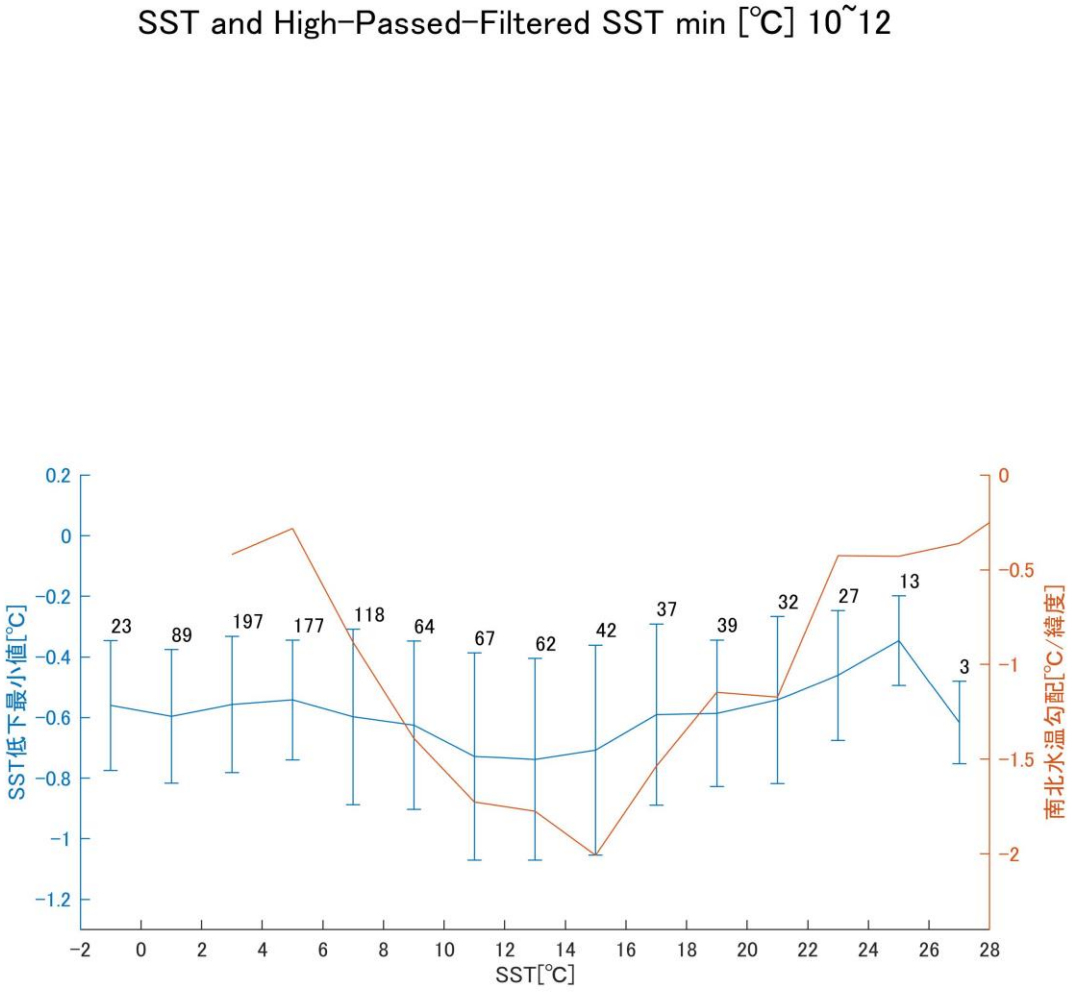


図 3.25　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、衛星観測の秋季における南北方向の水温勾配と SST 低下の最小値の関係。

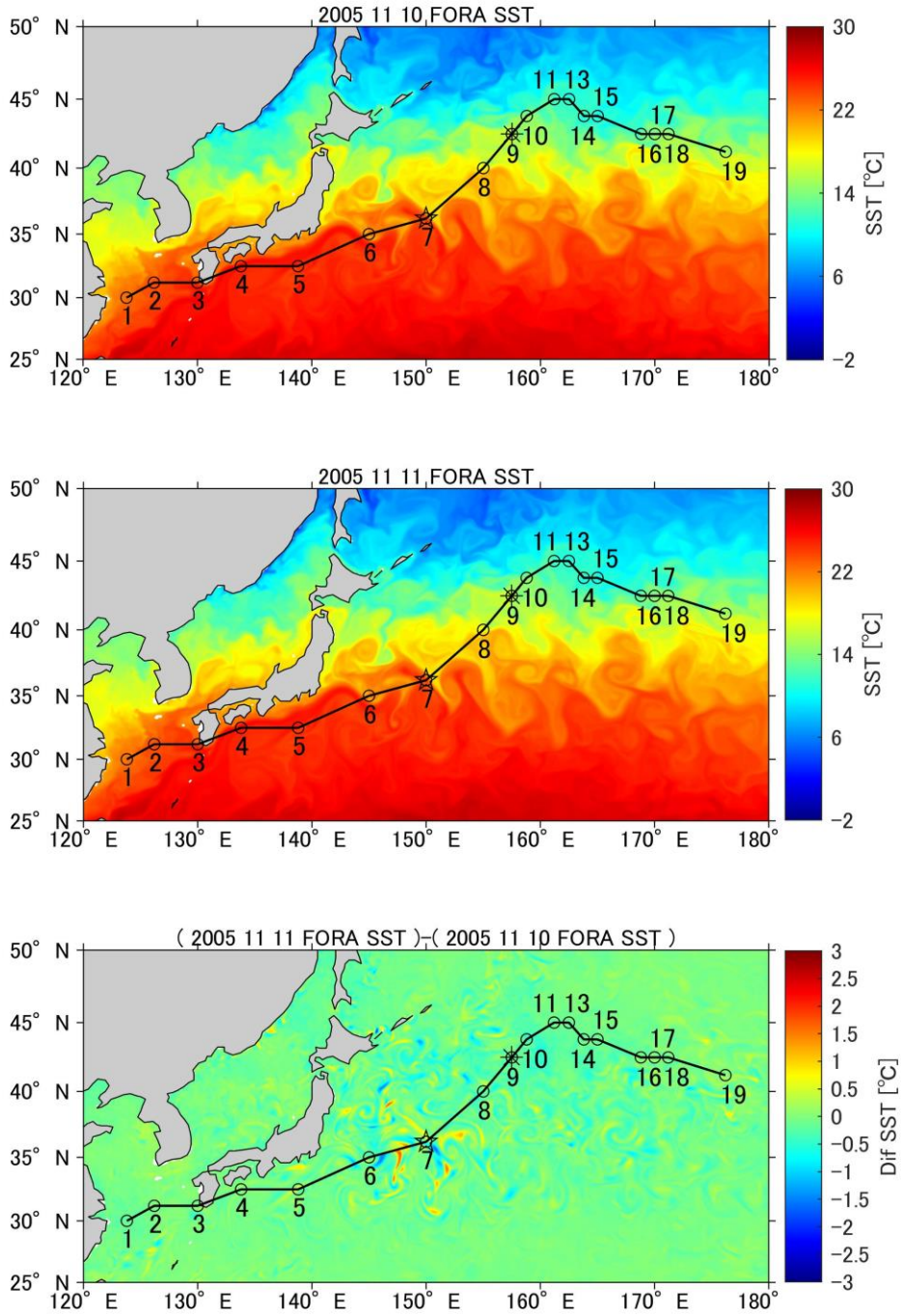


図 3.26　11 月 10 日と 11 月 11 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、〇印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

