

QuikSCAT 海上風データでみるカムチ
ャツカ半島東岸沿いに吹く強風帯

北海道大学理学院
宇宙理学専攻
気象学研究室 修士課程

20063135 江藤航一

平成 20 年 2 月 4 日提出

要旨

この研究の目的はカムチャツカ半島東岸沿いに吹く局地的な強風帯の理解のため、その季節的・空間的な特徴を明らかにすることである。

カムチャツカ半島の東岸沿いには総延長 600 km の東岸山脈が南北に延びている。地球観測衛星 QuikSCAT から得られた海上 10m の風ベクトルデータによる画像を観察すると半島東岸沿いに吹く地形性とおもわれる強風帯がしばしばみられた。しかし、カムチャツカ半島周辺の局地風についての研究例は見当たらない。

近年になってリモートセンシング技術が発達しカムチャツカ半島付近のように観測点がまばらな地域での気象観測ができる環境が整いつつある。地球観測衛星 QuikSCAT は海上風の観測を高密度かつルーチンで行っており、大気下層および海洋表層の運動を考える上重要なデータを提供している。

QuikSCAT によるカムチャツカ半島周辺の海上風分布を観察していたところ、1000m 級の山々が林立している半島東岸沿いに吹く強風帯がしばしば出現していた。そこで、まず過去 6 年間分 (2001 年–2006 年) の QuikSCAT 海上風データ (画像枚数で約 4350 枚) をもちいて半島東岸沿いに吹く強風帯の抽出を行った。なお、抽出を行うにあたっては観測時の周辺の海上風系の違いに着目し、半島の東沖で海岸方向に向かう東よりの風が優勢である場合 (ケース 1) と東沖で海岸線に平行かまたは離れていく方向の風が優勢である場合 (ケース 2) の 2 つのケースに分けて、半島東岸沿いに吹く局地的な強風帯を抽出した。その結果、ケース 1、ケース 2 でそれぞれ 479 例と 592 例の強風帯が抽出できた。抽出した強風帯の季節出現頻度を調べるとケース 1、ケース 2 とも約半数が冬季 (1 月, 2 月, 11 月および 12 月) に出現していた。また、冬季には強風帯の「強さ」も強く、風の沿岸方向成分が 25m/s を超えるような強風帯もしばしばみられた。一方、強風帯の空間的な出現頻度は両ケースとも観測領域の大部分で海岸近くに高い山がある沿岸部やで高かった。しかしながら、観測領域の北・南端では発生頻度に大きく違いが見られ、ケース 1 では半島南端のロパトカ岬付近で出現頻度が高かったのに対して、ケース 2 では観測領域の北端のクロノツキー半島の周辺でその出現頻度が高かった。

NCEP 再解析データをもちいてケースごとにコンポジット解析して得た平均的な総観場から、ケース 1 の強風帯は低気圧の接近時に発生していて、東岸に向かって吹く低気圧周辺の流れが東岸山脈に遮られ、山脈を迂回する東岸沿いの半島東岸沿いの強風帯を形成していたことが考えられた。そこで、山脈による周辺流の迂回する条件であるフルード数が、どの程度抽出した東岸沿いの強風帯の出現に関係しているかを調べた結果、ほとんどの事例においてフルード

数は 1 よりも小さく，東岸山脈による流れが迂回する条件を満たしていた．一方，ケース 2 の強風帯は低気圧の後面で発生していて，低気圧の後面に吹き込む北東気流が東岸の地形による影響を受けて形成されたものと考えられる．

—目次—

1. はじめに	・ ・ 1
2. 山脈を迂回する流れ	・ ・ 3
3. QSCAT 衛星とデータについて	・ ・ 6
3-1. QSCAT 衛星について	
3-2. マイクロ波散乱計による海上風ベクトルの観測について	
3-3. データの形式について	
4. 使用データ	・ ・ 10
5. QSCAT データの事例	・ ・ 11
6. QSCAT データを用いた解析	・ ・ 17
6-1. 強風帯の抽出	
6-2. 強風帯の季節的・空間的な出現頻度	
7. 客観解析データによる統計解析	・ ・ 27
7-1. コンポジット解析による平均的総観場の様子	
7-2. 強風帯とフルード数の関係	
8. 議論	・ ・ 43
9. まとめ	・ ・ 45
付録	・ ・ 47
謝辞	・ ・ 81
参考文献	・ ・ 82

1. はじめに

カムチャツカ半島は、ロシア連邦の領土で東経 160 度、北緯 55 度付近に位置し、モスクワとの時差は 9 時間、世界標準時との時差は 9 時間もある。西岸はオホーツク海、東岸は太平洋に面しており、ユーラシア大陸からも孤立した極東に位置する。南北の総延長は 1,500km、面積は 470,000km² である。図 1 はカムチャツカ半島全体の地形を示したものである。半島の中央部の背骨のような中央山脈とその東の東部山脈の二つの山脈が南北に走っており、その間には中央カムチャツカ低地が位置している。特に、1000m 級の山々が沿岸部に林立している半島東部での風のパターンは興味深い。しかしながら、カムチャツカ半島周辺の局地風についての研究例は見当たらない。これは、カムチャツカ半島での観測等の行為が過去長くにわたって軍事的な理由等から規制を受けていたことが考えられる。

近年になって、衛星を用いたリモートセンシング技術が発達し、さまざまな観測データが高密度かつルーチンで得られるようになりカムチャツカ半島付近の観測ができる環境が整いつつある。QuikSCAT はマイクロ波散乱計を搭載し、主に海上風データ、地表の雪、氷などのデータを全球的に連続して収集している地球観測衛星である。なお、QuikSCAT は観測地点が疎らである海上ブイ観測などよりも密に海上風データを得ることができるため、より正確な海上の気象実況の把握に役立てることができる。

そこで、沿岸部に吹くカムチャツカ半島東岸沿いに吹く強風を季節的・空間的に把握するために、高密度特性をもつ QuikSCAT 海上風データ 6 年間分、(解析期間 2001 年～2006 年の画像約 4350 枚) を用いて強風の抽出を行い、解析を行った。さらに、アメリカ環境予測センター (NCEP) の全球客観解析データをもちいてコンポジット解析をおこない、QuikSCAT 海上風データによる東岸沿いの強風の観測時の半島周辺の循環場を明らかにし、強風帯の予報等のひとつの足がかりとなることを目指す。

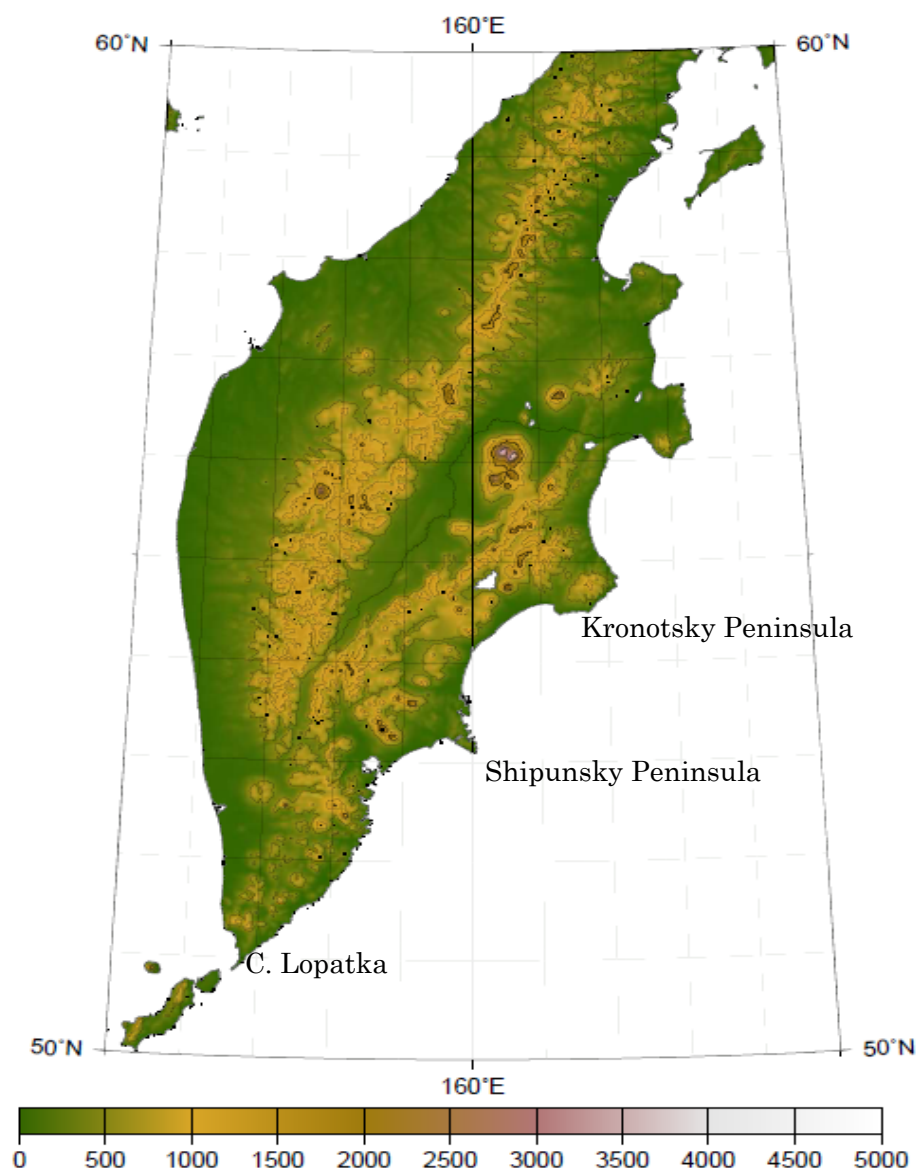


図 1. カムチャツカ半島の地形図. 等高度線の間隔は 500m ごと (細線), 1500m ごと (太線) で示してある.

2. 山脈を迂回する流れ

山のような障壁に直交する方向の流れが存在するとき、障壁に向かう流れの慣性力と重力の比を用いた無次元数（フルード数）を使って流れが障壁を乗り越えるか、あるいは迂回するかを判定することができる。フルード数は、

$$Fr = u \left(gh_m \frac{\Delta\theta}{\theta} \right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{u}{h_m N}$$

で表される。ここで、重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$, u は障壁に向かう風の風速であり、 θ は境界層内の平均的な温位、 $\Delta\theta$ は地表面と障害物の高さとの温位差、 h_m は障壁の高さ、 N はブラント・バイサラ振動数である。フルード数が 1 より小さい ($Fr < 1$) と、地表面の流れは障壁を乗り越える運動エネルギーが不足しているため、地表面の流れは障壁に阻まれて迂回するか山の風上によどむことになる。フルード数が小さいほど、山が高く／風速が弱く／安定成層が強いことになる。

また、有限な長さの山脈に流れがぶつかって遮られるときに重要なパラメータとしてロスビーの変形半径がある。ロスビーの変形半径は、重力とコリオリ力の作用が同程度になる水平スケール、すなわち、山脈のまわりの流れにコリオリ力が影響を与えるスケールをあらわしている。ロスビーの変形半径は

$$R = \left(gH \frac{\Delta\theta}{\theta} \right)^{\frac{1}{2}} \left| \frac{1}{f} \right|$$

によってあたえられる。ここで、 f はコリオリパラメータ、 H は境界層の高さ、 θ は境界層内の平均的な温位、 $\Delta\theta$ は地表面と障害物の高さとの温位差、 N はブラント・バイサラ振動数である。コリオリ力がロスビーの変形半径の範囲内で山脈を迂回する流れに影響を及ぼす結果、北半球においては流れが山脈の左縁を主に迂回しようとする（図 2）。また、上流の山陰の質量収束によって山脈の左縁の端においては強風が吹く傾向がある。図 3 は一般風が北東の場合の日高山脈を周る流れを示したものであるが、山脈南部の流れが特に強くなっている。

O'conner et al. (1994) はフルード数とロスビーの変形半径に南極のマクマード基地付近の値を代入した。フルード数を求めるにあたっては、障壁となるトランス・アンターテック山脈の高さ h_m を 2000m、冬季に山脈を迂回する流れが観測されたときのマクマード基地のゾンデ観測から θ と $\Delta\theta$ の値をそれぞれ 260K, 10K とした。 u を 10m/s とするとフルード数は 0.36 となり $Fr < 1$ の条

件を満たしているので地表面の流れは山脈を迂回していた。また、ロスビーの変形半径を求めるときもマクマード基地の境界層の値を代入した。 $f = -1.43 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, $H = 1000\text{m}$, $\theta = 260\text{K}$, $\Delta\theta = 8\text{K}$ としたとき、ロスビーの変形半径は約 121km となる。この結果から、冬季の安定した大気では地表面の流れは山脈を迂回する条件を満たしており、障壁となっている大陸の沿岸から約 100km の範囲で迂回する効果が影響していることがわかった。

ところで、障壁を迂回する流れは力学的に発達するだけでなく他の気象の影響を受けることで発達することも少なくない。北半球における東側の風上斜面では斜面沿って冷氣層 (cold air damming) が形成されることがある。この冷氣層が斜面に遮られることで風下斜面での気圧が高まり局所的な高気圧が形成されるとき、東側の風上斜面に沿った南への流れが急激に発達することが知られており、CAD barrier jet と呼ばれている。CAD の存在は地表気圧分布の等圧線が U 字状 (図 4) になることから判別できるとされている。Bell and Bosart (1988) はアパラチア山脈の東側の斜面にできた CAD barrier jet にはたらく力のバランスを 6 時間毎の 930hPa 面の観測データを元に計算した。その計算方法は、対象時刻とその 6 時間前のデータから加速度を、対象時刻のデータからコリオリ力と気圧傾度力の値を求め、水平方向の運動方程式

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -f\vec{k} \times \vec{V} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \text{Friction}$$

ここで、 $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}$

に代入し、残差として摩擦力をもとめる方法である。この計算結果から、cold air damming が形成されると山脈の東側の気圧が高まるので山脈から離れる方向に気圧傾度力がはたらき、コリオリ力とバランスするように CAD barrier jet が発達することがわかった (図 5)。なお、アメリカ東岸にはメキシコ湾流 (暖流) が流れているため、陸上で海上より相対的に温度が低くなる晩秋から初冬にかけて、偏西風が後退する 3 月の時期に cold air damming が発生しやすいといわれている。

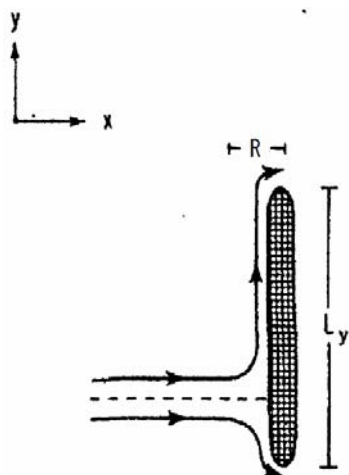


図 2. 山脈（メッシュ部分）を迂回する流れの模式図. R はロスビー変形半径, L_y は山脈の長さをあらわす. (Pierrehumbert and Wyman, 1985 に基づく)

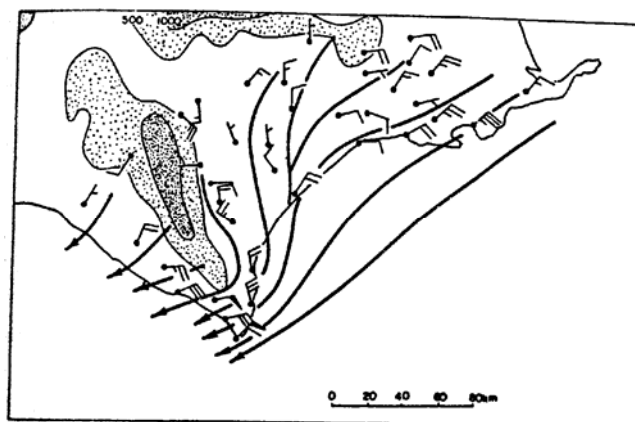


図 3. 日高山脈を周る流れ. 矢羽は地上風, 矢印は流線をあらわす. 薄いメッシュ部は標高 500m 以上, 濃いメッシュ部は標高 1000m 以上をあらわす. (荒川, 1988)

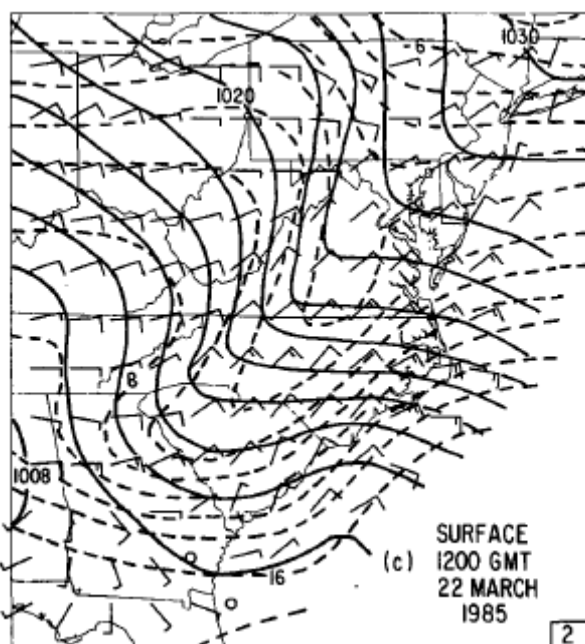


図 4. アパラチア山脈の東斜面沿いにできた CAD が形成されたときの海面上気圧と温位の分布. 実線は海面上気圧 (2hPa 毎), 点線は温位 (2°C 毎) の等値線をあらわす. 矢羽は短いもので 2.5m/s, 長いもので 5m/s をあらわす. アパラチア山脈の東斜面沿いの寒気 (CAD) 付近で気圧の等値線が U 字状になっていることがわかる. (Bell and Bosart, 1988)

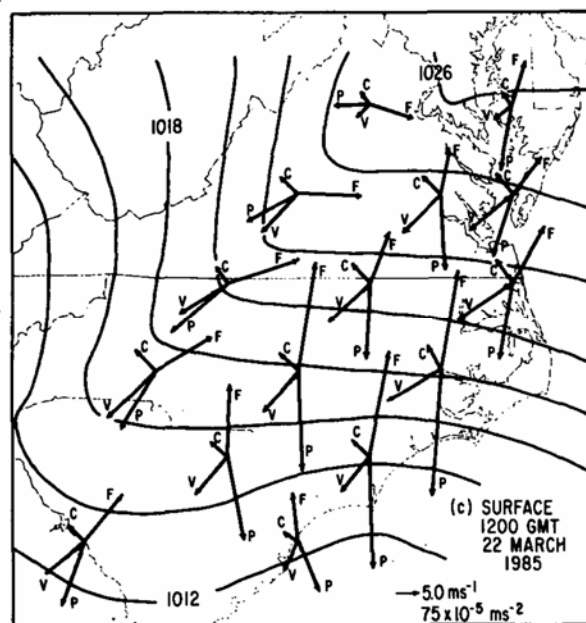


図 5. 図 4 と同時刻とその 6 時間前における 930hPa の観測データを元に CAD barrier jet にはたらく力のバランスを計算した結果. V は風ベクトル, P は気圧傾度力, C はコリオリ力, F は摩擦力をそれぞれあらわす. (Bell and Bosart, 1988)

3. QSCAT 衛星とデータについて

3-1. QuikSCAT 衛星について

QuikSCAT は NASA の地球科学探査事業のひとつとしてアメリカ航空宇宙局ジェット推進研究所 (NASA/JPL) によって建造され, 1999 年 6 月 19 日に打ち上げられた地球観測衛星である. 高度約 807km の太陽同期の極軌道を周回しており, 54 周期ごとに地上軌跡がもとの地上軌跡と一致する. QuikSCAT はマイクロ波散乱計 (SeaWinds) を搭載し, 主に海上風データ, 地表の雪, 氷などの地球表面のデータを連続的に収集している.

SeaWinds による地表観測のうち最も重要なものとして海上風ベクトル観測がある. SeaWinds はパラボラアンテナで inner beam と outer beam の 2 つのマイクロ波ビームをスキャンすることにより, 25km の水平分解能で海上約 10m の風ベクトルを観測することが出来る. ただし, 降水域の観測では雨滴がマイクロ波を散乱させてしまうため, 観測にノイズが生じてしまう. 仕様精度は風向 20° , 風速 2m/s である. また, 観測幅は 1400km (inner beam), 1800km (outer beam) であり, 1 日に海氷域を除く地球表面の 90 パーセント以上の領域をカバーすることができる. 表.1 と表.2 に QuikSCAT の諸元とマイクロ波散乱計 SeaWinds の諸元を示す. 本研究の対象であるカムチャツカ半島付近は 06UTC ごろ, 18UTC ごろの 1 日 2 回の観測となる.

表.1 QSCAT の諸元

軌道	太陽同期極軌道
回帰日数	4 日 (57 軌道)
飛行高度	807km (赤道上空)
傾斜角	98.616°
観測地方時刻(日本付近)	午前・午後 6 時 (UTC)ごろ

表.2 マイクロ波散乱計 SeaWinds の諸元

周波数	13.4GHz (Ku-band)
入射角 (inner beam)	45°
(outer beam)	53.6°
偏波 (inner beam)	水平偏波
(outer beam)	垂直偏波
観測幅 (inner beam)	1400km
(outer beam)	1800km
被覆率	90 % / day
水平分解能	25km
風速精度	2m/s (for 3-12m/s)
風向精度	20°

3-2. マイクロ波散乱計による海上風ベクトルの観測について

マイクロ波散乱計での海上風観測のメカニズムのなかでも重要な原理はブラッグ散乱である。海洋波浪はエネルギーや伝播方向が異なる波が、重力波から表面張力波にわたってランダムに重なったものとして近似できる (図 6)。中でも波長が短く高周波のスペクトル領域である表面張力波の位相によるエネルギーは海面付近の風速とともに増加し、風速とよい相関がある (図 7)。また、表面張力波の波長は 1cm 程度の大きさであり、マイクロ波がブラッグ散乱される程度の領域である。図 8 に 1 次元の風浪モデルを用いたブラッグ散乱の説明図を示す。ブラッグ散乱とは、マイクロ波を海面に照射するとマイクロ波の使用波長 λ と表面張力波 Λ との間に

$$2\Lambda \sin \theta = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

の関係が成立するとき、散乱波が同位相となって共鳴し強い後方散乱が生じる現象である。

マイクロ波散乱計 SeaWinds は回転するパラボラアンテナを用いて水平偏波、垂直偏波の二つのマイクロ波 (Ku-バンド, 13.4GHz) を海面に向けて照射して、海面からのブラッグ散乱機構による後方散乱波をとらえる。図 9 左図は散乱係数 σ^0 の風速依存性を入射角ごとに示したものである。ブラッグ散乱による共鳴散乱領域 (入射角 20° ~ 70°) で入射角を一定としたとき、 σ^0 の値は風速とともに増加する。これは、海上の風速が小さいときは海上風によってできる表面張力波が発達せず、風速が大きいたまは表面張力波が発達し、アンテナの方向に返ってくる散乱波が相対的に多くなるためである。また、入射角が大き

なると σ° の値は減少する．アンテナビームの方向から入射角は求めることができるので，この散乱係数 σ° の風速依存性を用いて，海上風速が求まる．

一方，図 9 右図は入射角を一定としたときの散乱係数 σ° の方位角依存性を風速ごとに示したものである．横軸は風向とアンテナビーム方向のなす角 ϕ で， σ° の値はこの相対方位角によって周期的に変化する．アンテナビームを風上 ($\phi = 0^{\circ}$) と風下 ($\phi = 180^{\circ}$) に向けた場合は σ° の値は極大となる．つまり，マイクロ波の入射方向に対して追い風または向かい風となるので，波面がアンテナの方向を向き散乱波が多くなるためである．アンテナビームと風向が直交する ($\phi = 90^{\circ}$, 270°) ときにはマイクロ波の入射方向に対して直交する風になるため散乱断面積が小さくなり σ° は極小値をとる．しかしながら，入射角と散乱係数 σ° の風速依存性から風速が求まっても， σ° の値は相対方位角によって周期的に変化するため，散乱係数 σ° の方位角依存性から風向は一意的に求めることができず，2 個から 4 個の複数の解が求まることになる．そのため，SeaWinds では散乱係数 σ° の方位角依存性のことなる 2 つのマイクロ波（水平偏波，垂直偏波）を利用することで風向を求めているが，この 2 つの偏波の観測幅は異なり観測にタイムラグがでてしまう．最終的にひとつの海上風ベクトルを決定するためにはリアルタイムデータでは数値予報値，科学データでは解析値を元にした海上風に最も近い風向を選択する処理がなされ，風向が決定される．

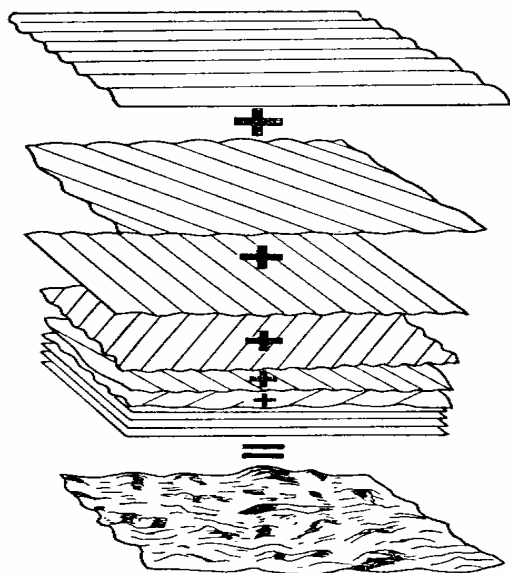


図 6. 海洋波浪モデル. 各種の波長の波の線形結合として表される．(古濱, 1986)

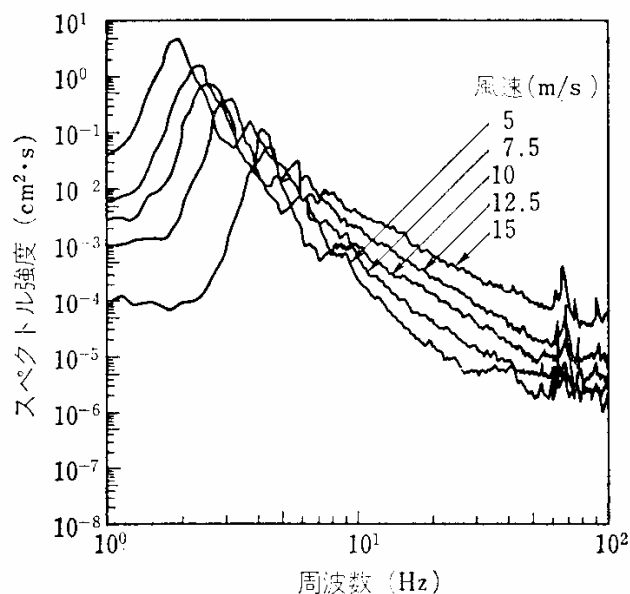
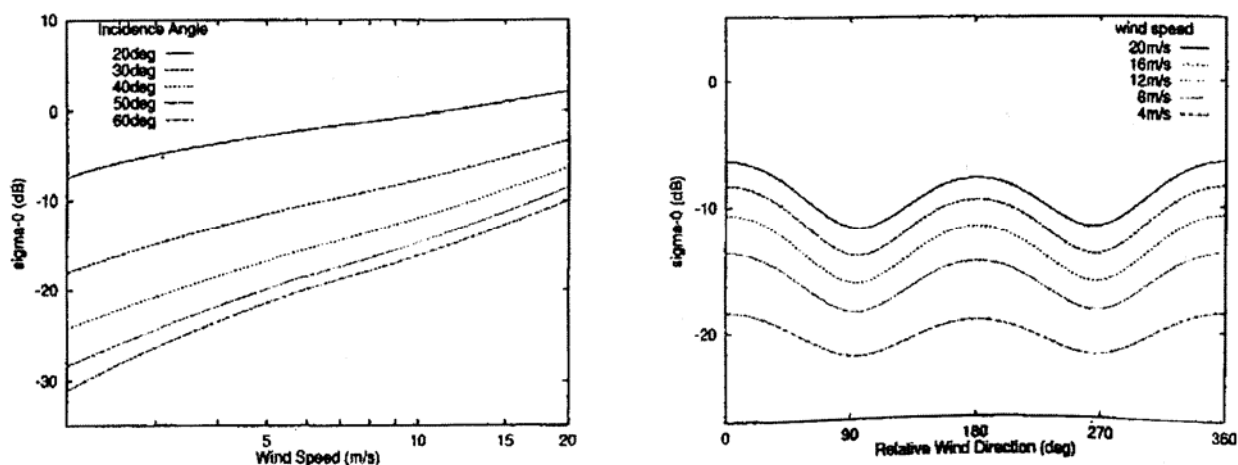
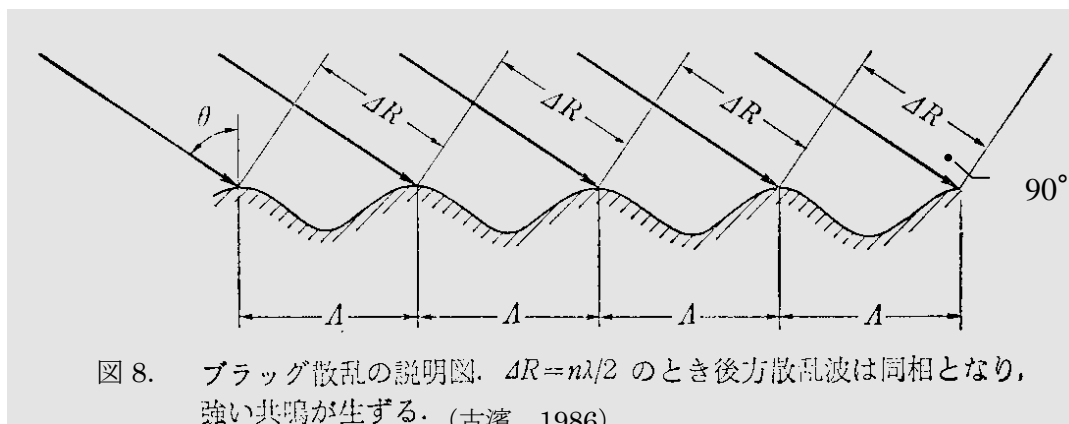


図 7. 風速が 5m/s から 15m/s と変化したときの周波数スペクトルの変化 (古濱, 1986)



3-3. データについて

QuikSCAT 海上風データは軌道ごとや一日ごとなどのさまざまな形式で管理・配信・保管されている. 今回の研究では QuikSCAT 衛星搭載のマイクロ波散乱計 (SeaWinds) による情報を回帰解析アルゴリズム (Ku-2001) によって処理されたバージョン-3a (_v3a) の海上風データを利用した. このデータは 1 日分の全球観測データが 0.25° 格子 (緯度 720 セル \times 経度 1440 セル) の形式でファイルに収められている.

