

平成 21 年度 卒業論文

ラジオゾンデで観測された
千島列島周辺の激しい SST 勾配が駆動する
大気循環

**Influence of extreme SST gradient upon
atmospheric meso-scale circulation**

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

地球環境気候学研究室 506367

西川 はつみ

指導教員：立花義裕教授

概要

2006 年 8 月，オホーツク海でロシアの観測船 Khromov によってラジオゾンデ観測が行われ，千島列島周辺に激しい SST 勾配があることが観測された．本研究では，この激しい SST 勾配が大気にどのような影響を与えるかに注目して，解析を行った．この SST 勾配が激しい海域上では，ラージスケールの気圧場から計算した地衡風と，観測された風が大きくずれていた．このことから，激しい SST 勾配によって非地衡的な現象が起きていると考えられる．

解析結果から，SST 勾配の激しい海域では気圧分布，風の分布，湿度分布ともに高気圧の存在を示していた．また，この高気圧発生の要因としては，この激しい SST 勾配により形成された寒気ドームである可能性が示唆された．この海域の観測期間中，ラージスケールの気圧場等に大きな変化は見られなかった．したがって，この高気圧と寒気ドームの存在はラージスケールでの変化によるものとは考えにくく，激しい SST 勾配を原因とする大気の応答で，この海域に局地的な高気圧が発生したと考えられる．

目次

概要

第1章 序論.....	5
1-1 オホーツク海	
1-2 海洋の大気への影響	
第2章 ラジオゾンデ.....	9
第3章 使用データ.....	10
3-1 観測データ	
3-1-1 観測地域	
3-1-2 ラジオゾンデ観測データ	
3-1-3 CTD 観測データ	
3-1-4 SST データ	
3-2 気象庁旬平均海面水温	
3-3 NCEP/NCAR 再解析データ I	
3-4 JCDAS データ	
3-5 Quick Scat	
第4章 解析手法.....	15
4-1 海面水温図 (SST)図の作成	
4-2 地衡風の算出と観測風との比	
4-2-1 地衡風	
4-2-2 観測風との比	

4-3 鉛直断面図作成

4-4 バルク法による顕熱フラックス

4-5 収束発散

4-6 データ比較

第5章 解析結果.....19

5-1 オホーツク海 SST 分布

5-2 地衡風との比較結果

5-3 鉛直断面図

5-4 顕熱フラックス

5-5 収束発散

5-6 データ比較結果

第6章 考察と結論.....32

謝辞

参考・引用文献

1 章 序論

1-1 オホーツク海

オホーツク海は日本の北方、およそ北緯 45 度から 60 度、東経 140 度から 160 度に位置する縁辺海である。北西から北は大陸、西はサハリン、東はカムチャッカ半島、南は北海道、南東方面の太平洋とは千島列島によって隔てられている (Fig. 1-1)。

オホーツク海は特異な気候を形成する海である。夏季にはオホーツク海高気圧を伴う霧や下層雲が多く発生し (Fig. 1-2)、冬季は世界中で最も低緯度の海氷域となる (Fig. 1-3)。このオホーツク海で発生する高気圧は、北日本の各地に大きな影響をもたらす冷害の要因となっている。そのため、冷害を契機に、日本でのオホーツク海研究は活発に行われるようになった。ところが、1970 年代の排他的経済水域の設定などの政治的な理由で直接観測を行うことができなくなったことにより、オホーツク海は謎に包まれた海となった (立花と本田¹⁾, 2007)。しかしその後、1998 年からロシアの観測船 Khromov を用いた日露米の共同観測が行われ、オホーツク海の様々な貴重なデータが得られるようになった。この航海のラジオゾンデ観測データを用いて Tachibana *et al.*²⁾ (2008) や立花³⁾ (2007) では、霧・下層雲の構成とオホーツク海高気圧の関係について解析が行われた。この解析により、オホーツク海の霧・下層雲の発生メカニズムについて徐々に解明されつつあり、風や SST が重要であることが述べられている。しかしどちらの論文も、謎の解明にはさらなる観測が必要だとも述べている。

オホーツク海で特徴的なのが、オホーツク海南東に位置する千島列島周辺の海域である。この海域は、最大 2m/sec を超えるような非常に強い潮流が存在する海域である。この強い潮流に伴い、千島列島周辺では海水の鉛直混合が発生する。夏季には日射等で海面が温められるが、鉛直混合により冷たい深層の水が海表面に上昇してくる。そのため、千島列島周辺では夏季に激しい SST 勾配が存在する (中村⁴⁾, 2006)。Fig. 1-4 は千島列島周辺で見られる鉛直混合の例である。

1-2 海洋の大気への影響

地球表面の約 3 分の 2 を覆っている海洋は、熱や水蒸気の供給源として、大気循環や気候を考える上で大変重要である。熱帯域でのエルニーニョやモンスーンなどは大気海洋相互作用が大きくかかわっている現象であり、これまで熱帯域の海洋が大気に与える影響については多くの研究が行われてきた。しかしながら、熱帯域以外では海洋の大気への影響については意外にも、あまり研究されていない。わずかながら行われている研究も、数値シミュレーションによる研究が多く、観測による研究というものはほとんどない。この理由としては、オホーツク海をはじめとする中緯度の海域では、観測があまり行われていないということが挙げられる。また、海洋と大気はお互いに影響しあうため、どちらが原因でどちらが結果か決定するのは難しい。しかしながら、先に述べた千島列島周辺の海域は、潮汐の影響で激しい SST 勾配が形成されていることがわかっている。つまり、この海域と他の海域で異なる現象が起きていた場合、このスモールスケールの海洋が原因となって大気が変動したとすることができるのではないだろうか。

そこで、本研究ではオホーツク海千島列島周辺の激しい SST 勾配に注目し、2006 年 8 月に行われた観測船 Khromov によるラジオゾンデ観測データを用いて、スモールスケールの海洋が大気に及ぼす影響について明らかにすることを目的として、解析を行う。



Fig. 1-1 オホーツク海とその周辺



Fig.1-2 夏季オホーツク海の霧



Fig.1-3 冬季オホーツク海の海水

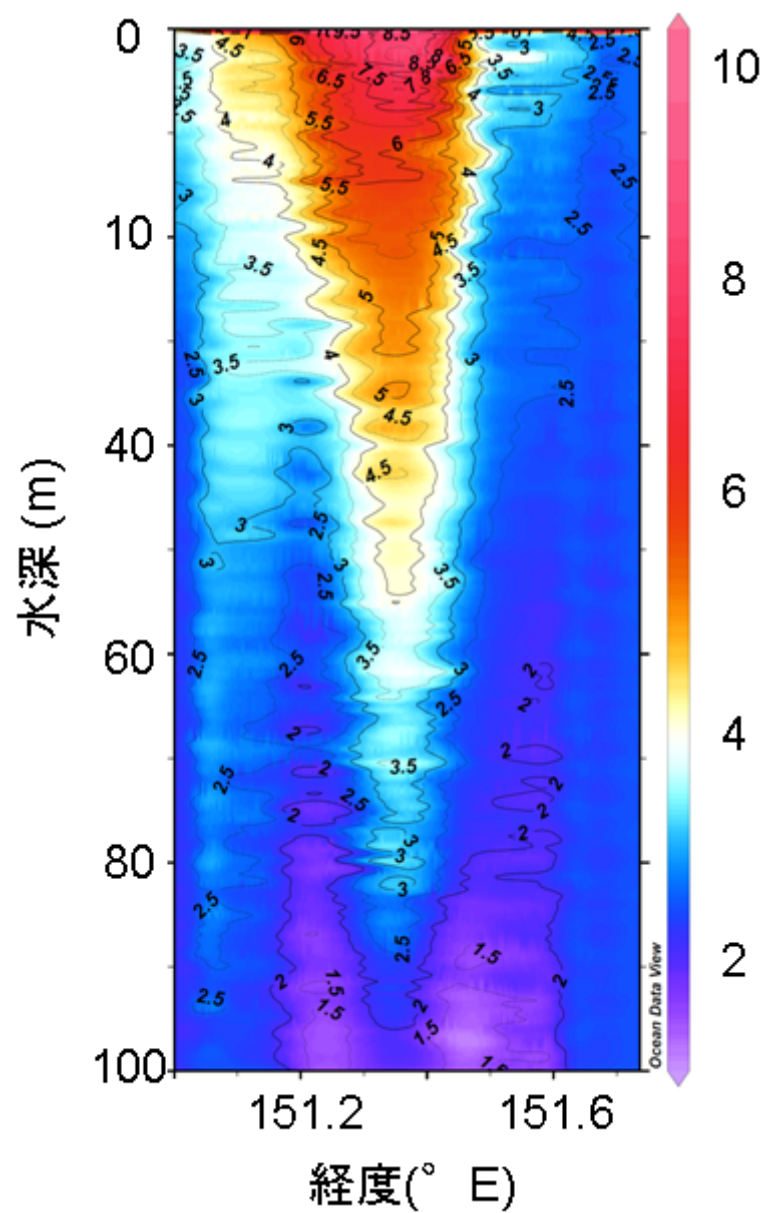


Fig.1-4 2006 年 8 月の観測船 Khromov での CTD 観測によって得られた
千島列島周辺の水温 [°C] の鉛直断面図
横軸は経度 [° E] を表し、縦軸は水深 [m] を表す.

2 章 ラジオゾンデ

ラジオゾンデは、気圧、気温、湿度等の気象要素を測定するセンサーを搭載し、測定した情報を送信するための無線送信器を備えた気象観測器である (Fig. 2-1). 温度計と湿度計は、ラジオゾンデから突き出たアームに取り付けられており、気圧計や無線送信器、電池等は、ラジオゾンデの本体（白色発泡スチロール製の収容箱）内部にある。ラジオゾンデをゴム気球に吊るして飛ばし、地上から高度約 30km までの大気の状態（気圧、気温、湿度、風向・風速等）を観測している。観測を終えたラジオゾンデは、パラシュートによってゆっくり降下する (Fig. 2-2).

ラジオゾンデによる高層気象観測は、世界各地で毎日決まった時刻（日本では標準時 09 時・21 時）に行われている。ラジオゾンデによる高層気象観測で得られたデータは、天気予報の基礎である数値予報モデルや、気候変動・地球環境の監視、航空機の運航管理などに利用されている。（気象庁⁵⁾）



Fig. 2-1 ラジオゾンデ測器



Fig. 2-2 ゾンデ放球の瞬間

3 章 使用データ

3-1 観測データ

2006 年 8 月から 9 月にかけて行われた日露米共同研究の観測船 Khromov でおこなわれた観測データを使用する。

3-1-1 観測地域

観測地域はオホーツク海の千島列島周辺 (約 45° N) から, 約 55° N までの地域である。観測は, 千島列島のウルップ島周辺から始まり, 北東へ進み, ブッソル海峡周辺からサハリンに沿って北上し, サハリンの北約 55° N まで行われた。Fig. 3-1 の黒の実線が今回の観測の航路図を示す。

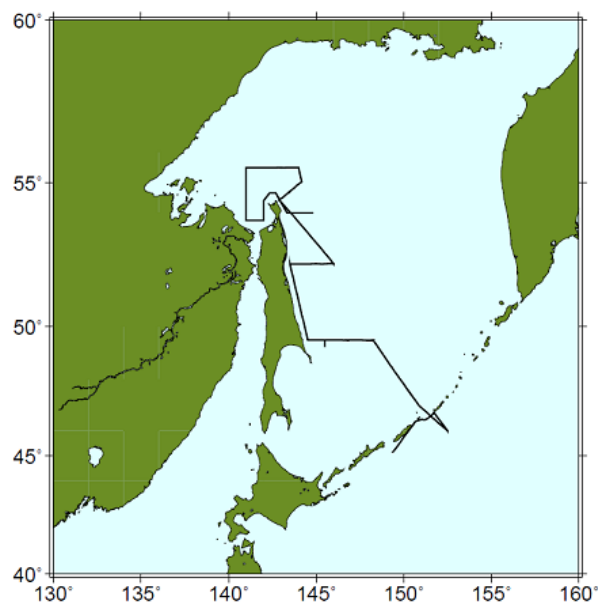


Fig. 3-1 観測海域：オホーツク海

3-1-2 ラジオゾンデ観測データ

本研究で用いられたラジオゾンデは, フィンランドのヴァイサラ社のラジオゾンデである。ヴァイサララジオゾンデは 2 秒ごとにデータを記録している。

ラジオゾンデ観測は 8 月 16 日 UTC00 から 8 月 31 日 UTC12 まで, 1 日 4 回 6 時間ごとに (UTC00, 06, 12, 18) の計 63 回の観測が行われた。今回主に使用するのは, 8 月 18 日 UTC12 から 8 月 21 日 UTC18 の 13 点である。

3-1-3 CTD 観測データ

CTD 観測は 8 月 17 日から 9 月 10 日まで, 全 77 地点で行われた。今回使用するのは, 8 月 18 日から 8 月 22 日に観測された 21 点である。

3-1-4 SST データ

ラジオゾンデ観測時と CTD 観測時に観測されたものを使用。

3-2 気象庁旬平均海面水温

気象庁旬平均海面水温図は人工衛星とブイ、船舶による観測値から解析された海面水温図で、解像度は $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ である。毎月上旬 (1 日から 10 日)、中旬 (11 日から 20 日)、下旬 (21 日から 30 日) に分けられ、それぞれの平均値が旬平均海面水温となる。本研究では、8 月の中旬と下旬の旬平均海面水温図を使用した (Fig. 3-2)。

