

氏 名	はた やま たか き 畑 山 隆 紀
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2458 号
学位授与の日付	平 成 14 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	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Transformation of the Indonesian throughflow water by vertical mixing and its relation to tidally generated internal waves (鉛直混合によるインドネシア通過流水の変質と潮汐によって発生する内部波との関係について)
論文調査委員	(主 査) 教 授 淡 路 敏 之 教 授 木 田 秀 次 教 授 Matthews John Philip

論 文 内 容 の 要 旨

インドネシア通過流は、その起源水である太平洋水の水塊構造を特徴づける躍層下部の塩分極大・極小層構造が消失するほどインドネシア多島海において大きな鉛直混合を受け、変質していることが観測結果から指摘されている。また、インドネシア多島海は熱帯特有の強い日射によって加熱されているが、それと同程度の下層への熱輸送が存在すると報告されていることから、鉛直混合を引き起こす原因を明らかにすることは、太平洋・インド洋間の熱・物質輸送を理解する上で、また海大陸の熱帯気候に与えるインパクトを評価する上で極めて重要である。しかしながら、その詳細なメカニズムは不明のまま残されていた。本研究は、この問題に関して、通過流の流路上で水塊特性の変化が大きいマカッサル海峡南部のデワカングシルでのシル地形と順圧潮流による内部波の発生・発達に着目して、鉛直混合のメカニズムの解明を試みた。

まず、鉛直 2 次元非静水圧モデルを用いて数値実験を行い、内部波の成長に関する従来の理論的研究によって示された臨界斜面や臨界フルード数の条件を満たしていないにもかかわらず、卓越流である M_2 潮によって、短波長内部波が大振幅内部波に成長するという注目すべき結果を示した。さらに、デワカングシルは 2 つのシルとその間の小海盆から構成されているが、このような大振幅内部波は単独のシルの場合には発生しないという実験結果を得た。この結果は複数のシル域で鉛直混合が卓越するという観測的事実と整合的である。

そこで、大振幅内部波の発生機構を解明するために、シル間の距離を変えたパラメータ実験を行い、詳細に解析した。その結果、シル間の小海盆で発生した内部潮汐波と順圧潮流の結合効果がシル内側斜面上の海底付近の流れを強化し、そこで発生する短波の内部波を大振幅波に成長しえる非定常風下波のレンジに移行させるために、大振幅内部波が発生することを突き止めた。デワカング域の 2 つのシルは、上記の結合効果が海底付近の流れを強め合う位置関係にある。

次に、このような大振幅の非定常風下波とシル付近の順圧潮流による鉛直混合を調べるために、多数の粒子のラグランジュ運動を計算し、その結果、躍層内の海水は 1 周期間で最大 60m もの鉛直変位残差を生じ、しかもそれらのドリフトの分散はインドネシア通過流の躍層付近で大きいため、明瞭な塩分極大・極小層構造が崩壊することを明らかにした。この鉛直混合の強さを鉛直拡散係数に換算すると $O(10^{-3} \text{m}^2 \text{s}^{-1})$ の大きさであり、観測結果の水塊分析による見積もりと同程度である。海洋中での鉛直混合は、従来、主に内部波の碎波によって発生すると指摘されていることから、申請者はリチャードソン数を全時空間にわたって調べ、少なくとも躍層付近の鉛直混合は内部波の碎波によるものではないことを確認するとともに、その主な原因は、下層の塩分極小水と上層の塩分極大水の鉛直混合が成層を促進させる効果を併せ持つためであると指摘している。なお、 K_1 潮についても同様な実験を行い、その振幅は小さいため、大きな鉛直混合を引き起こす大振幅内部波は発生しないことを示した。

以上の結果は、直接観測によって確かめることが極めて困難であるため実証されていないが、その可能性は高く、太平洋・インド洋間の輸送過程や熱帯気候の研究を前進させる上で有益な研究成果である。

