

氏名	よし 吉	かわ 川	ゆたか 裕
学位(専攻分野)	博士 (理 学)		
学位記番号	理 博 第 2189 号		
学位授与の日付	平成 12 年 3 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	海面冷却下での傾圧不安定とそれに伴う中層水形成過程に関する研究		
論文調査委員	(主 査) 助教授 秋友和典 教授 淡路敏之 教授 植田洋匡		

論 文 内 容 の 要 旨

十年～数十年の時間スケールを持つ海洋の中層循環は単に海洋内の水・熱・物質のその時間スケールでの輸送過程を支配するだけでなく、二酸化炭素・フロンといった大気起源の物質の海洋中への取り込み、輸送過程をも支配している。その意味から中層循環像を解明することは地球規模での気候問題にも深く関わる重要な問題と言える。中層循環を決定づける中層水形成過程は、基本的にその起源となる海水の海洋表層における形成過程とその中層への沈降過程とで構成される。前者については海面冷却に伴う対流混合がその主要なメカニズムであり、後者については風に伴うエクマン収束や傾圧不安定などによる沈み込みが重要であると考えられている。これまでの研究では、中層水形成を支配するこれら二つの過程が別々に生じ、まず対流によって混合層内で一様化された起源水がその後の沈み込み過程によって中層へと輸送されると考えられていた。しかし、沈み込み過程に本質的である鉛直流速の大きさについて、観測値を十分説明できるモデルはこれまで提出されていなかった。本論文では、中層水形成がおもに冬季に生じることから、これら二つの過程が同時に生じると考える方が現実的であり、特に同じように密度偏差に起因して生じる対流と傾圧不安定とについては、それらが同時に存在することで別々に生じる場合とは質的に異なる中層水形成過程が起こりうるとの考察から、初めてそのような状況での数値モデル実験を行った。

実験は両者を同時に再現できる非静水圧方程式に基づく三次元数値モデルを用いて行われた。対流（海面冷却）の存在するもとの傾圧不安定は短時間で有限振幅に達し、それに伴う密度前線付近の狭い領域（1 km）に強い下降流が生じることで、観測されるような 10 ないし数 10 km 規模の中層水パッチが形成されることが明らかにされた。対流（海面冷却）が存在しない場合と比較すると、下降流の強さは 20 倍以上に達し観測結果を十分説明するものである。また、それによって形成される中層水の量は約 4 倍に達した。さらに実験結果を詳細に解析、検討することで、対流と傾圧不安定の共存が下降流の強化に及ぼす効果が明らかにされた。すなわち、対流は初期には傾圧不安定に対する擾乱として働き、その後は基本場の成層を弱めることで傾圧不安定の成長を加速する。また不安定が発達し非線形性が卓越するようになった後も、対流はいわゆる地衡力を強め、成層（渦位）を弱めることで前線下降流を強化し続けると同時に、対称不安定に起因する下降流の強化も引き起こす。このように、対流（海面冷却）が常に傾圧不安定と共存することで前線下降流が強化され、効果的な中層水形成が生じることが初めて明らかにされた。

また、標識粒子のラグランジュ的追跡によって、強化された前線下降流が中層水を形成する過程が検討された。その結果、海洋表層付近の海水がこの下降流によって直接中層にまで輸送されることが明らかにされた。この現象は対流（海面冷却）と傾圧不安定が同時に存在することで初めて実現するものであり、両者が共存しない場合とは質的にも量的にも異なっている。さらに、この強い下降流が顕著な水平発散流を中層に形成することに加えて、下降流域自身が時間とともに移動することで、下降流域の幅に比較して 10 倍以上の水平スケールを持つ中層水パッチが形成されることも明らかにされた。

論文審査の結果の要旨

中層水の形成過程に冬季の海面冷却に伴う対流現象が深く関わっていることはこれまでも知られていたが、その役割は中層水の起源となる水塊を形成することであり、形成された水塊の下層への沈み込みは風によるエクマン収束や傾圧不安定によるものと考えられていた。しかしながら、そのような考えに基づくモデルでは観測される鉛直流速を十分には説明できないのが現状であった。本論文は沈み込みが海面冷却の活発な冬季に顕著であることから、特に対流と同じく浮力（密度）偏差に起因する傾圧不安定が沈み込み過程に関わる場合には、対流自身が沈み込みを強める役割を果たし得るとの新たな着想から、初めて両者の共存する場での中層水形成過程を三次元非静水圧モデルを用いた数値実験を行なうことにより調べたものである。結果として、対流自身が傾圧不安定による前線形成に伴って生じる下降流を強化するという質的に従来の認識とは全く異なる過程によって現実的な中層水形成が生じることを初めて明らかにしており、非常に高く評価できる。

申請者は効果的な中層水形成を引き起こす流動場の力学を、対流（海面冷却）の役割に注目しながら傾圧不安定の発達各段階ごとに明らかにした。すなわち、対流は初期には傾圧不安定に対する擾乱として働き、その後は基本場の成層を弱めることで傾圧不安定の成長を加速する。また不安定が発達し非線形性が卓越するようになった後も、対流はいわゆる地衡力を強め、成層（渦位）を弱めることで前線下降流を強化し続けると同時に、対称不安定に起因する下降流の強化も引き起こす。加えていくつかの比較実験を行うことで、いずれの段階においても対流（海面冷却）が傾圧不安定と共存していることが効果的な中層水形成に本質的であること、及びそれによってはじめて観測事実を説明し得る中層水形成が生じることを明解に示しているが、これらは非常に重要な結果である。

さらに申請者は、得られた流動場に投入した標識粒子をラグランジュ的に追跡することで流れに伴う海水運動を詳細に解析し、水塊形成の観点からも特筆すべき結果を得ている。まず中層水は対流（海面冷却）によって強化された前線下降流が海水を海面付近から中層まで直接沈降させることで形成されることを示したが、この点も混合層内で一様化された海水が傾圧不安定によって混合層の底から徐々に下層へと沈み込むという従来の理解とは全く異なったものである。また、前線下降流の水平スケール（幅）がせいぜい1 km程度であるにもかかわらず、その10倍以上のスケールを持つ中層水パッチが形成されるのは、中層に水平発散流を伴う強い前線下降流の領域が時間とともに移動するためであることも初めて明らかにした。これらの成果は水、熱及び二酸化炭素・フロンなどの物質の十年～数十年スケールでの輸送過程に対する中層循環の役割を考える上で非常に重要な視点を与えるものであり、高く評価できる。

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2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。