4. 使用データ

使用したデータは、RSS (Remote Sensing Systems) のウェブサイト (<http://www.remss.com/>) からダウンロードした QuikSCAT 海上風データ (0.25° 緯度・経度格子) である。また、地上総観場を調べるために気象庁天気図を使用した。500hPa ジオポテンシャル高度, 850hPa と 950hPa の気温, 海面上気圧に関するコンジット解析をおこない、QuikSCAT 海上風データによる強風の観測時の半島周辺の総観場を明らかにするためには、アメリカ環境予測センター(NCEP)再解析全球客観解析データ(1° 格子)を使用した。なお、解析期間は2001年1月から2006年12月までの6年間である。

5. QuikSCAT データの事例

QuikSCAT 海上風データによるカムチャツカ半島周辺の画像を観察していると、半島東岸沿いに強風帯が観測されていた。そこで、強風帯観測時刻に最も近い時刻の地上天気図から地上総観場を調べた。

冬季に発生した 2004 年 1 月 5 日午前のカムチャツカ半島東岸沿いに吹く強風帯の事例での QuikSCAT 海上風ベクトルを図 10 に示した。なお、海氷のある領域では海上風は観測されないので空白になっている。図 10 ではカムチャツカ半島は半島の南に中心にもつ反時計回りの大きな循環場にのなかに位置しており、半島の東の沖では東よりの風が優勢になっていたが、半島東岸付近では風向が海岸線と平行な方向に変化しており、風速についても沿岸付近では東の沖よりも大きくなっていて沿岸に強風帯が存在していた。なお、このときの強風帯の最大風速は 24m/s を観測していた。図 11 は 2004 年 1 月 5 日 06UTC の地上天気図で、図 10 の QuikSCAT 海上風ベクトルデータの観測時刻に最も近い時刻のものである。カムチャツカ半島の南の低気圧 (986hPa) は 2 日前には千島近海に位置していたが、5 日までに発達しながら北東進しカムチャツカ半島の南に達した。この低気圧の接近に伴ってカムチャツカ付近の地上風は東よりの風が優勢になっていた。

同じく冬季に発生した 2004 年 1 月 29 日午前のカムチャツカ半島東岸沿いに吹く強風帯の事例の QuikSCAT 海上風ベクトルを図 12 に示した。海上風ベクトルの分布をみると半島のはるか北の沿岸から半島東岸まで東岸沿いに広く北西風の強風帯が存在する。特に、オリュトルスキー岬 (60° N, 170° E 付近) の沿岸付近では 40m/s の強風が、クロノツキー半島 (55° N, 162° E 付近) 付近では 20m/s を超える強風が観測されていた。また、半島の西でも北東風が優勢である。図 13 は 2004 年 1 月 29 日 06UTC の地上天気図で、図 12 の QuikSCAT 海上風ベクトルデータの観測時刻に最も近い時刻のものである。半島の南西に 988hPa, 南に 996hPa の低気圧が解析されている。なお、図 12 には載っていないが、半島南東の北緯 45 度、東経 175 度付近に最も発達した 960hPa の低気圧が解析されていて、地上天気図の等圧線の分布からカムチャツカ半島東岸付近の総観場はこの低気圧の影響も大きく受けていたと考えられる。

夏季に発生した 2005 年 5 月 1 日午前の東岸沿いに吹く強風帯の事例の QuikSCAT 海上風ベクトルを図 14 に示した。海上風ベクトルの分布をみると、カムチャツカ半島東岸は半島の南、北緯 45 度、東経 162 度付近に中心を持つ反時計回りの大きな循環場の北側に位置しており、半島の東の沖では東よりの風

が優勢であったが、半島東岸付近で風向を大きく変えて海岸線と平行な方向の風ベクトルを持つ強風帯が観測されていた。なお、このときの強風帯の最大風速は17m/sを観測していた。図15は2005年5月1日06UTCの地上天気図で、図14のQuikSCAT海上風ベクトルデータの観測時刻に最も近い時刻のものである。カムチャツカ半島の南の海上に低気圧(1000hPa)がほぼ停滞していた。この低気圧の北側に位置するカムチャツカ半島の東では、等圧線の分布から東風が優勢になっていたと考え、QuikSCAT海上風データでの半島周辺の循環場と一致している。

同じく、夏季に発生した2004年7月10日午後の東岸沿いに吹く強風帯の事例のQuikSCAT海上風ベクトルを図16に示した。図16を見るとカムチャツカ半島周辺は北東風が吹いており、半島南半分の東岸で15m/sを超える強風帯の存在が観測された。図17は2004年7月10日18UTCの地上天気図で、図16のQuikSCAT海上風ベクトルデータの観測時刻に最も近い時刻のものである。カムチャツカ半島の南東に996hPaの低気圧がほぼ停滞しており、QuikSCAT海上風データでみられた半島周辺の北東風はこの低気圧の影響によるものと考えられる。

QSCAT SEA SURFACE WIND [2004/01/05/AM]

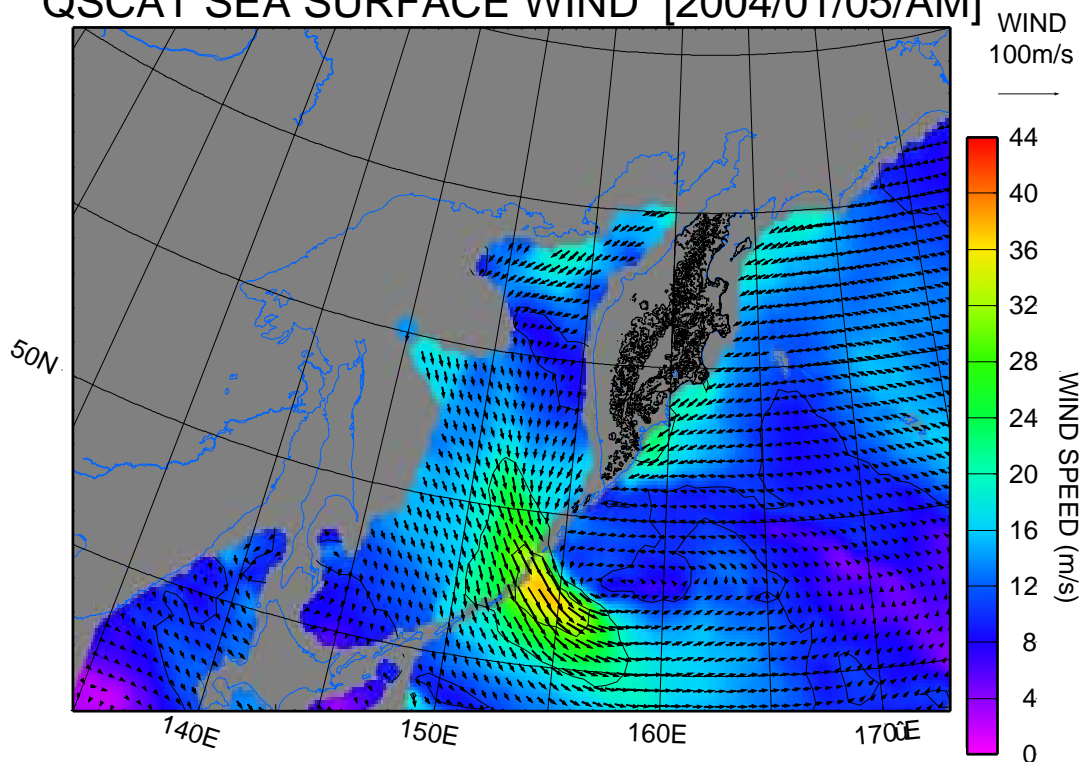


図 10. 2004 年 1 月 5 日午前の QuikSCAT 海上風ベクトルと風速の分布図. 等値線は 5m/s (細線), 10m/s (太線) 毎.

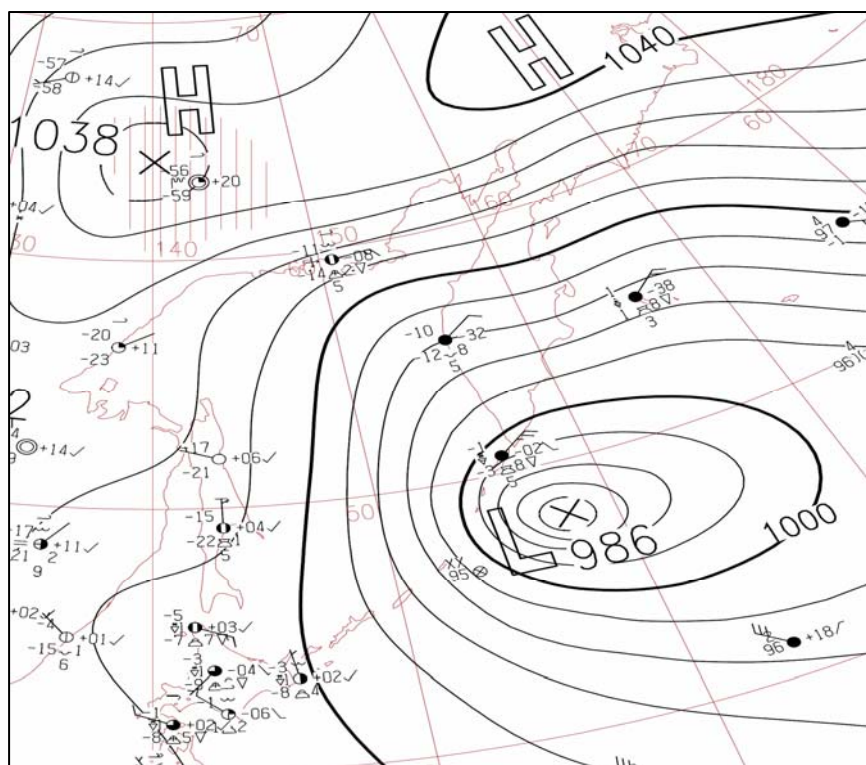


図 11. 2004 年 1 月 5 日 06UTC の地上天気図.

QSCAT SEA SURFACE WIND [2004/01/29/AM]

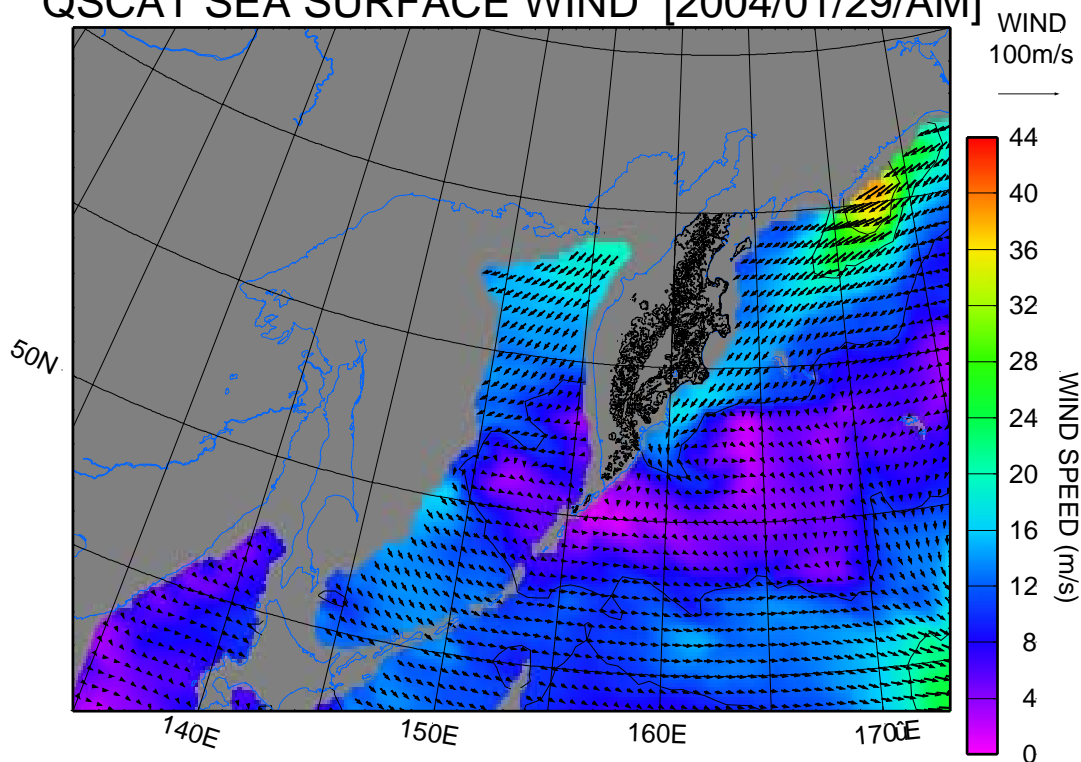


図 12. 2004 年 1 月 29 日午前の QuikSCAT 海上風ベクトルと風速の分布図。等値線は 5m/s (細線), 10m/s (太線) 毎。

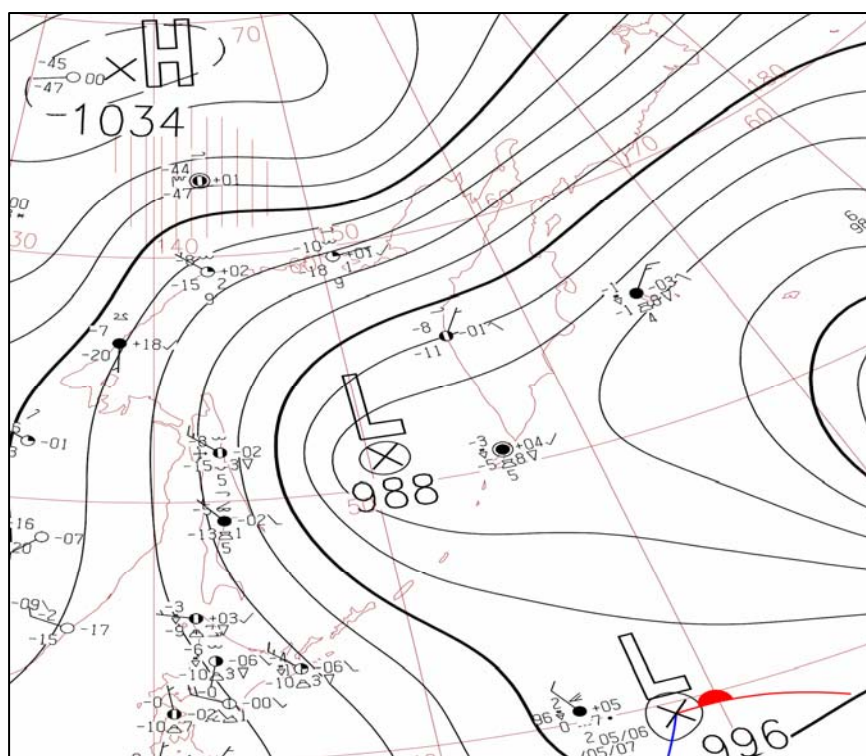


図 13. 2004 年 1 月 29 日 06UTC の地上天気図。

QSCAT SEA SURFACE WIND [2005/05/01/AM]

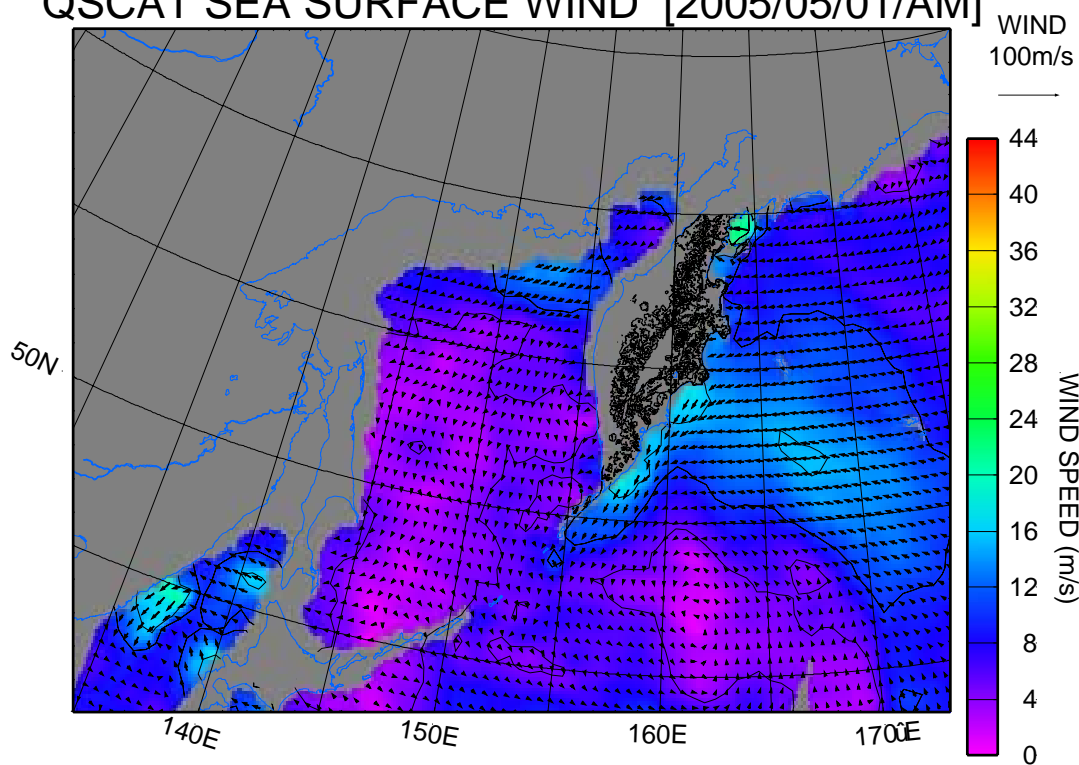


図 14. 2004 年 5 月 1 日午前の QuikSCAT 海上風ベクトルと風速の分布図. 等値線は 5m/s (細線), 10m/s (太線) 毎.

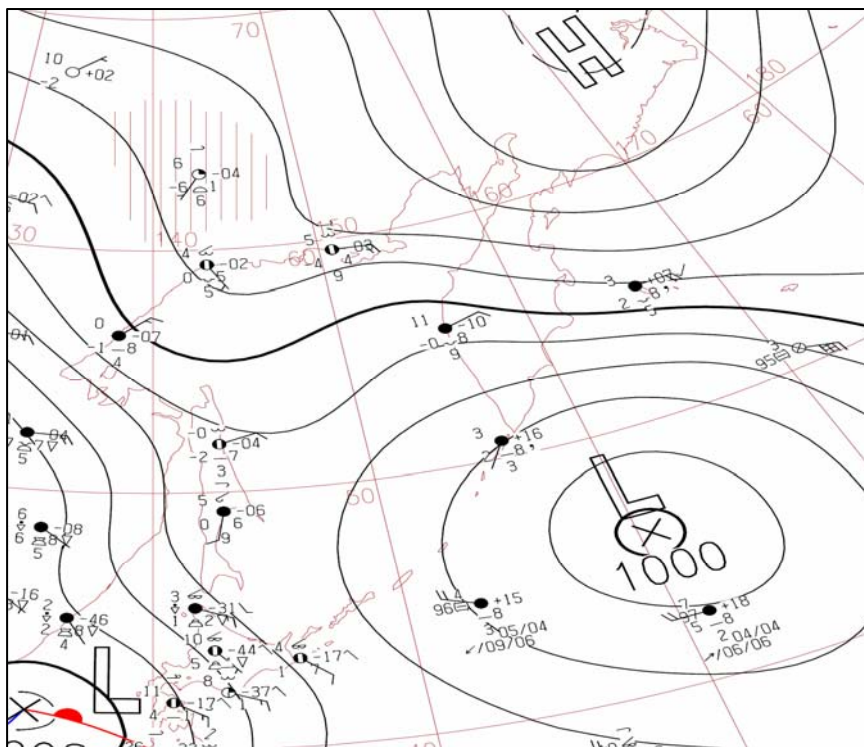


図 15. 2004 年 5 月 1 日 06UTC の地上天気図.