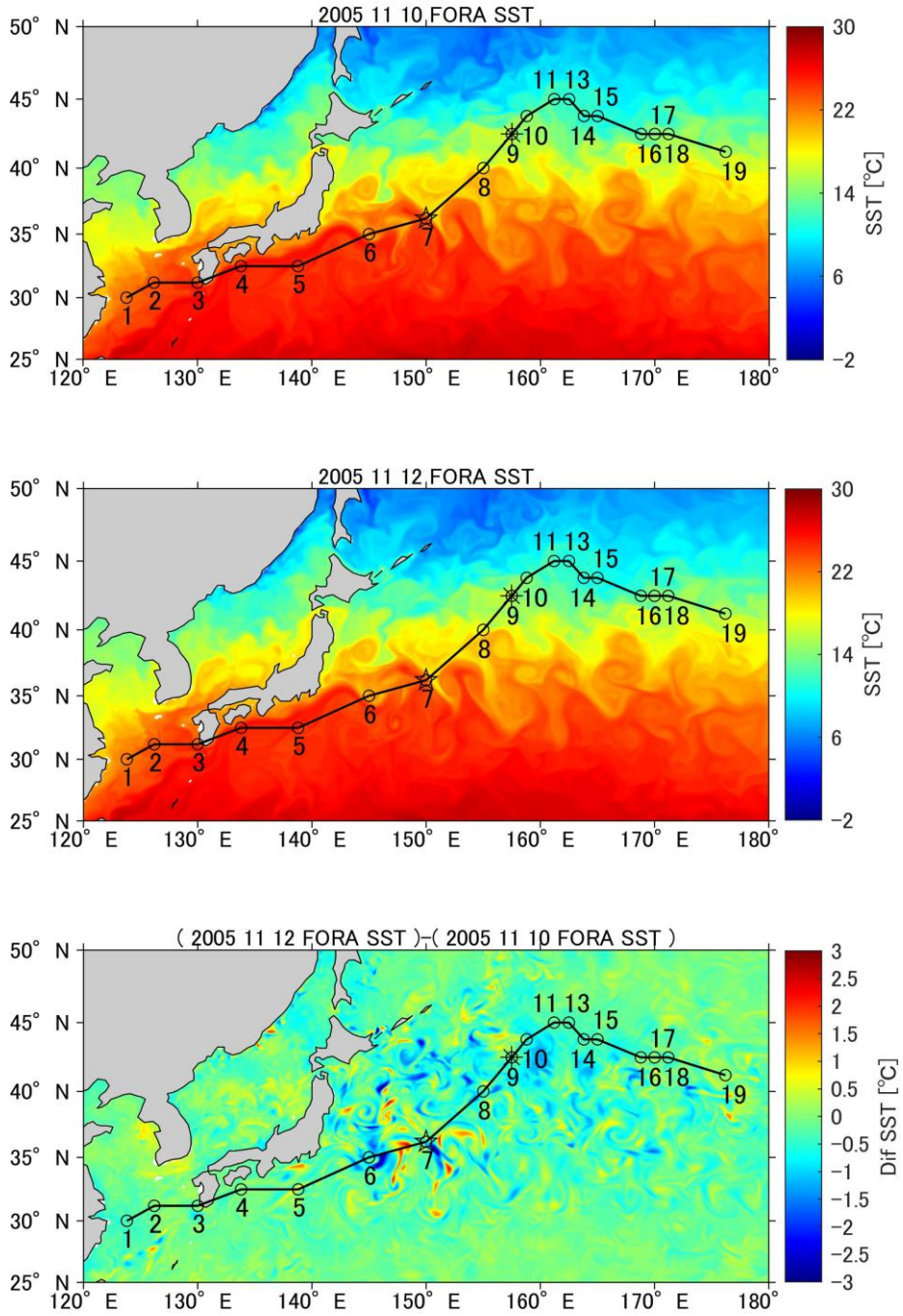


図 3.27　11 月 10 日と 11 月 12 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、〇印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

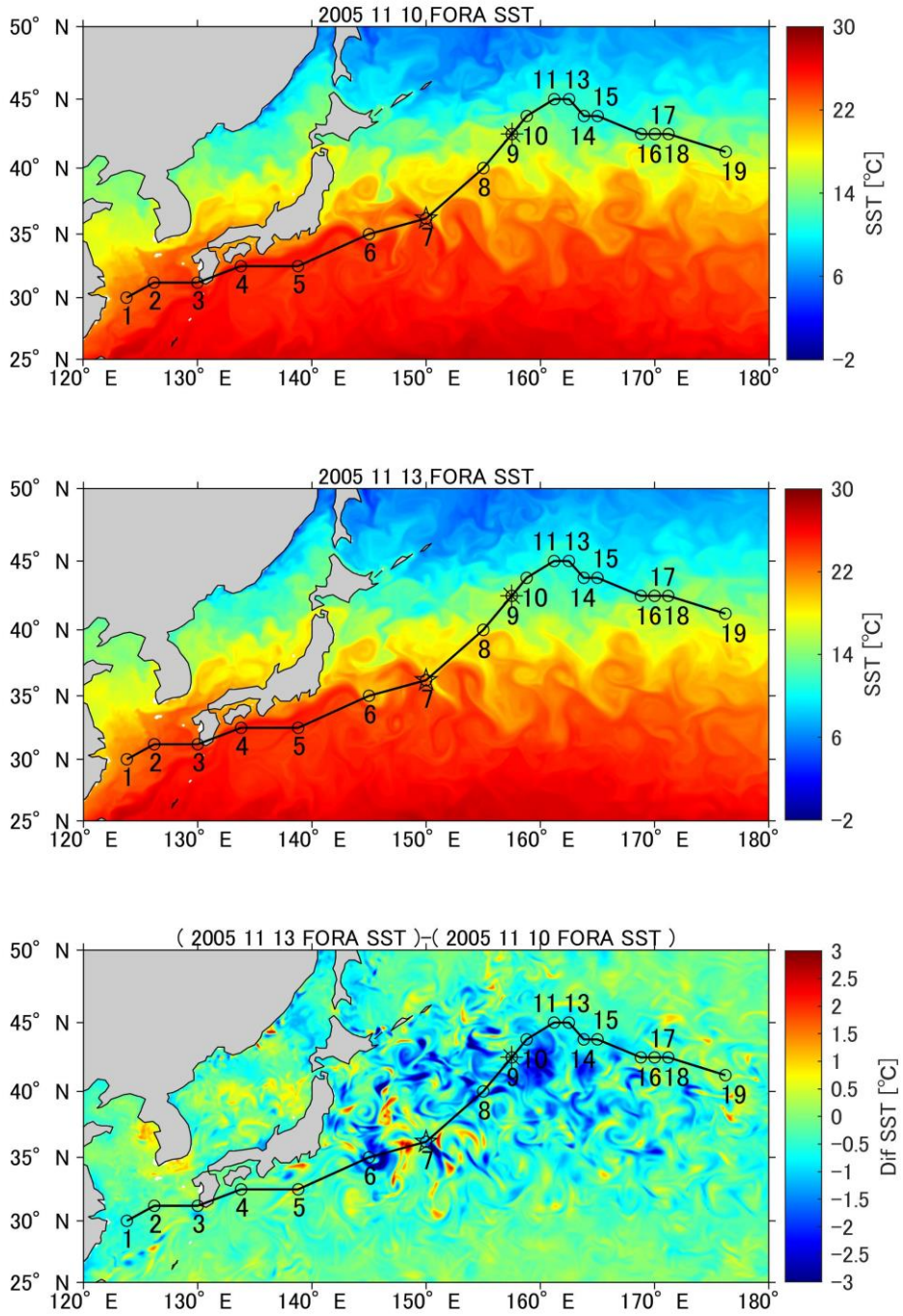


図 3.28　11 月 10 日と 11 月 13 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、〇印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

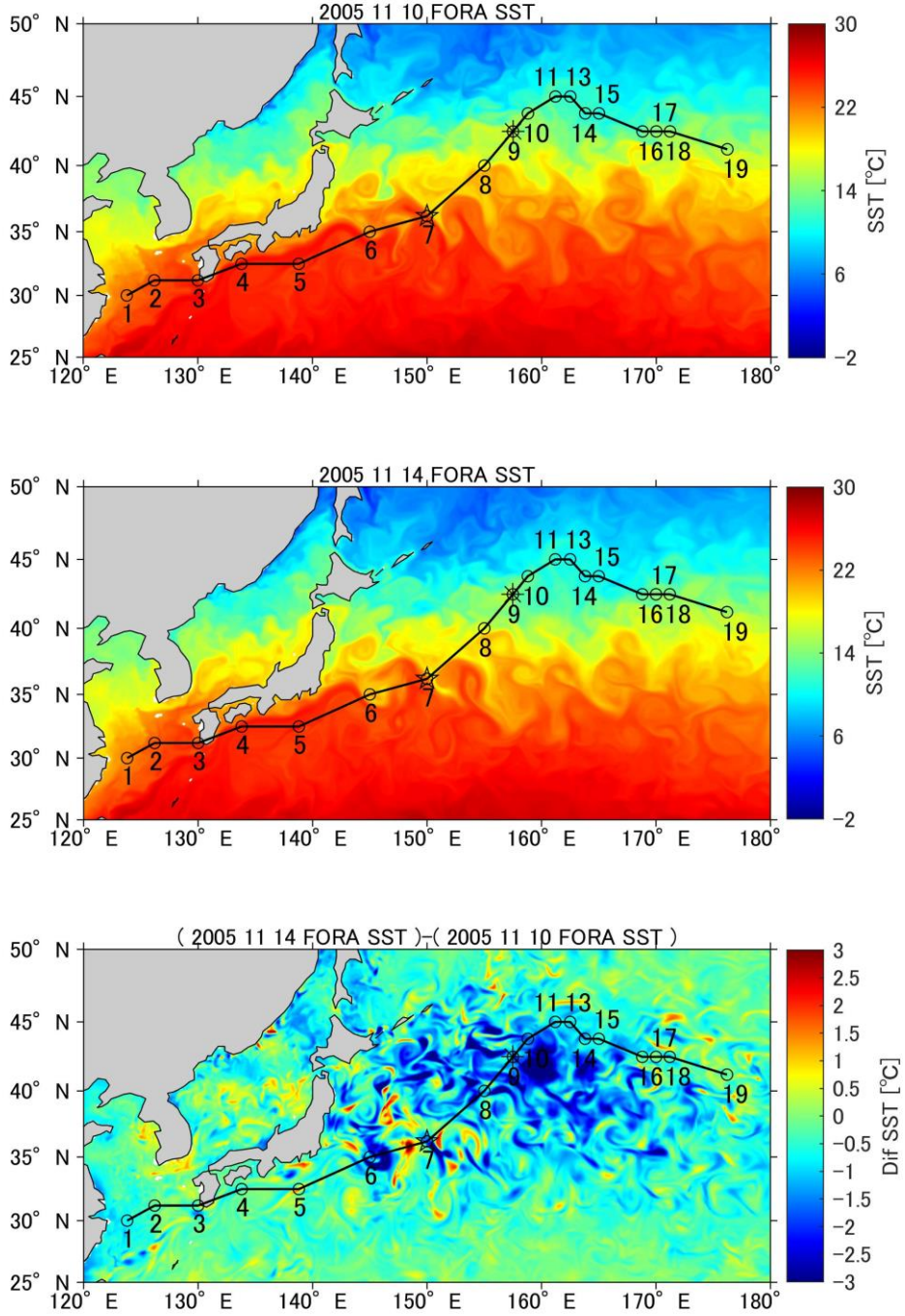


図 3.29　11 月 10 日と 11 月 14 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、〇印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