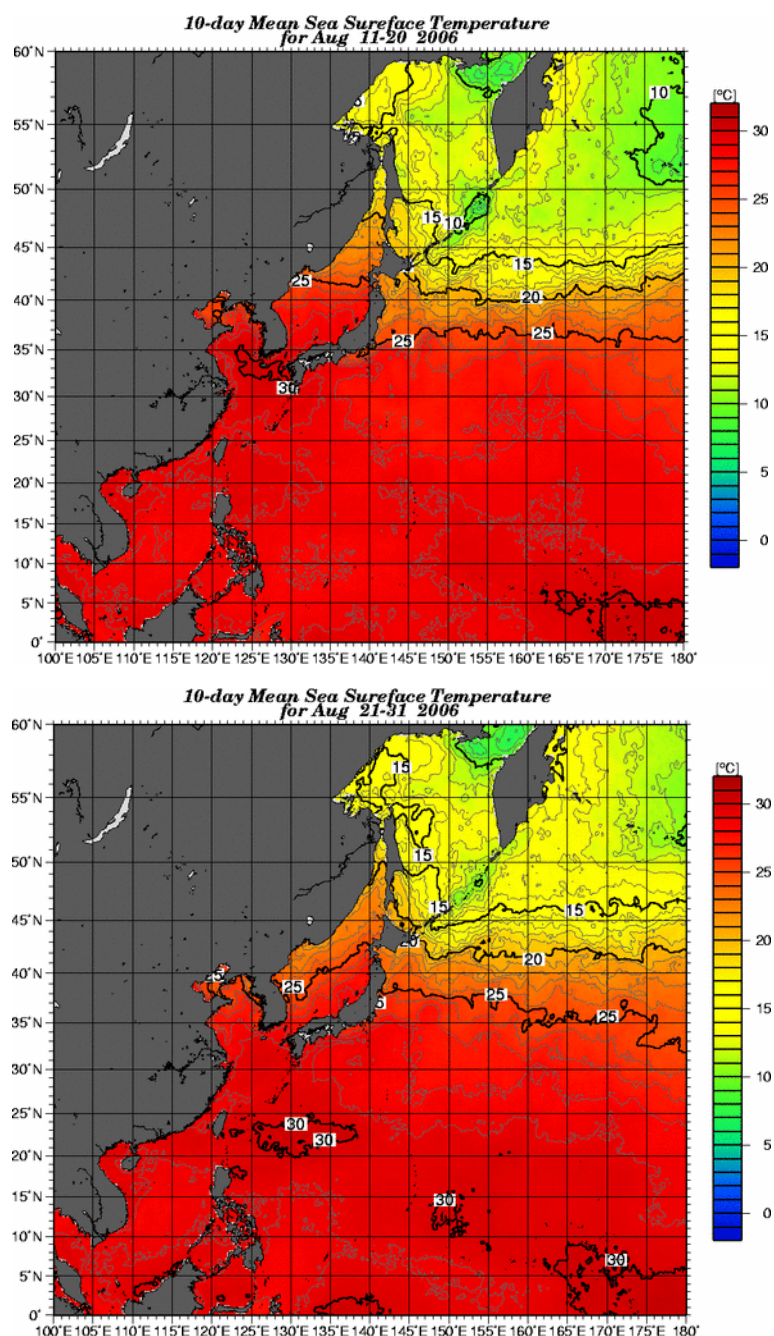


Fig. 3-2 2006 年 8 月旬平均海面水温図

上図：中旬 (11 日～20 日)、下図：下旬 (21 日～31 日)

3-3 NCEP/NCAR 再解析データ I

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 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (0E-357.5, 90N-90S) の気圧座標系を用いた. 物理量は多数あるが, 本研究では 2006 年 8 月のジオポテンシャル高度 (Fig. 3-3), 気温, 東西風, 南北風を使用している.

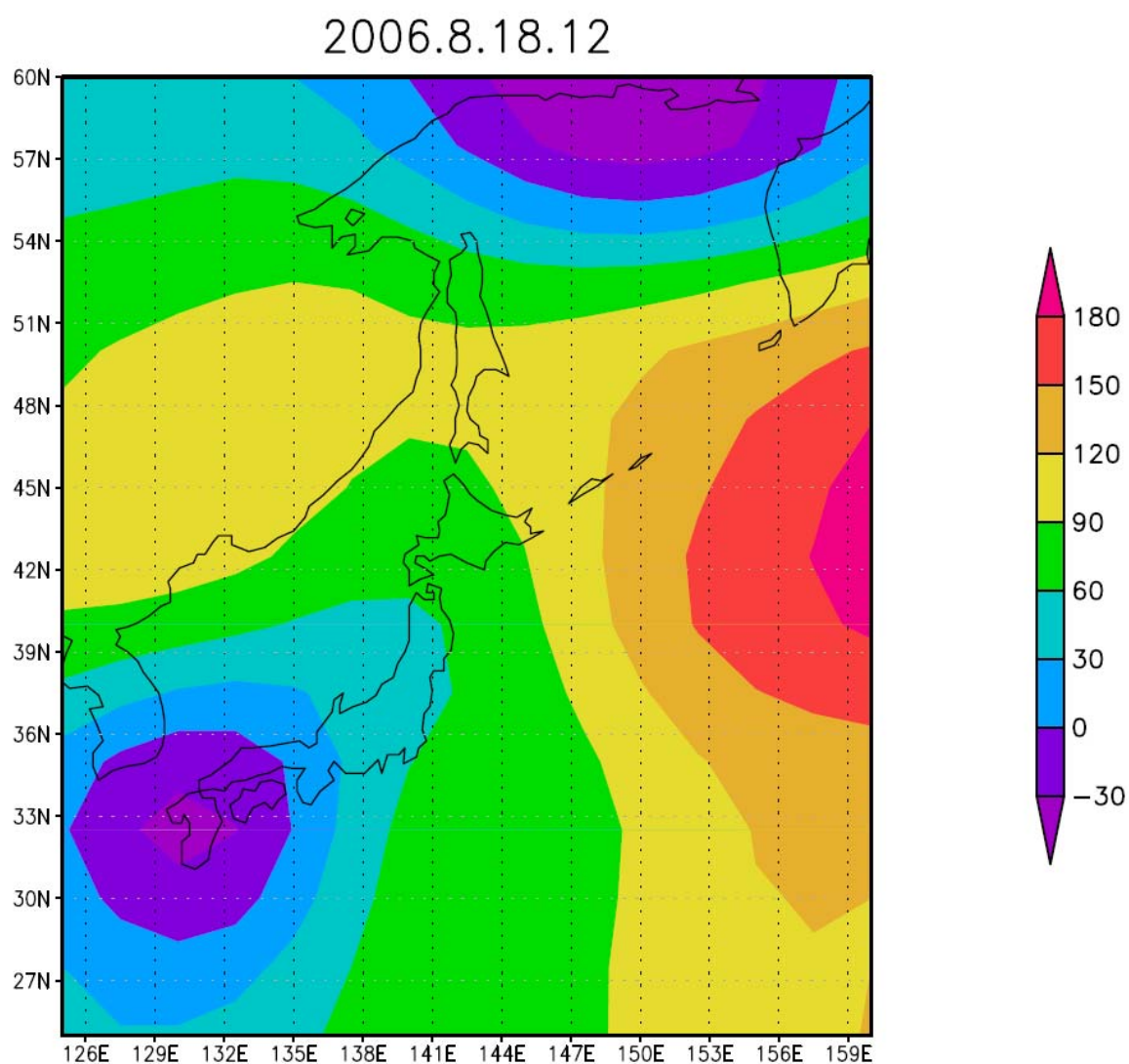


Fig. 3-3 NCEP/NCAR 再解析データ I の例

2006 年 8 月 18 日 UTC12 の 1000hPa ジオポテンシャル高度 [m]

3-4 JCDAS データ

JCDAS (JMA Climate Data Assimilation System : 気象庁気候データ同化システム) は、2005 年 1 月から現在までの 1 日 6 時間ごと (UTC00, 06, 12, 18) のデータである。JRA-25 と同じシステムで計算された、格子間隔約 110km の再解析データである。本研究では、2006 年 8 月のジオポテンシャル高度 (Fig. 3-4), 気温, 風の東西・南北成分のデータを使用した。

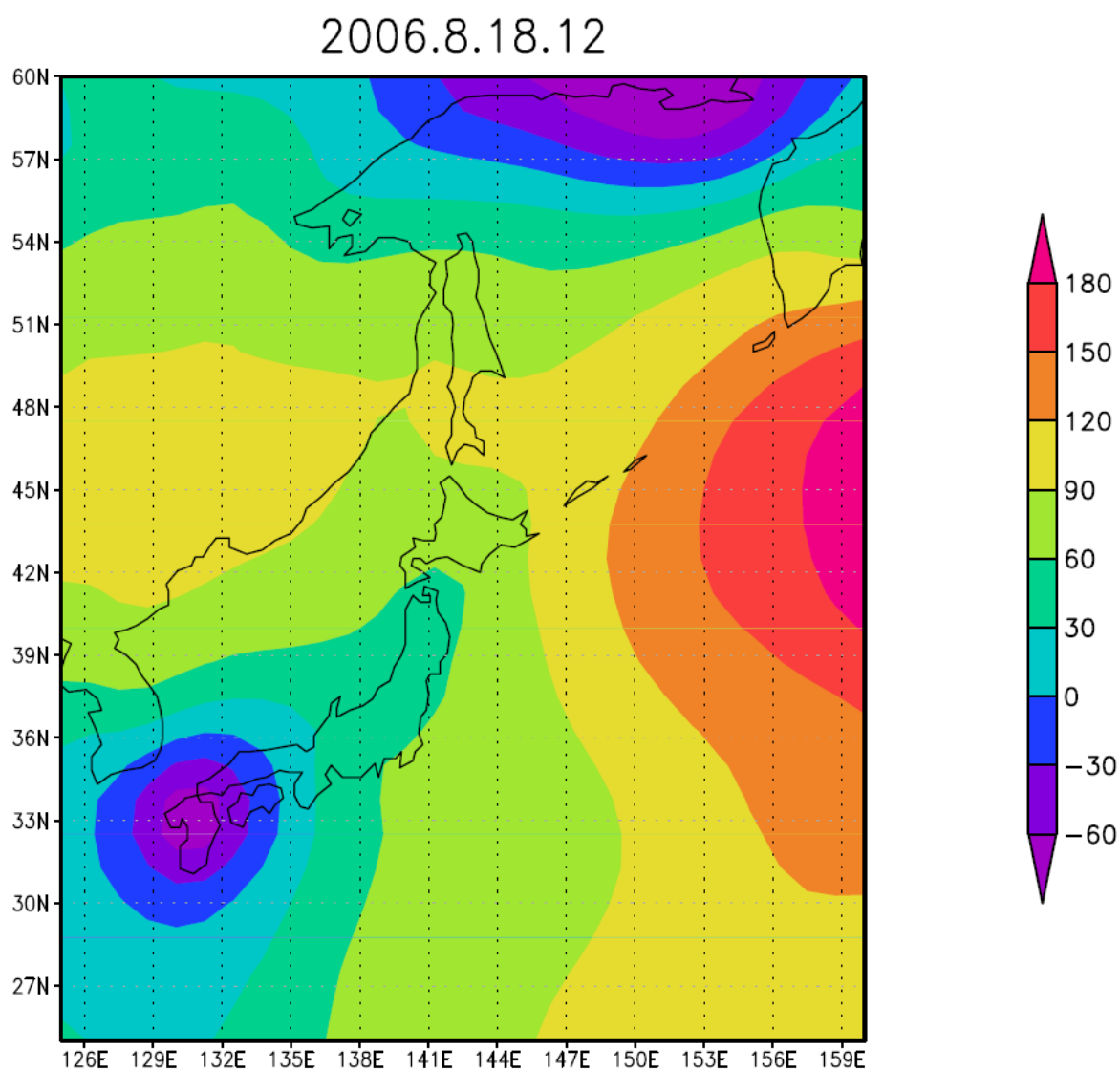


Fig. 3-4 JCDAS データの例

2006 年 8 月 18 日 UTC12 の 1000hPa ジオポテンシャル高度 [m]

4-4 バルク法による顕熱フラックス

バルク法とは、海面から大気への熱輸送を見積もるために、船舶の海上気象データを用いて計算する経験式である (近藤⁷⁾, 1994).

観測で得られた表面気温 (SAT) と観測風 ($\vec{V}$) を用いて、次式(式4-2) より顕熱フラックスを計算. H は顕熱フラックス [W], C_H はバルク係数, C_p は定圧比熱を示す. 本研究では, バルク係数は0.0012, 定圧比熱は1004.5 [J/kgK] を用いた.

$$H = C_H C_p \rho (SAT - SST) |\vec{V}| \quad \cdots \text{(式 4-2)}$$

4-5 収束・発散の算出

激しいSST勾配の海域で、観測期間中収束・発散どちらの傾向にあるのか調べるため、観測データを用いて、連続の方程式 (式4-3) (Holton⁷⁾, 2004) より、この海域上で連続する3つの観測点による三角形を5つ作り (Fig. 4-2), それぞれについて各高度で収束発散を求めた. 連続の方程式から収束発散を求める場合、その誤差が大きいことが知られている. そこで、ランダム誤差の影響を小さくするために、5つの三角形の収束発散をそれぞれの面積に応じて重み付けし、5つの三角形の総面積で割ることで、この海域での全体的な収束発散を求めた. なお、収束発散の計算には同時、多点の観測点を用いるべきであるが、本研究では後述するように大規模場の変化が小さかったことから、時間差データをあえて擬似多点データとして扱った. 詳細については考察で述べる.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad \cdots \text{(式 4-3)}$$

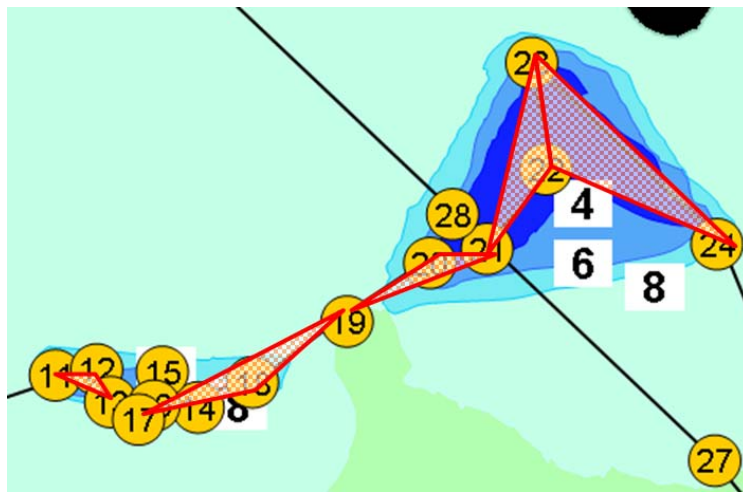


Fig. 4-2 収束発散の計算に用いた5つの三角形

黄色い丸は観測点を、数字は観測点番号を、四角の中の数字は水温を表す.

