

氏名・(本籍)	チャン 章	ルー 若	チャオ 潮
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	理博第1301号		
学位授与年月日	平成5年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程)地球物理学専攻		
学位論文題目	Studies on Water Properties in the North Pacific Subarctic Region (北太平洋亜寒帯域における海水特性の研究)		
論文審査委員	(主査) 教授 鳥羽良明		
		教授 近藤純正	
		教授 田中正之	
		助教授 花輪公雄	
		助教授 川村宏	

論 文 目 次

CONTENTS

CHAPTER 1. GENERAL INTRODUCTION

1.1. Background

1.2. Purposes of the Dissertation

CHAPTER 2. WATER MASSES OBSERVED IN SEA AREA EAST OF NORTHERN JAPAN

2.1. Introduction

2.2. Data

- 2.3. Deneral Description Based on T - S Scatter Diagrams
- 2.4. Seasonal and Interannual Variations
- 2.5. Discussion

CHAPTER 3 . FEATURES OF THE WATER - MASS FRONT IN THE NORTHWESTERN NORTH PACIFIC

- 3.1. Introduction
- 3.2. Data
- 3.3. Water - Mass Analysis
- 3.4. Water - Mass Front
- 3.5. Temperature Index for the Water - Mass Front
- 3.6. Summary of Fronts in the Northern North Pacific: Comparison with Previous
Studies
- 3.7. Conclusion

CHAPTER 4 . WATER PROPERTIES IN THE NORTHWESTERN NORTH PACIFIC

- 4.1. Introduction
- 4.2. Data
- 4.3. Water - Properties in Regular Lines
- 4.4. Time Series
- 4.5 Relative Current in Regular Lines
- 4.6. Comparison with Levitus Data
- 4.7. Conclusions

CHAPTER 5 . SEASONAL AND INTERANNUAL VARIATIONS OF THE FRONT POSITIONS IN THE NORTHWESTERN NORTH PACIFIC

- 5.1. Introduction
- 5.2. Data
- 5.3. Seasonal Variations
- 5.4. Interannual Variations
- 5.5 Summary

CHAPTER 6 . CONCLUSION

ACKNOWLEDGMENTS

REFERENCES

FIGURES

論 文 内 容 要 旨

黒潮と同様に、「親潮」は北太平洋にかかわる研究者には馴染み深い用語である。この言葉は通常日本北東を流れる亜寒帯循環系の西岸境界を指すのに用いられる。しかし、黒潮と比べて、親潮には明瞭な地理学的、あるいは水路学的な定義がなされておらず、意味する範囲は研究者によって異なることがしばしば見られる。一方では、日本沿岸に到達する親潮水の起源が問題となっている。多くの研究者は親潮水がオホーツク海から来ていると見なしている。また、この海域で見られる亜熱帯循環系水と亜寒帯循環系水は日本東方沖から始まる大太平洋スケールの両循環系水の源ともなっている。

本研究では、北太平洋亜寒帯域水の特徴を蓄積された各層観測データ、およびボランティア船による観測で得られた XBT（投棄型水深水温計）データを用いて研究を行った。本研究の主な結果は次のようにまとめられる。

第1章では序論として親潮水ならびに亜熱帯循環と亜寒帯循環との間に存在する境界フロントについてレビューを行い、本研究の目的と範囲を述べた。

第2章では日本北東海域を占める水系と、その形成および変質について述べた。北海道と本州北部以東の海域に現れる低温水は、少なくとも表層以下（例えば密度 26.5 以上）では、千島列島の東を流れる北太平洋水によって構成されていると判断できた。しかし、東カムチャッカ半島海域の水との比較から、千島列島を横切る観測線の太平洋側の水が既にオホーツク海水の影響を受けていることを示していた。また、東オホーツク海水は東カムチャッカ海流とオホーツク海大陸棚上の底冷水の混合によるものであることが分かった。一方、北海道と本州北部以東の海域においては、塩分 33 psu 以下、水温 2℃以下の水が冬季や春季に多数観測されている。この水は沿岸親潮水であり、千島列島を横切る観測線より列島南側の海峡でオホーツク海から流出したものであろう。事実、北海道と本州北部以東の海域で観測された低温・低塩（低密度）水が夏のオホーツク海でも混合層の下に存在していた。

従って、オホーツク海水が親潮水の形成にあたっては、東カムチャッカ海流の中層水の温度を下げるのに寄与していると評価できる。また、その評価の割合は各密度層によって異なる。