QSCAT SEA SURFACE WIND [2004/07/10/PM

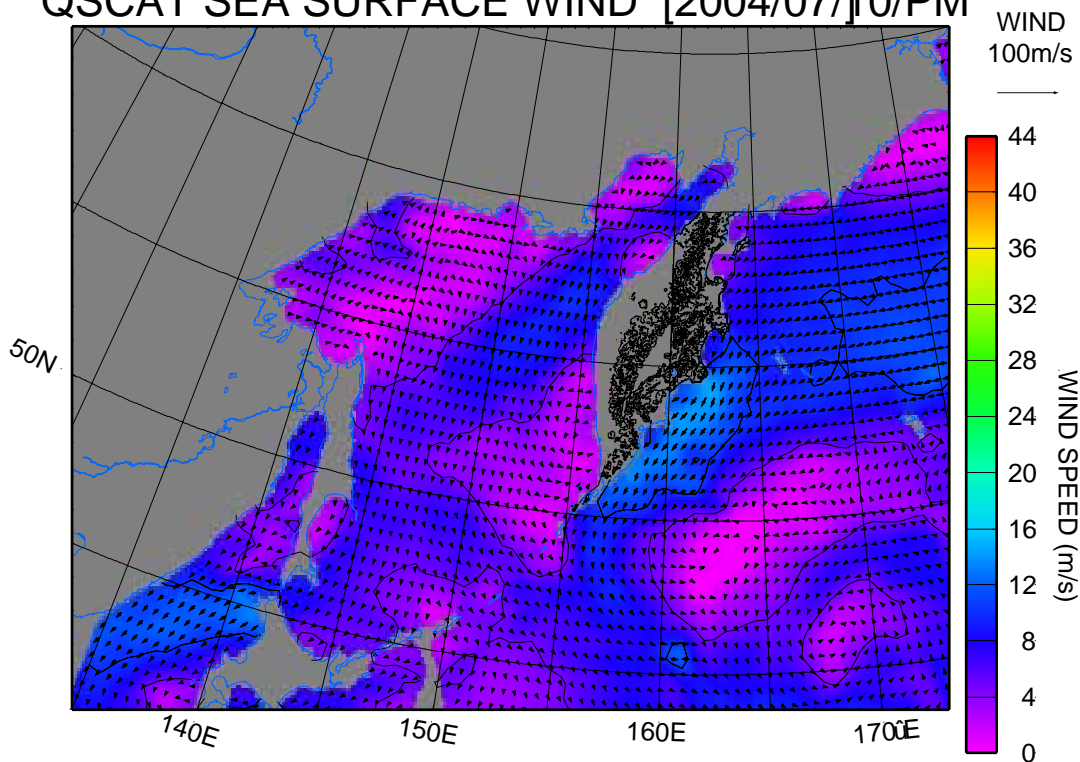


図 16. 2004 年 7 月 10 日午後の QuikSCAT 海上風ベクトルと風速の分布図。等値線は 5m/s (細線), 10m/s (太線) 毎。

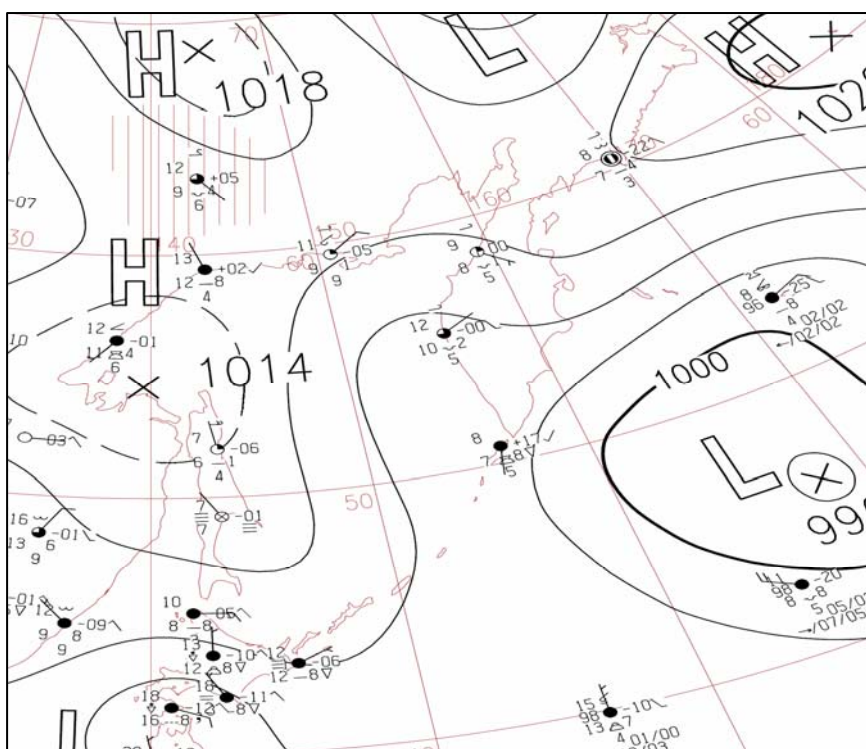


図 17. 2004 年 7 月 10 日 18UTC の地上天気図。

6. QuikSCAT データを用いた解析

QuikSCAT 海上風データによるカムチャツカ半島周辺の画像を観察していると、半島東岸沿いに強風帯が観測されていた。この強風帯観測時の半島周辺の循環場には大きく分けて 2 つのケースがある。すなわち、半島東岸沖で海岸に向かう流れが優勢であるとき沿岸付近で東岸沿いの強風が吹くケース、そして、半島東岸沖では海岸線に平行かまたは離れていく方向の流れが優勢であるとき沿岸付近で東岸沿いの強風が吹くケースの 2 つのケースである。5 章の強風帯の事例では、前者に 2004 年 1 月 5 日午前と 2005 年 5 月 1 日午前の例、後者には 2004 年 1 月 29 日午前と 2004 年 7 月 10 日の例が該当する。そこで、この章では東岸に向かう流れが優勢であるケースと東岸に平行かまたは岸から離れていく流れが優勢であるケースの 2 つのケースに分けて東岸沿いに吹く強風帯の抽出をおこない、それぞれのケースについて季節的・空間的な出現頻度を調べる。

6-1. 強風帯の抽出

強風帯を抽出するにあたって、まず観測領域を定めた。カムチャツカ半島東沿岸は冬季には北緯 55 度付近まで海氷に覆われる。QuikSCAT では海氷に覆われた場所の海上風は観測できない。そこで、カムチャツカ半島東岸で年間を通して海氷に覆われることのない領域 A (図 18 の a-b-c-d で囲まれた領域) を定め、この領域 A で観測された風の沿岸方向成分の最大が 10m/s 以上であるときを抽出した。ここで、風の沿岸方向成分とは QuikSCAT 海上風の西から反時計回りに 45° の方向成分 (図 18 の矢印方向) とする。

さらに、半島東岸沖で岸に向かう流れが優勢であるケースと岸に平行かまたは岸から離れていく流れが優勢であるケースの 2 つのケースに分けるため、沿岸の領域 A の周りに領域 B (図 18 の b-c-d-e-f-g で囲まれた領域) を定めた。そして、領域 B で観測された海上風の岸に向かう方向成分の平均が正の値を持つとき、すなわち、北から反時計回りに 45° の方向成分の平均が 0m/s を超える場合をケース 1、一方領域 B で観測された海上風の岸に向かう方向成分の平均が 0m/s 以下の場合をケース 2 として、この 2 つのケースに分けて強風帯の抽出をおこなった。なお、抽出は各ケースに該当する画像 1 枚につき 1 カウントとする。抽出の結果、観測対象期間中 (2001 年 1 月~2006 年 12 月) における総抽出例はケース 1、ケース 2、それぞれ 479 例と 592 例であった。付録の表 3、表 4 に今回抽出した強風帯の全例をケースごとに示す。

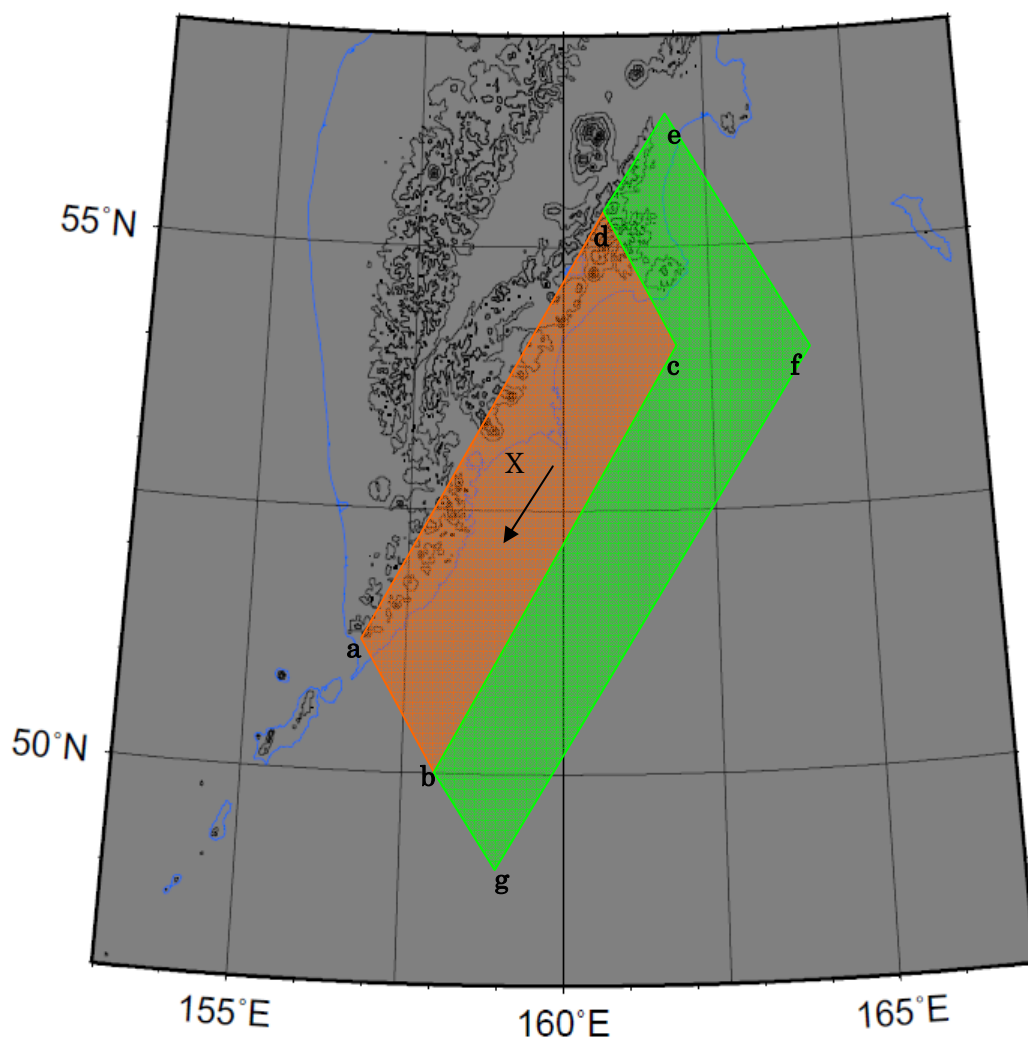


図 18. 強風の抽出に用いた領域の地図. 矢印は沿岸に平行な正の方向を示す. 各点の位置は a(51.25° N, 156.75° E), b(50.125° N, 157.875° E), c(54.25° N, 162° E), d(55.375° N, 160.875° E), e(56.25° N, 161.75° E), f(54° N, 164° E), g(49° N, 159° E). a-b-c-d で囲まれた領域が領域 A, b-c-d-e-f-g で囲まれた領域が領域 B である. 等高線は細線で 500m 毎, 太線は 1000m 毎に記してある.

6-2. 強風帯の季節的・空間的な出現頻度

この節では前節の抽出条件の下で抽出された東岸沿いに吹く強風帯の季節的・空間的な出現頻度の特徴を各々のケースについて調べる。

ケース 1 について

抽出された強風帯の季節的な出現頻度の特徴を調べるため、図 19. にケース 1 の年別・月別の出現頻度を示した。図 19 に見られるように、各年の月別の出現頻度には年内変動があるが、各年とも共通して冬に出現頻度が高く、特に 2005 年を除くと 1 月は出現頻度が最も高かった。一方、夏には出現頻度が低い。同様の傾向は 6 年間の総計の出現頻度においてもみられる。そこで、1 年を冬季 (1 月, 2 月, 11 月, 12 月), 春秋 (3 月, 4 月, 9 月, 10 月) 夏季 (5 月, 6 月, 7 月, 8 月) の季節別に分けて考えると、6 年間の抽出総数 479 例のうち冬季に 51%, 春秋に 28%, 夏季には 21% が出現していて年間を通して冬季の出現頻度が最も高かった。

つぎに、強風帯の「強さ」の季節的な特徴を調べるために、領域 A 内における風の沿岸方向成分の最大を 10m/s 以上 15m/s 未満, 15m/s 以上 20m/s 未満, 20m/s 以上 25m/s 未満, 25 m/s 以上の 4 つの階級に分け、その頻度を季節別にヒストグラムに表したものを図 20 に示した。最大が 15m/s より小さい「弱い」強風帯の発生頻度は冬季, 春秋, 夏季の各季節において 47%, 62%, 78% であり、各季節とも最も高かった。また、最大が 25m/s 以上の「強い」強風帯が出現する頻度は冬季には 13% と最も高く、春秋で 6%, 夏季では 1% 程度であることから、冬季には春秋や夏季に比べて「強い」強風帯が出現する傾向にあることがわかった。

さらに、抽出されたケース 1 の空間的な出現分布の特徴を調べるため、半島東海岸に平行な線分 a-d (図 18) に対応する観測領域 A での風の沿岸方向成分が最大となる格子点位置の空間分布図と参考として線分 a-d の地形断面図を図 21 に示した。点 a からの距離が 100km 以上の観測領域では海岸近くに 1000m 級の高い山がある沿岸部 (a-d の線分上の緯度で 52.375° N, 53.125° N, 54.375° N) で強風帯の沿岸方向成分の最大の出現頻度のピークが見られる。ただし、点 a からの距離が 100km 以下の観測領域のロパトカ岬 (図 1) 付近 (51.375° N) では強風帯の沿岸方向成分の最大の出現頻度が桁違いに高くなっていた。

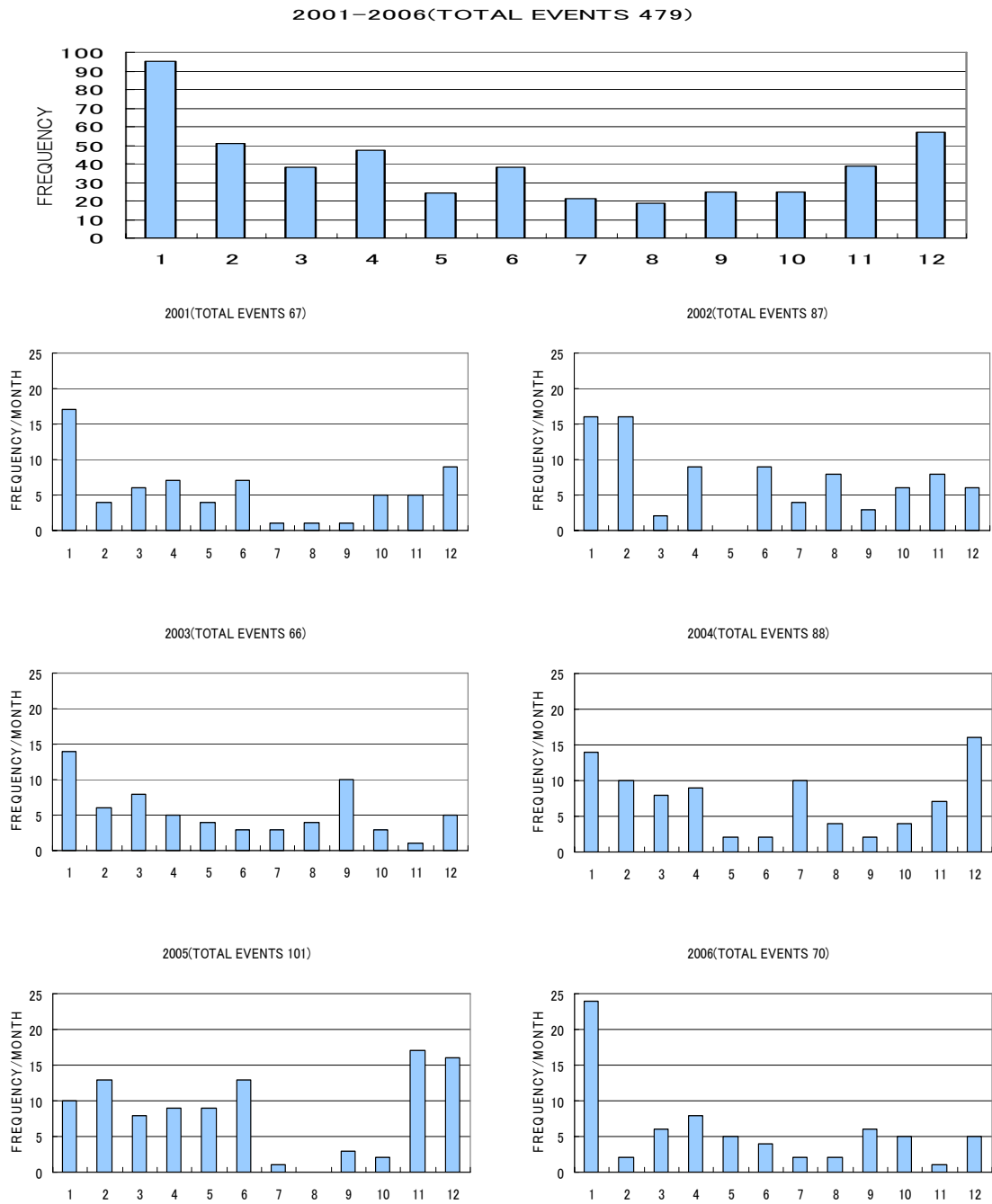


図 19. ケース 1 の月別頻度. 2001 年～2006 年までの 6 年間の月別積算頻度と年毎の月別頻度.

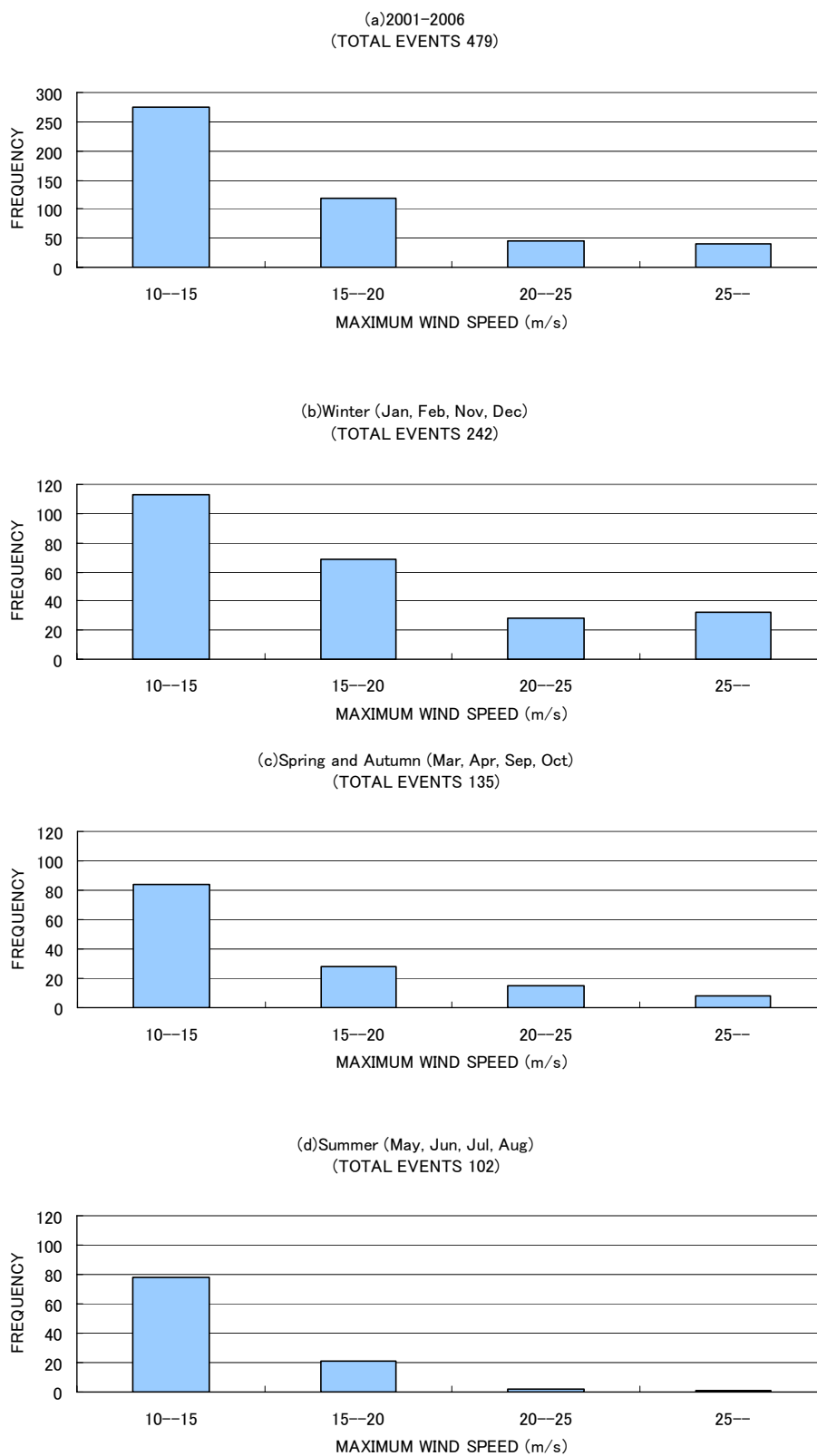
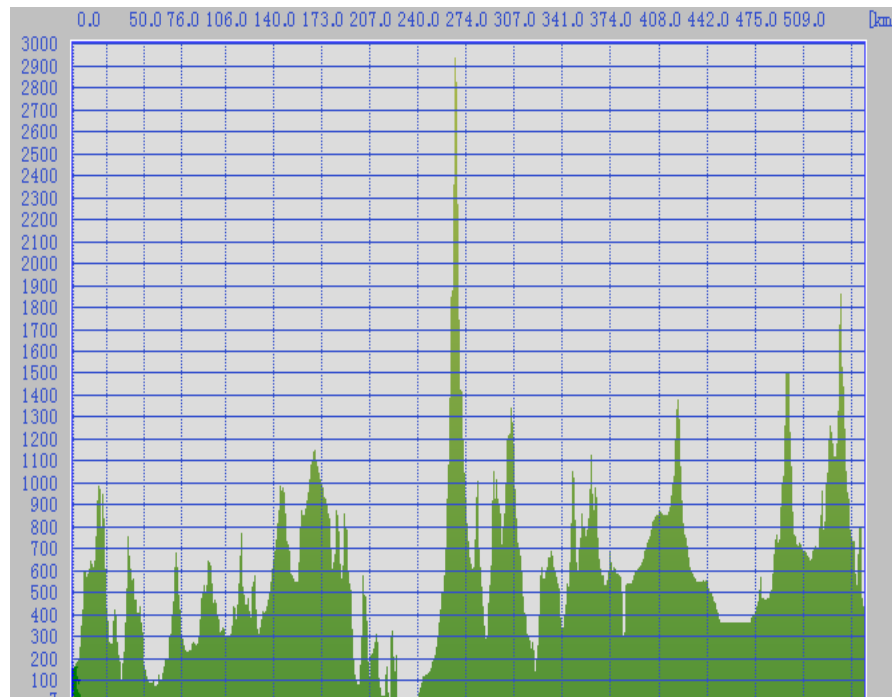


図 20. 2001 年～2006 年までの 6 年間に於けるケース 1 の領域内における風の沿岸方向成分の最大の頻度. 通年(a), 冬(b), 春・秋(c), 夏(d).



CASE1
2001-2006 (TOTAL EVENTS 479)

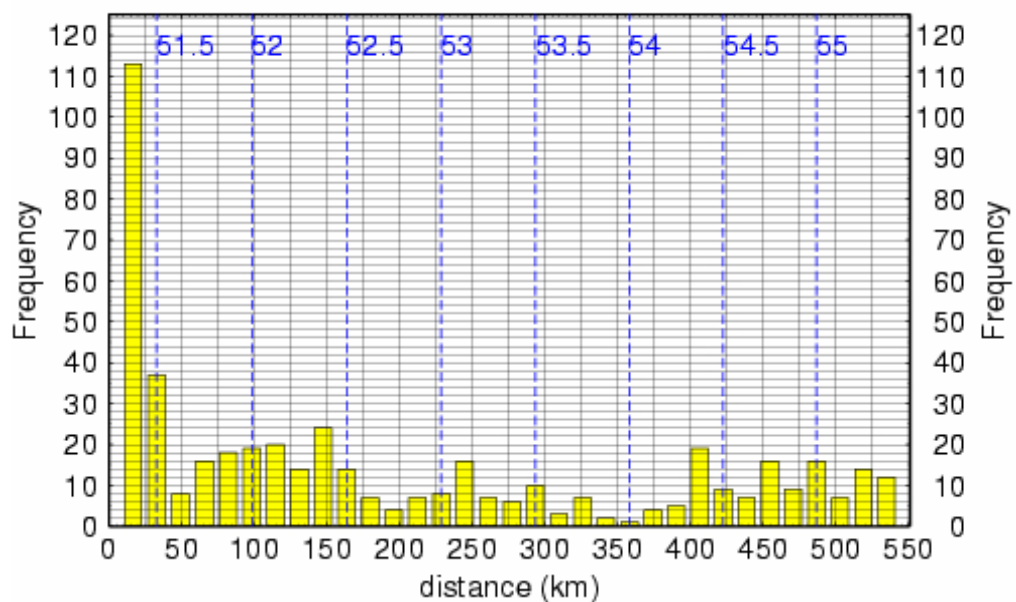


図 21. 上図：半島東岸に平行な線分 a-d の地形断面図．縦軸は標高，横軸は点 a からの距離を表わす．下図： a-d (図 18) に対する観測領域 A におけるケース 1 の強風帯の沿岸方向成分が最大となる各格子点位置の空間的な頻度分布図．横軸は上図と同一で，点線は a-d 上における緯度を表す．

ケース 2 について

次に、ケース 2 について季節的・空間的な出現頻度の特徴について調べる。まず、季節的な出現頻度の特徴を調べるため、ケース 2 の年別・月別の出現頻度を図 22. に示した。年変動はあるが共通して冬には出現頻度が高く夏には低い。ケース 1 のときと同様に 1 年を冬季（1 月，2 月，11 月，12 月），春秋（3 月，4 月，9 月，10 月）夏季（5 月，6 月，7 月，8 月）の季節別に分けて各年の月別の出現頻度をみると、6 年間の総計の全ての月別頻度（図 22）から、抽出総数 592 例のうち冬季に 55%，春秋に 29%，夏季には 15% が出現しており、年間を通して強風帯の出現頻度は冬季に最も高いことがわかった。

強風帯の「強さ」の季節的な特徴を調べるために、ケース 1 と同様に領域 A 内における風の沿岸方向成分の最大を 4 つの階級に分け、その頻度を季節別にヒストグラムに表した（図 23）。最大が 15m/s より小さい「弱い」強風帯の発生頻度は冬季，春秋，夏季でそれぞれ 60%，60%，82% であり、各季節とも最も高かった。しかし、最大が 25m/s 以上の「強い」強風帯が出現する頻度は冬季には 13% と最も高く、春秋で 6%，夏季では 0%（観測例なし）であることから、冬季では春秋や夏季に比べて「強い」強風帯が多く出現する傾向にあることがわかった。

また、抽出されたケース 2 の空間的な出現分布の特徴を調べるため、半島東海岸に平行な線分 a-d（図 18）に対応する観測領域 A での風の沿岸方向成分が最大となる格子点位置の空間分布図と参考として線分 a-d の地形断面図を図 24 に示した。点 a からの距離が 450km 以下の観測領域では海岸近くに 1000m 級の高い山がある沿岸部（a-d の線分上の緯度で 52.375° N, 53° N, 53.25° N, 53.5° N, 54.25° N）で強風帯の沿岸方向成分の最大の出現頻度のピークが見られる。ただし、点 a からの距離が 450km 以上の観測領域のクロノツキー半島（図 1）周辺では強風帯の沿岸方向成分の最大の出現頻度が桁違いに高くなっていった。

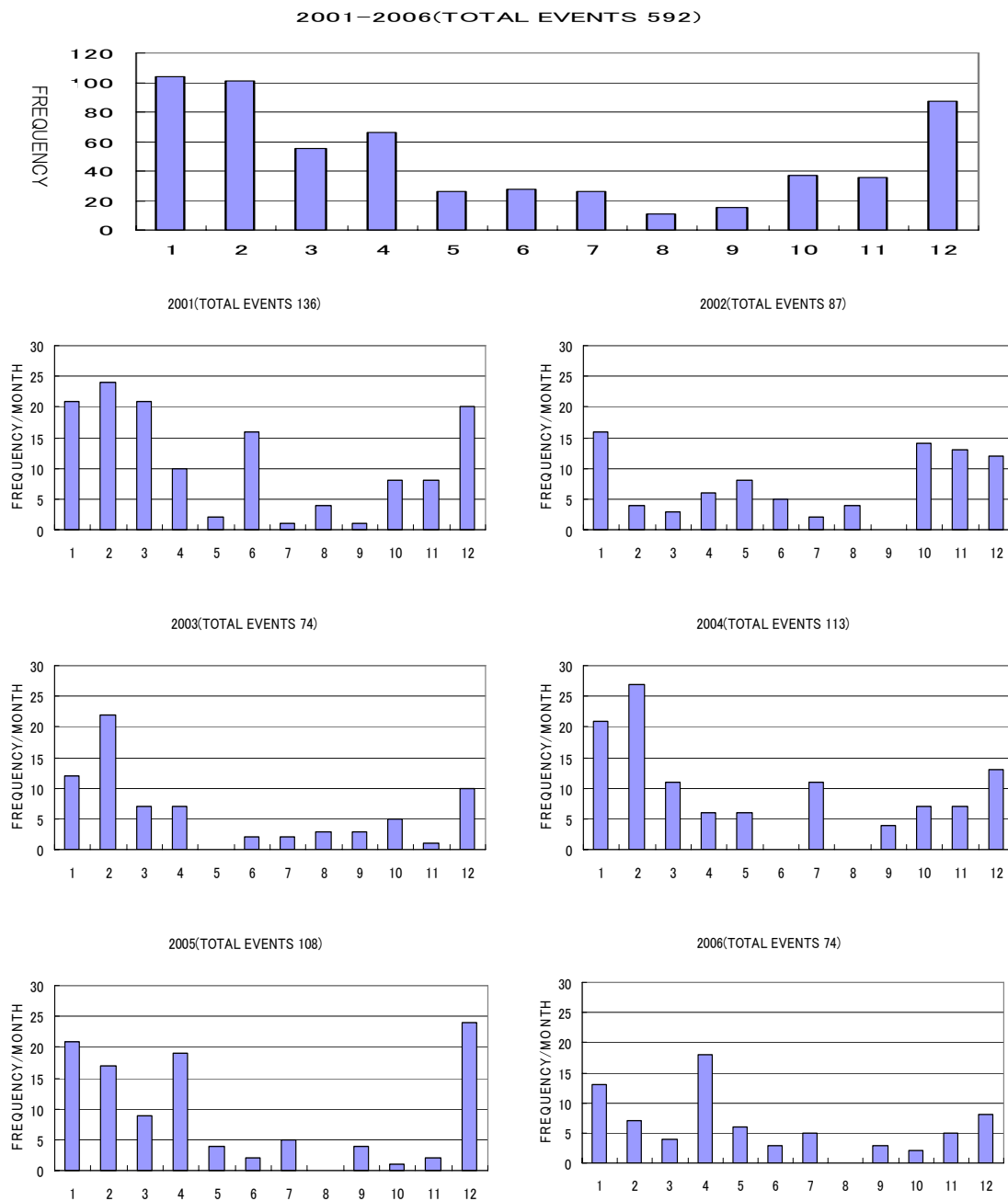


図 22. ケース 2 の月別頻度. 2001 年~2006 年までの 6 年間の月別積算頻度と年毎の月別頻度.