黒の実線は観測航路を示す.

4-6 データ比較

解像度の粗い、客観解析データである NCEP/NCAR 再解析データや JCDAS データ、人工衛星の QSCAT のデータにはスモールスケールの局地的な SST の影響は含まれにくい。そこで、観測から得られた結果が、ラージスケールでも起こっている現象なのかどうか、NCEP/NCAR 再解析データ I, JCDAS データ, QSCAT データを観測データと比較することで、検証する。

本研究では、NCEP/NCAR と JCDAS については 1000hPa の高度、気温、東西風、南北風を観測データと比較をおこなった。QSCAT は風速、風向から東西成分、南北成分を算出して観測データと比較している。QSCAT については、日本付近を通るのが UTC06, 18 頃であったため、比較する観測風も同時刻のものを使用した。

5 章 解析結果

5-1 オホーツク海 SST 分布

4-1 で作成した SST 図から、オホーツク海には 気象庁の旬平均海面水温図には見られない、局所的に冷たい海域や暖かい海域が存在していた (Fig. 5-1). また、千島列島周辺では激しい SST 勾配を確認することができた. その結果、最大約 10km で 7℃という SST の急勾配が存在することがわかった. その SST 勾配は CTD 観測データが示す鉛直混合と一致していた. そこでこの SST 図に観測風の風向を重ねたところ、激しい SST 勾配が存在する海域で風向が大きく変わっていることがわかった (Fig. 5-2). この海域の観測期間中、ラージスケールでの気圧配置はほぼ変わらず、地衡風は期間を通してほぼ南西風であった (Fig. 5-3).

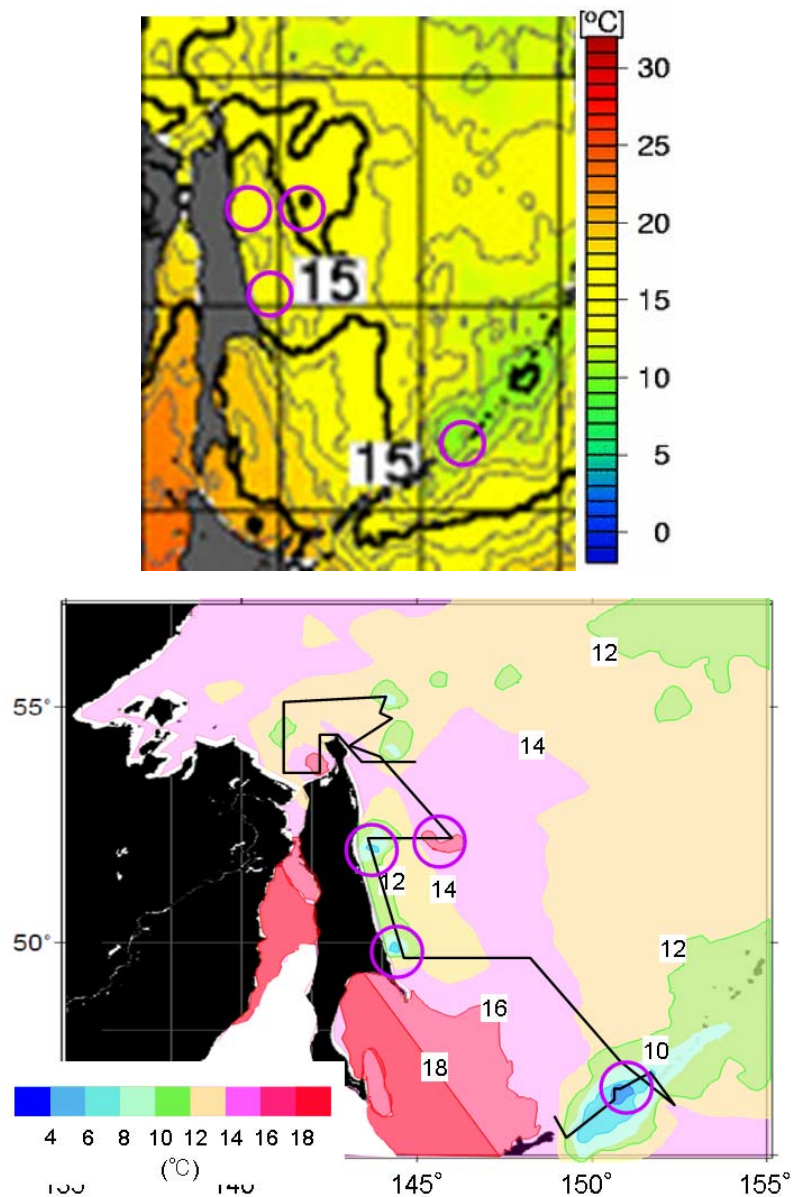


Fig.5-1 気象庁旬平均海面水温図 (上図) と観測された SST の合成図 (下図)

丸で囲まれた場所は気象庁の図では表れていない冷水または暖水域、黒の実線は観測航路.

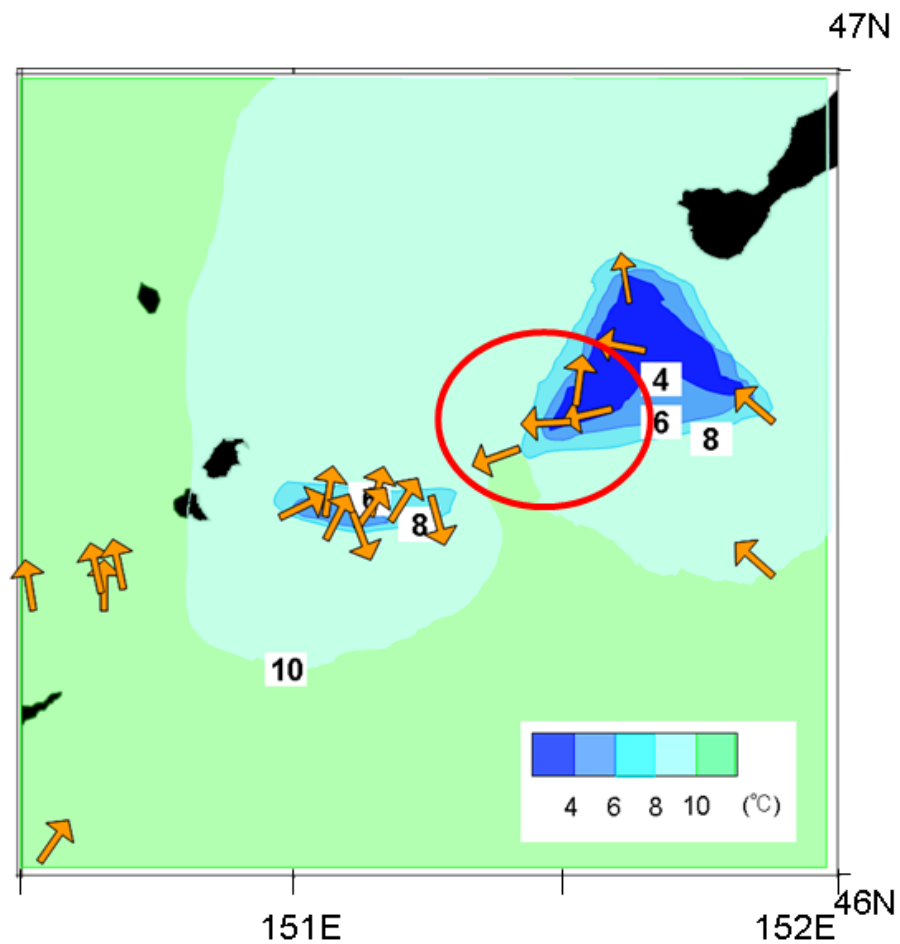


Fig.5-2 激しい SST 勾配の見られる海域の拡大図

矢印は地上風の風向を示す．丸で囲んだ場所は風向が地衡風と逆になっている．

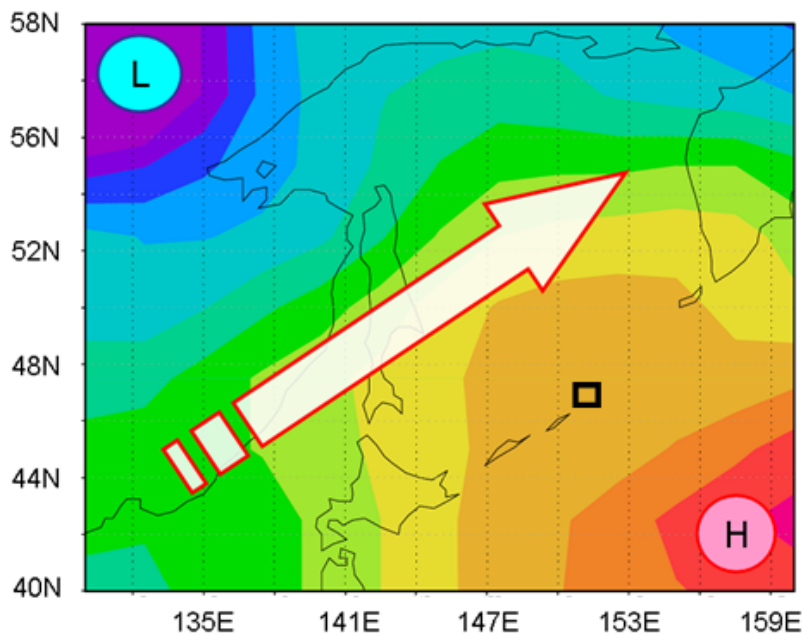


Fig.5-3 千島列島周辺の観測期間中の気圧配置例

2006 年 8 月 20 日 UTC12 の気圧配置. 矢印はこの気圧配置から予想される地衡風, 黒い四角は

Fig. 5-2 の海域を示す. L は低気圧, H は高気圧を表している.

5-2 地衡風との比較結果

4-2 で算出した結果を Fig. 5-3 に示す. 得られた地衡風と観測風を比較することで, スモールスケールの海洋が大気に与える影響の有無について考える. 観測点 13~21 のあたりで観測風÷地衡風の値が異常に大きくなっていることがわかる. この大きな値を示した海域は, 千島列島周辺の激しい SST 勾配が観測された海域と一致していた. SST 勾配の激しい海域とそれ以外の海域で地衡風との比を平均してみると, 勾配の激しい海域では観測風の風速は地衡風に対して平均 5.6 倍の大きさであり, それ以外での平均風速は地衡風とほぼ同等であった. 風速だけでなく, 東西成分・南北成分に分けて同様の解析を行った. 風速のときと同様に, SST 勾配の激しい海域では観測風の地衡風からのずれは大きく, それ以外の海域では地衡風とほぼ一致していた.

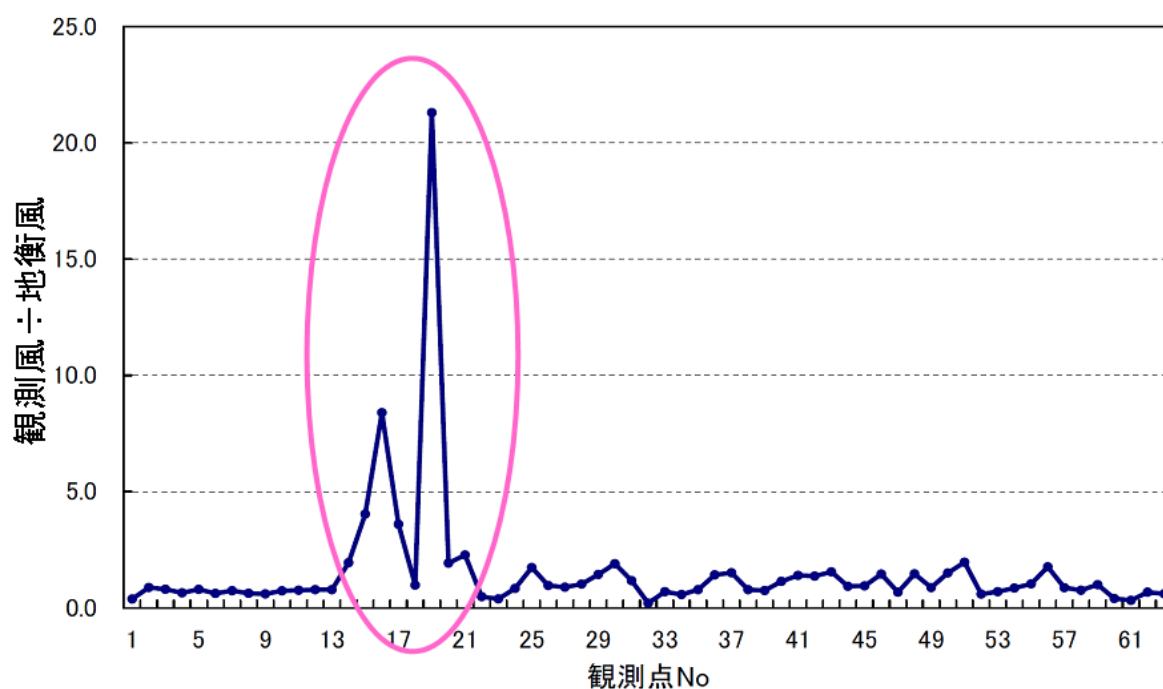


Fig. 5-3 観測風/地衡風

横軸は観測点番号, 縦軸は観測風/地衡風の値を示す.