第3章において、水塊分析において「混合比」という新しい概念を導入した。亜熱帯循環系水と亜寒帯循環系水は T-S（水温-塩分）図などに見られるように、両者は明らかに性質を異にしている。ここで等密度面混合を仮定し、なおかつ混合過程における密度の非線形性（混合によって重くなること）を無視することにすれば、ある水塊と同じ密度の（対象としている海域内での）両水塊の代表的な水温に対して、その水温を相対的に評価した量を「混合比」と定義できる。その値が急激に変化するフロントを「水塊フロント」、「Water-Mass Front」と呼ぶことにした。実際、亜熱帯循環系内にあるフロントをはさんで基本的には水塊が一本の T-S 線にのっていて、そこにおける混合比の値は基本的に変化しない。この新しい概念の導入により、従来からある特

定の水温、塩分によって与えられるフロントの指標を再評価し、まとめることができた。

この混合比という概念を北太平洋で行われた観測断面に用いると、深さ方向にかなり広い範囲で亜熱帯循環系水と亜寒帯循環系水との境界フロントを確認することができた。これにより、北太平洋では東側下流にいくにつれて、混合層の底までとする上層はそれ以深による下層に対してフロントがエクマン輸送によって南に移流されていることが初めて示された。この現象が太平洋規模で認められ、東太平洋亜熱帯循環域表層の低塩分化の原因となっている。それに対し下層では亜熱帯循環系水の特徴に近い水がアラスカ湾の循環系に組み込まれることが確認された。

さらに、この水塊フロントを特徴づける水温指標を検討した。亜熱帯循環系内における黒潮続流フロント、二次黒潮フロントについては、Mizuno & White (1983) がそれぞれ 300m 深水温 12°C, 6–8°C を用いている。一方、水塊フロントは前述のように水温・塩分の組合せによって決められるものなので、水温のみで判断することはできない。しかし、本研究では 300m 深のフロントの指標として 5°C 等温線を用いることができることを示した。まとめとして、これら三つの水温指標と観測された断面の特徴を調べることによって、既に出ている論文で取り扱われるフロントについて比較とまとめを行った。

第 4 章では第 3 章で水塊フロントの特徴を調べるのに用いられた各定線データの平均的性質、及びその変動について、特に水塊フロントを中心に解析を行った。また、全北太平洋について調べるのにレヴィタスデータ(全球規模でデータを収集し、品質管理を施し、各格子点について与えたデータ)を用いて、その妥当性について分析しそれまで得られた結果と照らし合わせて検証した。

まず、各定線の観測データについてその平均と標準偏差を調べた。下流の東へいくにつれて、各パラメータの水平傾度が小さくなっていき、傾度極大値の値も周辺の値に近づいていく。水平勾配が極大値をとるところはフロントに当たる。それに対応するところは標準偏差の断面図では極大値を示す。同じ程度の南北方向の変動によって標準偏差に大きく寄与するのは水平勾配が大きいところである。また、表層では大気との相互作用により、値が大きくなっている。もう一つ特徴的なのは 155E 度線において、その平均場がその下流の 170E 度線と比べて北緯 42 度前後に見られる勾配が逆に小さくなっていることである。これは川合 (1972) が日本沿岸における黒潮と親潮の海況学について論じる際、典型的な黒潮水と典型的な親潮水との間の領域について用いた「混乱水域」が経度域まで達していることを示すものである。

次に、各測線に見られる海水の T-S 特性について調べた。源となる西から遠ければ遠いほど特徴となる高温高塩、低温低塩水の極大値、極小値が不明瞭となる。これは水平混合の促進を意味している。また、第 3 章で提案した水塊フロントについても調べ、東にいくにつれて、フロントの幅がだんだん広がっていくことが分かった。同時に、第 3 章で初めて明らかにした上層水のエクマン輸送によって、下層水に対して南へずれることも確認できた。この水塊フロントに対応する緯度帯において、水温と塩分ではフロントであることを示したが、密度に関しては水平勾配及び標準偏差では明瞭な対応関係が見られない。このことは水塊フロントが典型的な密度前線ではないことを示している。ここでは 155E 度線のみが例外で、そこに現れる水塊フロントが下

流の 170E 度線よりも広がっている。

さらに、これらの測線によって得られる相対流速について調べた。亜寒帯領域では順圧性が強く、絶対流速を得るのに亜熱帯領域の場合より深い無流面の深さが必要とされる。しかし、本研究で扱ったデータが 800m を超えるものがまれで、相対流速であることを常に意識し、800m を無流面の深さとした。黒潮二次フロントに伴う流れがもっとも強く、水塊フロントに伴うものは東にいくにつれて弱くなっていく。水塊フロントの流れは下流になるにつれてその平均値とばらつきが小さくなるばかりでなく、150m より浅い層では流速が逆に小さくなっていくのがわかる。それはエクマン輸送によって上層の水が南へ運ばれるに伴い、密度構造も運ばれたことを示している。そのことによるもう一つの現象は、日付け変更線では黒潮二次フロントと下層の水塊フロントによる流れの間に、上層水塊フロントに対応する緯度帯に流れの極大が認められたことである。