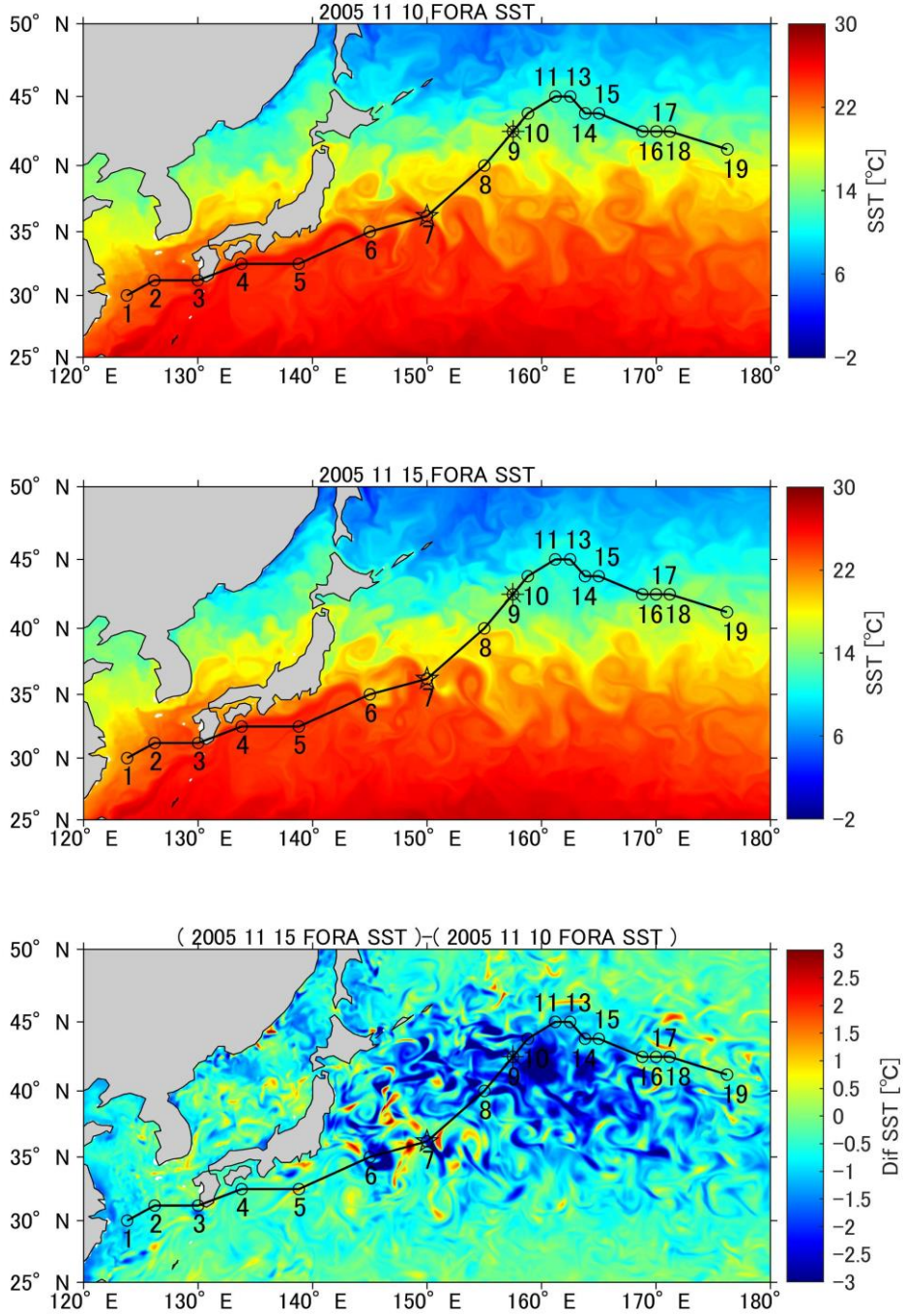


図 3.30　11 月 10 日と 11 月 15 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、〇印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