5-3 鉛直断面図

4-3 で作成した各図を見ていく．ここからは SST 勾配の激しい海域のみに注目したいので，勾配の激しい海域の観測点 11 から 24 のみを見ることにする．

各観測点の鉛直プロファイル例を Fig. 5-4 に示す．この海域の観測点の鉛直プロファイルは，Fig. 5-4 で示したものとほぼ同じ形をしていた．気温については境界層で気温が上空にかけて高くなる逆転層型をしており，逆転層の高さは約 300m から 800m であった．また，100m で 10℃ 近く気温が上昇するような強い逆転層も見られた．相対湿度の鉛直プロファイルは霧の存在を示しており，霧の層は約 500m から 1200m であった．

続いて，大気の鉛直断面図を Fig. 5-5 から 5-9 に示す．風の東西成分については観測点 17 と 18 を境界として西風から東風に風向きが大きく変化していた (Fig. 5-5)．同様に南北成分では，観測点 16 と 17 を境界とし南風から北風へと変化していた (Fig. 5-6)．続いて，気圧の鉛直断面図を見てみると，観測点 19 を中心とするような高気圧となっていることがわかった (Fig. 5-7)．相対湿度分布は，この場所では他の場所に比べて霧が薄くなっており，上空には乾燥した空気が存在することを示していた (Fig. 5-8)．気温の鉛直断面では，観測点 18,19 あたりを中心とする冷たい空気の塊 (以後寒気ドームと呼ぶ) が形成されていた (Fig. 5-9)．

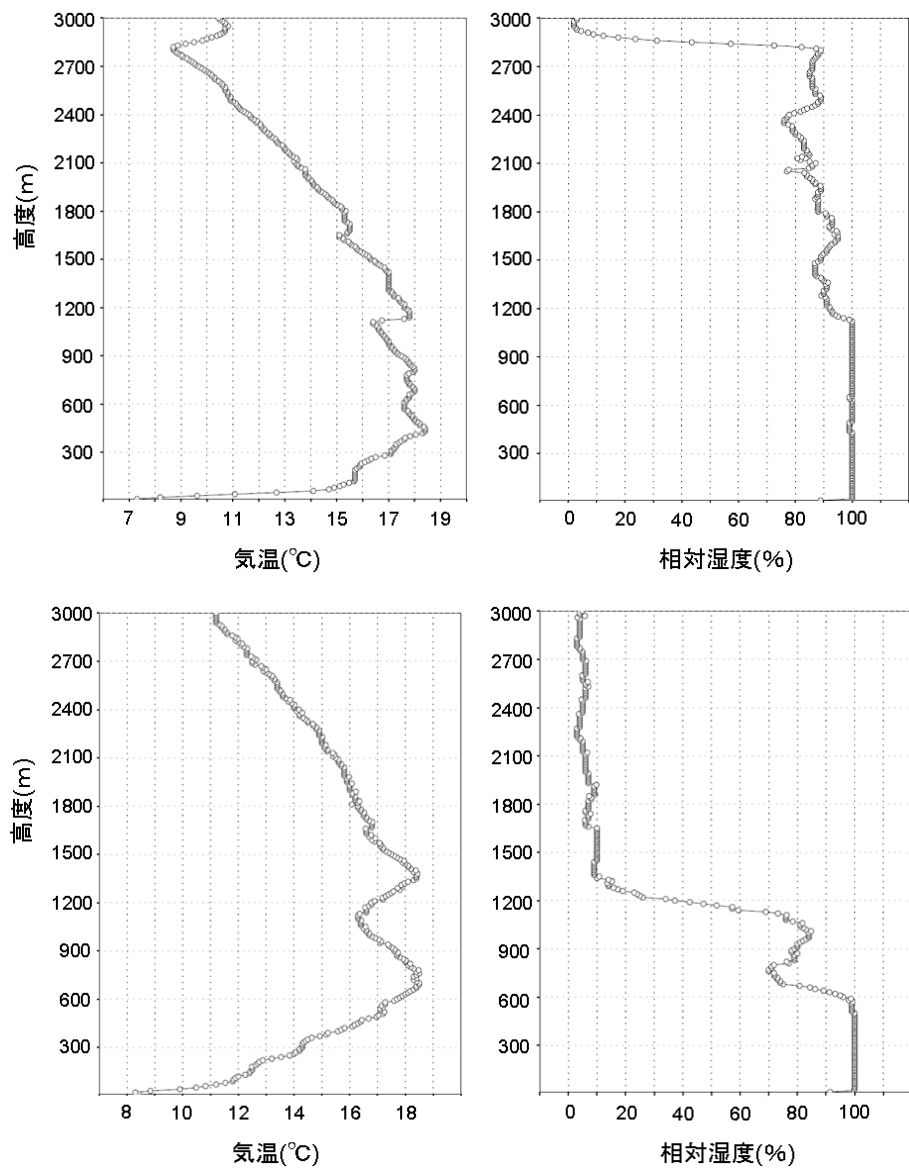


Fig. 5-4 鉛直プロファイル例

上図：観測点番号 16 (19 日 UTC18), 下図：観測点番号 19 (20 日 UTC12)

縦軸は高度 [m], 横軸は気温 [°C](左図) と相対湿度 [%](右図) を示す.

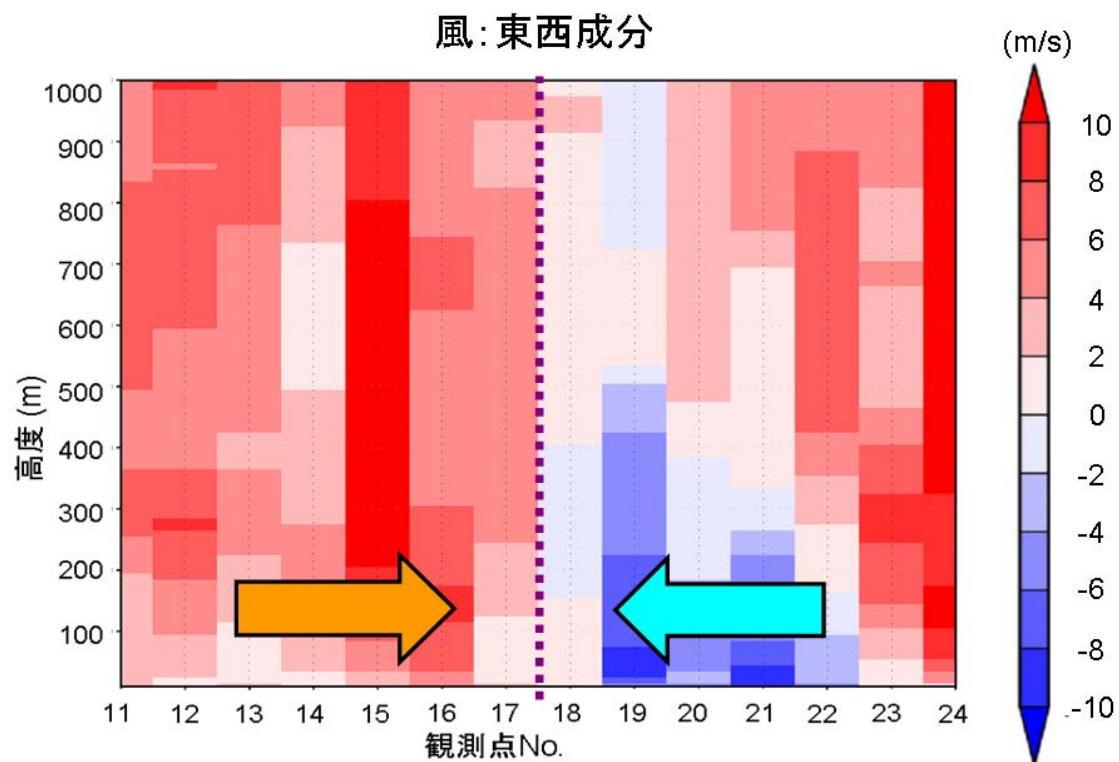


Fig. 5-5 東西風成分の鉛直断面図

横軸は観測点番号, 縦軸は高度 [m] を示す. また, 正 (赤) は西風, 負 (青) は東風を表す. 点線は風向が変わる境界.

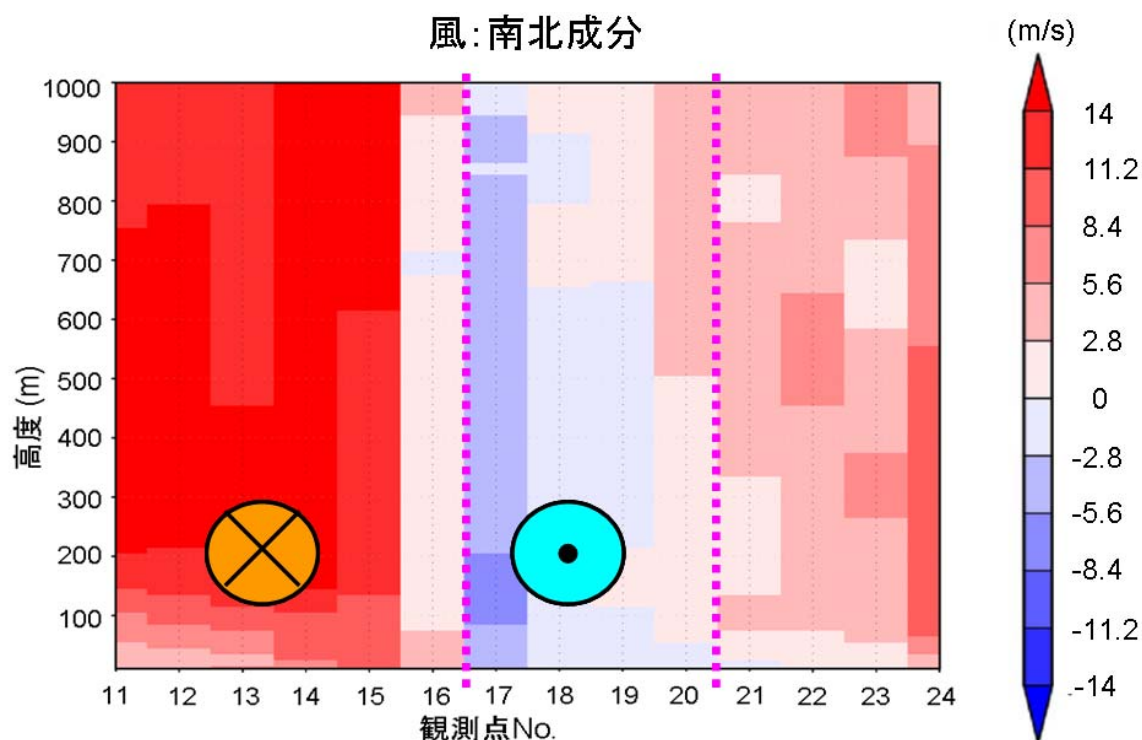


Fig.5-6 南北成分の鉛直断面図

正 (赤) は南風, 負 (青) は北風を表す. 他は Fig. 5-5 と同じ.

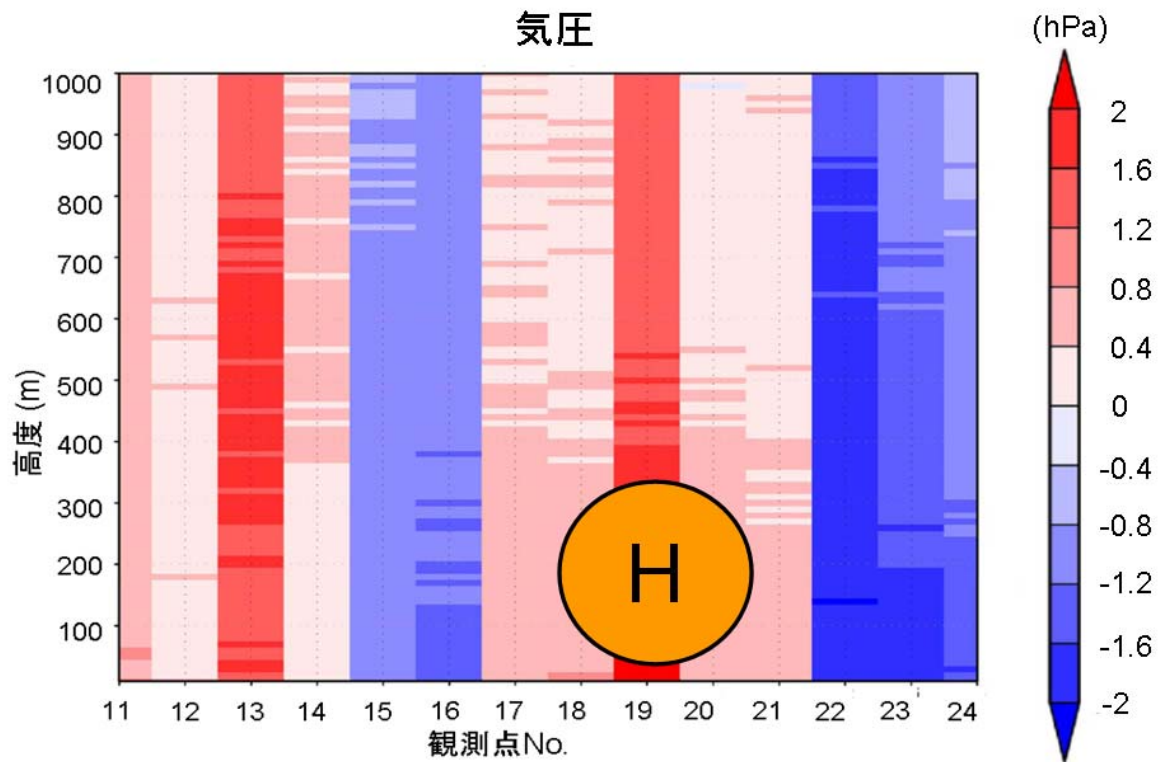


Fig.5-7 気圧の鉛直断面図

正 (赤) は高気圧, 負 (青) は低気圧であることを表す. 他は Fig. 5-5 と同じ.

