

学 位 論 文 題 名

高層気象観測による冬季オホーツク海の 乱流フラックスに関する研究

学位論文内容の要旨

海水には大気海洋間の熱交換を遮断する働きがあり、高緯度域の気候システムに影響を与えている。中でも季節海水域では海水分布の季節変動や年々変動が大きいいため、海水による熱の遮断効果が海面での乱流フラックスの変動を通して大気循環場の変動をもたらす。このため、季節海水域における乱流フラックスを見積もり、海水変動との関係を知ることは重要である。海水が乱流フラックスに与える影響については、北極海などの多年海水域では観測に基づく議論が多くなされているが、オホーツク海を始めとした季節海水域では長期間にわたって広い範囲をカバーする観測はほとんど行なわれていない。これは主に季節海水域での観測が困難であることに起因するが、高層気象観測によって大気境界層の状態を調べることにより、比較的容易に乱流フラックスを見積もることができる。そこで本研究では、高層気象観測データを用いて冬季オホーツク海の乱流フラックスを見積り、海水による熱の遮断効果について議論を行なうことを目的とする。

オホーツク海南西部に観測地点を設置し、1998年から2000年までの3年間、高層気象観測を行なった。観測地点はユジノサハリンスク (46.9°N, 142.7°E)、北海道斜里町 (43.9°N, 144.6°E) および海上保安庁巡視船「そうや」の3地点であり、北西季節風の卓越時にはユジノサハリンスクはオホーツク海に対して上流、斜里町は下流、「そうや」はその中間に位置する。観測期間は各年とも1月から2月で、この時期はオホーツク海南西部では海水拡大期にあたるため、様々な海水密接度の状況下での大気の鉛直構造を取得することができた。流跡線解析により風が上流から下流に向かって吹いている事例を選び、それぞれの地点の湿潤静的エネルギーの鉛直プロファイルと比較することによって海面での乱流フラックスを見積もった。得られた乱流フラックスは 30W/m^2 から 300W/m^2 であり、各事例におけるオホーツク海南西部の平均海水密接度と弱い負の相関 ($r = -0.49$)、寒気の強さ (各事例における上流地点の気温) と強い負の相関 ($r = -0.64$) があった。重回帰分析により乱流フラックスを開水部から出る成分 (F_{water}) と海水から出る部分 (F_{ice}) に分けたところ両者の比は約 11 : 1 となり、海水が熱を著しく遮断していることが確認された。

次に、1978年から1990年までのオホーツク海周辺の高層気象観測データを使って熱収支解析を行なった。大気境界層では海洋からの乱流フラックスに伴う非断熱加熱と寒気移流とが主にバランスしており、海水域の拡大とともに両者の絶対値は弱まっている。季節風が数日間以上持続する事例を選び、非断熱加熱率を地上から鉛直方向に積分するこ

とによって乱流フラックスを見積もったところ、 $20\text{W}/\text{m}^2$ から $200\text{W}/\text{m}^2$ の値を得た。乱流フラックスと海水密接度、寒気の強さはともに強い負の相関関係にある。南西部の解析と同様に重回帰分析によって F_{water} と F_{ice} に分けたところ、両者の比は約 6 : 1 となった。南西部の結果と比較して海水部分の寄与は大きい、やはり多くの熱が開水部から出ており、海水による熱の遮断効果が大きいことがわかった。

オホーツク海全域で得られた乱流フラックスとヨーロッパ中期予報センター (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF) の再解析データ (ECMWF Re-Analysis; ERA) の乱流フラックスとの比較を行なった。ERA の乱流フラックスは、顕熱フラックスと潜熱フラックスの和を高層気象観測地点を頂点とする多角形で囲まれる領域で平均したものをを用いた。比較の結果、海水密接度が小さい時には ERA では乱流フラックスを過大評価する傾向があることがわかった。また、海水密接度が大きい時には観測値と ERA は比較的良い一致を示した。以上のことは、ERA の乱流フラックスは海洋上で過大評価、海水域では過小評価になっていることを意味する。ERA では海水密接度 55% を閾値としてそれ以上の領域を密接度 100%、以下の場所を密接度 0%(海水なし) として乱流フラックスを求めているため、海水の取り扱いに問題があることが考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 若 土 正 暁

副 査 教 授 江 淵 直 人

副 査 教 授 山 崎 孝 治

副 査 助 教 授 大 島 慶 一 郎

副 査 竹 内 謙 介 (地球観測フロンティア領域長)