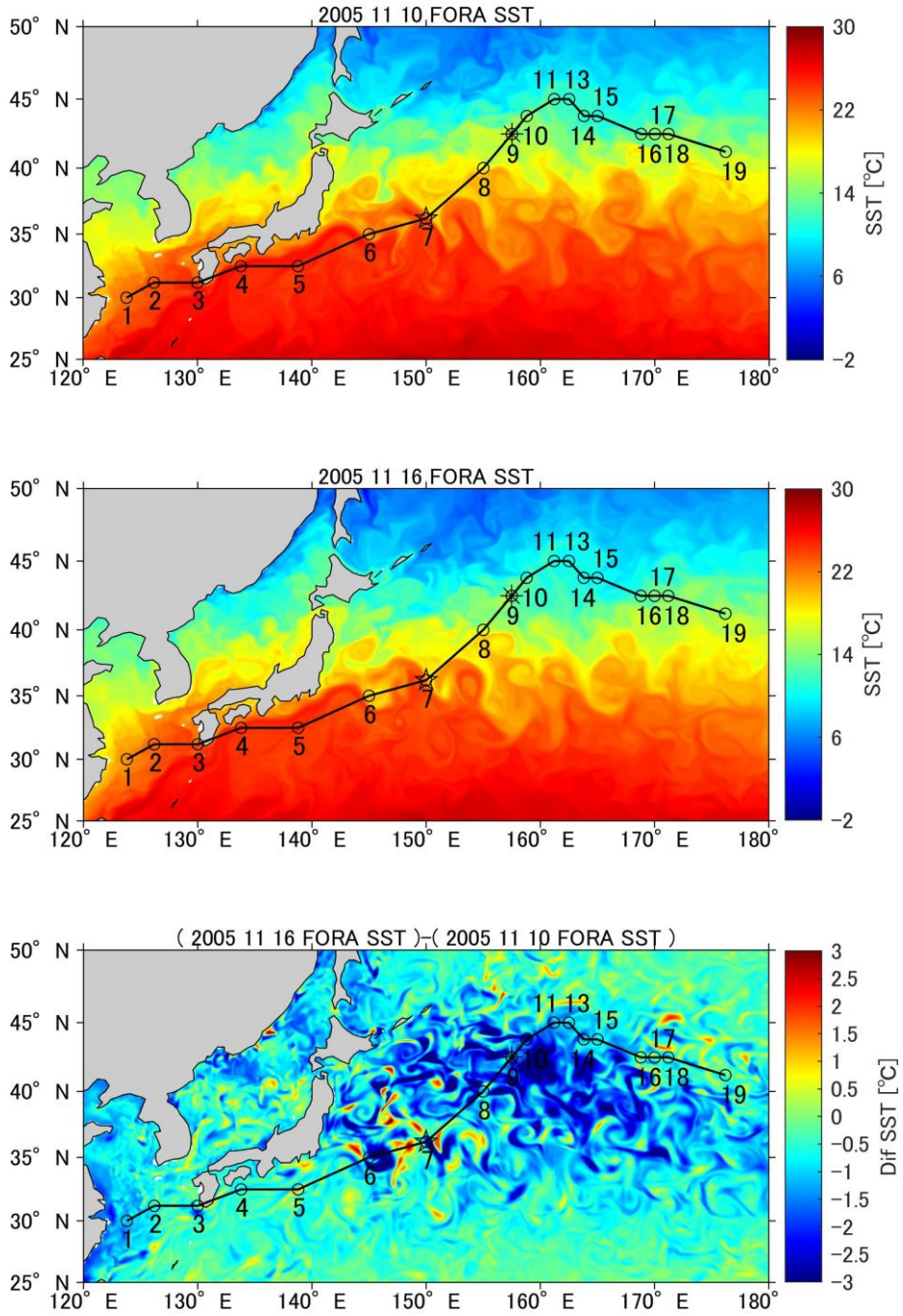


図 3.31　11 月 10 日と 11 月 16 日の SST 分布、及びそれらの SST の差の分布を示す。

実線は低気圧の経路を、〇印と番号は 6 時間毎の位置を示す。

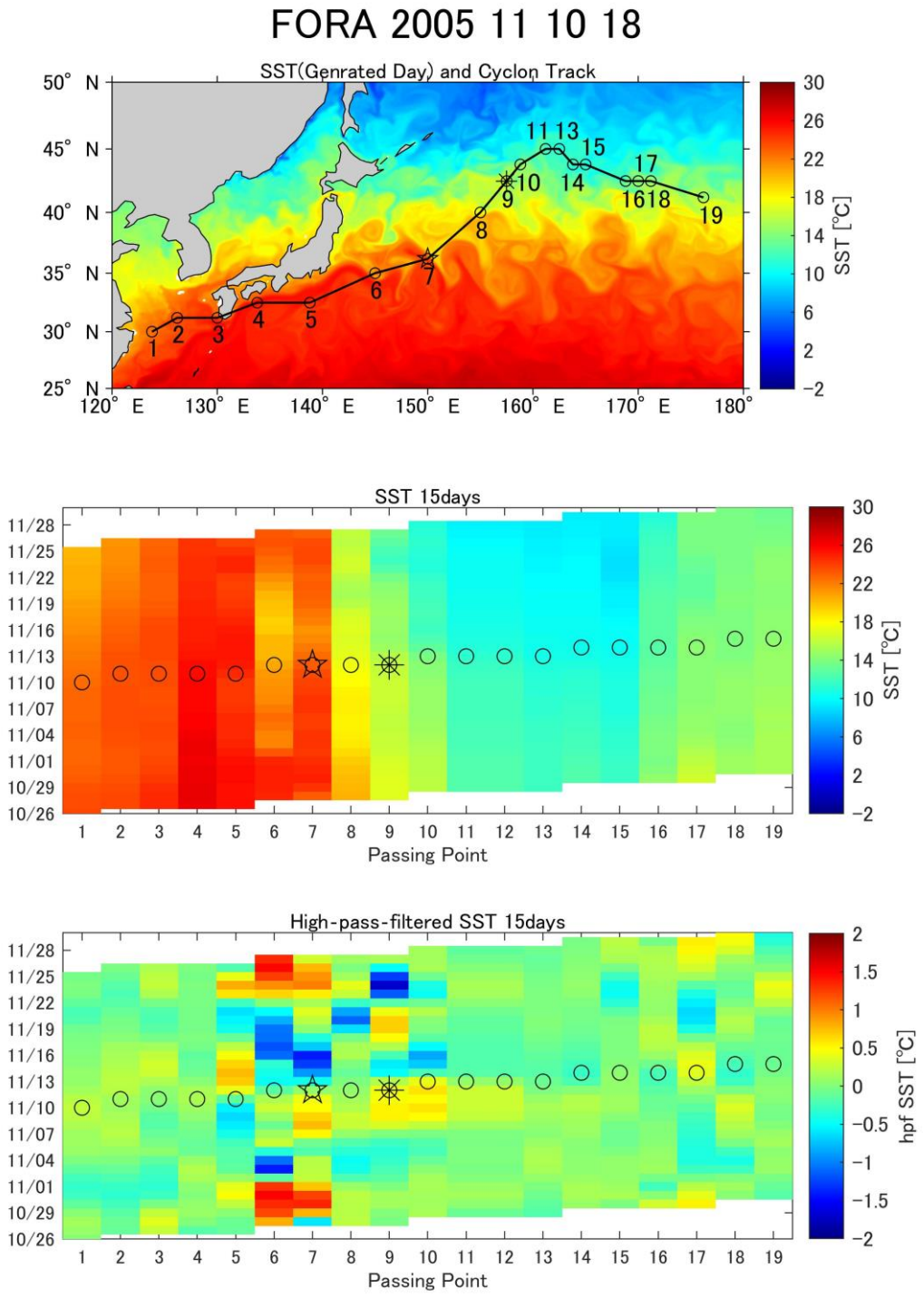


図 3.32　2005 年 11 月 10 日 18 日の FORA の SST とその時間に発生した爆弾低気圧とその経路。中段は、下段は各通過地点の SST 及びハイパス SST の前後 15 日変化。

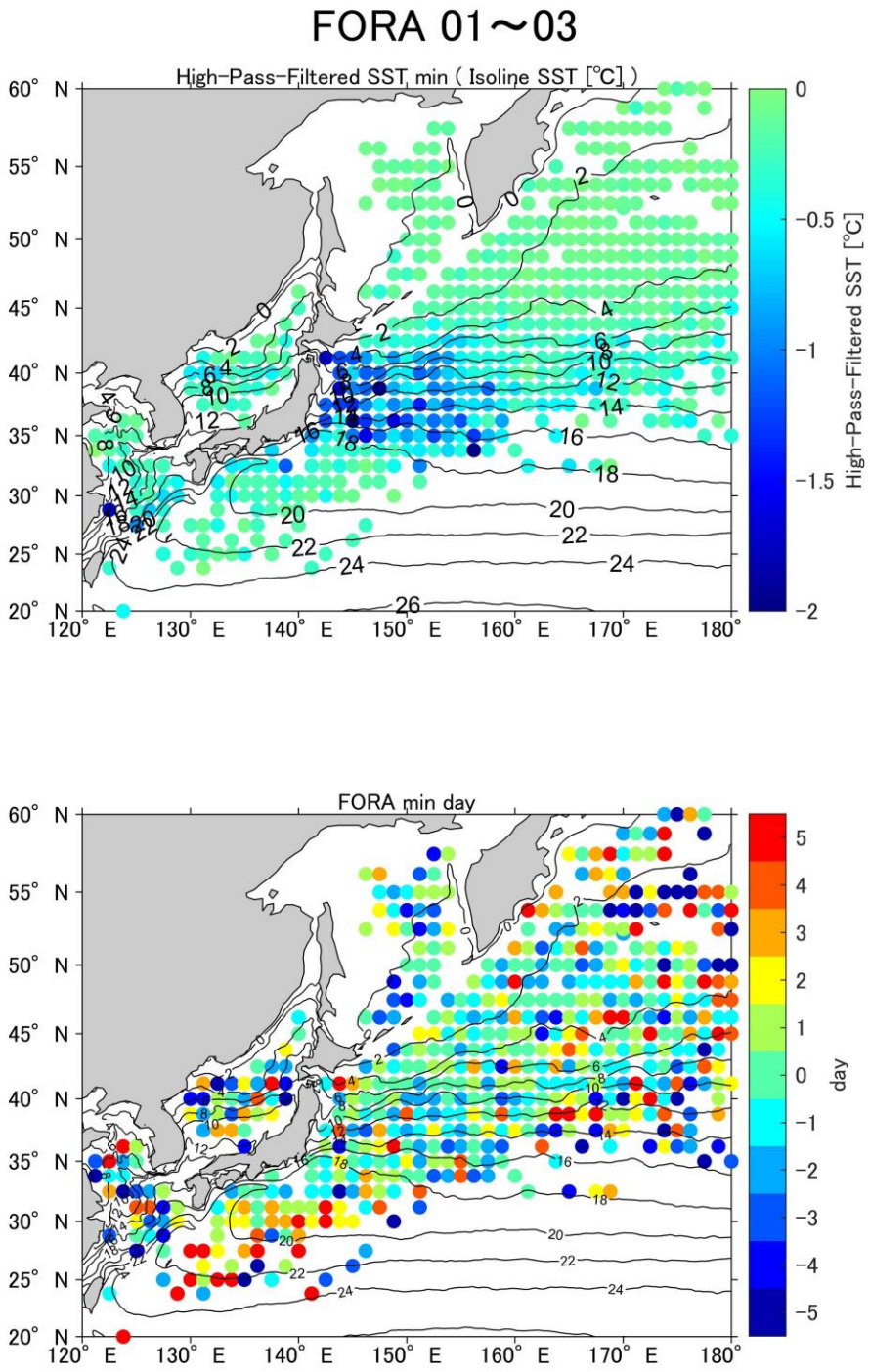


図 3.33　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、各通過点で冬季の FORA の SST 低下の最小値(上段)とそれを記録した時期(下段)。

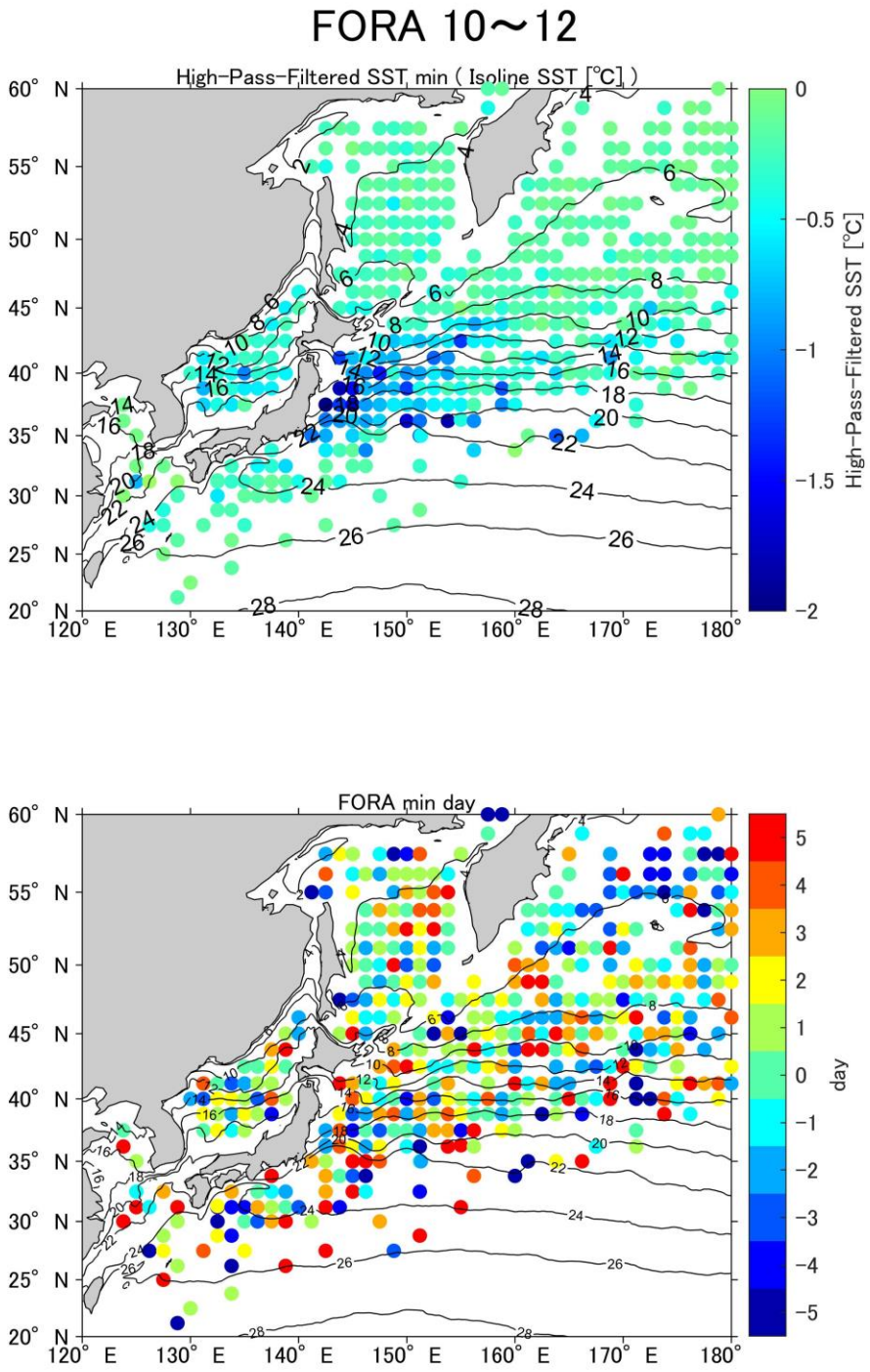


図 3.34　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、各通過点で秋季の FORA の SST 低下の最小値(上段)とそれを記録した時期(下段)。

