

論文審査の結果の要旨

氏名 長澤 真樹

海洋大循環モデルで再現される深層循環のパターンやその強さは、モデルで用いる密度乱流拡散パラメータの値に大きく依存している。従って、海洋深層大循環モデルをより高度化するには乱流拡散率のグローバルな時空間分布を知ることが不可欠である。しかしながら、これまで乱流の直接観測は、主に、東部北太平洋に集中して行われて来たに過ぎない。乱流混合を引き起こすエネルギーは、潮汐と海底地形との相互作用あるいは大気擾乱によって励起された鉛直低波数の内部波のエネルギーが、海洋深層の波数スペクトル内をカスケードダウンすることによって供給されている。従って、鉛直低波数の外力の時空間分布とカスケードダウンの物理機構の情報を併せ用いれば、乱流拡散率のグローバルな時空間分布を明らかにすることができるであろう。本論文はこのような主題に挑戦したものである。

まず序章では海洋深層における密度混合過程の海洋大循環における重要性と混合過程を生み出す内部波の励起源についての考察が述べられている。第2章においては現実的な密度成層、海底地形を考慮した3次元モデルに、客観解析データから得られた北太平洋の風応力を外力として与えることにより、海洋中の鉛直低波数の内部波エネルギーの時空間分布を明らかにした。秋季には熱帯低気圧の発達する北太平洋西部の低緯度において、冬季にはストームの通過する中緯度帯において、高いエネルギーレベルを示すこと、一方、風が弱まる春季・夏季にはエネルギーレベルは非常に低くなることがわかった。さらにこの章では、北太平洋における現実の海底地形や密度成層を考慮し、モデルの境界で順圧的な潮汐流を与えることにより、内部潮汐波エネルギーの空間分布を明らかにしている。鉛直積分した各分潮の内部潮汐波エネルギーの空間分布から、東シナ海の大陸棚斜面域、伊豆-小笠原海嶺、ハワイ海嶺、さらに、アリューシャン海嶺で、海底地形の分布を反映した高いエネルギーレベルを示

すことがわかった。

第3章では、こうして供給された鉛直低波数域の内部波エネルギーが、どのようにカスケードダウンしていくのかを詳しく考察している。特に、内部潮汐波エネルギーが顕著に供給されることが予想されるアリューシャン海域、ハワイ海域を選び、数値的に再現した内部波の準平衡スペクトルに、鉛直第1モードの M_2 成分の内部潮汐波に対応するエネルギースパイクを与え、そのスペクトルの時間発展を調べている。スペクトルの時間変化を追うことによって、ハワイ海域ではアリューシャン海域とは違って水平スケール 10 km、鉛直スケール 数 10 m 程度の強い鉛直シアが発達し、それに伴って、高波数域でのエネルギーレベルが高くなる様子が明らかになった。ハワイ海域に対応する緯度 27°N では、与えられた M_2 成分の内部潮汐波の周波数は $2.08f$ (f は局所的な慣性周波数) に相当する。鉛直低波数・周波数 $2.08f$ から、鉛直高波数・近慣性周波数へのエネルギー輸送は、parametric subharmonic instability (PSI) によるものと考えられる。これに対してアリューシャン海域 (49°N) では M_2 成分の内部潮汐波の周波数は $1.28f$ となり、 $2f$ を下回るためこの機構は働かない。このことから、乱流混合の空間分布を考える際には、外力のエネルギーの分布そのものというよりは、PSI の機構によって高波数域へと輸送され得る、慣性周波数の2倍の周波数(倍慣性周波数)をもつ内部波のエネルギーの空間分布が重要になる。

ところで第2章で議論した北太平洋の大気擾乱起源の内部波はほとんど慣性周波数付近のものである。第4章では、この内部波が南方へ伝播するために、低緯度で倍慣性周波数の内部波エネルギーを高くしていることを数値実験により明らかにした。

このようなカスケードダウン機構の緯度依存性が、現実の海洋においても存在するのかどうかを検証すべく、北太平洋における合計 72 地点で XCP (投棄式流速計) および XCTD (投棄式電気伝導度・水温・水深計) を投下することにより、海面下、約 1.5km までの水平流速、密度の鉛直構造を観測した。その結果が第5章で述べられている。得られた各観測点での鉛直プロファイルから鉛直拡散係数の深度分布を求めたところ、倍慣性周波数の内部波エネ

ルギーの空間分布と非常によく対応している様子が分かった。

以上、申請者は数値実験、および観測結果に基づいて、密度場の乱流混合の分布が外力の強弱とともに PSI の機構の有無によって決定されること、その結果、著しい空間分布を持つことを初めて指摘している。本論文は、数値実験から倍慣性周波数の内部波エネルギーの分布を求めることによって、乱流拡散の「ホットスポット」のグローバルな空間分布を予測できる可能性を初めて示したものであり、この分野における画期的な貢献をしたものといえる。

したがって、審査員一同は申請者が博士（理学）の学位を授与されるに十分な資格があることを認める。