

学 位 論 文 題 名

Shelf Waves off the San'in Coast in the Japan Sea

（日本海、山陰海岸沖の陸棚波）

学位論文内容の要旨

山陰海岸は日本海の南西海域に位置し、その沖には日本海の中で最も発達した陸棚地形が広がっている。この陸棚の水深約160mには顕著な「陸棚縁」が形成されている。陸棚縁以浅の海域は緩やかな斜面勾配をもった「陸棚域」と呼ばれ、対馬暖流が流入している対馬海峡と接続している。一方、陸棚縁以深の海域は急な斜面勾配をもった「陸棚斜面域」と呼ばれ、朝鮮半島沖の急深な陸棚地形と接続している。本論文では、このような陸棚地形上に存在している長周期波動の挙動特性を明らかにするために、山陰海岸沖の流速観測資料・海底水温資料そして沿岸水位資料の解析を行った。解析の対象とした周期変動は、半日から数十日の変動である。その結果、山陰海岸沖には日周期・数日周期・数十日周期の各周期帯毎に三種類の陸棚波(Shelf waves)が存在していることが明らかになった。陸棚波とは海底傾斜（地形性 β 効果）の導波作用によって、北（南）半球では浅い方を右（左）手に見ながら伝播する渦モートの波動である。

第二章では、山陰浜田沖の陸棚縁付近における流速観測資料を解析し、潮汐周期帯の流動特性を明らかにした。過去の日本海の潮汐に関する研究では、日本海内部の潮汐振幅が極端に小さい（5cm以下）ことから、潮汐波に伴う潮流も潮汐振幅に比例して十分小さいだろうと考えられていた。しかしながら、本流速観測ではこのような小さな潮汐振幅値からは予測し得ない、非常に卓越した日周潮流が捉えられた。日周潮流の振幅は半日周潮流の振幅の約5倍～8倍の大きさを持ち、さらに水深の浅い陸棚域よりも深い陸棚斜面域で卓越する特徴をもっている。このような日周潮流の流動構造は、陸棚斜面域に運動エネルギーを捕捉した第1モードの陸棚波(Interior shelf waves)の構造に非常に良く似ている。次に、どのようなメカニズムで日周期の陸棚波が励起されるのかを調べるために、半日周期または日周期の水平振動流を強制力とした数値モデル実験を行った。実験結果は、日周期の強制の場合に限って陸棚斜面域に効率的に渦度が供給さ

れ、陸棚波が励起されることを示した。また、励起された陸棚波は朝鮮半島を模した西側壁境界から陸棚斜面に沿ってゆっくりと東方へ伝播している様子が再現された。

第三章では、日本海南西海岸一帯（山陰海岸と韓国東海岸）の日平均沿岸水位資料をディジタルフィル法を用いて解析し、数日周期の水位変動の特性を明らかにした。数日周期の水位変動は卓越周期の季節変化によって、三つの期間に分けることができる。1月～4月の期間は3日～5日周期の比較的短周期の水位変動が卓越する。5月～8月の期間は顕著な卓越ピークがみられず、水位変動の振幅も小さくなる時期である。9月～12月の期間には再び数日周期の水位変動が卓越し始め、3日～10日周期の幅広い周期帯に卓越ピークがみられる。このような水位変動の季節変化は風の変動の季節変化とほぼ一致し、両者の相関も高いことがわかった。このことは、山陰沖陸棚上の数日周期の変動が主に気象擾乱に関係していることを示している。次に水位伝播の特徴をみると、山陰海岸・韓国東海岸ともに岸を右手に見た伝播傾向を示す。しかしながら、両海岸の水位変動の間には大きな位相差があり、各海岸では独立した波動伝播が起きていると考えられる。山陰海岸に沿った水位変動の伝播速度は、第1モードの沿岸捕捉陸棚波 (Coastal-trapped shelf waves) の伝播速度とほぼ一致する。一方、韓国東海岸に沿った水位伝播は陸棚波と外部ケルビン波の中間の値を持ち、本論文ではその波動の種類まで特定することができなかった。

第四章では、日本-韓国間に埋設されている海底ケーブルの水温資料（約5.5km間隔の50観測地点）を解析し、山陰海岸沖の陸棚海底上の水温変動の特性を明らかにした。山陰海岸沖の水深約150m付近には対馬暖流の下部に対応した水温躍層が年中存在している。この水温躍層は海底の水温フロントとして陸棚上の緩やかな斜面域と交差し、この水温フロントがしばしば沿岸付近まで大きく移動することが報告されている。このような水温フロントの移動に伴い大陸棚上には顕著な冷水域が発達する。この現象は昔より「底部冷水」の張り出し現象と呼ばれている。この底部冷水の詳細な変動特性は、陸棚上に細かい測定間隔をもった海底ケーブルの水温資料によって初めて把握することができた。海底ケーブル水温資料には、一年間に6回～9回程度（40日～60日周期）の冷水の張り出しに伴う水温低下が記録され、さらにその冷水域が韓国側で形成され次第に東方へ伝播している様子を示している。このような冷水域の水平スケールは数百km程度、伝播速度は約10cm s⁻¹程度と読み取ることができる。山陰海岸沖の底部冷水の張り出し現象とは

