

論文審査の結果の要旨

氏名 大貫 陽平

海洋の内部潮汐波は、深海における乱流混合の主要なエネルギー源となり、地球規模の深層海洋循環に大きな影響を与えている。グローバルな乱流混合の実態解明において非線形波動共鳴は重要な過程であるが、その中でも parametric subharmonic instability (PSI) と呼ばれる作用によって、海洋の特定の緯度帯に乱流散逸のピークが生じることが観測から指摘されている。しかしながら、このような海洋内部の非線形共鳴現象の理解は未だ十分ではなく、乱流散逸率の推定も確立されていない。

本論文は全5章からなり、それを補足する付録が加えられている。

第1章は導入部であり、内部潮汐波が深層海洋循環において果たす役割とその散逸をひき起こす非線形共鳴現象、さらに、その理論的研究についての現状とその問題点が述べられている。

続く第2章では、PSI のメカニズムの物理的な解明がなされている。PSI とは、ラージスケールの内部波から、その振動数のおよそ半分の振動数を持った、互いに反対方向に伝播するスモールスケールの二つの波を生じる三波共鳴相互作用の一種であり、これまで波数空間の上で共鳴条件の観点から記述されてきた。ここでは、通常同じ方向に進行する波動の重ね合わせとして理解される「うなり」の概念を逆方向に伝播する波動の重ね合わせに拡張することにより、内部潮汐波による PSI から位相同期条件を満たした「うなり」が励起されるという明快な仕組みが提示された。またこれによって、波動間非線形共鳴に伴う潮汐混合のグローバル分布の議論が非常に見通しのよいものとなった。

第3章では、波動間非線形共鳴に伴う不安定成長率の議論を行い、その統一的表現が導かれている。強制力のスペクトルが連続な波動間非線形共鳴ではその性質が時間スケールによって大きく異なることが知られている。単色の強制に対する応答は短い時間スケールでの変動を表す Dynamic な応答として取り扱われるのに対して、連続的なスペクトルに対する応答は長い時間スケールの Kinetic な応答として取り扱われる。しかしながら、従来の Kinetic な応答の取り扱いでは、スペクトルが単色に近づく極限で発散してしまうため、単色から少しだけずれた連続スペクトルを持つ内部潮汐波に伴う PSI では十分な議論が行われていなかった。本章では、統計流体力学を駆使した考察から、Kinetic な応答の議論はマルコフ化近似によ

って特徴づけられ、これが単色極限での発散の原因であることを指摘した。さらに、履歴効果を取り入れた方程式の導入により発散を回避することで、波動間非線形共鳴に伴う不安定成長率を導き、強制力のスペクトル幅と振幅の比に関する両極限において Dynamic な応答と Kinetic な応答を再現する統一的な理論を導くことに初めて成功した。

第4章では、第3章でその位置付けを明確にした Kinetic な理論に基づいた内部潮汐波への適用を行い、その波動間非線形共鳴に伴う減衰率のグローバル分布の計算を行っている。特に、鉛直モード展開の手法を導入することにより、内部波の鉛直構造を反映させた内部潮汐波の減衰率の表式を導出し、海洋の標準的なデータを代入することで、そのグローバルな分布を求めた。その結果、海洋の特定な緯度に見られる減衰率の特異的なピークなど、従来の観測で指摘されてきた事実が見事に再現されるとともに、減衰効果の海洋表層付近への集中など、深層海洋循環に重要な影響を与える乱流散逸率の鉛直構造に関しても重要な知見が与えられた。

第5章では、博士論文全体の議論がまとめられているとともに、内部潮汐波の減衰率のグローバルな評価に関する今後の展望が述べられている。

付録では、線形波動における放射伝達方程式の一般的な導出とその非線形系への拡張、波動間非線形共鳴を記述する統計理論、海洋の力学的運動の鉛直モード展開に基づいたハミルトン形式での記述とその渦成分の考察などの基礎理論が、一般性を失わないように展開されているが、本論文の第2章と3章の理論的背景の基礎を与えるのに留まらず、この種の力学的な議論の基礎として広く適用することができる体系的な定式化が導かれている。

以上のように、本研究は内部潮汐波の散逸過程に関わる波動間非線形共鳴の理論的な研究を展開したものであるが、従来の研究の修正や統合、さらにその拡張を行ったのみでなく、海洋深層循環において重要な内部潮汐波の減衰率のグローバル分布を基本的な物理法則から導いたものであり、今後の海洋循環モデルにおける混合パラメタリゼーションの開発に道を拓いた画期的な成果と高く評価できる。

なお、本論文の第2、3、4章および付録は、指導教員である日比谷紀之教授との共同研究に基づき、共著論文として公表済み、または、公表予定のものであるが、いずれも博士論文提出者が主体となって研究を行ったものであり、その寄与が十分であると判断される。

従って、審査委員一同は、博士(理学)の学位を授与できると認める。