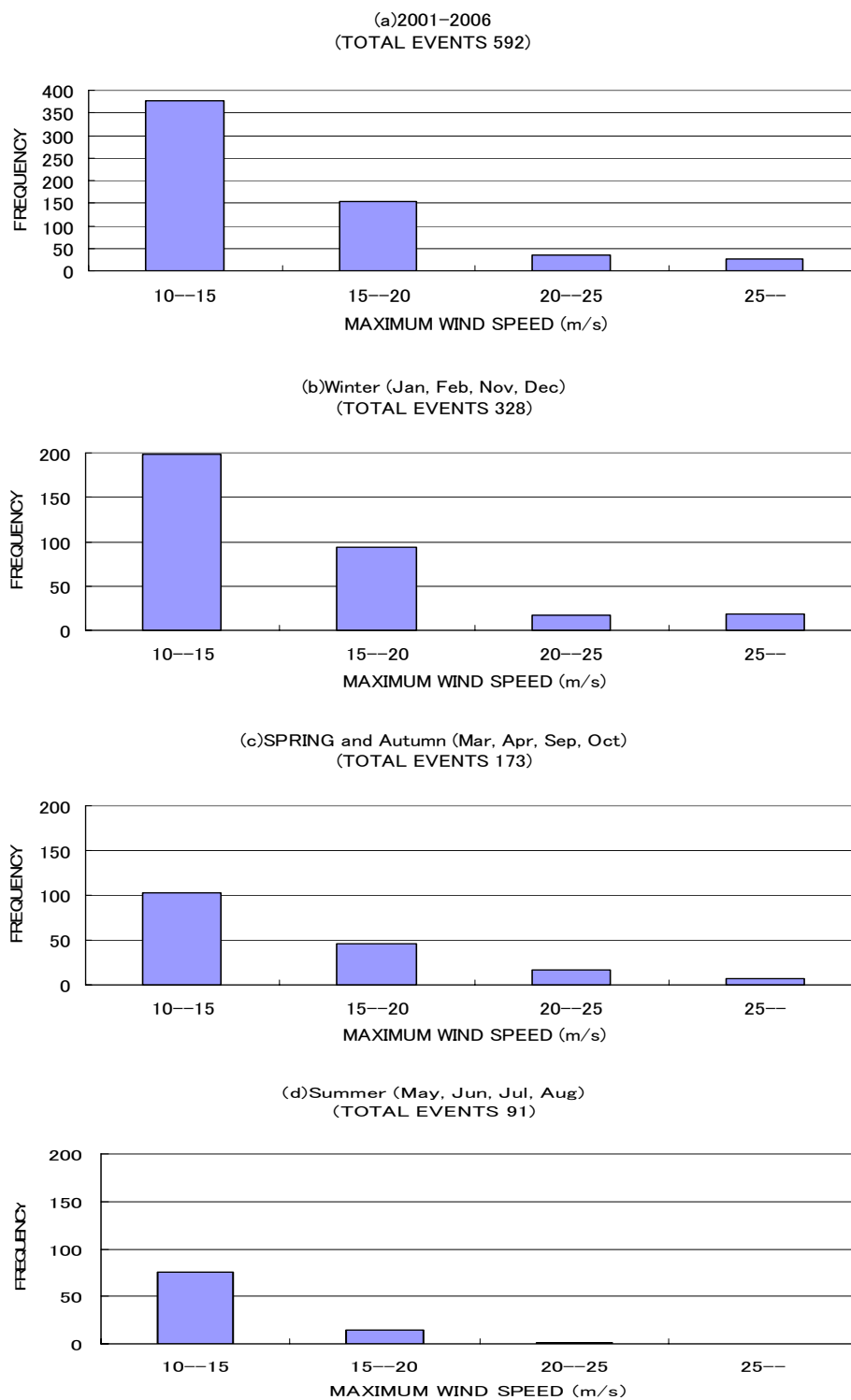
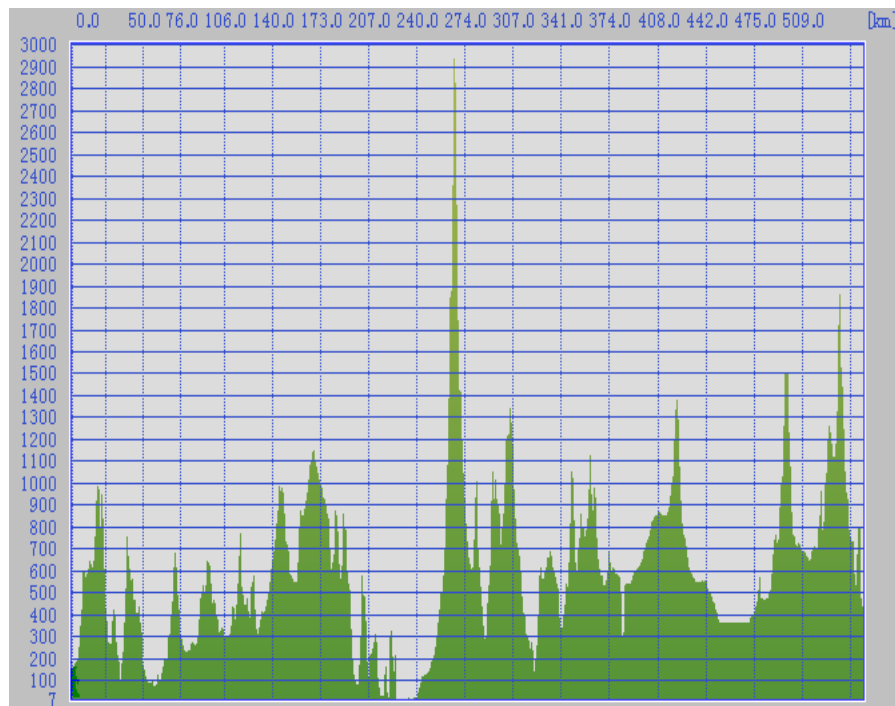


図 23. 2001 年～2006 年までの 6 年間におけるケース 1 の領域内における風の沿岸方向成分の最大の頻度. 通年(a), 冬(b), 春・秋(c), 夏(d).



CASE2
2001-2006 (TOTAL EVENTS 592)

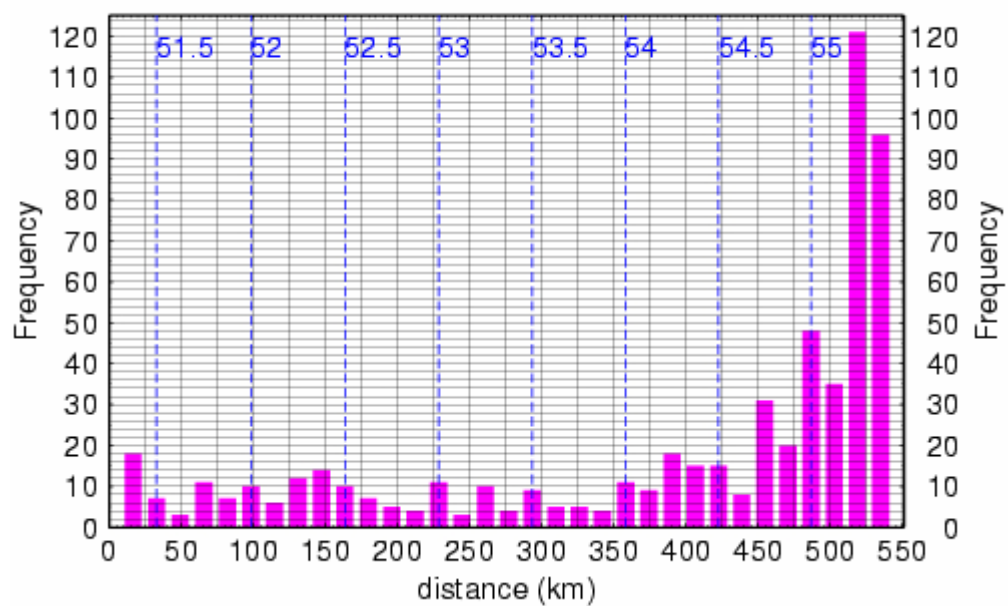


図 24. 上図：半島東岸に平行な線分 a-d の地形断面図．縦軸は標高，横軸は点 a からの距離を表わす．下図：a-d (図 18) に対する観測領域 A におけるケース 2 の強風帯の沿岸方向成分が最大となる各格子点位置の空間的な頻度分布図．横軸は上図と同一で，点線は a-d 上における緯度を表す．

7. 客観解析データによる解析

7-1. コンポジット解析による平均的総観場の様子

アメリカ環境予測センター（NCEP）の全球客観解析データをもちいて 500hPa 面ジオポテンシャル高度，海面上気圧，850hPa と 950hPa 面の気温に関するコンポジット解析を各ケースについておこない強風帯観測時の半島周辺の平均的な総観場を解析した。

ケース 1 の平均的総観場

図 25 はケース 1 の強風帯の事例の 500hPa 面ジオポテンシャル高度のコンポジット解析による平均場を通年および季節ごとに示したものである。各季節とも共通してカムチャツカ半島の南上空にトラフがあり，半島の北東にリッジが位置する。ただし，その蛇行のスケールは夏季で最も小さく，最も大きい冬季で夏季の倍ほどのスケールがある。これは冬季が夏季に比べ低気圧の発達する傾向にあることと一致する。通年と各季節でのケース 1 の強風帯事例の 850hPa と 950hPa 面の気温のコンポジット解析の結果を図 26-1, 図 26-2, 図 26-3, 図 26-4 に示した。冬季と春秋期では半島内陸部の下層に寒気がある。特に 950hPa 面では半島東岸部に強い温度勾配ができています。また，夏季には半島東岸南部の下層に寒気がある。そして，通年および季節ごとのケース 1 の事例の海面上気圧のコンポジット解析の結果を示した図 27 をみると，各季節とも共通して半島南沖に低圧部があり，半島東岸は低圧部の前面に位置している。また，半島東岸中部から南部にかけて等圧線が海岸線に直交していて，等圧線の間隔が密になっていることから，低気圧による半島東岸に直交するような東よりの流れが優勢であったことがわかる。また，半島東岸付近の等圧線の形状が乙字にくびれた格好になっていることと半島内陸部の下層の寒気から，半島内陸・沿岸部の下層の寒気が存在によって沿岸部から内陸部にかけての気圧が高まり相対的に気圧が高くなっている状況が考えられる。

ケース 2 の平均的総観場

図 28 はケース 2 の強風帯の事例の 500hPa 面ジオポテンシャル高度のコンポジット解析による平均場を通年および季節ごとに示したものである。各季節とも共通して半島の東沖上空にトラフがある。通年と季節ごとのケース 2 の強風帯の事例の 850, 950hPa 面の気温のコンポジット解析の結果を図 29-1, 図 29

ー2, 図 29-3, 図 29-4 に示した. 冬季と春秋季では半島内陸部の下層に寒気があり半島東岸の中部から北部にかけて強い温度勾配ができています. この温度勾配の強い場所はケース 1 よりもやや北に位置しており, 勾配もケース 1 のものより大きい. また, 夏季には半島北東岸北部の下層の寒気があり, その中心位置は北緯 57 度付近である. 最後に, 通年および季節ごとのケース 2 の強風帯事例の海面上気圧のコンポジット解析の結果を示した図 30 をみると, 全季節で東沖に低圧部があり, 半島東岸は低圧部の後面に位置している. また, 半島東岸全域で等圧線が密になっている. 以上のことから, ケース 2 は半島東岸にある低気圧の後面に吹き込む北東気流が半島東沿岸に強く流れこんでいる環境場にあったことがわかる.

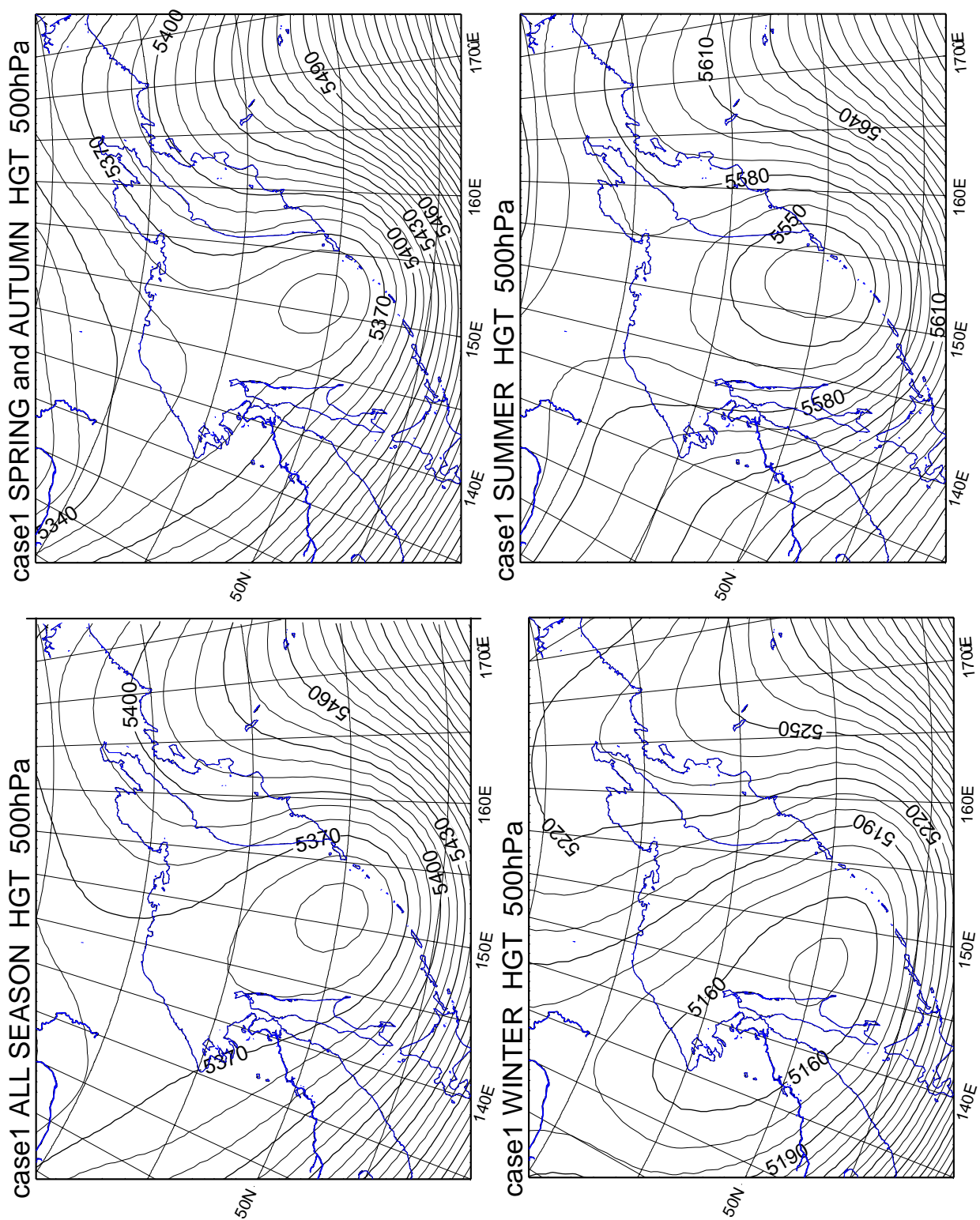
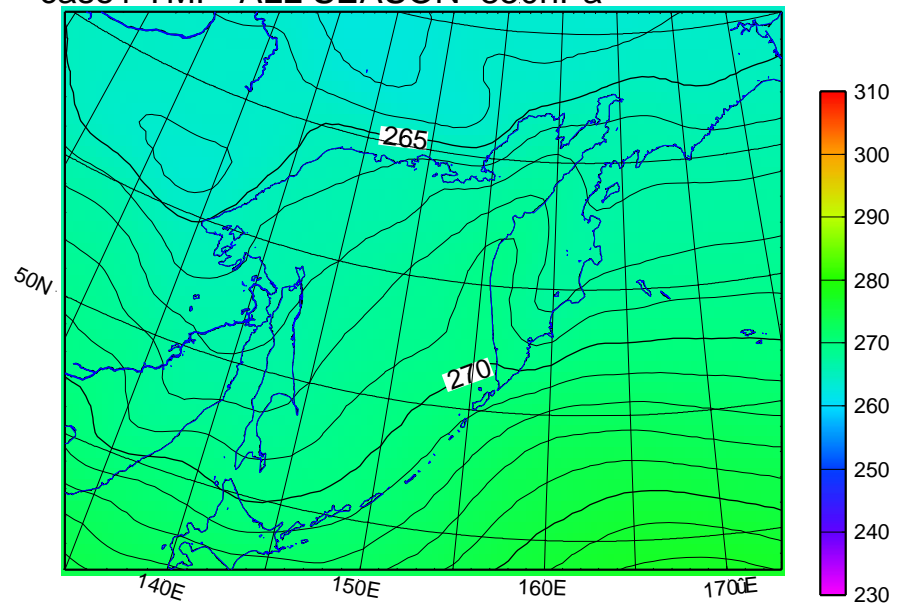


図 25. ケース 1 の強風帯の事例の 500hPa 面ジオポテンシャル高度のコンジット解析の結果. 等値線は 10m 毎 (細線), 30m 毎 (太線). 通年 (左下), 冬季 (右下), 春秋 (左上), 夏季 (右上).

case1 TMP ALL SEASON 850hPa



case1 TMP ALL SEASON 950hPa

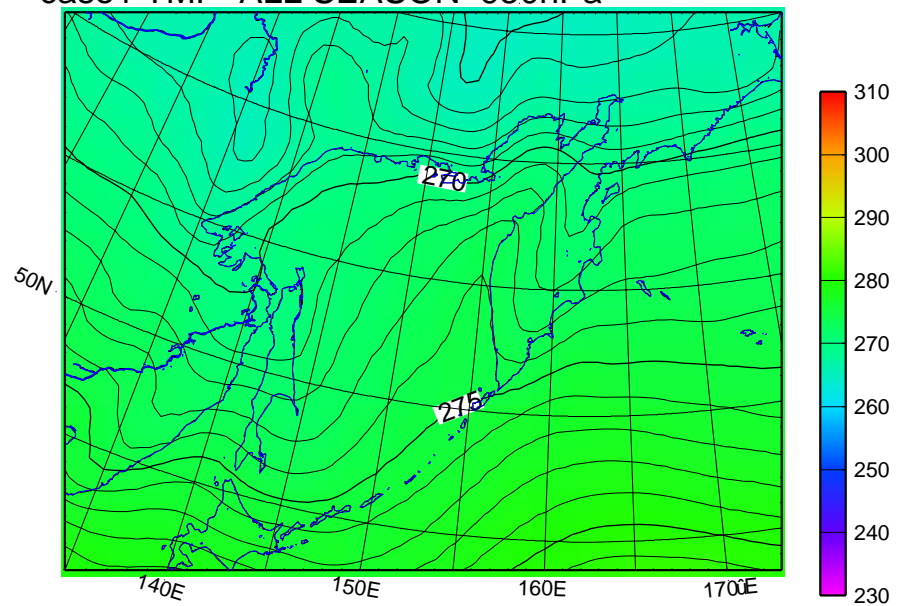


図 26-1. 通年のケース1の強風帯の事例の 850hPa (上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎 (太線), 数値は 5K 毎に記してある.

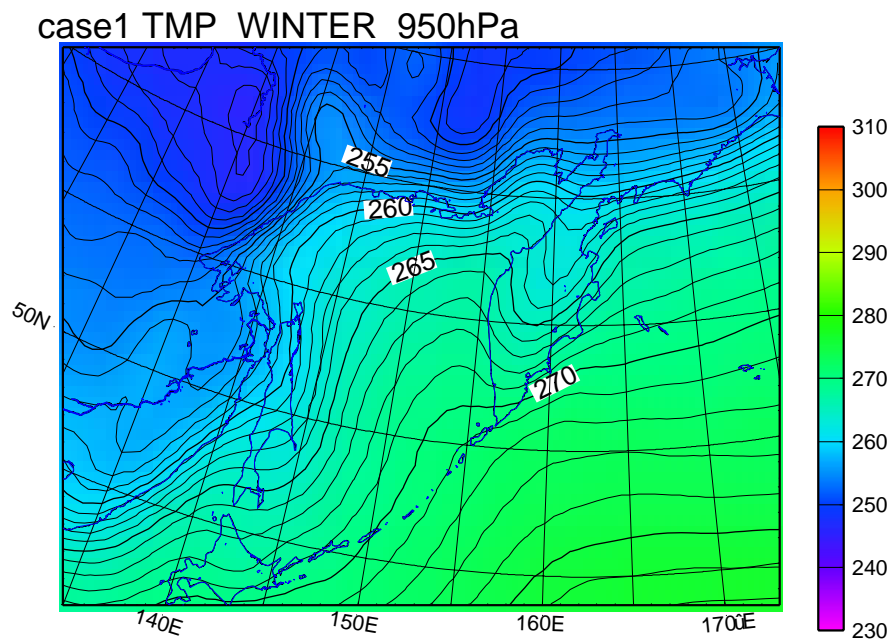
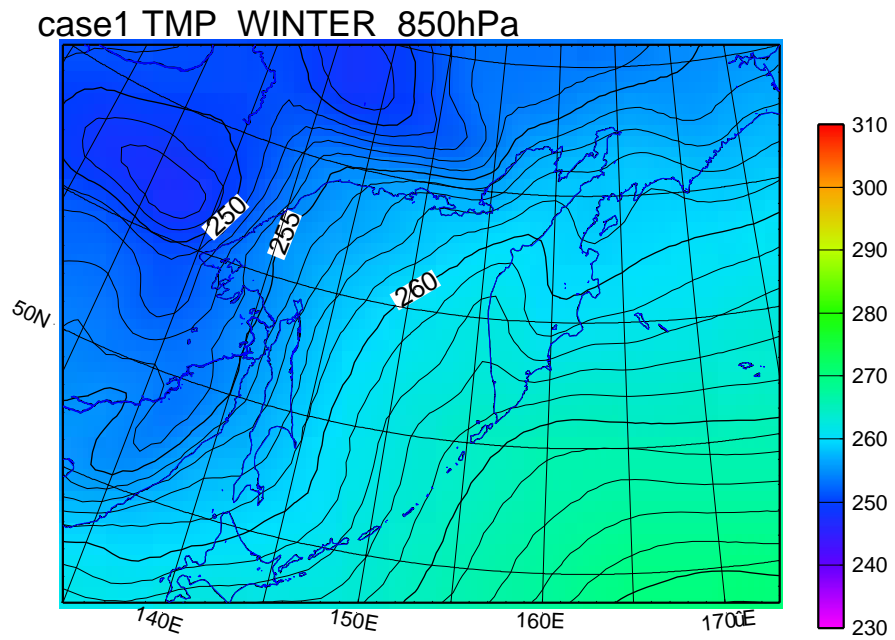


図 26-2. 冬季のケース 1 の強風帯の事例の 850hPa (上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎 (太線), 数値は 5K 毎に記してある.