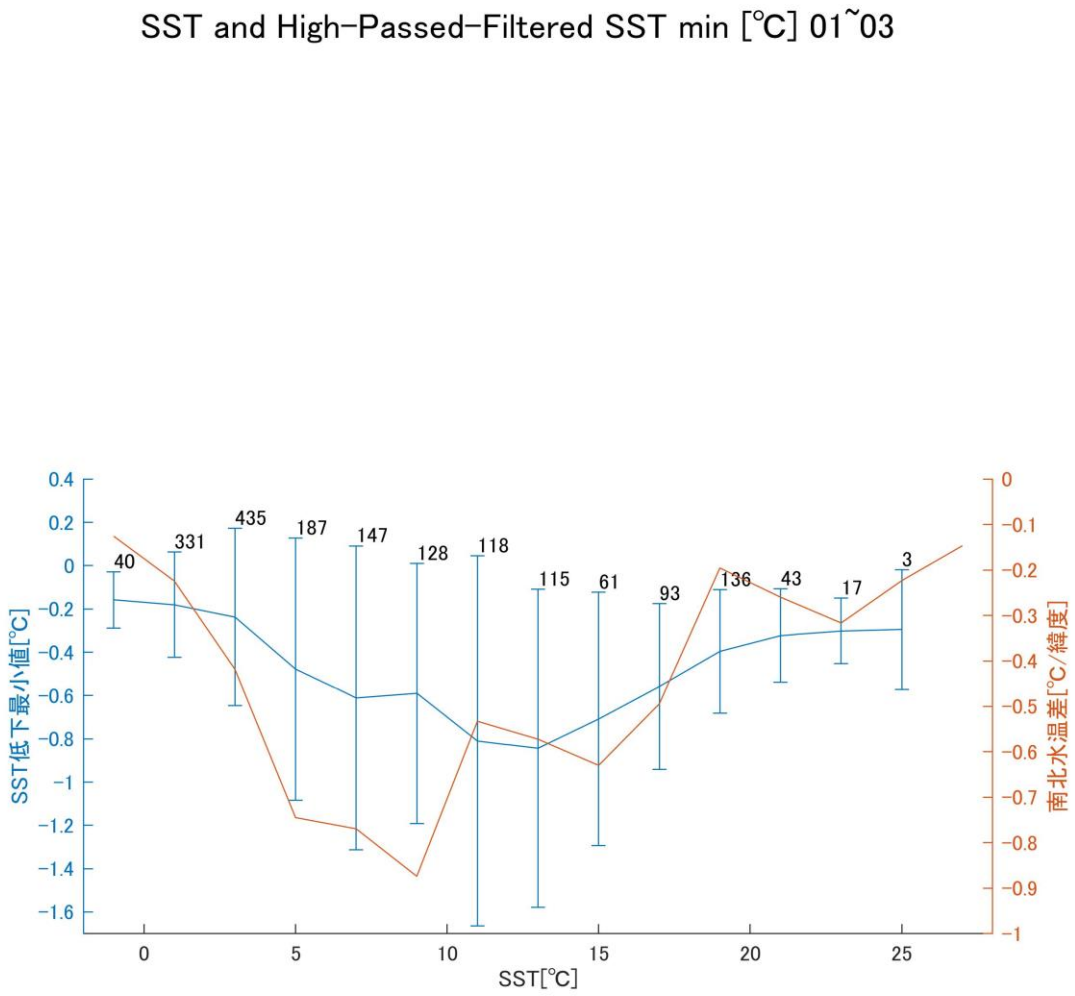


図 3.35　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、FORA の冬季における南北方向の水温勾配と SST 低下の最小値の関係。

