

学位論文題名

北太平洋中央部における Alaskan Stream の
海洋構造と変動に関する研究

学位論文内容の要旨

北太平洋亜寒帯循環の海流系は相互に影響しあい、気候条件、地形の影響による水塊変質を受けた4つの左旋副循環系から成り立っている。この中で、Alaskan Stream は北端の境界流として位置づけられ、北太平洋中央部ではアラスカ環流、西部北太平洋循環流、ベーリング海環流を結び付ける役割を果たしている。また北太平洋内の亜寒帯循環流としては西向きの輸送を担っている唯一の海流であり、亜寒帯循環全体の規模を見積もる上で重要な位置を占めている。亜寒帯循環は地球規模での Heat Sink として注目され、熱輸送量に関する見積もりが関心事となっている。また北太平洋亜寒帯循環は全海洋への淡水供給源として認識されている事から、アラスカ湾において低塩化された Alaskan Stream の塩分輸送量についての見積もりも重要な意味を持っている。Alaskan Stream は南に存在する東向きの亜寒帯流に比べて流域幅が狭く、流れの境界指標がはっきりしている事から、循環の規模を見積もる上で好都合といえる。しかし海象・気象条件の厳しさ、観測海域に至るまでの距離の遠さ、鉛直密度勾配が亜熱帯域に比べて小さく、より深い観測が必要である事などの条件が Alaskan Stream に関する有用な観測データ数を少なくしており、解明が急がれているのが現状である。

本研究の目的は、9年間に渡る同時期の断面観測結果と3年間に渡る係留系による直接測流結果を基に、北太平洋中央部における Alaskan Stream の特徴を水温・塩分・密度・流速構造から捕らえる事にある。更に Alaskan Stream の南に位置する亜寒帯海流との流量バランス、流速構造と熱・物質輸送量の関わりを調べ、輸送量の季節変動・経年変動の規模を捕らえ、変動の成因となる海洋構造の変化を明らかにする事を目的とする。

結果の第1節では断面観測データから、1997年を例にあげて断面構造と水塊分布に関する解析結果を示し、9年間にわたるフロントと境界位置の経年変動を記述した。第2節では Alaskan Stream の断面構造に関わる経年変化を把握するため、Ridge Domain に注目して解析した。初めに各年の流速断面のパターンを分類し、流速分布パターンと流量の関係について議論した。また各領

域における熱量・塩分輸送量を算出した。次に客観解析手法である EOF(Empirical Orthogonal Function)解析を用いて、流速・水温・塩分・密度の断面構造の経年変化を抽出した。第 3 節では係留流速計の直接測流データからの解析結果を示した。初めに流速平均ベクトルと流速変動場について記述し、取得データの概要を示した。次に Alaskan Stream の季節変化を把握するため、月別流速平均ベクトルと流速変動場を算出した。更に平均・渦運動エネルギーを求め、流れの安定性について議論した。次に測流データに見られた変動の周期特性を議論するために、スペクトル解析を行った。

考察の第 1 節では、地衡流速値と直接測流値の比較を通して、Alaskan Stream の順圧流成分と傾圧流成分について議論した。更に観測期間内に現れた大規模な流速構造の変化について、低気圧性渦の存在と水塊移流に関する考察を行った。第 2 節では、Alaskan Stream 流速構造の安定性について議論した。議論の中で、流れの不安定要因として低気圧性渦による擾乱に着目した。第 3 節では、経度 180 度線とその他の観測線における流量を比較しながら Alaskan Stream 流量の連続性について議論した。第 4 節では、Alaskan Stream の地衡流量と直接測流結果を統合し、絶対流量の規模と経年変化量、季節変化量を推算した。第 5 節では、EOF 解析結果と亜寒帯海流及び Alaskan Stream 流量の経年変化を結び付け、流量の経年変化をもたらす水塊構造の変化について議論した。

第 3 章の結果、及び第 4 章の議論で述べた本研究の成果をまとめて以下に示す。

180 度線の断面構造に見られるフロント構造は、既往の研究例に見られる構造に一致し、水塊の変化としても認識する事が出来た。水温断面の EOF 解析結果から、極前線は亜寒帯中深層域の温暖化に連れて北上する傾向が見られた。Alaskan Stream による西向き流量は、亜寒帯海流のみの東向き流量を上回り、移行領域と亜寒帯海流を合わせた東向き流量とバランスし、経年変化の傾向も良い一致を示した。極前線の動きに比べて亜寒帯境界は変動が大きく、独自の周期性を持っている事が分かった。

Alaskan Stream の直接測流結果においては、既往の流れの上流部における観測結果と同様に安定した流速構造を持ち、これまでの係留観測結果で最下流域に当たる本研究海域でも流れの特性は維持されている事が分かった。地衡流速値との比較では、地衡流バランスが成立する基準深度は 3000m 以深にあり、経年的に変化することが分かった。スペクトル解析からは全点の上下層では高いコヒーレンスが有り、北部と中央部の比較でも高いコヒーレンスが見られた。それに対し南部は独自の変動を示し、亜寒帯海流との間に見られた低気圧回転の渦の影響が大きい事が明らかとなった。上下層の高いコヒーレンスは、地衡流速断面のパターン分類、流速断面の EOF 解析でも水柱全体の変動として