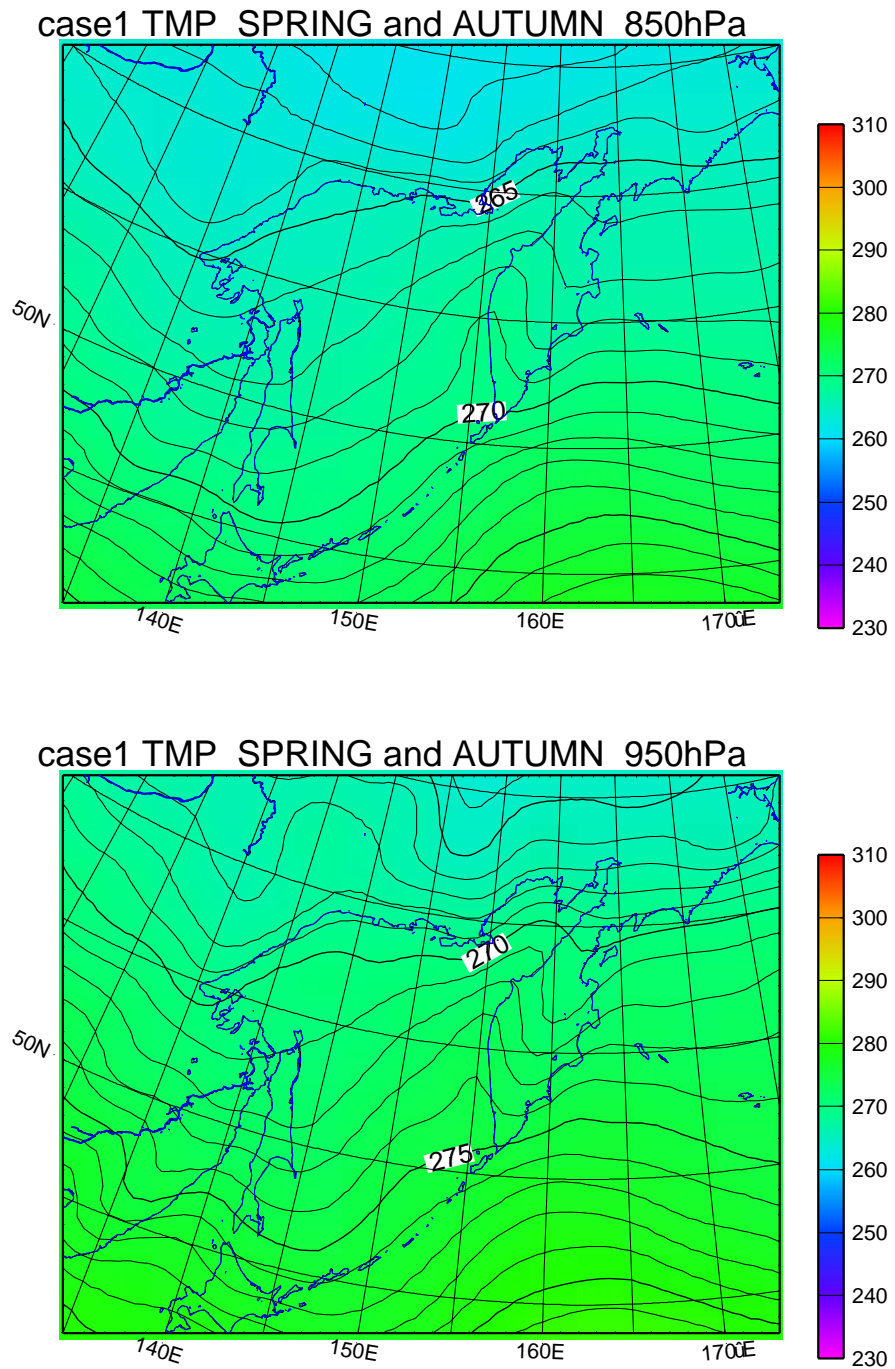
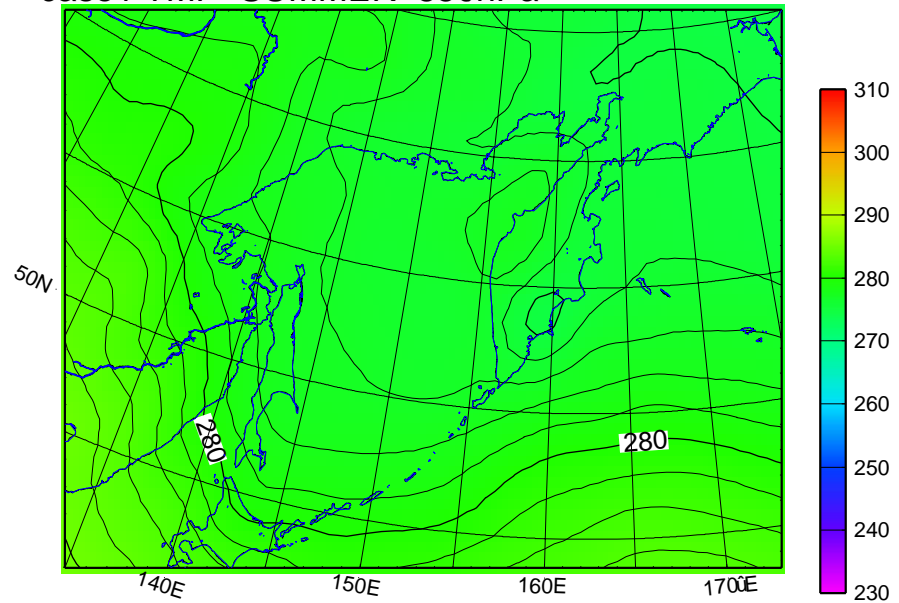


図 26-3. 春秋季のケース 1 の強風帯の事例の 850hPa (上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎 (太線), 数値は 5K 毎に記してある.

case1 TMP SUMMER 850hPa



case1 TMP SUMMER 950hPa

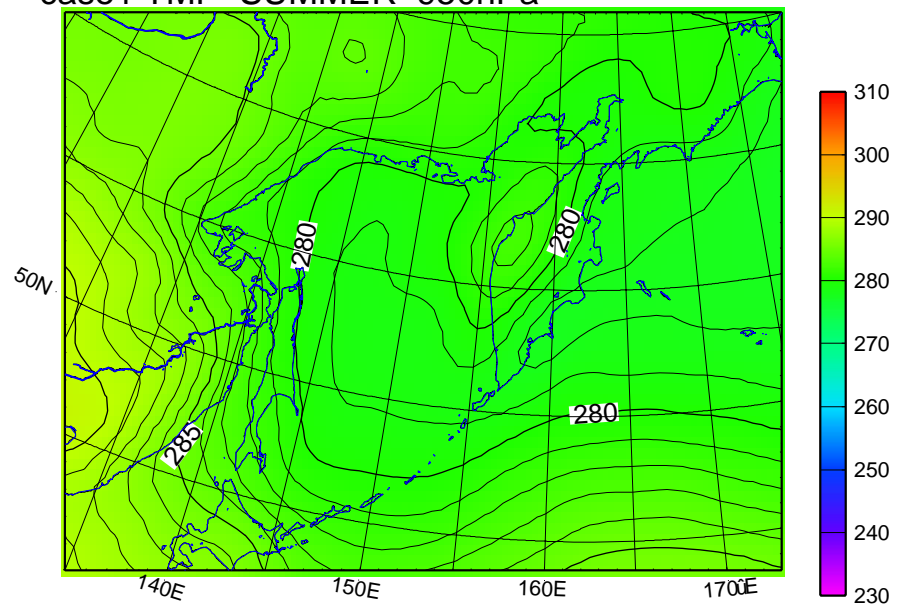


図 26-4. 夏季のケース 1 の強風帯の事例の 850hPa(上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎(太線), 数値は 5K 毎に記してある.

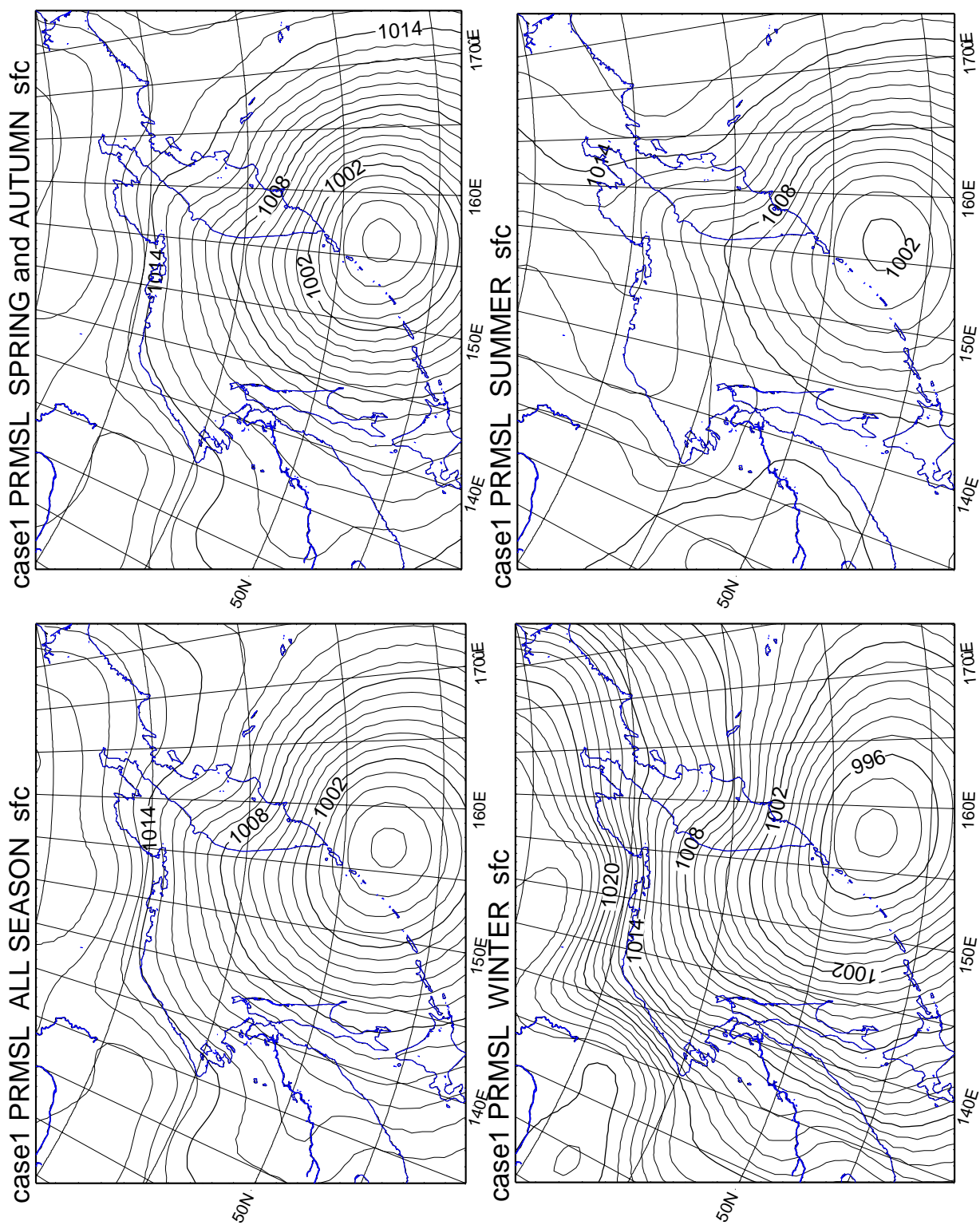


図 27. ケース 1 の強風帯の事例の海面上気圧のコンポジット解析の結果. 等値線は 1hPa 毎 (細線), 6hPa 毎 (太線). 通年 (左下), 冬季 (右下), 春秋分 (左上), 夏季 (右上).

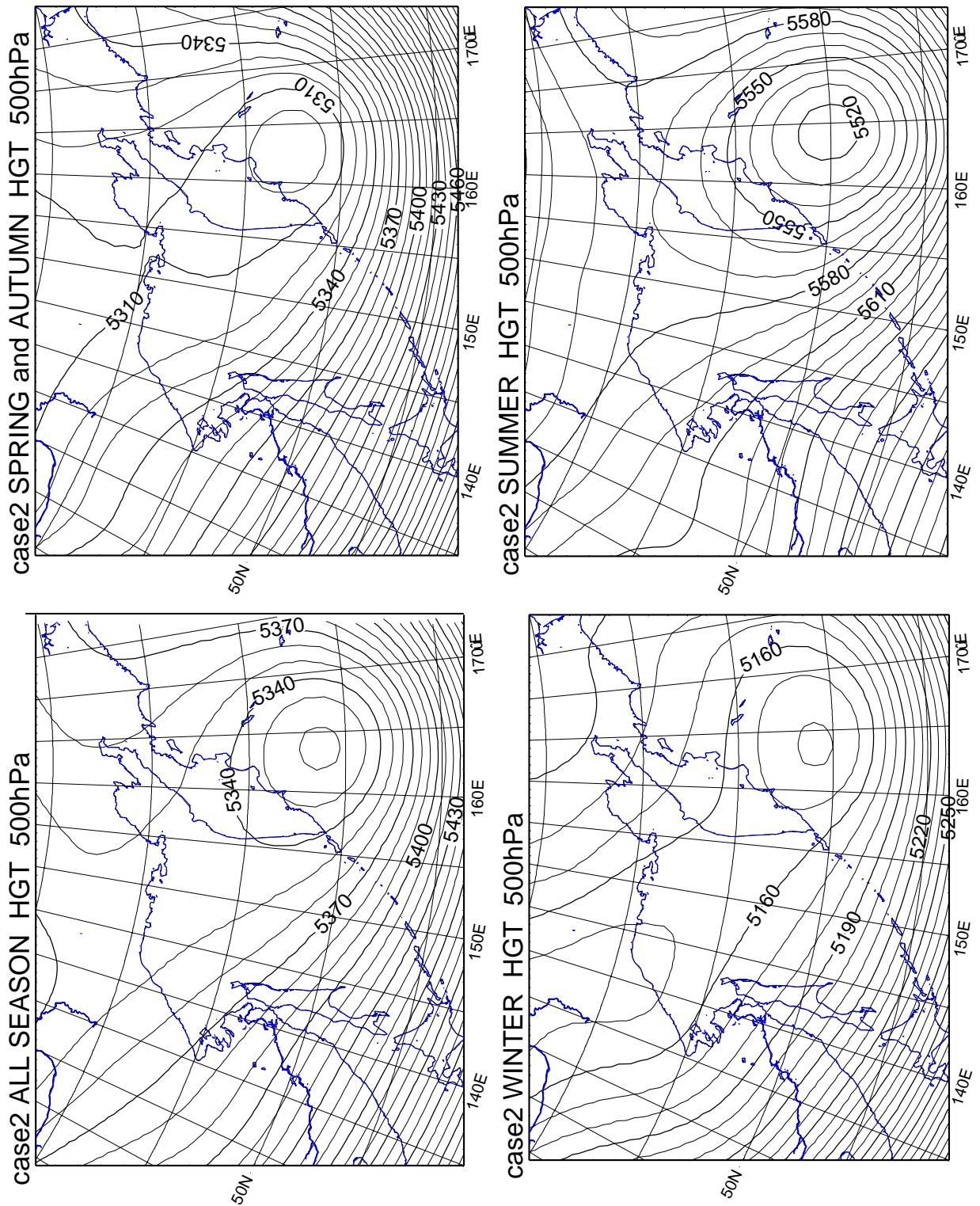


図 28. ケース 2 の強風帯の事例の 500hPa 面ジオポテンシャル高度の合成解析の結果. 等値線は 10m 毎 (細線), 30m 毎 (太線). 通年 (左下), 冬季 (右下), 春秋 (左上), 夏季 (右上).

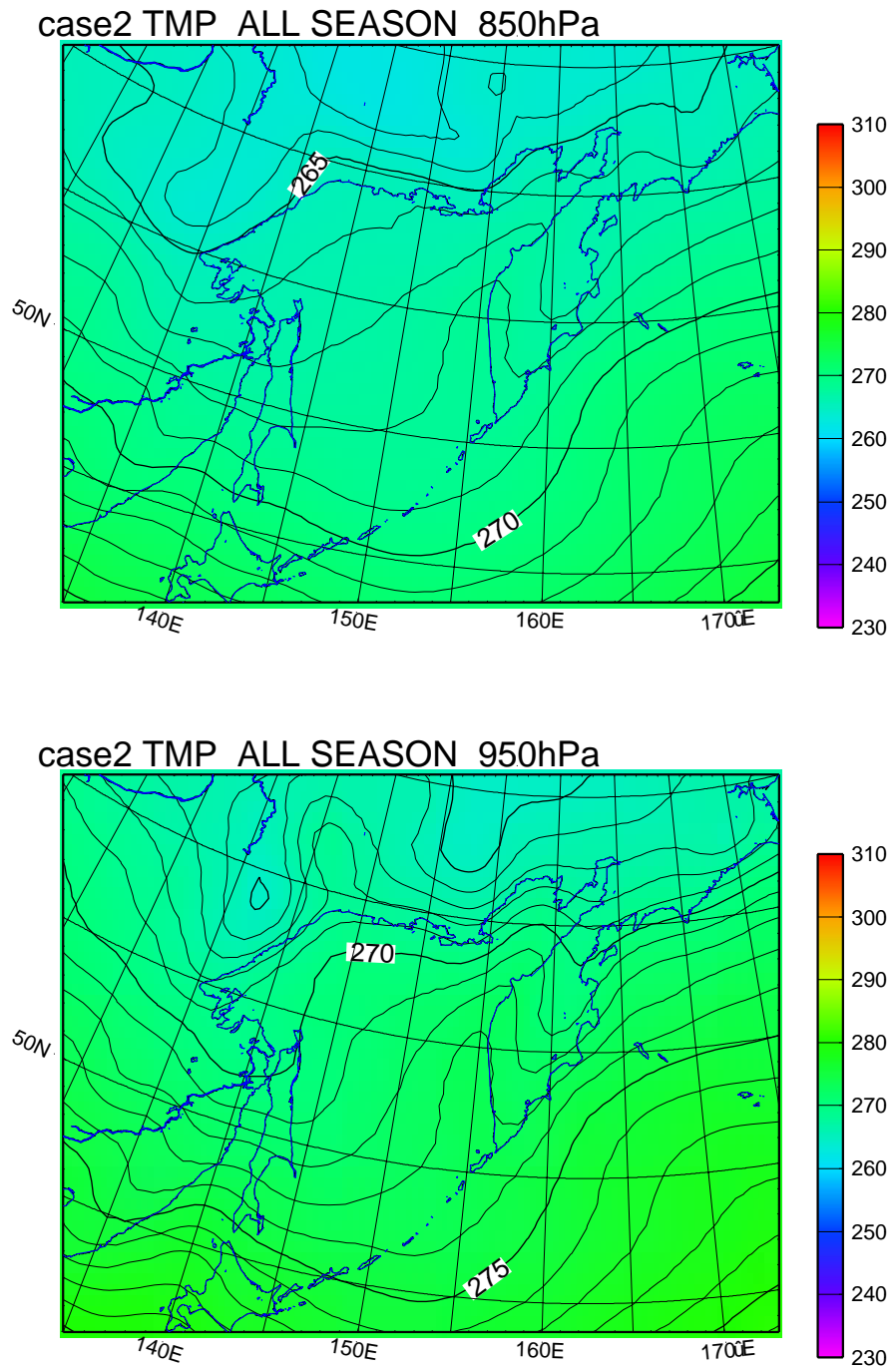
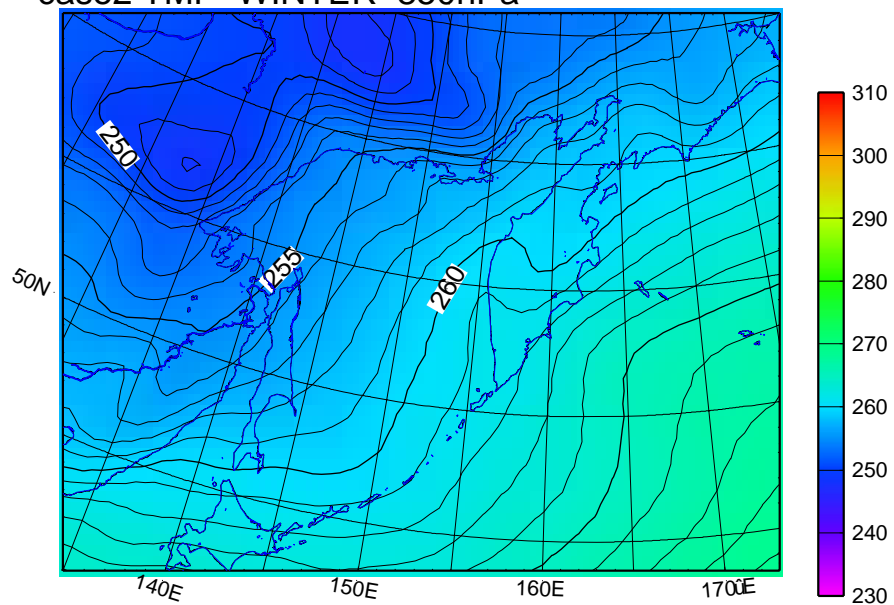


図 29-1. 通年のケース 2 の強風帯の事例の 850hPa (上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎 (太線), 数値は 5K 毎に記してある.

case2 TMP WINTER 850hPa



case2 TMP WINTER 950hPa

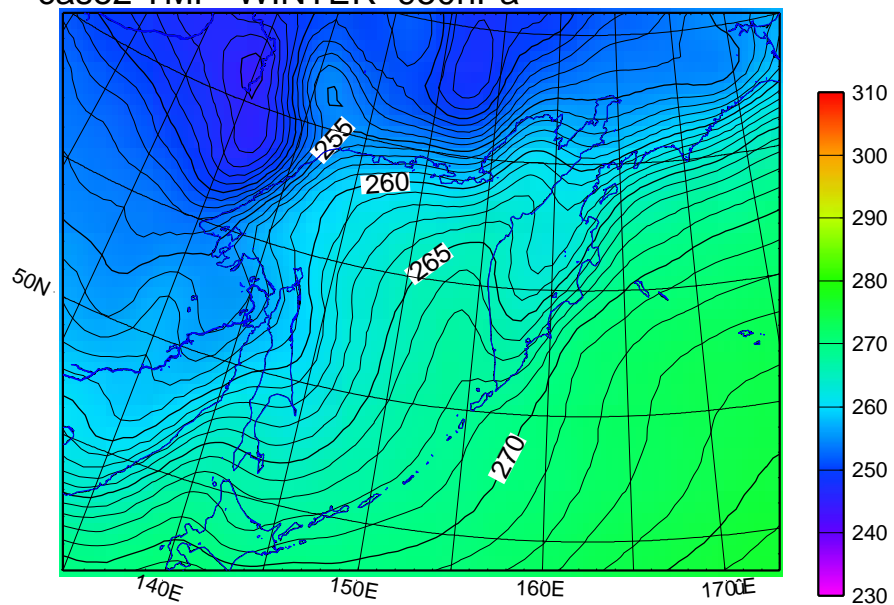
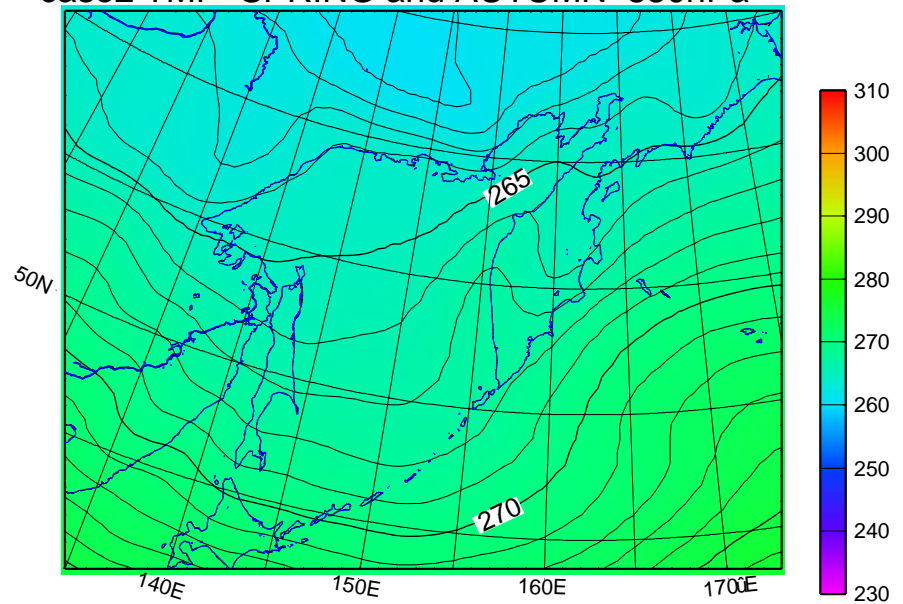


図 29-2. 冬季のケース 2 の強風帯の事例の 850hPa (上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎 (太線), 数値は 5K 毎に記してある.

case2 TMP SPRING and AUTUMN 850hPa



case2 TMP SPRING and AUTUMN 950hPa

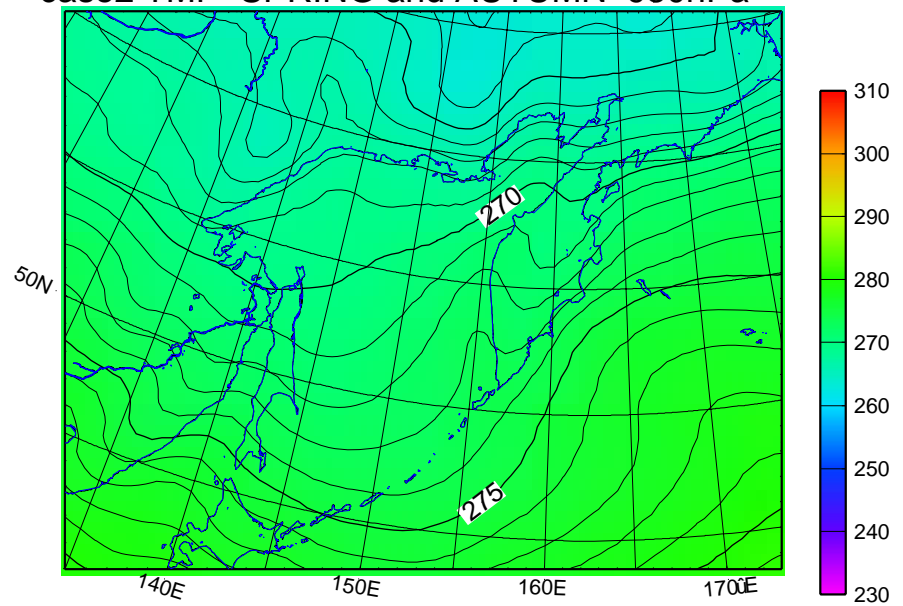
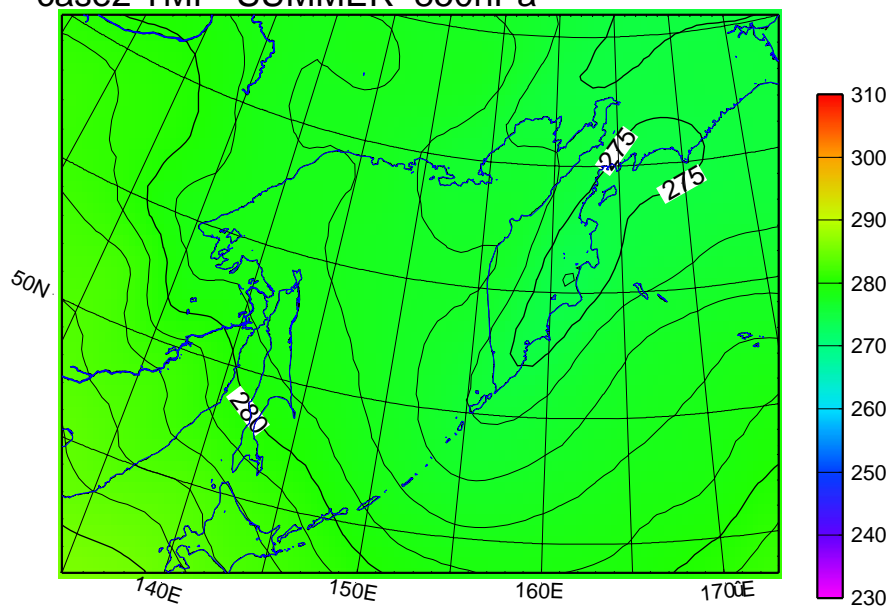


図 29-3. 春秋のケース 2 の強風帯の事例の 850hPa (上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎 (太線), 数値は 5K 毎に記してある.

case2 TMP SUMMER 850hPa



case2 TMP SUMMER 950hPa

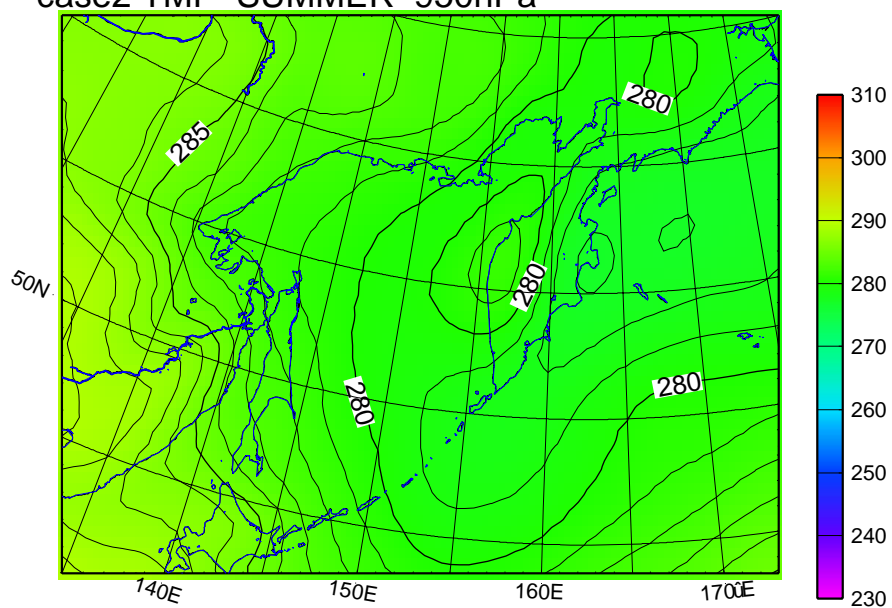


図 29-4. 夏季のケース 2 の強風帯の事例の 850hPa (上), 950hPa (下) の温度のコンポジット解析の結果. 等値線は 1K 毎 (細線), 5K 毎 (太線), 数値は 5K 毎に記してある.