論文審査の結果の要旨

太平洋水をインド洋へ運ぶインドネシア通過流は、インドネシア多島海内で太平洋水の特徴づける躍層下部の塩分極大・極小層構造が消失するほど強く鉛直混合され変質していることが観測結果から指摘されている。また、熱帯に位置するインドネシア多島海は海大陸と呼ばれるほど熱帯気候に大きな影響を与える海域であるが、日射による海面加熱と同程度の下層への熱輸送が存在すると指摘されている。従って、これらの原因を明らかにすることは、太平洋・インド洋間の熱・物質輸送を理解する上で、また海大陸の熱帯気候に与える影響を評価する上で極めて重要である。これまでの研究によって、その最も可能性の高い原因は、多島海の複雑な海底地形と強い潮流によって発生する内部波による鉛直混合であると推測されているが、その詳細なメカニズムは不明のまま残されていた。

申請者は、この問題に関して、通過流の流路上で水塊特性の変化が大きいマカッサル海峡南部のデワカングシルに着目し、シルと順圧潮流による内部波の発生メカニズムと通過流水の変質に対する役割を明らかにするために、鉛直2次元非静水圧モデルを用いて数値実験を行った。その結果、内部波の成長に関する従来の理論的研究によって示された臨界斜面や臨界フルード数の条件を満たしていないにもかかわらず、卓越流である M_2 潮によって、短波長内部波が大振幅内部波に成長するという注目すべき結果を明らかにした。さらに、デワカングシルは2つのシルとその間の小海盆から構成されているが、このような大振幅内部波は単独のシルの場合には発生しないという実験結果を得た。この結果は複数のシル域で鉛直混合が卓越するという観測的事実と整合的である。

そこで申請者は、大振幅内部波の発生機構を解明するために、シル間の距離を変えたパラメータ実験を行い、詳細に解析することによって、シル間の小海盆で発生した内部潮汐波と順圧潮流の結合効果がシル内側斜面上の海底付近の流れを強化し、そこで発生する短波の内部波を大振幅波に成長しえる非定常風下波のレンジに移行させることが原因であることを突き止めた。デワカング域の2つのシルは、上記の結合効果が海底付近の流れを強め合う位置関係にある。

申請者は、このような大振幅の非定常風下波とシル付近の順圧潮流による鉛直混合を調べるために、多数の粒子のラグランジュ運動を計算し、その結果、躍層内の海水は1周期間で最大60mもの鉛直変位残差を生じ、しかもそれらのドリフトの分散はインドネシア通過流の躍層付近で大きいために、明瞭な塩分極大・極小層構造が崩壊することを明らかにした。同時に、発生する鉛直混合の強さを鉛直拡散係数に換算すると $O(10^{-3} \text{m}^2 \text{s}^{-1})$ の大きさであり、観測結果の水塊分析による見積もりと同程度であることを示した。海洋中での鉛直混合は、従来、主に内部波の碎波によって発生すると指摘されていることから、申請者はリチャードソン数を全時空間にわたって調べ、少なくとも躍層付近の鉛直混合は内部波の碎波によるものではないことを確認するとともに、その理由として、下層の塩分極小水と上層の塩分極大水の鉛直混合が成層を促進させる効果を併せ持つためであると指摘している。従って、本研究の鉛直混合は本質的には周期の異なる非定常風下波と内部潮汐波によるカオティックな混合によるものであろうと推測される。なお、 K_1 潮についても同様な実験を行っているが、その振幅は小さいために、大きな鉛直混合を引き起こす大振幅内部波は発生しないと結論している。

以上の結果は、直接観測によって確かめることが極めて困難であるため実証されてはいないが、インドネシア多島海における強い鉛直混合のメカニズムに関して、新たに有望な仮説を申請者は提案しており、太平洋・インド洋間の輸送過程や熱帯気候の研究を前進させる上で有益な成果であると評価できる。

よって、本研究は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、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。