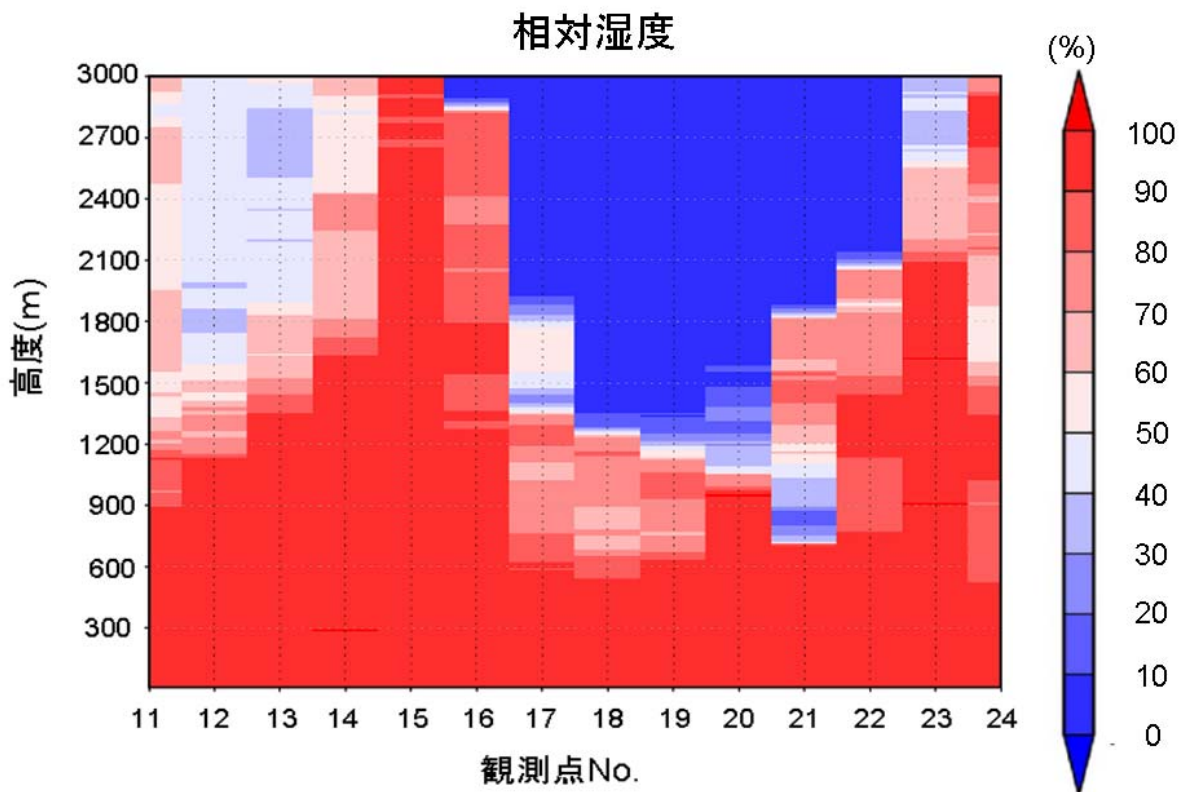


Fig. 5-8 相対湿度の鉛直断面図

赤は湿度が高く, 青は乾燥していることを表す. 他は Fig. 5-5 と同じ.

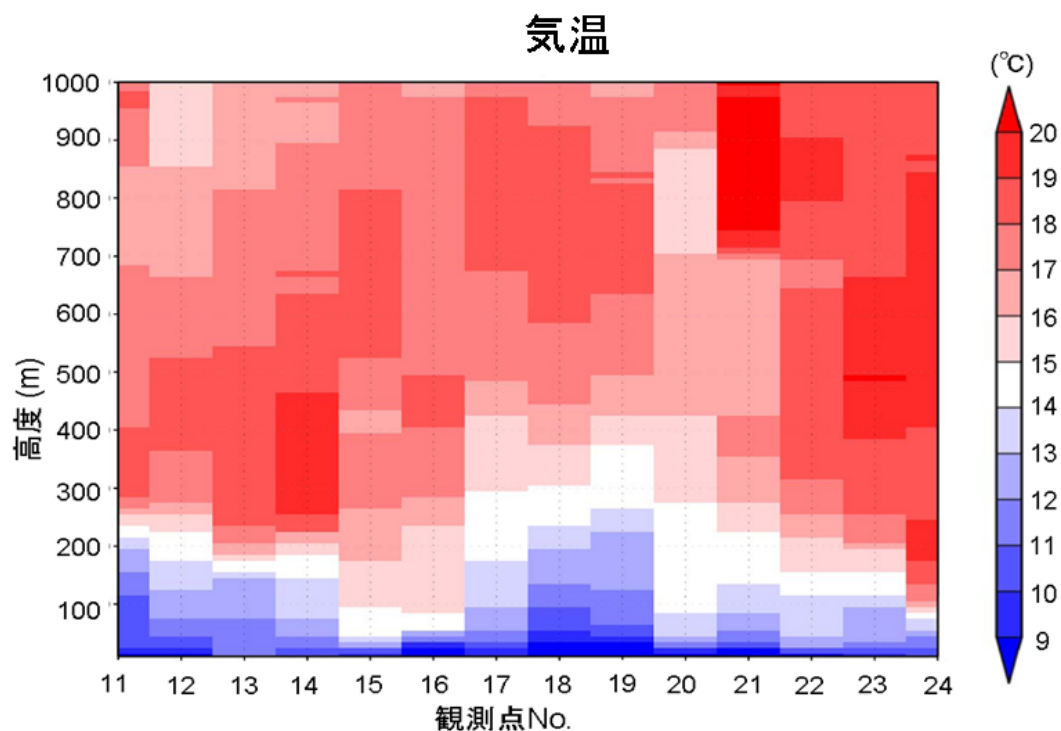


Fig. 5-9 気温の鉛直断面図

赤は気温が高く、青は気温が低いことを表す。他は Fig. 5-5 と同じ。

5-4 顕熱フラックス

顕熱フラックスの計算結果を Fig.5-10 に示す。Fig.5-10 で正の値は大気が海によって冷却されていることを示しており、負は逆に大気が温められていることを示す。この激しい SST 勾配の海域では、観測点 19 を除くすべての海域で大気が海によって冷やされていることがわかる。

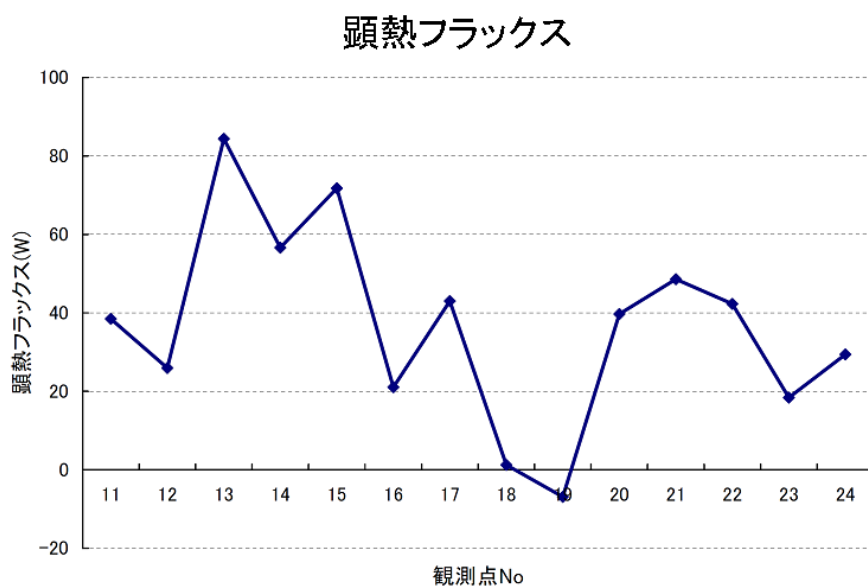


Fig. 5-10 顕熱フラックス

横軸は観測点番号、縦軸は顕熱フラックス [W] を示す。正はフラックス下向き (大気が冷やされている) を、負はフラックス上向き (大気が温められている) を表す。

5-5 収束発散

4-5 の計算結果からこの海域上では海面から上層約 2700m まで発散傾向にあることがわかった (Fig. 5-11).

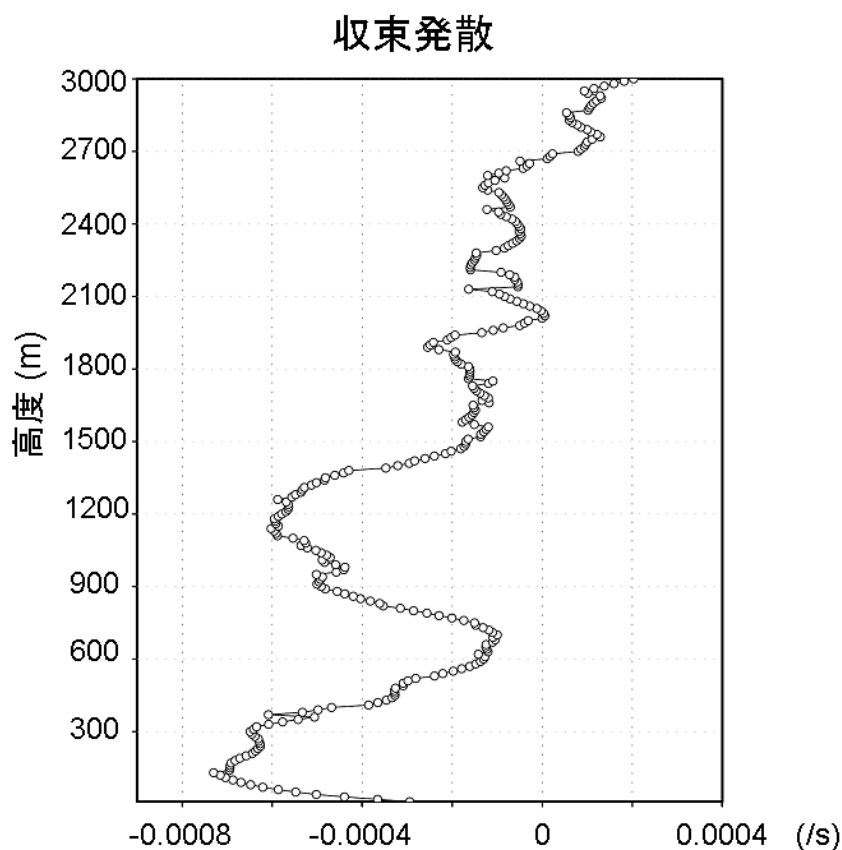


Fig. 5-11 SST 勾配の激しい海域の収束発散

横軸は収束発散 [1/sec], 縦軸は高度 [m] を示す. 正は収束, 負は発散を表している.

5-6 データ比較

NCEP/NCAR 再解析データ I との比較結果では, まず 1000hPa 面の風に関しては東西風, 南北風どちらについても NCEP/NCAR では観測風に見られるような大きな風向の変化は見られなかった (Fig. 5-12). 1000hPa 面での高度については, NCEP/NCAR では大きく変化することなく減少傾向にあるのに対し, 観測値は観測点 17 から 21 にかけて高気圧であることを示している (Fig. 5-13). また, 1000hPa 面での気温については, NCEP/NCAR ではほぼ変化はなく観測点 17 から 21 にかけてはどちらかという気温は上昇している傾向にある (Fig. 5-14). それに対し観測値は気温の低下を示していることが Fig. 5-13 からよくわかる.

JCDAS は, NCEP/NCAR よりも解像度が少し細かいため, NCEP/NCAR に比べ風, 気圧, 気温どれについても観測値に近い値を示した. しかし, やはり観測値のような大きな風向の変化や, 観測点 19 を中心とする高気圧, 寒気ドームは JCDAS にも見られなかった (Fig. 5-15~5-17).

人工衛星 QSCAT との比較に関しては、残念ながら 20 日 UTC18 のこの海域のデータが欠損していたため、詳細な変化は見る事ができなかった。しかし、それ以外のデータを見る限り風の変化は観測とは異なっているようだった (Fig. 5-15)。

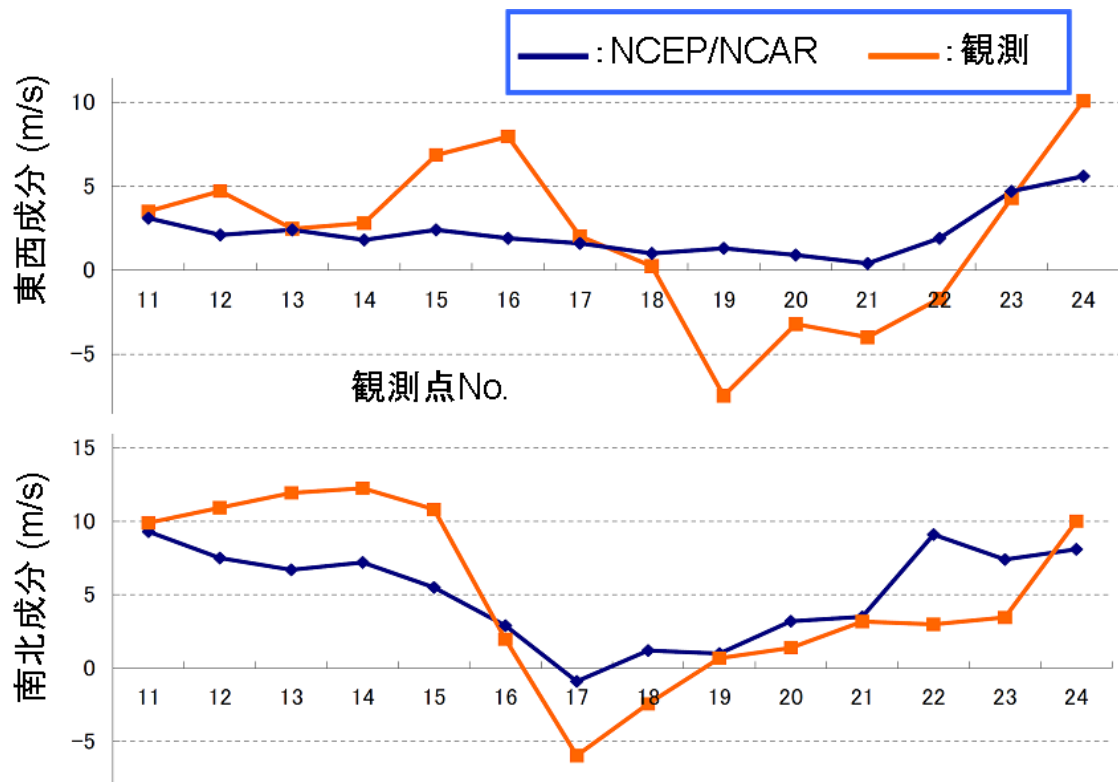


Fig. 5-12 1000hPa での NCEP/NCAR と観測風の比較

東西成分 (上図) と南北成分 (下図). 横軸は観測点番号, 縦軸は風速 [m/sec] を示す.