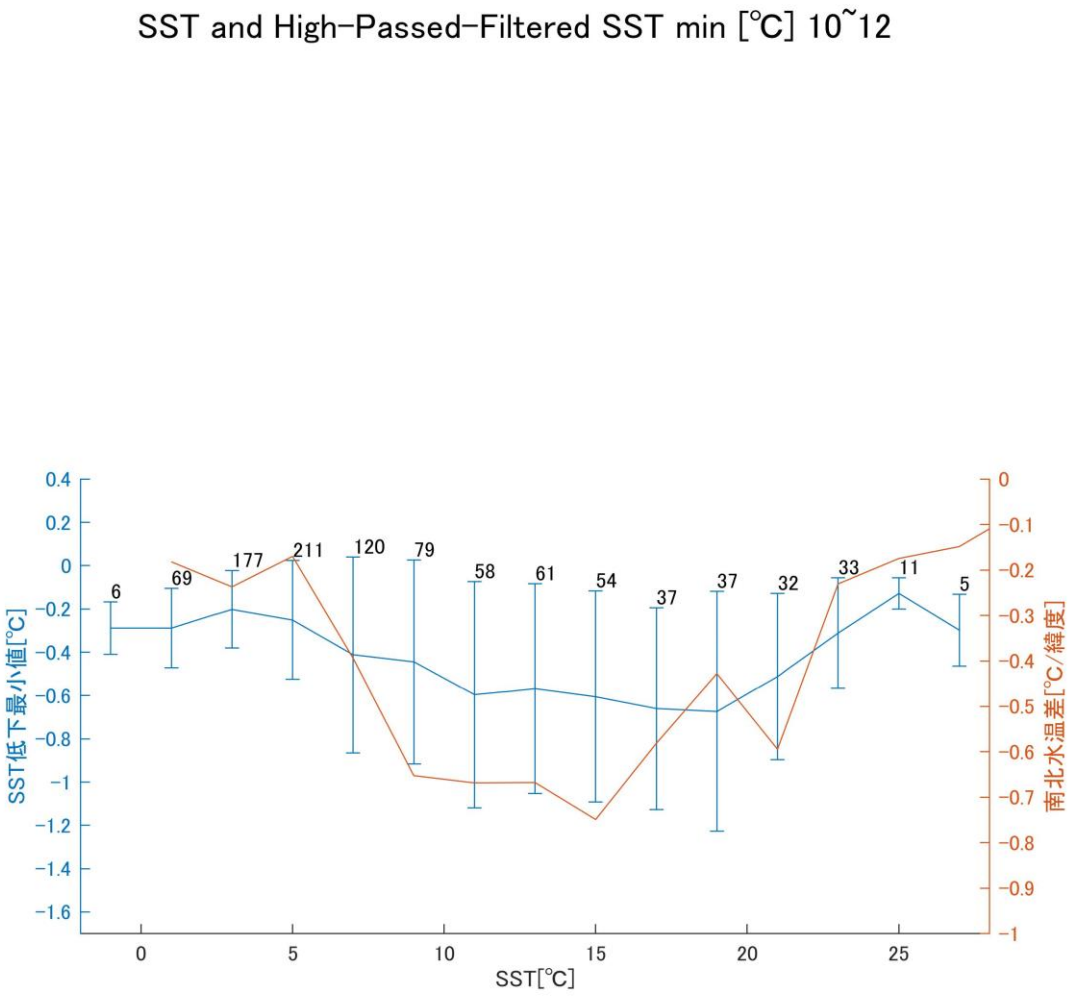


図 3.36　2002 年から 2016 年までの爆弾低気圧について、FORA の秋季における南北方向の水温勾配と SST 低下の最小値の関係。

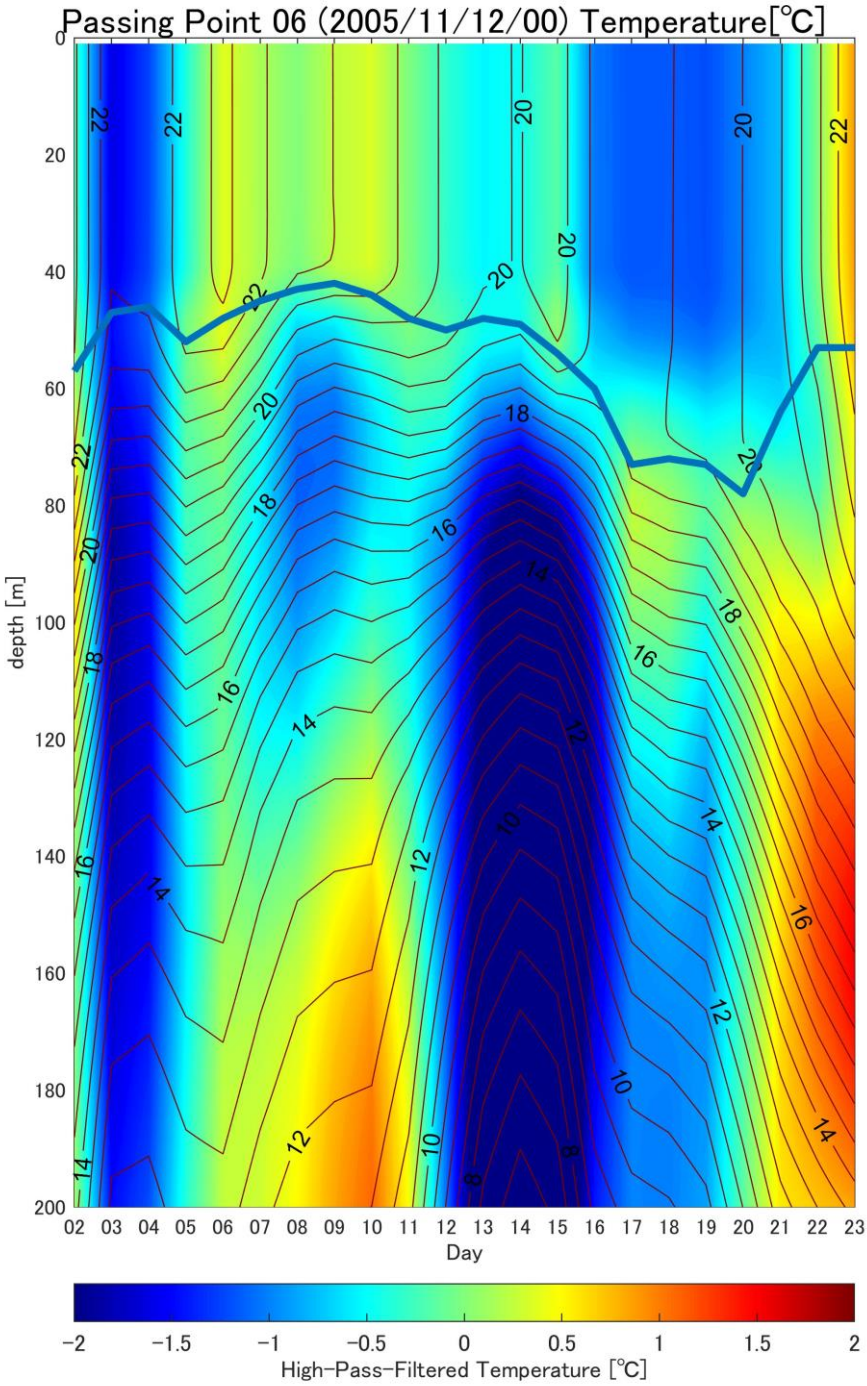


図 3.37　145 度、35 度付近の点(11 月 20 日 0 時(UTC)に通過)において前後 10 日間の FORA のハイパス水温の時間深度断面図。等値線は SST、青線は混合層深度を示す。

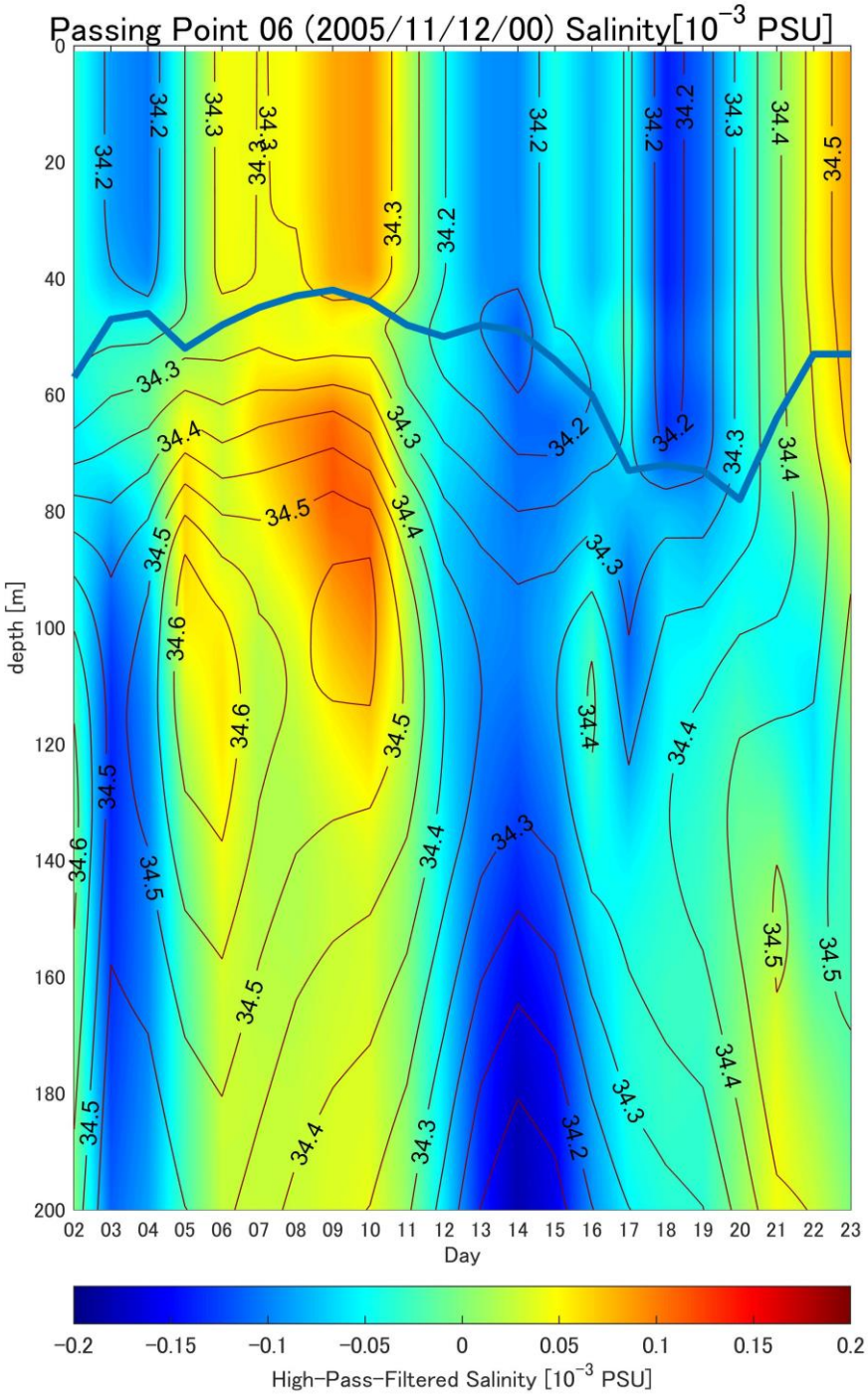


図 3.38　145 度、35 度付近の点(11 月 20 日 0 時(UTC)に通過)において前後 10 日間の FORA のハイパス実用塩分の時間深度断面図。等値線は塩分、青線は混合層を示す。

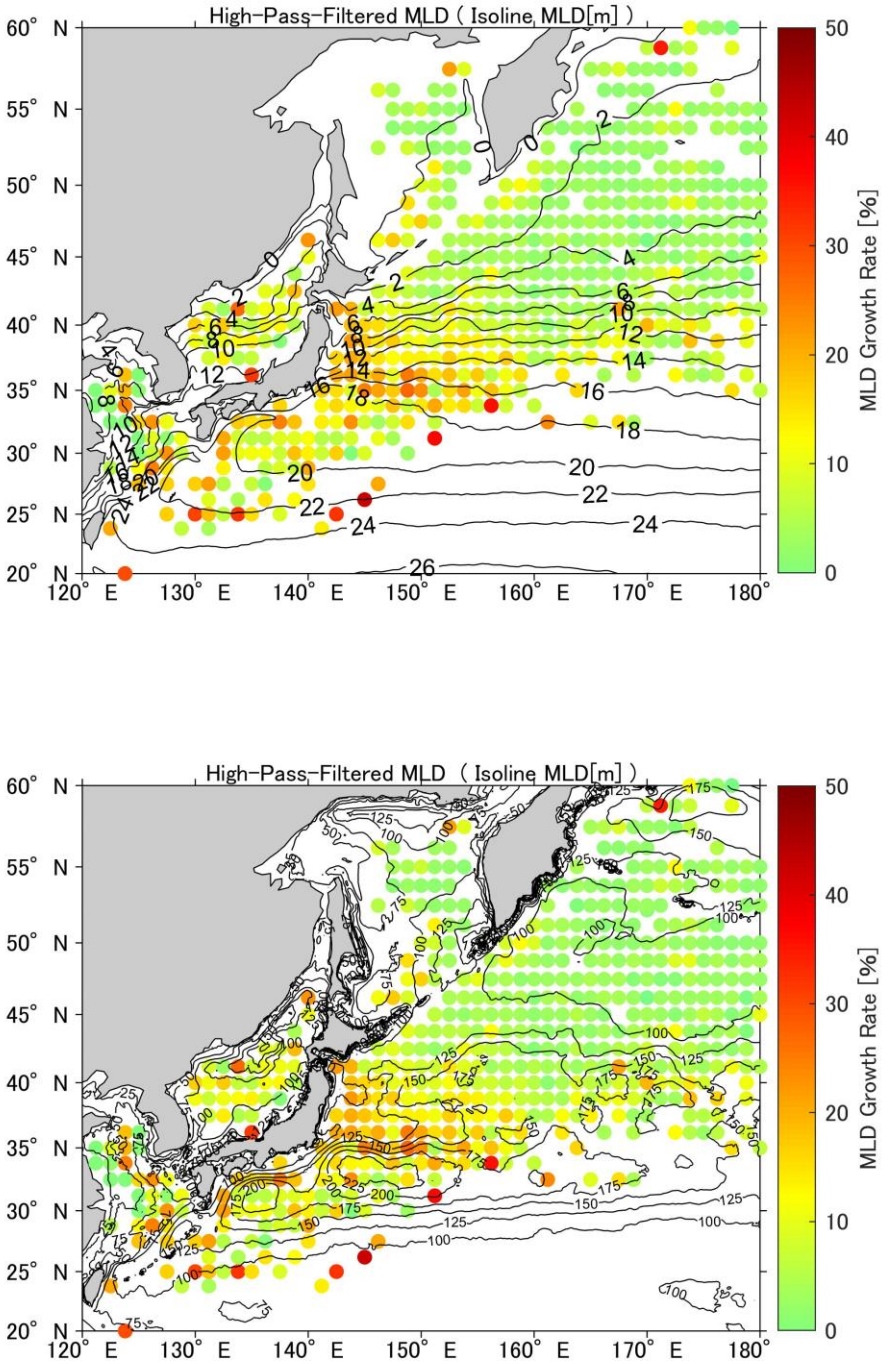


図 3.39　冬季に発生した爆弾低気圧の各通過地点で通過日の前後 5 日間における、混合層深化率。上段の等値線は平均 SST、下段の等値線は平均混合層深さを示す。

