

氏 名	た な か きよし 田 中 潔
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2243 号
学位授与の日付	平 成 12 年 5 月 23 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	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	Downslope Transport Process of Dense Water due to Baroclinic Instability (斜面上での傾圧不安定による高密度水の輸送過程)
論文調査委員	(主 査) 助教授 秋 友 和 典 教授 淡 路 敏 之 教授 木 田 秀 次

論 文 内 容 の 要 旨

海洋における底・深層水形成は全海洋規模での熱塩循環を駆動する重要な過程であり、ひいては大気を含めた地球規模での長期的な気候の変動を決定づける要因でもある。これらの水塊はおもに高緯度海域で形成されるが、その形成過程は大きく二つのタイプに分けられている。そのうちの一つは、大陸棚上での海面冷却・結氷によって生成した高密度海水が大陸棚斜面を沈降することによるものであり、海洋中で最も重い南極底層水が形成される南極大陸周辺海域でしばしば観測されている。一般に地球自転の影響下において大陸棚斜面に沿う沈降過程が生じるためには、いわゆる地衡流平衡が底摩擦によるエクマン輸送、海底峡谷の効果、傾圧不安定に伴う渦輸送などのメカニズムによって破られる必要がある。しかし、これら個々の物理過程が現実の海洋における斜面輸送に対して果たす役割は、十分には理解されていないのが現状である。

申請者はこれらの問題のうち、傾圧不安定とそれに伴う高密度海水の輸送過程に対して海底斜面が及ぼす影響を、理想化した条件の下での三次元非静水圧モデルを用いた数値実験を行なうことで検討した。実験は現実の海洋における大陸棚及び大陸棚斜面の傾斜を考慮して、海底斜面の傾斜をこれまでより広い範囲(0~0.04)で変化させて行われた。その結果、海底斜面は傾圧不安定に対して二つの相反する効果を持ち、その傾斜の違いに応じてそれぞれの効果の現れ方が異なるために、輸送効率は斜面傾斜と経過時間によって複雑に変化することが初めて明らかにされた。一つは不安定を弱める効果(安定化)であり、これは地形性ベータ効果と冲向きの水深増加に起因する。もう一つの効果は斜面上での等密度面の傾きが急峻化することで基本場の有効位置エネルギーが増大することに起因し、流れの不安定化を促進する。

実験の初期においては、後者の不安定化作用が卓越するため、傾圧不安定波の発達は斜面傾斜の増加に伴って早くなる。また、レイノルズ・ストレスによる非線形効果も二次的に流れの安定性に影響を及ぼし、結果として不安定波の成長率はおおよそ斜面傾斜に比例して増大する。しかし、不安定波が成長して有限振幅となった後は、高密度水の下方向への輸送に伴なって等密度面の傾きが弱まることから、斜面傾斜の安定化作用が特に急斜面の下部領域において卓越するようになる。そのため、緩斜面上では、比較的活発な渦活動が斜面全域に渡って維持され続けるのに対して、急斜面上でのそれは上部斜面域に限られるようになる。

このような渦活動の斜面傾斜に対する依存性を反映して、緩斜面上では全体として不安定化の効果が安定化のそれに勝り、高密度水の斜面下方への輸送効率は斜面傾斜とともに増加する。一方、急斜面上では下部斜面域での安定化効果が顕著であるために、高密度水の輸送効率は斜面傾斜とともに減少する。その結果、最も効果的な輸送はその傾斜が0.005の斜面上で起こる。流れの安定化作用が最も著しい急斜面下部領域では、不安定渦による高密度水の輸送速度はエクマン輸送速度と同程度にまで減少する。しかしながら、エクマン輸送が薄い境界層内(厚さ23m)でしか生じないのに対して、不安定渦による輸送はその4~8倍の厚さ(100~200m)を持つ層内で生じるため、総量(鉛直積分量)としては不安定渦による輸送の方が効果的であり、エクマン輸送だけでは不可能であった現実海洋における高密度海水の斜面輸送を説明できる可能性が示された。

論文審査の結果の要旨

傾圧不安定による活発な渦活動が南極大陸周辺海域などの大陸棚斜面での高密度海水の輸送過程に関わる可能性については以前から指摘されており、この問題に関してはこれまでも多くの研究が行われてきた。しかしながら、斜面上での傾圧不安定とそれに伴う高密度海水の輸送過程に対して、斜面傾斜がどのように働いて不安定性や輸送効率を決定しているのかという問題についての包括的かつ統一的な理解はこれまでの研究では得られていないのが現状であった。

申請者は、この問題を解決するために平坦な海底から南極周辺海域での現実的な海底傾斜までを含む広範囲な場合を対象として、理想化された条件の下での三次元非静水圧モデルを用いた数値実験を行い、密度流の傾圧不安定性とそれによる高密度海水の輸送過程に対する斜面傾斜の効果を検討した。その結果、斜面傾斜はこれまでも言われている地形性ベータ効果をはじめとする流れの安定化作用以外に、等密度面の傾きを急峻化することで基本場の有効位置エネルギーの増加を引き起こし、流れを不安定化する作用を持つことを初めて明らかにした。特に傾圧不安定の発達初期において、斜面傾斜が大きいほどその発達率が大きくなりより短時間に有限振幅の不安定渦が生じるという実験結果はこの不安定化作用によるものであることを、二層海洋に対する安定性解析によって示し、この効果の重要性を明らかにしている。

さらに、傾圧不安定が十分発達した後は、高密度水の斜面下方への輸送にともなって等密度面の傾きが弱まり、逆に斜面傾斜の安定化作用が顕在化する。特に急斜面の場合（斜面傾斜が 0.01 以上）には、その下部領域での渦活動が抑えられ、傾圧不安定の発達初期とは逆に斜面傾斜の増加とともに高密度水の輸送効率が低下することが示された。そのため、斜面上での最も効率的な輸送は斜面傾斜が 0.005 の場合に実現する。このように、海底斜面の持つ相反する二つの効果の現れ方がそれぞれ斜面傾斜と経過時間によって異なるために斜面上での高密度水の輸送過程が上述のように複雑なものになることは、本研究によって初めて明らかにされた。以上の成果により、これまでは断片的にしか知られていなかった傾圧不安定とそれに伴う高密度水の輸送過程に対する斜面傾斜の役割が包括的に理解できるようになったことは、非常に高く評価できる。

申請者は一方で現実に対する適用可能性についても議論し、南極海域での典型的な斜面上（斜面傾斜が $0.03 \sim 0.04$ ）でも、底層エクマン輸送に比較すると $4 \sim 8$ 倍の効果的な高密度水輸送が傾圧不安定渦によって生じるとの結果を得ている。理想化された条件下ではあるが、この過程によって現実の斜面輸送を定量的に説明し得るという点で、重要な結果である。

よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと判断する。

なお、平成12年2月28日、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。