紺色は NCEP/NCAR, オレンジは観測値を示す.

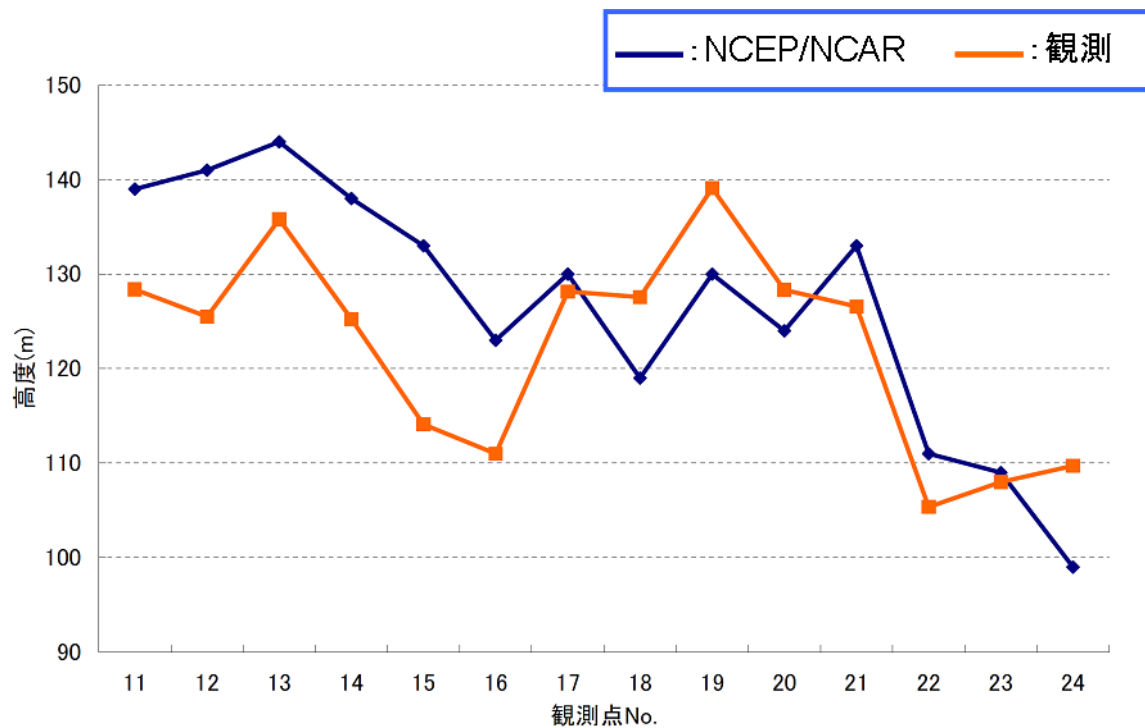


Fig. 5-13 1000hPa での NCEP/NCAR と観測の高度の比較

横軸は観測点番号, 縦軸は高度 [m] を示す. 他は Fig. 5-11 と同じ.

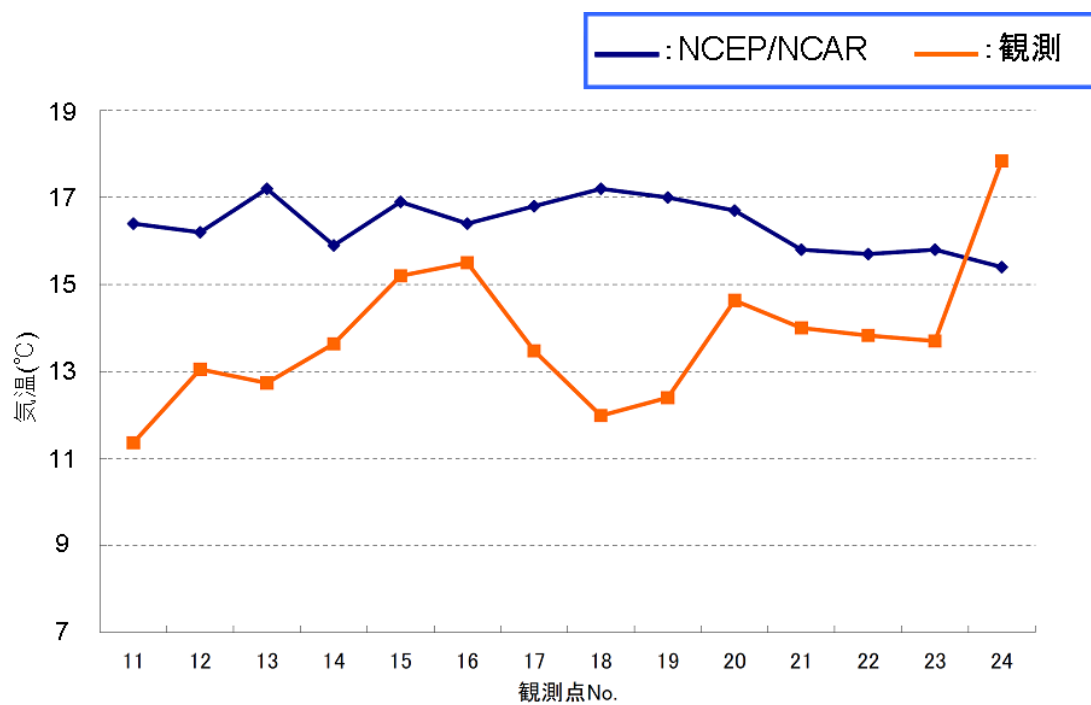


Fig. 5-14 1000hPa での NCEP/NCAR と観測の気温の比較

横軸は観測点番号, 縦軸は気温 [°C] を示す. 他は Fig. 5-11 と同じ.

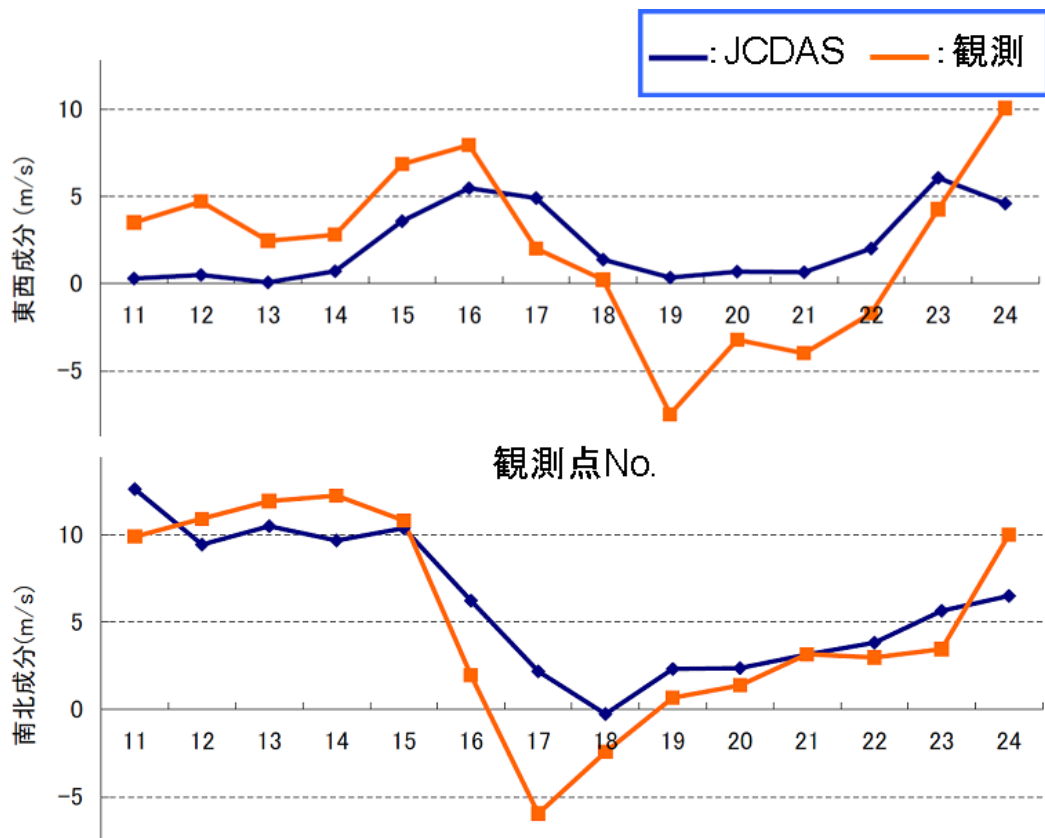


Fig. 5-15 1000hPa での JCDAS と観測風の比較

東西成分 (上図) と南北成分 (下図). 横軸は観測点番号, 縦軸は風速 [m/sec] を示す.
紺色は JCDAS, オレンジは観測値を示す.

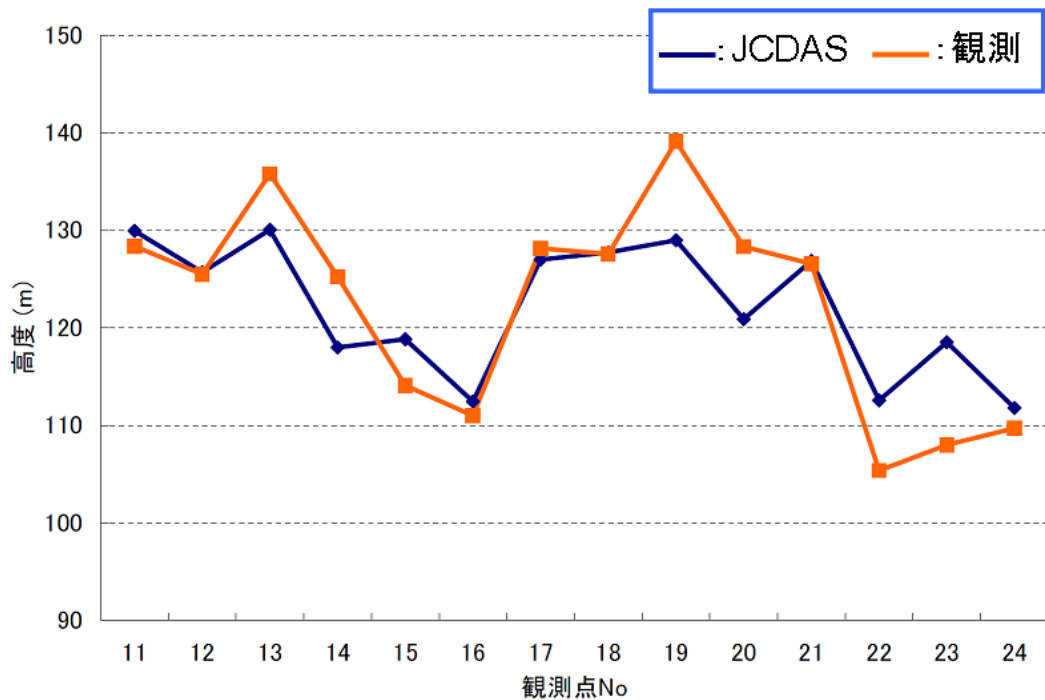


Fig. 5-16 1000hPa での JCDAS と観測の高度の比較

横軸は観測点番号, 縦軸は高度 [m] を示す. 他は Fig. 5-15 と同じ.

