

学 位 論 文 題 名

A theoretical and numerical study
on baroclinic responses caused
by barotropic Rossby waves incident to a ridge.

(海嶺に入射する順圧ロスビー波がもたらす
傾圧応答に関する理論的及び数値的研究)

学位論文内容の要旨

本研究では、順圧ロスビー波が海嶺に入射して励起される傾圧長波ロスビー波に対して、海嶺の形状が与える影響について、半解析モデル、数値モデル、海洋大循環モデルを用いた北太平洋の数値シミュレーションによって調べた。半解析モデルと数値モデルでは東西方向にのみ高さが変化する海嶺を用い、海洋大循環モデルでは現実的な海底地形を用いた。

半解析モデルの支配方程式は鍋蓋近似とベータ面近似を施した 2 層、線型、非粘性の惑星地衡流方程式である。半解析解はモデル東端からの順圧ロスビー波の入力に対して、南北方向と時間方向に三角関数解を仮定することで得られる。順圧ロスビー波がガウス関数型で与えられる海嶺と相互作用することにより、傾圧ロスビー波が励起される。傾圧ロスビー波は、主に順圧流による下層流が海嶺に向かう(遠ざかる)場合に、海嶺斜面上で生じる上向き(下向き)の流れによって励起される。

海嶺の高さと上下層厚を固定した場合、傾圧ロスビー波の振幅は傾圧ロスビー波の半波長が、海嶺の形状を決めるガウス関数の e-folding スケールと同程度の時に最大値を持つ。振幅が最大となるのは、傾圧ロスビー波が海嶺の東西両斜面上において共鳴を伴って励起している時である。すなわち、海嶺東側斜面上で西向き(東向き)下層流による上向き(下向き)の流れによって励起された傾圧ロスビー波が、海嶺西側斜面上で東向き(西向き)下層流による上向き(下向き)の流れによって強化される、という場合である。この位相関係は、半周期の間に傾圧ロスビー波の伝播する距離が、海嶺の東西斜面間の距離、すなわち e-folding スケールの 2 倍に相当する場合に生じる。この半解析モデルの結果を 2 層数値モデルでも確認された。

海嶺幅と周期を固定した場合、傾圧ロスビー波の振幅は海嶺の高さに比例して大きくなる。これは、傾圧ロスビー波を励起させる海嶺斜面上での上向き及び下向きの流れが、海嶺斜面の勾配と入射する下層流速の積に比例するためである。

半解析モデルにおいて、傾圧ロスビー波に伴う境界面変位の振幅が最大となる緯度は、順圧ロスビー波に伴う入射順圧東西流速が最大となる緯度より南へずれる。この南へのずれは順圧流が等渦位線に沿って海嶺上で南向きに曲がるためである。2 層数値モデルにおいては、半解析モデ

ルで表現されないベータ分散によって、この南へのシフトが顕著となる。ベータ分散とは、ロスビー波の位相速度が低緯度ほど大きいために波面が北半球では北東から南西方向へ傾くというものである。また、半解析モデルに含まれない非線型性と短波ロスビー波は、2層数値モデルにおける傾圧応答に対してほとんど影響を与えない。

海洋大循環モデルを用いた北太平洋の数値シミュレーションにおいて、共鳴による傾圧ロスビー波の励起がハワイ海嶺周辺において認められた。傾圧ロスビー波の振幅が最大となる周期は傾圧ロスビー波長、海嶺幅、海洋成層の気候値から0.6年と算出される。数値シミュレーションにおけるハワイ海嶺周辺の0.6年周期変動では、半解析モデル及び2層数値モデルにおいて同定された、海嶺の東西における共鳴による傾圧ロスビー波が生じている。

学位論文審査の要旨

主 査	助教授	見 延	庄士郎
副 査	教 授	播磨屋	敏 生
副 査	教 授	林	祥 介
副 査	教 授	久保川	厚

学 位 論 文 題 名

A theoretical and numerical study on baroclinic responses caused by barotropic Rossby waves incident to a ridge.