最後に、レヴィタスデータを用いて混合比の場の考察を試みた。上記定線データと同位置のものとの比較により、レヴィタスデータが横方向に強く平滑化されて、細かいのを見るのに向いていないが、大局的な傾向を把握するのに利用できることが分かった。それを解析した結果、北東北太平洋では上層においては亜寒帯循環系水が亜熱帯循環に、一方下層では亜熱帯循環系水が亜寒帯循環に加わることが分かった。

第 5 章では北西北太平洋に見られるフロント、なかでも水塊フロントの位置の季節と経年変動の解析を試みた。第 3 章にて水塊フロントが水温指標のみにより検出し得ることを示したが、この章ではその結果と Mizuno & White (1983) で用いられた水温指標とを併せて、TRANSPAC XTB データを用いて、これらのフロントの位置の季節と経年変動を解析した。

この結果、水塊フロントにははっきりと季節変動が確認された。黒潮続流フロントは季節変動が存在しないが、黒潮二次フロントでは小さいながら季節変動が認められた。これらのフロントとも季節変動よりも経年変動の方が振幅が大きいことが分かった。全ての変動から季節変動を除き、その中の伝播する成分を中規模変動とし、それよりスケールの大きい変動を大規模変動と見なす場合が多い。本研究においても、上記のような分離を試みた。その結果、既に報告されたものと違い、伝播する成分と思われるものがかすかに認められるものの、その振幅がはるかに小さいことが分かった。

上記の結果が得られるものの、本研究海域が TRANSPAC XBT 観測海域の西端に当たり、高緯度域では特に冬の北海の厳しい気象条件により、船が南に航路を取るため、データが極端に少ない。そのことにより、冬の水塊フロントについての結果は情報量に乏しく、精度に欠ける一面がある。そのため、季節変動については結論づけられるものの、経年変動をより正確に定量化するにはほかの方法によるアプローチが求められる。

最後の第 6 章では本研究の成果がまとめられた。水塊フロントという新しい概念を導入することにより、亜熱帯循環系水と亜寒帯循環系水との境界を成すフロントについての新しい視点が提示された。これは今までの北西北太平洋に見られるフロントの議論に寄与するばかりではなく、北部北太平洋全体についての研究にも役に立つ視点であろう。

論文審査の結果の要旨

章若潮の論文は、これまで蓄積されてきた各種海洋観測資料を用いて、北太平洋亜寒帯域と亜熱帯域の水塊の分布、その境界としての前線の同定、およびその挙動を取り扱ったものである。

まず、日本北東部沿岸に出現する親潮水について、その上層部はオホーツク海で形成された水塊、下層部は東カムチャツカ海流水とオホーツク海水が混合した水塊であることを示した。

次に、これまで、水塊間のフロントは多く水温分布図などから漠然と定義されてきたが、本研究で新たに定義した水塊の混合率を導入し、それを用いて亜寒帯水と亜熱帯水の境界の検出を試みた。混合率は、水塊が混合する面としてのポテンシャル密度面での典型的な亜熱帯・亜寒帯水型の水温、塩分を用いて、2つの典型的な海水がどの割合で混合すれば観測された水型が形成できるかを示す量である。この解析を、対象海域の4つの定線観測線に適応したところ、極めて明瞭に前線の存在位置を示すことができた。本研究ではこれに水塊前線の各称を与えている。この前線は、より南に東西に走る黒潮続流前線、黒潮2次前線と異なり、強い流れを伴っていないこと、また、この前線は近似的に300m深で5℃の等温線で表されることを示した。さらに、これまで混乱して使用されていた各種の前線名について、この観点から矛盾なく整理できることを示した。また、この解析を、Levitus (1982) のデータセットや TRANSPAC-XBT データに適用し、水塊前線は太平洋の東部に行くにつれて表層と亜表層部でその位置が南北に分かれること、また、冬に北上し、夏に南下する季節変化を示すことなど、新しい知見を導いている。

このように、章若潮の論文は、ポテンシャル密度面で定義した新しい「水塊混合率」を用いて「水塊前線」決定する方法を導入し、北太平洋亜寒帯域における、水塊前線の分布とその変動を含む海水特性の構造を研究して、多くの新しい知見を見いだした有意義な論文であり、自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって章若潮提出の論文は博士（理学）の学位論文として合格と認める。