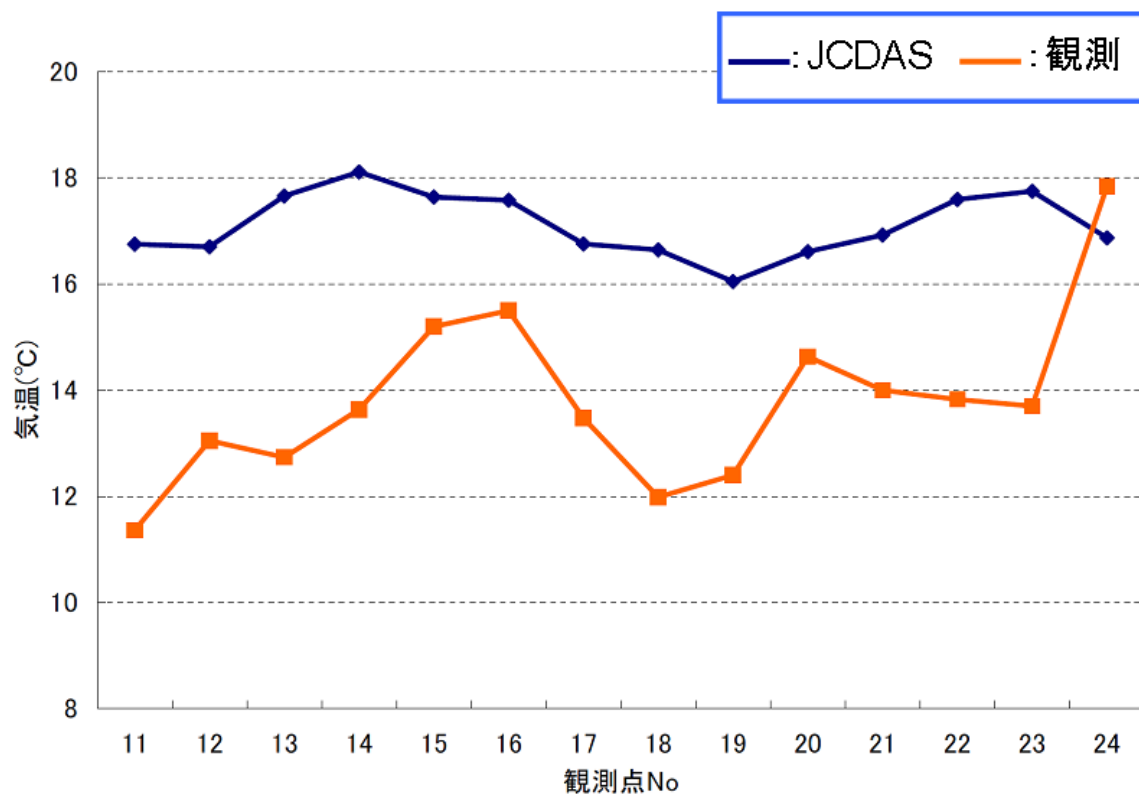


Fig. 5-17 1000hPa での JCDAS と観測の気温の比較

横軸は観測点番号, 縦軸は気温 [°C] を示す. 他は Fig. 5-15 と同じ.

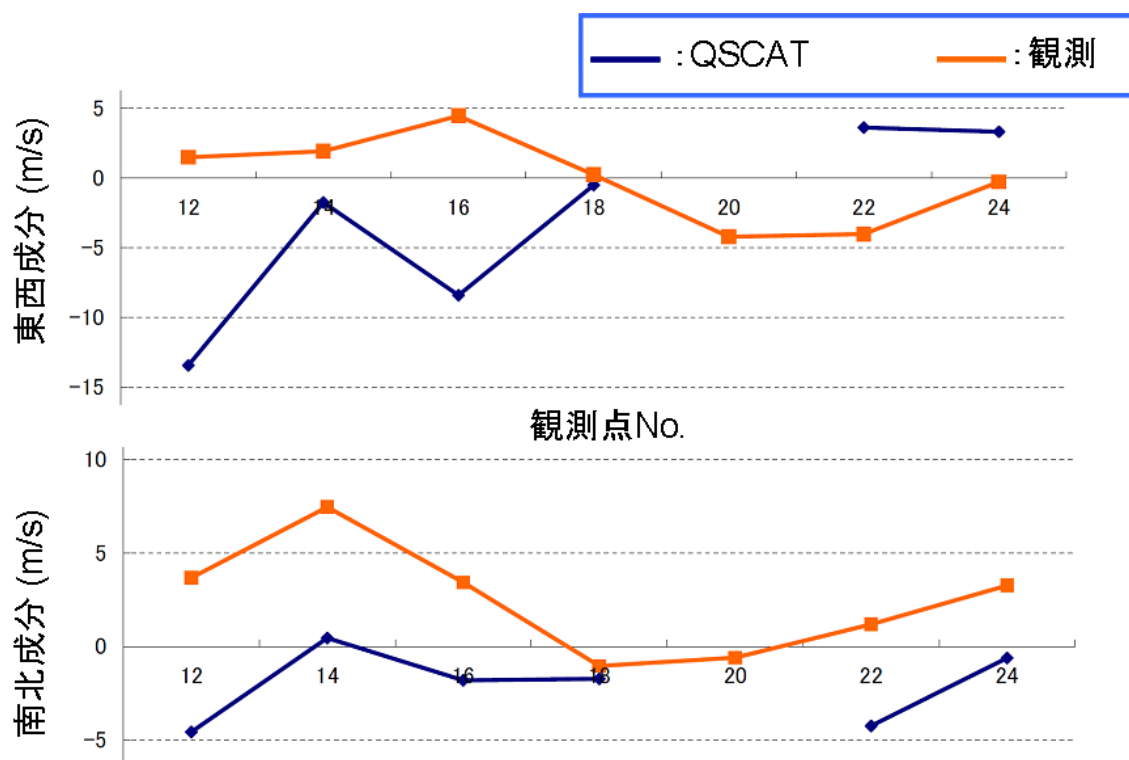


Fig. 5-18 QSCAT と上空 10m の観測風の比較

東西成分 (上図) と南北成分 (下図). 横軸は観測点番号, 縦軸は風速 [m/sec] を示す.

紺色は QSCAT, オレンジは観測値を示す.

6 章 考察と結論

オホーツク海 SST 分布図の作成により、この海域には 10 km で 7°C の激しい SST 勾配があることが確認できた。また、この海域ではラージスケールの気圧配置がほぼ変わっていないにもかかわらず大きな風の変化が見られた。地衡風との比較からも、この海域では非地衡的な現象が起こっていると考えられる。

風の鉛直断面図は、風向が突然大きく変わるという結果を示していた。5-1 でも述べたように、この海域の観測期間を通して大規模な気圧場はほとんど変化しておらず、風向きが急に変わることは考えにくい。この風向の変化を平面図で表してみると、観測点 11 から 16 あたりまでは南西風が吹いており、17 から 24 までは北東風が吹いていたことがわかる。さらに、逆向きの風が吹いていたとすると、その境目には高気圧回転が生じると考えられる (Fig.6-1)。高気圧回転が予想される場所は、気圧の鉛直断面図で高気圧が示された場所とほぼ一致していた。また、湿度の鉛直分布で上空に乾燥した空気が存在した場所と、高気圧が見られる場所も一致する。このことから、この湿度分布は高気圧に伴う下降流により、上空の乾燥した空気が移流したことが要因であると考えられる。さらに、高気圧の存在が示される場所と同じ場所には、気温の鉛直断面図で確認された寒気ドームが形成されていた。このことから、この寒気ドームが高気圧発生の要因であることが示唆される。高気圧発生のメカニズムとしては、寒気ドームがあることでこのドーム内の密度は大きくなる。それゆえ、まわりよりも重くなり、高気圧となると考えられる。

では、なぜ寒気ドームが形成されるのか。これは、バルク法で求めた顕熱フラックスからわかるように、潮汐に伴う鉛直混合による冷たい SST が大気を冷却し、それが風に流され集まることで形成されることが考えられる。

収束発散の結果も、この海域上で発散している（高気圧が存在している）ことを示していた。ラージスケールの方は、先にも述べたようにこの海域の観測期間中はほぼ変化しておらず、どちらかというと低気圧傾向（収束）になっていた (Fig. 6-2)。つまり、ラージスケールでは収束傾向にあるのに対し、SST 勾配の激しい海域では発散傾向にあることから、この海域上には局地的な高気圧が形成されていることがこの計算結果からも示唆される。また、観測期間の前半と後半の収束の差も負（発散）であったことから、ラージスケールでの気圧変化とは別の、局地的な気圧変化がこの海域であったことが伺える。

ラージスケールの気圧場は先に述べたようにほとんど変化していなかったが、まったく変化しなかったわけではない。観測風の変化については、わずかな気圧場の変化が風向の変化に結びついたとも考えられる。そこで、ラージスケールの気圧場の時間変化と観測風の変化につ

いてさらに詳細な解析を行った。ラージスケールでの低気圧変化に伴う地衡風の変化は、北西風であることが Fig. 6-2 から推察される。それに対し、観測が示した風向の変化は北東風であり、地衡風の変化と直交していることがわかる。また、Fig. 6-2 に示した気圧変化は 78 時間の気圧変化であるため、詳細な 6 時間ごとの変化を NCEP/NCAR の海面更正気圧から求め、観測風の変化が大きかった観測点 15 から 19 にかけての気圧場の変化を例として Fig. 6-3 に示した。この図からわかる地衡風の変化傾向と、観測風の変化傾向とはすべて一致するわけではなかった。これらのことから、観測風の変化がすべて気圧場の時間変化によるものでないと言える。また、Fig. 6-4 には上空 5km までの風の東西・南北成分の鉛直断面図を示した。東西成分を見ると、風向が大きく変化している場所が下層のみということが明らかである。南北成分では上空も風向が変化しているが、上空 2km あたりを境として下層と上層は途切れているように見え、上層での変化と下層での変化の原因は異なっていると考えることができる。上空の気圧場の変化が下層のみに影響するとは考えにくく、海洋が境界層に影響していると推察できる。

観測風の変化の要因としてさらに考えられることとしては、周辺の島々である。観測期間中、地衡風はほぼ南西風であったことから、この海域のすぐ南西に位置しているウルップ島（最高標高 1430m）によって小さな擾乱が起き、その擾乱が観測風の変化となった可能性も考えられる。ただ、今回の観測データ等からは、島がどのくらい影響しているのかは残念ながら明らかにできなかった。

しかしながら、風については全て海洋の影響であると決定はできないが、気圧分布・湿度分布が高気圧の存在を示しており、同じ領域で気温分布が高気圧の発生要因と考えられる寒気ドームの存在を示していることから、激しい SST 勾配の存在するこの海域では局地的な高気圧が発生しているということが示唆される。

さらに、NCEP/NCAR 再解析データや JCDAS との比較結果も、この海域に局地的な寒気ドームが存在し、それに伴う高気圧が形成されていることを示している。NCEP/NCAR 再解析データや JCDAS などの客観解析データは、解像度が粗く局地的な影響は含まれにくい。そのため、これらのデータの変化と観測データの変化が異なるということは、観測された寒気ドームや高気圧はラージスケールの変化によるものでなく、局地的な影響を受けたことによって発生したことが示唆される。

本研究では、激しい SST 勾配に注目してスモールスケールの海洋が大気に与える影響について解析を行ってきた。以上の解析結果と考察から、激しい SST 勾配を原因とする大気の応答により、この海域上には局地的な高気圧が存在していたといえる。

風: 東西風, 南北風合成

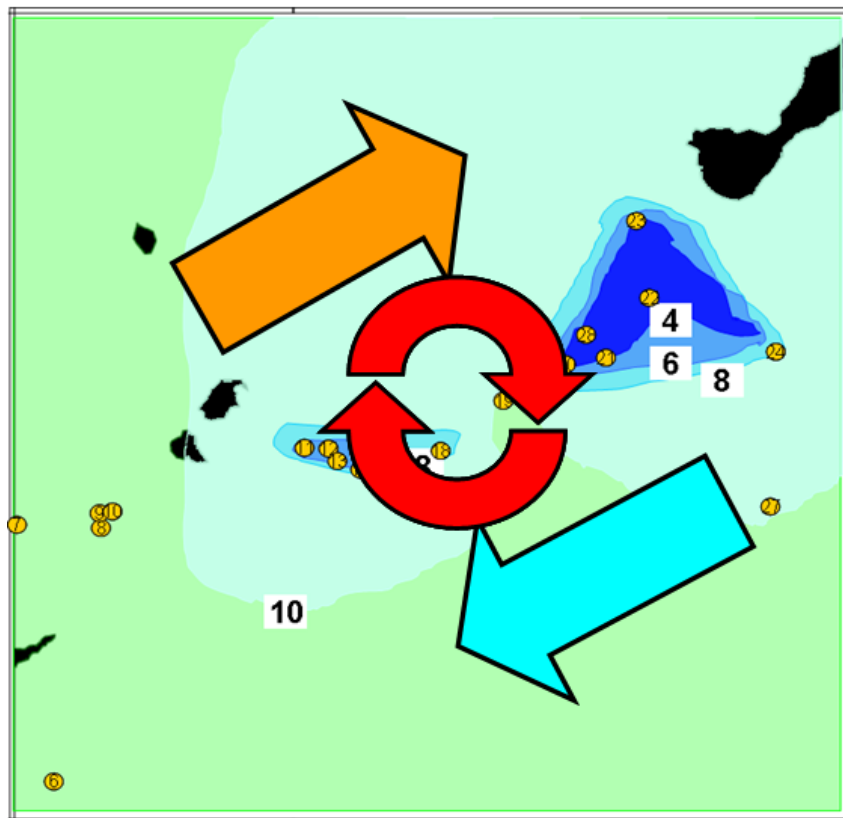


Fig. 6-1 南北風と東西風の合成による高気圧循環

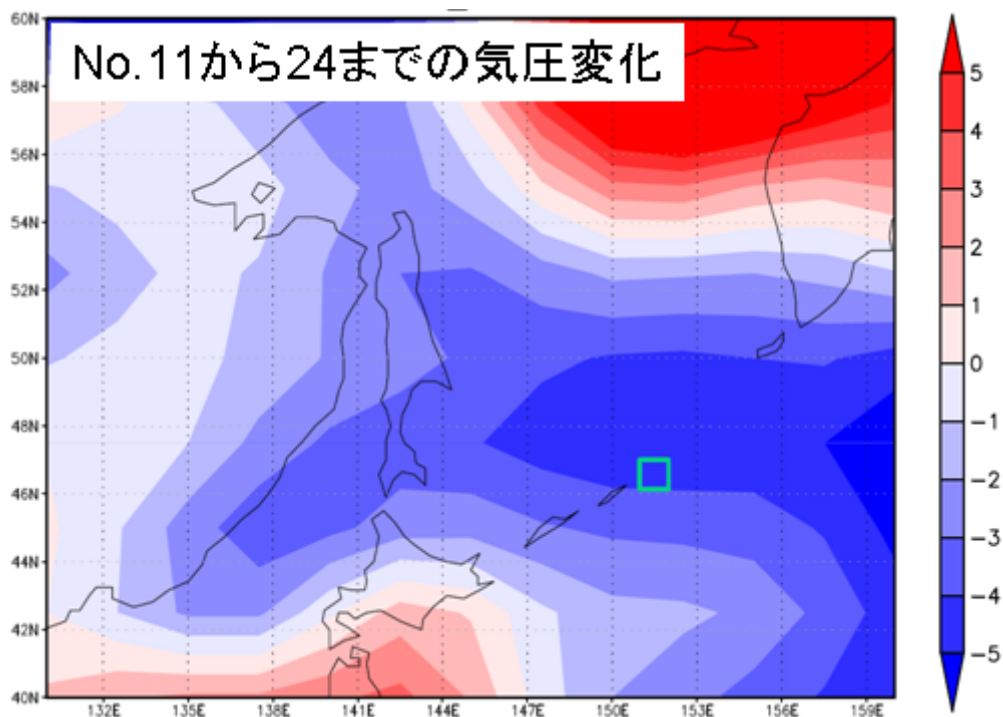


Fig. 6-2 観測期間中の海面更正気圧変化 [hPa]

緑の枠は本研究の対象領域である千島列島ブッソル海況周辺

正 (赤) は高気圧を, 負 (青) は低気圧を示す.

