

学位論文題名

Current Variability Corresponding to the Timescales from
Tidal to Inter-annual periods around the Tsugaru Strait

（津軽海峡周辺海域における潮汐周期から
経年変動までの時間スケールに対応する流れの変動）

学位論文内容の要旨

本研究の目的は、6年間にわたる年2回同時期の津軽海峡西方海域におけるCTD断面観測結果と約半年間にわたる定期旅客フェリーに搭載したADCP (acoustic Doppler current profiler) による直接測流結果をもとに、津軽海峡周辺海域における流れの変動を解析することである。

津軽海峡は日本海と北太平洋をつなぐ長さおよそ100 km 幅 40 km 深さ 150 m の海峡である。津軽海峡の西方に広がる日本海は大洋規模の循環パターンをもち、境界流が流れ、極前線が存在するというミニ大洋として科学的興味をもたれている海域である。津軽海峡はその日本海の表層循環流である対馬暖流の主要な流出口という役割をもち日本海の循環系を理解するうえで、また、津軽海峡はそれ自体、重要な国際海峡であり、マイカ (*Todarodes pacificus*) 等の好漁場であるという意味からもその海況を理解することは不可欠であるといえる。

本研究ではCTD観測とADCP観測から得られた結果を、対応する典型的な時間スケール（潮汐周期・2週間変動・季節変動・経年変動）にしたがい分析し、流速や流量の平均値と変動の大きさ、周期性を調べ、変動の成因となる海洋構造の変化や現象を明らかにする。まず、第2章では津軽海峡西方域でのCTD断面観測データから、対馬暖流の分岐域での流れの水平構造の季節変動と経年変動について解析した。6年間にわたる強流部の岸-沖方向の移動は周東(1982)による、対馬暖流流量が極小となるといわれている春季(4月)が沖側、極大となるといわれる時期にあたる秋季(10月)が岸側に位置することから、強流部の移動はほぼ季節的なものであることを明らかにした。また断面の鉛直密度構造を示し、春季には深部(27.0 σ_t 以上)において水平密度勾配が大きいこと、逆に秋季は表層に非常に強い季節躍層が発達するという季節による密度構造の違いを示した。これら海洋構造の変化から津軽海峡西方域での対馬暖

流系の傾圧流量と、そこから導かれる対馬暖流から北上流と津軽暖流への2分岐の分配率を正確に求めるためには、春季には観測基準面深度が既存の研究で

(300 db)は十分ではなく、本研究で傾圧構造に変化が見られなくなる深度とした800 db基準の場合と比して最大で60 %の過小評価となることが明らかとなった。また秋季には岸沿いを流れる対馬暖流の強流部の流量を評価するために、急峻な海底地形をもつ当該海域の断面では海底近傍までの断面観測を細かな水平間隔で行うことが重要であること、最大でほぼ25 %の流量が岸沿10マイルに流れていることから、この部分をカバーしていない既往の観測による流量評価の不十分さを明らかにした。このようにして求められた流量は平均で対馬暖流が2.73 Sv北上流が1.39 Sv津軽暖流は1.47 Svであった。これまで3 : 7とされてきた対馬暖流の北上流と津軽暖流への流量の分配率はほぼ5 : 5と計算された。また対馬暖流と北上流の流量には季節変動に匹敵する経年変動があることが明らかとなった。対馬暖流流量から北上流流量を引いた残余として求められる津軽暖流流量には変動が少なく平均値からの標準偏差は対馬暖流と北上流のほぼ半分であった。対馬暖流流量の季節及び経年の変動成分はほぼ北上流流量の変動成分となっていることが明らかとなった。

ついで、第3章では潮汐周期と2週間周期について ADCP の直接測流データからの解析結果を示した。初めに調和分解について記述し、津軽海峡の潮流の断面での空間分布の特徴と卓越する潮流成分を示した。次に観測断面最近傍の函館の日周・半日周潮汐成分の潮位変動と潮流成分による通過流量を比較し、半日周潮の定在波的なふるまいと、日周潮が定在波成分と進行波成分の重ねあわせで説明されることを示し、その比率がほぼ5 : 5であることを明らかにした(進行波は北太平洋から日本海へと入射する方向)。これは小田巻(1989)が対馬海峡付近の日周潮成分の潮流と潮汐間の関係に認めた方向が正反対の振幅の異なる進行波の重ねあわせと同義である。つまり、方向のみが正反対である進行波を合成した波は海峡の中心線上に無潮点をもつ定在波の挙動を示すが、進行波が不均衡な場合は優勢な波の成分が進行波として残る。この場合、無潮点は波の進行方向むかって左側に位置が移動する。この結果によって、これまで奇妙な振る舞いとされてきた津軽海峡内の日周潮成分の空間分布を潮流観測結果に基づき説明することが可能となった。潮流成分を抜き去った津軽暖流の変動を把握するため、平均流ベクトルをもとめ断面通過流量を求めた。平均流の通過流量は1.8 Svであった。通過流量は以前の唯一の直接測流結果である四竈(1994)の値とほぼ同程度であり、2章でCTD観測結果に基づいて求めた流量ともほぼ一致した。平均流の断面構造からは断面の南北に渦構造の存在が示唆された。次に潮流成分を除去し3日平均したデータには2週間程度の周期変動が見られた。そこで変動の周期特性を議論するために、スペクトル解析を行った。結果として13.7日に有意なピークがみられた。この周期変動は潮流除去の不完全さに由来する擬似の波動のみでは説明できず、鉛直混合が進み海峡内の水塊が均一性を有している時期であるために武岡(1993)が示す大潮・小潮に関連した鉛直循環も否定される。また風とのコヒーレンスも有意ではなかった。一方、