確認された。また全体流量の大きな変動に対して、層別輸送量の割合が大きく変化しない事でも確認することができた。

本研究における3年間に渡る連続観測と9年間に得られた地衡流量の関係から、**Alaskan Stream**の季節変化と経年変化に関する定量的な結果が推定できた。季節変化は1月に最大値($53.8 \pm 17.5\text{Sv}$)を持ち、1月の前後は急激な変動を示す。最小値は4月($37.5 \pm 21.1\text{Sv}$)で、春から秋にかけては大きな変化が見られない。年平均値($41.6 \pm 19.6\text{Sv}$)に対する季節変化の割合は36.7%で、数値モデルから得られている北太平洋中央部の季節変化に割合的に同程度であることが今回の直接測流結果から得られた。しかしモデル結果に比べて本研究の絶対量は2倍以上多く、亜寒帯循環流量とそれによって運ばれる熱・塩分輸送量の規模を再評価することができた。

経年変化では1996年冬期から徐々に強まった流速値が、1997年の冬期に最大値に達し、1998年に入って急激な減少を示す大規模の変動を捕らえる事ができた。この変動は地衡流量と流量に支配される熱輸送量・塩分輸送量にも明瞭に現れ、断面構造のEOF解析においても高い寄与率のモードとして現れている。流量の経年変動と水塊分析を合わせた結果から、**Ridge Domain**ピークの水塊構造は、亜寒帯循環のスピンアップ・スピンドウンと密接に関わっている事を明らかにした。**Ridge Domain**ピークにおける低温・高塩な深層水の湧昇が、傾圧構造の強弱を決定付け、亜寒帯海流及び**Alaskan Stream**の流量変動に繋がることを定量的に導く事ができた。この結果から、**Ridge Domain**における水塊構造を継続的にモニター観測する事により、亜寒帯循環流量の経年変動の指標となりうる可能性を持っている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 宅 秀 男

副 査 教 授 岸 道 郎

副 査 助 教 授 磯 田 豊

学 位 論 文 題 名

北太平洋中央部における Alaskan Stream の 海洋構造と変動に関する研究

Alaskan Stream は北太平洋亜寒帯の4つの副循環系を結びつけており、唯一の西向きの流量輸送を担っている。また、北太平洋亜寒帯は全海洋の淡水供給源であり、地球規模の炭酸ガスや熱のシンクとしても注目され、その熱塩輸送量の見積もりが重要になってきている。しかし、海象・気象の厳しさ、観測海域の地理的距離の遠さ、深い観測の必要性などの理由から調査研究が遅れ、Alaskan Stream の流量やその年々変動、海洋構造や副循環系との相互関係など多くの部分が未解明である。

申請者は経度 180 度付近では Alaskan Stream の流域幅が狭くなること、流れを特定する指標が明確に定義できることに注目し、9 年間にわたる北海道大学水産学部練習船“おしよる丸”の海洋観測と3年間の流れの直接測流から、北太平洋中央部における Alaskan Stream の海洋構造の特徴、亜寒帯海流との流量バランス、熱塩分輸送量の見積もり、流量の年々変動とその原因について解明した。

まず、1997 年の断面海洋観測からフロントを定義し、フロントの年々変動を示し、水温断面の EOF 解析とから極前線が亜寒帯中深層の温暖化に伴い北上する傾向を示した。Alaskan Stream による西向きの流量は、移行領域と亜寒帯海流を合わせた東向き流量と釣り合い、年々の変動とも良い一致を示すことを指摘した。

Alaskan Stream の直接測流結果から、経度 180 度でもエネルギー比（渦運動エネルギー/平均運動エネルギー比）は 1.0 以下の極めて小さい値をとり、安定した流速構造を持つ。また、スペクトル解析から3点の上下層では高いコヒーレンシーを持つが、3つの測流点のうち、南側では独自の変動を示し、亜寒帯循環との間に低気圧性の渦の影響があることを明らかにした。

地衡流速と実測流速との関係から、Alaskan Stream の流量は1月に最大、4月に最小の季節変動を持つが、年平均に対する季節変動の割合は 36.7% である。これは数値モデルから計算された割合と同じであるが、絶対値は本研究が2倍以上多く、亜寒帯海流とそれによって運ばれる熱・塩分輸送の再評価が必要であることを指摘した。

流量の年々変動と水塊断面構造の EOF 解析とから、Ridge Domain の水塊構造は亜寒帯循環のスピンアップと密接に係わっており、低温・高塩な深層水の湧昇が傾圧構造の強弱を決定し、亜寒帯海流および Alaskan Stream の流量変動をもたらしていると推定した。この結果は、Ridge Domain の水塊構造を継続的にモニターすることが、亜寒帯循環流の年々変動の指標になることを指摘した。

本論文の内容に関し、審査員一同が特に評価した点は以下の通りである。

- 1) 180 度付近の Alaskan Stream の地衡流量の平均値および変動量を見積もり、季節変動よりも年々変動が大きいことを明らかにした。
- 2) 北太平洋中央部における Alaskan Stream および亜寒帯海流の流量バランスおよび熱塩分輸送量を実測データから計算し既往のモデル計算値との差異を明らかにした。
- 3) Alaskan Stream の安定性、鉛直構造を明らかにし、断面海洋観測資料と実測流から流量の長期モニター法の可能性を示した。
- 4) Alaskan Stream の流量の年々変動は、西部亜寒帯循環系のスピンアップに伴い、この循環系の東端が 180 度を越すことによって、深層水の湧昇、Ridge Domain の密度のドーム構造の強化、Alaskan Stream と亜寒帯海流の同時強化が起こることによると説明した。

これらの成果は、北太平洋亜寒帯循環系における重要かつ新たな知見であり、北太平洋亜寒帯中央部の研究を大きく進めたものである。よって、審査員一同は本論文が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。