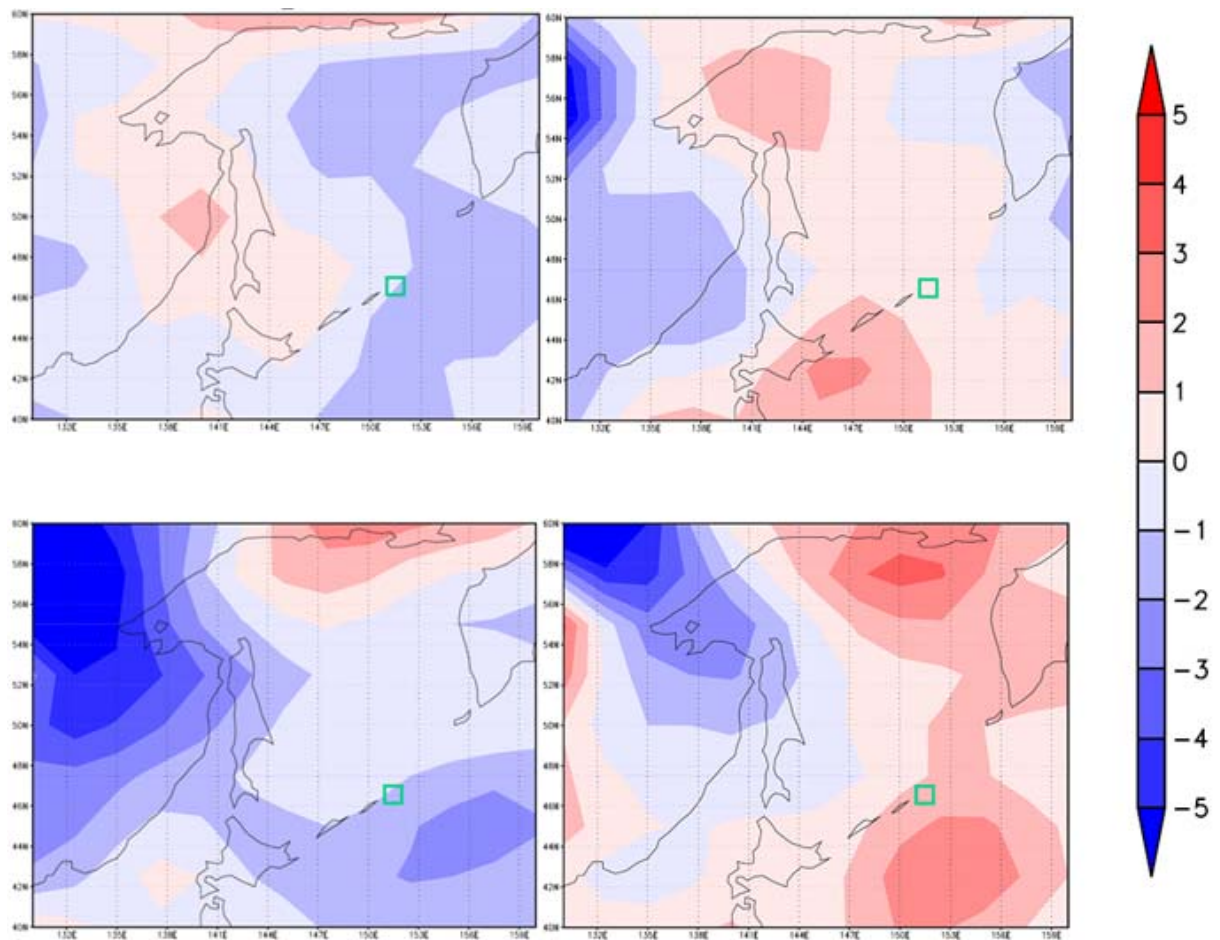


Fig. 6-3 6時間ごとの海面更正気圧変化例 [hPa]

左上図：19日 UTC12 から 19日 UTC18 の変化, 右上図：19日 UTC18 から 20日 UTC00 の変化

左下図：20日 UTC00 から 20日 UTC06 の変化, 右下図：20日 UTC06 から 20日 UTC12 の変化

緑の枠は本研究の対象領域である千島列島ブッソル海況周辺

正 (赤) は高気圧を, 負 (青) は低気圧を示す.

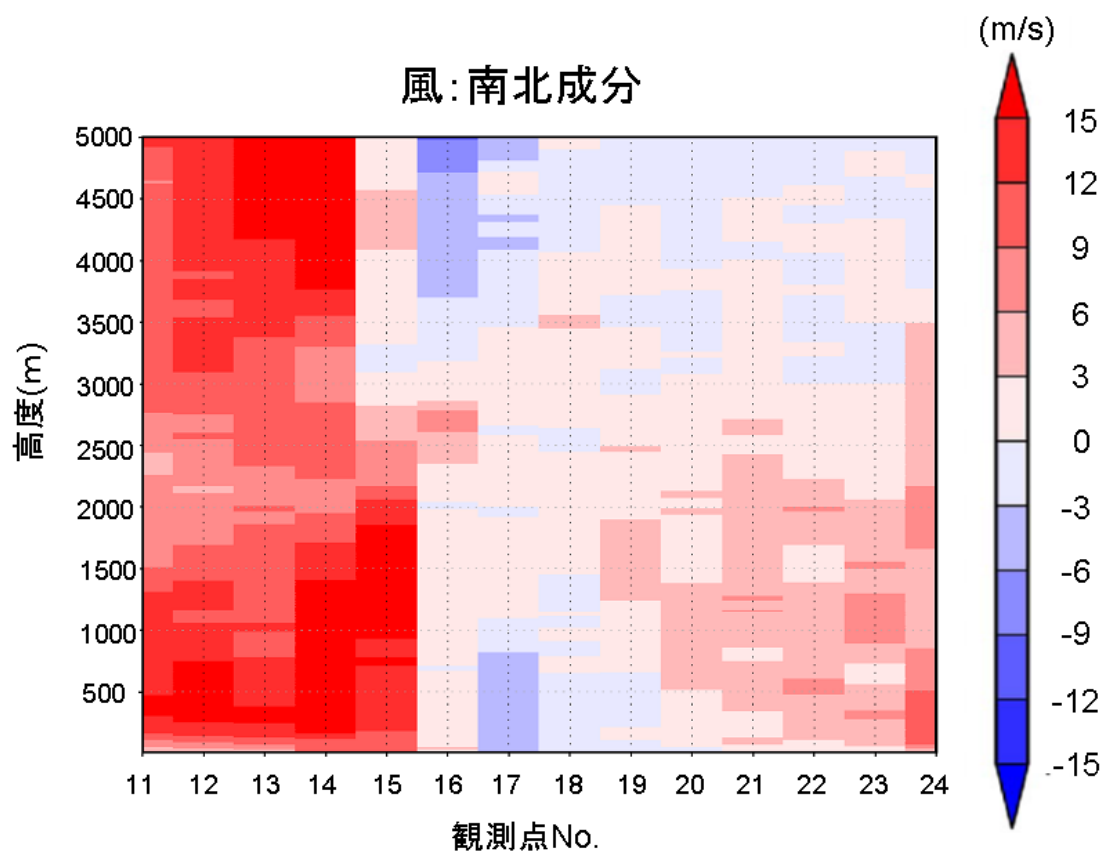
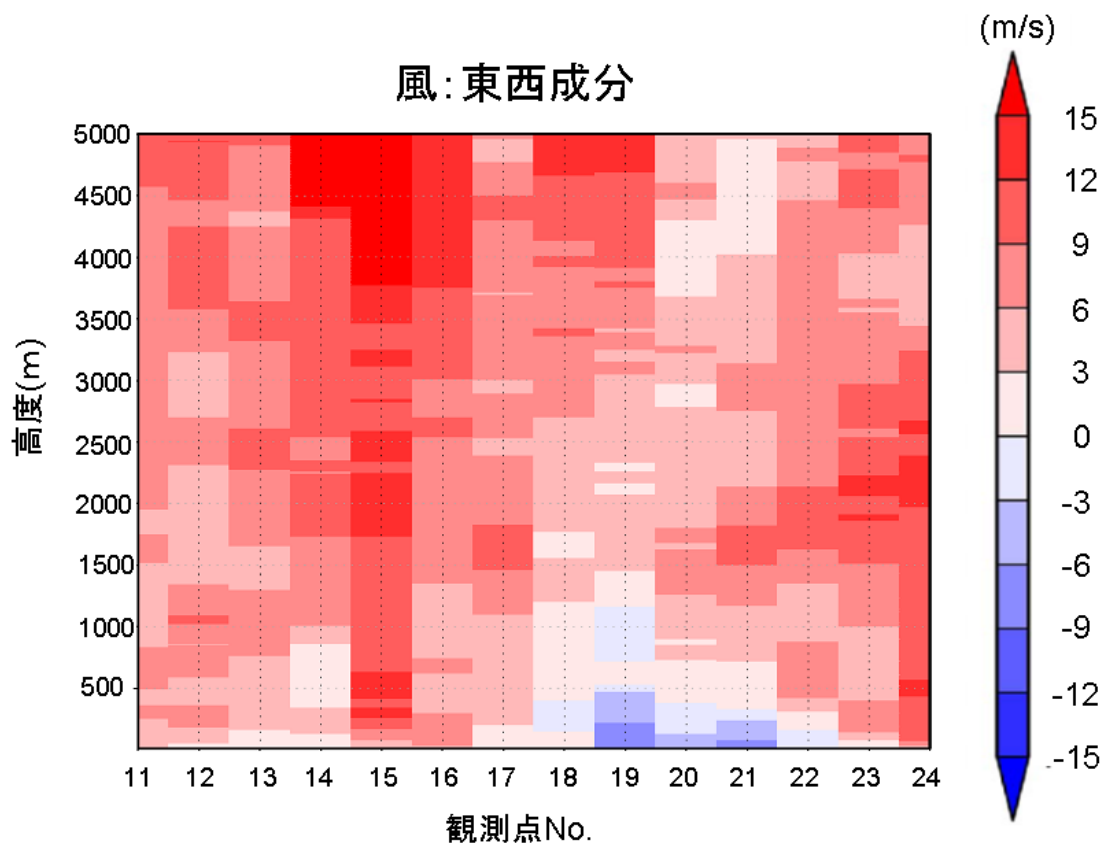


Fig. 6-4 風 [m/sec] の鉛直断面図

上図：東西成分, 下図：南北成分

横軸は観測点番号, 縦軸は高度 [m] を示す. また, 正 (赤) は西風, 負 (青) は東風を表す.

謝辞

本研究を始めるにあたって、Khromov でのラジオゾンデデータを提供していただいた北海道大学宇田川佑介博士、CTD データを提供していただいた西岡純准教授に感謝の意を表します。

研究を進めるにあたっては、立花義裕教授には気象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。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の先生方には、合同ゼミ等でご指導いただいたことはもちろん、海洋、大気、統計等の専門的な授業や、基本となる物理の授業で様々な知識をたくさん学ばせていただきました。厚く御礼申し上げます。自然環境システム学講座の先輩方には、学生生活の心得、計算機の扱い方、プログラムの組み方等教えていただいたり、要旨を添削していただいたりと、大変お世話になりましたことを心より感謝いたします。また、気象学会や研究会等で貴重なご意見やご指導いただきました、各大学、各機関の方々にもこの場を借りて御礼申し上げます。最後に、ここまで苦楽を共にし、励ましあってきた 4 年生をはじめとする学生の皆様、そして食事等で支えてくださった家族に深く感謝いたします。

参考・引用文献

- 1) 立花義裕, 本田明治, 2007 : オホーツク海の気象－大気と海洋の双方向作用－, *気象研究ノート*, **214**, 3-7
- 2) Tachibana, Y., K. Iwamoto, H. Ogawa, M. Shiohara, K. Takeuchi, and M. Wakatsuchi, 2008 : Observational study on atmospheric and oceanic boundary-layer structures accompanying the Okhotsk anticyclone under fog and non-fog conditions, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **86**, 753-771.
- 3) 立花義裕, 2007 : オホーツク海の気象－大気と海洋の双方向作用－, *気象研究ノート*, **214**, 29-38
- 4) 中村知裕, 2006 : 潮汐混合と熱塩循環 : 千島列島の役割, *細氷*, **52**, 2-9
- 5) 気象庁 : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownupper/kaisetsu.html>
- 6) Holton R. J., 2004 : An Introduction to Dynamic Meteorology, -Fourth Edition, Academic Press, 535pp
- 7) 近藤純正 (編著), 1994 : 水環境の気象学－地表面の水収支・熱収支－, 朝倉書店, 348pp