津軽海峡周辺では日本海沿岸で13.7日の周期を持つMf分潮の潮汐振幅が2-1.5 cm存在しており、位相もほぼ 200° でそろっている。また、太平洋岸では振幅が小さく（ほぼ0.5cm以下）、位相もばらついていることから日本海のMf分潮が駆動力であると仮定し、Wright(1987)による半無限の海洋をつなぐ海峡での周期変動する順圧流の流量を津軽海峡のスケールと日本海のMf分潮振幅から計算すると、潮流成分による通過流量は0.15-0.45 Svとなり、流れと潮位との位相差は 8° 潮位が先行するという結果が導かれた。実測の流速変動は日本海のMf分潮潮汐とほぼ同位相で統計的に有意な通過流量の極大と極小の差は0.3 Svであった。この結果からこれまで存在を何度となく示唆されてきた津軽海峡での2週間周期の変動の存在を明らかにし、日本海で卓越するMf分潮が駆動力である可能性が高いことを初めて示した。

以上のように、津軽海峡の流れは、対馬暖流や北上流に比して経年および季節的流量変動がすくないながれであり、平均すると対馬暖流の半分程度の流量をもつことが明らかとなった。津軽海峡内には津軽暖流と最大流速が同程度の潮流が流れており、日周潮が卓越している。潮汐波として考えた場合半日周潮は定在波的、日周潮は進行波的な特徴を持っている。また、津軽海峡内には特徴的な14日周期の流れの変動が存在し、その原因としては日本海のMf分潮があげられることが明らかとなった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岸 道 郎
副 査 教 授 三 宅 秀 男
副 査 教 授 松 永 勝 彦
副 査 助 教 授 磯 田 豊

学 位 論 文 題 名

Current Variability Corresponding to the Timescales from Tidal to Inter-annual periods around the Tsugaru Strait

(津軽海峡周辺海域における潮汐周期から
経年変動までの時間スケールに対応する流れの変動)

津軽海峡における流れについての研究は断片的には数多くの研究があるが、津軽暖流と対馬海流との流量の変動の関係についての研究、潮流についての研究は系統的に行われてきていない。

本研究の目的は、6年間にわたる年2回同時期の津軽海峡西方海域におけるCTD断面観測結果の解析によって津軽暖流と対馬海流との流量の変動の関係を解析し、かつ約半年間にわたる定期旅客フェリーに搭載したADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) による直接測流結果をもとに、津軽海峡における潮流について解析することである。

前半の津軽海峡西方海域におけるCTD観測のデータ解析では、秋田沖では対馬暖流は沿岸域に沿って流れることが多いことを指摘、沿岸部に観測点を従来の観測より多く設けて観測を6年にわたって継続し、解析をした。そしてその沿岸部の流れを加味した解析では、津軽海峡の流れは、秋田沖の対馬暖流の流量変動や渡島半島西岸の北上流の変動に比して、経年および季節的流量変動が少ない流れであるというきわめて重要な知見を売ることが出来た。またこの流れは平均すると対馬暖流の半分程度の流量をもつことが明らかとなり、津軽暖流の研究に新たな知見が得られた。

一方、津軽海峡を横切る定期旅客フェリーに設置したADCP観測の解析では、津軽海峡内には上記で解析した津軽暖流と最大流速が同程度の潮流が流れており、日周潮が卓越していることが判明。潮汐波として考えた場合半日周潮は定在波的、日周潮は進行波的な特徴を持っていること。そして、津

軽海峡内には特徴的な 14 日周期の流れの変動が存在していることが判明した。この 14 日周期の変動の原因を究明するために数学的な解析を行った結果、日本海の M f 分潮によってこの 14 日周期の流れが引き起こされることが明らかとなった。このことは、津軽海峡における潮汐の解析としては初めて本格的に取り組んだ結果として得られた、新たな貴重な知見である。

以上の結果は、津軽海峡における流れについて従来にはない知見を与えたものであり、高く評価できる。よって審査員一同は本論文が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。