学 位 論 文 題 名

高層気象観測による冬季オホーツク海の 乱流フラックスに関する研究

海水には、大気海洋間の熱交換を著しく抑制するという効果がある。特に、オホーツク海などの季節海水域では、海水分布の季節変動や年々変動が大きいため、この効果が海面での乱流フラックスの変動を通して大気循環場の変動に影響をもたらすと考えられている。従って、季節海水域における乱流フラックスを評価し、海水変動との関係を知ることは重要である。しかし、大きな時空間スケールにおける乱流フラックスについては、これまでに観測による評価は行われていない。

本研究の主な目的は以下の通りである。

- (1) オホーツク海南西部における高層気象観測を実施し、得られた観測データを用いて氷縁域における乱流フラックスを見積もる。
- (2) オホーツク海周辺の高層気象観測データを用いた解析から、冬季オホーツク海全域の乱流フラックスを見積もり、海水による熱の遮断効果について議論する。
- (3) (2) で求めた乱流フラックスを用いて、客観解析データの乱流フラックスの評価を行なう。

そこで、1998年から2000年までの3年間にわたって、オホーツク海南西部三ヶ所に観測地点を設置し、高層気象観測を実施した。観測地点は、ユジノサハリンスク(46.9°N、142.7°E)、北海道斜里町(43.9°N、144.6°E)および海上保安庁砕氷パトロール船「そうや」の3地点である。北西季節風の卓越時には、ユジノサハリンスクはオホーツク海に対して上流側、斜里町は下流側で、「そうや」はその中間に位置する。観測期間は各年とも1月から2月で、オホーツク海南西部の海水拡大期に相当する。観測データの中から北西の季節風が卓越する事例を23例

選び、2地点の湿潤静的エネルギーの鉛直プロファイルを比較することによって海面での乱流フラックスを見積もった。得られた乱流フラックスは、 30 W/m^2 から 300 W/m^2 であり、事例におけるオホーツク海南西部の平均海水密接度と弱い負の相関(相関係数 -0.48)、寒気の強さ(各事例における上流地点の気温)と強い負の相関(相関係数 -0.65)を示した。重回帰分析により乱流フラックスを開水部から出る成分(F_{water})と海水上から出る部分(F_{ice})に分けると、両者の比は9:1(低温時)から1:1(高温時)となり、海水が熱を著しく遮断していることが確認された。

次に、1978年から1990年までのオホーツク海周辺の高層気象観測データを使って熱収支解析を行なった。大気境界層では海洋からの乱流フラックスに伴う非断熱加熱と寒気移流とが主にバランスしており、海水域の拡大とともに両者の絶対値は弱まっている。季節風が数日間以上持続する事例を46例選び、非断熱加熱率と水蒸気減少率の和を地上から鉛直方向に積分することによって乱流フラックスを見積もった。得られた乱流フラックスは、 20 W/m^2 から 200 W/m^2 であり、海水密接度、寒気の強さとはそれぞれ相関係数 -0.62 、 -0.68 と高い負の相関を示した。南西部の解析と同様に重回帰分析によって F_{water} と F_{ice} に分けたところ、両者の比は温度によらず約6:1となった。南西部の結果と比較して海水部分の寄与は大きいものの、多くの熱が開水部から出ており、海水による熱の遮断効果が大きいことがわかった。

最後に、オホーツク海全域で得られた乱流フラックスとヨーロッパ中期予報センター(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF)の再解析データ(ECMWF Re-Analysis; ERA)に含まれる乱流フラックスとの比較を行なった。ERAの乱流フラックスは、顕熱フラックスと潜熱フラックスを加えたものを高層気象観測地点を頂点とする多角形で囲まれる領域で平均したものをを用いた。海水密接度が大きい時には両者は比較的良い一致を示すものの、低密接度のときはERAでは過大評価する傾向のあることがわかった。このことは、客観解析データが海洋上の乱流フラックスを過大評価していることと、海水域での乱流フラックスを過小評価していることの2つが合わさっていることを意味する。特に、ERAでは海水密接度55%を閾値としてそれ以上の領域を密接度100%以下の場所を密接度0%(海水なし)として乱流フラックスを求めており、このような海水の取り扱いが見積もり誤差の主たる原因であると考えられる。

以上の結果は、申請者が研究者として研究活動を行うために必要な高度な研究能力と学力を有していることを示している。よって審査員一同は申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。