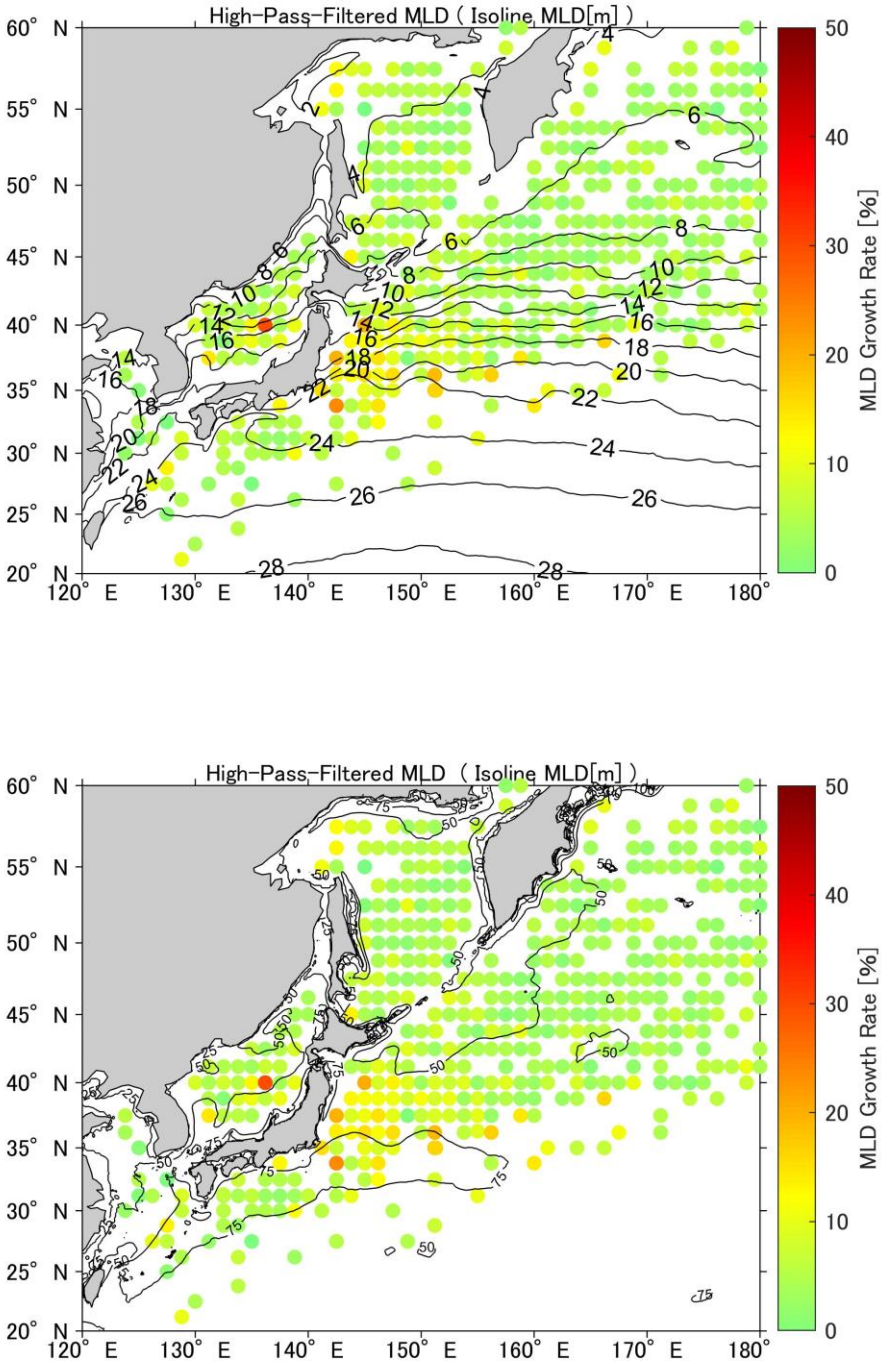


図 3.40　秋季に発生した爆弾低気圧の各通過地点で通過日の前後 5 日間における、混合層深化率。上段の等値線は平均 SST、下段の等値線は平均混合層深さを示す。