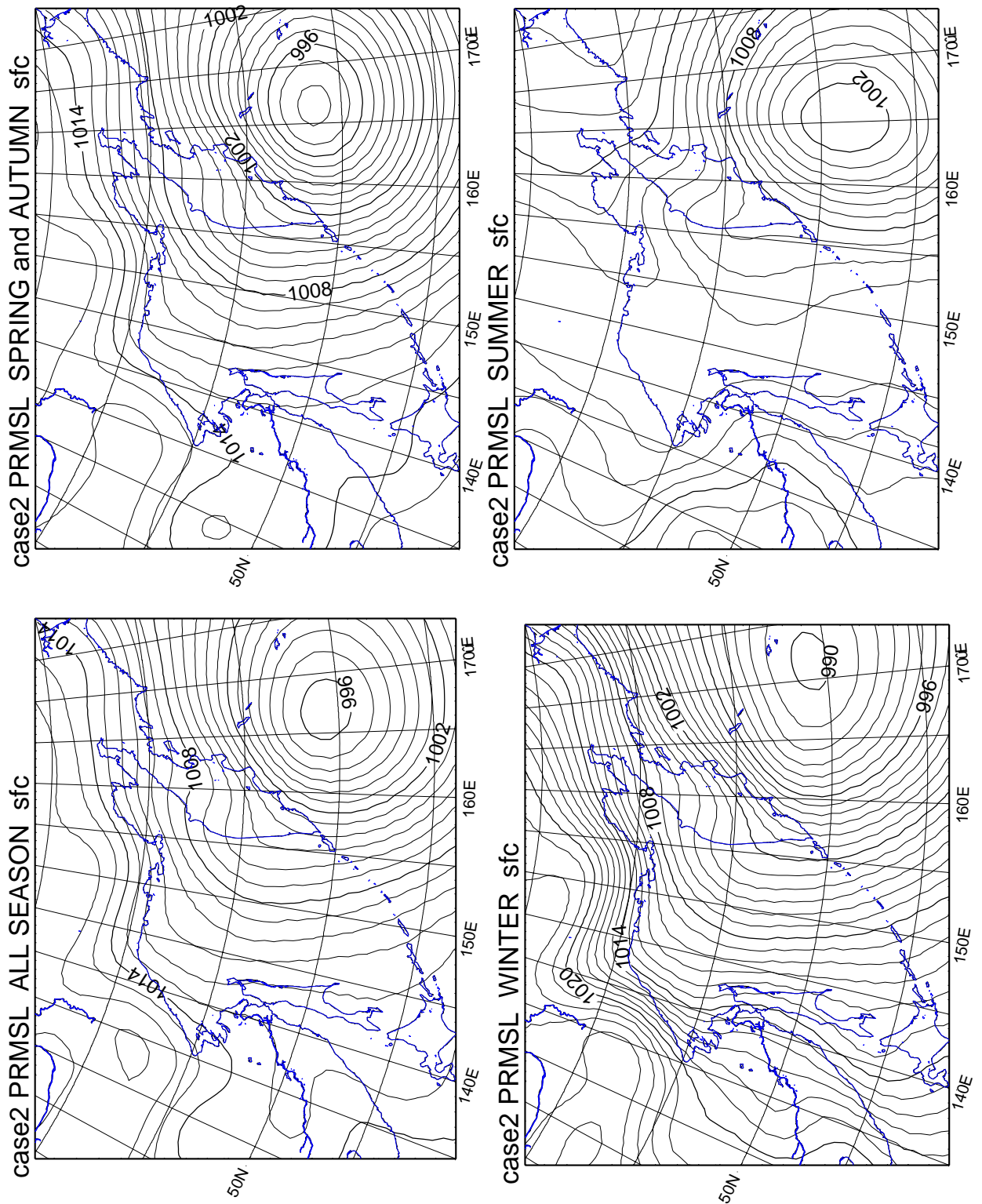


図 30. ケース 1 の強風帯の事例の海面上気圧のコンポジット解析の結果. 等値線は 1hPa 毎 (細線), 6hPa 毎 (太線). 通年 (左下), 冬季 (右下), 春秋 (左上), 夏季 (右上).

7-2. 強風帯とフルード数の関係

強風帯の沿岸方向成分が最大となる格子点位置の空間分布図から、強風の沿岸方向成分の最大は沿岸近くに標高が高い地形がある場所に多くみられた(6-2)。特に、ケース 1 の場合は前節のコンポジット解析の結果から半島東岸に向かう下層の周辺流が東岸山脈に阻まれて迂回することで沿岸方向の強風帯が発生したと考えられる。そこで、山脈による周辺流の迂回する条件であるフルード数が、どの程度抽出した東岸沿いの強風帯の出現に関係しているかを探るため、半島東沿岸部でのケース 1 の強風帯抽出時に東岸に向かう風速成分と大気安定度との関係を季節別に調べた。なお、解析には強風帯の抽出事例に最も近い時間のアメリカ環境予測センター(NCEP)の全球客観解析データを用いた。QuikSCATの午前、午後の観測データはそれぞれ同日の06UTC, 18UTCのNCEPデータに対応する。

調査の対象は観測領域のほぼ真ん中の地点であることから代表して、地点 X(図 18)(53° N, 159° E)とした。地点 Xにおけるケース 1 の強風帯の抽出時の岸に向かう方向の風速成分に対するブラント・バイサラ振動数の散布図を季節ごとに図 31 に示した。なお、ブラント・バイサラ振動数は 1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800hPa の 7 層のジオポテンシャル高度、気温のデータから 3 次スプライン関数法を用いて求めたジオポテンシャル高度 200m と 1500m における気温の補間値を用い(7)式(付録)使って求めた。また、岸に向かう方向の風速成分は同様に 7 層のジオポテンシャル高度、風のデータからジオポテンシャル高度 200m における風の補間値の岸に向かう方向成分を用いた。図中のフルード数については $Fr > 1$ の場合は地点 X の高度 200m にある気塊が高度 1500m の山を乗り越えてながれ、 $Fr < 1$ の場合は山を乗り越えるのに必要な運動エネルギーが不足しているため山を迂回して流れることになる。なお、地点 X 付近の山の平均的な山頂高度として 1500m という値を用いた。

半島東沿岸に吹く強風帯の観測時にはほとんどの事例においてフルード数は 1 より小さく周辺流の迂回する条件を満たしていることがわかった。なお、冬季にはフルード数が 1 に近い場合でも半島東沿岸に吹く強風帯が多く観測されている。一方で、夏季ではフルード数が 0.5 よりも小さい場合に半島東沿岸に吹く強風帯の多くが観測されている。春秋にはフルード数が $0 < Fr < 1$ の領域で夏季や冬季の様に偏ることなく半島東沿岸に吹く強風帯が観測されていた。5 章で QuikSCAT データによるカムチャツカ半島東岸沿いに吹く強風帯のいくつかの例について述べたが、夏、冬どちらの事例においても強風帯発生時の半島周辺の循環場は半島付近の低気圧による影響を大きく受けていた。また、前節のコンポジット解析の結果では、冬季に半島東岸付近の地上等圧線の間隔が狭く、

夏季で最も間隔があいていたことから、冬季に比べて夏季では山脈にぶつかる流れも弱も弱いことが考えられる。そのため、大気がより安定な密度成層状態のとき、夏季では山脈に向かう流れに山を乗り越えるのに必要な運動エネルギーが不足していることが多く、 $Fr < 0.5$ の領域で山脈を迂回して流れる強風帯が多く観測されていたと考えられる。

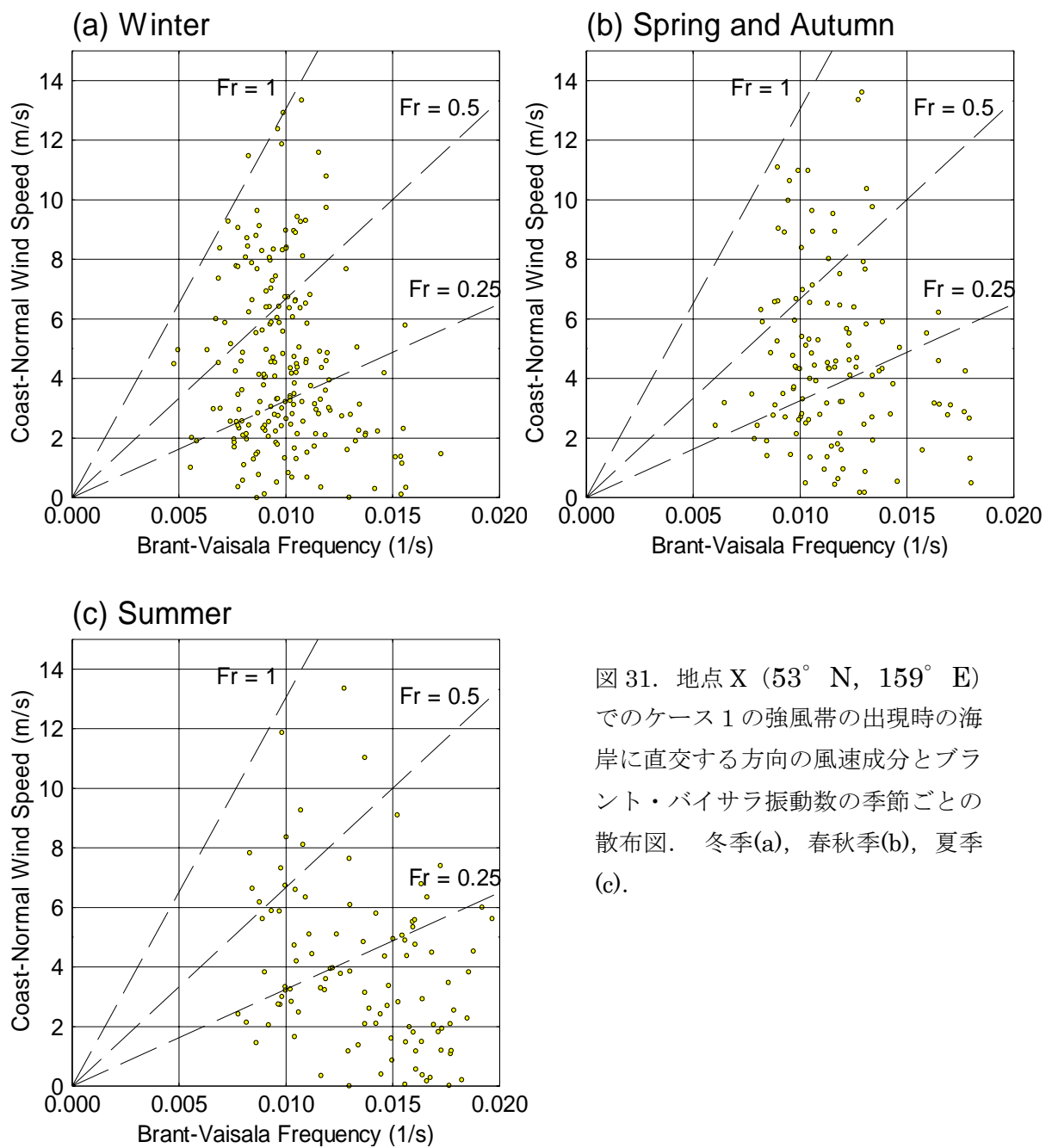


図 31. 地点 X (53° N, 159° E) でのケース 1 の強風帯の出現時の海岸に直交する方向の風速成分とブラント・バイサラ振動数の季節ごとの散布図. 冬季(a), 春秋季(b), 夏季(c).

8. 議論

QuikSCAT 海上風データによるカムチャツカ半島周辺の画像を観察していると、半島東岸沿いに強風帯が観測されていた。この強風帯観測時の半島周辺の循環場には大きく分けて 2 つのケースがある。すなわち、半島東岸沖では海岸に向かって吹く流れが優勢であるのに沿岸付近で海岸に平行な風向の強風が吹いている場合（ケース 1）、そして、半島東岸沖では海岸線に平行かまたは離れていく方向の流れが優勢であるときに沿岸付近で海岸に平行な風向の強風が吹いている場合（ケース 2）の 2 つのケースである。そこで半島周辺の循環場が異なるこの 2 つのケースに分けて東岸沿いの強風帯の抽出をおこなうことで、半島周辺の循環場が異なる 2 つのケースの強風帯の季節変化や空間分布の特徴が得られるのではないかと考え、強風帯の抽出を行った。その結果、2001 年～2006 年の 6 年間の観測期間でケース 1、ケース 2 それぞれ 479 例、592 例の強風帯が抽出できた。その季節出現頻度を調べるとケース 1、ケース 2 とも約半数が冬季に出現していた。また、冬季には風の沿岸方向成分が 25m/s を超えるような「強い」風が東岸沿いに吹くことも多く、逆に、夏季は 20m/s を超えるような例はほとんどないことがわかった。半島東海岸に平行な線分 a-d (図 18) に対応する観測領域 A での風の沿岸方向成分が最大となる格子点位置の空間分布図から、北・南端を除く観測領域の大半で両ケースとも海岸近くに高い山がある沿岸部で強風帯の沿岸方向成分の最大の出現頻度が高い。しかしながら、観測領域の端では両ケースで出現頻度に大きな違いがあり、ケース 1 では半島南端のロパトカ岬 (図 1) 付近で沿岸方向成分の最大の出現頻度が最も高く、ケース 2 では観測領域の北端のクロノツキー半島 (図 1) 周辺でその出現頻度が高い。

次に、NCEP 再解析データをもちいて、ケースごとにコンポジット解析を行い強風帯観測時の半島周辺の平均的な総観場を解析した結果、ケース 1 では低気圧の接近時、半島東沖で半島東岸に直交するような東よりの流れが優勢であったときに東岸沿いの強風帯が観測されていたことがわかった。また、半島東岸で等圧線が密になっており、そこでの等圧線の形状が乙字にくびれた格好になっていること、半島内陸・沿岸域下層の寒気存在から、この寒気存在によって東岸部から内陸部にかけての気圧が強化されて相対的に気圧が高くなっている状況が考えられる。一方で、ケース 2 では東岸部で低気圧の後面の等圧線が密に、そして海岸にほぼ平行に走っていることから、低気圧の後面の北東気流が優勢なときに東岸沿いの強風帯が吹いていた。このことから低気圧の後面で吹く北東気流が東岸の地形による影響を受けて形成されたものと考えられる。

また、内陸・東岸部の下層にケース 1 よりも強い寒気が存在し、半島東岸部に強い温度勾配ができていた。

コンポジット解析の平均的な総観場からケース 1 の強風帯が半島東岸に向かう下層の周辺流が東岸山脈に阻まれて迂回することで沿岸方向の強風帯が発生したと考えられたため、周辺流が山脈を迂回する条件であるフルード数が、どの程度抽出した東岸沿いの強風帯の出現と関係しているかを探るため、半島東沿岸部でのケース 1 の強風帯抽出時に東岸に向かう風速成分と大気安定度との関係を季節別に調べたところ、ほとんどの事例でフルード数は 1 よりも小さく、東岸山脈による流れが迂回しやすい条件を満たしていたことから、ケース 1 の強風は半島東岸山脈を迂回する流れであることが考えられる。

最後になるが、NCEP データのコンポジット解析によって解析された半島内陸・沿岸部下層の寒気が東部山脈の斜面沿いの気圧傾度を高めることで、山脈から離れる方向に気圧傾度力が働きコリオリ力とバランスするように東岸沿いの強風帯が吹くといったアパラチア山脈の cold air domming の例 (Bell and Bosart, 1988) のような効果が示唆される。

9. まとめ

QuikSCAT 海上風データ, そして客観解析データを用いてからカムチャツカ半島東岸で吹く強風帯を半島東岸沖では海岸に向かう流れが優勢である場合 (ケース 1), そして, 海岸線に平行かまたは離れていく方向の流れが優勢である場合 (ケース 2) の 2 つのケースに分けて調べた. その結果, どちらも, 低気圧の影響下の循環場の中で観測されており, ケース 1 は低気圧の接近時に, ケース 2 は低気圧の後面で吹いていたことがわかった.

東岸沿いの強風帯はケース 1, ケース 2 とも約半数が冬季に出現していた. また, 両ケースとも冬季には風の沿岸方向成分が 25m/s を超えるような「強い」風が東岸沿いに吹くことも多く, 逆に, 夏季は 20m/s を超えるような例はほとんどなかった.

空間的な出現頻度は両ケースとも海岸近くに高い山がある沿岸部で強風帯の沿岸方向成分の最大の出現頻度が高い. しかしながら, 観測領域の端では両ケースには違いがあり, ケース 1 では半島南端のロパトカ岬 (図 1) 付近で沿岸方向成分の最大が最も出現頻度が高く, ケース 2 では観測領域の北端のクロノツキー半島 (図 1) 周辺でその出現頻度が高かった.

NCEP 再解析データをもちいてケースごとにコンポジット解析し求めた平均的な総観場からケース 1 では低気圧の接近時, 半島東沖で半島東岸に直交するような東よりの流れが優勢であったときに強風帯が観測されていたことと, 強風帯観測時のフルード数を求めたところほとんどの事例でフルード数は 1 よりも小さく, 東岸山脈による流れが迂回しやすい条件を満たしていたことから, ケース 1 の強風は半島東岸山脈を迂回する流れであることが考えられる. 一方, ケース 2 では東岸部で低気圧の後面の等圧線が密に, そして海岸にほぼ平行に走っていることから, 低気圧の後面の北東気流が優勢なときに東岸沿いの強風帯が吹いていた. このことから低気圧の後面で吹く北東気流が東岸の地形による影響を受けて形成されたものと考えられる.

強風帯観測時には内陸・沿岸部の下層に寒気が存在が認められた. この寒気は冬季ほどその勢力がおおきく, 沿岸部に大きな温度勾配をもたらしており半島東岸沿いの強風帯に影響を及ぼしていることが考えられる. この寒気がどのように形成され, 強風帯の形成にどのような影響を及ぼすのか, より詳細な解析を行うために力学的な解析やメソスケールモデルによるシミュレーションが挙げられる. これらの解析が行われ, カムチャツカ半島周辺の風系が明らかになることを期待したい. また, 今回観測領域とした付近の海域は親潮の源流のひとつであるカムチャツカ海流の発生場所でもある. 本研究の対象とした強

風帯とカムチャツカ海流との相互作用等新たな研究展開が望まれる。

付録

ブラント・バイサラ振動数の導出

大気は安定な密度成層をしている．大気中に単位面積の底面を持つ気柱（密度： ρ ）と厚さ dz を持つ気層（密度： ρ_p ）を考える．高度 Z_0 ，温度 T_0 の未飽和の空気塊を高度 Z まで乾燥断熱的に上昇させたときの温度を T_p ，密度を ρ_p とし，高度 Z での周囲の大気のを温度を T ，密度を ρ としたとき，空気塊に働く正味の加速度 g'

は

$$g' = \frac{\rho - \rho_p}{\rho_p} g \quad (1)$$

である．ここで， g は重力加速度である．(1) に理想気体の状態方程式を用いると

$$g' = \left[\frac{\frac{p}{RT} - \frac{p}{RT_p}}{\frac{p}{RT}} \right] g = \left(\frac{T_p - T}{T} \right) g \quad (2)$$

となる．ここで乾燥断熱減率を Γ_d ($=9.8^\circ\text{C}/\text{km}$)，大気の温度減率を Γ とすると

$$(T_p - T) = -\Gamma_d(Z - Z_0) \quad (3)$$

$$(T - T) = -\Gamma(Z - Z_0) \quad (4)$$

である．この(3)，(4)式を(2)式に代入すると，高度 Z ある空気塊に働く正味の加速度

$$g' = -\left(\frac{\Gamma_d - \Gamma}{T} \right) (Z - Z_0) g \quad (5)$$

がもとまる．よって，空気塊の運動方程式は

$$\rho_p \frac{d^2(Z - Z_0)}{dt^2} = -\rho_p \left(\frac{\Gamma_d - \Gamma}{T} \right) g (Z - Z_0) \quad (6)$$

つまり，

$$\frac{d^2(Z - Z_0)}{dt^2} = -\left(\frac{\Gamma_d - \Gamma}{T}\right)g(Z - Z_0) \quad (6')$$

と表すことができる。安定な密度成層を考えているので、 $\Gamma_d - \Gamma > 0$ なので、
空気塊は

$$N = \sqrt{\frac{\Gamma_d - \Gamma}{T}}g \quad (7)$$

の周波数で振動する。この N をブラント・バイサラ振動数という。ブラント・バイサラ振動数は浮力振動数ともいい、安定密度成層での浮力を復元力とする気塊の鉛直方向の振動数であり、値が大きいほど大気はより安定した密度成層状態にあるとみなすことができる。

表 3. 2001 年 1 月から 2006 年 12 月の期間にカムチャツカ半島東岸沿いに吹くケース 1 の強風帯の全例の年(YEAR)月(MM)日(DD)と観測地方時刻(am/pm : 06UTC 頃 /18UTC 頃), と風の沿岸方向成分の最大(MAX)とそれが観測された緯度(LAT), 経度(LON).

YEAR	MM	DD	AM/PM	MAX	LAT	LON
2001	1	1	pm	11.3	50.875	157.125
2001	1	2	am	19.4	50.625	157.375
2001	1	2	pm	18.5	51.375	158.375
2001	1	3	am	16.6	53.875	161.875
2001	1	4	am	20.7	50.375	157.875
2001	1	5	am	13.4	50.125	157.875
2001	1	5	pm	11.6	54.125	161.875
2001	1	7	pm	20.2	52.125	159.125
2001	1	8	am	11.8	50.875	157.125
2001	1	10	pm	10.3	54.125	161.875
2001	1	11	am	16.2	51.375	158.125
2001	1	12	am	14.3	52.375	159.125
2001	1	12	pm	22.7	53.875	160.125
2001	1	13	am	33.2	53.375	160.125
2001	1	16	am	14.2	52.625	160.125
2001	1	18	pm	11.6	54.125	161.875
2001	1	30	am	12.7	54.125	160.625
2001	2	2	am	15.9	50.125	157.875
2001	2	2	pm	21.7	50.875	158.125
2001	2	11	am	19.6	50.125	158.125
2001	2	27	am	10.1	53.875	161.875
2001	3	5	pm	19.5	53.875	160.875
2001	3	15	am	12.4	53.875	161.125
2001	3	22	am	16.2	52.875	158.875
2001	3	30	am	13.2	50.875	157.375
2001	3	30	pm	22.1	50.625	157.375
2001	3	31	am	36.1	51.375	159.125
2001	4	10	am	10.4	52.875	159.875
2001	4	13	pm	11.3	53.625	160.375
2001	4	20	pm	14.9	50.625	157.375

2001	4	21	am	12.7	52.875	159.375
2001	4	21	pm	15.6	51.625	158.375
2001	4	22	am	10.4	51.375	158.125
2001	4	23	am	17.1	50.625	157.375
2001	5	20	pm	10.9	50.125	157.875
2001	5	21	am	12.3	50.625	157.375
2001	5	21	pm	10.4	50.875	157.125
2001	5	26	pm	12.6	50.875	158.125
2001	6	1	pm	14.8	51.875	158.875
2001	6	2	pm	18.6	50.875	157.375
2001	6	3	am	13.3	54.125	161.625
2001	6	7	am	12.3	51.375	157.875
2001	6	12	pm	10.2	50.625	157.625
2001	6	13	am	11.6	50.875	157.375
2001	6	13	pm	10.2	50.875	157.125
2001	7	6	pm	11.3	51.875	158.375
2001	8	17	am	12.0	53.625	161.625
2001	9	1	pm	10.6	50.125	157.875
2001	10	13	pm	12.1	51.375	157.625
2001	10	14	am	12.2	52.625	158.875
2001	10	24	am	11.4	53.875	161.875
2001	10	24	pm	18.8	52.375	159.625
2001	10	29	am	13.1	50.125	157.875
2001	11	6	am	11.6	50.875	157.125
2001	11	6	pm	18.8	52.625	159.875
2001	11	13	pm	12.6	50.875	157.875
2001	11	14	am	23.9	54.125	161.875
2001	11	30	pm	16.3	50.125	157.875
2001	12	1	am	30.9	50.875	158.625
2001	12	8	am	25.3	53.875	161.125
2001	12	9	am	17.1	53.125	161.125
2001	12	10	am	15.4	51.375	158.125
2001	12	10	pm	14.6	50.875	157.125
2001	12	11	am	10.5	50.125	157.875
2001	12	16	am	10.7	53.875	160.125