(海嶺に入射する順圧ロスビー波がもたらす
傾圧応答に関する理論的及び数値的研究)

海洋中のロスビー波は、海洋波動の中でも大洋規模の現象には最も重要な波動であり、それらの現象の記述の基礎となるものである。ロスビー波は、海底が平らで一般流が無いという理想的な場合には簡単な数式で表現され、その性質は非常によく知られている。しかし、海底地形や一般流の影響を考慮するなら、ロスビー波の描像はもはや簡単とは言えず、多くの未解明の問題がそこに存在している。本論文は現実的な条件のうち、海底地形の影響に焦点をあてて研究を行ったものである。

本研究では、順圧ロスビー波が海嶺に入射して励起される傾圧長波ロスビー波に対して、海嶺の形状が与える影響について、半解析モデル、数値モデル、海洋大循環モデルを用いて調べた。半解析モデルと数値モデルでは東西方向にのみ高さが変化する海嶺を用い、海洋大循環モデルでは現実的な海底地形を用いた。

半解析モデルでは、2層・ベータ面・惑星地衡流・東西方向にのみ変化する地形という近似を用いることで、従来よりもはるかに簡潔な記述を行うことに成功した。その簡潔さによって、傾圧ロスビー波と共鳴する鉛直流速が、海底地形に入射した順圧ロスビー波によって生成される場合に、効果的に傾圧ロスビー波が励起されることを明瞭に示した。すなわち、海嶺の東側斜面上で西向き(東向き)下層流による上向き(下向き)の流れによって励起された傾圧ロスビー波が、海嶺西側斜面上で東向き(西向き)下層流による上向き(下向き)の流れによって強化される。この位相関係は、半周期の間に傾圧ロスビー波の伝播する距離が、海嶺の東西斜面間の距離、すなわち e-folding スケールの 2 倍に相当する場合に生じる。

海嶺幅と周期を固定した場合、傾圧ロスビー波の振幅は海嶺の高さに比例して大きくなる。これは、海嶺斜面上で傾圧ロスビー波を励起する上向き及び下向きの流れが、海嶺斜面の勾配と、入射する下層流速の積とに比例するためである。また、半解析モデルにおいて、傾圧ロスビー波に伴う境界面変位の振幅が最大となる緯度は、順圧ロスビー波に伴う入射順圧東西流速が最大となる緯度より南へずれる。この南へのずれは順圧流が等渦位線に沿って海嶺上で南向きに曲がるためである。

これらの半解析モデルの結果は2層数値モデルでも確認された。さらに、2層数値モデルにおいては、半解析モデルで表現されないベータ分散が、傾圧ロスビー波にいつその南への屈折をもたらしていることを示した。

海洋大循環モデルを用いた北太平洋の数値シミュレーションにおいて、共鳴による傾圧ロスビー波の励起がハワイ海嶺周辺において認められた。傾圧ロスビー波の振幅が最大となる周期は傾圧ロスビー波長、海嶺幅、海洋成層の気候値から0.6年と算出される。数値シミュレーションにおけるハワイ海嶺周辺の0.6年周期変動では、実際に海嶺への順圧流の入射によって生ずる共鳴が、傾圧ロスビー波を生成していることが、確認された。

海底地形とロスビー波との相互作用の重要性は10年以上前から認識され、いくつかの先行研究がなされていた。しかし、本研究は順圧流が海底地形に入射した場合に、傾圧ロスビー波がどう励起されるかという従来取り組みが不十分であった領域を深く追求し、明瞭かつ簡潔な結果を得ることができた。この結果の妥当性は、上に述べた通りに理論的手法、単純化された2層数値計算、そして大循環モデルを駆使することで、優れた説得力を持ち、地球惑星科学分野に大きな貢献をしたものと高く評価できる。

よって、本論文の著者は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。