水温フロントを伴う波動現象であり、その時空間スケールから陸棚上の緩やかな海底斜面に捕捉された第2～第3モードの陸棚波 (Bottom trapped shelf waves) であることがわかった。

以上の解析の結果、山陰海岸沖には(1)陸棚斜面域に捕捉された日周期の陸棚波、(2)沿岸域に捕捉された数日周期の陸棚波、(3)海底付近に捕捉された数十日(約40日～60日)周期の陸棚波の三種類の陸棚波が存在していることが明らかになった。これらの陸棚波は卓越周期や強制の方法はそれぞれ異なるものの、その伝播が対馬海峡付近からである点では共通した特徴をもっている。この対馬海峡と山陰海岸沖の境界領域では、大きな海底地形変化に伴う渦度の収束発散を期待することができる。すなわち、強制力から陸棚波への大きなエネルギーの散逸がこのような地形条件によって効率的に行われ、同時に波動が励起・伝播していることが推察される。今後は、本論文で明らかになった三つの陸棚波の各励起メカニズムと対馬海峡の地形条件との関係について調べていきたい。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 成 誠 一

副 査 教 授 若 土 正 暁

副 査 教 授 竹 内 謙 介

副 査 助 教 授 日 比 谷 紀 之

学 位 論 文 題 名

Shelf Waves off the San'in Coast in the Japan Sea.

(日本海、山陰海岸沖の陸棚波)

陸棚地形の発達した海底斜面域では、傾斜海底地形効果が一種の復原作用として働く渦モードの波動が形成される。山陰海岸は日本海で最も発達した陸棚地形を示す海域であるが、この海域の陸棚地形にかかわる長周期波動については、ほとんど研究がなされていなかった。申請者は、この陸棚地形上に存在すると思われる長周期波動の挙動・特性を明らかにするために、山陰海岸沖の流速観測を実行すると共に、山陰海岸並びに韓国東岸沿いの多数の水位観測資料並びに海底ケーブルによる海底水温時系列資料を駆使し、三つの周期帯の陸棚波の存在を明らかにし、その波動特性を解明した。第一章では、陸棚波に関する過去の研究のレビューが詳細になされ、申請者のこの分野における十分な知識を裏づけている。

第二章では、山陰浜田沖の陸棚縁付近での流速観測について述べると共に、その資料の解析結果について論じ、潮汐周期帯の流れの特性を明らかにしている。過去の日本海の潮汐に関する研究では、日本海の小さな潮汐振巾と対応して、潮流も極めて小さいものと考えられていたが、観測結果は、半日周期潮流振巾の5～8倍にも及ぶ日周潮流の存在が明らかにされ、しかも、この卓越流は水深と共に増大するという、通常の潮流分布特性からは解釈し得ない分布が明らかにされた。申請者は、この日周潮流構造が、陸

棚斜面域に捕捉された第1モード陸棚波 (Interior Shelf Waves) の流動構造に対応するものと考え、簡単な解析モデルから、陸棚波分散特性を検討し、日周期の陸棚波生起の可能性を確認した。次に、半日周期及び日周期の水平振動流を強制力とした数値モデルによって励起メカニズムを検討し、日周期の強制下でのみ陸棚域に効率的に渦度が供給され、流速観測から得られた流速の時・空間構造と同じ陸棚波が励起されることを明らかにした。第三章では、日本海南西海岸一帯 (山陰海岸と韓国東岸) の日平均沿岸水位資料をダイナミック・スペクトル法によって解析し、数日周期の水位変動特性を明らかにした。この周期帯の水位変動の卓越周期は季節によって若干変化し、1月～4月期における3日～5日の周期に対し、9月～12月期は3日～10日周期に帯域が広がり、5月～8月期には卓越ピークが見られなくなる。このような卓越ピークの変動は、日本海南西域の風の季節変化と高い相関を示し、こうした水位変動が気象擾乱と密接に関係していること、また、水位変化の伝播解析の結果、山陰・韓国東岸のいずれでも、水位変動の伝播速度は沿岸捕捉陸棚波 (Coastal Trapped Shelf Waves) の第1モードと一致するが、両海岸の水位変動の間の位相差は、それぞれの海岸に独立した波動が励起されているものであることを初めて明らかにした。

第四章では、日本－韓国間に埋設されている海底ケーブルの水温資料に基づき、5.5 km間隔50観測地点の海底水温時系列を解析し、この海域の陸棚上における底部冷水の張り出し現象の詳細な振舞を明らかにした。この張り出しに伴う水温変動は40日～60日の周期を持ち、その変動は韓国側から始まり、次第に東方へ伝播していることを申請者工夫の解析手法によって明確に示し、数百kmの水平スケールの変動が約10 cm/sで伝播していることを明らかにした。また、成層下の陸棚解析モデルによる分散特性の検討により、この波動が、水温成層下で励起される海底捕捉波 (Bottom Trapped Shelf Waves) の第2内至第3モード波に相当することを示した。

以上の研究成果は、日本海山陰海岸の長周期波動並びに流動のダイナミックスを理解する上で極めて重要な知見を与えるものであり、極めて高く評価できる。

なお、本審査に先だって行われた語学並びに専門試験の結果も満足すべきものであった。

以上により、審査員一同は、申請者が博士 (理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認定した。