2001	12	31	am	20.9	50.875	157.125
2001	12	31	pm	17.6	51.875	159.125
2002	1	1	am	15.1	50.875	157.125
2002	1	1	pm	13.7	52.625	158.875
2002	1	2	am	12.4	51.125	157.625
2002	1	2	pm	13.6	51.375	157.875
2002	1	3	am	16.3	51.625	158.625
2002	1	4	am	26.3	51.875	158.375
2002	1	9	pm	16.3	51.125	158.125
2002	1	10	am	18.7	52.625	158.875
2002	1	10	pm	15.7	54.125	160.125
2002	1	11	am	15.3	53.875	160.375
2002	1	11	pm	16.1	54.125	160.625
2002	1	12	am	17.9	52.875	159.375
2002	1	12	pm	20.4	51.125	157.375
2002	1	13	am	13.2	53.875	161.625
2002	1	28	pm	22.1	50.875	157.125
2002	1	29	am	25.4	50.875	157.125
2002	2	8	pm	11.4	51.625	158.875
2002	2	9	am	18.0	52.125	158.625
2002	2	9	pm	21.8	51.375	157.875
2002	2	10	am	30.3	52.625	160.125
2002	2	10	pm	28.6	51.375	157.875
2002	2	11	am	18.1	51.375	157.875
2002	2	11	pm	17.9	50.875	158.125
2002	2	12	am	14.4	51.375	157.625
2002	2	14	am	17.9	50.125	158.125
2002	2	14	pm	15.5	51.375	158.375
2002	2	15	am	22.6	50.625	157.875
2002	2	16	am	15.9	51.375	157.875
2002	2	16	pm	11.7	51.375	158.125
2002	2	19	am	11.9	50.375	157.875
2002	2	19	pm	17.2	50.125	157.875
2002	2	20	am	17.8	50.875	158.625
2002	3	6	pm	12.7	51.875	158.375

2002	3	7	am	28.0	51.625	158.875
2002	4	2	pm	10.7	52.125	158.875
2002	4	6	pm	18.3	50.875	157.125
2002	4	7	pm	20.2	50.875	157.125
2002	4	8	am	13.9	51.375	158.125
2002	4	8	pm	12.8	50.875	157.125
2002	4	13	am	14.2	50.125	158.125
2002	4	16	am	14.4	50.875	157.125
2002	4	17	pm	11.9	50.625	157.375
2002	4	18	am	12.9	54.125	161.125
2002	6	3	pm	10.1	52.375	158.875
2002	6	4	am	12.1	51.125	157.875
2002	6	4	pm	11.0	51.375	158.125
2002	6	9	pm	14.4	50.875	157.125
2002	6	10	am	16.0	51.125	157.625
2002	6	10	pm	13.5	51.375	157.625
2002	6	11	am	12.2	51.125	157.375
2002	6	20	am	10.9	51.375	157.875
2002	6	24	pm	10.2	50.875	157.125
2002	7	17	am	13.1	50.875	157.125
2002	7	17	pm	12.4	52.625	159.375
2002	7	27	am	14.3	50.125	157.875
2002	7	27	pm	14.0	51.375	158.125
2002	8	2	am	13.7	50.625	157.625
2002	8	4	am	10.8	54.125	161.375
2002	8	16	pm	11.0	52.375	160.375
2002	8	17	am	12.3	51.625	158.375
2002	8	21	am	14.3	50.375	157.625
2002	8	21	pm	19.2	50.625	157.375
2002	8	22	am	17.3	50.875	157.125
2002	8	22	pm	20.1	51.125	157.625
2002	9	16	pm	10.6	50.625	157.625
2002	9	18	pm	13.0	50.875	157.125
2002	9	19	am	19.7	53.875	161.375
2002	10	2	pm	11.1	50.625	157.625

2002	10	19	am	11.5	53.875	160.125
2002	10	22	pm	11.6	50.125	157.875
2002	10	28	am	12.6	54.125	161.625
2002	10	28	pm	14.3	52.375	158.875
2002	10	29	pm	15.4	50.875	157.375
2002	11	2	am	27.4	50.375	157.625
2002	11	2	pm	13.9	52.125	158.875
2002	11	3	pm	12.4	54.125	161.875
2002	11	4	am	15.9	54.125	161.625
2002	11	12	pm	13.7	50.875	157.125
2002	11	13	pm	11.7	52.875	159.375
2002	11	21	pm	24.3	50.875	157.125
2002	11	28	am	10.1	51.125	157.875
2002	12	5	pm	21.7	52.625	158.875
2002	12	6	am	25.2	53.875	160.375
2002	12	11	am	13.5	50.125	157.875
2002	12	26	am	10.7	51.625	158.375
2002	12	29	pm	11.4	53.625	160.125
2002	12	30	am	11.5	51.375	159.125
2003	1	5	pm	43.7	51.375	158.125
2003	1	6	am	35.1	52.875	160.125
2003	1	10	am	11.1	52.875	159.875
2003	1	19	pm	10.9	54.125	161.625
2003	1	20	am	10.8	54.125	161.625
2003	1	20	pm	13.0	54.125	161.625
2003	1	24	am	11.3	51.375	157.625
2003	1	24	pm	14.5	51.375	157.875
2003	1	25	am	17.3	51.375	158.125
2003	1	29	pm	10.7	53.875	160.875
2003	1	30	am	11.2	52.125	158.875
2003	1	30	pm	18.0	51.625	158.375
2003	1	31	am	26.0	50.875	157.375
2003	1	31	pm	22.0	50.875	158.125
2003	2	6	pm	12.6	50.875	158.875
2003	2	7	am	18.3	50.875	158.875

2003	2	8	pm	12.2	52.625	158.875
2003	2	10	pm	10.6	53.625	160.875
2003	2	17	am	24.6	54.125	161.875
2003	2	18	am	18.6	52.125	158.875
2003	3	3	pm	14.4	53.625	160.375
2003	3	9	am	12.6	51.875	158.375
2003	3	10	am	15.2	51.375	158.625
2003	3	12	pm	20.4	53.375	160.125
2003	3	13	am	13.5	53.875	161.375
2003	3	13	pm	12.1	53.875	161.125
2003	3	29	am	13.6	53.875	160.875
2003	3	30	am	19.6	50.875	158.875
2003	4	6	pm	23.6	50.625	157.375
2003	4	7	am	14.5	53.875	160.125
2003	4	9	pm	23.2	50.125	157.875
2003	4	17	pm	13.0	51.625	158.375
2003	4	30	pm	38.7	51.125	159.125
2003	5	8	am	10.9	50.875	157.125
2003	5	8	pm	19.1	50.125	157.875
2003	5	9	am	16.8	52.625	159.875
2003	5	9	pm	20.0	53.875	160.125
2003	6	2	pm	13.4	54.125	161.875
2003	6	3	am	11.6	53.625	160.125
2003	6	14	pm	13.0	54.125	161.125
2003	7	15	pm	10.2	50.125	158.125
2003	7	20	am	10.5	50.375	157.625
2003	7	20	pm	12.8	50.625	158.625
2003	8	10	am	15.5	50.875	157.125
2003	8	10	pm	15.3	52.875	159.125
2003	8	11	am	10.0	54.125	160.375
2003	8	27	pm	12.9	50.875	157.125
2003	9	4	pm	13.5	50.875	158.875
2003	9	5	am	11.4	51.375	158.625
2003	9	14	pm	12.1	54.125	161.875
2003	9	15	am	10.5	54.125	160.875

2003	9	16	am	10.4	50.375	157.625
2003	9	19	pm	13.3	51.125	157.375
2003	9	20	am	11.2	54.125	160.875
2003	9	27	am	11.2	50.625	157.375
2003	9	27	pm	10.8	50.125	158.125
2003	9	30	pm	12.6	50.875	157.125
2003	10	1	am	33.4	50.375	157.625
2003	10	8	pm	11.0	50.625	157.375
2003	10	12	am	21.6	51.625	158.375
2003	11	21	pm	29.8	50.875	158.125
2003	12	3	am	17.6	50.875	157.125
2003	12	3	pm	23.8	52.875	160.125
2003	12	7	am	28.6	50.125	157.875
2003	12	22	pm	13.8	50.625	157.375
2003	12	30	am	27.0	54.125	161.875
2004	1	4	am	13.9	51.625	158.375
2004	1	4	pm	17.0	50.875	157.875
2004	1	5	am	22.6	52.375	159.125
2004	1	14	am	14.1	50.375	157.625
2004	1	14	pm	15.5	50.875	158.875
2004	1	15	am	23.1	50.875	157.125
2004	1	15	pm	19.5	51.125	157.375
2004	1	19	am	17.6	52.125	159.375
2004	1	19	pm	17.8	50.625	157.375
2004	1	20	am	18.0	51.125	157.625
2004	1	20	pm	15.8	51.125	157.625
2004	1	23	am	11.2	50.875	157.375
2004	1	24	am	15.2	50.125	158.125
2004	1	24	pm	10.2	50.125	158.125
2004	2	4	pm	19.5	51.375	158.625
2004	2	5	am	19.5	54.125	160.625
2004	2	5	pm	16.8	54.125	161.375
2004	2	12	pm	10.2	51.625	158.625
2004	2	16	am	12.2	53.875	160.875
2004	2	17	am	16.7	54.125	161.875

2004	2	23	am	10.9	50.125	157.875
2004	2	23	pm	28.4	50.625	157.375
2004	2	24	am	42.2	53.875	160.125
2004	2	27	am	25.7	51.875	158.875
2004	3	6	am	14.0	51.125	158.125
2004	3	6	pm	11.5	50.875	157.875
2004	3	7	am	13.1	52.625	159.125
2004	3	14	pm	11.6	54.125	161.125
2004	3	27	am	30.8	50.125	157.875
2004	3	27	pm	25.4	51.375	157.625
2004	3	28	am	24.9	51.625	158.375
2004	3	28	pm	23.4	52.375	159.875
2004	4	8	am	11.5	51.875	158.625
2004	4	21	am	20.7	51.375	157.625
2004	4	21	pm	22.2	51.375	157.875
2004	4	22	am	26.9	52.125	158.875
2004	4	23	am	11.1	50.875	157.125
2004	4	24	am	15.0	51.625	158.625
2004	4	24	pm	14.4	53.875	160.125
2004	4	29	am	15.7	50.125	157.875
2004	4	29	pm	15.4	51.125	157.375
2004	5	12	am	11.1	54.125	161.125
2004	5	14	am	14.8	51.625	158.375
2004	6	23	pm	11.1	51.125	157.625
2004	6	24	am	10.7	54.125	160.625
2004	7	1	pm	12.8	50.875	157.125
2004	7	2	pm	13.5	50.625	157.375
2004	7	3	am	11.2	50.875	157.375
2004	7	3	pm	10.3	52.625	159.125
2004	7	4	am	14.1	51.625	158.625
2004	7	4	pm	15.9	54.125	161.375
2004	7	5	am	18.6	51.625	159.625
2004	7	19	am	12.3	50.875	157.125
2004	7	19	pm	15.4	50.875	157.125
2004	7	20	am	11.7	51.125	158.125

2004	8	26	am	12.8	50.125	157.875
2004	8	26	pm	14.4	50.625	157.625
2004	8	27	am	12.9	50.875	157.125
2004	8	27	pm	12.4	50.125	157.875
2004	9	8	am	10.6	51.125	157.625
2004	9	26	pm	11.4	50.125	158.125
2004	10	6	pm	39.8	50.375	157.875
2004	10	23	pm	18.9	50.875	157.375
2004	10	26	am	12.7	53.125	160.625
2004	10	26	pm	16.1	52.625	158.875
2004	11	1	am	10.5	53.875	161.625
2004	11	6	pm	13.5	50.875	158.875
2004	11	7	am	11.2	51.875	159.625
2004	11	7	pm	12.1	51.375	158.375
2004	11	8	am	11.9	50.375	157.625
2004	11	16	am	22.5	52.625	160.125
2004	11	28	am	10.3	52.875	159.375
2004	12	11	pm	25.4	54.125	160.125
2004	12	12	am	31.2	54.125	160.625
2004	12	14	am	20.4	51.375	158.125
2004	12	15	am	15.5	53.625	161.625
2004	12	16	am	11.0	50.625	157.375
2004	12	17	am	11.1	50.125	157.875
2004	12	17	pm	13.8	50.125	158.125
2004	12	18	am	11.4	51.375	158.125
2004	12	18	pm	11.4	51.375	157.875
2004	12	19	am	13.2	51.875	159.875
2004	12	19	pm	12.6	51.875	158.625
2004	12	20	am	11.0	52.875	159.625
2004	12	20	pm	12.8	52.875	159.125
2004	12	21	am	13.5	53.875	160.125
2004	12	21	pm	16.5	51.375	158.125
2004	12	22	pm	16.2	52.625	158.875
2005	1	4	pm	13.2	50.625	157.375
2005	1	8	am	16.6	51.625	158.375

2005	1	8	pm	20.4	53.875	161.375
2005	1	9	am	19.4	53.375	160.125
2005	1	11	pm	10.5	50.875	157.125
2005	1	21	am	14.6	52.125	158.875
2005	1	21	pm	12.2	53.875	160.125
2005	1	22	am	10.5	53.875	161.875
2005	1	22	pm	11.8	53.875	161.875
2005	1	31	pm	10.1	54.125	160.125
2005	2	1	am	16.8	53.625	160.125
2005	2	1	pm	23.7	53.875	160.625
2005	2	2	pm	20.8	51.375	158.125
2005	2	3	am	30.5	52.125	159.375
2005	2	3	pm	24.1	53.875	161.125
2005	2	4	am	13.4	53.875	160.125
2005	2	4	pm	13.6	53.875	160.125
2005	2	6	am	17.2	53.625	161.625
2005	2	11	am	31.4	52.875	159.875
2005	2	14	pm	11.8	51.625	158.375
2005	2	15	pm	14.0	52.875	158.875
2005	2	21	pm	12.4	54.125	161.625
2005	2	24	am	18.0	50.375	158.375
2005	3	2	am	17.3	53.875	161.375
2005	3	8	pm	10.7	51.125	158.125
2005	3	12	am	13.9	50.625	157.375
2005	3	22	pm	10.2	50.625	157.875
2005	3	24	am	13.9	50.625	157.375
2005	3	25	pm	19.6	51.125	157.875
2005	3	26	am	19.1	53.875	160.125
2005	3	26	pm	14.3	51.375	158.125
2005	4	4	pm	10.8	50.875	158.875
2005	4	9	am	15.9	50.875	157.125
2005	4	9	pm	17.2	50.875	157.125
2005	4	11	am	15.7	51.625	158.375
2005	4	11	pm	16.4	53.875	160.625
2005	4	14	am	13.5	50.125	157.875

2005	4	29	pm	15.5	50.375	157.625
2005	4	30	am	19.3	51.125	157.625
2005	4	30	pm	20.9	52.375	158.875
2005	5	1	am	16.9	54.125	160.875
2005	5	1	pm	15.6	50.875	157.125
2005	5	2	am	15.5	50.625	157.375
2005	5	2	pm	13.0	53.625	161.625
2005	5	3	am	12.5	50.875	157.125
2005	5	10	am	10.6	50.875	157.125
2005	5	10	pm	25.6	50.875	157.125
2005	5	11	am	17.8	50.625	157.375
2005	5	19	pm	18.4	50.875	158.625
2005	6	1	am	10.1	50.875	157.125
2005	6	1	pm	10.8	50.375	157.625
2005	6	5	am	13.0	50.375	157.625
2005	6	5	pm	14.3	50.125	157.875
2005	6	6	am	13.5	50.625	158.375
2005	6	23	pm	10.2	52.125	160.125
2005	6	24	am	10.6	52.875	159.375
2005	6	24	pm	12.1	54.125	161.875
2005	6	28	am	12.7	50.875	157.125
2005	6	28	pm	16.8	51.125	159.125
2005	6	29	am	15.9	50.875	157.125
2005	6	29	pm	18.2	50.125	158.125
2005	6	30	am	13.9	51.375	157.875
2005	7	29	am	13.2	51.375	158.625
2005	9	8	pm	16.3	52.625	159.375
2005	9	11	pm	10.9	50.875	158.125
2005	9	24	pm	18.5	50.125	157.875
2005	10	23	pm	18.1	50.875	157.375
2005	10	24	am	12.4	54.125	160.625
2005	11	6	am	10.1	54.125	161.875
2005	11	8	pm	19.0	50.625	157.375
2005	11	10	am	16.1	53.875	160.125
2005	11	10	pm	23.5	53.875	160.125

2005	11	11	am	22.7	54.125	160.375
2005	11	13	pm	15.8	50.625	157.625
2005	11	14	am	15.4	51.875	158.375
2005	11	14	pm	15.3	51.625	158.375
2005	11	15	am	13.0	50.625	157.625
2005	11	15	pm	11.5	51.625	158.375
2005	11	16	am	14.3	50.125	157.875
2005	11	16	pm	10.9	51.875	158.375
2005	11	17	am	10.5	50.875	157.375
2005	11	19	am	11.6	50.375	157.625
2005	11	19	pm	13.2	50.875	157.625
2005	11	30	am	31.7	51.625	158.375
2005	11	30	pm	36.6	53.625	160.875
2005	12	1	am	32.6	53.375	160.125
2005	12	2	am	25.2	53.875	160.875
2005	12	3	am	30.6	52.625	159.625
2005	12	4	am	36.2	50.875	158.875
2005	12	11	am	13.4	52.875	159.375
2005	12	11	pm	21.9	51.875	159.875
2005	12	12	am	12.7	51.625	158.375
2005	12	13	pm	11.6	53.875	160.375
2005	12	19	am	16.8	50.625	158.375
2005	12	21	pm	11.7	51.625	158.375
2005	12	22	pm	14.5	50.125	158.125
2005	12	23	am	31.2	50.625	158.625
2005	12	26	pm	10.3	51.625	158.375
2005	12	27	am	25.0	50.125	157.875
2005	12	31	am	13.2	51.375	158.125
2005	12	31	pm	12.5	52.625	159.375
2006	1	1	am	11.6	52.875	160.375
2006	1	1	pm	12.4	52.625	158.875
2006	1	3	am	11.3	53.875	161.875
2006	1	3	pm	26.1	50.875	157.375
2006	1	5	am	11.2	52.375	158.875
2006	1	5	pm	13.2	54.125	161.375

2006	1	16	pm	12.1	53.625	161.125
2006	1	17	pm	12.3	54.125	161.125
2006	1	18	pm	10.6	54.125	161.625
2006	1	19	am	12.4	53.875	160.125
2006	1	19	pm	14.3	54.125	160.625
2006	1	20	am	15.3	52.625	158.875
2006	1	20	pm	15.1	54.125	161.375
2006	1	21	am	14.3	53.875	160.125
2006	1	23	am	45.6	51.375	157.875
2006	1	23	pm	24.0	54.125	161.125
2006	1	24	pm	15.3	54.125	160.625
2006	1	25	pm	15.3	54.125	161.125
2006	1	26	am	12.7	54.125	160.375
2006	1	26	pm	12.8	54.125	160.625
2006	1	27	am	17.1	53.625	161.375
2006	1	27	pm	12.7	52.375	158.875
2006	1	28	pm	17.7	50.625	158.125
2006	1	29	am	20.8	51.375	158.125
2006	2	2	am	14.5	51.875	158.625
2006	2	17	pm	10.9	54.125	161.125
2006	3	2	pm	24.4	51.125	157.625
2006	3	6	pm	12.0	51.875	158.375
2006	3	7	am	12.3	52.625	158.875
2006	3	17	pm	10.7	50.625	158.125
2006	3	20	pm	20.2	52.625	158.875
2006	3	24	pm	20.9	50.125	157.875
2006	4	1	am	13.6	50.125	157.875
2006	4	1	pm	15.2	51.625	158.125
2006	4	14	am	12.6	51.625	158.375
2006	4	17	am	12.6	50.125	157.875
2006	4	17	pm	21.3	51.375	157.875
2006	4	18	am	15.8	54.125	160.625
2006	4	22	pm	10.2	50.125	157.875
2006	4	27	pm	11.7	54.125	160.125
2006	5	2	am	14.0	50.875	157.125

2006	5	2	pm	14.4	51.125	158.625
2006	5	14	pm	16.5	50.625	157.375
2006	5	21	pm	12.1	52.875	160.875
2006	5	23	pm	13.0	52.125	158.625
2006	6	2	am	12.4	50.875	157.375
2006	6	2	pm	14.6	51.625	158.375
2006	6	3	am	23.0	51.375	158.125
2006	6	3	pm	12.9	50.875	157.125
2006	7	2	pm	13.3	52.375	159.875
2006	7	13	am	11.6	50.375	157.625
2006	8	31	am	11.4	50.875	157.125
2006	8	31	pm	10.8	50.625	157.375
2006	9	1	am	10.9	50.875	157.125
2006	9	1	pm	12.6	50.875	157.375
2006	9	2	am	10.6	54.125	160.875
2006	9	21	pm	10.2	53.125	161.125
2006	9	25	pm	11.8	50.375	157.875
2006	9	28	pm	10.4	51.875	158.375
2006	10	8	am	12.3	50.125	157.875
2006	10	8	pm	12.5	50.375	157.875
2006	10	9	am	14.1	50.375	158.375
2006	10	9	pm	12.6	50.125	157.875
2006	10	20	am	13.4	50.375	157.875
2006	11	8	pm	12.9	52.625	159.125
2006	12	24	am	17.5	52.125	159.125
2006	12	24	pm	14.4	53.375	160.625
2006	12	28	am	19.8	50.125	157.875
2006	12	29	am	19.2	51.125	157.875
2006	12	29	pm	15.6	51.375	158.375

表 4. 2001 年 1 月から 2006 年 12 月の期間にカムチャツカ半島東岸沿いに吹くケース 2 の強風帯の全例の年(YEAR)月(MM)日(DD)と観測地方時刻(am/pm : 06UTC 頃 /18UTC 頃), と風の沿岸方向成分の最大(MAX)とそれが観測された緯度(LAT), 経度(LON).

YEAR	MM	DD	AM/PM	MAX	LAT	LON
2001	1	3	pm	17.0	51.375	157.875
2001	1	4	pm	18.3	50.875	158.875
2001	1	6	am	12.6	52.375	160.375
2001	1	6	pm	15.7	54.125	161.875
2001	1	7	am	30.3	54.125	161.625
2001	1	11	pm	18.0	51.875	158.625
2001	1	14	am	12.1	54.125	161.625
2001	1	15	am	18.8	54.125	161.625
2001	1	15	pm	22.6	53.625	161.625
2001	1	16	pm	17.0	51.625	158.375
2001	1	17	am	14.1	53.375	161.375
2001	1	17	pm	17.2	54.125	161.625
2001	1	18	am	15.1	54.125	161.875
2001	1	19	pm	12.0	52.875	160.875
2001	1	20	am	10.1	51.875	159.125
2001	1	20	pm	12.8	50.875	157.875
2001	1	22	am	14.6	53.125	161.125
2001	1	22	pm	15.7	51.625	159.375
2001	1	23	am	15.8	54.125	161.875
2001	1	25	pm	12.8	54.125	160.625
2001	1	30	pm	11.2	54.125	161.875
2001	2	1	am	13.6	54.125	161.625
2001	2	1	pm	13.4	54.125	161.875
2001	2	3	am	14.4	53.625	160.125
2001	2	3	pm	17.0	54.125	161.875
2001	2	4	am	17.5	54.125	161.875
2001	2	6	pm	12.1	54.125	160.625
2001	2	7	pm	11.2	54.125	160.875
2001	2	9	pm	15.3	54.125	161.375
2001	2	11	pm	19.8	54.375	161.625

2001	2	12	am	14.5	54.125	161.875
2001	2	13	pm	12.8	54.125	161.625
2001	2	14	pm	13.0	54.125	161.625
2001	2	15	am	32.0	50.875	158.875
2001	2	15	pm	27.5	53.625	161.625
2001	2	16	am	42.0	54.125	161.875
2001	2	17	pm	14.6	54.125	161.125
2001	2	18	pm	18.8	54.125	161.875
2001	2	20	am	13.1	52.875	159.375
2001	2	20	pm	11.8	52.875	160.125
2001	2	23	pm	12.2	51.375	157.625
2001	2	24	am	12.6	51.125	159.125
2001	2	25	pm	13.0	54.125	160.375
2001	2	26	pm	17.5	54.125	160.375
2001	2	28	pm	10.6	53.875	160.125
2001	3	1	pm	14.6	53.875	161.875
2001	3	2	am	20.7	53.625	161.625
2001	3	2	pm	11.9	53.625	161.625
2001	3	4	pm	10.7	53.875	161.625
2001	3	6	am	19.4	50.125	157.875
2001	3	6	pm	19.2	53.625	160.375
2001	3	7	am	18.1	53.875	160.875
2001	3	8	am	13.8	52.875	159.375
2001	3	8	pm	16.2	53.875	160.125
2001	3	9	am	17.0	53.875	161.875
2001	3	9	pm	20.8	53.875	161.625
2001	3	10	am	14.3	53.375	161.375
2001	3	10	pm	21.6	53.875	161.375
2001	3	11	am	16.9	53.875	161.125
2001	3	12	am	11.3	53.875	161.125
2001	3	12	pm	13.9	53.875	161.375
2001	3	13	pm	14.5	53.875	160.125
2001	3	14	pm	15.7	53.875	160.125
2001	3	17	pm	10.7	53.375	161.375
2001	3	22	pm	14.8	53.875	160.875

2001	3	31	pm	21.8	53.875	161.625
2001	4	1	am	17.6	53.875	161.625
2001	4	1	pm	15.6	50.375	158.375
2001	4	2	am	10.5	53.875	161.625
2001	4	4	am	13.6	53.875	160.875
2001	4	4	pm	17.9	53.875	161.875
2001	4	5	am	11.0	53.875	161.875
2001	4	6	pm	10.0	52.875	160.125
2001	4	23	pm	23.9	52.125	159.125
2001	4	24	am	13.4	53.875	161.875
2001	4	28	am	11.4	53.875	161.875
2001	5	27	pm	11.7	54.125	161.875
2001	5	29	pm	10.1	51.625	159.625
2001	6	3	pm	12.0	54.125	161.875
2001	6	4	am	11.9	54.125	161.875
2001	6	5	pm	11.2	50.625	158.625
2001	6	6	am	11.6	50.375	158.375
2001	6	6	pm	13.4	51.375	159.125
2001	6	15	am	11.9	53.875	161.875
2001	6	15	pm	10.4	51.375	158.375
2001	6	16	am	11.0	54.125	161.875
2001	6	16	pm	15.1	54.125	161.625
2001	6	17	am	17.7	54.125	161.625
2001	6	17	pm	13.2	54.375	161.625
2001	6	18	am	13.3	54.125	161.625
2001	6	18	pm	10.6	53.625	161.625
2001	6	19	am	12.6	54.125	161.875
2001	6	19	pm	12.6	54.125	161.625
2001	6	20	am	10.5	53.875	161.875
2001	7	25	pm	11.4	50.625	158.625
2001	8	17	pm	13.6	53.125	160.375
2001	8	18	am	11.4	51.625	159.625
2001	8	20	pm	10.3	51.625	158.375
2001	8	21	am	11.3	53.625	161.625
2001	9	18	pm	11.0	53.875	161.875