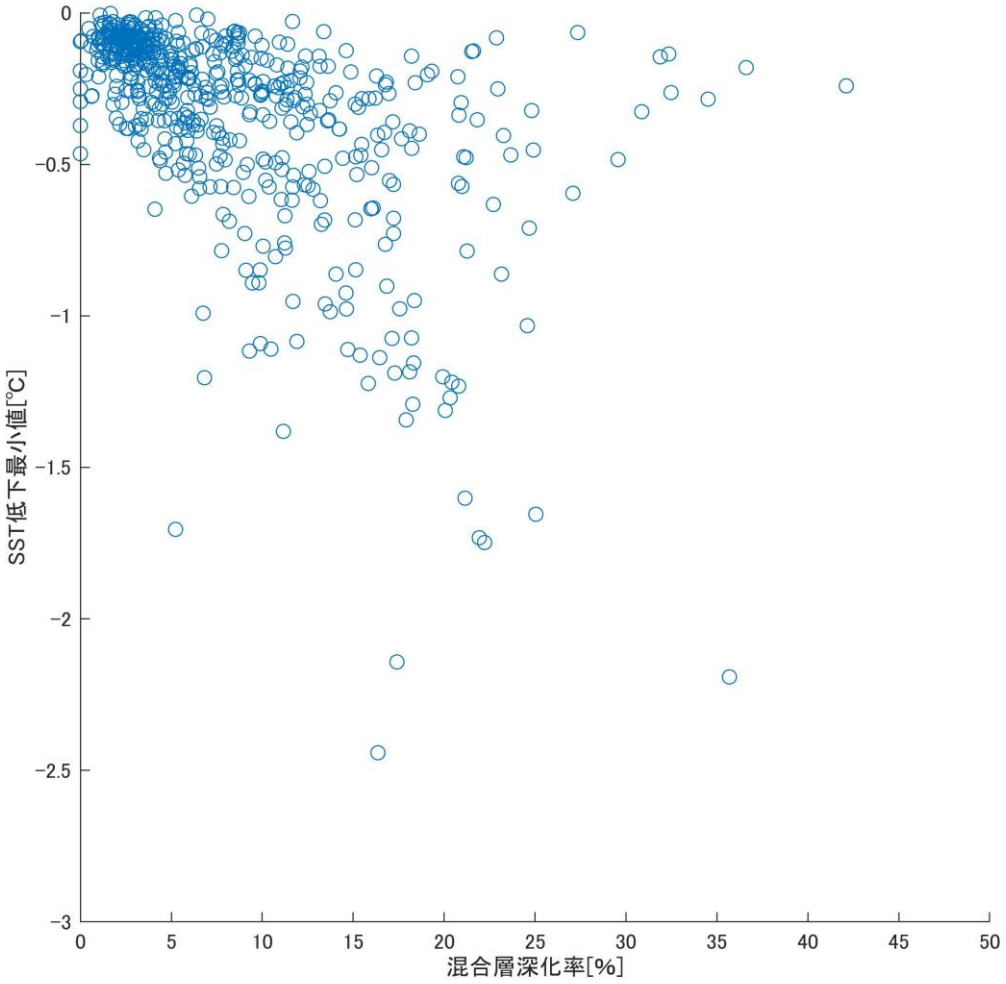


図 3.41　冬季における SST 低下の最小値と混合層深化率の関係

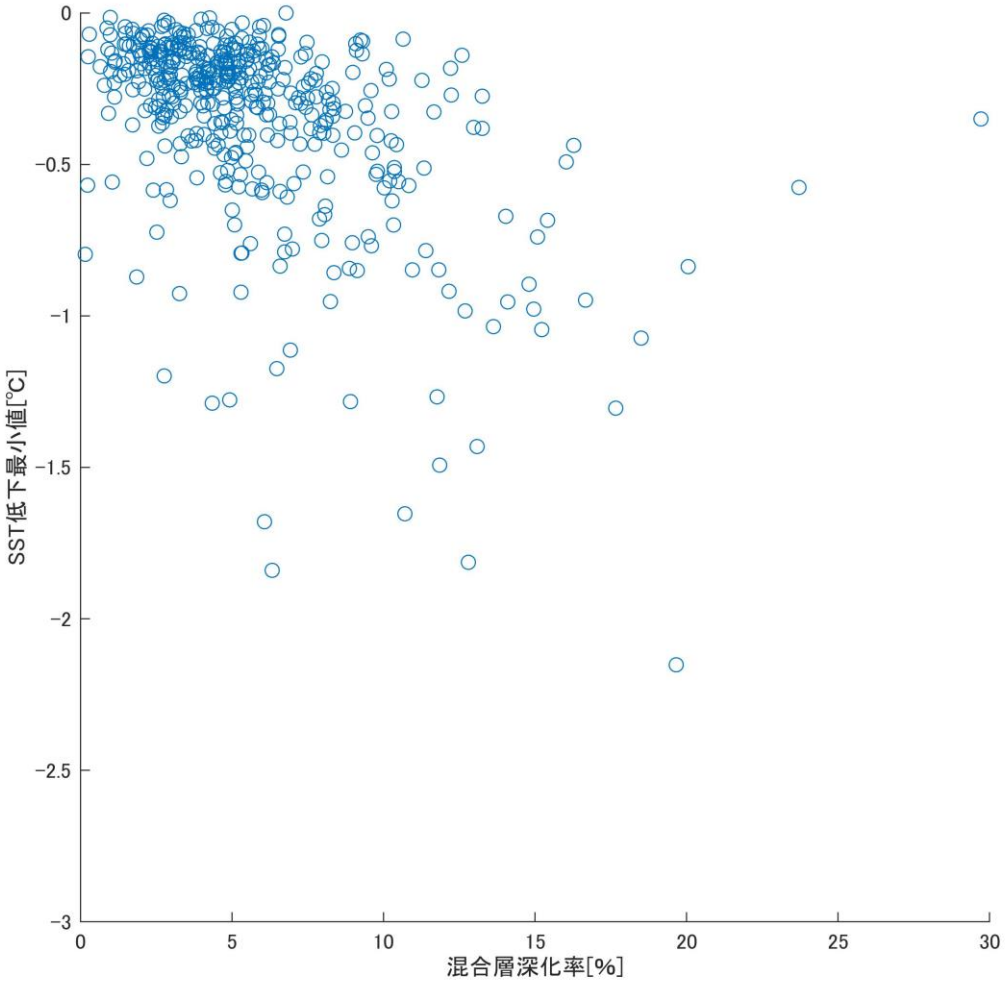


図 3.42　秋季における SST 低下の最小値と混合層深化率の関係

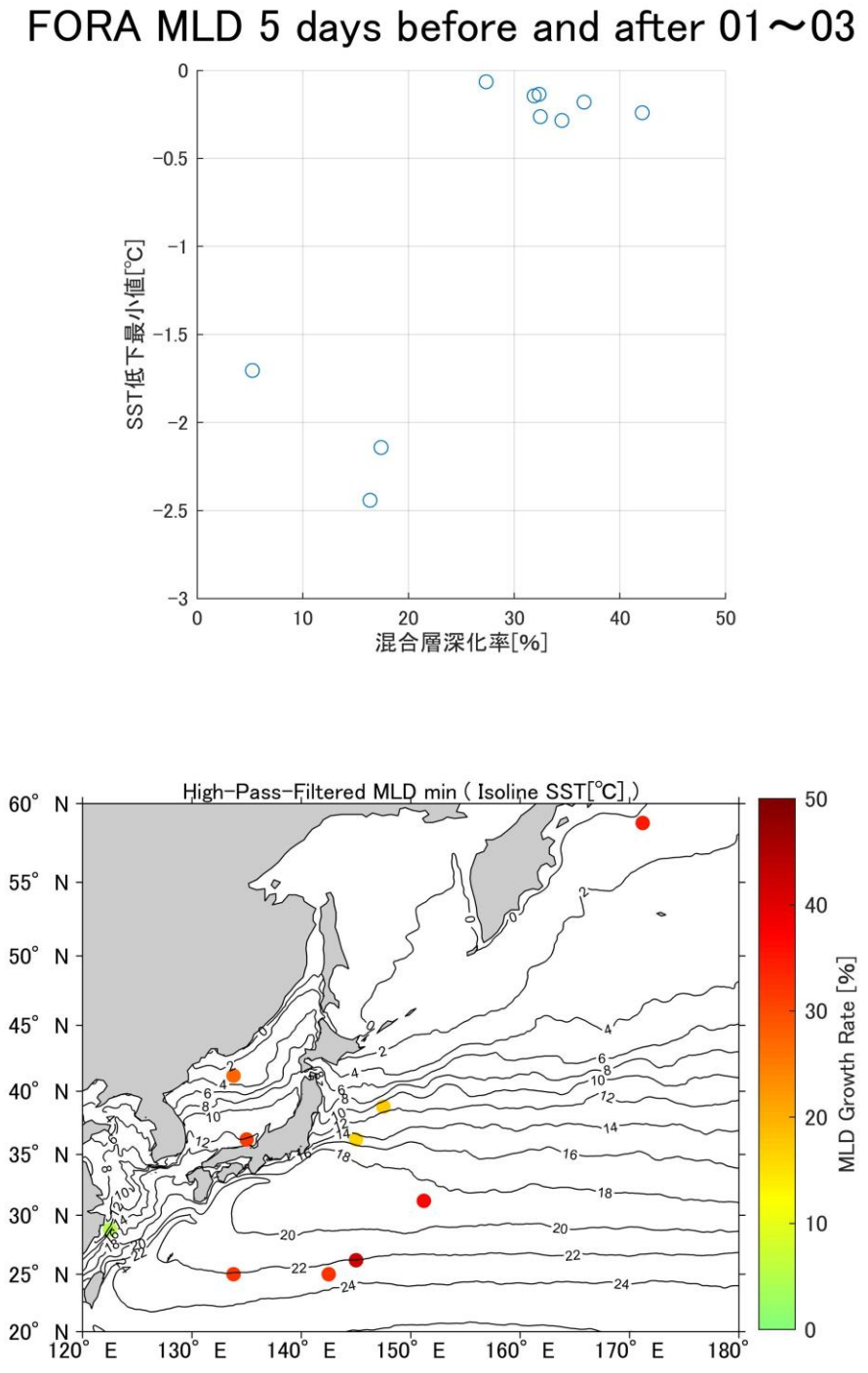


図 3.43　冬季における混合層深化率と SST 最小値の関係における外れ値とその分布

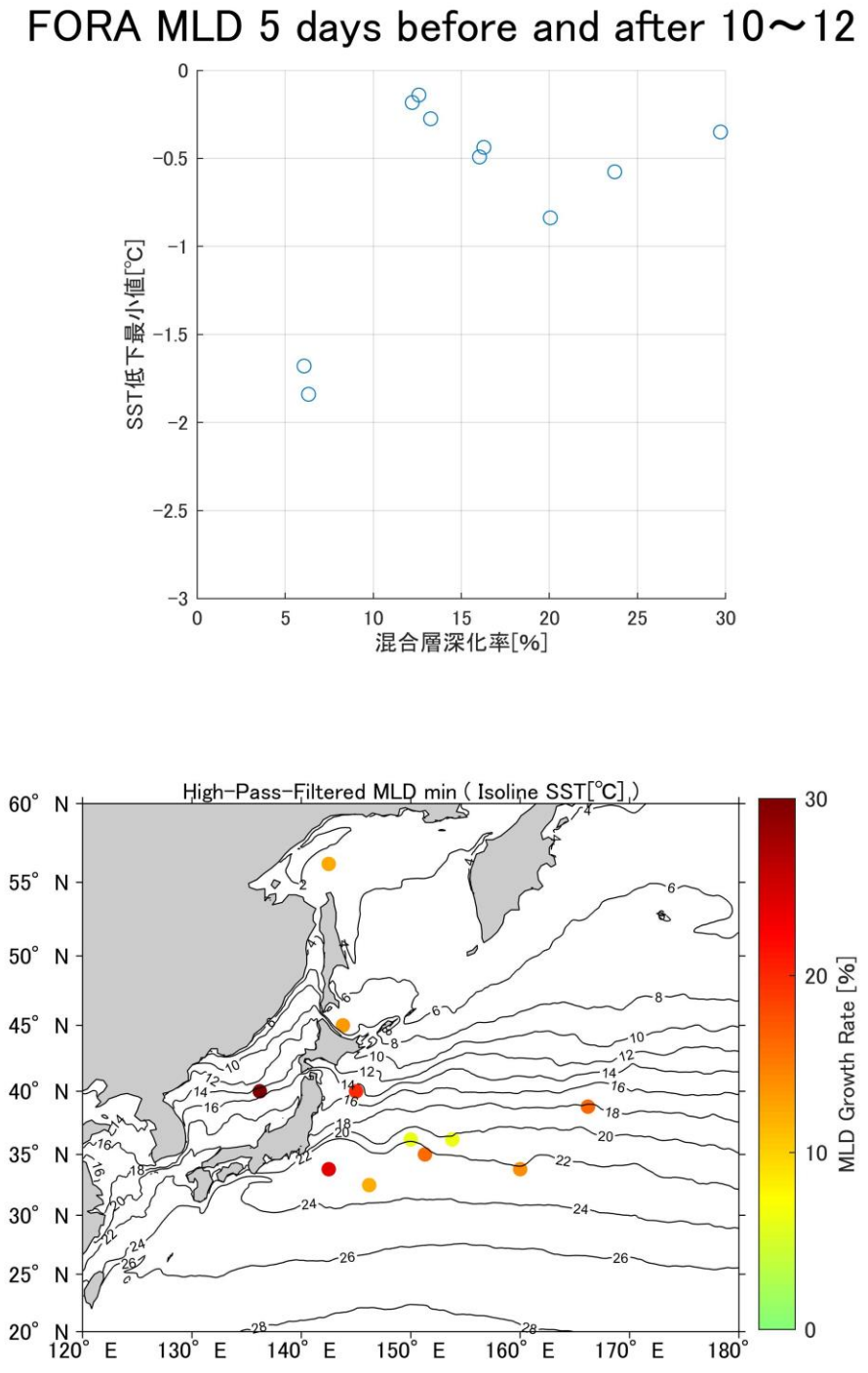


図 3.44 秋季における混合層深化率と SST 最小値の関係における外れ値とその分布