2001	10	4	pm	10.1	53.875	161.875
2001	10	7	am	13.8	53.875	161.875
2001	10	8	pm	10.2	53.875	161.875
2001	10	9	pm	26.6	53.875	161.875
2001	10	10	am	15.5	52.625	160.625
2001	10	14	pm	11.4	53.625	161.625
2001	10	15	am	12.8	53.875	161.625
2001	10	15	pm	11.7	53.875	161.875
2001	11	4	pm	10.6	50.875	158.875
2001	11	14	pm	20.4	53.875	161.875
2001	11	16	pm	14.0	52.875	158.875
2001	11	17	am	10.4	53.375	161.375
2001	11	21	am	15.9	53.375	160.375
2001	11	21	pm	12.8	53.125	161.125
2001	11	22	am	10.3	54.125	161.875
2001	11	28	pm	11.3	53.125	160.625
2001	12	1	pm	15.7	53.375	161.375
2001	12	2	pm	14.5	53.875	161.875
2001	12	4	pm	11.0	53.625	161.625
2001	12	5	am	21.5	54.125	161.875
2001	12	5	pm	17.2	53.875	161.875
2001	12	6	am	13.2	54.125	161.875
2001	12	6	pm	11.2	53.875	161.625
2001	12	7	am	15.5	53.875	161.625
2001	12	7	pm	19.5	53.875	161.125
2001	12	8	pm	19.3	51.875	159.875
2001	12	9	pm	15.8	51.875	159.375
2001	12	12	am	11.3	53.875	161.875
2001	12	17	am	10.4	52.875	160.625
2001	12	17	pm	17.9	53.125	160.625
2001	12	19	am	13.3	54.125	161.125
2001	12	19	pm	18.2	52.875	159.875
2001	12	20	am	15.7	53.875	161.625
2001	12	20	pm	15.6	51.875	159.125
2001	12	22	pm	11.6	54.125	161.875

2001	12	23	am	11.3	53.375	161.375
2002	1	3	pm	23.6	51.125	157.375
2002	1	4	pm	19.8	52.625	160.375
2002	1	5	am	16.8	51.875	159.625
2002	1	5	pm	14.0	50.125	157.875
2002	1	6	am	12.0	50.625	157.375
2002	1	6	pm	12.2	50.375	158.375
2002	1	13	pm	17.4	52.125	160.125
2002	1	14	am	11.2	50.625	157.375
2002	1	16	am	11.1	54.125	161.875
2002	1	16	pm	10.7	53.625	161.625
2002	1	17	am	11.0	53.625	161.625
2002	1	17	pm	11.4	54.125	161.875
2002	1	21	am	10.4	50.625	157.375
2002	1	29	pm	21.9	51.875	158.625
2002	1	30	am	15.5	53.875	161.875
2002	1	30	pm	16.0	53.875	161.625
2002	2	15	pm	25.5	50.625	158.125
2002	2	20	pm	10.2	54.125	161.875
2002	2	25	am	10.8	52.875	158.875
2002	2	25	pm	14.8	53.625	161.625
2002	3	2	pm	10.5	53.125	161.125
2002	3	7	pm	34.3	53.375	160.125
2002	3	8	am	13.3	53.625	161.375
2002	4	3	am	11.1	53.875	161.625
2002	4	3	pm	13.4	54.125	160.625
2002	4	4	am	10.3	54.125	160.375
2002	4	13	pm	11.2	54.125	161.875
2002	4	18	pm	13.0	53.875	161.625
2002	4	19	am	10.8	52.625	160.625
2002	5	1	am	15.8	53.875	161.875
2002	5	1	pm	18.6	54.125	161.875
2002	5	2	am	19.3	53.125	161.125
2002	5	2	pm	14.8	53.875	161.875
2002	5	17	am	14.4	54.125	161.625

2002	5	23	pm	10.6	53.875	161.875
2002	5	28	am	10.2	53.625	161.375
2002	5	29	am	10.1	53.875	161.875
2002	6	11	pm	13.7	50.875	158.625
2002	6	12	am	13.6	53.375	161.375
2002	6	12	pm	15.3	53.375	161.125
2002	6	13	am	12.9	54.125	161.625
2002	6	21	am	11.3	50.875	157.125
2002	7	28	am	13.3	53.375	160.125
2002	7	28	pm	16.4	53.625	160.375
2002	8	4	pm	10.2	53.375	161.375
2002	8	17	pm	10.8	51.625	158.875
2002	8	19	am	11.6	54.125	161.875
2002	8	23	am	12.5	50.875	158.875
2002	10	4	am	21.8	53.625	161.125
2002	10	4	pm	13.3	53.875	161.875
2002	10	10	pm	12.2	53.625	161.625
2002	10	18	am	10.6	53.375	160.125
2002	10	18	pm	13.4	54.125	161.875
2002	10	19	pm	13.8	52.875	158.875
2002	10	20	am	14.6	54.125	161.875
2002	10	20	pm	13.9	53.125	161.125
2002	10	21	am	10.5	53.625	161.375
2002	10	23	am	10.7	50.625	158.625
2002	10	25	pm	10.6	51.375	158.875
2002	10	30	am	21.4	51.375	159.375
2002	10	30	pm	18.1	52.875	160.875
2002	10	31	am	10.2	53.625	161.125
2002	11	4	pm	19.0	53.875	161.625
2002	11	5	am	14.9	53.375	160.375
2002	11	5	pm	13.0	53.875	161.875
2002	11	11	am	10.3	53.875	161.625
2002	11	11	pm	15.3	53.875	161.875
2002	11	12	am	13.6	54.125	161.875
2002	11	14	am	15.7	53.875	161.875

2002	11	14	pm	16.9	53.375	160.125
2002	11	22	am	31.1	52.125	160.125
2002	11	22	pm	17.3	53.625	161.625
2002	11	23	pm	13.3	54.125	161.875
2002	11	24	am	10.8	53.625	160.625
2002	11	28	pm	10.9	51.625	158.375
2002	12	2	pm	17.0	53.625	161.375
2002	12	6	pm	13.1	53.875	160.125
2002	12	8	am	12.2	53.875	161.875
2002	12	11	pm	19.4	50.125	158.125
2002	12	18	am	11.9	54.125	161.875
2002	12	26	pm	16.1	53.875	161.875
2002	12	27	am	31.0	54.125	161.875
2002	12	27	pm	46.9	53.875	161.875
2002	12	29	am	14.9	53.875	160.125
2002	12	30	pm	16.5	53.125	160.375
2002	12	31	am	16.2	52.875	160.875
2002	12	31	pm	16.7	54.125	161.875
2003	1	1	am	10.1	53.875	161.625
2003	1	2	am	10.8	53.625	161.625
2003	1	6	pm	25.6	51.125	158.625
2003	1	7	am	12.1	51.375	159.125
2003	1	7	pm	10.3	52.375	160.375
2003	1	17	am	11.4	53.875	161.875
2003	1	17	pm	14.4	54.125	161.625
2003	1	18	am	11.7	54.125	161.875
2003	1	18	pm	10.5	52.625	158.875
2003	1	25	pm	12.7	50.625	157.375
2003	1	26	am	10.2	50.125	158.125
2003	1	26	pm	12.6	50.375	157.625
2003	2	1	am	17.4	51.375	158.625
2003	2	1	pm	14.2	53.625	161.625
2003	2	2	am	11.4	53.875	161.875
2003	2	7	pm	17.5	51.375	158.125
2003	2	8	am	13.8	51.375	157.625

2003	2	16	pm	14.8	54.125	161.875
2003	2	17	pm	24.5	52.125	159.875
2003	2	18	pm	16.2	53.625	161.625
2003	2	19	am	15.0	53.875	161.875
2003	2	19	pm	13.4	54.125	161.625
2003	2	20	pm	10.4	54.125	161.625
2003	2	21	am	12.2	54.125	161.875
2003	2	21	pm	13.8	53.875	161.875
2003	2	22	am	18.1	53.875	161.875
2003	2	22	pm	18.2	53.875	161.875
2003	2	23	am	15.3	53.875	161.875
2003	2	23	pm	13.2	54.125	161.625
2003	2	24	am	10.6	54.125	161.875
2003	2	27	am	12.1	54.125	161.875
2003	2	27	pm	13.6	54.125	161.625
2003	2	28	am	11.5	53.875	161.875
2003	2	28	pm	15.8	54.375	161.625
2003	3	1	am	10.4	53.875	161.625
2003	3	9	pm	17.6	51.375	158.125
2003	3	10	pm	16.9	51.625	158.375
2003	3	11	am	15.0	51.125	157.625
2003	3	11	pm	17.9	53.875	161.625
2003	3	12	am	24.9	52.375	159.875
2003	3	30	pm	19.9	52.625	159.625
2003	4	2	pm	12.6	54.375	161.625
2003	4	7	pm	14.6	54.125	161.875
2003	4	10	am	24.7	54.125	161.875
2003	4	10	pm	16.4	53.875	161.625
2003	4	11	pm	12.2	54.125	161.875
2003	4	18	am	22.3	53.875	161.875
2003	4	18	pm	15.4	54.125	161.625
2003	6	15	pm	12.1	54.125	161.875
2003	6	27	pm	10.5	51.625	158.625
2003	7	21	am	10.7	53.625	161.625
2003	7	30	am	11.0	52.375	160.375

2003	8	11	pm	10.2	54.125	161.625
2003	8	28	am	10.1	52.625	160.625
2003	8	28	pm	10.6	54.125	161.625
2003	9	5	pm	13.0	52.875	158.875
2003	9	16	pm	13.4	52.375	160.125
2003	9	17	am	12.1	53.625	161.625
2003	10	1	pm	18.5	50.125	157.875
2003	10	2	am	13.8	52.875	160.375
2003	10	2	pm	13.7	53.875	161.875
2003	10	3	am	11.3	51.625	159.125
2003	10	14	am	14.3	53.875	161.625
2003	11	2	pm	10.6	52.875	160.875
2003	12	4	am	18.6	53.625	160.625
2003	12	7	pm	21.7	52.625	160.625
2003	12	9	pm	12.0	53.375	161.375
2003	12	17	pm	15.5	53.875	161.875
2003	12	19	am	13.7	54.125	161.125
2003	12	23	am	19.4	52.625	160.625
2003	12	23	pm	16.5	53.875	161.625
2003	12	24	am	10.6	54.125	161.875
2003	12	25	am	12.0	54.125	161.875
2003	12	26	pm	12.4	51.875	158.625
2004	1	2	pm	12.0	51.375	158.625
2004	1	9	am	11.6	53.625	161.625
2004	1	10	pm	12.5	51.125	158.625
2004	1	16	am	32.2	50.625	158.625
2004	1	16	pm	21.1	52.125	160.125
2004	1	17	am	17.5	51.125	159.125
2004	1	17	pm	13.5	53.875	161.875
2004	1	18	am	12.8	53.625	161.625
2004	1	18	pm	14.4	52.875	160.125
2004	1	21	am	11.1	50.125	158.125
2004	1	22	am	10.9	53.625	160.625
2004	1	22	pm	12.5	53.375	161.375
2004	1	26	pm	11.6	53.875	161.875

2004	1	27	pm	13.0	54.125	161.875
2004	1	28	am	12.8	54.125	161.875
2004	1	29	am	17.2	53.625	160.875
2004	1	29	pm	14.8	51.625	158.625
2004	1	30	am	12.2	50.375	157.625
2004	1	30	pm	14.4	54.125	161.875
2004	1	31	am	16.0	51.625	159.625
2004	1	31	pm	14.7	54.125	161.875
2004	2	1	am	12.2	51.625	158.875
2004	2	1	pm	11.9	52.875	160.875
2004	2	2	am	12.5	53.625	161.625
2004	2	2	pm	10.1	50.875	158.875
2004	2	6	am	11.9	53.625	161.625
2004	2	6	pm	16.4	52.375	158.875
2004	2	7	pm	14.0	53.625	160.375
2004	2	8	am	17.4	54.125	161.875
2004	2	8	pm	13.6	51.875	159.375
2004	2	9	am	10.4	53.875	161.875
2004	2	10	pm	10.5	52.625	159.875
2004	2	13	am	14.3	54.125	160.625
2004	2	14	am	10.9	54.125	161.875
2004	2	15	pm	11.0	50.125	157.875
2004	2	16	pm	13.8	51.875	159.875
2004	2	17	pm	16.1	53.875	161.875
2004	2	18	am	17.7	52.875	160.875
2004	2	18	pm	18.8	51.375	158.375
2004	2	19	am	13.3	53.625	161.625
2004	2	21	am	14.0	54.125	161.875
2004	2	21	pm	12.4	53.875	161.875
2004	2	22	am	10.3	54.125	161.625
2004	2	24	pm	16.6	54.125	161.875
2004	2	27	pm	27.3	51.375	157.875
2004	2	28	am	22.8	53.375	161.375
2004	2	29	am	12.1	53.875	161.625
2004	2	29	pm	13.4	54.375	161.625

2004	3	1	am	16.4	54.125	161.875
2004	3	1	pm	15.2	50.875	157.875
2004	3	2	am	12.6	52.625	159.625
2004	3	2	pm	12.5	54.125	161.875
2004	3	7	pm	21.7	53.375	160.125
2004	3	8	am	19.3	54.125	161.875
2004	3	8	pm	11.4	53.875	161.875
2004	3	12	am	14.0	53.875	160.125
2004	3	12	pm	22.8	53.875	161.875
2004	3	29	am	15.5	52.875	160.875
2004	3	29	pm	14.1	53.375	161.375
2004	4	4	am	12.8	54.125	161.375
2004	4	4	pm	14.2	52.375	158.875
2004	4	5	am	10.1	51.625	158.625
2004	4	8	pm	24.6	51.875	159.375
2004	4	13	pm	13.2	54.125	161.875
2004	4	22	pm	16.1	51.875	158.375
2004	5	1	pm	11.7	54.375	161.625
2004	5	2	am	13.9	51.375	158.625
2004	5	2	pm	15.6	51.125	159.125
2004	5	3	am	11.8	50.625	158.625
2004	5	3	pm	11.3	53.875	161.875
2004	5	14	pm	15.4	52.875	160.875
2004	7	5	pm	14.2	51.625	158.375
2004	7	6	am	12.0	54.125	161.875
2004	7	6	pm	12.5	50.875	158.875
2004	7	7	am	11.3	53.875	161.875
2004	7	7	pm	12.9	54.125	161.875
2004	7	8	am	11.8	53.125	161.125
2004	7	8	pm	10.1	54.125	161.875
2004	7	9	am	17.1	53.875	161.625
2004	7	9	pm	11.9	53.875	161.625
2004	7	10	am	17.8	53.875	161.625
2004	7	10	pm	14.1	53.375	161.125
2004	9	10	pm	10.5	53.875	160.125

2004	9	16	am	14.6	53.875	161.875
2004	9	16	pm	18.4	53.125	161.125
2004	9	17	am	10.2	53.875	161.625
2004	10	7	am	18.3	53.875	161.875
2004	10	7	pm	10.2	53.875	161.375
2004	10	21	pm	10.7	50.375	158.375
2004	10	22	am	10.9	54.125	161.875
2004	10	24	am	18.2	50.375	158.375
2004	10	24	pm	12.4	53.875	161.875
2004	10	27	am	19.0	51.625	159.125
2004	11	1	pm	13.7	54.125	161.875
2004	11	13	am	10.2	54.125	161.875
2004	11	25	am	13.6	54.125	161.625
2004	11	25	pm	15.6	53.625	161.625
2004	11	28	pm	14.6	54.125	160.625
2004	11	29	am	17.2	53.625	161.625
2004	11	30	pm	12.5	52.875	160.875
2004	12	2	pm	11.5	53.125	161.125
2004	12	3	am	19.2	54.125	161.625
2004	12	3	pm	21.1	54.125	161.875
2004	12	4	am	12.3	54.125	161.875
2004	12	5	pm	13.4	54.125	161.625
2004	12	10	am	13.8	54.125	161.875
2004	12	12	pm	42.0	52.125	159.875
2004	12	13	am	17.9	53.875	161.875
2004	12	13	pm	15.3	52.125	159.875
2004	12	14	pm	24.0	53.875	161.875
2004	12	15	pm	13.5	52.125	158.875
2004	12	27	pm	13.7	52.625	159.125
2004	12	30	pm	11.4	53.875	161.875
2005	1	1	am	12.4	50.375	158.375
2005	1	6	am	11.7	54.125	161.875
2005	1	9	pm	16.2	54.125	161.625
2005	1	10	am	13.6	54.125	161.875
2005	1	13	am	13.9	53.875	161.875

2005	1	13	pm	22.3	53.875	161.875
2005	1	14	am	18.6	54.125	161.875
2005	1	14	pm	12.4	53.375	161.375
2005	1	15	am	15.8	53.875	161.875
2005	1	15	pm	13.4	54.125	161.875
2005	1	16	pm	11.5	54.375	160.625
2005	1	17	am	10.3	54.125	161.625
2005	1	19	am	10.7	51.625	158.375
2005	1	23	am	12.4	51.125	158.875
2005	1	25	am	13.6	53.875	161.375
2005	1	26	pm	11.9	54.125	161.625
2005	1	27	am	10.2	54.125	161.875
2005	1	27	pm	12.0	54.125	161.875
2005	1	28	pm	11.6	54.125	160.375
2005	1	29	am	13.8	53.875	161.625
2005	1	30	am	10.8	52.375	160.125
2005	2	5	am	20.2	52.375	158.875
2005	2	5	pm	25.9	51.375	157.625
2005	2	6	pm	12.0	50.625	158.625
2005	2	11	pm	31.8	53.625	160.125
2005	2	12	am	23.4	53.875	161.875
2005	2	12	pm	14.8	53.625	161.375
2005	2	13	am	10.9	54.125	161.875
2005	2	13	pm	10.3	54.125	161.875
2005	2	14	am	11.1	52.875	159.625
2005	2	15	am	12.9	53.125	160.875
2005	2	19	am	13.0	52.875	159.875
2005	2	24	pm	16.4	53.875	161.875
2005	2	25	am	11.5	53.625	161.625
2005	2	25	pm	13.2	53.875	161.625
2005	2	26	am	11.9	54.125	161.625
2005	2	26	pm	12.8	53.875	160.125
2005	2	28	pm	12.7	54.125	161.875
2005	3	1	am	12.7	53.875	161.125
2005	3	1	pm	14.0	53.875	161.125

2005	3	7	pm	10.1	54.125	161.625
2005	3	9	am	15.5	53.875	161.375
2005	3	9	pm	13.2	52.375	159.625
2005	3	10	am	11.2	53.125	160.125
2005	3	10	pm	13.8	53.625	161.625
2005	3	27	am	12.8	53.875	160.125
2005	3	27	pm	19.1	53.625	161.625
2005	4	2	pm	13.6	50.625	157.375
2005	4	5	am	21.7	53.875	161.875
2005	4	6	am	20.0	54.375	160.625
2005	4	6	pm	16.2	51.125	158.375
2005	4	7	am	10.4	53.125	161.125
2005	4	10	am	16.8	50.125	157.875
2005	4	10	pm	16.8	51.125	157.875
2005	4	12	am	15.0	51.125	157.625
2005	4	12	pm	12.6	54.125	161.625
2005	4	14	pm	16.4	50.125	158.125
2005	4	15	am	15.1	53.625	161.375
2005	4	15	pm	14.7	53.375	161.375
2005	4	16	am	12.9	53.875	161.625
2005	4	16	pm	11.0	53.875	161.875
2005	4	18	am	15.5	53.625	161.625
2005	4	18	pm	18.3	51.125	158.875
2005	4	19	am	14.2	53.375	160.125
2005	4	19	pm	14.1	53.375	161.375
2005	4	20	am	11.5	53.625	161.625
2005	5	11	pm	15.9	51.625	158.375
2005	5	12	am	14.1	53.875	161.875
2005	5	12	pm	13.8	53.875	161.625
2005	5	31	am	10.6	53.625	161.375
2005	6	6	pm	12.6	53.375	161.375
2005	6	30	pm	14.5	54.125	161.875
2005	7	1	am	15.1	54.125	161.875
2005	7	1	pm	17.4	54.375	161.625
2005	7	2	am	11.2	54.125	161.875

2005	7	3	pm	10.8	54.125	161.875
2005	7	29	pm	11.4	53.875	161.625
2005	9	9	am	18.5	53.125	160.625
2005	9	9	pm	11.2	54.125	161.625
2005	9	13	pm	13.8	51.375	159.375
2005	9	20	pm	10.2	53.875	161.625
2005	10	5	pm	14.4	54.125	161.875
2005	11	6	pm	13.1	53.875	161.875
2005	11	29	pm	13.6	51.375	157.875
2005	12	1	pm	35.2	52.875	160.375
2005	12	2	pm	32.7	54.125	161.875
2005	12	3	pm	37.1	50.875	157.125
2005	12	4	pm	26.6	52.125	159.625
2005	12	5	am	17.0	50.875	157.625
2005	12	5	pm	17.3	52.875	160.375
2005	12	6	am	19.0	52.375	160.125
2005	12	6	pm	15.7	52.625	160.625
2005	12	12	pm	16.1	53.875	161.875
2005	12	13	am	11.0	53.875	161.875
2005	12	14	pm	16.8	53.375	160.625
2005	12	15	am	10.5	53.375	161.125
2005	12	17	pm	11.2	53.625	161.625
2005	12	18	am	12.0	53.875	161.875
2005	12	18	pm	13.0	53.625	161.625
2005	12	19	pm	16.1	50.125	157.875
2005	12	20	am	16.2	54.125	161.875
2005	12	20	pm	16.3	53.875	161.875
2005	12	21	am	13.4	51.375	158.125
2005	12	23	pm	16.8	53.875	161.875
2005	12	24	am	12.3	53.875	161.875
2005	12	27	pm	18.0	50.875	157.125
2005	12	28	am	16.4	51.875	159.875
2005	12	28	pm	13.0	50.125	158.125
2006	1	4	pm	30.1	53.875	161.625
2006	1	6	am	18.4	53.625	161.375

2006	1	6 pm	21.7	51.625	159.625
2006	1	7 am	11.0	53.875	161.875
2006	1	9 am	10.3	50.875	158.625
2006	1	12 am	10.4	54.125	161.875
2006	1	12 pm	11.0	53.875	161.875
2006	1	13 pm	10.0	53.875	161.875
2006	1	21 pm	16.4	54.125	160.875
2006	1	24 am	22.1	51.875	159.875
2006	1	28 am	14.4	52.625	160.625
2006	1	29 pm	19.7	51.375	157.875
2006	1	30 am	12.5	50.875	157.375
2006	2	1 am	10.2	54.125	161.625
2006	2	2 pm	16.9	52.125	160.125
2006	2	4 am	10.4	51.125	159.125
2006	2	4 pm	15.4	54.125	161.875
2006	2	11 am	15.9	52.625	158.875
2006	2	11 pm	17.6	53.875	161.875
2006	2	12 pm	13.7	53.875	161.375
2006	3	3 am	19.7	53.875	161.875
2006	3	18 am	24.6	53.375	161.375
2006	3	25 am	16.8	53.375	161.375
2006	3	25 pm	13.4	54.125	161.875
2006	4	2 am	13.8	50.625	157.375
2006	4	2 pm	11.8	53.875	161.875
2006	4	3 am	11.3	53.875	161.875
2006	4	4 am	12.6	50.125	157.875
2006	4	4 pm	24.4	50.375	158.125
2006	4	5 am	40.1	51.375	158.375
2006	4	5 pm	39.9	53.875	161.625
2006	4	6 am	28.4	51.125	158.875
2006	4	6 pm	26.1	53.875	161.875
2006	4	7 am	30.1	53.625	161.625
2006	4	7 pm	11.2	53.625	161.625
2006	4	8 pm	15.0	54.125	160.875
2006	4	12 pm	10.7	54.125	160.875

2006	4	14	pm	15.3	53.875	161.875
2006	4	18	pm	23.1	53.625	161.625
2006	4	19	am	10.9	53.875	161.875
2006	4	30	am	15.5	54.125	161.875
2006	4	30	pm	11.6	53.875	161.875
2006	5	1	am	13.0	54.125	161.875
2006	5	1	pm	13.5	53.375	161.375
2006	5	3	am	24.5	50.875	158.125
2006	5	3	pm	18.6	50.625	158.375
2006	5	4	am	13.7	53.125	161.125
2006	5	15	am	11.1	53.875	161.875
2006	6	4	am	14.5	54.125	161.875
2006	6	4	pm	14.2	53.875	161.875
2006	6	5	am	11.9	53.875	161.875
2006	7	3	pm	11.5	53.375	161.375
2006	7	4	am	12.9	53.625	161.625
2006	7	4	pm	11.0	53.375	161.375
2006	7	12	am	12.2	53.125	160.625
2006	7	13	pm	12.4	50.875	158.125
2006	9	6	am	10.3	50.875	158.875
2006	9	6	pm	11.1	54.125	161.875
2006	9	29	am	11.1	53.875	161.875
2006	10	17	pm	15.2	51.625	158.625
2006	10	20	pm	10.8	54.125	161.875
2006	11	20	am	11.8	53.625	161.625
2006	11	20	pm	12.5	53.125	161.125
2006	11	21	am	17.7	53.625	161.625
2006	11	21	pm	14.1	53.875	161.875
2006	11	22	pm	13.7	54.125	161.875
2006	12	9	am	14.0	53.875	161.375
2006	12	15	pm	13.8	53.375	160.875
2006	12	25	am	16.0	53.875	161.125
2006	12	25	pm	11.9	53.125	160.625
2006	12	26	pm	11.0	53.875	161.875
2006	12	28	pm	23.7	50.125	158.125

2006	12	30	am	12.6	51.375	158.625
2006	12	30	pm	13.5	51.875	158.875

謝辞

本研究を行うにあたり

多大なるご指導を賜った 遊馬芳雄 先生，渡部重十 先生，倉本圭 先生，
石渡正樹 先生，佐藤光輝 先生，小高正嗣 先生に心より御礼申し上げます。
また，ともに研究を行った西村理恵さんほか惑星物理学研究室の皆様にも
この場を借りて御礼申し上げます

2008/02/04

江藤 航一

参考文献

- Bell, G. D., and L. F. Bosart, 1988, Appalachian cold-air damming. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 137–161
- LOESCHER K. A. and G. S. Young, 2006, Climatology of barrier jets along the Alaskan coast. Part I: Spatial and Temporal Distribution. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 437–453
- Colle B. A. and A. LOESCHER, 2006, Climatology of barrier jets along the Alaskan coast. Part II: Large-scale and sounding composites. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 454–477
- Pierrehumbert, R. T., and B. Wyman, 1985, Upstream effects of mesoscale mountains. *J. Atmos. Sci.*, 42, 977–1003
- 古濱洋治・岡本謙一・増子治信, 1986, 人工衛星によるマイクロ波リモートセンシング
- 碓氷典久・栗原幸雄・小司晶子, 2003, QuikSCAT 海上風の検証と変分法を用いた客観解析, *測候時報*, 70, 25–39
- Landmark, B., Dick, B., Kloster, K., 2005, Earth observation (Lecture Notes of AGF-207)
- 荒川正一, 1988, 局地循環序論, *気象研究ノート*, 163, 1–22
- O'conner, W.P., 1994, Cyclonically Forced Barrier Winds along the Transantratic Mountains near Ross Irand. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 137-149
- 大野久雄, 2001, 雷雨とメソ気象